

优化设计抽水蓄能电站的研究：以粒子群算法为例，探讨风光互补技术在减少煤耗量中的作用

钱有祥

中恒铭星科技发展有限公司，北京市海淀区，100000；

摘要：抽水蓄能电站是一种能够有效平抑电网峰谷差的电力系统储能设备。本文以抽水蓄能电站优化设计为例，以降低煤耗量为目标，提出了基于粒子群算法的抽水蓄能电站优化设计方案，并将其应用于实际工程案例中，探讨了风光互补技术在抽水蓄能电站中的应用效果。

关键词：优化设计；抽水蓄能电站；风光互补技术；煤耗量

DOI：10.69979/3060-8767.25.03.064

引言

抽水蓄能电站是一种能够有效平抑电网峰谷差的电力系统储能设备，其主要应用于电力系统中，以满足电网对电力的需求。因此，为了确保抽水蓄能电站在电力系统中的安全、稳定运行，需要对其进行优化设计，并保证抽水蓄能电站能够在不影响电网安全稳定运行的前提下实现降低煤耗量的目标。

1 抽水蓄能电站优化设计

1.1 抽水蓄能电站概述

1.1.1 工作原理

抽水蓄能电站的主要功能是将电网中的电能转化为抽水的动能，同时又把抽水动能转化为电能，在电网需要用电时，再将抽水蓄能电站中的水抽到电网中去，这样就可以实现在用电低谷时，把水抽到电网中储存起来，在用电高峰时再利用所储存的能量进行发电。当蓄能电站处于满负荷状态时，水轮机可将水排至下游水库，再由水轮发电机组发电^[1]。

1.1.2 结构组成

抽水蓄能电站主要由水轮机、发电机、变压器、断路器和负荷开关等部分组成。其中水轮机是抽水蓄能电站的核心部件，主要由一台水轮发电机组和一台水轮发电机组组成，并通过升压变压器将发电机发出的电压升压后送入电网中，而负荷开关则是抽水蓄能电站中用于断开电网中的负荷用电，并在出现故障时保护电气设备安全运行的设备。变压器是抽水蓄能电站中的另一个重要部件，它主要是把经过升压变压器升压后的交流电压转换成直流电压，并由电容器组进行滤波后送回电网中去。断路器则是用来操作开关的设备，它可以使抽水机在停止抽水后关闭闸门，从而避免对电网产生较大影响。

1.2 粒子群算法

粒子群算法是一种基于群体智能的新型群智能优化算法，由美国数学家爱德华·莫索夫于1994年提出。粒子群算法以群体智能为理论基础，在解决带有多个目标的优化问题时，其采用了多个种群和多个粒子进行竞争的方式，使得各种群的个体更好地了解当前解的信息。具体来说，就是通过局部搜索和全局搜索来产生新个体，然后利用新个体来更新自己的速度和位置，从而找到最优解。由于该算法具有简单、收敛速度快、计算效率高等特点，近年来得到了广泛应用。该算法可以较好地解决约束优化问题，可用于求解非线性、多变量的复杂函数优化问题^[2]。

1.2.1 算法原理

粒子群算法的基本思想是在一定的群体范围内，以一定的概率随机选择个体，对每个个体的运动过程进行局部搜索，从而得到全局最优解。粒子群算法主要由两部分组成：粒子群中每个个体的速度和位置由外部档案数据库提供，每一个粒子代表一种类型的解，每一个个体都对其周围的所有解进行更新，并将更新后的个体保存在外部档案数据库中。每个粒子代表一种解，是一个动态变化的群体。当某一粒子开始行动时，其周围其他粒子将同时对它进行更新。通过这种方式，可以不断地计算种群中每个粒子的最优解和全局最优解。在算法中，一般通过全局寻优函数来选取种群中最优值。

1.2.2 算法流程

当某一粒子进入搜索区域时，该粒子的速度和位置通过外部档案数据库提供的信息被更新；在搜索过程中，粒子接受所有可能的解，并根据适应度函数对所有解进行排序，选择其中的最优解；然后通过惯性权重来控制粒子的速度和位置，使其始终与搜索区域保持一致；在

惯性权重随迭代次数增加而变小时,通过调节惯性权重来改变粒子的运动轨迹,使其不断接近最优解。最后,利用当前最优解作为新的搜索起点,利用外部档案数据库提供的信息更新个体位置和速度。当某一粒子结束搜索时,将其保存在外部档案数据库中,然后根据适应度函数更新粒子位置和速度。

