

水利水电工程电气节能方案与实现途径分析

杨 晨

乐山电力股份有限公司 四川 乐山 614000

摘要：“双碳”目标下，能源高效利用意义重大。水利水电工程作为核心基础设施，其电气系统能耗占比高、节能潜力大。本文结合其运行特性，分析能耗现状与问题，明确电气节能方案设计的四大原则，阐述供配电优化等技术方案，提出全生命周期能效管理等保障措施，总结核心要点与应用价值，为工程电气节能改造提供理论与实践参考，助力行业绿色低碳发展。

关键词：水利水电工程；电气节能；能效优化

引言：水利水电工程肩负水资源调控与能源供给重任，电气系统是其稳定运行的核心支撑，能耗水平关乎工程成本与绿色发展。我国水利水电工程众多，部分因建设久、技术装备落后、管理传统，电气系统能耗高、能效低，造成能源浪费，增加运营负担。“双碳”目标推进与节能政策收紧，推动电气节能成行业必然。本文深入分析电气节能方案设计与实现途径，破解痛点难点，助力工程节能降耗与高效运行。

1 水利水电工程电气系统能耗现状与问题诊断

1.1 电气系统组成与能耗特点

水利水电工程电气系统由供配电、动力设备、控制、照明及辅助电气设备构成，各部分协同为工程提水、发电、灌溉等核心功能提供电力保障。供配电系统负责电力传输分配，含变压器等设备；动力设备系统以水泵、电机为核心，是主要能耗环节；控制系统调控设备运行，维持系统稳定；照明及辅助设备满足日常运营基础电力需求。

该系统能耗特点显著：一是工况波动大，受来水流量、灌溉需求影响，设备负荷频繁变化，易轻载或过载运行，增加能耗；二是能耗分布不均，动力设备和供配电线路能耗占比超80%，是节能重点；三是运行环境复杂，工程多处潮湿、多粉尘、温差大环境，设备老化快，长期运行能耗上升；四是部分老旧工程能耗高，因建设时技术受限，装备和能效标准低，急需节能改造。这些特点要求电气节能需立足实际制定方案。

1.2 主要能耗问题识别

通过对各类水利水电工程电气系统的调研分析，当前主要存在四大能耗问题。一是供配电系统能耗损耗突出，部分工程线路截面选择不合理、敷设方式不科学，导致线路电阻损耗过大；变压器容量与实际负荷不匹配，存在“大马拉小车”现象，空载、负载损耗偏高；

无功补偿设备配置不足或补偿精度不够，功率因数偏低，增加无效能耗。二是动力设备能效水平偏低，部分工程仍使用高能耗电机、水泵，未采用高效节能装备；设备选型与工况需求不匹配，运行效率低下；老旧动力设备未及时改造，性能退化严重，能耗大幅增加。三是控制系统调控能力不足，多数工程仍采用传统手动控制模式，缺乏智能调控手段，无法根据负荷变化实时调整运行参数，导致设备长期处于低效运行状态；能耗监测体系不完善，无法精准定位能耗异常点，难以开展针对性节能优化^[1]。四是可再生能源利用不足，多数水利水电工程未充分结合自身资源优势，太阳能、风能等可再生能源的集成利用程度低，仍以传统电网供电为主，未能实现能源结构优化，节能潜力未得到充分释放。

2 水利水电工程电气节能方案设计原则

2.1 实用性原则

实用性是水利水电工程电气节能方案设计的核心。方案要贴合工程实际运行需求，兼顾节能与正常运营，不能影响电气系统可靠性、稳定性及工程核心功能。设计时要充分考虑工程类型、工况、现有设备等实际因素，避免方案脱离实际。针对不同类型工程，如泵站、水电站等，依其能耗特点和运行需求制定差异化方案；老旧工程优先选改造难度小、适配性强、见效快的措施；新建工程则将节能设计贯穿全过程。此外，方案要符合工程运行管理习惯，便于操作维护，降低管理成本，确保节能措施能长期稳定发挥作用。

2.2 经济性原则

经济性原则要求电气节能方案在实现节能目标时，兼顾投资、运行和维护成本，实现全生命周期节能效益最大化。设计时需全面经济性分析，对比不同节能技术和改造方案的投资与收益，避免重节能轻成本。优先选投资少、见效快、回收期短的措施，如线路优化等；投

资大的项目要进行长期效益评估。同时考虑运行维护成本，选运行稳定、维护简便的装备和技术。还要结合工程运营单位资金实力，分阶段推进改造，避免一次性投入过大，实现节能与经济效益统一。

