

一种梯次利用电池可重构储能系统多级在线安全评估及风险预警定位方法

于 璐¹, 张 辉¹, 田培根², 肖 曦², 吴 岩³, 张 凯⁴

(1. 西安理工大学电气工程学院, 西安 710048; 2. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084;
3. 辽宁工程技术大学电气与控制工程学院, 葫芦岛 123000; 4. 华电内蒙古能源有限公司, 呼和浩特 010000)

摘 要: 为提高梯次利用电池可重构储能系统的安全性, 提出一种梯次利用电池可重构储能系统电池的多级在线安全评估方法。该方法采用可重构储能系统中电池单体、模组的电压、温度等实时监测数据, 建立电池及模组的安全评估模型, 通过熵权-TOPSIS法对电池电热安全进行量化评估。安全评估方法可在线量化采用不同厂家、批次、种类退役动力电池可重构储能系统的安全状态, 依据评估结果实现模组和单体的二级安全预警, 完成模组级和单体级的安全风险定位。依据在线安全评估结果, 可对梯次利用电池储能系统及时进行拓扑重构、能量调度和温度管理, 有效提升系统的安全性, 促进梯次利用电池在储能系统中的规模化应用, 符合梯次利用储能系统大规模推广建设的现实需要。

关键词: 可重构; 梯次电池; 风险评估; 储能系统; TOPSIS

中图分类号: TM910

文献标志码: A

0 引 言

电动汽车退役动力电池回收价格低廉、符合储能电站要求、有利于降低电力储能装备成本, 可在电力系统储能领域大量推广动力电池的梯次利用^[1]。由于梯次利用电池经电动汽车长期使用, 电池老化、安全性能下降^[2-3], 并且随着动力电池的规模化退役, 储能电站势必会由不同种类、批次、厂家的梯次利用电池构成, 其特殊的电池构成对储能系统的安全性提出了更高的要求。

在退役动力电池应用储能系统中, 退役动力电池数字可重构网络作为一种电池重构技术受到国内外学者关注^[4]。由于其独特的拓扑结构, 可在毫秒级检测到电池单体、模组的热、电信号, 并依此选择最优的电池模组拓扑以提高储能系统安全性^[5-6]。全新电池可重构储能系统, 电压数据普遍服从正态分布, 依据连续样本数据运用拉依达准则法进行异常单体的筛选, 可实现长效预警以及系统缺陷分析^[7]。由于梯次利用电池老化, 储能系统电压数据逐步偏离正态分布, 应采取更有效的安全保护方法。传统储能系统安全保护方法研究主要为电池故障诊断。文献[8]将电池系统故障诊断方法归结为信号处理法、解析模型法、数据驱动法和专家系统4个方面进行叙述, 并总结数据驱动法是目前主流的锂电池储能系统故障诊断手段之一。文献[9]以电池寿命对储能系

统安全性的影响出发, 全面总结了数据驱动法的锂离子电池寿命关键技术, 并对比分析了传统和现有锂离子电池寿命预测方法的优劣。文献[10]根据香浓熵理论结合熵权重法对电池单体电压进行了评分, 分数可定位出现异常电压的电池单体。文献[11]采用熵权法确定各指标的客观权重, 提出了一种基于权重的电池电压异常检测和故障来源定位的评估系统。

上述文献都以传统储能系统、电动汽车动力电池为研究对象, 未以可重构储能系统作为研究对象。因此, 梯次利用电池在可重构储能系统大规模安全应用, 需采取更有效的安全保护方法提高系统安全性能。针对可重构储能系统中梯次利用电池安全状态, 本文提出一种可重构储能系统多级在线安全评估方法。该方法通过电池运行过程中实时的电压温度数据, 结合阈值法与改进的熵权-TOPSIS法对电池单体、模组的安全状态进行在线评估与异常定位, 最后通过算例验证所提方法的有效性和适用性。

1 可重构储能系统安全评估指标

1.1 可重构储能系统简介

数字可重构储能系统架构如图1所示。通过对每块电池单体、模组增加电力电子开关, 可实现对电池单体、模组电压、温度信息的实时监测, 实现当前最优的网络拓扑从而提高储能系统的安全稳定性^[12]。

收稿日期: 2022-03-14

基金项目: 内蒙古自治区重大科技专项(2020ZD0018); 国家重点研发计划(2020YFB1713000)

