微电网监控与能量管理系统开发

微电网监控与能量管理系统是以计算机和通信网络为基础，具有数据采集与数据处理、全景图形展示、功率优化控制、电源管理、负荷管理和顺序控制等功能的微电网一体化自动控制系统，实现对微电网的实时监视、控制和能量管理的目的。以某光伏/储能微电网为背景，分析了监控与能量管理系统功能需求，介绍了硬件和软件结构，并对自主开发的系统进行了试验和验证。

华光辉[1] 梁 硕[1] 汪 春[1] 李春来[2] 胡汝伟[1] 周 昶[1]/1.中国电力科学研究院新能源与储能运行控制国家重点实验室 2.青海省光伏发电并网技术重点实验室

华光辉/高级工程师

关键词/Keywords
微电网·
监控·
能量管理·
自动控制·
光伏发电·
储能·

0 引言

微电网具有灵活的运行特性，可以并网或离网运行，能同时满足本地用户的多种用能需求。它提高了分布式发电系统的供电可靠性，实现了分布式电源与负荷的一体化运行，提高了配电网对分布式新能源的消纳能力，已经成为智能电网建设中一个重要的组成部分[1]。为了保证微电网高效稳定地运行，通常配置监控与能量管理系统[2]。

冀北电力公司分布式光储协调控制微电网由分布式光伏发电、混合储能系统、负荷、配电系统、测控与保护装置和监控与能量管理系统等构成，项目位于北京市西城区某办公大楼内，地理位置为北纬39°55′，东经116°21′，光照资源优越，是商业楼宇型微电网代表案例。

1 微电网系统组成

该项目为并网型光储微电网，其中30 kWp分布式光伏发电分两路接入微电网母线，为保证可再生能源的利用率，光伏发电始终运行在最大功率跟踪模式下；30 kW/75 kW·h能量型铁锂电池用于平滑光伏出力、削峰填谷和跟踪计划，40 kW/50 kV·A功率型超级电容用于短时间、大功率的负载平滑、抑制电压波动和改善电能质量，两套储能电池分别经过储能变流器接入微电网母线；微电网负荷主要是大楼内照明系统和空调系统负荷，另外还配置了模拟负荷等试验仿真单元[3-4]。

微电网配置测控装置、并网点同期保护装置和电能质量监测仪等二次设备，通过监控与能量管理系统对微电网实现智能控制和管理。

分布式光储协调控制微电网系统拓扑如图1所示。

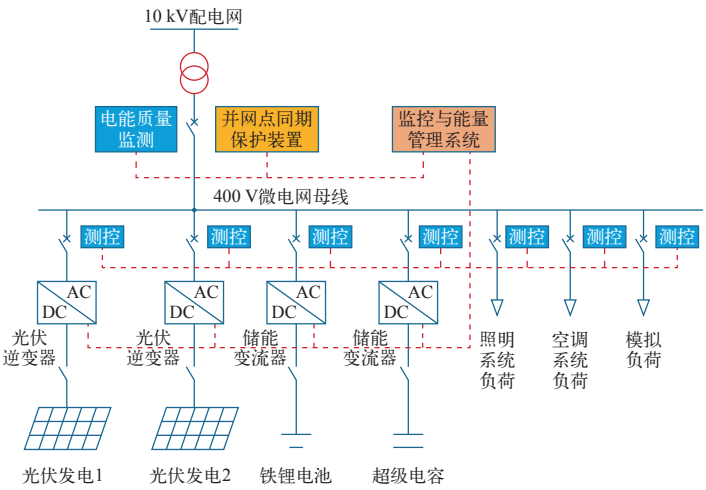


图1 微电网系统拓扑

2 微电网监控与能量管理系统功能总体需求

监控系统应具有对微电网设备数据采集与处理、模拟量控制、顺序控制、联锁与保护、运行模式控制和功率控制等功能。

能量管理系统应在保证微电网稳定运行的基础上以经济优化运行为目标，对微电网系统中的电源和负荷进行发用电计划制定、管理和分析。

根据区域内微电网数量和规模等实际情况，微电网监控系统和能量管理系统可以分别建设或一体化建设。

微电网监控与能量管理系统应遵循标准化和平台化原则，满足安全性、可靠性和开放性的要求，具备良好的可维护性和可扩展性。

3 监控与能量管理系统结构

3.1 监控与能量管理系统硬件结构

该项目监控系统和能量管理系统采用一体化建设模式，系统硬件设备主要由服务器、交换机、工作站、显示器、GPS、通信控制器、无线路由器、防火墙及通信网络组成[5-6]，如图2所示。

