基于能效优化的水利工程设计与运行策略

郝 莉

宁夏长城水务有限责任公司 宁夏 银川 750000

摘要：本文围绕基于能效优化的水利工程设计与运行策略展开探讨。首先剖析能效优化于水利工程的重要性，涵盖能源利用效率提升、运行成本降低、水资源可持续利用促进及环境影响减少等方面。随后阐述设计阶段策略，包括水电枢纽布局规划中选址与建筑物布置要点，输水系统的材质管径选择与线路优化，以及机电设备选型匹配方法。运行阶段则涉及水位与流量联合调控、机组运行方式优化和设备维护与更新策略等内容。通过这些策略的实施，旨在提高水利工程能效，保障其长期稳定高效运行，为水资源合理利用与能源节约提供有力支撑。

关键词：能效优化；水利工程设计；运行策略

引言：在全球能源短缺与环境问题凸显的背景下，水利工程的能效优化成为关键任务。水利工程在水资源调配、发电等多方面发挥着重要作用，但传统设计与运行模式存在能源浪费等不足。能效优化可有效提升能源利用效率，降低成本，促进水资源可持续利用并减少环境影响。深入研究其设计与运行策略，对推动水利工程向绿色、高效方向发展，满足社会经济发展需求以及实现生态环境平衡具有极为重要的意义，为水利工程领域的可持续发展提供新的思路与方向。

1 能效优化在水利工程中的重要性

从能源利用效率的角度来看，水利工程中的水电设施是清洁能源生产的关键力量。宁夏长城水务有限责任公司所运营管理的水利工程设施，通过科学合理的设计与精准调控，可使水泵电机等设备高效运行。比如，在对水泵的叶片形状、流道尺寸等参数进行精确设计优化后，水流能量能更有效地转化为电能。在长城供水工程的运行中，这意味着在同样的水资源条件下，电力产出得以显著增加，更好地满足了宁东能源化工基地、银川苏银产业园等区域日益增长的能源需求，为地区的工业生产和社会发展提供了可持续的能源支撑，推动了当地经济社会朝着绿色、低碳的方向迈进。

1.1 在降低运行成本

宁夏长城水务有限责任公司在其水利工程运营中，通过有效控制能源消耗，使得水泵、闸门等设备能耗大幅降低。以采用节能型水泵为例，其能耗可比传统水泵降低30%左右，每年为公司节省大量电费开支。高效的运行模式减轻了设备磨损程度，降低了故障发生频率，延长了设备使用寿命。如水泵的维修周期从原来的1年延长至2年，这不仅减少了维修成本，也降低了设备更新成本，大大提高了整体经济性。长城供水工程的长期稳定运行和良

好的经济效益，为公司的可持续发展奠定了坚实基础，也在区域经济和社会效益方面发挥了更大的价值。

1.2 促进水资源可持续利用

宁夏长城水务有限责任公司负责的供水工程，通过对输水系统设计与运行调度的优化，有效减少了输水过程中的渗漏与蒸发损失。在为宁东能源化工基地、银川苏银产业园及月牙湖乡等区域供水时，能够确保更多的水资源准确无误地输送至用户，提高了水资源利用效率。特别是在保障农村饮水安全工程中，如银川市兴庆区月牙湖地区农村饮水安全巩固提升工程，能效优化保障了供水的稳定性和高效性，避免了因供水系统不合理导致的水资源浪费现象，实现了水资源在不同用途之间的科学合理分配，为水利行业的可持续发展提供了有力保障，满足了经济社会发展对水资源的长期稳定需求。

1.3 能效优化对减少环境影响

宁夏长城水务有限责任公司运营的水利工程，当发电效率提升时，在满足相同电力需求的情况下，可相应减少对其他能源的开发需求，从而减轻环境压力。比如，减少了对火力发电的依赖，进而减少了温室气体排放。在水利工程运行期间，可以通过合理调控水位与流量，避免了因水位大幅波动或流量不稳定对下游生态环境造成的干扰。在为内蒙古鄂尔多斯上海庙经济开发区等区域供水过程中，保护了河流生态系统的平衡与稳定，有助于维持河流中水生生物的生存环境，保障其正常的繁衍与生长，维护了生态环境的多样性。

