

MW级钠硫电池储能监控系统设计与开发

储能监控系统作为储能系统的重要组成部分，在保证合理调度、有序用电、人员安全方面起着不可替代的作用。本文提出一种模块化、智能化的MW级钠硫电池储能监控系统，研究并设计其总体架构、逻辑架构和功能模块，以及安全防护方案，在此基础上开展软硬件平台设计。

陈光¹ 刘娟¹ 邹丹平¹ 徐亮¹ 方陈^{2/1} 南瑞集团公司（国网电力科学研究院）
2. 国网上海市电力公司



陈光/工程师

关键词/Keywords

钠硫电池 ·
储能 ·
监控系统 ·
MW级 ·

0 引言

电池储能技术是电力系统重要的技术内容，是发展智能电网以及分布式电源并网技术的必要条件，储能技术的发展可以解决电能“即发即用”的难题，同时还可大幅提高能量利用效率^[1-2]。目前储能领域应用较多的电池主要有铅酸电池、钠硫电池、液流电池和锂离子电池等^[2-3]。其中钠硫电池储能体系作为新兴的储能技术，以其容量大，效率高，运行费用低，维护容易，污染小，寿命长等优点，逐渐受到重视^[1,4]。目前，钠硫电池储能系统已实现商业化运作，在负荷调控、功率稳定、电能质量治理和直流后备电源等方面已经得到了应用。但其自行研发核心技术有待突破，尚未实现商业化规模生产和市场化运营^[5-7]。

电池储能系统的功能主要有跟踪计划发电、平滑风光功率输出、削峰填谷

和参与系统调频四种^[8-9]；除此以外，暂态有功出力紧急响应、暂态电压紧急支撑功能也是储能系统未来需要考虑的扩展功能^[3,10]。监控系统是储能系统的重要组成部分和高级控制中枢，是储能系统安全稳定发挥作用的基础条件和经济运行的重要保障。本文就MW级钠硫电池储能系统的监控系统的架构设计、功能定位以及安全防护等方面做了初步研究，为储能系统的整体研究提供参考。

1 系统总体架构设计

1.1 系统总体架构

不同应用场合下储能监控系统的功能需求不同，目前国内外常用的三种典型储能监控系统为简易型、标准型和层次型^[7]。其中简易型储能监控系统适用于千瓦级储能系统，应用场合主要为用电或配电环节；标准型储能监控系统适用于千瓦至兆瓦级中小型储能系统，应用场合主要为配电、变电和输电环节；层次型储能站监控系统适用于MW级大规模储能电站，应用场合主要为发电环节。

MW级钠硫电池储能系统的监控系统采用层次型，其总体架构如图1所示。

监控系统架构为分层分布结构，由站控层和间隔层组成。

（1）站控层由一台或多台当地监控工作站组成，包括电池管理系统（Battery Management System, BMS）和储能变流器（Power Storage Control System, PCS）两部分。其中BMS通过自适应主动均衡方式来监控钠硫电池，实时采集钠硫储能系统中的基础数据，将

