

# 团 体 标 准

T/CNEA XXXX—XXXX

代替 GB/T

## 压水堆承压部件 设计与制造 第 5 部分：支承件

Code for PWR pressure boundary components Design and fabrication

Part 5: Supports

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：2020.08.10）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国核能行业协会 发布



目 次

前言 ..... II

引言 ..... III

1 范围 ..... 4

2 规范性引用文件 ..... 4

3 术语和定义 ..... 4

4 引言 ..... 7

5 材料 ..... 15

6 设计 ..... 33

7 制作和安装 ..... 99

8 检测 ..... 113

附 录 A （规范性附录） 单角钢构件的设计 ..... 120

附 录 B （规范性附录） 能量吸收支承材料 ..... 128

附 录 C （资料性附录） 结构螺栓预加载 ..... 130

附 录 D （资料性附录） 板型、壳型及线型支承的设计许用应力 ..... 135

参考文献 ..... 140

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 的规定起草。

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 5 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、核工业标准化研究所、苏州热工研究院有限公司。

本文件起草单位：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、哈电集团（秦皇岛）重型装备有限公司、东方电气（广州）重型机器有限公司、二重（德阳）重型装备有限公司、上海电气核电集团有限公司、中广核工程有限公司、中国核动力研究设计院。

本文件主要起草人：梁兵兵、余权舟、丁凯、李晨、祁涛、王弘昶、姚俊俊、赵冠楠、杨铁成、詹乐昌、邓瑞源、孟巍、李亭、郑建能、苏明星、梁信镇、余纪成。

本文件为首次发布。

## 引 言

T/CNEA XXXX《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5部分：支承件

## 1 范围

本标准规定了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。  
本标准适用于压水堆核电厂支承件。

## 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。

T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求  
T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件  
T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第3部分：2、3级部件  
T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第4部分：钢制安全壳及贯穿件  
T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第6部分：堆芯支承结构  
T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第7部分：混凝土安全壳  
T/CNEA XXXXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则

## 3 术语和定义

××××××界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 术语

#### 3.1.1 总的考虑

- a) 在下列 3.1.2 至 3.1.17 各项中，对板壳型支承件、线型支承件和标准支承件应力分析法设计时共同的术语作了定义。
- b) 3.1.18 对板壳型支承件应力分析法设计中专用的术语作了定义。

#### 3.1.2 一次应力 (Primary Stress)

一次应力是由施加载荷产生的任何法向应力或剪应力，它是为了满足外部和内部的力和力矩的平衡法则所必需的。一次应力的基本特征是非自限的。一次应力大大超过屈服强度限 $S_y$ 时会引起失效，或至少会引起总体变形。一次膜应力分成总体膜应力和局部膜应力。总体膜应力是支承件中这样分布的应力，当屈服时，支承中不会引起载荷的重新分配。一次应力的例子是：

- a) 圆筒形壳体或球壳上由内压或分布载荷产生的总体薄膜应力；
- b) 悬臂梁中由法向载荷引起的弯曲应力。为评估的目的，因自由端位移受到约束[6.1.1.1e)] 和管道锚固件运动[6.1.1.1f)] 而引起的支承件内的应力也认为是一次应力。

#### 3.1.3 二次应力 (Secondary Stress)

二次应力是由相邻材料的约束或结构本身的约束而产生的法向应力或剪应力。二次应力的基本特征是自限的。局部屈服和微小变形能满足产生这种应力的条件，且这种应力的一次作用时不会造成失效。二次应力的一个例子是总体结构不连续处的弯曲应力。

#### 3.1.4 峰值应力 (Peak Stress)

峰值应力是由于包括应力集中效应（如果有的话）在内的局部不连续或局部热应力而附加在一次应力加二次应力的和上的应力增量。峰值应力的基本特征是它并不引起任何明显的变形，只是在其可能成为疲劳裂纹或脆性断裂的起因时才是有害的。非高度集中的应力如果不能产生明显的变形，则归为峰值应力。本标准不要求对支承件中的峰值应力进行评定。

#### 3.1.5 法向应力 (Normal Stress)

垂直于参考面的应力分量称为法向应力，法向应力也称为正应力。法向应力沿零件厚度方向的分布通常是不均匀的，因此可以认为该应力由两个分量组成，一部分是均匀分布的，且等于所考虑厚度上应力的平均值；另一部分在该平均值的基础上沿厚度变化。

#### 3.1.6 剪应力 (Shear Stress)

与参考平面相切的应力分量称为剪应力。

#### 3.1.7 薄膜应力 (Membrane Stress)

法向应力均匀分布的分量称为薄膜应力，其值等于沿所考虑截面厚度方向应力的平均值。

#### 3.1.8 弯曲应力 (Bending Stress)

法向应力的变化分量称为弯曲应力，该分量沿厚度的变化可以是线性的，也可以不是线性的。

#### 3.1.9 总应力 (Total Stress)

一次应力和二次应力分量的和称为总应力。识别单独作用的每一种应力，对于确定适当的应力限制是重要的。

#### 3.1.10 临界屈曲 (Critical Buckling)

当支承件处于这样的加载状态，即增加一个极小的载荷或受到一个极小的扰动，该支承件就会由平衡状态变为不稳定状态，此时的状态即为临界屈曲状态。

#### 3.1.11 热应力 (Thermal Stress)

热应力是由于温度分布不均匀或热膨胀系数不同所引起的一种自平衡应力。固体中出现的热应力是由于温度变化时物体体积受阻不能呈现其通常应有的形状和尺寸所致。本标准不要求对支承件的热应力进行评定。

#### 3.1.12 自由端位移 (Free End Displacement)

如果连接件与被连接的结构或部件之间是独立的且允许移动，则两者间的相对移动即为自由端位移。

#### 3.1.13 锚固点运动应力 (Anchor Point Motion Stress)

各支承点之间的运动差所产生的应力为锚固点运动应力。建筑物的不均匀沉降即是其中一例。

#### 3.1.14 总体结构不连续 (Gross Structural Discontinuity)

总体结构不连续是指几何或材料的不连续，它影响构件整个厚度上的应力或应变分布。总体不连续应力是实际应力分布中的这样一部分，即在沿壁厚积分时得到纯弯曲和薄膜力的合力。封头和壳体的连接、接管、不同直径或不同厚度的零件之间的连接以及法兰与筒体之间的连接都是总体结构不连续的例子。

### 3.1.15 极限分析—破坏载荷(Limit Analysis-Collapse Load)

极限分析法用于计算用理想塑性(无应变硬化)的材料制成的结构所能承受的最大载荷或载荷组合，在该载荷作用下，理想塑性结构的变形无限增加。该载荷称为破坏载荷。

### 3.1.16 破坏载荷—下限定理(Collapse Load-Lower Bound)

对于一个给定的载荷，如果能找到任何应力系统处处满足平衡要求，且当采用所考虑截面的形状系数时，各处均不超过材料的屈服强度限，则此载荷等于或小于破坏载荷。这就是极限分析的下限定理，它可用于计算破坏载荷的下限。

### 3.1.17 局部结构不连续(Local Structural Discontinuity)

局部结构不连续是影响沿部分壁厚的应力或应变分布的几何或材料不连续与局部结构不连续有关的应力分布仅引起非常局部的变形或应变，而且对壳形不连续变形没有大的影响。局部结构不连续的例子是：小内圆半径、小的连接件和部分贯穿的焊缝。

### 3.1.18 应力强度(Stress Intensity)

应力强度定义为最大剪应力的两倍，应力强度是给定点上最大主应力代数值和最小主应力代数值之差。取拉应力为正值，压应力为负值。

## 3.2 符号

避免出现同一符号在不同章节的意义不同，故此章节的内容详见各章节的符号定义。



## 4 引言

### 4.1 范围和通用要求

#### 4.1.1 本标准涉及的建造范围

本标准涉及的建造范围详见4.1.1a)至4.1.1e)：

- a) 本标准包括部件和管道支承件的材料、设计、制造、检测、安装和编制合格文件的规则，这些部件和管道要符合下述引用文件中规定的1级、2级、3级和金属安全壳设备建造的要求：
  - 1) 压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件
  - 2) 压水堆承压部件 设计与制造 第3部分：2、3级部件
  - 3) 压水堆承压部件 设计与制造 第4部分：钢制安全壳及贯穿件
- b) 这些规则不包括在使用中可能发生的由腐蚀、侵蚀、辐照效应或材料的金相不稳定性引起的退化（《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》1.1.1节）。
- c) 本标准对核电厂的部件和管道支承件制定规则，这些支承件是在包括管道系统和中间构件（《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》1.2.1节）和建筑结构之间传递载荷的金属构件。然而，术语“支承件”不包括仅用于承受由假想的丧失压力边界完整性所引起的动载荷结构件。
- d) 核设施运营单位应保证建筑结构和在部件或管道的支承载荷路径上的所有中间构件是合适的，且满足《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.2.2节和5.2.3节的要求。支承的设计师应考虑中间构件与建筑结构的结构的相互作用。
- e) 除了4.1.1e) 1) 至 e) 10) 所列要求外，本标准的要求不可用于轴承、轴衬、衬垫、液压机液体、密封件、垫片、滑板、扣环、耐磨片、弹簧、垫圈、钢丝绳、压缩弹簧端板、螺纹锁紧装置、开口销、观察孔组件、弹簧吊架行程和液压限制器、铭牌、铭牌附件或主要为可压缩载荷设计的且不与支撑件或压力边界连接的用于地震和其他动载限制器的压缩动限制器<sup>1)</sup>。
  - 1) 适用于本标准要求的物项的材料的选择应能适合所遇到的环境条件，如温度、流体、湿度和辐射。
  - 2) 适用于本标准要求的物项应按设计规范书规定的载荷条件及其他要求来设计。
  - 3) 设计输出文件（《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.5.3节）应标明哪些物项是适用于本标准要求的。
  - 4) 适用于本标准物项的材料，制作和安装应符合设计输出文件的要求。
  - 5) 1级弹簧的检查应符合本标准5.5.2节的要求。
  - 6) 垫圈应符合本标准7.6节的要求。
  - 7) 钢丝绳应符合本标准5.5.3节和第6章的要求。
  - 8) 压缩弹簧端板应符合本标准第6章、第7章和第8章的要求。
  - 9) 压缩动力限制器应符合本标准第6章、第7章和第8章的要求。
  - 10) 螺纹锁紧装置应符合本标准7.6.2.5.1的要求。

#### 4.1.2 支承件规则及其分级

##### 4.1.2.1 支承件规则

本标准提出对新结构的要求，同时考虑由于自由端位移受约束以及本标准3.1.12和3.1.13定义的锚固点运动引起的机械应力和机械效应，但不包括热应力或峰值应力。

1) 限制器不包括阻尼器和缓冲器（6.4.1.2.4）

#### 4.1.2.2 支承件分级

部件支承件应满足本标准的要求，这些要求应与被支承部件包括管道系统的级别相对应。应按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.3.2部件支承件允许有选择地分级。当部件按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.3.4.d)允许有选择地分为较高的级别时，部件支承件不必分为该较高的级别。

#### 4.1.3 管辖界线

##### 4.1.3.1 部件与支承件间的界线

部件（包括管道系统）与支承件之间的管辖界限应符合《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》4.1.3.2、《压水堆承压部件 设计与制造 第3部分：2、3级部件》4.1.3.2和《压水堆核电厂堆内构件建造规则》4.1.3.2中适用于该部件级别的要求。

##### 4.1.3.2 支承件与建筑物结构间的界线

- a) 支承件可支承在建筑结构上，或与建筑结构相焊接、栓接、销接或夹接。规定支承件与建筑结构之间管辖界线的典型例子如图1和图2所示。
- b) 支承件与承载建筑结构之间的管辖界线是该建筑结构的表面。
- c) 为了定义部件或管道支承件与建筑结构之间的管辖界线，电厂土建结构图给出的和建筑结构分析中所考虑的结构件，即使当它们位于部件或管道支承件的载荷轴线上，也应认为是建筑结构。然而，除4.1.3.2d)规定之外，凡在支承图纸上详细给出将实施安装的，其主要目的是用于支承管道或部件的结构件应被视为部件支承件，其建造应遵守本标准。
- d) 表面安装用底板（不管其底部是否需二次灌浆）、用以承受由支承件传递载荷的部分或全部预埋钢部件、混凝土锚、固定螺栓和螺帽及垫圈等应列入建筑结构的范围。
- e) 如支承件与建筑结构的连接是一道焊缝，则该焊缝应归入本标准的管辖范围。
- f) 支承件的附件可以是非结构性的
  - 1) 不在支承载荷路径上；
  - 2) 永久的或临时的。

##### 4.1.3.3 支承件与中间部件间的界线

支承件与部件或管道支承件载荷轴线上的中间部件之间的管辖界线是该中间部件的表面。支承件可支承在中间部件上，或与中间部件相焊接、栓接、销接和夹接。支承件与中间部件的连接方法应归入本标准的管辖范围。

#### 4.2 支承件和连接件的类型

##### 4.2.1 支承件的类型

###### 4.2.1.1 通用要求

在本标准中，所有的支承件根据用于支承分析的通用设计程序（6.1.4节）分成三种独立的类型。每一种类型的材料、设计、制作和检验的要求在本标准下列各章中提出。支承件类型在4.2.1.2至4.2.1.5中规定。

###### 4.2.1.2 板壳型支承件

板壳型的部件支承件，如容器的裙座和鞍座，为由板和筒体制成的支承件，一般承受双向应力。

###### 4.2.1.3 线型支承件

线型支承件主要是承受单个正应力分量的支承件。这类支承件也可承受剪应力。这类结构件的例子有：拉伸和压缩的杆、受弯曲的梁和柱、桁架、框架、圆环、弯拱和缆索等。设计成通过屈服来耗散能量且纳入线型管道支承的能量吸收体应按本标准附录B建造。

#### 4.2.1.4 标准支承件

标准支承件需满足经核安全审查认可使用的“标准支吊架”手册与各项要求。图3中绘出了典型的样本产品。标准支承的承载能力可用板与壳的分析或线性（工作应力）分析或额定载荷来确定。标准支承件举例如下：

- a) 刚性支承件，包括锚固、导向件、约束件、滚动或滑动支承件和杆型吊架等；
- b) 恒力吊架或弹簧吊架；
- c) 缓冲器；
- d) 摇臂和振动阻尼器；
- e) 结构连接件，如吊耳、垫块、支耳、圆环、夹子、吊环、吊带和挂钩等。
- f) 阻尼器。

#### 4.2.1.5 主要和次要构件

根据功能，支承构件也可以分为主要或次要构件。构件类型规定如下：

- a) 主要构件 支承件的主要构件定义为在任何假想载荷条件下承受载荷的那些构件；
- b) 次要构件 次要构件定义为用来保持主要构件系统几何形状的构件，典型的如拉撑构件，而且在所有受载条件下不承受任何显著的应力。显著的应力定义为本标准 6.3 节中规定许用应力的 50% 的应力。

### 4.2.2 不同类型支承件间的焊接

#### 4.2.2.1 板壳型支承件与线型支承件之间的焊接接头

板壳型支承件（4.2.1.2）与线型支承件（4.2.1.3）之间的焊接接头应满足本标准板壳型或线型焊接接头的要求。

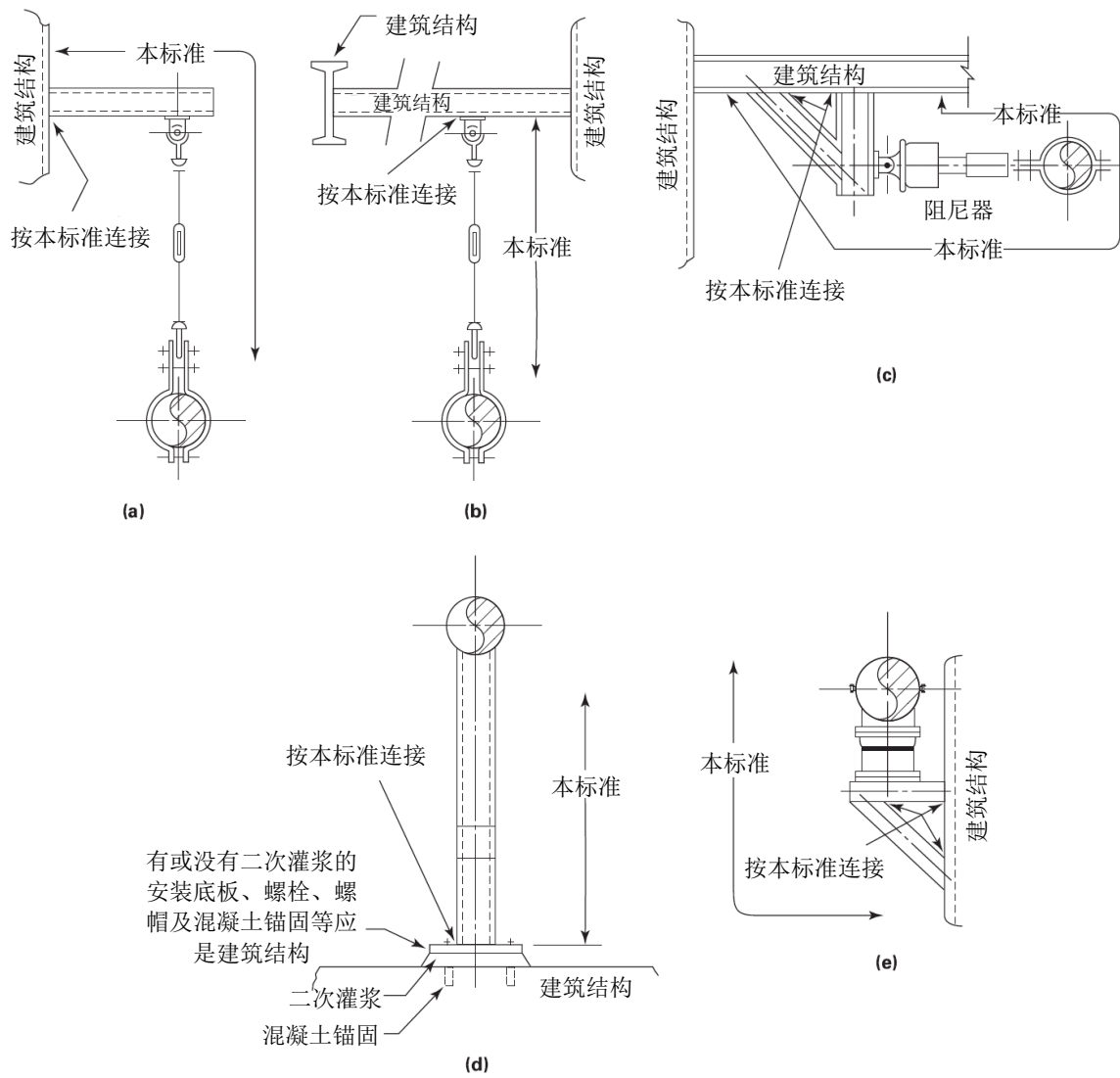


图1 管道支承件与建筑结构之间管辖界线的典型例子

注：这些示意图是用于给出管辖的概念，而不应认为是推荐的结构形式。

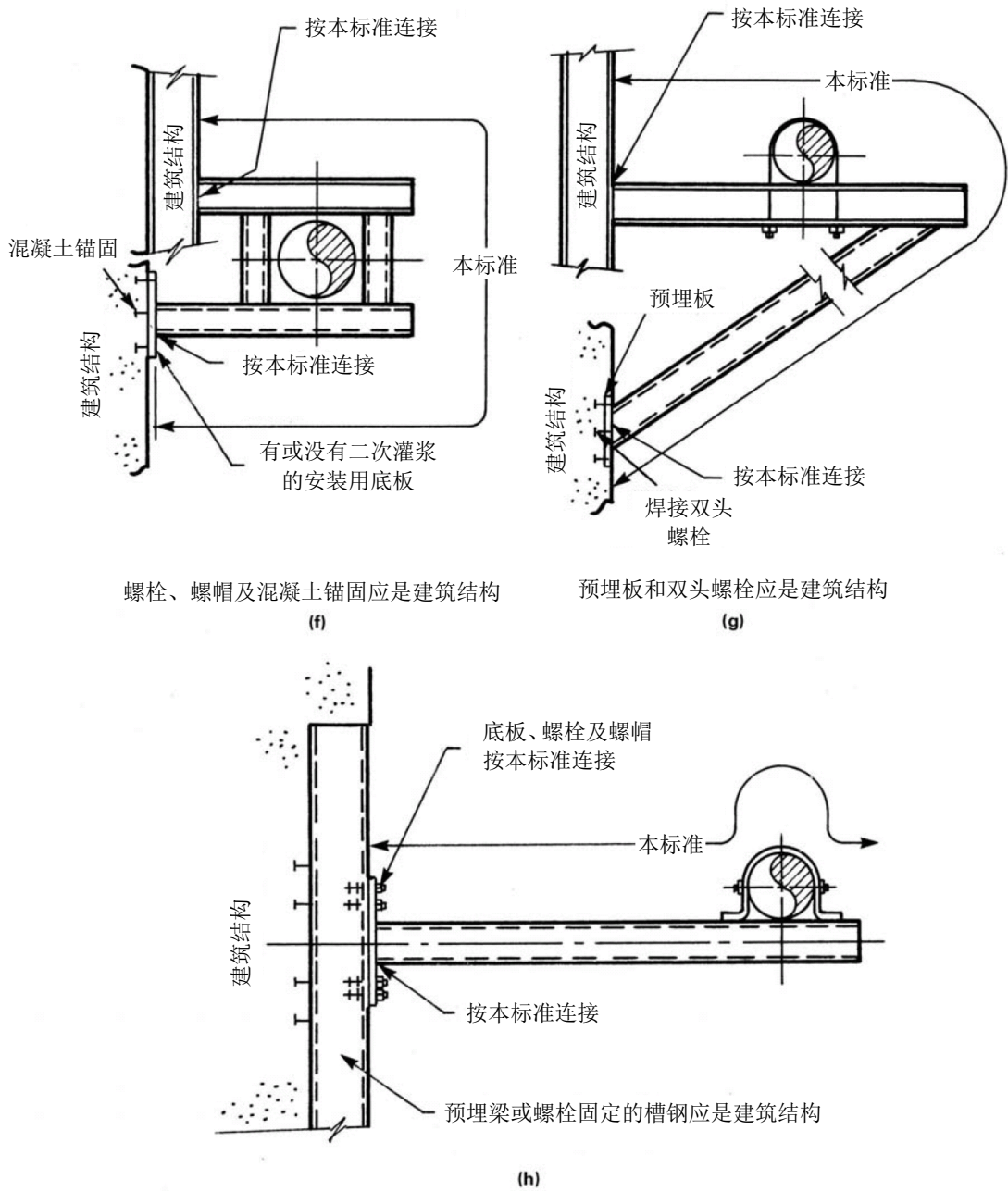


图 1 管道支承件与建筑结构之间管辖界线的典型例子（续）

注：这些示意图是用于给出管辖的概念，而不应认为是推荐的结构形式。

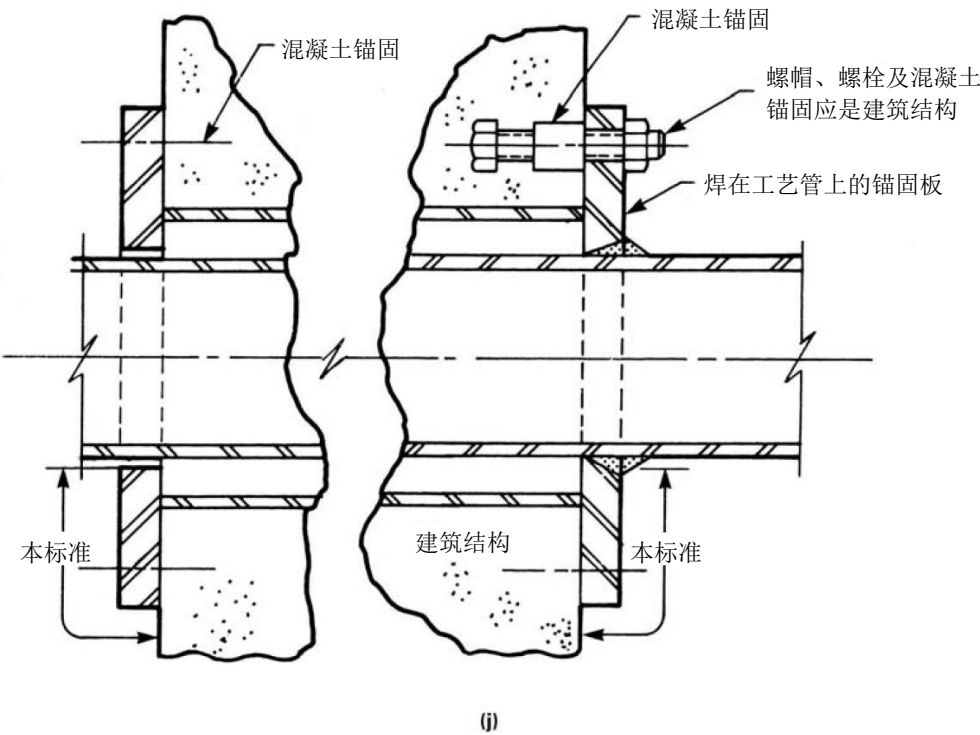
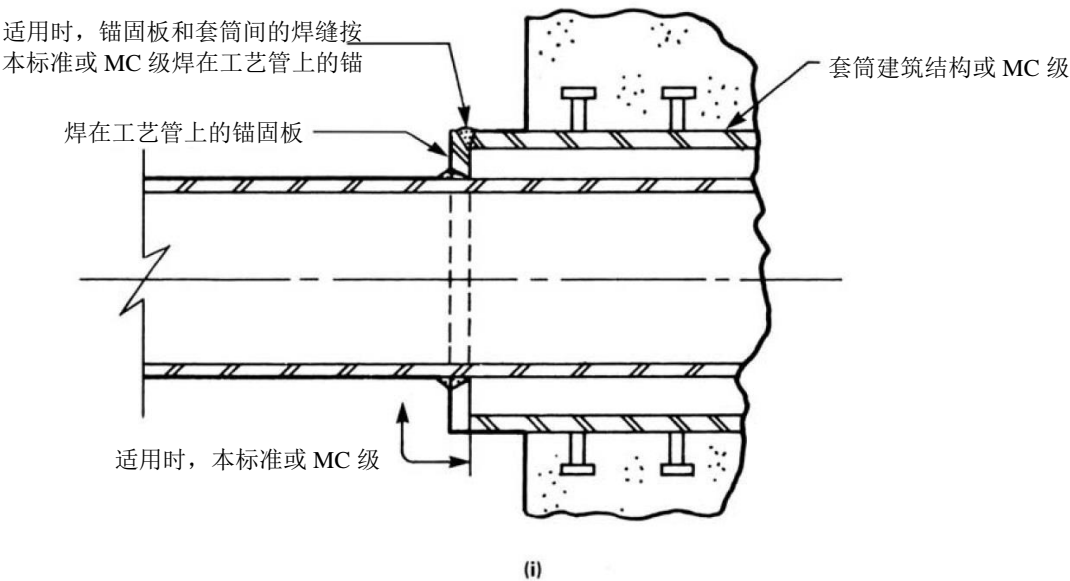


图 1 管道支承件与建筑结构之间管辖界线的典型例子（续）

注：这些示意图是用于给出管辖的概念，而不应认为是推荐的结构形式。

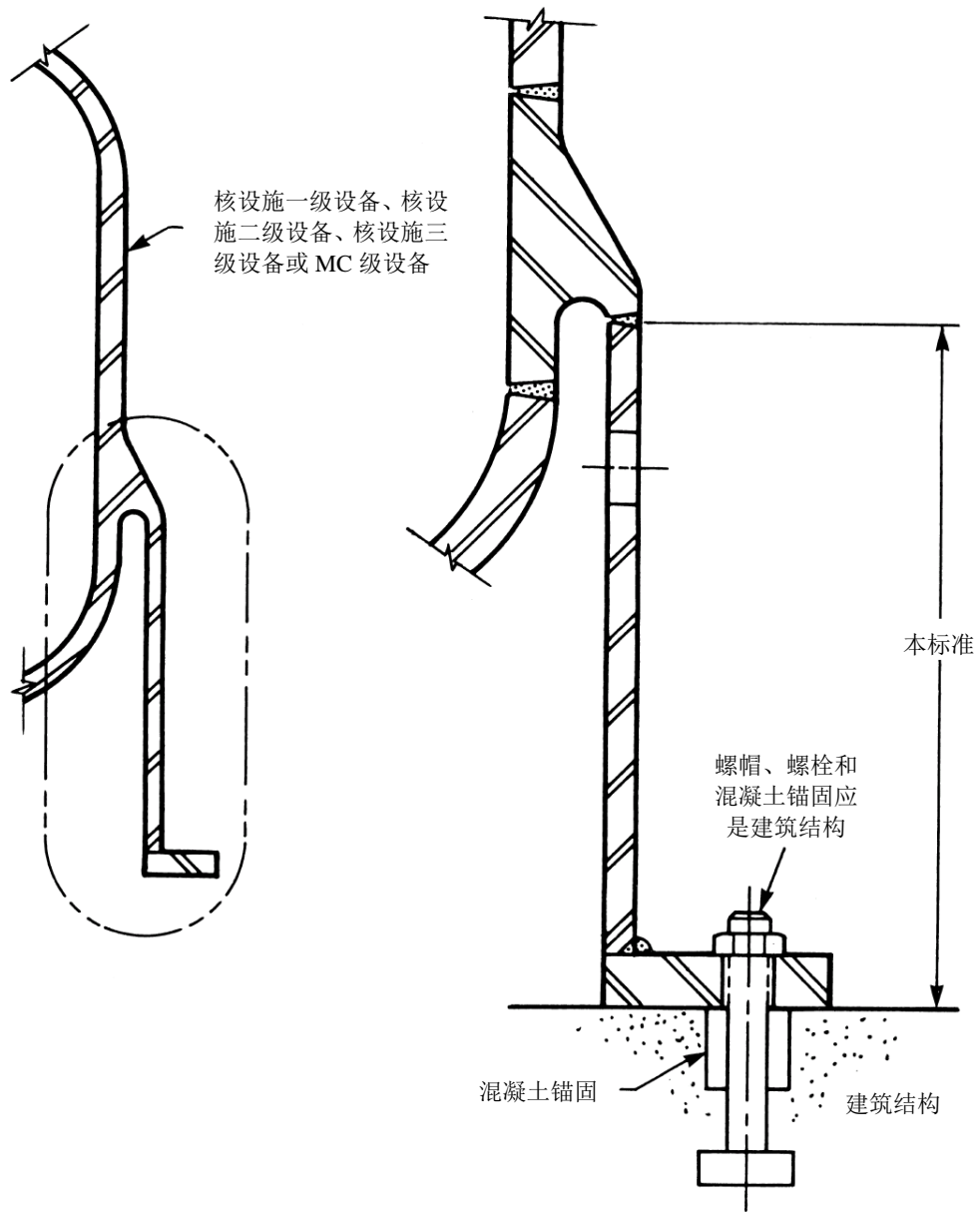


图2 部件支承件与建筑结构间管辖界线的典型例子

注：这些示意图是用于给出管辖的概念，而不应认为是推荐的结构形式。

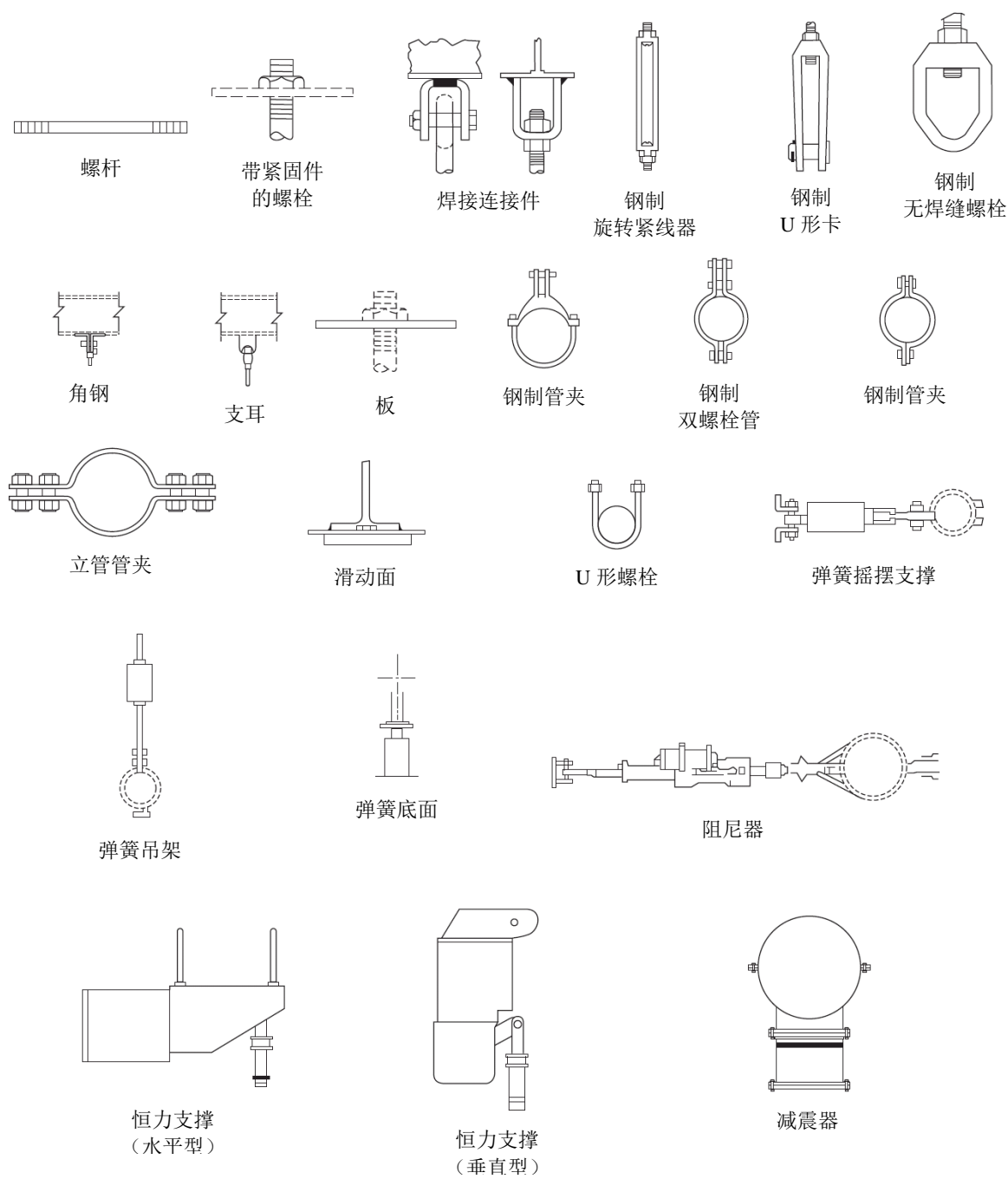


图3 典型的标准支承件



## 5 材料

### 5.1 材料的通用要求

#### 5.1.1 厚度定义

本章要求中用到的术语“厚度”。为了明确起见，名义厚度的定义如下：

- a) 板材——厚度为横向的短边尺寸；
- b) 锻件——厚度定义为下列尺寸：
  - 1) 空心锻件——名义厚度为内外表面间测得的径向厚度；
  - 2) 圆饼锻件（轴向长度小于外径）——名义厚度为轴向长度；
  - 3) 扁环形锻件（轴向长度小于径向厚度）——对轴向长度 $\leq 50\text{mm}$ ，名义厚度为轴向长度；对轴向长度 $> 50\text{mm}$ ，名义厚度为径向厚度；
  - 4) 矩形实心锻件——名义厚度为矩形的最小尺寸。
- c) 铸件——厚度定义为铸件承载部位的最大名义厚度。

#### 5.1.2 支承件材料

##### 5.1.2.1 许用的材料技术标准

- a) 除 5.1.2.1.b) 规定外，支承件的材料应符合《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》表（包括表中所有适用的脚注）中所列材料技术标准，并与表 1 规定的建造等级相对应。
- b) 第 5 章要求不适用于 4.1（e）中指明的免除物项，免除物项不要求合格证书（5.1.3）。
- c) 除《压水堆承压部件 焊接》许可的以外，制造零部件所用的焊接材料和钎焊材料应符合《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》中的 NB/T20009.21-35 技术标准，还应符合本章相应的要求。本章的要求不适用于焊接接头的垫环或垫板材料。

##### 5.1.2.2 与许用的材料技术标准 相矛盾的特殊要求

- a) 当本章规定的特殊要求与材料的技术标准要求（《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分：通用要求》）相矛盾时，本章的特殊要求应取代材料技术标准。当特殊要求亦包括材料技术标准要求的检测，试验或处理时，则该项检测，试验或处理只需做一次。应按 5.5 对每种产品形式所作的规定进行要求的无损检测。本章或材料技术标准要求的任何检测，修补，试验或处理可由材料机构或民用核设施营运单位按 7.1.2.1 进行。对符合本标准规则的管道或管子材料，如不用于承压功能，则不必进行水压试验或气压试验。
- b) 铜和铜基合金不得用作结构部件。
- c) 对《高温用屈服强度为 345-827MPa 膨胀系数和奥氏体钢相近的螺栓连接材料》4Ni26Cr15MnMo，材料设计温度 $\leq 427^\circ\text{C}$ 时不要求进行应力断裂试验。

##### 5.1.2.3 尺寸范围

如果材料符合技术标准的其他要求，而建造规则中未作尺寸限制，则可使用超出《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》中任何技术标准尺寸或厚度限制的材料。当这些技术标准规定的化学成分或力学性能随尺寸变化时，则超出技术标准尺寸范围的任何材料，其化学成分和力学性能应符合最接近的规定范围的化学成分和力学性能（《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分：通用要求》）。

#### 5.1.3 材料的验收证明

- a) 用于建造支承件的材料应鉴定合格。用于 1 级板壳型支承件和 1 级线型支承件的主要构件的材料应提供符合 《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分：通用要求》的材料质量证明文件。当要求做冲击试验（5.3.1.1）时，其他级别的支承件和所有级别的标准支承件的材料应提供材料质量证明文件。这些证书的副本应随部件支承件一起提供。
- b) 对所有的其他支承件，标准支承件和所有类型和级别的支承件的次要构件所用材料，材料机构应提供符合材料相应技术标准、等级、级别和热处理条件的合格证书或材料质量证明文件。
- c) 当设计文件（如设计报告或载荷量数据表）允许采用其他材料（该材料的合格证书被认可），替代材料可记入设计文件或部件支承件文件以代替所采用特定材料的文件。应采用 5.1.5 对材料识别的要求。
- d) 当材料合格证书被认可后，支承件制造商应提供相应材料合格证书的副本。或者，支承件制造商应签发或提供一份单独文件，对发运的所有材料技术标准清单予以确认。当提交单独的文件时，质量大纲应提供保留与支承件有关的每种材料的合格证书。

表1 支承件要求的材料表

类型和级别	设计应力强度值	许用应力值	屈服强度值	拉伸强度值
	$S_m$	$S$	$S_y$	$S_u$
板壳型				
1 级	----- ☒ -----	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
2 级和金属安全壳	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
3 级	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
各级螺栓件	-----	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
线型				
1 级	-----	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
2 级和金属安全壳	-----	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
3 级	-----	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
各级螺栓件	-----	-----	----- ☒ -----	----- ☒ -----
设备标准支承件				
1 级	----- ☒ 板壳型	-----	----- ☒	----- ☒
2 级和金属安全壳	-----	----- ☒ 板壳型	----- ☒ 线型	----- ☒ 各种
3 级	-----	----- ☒	----- ☒	----- ☒ 类型
各级螺栓件	-----	-----	----- ☒	----- ☒
相应的表	表 2A 表 2B 1 级	表 1A 表 1B 2 级、3 级和金属安全壳	表 4 <sup>a</sup> 表 Y-1 各种级别	表 U 各种级别
注1：表 Y-2 提供板壳型支承件的永久应变极限因子。				
注2：表 TE 和 TM 分别提供热膨胀系数和弹性模量系数值。				
<sup>a</sup> 表中所列的值乘 3 得 $S_y$ 值。以 3.5MPa 为单位向较大值圆值。				

#### 5.1.4 焊接材料

有关焊接材料的要求见第5.4章。

#### 5.1.5 材料的标识

要求具有材料质量证明文件材料，其识别应满足《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》的要求。由材料机构带合格证书供货的材料应由受控系统来标识满足相应的材料技术标准号、等级和级别。当支承件制造商已验证材料满足本卷的要求后，不要求标明材料符合材料机构合格证书。小件物项的材料应在部件支承件的制造过程中加以控制，以便始终可以识别出是可接受的材料。焊接材料应在材料修补及支承件的制造和安装过程中加以控制，以可识别它们直到用完为止都是可接受的材料（7.1.2.2）。

#### 5.1.6 材料在使用期间的劣化

材料因使用而劣化的考虑，一般说来已超出本标准范围。核设施营运单位的职责是选择适合设计技术规范书（《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》）中所叙述条件的材料，并应特别注意使用工况对材料性能的影响。

#### 5.1.7 提高冲击性能的热处理

碳钢，低合金钢和高铬合金（4××系列）可进行淬火和回火热处理来提高其冲击性能。当支承件的焊后热处理温度不低于595℃时，可认为是回火热处理状态。

#### 5.1.8 材料热处理规程

当材料技术标准和本标准规则对热处理温度或热处理时间有要求时，则热处理应在温度受到监测且温度已校准的炉内进行，或在热处理时应使热电偶直接与材料接触或连接到与材料接触的金属块上，或热处理时采用高温计仪表进行测量控制。热处理时炉内装料，应符合材料技术标准和本标准的规则。

### 5.2 铁素体钢的试件和试样

#### 5.2.1 热处理要求

##### 5.2.1.1 铁素体材料试件的热处理<sup>2)</sup>

当铁素体钢在支承件制造过程中要经热处理时，冲击试样的材料应采用与支承件热处理相同的方式进行热处理，对于名义厚度不超过50mm的P-1组号1和2材料的试件和试样不要求对其进行上述热处理。支承件制造商应向材料机构提供所采用的加热温度以及加热和冷却速率。对于焊后热处理，试验材料在一个温度或几个温度下的总时间至少应为材料实际焊后热处理过程中，在一个温度或几个温度下的总保温时间的80%。试验材料、试件或试样在一个温度或几个温度下的总时间可在一次热处理循环中完成。

##### 5.2.1.2 淬火和回火材料试件的热处理

###### 5.2.1.2.1 冷却速率

当铁素体钢材料从奥氏体化温度进行淬火时，除某些锻件和铸件（5.2.2.3.3和5.2.2.6.4）外，代表这些材料试件的冷却速率应与材料主体的冷却速率相近，但不得大于此速率。本规则适用于直接从材

---

2) 如果预计材料或物项在完工后要进行焊后热处理，则该焊后热处理时间应在设计技术规格书中规定。证书持有者应将此温度下的热处理时间计入规定用于试样的总时间以内。

料上切取的试件，也适用于代表材料的单独试件。同时，对每种产品应采用5.2.1.2.2所述的通用规程之一或5.2.2所述的专用规程之一。

#### 5.2.1.2.2 通用规程

如果试样是按5.2.2节的规定从产品有关表面来切取时，则下列a)、b)和c)中的通用规程之一，可用于淬火和回火材料或用于代表该材料的试件。所用方法的详细规定应是材料机构和民用核设施营运单位的职责：

- a) 可采用任何规程，但要验证这种规程使试验材料的冷却速率与产品主体的冷却速率相匹配，冷却至同一温度的时间差不超过 20 秒，同时在冷却过程中材料在同一时间点的温度差不超过 14℃。
- b) 如果有材料的冷却速率数据和控制试样冷却速率的装置，且满足 5.2.1.2.2a) 规定，则试样可在该装置中进行热处理以代表该材料。
- c) 当采用 5.2.2 节所述的专用规程时，对于边缘处较快的冷却速率，可通过下列方法补偿：
  - 1) 取样部位离淬火边缘至少为  $T$ ，其中  $T$  等于材料厚度；
  - 2) 在取样边缘处用部分焊透焊缝（该焊缝将缓冲层表面完全密封）焊上一块补偿钢板，宽度至少为  $T$ ；
  - 3) 在取样部位边缘，使用隔热垫板或绝热措施。

应验证这种方法的冷却速率与5.2.1.2.2a)或b)相当（这些数据应记录在材料质量证明文件中）。

### 5.2.2 淬火和回火材料试件和试样的制备规程

#### 5.2.2.1 通用要求

淬火和回火材料的冲击试样制备规程与产品形式有关。除按本节下列所述各款外，试件和试样的切取部位应符合材料技术标准的要求。所提到的尺寸均表示名义值。

#### 5.2.2.2 板材

##### 5.2.2.2.1 拉伸试验试件的数目

要求的拉伸试验试件数目应符合材料技术标准和《压力容器用钢板通用要求》规定，但重量不小于20000kg的碳钢板和重量不小于18000kg的合金钢板应取两个拉伸试验试件，一个代表钢板的顶端，另一个代表钢板的底端。

##### 5.2.2.2.2 试件的取样部位

试件的切取应使试样的纵轴离轧制表面至少为 $T/4$ ，且试样长度的中线距板材任何热处理边缘至少为 $T$ ，其中 $T$ 为材料的名义厚度，试件的取样方向应符合材料技术标准的规定。

##### 5.2.2.2.3 单独试件的要求

当采用单独试件代表支承件材料时，试件应有足够的尺寸以保证试件切取部位的冷却速率能代表产品在深度至少为 $T/4$ ，离产品的任何边缘至少为 $T$ 的部位的材料冷却速率。除非按5.2.1.2.2b)的要求模拟大件或产品的冷却速率，否则试件尺寸应不小于 $3T \times 3T \times T$ ，其中 $T$ 为材料名义厚度。

#### 5.2.2.3 锻件

##### 5.2.2.3.1 试件的取样部位

试件的切取应使试样的纵轴距任何表面至少为 $T/4$ ，且试样长度的中线离任何第二表面至少为 $T$ ，其中 $T$ 为最大热处理厚度。除非适用于整块锻件的冷却速率按5.2.1.2.2的规定进行模拟，否则可采用5.2.1.2.2(c)规定的热缓冲层来达到上述条件。

#### 5.2.2.3.2 特厚和复杂锻件

对于特厚且复杂的锻件，如凸耳，支承锻件，法兰和在热处理前已成形或机加工基本上达到成品形状的复杂锻件，其试件应从产品延长部分或产品的加工余量部分上切取。民用核设施营运单位应规定在使用中承受高拉应力的最终产品表面。试件的切取应使试样的纵轴离最近的热处理表面的距离，至少等于指定的高拉伸应力表面至最近热处理表面的最大距离，并且试样长度的中线离第二热处理表面至少为该距离的两倍。在任何情况下，试样纵轴至热处理表面应不少于19mm且试样长度的中线应离任何热处理表面至少为38mm。

#### 5.2.2.3.3 取自单独生产的试验锻件的试件

代表同一炉号和同一热处理批号的锻件的试件可按5.2.2.3.3a)至e)条件从单独锻造的锻块上切取。

- a) 单独的试验锻件应与材料同炉号，并且经受与其代表的产品锻件基本上相同的锻造比和加工过程。
- b) 单独的试验锻件的热处理条件和装炉量应与产品锻件相同。
- c) 单独的试验锻件的名义厚度应与产品锻件相同。
- d) 简单锻件的试件切取，应使试样纵轴位于厚度中点和表面之间的中间区域，并且试样长度的中线到任何热处理边缘的距离不得小于锻件厚度。但当产品锻件的厚度与长度之比不允许时，则产品锻件应作为试验锻件，且试样长度的中线应位于试验锻件的长度中线。
- e) 复杂锻件的试件应按5.2.2.3.2切取。

#### 5.2.2.4 试件的取样部位

- a) 棒材 试件切取应使试样纵轴离外表面或轧制表面至少为 $T/4$ ，且试样长度中线离热处理端至少为 $T$ ，其中 $T$ 为棒材的直径或厚度。
- b) 螺栓连接件材料 对于螺栓连接件材料，试件切取应符合相应的材料技术标准要求，且试样长度的中线离热处理端至少为一个直径或厚度。螺栓、螺母或螺柱不够长时，试样长度中线应位于螺栓、螺母或螺柱的中线。选择用作试件材料的螺栓、螺母或螺柱应与所代表的螺栓、螺母或螺柱具有相同的淬火外形和除长度以外的尺寸，长度应等于或超过所代表的螺栓、螺母或螺柱。

#### 5.2.2.5 管状制品和配件

##### 5.2.2.5.1 试件的取样部位

试件切取应使试样纵轴离内外表面至少 $T/4$ 。且试样长度的中线离热处理端至少为 $T$ ，其中 $T$ 为管状制品的名义壁厚。

##### 5.2.2.5.2 代表配件的单独生产的试件

代表配件的试件可以单独生产。当采用单独生产的试件时，应符合5.2.2.3.3的要求。

#### 5.2.2.6 铸件

#### 5.2.2.6.1 最大厚度不超过 50mm 的铸件

对于最大厚度不超过50mm的铸件，试样应从按材料技术标准单独浇铸的标准试件或铸件上切取。

#### 5.2.2.6.2 最大厚度大于 50mm 的铸件

对于最大厚度大于50mm的铸件，试件应从铸件（或其延长部分）切取，使试样纵轴离任何表面至少为 $t/4$ （ $t$ 为最大的热处理厚度），且试样长度的中线离任何第二表面至少为 $t$ 。可使用热缓冲层（5.2.1.2.2c）3）。

#### 5.2.2.6.3 厚度大于 50mm 的铸件的单独浇铸的试件

单独浇铸的试件可在下列a）、b）、c）的条件下使用以代替5.2.2.6.2的要求。

- a) 代表一个炉号和一个热处理批号的铸件的单独试件应与代表的产品铸件属同一炉号并经受基本相同的铸造过程。
- b) 除非按照 5.2.1.2.2 模拟大铸件的适用冷却速率，单独试件的热处理条件和装炉量应与产品铸件相同。
- c) 单独试件应不小于  $3T \times 3T \times T$ ，其中  $T$  为铸件的名义厚度。试样切取应使其纵轴位于厚度中线和表面之间的中间区域，且试样长度的中线离热处理边缘的距离不小于铸件的厚度。

