[AGC调频]

电池储能与火电机组联合调频工程设计案例分析

文/李波
中国电建集团核电工程有限公司

电池储能系统可安装于电厂侧，辅助火电机组的一次及二次调频。以山东省某电厂为例，提出电池储能与火电机组联合调频应用的设计案例及要点，对电池系统容量配置、系统接入拓扑结构、总布置方案、消防设计方案和协调控制方案等进行分析，旨在提高电厂机组整体调频效益。

随着新能源大规模并网，电网侧调频问题日益复杂，对调频里程的需求显著提升。在发电侧，随着电网现货市场政策的推行，国家逐步出台相关政策，鼓励储能系统参与电网辅助调频服务[1]，储能系统辅助火电机组调频正逐步商业化。

2023年7月，随着新版《山东省电力辅助服务管理实施细则》的发布和实施，山东省境内的调频辅助服务补偿更加合理和规范，性能优秀的机组收益更加合理。本项目是在辅助服务市场化前提下，利用电化学储能技术对2×350 MW热电厂进行调频性能升级改造，新增电池储能系统与现有火电机组联合参与调频辅助服务。将对山东电网的AGC调频运行产生很好的示范作用，可有效提高和改善电网对新能源电力的消纳能力[2]。

系统配置概况

本项目在2×350 MW火力发电厂内新建1座电化学储能电站，配置10 MW/10 MW·h电化学储能系统（共4套2.5 MW/2.5 MW·h电池储能系统），分别接入两台机组的6 kV厂用电母线工作段，采用“一拖二”模式（即每台机组的两段6 kV厂用电母线各接入1段储能系统母线，如图1所示），辅助此电厂内的火电机组参与到电网的AGC调频服务。储能系统通过开关柜接入火电机组的6 kV厂用电母线，可通过6 kV开关柜的断路器操作实现储能系统在两台机组之间的切换和互锁功能。储能站6 kV中压配电系统采用两段独立的单母线接线，系统接线如图1所示。

储能系统及配套设施

本工程采用4套电池储能系统，每个储能系统由储能电池、储能变流器（PCS）和升压变压器组成。每套电池系统规模为2.5 MW/2.5 MW·h，采用磷酸铁锂电池，安装于预制舱内。储能变流器（PCS）及升压变压器也采用预制舱布置方案。每套电池储能系统包含1个电池预制舱及1个逆变升压预制舱，如图2所示。

除储能系统外，储能站内还配置1座6 kV中压开关柜预制舱及1座二次设备预制舱。中压开关柜预制舱采用标准40英尺集装箱，箱内设备包括6 kV开关柜，通风系统，消防探测和报警系统、监控系统以及设备急停系统等。二次设备预制舱内设置EMS系统、交直流电源系统、UPS系统、公共测控系统以及视频监控系统等，并设置独立的监控室。

