

火电工程金属监督质量控制研究

程玉杰

内蒙古华电腾格里绿色能源有限公司巴彦浩特发电分公司, 内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗, 750306;

摘要: 火电工程质量直接关系到机组安全稳定运行与电力供应可靠性, 金属监督作为火电工程全过程精细化管理的核心内容, 通过对关键金属部件的质量管控, 可有效防范因材料缺陷或焊接质量问题引发的重大事故。本文基于《火电工程金属监督质量控制指导意见》及相关行业标准, 系统阐述火电工程金属监督的管理要求、核心思路与安全性能检验重点难点, 深入分析设计、制造、安装等阶段的典型金属质量问题及成因, 提出覆盖全流程的金属监督质量控制措施, 为火电工程金属监督工作的规范化、标准化开展提供理论支撑与实践参考。

关键词: 火电工程; 金属监督; 质量控制; 全流程管控; 缺陷防控

DOI: 10.69979/3041-0673.26.04.032

引言

随着火电行业向高效、清洁方向发展, 机组参数不断提高, 金属部件服役环境愈发严苛, 其质量安全对工程整体质量的影响愈发显著。火电工程金属监督贯穿设计、制造、安装、调试、运行等全生命周期, 聚焦关键金属设备与部件的质量管控, 是防范金属材料缺陷、焊接质量隐患的关键手段。

当前火电工程金属监督面临设备制造扩散广、质量参差不齐、检验时机不合理、各环节质量问题扯皮等现实挑战。本文立足行业实践, 梳理金属监督核心要求与典型问题, 构建全流程质量控制体系, 为提升火电工程金属监督实效、保障机组长期安全稳定运行提供解决方案。

1 火电工程金属监督核心要求与工作思路

1.1 管理要求与控制目标

管理要求: 火电工程金属监督是工程建设全过程精细化管理的重要内容, 依据《火电工程金属监督质量控制指导意见》, 明确质量控制目标、措施及检验、验收、签证等各环节要求。通过系统化、规范化的监督管理, 实现对金属材料、焊接质量、部件性能的全链条管控, 确保关键金属部件符合行业标准与设计的要求。

控制目标: 核心目标是在火电工程建设过程中, 杜绝因金属材料缺陷、焊接质量不合格引发的重大质量事故, 保障金属部件在设计服役周期内的安全可靠运行, 提升火电工程整体质量水平与长期经济效益。

1.2 安全性能检验的重点和难点

检验重点: 安全性能检验聚焦关键金属部件, 重点包括汽包或汽水分离器、联箱、减温器、启动分离器、受热面、除氧器、高 / 低压加热器、大于 5m³ 空气罐、

定连排扩容器等设备。检验工作关口前移至制造厂, 在设备出厂前消除质量问题, 从源头把控设备质量。

检验难点: 受热面检验面临检查比例高、射线探伤操作难度大等问题。按要求, 合金钢管及其焊缝需 100% 光谱检查; T23、Super304H、T91、T92、HR3C 等同种钢对接焊口需抽查 10% 进行射线或相控阵检验, 其余材质焊口抽查 5%; 异种钢对接焊口抽查 20%。此外, 需增加磁粉、渗透检验, T91/92 手工焊收弧位置更要重点关注。当前安全性能检验还存在监督内容不完善、项目重视度不足、制造厂配合度低、质量问题处理不到位等突出问题, 影响检验工作实效。

1.3 金属监督工作思路

明确监督范围: 将关键设备纳入监督范畴, 包括锅炉本体、汽轮机、发电机、四大管道、除氧器、高低压加热器、热网加热器、氢气(液氨)储罐等压力容器, 实现核心金属设备全覆盖。

实施全过程监督: 覆盖设备监造、安全性能检查、设备安装、验收及签证等关键环节, 贯穿设计、制造、安装、检验、调试全流程, 构建全生命周期技术监督与技术管理体系。

多元质量控制方式: 采用“设备监造 + 安全性能检查 + 安装质量抽查 + 清洁度检查 + 安装监理 + 节点验收及签证 + 第三方金属监督”的多元控制模式。设备监造与安装监理委托有资质、业绩优良的单位实施; 安全性能检查、安装质量抽查、清洁度检查由具备相应资质的检验机构承担; 第三方金属监督专注于关键设备、关键环节的监督与技术支持, 区别于监造与监理工作, 为质量问题解决提供专业技术支持。

2 火电工程各阶段典型金属质量问题及成因

2.1 设计阶段典型问题

设计阶段的核心问题集中在结构不合理,易导致应力集中、流体阻力异常等隐患,引发部件断裂或裂纹。

三通与弯头连接结构不合理:某工程 #1 炉后屏出口集箱至高过进口集箱连通三通连接焊口发生断裂,主要原因是三通和弯头之间未设置过渡直管段,连通管弯头直接与联箱三通焊接,造成结构应力集中;同时冬季施工时未执行预热与层间温度控制,焊层厚度过大,二次热处理后未进行无损检测,进一步加剧缺陷风险。

