

**《T/CNEA XXX. 4-20XX 压水堆承压部件 设备设计制  
造 第 4 部分：控制棒驱动机构》编制说明  
(征求意见稿)**

**一、工作简况**

**1、任务来源**

标准的主要起草单位是上海核工程研究设计院有限公司、上海第一机床厂有限公司和四川华都核设备制造有限公司。

任务来源于中国先进核电标准体系研究课题（第二阶段）（项目编号 2017ZX06004001），旨在为我国核电行业标准体系提供体系建设的相关支持方案。课题的“设备设计与制造标准融合研究”专题旨在对控制棒驱动机构、蒸汽发生器、稳压器、堆内构件、控制棒驱动机构等核岛机械主设备制定设计、制造、检验一体化通用标准，并兼顾不同技术路线标准要求。

**2、主要工作过程**

工作过程经历了控制棒驱动机构标准调研、方案研究、研究报告编制、标准大纲编制、标准草案编制、标准草案评审等阶段，主要工作过程见表 1。

表 1 各阶段主要情况

阶段	时间	工作内容	备注
调研	2018. 1~2018. 3	调研国内外压水堆核电厂控制棒驱动机构的特点和设计制造标准。	已完成
方案研究	2018. 3~2018. 12	控制棒驱动机构设计与制造标准融合方案研究	已完成
研究报告	2018. 6~2018. 12	控制棒驱动机构设计与制造标准融合研究	已完成
标准大纲	2018. 11~2018. 12	编制控制棒驱动机构设计与制造通用标准大纲	已完成
标准草案	2019. 1~2019. 8	编制控制棒驱动机构设计和制造通用标准草案	已完成
标准草案评审	2019. 8~2019. 10	对标准草案进行评审	已完成
征求意见稿	待定	完成控制棒驱动机构设计和制造	

		通用标准征求意见稿	
送审稿	待定	完成控制棒驱动机构设计和制造通用标准送审稿	
报批稿	待定	完成控制棒驱动机构设计和制造通用标准报批稿	

### 3、主要参加单位和工作组成员及其所作的工作等

主要参编单位和工作组成员见表 2。

表 2 控制棒驱动机构通用标准参编单位和工作组成员

上海核工程研究设计院有限公司	上海第一机床厂有限公司	四川华都核设备制造 有限公司
白勇军, 李玲, 姚俊俊, 马渊睿, 陈宇清, 王弘昶, 左波, 朱翊洲, 刘刚, 宁冬, 张俊宝, 谢永诚	王肃鹏	周瑜

## 二、标准编制原则和主要内容

### 1、标准编制原则

本标准的修订符合核电行业设备可靠性评价方法发展的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性的原则以及标准的目标、统一性、协调性、实用性、一致性和规范性原则来进行本标准的制定工作。

#### （1）科学性

本标准采用核电行业已广为认同和接受的成熟的知识体系、方法经验、实践成果作为标准内容的基础，保证标准内容的技术成熟性，借鉴 IAEA、EPRI 等机构工作成果，结合我国控制棒驱动机构设计制造标准研究的成果和实践对本团体标准进行编写。

#### （2）实用性

本标准应针对不同堆型、不同技术路线的设备设计要求，进行分析、比对、提炼、总结，提出融合方案，保证通用标准的广泛适用性。标准编制过程中应采纳已被长期实践证实行之有效的工程经验和产业特点，包括我国核电重大装备制造业的产业分工特点，结合科研成果，保持其连续性，体现具有中国自主知识产权的技术内容。

设计部分基于秦山核电厂和 CAP1000 控制棒驱动机构的设计特点及总结提炼的压水堆核电厂控制棒驱动机构设计经验进行编写，并融合了 M310 和华龙一号控制棒驱动机构。制造部分主要由国内两家具有控制棒驱动机构制造经验的制造厂编写，制造厂总结不同堆型控制棒驱动机构的制造要求，并进行融合，最后将通用的要求写入标准。

