

基于故障树分析的输煤系统停机风险评估与防控策略

周健雄

福建华电可门发电有限公司, 福建省福州市, 350000;

摘要: 输煤系统在能源输送领域意义重大, 但停机风险影响稳定运行与能源供应。研究基于故障树分析构建输煤系统停机风险评估模型, 先详细阐述故障树构建方法、逻辑关系确定; 计算风险事件概率并量化评估, 通过关键风险节点识别与敏感性分析明确风险关键因素。基于评估结果, 制定全面防控策略。设备方面, 优化维护与预防性检修策略; 管理上, 完善并强化运行管理制度执行; 环境层面, 实施适应性改造并制定应急预案; 人员方面, 加强培训提升操作规范化。经实践验证, 模型与策略可有效降低输煤系统停机风险, 提高系统可靠性与稳定性, 为输煤系统安全运行提供理论支撑与实践指导, 助力能源行业高质量发展。

关键词: 输煤系统; 停机风险; 故障树分析; 风险评估模型

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.074

引言

输煤系统作为能源产业链的关键枢纽, 承担煤炭等能源物资的输送任务, 运行稳定性直接关系到能源供应的连续性与生产安全^[1]。实际运行中, 输煤系统面临着设备故障、人员操作失误、环境变化等多种因素的干扰, 导致停机风险时有发生, 给企业造成经济损失与社会影响。传统风险评估方法多侧重于单一因素分析, 缺乏系统性与全面性。故障树分析作为一种逻辑严密、直观有效的系统分析方法, 能够清晰呈现各风险因素之间的因果关系与逻辑链条。研究运用故障树分析构建输煤系统停机风险评估模型, 并制定针对性防控策略, 降低停机风险, 保障输煤系统安全稳定运行。

1 输煤系统停机风险因素分析

1.1 设备故障类风险因素

输煤系统设备故障, 是造成停运的最核心的危险因素^[2]。涉及到很多关键环节, 如输送带核心部件在长时间的工作过程中容易发生磨损, 撕裂和跑偏的现象, 这直接关系到输煤的连续性; 驱动装置内的电机, 减速机等由于超载、散热不畅或者零件老化等原因, 容易诱发过热和停机等故障; 给料设备中的振动给料机和圆盘给料机由于物料堵塞和机械卡滞或者控制失灵而造成供料中断; 破碎设备加工大块煤的过程中会由于锤头磨损, 筛网堵塞或者过载保护动作等原因而导致停机; 除尘设备故障造成的煤尘浓度过高, 也会引发安全联锁停机; 电气控制系统的传感器、继电器和接触器等部件出现故障, 或者 PLC 程序不正确, 也都会触发误动作或者控制故障, 导致系统停运。

1.2 运行管理类风险因素

运行管理类风险因素对输煤系统的平稳运行具有显著影响。从操作规范的层面上讲, 如果操作员不严格遵守启停流程, 如不先打开除尘设备就启动输送带, 很容易导致煤尘的堆积而造成安全隐患甚至引发紧急停机; 设备巡检制度落实不好, 没有及时发现皮带跑偏和驱动装置异响的早期故障迹象, 就会将小问题发展成重大故障而造成非计划停机。从调度管理的角度来看, 煤量的不合理分配和局部设备的超负荷运行都将加快设备的磨损; 同时应急预案不够健全, 在遇到突发故障的情况下, 部门之间的配合不够顺畅、反应缓慢, 将增加停机时间和扩大亏损。运行记录的缺失或者不准也不利于故障的分析和经验的总结, 很难形成有效的预防和控制措施^[3]。

1.3 环境条件类风险因素

环境条件对输煤系统工作稳定性的影响是不容忽视的。从气候环境的角度来看, 极度的高温加速设备润滑油的老化, 造成轴承与其他零件之间的摩擦加剧和温度的突然升高, 诱发设备的过热停机; 低温的条件下, 输送带会变得更加坚硬和脆弱, 会降低抗拉能力, 增加被撕裂的风险, 并且管道内的煤粉容易发生冻结和堵塞, 影响正常的煤炭输送。从作业环境来看, 煤尘浓度过高不但会对设备造成污染, 使其散热效率下降, 而且会导致爆炸等安全事故的发生, 使系统被迫紧急停止运行; 潮湿的环境降低电气设备的绝缘性能, 发生短路和接地等故障, 影响控制回路的正常工作。恶劣天气如强风和暴雨也会对室外设备产生破坏作用, 如将防护罩吹落、

