

ICS 27.120.20  
F 65  
备案号: 59600—2017

**NB**

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20430—2017

---

非能动压水堆核电厂反应堆  
堆顶结构安装技术规程

Technical regulations for installation of reactor head structure in passive  
pressurized water reactor nuclear power plant

2017 - 04 - 01 发布

2017 - 10 - 01 实施

国家能源局

发 布

# 目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则.....	1
5 一般规定.....	1
6 接收、开箱检查与贮存.....	2
7 堆顶结构组装.....	2
8 堆顶结构安装.....	6
9 补漆.....	8
10 设备保护.....	8
11 完工文件.....	8
附录 A（资料性附录） 堆顶结构示意图.....	10
附录 B（资料性附录） 堆顶结构截面图.....	11
附录 C（规范性附录） 悬臂吊机示意图.....	12
附录 D（资料性附录） 反应堆堆顶螺栓紧固顺序编号图.....	13
附录 E（资料性附录） 反应堆压力容器主螺栓拉伸加载排序表.....	14
附录 F（资料性附录） 清洁度控制要求.....	16
图 A.1 堆顶结构示意图.....	10
图 B.1 堆顶结构截面图.....	11
图 C.1 悬臂吊机示意图.....	12
图 D.1 反应堆堆顶螺栓紧固顺序编号图.....	13
表 E.1 反应堆压力容器主螺栓拉伸加载排序表.....	14
表 F.1 清洁度控制要求.....	16

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国核工业第五建设有限公司，上海核工程研究设计院。

本标准主要起草人：李建、陈赞科、王泽锋、孔丽朵、苟锐、郝国锋、陈禹。

## 引 言

非能动压水堆核电站反应堆堆顶结构作为重要核级主设备,其主要部件在核岛厂房外进行组装,在核岛顶封头安装之前整体吊入核岛进行存放,在具备条件后,再将其吊装至反应堆压力容器上进行安装,此安装工艺区别于国内其他常规压水堆堆顶结构在核岛内进行安装的施工工艺,特编制此规程用于指导非能动压水堆核电站反应堆堆顶结构安装工作。

本规程是根据浙江三门和山东海阳依托项目为基础进行编制,主要包含核岛外组装、核岛内安装等工作。



# 非能动压水堆核电厂反应堆堆顶结构安装技术规程

## 1 范围

本规程规定了非能动压水堆核电厂反应堆堆顶结构（以下简称堆顶结构）安装过程中的技术要求。

本规程适用于非能动压水堆核电厂反应堆堆顶结构安装，包括现场接收、开箱、贮存、组装、运输、吊装、安装及验收等工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

NB/T 20385—2016 核电厂大件吊装通用技术要求

NB/T 20386—2016 核电厂现场大件运输通用技术要求

HAF 003 核电厂质量保证安全规定

HAF 602 民用核安全设备无损检验人员资格管理规定

HAF 603 民用核安全设备焊工焊接操作工资格管理规定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**堆顶结构 reactor head structure**

由顶盖法兰和顶盖壳体整体锻造而成，用顶盖主螺栓连接到压力容器上，顶盖内腔面敷焊奥氏体不锈钢。堆顶结构包括反应堆压力容器顶盖、控制棒驱动机构部件、屏蔽罩组件、提升杆、控制棒驱动机构冷却风机、控制棒位置机构线圈和数字式棒位显示器、顶盖中心保温层、排气管、堆芯仪表电缆及其他各种设备和仪表的电缆、环形悬臂吊机等部件。

## 4 总则

4.1 堆顶结构安装施工单位应取得民用核安全设备安装许可证书。

4.2 堆顶结构施工采取的安全技术措施和劳动保护应执行现行国家标准规范的规定。

4.3 堆顶结构施工过程应编制相应技术文件进行控制。

4.4 堆顶结构组装、安装区域清洁度应满足设计技术要求。

4.5 堆顶结构组装、安装及验收，应按技术文件执行，无明确规定时，执行本标准。

## 5 一般规定

- 5.1 凡从事堆顶结构安装工作的人员应经过培训，熟悉堆顶结构组装、安装工艺和技术要求，并取得相应授权。
- 5.2 吊机械操作人员、起重工、焊工和电工等特种作业人员应取得国家相关部门颁发的特种作业操作证。
- 5.3 焊工应按 HAF 603 取得焊接资质，无损检测人员应按 HAF 602 取得资格。
- 5.4 安装工机具可用，计量器具及检测仪器经检定合格并在有效期内。
- 5.5 安装材料应标识清楚并符合设计文件要求。
- 5.6 焊接工艺评定合格，并形成工艺规程文件。
- 5.7 组装与安装过程中应采取措施保护压力容器密封面。
- 5.8 堆顶结构上不准许进行灼烧、随意焊接、铲削及任何引弧操作。
- 5.9 堆顶结构安装接口螺纹应进行检查、润滑并保护。
- 5.10 运输道路、场地、水源、电源、气源、照明、通风等应满足施工作业要求。
- 5.11 安装区域温湿度应满足设计要求。

## 6 接收、开箱检查与贮存

### 6.1 堆顶结构部件接收、开箱检查

- 6.1.1 检查技术文件，包括装箱清单、产品竣工图、产品质量证明书。
- 6.1.2 检查产品名称、数量、编号、标识、包装及维护情况。
- 6.1.3 检查产品外观和安装接口尺寸，应符合技术文件要求。
- 6.1.4 填写开箱检查记录。

### 6.2 堆顶结构贮存

- 6.2.1 堆顶结构存放应符合设计技术文件要求。
- 6.2.2 应对损坏的表面保护层进行修补，保护层修补应符合设计文件要求。

## 7 堆顶结构组装

### 7.1 堆顶结构组装准备

- 7.1.1 堆顶结构组装场地环境温度宜控制在 5℃~60℃ 范围内。
- 7.1.2 堆顶结构组装场地面积应满足组装要求。
- 7.1.3 反应堆压力容器顶盖组装用的支撑满足要求。
- 7.1.4 吊机起升高度应满足组装要求。
- 7.1.5 堆顶结构组装区域地面承载能力应满足组装要求。
- 7.1.6 反应堆压力容器顶盖翻转前，应将其保护氮气进行排放，且排放点应设置在空旷无人区域。
- 7.1.7 反应堆压力容器顶盖翻转及就位找平工作已完成，并满足设计要求。
- 7.1.8 建立堆顶结构组装控制区，控制区应满足设计要求。

