



超超临界二次再热塔式百万机组焊接施工管理

程文俊 苗慧霞

【摘要】 莱芜电厂6#超超临界二次再热塔式百万机组是目前国内工作参数最高，受热面焊道数量最多，钢材种类最多，作业空间最狭小、工期要求最短的锅炉。本文从焊接质量、安全施工、施工进度及成本控制等方面对焊接施工过程进行了详细的介绍，形成了一套成熟的焊接施工管理经验，同时为今后同类机组的施工提供可靠的借鉴。

关键词： 焊接；质量；安全；进度；成本

近年来，我国的电力工业保持了持续快速的发展。火电工程领域，二次再热机组因具有发电煤耗低、机组热效率高、污染物排放少等特点，逐步成为我国大容量、高参数火力发电机组大力推广应用的的首选技术之一。就华能莱芜电厂超超临界2×1000MW二次再热机组来说，其机组的特点对焊接施工是一个巨大的挑战，除了要解决存在的焊接技术难题，另外如何保证焊接质量和安全，加快施工进度并控制施工成本均是亟待研究的课题。

1. 工作量统计

根据图样与合同：本机组工作参数达到：31MPa、623℃，受热面内空间位置极其狭小（管屏间距最小58mm，管间距仅为22mm），受热面焊接施工时间为8个月，材质及焊道数量如表1

所示。

2. 组织管理

(1) 成立项目焊接组织机构 如图1所示。

(2) 组织策划 二次再热塔式锅炉，“五新”技术应用多，现场不可预知的风险多，对焊接质量要求极高、标准要求极严。

表1 材质一览表

序号	材质	焊道数量（只）
1	SA—213TP347HFG	3840
2	SA—213TP310HCbN	2136
3	SA—213S30432	4512
4	SA—213T92	2160
5	SA—213T91	288341
6	12Cr1MoVG	22533
7	15CrMoG	14515
8	SA—210	7680
合计		87657

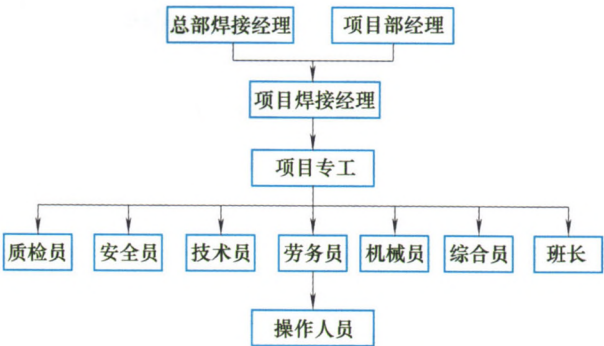


图1 项目焊接组织机构

为确保工程施工质量，通过精心组织、超前策划，成立项目焊接组织机构和焊接工艺研究项目办公室。焊接工艺研究项目办公室通过研究招标文件对本机组施工中可能遇到的镜面焊接、细晶粒奥氏体不锈钢焊接、超厚壁大径P92管道焊接及热处理等技术工艺进行研究、试验。

项目焊接组织机构成立的质量管理小组，进行施工全过程质量管理；成立的安全管理小组，进行施工全过程安全管理；成立的进度管理小组，进行施工全过程进度管理；成立的成本管理小组，进行施工全过程成本管理。

通过提前与设计院接触→设计交底→图样会审→施工图样，逐步了解施工内容，统筹安排工艺试验、人员培训、材料采购、气体准备、机具布置、人员进场，安排与安装、焊接、热处理、检测之间的合理搭配；方案准备与论证等。

3. 质量管理

(1) 新型工艺、技术 对新型奥氏体耐热钢SA—TP347HFG研究分析后，制定初步方案、按照DL/T868《焊接工艺评定》进行焊接工艺评定，编制焊接施工方案（包含焊接工艺卡），经四级审核（焊接项目、总部、监理、业主）、批准后方可实施。

(2) 焊工技能培训 制定科学、合理的焊工培训方案；研制镜面焊培训模拟架（正在申请专利）；采用“一种适用于焊接培训用的管道V形坡口加工设备”，保证培训进度。制定了科学、严谨的焊工培训方案，研究制作了高仿真镜面焊接培训模

拟架，挑选优秀高压焊工进行培训。由公司首席焊接技师指导，以模拟现场实际，进阶式培训为主，通过大量的培训练习，循序渐进、由易到难，将高压焊工培训成为全能镜面焊工。培训完成后进行严格的考核选拔，合格者颁发镜面焊操作技能证书参与施工，为项目施工储备了大量高技能镜面焊工人才，如图2所示。

