

核电工程设备焊接质量控制方法探究

林良生, 邹平国, 宋冠宇, 陈 鹏, 周小兵

(苏州热工研究院有限公司, 江苏 苏州 215004)

摘 要: 焊接是核电工程设备生产制造中的一道关键工序, 其质量的好坏直接影响到设备的安全运行和使用寿命。本文首先讨论了焊接质量控制的基本方法, 对核电设备的焊接工序, 基于各种因素的考虑, 监理单位一般采取监督分级控制的方式, 发现问题作具体分析, 并以经验反馈为导向对焊接工序进行有针对性地控制, 文中通过高压联箱在生产制造过程所发生焊接质量问题的案例, 分析了监督分级控制方式的可行性, 针对问题提出了相应的焊接质量控制措施, 对今后核电设备焊接工序的质量监督有较大的参考意义。

关键词: 焊接; 质量控制; 设备监理; 经验反馈; 核电工程设备

0 引言

焊接技术是一项关键的技术, 在核电工程中占的比重很大, 大量涉及于核电设备的建造、安装、维修过程中。焊接是设备生产制造中的一道关键工序^[1~3], 其质量的好坏直接影响到设备的安全运行和使用寿命, 其效率的高低直接影响工程的建造周期和建造成本, 其质量控制的效果直接影响到设备这道屏障的安全牢固性^[4~7]。因此, 如何保证核电设备的焊接质量、提高焊接效率、控制缺陷的产生, 是制造厂和焊接人员必须面对的课题, 也是监理人员控制设备质量的关键与难点。

受各种因素的影响, 核电设备的形成过程不可避免地会遇到各种问题。为总结经验教训, 防止问题重复发生, 世界各国核电工程建设单位普遍会采取自我评价的方式, 建立通报建档、学习培训、经验反馈等制度^[8~10]。其中, 经验反馈是通过信息采集、分析、反馈与跟踪等阶段来完成运作, 不符合项(Not-Confirmation Report, 简称 NCR)是其主要经验信息的表现形式之一^[11]。

基于此, 本文首先讨论焊接质量控制的基本方法, 再分析监理单位实际采取的监督分级控制方式, 并以经验反馈中的案例有针对性地提出焊接质量控制措施, 以供今后监督焊接工序借鉴。

1 焊接质量控制基本方法

焊接工序一般包括原材料、焊材、坡口准备和装配、施焊、焊后热处理等工艺, 根据焊接工艺流

程和核电设备建设对焊接工序的整体要求, 焊接质量控制可分焊接前、焊接过程、焊接后三个阶段, 包含人员、材料、设备、环境、工艺、施焊(含返修)、检测等影响焊接质量的基本要素。

1.1 焊接前质量控制

进行焊接前质量控制有很大的必要性, 能有效地降低缺陷产生的概率, 控制对象主要有人员、材料、设备、环境、工艺等。

1.1.1 人员

优秀的焊接人员(一般指焊接工程师和焊工)是高质量焊接结构制造的重要保证。焊接工程师是焊接工艺文件的制定者、焊接生产的指导者和焊接工艺的管理者, 焊接技术人员的技术水平直接影响到焊接工艺文件的质量。焊工是焊接的实际操作者, 其焊接工作技能、职业习惯和质量意识直接关系到焊接的质量。监理人员应检查焊接人员的资质是否满足标准和合同的要求及相关部门的规定。

1.1.2 材料

材料包括原材料和焊材, 制造厂首先应建立完善材料管理制度。原材料到厂后一般应进行材料复验以验证其各项性能是否满足采购技术规格书的要求, 合格后按要求标识, 方可入库; 保管好焊材是保证焊接质量的基本条件, 制造厂应设置相应等级的焊材库, 严格执行焊材管理制度。监理人员应尽可能地从事材料入厂后就介入控制, 跟踪原材料入库情况, 必要时应对复验过程进行监督, 不定时地查看焊材库, 重视焊材的保管情况。

