

抽水蓄能电站运行效率及其对电网的优化作用

孙德志, 王黎明, 王祖飞

(河南天池抽水蓄能有限公司, 河南 南阳 474664)

摘要 文章就抽水蓄能电站运行效率及电网优化效果进行论述。首先介绍抽水蓄能电站基本原理与组成, 并分析水轮机与发电机效率、电力系统运行参数等因素对其效率的影响; 然后说明抽水蓄能电站具有调峰和应急备用功能, 可提高电网稳定性, 并与可再生能源发电协同优化; 最后提出改善抽水蓄能电站运行效益的对策, 主要有设备性能优化、运行管理优化以及电网调度优化等。本文旨在为相关人员提供参考。

关键词 抽水蓄能电站; 运行效率; 电网优化

中图分类号: TV7

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0106-03

抽水蓄能电站是电力调峰及应急备用的重要电源, 由于其灵活性强、效率高等特点, 在现代电网中发挥着重要作用。在可再生能源迅猛发展的今天, 电力系统运行的稳定性与可靠性都面临着全新的考验。抽水蓄能电站是在用电需求低谷的时候把电能转化成势能储存起来, 而在用电需求高峰的时候放出电能来平衡用电的供需以达到电网运行效率的最优化。本次研究的目的是探究抽水蓄能电站运行效益的主要影响因素, 分析这些因素对于电网优化所起到的效果, 然后提出一些有效的措施来提升运行效益。

1 抽水蓄能电站运行效率的相关因素

1.1 抽水蓄能电站的基本原理及构成

抽水蓄能电站通过在电力负荷低谷时段利用过剩的电能从低位水库中抽水至高位水库进行蓄水。在用电高峰时, 则利用高位水库放水驱动水轮机产生电能, 以平衡用电。抽水蓄能电站基本原理中包括抽水与发电两大核心流程。抽水阶段由电动机驱动水泵从低位水库向高位水库抽水, 此期间电动机耗电。并在发电阶段高位水库水流经压力管道流到水轮机上, 水轮机带动发电机把机械能变成电能。抽水蓄能电站主要由上水库、下水库、压力管道、泵水轮机、电动机/发电机组和输电系统组成。上水库与下水库各自用于存储与供水, 压力管道将两水库连通以确保水流高效传输。泵水轮机作为核心设备具有双向功能, 可以抽水也可以发电。电动机/发电机组抽水时作电动机运行, 发电时作发电机运行, 变换过程中的能量损失及设备运行效率直接关系到系统整体运行效率。抽水蓄能电站厂址一般需要具备合适的地形、水文条件以建立上、

下水库及相应水力连接。地形条件有高差、地质稳定性等, 水文条件涉及水源可靠性、可利用量等问题。上水库容量及位置对整个系统储能能力及运行效率影响显著; 大水库容量能增加发电时间和调峰能力。压力管道设计与材料选择同样关键, 管道内壁光滑程度与抗压强度决定水流阻力与输送效率^[1]。

1.2 水轮机和发电机的效率

水轮机与发电机是抽水蓄能电站中最核心的设备, 它们的效率高直接决定着系统整体能量转换的效率。水轮机效率受到很多因素的影响, 主要有水力设计、机械损耗以及运行条件。水力设计主要包括叶片形状与布置、导流结构以及流道设计, 出色的设计能使水能得到最大程度的利用并降低能量损失。机械损耗主要涵盖了轴承、密封件以及传动部件的摩擦损失, 而这些部件的材料选择和生产工艺在降低损耗方面起到了关键作用。运行工况如水流量、压力及温度也影响水轮机运行效率, 运行工况平稳且优化有利于效率提升。发电机效率高主要受到电磁设计、材料特性以及冷却系统的影响。电磁设计主要包括定子与转子电磁参数、绕组方式以及磁场分布, 通过优化设计可降低电磁损耗并提高发电效率。材料特性, 例如磁性材料饱和度和导电材料电阻率, 对电机性能及效率有着直接影响。冷却系统设计同样关键, 好的冷却能避免高负荷下发电机温度过高并保持高效运行。抽水阶段电动机效率也很重要。电动机之效率受到电磁设计、材料及冷却系统等因素影响, 且与发电机之因素相似。高效电动机能降低抽水时能量损失和提高系统整体能量利用率。