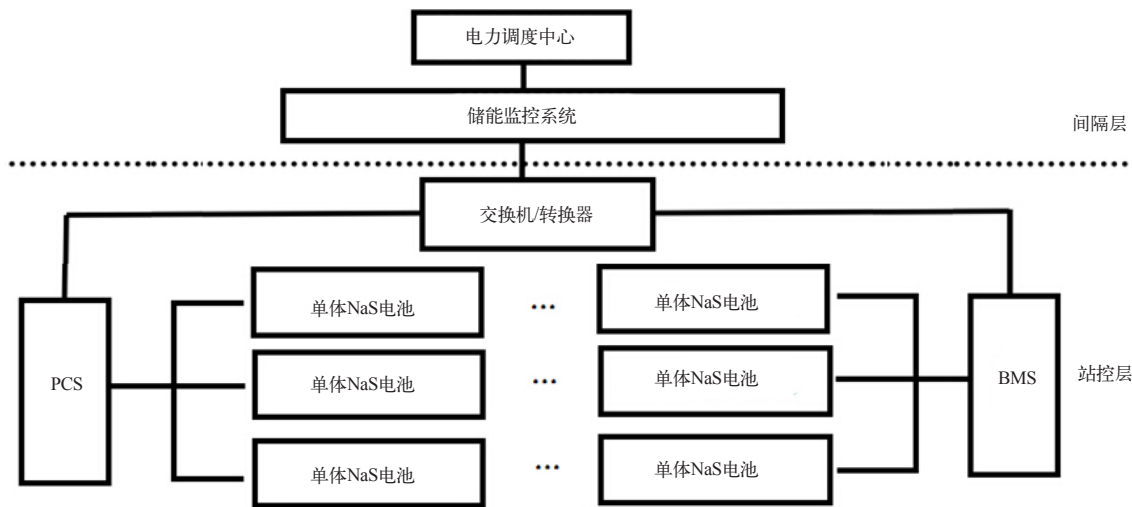


图1 总体架构示意图

数据提交至监控系统；并且完成间隔层下达的指令，完成对电池组充电、放电及模块均衡等指令功能。当储能系统孤岛运行时，PCS利用连接电抗与交流电网相连，在直流侧完成对储能锂电池组的充电；当储能系统并网运行时，PCS 还可以额外在交流侧向电网馈送电能。

(2) 间隔层完成本单元所有的信息采集和控制，又可分为两个层次：储能监控系统和电力调度中心。为提高可靠性，大型储能电站监控系统的网络及站控层多采用双重化和冗余配置。

1.2 系统逻辑架构

针对间隔层中的监控系统，其具体的软件实现逻辑架构如图2所示。

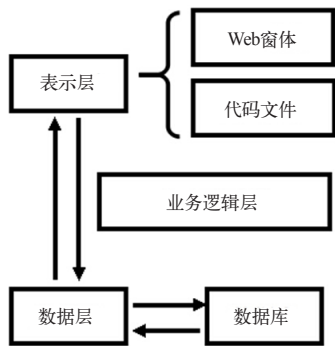


图2 逻辑架构示意图

监控系统的逻辑架构主要包括表示层、业务逻辑层以及数据层三个层次。

表示层由 Web 窗体和代码隐藏文件组成，

Web 窗体通过采用嵌套了 JSP 技术的 HTML 动态 Web 页面实现，代码隐藏文件则是为了响应处理对Web 页面的各个事件。表示层主要包含的界面有首页及用户登录页面、实时数据信息页面、设备管理信息页面、历史数据信息页面和日志服务信息页面，报警查询信息页面，监测、控制等功能均在这一层完成。如图 3所示。

