

Integration of Wind Power, Photovoltaic and Energy Storage System

Chungang Zhang¹ Yuji Zhang²

1. University Of International Business and Economics, Beijing, 100029, China

2. Architectural Design & Research Institute of Tsinghua University Co., Ltd., Beijing, 100084, China

Abstract

The analyses have been made on the integration of wind power, photovoltaic and energy storage system which is based on the given hourly patterns of load, wind farm, PV system and ESS. The optimal allocation of the capacity of renewable resources and ESS can be achieved through calculation and evaluation by RenPLAN model. To make the analyses more applicable, a reference proposal is arose and treated as the comparison basis. After simulation and evaluation, the optimal proposal is that the production of WTG should be 55%~65% of the load requirements while the capacity of the battery will be 31%~32% of total load requirements. Under the circumstance, the capacity of installed WTG can be 0.76~1.78 of the installed capacity of PV and the total cost of the islanding system is the lowest.

Keywords

landscape storage; energy storage; capacity ratio; off-grid; EnergyPLAN

风光储系统中能源品种配置研究

张纯岗¹ 张誉籍²

1. 对外经济贸易大学, 中国 · 北京 100029

2. 清华大学建筑设计研究院有限公司, 中国 · 北京 100084

摘 要

在离网型供电系统中, 给定负荷和新能源电源逐时功率曲线, 研究为满足负荷电力需求所需风电、光伏和储能系统的容量配比。按照常规模式建设时, 负荷单独由光储或风储系统供电, 储能系统的配置容量较大。其中, 光储系统所需的储能系统容量占负荷需求电量的59%, 整个供电系统的总投资最高。将常规模式建设的光储系统或风储系统定义为参考系统。风光储系统是由风电、光伏和储能系统协同向用户供电的系统。利用风光储配比测算软件RenPLAN计算和模拟, 当风电发电量占负荷需求的55%时, 储能系统需求容量是负荷需求电量的31%, 配置最小。分别改变负荷需求特性和新能源出力特性, 使用相同的软件和分析方法验证表明: 风光储系统最优配置原则是风电发电量宜占负荷需求电量的55%~65%, 风电和光伏装机容量比在0.76%~1.78区间, 储能系统需配置的容量最小, 约是负荷需求的31%~32%, 系统总投资最低。

关键词

风光储; 储能; 容量配比; 离网; EnergyPLAN

1 引言

2021 年 2 月 25 日, 国家能源局正式发布了《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》(以下简称《指导意见》)^[1], 提出了探索构建源网荷储深度融合的新型电力系统发展路径。实施路径中强调要积极实施存量“风光水火储一体化”提升, 稳妥推进增量“风光水(储)一体化”, 探索增量“风光储一体化”, 严控增量“风光火

(储)一体化”。

2021 年 4 月 25 日, 国家能源局综合司出台了关于组织申报“十四五”电力源网荷储一体化和多能互补项目的通知^[1], 正式掀开了自 2016 年批准的 23 个“多能互补集成优化示范工程”后的新一轮综合能源项目申报高潮。各地方能源局陆续下发了通知, 提出了对“两个一体化”示范项目申报的具体要求。

《指导意见》出台后, 关于两个“一体化”项目的规划及讨论甚嚣尘上。结合国家“碳达峰”“碳中和”的能源生产和消费目标, 建立大型新能源基地或在电源端通过与存量常规电厂结合、实现风火打捆, 或风光水火储项目陆续开始规划。《指导意见》鼓励建设风光储项目, 提出结合新能源特性、电源规模、经济成本等合理化配置储能规模, 充分

【作者简介】张纯岗(1969-), 男, 中国北京人, 本科, 高级工程师, 从事工程设计研究。

【通讯作者】张誉籍(1997-), 女, 助理工程师, 从事工业与民用建筑电气设计研究。

发挥配套储能的调峰、调频作用。

丹麦 Aalborg 大学在 2015 年发布了研究报告 Samsø Energy Vision 2030^[4], 对 Samsø 岛在 2030 年实现能源系统 100% 零碳进行了论证和规划, 并发表了一系列研究成果^{[5][6]}。美国国家新能源实验室 (NREL) 在 2010 年就军队能源利用实现零碳化^[7]进行了评估和规划。WILEY- INTERSCIENCE 出版的教材^[8]从技术本质上对新能源进行分解, 阐述了新能源整合的途径及经济测算方法。国内外研究表明, 实现 100% 零碳化是可行的。

2 方法

电力系统是一个发用电实时平衡系统, 保证发电和用电的随时平衡是电力系统调度的要求, 而一天 24 小时的电力平衡是调度的基础。通过对全天 24 小时负荷需求特性及新能源出力曲线进行分析, 利用开发的软件 RenPLAN 找出为满足负荷需求所需新能源装机的最佳配比。应用同样的分析方法, 对全年的电力电量平衡进行分析, 可以得到最恶劣情况下的风光储配置方案。