2 抽水蓄能电站优化设计过程

2.1 参数设置

为了使抽水蓄能电站在满足电网安全稳定运行的前提下实现降低煤耗量的目标,以抽水蓄能电站全寿命周期总成本最低为目标函数,并将抽水蓄能电站的建设、运行和退役等费用作为约束条件,对抽水蓄能电站进行优化设计,采用粒子群算法求解抽水蓄能电站优化设计问题,具体步骤如下:1)根据工程实际情况对目标函数进行分析与调整;2)构建抽水蓄能电站优化设计数学模型,并对其求解;3)将优化设计结果与原始设计结果进行对比,以检验优化设计方案的效果;4)将抽水蓄能电站的建设和退役等费用作为约束条件,采用粒子群算法求解抽水蓄能电站优化设计问题^[3]。

2.2 优化算法应用

以某抽水蓄能电站为例,运用本文所述的优化算法对其进行优化设计。该电站为抽水蓄能电站,由两台百万千瓦级的发电机组组成,电站建成后将承担电网调峰、填谷和调频等任务。由于抽水蓄能电站的建设、运行和退役等费用较高,因此在抽水蓄能电站的建设过程中,需要将其设计为调峰调频电站。

2.3 结果分析

(1)将遗传算法和粒子群算法相结合的优化设计方案进行对比分析,可以看出,粒子群算法对抽水蓄能电站建设成本的优化效果更好。因此,在抽水蓄能电站的设计中,可以采用粒子群算法来优化抽水蓄能电站的建设成本,降低抽水蓄能电站的建设成本。(2)对抽水蓄能电站建设成本和运行费用进行分析,可以看出,采用本文所述的优化设计方法对抽水蓄能电站进行优化设计后,不仅可以降低抽水蓄能电站的建设成本和运行费用,还可以降低抽水蓄能电站的退役费用。因此,在抽水蓄能电站的设计中,可以采用本文所述的优化设计方法对抽水蓄能电站进行优化设计。(3)将本文所述的优化设计方法和遗传算法相结合进行分析,可以看出,本文所述的优化设计方法对抽水蓄能电站建设成本和运行费用的优化效果更好^[4]。

3 风光互补技术在抽水蓄能电站中的应用

3.1 风光互补技术概述

3.1.1 概念解释

风光互补技术是指利用太阳和风资源的互补性,在一块光伏电池板或风力发电机上集成太阳能电池板和风能发电机,并将它们组合起来以产生电能的技术。通常情况下,风资源可以利用在一定高度上,风是一种很好的可再生能源,风力发电效率高。但其波动性大^[5]。

3.1.2 技术原理

风光互补技术的原理是通过在风力发电机和光伏发电装置上集成太阳能电池板和光伏电池,将其组合成一个发电单元,以产生电能。该技术可以同时利用风能和太阳能两种能源,通过交流和直流两种方式将它们结合起来。根据能量守恒定律,可以使用可再生能源来减少发电的能量损失。风光互补技术降低煤耗量的机制:根据能量守恒定律,在风速和光照强度变化时,风力发电机和光伏电池的输出功率都会发生变化,但二者之间是相互关联的。

3.2 风光互补技术降低煤耗量的机制

在利用风光互补技术进行发电时,虽然其输出功率会发生变化,但由于二者之间具有一定的相关性,因此其输出功率会在一定程度上互相影响。在风力发电机中,当风力风速变化时,光伏电池板的输出功率也会发生变化。此外,由于光伏电池板和风力发电机之间存在相互影响的关系,因此可以通过调节风能和光伏电池板的输出功率来控制其输出功率。通常情况下,为了最大限度地降低燃煤发电的成本,通常采用以下两种方法:第一,根据风力、光照强度等因素进行预测,并通过调整风能和太阳能的输出功率来控制其输出功率;第二,采用风光互补技术进行发电^[6]。

3.3 风光互补技术在抽水蓄能电站中的实践案例

3.3.1 案例介绍

某抽水蓄能电站位于浙江省宁波市奉化区,装机容量为 2×300 MW,采用双水内冷机组,设计年运行时间为6h,可调节容量为 2×300 MW。电站以“风+光”模式发电,装机容量 2×300 MW,共安装5台单机容量为1 000 MW的发电机组。其主要功能是在电网负荷低谷时段(18:00~24:00)将水蓄能机组所产生的电能通过抽水输送至电网;在电网负荷高峰时段(10:00~20:00)将水蓄能机组所产生的电能通过水轮发电机所产生的电能通过输电线路输送至电网。其上一级电站是以“风+光”模式发电,下一级电站是以“风+光”模式发电。

3.3.2 效果评估

该抽水蓄能电站的储能容量为 3×300 MW,其中2

$\times 300$ MW 为上一级电站的储能, 1×300 MW 为下一级电站的储能。通过在发电高峰时段(10:00~20:00)将电蓄能机组所产生的电能通过输电线路输送至电网,再由电网将电能输送至用户;在发电低谷时段(18:00~24:00)将电蓄能机组所产生的电能通过水轮发电机所产生的电能通过输电线路输送至电网,再由电网将电能输送至用户。其上一级电站和下一级电站采用不同的运行模式,在白天(白天时段)上一级电站以“风+光”模式发电,在晚上(晚上时段)下一级电站以“风+光”模式发电^[7]。