(3) 模拟练习 焊前严格按照“五同”（即：同位置、同规格、同材质、同人员、同环境）进行模拟练习，受热面连续12支焊道经断口或射线探伤合格后方可进行焊接。

(4) 焊接材料 制定严格的焊接材料管理办法。采购正规厂家经过焊接工艺评定的焊材。焊材符合国家标准或ASME标准，具有质量合格证明书，按照相应的标准对到货焊材进行验收、复检、鉴定。焊材库内设置恒温、恒湿装置，库内焊材摆放规范、挂牌标识。焊材使用前按照说明书或包装箱（盒）上标识的温度进行烘焙。领取焊材时，需持有恒温温度为80~110℃的专用保温桶，并在保温桶上做好所盛装



图2 培训练习

焊材类别的标识。同一焊材重复烘焙次数不超过两次。针对焊丝上的标识较小不易看清问题，在不同的焊丝末端涂抹不同的颜色来区分，大大降低了焊丝混淆为题。用氩气纯度分析仪对集中供氩的氩气进行纯度测量，氩气纯度需>99.99%。

(5) 工器具 所用焊机、热处理机及热处理备用发电机性能正常、稳定，测量工器具、仪表（如：热电偶、记录仪、焊条烘箱）等按规定的计量周期进行计量且在有效合格期内。

(6) 交底 施工前有方案编制人员向施工操作人员做详细的施工方案交底，使其明白操作方法和要领及质量标准。

(7) 环境控制 当气体保护焊风速>2m/s、其他焊接方法风速>8m/s时，用防风篷做挡风措施。当环境温度低于如表2所示的温度时，对环境温度通过电加热或其他方式提高环境温度，否则禁止施焊。环境相对湿度≤90%，焊接场所设防潮、防雨、防雪措施。

(8) 坡口与组对 坡口加工与打磨采用机械方法，直至露出金属光泽，清理范围为坡口内外15mm。组对时做到内外壁齐平，不齐平时可在较厚侧做锥度不超过1：3的削薄处理。管子端面与中心线垂直，其偏斜度≤0.5mm

(9) 过程控制 操作人员按照施工方案交底内容进行施工。

表2 每类钢材的最低施焊环境温度要求

类别	A-I	A-II	A-III	B-I	B-II	B-III
温度/℃	-10	0	0	0	5	5

注：以上所述“类别”参考DL/T868进行分类。

按照焊接工艺卡或热处理工艺卡的要求进行焊前预热。对于 $w_{Cr}>3\%$ 或合金总含量大于10%的管子内壁充氩进行保护，当需要采用内加丝进行打底时，在管子内壁涂抹5mm宽、1mm厚的防氧化保护剂，进行双重保护，如图3所示。

对施焊管子两端进行封堵，防止有穿堂风。定位焊采用与母材相异的定位块时，应先堆敷厚度 $\geq 5\text{mm}$ 的过渡层。焊接过程用红外线测温仪或接触式数字测温笔进行层间温度测量，防止层间温度超过施工方案所规定的数值。控制焊接时焊层厚度不超过所采用焊材直径，焊道宽度不超过焊材直径的3倍。对于不锈钢，为了细化晶粒和降低晶间腐蚀出现的几率，焊后在母材两侧用蘸有纯净水的白布贴覆冷却，如图4所示。

施焊过程，接头应错开，收弧时将弧坑填满，施焊过程被迫停止时，采取用保温棉包覆等防止裂纹产生的措施，不得对变形的焊接接头采取加热矫正。

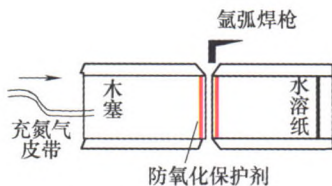


图3 根部双重保护



图4 贴覆冷却

对于传统镜面辅具采用磁铁吸附却无法吸附不锈钢类非磁性母材问题，集思广益研发了能固定任何母材上的新型镜面辅具，提升了镜面焊接过程镜面熔池的稳定性，提高了焊接质量。

焊接管理人员进行全过程监督跟踪、每位管理人员每天抽查至少两处进行旁站监督。大量的水冷壁管排需要热处理，针对管排特点我们研制出各类管夹、托架来辅助热处理，如图5、图6所示，很好的完成了热处理作业，取得了良好的效果。