数据服务器与采集服务器构成冗余互备用系统，与工作站和交换机组成双网结构，服务器一方面要运行商用应用数据库管理系统，实现对系统运行参数、CIM模型数据以及历史运行数据的管理职能；另一方面要承担数据采集、数据处理、数据存储、数据分发、数据检索和双服务器之间数据同步等功能，运行Linux操作系统。

维护工作站主要供值班人员进行系统维护用，进行各种数据库的维护、图形的绘制及修改、报表的生成及维护、系统功能及权限维护和资料的录入及管理等，运行Windows操作系统。

监控工作站提供友好的、丰富多彩的人机交互界面和监控手段，如显示各种画面（包括系统图、接线图、曲线图、棒图、饼图和仪表图）、报表、告警信息和管理信息。值班人员可以检索各种历史数据，进行遥控、遥调操作和查询各种参数，运行Linux操作系统。

能量管理工作站运行高级应用程序，通过发电单元出力和负荷情况对微电网控制目标进行优化，实现削峰填谷、跟踪计划等控制功能。

前置数据采集和实时数据传输采用冗余交换式以太网结构，采用具备三层交换功能的交换

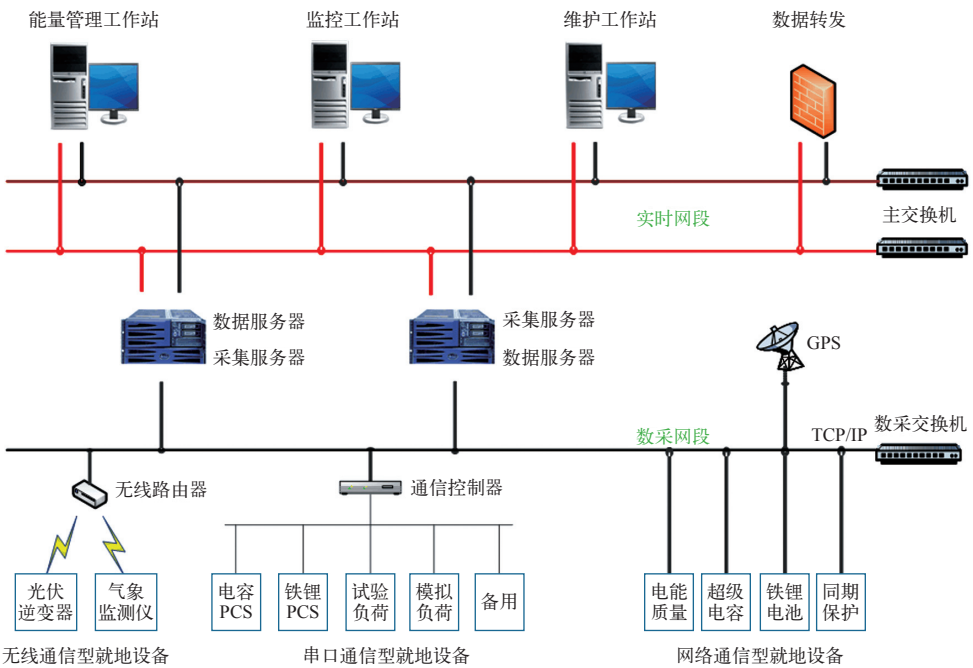


图2 微电网监控系统图

机，网络交换速率采用100/1 000 M自适应。

电能质量监测装置、电池管理系统和并网点同期保护装置等就地设备直接用以太网形式接入数据采集交换机；PCS、模拟负荷等就地设备通过串口先接入通信控制器，由通信控制器变换为以太网形式并以IEC104规约接入数据采集交换机；光伏逆变器和气象监测仪距离相对较远，通信线路敷设困难，因此采用无线通信方式，运行数据经无线路由器接入数据采集交换机。

微电网监控与能量管理系统与就地控制器进行通信，接收就地控制器上送的各种运行数据，进行数据的处理、存储以及图形化展示；同时向微电网各就地控制器下发控制命令，或下发功率交换计划曲线，或下发运行控制策略，对储能变流器等就地控制器的运行进行协调和管理。

