

水电站厂用电系统安全运行与节能降耗研究

李飞

白鹤滩水力发电厂 四川宁南 615400

DOI: 10.32629/ems.v8i9.22149

[摘 要] 厂用电系统是水电站辅助供电体系的核心构成，贯穿机组启停、设备运维、安全防护等全部生产环节，系统运行的稳定性与能耗管控精细度，直接决定电站整体运维质量与发电收益。鉴于此，文中以水电站厂用电系统为研究载体，结合行业规范与现场运维经验，系统整体构造与实际运行特征，逐一排查安全运行风险点与电能损耗源头，从现场运维优化、老旧设备技改、智能化升级、管理制度完善等，制定适配现场工况的安全管控方案与节能降耗策略，搭建全方位的运行保障体系，旨在为类似研究提供借鉴。

[关键词] 水电站；厂用电系统；安全运维；节能降耗；设备技改

厂用电系统作为水电站的核心辅助供电架构，承担着厂房排水、设备通风、机组冷却、消防保障、设备监控及机组辅助控制等关键设备的供电任务，是电站连续稳定生产的基础前提。一旦厂用电系统出现供电异常或故障，极易引发机组无法正常启停、泄洪设备动作失灵、厂房积水淤积等重大生产事故，直接威胁电站运行安全。现阶段，多数水电站仍沿用传统人工巡检、粗放管控的运维模式，存在设备更新滞后、运行方式僵化、保护定值匹配度不足、无效用电管控缺失等诸多短板，难以适应当前电力行业精细化、节能化、智能化的发展要求。因此，有必要基于现场运维实际痛点，剖

析厂用电系统结构特点与运行短板，制定可落地、可推广的运维优化与节能改造方案。

1 水电站厂用电系统的构成分析

水电站厂用电系统采用工程通用的分级配电、冗余备用供电架构，严格遵循《水力发电厂厂用电设计规程》（NB/T 35044—2014）设计标准，整体结构主要分为电源供给、变配电设备、供电线路、用电负荷、保护监测五大功能模块，各模块协同配合，满足水电站大功率、多工况、高可靠的供电需求。为保障极端工况下不间断供电，系统采用三级电源配置模式，分别为工作电源、备用电源与应急电源^[1]。

表 1 水电站厂用电负荷分级及供电配置参数表

负荷等级	核心用电设备	供电配置方式	运行要求	能耗特性
一级重要负荷	机组调速系统、泄洪闸门控制、厂房排水泵、消防水泵、应急照明、监控系统	双回路独立供电+应急电源备用，配置专用保护装置	不间断供电，允许零失电，故障瞬时切换电源	负荷稳定、连续性强，无空载冗余损耗，供电可靠性优先级最高
二级常规负荷	机组冷却风机、空压机、厂房通风设备、常规供水设备	单母线分段供电，备用电源联动备用	机组运行期间持续供电，停机后可延时停运	负荷随机组工况波动较大，存在短时空载能耗
三级次要负荷	厂区办公照明、生活用电、检修临时用电、辅助通风设备	单回路常规供电，无应急备用电源	按需供电，非生产时段可断电停运	可控性强，无效耗电、闲置耗电问题突出

结合表 1 统计内容可以看出，水电站厂用电负荷分级标准明确，不同等级负荷的供电配置、运行需求与能耗特征差异显著。一级负荷以安全生产为核心，供电可靠性要求极高，基本无无效能耗；二级、三级负荷受机组工况、人为管控影响较大，空载耗电、闲置耗电问题突出，整体节能改造空间充足，是本次节能降耗研究与现场管控的重点对象。

2 水电站厂用电系统安全运行与节能降耗的措施

2.1 优化系统运行方式，提升供电安全稳定性

结合水电站不同季节水位变化、机组启停规律、负荷峰谷特征，针对性优化厂用电母线运行方式与供电回路配置，是提升系统安全稳定性的核心手段。在日常运行中，高低压母线优先采用分段独立运行模式，该方式可有效规避母线并列运行产生的环流问题，避免单一回路故障波及整个配电系统，缩小故障影响范围。在机组低谷停运、负荷大幅降低的时段，可在满足安全规范的前提下，合理整合冗余供电回路，

