

# 输变电工程中电气设计优化研究

桑 慧

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 输变电工程电气设计优化是提升电力系统效能与可靠性的核心途径。本文从主接线方案配置、设备选型匹配、过电压防护及接地系统设计等方向, 阐述优化设计的关键内容; 提出电气计算创新、智能化辅助技术、可靠性评估体系、节能技术集成及标准化设计模式等核心技术方法, 旨在实现系统安全稳定、高效经济运行, 为输变电工程电气设计提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 输变电工程; 电气设计优化; 可靠性评估; 节能降耗

## 引言

随着电力需求持续增长与能源结构转型, 输变电工程面临高效传输与智能运行的双重挑战。电气设计优化作为提升系统性能的核心环节, 需兼顾技术先进性与经济合理性, 从主接线方案、设备协同、绝缘配合到接地安全等多维度改进, 确保电力系统可靠运行。本文通过分析设计优化方向与关键技术方法, 为输变电工程高质量发展提供科学依据。

### 1 输变电工程电气设计优化的重要性

输变电工程电气设计优化是电力能源高效传输的核心支撑, 对提升系统运行效能意义重大。优化电气设备参数匹配、线路布局和接地系统设计, 能降低能量损耗, 提高传输效率, 减少运行成本; 通过精确计算短路电流、优化绝缘配合等举措, 可增强系统抗干扰能力与稳定性, 避免停电事故, 保障供电连续性。环境适应性上, 要依据地域气候特征对设备散热、绝缘性能的特殊要求, 通过材料选型与结构改进提升设备可靠性; 智能化设计推动监测与控制系统集成, 利用在线监测装置实时反馈设备状态, 结合大数据分析实现故障预警; 设计优化还兼顾技术先进性与经济合理性, 避免资源浪费。模块化设计与标准化组件应用能缩短施工周期, 降低维护难度, 提升全生命周期成本效益<sup>[1]</sup>。

### 2 电气设计优化的主要方向

#### 2.1 主接线方案优化配置

主接线方案是电气系统设计核心, 其结构与运行模式直接影响供电可靠性、运行灵活性及发展潜力, 优化配置需从全局出发, 兼顾负荷分布、电源特性、运维需求及经济性。方案设计初期, 要全面分析不同接线形式, 对供电连续性要求高的系统, 采用双回路电源或环形网络接线, 可避免单个元件故障导致大面积停电; 负荷分散且容量小的系统, 放射式或树干式接线能节约成

本、减少线路损耗。优化过程中, 要精准计算各运行工况潮流分布, 找出薄弱环节, 通过优化接线或增设联络开关提升系统冗余与负荷转供能力, 可靠性分析不可或缺, 需建立数学模型定量评估不同方案供电可靠性指标, 结合经济分析确定技术与投资效益的最佳平衡点。运行操作便利与安全保障也需重视, 主接线设计要便于倒闸操作、设备检修, 明确操作规程与安全要求, 复杂网络要注意继电保护配合; 此外, 还需考虑与配电自动化系统和智能终端融合, 预留接口与通信通道, 支持远程监控等高级功能, 为智能化电气系统打好基础。

#### 2.2 设备选型与参数匹配

电气设备选型与参数匹配是保障系统安全稳定高效运行的重要基础, 既看重单个设备性能, 更强调设备在系统中的协同配合。优化选型时, 要确保设备技术参数满足系统长期运行需求, 像额定电压电流、短路开断能力、动热稳定电流等关键指标必须达标。断路器短路开断容量应大于安装点最大预期短路电流, 变压器容量要兼顾当前负荷与未来发展, 考虑负载率与损耗特性, 避免轻载或过载, 电缆母线等载流导体截面积选择要综合载流量、经济电流密度和短路热稳定要求。参数匹配的深度优化体现在设备特性协调上, 保护电器与被保护线路设备要选择性配合以限制停电范围, 变压器与并联电容器组参数要匹配, 维持合理功率因数, 降低损耗与电压偏差; 发电机与励磁、调速系统参数匹配影响电力系统暂态稳定性和电能质量; 选型要重视能效指标, 优先选高能效产品, 虽初期投资高但长期效益显著, 还要关注设备环保特性及运行维护特性, 选结构可靠、便于检修、备件易获取的产品<sup>[2]</sup>。

