

抽水蓄能电站的抽水效率提升技术研究

吴伟峰

摘要: 在社会经济飞速发展, 能源需求日益增长的今天, 电力系统运行的稳定性与可靠性已成为当前急需解决的重大课题。抽水蓄能电站是储能技术的成熟形式, 能有效地调节电网负荷、平衡电力供需等, 在电力系统得到了广泛的应用。但目前抽水蓄能电站抽水效率仍然有提高的空间, 制约着电站高效运行及能源利用潜力的发挥。因此对提高抽水蓄能电站抽水效率的研究在理论和实际应用上都有很大意义, 文章就此展开了探讨。

关键词: 抽水蓄能电站; 抽水效率; 提升技术

引言

抽水蓄能电站利用电力需求低谷期过剩的电力将水抽到上水库进行存储, 并于电力需求高峰时段放流发电, 从而达到调峰调频的作用。抽水蓄能电站作为绿色环保储能技术已广泛应用于国内和世界。但抽水蓄能电站运行效率尤其是抽水期间运行效率直接影响电站经济效益与环保效益。

一、抽水蓄能电站概述

1. 抽水蓄能电站的工作原理

抽水蓄能电站是利用电力系统中负荷的变化, 在用电需求低谷期把电能转换成势能进行存储, 而在用电需求高峰时又把势能转换成电能进行释放, 从而达到调峰、调频的作用(如图1)。它的工作原理由两大工序组成, 一是抽水工序, 二是发电工序。抽水过程指电网负荷低谷期用余电带动水泵从下水库抽水到上水库中, 该过程牵涉到水泵扬程, 流量和效率。扬程一般落在300至800米的范围内, 而流量则会因电站的规模而有所变化。在电网负荷达到高峰时, 发电过程涉及到打开上水库的闸门, 使水通过水轮机流向下水库, 从而驱动发电机进行发电。这个过程包括水轮机的转速、发电机的功率以及整体的转换效率。水轮机的转速通常为300~600转分, 发电机的功率可达几百兆瓦。抽水蓄能电站以其有效的能量转换与储存技术对电网负荷的调节与电力供应的稳定起到至关重要的作用。另外抽水蓄能电站具有启停速度快, 停运时间短等特性, 使得抽水蓄能电站能对电网

瞬时负荷变化做出灵活处理, 确保电力系统安全平稳运行。总体而言, 抽水蓄能电站作为一种环保且有效的能源管理解决方案在世界各大电力系统都得到了广泛运用。

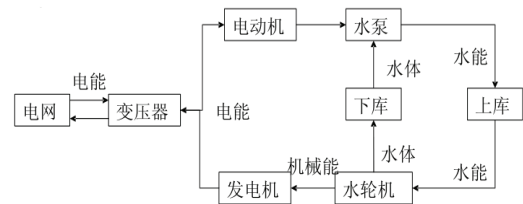


图1 抽水蓄能电站能量转换原理图

2. 抽水效率的定义和影响因素

抽水效率是抽水蓄能电站电能向势能转换时, 能量转换效率高低的一个关键指标。它通常用效率 η 来表示, 计算公式为 $\eta = P_{out}/P_{in}$, 其中 P_{out} 是水泵输出的机械能, P_{in} 是电机输入的电能。抽水效率直接关系到电站运行的经济性与效率, 受诸多因素影响。水泵水轮机性能对抽水效率有很大影响, 效率高的水泵水轮机可以在各种运行条件下都能维持很好的能量转换效率。叶片形状、材料选择及水泵扬程、流量等设计参数对效率有明显影响。扬程一般在300至800米之间, 流量则根据电站规模有所不同。另外, 运行条件诸如水温, 压力损失以及系统摩擦对抽水效率都有一定的影响。水温的改变会引起水的黏度发生变化, 进而影响水泵工作效率。由于压力的减少和系统之间的摩擦, 能量会被消耗, 从而导致整体工作效率的下降。运行控制策略对抽水效率同样具有至关重要的作用, 优化后的控制策略能够通过运行参数进行实时调节来降低能量损失和提升系统整体效率。综上所述, 对水泵水轮机的性能, 运行工况及控制策略进行优化可显著改善抽水蓄能电站抽水效率并促进其经济与环保效益。

