

# Research on Quality Control in the Manufacturing Process of Nuclear Secondary and Tertiary Pressure Vessels (Tank Bodies)

Weidong Zhang<sup>1</sup> Jianqiang Kang<sup>2</sup> Riliang Bai<sup>1</sup> Baojian Liu<sup>1</sup>

1. Qingdao Lanshi Heavy Machinery Equipment Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266426, China

2. Nanjing Tripartite Chemical Equipment Supervision Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210036, China

## Abstract

Nuclear pressure vessel is a kind of equipment used in nuclear field and has high manufacturing requirements. As a kind of nuclear grade pressure vessel, the tank body plays an important role in the nuclear power backup power generation system. In order to improve the safe performance of nuclear power backup generating sets, the manufacturing quality control of tank and tank equipment should be done first. This paper focuses on discussing and analyzing several key processes in the manufacture of tank body equipment.

## Keywords

nuclear secondary and tertiary pressure vessels; tank body; quality control

## 核二、三级压力容器（箱罐体）制造过程中的质量控制研究

张维东<sup>1</sup> 康建强<sup>2</sup> 白日亮<sup>1</sup> 刘宝剑<sup>1</sup>

1. 青岛兰石重型机械设备有限公司, 中国·山东 青岛 266426

2. 南京三方化工设备监理有限公司, 中国·江苏 南京 210036

## 摘要

核级压力容器是一种在核领域应用较多、对制造要求较高的设备。其中箱罐体作为一种核级压力容器,在核电备用发电系统中发挥着重要作用。为提高核电备用发电机组的安全使用性能应当首先做好箱罐体设备的制造质量管控。论文着重对箱罐体设备制造中几个关键工序进行论述和分析。

## 关键词

核二、三级压力容器; 箱罐体; 质量控制

## 1 引言

随着核电的发展,公众对核安全提出了更高的要求,使得核电站运行安全要求愈发重要。核安全直接依靠机组堆芯各回路系统的正常运行,在机组用电系统中,应急柴油发电机组作为备用电源,独立运行、容量大、供电时间长等特点使得它在整个用电系统中扮演着重要角色。

核级箱罐体设备是指应用到应急柴油发电机组上的膨胀水箱、日用油箱、超保空气瓶、启动空气瓶等设备。上述设备主要组成应急柴油发电机组中机械辅助系统,用以完成进排气、压缩空气、燃油、冷却水、润滑油等系统工作,箱罐体设备的制造重要性凸显,论文从上述设备制造过程中图纸审查、原材料及零部件控制、工艺过程控制、焊接控制、

无损检验控制、水压试验六个关键要素,并按照关键要素中需特别注意事项或关键节点进行简要论述,以对箱罐体设备实际制造进行有效指导和借鉴,防止制造过程中出现违反国家核安全局法律/法规、采购技术规格书等情况发生。

## 2 质量控制

### 2.1 图纸审查

前期图纸审查阶段是整个设备制造过程中最为关键,也是最费时费力、最为影响后期制造质量及进度的要素。现阶段箱罐体设备的设计较为成熟,但在图纸审查中仍发现部分错误及不满足现阶段制造要求的情况,故对图纸错误或不适用制造单位的项目,在图纸审查阶段应及时发现、反馈或澄清,以便影响整体设备制造。图纸审查期间重点关注以下3点,若出现以下情况应及时反馈设计及买方:

①因结构限制,导致无法完成相应无损检验活动。当接管内伸尺寸过长,RT透照焊缝难以覆盖完全,其底片成

【作者简介】张维东(1988-),男,中国山东临沂人,本科,工程师,从事压力容器质量管理与控制研究。

像中焊缝变形较大,影像失真严重(拍片质量较差),需反馈设计及买方取消RT检验。

②材料代用情况。由于个别部件(比如垫板、支撑板、定位板等)用量少、采购难度大,不利于设备整体交货期,可能使用库存材料或其他常规材料,制造厂需提前进行材料代用。

③出现图纸错误。尺寸标注以及部件制造标准问题比较常见。图纸标注尺寸的法兰界线不清晰(不确定法兰界线为法兰密封面还是法兰盘端面);接管外伸高未标注;执行标准未更新;图纸不满足技术规格书热处理等项目要求。

## 2.2 原材料及零部件控制

在原材料或零部件采购过程中,应根据物项采购质保等级选择合适的供方。严格按照物项采购技术文件(物项采购申请单、物项或分包采购技术规格书、物项或分包采购技术条件、物项分包清单等)进行物项采购。

供方应根据不同项目、不同采购质保等级进行项目文件的编制工作。一般情况下,较高采购质保等级需要编制项目质保大纲、不符合项控制程序、质量计划、检验和试验大纲等文件,提交采购方审查。同时采购方会根据质量计划中关键节点进行选点见证(如R点、W点及H点),以及根据采购质保等级和项目要求,采购方在合同执行期间可能对供方进行外部质保监查。