#### 5.2.2.6.4 热处理前机加工成形或铸造成形的铸件

试件可取自产品的延长部分或产品的加工余量部分，以代替5.2.2.6.1、5.2.2.6.2或5.2.2.6.3的要求。试件切取应使试样纵轴离最近的热处理表面至少等于所规定高拉应力表面到最近的热处理表面之间的最大距离，且试样长度的中线离第二热处理表面至少为此距离的两倍。在任何情况下，试样纵轴应离任何热处理表面的距离至少为19mm，且试样长度的中线离第二热处理表面至少为38mm。民用核设施营运单位应规定最终产品在使用中承受高拉应力的成品表面。

#### 5.2.2.7 轧制的型材

对于轧制的型材，试件切取应使试样纵轴位于所代表的型材最厚部分的中心线上，且试样长度的中线应离热处理端至少为 $T$ 。

### 5.3 材料的断裂韧性要求

#### 5.3.1 要求冲击试验的材料

##### 5.3.1.1 要求材料进行冲击试验的支承件

- a) 支承件材料应按下列要求进行冲击试验；
  - 1) 部件或管道附件应满足相应规则中规定的冲击试验要求。
  - 2) 1级、2级、3级和金属安全壳支承件应满足 5.3 节要求。
  - 3) 对于 1级、2级、3级管道支承件，1级、2级、3级标准支承件和其他类型与级别的支承件，设计技术规范书（《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分：通用要求》第 5.2.3 章）应指出支承件材料是否要做冲击试验。如要求做冲击试验，则冲击试验应分别符合 5.3 节中 1级、2级、3级及金属安全壳的要求，并成为本标准的要求。
- b) 支承件的要求应符合 5.3 节的规定，但下列 1) 至 13) 条所述的材料不做本标准所要求的冲击试验：
  - 1) 名义截面厚度不超过 16mm 的材料；

- 2) 公称直径 25mm 和小于 25mm 的螺栓件，包括螺柱、螺帽和螺栓；
  - 3) 名义横截面积不超过 650mm<sup>2</sup> 的棒材；
  - 4) 名义壁厚不超过 16mm 的各种管接头配件的材料；
  - 5) 奥氏体不锈钢，包括沉淀硬化奥氏体 660 级 (UNS S66286)；
  - 6) 非铁基材料；
  - 7) 最大应力不超过 40MPa 拉伸应力或受压应力的支承件的材料；
  - 8) 翼缘厚度不超过 16mm 的轧制结构型材；
  - 9) 1 级、2 级或金属安全壳支承件的材料，如表 2 所列，但厚度不超过 64mm，且最低使用温度 3) 至少高于表列温度 15℃。对焊缝金属第 5.4.3 章或焊接工艺评定 7.3.3.5 不适用本项免除冲击试验的规定；
  - 10) 3 级支承件材料，如表 2 所列，但厚度不超过 64mm，且最低使用温度不低于表列温度。对焊接金属 (5.4.3) 或焊接工艺评定 (7.3.3.5) 不适用本项免除冲击试验的规定；
  - 11) 最低使用温度超过 65℃ 的 2 级、金属安全壳支承件材料。
  - 12) 最低使用温度超过 38℃ 的 3 级支承件材料；
  - 13) 2 级、3 级和金属安全壳支承件材料，其最低使用温度等于或高于图 4 所列材料及相应厚度下的最低设计温度；
- c) 设计规范书 (《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分：通用要求》第 5.2.3 章) 应指出支承件的最低使用温度 (LST)，如有要求，还应指出设计冲击试验温度。

表2 按 5.3.1.1b) 9) 10) 规定的厚度不超过 64mm 的材料免除冲击试验

材料 <sup>a</sup>	材料状态 <sup>a</sup>	T <sub>NDT</sub> , °C <sup>b, c</sup>
15YW009-TCNEA-017-ZG, 20Mn	N	- 35
15YW009-TCNEA-015-ZG, 15Mn	Q&T	- 25
15YW009-TCNEA-015-ZG, 15Mn	N	- 18
15YW009-TCNEA-012-ZG, 1 级	Q&T	- 10
15YW009-TCNEA-016-ZG, 13MnNiMo	Q&T	- 10
15YW009-TCNEA-012-ZG, 2 级	Q&T	5
<sup>a</sup> 材料状态: N=正火 Q&T=淬火和回火		
<sup>b</sup> 这些 T <sub>NDT</sub> 值是根据截面厚度大于 64mm 的钢材的数据制定的。对截面厚度小于 64mm 的钢材，在未能得到补充的数据以前，T <sub>NDT</sub> 仍采用这些值。		
<sup>c</sup> T <sub>NDT</sub> 等于或高于无延性转变温度 (GB/T 6803)；T <sub>NDT</sub> 比至少两个试样不断裂的温度低 5.6℃。		

## 5.3.2 冲击试验规程

### 5.3.2.1 夏比 V 型缺口冲击试验

当要求夏比 V 型缺口冲击 (Cv) 试验时，应按 NB/T 20004 进行。试验应是 NB/T 20004 图 11 的 A 型试验。一次试验包括一组三个 10×10mm 的全尺寸试样。试验温度和侧膨胀值，吸收能量以及试样取样方向和部位应满足 5.3.3 的要求，并应记录在材料质量证明文件中。

### 5.3.2.2 试样的取样部位和方向

- 3) 最低使用温度 (LST) 为电站运行期间安全壳内保持的最低温度 (对于在安全壳内的支承件) 或当设备内的压力超过系统水压试验压力的 20% 时，最低使用温度可为正常运行期间预期的支承件最低计算的或测量的金属温度。



淬火和回火材料的冲击试样应按5.2.2每种产品形式的拉伸试样所规定的取样部位和取样方向切取，但板材冲击试样的取样方向应为纵向。对其他热处理的材料，冲击试样应按材料技术标准中拉伸试样所规定的取样部位和取样方向切取，但板材冲击试样的取样方向应为纵向。对结构型材冲击试样的取样部位和取样方向应按ASTM标准A673的规定。或者，试样的取向可为最大应力的方向而与热处理无关。对螺栓件，夏比V型缺口冲击试样的纵轴应位于表面以下再加上单边机加工余量至少1/2半径或25mm处（两者的较小值）。试样的断裂面应离热处理端至少一个直径或厚度。螺栓、螺母或螺柱不够长时，试样长度中线应位于螺栓、螺母或螺柱的中线。选用于试件材料的螺栓、螺母或螺柱应与所代表的螺栓、螺母或螺柱有相同的淬火外形和除长度以外的尺寸，长度应等于或超过所代表的螺栓、螺母或螺柱。各种材料的试验次数应符合5.3.4的规定。

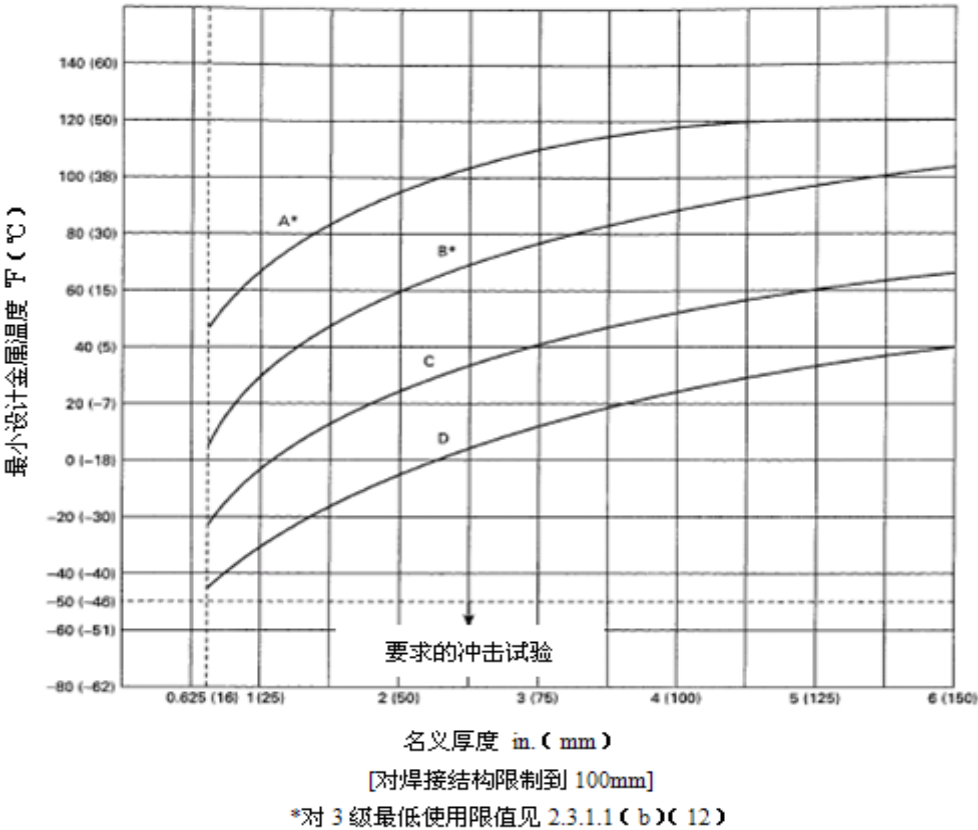


图4 2、3级和金属安全壳支承件材料的免除冲击试验曲线

- 注1：曲线 A：没有列入下列曲线 B、C、D 的所有碳钢、所有低合金板材、结构型材及棒材。
- 注2：曲线 B：
- 1) 15YW009-TCNEA-015-ZG 15Mn
  - 2) 所有曲线 A 的材料，并且进行晶粒细化处理及正火，另外在下列曲线 C 和 D 中没有列出的材料。
  - 3) 除了螺栓件材料（注 5）外，没有在曲线 C 和 D 中列出的板材、结构型材、棒材和其他成品（如管子、配件、传热管）。
- 注3：曲线 C：
- 4) 15YW009-TCNEA-010-ZG 10Cr2MnMo  
15YW009-TCNEA-016-ZG 13MnNiMo 和 C
  - 5) 所有曲线 B 材料，并且进行晶粒细化处理及正火，另外在下列曲线 D 中没有列出的材料。

注4: 曲线 D:

- 6) 15YW009-TCNEA-012-ZG1 类
- 7) 15YW009-TCNEA-015-ZG15Mn

注5: 对于螺栓连接件材料, 应采用下列免做冲击试验温度:

技术标准	级别	免做冲击试验温度, °C
15YW009-TCNEA-026-ZG	43CrMnMo	- 40

5.3.3 试验要求和验收标准

5.3.3.1 材料（不包括螺栓连接件）

当要求冲击试验时，材料（不包括螺栓连接件）应按下列a)和b)的要求进行试验。

- a) 在指定的温度（5.3.1.1）下试验三个 Cv 试样。所有三个试样都应满足特定试验方法适用的验收标准：
  - 1) 夏比 V 型缺口冲击试验的横向膨胀量 三个试样的试验结果，平均值和最低值都应分别满足表 3（1 级），表 4（2 级及金属安全壳），表 5（3 级）支承件的要求。
  - 2) 夏比 V 型缺口冲击试验的吸收能量值 三个试样的试验结果，平均值和最低值都应分别满足表 6（1 级），图 5（2 级及金属安全壳）和图 6（3 级）支承件的要求。
- b) 5.3.3.1a) 规程适用于：
  - 1) 母材4)；
  - 2) 按（7.3.3 节）焊接工艺评定试验的母材，热影响区和焊缝金属；
  - 3) 5.4.3 节规定的焊缝金属。

表3 1 级支承件材料（不包括螺栓连接件材料）要求的  $C_v$  横向膨胀

名义壁厚 $t$ , mm	横向膨胀, mm
$t \leq 16$	不要求试验
$16 < t \leq 25$	0.38
$t > 25$	0.64

表4 2 级和金属安全壳支承件材料（不包括螺栓连接件材料）要求的  $C_v$  横向膨胀

名义壁厚 $t$ , mm	横向膨胀, mm
$t \leq 16$	不要求试验
$16 < t \leq 25$	0.38
$t > 25$	0.50

表5 3 级支承件材料(不包括螺栓)要求的  $C_v$  能量值

名义壁厚 $t$ , mm	横向膨胀, mm
$t \leq 16$	不要求试验
$t > 16$	0.38

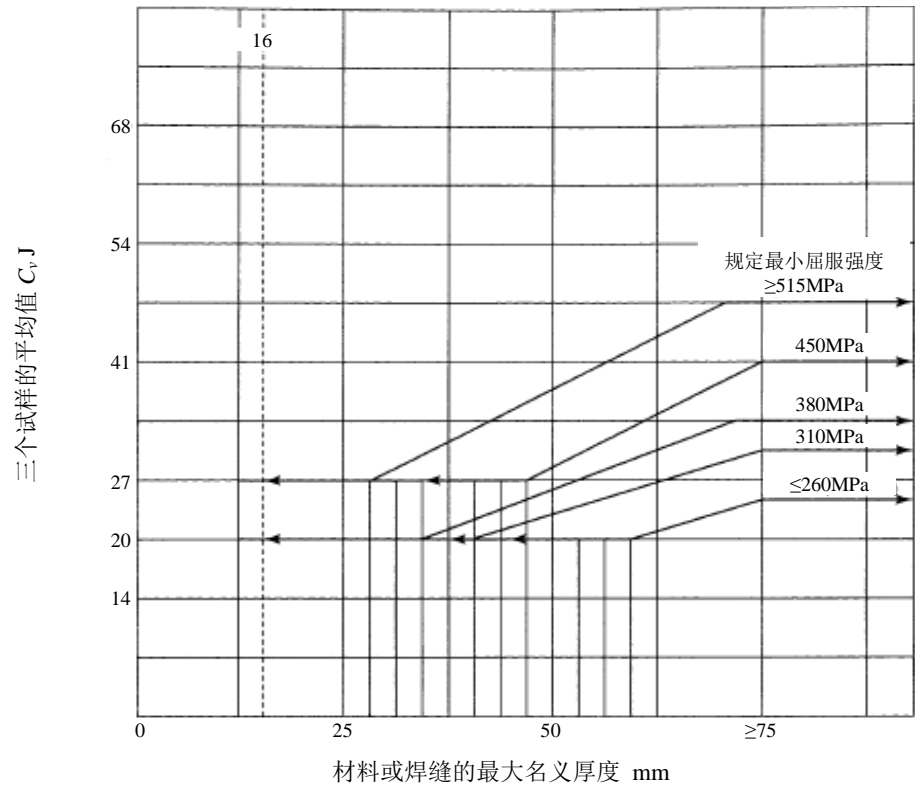
4) 热影响区(4.3.3.5.2)的冲击韧性要求可能引起母材的试验温度减低或韧性提高。

表6 1级支承件材料（不包括螺栓连接件材料）要求的  $C_v$  吸收能量值

名义壁厚 $t$ (mm)	对应规定的最小屈服强度 $S_y$ (MPa) 母材的能量值 (J)					
	$S_y \leq 380\text{MPa}$		$380 < S_y \leq 515$		$575 < S_y \leq 725$	
	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	三个的 平均值	三个中的 最低值
$t \leq 16^a$	--	--	--	--	--	--
$16 < t \leq 25^b$	20	14	27	20	34	27
$t > 25^b$	34	27	41	34	47	41

<sup>a</sup> 不要求试验。

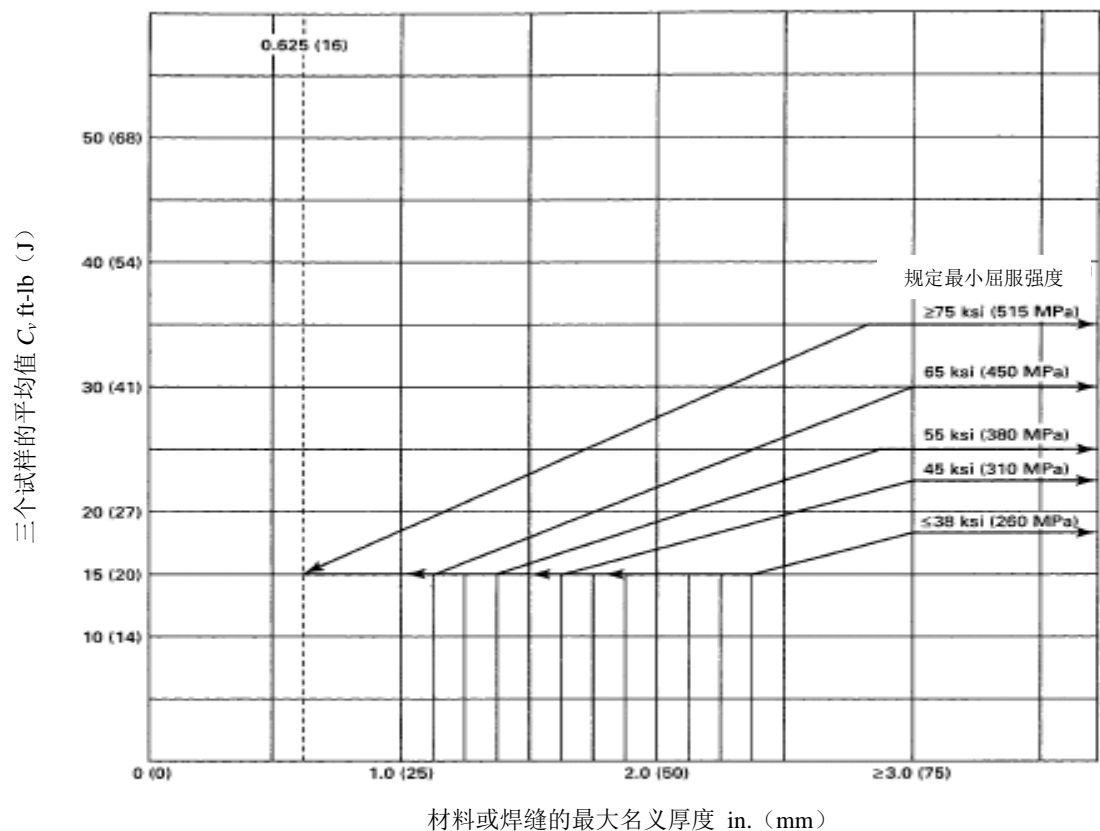
<sup>b</sup> 当《压水堆承压部件 设计与制造 第3部分：2、3级部件》5.4的焊缝金属试验按这些要求时，冲击吸收能量应符合被连接的任一母材的要求。



注1：允许对所示屈服强度采用内插法。

注2：所试验的三个试样的最低值应不低于要求的平均值7J。

图5 2级和金属安全壳支承件材料(不包括螺栓)要求的  $C_v$  能量值



注1：允许对所示屈服强度采用内插法。  
注2：所试验的三个试样的最低值应不低于要求的平均值 7J。

图6 3级支承件材料(不包括螺栓)要求的  $C_v$  能量值

5.3.3.2 螺栓连接材料

对螺栓连接材料，包括双头螺栓，螺母和螺栓，要求做冲击试验时，在指定温度下试验三个  $C_v$  试样。所有三个试样应满足表7的要求。

表7 螺栓材料要求的  $C_v$  值

名义直径 $d$ , (mm)	侧向膨胀量, (mm)
$d \leq 25$	不要求试验
$d > 25$	0.64

5.3.4 要求的冲击试验次数

5.3.4.1 板材

热处理后的每块板材应做一次试验。当板材以非热处理状态供货并用热处理的试样评定时，轧制状态的每块板材应做一次试验。术语轧制状态是指从板坯或直接从钢锭轧制的板材，而不是指其热处理状态。

5.3.4.2 锻件和铸件

- a) 当每个锻件或铸件的重量小于 450kg 时, 对每个炉号的每个热处理批号应做一次试验。
- b) 当热处理在连续式加热炉中进行, 并配有适合的温度控制和装备有高温记录计, 能获得完整热处理记录时, 热处理批次应定义为不超过 8h 连续生产或处理工件的总量不超过 900kg 的两者中较小者。
- c) 对每个单重为 450kg 到 4500kg 的锻件或铸件应做一次试验。
- d) 或者与 5.3.4.2c) 对应, 只要试验锻件或铸件代表热处理批的最大厚度, 则单独试验锻件或试验铸件可用于代表同一炉号或同一热处理批的不同尺寸的锻件和铸件。此外, 试验锻件应经受与所代表铸件相同的锻造比和加工。
- e) 重量大于 4500kg 的锻件或铸件, 每件应进行两次夏比 V 型缺口冲击试验。选择夏比 V 型缺口冲击试样取样部位时, 应在锻件或铸件相隔 180° 的部位上切取, 两个部位的取样数量相等。
- f) 或者与 5.3.4.2e) 对应静态浇注铸件, 可采用单独铸造试件 (5.2.2.6.3); 应做一次夏比 V 型缺口冲击试验。

5.3.4.3 棒材和轧制的型材

- a) 对于棒材, 每批中大于 25mm 的每种直径或尺寸应做一次试验, “批”定义为同一炉号的材料, 且为:
  - 1) 同一次连续操作中轧制状态的材料;
  - 2) 同一炉装料中热处理的材料或同一次连续操作中不超过 2700kg 的材料。
- b) 对于轧制型材, 试验频度应为: 具有同一名义尺寸 (不包括长度) 的至少每 14000kg 重量或重量大于等于 14000kg 的每一长度及同一炉号的轧制状态的型材, 应做一次试验 (三个试样一组)。如果型材进行热处理, 则对每一炉批每一名义尺寸 (不包括长度) 的每一炉次应进行一次试验。对于在连续炉中热处理的型材, 一批应不超过 14000kg。

5.3.4.4 管状制品和配件

对于无缝的或不加填充金属焊接的成品, 每批应做一次试验。对于加填充金属焊接的成品, 每批还应应对焊缝区域切取的试样进行一次附加试验。“一批”应按相应材料技术标准中的规定定义, 但一批决不能由超过一个炉号和超过一种直径的产品组成, 并且一批中的任何成品的名义厚度不得比做冲击试验的成品厚度大6mm以上。这样的一批应为同一次热处理装料, 或为温度变化控制在28℃以内, 且装有高温记录计的连续加热炉中同一次连续生产的成品。

5.3.4.5 螺栓连接件材料

每批材料应做一次试验, 其中“一批”定义为同一炉热处理装料的同一炉号或一次连续操作的材料。但重量不超过下列规定:

直径≤44mm:	700kg
44mm<直径≤64mm:	1350kg
64mm<直径≤125mm:	2700kg
直径>125mm:	4500kg

5.3.5 复试

5.3.5.1 1级、2级、3级和金属安全壳非螺栓材料的复试

- a) 对于 5.3.3.1 要求的夏比 V 型缺口冲击试验, 分别满足表 3、表 4、表 5 的验收标准, 如符合下列条件, 可在相同温度下进行一次复试:

- 1) 试验结果的平均值满足最低要求;
  - 2) 每次试验只有一个试验低于最低要求;
  - 3) 不满足最低要求的试样, 不应比规定要求低 0.13mm;
  - 4) 一次复试包括两个附加试样, 附加试样应尽量靠近不合格试样部位切取。对于复试的验收, 两个试样都应满足最低要求。
- b) 对 5.3.3.1 要求的夏比 V 型缺口冲击试验, 满足表 6 的验收标准, 如符合下列条件, 可在相同温度下进行一次复试:
- 1) 试验结果的平均值满足规定的平均值要求。
  - 2) 每次试验只有一个试样低于规定的“三个中最低值”的要求。
  - 3) 不满足要求的试样, 不应比规定的“三个中最低值”低 6.8J。
  - 4) 一次复试包括两个附加试样, 附加试样应尽量靠近不合格试样部位切取。对于复试的验收, 两个试样都应大于或等于规定的三个中的平均值要求。

### 5.3.5.2 螺栓连接件材料的夏比 V 型缺口试验的复试

对 5.3.3.3 要求的螺栓连接材料的夏比 V 型缺口冲击试验, 满足表 7 的验收标准, 如符合下列条件, 可在相同温度下进行一次复试:

- a) 试验结果的平均值满足最低要求;
- b) 每次试验只有一个试样低于最低要求;
- c) 不满足最低要求的试样不应比规定的要求低 0.13mm。
- d) 一次复试包括两个附加试样, 附加试样应尽量靠近不合格试样部位切取。对于复试的验收, 两个试样都应满足最低要求。

### 5.3.6 仪表和装置的标定

冲击试验使用的温度仪表和夏比 V 型缺口冲击试验机应按 5.3.6a) 或 b) 规定的次数进行标定。

- 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, 并且记录标定的结果记录以满足《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分: 通用要求》的要求。
- b) 夏比 V 型冲击试验应进行标定并记录标定的结果以满足《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分: 通用要求》的要求。应至少每年标定一次, 方法应按 GB/T 229 所述的 KV8 方法, 并使用国家标准和技术协会或者符合《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分: 通用要求》和《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分: 通用要求》要求的被授权分包标定服务供应商提供的标准试样。

## 5.4 焊接材料

### 5.4.1 通用要求

焊接材料的通用要求详见 5.4.1a) 至 b):

- a) 除堆焊层或用于硬质合金堆焊材料外, 凡用于支承件或材料的建造和修补的所有焊接材料应符合《压水堆承压部件 焊接》第 1 部分至第 17 部分的要求, 或第 IX 卷许可的其他焊接材料的要求。此外, 焊接材料应符合本标准的要求, 以及符合 5.1.5 节中关于材料识别的规则。
- b) 应向进行试验的机构提供下列资料, 诸如:
  - 1) 焊接工艺;
  - 2) 《压水堆承压部件 焊接》第 5 部分至第 17 部分标准及型号;
  - 3) 《压水堆承压部件 焊接》第 5 部分至第 17 部分以外的标准及型号;

- 4) 焊后状态或热处理状态下,或两种状态下的最小抗拉强度;
- 5) 焊后状态或热处理状态下,或两种状态下材料的夏比 V 型缺口冲击试验,应提供试验温度、横向膨胀量或能量吸收值;
- 6) 焊接试件时,采用的预热温度和层间温度;
- 7) 如产品焊缝要进行热处理,应提供焊后热处理时间、热处理温度范围和最大冷却速率;
- 8) 化学分析的元素应按相关部分的要求进行分析;
- 9)  $\delta$ -铁素体的最低含量。

#### 5.4.2 要求的试验

焊接材料按照批次进行验收试验,批次满足《压水堆承压部件 焊接》第1部分至第17部分的规定。

#### 5.4.3 焊缝金属试验

焊接材料试验项目和验收指标满足《压水堆承压部件 焊接》第1部分至第17部分的规定。

#### 5.4.4 焊接材料的贮存和保管

焊条,焊药和其他焊接材料应妥善贮存和保管。应采取措施、尽量减少焊剂、焊丝和药皮焊条的受潮。

### 5.5 材料的检测和修补

#### 5.5.1 非螺栓件材料的检测和修补

支承件材料应按材料技术标准进行检测。若材料技术标准许可,缺陷可以修补。

#### 5.5.2 1级弹簧件所要求的检测和验收标准

用于1级可变、恒定和竖向支撑的标准支承件的盘簧应在卷簧后进行磁粉检测或液体渗透检测。线性显示应通过磨削和平整方法清除。如果磨削面的深度超过弹簧丝直径或厚度的3%,则该盘簧应拒收。

#### 5.5.3 用作弹簧的螺旋钢丝绳所要求的检测和验收标准

用作弹簧的螺旋钢丝绳应在卷簧后进行目视检测并应无绞结,松绞,松丝或折断突出的钢丝。

#### 5.5.4 螺栓件材料和棒材的检测

##### 5.5.4.1 要求的检验

##### 5.5.4.1.1 1级支承件

所有的螺栓材料和棒材应按5.5.4.2进行目视检验。名义尺寸大于50mm的螺栓材料应按5.5.4.3进行磁粉检测或液体渗透检测。此外,名义尺寸大于100mm的螺栓材料应按5.5.4.4进行超声波检测。

##### 5.5.4.1.2 2级、3级和金属安全壳支承件

螺栓、螺柱和螺母应按材料技术标准和5.5.4.2的要求进行检测。

##### 5.5.4.2 目视检验

螺纹部分、光杆部分和最终机加工部分的头部应进行目视检测。折叠、裂缝和裂纹等对使用有害的不连续缺陷为不可接受的。



#### 5.5.4.3 磁粉检测或液体渗透检测

1级支承件的所有名义尺寸大于50mm的螺栓材料和棒材应进行磁粉检测或液体渗透检测。该检测应在螺纹加工后的螺栓材料成品上进行，或在加工螺纹前和锻制螺栓头（如果有此工序）以后在接近成品直径的坯料上进行。非轴向的线状显示为不可接受的。长度大于25mm的线性轴向显示为不可接受的。

#### 5.5.4.4 尺寸大于 100mm 的超声波检验

1级支承件的名义尺寸大于100mm的所有螺栓连接件材料和棒材应在螺纹加工前按下列条款的要求对全圆柱表面进行超声波检测。

##### 5.5.4.4.1 超声波检验方法

应采用径向扫描直射法检测。

##### 5.5.4.4.2 检验规程

检验用名义频率2.25Mhz进行，且探头面积不超过650mm<sup>2</sup>。

##### 5.5.4.4.3 设备的标定

调整仪器以确定校准灵敏度，使第一次底面发射波高度达到满屏高度的75%~90%。

##### 5.5.4.4.4 验收标准

任何引起指示信号大于第一次底面反射波高度20%的缺陷，或使第一次底面波低于校准幅度50%的缺陷，均为不可接受的。

#### 5.5.4.5 焊接修补

螺栓件材料和棒材不允许焊接修补。

### 5.6 材料制造商的质量体系大纲

#### 5.6.1 质量体系大纲的编制和保管

质量体系大纲的编制和保管应满足5.6.1a)至f)要求：

- a) 除下面 b) 的规定外，材料机构应编制一份满足《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.9 适用要求的质量体系大纲或识别和核查大纲。
- b) 应按 5.1.3 的要求来满足《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.9.6.2 的要求。对于 5.6.1c) 所规定的小件产品以及本标准允许的以合格证书供应的材料，材料机构不需采用《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.9 的其他要求。对于这些产品，民用核设施营运单位的质量保证大纲《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》第6章应包括保证材料按照材料技术标准和本标准相应要求供应的措施。
- c) 本款所指的小件产品的定义见下列 1) 至 3)：
  - 1) 各种管道、管子、管道配件和名义尺寸不超过 DN50 法兰；
  - 2) 螺栓连接材料，包括名义直径不超过 50mm 的螺柱、螺母和螺栓。
  - 3) 名义横截面积不超过 1300mm<sup>2</sup> 的结构材料。
- d) 当要求按 5.3 做冲击试验时，则 5.3.1.1 中未免除冲击试验的材料在供货时应具有符合《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.9.6.2 的经确认的材料试验报告。

- e) 本卷允许的、带合格证书供货的轧制结构钢型材可按 SA-6 规定的焊工、焊接文件和检验要求进行焊接修补,不必满足《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分:通用要求》5.9.5.7.3 的要求。
- f) 按照未经用户批准而不准补焊的材料技术标准进行制造的材料,不要求提供文件说明该材料没有进行过补焊。

## 6 设计

### 6.1 通用设计要求

#### 6.1.1 载荷准则

##### 6.1.1.1 载荷条件

在设计支承件时，应考虑载荷包括（但不限于）6.1.1.1中的a）到h）：

- a) 管道或部件的重量和在电厂和系统运行和试验工况下正常包容物的重量，包括与静压头、动压头和流体流动效应有关的载荷。
- b) 管道或部件支承件的重量。
- c) 所支承的系统部件引起的附加静载荷和热载荷以及反作用力。
- d) 动态载荷，包括由地震和振动引起的载荷。
- e) 管道热膨胀的影响。
- f) 锚固件和支承件位移效应。
- g) 环境载荷，例如风载荷和雪载荷。
- h) 由内压或外压产生的部件的膨胀或收缩。

在6.1.2和6.2.2中列出了把应力分为一次、二次或峰值的指南。

##### 6.1.1.2 设计载荷

设计载荷应按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.4.2节及本标准6.1.1.2.1至6.1.1.2.3确定。

##### 6.1.1.2.1 设计温度

规定的设计温度应按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.4.2.b)节来确定。金属的温度应采用认可的传热程序进行计算或采用电厂和系统等效运行工况下在使用的部件上进行测量来确定。也可不做传热分析或进行测量，而取部件或管道的设计温度。在任何情况下都不应使金属表面温度超过《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.1、A.2、A.3、A.4、A.5、A.6和表A.8所列的最高温度或超过本标准其他部分规定的最高温度限制。

##### 6.1.1.2.2 设计机械载荷

规定的设计机械载荷应按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.4.2.c)节来确定，它应包括所有的部件或管道作用在支承件上的载荷。

##### 6.1.1.2.3 设计应力强度和许用应力值

当采用分析法设计时（6.2.2），应取《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.3、A.4和表A.6中所列的适用的设计应力强度值 $S_m$ 。当采用线弹性分析方法时（6.3.2），许用应力值应取经6.3.2.2给出的设计系数加以修正的《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.8列出的适用的屈服强度限 $S_y$ ，若金属设计温度超过应力或应力强度对应的适用列上的温度限，则这种材料不应使用。当温度为表中的中间温度时，相应的许用应力值用内插方法获得。

##### 6.1.1.3 使用工况

管道或部件可能承受的每种使用工况应按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.4.2.2节来分级，其使用限制[《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.4.2.b)节]应该在设计技术规格书中详细规定，以便为按本章所作的设计提供完整的依据。

#### 6.1.1.4 试验工况

应对由试验工况产生的部件和管道支承载荷予以评定（《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》4.1.4.2节）。

#### 6.1.2 设计考虑

##### 6.1.2.1 管道或部件的变形限制

如果有要求，被支承的管道或部件的变形限制应在设计技术规格书中规定。

##### 6.1.2.2 功能要求

当支承件用于在任何使用工况下执行某一特定功能时，则该功能要求应在设计技术规格书中加以指明。

##### 6.1.2.3 滚动支承件和滑动支承件

- a) 滚动支承件和滑动支承件应允许管道或部件自由移动，或管道和部件的设计应包括这类支承件施加的载荷和摩擦力。支承件尺寸的设计应留出被支承管道或部件的设计位移量。
- b) 除支承施加的力外，滑动支承件（或垫块）和托架的设计应能适应摩擦引起的力。支承件的尺寸应留出被支承管道或部件的设计位移量。滑动支承件用的材料和润滑剂应适应滑动接触处的金属环境，且应在设计文件中规定。

##### 6.1.2.4 斜撑杆及振动阻尼器

斜撑杆及振动阻尼器可用于限制振动效应。它们可以是拉伸—压缩型钢性支柱（线型）。如果在设计中采用，或在起动或初始运行工况下发现振动而增设斜撑杆及振动阻尼器，则在所有的规定工况下，管道和部件的应力分析应包括斜撑杆的影响。

##### 6.1.2.5 被支承管道或部件移动的预防措施

对被支承管道或部件与相应的支承件之间的相对运动应予以考虑。在需要留出一定的间隙或移动范围，或两者，以适应管道或部件的移动时应留有足够的设计裕量，以考虑制造和安装的偏差。应注意保证设计间隙和移动范围，这个范围的确定是根据可能发生于两种运行工况之间的最大范围，但不必是最冷到最热的范围。制造和组装应使所有的支承件零件不会因被支承管道或部件的位移而松开。仅为C级和D级使用工况下提供稳定性所需的支承件，其设计和安装应使在A级和B级使用工况下管道或部件不出现过大力。

##### 6.1.2.6 阻尼器和减振器

阻尼器的端部连接件的设计应按要求能适应管道或部件垂直方向和水平方向的移动。减振器应按制造商的要求适当地定向和安装。

#### 6.1.3 通用设计要求

##### 6.1.3.1 验收要求

支承件设计的验收要求按6.1.3.1中的a)到e)规定：

- a) 设计应使应力强度值或应力值（视适用情况）不超过本节规定的限值。表 8 给出了用于不同等级和不同设计方法的规则和限制。各设计方法所用材料的许用应力值见表 1。
- b) 适用于支承件的设计方法应是表 8 中给出的方法之一。
- c) 设计细节应符合本节的规则或这儿提到的规则。
- d) 对出现压应力的结构，除满足 6.1.3.1a)、b) 和 c) 的要求外，还应考虑临界屈曲应力。
- e) 关于 1 级支承件，应针对无延性断裂提供保护。《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 U 给出了防止出现无延性失效的可接受的方法。

表8 部件支承件、管道支承件和标准支承件设计时的参考章节

支承件 类型和 级别	板壳型					线型				
	分析法 设计	螺栓件	焊接 接头	实验 分析	额定 载荷	分析法 设计	螺栓件	焊接 接头	实验 分析	额定 载荷
部件										
1 级	6.2.2	6.2.2.5	6.2.2.6	6.2.5	6.2.6	6.3.2	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.5.2.2	6.5.2.5	6.5.2.6			6.5.2.3	6.5.2.5	6.5.2.6		
2 级和 金属安全壳 <sup>a</sup>	6.2.3	6.2.3.3	6.2.3.4	6.2.5	6.2.6	6.3.5	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.5.3.1	6.5.3.4	6.5.3.5			6.5.3.2	6.5.3.4	6.5.3.5		
3 级	6.2.4	6.2.4.2	6.2.4.3	6.2.5	6.2.6	6.3.6	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.5.3.1	6.5.3.4	6.5.3.5			6.5.3.2	6.5.3.4	6.5.3.5		
管道										
1 级	6.2.2	6.2.2.5	6.2.2.6	6.2.5	6.2.6	6.3.2	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.6.2.1	6.6.2.4	6.6.2.5			6.6.2.2	6.6.2.4	6.6.2.5		
2 级	6.2.3	6.2.3.3	6.2.3.4	6.2.5	6.2.6	6.3.5	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.6.3.1	6.6.3.4	6.6.3.5			6.6.3.2	6.6.3.4	6.6.3.5		
3 级	6.2.4	6.2.4.2	6.2.4.3	6.2.5	6.2.6	6.3.6	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8

标准	6.6.3.1	6.6.3.4	6.6.3.5			6.6.3.2	6.6.3.4	6.6.3.5		
1 级 <sup>a</sup>	6.2.2	6.2.2.5	6.2.2.6	6.2.5	6.2.6	6.3.2	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.4.2.2	6.4.2.5	6.4.2.6			6.4.2.3	6.4.2.5	6.4.2.6		
2 级 <sup>a</sup>	6.2.3	6.2.3.4	6.2.3.5	6.2.5	6.2.6	6.3.5	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.4.3.2	6.4.3.4	6.4.3.5			6.4.3.3	6.4.3.4	6.4.3.5		
3 级	6.2.4	6.2.4.2	6.2.4.3	6.2.5	6.2.6	6.3.6	6.3.2.4	6.3.2.4	6.3.7	6.3.8
	6.4.3.2	6.4.3.4	6.4.3.5			6.4.3.3	6.4.3.4	6.4.3.5		
<sup>a</sup> 按《压水堆承压部件 设计与制造 第3部分：2、3级部件》6.2设计的2级容器支承件应按1级的要求设计。										

### 6.1.3.2 尺寸标准

支承件的尺寸可参照（但不作强制要求）《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》表1所列的标准和规格。遵照这些标准的设计不能代替或取消应力分析或额定载荷的要求。

### 6.1.3.3 应力分析

应按《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》5.3.3节的要求对所有支承件作出足够详细的应力分析或设计报告，以表明当支承件承受6.1.1所列各类载荷时，能满足6.2或6.3的各种应力限制。

### 6.1.3.4 支承件公差

- a) 设计人员应在设计输出文件规定公差。当设计输出文件应用本册标准的附录 C 包含的制造公差和就地安装公差时，则制造公差和就地安装公差就成规定性了。
- b) 在规定支承件的公差时，支承设计人员应考虑管道设计人员规定的管道支承的位置公差/方向公差[《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 AD.1.2.3]。

## 6.1.4 通用设计方法

### 6.1.4.1 设计方法的种类

- a) 可采用的设计方法取决于所设计的支承件的形式和所涉及的建造级别。公认的设计方法有三种，即：
  - 1) 分析法设计：
    - 最大剪应力理论；
    - 最大应力理论。
  - 2) 实验应力分析法（《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 D）；
  - 3) 额定载荷法。
- b) 如果既不采用实验应力分析法也不采用额定载荷法，则下列各条中的要求是适用的。

### 6.1.4.2 板壳型支承件的分析方法

- a) 在设计建造级别为 1 级的板壳型支承件时，应采用符合 6.2 规则的基于最大剪应力理论的弹性分析法。
- b) 在设计建造级别为 2 级、3 级和金属安全壳的板壳型支承件时，应采用符合 6.2 规则的基于最大应力理论的弹性分析法。按《压水堆承压部件 设计与制造 第 3 部分：2、3 级部件》6.2 设计的 2 级容器的支承件应按 1 级的要求设计。

### 6.1.4.3 线型支承件的分析方法

- a) 分析方法应按 6.1.4.3 中的 a) 1) 或 a) 2)：
  - 1) 在设计建造级别为 1 级、2 级、3 级和金属安全壳的线型支承件时，应采用按 6.3 规则的基于最大应力理论的弹性分析法；
  - 2) 在设计建造级别为 1 级、2 级、3 级和金属安全壳的线型支承件时，如果各构件和它们的连接件受到 6.3.3.1 中定义的高周疲劳作用，则应采用符合 6.3.4 的极限分析法。
- b) 在设计建造级别为 1 级的线型支承件时，应采用符合 6.3.3 的高周疲劳分析法。

### 6.1.4.4 标准支承件的分析方法

按照标准支承件是板壳型或线型的，其分析法设计应满足6.1.4.2或6.1.4.3的要求。

## 6.2 板壳型支承件的设计规则



## 6.2.1 通用要求

### 6.2.1.1 分析法设计中确定的依据

对于1级板壳型支承件的设计，在本标准中采用的组合应力失效理论是最大剪应力理论，对于2级、3级和金属安全壳板壳型支承件则是最大应力理论。

### 6.2.1.2 定义

用应力分析法设计板壳型支承件时所用的术语定义见6.1.2.1和下面的6.2.1.2.1。

## 6.2.2 1级支承件的分析法设计

### 6.2.2.1 应力限制

在本条中给出了1级支承件各构件的应力限制。6.2.2.5及6.2.2.6给出了螺栓和焊缝的应力限制。6.2.1给出了确定应力的通用要求、定义、应力强度的推导和应力的分类。

板壳型支承件可以用弹性分析法，也可用极限分析法来设计，它们的应力强度限制在6.2.2.1.1至6.2.2.1.4中给出。

#### 6.2.2.1.1 设计限制

设计技术规格书指明的设计载荷应满足的应力强度限制为本条的两个限制和6.2.2.3的特殊应力限制，6.2.2.4给出了设计应力强度值 $S_m$ 。

- a) 总体一次薄膜应力强度  $P_m$  是由规定的设计机械载荷引起的总体一次应力（不包括所有的二次应力）在截面厚度上的平均值推导得到的。在确定应力强度值前，先取应力分量的平均值。该应力强度的许用值是设计温度下的  $S_m$  值。
- b) 一次薄膜加一次弯曲应力强度  $P_m+P_b$  是由规定的设计机械载荷引起的总体薄膜应力加一次弯曲应力之和在截面厚度上的最大值（不包括所有的二次应力）推导得到的。该应力强度的许用值为  $1.5S_m$ 。

#### 6.2.2.1.2 A级至D级使用限制

弹性分析中，设计技术规格书说明的任何A级至D级使用载荷所应满足的规则和应力限制见6.2.2.1.1和6.2.2.3的规定，并乘上表17和表21对各种载荷和各类应力的相应的应力强度限制系数。

#### 6.2.2.1.3 试验限制

设计技术规格书说明的任何试验载荷所应满足的规则和应力限制见6.2.2.1.1和6.2.2.3的规定，并乘上表17和表21对各类试验载荷的相应的应力强度限制系数。

#### 6.2.2.1.4 极限分析

如果能通过极限分析或试验证明特定部位的规定载荷对于设计载荷及A级和B级使用载荷不超过破坏载荷下限的2/3，且对于C级使用载荷不超过破坏载荷下限的80%，则该特定部位不需满足6.2.2.1.1 b) 一次薄膜加一次弯曲应力强度之和的限制。《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录T的规则应该用于D级使用载荷。对于《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A中许用应力或应力强度可达到其工作温度下屈服强度限90%的材料，其规定的载荷应不超过《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.9给出的相应的永久应变限制系数和破坏载荷下限的乘积。

### 6.2.2.2 应力强度的推导

设计验收的一个要求(6.1.)是:计算的应力强度不应超过规定的许用应力限制。这些许用限制与推导应力强度的应力类别(一次应力、二次应力等)有关。本条介绍了计算应力强度的方法,这些应力强度要服从规定的限制。该方法的步骤规定如6.2.2.2a)至e)所述:

- a) 在所研究的支承件某点上,取1组互相垂直的坐标,如切向、纵向和径向,并用下标 t、l 和 r 表示。在这些方向上,正应力的应力分量记为  $\sigma_t$ 、 $\sigma_l$  和  $\sigma_r$ ,剪应力的应力分量记为  $T_{lt}$ 、 $T_{lr}$ 、 $T_{rt}$ 。
- b) 计算该支承件所承受的各类载荷的应力分量,并将每组应力值归入下列类别中的一类或1组:
  - 1) 总体一次薄膜应力  $P_m$  (6.1.2.1.7);
  - 2) 一次弯曲应力  $P_b$  (6.1.2.1.8);
  - 3) 二次应力  $Q$  (6.1.2.1.3)。
- c) 对每类应力,计算出由不同类型载荷引起的  $\sigma_t$  的代数和,并对其余五种应力分量进行同样的计算。还应考虑各类应力的某些组合。
- d) 将 t、l 和 r 方向的应力分量转换为主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  和  $\sigma_3$ 。
- e) 由下列的关系式计算应力差  $S_{12}$ 、 $S_{23}$ 、 $S_{31}$ :

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

$S_{12}$ 、 $S_{23}$  和  $S_{31}$  中绝对值最大者即为应力强度。

注:薄膜应力强度由沿截面厚度平均的应力分量得到。平均计算应在6.2.2.2 b) 或 c) 中应力分量的水平上进行。

### 6.2.2.3 特殊的应力限制

下面给出对特殊使用载荷或特殊结构基本应力限制的不同。其中有的比基本应力限制严格,有的较宽。当这些要求与基本应力限制不一致时,对它们适用的情况首选应按本条处理。

#### 6.2.2.3.1 支承载荷

- a) 在设计载荷、试验载荷或任何使用载荷(定为D级限制者除外)引起的最大载荷作用下,为防止压坏的平均支承应力应不大于工作温度下  $S_y$  值的范围内;但当离自由端的距离大于支承载荷的作用距离时,平均支承应力不大于工作温度下  $S_y$  值的1.5倍。
- b) 当支承载荷靠近自由端时,例如作用在伸出的突缘上,则应考虑剪切破坏的可能性。对于一次应力(6.1.2.1.2),平均剪应力应不大于  $0.6S_m$  的范围内;对于一次应力加二次应力之和(6.1.2.1.9),平均应力应不大于  $0.5S_y$  的范围内。
- c) 在考虑销钉和类似构件上的支承应力时应采用该温度下的  $S_y$  值。但是如果不计入从板边一个销钉直径范围内的支承面积时,则可采用  $1.5S_y$  值。

#### 6.2.2.3.2 纯剪切

- a) 由设计载荷、试验载荷或任何使用载荷(定为D级限制者除外)引起的纯剪切载荷在截面上的平均一次剪应力应不大于  $0.6S_m$  的范围内。
- b) 由设计载荷、试验载荷或任何使用载荷(定为D级限制者除外)引起的最大一次剪应力,但不包括受扭的实心圆截面周边上的应力集中,应不大于  $0.8S_m$  的范围内。一次加二次剪应力之和应换算成应力强度(等于2倍纯剪应力),且不应超过表17和表21的基本应力限制。

#### 6.2.2.3.3 三向应力

3个一次主应力的代数和( $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ )不应超过表中所列  $S_m$  值的4倍。

#### 6.2.2.3.4 应力超过屈服强度时弹性分析的应用

一些设计准则允许采用的许用应力可能使按弹性基准计算的最大应力值超过材料的屈服强度。

6.2.2.4 设计应力值

支承件材料的设计应力强度值 $S_m$ 见《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.3、A.5和表A.6。中间温度的应力强度值可由内插法求得。这些构成了不同应力限制的基础。屈服强度值和拉伸强度值分别见《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.8。热膨胀系数的值和弹性模量的值见《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.10—A.20。

6.2.2.5 螺栓件的设计

6.2.2.5.1 设计限制

6.3.2.4.6给出了设计技术规格书中的任何设计载荷所应满足的规则和应力限制。

6.2.2.5.2 A级至D级使用限制

设计技术规格书中任何A级至D级的使用载荷应满足6.3.2.4.6规定的规则和应力限制，并乘以表9规定的对特殊使用载荷级别和应力类别的相应应力限制系数。这个乘积不应超过工作温度下材料的屈服强度限。

表9 1级、2级、3级和金属安全壳螺栓分析法设计时的应力限制系数

应力类别	设计技术规格书指明的各载荷等级的应力限制系数 <sup>a</sup>					
	设计	A级使用	B级使用	C级使用	D级使用	试验载荷
拉伸和剪切	$K_{bo}=1.0$	$K_{bo}=1.0$	$K_{bo}=1.15$	$K_{bo}=1.25$	b	$K_{bo}=1.25$
注： $K_{bo}$ =适用于设计许用拉伸和剪切应力的应力限制系数。						
<sup>a</sup> 不能用于摩擦型连接件。						
<sup>b</sup> 见《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录T。						

6.2.2.5.3 试验限制

设计技术规格书中的任何试验载荷应满足6.3.2.4.6规定的规则和应力限制，并乘以表9规定的对特殊使用载荷级别和应力类别的相应应力限制系数。

6.2.2.5.4 摩擦型连接件

通常用于提高B级、C级和D级许用限制的系数不适用于摩擦型连接件[见6.3.2.4.6 a) 4) ]。

6.2.2.6 焊接接头的设计

6.2.2.6.1 板壳型支承件中许用的焊接接头类型

板壳支承件中的所有焊接接头应是连续的，且应是6.2.2.6.1a)至c)所列的类型之一。许用类型的例子示于图7。角焊缝和部分焊透焊缝应满足6.3.2.4.5d)的要求，但3.3.2.4.5d) 7)除外。