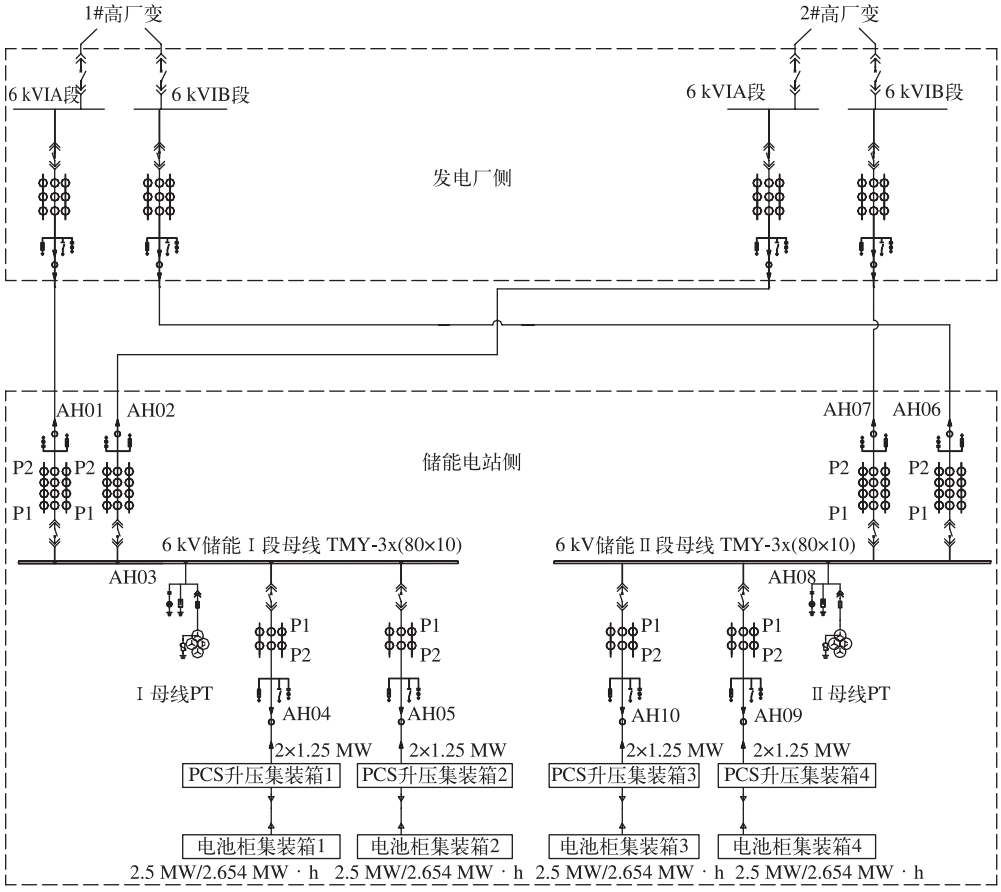

图1　储能系统接入电厂接线图

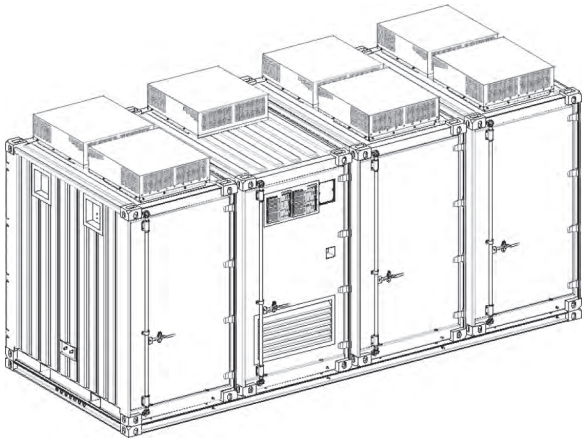

图2　储能电池预制舱外形示意图

储能站内预制舱布置方案

储能站电池系统及功率变换、升压变系统均采用布置方案。根据设计规范[3-4]、电气工艺布置及防火距离要求，兼顾进出站道路、电缆敷设等条件，储能站站区内成组布置预制舱，站区周围新建高透空钢制围栅栏，围栅栏内区域全部硬化处理，围栅栏外至道路边缘进行绿化处理。电站设置2个对外的出入口，两个出入口均与电厂现有道路对接。站内道路满足防火规范中关于消防通道的相关要求，站内预制舱之间及预制舱与电厂现有构建筑物之间距离满足防火距离要求，储能站总平面布置图3所示。

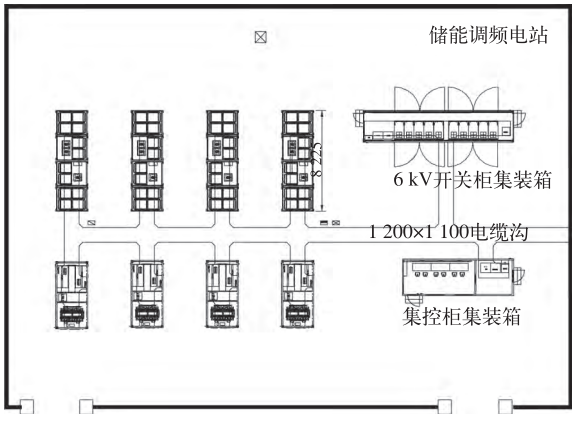

图3　储能电站总平面布置图

储能站消防设计方案

储能站的各舱体内火灾自动报警及消防设施的设计参照GB 50116—2013《火灾自动报警系统设计规范》及GB 50370—2005《气体灭火系统设计规范》。

各电池预制舱内设置独立的配电系统、温控系统、阻热系统、灭火系统、应急照明系统和集成火灾自动报警系统。电池预制舱内配置复合型火灾预警探测器（包含CO、VOC或者H_2等气体、烟雾、温度等传感器）、应急灯等必不可少的安全设备。

储能系统的自动灭火系统配置全氟己酮气体灭火系统，灭火控制方式为自动。当火灾预警探测器检测到二级火警时，启动全氟己酮气体灭火装置。灭火方式采用全淹没式，能够起到完全灭火效果。

电池火灾发生时，电池会热失控，即使第一时间明火被扑灭，但电池内部积累的大量热量仍会导致发生复燃。目前电池舱消防最有效的方式是采用水喷淋方式对各电池进行包持续降温。在电池舱内设置下垂型喷头，储能区域内消防设施连接至电厂内消防管网，利用消防泵增压，火灾发生后消防泵启动，对电池舱持续喷水降温防止复燃，以确保相邻电池舱及设备舱的安全。