焊接、检测完成后，利用数据库对焊接情况进行统计，针对出现的质量缺陷及时分析、找出原因、采取措施。同时增加合金钢焊接接头光谱分析的抽检比例和热处理焊接接头硬度检测的比例。

4. 安全管理

(1) 安全员 部门设置专职



图5 热处理辅具

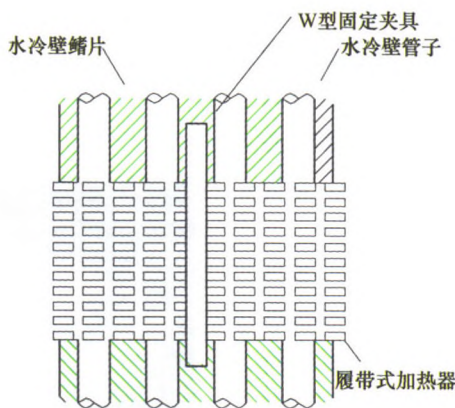


图6 竖立管排辅具

安全员，接受项目部安全监督部门的监督、考核、指导。

(2) 安全措施制定 对施工中每一个过程和步骤进行深入剖析，分析出可能出现的危险因素，并有针对性的制定控制方案，编制危险因素及控制方案。每位技术人员针对所“管辖”区域每月进行危险因素辨识和风险评价，确定每月重大危险因素，制定相应的控制措施或控制方案，填写《月度重大危险因素清单及控制表》，在月度安全分析会上讨论通过，并发布实施。

(3) 安全检查 每月必须进行一次拉网式安全大检查，对查出的问题按照定人、定措施、定时间的“三定”原则进行整改，并对整改措施进行复查。采用：日常巡查、专项检查、季节性检查、定期检查及不定期抽查等方式进行安全检查。

(4) 安全会议 每月至少召开一次由项目焊接经理、班长、安全员、技术人员参加的安全分析会，安全员将当月的事故和违章、安全施工措施、安全设施、职业病防治等情况进行分析，讨

论通过月度重大危险因素及控制措施,形成会议纪要,下次会议对上次会议的问题进行关闭,资料建档。

(5) 安全教育与培训 每位员工均进行三级安全教育与日常教育,且每年的再教育课时不少于20学时。培训和教育后经考试合格方可上岗。

(6) 安全交底 每项作业开工前、中断7天重新开工,跨月度、中间换人或增人均要进行安全交底、签字确认,做好记录

(7) 安全施工 班组和安全员做好开工前的空间位置、环境、作业人员等安全检查工作,对于安全措施不到位的情况,拒绝安排人员施工。施工中执行“一对一”监护制度,互相监督、互相提醒,发现违章现象或不安全因素及时制止或消除。施工中安全环境或状况发生变化,不符合安全施工时,操作人员及时停止施工。管理人员做好过程安全检查工作。

5. 进度管理

(1) 明确公司及项目部的整体施工计划 以项目部和业主签订的施工合同的进度计划为主分解焊接部门的施工进度计划。参加项目部每天召开的工程协调会,加强与安装、检测等部位的沟通,及时解决施工中遇到的各种问题,并超前考虑安排,最大限度的合理安排时间。

(2) 提高施工效率 按照已取得的《SA213—T91钢焊接施工工法》、《镍基焊材Thermanit617焊接新型不锈钢HR3C和SUPER304H施工工法》、《SA—213TP347HFFG钢

焊接施工工法》等相关工法进行施工,极大地提高了施工效率,保证了施工进度。

加强施工机械的保养维修,提高施工机械的完好率和利用率,避免因设备故障造成停工、窝工。

激发广大职工建功立业的劳动热情,开展劳动技能竞赛、创先争优、大干一百天活动,不断掀起施工高峰。

(3) 优化焊接顺序 需要镜面焊接的部位,改变传统的以整列焊接为主、整行焊接为辅的焊接顺序,采用以整行焊接为主、整列焊接为辅的焊接顺序,如图7、图8所示,避免了当天焊完一列后必须等待探伤全部合格无任何返修后才可进行下一列焊接的弊端,采用改进后的焊接顺序,第二天可以继续焊接其余的待焊焊缝,极大地提高了焊接效率。