- a) 对接接头 对接接头应是下列情况之一：
- 1) 单面或双面全焊透[图7中(a-1)和(a-2)]；
  - 2) 双面部分焊透[图7中(b)]；
  - 3) 适用的焊缝形式可以是I型坡口、V型坡口、斜坡口、J型坡口、U型坡口、喇叭形V型坡口或喇叭形斜坡口[见图8]；
  - 4) 当角接头用于连接不同直径的圆筒的过渡段时，图7中简图(f)的 $\alpha$ 角不应超过30°。
  - 5) 当接头两边的厚度差超过较薄段厚度的1/4或3mm中的较小值时，应设置锥形过渡段，其长度不小于相连接两段的相邻表面之间偏距的3倍，如图9所示。过渡段可用任何能得到的均匀锥度的工艺制造。焊缝可部分或全部在锥体段内或邻接锥体段处。本条也适用于球壳、圆筒段或平板的减薄部分。

- 6) 当采用垫环会带来不利条件时,例如危险应力或腐蚀,则应满足 7.2.4 的要求。
- b) 角接接头。角接接头应是下列情况之一:
  - 1) 全焊透,如图 7 中(d-1)所示;
  - 2) 部分焊透的角焊缝,如图 7 中(d-2)和(d-3)所示;
  - 3) 适用的焊缝形式有角型、I 型坡口、V 型坡口、斜坡口、U 型坡口、J 型坡口、喇叭形 V 型坡口和喇叭形斜坡口。
- c) T 型接头 接头应是下列情况之一:
  - 1) 全焊透,图 7 中(c)和(g);
  - 2) 带或不带附加角焊缝的双面部分焊透,图 7 中(e);
  - 3) 封闭的管状截面端面或封闭的成型截面端面之间的单面部分焊透,图 7 中(h);
  - 4) 适用的焊缝形式有 I 型坡口、斜坡口、J 型坡口、喇叭形 V 型坡口和喇叭形斜坡口。

#### 6.2.2.6.2 板壳型支承件中焊接接头的应力强度和应力限制

- a) 设计限制 在设计技术规格书说明的设计载荷下焊缝所应满足的应力强度和许用应力限制为:
  - 1) 全焊透坡口焊 全焊透坡口焊缝应力强度限值不应超过 6.2.2.1.1 和表 11 规定的被焊母材的适用应力强度值。见 6.1.1.1。
  - 2) 部分焊透坡口焊:
    - a). 垂直于角焊缝有效高度的压力或在角焊缝有效高度上的剪力,其应力强度和应力限制应与 6.2.2.1.1 规定的母材应力强度和应力限制相同。
    - b). 垂直于角焊缝有效高度轴线的拉力,其应力限制应是如表 11 所规定的。
  - 3) 角焊缝 角焊缝的许用应力限制应是如表 11 所规定的。
- b) A 级至 D 级使用限制和试验限制  
设计技术规格书中的任何 A 级至 D 级使用载荷和试验载荷下的焊缝应满足 6.2.2.6.2a) 规定的规则和应力限制,并乘以表 21 对管道支承件及表 17 对部件支承件的相应的母材应力限制系数。
- c) 焊缝的有效尺寸应按 6.3.2.4.5d) 和 6.3.2.4.5f) 所给出的。

#### 6.2.2.6.3 层状撕裂的考虑

应避免在制造和(或)使用期间在轧制钢材结构上引起很大的整个厚度的拉伸应力[见 4.2.1.5b) 的定义]的焊接连接结构。然而,如果应用这种类型的结构,设计人员应考虑下面一个或几个可能降低连接对层状撕裂的敏感性的因素,并在设计输出文件中提供文件,包括制造要求:

- a) 尽实际可能地减小焊缝金属的体积;
- b) 选取抗撕裂的材料;
- c) 应用 7.4.4.1 的特殊制造要求。

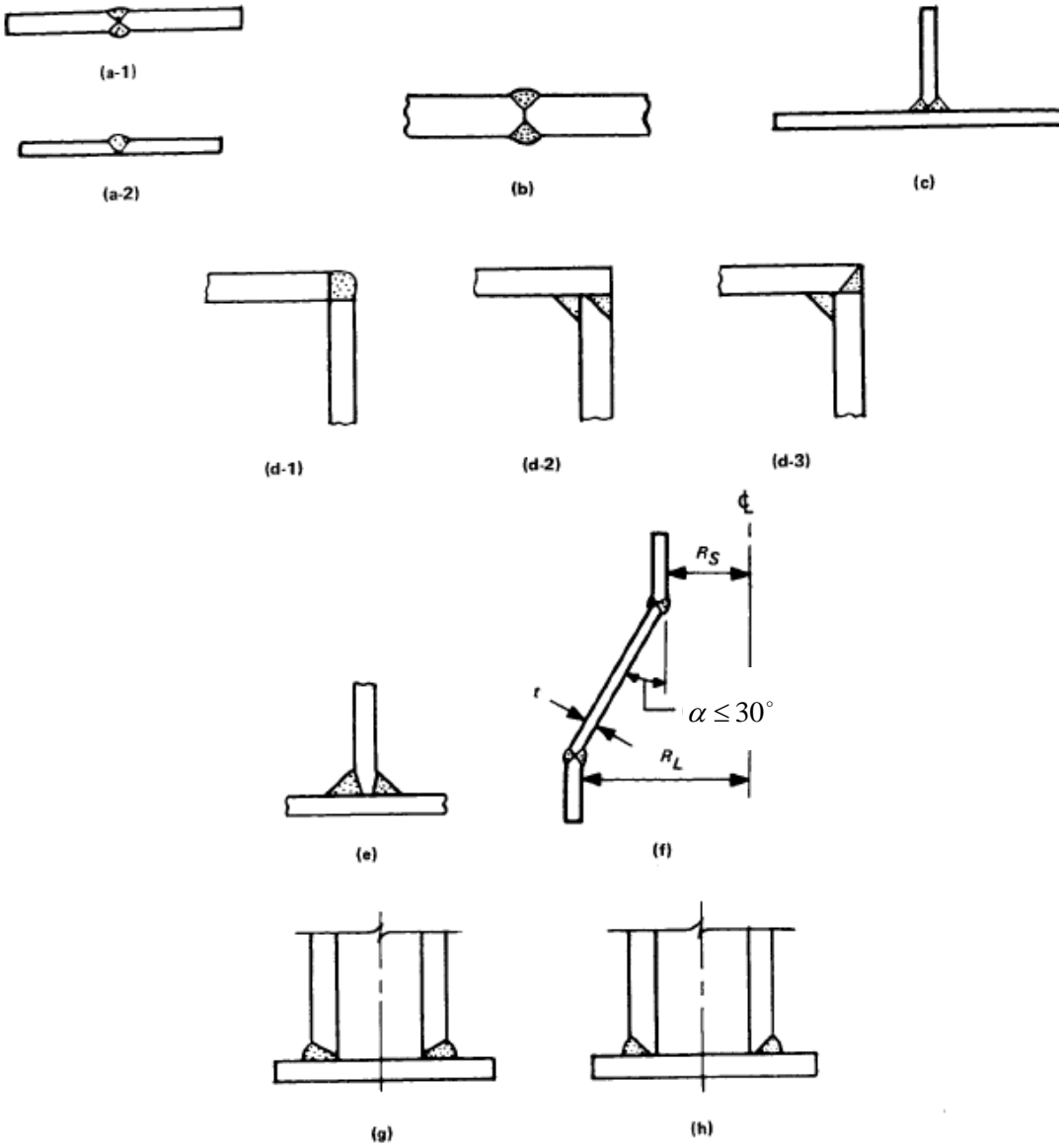


图7 1级板壳型支承件许用的焊接接头类型

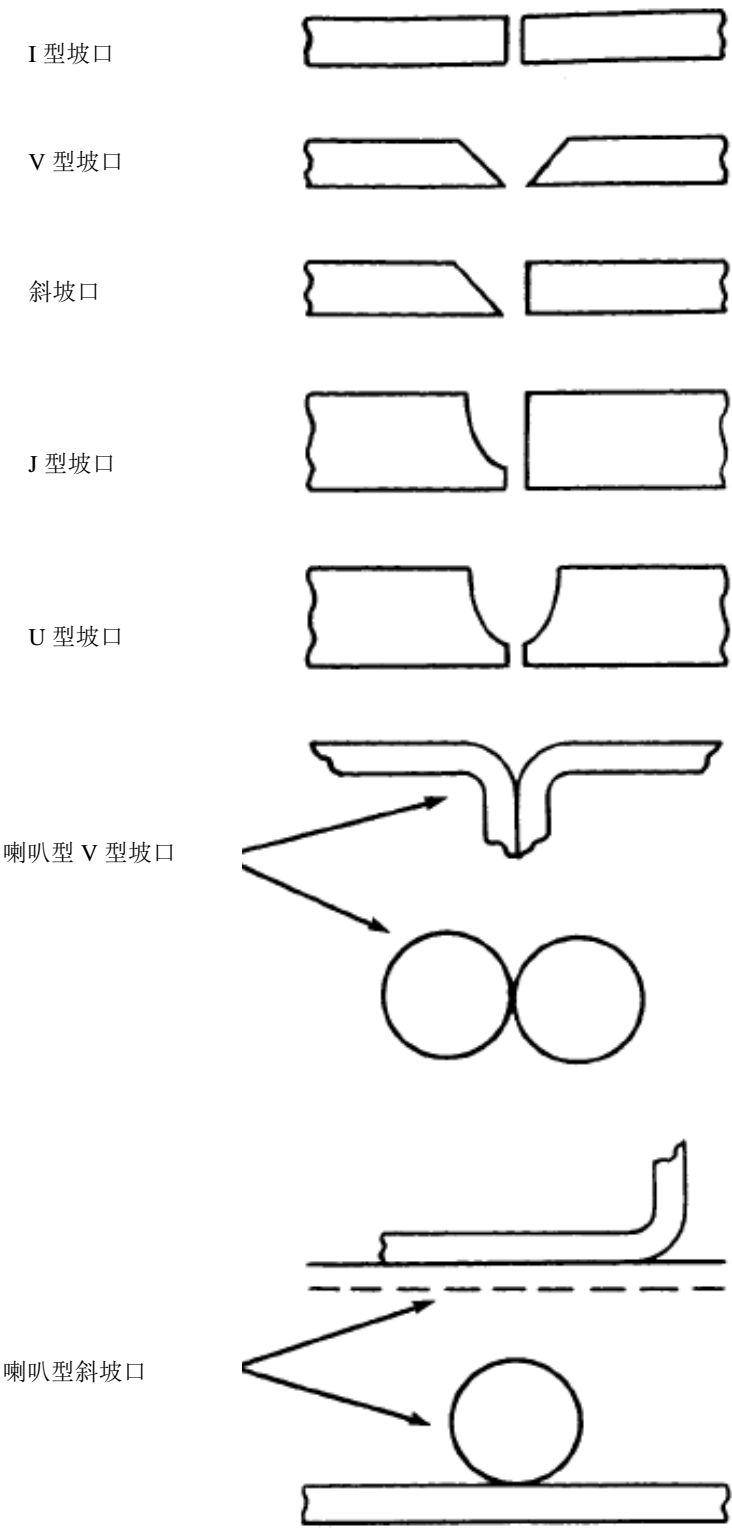


图8 供参考的典型焊缝详图

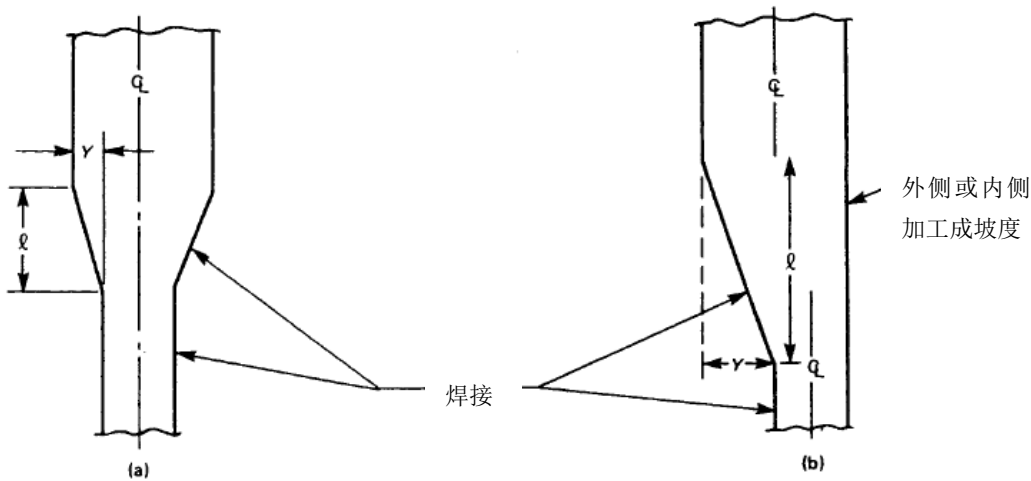


图9 非等厚板的对接焊

6.2.3 2级和金属安全壳支承件的分析法设计

板壳型支承件可用弹性分析法或极限分析法设计，其应力限制在下列各款中给出。螺栓和焊缝的应力限制在6.2.3.3和6.2.3.4中给出。通用要求和定义见6.1和6.2.1。

6.2.3.1 应力限制

6.2.3.1.1 设计载荷

如果满足(1)式和(2)式，则设计技术规格书中说明的设计载荷《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》第4.1.4.2.1章满足应力(2)限制。

$$\sigma_m \leq 1.0S \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq 1.5S \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\sigma_m$  ——薄膜应力，MPa，(6.1.2.1.7)。

$\sigma_b$  ——弯曲应力，MPa，(6.1.2.1.8)。

S ——许用应力值，MPa，《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A中适用的表查得。

6.2.3.1.2 A级至D级使用载荷

设计技术规格书中的任何A级至D级使用载荷，在弹性分析中应满足的规则和应力限制见 6.2.3.1.1中给定的设计载荷限制，并乘以表19规定的相应应力限制系数。

6.2.3.1.3 试验载荷

设计技术规格书中说明的任何试验载荷所应满足的规则和应力限制见6.2.3.1.1给出的设计载荷限制，并乘以表19规定的相应应力限制系数。

6.2.3.1.4 极限分析

采用极限分析法设计的1级板壳型支承件的限制。

6.2.3.2 特殊的应力限制

下面给出对特殊使用载荷和特殊结构与基本应力限制的不同。其中有的比基本应力限制严格，有的更宽。当这些要求与基本应力限制不一致时，对它们适用的情况首先应按本条处理。

### 6.2.3.2.1 支承载荷

- a) 在设计载荷、试验载荷或任何使用载荷引起的最大载荷作用下，为防止压坏支承应力应不大于工作温度下的  $S_y$  值的范围内；但当离自由端的距离大于支承载荷的作用距离时，平均支承应力不大于工作温度下  $S_y$  值的 1.5 倍。
- b) 当支承载荷靠近自由端时，例如作用在伸出的突缘上，则应考虑剪切破坏的可能性。在只有载荷控制的应力时，对于一次应力（6.1.2.1.2），平均剪应力应不大于 0.6S 的范围内。
- c) 在考虑销钉和类似构件上的支承应力时，采用工作温度下的  $S_y$  值。但是如果不计入距板边一个销钉直径范围内的支承面积时，则可采用 1.5 $S_y$  值。

### 6.2.3.2.2 纯剪切

- a) 由设计载荷、试验载荷或任何使用载荷引起的纯剪切载荷在截面上的平均一次剪应力应不大于 0.6S 的范围内。
- b) 由设计载荷、试验载荷或任何使用载荷引起的最大一次剪应力（不包括受扭实心圆截面周边上的应力集中）应不大于 0.8S 的范围内。

### 6.2.3.3 螺栓件的设计

采用 6.2.2.5 的规定。

### 6.2.3.4 焊接接头的设计

#### 6.2.3.4.1 板壳型支承件中许用的焊接接头类型

板壳型支承件中的所有焊接接头应是连续的，且应是 6.2.3.4.1a) 至 d) 所列的类型之一。许用类型的典型例子见图 10 所示。角焊缝和部分焊透焊缝应满足 6.3.2.4.5d) 的要求，但 6.3.2.4.5d) 7) 除外。塞焊缝和槽焊缝应满足 6.3.2.4.5e) 的要求。搭接接头应满足 6.3.2.4.3 的要求。

- a) 对接接头 对接接头应是下列情况之一：
  - 1) 单面或双面全焊透。图 10 中简图 (a-1) 和 (a-2)；
  - 2) 双面部分焊透。图 10 中简图 (b)；
  - 3) 当角焊接头用于连接不同直径圆筒的过渡段时，图 10 中简图 (n) 的  $\alpha$  角不应超过  $30^\circ$ ；
  - 4) 当接头两边的厚度差超过较薄段厚度的 1/4 或 3 mm 中的较小者时，应设置锥形过渡段，其长度不小于相连接两段的相邻表面之间偏距的 3 倍，如图 10a)-2 所示。过渡段可用任何能得到均匀锥度的工艺制造。焊缝可部分或全部在锥体段内或邻接锥体段处；
  - 5) 当采用垫环会带来不利条件时，例如危险应力或腐蚀，则应满足 4.2.4 的要求；
- b) 角接接头 角接接头应是下列情况之一：
  - 1) 全焊透。如图 10 中图 (c) 所示；
  - 2) 有角焊缝的部分焊透。如图 10 中图 (d) 和 (e) 所示。
- c) T 型接头 T 型接头应是下列情况之一：
  - 1) 单面或双面全焊透。[图 10 中图 (f-1)、(f-2) 和 (h)]；
  - 2) 带或不带附加角焊缝的部分焊透。[图 10 中图 (g)]；
  - 3) 封闭的管状截面或封闭的成形截面的端面与平板之间的单面部分焊透，图 10 中图 (j)；
  - 4) 双面角焊缝图 10 中图 (k-1)；用两个构件时的单面角焊缝，图 10 中图 (k-2)；
  - 5) 封闭的管状截面或封闭的成形截面的端面与平整面之间的单面角焊缝，图 10 中的图 (l)。
- d) 搭接接头 搭接接头应是双面角焊缝，图 10 中的图 (m)；
- e) 6.2.3.4.1a) 至 d) 中各类许用接头的适用焊缝形式有：
  - 1) I 型坡口、斜坡口、J 型坡口、喇叭形斜坡口、U 型坡口和 V 型坡口；
  - 2) 塞焊缝和槽焊缝仅对 6.2.3.4.1c) 和 d) 是适用的；
  - 3) 角焊缝仅对 c) 4)、c) 5) 和 d) 是适用的。



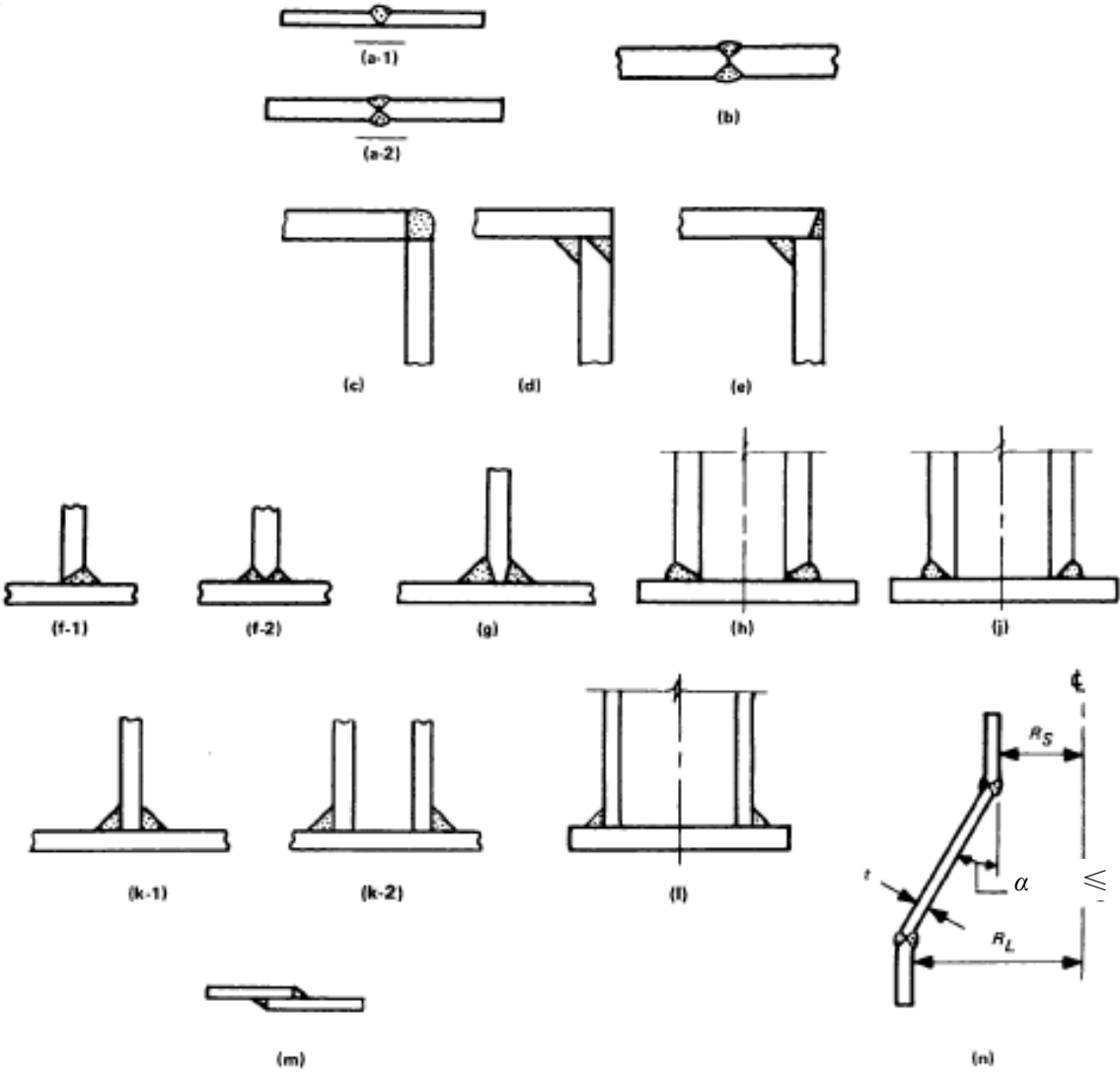


图10 2级、3级和金属安全壳板壳型支承件许用的焊接接头类型

注：简图（c）、（d）、（e）、（f-1）、（f-2）、（g）、（k-1）和（k-2）所示的焊缝仅对3级支承件可以是断续的。

6.2.3.4.2 许用应力限制

- a) 设计限制 设计技术规格书的设计载荷应满足的许用应力限制见下列情况：
- 1) 全焊透坡口焊 全焊透坡口焊的许用应力限制应不超过6.2.3.1.1及表11规定的被焊母材适用的许用应力值。
  - 2) 部分焊透坡口焊
    - (1) 垂直于角焊缝有效高度的压应力或在角焊缝有效高度上的剪应力。其许用应力限制见表11的规定；
    - (2) 垂直于角焊缝有效高度轴线的拉应力。其应力限制见表11的规定。
  - 3) 角焊缝 角焊缝的许用应力限制见表11的规定。

- b) A级至D级使用限制和试验限制 设计技术规格书中的任何A级至D级使用载荷和试验载荷下的焊缝，应满足6.2.3.4.2a)规定的规则和应力限制，并乘以表19的相应母材应力限制系数。

#### 6.2.3.4.3 有效尺寸

焊缝的有效尺寸应按3.3.2.4.5d)、e)和f)所给出的。

#### 6.2.3.4.4 层状撕裂的考虑

应避免在制造和(或)使用期间在轧制钢材结构上引起很大的整个厚度的拉伸应力[见4.2.1.5b)的定义]的焊接连接结构。然而，如果应用这种类型的结构，设计人员应考虑下面一个或几个可能降低连接对层状撕裂的敏感性的因素，并在设计输出文件中提供文件，包括制造要求：

- 尽实际可能地减小焊缝金属的体积；
- 选取抗撕裂的材料；
- 应用7.4.4.1的特殊制造要求。

### 6.2.4 3级支承件的分析法设计

#### 6.2.4.1 应力限制

3级支承件的设计应按6.2.3的要求，采用表8对3级建造给出的设计方法中的一种进行。

#### 6.2.4.2 螺栓件的设计

采用6.2.2.5的规定。

#### 6.2.4.3 焊接接头的设计

焊接接头的形式应为6.2.3.4规定的用于2级和金属安全壳支承件的接头形式，但不包括6.2.3.4.1a)2)和a)3)所列的坡口焊T型接头、坡口焊角接接头及角焊T型接头。其焊缝可以是断续的，而不必是连续的。断续的角焊缝应满足6.3.2.4.5d)7)的要求。许用应力限制见6.2.3.4.2的规定。

#### 6.2.5 实验应力分析

支承件可以按附表II(《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录D)的实验应力分析法设计。

### 6.2.6 用额定载荷法设计

#### 6.2.6.1 额定载荷法

额定载荷法应包括在一个或几个复制的全尺寸的支承件的试样上施加的总载荷，这个总载荷不大于使支承件不能执行其要求的功能时的载荷。如果在载荷路径上的所有零件都具有额定载荷或经3.2节鉴定为合格的，或是经实验应力分析判明为合格的，则由各种零件组成的全尺寸试样的每个零件或若干零件会具有额定载荷。当零件通过螺栓或焊接连接时，连接件应具有额定载荷或经6.2.2.5或6.2.2.6鉴定为合格的。在一个单个载荷试验中，有一个以上的零件应作载荷评价时，对每个零件用零件的 $S_y(\text{act})$ 和 $S_u(\text{act})$ 值对6.2.6中的额定载荷公式进行评定。具有最小额定载荷的零件确定了零件组合的额定载荷。可采用一个试样，但这种情况下额定载荷应减少10%。否则，应对具有统计意义的相当数量的试样进行试验。许用的焊接接头类型见6.2.2.6.1、6.2.3.4.1和6.2.4.3中对特定建造级别的规定。全尺寸试样的制造应考虑试验的要求，其所有焊缝不能超过设计图纸规定的焊缝尺寸。试样中的栓接接头的制造应采用设计技术规格书允许的强度最低的螺栓材料和最小边缘距离。

#### 6.2.6.2 有关设计、使用和试验载荷的额定载荷

设计载荷的额定载荷应根据A级使用限制的要求确定。对于指定为A级、B级或C级限制的使用载荷，其额定载荷应按下列各款中的公式来确定。D级限制的情况见《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录T。试验载荷的额定载荷应根据B级使用限制的要求确定。

#### 6.2.6.2.1 术语 本条中采用的符号定义如下：

- TL<sub>y</sub> ——等于或小于屈服限的支承件试验载荷；  
 TL<sub>u</sub> ——支承件试验载荷，此时加载后位移的实际增加会导致真实支承件载荷的零增长或负增长；  
 S ——由《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A中适用的表给出的设计温度（6.1.1.2.1）下的许用应力值，MPa；  
 S<sub>u</sub> ——由《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A中适用的表给出的支承件材料规定的最小抗拉强度限，MPa；  
 S<sub>u</sub>（act） ——试验期间已达到最大承载能力的零件或支承件材料的实际抗拉强度限，MPa；  
 S<sub>y</sub>（act） ——试验期间已经屈服的零件或支承件材料的实际屈服强度限，MPa；  
 K<sub>l</sub> ——受压支承件的额定载荷系数。

#### 6.2.6.2.2 板壳型支承件

作为使用载荷的板壳型支承件的额定载荷应按下列各式确定：

设计和A级限制（两者中的较小值）

$$\text{额定载荷}_{(\text{屈服限})} = TL_y \times 1.0S/S_y(\text{act}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{额定载荷}_{(\text{强度限})} = TL_u \times 1.0S/S_u(\text{act})$$

试验和B级限制（两者中的较小值）

$$\text{额定载荷}_{(\text{屈服限})} = TL_y \times 1.33S/S_y(\text{act}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{额定载荷}_{(\text{强度限})} = TL_u \times 1.33S/S_u(\text{act})$$

C级限制（两者中的较小值）

$$\text{额定载荷}_{(\text{屈服限})} = TL_y \times 1.5S/S_y(\text{act}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{额定载荷}_{(\text{强度限})} = TL_u \times 1.5S/S_u(\text{act})$$

#### 6.2.6.2.3 受压支承件

对A级、B级和C级使用，受压支承件的额定载荷应该用6.2.6.2.2的方法来确定。此外，对于由屈曲控制的情况，TL<sub>u</sub>应通过设计温度下杨氏模量和试验温度下杨氏模量的比值进行修正。额定载荷应通过下列公式确定：

设计和A级限制

$$\text{额定载荷} = 0.50KI \times TL_u$$

试验和B级限制

$$\text{额定载荷} = 0.50KI \times TL_u$$

C级限制

$$\text{额定载荷} = 0.50KI \times TL_u$$

$$KI = 1.0, \text{ 对弹性屈曲}$$

$$KI = S_y/S_y(\text{act}), \text{ 对非弹性屈曲}$$

#### 6.2.6.2.4 仅采用 TL<sub>y</sub> 或 TL<sub>u</sub> 试验结果的另一种额定载荷法

如果由6.2.6.2.2或6.2.6.2.3的方法确定的额定载荷进行如下修正，则TL<sub>y</sub>或TL<sub>u</sub>的试验结果可用于建立支承件的额定载荷。

- a) 对仅以 TL<sub>y</sub> 试验结果为依据的额定载荷：

- 1) 对于由具有明显可确定屈服点和规定的最小  $S_y/S_u$  比值不大于 0.625 的材料制成的支承件, 其额定载荷应乘以 0.83。如果材料的  $S_y(\text{act})$  是未知的, 则应假定  $S_y(\text{act})$  是材料规定的最小屈服强度限的 1.5 倍后, 以  $S_y/S_y(\text{act})$  代替乘数 0.83。
  - 2) 对于由规定的最小抗拉强度限不超过 485MPa 的碳钢制成的支承件, 在确定额定载荷前应将  $S_y(\text{act})$  增加 34MPa。
  - 3) 对所有由其他材料制成的支承件, 已确定的额定载荷应乘以 0.67。对于受压支承件, 应进行受压额定载荷下的  $TL_u$  试验, 该受压额定载荷根据 6.2.6.2.3 确定。
- b) 对于以  $TL_u$  试验结果为依据的额定载荷, 已确定的额定载荷应乘以 0.50。

### 6.3 线型支承件的设计规则

#### 6.3.1.1 通用要求

本节提供了用线弹性分析法 (6.3.2) 和塑性 (极限) 分析法 (6.3.4) 设计线型支承件的规则, 也对使用时承受高周疲劳工况的构件和连接件提供了设计方法。

#### 6.3.1.2 设计考虑

##### 6.3.1.2.1 线弹性分析

线弹性分析规则的依据是建造线型支承件的材料在工作温度下的屈服强度值, 第 II 卷 D 篇第 1 分篇表 4 及表 Y-1 给出了屈服强度值。许用应力在 6.3.2 中通过取安全系数来确定, 这些安全系数取决于与这些规定屈服强度值有关的结构件。

《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分: 辅助规则》附录 A 表 A.6 和表 A.8 所列的螺栓件材料的  $S_m$  是  $(1/3) S_y$  值。如果需要获得材料的  $S_y$  值, 可将  $S_m$  值乘 3 来求得该材料的  $S_y$  值 (化整到下一个较大的 0.10MPa)。

##### 6.3.1.2.2 高周疲劳分析

6.3.3 给出的线型支承件设计规则基本上与 6.3.2 给出的线弹性分析规则相同。但是当设计技术规格书 (《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分: 通用要求》5.2.3 节) 有规定时, 则应考虑最大应力范围 (即每个循环最小和最大应力值之差) 和支承件经受该应力范围作用的次数。

##### 6.3.1.2.3 极限分析

6.3.4 给出的极限 (塑性) 分析规则可用作线弹性分析法的替代方法。这些规则可通过决定线型支承件破坏载荷下限的极限设计来确定线型支承件的尺寸。当采用极限分析法时, 6.3.2 规定的控制线型支承件设计中许用应力的要求可以放宽, 但应采用 6.3.2 的所有其他有关规定。

##### 6.3.1.2.4 分析法设计中确定应力的依据

线型支承件设计规则中采用的失效理论是最大应力理论。在最大应力理论中, 控制应力是最大主应力。

##### 6.3.1.2.5 分析法设计的有关术语

6.3.1.3 定义了用应力分析法设计线型支承件时采用的术语。

#### 6.3.1.3 分析方法

线型支承件可用弹性分析法或极限分析法来设计, 6.3.1.2.1 给出了这些方法采用的限制。

##### 6.3.1.3.1 弹性分析

在弹性分析中, 假定所有部件和支承件的刚度为常数。

- a) 设计限制。设计技术规格书应说明任何设计载荷在弹性分析中所应满足的规则和应力限制。
- b) A 级至 D 级使用限制。设计技术规格书说明的任何 A 级至 D 级使用载荷在弹性分析中所应满足的规则和应力限制见 6.3.2.1 的规定,并乘以表 18 和表 22 给出的对特殊载荷和应力类别的相应应力限制系数。
- c) 试验限制。设计技术规格书说明的任何试验载荷所应满足的规则和应力限制见 6.3.2.1 的规定,并乘以表 18 和表 22 给出的试验载荷下相应的应力限制系数。

#### 6.3.1.4 术语及公式编号

##### 6.3.1.4.1 术语

除各条中用以代表复杂代数式中数值的符号外,6.3节所采用的术语定义如下:

$A$  ——轴向受压构件的总面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_b$  ——紧固件本体的名义截面积,  $\text{mm}^2$ ; 或根据螺纹大径加粗的杆的截面积,即包住加粗螺纹齿顶的同心圆柱直径的面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_e$  ——轴向受拉构件的有效净面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_f$  ——受压翼缘的面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_n$  ——轴向受拉构件的净面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_{st}$  ——加强筋或一对加强筋的截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_w$  ——梁腹板的面积,  $\text{mm}^2$ ;

$C$  ——螺栓抗拉强度限和被连接零件的抗拉强度限的比值;

$C_b$  ——与弯矩梯度有关的弯曲系数;

$C_c$  ——区分弹性屈曲和非弹性屈曲的长细比;

$C'_c$  ——柱的有效长细比;

$C_m$  ——相互作用公式中弯曲项采用的系数,该系数与由施加弯矩引起的柱曲率有关;

$C_t$  ——计算轴向受拉构件有效净面积时的缩减系数;

$C_v$  ——按线性屈曲理论,腹板临界应力和腹板材料剪切屈服应力的比值;

$C_1$  ——计算超尺寸孔和开槽孔最小间距时采用的增量;

$C_2$  ——计算超尺寸孔和开槽孔最小边距时采用的增量;

$D$  ——与横向加强筋类型有关的系数;

——管状构件的外径,  $\text{mm}$ ;

$E$  ——钢的弹性模量,  $\text{MPa}$ ;

$F_a$  ——无弯矩情况下允许的轴向压应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_{as}$  ——拉杆和其他次要构件在无弯矩情况下允许的轴向压应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_b$  ——无轴向力情况下允许的弯曲应力,  $\text{MPa}$ ;

$F'_b$  ——作为复合梁简化形式的板梁受压翼缘的许用弯曲应力,或因为大的腹板深厚比时的许用弯曲应力,  $\text{MPa}$ ;

$F'_e$  ——除以安全系数后的欧拉应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_p$  ——在螺栓或销钉投影面积上,或在铣削表面和滚柱、摇座或配合的支承加强件端部的接触面积上,在工作温度下的许用支承应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_{sr}$  ——应力范围,  $\text{MPa}$ ;

$F_t$  ——许用拉应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_{tb}$  ——在工作温度下的许用拉应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_v$  ——许用剪应力,  $\text{MPa}$ ;

$F_{vb}$  ——在工作温度下的许用剪应力, MPa;

$F_{yc}$  ——柱的屈服应力, MPa;

$F_{yst}$  ——加强筋的屈服应力, MPa;

$K$  ——有效长度系数;

$L$  ——跨距=螺栓孔中心到被连接零件边缘的距离, mm;

$M$  ——力矩, N-mm (6.3.2); 乘系数的弯矩, N-mm (6.3.4);

$M'$  ——作用于无拉撑段端部的较小的乘系数的力矩, N-mm;

$M_1$  ——作用于梁柱无拉撑段端部的较小力矩, N-mm;

$M_2$  ——作用于梁柱无拉撑段端部的较大力矩, N-mm;

$M_m$  ——无轴向载荷情况下, 按塑性设计的构件所能承受的临界力矩, N-mm;

$M_p$  ——塑性力矩, N-mm;

$N$  ——所施加载荷的支承长度, mm;

$P$  ——紧固件传递的力, N (6.3.2); 乘系数的轴向载荷, N (6.3.4); 轴向载荷, N (6.3.4);

$P_{bf}$  ——受约束连接中乘系数的梁翼缘力或连接板的力;

——计算的翼缘或力矩连接板施加的力并乘以下面的系数: 如果计算的力仅由A级使用载荷引起, 则乘5/3; 如果计算的力是由B级、C级和D级载荷引起, 则乘4/3, N;

$P_{cr}$  ——承受轴向载荷的受压构件或梁的最大强度, N;

$P_e$  ——欧拉屈曲载荷, N;

$P_s$  ——接头的最大滑移阻力, N;

$P_y$  ——轴向塑性载荷, 等于构件截面积乘规定的最小屈服应力, N;

$Q_a$  ——承受轴向载荷的构件的有效面积和总面积的比值;

$Q_s$  ——轴向应力折减系数;

$R$  ——施加于梁或板梁的反作用力或横向集中载荷, N; 半径, mm;

$S_u$  ——工作温度下材料的极限抗拉强度值 (《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分: 辅助规则》附录A表A.7), MPa;

$S_y$  ——工作温度下的屈服强度限 (《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分: 辅助规则》附录A表A.8), MPa;

$T_b$  ——高强度螺栓的规定预紧力, N;

$T_i$  ——每个螺栓的初始夹紧力, N;

$V_u$  ——由要求的乘系数的载荷或破坏载荷产生的剪力, N;

$Y$  ——腹板钢材的屈服应力和加强筋钢材的屈服应力的比值;

$Z_x$  ——对弯曲轴线的塑性截面模量, mm<sup>3</sup>;

$a$  ——横向加强筋间的净距离; 平行于应力方向的尺寸, 见表15, mm;

$a'$  ——用以产生应力的焊接的部分长度盖板两端要求的距离, mm;

$b$  ——加强的和不加强的受压部件的实际宽度, mm;

——垂直于应力方向的尺度, 见表15, mm;

$b_e$  ——加强的受压部件的有效宽度, mm;

$b_f$  ——轧制梁或板梁的缘宽, mm;

$d$  ——梁或板梁的高度, mm;

——滚柱或摇座的直径, mm;

——紧固件的名义直径, mm;

$d_c$  ——除去角焊缝后的柱腹板深度, mm;

$e$  ——在简支梁两端的顶部和底部之间沿跨度方向的水平位移, mm;

$f$  ——构件按有效面积计算的轴向压应力, MPa;

$f_a$  ——计算的轴向应力, MPa;

$f_b$  ——计算的弯曲应力, MPa;

- $f'_c$  ——混凝土的规定压缩强度, MPa;
- $f_p$  ——计算的支承应力, MPa;
- $f_t$  ——计算的拉应力, MPa;
- $f_v$  ——计算的剪应力, MPa;
- $f_{vs}$  ——梁的腹板和横向加强筋之间的剪力, N/mm (单个加强筋上或一对加强筋上);
- $g$  ——应力线上相继的孔之间的横向中心间距 (标距), mm;
- $h$  ——梁或板梁在所研究截面上翼缘之间的净距离, mm;
- $k$  ——把板的线性屈曲强度与其尺寸和边缘支承条件相联系的系数;
- 如果柱是轧制的型材, 为柱翼缘外表面到腹板角焊缝尖端的距离; 如果柱是焊接的型材, 则是当量距离, mm;
- $k_s$  ——表12给出的特殊表面状态下的滑移系数;
- $l$  ——对于梁, 为防扭转而拉撑的截面之间的距离, 或受压翼缘的侧向位移, mm;
- 对于柱, 为构件无拉撑的实际长度, mm; 或缀条设有支承部分的长度, mm;
- $l_b$  ——在弯曲平面上无拉撑的实际长度, mm;
- $l_{cr}$  ——与塑性铰相邻的无拉撑临界长度, mm;
- $m$  ——每个螺栓剪切平面的数目;
- $n$  ——连接件螺栓的数目;
- $r$  ——控制回转半径, mm;
- $r_b$  ——绕并发弯曲轴线的回转半径, mm;
- $r_c$  ——绕腹板平面上某一轴线的截面回转半径, 该截面包括受压翼缘面积加腹板受压面积的1/3, mm;
- $r_y$  ——构件绕弱轴的回转半径, mm;
- $s$  ——任何两相邻孔中心到中心的纵向间距 (节距), mm;
- $t$  ——板梁、梁或柱腹板的厚度, mm; 被连接零件的厚度, mm;
- 管状构件的壁厚, mm;
- $t_b$  ——梁翼缘的厚度或刚性梁上与支柱连接的力矩接板厚度, mm;
- $t_r$  ——翼缘厚度, mm;
- $t_l$  ——部分焊透坡口焊缝所连接的较薄零件的厚度, mm;
- $x$  ——对强轴弯曲有关的符号下标;
- $y$  ——对弱轴弯曲有关的符号下标;
- $\alpha$  ——复合梁腹板屈服应力和翼缘屈服应力的比值;
- $\Delta$  ——承载构件中性轴偏离其未承载时中性轴位置的位移, mm。

### 6.3.2 1级支承件的线弹性分析法设计

#### 6.3.2.1 通用设计要求

##### 6.3.2.1.1 设计工况和使用工况

- 除本节另有规定外, 所有结构部件应与不超过 6.3.2.2 中设计限制和 A 级限制的应力值 (单位: MPa) 相协调。对 B 级、C 级和 D 级的使用限制的许用应力可以按表 18 和表 22 所列系数提高。D 级使用限制规则中不包括支承型应力限制。
- 为避免受压构件中出现柱的纵向屈曲, 挠性构件与受压翼缘屈曲有关的局部不稳定性以及板梁的腹板屈曲, 它们的许用应力值应不大于临界屈曲应力的 2/3 的范围内。

##### 6.3.2.1.2 高周疲劳工况的设计

高周疲劳工况的设计应符合 6.3.3 的要求, 并采用根据 6.3.3.2.4 修正的 6.3.2.2 的许用应力值。

## 6.3.2.2 结构钢构件的设计要求

## 6.3.2.2.1 许用应力——设计工况和 A 级使用工况

## a) 拉应力

许用拉应力应按 6.3.2.2.1a) 1)、a) 2) 和 a) 3) 给出的值确定:

- 1) 除销钉连接和带螺纹的构件外,  $F_t$  应为:

$$F_t = 0.60S_y \dots\dots\dots (6)$$

但不超过按有效净面积时  $S_n$  的  $1/2$ ;

- 2) 对销钉连接的构件, 采用净面积

$$F_t = 0.45S_y \dots\dots\dots (7)$$

但不超过  $0.375S_u$ ;

- 3) 对带螺纹零件的拉伸, 见 6.3.2.4.6a) 1)。

## b) 剪应力

- 1) 除 6.3.2.2.1b) 2) 和 6.3.2.4.6a) 2) 的规定外, 在对承受剪力有效横截面积上:

$$F_v = 0.40S_y \dots\dots\dots (8)$$

但不超过  $0.33S_u$ ;

轧制的结构和机械加工的结构, 其承受剪力的有效面积可取为总深度乘腹板厚度。

- 2) 在梁的端部连接处, 由于翼板被除去和在类似情况下可能沿通过紧固件的平面上出现剪切破坏, 或沿通过紧固件平面上的剪力加一个与其垂直平面上的拉力而出现破坏, 则在抗撕裂破坏的有效面积上应有:

$$F_v = 0.30S_u \dots\dots\dots (9)$$

但不超过  $0.25S_u$ ;

有效面积为螺孔所包围的最小净破坏表面。

## c) 压应力

许用压应力应如 6.3.2.2.1c) 1) 至 c) 3) 的要求。除由奥氏体不锈钢制造的以外, 柱的许用压应力应遵循 6.3.2.2.1c) 1) 的要求, 由奥氏体不锈钢制造的柱的许用压应力则应遵循 6.3.2.2.1c) 2) 的要求; 除柱之外由任何材料 (包括奥氏体不锈钢) 建造的构件, 其许用压应力应遵循 6.3.2.2.1c) 3) 的要求。

- 1) 柱的总截面 (不包括由奥氏体不锈钢制造的)。

(1)  $Kl/r$  小于  $C_c$  时: 在截面满足 6.3.2.2.2d) 规定的轴向受压构件的总截面上, 当  $Kl/r$  (6.3.2.2.2 定义的任何无拉撑段的最大有效长细比) 小于  $C_c$  时, 则许用压应力为:

$$F_a = \frac{[1 - (Kl/r)^2 / 2C_c^2] S_y}{5/3 + [3(Kl/r) / 8C_c] - [(Kl/r)^3 / 8C_c^3]} \dots\dots\dots (10)$$

但不超过  $0.5S_u$ ;

式中:

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E / S_y}$$

- (2)  $Kl/r$  大于  $C_c$  时: 在轴向受压构件的总截面上, 当  $Kl/r$  大于  $C_c$  时, 许用压应力为:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \dots\dots\dots (11)$$

- (3) 长细比超过 120 时: 在轴向承载的拉撑构件和次要构件的总截面上, 当  $l/r$  大于 120 时, 许用压应力为:



$$F_{as} = \frac{F_a[\text{式(10)或(11)}]}{1.6 - l/200r} \dots\dots\dots (12)$$

- 2) 由奥氏体不锈钢制造的柱的总截面 在截面满足 6.3.2.2.2d) 规定的轴向受压构件的总截面上, 许用压应力见 6.3.2.2.1c) 2) (1) 和 c) 2) (2) 的要求。

(1) 当  $Kl/r$  小于或等于 120 时

$$F_a = S_y (0.47 - \frac{Kl/r}{444}) \dots\dots\dots (13)$$

(2) 当  $Kl/r$  大于 120 时, 下列许用压应力适用于拉撑和次要构件以及主要构件:

$$F_a = S_y (0.40 - \frac{Kl/r}{600}) \dots\dots\dots (14)$$

- 3) 除柱以外的构件部件

(1) 板梁的加强筋 在板梁加强筋的总截面上, 许用压应力应为:

$$F_a = 0.60S_y \dots\dots\dots (15)$$

但不超过  $0.5S_u$ ;

(2) 轧制型材的腹板 在轧制型材的腹板上, 角焊缝尖端处的许用压应力应为:

$$F_a = 0.75S_y \dots\dots\dots (16)$$

但不超过  $0.62S_u$ ;

(3) 对于采用加强筋以防止腹板断裂的情况, 见 6.3.2.2.6a)。

- d) 弯曲应力 在结构构件中的许用弯曲应力 (拉和压) 应按 6.3.2.2.1d) 1) 至 d) 6) 的要求。

- 1) 紧密截面

(1) 沿短轴平面对称的, 在短轴平面上承载的并满足本规则要求的密实热轧构件或组合构件, 除了材料的  $S_y$  为 450MPa 或以上的组合梁或构件, 在最外端纤维产生的最大弯曲应力 (拉和压):

$$F_b = 0.66S_y \dots\dots\dots (17)$$

但不超过  $0.55S_u$ ;

(2) 为评定构件, 构件应满足 6.3.2.2.1d) 1) (1) (a) 至 d) 1) (1) (g) 的要求。

(3) (a) 翼缘与腹板的连接应是连续的。

(4) (b) 受压翼缘 [如 6.3.2.2.2d) 所定义] 的无加强伸出部分的宽厚比应不超过

$$170/\sqrt{S_y}。$$

(5) (c) 受压翼缘 [如 3.3.2.2.2d) 所定义] 的有加强伸出部分的宽厚比应不超过

$$500/\sqrt{S_y}。$$

(6) (d) 腹板的深厚比应不超过 (18) 式或 (19) 式给出的值。

(7) 当  $F_a/S_y \leq 0.16$  时:

$$d/t = (1680/\sqrt{S_y})[1 - 3.74(f_a/S_y)] \dots\dots\dots (18)$$

(8) 当  $F_a/S_y > 0.16$  时:

$$d/t = 673/\sqrt{S_y} \dots\dots\dots (19)$$

(9) (e) 非盒形构件的受压翼缘的侧向无支撑长度应既不超过  $200b_t/\sqrt{S_y}$ , 也不超过  $138000/[(d/A_t) S_y]$ 。

(10) (f) 具有矩形截面的盒形构件, 当其深度不大于宽度的 6 倍, 且其翼缘厚度不大于腹板厚度的两倍时, 则其受压翼缘的侧向无支撑长度应不超过以下值:

$$[13400+8300 (M / M_e)] (b/S_y) \dots\dots\dots (20)$$

(11) 除非此值不小于  $[8300 (b/S_y)]$ 。

(12) (g) 空心圆截面的直径一厚度比应不超过  $2300/S_y$ 。

(13) 除用  $S_y$  值不小于 450MPa 的材料制成的复合梁和构件外，满足 6.3.2.2.1d) 1) (1) (a) 至 d) 1) (1) (g) 的要求并且在各支承点都是连续的或用高强度螺栓或焊接刚性固定地固定在柱上的各种梁，如果此类构件的最大正力矩增加平均负力矩的 1/10，则可由重力载荷产生的负力矩的 9/10 确定其尺寸，该重力载荷在支点处最大。这种折算不适用于悬臂梁载荷产生的力矩。如果负力矩由刚性固定地固定在梁上的柱来承受，这种按 1/10 折减的方法用于使承受轴向和弯曲组合载荷的柱满足相应的比例关系，但作用于构件上的任何并存轴向载荷产生的应力  $f_a$  不超过  $0.15F_a$ 。