首先, 分析项目所在地的风、光资源禀赋和负荷需求特性, 得出风电、光伏的出力特性曲线和负荷需求特性曲线。然后, 按照风储系统或光储系统均应满足负荷需求, 得到风电、光伏独立供电下的风电、光伏及储能系统的装机规模。并将该模式定义为参考系统, 作为后续分析对比的基础。再次, 融合风电和光伏发电系统, 利用风、光的互补特性设计风光储系统。以参考系统为对比基准, 在保持负荷特性曲线不变的情况下, 调整风电、光伏装机容量配比进行测算, 得到系列风电、光伏、储能联合供电的风光储系统, 并将储能系统配置容量最小时的方案确定为最优方案。第四, 分别改变负荷特性曲线和风电、光伏出力曲线, 按照上述方法重新计算, 并将计算结果与第一个风光储最优配比方案对比, 得出不同方案中风电、光伏、储能容量配比的变化规律, 形成具有更广泛适用性的配比结论。最后, 将上述配比结论与第三方软件的分析结论对照, 判断本分析结论的可信度。

在进行不同风光储配比方案研究的同时, 同步估算各方案的总投资。

3 新能源出力特性和负荷特性

新能源出力特性的 24 小时逐时数据来源于对项目所在区域的资源的分析。负荷特性曲线是根据某工业园区电费缴纳记录及用户对各段负荷电流的抄表记录通过综合分析而来。

3.1 风电和光伏出力特性

风电出力特性选取某风场小风季出力曲线。该地区风场年出力呈现春夏季高、夏秋季低, 日出力呈现夜间高、白天低的特点, 使得风机出力最大值与最小值的差值特别明显。

工业园区配置屋顶光伏, 光伏组件可以按照正常的倾

角布和屋面倾角布置。

3.2 负荷特性

负荷特性曲线是根据工业园区电费缴纳记录及用户对各段电流的抄表记录通过综合分析而来, 负荷曲线相对平滑。

3.3 总投资测算参数

总投资测算主要使用如下数据:

风电: 单位投资 6722 元 /kW。

光伏: 单位投资 4500 元 /kW。

储能: 单位投资 1500 元 /kWh, 5000 次循环, 100%DOD。

4 计算过程

在满足负荷电力需求的前提下, 从配置单一能源品种入手, 分析风电、光伏单独供电的方案及风光协同供电方案中所需储能系统的容量, 并以储能系统所需容量最小的方案为最优。

4.1 负荷完全由风力发电供应

系统负荷的峰值为 1208.57kW。当负荷完全由风电系统供电时, 由于风电出力的波动性, 分析结果表明, 系统的最大出力 (有效装机容量) 需为 2819.42kW。为保证电力平衡, 系统还需配置容量为 2030.98kW/11078.03kWh 的储能系统。储能系统在风电系统出力大于负荷需求时充电, 在风电系统出力小于负荷需求时放电。当仅配风电时, 风电系统 24 小时发出的电量与负荷需求相等, 风电装机容量是负荷峰值需求的 2.33 倍。此时, 储能容量占负荷总量的 50%, 储能系统最大出力受充电需求控制, 是风电有效装机容量的 72%, 所需储能系统的充放电倍率最大为 0.18C。风储系统总投资约为 3625.39 万元。

4.2 负荷完全由光伏供应

系统负荷完全由光伏系统供电时, 光伏系统总的有效装机容量应为 3703.45kW, 是负荷峰值需求的 3.06 倍。为保证发用平衡, 还需配置 2650kW/13064.06kWh 的储能系统。此时, 储能系统最大出力同样受充电需求控制, 是光伏有效装机容量的 72%, 储能系统容量占光伏系统发电量的 59%, 是负荷总需求电量的 59%, 所需储能系统的充放电倍率最大为 0.2C。整个系统的总投资约为 3678.91 万元。

4.3 风光互补供电模式

比较参考系统中的两种配置方案, 虽然光伏系统出力高峰时段与负荷峰值时段重合, 但光伏整体年平均利用小时数较低, 使得其与负荷匹配效果较风电系统差。单纯配置风电或光伏品种, 离网情况下, 光伏的装机容量是风电装机容量的 1.31 倍。

研究风电、光伏出力特性与负荷需求特性匹配性发现, 光伏出力最大时 (中午 12 点前后), 负荷通常也会同时达到峰值, 光伏出力特性与负荷需求特性具有一定的同步性。风电在白天和夜间均有出力, 夜间的出力要大于白天, 且普遍大于夜间的负荷需求。若光伏和风电共同配置, 光伏在夜

间不会进一步增大风电出力与负荷需求之间的差值，而在白天可以弥补风力发电系统白天的出力不足。

从风储系统入手，以风电装机容量的5%-10%为步长逐步减少风电装机容量，直至将风电装机减少至参考系统中风电装机容量的10%，同时增加光伏的装机容量，向光储系统靠拢，计算风电装机容量减少过程中为满足负荷电力需求所需的光伏装机容量。通过不断试算，找出在不同风电装机情况下对应的光伏系统装机容量。根据每次的试算结果，在电量平衡约束下，确定储能系统的装机容量、出力大小及充放电倍率等参数。