1.1.3 设备

先进的焊接及相关设备是焊接质量和效率的重要保证。设备要需专人管理、保养、定期维修。设备的参数仪表应在有效期内经专业部门检验、校正,保证工装、卡具的完好,并定期检查记录。

1.1.4 环境

作业环境是影响焊接质量的因素之一,国标、行标等均有相关规定,如依据 GB150-1998,在压力容器制造时,监理人员应禁止制造厂在手工焊时风速大于 10m/s、气体保护焊时风速大于 2m/s、相对湿度大于 90%或雨雪等环境且无有效保护措施的情况下进行施焊。

1.1.5 工艺

焊接工艺评定是制定焊接工艺规程的主要依据,焊接工艺规程是焊接生产的主要指导性文件,是控制焊接质量的关键工艺文件,因此建立健全严格的焊接工艺规程是焊接质量保证体系的重要内容。在焊接工艺评定阶段,监理人员应适当地进行跟踪,对核一级等关键设备的焊接工艺评定应如同设备焊接一样进行监督。必要时,焊接工艺规程应提交业主等相关单位得到批准后才能执行。

1.2 焊接过程质量控制

焊接过程是设备的实际生产制造过程,对其进行质量控制可有效地预防并及时发现焊接缺陷。在此过程中,监理人员的工作重点是监督执行焊接工艺规程所规定的内容和要求。

1.2.1 焊接过程

焊工凭施焊单领取焊材。焊条应分类存放在保温筒内,并对保温筒进行通电保温,使用过程中只允许一次拿一根,然后盖好保温筒。

焊工必须严格按照焊接工艺规程所规定的内容进行施焊,不得凭经验擅作更改。施焊过程应对预热温度、层间温度、电流、电压、焊速、焊层厚度、焊道宽度、气体保护效果、气流量、焊接环境等相关参数不定时检查,确保这些参数均满足焊接工艺规程的要求。必要时应作焊后热处理。

需焊接试板时,试板的材质与工艺必须与设备主焊缝(主要是纵缝)完全相同。

1.2.2 可追溯性控制

核电设备建设的所有过程均有可追溯性要求,即受控焊接接头的焊接过程应有书面记录。记录内容包括焊缝名称与编号、焊工姓名、钢印号、所用焊材牌号、规格、焊接参数、焊后热处理记录等,

这些记录均应附含在完工文件中。

1.2.3 返修

设备需要返修时,首先应有完整的文件保证,包括合理类别的 NCR、适用的返修方案等,补焊过程应严格按照相关文件要求执行,必要时监理人员应对返修进行全过程监督。

1.3 焊接后质量控制

焊接后质量控制主要是通过无损检测等手段验收相应焊缝的表面质量、接头内部质量、焊件基本性能及特殊性能,以发现焊接接头缺陷,评价焊接质量,及时处理不符合项。

2 基于经验反馈的焊接质量控制措施

监理人员从上述基本要素着手可实现对焊接工序的基本质量控制。然而,在实际生产过程中,基于核电工程设备种类繁多、焊接工序覆盖面大、人力资源有限等因素的考虑,监理单位很难对所有核电设备焊接工序的各个阶段均作控制,而是针对核电设备的质保等级与制造厂潜在的薄弱环节,采取监督分级控制的方式,对与焊接工序相关的工艺各有侧重点地实施监督。一般地,对核一级设备尽可能地实行全面监督,对核二级设备侧重焊接后检验监督,对核三级及以下设备采取抽查监督焊后检验或审查相关报告的方式,同时可依实际情况决定是否增加焊接过程的巡检监督。在监督过程中发现焊接质量问题,监理人员应先作原因分析,再采取相应措施,最终形成经验反馈,并以经验反馈为导向对焊接工序进行有针对性地控制。

核电高压联箱包括主蒸汽系统、给水调节系统、高压给水加热器系统等的联箱及各类疏水联箱,选用低合金钢 WB36CN1 为母材,有大量 B 类和 D 类焊缝,具有工作量大、冷裂纹敏感性强等焊接特点。对其焊接工序,监理人员采取的是侧重焊后检验监督的方式。

