

火电厂安全风险精细化管理

马利斌 刘 欢

新疆华电高昌热电有限公司 新疆 吐鲁番 838000

摘 要：火电厂是十分关键的电能生产单位，其自身有着较强的重要性与风险性。另外，火电厂的管理工作属于一项整体性的任务。特别是在新时代背景下，为了满足碳中和基础发展需求，减少火电厂生产作业时给社会以及自然环境造成的影响，取得更高的发电质量，要求对整个火电厂的生产管理流程实行高效率、有序性、规范化的管理工作。为此，可在精细化管理模式下，结合实际生产情况和发展需求，提高安全风险管理工作有效性。

关键词：火电厂；安全风险；精细化管理

火电是我国电力资源的关键内容，对火电厂实行安全管理非常关键。只有采取高质量的安全管理措施，方可确保火电厂日常生产活动的正常运作，同时更是能够直接体现出火电厂的管理能力。

1 火电厂安全风险概述

1.1 主要风险类型

①火灾与爆炸风险。煤粉、油料、氢气等易燃物质的存储与使用易引发火灾或爆炸，如煤堆自燃、锅炉爆燃、油料泄漏等。煤粉输送过程中因设备故障或操作失误可能导致粉尘爆炸，爆炸下限低至 49g/m^3 ，风险极高。设备与机械故障。锅炉、汽轮机、发电机等核心设备老化或维护不足易引发连锁故障，如空预器差压高、汽轮机叶片断裂等，导致非计划停机或重大事故。燃料供应系统断裂、燃烧系统过热等风险概率较高，每年可能引发多次事故。

②触电与中毒风险。电气设备短路、漏电或违规操作易造成触电伤害；液氨、氢气等有毒物质泄漏可能引发中毒事件。环境与作业风险。高温、粉尘、噪音等恶劣作业环境长期影响人员健康，且极端天气（如台风、暴雨）可能加剧设备损坏风险。

1.2 风险成因分析

①设备因素。设备设计缺陷、老化及维护滞后是主要诱因，如某电厂因锅炉老化导致直接经济损失数千万元。管理因素。安全责任机制不健全、标准化流程缺失易引发操作失控，例如未制定特种作业指导手册或未落实“一设备一档案”制度。

②人为因素。操作人员技能不足、疲劳作业或安全意识薄弱导致误操作，占事故原因的30%以上。技术复杂性。燃烧控制、废气处理等环节技术要求高，微小偏差可能引发系统连锁反应，如燃烧不彻底导致污染物超标或设备损坏。

2 火电厂主要安全风险分类及具体表现

2.1 火灾与爆炸风险

①燃料储存与燃烧风险。煤堆长期堆放易自燃，煤粉爆炸下限低至 49g/m^3 ，输送过程中设备故障或操作失误可能引发粉尘爆炸。油料泄漏（如输油泵密封不良）及氢气、液氨等易燃易爆物质外泄，均可能触发火灾或爆炸事故。

②动火作业风险。焊渣飞溅引燃周围可燃物，受限空间内可燃气体浓度过高遇火源易爆炸，气瓶管理不当（如乙炔瓶高温烘烤）可能导致物理爆炸。

2.2 设备与机械故障风险

①核心设备运行风险。锅炉燃烧系统故障（如燃烧不彻底、过热）可能导致爆燃；汽轮机叶片断裂、发电机设备老化等易引发连锁停机。燃料供应系统断裂或质量不达标（如煤粉堆积、输送设备故障）直接影响生产稳定性。

②电气系统风险。电气设备短路、漏电或绝缘失效可能引发触电事故，电缆老化或敷设不当可能起火。

2.3 化学与中毒风险

①有毒气体泄漏。一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等燃烧废气，以及液氨、氢气等泄漏可能造成急性中毒或慢性健康损害。

②化学物质接触危害。酸碱类物质（如硫酸、氢氧化钠）泄漏可能灼伤皮肤或腐蚀设备，锰等重金属长期接触危害神经系统。

2.4 作业环境与职业健康风险

①物理危害因素。高温、热辐射易导致中暑；长期暴露于高噪声环境（如汽轮机区域）可致听力损伤。粉尘（煤尘、石灰石粉尘）长期吸入可能引发尘肺病，工频电场对神经系统存在潜在影响。

②操作环境风险。受限空间作业通风不良可能引发

窒息，高空或重型机械作业存在坠落、挤压等机械伤害风险。

2.5 人为因素与管理风险

①操作失误与技能不足。未持证上岗、疲劳作业或违反规程（如燃料控制不当）导致误操作，占事故原因的30%以上。

②应急管理缺陷。消防系统不完善、应急预案缺失或演练不足，可能扩大事故后果。

2.6 自然灾害与外部风险。台风、暴雨等极端天气可能损坏露天设备（如输煤栈桥），地震可能引发管道破裂或结构坍塌。

3 火电厂安全风险精细化管理的重要性

3.1 保障经济效益与生产稳定性

①降低非计划停机损失。通过设备全生命周期管理和预防性维护，可减少锅炉、汽轮机等核心设备的突发故障，避免单次事故直接经济损失高达数千万元。例如，电厂通过燃烧优化和动态管控体系，显著提升机组利用效率。精细化监测燃料系统（如煤粉输送、液氨存储），可减少因设备故障导致的燃料浪费和供电中断风险。