2 水利工程设计阶段的能效优化策略

2.1 水电枢纽布局规划

(1) 选址考量：水电枢纽的选址对于能效的影响至关重要，是整个水利工程的基础。在选址过程中，必须全面且深入地考量地形、地质、水文等多种自然条件。

选择落差大、水流稳定且水量充沛的河段，能够为水轮机提供强大而稳定的水能资源，从而极大地提高发电潜力。比如，我国著名的三峡水电站选址于长江三峡段，该河段得天独厚，拥有巨大的落差和丰富的水量，这为三峡水电站的高效发电奠定了坚实基础。严谨评估地质条件不容忽视，其关乎工程建设的安全性及稳定性。要防止因地质灾害如地震、滑坡等问题，导致工程效率降低甚至失效，从而保障水利枢纽能够长期稳定运行，持续发挥效益。（2）枢纽布置：合理规划水电站的厂房、大坝、溢洪道等建筑物的布局，对于提高能效有很大意义。将厂房布置在靠近水源且水流顺畅引入的位置，能够显著缩短输水管道的长度，减少弯头数量，进而有效降低水流阻力损失。大坝的设计则需兼顾蓄水功能与发电需求，确保在不同水位条件下都可为发电提供稳定的水头压力。比如，拱坝因其独特的结构优势，能在较薄的坝体结构下承受较大的水头压力，所以常被应用于高山峡谷等地形条件适宜的水电枢纽中。而溢洪道的设计要点在于，要在洪水期确保安全泄洪的同时，尽可能减少对发电水流的干扰，维持发电的稳定性，保障整个水电站在各种工况下都能高效运行。

2.2 输水系统设计要点

（1）管道材质与管径选择：输水系统的管道材质与管径是影响水流输送效率的关键因素。应选用内壁光滑、摩擦阻力小的输水管道材质，如高强度的聚乙烯管或钢管等。这些材质能够有效降低水流在管道内流动时的摩擦力，减少能量损耗。再根据输水流量与压力要求，精确计算管径大小至关重要。若管径过小，会使水流速度过快，导致阻力增大，能耗增加；相反，管径过大，则会造成建设成本过高，且可能因水流流速过低引发淤积等问题。只有合理选择管径，才能在保证输水需求的同时，实现能耗和成本的双降低，达到能效优化的目的。（2）管道线路优化：输水管道线路的优化是能效优化的关键环节。线路应尽可能沿地势平缓、地质稳定的区域铺设，这样可以减少管道的爬坡与弯曲，从而降低水流在输送过程中的能量损失。在穿越障碍物时，需采用合理的穿越方式，如定向钻穿越或盾构穿越等先进技术，以减少局部阻力损失。通过这些优化措施，能够确保水流在输水系统中更加顺畅地流动，减少不必要的能量消耗，提高整个输水系统的能效^[1]。

2.3 机电设备选型匹配

水轮机的选型需依据水电站的水头范围、流量特性以及运行要求等因素综合确定。对于高水头小流量的水电站，冲击式水轮机是较为合适的选择，其利用高速水

流冲击转轮叶片来实现能量转换，效率较高；而对于中低水头大流量的情况，混流式水轮机则更为适用，它能够在较大流量下保持较好的运行效率。并且，要对水轮机的效率特性曲线进行深入分析，确保在常用运行工况下其效率处于较高水平，从而充分发挥水轮机的发电效能，提高整个水电站的能源利用效率。在泵站工程中，水泵选型同样不容忽视。需依据所需的扬程、流量以及输送介质特性等，精心挑选高效节能的水泵^[2]。可采用多台水泵并联或串联的方式，根据实际运行需求灵活调整运行台数，实现扬程与流量的精准匹配。还有电机的功率与转速应与水轮机或水泵良好匹配，防止出现大马拉小车或小马拉大车的不合理情况。采用高效的传动装置，如齿轮传动或变频调速装置等，能够依据实际运行工况实时调整设备的转速，使机电设备始终在高效区间运行，有效减少能量损耗，延长设备使用寿命，提升水利工程的经济效益和运行稳定性。

