

金属检验工艺与报告自动生成技术研究

洪兵, 夏鹏, 张仁珊, 王雨萌, 姜德涵

国能浙江宁海发电有限公司, 浙江 宁波

收稿日期: 2025年7月25日; 录用日期: 2025年8月17日; 发布日期: 2025年8月28日

摘要

为克服火力发电厂金属检验过程中工艺参数检索效率低下及检验报告生成效率较低的问题, 本研究创新性地提出了基于参数化模板库与三层防错校验机制的报告自动生成的技术方案。该技术构建了涵盖射线、超声等十七种检测方法的综合工艺标准数据库, 建立了部件规格与工艺参数间的智能匹配机制, 并设计了报告生成的逻辑化校验规则, 实现了从工艺规程至检验报告的自动化生成闭环。

关键词

金属检验, 工艺模板库, 报告自动生成

Research on Metal Testing Technology and Automatic Report Generation

Bing Hong, Peng Xia, Renshan Zhang, Yumeng Wang, Dehan Lou

CHN Energy Zhejiang Ninghai Power Co. Ltd., Ningbo Zhejiang

Received: Jul. 25th, 2025; accepted: Aug. 17th, 2025; published: Aug. 28th, 2025

Abstract

To address the issues of low efficiency in retrieving process parameters and generating inspection reports in the metallic inspection process of thermal power plants, this study innovatively proposes a technical solution for automatic report generation based on a parameterised template library and logical verification. This technology constructs a comprehensive process standard database covering seventeen inspection methods, including ray and ultrasonic testing, establishes an intelligent matching mechanism between component specifications and process parameters, and designs logical verification rules for report generation, achieving a closed loop of automated generation from process specifications to inspection reports.

Keywords

Metal Inspection, Process Template Library, Report Automatically Generated

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金属材料技术监督工作是火电厂经营管理中的重要内容[1], 随着超临界机组的发展, 火电厂关键金属部件(如主蒸汽管道、锅炉“四管”、转子)在高温高压及腐蚀介质下的失效风险显著上升。统计数据显示, 在燃煤发电机组非计划停运事故中, 锅炉故障占比约 50%, 主要集中在过热器、再热器、省煤器、水冷壁四种管道[2]。金属结构件数量庞大, 导致检修检验工作负荷繁重, 事后还需要对海量的检修检验记录和数据录入和分析[3]。传统金属监督存在三大瓶颈: 数据追溯难: 检验数据分散于纸质报告, 历史分析困难(某集团 2022 年调研显示, 平均单次数据检索耗时 > 30 分钟[4]); 人工效率低: 人工录入易产生格式错误, 耗时长; 经验依赖强: 缺陷分析缺乏多源数据融合的智能预警机制。

近年来, 数字孪生与物联网技术的发展为金属监督体系革新提供了新思路。《DL/T 438-2016 火力发电厂金属技术监督规程》明确要求建立信息化平台实现数据闭环管理[5]。信息化、智能化发展是社会对于我国电力行业作出的要求[6], 本研究整合设备编码标准化、检验工艺自动化、报告生成智能化三大模块, 推动金属监督从“计划检修”向“状态检修”转型。与传统方法相比, 本文首次提出参数化模板库与三层防错校验的协同架构, 解决了工艺参数匹配与报告合规性校验的行业难题。

2. 传统工作流程痛点分析

在火电厂金属监督领域, 现场检验的准备与报告流程常面临效率受限、数据管理分散等问题, 具体表现为:

数据管理碎片化: 设备参数分散存储于不同的纸质或电子文件中, 例如操作手册、维护记录或独立电子文档, 导致查找困难; 这种分散存储方式不仅延长了数据检索时间, 增加人力成本, 还可能引发信息不一致或遗漏的风险, 进而降低设备管理效率并影响决策准确性。

检验工艺卡制定效率低下: 方案编制过程耗时冗长且质量参差不齐, 检验方案的确定过度依赖个别技术人员的个人经验与主观判断, 缺乏系统化、标准化的评估依据和流程支撑。这种依赖导致方案质量稳定性不足, 易受人员流动与经验差异影响, 难以实现知识的有效沉淀与快速复用, 进而制约了整体工艺开发与优化的效率提升。