## 2) 具有高的宽厚比翼缘的构件

除  $b_f/2t_f$  超过  $170/\sqrt{S_y}$ ，但小于  $250/\sqrt{S_y}$  的构件外，满足 6.3.2.2.1d) 1) 条件的构件根据下面的许用弯曲应力来设计：

$$F_b = S_y [0.79 - 0.0008(b_f / 2t_f) \sqrt{S_y}] \dots\dots\dots (21)$$

但不超过  $0.55S_u$ ；

## 3) 绕弱轴弯曲的双对称构件

除用  $S_y$  不小于 450MPa 的材料制成的复合梁和构件以外，绕其弱轴弯曲且符合 6.3.2.2.1d) 1) (1) 及 d) 1) (2) 要求的双对称工形和 H 形构件，实心圆棒和方棒以及绕其弱轴弯曲的矩形实心截面，其最外边纤维的弯曲应力（拉或压）应不超过：

$$F_b = 0.75S_y \dots\dots\dots (22)$$

但不超过  $0.63S_u$ ；

除用不小于 450MPa 的材料制成的复合梁和构件以外，绕其短轴弯曲且满足 6.3.2.2.1d) 1) (1) 要求的双对称工形和 H 形的构件，除非  $b_f/2t_f$  超过  $170/\sqrt{S_y}$  但小于  $250/\sqrt{S_y}$ ，可根据下面的许用弯曲应力来设计：

$$F_b = S_y [1.075 - 0.002(b_f / 2t_f) \sqrt{S_y}] \dots\dots\dots (23)$$

但不超过  $0.63S_u$ ；

绕其弱轴弯曲且满足 6.3.2.2.1d) 1) (1) (a)、d) 1) (1) (c) 和 d) 1) (1) (d) 要求的矩形管状截面，可根据下面的许用弯曲应力来设计：

$$F_b = 0.66S_y \dots\dots\dots (24)$$

但不超过  $0.55S_u$ ；

## 4) 盒形挠性构件

受压翼缘或腹板的宽厚比不满足 6.3.2.2.1d) 1) 的要求但符合 6.3.2.2.2d) 的要求的盒形挠性构件，其最外端纤维的弯曲应力（拉和压）应不超过：

$$F_b = 0.60S_y \dots\dots\dots (25)$$

但不超过  $0.5S_u$ ；

对于深度小于 6 倍宽度的盒形截面，不需要研究其侧向扭转屈曲。大深宽比的盒形截面的侧向支承要求应通过专门的分析确定。

## 5) 其他构件

(1) 不包括在 6.3.2.2.1d) 1) 至 d) 4) 中的挠性构件，其最外端纤维的拉伸应不超过用 (25) 式求得的弯曲应力。

- (2) 包括在 6.3.2.2.1d)5) (1) 中且满足 6.3.2.2.2d)1) (2) 中要求, 同时在腹板平面有一对称轴并在该平面承载的挠性构件以及绕其长轴弯曲的槽钢, 其最外端纤维的压缩应力视情况应由式 (26)、(27) 和 (28) 计算得到, 并取其中的较大者, 但不得超过  $0.60S_y$ 、 $0.5Su$ ;

- (3) 当

$$[(703.3 \times 10^3 C_b) / S_y]^{1/2} \leq l / r_c \leq [(3516 \times 10^3 C_b) / S_y]^{1/2}$$

- (4) 则

$$F_b = \{2/3 - [S_y (l / r_c)^2 / (10550 \times 10^3 C_b)]\} S_y \dots\dots\dots (26)$$

- (5) 当

$$l / r_c \geq \sqrt{(3516 \times 10^3 C_b) / S_y}$$

- (6) 则

$$F_b = (1172 \times 10^3 C_b) / (l / r_c)^2 \dots\dots\dots (27)$$

- (7) 当受压翼缘是实心的且横截面近似矩形, 且其面积不小于受拉翼缘的面积时,

$$F_b = (82740 C_b) / (l d / A_f)^2 \dots\dots\dots (28)$$

式中:

$$C_b = 1.75 + 1.05 (M_1 / M_2) + 0.3 (M_1 / M_2)^2 \leq 2.3$$

- (8) 其中  $M$  和  $M_2$  分别是无拉撑长度两端绕构件强轴的弯矩中较小者和较大者。当  $M$  和  $M_2$  同号 (逆曲率弯曲) 时, 式中  $M_1 / M_2$  (端部弯距比) 为正值, 当  $M$  和  $M_2$  异号 (单曲率弯曲) 时,  $M_1 / M_2$  为负值。当无拉撑长度上任一点的弯矩都大于其两端的弯矩时,  $C_b$  的值应取为 1。当计算 (29) 式所用的  $F_{bx}$  值和  $F_{by}$  值时, 对经受支点平移的框架,  $C_b$  可用上面给出的公式来计算。对悬臂梁,  $C_b$  可以保守地取为 1。

- (9) 对于仅在支点处执行抗扭转拉撑的悬臂梁, 可保守地取实际长度为  $l$ 。

- (10) 对复合板梁, (26) 式和 (27) 式中的  $S_y$  为受压翼缘的屈服应力, (28) 式不适应用于复合梁。

- 6) 其他侧面拉撑的构件

满足 6.3.2.2.2d)1) (2) 的要求但未包括在 6.3.2.2.1d)5) (2) 中的挠性构件, 如果绕其强轴弯曲的截面在压应力区内是侧向拉撑的, 且拉撑间隔超过  $200b_f / \sqrt{S_y}$ , 则其最外端纤维的压缩引起的最大弯曲应力应用 (25) 式求得。

- e) 组合应力

- 1) 轴向压缩和弯曲

对受轴向压缩和弯曲 (包括产生二次应力的弯矩) 的构件。其应力应满足下列 (29) 式、(30) 式和 (31) 式要求的比例关系:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - f_a / F'_{ex}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - f_a / F'_{ey}) F_{by}} \leq 1.0 \dots\dots\dots (29)$$

$$\frac{f_a}{\min(0.60S_y, 0.50Su)} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \dots\dots\dots (30)$$

当考虑一次弯曲应力和二次弯曲应力时, 在评定了一次应力以后, (31) 式的右端项可用 1.5 来代替。当  $f_a / F_a \leq 0.15$  时, (31) 式可用于代替 (29) 式和 (30) 式:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (31)$$

在(29)、(30)和(31)式中,下标 x、y 表示适用于某一特定应力或设计性能的弯曲轴线,且:

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl_b / r_b)^2}$$

该式适用于除用奥氏体不锈钢制造的构件外的所有构件,或

$$F'_e = \frac{\pi^2 E}{2.15(Kl_b / r_b)^2}$$

该式适用于用奥氏体不锈钢制造的构件(在  $F'_e$  的表达式中,与  $F_a$ 、 $F_b$  和  $0.60S_y$  的情况一样,

对特定的应力类别,  $F'_e$  应乘以表 18 和表 22 中相应的应力限制系数)。式中  $C_m$  为一系数,其值应是 6.3.2.2.1e) 1) (1) 至 e) 1) (3) 给出的值:

- (1) 对于接点经受平移(侧倾)的框架中的受压构件,  $C_m=0.85$ 。
- (2) 对于接点受拉撑以使其不致平移且在弯曲平面中的支承点之间不受横向载荷的框架中的受约束的压缩构件,  $C_m=0.6-0.4(M_1/M_2)$
- (3) 式中:
- (4)  $M_1/M_2$  是在所考虑平面的弯曲平面内无拉撑构件段的端部上较小力矩和较大力矩的比值。当构件以逆曲率弯曲时,  $M_1/M_2$  是正值,当构件以单曲率弯曲时,  $M_1/M_2$  是负值。
- (5) 如果框架有拉撑使其不经受在承载平面上的接点平移,且在支承点之间受横向载荷时,则这种框架中受压构件  $C_m$  值的确定可以通过理论分析;但可以采用下列的值来代替理论分析:
- (6) (a) 对端部受约束的构件(不经受平面内的旋转):  $C_m=0.85$
- (7) (b) 对端部不受约束的构件(不经受平面内的旋转):  $C_m=1.0$

## 2) 轴向拉伸和弯曲。

对受轴向拉伸和弯曲应力的构件在沿其长度的所有点上均应满足(30)式要求的比例式,式中  $f_b$  为计算的弯曲拉应力。但是单取计算的弯曲压应力时,应不超过根据 6.3.2.2.1 d) “弯曲应力”得到的适用值。

## 3) 剪切和拉伸。

受剪切和拉伸组合作用的螺栓应符合 6.3.2.4 要求的比例式。

## f) 接触面支承

### 1) 铣削表面。

铣削表面和配合的支承刚性件<sup>5)</sup>端部的接触面积上,在铰孔、钻孔和镗孔内销钉的投影面积上,最大支承应力应为:

$$F_p = 0.9S_y \quad \dots\dots\dots (32)$$

但不超过  $0.75S_u$ ;

### 2) 滚柱和摇座。

最大支承应力, MPa 应为:

$$F_p = \left( \frac{S_y - 90}{20} \right) 0.66d \quad \dots\dots\dots (33)$$

5) 当相接触的零件具有不同的屈服应力时,  $S_y$  应取较小值。

## 3) 螺栓。

支承连接件的螺栓投影面积上的最大支承载荷应为：

$$F_p = 1.5S_u \dots\dots\dots (34)$$

## 4) 混凝土支承。

在没有任何其他的规范规则来限制混凝土的支承应力时，则其最大支承应力值应为 6.3.2.2.1f) 4) (1) 和 (2) 给出的值：

(1) 在混凝土支承的总面积上：

$$F_p = 0.35f'_c \dots\dots\dots (35)$$

(2) 在小于混凝土支承的总面积上：

$$F_p = 0.35f'_c \sqrt{A_2 / A_1} \leq 0.7f'_c \dots\dots\dots (36)$$

式中：

$A_1$  = 支承面积， $\text{mm}^2$

$A_2$  = 混凝土支承的总横截面积， $\text{mm}^2$ 。

## g) 单角钢构件。

单角钢构件应按《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 D 进行设计。。

### 6.3.2.2.2 稳定性、长细比和宽厚比

## a) 通用要求

- 1) 整体的结构和各个受压部件均应具有总体的稳定性。设计应考虑由于结构变形或受侧向载荷作用的系统中单个部件的变形引起的显著的载荷效应，包括对梁、柱、支撑件和连接件承剪构件的效应。
- 2) 除 6.3.2.2.1c) 3) 的规定外，在确定轴向受压构件的长细比时，有效长度  $Kl$  应取构件长度，相应的回转半径应取  $r$ 。

## b) 侧向稳定性

- 1) 拉撑框架。在框架中(依靠与对角线拉撑(承剪构件)、与具有足够侧向稳定性的相邻结构或与由墙水平固定的楼板或平行于框架平面的拉撑系统的适当连接来提供侧向稳定性)以及在桁架中，受压构件的有效长度系数  $K$  应取为 1，除非分析表明可用更小的值。
- 2) 无拉撑框架。在侧向稳定性取决于刚性连接的梁和柱的弯曲刚性的框架中，受压构件的有效长度  $Kl$  应由理论方法求得，但不应小于实际无拉撑的长度。

## c) 最大长细比

- 1) 受压构件的长细比  $Kl/r$  应不超过 200。
- 2) 非棒状受拉构件的长细比  $l/r$ ：对主构件最好不超过 240；对侧向拉撑构件和其他次要构件最好不超过 300。

## d) 宽厚比

## 1) 无加强的受压部件

- (1) 有效宽度。无加强的(伸出的)受压部件是有一个平行于压力方向的自由端的部件。无加强的板宽度应取其自由端至第一排紧固件或焊缝的距离；角钢边、槽钢和 Z 型钢的翼缘以及 T 型构件分支的宽度应取总的名义宽度；I 型和 H 型构件以及 T 型钢的翼缘宽度应取总名义宽度的一半。应在自由边和相应腹板面的中间处测量斜坡式翼缘的厚度。
- (2) 有效宽度的确定。如果宽厚比不大于下列值，则轴向受压或因弯曲受压的无加强部件的有效宽度取其总宽度。

- (3) (a) 对于单角钢支撑或有分隔件的双角钢支撑为  $200/\sqrt{S_y}$ 。

(4) (b) 对于由两根相接角的角钢组成的支撑：梁、柱或其他受压构件上伸出的角钢或板；梁的受压翼缘；和板梁上的加强筋为  $250/\sqrt{S_y}$ 。

(5) (c) T 型构件分支为  $333/\sqrt{S_y}$ 。如果实际宽厚比超过这些值，则设计应力应按照 6.3.2.2.2e) 的规定。

## 2) 加强的受压部件

(1) 有效宽度。加强的受压部件是沿平行于压应力方向的两边有侧向支撑的受压部件。这类部件的宽度应取以下值：

(2) (a) 对轧制的、拼装的或成型截面的腹板，h 取为翼缘间的净距离；

(3) (b) 对轧制的、拼装的或成型截面的腹板，d 取为总名义深度；

(4) (c) 对拼装部件中的翼缘或膜板，宽度 b 取为相邻紧固件线或焊缝线间的距离；

(5) (d) 对空心矩形截面的翼缘，宽度 b 取为腹板间净距离减去每边内棱角半径。若半径未知，宽度可取为截面总宽度减去厚度的三倍。

(6) 有效宽度的确定。如果宽厚比不大于下列值，则轴向受压或因为弯曲而均匀受压的加强部件(如挠性构件<sup>6)</sup>的翼缘)的有效宽度应取其总宽度。

(7) (a) 等厚的正方形和长方形盒形截面的翼缘为  $624/\sqrt{S_y}$ ；

(8) (b) 钻有一系列检修孔<sup>7)</sup>的盖板的无支撑宽度为  $831/\sqrt{S_y}$ ；

(9) (c) 所有其他的均匀受压的加强部件为  $663/\sqrt{S_y}$ 。

(10) 除多孔盖板外，如果实际宽厚比超过这些值，则设计应力应按照 6.3.2.2.2e) 的规定。

(11) 圆管形部件。如果外径与壁厚的比值不大于  $22700/S_y$ ，则轴向受压的圆管形部件的截面积认为是完全有效的。对于外径与壁厚之比大于  $22700/S_y$  但小于  $89600/S_y$  的情况，计算的应力应按照 6.3.2.2.2e) 的规定。

## e) 细长受压部件

1) 通用要求。包含受压部件且宽厚比超过 6.3.2.2.2d) 1) 和 d) 2) 给出的适用限制的轴向承载构件和挠性构件，应满足下列各条要求的比例关系。

2) 无加强的受压部件。除此处给出的值以外，宽厚比超过 6.3.2.2.2d) 1) 给出的适用限制的无加强受压部件的应力应乘以折减系数  $Q_s$ 。 $Q_s$  的值视情况应由 (37) 式至 (42) 式确定，式中 b 为 6.3.2.2.2d) 1) 定义的无加强部件的宽度。如果这类部件包括挠性构件的受压翼缘，则最大许用弯曲应力既不应超过  $0.6S_yQ_s$ ，也不应超过 6.3.2.2.2d) 5) 或 d) 6) 给出的适用值。轴向受压构件的许用应力应该用 6.3.2.2.2e) 5) 给出的相应的折减系数  $Q_s$  进行的修正。

(1) 对单角钢，如果

$$(2) \quad 200/\sqrt{S_y} < b/t < 400/\sqrt{S_y}$$

(3) 则

$$Q_s = 1.340 - 0.00171(b/t)\sqrt{S_y} \dots\dots\dots (37)$$

(4) 如果

$$(5) \quad b/t \geq 400/\sqrt{S_y}$$

6) 挠性构件腹板已包括在 6.3.2.2.6a) 和 6.3.2.2.6e) 2) 的规定中，可不按照本条规定。

7) 假定根据最大孔处板的净面积来计算压应力。

(6) 则

$$Q_s = 106,869 / [S_y (b/t)^2] \dots\dots\dots (38)$$

(7) 对于柱或其他受压构件伸出的角钢或板以及对于板梁受压翼缘伸出的部件，如果

$$(8) \quad 250 / \sqrt{S_y / k_c} < b/t < 510 \sqrt{S_y / k_c}$$

(9) 则

$$Q_s = 1.293 - 0.00118(b/t) \sqrt{S_y / k_c} \dots\dots\dots (39)$$

(10) 如果

$$(11) \quad b/t > 510 \sqrt{S_y / k_c}$$

(12) 则

$$Q_s = 180,000 k_c / [S_y (b/t)^2] \dots\dots\dots (40)$$

(13) 当  $h/t > 70$  时，
$$k_c = \frac{4.05}{(h/t)^{0.46}}$$
，否则  $k_c = 1.0$ 。

(14) 对 T 型钢分支，如果

$$(15) \quad 333 / \sqrt{S_y} < b/t < 461 \sqrt{S_y}$$

(16) 则

$$Q_s = 1.908 - 0.00273(b/t) \sqrt{S_y} \dots\dots\dots (41)$$

(17) 如果

$$(18) \quad b/t \geq 461 \sqrt{S_y}$$

(19) 则

$$Q_s = 138,000 / [S_y (b/t)^2] \dots\dots\dots (42)$$

(20) 但是，尺寸超过 6.3.2.2d) 1) 限制的槽钢和 T 型钢制成的无加强部件应符合表 10 给出的限制。

表10 槽钢和 T 型钢的比值限制

形状	翼缘宽度与截面高度的比值	翼缘厚度与腹板或芯板厚度的比值
拼装的 } 或轧制的槽钢 }	$\leq 0.25$ $\leq 0.50$	$\leq 3.00$ $\leq 2.00$
拼装的 T 型钢	$\geq 0.50$	$\geq 1.25$
轧制的 T 型钢	$\geq 0.50$	$\geq 1.10$

3) 加强的受压部件

- (1) 除多孔盖板外，如果均匀受压的加强部件的宽厚比超过 6.3.2.2d) 2) 给出的适用限制，则在计算包含有该部件的截面挠性设计特性和允许的轴向应力时，应采用折减的有效宽度  $b_e$ ，除非  $b_e/t$  不需要取小于 6.3.2.2d) 2) 中允许的适用值。
- (2) 对于等厚的正方形和长方形截面的翼缘：

$$b_e = \frac{663t}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \left( \frac{132}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \right] \leq b \quad \dots\dots\dots (43)$$

(3) 对于其他的均匀受压部件:

$$b_e = \frac{663t}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \left( \frac{116}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \right] \leq b \quad \dots\dots\dots (44)$$

式中:

$b$ —6.3.2.2.2d)2)定义的加强受压部件的实际宽度, mm;

$f$ —按6.3.2.2.2e)4)规定的按设计特性计算的加强受压部件内的压应力, MPa。如果在加强部件的总横截面内包括无加强的部件, 则所取的 $f$ 值应使无加强部件内最大压应力不超过适用的 $F_a Q_s$ 和 $F_b Q_s$ 。

(4) 对没有满足 6.3.2.2.1e)的要求但外径一壁厚比小于 89000/ $S_y$ 的轴向承载圆管形构件, 其许用应力应不超过由 6.3.2.2.1e)求得的较小值, 或不超过:

$$(5) \quad F_a = \left[ \frac{4560}{D/t} + 0.4 S_y \right]$$

(6) 对于 C 级工况, 当许用应力提高时, 有效宽度  $b_e$  应按 C 级工况引起应力的 0.75 倍来确定。

4) 设计特性。除了 6.3.2.2.2e)4) (1) 和 e)4) (2) 要求的以外, 截面特性应按常规方法用构件的总截面积来计算。

(1) 在计算挠性的构件对所考虑的弯曲轴的惯性矩和截面模量时, 应采用平行于弯曲轴且宽厚比大于 6.3.2.2.2d)2)给出的适用限制的受压加强部件的有效宽度, 而不用实际宽度, 并且相应地定位弯曲轴。但对于对称截面, 也可采用中性轴拉伸侧的相应有效面积来保守地但更容易地计算这些特性。求有效面积时不计入的面积应关于所应用的加强部件的中心线对称。

(2) 由轴向载荷引起的应力  $f_a$  和回转半径  $r$  应根据实际截面积来计算。但是 6.3.2.2.2e)5)给出的轴向许用应力  $f_a$  应考虑形状系数:

$$Q_a = \text{有效面积} / \text{实际面积}$$

(3) 式中, 有效面积等于实际面积减去  $\Sigma(b-b_e)t$ 。

5) 轴向受压构件。如果构件任何无拉撑段的最大有效长细比小于  $C'_c$ , 则包含无加强部件或加强部件的轴向受压构件的许用应力应不超过:

$$F_a = \frac{Q_s Q_a \left[ 1 - \frac{(Kl/r)^2}{2(C'_c)^2} \right] S_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C'_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8(C'_c)^3}} \quad \dots\dots\dots (45)$$

但不超过  $0.75 S_u$

如果  $Kl/r$  值超过  $C'_c$ , 则许用压应力值按(11)式计算。这里

$$C'_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q_s Q_a S_y}}, \quad Q = Q_s Q_a$$

(1) 横截面全由无加强部件组成时:  $Q=Q_s$  (即  $Q_a=1.0$ );

(2) 横截面全由加强的部件组成时:  $Q=Q_a$  (即  $Q_s=1.0$ );

(3) 横截面由无加强部件和加强部件共同组成时,  $Q=Q_s Q_a$ 。



- 6) 轴向或弯曲组合应力。当 6.3.2.2.1e) 的规定应用于受轴向和弯曲组合应力且包含有宽厚比超过 6.3.2.2.2d) 2) 给出的适用限制的加强部件的构件时, 应力  $F_a$ 、 $f_{bx}$  和  $f_{by}$  应视情况根据 6.3.2.2.2e) 4) 和 e) 5) 给出的截面特性来计算。对包含有宽厚比超过 6.3.2.2.2d) 1) 给出的适用限制的无加强部件的构件, 其许用弯曲应力  $F_b$  应取  $0.6S_y Q_s$  或 6.3.2.2.1d) 5) 给出值两者中的较小值。

#### 6.3.2.2.3 板梁、轧制梁和组合构件

- a) 板梁和轧制梁。轧制或焊接的型材、板梁及带端盖的梁, 一般应按其总截面的惯性矩来确定尺寸。如果按 6.3.2.2.8 的规定计算的

$$0.5S_u A_{fn} \geq 0.6S_y A_{fg} \dots\dots\dots (46)$$

则各翼缘上的厂区或现场的螺栓或铆钉孔面积不应扣除。这里  $A_{fg}$  为翼缘总面积,  $A_{fn}$  为翼缘净面积。

如果

$$0.5S_u A_{fn} < 0.6S_y A_{fg} \dots\dots\dots (47)$$

则构件的弯曲特性应根据翼缘的有效拉伸面积  $A_{fe}$  计算:

$$A_{fe} = \frac{5}{6} \frac{S_u}{S_y} A_{fn} \dots\dots\dots (48)$$

- b) 复合梁。如果复合梁不要求承受大于  $0.15S_y$  乘其总面积的轴向力, 其中  $S_y$  为翼缘材料的屈服应力, 则复合梁可以按其总截面的惯性矩来确定尺寸。对合格的复合梁, 任何给定截面上的翼缘应具有相同的截面积并用相同等级的钢材制造。
- c) 开式盒形梁和重型钢梁栅。用两个或两个以上的轧制梁或槽钢并排组成一个挠性构件时, 应按不大于 1.5m 的间隔相连接。如果梁深不小于 300mm, 可采用贯穿螺栓和分隔件, 每个分隔件处应不少于两个螺栓。如果集中载荷由一根梁传递至另一根或在各梁之间分布, 则为分布载荷, 有足够刚性的隔板在各梁之间用螺栓连接或焊接。

#### 6.3.2.2.4 受压构件

- a) 对紧固件的要求

- 1) 紧固件的横向间距。受压组合构件的所有零件和它们的紧固件的横向间距应满足 6.3.2.2.2 的要求。
- 2) 端部紧固件。支承在底板或铣削表面上的受压组合构件的端部, 所有相接触的部件都应该用螺栓连接。此时, 在构件最大宽度 1.5 倍的距离上, 螺栓纵向间距应不大于螺栓直径的 4 倍; 或用连续焊缝连接, 焊缝长度应不小于构件的最大宽度。
- 3) 中间紧固件。组合构件的中间螺栓或不连续焊缝的纵向间距应足以传递计算的应力。连续两个相互接触的轧制型材的螺栓或不连续焊缝的最大纵向间距应不超过 600mm。此外, 对外部设备带有板的涂漆构件或未涂漆构件, 若它们不受腐蚀, 则最大纵向间距不应超过:

$$(1) \quad 333/\sqrt{S_y} \text{ 乘以外板厚度, 也不超过 } 300\text{mm (当紧固件沿邻近的规线不错开时);}$$

$$(2) \quad 500/\sqrt{S_y} \text{ 乘以外板厚度, 也不超过 } 450\text{mm (当紧固件沿邻近的规线错开时)。}$$

- b) 局部长细比。由两根以上轧制型材组成且型材之间用不连续的垫板隔开的受压构件, 应在这些垫板处将型材连接起来, 连接处的间距应使紧固件之间任一型材的长细比  $Kl/r$  不超过组合构件的基本长细比的  $3/4$ 。在计算每一设备零件的长细比时, 应采用最小的回转半径。沿组合构件的长度应至少使用两个中间连接件。

- c) 系板。由板材或型板构成的受压构件的开口侧应有束条,如果束条是不连续的,在每个端部和中间点处应有系板。系板应尽可能靠近端部。在承受计算应力的主构件中,端部系板长度应不小于连接主构件及其部件的各排螺栓或焊缝之间的距离,中间系板的长度应不小于该距离的一半。系板厚度应不小于连接主构件各段的各排螺栓或焊缝之间距离的  $1/50$ 。在栓接结构中,系板上应力方向上的螺栓间距应不大于螺栓直径的 6 倍,每块系板应至少用三个紧固件与各段连接。在焊接结构中,系板每边焊接量应不小于板长的  $1/3$ 。
- d) 束条。束条(包括扁钢条、角钢、槽钢或其他用作束条的型钢)的布置应使它们连接处之间的翼缘的  $l/r$  值不超过作为一个整体的构件的基本  $l/r$  值的  $3/4$ 。束条应按能承受垂直于构件轴线并等于构件总压力 2% 的剪应力来确定尺寸。单个系统中布置的型钢束条的  $l/r$  值不应超过 140;对于双道束条,该比值不应超过 200。双道型钢束条的相交处应连接。对受压的型钢束条单道束条的无支撑段长度应取为连接紧固件或焊缝与组合构件的部件间的距离;对双道束条,则取该距离的 70%。单道束条对构件轴线的倾角最好不小于 60 度;对双道束条则不小于 45 度。如果翼缘上各排螺栓或焊缝之间的距离大于 381mm,应最好采用双道束条或角钢束条。
- e) 多孔盖板。系板和束条的功能可由钻有一系列检修孔的多孔连续盖板来完成。如果符合下列条件,则假定由 3.3.2.2.2d) 定义的这种盖板在检修孔处的无支撑宽度可用于承受轴向应力:
- (1) 宽厚比符合 3.3.2.2.2d) 的限制;
  - (2) 应力方向上的长度和孔宽度的比值应不超过 2;
  - (3) 应力方向上孔间净距离应不小于最靠近的两排螺栓或焊缝之间的横向距离;
  - (4) 所有接点处,孔的圆周最小半径应为 38mm。

#### 6.3.2.2.5 受拉组合构件

- a) 连接件的纵向间距。对连续接触的部件(板材和型材接触或两个板材互相接触),其连接件的纵向间距不应超过:
- 1) 较薄板材厚度的 24 倍或 300mm(对不受腐蚀的涂漆构件或未涂漆构件);
  - 2) 较薄板材厚度的 14 倍或 175mm(对钢受空气腐蚀的未涂漆构件)。
- 连接受拉构件中两个或两个以上型材的紧固件和不连续焊缝的纵向间距不应超过 600mm。由两个或两个以上用不连续垫板分隔的型材或板材组成的受拉构件应在垫板处连接,其间距应使紧固件之间任一部件的长细比不超过 300。
- b) 多孔盖板和系板。多孔盖板或无束条的系板都可用于受拉组合构件的开口侧。系板长度不应小于连接系板与构件的其他部件的各排螺栓或焊缝之间距离的  $2/3$ 。系板厚度不应小于上述距离的  $1/50$ 。系板上的螺栓或不连续焊缝的纵向间距不应超过 150mm。系板的间距应使系板之间任何部件的长细比不超过 300。

#### 6.3.2.2.6 腹板、翼板和加强筋

- a) 腹板。翼缘之间的净距离和腹板厚度的比值不应超过:

$$96500 / \sqrt{S_y(S_y + 114)} \dots\dots\dots (49)$$

但如果有间距不大于梁深 1.5 倍的横向加强筋,则限制比值可为  $5300 / \sqrt{S_y}$ , 其中  $S_y$  为受压翼缘的屈服应力。

- 1) 剪切和拉伸组合应力。由 (60) 式给出的拉力场决定的板梁腹板,应使由梁腹板平面上的力矩引起的弯曲拉应力值不超过  $0.6S_y$ , 或

$$(0.825 - 0.375 \frac{f_v}{F_v}) S_y \dots\dots\dots (50)$$

式中:

$F_v$ 按(45)式计算的腹板许用剪应力MPa。

如果翼缘内弯曲应力  $f_b$  超过  $0.75F_b$ ，对翼缘和腹板屈服限大于  $450\text{MPa}$  的板梁，其腹板的许用剪应力应不超过(59)式给出的值。

## 2) 腹板的失稳破坏

(1) 腹板局部屈服。梁和焊接板梁的腹板应使不是由支承加强筋承受的集中载荷引起的腹板角焊缝尖端处的压应力不超过值  $0.66S_y$ ；否则应设置支承加强筋。控制方程应为：

(2) (a) 对内部载荷：

$$\frac{R}{t(N+125k)} \leq 0.66S_y \quad \dots\dots\dots (51)$$

(3) (b) 端部反作用力：

$$\frac{R}{t(N+65k)} \leq 0.66S_y \quad \dots\dots\dots (52)$$

式中：对端部反作用力的  $N$  应取大于或等于  $k$ 。

(4) 腹板受压边缘的应力。受集中载荷作用的构件，当压力超过以下限值时，应对其腹板提供支承加强肋：

(5) 若集中载荷作用点距构件边缘不小于  $d/2$  时：

$$R = 177t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{S_y t_f / t_w} \quad \dots\dots\dots (53)$$

(6) 若集中载荷作用点距构件边缘小于  $d/2$  时：

$$R = 89t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{S_y t_f / t_w} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中：

$S_y$  ——指定的梁腹板的最小屈服应力，MPa；

$d$  ——构件总深度，mm；

$t_f$  ——翼缘厚度，mm；

$t_w$  ——腹板厚度，mm；

(7) 若提供的加强肋延伸到腹板深度的至少一半，则无需再核对公式(53)和(54)。

(8) 构件翼缘没有被加强肋或侧向撑杆约束住相对运动，且构件承受集中压力时，若压力超过以下限值，应对其腹板提供支承加强肋：

(9) 受载翼缘受转动约束且  $(d_c / t_w) / (l / b_f)$  小于 2.3 时：

$$R = \frac{46882t_w^3}{h} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{d_c / t_w}{l / b_f} \right)^3 \right] \quad \dots\dots\dots (55)$$

(10) 受载翼缘不受转动约束且  $(d_c / t_w) / (l / b_f)$  小于 1.7 时：

$$R = \frac{46882t_w^3}{h} \left[ 0.4 \left( \frac{d_c / t_w}{l / b_f} \right)^3 \right] \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中：

$l$  ——载荷点处沿任一翼缘的最大侧向无支承长度，mm；

$b_f$  ——翼缘宽度，mm；

$d_c = d - 2k$  ——腹板深度减去角焊缝。

(11) 若  $(d_c / t_w) / (l / b_f)$  超过 2.3 或 1.7，或腹板承受均布载荷作用，则相应地无需再核对公式(55)和(56)。

## b) 翼缘

翼缘伸出部分的厚度应符合 6.3.2.2.2d)1) 的要求。

焊接板梁的翼缘可以通过拼接一系列板材或采用盖板来改变厚度或宽度。

螺栓连接板梁盖板的总截面积应不超过翼缘总面积的 70%。

## c) 翼缘的设计

1) 连接翼缘和腹板或连接盖板和翼缘的高强度螺栓或焊缝应能承受板梁上弯曲力所产生的总水平剪力。这些螺栓或不连续焊缝的纵向分布与剪力强度成正比,但纵向间距应分别不超过 6.3.2.2.4a)3) 对受压构件或 6.3.2.2.5a) 对受拉构件规定的最大允许值。此外,连接翼缘和腹板的螺栓和焊缝应能把任何直接施加于翼缘的载荷传递给腹板,但另有措施使这种载荷通过直接支承传递时例外。

2) 非全长盖板应延伸到理论截止点以外,延伸部分应该用高强度螺栓的摩擦型接头或角焊缝与梁或板梁连接,其强度应足以承受 6.3.2.4.6a)、6.3.2.4.5d) 或 6.3.3.2.4 中适用的许用应力,使盖板内梁或板梁在理论截止点处产生一部分弯曲应力。此外,对于焊接的盖板,连接盖板和梁或板梁的焊缝在如 6.3.2.2.4 中适用的许用应力,使盖板内梁或板梁在理论截止点处产生一部分弯曲应力。此外,对于焊接的盖板,连接盖板和梁或板梁的焊缝

在如 6.3.2.2.6c)1) (1) 至 c)1) (3) 所定义的长度  $a'$  以内应足以承受许用应力,使盖板在梁或板梁距离盖板端部  $a'$  处产生部分弯曲应力。离盖板端部的长度  $a'$  应为:

- (1) 如果有一条等于或大于盖板厚度  $3/4$  的连续焊缝横过盖板端部,且沿盖板两边在长度  $a'$  内各有连续焊缝,则  $a'$  应为盖板宽度。
- (2) 如果有一条小于盖板厚度  $3/4$  的连续焊缝横过盖板端部且沿盖板两边在长度  $a'$  内各有连续焊缝,则  $a'$  应为盖板厚度的 1.5 倍。
- (3) 如果没有焊缝横过盖板端部但沿盖板两边在长度  $a'$  内各有连续焊缝,则  $a'$  应为盖板宽度的 2 倍。

d) 翼缘应力的降低。如果腹板的深厚比超过  $2000/\sqrt{F_b}$ , 则受压翼缘的最大应力不应超过:

$$F'_b \leq F_b [1.0 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} (\frac{h}{t} - \frac{2000}{\sqrt{F_b}})] \dots\dots\dots (57)$$

式中:  $F_b$  为 6.3.2.2.1d) 给出的适用弯曲应力, MPa。复合梁各翼缘的最大应力不应超过 (57) 式给出的值, 或:

$$F'_b \leq F_b [\frac{12 + (A_w / A_f)(3\alpha - \alpha^3)}{12 + 2(A_w / A_f)}] \dots\dots\dots (58)$$

## e) 加强筋

1) 支承。支承加强筋应成对布置在板梁腹板的无框架端部和 6.3.2.2.6a)2) 要求的集中载荷作用点处。对此类加强筋, 当垂直于翼缘的载荷为拉力时, 加强筋应焊接在受载翼缘上; 当垂直于翼缘的载荷为压力时, 加强筋可以焊接或支撑在受载翼缘上。加强筋应按 6.3.2.2.1 规定的柱来设计。设计时假定柱的截面包括一对加强筋和一个位于中心的腹板条, 腹板条的宽度不大于在内部加强筋处腹板厚度的 25 倍; 或当加强筋位于腹板端部时, 则这个宽度不大于腹板厚度的 12 倍。在计算  $1/r$  时, 应取有效长度不小于加强筋长度的  $3/4$ 。只有翼缘角钢角焊缝以外或翼缘与腹板焊缝以外的加强筋部分认为在支承上是有效的。

2) 腹板平均剪应力。除此处规定的以外, 任何完整的或部分的载荷状态下计算的腹板最大平均剪应力  $F_v$ , MPa 应不超过 (59) 式给出的值:

$$F_v = (S_y / 19.9) C_v \leq 0.4 S_y \dots\dots\dots (59)$$

式中：

当 $C_v$ 小于0.8时， $C_v = (310,000k) / [S_y (h/t)^2]$ ；

当 $C_v$ 大于0.8时， $C_v = [500 / (h/t)] \sqrt{k / S_y}$ ；

当 $a/h$ 小于1.0时， $k=4.00+[5.34/(h/t)^2]$ ；

当 $a/h$ 大于1.0时， $k=5.34+[4.00/(h/t)^2]$ 。

另一方面，对于非复合梁和锥形构件，如果设置并布置满足 6.2.2.2.6e)3) 规定的中间加强筋且  $C_v \leq 1$ ，则可采用 (60) 式<sup>8)</sup> 给出的许用剪力值来代替 (59) 式给出的值：

$$F_v = \frac{S_y}{2.89} \left[ C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \leq 0.4 S_y \dots\dots\dots (60)$$

### 3) 中间加强筋

- (1) 受 6.3.2.2.6a) 的限制，如果比值  $h/t$  小于 260 且腹板最大剪应力  $f_v$  小于由 (59) 式给出的  $F_v$  的允许值，则不要求设中间加强筋。
- (2) 如果中间加强筋是需要的，则其间距应视情况使腹板剪应力不超过 (59) 式或 (60) 式给出的  $F_v$  值，且比值  $a/h$  应不超过  $[260 / (h/t)^2]$  或 3.0。
- (3) 在根据拉力场作用设计的板梁中，在端部面板处、在有大孔的面板处和在有与大孔面板相邻的面板处，加强筋的间距应使  $f_v$  不超过 (59) 式给出的  $F_v$  值。

### 4) 惯性矩和总面积

- (1) 一对中间加强筋或单个中间加强筋对腹板平面内一轴线的惯性矩， $\text{mm}^4$ ，应不小于  $(h/50)^4$ 。
- (2) 按 (60) 式要求布置的中间加强筋的总面积 (如果加强筋是成对的，则为全部面积)， $\text{mm}^2$ ，应不小于 (61) 式计算的值：

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left[ \frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] Y D h t \dots\dots\dots (61)$$

式中：

对于成对的加强筋， $D=1.0$ ；

对于单个角钢加强筋， $D=1.8$ ；

对于单个板材加强筋， $D=2.4$ 。

- (3) 如果任一面板的最大剪应力  $f_v$  小于 (60) 式的允许值，则总面积的要求可以按比例减少。
- (4) 应将 (60) 式所要求的中间加强筋连接，以传递总剪力， $\text{N/mm}$ 。单个加强筋或一对加强筋的总剪力不小于 (62) 式的计算值。

$$f_{vs} = h \left( \frac{S_y}{647} \right)^{3/2} \dots\dots\dots (62)$$

- (5) 如果邻近面板内的最大计算剪应力  $f_v$  小于 (60) 式的允许值，则传递的剪力可按同样的比例减少。但中间加强筋上用于将施加的集中载荷或反作用力传递给腹板的螺栓和焊缝应使其能承受不小于所施加的载荷或反作用力。

8) (60) 式给出了拉力场作用的贡献。

- (6) 如果不需要用拉撑来传递集中载荷或反作用力,中间加强筋可在靠近受拉翼缘处中止;连接中间加强筋与腹板的焊缝终点应不小于由腹板较近根部至翼缘焊缝处的腹板厚度的4倍,也不大于该腹板厚度的6倍。当采用单加强筋时,如果受压翼缘由长方形板组成,则这些加强筋应与受压翼缘相连接以防止由板的扭曲引起的任何掀开的趋势。如果在单个加强筋或一对加强筋上附有侧向的拉撑时,则除翼缘仅由角钢组成的外,加强筋应依次与受压翼缘相连接以传递1%的翼缘总应力。
- (7) 连接加强筋与板梁腹板的螺栓间距在中心处应不大于300mm。如果采用不连续角焊缝,则焊缝之间的净距离应不大于腹板厚度的16倍或250mm。
- f) 拼接板。板梁和梁的坡口焊拼接板应具有较小拼接截面的全强度;板梁和梁截面上的其他类型的拼接板应具有拼接点处应力所要求的强度。
- g) 支撑点处的防转动约束。梁、板梁和桁架应有防止其在支撑点处绕纵轴转动的约束。

#### 6.3.2.2.7 单跨和多跨以及补偿膨胀的措施

- a) 跨距的设计要求
  - 1) 单跨。梁、板梁和桁架通常应按单跨设计,其有效长度等于承受它端部反作用力的各构件重心之间的距离。
  - 2) 多跨。如果设计是按端部全约束或部分约束的假定,则由于连续、半连续或悬臂作用,梁、板梁和桁架以及相连构件截面的设计应使其能承受按此假设引起的剪力和弯矩以及所有其他的力,而在任何点上不超过6.3.2.1.1规定的单位应力。但必要时允许连接件的一部分有某些非弹性的但自限的变形,以避免紧固件的过应力。
  - 3) 补偿膨胀的措施。应有足够的措施来补偿与支承结构功能相应的膨胀和收缩。

#### 6.3.2.2.8 总面积和净面积

- a) 总面积和净面积的确定。构件任一点的总面积应由各部件垂直于构件轴线的厚度和总宽度的积求和来确定。净面积应按6.3.2.2.8c)计算的净宽度代替总宽度来确定。
- b) 净面积和有效净面积。除另有规定外,受拉构件应按净面积设计。受压构件应按总面积设计。梁和板梁应按6.3.2.2.3a)设计。
- c) 净面积的计算
  - 1) 有孔的零件
    - (1) 如果在零件截面上有一列成对角线或Z字形的孔,则零件的净宽度应为总宽度减去所有这列孔的直径的总和,再对这列孔的每个行距都加 $S^2/4g$ 。
    - (2) 零件的临界净面积 $A_n$ 由给出最小净宽度的那列孔求得。
    - (3) 在确定横越塞焊缝或槽焊缝的净面积时,不应考虑将焊缝金属加进净面积。
    - (4) 轴向受拉且载荷是由螺栓通过构件的某些(但不是全部)横截面上的部件传递时,其有效净面积 $A_e$ 应由下式计算:

$$A_e = C_t A_n$$

- (5) 除非由试验或其他公认的准则证明可以用更大的系数,否则在计算中应该采用下面的 $C_t$ 值:
- (6) (a) 如果是与翼缘连接,且在每条应力作用方向线上的紧固件不少于三个,则对翼缘宽度不小于深度2/3的W型、M型或S型型材和用这些型材切割成的T型构件:
- (7) (b) 如果连接处在每条应力作用方向线上的紧固件不少于三个,则对不满足3.3.2.2.8c)1)(4)(a)条件的W型、M型或S型型材和用这些型材切割成的T型构件以及包括组合截面在内的所在其他型材:

$$C_t = 0.90$$

- (8) (c) 连接处在每条应力作用方向线上仅有两个紧固件的所有构件:

$$C_t = 0.85$$

$$C_t=0.75$$

- (9) 当载荷由螺栓通过构件的某些(但不是全部)横截面上的部件传递时,有效净面积应按下式计算:

$$A_e = UA_g$$

(10) 式中:

(11)  $A_g$  ——构件总面积,  $\text{mm}^2$ 。

(12) 当载荷由横向焊缝传递给 W 型、M 型或 S 型型材和用这些型材切割成的 T 型构件的某些(但不是全部)横截面上的部件时,  $A_e$  应取为直接连接的部件的面积。

(13) 当载荷由板材端点处沿两边的纵向焊缝传递给板材时,焊缝长度不应小于板材的宽度。有效净面积应按上述方法计算。

(14) 除非由试验或其他准则证明可以用更大的系数,否则  $U$  值应采用以下值:

$l > 2w$  时,  $U=1.0$ ;  $2w > l > 1.5w$  时,  $U=0.87$ ;  $1.5w > l > w$  时,  $U=0.75$ 。

(15) 式中:

(16)  $l$  ——焊缝长度, mm;

(17)  $w$  ——板材宽度(焊缝间距离), mm。

(18) 螺栓拼接板、连接板和其他受拉的连接组零件应按 6.3.2.2.1a) 设计,其中有效净面积应取实际净面积,但用于设计计算时,有效净面积不应取大于总面积的 85%。

- 2) 螺栓孔尺寸。在计算净面积时,螺栓孔直径应取垂直于应力作用方向上的孔名义尺寸加 1.5mm。
- 3) 角钢。对于角钢,总宽度应为两边的宽度之和减去厚度。相对两边上孔的行距应为角钢背面行距之和减去厚度。
- 4) 销钉连接的构件
  - (1) 带环杆应厚度均匀且在销钉孔处无加强<sup>9)</sup>。带环杆应有圆头,圆头在销钉孔以外的圆周应与销钉孔同心。圆头和带环杆本体之间的过渡半径应不小于圆头直径。带环杆本体的宽度不应超过它厚度的 8 倍,其厚度不应小于 13mm。销钉孔以外平行于构件轴线的最小净面积不应小于沿销钉孔净面积的 2/3。只有当用外面螺母把销钉板和垫板拧紧使其紧贴接触时,销钉厚度才可以小于 13mm。销钉直径应不小于带环杆本体宽度的 7/8。销钉孔直径应比销钉直径大 0.8mm 以下。对屈服应力大于 480MPa 的钢材,销钉孔直径不应超过板厚的 5 倍。
  - (2) 对于非带环杆的销钉连接的平板,垂直构件轴线的净面积上的拉应力不应超过 6.3.2.2.1a) 允许的应力,销钉投影面积上的支承应力不应超过 6.3.2.2.1f) 1) 允许的应力。除销钉孔以外平行于构件轴线的最小净面积应不小于沿销钉孔净面积的 2/3。
  - (3) 在垂直于销钉连接板轴线的方向上或在垂直于组合构件的任一部分轴线的方向上,从销钉孔边缘到构件或部件边缘的计算距离不应超过销钉孔处厚度的 4 倍。出于计算目的,从销钉孔边缘到板边缘或销钉孔处组合构件的分隔部件边缘的距离不应假定为大地销钉孔直径的 0.8 倍。
  - (4) 如果除销钉孔以外,在垂直于切割的平面上的净面积不小于除销钉孔以外在平行于构件轴线的平面上所要求的净面积,则除销钉以外的构件拐角可以切割成与构件轴线成 45° 角。
  - (5) 当用外部螺母把销钉板和垫板拧紧使其紧贴接触时,则可不用对带环杆和销钉连接板厚度的限制。如果板用这种方式夹持,支承中的许用应力应不大于 6.3.2.2.1f) 1) 规定的值。

9) 在销钉孔处厚度不同的构件称为组合构件。

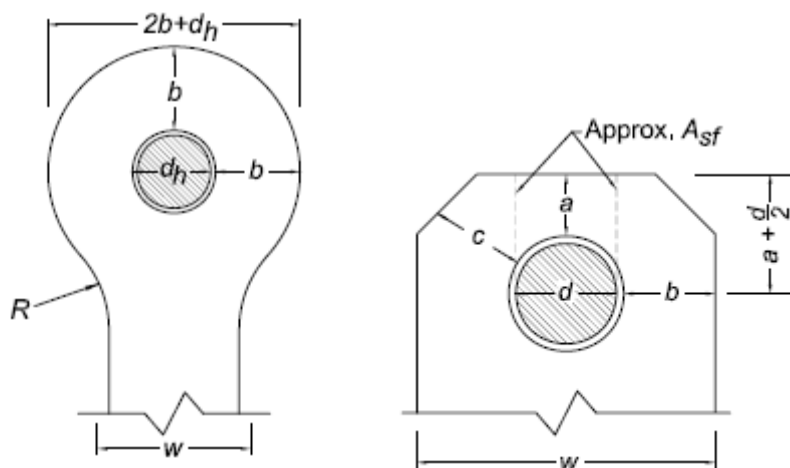


图11 带环杆和孔板示意图

#### 6.3.2.2.9 矩形管截面

对于电阻焊矩形管截面，设计人员应用0.93倍名义壁厚来计算截面特性。

#### 6.3.2.3 钢铸件和钢锻件的设计要求

##### 6.3.2.3.1 许用应力

钢铸件和钢锻件的许用应力应与6.3.2.2给出的值相同，其屈服强度的适用值见《压水堆承压部件设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A表A.8。

#### 6.3.2.4 连接件和接头的设计要求

##### 6.3.2.4.1 通用要求

- a) 允许的连接形式。应采用焊接、螺栓连接、或焊接和螺栓并用的结构连接件。
- b) 螺栓连接件的形式包括：
  - 1) 摩擦型连接件。这是一种通过机械紧固并采用高强度螺栓(诸如 SA-325 和 SA-490)的结构连接件，它应拧得足够紧以确保产生高的夹持力防止接触面之间的滑移。载荷在接触面处通过摩擦传递(图 12)。
  - 2) 支承型连接件。这是一种通过机械紧固的结构连接件，它由紧固件的直接受剪在被连接的零件之间传递载荷。
  - 3) 其他连接件。它们没有包括在 6.3.2.4.1a)1) 和 a)2) 中，也不是摩擦型连接件，例如图 3 所示的夹子和 U 型螺栓。同时它们应满足 6.3.8 的要求，但在设计文件中另有说明的除外。
- c) 偏心连接件的措施。如果可行，相交于一点的轴向应力构件应尽可能使各重力轴线相交于一点，否则，应对偏心引起的弯曲应力采取措施。
- d) 螺栓和焊缝的布置。除另有规定外，如果不是对偏心效应已采取措施，将轴向应力传递给构件的任何构件端部的螺栓组和焊缝组，应使它们的重心在构件的重力轴线上。除受交变应力的构件外，应按 6.3 的规定，对于单角钢、双角钢和类似构件的端部连接件，不要求设置角焊缝来平衡其绕中性轴的力。在受静载荷的构件内，这类构件各重力轴线之间的偏心 and 它们的端部螺栓连接件的尺寸线都可以不计，但在受疲劳载荷的构件内，则应加以考虑。



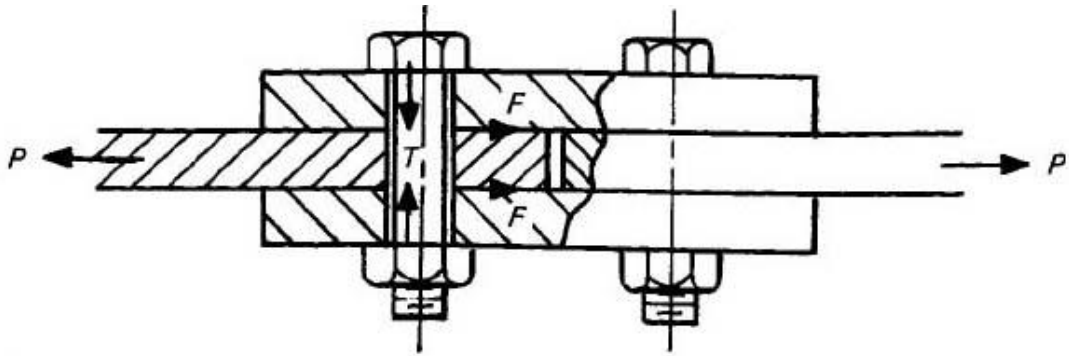


图12 使用高强度螺栓的典型摩擦型连接件

注:

T ——夹持力

P ——施加的载荷

F ——摩擦力

#### 6.3.2.4.2 连接件的设计

##### a) 无约束构件的连接件

- 1) 除设计人员另有说明外, 梁、板梁或桁架的连接件应设计成挠性的, 且通常可仅与反作用剪力相协调。
- 2) 梁的挠性连接件应适应无约束梁(简单梁)的端部转动。为此, 允许连接件内有非弹性效应。