1.3 电力系统运行参数对效率的影响

电力系统运行参数直接影响抽水蓄能电站效率。关键参数有电网负荷特性、电力价格波动、频率及电压稳定性。不同运行工况下,上述参数对抽水蓄能电站运行效率影响程度不一样。电网负荷特性对抽水蓄能电站的运行效率有显著影响。电网中负荷波动对抽水、发电时机产生影响。当电力需求处于低谷,电站可采用低成本电力抽水 and 储能,当需求处于高峰期则将存储的电力释放出来并以更高电价销售,以获得最大经济效益。在负荷波动大的电网环境中,抽水蓄能电站调峰能力强、灵活性强等优势愈加显著,可有效平衡供需、提升整体运行效率。电力价格波动又是抽水蓄能电站运行效率的重要参数。电力市场上价格波动是电力供需关系变化的体现,电站可通过低价时段抽水和高价时段发电来获得最大经济收益。这就需要电站有灵活多样的运行策略及快速响应能力来应对市场价格变化并获得最大收益。电网中频率、电压稳定性也会显著影响抽水蓄能电站效率。电网频率稳定与否直接影响着电力系统安全可靠地运行,抽水蓄能电站对频率波动做出快速反应并提供频率调节服务以加强电网稳定^[2]。频率调节时电站快速启停能力、运行效率为重点指标。电压的稳定性直接影响到电力的传输和分配效果,电站可以通过调整无功功率来确保电压的稳定性,从而提升电网的工作效率。

2 抽水蓄能电站运行效率对电网的优化作用

2.1 抽水蓄能电站在电网中的调峰及应急备用功能

抽水蓄能电站对电网的调峰和应急备用功能,就是其中最为突出的功能。通过电力需求低谷时段抽水储能、需求高峰时段产生电能,抽水蓄能电站可有效均衡电力供需、缓解电网压力。以我国为例,抽水蓄能电站具有日负荷调节能力高达 4 000 兆瓦,这在电网的高峰时段有效地缓解了供电压力。调峰功能使得电网能够对需求波动做出响应,而无需新增发电设备,从而提高了电网的总体运行效率。应急备用功能在抽水蓄能电站中又起着举足轻重的作用。抽水蓄能电站在电网突发故障或者事故情况下能够快速开始发电并提供紧急电力支撑以维护电网稳定运行。它的快速启动能力决定了它可以在几分钟之内投入使用,反应速度比常规火电、核电都要快。如一些现代抽水蓄能电站开机时间可限制在 2 分钟以内,极大地增强电网应急响应能力。该功能对于高峰负荷及紧急情况时特别关键,可避免大范围停电及系统崩溃的发生。技术数

据为抽水蓄能电站调峰、应急备用等功能提供进一步支撑。在电力调峰方面,通过调整节假日的负荷曲线,抽水蓄能电站能够实现调峰深度超过 20%,从而显著减少峰谷之间的差异,并优化电网的运行性能。

2.2 抽水蓄能电站对电网稳定性的增强作用

抽水蓄能电站从多方面显著提高了电网稳定性。电网的稳定性表现为频率稳定与电压稳定。抽水蓄能电站是一种能快速对频率、电压波动做出反应并提供所需调节能力的柔性调节电源。以频率调节为例,抽水蓄能电站具有快速启动和停止的特点,这使得抽水蓄能电站能在数秒之内对频率变化做出反应并给予频率支持。据有关资料介绍,一些高级抽水蓄能电站可在 30 秒种内调节输出功率使电网频率保持稳定。在电网运行过程中,电压稳定性问题又是一个至关重要的问题。抽水蓄能电站提供无功功率补偿来调整电压水平以保持电网电压的稳定。如一些抽水蓄能电站可提供几百兆瓦无功,显著增强电网电压稳定性。这对于电力需求高峰期及大负荷波动时显得尤为重要,可以有效地预防电压崩溃及大范围停电。抽水蓄能电站对加强电网的稳定性有明显的优越性。举例来说,在某些国家的电力系统中,抽水蓄能电站通过提供大约 2 000 兆瓦的频率响应和无功功率支持,极大地增强了电网的稳定性和可靠性^[3]。抽水蓄能电站这一调节能力使电网在多种运行状态中都能应对波动,保证电力供应持续稳定。

2.3 抽水蓄能电站与可再生能源发电的协同优化

风能、太阳能等可再生能源间歇性强、波动性大,很难稳定地输出电能,抽水蓄能电站储能特性恰好填补了这个缺陷。如风力发电、太阳能发电等在风速大、日照充足的情况下,电量过剩,抽水蓄能电站可利用过剩的电量进行抽水储能。当风速较小、阳光不充足时,抽水蓄能电站将存储的电能进行排放以补充电量不足,使可再生能源出力波动趋于平缓。

技术数据为抽水蓄能电站和可再生能源发电协同优化提供支撑。研究表明:在部分电网系统内,抽水蓄能电站与风电、光伏发电协同作用可明显提高可再生能源利用率。以风电装机容量为 2 000 兆瓦的电网为例,通过对抽水蓄能电站的调整,我们可以将可再生能源的使用效率从原先的 60% 增加到超过 80%,这大大降低了风电的弃光情况。这样在促进可再生能源经济效益的同时也降低了对传统化石能源的依赖程度,促进能源结构优化。

