

电动汽车动力电池回收梯度利用储能系统方案研究

丁霄寅 徐学钊

(国网浙江省电力公司衢州供电公司, 浙江省 衢州市 324000)

【摘要】 到2020年,我国电动汽车将超过500万辆。根据行业一般要求来说,动力电池的平均放电容量低于额定容量的80%就需要正常退役。按目前发展趋势,到2016—2018年就有上万吨动力电池退出市场,迎来动力电池集中退役的巨大压力。利用“互联网+”思维,研究电动汽车动力电池回收梯度利用储能系统,将电动汽车淘汰下来的大量锂电池有效利用起来,使储能系统成本大幅下降,从而彻底解决电网的分布式深度调峰调频和风光电可再生能源的波动问题,可以进一步确立储能技术在电网中的独特作用,为建立智能电网打下坚实的基础。另外,大量淘汰下来的汽车电池存放也是一个很大的问题,若能将其利用起来、发挥其剩余能量的价值,能为社会创造一大笔财富。

【关键词】 电动汽车 动力电池回收 梯度利用 储能系统

0 引言

随着国民经济的发展及人们生活水平的提高,用电结构存在巨大差异,用电负荷峰谷值差距越来越大,东西部地区用电不均,局部地区出现弃光弃风限电等严重问题。电力资源合理利用和整合的技术问题已经迫在眉睫,刻不容缓。

在各种储能技术中,锂电池的储能系统具有性价比高,技术成熟等优势,但由于造价过高,投资回报率长等因素,导致锂电池储能应用受到极大的限制。

然而,随着全球能源危机不断加深,石油资源日益枯竭,大气污染严重,电动汽车逐渐取代了传统能源汽车成为人们日常出行的交通工具,根据行业一般要求来说,动力电池的平均放电容量低于额定容量的80%就需要正常退役。据数据显示,2016—2018年将有数万吨动力电池退出市场,因此动力电池的回收和再利用问题也随之提上日程。

电动汽车动力电池储能系统技术能够以低成本构建储能系统,它能够将电能高效的存储到回收的电动汽车动力电池中,并在需要时快速转换成所需的能量。因此,本文将对这种梯度利用技术方案进行研究。

1 研究背景

近年来,国家不断加大对电动汽车及充电基础设施的政策支持,从顶层设计、政策支持等方面进行规划部署,电动汽车迎来了快速发展时期,预计到2020年,电动汽车存量大于500万辆。

随着电动汽车的飞速发展,动力电池(尤其是锂电池)的回收和再利用问题也日渐提到研究日程上来。淘汰下来的动力电池还会保有不足80%左右的可用容量,但是其性能不一致性非常严重,电池剩余容量与寿命难以估计,使得淘汰的动力电池大规模集中使用变得非常困难,社会将迎来动力电池集中退役的巨大压力。

随着国民经济的发展及人民生活水平的提高,用电结构发生了很大变化,不仅仅用电负荷峰值和

谷值的差距越来越大,东部发达地区和西部发展中地区的用电也差距越来越大。因此电网的深度调峰调频能力显得十分必要,必须在高负荷地区建设调峰调频组合电源。另外我国风能和太阳能资源富集区域多集中于西北、东北等地,本地电力负荷有限,而我国70%以上的能源需求集中在东中部地区,这些电力必须通过远距离高压输送才能到东部负荷中心。由于风能、太阳能的间歇性、随机性,大规模风电、光伏发电接入电网,使电网面临系统备用容量和调峰电源、暂态稳定性和频率稳定性、安全性、电能质量等巨大挑战。正因如此,随着我国光伏和风电的快速增长,局部地区的弃光弃风限电问题日趋严重,有些地区甚至超过30%。并网和消纳问题已经成为制约我国风电和光伏发电持续健康发展的重要因素。而储能技术将解决电网的深度调峰调频能力和风光电的间歇性波动问题,实现远近配合互补,促进电能结构的调整,既确保电网的安全经济优质运行、保证可靠供电、满足经济发展和人民生活用电,又可以促进可再生资源和清洁能源的优化利用,提高电网的整体效益和竞争力。

