



高压级联应急储能供电系统在煤矿现场的应用

王公华

充矿能源下属某煤矿公司是一大型煤炭生产企业，矿井内生产设备种类多、数量大。该煤矿供电电源两回路均来自同一变电所，三回路来自矿内自建电厂（现已停止供电）。虽煤矿采用双回路供电方式，但仍无法保证不会出现全矿失电的状况。在煤矿用电设备之中，主通风机、主排水泵和副井提升机的安全可靠性和运行持续性尤其重要，主通风机如果停机时间过长会导致井下氧气不足，瓦斯含量超标；主排水泵如果停机时间过长，会导致井下地下水淹没矿井；最重要的是副井提升机，如果副井提升机一旦停运会导致井下人员无法升井，失电还会影响其他重要一级负荷的用电设备，因此矿井长时间失电存在较大的安全隐患，对井下人员的人身安全造成不可预估的危害。为了满足煤矿应急供电的需求，充矿能源对下属的3个煤矿配置了1台可移动的柴油发电应急供电车。但由于失电往往发生在极端恶劣天气，移动供电车响应不及时影响供电安全。同时，提升机在下放时会产生能量回馈，容易导致柴油发电系

统故障。基于上述问题，该煤矿最终引入高压级联应急储能供电系统，以满足现场供电需求。

煤矿现场供电特点及应急供电需求

现场供电回路

煤矿供电系统如图1所示，1号和2号主变皆为35 kV/6 kV、20 MVA降压变压器，3号主变为原自建电厂变压器，处于停用状态。1号和2号主变低压侧分别为I段和II段母线，母线通过母联开关连接。本次引入高压级联应急储能供电系统主要满足I段母线的通风机和提升机以及照明应急供电需求。

负荷供电需求分析

副井提升系统概况：提升机系统连接在I段母线上，通过6 kV/690 V、2 MVA降压变压器连接双罐直流电机。整个副井提升系统包括双罐直流电机

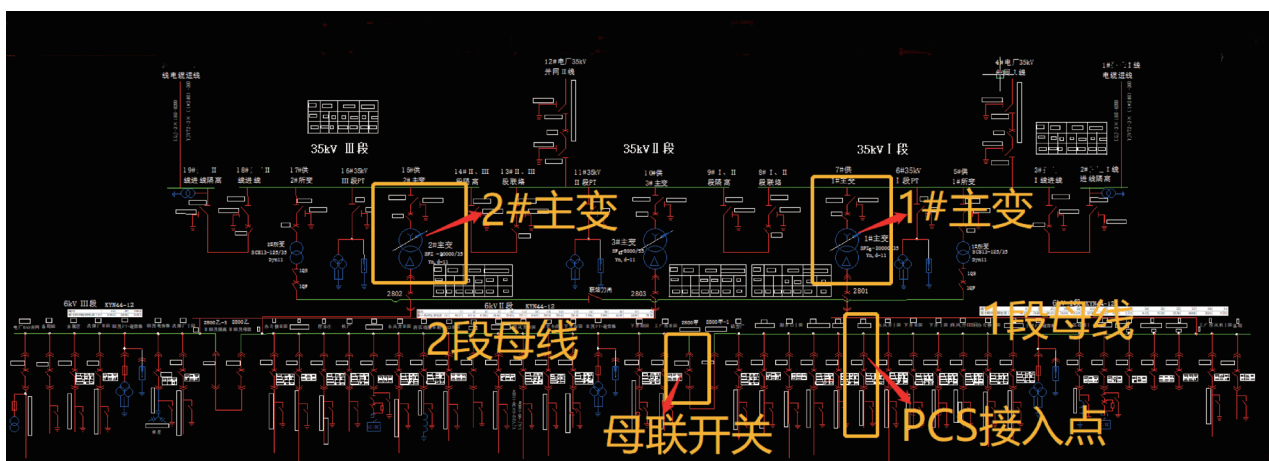


图1 煤矿供电系统



1 260 kW, 2台电机风机8 kW; 润滑泵站5 kW; 液压站8 kW; 控制系统等部件约10 kW; 上位机2台约1.5 kW, 照明约1.5 kW, 上井口操车18.5 kW, 下井口操车15 kW, 副井电梯20 kW, 要使副井双罐实现正常提升运转, 需要占用1 350 kW。