减少变压器、开关柜等设备的空载运行时长，降低设备长期待机带来的安全隐患与能耗浪费^[2]。同时，结合现场工况优化备自投装置动作逻辑，区分外网停电、设备故障、人为停机等不同场景，精准匹配备用电源与应急电源的启动时序，确保一级核心负荷不间断供电。

2.2 开展设备升级改造，降低基础能耗损耗

结合现场运维经验分析，老旧电气设备性能落后、运行模式粗放是水电站厂用电能耗居高不下的核心硬件原因。现阶段多数水电站的水泵、风机、空压机等辅助设备仍采用传统工频恒速运行模式，设备出力调节完全依赖阀门、挡板节流控制，不仅会产生严重的节流损耗与机械磨损，还会造成大量无效电能消耗。同时，老旧油浸式变压器普遍存在空载损耗大、运行效率低的问题，常年运行累积的电能损失十分可观。针对上述现场痛点，提出针对性的设备技改方案，全面淘汰高耗能老旧设备，更换为高效干式节能变压器，同时

为各类辅机设备加装变频调速控制系统。改造后的设备可根据现场实际负荷需求动态调节运行转速与出力，适配机组不同运行工况，大幅削减节流能耗与空载损耗

2.3 细化负荷分级管控，整治无效用电隐患

表 2 水电站厂用电负荷分级管控表

负荷分级	负荷类型	核心管控标准	管控目标	典型覆盖场景/设备
一级核心负荷	核心生产负荷	严格执行双回路不间断供电标准，落实 24 小时专人监测制度	坚守安全生产底线，杜绝核心负荷供电中断	机组调速系统、泄洪控制系统、厂房排水系统、消防应急系统等
二级常规负荷	常规辅机负荷	严格遵循“随机组启停、按需投运”管控原则，机组停机后及时关停冗余辅机设备	杜绝设备空转、空载待机无效耗电，降低辅机能耗	冷却风机、空压机、供水泵、润滑油泵等机组配套辅机设备
三级辅助负荷	辅助生活负荷	制定定额用电标准，推行分时供电管理，严格管控非生产时段用电行为	杜绝长明灯、设备长期待机、私拉乱接等浪费现象，压缩非生产用电	厂区办公照明、生活配套用电、临时检修用电、公共区域用电等
全负荷覆盖	配套管控措施	依托厂用电在线监测系统，实时采集各回路、各设备用电数据，动态优化设备启停方案	精准定位高耗能设备与异常耗电时段，从源头压缩无效能耗，降低全厂厂用电率	高低压柜、变压器、全回路用电设备、在线监测终端等

2.4 搭建智能监控体系，实现精准运维节能

传统人工巡检、人工统计的运维模式存在数据滞后、隐患漏判、能耗统计粗放等诸多弊端，已无法适配精细化运维与节能降耗需求^[3]。各水电站需结合自身机组工况与配电结构，搭建全覆盖、可视化的厂用电智能监控运维平台，集成电能计量、设备状态监测、故障智能预警、能耗数据分析、运行报表统计等多项功能，实现厂用电系统全流程数字化管控。系统整体架构如图 1 所示。

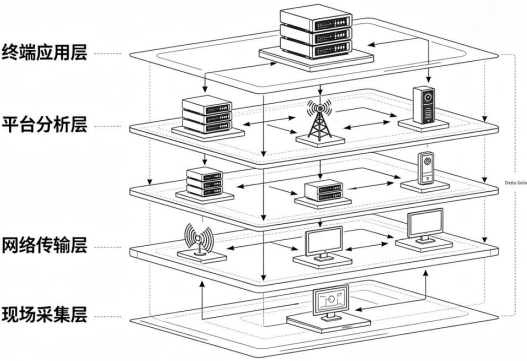


图 1 厂用电智能监控系统架构原理图

系统采用“现场采集层—网络传输层—平台分析层—终端应用层”四级架构：现场采集层部署电压、电流、温度、能耗传感器及智能仪表，全覆盖采集高低压柜、变压器、辅机设备运行数据；网络传输层依托工业以太网、4G/5G 专网实现数据实时、稳定传输；平台分析层搭载大数据分析、故障诊断、能耗统计算法，自动生成能耗报表与运行分析报告，精准定位能耗异常点位与安全隐患；终端应用层支持运维后台、电脑终端、移动端实时查看、远程操控、故障预警推送。