2.3 合规性原则

合规性原则要求电气节能方案设计严格遵循国家及行业标准、规范和政策，确保合法合规、安全可靠。设计时要参照相关标准明确节能指标，使方案达到能效标准。要符合国家节能减排、绿色发展政策，响应“双碳”目标，优先采用国家推广的节能技术和装备，禁用淘汰类、高能耗产品。同时遵守电气安全规范，保障节能改造后电气系统运行安全。方案设计完成后要合规性审查，核查是否符合要求，及时整改问题，确保方案顺利实施且合法合规^[2]。

2.4 系统性原则

系统性原则要求电气节能方案设计立足电气系统全局，统筹各组成部分节能优化，实现全方位节能降耗。设计时将供配电、动力设备、控制、照明及辅助设备视为整体，分析各环节能耗特点与潜力，制定协同方案。如优化供配电时同步推进设备改造和智能控制应用。要考虑电气系统与工程工艺流程协同，将电气节能与运行调度结合。还要兼顾短期与长期节能，制定快速降耗的短期措施和持续提升能效的长期方案，构建系统性、长效性电气节能体系。

3 水利水电工程电气节能技术方案

3.1 供配电系统节能优化

供配电系统是电气能耗的主要环节之一，其节能优化重点围绕降低线路损耗、变压器损耗和无功损耗展开。在输电线路优化方面，根据工程负荷分布和传输距离，科学选择线路截面和敷设方式，优先选用导电性能好、损耗低的节能型导线，缩短传输距离，减少线路电阻损耗；合理划分供电区域，优化线路布局，避免远距离、大容量供电，降低线路传输损耗。在变压器节能优化方面，结合工程实际负荷需求，合理选择变压器容量和台数，避免“大马拉小车”现象；优先选用非晶合金变压器等高效节能变压器，替换老旧高能耗变压器，降低变压器空载、负载损耗；采用变压器经济运行模式，根据负荷变化实时调整变压器运行状态，提高变压器运行效率。在无功补偿优化方面，根据电气系统无功负荷特点，合理配置无功补偿设备，优先采用智能无功补偿装置，实现补偿精度自动调节，提高功率因数，降低无功损耗；优化无功补偿点布局，实现就近补偿，提升补偿效果，减少无功功率远距离传输造成的能耗损失。

3.2 动力设备节能改造

动力设备作为水利水电工程电气能耗的核心消耗环节，其节能改造重点围绕电机、水泵等核心设备展开，通过选型优化、技术升级实现能效提升。在电机节能改造方面，全面替换老旧高能耗电机，优先选用一级能效高效节能电机，结合工程工况需求，选择适配的电机型号，确保电机与负载匹配度，避免轻载、过载运行；推广使用永磁同步电机等专用节能电机，提升电机运行效率；对可改造的电机，采用绕组改造、铁芯优化等技术，提升电机节能性能；采用变频调速、软启动等技术，减少电机启停损耗，根据负荷变化实时调整电机转速，进一步降低运行能耗^[3]。在水泵节能改造方面，优化水泵选型，选择高效节能水泵，确保水泵流量、扬程与工程实际需求匹配，避免水泵低效运行；对老旧水泵进行叶轮改造、密封优化等，提升水泵运行效率，减少能耗；合理调整水泵运行台数和运行时序，结合工程负荷需求，实现水泵高效协同运行，降低整体能耗。

3.3 智能控制系统应用

智能控制系统的应用是提升电气系统能效、实现精准节能的关键，通过自动化、智能化调控，优化设备运行参数，实现电气系统高效运行。一方面，构建电气系统自动化控制系统，推广使用PLC、变频器、触摸屏等智能控制设备，实现电机、水泵、变压器等核心设备的自动化启停、运行参数自动调节，避免人为操作失误导致的能耗增加；结合水利水电工程工艺流程，构建电气系统与水利设备的联动控制体系，实现电气设备与水利设备协同运行，优化运行时序，降低整体能耗。另一方面，建立智能化能耗监测平台，安装能耗监测终端和数据采集设备，实时采集电气系统各环节的能耗数据、设备运行参数，通过大数据分析，精准定位能耗异常点，为节能优化提供数据支撑；基于监测数据，实现节能方案的动态优化，根据负荷变化、环境变化等因素，自动调整设备运行参数，确保电气系统始终处于最佳节能运行状态；通过监测平台实现能耗数据可视化管理，便于运行人员实时掌握能耗情况，及时采取针对性节能措施。

