

水利工程泵站供配电节能设计研究

谢腾腾 朱 乐

中水珠江规划勘测设计有限公司 广东 广州 510610

摘要：水利工程泵站供配电系统能耗构成复杂，与运行工况紧密相关。本文从能耗特征与节能目标出发，阐述系统架构节能设计，包括供电拓扑优化、输电线路节能及负荷分配优化；介绍设备节能选型，涵盖变压器、电机、配电装置；探讨控制策略节能设计，如变频调速、功率因数补偿、运行状态监测与优化。通过多维度设计，精准满足泵站动力需求，降低各环节能源损耗，提升能源利用效率，兼顾节能与经济效益，推动泵站供配电系统向高效、节能、经济方向发展。

关键词：水利工程；泵站；供配电系统；节能设计

引言：水利工程泵站作为重要的水利设施，其供配电系统的能耗问题备受关注。该系统能耗构成复杂，受多种因素影响，且能耗水平随泵站负荷波动大幅变化。在当前节能减排的大背景下，如何降低泵站供配电系统能耗，提高能源利用效率，成为亟待解决的关键问题。本文将深入剖析泵站供配电系统的能耗特征，明确节能核心目标，从系统架构、设备选型、控制策略等多方面展开节能设计研究，为水利工程泵站供配电系统的节能优化提供理论支持与实践指导。

1 泵站供配电系统的能耗特征与节能核心目标

水利工程泵站供配电系统能耗构成复杂，主要源于变压器、输电线路、配电装置及控制设备等关键环节。其能耗特征与泵站实际运行工况紧密相连，负荷的动态变化以及设备性能的优劣，均会对其产生显著影响。(1)从能耗分布细致剖析，变压器能耗包含空载损耗与负载损耗两部分。空载损耗由铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗引起，与负载无关；负载损耗则随负载电流的平方成正比变化。输电线路的电阻损耗是电流通过线路时，因电阻作用产生的热损耗，线路长度、截面积及电流大小均会影响其损耗程度。电机设备运行损耗涵盖机械损耗、杂散损耗等，与电机设计、制造工艺及运行状态密切相关。并且，能耗水平会随泵站负荷的波动而大幅改变，低负荷运行时，变压器、电机等设备效率降低，能耗占比进一步攀升。(2)泵站供配电节能设计的核心目标具有多维性。首要任务是在确保供配电系统安全稳定运行的基础上，精准满足泵站机组的动力需求，这是系统正常运转的基石。通过针对性的设计优化，如合理选择变压器容量、优化输电线路布局、选用高效节能设备等，最大限度降低各环节能源损耗，提升系统能源利用效率。同时，需充分考虑设计方案的经济性，对节能改造与设计

的投入成本进行科学评估，确保通过长期的能耗节约能够实现成本回收，达成节能效益与经济效益的有机平衡，推动水利工程泵站供配电系统向高效、节能、经济方向发展^[1]。

2 泵站供配电系统架构的节能设计

2.1 供电拓扑结构优化

泵站供配电系统拓扑结构的设计需综合考量多方面因素，机组数量、负荷分布特点以及地理位置等都是关键考量点。设计时应优先选择简洁、高效的拓扑形式，最大程度减少中间转换环节，以此降低能源损耗。(1)针对多机组泵站，分区供电模式是较为理想的选择。依据机组的负荷特性与运行规律，将负荷相近的机组划分至同一供电区域，并为每个区域配备独立的配电装置。如此一来，能有效避免因单区域负荷不均衡，出现过载或轻载情况而导致的能耗浪费。(2)简化供电链路也至关重要。减少变压器、断路器等中间设备的数量，可降低设备转换损耗与线路损耗。比如，对于距离较近的负荷，直接采用低压供电方式，绕过高压转低压环节，减少能源在转换过程中的损失；对于多台并列运行的机组，采用母线分段接线方式，既能提升供电的灵活性与可靠性，又能缩短线路传输距离，进一步降低能耗。

2.2 输电线路节能设计

输电线路的电阻损耗作为供配电系统的主要能耗来源之一，其损耗量与线路电阻、电流平方呈正相关关系。故而，在线路设计过程中，需着重从导线选型与线路布局两大关键方面入手。(1)在导线选型方面，要依据负荷电流的实际大小，精心挑选截面面积适宜且导电性能优良的导线。在确保满足载流量要求的基础上，尽可能降低导线电阻。以实际应用为例，铜芯导线相较于铝芯导线，具备更高的导电率，电阻损耗更低，而且使用寿

