

大型钢铁企业智慧安全管理系统构建与应用研究

白海峰¹, 邹德蛟¹, 杨小龙², 李东升³

- (1. 内蒙古新联信息产业有限公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢冷轧板材厂, 内蒙古 包头 014010;
3. 包钢西北创业建设有限公司, 内蒙古 包头 014010)

摘 要:针对传统钢铁企业安全管理中存在的信息孤岛、响应滞后、闭环缺失等问题,文章结合国家安全生产法规与双重预防机制建设要求,提出了一种以微服务架构为支撑、以数据驱动为核心的智慧安全管理系统实现方法。通过统一数据标准、重构业务流程、打通多源系统接口,并依托移动端赋能与闭环管控机制,实现了风险动态辨识、隐患全流程治理、高危作业全过程监管、相关方一体化准入及安全行为量化激励等关键能力。通过包钢的实际部署表明,该系统有效推动了安全管理从“被动响应”向“主动预防”、从“经验判断”向“数据决策”的转型,为流程型重工业企业的数字化安全体系建设提供了可落地的技术方案与实施范式。

关键词:智慧安全;钢铁企业;安全信息化管理;双重预防机制;闭环管理

中图分类号:P624.8

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2026)03-0079-05

Study on Establishment and Applications of Intelligent Safety Management System in Large Iron and Steel Enterprises

Bai Haifeng¹, Zou Dejiao¹, Yang Xiaolong², Li Dongsheng³

- (1. Inner Mongolia Xinlian Information Industry Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. Cold Rolled Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd.,
Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
3. Baotou Steel Northwest Entrepreneurial Construction Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In the paper, an implementation method of intelligent safety management system is proposed by taking the microservices architecture as support and data driving as the core combining with the national safety production regulations and construction requirements with dual prevention mechanism aiming at such problems as information isolated island, response lag and lack of closed-loop management in traditional safety management of steel enterprises. Such key competencies as dynamic identification of risks, whole-process treatment of hidden dangers, whole-process supervision of high-risk operations, integrated access of interested parties and quantitative incentives of safe behaviors are realized through unifying data standard, reconstructing business processes, integrating interfaces of multi-source system and relying on enabling of mobile terminal and closed-loop control mechanism. The actual deployment in Baotou Steel showed that the trans-

formation of safety management from “passive response” to “active prevention” and from “experience judgment” to “data – driven decision making” was effectively promoted with the system, which could provide the feasible technical solutions and implementation paradigm for establishing digital safety system in flow type heavy industrial enterprises.

Key words: intelligent safety; iron and steel enterprises; informatization management of safety; dual prevention mechanism; closed – loop management

钢铁工业作为典型的高危流程制造业,其生产过程涉及高温熔融金属、高压气体、大型起重设备及复杂化学反应,安全风险具有高度耦合性与突发性^[1]。据应急管理部统计,2020—2024 年全国冶金行业共发生较大以上事故 27 起,其中因隐患未及时治理或作业审批失控导致的占比超过 60%^[2]。这暴露出传统以纸质台账、人工巡检和事后追责为主的安全管理模式,已难以适应现代钢铁企业规模化、连续化、智能化的发展需求。

近年来,随着《中华人民共和国安全生产法》(2021 年修订)明确要求企业“构建安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制”^[3],以及《“工业互联网 + 安全生产”行动计划(2021—2023 年)》推动新一代信息技术与安全生产深度融合,钢铁企业纷纷探索安全管理数字化转型路径^[4]。然而,现有研究多聚焦于单一场景,缺乏覆盖全业务链条、贯通多管理层级的一体化系统解决方案。

本文以某大型冶金企业智慧安全平台建设项目为背景,重点阐述如何通过信息化手段系统性实现智慧安全管理目标。核心在于:以统一数据底座打破孤岛,以线上化流程保障闭环,激活全员参与,并通过微服务架构确保系统的灵活性与可扩展性。

1 建设要点

要实现真正有效的智慧安全管理,关键不在于功能堆砌,而在于如何构建支撑功能落地的技术与管理机制。本文提出三条核心实现路径:

(1)统一数据标准,夯实数据融合基础

为解决“数据孤岛”问题,系统首先制定企业级安全数据编码规范标准,打通主数据系统、设备管理系统、门禁系统等异构数据源。通过 ETL(Extraction Transformation Loading)工具将人员资质、设备台账、危险源档案、作业记录等多维数据进行汇聚,为上层应用提供一致的数据服务。数据基础的建立,是实现风险动态评估与智能预警的前提。