3.4 可再生能源集成利用

结合水利水电工程自身资源优势，集成利用太阳能、风能等可再生能源，优化能源结构，是降低电气系统能耗、实现绿色节能的重要途径。在太阳能利用方面，根据工程场地条件，在泵站厂房屋顶、灌区管理区等区域铺设太阳能光伏组件，构建分布式光伏发电系统，为工程照明、辅助设备运行提供电力支持，替代部分传统电网供电，降低电网能耗；推广太阳能热水系

统,满足工程办公、生活热水需求,减少电气加热设备能耗。在风能利用方面,对于地处风力资源丰富区域的水利水电工程,合理安装小型风力发电设备,利用风能发电,补充工程电力供应,进一步优化能源结构。构建可再生能源与传统电网协同供电系统,实现可再生能源电力的高效利用,当可再生能源发电量不足时,由传统电网补充供电,确保电气系统供电稳定性;建立能源存储系统,存储多余的可再生能源电力,避免能源浪费,实现可再生能源的高效、稳定利用,进一步提升工程电气节能水平。

4 水利水电工程电气节能管理策略与保障措施

4.1 全生命周期能效管理

推行全生命周期能效管理,将节能理念贯穿于水利水电工程规划、设计、施工、运行、维护、报废全过程,实现电气系统能效持续提升。在规划设计阶段,将电气节能作为核心指标,开展能耗预测分析,优化节能方案设计,确保工程从源头实现节能降耗;在施工阶段,严格按照节能方案施工,加强施工质量管控,确保节能设备、节能技术准确落地,避免因施工不当影响节能效果;在运行阶段,建立完善的能耗监测与分析体系,实时掌握电气系统能耗情况,优化设备运行参数,推行经济运行模式,降低运行能耗;在维护阶段,建立电气设备定期维护保养制度,加强设备日常巡检与故障排查,及时更换老化部件,提升设备运行效率,延长设备使用寿命,减少因设备老化导致的能耗上升;在报废阶段,对老旧高能耗设备进行规范报废,优先选择节能型设备替换,确保电气系统整体能效水平不降低。通过全生命周期能效管理,实现电气节能的常态化、长效化^[4]。

4.2 制度与人员保障

完善的制度体系和专业的人员队伍,是电气节能方案顺利实施、节能效果持续发挥的重要保障。建立健全电气节能管理制度,明确各部门、各岗位的节能职责,制定详细的节能操作规程、能耗统计分析制度、节能考核奖惩制度等,将节能指标分解到具体岗位、具体人员,形成“人人有责、层层落实”的节能管理格局;加强制度执行监管,定期开展节能工作检查,对违反节能管理制度、造成能源浪费的行为进行严肃处理,对节能工作表现突出的部门和个人给予奖励,调动全员节能积

极性。组建专业的节能管理团队,负责电气节能方案的实施、能耗监测分析、设备维护保养等工作;加强运行人员和管理人员的专业培训,开展电气节能技术、智能控制设备操作、能耗监测分析等相关培训,提升人员专业技能和节能意识;聘请节能领域专家,为工程电气节能工作提供技术指导,及时解决节能方案实施过程中遇到的技术难题,确保节能工作有序推进。

4.3 政策与资金支持

政策引导与资金保障是水利水电工程电气节能工作顺利推进的关键支撑。政策上,要主动对接国家及地方节能减排政策,争取节能专项补贴、税收减免等,降低实施成本;积极响应“双碳”目标要求,将电气节能纳入工程绿色发展规划,获取政策倾斜。同时,加强与行业主管部门沟通,及时掌握最新节能政策、行业标准和趋势,确保方案符合要求,享受政策红利。资金方面,拓宽投入渠道,构建政府财政支持、企业自主投入、社会资本参与的多元化机制。加大政府财政投入,设立专项基金,支持老旧工程改造和技术推广;工程运营单位合理安排预算,优先保障节能方案实施与设备改造;鼓励社会资本通过PPP模式等参与项目,解决资金缺口。此外,建立资金监管机制,确保专款专用,提高使用效率。

结束语

水利水电工程电气节能是推动行业绿色低碳发展、实现“双碳”目标的重要举措,也是降低工程运行成本、提升工程运营效益的有效路径。未来,需结合节能技术发展趋势,持续优化节能方案,强化技术创新与成果转化,推动水利水电工程电气节能工作向智能化、高效化、长效化发展,为行业绿色高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]汪栋.阿尔塔什水利枢纽工程电气节能设计要点探析[J].小水电,2023(2):37-39.
- [2]贺文杰.水电站电气工程自动化信息技术及节能措施的研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(7):78-79,82.
- [3]刘建杰,梁法东.电气自动化在水利水电工程中的应用浅谈[J].数字化用户,2025(13):142-144.
- [4]刘彬.关于水利水电工程设计中的节能技术探究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(4):1293-1294.