

火力发电厂金属检验检测管理的全流程管控与优化路径研究

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：火力发电厂作为我国能源供给的核心基础设施，关键金属部件长期处于高温、高压、腐蚀、疲劳等严苛工况，其性能劣化与缺陷发展直接威胁机组安全稳定运行。金属检验检测是识别部件损伤、评估性能状态、预判失效风险的核心技术手段，贯穿设备全生命周期，而金属检验检测管理则是保障检测精度、提升数据应用效能的关键支撑，涵盖检测方案制定、人员资质管控、设备运维、数据管理及结果应用等全流程环节。本文基于火力发电厂金属检验检测的工艺特性与管理实践，深入剖析当前管理在体系建设、技术应用、人员能力、数据治理及协同联动等方面的问题，结合典型金属失效案例分析检测管理漏洞，从体系标准化、技术智能化、人员专业化、数据精准化及协同高效化五个维度提出优化策略，旨在构建科学高效的金属检验检测管理体系，提升金属监督效能，为火力发电厂关键设备安全稳定运行提供坚实技术保障。

关键词：火力发电厂；金属检验检测；全流程管理；质量管控；优化策略

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.045

1 引言

1.1 研究背景

随着我国电力工业向超超临界、大容量、高参数方向升级，火力发电机组主蒸汽温度已突破 630℃，压力超 35MPa，锅炉受热面管、主蒸汽管道、汽轮机转子等关键金属部件面临更为严峻的服役环境。

当前，火力发电厂金属检验检测面临多重挑战：一是 P91/P92 耐热钢、TP347H 不锈钢等特种钢材广泛应用，对检测技术精准度要求显著提升；二是老旧机组逐步进入服役中后期，金属部件累积损伤检测难度加大；三是检验检测管理涉及多部门、多环节，协同不畅易导致检测数据脱节。因此，强化金属检验检测全流程管理，提升检测质量与应用效能，已成为火力发电厂安全管理的核心任务。

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

本文立足火力发电厂高温高压特殊工况，突破传统金属检验检测“重技术、轻管理”的研究局限，将材料科学、无损检测技术、数据管理学与电厂设备全生命周期管理理论深度融合，构建“技术 + 管理 + 数据”一体化研究框架，丰富电力行业金属检验检测管理理论体系，为同类高参数设备检验检测管理研究提供新视角。

1.2.2 实践意义

通过剖析火力发电厂金属检验检测管理实际痛点，提出针对性优化策略，可直接指导电厂检验检测管理实践，提升缺陷检出率与数据应用价值；优化后的管理体系能减少因检测疏漏导致的设备失效事故，降低非计划停机损失，延长设备服役寿命，提升发电企业经济效益与安全管理水平，为火力发电厂高质量发展提供技术支

撑。

1.3 研究内容与方法

1.3.1 研究内容

本文以火力发电厂金属检验检测管理为研究对象，明确其核心范畴、技术体系及关键影响因素；结合 3 家不同规模电厂实地调研数据，梳理当前管理在体系建设、技术应用、人员能力、数据治理等方面的问题；通过典型金属失效案例分析，揭示检测管理漏洞与技术短板；从体系、技术、人员、数据、协同五个维度提出优化策略，并通过实证案例验证有效性。

1.3.2 研究方法

一是文献研究法，系统梳理国内外相关研究成果及标准规范，奠定理论基础；二是现场调研法，通过与电厂相关人员访谈，收集检验检测方案、质量记录、事故报告等一手数据；三是案例分析法，选取 3 起典型金属失效事故，深入剖析检测管理层面成因；四是实证研究法，以某 1000MW 电厂锅炉受热面管检验检测管理优化为例，验证优化策略实践效果。

2 火力发电厂金属检验检测管理的核心范畴与技术体系

2.1 金属检验检测的核心应用场景与技术特性

2.1.1 核心应用场景

火力发电厂金属检验检测覆盖设备全生命周期，核心场景包括四类：一是制造安装阶段验收检测，针对关键设备母材材质、焊接接头质量开展检验，确保符合设计要求；二是运行阶段定期检测，对易劣化部件开展周期性检测，跟踪损伤发展趋势；三是检修阶段专项检测，对拆解部件、焊接返修部位开展精准检测，评估检修质量；四是失效分析检测，通过断口分析、成分检测等手

