

# 团 体 标 准

T/CNEA XXXX—XXXX

## 压水堆承压部件 设计与制造 第 7 部分： 混凝土安全壳

Code for PWR pressure boundary components Design and Fabrication Part 7:  
Concrete Containments

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – 实施

中国核能行业协会 发布



目 次

前言 ..... VII

引言 ..... VIII

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和符号 ..... 2

4 总则 ..... 7

    4.1 总要求 ..... 7

    4.2 混凝土安全壳的要求 ..... 7

    4.3 范围 ..... 7

    4.4 资格与职责 ..... 7

        4.4.1 资格 ..... 7

        4.4.2 职责 ..... 8

5 材料 ..... 9

    5.1 材料通用要求 ..... 9

        5.1.1 范围 ..... 9

        5.1.2 承压和承载材料 ..... 10

        5.1.3 材料的合格证明 ..... 10

        5.1.4 材料和涂层在使用期间的老化 ..... 11

        5.1.5 用于提高金属材料机械性能的热处理 ..... 11

        5.1.6 尺寸标准 ..... 12

    5.2 混凝土和混凝土原料 ..... 12

        5.2.1 引言 ..... 12

        5.2.2 混凝土成分 ..... 12

        5.2.3 混凝土配合比的设计 ..... 14

        5.2.4 水泥浆 ..... 18

        5.2.5 混凝土成分的标记和识别 ..... 22

    5.3 钢筋材料 ..... 22

        5.3.1 引言 ..... 22

        5.3.2 材料识别 ..... 22

        5.3.3 特殊材料的试验 ..... 22

    5.4 预应力系统的材料 ..... 23

        5.4.1 引言 ..... 23

        5.4.2 预应力钢材 ..... 23

        5.4.3 锚具 ..... 24

        5.4.4 非承载材料和附件材料 ..... 25

        5.4.5 性能要求 ..... 27

        5.4.6 性能试验 ..... 28

        5.4.7 预应力材料的标记和识别 ..... 30

5.5	衬里材料	30
5.5.1	许用的材料技术规格书	30
5.5.2	材料的断裂韧性要求	31
5.5.3	衬里材料的检测和修补	38
5.5.4	材料识别	45
5.6	焊接材料	45
5.6.1	焊接材料的要求	45
5.6.2	栓钉焊接材料	50
5.6.3	焊接材料的识别	52
5.7	预埋锚固材料	54
5.7.1	引言	54
5.7.2	预埋锚固材料的断裂韧性要求	55
5.7.3	预埋锚固件材料的检测和修补	55
5.7.4	预埋锚固材料的标记	55
5.8	材料生产商的质保体系大纲	55
5.8.1	质保体系大纲的文件编制和保存	55
6	设计	57
6.1	通用设计要求	57
6.1.1	混凝土安全壳	57
6.1.2	金属衬里	58
6.1.3	术语定义	58
6.1.4	公差	59
6.2	荷载准则	60
6.2.1	概述	60
6.2.2	荷载类别	60
6.2.3	荷载组合	62
6.2.4	荷载定义	63
6.3	安全壳设计分析规程	63
6.3.1	概述	63
6.3.2	壳体	64
6.3.3	底板、框架、箱型结构和板的组合件	64
6.3.4	贯穿件和开孔	64
6.4	混凝土安全壳结构设计的许用值	64
6.4.1	概述	64
6.4.2	极限设计荷载下的许用应力	64
6.4.3	使用荷载的许用应力	72
6.4.4	混凝土温度	73
6.5	安全壳设计细则	74
6.5.1	弯曲和轴向荷载设计	74
6.5.2	受剪配筋设计	74
6.5.3	受冲切承载力	78
6.5.4	局部受压承载力	78
6.5.5	对钢筋的要求	78
6.5.6	预应力混凝土	82
6.5.7	结构件的分隔	83

6.5.8 基础设计要求 .....	83
6.5.9 安全壳外部锚固件 .....	84
6.6 衬里设计分析规程 .....	85
6.6.1 概述 .....	85
6.6.2 衬里 .....	85
6.6.3 衬里锚固件 .....	85
6.6.4 贯穿件组件 .....	85
6.6.5 托架和附件 .....	85
6.7 衬里设计 .....	85
6.7.1 概述 .....	85
6.7.2 衬里 .....	85
6.7.3 衬里锚固件 .....	86
6.7.4 贯穿件组件 .....	86
6.7.5 托架和附件 .....	86
6.7.6 疲劳 .....	87
6.8 衬里设计细节 .....	87
6.8.1 衬里锚固件 .....	87
6.8.2 贯穿件衬里 .....	87
6.8.3 从混凝土结构至钢结构的过渡 .....	87
6.8.4 焊接建造 .....	88
6.9 冲击荷载和飞射物撞击的设计准则 .....	90
6.9.1 概述 .....	90
6.9.2 设计许用值 .....	90
6.9.3 设计假设 .....	91
7 制作和建造 .....	91
7.1 通用要求 .....	91
7.1.1 引言 .....	91
7.1.2 部件生产商或建造商出具的材料、制作或建造的合格证明 .....	91
7.2 混凝土 .....	93
7.2.1 概述 .....	93
7.2.2 储存、配料、搅拌和浇筑 .....	93
7.2.3 预填骨料混凝土 .....	95
7.2.4 养护 .....	95
7.2.5 模板和施工缝 .....	95
7.2.6 寒冷与炎热气候条件 .....	96
7.2.7 混凝土的修补 .....	96
7.2.8 用于灌浆钢束系统的水泥浆 .....	96
7.3 钢筋系统的制作 .....	97
7.3.1 概述 .....	97
7.3.2 钢筋的弯折 .....	97
7.3.3 钢筋的连接 .....	98
7.3.4 钢筋安装 .....	104
7.3.5 钢筋的间距 .....	104
7.3.6 表面状态 .....	104
7.4 预应力系统的制作和安装 .....	104

7.4.1	概述	104
7.4.2	材料的接收、储存和装卸	104
7.4.3	钢束的制作	104
7.4.4	钢束的标识	105
7.4.5	钢束的安装	105
7.4.6	张拉	105
7.4.7	永久性防腐蚀措施	106
7.5	衬里的制作	106
7.5.1	通用要求	106
7.5.2	成形、装配和定位	107
7.5.3	焊接的评定	110
7.5.4	指导施焊、检测和修补的规则	114
7.5.5	热处理	126
7.5.6	附件的保护	130
7.6	预埋锚固件的制作	130
7.6.1	一般要求	130
7.6.2	成形、固定和对中	130
7.6.3	焊接评定	131
7.6.4	指导施焊、检测、和修补的规则	132
7.6.5	热处理	134
7.6.6	螺栓结构	134
8	建造试验和检测	134
8.1	通用检测要求	134
8.1.1	规程、评定和评价	134
8.1.2	无损检测人员的考核和取证	135
8.1.3	混凝土检测人员和试验人员的取证	136
8.1.4	记录	136
8.2	混凝土检测	137
8.2.1	概述	138
8.2.2	混凝土成分	138
8.2.3	混凝土	140
8.2.4	用于灌浆钢束系统的水泥浆	144
8.3	钢筋系统检测	144
8.3.1	概述	145
8.3.2	机械连接的检测	145
8.3.3	就位的检测	145
8.3.4	弯头的检测	145
8.4	预应力系统的检测	146
8.4.1	概述	146
8.4.2	要求的检测	146
8.5	焊缝的检测	147
8.5.1	概述	147
8.5.2	对焊缝要求的检测	147
8.5.3	检测规程	148
8.5.4	验收标准	149

9 混凝土安全壳的结构完整性试验 .....	151
9.1 通用要求 .....	151
9.1.1 引言 .....	151
9.1.2 试验和设置仪表的计划 .....	152
9.1.3 按总规则设计的零件、附件和部件的试验 .....	152
9.1.4 试验前条件 .....	152
9.1.5 结构的分类 .....	152
9.1.6 结构反应预测 .....	152
9.2 试验规程 .....	152
9.2.1 试验前的检验 .....	152
9.2.2 仪表设置 .....	153
9.2.3 检测仪表的预试验 .....	153
9.3 结构试验要求 .....	154
9.3.1 概述 .....	154
9.3.2 加压 .....	154
9.3.3 温度 .....	154
9.3.4 要求的数据 .....	154
9.3.5 表面裂缝 .....	154
9.3.6 位移测量 .....	155
9.3.7 应变测量 .....	156
9.3.8 温度测量 .....	156
9.3.9 试验后的检测 .....	156
9.4 试验结果的评定 .....	156
9.4.1 验收准则 .....	156
9.4.2 表面裂缝 .....	157
9.4.3 复试 .....	157
9.4.4 应变 .....	157
9.5 数据分析和报告编制 .....	157
9.5.1 试验数据的分析 .....	157
9.5.2 数据提交 .....	157
9.5.3 最终报告内容 .....	157
10 混凝土安全壳密封性试验 .....	158
10.1 通用要求 .....	158
10.2 试验分类 .....	158
10.2.1 按试验对象分类 .....	158
10.2.2 按反应堆运行不同阶段分类 .....	158
10.3 试验要求 .....	158
10.3.1 试验前要求 .....	158
10.3.2 试验方法 .....	158
10.3.3 试验压力 .....	159
10.3.4 定期试验周期 .....	159
10.3.5 专项试验 .....	159
10.3.6 验收准则 .....	159
10.4 试验报告 .....	159
11 超压保护 .....	159

12 铭牌、印记和报告 ..... 159

    12.1 铭牌内容 ..... 159

附录 A（规范性附录） 预应力材料和衬里材料表..... 161

附录 B（规范性附录） 新材料的批准..... 166

附录 C（规范性附录） 圆形显示..... 169

附录 D（规范性附录） 混凝土检查人员的考核..... 175

附录 E（规范性附录） 无损检测方法..... 181

附录 F（规范性附录） 向本文件发布单位（机构）提交的技术咨询..... 183

附录 G（规范性附录） 电弧焊接钢筋的评定..... 185

附录 H（资料性附录） 混凝土安全壳的典型荷载组合（可选） ..... 196

附录 I（资料性附录） 非强制性预热规程..... 197

附录 J（资料性附录） I 级和 II 级混凝土检查人员的取证 ..... 198

附录 K（资料性附录） 衬里的尺寸公差..... 209

附录 L（资料性附录） 经确认的衬里材料试验报告..... 213

附录 M（资料性附录） 钢筋加工和放置公差..... 215



## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2020给出的规则起草。

T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设计与制造》与T/CNEA ××××《压水堆承压部件 材料》、T/CNEA ××××《压水堆承压部件 焊接》、T/CNEA ××××《压水堆承压部件 无损检测》和T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设备设计制造》共同构成支撑《压水堆承压部件》。本文件是T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设计与制造》的第7部分。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核能行业协会提出并归口，技术支持单位为上海核工程研究设计院有限公司、中国机械工业联合会、中机生产力促进中心、核工业标准化研究所、中广核工程有限公司、中国核电工程有限公司。

本标准起草单位：上海核工程研究设计院有限公司

本标准主要起草人：黄小林、包金龙、王洪良、罗刚、夏祖讽、葛鸿辉、李韶平、程书剑、杨铁成、张学胜、黄骏、蓝天云、冯嘉

本标准为首次发布。

## 引 言

T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设计与制造》旨在规范我国压水堆核电厂核承压部件的设计与制造，拟由八个部分构成。

- 第 1 部分：通用要求。目的在于规定用于压水堆核电厂物项的材料、设计、制造、安装、检测、试验、检验与超压保护等的通用要求。
- 第 2 部分：1 级部件。目的在于规定压水堆核电厂 1 级部件的设计、制造、安装、检测、试验、验收和超压保护要求。
- 第 3 部分：2、3 级部件。目的在于规定压水堆核电厂 2、3 级部件的设计、制造、检验、试验和验收要求。
- 第 4 部分：钢制安全壳及贯穿件。目的在于规定压水堆承压部件钢制安全壳及贯穿件的材料、设计、制作、检测、试验和验收要求。
- 第 5 部分：支承件。目的在于规定压水堆核电厂支承件的材料、设计、制造、检验、试验和验收要求。
- 第 6 部分：堆芯支承结构。目的在于规定支承结构的材料、设计、制造、检测等方面的要求。
- 第 7 部分：混凝土安全壳。目的在于规定预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳的材料、设计、制作、建造、检测、试验、标志、印记、编制报告以及安全壳结构整体性试验和密封性试验的要求。
- 第 8 部分：辅助规则。目的在于规定压水堆承压部件设计与制造的辅助规则，是压水堆承压部件设计与制造团体标准其它部分的必要补充，用于对其他各部分适用部件设计与制造标准的使用提供进一步支持。

# 压水堆承压部件 设计与制造 第7部分：混凝土安全壳

## 1 范围

本文件规定了预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳的材料、设计、制作、建造、检测、试验、标志、印记、编制报告以及安全壳结构整体性试验和密封性试验的要求。本文件规定的安全壳应包括以下部分：

- a) 结构混凝土承压壳体 and 壳体部件；
- b) 安全壳的金属衬里；
- c) 安全壳衬里穿过周围壳体混凝土而延伸的贯穿件衬里。

本文件适用于压水堆核电厂预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳的设计、建造、检测等。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- HAF003 核电厂质量保证安全规定
- HAD003.07 核电厂建造期间的质量保证
- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50267 核电厂抗震设计规范
- GB 50661 钢结构焊接规范
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 750 水泥压蒸安定性试验方法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 3323 金属熔化焊焊接接头射线照相
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线

GB/T 6920 水质pH值的测定 玻璃电极法  
GB/T 8162 结构用无缝钢管  
GB/T 9142 混凝土搅拌机  
GB/T 10171 混凝土搅拌站（楼）  
GB/T 11345 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级  
GB/T 11896 水质 氯化物的测定 硝酸银滴定法  
GB/T 11899 水质 硫酸盐的测定 重量法  
GB/T 11901 水质 悬浮物的测定 重量法  
GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器  
GB/T 14684 建设用砂  
GB/T 14685 建设用卵石、碎石  
GB/T 17395 无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差  
GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO法）  
GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准  
GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准  
GB/T 50205 钢结构工程施工质量验收规范  
JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程  
JGJ 256 钢筋锚固板应用技术规程  
JGJ 18 钢筋焊接及验收规程  
JGJ 63 混凝土用水标准  
JGJ 107 钢筋机械连接技术规程  
JGJ 85 预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程  
JG 225 预应力混凝土用金属波纹管  
JTG E42 公路工程集料试验规程  
DL/T 5150 水工混凝土试验规程  
DL/T 5152 水工混凝土水质分析试验规程  
JB/T 6061 无损检测 焊缝磁粉检测  
JB/T 6062 无损检测 焊缝渗透检测  
NB/T 20002 压水堆核电厂核岛机械设备焊接规范  
NB/T 20003.2 核电厂核岛机械设备无损检测第2部分：超声检测  
NB/T 20005.7 压水堆核电厂用碳钢和低合金钢第7部分：1、2、3级钢板  
NB/T 20009.1 压水堆核电厂用焊接材料第1部分：1、2、3级设备用碳钢焊条  
NB/T 20012 压水堆核电厂核安全有关的混凝土结构设计规范  
NB/T 20017 压水堆核电厂安全壳结构整体性试验  
NB/T 20018 核电厂安全壳密封性试验  
NB/T 20105 核电厂厂房设计荷载规范

### 3 术语和符号

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 术语

本附录中未定义的有关水泥和混凝土的术语，请参阅GB / T 50083。本附录所列出的术语专门适用于本文件。

**混凝土中锚固件 (anchor, concrete)** 一种构件, 通常为在一端带有弯头或带有埋在混凝土内有接头螺栓的钢筋, 与衬里、预埋件或固定在表面上的零件相连接, 以防止这些零件从硬化的混凝土中拉出。

**辅助系统 (auxiliary systems)** 专用于控制或监测影响结构完整性状况的装置, 它是混凝土安全壳的扩充 (如容器的冷却和保温系统、防腐系统和应力—应变测量系统等)。

**弯曲应力 (bending stress)** 弯曲应力是法向应力的变化分量; 这种变化沿厚度方向可以是线性的或非线性的。

**混凝土整体温度 (bulk concrete temperature)** 离热不连续区或几何不连续区足够远处的混凝土温度, 该温度代表了控制结构总体反应的整体温度场。对于所考虑的荷载类别的最大值根据验收的材料性能来确定。

**槽 (channel)** 安全壳外表面上的环向凹槽或沟槽, 用于容纳环向预应力系统。

**钢束涂料 (coating-tendon)** 用于预应力系统防腐蚀或润滑的材料。

**部件 (component)** 按本文件特指混凝土安全壳。

**混凝土浇筑 (concrete placement)** 将混凝土或混凝土的成分放置在模板内或放置在起模板作用的构件内。

**联结 (coupling)** 将预应力永久地从预应力钢材的一部分传递至另一部分, 以形成完整的钢束所采用的方法。

**延性 (ductility)** 构件在破坏处的最大变形或挠曲与构件在规定最小屈服值时最大弹性变形或挠曲的比值。

**衬里和混凝土交界面处的有效温度 (effective temperature at liner-concrete interface)** 将混凝土主体中的温度梯度向衬里和混凝土交界面上几何投影所得到的温度。

**预埋件 (embedment)** 埋入或部分埋入混凝土中的锚栓、准条或导管等物件。钢筋系统、衬里以及结构部件不作为预埋件。

**生产商 (fabricator)** 为本文件范围内的部件建造一个以上零件的机构。

**钢束保证极限强度 (guaranteed ultimate tendon strength) (GUTS)** 钢束保证极限强度系指下列诸值中的较小值:

- 施加的最大拉力, 在此拉力下保证所有钢束中受拉元件断裂数不超过 2%;
- 在 21℃、静荷载、试样未经辐照的试验条件下, 钢丝、钢绞线或钢筋的最小保证强度乘以钢丝、钢绞线或钢筋的数量。

**检漏槽 (leak-chase channel)** 用以进行焊缝检漏试验的, 永久性地安装在衬里焊缝上面的凹槽。

**密封完整性 (leak-tight integrity)** 在所有的使用工况下, 部件维持其规定最大泄漏率的能力。

**衬里 (liner)** 为形成密闭空间附着在混凝土安全壳或贯穿件表面的永久性金属薄板。

**衬里附件 (liner attachment)** 与衬里板的正面或背面相焊接但不贯穿衬里的构件或部件, 如突缘、托架、锚固件和检漏槽等。

**局部热点 (local hot spots)** 由于热屏障和衬里冷却系统的不连续, 或由于衬里冷却剂侧贯穿热屏障的附件, 或在混凝土主体的其他部位因辐射热或其他原因所引起的一回路冷却剂某部分衬里的局部最高温度。它也包括承受高温射流冲击的衬里区。

**薄膜应力 (membrane stress)**<sup>1)</sup> 法向、环向或径向应力的分量, 它是均匀分布且等于沿所在截面厚度上应力的平均值。

**矿物掺合料 (粉煤灰和火山灰) (mineral admixture) (fly ash and pozzolans)** 一种含硅或含硅和铝的物质, 本身稍有一点或没有胶结成分, 但在磨细和加水的状态时, 在常温下会与氢氧化钙发生化学反应形成具有胶结性质的混合物。

1) 本文件所指的薄膜应力不能代替主应力或应力强度。

**运行基准地震 (operating basis earthquake)** 厂址的运行基准地震是指在该地震产生的地面振动运动情况下, 那些保持电厂继续运行而不对公众健康和安全产生风险所必需的设施的设计能保持其功能。运行基准地震的最大地面振动加速度至少等于安全停堆地震加速度的一半。

**运行基准风 (operating basis wind)** 按GB 50009中8.1.1进行构筑物设计时要求的风速和风力。

**峰值应力 (peak stress)** 由于局部不连续或局部热应力, 包括应力集中影响, 所引起的总应力。它的基本特性是不产生显著的变形, 峰值应力可能是形成疲劳裂纹、脆性断裂或混凝土局部裂纹有害的根源。假如某种应力不产生显著变形, 则不硬性规定将该应力归入在此类应力中。峰值应力的例子是局部不连续区的应力和因局部热点产生的热应力。

**点应力 (point stress)** 薄膜应力和用基本梁公式计算所得的弯曲应力相加而得到的最大表观应力。用先进的分析方法 (如有限元分析法) 设计时, 点应力定义为在所考虑横截面上的最大应力。

**一次应力 (primary stress)** 由作用荷载产生的, 为满足内、外力和内、外弯矩平衡定律所需的任何法向应力或剪应力。一次应力的基本特征是非自限的。钢构件中显著超过屈服强度的一次应力中超过整体开裂的一次应力将导致结构的失效或整体畸变。热应力不是一次应力。一次应力的例子是由内压或由分布的活荷载产生的应力, 以及平板中央部分由压力产生的弯曲应力。

**安全停堆地震 (safe shutdown earthquake)** 厂址的安全停堆地震是指在该地震产生的地面振动运动情况下, 那些为反应堆安全停堆并保持电厂处于安全状态而不对公众健康和安全产生风险所需的电厂设施的设计能保持其功能。

**二次应力 (secondary stress)** 由相邻材料的约束或结构自身的约束而产生的法向应力和剪应力。它的基本特征是自限的。局部屈服、小变形以及混凝土开裂能满足产生应力的条件, 故预计不致发生破坏。二次应力的例子是总体热应力, 在总体结构不连续处的弯曲应力以及由于混凝土收缩和徐变产生的应力。

**剪力连接件 (shear connectors)** 连接在衬里上并埋入混凝土中以使衬里和混凝土之间整体变形协调的钢构件的通称。

**结构完整性 (structural integrity)** 构件或部件承受规定荷载的能力。

**钢束 (tendon)** 由预应力钢筋、锚固件和连接件组成的完整组件。钢束将预应力传递至混凝土。

### 3.2 符号

$A_1$  =与混凝土接触的钢束锚固板的承压面积

$A_2$  =锚固件表面与钢束锚固板几何相似而且同心部分的最大面积

$A_g$  =截面的毛面积

$A_s$  =受拉钢筋面积

$A_b$  =单根钢筋面积

$A_v$  =在距离  $t_1$  内的受剪钢筋面积

$A_{vb}$  =与受拉主钢筋相平行的受剪钢筋面积

$a$  =剪跨, 集中荷载和支承面之间的距离

$b_v$  =计算剪力处的截面宽度

$D$  =静荷载, 或与静荷载有关的内力矩和内力

$D_c$  =建造设备荷载

$D_e$  =电厂固定设备荷载

$D_h$  =液压荷载

$D_i$  =内件重量

=冰雪荷载

$D_r$  =约束荷载

$D_s$  =土壤或回填土荷载

- $D_w$  =结构和容器自重  
 $d$  =从最外层受压纤维到受拉钢筋形心的距离  
 $d_b$  =变形钢筋或钢丝的公称直径  
 $d_s$  =从毛截面矩心轴（不计钢筋）到最外层受拉纤维的距离  
 $E_c$  =混凝土的弹性模量  
 $E_q$  =地震荷载  
 $E_o$  =运行基准地震  
 $E_s$  =钢的弹性模量  
 $E_{ss}$  =安全停堆地震  
 $F$  =预应力荷载  
 $F_a$  =衬里锚固件的许用承载力  
 $F_c$  =建造阶段的预应力荷载  
 $F_e$  =电厂运行寿期末的预应力荷载  
 $F_j$  =张拉完成时的初始预应力荷载  
 $F_t$  =在所考虑时间的预应力荷载  
 $F_u$  =衬里锚固件的极限承载力  
 $F_y$  =衬里锚固件屈服承载力  
 $f'_c$  =混凝土的规定抗压强度标准值  
 $f_{cc}$  =混凝土的表观压应力  
 $f_{ci}$  =预加应力时的混凝土初始受压强度  
 $f'_{cr}$  =用作混凝土配合比选择依据所要求的混凝土平均抗压强度  
 $f_{ct}$  =混凝土的表观拉应力  
 $f_{cua}$  =试验时的混凝土抗压强度  
 $f_h$  =标准弯钩产生的拉应力  
 $f_{pe}$  =在所有预应力损失发生后，截面最外层纤维处（外加荷载在该处引起拉应力）仅由预应力引起的混凝土压应力  
 $f_s$  =钢材的应力  
 $f_{sc}$  =衬里板的许用压应力  
 $f_{st}$  =衬里板的许用拉应力  
 $f_{pu}$  =预应力钢材的极限抗拉强度  
 $f_{py}$  =预应力钢材或衬里钢材的规定抗拉屈服强度  
 $f_y$  =钢筋的规定抗拉屈服强度  
 $h$  =壁厚或截面总高度  
 $I_g$  =混凝土的毛截面（不计钢筋），对形心轴的惯性矩  
 $K$  =预应力钢材每米长度局部偏差的摩擦系数  
 $L$  =活荷载或相关的内力和内力矩  
 $L_a$  =在试验工况下，安全壳内压力为 $P_{ac}$ 的整体最大允许泄漏率，%/24h  
 $L_{am}$  =在安全壳内设备和系统尽可能接近设计基准事故状态时，在压力 $P_{ac}$ 下对安全壳进行试验而得到的安全壳整体泄漏率最佳估计值，%/24h  
 $L_m$  =活荷载  
 $L_c$  =建造活荷载  
 $l$  =预应力钢元件从张拉端到任一点 $z$ 的长度  
 $l_d$  =钢筋的锚固长度  
 $l_v$  =剪跨，集中荷载与支承面之间的距离

$M_u$  =在截面上施加的设计荷载力矩

$N_u$  =垂直于横截面的设计轴向荷载，与  $V_u$  同时作用，取压荷载为正，拉荷载为负，并包括因收缩和徐变的拉力效应

=设计拉力，与  $V_u$  同时作用于托架或牛腿

$P$  =压力荷载

$P_a$  =事故或偶发事件的最大压力荷载

$P_{ac}$  =与设计基准事故相应的安全壳内产生的峰值压力，Mpa

$P_c$  =加压开裂的压力荷载

$P_d$  =流体压差荷载

$P_l$  =局部压力累积荷载

$P_m$  =最大隔舱压力荷载

$P_o$  =最大运行压力荷载

$P_v$  =最小负压荷载

$P_s$  =张拉端的钢筋力

$P_t$  =试验压力荷载

$P_x$  =任一点X处的钢筋力

$p$  =压力，kPa

$p_a$  =事故或偶发事件的最大压力

$p_c$  =加压开裂的压力

$p_d$  =流体压差

$p_l$  =局部累积压力

$p_m$  =最大隔舱压力

$p_o$  =最大运行压力

$p_v$  =最小负压

$p_t$  =试验压力

$Q$  =电厂可移动部件的荷载

$R_o$  =运行工况下的管道荷载

$R_a$  =由设计事故引起温度上升导致的管道荷载

$R_r$  =由设计基准事故引起的安全壳局部效应，局部效应包含如下所述：

$R_{rr}$  =设计基准事故<sup>2)</sup>对安全壳产生的荷载（例如在发生假想事件时，高能管道破裂的反作用力）。

在确定结构承受  $R_r$  效应所需的能力时，应考虑荷载随时间变化的特性以及结构屈服后变形的能力。

$R_{rj}$  =设计基准事故<sup>19)</sup>对安全壳产生的荷载（例如在发生假想事件时，高能管道破裂的射流冲击）。

在确定结构承受  $R_r$  效应所需的能力时，应考虑荷载随时间变化的特性以及结构屈服后变形的能力。

$R_{rm}$  =设计基准事故<sup>19)</sup>中，由高能管道破裂对安全壳冲击而产生的效应。在确定结构抗冲击所需的能力时，应同时考虑冲击的类型（例如，塑性、弹性）和结构屈服后变形的能力。

$S$  =标准偏差

$s$  =与纵向钢筋相平行方向上的剪力钢筋的间距

$T_a$  =事故或偶发事件的温度效应

$T_o$  =运行温度效应

$T_p$  =运行前加热的温度效应

$T_t$  =试验温度效应

$V_u$  =施加于截面上的总的设计剪力

2) 见美国核管会管理导则 1.70 的定义。



$V_s$  =薄膜剪力

$W$  =风荷载

$W_t$  =龙卷风荷载

$W_{tm}$  =龙卷风产生的飞射物撞击效应。在确定结构抗撞击所需的能力时，应同时考虑撞击的类型（例如，塑性、弹性）和结构屈服后变形的能力。

$W_{tp}$  =由高速大气压力引起的压差荷载

$W_{tq}$  =由龙卷风压引起的荷载

$x$  =从最外层受压纤维到中性轴的距离

$Y$  =动力荷载

$Y_j$  =由液体排放引起的射流冲击力

$Y_m$  =飞射物冲击荷载

$Y_r$  =由液体排放引起的反作用荷载

$Y_w$  =水力动荷载

$\alpha$  =预应力钢筋外形从张拉端到任意点  $x$  在弧度方向的总角度变化；或是斜向剪力钢筋和构件纵轴之间的夹角。

$\delta_a$  =衬里锚固件的允许位移

$\delta_u$  =衬里锚固件的极限位移

$\varepsilon_{sc}$  =衬里板的允许压缩应变

$\varepsilon_{st}$  =衬里板的允许拉伸应变

$\nu_c$  =混凝土承受的名义许用剪应力

$\nu_u$  =总设计名义剪应力

$\rho = A_s / bd$

$\mu$  =孔道壁的曲率摩擦系数

$UCL$  =上置信限，指安全壳整体泄漏率最佳估计值的统计计算上限，本文件按95%置信水平进行计算

## 4 总则

### 4.1 总要求

混凝土支撑部件及附属件参照本文件要求，非混凝土支撑部件及附属件参照其它标准要求。

本文件规定的技术要求同时适用于预应力混凝土安全壳的工厂或现场的制作和施工作业。

预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳的设计、建造、检验、试验和验收除应符合本文件的规定外，还应遵守国家颁布的有关法令、法规和规章的规定。

### 4.2 混凝土安全壳的要求

设计压力大于35kPa的安全壳，应按照本文件的规则建造。

### 4.3 范围

- 本文件安全壳包括钢与混凝土的复合部件，作为安全壳承压屏障的一个整体部分而设计，该屏障保持或控制从安全壳包容的核电厂装置释放的放射性或危险流出物。。
- 当结构混凝土底座建造成为安全壳整体的一个部分时，应包括在本文件安全壳范围内。

### 4.4 资格与职责

#### 4.4.1 资格

预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳的设计、建造、安装、无损检验单位应具备健全的质量管理体系。设计单位应持有民用核安全设备设计许可证，建造单位应持有民用核安全设备建造许可证，安装单位应持有民用核安全设备安装许可证，无损检验单位应持有民用核安全设备无损检验许可证。

预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳的设计和建造应接受国务院核安全监管部门及其派出机构的监督检查。

#### 4.4.2 职责

##### 4.4.2.1 设计单位的职责

设计单位应对设计文件的正确性和完整性负责。设计文件至少应包括设计规范书、应力分析报告、设计图纸和制造安装技术要求等。设计单位的职责包括：

###### 4.4.2.1.1 安全壳结构设计

安全壳结构设计应根据安全壳系统总体设计要求进行，并应确定以下内容：

- a) 正常运行工况、设计基准事故工况以及严重事故工况下安全壳的压力和温度；
- b) 设计基准事故、严重事故工况下安全壳内从常压常温上升至峰值压力和温度以及峰值降到常压常温的时程曲线；
- c) 设计基准事故、严重事故工况下安全壳内从常压常温上升至峰值压力和温度以及峰值降到常压常温的时程曲线；
- d) 安全壳的允许泄漏率；
- e) 放射性屏蔽要求；
- f) 设计寿期。

###### 4.4.2.1.2 厂址环境因素

设计中必须考虑厂址环境因素对安全壳结构的影响。需考虑的厂址环境因素主要有：

- a) 厂区地基及其附近地区斜坡的稳定性；
- b) 设计基准地震动参数、地基液化等；
- c) 暴雨、洪水、雪灾、台风、龙卷风、海啸或湖涌等自然现象；
- d) 极端环境温度；
- e) 自然环境对结构材料的影响，诸如空气中的含氯物和其它有害物质、侵蚀性地下水的腐蚀；
- f) 飞机坠毁、化学品爆炸等外部人为事件。

###### 4.4.2.1.3 强度和密封性要求

安全壳结构设计必须满足强度和密封性的要求，包括以下几个方面：

- a) 安全壳结构的强度必须根据永久荷载、活荷载、预应力、气候作用、设计基准事故工况下产生的内压（高于或低于大气压）和温度以及飞射物、反作用力等荷载效应进行计算，并留有足够的裕度。强度计算中还必须考虑自然事件和人为事件的作用以及降温、降压系统对安全壳的影响；
- b) 严重事故工况下应保证安全壳的完整性；
- c) 安全壳结构内放射性物质的外逸，在所有运行工况和试验状态下不得超过规定的限值，在设计基准事故工况下不得超过安全壳允许泄漏率的限值；
- d) 在严重事故工况下，泄漏率可能会有有限的增大并超过限值，设计中应充分地估计和考虑密封性。
- e) 安全壳结构的设计必须使之在核电厂运行前能进行规定压力下的压力试验，以验证其结构的完整性；

- f) 安全壳结构的设计必须在全部贯穿件安装完毕之后使之能进行设计压力下的密封性试验,以验证其是否超过规定的容许泄漏率值。

#### 4.4.2.2 建造单位的职责

建造单位应按照设计文件要求进行建造,如需要对原设计进行修改,应征得原设计单位书面认可。

建造单位的检查部门在安全壳建造过程中和完工后应按本文件和图纸规定对安全壳进行各项具体检验和试验,提出检验报告,并对报告的正确性和完整性负责。

建造单位在预应力混凝土和钢筋混凝土安全壳开工建造之前,应编制详细的建造技术规格书。建造技术规格书应包括材料验收方法、主要施工设施、施工方案、施工顺序以及施工进度等内容。应制定建造质量保证大纲,制定和执行质量保证大纲的原则和目标应符合HAF003和HAD003.07的要求。

建造单位对其建造的每个安全壳制定技术文件以备复查,技术文件应至少保存至核电厂退役。技术文件至少应包括:

- a) 质量计划;
- b) 建造工艺图或建造工艺卡;
- c) 材料证明文件及材料表;
- d) 衬里的焊接工艺和热处理工艺记录;
- e) 标准中允许建造单位选择的检验、试验项目的记录;
- f) 建造过程中及完工后的检查记录、不符合项记录及不符合项处理记录;
- g) 安全壳的原设计图和竣工图。

## 5 材料

### 5.1 材料通用要求

#### 5.1.1 范围

##### 5.1.1.1 术语

- a) 材料是指水泥、骨料、掺合剂和水。。
- b) 金属材料制造商和材料供应商是指按照建造技术规格书制造、生产和供应可塑混凝土或灰浆的混凝土原料的单位。
- c) 非金属材料制造商和原料供应商是指按照建造技术规格书接受、贮存、输送以及混合混凝土原料以生产可塑混凝土或灰浆的单位。
- d) 承压材料和承载材料是指混凝土、配筋材料、预应力材料、衬里、衬里的附件和预埋锚固件等。
- e) 厚度在不同用途下的名义厚度定义为:
  - 1) 板材— 厚度为横向的短边尺寸;
  - 2) 锻件— 厚度为下列定义的尺寸:
    - (1) 空心锻件— 名义厚度为内外表面之间测得的径向厚度;
    - (2) 圆盘锻件— (轴向长度小于外径)的公称厚度为轴向长度;
    - (3) 扁环形锻件— (轴向长度小于径向厚度) — 名义轴向长度 $\leq 50\text{mm}$ 时, 轴向长度为名义厚度。轴向长度 $\geq 50\text{mm}$ , 径向厚度为名义厚度。
    - (4) 矩形实心锻件— 矩形的最小边长为公称厚度。
  - 3) 铸件— 厚度应按 SA—613 定义。

##### 5.1.1.2 特殊规则

非背衬混凝土的受力零件和附件的金属材料，应满足本文件的要求。

## 5.1.2 承压和承载材料

### 5.1.2.1 材料技术规格

- a) 混凝土成分和混凝土均应满足本章的要求，承压和承载的钢材及使用该材料的产品应满足本章或附录 A 表 A.1、表 A.2 和表 A.3 中的技术规格要求，并满足本章的所有特殊要求。
- b) 非上述 a) 中所指的金属或非金属材料成分在已满足附录 C 的要求以后方可使用。
- c) 本章的要求仅适用于与设备承压或承载功能有关的构件，不包括建造设备或器械，如模板、系杆、护墙板、支承件、模板系杆、油脂和灌浆配件和保护罩、密封、填料及垫板等。
- d) 除另有许可外，零件制造用的焊接和钎焊材料应符合材料技术规格书之一，并同时符合本章适用的要求。

### 5.1.2.2 特殊要求

#### 5.1.2.2.1 金属材料

当本章规定的特殊要求与材料技术规格书要求不一致时，以本章要求为准。当特殊要求与材料技术规格书要求的某项检测、试验或处理相同时，该项检测、试验或处理仅需进行一次。对每种金属产品所有要求的检测、试验和处理都应按本章的规定进行；并按 7.1.2.1 节的规定，可由金属材料制造商、生产商或建造商来进行。

#### 5.1.2.2.2 非金属材料成分

对每种非金属材料所有要求的检测、试验和处理都应按本章的规定进行；并按 7.1.2.1 节的规定，可由提供混凝土成分的单位，非金属材料制造商或相应的生产商或建造商来进行。

#### 5.1.2.2.3 民用核设施营运单位或其委托单位

生产商或建造商应向民用核设施营运单位或其委托单位提供所有要求的检测、试验和处理的报告，并按民用核设施营运单位或其委托单位的要求提供进行检查的装备。

### 5.1.2.3 金属材料的尺寸范围

金属材料外形尺寸或厚度的限值，如果符合技术规格书的其它要求，且建造中没有尺寸限制时，则可使用本文件允许的技术规格书中的规定。技术规格书中指明材料的化学成分和机械性能随尺寸或厚度而变化时，超出规定范围的材料应满足最接近的规定范围所规定的化学成分和机械性能。

## 5.1.3 材料的合格证明

### 5.1.3.1 引言

对所有的金属材料、非金属材料 and 混凝土成分都应按下列各项提供材料试验合格报告或合格证书。

#### 5.1.3.1.1 材料试验报告

对混凝土成分、塑性混凝土、配筋系统材料、预应力系统材料、衬里材料、其他承载和承压材料以及焊接和钎焊材料应提供材料试验合格报告，该报告应包括如下内容：

- a) 按要求对材料进行的化学分析、物理试验，机械性能试验、检测（包括射线照相）、修补和热处理（包括次数和温度）的实际结果的合格报告；
- b) 材料技术规格书要求而未进行的所有化学分析、试验、检测和热处理的说明；

- c) 材料标示方法、特定标记方式的说明；
- d) 塑性混凝土的制造商应对每一批次生产的混凝土提供材料试验合格报告，并附有批次标签。标签上的资料按 7.2.2.2.2 节的规定包含各成分的重量或成分的容量。

#### 5.1.3.1.2 适用性证书

对于金属材料，公称管道尺寸不大于20mm的管道、管子、法兰和配件以及公称直径不大于25mm的螺栓，制造商可以按使用情况用注明材料技术规格书、等级、分类和热处理条件的材料适用性证书代替材料实验报告。适用性证书应包括材料标记的说明。

#### 5.1.3.1.3 混凝土成分

##### 5.1.3.1.3.1 实验室认可

5.2 节所有要求的试验应由国家认定的有资质的实验室进行。

##### 5.1.3.1.3.2 材料试验报告

混凝土成分的材料试验报告应满足下列要求：

- a) 骨料的材料试验报告应证明骨料开采自同一矿源（自然矿藏），按 5.2.2.2 节的要求评定。
- b) 水泥的材料试验报告应包括按 GB 175 以及建造技术规格书中任何选择性要求进行的标准化学和物理试验结果。取样和试验频度应满足 GB/T 50080 的要求。
- c) 引气剂的材料试验报告应包括各批次的红外线分光光度扫描测定、固体物百分比、氯化物百分比和 PH 值。并提供相关满足 GB 8076 的试验证明。
- d) 粉煤灰和火山灰的材料试验报告满足 GB/T 1596 和建造技术规格书中相关化学和物理试验结果。取样和试验的频度应满足 GB/T 1596 的要求。
- e) 化学外加剂的材料试验报告应包括各批次的红外线分光光度扫描测定、固体物百分比、氯化物百分比和 PH 值。并提供相关满足 GB 8076 的试验证明。
- f) 不要求水和冰的材料试验报告。

##### 5.1.3.1.4 人员资格

5.2 节所要求试验的实验室试验人员的资格应符合国家相关实验室人员的要求。附录 E 的资格和证书要求对于进行 5.2 节的试验的人员不是强制性的。

#### 5.1.3.2 生产商或建造商提供的合格证明

生产商或建造商应对其或其分包商所进行的全部操作提供材料试验合格报告，并确保报告内容的正确性和精确性以及其分包商进行的全部操作符合材料技术规格书和本文件的要求。由生产商或建造商以及每个分包商分别提供各自进行操作的材料试验合格报告。材料试验合格报告中应说明材料的识别标记，包括各种标记代码。

#### 5.1.4 材料和涂层在使用期间的老化

- a) 本章内容不包括材料在役期间的老化。使用材料应符合使用环境条件对材料性质的影响规定。环境条件包括产品经受的各种条件，诸如辐照、压力、温度、湿度、厂址标高、风力和风向等。

#### 5.1.5 用于提高金属材料机械性能的热处理

##### 5.1.5.1 碳钢和低合金钢

碳钢和低合金钢可用淬火和回火的方法进行热处理以提高缺口韧性。当焊后热处理满足7.5节的要求时，温度不低于595℃的材料焊后热处理可看作是热处理回火过程。

#### 5.1.5.2 材料热处理规程

当材料技术规格书和标准值的规定对热处理的温度或时间有要求时，热处理应在有温度测量并温度已校准的炉内进行，或在热电偶与材料接触或热电偶附在与材料接触的金属块上的条件下进行。热处理时的炉子装料状况应符合材料技术规格书和本节规定的要求。

#### 5.1.5.3 预应力用的钢材

对于预应力系统的钢丝、钢绞线或高强钢筋可在荷载状态下进行热处理，以提高应力松弛的特性。不允许用淬火和回火处理来获得规定的机械性能。

### 5.1.6 尺寸标准

除建造技术规格书或设计图纸另有规定外，管道、管子、配件、阀门、法兰和垫片等标准件的尺寸应符合材料的规格、级别、类别和热处理条件要求的合格证书的要求。

## 5.2 混凝土和混凝土原料

### 5.2.1 引言

本节规定了混凝土成分和塑性混凝土的鉴定要求。材料在使用前先进行试验证明满足相关要求。本节要求的试验可由提供混凝土成分的单位、非金属材料制造商或相应的生产商或建造商进行。8.2节要求的质量控制试验应由非金属材料制造商或相应的生产商或建造商进行。

#### 5.2.1.1 通用要求

- a) 应采取措施减少水化热引起的混凝土温度升高，模板拆除、施工应力和施加预应力前，应考虑混凝土强度发展过程，能提供足够的应力。
- b) 混凝土及其成分使用前应进行充分的调查，以确保符合建造技术规格书中说明的环境条件和长期要求下的徐变和其他性能。
- c) 水灰比是水的重量与水泥重量之比。在使用矿物外加剂的地方，矿物外加剂的重量应加到水泥重量中来确定水灰比。

#### 5.2.1.2 材料代换

当必须用另一种成分替代已鉴定的成分，需按5.2节重新鉴定时，并应遵守下列要求：

- a) 替代的混凝土成分应满足5.2.2节提出的鉴定试验的要求。
- b) 使用前，应确认替代成分与其它已鉴定的成分之间的相似性和相容性。
- c) 使用前，设计方应确定5.2.3节所要求试验的必要性和范围。

### 5.2.2 混凝土成分

#### 5.2.2.1 水泥

##### 5.2.2.1.1 材料要求

水泥应采用硅酸盐或普通硅酸盐水泥，水泥的性能指标应符合GB 175的规定。

##### 5.2.2.2 骨料

#### 5.2.2.2.1 概述

骨料应采用坚硬、耐火的砂、卵石或碎石，质量要求应严格按GB/T 14684和GB/T 14685的规定执行，以及下列附加要求：

- a) 拌合用水满足 5.2.2.3.1 节的要求时，可调整骨料级配，粗骨料选用粒径大于 25mm 的粗骨料时，其级配尺寸必须至少有两种。
- b) 用预填骨料法浇筑的标准重量混凝土所用的粗骨料和细骨料应满足 GB 50164 规定的级配要求。
- c) 粗骨料应是圆形或立方形并且由 GB/T 14684 和 GB/T 14685 测定的扁平 and 细长颗粒的重量含量应小于 15%。

注：扁平颗粒定义为宽厚比大于3的颗粒；细长颗粒定义为长宽比大于3的颗粒。

- d) 应按 GB/T 14684 和 GB/T 14685 进行岩相检测。
- e) 根据岩石检测结果，可根据适用情况分别采用 GB/T 14684 和 GB/T 14685 进行附加试验。
- f) 应按 GB/T 14684 和 GB/T 14685 所述的方法来确定骨料中水溶性氯化物的含量。
- g) 根据 6.5.2.1.1.1 节设计的钢筋混凝土安全壳，当按 JTGE42 进行试验时，粗骨料的重量损失应不超过 40%。
- h) 粗骨料的重量损失不得大于完工后的墙或板的最薄厚度的 1/5，亦不得大于钢筋或钢丝，钢束或预应力管道或预埋件之间最小净距的 3/4。

#### 5.2.2.2.2 重骨料

混凝土密度大于2600kg/m<sup>3</sup>重骨料应符合下列要求之一：

- a) GB/T 14684 和 GB/T 14685；
- b) 建造技术规格书中对于作混凝土骨料的冲孔钢粒、钢筋剪头、铁丸或含硼材料的要求。

#### 5.2.2.3 拌合用水

##### 5.2.2.3.1 通用要求

拌合用水和制冰用水应清洁，并按 JGJ 63 测出的固体物的总含量不超过 2000ppm，并根据 GB/T 11896 测定拌合用水和冰中氯化物（Cl<sup>-</sup>）含量。

##### 5.2.2.3.2 附加要求

应按照 JGJ/T 70 以测定抗压强度的方法对拟作拌合用水的水质与蒸馏水作比较，拌合用水所得的结果不得比蒸馏水所得的结果低 10% 以上。

#### 5.2.2.4 外加剂

##### 5.2.2.4.1 外加剂的通用要求

在使用外加剂时，建造技术规格书应规定其类型、数量和附加限制。对预应力安全壳不得使用氯离子的重量含量大于 1% 的外加剂。

##### 5.2.2.4.2 引气剂

引气剂应符合 GB 8076 的规定。

##### 5.2.2.4.3 化学添加剂

化学添加剂应符合 GB 8076 的规定。

5.2.2.4.4 矿物掺合料

在使用矿物掺合料（粉煤灰和火山灰）时，建造技术规格书应规定其类型、来源和附加限制，例如有效碱和（或）氯离子的最高允许量。

5.2.2.4.5 专用灌浆外加剂，包括水泥浆流化剂

当使用专用灌浆外加剂，包括水泥浆流化剂时，建造技术规格书应规定其类型和附加限值，例如有效碱和氯离子的最高允许量。如果建造技术规格书许可，在水泥浆的制备中，可使用其他类型的外加剂，包括目的在于控制水从水泥浆中流失的凝胶物或凝胶剂。

5.2.2.4.6 水泥浆流化剂

与预填骨料混凝土一起使用的水泥浆流化剂应符合 ASTM C937 《预填骨料混凝土的砂浆流化剂》的要求。

5.2.2.4.7 流态混凝土使用的化学外加剂

流态混凝土使用的化学外加剂应符合 GB 8076 的要求。

5.2.3 混凝土配合比的设计

5.2.3.1 混凝土的性能

5.2.3.1.1 通用要求

应在建造技术规格书中规定对混凝土安全壳设计有影响的混凝土性能。通常根据强度、和易性的限制以及温升来确定混凝土的配合比。

5.2.3.1.2 含氯量

钢筋混凝土安全壳和预应力混凝土安全壳的混凝土中，水溶性氯化物含量不得超过硅酸盐水泥重量的 0.15%，此处预应力钢束被放置在导管中，并按 5.4.4.2.3.2 节用水泥灌浆或永久性防腐涂料保护。浇筑后与预应力钢材接触的混凝土，水溶性氯化物含量不得超过硅酸盐水泥重量的 0.06%。水和冰（5.2.2.3 节）、骨料（5.2.2.2 节）和液体外加剂（5.2.2.4 节）的含氯量应分别测定，然后加起来确定混凝土总的水溶性氯化物含量。

5.2.3.1.3 碱含量

如果检测和试验（5.2.2.2.1 节 c 和 d）表明骨料参与碱性骨料反应，则建造技术规格书应规定合适的试验大纲，确定混凝土各组的合理比例，在建造技术规格书中应注明附加的限制规定。

5.2.3.1.4 规定的性能

- a) 在建造技术规格书中，应列出表 1 给出的混凝土性能。除徐变试验之外，其它试验应在建造之前进行。徐变试验应在预应力张拉前完成。如果中间徐变试验数据表明徐变值将来不会超过设计值，则徐变试验可在商业运行开始之前或后张拉钢束的第一次在役检查开始之前（两者中的较早者）完成。如果徐变试验数据的评定表明徐变值可能超过设计值，则要评估较大徐变值对安全壳结构设计安全的影响。混凝土配合比或原料一旦变化，相关试验应立即进行。

表1 混凝土性能

性 质	试验方法
-----	------



坍落度	GB/T 50080
抗压强度	GB/T 50081
抗弯强度	GB/T 50081
劈裂抗拉强度	GB/T 50081
静态弹性模量	GB/T 50081
泊松比	GB/T 50081
导热系数	JC 275
热膨胀系数	CRD C 39
混凝土的压缩徐变	GB/T 50082
收缩系数（水泥浆和混凝土的长度变化）	GB/T 50082
密度（比重）	GB/T 50080
混凝土中的最大温升	CRD-C36

b) 建造技术规格书中应取得表 1 所列的性能时混凝土的强度、龄期和温度，及其适用的环境或设计条件。不在表 1 所列的性能，应在建造技术规格书中进行规定。

5.2.3.1.5 物理性能

- a) 当建造技术规格书包括最大许用徐变限值（速率和总量），进行试验至少考虑建造技术规格书中规定如下因素的极限组合：应力—强度比、加载的时间、温度水平和循环次数。徐变试验规程应根据 GB/T 50081，并根据建造技术规格书对试样养护、密封和试验温度的规定进行修正。
- b) 如果建造技术规格书规定了割线弹性模量、泊松比和加载速率的许用范围，则混凝土试样应按这些加载速率和规定试验值进行试验。试验规程和验收标准应根据 GB/T 50081 进行适当的修正。

5.2.3.1.6 热性能

当建造技术规格书有要求热循环对混凝土性质的影响，应按其所述的试验标准来测定。

5.2.3.1.7 耐久性

5.2.3.1.7.1 抗冻混凝土

如养护后的混凝土在尚未凝固时要经受冰冻温度，则其空气含量应在表 2 的限值范围内，并以重量计的水灰比不得超过 0.5。对规定抗压强度等于或大于 35MPa 的混凝土，表 2 所示的空气含量可降低 1%。

5.2.3.1.7.2 防水混凝土

防水混凝土在与淡水接触下，最大水灰比为 0.5；与微咸水或海水接触下，最大水灰比为 0.45。

5.2.3.1.7.3 抗硫酸盐混凝土

与含硫酸盐溶液接触的混凝土应符合表 3 的要求。

表2 各种粒径粗骨料混凝土的空气含量

粗骨料的最大名义粒径 mm	总空气含量（体积） % <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>
10	6
13	5.5
19	5

25	4.5
40	4.5
50	4
75	3.5

注1：空气含量偏离表列数值不得大于 1.5%。

注2：对于完全混合的骨料，这些空气含量是用于骨料最大粒径小于前列规定尺寸的。当做试验时，大于 40mm 粒径骨料被手拣或筛选除掉，空气含量是按粗骨料粒径小于 40mm 骨料粒径组合测定的（空气含量容差适用于此值）。全部配料的空气含量是按小于 40mm 骨料粒径组合测定值计算。

表3 与含硫酸盐溶液接触的混凝土要求

受硫酸盐作用程度	土壤中的水溶硫酸盐 (SO <sub>4</sub> ) 重量比	水中硫酸盐 ppm	水泥类型 5.2.2.1.1	最大水灰比 以重量计 <sup>(1)</sup>
微弱	0.00-0.10	0-150	...	
中等	0.10-0.20	150-1,500	II, IP (MS), V	0.50
严重	0.20-2.00	1,500-10,000	V	0.45
非常严重	>2.00	>10,000	V+水山灰	0.45
注1：为了提高预埋件防腐蚀，及抗冻性能，可以要求使用较低的水灰比或较高强度；				
注2：海水；				

5.2.3.1.7.4 腐蚀防护

当混凝土与微咸水或海水接触或受其频繁冲刷的，水灰比应不大于 0.40；但如果按 6.5.5.4.1 节要求的最小混凝土保护层增加 13mm，则水灰比可提高到 0.45。

5.2.3.2 混凝土配合比的选择

5.2.3.2.1 引言

混凝土材料的配合比应满足：

- a) 混凝土有良好的和易性和稠度，保证顺利浇筑模板，包裹配筋，并不会产生离析或过多泌浆；
- b) 5.2.3.1.7 节规定的特殊抗压能力；
- c) 符合 8.2.3.2.3 节的强度试验要求。

5.2.3.2.2 材料差异

工程中不同批次混凝土采用不同材料时，每种配合比均需评定。

5.2.3.2.3 选择依据

除符合 5.2.3.1.7 节规定外，混凝土配合比包括水灰比应以现场经验和（或）拟用材料试拌为依据。

5.2.3.3 根据现场经验和（或）试拌确定配合比

5.2.3.3.1 标准差

应采用 GB/T 50107 的方法计算标准差。

5.2.3.3.1.1 试验记录要求

在混凝土生产厂有试验记录时应确定标准差。从中计算标准差的试验记录应：

- a) 实验的材料、质量控制规程和条件要符合实际施工的条件。在试验记录中材料和配合比的变化差异控制不得比拟建工程更严格；
- b) 代表生产的混凝土达到规定强度或达到与拟建工程规定的强度相差在 7MPa 范围内的强度  $f'_c$ ；
- c) 除按 5.2.3.3.1.2 节规定外，由至少 30 个连续试验或按 8.2.3.2.3.2 节 a 条规定的两组不少于 30 个连续试验组成。

5.2.3.3.1.2 其他可用的试验记录要求

混凝土生产厂家不能满足 5.2.3.3.1.1 节规定的试验记录，但确有以 15 至 29 个连续试验为依据的试验记录时，则计算的标准差与表 4 的修正系数的乘积可以定为标准差。为了保证合格，试验资料必须满足 5.2.3.3.1.1 节 a 条和 b 条的要求，并且满足不少于 45 天时间跨度内连续试验的单项实验记录。

表4 当少于 30 个试验可供利用时标准差修正系数

试验次数 <sup>(1)</sup>	标准差修正系数 <sup>(2)</sup>
少于 15	用表 5
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 或多于 30	1.00
注1：试验次数为中间值时用插入值。	
注2：修正的标准差用以确定 5.2.3.3.2.1 节的要求的平均强度 $f'_{cr}$ 。	

5.2.3.3.2 要求的平均强度

5.2.3.3.2.1 标准差法

平均抗压强度  $f'_{cr}$  应按 5.2.3.3.1 节采用，计算的标准差取下列公式的较大者。

$$f'_{cr}=f'_c+1.34s$$

或

$$f'_{cr}=f'_c+2.33s-C$$

式中：s是标准差，单位MPa；C等于3.45MPa。

5.2.3.3.2.2 其它可用方法

当混凝土生产商无满足 5.2.3.3.1.1 节或 5.2.3.3.1.2 节要求的现场强度试验记录用于计算标准差时，应从表 5 确定要求的平均强度  $f'_{cr}$ ，并且应根据 5.2.3.3.3 节的要求提供平均强度文件。

表5 当无数据可供利用以确定标准差时要求的平均抗压强度

规定的抗压强度 $f'_c$ ，MPa	要求的平均抗压强度 $f'_{cr}$ ，MPa
小于 21	$f'_c+7$
21 至 35	$f'_c+8.5$
大于 35	$f'_c+10$

5.2.3.3.3 平均抗压强度证明文件

拟用的混凝土配合比平均抗压强度证明文件可由一份现场强度试验记录、若干份强度试验记录或试拌资料组成，表明平均抗压强度等于或大于要求的平均抗压强度（5.2.3.3.2节）。

#### 5.2.3.3.1 使用试验记录

混凝土配合比的平均强度  $f_{cr}'$ （见 5.2.3.3.2 节）试验记录应证明材料和条件与预期情况相似。在试验记录中的材料、条件和配合比的偏离不得比实际工程控制更严格。为了提供平均强度发展趋势文件，可以使用由 30 个以下但不少于 10 个连续试验组成的试验记录，只要这些试验资料完成时间跨度不少于 45 天。需要的混凝土配合比可以通过两个或更多的试验记录的强度和配合比之间用插值法确定，其试验均需满足本章的其他要求。

#### 5.2.3.3.2 使用试拌

当无法得到符合要求的现场试验记录时，混凝土配合比可根据按照 JGJ 55 进行试拌确定，并满足下列限制：

- 所有材料应是用于拟建工程的材料。
- 试拌应具有拟建工程所要求的配合比和稠度，至少采用三种不同水灰比或水泥含量得到试拌强度范围包络需要的平均强度  $f_{cr}'$ 。
- 试拌混凝土坍落度应在最大允许值的  $\pm 19\text{mm}$  之内，对加气混凝土，空气含量应满足在最大允许值的  $\pm 0.5\%$  之内。
- 对每一种水灰比或水泥含量，至少应按 GB/T 50081 为每一试验龄期制造和养护三个试验圆柱体试块。圆柱体应在建造技术规格书中指定的龄期下进行测定  $f_c'$  试验。
- 根据圆柱体试块试验结果，应绘制一条表明水灰比或水泥含量与指定试验龄期的抗压强度之间的关系曲线。
- 拟建工程拟采用的混凝土最大水灰比或最小水泥含量应由曲线表示，并能达到 5.2.3.3.2 节规定的平均强度。5.2.3.1.6 节规定的较低水灰比或较高强度除外。

### 5.2.4 水泥浆

本节所采用的术语水泥浆适用于下列情况：

- 用于一般目的的水泥浆，如底板下或大型贯穿件周围
- 用于预应力钢束的水泥浆
- 用于预填骨料混凝土的水泥浆

#### 5.2.4.1 水泥浆原料

##### 5.2.4.1.1 水泥

水泥浆用的水泥应符合 GB 175 中 P. I、P. II 型的要求。

##### 5.2.4.1.2 骨料

骨料应符合 5.2.2.2 节的要求。

##### 5.2.4.1.3 水

拌合用水应符合 5.2.2.3 节的要求。

##### 5.2.4.1.4 外加剂

外加剂应符合 5.2.2.4 节的要求。

#### 5.2.4.1.5 其他材料

其它材料（如合适细度和质量的铝粉）加入水泥浆混合料前，需要足够试验证实混合料加入是合适的并能达到预期效果。

#### 5.2.4.2 普通灌浆用水泥浆

##### 5.2.4.2.1 通用要求

- a) 这里所列的要求不适用于预应力系统灌浆用的水泥浆。
- b) 普通灌浆用水泥浆的成分配合比试拌应采用与建造中相同类型和牌号的水泥、细骨料和外加剂。在试拌时应尽可能采用与建造时使用的同类型搅拌机。

##### 5.2.4.2.2 抗压强度

水泥浆的抗压强度应以 50mm 立方体，按照 JGJ/T 70 成型、养护和试验来确定。如果采用流态膨胀水泥浆，则应按照 CRD-C621《非收缩性砂浆技术规格书》来进行试验。

##### 5.2.4.2.3 粉煤灰和火山灰

当采用粉煤灰或火山灰作为掺合料时，其掺入量应能满足强度、和易性和耐久性的要求。

##### 5.2.4.2.4 水

应根据采用的灌浆方法，如干填或流动灌浆等，保证浇灌质量条件下取最小含水量。

##### 5.2.4.2.5 预拌骨料水泥浆

###### 5.2.4.2.5.1 允许使用

可以使用预拌骨料水泥浆（产品）代替工地拌合的普通灌浆用水泥浆。

###### 5.2.4.2.5.2 产品的改变

除制造商的说明书要求添加水或骨料外，应直接使用从供应商接收的产品。

###### 5.2.4.2.5.3 设计方的认可

设计方应在建造技术规格书中规定产品的使用法和要求的性能。设计方应根据经验和试验数据考虑产品对设计强度的影响和它对其他材料的影响。

在使用前产品应由设计方认可。

###### 5.2.4.2.5.4 建造规程

所有储存、配料、拌合、输送、浇注（包括压力辅助浇注）、凝固、养护、试验和表面处理应满足建造技术规格书的要求。

###### 5.2.4.2.5.5 骨料

根据制造商的说明书加入产品的骨料应符合 5.2.2.2 节的要求并应按照 8.2.2.3 节的要求进行试验。

###### 5.2.4.2.5.6 水

根据制造商的说明书加入产品的水应符合 5.2.2.3 节的要求并应按照 8.2.2.4 节的要求进行试验。

#### 5.2.4.2.5.7 质量保证大纲要求

产品应在建造商批准的质量保证大纲控制下制造，大纲至少包括：

- a) 在制造该产品过程中实施的制造工艺的控制；
- b) 文件控制；
- c) 装卸、储存和运输要求；
- d) 产品容器的识别和标记；
- e) 编制检测、试验、检查和报告规程，包括与产品计量和试验设备有关的适合的文件提供和管理。

#### 5.2.4.2.5.8 材料试验报告

每批次产品应提交材料试验报告证明该产品能满足建造技术规格书中规定的物理性能。

#### 5.2.4.2.5.9 制造过程中试验

普通灌浆用水泥浆应按照建造技术规格书中和 8.2.3.4.2 节的要求进行试验。

#### 5.2.4.2.6 环氧砂浆和粘合剂

##### 5.2.4.2.6.1 允许使用

环氧砂浆（产品）可以用作普通灌浆和灌填（封闭）硬化的混凝土的小或细裂缝。环氧黏结剂（产品）可以用来改进硬化混凝土和后浇灌其中的塑性混凝土或在水泥浆之间的黏结。

##### 5.2.4.2.6.2 产品的改变

除制造商的说明书要求添加骨料以外，应直接使用从供应商接收的产品。

##### 5.2.4.2.6.3 设计方的认可

设计方应在建造技术规格书中规定产品的用法和要求性能。设计方应根据经验和试验数据考虑产品对设计强度的影响和它对其他材料的影响。并在其使用寿命期间可能经受的高温和低温、辐射、湿度和其他条件对产品的影响。产品使用前应由设计方认可。

##### 5.2.4.2.6.4 建造规程

所有储存、配料、拌合、输送、养护、浇注（包括压力辅助浇注）、凝固、试验和表面处理应满足建造技术规格书的要求。

##### 5.2.4.2.6.5 骨料

根据生产商的说明书加入产品的骨料应符合 5.2.2.2 节的要求并按照 8.2.2.3 节的要求进行试验。

#### 5.2.4.2.6.6 质量保证大纲要求

产品应在建造商批准的质量保证大纲控制下制造，大纲至少包括：

- a) 在制造该产品过程中实施的制造工艺的控制；
- b) 文件控制；
- c) 装卸、储存和运输要求；
- d) 编制检测、试验、检查和报告规程，包括与产品计量和试验设备有关的适合的文件和控制。

##### 5.2.4.2.6.7 材料试验合格报告

每批次产品应提交材料试验合格报告以证明该产品能满足建造技术规格书中规定的物理性能。

#### 5.2.4.2.6.8 制造过程中试验

环氧砂浆应按建造技术规格书的规定进行试验。

#### 5.2.4.3 灌浆钢束系统的水泥浆

##### 5.2.4.3.1 通用要求

- a) 灌浆钢束系统的水泥浆应由水泥、水和外加剂组成。如果钢束导管的内部面积大于 5 倍钢束面积,且水泥浆可以渗透到全部间隙并能够对水平和垂直钢束都能保持期望的膨胀和沉淀(泌水)特性,则可以使用细骨料。
- b) 外加剂应根据试验确定,试验应能证明外加剂改善了水泥浆的性能要求,满足设计要求。例如,提高了和易性,减少或控制了泌水,引气,膨胀了水泥浆,当打压到高压时防止水分离或减少收缩。
- c) 拟使用的材料比例应以灌浆时要使用的同一类型和牌号的水泥掺合剂和细骨料(当采用时)的试拌来确定,在建造中使用的试验混合料应采用试拌中同一类型混合料,并在建造技术规格书中规定。

##### 5.2.4.3.2 水泥浆的物理性能

###### 5.2.4.3.2.1 水灰比

保证和易性情况下,水灰比应尽可能低,任何时候不应超过 0.50。

###### 5.2.4.3.2.2 流动性(不适用于触变砂浆)

- a) 水泥浆的流动性应根据 ASTM C939 进行测定。
- b) 在零静态时间情形下泵卸流的流动时间应不小于 11 秒;并应在 20 分钟静态时间情形下流动时间提高不应少于 3 秒但不大于 8 秒。

注:静态时间定义为水泥浆样品在流量锥体中保持不扰动(静态)的时间量,用分钟表示。流动时间是砂浆样品在塞子拔出后从流量锥体中全部流光所需的时间量,用秒表示,并应用秒表测量。

###### 5.2.4.3.2.3 粘滞度(仅适用于触变砂浆)

水泥浆的粘滞性,是用于测定砂浆的可泵性,应由建造技术规格书中规定的方法确定,并在规定的限值内。

###### 5.2.4.3.2.4 泌水性

- a) 水泥浆在  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的泌水在拌和 3 小时后不宜超过体积的 2%,最大值为 4%,且分离的水应在 24 小时内被吸收。泌水性应在使用近似 1.0m 高水泥浆下的直径近似 38mm 的管子内测量。在试验期间,管子应加盖以防止蒸发。
- b) 对触变砂浆,建造技术规格书可以要求附加的或替代试验来检验泌水性,包括水泥浆在过滤器中承受规定压力的试验。

###### 5.2.4.3.2.5 抗压强度

水泥浆混合料应在 28 天达到 17MPa 的最小抗压强度。试验试样应根据 CRD-C621 进行制造、养护和试验。

#### 5.2.4.3.3 化学成分要求

应控制水泥浆成分中氯化物和硝酸盐的含量，使它们不超过下列限制：

- a) 氯化物（当以  $\text{Cl}^-$  存在）—— 最多为普通水泥重量的 0.015%；
- b) 硝酸盐（以  $\text{NO}_3^-$  存在）—— 最多为普通水泥重量的 0.015%。

#### 5.2.5 混凝土成分的标记和识别

##### 5.2.5.1 水泥

散装水泥的运输应在离开制造商以前密封并附标签，标明批号、主要技术规格书、制造日期和类型。如采用袋装水泥，则每一批应附以与散装水泥相同的识别标签。全部标签和标记应与在现场储存材料一起的存放。

##### 5.2.5.2 骨料

骨料的识别应标明粒径、产地和主要技术规格书。识别标志应在运输和混凝土厂储存过程中与骨料一同存放。

##### 5.2.5.3 外加剂

所有的外加剂的容器应作清楚的标记，标明储存要求和主要技术规格书。外加剂散装储罐上应标明所储存的外加剂的名称、主要技术规格书和储存要求。

#### 5.3 钢筋材料

##### 5.3.1 引言

- a) 用于混凝土安全壳的钢筋材料应符合 GB 1499 的规定，并符合 5.3.3 节所述的特殊要求。
- b) 用作钢筋连接套筒的材料应符合 JGJ 107 的要求。
- c) 当钢筋连接套筒与衬里板或结构型钢相连接时，套筒的材料应是符合 GB / T 699 牌号 08 至 85 要求的碳钢。
- d) 只有表 A.2 所列的材料才可用焊接的方法把钢筋与衬里板或结构型钢相连接。

##### 5.3.2 材料识别

钢筋材料应附标签或标志，以保证在产品运输及储存过程中材料合格试验报告的可追溯性。

##### 5.3.3 特殊材料的试验

###### 5.3.3.1 拉伸试验

###### 5.3.3.1.1 要求的试验次数

受拉钢筋每种直径，每 50 吨或不同炉批号批次钢筋，应进行一次拉伸试验。拉伸试验的规程应参照 NB/T 20004-20XX 进行。

###### 5.3.3.1.2 验收标准

验收标准应按适用情况符合 GB 1499 的抗拉要求。如果一个试样不能满足抗拉要求，则应从同一炉钢和相同尺寸的钢筋中取两个附加试样进行试验。如果两个附加试样中的任何一个不能满足抗拉要求，则试验的材料应被拒收。



### 5.3.3.2 弯曲试验

受弯钢筋每种直径，每50吨或不同炉批号批次钢筋，应任选两根进行一次弯曲试验。弯曲试验的规程应按照GB 1499进行。

根据需方要求，钢筋可进行反向弯曲性能试验，试验方法及验收标准应符合GB 1499的要求。

弯曲、反向弯曲试验试样不允许进行车削加工。

### 5.3.3.3 化学分析

对每炉钢筋应根据符合情况按GB 1499作熔炼分析，并提出报告。

#### 5.3.3.3.1 用于焊接的钢筋

a) 符合 GB 1499 的钢筋可用附录 H. 1. 4 节所列的任一焊接工艺进行焊接。

b) 用于焊接的符合 GB 1499 每炉钢筋熔炼分析的要求如下：

碳	≤0.30%
镁	≤1.50%
硫	≤0.045%
磷	≤0.035%
硅	≤0.50%

对下列残留元素也应进行分析并提出报告：铜、镍、铬、钼、钒。按附录H. 1. 4. 3节计算的钢筋碳当量应符合0.55%的最大碳当量。

c) 对符合 GB / T 1591 钢筋产品验证分析的结果不应超过 GB / T 1591 的规定。符合 GB / T 1591 钢筋的产品验证分析不得超过下列值：

碳	0.33%
镁	1.55%
硫	0.053%
磷	0.043%
硅	0.55%

## 5.4 预应力系统的材料

### 5.4.1 引言

本节制定混凝土安全壳黏结和无黏结的预应力系统所用材料的要求。

### 5.4.2 预应力钢材

#### 5.4.2.1 许用的材料

预应力元件<sup>3)</sup>限于表A.1所列的材料。各种材料应符合材料技术规格书和下列各项所述的附加要求。

#### 5.4.2.2 试样尺寸

预应力元件的所有机械性能试验应在全尺寸试验件上进行。

#### 5.4.2.3 拉伸试验

材料应按相关技术规格书的要求进行取样和试验。应在材料试验报告中提供抗拉强度、屈服强度、延伸率和其他有关数据。

3) 预应力元件定义为无论是在多股或单股的钢丝、钢绞线或钢筋系统中的一根单独的钢丝、钢绞线或钢筋。

#### 5.4.2.4 应力松弛特性

应由材料制造商提供按ASTM E328《材料和结构应力松弛试验推荐的标准方法》进行预应力元件的应力松弛特性试验。相关报告应根据同一技术规格书或其他适用的技术规格书生产的材料试验。

##### 5.4.2.4.1 需提供的数据

应提供下列数据：

- a) 与 ASTM E328 推荐的试验的偏差；
- b) 试样的识别标志；
- c) 初应力和终应力；
- d) 试验过程中的应力损失；
- e) 温度控制范围；
- f) 预计的应力松弛设计寿期和外推的依据。

##### 5.4.2.4.2 试验的次数

至少应进行三次持续 1000 小时的松弛试验，并在文件中充分表明松弛损失符合建造技术规格书。

#### 5.4.3 锚具

##### 5.4.3.1 许用的材料

本文件不包括预应力系统锚具部件承压钢板的特定材料。允许钢束制造商采用其认为与其钢束系统相容的任何材料，但要考虑在试验和使用期间钢束所经受的荷载状态。钢束制造商按照5.4.6节的规定进行试验，书面说明该锚具部件的材料。以下列举了制造商对于生产钢束锚具的材料必须进行的材料试验。

##### 5.4.3.2 承压板

承压板的材料应符合相应的材料技术规格书。承压板的尺寸、光洁度、对中和公差应在建造技术规格书规定的范围内。

##### 5.4.3.3 锚固组件和楔块

###### 5.4.3.3.1 概述

锚固组件和楔块的材料应符合它们的相应的材料技术规格书和 5.4.3.3.2 节的机械性能试验要求。锚固组件和楔块的尺寸、光洁度、对中和公差应在建造技术规格书规定的范围内。对于要求热处理以提高机械性能的各种零件，应选择合金和热处理以消除脆性。

###### 5.4.3.3.2 机械性能试验

###### 5.4.3.3.2.1 试验的范围和程度

制造商应编制试验大纲以确保用于生产锚固组件和楔块的所有材料会满足零件设计需要的强度和延性要求，并由性能试验证实。至少应进行下列试验：

- a) 拉伸试验试样应在能提供关键的位置的强度和延性信息及发展趋势，反映零件中应力—应变方向。对机加工后热处理的零件，拉伸试验试样应在同样炉膛热负荷下一起热处理。试验次数应在建造技术规格书中规定。试验应按照 5.4.3.3.2.2 节进行。

- b) 应对热处理后的材料进行硬度试验。至少应随机取样零件的 10% 进行试验，但炉膛热负荷不少于一个抽取试样。试验应按照 5.4.3.3.2.2 节进行。
- c) 应对 100% 经受热处理的锚固组件和楔块进行液体着色渗透或磁粉检测。试验应按照 5.4.3.3.2.2 节进行。

#### 5.4.3.3.2.2 试验规程

- a) 拉伸试验规程应符合 NB/T 20004-20XX，并报告拉伸强度、屈服强度、延伸率和破坏时断面收缩率。
- b) 每次硬度试验应由在每个零件上取三个测量值组成。洛氏硬度试验和布氏硬度试验的试验规程应符合 NB/T 20004-20XX。
- c) 液体着色渗透试验应符合 SE-165。磁粉试验应符合 SE-109。

#### 5.4.3.3.2.3 验收标准

全部测量结果应在建造技术规格书中规定的范围内。热处理零件在液体着色渗透或磁粉检测显示有裂缝时，应判为不合格。

锚头组件和楔形块的材料最大硬度不应超过洛氏硬度 C40，为了保持硬度均匀性，对于指定的硬度值误差不得超过  $\pm 2$ 。

#### 5.4.3.3.2.4 返工复试

如果任何一个零件不满足物理性能要求，则这炉或这批零件应全部进行试验。不满足物理性能要求的热处理零件可报废或再热处理一次。重新热处理的零件应按照 5.4.3.3.2 进行复试。

