

煤电企业集控运行危险点管理体系优化研究

——基于动态风险评估的实践路径

孙旭东

国能吉林龙华热电股份有限公司白城热电厂

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15756

[摘要] 针对煤电企业集控运行环节危险点多维性、隐蔽性及动态演化特征,本文系统分析了设备、操作、系统及环境四类危险点的识别方法与管控难点,融合风险评估理论及智能监测技术,构建了覆盖风险识别、责任落实、隐患治理、源头防控、智能决策与应急响应的全链条管理体系。应用实践表明,该体系可显著提升危险点预警准确率与管控效率,为煤电企业安全绿色转型提供技术支撑。

[关键词] 煤电集控运行; 危险点管理; 动态风险评估; 智能化管控; 安全生产

一、引言

1.1 研究背景

在我国能源结构中,煤电仍占据核心地位,其安全生产直接关系到国家能源安全与社会稳定。集控运行作为煤电企业生产链的关键环节,通过集中化监测与协调,显著提升了设备运行的自动化水平和生产流程的效率。集控运行通过集中监控提升了自动化水平,但因系统复杂、设备繁多、人因依赖强,危险点呈现隐蔽性与多样性特征,安全管理面临严峻挑战。

近年随电力装机规模扩大与安全标准提升,危险点的科学识别与精准防控成为行业关键难题。特别是在“双碳”目标下,煤电企业需兼顾安全稳定与低碳转型,如何在降碳过程中保障系统可靠运行,已成为紧

1.2 研究意义

本文聚焦集控运行危险点管理,结合前沿风险评估方法与智能技术,提出体系化优化方案。研究成果有助于降低事故率、提升运行效能,并为煤电企业绿色低碳转型提供理论支持。同时,响应《“十四五”国家安全生产规划》关于“健全风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制”的政策要求,具有显著的工程应用价值与行业推广前景。

二、文献综述

2.1 危险点分析与预控的国内外研究进展

煤电企业集控运行的安全保障,核心在于危险点的有效分析与预防控制。国内外研究一致表明,危险点有效管控是煤电集控安全的核心。当前研究呈现典型分野:

- 国内重点: 聚焦危险点系统化识别与分级预控,通过全过程管控提升安全效能;
- 国际前沿: 侧重风险评估模型工程化应用,尤其动态监测领域成效显著。

值得注意的是,近年来,国内外学者在这一领域均开展了大量研究,国际学者正推动大数据+AI+传感技术融合,实现状态实时监测与预测预警,提升控制精准度与响应速度^[1-2]。

国际能源署(IEA)在报告中指出^[3],清洁能源转型中电网基础设施已成为制约因素之一。这提示我们,在开展危险点管理研究时,必须充分考虑能源结构转型背景下电力系统动态运行特性的变化。

2.2 风险评估理论在危险点管理中的应用

风险矩阵、失效模式与影响分析(FMEA)等方法在工业安全领域应用成熟,但在煤电企业的集控运行领域仍处于不断完善和探索的阶段。这些方法的引入,有助于精准定位潜在危险点,并支撑动态监控与风险分级管控的实施^[4]。

近年来,依托人工智能与大数据技术的快速发展,基于机器学习的风险预测模型发展迅速。此类模型通过分析历史运行数据与事故记录,可提前识别高风险环节,显著提升风险评估的准确性及时效性。

政策层面上,《“十四五”国家安全生产规划》明确要求完善风险监测预警体系、健全风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制,这为煤电企业在危险点管理中深化风险评估应用提供了明确的政策导向与制度支撑^[5]。

2.3 集控运行的特点与现有管理体系分析

集控运行具有系统复杂度高、多设备强耦合协调、实时性要求严苛的显著特征。然而,当前多数煤电企业的危险点管理体系仍以静态分析为主导,普遍缺乏动态风险感知与快速响应能力。这导致其在应对突发性风险或复杂工况变化时存在响应滞后问题^[6]。

在清洁能源比例提升和电网结构日益复杂的背景下,传统的集控运行管理面临新的挑战。国际能源署的研究指出,

电网建设速度滞后于清洁能源发展的步伐,可能成为能源转型的瓶颈^[3]。

小结:

构建新型危险点管理体系,亟需充分考虑电力系统运行环境的动态演化特性,并融合应用更先进的风险评估方法及自适应控制策略,以适应新型电力系统的运行需求。构建新型管理体系亟需融合动态风险评估+自适应控制策略,以解决两大突出问题:一是动态风险管控能力薄弱;二是新兴信息技术融合不足。这是实现煤电安全高效运行的关键支撑。