段，明确金属失效部件的失效原因。

2.1.2 技术特性

电厂金属检验检测技术特性主要表现为：一是技术多样性，需选用无损检测、理化检验、金相检验等多种技术；二是精度要求高，需精准识别高温合金部件 $\leq 0.1\text{mm}$ 的微小裂纹、 $\leq 0.2\text{mm}$ 的腐蚀减薄等缺陷；三是工况适应性强，部分检测需在高温、高空、受限空间等复杂环境下开展；四是数据关联性强，检测数据需与设备运行参数、历史检测结果联动分析，才能实现风险预判。

2.2 金属检验检测管理的核心范畴

火力发电厂金属检验检测管理是覆盖“检测策划、实施、分析、应用”全流程的技术管理体系，核心范畴包括五个方面：一是检测方案管理，涵盖检测项目确定、技术选型、周期制定、标准选用等；二是人员管理，包括检测人员资质审核、技能培训、业绩考核等；三是设备与试剂管理，涉及检测设备校准、维护、试剂采购与储存等；四是过程质量管理，包括检测前准备、检测过程控制、原始数据记录等；五是数据与结果管理，涵盖检测数据审核、分析、报告编制、数据归档及结果应用等。

2.3 金属检验检测管理的关键影响因素

基于调研数据与案例分析，关键影响因素可归纳为四类：一是体系因素（占 35%），包括检测管理制度不健全、流程不规范、标准不统一等；二是技术因素（占 28%），包括检测技术落后、设备精度不足、技术选型不合理等；三是人员因素（占 22%），包括检测人员技能不足、责任心薄弱、资质不符等；四是数据因素（占 15%），包括数据记录不完整、分析方法单一、共享机制缺失等。这些因素相互作用，直接影响检验检测质量与效能。

3 火力发电厂金属检验检测管理现存问题及成因分析

3.1 管理体系不健全，流程标准化程度低

一是检测方案针对性不足。部分电厂照搬通用标准，未结合设备实际情况制定差异化方案。某电厂检测报告仅记录缺陷位置与大小，未注明关键信息，出现质量争议时无法追溯。二是标准应用混乱。不同检测项目选用标准不统一，导致检测结果缺乏可比性。三是考核机制缺失。未建立检测质量专项考核指标，检测人员工作成效与绩效考核脱节，缺乏质量管控动力。

3.2 技术应用滞后，检测精准度不足

一是传统技术局限性凸显。多数电厂以 UT、RT、MT 等传统技术为主，对高温部件内部微小裂纹、晶间

腐蚀等深层缺陷检出能力不足。某电厂锅炉水冷壁管的晶间腐蚀未被 UT 检测检出，直至泄漏才发现。二是先进技术应用不足。PAUT、GW、AE 等先进技术虽优势明显，但因设备成本高、培训难度大，仅在少数关键设备应用。三是技术选型不合理。未根据缺陷类型、检测对象特性选用适配技术。四是设备运维不善。检测设备未按规范定期校准，部分超期服役，精度下降导致检测误差。

3.3 人员专业能力不足，梯队建设滞后

一是检测人员资质不符。部分电厂存在“持证但无实操能力”现象。二是技能水平参差不齐。三是培训体系滞后。培训以理论为主，实操训练不足，年轻人员对复杂工况检测操作不熟练。四是人才梯队断层，资深经验难以传承。

3.4 数据管理混乱，应用效能低下

一是数据记录不完整。原始数据仅记录检测结果，未记录设备参数、环境条件等关键信息，无法追溯检测过程。二是数据存储分散。多以纸质报告或分散电子文件存储，未建立统一数据库。三是数据分析能力薄弱。仅简单统计数据，未开展趋势分析与风险预判。四是数据共享不畅。检测数据未与相关部门共享，检修计划制定缺乏精准数据支撑，导致缺陷扩大。

3.5 协同管理机制缺失，各环节衔接不畅

一是部门协同不足。未建立跨部门联动机制，运行部发现设备异常未及时反馈检测部门，导致缺陷未及时检出。二是与外部机构协同不畅。与设备厂家、第三方检测机构合作仅停留在采购与服务层面，未建立技术合作与数据共享机制。三是行业交流匮乏。未参与行业技术交流，无法及时掌握最新标准与经验，管理理念与技术手段落后。

4 火力发电厂金属检验检测管理的优化策略

4.1 构建标准化管理体系，强化流程刚性管控

一是制定差异化检测方案。有人牵头，结合设备“材质-工况-服役年限-历史缺陷”四维信息，制定“一设备一方案”；建立动态调整机制，根据设备运行异常优化方案。二是规范全流程管控。明确各环节标准流程；实行“三级审核”制度，确保检测报告准确。三是统一标准应用，明确不同检测项目对应的标准。四是完善考核机制。将“缺陷检出率”“报告准确率”等指标纳入绩效考核设立奖励与追责机制。

