

一种分离型移动式锂离子电池应急储能系统研究

李广涛^{1,2}, 刘红锐², 田刚领¹, 张柳丽¹, 崔美琨¹

(1. 平高集团储能科技有限公司, 天津 300000; 2. 昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 针对部分台区配电网供电可靠性差的问题, 提出了一种车舱可分离的移动式锂离子电池应急储能系统。完成了该应急储能系统的设计, 包括应急储能系统的电池成组方式、结构部分和电气部分的设计, 并给出了系统的控制方法研究。在搭建锂离子电池应急储能系统的测试平台的基础上, 完成了充放电模式下有功功率调节能力测试。测试结果表明, 该锂离子电池应急储能系统的有功功率调节能力符合国标要求, 其功率控制准确度和响应时间基本满足电网调峰调频要求。

关键词: 移动式电化学应急储能系统; 锂离子电池; 系统设计和控制; 测试

Research on a separated mobile lithium-ion battery emergency energy storage system

LI Guangtao^{1,2}, LIU Hongrui², TIAN Gangling¹, ZHANG Liuli¹, CUI Meikun¹

(1. Pinggao Group Energy Storage Technology Co., Ltd., Tianjin 300000, China;

2. Electric Power Engineering, Kunming University of Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor power supply reliability of distribution network in some stations, a mobile lithium-ion battery emergency energy storage system with separable cabin is proposed. The design of this emergency energy storage system is completed, including the design of the battery grouping method, structural part, and electrical part of the emergency energy storage system, and the study of the control method of the system is given. On the basis of building the test platform of the lithium-ion battery emergency energy storage system, the test of active power regulation capability under the charging and discharging modes is completed, and the test results show that the active power regulation capability of the lithium-ion battery emergency energy storage system is in line with the requirements of the national standard, and its power control precision and response time basically meet the requirements of the grid peak and frequency regulation.

Key words: mobile electrochemical emergency energy storage systems; lithium-ion batteries; system design and control; test

0 引言

随着经济的发展和工业水平的进步, 用户对供电质量的要求越来越高, 但很多偏远台区在用电季节高峰期还会存在停电和电能质量差的情

况。应急电源可以在短时间内恢复重要负荷的供电, 在确保供电可靠性方面作用突出^[1]。传统的应急备用电源形式主要有两种: 柴油发电机和铅酸电池储能。柴油发电机存在响应时间慢、不能

实现不间断供电、噪声大、污染大和耗费一次能源等缺点；铅酸电池存在重金属污染、比能量低、寿命短和供电时间短等缺点^[2]。相比于以上两种应急电源形式，基于锂离子电池技术的移动式电化学储能系统结合了锂电池储能的优点，具有能量密度高、响应迅速、配置灵活、可靠性高、污染小以及可实现不间断供电等特点，将会在未来的应急备用电源领域中成为首选。

针对移动式应急储能系统的应用场景不同，其设计和研究也是多种多样。文献[3]根据移动储能系统的功率输出和电池的SOC，设计了一种系统充放电控制策略，经过仿真验证了控制策略的正确性和有效性。文献[4]提出一种基于双电源切换的智能化储能式应急电源系统，对其中的电池管理、能量转移式均衡、电池保护以及双电源自动切换等关键性技术进行了研究设计，通过仿真验证了市电和储能双电源切换的可行性。文献[5]提出一款多电源联合发电移动电源车，其中包括风力发电模块、光伏发电模块、沼气发电模块和储能模块等，并对每个模块进行了详细的设计。文献[6]针对秦皇岛某开闭所新建工程项目，设计开发了一套针对配电网功率扰动问题移动储能车，基于配电网自律管控思想，研究配电网可控资源平抑区域功率扰动的自律运行策略。文献[7]提出一种基于用ARM处理器移动储能设备远程监控系统，可以实现人机交互、数据采集和数据传输多种功能，有效提高移动储能设备的远程实时监管能力。文献[8]分析了福建省某茶区的季节性负荷特性，提出一种移动储能电站，经过现场测试分析，有效缓解了因季节性负荷所带来的功率不平衡问题。文献[9]提出一种接入储能移动方舱的拓扑与电压控制方案，经过仿真验证了所提方案的有效性与可行性。