### 5.4.3.4 楔块和锚固螺帽

#### 5.4.3.4.1 概述

楔块和锚固螺帽的材料应符合其相应的材料技术规格书和 5.4.3.4.2 节的硬度试验要求。楔块和锚固螺帽的尺寸、光洁度、对中和公差应在建造技术规格书规定的范围内。

鉴定预应力材料在低温下的延展性免受损失的测试是必要的，可根据 RG1.136 的 C.3 节进行试验。

#### 5.4.3.4.2 硬度试验

##### 5.4.3.4.2.1 试验的范围和程度

每一热处理批次楔块和锚固螺母中应至少取 5% 进行表面硬度试验。此外，每一热处理批次楔块和螺母中应取三个样品进行心部硬度，以及对楔块，还要进行硬层深度试验。试样应在热处理后随机选取，每批热处理的材料应是同一次热处理的钢。

##### 5.4.3.4.2.2 试验规程

试验规程应与 5.4.3.3.2.2 节所述的相同。

##### 5.4.3.4.2.3 验收标准

全部测量值应在建造规程规定的范围内。不符合要求的批量应拒收。

### 5.4.4 非承载材料和附件材料

#### 5.4.4.1 钢束导管、管道、喇叭管和过渡圆锥体

钢束导管、管道、喇叭管和过渡圆锥体的材料应具有以下的性质：

- a) 材料应是黑色金属，且不应与预应力元件发生有害的电解反应。
- b) 导管和管道应具有足够的强度，建造过程中能保持形状，防止产生不能修复的损伤。
- c) 应防止混凝土中的水泥浆侵入导管和管道的接头。
- d) 当用于单根钢束时，导管内径应比钢束的公称直径大 6mm 以上。
- e) 当用于多根钢束时，导管的内截面面积应为钢束公称净截面积的两倍以上。
- f) 当需要压力灌浆时，导管和管道两端应开孔。高处提供通气孔，低处提供排出孔。
- g) 当包裹下的导管和导管接头应能承受大于泵初始压头的内部压力。

#### 5.4.4.2 防腐蚀材料

##### 5.4.4.2.1 引言

本项所述为用于预应力系统的临时性和永久性防腐蚀材料的要求。

##### 5.4.4.2.2 临时性涂层

###### 5.4.4.2.2.1 粘结系统

通过对环境控制对有粘结的钢束提供临时性腐蚀防护。如果采用任何临时防护涂层，应保证硅酸盐水泥浆与所有钢束均匀粘结。应在建造技术规格书中规定临时性涂层。

###### 5.4.4.2.2.2 无粘结系统

全部钢束在制作过程中或制成以后应涂临时性防腐蚀涂层。涂料应与 5.4.4.2.3.2 节所述的永久性防腐蚀涂料相容。临时涂料应在建造技术规格书中规定。为了安装现场连接的锚固件，涂层应易于在现场用无氯化物的石油溶剂清洗掉。

##### 5.4.4.2.3 永久性涂层

###### 5.4.4.2.3.1 许用的涂层类型

用于钢束的永久性防腐蚀涂层应是一种微晶质矿脂基材料，并含有添加剂以提高缓蚀性能、去潮和去湿的性能，并具有与钢束钢材形成极化键。

###### 5.4.4.2.3.2 涂层性能

涂料制造商应提供试验数据，能够证明在使用年限和使用温度下性质满足设计评定和验收的下述要求：

- a) 不裂和不脆；
- b) 涂层表面有自动合拢的连续膜；
- c) 化学和物理稳定性；
- d) 与周围和相邻的材料，如混凝土、钢束和导管等，不起化学反应；
- e) 防潮性能；

###### 5.4.4.2.3.3 涂料的物理和化学分析

涂料制造商应提供油分离试验、盐雾试验和抗  $\gamma$  辐照试验和锥体贯穿试验的鉴定试验数据。

涂料制造商应对每一批货提供一份试验报告，其中包括闪点、凝固点、中和值（TBN）、比重、稠度（锥体贯穿）以及水溶性氯化物、硝酸盐和硫化物等分析值。

验收标准和试验方法应符合表6。

表6 预应力混凝土安全壳预应力件永久性涂料的分析限值

试 验	验收标准	试验方法
粘稠度（锥体贯穿）在 25℃	≤260	ASTM D937
闪点，℃	≥205℃	ASTM D92
凝固点，℃	≥57℃	ASTM D938
油分离	≤38℃时为 3%重量	FTMS791C，方法 321.3 <sup>(1)</sup>
盐雾，0.01mm 喷涂	≥200 小时	ASTM B117 <sup>(2)</sup>
中和值（TBN-总碱度）	≥35mgKOH / g 试样	ASTMD974（修订） <sup>(3)</sup>
抗 γ 辐照 1 x 10 <sup>6</sup> rad	TBN≥25 必须符合本表中 所列其他规定的范围	...
水溶性氯化物，Cl <sup>-</sup>	≤10 ppm	ASTM D512 <sup>(4)</sup>
水溶性硝酸盐，NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	≤10 ppm	ASTM D992 <sup>(4)</sup>
水溶性硫化物，S <sup>-</sup>	≤10 ppm	APHA4500-5 <sup>2</sup> ，17 <sup>(4)</sup>
比重（15℃）	0.88-1.10	ASTM D1298
<p>注1：联邦试验方法（FTMS）镍锥必须压实直到产品从丝网中渗出，然后抹去多余物，开始试验。</p> <p>注2：试样应由满足 ASTM D 609 1B 型 75×150mm 要求的钢材组成。涂层膜度为 0.01±0.001mm。失效准则 ASTM D610 8 级锈斑发生于三个表面中的两个表面，其面积为离边缘涂层的各边缘 6.4mm。</p> <p>注3：在 500ml 锥形烧瓶中加热 10g 样品，加 10ml 异丙醇和 5ml 苯，直至样品被溶解。再加 90 ml 蒸馏水和 20ml 1N 硫酸放在蒸汽浴中 1.5 小时充分搅拌。加入酚酞指示剂并用 1N NaOH 滴定。计算碱度每克样品的 KOH 毫克数 [20（酸当量浓度）-（ml 碱）（碱当量浓度）]×56/g 样品。</p> <p>注4：将外径约为 105 mm，高 145mm 的 1 升硼硅酸玻璃烧杯的内表面（底部和侧面）全部涂以 100±10g 的钢束包壳填充涂料。将涂好的烧杯内注入约 900cc 的蒸馏水，然后放入温度控制在 30℃±1℃的箱中加热 4 小时，将抽出的水用所指的试验规程进行相应的水溶解离子试验，以抽出水的 ppm 表示。</p>		

5.4.5 性能要求

5.4.5.1 锚固件和连接件

锚固件和连接件的设计应保证钢束系统的破坏方式为预加应力元件的断裂。锚固件或连接件的每一部件应最小能具有相应的预加应力钢元件或被锚固或被连接元件的规定极限抗拉强度的110%。这个要求应按零件制造时建造技术规格书规定公差最不利的组合来考虑。

5.4.5.2 钢束组件

5.4.5.2.1 锚固件

锚固件和全承载直钢束应一起的极限强度应等于预应力钢束最小规定抗拉强度的 100%以上，且不超过锚固件的预计极限强度。钢束在极限荷载下，以最小标距长度 2500mm 测得的总伸长率不得小于 2%。

5.4.5.2.2 连接件

带有连接件的钢束应符合 5.4.5.2.1 节的要求。连接件应包裹在套筒中，有足够长度允许拉伸时必要的移动。

5.4.5.2.3 低温要求

钢束组件应按第 6 章的要求进行设计，以满足建造技术规格书中规定的最低工作温度。

5.4.6 性能试验

5.4.6.1 通用要求

混凝土安全壳钢束系统应进行一系列的性能试验，证明用于钢束系统的材料组合是合适的，并应评定钢筋束系统的整体强度和完整性。

5.4.6.2 用于性能试验的材料

用于性能试验的钢束材料应是制造商拟用于生产钢束的材料，所有实际采用的材料和必要的尺寸应书面记载在与图1所示表格或相似的表格上。

规格号	日期_____
预应力系统类型	单元件或多元件_____
(钢丝、钢绞线或钢筋)	
预应力元件材料	多元件的元件数_____
承压板材料	公称尺寸_____
楔块材料	厚度_____直径_____
(附图表示形状和尺寸)	硬度_____
墩头形状和尺寸(附图)	
型锻配件材料	硬度_____
(附图表示形状和尺寸)	硬度_____
螺纹配件材料_____	
(附图表示形状和尺寸)	

图1 生产商的钢束性能鉴定试验记录

5.4.6.3 性能试验的类型和次数

5.4.6.3.1 静态拉伸试验

建造技术规格书应规定要进行静态拉伸试验至破坏的次数（不少于二次），以获得下列资料：

- a) 屈服强度（或实测应力）；
- b) 极限抗拉强度；
- c) 伸长率（最小标距长度为 2500mm 以上）；
- d) 损坏的钢丝或钢绞线的数目。

试验的结果应符合 5.4.6.2 节的要求。

5.4.6.3.2 高周循环动态拉伸试验

高周循环动态拉伸试验应进行到钢束经受 500,000 次应力循环而不损坏，应力变化范围为钢束的最小规定极限抗拉强度的 60%至 66%。一次荷载循环定义为从低荷载增加到高荷载，然后返回到低荷载。

5.4.6.3.3 低周循环动态拉伸试验

低周循环动态拉伸试验应进行到钢束经受 50 次应力循环而不损坏，应力变化范围为钢束的最小规定极限抗拉强度的 40%至 80%。一次荷载循环定义为从低荷载增加到高荷载，然后再返回到低荷载。

注：最好是用同一试样来进行5.4.6.3.2节和5.4.6.3.3节所述的试验。

5.4.6.4 性能试验试样的尺寸

5.4.6.4.1 长度

静态拉伸试验试样的标距长度不得小于 2500mm。

5.4.6.4.2 预应力元件的数目

5.4.6.4.2.1 单根元件钢束

应用单根元件试样做静态和动态拉伸试验。

5.4.6.4.2.2 多根元件钢束

- a) 静态拉伸试验 所有静态拉伸试验的试样应具有拟采用的钢束的全部锚固承载能力。
- b) 动态拉伸试验 所有动态拉伸试验的试样面积应为拟采用的预应力钢束产品钢材全尺寸面积的 10%以上。

5.4.6.5 试验结果

试验所得的测量数据和结果应书面记录在图2所示表格的或相似的表格上。

1) 静态拉伸试验

试样号 No.	有效面积 mm <sup>2</sup>	屈服荷载 kN	拉伸荷载 kN	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	延伸率百分数 %	钢丝 / 钢绞线 损坏数目

2) 高周循环动态拉伸试验

试样号 No	有效面积 mm <sup>2</sup>	低荷载 kN	高荷载 kN	低应力 MPa	高应力 MPa	循环周期

3) 低周循环动态拉伸试验

试样号 No.	有效面积 mm <sup>2</sup>	低荷载 kN	高荷载 kN	低应力 MPa	高应力 MPa	循环周期

图2 由钢束性能鉴定试验得到的机械性能试验结果记录

#### 5.4.6.6 重要变量

##### 5.4.6.6.1 通用要求

当钢束系统的材料作下列任何一种改变时，性能试验必须全部重新进行。当钢束系统的材料所作的改变不是下列的改变时，则性能试验不需重做。

##### 5.4.6.6.2 预应力元件材料的重要变量

预应力元件材料的重要变量应按下列 a) 至 e) 的规定：

- a) 由一种标准规格的预应力元件材料改变为另一种；
- b) 同一标准规格的预应力元件材料的抗拉等级的改变；
- c) 预应力元件材料热处理条件的改变；
- d) 预应力元件材料直径的改变；
- e) 在多元件系统中，钢束元件的数目的增加超过 10%。

##### 5.4.6.6.3 锚固件部件的重要变量

锚固件部件的重要变量应按下列 a) 至 f) 的规定：

- a) 对墩头锚固件系统，墩头形状或尺寸的改变；
- b) 对楔块锚固件系统，楔块形状、大小、材料或尺寸的改变；
- c) 对螺纹螺母锚固件系统，螺母、螺纹尺寸或材料的改变；
- d) 对型锻锚固系统，型锻配件形状、大小或材料的改变；
- e) 锚墩材料从一种类型变为另一种类型；
- f) 承压板材料改变。

#### 5.4.7 预应力材料的标记和识别

预应力系统的材料应有标记或附以标签，以保证其在生产期间和运输及储存过程中材料试验合格报告的可追溯性。

### 5.5 衬里材料

#### 5.5.1 许用的材料技术规格书

##### 5.5.1.1 总则

用作安全壳衬里的材料列于附录表A.2。

##### 5.5.1.2 许用的不锈钢技术规格书

当拟用的不锈钢要求牌号没有包含在已有技术规格书可用种类中时，满足如下条件可以使用：已批准的技术规格书的通用要求中具有的化学成分和机械性能，符合技术规格书所要求等级。

##### 5.5.1.3 许用的覆面金属板技术规格书

- a) 建造中使用的且设计计算时考虑其全厚度的覆面金属板，应符合下列技术规格书之一：
  - 1) SA-263 抗腐蚀铬—镍覆面金属板、薄板和带材
  - 2) NB/T 207-2015 抗腐蚀铬—镍钢覆面金属板、薄板和带材



- b) 建造中使用的,设计计算时未考虑其厚度覆面金属板,可以使用任何满足 5.5.1.1 节要求材料,或可焊性能适合于预计工况的材料。
- c) 整体覆面钢板(覆面任何一部分被包括在设计计算书中)应按板材技术规格书中规定的方法试验,剪切强度不小于 140MPa。每块轧制状态的覆合板应进行一次剪切试验,结果应记录在材料试验合格报告中。
- d) 当覆面任一部分厚度规定为腐蚀余量,该部分厚度应在进行工厂拉伸试验前去掉。当覆面厚度中没有规定腐蚀余量,则在试验前不需去掉。

#### 5.5.1.4 永久结构附件材料

附录表A.2给出了使用于衬里附件的材料。作为附录表A.2的补充,《压水堆核电厂MC级设备建造规则》5.2.7中,允许焊接于金属安全壳压力容器的任何材料可焊接于混凝土安全壳钢衬里。这里,附件材料要满足相关文件的规定,附件焊缝应满足本文件关于焊缝和无损检测的要求。

按照5.1.2.1节供货且具有材料合格证书的结构钢轧制型材可以按照NB/T 501-2015规定的焊工、焊接文件和检验要求进行焊接修补。

### 5.5.2 材料的断裂韧性要求

#### 5.5.2.1 冲击试验的材料

##### 5.5.2.1.1 要求冲击试验的材料

对于衬里的碳钢和低合金钢应进行落锤试验或者夏比V型缺口冲击试验,二者取其一。但下列材料不要求上述试验:

- a) 名义截面厚度小于和等于 16mm 的材料,其厚度如下:
  - 1) 对衬里,采用壳体或封头的名义厚度。
  - 2) 对于与容器焊接的接管或零件,采用与零件相焊接的容器壳体厚度或零件的最大径向厚度(不包括整体壳体对接焊缝的突出部分),取两者中的较小者。
  - 3) 封头或法兰,采用与对接焊坡口的最大壳厚度。
  - 4) 将工艺管道连接到衬里的整体配件,采用接管名义厚度的较大者。
- b) 与衬里连接的名义直径小于或等于 25mm 的栓钉。
- c) 名义横截面积不大于  $645\text{mm}^2$  的棒材。
- d) 奥氏体不锈钢。
- e) 名义管径不大于 DN150 的各种厚度的管道、管子和配件。
- f) 接管名义壁厚小于或等于 16mm 的配件材料。
- g) 名义尺寸小于或等于 25mm 的螺栓连接件,包括螺柱、螺母和螺栓。
- h) 表 7 列出的材料,所列  $T_{\text{NDT}}$  值<sup>4)</sup>满足公式  $T_{\text{NDT}}(\text{LSMT}-A)$ ,  $\text{LSMT}$ <sup>5)</sup>是在建造技术规格书中列出的金属最低工作温度, A 是图 3 确定的温度增量。此条文不免除适用于按 5.6.1.2 节要求的焊缝金属冲击试验和适用于 7.5.3.3.5 节要求的焊接工艺评定冲击试验。
- i) 金属最低工作温度大于 66℃的材料。
- j) 拉伸或受压时最大应力小于或等于 40Mpa。
- k) 法兰厚度小于或等于 16mm 的轧制结构型材。

#### 5.5.2.2 冲击试验规程

- 
- 4)  $T_{\text{NDT}}$ -不低于无延性转变温度 NDT (ASTM E208) 的温度, TNDT 比至少 2 个试样不断裂的温度低 6℃。
  - 5) 金属最低工作温度是电站运行时金属使用中可能经受的最低温度,应根据周围大气状态、所设的保温层或围护以及电站运行时安全壳内保持的最低温度进行适当计算来确定。

5.5.2.2.1 试验的类型

5.5.2.2.1.1 落锤试验

- a) 落锤试验应根据需要按 ASTM E208《确定铁素体钢无塑性转变温度的落锤试验标准方法》进行。
- b) 试样应符合 ASTM E208 采用的 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>或 P<sub>3</sub>型。

5.5.2.2.1.2 夏比 V 型缺口试验

夏比 V 型缺口试验 (C<sub>V</sub>) 应根据需要按 NB/T 20004-20XX 进行。试样应符合 NB/T 20004-20XX 图 11、A 型。一次试验应包括三个一组的 10mm×10mm 全尺寸试验。

表7 按 5.5.2.1.1 节 h) 款免做冲击试验的情况

材料 <sup>(1)</sup>	材料状态 <sup>(2)</sup>	T <sub>NDT</sub> °C <sup>(3)</sup>
NB/T 205-2015 1 类	N	−34℃
NB/T 203-2015 70 级	Q 和 T	−23℃
NB/T 203-2015 70 级	N	−18℃
NB/T 102-2015 I 类	Q 和 T	−12℃
SA-299 <sup>(4)</sup>	N	−7℃
SA-216 WCB、WCC 级	Q 和 T	−1.0℃
SA-36 板材	HR	4℃
<p>注1：对于 5.5.2.4.2.1 节或 5.5.2.4.2.2 节中定义的厚度，当 A 值或 LST-T<sub>NDT</sub> 的值在图 3 的曲线之上时，这些材料可免做韧性试验。</p> <p>注2：材料状态的字母含义为 N—正火 Q 和 T—淬火和回火 HR—热轧</p> <p>注3：这些 T<sub>NDT</sub> 值由重型型钢（厚度大于 64mm）的资料确定。在获得附加资料以前，断面厚度小于 64mm 的值保持不变。</p> <p>注4：材料采用细晶粒熔炼法熔炼。</p>		

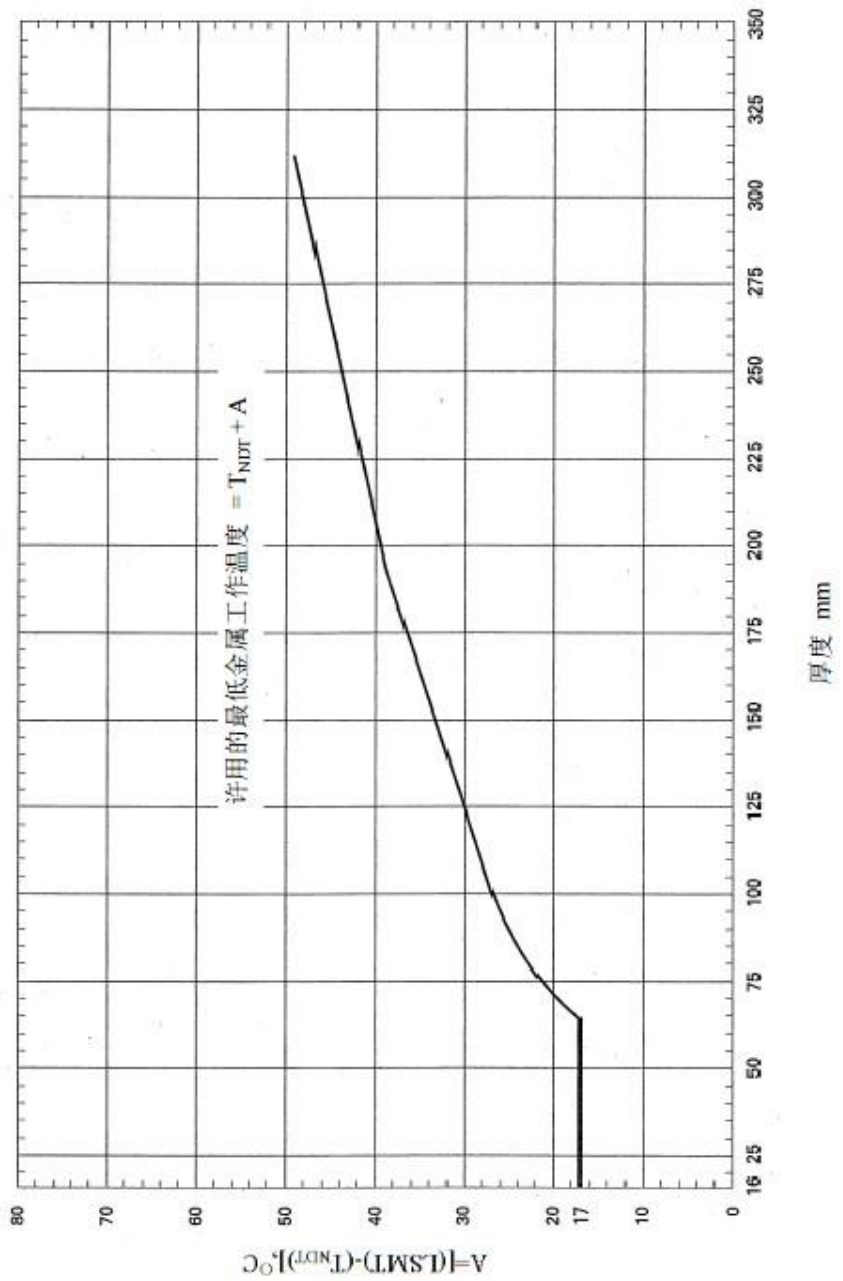


图3 许用的金属最低工作温度的确定

5.5.2.3 试样

5.5.2.3.1 试样的部位

冲击试验的试样在材料中切取的深度应至少等于材料技术规格书所规定的拉伸试样离材料表面的深度。对于螺栓件，Cv 冲击试验试样的部位应使试样的纵轴位于每边端表面下距离至少为加工余量加上半径的一半或 25mm，取两者中较小者。试样的断裂面应至少离热处理端面 1 倍直径或厚度。

5.5.2.3.2 试样的取向

- a) 夏比 V 型缺口试验的冲击试验试样的取向应按 NB/T 20004-20XX 中拉伸试验试样的要求。
- b) 落锤试验的试样其试样轴可取任意方向。

5.5.2.3.3 结构型钢

结构型钢的冲击试验试样的部位和取向应按 ASTM A673 规定。

5.5.2.4 试验要求和验收标准

5.5.2.4.1 衬里材料的试验方法和温度

- a) 衬里材料应根据下列试验方法之一进行冲击试验：
  - 1) 在低于或等于金属最低工作温度<sup>6)</sup>下进行夏比 V 型缺口冲击试验。
  - 2) 进行落锤试验以确定 T<sub>NDT</sub> 温度并证明 T<sub>NDT</sub> ≤ (LSMT-A)。
- b) 另外，当建造技术规格书中要求气压试验（第 9 章）在低于 LSMT 的温度下进行，则衬里材料的冲击试验应根据上述（a）在等于或低于最低规定试验温度下执行。  
或者，规定一个超压试验的最低金属温度<sup>7)</sup>。在这种情况下，除了 5.5.2.4.1 节 a) 款所要求的试验之外，夏比 V 型缺口试验应按 5.5.2.2.1.2 节的规定进行，试验温度为 17℃或低于 5.5.2.4.4 节规定的超压试验的最低金属温度。

5.5.2.4.2 在最低金属工作温度下的衬里材料的试验方法和验收标准

5.5.2.4.2.1 最大厚度为 64mm 的衬里材料

- a) 除了 7.5.3.5.5 条限定以外，5.5.2.4.1 节 a) 款方法之一适用于下列材料的试验：
  - 1) 母材；
  - 2) 按 7.5.3.3.5 条的焊接工艺评定试验的母材、热影响区焊缝金属；
  - 3) 5.6.1.2.1 节的焊缝金属。
- b) 冲击试验结果应满足规定试验的验收标准之一。
  - 1) 夏比 V 型缺口试验的横向膨胀  
三个试样的平均值和最低值试验结果应满足表 8 的相应要求。
  - 2) 夏比 V 型缺口试验的吸收能量  
三个试样的平均值和最低值试验结果应满足表 9 的相应要求。
  - 3) 落锤试验 验收试验应至少按 ASTM E208 所述由 2 个未断试样组成。

表8 除螺栓件外衬里材料所要求的 Cv 横向膨胀量<sup>(1) (2)</sup>

公称厚度，mm	横向膨胀量 mm	
	三个的平均值	三个中最低值
≤16 <sup>(3)</sup>	...	...
>16~≤25	0.50	0.38
>25~≤38	0.64	0.50
>38~≤64	0.90	0.76
>64 <sup>(4)</sup>	1.14	1.0
<p>注1：如果按 5.6 节要求进行焊缝金属试验，冲击横向膨胀量应符合所连接的两种母材中任一种的要求。</p> <p>注2：当连接两种具有不同横向膨胀要求的母材时，按 7.5.3.3 节焊接工艺评定试验提出的焊缝金属冲击膨胀要求应符合两种母材中任一种的要求。</p> <p>注3：不要求试验。</p> <p>注4：适用 5.5.2.4.2.2 节。</p>		

表9 除螺栓连接件外的衬里材料所要求的 Cv 吸收能量值<sup>(1)</sup>

6) 热影响区（7.5.3.3.5 条）的冲击试验要求可能引起母材的试验温度减低。

7) 金属最低超压试验温度应是金属在超压试验时可能经受的最低温度，应根据大气条件、设置的保温层或围护以及试验时安全壳内保持的温度作适当计算来确定。

公称壁厚 mm	母材 <sup>(2)</sup> 规定最小屈服强度 MPa 的能量值 J					
	≤380MPa		>380MPa ~520MPa		>520MPa ~724MPa	
	三个平均值	三个中最低值	三个平均值	三个中最低值	三个平均值	三个中最低值
≤16 <sup>(3)</sup>	...	...	...	...	...	...
>16~≤25	27	20	34	27	41	34
>25~≤38	34	27	41	34	47	41
>38~≤64	47	41	54	47	61	54
>64 <sup>(4)</sup>	61	54	68	61	75	68
<p>注1：当按 5.6 节的要求对焊缝金属进行试验时，冲击能量应符合两种被连接母材中任一母材的要求。</p> <p>注2：当具有两种不同规定能量值的母材焊接在一起时，按 7.5.3.3 节规定进行的焊接工艺规程评定试验的焊缝金属冲击能量要求应符合任一母材的要求。</p> <p>注3：不要求进行试验。</p> <p>注4：适用于 5.5.2.4.2.2 节。</p>						

5.5.2.4.2.2 厚度大于 64mm 的衬里材料

- a) 母材和 7.5.3.3.5 节中的焊接工艺评定焊缝金属试验应按 5.5.2.2.1 节和 5.5.2.4.1 节 a) 款 2) 条中规定的落锤方法进行试验。
- b) 除 7.5.3.3.5 节中限定外，应使用 5.5.2.4.1 节 a) 款中的方法之一对母材和 7.5.3.3.5 节中的焊接工艺评定试验的热影响区和 5.6.1.2.1 节的焊缝金属进行试验。
- c) 验收标准按 5.5.2.4.2.1 节 a) ~b) 款的要求。

5.5.2.4.3 螺栓连接件材料

落锤试验不适用于螺栓连接件材料。螺栓连接件材料包括螺母、螺柱和螺栓，应进行夏比V型缺口冲击试验。试验可在金属最低工作温度或更低、或17℃或更低温度下进行。

- a) 在金属最低工作温度下进行试验时，应测定横向膨胀量和吸收能量值，三个试样均应符合表 10 的要求。
- b) 在 17℃或低于最低金属工作温度 17℃或更低时，应测定横向膨胀和吸收能量，所有三个试样应满足表 11 中的要求。

5.5.2.4.4 在最低超压试验金属温度下的衬里材料试验方法和验收标准

5.5.2.4.4.1 衬里材料

5.5.2.4.1 节 a 款 1 条的方法应用于下列各项。

- a) 母材
- b) 母材、热影响区和按 7.5.3.3.5 节的焊接工艺评定试验的焊缝金属。
- c) 5.6.1.2.1 节的焊缝金属

三个试样的平均值和最低值的冲击试验结果应满足表 12 中的相应要求。

表10 按 5.5.2.4.3 节 a)款试验的螺栓材料所要求的 Cv 值

公称直径, mm	横向膨胀, mm	吸收能量值, J
≤25	不要求试验	不要求试验
>1~≤100	0.6	不要求试验
>100	0.6	61

表11 按 5.5.2.4.3 节 b) 款和 5.5.2.4.4 节试验的螺栓材料要求的 Cv 值

公称直径, mm	横向膨胀, mm	吸收能量值, J
≤25	不要求试验	不要求试验
>25~≤100	0.38	41
>100	0.38	48

表12 衬里材料超压试验要求的 Cv 能量值

公称壁厚 mm	母材 <sup>(1)</sup> 在规定最小抗拉强度 MPa 时的能量值, J			
	≤420MPa		>420MPa	
	三个的平均值	三个中的最低值	三个的平均值	三个中的最低值
≤16 <sup>(2)</sup>	...	...	...	...
>16	20	14	27	20
<p>注1: 如果按 5.6 节的要求对焊缝金属进行试验, 冲击能量值应符合两种被连接母材中任一母材的要求。</p> <p>注2: 当具有两种不同规定能量值的母材焊接在一起时, 按 7.5.3.3 节规定进行焊接工艺规程评定试验的焊缝金属冲击能量值要求应符合任一母材的要求。</p> <p>注3: 不要求进行冲击试验。</p>				

5.5.2.4.4.2 螺栓连接件材料

螺栓连接件材料, 包括螺母、螺柱和螺栓, 应进行一次夏比 V 型缺口冲击试验。应测量横向膨胀和吸收能量, 所有三个试样应满足表 11 中的要求。

5.5.2.4.5 报告的数据

- a) 当执行夏比 V 型缺口试验以满足 5.5.2 节的要求时, 试验温度、吸收能量、横向膨胀和剪切百分比应记录在材料试验报告中。
- b) 当执行落锤试验满足 5.5.2 节的要求时, 试验温度和结果应记录在材料试验报告中。

5.5.2.5 冲击试验要求的次数

5.5.2.5.1 板材

热处理状态的每块板材都应进行一次试验。当板材以未热处理状态供货而又用热处理的试样鉴定时, 则应对每块轧制状态的板材做一次试验。轧制状态是指直接由厚板或直接由钢锭轧成的板材, 而不是指其热处理状态。

5.5.2.5.2 锻件和铸件

单个重量小于 450kg 的锻件或铸件, 每一次热处理装量材料应进行一次试验。当热处理是在适当温度控制、并装有高温记录装置的连续型炉内进行, 从而能得到全部热处理记录时, 则一次热处理装量应考虑为连续运行时间不超过 8 小时, 或处理的总重量不超过 900kg。对每个重量为 450kg 到 4500kg 的锻件或铸件应进行一次试验。每个圆环或圆盘或重量大于 4500kg 的铸件, 应进行两次夏比 V 型缺口冲击试验和一次落锤试验。落锤试验或夏比 V 型缺口试验试样的选取应使能从锻件或铸件上相隔 180 度 (3.1rad) 的部位上取等量的试样。当用单独试验锻件或铸件代表任意尺寸的锻件或铸件时, 应要求做一次试验。

5.5.2.5.3 管状制品和配件

对于无缝制品或不加填充金属的焊接制品，每批应做一次试验。对于加填充金属的焊接制品，每批还应从焊缝区取试样做一次附加试验。应在材料技术规格书所说明批的定义，在任何情况下，一批不得包括批热处理以上材料的产品，不得包括一种以上直径的产品，任何一种产品的公称厚度不要超过冲击试验厚度 6mm 时。一批应是在一次热处理装料中，或在装有高温记录装置连续炉中温度控制在 28℃变化范围内同一次连续处理的材料。

5.5.2.5.4 螺栓连接件材料

每批材料应进行一次试验。批的定义为在同一热处理炉次中或一次连续处理中的每一炉次材料，重量不超过下列：

直径 mm	质量
≤44mm	700kg
>44~≤64	1400kg
>64~≤125	2700kg
>125	4500kg

5.5.2.5.5 棒材和轧制型材

- a) 横截面积大于 650mm<sup>2</sup> 的每批棒材应进行一次试验。批的定义为在同一热处理炉次中或一次连续热处理中的每一炉材料, 重量不超过 2700kg。
- b) 轧制型材，一次试验取一组三个试样，试验频率规定如下：至少每 14000kg 做一次实验；对每一件长度重量大于等于 14000kg 的材料做一次实验；长度因素除外，轧制状态的每一炉次的做一次实验。如果是热处理过的型材，应对每一批次的每一名义尺寸（长度除外）的每一炉次材料进行一次试验。在连续炉中热处理的型材，一批应不超过 14000kg。

5.5.2.6 铁素体材料试件的热处理<sup>8)</sup>

除名义厚度不大于50mm的P-No. 1材料的试棒和试件不要求热处理外，如果衬里的铁素体在制造和安装过程中受热处理，则用于拉伸和冲击试验试样的材料亦应经受与衬里同样方式的处理。成品生产商应向材料制造商提供所采用的加热温度以及加热和冷却的速率。对于焊后热处理，试验材料在一个温度或几个温度下的热处理总时间应不小于实际材料焊后热处理在一个温度或几个温度下总时间80%。试验材料的热处理总时间可在一次循环中完成。

5.5.2.7 复试

5.5.2.7.1 材料（非螺栓连接件）的复试

- a) 如果在下列情况下，对于 5.5.2.4 节要求的夏比 V 型缺口冲击试验，可在同样温度下做一次复试是合适的；
  - 1) 试验结果的平均值满足表 8，表 9 或表 12 所规定的平均值要求。
  - 2) 每次试验中只有一个试样低于表 8，表 9 或 5.5.2.4.1 节 b 款三个规定中的最低要求。
  - 3) 试样不满足表 8，表 9 或表 12 的三个规定要求中最低要求，但不低于 7J 或 0.13mm。
- b) 一次复试包括两个附加试样，尽可能靠近不合格试样部位切取的，两个试件均应大于表 8，表 9 或表 12 规定要求的平均值要求。

5.5.2.7.2 螺栓连接件材料的复试

8) 施工技术规格书应规定材料制造过程中或制造完工后的建造过程中预计要经受的任何热处理时间. 材料制造商应将这时间包括在试样需经受的规定保温总时间内。

- a) 5.5.2.4 节要求的夏比 V 型缺口试验, 若符合下列情况可以在相同温度进行一次复验:
  - 1) 每次试验只有一个试样低于验收要求;
  - 2) 不满足验收要求的试样低于验收要求但不大于 7J 或 0.13mm;
- b) 复试是由两个附加试样组成, 切取自离不合格试样尽可能近的。复试的验收接受条件为: 两个试样皆满足规定的验收要求。

#### 5.5.2.8 仪器和设备的标定

用于冲击试验的温度测量仪和夏比V型缺口冲击试验机应按下列频度进行标定:

- a) 控制试样试验温度的温度仪表, 应至少每隔三个月标定一次, 并记录标定的结果, 以满足下列要求:
  - 1) 规程应有效保证为验证材料符合材料技术规格书和本文件要求所用的工具、量具、仪器和其他测量及试验装置, 均按规定的周期或一定使用时间间隔进行标定和适当调整, 使之保持在所需的精度范围内。为确定标定精度得以保持, 可对该装置进行定期校验。
  - 2) 标定应对照合格的装置来进行, 而这种装置具有已知正确的关系式, 并有文件证明可追踪到国家确认的标准(如存在这种标准)。如果没有已知的国家承认的标准, 则应提供文件作为标定的依据。
  - 3) 管理措施应包括这样一些规定, 即识别测量和试验装置和从装置标记或装置的可追踪记录上确定其标定的状态。
- b) 夏比 V 型缺口冲击试验机应进行标定, 并记录标定的结果, 以满足上述要求。标定应采用 ASTM E23-02a 所述的频率和方法, 并使用国家标准和技术协会提供的标准试样, 或符合其他分包商的标定服务。建造单位应负责确定和验证供应商对活动的控制是适当的:
  - 1) 调查和监查由供应商制订的符合本节各项要求的质量体系。
  - 2) 标定应对照合格的装置来进行, 而这种装置具有已知正确的关系式, 并有文件证明可追踪到国家确认的标准(如存在这种标准)。如果没有已知的国家承认的标准, 则应提供文件作为标定的依据。

#### 5.5.3 衬里材料的检测和修补

##### 5.5.3.1 衬里材料

衬里材料应根据材料技术规格书和本章要求进行检测和修补。

##### 5.5.3.2 淬火和回火后的检测

在淬火和回火状态下使用的铁素体钢材产品, 应根据每一产品在热处理的淬火和回火阶段用本章规定的方法进行检测。

##### 5.5.3.3 板材的检测和修补

###### 5.5.3.3.1 要求的检测

应根据材料技术规格书的要求对板材进行检测。

###### 5.5.3.3.2 检测时间

验收检测应在下列时间执行:

- a) 检测应按材料技术规格书要求执行。
- b) 进行焊接修补后, 射线检测可在要求的焊后热处理之前或之后执行。



- c) 超声波检测应在热处理之后执行。
- d) 焊接修补的磁粉或液体渗透检测应在要求的焊后热处理之后执行。但 P-No. 1 材料可以在要求的焊后热处理之前或之后执行。

#### 5.5.3.3.3 表面缺陷的清除

如果符合下列情况，不合格的表面缺陷应该用打磨或机加工方法消除：

- a) 缺陷清除后，凹陷部分与周围表面平滑地过渡；
- b) 缺陷的清除不会使要求的截面厚度的减少超过 1.5mm；
- c) 如果清除缺陷使截面厚度的减少大于 1.5mm，则该产品可按 5.5.3.3.4 节进行焊接修补或拒收。

#### 5.5.3.3.4 焊接修补

满足下列各项的要求，材料生产商可以对已经清除缺陷的产品进行焊接修补，并须事先取得建造单位的批准。

##### 5.5.3.3.4.1 缺陷清除

应采用适宜的机械、热切割或刨削等方法清除缺陷，使其减少至合格的尺寸，做好凹坑补焊准备。焊补前，要用磁粉和液体渗透方法对补焊区进行检测。当采用热切割和刨削方法时，应按 7.5.2.1.1.1 节进行预热。

##### 5.5.3.3.4.2 焊接工艺规程和焊工的评定

焊接工艺规程和焊工或焊接操作工应按照 7.5 节和第 IX 卷进行评定。

##### 5.5.3.3.4.3 修补区域的过渡

补焊后，表面应与周围的表面平滑过渡。

##### 5.5.3.3.4.4 修补焊缝的检测

每一修补焊缝都应进行磁粉或液体渗透检测。此外，当修补凹坑的深度超过 10mm 或截面厚度 50% 两者中的较小者时，则修补焊缝需进行射线检测，并按 8.5.4.2 节的验收标准评定。修补焊缝的射线检测的透度计和验收标准应根据修补区的截面厚度。

##### 5.5.3.3.4.5 修补后的热处理

产品修补后应按 7.5.5.4 节的热处理要求进行热处理。

##### 5.5.3.3.4.6 说明缺陷和修补的材料报告

材料制造商完成修补时，任何缺陷修补的深度超过 10mm 或 50% 截面厚度，应在材料试验合格报告中说明。材料试验合格报告应包括表明每一工件的修补焊缝的位置和尺寸的简图、焊接材料的鉴定、焊接规程、热处理和一份检测结果报告，包括射线照片。

#### 5.5.3.4 锻件和钢筋的检测和修补

##### 5.5.3.4.1 要求的检测

锻件和钢筋应目视检测屑痕、污迹或其他表面缺陷。

##### 5.5.3.4.2 检测时间

应在制造时根据 5.5.3.3.1 节执行验收检测。

#### 5.5.3.4.3 表面缺陷的清除

应按 5.5.3.3.3 节进行表面缺陷的清除。

#### 5.5.3.4.4 焊接修补

应按 5.5.3.3.4 节用焊接进行焊补。

#### 5.5.3.5 锻造无缝和焊接的（无填充金属）管状制品和配件的检测

除材料技术规格书和本章要求外，无缝和焊接的（不加填充金属）的管道和管子应遵守下列要求。

##### 5.5.3.5.1 锻造无缝和焊接的（无填充金属）管道和管子

锻造无缝和焊接的（无填充金属）管道和管子应遵守 SA-655《核设备和其他特殊用途的管道和管子的特殊要求》中 2 级无缝和焊接（无填充金属）的管道和管子的要求。

##### 5.5.3.5.2 锻造无缝和焊接（无填充金属）配件

锻造无缝和焊接（无填充金属）配件应遵守 SA-652《核设备和其他特殊用途的锻钢焊接配件的特殊要求》中 2 级无缝或 2 级焊接（无填充金属）配件的特殊要求。

#### 5.5.3.6 焊接（加填充金属）管状制品和配件的检测和修补

##### 5.5.3.6.1 要求的检测

- a) 焊接（加填充金属）管道产品，应按 SA-358 生产的管道，按 SA-234、SA-403 和 SA-420 的 WPW 级制造配件，焊接填充金属应该与材料作相同处理。应按材料技术规格书由民用核设施营运单位或其委托单位检查和加盖 NPT 符号的印记。除 NPT 符号外，应在正式编码符号外面的下方加盖数字 2 的印记。
- b) 除材料技术规格书和本章的要求外，管道和配件应符合下列要求：
  - 1) 管道应符合 SA-655《核设备和其他特殊用途的管道和管子的特殊要求》中 2 级焊接（加填充金属）管道的要求。
  - 2) 配件应符合 SA-652《核设备和其他特殊用途的锻钢焊接配件的特殊要求》中 2 级焊接（加填充金属）配件的要求。
- c) 经过射线照相的管状制品和附件应标明已做过射线照相。射线照相的底片和表明底片位置的射线照相报告应与材料试验合格报告一起提供。
- d) 民用核设施营运单位或其委托单位应按下列要求在部分数据报告表 NM-1（第 III 卷第 1 册附录 V）上签字确认。
  - 1) 建造单位编制的有关数据报告应由民用核设施营运单位或其委托单位审核和签字。在此之前，数据报告已由建造单位签字确认，并确信本文件的所有要求均已满足，而且每份数据报告均被确认为是一份正确的记录。对混凝土安全壳的物项，在民用核设施营运单位或其委托单位核查之前，还要求经设计单位确认。
  - 2) 民用核设施营运单位或其委托单位应审核并分别核查混凝土安全壳建造报告中包括的资料是有效的，并符合混凝土安全壳的各项要求，以及在设计单位对建造报告的审核和确认中已考虑了本文件的所有要求。
  - 3) 数据报告表应在完成下列确认工作后由民用核设施营运单位审核和签署：

- (1) 民用核设施营运单位或其委托单位已审核表格，并核查了参照表上的数据报告已存档，这种数据报告证实在核电系统或表格涉及的系统部分中的所有部件、零件、附件、支承件和堆芯支承结构符合规范要求。
- (2) 民用核设施营运单位或其委托单位已核查了所要求的超压保护文件已存在，表格中涉及的系统部分的文件已完全归档。

5.5.3.7 普通和离心铸造产品的检测和修补

5.5.3.7.1 检测要求

铸造材料既可以用射线照相也可以用超声波方法或者两种方法组合进行检测。铸件或铸件的部分具有粗大晶粒或外形复杂由超声波检测无法产生有意义的结果，应由射线方法检测。

5.5.3.7.2 铁素体钢铸件的超声波检测

普通和离心铸造产品的超声波检测要求如下：

5.5.3.7.2.1 直探法

当铁素体铸件要进行超声波检测时，所有截面（无论厚度大小）应按 SA-609《碳钢和低合金钢的纵向直探法超声波检测技术规格书》进行检测。对直探法检测时不能保持有效反射或者两个铸造表面之间的角度大于15度的区域，应按照 5.5.3.7.2.2 节进行附加的斜探法超声波检测或按照 5.5.3.7.3 节进行射线检测。

5.5.3.7.2.2 斜探法

应根据 V 卷 T-571.4 进行检测，采用 5.5.3.7.2.3 节的验收标准。

5.5.3.7.2.3 验收标准

- a) 各厚度铸件适用的 SA-609 的质量等级规定如下。
  - 1) 质量 1 级厚度≤50mm
  - 2) 质量 3 级厚度>50mm~100mm
  - 3) 质量 4 级厚度>100mm
- b) 除本节 a) 款中说明的质量等级要求，本节 b) 款中的要求应适用于直探法和斜探法检测。
  - 1) 区域显示超过波幅参考线，而且任何尺寸大于下列表格规定的要求，则判为不合格。
  - 2) 质量 1 级应适用于铸件表面以下 25mm 以内的体积而不考虑其全部厚度。
  - 3) 不连续缺陷产生的显示深度变化大于等于 1/2 壁厚或 25mm（取两者中较小值）即为不合格。
  - 4) 两个或两个以上的缺陷在同一平面内产生的显示超过波幅参考线，并且其相互隔开的距离小于邻近较大显示的最小尺寸时，如果它们不能包括在小于上述 b) 1) 中质量等级所规定的面积内，则这些缺陷为不合格。
  - 5) 两个或两个以上的缺陷所产生显示，在厚度小于 50mm 的铸件中所产生的显示大于为质量 1 级所规定的显示，或在厚度为 50mm 至 100mm 的铸件中所产生的显示大于为质量 2 级所规定的显示，或在厚度大于 100mm 的铸件中所产生的显示大于为质量 3 级所规定的显示，而且缺陷相互的距离又小于邻近较大显示的最长尺寸时，如果它们不能包括在上述 a) 中质量等级所规定的面积以内，则这些缺陷为不合格。

超声波检测质量等级      区域的最大尺寸 mm

2	50
3	64
4	75

注：

- a) SA-609 中超声波检测质量等级面积是指在铸件表面上产生的连续显示始终超过校准距离一波幅曲线的那块面积。
- b) 这一面积可用以探头中心作为基准点，由探头移动尺寸来测定。
- c) 在某些铸件中，由于检测距离很长或检测表面曲率很大，使在其上测出的某一连续缺陷的显示面积有可能显著大于或小于铸件中含有该不连续缺陷的实际面积。为了真实评判该不连续缺陷，验收的判据必须结合考虑波束角度和波束扩散等因素。

5.5.3.7.3 射线检测

5.5.3.7.3.1 范围、方法和验收标准

当要求时，应对铸件执行射线检测。射线的覆盖范围应尽可能包括最大的体积。射线检验方法应根据ASTM E94《射线检测的推荐方法》和ASTM E142《射线检测控制质量》，并满足ASTM E446《厚度不超过50mm的钢铸件的标准射线照片》，ASTM E186《厚壁50mm～115mm钢铸件的标准射线照片》或ASTM E280《厚壁115mm～300mm钢铸件的标准射线照片》的严重程度2级的验收标准（但D、E、F或G类缺陷是不合格的）。ASTM E280的要求应适用于厚度大于300mm的铸件。

注：若使用规定版本的文本，则前一版ASTM E186，E280和E446的参考照片可以与最新版的技术规格书一起使用。

5.5.3.7.3.2 检测规程

下列 4 条附加要求适用于 ASTM E94 和 ASTM E142 规定的射线检测方法。

- a) 不允许 4 型胶片
- b) 在厚度相对均匀的区域，单片成像的最小胶片黑度为 1.5，多次曝光的叠合层成像的最小胶片黑度为 2.0；叠合装置内的每张胶片的黑度至少为 1.0，允许的最大黑度为 4.0。
- c) 对于随厚度变化的截面用一个透度计难以满足黑度要求，应使用两个透度计以代表所要检测区域的最薄和最厚截面。透度计的黑度或介于透度计黑度之间的黑度应认为是合格的，但透度计图像的最小黑度对单片成像应为 1.3，对多次曝光的叠合层成像应为 2.0；叠合装置内的每张胶片的最小黑度应为 1.0。
- d) 对于随厚度变化的截面用一个透度计难以满足黑度要求，应使用两个透度计以代表所要检测区域的最薄和最厚截面。透度计的黑度或介于透度计黑度之间的黑度应认为是合格的，但透度计图像的最小黑度对单片成像应为 1.3，对多次曝光的叠合层成像应为 2.0；叠合装置内的每张胶片的最小黑度应为 1.0。

5.5.3.7.4 磁粉检测

5.5.3.7.4.1 检测规程

磁粉检测的规程应根据第 V 卷 7 章的方法。

5.5.3.7.4.2 显示的评定

- a) 表面的机械不连续缺陷是通过检验介质的积聚来显示。但并非所有的显示都表示缺陷，因为某些金相组织的不连续以及导磁率的变化也会产生不相关显示。

- b) 超过 5.5.3.7.4.3 节验收标准并确认是不相关的任何显示,应认为是一个缺陷并应进行复验以验证是否存在真实的缺陷。复验前可先进行表面修整。掩盖了真实缺陷的无关显示是不合格的。
- c) 相关显示是指由不可接受的机械不连续缺陷引起的显示。线性显示是指长度大于宽度 3 倍的显示。圆形显示是指圆形或长度小于宽度 3 倍的椭圆形显示。非金属夹杂物引起的显示不认为是相关显示。

#### 5.5.3.7.4.3 验收标准

- a) 只有主要尺寸大于 1.5mm 的显示才应认为是相关的。
- b) 下列四项相关显示是不合格的。
  - 1) 线性显示对于厚度小于 16mm 的材料,其长度大于 1.5mm;对厚度大于等于 16mm 小于 50mm 的材料;其长度大于 3mm;对厚度大于和等于 50mm 的材料,其长度大于 15mm;
  - 2) 圆形显示:对厚度小于 16mm 的材料,其尺寸大于 3mm;对厚度大于等于 16mm 的材料,其尺寸大于 5mm;
  - 3) 任一直线上有 4 个或 4 个以上的显示,其边缘间的距离小于和等于 1.5mm;
  - 4) 凡在显示最密集位的任意面积为  $4000\text{mm}^2$  (其最大尺寸不大于 150mm) 的区域内,有十个或更多个显示。

#### 5.5.3.7.5 液体渗透检测

##### 5.5.3.7.5.1 检测规程

液体渗透检测的规程应根据 JB/T 6062 (第 V 卷 6 章)。

##### 5.5.3.7.5.2 显示的评定

- a) 表面的机械不连续是通过渗透剂的渗出显示出来的。但是,由于机加工痕迹或表面状态引起的局部表面缺陷,可以产生无关显示。
- b) 凡超过 5.5.3.7.5.3 节验收标准的任何显示即使认为与缺陷无关仍应作为缺陷并应进行复查以证实是否存在真正的缺陷。复查前,可先进行表面修整。凡会掩盖缺陷显示的无关显示和大面积渗透剂沉积是不允许的。
- c) 不合格机械不连续引起的显示称为相关显示。线性显示为长度大于宽度 3 倍的显示。圆形显示为圆形或长度小于宽度 3 倍的椭圆形显示。

##### 5.5.3.7.5.3 验收标准

- a) 凡主要尺寸大于 1.5mm 时的显示,则都认为是相关显示。
- b) 下列 4 项的相关显示是不合格的:
  - 1) 对于厚度小于 16mm 的材料,其线性显示的长度大于 1.5mm;对于厚度为 16mm 至 50mm 以下的材料,其线性显示的长度大于 3mm;对于厚度等于和大于 50mm 的材料,其线性显示的长度大于 5mm。
  - 2) 对于厚度小于 16mm 的材料,其圆形显示大于 3mm;对于厚度等于和大于 16mm 的材料,其圆形显示的尺寸大于 5mm。
  - 3) 一直线上有 4 个或更多个显示,且边界间距等于或小于 1.5mm。
  - 4) 在被评估显示四周,任意面积为  $4000\text{mm}^2$  (其最大尺寸不大于 150mm) 的区域内,最不利的选取情况下,有 10 个或更多个相关显示则为不合格。

##### 5.5.3.7.6 检测时间

验收检测（包括修补焊缝的验收检测）应在制造期间按下列条款规定进行。

#### 5.5.3.7.6.1 超声波检测

若要求，超声波检验应在按射线检验要求的制造阶段执行。

#### 5.5.3.7.6.2 射线检测

当要求，射线检测可在热处理前执行，并应在本节确定的制造阶段执行。精加工前的铸件应在下列两项规定的厚度限值进行射线检测。

- a) 厚度小于 150mm，铸件应在成品厚度的 20%以内进行射线检测。透度计应根据最终厚度。
- b) 厚度大于等于 150mm，铸件应在成品厚度的 10%以内进行射线检测。透度计应根据最终厚度。

#### 5.5.3.7.6.3 磁粉或液体渗透检测

磁粉或液体渗透检测应按材料技术规格书要求的最终热处理之后执行。当进行焊后热处理时，修补焊缝区域应在焊后热处理之后检测，但对名义厚度小于或等于 50mm 厚度的 P-No. 1 材料，修补焊缝可在焊后热处理之前检测。对带机加工表面的铸造产品，所有成品机加工表面（除螺纹表面）也应按磁粉或液体渗透方法进行检测。

#### 5.5.3.7.7 表面缺陷的清除

应根据 5.5.3.3.4 节清除表面缺陷。

#### 5.5.3.7.8 焊接修补

材料制造商在去除材料不合格缺陷后，可用焊接修补铸件。修补深度不限。型芯孔或浇注孔，如仅用填充金属来封闭，则可根据本节要求由材料制造商用焊接方法封闭。若用金属垫片焊接来封闭，则焊接应根据第 7 章要求由建造单位来进行。

##### 5.5.3.7.8.1 缺陷去除

在焊接修补之前，有不合格缺陷的材料应采用适当的机械或热切割法或刨削法清除缺陷或使缺陷减小到验收标准之内，并做好凹坑补焊准备。

##### 5.5.3.7.8.2 焊接工艺规程的评定和焊工的考核

焊接工艺规程和焊工或焊接操作工应按本文件第 7 章和第 IX 卷要求进行评定和考核。

##### 5.5.3.7.8.3 修补区域的平整

焊接后，表面应与周围表面平滑过渡。

##### 5.5.3.7.8.4 修补焊缝的检测

每条修补焊缝应由磁粉方法（5.5.3.7.4 节）或由液体渗透方法（5.5.3.7.5 节）进行检测。此外，当铸件要求进行射线检测，修补凹坑深度超过 10mm 或截面厚度的 10%（取两者中的较小者），修补焊缝应根据 5.5.3.7.3 节进行射线检测。应采用 5.5.3.7.3 节的射线检测方法和验收标准，但焊缝夹渣（包括条形夹渣）应认为是适用的参考射线照片 B 类以下的夹杂。整个面积的全部夹杂（包括夹渣）不应超过适用的参考射线照片的严重级别 B 类的限制。

##### 5.5.3.7.8.5 焊接修补后的热处理

焊接修补后，铸件应按照 7.5.5.2 节进行热处理，但 7.5.5.2.3 节的加热和冷却限制不适用。

#### 5.5.3.7.8.6 缺陷和修补的报告

凡修补深度超过 10mm 或截面厚度的 10%（取两者中较小值）的每个修补缺陷，都必须记录在材料试验合格报告中。材料试验合格报告应包括一份表示每一修补铸件的修补凹坑的位置和尺寸的简图，焊接材料鉴定，焊接规程，热处理和检测结果（包括射线检测底片）。

#### 5.5.4 材料识别

衬里材料的识别应符合下列相关要求，至于对检漏系统、预埋件和连接的材料，如果 SA 材料技术规格书允许，可捆扎并加标签。在制造期间，应对小件产品加以管理，使能在任何时间可识别为合格材料。在材料修补和衬里制造期间，应管理焊接材料，使直至该材料在加工中实际消耗掉为止能识别为合格材料。

- a) 为保证只使用正确的和可接受的材料或原材料，应制定控制规则。在这些材料上或可追踪这些材料的文件上应保持其标识，或用一种方式来保证标识的确定和保持。
- b) 应制定在试验、检测、修复和处理及接收、贮存、装卸和运输期间控制和识别材料或原材料的措施，包括在整个制造过程中材料的局部加工。
- c) 在分割材料或原材料时，应将识别标记转印到各分块上。

### 5.6 焊接材料

#### 5.6.1 焊接材料的要求

除用于表面硬化的焊接材料外，所有用于部件或材料的建造和修补的焊接材料都应符合焊接材料技术规格书的要求，或符合第 IX 卷所允许的其他焊接材料的要求。另外，焊接材料应符合本节的要求。

##### 5.6.1.1 要求的试验

- a) 应进行要求的试验：
  - 1) 每批药皮焊条、管状焊丝的或机制焊条；
  - 2) 用于 FGW、GMAW、GTAM、PAW 和 EGM（电气焊）焊接工艺（第 IX 卷，QW-492）的每炉光焊条、焊芯或焊丝；
  - 3) 每炉熔化填充金属（熔化垫片）；
  - 4) 一炉光焊条和一批埋弧焊剂的每种组合；
  - 5) 一批机制焊条和一批埋弧焊剂的每种组合；
  - 6) 一炉光焊条和一批电渣焊剂的每种组合。
- b) 如果已进行 7.5.3.3 节和本节要求的试验，且结果符合本节的要求，则焊接工艺评定过程中，对焊接材料所进行的试验应满足所用焊接材料每批、每炉或炉与批的每一组合的试验要求。下面 7 项给出几个定义：
  - 1) 同一炉次药皮干混合料是指在一台搅拌器内一次混合的全部药皮干配料量；干混合料一次配制量可以一次使用，也可分成几份，再加入液体黏结剂后配制成若干份湿混合料 3）。
  - 2) 同一批次干混合料是指在同一炉次或几炉次干混合料按比例配制，在一台搅拌器内混合均匀的混合配料，其均匀程度等于在同一搅拌器内一次混合同样数量干料所得到的干混合料的均匀性。
  - 3) 湿混合料的定义为在同一炉次干混合料 1) 或同一批次干混合料 2) 中加入液体黏结剂，在一台搅拌器内一次混合配制成的混合料。

- 4) 同一批次药皮焊条、管状焊丝或机制焊条是指用同一炉号的金属和同一次干配制量或焊剂或药芯材料同一批次干混合量的相同组合而生产的全部焊条量。或者，则在连续生产的情况下，可把连续 24 小时生产的同一型号和规格的药皮焊条、管状焊丝或机制焊条作为同一批次，每批次重量不得超过 45000kg，且采用控制化学成分的管材、丝材或带材和控制化学成分的焊药混合料制成的焊条。每箱焊接材料必须编有识别标记，可查出焊接材料的生产时期、生产班次、生产线以及制造焊条所用的混合料和棒材、管材或带材的化学成分范围。
  - (1) 控制化学成分的管材、丝材或带材是指成卷供应用作熔化极的管材、丝材或带材。每卷中最多只有一个接头，必须进行化学分析，保证材料的化学成分符合焊条生产商所规定型号的焊条控制范围。必须对每卷材料的两端进行化学分析，但对没有接头的卷材只要求在每卷的一端进行化学分析。
  - (2) 控制化学成分的焊剂混合料指是已进行化学分析的焊剂混合料，保证它的每个化学元素都符合焊条生产标准所规定型号的焊条允许偏差的百分数。对每个搅拌器内混合后的每一批次混合料必须进行一次化学分析。
- 5) 同一炉次的光焊条、焊芯、焊丝或熔化垫片的定义为同一炉次熔炼出的金属制成的材料。
- 6) 或者，SAW、FGW、GMAW、GTAW、PAW 和 EGW 等焊接工艺所使用的碳钢和低合金钢的光焊条、焊芯、焊丝或熔化垫片，一炉次是指用同一种熔化金属生产出来的材料，也可以是在连续生产的情况下（不超过 24 小时，不超过 45000kg），同一型号和规格并控制化学成分的焊丝制成的材料，但要遵守下列 3 项的要求：
  - (1) 对于轧制焊芯的产品，化学成分控制是在焊丝处理以前，每卷材料的接头最多一个。化学分析试样必须从轧制时绕成的每卷焊芯材料的两端切取，这样每卷交接的接头最多一个。必须禁止化学分析从绕成的每卷焊芯的一端取样。
  - (2) 对于碳、锰，硅和其他有意添加的各种元素应加以鉴定，以保证材料符合 SFA 或用户的技术规格书。
  - (3) 每一箱焊丝必须编有识别标记，可查出焊丝的批次、生产时期、生产班次、生产线以及制造焊丝所用的焊芯化学成分范围。
- 7) 同一批次埋弧焊或电渣焊焊剂是指由相同的原材料按同一种生产工艺流程生产的全部焊药。

#### 5.6.1.2 焊缝金属试验

##### 5.6.1.2.1 机械性能试验

除下列情况外，用于连接 P-1 母材的焊接材料应进行拉伸和冲击试验：

- a) 用于连接 P-1 母材的奥氏体不锈钢焊接材料；
- b) 熔化垫片（背垫填充材料）；
- c) 用于母材焊接的焊接材料，如果母材可免做 5.5.2.1.1 节 a 至 g 款提出的冲击试验，焊接材料同样亦可免做本节要求的冲击试验。

##### 5.6.1.2.1.1 试验通用要求

对于将用于产品焊接的焊缝材料的每种工艺，应按 5.6.1.2.1.1 节 a 至 f 款的要求制造焊接试件：

- a) 试件应有足够的尺寸和厚度，以便切取要求的试样。



- b) 除了电渣焊外,对所有焊接工艺要试验的焊缝金属,其熔敷方式应能基本上消除母材对试验结果的影响。用于电渣焊工艺的焊缝金属,熔敷方式应符合第 IX 卷 QW-201.1 任一种适用于生产焊接的焊接工艺规程。母材应符合第 IX 卷 QW-403.1 或 QW-403.4 相应的要求。
- c) 试件焊接的预热和退火温度范围应与用于生产焊接的相一致。试件应在焊后状态下,或按焊接工艺规程(WPS)的规定温度进行焊后热处理以后进行试验。焊后热处理的保温时间至少应为生产条件下焊缝最长保温时间的 80%。试件焊后热处理的总时间可以在一次加热循环中完成。焊后热处理温度冷却的速率应与用于零件焊缝金属的冷却速率同一量级。此外,用于电渣焊工艺的焊缝金属试件,该试件要保持焊后状态下或在表 28 或表 30 的保温范围内在焊后热处理以后进行试验,其厚度应在产品焊缝厚度的 0.5 至 1.1 倍范围内。电渣焊试件实验前,焊后热处理温度大于表 28 保温范围以上,材料试件的厚度应在产品焊缝厚度的 0.9 至 1.1 倍范围内。
- d) 不管焊接工艺或受试的焊接材料如何,拉伸试样和夏比 V 型缺口冲击试样的部位和制备均应按照 SFA-5.1《涂焊药的软钢焊条技术规格书》的规定。如果要求做落锤冲击试验,则试样的取向应使其纵轴垂直于焊缝,缺口在焊缝表面或在平行于焊缝表面的平面上。对冲击试样的制备和试验应采用 5.5.2.2.1.1 节和 5.5.2.2.1.2 节中适用的部分。试样纵轴的深度应离表面至少  $1/4t$  的位置上, $t$  为试验焊缝的公称厚度。
- e) 应试验一个全焊缝金属的拉伸试样,并应满足母材材料技术规格书的最小规定抗拉强度要求。当不同规格的母材焊接时,抗拉强度的要求应符合任一母材材料技术规格书的最小规定抗拉强度要求。
- f) 当产品焊缝的两种母材中任一种要求冲击试验时,则应进行焊缝金属的冲击试验。焊缝金属按适用情况应符合 5.5.2.4.2.1、5.5.2.4.2.2 或 5.5.2.4.4.1 节中相应的要求。

#### 5.6.1.2.1.2 标准试验要求

拉伸和冲击试验可以按照本款的要求进行,以代替 5.6.1.2.1.1 节的通用试验要求。本款的要求适用于低碳钢和低合金钢药皮焊条。5.6.1.2.1 节所列要求做焊缝材料试验的材料组合,应将其用于任选的标准试验要求。任选的标准试验的范围和试验应符合以下 7 项:

- a) 本节要求的试验应限于 SFA-5.1 或 SFA-5.5 所包括的焊条分级。
- b) 除非应增大试件的尺寸以获得按 5.5.2.4 节或 5.5.2.5 节所要求的夏比 V 型缺口试样和落锤试验试样数目,应该采用 SFA-5.1 或 SFA-5.5 所要求的试验组件来制备试件。
- c) 试件的焊接应按照 SFA 技术规格书对于该受试焊条分级的要求。试件应在焊后状态下以及在焊后热处理状态下进行试验。焊后热处理温度应按照表 28 适用的 P 值当量。焊后热处理保温时间应为 8 小时,则评定焊后热处理时间就限制在 10 小时以内。当产品焊缝的焊后热处理时间超过 10 小时或焊后热处理温度与上述所要求的值不同时,应采用 5.6.1.2.1.1 节通用试验。
- d) 拉伸和夏比 V 型缺口试样的部位和制备应根据适用情况按照 SFA-5.1 或 SFA-5.5 的要求进行。当需要时,落锤冲击试验试样的位置和方向,应按 5.6.1.2.1.1 节 d 款的规定。
- e) 全焊缝金属的拉伸试样应满足 SFA 技术规格书对适用的焊条分级的最小规定抗拉强度要求。
- f) 5.6.1.2.1.1 节 f 款的要求应适用于标准试验的冲击试验。

#### 5.6.1.3 化学分析试验

填充金属或焊缝金属的化学分析试验应按 5.6.1.1 节和下列各项的要求进行。

##### 5.6.1.3.1 试验方法

化学分析试验应按本项和表 13 所述进行,其结果应符合 5.6.1.3.2 节的要求。

- a) 用于钨极气体保护电弧焊（GTAM）和等离子电弧焊（PAW）的 A-8 焊接材料及用于任何气体保护电弧焊工艺（GTAW、PAW 或 GMAW）的其他焊接材料，应对填充金属或由填充金属制成的焊缝金属按下述 c)或 d)款进行化学分析试验。
- b)
  - 1) 用于钨极气体保护电弧焊和等离子电弧焊以外焊接工艺的 A-8 焊接材料以及用于气体保护电弧焊工艺（GTAW、PAW 或 GMAW）以外的其他焊接材料，应对材料的焊缝金属或按下面 c)或 d)款鉴定的材料组合进行化学分析。化学分析样品的取样应从按下述 c)款制备的未稀释焊缝金属中切取。
  - 2) 对于用于抗腐蚀堆焊层材料的堆焊金属应按下面 d)款项制成。当焊接工艺规程或焊接材料技术规格书规定化学分析成分的百分比范围时，应按上述要求的鉴定试验指明适用于填充金属分析、未稀释堆焊金属分析或现场堆焊金属分析的规定范围。
- c) 未稀释焊缝金属化学分析试样的制备应按照适用的 SFA 技术规格书所给出的方法进行。SFA 技术规格书未提供该焊缝金属的取样方法时，试样可以从焊缝垫、焊缝坡口或其他试验焊缝<sup>9)</sup>切取，制造试验焊缝所用的焊接工艺是按照待鉴定的焊接材料或焊接材料组合熔化时所遵循的工艺。用于气体保护金属电弧焊（GMAW）工艺或气电焊（EGW）工艺的 A-8 材料焊缝制造时所用的保护气体成分，应按焊接工艺规程规定的该材料熔化时的气体成分。  
电气焊（ESW）的试验样品应从机械性能试验件的焊缝金属中切取。当对于没有机械性能试验要求的焊接材料要求化学分析时，化学分析试验件要符合 5.6.1.2.1.1 节 c 款的要求，但不要要求试件的热处理和不采用 5.6.1.2.1.1 节 c 款对焊缝试验的厚度要求。
- d) 上述 b)款 2) 条中提出的用于抗腐蚀堆焊层焊接材料化学分析试样制备的另一种方法，要求按照焊接工艺规程规定的当焊接材料被熔化时的重要变数制造试验焊缝。试验焊缝的制造应符合第 IX 卷 QW-214.1 的要求。化学分析试样的切取应符合 QW-214.3 评定焊接工艺规程的最小厚度要求。

表13 焊接材料化学分析的取样

	GTAM/PAW	GMAW	所有其他工艺
A-8 填充金属	填充金属或焊缝金属	焊缝金属	焊缝金属
所有其他填充金属	填充金属或焊缝金属	填充金属或焊缝金属	焊缝金属

5.6.1.3.2 化学分析的要求

待测定的化学元素、焊缝金属的成分要求和化学分析结果的记录，应按下述规定进行：

- a) 所有用于焊接材料以及用于其他零件的 A-8（第 IX 卷，QW-442）黑色金属焊接材料应对表 14 中所列的元素进行分析。所有其他焊接材料应参照焊接工艺规程所提供的焊接材料技术规格书或焊接工艺规程所规定的元素进行分析。
- b) 焊缝金属或填充金属的化学成分应与焊接材料技术规格书规定成分范围一致。当焊接规程说明书中包含有对 SFA 或其他参考的焊接材料技术规格书的成分范围的修改或提供附加元素的范围时，这些焊接工艺规程的成分范围应申请批准。
- c) 化学分析的结果应列入材料试验合格报告中。表 14 所列的元素，如在焊接材料技术规格书或焊接工艺规程中没有规定的，应在报告中列出仅供参考。

表14 焊接材料的化学分析

9) SFA-5.9《抗腐蚀铬钢和铬-镍钢焊条和光焊条技术条件》附录所给出的方法应该用于确定背垫焊缝、坡口焊缝或其他试验焊缝的焊接方法和取样方法，以保证所取样品中的焊缝金属基本上没有基底金属稀释。

铬镍不锈钢材料	C, Cr, Mo, Ni, Mn, Si, Cb
---------	---------------------------

5.6.1.3.3 δ 铁素体的测定

除 SFA-5.4, 16-8-2 型或 A-8 用于堆焊层的焊缝填充金属要求测定 δ 铁素体外, A-8 焊缝材料 (第 IX 卷, QW-422)、背垫材料 (熔化垫片)、光焊条、焊条芯棒、焊丝填充金属或焊缝金属都应测定 δ 铁素体。

5.6.1.3.3.1 方法

包括熔化垫片材料在内的焊接材料, 应该用磁力测定仪和按下列 b) 所做的焊缝金属, 测定 δ 铁素体。焊接材料的 δ 铁素体的确定亦可按 5.6.1.3 节的化学分析结合图 4 进行。

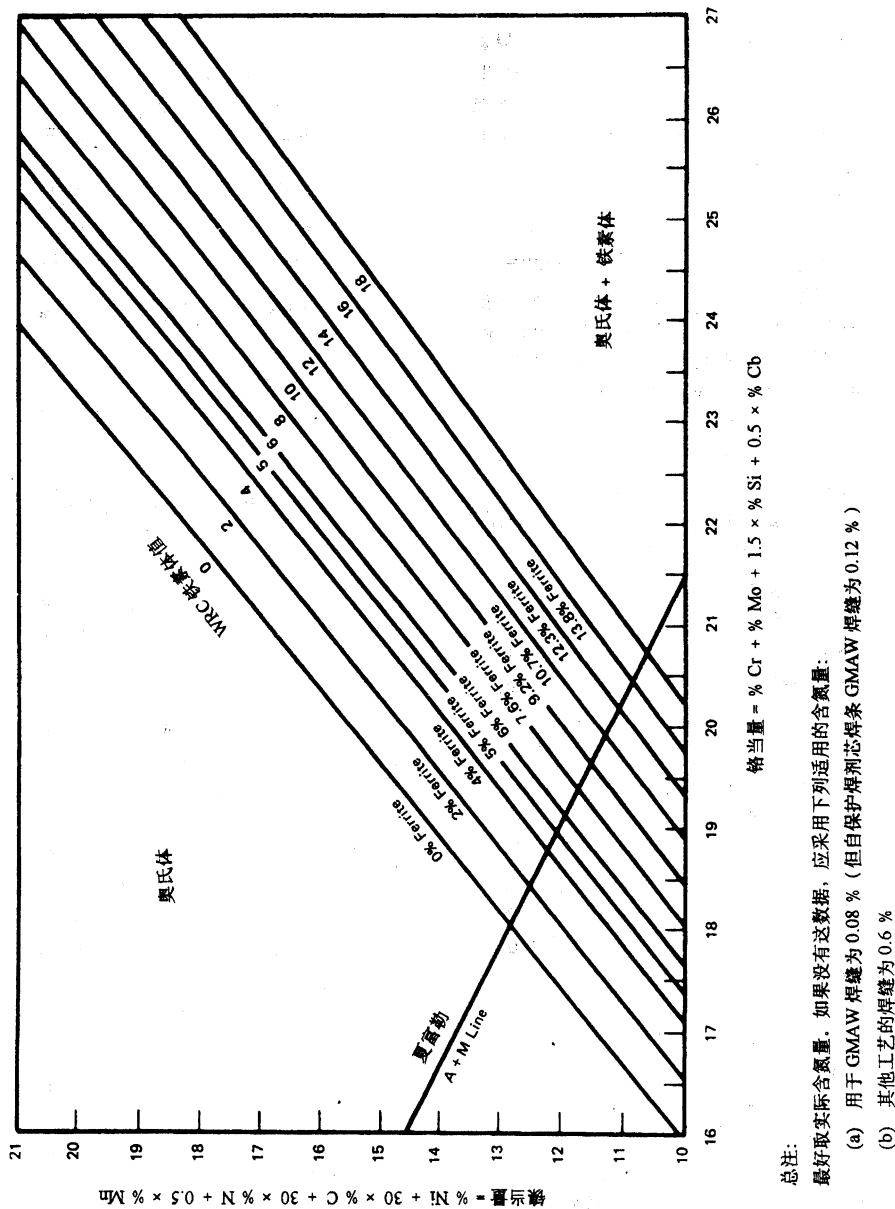


图4 δ 铁素体含量

- a) 磁力测定仪的校准应按 AWS-A4. 2-74;
- b) 测定磁性 δ 铁素体的焊缝金属应按 5.6.1.3 节 c) 款制造;
- c) 应从堆焊层表面至少取六个 δ 铁素体读数, 读数应平均得出一个铁素体值;

5.6.1.3.3.2 验收标准

$\delta$  铁素体的最小合格值应为 5FN（铁素体值）。 $\delta$  铁素体的测定结果应记入 5.1.3 节或 7.1.2 节的材料试验报告。

#### 5.6.1.4 焊接材料的储存和管理

焊条、焊药和其他焊接材料应适当储存和管理，应采取预防措施尽量减少焊药以及管状焊丝、机制焊条和药皮焊条吸收潮气。

#### 5.6.2 栓钉焊接材料

##### 5.6.2.1 通用要求

###### 5.6.2.1.1 材料技术规格书

栓钉的材料应符合 GB/T 4226 的 1010、1015、1016、1018 或 1020 级以及本节中所述的附加要求。

###### 5.6.2.1.2 定义

- a) 栓钉底部是指栓钉焊接端部的末端，包括焊剂、罩壳以及靠近栓钉末端长度为 3mm 的栓钉本体。
- b) 试验栓钉的弯曲角为母材的原轴线和通过弯曲栓钉两端中心的一条线之间的夹角。