通风机系统概述: 6 kV通风机直连I段母线, 西风井通风机主电机630 kW, 1台液压站5.5 kW, 照明灯1.5 kW, 上位机3 kW, 风门执行器等附属设备10 kW, 要使西风井备用通风机实现正常提升运转, 至少需要占用650 kW负荷。

通过现场负荷及客户需求分析, 应急储能系统应满足以下3点要求:

(1) 应急供电系统配置功率不低于应急需求的1.5倍, 即不少于3 MW容量。

(2) 副井提升机变压器无缓冲电路直接合闸

会造成6~10倍额定电流冲击。

(3) 储能系统分为2台, 可并联运行也可一备一用, 且单台也能满足负荷需求。

高压级联应急储能供电系统特点及优势

高压级联储能应急储能供电系统如图2所示, 该系统通过隔离刀闸与6 kV三相电网进行电气连接, 之后是受控的三相交流接触器, 与交流接触器并联的为交流缓冲电阻, 起到限制与电网电气连接的瞬间电流冲击的作用。接触器和缓冲电路之后为并网电抗, 电抗器虽然不能彻底滤除开关谐波电流, 但对谐波具有阻尼作用; 并网电抗器之后为三相级联式H桥结构, 每相由级联功率单元组成, 该功率单元标配旁路接触器, 可实现自动冗余。高

