

储能电站电源管理系统研究

陈鹏^a,朱智富^b,黄福闯^a,张洪信^a

(青岛大学 a. 机电工程学院; b. 物理科学学院, 山东 青岛 266071)

摘要:通过研究储能电站的电源管理系统,解决储能电站电池 SOC 的预测、电池组充放电控制、电池组均衡控制以及分布式储能系统管理等问题。采用 PSO-BP 神经网络算法对电池 SOC 进行预测。仿真结果表明:该算法对非线性函数具有较高的拟合能力,预测输出和期望输出间最大误差 <0.015 。对储能电站进行功率特性和均衡特性实验,实验结果表明:电源管理系统可以实现对电池组的充放电控制和均衡控制,电池 SOC 可以被准确地估算,从而实现对整个电池系统的监测,保证整个储能电站的高效运行。

关键词:储能电站;电源管理系统;PSO-BP 神经网络算法;功率特性;均衡特性

中图分类号:TP278 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)06-0178-05

Research on Power Management System of Energy Storage Power Station

CHEN Peng^a,ZHU Zhifu^b,HUANG Fuchuang^a,ZHANG Hongxin^a

(a. School of Electromechanic Engineering and b. School of Physical Sciences, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract:By studying the power management system of energy storage power station, the battery SOC prediction, battery charge and discharge control, battery balance control, and distributed energy storage system management are solved. PSO-BP neural network algorithm is used to predict the battery SOC. The simulation results show that the algorithm has a high fitting ability for nonlinear functions, and the maximum error between the predicted output and the expected output is less than 0.015, its Power and equilibrium characteristics are tested. The experimental results show that the power management system can be used to achieve the charge and discharge control and the balance control of the battery pack, and the battery SOC can be accurately estimated so as to realize the monitoring of the entire battery system and ensure the efficient operation of the entire energy storage power station.

Keywords: energy storage power station; power management system; PSO-BP neural network algorithm; power characteristics; equilibrium characteristics

0 引言

目前,世界范围内公认的解决能源危机的有效途径之一是大规模开发新型绿色二次能源(风能、太阳能等)。与传统的水电、火电、核电等电能产生方式相比,绿色能源具有随机性和间断性等缺点,这也就为它们的实际应用造成了极大的困难^[1]。当前,电网对储能技术应用有急迫的现实需求:一方面,可以将储能技术应用于支持可再生能源的灵活接入,解决由风力发电和光伏发电等可再生能源大规模并网的问题;另一方面,可将储能技术应用于系统削峰填谷,提高系统负荷率,提高电网运行效率、电网整体资源利用率以及用户侧电能质量的综合应用效果。在全球背景之下,分布式能源发电技术受到极大的关注,逐步被提上了议事日程^[2]。储能电站电源管理系统可以发挥分布式发电单元与大电网相互补充、改善电网的削峰填谷能力、提高电能质量和供电可靠性等优势,因此受到了广泛的关注^[3-4]。分布式电源接入电网后,将给配电网乃至输电网的电压、电能质量、系统保护和调度运行等带来

一系列的影响^[5-7]。储能技术可实现负荷跟踪、电能质量治理等功能,是解决大规模可再生能源发电接入电网的一种高效支撑技术^[8]。蓄电池储能系统技术发展最为成熟,应用最为广泛,其可靠性和性价比高、安装使用灵活,而且系统设备维护简单方便^[9-10]。

电池的广泛应用也对管理系统提出了更高的要求^[11],锂离子储能电池在负荷平定、不间断电源、电能质量治理、应急电源等方面大规模应用后,目前还面临着电池剩余电量预测、电池组管理以及分布式储能系统管理等关键技术亟待突破的问题,因此研究分布式大容量规模化锂电池储能系统是当前该领域研究的迫切需求,具有重要的应用价值。

1 电源管理系统设计

电源管理系统是由电池监测系统、SOC 系统及数据显示系统 3 部分构成,分布式结构如图 1 所示。传感器、电池监控系统和 SOC 系统为底层系统,数据显示系统为上层系统,2 个系统之间通过外部 CAN 总线通信。