2.1 焊接质量问题分析

某核电机组高压联箱在生产制造过程中共产生 52 起 NCR,各工序所占 NCR 比重见图 1。从图中可以看出,焊接工序质量问题的比重最大,高达 38.5%,远大于其他工序。其中,主蒸汽联箱的大接管发生首次焊后超声波检测发现大面积超不合格缺陷,一个角焊缝甚至需要四次返修的事件。这就提醒监理人员对该设备的焊接工序应采取必要措

施, 加强监督, 控制类似问题的发生概率。

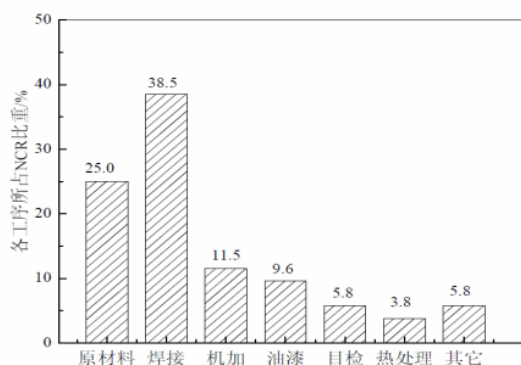


图1 各工序在高压联箱制造中所占NCR比重

对NCR的控制和妥善处理, 是确保设备质量和核设备安全、构筑核安全第一道防线的重要保证。对所有焊接质量问题的NCR进行分类、分析和总结发现, 问题主要表现为: 焊接过程操作违规, 如被监理人员发现焊工中途中断焊接一段时间后未按焊接工艺规程要求检测预热温度就继续焊接, 且实际预热温度低于允许温度; 焊后无损检测发现不合格缺陷, 如气孔、夹渣、未融合等, 各具体问题所占比重见图2。

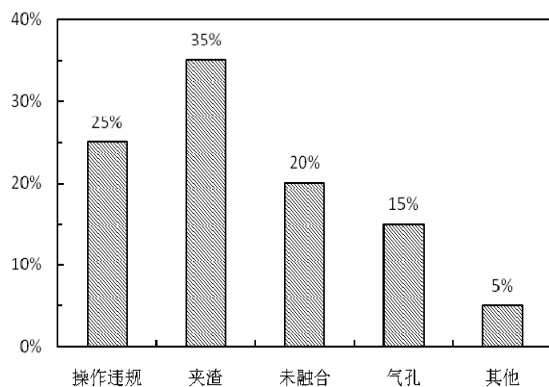


图2 具体焊接质量问题所占NCR比重

2.2 焊接质量问题的产生原因

高压联箱焊接工序涉及的焊接方法有焊条电弧焊、埋弧焊、氩弧焊等多种, 影响的因素分重要、补加、次要等种类, 对其焊接工序NCR频发的主要原因, NCR中原因分析项的叙述是焊接过程中焊材可达性不够、起弧和收弧不良、道间清理不到位或焊接过程的出现异常等。这些原因均属于焊接过程操作不当, 然而同一原因带来如此多的同类问题是不可能的。根据监理人员的反馈以及对制造厂相关情况的了解, 纠其深层次因素, 发现还与下列几个方面有关:

1) 制造厂的质量管理体系不够完善, 部分相关人员的职责划分不明确, 质保人员积极性待提高。

2) 制造厂首次接触该种焊材, 焊接工程师很少下车间针对该设备的焊接进行技术交底, 焊工之间缺少必要的互动, 使得焊工对焊材与原材料之间焊接特性的掌握不够透彻, 尤其是年轻焊工。

3) 焊缝形式带来一定的焊接操作难度。高压联箱的大多焊接坡口较深(B类焊缝最大尺寸为 $\Phi 914 \times 78 \text{ mm}$, D类焊缝最大尺寸为 $\Phi 813 \times 42 \text{ mm}$), 底层弧坑较窄, 不利于焊缝打磨和残渣清除, 而焊接层数和道数也多; 疏水联箱的接管与筒身成 45° , 小角度位置不便于施焊与打磨。

