

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.04.011

储能火电联合调频系统设计与研究

Design and research on energy storage and thermal power combined
frequency modulation systems

王兴兴,孙建桥,陈明
WANG Xingxing,SUN Jianqiao,CHEN Ming

(中国华电科工集团有限公司,北京 100070)
(China Huadian Engineering Company Limited,Beijing 100070,China)

摘要:大规模电池储能联合火电厂进行调频,由于其技术优势明显且经济性良好,近年来应用逐渐增多。但目前,储能火电联合调频系统缺乏成熟的设计方案作为参考,一定程度上限制了其发展。为推动国内储能系统发展的规模化、标准化,提升储能火电联合调频系统的设计水平为目标,基于中国华电科工集团有限公司的工程实践,以国电肇庆热电有限公司2×350 MW机组调频辅助服务储能项目为研究对象,从系统的容量选择、站区规划和总布置、接入核算、电气主接线设计、短路电流计算、继电保护配置、控制和通信、消防系统等方面进行分析,总结提炼出该系统设计的关键技术,为新建储能火电联合调频系统的工程设计和建设工作提供重要技术依据,对此类项目起到良好的推动和指导作用。

关键词:电池储能;火电调频;辅助服务;联合调频;系统设计;磷酸铁锂电池;新能源

中图分类号:TM 645 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2020)04-0072-05

Abstract:Batteries have been widely applied in energy storage and coal-fired power plants combined frequency modulation due to the technical advantages and favorable economic performance of the modulation technology. However, the development of the combined frequency modulation system is impeded for lack of sophisticated design scheme. In order to facilitate the scaled and standardized development and the designing level of energy storage and thermal power combined frequency modulation systems in China, analysis was made on 2×350 MW units of Guodian Zhaoqing Thermal Power Company Limited based on the engineering cases of China Huadian Engineering Company Limited. Key technologies in system capacity selection, site planning, overall layout, access accounting, short circuit current calculation, relay protection configuration, control and communication, and fire-fighting system were summarized during the research on the frequency modulation auxiliary service energy storage of the two units. It provides technical basis, impetus and demonstration for the engineering design and construction of new energy storage and thermal power combined frequency modulation systems.

Keywords: power storage with batteries; thermal power plant frequency modulation; ancillary service; combined frequency modulation; system design; LiFePO₄ battery; new energy

0 引言

随着新能源发电装机比例的日益增加,传统发电机组占比降低,电网可用的调频资源减少,频率特性逐渐呈现出结构性困境,调频容量不足的问题凸显,寻求新型调频手段辅助传统火电机组提升电网整体调频性能成为当前研究的热点^[1]。

储能系统以灵活的布置、智能的充放电特性,已经渗透到了电力系统的发、输、配、用等各个环

节^[2]。电储能由于其自身快速响应、精确跟踪与优异的功率频率特性,参与调频效果明显好于火电机组^[3],成为了新型调频辅助的有效手段,在电网调频领域备受业界关注。

目前,全球有近20个国家在建或投运了共计164项兆瓦级储能调频项目,涉及发电端、输配环节和需求侧。国内外不同国家和地区依据各自能源结构特性、市场需求及政策激励机制等,积极开展与推动储能在调频领域的示范应用及研究。自2013年9月国内第1个储能调频示范项目在京能热电厂正式投运^[4],国内其他地区的储能调频应用项目也逐渐增多起来。

收稿日期:2019-12-20;修回日期:2020-03-02
基金项目:中国华电集团科技项目(CHDKJ20-01-37)

随着广东地区调频辅助服务政策的不断出台,以及储能参与辅助服务相关技术的逐步发展^[5],广东地区储能火电联合调频项目呈爆发式增长。广东境内以火电厂居多,火电厂功率调节范围大,但调节速率低,响应时间长,调节精度并不太理想^[6]。储能火电联合调频技术是目前300~600 MW火电机组提高性能的主要措施^[7],其中发电机承担调频任务中的慢速和大容量功率需求,储能系统承担调频任务中的快速和小容量功率需求。

