

# 电站锅炉流量计定期检验方法研究

平苏丰\*

(山东省特种设备检验研究院集团有限公司, 济南 250300)

**摘要:** 电站锅炉流量计作为关键承压元件, 广泛应用于高温高压环境下, 其运行稳定性直接关系到锅炉系统的安全与效率。受材料劣化、焊接缺陷及结构复杂性影响, 流量计在服役过程中易产生裂纹、腐蚀等隐患。本文研究了电站锅炉流量计在高温高压恶劣工况下运行中存在的安全隐患, 分析了流量计常见缺陷类型及缺陷产生原因, 总结了定期检验的关键方法与技术要点。通过完善监管体系、制定标准、提升检验能力等措施, 提升了流量计安全运行水平。本文研究表明, 建立科学有效的定期检验机制, 是防范事故、保障流量计长期稳定运行的关键途径。

**关键词:** 电站锅炉; 流量计; 定期检验

## 0 引言

电站锅炉流量计作为高温高压管道系统中的关键计量与控制元件, 其运行安全直接关系到整个锅炉系统的稳定性与可靠性。然而, 受制造质量、结构复杂性及运行环境影响, 流量计易产生多种缺陷, 若不及时发现将引发严重事故<sup>[1]</sup>。本文旨在探讨电站锅炉流量计在长期服役过程中的典型缺陷类型与形成机制, 研究适用于复杂工况下的定期检验技术与方法, 为建立科学有效的检验制度、提升设备运行安全水平提供技术支持和实践参考。

## 1 电站锅炉流量计定期检验的重要性与意义

电站锅炉流量计常用于高温、高压、腐蚀性强等苛刻条件下, 长期运行环境极为恶劣。流量计内部介质流动不均匀, 介质流速变化剧烈, 易导致局部冲刷磨损、热疲劳以及材料劣化。由于工作温度较高, 管壁可能出现组织变化和蠕变现象, 加剧流量计的结构劣化和焊缝开裂风险, 增加了潜在的安全隐患。电站锅炉流量计缺陷类型主要包括焊接裂纹、未焊透、未熔合、夹渣、腐蚀减薄和变形等。这些缺陷在长期高温、高压环境中容易扩展, 尤其是焊缝缺陷, 往往难以通过常规宏观检查发现。一旦缺陷发展至临界程度, 可能导致脆性断裂和高压蒸汽泄漏甚至爆炸, 造成严重的人身伤亡事故和经济损失, 影响企业安全稳定运行。

定期检验能够有效地发现流量计在制造和使用过程中存在的隐患, 及时排除危险因素。通过资料审查、宏观检查、壁厚测量、表面与埋藏缺陷检测、材料性能分析等手

段, 可全面评估设备状态并掌握缺陷动态<sup>[2]</sup>。加强流量计的定期检验, 有助于提前发现隐患, 避免重大事故发生, 确保设备的安全可靠运行, 保障人员和设备的长期安全。

## 2 电站锅炉流量计定期检验要求

流量计的定期检验前, 应详细审查使用单位提供的相关资料与文件, 确保检验工作的针对性和有效性。具体审查重点包括: ①管道系统设计文件, 核对设计图纸与现场安装流量计的型号及位置的一致性; ②安装竣工验收资料和焊接质量证明文件, 包括焊缝无损检测报告; ③历次修理改造记录, 尤其关注流量计的焊缝修理及后续检验报告; ④设备运行和维护管理记录, 如日常运行记录、异常情况处理记录; ⑤历年检查报告及上一周期的检验报告, 分析设备缺陷发展趋势, 为现场检测提供参考依据<sup>[3]</sup>。

## 3 电站锅炉流量计定期检验方法及关键技术要点

### 3.1 宏观检查方法及要点

(1) 布置合理性检查。宏观检查时, 应重点核查流量计位置与原设计图纸的一致性, 确认流量计安装位置是否便于检查、维护和更换。检查流量计与相邻管道、支架之间的间距是否合理, 避免因管道热胀冷缩引发机械碰撞或磨损。关注流量计安装位置的通风与排水状况, 避免因积水、积湿导致的腐蚀问题, 以保障其运行安全和维护便利性。