3.2 监控与能量管理系统软件结构

微电网监控与能量管理系统的软件体系结构由操作系统、支撑平台和应用功能共三个层次组成，如图3所示。

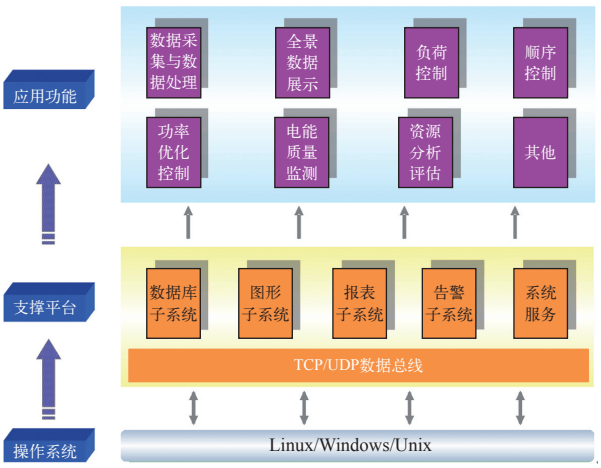


图3 系统软件结构

1）操作系统包括Linux、Windows。

2）支撑平台为各种应用功能的实现提供通用的支撑服务，以区别于应用功能，偏重于解决具体业务领域的问题。支撑平台提供以下的通用服务功能：数据库子系统、图形子系统、报表子系统、告警子系统和系统服务等。

3）应用功能包括数据采集与数据处理、全景数据展示、负荷控制、顺序控制、功率优化控制和电能质量监测资源评估与分析等。

4 监控与能量管理系统功能设计

该微电网具备并离网运行与切换、平滑波动、跟踪计划和消峰填谷等协调控制及能量管理的功能，能够基于微电网并网点功率要求，结合功率型和能量型混合储能系统的特点和分布式光伏电源出力特征等约束条件，快速响应并完成储能装置充放电切换和功率调节[7-8]。

4.1 数据采集与处理

监控系统能够采集和处理下列几类数据：遥信量、遥测量、遥控量、遥调量、遥脉量、状态量、保护装置定值参数、动作信号和电能质量监测数据等。系统将采集的实时数据处理后送至实时数据库，然后按照设置好的时间间隔，将实时数据存入历史数据库。

4.2 全景展示与图形处理

基于QT技术的跨平台图形系统，支持多平面、多层次和矢量化的无级缩放，通过引入图形系统，使SCADA图形系统一体化，具有漫游、变焦、导游和开窗放大等功能，可直观地通过图形界面查询各种设备信息，能够生动、直观地展示微电网运行信息。

4.3 负荷管理

微电网内负荷包括照明系统、空调系统和模拟负载，根据对供电可靠性的要求及中断供电对人身安全、微电网运行安全和在经济上造成的损失或影响程度，对用户负荷进行分级管理。

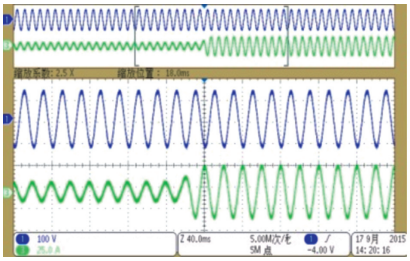
微电网能量管理系统具备负荷监测功能，根据监测到的负荷大小，分配微电源的出力，保持微电源与负荷之间的平衡[9]。在紧急情况下，监控与能量管理系统能够根据功率平衡情况增减电源出力和投切负荷，保持微电源与负荷之间的平衡。

4.4 顺序控制

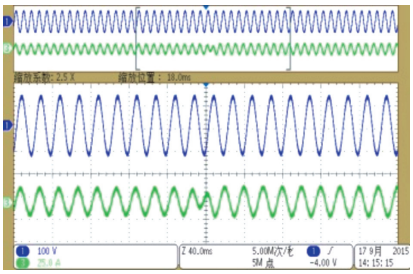
在自动控制领域中，将某个控制任务在时间

上划分成能够实现不同功能的阶段，通过转换条件，各阶段相互衔接，按顺序依次执行，被称为顺序控制。微电网顺序控制程序基于监控系统运行，主要通过人工触发执行，实现在微电网并网、离网和切换等不同运行状态下的各种可执行的顺序过程控制，从界面进行控制过程的选择，并进行顺序执行、单步执行、暂停和终止等各种操作。