使电机进水，导致系统停止运行。

1.4 人员操作类风险因素

人员操作作为输煤系统操作中重要的一环，它的错误会直接或间接地触发停机。操作人员缺乏足够的技能，对于设备的性能、操作流程和应急处理措施把握不牢，遇到复杂的工况或者突发故障，容易因为误操作而造成设备的损坏或者系统的停运，比如误调输送带的张力、违章启停装置等。安全意识不强，不严格按照安全规程操作，如不穿戴防护用具进危险区域，设备运行过程中的清洗和保养，都会导致安全事故的发生，使系统被迫紧急停止。疲劳作业和注意力不集中的人为因素也降低作业的准确性，加大了误操作的危险。同时人员之间的交流与协调不够顺畅，多岗位协同工作中信息传递不够及时或者出现差错，都会造成操作衔接的差错，影响到系统的平稳运行。

2 基于故障树分析的停机风险评估模型

2.1 故障树构建方法与逻辑关系确定

故障树的构造是将输煤系统的停运作为顶事件从上至下依次分解。需要通过识别风险来确定导致设备停机的直接因素，因素也许是中间的事件，如设备的故障或操作上的错误；进一步对中间事件诱因进行分析，将其定为电机损坏和参数设置错误这两个基本事件。逻辑关系判定上，根据事件之间的因果联系用逻辑门联系。与门被用来指示所有输入事件都是同时出现才能触发输出事件，如多台关键设备同时失效而造成停机；或门意味着一旦有任何输入事件发生，就会触发输出事件，如单一设备的故障或操作失误都会导致设备停机。合理地构造故障树和理清逻辑关系可以清楚地展现停机风险因果链条，为之后的评价打下基础。

2.2 风险事件概率计算与量化评估

风险事件发生概率的计算，是停机风险量化评估中的一个核心步骤。对基本事件进行历史数据统计，设备可靠性分析或者专家评估来判断发生概率，如统计电机某一运行周期发生故障的次数来计算故障发生概率。对中间事件和顶事件根据故障树的逻辑关系采用布尔代数和概率理论计算，门相连事件的概率取为每一个输入事件概率之和，或由容斥公式计算出来。量化评估中，综合运用风险矩阵法并结合事件发生的可能性和后果严重程度等因素进行风险等级划分，如风险较高、中等

和较低等，直观地展现每一个风险事件对输煤系统停机的影响大小，为有针对性地制订防控措施奠定基础。

2.3 关键风险节点识别与敏感性分析

关键风险节点识别的目的是发现对输煤系统停运影响最严重的薄弱环节。通过对故障树进行结构分析，对每个基本事件进行结构重要度，概率重要度以及关键重要度的计算，并对重要度进行综合评判。结构重要度体现故障树中事件所处地位对顶事件影响的大小；概率的重要性是用来评估事件概率变动对最高事件概率产生的影响；关键的重要性结合两个方面，更精确地确定关键的节点位置。敏感性分析进一步考察关键节点概率涨落对顶事件发生概率的影响程度，并利用单因素或者多因素的变动分析方法，来判断哪一个节点概率发生细微的变动就能显著地改变停机风险水平，确定需要重点防控的风险来源，为合理配置资源及制定防控策略提供科学依据。

2.4 评估模型验证与结果可靠性分析

为确保基于故障树分析的输煤系统停机风险评估模型的科学性和有效性，评估模型的验证和结果的可靠性分析显得尤为关键。模型验证中，利用历史数据回溯验证法对输煤系统以往停机事件进行相关数据的采集，其中包含故障时间、地点和原因信息，并输入到所构造的故障树模型，比较模型计算所得风险概率和实际停机频率。如果二者误差均在合理的范围之内，说明模型拟合度良好。同时采用交叉验证法将数据集分为训练集与测试集，用训练集建立模型，用测试集对模型性能进行测试，并进一步对模型泛化能力进行评价。成果可靠性分析中，严格审核数据来源是否完整准确，并分析数据偏差对于成果影响的大小。还对故障树逻辑关系假设进行合理性评价，并对其是否符合实际输煤系统的操作条件进行检验。对其进行多维度、多方法验证分析，综合评价模型的可靠性及准确性，并为下文在基础上制定停机风险防控策略奠定坚实基础。

3 输煤系统停机风险防控策略制定

3.1 设备维护与预防性检修策略优化

设备维护和预防性检修为减少输煤系统停运风险提供基本保障^[4]。需要构建以设备状态监测为核心的动态维护体系，并通过加装振动传感器和温度传感器来实时获取设备的运行数据，同时应用大数据分析技术对设

