

堆内构件焊接

孙 涛

浙江科路核工程服务有限公司 浙江 嘉兴 314300

摘 要：堆内构件属于核电厂的核心部分，堆内构件防松焊作为焊接质量控制的重点，焊缝质量要求高，有着焊接接头复杂、形式相近、焊点多、焊缝短等特点。本文针对防松焊工艺特点，从工艺评定、焊工取证以及现场焊接质量控制方面进行探讨，对于堆内构件锁紧帽等部件在焊接过程中出现的问题进行分析、讨论，对锁紧帽焊缝返修方案及过程控制要点做重点论述，据此为堆内构件防松焊工艺做归纳总结，为其他核电项目提供借鉴。

关键词：堆内构件；防松焊；锁紧帽；焊接控制

引言

反应堆堆内构件是堆芯重要设备，用于存放核燃料组件，由上部堆内构件和下部堆内构件两大部件组成，反应堆运行时，堆内构件为反应堆冷却剂提供通道并进行流量分配。堆内构件处于压力容器内部，其焊接多为防松焊，堆内构件防松焊对各部件之间的连接固定起着重要的作用，焊缝质量要求高。

1 堆内构件焊接接头概况

堆内构件焊接具有部件多、焊接接头复杂、形式相近、焊点多及焊缝短的特点，根据堆内构件各部件之间的连接固定关系，现场焊接涉及到的接头形式有多种。

2 堆内构件焊接工艺评定

堆内构件焊接工艺评定除了满足一般工艺评定的相关要求之外，必须针对防松焊焊接接头形式执行相应的评定试验，防松焊工艺具有其独特的评定要求。

2.1 堆内构件焊接工艺评定项目

根据堆内构件焊接技术条件规定，堆内构件焊接工艺评定共涉及2种焊接工艺，即A型和B型，其中A型因材料规格的不同又分为A-1型、A-2型，每组试验件均包含锁紧杆、垫圈、螺栓。

A型：Z2CN19-10（控氮）螺栓锁紧杆的手工TIG焊，该工艺覆盖附堆内构件其他接头中除能量吸收器、顶部流量管嘴与起吊旋入件制动块之外的焊接接头。

B型：NC15Fe螺栓锁紧杆的手工TIG焊，该工艺覆盖压力容器附件关于径向支撑块与U型嵌入件锁紧杆焊接的焊接接头^[1]。

根据母材材质的不同，A型Z2CN19-10控氮不锈钢母材选用ER308L/Φ1.2焊丝，B型NC15Fe镍基合金选用ERNiCr3/Φ1.6焊丝。根据堆内构件焊接工艺评定技术条件，确定焊接工艺评定项目如下表：

焊接工艺评定项目

序号	母材牌号	类型	焊丝规格/mm	焊接位置	数量	备注
1	Z2CN19-10（控氮）	A-1	ER308L/Φ1.2	锁紧杆水平	2件	施焊2道、4道各1件
				锁紧杆垂直	2件	
				锁紧杆45°	2件	
2	Z2CN19-10（控氮）	A-2	ER308L/Φ1.2	锁紧杆水平	2件	施焊2道、4道各1件
				锁紧杆垂直	2件	
				锁紧杆45°	2件	
3	NC15Fe（Inconel600）	B	ERNiCr3/Φ1.6	锁紧杆垂直	2件	施焊2道

工艺评定中涉及的每个零件（垫圈、锁紧杆、螺栓）均应编号，做好标记。焊接过程中使用的氩气纯度不小于99.999%，焊前零部件清洁度均应满足RCCM-F6000中A22类的要求。清洁、打磨等工具必须选用符合要求的不锈钢专用工具。

2.2 防松焊工艺特点

2.2.1 焊接顺序：堆内构件防松焊焊接顺序有着严格

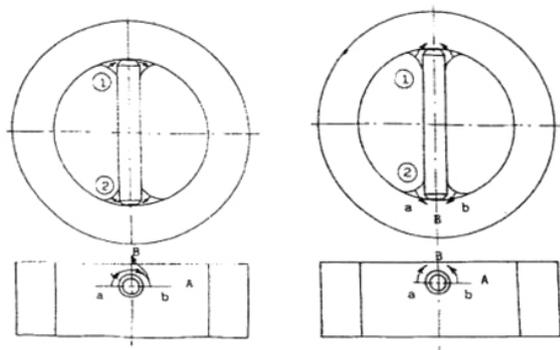
的要求，这也是与常规焊接工艺评定的不同之处，焊接2道与焊接4道到从起弧到收弧有严格区别，如下图。