(2)通过流程引擎与状态机模型,实现业务闭环在线化

针对风险管控、隐患治理、作业审批等核心业务,将线下流程转化为线上可配置、可追踪的工作流。隐患治理采用“状态机”设计:从“上报→审核→派发→整改→验收→销号”各环节设置状态标识与时限规则,系统自动触发任务分发、超期预警,确保每个环节责任到人、过程留痕、结果可溯,从而强制形成管理闭环。

(3)通过移动端赋能与积分激励机制,驱动全员协同参与

为激活一线员工参与度,系统开发轻量化移动端应用,支持“吹哨人”隐患上报、人员扫码签到、在线学习等功能。同时,设计安全积分规则引擎:对隐患上报、培训完成等正向行为加分。积分结果与绩效考核、评优评先挂钩,通过机制设计将安全责任内化为个体行为动力,实现从“要我安全”到“我要安全”的转变。

2 关键技术与机制设计

2.1 建设方向

生产型企业安全生产信息化建设的目标是实现统一安全基础信息管理、统一安全线上监管以及统一安全风险管理。

(1)统一安全基础信息管理

通过信息化手段对人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全条件进行有效监测和预警,实现安全生产信息的采集、处理和分析,对安全生产各项活动、日常管理、监控、应急管理等工作实行统一管理,实现安全生产的信息交流和规范管理。

(2)统一安全线上监管

对整体安全管理工作进行统一线上监控,实时掌握所属各单位、各项目的现场安全管理情况,实现监控信息与安全管理的有机结合。

(3)统一安全风险管理

全面排查辨识风险、科学评定风险等级。要全方位、全过程辨识生产工艺、设备设施、作业环境、人员行为、管理体系和作业活动等方面存在的安全风险。构建安全风险分级管控和隐患排查治理双重预

防机制,健全风险防范化解机制,提高安全生产水平,确保安全生产。

2.2 分层解耦与微服务化

为实现系统建设的各项核心目标,系统在总体

架构设计上采用典型的分层解耦架构思想,自下而上主要包括基础设施层、数据资源层、平台服务层、业务应用层与综合展示层。图 1 为安全管理整体架构图。



图 1 安全管理整体架构图

基础层,充分依托并利用企业现有的“包钢云平台”基础设施资源,采用私有化部署模式,切实保障企业数据主权与网络信息安全。该层部署了高性能数据库服务器集群,通过高可用架构与负载均衡技术确保数据服务连续不中断;同时配置多台应用服务器,由负载均衡设备智能分发业务请求,有效保障系统在高并发访问条件下的快速响应与业务连续性。

数据资源层,通过制定统一的数据编码标准与接口规范,系统性地整合接入来自主数据系统、设备管理系统、门禁系统以及系统各业务功能模块所产生的多源异构数据,全面覆盖人员资质信息、组织机构数据、设备设施台账、危险源档案、作业活动清单、隐患排查记录、安全培训档案、应急资源信息等核心安全主题数据,初步形成了标准统一、资源共享的企业级安全管理数据资源池。

平台服务层,是支撑业务灵活组合与快速迭代开发的技术核心。系统采用基于 SpringBoot 框架的微服务架构,将传统单体式应用拆分为可独立开发部署与弹性扩展的细粒度服务(例如用户管理服务、统一认证与授权服务、消息通知服务、文件存储服务)。不仅大幅提升了系统的可维护性与故障

隔离能力,也为未来新增业务功能或调整现有流程提供了高度的敏捷性与适应性。

业务应用层,是系统核心功能直接面向终端用户的体现。基于平台服务层所构建的稳定技术底座,构建涵盖安全目标与文化宣贯、组织机构与人员管理、安全生产费用投入管控、风险分级管控、隐患排查治理、危险作业票、安全教育培训管理、职业健康监护、相关方安全管理、应急资源与预案管理、事故报告与调查、监督检查管理、安全积分考核等在内的 24 个业务功能模块。系统同时提供 PC 端与移动端两种访问方式,以适应办公室集中管理与生产现场移动办公等不同业务场景,实现安全业务的全天候、跨地域协同处理。

综合展示层,是系统综合价值与决策支持能力的直观呈现界面。通过构建企业级的“安全管理智能驾驶舱”,综合运用数据可视化、图表分析等技术手段,将底层多源数据转化为直观易懂的全局安全态势概览、隐患趋势统计分析图、危险作业看板等多维度展示,为企业各级安全管理人员,特别是高层决策者,提供实时、直观、综合的数据看板,有效支撑其开展科学决策与精准管控。图 2 为安全管理组织框架图。