### 7.2 控制棒驱动机构延伸段和导向罩安装

- 7.2.1 延伸段安装应满足下列要求：
  - a) 清洁并检查耐压壳组件和延伸段的连接螺纹，合格后涂覆满足设计要求的润滑剂；
  - b) 应根据物项定位标识或设备定位码进行定位；

- c) 手动将延伸段旋入耐压壳组件接管口，啮合螺纹数不少于 3；
- d) 应分三次紧固，最终力矩值满足设计要求；
- e) V 形焊接坡口槽面表面应平滑，无污垢、铁锈、油、油脂或其他有害物质；
- f) 在对称的 180° 方向进行焊接，每段焊缝长度应在 13mm~25mm；
- g) 对焊缝表面进行目视检测，检测结果应符合相关要求。

#### 7.2.2 导向罩安装应满足下列要求：

- a) 检查延伸段和导向罩的连接螺纹，合格后涂覆满足设计要求的润滑剂；
- b) 手动将导向罩旋入延伸段，啮合螺纹数不少于 3；
- c) 应分三次紧固，最终力矩值满足设计要求；
- d) 检查延伸段外径和导向罩上部表面的焊缝面应平滑，无污垢、铁锈、油、油脂或其他有害物质；
- e) 焊缝形式为角焊缝，焊缝高度和焊缝长度应满足设计文件要求；
- f) 焊接完成后，应对焊缝表面进行目视检测，检测结果符合相关要求；
- g) 以反应堆压力容器顶盖竣工中心作为基准，检查所有导向罩的中心位置，位置偏差应小于 25 mm。

### 7.3 提升杆安装

7.3.1 测量上部左旋 U 型夹表面到提升杆上端面的长度，并记录。

7.3.2 拆除上部左旋 U 型夹并清洁其内表面，并使用满足设计要求的润滑剂进行润滑。

7.3.3 对反应堆压力容器顶盖上的吊耳 U 型夹销孔和提升杆上的下部右旋 U 型夹销孔进行清洁，使得其满足 C 级清洁度要求。

7.3.4 对提升杆顶部的螺纹和子弹头柱的螺纹清洁至其满足 D 级清洁度要求，对螺纹涂抹满足设计要求的润滑剂。

7.3.5 提升杆吊装前，应将子弹头柱安装至提升杆的左旋侧，并手动拧紧子弹头柱，检查子弹头柱管底部到提升杆上的上部凹槽上沿的距离约为 19 mm。

7.3.6 提升杆安装至压力容器顶盖吊耳上并安装紧固杆，其垂直度均应满足  $\pm 5$  mm 的要求。

7.3.7 吊耳两侧与下部右旋 U 型夹之间间隙均应满足  $6.3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$  的要求。

7.3.8 安装下部右旋 U 型夹螺钉、挡块和夹具靠板，下部右旋 U 型夹螺钉紧固时的施加力约为 14 kg。

7.3.9 吊装与安装 U 型夹时，宜使用平衡器，防止在紧固过程中出现螺纹卡死。

7.3.10 下部右旋 U 型夹安装完成后，应测量其高度，确保其整体水平一致。

### 7.4 下屏蔽罩的安装

7.4.1 在下屏蔽罩安装前，应拆除下提升杆夹具组件、密封垫圈、密封板，控制棒驱动结构的冷却栅板密封组件。

7.4.2 检查其与反应堆压力容器顶盖 0° 参考基准面的方向应正确。

7.4.3 检查下屏蔽罩上的吊环螺栓力矩值应满足  $1085 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 54 \text{ N}\cdot\text{m}$  的要求。

7.4.4 下屏蔽罩吊装时直径范围内的水平度应小于 6.3 mm，吊装宜采用平衡梁。

7.4.5 在止动螺母安装完成后，反应堆压力容器顶盖支撑台下表面和支撑垫片之间的间隙应满足 1mm~1.8 mm 的要求。

7.4.6 安装提升杆夹具组件、密封垫圈、密封板，控制棒驱动结构的冷却栅板。

7.4.7 拆除提升杆下部右旋 U 型夹夹具靠板。

### 7.5 反应堆压力容器顶盖排气管安装

7.5.1 排气管的不锈钢块加工应符合技术要求,其所有可达表面应进行液体渗透检测,检测应满足设计要求。

7.5.2 排气管的支架预制和焊接工作应符合设计要求,焊缝应进行 100%目视检查,且检测结果应满足设计要求。

7.5.3 排气管的切割、坡口和内镗孔加工、焊接等均应满足设计文件要求,焊缝应进行目视检测、液体渗透检测和射线检测,检测结果应满足设计要求。

7.5.4 所有排气管焊接前,应使用许可的溶剂和无绒白布对其进行清洁,使得其外侧达到 B 级清洁度要求,内侧达到 C 级清洁度要求。

7.5.5 插入管和排气管嘴的间隙应小于 1.6mm,检查合格后进行焊接,焊缝需进行目视检测和液体渗透检测,检测结果应满足设计要求。

7.5.6 根据下、中、上屏蔽罩依次安装的顺序,依次进行排气管的下部部分、中部部分和上部部分的安装工作,排气管安装应包括排气管管段、支架、排气管盖板和排气管塞,所有焊接工作完成后,应对支架的所有焊缝进行 100%目视检测,检测应满足设计要求。

## 7.6 顶盖中心保温层的安装

7.6.1 应对金属反射保温板及钢支架配合表面进行清洁,使得其满足 C 级清洁度的要求。

7.6.2 按照支撑角钢安装、顶盖保温板 1 (THD1)、顶盖保温板 2 (THD2)、顶盖保温板 3 (THD3) 的顺序依次安装金属反射保温层。

7.6.3 调整角钢支架,使其内脚至反应堆压力容器顶盖中心的外半径满足  $1784.3\text{ mm} \pm 1.6\text{ mm}$ 。

7.6.4 角钢支架螺栓紧固最终力矩值要求为  $13\text{ N} \cdot \text{m} \sim 14\text{ N} \cdot \text{m}$ 。