储能技术是将电能转换成其他便于存储的能量高效存储起来,在需要时,将所存储的能量方便地转换成所需形式能量的一种技术,是智能电网最迫切需要解决的问题。它包括两个方面的内容:一是高效大容量存储能量的方法;二是快速高效的能量转换。储能装置应用于电力系统是“智能电网”发展的需要。传统电力系统遵循电能生产—传输—使用的模式运行,储能技术的应用可以在这个系统中增加一个具有“存储”电能的环节,使原来几乎完全“刚性”的系统变得“柔性”起来,电网运行的安全性、经济性、灵活性也会因此得到大幅度的提高。在用户侧使用储能技术,可以充分发挥电能的良好特性,如洁净、便于收集、容易高效地转换成多种其他形式的能源等特性,实现用传统能源系统很难实现,甚至不能实现的功能。因此,储能技术有助于电网接纳可再生能源发电、有效抑制间歇性电源的波动、实现用户端电能管理、减小峰谷差、提高能源利用效率、提高电网的安全稳定运行。此外,储能设备也可以解决后备电源问题,为重要用户提供可靠的供电。

2 总体方案研究

2.1 方案概述

本方案基于动力电池梯度使用来构建中小型储能单元,并在此基础上组网构成大型储能系统,利用峰谷电价差异或弃风弃光的能量对废旧动力电池进行充放电(谷充峰放),并将以“分散安装、集中控制”为原则进行设计。

2.2 方案的优点

(1) 利用废旧动力电池构建的储能系统大大降低了系统成本,利用峰谷差价减少用户用电费用,同时解决最大用电需量限制,也为创立一种新的储能系统盈利模式打下基础。

(2) 为了解决废旧电池均一性较差、维护困难的问题,本方案不同于以往的集中式大规模使用锂电池的模式,以多个中小功率储能单元(其功率范围可比较灵活,5~20kW/10~150kWh,以电动汽车所用电池模块为基准)为核心构建大型储能系统,从客观上:便于废旧电池进行分组管理,解决了均一性较差的问题;储能单元功率较小,便于电池管理系统对电池进行均衡管理,大大减少系统的维护时间并保证废旧电池的安全使用;在系统运行时通过监控单元将电池的SOC范围设定在30%~80%之间,这样将大大延长电池使用寿命。

(3) 以“分散安装、集中控制”为系统设计原则,即减少了对储能系统安装场地面积的需求,另又可集中接受上级监控单元下发的统一调度指令进行协调运行,便于用户甚至是电网调度中心统一调配,实现和大型集中性储能系统的同样功能。同时,由于其安装地点分散,所需基本储能单元数量较多,客观上也为构建新能源互联网打下基础。