报告标准化缺失: 报告生成过程缺乏统一的标准指导, 在结构、布局和内容编排上存在差异; 同时, 缺陷描述部分的主观性强, 缺乏客观评价基准, 使得缺陷评估结果不一致。这些因素共同削弱了数据的可比性, 导致跨报告的数据整合、分析和决策支持变得困难, 影响了整体质量管理效率。

3. 系统架构与功能概述

本系统开发了一套系统。该系统集成了一套金属监督数据库, 用于集中存储和管理全厂设备的详细参数信息。技术人员可将设备参数导入该数据库, 并依据检验需求实时检索提取相关数据。经核验确认参数准确性后, 系统基于预定义规则自动生成精确的检验方案, 从而显著提升检验流程效率。检验任务

完成后，系统自动生成符合行业规范的标准化检验报告，确保数据的一致性与可追溯性，有效提升监督工作的效率与结果可靠性。

4. 系统核心特性与实现

该系统以金属监督数据库为基础，集中管理设备信息与资料防止丢失，并实现了检验工艺卡的智能化一键生成(依据材质/规格自动匹配模板填充核心参数)和检验报告的闭环管理流程(自动关联检验工艺卡、数据联动填充、多层防错校验、PDF 自动生成与电子签名、不合格自动触发返修与复检)，确保检验方案高效准确、报告数据合规可靠、缺陷处理全程可追溯，形成全流程电子化闭环管理。

4.1. 金属监督数据库

金属监督数据库用于对设备基础信息台账数据的管理与查询，设备范围上涵盖锅炉设备、汽机设备、压力容器设备、压力管道设备等，可实现对各类设备基本参数进行快速查询，支持设备相关图档资料、改造记录、检修记录等文件的统一归档，避免重要资料的流失。图档资料管理部分用于帮助客户实现锅炉设备图档资料的信息化管理，避免因人员流动导致重要资料的丢失。

4.2. 检验工艺卡与报告生成流程

检验工艺卡依据被检部件的材质、规格、形态、位置、技术要求以及相关国家与行业标准，确定检验参数、所需工装、仪器设备及耗材。该检验工艺卡是负责部件检验的技术人员执行操作的标准指导性文件。系统内置模板库，用户创建检验工艺卡时，系统根据部件材质和规格调用模板数据，用户可在此基础上进行补充与完善。系统集成智能化匹配引擎，支持一键生成检验工艺卡，系统提供基于模板的检验工艺卡快速生成功能，用户选定部件后，系统自动调用匹配的工艺模板并填充核心参数(如曝光参数、胶片型号等 12 项)，生成检测方案，确保方案生成过程的效率与准确性。

在检验委托单审核通过后，系统将自动进行部件规格与材质的匹配，并从工艺模板库(例如射线/超声模板库)中调取相应的参数，以实现检验工艺卡参数的推送。检验工艺卡与报告流程见图 1。



Figure 1. Inspection process card and reporting process

图 1. 检验工艺卡与报告流程

检测条件的自动填充机制：检验工艺卡参数能够实现自动注入检验报告表单，例如，在光谱报告中输入材质牌号后，系统将自动关联并填充相应的元素含量半定量值。

系统处理射线、超声、渗透、磁粉、涡流、TOFD、相控阵、光谱、硬度、测厚、金相等检验报告，关联检验工艺卡数据，由中高级资质人员评定和复评并实施等级控制。人员信息和资质在作业人员管理

模块录入审核。检验报告有缺陷时，系统自动生成不合格处理单，引用报告数据；实施单位据此返修缺陷部件，质量控制部门跟踪质量。处理单包含工程、部件信息、缺陷性质、定量、位置、等级及建议处理方法。消缺处理记录需复检后更新为合格或监督运行，系统生成消缺复检记录。系统还统计检修进度并以进度图实时展示，同时推送缺陷供用户把控类型和消缺情况。闭环报告生成流程包括：自动推送检验工艺卡参数、填充检测条件、输入缺陷数据、执行校验逻辑、生成 PDF 报告。