7.6.5 相邻保温板间的间隙应不大于 1.6 mm。

## 7.7 控制棒驱动机构线圈和数字式棒位指示器安装

7.7.1 控制棒驱动机构线圈安装前应进行电阻检测,检测用数字万用表的精度应高于  $0.001\text{ }\Omega$ ,检测的结果应满足以下要求:

- a) 提升线圈电阻应在  $1.3\text{ }\Omega \sim 1.5\text{ }\Omega$ ;
- b) 移动线圈电阻应在  $8.4\text{ }\Omega \sim 9.5\text{ }\Omega$ ;
- c) 保持线圈电阻应在  $8.4\text{ }\Omega \sim 9.5\text{ }\Omega$ 。

7.7.2 控制棒驱动机构线圈安装前应进行极性检测。

7.7.3 控制棒驱动机构线圈安装前后,分别采用 500V 直流电流对每个线圈进行 6 次绝缘电阻试验,绝缘电阻应不小于  $1000\text{ M}\Omega$ 。

7.7.4 控制棒驱动机构线圈安装前,检查其磁环安装情况应符合设计文件要求,并检查锁存套筒及磁通环的外径,确认各部件无污染或阻塞物,并用线圈组件铅管校准铅管的贯通孔。

7.7.5 控制棒驱动机构线圈安装完成后应进行导通性测试,检测用数字万用表的精度应为  $\pm 0.001\text{ }\Omega$ ,检测的结果应满足以下要求:

- a) 提升线圈电阻应在  $1\text{ }\Omega \sim 2.5\text{ }\Omega$ ;
- b) 移动线圈电阻应在  $7\text{ }\Omega \sim 11\text{ }\Omega$ ;
- c) 保持线圈电阻应在  $7\text{ }\Omega \sim 11\text{ }\Omega$ 。

7.7.6 线圈组件吊装测试过程中,测力计的变化范围应不超过初始值的 25%,并记录测力计的读数。

7.7.7 线圈组件与校准心轴校准时,线圈组件和心轴吊环螺栓之间至少保持 203.2 mm 的安全间隙。

7.7.8 数字式棒位指示器安装前,应根据要求进行预安装测试,测试结果应满足设计要求。

7.7.9 数字式棒位指示器组件完全坐落在啮合面上时,应以反应堆压力容器顶盖  $0^\circ$  为参考基准确认控制棒驱动机构位置方向正确性。

7.7.10 数字式棒位指示器安装完成后,对探测器线圈连续性进行测量,其电阻值应在 $4\ \Omega\sim 8\ \Omega$ 。

7.7.11 数字式棒位指示器安装完成后,对探测器线圈电阻进行测量,兆欧表设置为50V,电阻值应不小于 $10\text{M}\ \Omega$ 。

## 7.8 中屏蔽罩安装

7.8.1 检查中屏蔽罩上的吊环螺栓力矩值应满足 $638\ \text{N}\cdot\text{m}\pm 32\ \text{N}\cdot\text{m}$ 的要求。

7.8.2 中屏蔽罩吊装时直径范围内的水平度应小于 $6.3\ \text{mm}$ ,吊装宜采用平衡梁。

7.8.3 确认中屏蔽罩和下屏蔽罩的 $0^\circ$ 对齐。

7.8.4 中屏蔽罩与下部屏蔽罩连接的螺栓应拧紧至相互贴紧,连接用的六角螺栓螺纹安装前应涂抹满足设计要求的螺纹锁固剂。

7.8.5 中屏蔽罩就位后,进行风管弯管的安装。

## 7.9 环形悬臂吊机安装

7.9.1 清洁环形悬臂吊机的零部件,满足D级清洁度要求。

7.9.2 动力和接地电刷螺母紧固力矩值为 $12\ \text{N}\cdot\text{m}\pm 1\ \text{N}\cdot\text{m}$ 。

7.9.3 吊机的滚轮接触面中心点至轨道法兰边缘的距离应不小于 $10\ \text{mm}$ 。

7.9.4 吊机安装在环向轨道正下方,分布梁与小车的间隙为 $6.4\ \text{mm}\pm 1.5\ \text{mm}$ 。

7.9.5 轨道焊接件外缘到每个辊压轮的中心的距离应不小于 $19\ \text{mm}$ 。

7.9.6 悬臂梁和平衡轮托架之间的调整垫片厚度应小于 $13\ \text{mm}$ 。

7.9.7 环形悬臂吊机电气部分连接完成后,应进行绝缘电阻测试工作,电动机的绝缘电阻应不小于 $10\ \text{M}\ \Omega$ 。

7.9.8 环形悬臂吊机起升至最大起升高度时,悬臂梁下翼面到吊钩中心的距离为 $711\ \text{mm}$ 至 $787\ \text{mm}$ 。

7.9.9 环形悬臂吊机下降至吊钩最低高度时,悬臂梁下翼面到吊钩中心的距离为 $4369\ \text{mm}$ 至 $5359\ \text{mm}$ 。

7.9.10 环形悬臂吊行走至减震器接触到小车止挡片时,吊钩中心至反应堆压力容器顶盖螺栓孔分布圈的距离应不小于 $914\ \text{mm}$ 。

7.9.11 环形悬臂吊机环形行驶时,环向行走小车轮子的翼缘与环梁下翼面的间隙应不大于 $5\ \text{mm}$ ,平衡轮中心与槽轨外端边沿的间隙应不小于 $19\ \text{mm}$ 。

7.9.12 额定载荷状态下,应完成静态载荷测试和梁的挠度测试、额定载荷全速幅度动态载荷测试。

7.9.13 1.25倍额定载荷状态下,应完成环形静态载荷测试、功能检测和制动功能测试。

## 7.10 上屏蔽罩安装

7.10.1 上屏蔽罩吊装前,应拆除内部工作平台,并将电缆桥架维持在提升位置,用支杆连接固定。

7.10.2 应通过调整使得上屏蔽罩底部法兰至控制棒驱动机构缓冲器中心线的平均距离与中屏蔽罩上法兰至数字式棒位指示器面板上表面的平均距离的差值,应不大于 $1.5\ \text{mm}$ 。