②优化资源利用率。标准化流程与智能预警系统（如DCS环境监测）可精准控制能耗，降低煤耗、水耗等生产成本。

3.2 提升人员安全与健康水平

①减少事故伤亡率。通过“双重预防机制”和风险分级管控（如 $D = LEC$ 评估法），可提前识别高危作业风险（如受限空间、动火作业），降低触电、中毒等事故发生率。规范化操作培训与应急演练（如氨泄漏模拟处置），能提升员工安全意识和应急处置能力，避免因误操作导致人员伤亡。

②改善职业健康环境。对粉尘、噪音、高温等危害因素实施精准监测与控制，可减少尘肺病、听力损伤等职业病的长期累积风险。

3.3 强化合规与社会责任

①满足监管要求。精细化管理通过“一设备一档案”制度、安全风险公示等措施，确保符合国家安全生产法规和行业标准，规避法律风险。

②维护社会能源安全。减少因火灾、设备故障引发的停电事故，保障区域电力供应稳定性，避免因供电中断影响社会正常运转。通过污染物排放控制（如降低氨逃逸率），可减轻环境压力，助力“双碳”目标实现。

3.4 推动企业可持续发展

①增强市场竞争力。通过精细化成本控制和技术升级（如输煤系统改造），火电厂可在电力市场化竞争中

保持效率优势，延长老旧机组生命周期。

②构建安全文化生态。将安全绩效与奖惩挂钩，通过积分制激励全员参与隐患排查，形成“人人管安全”的良性循环，为企业长期稳定发展奠定基础。

4 精细化管理在降低火电厂安全事故率中的作用

4.1 设备全周期维护与风险预控。通过精细化设备管理（如“一设备一档案”制度），对锅炉、汽轮机等核心设备实施全生命周期监控，结合预防性维护技术，可减少因设备老化或故障引发的突发事故，降低非计划停机频率。燃料系统（如输煤设备、液氨储罐）的精细化监测与动态管控，可提前识别粉尘堆积、泄漏等隐患，避免煤粉爆炸（爆炸下限低至 49g/m^3 ）等高风险事件。

4.2 标准化流程与操作规范。制定并落实特种作业标准化流程（如动火作业、受限空间操作），结合智能预警系统（如DCS监测），可减少人为操作失误导致的触电、中毒等事故。输煤系统改造中引入精细化流程管理，通过规范燃料质量检测和输送环节，降低设备磨损和堵塞风险，提升运行稳定性。

4.3 人员培训与安全文化构建。实施分层次、差异化的安全教育培训（如事故预想、反事故演习），针对不同岗位细化培训内容，可提高员工风险辨识能力和应急响应水平，减少违章操作（占事故原因的30%以上）。建立安全绩效积分制等激励机制，推动全员参与隐患排查，形成“人人管安全”的文化生态，从根源上降低事故率。

4.4 双重预防机制与风险分级管控。采用“ $D = LEC$ 评估法”对高风险作业（如高空检修、化学物质处理）进行动态分级，结合精细化风险公示和管控措施，实现高危环节的精准干预。对粉尘、噪音等职业危害因素实施量化监测与控制，减少尘肺病等长期健康损害，提升作业环境安全性。

4.5 应急管理效能提升。完善应急预案并开展氨泄漏、火灾等场景的模拟演练，结合24小时值班值守制度，确保事故初期快速响应，避免后果扩大。通过智能消防系统和应急资源精细化调配，缩短事故处置时间，降低经济损失和人员伤亡风险。

4.6 综合效益与社会责任。精细化污染物排放控制（如降低氨逃逸率），减少环保违规风险，助力“双碳”目标实现。保障电力供应稳定性，避免因事故导致区域停电，维护社会能源安全与企业公信力。

5 火电厂安全风险持续改进策略

5.1 动态风险监测与智能化升级

①构建“空天地”立体监测体系。引入无人机巡

检、红外测温、卫星遥感等技术,实时监控输电线路及设备运行状态,精准识别山火、设备过热等隐患,提升风险预警响应速度。在燃料储存区(如煤场、液氨罐)部署可燃气体传感器和粉尘浓度监测装置,实现泄漏、自燃等风险的动态预警。

②推进设备全生命周期管理

建立“一设备一档案”制度,结合大数据分析预测设备老化趋势,优化预防性维护计划,减少非计划停机频率。

5.2 风险预控与标准化流程迭代

①强化双重预防机制。采用 $D = LEC$ 等风险评估方法对高危作业(如受限空间操作、动火作业)分级管控,制定差异化防控措施并公示风险清单。实施“一线一策”管理,针对输煤系统、锅炉区等高风险区域定制巡检方案,结合表单化检查提升现场执行标准化水平。