#### 2.3 过电压与绝缘配合改进

电力系统中雷电、操作及暂态过电压若超出设备绝缘耐受能力, 可能导致绝缘击穿或系统事故, 因此过电

压防护与绝缘配合改进对保障系统安全至关重要。过电压防护需先明确其来源特性，针对雷电过电压需完善接闪器、引下线及接地装置构成的外部防雷体系，并在线路与设备端口设置浪涌保护器等内部防护措施，确保雷电安全泄放并限制幅值；操作过电压需分析其产生机理，通过优化操作方式或增设限制装置进行抑制。绝缘配合需结合系统过电压水平与设备绝缘特性，合理设定设备绝缘强度并协调保护装置配置，改进过程中需分析暂态过电压分布，精确计算或模拟实际工况下的过电压幅值与波形，科学选定避雷器保护水平，确保其低于设备绝缘耐受值并保留适当裕度。设备绝缘设计需考虑运行环境影响，污秽严重区域应增加外绝缘爬电距离，高海拔地区需选用适配产品或校正参数，同时关注绝缘材料与技术发展，及时应用新技术提升绝缘性能。

#### 2.4 接地系统设计完善

接地系统是保障人身安全、设备稳定运行及实现电磁兼容的关键基础，完善的设计需构建低阻抗通道以泄放故障电流，稳定系统电位，防止接触电压与跨步电压危害，并抑制电磁干扰。接地装置设计需合理选择接地极型式、布置方式、埋设深度及导体材料与截面，依据实测土壤电阻率通过计算分析确保接地电阻符合规范要求，针对高电阻率区域，需采取深井接地、土壤置换或施加降阻剂等方法降低电阻值。系统接地方式的选择需综合考虑电压等级、电容电流、负荷特性及供电可靠性需求，平衡故障电流特性与保护配置效果，设计需强化等电位联结与屏蔽措施，在建筑物内设置总等电位联结端子板连接各关键部位，敏感电子设备区域铺设局部等电位网络并与主接地系统可靠连通。接地材料选型需注重耐腐蚀性，强腐蚀环境应采取防护措施保障连接可靠性，并通过定期检测接地电阻确保系统长期有效运行。

### 3 电气设计优化的关键技术方法

#### 3.1 电气计算分析方法创新

电气计算分析方法的持续创新为电气工程设计提供了更为精确和高效的技术支撑，传统计算方法主要依赖于简化模型和经验公式，难以全面反映复杂电力系统的动态特性。现代电气计算分析更加注重多物理场耦合效应与系统整体行为的精确模拟，通过引入先进的数值计算技术和计算机仿真平台，能够对大型复杂电网进行电磁暂态和机电暂态全过程模拟，这种方法创新使得工程设计人员能够更准确地预测系统在各种运行工况下的电气参数变化，包括短路电流水平、电压波动范围和谐波分布特征等。计算分析范围的扩展也值得关注，从传统的三相平衡系统分析发展到包含不对称运行和特殊负

荷特性的精细化建模，创新方法还体现在将概率统计理论引入电气计算领域，通过蒙特卡洛模拟等随机分析方法，评估系统参数不确定性和设备运行状态变化对计算结果的影响，这种基于概率的设计思维有助于提高工程设计的鲁棒性和适应性。此外，计算分析过程与工程设计流程的深度融合也是重要发展方向，通过建立参数化模型和自动化分析流程，实现设计修改与计算验证的实时互动，显著提升设计效率和质量；计算资源的优化利用同样不可忽视，分布式计算和云计算技术的应用使得大规模复杂系统的详细仿真成为可能，为电气设计提供了前所未有的分析深度和广度<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 智能化辅助设计技术应用

智能化技术在电气设计领域的应用，正深刻改变传统设计模式与方法，基于知识工程的智能设计系统，积累整理专业设计经验，构建涵盖标准规范、设备参数和典型方案的专家知识库，为设计人员提供智能化决策支持。此应用既提高设计效率，又保证设计成果质量一致性与规范性；三维设计平台普及，实现电气设计与土建、工艺等专业的协同工作，通过建立精确空间模型，可自动检测并避免专业间碰撞冲突，优化设备布置与管线走向；虚拟现实和增强现实技术引入，为设计评审和方案优化营造直观交互环境，设计人员和业主能在虚拟场景中体验评估设计方案，及时察觉并解决潜在问题；机器学习算法在设计优化中潜力巨大，通过分析学习历史设计数据和运行记录，能自动推荐优化的设备选型和系统配置方案。自然语言处理技术进步，使设计文档智能生成和审查成为可能，大幅减少重复性文案工作。智能化技术推动设计过程标准化与模块化，建立可复用设计单元和智能图块，提升设计资源利用效率；移动计算设备普及，让现场设计和服务更便捷，设计人员可随时随地访问设计资料并获取专家支持，这些智能化辅助设计技术综合应用，正推动电气设计朝数字化、网络化和智能化方向迈进。