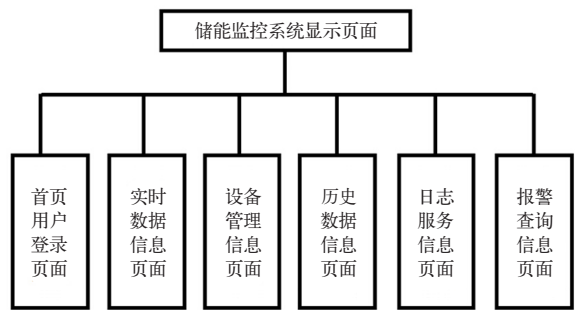


图3 储能监控系统显示页面

业务逻辑层主要作用是实现表示层与数据层之间的数据信息交互功能，完成逻辑信息的处理以及数据库的相关操作等。

数据层主要完成数据库处理服务程序，实现数据库的外部接口，完成数据库的连接、读写、插入和删除等相关数据库操作。

1.3 系统通信方式

间隔层的储能监控系统直接从站控层储能系统的运行数据，负责BMS、PCS 等设备。BMS采用控制器区域网络通信，通过CAN-NET 转换器完

成协议转换，最终以用户数据报协议完成与储能监控系统的通信功能；同样，为了更有效的实现信息汇集，PCS利用以太网接口，同样通过UDP完成与储能监控系统的通信功能。

间隔层中电力调度中心与储能监控系统之间采用TCP/IP 协议来完成信息的交换。具体的信息通道模型如图4所示。

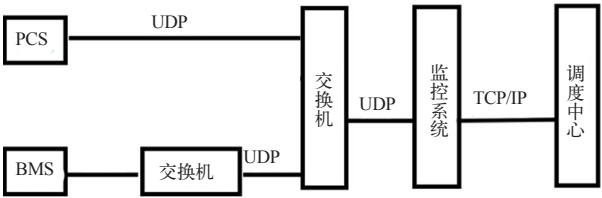


图4 信道模型

1.4 系统与其他系统对接

目前，电网日益智能化综合化，因此该钠硫电池储能监控系统在系统设计之初，就要将良好的可延展性考虑进去，要能满足新技术新功能的要求，同时应该具备平台开放性，以确保该监控系统可以适用于新的储能平台。

在钠硫电池组孤岛运行的时候，该监控系统可以直接监控钠硫电池组的电压电流信息；当储能系统并网运行时，监控系统可以与其他储能系统兼容，通过TCP/IP通信协议与电力调度总指挥中心相连接，接受并执行命令，满足电力网络的全局化要求。

2 系统功能设计

2.1 系统功能定位

储能监控系统将计算机技术、工业控制技术、通信技术结合在一起，对电池管理系统、储能变流器、并网开关等实施实时监控，以保障钠硫电池储能系统安全稳定运行。

间隔层是整个监控系统的中心，具有承上启下的重要作用。它一方面接受站控层递交的各钠硫电池组的实时运行数据，将数据呈递给调度中心，由调度中心对数据进行分析，完成数据采集和数据监测功能；另一方面，间隔层的调度中心可以下达控制指令，对钠硫电池组的储能过程进行调控，完成对电池的均衡控制、充放电策略等功能，保证储能系统始终处于良好的工作状态。

2.2 系统功能模块

储能监控系统功能化模块如图5所示。

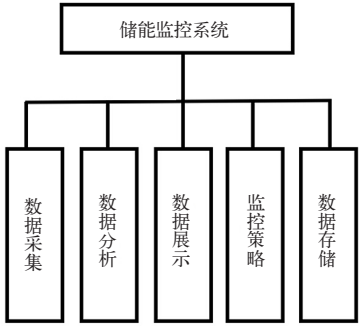


图5 储能监控系统模块化结构

储能监控系统主要包括以下功能：数据采集、数据分析、数据展示、监控策略以及数据存储等。

(1) 数据采集。钠硫电池储能系统是将多个钠硫电池单体进行串并联得到的。钠硫电池储能系统包括10~12个钠硫电池组，每组为320个单体电池，系统储能容量可在MW级以上。为了更好地监控储能系统的运行状况，需要对单体电池、模块电池、电池组、变流器及其他配套辅助设备等进行数据采集，实时监控有关设备的运行状态并将相关工作参数（包括但不限于局限于单体电池电压，电池系统的电压、温度、电流和荷电状态，电池系统的能量/功率可调节深度等）上传至储能监控系统，保证每1 s可以刷新一次系统运行状态信息。

(2) 数据分析。站控层会将采集到的钠硫电池的模块电压、模块电流、电池箱温度、单体电池电压以及其他相关参数提交给间隔层，间隔层的控制系统可以通过设定好的模型算法实现对荷电状态、健康状态进行估算，对电池状态进行评估诊断，实现提高电池的寿命的目的。