##### b) 有约束构件的连接件

- 1) 梁、板梁和桁架的端部连接件的紧固件或焊缝应按连接件刚性产生的力矩和剪力所导致的各种力的综合效应来设计。
- 2) 如果梁和板梁的端部连接件的翼缘或力矩连接板是焊在 I 型或 H 型柱的翼缘上, 则当下面总截面积  $A_{st}$  的计算值为正值时, 应提供一对柱腹板加强筋, 加强筋的总截面积  $A_{st}$  不小于由 (63) 式计算的面积:

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc} t(t_b + 5k)}{F_{yst}} \dots\dots\dots (63)$$

- 3) 除 6.3.2.4.2b)2) 的要求外, 如果柱腹板深度减去角焊缝  $d_c$  大于:

$$\frac{10765t^3 \times \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}$$

则应在受压翼缘对面设一个或一对加强筋。

如果柱的翼缘厚度  $t_f$  小于  $0.4\sqrt{(P_{bf} / F_{yc})}$ , 则应在受拉翼缘对面设一对加强筋。

- 4) 由 6.2.2.4.2b)2) 和 b)3) 的规定要求设置的加强筋应按照下面的规则:

- (1) 各加强筋宽度加上柱腹板的一半厚度应不小于传递集中力的翼缘或力矩连接板的宽度的 1/3。
- (2) 加强筋厚度应不小于  $t_b/2$ 。
- (3) 如果所传递的集中力仅作用于柱的一个翼缘, 则加强筋长度不需超过柱深度的 1/2。
- (4) 连接加强筋与柱腹板的焊缝尺寸应能承受柱相对两侧的不平衡力矩引起的加强筋中的力。

- 5) 腹板在同一平面的两个或两个以上构件刚性连接件边界内柱腹板的厚度不小于:

$$t_{\min} = \frac{2666M}{d_b \cdot d_c \cdot S_y}$$

式中:

M ——作用在连接件边界相对两侧的顺时针和逆时针力矩的代数和, N·m;

$d_b$  ——梁的深度, mm;

$d_c$  ——柱的深度, mm;

$t_{\min}$  ——腹板厚度, mm。

如果腹板厚度小于  $t_{\min}$ , 应提供双重板或纵向加强筋加强柱腹板。

- (1) 桁架中受拉和受压构件的连接件。桁架中受拉或受压构件端部的连接件强度应能承受设计载荷的力, 但根据决定构件的应力类别, 应有不小于构件有效强度 50% 的强度。
- (2) 带支承接点的受压构件的连接件
- (3) (a) 对支承在受承板上仅受压力作用的构件, 应有足够的螺栓或焊缝来可靠地固定所有零件。
- (4) (b) 对于支承在拼接板上的仅受压力作用的构件, 拼接板材料和构件的螺栓连接或焊接应布置得能将所有零件固定在一條线上, 且能与计算应力的 50% 相协调。
- (5) (c) 所有上述接头应能承受作用在连接件上的设计力矩产生的任何拉力连同 75% 的轴向压力。

#### 6.3.2.4.3 搭接接头的设计和垫板的设计

- a) 搭接接头的设计。搭接接头的最小搭接量应为较薄的被连接零件厚度的 5 倍, 但不小于 25mm。除非对搭接零件的变形已有充分的约束以防止在最大载荷下接头被打开, 受轴向应力的搭接接头应沿两个被连接零件的端部进行角焊。
- b) 垫板的设计
  - 1) 螺栓连接的结构 如果承受计算应力的螺栓穿过厚度大于 6mm 的垫板, 则除了用高强度螺栓组装的摩擦型连接件外, 垫板应延伸到拼接板以外, 且垫板延伸部分应有足够的螺栓来固定, 使构件中的总应力均匀地分布在构件的组合截面上, 连接件应包括垫板或相当数目的紧固件。若螺栓中的许用剪应力用因子 0.016 ( $t-6$ ) 缩减 (式中  $t$  为垫板总厚度,  $t$  不超过 19mm), 则厚度在 6mm 与 19mm 间的垫板不需要延伸的扩展。
  - 2) 焊接结构 在焊接结构中, 任何厚度在 6mm 以上的垫板应延伸到拼接板的边缘以外, 垫板应与其贴合的零件用足够的焊缝焊接以传递拼接板的应力, 该应力作为偏心载荷作用在垫板表面。拼接板与垫板相连接的焊缝应足以传递拼接板的应力, 且应有足够的长度以避免垫板沿焊缝端部的过应力。厚度小于 6mm 的任何垫板应将其边缘与拼接边缘对齐。焊缝的尺寸应为承受拼接板应力所需的尺寸加上垫板的厚度。

#### 6.3.2.4.4 接头组合

- a) 焊缝的组合 如果两种或两种以上普通焊缝 (坡口焊缝、角焊缝、塞焊或槽焊) 在单个接头中组合, 则应分别计算每条焊缝对焊缝组轴线的有效承载能力, 以便确定组合焊缝的许用承载能力。
- b) 螺栓与焊缝的组合 用作支承型连接件的 SA-307 螺栓或高强度螺栓应不考虑它与焊缝组合时分担应力。如果采用焊缝, 则应能承受连接件中的全部应力。在焊接前安装的作为摩擦型连接件的高强度螺栓, 可以考虑与焊缝分担应力。

#### 6.3.2.4.5 焊接接头的设计

- a) 线型支承件中允许的焊接接头类型。线型支承件中所有的焊接接头应如 6.2.3.4.1 的叙述, 但对于 1 级部件的支承件和按《压水堆承压部件 设计与制造 第 3 部分: 2、3 级部件》6.2 设计

的 2 级容器的支承件，不应采用带角焊缝的不连续接头或搭接接头。许用应力不大于 6.3.2.4.5b) 和 c) 的规定。

- b) 设计限制。对焊缝而言，设计技术规格书说明的设计载荷所应满足的许用应力限制如下：
  - 1) 全焊透坡口焊缝。全焊透坡口焊缝的应力限制应不超过 6.3.2.1.1 及表 11 规定的被连接母材适用的应力值。
  - 2) 部分焊透坡口焊缝
    - (1) 垂直于焊缝有效高度的压力或在焊缝有效高度上的剪力。按 6.3.2.1.1 的要求，应力限制应与母材相同。
    - (2) 垂直于焊缝有效高度轴线的拉力。应力限制应按表 11 的规定。
  - 3) 角焊缝。角焊缝的许用应力限制应按表 11 的规定。
- c) A 级至 D 级使用限制和试验限制。对焊缝而言，设计技术规格书中说明的任何 A 级至 D 级使用载荷和试验载荷所应满足的规则和应力限制见 6.3.2.4.5b) 中的规定，并乘以表 22 对管道支承件和表 18 对部件支承件适用的母材应力限制系数。
- d) 角焊缝。
  - 1) 角焊缝和部分焊透焊缝的最小尺寸。角焊缝和部分焊透焊缝规定不得小于 3mm(7.4.2.7)。如果用小于 6mm 的角焊缝或部分焊透焊缝连接厚壁构件，则设计者应考虑规定预热和构件安装的特殊要求以保证足够的焊接量。
  - 2) 角焊缝的最大有效尺寸。在设计连接件时可采用的角焊缝的最大尺寸应能使邻接的母材的应力不超过表 11 和 6.3.2.1.1 中的允许值。沿所连接的零件的边缘可以采用的角焊缝最大尺寸应按 6.3.2.4.5d) 2) (1) 和 d) 2) (2) 的规定：
    - (1) 沿厚度小于 6mm 的材料边缘，最大尺寸可等于材料厚度。
    - (2) 沿厚度在 6mm 以上的材料的边缘，除非为了积累得到焊缝全高度而在图纸上特别规定外，最大尺寸应比材料厚度薄 1.5mm。
  - 3) 角焊缝的长度
    - (1) 角焊缝的有效长度应为包括回程的全尺寸角焊缝总长。
    - (2) 强度角焊缝的最小有效长度应不小于名义尺寸的 4 倍，或应考虑取焊缝尺寸不超过其有效长度的 1/4。
    - (3) 如果受拉构件的端部连接处仅采用纵向角焊缝，则每条角焊缝的长度应不小于它们之间的垂直距离。除非设计上另有措施来防止连接处的过量横向弯曲，否则端部连接处所用的纵向角焊缝的横向间距应不超过 200mm。
  - 4) 角焊缝的有效高度。以 60° 至 135° (包括 60° 和 135°) 的角度(图 16 连接构件的角焊缝的有效高度应为从根部到焊缝轮廓表面的最短距离。但用埋弧工艺焊成的角焊缝，对不大于 10mm 的角焊缝，焊缝有效高度应取等于角焊缝焊脚的尺寸；对大于 10mm 的角焊缝，焊缝有效高度应取等于焊缝理论高度加 2.8mm。对于以小于 60° 的角度连接构件的角焊缝，应使用部分焊透坡口焊的规则 6.3.2.4.5f) 3)。角焊缝的有效面积。角焊缝的有效面积应为焊缝的有效长度乘以焊缝有效高度。
  - 5) 孔和槽内的角焊缝的有效面积。应按 6.3.2.4.5d) 5) 对角焊缝的规定来计算孔和槽内的角焊缝的有效面积，计算时用焊缝中心线的长度作为有效长度，该中心线为通过焊缝高度平面的中心。但是在角焊缝重叠的情况下，有效面积应不超过搭接面平面内孔和槽的名义截面积。
  - 6) 不连续的角焊缝。如果所要求的强度小于最小允许尺寸的连续角焊缝所能产生的强度，则可采用不连续的角焊缝来传递通过接头或搭接面的计算应力。不连续的角焊缝也可用于连接组合构件的部件。任何一段不连续角焊缝的有效长度应不小于焊缝尺寸的 4 倍，最小为 38mm。
  - 7) 角焊缝的端部回程。如果设计者要求，构件或零件在端部或侧边中止的侧边或端部角焊缝应连续地绕过转角返回不小于焊缝名义尺寸 2 倍的距离。这个规定应该用于连接支架、梁

座和类似连接件在计算弯矩的平面上的侧边和顶端角焊缝。对连接件挠性依赖于外伸脚挠性的框架角钢和简单板端连接件，端部回程应不超过焊缝名义尺寸的 4 倍，对公共平面两对边上的角焊缝，在两焊缝公共拐角处点断开。如果设计者要求有端部回程，则其应在图纸上标明。

- 8) 孔和槽内的角焊缝。孔和槽内的角焊缝可用于传递搭接接头内的剪力或用于防止相搭接的零件屈曲或分离以及用于连接组合构件的部件。这类角焊缝可以重叠，重叠角焊缝应按 6.3.2.4.5d)6) 的规定。孔和槽内的角焊缝不应看作是塞焊缝和槽焊缝。
- e) 塞焊缝和槽焊缝
  - 1) 塞焊缝和槽焊缝的应用。塞焊缝和槽焊缝可用于传递搭接接头内的剪力或用于防止搭接的零件屈曲以及用于连接组合构件的组成零件。
  - 2) 塞焊缝的孔径。塞焊缝的孔径应不小于塞焊零件的厚度加 8mm，然后化整到下一个较大的 1.5mm 的倍数，且不应大于最小直径加 3mm 或焊缝金属厚度的  $2^{1/4}$  倍。
  - 3) 塞焊缝的间距。塞焊缝的最小中心距应为孔径的 4 倍。
  - 4) 槽焊缝的长度。槽焊缝的槽长应不超过焊缝厚度的 10 倍。槽宽应不小于开槽零件厚度加 8mm，然后化整到下一个较大的 1.5mm 的奇数倍，且不应大于焊缝厚度的  $2^{1/4}$  倍。除了延伸到零件边缘的槽的端部外，槽端部应是半圆的或有半径不小于开槽零件厚度的圆角。
  - 5) 槽焊缝的间距。各排槽焊缝的垂直于它们长度方向上的最小间距应为槽宽度的 4 倍，任何一排的纵向最小中心间距应为槽长度的 2 倍。
  - 6) 塞焊缝和槽焊缝的厚度。厚度为 16mm 以下材料的塞焊缝和槽焊缝的厚度应等于材料的厚度，厚度大于 16mm 材料的塞焊缝与槽焊缝的厚度应至少为材料厚度的一半，但不小于 16mm。
  - 7) 塞焊缝和槽焊缝的有效剪切面积。塞焊缝和槽焊缝的有效剪切面积应为在接合面平面上孔或槽的名义截面积。
- f) 全焊透和部分焊透接头。有效面积应为焊缝有效长度乘以焊缝有效高度。
  - 1) 任何坡口焊缝(直角的或斜的)的有效焊缝长度应为贯穿整个按比例修正截面的焊缝长度。对弯曲焊缝，有效焊缝长度应取其沿曲线的真实长度。
  - 2) 符合第 7 章要求的全焊透坡口焊的焊缝有效高度应为所连接的较薄零件的厚度，不允许增加这厚度来加强焊缝。
  - 3) 部分焊透坡口焊缝的有效高度取决于坡口类型。
    - (1) 对于 I 型坡口焊缝、U 型坡口焊缝和 J 型坡口焊缝，其有效高度等于预制的深度。
    - (2) 对于在坡口底部有一个等于或大于  $60^\circ$  角度的 V 型坡口焊缝和斜坡口焊缝，有效高度应为从底部至焊缝面的最小距离。
    - (3) 对于在坡口底部有一个小于  $60^\circ$  但大于或等于  $45^\circ$  角度的 V 型坡口焊缝和斜坡口焊缝，有效高度应为从底部至焊缝面的最小距离减 3mm。
    - (4) 对于在坡口底部有一个小于  $45^\circ$  但大于或等于  $30^\circ$  角度的 V 型坡口焊缝和斜坡口焊缝，有效高度应为从底部至焊缝面的最小距离减 3mm，再乘以 0.75。应在图纸上规定要求的有效高度。
    - (5) 对于 V 型坡口焊缝和斜坡口焊缝，其底部的角度不允许小于  $30^\circ$ 。
    - (6) 对于喇叭形斜坡口焊缝，如果与其表面对齐时，则有效高度应为形成该坡口的弧形截面外半径的 0.31 倍。对于成形的矩形管，外半径应是壁厚的 2 倍。
    - (7) 对于喇叭形 V 型坡口焊缝，如果与其表面对齐时，当外半径小于 25mm 时则有效高度应为外半径的 0.5(对 GMAW 当  $R > 13\text{mm}$  时用 0.375) 倍，对喇叭形斜坡口焊缝，焊缝有效高度应为外半径的 0.312 倍。

表11 1 级线型支承件焊缝的许用应力限制

应力类型	母材的拉伸强度范围 (MPa)	焊材的最小拉伸强度 (MPa) <sup>a</sup>	应力限制 (MPa)
平行于任何全焊透坡口焊缝轴线的拉伸和压缩	...	...	同母材
垂直于全焊透坡口焊有效高度的拉伸	...	...	同母材的许用拉应力
垂直于全焊透坡口焊缝和部分焊透坡口焊缝有效高度的压缩	...	...	同母材的许用拉应力
与载荷的施加方向无关的角焊缝有效高度上的剪应力; 垂直于部分焊透坡口焊缝有效高度的轴线的拉伸以及塞焊缝和槽焊缝有效面积上的剪应力。所给定的应力也适用于屈服应力大于配用母材的屈服应力的特定电焊条焊的焊缝。	310-410 411-480 481-550 551-620 621-690 691-830	410 480 550 620 690 830	0.30×焊材的最小拉伸强度, 但母材的剪应力不超过 0.40×母材的屈服应力 (MPa)
<sup>a</sup> 允许采用名义强度级别高于表列值的焊材 (如用 E70XX 代替 E60XX)。			

6.3.2.4.6 螺栓连接的设计要求

适用于螺栓连接件的规则和应力限制应按本条的规定。任何设计载荷、A级至D级载荷和试验载荷应满足的规则和应力限制应为本条给出的值乘以表9给出的对设计技术规格书 (NCA-3.2.5) 规定的特定载荷的相应应力限制系数。这个乘积不应超过材料工作温度下的屈服强度限。

a) 许用应力。螺栓和带螺纹零件的许用拉伸、剪切和支承应力应为本条下面给出的值。所有许用值都在 MPa 表示, 作用于相连接零件剪切平面内的有效螺栓实际面积上。所有许用值都用工作温度下极限拉伸强度限来表示 (见《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分: 辅助规则》附录 A 表 A.8)。螺栓承受剪力的能力与剪切平面内的有效剪切面积成正比。剪切强度不受剪切平面位置的影响。

1) 仅有位伸应力。受直接拉伸作用的螺栓应使其根据实际有效拉伸应力面积 (与任何预紧力无关) 计算的平均拉伸应力  $F_{tb}$  应不超过:  
对铁素体钢:

$$F_{tb} = S_u / 2$$

对奥氏体钢:

$$F_{tb} = S_u / 3.33$$

作用载荷应为外载荷和由被连接零件的变形产生的撬动作用所引起的各拉力的总和。  
由于预应力载荷而产生的拉伸应力  $F_{tp}$  应限制在下值:

$$F_{tp} \leq 0.90S_y$$

2) 仅有剪切应力  
(1) 支承型接头

(a) 剪切平面不包括螺纹, 受直接剪切载荷的螺栓和带螺纹的零件, 在实际有效剪切应力面积内 (本情况下, 适用于剪切平面内的螺栓根部的总面积) 以 MPa 表示的许用剪应力  $F_{vb}$  应不超过:

对铁素体钢:

$$F_{vb} = 0.62S_u / 3$$

对奥氏体钢:

$$F_{vb} = 0.62S_u / 5$$

(b) 剪切平面(包括螺纹)。受直接剪切载荷的螺栓及带螺纹的零件, 在实际有效剪切应力面积内(本情况下, 适用于剪切平面内螺栓根部的总面积)以 MPa 表示的许用剪应力  $F_{vb}$  应不超过:

对铁素体钢:

$$F_{vb} = 0.62S_u / 3$$

对奥氏体钢:

$$F_{vb} = 0.62S_u / 5$$

### 3) 拉伸与剪切组合应力

(1) 支承型接头。受剪切和拉伸组合作用的螺栓应使其实际截面积内的剪应力或拉应力, MPa, 不超过用计算求得的相应拉应力或剪应力代入下面椭圆方程所求得值:

$$\frac{f_t^2}{F_{tb}^2} + \frac{f_v^2}{F_{vb}^2} = 1$$

(2) 许用拉应力和剪应力值应是从 6. 3. 2. 4. 6a) 1) 和 a) 2) 给出的公式求得值。

(3) 摩擦型接头。如果接头不滑移而成为支承型, 则连接件中设计成摩擦型接头的螺栓不受剪力, 它仅受拉力。摩擦型接头应按 6. 3. 2. 4. 6a) 4) 的规定来设计。

4) 滑移阻力—摩擦型接头。摩擦型接头可设计的最大滑移阻力应不超过下式算出的  $P_s$  值[见表 12]。

$$P_s = mnT_iK_s$$

如果任何作用于接头上的直接拉伸载荷会使接头的夹紧力减小, 则  $T_i$  值在代入上式前应相应地减少。SA-307 和奥氏体钢的螺栓件不应用于摩擦型接头。

表12 有效滑移系数与表面条件的关系

表面条件	滑移系数 $k_s$
清除轧屑	0. 25
喷砂处理过后碳钢和低合金高强度钢	0. 41
喷砂处理过后热处理钢	0. 25
刷过的、有划痕的、或喷射处理的热浸镀锌线	0. 31
喷丸处理过的, 涂富锌漆的表面	0. 31
喷丸处理过的, 涂锌硅酸盐漆表面	0. 45

5) 支承应力。支承型连接件螺栓的投影面上的许用支承应力应为:

$$F_p = \frac{LS_u}{2d} \leq 1.5S_u$$

### b) 最小边距

1) 载荷线最小边距。在支承型和摩擦型接头中, 由连接件的末端螺栓的中心到被连零件承载边缘的最小距离应按 6. 3. 2. 4. 6b) 1) (1) 或 b) 1) (2) 确定。

- (1) 边距应满足下面所有条件:
- (2) (a)  $L/d \geq 0.5+1.43(f_p/S_u)$
- (3) (b)  $L/d \geq 1.2$
- (4) (c)  $f_p/S_u \leq 1.5$
- (5) 式中:  $f_p=P/d_t$ 。
- (6) 边距应如表 13 所示。

表13 最小边缘距离

螺栓直径, mm	冲孔、铰孔、钻孔的最小边缘距离, mm	
	剪切边缘处	板材、型材、棒材的轧制边缘或气割边缘 <sup>a</sup>
12.2	22.2	19.1
15.9	28.6	22.2
19.1	31.8	25.4
22.2	38.1 <sup>b</sup>	28.6
25.4	44.5 <sup>b</sup>	31.8
28.6	50.8	38.1
31.8	57.2	41.3
31.8	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> ×直径	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ×直径
<sup>b</sup> 如果孔处于应力不超过部件最大许用应力 25%的点上, 则本栏内所有的边缘距离可减少 3.2mm。		
<sup>c</sup> 在梁的连接角钢端部, 这些值可为 32mm。		

- c) 最大边距。任何铆钉或螺栓的中心到最近的相互接触的零件边缘的最大距离为所考虑的被联接零件厚度的 12 倍, 但不能超过 150mm。对受空气腐蚀的未涂漆钢制成的螺栓联接件, 其边距需有特殊要求。  
对受空气腐蚀的未涂漆的组合构件, 若紧固件用于联接相互接触的板材和型材或两个板材, 则紧固件间距应不超过最薄零件厚度的 14 倍, 也不能超过 175mm, 且最大边距不能超过最薄零件厚度的 8 倍, 也不能超过 125mm。
- d) 最小间距。标准紧固件孔、超大紧固件孔或开槽紧固件孔之间的中心距应不小于螺栓名义直径的 3 倍, 沿力的传递线, 孔的中心距应不小于下面的值:  
标准孔:  $2P/S_u t+d/2$
- e) 有效支承面积。螺栓有效支承面积应为螺栓直径乘以支承长度, 但对于埋头螺栓应在支承长度中减去埋头深度的一半。
- f) 长夹持件。对支承计算应力的 SA-307 螺栓和超过直径 5 倍的夹持情况, 夹持件长度每增加 1.5mm, 螺栓数目应增加 1%。
- g) 锚固螺栓。锚固螺栓的设计应能在柱底板处提供所有的拉伸和剪切工况下的阻力, 包括由于柱的固定或部分固定可能引起的任何弯曲力矩的净拉力分量。

6.3.2.4.7 柱底板的设计要求

应采取适当措施将任何柱的载荷和力矩传递给底座和基础。

6.3.3 1 级支承件的高周疲劳设计

6.3.3.1 引言

6.3.3.1.1 范围

经受多次循环 (>20000) 疲劳载荷导致破坏 (如6.3.3.1.2中定义) 的构件和连接件应满足此处给出的应力范围限制。

## 6.3.3.1.2 定义

本段中所用高周疲劳定义为经过足够数目的应力波动后可能引起断裂的破坏。应力范围定义为由动载荷的不同排列所引起在给定点的交变最大拉应力和压应力的数值之和或最大反向剪应力的数值之和。

## 6.3.3.2 设计要求

## 6.3.3.2.1 设计考虑

设计受交变动载荷应力的构件和连接件时，应考虑应力循环的次数、预期的应力范围和构件或零部件的类型和位置。

## 6.3.3.2.2 载荷条件的分级

载荷条件应按表14所示来分级。

表14 载荷条件的分级

载荷条件	载荷循环次数	
	起	到
1	20,000 <sup>a</sup>	100,000 <sup>b</sup>
2	100,000	500,000 <sup>c</sup>
3	500,000	2,000,000 <sup>d</sup>
4	>2,000,000	
<sup>d</sup> 约相当于 25 年中每天 2 次。 <sup>e</sup> 约相当于 25 年中每天 10 次。 <sup>f</sup> 约相当于 25 年中每天 50 次。 <sup>g</sup> 约相当于 25 年中每天 200 次。		

## 6.3.3.2.3 应力分类

用以确定与构件或零件类型、材料和位置等有关的最大应力范围的应力分类应按表15的规定。构件和零件的例子见图13。

表15 应力分类

总的状态	状况	应力类型 <sup>a</sup>	应力类别[见表 16]	示例 <sup>b</sup> 简图号[见图 15]
原材料	表面轧制加工或表面清洗过的母材	T 或 Rev	A	(1), (2)
拼装结构	无附件，用板材或型材在平行于施加应力的方向上靠连续的全焊透坡口焊缝或连续的部分焊透坡口焊缝或连续的角焊缝进行拼装的构件母材和焊缝金属	T 或 Rev	B	(3), (4), (5), (6)
	无附件，用板材或型材在平行于施加应力的方向上靠连续的全焊透坡口焊缝或连续的角焊缝进行拼装的构件母材	T 或 Rev	B'	(3), (4), (5), (6)
	邻近焊缝横向加强筋的板梁腹板或翼缘的焊缝尖端处母材的计算挠性应力 $f_b$	T 或 Rev	C	(7)
	部分长度上焊接的盖板端部母材，盖板比具有方形或锥形端部、有或没有焊缝横过端部的翼缘窄，或比有焊缝横过端部的翼			



	缘宽。			
	翼缘厚度 $\leq 20\text{mm}$	T 或 Rev	E	(5)
	翼缘厚度 $> 20\text{mm}$	T 或 Rev	E'	(5)
	部分长度上焊接的盖板端部母材，盖板比没有焊缝横过端部的翼缘宽		E'	(5)
机械式紧固连接件	高强度螺栓连接的重点应注意滑动的连接件其总截面处的母材，但不包括在被连接材料内会引起非平面弯曲的轴向承载接头	T 或 Rev	B	(8)
	其他机械式紧固连接件净截面处的母材 <sup>c</sup>	T 或 Rev	D	(8), (9)
	充分拉伸的高强度螺栓连接件净截面处的母材	T 或 Rev	B	(8), (9)
角焊缝焊接的连接件	非联结角焊缝处的母材	T 或 Rev	E	
	轴向承载构件与角焊缝焊接的端部连接件之间连接处的母材。焊缝应布置在构件轴线附件以平衡焊缝应力			
	$b \leq 25\text{mm}$	T 或 Rev	E	(17), (18)
	$b > 25\text{mm}$	T 或 Rev	E'	(17), (18)
	连接横向角焊缝的构件母材			
	$b \leq 13\text{mm}$ $b > 13\text{mm}$	T 或 Rev	C 见 d	(20), (21) (20), (21)
角焊缝	连续或不连续的纵向或横向角焊缝的焊缝金属	S	F 见 d	(15), (17), (18), (20), (21)
坡口焊缝	零件的相似截面在底部对齐，用全焊透坡口焊焊接，其拼接处的母材和焊接金属。拼接处沿施加应力的方向磨光，并按 AWS D1.1-77 的表 9.25.3 的要求用射线探伤或超声波探伤来确定焊缝的完好性	T 或 Rev	B	(10)
	在宽度或厚度的过渡处用全焊透坡口焊焊接，其拼接处的母材和焊缝金属。焊缝磨出不得超过 1 到 $2\frac{1}{2}$ 的坡度，焊接处沿施加应力的方向磨光并按 AWS D1.1-77 的表 9.25.3 的要求用射线探伤或超声波探伤来确定焊缝的完好性	T 或 Rev	B	(12), (13)
	具有或没有不大于 1 到 $2\frac{1}{2}$ 的坡度的过渡段的全焊透坡口焊焊接的拼接处的母材和焊缝金属。焊缝的加厚部分没有清除且按 AWS D1.1-77 的表 9.25.3 的要求用射线探伤或超声波来确定焊缝的完好性	T 或 Rev	C	(10), (11), (12), (13)
部分焊透坡口焊缝	按焊缝有效高度处面积计，部分焊透横向坡口焊缝的焊接接触	T 或 Rev	F 见 d	(16)
塞焊缝或槽焊缝	塞焊缝或槽焊缝处的母材	T 或 Rev	E	(27)
	塞焊缝或槽焊缝上的剪切	S	F	(27)
附件	用全焊透坡口焊缝焊接的零件的母材，焊缝受纵向和(或)横向载荷作用，零件上有大小为 R 的过渡半径，焊缝端部磨平并根			

	据 AWS D1.1 的 9.25.2 或 9.25.3 用射线探伤或超声波探伤确定焊缝的完好性			
	纵向载荷			
	$R > 600\text{mm}$	T 或 Rev	B	(14)
	$600\text{mm} > R > 150\text{mm}$	T 或 Rev	C	(14)
	$150\text{mm} > R > 50\text{mm}$	T 或 Rev	D	(14)
	$50\text{mm} > R$	T 或 Rev	E	(14)
	承受横向载荷的零件母材:			
	厚度相等且加厚部分被清除			
	$R > 600\text{mm}$	T 或 Rev	B	(14)
	$600\text{mm} > R > 150\text{mm}$	T 或 Rev	C	(14)
	$150\text{mm} > R > 50\text{mm}$	T 或 Rev	D	(14)
	$50\text{mm} > R$	T 或 Rev	E	(14), (15)
	承受横向载荷的零件母材:			
	厚度相等且加厚部分未被清除			
	$R > 600\text{mm}$	T 或 Rev	B	(14)
	$50\text{mm} > R$	T 或 Rev	E	(14), (15)
	承受横向载荷的零件母材:			
	厚度不等且加厚部分被清除			
	$R > 50\text{mm}$	T 或 Rev	D	(14)
	$50\text{mm} > R$	T 或 Rev	E	(14), (15)
	承受横向载荷的零件母材:			
	厚度不等且加厚部分未被清除			
	所有 R	T 或 Rev	E	(14), (15)
	承受横向载荷的零件母材			
	$R > 150\text{mm}$	T 或 Rev	C	(19)
	$150\text{mm} > R > 50\text{mm}$	T 或 Rev	D	(19)
	$50\text{mm} > R$	T 或 Rev	E	(19)
	用全焊透坡口焊缝焊接的零件的母材, 焊缝受纵向载荷作用			
	$2 < a < 12b$ 或 $100\text{mm}$	T 或 Rev	D	(15)
	$a > 12b$ 或 $100\text{mm}$ (当 $b \leq 25\text{mm}$ )	T 或 Rev	E	(15)
	$a > 12b$ 或 $100\text{mm}$ (当 $b > 25\text{mm}$ )	T 或 Rev	E'	(15)
	用角焊缝或部分焊透坡口焊缝焊接的零件的母材, 焊缝受纵向载荷作用			
	$a \leq 50\text{mm}$	T 或 Rev	C	(15), (23), (24), (25), (26)
	$50\text{mm} < a \leq 12b$ 或 $100\text{mm}$	T 或 Rev	D	(15), (23), (24), (26)
	$a > 12b$ 或 $100\text{mm}$ (当 $b \leq 25\text{mm}$ )	T 或 Rev	E	(15), (23), (24), (26)
	$a > 12b$ 或 $100\text{mm}$ (当 $b > 25\text{mm}$ )	T 或 Rev	E'	(15), (23), (24), (26)
	用角焊缝或部分焊透坡口焊缝焊接的母			

	材，焊缝受纵向载荷作用，焊缝端部有半径为 R 的过渡半径，焊缝端部磨平：			
	R>50mm	T 或 Rev	D	(19)
	R≤50mm	T 或 Rev	E	(19)
	角焊缝焊接的附件，其中焊缝端部有半径为 R 的过渡半径，焊缝端部磨平，且主要材料承受纵向载荷作用：			
	R>50mm	T 或 Rev	D	(19)
	R≤50mm	T 或 Rev	E	(19)
	用角焊缝或自动端焊焊接的键型剪切连接处的母材	T 或 Rev	C	(22)
	键型剪切连接件名义面积上的剪切	S	F	
<p><sup>h</sup> T 表示仅有拉应力的范围；Rev 表示涉及到交变拉应力或交变压应力的范围；S 表示包括交变剪应力的剪力范围。</p> <p><sup>i</sup> 这些例子是作为导则提出的，它并不排除其他相当的类似情况。</p> <p><sup>j</sup> 如果涉及到交变应力，不推荐用 SA-370 螺栓。</p> <p><sup>k</sup> 横向部分焊透和横向角焊缝的许用疲劳应力范围是有效高度、焊透深度和板厚的函数。</p>				

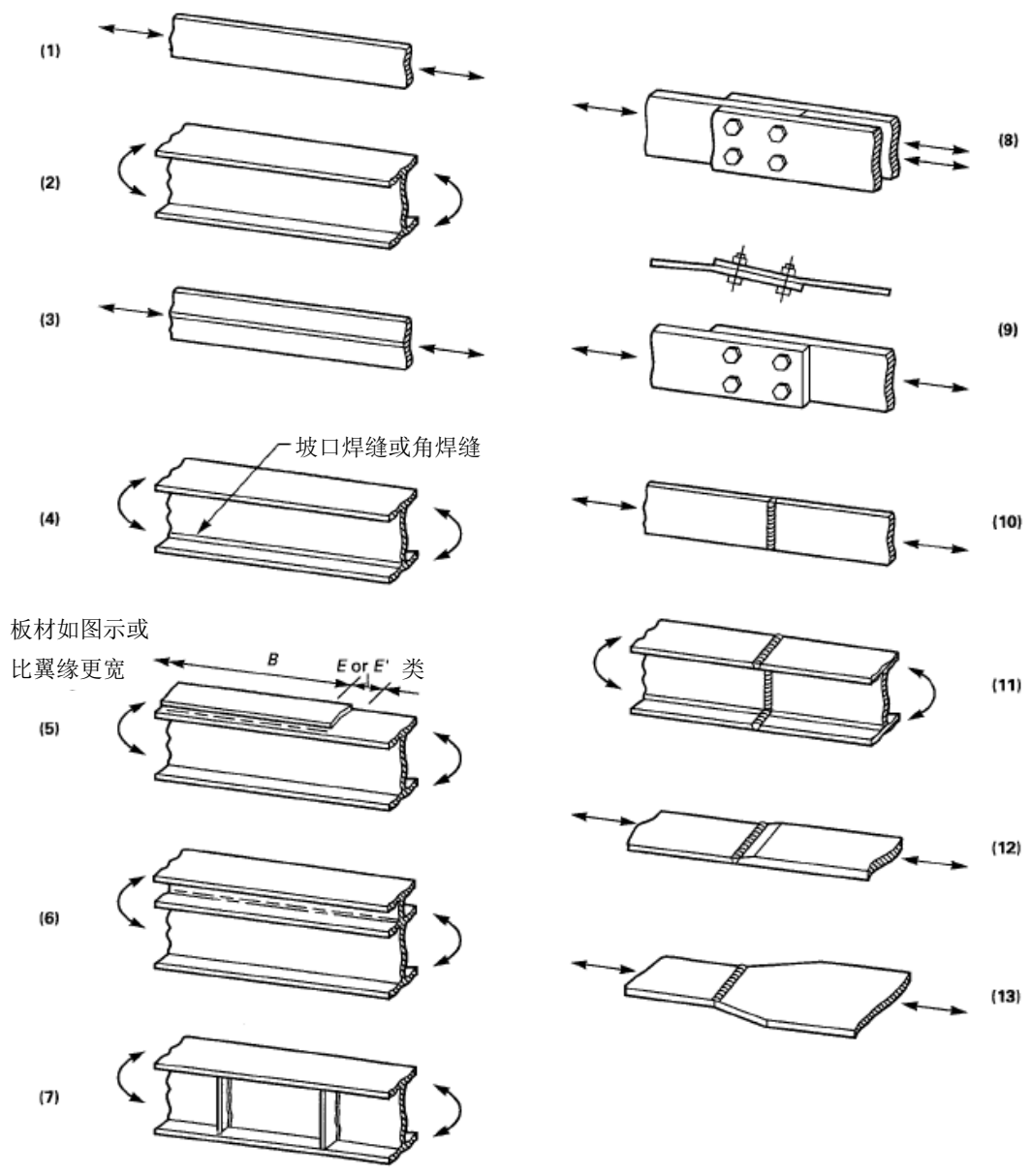


图13 示例

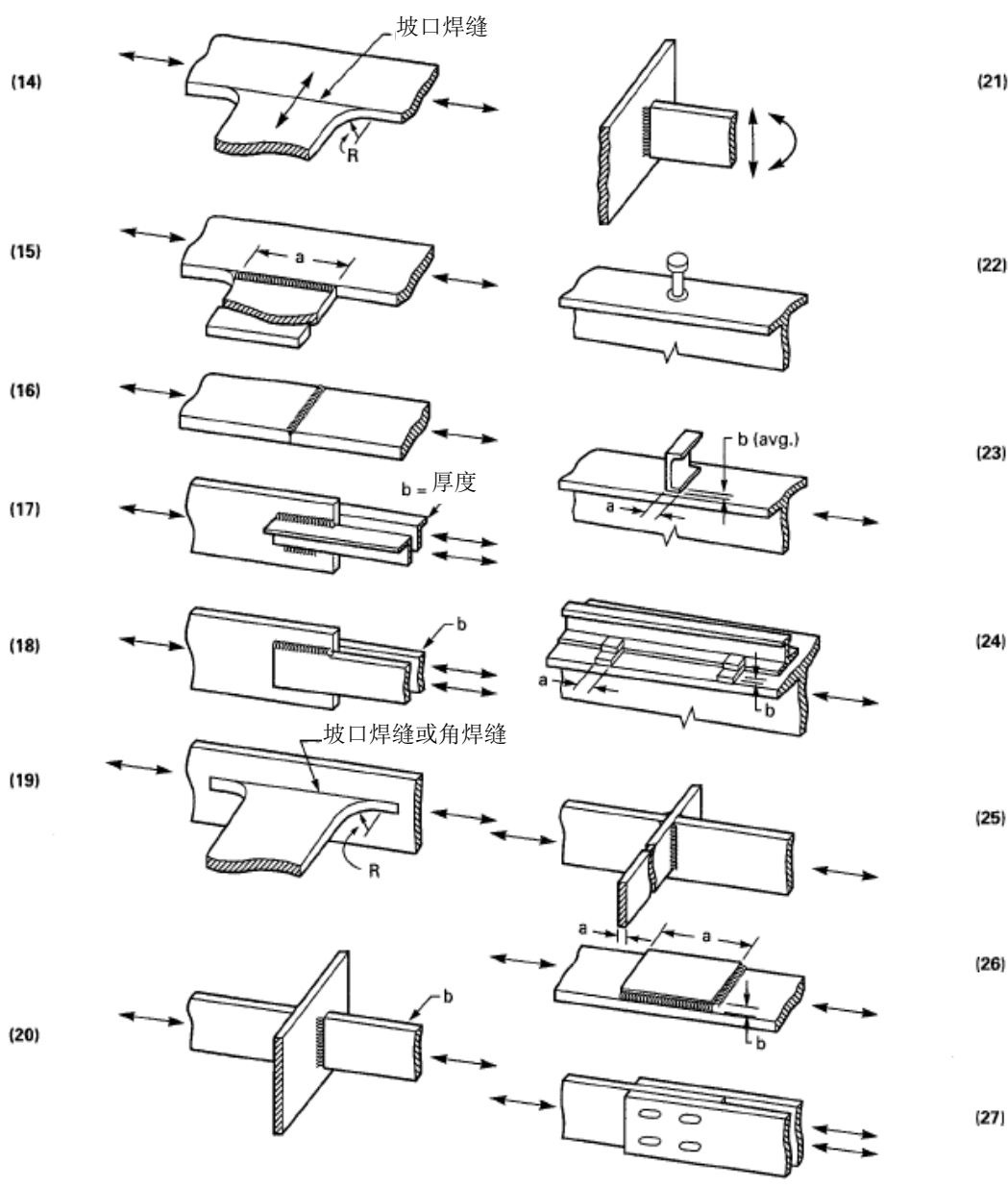


图 13 示例（续）

6.3.3.2.4 许用应力

最大应力不超过6.3.2.2允许的基本许用应力，最大应力范围应不超过表16给出的值。

表16 许用应力范围

表 15 所用的应力分类	许用应力范围 $F_{sr1}$ , MPa			
	载荷条件 $F_{sr1}$	载荷条件 2 $F_{sr2}$	载荷条件 3 $F_{sr3}$	载荷条件 4 $F_{sr4}$
A	430	255	165	165
B	340	200	125	110
B'	270	160	100	85
C	240	145	90	70
D	195	110	70	50

E	150	90	55	35
E'	110	60	40	20
F	100	85	60	55
注：腹板或翼缘的加强筋焊缝尖端处允许的挠性应力范围为83MPa。				

### 6.3.3.2.5 对机械紧固件的规定

适当预紧的ASTM A325或ASTM A490螺栓不需考虑其拉伸应力范围，但包括撬动作用在内的最大计算应力应按下列规定不超过6.3.3.2.4给出的值。

- 如果撬动载荷不超过外载荷的 10%，则经受 20000 次以上但不超过 500000 次直接拉伸循环的连接件可按外加载荷和撬动载荷之和所产生的应力来设计。如果撬动载荷超过 10%，则仅适用于外载荷的 6.3.2.4.6a) 1) 给出的许用拉应力应减少 40%。
- 如果撬动载荷不超过外载荷的 5%，则经受 500000 次以上直接拉伸循环的连接件可按外加载荷和撬动载荷之和所产生的应力来设计。如果撬动载荷超过 5%，则仅适用于外载荷的 6.3.2.4.6a) 1) 给出的许用拉应力应减少 50%。不推荐采用受拉伸疲劳载荷的其他螺栓和带螺纹零件。在考虑紧固件疲劳强度的情况下，受剪切循环载荷的螺栓和带螺纹零件可按 6.3.2.4.6a) 2) 给出的支承型剪应力来设计。

### 6.3.4 1 级支承件的极限分析法设计

#### 6.3.4.1 引言

##### 6.3.4.1.1 范围

- 按本段的限制，单梁或连续梁，刚性框架和类似的至少在一个内支承件上是连续的刚结构部分可根据塑性设计来确定尺寸，即根据破坏载荷下限来确定尺寸。由推理分析定出的强度应不小于支承 1.7 倍的 A 级和 B 级使用限制的设计破坏载荷或 1.3 倍的 C 级使用载荷的设计破坏载荷所需要的强度。
- 连接按塑性行为设计的结构部分与不按塑性行为设计的结构部分的连接件，其刚度不需超过普通支座角钢和柱头角钢或普通腹板连接件。
- 如果采用塑性设计作为连续梁和结构框架设计时的依据，则不用 6.3.2 关于许用工作应力的规定。除根据以上规则所作的修正外，6.3.2 的所有其他规定应执行。

#### 6.3.4.2 设计要求

##### 6.3.4.2.1 通用设计要求

- 剪力。除非用对角加强筋或双重板来加强，否则柱、梁和板梁的腹板，包括连接件边界以内的面积，应满足下式：

$$V_u \leq 0.55S_y t d \dots\dots\dots (64)$$

式中： $V_u$ 为所要求的换算载荷产生的剪力，N。

- 组合载荷。如果采用相互作用计算法(《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 0.9)，则构件的尺寸应使截面上换算载荷的相互作用满足《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 0.9 表 0.2 的相互作用方程，但受弯曲和压缩组合作用的柱应按 6.3.4.2.2b) 3) 的要求执行。
- 腹板的深厚比。承受塑性弯曲的构件腹板的深厚比视情况应不超过 (65) 式及 (66) 式给出的值：

$$\frac{d}{t} = \frac{1080}{\sqrt{S_y}} \left[ 1 - \left( 1.4 \frac{P}{P_y} \right) \right] (P/P_y \leq 0.27) \dots\dots\dots (65)$$

$$\frac{d}{t} = \frac{673}{\sqrt{S_y}} (P/P_y > 0.27) \dots\dots\dots (66)$$

d) 腹板失稳破坏。在构件中可能形成塑性铰的载荷作用点处要求设腹板加强筋。要构件中由构件翼缘传递的集中载荷可能导致受压翼缘对面的腹板失稳破坏的点上或受拉翼缘处的高拉伸应力的点上，应按 6.3.2.4.2b) 的规定要求设腹板加强筋。

e) 翼缘的宽厚比

1) 在破坏载荷下，经受与铰链转动有关压力的轧制 W 型材和类似的组合单腹板型材，其翼缘的宽厚比应不超过下列值：

(1) $\frac{S_y}{t}$	$b_f/2t_f$
(2) 248	8.5
(3) 290	8.0
(4) 310	7.4
(5) 345	7.0
(6) 380	6.6
(7) 413	6.3
(8) 448	6.0

斜翼缘的厚度应取其平均厚度。

2) 盒形截面和盖板上类似的受压翼缘板的宽厚比应不超过  $500/\sqrt{S_y}$ 。为此，盖板宽度应取各排高强度连接螺栓或焊缝之间的纵向距离。

#### 6.3.4.2.2 特定设计要求

a) 梁。挠性构件的最大弯曲强度应为：

$$M_p = S_y Z_x \dots\dots\dots (67)$$

b) 柱

1) 在破坏载荷下会产生塑性铰的柱的弯曲平面上，长细比  $l/r$  应不超过 6.3.2.2.1c) 定义的  $C_c$  值。

2) 轴向受压构件的最大强度应取为：

$$P_{cr} = 1.7 A F_a \dots\dots\dots (68)$$

式中：A 为构件总面积， $F_a$  由 6.3.2.2.1c) 1) 中 (10) 式定义，取决于相应长细比的值。

3) 受轴向载荷和弯矩组合作用 (包括产生二次应力的弯矩) 的构件应满足下面的相互作用方程：

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m M}{[1 - (P/P_e)] M_m} < 1.0 \dots\dots\dots (69)$$

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{1.18 M_p} \leq 1.0; \quad M \leq M_p \dots\dots\dots (70)$$

式中：

$P_e = 1.92 A F'_e$ ， $F'_e$  见 6.3.2.2.1e) 的定义；

$C_m$  —— 6.3.2.2.1e) 定义的系数。

如果能证明弯矩仅产生二次应力，则 (7) 式的右端可用 1.5 来代替。

4) 对在薄弱方向上有拉撑的柱：

$$M_m = M_p$$

5) 对在薄弱方向上无拉撑的柱:

$$M_m = M_p \left[ 1.07 - \frac{(l/r_y) \sqrt{S_y}}{8280} \right] \leq M_p \dots\dots\dots (71)$$

c) 确定最大强度的依据。对一层或两层的框架,最大强度可按常规塑性分析方法来确定,且框架的不稳定性效应  $P\Delta$  可以不计。对有拉撑的多层框架,在设计拉撑系统和框架构件时,应采取的措施以考虑框架的不稳定性效应。对无拉撑的多层框架,应将框架的不稳定性效应直接包括在最大强度的计算中。应该用理论分析证明按塑性理论设计的有拉撑多层框架的竖直拉撑系统是充分的,以防止在换算的重力载荷下结构的屈曲和保持结构的侧向稳定性,分析包括在换算的水平和重力载荷下考虑偏移的倾覆效应。

1) 有拉撑的框架的稳定性。如果同一平面内承受剪力的外墙和内墙、楼板以及盖板是固定在结构框架上的,则竖直拉撑系统可认为是与这些墙、楼板和盖板一起起作用的。当采用柱、板梁、梁和对角构件作为竖直拉撑系统时,在分析框架屈曲和侧向稳定性中,可以认为包括了一个简单连接的悬臂桁架。竖直拉撑系统内所有构件的轴向变形都应包括在侧向稳定性分析中。这些构件内由换算的水平载荷和重力载荷引起的轴向力应不超过  $0.85P_y$ , 这里  $P_y$  为屈服应力和构件面积的乘积。有拉撑的多层框架的竖直拉撑系统中包含的板梁和梁应满足按共存的换算水平载荷和重力载荷引起的轴向力和力矩,按(68)式计算时取  $P_{cr}$  为梁的最大轴向强度,该强度根据弯曲平面内拉撑点之间的实际长细比来确定。

2) 无拉撑的框架的稳定性。无拉撑的多层框架的强度应按理论分析来确定,分析中包括框架的不稳定性效应和柱的轴向变形效应。这种框架的设计应使其在下列条件下是稳定的:

- (1) 换算的重力载荷;
  - (2) 换算的重力载荷加换算的水平载荷。
- 在换算载荷水平下柱的轴向力应不超过  $0.75P_y$ 。

d) 侧向拉撑

1) 构件应有足够的拉撑以承受与失效机理有关的塑性铰处的侧向位移和扭转位移。构件或框架上从这样的拉撑铰处到类似的相邻拉撑点处的侧向无支撑距离  $l_{cr}$  应视情况不超过(72)式或(73)式确定的值:

当  $+1.0 > M'/M_p > -0.5$  时

$$l_{cr}/r_y = 9470/S_y + 25 \dots\dots\dots (72)$$

或当  $-0.5 \geq M'/M_p > -1.0$  时

$$l_{cr}/r_y = 9470/S_y \dots\dots\dots (73)$$

式中:

$M'/M_p$  ——端部力矩比,当该段以相反曲率弯曲时为正值,以单一曲率弯曲时为负值。

2) 在下述情况下不需用 6.3.4.2.2d)1) 的规定:在最后塑性铰的形成区;在假定作为确定给定构件尺寸依据的失效机理中;以及在取向为垂直于弯曲平面的弱曲的构件中。但是在最终塑性铰形成区以及与塑性铰不相邻的区域,侧向支撑点之间的最大距离应满足 6.3.2.2.1d)5) 的(26)式、(27)式或(28)式的要求,或 6.3.2.2.1e)1) 的(29)式或(30)式的要求。在这种情况下,  $f_a$  和  $f_b$  的值应从换算载荷处的力矩和轴向力除以适用的载荷系数来计算。

3) 埋在砌筑墙内且腹板垂直于该墙的构件可假设有对弱弯曲轴的侧向支承。

e) 连接件

1) 通用要求。假定以刚性为连续性必要条件作为分析依据的所有连接件,应能承受力矩、剪力和轴向载荷,这些载荷来自全部换算的载荷或任何可能部分分布的载荷。



- 2) 角连接件。由于建筑上的原因而制成楔形的或弯曲的角连接件，应使与连接件相邻的截面按要求能具有全塑性弯曲强度。
- 3) 加强筋。应按要求采用加强筋以保持中断的构件在与连续框架内其他构件连接处翼缘的连续性。这种加强筋应成对地设置在通过接点连续延伸的构件腹板的相对两侧。
- 4) 螺栓和焊缝的应力。高强度螺栓、SA-307 螺栓的焊缝应能承受换算的载荷下所产生的力，应力采用 6.3.2.4.6a) 给定的对螺栓值的 1.7 倍和表 11 给定的对焊缝值的 1.7 倍。一般说，坡口焊缝优于角焊缝，但不硬性要求采用坡口焊缝。
- 5) 带有涂漆的接触表面的接头。如果带有涂漆的接触表面的接头在尺寸上能做到产生支承作用所要求的滑移不会妨碍在换算载荷下形成设计假定的塑性铰，则这些接头可采用高强度螺栓。

