

# 反应堆压力容器安装工艺难点分析

苏立国 高巍巍 谭志洪  
(中国核工业二三建设有限公司 广东 深圳 518120)

**摘要:** 随着我国核技术的不断突飞猛进, 已位居世界前列。目前我国建造的核电站堆型有 M310、EPR、CPR1000、CANDU6、VVER1000、AP1000 以及华龙一号等。压力容器是各堆型中的核心设备, 各堆型压力容器结构以及安装型式虽不尽相同, 但是我国均已拥有了成熟的安装技术。本文以某工程压力容器安装工艺, 从其结构以及安装型式不同, 强调分析了反应堆压力容器本体以及支承安装重点难点, 为后续项目相同或相似堆型反应堆压力容器的安装提供借鉴和参考。

**关键词:** 反应堆; 压力容器; 安装技术; 工艺

**0 引言**

压力容器是反应堆冷却剂系统压力边界的重要组成部分, 是封闭放射性物质和屏蔽核辐射的主要屏障之一。压力容器内部盛装冷却剂、容纳堆内构件, 使堆芯始终保持处于冷却状态, 压力容器还起着固定和支承堆内构建、控制棒组件和测量组件的作用, 并为控制棒驱动线对中提供支承点。并且承载和固定辐照考验装置、控制棒驱动机构、堆底结构等设备。

**1 反应堆压力容器简介**

反应堆压力容器位于堆水池中心, 主要由压力容器本体和压力容器支承组成; 压力容器支承主要包括压力容器支承环和上部拉梁; 压力容器本体主要由小顶盖组件、大顶盖组件及筒体组件组成, 如下图所示。

**2 反应堆压力容器安装工艺**

反应堆压力容器安装于反应堆厂房堆水池内部的压力容器支承环上, 压力容器支承环在反应堆厂房建造时, 与堆水池底板焊接成整体, 压力容器上部支承卡座共 4 个, 均匀安装于堆水池池壁上, 随土建结构施工浇筑于堆水池墙体中。反应堆厂房内部环吊具备使用后, 压力容器筒体运输

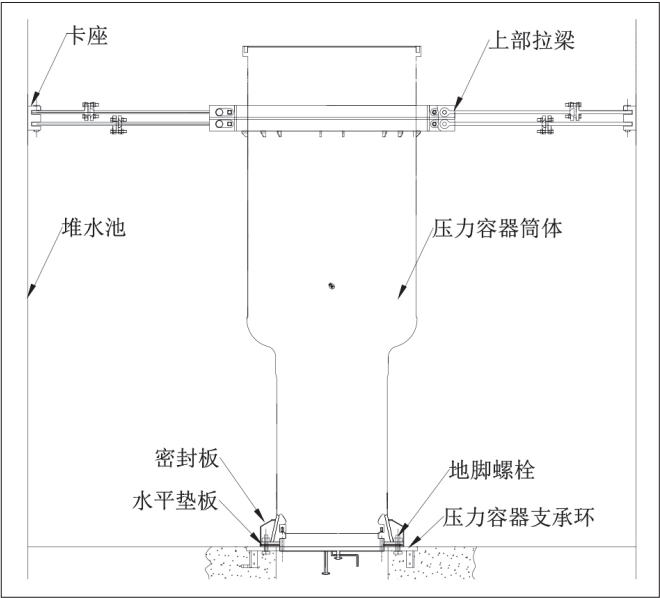
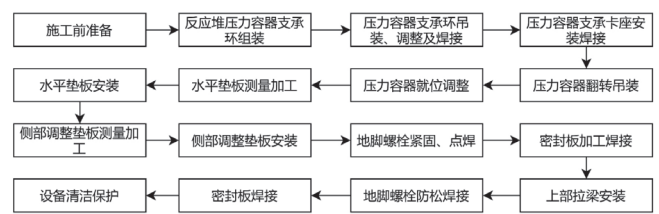