基金项目:山东省重点研发计划(2018GGX105012)

作者简介:陈鹏(1993—),男,山东日照人,硕士研究生,主要研究方向为灵活电源系统。

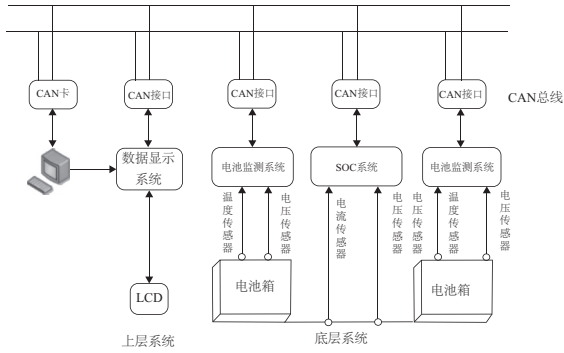


图1 电池管理系统分布式结构

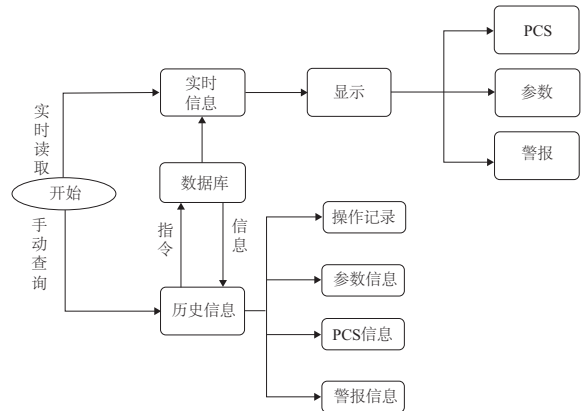


图3 实时监控及历史查询模块信息流程逻辑图

1.1 电池监测系统设计

电池监测系统主要用于监测电池组总电压、电流、模块电压、温度,并根据热管理方案控制电池箱风冷系统,从而为储能电站的安全、高效运行提供监测数据并控制电池箱工作温度。

大容量单元储能站电池管理系统软件实现了温度、电压数据采集、电池热管理系统的控制和数据 CAN 通信功能。系统流程如图 2 所示。首先对硬件系统初始化,在初始化完成之后进入等待循环,通过定时器中断控制系统软件运行。定时器中断周期为 10ms,系统共有 5 个任务,每次定时器中断完成一个任务,每 50ms 完成一次循环。

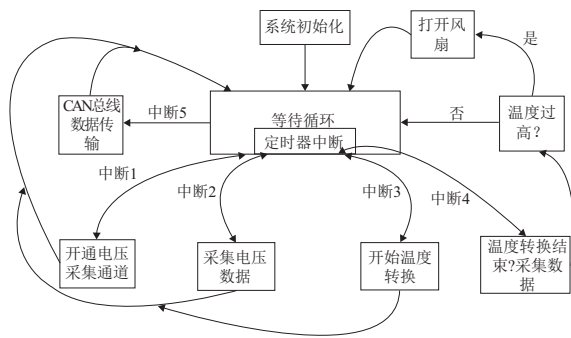


图2 电池监测系统流程图

中断 1、中断 2 完成与电压采集相关的任务,每 50ms 巡检一次。中断 3 开始温度数据转换,温度转换周期为 750ms。在中断 4 中首先判断转换是否完成,完成后再采集温度数据。在每次温度数据采集结束后,判断电池箱内最高温度是否超过温度阈值,如果超过则启动风冷系统。在中断 5 中进行 CAN 通信实现子系统之间的数据交换。

1.2 数据显示系统设计

该模块主要用于实时显示电池箱、电池组、电池的状态参数以及警报信息,并为用户提供按时间查询、按电池序号查询历史状态数据、历史指令数据、历史警报信息的窗口。此模块是整个软件的用户交互部分,此模块常驻内存,实时读取数据库信息并呈现给用户,整个子程序属于并行处理。