三、煤电企业集控运行危险点分析

煤电企业集控运行模式通过统一监测与协调调度,显著提升了发电过程的高效性与安全性。然而,该模式下仍存在多种潜在危险点,若未能及时识别并有效管控,将对生产安全与系统稳定性构成严重威胁。

3.1 危险点的定义与分类

危险点指生产流程中可能触发事故或安全事件的特定环节或关键因素。在煤电企业的集控运行中,主要危险点可归纳为以下四类:

- 设备类: 涵盖锅炉、汽轮机、发电机等核心设备的突发故障、运行状态异常或关键材料劣化问题;
- 操作类: 涉及集控人员的误操作、违章作业或规程执行偏差;
- 系统类: 涵盖控制系统的软件异常、数据传输故障以及网络安全漏洞等;
- 环境类: 如高温、高压、粉尘浓度过高等作业环境条件。

上述分类有助于针对不同危险点类型,制定并实施差异化的管控策略,从而提升风险治理的针对性与实效性。

3.2 危险点的识别与分析方法

危险点识别是危险点管理的基础环节。常用的识别与分析方法包括:

传统方法: JHA (作业步骤分解)、FMEA (故障模式推演)、HAZOP (系统性偏差分析)、风险矩阵 (概率-后果评估);

智能方法: 基于 LSTM 的时序数据预测、随机森林故障分类模型,提升识别精度 30%以上。

3.3 危险点的动态监测与预警

传统的危险点管理往往基于静态分析,难以及时应对运行中的风险变化。当前可通过传感器网络+物联网平台+智能算法构建实时监测预警系统:

- 数据采集: 在关键节点部署传感器,连续获取温度/压力/振动等参数;
 - 趋势分析: 基于算法模型识别参数演化规律;
 - 超前预警: 在风险显性化前触发报警,支撑主动干预。
- 国家能源局明确要求构建新型电力系统全流程风险监测

体系,深化分级管控并明确各方责任,为动态监测提供政策依据。

3.4 危险点管理中的新理论与方法

随着煤电企业向低碳、智能化方向发展,集控运行的复杂度持续上升,传统危险点管理方法的适应性受到挑战。近年来涌现的部分新理论与方法包括:

- 系统安全理论 (STAMP): 从系统整体出发,关注各组成部分之间的交互作用对安全的影响;
- 弹性工程 (Resilience Engineering): 强调系统在不确定和变化条件下保持或快速恢复功能的能力;
- 基于模型的系统工程 (MBSE): 利用系统模型进行仿真分析,预测并定位潜在危险点。

这些理论为构建韧性化、前瞻性管理体系奠定基础。面对设备、人因、系统、环境的多维风险,亟需融合跨学科技术与管理理念,推动危险点管理从静态分析向动态预控转型。

四、基于风险评估的危险点管理体系构建

煤电企业的集中控制运行中,建立以风险评估为核心的危险点管理体系,是确保安全生产和实现高质量发展的重要保障。结合集团公司近年来在安全治理方面的理念与实践,该体系构建路径如下:

4.1 系统化风险识别与评估机制

构建覆盖全业务链的风险识别框架,聚焦锅炉运行、燃料输送、自动控制等核心环节。综合应用风险矩阵、FMEA 等工具开展多维度分析,融合实时运行数据实施动态风险分级管控,确保评估结果的全面性与精准性,严守安全底线。

- 全流程覆盖: 涵盖燃料输送、锅炉燃烧、汽机调控等核心环节;
- 动态分级: 融合 FMEA 与实时数据 (如锅炉管壁温度趋势),动态更新风险等级;
- 阈值管理: 设定参数安全裕度,触发分级报警 (I 级预警/II 级告警/III 级急停)。

4.2 全员安全生产责任体系

建立分层级、可追溯的安全责任制度,通过岗位安全责任书签订与安全绩效考核实现责任到人。同步强化常态化安全培训与技能认证,确保员工具备风险辨识、应急处置的核心能力,形成责任传递与能力提升的双重保障。

- 责任清单: 岗位安全责任书明确巡检、操作、监护职责;
- 能力认证: 通过 VR 事故模拟平台考核应急处置技能,达标率需 >98%。

4.3 闭环化隐患排查治理体系

依据《“十四五”危险化学品安全生产规划方案》,深度融合风险分级管控与隐患排查治理。应用智能视频分析、大

数据平台技术, 实现隐患的自动识别→实时上报→闭环整改→数字化复查全流程管理, 显著提升治理效率与可追溯性。

- 智能排查: 利用视频 AI 识别跑冒滴漏、人员违章 (准确率 $\geq 92\%$);