7.10.3 吊装时,宜采用平衡梁,其直径范围内的水平度应小于 $6.3\ \text{mm}$ 。

7.10.4 就位时,上屏蔽罩和中屏蔽罩的 $0^\circ$ 基准应对齐。

7.10.5 上屏蔽罩与中部屏蔽罩连接的螺栓应拧紧至相互贴紧,连接用的六角螺栓螺纹安装前应涂抹满足设计要求的螺纹锁固剂。

7.10.6 按照设计文件要求调整控制棒驱动机构抗震缓冲器,调整前需移除控制棒驱动机构和数字式棒位指示器的悬缆线,待提升杆的夹具组件安装完成后,再按照顺序重新完成悬缆线的安装工作。

7.10.7 上屏蔽罩安装完成后,安装下提升杆夹具组件、密封垫圈、密封板,并拆除子弹头柱。

7.10.8 按照设计文件要求完成控制棒驱动机构和数字式棒位指示器电缆的连接工作。

7.10.9 将内部工作平台重新安装至上屏蔽罩。

## 7.11 外部工作平台及控制棒驱动机构冷却风机安装

7.11.1 应按照风机支架、梁焊接件、结构支架的顺序进行安装。

7.11.2 上屏蔽罩吊装前,应完成风机支架和外部工作平台安装工作,其安装时应按照相应的编号进行,风机支架与顶梁的对中偏差为 $\pm 3\text{ mm}$ 。

7.11.3 风机组件安装前,应对每一台冷却风机电动机的线圈进行绝缘电阻试验,绝缘电阻值均应不小于 $1\text{ M}\Omega$ 。

7.11.4 风管组件安装前,应提前拆除风机支架端板和风管调整段。

7.11.5 风管延伸组件安装时可按照 $225^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $305^\circ$ 位置顺序进行安装。

7.11.6 风机安装前,应将风管调整段和膨胀节安装至风机组件上,确认风机型号与其安装位置对应。

7.11.7 风机相关紧固用的螺栓应涂抹满足设计要求的锁固剂。

7.11.8 在 $55^\circ$ 、 $305^\circ$ 位置风机安装前,应利用起重三角架的绞车将电缆桥架放至 $45^\circ$ 位置,风机安装完成后应将电缆桥架恢复。

7.11.9 风机连接杆安装时应处于自由状态,两端夹具与螺纹杆的螺纹应全部啮合。

## 7.12 起重三角架安装

7.12.1 在上部左旋U型夹吊装就位时,宜使用拉力计或者弹簧秤,按照7.3.1复测数据。

7.12.2 起重三角架上部左旋U型夹安装完成后,应对上部左旋和下部右旋U型夹的提升杆旋入螺纹长度进行检查,确保其长度大于 $152\text{ mm}$ 。

7.12.3 提升杆上部销轴的配合面和上部左旋U型夹销孔内径面安装前均应进行清洁,且涂抹满足设计要求的润滑剂。

## 7.13 电气安装

7.13.1 按照设计要求安装氢气点火器、松动件监测系统、屏蔽罩空气温度监测器等电器设备。

7.13.2 按照设计要求安装、敷设、固定、绑扎控制棒驱动机构电缆、数字式棒位指示器电缆、悬臂吊机电缆、松动件监测系统电缆、仪表电缆、屏蔽罩空气温度监测器电缆、动力电缆和地线。

7.13.3 电缆保护管宜采用冷煨弯方式,且钢管弯曲半径应不小于12倍直径。

7.13.4 在校准键与键槽时,不应将电缆扭曲。

7.13.5 距离连接器 $50\text{ mm}$ 范围内电缆不应弯曲。

7.13.6 电缆组件的弯曲半径应不小于 $76\text{ mm}$ 。

7.13.7 垂直方向和水平方向为电缆组件提供支承时,其跨距应不大于 $1524\text{ mm}$ ,包含一段无支承的连接器时,其跨距应不大于 $914\text{ mm}$ 。

7.13.8 两列电缆之间的最小物理分离间隙应大于 $25\text{ mm}$ 。

## 8 堆顶结构安装

### 8.1 堆顶结构运输吊装准备

8.1.1 堆顶结构的组装工作已完成。

8.1.2 运输路径、吊装通道及存放架已满足要求。

8.1.3 运输和吊装文件已完成,并符合NB/T 20385和NB/T 20386的要求。

8.1.4 工机具已准备完成。

### 8.2 堆顶结构安装准备

- 8.2.1 完成反应堆压力容器密封面、螺栓孔、O形圈凹槽的清洁工作，其应满足附录F中C级清洁度的要求。
- 8.2.2 完成对内、外O形圈凹槽6.4 mm宽度范围内的表面进行检查，检查范围内应无深度大于0.08 mm的划痕，密封面上不应有径向划痕。
- 8.2.3 对螺栓拉伸机进行编号，并完成参数输入。
- 8.2.4 反应堆压力容器的螺栓孔、主螺栓清洁已完成，通规、止规检查合格。
- 8.2.5 反应堆压力容器内水位距其顶部法兰密封面的距离应不小于152 mm。

### 8.3 运输和吊装

- 8.3.1 运输和吊装应满足NB/T 20385和NB/T 20386中相关要求。
- 8.3.2 从组装场地将堆顶结构运输至指定吊装位置，运输过程前应对其采取措施进行绑扎固定，运输过程中应限制行驶速度。
- 8.3.3 吊装时，应在起升100mm~200 mm，完成吊机制动试验和检查。
- 8.3.4 起升至500mm左右时，应对反应堆压力容器顶盖法兰面的水平度进行测量，其应不大于0.93 mm/m。如不满足要求，则应将堆顶结构重新放回临时平台后重新调整。
- 8.3.5 整个吊装过程中应控制起升、转杆和落钩速度，并设置牵引绳。
- 8.3.6 设备就位后，应对反应堆压力容器顶盖的密封面和屏蔽环之间的间隙进行检查，其应不小于0.76mm，检查点应平均分布且不少于24个。
- 8.3.7 使用力矩扳手旋转进给丝杆使夹具就位时，要求最终力矩值应不大于20 N·m。
- 8.3.8 夹具调整垫片可进行加工以使得夹具间隔板和反应堆压力容器顶盖法兰的间隙不大于1.6 mm。
- 8.3.9 堆顶结构就位后，每个夹具垂直面至反应堆压力容器顶盖法兰外径之间的水平间隙应在0.5 mm~8.4 mm之间。