###### 5.6.2.1.3 栓钉的设计

栓钉的设计应使其适合用自动定时焊接设备进行与钢构件的电弧焊。栓钉的类型、尺寸或直径以及长度应符合建造技术规格书的规定。标准型栓钉的尺寸和公差在图 5 中给出。

###### 5.6.2.1.4 表面状态

加工的栓钉应具有均匀的质量和状态，不存在有害的折叠、毛刺、折皱、裂纹、扭曲、弯曲或其他有害的缺陷。如果栓钉的裂纹深度大于其头部周边到圆杆距离的一半，该栓钉报废<sup>10)</sup>。

##### 5.6.2.2 栓钉底部的要求

###### 5.6.2.2.1 电弧屏蔽

每个栓钉应备有一个由抗热陶瓷或其他适宜材料制成的电弧屏蔽（套圈）。

###### 5.6.2.2.2 焊剂

直径不小于 8mm 的栓钉焊接应备有合适的脱氧剂和电弧稳定剂。直径小于 8mm 的栓钉则可以备有或不备有焊剂。

###### 5.6.2.2.3 底部

栓钉底部不应涂漆、电镀或金属抛光。

###### 5.6.2.2.4 鉴定要求

###### 5.6.2.2.4.1 引言

本项中所述的栓钉底部的鉴定试验应作为相同几何形状、材料、焊剂和电弧焊且相同直径（公称直径大于 3mm 的栓钉底部）的鉴定。

---

10) 栓钉头可能发生开裂或破裂，开裂或破裂是指栓钉头周围由于金属径向分开而突然断开。这种断开不影响栓钉的结构强度、抗腐蚀性能或其它功能要求。

#### 5.6.2.2.4.2 鉴定的有效期限

当一种尺寸带电弧屏蔽的栓钉底部鉴定合格后，除制造商对栓钉底部的几何形状、材料、焊剂或电弧屏蔽有更改外，该鉴定一直有效。

#### 5.6.2.2.4.3 试样的制备

- a) 试样的制备将具有代表性的栓钉焊在合适的 P-No. 1 材料的板上。对带螺纹的栓钉应在没有螺纹的毛坯上进行试验。
- b) 栓钉应该用电源、焊枪和自动控制设备进行焊接。每个试样的焊接电压、电流和时间应进行测量和记录。

#### 5.6.2.2.4.4 试样的数目

- a) 应以恒定的最佳时间相继焊接三十个试样，但其电流应比最佳电流大 10%。最佳电流和最佳时间应为产品焊接正常推荐的电流和时间范围的中间值。
- b) 应以恒定的最佳时间相继焊接三十个试样，但其电流应比最佳电流低 10%。

#### 5.6.2.2.4.5 拉伸试验

- a) 试验次数 按照 5.6.2.2.4.4 节 a 款焊接的十个试样和按 5.6.2.2.4.4 节 b 款焊接的十个试样应在类似图 6 所示的夹具中进行拉伸试验，但无墩头的栓钉可在非焊接端头夹在拉伸试验的夹钳上。
- b) 验收标准 如果全部试样的抗拉强度等于或大于 410MPa 时，则应认为合格。

#### 5.6.2.2.4.6 弯曲试验

- a) 试验次数 按照 5.6.2.2.4.4 节 a 款焊接的二十个试样和按照 5.6.2.2.4.4 节 b 款焊接的二十个试样应以反方向交替弯曲 30 度，直至破坏。栓钉应在图 7 所示的弯曲试验装置上进行弯曲，但直径小于 13mm 的栓钉可用图 8 所示的装置上进行弯曲。
- b) 验收标准 如果全部试样的破坏发生在栓钉本体或垫板材料中，而不是发生在焊缝或热影响区，应认为合格。

#### 5.6.2.2.4.7 复试

如果在拉伸试验时，在低于栓钉的最小规定抗拉强度出现破坏，或在弯曲试验时破坏发生在焊缝或热影响区，则应按照 5.6.2.2.4.4 节 a 或 b 款的规定再制备一组新试样进行试验。如果重复出现这样的破坏则所代表的这批栓钉验收应为不合格。

#### 5.6.2.2.4.8 验收标准

对于制造商的栓钉和电弧屏蔽的组合进行鉴定，应在每 30 个为一组的栓钉中抽出一个，通过试验或复试以满足 5.6.2.2.4.5 节和 5.6.2.2.4.6 节的要求。鉴定一种直径的栓钉底部后，可以认为相同的公称直径、栓钉底部几何形状、焊剂材料和电弧屏蔽的栓钉底部亦为鉴定合格。

### 5.6.2.3 栓钉的要求

#### 5.6.2.3.1 化学分析

每炉栓钉材料应进行化学分析。分析应符合材料技术规格书的要求。

#### 5.6.2.3.2 拉伸要求

5.6.2.3.2.1 拉伸试验

每炉棒材毛坯在拉延或成型后或以全直径加工后的栓钉应进行拉伸试验。拉伸试验应按照 NB/T 20004-20XX 的适用条款进行。当要用加工的栓钉测定剪力连接器栓钉的拉伸要求时，可用类似图 6 所示的试验夹具，在与 P-No. 1 材料试板焊接的栓钉上进行。当要用加工的栓钉测定非剪力连接器栓钉的拉伸要求时，端部可夹在材料试验机的夹钳上。对于无头的栓钉，可在非焊接端上用贴角焊焊接一块适当尺寸的板。如果断裂发生在标距长度的中间一半以外时，则试验应重新进行。

5.6.2.3.2.2 验收标准

栓钉按其强度等级分为四类。拉伸试样应符合表 15 所示的每种类型的要求。

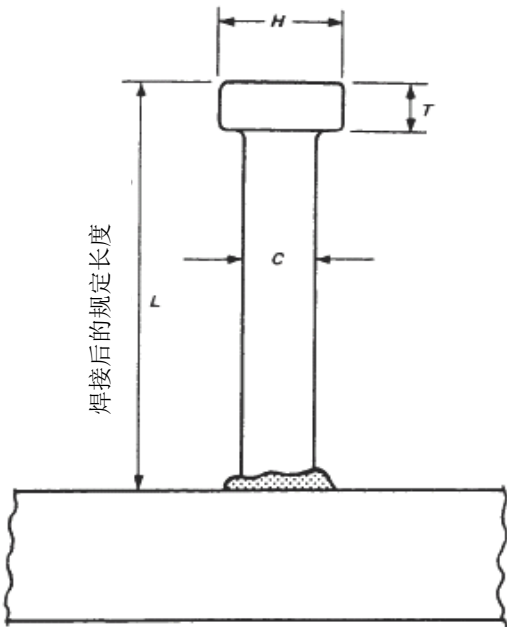
5.6.2.4 文件编制要求

下列资料应按照5.1.3节列入材料试验报告：

- a) 表示栓钉的形状和尺寸以及公差的图，当采用焊剂和电弧屏蔽时亦应表示；
- b) 栓钉底部鉴定要求的结果，包括焊剂数量和类型的说明以及电弧屏蔽的说明；
- c) 棒材毛坯的化学分析；
- d) 栓钉拉伸试验的结果。
- e) 表示所采用的栓钉的形状和公差尺寸、电弧屏蔽及焊剂的图纸。

5.6.3 焊接材料的识别

- a) 焊接材料的识别（包括栓钉焊接材料）应符合本文件 5.5.4 的要求。
- b) 在材料的修补以及设备的制造和安装过程中，要对焊接材料加以管理，使材料直到在生产过程中用完为止为可识别的合格材料。



标准尺寸，mm

C		长度，L 公差	H	T
12.7	+0.00 -0.25	+1.6 -3.2	25±0.4	≥7

15.9	+0.00 -6.25	+1.6 -3.2	32±0.4	≥7
19.0	+0.00 -0.38	+1.6 -3.2	32±0.4	≥10
22.2	+0.00 -0.38	+1.6 -3.2	35±0.4	≥10

图5 标准栓钉的尺寸和公差

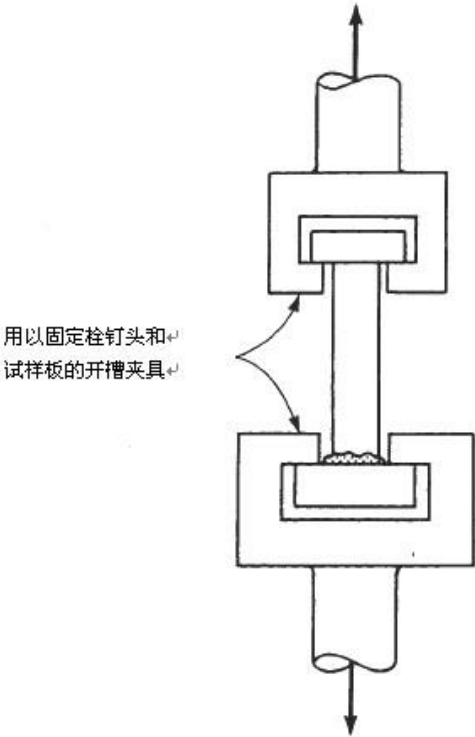
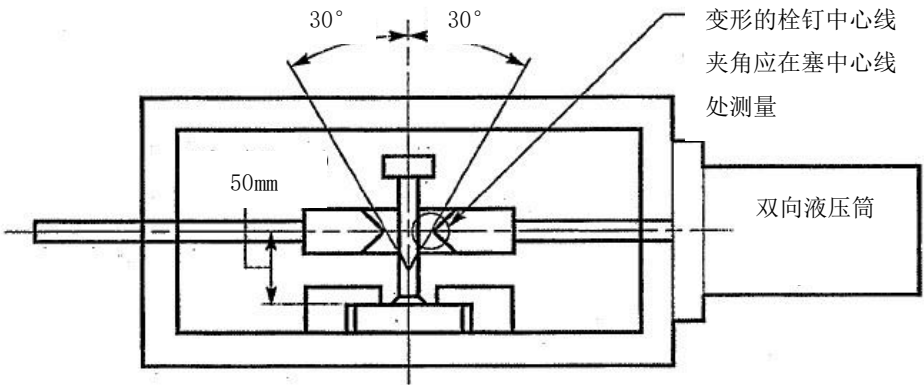


图6 典型的拉伸试验夹具



总注：  
夹具固定试样，栓钉以相反方向交替弯曲 30 度，可以用液压筒（图示）加载或用与拉伸试验机配合的夹具。

图7 弯曲试验装置

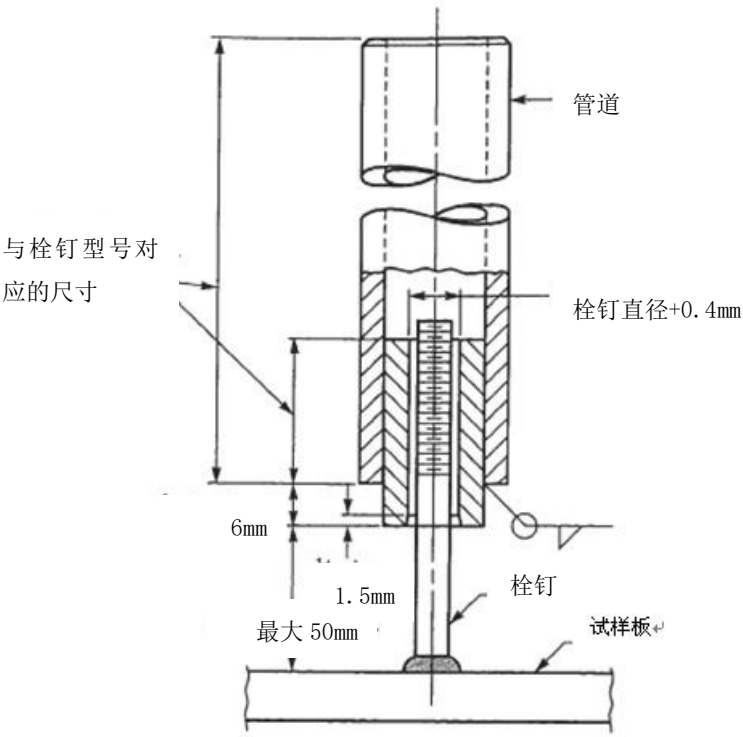


图8 小栓钉弯曲试验的典型装置

表15 栓钉的强度要求

	A 型 <sup>(1)</sup>	B 型	C 型 <sup>(1)</sup>	D 型 <sup>(1)</sup>
屈服强度 (最小), MPa	...	...	345	380
抗拉强度 (最小), MPa	380	410	450	520
延伸率 (最小) (标距 50mm), %	20	20	20	20
断面收缩率 (最小), %	...	50	...	...
注: (1) 不能用作剪切连接器栓钉。				

5.7 预埋锚固材料

5.7.1 引言

本节确立了预埋在混凝土安全壳内执行安全壳功能的承载钢材的要求。这些要求不适用于衬里、衬里附件或预应力系统的锚固元件。

5.7.1.1 许用的材料技术规格书

用于建筑预埋锚固件的材料列于附录表A.3。列于附录表A.2的材料也可采用。

5.7.1.2 螺母和垫片要求

- a) 螺母材料应符合 GB/T 700 或拟采用的螺栓材料技术规格书中螺母的要求。
- b) 螺母应根据 ANSI B1.1 攻丝到 2B 级或更精细的公差。用作螺母和垫片的材料应按如下选择。
  - 1) 对碳钢螺母或垫片，可以与碳钢螺栓或栓钉一起使用。
  - 2) 碳钢或合金钢螺母和与该螺母硬度近似的碳钢或合金钢垫片可与合金钢螺栓或栓钉一起使用。



- c) 螺母应为半成品，超重型，倒角的和修整的。

### 5.7.2 预埋锚固材料的断裂韧性要求

预埋锚固材料的断裂韧性要求应按照5.5.2节。

### 5.7.3 预埋锚固件材料的检测和修补

#### 5.7.3.1 预埋锚固件材料（螺栓连接件除外）的检测和修补

- a) 预埋锚固件材料应根据材料技术规格书进行检测。不合格缺陷可以按材料技术规格书许可进行修补。
- b) 结构钢轧制型材被许可使用的截面，供货时需提供的合格证书，可以进行焊接修补，焊工，焊接文件和检测要求按 NB/T 501-2015 中规定。

#### 5.7.3.2 螺栓材料和杆件<sup>11)</sup>的检验

螺栓、螺柱和螺母应根据材料技术规格书和5.7.3.3节的要求进行检测。

#### 5.7.3.3 目视检测

精加工零件的螺纹、光杆和端头区域应目视检测。缺陷如按ASTM F788定义的折叠、折皱和裂纹，判为是不合格。

#### 5.7.3.4 焊接修补

不允许对螺栓连接件和杆件作焊接修补。

### 5.7.4 预埋锚固材料的标记

#### 5.7.4.1 识别

需要材料试验合格报告的材料识别应满足本文件5.5.4的要求。有合格证书提供的材料应由一个管理体系来识别，满足相应的材料技术规格书，等级和分类要求。预埋锚固件制造商或预埋锚固件供货的材料供应商已证实材料满足本章要求之后，不要求材料制造商对合格证书中材料的识别。

在预埋锚固件的制造期间应对小件产品加以管理，使得合格材料始终可识别。在材料修补和预埋锚固件的制造和安装期间应对焊接材料加以管理，以保证在生产过程中到全部用完为止合格的材料是可识别的。

## 5.8 材料生产商的质保体系大纲

### 5.8.1 质保体系大纲的文件编制和保存

#### 5.8.1.1 概述

材料制造商、材料供应商和原料供应商应编制和保存质保体系大纲。

#### 5.8.1.2 非金属材料制造商和原料供应商

非金属材料制造商和原料供应商应有符合下列要求。

##### 5.8.1.2.1 非金属材料制造单位资格的认可

---

11) 本节使用的名词杆件是指攻丝过的杆件。也包括长度的一部分被攻丝过的锻造活塞杆。它不适用于未攻丝的毛坯棒。

- a) 非金属材料制造商应有由混凝土部件建造商或制造商调查和评定过的质量保证大纲。
- b) 非金属材料制造商应负责保证供应的制成品满足本文件的各项要求。

#### 5.8.1.2.2 质量保证大纲的要求

##### 5.8.1.2.2.1 建造商或制作商

- a) 选定民用核设施营运单位或其委托单位，实施关键工序控制，并对制造过程（包括分包）进行调查、检查或监查；
- b) 负责填筑非金属材料（可塑混凝土）的建造商或制作商应保证该可塑混凝土满足建造技术规格书的各项要求，并保证由非金属材料制成品的制造商和供应商所进行的各项试验满足混凝土安全壳的各项要求。
- c) 建造商或制作商应调查和考核非金属材料制造商质量保证大纲。
- d) 建造商或制作商应履行在本文件中要求而可塑混凝土的制造商不履行的任何职责。建造商或制作商可以决定由其来履行任何其他质量大纲的职责，而这些职责按常规应是可塑混凝土的制造商的责任。
- e) 由建造商或制作商履行的职责应明确规定，并应包含在其质量保证大纲中。

##### 5.8.1.2.3 非金属材料制造商

- a) 选定民用核设施营运单位或其委托单位，实施关键工序控制，并对制造过程（包括分包）进行调查、检查或监查；
- b) 非金属材料制造商应有经建造商或制作商调查和考核的质量保证大纲。
- c) 使用制成品的非金属材料制造商应保证非金属制成品供应商已经满足本文件的要求。
- d) 非金属材料制造商履行的职责应明确规定并包括在其质量保证大纲中。

##### 5.8.1.2.4 非金属材料制成品供应商

#### 5.8.1.3 非金属材料制成品供应商有责任履行其质量保证大纲，并满足本规则 6.1.3.2 b) 和 6.1.3.2 c) 的各项要求。金属材料制造商和材料供应商

金属材料制造商和材料供应商应有符合下列要求。

##### 5.8.1.3.1 对金属材料制造单位的评定

对金属材料制造单位的资格评定应限于为民用核设施营运单位和建造单位供应原材料、材料或提供分包服务。评定可由民用核设施营运单位或建造单位进行。

##### 5.8.1.3.2 评定合格的金属材料制造大纲

应按以下a)～i)的各项要求评定金属材料制造单位的质量保证大纲。

- a) 质量保证大纲应由进行评定的单位按照本文件有关的要求作调查、确认和监查。
- b) 选定民用核设施营运单位或其委托单位，实施关键工序控制，并对制造过程（包括分包）进行调查、检查或监查。
- c) 质量保证大纲应是评定单位对材料制造单位进行调查和监查的导则，这种调查和监查确认该单位符合确认的质量保证大纲。
- d) 金属材料制造单位应使执行评定的单位现场审核时可以取用任何规程、工艺卡片或图纸，因为这对于了解大纲是必要的。金属材料制造单位应保存一份手册的受控复制件存档在某一地方，使执行监查的单位可以很方便地取用。

e) 金属材料制造单位应通知材料、原材料或分包服务的买方并确认其计划修订的质量保证大纲。确认大纲的单位应在执行变更采购的材料或服务以前评定和确认这种变更。

f) 当金属材料制造单位的工作范围包括未经评定的原材料的利用时, 这种工作应包括在质量保证大纲内, 并应由确认大纲的单位审核。

g) 当金属材料制造单位的工作范围包括批准和管理供应商时, 这种工作应包括在质量保证大纲内, 并应由确认大纲的单位来审核。在调查或监查金属材料制造单位期间, 执行评定的单位应审核其对供应商的管理, 足以保证符合本文件的有关材料要求的客观资料。

h) 当金属材料制造单位的工作范围包括将材料装运到不具有执行本工作资格的单位时, 这种工作的控制应包括在其质量保证大纲内, 并应由确认大纲的单位进行审核。在对金属材料制造单位进行调查或监查期间, 执行评定的单位应审核金属材料制造单位的装运管理的客观资料, 以充分保证符合本文件的有关材料的各项要求。

i) 对已评定合格的金属材料制造单位进行评定的单位, 其监查应满足以下各项要求:

- 1) 执行评定的单位应在其手册内规定监查的频度。
- 2) 监查频度应与生产或采购的日程相适应, 但在被评定的金属材料制造单位履行材料管理或服务期间, 应至少每 3 年实施一次监查。
- 3) 监查应满足本文件的各项相关要求。

j) 执行评定的单位应对包括前已批准的质量保证大纲中所有要素的每3年一次监查补充年度监查或对已评定合格的金属材料单位的质量保证大纲的有效性进行文件评定。进行评定应满足以下各项要求:

1) 评定频度应与生产或采购的日程相适应, 但在被评定的金属材料制造单位对材料或原材料进行控制或提供服务期间, 应至少每年实施一次评定。

2) 评定应包括对已评定合格的金属材料单位的不利于质量的条件、不符合项和纠正措施的历史进行文件审查。

3) 评定应包括自最近一次评定以来进行定期试验的文件审查, 以验证样品材料与所选择的材料技术规格书的各项要求的一致性。这种试验应由执行评定的单位从上次评定后的时间内实施。

### 5.8.1.3.3 质量保证大纲的要求

- a) 对于持有国家核安全监管部门颁发的许可证的金属材料制造单位, 核安全法规HAF003的规定;
- b) 应是证明符合本文件规则的主要依据。
- c) 应按书面规程来实施, 该规程或单独保存或保存在质量保证大纲中。
- d) 详细的技术规程和工艺过程, 例如无损检验是不作为大纲的一部分, 但该规程和工艺过程的控制应包括在大纲中。

## 6 设计

### 6.1 通用设计要求

#### 6.1.1 混凝土安全壳

- a) 本设计准则适用于配有钢筋和(或)预应力钢束及金属衬里的混凝土安全壳。
- b) 设计技术规格书应对放射性屏蔽、允许泄漏率、结构的设计使用年限及设计荷载的定值提出要求。
- c) 金属衬里应按本章规定的对应力、应变和变形的限值进行设计。
- d) 由设计计算所验证的安全壳设计准则, 应考虑极限设计荷载工况及使用荷载工况。对于极限设计荷载工况, 应满足下列要求:

- 1) 一次力不应使局部截面出现截面薄膜应变或截面弯曲应变的全屈服状态。全屈服状态是指不增加截面内力而发生附加截面变形。
  - 2) 截面在一次力和二次力组合作用下,若符合 6.4.2 节中钢筋和混凝土的应变限值,则允许出现相应于二次应力分量的薄膜应变和(或)弯曲应变的全屈服状态。全屈服状态的概念不适用于与径向剪应力有关的应变。
- e) 对于必须满足《压水堆核电厂 MC 级设备建造规则》要求的部件,当不以混凝土支撑来达到承载目的时,其设计应符合《压水堆核电厂 MC 级设备建造规则》第 6 章及本文件相关要求。

## 6.1.2 金属衬里

### 6.1.2.1 概述

衬里不得作为受力构件,但在确定衬里最大应变时,应考虑衬里与安全壳的相互作用。

### 6.1.2.2 衬里

金属衬里的设计总要求如下:

- a) 衬里的设计应能承受施加荷载的各种效应,并能适应混凝土安全壳的变形,而不危及其密封完整性。
- b) 衬里采用的各种焊接细节应不危及安全壳的密封完整性。
- c) 衬里应与混凝土安全壳锚固在一起,允许锚固点之间的有局部弯曲变形。

### 6.1.2.3 衬里的锚固件

- a) 衬里锚固系统的设计应适应所有设计荷载和变形,而不丧失结构完整性和密封完整性。
- b) 锚固系统的设计,应满足即便某个锚固件发生缺陷或缺失,也不会使锚固系统发生逐渐破坏。

### 6.1.2.4 贯穿组件

贯穿组件(包括接管、加强板及贯穿锚固件)的设计应适应所有设计荷载和变形,而不丧失结构完整性和密封完整性,诸如温度、混凝土徐变和收缩等效应均应予以考虑。

### 6.1.2.5 托架和附件

临时性或永久性托架和附件的设计应能承受设计荷载,不会因托架和附件的过度变形或来自托架和附件的荷载使衬里丧失其完整性。

## 6.1.3 术语定义

### 6.1.3.1 使用荷载类别

使用荷载是核电厂建造期间和在正常运行时所遇到的各种荷载,包括核蒸汽供应系统、安全系统和辅助系统在正常启动、应急启动以及停堆期间的任何预期瞬态荷载或试验荷载,也包括在核电站工作寿命期内可能预期的严重环境荷载。

### 6.1.3.2 极限设计荷载类别

极限设计荷载包括各种不常遇到的荷载,诸如严重环境荷载,极端环境荷载和异常荷载。

### 6.1.3.3 正常使用状态

正常使用状态是指在使用荷载或极限设计荷载工况下的性能，不用强度或应力的定义来限制。它包括了对在变形、混凝土裂缝尺寸或应变的限制，例如混凝土的风化，闸门和贯穿件的机械变形、衬里的泄漏以及安全壳和相邻构筑物的相互作用。

#### 6.1.3.4 钢筋混凝土

钢筋混凝土是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。

#### 6.1.3.5 预应力混凝土

预应力混凝土是由配置预应力筋再通过张拉或其它方法建立预加应力的混凝土制成的结构。

#### 6.1.3.6 应力和内力

##### 6.1.3.6.1 薄膜应力<sup>12)</sup>

薄膜应力是正应力分量，它沿环向或径向均匀分布，等于沿所取截面厚度应力的平均值。

##### 6.1.3.6.2 弯曲应力

弯曲应力是正应力的可变量，其变化沿截面厚度可为线性的或非线性的。

##### 6.1.3.6.3 剪切应力

剪切应力可以是径向、切向、周向（冲切）或扭转的。

- a) 径向剪应力是一种弯曲剪应力，它垂直作用于壳壁平面或安全壳结构的其他元件上。
- b) 切向剪应力是一种薄膜剪应力，它作用于壳壁平面或安全壳结构的其他元件上。
- c) 周向剪应力是一种环绕冲切型剪切面的剪应力，由垂直作用于壳壁平面或其他元件的局部外力所产生。
- d) 扭转剪应力是壳壁平面内或安全壳结构其他元件内的一种应力，由轴向垂直于壳壁或其他元件的局部外力矩的分量所产生。

##### 6.1.3.6.4 一次力

一次力是一种局部的内力  $N/m$  或为了平衡荷载而产生的弯矩  $N\cdot m/m$ 。在壳体的某些区域，对于某些荷载，存在超静定的内力系统。在这种情况下，设计报告中应对一次的荷载平衡力系统予以论证。

##### 6.1.3.6.5 二次力

二次力是一种局部的内力  $N/m$  或不要求平衡荷载的弯矩  $N\cdot m/m$ 。二次力可为下列两者之一：

- a) 由施加的荷载产生的，但不需要与之平衡的局部的内力或弯矩；
- b) 由非荷载、体积变化效应（例如收缩应变和热应变）所产生的局部的内力或弯矩。

##### 6.1.3.6.6 力的分类

力应按表 16 的要求进行分类。

#### 6.1.4 公差

建造技术规格书应规定加工和建造的公差要求。设计方应保证建造技术规格书中规定的公差与设计相一致。

12) 在本文件中，该词不被主应力或应力强度取代。

表16 用于钢筋和混凝土许用应力的混凝土安全壳中力的分类

位置	荷载来源	力的类型	分类
远离不连续区	外荷载 <sup>(1)</sup>	薄膜	一次
		弯曲	一次
		剪切 <sup>(2)</sup>	一次
	诸如徐变收缩及温度应变等的体变效应	薄膜 弯曲 剪切	二次 二次 一次
壳体几何形状突变区及附近	外荷载 <sup>(1)</sup>	薄膜	一次
		弯曲	一次 <sup>(3)</sup>
		剪切	一次
	诸如徐变收缩及温度应变等的体变效应	薄膜 弯曲 剪切	二次 二次 一次
大开孔附近区域	外荷载 <sup>(1)</sup>	薄膜	一次
		弯曲	一次
		剪切	一次
	诸如徐变收缩及温度应变等的体变效应	薄膜 弯曲 剪切	二次 二次 一次
通注：在6.4.2.2.1节c款3条规定的区域内，可以认为混凝土的许用应力是二次应力。			
注：（1）包括预应力。 （2）包括径向和切向剪力。 （3）由于外载在不连续处弯曲所产生的许用应力认为是一次应力。			

6.2 荷载准则

6.2.1 概述

安全壳的设计应能承受本章规定的荷载和荷载组合。如果对特定的厂址条件要应用其他荷载，则设计时应不受本节荷载的限制。

6.2.2 荷载类别

6.2.2.1 使用荷载

6.2.2.1.1 正常荷载

正常荷载是在核电厂在建造期间、试验期间及正常运行和停堆期间所遇到的荷载和作用，包括：

- $D$  =静荷载，包括结构自重、液体静压力、固定设备荷载、土压力以及混凝土的收缩和徐变等；
- $L$  =活荷载，包括可移动的设备荷载、其它可变荷载（例如人员重量、建造荷载、吊车荷载等）；
- $F$  =由施加预应力产生的荷载；
- $G$  =由卸压阀或其他高能装置启动产生的荷载；
- $T_0$  =在正常运行或停堆期间极端的瞬态或稳态工况下的温度作用；
- $R_0$  =在正常运行或停堆期间极端的瞬态或稳态工况下的管道反力；
- $P_v$  =由安全壳内部或外部压力变化产生的压力荷载，包括环形空间的负压。

### 6.2.2.1.2 建造荷载

建造荷载是建造期间作用于安全壳上的荷载。6.2.2.1.1 节中所定义的  $D$ 、 $L$ 、 $F$  和  $T_0$  仍适用，但应以建造条件为依据。

### 6.2.2.1.3 试验荷载

试验荷载是在进行结构完整性试验或泄漏率试验时所施加的荷载。6.2.2.1.1 节中所定义的  $D$ 、 $L$  及  $F$  仍适用，但应以试验为依据。此外，还应考虑下列荷载：

$P_t$ —安全壳进行整体性试验期间的压力荷载，取为设计压力的1.15倍；

$T_t$ —安全壳进行整体性试验期间的温度作用，一般可按20℃考虑。

## 6.2.2.2 极限设计荷载

### 6.2.2.2.1 严重环境荷载

严重环境荷载指核电厂寿期内偶然遇到的环境荷载和作用，包括：

$W$  = 厂址的风荷载标准值，可按GB 50009—2012中8.1.1的规定计算。其中基本风压  $W_0$  应根据100a一遇的3s的平均最大风速  $V_0$  (m/s) 确定，在按该风速确定风压  $W_0$  (kN/m<sup>2</sup>) 时可按  $V_0/1600$  确定。

$E_0$  = 运行安全地震动产生的地震作用，包括由运行安全地震动引起的管道和设备的地震作用。地震作用时的重力荷载代表值仅考虑永久荷载和实有的活荷载。

### 6.2.2.2.2 极端环境荷载

极端环境荷载指可信但极少可能发生的环境荷载和作用，包括：

$E_{ss}$  = 极限安全地震动产生的地震作用，包括由极限安全地震动引起的管道和设备的地震作用。计算地震作用时所考虑的重力荷载同  $E_0$ 。

$W_t$  = 设计基准龙卷风荷载，包括：

$W_{tq}$  = 龙卷风风压荷载；

$W_{tp}$  = 大气压迅速变化引起的压差荷载；

$W_{tm}$  = 龙卷风引起的喷射物撞击效应。在确定结构抗撞击能力时，应同时考虑撞击类型是塑性的或弹性的，以及结构在超出屈服范围后的变形能力。

### 6.2.2.2.3 异常荷载

异常荷载指设计基准事故 (DBA) 引起的荷载和作用，包括：

$H_a$  = 由于内部水淹而作用于安全壳的荷载 (根据总体设计要求确定)。

$P_a$  = 由设计基准事故DBA在安全壳内部产生的设计压力荷载，根据压力峰值计算并适当考虑裕量。

$T_a$  = 由设计基准事故DBA产生的温度作用，包括  $T_0$ 。

$R_a$  = 由设计基准事故DBA产生的管道反力，包括  $R_0$ 。

$R_r$  = 由设计基准事故DBA产生的局部荷载。局部荷载由下列组成：

$R_{rr}$  = 在发生设计基准事故DBA时，由于高能管道破裂产生的反力作用在安全壳上的荷载。在确定结构抗  $R_{rr}$  效应的能力时，应考虑荷载随时间变化的性质和安全壳在超出屈服范围后的变形能力；

$R_{rj}$  = 在发生设计基准事故DBA时，由于高能管道破裂产生的射流冲击作用在安全壳上的荷载。在确定结构抗  $R_{rj}$  效应的能力时，应考虑荷载随时间变化的性质和安全壳在超过屈服范围后的变形能力；





正常 / 飞射物荷载	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0			1.0						1.0				1.0	
正常 / 外部人为荷载 <sup>(3)</sup>	1.0	1.0	1.0		1.0			1.0						1.0			1.0		1.0	
	1.0	1.0	1.0		1.0			1.0						1.0			1.0			1.0

注：（1）包括安全壳建造期间和建造以后所有临时建造荷载。

（2）该荷载组合下，混凝土可取强度标准值 $f_{ck}$ ，钢筋可取屈服强度标准值 $f_{yk}$ ，混凝土的极限压应变 $\epsilon_{cu}$ 按0.3%，钢筋拉应变 $\epsilon_s$ 按1%考虑。

（3）该荷载组合下，允许考虑钢衬里的结构强度，混凝土、钢筋以及钢衬里可以进入塑性状态，混凝土的极限压应变 $\epsilon_{cu}$ 按0.3%，钢筋拉应变 $\epsilon_s$ 按1%考虑。

通注：

（1）以上各荷载符号代表与之相对应荷载的荷载效应标准值。

（2）所列的各种荷载组合中任何一种荷载足以减小其它荷载的效应时，如该荷载系经常出现或与其它荷载肯定同时发生，则此项荷载效应的荷载分项系数应取为0.9；否则为零，即不参与组合。

（3）组合时 $P_a$ 、 $T_a$ 、 $R_a$ 、 $R_r$ 和 $G$ 应取最大效应值，除非经时程分析确认可取较低的值。

（4）当需要确定安全壳与其相邻或相接的管线和设备可能的相互影响时，应考虑安全壳的位移。在作安全壳壳体位移计算时，本表所示的荷载效应组合中的所有荷载分项系数均取为1.0。

安全壳设计中除了考虑设计基准事故荷载组合之外，还应考虑严重事故荷载的荷载组合。对于这些组合，应满足表17的“异常荷载”组合要求，但分项系数均为1，设计可按表17的注2和注3的要求进行。

6.2.4 荷载定义

6.2.4.1 静态荷载和地震荷载

静态荷载的定义是相对于时间认为是恒定的荷载，或相对于安全壳的响应期具有长期加载的或上升时间的荷载。在确定时已考虑了动态效应的地震荷载亦属此类荷载。此类荷载举例如下：

- a) 静载  $D$ 、活载  $L$  和预应力  $F$ ；
- b) 事故压力  $P_a$ ；
- c) 在正常工况及假想事故工况下的管道反作用力  $R_0$  和  $R_a$ ；
- d) 设计风荷载  $W$ ，龙卷风压  $W_{tq}$  和压差  $W_{tp}$ ；
- e) 运行基准地震荷载  $E_0$  和安全停堆地震荷载  $E_{ss}$ ，但与冲击荷载和撞击效应组合时除外。

6.2.4.2 冲击荷载

冲击荷载与时间有关，包括如下内容：

- a) 事故压力  $P_a$  的动态效应，该事故的加载速率对结构响应有影响；
- b) 管道破裂反作用力  $R_{rr}$  和射流冲击荷载  $R_{rj}$  产生的效应；
- c) 阀门动作的动态效应  $G$ 、例如蒸汽释放阀或其他高能装置动作的效应，此时加载速率对结构响应有影响。

6.2.4.3 撞击效应

撞击效应是那些可用撞击时的动能表示的效应。它包括龙卷风飞射物  $W_{tm}$ 、管道破裂产生的飞射物  $R_{rm}$  以及与厂址有关的其他飞射物引起的撞击能量，还包括管道与其结构阻尼器之间存在间隙的情况。

6.3 安全壳设计分析规程

6.3.1 概述

- a) 分析方法应以工程力学原理为依据，并与安全壳的几何形状相适应。在局部截面的设计中，应考虑由于混凝土开裂而在超静定结构内产生的弯矩和内力的重分布以及安全壳扶壁或其他组成部分的加劲效应。
- b) 应考虑地基的短期和长期特性。为了确保最不利条件能考虑在内，应考虑一定范围内的土体常数数值。
- c) 对于预应力安全壳，用于建造荷载和正常荷载组合所选择的分析方法应考虑徐变特征和环梁和扶壁处的厚截面几何形状。

6.3.2 壳体

- a) 安全壳通常是薄壳结构。在预计薄壳的内力、位移及稳定性时，应以弹性特征为依据。在预计安全壳最大应变与变形所采用的方法中应考虑由于混凝土产生裂纹引起的抗剪刚度和抗拉薄膜刚度下降的影响。为了保证分析结果的一致性，应校验内力与外荷载的平衡。
- b) 虽然对壳体的分析可以薄膜理论为依据，但对于贯穿处，与底板交接处、不连续处的弯矩和剪力，以及由温度变化引起的应力应变等需要作进一步考虑。
- c) 应验证安全壳的稳定性，应考虑由于大变形、徐变效应和规定的建造公差等可能引起安全壳抗屈曲能力的降低。
- d) 假如模型试验是偏于安全的，并代表了安全壳的原型，则可用其来代替设计分析。
- e) 模型试验可用来校核数学分析中所采用的假设的有效性。

6.3.3 底板、框架、箱型结构和板的组合件

应采用以弹性特征为依据或其他常规实践中所用的方法。应考虑不连续效应与地基反力。

6.3.4 贯穿件和开孔

- a) 对安全壳的分析应十分重视开孔附近区域。应考虑开孔对安全壳的整体影响。如果需要，开孔周围的安全壳应加厚，以满足许用应力值并便于混凝土浇筑。
- b) 应考虑穿墙工艺管道引起的热应力。

6.4 混凝土安全壳结构设计的许用值

6.4.1 概述

为了使安全壳在使用荷载工况下基本上保持弹性状态，而且在极限设计主要荷载情况下，不达到全屈服，应采用本节所规定的许用应力和许用应变值。当安全壳承受表17中规定的荷载时，许用应力不得超过6.4.2.1、6.4.2.2、6.4.2.3、6.4.3.1、6.4.3.2及6.4.3.3节的规定。

6.4.2 极限设计荷载下的许用应力

6.4.2.1 混凝土

6.4.2.1.1 受压

表 18 概述了极限设计压缩荷载的许用应力。必要时，这些许用值应予降低以保持结构稳定性。

表18 极限设计荷载下的许用压应力

一次应力		一次应力加二次应力 <sup>(1)</sup>	
薄膜应力	薄膜应力加弯曲应力 <sup>(2)</sup>	薄膜应力	薄膜应力加弯曲应力 <sup>(2)</sup>

<p>注：（1）当一次应力单独作用时，计算所得的一次应力部分不应超过许用应力。</p> <p>（2）当薄膜应力单独作用时，计算所得的薄膜应力部分不应超过许用应力。</p> <p>（3）一次加二次薄膜和弯曲压应力的最大许用值的0.85f<sub>c</sub>与极限应变0.051mm/mm对应。</p>

#### 6.4.2.1.2 受拉

混凝土的抗拉强度不得用来承受弯曲拉力和薄膜拉力。

#### 6.4.2.1.3 剪切

假如计算剪力大于下列各款中的许用值，则应按 6.5.2 节的要求配置钢筋或施加预应力。

#### 6.4.2.1.4 径向剪力

径向剪力是一种横向剪力，类似于梁分析中的剪力。它产生在壳体弯曲或薄膜特征不连续处附近。径向剪力的一个例子是当安全壳受压时，基础底板与筒壳自身约束引起的剪力。另一个例子是在底板支承的结构内，由主要竖向力在基础底板内产生的剪力。第三个例子是在贯穿件周围或者其他集中荷载附近由于不连续而产生的剪力。在该例子中，还必须考虑周向剪力。

##### 6.4.2.1.4.1 钢筋混凝土

a) 名义剪应力  $V_c$  不应大于下列计算中的较小值：

$$v_c = 0.3\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (1)$$

如  $\rho < 0.015$

$$v_c = 0.16\sqrt{f'_c} \left( \frac{\rho}{0.015} \right) + 17\rho \left( \frac{V_u d}{M_u} \right) \dots\dots\dots (2)$$

如  $\rho \geq 0.015$

$$v_c = 0.16\sqrt{f'_c} + 17\rho \left( \frac{V_u d}{M_u} \right) \dots\dots\dots (3)$$

式中：( $V_u d / M_u$ ) 不得超过1.0。

b) 对于承受薄膜压力的截面可采用公式（4）或者（5），但  $v_c$  不得大于公式（6）的计算值：

$$v_c = 0.16\sqrt{f'_c} + 17\rho \left( \frac{V_u d}{M'} \right) \dots\dots\dots (4)$$

式中： $M' = M_u - N_u[(4t - d)/8]$ ，则  $M'$  可能小于  $V_u D$ 。若  $M'$  为负值，采用公式（6）。

$$v_c = 0.17 \left[ 1 + 0.07 \left( \frac{N_u}{A_g} \right) \right] \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (5)$$

$$\nu_c = 0.29\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + 0.29\left(\frac{N_u}{A_g}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

式中： $N_u/A_g$ 的单位是MPa，且 $N_u$ 在受压时取正值。

c) 对于承受薄膜拉力的截面，应采用公式（7），式中 $N_u$ 在受拉时取负值。

$$\nu_c = 0.17\sqrt{f'_c} \left[ 1 + 0.3\left(\frac{N_u}{A_g}\right) \right] \dots\dots\dots (7)$$

当 $\nu_c \leq 0.042\sqrt{f'_c}$ 时，可取 $\nu_c = \nu_u$ 。

#### 6.4.2.1.4.2 预应力混凝土

许用剪应力 $\nu_c$ 应为公式（8）和（9）计算所得 $\nu_{ci}$ 或 $\nu_{cw}$ 的较小值：

$$\nu_{cw} = 0.3\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0.3\sqrt{f'_c}}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\nu_{ci} = 0.083K\sqrt{f'_c} + \frac{(M_{cr} - M_i)\frac{V}{M} + V_i}{b'd} \dots\dots\dots (9)$$

当 $\rho \geq 0.003$ 时， $K = 1.75 - (0.036/n\rho) + 4.0n\rho$ ，但不小于0.6。

当 $\rho < 0.003$ 时， $K$ 应取0。

$$M_{cr} = (I/y_t)(0.5\sqrt{f'_c} + f_{pc})$$

$$n = \frac{41.9}{\sqrt{f'_c}}$$

- a) 应按其时间次序加载。
- b) 特定时间的荷载，应分为以下两类：
  - 1) 所施加的荷载或荷载群；
  - 2) 施加荷载之前已存在的荷载群或正在计算的荷载群。
- c) 假如在两种荷载或更多荷载之间不能确定其实际加载时间次序时，那么在所计算的截面内具有最小 $V/M$ 比的荷载应是最先施加的。
- d) 假如 $(M_{cr} - M_i)$ 不是正号，则应取为0。
- e) 在计算截面内应取所有已存在的和施加的剪力荷载。
- f) 凡对确定 $M_{cr}$ 值有影响的所有弯矩和其他荷载，均应在弯矩减小方向上距所验算剪力的截面 $d/2$ 处取值。
- g) 假如所计算的截面承受薄膜拉力，则公式（7）应与公式（8）和（9）一起使用，并在设计中采用 $\nu_c$ 的最小值。
- h) 应使用下列定义：

$V$  = 在所计算的截面处施加的剪力荷载；

$M$  = 与施加的剪力荷载相关的作用弯矩；

$V_i$  = 在计算截面处已存在的剪力荷载（施加方向与 $V$ 相同者为正值）；

$V_i$  = 在计算截面处已存在的剪力荷载（施加方向与 $V$ 相同者为正值）；

$M_{cr}$  = 产生裂缝所需的弯矩（总是正值）；

$f_{pc}$  = 在剪力 $V$ 所施加的截面形心处由混凝土中所有荷载产生的薄膜应力（压缩时为正值）；

$I$  =沿弯矩减少方向，距验证剪力的截面  $d/2$  处之惯性距；  
 $y_t$  =毛截面形心轴（略去钢筋）至最远受拉纤维的距离；  
 $\rho = A_s / bd$ ，粘结受拉钢筋的配筋率。

#### 6.4.2.1.5 切向剪力

切向剪力是在安全壳平面内的薄膜剪力，由地震、风或龙卷风等横向荷载所产生。

##### 6.4.2.1.5.1 钢筋混凝土

不考虑由混凝土提供的切向剪切强度，即  $V_c = 0$ 。

在表17的荷载组合下，在异常/严重环境荷载和异常/极端环境荷载两种情形下，混凝土所承担的切向剪应力分别不应超过276kPa和414kPa。

##### 6.4.2.1.5.2 预应力混凝土

6.5.2.1.1.2 节定义的最小预应力为：

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{3} bt \sqrt{1 + \left[ \frac{f_m + f_h}{\frac{\sqrt{f'_c}}{3}} \right] + \left[ \frac{f_m f_h}{\left( \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \right)^2} \right]} \dots \dots \dots (10)$$

式中  $f_m$  和  $f_h$  分别是径向和环向薄膜应力，受压缩时为正值，MPa。在  $f_m$  和  $f_h$  中应包括薄膜热应力。

在表17的荷载组合下，在异常/严重环境荷载和异常/极端环境荷载两种情形下，混凝土主拉应力不应超过  $4\sqrt{f'_c}$ 。

#### 6.4.2.1.6 周边剪力

周边剪力是一种横向剪力，类似于平板分析中的冲切剪力。它是由于集中力或横向反作用力在壳壁平面产生的剪力。局部集中荷载引起的横向剪力就是周边剪力的一个例子。周边剪力的另一个例子就是可能发生在贯穿件周围的横向剪力。在该例中，还必须考虑径向剪力。

- $v_c$  的值应按  $v_{ch}$  和  $v_{cm}$  的加权平均计算： $v_{ch}$  是在与经线垂直的失效面上的许用剪应力， $v_{cm}$  是与壳体平面垂直的径向失效面上的许用剪应力。对于环向失效面， $v_c$  是  $v_{ch}$  和  $v_{cm}$  的平均值。
- 如果薄膜应力  $f_h$  或  $f_m$  是拉伸应力，作用在假想失效面上的荷载面积为圆形、正方形或矩形，其长宽边比  $\beta_c$  小于 2，则混凝土承受的周边或冲切剪应力不得超过按上述 a) 节所得之  $v_c$ 。

$$1) \quad f_h / \rho'_h f_y \geq -0.9$$

$$v_{cm} = 0.083 \sqrt{f'_c} (4 + k_p f_h / \rho'_h f_y)$$

$$2) \quad f_h / \rho'_h f_y < -0.9$$

$$v_{cm} = 0.042 \sqrt{f'_c}$$

$$3) \quad f_m / \rho'_m f_y \geq -0.9$$

$$\nu_{ch} = 0.083\sqrt{f'_c}(4 + k_p f_h / \rho'_m f_y)$$

$$4) \quad f_m / \rho'_m f_y < -0.9$$

$$\nu_{ch} = 0.042\sqrt{f'_c}$$

式中： $f_m$  =混凝土径向薄膜应力，受压时为正值，MPa。

$f_h$  =混凝土环向薄膜应力，受压时为正值，MPa。

$\beta_c$  =矩形荷载面积的长宽边之比。

$\rho'_h$  =根据壁厚  $t$  确定的环向配筋率。

$\rho'_m$  =根据壁厚  $t$  确定的径向配筋率。

$k_p$  =贯穿件调整系数  $= 1 + 2.9d_p/t$  (不超过 3.9)

$d_p$  =安全壳壁内贯穿件的平均外径

$t$  =安全壳壁厚

当矩形承载面积的长宽边比  $\beta_c$  大于 2，而且  $\nu_{cm}$  或  $\nu_{ch}$  大于  $0.042\sqrt{f'_c}$ ，则  $\nu_{cm}$  或  $\nu_{ch}$  的值应按系数  $(1/2 + 1/\beta_c)$  减小。

c) 如薄膜应力  $f_h$  或  $f_m$  是受压缩应力，但小于 0.86MPa，则  $\nu_{cm}$  或  $\nu_{ch}$  应等于  $0.33\sqrt{f'_c}$ 。

d) 对于按上述方式确定薄膜应力  $f_h$  或  $f_m$  至少为 0.86MPa 受压缩的荷载工况，则作用在假想失效面上由混凝土承受的周边剪力或冲切剪力不得超过按上述 a) 节所得之  $\nu_c$ ：

$$\nu_{cm} = 0.3\sqrt{f'_c} + 0.3f_h$$

$$\nu_{ch} = 0.3\sqrt{f'_c} + 0.3f_m$$

式中： $f'_c$  的值不得大于 34.5MPa，且  $f_h$  和  $f_m$  都不得超过 3.5MPa。

#### 6.4.2.1.6.1 临界截面

周边剪力产生的失效面应垂直于安全壳的表面，它的位置应使其周边位于距集中荷载或反力周边的  $d/2$  处，但 6.9.3.1 节规定的撞击荷载临界截面除外。

#### 6.4.2.1.7 扭转

扭转剪应力是产生在安全壳壁内的局部平面剪应力，由外部扭转荷载直接作用于安全壳壁法向轴线而引起。对垂直于安全壳壁且锚固在安全壳壁内的管道贯穿件，其作用荷载为贯穿件内的扭转力矩。如果贯穿件与安全壳壁斜交，则作用荷载是垂直于安全壳轴线的扭矩分量和贯穿件的内力矩（扭矩和弯矩）的总和。此类荷载和锚固会在混凝土中产生一种平面剪应力，与从贯穿件中心线引出的径向线相垂直。

a) 由扭转荷载引起的由混凝土承受的剪应力  $\nu_{ct}$  不得超过按下式计算所得的  $\nu_{ct}$ ：

$$0.5\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{f_h + f_m}{0.5\sqrt{f'_c}} + \frac{f_m f_h}{(0.5\sqrt{f'_c})^2}} \dots\dots\dots (11)$$

但不得取小于  $0.33\sqrt{f'_c}$  的数值。

b) 扭转剪切失效面应为垂直于安全壳表面的圆柱面，与贯穿件或预埋板中心线的距离为  $r$ 。与中心线的距离小于  $r_{\min}$  的失效面不必评价。

c) 应采用下列定义:

$r$ =从安全壳管道贯穿件或预埋板的中心线至失效面所测得的径向距离。

$r_{\min}$ =从安全壳贯穿件中心线至垂直固定于贯穿件壁的锚固件端头所测得的径向距离, 或从安全壳贯穿件或预埋板的中心线至最远锚固件中心线的距离, 锚固件垂直固定于安全壳表面。

#### 6.4.2.1.8 托架和牛腿

##### 6.4.2.1.8.1 概述

这些规定适用于跨高比  $a/d$  不大于 1, 且承受的水平拉力  $N_{uc}$  不大于  $V_u$  的托架和牛腿, 距离  $d$  应在支座面处测量。

##### 6.4.2.1.8.2 高度

承载区域外侧的高度不得小于  $0.5d$ 。

##### 6.4.2.1.8.3 设计

支承面处截面的设计应能同时承受剪力  $V_u$ , 力矩  $[V_u a + N_{uc}(h-d)]$  和水平拉力  $N_{uc}$ 。

a) 按照这些规定进行的所有设计计算中, 法向剪应力  $v_u$  应按下式计算:

$$v_u = \frac{V_u}{0.85bd}$$

式中:  $V_u$  是该截面上的极限设计剪力。

1)  $V_u$  是该截面上的极限设计剪力。

2) 法向剪应力  $v_u$  不得超过  $0.2 f'_c$  或  $5.5\text{MPa}$ 。

b) 承受力矩  $[V_u a + N_{uc}(h-d)]$  的配筋  $A_f$  应按 6.5 节计算。

c) 承受拉力  $N_{uc}$  的配筋  $A_n$  应按  $N_{uc} \leq 0.85 A_n f_y$  确定。拉力  $N_{uc}$  不得取小于  $0.2 V_u$  的值, 但采取专门措施避免拉力的情况除外。拉力  $N_{uc}$  应认为是活荷载, 即使因徐变、收缩或温度变化引起的拉力也不例外。

d) 主要抗拉配筋的面积  $A_s$  应等于  $(A_f + A_n)$  或  $(2A_{vf}/3 + A_n)$  两者中的较大值。

##### 6.4.2.1.8.4 箍筋

封闭箍筋或平行于  $A_s$  的拉筋, 其总面积  $A_h$  不得小于  $0.5(A_s - A_n)$ , 且应均匀分布在  $A_s$  附近  $2/3$  有效高度范围内。

##### 6.4.2.1.8.5 配筋率

配筋率  $\rho = A_s/bd$ , 不得小于  $0.04(f'_c/f_y)$ 。

##### 6.4.2.1.8.6 锚固

在托架或牛腿的前面, 主要抗拉钢筋  $A_s$  应按下列方法之一锚固:

- 用结构焊缝焊接一根至少相同规格的横向钢筋, 该焊缝应设计成能发挥  $A_s$  钢筋的规定屈服强度  $f_y$ ;
- 向后弯曲主要抗拉钢筋  $A_s$  以形成一水平环;
- 其他可靠的锚固方法。

##### 6.4.2.1.8.7 承载区域

托架或牛腿上的承载区域不得突出到主抗拉钢筋  $A_s$  的直线部分以外，也不得突出到横向锚固钢筋内表面以外（如果有横向锚固筋）。

#### 6.4.2.1.9 承压

除下列情况外，承压应力不得大于  $0.6f_c$ 。

- 如支承面的每一边均大于承载区域或另有约束，承载区域的许用承压应力可乘以系数  $\sqrt{A_2/A_1}$ ，但不大于 2。
- 如支承面呈倾斜或阶梯形， $A_2$  可取整个被包容在支承内的最大平截头正棱锥体或平截头圆锥体的底座面积，其上表面为承载区域，所取斜面的垂直与水平比为 1:2。
- 本文件不适用于后张法锚固件。

#### 6.4.2.2 钢筋

##### 6.4.2.2.1 受拉

- 钢筋的设计屈服强度不得大于 400MPa。
- 承载目的的许用应力不得超过  $0.9f_y$ 。
- 仅在一次力作用下，承受局部力的薄膜和弯曲分量的钢筋拉应变（但不是承受局部剪力的应变）可以超过  $0.9\varepsilon_y$ ，只要有足够数量的钢筋保持拉应变在  $0.9\varepsilon_y$  以下，这样就避免了与弯曲部分有关的总体屈服状态的出现。仅在以下情况，一次力效应的钢筋拉应变允许超过  $0.9\varepsilon_y$ 。
  - 一次弯矩 如果承受一次弯矩的钢筋超过一层，且与最大受拉侧混凝土截面中心的距离大于  $h/6$  处的全部钢筋形心的应变不超过  $0.9\varepsilon_y$ ，则一层或多层钢筋的应变允许超过  $0.9\varepsilon_y$ 。
  - 斜拉钢筋 承受一次力的四向钢筋系统中斜拉钢筋的应变可以超过  $0.9\varepsilon_y$ 。为了避免斜拉钢筋被压弯，应至少用一层环向钢筋把斜拉钢筋箍住，或将受拉和受压的斜向钢筋在交叉处系牢。
  - 大开孔附近 在截面与开孔的距离为  $1/2$  安全壳公称厚度  $h$  或为开孔直径的 25%（取两者中的较小值），且假设全部力和弯矩沿整个截面宽度均匀分布，进行分析时钢筋应变均不超过  $0.9\varepsilon_y$ ，大开孔附近钢筋的最大应变可以超过  $0.9\varepsilon_y$ 。
- 在一次和二次力组合作用下，钢筋的拉伸应变可超过  $0.9\varepsilon_y$ 。
- 钢筋中根据一次力计算得到的拉伸应变以及根据由一次力产生的重要主薄膜应变均不得超过  $2\varepsilon_y$ 。为了分析的目的， $\varepsilon_y$  定义为屈服应力除以杨氏弹性模量。

##### 6.4.2.2.2 受压

- 为了承载目的，钢筋的应力不应超过  $0.9f_y$ 。
- 如要求混凝土的应变超过钢筋屈服点的应变，以发挥混凝土的承载能力，则与混凝土共同承载的钢筋应变可以超过屈服点。

#### 6.4.2.3 钢束系统应力

钢束的轴向抗拉强度不应大于  $0.9f_{py}$ 。

#### 6.4.2.4 剪切摩擦

##### 6.4.2.4.1 概述

本节规定适用于按 6.4.2.1.8 节设计的托架和牛腿。

##### 6.4.2.4.2 破裂位置



应假定破裂沿所考虑的剪切面发生。穿过剪切面的剪切—摩擦钢筋的面积可按 6.4.2.4.3 节设计或按其他剪切锚固设计方法进行设计，该方法对强度的判断本质上应与综合试验的结果一致。

#### 6.4.2.4.3 剪切—摩擦设计方法

6.4.2.4.3.1 当剪切—摩擦钢筋与剪切面垂直时，所要求的钢筋面积应按下式计算：

$$A_{vf} = \frac{V_u}{0.85\mu f_y}$$

式中： $\mu$ 是按6.4.2.4.3.3节确定的摩擦系数， $V_u$ 是该截面的极限设计剪力。

6.4.2.4.3.2 如剪切—摩擦钢筋与剪切面斜交，使剪力在剪切—摩擦钢筋中产生拉力，所要求的钢筋面积应按下式计算：

$$A_{vf} = \frac{V_u}{0.85 f_y (\mu \sin \alpha_f + \cos \alpha_f)}$$

式中： $\alpha_f$ 是剪切—摩擦钢筋与剪切面之间的夹角。如果 $\alpha_f$ 大于 $90^\circ$ ，则此公式无效。

#### 6.4.2.4.3.3 摩擦系数

在6.4.2.4.3.1节和6.4.2.4.3.2节中确定的摩擦系数 $\mu$ 必须是：

- 1.4，对整体浇筑的混凝土；
- 1.0，对按 6.4.2.4.8 节的规定，在表面凿毛的硬结混凝土上浇筑的混凝土；
- 0.6，对在表面未凿毛的硬结混凝土上浇筑的混凝土；
- 0.7，对用带头栓钉或钢筋与轧制结构钢相锚固的混凝土（见 6.4.2.4.9 节）。

#### 6.4.2.4.4 最大剪力

如果名义剪应力  $v_u$  超过  $0.2f'_c$  或超过 5.5MPa，则 6.4.2.4 节对剪切摩擦的规定不适用。

#### 6.4.2.4.5 钢筋的强度

剪切—摩擦钢筋的设计屈服强度不得超过 400MPa。

#### 6.4.2.4.6 拉伸

通过剪切面的净拉力应由附加钢筋承受。当计算所要求的  $A_{vf}$  时，通过剪切面的永久净压力可看作为剪切—摩擦钢筋计算中  $A_{vf} f_y$  中的附加力。

#### 6.4.2.4.7 锚固

剪切—摩擦钢筋应沿剪切面适当放置，且应借助预埋件、弯钩或与特殊装置相焊接的方法加以锚固，使其在两侧均能发挥规定的屈服强度。

#### 6.4.2.4.8 混凝土与混凝土的交界面

为了达到 6.4.2.4 节的目的，当在已硬结的混凝土表面上浇筑混凝土时，传递剪切力的交界面应清洁无浮浆。如果假定  $\mu$  等于 1.0，则建造技术规格书应包括凿毛和清洁硬结表面的要求。

#### 6.4.2.4.9 混凝土与钢的交界面

如果用带大头栓钉或焊接钢筋的方法在轧制型钢与混凝土之间传递剪力，钢材应清洁并无油漆。

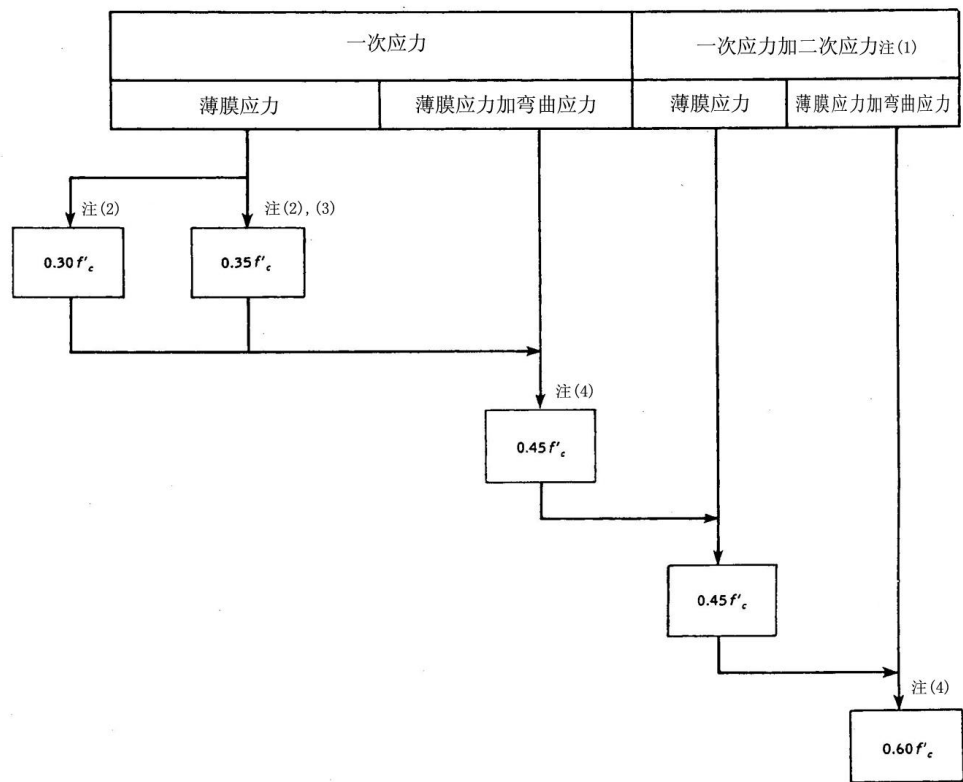
6.4.3 使用荷载的许用应力

6.4.3.1 混凝土应力

6.4.3.1.1 受压

受压荷载下的许用应力汇总于表 19 中。钢束锚固端承载板下的压应力不得超过 $0.6f_{ci}(A_2/A_1)^{\frac{3}{2}}$ 。压应力应按锚固端处钢束初始拉力除以承载板净面积计算，但不得大于  $f_{ci}$ 。若需保持结构稳定性，应减小这些许用值。

表19 使用荷载的许用压应力



注：（1）在一次应力单独作用时，计算应力的一次部分不应超过所采用的许用应力。  
（2）这些许用应力，对具有径向受拉钢筋的截面，可增加 $0.05 f'_c$ 。  
（3）在初始预应力时。  
（4）在薄膜应力单独作用时，计算应力的薄膜部分不应超过所采用的许用应力。

6.4.3.1.2 受拉

混凝土抗拉强度（薄膜和弯曲）不应承受外荷载和外弯矩，或由内部自身约束所引起的力和弯矩。

6.4.3.1.3 剪切、扭转和承压

- a) 对于 6.4.2.1.3 节至 6.4.2.1.9 节中设计荷载，混凝土应力以及剪切、扭转和承压最大应力的限值许用值为规定数值的 50%，但下列情况除外：
- 1) 在 6.4.2.1.4.1 节 c) 款和 6.4.2.1.6 节 b) 款中，混凝土许用应力不必降低于 $0.042\sqrt{f'_c}$ 。
  - 2) 荷载组合包括试验工况时的临时压力或由于预应力产生的临时荷载，该临时荷载在施加预应力结束时逐渐减少，混凝土许用应力应是取规定值的 67%。

- 3) 混凝土许用应力应是取极限设计荷载所规定数值的 67%，此时，表 16 所定义的二次力与其他的力组合，由此所需要的截面积不小于在加载组合中其他荷载组合所需的截面积。
- b) 计算所得的毛截面上由正常使用荷载产生的薄膜应力应乘以系数 2，并取代引用 6.4.2.1.4.1、6.4.2.1.4.2、6.4.2.1.6 和 6.4.2.1.7 中条文的  $N_0/A_g$ 、 $f_m$ 、 $F_h$  或  $f_{pc}$ 。对上述 (a) 列出的那些需用应力取规定值 67% 的设计荷载情况，应乘以系数 1.5。
- c) 托架和牛腿的配筋要求应采用  $0.5f_y$  系数进行计算，取代 6.4.2.1.8 和 6.4.2.4 中规定的  $0.85f_y$ 。

#### 6.4.3.2 钢筋应力和应变

##### 6.4.3.2.1 钢筋受拉

- a) 平均拉应力不得超过  $0.5f_y$ 。
- b) 在预应力荷载作用下，预计混凝土受拉区钢筋的计算平均应力不得超过  $0.5f_y$ 。所考虑的最大荷载不必大于钢束锚头处的初始张拉力。当下列荷载与其他荷载组合时，上面 a) 项中给出的数值可增加 33.3%。
  - 1) 由预应力产生的临时荷载，在张拉结束时该荷载即减少；
  - 2) 表 16 中定义的二次力与其他力组合时，且给定的截面不小于其他荷载组合所需要的截面。
- c) 在荷载组合中，试验工况下临时压力荷载与其他荷载组合时，上面 a) 项给出的数值可增加 50%。

##### 6.4.3.2.2 钢筋受压

- a) 为了承受荷载，该应力不得超过  $0.5f_y$ 。
- b) 为了与混凝土相容，应力值可超过上面 a) 项中给出的数值，但该应力不可用于承受荷载。
- c) 当在荷载组合中，下列荷载与其他荷载组合时，a) 项给定的数值可以增加 33.33%：
  - 1) 由预应力产生的临时荷载，该荷载在张拉结束时即减少；
  - 2) 试验工况下的临时压力荷载；
  - 3) 表 16 所定义的二次力与其他力组合时，给定的截面不小于其他荷载组合所需要的截面。

##### 6.4.3.3 钢束系统应力

在进行张拉和锚固时的钢束应力，以及设计采用的钢束应力不得超过下列许用值：

- a) 在施加预应力时，钢束锚固端处的张拉应力不得超过  $0.80f_{pu}$  或  $0.94f_{py}$ ，取两者中的较小值；
- b) 在锚固以后，在锚固端处当时的张拉应力不得超过  $0.73f_{pu}$ ，沿钢束长度计算所得平均张拉应力不得超过  $0.70f_{pu}$ ；
- c) 从设计考虑，有效预应力应不超过锚固后钢束应力即时发生的计算值并减去 6.5.4.2 节定义的相应的损失。

#### 6.4.4 混凝土温度

- a) 正常运行或其他长期的温度限值如下：除局部区域外，温度不应超过  $65^{\circ}\text{C}$ 。局部区域如贯穿件周围，其温度允许升高，但不得超过  $95^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 发生事故时或其他短期的温度限值如下：内表面的温度不应超过  $175^{\circ}\text{C}$ 。但由于管道破裂事故时蒸汽或水的射流作用，局部区域的温度允许达到  $345^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 如果经过试验评定过混凝土强度降低，且这一降低被应用于设计许用值时，可以允许混凝土中有比上述 a) 和 b) 项中更高的温度。同时应证实此升高的温度不会引起混凝土的恶化，不论其承受荷载与否。

## 6.5 安全壳设计细则

### 6.5.1 弯曲和轴向荷载设计

#### 6.5.1.1 假设

##### 6.5.1.1.1 极限设计荷载设计

- 承受弯曲和薄膜荷载的截面设计应以本款的假设为基础,并应满足相应的平衡条件和应变协调条件。
- 假设钢筋和混凝土的应变与距中和轴的距离成正比。
- 钢筋中的应力低于所采用钢材等级所规定屈服强度的0.9,应力认为等于钢材的应变应乘以 $E_s$ 。当应变大于相当于 $0.9f_y$ 的应变时,钢筋的应力应认为与应变无关,并等于 $0.9f_y$ 。
- 在计算钢筋混凝土弯曲时,应不计混凝土的抗拉强度。
- 截面分析时,混凝土的压应力分布与应变之间的关系可假设为三角形、抛物线形或其他任何与综合试验结果基本一致的应力应变图形。应将所确定的应力与6.4.2节规定的应力限值进行比较,以保证设计的可靠性。

##### 6.5.1.1.2 使用荷载设计

应采用应力和应变的线性关系理论,并作以下假设:

- 截面在受弯前为平面,受弯后仍保持平面,应变变化与中和轴的距离成正比。
- 在许用应力范围内,在使用荷载作用下,混凝土的应力—应变关系是一直线。应力变化与中和轴的距离成正比。
- 钢筋混凝土弯曲计算时,应不计混凝土的拉应力。
- 弹性模量比 $n=E_s/E_c$ ,可近似地取整数,但不小于6。在双面配筋的构件中,计算应力时可用有效模量比 $2E_s/E_c$ 来换算受压钢筋。

### 6.5.2 受剪配筋设计

#### 6.5.2.1 极限设计荷载的设计

##### 6.5.2.1.1 切向剪力和薄膜力

##### 6.5.2.1.1.1 钢筋混凝土

- 设有或不设斜向钢筋的正交(环向和径向)配筋所要求的面积,应按下式计算提供组合的切向抗剪强度和薄膜强度:

$$A_{sh} + A_{si} = \frac{N_h + (N_{hl}^2 + V_u^2)^{1/2}}{0.9f_y} \dots\dots\dots (12)$$

$$A_{sm} + A_{si} = \frac{N_m + (N_{ml}^2 + V_u^2)^{1/2}}{0.9f_y} \dots\dots\dots (13)$$

- 符合公式(12)和(13)的强度要求,并符合控制剪切变形要求的正交和斜拉钢筋的任一种组合均可采用下列最大剪力的限值:

- 由正交钢筋 $V_{so}$ 提供的切向抗剪强度按下式计算:

$$V_{so} = V_u - 0.9f_y A_{si} \dots\dots\dots (14)$$

该值不得大于  $0.2f'_{ct}bt$ ,

2) 切向剪力  $V_u$  不得超过  $(0.4f'_{ct}bt - V_{so})$ , 式中  $V_{so}$  按公式 (14) 计算。

式中:  $A_{sh}$ =环向粘结钢筋截面面积  $\text{mm}^2/\text{m}$

$A_{sm}$ =径向粘结钢筋截面面积  $\text{mm}^2/\text{m}$

$A_{st}$ =以水平线成  $45^\circ$  角斜向钢筋的某个方向粘结钢筋截面面积 [ $\text{mm}^2/\text{m}$  沿钢筋方向的垂直线]。在两个方向设置斜向钢筋。

$N_h$  和  $N_m$  由压力、预应力和静荷载分别在环向和径向产生的薄膜力。预应力应是有效值,  $N_h$  和  $N_m$  为拉力时是正值, 为压力时是负值。

$N_{h1}$  和  $N_{m1}$  由横向荷载, 如地震、风或龙卷风荷载分别在环向和径向产生的薄膜力, 考虑地震荷载时, 该力由两个水平方向和垂直方向地震分量的平方和的平方根求得, 始终是正值。

$V_c$ =混凝土提供的切向抗剪强度。

$V_{st}$ =斜向钢筋提供的切向抗剪强度。

$V_{so}$ =正交钢筋提供的切向抗剪强度。

$V_u$  由横向荷载, 如地震、风、龙卷风荷载引起的峰值薄膜切向剪力。考虑地震荷载时, 该力由水平方向和垂直方向地震分量的平方和的平方根求得。应考虑剪力是正值。

所有力和强度单位为  $\text{kN/m}$ 。

应检查混凝土和钢筋的应变相容性, 以保证正交和斜向钢筋不超过 6.4.2.2 节规定的许用应变值。

#### 6.5.2.1.1.2 预应力混凝土

a) 应提供充分的有效预应力, 使  $N_h$  和  $N_m$  为负值 (受压缩时) 或为零。在计算有效预应力时, 在  $N_h$  和  $N_m$  中应包括热薄膜力。

b) 如果

$$V_u \leq 0.85V_c \dots\dots\dots (15)$$

式中:  $V_c$  按 6.4.2.1.5.2 节的规定计算, 不要求为切向剪力附加钢筋。

c) 若考虑的截面不满足 6.5.2.1.1.2 节 a) 款和 b) 款的要求, 则按 6.5.2.1.1.1 节的要求应提供附加钢筋。

#### 6.5.2.1.2 径向剪力

##### 6.5.2.1.2.1 名义剪应力

名义剪应力  $v_u$  应该用下式计算:

$$v_u = V_u / 0.85bd \dots\dots\dots (16)$$

式中: 对于预应力构件,  $d$  不必小于  $0.85h$ 。

##### 6.5.2.1.2.2 外加剪应力

当在外加剪应力方向上的反作用力在安全壳端部产生压缩时, 与支座表面的距离小于  $d$  处的截面, 可按与距离等于  $d$  处截面相同的  $V_u$  值进行设计。对预应力混凝土, 距离小于  $t/2$  的截面, 可按距离等于  $t/2$  处截面上计算所得的剪力进行设计。

##### 6.5.2.1.2.3 抗剪钢筋

a) 当采用垂直于安全壳表面的抗剪钢筋时, 所要求抗剪钢筋的面积不得少于:

$$A_v = (v_u - v_c) \times bs \times f_y \dots\dots\dots (17)$$

垂直抗剪钢筋的间距不得大于 $0.50d$ 。

b) 当钢筋混凝土构件中采用斜向箍筋或弯起钢筋作抗剪钢筋时，应符合以下规定：

1) 采用斜向箍筋时，所要求的面积不得少于：

$$A_v = \frac{(v_u - v_c)bs}{f_y(\sin \alpha + \cos \alpha)} \dots\dots\dots (18)$$