根据某公司箱罐体设备制造期间,在原材料物项采购、维护期间需重点关注以下三个方面。

### 2.2.1 性能检测方面,对于化学分析标准问题

对于原材料化学分析,个别采购技术规格书要求采用GB/T 223《钢铁及合金化学分析方法》标准进行。常规来说GB/T 223大多为手工湿法化学分析,操作较为繁琐,且仅能单元素测定,对人员技能水平要求较高,部分试剂因隶属危化品需受控管理。但现阶段全国各个制造单位或检测单位,均使用精密仪器分析,包括光谱法、红外线吸收、热导法。精密仪器分析引用的标准通常为GB/T 20124—2006《钢铁氮含量的测定 惰性气体熔融热导法(常规方法)》、GB/T 11170—2008《不锈钢多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)》等。该方法检测效率高,检测精度可满足生产制造需求。

一般来说仲裁分析时使用GB/T 223手工湿法化学分析。故在原材料化学分析标准问题上,采购方以及供方应根据自身理化设备现状,选择手工法或者精密仪器分析。防止出现实际使用精密仪器分析,但化分原始记录及报告中分析标准为GB/T 223手工湿法化学分析。

### 2.2.2 不锈钢螺栓咬死现象

在设备制造过程中,由于装配作业,不锈钢螺栓需要反复拆装,在拆装过程中易出现咬死现象,影响装配活动及交货期。再通过对其公司供防城港3、4号机组不锈钢紧固件咬死现象分析,发现紧固件咬死原因主要为:①螺纹牙型

间存在毛刺,牙纹粗糙有异物,在预紧时摩擦增大,导致锁死现象;②多台产品水压时共用一套螺栓,即该螺栓使用次数过多,牙纹间氧化保护层被破坏,发生黏着现象,导致螺栓锁死。

防止其出现咬死现象主要措施为:①对螺栓表面质量严格检查,避免牙纹粗糙或有异物的螺栓投入使用;②尽量减少同套螺栓多次使用;③对使用过的螺栓涂抹防咬死剂。为防止不锈钢螺栓出现咬死现象导致报废、重新采购,制造单位应重点关注此项问题。

### 2.2.3 紧固件第三方复验要求

对于安全重要物项的紧固件(指的是安全级和安全相关系统及设备中的承担承压密封、部件连接和支承固定等功能的重要紧固件),制造单位应选择合适的第三方检测单位进行复验。该第三方检测单位应具备CMA及CNAS认证。

对于安全重要物项的紧固件入厂随机抽样试验项目及数量应满足《关于进一步加强核电厂紧固件等大宗材料质量管理的通知》(国核安发【2016】195号)的规定。其安全重要物项的紧固件中螺栓、螺钉、螺柱,其复验项目应包括化学成分、实物拉力或楔负载试验、机加工试样拉伸试验、冲击吸收功、硬度及脱碳。安全重要物项的紧固件中螺母,其复验项目应包括化学成分、硬度、保证载荷及脱碳。

## 2.3 工艺过程控制

在箱罐体设备制造过程中,涉及加工、焊接、热处理、探伤、水压、尺寸检验等多道工序,故而编制质量计划以自先决条件检查开始至设备验收所有制造工序以及设置质量控制点,从而对整个制造活动进行流程质量管控。

在不同工序需制定不同方案或规程,以指导本工序开展作业活动。比如无损检验规程、检查和试验大纲、酸洗工艺规程、焊接数据包、清洁及包装方案等。

在整个核2、3级压力容器制造过程中,特别需要注意质量计划中工艺流程的合理优化。一般情况质量计划是按照制造过程中执行的活动按实施先后顺序编号列表,如材料检验、焊接、热处理、无损检验、检查和试验、油漆、包装发货等,并且至少需要包括法律/法规、标准、设计要求、买方或监管单位所规定的检查和试验项目,以及公司内部为控制设备质量和制造过程而有必要的工序活动。注意编制项目质量计划前需完成图纸中澄清及变更项目。

## 2.4 焊接控制

焊接作业活动是核2、3级压力容器制造中的最关键工序,在一定程度上影响着其安全性能和使用寿期。故对于焊接作业活动,必须要做好人员资质、焊材验收、焊接工艺(焊接数据包)、焊接过程监控等工作。故而技术人员、检验人员、焊接人员及管理人员应时刻注意以下5点:

①焊接作业人员必须按照《民用核安全设备焊接人员资格管理规定》(HAF603)的要求取得相应资格证书。

②焊接材料应在合适的供方中选择,采购验收时应及

时做好焊材验收及评定工作，并保存在适宜的环境中。

③技术人员根据项目产品的材料牌号/规格、焊接接头形式选取合适的焊接工艺评定，编制项目产品的焊接工艺说明书（焊接数据包）。

④按照 RCC-M 标准要求，调整和测量焊接参数用的测量仪表的校准是必需的。按照程序的要求重复校准的周期不得超过 6 个月。

⑤焊接人员在焊接作业前，应认真并充分了解焊接工艺说明书（焊接数据包）中各要点及相关规范要求，并及时填写焊接记录。

通过对某公司 2021 年度不符合项进行分析（详见表 1），发现焊接类不符合项占比最多。

表 1 2021 年度不符合项分类

序号	类别	数量 / 个	占比
1	焊接	49	42.98%
2	外协 / 外购	28	24.56%
3	图纸	13	11.40%
4	机加工	12	10.53%
5	成型 / 防护等	12	10.53%

通过对不符合项的分析，发现焊接过程中焊接不规范行为占据主要因素。所以焊接人员需重点关注焊前坡口清理 / 环境监测，焊中工艺参数（包括氩气等惰性气体）的控制、焊后药皮的清理工作，防止焊后发生大规模返修作业，进而影响产品质量及制造进度。

## 2.5 无损检验控制

无损检验是指对材料或工件实施一种不损害或不影响其未来使用性能或用途的手段，能够发现材料或工件内部或表面所存在的缺陷，能测定材料或工件的物理性能和状态，是对核 2、3 级压力容器焊缝焊接质量的最直接的验证活动。在整个设备无损检验活动中应考虑以下 5 项：

①无损检验人员。

②作业规程。无损检验作业前必须编制相应 PT、MT、UT、RT 等规程，该作业规程可编制公司内部通用无损检验规程，也可根据项目编制项目专用无损检验规程。

③无资质情况处理。钢板、紧固件、封头等厂家无民用核安全设备制造及无损检验制造资质，对于其物项的探伤作业，需由持证人员进行探伤。故而上述物项的探伤需由采购方（核级设备持证单位、且取得民用核安全设备无损检验资质）或专业核级无损检验探伤单位（目前国内仅有 4 家单位具备独立无损检验）执行。

④渗透试剂的检定。制造单位的合格供方评定需覆盖实际渗透试剂供应商，不能单纯仅对代理商进行供方评价。

且制造单位在采购完渗透试剂后，需按批次进行第三方渗透试剂检测。

⑤温湿度控制。对于渗透检验，除非另有规定，否则在整个渗透检验过程中，被检零件和使用的渗透液的温度应保持在 10℃~50℃之间。在冬天等特殊天气时，应通过空调房或其他措施，以保证零件表面温度要求。

## 2.6 水压试验

对于设备的水压试验，一般在《出厂试验大纲》中对试验设备、试验步骤、验收标准、压力报告等进行相关规定。在水压试验时应特别关注以下要点：

①水温（碳钢设备试验用水温度不低于 15℃、不锈钢设备试验用水温度不低于 5℃）以及水质符合 RCC-M F6610 中 A 级或 B 级水质要求。

②设备准备：压力表精度等级一般为 1.0 级，油性；压力表刻度范围值应为试验压力的两倍左右，但在任何情况下不得小于 1.5 倍或大于 3 倍的试验压力（在满刻度的 1/4 与 3/4 之间）。待水温和金属壁温相近后且设备外表面干燥后，方可启动试压泵进行水压试验。

③水压试验应满足：无渗漏、无可见的变形、试验过程中无异常的响声。

## 3 结语

箱罐体设备作为应急柴油发电机组重要组成部分，在整个机组用电系统备用电源中发挥重要作用。核电机组各个部件之间的相互关联作用，使得各个组件的安全与质量愈发重要，进而对其制造又有了严格的质量控制要求。在箱罐体设备制造期间，各制造单位应对以上六个关键要素中涉及的注意事项或关键节点进行重点关注，以提升项目制造过程中整体质量和水平。只有严格按照法规、标准、采购技术规范进行设备制造，严格落实各个制造工序质量，提升作业人员、检验人员与监督人员专业水平，才能有效落实和保证发电机组的安全与质量，对国家核能事业高质量发展保驾护航。

## 参考文献

- [1] HAF003 核电厂质量保证安全规定[S].
- [2] HAF601 民用核安全设备设计制造安装和无损检验监督管理规定[S].
- [3] HAF602 民用核安全设备无损检验人员资格管理规定[S].
- [4] HAF603 民用核安全设备焊接人员管理规定[S].
- [5] RCC-M 压水堆核岛机械设备设计和建造规则[S].
- [6] 钱学宁, 鄢家洪, 高大伟, 等. 不锈钢紧固件咬死现象的工艺分析及改善措施[J]. 机械工程师, 2015(7): 175-176.
- [7] 张洁. 压力容器制造过程中的质量控制[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(1): 64-65.