火储联合调频协调策略

采用电池储能系统进行AGC调频时，具有准确度高、响应灵敏和爬坡速率高等优点；但存在能量少、放电时间短等不足，火储联合调频需要配置一定的控制策略[5]。本工程在储能站内设置协调控制器及EMS系统。火储联合调频系统的核心控制系统就是协调控制器，负责协调火电机组及电池储能系统在电力市场要求下的AGC调频运行策略实现。EMS系统根据电网AGC指令和火电机组运行信息下发控制指令完成电池系统充放电控制。

如图4所示，储能电站处于AGC模式时，当接收到电网紧急功率支撑控制命令，可实现储能电站运行模式的快速切换及考虑电池SOC和SOH的储能电站能量管理。

当储能电站开启一次调频功能时，可实现一次调频与AGC控制指令的协调，通过SOC的动态优化管理，提升储能电站持续出力能力。其中一次调频指令优先级最高。

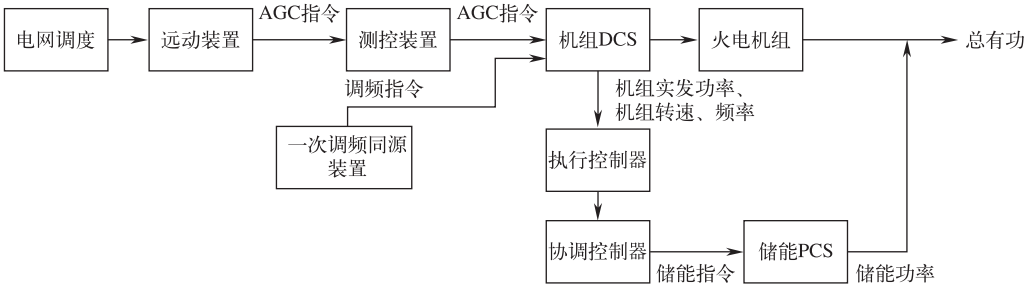

图4　火储联合调频AGC响应示意图

优化效果分析

调频性能指标包括调节速率K_1、调节精度K_2与响应时间K_3。火储联合调频系统综合调频性能指标$K_p=K_1\times K_2\times K_3$，另外机组的调节深度指标$D$是计算调频辅助服务收益和给予具备不同响应能力调频辅助服务机组不同程度激励的重要依据。当电池储能系统参与到联合AGC调频时，通过功率闭环控制，可以极大改善机组的调节速率K_1、调节准确度K_2和响应时间K_3，并追踪电网AGC指令曲线。

根据山东省电力系统辅助市场相关要求，火电机组调频K_1值限制为最高1.3，因此本工程中储能系统参与调频后可重点优化K_2和K_3的值，从而提高整体性能指标K_p。通过仿真计算，本工程电池储能系统投运后，现有火电机组单机综合K_p值由2~2.5提高到3.6左右，如图5所示。

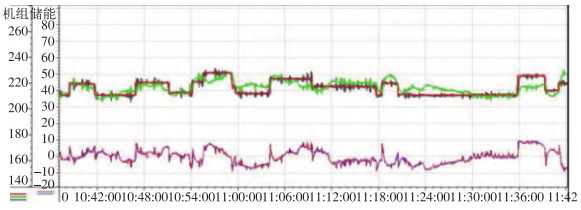

图5　火储联合调频AGC指令功率曲线追踪仿真结果

结束语

随着电网现货市场政策的推行以及新能源并网容量的不断提高，火电机组参与电网调频响应的需求也会随之提高。电化学储能与火电机组的协调联合调频是提高火电机组调频性能的有效措施，也是电化学储能有效实现其商业价值的应用场景。本工程投运后，有效提高现有火电机组的AGC综合调频指标*Kp*，提高电厂机组整体调频效益。EA

（收稿日期：2024-05-11）

参考文献

[1] 林阿竹，柯清辉，江岳文．独立储能参与调频辅助服务市场机制设计[J]．电力自动化设备，2022，42(2)：26-34．

[2] 王凯丰，谢丽蓉，乔颖，等．电池储能提高电力系统调频性能分析[J]．电力系统自动化，2022，46(1)：174-181．

[3] 电化学储能电站设计规范：GB 50148—2014[S]．

[4] 火力发电厂与变电站设计防火标准：GB 50229—2019[S]．

[5] 马骏超，周洁洁，江全元，等．储能参与一次调频的优化控制策略研究[J]．浙江电力，2021，40(9)：3-9．