2) 当抗剪钢筋由单根钢筋或单组平行钢筋组成，且所有的弯起均与支座的距离相等时，所要求的面积不得少于：

$$A_v = \frac{(v_u - v_c)bd}{f_y \sin \alpha} \dots\dots\dots (19)$$

式中：（ $v_u - v_c$ ）不得超过 $0.25\sqrt{f_c'}$ 。

3) 当抗剪钢筋由一系列平行弯起钢筋或多组距支座距离不等的平行弯起钢筋组成时，所要求的面积不得少于按公式（19）计算所得的数值。

c) 对于弯起钢筋，只有其倾斜部分 $3/4$ 的中点被看作有效抗剪钢筋。

d) 当截面的同一部位采用一种以上的抗剪钢筋时，所要求的面积应为对各种钢筋所要求面积之和，此类计算中， $v_c$ 应只用一次。

e) 斜向箍筋和弯起钢筋的间距布置，从截面高度中点 $0.5d$ 处朝反力方向延伸，引向抗拉钢筋的每一行 $45^\circ$ 斜线应至少与一行剪力钢筋相交。

f) （ $v_u - v_c$ ）的值不得大于 $0.67\sqrt{f_c'}$ 。

#### 6.5.2.1.3 周边剪力

应按下列规则考察关键截面处剪应力，及离关键截面其更远的相连截面处的剪应力：

a) 名义剪应力 $v_u$ 应按下列式计算：

$$v_u = V_u / 0.85bd$$

式中 $V_u$ 和 $b$ 按6.4.2.1.6.1节规定的临界截面取值。

b) 剪应力 $v_c$ 应按6.4.2.1.6节计算，当 $v_u$ 小于 $v_c$ 时，且钢筋薄膜应力不大于 $0.6f_y$ ，则不要求附加钢筋。

c) 如 $v_u$ 小于 $v_c$ ，且钢筋薄膜应力均超过 $0.6f_y$ ，则相应径向或环向钢筋的设计应能承受1.0倍相当于 $v_u$ 的剪力，加上薄膜力和平面内剪力。这些力应考虑为附加的薄膜力。

d) 如 $v_u$ 大于 $v_c$ ，则对应于（ $v_u - v_c$ ）的剩余剪力应由按照6.5.2.1.2.3节设计的抗剪钢筋来承受。（ $v_u - v_c$ ）值应按下列确定：

1)  $v_u$ 不得超过 $0.5\sqrt{f_c'}$ 或 $1.5v_c$ ，取两者中的较大值，其中 $v_c$ 按照6.4.2.1.6节计算。

2) 如按6.4.2.1.6节计算的 $v_c$ 值 $\geq 0.083\sqrt{f_c'}$ ，在任何截面上由混凝土承受的剪应力 $v_c$ 不得大于 $0.083\sqrt{f_c'}$ 或 $0.5v_c$ ，取两者中的较大值。如 $v_c$ 值 $\leq 0.083\sqrt{f_c'}$ 时， $v_c$ 值应采用按6.4.2.1.6节计算所得的值。

#### 6.5.2.1.4 扭转剪力

应研究在  $r=r_{\min}$  和更远相连表面的扭转剪力，直至如下式定义的  $v_{ut}$  等于或小于在 6.4.2.1.7 节 a 款中定义的  $v_{ct}$ 。

a) 名义扭转剪应力应按式计算：

$$v_{ut} = \frac{T_u}{0.85t(2\pi r^2)} \dots\dots\dots (20)$$

式中： $T_u$  = 施加到安全壳壁的最大极限设计扭转荷载。

b) 如  $v_{ut}$  小于或等于  $v_{ct}$ ，不要求附加配筋。

c) 在  $v_{ut}$  大于  $v_{ct}$  之处，全部扭转剪应力均应由壳壁平面内且正交于失效面的配筋承受。这类配筋的设计公式如下：

$$A_{vt} = \frac{v_{ut}(2\pi r)t}{(f_y)\mu} \dots\dots\dots (21)$$

式中： $t$  = 混凝土厚度

$\mu$  = 摩擦系数，当失效面是混凝土对混凝土时，取 1.0，当失效面是混凝土对钢材时，则取 0.7。

d)  $A_{vt} \text{ mm}^2$  应绕失效面均匀分布，并应借助失效面两侧的预埋件或机械手段给予充分扩展。均匀分布至少应要求 8 个近似等距的钢筋穿过失效面。

e)  $v_{ut}$  不得超过  $0.2f'_c$  或 5.5MPa。

### 6.5.2.2 使用荷载的设计

使用荷载作用下抗剪钢筋的设计应采用 6.5.2.1 节中的相同要求，并作以下更改。

a) 用  $v = V/bd$  代替公式 (16)。

b) 用 6.4.3.2.1 节的钢筋许用应力取代公式 (17) 至 (19) 中的  $f_y$ 。

c) 用 6.4.3.2.1 节的钢筋许用应力取代公式 (12) 至 (14) 中的  $0.9f_y$ 。

d) 用  $V$  取代公式 (12) 至 (14) 中的  $V_u$ 。

e) 由正交钢筋承受的最大切向剪应力和最大切向剪应力限值应是 6.5.2.1.1.1 节 b 款中对极限设计荷载所规定值的 50%。

f) 用  $v \leq 0.5v_c$  代替 6.5.2.1.1.2 节 b 款中的公式 (15)。

g) 采用 6.5.2.1.3 节的要求进行使用荷载下的周边剪力设计时应作如下修正：

1) 公称剪应力应按公式  $v = V/bd$  进行计算；

2) 剪应力  $v_c$  应按 6.4.3.1.3 节进行计算；

3) 如  $v$  大于  $v_c$ ，与  $(v - v_c)$  相应的过量剪力应由按上述 b) 项进行设计的抗剪钢筋承受。  
( $v - v_c$ ) 应按下列确定：

(1) 如  $v_c$  按 6.4.3.1.3 节计算， $v$  不得大于  $0.25\sqrt{f'_c}$  或  $1.5v_c$  两者中的较大值。

(2) 如  $v_c$  按 6.4.3.1.3 节计算，但  $v_c$  大于或等于  $0.083\sqrt{f'_c}$ ，在任何截面上由混凝土承受的剪应力  $v_c$  不得大于  $0.083\sqrt{f'_c}$  或  $0.5v_c$ ，取两者中的较大值。如  $v_c$  值  $\leq 0.083\sqrt{f'_c}$  时， $v_c$  值应采用按 6.4.2.1.6 节计算所得的值。

h) 使用荷载设计时采用的扭转剪力应满足如下规定：

1)  $v_{ct}$  应按照 6.4.3.1.3 节计算，用 6.4.3.2.1 节中的钢筋许用应力取代公式 (21) 中的  $f_y$ 。

2) 用  $v_{ut}$  和  $T_u$  分别取代公式 (20) 中的  $v_t$  和  $T$ 。

3) 用  $v_{ut}$  取代公式 (21) 中的  $v_{ct}$ 。

4)  $v_t$  的限值应按 6.4.3.1.3 节进行计算。

### 6.5.3 受冲切承载力

壳体受冲切承载力计算应按照 GB 50010 中 6.5 的有关规定进行。

### 6.5.4 局部受压承载力

局部受压承载力计算，应按照 GB 50010 中 6.6 节的规定进行。预应力钢束端部锚具局压区的局部压力计算 6.5.6.6.1 的要求进行。

### 6.5.5 对钢筋的要求

#### 6.5.5.1 概述

钢筋的设计应根据下列要求：

- 钢筋的设计应考虑本节和建造技术规格书中规定的布置公差。
- 下列各节适用于表 17 各种荷载组合。

#### 6.5.5.2 钢筋连接及其锚固

- 钢筋接头应按照设计图纸或建造技术规格书中所要求的或所许可的规定进行。
- 直径 36mm 以上的钢筋不得采用搭接接头。成束钢筋的搭接长度应以尺寸相同的单根钢筋搭接长度要求为依据。在 6.5.5.2.1 节和 6.5.5.2.2 节中规定，对于三根一束的钢束，其搭接长度应增加 20%，对于四根一束的钢束，其搭接长度应增加 33%。在弯曲构件中非接触性搭接的钢筋接头，其钢筋的横向间距不得大于所要求搭接长度的 1/5，亦不得大于 150mm。
- 如非预应力钢筋的接头必须位于预计拉力的方向与被连接钢筋相垂直的区域，则只能采用机械接头或对接焊接头，或其他经计算或试验证明能可靠传力的接头。本条文不适用于不重要的温度钢筋。

#### 6.5.5.2.1 受拉搭接

##### 6.5.5.2.1.1 受拉搭接

受拉搭接接头的最小搭接长度应该如下：

A类接头	$1.0 l_d$
B类接头	$1.3 l_d$
C类接头	$1.7 l_d$

当钢筋强度用足  $f_y$  时，受拉锚固长度  $l_d$  在 6.5.5.2.1.2 节中给出。

##### 6.5.5.2.1.2 锚固长度

- 在预计双轴受拉的部位，如在贯穿区，必须被截断的钢筋应该用弯钩、弯头或明确的机械锚头来锚固，使被截断钢筋的力能够完全传递给其他钢筋。这些区域的钢筋锚固长度应比单轴受拉部位所容许的锚固长度至少增加 25%。用于端部锚固的机械装置应能传递钢筋的规定最小屈服强度至少到 125%。对于不重要的温度钢筋则不需这些特殊措施。
- 在双轴受拉部位内被截断的不再要求承受荷载的钢筋，其锚固长度至少比单轴受拉部位要求的锚固长度增加 25%，这些双轴拉力是由其他钢筋来承受的。本要求不适用于名义上的温度钢筋。
- 在每一截面上钢筋中的计算拉力，应借助理置长度或端部锚固，或两者的结合，使其传递到该截面的每一边。对于受拉钢筋，可将弯钩用于发挥钢筋。假如机械部件用于全部或部分端头锚固，则该系统应能将钢筋的规定最低屈服强度发挥到至少 125%。



- d) 受拉钢筋的锚固可采用把它弯起跨越过截面，使它连续成为截面另一边的钢筋，或利用机械装置发挥所需钢筋强度的方法进行锚固。
- e) 钢筋锚固的危险截面位于最大应力点，以及相邻钢筋截断点或弯起点。
- f) 钢筋应延伸至不再需要该钢筋承受弯矩的那一点以外，其长度等于截面的有效高度或钢筋直径的 12 倍，取两者中的较大值。如同一截面中配置抗剪钢筋，则钢筋延伸不必大于 1.5m。
- g) 在弯起钢筋或被截断钢筋不必再承受弯矩或拉伸的那点以外，连续钢筋的锚固长度应不小于锚固长度  $l_d$ 。
- h) 受拉区的钢筋不得被截断，但满足下列条件之一的情况除外。
  - 1) 截断点处的剪力不超过许用值的三分之二，包括配置的径向钢筋抗剪强度在内。
  - 2) 沿每一根被截断钢筋，从截断点到大于构件有效高度四分之三的一段距离内，配置了超过抗剪和抗扭所需的箍筋面积。箍筋的超出部分应均匀配置，使  $(A_v/b_w S) f_y$  不小于 0.4MPa，箍筋最终间距不得大于  $d/(8\beta_b)$ ， $\beta_b$  为该截面上截断钢筋面积与截面上钢筋总面积之比。
  - 3) 对于直径 36mm 及以下的钢筋，连续钢筋在截断点的面积是抗弯所需面积的两倍，且剪力不大于许用值的 3/4。
- i) 锚固长度  $l_d$  (mm) 应为以下 1) 中所示的基本锚固长度与 2) 中所示的修正系数的乘积，但  $l_d$  的值不得小于 300mm。
  - 1) 基本锚固长度如下：  
对于直径 36mm 及以下钢筋

$$0.019A_b(f_y/\sqrt{f_c'})$$

但不少于  $0.058d_b f_y$

对于直径 40mm 钢筋

$$26(f_y/\sqrt{f_c'})$$

对于直径 50mm 钢筋

$$34(f_y/\sqrt{f_c'})$$

- 2) 对于水平钢筋，如果钢筋下面灌注了大于 300mm 的混凝土层，在用混凝土浇筑埋入截面内的钢筋时，钢筋的基本锚固长度应乘以本节规定的系数。如钢筋与水平面的夹角成 30 度或更小，则可认为钢筋是水平的，达到上述要求。如果在钢筋下面浇筑的混凝土层大于 900mm，则相乘的系数应等于 1.4。如钢筋下面浇筑的混凝土层从 900mm 递减至 300mm。则相乘系数可从 1.4 线性递减至 1.0。
- 3) 对沿长度方向锚固的钢筋其中心处横向间距不小于 150mm，沿间距方向量得从构件表面至边缘钢筋不少于 75mm 的间隙，则上述 2) 要求修正的基本锚固长度可乘以系数 0.8。
- 4) 基本锚固长度可以随（需要面积）与（配置面积）之比减少。

#### 6.5.5.2.1.3 最大拉应力区的连接

在最大拉应力区应避免连接。当必须在该区连接接头时，则机械连接按 7.3.3.3 节的要求进行，对接焊接头按 7.3.3.4 节进行，或搭接接头按 6.5.5.2.1.1 节的如下所述要求进行：

- a) 如果不超过一半的钢筋需要搭接，则搭接长度要求为 B 类；
- b) 如果超过一半的钢筋需要搭接，则搭接长度要求为 C 类。

#### 6.5.5.2.1.4 最大拉应力区以外的连接

在最大拉应力区以外（最大计算应力小于  $0.5f_y$ ）的连接，机械接头应按 7.3.3.3 节的要求进行，对接焊接头应按 7.3.3.4 节进行，或搭接接头按 6.5.5.2.1 节的如下所述进行：

- a) 如果不超过  $3/4$  的钢筋需要搭接，则搭接长度要求为 A 类；
- b) 如果超过  $3/4$  的钢筋需要搭接，则搭接长度要求为 B 类。

#### 6.5.5.2.1.5 受拉系杆构件中的连接

接头应按照 6.5.3.2.1.2 节 d 款的要求做成对接焊或明确的机械连接，且至少错开  $1.7l_{de}$ 。

#### 6.5.5.2.2 受压钢筋的连接

##### 6.5.5.2.2.1 概述

受压钢筋可做成搭接或对接。搭接接头应符合 6.5.5.2.2.2 节的要求，对接接头（焊接或机械）应符合 7.3.3.3 节或 7.3.3.4 节的要求。

##### 6.5.5.2.2.2 搭接接头

受压钢筋搭接接头的最小长度应是受压钢筋锚固长度  $l_d$ ，符合 6.5.5.2.2.3 节的要求，但不小于  $0.0725f_yd_b$ （mm）， $f_y$  为 420MPa 或更低。

##### 6.5.5.2.2.3 受压钢筋的锚固长度

- a) 在每一截面上钢筋中的计算压力，应借助理置长度或端部锚固，或两者的结合，使其传递到该截面的每一边。
- b) 受压钢筋的锚固长度  $l_d$  应按  $0.25f_yd_b / \sqrt{f'_c}$  计算。但不得少于  $0.044f_yd_b$  或 200mm。 $l_d$  可经折减系数修正，该系数等于（需要面积）/（配置面积）。
- c) 弯钩对锚固受压钢筋应认为是无效的。

##### 6.5.5.2.3 受拉标准弯钩的锚固

- a) 末端以标准弯钩形式的（7.3.2.1 节）受拉变形钢筋，其锚固长度  $l_{dh}$ ，mm，应按下面 b) 中基本锚固长度  $l_{hb}$  和下面 c) 中一个或多个适用修正系数的乘积计算，但  $l_{dh}$  不得小于  $8d_b$  或 150mm，取其中较大者。
- b) 对  $f_y$  等于 420MPa 的弯钩钢筋，其基本锚固长度  $l_{hb}$  应是  $100d_b / \sqrt{f'_c}$ ，常数的单位为  $\sqrt{MPa}$ 。
- c) 基本锚固长度  $l_{hb}$  应根据下列条件乘以适用的一个或多个系数：
  - 1) 钢筋屈服强度  $f_y$  不是 420MPa 的钢筋，系数取  $f_y/400$ 。
  - 2) 混凝土保护层 对于直径 36mm 及以下的钢筋，侧面（垂直于弯钩平面）保护层不小于 64mm，对于 90° 弯钩，弯钩部位以外钢筋延伸部分的保护层不小于 50mm，系数取 0.7。
  - 3) 拉筋或箍筋 对于直径 36mm 及以下的钢筋，弯钩呈垂直或水平封闭在沿全锚固长度  $l_{dh}$ ，以不大于  $3d_b$  间隔布置的拉筋或箍筋的范围内，此处  $d_b$  是弯钩钢筋的直径，系数取 0.8。
  - 4) 超量钢筋 在对  $f_y$  没有特别要求的钢筋锚固之处，超过计算需求量的钢筋，系数取（要求的  $A_s$ /配置的  $A_s$ ）。
- d) 对于位于构件不连续端的使用标准弯钩来锚固的主筋，该构件两侧和顶部（或底部）箍筋外的保护层小于 64mm，带弯钩的主筋应在沿全锚固长度  $l_{dh}$  范围内，布置间距不大于  $3d_b$  的拉筋或箍筋，此处  $d_b$  是弯钩钢筋的直径，对这种情况，不得应用上述 c) 3) 中的系数。
- e) 符号：
 

$d_b$  = 钢筋的公称直径，

$l_{di}$ =标准受拉弯钩的锚固长度，从临界截面向弯钩的外端测量[在临界截面与弯钩起点（切点）之间的直埋长度加上弯曲半径和一根钢筋直径]，= $l_{db}$ ×适用的修正系数。  
 $l_{db}$ =标准受拉弯钩的基本锚固长度，

6.5.5.3 钢筋锚固

6.5.5.3.1 径向受剪钢筋的锚固

- a) 在满足保护层要求和与其他钢筋间距在允许接近的条件下,应尽可能将径向受剪钢筋放置在靠近截面的受压和受拉表面。其端部应以下列方式之一锚固：
  - 1) 标准弯钩加有效埋置长度  $0.5l_d$ ；箍筋肢的有效埋置长度应取构件厚度的中点  $d/2$  处与弯钩起点（切点）之间的距离。
  - 2) 在高度  $d/2$  处中点受压一侧的锚固长度等于全锚固长度  $l_d$ ，并不小于 24 倍主筋直径。
  - 3) 环绕表层钢筋至少弯转  $135^\circ$ ；钩住或环绕表层钢筋弯曲的箍筋应认为是有效的锚固。
  - 4) 能发挥所要求钢筋强度的机械装置。
- b) 横向单 U 形或多 U 形箍筋在锚固端头之间连续部位的每一弯头，应包住一根纵向钢筋。
- c) 用作截面配筋的弯起钢筋，在受拉区应与主钢筋连续，在受压区应锚固在受压侧的一半高度，并按 6.5.5.2.2.3 节中满足公式（19）所需  $f_r$  部分对锚固长度的规定。
- d) 当搭接长度每边为  $1.7l_d$  时，应认为将成对 U 形箍筋所放置形成的封闭箍是有效的搭接。

6.5.5.4 钢筋保护层和间距的设计要求

6.5.5.4.1 保护层

- a) 钢筋、预应力钢束或导管最小的混凝土保护层应满足表 20 的要求；
- b) 混凝土保护层应考虑模板和钢筋的安装公差，不得因模板和钢筋的安装公差使上述 a) 中规定的最小混凝土保护层变小。

表20 最小的混凝土保护层厚度

	最小保护层 mm
土体上浇筑或永久与土体接触	75
与土体接触或露天： 直径 20mm 至 50mm 钢筋	50
直径 20mm 钢筋；16mm 及以下钢丝	40
不露天或不与地面接触： 主筋，拉筋和箍筋	40
其他钢筋	25

注：对于钢筋束，最小保护层厚度应等于钢筋束的等效直径，但不必大于50mm或表中所列的最小值，两者中取较大值。

6.5.5.4.2 间距

- a) 同一层内平行钢筋之间的净距不得小于钢筋的直径  $d$ ，也不得小于粗骨料最大粒径的  $\frac{1}{3}$  倍，亦不得小于 25mm；
- b) 两排平行钢筋之间的净距不得小于 35mm；
- c) 钢筋之间净距离的限值亦适用于搭接接头与相邻接头或与相邻钢筋之间的净距要求。

#### 6.5.5.5 混凝土裂缝的控制

- a) 当预期的裂缝位于安全壳的关键部位，如锚头区混凝土、扶壁、环梁及大开口边缘等，使这些部位可能被削弱，应配置非预应力粘结钢筋来承受混凝土内的全部拉力。
- b) 安全壳壳体内应配置非预应力钢筋，以控制由于收缩、温度和薄膜拉伸效应所引起的表面和薄膜开裂。在混凝土每一方向和每一表面中，此类钢筋的面积至少应为该截面总面积的 0.002 倍，此要求可能全部或部分地由其他承受计算荷载所需的钢筋来满足。如果设置整体的钢衬里，则将其计入以满足内表面配筋的要求。用作表面配筋的钢筋应配置在离混凝土表面不大于总截面厚度 1/5 的范围以内。

#### 6.5.5.6 曲线钢筋

在局部区域的设计中，如贯穿件周围，应考虑利用曲线钢筋承受所有的受力。

### 6.5.6 预应力混凝土

#### 6.5.6.1 概述

- a) 本节条款适用于满足 5.4 节要求的预应力高强度钢材的结构构件。
- b) 设计中采用以下假定：
  - 1) 在整个荷载范围内，应变沿厚度呈线性变化。
  - 2) 在开裂截面上不计混凝土的抗拉能力。
  - 3) 在钢束粘结之前，计算截面特征时应扣除开口导管的面积。钢筋与粘结钢束的换算面积可计算在内。
- c) 应考虑由于施加预应力对毗邻结构引起的弹性和塑性变形、移位、长度改变和扭转等影响。

#### 6.5.6.2 预应力损失

- a) 在确定有效预应力时，应考虑允许存在由下列原因引起的预应力损失：
  - 1) 锚具滑移；
  - 2) 混凝土弹性缩短；
  - 3) 混凝土徐变；
  - 4) 混凝土收缩；
  - 5) 应力松弛；
  - 6) 由于钢束预计的或非预计的曲率引起的摩擦损失。
- b) 在后张拉钢筋中的摩擦损失，应根据试验所得的摆动系数和曲率系数确定，并在张拉过程中加以验证。应对设计中假定的系数值，许用的张拉力范围及钢束的伸长值作出规定。这些摩擦损失应按下式计算：

$$P_s = P_x e^{(Kl + \mu\alpha)} \dots\dots\dots (22)$$

当  $(Kl + \mu\alpha)$  不大于 0.3 时，可采用公式 (23)：

$$P_s = P_x (1 + Kl + \mu\alpha) \dots\dots\dots (23)$$

- c) 当预应力因构件与相邻结构的连接而可能降低时，设计中应允许此类降低。

#### 6.5.6.3 钢束端部锚固区配筋

为了控制锚头区的裂缝，应配置与作用力方向垂直的钢筋。

- a) 钢筋的尺寸应能承受至少 10% 的永久预应力荷载。此钢筋的配置应在离承载板不大于 50mm 处开始, 延伸至荷载方向不大于 2 倍承压板最小宽度。但是, 对围绕钢束锚固承载板的钢筋间距 50mm 的限值是可以放松, 只要满足下列条件:
  - 1) 锚固件埋入钢筋混凝土底板中。
  - 2) 从承载板中心至底板边缘的距离沿底板径向至少是承载板尺寸的  $2\frac{1}{2}$  倍。
  - 3) 底板各个方向的配筋按钢束受力的 10% 设计, 除了承受所有同时发生的荷载外, 还承受撕裂拉伸应力。
- b) 如果试验证明锚头区配筋足以承受预应力钢束的设计极限力, 可根据试验结果进行配筋以代替上述 a) 项中的规定。

#### 6.5.6.4 曲线钢束

在局部区域的设计中, 如贯穿件周围, 应考虑由曲线钢束所施加的所有的力。

#### 6.5.6.5 径向受拉钢筋

对于预应力安全壳的曲线部分, 应考虑径向力。应配置径向钢筋以承受双曲率安全壳部分由曲线钢束所产生的径向拉力。

钢筋间距不得大于壳体厚度或 914mm, 取两者中的较小值。径向钢筋应按照 6.5.5 节要求在曲线钢束形心两侧锚固。

#### 6.5.6.6 锚固区设计

##### 6.5.6.6.1 局部压力计算

预应力钢束端部锚具局压区的局部压力当采用普通锚垫板时应按下式计算:

$$F_l = 1.2A_p \cdot f_{ptk} \dots\dots\dots (24)$$

式中:  $F_l$  = 局部压力设计值;

$A_p$  = 预应力钢束截面面积;

$f_{ptk}$  = 预应力钢束极限抗拉强度标准值。

##### 6.5.6.6.2 锚垫板

当锚垫板采用整体浇筑时, 其局部受压区的设计应符合相关标准的规定。因其受力复杂可通过实验结合计算分析进行验证。

##### 6.5.6.6.3 间接钢筋

间接钢筋的配置应符合 GB 50010 第 6.6 节的规定, 体积配筋率不应小于 0.5%。

#### 6.5.7 结构件的分隔

由于在设计荷载和温度效应作用下安全壳将产生变形, 因此, 在设计安全壳时应考虑这种变形以及与整体的、相邻的和内部的结构和部件的相互影响。否则, 安全壳应与相邻的和内部的结构有足够的间隔, 以确保发生变形时没有相互触碰。

#### 6.5.8 基础设计要求

#### 6.5.8.1 概述

- a) 设计中采用的地基特性应得到分析的支持,应根据试验室或野外试验提供的资料进行分析,试样取自支承安全壳的地表下岩层。
- b) 为防止由于洪水或在未来可能有相邻的施工引起的破坏,基础底部应设置在最终室外地面以下有足够的距离。
- c) 必须考虑短期的与长期的地基土体特征。为了保证采用最大荷载条件,应采用包括预期值附近的土体参数值的变化范围。

#### 6.5.8.2 裂缝宽度验算

筏底板宜进行裂缝宽度验算,裂缝宽度验算可采用表17列出的荷载组合,但各类荷载工况的荷载系数应取1.0。对于正常运行工况下裂缝宽度不应大于0.3mm。

最大裂缝宽度可参考NB/T 20012—2010第9.1节中公式11计算。

#### 6.5.8.3 稳定性验算

在验算基础底板抗滑移和抗倾覆稳定性时,抗滑移和抗倾覆安全系数应满足下列要求:

- a) 对于与严重环境荷载有关的荷载效应组合:大于1.5;
- b) 对于与极端环境荷载有关的荷载效应组合:大于1.1。

必要时应进行基础底板抗浮稳定性验算。抗浮稳定性验算时仅考虑永久荷载,抗浮安全系数取1.1。

#### 6.5.8.4 地下水位

设计分析应考虑到地下水位可能有明显变动的影响。在沉降计算时,应考虑到土体持力后湿度变化的效应。

#### 6.5.8.5 材料劣化

设计中应提供适当的防护措施,以防止基础材料可能劣化。

#### 6.5.8.6 安全壳地基位移

安全壳的移动应考虑到与相邻的或附着的管道或设备之间潜在的相互影响。应充分注意诸如黏土层或淤泥层的固结造成的长期沉降。应研究避免将安全壳坐落在规定设计条件下易液化的地层上。

安全壳的地基位移计算可采用表17列出的荷载组合,但各类荷载工况的荷载系数应取1.0。

### 6.5.9 安全壳外部锚固件

#### 6.5.9.1 概述

应考虑锚固件、预埋件或不与钢衬里或承载钢构件相连接的其他附着件的效应,它们提供从外表面与安全壳混凝土的锚固。虽然锚固件不属于本文件管辖范围。但应按本节的要求考虑它们对安全壳产生的效应。

#### 6.5.9.2 荷载和位移

应考虑到按本文件6.2节所述的相应荷载类别和荷载组合对安全壳引起的荷载。应按本文件6.5.7节和6.5.8.6节的要求考虑安全壳的位移及其效应。

#### 6.5.9.3 分析方法

对此类锚固件预期效应所做的必要分析应与本文件6.3节保持一致。

#### 6.5.9.4 设计许用值

锚固件的效应与按6.5.9.2节和6.5.9.3节确定的作用于安全壳的其他荷载组合在一起时产生的应力或应变不得超过本文件6.4节的许用值。

#### 6.5.9.5 附加的设计要求

设计技术规格书中应包含对外部锚固件设计的要求，防止它们对安全壳造成结构性破坏。

### 6.6 衬里设计分析规程

#### 6.6.1 概述

- a) 当衬里、贯穿件、托架和附着件承受 6.2 节中所列荷载时，应对它们进行充分详细的分析，以表明 6.7 节中的每一项设计许用值都得到满足。
- b) 可采用试验结果来评定衬里部件承受静荷载或周期性荷载的能力。

#### 6.6.2 衬里

对衬里的分析应考虑到由于7.5.2.2节中所述的制造与安装公差以及建造技术规格书中规定的附加公差所引起的衬里几何形状的偏差。由于衬里锚固件的间距相对衬里直径来说比较密，所以衬里可按梁板理论进行分析，在分析中所作的假设均偏于保守。

#### 6.6.3 衬里锚固件

锚固件分析时，可假定在所有工况下衬里均处于弹性状态，例如，根据衬里应变确定其内力时，可采用屈服强度之内的弹性模量和泊松比用虎克定律求得。若衬里应力和导致的薄膜力大大超过单轴屈服强度，则可进行双轴试验以确定双轴屈服强度。若已完成双轴试验，在设计确认衬里处于塑性状态时，则可确定锚固件荷载。

#### 6.6.4 贯穿件组件

对贯穿件的分析，适当时可采用《压水堆核电厂MC级部件建造规则》中用于金属安全壳的分析方法和程序。分析中应考虑混凝土对嵌入安全壳内的贯穿件套管的约束作用。允许在衬里开孔处局部加厚。

#### 6.6.5 托架和附件

与衬里相连接的托架和附件，应按AISC《钢结构手册》第5部分《建筑物钢结构设计制作和安装技术规格书》中适用于梁、柱和焊接件的可接受的技术进行设计和分析。

### 6.7 衬里设计

#### 6.7.1 概述

由于荷载和其他效应的特性以及部件的类型，部件的许用承载能力可根据不同适用范围，以应力、应变、力或位移来规定。因为许多许用承载能力是基于极限承载能力，所以为了核实特定部位的极限承载能力，可能需做原型试验。

#### 6.7.2 衬里

衬里的计算应变和应力不得大于表21规定的数值。表17的荷载组合适用于衬里，但对所有荷载的荷载系数等于1.0的情况除外。当按正常使用荷载和极限设计荷载的组合计算衬里的应变时，与建造有关衬里变形引起的应变可以不考虑。

6.7.3 衬里锚固件

- a) 衬里应锚固在混凝土中，使衬里应变不超过 6.7.2 节所规定的许用值。在选择锚固件的规格和间距时，应预计到在 6.2 节中列出的所有荷载和荷载组合的作用下衬里的响应。锚固系统的设计应能调节平面内(剪力)设计荷载或由衬里及正常作用于衬里法向表面的荷载所产生的变形。
- b) 力和位移的许用值如表 22 所列。表 17 列出的荷载组合适用于衬里锚固件，但所有类型荷载的荷载系数可取为 1.0。机械荷载是不能自限和自卸的荷载；位移约束荷载是由结构约束或相邻材料约束产生的荷载，是能自限和自卸的。
- c) 应在设计技术规格书中规定锚固到混凝土中的锚固力。

表21 衬里板的许用值

类 别	应力—应变许用值 <sup>(1) (2)</sup>	
	薄膜应力	薄膜与弯曲应力组合
建造荷载	$f_{st}=f_{sc}=2/3f_{py}$	$f_{st}=f_{sc}=2/3f_{py}$
使用荷载	$\epsilon_{st}=\epsilon_{sc}=0.002$	$\epsilon_{st}=\epsilon_{sc}=0.004$
极限设计荷载	$\epsilon_{sc}=0.005$ $\epsilon_{st}=0.003$	$\epsilon_{sc}=0.014$ $\epsilon_{st}=0.010$
注：（1）本表限定的应变类型为非建造有关衬里变形引起的应变。 （2）应变的单位为mm/mm。		

表22 衬里锚固件的许用值

类别	力和位移许用值	
	机械荷载取较小值	位移约束荷载
试验、正常、严重环境、极端环境	$F_a=0.67F_y$ $F_a=0.33F_u$	$\delta_a=0.25\delta_u$
异常环境、异常 / 严重环境、异常 / 极端环境	$F_a=0.9F_y$ $F_a=0.5F_u$	$\delta_a=0.50\delta_u$

6.7.4 贯穿件组件

- a) 每个贯穿件均应具有锚固系统，能把荷载和热效应传递到混凝土。锚固系统设计应符合衬里锚固件要求。
- b) 贯穿件接管的设计许用值应与本文件其他部分中所采用的数值相同。接管是组件的一部分，没有混凝土背面支持。
- c) 贯穿件附近衬里的设计许用值应与 AISC《建筑物钢结构设计、制作和安装技术规格书》中对于在使用荷载工况承受机械荷载<sup>12)</sup>时的数值相同。对于带系数的设计荷载，许用值可乘以系数 1.5，但冲击荷载和撞击效应除外。
- d) 贯穿件套管中背面支持混凝土部分的设计应符合 6.7 节和 6.8 节的要求。
- e) 要传递到混凝土中的锚固力应在设计技术规格书中规定。

6.7.5 托架和附件



- a) 托架、附件以及邻近衬里的设计许用值应与 AISC《钢结构手册》第 5 部分《建筑物钢结构设计、制作和安装技术规格书》中在建造、试验和正常工况下承受机械荷载<sup>13)</sup>的数值相同。除冲击荷载和撞击效应外，对所有其他类别的荷载许用值可乘以系数 1.5。
- b) 要传递到混凝土中的锚固力应在设计技术规格书中规定。

### 6.7.6 疲劳

由于大多数应力和应变的变动次数不多，且仅产生较小的应力应变波动，所以在一般情况下，衬里设计不受疲劳控制。地震和设计基准事故时的最大设计应变的发生机会非常少，且一般起控制作用的次数也极少。虽然如此，但由于衬里的重要性，设计方应确保在规定的运行工况下，包括在设计技术规格书中规定的周期性加载和温度作用下衬里的稳定性。应采用本文件其他部分中规定的疲劳分析方法和限值。

## 6.8 衬里设计细节

### 6.8.1 衬里锚固件

锚固件的设计和分析应考虑下列影响：

- a) 由于衬里曲率变化而产生的不平衡荷载。衬里在锚固件之间的某些区域可能具有向内的曲率，而在其他一些区域则具有向外的曲率。这种曲率的变化会在锚固件上产生剪力荷载和位移。
- b) 由于 SA-20 规定了轧制公差，衬里厚度可以大于公称厚度。较厚的衬里板比公称厚度的衬里板对锚件系统产生的力和位移更大。
- c) 由于轧制工艺和双轴荷载，屈服强度会高于最小规定数值。可采用以下方法，对屈服强度超过最小规定值进行充分考虑：
  - 1) 假设材料处于弹性状态，将衬里应变换算为应力和薄膜力；
  - 2) 进行双轴屈服强度试验，以确定衬里材料的双轴屈服强度。但只有当锚固件的设计依赖衬里的屈服以限制作用于锚固件的力时，才需要做双轴屈服强度试验。
- d) 焊接偏差，结构不连续及衬里背靠的混凝土空洞。
- e) 锚固件间距的变化。
- f) 由于混凝土弹性模量的变化引起的锚固件刚度变化；
- g) 锚件区混凝土的局部压碎。
- h) 栓钉应设计成能在衬里被撕裂前破坏。

### 6.8.2 贯穿件衬里

以管道破裂荷载而设计的贯穿组件应考虑下列荷载之一：

- a) 管道所能产生的弯矩、轴向力、扭矩和剪力荷载；
- b) 以设定管道破坏推力为时间函数的动力分析所得出的贯穿件荷载。

### 6.8.3 从混凝土结构至钢结构的过渡

#### 6.8.3.1 过渡细节

当安全壳采用混凝土和金属组合结构时（图9），应遵照以下的设计规则。过渡截面应分成两类：

- a) 第 1 类——安全壳全直径过渡，嵌入混凝土安全壳墙壁内带接管的贯穿件用以连接管道、设备闸门和人员闸门；
- b) 第 2 类——用可压缩材料作衬垫的局部区域。

13) 机械荷载为不能自限的荷载。

6.8.3.1.1 第一类过渡区

- a) 非混凝土背衬的金属部件应满足本文件其他部分的所有设计要求，并应考虑混凝土的限制作用。
- b) 采用与主加筋系统或预应力系统相连接的栓钉、锚栓或能传递设计荷载的任何锚固方法，将金属段固定在安全壳的混凝土段。

6.8.3.1.2 第二类过渡区

用提供局部柔性的可压缩材料做为金属部件的背面支持，应满足本文件其他部分有关可压缩材料的全部设计要求。当过渡段背面衬有混凝土或有预埋构件时，仅需满足第6章的要求。

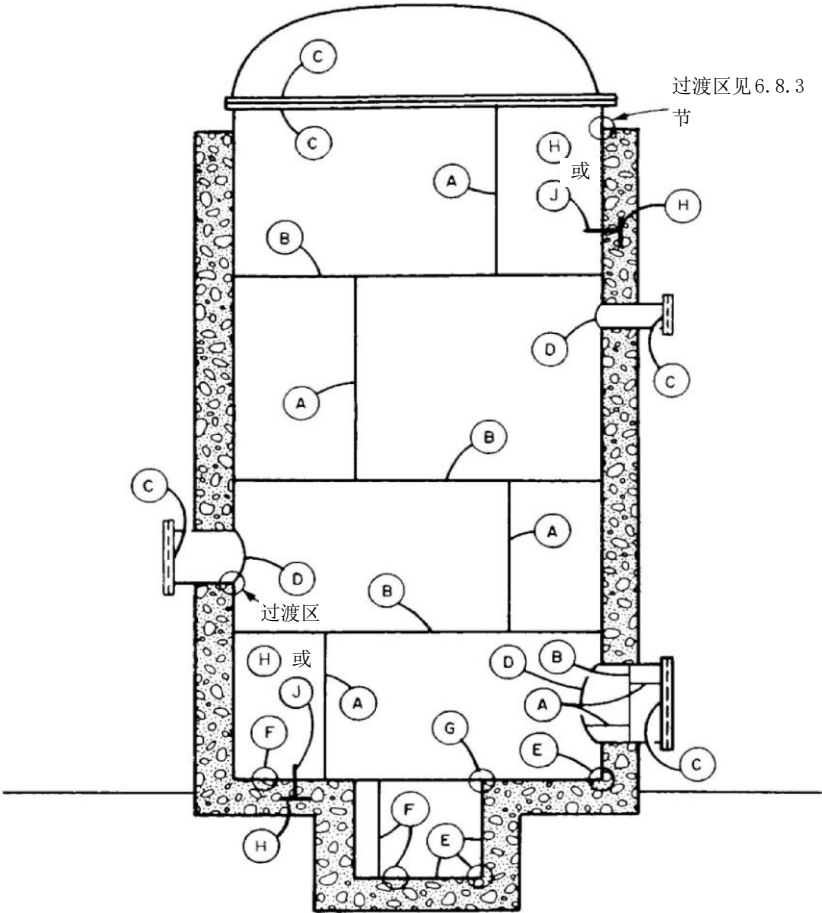


图9 由钢束性能鉴定试验得到的机械性能试验结果记录

6.8.4 焊接建造

6.8.4.1 焊缝分类

这里所使用的术语分类指焊缝在衬里中的位置及某些验收细节。每一类中包含的焊缝分别标示为A、B、C、D、E、F、G、H和J。图9中给出了典型的焊缝位置。

- a) A类——衬里或贯穿件接管内的纵向焊缝。
- b) B类——衬里或贯穿件接管内的环向焊缝。
- c) C类——对该类焊缝的说明和要求见《压水堆核电厂 MC 级设备建造规则》6.5 节。
- d) D类——连接贯穿件接管与衬里的焊缝。
- e) E类——衬里的平面底板部分与衬里的球形、柱形或锥形部分相连接的焊缝，或衬里侧面板交接处、或侧面板与底板交接处的焊缝。

- f) F 类——衬里楼层板之间的连接焊缝、楼层板与过渡段之间的焊缝，以及衬里侧面板和底板之间的连接焊缝。
- g) G 类——连接衬里侧面板和衬里楼层板之间的焊缝。
- h) H 类——把附件与衬里相连接的焊缝，预埋锚固件与附件与衬里或与其他预埋锚固件相连接的焊缝。
- i) J 类——把衬里板与连续穿过衬里的预埋件相连接的焊缝。

#### 6.8.4.2 许用的焊缝类型

当在衬里与混凝土之间有压缩材料时，任何类型的焊缝均应满足6.8.3节中对混凝土与钢结构之间过渡段的要求。

##### 6.8.4.2.1 A 类

所有 A 类焊缝均应满足 7.5.4.2 节的制造要求，并应能按 8.5.2 节的要求进行检验。

##### 6.8.4.2.2 B 类

所有 B 类焊缝均应满足 7.5.4.2 节的制造要求，并应能按 8.5.2 节的要求进行检验。

##### 6.8.4.2.3 C 类

应用于 C 类焊缝的规则见《压水堆核电厂 MC 级设备建造规则》6.5 节。

##### 6.8.4.2.4 D 类

- a) 对于直径大于 75mm 接管，D 类焊缝应符合图 13 和图 14 的要求。
- b) 对于直径不大于 75mm 的接管，D 类焊缝应符合图 15 和图 16 的要求。

##### 6.8.4.2.5 E 类

此类焊缝应如图 17 所示的型式。

##### 6.8.4.2.6 F 类

此类焊缝应如图 18 所示的型式。

##### 6.8.4.2.7 G 类

此类焊缝应如图 19 所示的型式。

##### 6.8.4.2.8 H 类

此类焊缝应如图 20 所示的型式。

##### 6.8.4.2.9 J 类

此类焊缝应如图 21 所示的型式。

##### 6.8.4.2.10 最小尺寸

应满足图 13 至图 21 中最小尺寸的要求。图中：

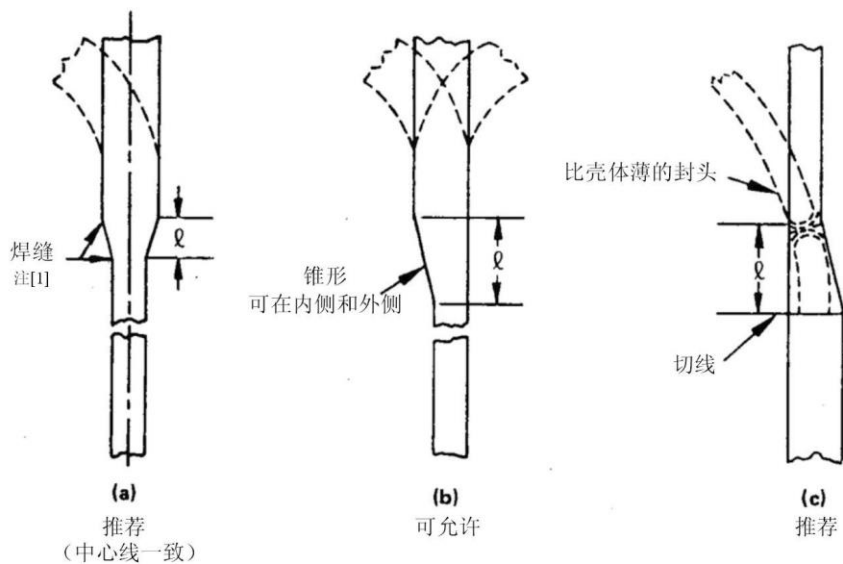
$t$ —衬里公称厚度；

$t_a$ —衬里附件的公称厚度；

$t_c=0.7 t_n、0.7 t_1、0.7 t_d$ 或6mm中的较小者；  
 $t_{min}=19\text{mm}$ 与相连接的零件中厚度较薄者，两者中取较小值；  
 $t_n$ =贯穿零件的公称厚度；  
 $t_w=0.7 t_{min}$ ；  
 $t_1、t_2$ =不小于6mm或 $0.7 t_{min}$ 中较小者；  
 $t_1、t_2 \geq 1/4 t_{min}$ ；  
 $r_1=1/4 t$ 或19mm中较小者；  
 $r_2$ =最小6mm。

6.8.4.3 不等厚度过渡

对于所连接的两段，其厚度差大于较薄段厚度1/4的A类和B类焊缝，应在两段间提供一个锥形过渡段，该过渡段的长度不小于相邻截面厚度偏差的3倍，如图10所示。过渡段可用任何能提供均匀坡度的工艺制成。



注：锥形的长度可包含在焊缝宽度以内。

图10 锥形过渡段

6.9 冲击荷载和飞射物撞击的设计准则

6.9.1 概述

安全壳与衬里的设计应能承受管道破裂产生的冲击荷载效应，和承受由于管道破裂、龙卷风产生的飞射物或设计技术规格书中按6.2节的要求规定的其他飞射物的撞击。荷载分类见6.2.4节。

6.9.2 设计许用值

6.9.2.1 概述

6.9.2.1.1 正常和严重环境荷载类别

在正常和严重环境下承受荷载的结构构件，其设计不允许超过屈服强度。

6.9.2.1.2 异常、极端环境、异常加极端环境荷载类别

在异常、极端环境、异常加极端环境下承受冲击荷载和动态效应的结构构件，其设计允许超过屈服应变和位移值。通过限定在评定结构的能量吸收能力或抵抗性能时所假设的延性比值<sup>14)</sup>来保证设计的恰当性。

### 6.9.2.2 许用应力值

在确定截面强度时所采用的允许值见6.4节和6.7节。在确定 $f_y$ 值时，可考虑荷载的动态效应。

### 6.9.2.3 延性限值

#### 6.9.2.3.1 冲击荷载

在针对冲击荷载进行设计时采用的延性比限值不应大于失效状态下延性比值的1/3。

#### 6.9.2.3.2 撞击效应

在针对撞击荷载进行设计时采用的延性比限值不应大于失效状态下延性比值的2/3。

### 6.9.3 设计假设

#### 6.9.3.1 穿透公式和冲击或撞击效应

飞射物撞击区域的局部设计可采用经验的穿透公式。飞射物穿透深度应限制在该截面总厚度的75%以内。飞射物撞击的局部区域，其最大直径规定为撞击飞射物平均直径的10倍，或 $2.76\sqrt{t}$ 加上撞击飞射物的平均直径，式中 $t$ 定义为该截面总厚度，单位为米，取其较小值。飞射物撞击的局部区域的损坏效应应在该截面的全部结构完整性中予以考虑。

#### 6.9.3.2 撞击时的有效质量

对于混凝土截面，在确定飞射物撞击时传递的动能或结构响应的动态特征时，所采用的该截面的有效直径应等于飞射物的平均直径加上该截面厚度 $t$ 。如果通过试验或分析证明适宜采用较大的数值，则可采用较大的有效质量数值。

## 7 制作和建造

### 7.1 通用要求

#### 7.1.1 引言

无论在工厂还是在施工现场，混凝土安全壳的制作与建造均应满足本章要求。除另有说明外，本章内的术语部件应理解为包括零件和附件。凡要求符合金属安全壳的设备要求而又不利用背衬混凝土来承载的部件，其制作应符合《压水堆核电厂MC级设备建造规则》第7章相关要求。按本文件其他部分要求制作的部件的附件应满足本章的要求。

#### 7.1.2 部件生产商或建造商出具的材料、制作或建造的合格证明

##### 7.1.2.1 证明的方法

混凝土安全壳或部件的生产商或建造商应按照本文件5.5.4的要求以相应的标记和数据报告，证明其所采用材料满足本文件第5章的要求，并证明其制作和建造满足本文件章的要求。

##### 7.1.2.1.1 作业、试验和检测的合格证明

14) 延性比 $\mu$ 定义为：在构件破坏点的最大变形或应变与最大弹性变形或应变之比。

如果生产商或建造商按本文件的要求进行作业、试验、修补或检测，并应证明完全满足相关要求。全部作业报告和全部试验、修补和检测的结果均应提交给建造单位或其他监管部门。

#### 7.1.2.1.2 材料的复验

如果在部件的制作或建造期间，发现材料所处的条件将引起其主要特性改变，而在设计报告中又未予考虑，且其性能参数可能偏离规定数值时，生产商或建造商则应对该材料进行复验，或进行附加试验以证明该材料是合格的。

#### 7.1.2.2 材料的识别

##### 7.1.2.2.1 混凝土

每一次混凝土浇筑(一次浇筑的定义是在施工缝之间的连续浇筑)应在竣工图中注明浇筑日期记录，以及混凝土批次单号，以满足 7.2.2 节所需资料的可追溯性的要求，以及对接 8.2.3 节的要求进行的试验结果的可追溯要求。

##### 7.1.2.2.2 钢筋材料

成组或成批的钢筋应根据证明文件、标签或对具体炉号或冶炼方式，直到完成对材料试验报告的审查为止的其他控制手段来进行识别。在钢筋验收以后，应提供充分的证明文件、标签或其他形式的证明材料，以保证已验收的一批钢筋或成组的多批钢筋的可追溯性。

##### 7.1.2.2.3 预应力系统材料

预应力系统材料应带有识别记号或标签，在钢束组装完成以前，应确保其能被识别。如果原始识别记号被切去或材料被分成两块或多块，则应在切割以前即将记号正确地转移到分割块上去，或者采用编码记号或其他控制方式来保证材料的每个分割块在随后的组装期间可被识别。应编制适用于一组或多组材料的试验合格报告表。

##### 7.1.2.2.4 衬里材料

衬里材料(不包括检漏槽系统材料、预埋件和附件材料)应带有识别记号，在衬里组装完成之前，这些识别记号应保持其可识别性。如果原始识别记号被切去或材料被分成两块或几块，则应在切割以前即将标记正确地转移到各切割块上，或者采用编码记号的方法以保证在随后的制作或安装过程中每块材料都能被识别。在上述任一种情况下，竣工图或材料表中都应注明每块所使用材料所对应的编号和材料试验合格报告。应对焊接和钎焊材料也应进行识别和控制，使它的使用能被追溯到每块衬里。或者，采用控制程序来保证所使用的材料是规定的材料。

##### 7.1.2.2.5 材料的控制

材料应按下列要求进行控制、标记和保持被识别。

###### 7.1.2.2.5.1 对订购的物项和服务的控制

核安全法规 HAF003 的规定，其要求本文件应予采用。

###### 7.1.2.2.5.2 物项的识别和控制

- a) 核安全法规 HAF003 的规定，其要求 7.1 和 7.3 应予采用。
- b) 所有级别的焊接材料的制造应予控制。

c) 由材料技术规格书和本文件要求报告的所有特性均应在校验清单上列出，而这样的每一种特性都应按要求由认可的规程来检测，并记录结果。在合格材料试验报告或合格证书上列出的特性不需在检验清单上重复。校验清单应提供一份记录合格材料试验报告和合格证书已接收、审核和验收的校验清单。当建造单位所作检测或试验规程的结果须表明其符合材料技术规格书或其他要求时，则校验清单应表示出所要求各数值的范围。校验清单还应留有位置以填写下列内容：包括进行检测或试验的文件编号和版本；建造单位代表的签名、姓名或盖章，完成检测的日期；民用核设施营运单位或其委托单位的签名、姓名或盖章、以及见证这些活动的日期。

### 7.1.2.3 检测

除非另有规定，不依据本文件第8章的要求检测，而仅用来验证满足本文件第7章的要求时，这类目视检测活动可不满足按本文件第8章规定的人员资质要求和规程来进行。

## 7.2 混凝土

### 7.2.1 概述

建造单位应编制相应的建造技术规格书，对混凝土原料的堆放、配料、搅拌和混凝土的运输、浇筑、振捣、养护以及施工缝的设置与处理等作出规定。建造单位还应为控制混凝土温度提出相应要求或编制具体的施工方案。建造技术规格书除满足本节要求与设计文件的要求外，还应符合GB 50164与GB 50666的相关要求。

### 7.2.2 储存、配料、搅拌和浇筑

#### 7.2.2.1 堆放和储存

##### 7.2.2.1.1 骨料

骨料的装卸、运输和堆放方式应使骨料保持最小的隔离，并保持骨料的细度和等级在规定范围之内。储料堆之间不得互相混合。应提供合适的储存设施以满足上述要求，骨料应按8.2.2.3节的要求取样和检验。

##### 7.2.2.1.2 湿度控制

水泥、掺合物和其他因受潮而会产生有害影响的混凝土和水泥浆成分，其储存、加工和运输方式应考虑防潮措施。如果上述材料在检测以后受潮，则在使用前应按8.2.2节的要求重新取样和检测。

#### 7.2.2.2 拌合物

##### 7.2.2.2.1 概述

建造技术规格书中对混凝土制品拌合物原材料应按GB 50164作出规定。只允许使用原料堆场或仓库中已验收的成分。拌合物原料从储存处中取出的方式，应使原料粒径和级配保持在规定的范围内。

##### 7.2.2.2.2 计量

骨料、水泥、冰以及矿物外加剂应按重量计量。液体可按体积或重量计量。应确定骨料和外加剂中的游离水含量，应将其作为修正值计入添加的所需拌和水总量中。原材料计量宜采用电子计量设备。计量设备的精度应符合现行国家标准GB/T 10171的有关规定，应具有法定计量部门签发的有效检定证书，并应定期校验。各种原材料计量的允许偏差应符合GB 50164的相关要求。

#### 7.2.2.3 搅拌

### 7.2.2.3.1 概述

混凝土的最短搅拌时间应根据使用设备的不同满足 GB 50164 规定的要求以及设计文件中的相关附加要求进行。

### 7.2.2.3.2 搅拌机的操作

混凝土搅拌机应符合现行国家标准 GB/T 9142 的有关规定。混凝土搅拌宜采用强制式搅拌机。搅拌机的搅拌容量和搅拌时间，应根据搅拌机均匀性试验的性能来确定。搅拌机只能在经均匀性试验所确定的搅拌容量和搅拌时间的范围内工作。

### 7.2.2.4 运输

#### 7.2.2.4.1 概述

混凝土从搅拌机运输到最后浇筑处的方式，应控制混凝土不离析、不分层，并应控制混凝土拌合物性能满足施工要求。混凝土运输、输送过程中严禁加水。

#### 7.2.2.4.2 运输设备

运输设备应能保证浇筑现场混凝土的供应，不发生混凝土成分的离析，亦不会因浇筑中断使混凝土在前后两次浇筑之间失去可塑性。运送速度应保证未振捣的混凝土不会被新送来的混凝土所覆盖；如果已硬化的混凝土表面尚未按施工缝作适当处理，新混凝土不得浇筑在已硬化的混凝土之上。所有运输设备，包括漏斗、吊桶、输送机、泵和滑槽的性能选择，均应使混凝土符合规定的性能。混凝土在输送过程中不得与铝接触。

### 7.2.2.5 浇筑

#### 7.2.2.5.1 概述

混凝土的浇筑的布料点宜接近其最后浇筑位置，以避免由于再次搬运或倾落而造成混凝土的离析。混凝土的浇筑速度应使混凝土在整个浇筑过程中保持可塑性和流动性，易于流入模板以及钢筋和预埋件周围。

对于已经部分硬化或被污染的混凝土不应浇筑入结构中，严禁在混凝土浇筑过程中加水改变稠度或已将初凝的混凝土重新搅拌后使用。混凝土运输、输送过程中严禁加水；混凝土运输、输送、浇筑过程中散落的混凝土严禁用于混凝土结构构件的浇筑。

#### 7.2.2.5.2 连续性

混凝土宜一次连续浇筑。混凝土应分层浇筑，上层混凝土应在下层混凝土初凝之前浇筑完毕。混凝土运输、输送入模的过程应保证混凝土连续浇筑。从运输到输送入模的延续时间和混凝土分层浇筑厚度应符合 GB 50666 的相关要求。如不能连续浇筑，需要设置施工缝进行多次浇筑的，施工缝的设置和处理，应满足 7.2.5.2 节的要求。

### 7.2.2.6 捣固

#### 7.2.2.6.1 概述

混凝土应完全包裹住钢筋和预埋件，并能填充模板的每个角落。应根据混凝土拌合物特性及混凝土结构、构件或制品的制作方式选择适当的振捣方式和振捣时间。混凝土的振捣要求应满足 GB 50666 的相关要求。



### 7.2.2.6.2 水泥浆的使用

当浇筑和振捣的条件困难或钢筋密集时,可采用与混凝土中所用的同样比例的水泥和砂所组成的水泥浆替代混凝土,先将其灌入模板中到规定深度。水泥浆中应加入足够的水以提供必要的和易性,但水灰比不应超过规定的混凝土配合设计的水灰比。

### 7.2.2.6.3 可浇筑性试验

如果设计文件中有要求,则应做一个或多个试件,并浇筑规定的混凝土,以证实该混凝土在现场条件下能正确地浇筑并振捣密实。试件应包含具有代表性数量的钢筋、钢绞线和预埋件。试验所用的振捣器、设备和规程均应是实际建造中所采用的。

## 7.2.3 预填骨料混凝土

### 7.2.3.1 概述

建造技术规格书应对材料、压浆管位置和布置、粗骨料的预填和压实、水泥浆泵和设备、压浆准备、顶面填满、水泥浆配比设计、流动性和温度等作完整的说明。应根据GB 50164编制规格书和规程。

## 7.2.4 养护

建造单位应编制相应的建造技术规格书,对结构、构件或混凝土制品情况、环境条件、原材料情况以及对混凝土性能的要求等提出施工养护方案或生产养护制度,并应严格执行。养护方案应符合 GB 50164 和 GB 50666 的相关要求以及设计文件中对于混凝土养护的相关要求。

## 7.2.5 模板和施工缝

### 7.2.5.1 模板设计

#### 7.2.5.1.1 概述

模板应按设计图纸的要求形成构筑物最终的外形、轮廓和尺寸,还应牢固和足够紧密以防止渗浆。模板及其支架应具有足够的承载能力、刚度和稳定性,能可靠地承受浇筑混凝土的重量、侧压力以及施工荷载。模板及其支架拆除的顺序及安全措施应按建造技术规格书执行。模板的制作,安装与拆除应符合 GB 50666 的相关要求。

#### 7.2.5.1.2 模板设计

模板及其支架应根据工程结构形式、荷载大小、地基土类别、施工设备和材料供应等条件进行设计。模板及支架应保证工程结构和构件各部分形状、尺寸和位置准确,且应便于钢筋安装和混凝土浇筑、养护。应根据建造技术规格书对采用的模板类型进行设计,以使其具有足够的承载力和刚度,并应保证其整体稳固性。

#### 7.2.5.1.3 使用衬里作为模板

当使用安全壳钢衬里作为模板时,应特别注意衬里支撑和浇筑段高度,以防止混凝土浇筑过程钢衬里产生变形超过 7.5.2.2 节的公差要求。

### 7.2.5.2 施工缝

施工缝的位置应在混凝土浇筑前按设计要求和建造技术规格书确定。施工缝的处理应按建造技术规格书执行。应特别注意:在浇筑混凝土以前,要确保在将要浇筑混凝土的地方清除所有的垃圾、水、冰

等。施工缝的处理包括将浮浆和杂物从硬化的混凝土表面上清除；把表面凿毛至均匀地露出骨料；以及在浇筑新混凝土以前将表面用水浸透。

### 7.2.5.3 混凝土预制块

如果采用混凝土预制块作模板，则建造技术规格书应规定其定位误差允许值、构件之间接缝形式、表面处理以及为与安全壳混凝土联结所需要的拉结措施。应为混凝土预制块设置足够的支撑，以防止混凝土浇筑时发生位移。

### 7.2.6 寒冷与炎热气候条件

寒冷与炎热气候时的建造活动应符合建造技术规格书的规定。建造技术规格书应规定混凝土浇筑时的温度容许范围。建造单位可根据施工现场的实际气候条件编制针对冬季低温和夏季高温时的应对措施。可以考虑包括混凝土原料的预热或预冷，加冰或其他方法控制混凝土的温度与最大降温速率的措施，以防止天气温度对混凝土质量的不利影响，冬季低温和夏季高温时的混凝土施工要求应符合GB 50666的相关要求。

### 7.2.7 混凝土的修补

蜂窝麻面或有缺陷的混凝土应按设计方指定的方法予以修补或拆除后重新浇筑。邻接表面应按施工缝的要求（7.2.5.2节）进行处理。

### 7.2.8 用于灌浆钢束系统的水泥浆

#### 7.2.8.1 灌浆设备

- a) 计量和配制水泥浆原料的设备，其精度应在 $\pm 1\%$ 以内（按质量计）计量器具应经法定计量检定合格，并在有限使用期限内。
- b) 材料应在设备中拌合，生产出稠度均匀、没有结块和未搅散的水泥浆。水泥浆在输送前应连续搅拌。
- c) 泵应是正排量型并能施加所要求的最大压力。应提供安全装置以防止所施加的泵排放压力超过3MPa。泵在输送水泥浆时不能吸入空气。
- d) 在搅拌机与泵之间应配备不大于1.2mm $\times$ 1.2mm的筛网过滤，以确保水泥浆中不会有结块。
- e) 设备的设计应能防止水泥浆的渗漏和成分析析。

#### 7.2.8.2 灌浆

预应力系统的建造技术规格书中应规定详细的灌浆程序。灌浆程序中应包括水泥浆的性能要求和置备方法，灌浆作业的方法，灌浆设备的必要性能，检查方法和质量保证要求。

- a) 灌浆应尽可能在钢筋张拉后立即进行。建造技术规格书中应规定灌浆之前钢束暴露在不受控制环境中的总时间不超过30天，从钢束张拉到灌浆的时间不宜超过7天，除非有专门措施防止钢束锈蚀。在这种情况下，这些专门措施所使用的方法和产品不得影响水泥浆作为抗腐蚀剂的有效性，也不损害预应力构件与水泥浆之间的粘合。设计方应对当地大气条件的潜在锈蚀影响进行评价，以确定是否必须在设计文件中对上述限值增添附加限制。
- b) 灌浆前不建议用水泥浆冲洗，如果灌浆前不得不用水泥浆冲洗时，应采取适当的措施并在建造技术规格书中作出规定以确保：
  - 1) 在灌入的水泥浆中，其有害物质的含量不应高于设计水泥浆中的含量。
  - 2) 灌入的水泥浆的性能应符合5.2.4.3节的要求。

- c) 水泥浆在搅拌后到可供使用之间的最长时间应在建造技术规格书中规定，并由试验确定以证实：
  - 1) 当这样的水泥浆注入导管时，外加剂的预期反应仍在继续，例如膨胀剂。
  - 2) 浆体自拌制完成至灌入孔道的延续时间不应超过 2 小时，低于 GB / T 1346 所规定的水泥浆初凝时间。搅拌后不能在短时间内灌入孔道的水泥浆，应保持缓慢搅动。
- d) 灌浆期间，钢束导管内任何一点的温度应高于 5℃。灌浆后 48 小时内或者在水泥浆的最小抗压强度达到 5.5Mpa 之前，锚固件和钢束导管端头的温度应保持在 5℃ 以上，温度低于 5℃ 时应采取保温措施。在搅拌和泵送期间，水泥浆温度不应超过 38℃。
- e) 施工方编制灌浆程序时应考虑到可能出现的极端环境条件，规程应保证灌浆后导管中浆体饱满、密实。
- f) 所有开孔、排气和排水口在灌浆后均应密封以防止水或任何腐蚀介质的侵入。如使用膨胀水泥浆，所有高点开孔应敞开，以允许水泥浆在凝固前能自由膨胀。

7.3 钢筋系统的制作

7.3.1 概述

本节概述混凝土安全壳钢筋系统的制作要求。

7.3.2 钢筋的弯折

7.3.2.1 标准弯钩

7.3.2.1.1 定义

本文件所用术语标准弯钩应理解为下列定义之一：

- a) 末端 180° 弯折，弯钩末端平直段长度至少为钢筋直径的 4 倍，且不小于 65mm。
- b) 末端 90° 弯折，弯钩末端平直段的长度至少为钢筋直径的 12 倍。
- c) 箍筋和拉筋锚固：
  - 1) 直径小于 16mm 的钢筋，90° 弯头加延伸段，延伸段长度为钢筋直径的 6 倍；
  - 2) 直径 16mm~25mm 的钢筋，末端 90° 弯折，弯钩末端平直段长度不小于钢筋直径的 12 倍；
  - 3) 直径小于等于 25 的钢筋，末端 135° 弯折，弯钩末端平直段的最小长度为钢筋直径的 10 倍。

7.3.2.1.2 最小弯折直径

除直径 10mm 到 16mm 的箍筋和拉筋外，在标准弯钩的钢筋内侧所测得的弯曲直径不得小于表 23 所列数值。

表23 弯头的最小直径

钢筋规格	最小弯曲直径
d≤16mm	6d
16mm<d≤25mm	8d
d>25mm	10d

7.3.2.2 箍筋、拉筋弯钩和非标准弯钩的弯曲

- a) 箍筋和拉筋的内侧弯曲直径：对于直径小于等于 16mm 的钢筋不应小于钢筋直径的 4 倍。
- b) 所有其他钢筋的内侧弯曲直径不得小于表 23 的规定值。

7.3.2.3 弯折

7.3.2.3.1 钢筋制作

除 7.3.2.3.2 节所允许的情况外，钢筋的弯折均应冷弯。除 7.3.2.3.2 节所允许的情况外，所有要弯折的钢筋均应在埋入混凝土以前完成。

7.3.2.3.2 部分已埋入硬结混凝土中钢筋的弯折

不允许对部分已埋入硬结混凝土中的钢筋进行弯曲或调直，除非在个别需要进行现场变更或纠正情况下，并经设计方的特别同意。其弯曲直径应符合表 23 的要求。此外，弯折的起点与现有混凝土表面的距离不得小于图 11 所示。各种规格钢筋应遵守下列要求：

- a) 直径小于等于 16mm 的钢筋可被冷弯一次。对于以后的调直或弯折，需按 7.3.2.3.3 节的要求进行预热。
- b) 直径大于 16mm 及以上的钢筋应按 7.3.2.3.3 节的要求进行预热。
- c) 所有弯头的检测应符合 8.3.4 节的要求。

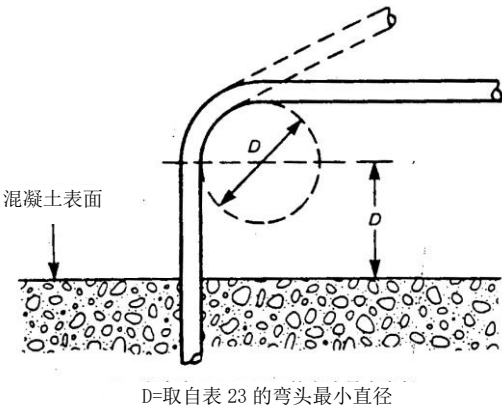


图11 许可的弯头设置

7.3.2.3.3 预热

如果钢筋在弯折或调直前需要预热，应满足下列要求：

- a) 预热可采用方法不应损害钢材性能或对混凝土产生有害作用；
- b) 预热长度应从弯折中点起每边为钢筋直径的 5 倍，预热不得延伸到混凝土表面下。预热钢筋与混凝土交接面处的钢筋的温度不应超过 260℃。
- c) 预热温度应为 595℃至 650℃。
- d) 预热温度应保持到弯曲或调直完成为止。
- e) 应使用测温笔或接触式高温计测量预热温度。

7.3.2.3.4 公差

钢筋应满足建造技术规格书中的公差要求。

7.3.3 钢筋的连接

7.3.3.1 引言

7.3.3.1.1 概述

钢筋连接应按设计文件中所要求的或所允许的方式进行。在设计文件中没有明确规定时，应满足现行 GB 50010 的相关要求。

### 7.3.3.1.2 连接和接头的许用形式

钢筋的连接可以使用下面3种连接和接头形式：

- a) 绑扎搭接，相关要求应符合 GB 50010 的相关要求。
- b) 下述形式的机械连接，钢筋机械连接的施工与验收要求应符合 JGJ 107 的要求：
  - 1) 填充黑色金属的套筒连接；
  - 2) 锥形螺纹接头；
  - 3) 挤压接头；
  - 4) 螺纹变形钢筋的螺纹连接；
  - 5) 充填胶结水泥浆的套筒连接；
  - 6) 直螺纹接头；
- c) 焊接接头，从事钢筋焊接施工的焊工应持有钢筋焊工考试合格证，并应按照合格证规定的范围上岗操作，并应按照合格证规定的范围上岗操作。在钢筋工程焊接施工前，参与该项工程施焊的焊工应进行现场条件下的焊接工艺试验，经试验合格后，方可进行焊接。钢筋焊接接头的适用范围、工艺要求、焊条及焊剂选择、焊接操作及质量要求等应符合应符合 JGJ 18 的相关要求。

### 7.3.3.2 搭接

钢筋搭接的要求见 6.5.5.2 节所述。

### 7.3.3.3 机械连接

#### 7.3.3.3.1 鉴定、记录和识别标记

##### 7.3.3.3.1.1 所需的资格

建造商或机械接头的生产商应对其使用的机械接头负责，他应按本节的要求进行试验，以证明钢筋连接的程序满足要求和钢筋连接的操作人员具备资格。

##### 7.3.3.3.1.2 记录的保持和合格证明

建造商或机械接头的生产商应维护机械连接程序的记录和他雇佣的并具备资格的连接接操作人员的记录，记录中应有试验结果和试验日期、每位连接操作人员的身份信息和他们的签字。这些记录应经建造商指定授权人校核、审核、并经建筑商授权的人签字批准业主和其他授权监管机构应能随时查阅这些记录。

##### 7.3.3.3.1.3 鉴定前的连接

钢筋机械连接操作人员在取得资格前不得进行连接操作。只准聘用按 7.3.3.3.4 节要求取得资格的连接操作人员。

#### 7.3.3.3.2 连接系统的鉴定要求

##### 7.3.3.3.2.1 总要求

连接系统的生产商应进行一系列性能试验，以证明其所提供的连接系统是可用的。用于混凝土安全壳钢筋连接的机械连接接头应符合 JGJ 107 中规定的 I 级接头标准。

#### 7.3.3.3.2.2 性能试验所用的材料

性能试验所用的材料类型应与制作接头所用的材料相同。所有试样实际采用的材料和必要的尺寸应写入文件。

#### 7.3.3.3.2.3 接头的设计原则和性能等级

接头的设计应满足强度及变形性能的要求。接头连接件的屈服承载力和受拉承载力的标准值不应小于被连接钢筋的屈服承载力和受拉承载力标准值的1.10倍。接头应根据其性能等级和应用场合，对单项拉伸性能、高应力反复拉压、大变形反复拉压、抗疲劳等各项性能确定相应的检验项目。

接头应根据抗拉强度、残余变形以及高应力和大变形条件下反复拉压性能的差异，分为下列三个性能等级：

I级 接头抗拉强度等于被连接钢筋的实际拉断强度或不小于1.10倍钢筋抗拉强度标准值，残余变形小并具有高延性及反复拉压性能。

II级 接头抗拉强度不小于被连接钢筋抗拉强度标准值，残余变形较小并具有高延性及反复拉压性能。

III级 接头抗拉强度不小于被连接钢筋抗拉强度标准值的1.25倍，残余变形较小并具有一定的延性及反复拉压性能。

I级、II级、III级接头的抗拉强度和变形性能必须符合JGJ 107中第三章的规定。

对直接承受动力荷载的结构构件，设计应根据钢筋应力变化幅度提出接头的抗疲劳性能要求。当设计无专门要求时，接头的疲劳应力幅值不应小于国家标准GB 50010中普通钢筋疲劳应力幅限值的80%。

#### 7.3.3.3.2.4 接头性能试验

对每种型式、级别、规格、材料、工艺的钢筋机械连接接头，型式检验试件不应少于9个：单向拉伸试件不应少于3个，高应力反复拉压试件不应少于3个，大变形反复拉压试件不应少于3个。同时应另取3根钢筋试件作抗拉强度试验，且全部试件均应在同一根钢筋上截取。

循环拉伸试验时，对于建造中使用的各种钢筋规格、等级和接头型式，应取3个接头试件接受循环拉伸试验。每个试件应承受100次从钢筋屈服强度标准值的5%到90%的应力循环。一个循环的定义是从最低荷载增加到最高荷载，再从最高荷载返回至最低荷载。

用于型式检验的直螺纹或锥螺纹接头试件应散件送达检验单位，由型式检验单位或在其监督下由接头技术提供单位按JGJ 107规定的拧紧扭矩进行装配，拧紧扭矩值应记录在检验报告中，型式检验试件必须采用未经过预拉的试件。

型式检验的试验方法应按JGJ 107附录A的规定进行，当实验结果符合下列规定时评为合格：

- a) 强度检验：每个接头试件的强度实测值均应符合 JGJ 107 第三章中相应接头等级的强度要求。
- b) 变型检验：对残余变形和最大总伸长率，3 个试件实测值的平均值应符合 JGJ 107 第三章的规定。

#### 7.3.3.3.2.5 重要变更

当下列任一项内容发生改变时，性能试验必须全部重新进行。除下列之外有其他内容的改变，可不必重新进行性能试验。

- a) 对于所有连接装置：
  - 1) 连接套筒的材料或级别发生改变；
  - 2) 连接套筒的截面积缩小；
  - 3) 钢筋啮合长度缩短；
  - 4) 钢筋级别提高。

- b) 对于锥形螺纹套筒：
  - 1) 螺纹几何形状的改变；
  - 2) 扭矩的改变。
- c) 对于挤压套筒：
  - 1) 挤压压力的改变；
  - 2) 套筒几何形状的改变；
  - 3) 钢筋材料的改变；
  - 4) 内外径的改变；
  - 5) 对加热连接，挤压时套筒所需最低温度以及套筒在加热炉中保温的最长时间和温度的改变。
- d) 对直螺纹套筒：
  - 1) 螺纹几何形状的改变；
  - 2) 扭矩的改变；

### 7.3.3.3.3 对连接工艺程序的要求

所有连接过程均应按书面操作程序进行，该程序应符合 7.3.3.3.2.4 节中规定的性能试验要求，JGJ 107 的相关要求以及下列附加要求：

- a) 对于锥形螺纹套筒安装：
  - 1) 验证钢筋螺纹是否合格所用的设备型号和方法；
  - 2) 清洁度要求；
  - 3) 产生扭矩所用的设备型号和方法；
  - 4) 所要求的力和测量方法；
  - 5) 机械锁定连接位置的方法；
  - 6) 验证两根钢筋接头最终对齐和啮合所用的方法。
- b) 对于挤压套筒的安装：
  - 1) 清洁度要求；
  - 2) 挤压所用的设备型号和方法；
  - 3) 所需的挤压压力、测量方法、压力公差及液压装置校准的频度；
  - 4) 验证两根钢筋接头的最终对齐和啮合所用的方法；
  - 5) 钢筋端部的加工；
  - 6) 每个套筒最多和最少的挤压操作次数；
  - 7) 保证套筒全长度挤压所用的方法；
  - 8) 挤压工具磨损的限值和检查的频度；
  - 9) 对于加热的套筒，测量加热循环的持续时间和温度以及套筒挤压时的温度所用的限值和方法；
  - 10) 保证栓钉锁定在挤压套筒上所用的方法。
- c) 对于直螺纹套筒的安装：
  - 1) 验证钢筋、螺纹是否合格所用的设备型号和方法；
  - 2) 清洁度要求；
  - 3) 产生扭矩所用的设备型号和方法；
  - 4) 所需的扭矩、所需扭矩的公差和测量方法；
  - 5) 锁定连接位置以防止接头松动所用的方法；
  - 6) 验证两根钢筋最终对齐和接头啮合的方法。