上述部分多数是针对应急储能系统理论性研究，而对工程应用实际的设计研究较少。本文提出一种分离型移动式锂离子电池应急储能系统，系统包含电池系统、储能变流器、电池管理系统、能量管理系统、热管理系统、消防系统及相关辅助设施等，依托平高集团储能科技有限公

司，对所提出的应急储能系统进行设计和实现。

1 分离型移动式电化学应急储能系统设计

1.1 锂离子电池成组模型设计

本文设计的电池系统采用磷酸铁锂电池，该电池具有放电倍率大、比能量高、循环寿命长、自放电率低和安全性高等特点，是目前应用最广泛的电化学储能电池之一。如图1所示，本文设计的锂离子蓄电池成组模型为16个电芯串联组成电池模组，将模组安装在金属PACK内组成电池插箱，15个电池插箱串联组成电池簇，3簇电池并联于直流母线上形成电池阵列。

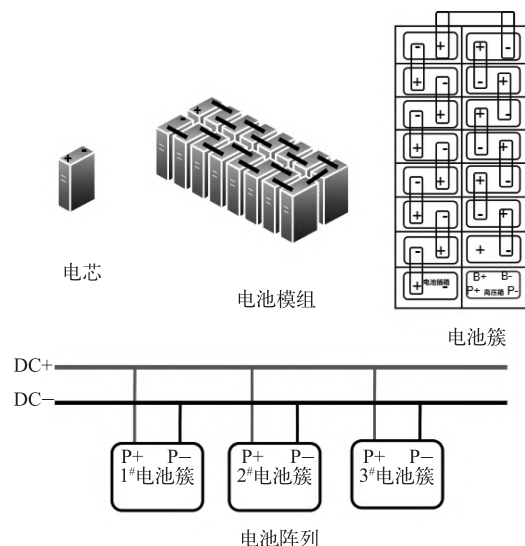


图1 电池成组模型

Fig. 1 Battery grouping model

本设计所使用的磷酸铁锂电芯容量为220 A·h，标称电压3.2 V，电芯间采用铝排连接，电池插箱标称电压为51.2 V，插箱间采用软铜排连接，电池簇标称电压为768 V，采用EV电缆连接至直流母线。整个电池系统采用1C的充放电倍率，锂离子蓄电池成组模型参数见表1。

表1 锂离子蓄电池成组模型参数

Tab.1 Battery system parameters

序号	项目	标称电压/V	成组方式	容量/(kW·h)	功率/kW
1	电池模组	51.2	1P16S	11.3	11.3
2	电池簇	768	1P240S	169	169
3	储能系统	768	3P240S	507	507

1.2 结构布局设计

本文提出的分离型移动式储能系统采用步入式的结构设计,分为电池室和电气室两部分,如图2所示。电池室内主要由电池簇、风道、空调系统、控制柜、消防系统和配套辅助设备等组成,电气室主要由500 kW储能变流器(Power Conversion System, PCS)、电气柜、接口柜、直流充电桩和配套辅助设备等组成。空调器嵌入在舱体一端门内,空调器出风口与风道连接处采用软连接。该结构设计将上述设备有机地集成到一个标准的单元中,电池室与电气室采用防火墙进行隔离。当电池室发生火灾时,可以有效防止火灾蔓延,增强系统的安全性。