通信作者: 田培根(1979—), 男, 博士、高级工程师, 主要从事电力储能与微电网技术方面的研究。tianbacon@tsinghua.edu.cn

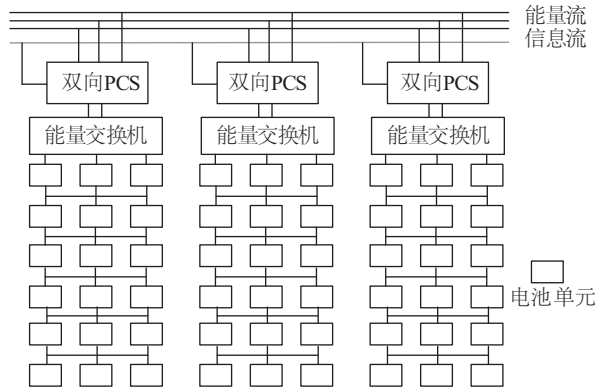


图1 可重构储能系统架构

Fig. 1 Architecture diagram of reconfigurable energy storage system

1.2 可重构储能系统电池单体安全评估模型

可重构储能系统独特的拓扑结构可实现对电池单体、模块的电压、温度信息进行实时监测,基于可重构储能系统电池单体、模块实时监测数据,结合储能系统电、热安全风险特征、确定电池单体安全评估模型。

1.2.1 电池单体电压安全评估模型

由于梯次电池在储能使用前经过筛选重组,同模组各电池单体性能在符合梯次电池储能安全使用标准内,当电池储能系统运行时,某一电池单体电压与同模组其他电池单体电压具有较大差异,则其安全性能比其他电池相对较低,具有潜在的安全隐患。为区别不同厂家、种类电池的电压差异,采用电压偏移率评估电池单体电压安全性能。此外,当电压异常,出现大幅跌落现象,可能会引发发热失控,因此需提前设置电压跌落安全阈值以保障储能系统安全稳定运行。

$$\Delta U = \frac{U_i - \bar{U}}{\bar{U}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ΔU ——电压偏移率; U_i ——电池单体某一时刻电压监测数据, V; \bar{U} ——同一模组同一时刻电压平均值, V。

1.2.2 电池单体温度安全评估模型

电池工作时应保持在一定温度范围内,温度过高会使电池过热进而发生安全问题。因此电池温度越高,其对应的安全评估值越低^[13]。

1.3 可重构储能系统电池模组安全评估模型

选取可重构储能系统电池单体电压、温度等实时监测数据,确定系统模组级安全评估指标。

1.3.1 电池模组温度一致性评估模型

在电池模组中各单体温度的差异性会威胁系统的安全稳定运行。为表征各电池的离散程度,应选取模组电池温度标准差作为安全温度评估度量值。设同一模组电池数量为 $n(n \geq 2)$, 则电池温度安全评估指标可表示为:

$$\varepsilon_T = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2 \right]} \quad (2)$$

式中: ε_T ——电池模组温度安全评估度量值,其越大则代表电池安全性能越低; T_i ——单块电池的实时监测温度, °C; \bar{T} ——同一模组电池的平均温度, °C。

1.3.2 电池模组安全评估模型

电池在动态运行过程中,电池单体评估分数可表征其模组中各电池的安全性能,电池单体安全性能越好其构成的模组性能越稳定。同一批电池单体安全评估平均值 \bar{S} 可表示为:

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (3)$$

式中: S_i ——同一模组中第 i 个电池单体安全评估分数。

1.3.3 电池模组电压一致性评估模型

由于梯次电池老化,经过筛选后电池本身存在差异,为使电池差异性在储能系统运行过程中实时监测,建立模组电压一致性评估模型。

$$\varepsilon_U = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2 \right]} \quad (4)$$

式中: ε_U ——电池模组电压一致性评估指标,其越大则代表电池安全性能越低; U_i ——单块电池的实时监测电压, V; \bar{U} ——同一模组、同一时刻电池的平均电压, V。

2 安全评估方法理论

2.1 熵权法

熵是热力学中的一个概念,体现系统的无序性^[14]。熵的大小反映指标权重大小,可用来判断指标权重,同时为安全评估提供依据,且所得权重较为客观,不受主观因素影响^[15],其步骤为:

1) 构造决策矩阵 $Q = (q_{ij})_{m \times n}$

2) 负向指标正向化、归一化处理。

$$q_{ij}' = \frac{\max q_i - q_{ij}}{\max q_i - q_0} \quad (5)$$

$$q_{ij}' = \frac{q_{ij} - \bar{q}_j}{s_j} \quad (6)$$

式中: \bar{q}_j ——上述研究对象下 j 指标的平均值; s_j ——第 j 项指标标准差。

3) 计算指标风险权重。

$$r_{ij}' = \frac{q_{ij}'}{\sum_{i=1}^m q_{ij}'} \quad (7)$$

4) 计算熵值。

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m r_{ij}' \ln r_{ij}' \quad (8)$$

5) 第 j 个指标权重确定。

$$\lambda_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (9)$$

2.2 TOPSIS法

逼近于理想值的排序方法(TOPSIS)是一种接近理想方案统计分析方法。该方法通过构造决策目标的最优、最劣解,计算每项指标的相对贴进度,根据与理想目标的接近程度对评价对象进行评分排序^[16-17]。其中,最优解为梯次电池一致性使用标准,最劣解为同一批次电池偏离使用标准最大的电池数据指标。一般在TOPSIS法中会直接算出方案中到最优解和最劣解的距离,忽略指标间的差异性,因此需先使用熵值法确定指标权重,评分步骤为:

1)构造决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{m \times n}$

2)确定最优解和最劣解

$$\begin{aligned} C^+ &= \{(\max z_{ij} | j \in J_1), (\min z_{ij} | j \in J_2)\} \\ C^- &= \{(\min z_{ij} | j \in J_1), (\max z_{ij} | j \in J_2)\} \end{aligned} \quad (10)$$

式中: C^+ ——最优解; C^- ——最劣解; J_1 ——正指标集; J_2 ——负指标集。

3)评估对象与最优、最劣解距离计算

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2} \\ d_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \end{aligned} \quad (11)$$

式中: z_j^+ 、 z_j^- ——决策矩阵第 j 列的最大值、最小值。

4)最优贴进度计算

$$E_i^+ = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (12)$$

根据最优贴进度,换算百分制得出安全分数,其算法流程如图2所示。

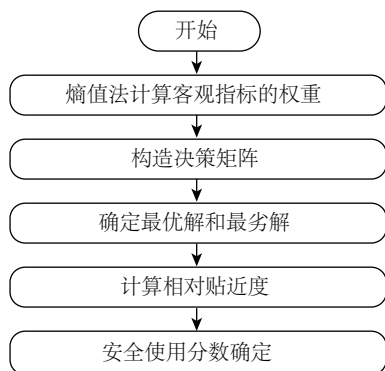


图2 熵权-TOPSIS评估算法流程

Fig. 2 Entropy weight TOPSIS evaluation algorithm flow chart

3 多级在线安全评估方法

为表征可重构储能系统中电池单体、模组的安全状态,选取相应的评估指标对储能系统中热、电安全风险进行实时表征。基于储能系统梯次电池的实时监控数据,通过熵权-TOPSIS法对电池单体、模组安全性能进行客观安全性评估^[18],并依据评估结果对电池单体、模组安全性能进行分档,安全评估流程如图3所示。

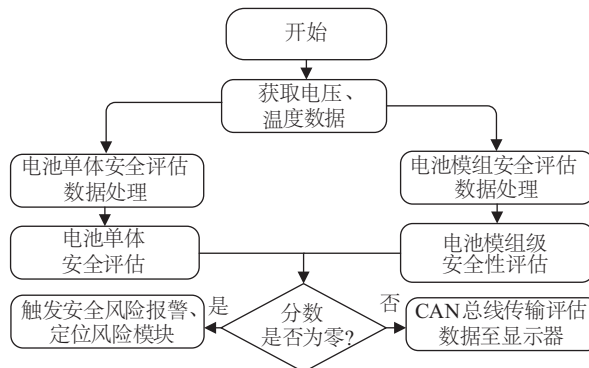


图3 可重构储能系统电池安全评估流程

Fig. 3 Multi level safety assessment flow chart of battery in energy storage system