(4) 配合光伏、风能等间歇性能源使用,形成自发自用模式,也可将由限电造成的弃风弃光能量储存在电池中,再根据需求释放给负载,缓解资源的浪费。

梯度利用方案与常规电池储能的比较如图1所示。

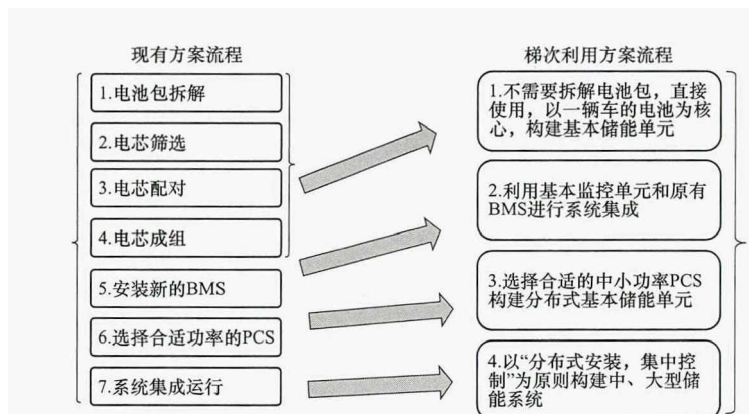


图 1 市场现有动力电池方案和梯度利用方案比较

2.3 系统构架方案

单个分布式储能系统将由退役汽车动力电池、双向储能逆变器和能源管理系统组成，能源管理系统通过以太网连接到网络监控平台，形成“分散安装、集中控制”的大型储能系统。

分布式储能系统构架如图 2 所示。

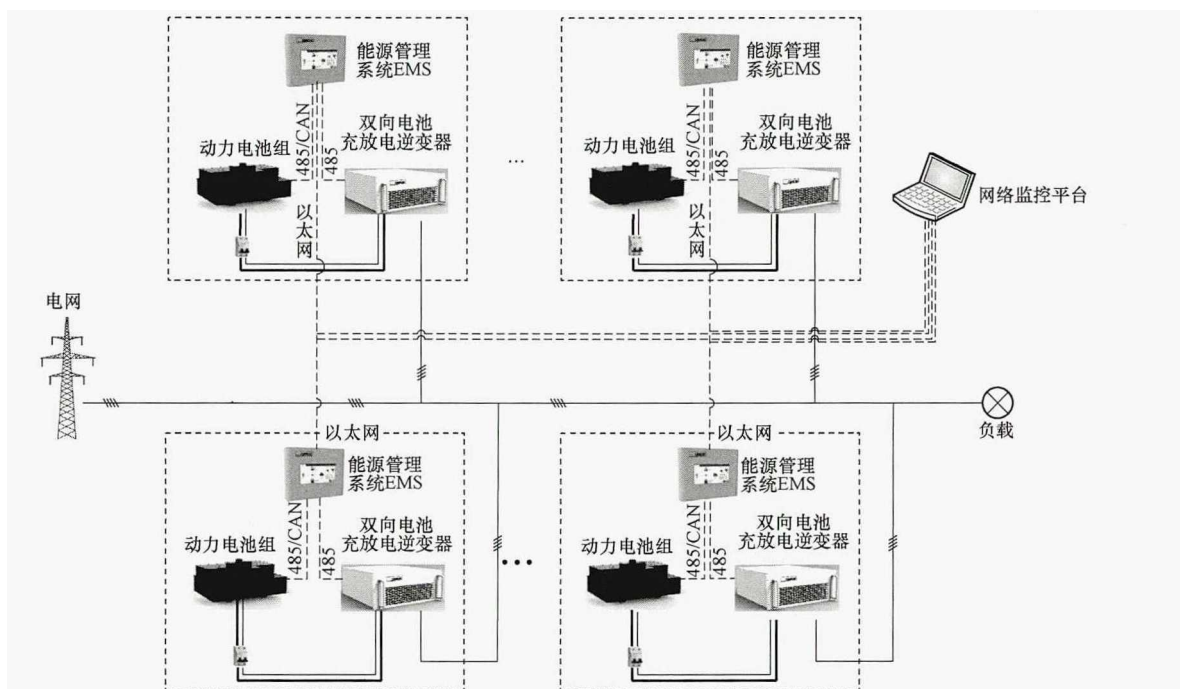


图 2 分布式储能系统构架图

2.4 削峰填谷运行模式

(1) 白天：储能系统以需求功率向负载供应能量，以减少用户在用电高峰时的电费，若供电能量不足可由电网补充供电，如图 3 所示。

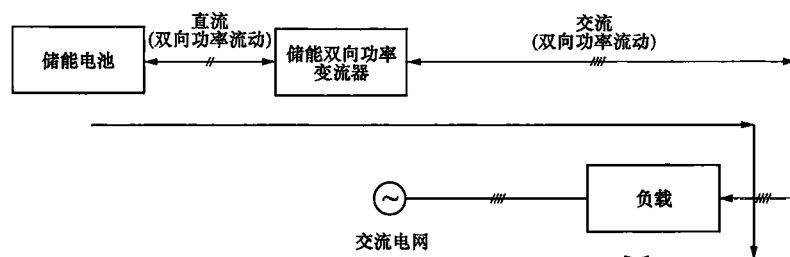


图 3 削峰填谷运行模式一

(2) 夜晚：电网通过储能系统对电池进行充电，此时负载由电网供电，如图 4 所示。

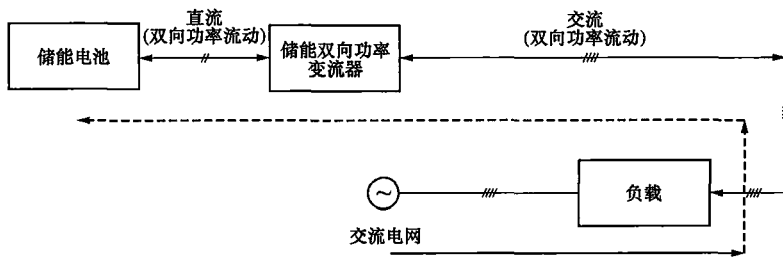


图 4 削峰填谷运行模式二