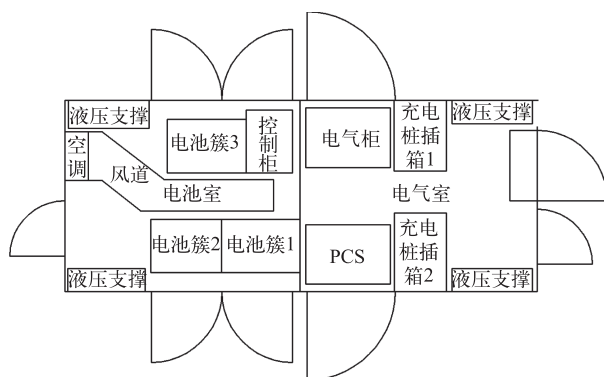


图2 舱体结构布局

Fig. 2 Layout of the cabin structure

本文提出的分离型移动式储能系统,车舱分离原理为:舱体四角设有开口朝外的液压支撑安

装凹槽,舱体在车载过程时液压支撑内嵌在安装槽内,在需要车舱分离时将其从安装槽内转出,通过液压泵机控制液压支腿升高支撑起舱体,车从舱体下驶出即可完成车舱分离,装车时操作相反。液压支撑模型如图3所示。

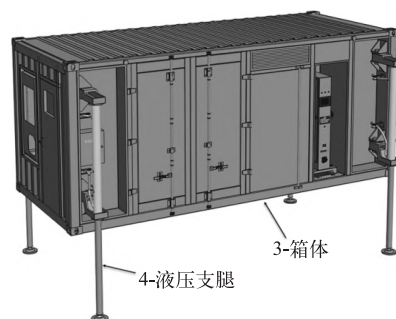


图3 液压支撑模型

Fig. 3 Hydraulic support model

1.3 电气设计

如图4所示,3簇电池分别通过高压箱接入直流母线,储能变流器作为系统交直流变换枢纽,交直流侧分别接入交流母线和直流母线,两个大功率双向DC/DC模块与充电桩接口和直流补电接口连接,用于直流侧能量控制。交流母线每相串联的反并联晶闸管两侧分别接入电网接口和负荷接口,用于交流侧并网切换及电能控制。电网接口与负荷接口间接入旁路开关QF₃,用于系统故障时的旁路检修。图4中QF代表断路器,KM代表接触器。

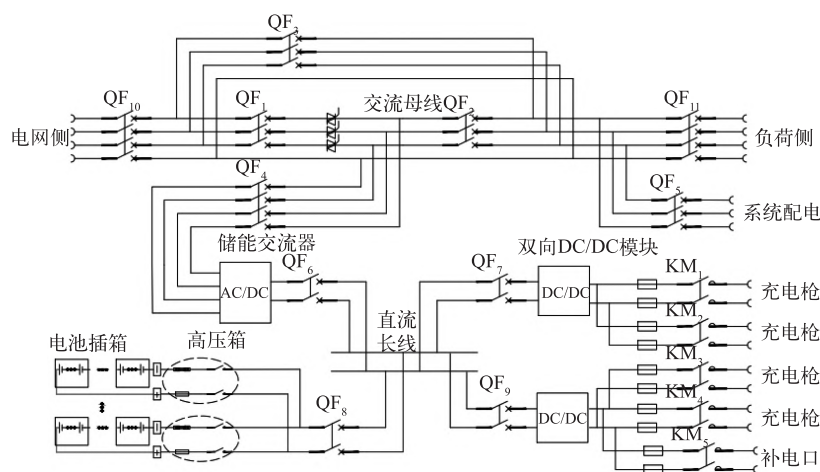


图4 系统电气主回路

Fig. 4 Electrical main circuit of the system

系统配电通过断路器 QF_5 直接接入主回路交流母线,根据系统配电负荷分类的不同将配电负荷分为两类:第一类负荷是三相交流380 V负荷,液压泵机通过 QF_{12} 接入三相交流电;第二类负荷是单相交流220 V负荷,经隔离变压器(NDK)将交流380 V转化为交流220 V。一路

通过 $1QF_8$ 接插座、电池簇风扇电源、空调器、应急照明和照明等,另外一路通过不间断电源系统(UPS)接插座、开关电源、BMS电源、消防风机和控制柜等。其中通过UPS供电的是涉及系统黑启动、消防等需要不间断供电的重要配电负荷。系统配电回路如图5所示。