但目前,储能火电联合调频系统缺乏成熟的设计方案作为参考,相关技术标准不完善,缺乏发电机组和储能系统之间的控制保护等相关设计规范^[8],这在一定程度上限制了储能火电联合调频项目的发展与市场推广。

本文基于中国华电科工集团有限公司在储能调频辅助服务方面的工程实践,以国电肇庆热电厂有限公司2×350 MW机组调频辅助服务储能项目为研究对象,从系统的容量选择、站区规划和总布置、电气主接线设计、短路电流计算、系统继电保护配置、控制和通信、消防系统等方面进行分析,总结提炼出此类系统设计的关键技术,为新建的储能火电联合调频系统的工程设计提供重要参考依据。

1 项目概况

1.1 原有机组情况

国电肇庆热电厂有限公司安装2台350 MW国产超临界燃煤热电联产机组,电厂以220 kV电压等级接入系统。#1、#2机组于2014年6月20日转入商业运行。

2台350 MW机组以发电机-变压器单元接线接入厂内220 kV配电装置。220 kV配电装置采用双母线接线。每台机组设置一台有载调压分裂绕组D,以及d0,d0高压厂用变压器(以下简称高厂变),即#1、#2高厂变;低压侧通过6 kV共箱母线与主厂房6 kV配电装置相连。低压厂用电系统电压采用380/220 V。

1.2 储能系统容量配置

随着储能系统容量的提高,储能系统投资增加,但联合调频效果的提升率却逐渐降低,导致发电侧调频收益减少,故储能系统容量并不是越大越好,目前国内储能调频电站大多按照1.5%~3.0%的机组容量配置。

本项目接入电厂中,储能系统视#1、#2机组实际并网运行情况,选择且仅能选择其中一台机组与之联合响应广东电网自动发电控制(AGC)运行模式,获得AGC补偿收益。故本项目储能系统配置容量

为10 MW/5.6 MW·h。

考虑机组调节死区因素,火电机组调节死区定义为机组额定容量1.0%,约3.5 MW,因此10 MW储能系统辅助火电机组AGC调节可以有效地快速越过机组调节死区。

2 项目设计要点

2.1 接入容量校核

储能系统主功率回路(充放电回路)接入国电肇庆热电厂有限公司内现有#1、#2高厂变6 kV母线A段。接入容量校核的主要目的是核算机组原有高厂变容量是否满足储能系统功率交换的需要。

该电厂#1机组高厂变容量为42 MV·A/27-27 MV·A,根据电厂实际测录结果,#1机组以最大负荷状态运行,接入储能系统后:#1机组高厂变低压侧A段负荷容量为28 415.16 kV·A;#1机组高厂变低压侧B段负荷容量为10 381.91 kV·A。

#1机组最高负荷运行时,由于高厂变低压侧A段过载,故需要将A段部分负荷转至B段运行,保证A段不过载。该运行工况下,高厂变高压侧负载率为92.37%。

同理计算得#2机组高厂变高压侧负荷容量为33 791.11 kV·A,小于42 000.00 kV·A,均满足变压器运行要求。

以上数据是储能系统容量按照最大功率充电状态计算得出的。实际运行中,在储能主控系统的调控下,储能系统实际负荷与高厂变负荷情况协调运行,不会出现高厂变过载的情况。

2.2 厂用电核算

10 MW储能系统辅助用电主要包括冷却、照明、控制用电等,功率约379.21 kW,功率因数取0.95。#1机组380 V母线工作B段,原有负荷1 695.5 kV·A,接入储能辅助用电回路后#1机组380 V变压器总负荷2 094.67 kV·A,小于2 500.00 kV·A,满足接入要求。同理需核算#2机组380 V母线工作B段是否满足接入条件。