(2) 检测外观缺陷。外观缺陷是宏观检查的重要内容, 应细致观察流量计及其焊接接头、连接部件表面是否

\* 通信作者: 平苏丰, 硕士, 工程师, 研究方向为特种设备检验。E-mail: 3168669470@qq.com

存在明显的腐蚀、裂纹、鼓包或泄漏现象。特别需要关注焊缝处是否存在贯穿裂纹或腐蚀坑蚀等异常情况<sup>[4]</sup>。应留意流量计表面是否存在明显的变形、异常褪色或过热痕迹。对疑似存在缺陷的部位，应及时进行检测，防止缺陷进一步扩大。

### 3.2 壁厚检测方法比较与选择

(1)常规超声波壁厚测量。常规超声波检测是一种经济高效的壁厚测量方法，广泛应用于管道与设备的定期检验中。该方法操作简便，适用于常温环境下的碳钢及低合金钢材料测量，能快速识别管壁的腐蚀减薄部位<sup>[5]</sup>。然而，该技术对温度敏感，在流量计高温运行状态下存在探头脱落、耦合剂蒸发快、声速波动等问题，易导致测量误差。此外，测量前需打磨防腐层，停产降温也会影响正常生产计划。

(2)电磁超声技术的优势与应用。电磁超声是一种非接触式检测方法，适用于高温、高压和表面状态复杂的工况环境。该技术不需耦合剂，也无需打磨流量计表面防腐层，可在不影响设备正常运行的情况下实现在线测厚。特别适合电站锅炉流量计这类工作温度超过 50℃ 的承压设备。

### 3.3 表面缺陷检测技术

(1)磁粉检测。磁粉检测是一种基于磁场渗漏原理的无损检测方法，适用于铁磁性材料，如碳钢和低合金钢等<sup>[6]</sup>。检测时将工件磁化，若其表面或近表面存在裂纹等缺陷，磁力线会在缺陷处形成漏磁场，从而吸引磁粉形成可视化痕迹(图 1)。该方法灵敏度高、定位准确，特别适用于检测焊缝裂纹、疲劳裂纹等表面缺陷。



图 1 磁粉检测中常见的贯穿性裂纹

(2)其他表面检测技术的选择。在无法使用磁粉检测或需进一步验证检测结果时，可采用其他无损检测技术，如渗透检测和视觉检测等。对于不锈钢等非铁磁性材料，可使用染色渗透检测方法发现细小裂纹；而对复杂结构或热影响区，则可辅以相控阵超声波技术进行高分辨率成像。

### 3.4 埋藏缺陷的检测技术与方法

(1)超声波检测的应用。超声波检测是识别焊缝内部埋藏缺陷最常用的方法，适用于检测未焊透、未熔合、夹渣等隐蔽性问题。该方法通过声波在材料内部传播时的反射与衰减规律，对缺陷进行定位与定性分析。对电站锅炉流量计来说，A 型脉冲超声波检测因其灵敏度高、穿透力

强，能有效发现焊缝内部的裂纹及不连续性缺陷<sup>[7]</sup>。

(2)流量计结构特点对检测方法的影响。喷嘴式流量计结构复杂，通常由两个厚壁环室短节及喷嘴通过对接焊缝连接而成，壁厚大、形状特殊，导致射线检测难以实施。部分焊缝位于管道盲区，检测探头难以覆盖所有区域，增加了检验难度。此外，喷嘴内部结构常导致声波衰减或干扰，使常规超声检测面临精度不足的问题。