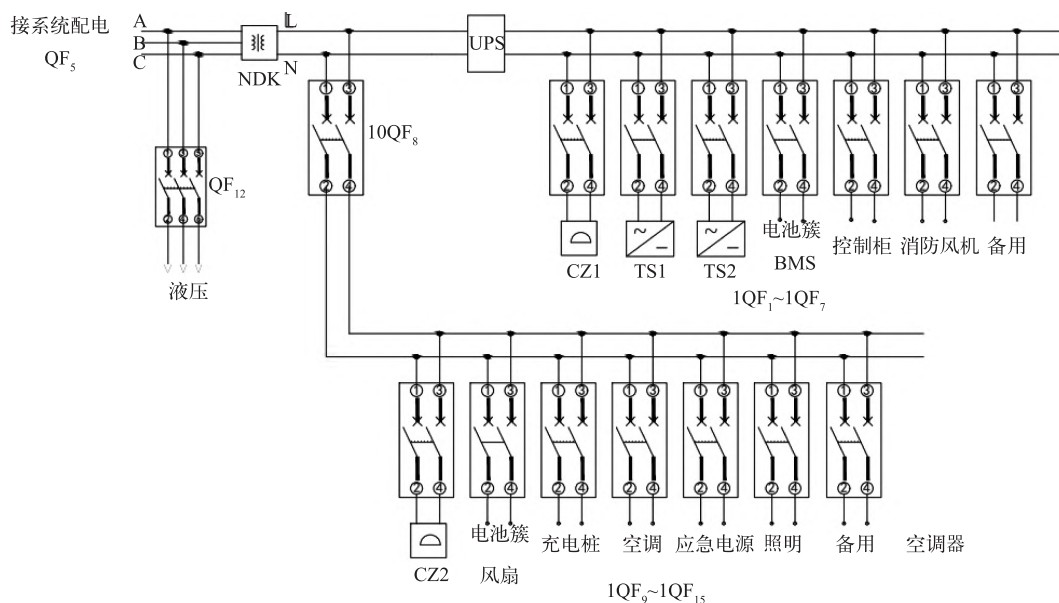


图5 系统配电回路

Fig. 5 Power distribution circuits of the system

2 移动式储能系统应用切换控制方法

根据图4电气主回路中的开关状态,本文所设计的移动式储能系统有8种应用模式,见表2。分别为并网储能模式、充电桩模式、应急充电桩模式、配电网增容模式、柴油发电机替代模式、应急保电模式、直流补电模式和旁路检修模式。其中1代表开关闭合,0表示开关断开, QF_5 作为系统的配电总开关,运行过程是常闭的塑壳断路器,模式切换无须控制。

系统的应用模式控制方法如图6所示。首先在负荷或电网接入系统的基础上启动辅助电源,确认各个模块通信和状态是否正常。随后根据应用场景选定应用模式,按照一定顺序依次闭合该应用模式下各个开关,设置参数并下发后,系统正常运行。如需切换模式,将系统切换至待机模式,重新选定模式后进行操作。

表2 应用模式开关状态

Tab. 2 Application mode switch status

QF_1	QF_2	QF_3	QF_4	QF_6	QF_7	应用模式
1	0	0	1	1	0	并网储能
1	0	0	1	1	1	充电桩
0	1	0	1	1	1	应急充电桩
1	0	0	1	1	0	配电网增容
0	1	0	1	1	0	柴油发电机替代
1	1	0	1	1	0	应急保电
0	1	0	1	1	0	直流补电
0	0	1	0	0	0	旁路检修
QF_8	QF_9	QF_{10}	QF_{11}	KM_{1-4}	KM_5	应用模式
1	0	1	0	0	0	并网储能
0	1	1	0	1	0	充电桩
1	1	0	0	1	0	应急充电桩
1	0	1	0	0	0	配电网增容
1	0	0	1	0	0	柴油发电机替代
1	0	1	1	0	0	应急保电
1	1	0	0	0	1	直流补电
0	0	1	1	0	0	旁路检修