### 6.3.5 2 级和金属安全壳支承件的分析法设计

2 级和金属安全壳支承件的分析法设计应按 6.3.2 和 6.3.4 的要求进行。

### 6.3.6 3 级支承件的分析法设计

3 级支承件的分析法设计应按 6.3.2 和 6.3.4 的要求进行。

### 6.3.7 实验应力分析

所有各类设备支承件可按《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 D 的实验应力分析来设计。

### 6.3.8 额定载荷法设计

#### 6.3.8.1 额定载荷法

额定载荷法在于得到一个或几个复制的全尺寸支承件的试件上施加的总载荷，这个总载荷不大于支承件不能执行其要求的功能时的载荷。如果在载荷路径上的所有零件都具有额定载荷或已由 6.3 鉴定合格，或已经过实验应力分析，则由各种零件组成的全尺寸试件会具有每个零件或若干零件的额定载荷。当零件通过螺栓或焊缝连接时，连接件应具有额定载荷或由 6.2.2.5 或 6.2.2.6 鉴定为合格。如果在一个单个载荷试验中，有一个以上的零件具有额定载荷，则对每个零件用零件的  $S_y(\text{act})$  和  $S_u(\text{act})$  值对 6.3.8 中的额定载荷方程进行评估。由具有最小额定载荷的零件确定零件组合的额定载荷。可采用一个试件，但这种情况下额定载荷应减少 10%；否则，应对具有统计意义的相当数量的试件进行试验。许用的焊接接头类型见 6.2.2.6.1、6.2.3.4.1、6.2.4.3 和 6.3.2.4 中对特定建造级别的规定。如果全尺寸试件的制造考虑了试验的要求且使用设计图纸规定的最小焊缝尺寸，则不使用 6.3.2.4.5b) 对角焊缝和部分焊透焊缝尺寸的要求。试件中的栓接接头的制造应采用设计技术规格书允许的强度最低的螺栓材料和最小边缘距离。

#### 6.3.8.2 有关设计、使用和试验载荷的额定载荷

设计载荷的额定载荷根据 A 级使用限制的要求确定。对于指定为 A 级、B 级或 C 级限制的使用载荷，其额定载荷应按下列各款中的公式来确定。D 级限制的情况见《压水堆承压部件 设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 T。试验载荷的额定载荷根据 B 级使用限制的要求确定。

##### 6.3.8.2.1 术语 本条中采用的符号定义如下：

$TL_y$  ——等于或小于屈服限的支承件试验载荷；

$TL_u$  ——支承件试验载荷，此时加载后位移的实际增加会导致真实支承件载荷的零增长或负增长；

$F_{a11}$  ——6.3.1 中应力类型的许用值，MPa；

$S_{u(\text{act})}$  ——试验期间已经达到最大承载能力的零件或支承件材料的实际抗拉强度限，MPa；

$S_{y(akt)}$  ——试验期间已经屈服的零件或支承件材料的实际屈服强度限，MPa；

$KI$  ——受压支承件的额定载荷系数。

### 6.3.8.2.2 线型支承件

对使用载荷的线型支承件的额定载荷应按下列各式确定：

设计和A级限制(两者中的较小值)

$$\text{额定载荷}_{(\text{屈服限})} = TL_y \times 1.0 \frac{F_{all}}{S_{y(akt)}} \dots\dots\dots (74)$$

$$\text{额定载荷}_{(\text{强度限})} = TL_u \times 1.0 \frac{F_{all}}{S_{u(akt)}}$$

试验和B级限制(两者中的较小值)

$$\text{额定载荷}_{(\text{屈服限})} = TL_y \times 1.33 \frac{F_{all}}{S_{y(akt)}} \dots\dots\dots (75)$$

$$\text{额定载荷}_{(\text{强度限})} = TL_u \times 1.33 \frac{F_{all}}{S_{u(akt)}}$$

C级限制(两者中的较小值)

$$\text{额定载荷}_{(\text{屈服限})} = TL_y \times 1.5 \frac{F_{all}}{S_{y(akt)}} \dots\dots\dots (76)$$

$$\text{额定载荷}_{(\text{强度限})} = TL_u \times 1.5 \frac{F_{all}}{S_{u(akt)}}$$

### 6.3.8.2.3 受压支承件

对A级、B级和C级使用，受压支承件的额定载荷应按6.3.8.2.2的方法来确定。此外，对于由屈曲控制的情况， $TL_u$ 应通过设计温度下的杨氏模量和试验温度下杨氏模量的比值进行修正。额定载荷应通过下列公式确定：

设计和A级限制：

$$\text{额定载荷} = 0.52KI \times TL_u$$

设计和B级限制：

$$\text{额定载荷} = 0.67KI \times TL_u$$

C级限制：

$$\text{额定载荷} = 0.67KI \times TL_u$$

对弹性屈曲： $KI=1.0$ ；

对非弹性屈曲： $KI=S_y/S_{y(akt)}$ 。

### 6.3.8.2.4 仅采用 $TL_y$ 或 $TL_u$ 试验结果的另一种额定载荷法

如果由6.3.8.2.2或6.3.8.2.3的方法确定的额定载荷进行如下修正时，则 $TL_y$ 或 $TL_u$ 的试验结果可用于建立支承件的额定载荷。

a) 对仅根据  $TL_y$  试验结果的额定载荷：

- 1) 对于由具有明显可确定屈服点且规定的最小  $S_y/S_u$  比值不大于 0.625 的材料制成的支承件，其额定载荷应乘以 0.83。如果材料的  $S_{y(akt)}$  是未知的，则假定  $S_{y(akt)}$  是材料规定的最小屈服强度限的 1.5 倍后，以  $S_y/S_{y(akt)}$  代替乘子 0.83。
- 2) 对于由规定的最小抗拉强度限不超过 480MPa 的碳钢制成的支承件，在确定额定载荷前应将  $S_{y(akt)}$  增加 34MPa。
- 3) 对所有由其他材料制成的支承件，已确定的额定载荷应乘以 0.67。

对于受压支承件, 应进行受压额定载荷下的  $TL_u$  试验, 该受压额定载荷根据 6.3.8.2.3 确定。

b) 对于根据  $TL_u$  试验结果的额定载荷, 已确定的额定载荷应乘以 0.50。

## 6.4 标准支承件的设计规则

### 6.4.1 通用要求

除 6.1、6.2 和 6.3 的要求以外, 还应使用下列要求。

#### 6.4.1.1 通用设计要求

标准支承件 (4.2.1.4 节) 应符合 6.1.2 的设计考虑事项、6.2 或 6.3 的设计规则和下列补充要求。

##### 6.4.1.1.1 用作部件支承件的标准支承件

标准支承件可用作 3.5 中定义的设备支承件。

##### 6.4.1.1.2 用作管道支承件的标准支承件

标准支承件可用作 3.6 中定义的管道支承件。

##### 6.4.1.1.3 载荷

标准支承件的载荷应满足 6.4.1.1.3a) 至 c) 要求:

- a) 标准支承件应能承受 6.1.1.1 所列的和设计技术规格书规定的全部载荷的同时作用。支承件的设计应能提供所要求的支承作用并能允许管道或部件的设计位移。
- b) 弹簧支承件应能提供一个支承力, 该力等于由重量平衡计算确定的载荷加夹具和吊杆等所有支吊零件的重量, 这些夹具和吊杆在与承压部件或整体附件的接点处由弹簧来支承。
  - 1) 设计应能防止在弹簧失效或不对中的情况下完全释放管道或部件的载荷。
  - 2) 如果弹簧封闭在一个环境温度很高的空间, 则弹簧材料的选择应使其弹簧常数在要经受的温度下不会有显著的改变。
- c) 阻尼器应满足 6.4.1.1.3a) 以及 c) 1) 和 c) 2) 的要求。
  - 1) 应考虑下列偶发载荷:
    - (1) 地震惯性;
    - (2) 地震引起的锚固点位移;
    - (3) 由下列 (但不限于这些) 原因引起的水力瞬态载荷: 设计技术规格书规定的水锤、汽锤、泵的启动、停止以及安全阀和安全释放阀的排放。
  - 2) 热膨胀和锚固点的热位移。阻尼器承受部件、管道系统或锚固体的热膨胀效应的程度应不会对管道或部件施加显著的载荷或应力。

#### 6.4.1.2 标准支承件

##### 6.4.1.2.1 恒支承力的弹簧吊架

恒支承力的弹簧吊架可用于支承管道或部件, 在这些支承部位要求在整个行程范围内有大致均匀的支承力且经受热位移时不能容许支承力有显著改变。在整个行程范围内, 包括摩擦力在内的支承力平均改变量 (偏差) 应不大于 6%。这个偏差为运动摩擦和制造公差因素之和。该偏差由载荷试验机确定, 并按下式计算:

$$\text{偏差} = (\text{最大下行读数} - \text{最小上行读数}) \div (\text{最大下行读数} + \text{最小上行读数})$$

##### 6.4.1.2.2 支承力变化的弹簧吊架

在由温差引起垂直运动的场所可采用支承力变化的弹簧吊架来支承管道或部件, 支承力偏差系数由下式计算:

偏差系数=(行程×弹簧系数)/载荷

推荐的最大偏差系数为0.25。

- a) 由于管道或部件的运动所产生的支承力偏差系数应在管道或部件应力分析所用的载荷中加以考虑。
- b) 支承力变化的弹簧吊架应采取措施以限制不对中、屈曲和偏心载荷，并防止弹簧的过应力。
- c) 对所有采用弹簧的吊架，推荐采取措施以随时指示管道和部件在相应的热态和冷态位置时弹簧的压缩量。

#### 6.4.1.2.3 吊架杆

带螺纹的吊架杆的设计载荷应根据螺纹齿根面积。在任何情况下，直径小于10mm的吊架杆不应用于支承DN 50以下的管道，直径小于13mm的吊架杆不应用于支承DN 65以上的管道。管子、结构型材或棒材可用于代替吊架杆。吊架杆、结构型材等在设计上应允许热应力分析求得的管道自由运动。由于管道的运动使吊架杆或型材受到力矩载荷的可能性应加以考虑并避免，但专为这类载荷设计的支承件例外。

#### 6.4.1.2.4 阻尼器

- a) 在系统设计中应包括阻尼器以考虑设计机械载荷或振动及动态特性的工况。可在管道或部件上安装阻尼器以保持它不受动态类载荷的影响，阻尼器基本上应允许与它们相连的管道或部件在膨胀和收缩所引起的非动态载荷作用下能自由运动。
- b) 阻尼器的应用需小心，以保证它们能执行预期的功能而不会对管道系统或其他部件施加不可接受的载荷。
- c) 设计技术规格书最低限度应包括下列各项：
  - 1) 阻尼器设计要包括的载荷条件和瞬态设计载荷以及载荷组合；
  - 2) 所要求的力、时间和位移之间的关系；
  - 3) 阻尼器所处的环境条件如：
    - (1) 温度
    - (2) 放射性
    - (3) 腐蚀环境
    - (4) 湿度
    - (5) 空气中悬浮颗粒
  - 4) 材料特性的考虑，如：
    - (1) 相容性
    - (2) 稳定性
    - (3) 耐火性
    - (4) 磨损
    - (5) 老化
  - 5) 安装前要求的试验。
- d) 互连件、管子和组装的贮槽以及流量分配器等功能性构件的设计应考虑内压、热膨胀和振动载荷的效应。

#### 6.4.1.2.5 减振器

减振器提供类似于阻尼器的系统特性，可用于减缓动态事件，减振器应满足6.3.1.2.4的要求。

### 6.4.2 1级支承件的分析法设计

通用设计要求

1级标准支承件的设计应按6.4.2的要求用表8列出的对1级建造的设计方法中的一种。

#### 6.4.2.1 板壳型标准支承件的设计

应满足6.2的要求。

#### 6.4.2.2 线型标准支承件的设计

应满足6.3的要求。

#### 6.4.2.3 螺栓件的设计

应满足6.2.2.5和6.3.2.4.6的要求。

#### 6.4.2.4 焊接接头的设计

##### 6.4.2.4.1 允许采用的类型

标准支承件许用的焊接接头类型见6.2.2.6.1和6.2.3.4.1的描述。补充的接头类型在下面说明，接头类型的典型例子如图14所示。

- a) T型接头。T型接头应为下列之一：
  - 1) 双面焊的角焊缝，简图(a-1)；
  - 2) 如果采用双构件，则是单面焊的角焊缝，简图(a-2)；
  - 3) 平的表面与封闭的管状截面端面、或封闭的成型截面端面之间单面焊的角焊缝，简图(f)。部分封闭的管状截面或部分封闭的成型截面和它们各自焊缝的总长至少应占圆周的 $270^\circ$ 角，且应在盖板上提供对称的载荷。
- b) 角接接头。角接接头应为下列之一：
  - 1) 板的边缘与封闭的管状截面端面或部分封闭的成型截面端面之间不带角焊缝的部分焊透焊缝，简图(e)。部分封闭的管状截面或部分封闭的成型截面以及它们各自焊缝的总长至少应占圆周的 $270^\circ$ 角，且应在盖板上提供对称的载荷。
  - 2) 板的边缘与封闭的管状截面端面或部分封闭的管状截面端面或部分封闭的成型截面端面之间的角焊缝，简图(b)、(c)和(d)。此外，只有当角焊缝各焊腿长度等于板壳型部件的裸露厚度时，才可采用(b)和(d)型焊接接头。部分封闭的管状截面或部分封闭的成型截面和它们各自焊缝的总长至少应占圆周的 $270^\circ$ 角，且应在盖板上提供对称的载荷。
  - 3) 6.4.2.5.1a)3)和b)允许的焊接接头限于标准支承件的弹簧封头。

##### 6.4.2.4.2 焊接接头的设计应力强度和许用应力限制

标准支承件焊接接头的设计应力强度限制或许用应力限制应不超过被连母材的适用设计应力强度值或许用应力值。

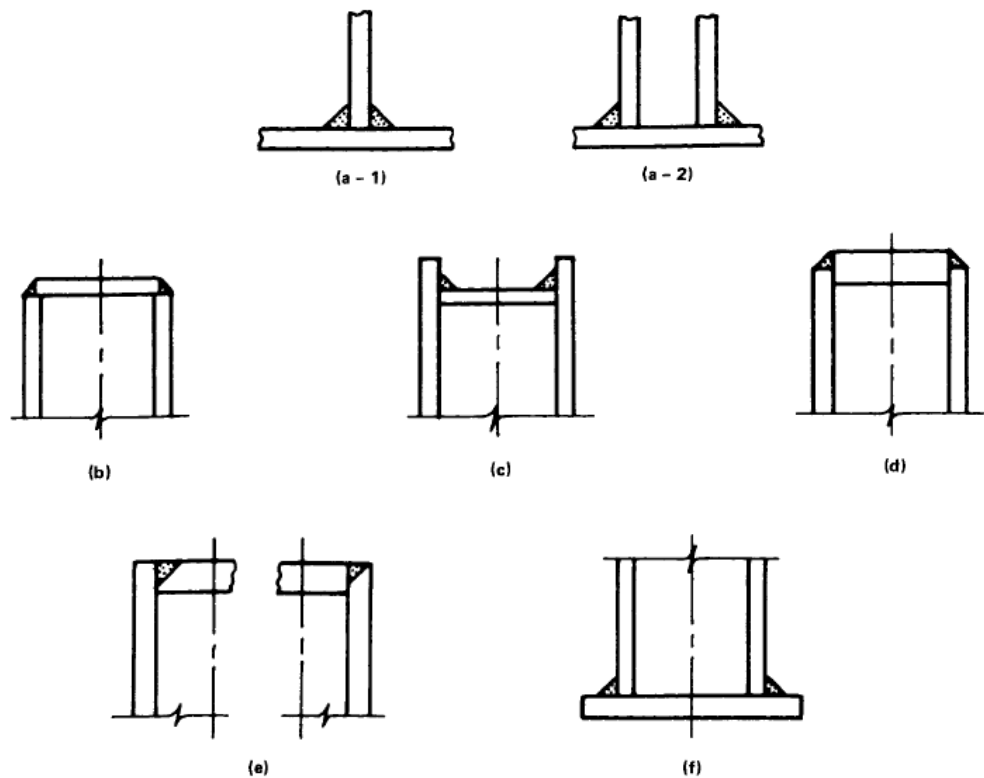


图14 1级标准支承件补充的许用焊接接头

6.4.3 2级支承件的分析法设计

6.4.3.1 通用设计要求

2级标准支承件的设计应按6.4.3的要求，用表8列出的设计方法中的一种。

6.4.3.2 板壳型标准支承件的设计

应满足6.2的要求。

6.4.3.3 线型标准支承件的设计

应满足6.3的要求。

6.4.3.4 螺栓件的设计

应满足6.2.2.5和6.3.2.4.6的要求。

6.4.3.5 焊接头的设计

应满足6.4.2.5的要求，但对坡口焊和角焊的T型接头可用不连续焊缝代替连续焊缝。

6.4.4 3级支承件的分析法设计

3级标准支承件的设计应按6.4.3的要求，用表8列出的设计方法中的一种。

6.4.5 实验应力分析法设计

标准支承件可按6.2.5对板壳型标准支承件的要求和6.3.7对线型标准支承件的要求通过实验应力分析进行设计。

6.4.6 额定载荷法

标准支承件可按6.2.6对板壳型标准支承件的要求和6.3.8对线型标准支承件的要求通过额定载荷法进行设计。

6.5 部件支承件的设计规则

6.5.1 通用要求

部件支承件的设计应按照本节的要求和6.1.1、6.2.1、6.3.1以及6.4.1中适用的通用要求进行。

6.5.1.1 1级支承件的分析法设计

6.5.1.2 通用设计要求

本段提供部件1级支承件的部件的应力限制。应力的确定、定义、应力强度的推导和应力分类的通用要求参见6.1.2。

6.5.1.3 部件板壳型支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力强度限制在 6.2.2 中给出。
- b) 如果采用分析法设计，各类载荷和各类应力的应力限制系数在表 17 中规定。

表17 部件支承件中 1 级板壳型支承件分析法设计的弹性分析应力类别和应力限制系数<sup>a</sup>

应力类别	载荷类别的应力限制系数 <sup>a</sup>					
	设计	A 级使用	B 级使用 <sup>b</sup>	C 级使用 <sup>c</sup>	D 级使用	试验载荷
一次应力 <sup>d,e</sup>	K <sub>m</sub> =1.0	K <sub>m</sub> =1.0	K <sub>m</sub> =1.33	K <sub>m</sub> =1.5	采用《压水堆承压部件设计与制造 第 8 部分：辅助规则》附录 T	K <sub>m</sub> =1.33
	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.33	K <sub>v</sub> =1.5		K <sub>v</sub> =1.33
	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.33	K <sub>bk</sub> =1.5		K <sub>bk</sub> =1.33
	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力		但应力≤1/2 的 临界屈曲应力
一次应力加二次应力 <sup>e</sup>	对所有载荷类别的临界屈曲都要求进行评价。该评价应满足本节要求。					
峰值应力	不要求评价。					
<p>注1：K<sub>m</sub> ——适用于设计许用膜应力强度或膜应力加弯曲应力强度(见 6.2.2.1.1、6.2.2.1.2)的应力限制系数。</p> <p>注2：K<sub>v</sub> ——适用于设计许用剪应力(见 6.2.2.3.2)的应力限制系数。</p> <p>注3：K<sub>bk</sub> ——适用于设计许用膜应力强度或膜应力加弯曲应力强度的应力限制系数(仅用于受压件)。</p>						
<p><sup>a</sup> 这些应力限制系数不保证对变形的控制，如果设计技术规格书有要求，变形控制应另外考虑。</p> <p><sup>b</sup> 设计阻尼器时，K<sub>m</sub>、K<sub>v</sub> 和 K<sub>bk</sub> 取 1.0。</p> <p><sup>c</sup> 应力应不超过 0.7S<sub>u</sub>。</p> <p><sup>d</sup> 对 A 级、B 级、C 级和 D 级使用，由于管道自由端位移和锚固点运动受到约束而在支承件上引起的应力应认为是一次应力。</p> <p><sup>e</sup> 6.1.2.1.11 定义的支承件内热应力不需评价。对于 A 级和 B 级使用，一次应力加二次应力应不大于使用温度下的 2S<sub>y</sub> 或 S<sub>u</sub> 中较小值的范围。</p>						

6.5.1.4 部件线型支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力强度限制在 6.3.2 中给出。
- b) 如果采用分析法设计，各类载荷和各类应力的应力限制系数在表 18 中规定。

6.5.1.5 部件标准支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力强度限制在 6.4.2 中给出。

b) 如果采用分析法设计，各类载荷和各类应力的应力限制系数在表 17 或表 18 中规定。

#### 6.5.1.6 螺栓件的设计

6.1.1.2的设计载荷所要求的螺栓数量和截面积应按6.3.2.4.6的方法来确定。

#### 6.5.1.7 焊接接头的设计

- a) 部件板壳型支承件中的焊接接头见 6.2.2.6 的规定。
- b) 部件线型支承件中的焊接接头见 6.3.2.4.5 的规定。

### 6.5.2 2 级、3 级和金属安全壳支承件的分析法设计

#### 6.5.2.1 部件板壳型支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力限制在 6.2.3 和 6.2.4 中给出。
- b) 如果采用分析法设计，各类载荷和各类应力的应力限制系数在表 19 中规定。

表18 部件支承件中 1 级、2 级、3 级和金属安全壳线型支承件分析法设计的弹性分析应力类别和应力限制系数

应力类别	载荷类别的应力限制系数 <sup>a</sup>					
	设计	A 级使用	B 级使用 <sup>b</sup>	C 级使用 <sup>c</sup>	D 级使用	试验载荷
一次应力 <sup>d,e</sup>	K <sub>s</sub> <sup>*</sup> =1.0 K <sub>v</sub> =1.0 K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>s</sub> <sup>*</sup> =1.0 K <sub>v</sub> =1.0 K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>s</sub> <sup>*</sup> =1.33 K <sub>v</sub> =1.33 <sup>f</sup> K <sub>bk</sub> =1.33 但应力≤2/3 的 临界屈曲应力	K <sub>s</sub> <sup>*</sup> =1.5 K <sub>v</sub> =1.5 <sup>f</sup> K <sub>bk</sub> =1.5 但应力≤2/3 的 临界屈曲应力	《压水堆承压 部件 设计与 制造 第 8 部 分：辅助规则》 附录 T	K <sub>s</sub> <sup>*</sup> =1.33 K <sub>v</sub> =1.33 <sup>f</sup> K <sub>bk</sub> =1.33 但应力≤2/3 的 临界屈曲应力
一次应力加二 次应力 <sup>f</sup>	对所有载荷类别的临界屈曲都要求进行评价。该评价应满足本节要求。					
峰值应力	不要求评价。					

注1：K<sub>s</sub> ——适用于设计许用拉应力和弯曲应力的应力限制系数(见6.3.2.1.1、6.3.2.2.1、6.3.5和6.3.6)。

注2：K<sub>v</sub> ——适用于设计许用剪应力的应力限制系数(见3.3.2.1.1、3.3.2.2.1、3.3.5和3.3.6)。

注3：K<sub>bk</sub> ——适用于确定屈曲限制的设计许用轴向压应力和弯曲应力的应力限制系数。

<sup>a</sup> 这些应力限制系数不保证对变形的控制，如果设计技术规格书有要求，变形控制应另外考虑。

<sup>b</sup> 设计阻尼器时，K<sub>s</sub>、K<sub>v</sub> 和 K<sub>bk</sub>取 1.0。

<sup>c</sup> 应力应不超过 0.7S<sub>u</sub>。

<sup>d</sup> 对 A 级、B 级、C 级和 D 级使用，由于管道自由端位移和锚固点运动受到约束现时在支承件上引起的应力应认为是一次应力。

<sup>e</sup> 6.1.2.1.11 定义的支承件内热应力不需评价。对于 A 级和 B 级使用，一次应力加二次应力应不大于使用温度下的 2S<sub>y</sub> 或 S<sub>u</sub> 中较小值的范围。

<sup>f</sup> 剪应力应不超过 0.42S<sub>u</sub>。

#### 6.5.2.2 部件线型支承件的设计

设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则及应力限制在6.5.2.3中给出。

#### 6.5.2.3 部件 2 级、3 级标准支承件的设计

部件标准支承件的设计应按6.5.2.4。

#### 6.5.2.4 螺栓件的设计



应满足6.5.2.5的规定。

6.5.2.5 焊接接头的设计

- a) 部件2级和金属安全壳板壳型支承件的焊接接头见6.2.3.4的规定，部件3级板壳型支承件的焊接接头见6.2.4.3的规定。
- b) 部件线型支承件的焊接接头见6.3.2.4.5的规定。

表19 部件支承件中2级、3级和金属安全壳板壳型支承件分析法设计的弹性分析应力类别和应力限制系数

应力类别	载荷类别的应力限制系数 <sup>a</sup>					
	设计	A 级使用	B 级使用 <sup>b</sup>	C 级使用 <sup>c</sup>	D 级使用	试验载荷
一次应力 <sup>d,e</sup>	K <sub>m</sub> =1.0	K <sub>m</sub> =1.0	K <sub>m</sub> =1.33	K <sub>m</sub> =1.5	《压水堆承压 部件 设计与 制造 第 8 部 分：辅助规则》 附录 T	K <sub>m</sub> =1.33
	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.33 <sup>f</sup>	K <sub>v</sub> =1.5 <sup>f</sup>		K <sub>v</sub> =1.33 <sup>f</sup>
	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.33	K <sub>bk</sub> =1.5		K <sub>bk</sub> =1.33
	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力		但应力≤1/2 的 临界屈曲应力
注1：K <sub>m</sub> ——适用于设计许用膜应力或膜应力加弯曲应力(见 6.2.3.1.1 和 6.2.4.1)的应力限制系数。						
注2：K <sub>v</sub> ——适用于设计许用剪应力(见 6.2.3.1.1 和 6.2.4.1)的应力限制系数。						
注3：K <sub>bk</sub> ——适用于设计许用膜应力或膜应力加弯曲的应力限制系数(仅用于受压件)。						
<sup>a</sup> 这些应力系数不保证对变形的控制，如果设计技术规格书有要求，变形控制应另外考虑。						
<sup>b</sup> 设计阴尼器时，K <sub>m</sub> 和 K <sub>bk</sub> 取 1.0。						
<sup>c</sup> 应力应不超过 0.7S <sub>u</sub> 。						
<sup>d</sup> 对 A 级、B 级、C 级和 D 级使用，由于管道自由端位移和锚固点运动受到约束而在支承件上引起的应力应认为是一次应力。						
<sup>e</sup> 6.1.2.1.11 定义的支撑件内热应力不需评价。						
<sup>f</sup> 剪应力应不超过 0.42S <sub>u</sub> 。						

6.5.2.6 实验应力分析

部件的所有各类支承件都可按《压水堆承压部件设计与制造第8部分：辅助规则》附录D的实验应力分析法来设计。

6.5.2.7 额定载荷法设计

部件的所有各类支承件可按6.2.6对板壳型支承件的要求、6.3.8对线型支承件的要求以及适用的各段对部件标准支承件的要求用额定载荷法设计。

6.6 管道支承件的设计规则

6.6.1 通用要求

管道支承件的设计应按照本节的要求和6.1.1、6.2.1、6.3.1以及6.4.1中适用的通用要求进行。

6.6.1.1 管道支承件的布置

应沿近似水平位置的纵向轴线布置管道支承件以防止由于管道的下垂和弯曲引起的过量剪应力，如果如泵和阀等部件施加有集中载荷，则应予特殊考虑。标准重量的和重型的管道重量支承件布置时，推荐的最大跨度在表20中给出。

表20 管道支承件间距的建议值

管道名义尺寸, DN	推荐的最大跨距, m	
	水管	蒸汽管、气管或空气管
25	2.1	2.7
50	3.0	3.9
80	3.6	4.5
100	4.2	5.1
150	5.1	6.4
200	5.7	7.3
300	7.0	9.1
400	8.2	10.6
500	9.1	11.8
600	9.7	12.8

注1: 最高工作温度为400℃的标准的和重型的水平直管管道支承件之间推荐用的最大间距。

注2: 不适用于要做跨距计算处或在支承件之间有例如法兰、阀、特制构件等集中载荷处。

注3: 推荐的间距的依据是: 弯曲应力和剪应力的组合的最大值为10MPa; 充水保温钢管或当量重量的蒸汽、气或空气的保温钢管; 管线的间隔能允许支承件之间管道有2.5mm的下垂。

#### 6.6.1.2 振动

管道的布置和支承应使其振动减到最小。

#### 6.6.1.3 锚固件、导向件、心轴和约束件

应沿近似水平位置的纵向轴线布置管道支承件以防止由于管道的下垂和弯曲引起的过量剪应力, 如果如泵和阀等部件施加有集中载荷, 则应予特殊考虑。标准重量的和重型的管道重量支承件布置时, 推荐的最大跨度在表20中给出。

#### 6.6.1.4 支承调节杆

支承调节杆应满足6.6.1.4a)至b)要求:

- 螺旋调节杆应使带螺纹部分符合 ANSI B1.1 的粗螺纹系列、2级配合。另一方面, 可采用其他螺纹形式、系列和配合, 以便允许在安装后调节, 并考虑在最坏的螺纹公差组合下设计能承受作用在支承件上的力、力矩和其他载荷。
- 螺套和调节螺母应使全长啮合。应采取措施以确认螺纹全长是啮合的。所有螺旋调节杆和等效的调节杆应提供合适的锁紧装置。

#### 6.6.1.5 管夹

- 如果采用管夹来支承竖直的管线, 则推荐在管道上焊接剪切凸耳以防止滑移。
- 除 6.6.1.5a) 的规定外, 支承竖直管线的管夹的设计应使在由于管道或吊架的运动或两者的运动所造成的载荷偏移的情况下, 其任一臂能支承总载荷。

#### 6.6.1.6 吊架件

使用6.4.1.2.3对吊架杆的规定。

### 6.6.2 1级支承件的分析法设计

#### 6.6.2.1 管道板壳型支承件的设计

管道板壳型支承件的设计应满足6.6.2.1a)至b)节要求:

- 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力强度限制在 6.2.2 中给出。

b) 如果采用分析法设计，对各类载荷和各类应力的应力强度限制系数在表 21 中规定。

表21 管道支承件中 1 级板壳型支承件分析法设计的弹性分析应力类别和应力限制系数

应力类别	载荷类别的应力限制系数 <sup>a</sup>					
	设计	A 级使用	B 级使用 <sup>b</sup>	C 级使用 <sup>c</sup>	D 级使用	试验载荷
一次应力 <sup>d,e</sup>	K <sub>m</sub> =1.0	K <sub>m</sub> =1.0	K <sub>m</sub> =1.33	K <sub>m</sub> =1.5	《压水堆承压 部件 设计与 制造 第 8 部 分：辅助规则》 附录 T	K <sub>m</sub> =1.33
	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.33	K <sub>v</sub> =1.5		K <sub>v</sub> =1.33
	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.33	K <sub>bk</sub> =1.5		K <sub>bk</sub> =1.33
	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力	但应力≤1/2 的 临界屈曲应力		但应力≤1/2 的 临界屈曲应力
一次应力加二次应力 <sup>e</sup>	对所有载荷类别的临界屈曲都要求进行评价。该评价应满足本节要求。					
峰值应力	不要求评价。					
<b>注1：</b> K <sub>m</sub> ——适用于设计许用膜应力强度或膜应力加弯曲应力强度(见 6.2.2.1.1、6.2.2.1.2)的应力限制系数。 <b>注2：</b> K <sub>v</sub> ——适用于设计许用剪应力(见 6.2.2.3.2)的应力限制系数。 <b>注3：</b> K <sub>bk</sub> ——适用于设计许用膜应力强度或膜应力加弯曲应力强度的应力限制系数(仅用于受压件)。						
<sup>f</sup> 这些应力限制系数不保证对变形的控制，如果设计技术规格书有要求，变形控制应另外考虑。						
<sup>g</sup> 设计阻尼器时，K <sub>m</sub> 、K <sub>v</sub> 和 K <sub>bk</sub> 取 1.0。						
<sup>h</sup> 应力应不超过 0.7S <sub>u</sub> 。						
<sup>i</sup> 对 A 级、B 级、C 级和 D 级使用，由于管道自由端位移和锚固点运动受到约束而在支承件上引起的应力应认为是一次应力。						
<sup>j</sup> 6.1.2.1.11 定义的支承件内热应力不需评价。						

6.6.2.2 管道线型支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力限制在 6.3.2 中给出。  
b) 如果采用分析法设计，对各类载荷和各类应力的应力限制系数在表 22 中规定。

6.6.2.3 管道标准支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力限制在 6.4.2 中给出。  
b) 如果采用分析法设计，对各类载荷和各类应力的应力限制系数视情况在表 21 或表 22 中规定。

6.6.2.4 螺栓件的设计

对6.1.1.2的设计载荷所要求的螺栓数量和截面积应按6.3.2.4.6的方法来确定。螺栓的许用设计应力值应按6.3.2.4.6来确定。

表22 管道支承件中 1 级、2 级和 3 级线型支承件分析法设计的弹性分析应力类别和应力限制系数

应力类别	载荷类别的应力限制系数 <sup>a</sup>					
	设计	A 级使用	B 级使用 <sup>b</sup>	C 级使用 <sup>c</sup>	D 级使用	试验载荷
一次应力 <sup>d,e</sup>	K <sub>s</sub> <sup>*</sup> =1.0	K <sub>s</sub> =1.0	K <sub>s</sub> =1.33	K <sub>s</sub> =1.5	《压水堆承压 部件 设计与 制造 第 8 部 分：辅助规则》 附录 T	K <sub>s</sub> =1.33
	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.0	K <sub>v</sub> =1.33 <sup>f</sup>	K <sub>v</sub> =1.5 <sup>f</sup>		K <sub>v</sub> =1.33 <sup>f</sup>
	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.0	K <sub>bk</sub> =1.33	K <sub>bk</sub> =1.5		K <sub>bk</sub> =1.33
			但应力≤2/3 的 临界屈曲应力	但应力≤2/3 的 临界屈曲应力		但应力≤2/3 的 临界屈曲应力
一次应力加二 次应力 <sup>f</sup>	对所有载荷类别的临界屈曲都要求进行评价。该评价应满足本节要求。					

峰值应力	不要求评价。
注1: $K_s$ ——适用于设计许用拉应力及弯曲应力的应力限制系数(见6.6.2.3和6.6.3.2)。 注2: $K_v$ ——适用于设计许用剪应力的应力限制系数(见6.6.2.3和6.6.3.2)。 注3: $K_{bk}$ ——适用于确定屈曲限值用的设计许用轴向应力和弯曲应力的应力限制系数。	
<sup>a</sup> 这些应力限制系数不保证对变形的控制, 如果设计技术规格书有要求, 变形控制应另外考虑。 <sup>b</sup> 设计阻尼器时, $K_s$ 、 $K_v$ 和 $K_{bk}$ 取 1.0。 <sup>c</sup> 应力应不超过 $0.7S_u$ 。 <sup>d</sup> 对 A 级、B 级、C 级和 D 级使用, 由于管道自由端位移和锚固点运动受到约束时在支承件上引起的应力应认为是一次应力。 <sup>e</sup> 6.1.2.1.11 定义的支承件内热应力不必评价。 <sup>f</sup> 剪应力应不超过 $0.42S_u$ 。	

6.6.2.5 焊接接头的设计

- a) 管道板壳型支承件中的焊接接头应按 6.2.2.6 中的规定。此外, 允许的接头形式有: 双面角焊缝的 T 型接头, 简图 (a) (图 15) 以及双构件中的单面角焊缝的 T 型接头, 简图 (b)。
- b) 管道线型支承件中的焊接接头见 6.3.2.4.5 中的规定。

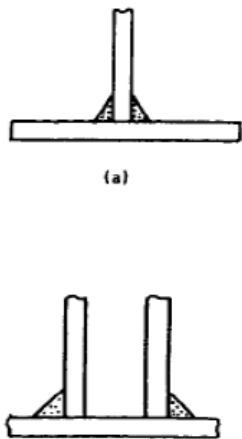


图15 1级管道支承件补充的许用焊缝接头

6.6.3 2级、3级支承件的分析法设计

6.6.3.1 管道板壳型支承件的设计

- a) 设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力限制在 6.2.3 和 6.2.4 中给出。
- b) 如果采用分析法设计, 对各类载荷和各类应力的限制系数在表 19 中规定。

6.6.3.2 管道线型支承件的设计

设计载荷和使用载荷所应满足的设计规则和应力限制在6.6.2.2中给出。

6.6.3.3 管道标准支承件的设计

管道标准支承件的设计应按6.6.2.3进行。

6.6.3.4 螺栓件的设计

应满足6.6.2.4的规定。

6.6.3.5 焊接接头的设计

- a) 管道 2 级板壳型支承件的焊接接头见 6.2.3.4 的规定, 管道 3 级板壳型支承件的焊接接头见 6.2.4.3 的规定。
- b) 管道线型支承件的焊接接头见 6.3.2.4.5 的规定。

#### 6.6.3.6 实验应力分析

管道的所有各类支承件可按《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分: 辅助规则》附录D的实验应力分析来设计。

#### 6.6.3.7 额定载荷法设计

管道的所有各类支承件可按6.2.6对板壳型支承件的要求、6.3.8对线型支承件的要求以及适用的各段对管道标准支承件的要求用额定载荷设计。

### 7 制作和安装

#### 7.1 通用要求

##### 7.1.1 引言

##### 7.1.1.1 制作和安装

支承件应按本章要求进行制作和安装, 并且采用符合第5章要求的材料进行制造。

##### 7.1.1.2 分卷支承件的重新装配

如果所有要求的文件是有效的, 并且满足适用规范的要求, 则民用核设施营运单位可对尚未投入使用的完整的支承件, 或对尚未投入使用的分解的支承件的零件及材料进行重新装配。

材料和零件的维修鉴定大纲, 包括材料文件和取证文件应以书面程序叙述。

#### 7.1.2 部件支承件民用核设施营运单位对材料和制作的确认

##### 7.1.2.1 确认的方式

支承件的民用核设施营运单位应通过提供焊接支承件的合格证书来确认符合规范。

##### 7.1.2.2 加工、试验和检测的确认

如果民用核设施营运单位按本卷其他章节的要求进行加工、试验、修补或检测, 则民用核设施营运单位应确认已满足 [NCA-3861(c)] 的要求。所有要求加工的报告, 以及由民用核设施营运单位进行的所有试验、修补和检测的结果应满足NCA-4134.17所规定的质量保证记录要求。

##### 7.1.2.3 拉伸或冲击试验的复验

如果支承件在制作或安装期间, 材料经受了不包括在第5章试件处理范围内的热处理, 而且这种热处理可能使拉伸或冲击性能低于要求值时, 则民用核设施营运单位应重新进行拉伸和冲击试验, 试样的切取和处理应符合第5章的要求。

##### 7.1.2.4 材料识别标记

支承件材料应带有识别标记, 直到设备支承件制作或安装完毕时, 该标记应仍保持清晰可辨。如果原识别标记被切割或材料被分割, 则除5.1.5另有规定外, 应把标记准确地转移到各个部份或做上编码标记, 以保证在以后制作或安装时能识别每块材料。应该严格地标识和管理具有合格证书的焊接材料、以使每个支承均能查出这种材料, 或者应采用一种控制规程, 以保证使用规定的材料。

#### 7.1.2.5 目视检查

没有引入其他特殊规范条款而只是用来验证与《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》第7章要求的一致性的目视检查活动可以由执行或监理该工作的人员进行。除另有规定外，不要求按8.5和8.1来考核人员和评定规程以进行目视检查。

#### 7.1.2.6 焊接材料的试验

所有焊接材料应满足5.4的要求。

#### 7.1.3 材料的修补

##### 7.1.3.1 缺陷的消除和修补

如果原先交付时已验收材料中得知或发现在制作或安装过程中超过5.5规定的缺陷，则该材料是不合格的。如果对这种材料按照5.5相应产品型式的要求作了修补，则材料仍可使用：

- a) 以机械方式消除缺陷后，按第6章的规定，截面不低于最小壁厚要求时，可不进行焊接修补。
- b) 实行焊接修补时，应满足7.1.3.1b) 1)至4)要求：
  - 1) 焊接修补使截面恢复到第6章规定的最小壁厚；
  - 2) 对补焊深度不作限制；
  - 3) 焊缝坡口及材料补焊后的检测时间符合8.1.2的规定；
  - 4) 结构材料的补焊，也应采用5.6.1e)的规定。

#### 7.2 成形、装配和对中

##### 7.2.1 切割、成形和弯曲

###### 7.2.1.1 切割

材料可以用机加工、剪切、凿割或磨削等机械方法，或热切割等方法加工到所需的形状和尺寸。热切割的焊接接头或坡口边缘应光滑，无任何疏松的锈皮和熔渣聚积。

###### 7.2.1.1.1 热切割前的预热

当采用热切割方法进行制备焊接接头或焊接坡口、去除焊接附件或有缺陷的材料、或其他用途时，应按附录D建议的预热程序对材料进行预热。

###### 7.2.1.1.2 成形和弯曲工艺

只要能达到所要求的尺寸（参见7.2.1.4和7.2.2），并且材料的冲击特性值在成形后不会降低至许用值以下，或可通过成形后的热处理有效恢复，则可采用任何方法进行冷热成形或弯曲。热成形定义为材料在温度高于材料的下相变温度以下56℃时成形。如有必要，应按照7.2.1.3的规定评定成形工艺对冲击性能的影响。

###### 7.2.1.1.3 有冲击性能要求的成形工艺评定

当设计技术规格书要求作冲击试验时，工艺评定试验应从具有相同的材料规格、等级或级别、热处理，以及与支承件材料具有同样冲击韧性的材料上切取试样来进行。这些试样应经受与支承件材料相当的成形、弯曲工艺和热处理。应作相应的试验以确定变形后仍能满足5.3规定的冲击性能。

###### 7.2.1.1.4 免除

下面a)至f)所列的材料不要求作工艺评定试验：

- a) 在切取冲击试样前已由材料机构完成热成形的材料，如锻件；

- b) 可被经过热处理的材料代表的热成形材料，试件的热处理能够代表零件要采用的热成形规程和热处理制度；
- c) 按 5.3 不要求做冲击试验的材料；
- d) 最终应变小于 0.5% 的材料；
- e) 最终应变小于以前已评定的工艺规程中的材料；
- f) 在成形后，每炉和每批上已按 5.3 的要求进行冲击试验的材料。

#### 7.2.1.1.5 工艺评定试验

工艺评定试验按以下 a) 至 f) 规定的方法进行。

- a) 试验应分别在变形前后以三个不同炉号的材料进行，以便确定成形和以后热处理操作的影响。
- b) 试样应按第 5 章的要求切取，并应取自变形材料的拉伸侧。
- c) 应变百分率应按下列公式确定：

圆筒形：

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

球形或碟形表面：

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

管道：

$$\% \text{应变} = \frac{100r}{R}$$

式中：

$R$  ——到管道中心线的名义弯曲半径，mm；

$R_f$  ——到壳体中心线的最终半径，mm；

$R_0$  ——原始半径（对于平板状零件为无穷大），mm；

$r$  ——管道名义半径，mm；

$t$  ——名义厚度，mm。

- d) 工艺评定应使用类似该材料加工中采用的弯曲工艺或直接在试样上进行拉伸来模拟表面最大应变率。
- e) 应从三个炉号的每一炉号材料上切取足够数量的夏比 V 形缺口试样，以便确定表示上、下平台之间的过渡曲线。对三个炉号的每一炉号，取三个冲击试样作试验、这些试验至少应在整个过渡区内五个不同温度下进行。根据产品形式，上平台和下平台可以分别用每炉产品一个试样来确定。
- f) 利用取自变形前后三个炉号的每一炉号材料的冲击试验数据来确定下面两项中任一项：
  - 1) 无延性转变温度（NDT）的最大变化，以及：
    - (1) 在所考虑温度下的横向膨胀量和吸收能量的最大变化；或
    - (2) 在所考虑的横向膨胀量和吸收能量水平下的最大温度变化；或
  - 2) 当横向膨胀量是验收准则（5.3 节）时，确定温度的最大变化或横向膨胀量的最大变化。

#### 7.2.1.1.6 型材的验收准则

制造支承件用的型材，在成形前应具有足够的冲击性能，以补偿由于采用评定过的成形工艺而引起的冲击性能的最大损失。

#### 7.2.1.1.7 重新评定

当发生下列任一变更时，则需要进行新的工艺评定试验。

- a) 焊后热处理的实际保温时间大于按 5.2.1.1 原先评定的数值。如果材料不作焊后热处理，则应按无焊后热处理来评定。
- b) 材料的最大计算应变超过以前评定的应变的 0.5% 以上。
- c) 成形或弯曲过程中采用高于 120℃ 的预热温度，但以后未作焊后热处理。

#### 7.2.1.2 加工后材料的最小厚度

如果任何加工过程使厚度减薄到低于第6章所规定的最小厚度时，该材料可按7.1.3进行修补。

#### 7.2.2 支承公差

本章节未规定的公差应由设计方按6.1.3.4要求规定。

##### 7.2.2.1 板壳型支承件的公差

- a) 板壳型支承件外表面偏离规定的形状不应大于设计外形尺寸的  $1\frac{1}{4}\%$ ，这种偏差应不包括突变。
- b) 板壳型支承件是圆筒形时，最大和最小外径之差不应超过名义外径的 1%。

#### 7.2.3 装配和对中

##### 7.2.3.1 装配和对中方法

被连接的零件在连接操作时可用芯棒、千斤顶、夹紧件、偏移销、定位焊或临时性连接件进行装配、对中和定位。应该小心地使用这些机械装置，以免损伤零件表面和扩大螺栓孔。

##### 7.2.3.1.1 定位焊

用于保证对中的定位焊，在完成后应完全去除，或用磨削或其他适当的方法对定位焊缝的终端、始端进行适当加工，使之能和最终焊缝良好地结合。定位焊应由合格的焊工用已评定的焊接工艺施焊。当定位焊成为最终焊缝的一部份时，应对定位焊进行目视检查，并除去有缺陷的部份。

##### 7.2.3.1.2 柱的基础

- a) 柱的基础应设置成水平，且在砖石构件完全支承下调整柱的基础的标高。
- b) 柱的基础应满足下列 7.2.3.1.2b) 1) 至 b) 3) 的要求：
  - 1) 如能得到合适的接触和支承，等于或小于 50mm 的轧钢支承板，可不必磨平而投入使用；尺寸为 50mm 至 100mm 的轧钢支承板，可压平使用。如压制无效时，除按下列 7.2.3.1.2b) 3) 得到满意的支承外，则可将所有的支承面磨平；大于 100mm 的轧钢支承板表面，除下列 7.2.3.1.2b) 3) 以外，均须磨削平整。
  - 2) 不同于轧钢支承板的柱基础，除 7.2.3.1.2b) 3) 以外，应刨平全部支承面。
  - 3) 浇灌水泥的支承板底面和柱基础底面无须刨平。

##### 7.2.3.2 截面对中的最大错边量

对接接头的对中应使焊好的焊缝的最大错边量不大于表23所列的相应数值，这里t是接头处较薄截面的名义厚度。

##### 7.2.3.2.1 错边的修整



表23允许公差范围内的任何错边，应在焊好的焊缝宽度上打磨光滑，或必要时，在焊缝的边缘补焊附加的焊缝金属。

表23 最终对接焊接头的最大允许错边量

截面厚度 $t$ , mm	最大允许错边量
$t \leq 19$	$1/4t$
$19 < t \leq 38$	5mm
$38 < t \leq 150$	$1/8t$
$t > 150$	19mm

7.2.4 焊接接头的要求

对接焊可用衬环或熔化填充环来焊接、也可不用衬环或熔化填充环来焊接。当不宜采用永久性衬环 [6.2.2.6.1a) 或6.2.3.4.1a) ] 时，则：

- a) 应切除衬环，接头内表面应打磨光滑；或
- b) 接头施焊时应不用衬环；或
- c) 应采用熔化填充环。

7.2.4.1 全焊透焊缝

如果满足本标准中规定的检测的验收准则，则认为达到了全焊透。当确定已经达到全焊透，则不要要求进行其他检测。

7.3 焊接评定

7.3.1 通用要求

7.3.1.1 允许的焊接工艺类型

凡能按照T/CNEA XXXX 压水堆承压部件 焊接 第2部分：焊接工艺评定和本标准的焊接工艺评定要求制成焊缝的焊接方法，都能用于焊接支承件材料或其他连接的附件。所采用的任何焊接方法，都应按7.3.2的要求作记录，但是对于螺柱焊缝的记录应能可追踪焊工和焊机操作工，而不必查明每条具体焊缝。

7.3.1.1.1 螺柱焊的限制

螺柱焊可用作保温支承件、铭牌和定位凸耳的焊接。圆形螺柱的最大直径应不大于25mm以下，而对于其他形状的螺柱，当在平直位置焊接时，其横截面面积应与圆形螺柱的横截面积相等；当在所有其他位置焊接时，其螺柱直径应不超过19mm。当螺柱直径不超过13mm，不要求焊后热处理、经评定的焊接工艺以及有合格证的焊接材料。

7.3.1.1.2 电容器贮能焊

电容器贮能焊可用于焊接临时性附件和永久性非结构附件，但应满足下列要求：

- a) 临时性附件按 7.4.3.5b) 的规定拆除；
- b) 对应变计和热电偶等永久性非结构附件，能量输出应限制在 125W-sec 内，与附件相焊的材料的最小厚度应大于 2.3mm；
- c) 焊接工艺规程的内容应说明电容器贮能焊设备、被焊材料的组合以及采用的技术；不要求进行焊接工艺评定。