2.3 储能系统架构

本项目10 MW储能系统由4个2.5 MW储能单元组成。每组1.4 MW·h锂电池储能单元配置1套2.5 MW的储能变流器,储能系统架构如图1所示。

2.4 总平面布置

根据电厂现场考察结果,确定系统的最优位置,并充分考虑电缆走向及长度,最终布置如图2所示,厂址用地面积为419 m²和261 m²。电池系统、PCS及配电设备均采用集装箱封装,集装箱间需要留出维护通道、电气隔离间隔等。

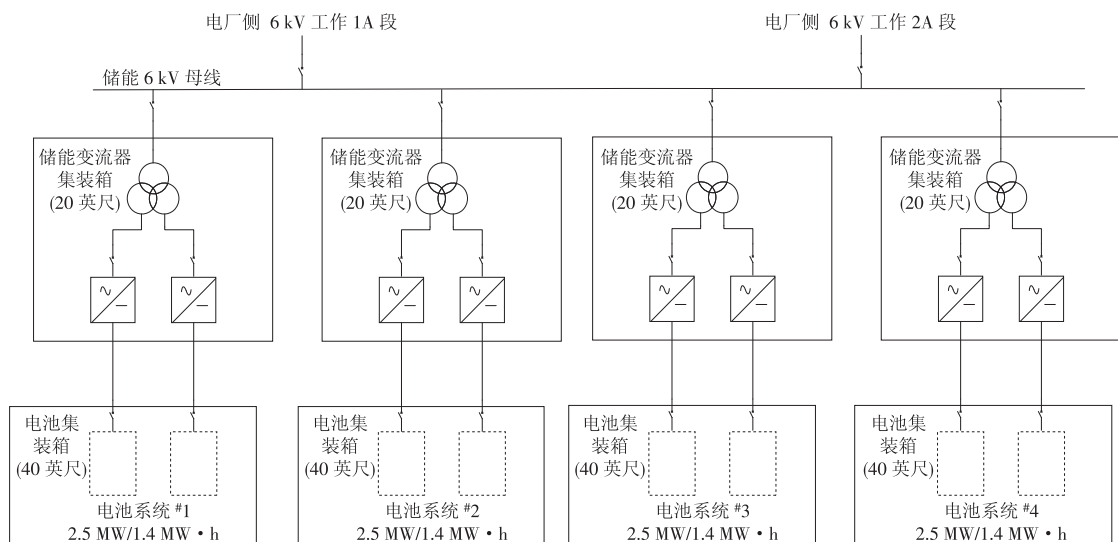


图 1 储能系统架构

Fig. 1 Architecture of energy storage system

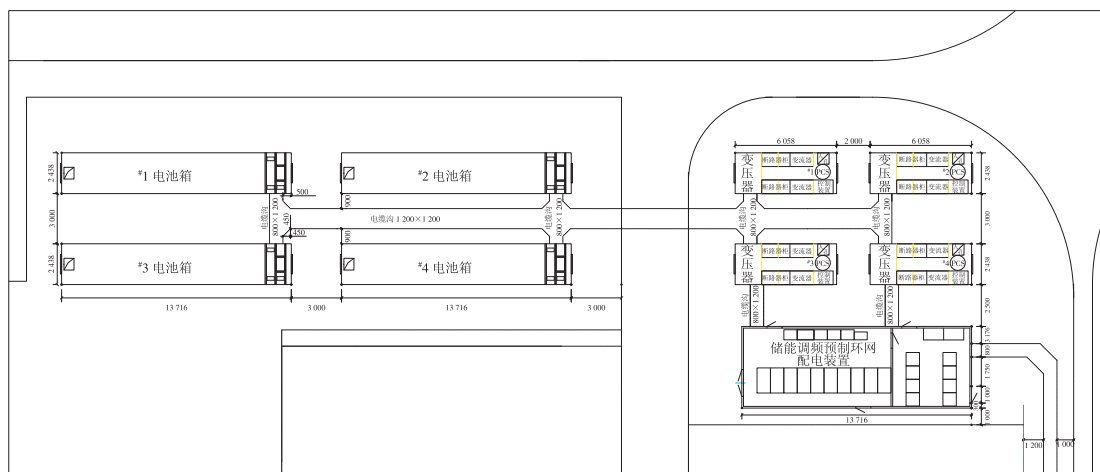


图 2 储能系统总平面布置

Fig. 2 Overall layout of the energy storage system

2.5 电气主接线设计

储能系统在 #1, #2 机组 6 kV 母线段内各设 1 个单一接入点, 并根据储能系统配置接入容量新增接入开关柜体, 柜内需要有电能计量表计、保护装置, 系统电气主接线如图 3 所示。#1, #2 机组 6 kV 母线段储能系统接入点至储能系统就地母线段间采用电缆连接。

若给 #1 机组提供调频服务, 当系统充电时, 依次合闸 101 开关, 6 kV 母线需设检无压装置, 当确认母线无电压时, 才可合闸 102 开关。当系统放电时, 需依次闭合负荷侧 102 开关、电源侧 101 开关, 由储能变流器系统跟踪主网电压与频率, 带动储能系统无缝并入主网。若给 #2 机组提供调频服务, 闭锁逻辑同上, 保证了该储能系统运行的安全性。