7.3.3.3.4 首次鉴定试验

每位连接操作人员应在准备采用的钢筋中选择最大规格的钢筋制备两个供鉴定用的接头。此外，仅对黑色金属填充的连接、胶结水泥浆填充的连接和模压连接，对每个准备采用的连接位置（水平、垂直、倾斜）均应鉴定。供鉴定用的接头应采用与构筑物中准备使用的同类钢筋制成。供鉴定用的接头制成后应按 JGJ 107 的要求进行拉伸试验，其拉伸结果应符合 JGJ 107 中规定的 I 级接头的要求。

7.3.3.3.5 接头性能连续试验

7.3.3.3.5.1 引言

应连续进行一系列试验，以保证制成的接头能满足抗拉要求。无损检测的要求于 8.3.2 节中规定。

7.3.3.3.5.2 接头样品

接头样品可以是施工接头（直接从现场配筋中割取）或按照 7.3.3.3.5.3 节规定的计划制作的连续同级接头（紧靠施工接头并在相同条件下在现场做成的可拆除的接头）。

7.3.3.3.5.3 试验频度

连接试样应按下列相应连接装置制定计划进行拉伸试验。

- a) 对于水平、垂直和倾斜的充填黑色金属的套筒连接、充填胶结水泥浆的套筒连接以及模压连接，应按下列规定分别确定试验频度。对于圆弧形弯曲钢筋的产品接头试样以及用电弧焊焊在钢筋结构的构件上或衬里上的连接套筒均可以用连续同级接头来代替。
  - 1) 对于充填黑色金属的套筒连接，应以每 100 个产品接头为一组，其中取 1 个接头进行试验。
  - 2) 对于模压连接和充填胶结砂浆的套筒连接，试验频度应确定如下：
    - (1) 如仅对产品接头进行试验，则取样的频度如下：
      - 1. 头 10 个产品接头中取 1 个；
      - 2. 其后 90 个产品接头中取 1 个；
      - 3. 以后每 100 个产品接头为一组，从中取 2 个。
    - (2) 如果同时对产品接头和同级接头进行试验，其取样频度如下：
      - 1. 头 10 个产品接头中取 1 个产品接头；
      - 2. 其后 90 个产品接头中取 1 个产品接头和 3 个同级接头；
      - 3. 以后每 100 个产品接头为一组，从中取 3 个产品接头或同级接头。所试验的接头总数中至少有四分之一是产品接头。
  - b) 锥形螺纹连接、冷轧成形的直螺纹连接，螺纹变形钢筋中的螺纹连接。应对每种钢筋规格和级别采用连续同级接头，其试验频度分别确定如下：
    - 1) 头 10 个接头中取 1 个；
    - 2) 其后 90 个接头中取 1 个；
    - 3) 以后每 100 个接头为一组，从中取 2 个。

此外，对于锥形螺纹连接和冷轧成形的直螺纹连接，每炉钢筋至少应进行 3 个试验。

表24 钢筋的机械连接接头和焊接接头的抗拉要求

钢筋特性				机械接头或焊接接头强度要求	
规格	钢筋级别	最低屈服强度 MPa	最低抗拉强度 MPa	最小平均 抗拉强度 <sup>①</sup> ， MPa	单个最小 抗拉强度 <sup>②</sup> ， MPa



ASTM A615	40 级	280	480	480	350
ASTM A615	60 级	420	620	620	520
ASTM A706		420	550	550	520
注：（1）见7.3.3.3节和附录H。					
（2）这些值等于各级钢筋屈服强度的125%。					

#### 7.3.3.3.5.4 拉伸试验要求

接头试样应按 NB/T 20004-20XX 规定的加载速率进行拉伸试验。I 级、II 级、III 级接头应能经受规定的高应力和大变形反复拉压循环，且在经历拉压循环后，其抗拉强度仍应符合 JGJ 107 第三章的规定。下列条款应作为验收标准：

- a) 每个试样的抗拉强度应等于或大于表 24 所列的屈服强度的 125%。
  - b) 以每 15 个连续试样为一组的平均抗拉强度，应等于或大于表 24 所列的最低抗拉强度。
- 如果任一试样未能满足上述 2 条的规定，则应遵循 7.3.3.3.5.5 节的要求。

#### 7.3.3.3.5.5 低于标准的拉伸试验结果

- a) 如果任一试验接头未能满足表 24 的强度要求，而且破坏发生在钢筋母材中，则应由建造商或生产商查明钢筋断裂的原因。在继续按 7.3.3.3.5.3 节的频度做试验以前，应完成对影响连接试样结果的必要纠正工作。
- b) 如果任一试验接头未能满足表 24 的强度要求，但破坏并不出现在钢筋母材中，则应加做两个附加的接头试验。如果重复试验中仍有一个不符合表 24 的强度要求，则应停止连接工作。在破坏原因被改正和解决以前，不得恢复连接工作。
- c) 如果接连 15 个试样的平均抗拉强度不符合表 24 的强度要求，则应停止连接工作。建造商或生产商应查明原因并作必要的纠正工作。
- d) 当恢复接头工作时，试验频度应重新开始计算。

#### 7.3.3.3.6 拉伸试验结果的记录

按 7.3.3.3.4 节和 7.3.3.3.5 节所述进行的全部拉伸试验结果连同其他所有相应的数据均应作好记录。

#### 7.3.3.3.7 焊接

机械连接套筒与其他部件的焊接应符合下列要求：

- a) 机械连接套筒应具有可焊性；
- b) 机械连接套筒与部件的焊接后强度应能保证焊缝破坏晚于钢筋屈服；
- c) 机械连接套筒与部件的焊接工艺应经过评定，焊接工艺要求应在设计文件中进行规定。

#### 7.3.3.3.8 冲击要求

当钢筋或机械接头与需要进行冲击试验的材料相焊接时，应适用下列条款：

- a) 焊接填充金属应按照对相连接的钢筋材料的要求进行冲击试验。
- b) 应满足需做冲击试验材料的验收准则。

#### 7.3.3.4 电弧焊接接头

参见附录H鉴定要求。

### 7.3.4 钢筋安装

#### 7.3.4.1 概述

钢筋安装时，受力钢筋的品种、级别、规格和数量必须符合设计要求。设计文件或图纸中宜规定钢筋安装位置的偏差。

#### 7.3.4.2 支承

在浇筑混凝土前，钢筋应准确就位并牢固支承，防止其在混凝土浇筑过程中位移，安装偏差超过容许值。严禁交叉的钢筋焊接连接。

#### 7.3.4.3 安装偏差

建造技术规格书中宜规定钢筋安装位置的偏差。如建造技术规格书中没有具体规定时，钢筋安装的位置偏差应符合GB 50204的相关要求。

### 7.3.5 钢筋的间距

#### 7.3.5.1 层间距

同层平行钢筋之间的净间距以及两层平行钢筋之间净间距，不应小于建造技术规格书的要求，以便混凝土的浇筑和振捣。

#### 7.3.5.2 连接接头

钢筋之间的净间距限值也应适用于接触（搭接）接头与相邻接头或钢筋之间的净间距要求。

### 7.3.6 表面状态

- a) 在混凝土浇筑前应从钢筋上清除那些影响粘结的泥土、油污、冰、雪或其他覆盖物。
- b) 对于有锈蚀、氧化皮的钢筋，应考虑到经钢丝刷手工除锈后试样的最小尺寸，包括变形的高度和重量不得低于 GB 1499.2 的要求。

## 7.4 预应力系统的制作和安装

### 7.4.1 概述

本节内容包括对预应力钢束的制作、安装、张拉和防护的要求。

### 7.4.2 材料的接收、储存和装卸

施工单位的预应力施工方案中应包含在现场预应力系统有关的材料的接收、储存和装卸的方式。施工方、生产商或材料供应商的质量保证大纲应提供按照5.1.5.2节的要求制订的材料识别和隔离措施。装卸方法不得引起对材料有害的机械损伤。施工方案应对所有材料规定储存要求，以保证材料不被腐蚀，还应对材料腐蚀的限值作出规定。

### 7.4.3 钢束的制作

#### 7.4.3.1 锚固部件

##### 7.4.3.1.1 承压板—喇叭管组件

所有焊接工作均应采用符合第 IX 卷要求的焊接规程和取得资格的焊工来实施。应考虑采用附录 J 中推荐的预热规程。

#### 7.4.3.1.2 锚具、夹具和连接器

预应力系统的锚具及连接器应符合 GB/T 14370-2007 的有关规定，其工程应用应符合 JGJ 85 的有关规定。

#### 7.4.3.2 钢束组装

##### 7.4.3.2.1 引言

下列各项适用于在车间和现场进行的组装操作。

##### 7.4.3.2.2 下料

预应力施工方案中应对预应力钢材的下料方法和程序以及下料的公差作出规定。

##### 7.4.3.2.3 组装规程

在钢束制作前应制定详尽的制作程序，其中包括工件校核清单和建造规程要求的资料。每组钢束校核清单中的信息应包括可追踪的数据，如炉号或钢材盘号、锚固部件序列号等。还应包括钢束的长度、位置、编号以及钢束的临时防腐措施。

##### 7.4.3.2.4 细则

应注意一些特殊情况。如尺寸、几何形状、同心度、对齐度、角度和表面状态等。这些方面的限值和允许偏差应在建造规程中予以规定。

#### 7.4.4 钢束的标识

整根或分段制作的钢束完工时，应以钢束编号来标识，并记录钢束的原始盘号，以便能追踪其母材的质量试验结果。

#### 7.4.5 钢束的安装

##### 7.4.5.1 安装程序

在钢束安装之前，应制定详尽的施工安装程序，包括工件校核清单和安装程序要求的资料。校核清单应包括：钢束的长度、位置、钢束编号；钢束导管的检查和制备；钢束的防腐方法和防腐材料；在钢束装卸和安装地点进行焊接或用火的要求，以及安装顺序。如因装卸或储存引起预应力系统部件的特性改变超过建造技术规格书规定的公差时，该预应力系统部件则不得被安装，而应取走并更换。

##### 7.4.5.2 钢束导管

建造技术规格书应规定钢束导管和定位的施工偏差要求。钢束导管和通道应被牢固支承，以防止在浇筑混凝土时发生位移。开口的导管应用盖帽或塞子予以保护，以防止混凝土或其他异物进入其中。所有接头应被密封，以防浇筑混凝土中时的水泥浆和水漏入。建造技术规格书应对导管的临时防腐系统作出规定，建造规程还应对具体防腐措施予以明确。在钢束安装前，应清除导管中的所有水分和杂物。

#### 7.4.6 张拉

##### 7.4.6.1 监理

预应力张拉应在有经验的监理工程师指导下进行，并且只能由经过培训的操作人员来实施。

##### 7.4.6.2 预应力张拉程序

预应力系统建造技术规格书应对预应力的张拉编制专门的程序，程序中应对张拉设备的操作，维护和校验要求，对预应力束的张拉顺序，张拉应力，伸长值的计算，发生事故时的须知等事项作出规定。

#### 7.4.6.3 校准

在开始施加预应力前，应精确地调整张拉设备的部件，并把它们支承在与之配合钢束的轴线上，各部件相互间以及部件与锚具间应准确地连接牢固。在对钢束施加荷载以前，应校核所有锚具、临时连接件和千斤顶的校准情况。

#### 7.4.6.4 荷载和伸长量测量

##### 7.4.6.4.1 规程

为校核施加的预应力值，应在施加张拉力的过程中进行钢束的伸长测量。伸长量测量应从钢束承受的最终荷载的 10% 开始。在开始测量前由初始荷载引起的伸长量计算值应加到测得的伸长量中去。此外，如果测得的伸长量中含有拉伸设备的明显伸长，则应将其适当地扣除。在锚固前直接施加在任一钢束上的荷载，应不超过建造技术规格书规定的限值。张拉荷载应以测力元件或等效的工具来测量，其精度不低于所需张拉力的  $\pm 2\%$ 。在预应力张拉操作前，应对压力表和测力计根据国家标准加以校准。压力表和千斤顶应作为一组来校准，并配套一起使用。在张拉期间，应记录伸长量和所得的力。测力计或压力表的读数应对照钢束的伸长量进行校核。如果对单根钢束，误差超过采用平均荷载-伸长曲线计算值的  $\pm 10\%$ ，或对所有成组钢束来说（指外形，例如环向、穹顶、倒 U 形）误差均超过采用平均荷载-伸长曲线计算钢束平均值的  $\pm 5\%$ ，则应与设计单位协商解决。应记录最终伸长量和应力。

##### 7.4.6.4.2 润滑剂

如果使用润滑剂来减少预应力钢束与孔道的摩擦，润滑剂应符合 5.4.4.2 节的要求。

#### 7.4.6.5 预应力损失

由于预应力筋断裂或损坏而未更换所引起的预应力损失，不应超过建造技术规格书规定的数值。

#### 7.4.7 永久性防腐蚀措施

##### 7.4.7.1 概述

建造技术规格书中应对钢束的永久性防腐蚀系统作出规定，预应力系统的施工方案中应规定其实施方法。钢束的永久性防腐材料应符合 5.4.4.2.3 节或 5.2.4 节的要求。

##### 7.4.7.2 灌浆钢束系统的水泥浆

对于有粘结钢束系统的水泥浆的配料、搅拌、泵送及灌孔的顺序和专门方案应在建造技术规格书中作出规定并符合 7.2.8 节的要求。

#### 7.5 衬里的制作

##### 7.5.1 通用要求

###### 7.5.1.1 引言

- a) 施工单位应在施工前编制钢衬里施工方案，施工方案中应包含材料验收，材料加工，焊接工艺评定要求，焊接作业，装配安装以及焊缝检测等内容。

- b) 生产商或建造商应对其本单位所实施的焊接质量负责。责任方不仅应对焊接工艺进行评定,以确定焊接工艺能保证焊缝质量符合要求,还应对焊工和焊机操作工进行考核,以确定他们具备正确实施焊接工艺的能力。考核合格的焊工方能参加钢衬里的焊接工作。
- c) 在焊接工艺以及焊工或焊机操作工按 IX 卷要求考核合格以前,不得开展生产工作。

### 7.5.1.2 缺陷消除和修补

如果按 5.5.3 节对相应产品类型所定的要求将缺陷消除、修补和检测,则施工单位或生产商可以用焊接法消除或修补材料中的缺陷。

## 7.5.2 成形、装配和定位

### 7.5.2.1 下料、成形和弯曲

#### 7.5.2.1.1 下料

衬里材料、封头边缘和其他部件可用机械方法,诸如机加工、剪切、磨削,或用氧气切割或电弧切割来下料。在氧气切割后,应在下一步制作或使用前用机械方法清除所有熔渣、碎屑或其他异物。

##### 7.5.2.1.1.1 热切割前的预热

当用热切割来制备焊接接头或边缘、去除附着物或有缺陷的材料,或其他用途时,应考虑用附录 J 所建议的预热规程将材料预热。

##### 7.5.2.1.2 成形和弯曲工艺

在保证材料的缺口韧性不降低到规定的最低值以下,或在成形后用热处理能使性能有效地恢复,则衬里板(包括焊接金属)可采用冷成形、热成形或弯曲方法。热成形指为处在比材料的下限临界温度低 38℃ 的温下成形。

##### 7.5.2.1.2.1 焊后热处理要求

凡以 P-No. 1 材料冷成形的筒壁衬里和穹顶衬里,如最外层纤维最大伸长量大于 5% 时,应进行焊后热处理。

##### 7.5.2.1.3 成形和弯曲工艺的评定

用于工艺评定试验的试样,应与部件所采用的材料具有相同的材料规格、等级或级别、热处理,以及类似的冲击要求。这些试样应承受和部件所采用的材料等效的成形或弯曲工艺以及热处理。应对试样进行相应的试验以确定它们在变形后仍能满足所要求的冲击性能。

##### 7.5.2.1.3.1 例外

对于下列情况,可不要求进行工艺评定试验:

- a) 在切取冲击试样前已由材料制作商完成了热成形的材料(例如锻件);
- b) 由试样代表的热成形材料,该试样已承受代表热成形工艺的热处理以及将施于各零件的热处理;
- c) 按 5.5 节的要求,不需要作冲击试验的材料;
- d) 成形后最终应变小于 0.5% 的材料;
- e) 最终应变小于按以前工艺评定所确定的最终应变的材料;
- f) 按 5.5.2.2 节的要求,对每炉和每批所要求进行冲击试验是在成形后实施的材料。

## 7.5.2.1.3.2 工艺评定试验

工艺评定试验应按下列方式进行：

- 应对三个不同炉号的材料进行变形前和变形后的试验，以确定成形的影响和随后热处理操作的影响。
- 试样应按本篇要求制备，并从变形材料的受拉侧取样。
- 按下列公式确定应变百分数：

对于圆筒形：

$$\% \text{应变} = \frac{50t}{R_f} \left( 1 - \frac{R_f}{R_0} \right)$$

对于球形或碟形表面：

$$\% \text{应变} = \frac{75t}{R_f} \left( 1 - \frac{R_f}{R_0} \right)$$

对于管道：

$$\% \text{应变} = \frac{100r}{R}$$

式中：t=公称厚度；

R<sub>f</sub>=距壳体中心线的最终半径；

R<sub>0</sub>=初始半径（对于扁平件为无穷大）；

R=对于管道中心线的公称弯曲半径；

r=管道公称半径。

- 工艺评定应模拟弯曲过程中产生的最大百分数的表面应变，所采用的弯曲工艺应与材料制作时采用的相似，或直接对试样进行拉伸。
- 应从三炉材料中的每一炉取足够的夏比 V 形缺口冲击试样，以确定表明上、下平台的转变曲线。应从三炉材料中的每一炉取三个冲击试样。在整个转变范围内至少取五个不同的温度进行试验。上、下平台可由单独试样确定。可采用落锤试验来代替转变曲线，或采用一组夏比 V 形缺口冲击试样对每一炉或每一批在规定温度成形后的材料进行试验。
- 对三炉材料中的每一炉，在变形以前和变形以后所作的冲击试验转变曲线或落锤试验，以确定：
  - 当采用转变曲线时，是否考虑到在各种能量水平的最大温度变化；或采用落锤试验时，是否考虑到无延性转变（NDT）温度的变化；或
  - 是否考虑温度每升高 5.5℃，冲击能量的最大损失。

## 7.5.2.1.3.3 验收标准

作为验收标准，衬里所采用的材料必须具有足够的抗冲击特性，以补偿由工艺评定规程对承受相同应变情况下所确定的最大温度变化或能量水平。

## 7.5.2.1.3.4 重新评定

当发生下列任一改变时，需要作新的工艺评定试验：

- 焊后热处理的保温时间大于评定试验时所用的时间（如材料不需焊后热处理，则该工艺评定必须不经焊后热处理）。
- 材料的最大计算应变超过评定试验时的应变 0.5% 以上。
- 在成形或弯曲作业时，预热温度超过 120℃ 而随后又不作焊后热处理。

7.5.2.1.4 已加工材料的最小厚度

如果任何加工作业使材料厚度减少至小于第3章规定的最小值，则可按2.5.3节的要求将材料修补。

7.5.2.2 成形公差

7.5.2.2.1 筒壁和穹顶衬里的公差

下列各节规定了对衬里公差的要求，施工方案中应对任何附加的要求作出说明。附录L提供了确定衬里尺寸公差的准则。

7.5.2.2.1.1 筒壁衬里的公差

在规定的高度增量中，最大直径和最小直径之差不得超过 0.5%。在高度方向每隔 3.7m，以 30° 的间隔测量直径来满足此要求。在安全壳筒体起拱线（穹顶开始）和底部之间的衬里总垂直度偏差不应超过筒壁总高的 1/200。

7.5.2.2.1.2 穹顶衬里的公差

封头衬里的内表面与规定形状间的偏差不得超过筒壁衬里内径的 1.25%。

7.5.2.2.2 局部减薄的部位

如果周围邻近区域有足够厚度提供必需的补强，可允许锻件有小面积的厚度减薄。

7.5.2.2.3 用管道制作的衬里件的公差

用管道制作的衬里件，如满足本节所有的其他要求，其直径和不圆度的偏差可以采用该管道材料规格书的允许偏差。

表25 完工焊缝的最大容许偏离

截面厚度 mm	偏离
≤19	$\frac{1}{4} t$
>19 且 ≤38	5mm
>38	$\frac{1}{8} t$ 至 ≤6mm

7.5.2.3 固定和校准

7.5.2.3.1 固定和校准的方法

在焊接操作过程中，可用钢筋、千斤顶、夹板、定位焊或临时装置将准备焊接的零件固定、对中和定位。

7.5.2.3.1.1 定位焊

应由具备资格的焊工采用经过评定的焊接工艺来实施定位焊。用来固定对中的定位焊，当已达到其使用目的时，可将其完全去除；如当定位焊成为完工焊缝的一部分时，应将其起始端头和终止端头用磨平或其他合适方法适当加以处理，使其与最终焊缝良好地结合。

7.5.2.3.2 校准的最大偏离

- a) 焊接完成后段对中的最大偏离值不应大于表 25 所列的相应值, 其中  $t$  为筒体连接处较薄段的公称厚度。
- b) 球形衬里间的接头、穹顶衬里间的接头以及在筒壁和半球形穹顶衬里之间的接头, 均应符合表 25 的要求。

#### 7.5.2.3.2.1 偏离的修整

在允许公差范围内的偏离均应沿完工焊缝的宽度进行修整至少为 3:1 的坡度; 必要时, 在焊缝边缘还应增加附加的焊接金属。

#### 7.5.2.3.3 浇筑混凝土时的支撑

衬里应被牢固地支承、拉紧或系牢, 以防止其位移超出 7.5.2.2 节所规定的公差。

### 7.5.3 焊接的评定

#### 7.5.3.1 通用要求

##### 7.5.3.1.1 容许的焊接工艺类型

除 7.3.3.3.7 节另有规定外, 只有按第 IX 卷和本文件的要求经过评定的焊接工艺才能用于焊接衬里或附属件。所用的焊接工艺均应按 7.5.3.2.2 节的要求做好记录。

##### 7.5.3.1.1.1 电容放电焊

对于直接与衬里连接的临时性附属件, 可用电容放电法焊接, 但应按 7.5.4.5.2 节的要求把在去除附属件时发现的任何表面缺陷清除掉。

##### 7.5.3.1.1.2 低能电容放电焊

如果符合下列条件, 对于永久性非结构附属件, 诸如应变仪和热电偶, 可用低能电容放电法焊接:

- a) 输出功率限制在 125W/s 以下;
- b) 已编制焊接工艺说明书, 说明电容放电设备、焊接的材料组合和应用的技术, 不要求进行焊接工艺评定;
- c) 附属件材料的最小厚度在 2.5mm 以上。

#### 7.5.3.2 焊接的评定、记录和识别印记

##### 7.5.3.2.1 要求的评定

- a) 每个生产商或建造商对其所进行的焊接工作负责, 并应制定焊接工艺并按本节和第 IX 卷的要求进行试验, 以对焊接工艺进行评定, 并考核应用这些工艺的焊工和焊机操作工的技能。
- b) 将永久性或临时性附属件与衬里焊接以及制作永久性或临时性定位焊所采用的焊接工艺, 实施焊接的焊工和焊机操作工, 均应符合本节对评定的要求。
- c) 当制作对接焊工艺的试板时, 建议考虑角、边和端部对焊接件的约束作用。在焊接过程中, 附加的约束可能引起本来不会出现的裂缝等难题。

##### 7.5.3.2.2 记录的保存和凭证

生产商和建造商应保存焊接工艺评定的记录, 以及他录用的焊工和焊机操作工取得资格的记录, 并标明试验的日期、试验结果和焊工的识别标记。这些记录由生产商或建造商审核、核查并签字, 当民用核设施营运单位或其委托单位需要时可随时查阅这些记录。



### 7.5.3.2.2.1 焊工或焊机操作工的焊缝识别标记

焊工或焊机操作工制作的永久焊缝应通过下列方法之一进行标识：

- a) 焊工或焊机操作工制作的焊缝或所有永久性焊缝附近均应打上由生产商或建造商指定的识别标记。识别标记的间距不应超过 1m，为连续的或断续的钝头凹印。
- b) 生产商或建造商应保存部件的永久性焊缝的记录，以及制作每条焊缝的焊工或焊机操作工的记录。
- c) 当制作大量永久性焊缝时，如果满足下列要求，生产商或建造商不必保存用于识别焊接单独某条焊缝的焊工或焊机操作工的记录。
  - 1) 生产商或建造商建立一套制度能识别制作上述焊缝的焊工或焊机操作工，使其能验证焊工或焊机操作工的资格。
  - 2) 每一种类的焊接，其中所有焊缝的形式和布局都相同，且均采用相同的焊接工艺进行焊接。
- d) 不要求识别那些制作定位焊缝的焊工或焊机操作工，即使它们成为永久焊缝的一部分。生产商或建造商建立一套制度，使其能验证那些定位焊缝是由合格的焊工或焊机操作工制作的。
- e) 不要求识别那些制作附属件焊缝的焊工或焊机操作工。生产商或建造商建立一套制度、使其能验证那些附属件焊缝是由合格的焊工或焊机操作工制作的。

### 7.5.3.2.3 评定前的焊接

在通过焊接工艺评定以前，不得开始任何焊接工作。所有焊工和焊机操作工均应按 7.5.3.4 节和第 IX 卷的要求取得资格。

### 7.5.3.2.4 合格证转移

某一生产商或建造商对焊工和焊机操作工进行的技能考试不得作为该焊工或焊机操作工为另一生产商或建造商进行焊接的资格证明。

### 7.5.3.3 焊接工艺评定试验的通用要求

#### 7.5.3.3.1 与焊接与钎焊评定要求的一致性

所有焊接工艺评定试验，包括栓钉焊接，均应符合焊接与钎焊评定的要求，并以本章要求作为补充。

#### 7.5.3.3.2 使用的母材

对规定有冲击试验要求的材料进行焊接工艺评定时，应采用符合第 IX 卷 QW-403.4、QW-403.5 相应要求的母材。

#### 7.5.3.3.3 铁素体材料焊缝评定的热处理

焊缝工艺评定的焊后热处理应符合 7.5.5 节和第 IX 卷的相应要求。焊后热处理的保温时间应至少为焊接材料最长保温时间的 80%。焊后热处理的总时间可在一个加热循环中进行。

#### 7.5.3.3.4 试件和试样的制备

- a) 从试验焊缝中切取的试件以及由它制成的试样尺寸应符合第 IX 卷的要求。但冲击试验的试件以及由它制成的冲击试验试样的尺寸应按照 7.5.3.3.4.1、7.5.3.3.4.2 及下述 b) 的要求。
- b) 对组合焊接工艺的焊缝，每种工艺的焊缝熔敷金属应尽可能包括在冲击试验试样中。当每种工艺不能按照本章要求包括在全尺寸冲击试验试样的  $\frac{1}{4}t$  部位中时，应从试验焊缝中切取附加的全尺寸试样，确保每种工艺至少有一部分包括在该全尺寸试验试样中。另一种选择，用每种工艺制作附加的试验焊缝，使每种工艺都能用全尺寸试样进行试验。

#### 7.5.3.3.4.1 代表焊缝金属的试样

冲击试验的试样以及试验方法应符合5.5.2.2.1节的要求。冲击试样所在的部位应使试样的纵轴位于不小于 $\frac{1}{4}t$ 处；如试验组合件的厚度许可，则不小于10mm。此外，当焊后热处理的温度超过7.5.5.2节规定的最高温度，且试验组件加速冷却，试样的纵轴应离试验组合件的边缘至少为 $t$ 。试样应横切于焊缝纵轴，且缺口区位于焊缝中。夏比V型缺口试样的缺口长度方向应与焊缝表面相垂直。当要求切取落锤试样时，试样的拉伸面应与试验焊缝组件的表面相平行。

#### 7.5.3.3.4.2 代表热影响区的试样

如需要按7.5.3.3.5.2节的要求进行热影响区的冲击试验，则其试样应按下列3款的要求从焊接工艺评定试件中切取。

- a) 如果进行评定试验的材料是板材或锻件，则焊缝轴线的取向应与轧制或锻造的主方向平行或垂直。
- b) 热影响区冲击试验的试样和试验方法均应符合5.5.2.2.1.2节的要求。试样应尽可能从靠近表面和厚度中心之间的一半深度处切取。用于热影响区冲击试样的试件应横切于焊缝轴线，并通过浸蚀以确定热影响区域。夏比V形缺口试样中的缺口应大致与材料表面相垂直，以便在最后断裂面中包括尽可能多的热影响区。如材料厚度许可，试样的轴线可以倾斜，使缺口根部能对中到与熔合线相平行。当用电渣焊或气电焊工艺制作的焊缝不能进行晶粒细化的热处理时，则冲击试验的缺口应位于晶粒粗大的区域内。
- c) 为了将热影响区的值与母材的值作比较[见7.5.3.3.2节b款]，夏比V型缺口试样应从未受影响的母材中切取，该试样离母材表面的距离大致上与用于热影响区的试样相同。未受热影响的母材试样的轴线应与热影响区试样的轴线相平行，且缺口的轴线应与母材表面相垂直。

#### 7.5.3.3.5 冲击试验要求

当要求对母材（见5.5.2.1节）进行冲击试验时，则焊缝金属和热影响区都要求作冲击试验。除了表7中所列出的那些焊缝金属外，5.5.2.1.1节h款中免做冲击试验的规定不适用于其他焊缝金属。5.5.2.1.1节h款中对那些母材可以免做热影响区冲击试验的规定，在此不予执行。应按5.5.2.4节和7.5.3.3.4节的要求制备焊接工艺评定用的冲击试样和进行试验。验收标准和对试验额外的要求，应符合下列各节的内容。允许按5.5.2.7节的规定进行复试。

##### 7.5.3.3.5.1 焊缝金属的冲击试验

- a) 当产品焊缝厚度超过16mm，在按照5.5.2.1节要求作冲击试验的母材表面上进行焊接或熔透母材时，应按焊接评定试验要求作焊缝金属的冲击试验。此外，对于按5.5.2.1节要求作冲击试验的母材焊补，不管修补高度如何，其焊接评定试验亦要求作焊缝金属冲击试验。除了表7所列出的那些焊缝金属外，5.5.2.1.1节h款中免做冲击试验的规定不适用于产品焊缝或母材修补的焊接工艺评定试验中的焊缝金属。
- b) 焊接工艺评定中焊缝金属冲击试验的要求和验收标准，应与5.5.2.4节中对母材焊接或修补的要求相同。当两种具有不同冲击韧性的材料相焊接时，对焊缝金属的试验要求和验收标准可采用对其中任一种材料的要求，本文件其它部分另有规定的除外。
- c) 奥氏体焊缝金属不要求进行冲击试验。
- d) 按金属安全壳设备建造规则的冲击试验要求进行评定的焊接工艺说明书可以取代本文件对焊接工艺说明书中冲击试验的要求。

##### 7.5.3.3.5.2 热影响区的冲击试验

- a) 当焊缝厚度超过 16mm 时，要求对焊接评定试验组件进行热影响区的夏比 V 型缺口试验，要求母材按 5.5.2.1 节规则作冲击试验。5.5.2.1.1 节 h 款中对母材免做试验的规定不适用于这些材料焊接工艺评定的热影响区或未受热影响的母材。对这些要求的例外只有下列各项：
  - 1) P-No.1 材料的焊缝评定。这些材料经焊后热处理，而且不是用电渣焊、气电焊或铝热剂焊接等方法制作的；
  - 2) 母材上堆焊层的评定。
- b) 如果本节要求焊接评定试验的热影响区作冲击试验时，则应按下面 6 条及 c) 进行。
  - 1) 对要求按 5.5.2.4.2.1 节和 5.5.2.4.4.1 节进行焊接评定试验的材料，应取三个热影响区的夏比 V 型缺口试样和三个未受热影响母材的夏比 V 型缺口试样，按 5.5.2.4.1 节 a 款 1 条中规定的温度进行试验。未受热影响母材的夏比 V 型缺口试验应符合表 8，表 9 和表 12 的要求。如果热影响区三个试样的平均冲击韧性值等于或大于未受热影响母材的夏比 V 型缺口试样的平均值，应认为评定试验合格，并将数值和试验温度记录在焊接工艺评定记录中。产品母材的冲击试验可以按 5.5.2.4.1 节规定的温度进行。
  - 2) 如果上述第 1) 条所述热影响区的夏比 V 型缺口试样的平均冲击韧性值小于未受热影响母材的冲击韧性值，且该评定试验符合其他验收标准的要求，则该夏比 V 型缺口试验结果可以记录在焊接工艺评定记录上。对这种情况，产品母材的冲击试验温度应比 5.5.2.4.1 节所要求的低 17℃；或提供产品母材试验温度低于 5.5.2.4.1 节规定的温度；或对正在进行焊接工艺评定的母材提高金属最低允许工作温度；这些都应按下面第 3) 条取得并包括在内。否则，焊接工艺评定可以重焊和重新试验。
  - 3) 对于上述第 2) 条所用的数据，应通过附加的夏比 V 型缺口试验得出，试验对象为焊接工艺评定试验的热影响区或未受热影响的母材或两者均做，试验温度为对产品焊缝材料的厚度或厚度—强度组合能满足或超过所要求冲击韧性值的温度。热影响区和未受热影响母材的平均冲击韧性值应标绘在特性—温度图上。应确定这两组数据对于所涉及的产品厚度或厚度—强度组合显示一个共同可接受的冲击韧性值的温度。从热影响区所确定的温度中减去未受热影响母材所确定的温度。如果温度差是正值，则该值可用于第 2) 条作为调整温度。对于所有采用该工艺进行焊接的母材，由 5.5.2.4.2.1 节试验所确定的金属最低工作温度的最大值应加上该调整温度。如果温度差是零或负值，则生产中使用的焊接母材不要求调整温度，由 5.5.2.4.2.1 节试验所确定的最低温度将仍然适用，如上面第 1) 条所述。当进行焊接的生产材料不要求金属实际最低工作温度时（例如，设计技术规格书中规定了试验温度，以确定金属具有足够的冲击韧性满足规定试验温度下的要求），应采用由曲线确定的调整温度来制定产品材料试验温度的下降值。调整温度应该用于采用该工艺的产品材料规定试验温度的下降值。
  - 4) 对于按 5.5.2.4.2.2 节规定进行焊接工艺评定试验的材料，应取三个热影响区夏比 V 型缺口试样和三个未受热影响母材的夏比 V 型缺口试样在低于或等于金属最低工作温度下进行试验。每个未受热影响母材的夏比 V 型缺口冲击试验，均应符合或超过表 8，表 9 和表 12 中相应的板厚为 64mm 以上的要求。如果三个热影响区试样的平均冲击韧性值等于或大于未受热影响母材的夏比 V 型缺口试样的平均值，则认为评定试验合格。冲击韧性值和试验温度应记录在焊接工艺评定记录上。
  - 5) 如果上述第 4 条所述热影响区的夏比 V 型缺口的平均韧性值小于未受热影响母材的值，且评定试验符合其他验收准则，可将夏比 V 型缺口试验结果记录在焊接工艺评定记录中。对这种情况，产品母材的冲击试验温度应比 5.5.2.4.1 节所要求的低 17℃；或提供产品母材试验温度低于 5.5.2.4.1 节规定的温度；或对正在进行焊接工艺评定的母材提高金属最低允许工作温度；这些都应按下面第 6) 条取得并包括在内。否则，焊接工艺评定可以重焊和重新试验。

- 6) 对于上述第 5) 条所用的数据, 应通过附加的夏比 V 型缺口试验得出, 试验对象为焊接工艺评定试验的热影响区或未受热影响的母材或两者均做, 试验温度为提供大于或等于表 8, 表 9 和表 12 中对产品焊缝材料的厚度大于 64mm 所要求冲击韧性值的温度。热影响区和未受热影响母材的平均冲击韧性值应标绘在特性—温度图上。应确定这两组数据显示一个共同可接受的冲击韧性值大于或等于表 8, 表 9 和表 12 中对产品焊缝材料的厚度大于 64mm 所要求冲击韧性值的温度。从热影响区所确定的温度中减去未受热影响母材所确定的温度。如果温度差是正值, 则该值可用于第 5) 条作为调整温度。对于所有采用该工艺进行焊接的母材, 由 5.5.2.4.2.2 节试验所确定的  $T_{NDT}$  的最大值应加上该调整温度。如果温度差是零或负值, 则生产中使用的焊接母材不要求调整温度, 由 5.5.2.4.2.2 节试验所确定的最低温度将仍然适用, 如上面第 4) 条所述。当进行焊接的生产材料不要求实际  $T_{NDT}$  时 (例如, 设计技术规格书中规定了试验温度, 以确定  $T_{NDT}$  等于或低于规定温度), 应采用由曲线确定的调整温度来制定产品材料试验温度的下降值。调整温度应该用于采用该工艺的产品材料规定试验温度的下降值。
- c) 如果未受热影响母材的夏比 V 型缺口冲击试验不能满足上述 b) 1) 或 b) 4) 所提的要求, 应在较高的温度下进行附加的未受热影响母材的夏比 V 型缺口冲击试验, 直到满足相应的要求为止。热影响区的夏比 V 型缺口冲击试验应在未受热影响母材达到合格性能时的温度下进行。确定与未受热影响母材的平均冲击韧性值相关的热影响区平均冲击韧性值的规则, 应遵循上面 b) 1) ~ b) 3) 或 b) 4) ~ b) 6) 中的相应要求, 以确定要记录在焊接工艺评定记录中的数据。
- d) 按金属安全壳设备建造规则中冲击试验要求进行评定的焊接工艺说明书, 可以取代本文件中对焊接工艺说明书冲击试验的要求。

#### 7.5.3.3.6 堆焊熔敷金属的评定要求

作为母材补偿的堆焊应按 7.5.3.3.1 节~7.5.3.3.5 节的要求进行工艺评定。

#### 7.5.3.4 栓钉焊接的连续性能试验

- a) 对于每位操作人员, 每 100 个产品栓钉中, 应按下列要求选取一个试样。
- 1) 无螺纹栓钉  
试验栓钉应锤打弯成  $15^\circ$  角进行试验。该试验栓钉可以焊在临时连接在衬里的一块板上, 靠近所研究的一批栓钉中的一个。此板应与衬里同类型、同厚度, 且尺寸至少为栓钉直径的四倍。在试验期间, 此临时连接的板应被牢固支承, 以便将栓钉弯曲成  $15^\circ$ 。
  - 2) 有螺纹栓钉  
应将试验栓钉置于图 12 所示的类似装置中, 以校准的测力扳手将栓钉扭转, 使试验扭矩达到表 26 所示与栓钉直径和螺纹相对应的数值。
- b) 如果栓钉破坏, 则应从原有 100 个栓钉中再取 2 个进行弯曲或扭转试验。如果这两个栓钉中有一个破坏, 则该试验所代表的全部栓钉均应进行扭转试验、弯曲试验或报废。

#### 7.5.4 指导施焊、检测和修补的规则

##### 7.5.4.1 焊接前要采取的措施

###### 7.5.4.1.1 焊接材料的识别、储存和保管

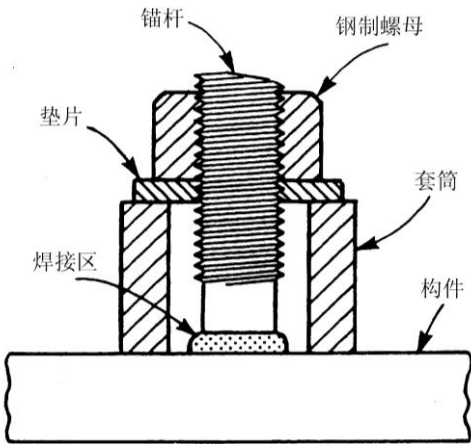
生产商或建造商负责对部件 (7.1.2 节) 制作和安装过程中所使用焊条和其他材料的管理。焊条、焊剂和其他焊接材料应保持相应的标识、合适的储存和保管。应采取预防措施以尽量防止焊条和焊剂受潮。

7.5.4.1.2 焊缝表面的清洁和保护

母材加工所用的方法应使焊缝坡口尽量光滑。焊接面不得有鳞片、铁锈、油脂和其他有害物质。焊接期间应保护工件免受有害的污染和雨、雪、风等。潮湿的表面不得进行焊接。

表26 栓钉的试验扭矩

公称栓钉直径 mm	螺纹 (mm) 和牌号	试验扭矩 N • m
6	712 UNF	6.8
6	508 UNC	5.7
8	610 UNF	12.9
8	458 UNC	11.7
10	610 UNF	23.0
10	254 UNC	20.3
11	508 UNF	36.6
11	356 UNC	32.5
13	508 UNF	56.9
13	331 UNC	50.2
14	458 UNF	81.3
14	305 UNC	73.2
16	458 UNF	113.9
16	280 UNC	100.3
19	254 UNF	199.3
19	254 UNC	179.0
22	356 UNF	317.3
22	229 UNC	287.4
28	305 UNF	471.8
28	458 UNC	295.6



注：（a）尺寸与栓钉大小相匹配。  
（b）栓钉的螺纹应清洁，除了残留的切割油以外应去除油污。

图12 典型的扭矩试验装置

7.5.4.2 焊缝制作的规则

#### 7.5.4.2.1 A类和B类焊缝

- a) 所有A类和B类焊缝均应为全焊透对接焊缝。焊缝可以是单面焊或双面焊。
- b) 如果采用垫板，则垫板应该是连续的，而且采用垫板的焊缝均应为全焊透焊缝。用结构型钢做垫板时，也应满足这些要求。

#### 7.5.4.2.2 其他类别的焊缝

D、E、F、G、H和J类焊缝应是单面焊缝或双面焊缝。不进行射线照相的焊缝，允许用垫板。当允许采用垫板时，垫板应该是连续的，而且采用垫板的焊缝均应为全焊透焊缝。当用结构型钢做垫板时，也应满足这些要求。典型的焊缝详图见图13～图21。

#### 7.5.4.2.3 双面焊缝

在对双面焊缝的第二面施焊之前，应采用铲削、研磨、或热切割等方法对焊缝根部进行清理，如用其他方法则必须经焊接工艺评定验证能获得充分熔融和焊透。

#### 7.5.4.2.4 单面焊缝

当采用单面焊缝时，应特别注意待焊部件的对中和间距，使在焊缝全长范围内底部能完全焊透和熔合。

#### 7.5.4.2.5 焊缝的表面

焊缝表面不得有粗糙的波纹或沟槽、重叠和凸脊或凹陷。在段厚度上的突变，如咬边，对于名义厚度6mm以上的衬里板不得大于0.8mm。已完工焊缝的表面状态应不影响焊缝无损检测的正确判断。如果焊缝表面需要磨削，则应注意避免将焊缝或母材削薄至要求厚度以下。

#### 7.5.4.2.6 不同厚度部件的焊接

当将不同厚度的材料或零件相焊接时，在两个焊接面之间应有逐渐的过渡。过渡段的长度可包括在焊缝内。过渡段的斜率应使长度与偏置的比不小于3:1。

#### 7.5.4.2.7 喷砂处理

允许使用有控制的喷丸处理以减少翘曲变形。如焊缝不作焊后热处理，则喷丸处理不得施于焊缝金属的第一层（根部）或最后一层。

#### 7.5.4.2.8 焊缝补强

##### 7.5.4.2.8.1 焊缝的完工表面及焊缝补强的厚度

要进行射线照相的焊缝应按下列要求制备：

- a) 焊缝内面或外面的波纹或表面不规则均应以合适的机械方法予以去除，使这种不规则不会造成射线照相图像，以掩盖或混淆不合格的不连续图像。
- b) 所有对接焊缝补强的完工表面可与母材平齐或有合理的均匀隆起，每边隆起的最大厚度不得超过表27规定的数值。

#### 7.5.4.2.9 贴角焊缝

贴角焊缝可以在凸形到凹形之间变化。焊缝尺寸应按图22和图23的规定来确定。

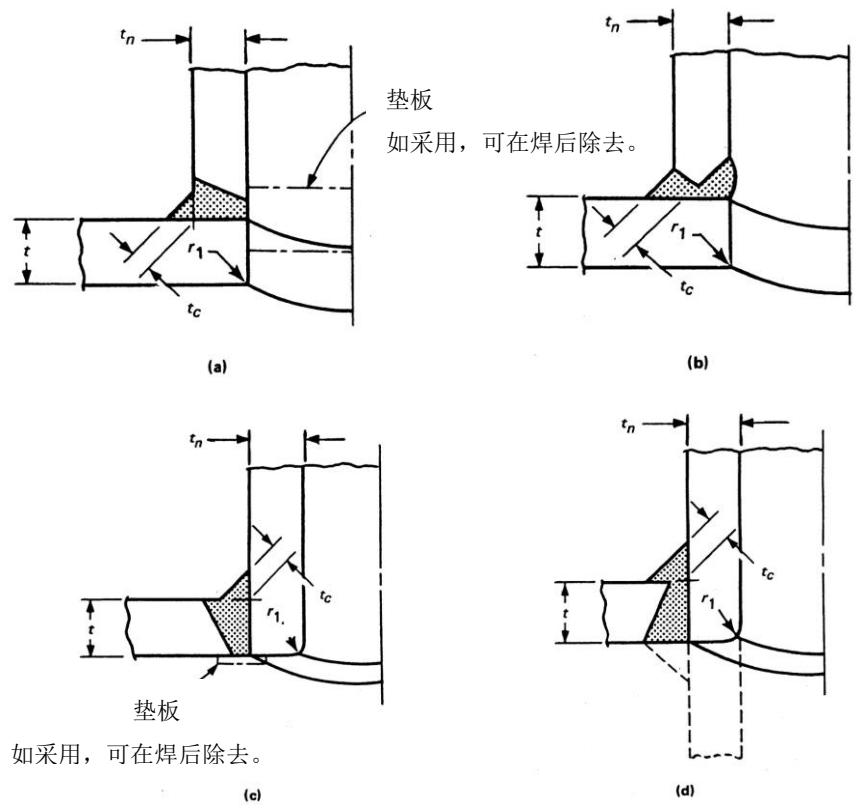


图13 典型的 D 类焊缝, 接管直径大于 NPS 3 (DN 80)

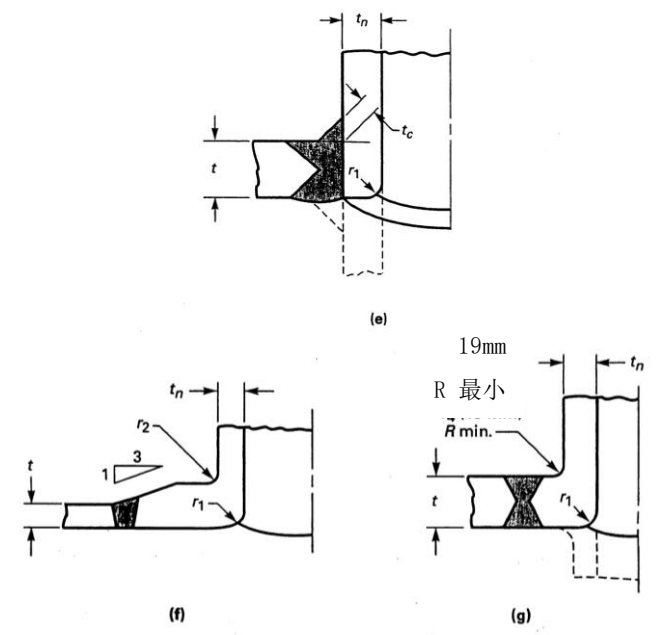


图14 典型的 D 类焊缝, 接管直径大于 NPS 3 (DN 80) (续)

(符号定义见 6.8.4.2.10 节)

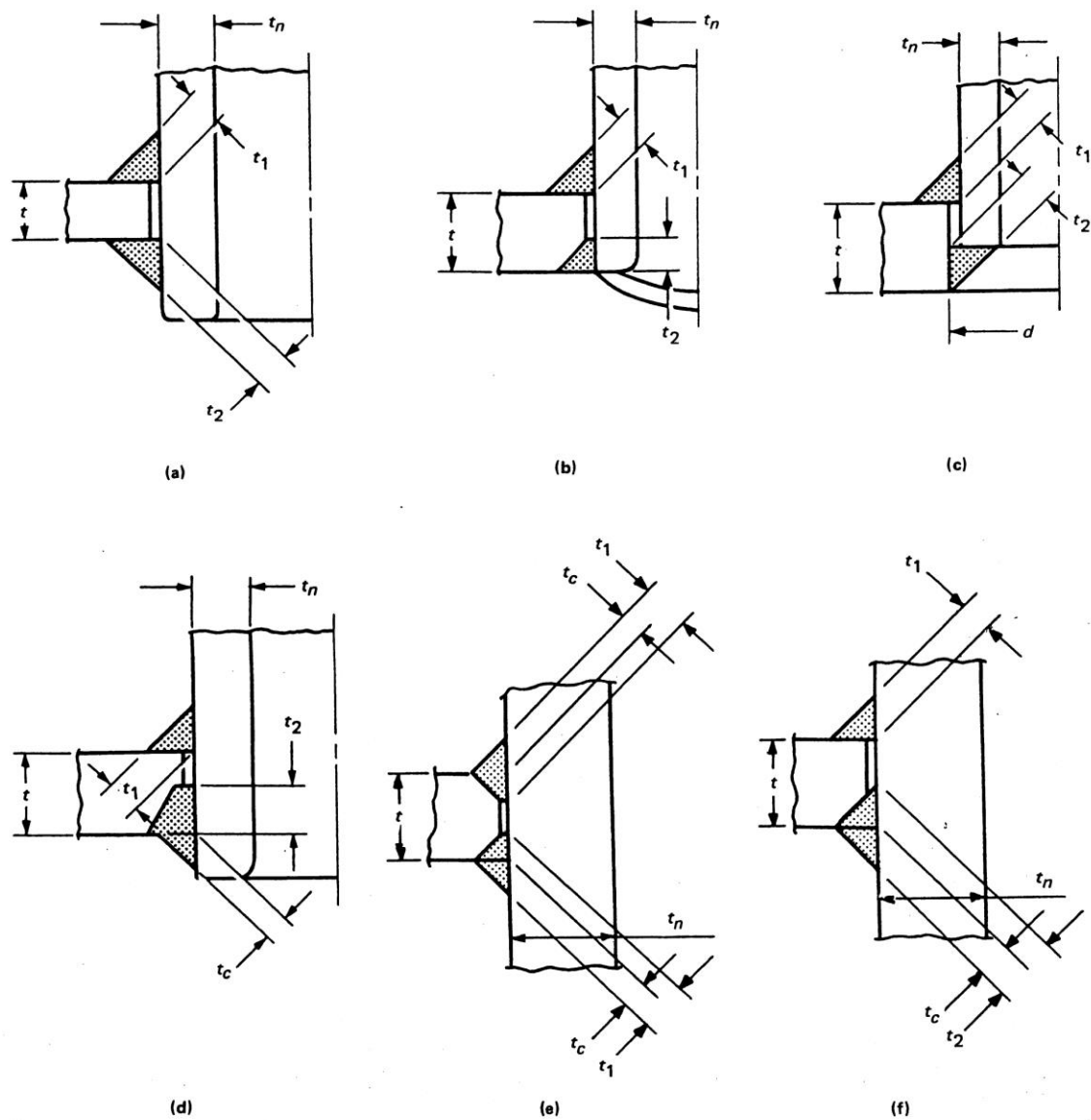


图15 典型的 D 类焊缝, 接管直径小于或等于 NPS 3 (DN 80)

(符号定义见6.8.4.2.10节)



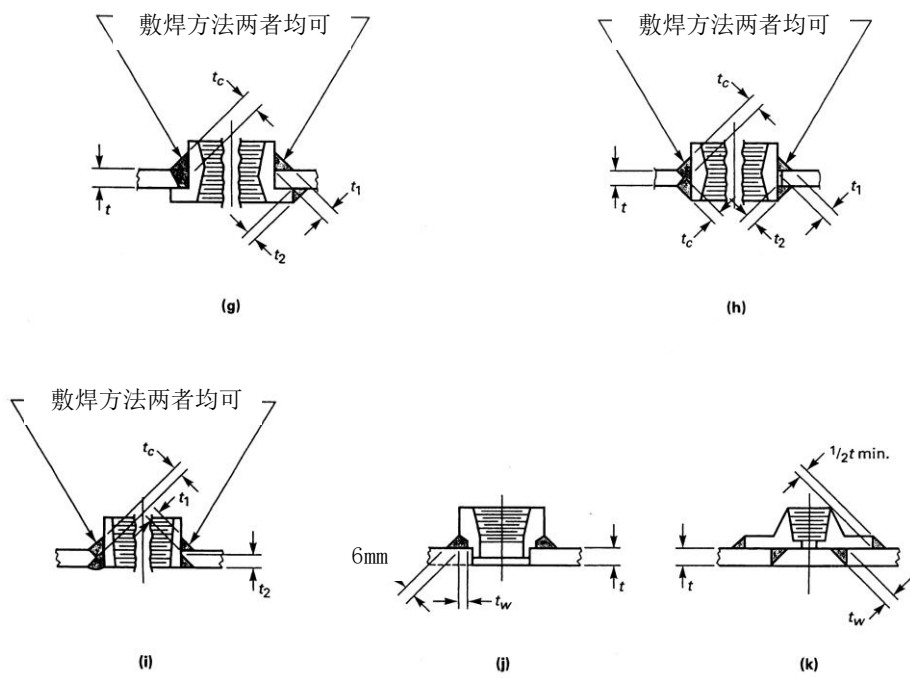


图16 典型的D类焊缝，接管直径小于或等于NPS 3（DN 80）（续）  
（符号定义见 6.8.4.2.10 节）

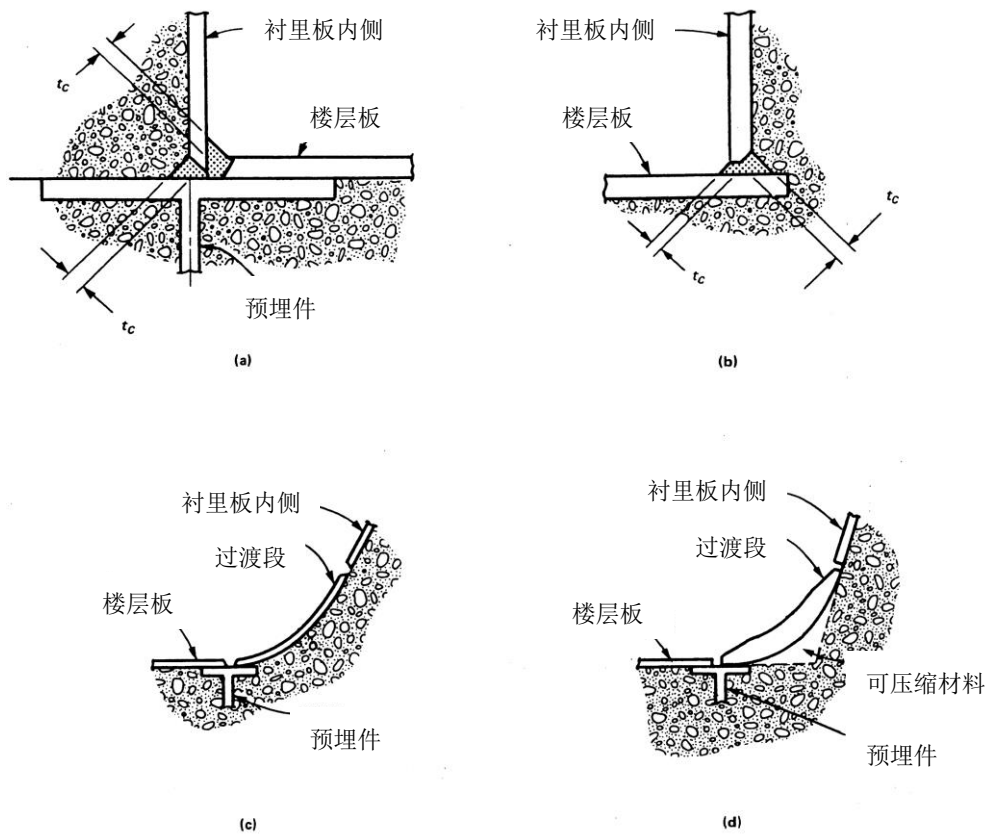


图17 典型的E类焊缝（符号定义见 6.8.4.2.10 节）

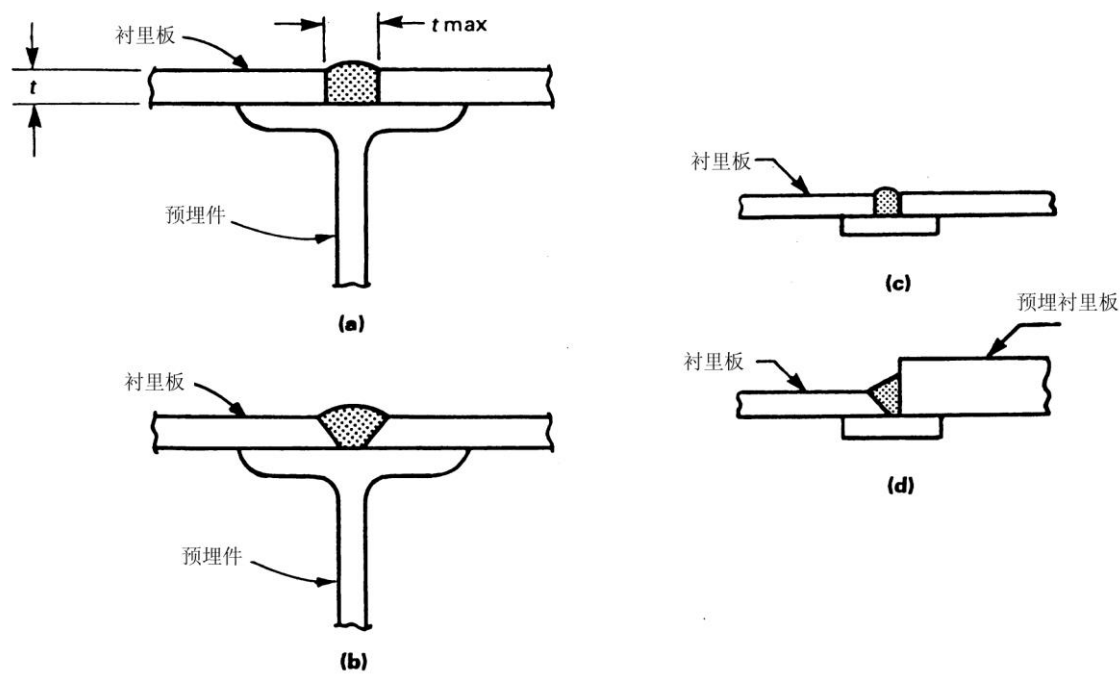


图18 典型的F类焊缝（符号定义见 6.8.4.2.10 节）

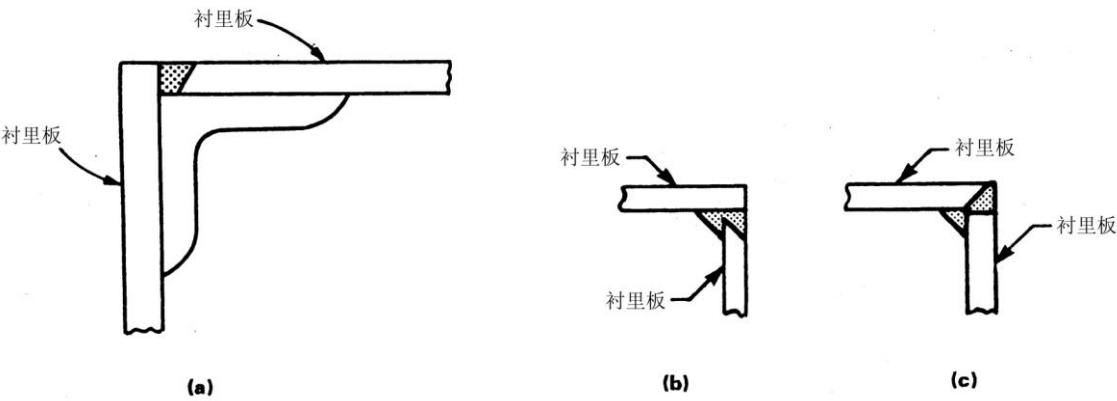


图19 典型的G类焊缝（符号定义见 6.8.4.2.10 节）

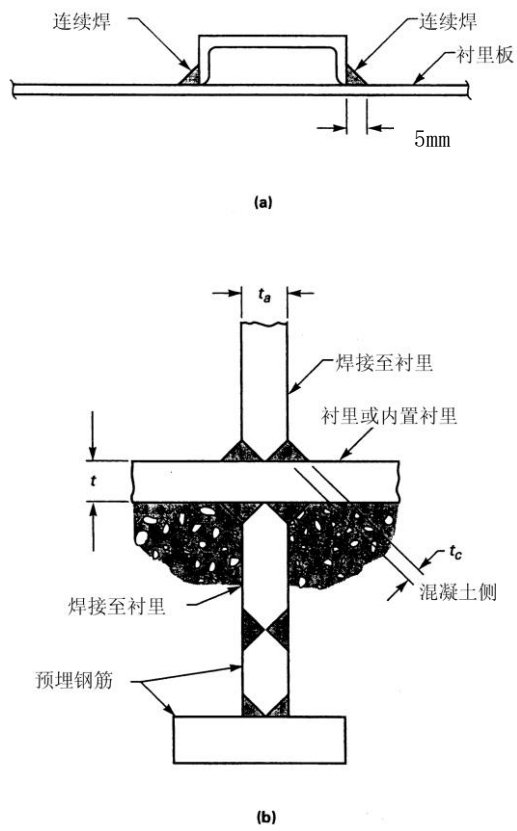


图20 典型的H类焊缝（符号定义见 6.8.4.2.10 节）

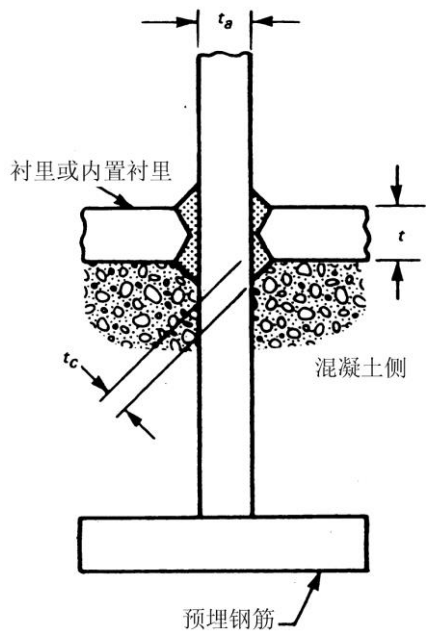
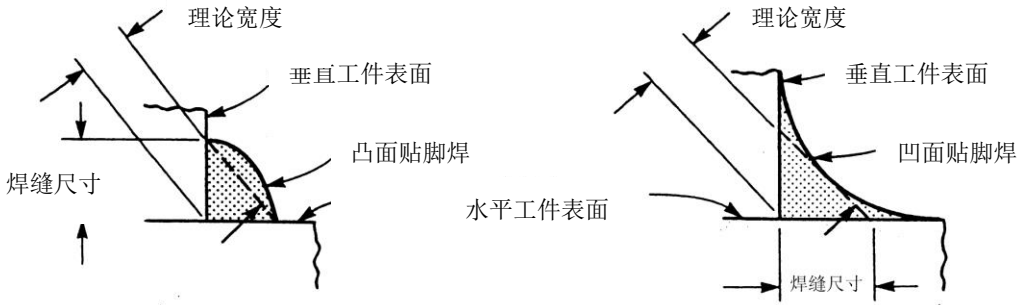


图21 典型的J类焊缝（符号定义见 6.8.4.2.10 节）

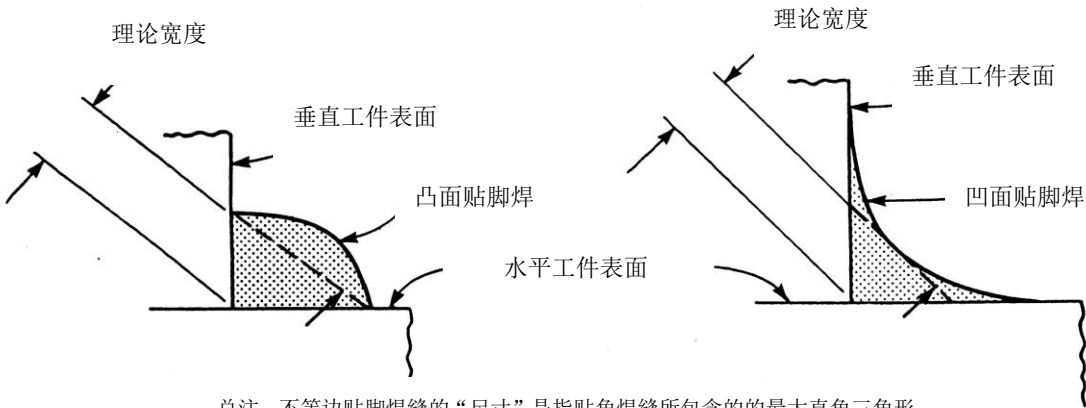
表27 最大允许厚度

材料名义厚度 mm	每边的最大补强高度 mm
≤13	2.5
13~25	3
25~50	5



总注：等边贴脚焊缝的“尺寸”是指最大直角等腰三角形的腰长。  
理论宽度=“尺寸”的0.7倍。

等边贴脚焊



总注：不等边贴脚焊缝的“尺寸”是指贴角焊缝所包含的的最大直角三角形短边的长度。

不等边贴脚焊

图22 贴角焊缝和插入焊缝的尺寸

[不允许用于NPS 2 (DN 50) 以上的连接]

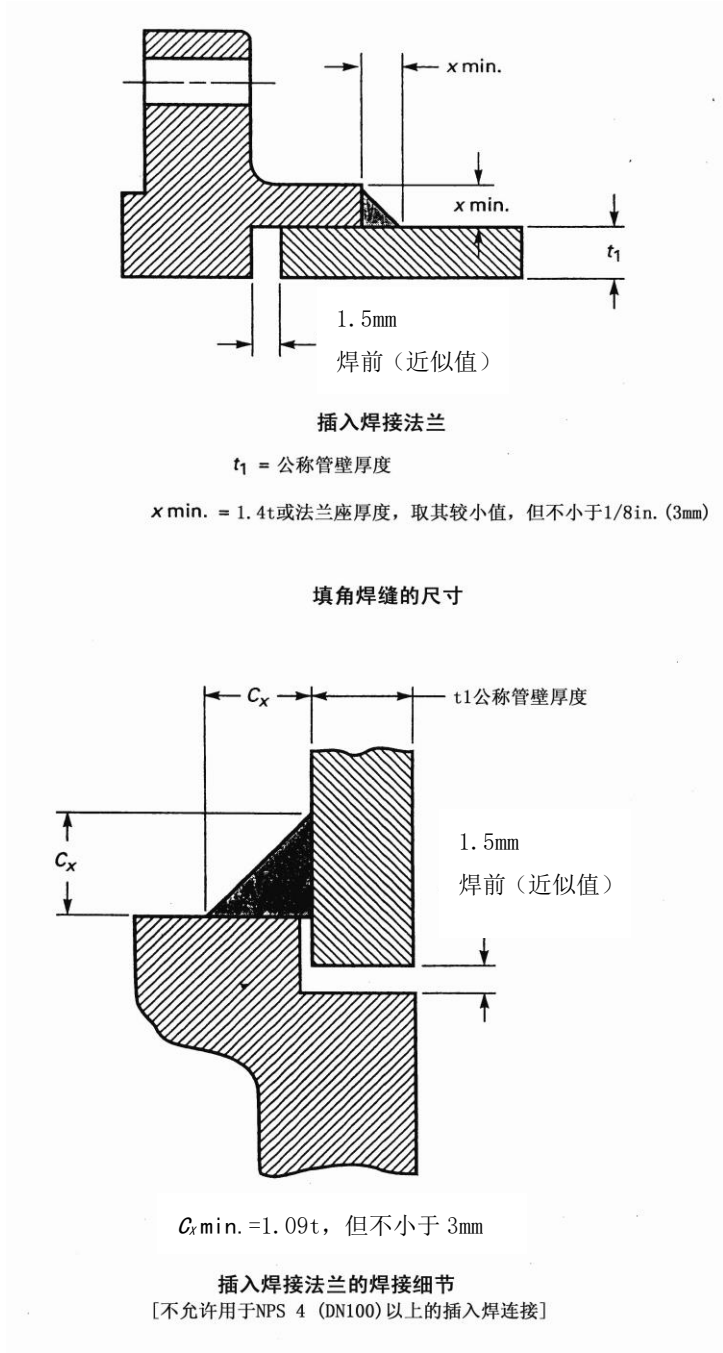


图23 贴角焊缝和插入焊缝的尺寸 (续)

[不允许用于NPS 2 (DN 50) 以上的连接]

7.5.4.3 附件的焊接

7.5.4.3.1 永久性结构附件的材料

与衬里永久性焊接的凸耳、托架、加强件和其他永久性附件的材料应符合衬里材料(5.5 节中 5.5.3 节除外)的要求。如果焊缝不做焊后热处理(7.5.2.2 节),而 5.5.2.1.1 节对材料的断裂韧性有要求时,则该附件的材料应符合 5.5.2 节的要求。

7.5.4.3.2 永久性结构附件的焊接

7.5.3.2.1 节指导焊接评定的规则适用于衬里内部和外部的永久性结构附件的焊接。焊缝应符合 7.5.5.2 节对焊后热处理的要求。

#### 7.5.4.3.3 凸耳和固定附件

所有凸耳、托架、鞍形管座、人孔框架、开孔补强以及其他附属零件，均应与相连接的壳体或表面的曲率相匹配。

#### 7.5.4.3.4 非结构性附件和临时性附件的焊接

非结构性附件，诸如吊耳、保温层支承、铭牌、定位凸耳以及临时性附件，如满足下列 5 项要求，则可用未经评定的材料来制作，并可用连续或断续的角焊缝或部分焊透焊缝直接与衬里相焊接。

- a) 焊接工艺和焊工资格均已按 7.5.3.2.1 节的要求评定合格。
- b) 材料已经识别并适合于焊接。
- c) 材料与相连接的材料是相容的。
- d) 焊接材料已经识别，并与所连接的材料相容。
- e) 当 7.5.5.2 节有要求时，焊缝需作焊后热处理。

#### 7.5.4.3.5 栓钉的焊接

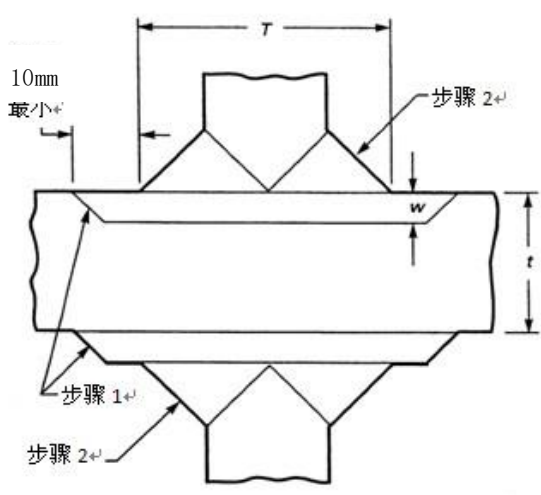
当将栓钉焊接用于受剪连接件或其他连接件及附件与衬里的连接时，可应用下列规则：

- a) 采用配有合适电源的自动定时栓钉焊接设备将栓钉与钢构件相焊接。
- b) 如果同一电源上有两个或两个以上栓钉焊枪要操作，则应将它们联锁，以便在同一时间内只能操作一个焊枪，使电源在开始下一焊缝焊接前能得到完全恢复。
- c) 操作时，焊枪应保持在位置上不动，直到焊缝金属固化为止。
- d) 焊接时，应清除栓钉上的铁锈、锈坑、鳞片、油脂和其他能严重影响焊接操作的有害物质。
- e) 构件上要焊接栓钉的区域，可使用钢丝刷、尖锥、圆头錾或打磨来清除掉鳞片、铁锈或其他有害物质，以获得满意的焊缝。
- f) 焊接后，应在受剪连接器和栓钉处，并尽可能在所有其他栓钉处，清除电弧罩。
- g) 焊接后，栓钉应无任何缺陷或可能影响其预定功能的物质。
- h) 如果焊接后栓钉的长度缩短小于标准值，例如栓钉焊后长度比规定值长 1.5mm 以上，则应立即停止焊接，并在其原因得到纠正以前，不得恢复焊接。
- i) 当栓钉的焊接位置不是俯焊时，其最大直径应为 19mm。

#### 7.5.4.3.6 焊接的具体要求

当部分衬里板在厚度方向传递荷载时，如果承受荷载的衬里板厚度等于和大于 25mm，则应满足下列之一的要求：

- a) 在完成焊接后，附件下面的母材应按 8.5 节的要求进行超声检测。
- b) 在把附件与嵌入层或表面层相焊接之前，嵌入层或表面层的焊缝金属应按图 24 的要求制备并按 8.5 节作超声检测。
- c) 如图 24 所示的熔敷技术可以用来替代嵌入焊或表面堆焊。应证明这种技术满足上述 a) 关于材料厚度等于或大于产品厚度但不必大于 100mm 的要求，以及与产品材料同类型和同级别的要求。
- d) 材料应满足 SA-770 的验收标准，《钢板全厚度拉伸试验的具体应用》。



步骤 1：嵌入焊或堆焊

步骤 2：焊件竣工

- 注：①工件可以是单面焊或是双面焊。
- ②嵌入层厚度或堆焊层厚度：当  $t=25\text{mm}$  时，应为6mm； $t$  每增加10mm，该厚度应增加1.5mm，但不需超过13mm。
- ③当  $T$  大于  $t$  时， $T$  每超过  $t$  10mm， $W$  应增加1.5mm，最大为13mm。
- ④用于嵌入焊或堆焊的电焊条的最低规定抗拉强度不得超过母材的最低规定抗拉强度83MPa。