(4) 采用气动磨光机进行修补 由于传统电动修磨工具体积大、在狭小空间内无法操作,必须把该只焊道相邻管子割开才能返修。采用新型气动焊缝修磨装置,借助镜面焊工装处理视线盲区内的焊接缺陷,保证焊缝质量,降低劳动强度和工作量,保证了施工进度。

6. 成本管理

(1) 人工成本 一般焊接作



图7 整列焊接

业人工费占据焊接总成本的70%左右,根据施工组织设计和施工方案及施工实际情况合理安排人员调入项目部时间,可有效降低人工成本。

(2) 材料机械成本 大宗焊材实行招标制度,降低采购成本;实行定额领料、限额领料,超限额领料经审批的原则,现场控制消耗、防止丢失,按照发出的数目回收焊材头等措施,极大地降低了材料消耗。保证施工机具的完好率和利用率,降低了机械使用成本。

(3) 返修成本 采用新型气动焊缝修磨装置,借助镜面焊工装处理视线盲区内的焊接缺陷,避免了传统电动修磨工具体积大、在狭小空间内无法操作,必须把该只焊道相邻管子割开才能返修的弊端,避免了大量的割口返工,降低了人工、材料、机械成本。

(4) 其他措施 ①加强员工培训,提高全员成本意识。②通过加强施工过程的控制和管理,实现产品一次成优,降低返修率,在加快工期的同时,也降低了质量成本。③工法的使用也对降低施工成本有巨大的推动作用。

7. 应用效果

经过合理的组织、安全、质



图8 整排焊接



燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉典型缺陷修复

曾小云 吕一仕 刘正宇 孙斌

【摘要】 某电厂燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉在技术监督检验中,发现高压锅筒、中压锅筒管座角焊缝存在裂纹缺陷,以及再热冷段管道异种钢接头焊缝硬度超标等典型缺陷。针对缺陷的主要特征提出了修复方案,最终成功修复了上述缺陷。

关键词: 联合循环机组;金属技术监督;典型缺陷

某电厂燃气-蒸汽联合循环机组燃机型号为日本三菱提供的M701F,汽机型号为东汽提供的TC2F—30,余热锅炉为杭锅制造的三压、再热、卧式、无补燃、自然循环余热锅炉,型号为NG—M701F—R。该机组采用日起停调峰运行方式,部件失效除了在基建中存在的缺陷导致外,大部分为热-机械疲劳、腐蚀等原因造成,以往发生过多起金属部件失效情况。某次技术监督检测过程中,发现锅炉高压锅筒、中压锅筒管座角焊缝存在缺陷,

再热冷段管道不等厚P91/P22异种钢接头焊缝硬度严重超标,均为机组建造、维修中经常出现的典型缺陷。

1. 缺陷情况

(1) 高压锅筒下降管角焊缝气孔缺陷(缺陷1) 余热锅炉高压锅筒设计工作温度329℃,设计工作压力12.07MPa,检查中发现高压锅筒下降管角焊缝存在表面气孔。打磨清除后,测得打磨沟槽长61mm,最深5.5mm,开口最宽10mm,沟槽形貌如图1所示。该高压锅筒筒体材料为

SA516Gr70钢,内径1900mm,取用壁厚105mm,长13400mm。下降管材料为SA105,接管外径566.4mm,取用壁厚106.2mm,管端外径406.4mm,壁厚26.19mm。

(2) 中压锅筒上升管角焊缝裂纹缺陷(缺陷2) 余热锅炉中压锅筒设计工作温度257℃,设计工作压力4.07MPa,检查中发现扩建端上升管角焊缝出现裂纹,形貌如图2所示。该中压锅筒筒体材料为SA516Gr70钢,内径1250mm,厚度28mm,

量、进度、成本管理,实现了单月完成焊道18700道、连续三个月单月完成焊道突破17000道的施工记录,如期、高效、环保的完成了该项目的焊接施工。焊后一次探伤合格率99.5%,完成了水压、冲管、168运行一次成功,2015年12月23日完成168h试

运行移交投产,目前该机组已正常平稳运行约7000h。该项目于2016年10月24~27日在珠海举办的中国工程建设焊接协会第七次会员大会获得2016年全国优秀焊接工程一等奖,该奖项是对莱芜6#机组安装焊接施工作业莫大的肯定。

8. 结语

本工程的焊接施工管理经验必将为今后更多的焊接施工提供可靠的借鉴,具有较好的推广价值。

作者简介:程文俊等,山东电力建设第一工程公司。

MW 20170504