

Reliability design of main electrical wiring in large coal-fired power plants

Zhongchen Sun

Huaneng Yunnan Dian Dong Energy Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

Large-scale coal-fired power plants serve as a crucial pillar of the national energy supply system, and the reliability design of their electrical main connections directly affects both unit operation safety and power grid stability. This paper systematically investigates the structural characteristics, design principles, and reliability evaluation methods of electrical main connection systems, with a particular focus on the applicability and fault risks of various configurations such as single-bus, double-bus, and sectionalized operation. By establishing a reliability mathematical model and integrating redundancy configuration with optimized protection system design, the study explores comprehensive pathways to enhance system stability and economic performance. The results indicate that optimizing main connection structures, improving protection configurations, and introducing intelligent monitoring technologies can effectively strengthen the power supply system's resilience, providing theoretical and engineering support for achieving efficient, safe, and sustainable operation of coal-fired power plants.

Keywords

coal-fired power plant; electrical main connection; reliability design; system optimization; safe operation

大型燃煤电厂电气主接线可靠性设计

孙中臣

华能云南滇东能源有限责任公司, 中国·云南 曲靖 655000

摘要

大型燃煤电厂作为国家能源供应体系的重要支撑,其电气主接线的可靠性设计直接关系到机组运行的安全性与电网的稳定性。本文系统研究了电气主接线系统的构成特征、设计原则与可靠性评价方法,重点分析了单母线、双母线及分段运行等多种接线形式的适用性与故障风险。通过建立可靠性数学模型,结合冗余配置与保护系统优化设计,探讨提高系统稳定性与经济性的综合路径。研究表明,优化主接线结构、完善保护配置及引入智能监测技术,可有效提升燃煤电厂供电系统的抗风险能力,为实现电厂高效、安全、可持续运行提供理论依据与工程参考。

关键词

燃煤电厂; 电气主接线; 可靠性设计; 系统优化; 安全运行

1 引言

燃煤电厂在中国电力结构中占据主导地位,其发电过程复杂、设备规模庞大,对电气系统的可靠性提出了更高要求。电气主接线作为连接发电机、变压器及电网的重要枢纽,是保障供电连续性和运行安全的关键环节。随着电力系统容量的不断扩大与运行方式的多样化,主接线设计不再仅关注输电效率,更需要在安全性、灵活性与经济性之间实现平衡。当前部分电厂在接线设计中仍存在设备冗余不足、系统保护不完善及运行监控滞后等问题,影响整体供电可靠性。本文基于大型燃煤电厂的运行特点,从结构优化、可靠性评估及技术创新等角度展开研究,旨在为新建与改扩建电厂的主接

线方案设计提供科学依据与参考路径。

2 电气主接线系统的构成与功能

2.1 主接线的基本结构与分类

电气主接线是燃煤电厂电力系统的核心环节,承担着发电机、变压器与输电线路间的能量传输任务。其结构通常由母线、断路器、隔离开关及测控装置组成,通过不同的接线方式实现电能的合理分配与切换。常见的接线形式包括单母线、双母线、双母线分段及环形母线等类型,每种结构在安全性、经济性和灵活性上具有不同特征。主接线设计需结合电厂容量、电压等级及运行负荷特征进行优化配置,以保障系统供电连续性和稳定性。科学合理的接线结构能够减少电能损耗,提升设备利用率,为电厂整体运行提供可靠支撑。

2.2 燃煤电厂电气系统的运行特征

燃煤电厂电气系统在高功率、高电压及长时间连续运

【作者简介】孙中臣(1984-),男,中国山东济宁人,本科,工程师,从事火电厂电气设备检修工作管理研究。

行条件下工作,具有负荷波动大、故障后果严重和保护环节复杂等特征。发电机组通过升压变压器接入主母线后需实现对不同电压等级的负荷供电,系统中各环节间需保持电压稳定与电流协调。运行中易受发电机功率因数变化、励磁系统波动及负荷突变影响,若接线设计不合理,易导致过载、短路及保护误动作。电厂电气系统需通过自动化调度与实时监测技术保障运行平衡,同时在设备检修或异常情况下能实现快速切换与隔离,以降低停电范围并保持供电连续性^[1]。

3 燃煤电厂主接线的设计原则与要求

3.1 系统可靠性与安全性原则

燃煤电厂主接线设计以保障系统可靠运行为核心,要求在多机组并列及多负荷运行环境下维持电力供应的连续性。设计中应考虑设备冗余与备用电源布置,确保在任一元件失效时系统仍具备运行能力。通过合理划分母线段、设置独立保护区和快速切换通道,可减少故障扩散范围。安全性设计需兼顾短路电流限制、绝缘协调及接地保护等要素,确保在突发情况下电力系统稳定过渡。为提高防护等级,应引入实时监测与自动重合闸技术,以实现故障检测、隔离与恢复的快速响应,保障电厂长期安全运行。