为精准管控无效电能损耗，需立足负荷分级特性，建立分类、分时、定量的精细化管控机制。结合水电站生产实际，可将厂用电负荷划分为核心生产负荷、常规辅机负荷、辅助生活负荷三类，并匹配差异化的供电管控方案，如表 2 所示。

该系统可提前识别设备过热、线路损耗异常、保护误动等潜在问题，辅助运维人员提前处置，避免小隐患演变为重大安全事故。同时通过大数据分析负荷变化规律与能耗特性，为运行方式优化、设备检修、节能改造提供数据支撑，实现从传统人工粗放运维向智能精准运维转型。

3 水电站厂用电系统安全运行与节能降耗的保障

3.1 完善标准化管理制度体系

结合《水电站厂用电系统运行维护规程》(DLT2898-2025)等现行行业规范，立足电站现场运维实际，完善适配本厂的厂用电管理体系，是保障系统安全节能运行的基础前提。电站需结合自身设备配置、机组运行特点，修订细化厂用电运行管理、设备检修、能耗管控、隐患排查等专项管理制度，明确巡检、运维、检修、调度各岗位的工作职责、操作标准与考核细则。建立“日常巡检+定期抽检+专项排查”的常态化管控模式，细化各类巡检项目、巡检频次与记录标准，实现隐患早发现、早整改、零遗留。同时，构建配套的能耗绩效考核机制，将厂用电率、设备能耗、节能整改成效纳入班组及个人绩效考核，量化节能管控目标，压实岗位责任，杜绝运维工作随意化、能耗管控形式化的问题，形成“制度约束、责任到人、考核落地、闭环整改”的完整管理体系，为系统安全稳定、经济高效运行提供坚实的制度支撑^[4]。

3.2 优化设备全生命周期运维

设备老化、性能劣化、检修不规范是诱发厂用电故障、增加无效能耗的重要因素。为提升设备运行质量、降低故障损耗，需摒弃传统固定周期大修的粗放检修模式，推行基于设备健康状态的全生命周期动态运维机制。依托智能监测系统实时数据、设备投运年限、历史故障台账与检修记录，精

准评估每台核心设备的运行状态，按需开展状态检修、精准检修，既规避检修不及时引发的设备故障，也杜绝过度检修造成的资源浪费与设备二次损耗，有效降低检修成本与停机损失。同时制定常态化设备保养计划，定期对变压器、高低压开关柜、备自投装置、柴油发电机组、监测传感设备开展清洁、紧固、校验、功能试验等维护工作，确保设备保护、切换、监测功能完好可用。重点强化柴油应急机组、备用电源等应急设备的常态化试验，定期开展电源切换试验、机组启停试验，保障极端故障情况下应急电源可快速可靠投入，从设备运维层面夯实系统安全运行基础，延长设备使用寿命，减少故障性电能损耗。

3.3 强化人员专业能力建设

运维人员的操作规范性、故障研判能力与节能管控意识，直接决定厂用电系统的运维质量与节能成效。水电站需建立

常态化培训机制，围绕厂用电设备原理、标准化操作、故障识别、节能技改、应急处置等核心内容开展专项培训，重点强化运维人员对高频故障、能耗异常问题的研判与处置能力。定期组织现场实操演练与应急推演，覆盖母线跳闸、设备过载、线路短路、全厂失电、电气火灾等典型现场场景，锻炼运维人员快速抢修、应急处置能力，最大限度减少人为操作失误引发的安全事故与电能浪费^[5]。同时，转变运维人员“重安全、轻节能”的传统思维，常态化宣贯节能降耗理念，普及设备节能操作技巧，引导运维人员在日常巡检、设备操作、隐患整改中主动落实节能措施，依托专业能力保障各项安全与节能工作落地，为系统提质增效提供人才保障。