(3) 数据展示。为了更加高效地利用钠硫电池储能系统，需要监控系统直观明了地展示钠硫电池组的工作状态。在监控系统的数据展示模块中设定了一系列不同的方式对检测数值进行可视化展示，包括柱状图、扇面图、曲线、列表以及数据百分比等方式。在不同的展示方式中均标注相关参数的上下限数值，可以直观明了地观测储能系统的工作状况；一旦超出数值允许范围，系统会提交警报信息给调控中心，由调控中心对

储能系统进行均衡调整。在储能电池的性能参数中, 剩余电量是极为关键的参数。这就要求监控系统有一套严密的剩余电量估算方法, 该方法在参考大量剩余电量估计算法的基础上, 建立钠硫电池组特有的剩余电量预估查询多维表, 达到利用查询储能体系的电流、电压、温度和内阻等参数估算剩余电量的功能。

(4) 监控策略。通过储能监控系统对钠硫电池储能体系的多种工作模式进行控制, 包括6种固定工作模式、2种自定义工作模式以及2种自动模式。其中自定义工作模式和自动工作模式均可由工作人员根据不同的实际情况选择恒电流模式或恒功率模式。

(5) 数据存储。针对来自站控层和间隔层的数据设立专门的服务器进行分类存储; 将存储的数据设置云共享, 用户可以随时随地对储能系统的电池运行信息、调度中心命令, 电池组的充放电信息、层次用户控制记录、异常报警信息等进行查询, 了解钠硫电池储能系统的实时工作状态。共享信息需要根据用户权限进行安全等级分类: 对最高权限者给予所有信息查看、调用以及导出权限, 必要时甚至可以直接接入调度中心进行调度命令的下达; 次级权限者只能调阅信息, 不可执行命令; 最低权限只能查阅部分历史数据。

3 系统安全防护方案

3.1 风险识别

钠硫电池本身属于化学产品, 具有一定的无规律性, 为了保证储能体系的安全运行, 储能监控系统需要能对储能系统可能存在的风险进行早期检测和识别。

当钠硫电池储能系统运行过程中出现过电压、欠电压、过电流、高温、低温、漏电、通信异常和电池充放电异常等状态时, 储能监控系统应该在0.01 s内识别到, 并在0.1 s内做出故障诊断报警处理, 向上给调度中心发送报警信息; 调度中心在1 s内对于监控系统提交的警报信息给予应对操作命令, 监控系统及时迅速地将调控命令传递到储能电池组, 电池组利用能量损耗或者非能量损耗的方式进行电池组内部均衡调节或者

是通过开关的闭合或断开切断或者转换电路。

监控系统可以通过对电压、电流等参数的监测分析, 计算内阻及电压的变化率, 以及参考相对温升等综合办法, 对已经损坏的电池单体电池进行判断和定位, 便于操作人员及时更换受损的钠硫电池。除此之外, 储能监控系统还可以对最高权限用户给予的操作命令进行可行性分析, 对于不合理或者不恰当的操作给予拒绝并作出警示。

3.2 安全防护设计

根据值班人员的有无, 系统设置不同的安全控制模式。

(1) 全自动模式。监控系统按照定义的方式对储能系统进行2 h实时监控, 当监测数值达到预先设定的上、下限值后, 监控系统自动向电池管理系统发送指令, 启动模块间和模块内均衡功能, 从而使储能系统的储电量始终处于安全可控的范围内。工作人员可以通过短信或者其他移动终端查看接收储能系统的运行数据, 无需值守。

(2) 工作人员值守模式。监控系统按照定义的方式对储能系统中的剩余电量进行24 h实时监控, 当监测数值达到预先设定的上、下限值后, 将实时数据情况反映到调度中心, 调度中心根据预先设定的数据对监测数值进行分类, 发送相应指令给值班人员, 值班人员接受电力调度中心发送的指令, 合理地接受调度, 完成储能系统的并网/孤岛运行、故障报警等操作。

(3) 紧急情况报警调控模式。监控系统按照定义的方式对储能系统进行24 h实时监控, 当储能系统出现紧急故障时, 如漏电、通信异常和电池管理系统异常等, 可以通过铃声、短信等方式发送报警信息并启动应急方案。