### 8.4 O形圈安装

- 8.4.1 在堆顶结构起吊至高出存放架约1 m时，将未拆包的型圈放入存放架外部的托盘内，再将堆顶结构落回至存放架上。
- 8.4.2 O形圈安装前，应对O形圈凹槽和啮合面进行清洁，使得其满足附录F中C级清洁度要求。
- 8.4.3 O形圈安装时，可按照先安装内侧O形圈，后安装外侧O形圈的顺序进行安装。
- 8.4.4 O形圈安装完成后，所有的固定螺钉的螺母不应超出反应堆压力容器顶盖法兰的啮合面。

### 8.5 就位

堆顶结构就位至反应堆压力容器上法兰位置时，反应堆压力容器顶盖中心线与反应堆压力容器中心线的偏差应小于25.4 mm。

### 8.6 主螺栓安装

应满足下列要求：

- a) 主螺栓的测量杆安装前，应对其长度进行测量，其应满足 $1568.45 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$ 的要求；
- b) 环形悬臂吊吊装主螺栓过程中，弹簧平衡器吊装显示重量偏差应不大于10%；
- c) 在主螺栓安装前，应对主螺栓、螺母、垫片的所有螺纹及承力面涂抹满足设计要求的润滑剂；
- d) 主螺栓安装和拉伸时，应根据设计文件要求顺序和次数进行；
- e) 主螺栓拉伸前，测量杆、主螺栓、反应堆压力容器顶盖法兰面和反应堆压力容器法兰面的温度的差值应小于2.8 ℃；

- f) 主螺栓拉伸过程中, 反应堆压力容器顶盖法兰面和反应堆压力容器法兰面的温度应不小于 16 ℃;
- g) 主螺栓拉伸完成后, 应采用精度小于 0.025 mm 的工具对其拉伸长度进行测量, 主螺栓的残余拉伸量应满足以下要求:
  - 1) 水压试验: 主螺栓残余拉伸长度为  $1.80\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ;
  - 2) 运行工况, 主螺栓残余拉伸长度为  $1.45\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。
- h) 如主螺栓的残余拉伸量无法满足上述要求, 采取措施调整主螺栓的拉伸量使得其满足设计文件要求。

## 9 补漆

应对堆顶结构组装、安装过程中损坏的表面保护层进行修补, 保护层修补应符合设计文件要求。

## 10 设备保护

10.1 堆顶结构组装期间, 应对组装场地的温度、湿度等进行控制, 精密结构部件和电气设备应采取措施进行防水、防潮、防火、防尘等处理, 定期进行检查, 形成巡检记录。

10.2 堆顶结构核岛贮存期间, 应使用防火、防水、防尘的篷布将整个堆顶结构进行覆盖, 并将保护罩下摆与楼面或平台贴紧, 使用胶带密封并定期进行检查, 采取硬保护, 形成巡检记录。

10.3 堆顶结构安装期间, 应对反应堆压力容器法兰面和顶盖密封面进行保护, 进入到安装区域时, 应严格执行防异物相关要求。

## 11 完工文件

应主要包括以下内容:

- a) 竣工图或施工图附设计变更文件及不符合项报告等。
- b) 设备和附件出厂质量合格证书或检验报告。
- c) 现场变更记录。
- d) 材料代换记录。
- e) 焊接及无损检测报告。
- f) 现场施工记录:
  - 1) 控制棒驱动机构导向罩延伸段安装记录;
  - 2) 控制棒驱动机构导向罩安装记录;
  - 3) 控制棒驱动机构导向罩实际位置测量记录;
  - 4) 下屏蔽罩紧固件安装间隙检查记录;
  - 5) 提升杆安装位置记录;
  - 6) 排气管坡口加工测量记录;
  - 7) 控制棒驱动结构线圈安装检查记录;
  - 8) 数字式棒位指示器线圈安装检查记录;
  - 9) 控制棒驱动结构线圈试验数据记录;
  - 10) 数字式棒位指示器连续性和绝缘电阻试验数据记录;
  - 11) 风机/环形悬臂吊机绝缘电阻测试数据记录;
  - 12) 环形悬臂吊机电刷安装记录;



- 13) 环形悬臂吊机平衡轮安装检查记录;
  - 14) 环形悬臂吊机辊压轮间隙测量记录;
  - 15) 环形悬臂吊机功能性测试记录;
  - 16) 环形悬臂吊机满载测试记录;
  - 17) 金属反射保温层安装记录;
  - 18) 抗震缓冲器标高数据记录;
  - 19) 主螺母检查记录表;
  - 20) 主螺栓安装记录表;
  - 21) 堆顶结构安装记录表;
  - 22) 反应堆压力容器螺栓孔清洁及检查记录;
  - 23) 主螺栓清洁及检查记录;
  - 24) 水压试验螺栓拉伸加载数值表;
  - 25) 水压试验螺栓拉伸卸载数值表;
  - 26) 主螺栓拉伸加载的初始测量表;
  - 27) 第一次拉伸数据表;
  - 28) 第二次拉伸数据表;
  - 29) 第三次拉伸数据表;
  - 30) 调整拉伸数据表;
  - 31) 主螺栓拉伸加载调整表;
  - 32) 主螺栓拉伸卸载调整表。
- g) 其他永久性记录。

附录 A  
(资料性附录)  
堆顶结构示意图 (参见图 A.1)