3.1 电池安全阈值设定

梯次电池由磷酸铁锂和三元锂离子电池构成,不同厂家、批次和种类的梯次电池的温度、电压的安全使用范围各不相同。相比于磷酸铁锂电池,三元锂离子电池安全风险更大,为了统一不同厂家、批次和种类的梯次电池的安全温度阈值,选取120℃作为电池温度阈值即三元锂电池热失控温度^[19]。电池过充、过放会增加储能系统的安全风险,由于梯次电池厂家、信号种类不同以及电池老化等问题,结合国家标准,设置三元锂离子电池过充阈值为4.2V、过放阈值为2.0V,磷酸铁锂电池过充阈值为3.6V、过放阈值为2.7V,具体如表1所示^[20]。

表1 常规锂离子电池基本性能

Table 1 Basic performance table of conventional lithium ion battery

| 参数 | 磷酸铁锂电池 | 三元锂离子电池 |
|--------|--------|---------|
| 标准电压/V | 3.2 | 3.7 |
| 工作温度/℃ | -40~55 | -20~60 |
| 过充电压/V | 3.6 | 4.2 |
| 过放电压/V | 2.0 | 2.7 |

3.2 电池单体及模组安全评估方法

基于阈值法,对各电池单体电压、温度信息进行判断,若触发安全阈值,将电池安全分数置零并触发安全报警;若未触发安全阈值,则进行综合评估。基于熵权法,通过式(5)~式(9)确定电池电压、温度评估指标权重,传统熵权-TOPSIS法在同一批数据中寻找最优和最劣解作为评估标准,这种方式可能会造成评估中电池整体温度过热时无法正确识别安全性能。因此对传统熵权-TOPSIS法进行改进,依据表1设定不同种类梯次利用电池评估的最优与最劣解,解决由于电池整体性能的差异所造成评估结果准确性下降问题。通过式(10)~式(12)计算出可重构储能系统在线电池单体安全评估分数,评估流程如图4所示。

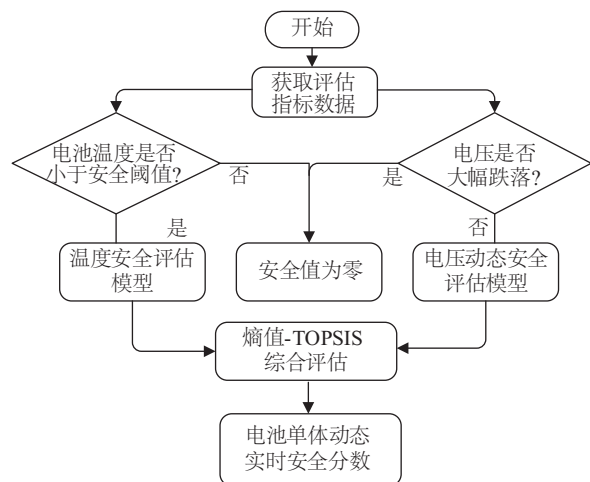


图4 电池单体安全评估流程

Fig. 4 Flow chart of battery unit safety assessment method

基于熵权法,通过式(5)~式(9)确定电池模组电压一致性、温度一致性和电池单体安全评估指标权重,通过式(10)~式(12)计算出可重构储能系统在线电池模组安全评估分数,评估流程如图5所示。