3.2 经济性与可维护性设计要求

电气主接线的经济性设计应在安全与投资成本之间寻求平衡,通过优化结构减少设备数量与占地面积。设计阶段需依据负荷分布、运行方式与检修周期确定最优接线方案,避免设备冗余与能量损耗。可维护性方面,应保证主要设备具备便捷的检修通道与隔离操作条件,确保在不影响系统运行的前提下进行维护。采用模块化与标准化设计可提升施工效率与后期扩展性。经济性还体现在运行损耗与故障恢复成本控制上,通过简化电气路径与缩短母线长度可降低能耗,提升设备使用寿命与整体投资效益。

3.3 灵活性与扩展性设计标准

燃煤电厂电气系统需具备适应负荷增长与系统扩建的能力,主接线设计必须预留扩展空间并确保运行灵活性。设计中应考虑机组数量增加、电压等级提升及外部电网接入等未来需求,在母线段间设置备用接口与可扩展节点。灵活性设计要求系统能在多运行方式下稳定转换,如并列运行、分段运行及独立运行模式切换。通过采用可调节断路器与智能母线连接结构,可实现灵活调度与负荷优化分配。扩展性标准还需兼顾信息化系统接入,确保后续自动化改造与数字化监控功能无缝融合。

4 主接线可靠性分析方法与技术路径

4.1 可靠性数学模型与故障树分析方法

可靠性数学模型是电气主接线设计中用于定量分析系统运行稳定性的重要工具,通过建立元件故障率、修复率与系统状态转移概率矩阵,可预测系统在不同运行条件下的失效风险。故障树分析法以系统失效为顶事件,将各元件可能

引发的基本故障事件分层展开,识别关键薄弱环节。结合最小割集与重要度分析,可定量评估元件对整体可靠性的影响程度。此方法能为接线方案优化提供数据支撑,帮助设计人员选择最优结构。通过软件仿真与现场运行数据结合,能够有效验证模型准确性,为主接线的可靠性设计提供理论依据。

4.2 系统冗余配置与备用电源设计技术

系统冗余是保障电气主接线可靠性的核心手段,通过在关键节点设置备用设备与备用供电路径,提升系统抗故障能力。燃煤电厂中常采用双电源供电、双母线分段及环网供电等结构形式,确保任一线路或设备故障时仍能维持正常运行。备用电源设计需考虑负荷优先级与切换时间,采用自动投切装置实现快速响应。为降低系统复杂度,可引入动态冗余配置技术,根据负荷状态与运行模式自动调整备用资源分配。通过合理冗余设计,可在保证高可靠性的同时控制投资与维护成本^[2]。

4.3 可靠性评价指标体系与计算方法

电气主接线可靠性评价需建立科学的指标体系,常用指标包括系统可靠度、可用度、失效率及平均无故障运行时间等。计算方法多基于概率统计模型与蒙特卡洛模拟,通过对各元件状态的随机抽样分析系统整体可靠性水平。评价过程中应考虑设备老化、运行环境及维护策略等动态因素,以反映系统真实状态。通过综合计算结果,可对不同接线方案进行对比分析,从而确定最佳设计。可靠性指标还可与经济性指标结合,形成多目标优化模型,为燃煤电厂电气系统的设计决策提供定量依据。

5 不同接线形式的可靠性比较与优化

5.1 单母线、双母线及其分段运行方式分析

单母线接线结构简单、投资较低、运行操作便捷,适用于中小型燃煤电厂,但在设备故障时易导致全站停电风险。双母线接线具备良好的供电连续性和灵活的切换功能,可在检修与运行转换中保持系统稳定。分段运行方式通过断路器分隔母线段,在出现短路或过载时可快速切除故障区域,避免系统整体失效。不同接线形式在投资成本、可靠性水平及操作复杂度上存在明显差异。燃煤电厂需结合机组数量、负荷规模及供电要求进行方案选择,实现安全性与经济性的协调平衡。

5.2 主接线拓扑结构优化设计研究

主接线拓扑结构的优化设计以提升系统可靠性和运行灵活性为目标,通过改进母线连接方式、负荷分配路径及冗余通道布局,增强电气系统抗故障能力。优化过程中需利用可靠性评价模型分析不同拓扑下的故障传播路径与恢复时间,确保关键节点具备备用通道。采用模块化、环网化及分区化设计可有效降低系统短路电流,提高接线可扩展性。结合电气仿真与经济评估,可确定最优拓扑方案,使主接线在