并网运行时，储能系统运行在*PQ*控制模式，储能变流器控制电流大小以及电流和电压的相位关系来实现有功无功调节和充放电控制，并网控制实验结果如图4所示。



（a）功率调节时电压和电流波形

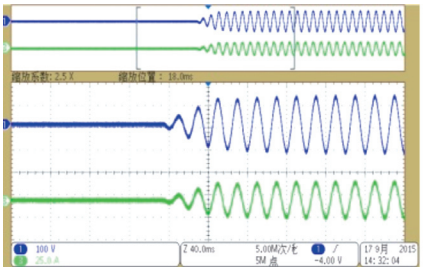


（b）充放电转换时电压和电流波形

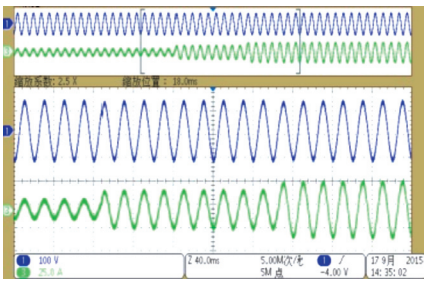
图4　并网运行时PCS电压和电流波形

离网运行时，铁锂电池储能系统作为主控制单元运行在*V*/*f*控制模式，其他分布式电源作为从控制单元运行在*PQ*控制模式，储能变流器根据负荷大小自动调节输出功率。系统离网起动与运行试验结果如图5所示。

并网运行时，大电网故障或者就地控制器收到切换指令，并网点断路器会断开，与此同时PCS由*PQ*控制切换到*V*/*f*控制，微电网切换为离网运行。当大电网恢复正常时，监控系统向就地控制器下发并网指令，同期装置检测并网点两端电压和相位，并控制PCS电压与相位向电网侧靠近，当并网点两端电压与相位差值满足同期要求时，合



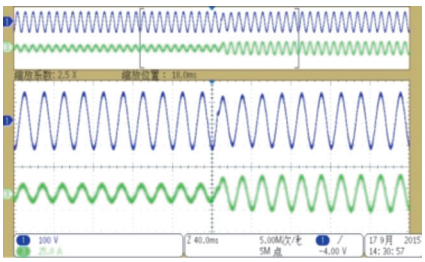
（a）带载软起动实验电压电流波形



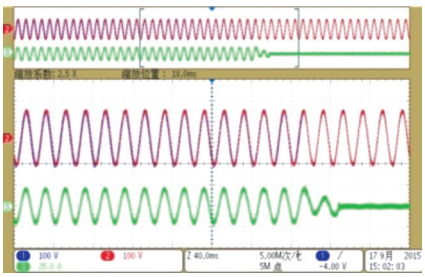
（b）离网运行负荷变化电压电流波形

图5　离网运行时PCS电压电流波形

并网点断路器开关，PCS检测到并网点断路器合闸后转入待机状态[10]。并离网切换过程中PCS电压电流波形如图6所示。



（a）并网转离网时电压电流波形



（b）同期并网时电压电流波形

图6　并离网切换过程中PCS电压电流波形

4.5　功率优化控制

4.5.1　平滑波动

监控系统对并网点功率进行低通滤波，实时

计算光伏发电功率波动，然后将波动值分配给储能系统来补偿，达到对并网点功率实时平滑的目的。由图7录波曲线可见，在由于辐照变化光伏发电出力快速波动的情况下，能量型铁锂电池储能系统能够通过充放电功率变化平滑光伏出力波动，遇到短时大幅度功率波动时，功率型超级电容储能系统能够快速起动予以平滑，光伏发电的波动性问题得到大幅改善[11]。