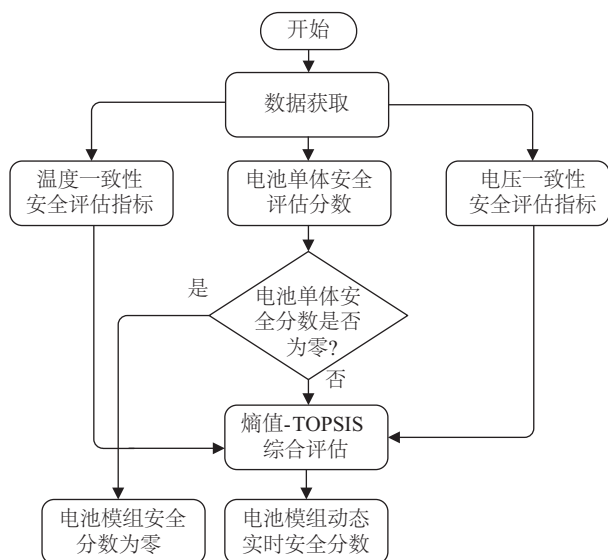


图5 电池模组级安全评估流程

Fig. 5 Flow chart of battery module level safety assessment method

3.3 预警定位方法

储能系统安全预警是保障系统稳定运行的前提,依据在线单体、模组安全评估分数,可对电池的安全性能进行动态预警,避免系统由长时间异常运行导致的安全问题,如过压、过热、不一致性等。结合安全阈值对储能系统突发安全问题进行实时安全预警,如电池内短路、系统外短路等安全问题。当模组安全分数为零时,查找相对应的模组编号,可在问题模组中筛查出单体安全分数为零的电池,查找对应的电池单体编号实现安全风险定位,其流程如图6所示。

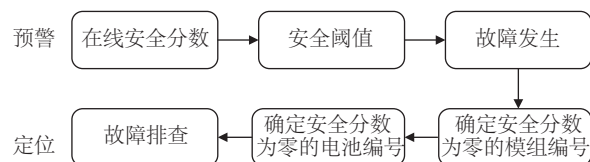


图6 安全预警定位流程

Fig. 6 Flow chart of safety early warning positioning

参考电力储能用锂离子电池标准(GB/T 36276),将电池的安全状态分数按区间划分,用来确定电池潜在的安全风险,如表2所示。表2中安全性能为优的电池单体、模组电、热安全性能较好,可长时间使用;安全性能为良的电池单体、模组的电热安全性能较弱,但无明显的电、热隐患,可依据分数的变化适当使用;安全性能为中的电池单体、模组安全性能较差,会有单一的电、热的安全隐患,需系统重构,减少使用次数;安全性能为差的电池,其会有电、热的双重隐患,具有潜在的安全风险,需系统旁路并及时排查,确保储能系统的安全性能。

表2 安全分数与电池安全性能对比

Fig. 2 Comparison between safety score and battery safety performance

| 分数 | 0~25 | 25~50 | 50~75 | 75~100 |
|------|------|-------|-------|--------|
| 安全性能 | 差 | 中 | 良 | 优 |

4 算例分析

为验证所提方法的可行性,采用美国国家航空航天局(NASA)电池数据集中循环次数大于2000次电池数据,模拟梯次利用电池老化的特征,基于可重构网络的数字电池能量交换系统及云平台对电池安全性能进行算例验证。选取5组模组数据,单一模组内分布10块电池单体,选取其2000次动态监测数据,利用本文提出的安全评估方法对其进行安全评估。

4.1 电池单体安全风险评估结果

依据数据获取频次对模组1中10块电池单体进行电压、温度实时监测。图7为电池单体监测数据,可看出各电池未发生明显电压偏移现象,各电池温度介于26~31℃之间,处于电池正常工作温度,电池安全性能较高。

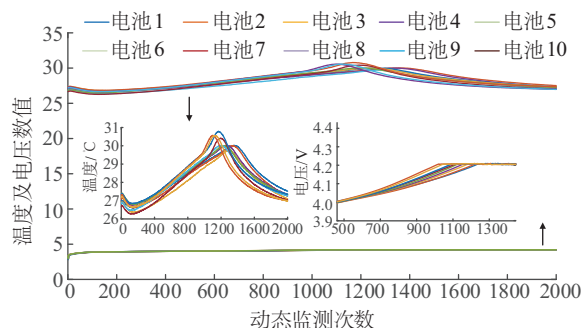


图7 模组1电池单体监测数据

Fig. 7 Module 1 battery cell monitoring data

基于实时监测数据,通过式(1)对电压数据进行预处理,通过式(5)~式(12)计算电池单体安全评估分数。图8为电池单体评估结果,各电池安全分数介于75~100分之间,安全性能为优,并随温度变化其安全分数与温度变化呈反比,在电压偏差较小时反映温度对电池安全性能的影响。