## 2、标准主要内容的依据

标准编写的格式应遵从 GB/T 1.1-2009 的要求，同时对标准的各个章节技术和内容主要依据进行详细说明。

### (1) 标准章节

标准的主要章节内容如图1所示。

### (2) 主要技术内容的说明

#### a) 材料

5.1节提出了控制棒驱动机构零部件材料的总体要求，参考了核电项目的经验，包括抗晶间腐蚀性能、耐辐照性能、钴含量限值、清洁度控制等相关要求。

5.2节对控制棒驱动机构主要零部件的选材提出了要求，分别介绍控制棒驱动机构中与反应堆一回路冷却剂接触的材料、不与反应堆一回路冷却剂接触的材料、不适用的材料和主要焊接材料。其中焊材提出了总体要求，规定了控制棒驱动机构用主要焊接材料的选材要求、化学成分、高温拉伸试验、冲击韧性试验、晶间腐蚀试验和铁素体含量等。

#### b) 设计

6.1节给出了控制棒驱动机构设计的通用要求。

6.2节给出了接口和布置要求，典型接口参见附录A。

6.3节设计输入给出了正常运行条件 and 设计参数的要求。

6.4节设计输出规定了设计单位应按设计输入的要求完成设计，至少应提交的文件。

6.5节针对控制棒驱动机构，在核岛机械设备设计建造统一规范的基础上，结合国内三代核电实践的经验，对控制棒驱动机构通用主要结构（包括承压壳体部件、钩爪部件、磁轭线圈部件、驱动杆部件、导向隔热套和棒位探测器）的常规结构设计提出了通用的要求。

## 目 录

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 步跃 step .....	2
3.2 步距 step length .....	2
3.3 步跃载荷 stepping impulse load .....	2
3.4 释棒延时 trip delay time .....	2
3.5 过行程步跃 over-travel steps .....	2
4 通用要求 .....	2
4.1 通则 .....	2
4.2 职责 .....	2
4.3 设备范围 .....	2
4.4 功能与分级 .....	2
5 材料 .....	3
5.1 通则 .....	3
5.2 材料的选择 .....	3
6 设计 .....	4
6.1 通则 .....	4
6.2 接口和布置要求 .....	5
6.3 设计输入 .....	5
6.4 设计输出 .....	6
6.5 结构设计 .....	6
6.6 分析法设计 .....	7
6.7 设计验证试验 .....	10
7 制造 .....	11
7.1 通则 .....	11
7.2 下料 .....	11
7.3 机加工 .....	11
7.4 焊接 .....	12
7.5 热处理 .....	13
7.6 镀铬 .....	13
7.7 组装 .....	14
7.8 无损检测 .....	14
7.9 见证件 .....	15
7.10 试验 .....	16
7.11 标识与标记 .....	18
7.12 清洁、包装、运输和贮存 .....	19
附 录 A （资料性附录） 压水堆核电厂典型 CRDM 的边界与接口 .....	20
附 录 B （资料性附录） 控制棒驱动机构载荷组合 .....	21

图1 标准目录

6.6节提出了控制棒驱动机构分析法设计的要求，规定了分析法设计的载荷、载荷组合和评定准则。控制棒驱动机构的分析法设计包括应力分析方法、疲劳分析方法、断裂分析和评定、剪力和渐进性畸变分析、支承应力分析方法、机械载荷（泵致振动载荷、随机流致振动载荷和步跃冲击载荷）下控制棒驱动机构结构反应分析和地震载荷下控制棒驱动机构结构反应分析，应满足T/CNEA XXX.2-XXXX 压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件的要求。

6.7节规定了设计验证试验的要求，包括抗震试验和热态寿命试验，这是对设计的必要试验验证。

### c) 制造

第7章中对控制棒驱动机构完整的制造过程提出了具体的要求。

7.1“通则”、7.2“下料”、7.3“机加工”、7.5节“热处理”、7.11节“标识和标记”、7.12节“清洁、包装、运输和贮存”提出了相关制造环节的原则性要求。

7.4节对控制棒驱动机构产品焊接提出了要求，除了引用T/CNEA XXX.2-XXXX 压水堆承压部件 焊接 第2部分：焊接工艺评定、T/CNEA XXX.3-XXXX 压水堆承压部件 焊接 第3部分：产品焊接的相关要求外，还结合国内核电设计和制造工程经验，给出了控制棒驱动机构制造的一些特定要求，如CANOPY或 $\Omega$ 型密封焊接接头焊缝等。