### 3.5 材料分析及性能检测方法

(1)光谱分析方法与应用。光谱分析是一种快速、无损的金属材料成分鉴定技术，适用于流量计材料牌号确认及材质一致性验证，该方法无需破坏工件，便于现场快速检测。通过激发金属样品释放特定波长的光谱线，再与标准谱线进行对比，即可判定材料中各元素的种类与含量。对于材质不明或存在更换、改造历史的流量计，光谱分析尤为重要。

(2)硬度检测的适用范围与方法。硬度检测可评估流量计本体及焊缝区域的力学性能，判断其是否存在热处理不当或材料劣化等问题。对于长期运行的高温低合金钢流量计，应重点对焊缝、热影响区及应力集中部位进行抽检<sup>[8]</sup>。硬度值异常通常预示材料组织变化、脆化或裂纹萌生风险，为判断设备是否继续使用提供技术依据。

(3)金相检测。金相检测通过观察金属内部的显微组织变化，识别材料是否存在石墨化、珠光体球化、晶粒粗化等现象，是评估流量计材料服役状态的关键手段。电站锅炉流量计在高温、高应力环境中服役多年，可能发生晶体结构劣化，导致其力学性能下降。

## 4 流量计典型缺陷的原因分析

### 4.1 制造过程中的质量控制不足

电站锅炉流量计制造工艺复杂，特别是中间带有焊缝的结构，通常采用低合金耐热钢等高强度材料，焊接要求严格。然而，部分制造企业对原材料把控不严，焊接工艺控制不到位，导致焊缝区易出现未焊透、未熔合、夹渣及裂纹等严重缺陷。由于流量计筒体壁厚通常在百毫米级，焊接热输入大，冷却速度慢，极易在焊接热影响区产生微裂纹，尤其在热处理不充分或焊接应力未有效释放的情况下更为严重<sup>[9]</sup>。

### 4.2 结构特点带来的检测难点

喷嘴式流量计结构复杂，检测面受限，传统射线检测和常规超声波检测难以实现全面覆盖。由于流量计内部结构对超声波传播路径产生折射、反射和衰减，常造成信号失真或缺陷识别困难。部分焊缝部位空间狭窄、表面不规则，限制了探头的摆动与定位，增加了检测死角。而采用

先进检测技术如相控阵超声检测、超声波衍射时差法等，虽然在灵敏度和分辨率上有所提升，但受限于成本与现场操作条件，尚未在所有检验环节普及。这些结构特性使部分焊接缺陷可能长期“潜伏”于流量计内部，常规检验难以及时发现，对运行安全构成巨大威胁。

## 5 提升电站锅炉流量计安全运行的建议与措施

### 5.1 制定专门的制造与检验标准

由行业主管部门牵头，组织设备制造企业、科研机构和检验单位共同制定电站锅炉流量计的国家或行业标准，明确其材料选择、结构设计、制造工艺、焊接工艺评定、热处理要求和出厂检验方法。特别是针对喷嘴式流量计这类高风险结构，应细化焊接接头的无损检测标准及判废准则，并明确超声波或相控阵等先进检测技术的应用范围和灵敏度要求<sup>[10]</sup>。建立统一的出厂检验报告模板，并在质量证明书中附带原始检测数据，确保设备“有据可查”。这些标准的制定与推行，有助于从源头提升流量计的产品质量与安全性，避免“带病出厂”。

### 5.2 建立完善的流量计定期检验制度

建立覆盖设计、安装、运行、检修等各阶段的定期检验制度。首先，应明确检验周期：对于首次投用的流量计，原则上应在投运后3年内进行首次定检；之后根据设备运行状态和风险等级合理确定检验周期（一般为每3~6年一次）。其次，检验内容应包括资料审查、宏观检查、壁厚测量、无损检测（磁粉、超声或相控阵）、硬度测试、金相分析等。尤其对于长期高温服役的设备，应重点关注焊缝区域的蠕变损伤与组织劣化情况。检验应由具有压力管道检验资质的专业机构实施，并出具规范完整的检验报告，报告中应附带缺陷等级判定、运行建议及是否允许继续使用等结论。对于发现问题的设备，应按照缺陷等级分级处理，并建立“检验—处置—再评估”的闭环机制，防止隐患积压或被忽视。此制度还应结合在线监测技术，探索远程智能诊断辅助定检的创新路径，进一步提升检验的及时性与科学性。