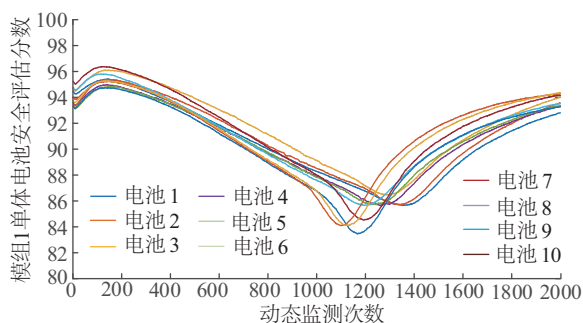


图8 电池单体安全评估结果

Fig. 8 Battery cell level safety assessment results

4.2 电池模组安全风险评估结果

基于实时监测数据,通过式(2)~式(4)对模组评估指标数据进行预处理,通过式(5)~式(12)计算电池模组安全评估分数,结果如图9所示。从图9可看出,模组1、2、4运行状态处于75~100分之间安全性能为优,3号模组处于约75分,查验发现3号模组其整体电池运行温度处于30~40℃之间,并且各单体温度具有一定差异,导致其分数弱于其他模组。

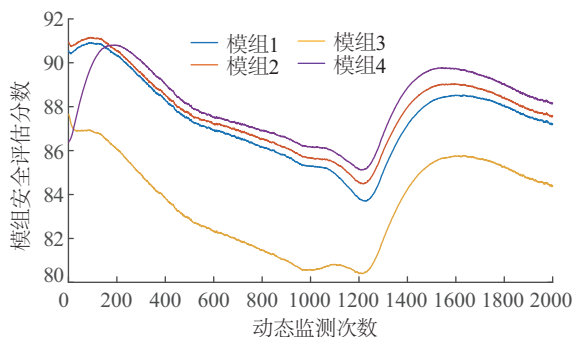


图9 储能模组安全评估结果

Fig. 9 Safety assessment results of energy storage module

综上所述,本文所提在线安全评估方法可表征电池单体、模组实时的电、热安全性能,其分数的差异反映各电池单体、模组的温度、电压、一致性等风险隐患,证明了所提方法的有效性。

4.3 电池风险预警定位

为验证所提方法在线风险预警与风险定位,引入对比模组5,通过式(5)~式(12)计算电池单体、模组安全评估分数,结果如图10、图11所示。由图10可知,可重构储能系统安全性评估中1号和10号电池出现安全故障,查看电池监测数据发现1号电池在第1717次监测时,电池电压发生短路故障,电压在极短时间内跌落至零,因此触发电池单体电压阈值,

电池安全分数为零。10号电池在1731次监测时温度高于安全阈值,触发电池单体温度阈值,电池安全分数为零。图11显示加入5号模组后电池模组评估结果,可看出1700次监测时模组安全性置零。从上述分析可知,5号模组1号电池在1717次监测时触发安全风险报警,安全分数为零,则其所在模组安全分数为零。

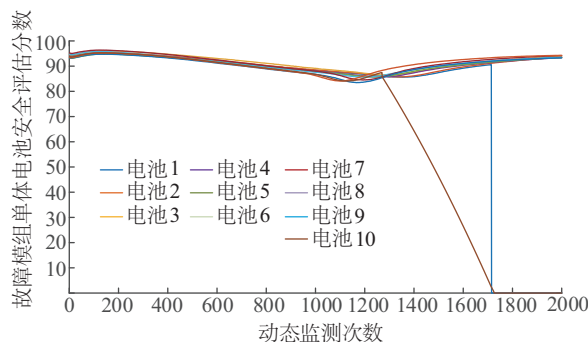


图10 模组5电池单体安全评估结果

Fig. 10 Diagram of safety assessment results of module 5 battery unit

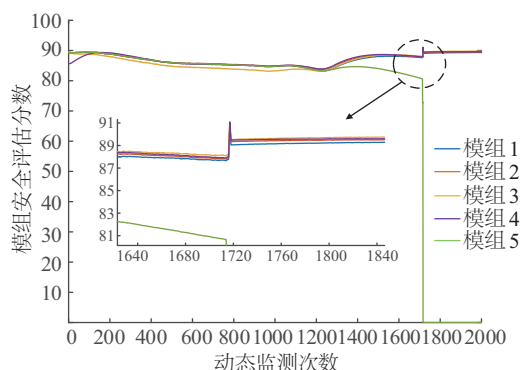


图11 加入模组5模组安全评估结果

Fig. 11 Safety assessment results of added module 5

由上述分析可知,根据在线安全分数可判断电池的实时安全性能,并基于可重构网络选择合适的安全保护方法,进一步提高储能系统安全性。当电池单体、模组发生故障时,可根据在线安全分数快速定位到故障电池单体,并可根据安全分数的变化趋势判断电池故障性质,具有较高的工业应用价值。