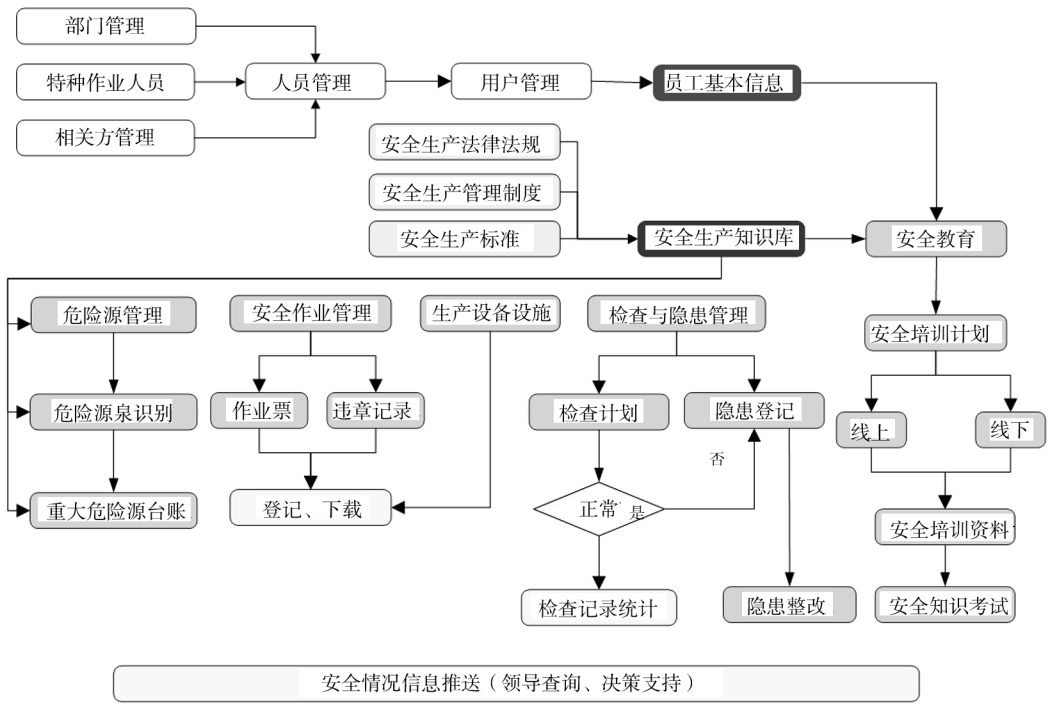


图 2 安全管理组织框架图

2.3 双闭环机制

系统严格依据国家关于构建风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制的核心要求，建立了线上化、流程化、动态化的风险与隐患协同管理体系。

在风险分级管控方面，系统对各生产单位依据工艺流程与设备布局进行风险单元的科学划分，使用作业条件危险性评价法等标准化工具进行危险源辨识、风险分析与定量评价，并依据预设规则自动判定风险等级（重大风险、较大风险、一般风险和低风险），清晰指派管控责任部门与具体管控措施。

在隐患排查治理方面，系统创新引入“全员安全吹哨人”机制，鼓励每一位员工通过移动终端随时随地上报现场发现的隐患，上报内容可包含文字描述、现场图片等信息。隐患上报后，经由安全管理人员人工审核分发，进入“上报→受理审核→任务派发→整改执行→整改验收”的标准化线上闭环处理流程。系统自动跟踪每个环节的处理状态与时限，对临近超期或已超期未处理的任務自动发送预警消息，并对相关数据进行统计与分析，为企业制定预防性管理措施提供数据驱动的决策依据。

系统自动跟踪每个环节的处理状态与时限，对临近超期或已超期未处理的任務自动发送预警消息，并对相关数据进行统计与分析功能，为企业制定

预防性管理措施提供数据驱动的决策依据。

2.4 作业票全过程管控

针对钢铁企业生产过程中频繁涉及的动火作业、受限空间作业、高处作业、大型吊装作业等八大类高风险特殊作业，系统实现了作业许可（或称作业票）申请、审批、签发、交底、执行、关闭的全流程电子化与移动化管理。此模块将传统线下纸质票证的繁琐、易丢失、难追溯问题彻底解决，实现了作业过程的透明化、规范化与可追溯性。

2.5 安全教育培训与积分管理

系统构建了线上安全教育一站式平台。支持年度/月度培训计划的线上制定、发布与报名；提支资源库与标准化试题库维护，员工可通过移动端进行在线练习与考试，系统自动记录考试成绩。