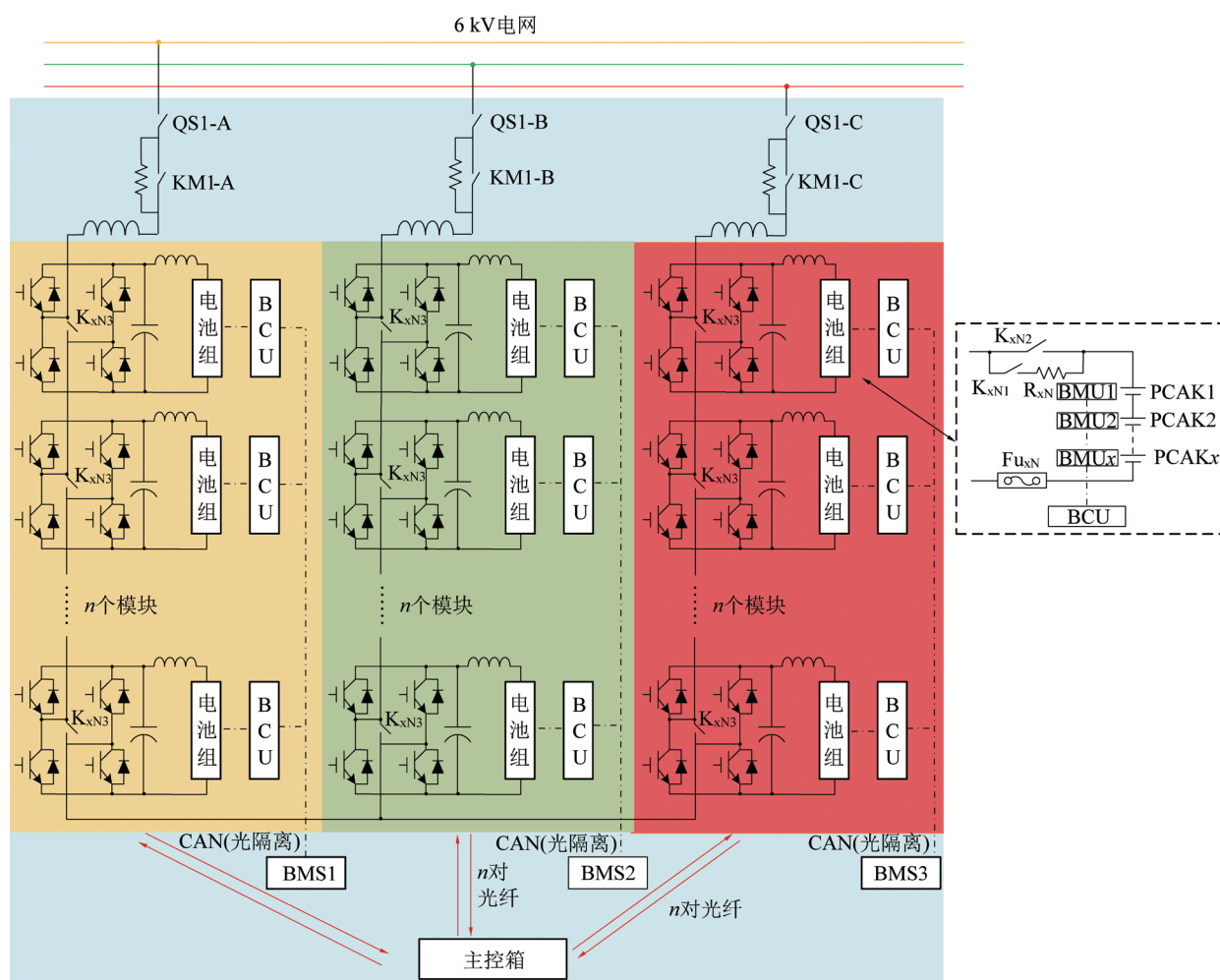


图2 高压级联应急储能供电系统

压级联功率单元与电池簇连接, 电池电压范围为600~1 000 V。同时该装置采用全数字化主控箱, 与功率单元直接采用并行光纤通信, 起到电气隔离并提高通信抗干扰能力的作用。

从技术上讲, 高压级联应急储能供电系统有7点优势:

(1) 并离网、四象限运行

高压级联应急储能供电系统具有并网和离网运行2种功能, 并网时可作为储能系统进行削峰填谷和峰谷套利, 离网运行时可作为应急电源使用, 满足关键负荷供电。同时, 相比于柴油发电系统, 该产品可实现有功无功四象限运行, 实现电机类负荷的能量回馈, 达到节能减排的效果。

(2) 电能质量高

高压级联产品采用载波移相技术可以提高电能质量, 降低电网公司对装置的考核压力。

(3) 锂电池储能

电池采用磷酸铁锂电芯, 安全度高。电池组包含电池管理系统(BMS), 可进行电芯级别管理。

(4) 自动冗余

当单元运行故障状态时, 配合自动旁路技术, 可快速切除故障实现装置自动重启, 减少设备非正常运行时间。

(5) 占地面积小、效率高

由于无需升压变压器可省去相应占地面积, 同时无升压变压器的损耗, 可提升2%的系统效率。

(6) 单台容量大并联容易

6 kV级联应急储能供电系统单台可做到3 MW, 没有小功率储能多台并联的协调控制困难问题。

(7) 抗冲击能力强

高压级联应急储能供电系统采用虚拟阻抗技术可轻松应对变压器、电机直启等冲击性工况, 且不会导致装置过流故障, 提高供电可靠性。高压级联应急储能供电系统外观如图3所示。

现场应用效果

针对现场需求及公司特点提供2台6 kV / 2 MW / 2 MW·h级联应急储能供电系统, 总容量4 MW / 4 MW·h, 满足客户需求。高压级联应急储能供电系统关键参数见表1。

表1 高压级联应急储能供电系统关键参数

电压等级/kV	6
额定功率/MW	2
额定容量/MW·h	2
每相单元个数	8
电芯规格/120A·h	3.2
直流侧标称电压/V	786 (240 电芯串联)



图3 高压级联应急储能供电系统外观



并网功率试验

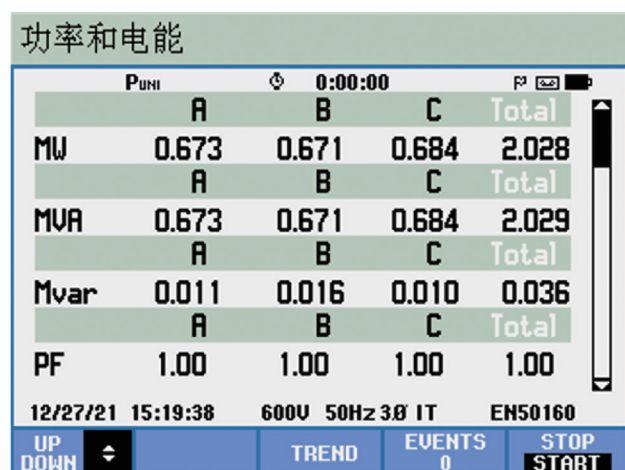
对设备进行了并网充电放电满功率试验, 试验结果如图4所示。其中, 图4a、图4b为有功充电、放电2 MW充电功率数据, 功率因数为1。数据表明装置功率与标称相符。