1）施焊2道：首先在垫圈上A平面处起弧施焊至b处，再从b处施焊至锁紧杆B点，然后熄弧。

2）施焊4道：

a侧：在垫圈上（A平面处）起弧，施焊至锁紧销上方B处。

b侧：施焊顺序与a侧相同，注意熄弧时将电极从B处移开。



防松焊焊接顺序

2.2.2 外观检查：焊接完成后，对焊接接头进行目视检查及尺寸检查。目视检查要求无裂纹、夹钨、有争议的引弧熄弧区、表面气孔缺陷以及螺栓头熔化等现象；尺寸检查要求焊缝金属宽度必须大于或等于锁紧销的直径，同时焊缝金属和锁紧销结合处不允许存在任何形式的咬边。

2.2.3 金相及铁素体分析试验：不允许存在微裂纹和影响接头性能的沉淀物，铁素体含量范围为5%至15%。

3 焊工资格评定

由于堆内构件防松焊接接头及母材的特殊性，堆内构件焊工取证采取以评代考、考评结合的方式进行，即在核安全局监控下进行焊接工艺评定，将评定合格的结果报送核安全局审查通过后，确定执行该项焊接工艺评定的焊工取得堆内构件该项目焊接所需要的焊工资格，解决了堆内构件焊工资格的问题^[2]。

4 堆内构件现场焊接

堆内构件焊接的显著特点为：焊接接头小，形式相近，焊点多，焊接工艺及操作相对简单。但焊接接头质量要求高，表面清洁度要求高，不得有焊接飞溅等污染母材，以免在反应堆运行时造成局部应力腐蚀和化学腐蚀。

4.1 能量吸收器及基础连接板的焊接

能量吸收器相关焊接工作按照常规焊接工艺执行，但应注意其焊缝短小的特点。焊前除了保证零部件清洁度以外，还需对母材进行液体渗透检查；焊接过程中应对根部焊道以及每5mm厚度焊缝进行液体渗透检查；焊接完成后除了对焊缝表面清理目视检查之外，还需要进行液体渗透检查。以上所有检查均按照I级焊缝相关要求验收^[1]。

4.2 堆内构件防松焊

防松焊的实施应根据工艺评定项目覆盖的接头类型进行产品焊接，焊工选用通过工艺评定取得资格证的焊

工。焊接开始前首先应建立I级清洁区，对进入工作区的人员进行控制，作业人员应穿戴清洁连体服和鞋帽，鞋子要求为软底鞋，戴鞋套，务必做好防异物、防污染措施。应根据产品实际焊接位置、焊缝金属厚度及操作空间最终确定施焊顺序，但选定之后中途不得变更焊接顺序。

焊接过程中应在焊接工艺参数许可范围内尽量采取小电流焊接，降低焊接线能量。

针对堆内构件焊接接头小、接头形式相似、焊点多的特点，为避免遗漏，在现场施工活动开始前必须把每一类需要焊接的零部件统一编号。

5 堆内构件焊接过程中的问题

由于设计图纸接口问题，堆内构件起吊旋入件止动块无法安装，焊接操作空间现场施工控制等原因、锁紧帽防松焊施工过程中，出现典型的施工问题，对现场安装活动的质量与进度造成不同程度的影响。

5.1 起吊旋入件止动块的焊接

止动块安装：起吊旋入件按照相应方位拧入吊篮法兰上的孔位，再与堆内构件吊具进行装配，与堆内构件配合无误后，安装止动块并进行焊接。上下部堆内构件各有3个起吊旋入件沿吊篮法兰均布。

5.2 堆内构件锁紧帽焊接问题

海南玲珑号小堆机组上部堆内构件导向筒锁紧帽焊接检查过程中发现，锁紧帽焊接存在以下问题：焊缝边缘的母材上有弧伤，焊缝分段不均匀或焊点少于设计规格书要求，部分焊缝成型不良，甚至有烧穿锁紧帽的现象。