7.3.1.1.3 惯性和连续驱动摩擦焊

- a) 惯性和连续驱动摩擦焊应不能用于 1 级板壳型部件支承件。

- b) 连接两部件的焊缝应是全焊透焊缝。

### 7.3.2 焊接评定和记录

#### 7.3.2.1 要求的评定

- a) 制造商应制定焊接工艺规程以及按本章和《压水堆承压部件 焊接》第2部分：焊接工艺评定的要求进行试验，以评定焊接工艺以及采用此工艺的焊工和焊机操作工的技能。
- b) 凡在支承件上焊接永久性或临时性附件，以及此类焊接中焊接永久性或临时性的定位焊缝所采用的工艺规程、焊工和焊机操作工，亦应满足本章的评定要求。
- c) 当制作对接焊缝的工艺试板时，应考虑工作角度约束、横向约束和端部约束对焊件的影响。对于抗拉强度不低于 550MPa 的材料和焊接金属，以及任何强度的厚截面材料，都应特别注意上述约束。施焊过程中增加约束可能会产生裂纹，否则可能不会产生裂纹。

#### 7.3.2.2 记录的保存和确认

制造商应保存一份经评定的焊接工艺以及焊工和焊机操作工的记录，并注明试验日期和结果以及指定每个焊工的识别标记。应按照制造商的质量保证计划，由制造商以签名或其它受控的方式对这些记录进行审查、确认和签署。

##### 7.3.2.2.1 1级部件支承件的接头的识别标记

- a) 除下面 7.3.2.2.1b) 说明的情况外，对于 1 级板壳型和线型部件支承件，焊工或焊机操作工应在他所焊的所有永久性焊缝，包括角焊缝，打上制造商授予他们的识别标记，识别标记的间距不应超过 1m，并应采用连续的或不连续的钝头印模做成。另一种方法是，制造商应保存一份部件支承件中永久性焊接接头的记录和焊接每一个接头的焊工和焊机操作工的记录。
- b) 对于主要构件中深度小于 25mm 部份焊透焊缝和焊缝尺寸小于 25mm 的角焊缝以及对于辅助构件的所有焊缝，制造商不需要识别焊接每个接头的焊工或焊机操作工，但是：
  - 1) 制造商应保存一份能识别焊工或焊机操作工在每个产品上焊接这类焊缝的记录。
  - 2) 每类焊缝都是属于同一类型和形状，且以同一焊接工艺规程施焊。

##### 7.3.2.2.2 其他接头的识别标记

对所有类型的2级、3级和金属安全壳部件支承件以及所有级别的管道支承件和标准支承件，制造商应证明所有焊缝都是由符合7.3.2.1的要求经评定合格的焊工和焊机操作工施焊的。

##### 7.3.2.2.3 定位焊缝的识别标记

定位焊缝不要求焊工或焊机操作工的识别标记。

#### 7.3.2.3 评定前的焊接

在所采用的焊接工艺被评定合格以前，不能从事焊接。应只能雇用按7.3.2和《压水堆承压部件 焊接》第2部分：焊接工艺评定的规定经评定合格的焊工和焊机操作工。

#### 7.3.2.4 评定的转让

除《压水堆承压部件 焊接》第2部分：焊接工艺评定另有规定外，某一制造商进行的焊接工艺评定以及焊工和焊机操作工的技能评定试验，不能证明这些焊接工艺以及焊工和焊机操作工对任何其他的制造商也是评定合格。

### 7.3.3 焊接工艺评定试验的通用要求

#### 7.3.3.1 与第 IX 卷要求的一致性

所有焊接工艺评定试验应按《压水堆承压部件 焊接》第2部分：焊接工艺评定的要求以及本章的补充要求进行。

### 7.3.3.2 试件和试样的制备

- a) 从试验焊缝上切取试件和由这些试件制作的试样尺寸应符合《压水堆承压部件 焊接》第2部分：焊接工艺评定的要求。但冲击试样的切取和冲击试样的尺寸应符合下面 7.3.3.2b) 的规定。
- b) 在多种工艺的焊缝中，应尽可能把每种工艺的焊缝熔敷金属包括在冲击试样内。当按本卷要求的  $1/4t$  部位上的全尺寸冲击试样中未能包括每种工艺时，应从试验焊缝其他部位切取补充的全尺寸试样，以保证每一种工艺至少有一部分已包括在试样之中。另一种方法是，对每种工艺制作附加的试验焊缝以便对每种工艺进行全尺寸试样的试验。

#### 7.3.3.2.1 代表焊缝熔敷金属的试件

冲击试样及其试验方法应符合5.3.2.1的规定。冲击试样的取样部位，应使其纵轴离试验组件的焊缝表面至少为 $1/4t$ ，而且当试验组件的厚度允许时，应不小于10mm。此外，当焊后热处理温度超过7.6.2中规定的最高温度，且试验组件快速冷却时，则试样纵轴离试验组件的边缘距离应至少为 $t$ 。试样应垂直焊缝纵轴，并使缺口位于焊缝中。夏比V型缺口试样的缺口长度方向应垂直于焊缝表面。

#### 7.3.3.2.2 代表热影响区的试件

按7.3.3.2要求做热影响区冲击试验时，其试样应按照下面7.3.3.2.2a)至c)从焊接工艺评定试验组件上切取。

- a) 如果评定试验的材料是板材或锻件，则焊缝轴线应平行于或垂直于轧制或锻造的主方向。
- b) 热影响区冲击试样和试验方法应符合 5.3.2.1。该试样应尽可能从表面与厚度中心线之间实际深度的中间高度部位上切取。热影响区冲击试样的切取应垂直焊缝轴线并用蚀刻方法显示出热影响区。夏比型 V 缺口试样的缺口应切成大致垂直于材料表面，并在最终断裂处包括尽可能多的热影响区。当材料厚度允许时，试样轴线可以倾斜，以便使缺口的根部和熔合线相平行。对于电渣焊或气电立焊焊接工艺制作的焊缝，如果焊后不进行细化晶粒的热处理，则冲击试样的缺口应位于粗晶粒的区域。
- c) 为了便于比较热影响区和母材的冲击性能[7.3.3.2b)]，从未受影响的母材上切取的夏比 V 型缺口试样，其离母材表面的距离应与从热影响区切取的试样离母材表面的距离大致相等。未受影响的母材试样的轴线应平行于热影响区试样的轴线，缺口的轴线应垂直于母材表面。

### 7.3.3.3 冲击试验要求

当材料按5.3要求进行冲击试验时，应按下列各款的要求进行焊缝金属和热影响区的冲击试验，除所用的具体焊缝金属符合表2者外，5.3.1.1b) 9) 和b) 10) 免做冲击试验的规定不适用于焊缝金属（焊缝金属免做冲击试验的规定正在研究中）。5.3.1.1b) 9) 和b) 10) 关于免做冲击试验的规定不适用于这些母材的热影响区冲击试验。焊接工艺评定的冲击试样应按5.3.3和7.3.3.2相应的要求制备和试验。允许按5.3.5的规定进行复验。

#### 7.3.3.3.1 焊缝金属的冲击试验

- a) 当在母材表面或穿过母材进行焊接，且母材又要求按 5.3.1 的规定进行冲击试验时，则对于产品焊接接头厚度超过 16mm 的焊接工艺评定试验，应进行焊缝金属的冲击试验。此外，当要求按 5.3.1 对母材进行冲击试验时，则不论补焊深度如何，母材补焊的焊接工艺评定试验应作焊缝金属的冲击试验。除所用的具体焊缝金属符合表 2 者外，在焊接工艺评定试验时，5.3.1.1b) 9) 和 b) 10) 免作冲击试验的规定不适用于产品接头或母材修补的焊缝金属（焊缝金属免做冲击试验的规定正在研究中）。

- b) 在焊接工艺评定试验中,焊缝金属冲击试验的要求以及验收标准应与 5.3.3 对母材的焊接或返修的规定相同。除《压水堆承压部件 设计与制造 第 1 部分:通用要求》1.2.4 或本卷其他部分另有规定外,当焊接两种不同断裂韧性要求的材料时,任一材料的试验要求和验收标准可适用于其焊缝金属。
- c) 按《压水堆承压部件 设计与制造 第 2 部分:1 级部件》、《压水堆承压部件 设计与制造 第 3 部分:2、3 级部件》或《压水堆核电厂堆内构件建造规则》冲击试验要求评定合格的焊接工艺规程(WPS),亦可代替本标准冲击试验要求的焊接工艺规程。

### 7.3.3.3.2 热影响区的冲击试验

- a) 凡是焊缝厚度超过 16mm 并任一母材要求按 5.3.1 的规定进行冲击试验时,其焊接工艺评定试验应包括热影响区的夏比 V 型缺口试验。5.3.1.1b) 9) 和 b) 10) 免作母材冲击试验的规定不适用于这些材料热影响区或未受热影响的母材的焊接工艺评定。但下列要求除外:
  - 1) 对于 P-NO.1、P-NO.3 和 SA336 F12 材料焊成的焊缝评定,如果焊后已进行热处理、且又是采用电渣焊、气电立焊或热剂焊以外的任何焊接方法焊成时,可不进行上述试验。
  - 2) 对于在任何母材上的堆焊熔敷金属堆焊层或耐磨层的焊接工艺评定,可不进行上述试验。
  - 3) 对于采用钨极气体保护焊(GTAW)方法进行打底焊时的热影响区部分,根部熔敷金属最多两层或 5mm 厚度中的较小值时,可不进行上述试验。
- b) 应按照 7.3.3.3.2b) 1) 至 b) 6) 中的规定进行夏比 V 型缺口试验。
  - 1) 对于热影响区和未受热影响的母材都要进行夏比 V 型缺口试验。未受热影响的母材试样应该在小于或等于 5.3.1.1c) 规定的温度下进行试验。
  - 2) 未受热影响母材的夏比 V 型缺口试验应该满足表 5.3.3.1 中相关类别和验收的有关要求,如果在试验温度下没有满足要求,应在更高温度下进行附加试验,直到满足上述要求为止。
  - 3) 热影响区试样应该在 7.3.3.3.2b) 2) 中确定的温度下进行试验。如果热影响区试样的平均适用韧性值大于或等于未受热影响的母材的平均适用韧性值,则对于在焊接工艺评定报告(PQR)中记录了重要变素和附加重要变素的情况下,评定试验是合格的。如果热影响区试样的平均适用韧性值小于未受热影响的母材的适用韧性值,则应按 7.3.3.3.2b) 4) 至 b) 6) 中的要求确定修正温度并且按 7.3.3.3.2c) 的要求应用。另一种方法,可以焊接另一块试板并进行试验。
  - 4) 在热影响区或未受热影响的母材,或者在两种母材上应进行附加的夏比 V 型缺口试验,附加试验应在三个试样的适用韧性都不小于 7.3.3.3.2b) 2) 中的规定适用韧性值的温度下进行。应将满足上述要求的每次试验的相关韧性值绘制成性能-温度曲线。在热影响区和未受热影响母材的平均适用韧性值相同并且不小于 7.3.3.3.2b) 2) 规定的地方,应该用

温度  $T_{HAZ}$  和  $T_{UBM}$  的差值来确定修正温度  $T_{ADJ}$  :

$$T_{ADJ} = T_{HAZ} - T_{UBM}$$

如果  $T_{ADJ} \leq 0$ , 那么  $T_{ADJ} = 0$ 。

- 5) 作为 7.3.3.3.2b) 4) 的替代方法,如果热影响区试样平均适用韧性值不小于表 5.3.3.1 中相关类别和验收的有关要求,并且热影响区试样的平均适用韧性值比未受热影响母材的适用韧性低 10J 或 0.13mm 以内,  $T_{ADJ}$  可以取 8℃。
- 6) 作为 7.3.3.3.2b) 4) 的第二种替代措施,如果热影响区试样平均适用韧性值不小于表 5.3.3.1 中相关类别和验收的有关要求,则应计算热影响区和未受热影响母材试样的平均适用韧性值的差值,并且采用 7.3.3.3.2c) 3) 的要求。
- c) 至少应该采取下列任一种方法来补偿由于焊接工艺而导致的热影响区韧性降低:

- 1) 对于由焊接工艺评定报告 (PQR) 支持的生产中采用的焊接工艺规程 (WPS) 中所要进行焊接的所有母材, 应使用修正温度  $T_{ADJ}$  来提高设计技术规格书规定的最低使用温度。
- 2) 可以通过修正温度  $T_{ADJ}$  来降低生产中材料的规定试验温度。
- 3) 如果焊接工艺规程 (WPS) 中的夏比 V 型冲击值不低于 5.3 要求的最小规定韧性值加上 7.3.3.3.2b) 6) 中确定的平均韧性值之差, 则被焊接的母材可以按该焊接工艺规程 (WPS) 进行焊接。
- d) 夏比 V 型缺口试验结果应记入焊接工艺评定报告中, 任何修正温度  $T_{ADJ}$  或者增加的韧性要求都应该记录在焊接工艺评定报告和焊接工艺规程中。在焊接工艺评定报告中可以采用多种补偿方法的一种。
- e) 满足《压水堆承压部件 设计与制造 第 2 部分: 1 级部件》、《压水堆承压部件 设计与制造 第 3 部分: 2、3 级部件》或《压水堆核电厂堆内构件建造规则》的冲击试验要求并且评定合格的焊接工艺规程 (WPS), 可用来代替本标准的冲击试验要求的焊接工艺规程 (WPS)。

## 7.4 指导施焊和补焊的规则

### 7.4.1 焊接前应采取的预防措施

#### 7.4.1.1 焊接材料的识别、储存和管理

每个制造商应对在制作和安装支承件中所用的电焊条和其它焊接材料[7.1.2]的管理负责。电焊条、焊剂和其它焊接材料应有适当的识别标记、储存和管理方法。应采取预防措施尽量减少电焊条和焊剂受潮。

#### 7.4.1.2 焊接表面的清洁度和保护

母材焊前准备所用的方法应能使焊接坡口具有适当光滑的表面。焊接表面应无氧化皮、铁锈、油、油脂和其他有害物质。施焊时应保护工件, 防止有害污染以及雨、雪和风的影响, 不应在潮湿的表面上进行焊接。

### 7.4.2 制作焊接接头的规则

#### 7.4.2.1 衬垫条

当采用衬垫条时, 其材料应与母材相容。

#### 7.4.2.2 锤击

当认为必要或有助于控制变形时, 可以锤击焊缝。

#### 7.4.2.3 双面焊焊接接头

在焊接双面焊焊接接头的第二面以前, 应采用适当的方法加工全焊透的双面焊接接头的根部, 例如铲凿、磨削或热刨等方法。但是, 用其他方法亦能获得接头根部的适当熔化和焊透的那些焊接工艺, 而且已被焊接工艺评定证明良好者, 可以不清根。

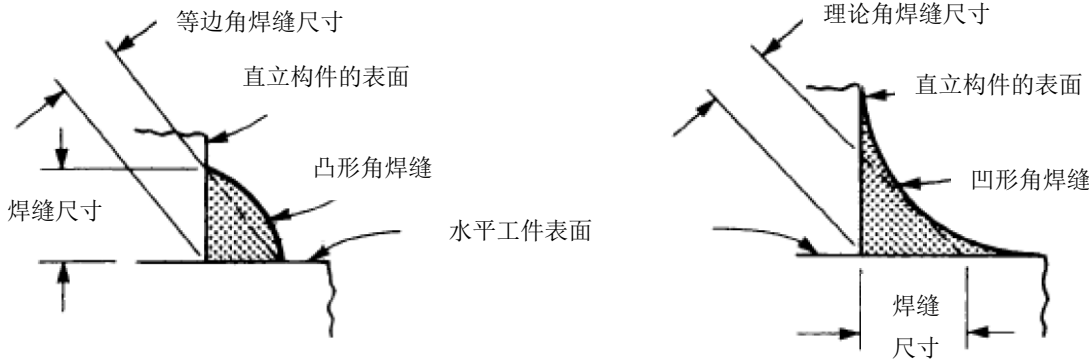
#### 7.4.2.4 焊缝的表面

- a) 为了能正确分析焊缝的射线照相和其他所需的无损检测, 完工的焊缝表面状态应没有粗糙的波纹、沟槽、焊瘤、突起的凸块和凹坑。在分析射线照片时, 如对焊缝表面状态有怀疑, 则应将照片与实际的焊缝表面进行对比, 以分析并确定是否合格。

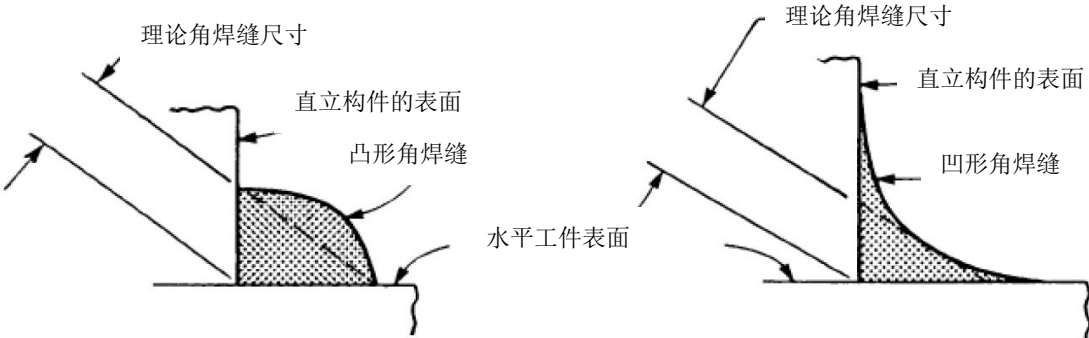
- b) 当焊缝的最终厚度满足第 6 章的要求时, 单面焊对接环焊缝的根部凹陷是允许的。
- c) 除 8.3.6c) 规定外, 焊缝金属的相邻层之间以及焊缝金属和母材之间应熔合。
- d) 对于惯性和连续驱动摩擦焊, 焊缝倾覆量应在规定量的 $\pm 10\%$ 以内。应去除毛刺以圆滑过渡。

7.4.2.5 焊缝的形状和尺寸

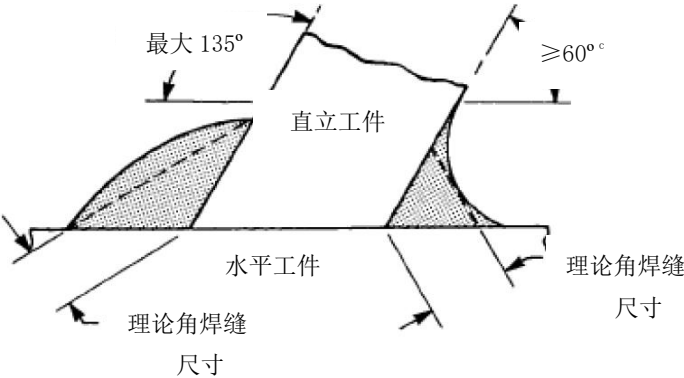
- a) 角焊缝可以是凸形或凹形。角焊缝的形状和尺寸应符合图 16 的要求。角焊缝的凸形没有验收准则并且不需要测量。
- b) 坡口焊缝的表面可以是平的或是凸形的, 坡口焊缝的厚度应不小于 0.8mm, 但小于连接组件中较薄组件的厚度。
- c) 箱形梁中腹板对翼缘的焊缝, 在离端部两倍翼缘宽度的距离内, 焊缝不允许尺寸不足。



(a) 等边角焊缝<sup>a</sup>



(b) 不等边角焊缝<sup>b</sup>



(c) 斜T接头

<sup>a</sup> 等边角焊缝尺寸是指最大的内接等腰直角三角形的直角边长。理论角焊缝尺寸=0.7×焊缝尺寸。

<sup>b</sup> 不等边角焊缝尺寸是指角焊缝断面内最大内接直角三角形的短边长度。

<sup>e</sup> 当直立工件角度小于  $60^\circ$  时，焊缝应考虑为部分焊透坡口焊缝[6.3.2.4.5d) 4)]。

图16 角焊缝尺寸

#### 7.4.2.6 塞焊

当支承件采用塞焊时，首先应在孔的底部沿圆周堆焊角焊缝。

#### 7.4.3 附件的焊接

##### 7.4.3.1 非结构附件和临时性附件的焊接和拆除

- a) 非结构附件（例如保温支承件、铭牌、定位凸耳）和临时性附件可以采用未经鉴定的材料，并可以采用连续或断续的角焊缝或部分焊透焊缝焊在支承件或它们的部件上，只要满足下列 7.4.3.1a) 1) 至 a) 5) 的要求：
  - 1) 焊接工艺和焊工已按 7.3.2.1 的要求评定合格；
  - 2) 材料被鉴定并适用于焊接；
  - 3) 材料与被焊材料相容；
  - 4) 焊接材料被鉴定并与被连接材料相容；
  - 5) 焊缝按 7.6.2 的要求进行焊后热处理。
- b) 临时性附件的拆除应按下列要求进行：
  - 1) 临时性附件应按 7.2.1.1 的方法完全拆除；
  - 2) 上述 7.4.3.1a) 5) 的焊后热处理可以延迟到附件拆除以后再进行；
  - 3) 临时性附件拆除之后，支承件表面应进行目视检查。

#### 7.4.4 焊接的特殊要求

##### 7.4.4.1 沿厚度加载

在轧制型材制作和使用过程中，应避免焊接接头的配置导致明显的沿厚度方向拉应力[如4.2.1.5b]所定义]。当采用这种结构时，应将卷制表面的焊缝体积和焊接热输入限制在合理范围内。根据设计输出文件[6.2.2.6.3, 6.2.3.4.4和6.3.2.4.5f) 3) (8)]的要求，承受明显沿厚度方向拉应力的主要构件的大于或等于25mm的焊缝，或设计输出文件中所定义的其他焊接接头应满足下列要求之一：

- a) 焊接完成后，应根据对应的部件支承件的级别，按照 8.2.1.4、8.2.2.4 或 8.2.3.4 的规定，对传递载荷的连接件正下方的母材进行超声波检测。
- b) 在连接件与内镶层或外覆层焊接前，内镶层或外覆层应按图 17 的要求进行焊接，并按 8.2.1.4、8.2.2.4 或 8.2.3.4 的规定进行超声波检测。
- c) 材料应满足 SA-770《Through-Thickness Tension Testing of Steel Plates for Special Applications》的验收标准。

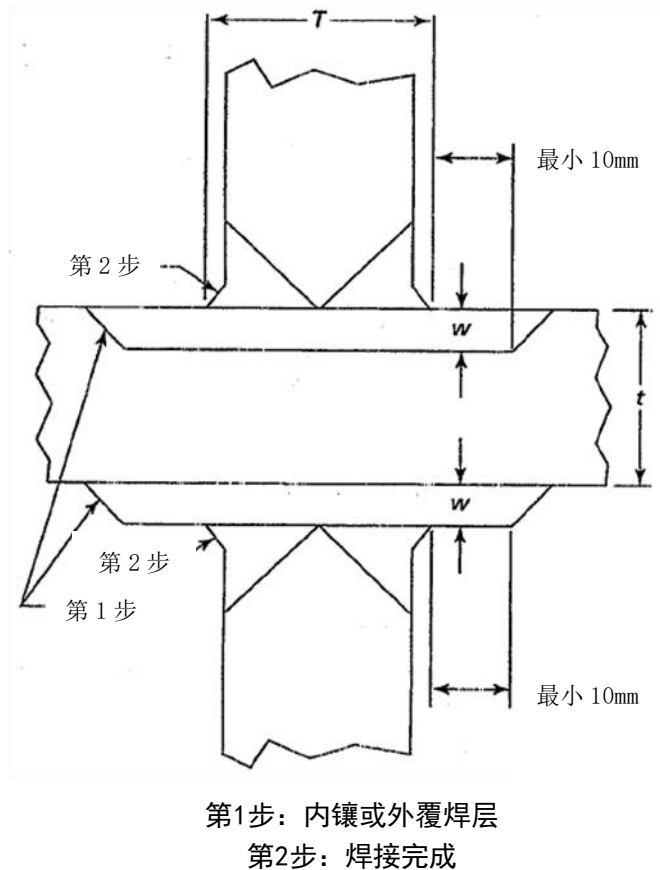


图17 沿厚度加载的焊接接头的制作

注1:  $T$ 是主要构件表面上焊接区域测量的宽度。

注2: 构件可以只焊在一边, 或两边都焊接。

注3: 若  $t=25\text{mm}$ , 内镶或外覆焊层的最小厚度为  $6\text{mm}$ 。此后,  $t$  每增加  $10\text{mm}$ , 焊层增加  $1.5\text{mm}$ 。但不需超过  $13\text{mm}$ 。

注4: 若  $T$  大于  $t$ , 差值每增加  $10\text{mm}$ , 焊层增加  $1.5\text{mm}$ 。但不超过  $13\text{mm}$ 。

注5: 用作内镶或外覆盖的电焊条的最小抗拉强度, 不应比母材抗拉强度大  $82\text{MPa}$  以上。

#### 7.4.5 焊缝金属缺陷的修补

##### 7.4.5.1 通用要求

按第8章要求进行检测后发现焊缝金属中有缺陷时, 应去除缺陷或修补。

##### 7.4.5.2 表面缺陷的去除

如果能够满足下面7.4.5.2a) 至c) 的要求, 则焊缝金属的表面缺陷可用打磨或机械加工的方法去除, 而不需用焊接方法修补。

- 该截面的剩余厚度不低于第6章所要求的厚度。
- 去除缺陷后, 凹陷处和周围的表面平滑过渡。
- 经平滑过渡后, 该区域按8.1.1用磁粉法或液体渗透法进行检测, 检测结果应满足8.3的验收准则, 以保证缺陷已被去除或缺陷显示已在允许的范围内。用目视方法或体积方法探测到的位于内表面的缺陷, 如果无法对内表面进行表面检测, 则需要用原来发现缺陷的检测方法进行复检。

##### 7.4.5.3 修补焊缝的要求



当焊接修补时，缺陷处焊缝金属的铲除应符合下面各项要求。

#### 7.4.5.3.1 缺陷的去除

缺陷可以用机械方法或热切割方法去除。准备修补的区域应按8.1.1用液体渗透法或磁粉法进行检测，并满足8.3.4或8.3.5的验收准则。如果去除缺陷时已切除全部焊缝，以及焊接接头的背面不可能接近而无法清除检测物质时，则不要求进行上述检测。

#### 7.4.5.3.2 对焊接材料、焊接工艺和焊工的要求

焊缝返修应采用按7.1.2.5和7.3评定合格的焊接材料、焊工和焊接工艺。

#### 7.4.5.3.3 修补区的过渡

修补后的焊缝表面应和周围的表面平滑过渡。

7.4.5.3.4 修补焊缝的检测修补焊缝应按原焊缝的要求重新检测。但是，如果不可接受的缺陷是原来由液体渗透法或磁粉法发现的，且补焊凹坑不超过以下规定时，则仅要求用液体渗透法或磁粉法复验：

- a)  $t_w \leq 19\text{mm}$  时不超过  $1/3 t_w$ ；
- b)  $19\text{mm} < t_w \leq 64\text{mm}$  时不超过 6mm；
- c)  $t_w > 64\text{mm}$  时不超过 10mm 或  $10\% t_w$  两者中的较小值。

其中  $t_w$  等于原焊缝的名义厚度。

#### 7.4.5.3.5 补修区的热处理

当7.6.2有要求时，补修区应进行热处理。

### 7.5 热处理

#### 7.5.1 焊接预热和层间要求

焊接预热和道间温度应符合《压水堆承压部件 焊接》第3部分：产品焊接的要求。

#### 7.5.2 焊后热处理

焊后热处理应符合《压水堆承压部件 焊接》第3部分：产品焊接的要求。

#### 7.5.3 电渣焊焊缝的热处理

接头名义厚度超过38mm的铁素体材料的电渣焊焊缝应作晶粒细化热处理。

### 7.6 螺栓连接结构的要求

#### 7.6.1 螺栓连接和螺纹连接

##### 7.6.1.1 螺纹啮合

除了在设计文件中另有规定者外，所有螺栓或螺柱的螺纹应与承载螺母的整个螺纹长度相啮合。

##### 7.6.1.2

用于螺纹连接的任何润滑剂或涂料应满足使用条件，且不会与任何支承件材料起有害反应。摩擦型接头范围内的接触表面应无润滑剂。

##### 7.6.1.3 螺纹润滑剂的清除

所有螺纹润滑剂或涂料应从要焊接的表面上清除掉。

7.6.2 螺栓连接

7.6.2.1 螺栓孔

本章中的高强度螺栓应理解为具有规定的最低屈服强度大于550MPa的那些螺栓。螺栓孔应符合下面7.6.2.1a)至e)的要求:

- a) 非配合螺栓的螺栓孔应符合表 24 的要求。对于混凝土中的锚固螺栓或膨胀螺栓,可把本标准给出的螺孔尺寸加大 1.5mm。当螺孔尺寸比螺栓大 3mm,且螺栓直径不超过 13mm 时,应采用标准垫圈。
- b) 除下面 7.6.2.1b) 1)、b) 2) 和 b) 3) 的限制以外,超尺寸螺栓或带槽的螺栓孔可与直径不小于 13mm 的高强度螺栓一起使用:
  - 1) 超尺寸的孔不应超过表 25 的要求。它们可用于摩擦型连接的任一层或所有各层。硬化垫圈应装在外露的超尺寸孔的上面。
  - 2) 短 U 形孔尺寸应不超过上述 7.6.2.1a) 的允许值,且其长度应不超过 7.6.2.1b) 1) 允许的超尺寸孔径 1.5mm 以上。它们可以用于摩擦型或支承型连接的任一层或所有层。摩擦型连接用这种带槽螺栓孔可不考虑载荷方向;但在支承型连接中,这种带槽孔应垂直于载荷的方向。硬化垫圈应装在外露的短槽孔的上面。
  - 3) 长 U 形孔的尺寸应不超过上述 7.6.2.1a) 的允许值,且其长度应不超过螺栓直径的 2.5 倍。在摩擦型连接中,若螺栓的应力不超过第 6 章给出的许用工作应力的 75%,则采用长槽孔可以不考虑载荷的方向。在支承型连接中,长槽孔应垂直于载荷方向。在长槽孔只能用于摩擦型或支承型被连接零件之一的接触面上。应该用厚度不小于 8mm 的结构垫板或连续板条来盖住接头外层上的长槽。在安装后,垫板或板条的尺寸应能完全盖住槽孔,并应满足第 6 章的要求。
- c) 除 7.6.2.1d) 的规定外,如果材料的厚度不大于螺栓公称直径加 3mm,则螺栓孔可以冲压。当材料厚度大于螺栓名义直径加 3mm 时,螺栓孔应钻孔、留量冲孔和铰孔,或热切割。当采用热切割时,承载表面应经机加工或磨削光滑。留量冲孔时,冲模直径至少比螺栓名义直径小 1.5mm。
- d) 厚度超过 13mm,且规定的最小屈服强度大于 550MPa 的材料上的螺栓孔应钻孔。
- e) 对于不承受剪力的螺栓,如果配备有符合第 6 章要求的结构垫板或连续板条,则 7.6.2.1d) 对于超尺寸螺栓孔和带槽孔的限制可以放宽。

表24 螺栓孔尺寸

螺栓尺寸	孔的尺寸
≤25mm	螺栓直径加 1.5mm
28mm 至 50mm	螺栓直径加 3mm
>50mm	螺栓直径加 5mm

表25 超尺寸孔的容限

螺栓尺寸	孔的最大尺寸
≤22mm	螺栓直径加 5mm
=25mm	螺栓直径加 6mm
>25mm	螺栓直径加 8mm

7.6.2.2 螺栓连接

- a) 用螺栓连接的零件，它与螺栓头和螺母接触的表面倾斜度，即相对于垂直螺栓轴线的平面的倾斜度不应大于 1:20。当被连接零件为高强度材料且其表面倾斜度大于 1:20 时，应采用楔形垫圈来补偿不平行度。
- b) 除设计技术规格书允许的以外，受纯剪载荷的螺栓，其承载部分不应有螺纹。

### 7.6.2.3 螺栓拧紧前的注意事项

所有靠螺栓拧紧的装配件，其接触表面应没有氧化皮、碎屑或其他有害物质。被连接的表面和边缘应光滑、均匀和没有毛刺、撕裂、裂纹和能使连接强度降低的其他缺陷。

### 7.6.2.4 螺栓的拧紧

所有高强度结构螺栓的预紧载荷应不小于设计技术规格书中的给定值。应该采用螺母旋转计数法或正确校准的扳手、载荷指示垫圈或直接拉伸指示器来监测预紧载荷。用校准的扳手来预紧螺栓时，应在预载荷过程中旋转的元件（螺母或螺栓头）下面安装硬化垫圈。当采用直接拉伸或载荷指示垫圈方法时，应在螺栓头和螺母下面都安装硬化垫圈。当用螺母旋转计数法预紧螺栓时，不要求用硬化垫圈。但所连接材料的规定屈服强度低于 270MPa 时，则在螺母和螺栓头下面仍要求安装硬化垫圈。

### 7.6.2.5 锁紧装置

#### 7.6.2.5.1 锁紧装置的类型

螺纹紧固件应配备锁紧装置以防使用时松脱。与使用条件相适应的弹性止动螺母和螺纹锁紧化合物，锁紧螺母，包括满载的或防松的，带槽的，钻孔并绕丝的，自旋紧并带有效力矩的等多种螺母，都是可接受的锁紧装置。由冷加工、点焊将螺纹破坏亦可用作锁紧装置。内齿垫圈和外齿垫圈、碟形和螺旋形弹簧锁紧垫圈不能用作锁紧装置。

#### 7.6.2.5.2 高强度紧固件的预加载荷

屈服强度不小于 550MPa 材料制作的预加载荷螺纹紧固件，其拉伸载荷比紧固件在规定工况下承受的最大载荷至少提高 20%，但不超过该紧固件规定的最小抗拉强度的 70%，则满足锁紧要求。

#### 7.6.2.5.3 非高强度紧固件的预加载荷

因组件几何形状而不能安装锁紧装置时，用屈服强度低于 550MPa 的材料制作的组件的螺纹紧固件，如果其最终的预加载荷比紧固件在规定工况下承受的最大载荷至少高 20%，但不超过该紧固件规定的最小抗拉强度的 70%，则预加载荷是一种接受的锁紧方法。螺纹连接的装配件应按设计技术规格书的规定进行动载荷状态试验，应该用正确校准的扳手、直接拉伸指示器或螺母旋转计数等方法在该装配件上对所确定的预加载荷进行验证。设计报告上应写明试验结果、要求的预加载荷以及规定的螺纹润滑方法。

## 8 检测

### 8.1 检查的通用要求

#### 8.1.1 规程、考核和评定

##### 8.1.1.1 通用要求

除按本章要求可能作出变更外，无损检测应按第 V 卷的检测方法执行。射线照相检测应按第 V 卷第 2 章的规定进行，但几何不清晰度不得超过 T-274.2 的限制。超声检测应按第 V 卷第 4 章的规定进行；磁粉检测应按第 V 卷第 7 章进行；液体渗透检测应按第 V 卷第 6 章进行。目视检测应按第 V 卷第 9 章进行。本章要求的检测或参照本章的检测应由按本章要求取得资格的人员执行。检测结果应按本章的验收标准评定。

### 8.1.1.2 无损检测规程

凡按本章要求进行的所有无损检测，都应按照详细的书面程序执行，且这些书面程序已经通过实际操作证明满足3级检验师要求。所用的规程应符合第V卷相应各章对特定检测方法的规定。射线照相和射线透视图像的数字化处理，应满足第V卷第2章强制性附录III“射线照相法和射线透视法的数字图像采集，显示和贮存”的要求。根据民用核设施营运单位质量计划的细则），证明规程效能和人员资质的书面规程和记录应作为文件保留。所有有关的无损检测人员至少应持有一份检测规程的副本，以便工作时参考及使用。

### 8.1.1.3 检测后的清洗

凡在检验工件上应用检测材料的任何无损检测，在检测以后应根据所使用的检测材料或检测规程的说明将检测工件进行彻底清洗。

### 8.1.1.4 焊缝测量值的圆整

为了恰当地评价规定的尺寸大小，对于咬边的测量值应圆整至最接近的0.8mm，对于焊缝尺寸的测量值应圆整至最接近的1.5mm。焊缝的其他尺寸应圆整至最接近的3mm或按设计文件规定的具体数值圆整。

### 8.1.1.5 焊缝检测时间

在制造和安装过程中，8.2要求的焊缝检测按以下a)和b)规定的时间执行：

- a) 焊缝的射线照相检测可以在任何焊后热处理以前进行。
- b) 除P-1材料上的焊缝可在焊后热处理之前或之后进行检测以外，焊缝的磁粉或液体渗透检测都应在任何所要求的焊后热处理之后进行。

## 8.2 焊缝要求的检测

### 8.2.1 1级支承件焊缝的检测

#### 8.2.1.1 范围

除了名义管子尺寸小于和等于DN50的1级管道的支承件可按8.2.2的规则检测外，本节的要求适用于所有1级支承件。

#### 8.2.1.2 主要构件的焊接接头

主要构件的焊接接头应满足8.2.1.2a)至b)要求：

- a) 主要构件的所有全焊透对接接头应使用射线照相法进行检测。
- b) 除了焊缝的外露端只需要作目视检测外，主要构件上所有其他接焊接头应使用液体渗透或磁粉法进行检测。

#### 8.2.1.3 次要构件的焊接接头

次要构件的所有焊接接头应使用目视检测法进行检测。

#### 8.2.1.4 特殊要求

对于全厚度方向传递载荷的，厚度不小于25mm的主要构件的焊接件，当焊缝下面的母材按7.4.4的要求应作超声检测时，应在100%参考面积内用SA-577或SA-578的规程进行，验收标准应按8.3.2.1的规定。但是，主要构件应采用代表性校准块。直射波检测用的校准块应有6mm直径的平底孔，位于被焊接构件的1/4、1/2和3/4厚度处，由此画出一条距离-波幅曲线。

### 8.2.2 2级和MC支承件焊缝的检测

### 8.2.2.1 主要构件的焊接接头

- a) 主要构件的所有对接焊接接头应使用液体渗透或磁粉法进行检测。
- b) 对于坡口深度或角焊缝高度大于 25mm 的主要构件的所有部分焊透焊缝或角焊缝以及高度不小于 13mm 的 T 形焊接接头，应进行液体渗透或磁粉法检测，但是，焊缝的外露端只需作目视检测。
- c) 除 8.2.2.1a) 和 b) 的规定外，主要构件的所有焊缝应进行目视检测。

### 8.2.2.2 次要构件的焊接接头

次要构件的所有焊接接头应进行目视检测。

### 8.2.2.3 特殊要求

对于全厚度方向传递载荷的，厚度不小于25mm的主要构件的焊接件，当焊缝下面的母材按7.4.4的要求应作超声检测时，应在100%参考面积内用SA-577或SA-578的规程进行，验收标准应按8.3.2.1的规定。但是，主要构件应采用代表性校准块。直射波检测用的校准块应有6mm直径的平底孔，位于被焊接构件的1/4、1/2和3/4厚度处，由此画出一条距离-波幅曲线。

## 8.2.3 3级支承件焊缝的检测

### 8.2.3.1 主要构件的焊接接头

- a) 对于坡口深度或角焊缝高度大于 25mm 的主要构件的焊接接头应进行液体渗透或磁粉法检测，但是，焊缝的外露端只需作目视检测。
- b) 除上面 a) 的规定外，主要构件的焊接接头应作目视检测。

### 8.2.3.2 次要构件焊接接头

次要构件的所有焊接接头应进行目视检测。

### 8.2.3.3 特殊要求

对于全厚度方向传递载荷的，厚度不小于25mm的主要构件的焊接件，当焊缝下面的母材按7.4.4的要求应作超声检测时，应在100%参考面积内用SA-577或SA-578的规程进行，验收标准应按8.3.2.1的规定。但是，主要构件应采用代表性校准块。直射波检测用的校准块应有6mm直径的平底孔，位于被焊接构件的1/4、1/2和3/4厚度处，由此画出一条距离-波幅曲线。

## 8.2.4 惯性和连续驱动摩擦焊缝

- a) 当本章要求对惯性和连续驱动摩擦焊的焊缝进行射线照相检测时，也应进行超声检测，以验证整个区域的焊合。
- b) 所有的材料应是第 IX 卷指定 P 值的材料，且不包括沸腾钢和半镇静钢。
- c) 所焊接的两个零件中的一个应保持在一个固定位置上，另一个转动。所焊接的两个面应对称于旋转轴。
- d) 在两个焊件之间的焊缝应是全焊透焊缝。

## 8.3 验收标准

### 8.3.1 射线照相检测验收标准

#### 8.3.1.1 显示的评定

由焊缝射线照相发现的具有缺陷特性的显示，在下列情况下均不得验收：

- a) 任何具有裂纹、未熔合或未焊透特性的显示。

- b) 任何长度大于下列值的条状显示：
  - 1) 厚度  $t$  小于和等于 19mm 时，长度为 6mm 的显示；
  - 2) 厚度  $t$  大于 19mm 到 56mm 时，长度为  $t/3$  的显示；
  - 3) 厚度  $t$  值大于 56mm 时，长度为 19mm 的显示。
 其中， $t$  为焊缝较薄部分的厚度。
- c) 内部焊根的状态在射线照相所示的黑度不是突变时是可接受的；但在这种焊根状态的任一侧上，射线照相的条状显示达到 8.3.1.1 的规定时，不得验收。
- d) 在  $12t$  长度内任一组的排列成直线的显示其累计长度大于  $t$  时，不得验收，但相邻显示间的最小距离超过  $6L$  时可除外，此时累计长度不限。 $L$  为最大的显示长度。
- e) 射线照相检测时，圆形显示不作为焊缝验收的限制因素。

### 8.3.2 超声检测验收标准

对于反射波幅度大于基准波幅度20%的所有缺陷应扩大探测范围，直至操作者能确定所有这些缺陷的形状、性质和位置，并根据下列a)和b)给出的验收标准来评定。

- a) 显示波幅超过基准波且长度超过下列规定的缺陷不得验收：
  - 1) 厚度  $t$  小于和等于 19mm 时，长度为 6mm 的显示；
  - 2) 厚度  $t$  大于 19mm 到 56mm 时，长度为  $t/3$  的显示；
  - 3) 厚度  $t$  值大于 56mm 时，长度为 19mm 的显示。
 其中， $t$  是被检验焊缝的厚度；如果焊缝是由两个不同厚度的构件焊接而成，则  $t$  取较薄构件的厚度值。
- b) 如果显示具有裂纹、未熔合或未焊透的特征，则不论长度如何均不得验收。

#### 8.3.2.1 层状缺陷显示的验收标准

在焊缝下面的母材中，所探得的任何层状缺陷的显示，如果超过被焊零件中较薄零件厚度的一半为直径所画出的圆时，则该层状缺陷不予验收。

### 8.3.3 磁粉检测验收标准

#### 8.3.3.1 显示的评定

- a) 表面上的机械不连续性通过检测介质滞留来显示。但并非所有显示都是缺陷，因为某些冶金上的不连续性和导磁率的变化都可能产生类似的显示，而这类显示与缺陷是无关的。
- b) 任何被认为是无关的显示，应用相同的或其他的无损检测方法复测，以验证实际上是否有缺陷存在。复测前可先进行表面修整。在一个显示被证实为无关显示后，不需要再对同类型的无关显示进行复测。如果无关显示掩盖了缺陷，则这样的无关显示不得验收。
- c) 相关显示是缺陷引起的显示。线性显示是长度大于 3 倍宽度的显示。圆形显示是长度等于或小于 3 倍宽度的圆形或椭圆形显示。

#### 8.3.3.2 验收标准

- a) 只有产生主要尺寸大于 1.5mm 的显示的缺陷才被认为是相关缺陷。
- b) 出现下列显示的缺陷均不得验收：
  - 1) 任何裂纹或线性显示；
  - 2) 尺寸大于 5mm 的圆形显示；
  - 3) 在一条直线上有 4 个或 4 个以上，且边缘相距小于或等于 1.5mm 的圆形显示；
  - 4) 在与受评定的显示有关的最不利部位上，任取一个面积为  $4000\text{mm}^2$  且其主要尺寸不超过 150mm 的区域，在这个区域内有 10 个或 10 个以上的圆形显示。

### 8.3.4 液体渗透检测验收标准

### 8.3.4.1 显示的评定

- a) 表面上的机械不连续性通过渗透剂的渗出来显示。但是，机械加工的痕迹、表面状态等局部的表面不连续性，会产生类似的无关的显示。
- b) 任何被认为是无关的显示应进行复测以验证实际上是否有缺陷存在。复测前可先进行表面修整。如果无关显示和大面积渗透剂沉淀掩盖了缺陷，则这样的显示不得验收。
- c) 相关显示是缺陷引起的显示。线性显示是长度大于 3 倍宽度的显示。圆形显示是圆形的或长度等于或小于 3 倍宽度的椭圆形显示。

### 8.3.4.2 验收标准

- a) 只有产生主要尺寸大于 1.5mm 的显示的缺陷才被认为是相关缺陷。
- b) 出现下列显示的缺陷均不得验收：
  - 1) 任何裂纹或线性显示；
  - 2) 尺寸大于 5mm 的圆形显示；
  - 3) 在一条直线上有 4 个或 4 个以上，且边缘相距小于或等于 1.5mm 的圆形显示；
  - 4) 在与受评定的显示有关的最不利部位上，任取一个面积为  $4000\text{mm}^2$  且其主要尺寸不超过 150mm 的区域，在这个区域内有 10 个或 10 个以上的圆形显示。

### 8.3.5 目视检测的验收标准

当按 8.2 要求进行目视检测时，验收标准规定如下：

- a) 不允许存在裂纹；
- b) 对于 1/4 焊缝长度来说，角焊缝允许小于所规定的 1.5mm，如果超过尺寸的焊缝不影响配合的零件，则超过尺寸的角焊缝是可接受的；
- c) 对角焊缝来说，在任何 100mm 长度中允许有 10mm 的未熔合；在小于 100mm 长的角焊缝中，允许有 6mm 的未熔合；对开坡口的焊缝，不允许有未熔合。对角焊缝和开坡口的焊缝来说，发生在焊接过程中（开始和结束）的端部为圆形的显示，不应认为是未熔合，并且是不相关的。
- d) 如果有关焊缝尺寸和熔合的标准得到满足，则焊瘤是可接受的。当焊瘤长度中的熔合不能确定时，在任何 100mm 长度内，允许焊瘤长度为 10mm；焊缝长度小于 100mm 时，允许焊瘤长度为 6mm。
- e) 当有关焊缝尺寸符合标准时，允许存在弧坑；如果不存在裂纹，则在规定的焊缝长度以外的弧坑是非相关的。
- f) 咬边的可验收条件要求如下：
  - 1) 当材料公称厚度小于和等于 10mm 时，对于整个焊缝长度在焊件的单个面上允许咬边深度为 0.8mm，或者一半焊缝长度在单面上允许 0.8mm；对于 1/4 焊缝长度，在焊件的同一面上允许 1.5mm。对双面焊接的焊件，当咬边存在于焊件的同一平面上，则咬边的累计长度不得超过单面所允许的长度。如果熔穿在母材上造成孔洞是不允许的。
  - 2) 当材料公称厚度大于 10mm 时，整个焊缝长度上允许咬边深度为 0.8mm；对于 1/4 焊缝长度，在焊件的二个面上允许 1.5mm；当焊缝或咬边仅存在于焊件的一个面上或者不在同一平面上，对于整个焊缝长度，允许咬边深度可从 0.8mm 增加到 1.5mm。
- g) 仅当表面气孔的主要尺寸超过 1.5mm 时，才应认为是相关的。角焊缝和开坡口焊缝的表面气孔在下列情况下不予验收：
  - 1) 随机气孔的直径总和在任何长度范围内超过 10mm，或任何 300mm 范围内超过 19mm；
  - 2) 4 个或 4 个以上的气孔成直排列，其边缘间的距离小于或等于 1.5mm。
- h) 除了焊缝长度可能超过规定的以外，焊缝的长度和位置应符合图纸的规定。对于长度小于 75mm 的焊缝，允许的长度偏差为 3mm；焊缝长度等于或大于 75mm 时，允许的长度偏差为 6mm。间断焊缝的间隔应在规定位置的 25mm 以内。

- i) 如果目视检测没有发现裂纹,则电弧触发以及由此在焊缝或母材上产生的缺陷是可接受的。
- j) 主要表面尺寸等于或小于 3mm 的夹渣是非相关的。焊缝清理以后,残留在焊缝上且其主要尺寸不超过 6mm 的孤立夹渣是可接受的(当夹渣在一条焊缝上不超过一个或 75mm 长的焊缝段上不超过 1 个,则该夹渣认为是孤立的)。清理以后残留在焊缝表面上的飞溅物是允许存在的。

#### 8.4 无损检测人员的考核及取证

##### 8.4.1 通用要求

执行标准要求的无损检测机构应该雇佣具备规定的有相应检测能力和知识的操作人员。当这些服务由民用核设施营运单位或质量系统民用核设施营运单位分包时,他们应按 8.4.2 要求验证人员的资格。应由有考核合格的无损检测人员进行本标准要求的所有无损检测和评定检测结果。

##### 8.4.2 人员考核、取证和认证

###### 8.4.2.1 考核规程

人员考核规程如 8.4.2.1a) 至 d) 所示:

- a) 应按 SNT-TC-IA<sup>(10), (11)</sup> 推荐的导则考核无损检测人员。SNT-TC-IA 中第 5 条要求雇主<sup>(12)</sup> 的书面条款应规定雇主关于所推荐导则的要求。除下面 1) 到 5) 的修改外,应把 SNT-TC-IA 推荐的导则看作最低要求:
  - 1) III 级无损检测人员的资格应通过考试加以考核。
  - 2) 按 SNT-TC-IA 第 8.8 (1) 和 8.8 (2) 条要求的基础和方法考试,可以由雇主、美国无损检测协会 (ASNT) 或外协单位制订并执行。
    - (1) 按 SNT-TC-IA 第 8.8 (3) 条要求的专门考试应该由雇主或外协单位制订并执行。当基础和方法考试由 ASNT 执行,而只给予及格或不及格评语时,则雇主或外协单位执行的专门考试应书面规定最低成绩要求。在这种情况下,专门考试的最低成绩可不低于 80%。
    - (2) 在雇主的质量大纲中应注明 SNT-TC-IA 第 5 条中确定的书面条款以及用于检测人员考核的规程。
  - 3) 如果无损检测人员只进行多项操作组成的无损检测方法中的一项操作,或该人员只进行有限范围的无损检测操作时,则该人员的培训时数可以少于 SNT-TC-IA 表 6.3.1 的推荐时数。在书面条款中应注明培训和实践时间,且对考核中规定的任何范围或限制亦应在证书及书面条例中写明。
    - (1) 对于目视检测人员,可按 SNT-TC-IA 表内规定的最低课堂培训时间从 8 和 16h 分别减少为 4 和 8h。
  - 4) 针对目视检测,应该用耶氏 1 号测目字母代替 SNT-TC-IA 的 8.2 (1) 条规定的耶氏 2 号测目字母。允许使用相当的类型和大小的字母。
  - 5) 应根据进行布置、标定、试验以及记录和评定数据的能力,通过与书面细则中规定的具体验收准则相比较来对 I 级人员进行考核。I 级人员应能在 II 级和 III 级人员指导下执行书面的无损检测规程。当具体验收准则已有书面规定时,I 级人员可以独立接受无损检测结果。