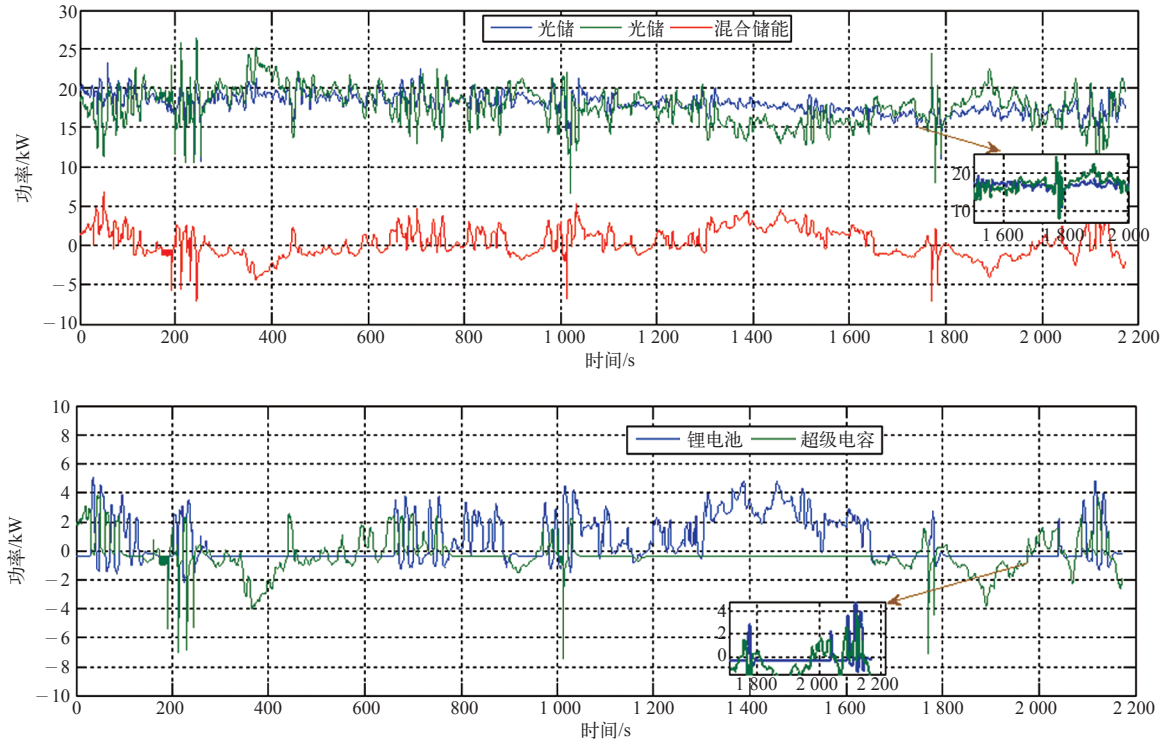


图7 平滑波动试验录波曲线

4.5.2 跟踪计划

微电网运行在并网模式，以10 s采样间隔监测光伏发电、储能以及光储并网点的功率变化曲线，监控与能量管理系统采用跟踪计划控制模式，通过“联合发电计划优化”功能，按每5 min一个点下发跟踪计划出力曲线，试验波形如图8所示。可见，为满足模拟调度下发的跟踪计划出力曲线，在光伏出力频繁变化过程中，铁锂电池和超级电容执行能量管理系统的协调控制策略，维持并网点功率跟踪计划值。

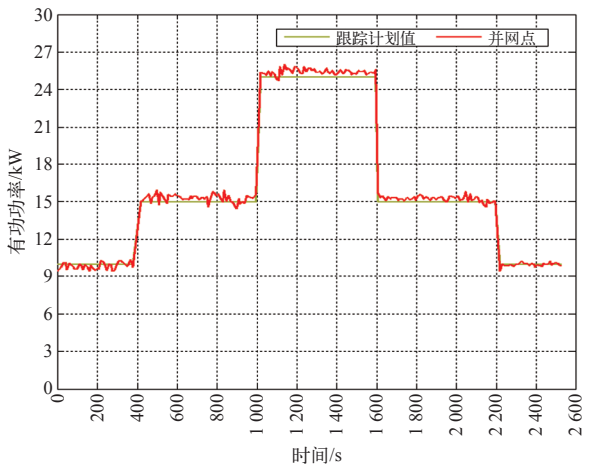


图8 跟踪计划出力试验录波曲线

4.5.3 削峰填谷

微电网运行在并网模式，以5 min采样间隔监测光伏发电、储能以及光储并网点的功率变化曲线，监控与能量管理系统采用削峰填谷控制，为期一天开展削峰填谷试验，5：30光伏系统开始发电，功率缓慢上升；7：00投入储能控制，储能系统通过放电使并网点功率达到设定值；8：30时光伏发电功率超过设定值，储能系统转为充电运