3 提高抽水蓄能电站运行效率的措施

3.1 设备性能优化

提高抽水蓄能电站运行效率,首先要解决的问题就是优化设备性能。设备性能对电站能量转换效率及运行稳定性有着直接影响。利用先进水轮机及发电机技术可明显提高效率。例如,在现代水轮机设计中,流体动力学的优化受到了越来越多的关注。通过运用计算流体力学进行模拟分析,我们能够对叶片的形状和流道设计进行优化,从而降低能量损耗^[4]。另外,高强度合金、复合材料等新材料的使用还可以增强器件的耐用性及效率。提高发电机的性能也至关重要。使用高效电磁材料及先进绕组技术可减少电磁损耗并提高发电效率。超导材料应用于发电机也初露锋芒,降低电阻损耗可使超导发电机比传统发电机提高1.5倍。冷却系统优化问题同样不容忽视,液态冷却及高效散热材料的使用可维持发电机高负荷稳定工作,并避免因过热而导致效率降低。装备的智能化、自动化也是一个不可忽视的问题。通过传感器及监测系统的安装,能够实时采集设备的运行状态数据,对潜在的问题进行及时的发现与解决。

3.2 运行管理优化

科学合理地进行运行管理能够最大限度地提高设备利用率、降低能量损失、保证电站高效、稳定地运行。采用优化运行策略、合理安排抽水与发电时机等措施可有效均衡电力供需、增强电站调峰能力。如利用实时负荷预测与智能调度系统可根据电网负荷的变化对电站运行方式进行动态调整,以避免无谓的能量消耗与设备损耗。运行管理优化又包括人员培训、管理制度健全等。高素质的运行管理人员,科学的管理制度,是电站有效运转的保证。定期进行培训与考核以提升运行人员专业技能与应急处理能力可提升电站运行效率与安全性。如利用模拟训练、现场演练等手段,可促进运行人员实际操作能力、突发情况处理能力、降低运行失误、故障率等。先进的信息技术对优化运行管理起到了决定性的作用。通过构建一套完整的监控与管理能够对电站运行状态进行实时监控,对异常进行及时检测与处理。例如,通过使用数据采集和监控系统,我们能够对电站的运营数据进行全方位的监控,进行深入的数据分析和故障检测,从而提高运营管理的科学性和精确度。利用大数据与人工智能技术能够对运行数据进行深度分析与智能优化并提升电站整体运行效率。

3.3 电网调度优化

优化电网调度对提高抽水蓄能电站效率至关重要。科学、合理的电网调度能有效地发挥抽水蓄能电站储能、调峰能力、均衡电力供需、优化电网运行。通过智能调度系统能够达到电力资源最优配置的目的,促进电网总体运行高效。如利用实时监控与智能调度技术可根据电力负荷变化与可再生能源的发电状况对抽水与发电时机进行动态调节以保证电网稳定运行。先进电网调度技术对于优化电网调度起到了至关重要的作用。通过构建智能电网调度系统能够对电力系统进行全面监控与智能调度。比如利用大数据分析与人机智能技术能够实现电力负荷精准预测、电网运行策略优化、电网调度效率与可靠性提升。从技术数据来看,采用智能调度系统后,电网的工作效率能够增加超过10%,这大大增强了电力系统的经济回报和稳定运行。电网调度优化也包含了增强电力市场灵活性与竞争力^[5]。通过构建电力市场化交易机制能够促进电力资源合理分配和电力系统运行效率。如通过实时电力市场、辅助服务市场等,实现电力资源灵活调度、优化配置,提高电力系统适应性、灵活性。抽水蓄能电站是电力市场上能够扮演重要角色并通过参与电力市场交易获得最大经济效益的灵活调节电源。

4 结束语

通过研究抽水蓄能电站的运行效率及其对电网优化的影响,揭示了抽水蓄能电站在电力系统中的核心作用。优化设备性能,完善运行管理,强化电网调度是抽水蓄能电站高效运行的重要手段。今后,伴随着科技的进步,抽水蓄能电站在电力系统中所占的地位会得到进一步提高,这为实现清洁能源广泛利用以及电网高效运行提供了强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 杨帆,卢学良.含抽水蓄能电站的区域电网多目标优化运行研究[J].青海电力,2023,42(01):7-12.
- [2] 李健,牟明,孙圣博,等.基于智能电网的抽水蓄能电站智能化分析[J].技术与市场,2022,29(01):94-95.
- [3] 高翔,李北晨,刘金跃,等.基于运行数据的抽水蓄能电站服务电网能力评估[J].水电与抽水蓄能,2021,07(06):32-36.
- [4] 周永斐,张祥,梅亚东.华中电网抽水蓄能电站运行分析与评价[J].水电与新能源,2021,35(05):37-41.
- [5] 高燕.新能源发展背景下抽水蓄能电站运行机制研究[J].中国战略新兴产业,2018(44):112-113.