10) SNT-TC-1A 是美国无损检测协会 (1711 Arlingate Lane, P.O. Box 28518 Columbus, Ohio 43228-0518) 颁布的《无损检测人员考核和取证的推荐实施条例》。

11) 按 SNT-TC-1A 以前版本考核并重新取证的人员,如果重新取证是以一贯满意的操作技术为依据的,则应看作符合 NCA-7000 中引用版本的资格要求。所有复试和新的考试都应按 NCA-7000 中引用的版本进行。

12) 本章雇主一词包括: N 证书持有者、质量系统证书持有者、按 NCA-3862(a) (1) 考核合格的材料供应机构,以及提供分包无损检测服务的上述机构。



- b) 对于 SNT-YC-IA 文件中没有包括的无损检测方法,应根据特定方法的类似检测达到的相应检测水平来考核检测人员。
- c) 重点应是考察每个检测人员按照相应的规程对预定的使用场合进行无损检测的能力。
- d) 对于包括几个操作或几个类型的无损检测方法,允许雇用考核合格的能执行一种或几种操作的人员。例如,由一个合格的人员进行射线照相检测,另外一个合格的人员进行射线照相的解释和评定。

#### 8.4.2.2 人员的取证

- a) 雇主承担检测大纲适用性的责任,并负责 I 级、II 级和 III 级无损检测人员的取证。
- b) 当 ASNT 作为外部代理机构来实施 III 级人员的基础考试和方法考试[8.4.2.1a) 2)]时,雇主可以根据 ASNT 的函件作为取证的依据。
- c) 当外部代理机构是雇主的 III 级人员的考核机构时,考试结果应包括在雇主的记录中。

#### 8.4.2.3 无损检测人员合格证书的验证

民用核设施营运单位有责任对材料制造厂和材料供应厂雇用的,并由他们按NCA-3820考核合格的无损检测人员,以及对为他们提供无损检测服务的分包商所雇用的无损检测人员,进行资格和证书的验证。

#### 8.4.3 记录

检测人员的考核记录应按SNT-TC-1A第9.9条的规定由雇主保存。

附录 A  
(规范性附录)  
单角钢构件的设计

A.1 引言

A.1.1 范围

本强制性附录为用于1级、2级、3级和金属安全壳线型支承结构的单角钢构件提供设计规则。

A.1.2 通用要求

除非按本附录作了修改，第3章的要求均应满足。

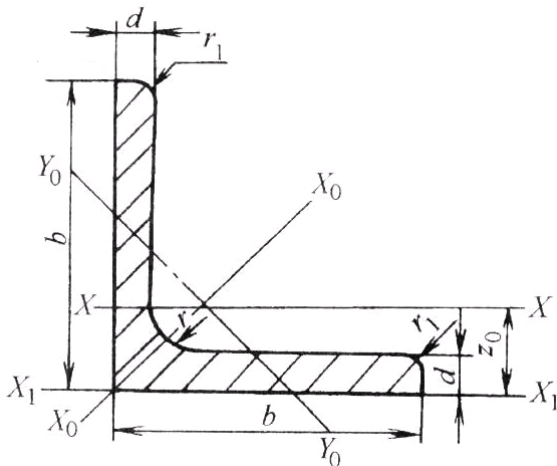
A.2 术语

除A.3.2节至A.3.6节注明的以外，其余术语按6.3.1.3定义。

A.3 设计要求

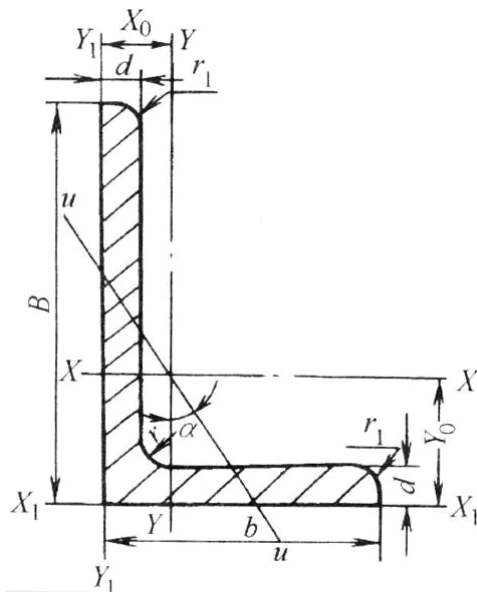
A.3.1 总述

单角钢构件根据A.3.2节至A.3.6节设计。图A.1和图A.2分别为等边角钢和不等边角钢的截面示意图。



$b$ -边宽度； $d$ -边厚度； $r$ -内圆弧半径； $r_1$ -边端内弧半径； $z_0$ -重心距离

图A.1 等边角钢截面示意图



$B$ -长边宽度； $b$ -短边宽度； $d$ -边厚度； $r$ -内圆弧半径； $r_1$ -边端内弧半径； $X_0$ -重心距离； $Y_0$ -重心距离

图A.2 不等边角钢截面示意图

### A.3.2 拉伸

许用拉应力 $F_t$ 按总面积 $A_g$ 计算时不应超过 $0.6S_y$ ，同时按有效净面积 $A_e$ 计算时也不应超过 $0.5S_u$ 。  
有效净面积 $A_e$ 的计算见A.3.2a)至c)：

- a) 对于由螺栓联接的构件，净面积和有效净面积应按 6.3.2.2.8 确定。
- b) 当载荷沿只通过角钢的一条角边的纵向焊或纵向和横向组合焊传递时，有效净面积应为：

$$A_e = 0.85A_g \dots\dots\dots (A.1)$$

- c) 当载荷沿只通过角钢的一条角边的横向焊传递时，其有效净面积  $A_e$  为被联接角边的面积。

### A.3.3 剪切

由弯曲和扭转引起的许用剪应力应满足

$$F_v = 0.4S_y \dots\dots\dots (A.2)$$

### A.3.4 压缩

按总面积计算的轴向受压构件的许用压应力应为：

当  $Kl/r < C'_c$

$$F_a = \frac{Q \left[ 1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c'^2} \right] S_y}{5/3 + 3/8 \left( \frac{Kl/r}{C'_c} \right) - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c'^3}} \dots\dots\dots (A.3)$$

当  $Kl/r > C'_c$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$Kl/r$  ——在6.3.2.2中定义的无拉撑长度的最大有效长细比

$$C'_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QS_y}}$$

换算系数 $Q$ 应为:

$$\text{当 } b/t \leq 200/\sqrt{S_y}$$

$$Q=1 \dots\dots\dots (A.5)$$

$$\text{当 } 200/\sqrt{S_y} < b/t < 407/\sqrt{S_y}$$

$$Q = 1.340 - 0.00170(b/t)\sqrt{S_y} \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\text{当 } b/t \geq 407/\sqrt{S_y}$$

$$Q = 106900/[S_y(b/t)^2] \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$S_y$  ——规定的最小屈服强度, MPa

$b$  ——角钢最长角边的标准宽度

$t$  ——角钢的厚度

对于短、轻型或不等边角钢, 弯曲—扭转屈曲可能会明显地降低强度。在这种情况下许用应力仍应由前述等式决定, 但等式中的 $Kl/r$ 由等效长细比 $(Kl/r)_{equiv}$ 替代。

$$(Kl/r)_{equiv} = \pi\sqrt{E/F_e}$$

其中 $F_e$ 是弯曲加扭转组合作用模式下的弹性屈曲强度。

d) 对于以对称轴 $w$ 作为形心主轴的等边角钢

$$F_e = \frac{F_{ew} + F_{ej}}{2H} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ew}F_{ej}H}{(F_{ew} + F_{ej})^2}} \right]$$

e) 对于不等边角钢,  $F_e$ 是三次方程的最小根。

$$(F_e - F_{ez})(F_e - F_{ew})(F_e - F_{ej}) - F_e^2(F_e - F_{ew})(z_o/\bar{r}_o)^2 - F_e^2(F_e - F_{ez})(w_o/\bar{r}_o)^2 = 0$$

式中:

$E$  ——弹性模量, MPa

$G$  ——剪切模量, MPa

$J$  ——转矩常数 $=2bt^3/3=t^2A/3$ ,  $\text{mm}^4$

$I_z$ 、 $I_w$  ——关于主轴的惯性矩,  $\text{mm}^4$

$z_o$ 、 $w_o$  ——剪切中心相对于质心的坐标, mm

$$\bar{r}_o^2 = z_o^2 + w_o^2 + (I_z + I_w)/A, \text{ mm}^2; \quad I_z + I_w = I_x + I_y$$

$$H = 1 - (z_o^2 + w_o^2)/\bar{r}_o^2 = (I_z + I_w)/A\bar{r}_o^2$$

$$F_{ez} = \frac{\pi^2 E}{(K_z l / r_z)^2}, \text{ MPa}$$

$$F_{ew} = \frac{\pi^2 E}{(K_w l / r_w)^2}, \text{ MPa}$$

$$F_{ej} = \frac{GJ}{A \bar{r}_o^2} = \frac{Gt^2}{2 \bar{r}_o^2}, \text{ MPa}$$

$A$  ——横截面面积  
 $l$  ——无拉撑长度  
 $K_z$ 、 $K_w$  ——有效长度因子  
 $r_z$ 、 $r_w$  ——关于主轴的旋转半径  
基于压缩力设计的构件，其最大的有效长细比最好不超过200。

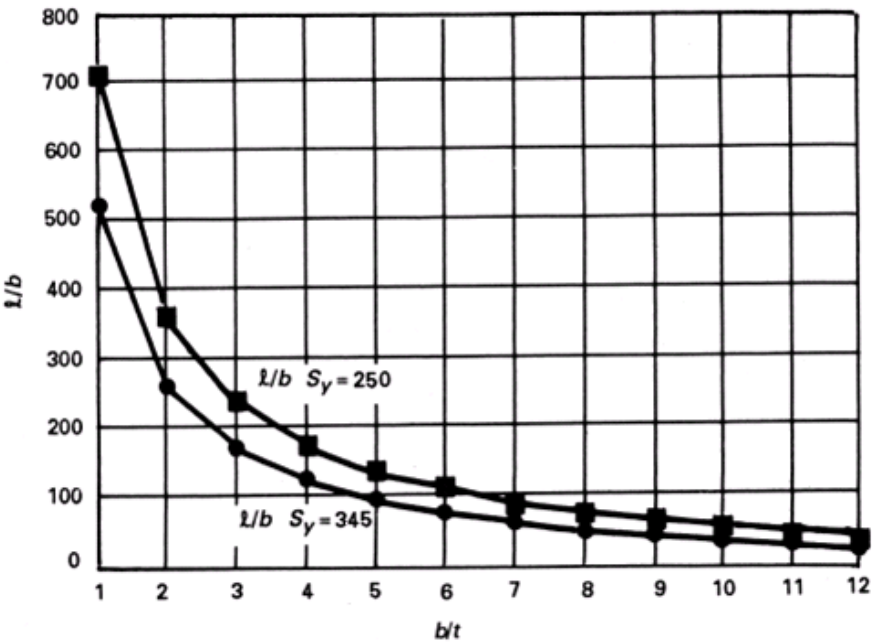
A. 3. 5 弯曲

A. 3. 5. 1节中的许用弯曲应力限制应按A. 3. 5. 2节和A. 3. 5. 3节所述进行使用。

A. 3. 5. 1 许用弯曲应力

许用弯曲应力 $F_b$ 是关于单角钢构件无拉撑长度与宽度比（ $l/b$ ）和宽度与厚度比（ $b/t$ ）的函数。

对于由规定的最小屈服强度为250MPa和345MPa的材料制成的等边角钢，若取 $F_b=0.66S_y$ ，则图A. 3可用于确定 $l/b$ 和 $b/t$ 组合限制。对于不满足图A. 3的等边角钢，或对于不等边角钢，其弯曲应力的最小许用值 $F_b$ 由适用的A. 3. 5. 1. 1、A. 3. 5. 1. 2以及A. 3. 5. 1. 3确定。



图A. 3 对于  $F_b=0.66S_y$  的等边角钢的限制

A. 3. 5. 1. 1 当角钢角边顶端受压

当角钢的角边顶端受压时，应防止局部屈曲。

当  $b/t \leq 171/\sqrt{S_y}$

$$F_b = 0.66S_y \dots\dots\dots (A. 8)$$

当  $171/\sqrt{S_y} < b/t \leq 200/\sqrt{S_y}$

$$F_b = 0.60S_y \dots\dots\dots (A. 9)$$

当  $b/t > 200/\sqrt{S_y}$

$$F_b = 0.60QS_y \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中:

$b$  ——受压角边的标准宽度, mm

$Q$  ——应力换算系数, 与  $b$  的关系由前述 (A. 5)、(A. 6)、(A. 7) 式定义。

假如角边的顶端受压则认为角钢的角边受压, 此时应计算该角边顶端应力  $f_b$ 。

#### A. 3. 5. 1. 2 当角边顶端受拉

当角边顶端受拉,

$$F_b = 0.66S_y \dots\dots\dots (A. 11)$$

#### A. 3. 5. 1. 3 侧向扭转屈曲

为防止侧向扭转屈曲, 最大压应力不超过:

当  $F_{ob} \leq S_y$

$$F_b = [0.55 - 0.10F_{ob}/S_y]F_{ob} \dots\dots\dots (A. 12)$$

当  $F_{ob} > S_y$

$$F_b = [0.95 - 0.50\sqrt{S_y/F_{ob}}]S_y \leq 0.66S_y \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中:

$F_b$  ——角边顶端许用弯曲应力, MPa

$F_{ob}$  ——弹性侧向扭转屈曲应力, 按适用的A. 3. 5. 2节或A. 3. 5. 3节计算, MPa

$S_y$  ——屈服应力, MPa

#### A. 3. 5. 2 关于几何轴弯曲

##### A. 3. 5. 2. 1

- a) 沿长度方向受侧向扭转约束的角钢弯曲构件可以在几何轴弯曲基础上设计, 其应力限制由 A. 3. 5. 1. 1 和 A. 3. 5. 1. 2 规定。
- b) 对于等边角钢, 假如侧向扭转约束在最大力矩点上, 则基于几何轴弯曲计算的应力  $f_b$  由 A. 3. 5. 2. 2 中的  $F_b$  限定。

##### A. 3. 5. 2. 2

对于侧向扭转不约束、承受关于其中一几何轴弯曲载荷的等边角钢构件, 设计可以只考虑关于几何轴的弯曲, 但规定:

- a) 使用几何轴截面模量计算的压应力  $f_b$  应增加 25%。  
 b) 对于角钢角边顶端受压的情况, 许用弯曲应力  $F_b$  由 A. 3. 5. 1. 3 确定, 其中:

$$F_{ob} = \frac{592}{(l/b)^2} C_b \left[ \sqrt{1 + 0.78(lt/b^2)^2} - 1 \right] \dots\dots\dots (A. 14)$$

式中:

$b/t$  规定同 A. 3. 5. 1. 1, 当角边顶端受拉时,  $F_b$  仅由 A. 3. 5. 1. 2 确定。

$l$  ——无拉撑长度, mm

$C_b$  —— $1.75 + 1.05(M/M_e) + 0.3(M/M_e)^2 \leq 1.5$ , 其中  $M$  和  $M_e$  分别是梁的无拉撑部分端部较小和较大的力矩。当力矩引起反向弯曲时,  $(M/M_e)$  为正; 当变形为单向弯曲时则  $(M/M_e)$  为负。当在无拉撑长度内任一点的弯矩大于该段长度两端的两个弯矩时,  $C_b$  应取为 1。

### A. 3. 5. 2. 3

对于侧向扭转不约束、承受关于其中一几何轴弯曲载荷的不等边角钢构件, 应按 A. 3. 5. 3 节设计。

### A. 3. 5. 3 关于主轴弯曲

侧向扭转不约束的角钢, 除非 A. 3. 5. 2. 2 中包括的情况, 设计应考虑主轴弯曲, 同时关于两主轴弯曲的评定应使用 6. 3. 2. 2. 1e) 1) 的相互作用等式。

#### A. 3. 5. 3. 1 等边角钢

- a) 长轴弯曲 主弯曲压应力  $f_{bw}$  由 3. 5. 1. 3 中的  $F_b$  限定, 其中:

$$F_{ob} = C_b \frac{194777}{(l/t)} \dots\dots\dots (A. 15)$$

$b/t$  的定义同 A. 3. 5. 1. 1

- b) 短轴弯曲 当角边顶端受压时, 主弯曲应力  $f_{bz}$  由 A. 3. 5. 1. 1 中的  $F_b$  限定, 而当角边顶端受拉时, 则由 A. 3. 5. 1. 2 中的  $F_b$  限定。

#### A. 3. 5. 3. 2 不等边角钢

- a) 长轴弯曲 主弯曲压应力  $f_{bw}$  由 A. 3. 5. 1. 3 中的  $F_b$  限定, 其中:

$$F_{ob} = \frac{987000I_z}{S_w l^2} C_b \left[ \sqrt{B_w^2 + 0.052(lt/r_z)^2} + B_w \right] \dots\dots\dots (A. 16)$$

式中:

对受压角边  $b/t$  定义同 A. 3. 5. 1. 1。

$S_w$  ——受压角边在顶端的截面模量,  $\text{mm}^3$

$I_z$  ——短轴惯性矩,  $\text{mm}^4$

$r_z$  ——绕短轴的旋转半径, mm

$B_w = \left[ \frac{1}{I_w} \int_A z(w^2 + z^2) dA \right] - 2z_o$  ——不等边角钢特定的截面特性, 短角边受压为正, 长角边受

压为负, mm。表 A. 1 所列为一些标准角钢的  $B_w$  数值, 假如长角边受压, 则沿着构件无拉撑长度上任何点, 使用  $B_w$  的负值。

$z_o$  ——剪切中心相对于质心的  $z$  轴坐标, mm

$I_w$  ——长主轴惯性矩,  $\text{mm}^4$

- b) 短轴弯曲 当角边顶端受压时,主弯曲应力  $f_{bz}$  由 A.3.5.1.1 中的  $F_b$  限定,而当角边顶端受拉时,则由 A.3.5.1.2 中的  $F_b$  限定。

表A.1 角钢的  $B_w$  值

角钢尺寸 mm	$B_{wi}$ ( $10^{-3}$ ) m
225×100	166
200×150	84
200×100	139
175×100	111
150×100	80
150×89	94
125×89	61
125×75	76
100×89	22
100×75	42
89×75	22
89×63	41
75×63	22
75×50	40
64×50	22
等边角钢	0.00

A.3.6 组合应力

A.3.6.1 轴向压缩和弯曲

承受轴向压缩和弯曲的构件应满足6.3.2.2.1e) 1) 的要求。

A.3.6.1.1

在6.3.2.2.1e) 1) 的评定等式 (29) 或 (31) 中应使用由每个弯矩单独引起的最大压缩弯曲应力,即使它们可能发生在构件不同的横截面上。

A.3.6.1.2

关键构件支承横截面上的评定用6.3.2.2.1e) 1) 的等式 (30), 而且不必以构件长度方向的最大弯矩为依据。

A.3.6.1.3

对于绕几何轴弯曲约束的构件, 其压应力和许用应力由A.3.5.2.1a) 决定, 对  $F'_e$  回转半径  $r_b$  应取对几何轴的数值。

A.3.6.1.4

对于沿长度方向无侧向扭转约束, 且承受关于其中一几何轴弯曲载荷的等边角钢, A.3.5.2.2的条款适用于计算弯曲应力和确定许用弯曲应力。假如使用A.3.5.2.1 b) 或A.3.5.2.2确定  $F_b$ , 则对  $F'_e$  关于坐标轴弯曲的旋转半径应取对几何轴的数值除以1.35, 并且不需作更进一步的详细分析。



A. 3. 6. 1. 5

在本附录中，评定长度方向没有侧向扭转约束的构件时，对不满足A. 3. 6. 1. 3或条件的构件，应根据A. 3. 5. 3节在主轴弯曲的基础上进行评定，而6. 3. 2. 2. 1e) 1) 中的下标 $x$ 和 $y$ 应该理解为是主轴 $w$ 和 $z$ 。

A. 3. 6. 2 轴向拉伸和弯曲

构件受横向载荷作用产生的轴向拉伸和弯曲应力应满足6. 3. 2. 2. 1e) 1) 的等式（30）。弯曲应力评定应根据A. 3. 6. 1. 3、A. 3. 6. 1. 4和A. 3. 6. 1. 5对压应力的要求进行。

---

附 录 B  
(规范性附录)  
能量吸收支承材料

B.1 通用要求

按本标准要求设计，并由变形来耗散管道动态位移能量的线型管道支承件的能量吸收材料，应按本附录进行制作。

B.2 材料要求

能量吸收支承材料应满足B. 2a) 至d) 节要求：

- a) 当使用板材时，名义厚度不应超过 25.4mm。
- b) 能量吸收材料不允许焊接修复。
- c) 冲击试验应根据 5.3 节进行，而 5.3.1.1a) 3) 不适用本附录。当名义截面厚度超过 16mm 并且最低运行温度低于下表所列温度值时，材料要求进行冲击试验。

级别	正火材料	轧制材料
1, 2, MC	-1℃	20℃
3	-18℃	10℃

- d) 第 5 章中的全部其他要求都适用。

B.3 设计

对于承受超过弹性限应变的能量吸收支承材料的设计，应用下述规则以替代6.1.4节及6.3节的规则。

- a) 疲劳设计：
  - 1) 能量吸收支承材料可以根据额定载荷来设计。这些部件的额定载荷应提供施加应变和许用循环数之间的关系。
  - 2) 与能量吸收支承部件在预期寿期中由于所有运行载荷引起的应变循环数相关的累积疲劳因子应按下式评定：

$$\sum \frac{n_{ti}}{N_{ti}} + \sum \frac{n_{dj}}{N_{dj}} \leq 1$$

式中：

$n_{dj}$  ——对应于动态载荷  $j$  的预期的循环数；

$n_{ti}$  ——对应于有支承的管系从一个运行温度变化到另一个运行温度（记为第  $i$  个温度变化）的预期循环数

$N_{dj}$  ——读自设计疲劳曲线的许用循环数，对应于由动态载荷  $j$  引起的应变幅值

$N_{ti}$  ——读自设计疲劳曲线的许用循环数。对应于由温度变化  $i$  引起的应变幅值

- b) 设计疲劳曲线 基于能量吸收器原型试样试验的设计疲劳曲线应该在疲劳设计中研发和应用。被试验的试样应能代表所使用结构的材料、形状以及制作方法。设计疲劳曲线应表示为应变幅值 ( $\epsilon$ ) 和许用循环数 ( $N$ ) 之间的关系。纵坐标表示应变值 ( $\epsilon$ )，横坐标表示许用循环数 ( $N$ )，其计算式为：

$$N_{mean}/1.5 \text{ 或 } (N_{mean} - \sigma \times 2)$$

中的较小值，其中：

$N_{mean}$  ——试件疲劳破坏时的应变值  $\varepsilon$  所对应的平均循环数

$\sigma$  ——最大偏差

- c) 自重的考虑 被支承的管系自重引起的载荷不应超过能量吸收支承件的弹性屈服承载能力的<sup>1</sup>/<sub>5</sub>。弹性屈服载荷应以《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录C对能量吸收部件材料提供的屈服强度为依据。
- d) 稳态振动的考虑 运行稳态振动对能量吸收支承件的影响（假如存在），应被维持在疲劳限以内，疲劳限取自《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录C中适用的设计疲劳曲线。
- e) 管道设计的考虑 对被支承的管系的评定，其能量吸收支承部件的非弹性特征应考虑满足所有设计和运行载荷。

#### B.4 制作

- a) 能量吸收支承材料的制作和安装不允许焊接。
- b) 第7章的全部其他要求都适用。

附 录 C  
(资料性附录)  
结构螺栓预加载

C.1 引言

C.1.1 范围

本附录为钢与钢连接的结构螺栓预紧力提供一般指南,当使用A490或A325螺栓时应遵循AISC技术规格书。对于其他螺栓材料,详细的规格书并不是普遍适用的,故下文的讨论用于理解适当紧固的重要性,并且对详细的技术规格书不适用的部分,帮助选择一可靠的使用方法。

C.1.2 讨论

美国钢结构协会对使用A490或A325螺栓提供了一份相当详细的规格书,AISC技术规格书提供的指南包括:

- a) 螺栓和螺帽的规格书;
- b) 垫圈;
- c) 结合面涂层;
- d) 表面条件;
- e) 孔的类型和间隙;
- f) 许用强度和工作应力;
- g) 支承力;
- h) 撬动作用;
- i) 拉伸疲劳;
- j) “滑移临界”接头的定义;
- k) 许用滑移载荷;
- l) 螺栓的重复使用。

关于安装和紧固,规格书提供的指南包括:关于拉力校正器要求的讨论;承载的连接组件;要求满载预拉伸的连接组件;旋转螺帽的紧固;以及已标定的扭力扳手的上紧。

应该注意的是AISC并不推荐使用扭力扳手作为拧紧螺栓的首选方法。更确切地说是推荐旋转螺帽的方法甚于扭力扳手方法。确实因为用扭力扳手拉伸时出现许多变化,预期拉力有差异。对“旋转螺帽”,AISC对不同的直径和垂直度条件的螺栓部件列表提供了要求的转动。

AISC还要求扭力扳手使用时每天要标定。

下面阐述为什么使用扭力扳手拉伸螺栓时会出现如此大的变化。

任何紧固问题最主要考虑的是尽可能精确地确定紧固件适当拧紧后能确保最终产品的工程可靠性。承受循环/振动载荷的螺纹紧固件的可靠性很大程度上取决于扭矩—拉力关系,而其中拉力(就是通常叫的预紧力)而非扭矩才是最关键的度量。

施加在紧固件上的预紧力最好设定在由不同连接载荷的最大和最小值确定的最佳范围内。太小的预紧力将使连接应力发生波动从而导致疲劳破坏,而太大的预紧力可能引起断裂或塑性伸长,从而导致失去夹紧力。

有几种方法适合于测量预紧力。下面所列的是这几种方法的费用及预期的精度。

预紧力的测量方法	精确度(%)	相对费用
手感(操作者判断)	±35	1
扭矩扳手	±25	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>

旋转螺帽	±15	3
载荷指示垫圈	±10	7
紧固件伸长仪	±3~±5	15
应变片	±1	20

（参考：工业紧固件协会）

### C.1.3 螺钉拧紧（预载方法）

#### C.1.3.1 扭矩扳手

使用扭矩扳手因其简便而成为最普遍的预紧力测量方法，由于有许多相关的变量直接或间接地影响摩擦力，如表面特征、涂层类型或抛光、润滑油的量、拧紧速度等，这就使得相同的紧固件受相同的扭矩作用时获得的预载有多达25%的变化，较为精确地控制扭矩扳手的标定能将偏差减少到±15%。

在所有情况下，当用扭矩扳手方法拧紧时，在螺钉头或螺帽下应使用硬垫片（不管拧紧时旋转的是螺钉头还是螺帽）。

##### C.1.3.1.1 由螺钉扭矩计算拉力的经验公式

下面的经验公式用于提供螺钉中产生给定的预载所需扭矩的“估计”：

$$T = KDW \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- $T$  —— 扭矩，N·mm
- $K$  —— 扭矩系数（不要与摩擦系数混淆）
- $D$  —— 螺钉公称尺寸，mm
- $W$  —— 螺栓拉力，N

在上述公式中扭矩系数 $K$ 是个关键参数，可以由不同的方法计算，所有这些方法都表示最好的近似。螺纹齿面和支承面的摩擦条件起主要影响作用。紧固件和连接材料的相对弹性变形也有影响。对于严格要求的应用，最好使用实际的连接件材料和装配工具通过试验确定 $K$ 值。对于一般应用， $K$ 值确定如下：

- $K=0.20$  对非电镀钢紧固件<sup>13)</sup>
- $K=0.15$  对电镀紧固件<sup>18)</sup>

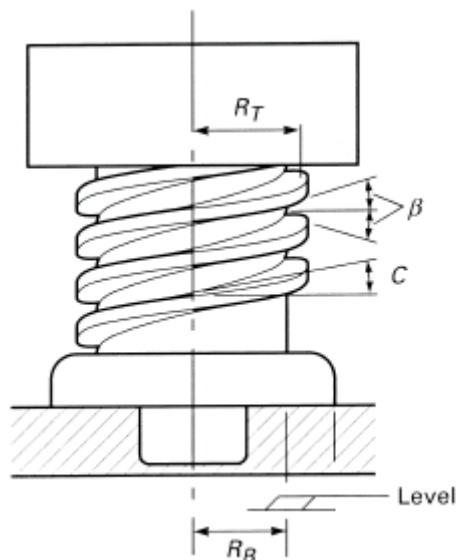
总的来说，上述 $K$ 值是保守的，由给定扭矩引起的实际预载比计算值略小。  
假如没有螺纹干扰，如用锁紧螺帽或扳紧螺纹装置，则更精确的 $K$ 值表达式表示如下：

$$K = U_B \frac{R_B}{D} + \frac{R_T}{D} \left( \frac{U_T \sec \beta + \tan C}{1 - U_T \sec \beta \tan C} \right) \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

- $U_B$  —— 螺帽或螺钉支承面的摩擦系数
- $U_T$  —— 螺纹接触面的摩擦系数
- $R_B$  —— 摩擦力作用在支承面的有效半径[见图C.1]
- $R_T$  —— 摩擦力作用在螺纹表面的有效半径
- $\beta$  —— 螺纹半角（对60°基本螺纹， $\beta=30^\circ$ ； $\sec \beta=1.15$ ）
- $C$  —— 螺纹的螺旋角

13) 应用时另外在紧固件上加润滑油如黄油、油、石蜡时， $K$ 可以假定低至0.12。



图C. 1.

对于螺纹紧固件，在 $\pm 1/2\%$ 以内，括号项分母为1，则

$$K = U_B \frac{R_B}{D} + U_T \frac{R_T}{D} \sec \beta + \frac{R_T}{D} \tan C = K_1 + K_2 + K_3 \dots\dots\dots (C. 3)$$

$K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 的近似值可代入典型值如 $R_B/D=0.625$ ， $U_B=U_T=0.15$ ； $R_T/D=0.45$ ； $\sec \beta=1.15$ ； $\tan C=0.04$ 来计算。

$$K = 0.094 + 0.078 + 0.018 = 0.190$$

$$\frac{100K}{0.190} = 49.5\% + 41\% + 9.5\% = 100\%$$

由上式可知 $K_1$ 、 $K_2$ 和 $K_3$ 对扭矩系数 $K$ 的大致贡献分别为50%、40%和10%。

系数 $K_1$ 表示由作用在螺帽或螺钉支承面上的摩擦力引起的扭矩，约占总扭矩的50%。 $K_1$ 随支承面摩擦系数（0.12-0.2）和支承面有效半径 $R_B$ 的变化而变化，假如接触压力是均匀的话，半径 $R_B$ 大约是支承面的平均半径（注：在均匀接触压力下， $R_B$ 的精确理论值为

$$R_B = \frac{2}{3} \left( \frac{R_o^3 - R_i^3}{R_o^2 - R_i^2} \right)$$

其中 $R_o$ 和 $R_i$ 分别是支承半径的内径和外径。)

假如支承面不理想以及不平整且压力不均匀的话， $R_B$ 值可从支承面内径变化到外径。

系数 $K_2$ 表示由作用在螺纹齿侧面上的摩擦力引起的扭矩，约占总扭矩的40%， $K_2$ 随螺纹摩擦系数（0.12-0.20）和摩擦力作用的螺纹面半径 $R_T$ 的变化而变化，假如接触压力均匀的话，半径 $R_T$ 大约是螺纹节圆的半径。假如接触压力不均匀， $R_T$ 可从螺纹接触内径变化到外径。对于粗牙和细牙螺纹，半径 $R_T$ 是不同的，对细牙螺纹， $R_T$ 更大，因为会产生更大的扭矩。在载荷作用下螺纹弯曲使 $\beta$ 角增加，因此 $K_2$ 也随螺钉拉力稍有变化。当载荷大至使螺纹破坏失效时 $\beta$ 角的增加量将相当可观。

系数 $K_3$ 代表产生螺钉拉力的有效扭矩，约占总扭矩的10%， $K_3$ 随 $R_T$ （见上文的 $K_2$ ）和螺纹螺旋角的变化而变化，螺旋角 $C$ 随螺钉尺寸而变化，对较小尺寸的螺钉 $C$ 值较大，对于粗牙和细牙螺纹， $C$ 值也不同，对粗牙螺纹 $C$ 值略大。

#### C. 1. 3. 1. 2 扭矩拉伸的总结

根据上述讨论，总结如下：

- 方程(C. 1)使用 $K=0.2$ 给出了产生给定拉力所需力矩的合理估计而无须考虑螺栓尺寸和螺距。  
该方程仅用于经加工的垫片或双倒角六角螺母（或螺钉，假如螺钉是被拧的）具有约1.5倍公

称直径的宽平面；可用于没有螺纹干扰的情况（如螺纹由销紧螺帽或扳紧螺纹配合）；也可用于通常生产的不加镀层或润滑油的钢制螺钉和螺帽；并可用于紧固件拧紧的支承面和相对光滑、不加镀层、不加润滑油的钢表面相接触的情况。

- b)  $K$  较精确的理论表达式由方程 (C.3) 得到。
- c) 即使条件控制得很好，由于摩擦系数的不同，螺钉和螺钉之间的  $K$  值也是不同的，因此要求严格控制拉力时，对特殊应用应该通过试验确定  $K$ ，即使如此，由于现场条件不同， $K$  也有相当大地变化。
- d) 粗牙与细牙螺纹之间的  $K$  值几乎没有差别——粗牙螺纹仅比细牙螺纹高  $2\frac{1}{2}\%$ ，可以忽略不计，这可能出乎人们意料之外，他们可能以为细牙螺钉有较小的螺旋角，在很小扭矩时将产生拉力。然而事实并非如此，因为 90% 的扭矩消耗在克服摩擦力上而与螺纹节距无关。大的摩擦效应也有助于防止紧固件的松动。
- e) 估计的  $K$  值不应在接近螺钉—螺帽组合的破坏点时应用，特别是不能在由螺牙剥伤引起的濒临破坏时使用。在这种情况下，可能因接触面的磨损使  $K$  大大增加。也因为此时螺纹角  $\beta$  被严重扭歪而导致  $K$  进一步增大，这些影响加上  $K$  的正常的变化导致  $K$  值不可确定。据此，破坏时的扭矩显然不可取作任何紧固件强度的可靠量度。

### C.1.3.2 转动螺帽

转动螺帽方法按照规定的螺帽转动量获取要求的预紧力需有一低的初始“阈值”扭矩以达到“紧贴”的条件（用套筒扳手冲几次或用定位扳手工加力获得）。对高强度结构螺栓的安装，这项技术已获得认可，并且只要考虑了此技术所依据的假设，该方法还能可靠地外推至较小的紧固件，例如理想的“紧贴”条件会随每个应用而变化。

螺帽通过转动一定的量来消除与最后的精度相关的所有的摩擦变量的影响。啮合长度（螺钉头和螺帽之间的夹紧距离）小于 203.2mm 的螺栓，其粗牙螺纹螺帽从“紧贴”转动 1/2 转，将会产生的预载等于或略超过螺栓的额定检验载荷；对于啮合长度大于 203.2mm 的情况，推荐用超过“紧贴”2/3 转以上的旋转变量。

### C.1.3.3 载荷指示垫圈

载荷指示垫圈提供的紧固件拉伸初始指示可靠性高。载荷指示垫圈在有弹性的垫圈面上使用小的突出面，该垫圈面紧固时受压会产生变形。探头用来测量变形量使紧固件有适当拉力，尽管这些仪器设备的精度在预计拉力的 10% 以内，但如果螺栓连接因任何理由拆卸的话，载荷指示垫圈不能再使用。此外如果预紧力随着时间而松弛，则不安装新的载荷指示垫圈的话，将无法检查螺栓拉力。

在安装时有无润滑对载荷指示垫圈正确测量组件拉力并无不良影响，通常这个简单的测量拉力的方法被视为是准确拉伸螺栓组件的可靠而又相当经济的方法。

### C.1.3.4 应变片

应变片为螺栓拉力测量提供高的精度，但显然也是完成此工作中最昂贵的方法。

应变片是带有箔或电阻丝的电子小装置，用机械方法粘贴在螺杆上。当螺栓被拧紧时，应变片和螺杆承受相同的伸长，当箔或电阻丝承受此应变时，其横截面稍有变化便会引起其电阻的变化，使用敏感设备，可以确定电阻变化和应变的直接关系。

应用应变片技术，要求高水准的合格人员在使用应变片时十分仔细，而且设备也要仔细标定。能影响应变片精确读数的其他因素有：应变片方向（角度）、温度影响。如果螺钉头或支承面不垂直，螺钉会产生弯曲，此时对实际的螺栓拉力将会给出一个不正确的指示，在螺杆上彼此间隔 180° 粘贴应变片，能有效消除紧固件弯曲的影响。

### C.1.3.5 紧固件拉伸/伸长

由紧固件拉伸来紧固是一项精密的组装技术，涉及到拉应变值的预先确定。当由所用紧固件的载荷—伸长曲线得到预应变值时，精度最高。然而许多情况下，是由虎克定律来计算希望的拉伸量的，由此给出的是一个受不均匀横截面变化影响的近似解。

用此方法人们应精确测量螺杆或双头螺栓的轴向伸长，如果紧固件两端可达，则可使用千分尺来测量紧固件的伸长。

由伸长来紧固的方法慢而且贵，因此，其应用通常限于特定的情况，如很大直径的螺栓或双头螺栓，此时使用扭矩扳手或拧紧螺帽是不现实的。

---



## 附录 D

### （资料性附录）

#### 板型、壳型及线型支承的设计许用应力

#### D.1 引言

##### D.1.1 目的

本附录的目的是为用于第6章的支承设计的许用应力和设计应力强度提供背景资料。

##### D.1.2 范围

本附录包括的内容是关于与线型、板型及壳型支承材料试验数据相关的许用应力和设计应力强度的背景资料，这里的大多数数据适合于线型支承，而关于板和壳型支承的许用应力和设计应力强度数据参考《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录E.2关于本标准的1级部件的要求。对支承设计出现的特殊情况提供导则。

#### D.2 线型支承—确定许用应力的方法

许用应力基于材料的机械性能，包括屈服及抗拉强度值，也基于作用于线型构件的特殊载荷如拉伸、弯曲、压缩、剪切或这些载荷的组合。对线型支承，和材料有关的机械性能，材料屈服限和抗拉强度已在《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》确定并介绍。在6.3节中提供的进行线弹性分析的不同的应力系数可适用于大多数情况下对应温度的屈服强度或抗拉强度。对线型支承，应力系数可查阅由正文表20和表24提供的不同使用限制下的应力限制系数，总的来说，对较低限制A和B这些系数保持弹性特性，而对较高限制C和D，这些系数也允许较高的应力水平和一些可能的永久变形。

##### D.2.1 确定屈服和抗拉强度值的依据

（列于国产型钢材料的规格标准（国标））

##### D.2.2 拉伸构件许用应力

一个拉伸构件可能因整个面积超过屈服或因在载荷小于使整个面积屈服时净面积的断裂而失效。为防止拉伸构件失效（除销钉连接的或螺纹连接的构件），6.3.2.2.1a）强行规定，对整个构件的屈服，安全系数为1.67，对最薄弱有效净面积的断裂，安全系数为2，有效净面积的计算见正文6.3.2.2.8，并要考虑连接处剪切减弱，对于销钉连接和螺纹连接的构件，安全系数更大。

##### D.2.3 梁弯曲许用应力

传统的梁弯曲理论用于确定线型支承构件的弯曲应力。许用弯曲应力就是根据传统理论基础来确定，应用下述假设：

- a) 应力在弹性范围内；
- b) 小变形；
- c) 平截面假设，截面垂直于构件轴，承载后继续保持为平面。











对于处于弯曲状态的直的构件，弯曲应力是中性轴的一边受拉而另一边受压，由于梁单元承受压应力（限值为临界屈曲的三分之二）有可能发生屈曲，因此6.3.2.2.1d)提供的许用值考虑了应力是拉力还是压力的因素。考虑侧向-扭转屈曲的许用应力公式考虑了受压边的无支撑长度和局部屈曲，提供了受压边无加强单元宽厚比的最大值。

D.2.4 压缩构件的许用应力

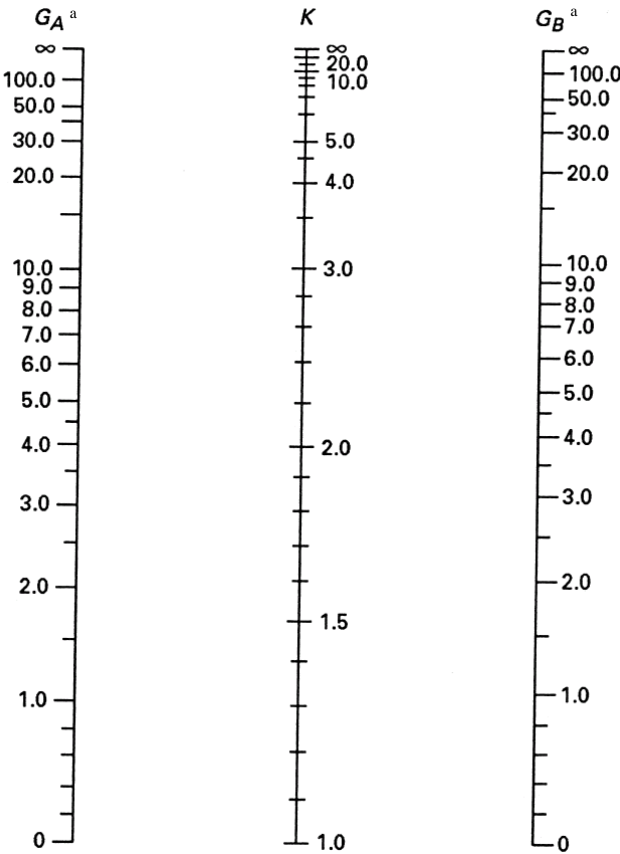
承受轴向压缩的线型支承构件，其许用应力基于中心受载柱的经典理论。大多数都承受一些外加的一次或二次弯矩，因此如A.2.5节描述的梁柱，承载偏心距在长度的1/1000以内的柱认为是中心受载。

压缩构件有两种失效模式：长构件的弹性屈曲；以及短构件或中等长度构件的非弹性屈曲。这两种失效模式对6.3.2.2.1c)中的许用应力公式有影响，该公式最先为轧制碳钢结构型钢制定的。柱的端部条件，也就是自由、铰支或固定，在构件的许用应力中起着很重要的作用，这些端部条件确定了有效长度因子 $K$ 值，即在许用应力公式中的参数。图D.1所示为不同的端部条件对应的有效长度因子 $K$ 。图D.2对半刚性端部连接给出了有效长度因子的计算图表，所谓半刚性端部连接就是梁或板梁的柱端部局部弯矩约束。在设计和A级使用限制下名义安全系数范围从对呈现后屈曲强度的短柱的1.67，到发生弹性屈曲且通常无预兆的长柱的1.92。此外，对压缩构件应力限制规定，在不考虑使用限制的情况下，应力限值取构件承载能力的 $2/3$ 。

弯曲支承构件同样承受位于边缘处的压应力。与这些应力相关的两种失效模式是局部屈曲及侧向扭转屈曲，局部屈曲的防止由正文6.3.2.2.2d)的受压边的宽度/厚度比来限定，侧向扭转屈曲的防止通过正文6.3.2.2.1d)的许用应力来限定。

虚线显示的是柱的屈曲模式	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
$K$ 的理论值	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
当假设的边界条件相似时推荐的设计值	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
根部约束条件符号	   	旋转固定、位移固定 旋转自由、位移固定 旋转固定、位移自由 旋转自由、位移自由				

图D.1. 对应不同根部约束条件的有效长度因子



不受限制的侧倾

<sup>a</sup> 下标  $A$  和  $B$  与柱截面两端处的连接情况有关。 $G$  定义如下：

$$G = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_q}{L_q}}$$

式中： $\Sigma$ 表示考虑柱屈曲平面内由接头刚性连接的所有构件之和。 $I_c$  是惯性矩， $L_c$  是柱截面无拉撑长度， $I_q$  是惯性矩， $L_q$  是梁或其他约束构件的无拉撑长度。 $I_c$  和  $I_q$  是关于垂直于所考虑屈曲平面的轴的惯性矩。

对于柱端部由基础或地基支承但并未刚性连接的情况， $G$  在理论上是无限大的，但除非实际设计为无摩擦固定，否则按惯例  $G$  可以取作 10。假如柱端部和设计的基础是刚性连接， $G$  可以取 1.0。通过分析判断的话， $G$  可取更小的值。

图A. 4 连续构架中柱有效长度计算图表

D. 2. 5 梁柱许用应力

所谓梁柱是指那些承受弯曲和轴向压缩组合载荷的线型支承构件。6. 3. 2. 2. 1e) 1) 相互作用公式说明了这些组合应力以及由于施加轴向载荷引起的弯曲应力的放大。公式中使用的一个重要参数是一次或二次弯矩，当弯矩引起二次应力，塑性较准则的限值将增大50%。然而为确保保守性，当弯矩引起二

次应力时稳定性限值并不增大。6.3.4节的极限分析设计方法对承受轴向压缩和弯曲组合载荷的线型构件规定了相似的要求。

D.2.6 螺栓许用应力

螺栓连接承受拉伸和剪切载荷，剪切连接设计是以下的两种形式中的一种：

- a) 支承连接，
- b) 摩擦连接。

由于支承连接能同时承受剪和拉，6.3.2.4.6所给出的相互影响公式计算了螺栓的组合应力。摩擦连接也能同时承受剪和拉，但是，假如设计提供了一个合适的夹紧力 $T_i$ 的话，螺栓将不会受剪。

不管是支承型还是摩擦型连接，本标准都不要求螺栓预紧力的特定值，但螺栓受拉伸载荷时设计应考虑下列因素：螺栓材料对应力腐蚀破裂的敏感性（当预紧力过度）以及在高的动态载荷作用下可能发生的接头松开（当预紧力不够大）。这些因素以及摩擦连接中施加的剪力将会影响到螺栓预紧力的选择以及加载的方法，也就是采用扭矩或拉伸机。

D.3 板或壳型支承的许用应力

对板或壳型支承的许用应力分别根据6.2.2节（1级）、6.2.3节（2级以及金属安全壳），以及6.2.4节（3级）确定。一级构件的许用应力是材料设计应力强度（ $S_m$ ）的函数，而2、3级以及金属安全壳构件的许用应力是材料许用应力（ $S$ ）的函数。《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》提供了许用应力（ $S$ ）和设计应力强度（ $S_m$ ）的确定方法，正文表19、表21及表规定了应力系数，即应用于不同使用限制下的应力限制系数。通常对较低的限制A和B这些系数维持弹性响应，对较高的限制C和D，允许较高应力以及一些永久变形。

D.4 抗拉和屈服强度比值低的材料

线型支承构件的许用应力最初是为有相当大应变硬化的材料制定的。对Q235B，这些材料的抗拉和屈服强度之比（ $S_u/S_y$ ）高达1.60。然而，本标准现在也包括那些 $S_u/S_y$ 比值相当低的材料，由本标准和第6章的许用应力涵盖。 $S_u/S_y$ 的下限是1.07，对确定的许用应力考虑失效的安全系数， $S_u/S_y$ 低的材料应比高应变硬化材料低。对低应变硬化材料的许用拉应力（D.2.2）通过在有效净面积上的抗拉强度取名义安全系数2来考虑。表D.1显示对 $S_u/S_y$ 下限值为1.07的材料，最小安全系数为1.34，而对高应变硬化材料，最小的安全系数为1.43左右。

将低 $S_u/S_y$ 的材料应用于支承设计时设计者应该引起注意，材料的塑性以及其他材料特性，包括 $S_u/S_y$ 都应该考虑，因此最小的安全系数不可低于表4所列的数值。

表D.1. 低  $S_u/S_y$  值材料的安全系数

使用限制	拉 伸	弯 曲	组 合
A	2.00	1.78	1.67
B	1.50	1.34	1.50
C	1.43	1.43	1.50
D	1.43	1.43	1.50
注1：表中所列的安全系数是针对 $S_u/S_y=1.07$ 的材料，这是规范允许使用的线性支承材料的下限。			
注2：材料的 $S_u/S_y$ 越大，安全系数也越大。			

## D.5 特殊考虑

### D.5.1 铜基合金

铜基合金不可应用于主要的结构构件,但规范规定它们在支承的载荷途径中可以使用。由5.1.2.2b)规定,铜基合金的使用仅限于支承型应用中,含有这个限制是因为缺乏将这些材料用于主要构件支承的经验,而且由这些材料制成的构件性能也没有试验数据证实。

### D.5.2 不锈钢

基于其他规范材料相同考虑因素的不锈钢许用应力,在D.1和D.2中讨论。但不锈钢受压时要求作特殊的考虑。因为不锈钢压缩时其应力—应变曲线呈非线性而不像碳钢那样呈双线性。对线型支承构件,应力—应变关系的这种差别导致对奥氏体不锈钢制成的柱构件的柱承载能力估计过高。

考虑到奥氏体不锈钢承受压应力时所显的不同特性,6.3.2.2.1对不锈钢柱规定了特别的规则,这些替代的规则规定在设计和A级使用限制下的最小安全系数为2.15。许用压应力是长细比 $Kl/r$ 的双线性函数,这比用于其他材料的抛物线函数更合适。

### D.5.3 非延性性能和应力腐蚀破裂

高强度材料对脆性和应力腐蚀破裂敏感,加剧这些问题的条件包括:

- a) 在腐蚀环境如潮湿的空气中安装;
- b) 长期的高应力包括螺栓预紧力及自重;
- c) 由制造引起的残余应力;
- d) 提高硬度的某些材料制造工艺。

设计技术规格书要求根据5.3节进行的冲击试验,能减低支承材料对脆性断裂的敏感性,当使用高强度材料的支承件承受碰撞载荷时设计者应该引起注意。

参 考 文 献

---