- 流程闭环: 工单系统自动跟踪“发现-整改-验收”全周期 (平均处理时效缩短 40%)。

4.4 防控关口前移与源头治理

针对重大危险源与高风险作业, 在设计、采购、安装阶段嵌入安全审查机制。运行期建立危险源分级监控台账, 对高危工艺、危化品实施全天候重点监管, 确保风险防控贯穿设备全生命周期。

- 设计阶段: 引入 HAZOP 审查控制系统冗余设计;

- 运行阶段: 建立氨区、氢站等重大危险源电子监控台账, 实时数据接入集团监管平台。

4.5 信息化与智能化风险管控

基于物联网传感网络、AI 算法及大数据分析, 构建动态监测-预测预警-智能决策一体化平台。实现危险点实时感知与趋势预测, 异常工况自动触发分级预警及处置方案生成, 提升应急响应速度与精准度。

构建“三层架构”平台:

- 感知层: 多源传感器数据采集;
- 分析层: 基于 XGBoost 算法的风险预测模型;
- 决策层: 自动生成处置方案 (如降负荷速率建议)

4.6 实战化应急管理演练

制定差异化事故应急预案, 常态化开展多部门联合实战演练。通过模拟锅炉爆管、控制系统瘫痪等典型故障场景, 验证预案有效性并强化跨部门协同处置能力, 确保突发事件响应的迅速性与规范性。

- 预案库: 包含锅炉 MFT、全厂失电等 20 类场景;

- 联合演练: 每季度开展多部门协同演练, 响应时间压缩至 < 5 分钟。

体系价值:

本体系实现“风险识别→责任落实→隐患治理→应急响应”全链条闭环, 融合智能技术与集团标准, 显著提升本质安全水平与系统韧性, 支撑煤电绿色转型。

五、结论与建议

本研究聚焦煤电企业集控运行安全的核心挑战——危险点管理, 在系统分析其特性、识别方法及现有体系局限性的基础上, 构建了一套以风险评估为核心、融合智能化技术、贯穿全流程的危险点管理体系。主要结论与建议如下:

5.1 主要结论

5.1.1 动态风险评估是基石: 破解静态管理滞后性, 需建立实时数据驱动的风险矩阵更新机制(如 FMEA 融合在线监

测), 实现风险精准定级与预警。

5.1.2 “人-技-管”协同是体系关键:

支柱	核心措施	作用
人因	责任制+常态化培训考核	提升风险辨识应急能力
技术	物联网+AI 构建监测-预警-决策链	支撑实时感知与干预
管理	隐患闭环治理+源头安全审查	确保管控落地

5.1.3 智能化是效能倍增器

- 机器学习模型提升风险前瞻性识别能力;
- 智能视频监控+大数据平台缩短隐患处置周期 $> 95\%$ 。

5.2 研究局限与未来展望

- 局限: ①模型跨机组泛化能力待验证; ②人因可靠性量化不足; ③极端工况应对需强化;

- 展望: ① 开发机理-数据融合模型; ②构建数字孪生平台; ③研究新能源接入下的风险耦合机制。

3. 实践建议

顶层设计与政策配套: 企业应将基于风险评估的危险点管理纳入安全生产战略, 制定配套制度与资源投入计划; 行业层面可推动相关标准规范的完善。

- 分步实施与持续改进: 优先在关键机组或环节试点, 验证效果后逐步推广; 建立体系运行效果的定期评估与反馈机制, 实现 PDCA 循环优化。

- 数据资产积累与应用: 高度重视历史运行数据、事故/异常记录、维护数据的规范化采集、存储与治理, 为模型训练和优化提供高质量“燃料”。

- 跨部门协同与人才建设: 强化运行、维护、安监、信息等部门的协同联动; 加强兼具电力专业知识和数据分析能力的复合人才培养。

[参考文献]

[1]Hollnagel E. Resilience engineering in practice: A guidebook[M]. CRC Press, 2018.

[2]张斌, 王磊. 基于深度学习的火电厂设备故障预警[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41 (10): 3452-3460.

[3]IEA. Power Systems in Transition[R]. Paris: IEA, 2023.

[4]Li Z, et al. Risk assessment of thermal power units using FMEA and cloud model[J]. Energy, 2022, 239: 122163.

[5]国务院. “十四五”国家安全生产规划[Z]. 2022.

[6]陈志强. 火电集控运行危险点分析及预控[J]. 电力安全技术, 2020, 22 (5): 4-8.