PDF 自动化输出：报告定稿一键生成带电子签名/公章的 PDF，签名预存。分级电子签名对应检验员、审核员及批准人权限，打印时自动嵌入保证文档完整性和不可否认性。

4.3 智能匹配引擎

智能匹配引擎基于设备编码树和材质成分向量实现高效参数匹配，包含精确匹配与模糊匹配双机制，工艺卡生成见图 2。



Figure 2. Craft card generation
图 2. 工艺卡生成

匹配规则：基于设备编码树(如锅炉管道编码规则：B-P-材质 - 管径 - 壁厚)构建哈希索引，实现 $O(1)$ 复杂度检索。

模糊匹配：采用余弦相似度计算材质成分向量(如 P91 钢：C \leq 0.12, Cr=8.0~9.5...), 设定阈值 ≥ 0.95 时自动填充。

对于未完成匹配的数据，可进行手动生成工艺卡。

4.4. 防错校验机制

为了保证报告准确性，系统拥有三层防错校验机制：基础格式校验、参数逻辑校验以及规范符合性校验，共同确保输入数据的精确性与合规性。基础格式校验首先拦截明显的数据类型错误或必填项缺失；参数逻辑校验则深入验证业务规则下各数值间的合理关系；规范符合性校验严格核查数据是否符合行业或企业内部既定标准。当系统检测到输入异常时，将立即触发弹窗警告，强制用户修正错误后方可继续；对于数值虽在格式上有效但已超出预设安全阈值的数据，系统会以醒目的红色高亮进行提示，显著标识潜在风险，有效减少人工复核成本并保障数据质量。防错校验机制见图 3。



Figure 3. Error-proof verification mechanism
图 3. 防错校验机制

闭环反馈与复检触发：不合格报告自动生成返修报告推送委托单位；委托单位回复处理结果触发复检。

5. 系统效能实证分析

在传统工艺卡编制过程中，由于需人工查阅大量文献资料、图纸及技术记录，并进行繁琐的核对与整理工作，其平均耗时为 120 分钟。相比之下，本系统依托自动化数据处理与智能检索功能，平均耗时仅为 10 分钟，效率显著提升。人工操作错误率由传统模式的 12.7% 显著降至 0.9%，此改进得益于系统内置校验机制对人为失误的有效抑制。系统应用后，工艺报告实现了标准化与数字化归档，格式统一规范，检索效率显著提升，历史数据查询时间由 60 分钟缩短至 5 分钟，大幅提升了工艺管理效能与数据可靠性。

6. 结论

本文提出并实现了通过建立工艺参数数据库、实现智能参数匹配、实施三层防错校验机制及构建闭环管理流程，为火电厂金属技术监督提供了具备高效性、准确性与可靠性的自动化解决方案。该系统既显著提升了日常检验工作的效率与质量，亦为后续融合人工智能技术、实现预测性维护与智能化监督奠定了技术基础，是火电厂数字化转型在金属监督领域的重要实践。持续优化工艺数据库与深化人工智能应用将成为系统未来发展的核心方向。

参考文献

- [1] 姜艳则. 金属材料技术监督在火电厂的重要性研究[J]. 中国金属通报, 2018(5): 126, 128.
- [2] 曾良良, 杨晓明. 燃煤电厂锅炉“四管”泄漏的原因分析及预防措施[J]. 中国机械, 2024(11): 83-86.
- [3] 李晓东, 王振, 麦雷, 等. 火电厂金属技术监督信息化建设[J]. 电子技术与软件工程, 2022(14): 211.
- [4] 李振华, 等. 电力设备检验报告人工录入错误分析[J]. 热力发电, 2021, 50(5): 89-94.
- [5] 蔡晖, 周荣灿, 等. DL/T 438-2016, 火力发电厂金属技术监督规程[S]. 北京: 国家能源局, 2023.
- [6] 卢进波. 电力行业中大数据技术的应用探究[J]. 中国新通信, 2021, 23(4): 102-103.