图5为装置自带录波功能所记录满功率充电放

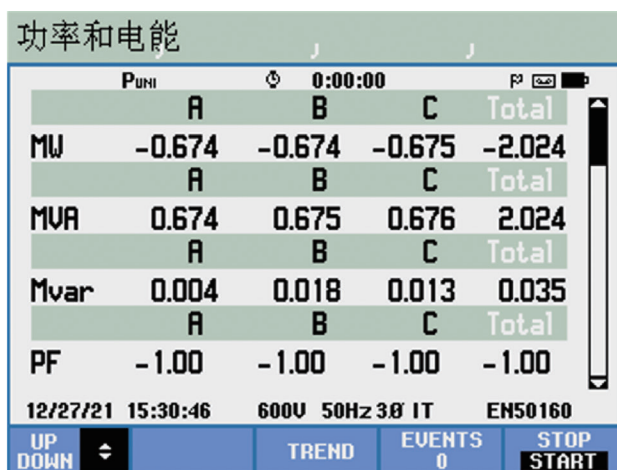
电阶跃功率波形以及电流波形, 由图可知功率响应时间小于10 ms。

应急供电系统试验

在煤矿现场进行了应急供电演练, 演练内容见表2。通过变压器倒变断开1号主变供电, 并断



(a) 充电2 MW

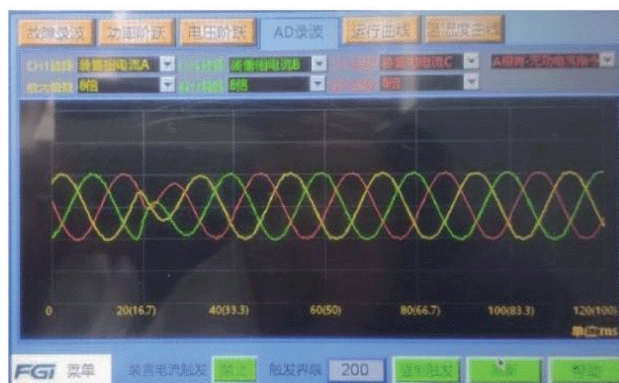


(b) 放电2 MW

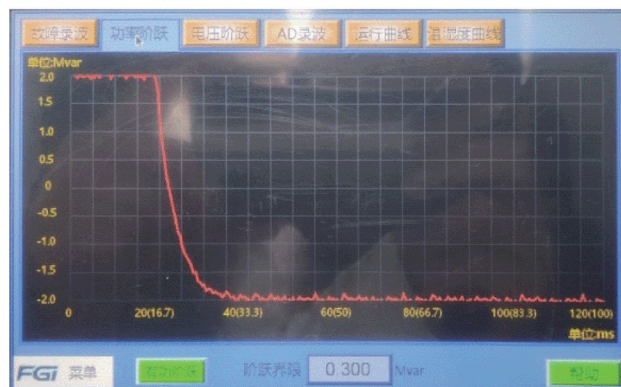
图4 并网充电放电满功率试验



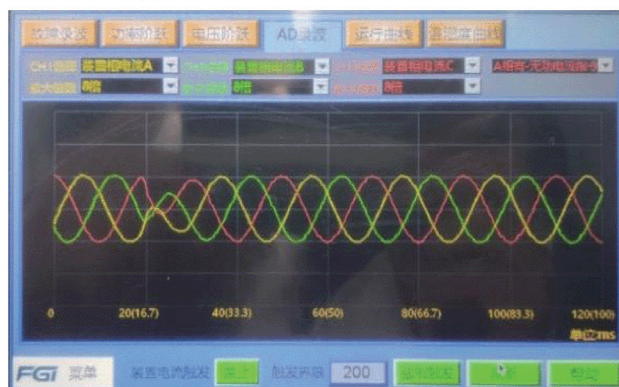
(a) 放电2 MW 阶跃充电2 MW 功率波形



(b) 放电2 MW 阶跃充电2 MW 电流波形

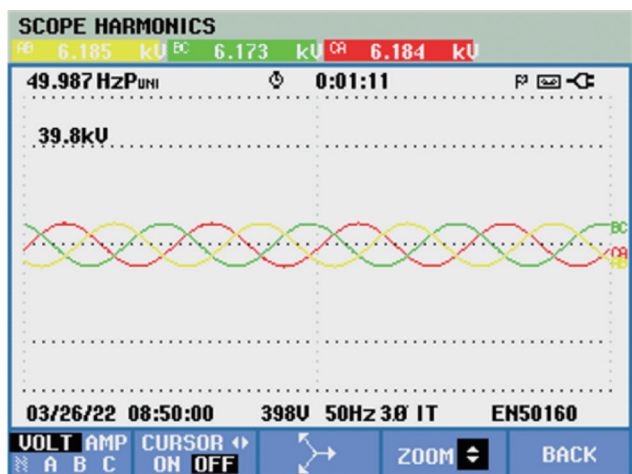


(c) 充电2 MW 阶跃放电2 MW 功率波形

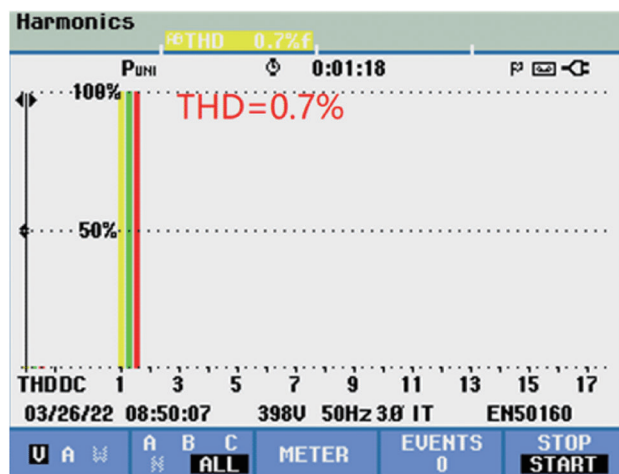


(d) 充电2 MW 阶跃放电2 MW 电流波形

图5 满功率充电放电阶跃功率波形以及电流波形



(a) I段母线电压波形



(b) I段母线电压THD

图6 I段电压波形及THD

表2 演练内容

序号	运行情况	载荷/t	速度/m·s ⁻¹	调试结果
1	2台应急储能系统离网开机			正常
2	主罐运行	空载	3	正常
3	主罐上行	配重 1.5	3	正常
4	边罐上行	配重 1.5	3	正常
5	主通风机	空载		正常
6	主罐上行	配重 1.5	3	正常
7	边罐上行			
8	主通风机退出运行			正常
9	边罐下行	配重 3	3	正常