异径管结构设计缺陷:某发电公司 #2 炉末级再热器出口过渡段异径管(TP347H、 $\phi 54/\phi 63.5\text{mm}$)在运行 9673h 后,大头侧焊缝附近母材部位发生断裂,检查发现 28 根异径管存在相同位置裂纹。成因包括异径管顺蒸汽流向管径缩小,倒角与焊缝根部形成凹沟,不等厚对接倒角加工角度过大导致截面突变,蒸汽流动阻力增加;且异径管制造焊后热处理、安装焊接工艺参数不稳定,在变径过渡部位内外壁形成晶间腐蚀的沿晶裂纹源。

其他结构设计问题:前包墙过热器管因结构设计不合理,运行过程中出现断裂、开裂现象,影响锅炉整体安全运行,凸显设计阶段结构优化的重要性。

2.2 制造阶段典型问题

制造阶段质量问题涉及焊接工艺、加工工艺、原材料质量及管件配置等多个方面,是金属缺陷的主要来源之一。

焊接工艺不当:集箱封头焊缝铁素体超标,某工程 #1 炉屏过出口分配集箱(共 22 只)金相检验发现,20 只集箱封头焊缝熔合区存在铁素体,其中 7 只铁素体含量超出 DL/T 438-2009 标准规定,需切除重焊处理;高压加热器封头环缝缺陷,某高压加热器上封头环焊缝经超声波探伤发现 6 处超标缺陷,成因是制造过程中清根不彻底导致未熔合、微裂纹,且无损检测未发现超标缺陷;焊缝局部硬度偏高,高过出口集箱筒体与大小头对接焊缝局部硬度值超标准要求,原因是最终热处理后处理测温固件方式不当,且擅自局部补焊后未进行热处理。

加工工艺不当:低再出口集箱接管(材质 12Cr1MoVG,规格 $\phi 51\text{mm}\times 4\text{mm}$)内壁加工质量不合格,内壁不光滑,存在多处缺口和微裂纹,为运行过程中缺陷扩展埋下隐患。

原材料缺陷:集箱铁素体超标,屏过出口混合集箱(材质 A335-P92)现场金相检测发现铁素体含量远超标准要求,最终进行集箱更换;主蒸汽管道质量不合格,某工程进口 P91 材质主蒸汽管金相组织出现块状铁素

体,表面硬度偏低,部分管道尺寸偏差超标;屏式过热器管偏壁爆管,试运期间发生爆管,检查发现管壁壁厚不均、局部壁厚偏低,表面存在裂纹及损伤;此外,主蒸汽管存在折叠缺陷,给水三通内壁肩部存在裂纹等问题也较为突出。

四大管道管件及配置问题:基础资料与复验不完善,进口材料相关证明文件不全,入厂复验项目不足;管件硬度超标,弯管、弯头、三通等管件因热处理工艺控制不当导致硬度超标;焊接热处理工艺不规范,存在焊接工艺评定报告不符合要求、不同材质焊接规范参数一致、焊后热处理温度不一致等问题。

2.3 安装阶段典型问题

安装阶段的质量问题主要集中在施工操作不规范、检验检测不到位及清洁度控制不严等方面。

受热面管安装违规:施工操作不规范,存在强力对口、随意引弧等违规行为,焊接、热处理工艺不规范;检验检测不到位,射线探伤底片质量差,存在超标缺陷误评、漏评现象。

大口径管道安装缺陷:焊缝硬度超标,某工程 #2 机组安装期间,抽检发现主蒸汽管、再热蒸汽管多道 P91 安装焊口硬度超出标准规定;焊缝超标缺陷,某工程 #1 机组安装期间,多个安装焊口经超声波检验发现超标缺陷,成因包括焊接与热处理工艺控制不严、检测设备未在校验有效期内等。

清洁度控制不严:安装阶段清洁度管理存在漏洞,集箱接管座管孔内存在金属异物;某工程高再出口集箱运行 3000h 后连续 2 次爆管,检查发现安装焊口部位插入高强螺栓,集箱内部残留金属异物。

3 火电工程金属监督质量控制措施

3.1 强化组织保障与责任落实

建立健全监督机构:项目公司应设立由高层领导直接负责的技术监督领导小组,吸纳金属监督专业人员及各参建方代表参与,形成统一协调、分工明确的监督机制,对发现的质量问题及时研究、快速处理。

严格选择参建单位:设备监造、安装监理委托有资质、业绩优良、技术实力强的单位承担;安全性能检查等工作委托技术力量雄厚、设备优良、口碑良好的检验机构实施;引入第三方金属监督及技术支撑单位,聚焦关键环节,提供专业技术支持。