2.6 短路电流计算

当储能系统运行在放电模式下时, 储能系统相当于在机组 6.3 kV 母线下新增的 1 个电源点, 此时

若储能系统机端发生故障, 会对机端的故障电流水平产生一定影响。

与传统同步发电机组不同, 储能系统采用高频逆变装置并网, 当储能系统机端发生三相短路故障时, 储能变流器所能提供的最大短路电流不超过并网逆变装置额定电流的 1.5 倍^[9]。即在最坏情况下, 完全不考虑储能系统并网逆变装置与接入回路各级保护单元的作用, 储能系统接入后对机端短路电流的最大影响不超过

$$1.5 \times 1250 \text{ kW} \div 0.525 \text{ kV} \div \sqrt{3} \div 1000 = 2.06 \text{ kA}.$$

本项目中使用的储能变流器的短路保护由直流熔断器与交流断路器实现^[10], 交流侧最大短路电流为 2 kA。

由此可推算出储能站出口短路电流约为 1.375 kA, 远低于 6 kV 母线段断路器关断容量, 不影响段内短路电流关断能力, 不需要对段内断路器进行改造^[11]。

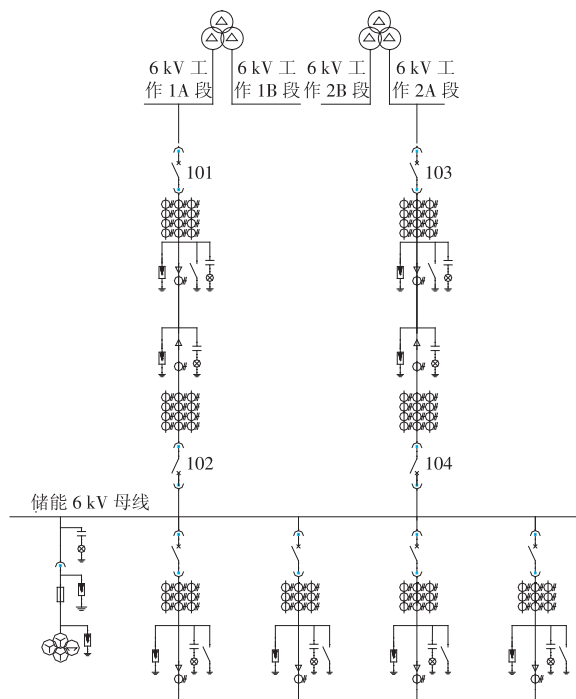


图3 电气主接线

Fig. 3 Electrical main wiring

2.7 系统继电保护配置

原电厂内新增储能装置 6 kV 及 380 V 电源开关柜控制以硬接线接入厂内现有的分散控制系统 (DCS) 中, 实现 6 kV 及 380 V 馈线开关的合分闸控制、报警监控和相关的电量监视。