图 1 反应堆压力容器整体结构

至厂房内部, 利用环吊将其翻转至竖直状态, 通过预留的后浇区, 吊装就位至反应堆压力容器支承环上, 通过压力容器支承环上的地脚螺栓将压力容器临时固定; 调整压力容器标高、水平度符合设计要求后, 开展水平垫铁测量加工工作, 安装水平垫板, 地脚螺栓进行紧固, 密封板测量加工, 安装上部拉梁; 将地脚螺栓与螺母进行点焊防松, 密封板安装焊接, 将压力容器支座和堆水池底板进行密封焊接, 将地脚螺栓以及压力容器底封头等部位与堆水池隔离, 压力容器本体安装完成。其安装工艺流程如下:



**3 反应堆压力容器安装难点**

**3.1 压力容器支承环组装质量控制**

反应堆压力容器支承环分体到货, 到货后需要在现场对其进行组装, 组装的部件包括支承环板、地脚螺栓、垫板、防转块以及卡圈的组装; 组装完成检查合格后对其进行吊装引入调整, 反应堆压力容器支承环组装后整体结构如下图所示。

反应堆压力容器支承环通孔与地脚螺栓之间的圆周间隙为 1mm, 压力容器支座上的通孔与地脚螺栓之间径向间隙为 1mm, 地脚螺栓的垂直度、位置度、相互间倾斜方向等均会造成最终压力容器无法顺利吊装就位, 对压力容器安装起着决定性的作用, 因此应从以下几点对压力容器支承环

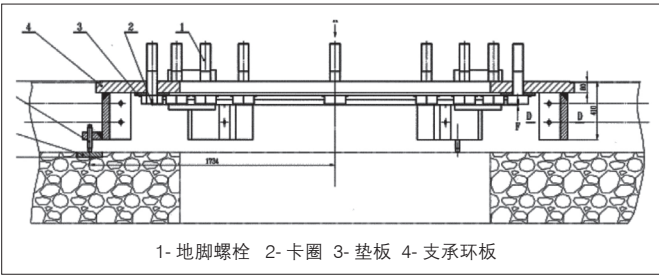


图 2 压力容器支承环结构图

组装进行质量控制:

(1) 安装前, 严格按照图纸中尺寸检查支承环板通孔的位置;

(2) 地脚螺栓安装时应在其与支承环板通孔间隙处采用 0.8mm-1mm 的薄不锈钢垫片进行填塞;

(3) 卡圈、防转块与地脚螺栓焊接前, 应检查地脚螺栓的位置度、垂直度、以及地脚螺栓间位置;

(4) 卡圈、防转块与地脚螺栓焊接时应先点焊, 检查地脚螺栓位置、垂直度无变化后继续开展焊接;

(5) 焊接后, 地脚螺栓位置、垂直度如发生变化应对焊接位置进行磨除重新焊接;

(6) 因地脚螺栓在支承环板上非均匀分布, 其吊装就位调整过程中, 应注意其方位, 同时应控制支承环的水平度及地脚螺栓的垂直度, 采取加固措施, 防止浇筑过程中或与堆水池底板焊接过程中发生变化。

通过以上质量措施的层层落实, 层层严格把关, 最终反应堆压力容器顺利通过地脚螺栓就位至支承环上。

### 3.2 压力容器筒体翻转装置研究设计

反应堆压力容器与核电站结构、重量、材质壁厚以及安装环境等不同, 无法按照核电站压力容器翻转工艺进行翻转吊装, 同时考虑设计其安装专用工具, 导致反应堆压力容器翻转成为其安装工艺的严重制约。

经过设计多次深层次的交流, 在熟练掌握压力容器结构、材质以及设计理念的基础上, 结合现场施工环境条件, 研究设计了一套压力容器翻转装置, 其主要由支承座、运输框架、销轴座、可调支撑等组成。将压力容器就位至翻转装置的支承座上, 采用箍圈将压力容器固定, 同时调整可调支

撑将压力容器固定限位, 将环吊与压力容器翻转通过顶部销轴座相连, 缓慢提升, 在保证压力容器质量和安全的前提下, 顺利实现了压力容器的翻转吊装。

### 3.3 水平垫板测量加工质量控制

压力容器水平垫板的结构以及安装型式与核电站中完全不同, 每三颗地脚螺栓安装一块限位板水平垫板 1 块为一组, 限位板的厚度为 15mm, 每个限位板安装两块扇形水平垫板, 因压力容器吊篮水平度要求为不大于 0.16mm, 且水平垫板与支座表面接触面积不小于 75%, 因此水平垫板加工精度高, 同时因其为扇形结构, 给测量以及加工带来了巨大的困难。