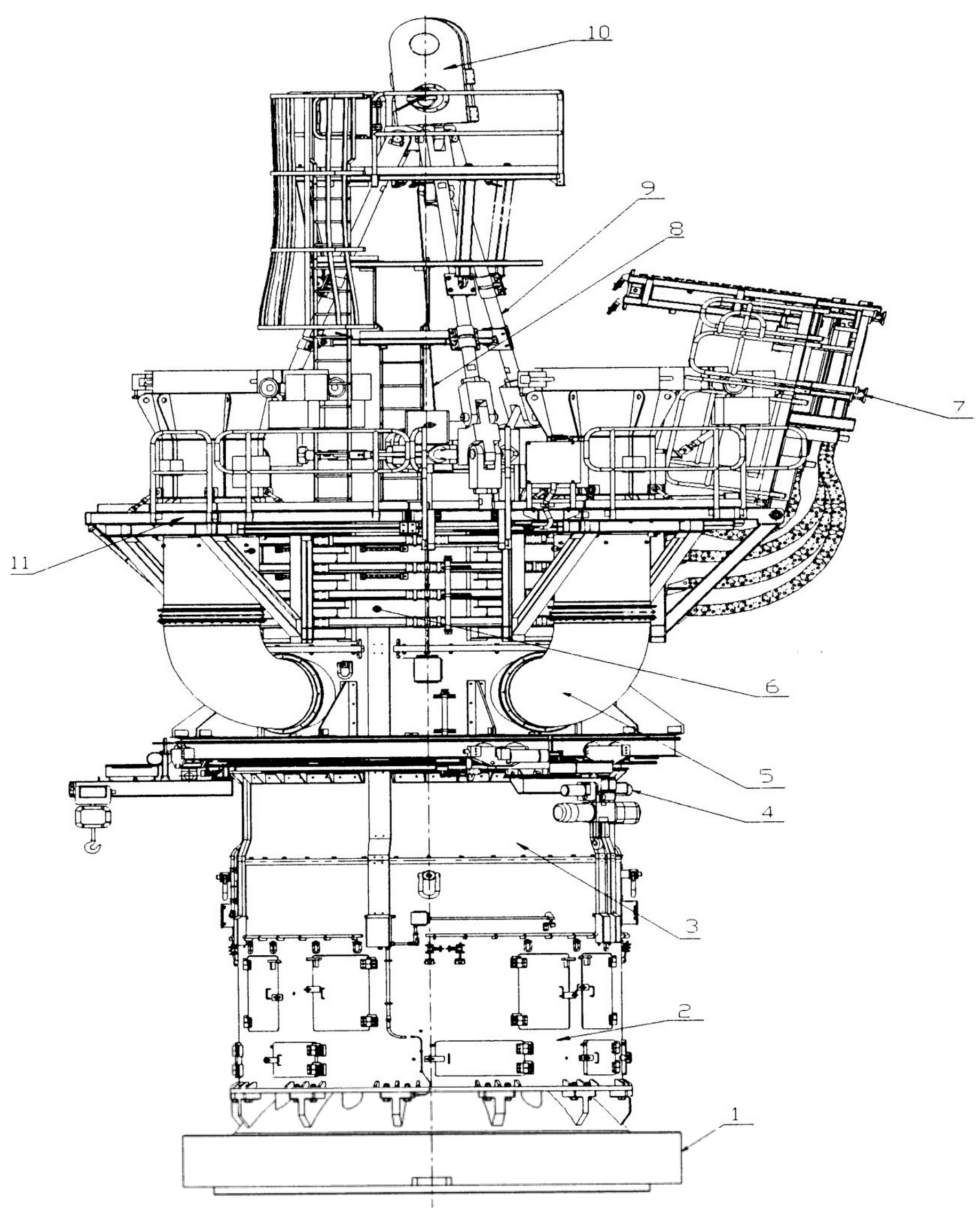
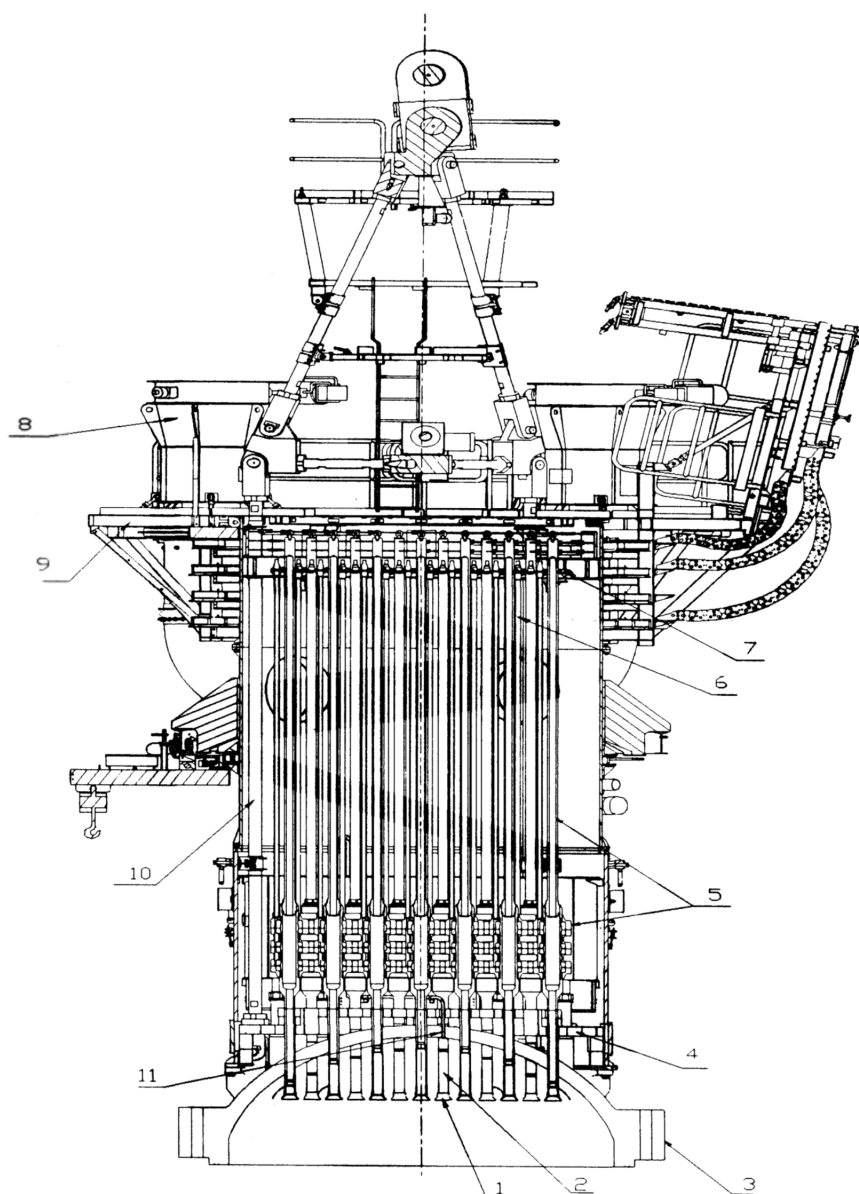