图24 全厚度承载的焊接接头

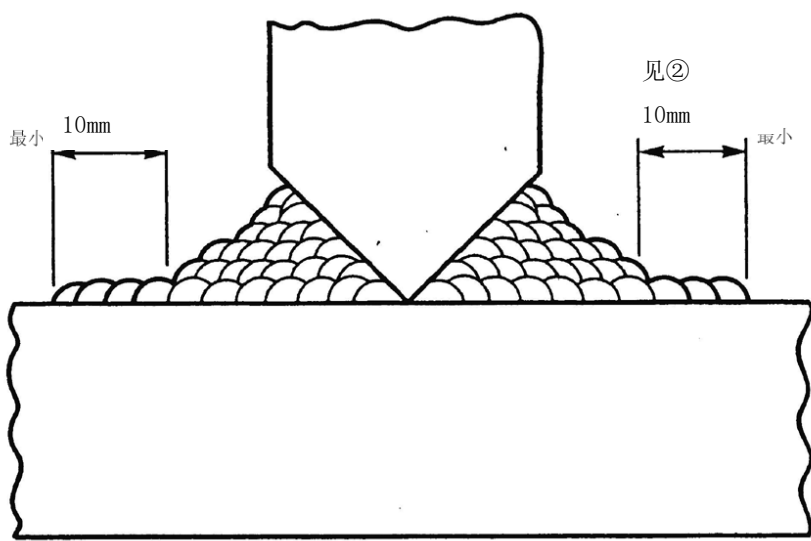


图25 全厚度承载焊接接头（典型）的具体熔敷技术

7.5.4.4 焊缝的检测

所有焊缝均应按8.5节的要求进行检测。

7.5.4.5 焊缝金属缺陷的修补

7.5.4.5.1 通用要求

按 8.5 节要求的方法所探测的焊缝金属中不可接受的缺陷均应去除，必要时，可按下列各款的要求予以修补。

#### 7.5.4.5.2 表面缺陷的去除

如果满足下列要求，则可用打磨或机器加工来去除焊缝金属的表面缺陷而不需补焊：

- a) 截面厚度减薄不大于 1.6mm。
- b) 在缺陷消除后，凹陷处均匀地融入周围表面。
- c) 融合后的部位按 8.5 节的要求用磁粉法或液体渗透法进行检测，以确保该缺陷已消除，或缺陷已缩小到可接受的限值。

#### 7.5.4.5.3 焊缝修补的要求

当用焊接来修补焊缝金属中的凹坑时，应满足下列各项的要求。

##### 7.5.4.5.3.1 缺陷的消除

目视检测或用 8.5 节所要求的检测方法查出的不可接受缺陷，应该用机械方法或热切削法消除。为修补缺陷而加工的部位，应进行检测，并应符合 8.5.3.3 节或 8.5.3.4 节的要求。

##### 7.5.4.5.3.2 对焊接材料、焊接工艺和焊工的要求

焊接修补所用的焊接材料、焊工具具备的资格和焊接工艺均应符合 7.5.3 节的要求。

##### 7.5.4.5.3.3 被修补焊缝的融合

在修补以后，焊缝表面应均匀地融入周围表面。

##### 7.5.4.5.3.4 修补焊缝的检测

修补焊缝的检测应重复对原焊缝所要求的检测，但修补的缺陷原先是用磁粉法或液体渗透法查出的，当修补的凹坑不超过 10mm 或厚度的 10%，两者中取较小值时，则仅需用磁粉法或液体渗透法重新检测即可。

##### 7.5.4.5.3.5 修补区域的热处理

如果原焊缝需要热处理，则修补部位应按 7.5.5 节的要求进行热处理。

#### 7.5.4.5.4 因拆除栓钉所产生的缺陷部位修补

- a) 衬里上因拆除栓钉的缺陷区域，应予打磨使其平齐。
- b) 如果在拆除栓钉的过程中将该部位的母材拉出，则应按 7.5.4.5.3 节的要求用低氢焊条的保护气体金属电弧焊来充填坑洞，并将焊接表面磨光。
- c) 当更换的栓钉置于有缺陷的部位上时，应在上述修补完成后再焊接此更换栓钉。

### 7.5.5 热处理

#### 7.5.5.1 焊前预热要求

##### 7.5.5.1.1 何时需要预热

预热的必要性和预热所需温度与许多因素有关，诸如化学成分、被焊零件的受约束程度、温度升高、物理性质以及材料厚度等。附录 J 中给出一些预热的方法可作为第 IX 卷所列 P 值材料的一般指导。但要注意，附录 J 所建议的预热方法并不一定保证能满意地完成焊接；同组 P 值材料中的某些个别材料的预热要求可能比一般指导的约束多少有些区别。焊接工艺规格书应根据第 IX 卷焊接工艺评定要求对被焊材料规定预热的最低要求。



### 7.5.5.1.2 预热的方法

对焊接或热切割采用预热时所采用的方法不可损伤母材或已施焊的焊缝金属,也不将有害物质引入焊接部位。

### 7.5.5.2 焊后热处理的要求

#### 7.5.5.2.1 加热和冷却的方法

焊后热处理所采用的加热和冷却方法应能提供规定的加热速率和冷却速率、金属温度、金属温度的均匀度以及保持温度控制。

#### 7.5.5.2.2 焊后热处理的时间和温度要求

##### 7.5.5.2.2.1 焊后热处理的要求<sup>15)</sup>

除 7.5.5.2.2.7 节另有允许外,所有焊缝,包括修补焊缝均应进行焊后热处理。在焊后热处理期间,除 7.5.5.2.2.4 节 c 款另有允许外,金属温度应保持在表 28 规定的温度范围及最短保温时间内。表 28 的 P 值组符合第 IX 卷 QW-420 的规定。除 7.5.5.2.4.3 节有规定外,焊后热处理应在有温度测量和温度校准的炉内进行,或用与材料相接触的热电偶或附着在与材料相接触的金属块上的热电偶进行。除 7.5.5.2.2.7 节中规定可以免除外,所有管座和贯穿件均应与衬里板的某个部分相焊接,并在其与衬里焊接以前,作为一个完整的子组件进行焊后热处理。

##### 7.5.5.2.2.2 时间—温度记录

所有焊后热处理均应进行时间—温度记录,以便供焊接责任工程师审查。时间—温度记录与对应的焊缝和物项应有标识。按相关要求,时间—温度记录的摘要可作为永久性记录。

##### 7.5.5.2.2.3 在要求温度下与焊后热处理时间相关联的厚度定义

表 28 和表 29 中的公称厚度是指焊缝、衬里材料的厚度,或相焊接的截面中较薄筒体的厚度,取三者中的较小者。当材料厚度的超出部分在 3mm 内时,公称厚度不包括成形裕量、减薄、或辊轧超限需要的材料。对于贴角焊缝,公称厚度是指焊喉厚度;而对于部分穿透焊和材料修补焊,公称厚度即为焊缝槽或焊接坡口的深度。

##### 7.5.5.2.2.4 保温和保温时间

- a) 表 28 中规定的保温时间不必是连续的,它可以是多次焊后热处理循环的累计时间。
- b) 如果试样按 5.5.2.6、5.6 和 7.5.3 节进行试验,保温时间可以超过表 28 的最低要求。
- c) 另一方面,如果实际上不可能按表 28 规定的温度范围进行焊后热处理,则允许将 P-1 材料按表 30 和下面 1) 条以较长的时间,在较低的温度范围内进行焊后热处理。
  - 1) 按 5.5.2.6 节的要求评定合格的母材可以在较低的最低温度下并增加最短保温时间进行焊后热处理,而不需要再作评定。如果材料技术规格书不要求较高的回火温度,则在较低的最低温度下和增加的最短保温时间进行的焊后热处理,亦可作为回火操作。

##### 7.5.5.2.2.5 不同 P 值材料相焊接时的焊后热处理要求

当厚度小于或等于 38mm 的 P-1 材料与 P-8 材料相焊接时,且所用焊条能产生奥氏体的或非空气硬化的镍-铬-铁熔敷金属时,不需作焊后热处理。

15) 当材料制作完工后,在加工和建造期间预计可能施加在材料上的焊后热处理的时间应在建造技术规格书中规定,材料生产商应将此时间计入将施加给试件的规定温度下的总时间内。

7.5.5.2.2.6 与衬里相焊接材料的焊后热处理要求

当材料与衬里相焊接时，衬里材料的焊后热处理温度范围应予控制。

7.5.5.2.2.7 焊后热处理规定性要求的豁免

下列情况可不作焊后热处理：

- a) 有色金属材料；
- b) 表 29 中所豁免的各类焊缝；
- c) 如果焊接工艺规格书按第 IX 卷的要求评定合格，且焊缝承受的温度超过表 28 规定的焊后热处理温度范围。

表28 焊缝焊后热处理的规定性要求

P 值 (第 IX 卷 QW-420)	保温范围 <sup>(1)</sup> ℃	不同焊缝厚度（公称）的最短保温时间		
		≤13mm	>13mm～50mm	>50mm
1	(595～675)	30 min	2min/mm	2hr 加上每增加 25mm 加 15min
8		不要求也不禁止作焊后热处理		
注：本表规定性要求的豁免见表29。 (1)所有温度均为金属温度。				

7.5.5.2.3 加热和冷却速率要求

在 425℃ 以上时，小时间隔内的加热和冷却速率不得超过 220℃ 除以被热处理材料的厚度(每 25.4mm)，但不得超过 220℃ 和低于 55℃。在加热和冷却期间，焊缝长度上任一段 4.6m 范围内的温度变化不得大于 140℃。

7.5.5.2.4 焊后热处理的方法

焊后热处理应按下列各项要求之一进行。

7.5.5.2.4.1 炉内加热——一次加热

工件在密闭的炉内一次加热是优选的方法，宜尽可能采用。应控制炉内气体以避免过度氧化；禁止火焰直接烧灼部件或组件。

7.5.5.2.4.2 炉内加热——多次加热

如果按 7.5.5.2.4.1 节的要求提供炉内气体控制，且工件的加热段互相搭接至少 1.5m，可在炉内多次加热。当采用这一方法时，应覆盖工件的炉外部分，使其温度梯度不致有害。工件伸出炉体处的横截面不得与接管或其他结构不连续处相交。

7.5.5.2.4.3 局部加热

当不能将整个工件热处理时，可以将焊缝作局部焊后热处理。局部焊后热处理应按表 28 或表 30 规定的温度范围加热一环形带。焊缝每边的受控环形带的宽度，在最大焊缝宽度的面上，不得小于焊缝厚度或 50mm，两者中取较小者。工件的温度应从受控环形带边缘向外逐渐降低，以避免有害的热梯度。此工艺亦可用于修补后的焊后热处理。

7.5.5.2.4.4 内部加热部件

工件可以用适当的方法从内部加热，应有充分的温度指示和记录装置，以便控制和保持容器中的温度分布均匀。在进行此操作以前，工件应该用绝热材料完全封闭。

7.5.5.3 中间焊后热处理

7.5.5.2节对温度、保温时间以及加热和冷却速率的要求，对于中间焊后热处理不是规定性的要求。

7.5.5.4 焊缝修补后的热处理

7.5.5.4.1 指导焊缝修补后热处理的规则

衬里或部分衬里，包括已经焊缝修补的材料，应按 7.5.5.2 节的要求进行焊后热处理。

表29 规定性焊后热处理的豁免

P 值(第 IX 卷 QW-420)	焊缝类型	公称厚度 (7.5.5.2.2.3 节)	正被报告的焊接承压材料的特性	
			最大含碳量 %	最低预热要求 ℃
1	所有焊缝，包括修补焊缝。 材料厚度 ≤38mm	≤32mm	≤0.30	...
		>32mm~38mm	≤0.30	95
		≤19mm	>0.30	...
		>19mm~38mm	>0.30	95
	角焊缝，部分焊透焊缝，修补焊缝。 材料厚度 >38mm。	≤19mm	...	95
	所有焊缝包括修补焊缝。 材料厚度 >38mm。 但≤44mm <sup>(1)</sup>	≤19mm	0.24	95
	子组件的焊缝修补， 按 7.5.5.2.2.1 节要求焊后热处理累计修补长度不超过原焊缝长度的 25%。	≤19mm	...	95
<p>注：本表所示的豁免对厚度超过3mm铁素体材料的电子束焊缝不适用。</p> <p>(1) 本豁免限于在下列状态下的 SA-299、SA-516、SA-537 材料。</p> <p>1) 冲击试验温度为 22℃，低于最低工作温度。</p> <p>2) Cv 能量值超过表 9 所列值，增加 7J。</p> <p>3) 按 5.5.2.1.1.1 节中规定豁免冲击试验。</p>				

表30 另一种焊后热处理温度

另一种温度范围	一种最短保温时间 <sup>(1)</sup>
---------	-------------------------

℃	min/mm 厚度
565~650	5min/mm
540~620	7min/mm
510~540	12min/mm
480~565	24min/mm
注：(1) 7.5.5.2.2节所有的其他要求均应采用。	

7.5.5.5 加工过程中的热处理

当材料在加工过程中承受热处理时，由SA材料规格书所要求的试样应从试件中切取，该试件已按和材料相同的方式进行过热处理，包括由供应商在出厂前所作的热处理。所要求的试验可由材料供应商、制造商或建造商进行。当板材规格书规定的热处理不是由轧板厂进行时，该热处理应由加工厂或建造商进行或在其监督下进行。他们应在轧板厂的板材标记（SA-20）字母“G”后面打上字母“T”，以表明已进行过材料规格书规定的热处理。制造商或建造商还应以材料试验报告附件的形式来表明已进行了规定的热处理。

7.5.6 附件的保护

在建造操作期间，所有附件和贯穿件均应受到保护，以防有害物质进入或被移动。

7.6 预埋锚固件的制作

7.6.1 一般要求

7.6.1.1 引言

- a) 下列各节的规则适用于预埋锚固件的制作和安装。
- b) 每个持证操作的单位应对其机构所作的焊缝质量负责，应对进行焊接工艺进行试验以确定其适用性，还应对焊工和焊机操作工进行测试以测定其正确应用该工艺的能力。
- c) 在焊接工艺以及焊工或焊机操作工的资格未经按第 IX 卷的要求评定合格之前，不得进行生产性作业。

7.6.1.2 缺陷的消除和修补

7.6.1.2.1 材料修补

在制作或安装过程中，已知或发现原已交货验收的材料，其缺陷超过 5.7.3 节的限值是不可接受的。如果这种状态已按 5.7.3 节的要求被纠正，则该材料可用于合适的产品形式，但下列除外：

- a) 没有采用对焊缝修补深度的限制；以及
- b) 对焊缝坡口的修补检测时间应按 8.5 节的要求。

7.6.2 成形、固定和对中

7.6.2.1 切割、成形和弯曲

7.6.2.1.1 切割

材料切割应按 7.5.2.1.1 节的要求。

7.6.2.1.2 成形和弯曲工艺

成形和弯曲工艺应按 7.5.2.1.2 节的要求。

### 7.6.2.1.3 成形工艺评定和成形材料验收准则

成形和弯曲工艺的评定应按 7.5.2.1.3 节的要求进行。

### 7.6.2.1.4 已加工材料的最小厚度

如果加工制作将材料的厚度减薄至低于第 6 章规定的最小值,则材料应按 7.6.1.2 节的要求进行修补。

## 7.6.2.2 成形公差

### 7.6.2.2.1 预埋锚固件的公差

预埋锚固件的公差应在设计技术规格书中规定。

## 7.6.2.3 固定和校准

### 7.6.2.3.1 固定和校准方法

在焊接过程中可以使用棍棒、千斤顶、夹具、销子、定位焊或临时附件将待焊的零件固定、对中,并保持就位。应谨慎使用机械装置,以避免损坏零件表面及扩大螺栓孔。

#### 7.6.2.3.1.1 定位焊

定位焊用于精确校准,当它们完成任务后,应被完全除去,或将其终端和起始端用磨削或其他合适的方法加工修整,以使它们完全熔入最终焊缝。定位焊缝应由具备资格的焊工使用评定合格的焊接工艺焊成。当定位焊缝将成为完工焊缝的组成部分时,应用目视检测并除去有缺陷的定位焊缝。

#### 7.6.2.3.1.2 临时附件及拆除

如果满足以下 5 项的要求,允许在制作或安装过程中,在预埋锚固件或零件上焊接不作为最终支承的附件。

- a) 材料已被标识、适宜焊接但不需评定;
- b) 材料与相连接的预埋锚固件的材料相容;
- c) 焊接材料与母材相容,并按 5.1.3 节的要求评定合格;
- d) 焊工和焊接工艺均按 7.5.3.2 节的要求评定合格;
- e) 临时附件按 7.6.2.1.1 节的规程完全拆除。

### 7.6.2.3.2 截面校准的最大错边量

对接焊缝的对中应使最终焊缝的最大错边量不超过表 25 所列的对应值,此处  $t$  是较薄段的公称厚度。

#### 7.6.2.3.2.1 错边量的修整

在表 25 允许范围内的任何偏置均应均匀地融入最终焊缝宽度,或在必要时,在焊缝边缘增补焊缝金属。

## 7.6.3 焊接评定

### 7.6.3.1 通用要求

#### 7.6.3.1.1 许用工艺类型

只有按照第IX卷和本章的焊接工艺评定要求制作焊缝的那些焊接工艺才可应用于预埋锚固件材料及其附件的焊接。所采用的工艺均应按 7.6.3.2 节的要求进行记录，除了栓钉焊缝的记录必须追索到焊工或焊机操作工外，其他焊缝不必如此。

#### 7.6.3.1.1.1 栓钉焊接

栓钉焊接应按 7.5.4.3.5 节的要求进行。

### 7.6.3.2 焊接评定和记录

#### 7.6.3.2.1 要求的评定

- a) 持证操作单位对其机构所作的焊接负责，并应制订焊接工艺，按本章和第 IX 卷的要求进行试验以验证焊接工艺并考核焊工和焊机操作工应用该工艺的技能。
- b) 用于把永久性或临时性附件与预埋锚固件相焊接或制作永久性或临时性定位焊缝的焊接工艺、焊工和焊机操作工也应满足本章的评定要求。
- c) 在制作对接焊缝的工艺试验板时，应考虑角度、侧向和端部约束对焊接件的影响。在焊接过程中附加的约束可能造成裂纹的难题，而这本来可能不会出现。

#### 7.6.3.2.2 记录的证明和维护

记录的证明和维护应按 7.5.3.2.2 节的要求进行。

##### 7.6.3.2.2.1 焊缝的识别

- a) 对于熔深小于 25mm 的部分熔透焊缝，焊缝厚度小于 25mm 的角焊缝和栓钉焊缝，建造单位不必对焊接该条焊缝的焊工或焊机操作工作出识别，如果：
  - 1) 建造单位保持有识别焊工或焊机操作工所制作焊缝的制度，使焊接责任工程师能验证焊工或焊机操作工均具备相应的资格；
  - 2) 每一类别的焊缝具有相同的形式和配置，并用同一种焊接工艺规格书焊接。
- b) 对定位焊缝不要求识别焊工或焊机操作工。
- c) 建造单位应证明只有按 7.6.3.2.1 节和第 IX 卷的要求评定合格的焊工和焊机操作工在焊接所有的焊缝。

#### 7.6.3.2.3 评定前的焊接

在将要采用的焊接工艺评定合格之前，不得进行焊接作业。

#### 7.6.3.2.4 合格证的转移

持证操作单位所进行的焊接工艺评定以及对焊工和焊机操作工的技能评定测试不得作为另一持证操作单位的焊接工艺评定，或他对焊工或焊机操作工的焊接资格证明，但第 IX 卷，QW-201 和 QW-300.2 另有规定除外。

### 7.6.3.3 焊接工艺评定试验的通用要求

对焊接工艺评定试验的要求应按 7.5.3.3 节进行。

#### 7.6.3.4 栓钉焊接的连续性能试验

栓钉焊接的连续性能试验应按照 7.5.3.4 节的要求进行。

### 7.6.4 指导施焊、检测、和修补的规则

#### 7.6.4.1 焊接前的注意事项

焊接前的注意事项应按照7.5.4.1节的要求。

#### 7.6.4.2 指导施焊的规则

##### 7.6.4.2.1 焊缝

如使用垫板，则垫条材料应与母材相容。垫条应是连续的，而且所有焊缝均应是全熔透焊缝。

##### 7.6.4.2.2 喷砂处理

如认为必要或有助于控制变形，焊缝金属可以喷丸处理。禁止在根部焊道和最终焊道进行喷丸处理。

##### 7.6.4.2.3 双面焊缝

在进行第二面焊接之前，全熔透双面焊缝的根部应用合适的方法加工修整，诸如削、磨或热切削等，但如其他焊接工艺能获得充分熔合和熔透并通过焊接工艺评定则可除外。

##### 7.6.4.2.4 焊缝的表面

允许存在焊态表面。但是，焊缝的表面不得有粗糙的波纹、沟槽、层叠、堆积和凹陷，并能满足以下要求：

- a) 最终焊缝的表面状态应不影响对该焊缝的射线照相以及其他无损检测作出正确判读。当判读射线胶片时对表面状态有疑问的情况下，该胶片应与实际焊缝表面进行比较并确定其是否可接受。
- b) 允许按照 7.6.4.2.5 节要求对焊缝加强。
- c) 咬边不得超过 0.8mm。
- d) 如焊缝的最终厚度至少等于所焊接的两段中较薄工件的厚度时，允许采用凹形的单面焊接环形对接焊缝。
- e) 如果要求采用磨削方法处理焊缝表面以满足上述准则，应注意避免将焊缝或母材的厚度磨削到低于所要求的厚度。

##### 7.6.4.2.5 对接焊缝的加强

所有对接焊缝的加强表面可以与母材齐平或可以有均匀隆起。焊缝每边的加强高度不得超过下列厚度：

##### 7.6.4.2.6 贴角焊缝的形状和尺寸

角焊缝可以从凸形变化至凹形。焊缝的尺寸应符合图 22 和图 23 的要求。如果焊缝长度全部不足部分的尺寸不超过焊缝长度的 10%，则单面连续焊接的贴角焊缝尺寸可以比规定的角焊缝尺寸小，减小量不超过 1.5mm。单个尺寸不足的焊缝长度不得超过 50mm。对于梁腹板与翼缘连接的焊缝，不允许在端部等于二倍翼缘宽度的长度范围内有焊缝短缺。制作贴角焊缝时，焊缝金属的熔敷方式应能保证充分熔透焊缝根部的母材。

##### 7.6.4.2.7 塞焊

当将塞焊用在预埋锚固件上时，应首先在孔底四周施加贴角焊缝。

##### 7.6.4.2.8 栓钉焊接

栓钉焊接应按照 7.5.4.3.5 节的要求进行。

公称厚度, mm	最大加强高度, mm
≤25	2.5
25 至 50	3
50 至 75	4
75 至 100	5.5
100 至 125	6
>125	8

7.6.4.3 试件和检验试样

试件和检验试样的制备、试验和检验等按照GB 50661的要求进行。

7.6.4.4 焊缝的检测

所有焊缝应按照8.5节的要求进行检测。

7.6.4.5 焊缝金属缺陷的修补

焊缝金属缺陷的修补应按照7.5.4.5节的要求进行。

7.6.5 热处理

混凝土预埋件材料的热处理应按照7.5.5节的要求进行。

7.6.6 螺栓结构

螺栓结构的要求应在建造技术规格书中规定。

8 建造试验和检测

8.1 通用检测要求

8.1.1 规程、评定和评价

8.1.1.1 通用要求

除真空盒检测外，所有无损检测均应按照第V卷的检测规程进行。真空盒检测则应按照附录F的要求进行。对于射线照相，几何不清晰度不得超过第V卷T-274.2的限值。应由按本章要求取得资格的人员来执行检测。并按照本章的验收标准来评价检测结果。对不是利用背衬混凝土来承载且符合金属安全壳设备要求的零件和附属件，其检测应符合《压水堆核电厂MC级设备建造规则》第8章的要求。按本文件其他部分要求对零件上附属预埋件进行的检测应符合本章的要求。

8.1.1.2 无损检测规程

本章要求的全部无损检测，均应按照经过实际验证并令无损检测责任工程师满意的详细书面规程执行。规程应与第V卷和本文件中对应于相关检测方法的具体章节相一致。具体的设置和材料可能需要对方法和技术进行修正。在这种情况下，所制定的专用规程必须相当于第V卷中所描述的方法和技术。这些书面规程和验证规程功能的记录以及人员资格评定的记录，应便于无损检测责任工程师需要时取用。每个规程至少应有一份副本，以供所有相关的无损检测人员参考和使用。



### 8.1.1.3 检测后的清洁处理

在无损检测后，施加到工件上的任何检测物质均应按规程要求被彻底清除。

## 8.1.2 无损检测人员的考核和取证

### 8.1.2.1 通用要求

执行本文件所要求无损检测的机构应任用具有丰富知识并能胜任工作的人员，其水平应达到 8.1.2.2 节所规定的程度。如果这些工作由持证操作或质保体系合格持证分包时，他应证实检测人员的资格达到 8.1.2.2 节的要求。本文件要求的全部无损检测及其结果评定应由具备资格的无损检测人员来执行。

### 8.1.2.2 人员的考核、取证和核查

#### 8.1.2.2.1 评定规程

- a) 应按 SNT-TC-1A<sup>16)</sup> 的推荐导则对执行无损检测人员进行考核<sup>17)</sup>。SNT-TC-1A 第 5 节要求雇主<sup>18)</sup> 的书面实施方法应与推荐导则的相关要求相一致。除了按下列(1)至(5)作出修正外，SNT-TC-1A 的推荐导则应被认为是最低要求。
  - 1) III 级无损检测人员的资格应通过考核来评定。
    - (1) 对于 SNT-TC-1A 的 8.3.3 (1) 和 8.3.3 (2) 节的基础考核和方法考核，可由雇主、ASNT（美国无损检测学会）或外部机构来制定和执行。
    - (2) SNT-TC-1A 8.3.3 (3) 节的特殊考核，应由雇主或外部机构来制定和执行。当基础考核和方法考核已由 ASNT 执行，其发布成绩以及格 / 不及格为依据，执行特殊考核的雇主和外部机构应在书面大纲中规定最低成绩要求。在这种情况下，特殊考核的最低成绩不得低于 80%。
  - 2) 雇主的质保大纲中应引入在 SNT-TC-1A 第 5 节中规定的书面实施规程和用于人员考核的规程。
  - 3) 对于仅执行多种无损检测操作方法中的一种操作，或执行有限范围无损检测的人员，其培训的小时数可以少于 SNT-TC-1A 表 6.3.1 所建议的小时数。书面实施规程中应注明培训和练习的时间，资格证书中的限制条件也应在书面实施规程中作出描述并在资格证书上注明。
  - 4) 对于目视检测，应该用 SNT-TC-1A 第 8.1.1 (1) 节规定的 J-2 字母代替 J-1 字母。允许采用同等类型和尺寸的字母。
  - 5) 应对 I 级检测人员执行具体设置、标定和试验的资格、进行记录和评判数据（与书面规程中规定的相关验收准则作对比）的资格进行评定。I 级检测人员应在 II 级或 III 级检测人员的指导下实施书面的无损检测规程。当书面规程中规定了具体的验收准则时，则 I 级检测人员可以独立认可无损检测的结果。
- b) 对 SNT-TC-1A 文件未包括的无损检测方法，应根据所涉及的特殊方法的可比检测来评定检测人员达到可比能力等级。

16) SNT-TC-1A,《无损检测人员考核和取证的推荐方法》，美国无损检测学会出版，俄亥俄州 43221，哥伦布市，阿林门广场 4153，SNT-TC-1A-1980 是应用版。

17) 如果重新取证是根据长期满意的工作成绩，则按 SNT-TC-1A 以前版本考试合格并重新取证的人员，可认为已按《压水堆核电厂设备建造总规则》中参考的版本通过考核。所有的复试和新试都应按《压水堆核电厂设备建造总规则》中参考的版本要求进行。

18) 本章所用的“雇主”一词应包括：有资质单位，质保体系证书持有者，符合《压水堆核电厂设备建造总规则》5.9.6.2 节要求合格的材料机构，以及上述分包给无损检测服务的机构。

- c) 重点应是检测人员按照适用的规程执行无损检测的能力。
- d) 对于由多种操作或多种类型构成的无损检测,允许任用具备资格执行一种或多种操作的检测人员。例如,可以任用具有执行射线照相检测资格的人员,另外任用具有解释和评判射线照相底片资格的人员。

#### 8.1.2.2.2 人员的取证

- a) 雇主保持其对大纲适用性的责任,并负责 I 级、II 级和 III 级无损检测人员的资格取证。
- b) 如果 ASNT 是执行 III 级基础考核和方法考核的外部机构,雇主可以用 ASNT 发出的信函作为资格证书的依据。
- c) 如果外部机构为雇主评定 III 级人员的考核代理人,其考核结果应包含在雇主的记录中。

#### 8.1.2.2.3 无损检测人员取证的核查

持证操作单位负责对材料生产商和材料供应商雇用的,并由他们按本文件 5.8.1.3 的要求进行考核取证的无损检测人员的资格进行核查,包括为他们提供无损检测服务的分包商。

#### 8.1.2.2.4 记录

SNT-TC-1A 第 9.6.1 节中规定的人员考核取证记录应由雇主保存。

### 8.1.3 混凝土检测人员和试验人员的取证

#### 8.1.3.1 通用要求

每个机构应负责保证按本文件要求进行混凝土检测和试验的操作人员具有丰富知识并能胜任工作,其水平应达到 8.1.3.2 节所规定的程度。本文件要求的全部混凝土检测和试验及其结果评定应由具备资格的混凝土检测和试验人员来执行。人员委派要遵照相关责任部门的意见。

#### 8.1.3.2 人员的考核

应按照附录 E 的要求对执行混凝土检测和试验任务的人员进行考核。

#### 8.1.3.3 民用核设施营运单位或其委托单位的核查

民用核设施营运单位或其委托单位有责任根据附录 E 来核查机构发给混凝土检测人员和试验人员的资格证书。当民用核设施营运单位或其委托单位有理由怀疑个别人员的工作效能时,他有权监查大纲的执行情况并要求对该混凝土检测人员和试验人员重新作资格考核。

### 8.1.4 记录

人员考核取证的记录应按下列要求予以保存。

- a) 核安全法规 HAF003 的规定,其要求应予采用。
- b) 记录索引。对各种记录应编制索引。记录及其索引应便于民用核设施营运单位或其委托单位查找。
- c) 射线照相的复制。复制射线照相要满足下列各项要求:
  - 1) 复制过程应经民用核设施营运单位批准;
  - 2) 当为民用核设施营运单位或建造单位复制射线照相时、负责复制过程的建造单位的质量保证大纲应包括一个控制和监测复制过程准确性的系统,以便当图象复制到原稿大小时复制件能保持原射线照片相同的信息;

- 3) 工艺规程应包括关于曝光、扫描、聚焦、对比度、清晰度和分辨胶片制品的各项要求，这样就可复制的射线照相中显现材料的不连续性。
- d) 寿期的记录。对于混凝土安全壳而言，表31中所列的记录应分类为寿期记录。当这些报告由建造单位控制时，建造单位应负责它们的保存和维护。在这些报告转送给民用核设施营运单位后，民用核设施营运单位应负责它们的保存和维护。
- e) 非永久性记录。对于混凝土安全壳而言，列于表32的记录应分类为非永久性记录。建造单位应负责在表32规定期限内保存这些记录。在适用的规范数据报告完成后，非永久性的记录决不需要保留超过10年。

表31 寿期保存的质量保证记录

记 录	记 录
1. 寿期记录索引	11. 热处理记录[注（1）]
2. 编码数据报告	12. 鉴定试验报告，如对混凝土的设计配料（本文件 5.4.6）
3. 设计技术规格书[注（2）]	13. 结构完整性试验报告（本文件 9.2.6）
4. 设计输出文件[注（2）]	14. 最终水压和气压试验结果
5. 设计报告	15. 最终无损检验报告，民用核设施营运单位为在役检查规则（ASME BPVC XI）应用所规定的最终射线照相底片
6. 超压保护报告	17. 焊接规程
7. 建造技术规格书	18. 建造报告
8. 竣工图纸	19. NS-1 合格证书
9. 合格材料试验报告（CMTR）以及提供可追踪到使用现场的文件	
10. 后张拉顺序、规程和载荷的记录	

总注：影响列入那些记录的不符合项报告应并入记录或与记录一起保存。

注：（1）热处理记录既可以是热处理图表，也可以是时间和温度数据的经确认的摘要。这些数据可以作为合格材料试验报告（CMTR）的一部分包括在热处理记录内。

（2）对于按额定载荷设计的支承件，载荷能力数据表是按寿期保存的质量保证记录进行维护的设计输出文件。对于按分析法设计并提供经确认的设计报告摘要的标准支承件，该摘要作为寿期质量保证记录保存的设计输出文件。

表32 非永久保存的质量保证记录

记 录	保 存 期
1. 质量保证大纲手册	被取代或宣布无效后 3 年
2. 设计采购和 QA 规程	被取代或宣布无效后 3 年
3. 安装和无损检验规程	被取代或宣布无效后 10 年
4. 人员考核记录	被取代或宣布无效后 3 年
5. 订购单	被取代或宣布无效后 10 年
6. 监查和调查报告	报告完成后 3 年
7. 其它的最终射线照相底片	完成后 10 年
8. 标定记录	直到重新标定
9. 工艺卡片、流动卡或校验清单	完成后 10 年
10. 钢筋拼接试验报告（本文件 7.3.3）	报告完成后 10 年
11. 连接焊的焊工识别记录（当用这种记录代替焊缝实体标记时）（本文件 7.3.2.2）	报告完成后 10 年

总注：影响所列的那些记录却不与记录合并的不符合项报告，应在适用于受不符合项影响的记录的保存期内保存。

8.2 混凝土检测

### 8.2.1 概述

混凝土和混凝土成分应按本文件规定的规则进行检测和试验。这些试验结果不代表以前使用的成分，仅用于评定所代表的该批混凝土成分合格或不合格。本节所要求的检测和试验应由建造商、制造商或非金属材料生产商来实施，并由检验责任工程师根据相关要求进行监督。如果由非金属材料生产商实施检测和试验，则应向建造商或制造商的检验责任工程师提供进行必要检查所需的措施，以保证符合本节要求。检测和试验的结果应由制造商或建造商核查。

#### 8.2.1.1 试验室取证

除试验人员应按8.1.3.2节<sup>19)</sup>的要求进行考核取证外，8.2节要求的试验应由得到认证的试验室来实施。该试验室应满足ASTM C 1077《建造用混凝土和混凝土骨料的标准试验方法和评价试验室的准则》的要求。

### 8.2.2 混凝土成分

#### 8.2.2.1 水泥

##### 8.2.2.1.1 要求

建造商应进行质量控制试验，以确定是否满足 GB 175 的相应要求，如表 32 所示。

##### 8.2.2.1.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

#### 8.2.2.2 外加剂

##### 8.2.2.2.1 引气剂

##### 8.2.2.2.1.1 要求

除按 GB 8076 对外加剂生产商的要求进行试验外，还应采用生产商推荐的方法进行下列质量控制试验——红外辐射分析、pH 值和固体物含量试验。此外，GB 8076 中可选项的均匀性要求适用于 pH 值、比重和空气含量试验。

##### 8.2.2.2.1.2 试验频度

引气剂在使用以前应按表 32 的要求进行质量控制试验。

##### 8.2.2.2.2 矿物掺合料（粉煤灰和火山灰）

##### 8.2.2.2.2.1 要求

应进行质量控制试验以确定是否满足 GB/T 1596 的相应要求，如表 32 所示。

##### 8.2.2.2.2.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

##### 8.2.2.2.2.3 均匀性要求

---

19) 国家标准和技术学会水泥和混凝土参考实验室（CCRL）提供实验室认证，具有由国家非官方认证项目（NVLAP），美国实验室认证学会（AALA）和美国材料工程师协会（CEMC）提供的认证项目。

应对 8.2.2.2.1 节的质量控制试验结果进行评定，以确定下列性能是否满足 GB/T 1596 的均匀性要求。

- a) 比重
- b) 细度

#### 8.2.2.2.3 化学外加剂

##### 8.2.2.2.3.1 要求

外加剂生产商除按 GB 8076 要求进行的试验外，还应采用生产商推荐的方法和 GB 8076 规定的方法进行下述质量控制试验：即红外辐射分析、比重（单做液体）和烘干残余物试验，以保证其均匀性。

##### 8.2.2.2.3.2 试验频度

外加剂使用前应按表 32 进行质量控制试验。

#### 8.2.2.2.4 灌浆用流化剂

##### 8.2.2.2.4.1 要求

应进行质量控制试验以确定是否满足 ASTM C 937 的要求。

##### 8.2.2.2.4.2 试验频度

应按表 32 到要求对流化剂进行质量控制试验。

#### 8.2.2.3 骨料

##### 8.2.2.3.1 要求

质量控制试验应如表 32 所示。用于做级配试验、含水量试验和细于 200 目的材料筛选试验的骨料试样应从批量生产厂商的输送机、料斗或斜槽中采取。用于其他质量控制试验的骨料试样可以从交货地或堆栈的同类地方采取。

如果用于级配试验和细于 200 目的材料筛选试验的骨料试样不在规定限值内，则应从相同地点另取两个附加试样进行试验。如果两个再试验的试样在规定限值内，则该骨料是可接受的。如果再试验的试样中有一个或两个试样超出规定限值，则三次试验结果应取平均值。这个试验结果应与先前的五次骨料试验结果取平均值。如果试验的平均值在规定的限值内，则留下的骨料是可接受的。如果六次试验的平均值不在规定限值内，则留下的骨料应予调整到规定限值内，否则应将该骨料报废。

如果用于其他质量控制试验的骨料试样超出规定限值，则应从相同地点另取两个附加试样进行试验。如果两个试样均在规定的限值内，则该骨料可予接受。

##### 8.2.2.3.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

#### 8.2.2.4 拌合水

##### 8.2.2.4.1 要求

应进行质量控制试验，如表 32 所示，以保证满足 5.2.2.3 节的要求。

##### 8.2.2.4.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

8.2.3 混凝土

8.2.3.1 搅拌机均匀性

应对固定式和卡车式搅拌机进行搅拌机均匀性试验，以确定搅拌机是否能够使混凝土成分得到充分搅拌和均匀的质量。

8.2.3.1.1 要求

搅拌机均匀性应按 GB/T 50080 的要求确定。

8.2.3.1.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

8.2.3.2 混凝土性能

- a) 混凝土的坍落度、温度、空气含量、容重和物理性能检测，应在普通试样上进行以符合建造技术规格书的规定。用于上述试验的新鲜拌合混凝土的取样应符合 GB/T 50081 的规定。取样应在全部材料掺水拌合后进行。
- b) 对每种成分应计算混凝土的氯化物含量及评价所收到的每次氯化物试验结果。计算应以其他成分最近的氯化物试验结果为依据。

8.2.3.2.1 坍落度

8.2.3.2.1.1 要求

应按照 GB/T 50080 进行质量控制试验，以保证满足建造技术规格书的要求。

8.2.3.2.1.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

8.2.3.2.2 温度、空气含量和容重

8.2.3.2.2.1 要求

应测定混凝土的温度、空气含量和容重，以保证满足建造技术规格书的要求。空气含量试验应按照 GB/T 50080 进行。容重试验应按照 GB/T 50080 进行。

8.2.3.2.2.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

8.2.3.2.2.3 评价和验收

如果在一次浇筑中超过空气含量规定范围 20% 以上的空气含量测试结果不超过一次，且每次浇筑的全部空气含量测试结果的平均值在表 2 规定的限值内，则该混凝土是可以接受的。

表33 混凝土成分和混凝土的最低试验频度

材料	要 求	试验方法	频度 <sup>(1)</sup>	
			初始试验 <sup>(2)</sup>	有现场经验后 <sup>(3)</sup>

水泥	标准化学性能	GB 175	1100 公吨	1100 公吨
	细度	GB/T 8074	1100 公吨	1100 公吨
	高压釜膨胀	GB/T 750	1100 公吨	1100 公吨
	抗压强度	JGJ/T 70	1100 公吨	1100 公吨
	凝固时间	GB/T 1346	1100 公吨	1100 公吨
加气 掺合料	均匀性	按照 GB 8076 的要求进行红外辐射分光光度法分析、测定 pH 值和固体物含量分析。	每次装运量 或每批产量的组合	每次装运量 或每批产量的组合
矿物 外加剂（粉煤灰和 火山灰）	烧失量	GB/T 1596	360 公吨	360 公吨
	细度 （325 目筛分）	GB/T 1596	360 公吨	360 公吨
	比重	GB/T 1596	360 公吨	360 公吨
	与水泥碱性的反应性 <sup>(4)</sup>	GB/T 1596	1800 公吨	1800 公吨
	适用的碱性 <sup>(4)</sup>	GB/T 1596	1800 公吨	1800 公吨
化学 外加剂	均匀性	按照 GB 8076 的要求进行红外线分析、比重（单测液体）和烘干的残余物试验。	每次装运量 或每批产量的组合	每次装运量 或每批产量的组合
水泥浆 流化剂	物理性能	ASTM C 937	每次装运量 或每批产量的组合	每次装运量 或每批产量的组合
骨料	级配	GB/T 14684 GB/T 14685	每 760m <sup>3</sup> 混凝土 1 次	每 1500m <sup>3</sup> 混凝土 1 次
	含水量	GB/T 14684 GB/T 14685	生产期间每天 2 次	
	细于 200 目的 物质	GB/T 14684 GB/T 14685	每 760m <sup>3</sup> 混凝土 1 次	每 1500m <sup>3</sup> 混凝土 1 次
	有机杂质 <sup>(5)</sup>	GB/T 14684	每 760m <sup>3</sup> 混凝土 1 次	每 1500m <sup>3</sup> 混凝土 1 次
	扁长颗粒	GB/T 14684 GB/T 14685	每月 1 次	每 6 个月 1 次
	易碎颗粒 <sup>(5)</sup>	GB/T 14684 GB/T 14685	每月 1 次	每 6 个月 1 次
	轻颗粒 <sup>(5)</sup>	GB/T 14684	每月 1 次	每 6 个月 1 次
	比重和吸水率	GB/T 14684 GB/T 14685	每月 1 次	每 6 个月 1 次
	洛山矶（石料） 磨损	JTG E42	每 6 个月 1 次	每 6 个月 1 次
	水溶性氯化物 <sup>(6)</sup>	GB/T 14684 GB/T 14685	每 6 个月 1 次	每 6 个月 1 次
	岩相检测 <sup>(7)</sup>	GB/T 14684 GB/T 14685	每 6 个月 1 次	每 6 个月 1 次
水和冰	对抗压强度的影响	JGJ/T 70	每 6 个月 1 次	每 6 个月 1 次
	总固体物	GB/T 14415	每 6 个月 1 次	每 6 个月 1 次
	氯化物 <sup>(6)</sup>	GB/T 11896	每月 1 次	每月 1 次

混凝土	搅拌机均匀性 抗压强度	GB/T 50080 GB/T 50081 或 JGJ/T 283	初始试验及每 6 个月 1 次。 从每 76m <sup>3</sup> 中取 2 个圆柱体 为 1 组，每天至少取 1 组 <sup>(8)</sup>	初始试验及每 6 个月 1 次。 从每 150m <sup>3</sup> 中取 2 个圆柱体 为 1 组，对浇筑混凝土超 过 38m <sup>3</sup> 的任一天至少取 1 组
	坍落度	GB/T 50080	每天浇筑的第一拌， 以及每浇筑 38m <sup>3</sup> 取 1 次 <sup>(8)</sup>	每天浇筑的第一拌， 以及每浇筑 76m <sup>3</sup> 取 1 次 <sup>(8)</sup>
	空气含量	GB/T 50080	每天浇筑的第一拌， 以及每浇筑 38m <sup>3</sup> 取 1 次 <sup>(8)</sup>	每天浇筑的第一拌， 以及每浇筑 76m <sup>3</sup> 取 1 次 <sup>(8)</sup>
	温度		每天浇筑的第一拌， 以及每浇筑 38m <sup>3</sup> 取 1 次 <sup>(8)</sup>	每天浇筑的第一拌， 以及每浇筑 76m <sup>3</sup> 取 1 次 <sup>(8)</sup>
	容重		每天 1 次 <sup>(8)</sup>	与 1 组圆柱体的抗压强度 试验一起做 <sup>(8)</sup>
通用 水泥浆	抗压强度	JGJ/T 70 或 CRD-C 621	每天 1 次	每天 1 次
<p>注：（1）以 1 次为基础的试验频度仅适用于混凝土或水泥浆的生产和浇筑期间以及使用成分期间。</p> <p>（2）初始试验是指混凝土生产的最初 30 次试验期间，以及采用替代频度[注（3）]时的准则不能得到满足时。</p> <p>（3）最近 30 次连续抗压强度试验结果的平均强度 <math>f_{cr}</math> 超过规定强度 <math>f_c'</math>，表达为 <math>f_{cr} = f_c' + 1.419 (f_c' / 8.69)</math> 时。</p> <p>（4）如果建造技术规格书有要求。</p> <p>（5）如岩相分析表明骨料可以接受但有大量杂质，则需要从岩层中采取碎石。</p> <p>（6）混凝土的氯化物含量应按 8.2.3.1 节的规定计算。</p> <p>（7）该报告应由设计方评价。</p> <p>（8）试验频度适用于每天浇筑的每批混凝土配合比设计。</p>				

8.2.3.2.3 物理性能

8.2.3.2.3.1 要求

应进行混凝土物理性能试验，以确定满足建造技术规格书的要求。

8.2.3.2.3.2 评价和验收

- a) 每级混凝土抗压强度试验的试样应按表 32 上的试验频度取样。用于抗压强度试验的混凝土样品应按 GB/T 50081 的要求采取。用于验收试验的圆柱体应按 GB/T 50081 进行模制和实验室养护，并按 GB/T 50081 的要求进行试验。每个强度试验结果应是从同一批次试件在龄期 28 天或按设计文件所规定的“a”天采取两个或两个以上样品的强度试验平均值。
- b) 对用于安全壳的某批混凝土混合料，其试验频度少于 5 次时，应至少从任选的 5 拌混凝土中取样试验；如果使用量少于 5 拌，则应从每拌取样进行试验。
- c) 如果龄期为“a”天的所有试验组的连续三个强度试验的平均值等于或超过规定的强度，且试验结果中没有有一个强度值比规定强度低 3.5MPa 以上，则认为混凝土强度良好。
- d) 可要求做补充抗压强度试验以校核养护是否足够，以确定拆模时间。当要求做这类强度试验时，试样应按 GB/T 50081 的要求在现场条件下进行模制和养护，并按 GB/T 50081 的要求进行试验。这类试样应和用于实验室养护验收试验的试样在同一时间，从同一拌混凝土中取样模制。当现场养护“a”天的圆柱体强度小于实验室养护的圆柱体强度的 85% 时，则应改进构筑物混凝土的保养规程。如实验室养护的圆柱体强度明显地高于规定强度时，则现场养护的圆柱体强度即使不满足 85% 的准则，亦不需超过规定强度 3.5MPa 以上。



- e) 如果需要核实抗拉强度,则应对整个建造期间的每种类型混凝土准备八组,每组四个试样。试样应按 GB/T 50081 的要求进行模制和实验室养护,并按 GB/T 50081 的要求,对龄期为“a”天的试样进行试验。每组应有三个试样进行抗弯或劈裂抗拉强度试验,一个试样进行抗压强度试验。
- f) 如果试验结果不能满足验收准则,则建造商或制造商应证明构筑物的承载能力不受危害而使设计方满意。如果确认存在混凝土强度低的可能性,且计算表明承载能力可能已大幅下降,则可按 ASTM C 42《混凝土钻芯和锯梁的取样和试验的标准方法》的要求,在有疑问的部位进行钻芯试验。对每个比规定强度低 3.5MPa 的圆柱体试验应取三个样芯。
- g) 如果三个样芯强度的平均值至少等于规定强度的 85%,并且没有一个样芯的强度小于规定强度的 75%,则认为由该样芯所代表部位的混凝土,结构上是可靠的。为了校核试验的精确度,可对不稳定的样芯强度所代表的部位重新进行试验。如果再试验仍不能满足强度验收标准,并且对结构的可靠度还有疑问,则该不符合规定的混凝土必须重新浇筑。结构的可靠度应由设计方来确定。

### 8.2.3.3 预填骨料混凝土

#### 8.2.3.3.1 骨料

- a) 对放入模板中的每 180,000 公斤骨料,应按 GB/T 14684 和 GB/T 14685 进行清洁度试验,按 GB/T 14684 和 GB/T 14685 进行级配试验。
- b) 当冲洗、运输和放置骨料时,应不断对骨料的清洁度做目视检测。

#### 8.2.3.3.2 水泥、矿物填料和流化剂

- a) 材料应按 8.2.2 节的要求进行试验。
- b) 水泥浆流化剂应按 ASTM C 937 的要求进行试验。此外,应由建造商、制造商、非金属材料生产商或非金属成分供货商对水泥浆流化剂进行鉴定,使配制的用于试拌试验的水泥浆流化剂具有相同的物理、化学性能。

#### 8.2.3.3.3 压入水泥浆

- a) 每拌压入水泥浆的黏稠度应按 GB/T 2419 确定。建造技术规格书中应制定将要采用的流动系数,作为每拌水泥浆混合料验收、报废和调整的依据。
  - 1) 把水泥浆从混合器送入搅拌机以前(如果在泵送前不设中间搅拌),每批拌合料应至少有一次流动锥体试验结果在规定限值内。流动系数不符合规定的的水泥浆不得送入搅拌机。
  - 2) 如果在搅拌期间,水泥浆变稠,则流动锥体试验应该就在泵送前进行。如果流动锥体试验的结果不在规定的流动系数限值内,则该拌水泥浆应报废。应记录每次流动锥体试验的结果,并核实其时间。
- b) 应测量并记录在混合器、搅拌机以及水泥浆离开泵后在灌入点的每拌水泥浆的温度。如果水泥浆在注入模板处的温度连续 5 拌中有一拌以上超出规定限值,则应采取纠正措施。
- c) 应在泵送前的实拌水泥浆中取样,按 JGJ/T 70 的规定,或按建造技术规格书修订的方法,进行膨胀和泌浆试验。膨胀和泌浆试验的试样应从做圆柱体试验的每拌水泥浆中采取。
- d) 应在泵送前的实拌水泥浆中取样,按 JGJ/T 283 的规定或按建造技术规格书修订的方法确定凝固时间。

#### 8.2.3.3.4 混凝土

每次浇筑预填骨料混凝土，均应从每拌中或从每  $76\text{m}^3$  水泥浆中或从泵送过程的部分水泥浆中，制取试验圆柱体。试验圆柱体的数目和试验龄期应按建造技术规格书的要求。 $150\text{mm}\times 300\text{mm}$  重型试验圆柱体模型和浇筑规程应符合 JGJ/T 283 的要求。圆柱体在按 GB/T 50081 的要求进行试验之前，应按 GB/T 50081 的要求保持湿润养护。

#### 8.2.3.4 通用水泥浆

##### 8.2.3.4.1 成分

###### 8.2.3.4.1.1 要求

应按照 8.2.2 节的要求对水泥浆成分进行质量控制试验。

###### 8.2.3.4.1.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

##### 8.2.3.4.2 物理性能

###### 8.2.3.4.2.1 要求

应按 JGJ/T 70 的要求对水泥浆进行试验，以便确定抗压强度符合建造技术规格书的要求。

###### 8.2.3.4.2.2 试验频度

试验频度应如表 32 所示。

#### 8.2.4 用于灌浆钢束系统的水泥浆

##### 8.2.4.1 概述

在建造技术规格书中应规定水泥浆的流动性或黏稠度、泌水及抗压强度，并按照 5.2.4 节的规定在通用试样上给与确定。

##### 8.2.4.2 在灌浆过程中的试验频度

###### 8.2.4.2.1 温度

在灌浆操作过程中应每小时测量并记录大气和混合水泥浆成分的温度，以确定是否符合建造技术规格书的要求。

###### 8.2.4.2.2 流动性 / 黏稠度

每天在浇灌第一拌水泥浆前应对水泥浆的流动性或黏稠度进行测量，以后每 20 拌水泥浆增做一次试验，但每天每四根灌浆钢束不少于一次试验。

###### 8.2.4.2.3 抗压强度

由一组 3 个立方体试样组成的水泥浆强度试验，应按每 100 拌水泥浆做一组的比率进行，但每天不得少于一组。试验应按照 CRD C 621 的要求进行。

###### 8.2.4.2.4 化学要求

在水泥浆浇灌期间，应每周对每批水泥浆成分中的硝酸盐—氯化物含量测定一次。

#### 8.3 钢筋系统检测

### 8.3.1 概述

本节叙述对钢筋及其接头的检测要求。

### 8.3.2 机械连接的检测

所有连接系统的验收准则均应按照建造技术规格书的规定。

#### 8.3.2.1 充填黑色金属的套筒接头

- a) 应每天从每个接头小组制作的接头中抽取一个套筒接头，检测装配是否正确。
- b) 应对所有完工的套筒接头在冷却后作目视检测以验收钢筋端部位置。应能在每个连接套筒的可达端和塞孔看到金属填料。每个连接套筒的可达端亦应满足建造技术规格书规定的最大容许孔隙准则，不符合该准则的接头应拆除并更换。

#### 8.3.2.2 锥形螺纹接头

- a) 装配前应对钢筋端部和连接套筒的清洁度进行目视检测。
- b) 应该用生产商的螺纹规校验螺纹。
- c) 钢筋应标记有相应的记号，表明钢筋插入连接接头的深度。装配后，应该用这个记号校验实际嵌入深度是否符合 7.3.3.3 节的要求。
- d) 应校验接头的装配和扭矩是否符合建造技术规格书所述的安装规程。
- e) 每 100 个产品接头中应拆卸一个接头进行检查是否符合 7.3.3.3 节的要求，并对所有螺纹用生产商的螺纹规进行再校验。

#### 8.3.2.3 模压接头

- a) 装配前应对钢筋端部和连接套筒的清洁度和端部的加工是否适当进行目视检测。
- b) 钢筋应标记有相应的记号，表明钢筋插入连接接头的深度。装配后，应该用这个记号校验实际嵌入深度是否符合 7.3.3.3 节的要求。
- c) 应校验接头的装配和模压压力是否符合建造技术规格书所述的安装规程。

#### 8.3.2.4 螺纹变形钢筋的螺纹连接接头

- a) 装配前应对钢筋端部和连接套筒的损伤、清洁度和端部的加工是否适当进行目视检测。
- b) 应该用生产商的螺纹规校验螺纹。
- c) 钢筋应标记有相应的记号，表明钢筋插入连接接头的深度。装配后，应该用这个记号校验实际嵌入深度是否符合 7.3.3.3 节的要求。
- d) 应校验连接器两端的装配和扭矩是否符合建造技术规格书所述的安装规程。

### 8.3.3 就位的检测

成型钢筋应按设计要求的尺寸和位置在模板内就位。尺寸的允许偏差应符合 GB 50204 的规定。保护层施工的允许负偏差的绝对值不应超过设计规定保护层厚度的十分之一。

钢筋安装应采用定位件固定钢筋的位置，并宜采用专用定位件。定位件应有足够的承载力、刚度、稳定性和耐久性。

钢筋的所有交叉点应采用铁丝扎牢。除非经设计方批准，否则不允许十字交叉钢筋间的定位焊接。

### 8.3.4 弯头的检测

应对局部埋入混凝土且在现场弯曲和调直的所有钢筋的弯头或调直的表面进行目视检测以确定是否有裂纹。

- a) 出现横向裂纹或裂隙的钢筋应报废，应将弯头或调直段切除，并用符合 7.3.3 节规定的连接接头来替换。
- b) 出现纵向裂缝不需拆除。

## 8.4 预应力系统的检测

### 8.4.1 概述

本节叙述对预应力系统的检测要求。影响预应力系统质量的各个因素，诸如钢束的制作，钢束的置放和拉伸，导管和支承板的安装以及防腐蚀材料的涂敷等，均应进行检测。

### 8.4.2 要求的检测

#### 8.4.2.1 概要

预应力系统的设计、制作和安装应符合建造技术规格书的规定。建造技术规格书应包括下列规定：控制和检测钢束的长度、扭转、临时保护涂层（如有要求）、锚固件、与生产商标准的一致性、盘卷、以及包装要求、装卸、运输和储存规程等。

#### 8.4.2.2 支承板

##### 8.4.2.2.1 放置前

应按照建造技术规格书的规定检测支承板的尺寸精度、方正度以及表面的光滑度。

##### 8.4.2.2.2 放置后

安装后和在浇筑混凝土前，应检测所有支承板的位置和方向是否正确。放置公差应符合建造技术规格书的要求。当果板的方位阻碍混凝土浇筑时，则应在建造技术规格书中制定检测支承板区域混凝土密实度的规程。

#### 8.4.2.3 钢束导管

##### 8.4.2.3.1 放置前

应检测钢束导管的类型、直径和壁厚，以保证符合建造技术规格书的要求，检测频度应在建造技术规格书中规定。

##### 8.4.2.3.2 放置后

应按 7.4.5.2 节的要求检测钢束导管的位置和对中。安装后和在浇筑混凝土前，应对导管有否损伤进行目视检测，包括孔洞和裂纹，以及可能影响所需最小净孔径的瘪痕和椭圆度。有关目视检测的准则应在建造技术规格书中规定。浇筑混凝土前后，所有导管均应被检测以保证满足最小净孔径。

#### 8.4.2.4 预应力钢材

- a) 应对所有钢束进行检测，对其具有的元件数量进行核实。对元件的检测应按建造技术规格书规定的频度进行，以核实其直径是否正确。
- b) 应在装运、验收和安装前对预应力元件裸露表面进行目视检测，以保证刻痕、弯曲或腐蚀等损伤不致达到有害的程度。验收准则应在建造技术规格书中规定。应对钢束束盘的绑扎和盘绕进行检测，以保证与现场的加工图一致。

#### 8.4.2.5 锚固件

- a) 应检测锚固件的尺寸、螺纹和表面状态。这类检测的频度以及公差和其他验收准则应符合建造技术规格书的规定。
- b) 张拉后,应对所有锚固组件进行目视检测。报废的钢丝、钢绞线或钢筋的总数不得超过 7.4.6.5 节规定的限值。

#### 8.4.2.6 张拉

应检测钢束的张拉是否符合书面规程的要求。检测的频度应在建造技术规格书中规定。

### 8.5 焊缝的检测

#### 8.5.1 概述

##### 8.5.1.1 范围

本节包括对衬里及其附件的无损检测要求。

##### 8.5.1.2 焊缝检测的时间

除8.5.2节另有规定外,焊缝的验收检测应按下面4条所规定的时间进行。

- a) 对于 P-1 材料,衬里板的全部焊缝射线照相检测可在要求的焊后热处理之前进行。
- b) 磁粉或超声波检测应在要求的焊后热处理以后进行,但 P-1 材料可在焊后热处理之前进行。
- c) 所有异种金属焊缝应在最终焊后热处理以后进行。
- d) 真空盒或气体介质的检测应在要求的最终焊后热处理以后进行。

#### 8.5.2 对焊缝要求的检测

##### 8.5.2.1 焊缝的类别

- a) A类和B类焊缝应按8.5.3.1节的要求进行射线照相检测,但按7.5.4.2.1节采用垫条的除外。对有垫条的A类和B类焊缝应采用磁粉法或超声波法进行焊缝全长检测。
- b) D类对接焊缝应按上述a)进行检测。如环绕嵌入加强板的D类焊缝离开孔中心的距离等于开孔直径时,该区域的焊缝应进行100%射线照相。嵌入加强板板上全部对接焊缝应进行100%的射线照相。
- c) 其他D类焊缝及E、F、G、J类和全焊透的H类焊缝,应采用磁粉法或超声波法进行焊缝全长检测。
- d) 对所有H类的部分焊透角焊缝,其坡口深度或焊缝厚度大于25mm及T型焊接接头的焊缝厚度等于或大于13mm时,应进行液体渗透或磁粉法检测,但对焊缝的暴露端仅需作目视检测。除上所述外,应对所有H类焊缝进行目视检测。
- e) 除不焊透衬里的附件焊缝外,应按8.5.3.6节的要求对所有焊缝全长进行气密性试验。
- f) 对所有奥氏体钢的焊缝,应用液体渗透检测代替磁粉检测。
- g) 永久性结构、非结构性的和临时附件的焊缝,应采用磁粉法或液体渗透法对焊缝的全长进行检测。本要求不适用于衬里锚固件焊缝。

##### 8.5.2.2 衬垫的焊接接头

对垫条上的焊缝和用作衬垫的结构型钢的焊缝应采用磁粉法、液体渗透法或超声波法进行检测。

##### 8.5.2.3 连接套筒的焊缝

对连接套筒与衬里之间所有焊缝的表面均应作目视检测。

#### 8.5.2.4 栓钉焊缝

对栓钉焊缝应进行目视检测。

#### 8.5.2.5 检漏槽系统

对检漏槽系统的所有焊缝均应做泄漏试验。

#### 8.5.2.6 电渣焊缝

除了按焊缝类型的要求进行检测外,对于铁素体材料用电渣焊接工艺制作的全焊透焊缝均应进行超声波检测。

### 8.5.3 检测规程

#### 8.5.3.1 射线照相检测

##### 8.5.3.1.1 检测规程

除几何不清晰度不得超过 T-251 的限值外,8.5.2 节所要求的射线照相检测应按 GB/T 3323 (第 V 卷的第 2 章)进行。

##### 8.5.3.1.2 检测范围

每个焊工和每个焊接位置(平面、垂直、水平和仰焊)取焊缝的第一个 3m 和每增加 15.2m(焊缝试验单元)取一个点(长度不小于 250mm)或其一部分进行射线照相检测。在任何情况下,射线照相最少应为全部对接焊缝长度的 2%。8.5.2.1 节 b 款要求进行 100%的射线照相不包括在所确定的 2%中。

##### 8.5.3.1.3 射线照相检测点的选择

在焊缝上应随机选择要进行射线照相的点,但是在相邻焊接试验单元中,两点的间距不得小于 3m。应记录所有点的位置。

##### 8.5.3.1.4 检测时间

射线照相检测应在浇筑混凝土或埋置其他障碍物之前进行。

##### 8.5.3.1.5 修补和再检测

- a) 如果不可接受的不连续显示的累计长度小于 250mm,则认为按 8.5.3.1.2 节的要求对第一个 3m 焊缝的检测是合格的。如果不满足这个要求,则应对该焊工下一个 3m 焊缝进行射线照相,并按照上述验收准则进行评定。所有检查出有缺陷的焊缝应予修补,并重做射线照相。
- b) 如某一射线照相点满足 8.5.4.2 节的验收标准,则认为由该点代表的全部焊接单元是合格的。如某一射线照相点未能满足规定的验收标准,则应在同一焊缝试验单元上离原照相点的每侧至少 300mm 处取两个附加点进行射线照相检测。采用选择原检测点时的相同规程来确定这些附加点的位置,而检测结果应决定下面 1) 和 2) 的纠正措施。
  - 1) 如果两个被检测的附加点满足验收标准,则认为由三个射线照相点所代表的整个焊接单元是合格的。但对三个点射线照相中的第一个点被探出的焊缝缺陷应进行修补并再做射线照相检测。

- 2) 如果对两个附加点的检测,有一个未能满足规定的验收标准,则整个焊缝试验单元为不可接受。整个不合格的焊缝应去除,并重新焊接。或将整个焊缝单元全部射线照相,而只修补有缺陷的焊缝。
- c) 如果对两个附加点的检测,有一个未能满足规定的验收标准,则整个焊缝试验单元为不可接受。整个不合格的焊缝应去除,并重新焊接。或将整个焊缝单元全部射线照相,而只修补有缺陷的焊缝。

#### 8.5.3.2 液体渗透检测

液体渗透检测应按JB/T 6062 (第V卷第6章) 进行。

#### 8.5.3.3 磁粉检测

磁粉检测应按JB/T 6061 (第V卷第7章) 进行。

#### 8.5.3.4 超声波检测

超声波检测应按GB/T 11345 (第V卷第5章) 进行。

#### 8.5.3.5 泄漏试验

##### 8.5.3.5.1 衬里板焊缝

衬里板焊缝的泄漏试验应按附录 F 的真空盒法,或者按第 V 卷第 10 章附录 I 的溶液薄膜试验法,或按第 V 卷第 10 章附录 III 的卤素二极管法,或按第 V 卷第 10 章附录 IV 的氦质谱仪法进行。

##### 8.5.3.5.2 检漏槽系统

检漏槽系统的检漏试验应按如下进行。

检漏槽应被打压到至少115%的设计压力,且不低于170kPa。压力应被逐步提升至不到试验压力的一半,然后以大约1/10的试验压力逐级增加,直到所要求的试验压力为止。在检漏槽和加压介质的温度没有接近相同时,不得施加最终试验压力。

试验用压力表应符合9.2.2.2节的要求。试验压力至少应保持2小时,压力下降不得超过试验压力1%的一半。

#### 8.5.3.6 目视检测

目视检测应按第V卷第9章的要求进行。

#### 8.5.4 验收标准

##### 8.5.4.1 通用要求

不可接受的焊缝缺陷应予消除,或将缺陷尺寸减小到可接受为止。需要时,应按7.5.4节的要求将焊缝修补并再检测。焊缝验收标准应按8.5.4节的规定,而焊缝附近材料的验收标准应按5.5.3节的规定。

##### 8.5.4.2 射线照相检测验收标准

射线照相显示具有下列任一类型不连续缺陷的焊缝为不可接受:

- a) 任何类型的裂纹,或未熔合区,或未焊透区。
- b) 任何细长显示的长度大于下列值时:
  - 1)  $t \leq 19\text{mm}$  时, 为 6mm;

2)  $57\text{mm} \geq t > 19\text{mm}$  时, 为  $1/3 t$ ;

3)  $57\text{mm}$  时, 为  $19\text{mm}$ 。

此处  $t$  为焊缝较薄部分的厚度。

- c) 在长度为  $12 t$  范围内, 形成一直线的显示集合的累计长度大于  $t$ 。但两个显示之间的距离超过  $6L$  则可除外 (此时累计长度不限,  $L$  为最大显示的长度)。
- d) 气孔率超过附录 F 规定的合格标准。

#### 8.5.4.3 液体渗透检测验收标准

##### 8.5.4.3.1 对显示的评定

- a) 焊缝表面上的机械性不连续缺陷将通过渗透剂的渗出而显示出来, 但是, 由机加工痕迹或表面状态引起的局部表面缺陷也可能产生类似的显示, 而该类显示与不可接受的不连续缺陷无关。
- b) 任何被认为无关的显示均应给与关注, 并再作检测, 以核实是否存在真正的缺陷。可在再检测前进行表面修整。会掩盖缺陷显示的无关显示和大面积色素沉积均是不可接受的。
- c) 有关显示是指由机械性不连续引起的显示; 线性显示是指长度大于宽度三倍的显示; 圆形显示是长度小于宽度三倍的圆形或椭圆形的显示。

##### 8.5.4.3.2 验收标准

- a) 只有最大尺寸大于  $1.5\text{mm}$  的显示被认为是有关显示。
- b) 除本文件另有规定外, 下列有关显示为不可接受:
- 1) 任何裂纹或线状显示;
  - 2) 尺寸大于  $5\text{mm}$  的圆形显示;
  - 3) 在一直线上有 4 个以上圆形显示, 其边与边的间距等于或小于  $1.5\text{mm}$ ;
  - 4) 在选自对被评价显示最不利的位置  $4000\text{mm}^2$  的表面区域上有 10 个以上圆形显示, 该区域的最大尺寸不超过  $150\text{mm}$ 。

#### 8.5.4.4 磁粉检测验收标准

##### 8.5.4.4.1 对显示的评定

- a) 材料表面上的机械性不连续缺陷将通过检测介质的滞留而显示出来。不过不一定所有显示都是缺陷, 因为某些冶金不连续和磁导率的变化也可能产生类似的显示, 而这些显示与不可接受的不连续缺陷无关。
- b) 任何被认为无关的显示应当作为缺陷对待, 应用相同的或其他的无损检测方法重新检测, 以核实是否存在真实的缺陷。再检测前可进行表面修整。如经证实为无关的显示, 则可不重复研究同类型的无关显示。可能掩盖缺陷显示的无关显示是不可接受的。
- c) 有关显示是指由机械性不连续引起的显示; 线性显示是指长度大于宽度三倍的显示; 圆形显示是长度小于宽度三倍的圆形或椭圆形的显示。

##### 8.5.4.4.2 验收标准

- a) 只有最大尺寸大于  $1.5\text{mm}$  的显示认为是有关显示。
- b) 除本文件另有规定外, 下列有关显示为不可接受:
- 1) 任何裂纹或线状显示;
  - 2) 尺寸大于  $5\text{mm}$  的圆形显示;
  - 3) 在一直线上有 4 个以上的圆形显示, 其边与边的间距等于或小于  $1.5\text{mm}$ ;



- 4) 选自对被评价显示最不利的位置在  $4000\text{mm}^2$  的表面区域上有 10 个以上圆形显示，该区域的最大尺寸不超过  $150\text{mm}$ 。

#### 8.5.4.5 超声波检测验收标准

凡产生的响应大于基准电平20%的所有显示均应被研究，操作人员确定所有这类反射的形状、特性和位置，并且按下面a)和b)所示的验收判废标准对其作出评价。

- a) 如果波幅超过基准电平，且不连续超过下列长度时，则这类显示为不可接受：

- 1)  $t \leq 19\text{mm}$  时，为  $6\text{mm}$ ；
- 2)  $57\text{mm} \geq t > 19\text{mm}$  时，为  $\frac{1}{3}t$ ；
- 3)  $t$  大于  $57\text{mm}$  时，为  $19\text{mm}$ 。

此处  $t$  为被检测焊缝的厚度。如果焊缝处两个构件的厚度不等，则  $t$  为两个厚度中的较薄者。

- b) 如果显示被解释为裂纹、未熔合或未焊透时，则不论该不连续缺陷或信号的波幅如何，均为不可接受。

#### 8.5.4.6 泄漏试验验收标准

##### 8.5.4.6.1 对显示的评价

##### 8.5.4.6.1.1 真空盒和检漏槽系统试验

贯穿厚度的不连续缺陷将通过在肥皂溶液中形成连续气泡而显示出来，形成的个别小气泡不应认为是有关显示。

##### 8.5.4.6.1.2 卤素二极管或氦质谱仪试验

贯穿厚度的不连续缺陷将通过泄漏率超过从毛细管泄漏标定得出的泄漏率而显示出来。

##### 8.5.4.6.2 验收标准

所有贯穿厚度的显示均为不可接受，并进行修补和再检测。

#### 8.5.4.7 目视检测验收标准

- a) 栓钉焊缝周围凡显示未熔合或漏焊的区域均为不可接受，并进行修补。
- b) 对于连接套筒和衬里板或结构件之间的焊缝，以及预埋锚固件的焊缝（7.6节），有下列缺陷时为不可接受：
  - 1) 任何裂纹；
  - 2) 表面气孔，在  $25\text{mm}$  的长条焊缝上气孔直径的总和超过  $10\text{mm}$ ，或  $300\text{mm}$  长的焊缝表面上气孔直径的总和超过  $19\text{mm}$ 。允许表面呈焊后状态，但焊缝表面应无粗糙波纹和沟槽以及突然隆起和凹陷。不合格的缺陷应予消除或减少至满足上述限值，并重新检测。

### 9 混凝土安全壳的结构完整性试验

#### 9.1 通用要求

##### 9.1.1 引言

本章内容为混凝土安全壳结构完整性试验的要求。混凝土安全壳应进行结构合格试验，作为本文件验收的先决条件。试验压力至少为安全壳设计压力的1.15倍，以证明建造的质量，并验证新设计功能的可接受性。如果边界荷载导致安全壳结构产生应力，结构的完整性试验应包括承压型安全壳内干井和湿

井隔舱之间边界的压力差试验。试验压力差至少应是最大设计压差的1.0倍。但是，单独测量以证明隔舱边界的完整性与安全壳试验截然不同，不必满足本章的要求。9.3节包含了对结构试验的要求。试验和设置仪表的计划应由设计方规定并由建造商实施。设计方或其指定的代表应见证完整性试验。试验结果和结论应编制成建造报告。

## 9.1.2 试验和设置仪表的计划

### 9.1.2.1 范围

设计技术规格书中应对试验和设置仪表的要求作出规定，并把内容列入建造技术规格书中。建造技术规格书应描述仪表类型和位置，并说明施加试验压力的方法。该试验计划应在开始建造之前编制好，以便有足够的时间安置埋入混凝土的检测仪表。

### 9.1.2.2 试验计划的变更

设计方可在试验完成之前的任何时候变更9.1.2.1节要求的试验计划。

### 9.1.2.3 气候

设计方应规定进行试验时可能发生的环境条件的设计限值。如果环境条件超出设计方规定的限值，或对试验人员产生安全危险，试验应推迟或中断。

## 9.1.3 按总规则设计的零件、附件和部件的试验

如果按照本文件其他部分设计的附件和部件在安全壳结构的完整性试验期间要进行试验，应按总规则进行检验。通用要求在提高的压力下完成的检验，则应按结构完整性试验的压力（ $1.15 \times$ 设计压力）进行。

## 9.1.4 试验前条件

混凝土安全壳的结构应建造完成，并设有永久性检修闸门和空气闸门。管道和电气贯穿件也应建造完整，或贯穿件套管装有临时挡板，该挡板能以与永久性贯穿部件相同的方法将压力荷载传递至套管。

## 9.1.5 结构的分类

### 9.1.5.1 原型安全壳

设计方确认具有尚未经试验验证的新的或独特设计特征的安全壳被称为原型安全壳。

### 9.1.5.2 非原型安全壳

设计方确认该设计已被先前对原型安全壳所做的试验证实，那么该安全壳被称为非原型安全壳。

## 9.1.6 结构反应预测

在试验开始之前对原型安全壳的位移和应变应进行预测。

## 9.2 试验规程

### 9.2.1 试验前的检验

在压力试验开始之前，设计方或其委派人员应对安全壳可达部位作全面目视检验。这种检验的目的是记录安全壳的状态，例如混凝土剥落或异常的开裂、对衬里板的鼓胀、变形或其它损坏，以及解释安全壳行为可能需要的其他数据。

## 9.2.2 仪表设置

### 9.2.2.1 目的

混凝土安全壳中应设置仪表以测量位移。对原型安全壳还应设置测量应变的仪表。

### 9.2.2.2 压力

压力试验所用的压力计应直接与安全壳内部环境相连接，并应测量外部和内部环境之间的压力差。

#### 9.2.2.2.1 压力计的量程

试验所用的压力计其量程不得大于试验压力的4倍。

#### 9.2.2.2.2 压力计的标定

每次试验前或试验后，均应对照静重测定器或标定过的标准压力计对压力计进行标定。

#### 9.2.2.2.3 精度

压力计的精度应在试验压力的 $\pm 2\%$ 之内。

### 9.2.2.3 位移

位移测量仪表应直接连接在安全壳壳体上。如果连接在衬里上，设计方应规定其位置并应考虑到衬里和混凝土之间可能分离。仪表装置可以连接在安全壳的两个点上，或一点在安全壳上，另一点在安全壳内部或外部的参照构筑物上。

#### 9.2.2.3.1 测量的精度

位移传感器技术规格书中应提供的精度为预测最大位移点上所预计位移的 $\pm 5\%$ 或在0.25mm范围内，取其较大者。

### 9.2.2.4 应变

应变测量装置应与被测量应变的材料相适应。

#### 9.2.2.4.1 应变测量装置的精度

应变测量装置的精度应为构筑物最大预计应变的 $\pm 5\%$ 或 $10 \mu\text{mm/mm}$ ，取其较大者。内部混凝土应变测量或混凝土表面应变测量的最小标距长度为100mm。