为了确保水平垫板测量的质量满足最终压力容器安装要求, 水平垫板的测量时应对测量点的位置进行精准标记, 多人采用量块进行测量验证, 确保数据的准确性, 根据测量所得数据进行模拟, 采用任意三个数据进行模拟平面, 同时将第 4 个数据距平面的尺寸进行分析, 通过模拟比较, 找出任意三个数据所创建的最佳平面, 此时第 4 个数据距平面的尺寸应最小, 按照模拟出的最佳平面, 精准的模拟或计算出扇形水平垫板加工控制点的加工控制数据, 按照此数据开展加工工作。

水平垫板加工的厚度受压力容器吊篮支承面到支座下表面的尺寸影响, 其实际尺寸比设计理论尺寸大, 水平垫板厚度则越小, 当尺寸实际尺寸偏离设计理论尺寸一定程度后, 水平垫板的厚度将小于 15mm, 则其厚度小于限位板的厚度, 此时不仅给水平垫板加工控制增大难度, 同时造成压力容器将就位至限位板上, 无法与水平垫板接触。因此在压力容器开箱检查时应严格按照图纸检查吊篮支承面距支座下表面的距离, 必要时, 对限位板厚度进行二次加工处理。

## 4 结语

某工程的反应堆压力容器设计和传统核电站不同, 其安装工艺复杂, 工艺要求严格, 安装精度高, 应按照安装工艺全面梳理分析难点和重点, 制定有效控制措施, 严格执行落实, 保障反应堆核心设备压力容器安装工作的高效、高质开展。

### 参考文献:

- [1] 喻贤煜, 韩瑞. 反应堆压力容器安装的研究[J]. 科技信息, 2018, (4).
- [2] 于世龙. 论核电站反应堆压力容器安装质量控制[J]. 黑龙江科技信息, 2015 (36).
- [3] 赵中艳. 压力容器安装过程质量控制建议[J]. 中国设备工程, 2020 (1) 100-102.
- [4] 徐传效. 高通量工程试验堆反应堆[J]. 核动力工程, 1981.08, (3).

作者简介: 苏立国 (1986.07-), 男, 汉族, 本科, 黑龙江人, 研究方向: 机械设备安装技术。

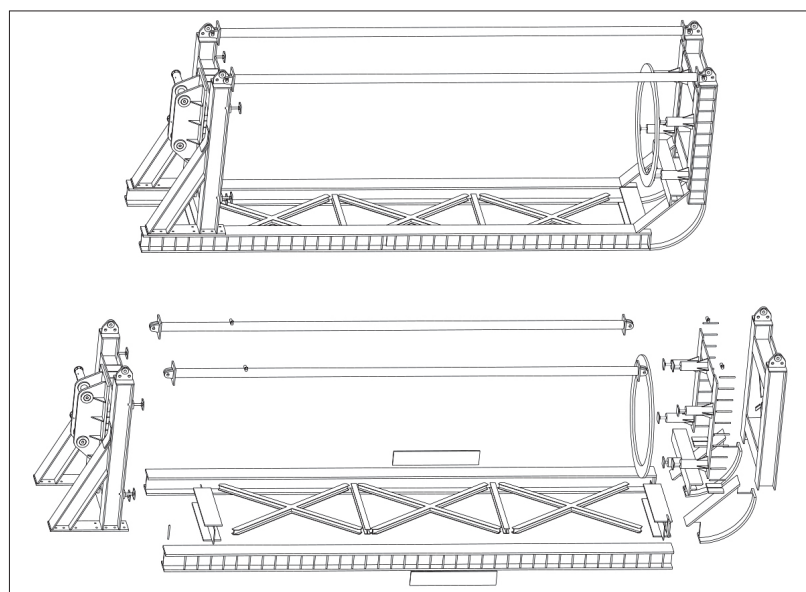


图3 压力容器翻转装置图