图 A.1 堆顶结构示意图

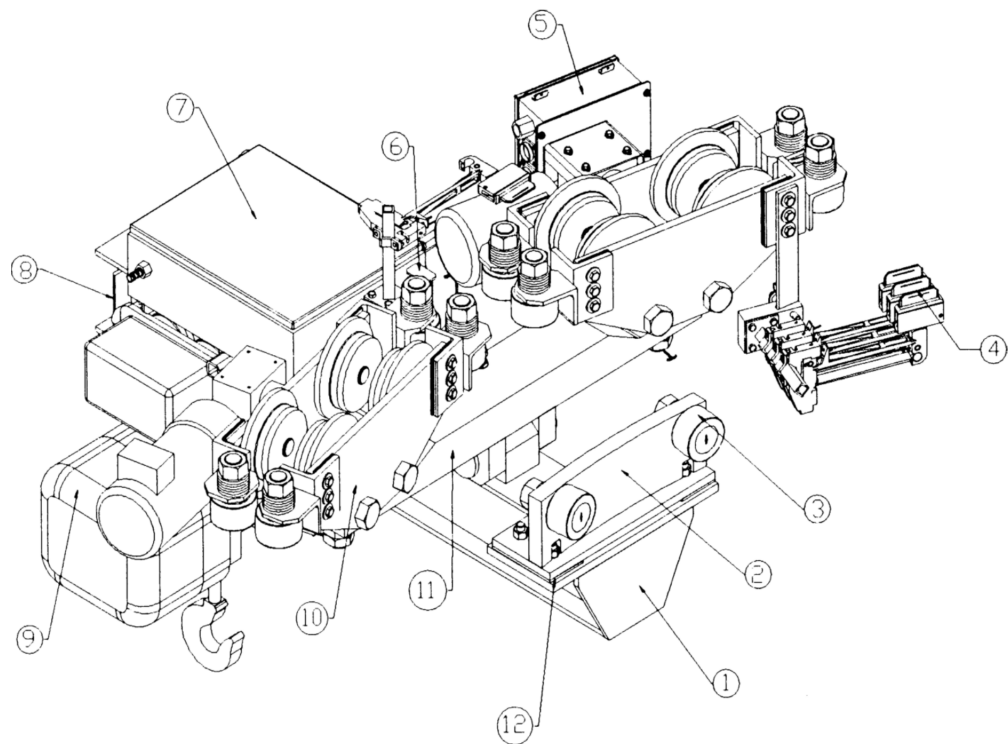
附录 B  
(资料性附录)  
堆顶结构截面图(参见图 B.1)



- |                |                 |
|----------------|-----------------|
| 1. 控制棒驱动机构导向罩； | 7. 控制棒驱动机构缓冲器；  |
| 2. 控制棒驱动机构延伸段； | 8. 控制棒驱动机构冷却风机； |
| 3. 反应堆压力容器顶盖；  | 9. 风机支架；        |
| 4. 顶盖中心保温层；    | 10. 提升杆；        |
| 5. 控制棒驱动机构；    | 11. 排气管。        |
| 6. 数字式棒位指示器；   |                 |

图 B.1 堆顶结构截面图

附 录 C  
(规范性附录)  
悬臂吊机示意图(参见图 C. 1)



- |            |             |
|------------|-------------|
| 1、悬臂梁;     | 7、控制操作面板;   |
| 2、平衡轮托架;   | 8、小车止挡;     |
| 3、平衡轮调整垫片; | 9、吊机;       |
| 4、电刷;      | 10、小车;      |
| 5、小车电机接线盒; | 11、分布梁;     |
| 6、底线接线架;   | 12、平衡梁托架垫板。 |

图 C. 1 悬臂吊机示意图

附录 D  
(资料性附录)

反应堆堆顶螺栓紧固顺序编号图(参见图 D. 1)