安全、经济、可维护性方面形成合理统一，为电厂长期稳定运行提供结构保障。

5.3 典型方案的可靠性仿真与对比分析

可靠性仿真分析可通过构建系统运行模型，对不同接线方案进行失效概率与恢复时间的动态评估。采用蒙特卡洛模拟与故障树方法可获得系统平均无故障时间、可用度及停电率等关键指标。对比单母线、双母线及双母线分段方案可发现，双母线结构在可靠性与经济性间具有较优平衡，分段设计进一步提高供电连续性。仿真结果表明，合理的断路器配置与快速切换机制可使系统可用度提升约15%，停电时间缩短约30%^[3]。通过数据化评估与多方案对比，为接线结构优化提供科学依据，图1为一种典型燃煤电厂电气接线的解析示意图。

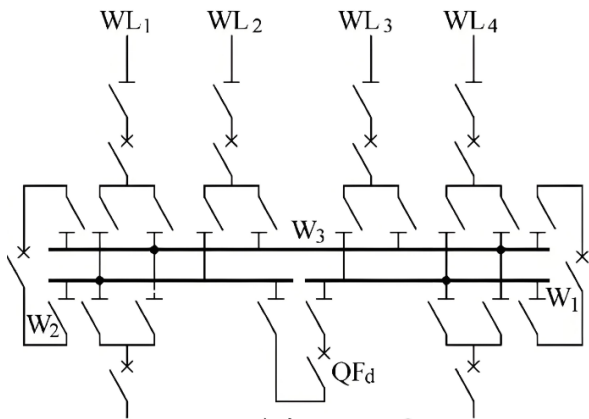


图1 一种典型燃煤电厂电气接线的解析示意图

6 提升电气主接线可靠性的工程设计策略

6.1 关键设备选型与保护配置优化

关键设备的选型直接影响电气主接线的安全性与可靠性。断路器需具备足够的开断能力和耐受短路电流能力，变压器应选择高绝缘等级与低损耗型号。母线材料应保证导电性能与机械强度平衡，以适应长期高载运行。保护配置方面，应针对不同电压等级设置分层保护与选择性切除方案，通过时间—电流特性配合实现故障快速隔离。采用数字化继电保护装置与智能监测模块可实现实时状态诊断，提升系统响应速度与运行安全水平，从源头上降低设备失效概率。

6.2 继电保护与自动化系统的协同设计

继电保护与自动化系统协同设计是提升电气主接线可

靠性的重要路径。通过信息化通信网络实现保护装置间的联动，可在故障发生时自动识别故障区段并完成隔离操作。自动化控制系统可依据实时数据动态调整开关状态与负荷分配，确保供电稳定。协同设计需考虑保护整定、通信延时及动作逻辑的协调性，防止保护误动作或拒动现象。采用分布式控制与分层监控架构，可实现主接线系统的集中监视与区域自治，为电厂安全高效运行提供系统化支撑^[4]。

6.3 运行监测与维护管理的智能化提升路径

智能化运行监测系统通过传感网络、数据采集终端及云平台分析，实现对主接线设备运行状态的实时感知。系统可对电流、电压、温升及接触电阻等关键参数进行动态跟踪，及时预警潜在隐患。结合大数据分析与健康评估模型，可预测设备故障趋势，制定精准维护计划，减少计划外停电次数。维护管理应向智能巡检与远程诊断转变，实现检修工作的数字化调度。通过构建全生命周期监控体系，可显著提升主接线系统运行的可靠性与管理效率，推动燃煤电厂向智能化电气管理方向发展。

7 结语

大型燃煤电厂电气主接线的可靠性设计是保障电力系统安全稳定运行的关键环节，关系到机组供电的连续性与整体经济效益。通过科学的结构优化、合理的保护配置与完善的监测体系，可显著提高电气系统的抗风险能力与运行灵活性。研究表明，在设计阶段引入可靠性分析模型、冗余配置策略及智能化控制技术，能够有效降低故障发生率，缩短恢复时间，实现系统的高效协同与安全运行。未来燃煤电厂电气主接线设计应朝着数字化、智能化与绿色化方向持续优化，为中国电力行业的安全、高效与可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 张杨,类腾辉,周麟,李国明,刘思远,赵明星.6×300MW水力发电厂电气部分设计[A].2025年吉林省电机工程学会年会论文集[C].吉林省电机工程学会:2025:433-442.
- [2] 盛隆,周亮亮,陈爱辉,孙添淳.发电厂发电机组电气系统一次部分设计[J].电气技术与经济,2025,(05):65-67+71.
- [3] 于峰.低压进线处总配电箱内接线与接地系统的匹配[J].电世界,2024,65(03):31-35.
- [4] 刘莹.燃气电厂主接线优化方案探讨[J].电力勘测设计,2024,(05):58-63+87.