作者简介: 吴伟峰(1997.01——), 男, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事抽水蓄能方面的研究工作。

二、提高抽水效率的关键技术

1. 水泵水轮机的设计优化

水泵水轮机设计优化是促进抽水蓄能电站提高抽水效率最核心的一环，在设计过程中涉及到复杂流体力学与机械工程原理。在进行优化设计时，首先要对叶片的形状和几何参数进行精确的控制。利用计算流体动力学（CFD）的仿真技术，我们能够模拟叶片之间的水流动态，寻找最佳叶片曲率及攻角使能量损失最小。选择合适的叶片材料也是非常关键的，使用如不锈钢或钛合金这样的高强度和耐腐蚀的合金，不仅有助于延长设备的使用寿命，还能在高负载和复杂的水质环境中保持其高效的工作性能。为进一步提高性能，需精细调校叶轮设计，叶轮直径、宽度等参数选取要与泵扬程、流量等参数匹配，优化叶轮可降低湍流、二次流生成、提高能量转换效率等。另外改进密封技术还可以对水泵水轮机性能产生显著影响，使用高性能密封材料及结构设计降低泄漏损失并促进整体效率。在实践中，引入变频调速技术，使水泵水轮机可以根据实时工况来调节转速以达到最佳工况，使效率得到进一步提升。总体来说，从叶片形状、选材、叶轮设计以及密封技术等方面进行全面优化，并将先进仿真技术与变频调速控制相结合，能够显著改善水泵水轮机性能，继而提高抽水蓄能电站总体抽水效率。

2. 运行控制策略的优化

优化运行控制策略对抽水蓄能电站抽水效率提升具有重要意义，优化控制策略可实现不同条件下电站的有效运行。其关键是对系统的运行参数进行实时监测与动态调整，从而降低系统的能量损失并提高系统的整体效率。引入智能控制系统，采用先进的算法如模糊控制、神经网络等，可以根据实时数据调整水泵水轮机的运行状态。控制策略以水库水位、流量、扬程及电网负荷为核心，对水泵启停及运行速度进行优化。比如当水库水位比较高时，水泵转速需下降以免能量消耗过大；电网负荷高峰期要促进水泵效率满足发电需要。

表1 不同工况下的运行参数及优化前后的效率对比

工况	水库水位 (米)	流量 (m ³ /s)	扬程 (米)	电网负荷 (MW)	优化前效率 (%)	优化后效率 (%)
低负荷	300	50	400	200	85	92
中负荷	350	70	500	300	88	94
高负荷	400	90	600	400	90	96

采用优化控制策略在各种负荷工况效率都得到了提高。在负荷较低的情况下，工作效率从85%增加到了92%；在中等负荷的情况下，数据从88%增加到了94%；在高负荷的环境中，比例从90%增加到了96%。这一改进是由于智能控制系统有效地处理实时数据并进行精确调整以降低无意义能量损失。另外，该优化控制策略包含了负荷预测与调度等功能，能够通过精确地预测电网负荷来提前调整抽水与发电计划以最大限度地发挥系统调节能力并进一步提高抽水效率。总之，优化运行控制策略可显著提高抽水蓄能电站整体运行效率并获得较高经济与环保效益。

3. 施工和维护技术的提升

建设与维护技术改进对抽水蓄能电站高效运行具有重要意义。准确地进行施工质量控制可以保证水泵水轮机，管道等关键设备安装精度和降低初期能量损失。利用三维激光扫描，BIM（建筑信息模型）等先进施工技术可提高施工精度与效率并避免施工误差造成能量损耗与设备磨损。在维修上，采取预防性维修策略，利用传感器及物联网技术对设备状态进行实时监控、提前报警、及时维修，以避免设备出现故障而造成停机、效率下降等问题。采用高性能润滑材料及密封技术可降低摩擦与泄漏、提高设备寿命与运行效率。定期对水泵水轮机进行检修及叶片清洗有利于维持装置最佳性能并保证抽水效率稳步提高。