3.2 严格遵循规程标准开展监督

金属监督工作需严格依据相关规程标准执行,包括《防止电力生产事故的二十五项重点要求》《电力行业锅炉压力容器安全监督规程》(DL/T 612-2017)《电

站锅炉压力容器检验规程》(DL/T 647-2024)《火力发电厂金属技术监督规程》(DL/T 438-2023)等。其中,DL/T 438-2023 明确要求金属技术监督覆盖机组全环节,为监督工作提供根本遵循。

3.3 设计阶段质量控制

优化设计方案:针对运行过程中暴露的各类结构相关问题,在设计阶段进行优化改进。重点关注结构合理性,避免截面突变、应力集中等设计缺陷,合理选择材料,确保设计方案满足机组运行工况要求。

引入第三方技术支撑:第三方金属监督单位从设计阶段介入,参与设计方案审查,提供专业技术支撑,提前识别设计潜在风险,把好质量源头关。

3.4 制造阶段质量控制

强化监造过程管控:监造代表应加强设备机加工、焊接、热处理、水压试验等关键工序的巡检与监督,重点关注受热面管焊接质量等关键指标;严格审查各类质量相关资料,避免形式化审查。

聚焦关键部件监督:对四大管件制作、四大管道配制、重要压力容器等关键部件实施重点监造与技术监督。安全性能检验人员不仅要开展无损检测,还需加强设备内外部宏观检查。

加强特殊材质检验:重点加强 9%~12% Cr 钢集箱、管道、管件及焊缝的检验,采用 UT、MT、磁粉检测等多种手段,全面排查质量缺陷。

完善资料与工艺审查:金属监督人员全面审查重要部件的原材料相关证明文件,确保入厂复验项目全面;严格审查焊接工艺相关文件,对首道焊口相关过程实施旁站监督。

优化检测方法:针对小径厚壁管射线透照盲区问题,采用相控阵等先进检测方法进行抽查复检,提高缺陷检出率。

加强分包管理:项目公司严格把关重要部件的分包单位资质,加强分包过程质量管控,避免分包导致的质量下降。

3.5 安装阶段质量控制

严格施工前期审查:监理与金属监督人员审查安装单位焊接工艺及施工管理程序文件,核实工艺评定的覆盖性与合规性;检查实验室能力建设情况,核实相关人员资质,确保仪器设备在有效校验期内。

规范施工过程操作:受热面管排吊装前、组合前必须 100% 通球检验并封闭管口;集箱、大口径管道对口封闭前进行清洁度检查;焊前严格清理坡口,禁止强力对口,监理人员进行现场见证监督。

强化关键工序旁站监督:对 9%~12% Cr 钢集箱、管道按规格对首道焊口的相关过程实施旁站监督;对其他材料部件的相关过程进行旁站监督抽查,同时开展工程项目巡检与监督。

加强到货与安装质量检查:金属监督部件到货安装前,加强内外壁外观及清洁度检查;加强大直径管道、四大管道焊接热处理后的质量检测,增加 MT 无损检测项目,严格执行硬度检测要求。

优化检测手段:采用相控阵等检测方法对小径厚壁管进行抽查复检,弥补射线透照盲区缺陷。

3.6 清洁度全程控制

多环节清洁度检查:制造厂在制造、加工过程中进行清洁度检查;运输过程中做好防护,安装前安装单位再次进行清洁度检查;安装过程中及时清理杂物,严格控制各环节清洁度。

吹管后彻底清理:机组吹管后,采用内窥镜检测、铁磁性检测等综合异物检测技术,对设备内部进行彻底检查与清理,确保无异物残留。

4 结论

火电工程金属监督是保障机组安全稳定运行的核心手段,覆盖设计、制造、安装全流程,其质量控制效果直接关系到工程整体质量与长期经济效益。本文系统分析了火电工程金属监督的核心要求、典型质量问题及成因,提出了强化组织保障、遵循规程标准、全流程管控的质量控制措施。

当前火电工程金属监督面临诸多现实挑战,需项目公司、监造单位、检验机构、安装单位等多方协同发力,聚焦设计优化、制造管控、安装规范、清洁度控制等关键环节,采用先进检测技术,强化责任落实,提升监督实效。未来,随着火电技术的不断发展,需持续优化金属监督体系,创新监督手段,为火电工程高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 聂红振. 火力发电厂锅炉安装主要工艺及技术措施解析[C]//2025 工程新技术与新方法经验交流会论文集. 2025: 1-3.
- [2] 电力行业电站焊接标准化技术委员会(DL/TC18). 火力发电厂焊接技术规程:DL/T869-2021[S]. 2021.

作者简介:程玉杰(1985.06-),男,汉族,山西省朔州市人,工程师,本科,研究方向:火力发电厂金属焊接、金属检测、特种设备应用与监督管理。