4) 焊接工序所占工作比重很大, 按焊接工艺要求焊接预热温度为 $120 \sim 150^\circ \text{C}$, 层间温度为 $120 \sim 200^\circ \text{C}$, 工作量大和高温焊接条件不免使焊工存在疲劳焊接的现象。

5) 由于各种原因, 高压联箱开工延期, 而核电机组现场对高压联箱的需求较急, 业主派有专人在制造厂跟踪, 使得制造厂存在赶工期的现象, 给焊接质量带来潜在的负面影响。

2.3 针对问题采取的焊接质量控制措施

从图2可知, 焊接质量问题NCR大多是由于焊后检验发现焊缝存在不合格缺陷而产生的, 占70%的比重, 这就说明对高压联箱制造过程采取侧重焊后检验监督的方式是有效的, 有效地避免了设备带不合格缺陷进入下道工序的事件发生。

高压联箱在生产制造过程中焊接质量问题严重, 且有同类问题屡次发生的现象。其实, 从经验反馈数据库中其他关于焊接质量问题的数据可以看出, 类似问题也存在于在其他核电设备如堆内构件、汽轮机等的生产制造过程中。因此, 在核电设备生产制造过程中采取监督分级控制的同时, 监理人员还应注重细节控制, 遇到问题作具体分析处理, 有针对性地加强焊接工序薄弱环节的监督, 以有效的措施预防类似问题的发生, 可从以下几个角度考虑。

2.3.1 重视质量管理体系运转, 调动人员积极性

为使核电设备的生产制造过程在监控范围之内, 并满足顾客和法律法规要求, 制造厂应编制质量保证大纲, 建立并保持质量管理体系的有效运转, 配置相关人员(包括质保人员QA、QC), 明确各人员的职责所在。对于焊接工序, QC人员的主要责任是焊接过程的抽查, 焊接质量的检查、确认; QA

人员的主要任务是监督焊接施工活动及其结果是否符合程序和有关规定的技术要求等,有权制止一切焊接工作。目前,国内不少制造厂,尤其是一些私营企业,基于各种原因,均不同程度地存在弱化厂内QA、QC人员作用、依赖监理人员监督的现象,然而分布在各个制造厂的监理人员一般人数有限,其能力、精力也有限。因此,在焊接质量控制过程中,监理人员可将“人员”这一基本要素包含范围扩大化,把制造厂QA、QC人员囊括进来,不定时地对他们宣贯核安全文化,调动他们的积极性,充分发挥他们的作用,如可使其经常在车间检查焊接过程操作是否不当或违规,往往能事半功倍,从而为核电设备的安全增加一道有力屏障。

2.3.2 巡查焊接人员技术水平,促进进行技术交底

焊接人员的技术水平不可避免地存在差异,因此监理人员在确保焊接人员资质满足要求的同时,还应巡查焊接人员的技术水平,尤其是对刚加入核电设备焊接的人员,必要时可要求制造厂采取培训等措施以提高焊接人员的素质。高压联箱在生产制造过程中产生如此多焊接质量问题NCR的原因之一就是焊工对材料焊接特性的掌握不够透彻的情况下焊接人员之间又缺少必要的互动。因此,提高焊接人员的技术水平和增强人员之间的技术交流有很大的必要性,技术交流的内容应与焊接工艺规程、技术方案的细节相同,并且增加质量要求、施焊要领、注意事项及焊接安全等内容。当意识到此问题后,制造厂针对高压联箱的焊接编制了操作规程,增加培训,邀请一些经验丰富的老焊工对焊工进行指导,邀请焊材厂商技术人员对焊材的特性作技术讲解,开展焊接人员之间的互动学习,通过上述措施后,后期同类设备的焊接质量得到明显改观,返修率也相应降低。