2.5 动力电池再利用完整流程示意图

动力电池再利用完整流程示意图如图 5 所示。

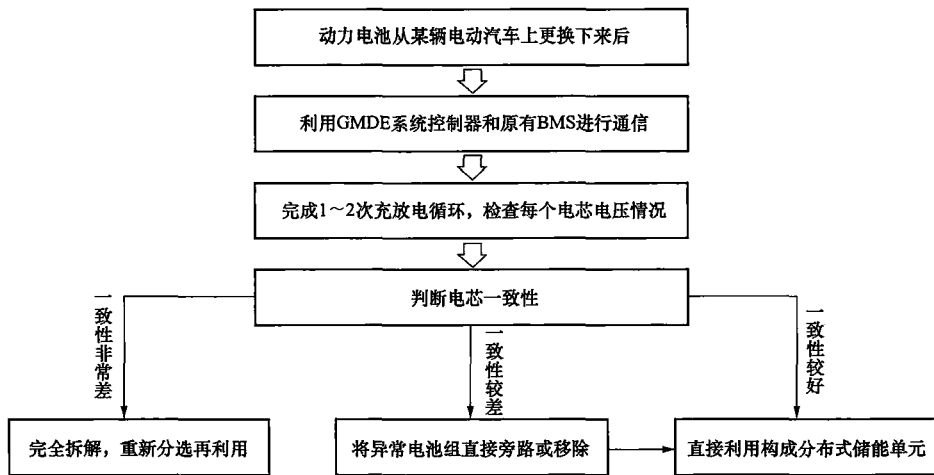


图 5 动力电池再利用完整流程示意图

3 方案经济效益分析

以一套在上海地区运行的 100kWh 电池系统（相当于 20 套 80V 60Ah 储能系统）来说明运行情况，并在此基础上做经济性分析，如表 1 所示。

表 1 上海市非居民用户电价表

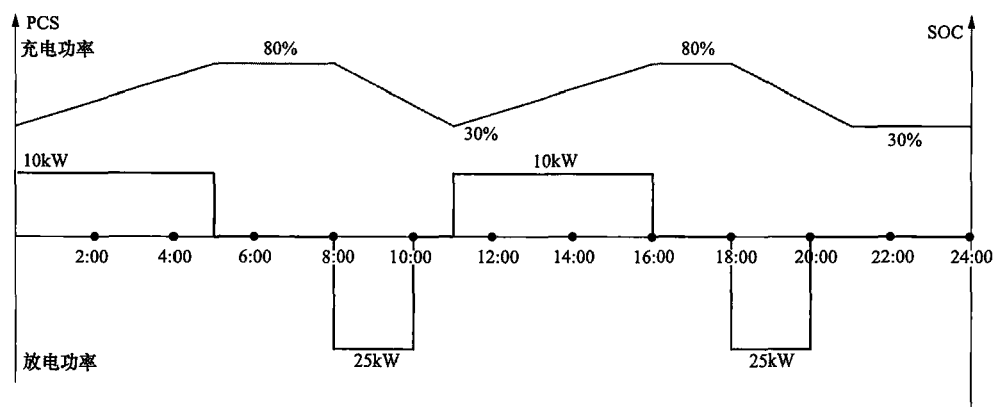
上海市非居民用户电价表（分时）				
单位：元/kWh				
用电分类			电度电价	
			非夏季（9 个月）	夏季（3 个月）
			<1kV	<1kV
两部制	工商业及其他用电	峰时段	1.252	1.287
		平时段	0.782	0.817
		谷时段	0.370	0.305

注 分时电价时段划分为：

- (1) 两部制非夏季：峰时段（8—11 时、18—21 时），平时段（6—8 时、11—18 时、21—22 时），谷时段（22 时—次日 6 时）；
- (2) 两部制夏季：峰时段（8—11 时、13—15 时、18—21 时），平时段（6—8 时、11—13 时、15—18 时、21—22 时），谷时段（22 时—次日 6 时）。