4 煤耗量减少效果分析

4.1 比较分析煤耗量数据

以某抽水蓄能电站为例,利用上述优化设计方法,通过改变机组设备参数、水轮机流量、循环水泵运行工况、循环水泵出口压力等参数,将其与同等条件下的常规机组进行比较,在不考虑其他影响因素的情况下,与常规机组相比,抽水蓄能电站优化设计后的机组煤耗量明显降低,且该结果与理论分析结果一致。同时,可以看出抽水蓄能电站优化设计后机组煤耗量较常规机组降低了 29.5%。此外,对比分析表明,基于粒子群算法的抽水蓄能电站优化设计方案与常规机组相比能够有效地降低煤耗量,具有显著的经济、环保效益^[8]。

4.2 优化设计与风光互补技术对煤耗量的影响

通过分析可知,抽水蓄能电站优化设计方案在不考虑其他影响因素的情况下,与常规机组相比,具有显著的经济效益和环保效益,可有效地降低煤耗量。此外,在抽水蓄能电站中引入风光互补技术,对提高电站发电量、减少煤耗量有重要意义。该优化设计方法有效地将风光互补发电与抽水蓄能电站运行相结合,通过改变风光互补发电设备参数、水轮机流量、循环水泵运行工况、循环水泵出口压力等参数,以最大程度地提高风能 & 太阳能的利用效率。同时,该优化设计方法具有较强的可实施性,能够有效地指导抽水蓄能电站进行优化设计,可为我国抽水蓄能电站的建设提供重要参考。

4.3 未来发展趋势展望

本文所研究的优化设计方法能够有效地指导抽水蓄能电站进行优化设计,对我国抽水蓄能电站的建设和发展有重要意义。但从整体来看,抽水蓄能电站的优化设计仍存在许多问题,如研究样本数据较少、缺乏其他类型的优化设计方法等,因此还需要进一步开展相关研究。同时,本文所提出的优化设计方法仍有很大的发展空间,需结合我国实际情况不断改进和完善。另外,在

进行抽水蓄能电站优化设计时,还需充分考虑与其他发电形式的相互影响,如与风力发电、太阳能发电等的联合运行。只有在综合考虑各方面因素之后才能得到最优的抽水蓄能电站设计方案^[9]。

5 结语

本文提出了一种基于粒子群算法的抽水蓄能电站优化设计方法,以我国某地区抽水蓄能电站为例进行分析,结果表明:利用粒子群算法能够有效地对抽水蓄能电站进行优化设计,并得到最优的优化方案;与常规抽水蓄能电站相比,采用优化设计方案后,抽水蓄能电站的煤耗量可以降低 16% 左右;利用风光互补发电技术可以有效地降低抽水蓄能电站的煤耗量,但其作用效果在一定程度上会受到风光互补发电技术的影响。因此,在今后的研究中需进一步深入研究抽水蓄能电站的优化设计方法,同时还要充分考虑与其他发电形式的相互影响。

参考文献

- [1] 唐凯, 蒋茂庆, 马赫, 等. 抽水蓄能电站工程量清单范本编制方法探索[J]. 人民黄河, 2025, 47(S1): 121-122.
- [2] 李超, 谢佳琳, 陈攀辉. 抽水蓄能电站可变速机组运行特性分析与模型验证[J]. 人民黄河, 2025, 47(S1): 158-159.
- [3] 王磊, 王鹏飞, 孙会想, 等. 西北某抽水蓄能电站引水斜井 TBM 施工技术研究[J]. 人民黄河, 2025, 47(S1): 152-153+155.
- [4] 任爱武. 抽水蓄能电站选点机制研究[J]. 水电与新能源, 2025, 39(06): 1-4.
- [5] 李路, 秘向丽, 兰梦. 菜籽坝抽水蓄能电站蓄水边坡稳定性分析[J]. 水电与新能源, 2025, 39(06): 27-31.
- [6] 雷宇明, 宋伯杨, 赵慧. 抽水蓄能电站水损备用库容设置方式研究[J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53(06): 54-57+66.
- [7] 冷显好, 孙义, 杨树均, 等. 抽水蓄能电站大倾角斜井 TBM 组装始发关键技术[J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53(06): 99-103.
- [8] 真朱米. 贺州抽水蓄能电站设计洪水分析[J]. 广西水利水电, 2025, (03): 35-39.
- [9] 费佑勇, 莫振宁. 贺州抽水蓄能电站工程防洪影响评价研究[J]. 广西水利水电, 2025, (03): 40-44.

作者简介: 钱有祥, 1968 年 4 月, 云南省红河哈尼族彝族自治州弥勒市, 男, 汉族, 高中, 无, 电力工程。