命更为长久,从长期运行的角度来看,其节能效益十分显著。(2)在线路布局方面,应尽可能缩短导线的长度,精心规划线路走向,避免出现线路迂回、交叉等不合理情况,以此减少不必要的线路损耗。同时,要合理确定线路的敷设方式。对于室内线路,优先采用电缆沟敷设的方式,这样能减少线路的暴露面积,降低外界因素对线路的干扰;对于室外线路,则要优化杆塔的布置,合理控制线路跨度与导线弛度,进一步降低线路损耗^[2]。

2.3 负荷分配优化

负荷分配的合理程度对供配电系统运行效率起着决定性作用。若负荷分配不合理,会使部分设备长期处于低负荷运行工况,设备效率大幅降低,能耗显著增加。(1)在设计阶段,精准测算泵站负荷是关键前提。需结合机组实际运行工况,运用科学的计算方法,合理分配各供电回路的负荷。对于采用多变压器供电的系统,要确保各变压器负荷率处于经济运行区间。一般来说,变压器的经济负荷率为50%-70%,在此区间运行时,变压器自身损耗最小、运行效率最高。通过优化负荷分配,能有效避免单台变压器过载或低负荷运行的情况,实现多台变压器协同高效运转,进而降低整个供配电系统的能耗。(2)对于泵站内的辅助设备,如照明、通风、水泵等,要进行细致的负荷分类。采用分回路控制方式,依据实际运行需求灵活控制设备的启停,避免设备在不需要时运行,从而减少无效能耗,提升系统整体的节能效果。

3 泵站供配电设备的节能选型

3.1 变压器节能选型

变压器在泵站供配电系统里是关键的能量转换设备,其损耗在系统总损耗中占比较大,因此选用节能型变压器对降低能耗意义重大。(1)选型时,要优先挑选低损耗变压器,像S11及以上系列节能变压器就是不错的选择。这类变压器运用优质铁芯材料,并经过优化结构设计,空载损耗和负载损耗相较于传统变压器大幅降低,能有效减少运行过程中的能量损耗。(2)要结合泵站的负荷特性,科学确定变压器的容量与台数。若泵站负荷波动明显,可采用两台及以上变压器并列运行的方式,依据负荷变化灵活投切变压器,避免单台大容量变压器长期处于低负荷运行状态,从而减少不必要的能耗。另外,还需优化变压器的接线方式,采用Dyn11接线方式,可有效降低谐波损耗,进一步提升变压器的运行效率,实现泵站供配电系统的节能目标^[3]。

3.2 电机设备节能选型

电机是泵站的动力核心,其能耗在泵站总能耗中占

据主导地位,因此选用高效节能电机是泵站节能设计的关键环节。(1)在电机选型时,应优先挑选一级能效的三相异步电动机。这类电机借助先进的电磁设计优化手段,对转子结构进行改进,使得电机效率相较于普通电机能提升3%-5%。在泵站长期运行过程中,可累积节约可观的能源。(2)电机的容量选择至关重要,必须与泵站机组的负载需求实现精准适配。若电机容量超出实际负载需求过多,电机将长期在低负荷工况下运行,功率因数会随之降低,进而导致能耗上升。反之,若电机容量小于负载需求,电机则会过载运行,不仅能耗大幅增加,还会加速设备磨损,缩短其使用寿命。(3)还可选用变频调速电机。结合泵站负荷随时间波动的特点,利用变频调速技术灵活调节电机转速,实现按实际需求精准供能,有效降低电机运行过程中的能量损耗。

3.3 配电装置节能选型

配电装置涵盖断路器、接触器、继电器等众多设备,尽管其单次运行损耗相较于变压器、电机而言并不突出,但鉴于泵站供配电系统长期持续运行的特点,这些设备累积产生的损耗仍不容小觑。(1)在配电装置选型过程中,要着重挑选低损耗、高可靠性的产品,优先选用符合国家节能标准的相关设备。以断路器为例,应选用真空断路器来替代传统的油断路器。真空断路器具备出色的灭弧性能,运行过程中的损耗较低,并且日常维护工作量较小,能有效降低运行成本。对于接触器,可選用节能型产品,这类接触器通过优化线圈结构设计,显著降低了线圈的空载损耗。(2)配电装置的布局规划也至关重要。要科学合理地安排各设备的位置,尽可能减少线路连接长度,降低接触电阻,避免因接触不良引发能耗增加以及设备过度发热等问题,从而全方位提升泵站供配电系统的节能效果与运行稳定性^[4]。