2.3.3 关注焊前装配和焊接坡口的影响

焊接坡口形式和尺寸要求对焊接存在较大的影响^[12],焊前严格控制母材组对的装配质量,一可以确保设备尺寸满足图纸要求,二便于顺利施焊。接管和筒身的角焊缝有安放式和插入式两种,由于插入式焊缝结构比安放式结构复杂,且其结构与位置导致焊接较为困难,故在满足焊缝强度的同时,制造厂采用安放式角焊缝。疏水联箱特殊角度的焊缝是焊接的难点,引起了制造厂和监理人员的重视,在焊接过程中,焊工先用细焊条打底焊,再用粗焊

条盖面焊,尽量避开在小角度位置起弧和收弧,中间过程采用较薄的砂轮打磨并增加打磨次数,确保打磨质量,从而有效地减少了此类焊缝的焊接质量问题,控制了NCR的产生。

2.3.4 注意其它因素的影响

作业条件不仅直接影响设备的焊接质量,也影响焊工在施焊过程中的精神状态,恶劣的作业条件和大量的工作必然提高了焊工的劳动强度,进而影响焊接质量的可靠性。因此,监理人员应注意制造厂的工作安排(必要时可干预),尽量避免焊接任务过于集中且持续时间较长,以预防焊工疲劳操作的现象发生。

此外,任何工程建设均有周期与成本控制,因此进度不必忽视地贯穿于整个工程中,当然也包括焊接这道工序。上文所述主蒸汽联箱发生严重焊接质量问题事件的原因之一就是核电现场对该设备的需求较急,致使焊接时间相对缩短。因此,在设备焊接过程中,制造厂和监理人员还应经常关注进度带来的各种影响,适当地缓解焊工的压力,明确核电设备的进度是以质量为保证的。

3 结束语

焊接是核电设备生产制造过程中的一道关键工序。本文首先讨论了焊接质量控制的基本方法,对核电设备的焊接工序,监理单位一般采取监督分级控制的方式,遇到问题作具体分析,并以经验反馈为导向有针对性地进行控制,文中通过经验反馈数据库中高压联箱在生产制造过程中所发生大量焊接质量问题的案例,分析了监督分级控制方式的可行性,并针对问题提出了相应的焊接质量控制措施。通过这些措施,再结合焊接质量控制的基本方法,可有效地提高核电设备焊接的质量和效率,对今后核电设备焊接工序质量监督有较大参考意义。

参考文献:

- [1] Robert W Messler. Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology[M]. Butterworth-Heinemann, 2004.
- [2] 陈泽盘,蒲亨前. 锅炉压力容器焊接质量控制系统的建立与质量控制[J]. 电焊机, 2007, (12): 49-51.
- [3] 刘志华,厉克勤,焦好军. 焊接工艺裕度及其与焊接质量保证的关系[J]. 焊接学报, 1996, 17(3): 188-197.

- [4] 黄慧.压力容器焊接质量控制[J].焊接技术,2002(5): 59-60.
- [5] 廖传庆.电站焊接质量控制[J].电力建设,2001 (8): 61~64.
- [6] 熊文.大型工业设备安装工程中焊接质量控制的重要性分析探讨[J]. 工艺与设备, 2009(7): 259-262.
- [7] 陈刚.电站安装焊接质量控制[J].现代焊接,2004(4): 48-49.
- [8] 李洪涛,丁莹.核电站运行经验反馈活动的自我评价[J].核标准计量与质量, 2006, 78(3): 37-50.
- [9] Thomas Murley. Regulatory Challenges in Using Nuclear Operating Experience[R]. NEA OECD, NEA No.6159, 2006.
- [10] 郝晓峰.民用核设施运行经验反馈[J].核动力工程. 1998, 19(1): 83-88.
- [11] 邹平国, 张丽英, 张文中. 核电工程设备监理经验反馈体系的构建[J]. 核动力工程, 2009, 30(4): 100-104.
- [12] 王占英, 董惠芳, 张艳辉. 压力容器 D 类焊接接头质量控制[J]. 焊接技术, 2009(10): 50-53.

作者简介:

林良生 (1982-), 男, 福建武平人, 工程师, 硕士, 主要从事核电设备监理工作, E-mail : linliangsheng@cgnpc.com.cn。