4. 新型材料和技术的应用

新型材料与工艺的运用，对促进抽水蓄能电站抽水效率的提高起着举足轻重的作用。近年来高强度复合材料、新型合金等先进材料在水泵叶轮、管道系统等领域得到了广泛的应用。这类材料耐磨性、抗腐蚀性较强，可在降低能量损失的前提下明显地延长装置使用寿命。例如，使用碳纤维复合材料制造的叶轮不仅质量轻，而且具有极高的强度和耐久性，这可以减少旋转时的摩擦损失，从而提高水泵的整体效率。试验数据表明：采用碳纤维材料叶轮效率可以提高1倍多。

另外利用超导技术对提高抽水效率有重大突破。超导电机的电能损失非常低，与传统电机相比，它的效率提高了大约20%。该电机可以在较低温度下工作，并通过降低电能传输时的热损失来提升电能转换效率。高效的涂层技术也是至关重要的一环。通过在水泵和管道内部使用低摩擦涂层，可以显著降低流体的阻力。实验结果显示，这种涂层可以将管道的摩擦损失降低15%–20%。

新型传感器与智能控制系统集成应用,使抽水蓄能工艺得到进一步优化。该智能控制系统通过对水泵及管道运行状况进行实时监控,能够对泵速、流量等运行参数进行自动调节,从而保证系统一直处于最佳效率点。综合应用上述技术,在促进抽水蓄能电站高效运行的同时,也显著地减少了维护成本并保证了系统长期稳定地运行。

结束语

综上所述,综合应用先进设计方法,智能控制系统及高效维护技术可显著提高抽水蓄能电站运行效益,降低能量损失,促进总体经济效益与环保效益的提升。研究表明:通过高效水泵水轮机设计,智能化控制策略以及精细化施工及维护技术可实现不同运行条件下能量的高效转换与利用。今后研究要继续重视新材料,新技术在抽水蓄能电站中的运用,以进一步提高抽水蓄能电站运行性能与可靠性。

参考文献

- [1]何婷,邓子夜,张海龙, et al.抽水蓄能电站与集控通信规约的扩展研究及应用[J].水电站机电技术, 2022, 45(12): 61-62.
- [2]朱小山,蒋建刚.沙河抽水蓄能电站机组转换效率分析[J].水电站机电技术, 2022, 45(3): 6.
- [3]徐艳群,刘志飞,鲁义强,等.抽水蓄能电站TBM洞内材料运输系统研究[J].建筑机械, 2023(S01): 113-116.
- [4]费香泽,顾克,刘佳龙,等.基于卫星遥感地形数据的抽水蓄能电站上下水库选址方法研究[J].水电能源科学, 2023.
- [5]钱继源,马国栋,王波.抽水蓄能电站多平台台车式斜井扩挖方法研究与应用[C]//中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会2020年学术交流年会.2020.
- [6]唐建国,彭正阳,张祥富,等.掘进参数对抽水蓄能电站斜井TBM刀盘出渣效率的影响规律[J].隧道建设(中英文), 2022, 42(S02): 29-35.
- [7]杨洪涛.江西洪屏抽水蓄能电站综合效率分析[J].水电自动化与大坝监测, 2019, 005(004): 78-83, 105.
- [8]何平.抽水蓄能电站基建管理信息系统的设计与实施[J].水电与抽水蓄能, 2018, 4(3): 7. DOI: 10.3969/j.issn.2096-093X.2018.03.006.
- [9]曹锦阳,李嘉铮,樊懋,等.基于CNN-BPNN的风光抽水蓄能电站联合优化[J].水电与抽水蓄能, 2023, 9(4): 71-75.
- [10]王洪强.抽水蓄能电站工程创优路径探索[J].中国科技期刊数据库工业A, 2023(5): 3.