工作过程如图 3 所示。

1.3 SOC 系统设计

该系统主要用于监测各单体和电池簇的充放电电流,保证整个储能电站可以高效运行。同时估计电池组的 SOC 判断电池的健康状态,实现对电池系统的充放电控制和均衡控制。

1) 充放电管理模块设计

该模块主要用于实现对电池系统的充、放电控制,通过对 BS 是否过低或过满、PCS 是否处于并网等条件的判断,决定是否进行充放电。此模块是整个软件的控制部分之一,此模块不用常驻内存,当电网处于用电高峰或低谷时,则调用该模块对电池系统进行充电或放电,整个子程序属于并行处理。

工作流程如图 4 所示。

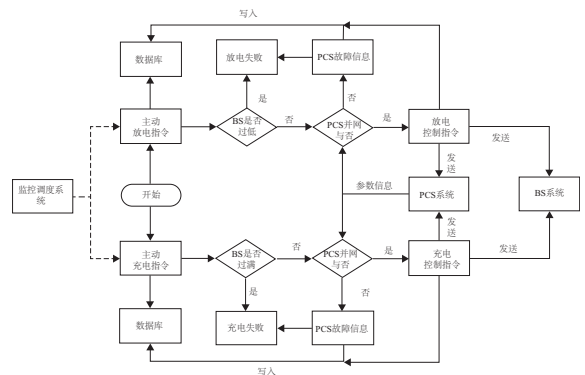


图4 充放电控制模块流程图

2) 电池均衡模块设计

该模块主要用于实现对电池系统电量的均衡控制,通过数据库查询所有电池组或者所有单体的 SOC 值,采用均衡控制策略产生均衡控制指令发送到电池系统。此模块是整个软件的控制部分之一,此模块不用常驻内存,当需要对电池系统电量进行均衡时,则调用该模块产生均衡控制指令对电池系统进行充电或者放电,整个子程序属于并行处理,均衡过程如图 5 所示。

3) 电池 SOC 预测模型

为了提高速度和准确率,在上述基础上研究基于 PSO-BP 的神经网络预测方法,算法流程如图 6 所示。

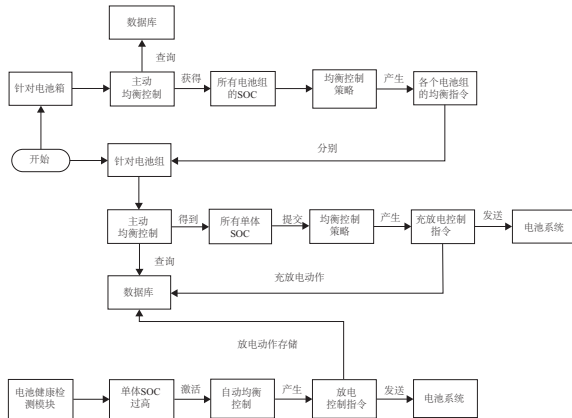


图5 均衡控制模块流程图

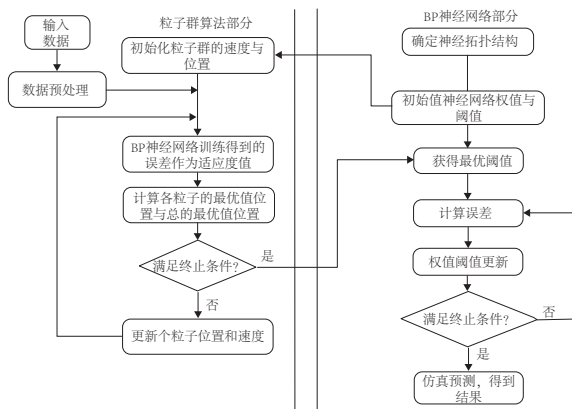


图6 PSO-BP 算法流程图

粒子群算法优化使用粒子群算法优化 BP 神经网络的权值和阈值,向量中的每维表示权值或阈值的值,通过适应度函数计算个体适应度值,粒子群算法通过迭代找到最优解。粒子群算法部分的实现如下:

step1:将粒子的速度和各粒子的最优位置等变量与参数矩阵化和初始化。

$$V = [v_1 \cdots v_N], P = [p_1 \cdots p_N]$$

step2:按惯性权重法更新各粒子的速度。

$$V(t+1) = \left(0.9 - \frac{t}{2T_{\max}}\right) V(t) + c_1 r_1 (P(t) - X(t)) + c_2 r_2 (P_g(t) - X_i(t))$$

step3:根据粒子速度的限值来更新速度。

$$\text{令: } r(x) = \begin{cases} v_{\max} & x > v_{\max} \\ -v_{\max} & x < -v_{\max} \\ x & |x| \leq v_{\max} \end{cases}$$

则: $V(t+1) = r(V(t+1))$

step4:更新各粒子的位置。

$$X(t+1) = X(t) + V(t+1)$$

step5:根据适应度函数 F 更新各粒子的最优位置及总的最优位置。

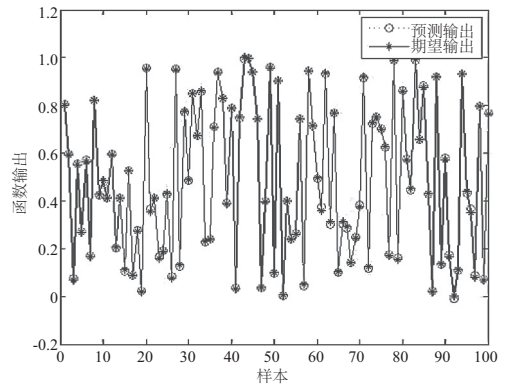
$$P_i(t+1) = \begin{cases} P_i(t) & f(P_i(t)) \leq f(x_i(t+1)) \\ x_i(t+1) & f(P_i(t)) > f(x_i(t+1)) \end{cases}$$

$$p_g(t+1) = P_i(t+1); f(P_i(t+1)) = \min(f(P(t+1)))$$

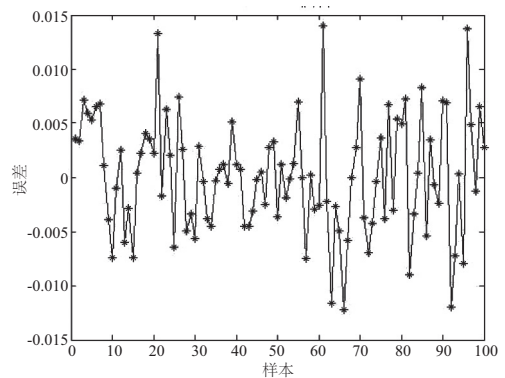
其中: $f(x_i) = F, f(P_i) = F$ 。

step6:检查是否已经达到最大迭代步数。若达到最

大迭代步数,则输出总的最优位置与最佳适应度,否则转至 step2。仿真实验结果如图 7 所示。



a) PSO-BP神经网络预测输出结果图



b) PSO-BP神经网络预测误差

图7 仿真实验结果

从图 7 可以看出, PSO-BP 神经网络对非线性函数具有较高的拟合能力,预测输出和期望输出间最大误差 < 0.015 ,神经网络预测误差较小,具有较好的预测精度和全局收敛性。

2 储能电站功率特性和均衡特性实验

实验平台为制作的兆瓦时级集装箱储能系统,系统结构组成如图 8 所示。该套兆瓦时级储能管理系统由 652 8 个 3.2V、50Ah 的单体电池组成,其中 4P/6S 做为 1 个模组,2 个模块由 1 个 BMU 进行管理,17 个 BMU 作为一簇由 1 个 MBMS 进行管理,共 8 簇,储能系统部分控制框图如图 9 所示。系统标称电压为 652.8 V,系统总能量为 $652.8 \text{ V} \times 50 \text{ Ah} \times 4 \text{ P} \times 8 \sim 1.0 \text{ MWh}$ 。