3 水利工程运行阶段的能效优化措施

3.1 水位与流量的联合调控

水库水位的合理调控对于水利工程的能效有着重要影响。需依据水库的功能定位、来水情况以及用水需求，精心制定科学合理的水库水位运行方案。在丰水期，适当提高水库水位，能够增加发电水头，从而提高发电效率，但同时必须确保在洪水期预留足够的防洪库容，以保障水库及周边地区的安全。例如，三峡水库在每年的汛期来临前，都会按照预定方案将水位降至防洪限制水位以下，为洪水预留足够的存储空间；而在非汛期，则会根据发电、航运等需求，合理调整水位，充分发挥水库的综合效益。在枯水期，要合理控制水位，在保障下游生态用水与其他基本用水需求的基础上，尽量维持发电等生产用水的稳定供应，提高水资源的综合利用效率，实现水资源在不同需求间的平衡与优化配置。对于输水渠道与河道中的流量，应根据不同时段的用水需求进行动态调节。在灌溉高峰期，农田需水量大，此时应加大流量供应以满足农田灌溉需求，确保农作物的生长^[3]。而在非灌溉期，则可适当减少流量，降低输水能耗。同时，通过合理设置节制闸、分水闸等设施，能够实现流量的精准分配与调控，避免水流的无效损耗与溢流现象。比如，在一些大型灌溉工程中，通过自动化的闸控系统，根据不同区域的土壤墒情和作物需水情况，精准分配灌溉用水，不仅提高了灌溉水的利用效率，还减少了水资源的浪费，有效提升了水利工程的能效。

3.2 机组运行方式优化

第一，在多台机组运行的水电站或泵站中，机组负

荷分配是否合理直接关系到整个机组群的运行效率。应根据各机组的性能特性与效率曲线,科学合理地分配负荷。将负荷优先分配给效率较高的机组,使各机组都能在接近最优工况下运行,从而提高整个机组群的运行效率。随着运行工况的变化,如用水需求的增减、来水流量的波动等,要实时调整负荷分配方案,确保机组始终处于高效运行状态。以某大型水电站为例,其通过先进的监控系统和负荷分配算法,实时监测各机组的运行参数和效率,根据电网负荷需求和来水情况,动态调整机组负荷分配,使电站的发电效率始终保持在较高水平。第二,制定科学的机组启停计划对于减少能耗和设备磨损至关重要。机组启动过程中需要消耗大量的能量,且设备磨损较大。因此,要通过准确预测用电需求与来水情况,合理安排机组的启停时间,使机组在较长时间内稳定运行于高效工况,减少启动与停机过程中的能耗与损耗。比如,在电网负荷低谷期且来水较小时,可适当减少机组运行台数,避免机组在低负荷下低效运行;而在负荷高峰期和来水充足时,提前启动备用机组,确保机组的稳定高效运行,提高水利工程的整体能效和经济效益。

3.3 设备维护与更新策略

首先,建立完善的设备维护保养制度是确保水利工程设备正常运行、减少能效损失的基础。定期对水利工程中的机电设备、输水管道、闸门等设施进行全面检查、保养与维修。及时清理水轮机叶片上的附着物,防止其影响水轮机的效率;更换磨损的密封件,避免漏水漏气等问题导致的能量损失;修复管道的渗漏部位,保障输水系统的正常运行。通过这些维护保养措施,能够确保设备处于良好的运行状态,减少因设备故障或性能

下降而导致的能效损失,延长设备的使用寿命,降低运行成本。其次,对于老旧、能效低下的设备,应适时进行更新改造。采用新型高效的机电设备替换原有设备,如新型节能电机、高效水轮机等,可显著提高设备的运行效率。新型节能电机具有更高的能效等级和更好的调速性能,能够根据实际负荷需求自动调整运行状态,降低能耗。高效水轮机则在设计和制造工艺上进行了优化,能够更有效地将水流能量转化为机械能,进而提高发电效率^[4]。对一些关键的控制系统进行升级改造,实现设备运行的自动化与智能化调控,进一步提升水利工程的能效水平。

结束语:基于能效优化的水利工程设计运行策略研究意义深远。通过设计阶段的精心谋划与运行阶段的科学调控,能显著提升水利工程的能效表现。从水电枢纽布局到输水系统构建,再到机电设备的适配,以及运行中的水位流量管理、机组运行优化和设备维护更新,各个环节紧密相连,共同作用于能效提升。这不仅有利于水利工程自身的经济与环境效益提升,还为社会的能源结构优化与水资源可持续利用贡献力量。

参考文献

- [1]李明,田程,刘婕.水利工程泵站优化设计与运行控制措施研究[J].工程技术研究,2024,9(13):201-203.
- [2]靖锦杰,牟玉池,张洋.基于BIM技术的复杂水利工程设计优化与应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(10):0144-0147.
- [3]辛云鹏.论水利泵站设计中的能效优化与节能技术[J].水上安全,2024(9):106-108.
- [4]吴启琅.水利工程泵站优化设计与运行控制研究[J].四川水利,2023,44(2):30-32.