### 9.2.2.5 裂缝测量

用光学比较仪或线规在规定部位测量裂缝宽度。用直线刻度尺测量或用裂缝坐标区域的网格估计裂缝长度，用来测量裂缝的装置应能测量的最小宽度为0.1mm，并具有0.05mm的分辨率。

### 9.2.2.6 温度

混凝土温度测量是与应变测量一起用热电偶或电阻元件来实施的。标准测温装置可用于测量混凝土安全壳内部和外部的环境空气温度。测温装置的精度应为 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ ，其量程应足以覆盖试验期间就地的预计温度范围。预埋入混凝土的测温装置应设计成能在混凝土环境中长期运行。

## 9.2.3 检测仪表的预试验

试验开始之前,应记录所有仪表的输出,如有仪表显示的过度漂移或错误读数应予以校正,或记录下来。所有失灵的仪表应向设计方报告并由设计方进行评定。

#### 9.2.3.1 试验期间仪表失灵

试验期间变得不稳定或不能工作的仪表应向设计方报告。如果设计方确定该位置的数据是必需的,应在试验继续进行前安装替代的仪表。

### 9.3 结构试验要求

#### 9.3.1 概述

本节内容包括在结构的完整性试验期间,对安全壳加压、结构反应测量及数据采集的要求。这些要求适用于如下定义的安全壳形状。如果安全壳的形状导致不能实施这些要求,则设计方应另行规定替代的要求。在本节中提出下列四种安全壳形状。

- a) 圆筒形穹顶安全壳,由支承在钢筋混凝土基础底板上的独立式混凝土圆筒及混凝土穹顶封盖组成。圆筒壁和穹顶通常是被钢筋加强或被施加预应力。圆筒形穹顶安全壳可以用于压水堆(PWR)型。
- b) 圆筒形锥顶安全壳,由支承在钢筋混凝土底板上的混凝土圆筒和顶部的混凝土锥体组成。锥体的顶部为钢制穹顶封头。混凝土圆筒和锥体通常是被钢筋加强或被施加预应力。
- c) 混合式安全壳由钢筋混凝土和钢材的混合结构组成。钢材与混凝土过渡可以发生在圆筒一底板的交接处、圆筒一穹顶的交接处或两者之间的任一位置。
- d) 其他形状安全壳指具有垂直和水平(包括曲线型或穹顶型)的压力边界,但不属于上述定义的形状。

#### 9.3.2 加压

安全壳应承受完整性试验,在试验期间其内压从大气压力增加到试验压力,并至少保持1小时。如果承压型安全壳的干井和湿井隔舱之间边界的压力差试验会导致安全壳体产生应力,该压力差试验应列入加压计划的顺序中。标准值所指的试验要求是以大气作为试验介质为依据的。

##### 9.3.2.1 速率

混凝土安全壳加压和卸压速率每小时不得超过试验压力的20%。

#### 9.3.3 温度

在试验期间被加压的本文件其他部分的部件、零件或附件,应按要求控制内部温度。如果需要修正位移和应变的测量值,则应测量有代表性的温度。

#### 9.3.4 要求的数据

在加压开始前,应记录大气压力下的应变、位移、温度和压力。在达到试验压力时、达到试验压力后的1小时以及卸压结束时均应记录应变、位移、温度和压力。此外,在加压和卸压过程中至少取五组读数以监视安全壳的反应。

#### 9.3.5 表面裂缝

试验前、最大压力时和试验后,应绘制规定位置的宽度超过0.25mm、长度超过150mm的裂缝图形,该位置由设计方规定,并应包括预计具有高表面拉伸应变的区域。每一位置应至少有3.7m<sup>2</sup>的面积被绘制。

### 9.3.6 位移测量

设计方在试验过程中应评定所记录的试验数据，这对判断试验是否可安全进行是必要的。

#### 9.3.6.1 圆筒形穹顶安全壳

在9.3.1节中规定的混凝土安全壳的位移测量应遵守下列规定：

- a) 至少在五个间距近似相等的高度位于基础和起拱线之间的20%、40%、60%、80%和100%处测量筒体的径向位移。但是，如果混凝土安全壳有一加厚的下部筒壁段（厚度增加超过25%，从基础底板向上延伸大于3倍公称壁厚），则五个位移测量高度位置中的一个应位于加厚筒壁和公称厚度筒壁之间的不连续处。其余用于测量径向位移的高度位置应重新调整，使底板与不连续处之间，以及不连续处和起拱线之间保持近似相等的间距。这些位移的测量应至少在间隔近似相等的四个方位上进行。总的位移测量可以在安全壳壁直径方向相对的位置之间进行。可以假定径向位移等于所测得的直径变化的一半。
- b) 最大开孔处附近安全壳壁的径向位移至少测量12点，在三个同心圆的每一个圆周上取四个等间距的测点，内圆的直径大小使测量正好能在混凝土上进行，而不是在钢套环上进行，中间圆的直径近似为开孔直径的1.75倍，外圆直径近似为开孔的2.5倍。对于有加厚筒壁部分的闸门设计，1.75倍直径的同心圆应重新布置在壁厚不连续处，其余的圆应重新布置在不连续处向外大约两倍壁厚处。应在水平和垂直方向上测量开孔直径的增加。如果设计方决定要对其他开孔作结构验证，则其位移测量的方法与最大开孔所采用的方法相同。
- c) 圆筒顶部相对于基础的垂直位移，至少在四个间隔近似相等的方位上测量。
- d) 安全壳穹顶的垂直位移，至少在一个方位上测三点：一点在顶点附近，另二点在顶点和起拱线之间近似等距的中间处测量。

#### 9.3.6.2 圆筒形锥顶安全壳

在9.3.1节中规定的混凝土安全壳的位移测量应遵守下列规定：

- a) 如果干井的楼板与安全壳壁不成为一个整体，则径向位移测量应在圆筒的中间高度处、锥体的中间高度处、锥体的顶部和锥体——圆筒连接处进行，至少应取四个间隔近似相等的方位。测量线应与安全壳中心线相垂直，或者参照安全壳中心线进行修正。
- b) 最大开孔处附近安全壳壁的径向位移至少测量12点，在三个同心圆的每一个圆周上取四个等间距的测点，内圆的直径大小使测量正好能在混凝土上进行，而不是在钢套环上进行；中间圆的直径近似为开孔直径的1.75倍，外圆直径近似为开孔的2.5倍。应在水平和垂直方向上测量开孔直径的变化。如果设计方决定要对其他开孔作结构验证，则其位移测量的方法与最大开孔所采用的方法相同。
- c) 应测量锥体顶部相对于基础底板——筒壁连接处的垂直位移，至少取四个间隔近似相等的方位。

#### 9.3.6.3 混合式安全壳

在9.3.1节中规定的混凝土安全壳的位移测量应遵守下列规定：

- a) 对于钢材——混凝土连接处位于筒壁上部1/3处的安全壳，应在基础底板与钢材——混凝土连接处之间至少取三个间距近似相等的高度位置测量圆筒形混凝土结构部分的径向位移。对于钢材——混凝土连接处位于筒壁中部1/3处的安全壳，应在混凝土部分取两个间隔近似相等的高度位置测量径向位移。对于钢材——混凝土连接处位于筒壁下部1/3处的安全壳，应在混凝土部分取一个与基础底板和钢材——混凝土连接处近似等距离的高度位置测量其径向位移。此外，应对钢材——混凝土连接处的所有接合位置均测量径向位移。这些测量至少应取四个间隔

近似相等的方位。对于钢材——混凝土连接处位于筒体与基础底板相交处的安全壳，不需要测量径向或垂直位移。

- b) 如果最大开孔位于混凝土结构部分，则其附近安全壳壁的径向位移应按 9.3.6.1 节中的规定进行测量。
- c) 圆筒体混凝土部分的垂直位移测量，至少从基础底板至钢材——混凝土筒壁连接处，取四个间隔近似相等的方位进行。

钢安全壳应按《压水堆核电厂MC级设备建造规则》6.2.2.4的要求进行泄漏检测，但9.1.3节中的注释除外。

#### 9.3.6.4 其它安全壳

在9.3.1节中规定的具有垂直压力边界和水平封头的安全壳的位移测量应符合下列通用规定。

- a) 一次垂直承压墙的水平（径向）位移测量，应在主要承载约束处（基础底板、隔板、起拱线等）或主要不连续处（壁厚过渡处、钢材——混凝土连接处等），与主要不连续处的高度位置之间，至少取三个间距近似相等的高度位置进行。这些测量应至少取四个间隔近似相等的方位。
- b) 一次承压墙的垂直位移，至少在四个名义上彼此隔开的位置测量，以验证由设计方确定的总伸长。
- c) 水平一次压力边界（穹顶、隔板等）的垂直位移测量，至少在结构中心线或接近实际的中心线（穹顶顶点）以及在结构中心线与垂直一次承压墙之间另外两个间距近似相等的位置按一个共同的方位进行。
- d) 最大开孔附近压力边界的径向位移应尽可能按 9.3.6.1 节的规定进行。

#### 9.3.7 应变测量

原型安全壳应设置测量应变的仪表。设置应变测量仪表的位置应能证明原型特征的结构性能及这些特征对安全壳相邻区域的影响。设计方选择应变测量位置时应特别注意原型特征对安全壳下列区域的影响。

- a) 筒壁和基础底板的交接处。
- b) 混凝土结构部分的最大开孔附近区域。
- c) 壳体弯曲部分、斜面或厚度主要不连续处的其他区域。
- d) 水平或垂直方向受约束区域。
- e) 钢材——混凝土过渡区域。

如果结构上受原型特征的影响，则这些区域应设置测量应变的仪表。

##### 9.3.7.1 原始资料测量

应在试验开始之前至少持续24小时测量应变和相应的温度，以评定由于温度变化导致应变的变化。

#### 9.3.8 温度测量

开始进行应变测量前，应在设计技术规格书中规定的安全壳壳体位置上进行温度测量，以确定应变测量值的代表温度。温度测量值用于因热影响而对测量应变值的修正。

#### 9.3.9 试验后的检测

试验后的检测应在卸压后的一周内进行，应按照9.2.1节对预试验的要求实施同样的检测。

#### 9.4 试验结果的评定

##### 9.4.1 验收准则

如符合下列最低要求，则认为混凝土安全壳满足结构完整性试验要求：

- a) 从裂缝宽度、应变或位移测量数据分析，可确定普通钢筋没有屈服。
- b) 在混凝土结构或钢衬里上没有检测到永久性损坏的可见迹象。由于试验的结果在钢衬里背面出现剥落、叠层、或空隙即为相关的证据。应特别注意在试验后的检测（9.3.9 节）中发现的局部损坏，而这些损坏可能无法从应变或位移测量数据中暴露。一旦发现这类损坏，则必须由设计方确定其重要性，并得到业主的认可。
- c) 在卸压结束或 24 小时之后，在预计径向和垂直方向上最大位移处的残留位移应不超过下列数值：
  - 1) 对普通钢筋安全壳或部分预应力安全壳的普通钢筋方向：最大试验压力下位移测量值或位移预计值的 30%，取其较大者加上 0.25mm 再加测量公差。
  - 2) 对预应力安全壳或部分预应力安全壳的预应力方向：在最大试验压力下位移测量值或位移预计值的 20%，取其较大者加 0.25mm 再加测量公差。
 上述准则应适用于在同一标高测得的径向位移平均值。
- d) 在预计径向和垂直方向上最大位移处，在试验压力下测得的位移值不超过预计值 30% 以上再加测量公差。这一准则应适用于在同一标高测得的径向位移平均值。如果在 24 小时内预应力结构的残留位移不大于 10% 或普通钢筋混凝土结构的残留位移不大于 20%，则认为这项要求已经达到。

#### 9.4.2 表面裂缝

设计方应审查裂缝测量数据以评定整个试验结果。

#### 9.4.3 复试

如果测量值表明没有满足 9.4.1 节的要求，则要求设计方作进一步研究。应该考虑徐变和温度变化可能的影响，以及在测量数据或预计值中可能出现的不准确性。如果这些研究仍表明不满足 9.4.1 节的要求，则应采取补救措施或进行复试。如果安全壳有较大的结构改变或重大的损坏而要在试验后修补，则应在纠正措施完成后重新进行完整性试验。在实施主要结构修补的区域，应增设测量仪表以确定结构的修补是否适应结构的承载能力。应特别注意由被修补区域的龄期和组成变化所引起的收缩和徐变效应。

#### 9.4.4 应变

设计方应审查应变测量数据以评定整个试验结果。

### 9.5 数据分析和报告编制

#### 9.5.1 试验数据的分析

应将试验结果提供给设计方并由设计方审查。在应变或变形的测量值与预计值之间的偏差，应通过对设计的审核、对测量公差、材料可变性的评价以及对安全壳的再检测，以得到圆满的解决。

#### 9.5.2 数据提交

最终报告中应包含预计值和测量值，并对两者进行直接比较。

#### 9.5.3 最终报告内容

最终试验报告中应至少包括下列资料：

- a) 试验规程和仪表设置的描述；

- b) 位移和应变测量值与预计反应的比较，包括公差；
- c) 裂缝测量值的概述和讨论；
- d) 对测量值估计精度的评价；
- e) 对任何偏差的评价（如试验结果超出允许限值）、偏差的处置以及要求的纠正措施。

## 10 混凝土安全壳密封性试验

### 10.1 通用要求

本章内容为混凝土安全壳密封性试验的要求。混凝土安全壳应进行密封性试验，作为本文件验收的先决条件。

实施混凝土安全壳密封性试验应满足以下要求：

- a) 混凝土安全壳需承受因设计基准事故产生的内压，因此应具有足够的强度和密封性。
- b) 承担试验单位应制定安全壳密封性试验大纲和实施细则。
- c) 在混凝土安全壳设计时，应对安全壳的基准事故最高温度、峰值压力、设计压力、自由空间容积、验收准则等作出规定。
- d) 混凝土安全壳建造完工之后或在反应堆运行之前应遵照 HAD 102/06 的规定，按本文件要求进行运行前密封性试验，在反应堆运行后定期进行密封性试验。
- e) 如有可能影响混凝土安全壳完整性的改进、部件更换、修补和调整，以及在安全壳内或外事故发生的情况下，应进行专项试验，以证实改变的部件能满足泄漏率要求。
- f) 对于压水堆双层安全壳的外壳应做密封性检查，以确定向壳外的直接泄漏率。
- g) 承担试验单位和人员的要求按照 NB/T 20018 中 4.3 节的规定。

### 10.2 试验分类

#### 10.2.1 按试验对象分类

- a) A 类试验：针对安全壳压力边界整体加压进行的整体密封性试验；
- b) B 类试验：针对安全壳贯穿件（如电气贯穿件、人员闸门及设备闸门等）加压进行的局部密封性试验；
- c) C 类试验：针对安全壳隔离阀加压进行的局部密封性试验。

#### 10.2.2 按反应堆运行不同阶段分类

- a) 运行前试验：即验收试验，对安全壳竣工后运行前进行的试验；
- b) 定期试验：反应堆运行后，经一定时间间隔再进行的试验。

### 10.3 试验要求

#### 10.3.1 试验前要求

- a) 在试验之前应对安全壳结构和部件进行目视检查，一般缺陷不与修补，如发现可能影响安全壳结构完整性和密封性的缺陷，应先按相应的维修规程修补后，才能进行 A 类试验。
- b) A 类试验应在 B 类和 C 类试验完成后进行。
- c) 试验时安全壳结构和部件应尽可能保持在相当于失水事故时所处的状态，其它相关要求参见 NB/T 20018 的 5.1 节。

#### 10.3.2 试验方法



A类试验采用常温干净干燥空气按规定的试验压力向安全壳边界加压，加压后应对隔离边界及相关部件进行密封性检查。A类试验方法采用绝对压力法，参照NB/T 20018附录A，B类、C类试验试验方法采用流量补充法或压力下降法，参照NB/T 20018附录B。通常情况下，定期试验方法与运行前试验方法相同。

### 10.3.3 试验压力

试验压力，包括运行前试验压力和定期试验压力，可按照NB/T 20018相关规定执行。

### 10.3.4 定期试验周期

在混凝土安全壳首次或第二次换料时，应进行包括结构整体性试验、密封性试验等在内的安全壳在役期间综合实验。此后定期进行综合实验，间隔时间不超过10年。如果相邻两次试验测得的安全壳整体泄漏率相比，安全裕量减少75%以上，则下一次试验间隔时间应减至5年。

对人员空气闸门、设备闸门、电气贯穿件、隔离阀等部件的局部密封性试验，应符合B类、C类试验的要求，可按照NB/T 20018相关规定执行。

### 10.3.5 专项试验

在混凝土安全壳密封性试验（包括A、B、C类试验）之后，对安全壳进行的重大修改应进行A类试验，部件更换或密封式焊接门的重新密封，应对更改部分进行B类、C类试验，可按照NB/T 20018相关规定执行。试验结果应满足相应试验的验收准则。

### 10.3.6 验收准则

运行前试验、定期试验的试验结果验收准则按NB/T 20018的规定执行。

## 10.4 试验报告

承担试验单位应提供完整和详细的试验报告。实验结束后，应在一周内提交初步结论的简要报告，为核电厂安排试验后的工作计划提供依据；3个月内完成试验报告，运行前试验的试验报告、定期试验报告和专项试验报告的内容按照NB/T 20018的规定执行。

## 11 超压保护

本章不给出混凝土安全壳超压保护的专门准则。但当设计技术规格书规定使用压力释放装置时，应对释放压力作出规定，并符合《压水堆核电厂MC级设备建造规则》第10章的规定。除非采用本文件第6章的规定，而不是《压水堆核电厂MC级设备建造规则》10.2.2 k)款要求的《压水堆核电厂MC级设备建造规则》第6章的规定。

## 12 铭牌、印记和报告

铭牌应固定于明显的位置。

### 12.1 铭牌内容

铭牌应包括如下内容：

- a) 制造单位名称和制造单位许可证号码；
- b) 制造单位对该混凝土安全壳产品的编号；

- c) 设计压力（设计内外压）；
- d) 试验压力；
- e) 设计温度；
- f) 混凝土安全壳质量；
- g) 竣工日期

附 录 A  
(规范性附录)  
预应力材料和衬里材料表

表C.1 安全壳预应力系统材料

国标规范	级别或型号	产品形式
GB / T 5224	250	钢绞线
	270	钢绞线
GB / T 5223	BA	钢丝
ASTM A 722	150	钢筋
	160 <sup>(1)</sup>	钢筋
ASTM A 779	270	钢绞线
	260	钢绞线
	245	钢绞线
注：（1）160级钢筋 [UTS的最小值为1103MPa] 未明确列入ASTM A 722，如果符合ASTM A 722规格书的所有其他要求，则可以使用。		

表C.2 安全壳衬里材料

ASME 规范	型号、级别或类别	焊接 P 值
板材	SA-240	TP304, TP304L 8
		TP316, TP316L 8
	SA-285	A 级 1
		B 级 1
		C 级 1
	SA-299	..... 1
	SA-516	55 级 1
		60 级 1
		65 级 1
		70 级 1
	SA-537	1 级 1
		2 级 1
	SA-738	A 级 1
		B 级 1
		C 级 1
管道和管子—无缝管	SA-106	A 级 1
		B 级 1
		C 级 1
	SA-210	A-1 级 1
		C 级 1
	SA-213	TP304, TP304L 8
		TP316, TP316L 8
	SA-312	TP304, TP304L 8
	SA-333	1 级 1
		6 级 1
	SA-334	1 级 1
		6 级 1
	SA-376	TP304, TP304H 8
		TP316, TP316H 8
	SA-430	FP304, FP304H 8
		FP316, FP316H 8
管道和管子—焊接管	SA-178	A 级 1
	SA-333	1 级 1
		6 级 1
	SA-334	1 级 1
		6 级 1
	SA-358	304 级, 304L 级 8
		316 级, 316L 级 8

(续 表)

ASME 规范	型号、级别或类别	焊接 P 值
---------	----------	--------

配件、锻件、铸件、棒材和型材		
SA-36 <sup>(1)</sup>	.....	1
SA-105	.....	1
SA-181	60 类	1
	70 类	1
SA-216	WCA 级	1
	WCB 级	1
	WCC 级	1
SA-234	WPB 级	1
	WPBW 级	1
	WPC 级	1
	WPCW 级	1
SA-266	1 类	1
	2 类	1
	3 类	1
SA-350	LF1 级	1
	LF2 级	1
SA-351	CF3 级	8
	CF3A 级	8
	CF8 级	8
	CF8A 级	8
	CF3M 级	8
	CF8M 级	8
SA-403	304 级, 304L 级	8
	316 级, 316L 级	8
SA-420	WPL-6 级	1
	WPL-6W 级	1
SA-508	1 类	1
SA-541	1 类	1
与衬里连接的钢筋连接套筒		
ASTM A 513	1008	1
	1016	1
	1017	1
	1018	1
	1019	1
	1021	1
	1022	1

(续 表)

ASME 规范	型号、级别或类别	焊接 P 值
ASTM A 519	1023	1
	1024	1
	1025	1
	1026	1
	1027	1
	1030	1
	1008	1
	1010	1
	1012	1
	1015	1
	1016	1
ASTM A 519	1008	1
	1010	1
	1012	1
	1015	1
	1016	1
	1017	1
	1018	1
	1019	1
	1020	1
	1021	1
栓钉 ASTM A 108	1022	1
	1025	1
	1026	1
	1030	1
	1010	1
	1015	1
	1016	1
	1018	1
	1020	1

注：（1）亦可以板材形式用于承载附件。

表C. 3 预埋锚固件材料

钢螺栓材料	级别或型号
SA-36	.....
SA-307	B
	1
SA-325	2
	3
SA-354	BC
	BD
SA-449	.....
ASTM A 490	1
	3
SA-540	B21 (Cr-Mo-V)
	5
	4
	3
	2
	1
	B22 (4142-H)
	5
	4
	3
	2
	1
	B23 (E4340-H)
	5
	4
	3
	2
	1
	B24 (4340 MOD)
	5
	4
	3
	2
	1
SA-563	0
	A
	B
	C
	D
	DH
ASTM A 687	1 & 2
ASTM F 436	.....

**附 录 B**  
**(规范性附录)**  
**新材料的批准**

**B.1 取得新材料批准的规程**

**B.1.1 规范的方针**

**B.1.1.1 所考虑的材料**

本文件的方针是：本文件仅采用国家颁布的行业规范，或已经由必要的试验证明适用于混凝土反应堆容器或安全壳建造的其他技术规格书。

**B.1.2 申请批准时需要提交的资料**

**B.1.2.1 混凝土材料**

**B.1.2.1.1 机械性能**

申请人应提供混凝土材料的技术规格书，包括超出行业规范的任何特征。此外，申请人还应提供采用性能超出行业规范规定的新材料所制成的混凝土的性能数据。应特别注意新材料对混凝土抗压强度、抗弯强度、收缩、徐变、导热性、膨胀系数和弹性模量的影响。凡与修正的配合比、拌合、浇注或养护规程有关的性能，亦应一一列出。

**B.1.2.1.2 附加考虑事项**

认识到混凝土的耐久性是构筑物使用寿命的基本要素是非常重要的。说明新材料以前对混凝土耐久性影响的经验数据对本文件将是有益的。此外，如果新材料导致化学污染超过限值，应提供可能对埋入金属造成腐蚀的数据。提供的资料类型为使用经验或试验数据。

**B.1.2.2 钢筋系统材料**

**B.1.2.2.1 机械、物理和化学性能**

新钢筋系统材料验收要求应包括材料和系统特性的技术规格书。与本文件或验收标准的所有偏离都必须被专门注明。

应提供数据以证明所推荐材料的机械、物理和化学性能满足技术规格书的要求。它们应包括，但不限于下列各项：

- a) 机械和物理性能
  - 1) 极限抗拉强度
  - 2) 屈服强度
  - 3) 断裂时延伸率
  - 4) 比重
  - 5) 热膨胀系数
  - 6) 弹性模量
  - 7) 几何变形
- b) 化学性质。材料的完整化学分析。



### B. 1. 2. 2. 2 系统性能

应提供文件以证明新材料在组装成钢筋混凝土系统时物理上和化学上的相容性。钢筋系统材料应满足5.3、7.3和8.3节中规定的要求。

### B. 1. 2. 3 预应力系统的材料

#### B. 1. 2. 3. 1 机械、物理和化学性能

新预应力系统材料的验收要求应包括材料和系统特性的技术规格书,与本文件或验收标准的所有偏离均应被专门注明。

应提供数据以证明所推荐材料的机械、物理和化学性能满足技术规格书的要求。它们应包括,但不限于下列各项:

- a) 机械和物理性能:
  - 1) 极限抗拉强度
  - 2) 屈服强度
  - 3) 断裂时的延伸率
  - 4) 截面收缩率
  - 5) 弹性模量
  - 6) 硬度(如有要求)
  - 7) 松弛性能(如有要求)
- b) 化学性能。材料的完整化学分析。

#### B. 1. 2. 3. 2 系统的性能

应提供文件以证明新材料在组装成预应力混凝土系统时物理上和化学上的相容性。预应力系统材料应满足5.4、7.4和8.4节中规定的要求。

### B. 1. 2. 4 衬里材料

#### B. 1. 2. 4. 1 机械性能

- a) 申请人在提供材料技术规格书的同时还应为申请表中所列出的许用应力值或许用应变值提供充分的资料依据。资料应包括该材料在所有工作温度范围内,母材和焊缝的极限强度、屈服强度、截面收缩率、延伸率以及疲劳应变等数值。应详尽地说明为获得抗拉性能所要求的热处理。应提供该材料在推荐工作温度范围内有关缺口韧性的充分数据。材料的脆性断裂性能,尤其对工作期间承受中子辐照的钢材来说特别重要。要求提供在热处理工况下工作的母材和焊缝金属,包括焊接热影响区的资料。如果预期材料将在中子辐照工况下工作,如已掌握的话则应提交辐照对其无延性转变温度的影响。慎重考虑材料在预期温度范围内的使用经验将是有益的。
- b) 如该材料将用于承受外部压力或外部荷载的部件时,则应提供所要求温度范围内的应力—应变曲线(拉伸或压缩)。

#### B. 1. 2. 4. 2 可焊性

申请人应对预期进行焊接的材料提供可焊性的完整资料,包括按第IX卷要求进行的工艺规程评定和技能评定试验的资料。应在材料使用的各种厚度范围内进行焊接试验。还应提供诸如所要求的热处理、对空气硬化的敏感性以及焊接该材料的经验等有关资料。

### B.1.2.4.3 物理变化

新材料处于温度和中子辐照作用下的结构稳定性以及性能保持度是至关重要的。加工工艺的影响（如成形、焊接和热处理对材料机械性能、延性和微观结构的影响等）也是重要的，尤其是可能发生材料性能劣化时。在特定的环境温度范围或热处理温度范围、冷却速率、机加工与热处理的联合作用、制造工艺等会导致材料的机械性能、微观结构、抗脆断性能等发生显著变化的场合，首先要注意用该材料制成的部件或零件在工作时或加工制造时应避开上述情况。

### B.1.3 专利材料

#### B.1.3.1 专利和许可证

申请人应说明材料是否拥有专利和许可证，如果有许可证，则需说明其制造上的限制。

### B.1.4 规范案例

在一些例外情况下，本文件将考虑颁布规范案例，有效期三年，允许使用满足以下条件的材料。

- a) 该材料是在市场上采购到的，并能按 C.1.2.1 至 C.1.2.4 规定的化学、物理和机械性能要求范围内采购。
- b) 申请人说明工业上对这种材料有合理的需求，同时具有以规范案例的形式通过批准的迫切性。
- c) 要求批准该材料的申请应在国标对特定产品的技术规格书表格中清楚地加以叙述。
- d) 申请人应提供 C.1.2 至 C.1.3 所规定的全部资料。

## 附 录 C

### (规范性附录)

### 圆形显示

#### C.1 圆形显示

##### C.1.1 射线照相测定焊缝中圆形显示的验收标准

###### C.1.1.1 标准的适用性

这些标准适用于铁素体、奥氏体和有色金属材料。

###### C.1.1.2 术语

###### C.1.1.2.1 圆形显示

射线照相上最大长度不大于宽度3倍的显示定义为圆形显示。这些显示可以是圆形、椭圆形、锥形或不规则形状，并可能带有尾巴。当评定显示的尺寸时，应包括尾部。显示可来自焊缝中的各种原因，如气孔、熔渣或夹钨。

###### C.1.1.2.2 链形显示

当一系列四个以上的圆形显示与穿过两个外侧圆形显示的中心所画的平行于焊缝长度的直线相接触时应认为是链形显示。

###### C.1.1.2.3 厚度 $t$

$t$ 是焊缝厚度、承压材料的厚度或所连接的两段中较薄段的厚度，三者中取其最小值。如果全焊透焊缝包括角焊缝，则还应包括角焊缝的宽度。

###### C.1.1.3 验收标准

###### C.1.1.3.1 影像黑度

显示影像内的黑度可以变化，不作为验收或判废的准则。

###### C.1.1.3.2 相关显示（见表D.1）

只有超过下列尺寸的圆形显示被认为是相关显示：

- a)  $t < 3\text{mm}$  时为  $\frac{1}{10} t$ ;
- b)  $6\text{mm} \geq t \geq 3\text{mm}$  时为 0.4mm
- c)  $50\text{mm} \geq t > 6\text{mm}$  时为 0.8mm
- d) 50mm 时为 1.5mm

###### C.1.1.3.3 圆形显示的最大尺寸（见表D.1）

圆形显示的最大允许尺寸为  $\frac{1}{4} t$  或 4mm 中的较小值，但与相邻显示隔开 25mm 或更远距离的单个显示，其尺寸可为  $\frac{1}{3} t$  或 6mm 中的较小值。当  $t$  大于 50mm 时，单个显示的最大允许尺寸应增加到 10mm。

C. 1. 1. 3. 4 链形的圆形显示

如果在 $12t$ 长度范围内显示的直径总和小于 $t$ 时，则链形的圆形显示是可接受的（见图D. 1）。链形圆形显示群的长度以及群与群之间的间距应满足图D. 2的要求。

C. 1. 1. 3. 5 间距

相邻圆形显示之间的距离不是确定验收或判废的因素，但对孤立显示或链形显示群的要求除外。

C. 1. 1. 3. 6 圆形显示图

- a) 由射线照相底片所确定的圆形显示不得超过图示的要求。
- b) 图 D. 3 至图 D. 8 说明了在厚度大于 3mm 的不同焊缝厚度内各种类型的、随机分散的和成簇的圆形显示。这些图代表了对圆形显示可接受的最大密集限值。
- c) 每种厚度范围的图表达了 150mm 射线照相的全尺寸图，不应被放大或缩小。所示的分布不一定是射线照相中可能出现的图案，而是所允许显示的典型密集度和尺寸。

C. 1. 1. 3. 7 厚度  $t$  小 3mm 的焊缝

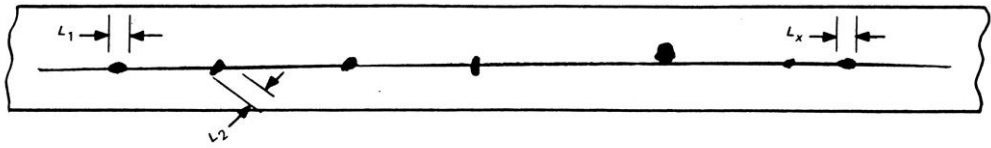
对于  $t$  小于 3mm 的焊缝：在 150mm 长的焊缝中，圆形显示最多不应超过 12 个。对于长度小于 150mm 的焊缝，所允许的显示数量应按比例减少。

表C. 1 无关显示和可接受的圆形显示的最大尺寸—仅为举例

厚度 $t$ mm	可接受的圆形显示最大尺寸, mm		无关显示的最大尺寸 mm
	随机显示	孤立显示	
<3	$\frac{1}{4} t$	$\frac{1}{3} t$	$\frac{1}{10} t$
3	0.8	1.1	0.4
5	1.2	1.6	0.4
6	1.6	2.1	0.4
8	2.0	2.6	0.8
10	2.3	3.2	0.8
11	2.8	3.7	0.8
13	3.2	4.3	0.8
14	3.6	4.8	0.8
16	4.0	5.3	0.8
17	4.0	5.8	0.8
19-50	4.0	6.4	0.8
>50	4.0	9.5	1.6

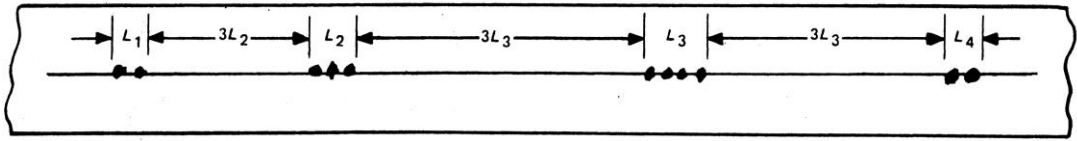
C. 1. 1. 3. 8 密集显示

密集圆形显示图表明在局部区域的显示数量达到随机分布显示图所示的4倍。可接受的密集显示的长度不应超过25mm或 $2t$ 中的较小值。如果密集显示超过1个，则在150mm长的焊缝中，密集显示的总长度不应超过25mm。



注：在 $12t$ 的长度范围内 $L_1$ 至 $L_x$ 的总和应小于 $t$ 。

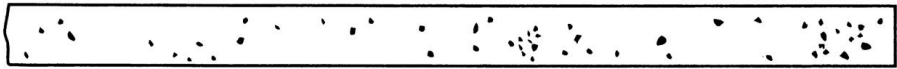
图D. 1 成行的圆形显示



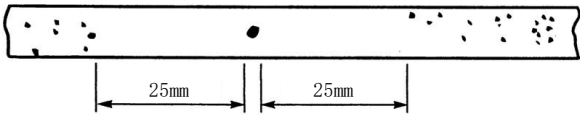
最大显示群长度  
 $L = 6mm, t < 19mm$   
 $L = \frac{1}{3}t, 19mm \leq t \leq 57mm$   
 $L = 19mm, t > 57mm$   
注：在 $12t$ 长度范围内显示群长度总和应小于 $t$ 。

— 最小显示群间距  
 $3L$ ，其中 $L$ 为所评定的  
相邻显示群中的  
最大长度  
m  
n

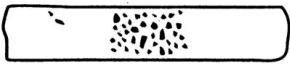
图D. 2 链形的圆形显示群



(a) 随机圆形显示（在 150mm 焊缝长度范围内典型的允许聚集度和尺寸）

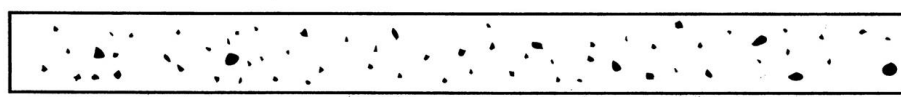


(b) 孤立显示（表 D. 1 规定的最大尺寸）

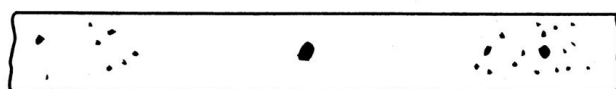


(c) 密集显示

图 D. 3  $t=3mm \sim 6mm$  (含) 的图



(a) 随机圆形显示 (在 150mm 焊缝长度范围内典型的允许聚集度和尺寸)



(b) 孤立显示 (表 D.1 规定的最大尺寸)

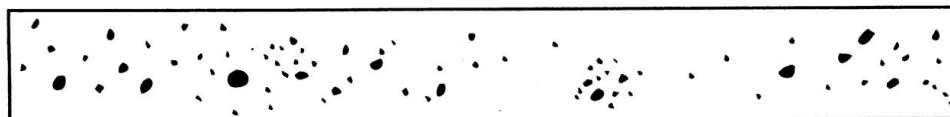
(b) 孤立的显示 (表 VI-1132-1 规定的最大尺寸)



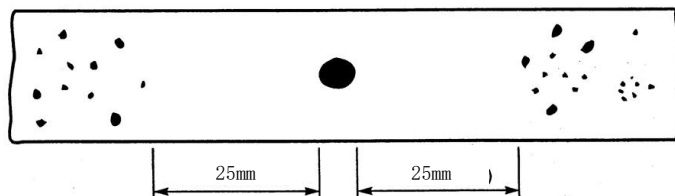
(c) 密集显示

(c) 成群的显示

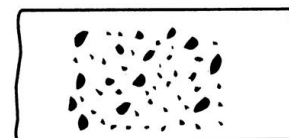
图 D.4  $t=6\text{mm}\sim 10\text{mm}$  (含) 的图



(a) 随机圆形显示 (在 150mm 焊缝长度范围内典型的允许聚集度和尺寸)



(b) 孤立显示 (表 D.1 规定的最大尺寸)

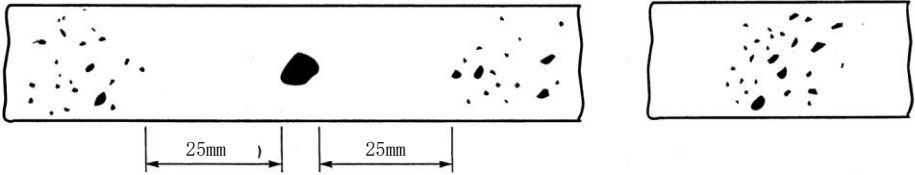


(c) 密集显示

图 D.5  $t=10\text{mm}\sim 19\text{mm}$  (含) 的图



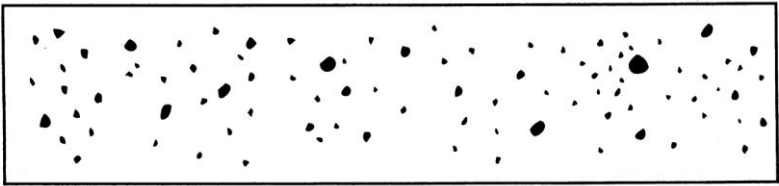
(a) 随机圆形显示 (在 150mm 焊缝长度范围内典型的允许聚集度和尺寸)



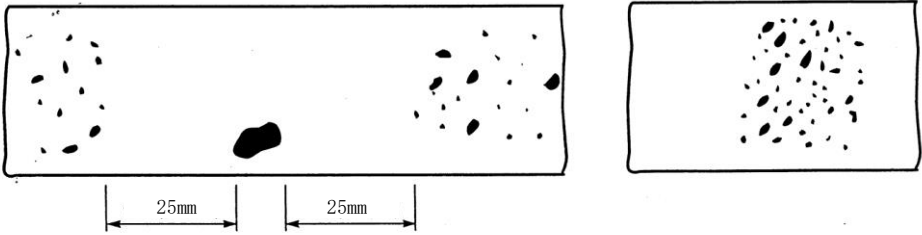
(b) 孤立显示 (表 D.1 规定的最大尺寸)

(c) 密集显示

图D. 6  $t=19\text{mm}\sim 50\text{mm}$ (含)的图



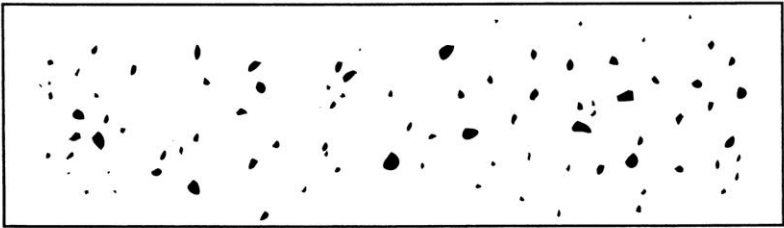
(a) 随机圆形显示 (在 150mm 焊缝长度范围内典型的允许聚集度和尺寸)



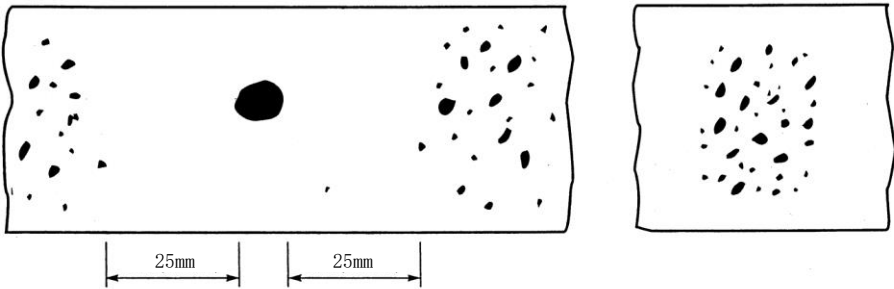
(b) 孤立显示 (表 D.1 规定的最大尺寸)

(c) 密集显示

图D. 7  $t=50\text{mm}\sim 100\text{mm}$ (含)的图



(a) 随机圆形显示（在 150mm 焊缝长度范围内典型的允许聚集度和尺寸）



(b) 孤立显示（表 D.1 规定的最大尺寸）

(c) 密集显示

图D.8  $t>100\text{mm}$ (含)的图



附 录 D  
(规范性附录)  
混凝土检查人员的考核

## D.1 引言

### D.1.1 范围

本附录对检验责任工程师以外的混凝土检查和试验人员的考核作出规定。

### D.1.2 责任

- a) 持有许可证的建造单位负责保证只有符合本附录要求的人员才能进行混凝土的检查和试验。
- b) 持有许可证的建造单位负责为实施本附录范围内活动的人员制定相应的要求,以文件形式规定这些人员的职责范围。为完成本附录要求所需要的人员、设备和服务等方面编制培训实施细则和考核规程以及提供资源等工作可委托其他机构进行,但此类委托的合同关系应形成文件。
- c) 每个从事混凝土检查和试验的机构负责保证他们的人员按本附录的要求取得资格证书。
- d) 向混凝土检查和试验人员授证的机构所采用的符合要求的详细方法和规程应便于审查。这些详细方法和规程应由持有许可证的建造单位审查和批准。

## D.2 通用要求

### D.2.1 计划

在委派、组织和培训实施混凝土检查和试验人员达到足够数量方面应编制计划,这些计划应反映工程进度要求,有充足的时间来选择和培训所需要的人员供工作委派所需。应确定正规培训大纲的需求,按评定负责混凝土检查和试验的人员的要求进行培训活动。

### D.2.2 取证

从事混凝土检查和试验的人员应该由他们的雇用单位授证,才有资格从事所委派的工作。此类授证应得到相应措施的支持,例如培训、考试、评价和定期审查,保证每个人达到初始的和持续的熟练程度。

#### D.2.2.1 培训

培训大纲应包括向学员传授项目的技术目标和所采用的规范和标准。大纲还应包括在岗需知,重点为在试验、考核和检查实际操作中取得的第一手经验。如果混凝土检查和试验人员有足够的经验顺利通过岗位述职的评估要求(实际操作或书面考试),可由III级混凝土检验责任工程师取消课堂培训和在岗培训。免于培训的证明应放入证书档案并加以说明。

#### D.2.2.2 技能评定

- a) I级和II级混凝土检验责任工程师的教育、经验和培训应在首次授证前由混凝土III级检验责任工程师作出评定,对他们的技能也要以不超过2年的间隔进行定期评定。持有许可证的建造单位应审查和批准对混凝土检查和试验人员的首次考核和定期评定。

- b) III 级混凝土检验责任工程师的资格由负责批准和认证 III 级混凝土检验责任工程师的持有许可证的建造单位进行首次审查。应对申请人的教育、经验和顺利通过混凝土建造检验责任工程师考核的情况进行评价以确定其成绩是否满足本附录的要求以及持有许可证的建造单位的附加要求，申请人应由他的雇佣单位授证。
- c) III 级混凝土检验责任工程师的技能应由负责委派他们的持有许可证的建造单位以不超过 2 年的间隔定期复查。
- d) III 级混凝土检验责任工程师在顺利通过混凝土检验责任工程师考试后 5 年未得到 III 级混凝土检验责任工程师授证和再授证时，应通过另一次 ACI 考试和持有许可证的建造单位可能要求的其他考试。以证明他们具有混凝土工作和本文件的新知识。
- e) 持有许可证的建造单位应负责维护在 E. 2. 2. 3 节 b 款所提及的用于考核和认证的所有文件。如需要获得由 ACI 管理的以往考试的信息，可以与 ACI 认证部门联系。

#### D. 2. 2. 3 考核的取证

- a) I 级和 II 级混凝土检查和试验人员的资格应以相应的格式形成文件。他们的证书档案应包括以下内容：
  - 1) 雇主名；
  - 2) 持证人姓名；
  - 3) 能力水平；
  - 4) 确认的技能活动，包括 ASTM 试验编号或其他试验识别号以及在 E. 4. 2. 1 或 E. 4. 2. 2 中的检查或试验职能描述；
  - 5) 取证所采用的依据：
    - (1) 教育和经历的记录；
    - (2) 试验结果；
    - (3) 当适用时技能熟练程度的证明；
    - (4) 培训记录，包括在岗培训；
  - 6) 定期评定的结果；
  - 7) 体格检查的结果；
  - 8) 雇主委派 III 级混凝土检验责任工程师的签名；
  - 9) 证书的发证日期和到期日期。
- b) III 级混凝土检验责任工程师的考核应以相应的格式形成文件。他们的证书档案应包括以下内容：
  - 1) 雇主名；
  - 2) 由雇主个人签署的 III 级混凝土检验责任工程师证书复印件；
  - 3) 由持有许可证的建造单位签署的 III 级混凝土检验责任工程师证书；
  - 4) 顺利通过 ACI 混凝土建造专业检验责任工程师考试以及由持有许可证的建造单位可能要求的其他考试的证明；
  - 5) 顺利通过 III 级混凝土检验责任工程师考试的证明；
  - 6) 体格检查的结果；
  - 7) 定期评定的结果；

### D. 3 考核

#### D. 3. 1 通用要求

- a) 持有许可证的建造单位的职责是保证所有从事混凝土检查和试验操作的人员能胜任工作，具有相应的知识或混凝土检查要求达到规定的程度。
- b) 所有对混凝土的检查和试验以及对检查结果的评价应由具有资格的混凝土检查或试验人员来实施。人员的职责由持有许可证的建造单位负责委派。

### D.3.2 混凝土检查和试验人员的考核

#### D.3.2.1 考核

从事混凝土检查和试验活动人员的资格分级规定如下：

##### D.3.2.1.1 I级混凝土检查和试验技术员

I级混凝土检查和试验技术员的报考者必须顺利地以下每项内容：

- a) 在指定的大学、学院或技术学校读完至少 2 年的工程或理科学科，加上在检查或试验方面三个月的经历；或者高中毕业（相当于 GED）加上在检查或试验方面 6 个月的经验。至少具有在混凝土检查或试验方面所需的一半经历。
- b) 教授的课程包括本文件的要求和适用于报考者的质量大纲等学科。
- c) 所实施的每项检查和试验操作可采用课堂培训和在岗培训相结合的形式。有经验的报考者可减少此类培训。此类培训由已确认的 II 级或 III 级人员进行管理，合格的技能应形成文件。
- d) 报考者应通过内容涉及所实施的每项检查和试验在内的闭卷考试。考试内容应得到 III 级混凝土检验责任工程师的批准。考试应由已确认的 II 级或 III 级人员进行管理。应由 III 级混凝土检验责任工程师对报考者能否顺利通过考试进行评定。
- e) 报考者应通过对每项试验熟练程度的操作考试。由已确认的 II 级或 III 级人员对报考者操作熟练程度考试进行管理和评定。

##### D.3.2.1.2 II级混凝土检验责任工程师

II级混凝土检验责任工程师的报考者必须顺利完成以下每项内容：

- a) 在指定的 4 年制工程或理科学院毕业加上在混凝土检查和试验方面 6 个月的经验；或者在指定的大学、学院或技术学校读完至少 2 年工程或理科学科加上在混凝土检查和试验方面 1 年的经验；或者高中毕业（相当于 GED）加上作为已确认的 I 级混凝土检查技术员 2 年的良好工作记录。
- b) 教育课程包括相应的质量保证大纲、规范要求、质量记录和报考岗位的工作职责等科目。
- c) 培训内容包括所从事的每项检查和试验操作。有经验的报考者可减少此类培训。此类培训已确认的由 II 级或 III 级人员进行管理，合格的技能应形成文件。
- d) 报考者应通过内容涉及所实施的每项检查和试验在内的书面考试。考试内容应得到 III 级混凝土检验责任工程师的批准。考试应由已确认的 II 级或 III 级人员进行管理。应由 III 级混凝土检验责任工程师对报考者能否顺利通过考试进行评定。
- e) 报考者应通过对每项试验熟练程度的操作考试。由已确认的 II 级或 III 级人员对报考者操作熟练程度考试进行管理和评定。

##### D.3.2.1.3 III级混凝土检验责任工程师

报考者必须符合下列要求之一可考虑授证：

- a) II级混凝土检验责任工程师资格证书取得者,应具有六年混凝土检查、测试类别或级别有关的工作经历,还要参加足够的由钢印持有者组织关于核设施和 ASME 规范规定的相关质量保证方面的培训和考核,并顺利通过由美国混凝土学会管辖的混凝土建造专业检验责任工程师考试。
- b) 高中毕业生,应具有 10 年与检查和试验相关的工作经历;或者,高中毕业生,应具有 8 年与检查和试验相关的工作经历,以及取得 II 级混凝土检验责任工程师资格证书 2 年以上或者与核设施有关的 2 年以上工作经历,还要参加足够的由授权机构组织的关于核设施和 ASME 规范规定的相关质量保证方面的培训和考核,并顺利通过由美国混凝土学会管理的 III 级混凝土检验责任工程师考试。
- c) 完成大学同等水平课程并取得学位者,应具有 7 年与检查和试验相关的工作经历,以及与核设施有关的 2 年以上工作经历,还要参加足够的由授权机构组织的关于核设施和 ASME 规范规定的相关质量保证方面的培训和考核,并顺利通过由美国混凝土学会管理的 III 级混凝土检验责任工程师考试。
- d) 大学四年制本科毕业生,应具有 5 年与检查和试验相关的工作经历,以及与核设施有关的 2 年以上工作经历,还要参加足够的由授权机构组织的关于核设施和 ASME 规范规定的相关质量保证方面的培训和考核,并顺利通过由美国混凝土学会管理的 III 级混凝土检验责任工程师考试。

#### D.3.2.2 健康状况

混凝土检查和试验人员的健康状况应具备完成指定任务的能力。最低要求如下:

- a) 自然或校正的近距离视力,能读出标准吉格氏(Jaeger's)近视检测图 J~I 字母或相当的视力检查。
- b) 自然或校正的远距离视力,能读出斯内伦线性刻度表(Linear Snellen Scale) 20~40。
- c) 必要时包括色视觉检查。

要求的健康状况检测的时间间隔不超过两年。

#### D.3.2.3 技术能力

对混凝土检查和试验人员三个级别的技术要求规定如下:

##### D.3.2.3.1 I级

I级人员应对他所从事的检查和试验工作具有经验或受过培训,熟悉要使用的工具和装置,并证明能熟练使用。应熟悉检查和试验装置的标定和控制方法,并应能验证装置的使用条件正常。

##### D.3.2.3.2 II级

II级人员对他所从事的检查和试验工作以及完成和评价检查和试验结果应具有经验或受过培训。他应能监督或一直监视由其他人员进行的检查和试验,应能对试验设备进行标定或确认试验装置标定的有效性。他应能熟练地制订计划和设定试验,并应能确定试验结果的有效性。

##### D.3.2.3.3 III级

III级人员在检查和试验方面应具有丰富的经验和受过正规培训,并在所从事的检查和试验工作的原理和技术方面经过正规课程的教育。应能制订计划和监督检查和试验,审查和批准规程,能评价完成工作目标的充分性。应能组织和报告其结果并确认结果的有效性。

#### D.4 技能

D. 4. 1 混凝土检查和试验的职能

被授权负责从事检查和试验的人员应具有表E. 1所示的级别能力。

D. 4. 2 混凝土检查和试验的职能

D. 4. 2. 1 I级

从事下列一项或多项职能的人员，最低限度应持有I级证书：

- a) 从事下列一项或多项职能的人员，最低限度应持有 I 级证书：
- b) 钢筋机械连接的检查和试验；
- c) 混凝土组分、钢筋材料、后张拉系统和预埋件的验收检查和试验；
- d) 混凝土的修整、修补和养护的检查；
- e) 编制上述工作的报告。

D. 4. 2. 2 II级

从事下列一项或多项职能的人员，最低限度应持有II级证书：

- a) 配料厂的检查；
- b) 在浇筑前对模板、钢筋、预埋件和预应力系统的检查；
- c) 混凝土装卸和浇筑设备及其运转情况的检查；
- d) 混凝土浇筑包括对气候预防措施的检查；
- e) 混凝土构件的结构修补的检查；
- f) 预应力系统嵌入件、施加应力和润滑油脂的检查；
- g) 预制件操作的检查；
- h) 专门的实验室试验；
- i) 对 I 级人员的监督，包括报告的审查和批准；
- j) 对 I 级人员编制的检查和试验报告进行处理、审查和批准；
- k) I 级和 II 级人员的培训和管理考试。

D. 4. 2. 3 III级

从事下列一项或多项职能的人员，应持有III级证书：

- a) 见证和评价建造技术规格书所要求的混凝土配合比的实验室设计或试验；
- b) 批准配料和混合装置；
- c) 批准质量控制检查和试验规程；
- d) 制订 I 级和 II 级人员的培训和取证大纲；
- e) 评定 I 级和 II 级人员的取证考试；
- f) I 级和 II 级人员的取证。

表C. 1 工作能力的最低级别

工 作	级 别		
	L-I	L-II	L-III
记录检查和试验数据	×	×	×
实施检查和试验规程	×	×	×
制订检查和试验大纲：	.....	×	×

设置试验，包括相关装置的准备和安装			
评价检查和试验结果的有效性和可接受性	.....	×	×
通报检查和试验结果	.....	×	×
监督同级别或低级别的人员	.....	×	×
向低级别人员授证	.....	.....	×
评价用于培训和测试检查和试验人员的专门大纲的适合性	.....	.....	×
批准检查和试验规程	.....	.....	×

## D. 5 考核的审查

### D. 5.1 考核的记录

在建造期间应建立和保存人员考核的记录档案。档案应包含以前工作史的记录、培训、首次评定和定期评定以及每个人员资格证书。

### D. 5.2 混凝土检查人员的取证

检验责任工程师负责按E. 3节的要求验证混凝土检查人员的取证。当检验责任工程师有理由怀疑混凝土检验责任工程师的技能时，他有权监查有关大纲和要求任何一个检验责任工程师重新取证。

附 录 E  
(规范性附录)  
无损检测方法

## E.1 引言

### E.1.1 范围

本附录包括未编入第V卷中的无损检测方法的要求和相应评定的要求。

## E.2 焊缝的真空盒检测

### E.2.1 范围

本文件描述在规定进行真空盒检测时应采用的方法。

### E.2.2 应用

真空盒检测可探测焊缝在整个厚度上的缺陷。该方法能探测到的典型缺陷是裂纹、气孔和未熔合。把气泡发生液涂在待检测的表面上，然后将真空盒放在该表面上，盒上有足以看到整个区域的观察窗并可射入充足的光线供检测之用。借助于盒子本身的结构和适当的垫片，盒内应能产生和保持至少55kPa的压差。系统内设置一只经过标定的压力表，通过验证所需压差来检测设备的真空密封或其他形式的泄漏。再从表面上气泡的形成来观察该区域整个厚度上的缺陷迹象。

### E.2.3 规程

#### E.2.3.1 表面处理

通常，当表面处于焊后状态时，可以得到满意的结果。

- a) 在真空盒检测之前，待检表面应清除所有的焊渣、锈皮、油脂、油漆或其他物质，否则会对检测规程或结果的解释有影响。
- b) 可以使用的典型清洁工具是钢丝刷、除垢剂、有机溶剂、去锈溶液和除油漆剂。

#### E.2.3.2 清洗后的干燥

用湿法清洗后，待检表面可以通过正常的蒸发或强制热风使它干燥。在书面规程中应规定最短的时间间隔，以保证在涂刷发泡液之前，清洗液已被蒸发掉。

#### E.2.3.3 发泡液的涂刷

应采用刷子或其他合适的工具将发泡液均匀地涂刷在整个试验区域。

#### E.2.3.4 涂刷发泡液的时间

涂刷的时间有严格规定，尤其在表面处于热的情况下。温度在5℃至38℃之间时，发泡液应在检测前一分钟以内涂刷。

#### E. 2. 3. 5 待检表面的温度

作为一项标准技术，待检零件的表面温度在整个检测期间不应低于5℃，亦不应高于38℃。只要检测期间温度保持在5℃至38℃的范围内允许局部加热或冷却。当遵循上述温度限值有困难时，可以采用其他温度限值，但规程需按F2.5节要求予以评定。

#### E. 2. 3. 6 抽真空

真空盒应放置在被检区域的上面，抽真空与大气压力的压差至少为35kPa。该压差经压力计验证，并在达到该值后最少保持20秒。沿焊缝依次检测，前后两次检测之间至少应有50mm的重叠。

#### E. 2. 3. 7 目视检测

进行目视检测时，待检区表面与眼睛的距离应至少在600mm以内。可以用反光镜来改善视角，并可以借助放大镜。待检区域的亮度应至少为350 lux。

#### E. 2. 4 显示的评定

所有气泡显示均应按验收标准予以评定。

#### E. 2. 5 规程规格书要求

- a) 生产商或建造商应按本文件和 F. 2 节的相应要求确认所要求的书面检测规程规格书。所要求的规程规格书至少应详细地记录下列资料：
  - 1) 发泡液的商标名称和具体型号（用数字或字母表示，如果有的话）；
  - 2) 检测前干燥方法的细节，包括所用的清洁剂以及允许的干燥时间；
  - 3) 提供确保所需压差的方法；
  - 4) 发泡液涂刷方法的细节，检测前发泡液存留在表面的时间，如果温度不在 5℃至 38℃范围内，则记录检测期间的表面温度；
  - 5) 如要实行，完成检测后清洗的方法。

#### E. 2. 6 记录

规程和人员考核以及检测结果的副本均应按本文件8.1.4的要求予以保存。



## 附 录 F (规范性附录)

### 向本文件发布单位（机构）提交的技术咨询

#### F.1 引言

- a) 本附录为本文件用户提供向本文件发布单位（机构）提交技术咨询的指导。对涉及在标准中增加新材料的申请，其附加要求可参见在第 II 卷，C 篇和 D 篇中《ASME 锅炉和压力容器规范批准新材料的指南》。技术咨询包括对规范规则修订或增补的申请以及规范条款解释的申请，如下所述：
- 1) 规范修订。规范修订是考虑到为适应技术发展、体现管理要求或澄清规范内容。
  - 2) 规范条款解释。规范条款解释是对规范中现行规则的含义进行澄清。也以问题和答复的形式出现。条款解释并不提出新的要求。如果现行规范文本不足以完全表述其含义时，且要求对规则进行修订以支持条款解释时，将发布条款的意义解释，并修订相应的规范。
- b) 由本文件发布单位（机构）制订的规范规则和规范条款解释并不意味着批准、推荐、确认或担保任何专利或特殊的设计，也不会以任何方式限制生产商、建造商或业主自由选择符合本文件的设计方法或建造形式。
- c) 不符合本附录规定的咨询或者没有提供充分的资料以使得本文件发布单位（机构）完全地理解，可能导致将申请退回给咨询者而不受理。

#### F.2 咨询格式

向本文件发布单位（机构）提交的咨询应包括如下内容：

- a) 目的 规定如下内容之一：
  - 1) 现行规范规则的修订；
  - 2) 新的或增补的规范规则；
  - 3) 规范条款解释。
- b) 背景 提供为本文件发布单位（机构）能理解咨询所需的资料，包括参照对应规范中的卷、册、版本、章节、图及表格。最好提供规范具体参考部分的复印件。
- c) 递交 咨询者可希望或要求参加本文件发布单位（机构）会议，以考虑咨询者作正式陈述或回答本文件发布单位（机构）成员有关的问题。参加本文件发布单位（机构）会议的费用由咨询者自负。咨询者出席或缺席会议并不作为本文件发布单位（机构）对咨询同意或否决的依据。

#### F.3 规范修订或增补

规范修订或增补的申请应提供如下内容：

- a) 提议修订或增补 对于修订：确定所需修订规范的规则，提交相应规范规则的复印件，在规则所在处标上所提议的修订内容。对于增补：参照现行规范规则提出推荐的词句。
- b) 需要的陈述 提交一份需要对修订或增补的简要解释。

- c) 背景资料 提供支持修订或增补的背景资料，包括组成申请依据的技术方面的数据或变更，使本文件发布单位（机构）能充分评价所提议的修订或增补。草图、表格、图和曲线图应作为合适资料提交。当可适用时，标识出在规范中将因修订或增补而受到影响的任何相应条款，以及在规范中所引用的条款将被修订或增补。

#### F.4 规范条款解释

- a) 规范条款解释的申请应提供以下内容：
  - 1) 咨询。提供一份简要而确切的问题单，省略繁琐的背景资料。在可能的情况下，用“是”或“否”的方式来答复，或附带简短条件，这是可接受的方式。问题单在技术和编写上应是正确的。
  - 2) 答复。提供提议的答复，要清楚而确切地回答所咨询的问题。最好以“是”或“否”的方式来答复，可能附带简短条件。
  - 3) 背景资料。提供的背景资料有助于本文件发布单位（机构）理解所提议的咨询和答复。
- b) 规范条款解释申请必须限制在规范或规范案例中对某一特定要求的解释。本文件发布单位（机构）不会考虑下述类型的申请：
  - 1) 有关计算、设计图纸、焊接评定、或者设备、部件描述的审核以判断是否符合规范的要求；
  - 2) 有关协助执行规范规定功能的申请，涉及但不限于材料选择、设计、计算、制作、检查、压力试验和安装；
  - 3) 有关寻求规范要求理论基础的申请。

#### F.5 提交

提交的咨询和从本文件发布单位（机构）得到的答复都应符合以下要求：

- a) 提交 规范用户的咨询应以书面打字形式提交，但若字迹清楚的手写咨询也可考虑接受。如可能的话，提交应包含：咨询者姓名、地址、电话号码、传真号以及 e-mail 地址。
- b) 答复 本文件发布单位（机构）应对收到的每一份正确准备好的咨询进行证实，并在完成申请活动后向咨询者提供书面答复。

附 录 G  
(规范性附录)  
电弧焊接钢筋的评定

## G.1 引言

### G.1.1 范围

本附录对电弧焊接工艺评定、焊工和焊机操作工的考核作出规定,适用于钢筋与钢筋或钢筋与其它材料的电弧焊接。

### G.1.2 应用

凡满足5.3.3.3节的要求,允许采用电弧焊接。

### G.1.3 评定、记录和识别印记

#### G.1.3.1 要求的评定

建造商或生产商对本机构实施的焊接负责。建造商或生产商应以评定焊接工艺以及使用该焊接工艺的焊工和焊机操作工的技能要求必要的试验。

#### G.1.3.2 记录的保存和资格评定

建造商或生产商应保存评定的焊接工艺记录,和被其雇佣的焊工和焊机操作工的技能合格记录。记录应表明日期和试验结果以及每位焊工或焊机操作工的识别标记。记录应由建造商或生产商审核、验证并签字,记录应可供业主和焊接责任工程师随时检查。

#### G.1.3.3 焊工和焊机操作工所制造的焊缝的识别

焊工或焊机操作工应在他制造的焊缝附近安放建造商或生产商指定给他的识别标记,或者建造商或生产商保存每条永久焊缝的记录及制造每条焊缝的焊工和焊机操作工的记录。

#### G.1.3.4 考核前的焊接

未按H.1.5.4节取得资格的焊工或焊机操作工不得进行生产性焊接。

#### G.1.3.5 考核的转移

某个建造商或生产商对焊工和焊机操作工进行的资格考试不得作为该焊工和焊机操作工为其他建造商或生产商取得焊接资格。

## G.1.4 通用焊接要求

### G.1.4.1 焊接工艺和材料

钢筋的焊接应限于手工电弧焊(SMAW)、熔化极气体保护焊(GMAW)或药芯焊丝弧焊(FCAW)工艺。焊接金属应满足下述要求:

G.1.4.1.1 手工电弧焊（SMAW）工艺

焊条、焊条—气体组合、或焊缝金属级别应满足表H.1的要求。手工电弧焊应采用低氢焊条进行焊接。

G.1.4.1.1.1 手工电弧焊采用的低氢焊条应满足AWS A5.1《带药皮碳素钢电弧焊条规格书》的要求，或满足AWS A5.5《低合金钢带药皮电弧焊条规格书》的要求。

G.1.4.1.1.2 所有含有低氢药皮、符合AWS A5.1要求的焊条在采购时应放入密封容器内，或在使用前应在230℃和260℃之间的温度下至少干燥2小时。含有低氢药皮并符合AWS 5.5要求的焊条在使用之前应在采购时放入密封容器内，或在使用前在370℃和425℃之间的温度下至少干燥1小时。如果密封容器有损坏迹象，则焊条在使用之前应予干燥。焊条从密封容器或干燥炉中取出后，应储存在炉内至少保持120℃温度。

在4小时内不用的E70XX焊条、2小时内不用的E80XX焊条和1小时内不用的E90XX焊条，从密封容器中取出（或从干燥炉或保存炉中取出）后，在使用之前应重新干燥。已潮湿的焊条不得使用。

表C.1 填充金属要求

母 材	按焊接工艺的焊条分类		
	手工电弧焊 （低氢焊条）（H.1.4.1.1）	熔化极气体保护焊 （H.1.4.1.2）	药芯焊丝弧焊 （H.1.4.1.2）
ASTM A615 40 级	AWS A5.1 或 A5.5 E70XX	AWS A5.18 E70S-X, E70U-1	AWS A5.20 E70T-X
ASTM A706	AWS A5.5 E80XX	AWS A5.28 ER80S-B2, ER80S-B2L	AWS A5.20 E80T
ASTM A615 60 级 ASTM A706	AWS A5.5 E90XX	AWS A5.28 ER90S-B3, ER903-B3L	AWS A5.20 E90T

G.1.4.1.2 熔化极气体保护焊（GMAW）或药芯焊丝弧焊（FCAW）工艺

对焊缝金属的最小规定屈服强度等于或小于400MPa所用的GMAW或FCAW用焊条和保护气体的组合应满足AWS A5.18《熔化极气体保护焊用碳素钢填充金属规格书》或AWS A5.20《药芯焊丝弧焊用碳素钢焊条规格书》的要求。

对焊缝金属的最小规定屈服强度大于400MPa所用的GMAW工艺，其焊接材料应满足AWS A5.28《熔化极气体保护焊用低合金钢填充金属规格书》的要求。对于FCAW工艺，每个用户应证明推荐使用的每种焊条和保护气体的组合会产生具有下列机械性能的低合金钢焊缝金属。

FCAW E80T 级

抗拉强度，MPa （最小）	550MPa
屈服强度，MPa （最小）	456MPa
50mm 延伸率，% （最小）	18

FCAW E90T 级

抗拉强度, MPa (最小)	620MPa
屈服强度, MPa (最小)	540MPa
50mm 延伸率, % (最小)	17

G. 1. 4. 1. 2. 1 该机械性能应从按照AWS A5. 18、AWS A5. 20或AWS A5. 28的试验要求制成的多道焊缝中给予测定。

G. 1. 4. 1. 2. 2 保护气体

当气体或气体混合物用于熔化极气体保护焊或药芯焊丝弧焊时，它应具有露点在 - 4℃以下的焊接级别。

G. 1. 4. 2 焊接接头设计

仅允许按图H. 1所示进行直接对接焊以及与钢元件的连接焊。

直接对接焊的定义是轴线基本对中，偏心度达到最小的两个钢元件之间的焊接。应采用全熔透坡口焊的形式。

表C. 2 预热和层间的最低要求

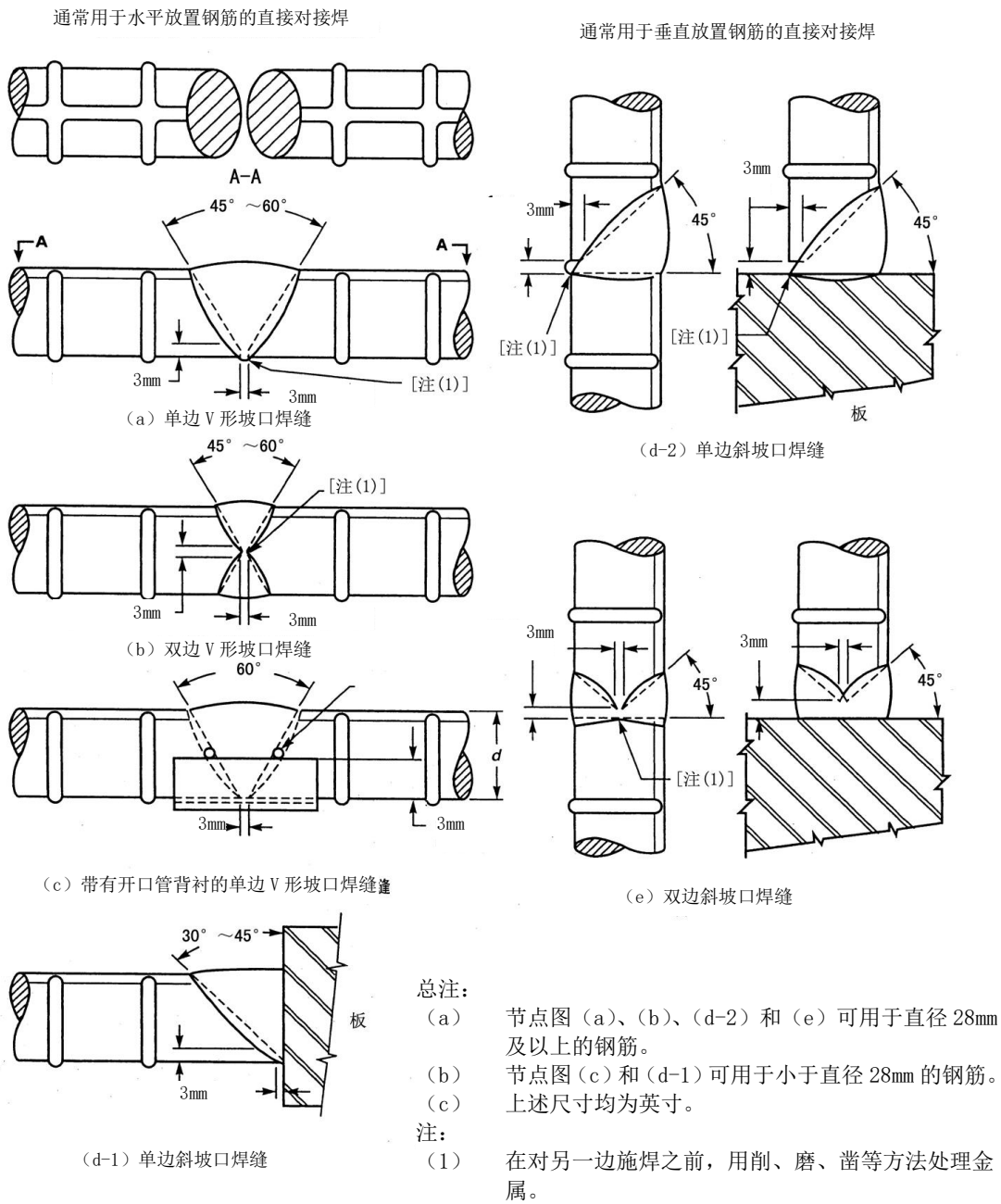
碳当量范围, %	钢筋规格 直径 (mm)	最低预热和层间温度 ℃ <sup>(1) (2) (3)</sup>
0. 40 最大值	≤36	无要求 <sup>(4)</sup>
	40 和 50	18
0. 41~0. 45 包括	≤36	无要求 <sup>(4)</sup>
	40 和 50	38
0. 46~0. 55 包括	≤20	无要求 <sup>(4)</sup>
	22~36	18
	40 和 50	95
<p>注：（1）当钢筋需要与衬里板或与表A. 2许用的其他钢材焊接时，应考虑两种钢材的预热和层间温度的要求。适合于此类情况的最低预热和层间温度要求应取相焊接的两种材料中的较高值。当钢筋与经过淬火和回火的钢材相焊接时，两种材料的预热和层间温度要求均必须得到满足，否则不得焊接。</p> <p>（2）当环境温度低于-18℃时，不得进行焊接。当母材温度低于按焊接工艺、钢筋规格、碳当量范围所列出的温度时，应对母材进行预热（另有规定除外），使焊缝两侧不小于150mm距离内钢筋截面的温度达到或高于规定的最低温度。预热和层间温度必须足以防止产生裂纹。</p> <p>（3）焊接完工以后，允许钢筋自然冷却至环境温度，禁止加速冷却。</p> <p>（4）当母材温度低于0℃时，母材预热至少达到20℃，并在焊接过程中保持该最低温度。</p>		

G. 1. 4. 3 碳当量计算及预热和层间温度要求

每炉钢筋的碳当量（CE）应根据实际熔炼分析按下列公式计算：

$$CE = \%C + (\%Mn / 6) + (\%Cu / 40) + (\%Ni / 20) + (\%Cr / 10) - (\%Mo / 50) - (\%V / 10)$$

根据计算的CE值，最低预热和层间温度应达到表H. 2要求。



图H.1 典型的直接对接焊

G.1.5 工艺评定要求

G.1.5.1 通用要求

工艺评定试验应模拟生产条件制成试验焊缝。钢筋接头的焊接和钢筋与钢元件的焊接均应按待焊的钢筋和钢元件的规格、级别的各种组合编制的书面规程进行。

G.1.5.2 基本变素

如果基本变素发生改变,则应对变更的焊接工艺重新评定。评定用的接头应采用生产中使用的钢筋制造。鉴定试验用的钢筋应按H.1.4.3节确定具有最高碳当量值的最大尺寸钢筋。对电弧焊接工艺,下列的变更应认为是基本变素的变更。