锁紧帽焊接问题状况

5.2.1 原因分析

锁紧帽壁厚约为0.2至0.4mm，底部凸缘厚约为2.0mm，在焊接过程中焊接电流过大、焊接速度过慢导致局部焊接线能量偏大，极易造成焊缝成型不良甚至烧穿。

经过对事件的调查多方分析，主要有以下几个方面：

- 1) 施工管理、技术、质控、操作人员质量意识淡薄，随意施工，未有效执行技术要求；
- 2) 质检工作不到位，对提出的问题不落实、不整

改, 质量控制工作局部失效;

3) 现场焊接操作空间不足, 对焊工操作造成极大障碍, 焊工无法观察熔池, 对焊缝成型情况缺乏有效控制;

4) 锁紧帽焊接开始前未进行风险分析和针对性模拟训练;

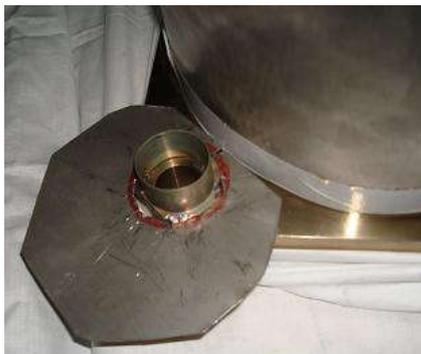
5) 参与堆内构件施工管理、质量控制的各单位部门对其焊接风险缺乏足够的认识, 未能进行有效的监督监管^[4]。

5.2.2 焊缝返修

经过多方沟通, 与设计院讨论确定将所有外观成型不良的锁紧帽全部去除, 重新更换新的锁紧帽焊接。

(1) 拆除导向筒。将安装完成的上部堆内构件导向筒全部拆出, 利用环吊吊至反应堆厂房20m大厅, 建立独立的I级清洁区, 与其他物项做好隔离, 做好防污染、防异物措施。

(2) 切除锁紧帽焊缝。首先进行模拟切割实验, 模拟现场实际情况焊接锁紧帽至厚钢板上, 按照切割、打磨、抛光组合方式切除锁紧帽。并对工人进行模拟操作训练, 达到预期效果后才能进行实际切割工作。



切割前保护

5.2.3 回装。按照安装逻辑顺序, 应先将导向筒与上部堆内构件定位组对, 将连接螺栓通过导向筒底座通孔

穿入堆内构件预留螺栓孔, 按照设计力矩值紧固螺栓。之后根据螺栓位置放置锁紧帽, 将锁紧帽凸缘与导向筒底座焊接在一起, 最后利用专用工具夹持锁紧帽, 锁紧螺栓, 防止螺栓脱落。

5.2.4 锁紧帽重新焊接。选用有资格的焊工进行焊接作业, 焊接前对其进行技术交底, 特别是质量安全意识方面做重点强调, 务必端正态度, 严格按照技术要求进行焊接作业。

总结

根据堆内构件防松焊工艺特点及其重要性, 在施工中必须树立正确的观念: 首先认识到堆内构件防松焊的重要性, 认真对待, 不得因为焊接接头工艺简单就放松警惕, 随意施工; 其次焊接开始前认真进行技术交底, 进行风险分析和模拟练习, 使焊工充分掌握防松焊要点; 最后焊接实施过程中, 对每个防松焊焊接接头做好编号, 逐个核对焊接工艺并做好施工记录, 对每个已完工接头及时检查验证, 及早发现解决问题; 焊接完成后根据图纸, 以及焊接焊接接头编号再次核查焊接情况, 避免遗漏。

综上所述, 本文全面分析了超级管道安装焊接控制的重点和难点, 并提出了具体解决方案, 有效的保证了焊接质量, 为后续核电站建设以及其他项目工程提供借鉴。

参考文献

[1]李明,马晓明,张三杰.堆内构件焊接质量控制技术研究[J].机械科学与技术,2019,22(4), 78-79.

[2]王志刚,王磊,李小刚.堆内构件焊接工艺参数优化与性能研究[J].电焊技术,2020,25(2), 45-46.

[3]张强,刘华,李东.堆内构件自化焊接技术研究与应用[J].焊接技术,2020,12(6),112-113.

[4]丁志强,周国献,杨磊.堆内构件焊接缺陷检测技术的研究[J].焊接技术,2019,48(5),71-72.