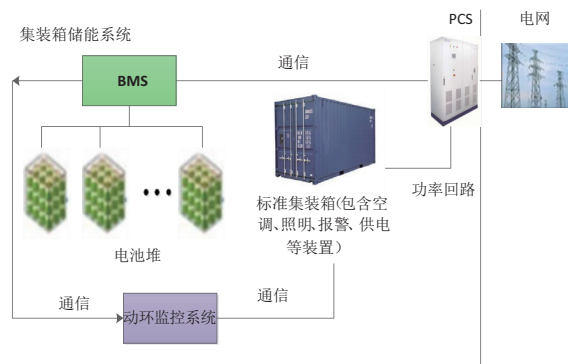


图8 集装箱储能系统

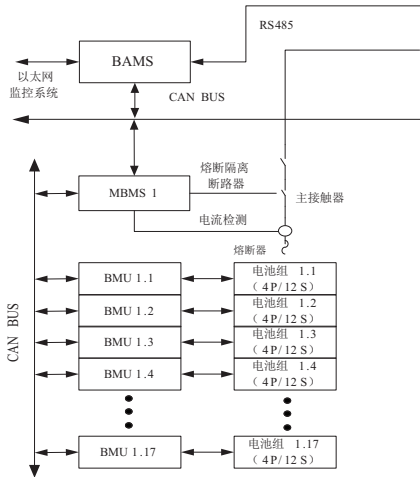
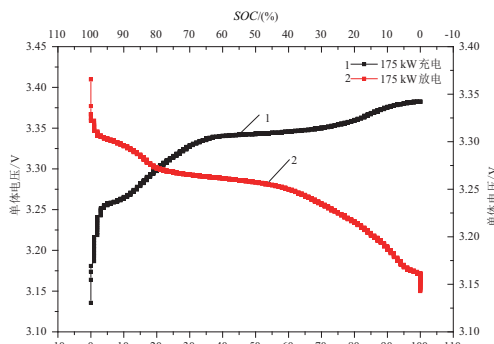


图9 储能系统部分控制框图

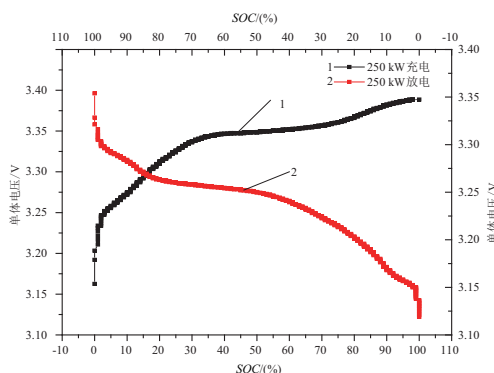
2.1 功率特性

为了分析储能电站在充放电过程中单体电池和电池簇的动态特性,分别以 175 kW 和 250 kW 的功率对储能电站进行充放电实验,实验结果如图 10 所示。

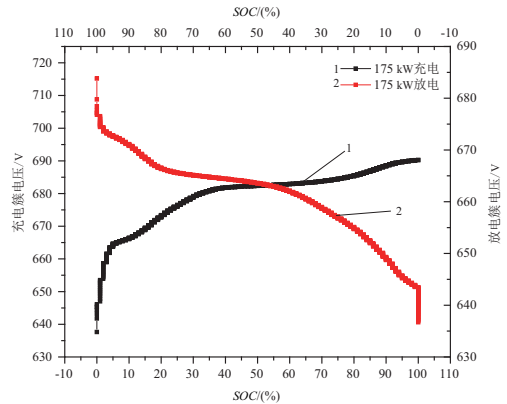
由图 10 可见,单体电池在充放电初期,由于电池内部极化反应不剧烈,电池内阻主要表现为欧姆内阻,故电压曲线会呈一定斜率变化,且变化幅度较大。随着充放电的进行,电池内部电化学反应加剧,极化电阻开始逐渐增大,故电压曲线会缓慢地升高和降低。在充放电中期,电池内部反应处于动态平衡,极化内阻趋于稳定,故电压曲线会呈现一段平台区。放电后期,极化现象再次加剧,电池电压曲线会出现陡降现象。