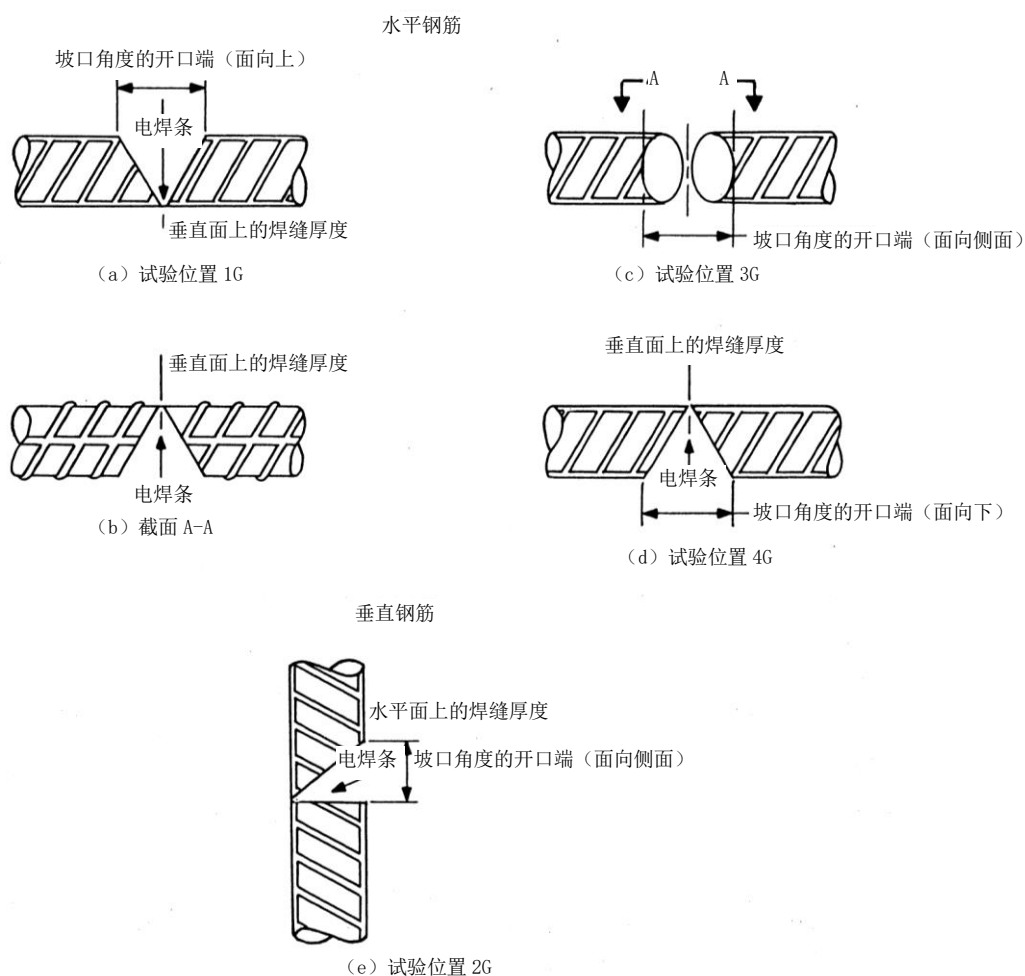
#### G.1.5.2.1 熔化极气体保护焊(SMAW)

- a) 填充金属强度等级提高,例如,从E70XX变更为E80XX,但反之则不然。
- b) 工艺规格书中声明要采用的焊条直径增粗。
- c) 焊条电流量和/或电压量改变,改变值不在焊条制造商所推荐的范围内。
- d) 如图H.2规定进行焊接位置的变更。
- e) 坡口形式的变更,例如,从单边V形坡口改变为双边V形坡口。
- f) 涉及下列任一类坡口的形状变更:
  - 1) 减小坡口的包角超过 $5^{\circ}$  ( $0.09\text{rad}$ );
  - 2) 减小坡口的根部开口超过1.5mm;
  - 3) 增大坡口的根面超过1.5mm;
  - 4) 是省略而不是未包括背衬材料。
- g) 降低预热或层间温度超过10%。  
但预热或层间温度不得低于表H.2规定的温度。
- h) 从无涂层钢筋改变为镀锌钢筋。
- i) 钢筋尺寸增加超过一级。
- j) 提高按H.1.4.3节计算的碳当量数值。

#### G.1.5.2.2 熔化极气体保护焊(GMAW)和药芯焊丝弧焊(FCAW)

- a) 在AWS A5.18(GMAW)、AWS A5.20(FCAW)或AWS A5.28(FCAW)中没有包括的焊条或保护方法的变更。
- b) 填充金属强度等级提高,例如,从E70S变更为E80S,但反之则不然。
- c) 对GMAW,焊条直径变更;对FCAW,工艺规格书中声明要采用的焊条直径增粗。
- d) 从单一气体改变为另一种单一气体,或改变为混合气体,或改变为AWS A5.18、AWS A5.20、AWS A5.28中没有列出的混合气体成分组成。
- e) 对使用的每种尺寸焊条,电流量的变更超过平均值的 $\pm 10\%$ 。
- f) 对使用的每种尺寸焊条,电压量的变更超过平均值的 $\pm 7\%$ 。
- g) 焊条移动速度的变更超过平均值的 $\pm 10\%$ 。
- h) 保护气体或混合保护气体的流量增大25%以上或减少10%以上。
- i) 如图H.2规定进行焊接位置的变更。
- j) 坡口型式的变更,例如,从单边V形坡口改变为双边V形坡口。
- k) 涉及下列任一类坡口的形状变更:
  - 1) 减小坡口的包角超过 $5^{\circ}$  ( $0.09\text{rad}$ );
  - 2) 减小坡口的根部开口超过1.5mm;
  - 3) 增大坡口的根面超过1.5mm;
  - 4) 是省略而不是未包括背衬材料。
- l) 焊接工艺中规定的预热或层间温度下降10%以下,但不低于表H.2规定的预热或层间温度。
- m) 焊接电流(交流或直流)、极性或金属转换电弧方式的变更。
- n) 无涂层钢筋改变为镀锌钢筋。

- o) 钢筋尺寸增加超过一级。
- p) 提高按 H. 1. 4. 3 节计算的碳当量数值。



图H. 2 坡口焊缝的直接对接焊试验装置

### G. 1. 5. 3 焊接试样试验

#### G. 1. 5. 3. 1 试验目的

下列试验的目的是测定按给定焊接工艺规程所制作的接头焊缝抗拉强度和完好度：

- a) 全截面拉伸试验（测定抗拉强度）
- b) 宏观浸蚀检测（测定完好度）

#### G. 1. 5. 3. 2 母材

母材及其焊接前处理应符合焊接工艺规程的要求。

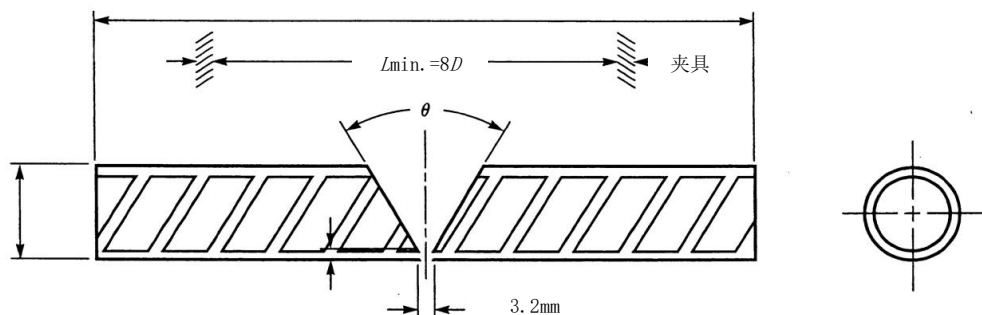
#### G. 1. 5. 3. 3 直接对接焊

所有直接对接焊均应按坡口焊缝焊接位置的定义进行分类，并按工艺评定的位置进行焊接（见图 H. 1）。

#### G. 1. 5. 3. 4 试验焊缝



对每种焊接工艺规程应制成三个试验焊缝加以评定。直接对接焊试验焊缝试件的最短长度应至少为钢筋直径的16倍，以焊缝位置居中（见图H.3），但试验机构要求焊缝长度更长的情况除外。三个试验焊缝试件中有二个应接受全截面拉伸试验。剩下一个试验焊缝试件接受宏观浸蚀试验。



总注：

- (a) 对直径 28mm 及以上的钢筋，采用单边 V 形坡口或斜坡口焊缝（ $\theta = 45^\circ$ ）。
- (b) 对直径 28mm 及以下的钢筋，采用带开口管背衬的单边 V 形坡口（ $\theta = 60^\circ$ ）。

图H.3 穿透坡口的完整接头

#### G.1.5.3.5 试样的试验方法

##### a) 全截面拉伸试验

试验焊缝应在焊后状态下进行试验，即未经机械加工的全尺寸焊缝。试验设备夹具之间的最小距离应至少等于直接对接焊钢筋直径的 8 倍。试件应在拉伸荷载下被拉至断裂。应测定最大荷载，N。应用最大荷载除以钢筋的公称截面积求得抗拉强度值 kPa。

##### b) 宏观浸蚀试验

应在垂直于焊缝的方向机械切割试件，对获得的截面抛光，露出焊件、焊根和钢筋的完全纵截面。应采用合适的溶液进行浸蚀以对焊缝作出清楚的解释。

#### G.1.5.3.6 要求的试验结果

##### a) 全截面拉伸试验

拉伸试验结果应符合表 24 对相应钢筋级别的强度要求。

##### b) 宏观浸蚀试验

应检测试件是否有瑕疵，并应符合 H.1.6.2.2 节的验收标准。浸蚀截面应显示出与母材的全焊透和全熔合。

#### G.1.5.4 焊工和焊机操作工技能的考核

对焊工和焊机操作工首次资格考试的要求应符合 H.1.5.4.1 节的规定。焊工和焊机操作工应接受对其在工作过程中需要独立完成的每类焊缝的考核。完成拉伸试验的评定的焊缝应满足表 24 中规定的抗拉要求。

##### G.1.5.4.1 变数的限值

对某种钢筋所作的评定应认为是在基本变数范围内对其他钢筋焊接的评定。对镀锌的和无涂层的钢筋应要求作不可互相证明有效性的单独评定。应对焊工或焊机操作工在生产中需要使用的每种工艺的过

程进行评定。在资格考试中,焊工或焊机操作工对某种被批准的焊条和保护介质组合工艺取得资格,应认为是对其他被批准的焊条和保护介质组合工艺(见表H.1)取得资格。焊接位置改变为未经考核的位置时,应要求对焊工或焊机操作工的技能进行重新取得资格。

#### G.1.5.4.2 要求的评定试验

用于资格考试的焊缝应是由SMAW、GMAW或FCAW工艺制造的全熔透坡口焊缝,带有单边V形坡口或斜坡口(见图H.3)。用直径28mm钢筋焊接来考核焊工或焊机操作工在基本变量范围内焊接所有大于直径28mm钢筋的技能。如果需要焊接的钢筋小于直径28mm,则焊工或焊机操作工的技能考核应在需要焊接的最小尺寸钢筋上进行。对于小于直径28mm的钢筋,应使用开口管作为背衬(见图H.1)。

#### G.1.5.4.3 直接对接坡口焊试验的焊缝位置和评定的有效性(见图H.2)

- a) 对1G(平面)位置进行的评定仅对1G位置焊接评定有效。
- b) 对2G(水平)位置进行评定所作的鉴定对1G和2G位置焊接评定有效。
- c) 对3G(垂直)位置进行的评定所作的鉴定对1G、2G、3G位置焊接评定有效。
- d) 对4G(仰焊)位置进行的评定所作的鉴定对1G和4G位置直接对接焊评定有效。
- e) 对1G和2G位置进行的评定所作的鉴定对1G位置斜拉钢筋的焊接评定有效。
- f) 对2G和3G位置进行的评定所作的鉴定对3G位置斜拉钢筋的焊接评定有效。

#### G.1.5.4.4 母材

母材应符合5.3.1节的要求。

#### G.1.5.4.5 焊接工艺

焊工或焊机操作工的操作应遵守焊接工艺规程的要求。

#### G.1.5.4.6 试件——数量、类型和制备

对焊工或焊机操作工的考核,每次试验应按H.1.5.4节的要求制造两个焊接试件。

用GMAW(除短环路转换器外)、SMAW或FCAW工艺焊接的试件应进行射线照相检测,或一个试件承受全截面拉伸试验,另一个试件用作宏观浸蚀试验。由GMAW短环路转换器法焊接的直接对接焊试件应有一个试件用于全截面拉伸试验,另一个用在宏观浸蚀检测。

全截面拉伸试验试件的长度应至少为钢筋直径的16倍,以焊缝位置居中(见图H.3),但试验机构要求试件的长度更长情况除外。

#### G.1.5.4.7 试样的试验方法

- a) **全截面拉伸试验** 试验焊缝应在焊后状态下,即未经机械加工的全尺寸焊缝,进行拉伸试验。试验设备夹具之间的最小距离应至少等于直接对接焊钢筋直径的8倍。试件应在拉伸荷载下拉至断裂。应测定最大荷载,N。应用最大荷载除以钢筋的公称面积求得抗拉强度值 kPa。
- b) **宏观浸蚀试验** 应在垂直于焊缝的方向机械切割试件,对获得的截面抛光,露出焊件、焊根和钢筋的完全纵截面。应采用合适的溶液进行浸蚀以对焊缝作出清楚的解释。

#### G.1.5.4.8 要求的试验结果

- a) **射线照相检测** 可接受的评定依据是焊缝应满足 H.1.6.2.2 节的验收标准要求。
- b) **全截面拉伸试验** 拉伸试验结果应符合表 24 对相应钢筋级别的强度要求。
- c) **宏观浸蚀试验** 应检测试件是否有瑕疵,并应符合 H.1.6.2.2 节的验收标准。浸蚀截面应显示出与母材的全焊透和全熔合。

#### G. 1.5.4.9 复试

如果焊工或焊机操作工有一个或多个试验焊缝未能满足考核要求，下列条件可允许重新进行试验。

- a) 焊工或焊机操作工对不合格的焊缝类型可立即再制造两个试验焊缝，所有试件均应满足对该焊缝的全部要求。
- b) 如果能证明该焊工或焊机操作工已经过进一步的培训或实际操作，则可重新进行试验。对此类情况，应重新进行全部试验。
- c) 如果焊接责任工程师有理由怀疑焊工或焊机操作工的考核结果，他可以要求重新试验。

#### G. 1.5.5 有效期

本文件规定的焊工或焊机操作工的资格证书应为长期有效，但下列情况除外：

- a) 焊工或焊机操作工不从事他具有技能资格的该项焊接工艺已超过 6 个月。
- b) 有某些具体原因怀疑该焊工或焊机操作工的技能。

#### G. 1.5.5.1 记录

有关试验结果的记录应由建造商或生产商保存，并可供授权部门检查。

#### G. 1.5.6 接头焊性能连续试验

##### G. 1.5.6.1 引言

应进行一系列连续试验以保证接头焊满足抗拉要求。无损检测要求见 H. 1.6 节。

##### G. 1.5.6.2 接头焊缝试件

接头焊缝试件可以是产品接头焊缝（即直接从就地钢筋中割取）或同级接头焊缝（即在相同条件下紧跟产品接头焊缝就地制成后即可取走的）。

##### G. 1.5.6.3 试验频度

对水平、垂直和斜向钢筋的接头焊缝应按如下规定分别确定试验周期：

##### G. 1.5.6.3.1 产品接头焊缝

如仅对产品接头焊缝进行试验，则取样频度如下：

- a) 第一批 10 个产品接头焊缝中取 1 个试件；
- b) 随后 90 个产品接头焊缝中取 1 个试件；
- c) 随后以 100 个产品接头焊缝为一组，从中取 2 个试件。

##### G. 1.5.6.3.2 产品及同级接头焊缝

如对产品及同级接头焊缝进行试验，其取样频度如下：

- a) 第一批 10 个产品接头焊缝中取 1 个；
- b) 随后 90 个产品接头焊缝中取 1 个产品接头焊缝及 3 个同级接头焊缝；
- c) 随后以 33 个接头焊缝为一组，从中取 1 个产品接头焊缝或 1 个同级接头焊缝。

试验的接头焊缝总数中应至少有  $\frac{1}{4}$  为产品接头焊缝。

##### G. 1.5.6.3.3 同级接头焊缝

应用直的同级接头焊缝代替产品试件或弧形弯曲钢筋以及与钢结构件或衬里相弧焊的钢筋。

#### G.1.5.6.4 拉伸试验要求

应按NB/T 20004-20XX规定的加载速率对焊接接头试样进行拉伸试验。下列条款应满足验收标准：

- a) 试件的抗拉强度应等于或大于表 24 所示相应屈服强度的 125%。
- b) 每组 15 个连续试件的平均抗拉强度应等于或大于表 24 所示的最小抗拉强度。
- c) 如果任何一个接头试件焊缝未能满足上述 (a) 或 (b) 的规定，则应遵守 H.1.5.6.5 节的要求。

#### G.1.5.6.5 低于标准的拉伸试验结果

- a) 低于标准的拉伸试验结果同级接头焊缝未能满足表 24 的强度要求，且断裂发生在钢筋中，则建造商或生产商应查明钢筋断裂的原因。在按 H.1.5.6.3 节的试验频度进行试验之前，应实施影响接头焊缝试件的必要纠正行动。
- b) 如果用于试验的产品接头焊缝未能满足表 24 的强度要求，且断裂不发生在钢筋中，则应对该断裂焊缝两侧相邻的产品接头焊缝进行试验。如果用于试验的同级接头焊缝未能满足表 24 的强度要求，且断裂不发生在钢筋中，则应试验两个附加的同级接头焊缝。如果两个接头焊缝中仍有一个接头焊缝未能满足表 24 的强度要求，则应停止焊接作业。在断裂原因未被纠正之前，不得重新开始焊接。
- c) 如果 15 个连续接头焊缝的平均抗拉强度未能满足表 24 的强度要求，则应停止焊接作业。建造商或生产商应查明原因并应作出必要的纠正行动。
- d) 当恢复焊接作业时，应重新开始执行试验频度。

#### G.1.5.7 拉伸试验结果的记录

所有按H.1.5.3、H.1.5.4和 H.1.5.6节规定进行的拉伸试验结果以及其他相应数据均应予记录。

### G.1.6 钢筋接头焊接的检测

#### G.1.6.1 目视检测

所有完工的电弧焊接应用目视检测是否有裂纹、咬边、尺寸不足或其他可见缺陷。具有这些缺陷的焊缝应予修补。

#### G.1.6.2 射线照相检测

##### G.1.6.2.1 范围和规程要求

从每位焊工焊成的以25个直接对接产品接头焊缝为一组，从中随机选取一个接头焊缝，从两个相互垂直的方向进行射线照相检测。射线照相检测规程应符合第V卷第2章的要求。在不适宜进行射线照相检测时可进行超声检测和检查。如果采用超声检测，则应按第V卷第5章的要求进行。

##### G.1.6.2.2 验收标准

焊缝不得具有任何类型的裂纹或不全熔合或不全焊透区。所有焊口全截面均应被填满。

直接对接焊缝经射线照相检测发现的缺陷，其单个气孔或熔合不连续的最大尺寸、或全部气孔或熔合不连续最大尺寸的总和均不得超过表H.3规定的限值。

咬边深度不得大于0.8mm，与应力方向无关，但在焊缝与隆起型变形相交处，咬边深度小于1.5mm是可接受的。焊缝应全无焊瘤。

射线照相显示具有下列任一种类型不连续的焊缝均为不合格：

- a) 不全熔合区、裂纹或未焊透；

b) 大于表 H.3 规定限值的其他显示。

G.1.6.2.3 复验

- a) 如果发现接头焊缝不可接受，则应将接头焊缝更换并重新检测。从同一组取二个附加接头焊缝，最好一个接头焊缝取在不可接受接头焊缝的另一侧，也接受射线照相检测。如果这些接头焊缝满足验收准则，则该组 25 个接头焊缝中的其余接头焊缝均认为经受连续重新评定试验，为可接受。
- b) 如果附加接头焊缝中某个焊缝不满足验收准则，该组的其余接头焊缝均应被重新检测，不合格接头焊缝均应报废。焊接人员也应按 H.1.5.4 节的要求接受重新考核。

表C.3 射线照相验收准则

常用单位钢筋规格 直径 mm	不连续尺寸的总和 mm	单个不连续尺寸 mm
25	5	3
28	5	3
32	6	3
36	6	5
40	8	5
50	11	6

## 附录 H

### （资料性附录）

### 混凝土安全壳的典型荷载组合（可选）

#### H.1 典型的荷载组合

本附录举例说明混凝土反应堆容器的典型荷载组合。符号见附录B。

a) 建造

$$D_{we}+L_c+F_i$$

$$D_{weiR}+L_c+F_i+P_i+T_t$$

b) 正常

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+P_o$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+P_v$$

c) 异常

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+P_m$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_a+P_o$$

d) 严重环境

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+P_o+E_o$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+E_o$$

e) 极端环境

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+P_o+E_{ss}$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+E_{ss}$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_a+P_o$$

f) 破坏

$$D_{weiR}+L_m+F_i+P_{mc}$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_m$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+Y_{jr}$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+T_o+P_m+E_{ss}$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+Y_{jr}+E_{ss}$$

$$D_{weiR}+L_m+F_i+Y_{jr}+E_{ss}$$

注：在上述符号中， $D$ 和 $L$ 的多重下标表示各下标所代表的荷载组合，例如 $D_{we}$ 代表 $D_e$ 加 $D_c$ 。

## 附 录 I

### （资料性附录）

### 非强制性预热规程

#### I.1 非强制性预热规程

##### I.1.1 引言

###### I.1.1.1 范围

此处所给出的预热温度是作为第IX卷所列P-No. 材料的通用导则，没有给出预热的具体规则，所建议的最低预热温度是非强制性的。焊接工艺规程应对所焊的材料按第IX卷焊接工艺评定的要求规定最低预热温度<sup>20)</sup>。

###### I.1.1.2 温度的保持

- a) 如果允许温度降低到焊道间预热温度以下，某些材料的焊接可能遇到困难。宜在焊件冷却到环境温度之前，保持预热温度或把焊缝加热到焊后热处理温度。
- b) 可以用适宜的方法来校核预热温度，如测温笔或热电偶高温计，以确保焊接过程中要求保持的预热温度。生产商或建造商在使用测温笔和测温片时应谨慎，因为某些金属在高温时可能被测温笔或测温片中的化学物质严重侵蚀。

##### I.1.2 黑色金属

###### I.1.2.1 预热温度

###### I.1.2.1.1 P-No. 1组

对于最高含碳量大于0.30%、厚度大于25mm的钢材，建议预热温度为80℃。该建议不适用于厚度小于等于13mm，连接不承受内压荷载零件的填角焊缝。对于本组中的其他材料，建议预热温度为10℃。

建议栓钉焊接温度不低于-18℃<sup>21)</sup>。当环境温度低于0℃时，建议每天在产品焊接开始时对栓钉焊接工艺进行试验。试验的做法是将两根栓钉弯曲至15°角，再恢复到原来位置。

###### I.1.2.1.2 P-No. 8组

对预热温度不作建议。

20) 本要求不适用于钢筋的电弧焊，对钢筋电弧焊的要求见H.1.5.6节。

21) 该温度-18℃不是指环境温度。而是指贴近焊缝的温度。环境温度可能低于-18℃，但在待焊部位的周围由加热的构件或保温罩可保持焊件邻近的温度不低于-18℃。

附 录 J  
(资料性附录)  
I 级和 II 级混凝土检查人员的取证

## J.1 引言

### J.1.1 取证大纲的目的

本附录的目的是为建造商和生产商在I级和II级混凝土检查人员培训、评定和取证时提供指南。职责、培训和评定的一致性有助于业主、检验责任工程师、管理机构以及独立团体简化审查过程。本附录内容组成是推荐性的和非强制性的。混凝土检查和试验人员取证大纲是指提供保证该人员具有相当的技术知识、技能和经验，能正确实施所要求的试验和检查。附录E给出了混凝土检查人员考核的规范要求。

### J.1.2 组织

整个大纲包括下列内容：

- a) 混凝土检查和试验人员的责任的描述；
- b) 履行指定职责所需要的知识和技能；
- c) 课堂培训规程和在岗培训规程的系统性阐述；
- d) 核查人员具有正确实施混凝土检查操作知识和技能可采用的方法；
- e) 混凝土检验责任工程师和试验人员的取证。

### J.1.3 实施

建造商或生产商负责对混凝土检验责任工程师和试验人员进行考核和取证。制定培训规程和取证规程，提供实施大纲所需要的人员资源，部件和服务等工作可委托其他机构执行。检查人员随其责任的加大，分为I级、II级和III级。I级、II级混凝土检查人员的考核和取证由III级混凝土检验责任工程师进行管理和控制。对于I级和II级混凝土检查人员的取证，III级混凝土检验责任工程师承担如下职责：

- a) 编制培训大纲；
- b) 编制评定大纲；
- c) 准备和进行考试；
- d) 混凝土检查和试验人员的取证。

建造商或生产商应实施培训大纲，对所属人员进行考试，对他们实施检查和试验的考核进行确认。建造商或生产商也可以让所属人员由其他单位在学校或训练班培训，然而，建造商或生产商承担取证的责任，并应由合格的III级混凝土检验责任工程师进行，该III级检验责任工程师可以是建造商或生产商的雇员或是与其签订合同的其他的雇员。

## J.2 I级混凝土检查技术员

### J.2.1 概述

I级混凝土检查技术员应具有混凝土检查和试验方面的经验，并良好地完成培训课程且通过考试。他应精通所用的试验装置，并能熟练使用这些装置。附录E对I级混凝土检查技术员在教育、经验和工作职能方面提出了规范要求。



## J. 2. 2 职责的分派和描述

因为不同的组织和建造项目会要求不同的功能组合，所以职责的分派是建造商或生产商的责任。课堂培训和在岗培训、评价和取证与所指派的职责相匹配是非常重要的。

### J. 2. 2. 1 职责的描述

提出对两种I级人员职责的描述：一种是钢筋材料技术员；另一种是混凝土材料技术员。

#### J. 2. 2. 1. 1 钢筋材料技术员

- a) 对用于混凝土结构的金属材料进行接收和储存的检查工作。这些材料包括钢筋、预埋件、机械连接组件、后张拉预埋件、后张拉锚固部件、金属零件、焊接材料及衬里板材料。
- b) 检查机械接头的安装，包括确定空隙率、扭矩值以及其他专门的准则。
- c) 进行钢筋拉伸和弯曲试验。
- d) 进行机械接头的拉伸试验。
- e) 对上述检查和试验结果编制报告。

#### J. 2. 2. 1. 2 混凝土材料技术员

- a) 对用于混凝土制品的材料进行接收和储存的检查工作。这些材料包括水泥、添加剂和骨料。
- b) 进行新浇混凝土的常规现场试验，如坍落度、含气量、单位重量、温度和试验圆柱体的制造。
- c) 对混凝土的修整、养护和修补进行检查。
- d) 进行常规的现场实验室试验，如级配、含水量和抗压强度。
- e) 对上述检查和试验结果编制报告。

## J. 3 II级混凝土检验责任工程师

### J. 3. 1 概述

II级混凝土检验责任工程师应具有混凝土检查和试验方面的经验，并良好地完成培训课程且通过考试；他应在检查和试验结果的审核和评定方面具有经验。他应能管理或由其他人员进行的检查和试验，能对试验装置进行标定或确定试验装置标定的有效性。他能熟练地制订计划和设定试验，并能确定试验结果的有效性。II级混凝土检验责任工程师也可在他取得资格的范围内执行I级混凝土检查技术员的职能。附录V对II级混凝土检验责任工程师在教育、经历和工作职能方面给定了规范要求。

### J. 3. 2 职责的描述

II级混凝土检验责任工程师在检查和试验方面的职责比I级混凝土检查技术员要复杂，要求他对规格书、规范、规程、文件、试验和检查报告作出评价和解释，他对I级人员的监督职责包括对I级混凝土检查技术员所编制的报告进行分析、审核和批准。

#### J. 3. 2. 1 职责的描述

II级混凝土检验责任工程师的四大职责：两个基本职责建议作为浇筑前检验责任工程师以及配料和浇筑检验责任工程师；两个专门职责建议作为预应力系统检验责任工程师和实验室试验员。

##### J. 3. 2. 1. 1 浇筑前检验责任工程师

- a) 对于预制和现场浇制混凝土，检查钢筋、预埋件、预应力承载板、钢束导管和喇叭管等的设置。
- b) 对于预制和现场浇制混凝土，检查建造缝、止水带和模板件。
- c) 编制和解释相关报告。
- d) 监督 I 级钢筋材料技术员的工作。

#### J.3.2.1.2 配料和浇筑检验责任工程师

- a) 检查场外或场内的混凝土配料站。
- b) 对于预制和现场浇制混凝土，检查混凝土浇筑设备、混凝土浇筑过程以及混凝土的凝固。
- c) 检查混凝土的结构修补。
- d) 编制和解释相关报告。
- e) 监督 I 级混凝土材料技术员的工作。

#### J.3.2.1.3 预应力系统检验责任工程师

- a) 检查预应力系统中的嵌入件、张拉、锚固和注防腐剂等工作。
- b) 编制和解释相关报告。

#### J.3.2.1.4 实验室试验员

- a) 进行专业的物理实验室试验，如混凝土收缩、徐变、配料试验和水泥的物理试验。
- b) 编制和解释相关报告。

### J.4 培训

#### J.4.1 概述

对I级和II级混凝土检查和试验人员的要求包括参加与工作职责有关的培训课程。课堂培训提供该项工作的内容和所需的知识，并通过在岗培训大纲进行补充，使学员获得为进行该工作所必需的完整实际技能。

##### J.4.1.1 课堂培训

课堂讲授应讲解大纲实施过程中有关质量保证的整体组织机构以及各职能机构的工作路径，如工程、采购、管理等。应对检查和试验人员在不符合项报告、文件控制、总体标定以及相关质量规程等方面进行培训。此外，培训教程还应包括与他们职责相关的规范要求，包括检验责任工程师的职责及其与混凝土检验责任工程师之间的关系。

#### J.4.2 推荐的课堂培训教程

本教程适用于所委派的试验和检验责任工程师的职责。按照对I级和II级检验责任工程师的阐述，推荐的课堂授课时数说明如下。这些授课时数是根据典型的培训时间和班级制定的，可按分班内容和具体委派职责的需要进行修改。推荐的课堂培训教程如下：

##### J.4.2.1 I级钢筋材料技术员（10至20小时的讲授）

###### J.4.2.1.1 引言

- a) 核电厂中混凝土的使用经验。
- b) 对用于反应堆和安全壳的混凝土的质量要求。
- c) 对混凝土要求进行的基本检查。

- d) 监管当局、业主、设计方、建造商、生产商和管理机构之间的关系。

#### J. 4. 2. 1. 2 金属材料的运输、接收和储存

- a) 材料试验报告和合格证书。
- b) 标志和标签。
- c) 运输受损。
- d) 文件编制。
- e) 检查要求。
- f) 储存要求。
- g) 过程中试验。
- h) 不符合项的处理规程。

#### J. 4. 2. 1. 3 机械接头的检查

- a) 端部加工后的清洁度。
- b) 对中度。
- c) 接头的组装。
- d) 接头组件完成后的检查。
- e) 要求进行的接头拉伸试验。

#### J. 4. 2. 1. 4 钢筋的电弧焊

当规定要进行钢筋的焊接时，培训教程应提供对焊缝的目视检测和对焊缝填充材料的控制。

#### J. 4. 2. 1. 5 报告

- a) 接收的检查报告。
- b) 接头组装报告。
- c) 拉伸试验报告。
- d) 校核清单或质量保证报告。

#### J. 4. 2. 2 I级混凝土材料技术员（20至40小时的讲授）

##### J. 4. 2. 2. 1 引言

- a) 核电厂中混凝土的使用经验。
- b) 对用于反应堆和安全壳的混凝土的质量要求。
- c) 对混凝土要求进行的基本检查。
- d) 监管当局、业主、设计部门、建造商、生产商和管理机构之间的关系。

##### J. 4. 2. 2. 2 混凝土材料的运输、接收和储存

- a) 材料试验报告。
- b) 标志和标签。
- c) 运输受损。
- d) 文件编制。
- e) 检查要求。
- f) 储存要求。

- g) 过程中试验。
- h) 不符合项的处理规程。

#### J. 4. 2. 2. 3 新浇混凝土的现场试验

- a) 取样。
- b) 坍落度试验。
- c) 含气量。
- d) 单位重量。
- e) 混凝土圆柱体的制备、保养和储存。
- f) 温度。

#### J. 4. 2. 2. 4 实验室试验

- a) 取样。
- b) 筛选分析。
- c) 含水量。
- d) 有害物质。
- e) 比重。
- f) 混凝土圆柱体的抗压强度及其养护。
- g) 钢筋的拉伸试验（也可以是钢筋材料技术员的职能）。

#### J. 4. 2. 2. 5 浇筑后的工作

- a) 修整。
- b) 修补。
- c) 养护。

#### J. 4. 2. 2. 6 报告

- a) 接收的检查报告。
- b) 新浇混凝土报告。
- c) 实验室报告。
- d) 浇筑后报告。
- e) 校核清单和质量保证报告。

### J. 4. 2. 3 II级配料和浇筑检验责任工程师（20至40小时的讲授）

#### J. 4. 2. 3. 1 引言

- a) 对混凝土、建造技术规格书和建造报告的规范要求。
- b) 基本检查计划、规程和校核清单。
- c) 授权检查机构和检验责任工程师的职责。
- d) 与检验责任工程师检查的协调。

#### J. 4. 2. 3. 2 混凝土的配料

- a) 水分补偿和配合比的调整。
- b) 材料的储存和运送。
- c) 材料的配制和称重。

- d) 坍落度、含气量和温度的控制。
- e) 文件编制。

#### J. 4. 2. 3. 3 混凝土的运输和浇筑

- a) 运输设备。
- b) 浇筑设备。
- c) 混凝土浇筑。
- d) 混凝土凝固。
- e) 初期养护。

#### J. 4. 2. 3. 4 混凝土的结构修复

- a) 探测要修复的部位。
- b) 除去不符合的材料。
- c) 表面处置。
- d) 混凝土浇筑和养护。

#### J. 4. 2. 3. 5 对I级检查员的监督职责

- a) 混凝土材料技术员的职责。
- b) 文件编制和报告审核。
- c) 在岗培训。

#### J. 4. 2. 3. 6 报告

- a) 校核清单或质量保证报告。
- b) 配料厂称重计量表。

#### J. 4. 2. 4 II级浇筑前检验责任工程师（10到20小时的讲授）

##### J. 4. 2. 4. 1 引言

- a) 对钢筋系统、建造技术规格书和建造报告的规范要求。
- b) 基本检查计划、规程和校核清单。
- c) 授权检查机构和检验责任工程师的职责。
- d) 与检验责任工程师检查的协调。

##### J. 4. 2. 4. 2 钢筋系统

- a) 钢筋的钢材、规格、等级、间距和接头位置。
- b) 预埋件。
- c) 预应力系统承载板、喇叭管和钢束导管。

##### J. 4. 2. 4. 3 模板

- a) 对中度、尺寸、支撑和临时顶撑。
- b) 施工缝、止水带和连结点细节。
- c) 清洁度和脱模。

#### J. 4. 2. 4. 4 对I级检查员的监督职责

- a) 钢筋材料技术员的职责。
- b) 文件编制和报告审查。
- c) 在岗培训。

#### J. 4. 2. 4. 5 报告

- a) 校核清单或质量保证报告。
- b) 浇筑前报告。

#### J. 4. 2. 5 II级预应力系统检验责任工程师（20至40小时的讲授）

##### J. 4. 2. 5. 1 引言

- a) 对预应力系统、建造技术规格书和建造报告的规范要求。
- b) 基本检查计划、规程和校核清单。
- c) 授权检查机构和检验责任工程师的职责。
- d) 与检验责任工程师的协调。

##### J. 4. 2. 5. 2 预应力系统

- a) 背景知识和理论。
- b) 系统的比较。
- c) 组件。

##### J. 4. 2. 5. 3 现场操作和检查

- a) 嵌入件。
- b) 锚固部件的装配。
- c) 预应力施加。
- d) 注防腐剂。
- e) 除锈。
- f) 灌浆。

##### J. 4. 2. 5. 4 文件编制

- a) 钢束记录卡和标识。
- b) 应力—应变记录。
- c) 校核清单或质量保证报告。
- d) 摩擦—延伸率。

#### J. 4. 2. 6 II级实验室试验员（20至60小时的讲授）

##### J. 4. 2. 6. 1 引言

- a) 对混凝土的规范要求。
- b) 授权检查机构和检验责任工程师的职责。
- c) 建造商和生产商的监查责任。
- d) 标定、文件编制和可追溯性。
- e) 报告编制。

以下是可能在实验室进行的部分试验项目，培训教程应覆盖这些进行的试验。

#### J. 4. 2. 6. 2 使用硫酸钠或硫酸镁作骨料的致密性标准试验方法（GB/T 14685）

- a) 范围和仪器设备。
- b) 取样和样品的制备。
- c) 规程。
- d) 定量检测和报告。

#### J. 4. 2. 6. 3 用洛杉矶磨耗试验机测定小规格粗骨料的抗磨性和抗冲击性的标准试验方法（JTG E42）

- a) 范围和仪器设备。
- b) 试样和磨料的变化。
- c) 规程。
- d) 计算和报告。

#### J. 4. 2. 6. 4 硬化水泥浆和混凝土长度变化测定的标准试验方法（GB / T 50082）

- a) 范围和仪器设备。
- b) 试样的混合和制模。
- c) 试样的养护和储存。
- d) 试样的测定和报告。

#### J. 4. 2. 6. 5 水泥—骨料混合物的潜在碱活性反应的标准试验方法（水泥浆棒法）（GB/T 14684和GB/T 14685）

- a) 范围和仪器设备。
- b) 试样的混合和制模。
- c) 试样的储存和测量。
- d) 检测和计算。
- e) 可重复性、解释和报告。

#### J. 4. 2. 6. 6 集料潜在碱活性反应的标准试验方法（化学法）（GB/T 14684和GB/T 14685）

- a) 范围和仪器设备。
- b) 试样的选择和制备。
- c) 溶解硅的重量测定法。
- d) 溶解硅的光度测定法。
- e) 碱度的降低。
- f) 可重复性、解释和报告。

#### J. 4. 2. 6. 7 静态弹性模量和泊松比

- a) 范围和仪器设备。
- b) 规程和精度。
- c) 计算和报告。

#### J. 4. 2. 6. 8 实验室的试验配料

- a) 范围和仪器设备。
- b) 骨料含水量的控制。
- c) 试样的混合和制模。
- d) 试样的养护和储存。
- e) 试验和报告。

#### J. 4. 2. 6. 9 水泥的物理试验

- a) 细度。
- b) 凝固时间。
- c) 空气含量。
- d) 强度。
- e) 安定性。
- f) 可选的物理要求。

#### J. 4. 2. 7 粉煤灰和火山灰的物理试验

- a) 细度。
- b) 烧失量。
- c) 火山灰活性指数。
- d) 水泥浆棒的干缩。
- e) 均匀性要求。
- f) 与水泥碱的反应性。

#### J. 4. 3 在岗培训

在岗或实验室的培训大纲使人员学到工作所需的实际技能和知识。培训期间的人员只能在I级或II级有证检查员在工作现场直接监护下进行试验或检查。该有证检查员应编写并签署培训人员所进行的有关试验和检查报告。每位报考者在岗培训实际的长短由III级混凝土检验责任工程师决定。

### J. 5 评定

#### J. 5. 1 评定

评定应包括笔试、操作演示（如果可能）、接受教育和经历的审核以及定期操作评定。

#### J. 5. 2 考试

规范要求所有的检查员在取得证书之前都要通过考试。应保存考试和试验结果的证件。对I级和II级检查员考试的充分性是持证的III级混凝土检验责任工程师的责任。如果可能建议评定内容应包括常规问题、特殊问题和操作演示。

##### J. 5. 2. 1 常规问题

常规问题应从课堂教程的作业中选取，并应反映出本文件、行业其它标准，以及典型建造实践方面的知识。常规问题包括理解试验、检查目的和评定所需的基础知识。

##### J. 5. 2. 2 特殊问题



特殊问题应从I级或II级检查员人员所进行的实际试验和检查工作中选取。该项考试应以操作和试验规程为依据，重点放在正确进行试验和检查所需的知识方面。

### J. 5. 2. 3 技能演示

技能演示（如果可能）用于确定报考者操作试验装置的能力和进行要求的检查能力。演示的目的是评定报考者在试验或检查中实际动手的技能。演示可在模拟的环境中或在工作现场进行。演示的评分是将试验分为详细的步骤或各个部分，再评定报考者每一步的技能。通常一个典型的试验或检查至少可分为十个步骤来评分。

### J. 5. 3 评定范围

选择问题和准备考试是III级混凝土检验责任工程师的责任。他应该管理并组织考试和技能演示。考试评分和考试时间长短与委派的职责和责任范围有关。对于I级考试，建议分配比例为常规问题占20%，特殊问题占30%以及技能演示占50%。对于II级考试，可以减少技能演示的百分比，增加常规问题和特殊问题的百分比。建议对任何评定，技能演示所占的百分比不超过总分的50%，总的及格分数线宜划在70分，而单科分数都不低于60分。

5.2节和6.2节描述的典型考试可包括40道常规问题闭卷选择题、30道特殊问题开卷选择题和两个以上技能演示。典型考试的常规问题和特殊问题部分的考试时间要求不超过2小时，实际操作演示不超过2小时。

### J. 5. 4 典型问题

为了说明典型的评定，对I级混凝土材料技术员提供四个样板问题。

#### J. 5. 4. 1 常规问题

##### J. 5. 4. 1. 1 除去防冻保护物后，混凝土应：

##### J. 5. 4. 1. 2 允许迅速冷却；

- a) 防冻；
- b) 允许逐渐冷却；
- c) 保持7天湿润。

##### J. 5. 4. 1. 3 大体积混凝土热天规定要洒水养护而不用其他方法，这是因为它能：

##### J. 5. 4. 1. 4 提供迅速养护；

- a) 防止表面干燥；
- b) 增加表面硬度；
- c) 有助于散发水化热。

#### J. 5. 4. 2 特殊问题

##### J. 5. 4. 2. 1 在4℃以上天气使用常规的混凝土混合料，混凝土的养护最低限度应为：

##### J. 5. 4. 2. 2 薄膜养护5天；

- a) 保持潮湿状态7天；
- b) 喷水养护4天；

- c) 保持潮湿状态 14 天。

J. 5. 4. 2. 3 混凝土板最后阶段，镟平和抹光作业应在下列条件下进行：

J. 5. 4. 2. 4 在板表面有水光泽时；

- a) 刮平作业后至少 7 小时；
- b) 板的硬度能承受人的足踢而没有明显的损坏；
- c) 水光泽消失，板能承受人足而仅有轻微的印记。

J. 5. 4. 3 技能演示

- a) 按 GB/T 50080 的要求进行新浇混凝土的单位重量试验。
- b) 按 GB/T 50080 的要求进行坍落度试验。

## 附 录 K

### （资料性附录）

### 衬里的尺寸公差

#### K.1 衬里的尺寸公差

##### K.1.1 范围

这里给出的尺寸公差是建造衬里的通用导则。这些公差是按典型衬里确定的，即直径45.7m、高45.7m、有半球形穹顶的圆筒形壳体的衬里。对其他形状或尺寸有显著不同的衬里则应另作考虑。对目视有较大偏差，且不在本附录所建议的检查点区域内的衬里，也应进行检测。

##### K.1.2 圆筒形衬里

###### K.1.2.1 概述

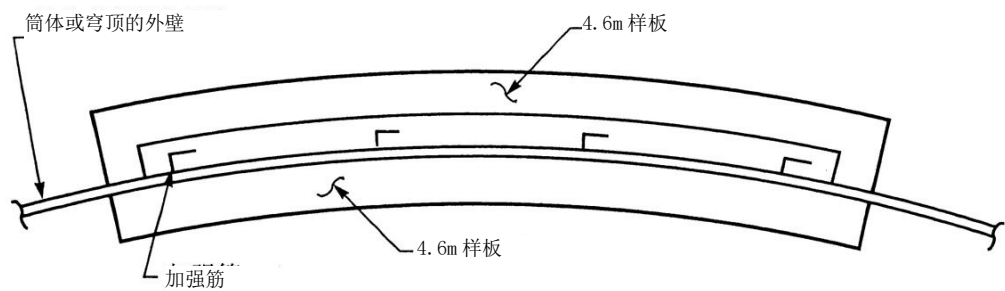
测量点上下的环焊缝焊接工作完成后，并在该段衬里支承钢筋或模板以前，要对衬里进行测量。直圆筒衬里的尺寸公差见L.1.2.2节和L.1.2.3节的规定。

###### K.1.2.2 总尺寸

- a) 按规定的标高增量，筒体实际半径和理论半径之差不得超过 75mm 或半径的  $\frac{1}{300}$ ，两者中取较大者。半径应从理论的实际垂直中心线或从某一偏心点测量。可对每段圆筒每隔约  $30^\circ$  ( $0.82\text{rad}$ ) 测量其半径以满足上述要求。测量点之间的垂直距离不宜超过 3.6m。可在圆筒形衬里段高度中心的  $\frac{1}{3}$  范围内进行测量以满足该要求。
- b) 圆筒起拱线上测量点的平均标高与圆筒起拱线的理论标高之差不宜超过 75mm 或高度的  $\frac{1}{600}$ ，两者中取较大值，测量点的间隔大约为  $30^\circ$  ( $0.82\text{rad}$ )，而且这些测量点应分布在相距不超过 25mm 的两个水平面之间。
- c) 单块衬里板的垂直度偏差在 3.0m 范围内不宜超过 50mm。可在圆筒段上每隔约  $30^\circ$  ( $0.82\text{rad}$ ) 进行测量以满足该要求，测量点之间的垂直距离不宜超过 3.6m。

###### K.1.2.3 局部尺寸

- a) 应对圆筒衬里与按理论半径弯曲的 4.8m 长的样板之间的间隙进行测量，测量时样板水平放置并紧贴筒体表面。在垂直方向上以不超过 3.6m 的增量对整个圆周进行测量。可对每段圆筒测量一组数值以满足该要求。当样板离焊缝的距离不小于 300mm 时，单段样板内的间隙不应超过 25mm；当样板离焊缝的距离小于 300mm 时，间隙不应超过 48mm。应按图 L.1 所示进行测量和记录。
- b) 衬里筒体与垂直放置并紧贴衬里的直尺之间的间隙不应超过 25mm。直尺的长度应是圆筒衬里段的高度减去 0.6m，不得跨越焊缝进行测量。可在圆筒段每隔约  $30^\circ$  ( $0.82\text{rad}$ ) 进行测量以满足该要求。应按图 L.1 所示进行测量和记录。



总注：  
记录测得的超差部分，如没有超差，则记录样板位置的最大偏离。

图L. 1 按N. 1. 2. 3节要求局部尺寸的测量

K. 1. 3 穹顶衬里

K. 1. 3. 1 概述

本分章所述的尺寸公差是在支承钢筋或模板以前穹顶最终形状的尺寸公差。建议在安装时，校核环焊缝的标高和径向位置，以确保穹顶的最终尺寸在公差范围内。

K. 1. 3. 2 总尺寸

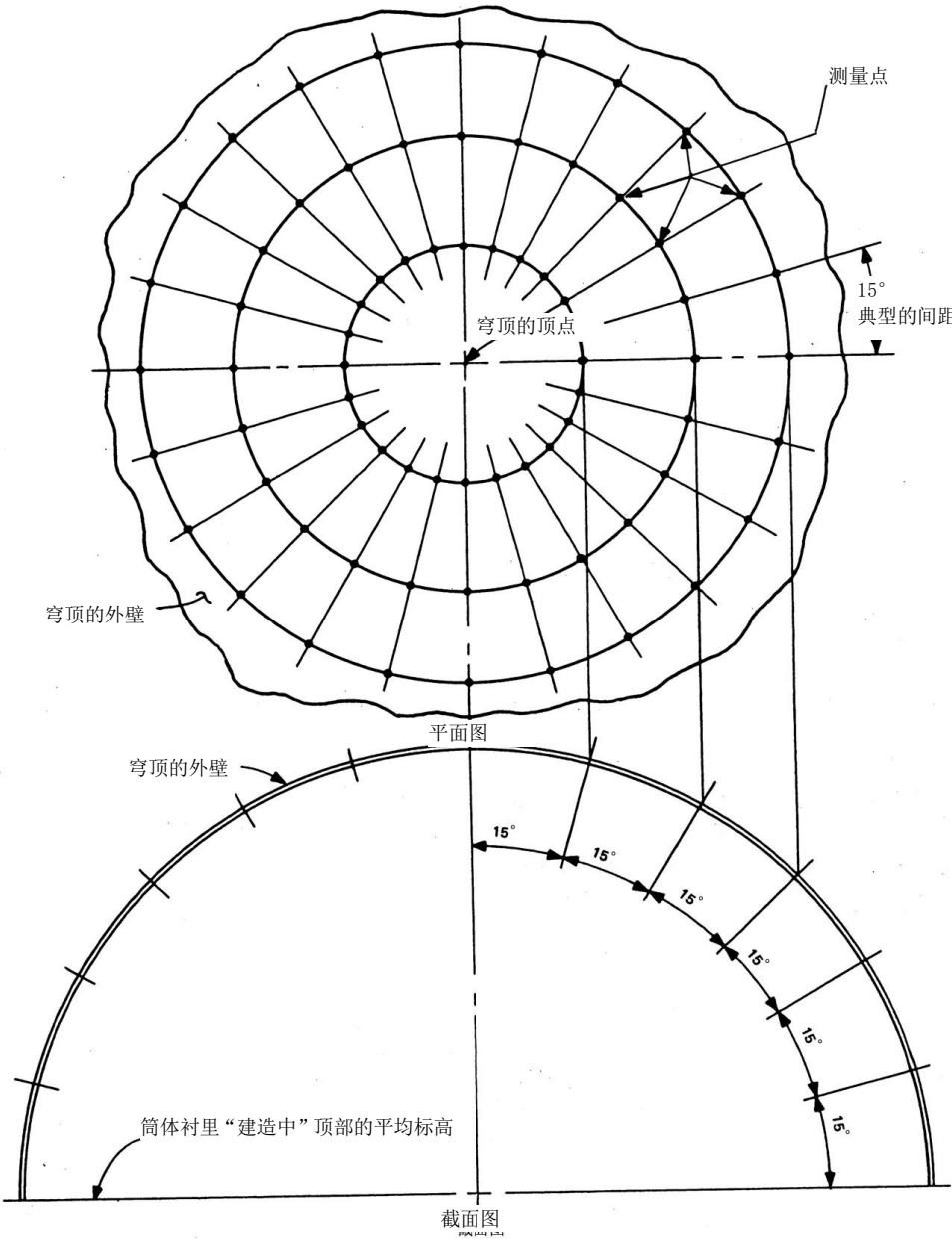
穹顶的实际位置与理论位置之差不应超过150mm。穹顶水平位置的测量应相对已建成的筒体衬里顶部中心线进行；穹顶垂直位置的测量应相对已建成的筒体衬里顶部的平均标高进行。

如图L. 2剖面图所示，应以15°（0.26rad）为间隔进行测量，以满足该要求。在平面上以约15°（0.26rad）为间隔进行测量（见图L. 1），但间隔不要求小于4.8m。

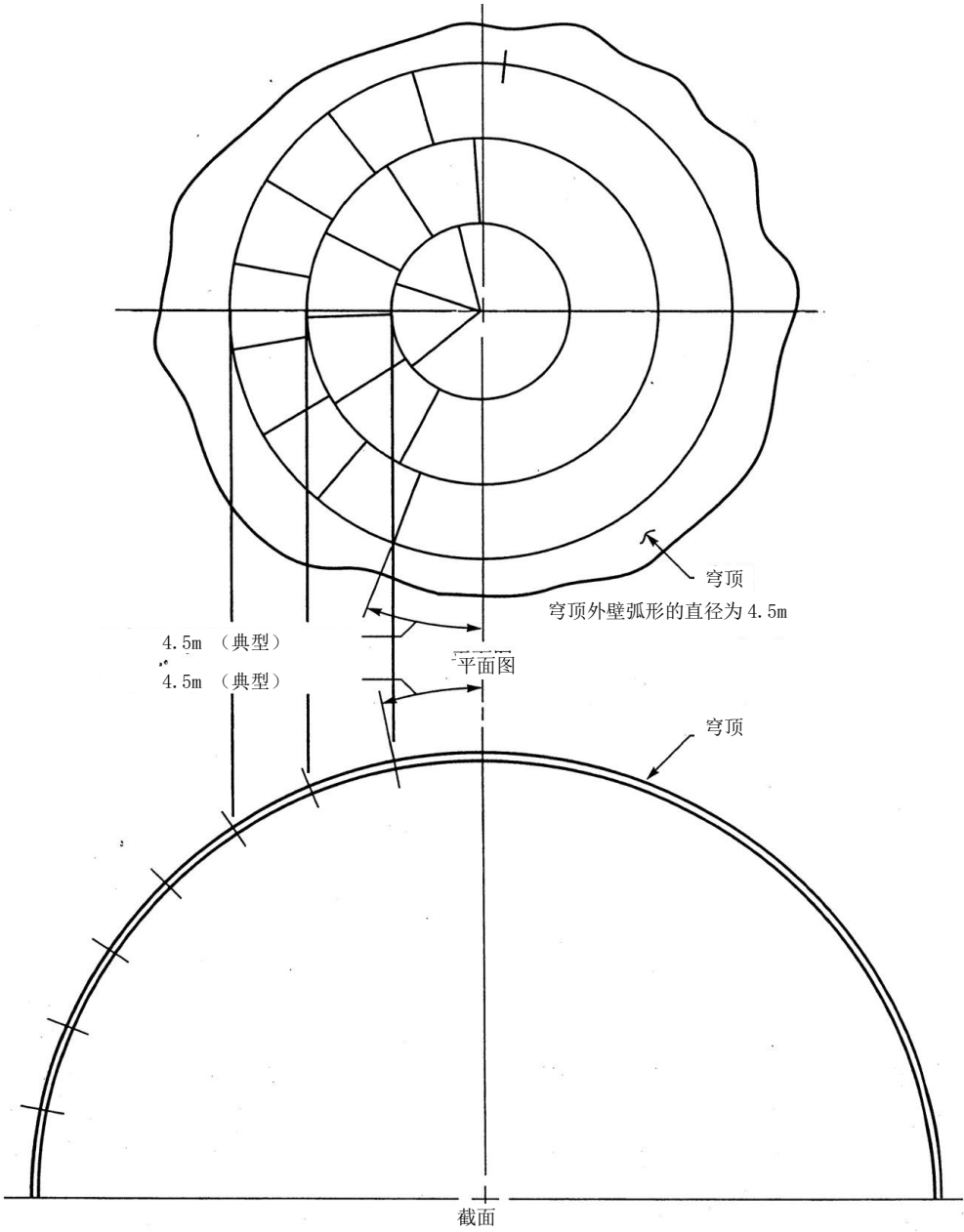
K. 1. 3. 3 局部尺寸

应对筒体与按理论半径弯曲的4.8m长的样板之间的间隙进行测量，测量时样板与筒体垂直放置（见图L. 1）。当样板离焊缝的距离不小于300mm时，单段样板内的间隙不应超过25mm；当样板离焊缝的距离小于300mm或跨越焊缝时，间隙不应超过48mm。对每个21m<sup>2</sup>表面区域，应至少用一个径向样板和一个水平样板进行校核。建议采用图L. 3所示放置样板的方法。应按图L. 1所示方法进行测量和记录。

如建造中采用地面组装，则可考虑在组装完成后在地面上进行测量。只要测量点在连接各组件的焊缝处。



图L.2 按N. 1. 3. 2节要求的测量点



图L.3 按N.1.3.3节要求的测量点

## 附 录 L

### （资料性附录）

### 经确认的衬里材料试验报告

#### L.1 衬里材料试验报告

##### L.1.1 引言

对材料试验报告的要求见下列a)~h)条。然而，对材料的要求随建造等级、材料产品形式、材料技术规格书的要求和生产商的工艺而不同。由于规范增补或新版可能对某些要求有变更，买方和供方要了解适用的版本和增补中的要求是重要的，因此把报告的结果与这些要求作比较，以确定材料是否符合规范的要求。

a) 合格材料试验报告应包括所有要求的化学分析、试验和检测的实际结果。

b) 当要求的化学分析（包括熔炼分析）、热处理，试验、检测、或修理被分包时，批准的上述分包服务提供者应提供其操作证明，并作为合格材料试验报告的附件。如果要求维持可追踪性的化学分析、热处理、试验、检测或修理之外的工序被分包，合格分包商及其分包工序应列于合格材料试验报告，或将合格分包商的证明附于合格材料试验报告。

c) 合格材料试验报告也应包括按本文件要求在材料上进行的所有焊接修理的报告。材料修理焊缝检测的射线照片应作为合格材料试验报告的一部分，而焊接材料试验所要求的射线照片除外。

d) 当材料技术规格书对热处理的时间或温度（或温度范围）有专门要求时，则应提供热处理时间或温度的报告。对奥氏体不锈钢和高镍合金给出固熔退火的最低温度是热处理的充分说明。当材料技术规格书对时间和温度（或温度范围）没有专门要求时，应说明热处理条件的类型。此外，按本文件制作要求所做的材料修复焊缝的焊后热处理次数和温度，应予报告。

e) 本条既不要求也不禁止实际尺寸和目视检测结果的报告。

f) 不要求对合格材料试验报告作公证。

g) 对公称管道尺寸DN20mm及以下的材料（管道、配件、法兰、阀门和管子材料，除热交换器外）和DN25mm及以下的螺栓材料，符合材料的规格、级别、类别和热处理条件要求的合格证书可代替合格材料试验报告。

h) 如适用，材料识别应在合格材料试验报告或合格证书中描述。不要求将炉号或批号追踪到合格证书。

##### L.1.2 要求的一般资料

材料试验报告对用于本文件建造的材料（见第5章的规定）要求提供下列项目的资料：

- a) 材料生产商的名称，或者材料生产商和材料供货商联合体的名称；
- b) 如果生产商或供货商是民用核设施营运单位，则提供材料生产商和材料供货商质量体系证书的编号和有效期；
- c) 买主的订货单或合同编号；
- d) 材料的描述，包括材料规格号、材料级别、类别、型号和公称尺寸。对于技术规格书中包含无缝管道和焊接管道制造，报告中应注明管道的型号。
- e) 对材料识别标志的描述（本文件 5.5.4）；
- f) 当材料技术规格书有要求时，提供化学分析的结果；

- g) 当材料技术条件有要求时,提供拉伸试验的结果,至少包括抗拉强度和屈服强度(或屈服点)。
- h) 按 5.5.3.3.4.6、5.5.3.4.4 或 5.5.3.7.8.6 节的要求,提供焊缝修补的报告,如要求进行射线照相检测,则包括射线照相底片;
- i) 当 5.5.2.1 节要求试验时,提供按 5.5.2.3 或 5.5.2.4 节的要求进行的 V 形缺口 ( $C_V$ ) 或落锤试验的结果。当要求做 V 形缺口冲击试验时,报告中应包括试验温度、吸收能量、横向膨胀、剪切百分比,以及所用试样的部位和取向;当要求做落锤试验时,报告中应包括试验温度、所用试样的类型、部位和取向,以及试验的结果(断裂或不断裂)。
- j) 按 5.5.3 节的要求所进行的无损检测和验收活动。

### L.1.3 特殊情况下要求的资料

特殊情况下要求提供的资料:

- a) 按 M.1.1 的要求提供热处理数据:
  - 1) 当材料技术规格书对热处理的温度和时间有要求时,提供热处理温度(或温度范围)和保温时间;
  - 2) 当材料技术规格书对热处理的温度(或温度范围)和时间没有要求时,提供热处理条件;
  - 3) 当材料技术规格书有要求时,提供奥氏体不锈钢和高镍合金的最低固溶退火温度;
  - 4) 当 5.5.3.3.4.5 节的要求焊后热处理时,提供材料补焊后的焊后热处理有关温度范围、实际保温时间以及加热和冷却速率的记录;
  - 5) 当 5.5.3.4.4 和 5.5.3.7.8.5 节要求焊后热处理时,提供材料补焊后的焊后热处理有关温度范围和实际保温时间的记录;
  - 6) 当 5.5.2.6 节有要求时(仅适用于有关章节),提供有关试件温度和实际保温时间的记录;
- b) 当材料技术规格书要求做水压试验时,提供水压试验压力;如果推迟试验,则作出未进行水压试验的符号;
- c) 按 5.6.1.3.3 节的要求,提供所有 A-8 焊接材料的铁素体值,16-8-2 型材料除外;
- d) 当规定金属材料为细晶粒度时,应按 GB/T 14415 的要求报告晶粒度;
- e) 下列 2 项所述的其他试验和试验结果:
  - 1) 当材料技术规格书有要求时,应提供其他试验(如硬度试验和锥筒剥落试验)的定量结果;
  - 2) 应提供按材料技术规格书所进行的和可接受的试验(如弯曲试验、展平试验、扩口试验、卷边试验等);
- f) 对焊接材料,除以上相应章节所述外,应按 5.2.6 节的要求报告焊接工艺、预热温度和层间温度、化学分析类型(填充材料和/或未稀释焊缝金属)、保护气体成分以及铁素体值。

### L.1.4 编制

材料技术规格书和规范的所有要求不必由同一机构实施。因此报告可以由几个机构共同编制,在报告中各机构对其负责的项目作出标识。



附 录 M  
(资料性附录)  
钢筋加工和放置公差

## M.1 钢筋加工和放置公差

### M.1.1 范围

这里给出的尺寸公差是对钢筋加工和放置的通用导则。在确定建造技术规格书的公差要求时，这些公差是对钢筋加工、放置、混凝土浇筑和模板件公差编制的指导和提供进一步的考虑意见。

### M.1.2 加工公差

#### M.1.2.1 概述

这里提供的加工公差是工业标准。设计方在制订建造技术规格书中的加工公差时，应考虑结构中钢筋的配置和位置。

#### M.1.2.2 直径10mm~36mm钢筋的加工公差

直径10mm~36mm钢筋的加工应满足图N.1所示弯曲型钢筋的公差要求。

#### M.1.2.3 直径40mm~50mm钢筋的加工公差

直径40mm~50mm钢筋的加工应满足图N.2所示弯曲型钢筋的公差要求。

### M.1.3 放置公差

#### M.1.3.1 概述

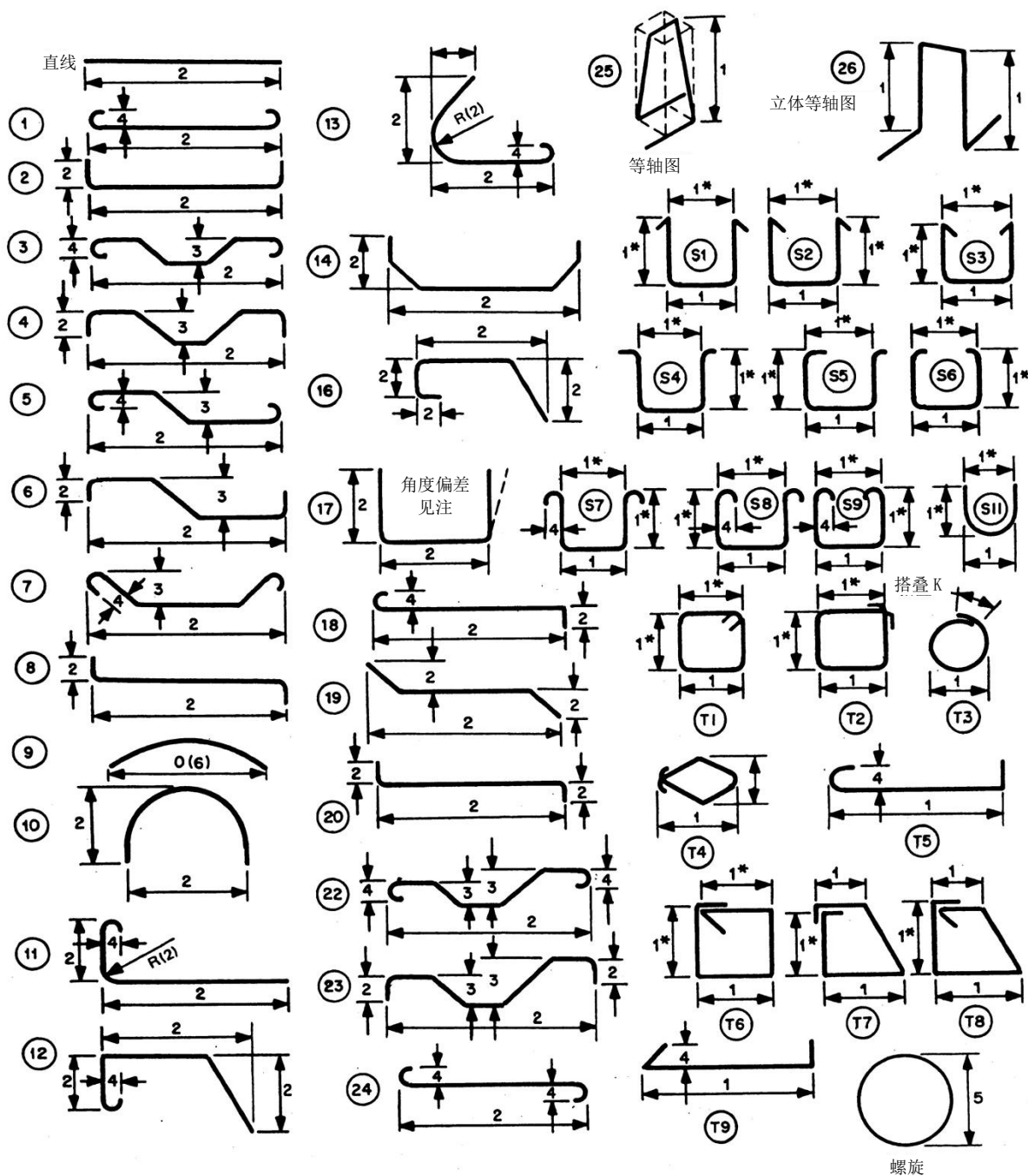
应对钢筋的放置进行控制，以保证满足设计要求。钢筋的数量应适当，使钢筋能承受荷载而混凝土能正常浇筑和捣固。这里提出的要求应认为是导则。在制订建造技术规格书时还应考虑具体的设计要求。

#### M.1.3.2 钢筋位置

- a) 除下面 b) 和 c) 所述外，钢筋的放置公差应在设计图纸所示钢筋间距的正负二分之一的范围内。对任一批钢筋（长度不超过筒体段厚度），应提供设计所要求的钢筋总量（见图 N.3）。
- b) 截面有效高度  $d$  的减少不得超过  $0.05d$  或 50mm。
- c) 钢筋与钢衬里之间的净距离不得小于 50mm。

#### M.1.3.3 钢筋间距

可接受的间距公差可以随结构的外形和尺寸、钢筋的布置和混凝土骨料的最大尺寸而不同。可接受的公差应能确保混凝土正常浇筑和捣固，以及考虑N.1.3.2节中的设计要求。



图N.1 10mm钢筋至35mm钢筋的标准加工公差

注:

总的剪公差和弯曲公差通常被弯曲钢筋在最后弯制过程中的伸长所吸收。

角度偏差: 对于所有90°弯钩和弯头, 最大为 $\pm 2\frac{1}{2}$ 度或 $\pm 38\text{mm}/305\text{mm}$ , 钢筋两头锯截公差为总长度 $\pm 13\text{mm}$ 。

所有公差在一个平面内, 如图所示。

S1—S9, T1—T9型的公差仅用于直径10mm~16mm的钢筋。

公差符号:

1 = 12mm, 14mm, 16mm钢筋:  $\pm 13\text{mm}$  [总长 $< 3.66\text{m}$ ]

= 12mm, 14mm, 16mm钢筋:  $\pm 13\text{mm}$  [总长 $\geq 3.66\text{m}$ ]

=20mm, 22mm, 25mm钢筋:  $\pm 25\text{mm}$ .

2  $=\pm 25\text{mm}$

3  $=\pm 0\text{mm}$ ,  $-13\text{mm}$

4  $=\pm 13\text{mm}$

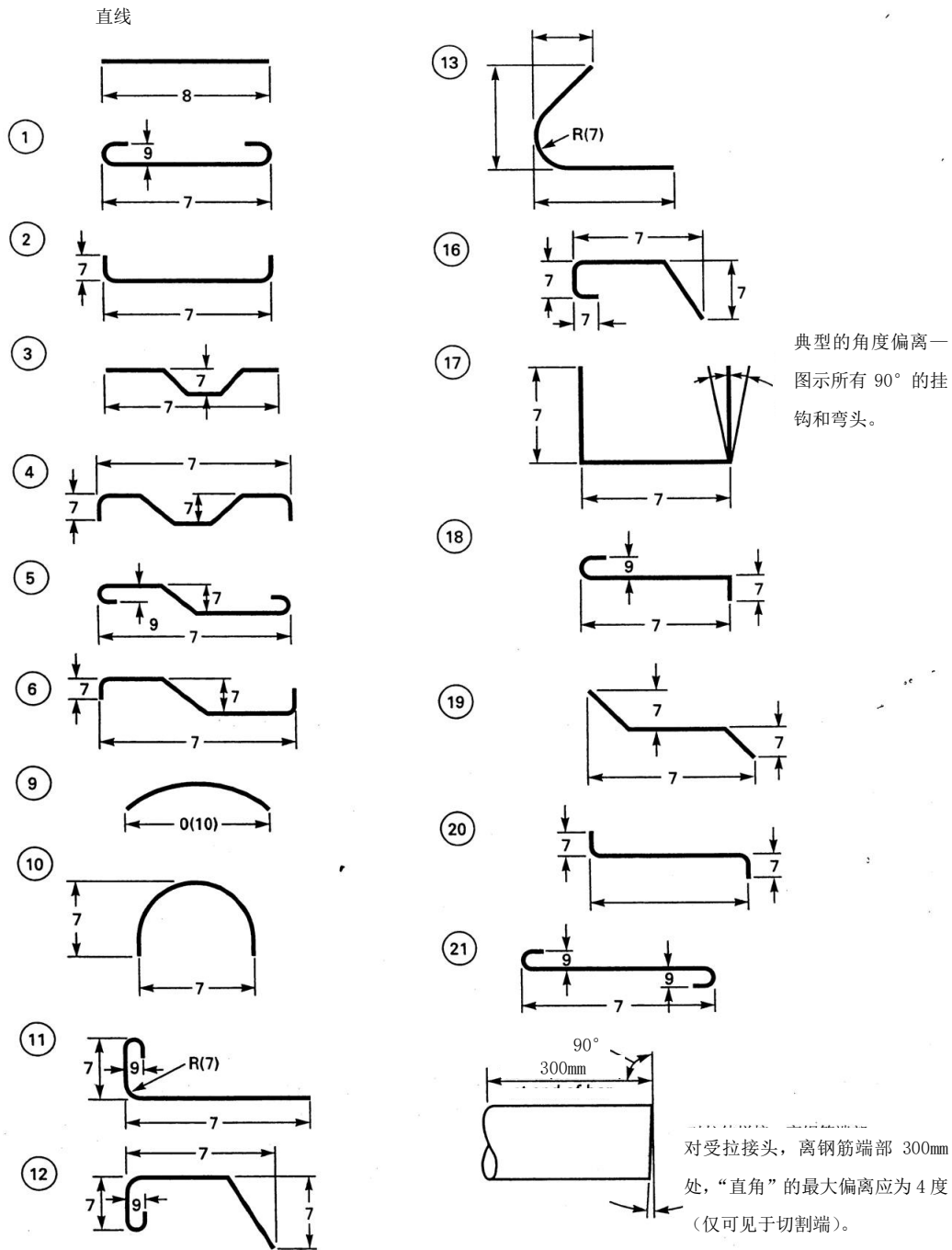
5 =直径 $\leq 750\text{mm}$ 时, 为 $\pm 13\text{mm}$

=直径 $> 750\text{mm}$ 时, 为 $\pm 13\text{mm}$

6= $\pm 1.5\% \times 0$ 的尺寸, 最小 $\pm 50\text{mm}$  \*, \*

\* 该线上的尺寸在所示的公差范围内, 但与对面的平行尺寸相差不大于 $13\text{mm}$

\*\* 如果正公差用于9型将导致弦长等于或大于弧长或钢筋长度, 则该钢筋可直的装运。



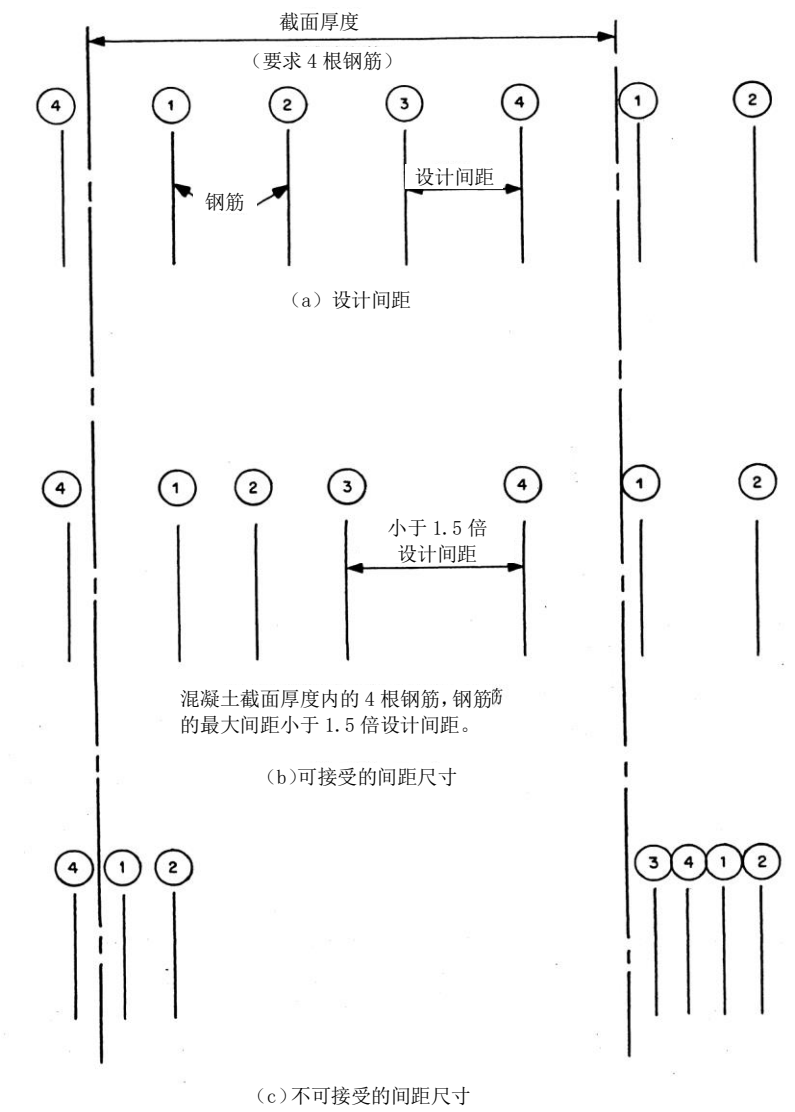
图N. 2 43mm和57mm钢筋的标准加工公差

注：（a）公差符号

	43mm	57mm
7=正或负	60mm	90mm
8=正或负	50mm	50mm
9=正或负	40mm	50mm
10=±2%×0 的尺寸	最小≥±60mm *	最小≥±90mm *

（b）角度偏差：对于所有90°弯钩和弯头，最大为±2 1/2°度或0±13mm/300mm。

\* 钢筋两端锯截公差：总长±13mm。



图N.3 钢筋的位置