4 泵站供配电系统的控制策略节能设计

4.1 变频调速控制

泵站运行过程中,其负荷需求并非固定不变,而是会随着工况的改变而频繁波动。(1)在传统的运行模式下,电机通常采用恒速运行方式,这种模式无法根据实际负荷需求进行灵活调整,当负荷低于电机额定输出能力时,就会造成大量的能源浪费。(2)变频调速控制技术为解决这一问题提供了有效途径。该技术通过调节电机的供电频率,进而改变电机的转速,使电机的输出功率能够与实际的负荷需求实现精准匹配。在设计阶段,为泵站机组合理配备变频调速装置,并综合水位、流量等关键运行参数,构建实时调节机制。当泵站需水量减少时,变频装置会自动降低电机的转速,水泵的出水量随之

减少,电机的能耗也显著降低;而当负荷增加时,系统又能自动提升电机转速,确保满足泵站的运行需求。此外,变频调速控制还能有效减少设备启停时的冲击,降低设备的机械磨损,延长设备的使用寿命,从多个方面提升泵站供配电系统的节能效果与运行稳定性。

4.2 功率因数补偿控制

在泵站供配电系统运行中,功率因数处于关键地位。若功率因数过低,会引发一系列不利影响,线路损耗会显著增加,变压器效率也会大幅下降,进而造成能源的严重浪费。(1)泵站内的电机、水泵等设备大多属于感性负载,在其运行过程中,会产生大量的无功功率,这是导致功率因数降低的主要原因。因此,在系统设计阶段,必须配备无功功率补偿装置。采用自动补偿控制策略,借助先进的监测设备,实时对系统功率因数进行精准监测。依据负荷的动态变化情况,自动投切补偿电容,将功率因数稳定控制在0.9以上的合理区间。(2)通过实施无功功率补偿,能够有效减少无功功率在传输过程中的损耗,大幅提升系统的供电效率,降低变压器与线路的能耗。同时,在补偿装置投切操作上,要采用分级控制方式。这样可以避免因频繁投切补偿电容,引发系统电压出现波动,确保泵站内各类设备能够稳定、可靠地运行,保障泵站供配电系统的整体节能效果与运行质量。

4.3 运行状态监测与优化控制

为提升泵站供配电系统的节能效果,构建全面且精准的运行状态监测体系至关重要。该体系需实时采集变压器、电机、线路等关键设备的各类运行参数,涵盖电流、电压、功率、温度等,这些参数是反映设备运行状态与能耗水平的关键指标。(1)借助先进的数据分析技术,对采集到的参数进行深度剖析,以此准确判断设备的运行状况以及能耗是否处于合理范围。一旦发现运行过程中出现能耗异常情况,系统应迅速做出反应。一方面,自动调整相关运行参数,使设备尽快恢复到高效节

能的运行状态;另一方面,及时发出预警信号,提醒运维人员及时排查处理潜在问题,避免能耗进一步增加。(2)通过持续监测变压器的负荷率与温度,依据监测结果合理调整负荷分配,防止变压器过载运行导致发热,降低额外能耗;通过监测线路电流,能快速发现接触不良等故障隐患,及时维修以减少线路损耗。此外,结合泵站的实际运行规律,预设不同工况下的最优运行参数,实现系统的自动化精准控制,全方位提升节能效果^[5]。

结束语

水利工程泵站供配电系统节能设计是一个系统工程,涉及系统架构、设备选型、控制策略等多个关键环节。通过优化供电拓扑结构、设计节能输电线路、合理分配负荷,从系统层面降低能源损耗;选用节能型变压器、高效电机及低损耗配电装置,提升设备自身的节能性能;采用变频调速、功率因数补偿、运行状态监测与优化等控制策略,实现系统的精准运行与动态节能。在实际工程中,需综合考虑各方面因素,将节能设计理念贯穿于泵站供配电系统的全生命周期,以实现节能效益与经济效益的有机统一,推动水利工程泵站供配电系统朝着高效、节能、可持续的方向发展。

参考文献

- [1]梁海英.泵站工程电气设计节能措施研究[J].低碳世界,2024,14(03):139-141.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2024.03.021.
- [2]潘凯,沈浩.水利泵站供配电设计中自动化设备的应用研究[J].内蒙古水利,2021,(09):75-76.
- [3]邹敏.现代化水利水电工程管理现状分析及其改进对策[J].中华建设,2024,(05):39-41.
- [4]夏金阳.关于水利水电工程施工安全控制的几点思考[J].珠江水运,2024,(08):154-156.
- [5]张玮,薛野,唐振.智慧水利阶段的水利水电工程信息化建设研究[J].水利信息化,2024,(02):63-68.