在储能装置就地新增的 6 kV 开关柜配置微机线路综合保护测控装置, 中压变流箱出线柜内设置变压器保护及相关测控装置及多功能电表。新增 380 V 开关柜采用断路器作为保护装置。本项目中系统保护装置、测控装置等应具有对时功能, 接入原电厂对时系统。

通过在 6 kV 开关柜内设置互锁联动控制, 即将另一回进线柜内的断路器常闭接点串入该开关柜的合闸回路中, 避免出现储能系统在双回路配置下的运行混乱问题^[12]。

此外, 依据规范要求, 储能站内配置了故障录波装置、同步向量测量装置及电能质量监测装置。

2.8 控制与通信系统

储能系统通信接入方案的设计原则是避免对机组 DCS 控制器稳定性的影响, 尽量减少对原有机组控制系统软、硬件的变更, 储能系统在接入和退出情况下均不影响机组 DCS 对 AGC 指令的响应。

储能系统接入后的通信控制示意图如图 4 所示, 图中 EMS 为能量管理系统, NCS 为网络控制系统。储能系统就地设备 (含电池系统与 PCS) 通过 Modbus TCP 以太网通信协议将信号上传至储能主

控系统, 储能主系统与火电机组的 DCS 通过硬接线相连接^[13], 火电机组的出力与储能系统出力作为 1 个整体响应电网的 AGC 指令^[14]。

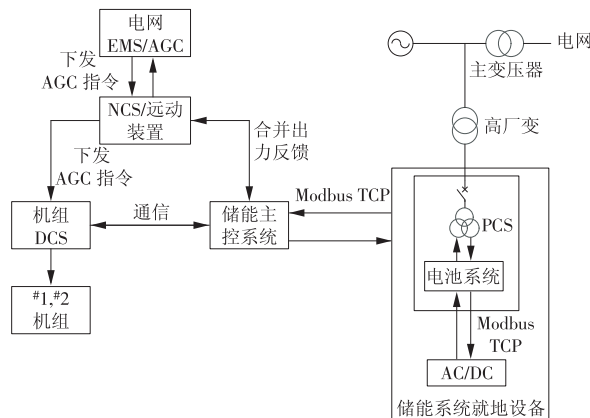


图4 储能系统接入后的通信控制

Fig. 4 The control system after accessing the energy storage system

2.9 消防系统

由于本项目中储能电池为磷酸铁锂电池组, 热失控时不会释放爆炸性气体, 故电池集装箱外不需要做防爆区设计。

电池集装箱内部集成了火灾探测报警系统和气体灭火系统, 火灾探测报警系统能够探测到集装箱内的异常情况并自动或手动地启动气体灭火。气体灭火采用七氟丙烷灭火装置, 全淹没方式灭火。另外, 集装箱安装泄压阀、爆破门, 达到防爆目的。同时, 火灾报警系统可与电池的电池管理系统 (BMS) 实现联动控制、多级预警和防护保护^[15]。

储能站内的火警系统能够独立于全厂火灾报警系统工作, 并可通过干接点信号将报警信息接入全厂火灾报警系统。

3 结束语

本文从系统配置、电气设计、控制及通信等几个设计角度分析了在储能调频项目中需注意的设计要点, 为将来的储能火电联合调频项目系统设计提供参考, 同时也望借此推动国内储能系统发展的规模化、标准化, 提升储能火电联合调频系统的设计水平。

参考文献:

- [1] 孙冰莹, 杨水丽, 刘宗歧, 等. 国内外兆瓦级储能调频示范应用现状分析与启示[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 8-16, 38.
- SUN Bingying, YANG Shuili, LIU Zongqi, et al. Analysis on present application of megawatt-scale energy storage in frequency regulation and its enlightenment[J]. Automation