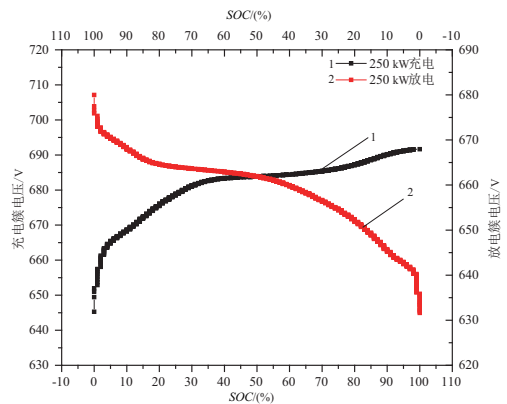
a) 单体电池 175 kW 充放电特性



b) 单体电池 250 kW 充放电特性



c) 电池簇 175 kW 充放电特性



d) 电池簇 250 kW 充放电特性

图 10 充放电实验结果

储能电站在整个充放电过程中,电池 SOC 可以被准确地估算,从而实现对整个电池系统的监测。同时,估计电池组的 SOC 判断电池的健康状态,实现对电池系统的充放电控制和均衡控制,保证整个储能电站可以高效运行。

2.2 均衡特性

通过分析电池簇和电池组之间电压的变化,来研究电池控制系统的均衡特性。175 kW 充放电电压均衡结果如图 11 所示。

由图 11a)-图 11b) 可见,8 簇电池组在整个充放电过程中电压曲面变化平稳,各条充放电曲线变化一致性良好,所以在整个充放电过程中,储能电站均衡控制部分运行良好。由图 11c) 可见,对于电池组中串联的 12 个单体电池,在充电过程中由于电池内部电化学反应剧烈程度不同,故各单体间的电压有一定差异。充电结束电池组进入均压阶段,均压过程如图 11d) 所示。由图 11d) 可见,通过主动和自动均衡控制,各单体电压可以迅速达到一致,系统反应灵敏,各单体电压变化平稳,均衡系统具有较高的可靠性。

3 结语

通过对分布式大容量规模化锂电池储能系统设计,解决分布式储能系统电源管理问题。该系统可以实现温度、电压数据采集,电池热管理系统的控制 and 数据 CAN 通信功能,从而为储能电站的安全、高效运行提供监测数据。同时,对电池系统电量进行均衡控制,可以保证储能电站