4.2 升级技术应用体系，提升检测精准效能

一是构建“传统 + 先进”技术矩阵。分阶段推广 PAUT、GW、AE 等先进技术。建立设备全生命周期

期管理档案，按规范定期校准，强制报废超期设备。三是建立技术验证机制。新引进技术需在已知缺陷部件上测试，达标后再推广。四是开展技术创新研发。与高校、科研院所合作，研发高温管道在线检测机器人、腐蚀减薄趋势预测模型等。

4.3 实施专业化人员管理，构建人才梯队

一是严格资质管控。建立检测人员资质数据库，每半年开展资质复核，先进技术操作人员需通过实操考核。二是构建“三维培训体系”。理论、实操、专项培训相结合，搭建实操培训平台。三是优化人才激励。建立“技术等级晋升通道”，将技术成果与职称晋升、评优评先挂钩。四是完善梯队建设。实施“师带徒”制度，建立人才储备库，定期开展技能竞赛选拔骨干。

4.4 构建数字化数据管理体系，提升应用效能

一是规范数据记录。明确原始数据需包含关键信息，采用电子表单实时记录。二是搭建一体化数据平台。整合各类数据，实现集中存储、快速查询、趋势分析与风险预警。三是深化数据应用。为检修计划制定、设备更换提供精准建议。四是保障数据安全。设置访问权限，建立定期异地备份机制。

5 实证案例——某电厂锅炉受热面管检验检测管理优化实践

5.1 案例背景

某超超临界电厂锅炉受热面管服役 12 年，2022 年发生 2 次爆管事故，原因包括：检测方案未优化、人员技能不足、数据共享不畅、设备未定期校准。该厂以金属检验检测管理优化为核心开展整改。

5.2 优化措施实施

一是构建标准化体系。将检测周期缩短至 1 年 / 次，采用“PAUT+AE”组合技术；编制作业指导书，建立“三级审核”制度。二是升级技术装备。购置先进检测设备，建立校准档案。三是强化人员培养。选拔检测人员参加 PAUT 专项培训，实施“师带徒”制度，将“缺陷检出率”纳入绩效考核。四是搭建数据平台。开发检测数据管理平台，建立跨部门数据共享机制。五是建立协同机制。成立管理领导小组，与 PAUT 设备厂家签订技术服务协议。

5.3 优化效果

优化实施 1 年后，成效显著：一是检测质量大幅提升，缺陷检出率提升至 9%，无因检测漏检导致的爆

管事故；二是人员技能提升，PAUT 实操考核通过率达 100%，缺陷误判率降至 1%；四是数据应用效能提升，提前预判腐蚀超标管道，验证了优化策略的可行性和有效性。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文深入分析了火力发电厂金属检验检测管理的核心范畴、技术体系及关键影响因素，揭示了当前管理存在的体系不健全、技术滞后、人员能力不足、数据管理混乱、协同不畅等问题。提出的体系标准化、技术智能化、人员专业化、数据精准化、协同高效化优化策略，经实证案例验证有效。研究表明，标准化管理体系是基础，智能化技术应用是关键，专业化人员队伍是核心支撑，精准化数据管理是手段，高效化协同机制是保障，多维度优化可显著提升管理水平，防范设备失效风险。

6.2 研究展望

未来，随着火力发电厂向智能化、低碳化发展，金属检验检测管理可从四方面深化研究：一是智能化技术深度融合，如基于 AI 实现缺陷自动识别、利用数字孪生构建检测模型、开发无人化检测机器人；二是新型材料检测技术研究，研发适配高温合金、复合材料的检测技术与管理方法；三是全生命周期数据链构建，整合设备全阶段检测数据，建立质量追溯与风险预判体系；四是绿色检测技术推广，研发低能耗设备与环保试剂，降低检测过程的能耗与环境影响。

火力发电厂金属检验检测管理是系统工程，需结合技术发展与管理需求持续优化创新，才能为设备安全稳定运行提供坚实保障，助力电力行业高质量发展。

参考文献

- [1] 伍洲闻,程寒亮.火电厂金属部件的相控阵超声检测[J].中国金属通报,2022(10):222-224. DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2022.10.074.
- [2] 林志先.超(超)临界机组主汽、热再管道金属监督问题及处理探讨[J].焊接技术,2020,49(S1):99-103. DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2020.s1.029.

作者简介：程玉杰，(1985.6-)，男，山西省朔州市人，汉族，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。