假设该储能系统的锂电放电深度（DOD）为 50%，系统转换效率为 92%，电池系统总容量为

根据表 1 的分时电价情况, 该储能系统在非夏季 (持续 9 个月) 24h 内的运行情况如图 6 所示 (2 个充放电循环)。



此时,对应的节电费用如表2所示(每日2个充放电循环,首次循环谷时充电/峰时放电,二次循环平时充电/峰时放电)。

时间	0~5	5~8	8~11	11~18	18~21	21~22	22~24	9 个月 (元)
TOU 非夏季	谷	平	峰	平	峰	平	谷	
电价 (元)	0.370	0.782	1.252	0.782	1.252	0.782	0.370	
容量 (kWh)	50	0	46	50	46	0	0	15602

此时,对应的节电费用如表3所示(每日3个充放电循环,首次循环谷时充电/峰时放电,第二、第三次循环平时充电/峰时放电)。

时间	0~5	5~8	8~11	11~13	13~15	15~18	18~21	21~22	22~24	3 个月 (元)
TOU 非夏季	谷	平	峰	平	峰	平	峰	平	谷	
电价 (元)	0.305	0.817	1.287	0.817	1/287	0.817	1.287	0.817	0.305	
容量 (kWh)	50	0	46	40	37	50	47	0	0	6955

若进一步考虑最大需量费用,通常情况下用户用电最大功率出现时间即为电费峰值期间,按照上述计算,每月可减少最大需量 25kW (削峰值),即利用该系统每年最大需量可节约 $42 \times 25 \times 12 = 12600$ 元/年(上海地区最大需量电价 42 元/kW/月)。

综上所述,采用该系统后用户的年度收益为 35157 元,预计 3 年可收回投资成本。

4 方案配置

以一套 500kWh 电池储能系统为例(相当于 100 套 80V 60Ah 电池),系统主要设备配置清单见表 4。

表 4 系统配置清单

项目	规格	数量
电池包	80V 60Ah 退役动力电池	100
电池 BMS		100
双向电池充放电逆变器	GEatom306KHF	100
能源管理系统	GMDE EMS	100

5 关键设备参数方案

5.1 双向电池充放电逆变器

5.1.1 性能特点

- (1) 支持直流/交流双向功率流动功能;
- (2) 模块化设计,易于功率扩展;
- (3) 高转化效率 $>93\%$ 。

5.1.2 技术参数

双向电池充放电逆变器技术参数见表 5。

表 5 双向电池充放电逆变器技术参数

型号	GEatom 306KHF
电池侧特性(直流)	
电池运行电压范围 [Vdc]	40~100
充放电截止电压 [Vdc]	在输入电压范围内可根据实际的电池配置进行调节
电池组串数量	1
最大放电功率 [kW/String]	6
最大放电电流 [A/String]	60
最大充电功率 [kW/String]	4.5
最大充电电流 [A/String]	45
并网侧特性(交流)	
额定功率 [kW]	5.7
额定电压 [Vac]	400
工作电压范围 [Vac]	324~436, 437~460 (<10min)
额定工作频率 [Hz]	50
工作频率范围 [Hz]	47.55~51.45
额定输出电流 [A]	8.3
最大输出电流 [A]	9

续表

功率因数 $[\lambda]$	$[-0.95, 0.95]$
输出电流谐波 (100%满载)	$<3\%$
其他特性	
转换效率	$>93.5\%$
工作温度范围 $[^{\circ}\text{C}]$	$-25\sim 60$ (>45 降额)
防护等级	IP20
安装方式	机柜安装式
尺寸 $[W \cdot H \cdot D, \text{mm}]$	$603 \times 238 \times 577$

5.2 能源管理系统

此小型储能系统的集控中心,将采用高级嵌入式 Linux 系统技术用于监控储能变流器、电池、负载甚至新能源如光伏的运行状态,并根据用户设定的控制策略进行集中最优化控制,同时通过和电池 BMS 的通信自动实现对电池进行维护,让电池工作于良好状态,最终将整个系统的运行状况实时显示到触摸屏上,方便终端用户操作使用。

监控单元具有 RS485、CAN、以太网、USB 等多种工业接口,扩展性强,采用多线程并行通信技术,能长期存储历史运行数据,非常适合以新能源为核心的微网系统的集中控制。EMS 将专业技术参数转化成直观易懂的人机界面,直接面对终端用户,用户可以随时查看系统的运行状况,如图 8 所示。