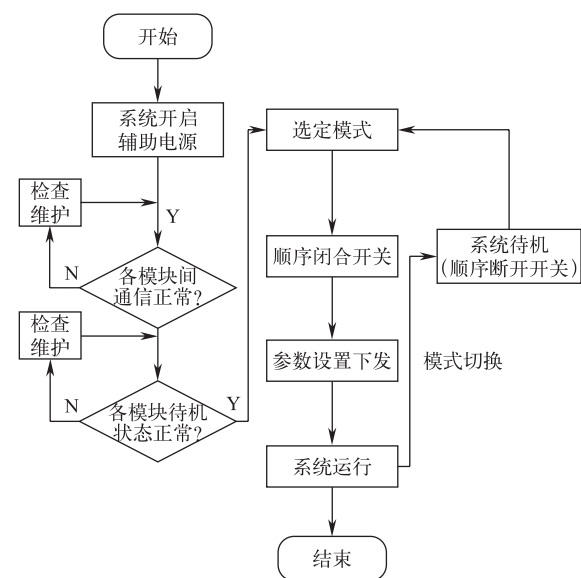


图 6 应用模式控制方法
Fig. 6 Application mode control methods

3 系统有功功率调节能力测试

针对设计的移动式锂离子蓄电池储能系统搭建测试平台，进行有功功率调节能力测试，包括升功率测试和降功率测试。

3.1 升功率测试

升功率测试过程：设置系统有功功率为 0，逐级调节有功功率设计值为 $-0.25P_N$ 、 $0.25P_N$ 、 $-0.5P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $-0.75P_N$ 、 $0.75P_N$ 、 $-1.0P_N$ 、 $1.0P_N$ 。每个功率点保持 1 min，测试过程中记录实测曲线如图 7 所示。

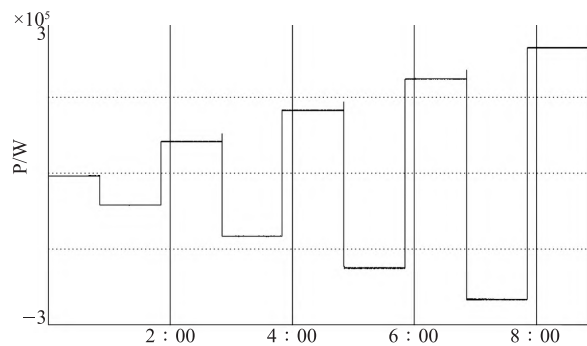


图 7 实测曲线
Fig. 7 Measured curve

升功率测试下各点有功功率控制准确度、响应时间和调节时间见表 3。

表 3 升功率测试数据

Tab. 3 Power up test data

目标值	实测功率 / kW	控制准确度 (%)	响应时间 / s	调节时间 / s
$-0.25P_N$	- 63.12	- 0.25	0.023 5	0.070 5
$0.25P_N$	62.2	- 0.12	0.147	0.281 6
$-0.5P_N$	- 124.7	0.12	0.095 9	0.182 3
$0.5P_N$	124.2	- 0.32	0.109 3	0.199 1
$-0.75P_N$	- 188	- 0.2	0.057 2	0.145
$0.75P_N$	186.5	- 0.4	0.054 5	0.130 4
$-P_N$	- 249.9	0.04	0.054 9	0.141 1
P_N	248.1	- 0.76	0.053 7	0.148 6

3.2 降功率测试

降功率测试过程：设置系统有功功率为 $1.0P_N$ ，逐级调节有功功率设计值为 $-1.0P_N$ 、 $0.75P_N$ 、 $-0.75P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $-0.5P_N$ 、 $0.25P_N$ 、 $-0.25P_N$ 和 0。每个功率点保持 1 min，测试过程中记录实测曲线如图 8 所示。

