

基于重力储能的风光储系统多目标容量优化规划

王瑞环

浙江江能建设有限公司 浙江 杭州 310051

【摘要】近年来,以风电、光伏为代表的可再生能源快速发展,风电、光伏的装机规模持续扩大,技术不断进步。但由于其具有出力间歇性、消纳困难等特点,影响了进一步的发展。风光系统配置一定容量的储能,不仅可以充分利用风光的互补特性,还可以有效提高清洁能源消纳能力,是未来能源利用的重要方式。基于上述背景,本文的储能系统选择以依托山体的重力储能为研究对象,建立以系统总成本最小和包括风光互补特性、供电自给损失率及风光储多能源混合系统贡献率等因素的综合指标最优为目标函数的多目标容量优化规划模型,以提升系统的经济性,确保系统的可靠性。

【关键词】重力储能;风光储;多能源

1.风光储多能源混合系统模型

1.1.系统结构

并网型风光储多能源混合系统一般由风电场、光伏电站、储能系统、电网及负荷构成,系统结构如图1所示。

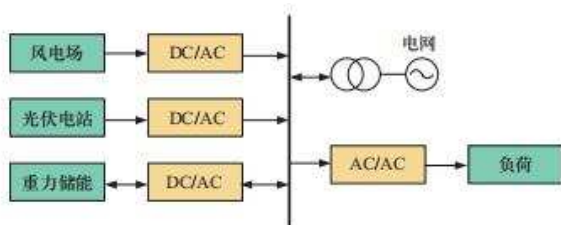


图1 并网型风光储多能源混合系统结构

其中,风机模型、光伏电池模型分别参考文献,本文主要对重力储能进行建模。

1.2.重力储能模型

依托山体的重力储能的原理就是在山体一定高度建立电动机和发电机装置,利用山体的落差高度来储存和释放能量。本文假设在建模过程中只有一条轨道,即只研究一套重力储能装置,只考虑山体高度、坡度、重物质量等对重力储能存储和释放能量多少的影响。其中,在存储能量时,电动机工作,消耗电能,利用滑轮组将重物从山底轨道处拉至山顶,过程中重力势能增加,最终在山顶存储起来。电动机将重物从山底拉上山顶过程中保持匀速,此时重物受力包括摩擦力、电动机牵引力、自身重力等。

1.3.释放能量过程

释放能量过程包括加速阶段、并网阶段和停运阶段,在释放能量过程中,重物受力包括轨道摩擦力、电动机牵引力、自身重力、发电机牵引力等。加速阶段:在开始过程中,重物初始速度为零,重物处于加速阶段,重

物下滑速度由零开始,逐渐加速,加速过程中发电机出力不稳定,为避免入网功率的波动过大,不进行并网发电。重物由初始高度下滑到一定高度时,达到某一速度,该速度即为并网阶段时的恒定速度。

并网阶段:重物加速到某一速度后,保持该恒定速度匀速下滑,可以使发电机发电功率稳定。为保证重物匀速下滑,避免重物下滑速度过快,同时保护装置的安全,需要电动机加以牵引。在此过程中,重物带动发电机工作,产生电能供给负荷或输送给电网。

停运阶段:重物到达山底后,并网阶段结束,发电机不再发电。装置停止运行,重物速度由恒定逐渐减小,最后变为零。在停运阶段,重物可以依靠摩擦力自行减速,若速度过大或对减速距离有要求时,可以增设减速带、隔离设备等外界辅助减速。停运阶段不存在能量损耗,故建模时暂不考虑该阶段的能量损耗。

2.仿真分析

2.1.参数设置

本文选取中国西部某地区作为参考,该地区多为山地,平均海拔2000m以上,满足重力储能建设条件。本文选择异步风力发电机,单台风机容量为2.5MW,风机额定风速为11m/s,切入风速为3m/s,切出风速为20m/s。电池板工作温度为25℃,参考温度为25℃,功率温度系数为1。本文为贴合实际情况以充放电效率为80%进行保守估计。风光储多能源混合系统优化规划使用年限为20a,折旧率为5%。

2.2.规划方案选择及对比

本文借助MATLAB软件,利用多目标自适应混沌粒子群算法求解建立的多目标容量优化规划模型,得到多目标帕累托前沿。其中,横坐标F1表示系统总成本,纵坐标-F2表示综合指标的相反数,帕累托前沿中的每

个点都表示一个规划方案, 共有 11 个可行的规划方案。系统总成本及综合指标均在比较小的范围内变化, 满足系统总成本越小, 综合指标的相反数越大, 即系统总成本的降低, 对综合指标有着负面的影响。类似的, 如果综合指标更优, 系统总成本将会增大, 两个目标之间存在一定的制约关系。在实际规划过程中, 需要确定一种最终的最优规划方案, 因此, 需要根据不同规划偏好在帕累托前沿中选择最优规划方案。为表现不同的规划偏好, 本文提出 4 种规划方案, 具体的规划方案及目标函数权重值如表 2 所示。