5 结 论

由于梯次利用储能系统电池安全风险性质模糊、难以量化,本文提出一种基于动态监测数据的梯次利用电池储能系统多级安全评估及风险预警定位方法,研究得到以下主要结论:

1)从系统热、电2个方面构建储能系统安全评估指标体系,能够全面合理地反映储能系统电池单体、模组的过压、过热、一致性等安全风险。

2)以熵权-TOPSIS理论为基础,依据建立的系统热、电安

全评估指标体系,建立安全评估模型,设计具体的评估流程。依据在线监测的温度、电压等数据,能够实现储能系统电热安全的统一在线评估。依据评估结果实现模组、单体的两级安全预警,完成模组级和单体级的安全风险定位,具备实际的工程应用价值。

3)依据在线安全评估结果,可对梯次利用电池储能系统及时进行拓扑重构、能量调度和温度管理,并对不同安全性能的电池采用不同的安全管理方法,有效提升系统的安全性,促进梯次利用电池在储能系统中的规模化应用,符合梯次利用储能系统大规模推广建设的现实需要。

[参考文献]

- [1] 李建林,李雅欣,吕超,等.退役动力电池梯次利用关键技术及现状分析[J].电力系统自动化,2020,44(13):172-183.
LI J L, LI Y X, LYU C, et al. Key technologies and current situation of echelon utilization of retired power batteries [J]. Power system automation, 2020, 44(13): 172-183.
- [2] 李建林,李雅欣,吕超,等.碳中和目标下退役电池筛选目标技术研究[J/OL].电网技术,2021-08-05:1-14.
LI J L, LI Y X, LYU C, et al. Research on decommissioned battery screening technology under carbon neutralization target[J/OL]. Power grid technology, 2021-08-05: 1-14.
- [3] 李建林,武亦文,吕超,等.碳达峰背景下退役锂电池梯次利用电热管理技术[J].高电压技术,2021,47(9):3061-3074.
LI J L, WU Y W, LYU C, et al. Electrothermal management technology for cascade utilization of retired lithium batteries under the background of carbon peak [J]. High voltage technology, 2021, 47(9): 3061-3074.
- [4] 慈松.数字储能系统[J].全球能源互联网,2018,1(3):338-347.
CI S. Digital energy storage system [J]. Global energy internet, 2018, 1(3): 338-347.
- [5] CI S, ZHOU Y L, XU Y, et al. Building a cloud-based energy storage system through digital transformation of distributed backup battery in mobile base stations [J]. China communications, 2020, 17(4): 42-50.
- [6] CI S, LIN N, WU D. Reconfigurable battery techniques and systems: a survey [J]. IEEE access, 2016(4): 1175-1189.
- [7] 孙振宇.基于数据驱动的纯电动汽车动力电池故障诊断方法研究[D].北京:北京理工大学,2018.
SUN Z Y. Research on fault diagnosis method of pure electric vehicle power battery based on data drive [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2018.
- [8] 田佳强.储能锂电池系统健康评估与故障诊断研究[D].合肥:中国科学技术大学,2021.
TIAN J Q. Study on health assessment and fault diagnosis of energy storage lithium battery system [D]. Hefei: China University of Science and Technology, 2021.
- [9] 李建林,王哲,许德智,等.基于数据驱动法的锂离子电池寿命预测关键技术综述[J].电器与能效管理技术,2021(9):10-18.
LI J L, WANG Z, XU D Z, et al. Summary of key technologies of lithium ion battery life prediction based on data-driven method [J]. Electrical appliances and energy efficiency management technology, 2021(9): 10-18.
- [10] SUN Z, LIU P, WANG Z. Real-time Fault diagnosis method of battery system based on shannon entropy [J]. Energy procedia, 2017, 105: 2354-2359.
- [11] PENG L, ZHEN Y S, ZHEN P W, et al. Entropy-based voltage fault diagnosis of battery systems for electric vehicles [J]. Energies, 2018, 11(1): 136.
- [12] CI S, HE H, KANG C, YANG Y. Building digital battery system via energy digitization for sustainable 5G power feeding [J]. IEEE wireless communications, 2020, 27(5): 148-154.
- [13] MARCOS D, GRAMENDIA M, CREGO J, et al. Hazard and risk analysis on lithium-based batteries oriented to battery management system design [C]//2020 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Gijon, Spain, 2020.
- [14] 张家美,黎灿兵,彭敏放,等.基于综合功率介数的主动配电网脆弱性分析[J].电力系统保护与控制,2018,46(18):41-48.
ZHANG J M, LI C B, PENG M F, et al. Vulnerability analysis of active distribution network based on comprehensive power medium [J]. Power system protection and control, 2018, 46(18): 41-48.
- [15] 毕娟,李希建.组合赋权的TOPSIS在冲击地压危险性评价中的应用[J].矿业安全与环保,2020,47(2):114-119.
BI J, LI X J. Application of combined weighted TOPSIS in rockburst risk assessment [J]. Mining safety and environmental protection, 2020, 47(2): 114-119.
- [16] 何永贵,刘江.基于组合赋权-云模型的电力物联网安全风险评估[J].电网技术,2020,44(11):4302-4309.
HE Y G, LIU J. Electric internet of things security risk assessment based on combined weighting-cloud model [J]. Power system technology, 2020, 44(11): 4302-4309.
- [17] 邱伟强,王茂春,林振智,等.“双碳”目标下面向新能源消纳场景的共享储能综合评价[J].电力自动化设备,2021,41(10):244-255.
QIU W Q, WANG M C, LIN Z Z, et al. Comprehensive evaluation of shared energy storage for new energy