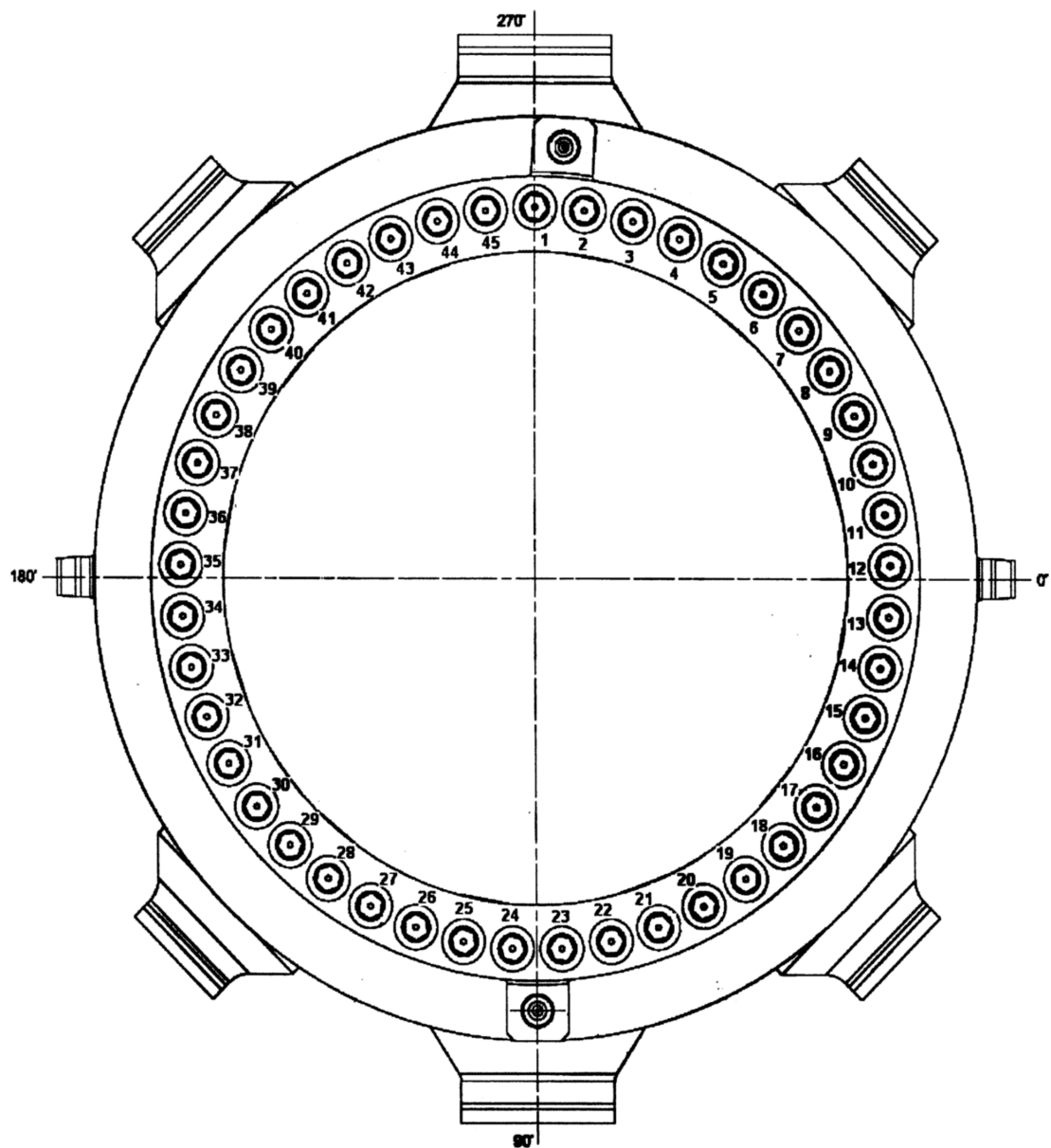


图 D. 1 反应堆堆顶螺栓紧固顺序编号图

附 录 E  
(资料性附录)

反应堆压力容器主螺栓拉伸加载排序表(参见表 E. 1)

表 E. 1 反应堆压力容器主螺栓拉伸加载排序表

第一次螺栓拉伸														
步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi	步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi	步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi
1	A	1			6	A	6			11	A	13		
	B	16				B	21				B	28		
	C	31				C	36				C	43		
2	A	8			7	A	14			12	A	3		
	B	23				B	29				B	18		
	C	38				C	44				C	33		
3	A	12			8	A	2			13	A	11		
	B	27				B	17				B	26		
	C	42				C	32				C	41		
4	A	4			9	A	5			14	A	7		
	B	19				B	20				B	22		
	C	34				C	35				C	37		
5	A	10			10	A	9			15	A	15		
	B	25				B	24				B	30		
	C	40				C	39				C	45		
第二次螺栓拉伸														
步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi	步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi	步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi
16	A	1			21	A	6			26	A	13		
	B	16				B	21				B	28		
	C	31				C	36				C	43		
17	A	8			22	A	14			27	A	3		

	B	23				B	29				B	18		
	C	38				C	44				C	33		
18	A	12			23	A	2			28	A	11		
	B	27				B	17				B	26		
	C	42				C	32				C	41		
19	A	4			24	A	5			29	A	7		
	B	19				B	20				B	22		
	C	34				C	35				C	37		
20	A	10			25	A	9			30	A	15		
	B	25				B	24				B	30		
	C	40				C	39				C	45		

## 第三次螺栓拉伸

步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi	步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi	步骤	拉伸机编号	螺栓编号	中间压力值 psi	目标压力值 psi
31	A	1			36	A	6			41	A	13		
	B	16				B	21				B	28		
	C	31				C	36				C	43		
32	A	8			37	A	14			42	A	3		
	B	23				B	29				B	18		
	C	38				C	44				C	33		
33	A	12			38	A	2			43	A	11		
	B	27				B	17				B	26		
	C	42				C	32				C	41		
34	A	4			39	A	5			44	A	7		
	B	19				B	20				B	22		
	C	34				C	35				C	37		
35	A	10			40	A	9			45	A	15		
	B	25				B	24				B	30		
	C	40				C	39				C	45		

注：145psi=1MPa。

## 附录 F

(资料性附录)

清洁度控制要求(参见表 F. 1)

表 F. 1 清洁度控制要求

清洁度级别	清洁度/控制要求
B 级	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 表面应显示金属色, 轻微的环境灰尘积淀时允许的;</li> <li>2) 分散的生锈区时允许的, 只要生锈的总面积在任何 1000 cm<sup>2</sup> 内不超过 14 cm<sup>2</sup>;</li> <li>3) 回火氧化膜和焊接引起的变色是可接受的;</li> <li>4) 表面应无有机薄膜和污染物, 如油漆、油或防锈剂。</li> </ol>
C 级	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 表面应显示金属色, 轻微的环境灰尘积淀时允许的;</li> <li>2) 耐蚀合金: 分散的生锈区时允许的, 只要生锈的总面积在任何 1000 cm<sup>2</sup> 内不超过 100 cm<sup>2</sup>;</li> <li>3) 碳钢、合金钢和铁素体不锈钢: 均匀的、轻微的、可用手刷擦拭去除的锈霜区域是允许的;</li> <li>4) 表面应无有机薄膜和污染物, 如油漆、油或防锈剂。</li> </ol>
D 级	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 无严重的轧制氧化皮或热处理氧化皮;</li> <li>2) 轻微的氧化层或轻微的铁锈时允许的;</li> <li>3) 油污是允许的, 但焊后热处理前和运输涂层实施前去除。</li> </ol>
II 类区域	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 需要使用清洁的手套、鞋套、头套;</li> <li>2) 需要对材料进行预清洁;</li> <li>3) 需要对进入的材料进行控制;</li> <li>4) 需要对进入的人员进行控制;</li> <li>5) 不准许食并抽烟。</li> </ol>



中 华 人 民 共 和 国  
能 源 行 业 标 准  
非能动压水堆核电厂反应堆  
堆顶结构安装技术规程  
NB/T 20430—2017

\*

核工业标准化研究所出版发行  
北京海淀区骚子营1号院  
邮政编码：100091  
电 话：010-62863505  
原子能出版社印刷  
**版权专有 不得翻印**

\*

2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷  
印数 1—50 定价 41.00 元