4 系统在电力系统中的应用

电力系统中引入储能系统后, 可以有效地实现需求侧管理, 减小负荷峰谷差, 不仅可以更有效地利用电力设备, 降低供电成本, 还可以促进可再生能源的应用, 也可作为提高系统运行稳定性、调整频率、补偿负荷波动的一种手段。储能监控系统是储能系统的重要组成部分, 在保证合

理调度,有序用电,人员安全方面起着不可替代的作用。

目前层次型储能监控系统主要用于MW级大型储能电站的监控,使用的成功案例有美国阿拉斯加黄金谷储能系统,国家风光储输示范工程。其中国家风光储输示范工程采用的就是相似的监控体系,整个监控系统分为两层:储能电站监控系统+就地监测装置。储能电站监控系统由前置管理机、实时/历史服务器、研究数据库服务器、运行人员工作站和工程师工作站组成;就地监测装置由就地监测单元、电池管理系统和变流装置就地控制器等组成。

5 结束语

钠硫电池具备能量密度高、使用寿命长等优点,作为新兴的分布式储能单元,已成为电网负荷平定、大型可再生能源储能、大功率应急电源电池的重要选择。钠硫电池储能系统在削峰填谷,加强需求侧管理,降低传输损耗,增强供电可靠性,提高供电质量,稳定发电输出等方面起着重要的调节作用。监控系统是储能系统的综合监控管理系统,全方位实时有效监控储能系统的运行情况。

本文所设计的储能监控系统采用层次型的网络架构,提高了传输数据的可靠性及系统的快速响应能力;同时采用TCP/IP通信协议,实现了上下通信的无缝链接;具有良好的平台兼容性,可以实现设备的无缝接入,可以同时协调控制多个变流装置及电池管理系统;且具有较高的抗干扰能力。对储能系统的自动化管理和系统数据的稳定通信具有十分重要的意义。

参考文献

[1] 袁志强,张征,祝达康.钠硫电池储能系统在上海电网的应用研究[J].供用电,2010,6(27):1-4.
[2] 吴福保,杨波,叶季蕾,等.大容量电池储能系统的应用及典型设计[R].2013

[3] DONG T T, WEI X Z, DAI H F. Research on highprecision data acquisition and SOC calibration method for power battery[C]// Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008.
[4] 薛金花,叶季蕾,吴福保,等.智能电网中的储能电站监控系统及应用进展[J].电力电气,2011,11:53-59.
[5] 张国兴.基于Web的储能电站蓄电池远程监控系统设计与实现[D].2012
[6] 张宇,白纪军,何维国,等.镍氢电池储能监控系统的开发与应用[J].供用电,2011,6(28):5-8.
[7] ZHU C B, COLEMAN M, HURLEY W G. State of charge determination in a lead-acid battery: combined EMF estimation and ah-balance approach[C]// 35th Power Electronics Specialists Conference, 2004.
[8] 李景云,严寒明.一种新型的储能监控系统通信网络[C].2014.
[9]王振文,刘文华.钠硫电池储能系统在电力系统中的应用[J].中国科技信息,2006(13):41-46.
[10] NGK' s Sodium Sulfur (NAS) Battery: The Vendor' s Per- spectiv e on Barriers & Issues Encountered in U.S. Deployment [R].NGK INSULAT ORS,LTD.April 2,2009.

作者简介

陈光 (1982-),男,硕士,工程师,长期从事新能源利用、储能电站监控技术研究。
刘娟 (1978-),女,硕士,高级工程师,长期从事储能监控技术研究。
邹丹平 (1980-),女,硕士,高级工程师,长期从事设备状态监测技术研究。
徐亮 (1981-),男,硕士,工程师,长期从事新能源利用研究。
方陈(1983-),男,博士,工程师,长期从事储能系统研究。

(收稿日期:2015-12-10) **EA**
(编辑:张万英)