图 8 能源管理系统示意图

5.2.1 技术参数

- (1) 通过触摸屏实时显示各种设备运行状态和历史数据曲线。
- (2) 集成以太网、wifi、USB、RS485、RS232、CAN、microSD 等多种接口,可以连接各种设备。
- (3) CPU 等硬件资源速度快,通信接口速率高,响应速度快,接口众多,通过开发软件可以扩展更多功能,适应各种应用场合。
- (4) 曲线数据和记录数据可以导出到优盘、microSD 卡,也可以上传到上位机。
- (5) 通过以太网或 wifi 连接到上位机或智能终端,通过上位机或智能终端可以查看运行状况,也可以操作设备。
- (6) 超大存储容量,可以保存 50 年以上数据。

- (7) 体积小巧,方便安装到各种场合,功耗低于 5W。

5.2.2 网络级监控系统

基于互联网的图形监控系统,其核心功能为数据收集、数据分析、储能系统控制策略的制订实施:

(1) 数据收集:接收各个基本储能单元上传的电池、逆变器、各监测单元收集上来的各种信息并归纳到相应的数据库中进行数据存储。

(2) 数据分析:对收集上来的各种数据进行分析,以实现用电负荷分析、负荷预测、电网电能质量评估等功能。

(3) 储能系统控制策略的制订,根据不同的用户需求会有不同的系统控制策略:a. 电网系统调度:通过调整各个基本储能单元的有功、无功输出改善电网电能质量如功率因数、频率/电压稳定等。b. 用户系统控制策略:主要包括以下五类功能,用户需量管理、削峰填谷、新能源自发自用、改善电能质量、电网故障时提供紧急电源。

6 结论

通过本方案的研究发现,各种储能技术中,基于锂电池的储能系统具有性价比高、技术成熟,被认为是最有广泛应用前景的储能形式。但是,目前锂电池储能系统造价仍然过高,投资回报率过长,盈利模式不清晰等客观因素导致锂电池储能系统的应用受到极大的限制。但是随着电动汽车的快速发展,将电动汽车淘汰下来的大量锂电池有效利用起来,使得储能系统成本大幅下降,从而将彻底解决电网的分布式深度调峰调频和风光电可再生能源的波动问题,进一步确立了储能技术在电网中的独特作用,为建立智能电网打下坚实的基础。另外,大量淘汰下来的汽车电池存放也是一个很大的问题,若能将其利用起来、发挥其剩余能量的价值,也能为社会创造一大笔财富。

参考文献

- [1] 余海军,谢英豪,张铜柱.车用动力电池回收技术进展[J].中国有色金属学报,2014,24(2):448-459.
- [2] 朱广燕,刘三兵,海滨,等.动力电池回收及梯次利用研究现状[J].电源技术,2015,39(7):239-241.
- [3] 黎宇科,郭森,严傲.车用动力电池回收利用经济性研究[J].汽车与配件,2014,24(24):48-51.
- [4] 谢光炎,凌云,钟胜.废旧锂离子电池回收处理技术研究进展[J].环境科学与技术,2009,32(4):97-101.
- [5] QC/T 743—2006,电动汽车用锂离子蓄电池[S].
- [6] 方海峰,黎宇科,黄永.电动汽车废旧动力蓄电池的回收利用技术及发展[EB/OL].<http://www.nevfocus.com/news/20110321/2104.html>, [2014-12-12].
- [7] 黎宇科.有效利用并完善我国车用动力电池回收体系[J].低碳世界,2012(5):30-31.
- [8] 王泽众,李家辉.电池梯次利用储能装置在电动汽车充换电站中的应用[J].自动控制系统与装置,2012,34(6):49-56.
- [9] 李伟姣.锂电池的回收与处理技术分析[D].湖南:湖南工学院,2012:10-11.
- [10] 张海燕.动力电池回收再利用体系建设迫在眉睫[EB/OL].http://www.evtimes.cn/html/201303/43868_2.html, [2013-03-28].

作者简介

丁霄寅(1986—),男,工程师,从事电力营销项目和智能用电管理工作。

徐学钊(1979—),男,高级工程师,从事电力营销管理工作。