10	边罐上行		3	正常
11	2号应急供电系统退出			正常
12	边罐下行	配重 3	3	正常
13	边罐上行		3	正常

开母联开关,此时I段母线处于断电状态。启动应急演练2套应急供电系统并联运行在离网模式,为I段母线提供6 kV电压供电,I段电压波形及THD如图6所示,电压幅值和电能质量满足要求。

之后按照演练流程提升机开机,提升机主罐、边罐分别配重交替上下行,运行正常。提升机运行正常后主通风机空载开机,运行正常;在主通风机运行同时进行提升载重上下行,运行正常。主通风机退出运行后提升机载重上下行,运行正常。

为验证单台设备是否满足应急供电需求,在I段母线不失电的前提下2号储能系统退出运行,由1号储能系统单独提供电压支撑,并进行提升机带

载运行,运行结果正常。

应急演练结果表明,在2套应急储能供电系统投入情况下,可实现先带主通风机运行,再带副井双罐提升机运行,能够做到在主通风机运行稳定后,副井双罐提升机罐笼在单层进人情况下以3 m/s速度保障井下人员升井。同时,验证了单套应急储能供电系统也满足主通风机和提升机的应急供电需求。

结 语

通过使用高压级联应急储能供电系统,该煤矿在主变失电情况下,可保证主通风机和副井提升机的可靠供电,降低了矿区关键负荷停电时间,较大程度上提高了矿区生产安全和井下人员生命安全。同时,在主变正常运行时,应急储能可在保证应急供电需求下利用部分容量进行峰谷套利,可进行部分投资成本回收,为使用单位带来了可观的经济收益。

■ 责任编辑:李艾稣

作者简介:

王公华,硕士,高级工程师,从事矿山机电管理工作,现任兖矿能源集团股份有限公司副总工程师。

E-mail: yankuang_wgh@vip.163.com

作者单位:兖矿能源集团股份有限公司