备故障趋势进行预测,提前制定维护计划,实现从“事后维修”向“事前预防”转变。为优化预防性的检修周期,针对关键的设备,如电机和减速机,结合过去的故障数据和制造商的建议,制定差异化的检修周期,防止过度检修或检修不足的情况发生。提高检修标准和工艺的同时细化检修项目和技术要求以保证检修质量,还建立设备健康档案,记录全生命周期内的运行数据和维修信息,为故障分析和决策提供数据支持,不断提高设备可靠性并降低由于设备故障而导致停机风险。

3.2 运行管理制度完善与执行强化

健全运行管理制度,是确保输煤系统平稳运行的一个重要环节。需要建设覆盖操作规程,巡检标准和应急预案的全流程制度,厘清各个岗位的操作规范和责任边界,保障运行管理有规律可循。加大制度执行力度,定期进行培训和考核以促进操作人员对系统的理解和执行,并运用智能监控系统对操作行为进行实时监控,及时进行违规操作预警和整改。同时建立严格的巡检制度,制定详细的巡检路线与检查清单,采用“定时巡检加随机抽样”模式,确保设备隐患早发现、早处理。健全应急预案,定期举办演练以提高突发故障协同处置能力等措施,通过对不同故障情景进行仿真以检验预案可行性,优化响应流程以尽可能减少停运时间和损失。

3.3 环境适应性改造与应急预案制定

鉴于环境条件对输煤系统的运行产生影响,必须进行环境适应性改造。针对高温环境可以通过在装置之间加装通风散热装置和优化装置布局,来加强空气的流通和降低装置的运行温度;根据低温状况在室外设备上安装保温罩并在管道上增加伴热系统,避免煤粉的冻结和堵塞。提高潮湿环境下电气设备的密封等级和设置除湿设备,避免电气元件潮湿短路,同时建立完善应急预案并根据不同类型环境风险确定应急处置流程和责任分工。如在遇到强风、暴雨等极端天气时,要事先做好设备加固和停机避险工作;当出现煤尘爆炸隐患后,快速启动抑尘,灭火系统。定期组织应急演练并对预案的可行性进行检验,保证突发环境事件发生时能迅速应对和有效应对并将停机风险降至最低。

3.4 人员培训与操作规范化提升措施

人作为输煤系统的核心因素,操作水平的高低和规范意识的强弱直接关系到系统的稳定。需要构建分层分

类培训体系,对新员工进行基础操作和安全规程的培训,采用理论授课和模拟操作相结合的方法,让新员工迅速掌握设备操作要点及安全注意事项;定期为在职员工举办技能提升培训、引进行业先进技术和管理经验、结合实际事例剖析故障产生的原因及处理措施,提高他们的故障诊断和应急处置能力。同时加强作业的规范化管理,编制详尽的操作手册和作业指导书,确定了各个环节的作业标准和程序,采用智能监控系统对作业情况进行实时记录,对于违规操作进行及时报警和整改。还制定激励机制,把操作的规范性和培训考核的结果同业绩联系起来,对于业绩好的予以奖励,违规操作的予以惩罚,形成全员关注操作规范,积极提高技能水平的良好局面,在人的层面上切实减少输煤系统停运风险。

4 总结

文章围绕输煤系统停机风险展开研究,运用故障树分析构建科学合理的停机风险评估模型。通过故障树构建、概率计算、节点识别与敏感性分析等步骤,全面、深入地剖析输煤系统停机风险的内在机制与关键因素。基于评估结果,从设备维护、运行管理、环境适应和人员培训四个维度制定系统全面的防控策略。经实际应用验证,模型与策略能够有效识别和降低输煤系统停机风险,提高系统的可靠性与稳定性,减少因停机造成的经济损失与安全风险。研究为输煤系统的安全运行管理提供新的思路与方法,对推动能源行业安全、高效发展具有重要的理论价值与实践意义^[5]。

参考文献

- [1] 郭庆华,黄德寅,李敏嫣,等.煤尘职业暴露定量风险评估方法及其应用[J].中国工业医学杂志,2022(001):035.
- [2] 金蕾,李宾,王龙义,等.海南省某燃煤发电企业职业健康风险综合评估[J].职业与健康,2021(1):15-18.
- [3] 张普,樊盼盼,张士怀,等.济南市某燃煤电厂日常检修作业职业健康风险评估[J].职业与健康,2024(12):1585-1589.
- [4] 杨雪,薛向明,古晓娜,等.2016版ICMM健康风险评估模型的应用研究[J].中国卫生工程学,2023(2):145-149.
- [5] 谢卫国,尉君.CFB锅炉输煤系统增设筛分破碎设施方案研究[J].能源与环保,2024(1):235-239.