- consumption scenario under the “double carbon” goal [J]. Power automation equipment, 2021, 41(10): 244-255.
- [18] 毕娟, 李希建. 组合赋权的TOPSIS在冲击地压危险性评价中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2020, 47(2): 114-119.
- BI J, LI X J. Application of combined weighted TOPSIS in risk assessment of rock burst [J]. Mining safety and environmental protection, 2020, 47(2): 114-119.
- [19] 周天念, 吴传平, 陈宝辉. 加热引发三元 18650 型锂离子电池组的燃烧特性[J]. 储能科学与技术, 2021, 10(2): 558-564.
- ZHOU T N, WU C P, CHEN B H. Combustion characteristics of ternary 18650 lithium ion battery pack initiated by heating [J]. Energy storage science and technology, 2021, 10(2): 558-564.
- [20] 王彦兵, 王晴晴, 张杰. 锂离子电池性能标准 IEC 61960-3: 2017 解析[J]. 中国标准化, 2022(3): 158-160.
- WANG Y B, WANG Q Q, ZHANG J. Analysis of lithium ion battery performance standard IEC 61960-3: 2017 [J]. China standardization, 2022(3): 158-160.

MULTI-LEVEL ON-LINE SAFETY ASSESSMENT OF RECONFIGURABLE ENERGY STORAGE SYSTEM USING SECONDARY BATTERIES RISK WARNING POSTITIONING METHOD

Yu Lu¹, Zhang Hui¹, Tian Peigen², Xiao Xi², Wu Yan³, Zhang Kai⁴,

(1. College of Electrical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. College of Electrical Engineering and Applied Electronics Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. School of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 123000,

4. Huadian Inner Mongolia Energy Co., Ltd., Hohhot 010000, China)

Abstract: In order to improve the safety of secondary batteries reconfigurable energy storage system, a corresponding multi-level online safety evaluation method is proposed. Based on the voltage and temperature data of the battery monomer and module monitored in real time, this method establishes the safety evaluation model of the battery and module, and quantitatively evaluates the battery electrothermal safety by the entropy weight TOPSIS method. The safety evaluation method can quantify the safety status of the reconfigurable energy storage system using retired power batteries from different manufacturers, batches or types online, so that it can realize the secondary safety early warning of modules and monomers according to the evaluation results, and complete the safety risk positioning of modules and monomers. According to the online safety evaluation results, the topology reconstruction, energy scheduling and temperature management of the secondary batteries energy storage system can operate in time. Hence, this proposed method can effectively improve the safety of the system, promoting the large-scale application of secondary batteries and the large-scale construction of the secondary batteries energy storage system with the practical needs.

Keywords: reconfigurable architectures; secondary batteries; risk management; energy storage; system TOPSIS