7.6对控制棒驱动机构的表面处理-镀铬提出总体要求，并给出了镀铬的评定要求。

7.7节对控制棒驱动机构的组装提出了要求，并针对控制棒驱动机构的特点，补充了钩爪部件、磁轭线圈部件和驱动杆部件的组装要求。

7.8节根据核岛机械设施设计建造统一规范的规定提出了控制棒驱动机构制造过程中具体的无损检测要求，主要包括目视检测、液体渗透检测、体积检测等无损检测要求。

7.9节对控制棒驱动机构的焊接见证件提出了要求，除了引用T/CNEA XXX.3-XXXX 压水堆承压部件 焊接 第3部分：产品焊接的相关要求外，还结合国内核电设计和制造工程经验，给出了控制棒驱动机构推荐设置的焊接见证件。

7.10节提出了控制棒驱动机构试验的要求，其中水压试验对试验的介质、压力表、试验压力、试验温度、升降压速率以及检查等相关要求进行了规定；冷态性能试验规定了冷态试验工况、机电配合性能、最大运行步速、冷态过行程步跃、释棒和落棒试验的相关要求；热态性能试验规定了热态试验工况参数、热态步跃、热态过行程步跃、释棒和落棒、步距和载荷转移试验的相关要求；钩爪部件产品试验对钩爪部件的步距和载荷转换、步跃试验、释棒延时试验提出了要求。

### 3、解决的主要问题

开展本项工作的主要原因是我国未建立统一的核电设计标准体系。我国的核电设计标准体系是随着核电的发展而逐步建立的。秦山核电站的建成，我国初步建立了以核法规（HAF）、导则（HAD）和 EJ/T 核行业标准为基础的核电标准体系，控制棒驱动机构的承压边界就采用了 ASME 标准进行设计和制造。随着大亚湾核电站的建成，我国又形成了一批以法国 RCC-M 为基础的核电标准，如 GB/T 16702-1996 等。21 世纪初，我国为了提升核电技术水平，加快核电建设步伐，全面引进了美国的 AP1000 核电技术。另外，我国的核电堆型还有加拿大的 CANDU 重水堆和俄罗斯的 VVER 机组。除秦山核电站外，我国发展核电主要是引进国外的技术，因此，我国的核电设计标准体系除法律法规外，基本未形成一个统一的核电设计标准体系。

由于我国未建立统一的核电设计标准体系，因此目前出版的控制棒驱动机构设计制造标准（如 NB/T 20315-2014）不是通用的压水堆核电厂主设备标准，基本上只适用于某一特定堆型。

经过调研国内外主设备设计、制造和检验要求，分析梳理贯通核承压设备建造过程的主线流程，以具体核承压设备的功能（包括压力边界完整性）实现为出发点，在设备建造所涉的材料、设计、制造、检验、试验、清洗、包装、储运等各个环节，鉴别技术支撑要素和特征技术点，及各环节技术要素的逻辑关系，并梳理展开，形成核承压设备通用标准的技术骨架和方案。评估已有设备级标准的可用性、完整性，综合考虑国内标准使用现状、存在问题，对设备通用标准编制进行需求分析。并根据需求制定技术路线，明确标准编制相关工作流程和内容，形成该标准意见稿。

### 三、主要试验（或验证）情况

ASME 规范和 RCC-M 规范对压水堆核电厂镍基合金的酸洗钝化要求存在一定差异，本课题通过对控制棒驱动机构用镍基合金弹簧酸洗钝化后的材料性能和应力腐蚀性能进行分析，研究酸洗钝化过程对材料性能的综合影响，为中国先进核电标准体系的融合提供技术支撑。

### 四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

### 五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

“中国核电标准体系研究”是大型先进压水堆核电站重大专项科研课题之一，该课题在国家能源局和国标委发布的《压水堆核电厂标准体系建设规划》的指导思想和体系建设原则的指导下和《压水堆核电厂标准体系》框架基础上，结合我国核电的发展方向和技术路线，立足于总结提炼并固化 AP1000 技术消化吸收成果、依托项目及后续项目工程实践成果和重大专项科研成果和示范工程实践经验，兼容并蓄我国既有标准规范、监管体制和工业基础实际以及实践经验，研究并构建适应我国工业体系、能够满足我国自主化核电建设和技术发展需求、具有自我完善和发展能力的三代非能动压水堆核电厂的标准体系。