积分系统根据预设规则，对员工的安全行为进行量化评价。积分结果可应用于评优评先、绩效考核等场景，形成“行为 - 积分 - 激励”的正向循环，有效激发全员主动参与安全管理的积极性。

2.6 相关方统一准入与过程监管

为解决相关方（施工单位、施工人员等）人员复杂、流动性大、管理难度高的难题，系统建立了严格的相关方的线上准入与全过程监管机制。所有相关单位及其人员信息（含资质证照）必须录入系统

平台备案,形成相关方单位库与人员信息库。作业前,必须在系统内进行作业活动报备,关联作业人员信息,并可通过“黑名单”功能对不合格单位进行拦截。作业中,相关方人员的签到、签退情况、作业活动检查情况、作业票的执行情况、现场违章行为等均被系统记录,并与所属单位挂钩,作为其安全管理、费用结算乃至后续准入的依据。此模块实现了对相关方安全管理的统一标准、统一要求与统一考核,将相关方安全纳入企业一体化管理体系。

2.7 应急管理 with 事故管理

系统集成了应急管理的核心要素。建立应急预案库、应急物资台账、应急队伍档案,并可实现三者间的关联查询。支持在线制定应急演练计划、记录演练过程、进行效果评估与总结改进。

在事故管理方面,提供标准化的事故报告流程模板,支持事故信息的快速录入、上报与统计。系统可对历史事故数据进行数据分析展示,辅助管理者识别事故规律、查找管理薄弱环节。

3 结束语

本文基于某大型钢铁企业的真实建设实践,提出并验证了一套适用于流程型工业企业的智慧安全管理系统整体解决方案。该系统通过构建统一的信息化平台,利用微服务、移动互联、数据可视化等关键技术,成功实现了传统安全管理模式的数字化重构与智能化升级。它不仅将分散的管理流程集成为

高效的线上闭环,更通过数据贯通与深度应用,为企业构建并有效运行风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制提供了强有力的技术支撑与管理工具。

随着物联网 (IoT)、人工智能 (AI)、数字孪生 (Digital Twin) 等新一代信息技术的不断成熟,智慧安全管理系统将迎来更深层次的进化。通过接入更多智能传感器和视频 AI 分析,实现对人员不安全行为、设备异常状态的自动识别与实时预警;通过构建重点区域或设备的数字孪生体,实现安全风险的仿真模拟与预测性维护。系统的持续迭代升级,必将为钢铁乃至整个流程工业的安全、绿色、高质量发展注入更强大的智慧动能。

参 考 文 献

[1] 王梦瑶,李静,张伟. 冶金企业安全风险耦合特征与防控策略[J]. 中国安全科学学报, 2022,32(5):167-173.

[2] 中华人民共和国应急管理部. 2020—2024 年全国冶金行业事故统计年报[R]. 北京:应急管理出版社,2025.

[3] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国安全生产法(2021 年修订)[M]. 北京:中国法制出版社,2021.

[4] 蒋永强. 大型钢铁企业信息化安全管理体系探索与实践[J]. 劳动保护,2026(4):103-105.

(上接第 78 页)

源,净化程度远远不足,电压波动导致系统服务器死机;异常断电损伤机械硬盘,带来服务器死机的潜在隐患;改为 UPS 不间断电源,可解决绝大多数系统服务器死机情况。

(2) 不良的散热和降温措施,导致相机和 SPU 温度超标,触发保护,降温后重新引导,可排除“组态错误”。

(3) 机械硬盘的坏道检测和通电时间(超出 3 年)对运行的稳定性有负面影响,可作为更换的依据。

3 故障诊断和紧急恢复

通过组态管理器诊断工具查看相机信号曲线,如果相机信号曲线异常,提示“组态错误”,则问题在相机和 SPU 方向,可通过重新引导相机、重启 SPU、参看供电等措施排除;如果相机信号曲线正

常,而提示“组态错误”,则问题发生在系统服务器系统硬盘上,可更换备份盘排除。

4 结束语

智能化是检测仪表的发展方向,与表检仪类似的智能检测仪表在工业领域的应用,都应在设计阶段充分考虑电源净化、冷却散热和数据存储方面的能力,以提升智能检测仪表抗干扰能力及稳定性。

参 考 文 献

[1] 张卫苓,孟云霞. 基于高次谐波干扰的计算机电源净化技术[J]. 电源技术,2013,37(1):138-140.

[2] GB 50174—2017[S]. 北京:中国设计出版社,2017.