- of Electric Power Systems, 2017, 41(11):8-16, 38.
- [2] 牟爱政, 彭博伟, 张连奎, 等. 储能系统应用于火电厂调频经济性评价的研究[J]. 上海电力学院学报, 2019, 35(5): 479-485, 492.
- MOU Aizheng, PENG Bowei, ZHANG Lianhao, et al. Study on application of energy storage system to economic evaluation of power plant frequency regulation[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2019, 35(5): 479-485, 492.
- [3] 王华卫, 张平. 350 MW 级火电机组与电储能联合调频系统设计研究[J]. 电工技术, 2019(6):61-63, 117.
- WANG Weihua, ZHANG Ping. Design and research on joint frequency modulation system for 350 MW grade thermal power unit and energy storage[J]. Electric Engineering, 2019(6):61-63, 117.
- [4] 中关村储能产业技术联盟. 储能产业研究白皮书 2018 [R]. 北京: 中关村产业技术联盟, 2018.
- [5] 王琦. 储能火电联合调频的容量配置及收益预测研究[J]. 现代信息科技, 2019, 3(16), 43-45.
- WANG Qi. Research on capacity allocation and revenue prediction of joint frequency modulation for energy storage and thermal power[J]. Modern Information Technology, 2019, 3(16), 43-45.
- [6] 刘琳琳. 甘肃电网 AGC 应用分析[J]. 大众用电, 2009(5): 25-27.
- LIU Linlin. Analysis of AGC application in Gansu Power Grid[J]. Popular Utilization of Electricity, 2009(5):25-27.
- [7] 贾璟瑶. 基于火电厂 AGC 调频的电池储能系统 SOC 状态评估[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
- [8] 王斐, 梁涛. 储能系统辅助火电机组联合 AGC 调频技术的应用[J]. 电工电气, 2018(9):34-37.
- WANG Fei, LIANG Tao. Application of combined automatic gain control frequency modulation technology for energy storage system auxiliary thermal power unit [J]. Electrotechnics Electric, 2018(9):34-37.
- [9] 刘健, 张小庆, 同向前, 等. 含分布式电源配电网的故障定位[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2):36-42, 48.
- LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, TONG Xiangqian, et al. Fault location for distribution systems with distributed generations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(2): 36-42, 48.
- [10] 吴文宣. 大型电池储能电站保护的配置方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012(18):144-148.
- WU Wenxuan. Study on configuration scheme of bulk battery energy storage plants protection[J]. Power System Protection and Control, 2012(18):144-148.
- [11] 牟春华, 兀鹏越, 孙钢虎, 等. 火电机组与储能系统联合自动发电控制调频技术及应用[J]. 热力发电, 2018, 47(5):29-34.
- MU Chunhua, WU Pengyue, SUN Ganghu, et al. AGC frequency modulation technology and application for combination of thermal power unit and energy storage system[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(5):29-34.
- [12] 杨英勃. 储能技术在电力系统调频领域的应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2019, 3(11):113-114.
- [13] 高星鹏. 火力发电厂储能调频系统应用研究[J]. 技术与市场, 2017, 24(12):109-110.
- [14] 张平. 火电与电储能联合调频方法的研究[J]. 通信电源技术, 2018, 35(10):31-33.
- ZHANG Ping. Research on the combined FM method of thermal power and energy storage [J]. Telecom Power Technologies, 2018, 35(10):31-33.
- [15] 吴静云, 黄峥, 郭鹏宇. 储能用磷酸铁锂(LFP)电池消防技术研究进展[J]. 储能科学与技术, 2019, 8(3): 495-499.
- WU Jingyun, HUANG Zheng, GUO Pengyu. Research progress on fire protection technology of LFP lithium-ion battery used in energy storage power station [J]. Energy Storage Science and Technology, 2019, 8(3):495-499.
- (本文责编:张帆)

作者简介:

王兴兴(1993—),女,河北石家庄人,助理工程师,从事储能及微电网设计工作(E-mail:wangxingxing@chec.com.cn)。

孙建桥(1977—),男,河北石家庄人,工程师,从事发电变电设计工作(E-mail:sunjiao@chec.com.cn)。

陈明(1969—),男,山东青岛人,工程师,从事储能及微电网设计工作(E-mail:chenm@chec.com.cn)。