#### 3.3 可靠性评估体系构建

构建完善的可靠性评估体系是提升电气工程设计质量的重要保障，现代可靠性评估摆脱传统定性分析束缚，建立定量评估模型与指标体系，精确评价电气系统可靠性能。评估体系构建要综合设备可靠性数据、系统拓扑结构及运行维护策略等多方面因素，障模式与影响分析作为基础手段，可识别系统薄弱环节与潜在风险点，为设计改进指明路径。建立可靠性评估模型时，需考虑元件寿命分布特性、维修策略及备用配置等，通过构建系统可靠性框图或故障树模型，算出系统可用性指

标与可靠性参数；评估范围扩展是现代可靠性评估重要特点，除传统供电可靠性，还要考量电能质量可靠性、系统稳定性及网络安全可靠性等多个维度。基于状态监测的预测性评估方法得到广泛应用，通过实时采集设备运行状态数据，结合退化模型与剩余寿命预测算法，实现设备可靠性动态评估与预警；评估过程还要顾及环境因素与运行条件对可靠性的影响，建立多应力作用下的可靠性模型。可靠性评估结果与设计决策紧密相连是体系有效的关键，通过构建可靠性成本效益分析模型，帮助设计人员在可靠性与经济性间找到最佳平衡，评估体系持续改进机制也很关键，需建立设计反馈与运行数据收集系统，不断修正优化评估模型参数，提高评估结果准确性与实用性<sup>[4]</sup>。

### 3.4 节能降耗技术集成

节能降耗技术的系统集成应用是电气工程设计优化的重要方向，现代节能设计注重从系统整体出发，优化能源转换、传输和使用各环节，提升能效水平。供电系统设计时，要合理选择变压器容量与台数，优化运行方式，降低空载和负载损耗，配电系统节能设计涵盖合理选导线截面、优化线路走径以减少电阻损耗，并通过改善功率因数降低无功功率传输损耗。照明系统节能设计需综合考量自然采光利用、高效光源选择及智能控制策略，在满足照明需求下最大限度降低能耗。电动机及其驱动系统节能潜力大，选用高效电动机、合理配置变频调速装置并优化控制策略，可显著提高运行效率；建筑节能管理系统为节能技术集成提供平台支撑，通过实时监测分析用能数据，自动调节设备运行状态，实现能源精细化管理。可再生能源利用是节能设计重要部分，根据场地和用能特点，合理配置光伏发电等分布式能源系统，减少外部能源输入，节能设计还要关注设备待机能耗和部分负载运行效率，优化系统设计和控制逻辑，改善低负荷工况能效。热回收和能源梯级利用技术可进一步提高能源利用效率，将废弃热能转化为有用能源输出。这些节能技术集成需建立在详细能源审计和用能分析基础上，通过建立能源流模型和优化算法，确定最佳技术组合与实施方案。

### 3.5 标准化设计模式推进

推进标准化设计模式对提升电气工程设计效率和质量一致性具有重要价值，标准化工作覆盖设计流程、图纸表达、设备选型及安装方式等核心环节，通过制定统一设计准则和技术要求减少重复劳动，降低设计失误风险。模块化设计是重要实现手段，将常用电气系统和设备组合定义为标准模块并建立模块库，支持设计资源快速调用与灵活组合；编制典型设计方案可为常见工程提供经过验证的参考范例，确保技术方案合理且经济可行，统一设备接口的机械、电气及信息定义可增强系统兼容性与扩展性，规范图纸编号、图例符号、标注方法及文档格式则有助于设计文件高效识别与归档管理。推进过程中需构建完善的标准体系和管理制度，保障标准有效执行并持续优化，建设数字化标准资源库便于设计人员实时查阅最新标准，提升设计便捷性，标准化并非一刀切，需在统一基本要求的基础上为特殊需求和创新设计预留空间，平衡共性与个性，持续推行标准化设计模式可显著提高电气工程设计整体水平，实现技术效益与经济效益双提升<sup>[5]</sup>。

结束语：输变电工程电气设计优化需系统整合技术创新与标准化管理，通过主接线灵活配置、设备能效提升、绝缘与接地协同改进，结合智能化设计与可靠性评估，实现系统安全与节能目标。未来需进一步融合数字化工具与绿色技术，推动设计模式迭代升级，为电力行业可持续发展与能源结构优化奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1]李红吉.输变电工程的三维数字化智能化技术应用[J].产业科技创新,2020,(13):76-77.
- [2]刘丹.浅谈输变电工程设计智能化转型[J].写真地理,2020,0(21):0212-0212.
- [3]王辛.输变电工程设计中的智能化转型策略分析[J].电子技术,2023,(09):366-367.
- [4]刘璇.BIM技术在输变电工程智能化算量中的应用[J].集成电路应用,2021,38(01):122-123.
- [5]张彼德,刘俊勇,袁铁江.适应新能源消纳的智能变电站电气主接线可靠性评估[J].电网技术,2022,46(8):30-31.