表 2 4 种方案权重设置

方案 _{<i>v</i>}	类型 _{<i>v</i>}	系统总成本 _{<i>v</i>} (目标函数 1) _{<i>v</i>}	综合指标 _{<i>v</i>} (目标函数 2) _{<i>v</i>}
方案一 _{<i>v</i>}	同等重要 _{<i>v</i>}	0. 5 _{<i>v</i>}	0. 5 _{<i>v</i>}
方案二 _{<i>v</i>}	目标 1 重要 _{<i>v</i>}	1 _{<i>v</i>}	0 _{<i>v</i>}
方案三 _{<i>v</i>}	目标 2 重要 _{<i>v</i>}	0 _{<i>v</i>}	1 _{<i>v</i>}
方案四 _{<i>v</i>}	熵权法定权 _{<i>v</i>}	0. 4896 _{<i>v</i>}	0. 5104 _{<i>v</i>}

本文利用逼近理想解排序法对帕累托前沿中 11 种方案进行计算排序, 选择得出在 4 种不同规划偏好下各自对应的最优规划结果, 最优规划结果如表 3 所示。

表 3 4 种规划方案的最优规划结果

规划方案 _{<i>v</i>}	决策变量 _{<i>v</i>}			目标函数 _{<i>v</i>}	
	风电场/台 _{<i>v</i>}	光伏电站/MW _{<i>v</i>}	重力储能/MW _{<i>v</i>}	系统总成本/万元 _{<i>v</i>}	综合指标值 _{<i>v</i>}
方案一 _{<i>v</i>}	116 _{<i>v</i>}	380 _{<i>v</i>}	86 _{<i>v</i>}	26019. 84 _{<i>v</i>}	-0. 1486 _{<i>v</i>}
方案二 _{<i>v</i>}	99 _{<i>v</i>}	418 _{<i>v</i>}	18 _{<i>v</i>}	25645. 38 _{<i>v</i>}	-0. 1543 _{<i>v</i>}
方案三 _{<i>v</i>}	119 _{<i>v</i>}	368 _{<i>v</i>}	114 _{<i>v</i>}	26365. 19 _{<i>v</i>}	-0. 1415 _{<i>v</i>}
方案四 _{<i>v</i>}	105 _{<i>v</i>}	389 _{<i>v</i>}	96 _{<i>v</i>}	26194. 36 _{<i>v</i>}	-0. 1456 _{<i>v</i>}

由表 3 可知, 由于不同规划方案下的偏好不同, 通过规划得到的风电场、光伏电站、重力储能的容量均不同, 从而导致了系统总成本和综合指标值的变化。对比 4 种规划方案来看, 方案二的系统总成本最小, 方案三的综合指标最优。由于规划方案三配置的风电场容量、储能容量最大, 而风电场的安装成本又比较高, 所以导致规划方案三的初始成本较高。此外, 规划方案三配置了相比其他几种方案较大容量的储能, 主要是为了保证系统的供电可靠性及系统的贡献率, 而规划方案二为追求系统总成本最小, 配置的储能容量最小, 同时配置的风电场容量也最小。

规划方案一虽然在 4 种方案中的两目标均不属于最优, 但其兼顾了系统的成本及可靠性, 有效降低了系统总成本, 提高了系统的可靠性。相比而言, 规划方案二认为系统的总成本重要, 忽视了系统的可靠性, 得到的系统总成本是最小的, 但综合指标值却是几种规划方案

中最小的。同样地, 规划方案三认为系统的可靠性重要, 忽视了系统的总成本, 得到的综合指标值是最优的, 但系统总成本却是最大的。规划方案四同样既考虑系统总成本, 又考虑了系统可靠性, 在损失一定成本的同时有效优化了综合指标。

2.3.规划结果分析

4 种多目标容量优化规划方案, 选取某典型日, 对典型日下 24h 不同规划方案的各部分出力进行分析。由于不同规划方案中的风电场、光伏电站、重力储能的容量不同, 导致每时刻风力、光伏出力不同, 重力储能配合时进行储能和放电的电量也不同。因为不同规划方案规划的风电场、光伏电站的容量相差不大, 但仍能看出规划方案二中每时刻的光伏出力较大, 而规划方案三中每时刻的风力出力较大。对于储能而言, 本文利用分时电价来引导其充放电, 在风光出力不足以供给负荷时, 谷电价时选择从电网购电, 峰电价时再利用储能放电, 以此来提高系统的经济性。整体来看, 除个别时刻购电部分的水平较高外, 其他时刻供电部分均大于购电, 能够有效提高风光储多能源混合系统贡献率, 同时有效提高了风光互补特性。尽管风光储多能源混合系统对电网的依赖程度比较高, 但这样有效保证了系统的供电可靠性。

3.结论

本文基于依托山体的重力储能, 建立了以系统总成本最小和综合指标最优的风光储多能源混合系统容量优化规划模型, 利用多目标自适应混沌粒子群算法求解模型, 通过对比分析规划结果有如下结论。1)利用山体落差高度来储存能量, 具有良好的可靠性及经济性。2)在不同规划偏好下, 通过进行不同规划方案对比, 最终得出规划方案一为最优规划方案, 既考虑了系统总成本, 又考虑了系统的可靠性。本文所提模型主要是对重力储能容量配置的优化, 所构建的重力储能模型还不够完善, 在后续工作中将重点从对重力储能的多个影响因素入手, 对其轨道数、山体坡度、重物质量等展开详细研究。

【参考文献】

- [1]鲁宗相, 黄瀚, 单葆国, 等.高比例可再生能源电力系统结构形态演化及电力预测展望[J].电力系统自动化, 2017, 41(9): 12-18.
- [2]孙玉树, 杨敏, 师长立, 等.储能的应用现状和发展趋势分析[J].高电压技术, 2020, 46(1): 80-89.