3.4 健全安全应急防控机制

水电站厂用电系统设备密集、回路繁杂、故障扩散速度快，一旦发生异常，极易造成大范围供电中断与电能损耗。

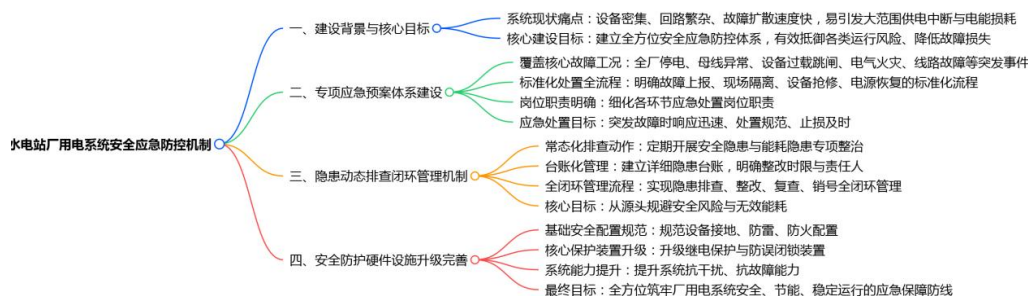


图2 健全安全应急防控机制

对此，需建立健全全方位的安全应急防控体系，有效抵御各类运行风险、降低故障损失。结合现场常见故障工况，细化全厂停电、母线异常、设备过载跳闸、电气火灾、线路故障等突发事件的专项应急预案，明确故障上报、现场隔离、设备抢修、电源恢复的标准化流程与岗位职责，保障突发故障时响应迅速、处置规范、止损及时。建立隐患动态排查闭环机制，定期开展安全隐患与能耗隐患专项整治，建立详细隐患台账，明确整改时限与责任人，实现隐患排查、整改、复查、销号全闭环管理，从源头规避安全风险与无效能耗。持续完善安全防护硬件设施，规范设备接地、防雷、防火配置，升级继电保护与防误闭锁装置，提升系统抗干扰、抗故障能力，全方位筑牢厂用电系统安全、节能、稳定运行的应急保障防线。

结语

总之，全文通过结合水电厂现场工程运维实际，梳理了厂用电系统的分级配电结构、三级供电冗余模式与负荷分级运行特征，明确了系统运行核心要点、安全短板及电能浪费的主要源头。针对现阶段水电站普遍存在的运行方式固化、高耗能设备占比高、负荷管控粗放、智能化运维水平不足等实际问题，从运行策略优化、设备节能技改、负荷精细化管理、智能运维升级四个维度，提出一系列贴合现场、可落地

的安全运行与节能降耗技术措施。同时，本文从制度建设、设备全周期运维、人员能力培养、应急防控建设四个维度，构建了立体化、全方位的运行保障体系，形成“技术优化+管理赋能”的一体化运维模式，确保安全运行与节能降耗工作长效落地。

参考文献

- [1]余振,唐伟. 水电站 10 kV 厂用电系统供电可靠性提升方法研究 [J]. 水电与新能源, 2024, 38 (8): 33-37.
 - [2]马加顺,周明露. 天生桥二级水电站 400V 厂用电接线优化研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (1): 319-320+329.
 - [3]陈才龙,叶俊帆,鲍友洪. 某大型水电站厂用电率影响因素分析及控制措施 [J]. 水电站机电技术, 2023, 46 (12): 121-124.
 - [4]刘星,冯雪萍,刘世泽,等. 刘家峡洮河口排沙洞及扩机工程厂用电系统设计 [J]. 广西水利水电, 2023, (2): 84-86+94.
 - [5]王永胜,刘怀龙. 浅析某水电站厂用电系统的优化改造 [J]. 水电站机电技术, 2023, 46 (3): 38-40.
- 作者简介：李飞，1987 年 6 月，男，汉族，本科，四川古蔺，工程师，水电运行。