### 5.3 提升检验技术能力与方法的完善

加强检验机构的技术装备与人员能力建设。一方面，应推广先进的检测技术，如相控阵超声检测、超声波衍射时差法、红外热成像等，对厚壁部件、难接触焊缝和高温环境下的设备实现精准无损检测。另一方面，应提升检验人员专业能力，定期组织培训，掌握新技术、新标准、新方法，并强化现场应变能力，确保在高风险部位实现高质量检验。建议地方监管部门建立“流量计专项检验技术支持中心”，配备先进仪器，承担疑难项目的专项检测任务，同时作为培训基

地提升全行业检验水平。通过技术与人才“双轮驱动”，全面提升流量计定期检验的专业性和科学性。

### 5.4 缺陷发现后的处理原则与方法

当在定期检验或运行监控中发现流量计存在缺陷时，应立即进行风险评估，判断是否影响设备继续运行。对于一般性缺陷如轻微腐蚀、局部壁厚减薄，可通过补焊、打磨、内衬修复等方式消除，并再次进行无损检测确认修复效果。对于焊缝存在裂纹、未焊透、未熔合等严重结构性缺陷的，应立即停止运行，并拆除更换或由具备资质的单位按规范修复。修复过程中，焊接人员必须具备相应资格，焊接工艺需通过评定，焊后必须进行热处理、无损检测及硬度、金相测试等，确保修复质量符合标准。所有修复过程应有完整记录，并报送至检验机构备案。对于无法修复或多次发生故障的流量计，应强制报废，避免继续使用埋下更大安全隐患。

## 6 结束语

电站锅炉流量计长期处于高温高压环境中运行，极易发生腐蚀、裂纹、焊接缺陷等安全隐患。本文通过加强制度监管、完善制造与检验标准、应用先进检测技术以及建立科学的定期检验机制，有效提升了流量计的运行安全性与可靠性。流量计应作为承压元件重点监管，不能脱离高压管道系统的整体安全管理。只有从源头到使用全环节严格把控，才能切实预防事故发生，确保电站设备的稳定、高效运行。

## 参考文献

- [1] 慎哲恒, 夏尚, 吕俊超. 电站锅炉流量计失效状况分析[J]. 化工装备技术, 2025, 46(1): 45-48.
- [2] 周嘉炜, 封小亮, 刘课秀. 某电站锅炉水冷壁管泄漏原因[J]. 理化检验—物理分册, 2025, 61(1): 66-71.
- [3] 夏尚, 吕俊超, 慎哲恒. 电站锅炉流量计定期检验方法的探讨[J]. 化工装备技术, 2024, 45(6): 46-49.
- [4] 付根. 电站锅炉六大管道支吊架检验与调整技术[J]. 今日制造与升级, 2024, (11): 22-24.
- [5] 于建明, 赵加星. 电站锅炉内部检验中几个重要问题研究[J]. 电站系统工程, 2024, 40(6): 27-29.
- [6] 高帅. 硬度测试在电站锅炉检验中的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(9): 172-174.
- [7] 白凯杰, 李运泉, 江志铭. 电站锅炉性能测试平台技术研究与应用[J]. 工业锅炉, 2024, (4): 37-44.
- [8] 卢荣祥. 电站锅炉脱硫脱硝对锅炉内部检验的影响分析[J]. 锅炉制造, 2024, (4): 59-61.
- [9] 庞世刚. 电站锅炉常用金属材料金相检测研究[J]. 中国设备工程, 2023, (22): 169-171.
- [10] 朱海东. 电站锅炉定期检验中常见问题分析及防治措施[J]. 锅炉制造, 2023, (6): 62-64.