行，继续维持并网点功率在设定值。随着铁锂电池SOC逐步增加并接近上限值，13：20时退出储能控制，光伏发电全部通过并网点上网，随着光伏发电功率逐渐减小，在16：00左右光伏发电功率小于设定值，储能系统重新起动，运行在放电状态，至18：00时试验结束，储能系统退出。削峰填谷试验曲线如图9所示。用同样的方法，用户可以根据峰谷电价政策配置相应的控制策略。

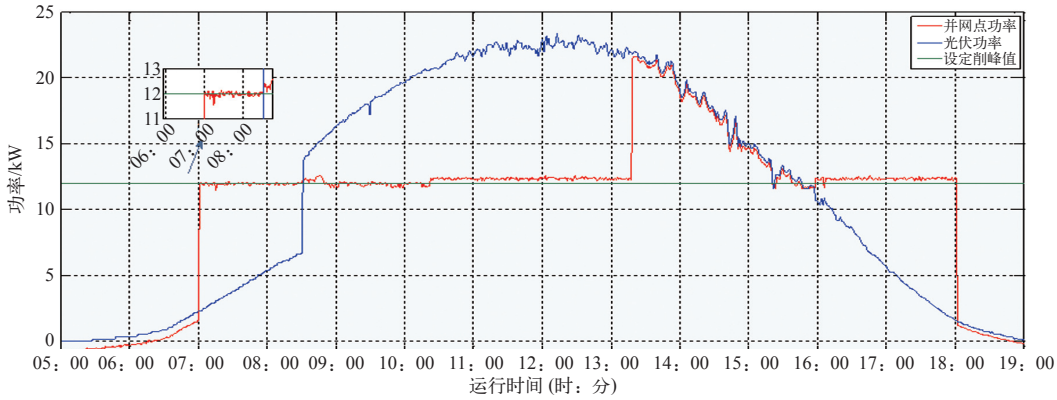


图9 削峰填谷试验曲线

4.6 其他

其他功能主要包括：人工操作、系统告警、事故追忆、曲线工具、报表打印、时钟同步、公式计算、进程监视和权限管理等常规变电站SCADA系统相似功能。

5 结束语

本项目建设了光储一体化微电网系统，分别配置了能量型储能系统和功率型储能系统，在监控与能量管理系统的控制下，微电网能够实现并离网运行以及切换、平滑波动、跟踪计划和削峰填谷等不同的控制策略，能够提高商业楼宇的供电可靠性，同时可以开发城市屋顶资源，推进分布式光伏发电发展，减少CO_2排放，具有较好的经济效益和推广价值。

参考文献

[1] 赵波．微电网优化配置关键技术及应用 [M]．北京：科学出版社，2015.

[2] Nikos Hatiargyriou，等．微电网——架构与控制 [M]．北京：机械工业出版社，2015.

[3] 桑丙玉，陶以彬，郑高，等．超级电容-蓄电池混合储能拓扑结构和控制策略研究 [J]．电力系统保护与控制，2014，42 (2)：1-5.

[4] 吴福保，杨波，叶季蕾．电力系统储能应用技术 [M]．北京：中国水利水电出版社，2014.

[5] 查申森，窦晓波，王李东，等．微电网监控与能量管理装置的设计与研发 [J]．电力系统自动化，2014，38 (9)：232-238.

[6] 华光辉，吴福保，邱腾飞，等．微电网综合监控系统开发 [J]．电网与清洁能源，2013，29 (4)：40-45.

[7] 李官军，陶以彬，胡金杭，等．储能系统在微网系统中的应用研究 [J]．电力电子技术，2013，47 (11)：9-11.

[8] 桑丙玉，王德顺，杨波，等．平滑新能源输出波动的储能优化配置方法 [J]．中国电机工程学报，2014，34 (22)：3700-3705.

[9] 韩民晓，王皓界．直流微电网——未来供用电领域的重要模式 [J]．电气工程学报，2015，10 (5)：1-9.

[10] 陶以彬，李官军，柯勇，等．微电网并/离网故障特性和继电保护配置研究 [J]．电力系统保护与控制，2015 (11)：95-100.

[11] 文玲锋，李娜，白恺，等．大容量锂电池储能系统容量测试方法研究 [J]．华北电力技术，2015 (1)：41-64.

（收稿日期：2016－01－07）EA