本标准应针对不同堆型、不同技术路线的设备设计要求，进行分析、比对、提炼、总结，提出融合方案，保证通用标准的广泛适用性。通用标准编制过程中应采纳已被长期实践证实行之有效的工程经验和产业特点，包括我国核电重大装备制造产业的产业分工特点，结合科研成果，保持其连续性，体现具有中国自主知识产权的技术内容。通过标准技术接轨，建立标准比对基础，创造国际间标准互认条件，体现标准包容性，为促进核电产品走出去创造积极的条件。

### 六、与国际、国外对比情况

目前国内进行压水堆堆内构件设计主要采用美国 ASME 和法国 RCC-M。其中秦山三十万、AP1000 及 CAP1400 采用的是 ASME，M310 系列和华龙一号采用的是

RCC-M。CAP1400 施工设计采用了 ASME 2007 版，华龙一号设计采用了 RCC-M 2007 版。GB/T 16702 目前尚未有工程应用经验。

ASME 规范由美国机械工程师学会负责编制，早在 1915 年就颁布了 1914 年版的锅炉建造规范，1925 年增加了压力容器规范，在以后不断修改完善后，1963 年颁发 ASME-III《核容器》，1971 年该卷改为《核动力装置部件》。2004 版 ASME 锅炉及压力容器规范已有动力锅炉、材料、核设施部件、焊接、无损检测、在役检查等 12 卷，最新 2017 版也已颁发。

法国 RCC-M 规范是法国在本土建造了 30 多个压水堆核电厂后，参考 ASME BPVC-III 规范和西屋公司的压水堆核电厂技术资料，由法国核岛部件设计建造规则协会（AFCEN）于 1980 年开始组织编制的。1981 年出版第 1 版，到 1988 年已是第 4 版了，这一版本在国内有较多的应用，现已升版至 2016 版，RCC-M 已在某些方面逐步向欧盟标准靠拢。

GB/T 16702 压水堆核电厂核岛机械设备设计规范是以 RCC-M 第 I 卷为蓝本等效采用，对引用的法国标准则尽可能转换成我国标准，管理方面则完全以我国核安全局监督管理法规、核安全法规、核电厂安全导则以及国家颁布的法令、规定等代替了法国的法则、导则、法令和规定。目前有效版本是 1996 年的，该版本是以 RCC-M 1983 年版的第一卷及四个补遗作为蓝本进行编写的，目前正在修订（依据 RCC-M-2007），但没有正式出版。

本项目通过 ASME 与 RCC-M 标准应用对比和通用标准调研分析研究，针对具体核岛主设备反应堆控制棒驱动机构，解决相关技术难点，同时确定控制棒驱动机构设计、制造、检验一体化标准的各项技术内容，主要包括选材要求、结构设计要求、制造要求、试验要求等。在设计与制造层面上予以整合，制定设计、制造和检验一体化通用标准草案。

## **七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准的协调性**

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。现行相关法律、法规、规章及标准见表 3。



表 3 现行法律、法规和相关标准

名称	施行时间	备注
中华人民共和国放射性污染防治法	2003 年 10 月 1 日	法律
中华人民共和国核安全法	2018 年 1 月 1 日	法律
中华人民共和国原子能法（征求意见稿）	待定	法律
中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例	1986 年 10 月 29 日	法规
民用核安全设备监督管理条例	2018 年 1 月 1 日	法规
民用核安全设备焊接人员资格管理规定	2020 年 1 月 1 日	部门规章
民用核安全设备焊工焊接操作工资格管理规定 (HAF603)	2008 年 1 月 1 日	部门规章
民用核安全设备无损检验人员资格管理规定	2020 年 1 月 1 日	部门规章
民用核安全设备无损检验人员资格管理规定 (HAF602)	2008 年 1 月 1 日	部门规章
压水堆核电厂核岛机械设备设计规范 (GB/T 16702)	1997 年 12 月 1 日	国家标准

## 八、重大分歧意见的处理经过和依据

无

## 九、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为团体标准。

## 十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准为行业推荐标准。贯标的对象主要是核电厂营运单位、核电厂设计院、核电厂技术支持研究院所和核安全监管单位等。可采取会议、集中学习或网上宣传等贯标措施。

## 十一、废止现行相关标准的建议

无

## 十二、其他应予说明的事项

无