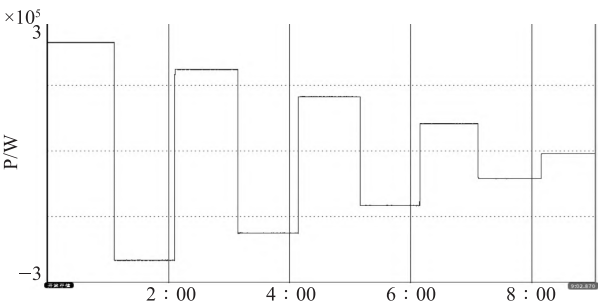


图 8 降功率测试曲线

Fig. 8 Power down test curve

升功率测试下各点有功功率控制准确度、响应时间和调节时间见表 4。

表 4 降功率测试数据

Tab. 4 Reduced power test data

目标值	实测功率 / kW	控制准确度 (%)	响应时间 / s	调节时间 / s
P_N	248	- 0.8	0.060 6	0.137
$-P_N$	- 249.8	0.08	0.051 1	0.163
$0.75P_N$	186.3	- 0.48	0.056 9	0.145 4
$-0.75P_N$	- 187.7	- 0.08	0.095 8	0.172 9
$0.5P_N$	124	- 0.4	0.092 9	0.178 7
$-0.5P_N$	- 124.8	0.08	0.144 3	0.230 6
$0.25P_N$	62.3	- 0.08	0.027 2	0.197 5
$-0.25P_N$	- 63.2	- 0.28	0.017 8	0.153

系统通过有功功率调节测试,其响应时间和调节时间均满足GB/T 36547—2018《电化学储能系统接入电网技术规定》中储能系统功率控制的充放电响应时间不大于2 s,充放电调节时间不大于3 s的规定,其功率控制准确度满足GB/T 36547—2018《电化学储能系统接入电网技术规定》中,系统实际出力与指令不大于 $\pm 2\%$ 额定功率的要求^[12]。

4 结束语

本文设计的分离式移动式电化学储能系统可实现车舱便捷分离,设备闲置时可当作固定储能设备使用,可为医院、充电站等作为备用电源,需要应急救援时,可实现快速装车,迅速达到应急供电目的,有效提高设备利用率,且具备电动汽车应急充电、不间断供电等多种功能。通过测试可知,系统功率控制准确度在0.8%以内,有功功率响应时间在0.15 s以内,有功功率响应时间在0.3 s以内,基本满足电网调峰调频有功功率响应要求。应急储能系统在用电季节高峰期可以接入台区配电网,起到短时功率支撑的作用,另外在设备闲置的情况下还可以进行电动汽车道路救援,作为备用电源等。

参考文献

- [1] 李建林,黄健,许德智.移动式储能应急电源关键技术研究[J].浙江电力,2020,39(5):10-11.
- [2] 付国强.智能化储能式可移动应急电源系统的研究与设计[D].北京:华北电力大学,2015.
- [3] 郭振.移动储能应急电源系统的研究与应用[D].杭州:浙江工业大学,2020.
- [4] 杨艺云,张阁,彭建华,等.基于智能化储能式应急电源系统的设计研究[J].电源技术,2016,40(1):153-156.

- [5] 包润民.风光沼移动电源车的设计与研究[D].北京:华北电力大学,2018.
- [6] 赵越.移动储能系统设计开发及参与配电网扰动平抑策略研究[D].秦皇岛:燕山大学,2020.
- [7] 梁斌,刘广军,裴泽全,等.移动储能设备远程监控系统的设计与实现[J].机电一体化,2017(2):42-46.
- [8] 林飞武,吴文宣,蔡金锭,等.移动式储能装置在季节性负荷侧的应用研究[J].电力与电工,2013,339(1):1-16.
- [9] 叶海涵,陈武,郝文波,等.一种多能源接入储能移动方舱的电压控制方法[J].浙江电力,2021,40(4):72-81.
- [10] 全国电力储能标准化技术委员会.移动式电化学储能系统技术要求:GB/T 36445—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [11] 全国电力储能标准化技术委员会.电化学储能系统接入电网技术规定:GB/T 36547—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

作者简介

李广涛(1995—),男,本科,助理工程师,研究方向为电力电子与电力传动、储能技术。

刘红锐(1982—),女,博士,教授,研究方向为电力电子与电力传动、电动汽车动力蓄电池管理系统、串联蓄电池均衡技术。

田刚领(1997—),男,博士,教授级高工,研究方向为储能技术。

张柳丽(1984—)女,硕士,高级工程师,研究方向为储能技术。

崔美琨(1996—)女,本科,助理工程师,研究方向为储能电池管理系统。

(收稿日期:2023-09-13)