测算结果表明，当风电系统装机1550.68kW、光伏系统装机1666.53kW时，储能系统配置最小，容量为6828.01kWh。此时，储能系统容量是风储系统所需储能容量的61.64%，降低了约40%；是光储系统所需储能容量的52.27%，降低了约48%。同时，储能系统容量是负荷日需求电量的31%。储能系统最大出力由放电需求控制，是风电装机容量的60%。风电系统发电量占负荷需求的55%，光伏系统发电量占负荷需求的45%，风电系统发电量是光伏系统发电量的1.22倍。风电系统和光伏系统装机容量分别是负荷峰值需求的1.28倍和1.38倍。风电系统装机容量是光伏系统装机容量的93%。

以储能系统配置容量最小为观察基点，增加或减少风电系统装机容量，储能系统所需容量均开始增加。

若以储能系统需求容量变化值不超过最小配置容量的 $\pm 5\%$ 为原则，经过风光储配比测算软件RenPLAN进一步计算显示：当风电系统发电量在负荷需求总量的70%~45%之间变化时，储能系统配置容量均在最低点的 $\pm 5\%$ 范围内变化。此时，充放电倍率在0.14~0.17之间变化，风电系统装机容量与光伏系统装机容量的比值在0.62~1.78间变化。计算表明，储能系统需求容量最低时的风光储系统总成本最低。

风储、光储系统的储能系统容量需求最大，投资也最大。随着风电装机容量的降低、光伏装机容量的提高，储能系统容量需求和总投资逐渐下降。当储能系统容量和总投资降到最低点时，继续降低风电系统装机容量，会使储能系统容量和总投资重新开始增加。

4.4 验证

保持光伏和风电系统的出力特性不变，将负荷曲线更换为具有双峰值的负荷特性曲线。双峰特征的负荷特性在商业综合体、尤其是具有餐饮服务的综合体中非常普遍。在此类场景中采用上述方法，用风光储配比测算软件RenPLAN寻找最优配比方案，对比分析结果。

可以看出，负荷特性改变后，风光储系统风电和光伏装机容量最佳配比发生了移动，风电装机容量是风储方案的65%时，储能系统容量是负荷日需求的32%，配置最

小。储能系统的充放电倍率在0.17左右，与第3章的结论极为相似。测算表明，风电系统发电量在负荷需求电量的50%~70%区间内时，风电与光伏装机比例在0.76~1.78区间变动，储能系统需求是负荷需求容量的32%~33%，变化范围不超过最低点的 $\pm 5\%$ 。

可以看出，光伏出力特性改变后，风光储系统的风电和光伏装机容量最佳配比与4.3节的结论完全一致。

根据计算过程和分析结果，通过验证，能够得出如下结论：

①当负荷特性曲线变化而新能源出力特性曲线不变的情况时，储能需求最低点发生在储能容量是负荷需求的32%处，但储能需求总量确实有所增加。最低点向风机装机容量高处偏移。

②当光伏出力曲线特性变化后对储能系统容量配置影响不大，最小储能需求发生在储能容量是负荷需求容量的32%处。储能需求总量增加，风电装机容量未变。

③风电发电量始终在负荷需求电量的55%~65%区间变动，储能系统所需容量始终在负荷日需求的31%~32%范围内变化，储能系统的充放电倍率在0.13左右。

④风光储总投资最低与储能系统需求容量最低点基本重合，略偏向于光伏装机容量增大的方向。

⑤储能系统的投资总额控制风光储系统总投资。

5 结论

在满足负荷需求的前提下，风光储系统比风储或光储系统能够显著降低系统对储能系统容量的需求。风电和光伏装机容量最优配置原则是风电发电量占负荷需求日求的55~65%，储能系统容量是负荷电量需求日求的31~32%。风电和光伏装机容量配置比例范围在0.76~1.78之内。在储能系统配置最小时，风光储系统总投资最低。储能系统的充放电倍率在0.13~0.19之间，储能系统的最大出力与负荷峰值或新能源最大出力之间并没有确定的比例关系。

限于获取的数据总量不足，本分析得出的结论尚需更多案例验证。期望通过分析过程和结果的论述，介绍一种工具和方法，为风光储系统的规划提供参考。

参考文献

- [1] Henrik Lund Renewable Energy Systems-The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions ELSEVIER
- [2] 《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》发改能源规[2021]280号
- [3] 国家能源局综合司关于报送“十四五”电力源网荷储一体化和多能互补发展工作方案的通知
- [4] Aalborg University, Brian Vad Mathiesen, Kenneth Hansen, Iva Ridjan, Herik Lund, Steffen Nielsen Samsø Energy Vision 2030-Converting SAMSø to 100% Renewable Energy