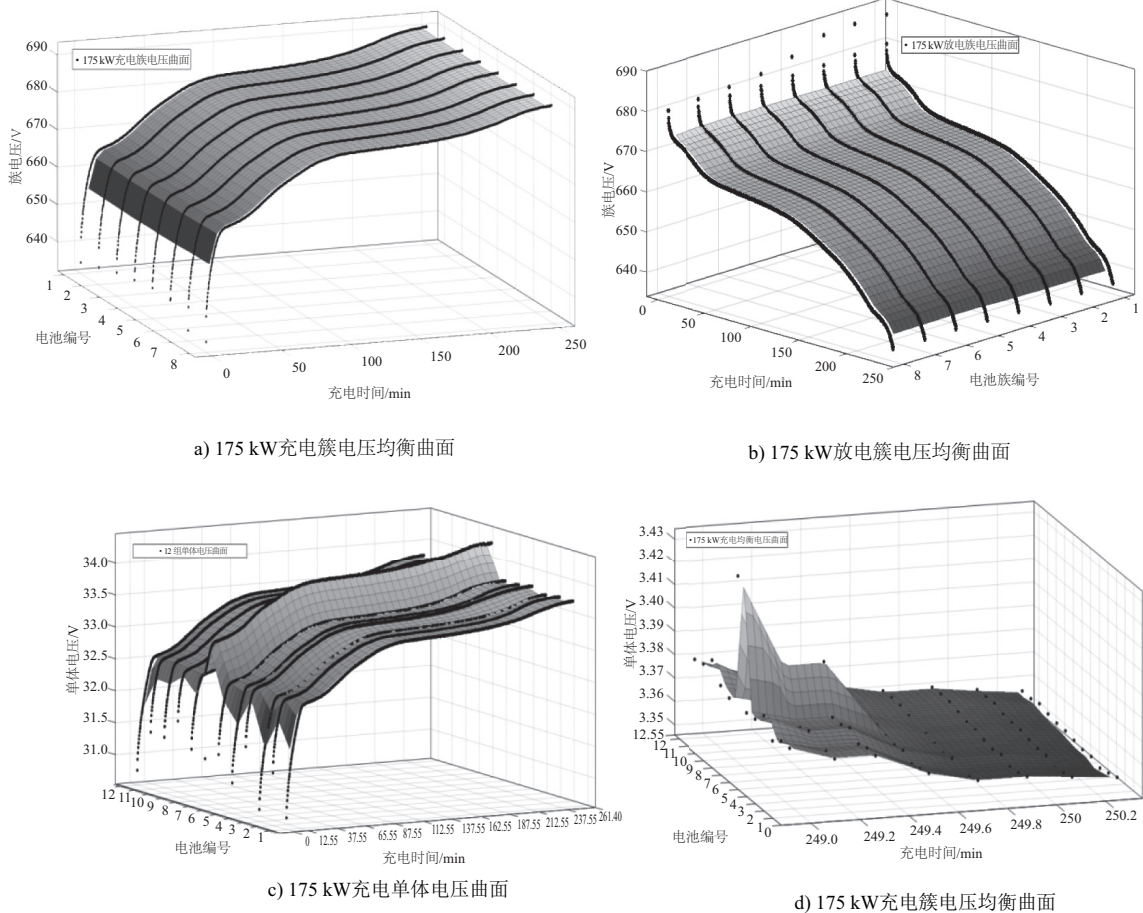


图 11 充放电电压均衡结果

的高效利用。采用 PSO-BP 神经网络算法对电池 SOC 进行预测,提高电池 SOC 估算速度和准确率。最后,对储能电站进行功率特性和均衡特性实验,验证该系统在实际应用中的工作特性。

总体来说,大容量电池储能技术在电网中的应用还处在不断发展阶段,要实现大规模应用还需要解决成本、环境、政策导向等非技术或与技术相关的其他一系列问题,亟待投入大量的人力、物力、财力进行深入而全面的研究开发。

参考文献:

- [1] 蒋心泽,董晓文,张宇,等. 电力能源的储存技术[J]. 电力与能源, 2011(2):169-172.
- [2] HUANG A Q, CROW M L, HEYDT G T, et al. The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: The energy internet[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 99(1):133-148.
- [3] KEANE A, OCHOA L F, BORGES C L T, et al. State-of-the-art techniques and challenges ahead for distributed generation planning and optimization[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2013, 28(2):1493-1502.
- [4] KAHROBSEE S, ASGARPOOR S, QIAO W. Optimum sizing of distributed generation and storage capacity in smart households [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(4):1791-1801.
- [5] 梁才浩,段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12):53-56.
- [6] 吴凯槟,彭旭东,杨秀芳,等. 分布式能源面临重大发展机遇[J]. 节能技术, 2013, 31(5):437-441.
- [7] 杨魁. 智能电网的技术发展及应用[J]. 西北水电, 2011(1):62-63.
- [8] 赵杰. 光伏发电并网系统的相关技术研究[D]. 天津:天津大学, 2012.
- [9] 黄勇,郭珂,冯玉,等. 微电网储能技术研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7):147-152.
- [10] 姚一波,买发军,吕丹. 储能系统在大中型光伏电站中的应用[J]. 太阳能, 2016(5):27-29.
- [11] 刘璇,王立欣,吕超,等. 锂离子电池建模与参数识别[J]. 电源学报, 2018, 16(1):145-150.

收稿日期:2018-09-17