②完善安全管理制度。修订应急预案并定期演练(如氨泄漏、火灾模拟),通过复盘总结优化处置流程,缩短事故响应时间。推行“安全积分制”,将隐患排查与绩效考核挂钩,激励全员参与风险管控。

5.3 人员能力提升与文化赋能

①分层次精准培训机制。针对检修班组、运行人员等不同岗位开展差异化培训(如反事故演习、安全规程实操),重点强化风险辨识与应急处置能力。引入VR/AR技术模拟高风险场景(如触电、高空坠落),增强培训沉浸感与实效性。

②构建主动安全文化生态。通过安全宣传周、事故案例警示教育等活动,推动“要我安全”向“我要安全”转变。建立“安全标兵”评选机制,树立示范标杆,形成良性竞争氛围。

5.4 政企联动与外部风险联防

深化跨部门协作机制。联合应急管理、林业等部门建立火情信息共享平台,实现山火风险早发现、早处置。定期开展区域联合应急演练,提升多主体协同处置能力。强化自然灾害应对能力。针对台风、暴雨等极端天气,加固露天设备(如输煤栈桥),优化排水系统设计,降低次生灾害风险。

5.5 数字化平台与效能评估

①搭建安全管理智能平台。整合设备监测数据、作业票系统、隐患台账等模块,实现风险管控全流程可视化追踪与闭环管理。

②定期开展安全绩效审计。每季度评估风险管控措施有效性,通过PDCA循环优化管理策略,确保改进措施落地见效。

6 火电厂安全风险未来发展趋势与挑战

6.1 发展趋势

①智能化与数字化技术深度应用。火电厂将加速构建“空天地”一体化监控体系,依托无人机巡检、红外热成像、AI算法等新技术,实现设备状态实时感知与风险预测,推动安全防控从“事后处置”向“事前预警”转型。安全管理平台整合设备监测、作业票系统、应急预案等模块,通过数据闭环管理提升风险处置效率。低碳化转型驱动的风险防控升级。超临界机组、碳捕集与封存(CCUS)技术推广,降低碳排放的同时,需同步解决高压设备泄漏、化学腐蚀等新增风险点。燃煤与新能源耦合发电模式(如光热互补)的普及,对多能源协同运行的安全性提出更高要求。

②标准化与合规性强化。环保政策趋严(如超低排放改造)倒逼火电厂优化污染物控制流程,防范氨逃逸、粉尘爆炸等环保连带风险。国家能源局推动的安全生产标准化建设,要求企业完善“双重预防机制”,实现风险分级管控与隐患排查的动态联动。

6.2 核心挑战

①设备老化与运维压力。我国火电装机中约30%机组服役超过15年,设备疲劳裂纹、管道腐蚀等问题频发,非计划停机风险增加。燃料系统(如输煤栈桥)长期高负荷运行,易引发机械故障和火灾隐患,维护成本逐年攀升。

②极端气候与外部风险叠加。台风、暴雨等极端天气频率上升,露天设备(如冷却塔、变压器)面临结构损伤和短路风险,需强化防洪、防风设计标准。山火、地震等自然灾害可能引发电网连锁故障,需建立跨区域应急联动机制以降低次生灾害影响。

③人员能力与组织管理短板。技术迭代加速导致传统运维人员技能脱节,高风险作业(如受限空间检修)中人为失误仍占事故原因的40%以上。部分企业安全文化薄弱,隐患排查流于形式化,激励机制(如安全积分制)落地效果参差不齐。

④行业转型期的资源整合难题。小规模、高污染火电厂加速淘汰,关停过程中的设备拆除、危化品处置存在遗留风险。电力市场化改革背景下,企业成本控制与安全投入的平衡矛盾凸显,可能影响技术改造进度。

6.3 应对策略展望

技术层面:推进数字孪生技术在设备健康管理中的应用,构建“预测-诊断-修复”全链条能力;制度层面:细化《电力安全生产条例》实施细则,强制推行高风险作业的智能监护系统;协同层面:联合气象、应急部门

建立自然灾害预警平台，实现风险信息的实时共享与联合演练。

总之，在火电厂内实行安全风险的精细化管理，是保障电厂正常经营、稳定发展的必要措施，基于对精细化管理工作要求的进一步明确与确切落实，能够使得电厂的生产作业更加满足社会发展需求。结合精益求精的生产管理观念，能让每位职工都处于安全的环境下开展日常工作，不仅有助于提高火电厂生产效率以及电能

产量，还为电厂的持续安全运行提供保障，同时也为社会提供稳定、充足的电能，以此推动火电厂朝着更为科学、现代化的方向发展。

参考文献

- [1]吕洋.火电厂汽轮机运行存在的问题与对策.2022.
- [2]屈海英.浅谈火电厂安全风险精细化管理.2023.
- [3]张洁芸.基于精细化与创新管理的火电厂班组建设探析.2023.