

引用格式: 戴明威, 张春富, 杨佳武. 基于多特征融合的锂电池热失控预警方法 [J]. 南方能源建设, 2025, 12(2): 128-133. DAI Mingwei, ZHANG Chunfu, YANG Jiawu. Lithium battery thermal runaway warning method based on multi-feature fusion [J]. Southern energy construction, 2025, 12(2): 128-133. DOI: 10.16516/j.ceec.2024-204.

基于多特征融合的锂电池热失控预警方法

戴明威, 张春富[✉], 杨佳武

(盐城工学院 电气工程学院, 江苏 盐城 224051)

摘要: [目的] 锂电池在工作存储过程中会产生大量热量, 温度异常会影响锂电池寿命和循环效率, 极端情况甚至会引起爆炸, 因此锂电池的热失控预警研究, 对保证锂电池的运行安全具有重要意义。[方法] 使用 DTW-Kmeans 算法对锂电池的异常温升速率进行识别, 随后结合锂电池安全阀开启后表面温度下降的物理特征, 采用了双特征融合的方法提出了对锂电池热失控的预警机制。[结果] 重复性实验验证了本预警算法可有效地通过温升速率来区分出异常锂电池, 并且能够识别异常锂电池温升速率由正向负的突变, 综合识别准确率超过 90%。[结论] 该预警算法能够准确识别出温升速率异常的锂电池, 并且能够及时准确地检测锂电池安全阀开启时间和位置。因此, 该预警算法可以为锂电池热失控提供预警, 从而保障锂电池组的安全运行。

关键词: 锂电池; DTW-Kmeans; 安全阀; 多特征融合; 热失控预警

DOI: 10.16516/j.ceec.2024-204

文章编号: 2095-8676(2025)02-0128-06

CSTR: 32391.14.j.ceec.2024-204

中图分类号: TM912; X932



论文二维码

Lithium Battery Thermal Runaway Warning Method Based on Multi-Feature Fusion

DAI Mingwei, ZHANG Chunfu[✉], YANG Jiawu

(School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, Jiangsu, China)

Abstract: [Objective] During the operation and storage of lithium batteries, substantial heat is generated. Anomalies in temperature can impact the lifespan and cycling efficiency of lithium batteries, and in extreme cases, may lead to explosions. Therefore, research on thermal runaway warning for lithium batteries is crucial for ensuring their operational safety. [Method] The DTW-Kmeans algorithm was employed to identify anomalies in the temperature rise rate of lithium batteries. Subsequently, the physical characteristic of surface temperature decrease following the opening of the lithium battery safety valve was incorporated. A dual-feature fusion approach was utilized to propose a thermal runaway warning mechanism for lithium batteries. [Result] Repetitive experiments have validated the effectiveness of the proposed early warning algorithm in distinguishing abnormal lithium batteries based on temperature rise rates. Furthermore, it is capable of identifying the sudden change in temperature rise rates from positive to negative in abnormal lithium batteries, achieving a comprehensive recognition accuracy rate exceeding 90%. [Conclusion] The early warning algorithm is able to accurately identify lithium batteries with abnormal temperature rise rates, and can promptly and precisely detect the timing and location of the opening of the safety valve in the lithium battery. Consequently, this early warning algorithm serves as a preemptive measure against thermal runaway in lithium batteries, thereby safeguarding the safe operation of lithium-ion battery packs.

Key words: lithium-ion battery; DTW-Kmeans; safety valve; multi-feature fusion; thermal runaway warning

2095-8676 © 2025 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

收稿日期: 2024-06-15 修回日期: 2024-07-08 网络首发日期: 2024-11-12

基金项目: 江苏省研究生实践创新计划资助项目“一种基于可控均衡电流的锂电池均衡技术”(SJCX22_1684)

0 引言

随着动力电池技术的迅速发展,高比能量的锂电池在电动汽车和储能等领域得到广泛应用。然而,锂电池在使用过程中受到焦耳热、反应热和副反应热等因素的影响,大量热量积聚,使得电池温度不断上升。温度异常会影响锂电池的寿命和循环效率,甚至在极端情况下可能引发爆炸事故^[1]。因此,对锂电池的热失控进行预警研究具有重要意义,可以有效保障锂电池的安全运行^[2-3]。

在电池热失控前期,由于化学反应,电池内部会产生大量气体,从而导致内部压力增加。为了防止内部压力不断上升而引发爆炸,锂电池通常配备有安全阀。安全阀的作用是在必要时切断电流并迅速释放电池内部的气体。然而,研究表明,即使安全阀开启,仍存在一定概率发生热失控。即使未发生热失控,由锂电池化学反应产生的易燃易爆气体也会对系统安全构成潜在威胁^[4]。因此,及时准确地发现锂电池安全阀的开启时间和位置,对于锂电池热失控预警至关重要^[5-7]。

目前已有相关预警方法,例如有研究提出监测电池热失控特征气体的预警方法,但气体难以扩散到密闭的电池模组外,且气体扩散过程中易受复杂的气流干扰^[8];有研究探索了特征声音预警方法,该方法基于电池安全阀开启时产生的特定频率声音。然而,由于电池模组外壳的阻尼作用,声音传播受到限制,导致该预警方法在实际应用中面临一定的局限性^[9];另外,还有基于固定温度阈值和温升速率的热失控预警方法,但不同锂电池热失控前的温度和温升速率存在差异,可能出现误报或者延迟预警的问题^[10]。

针对上述问题,文章提出基于温升速率异常和安全阀开启后温度下降的多特征融合锂电池热失控预警方法,可以及时准确地发现锂电池安全阀开启时间和位置。

1 预警算法的相关理论

1.1 热失控算法理论依据

锂离子电池的产热主要源自3个方面:反应热、焦耳热及电池自放电或副反应热。反应热在充电过程中吸收热量,放电时释放热量;焦耳热则主要由电

池内阻产生。自放电或副反应热通常源于SEI膜分解、内部短路等,其产热在正常工况下占比不到总热量的1%。然而,在热失控情况下,随着电池温度攀升,副反应热急剧增加,可能超越反应热成为主导热源,引发温度骤升^[11]。

另根据《电动汽车用动力电池安全要求》(GB 38031—2020)可知,锂电池热失控的判定条件有温升速率 $dT/dt \geq 1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$,且持续3s以上,表明锂电池状态异常时的温升速率高于正常锂电池。

赵春朋等^[12]采用扩展容积加速量热仪和耐压罐,在密闭空间中对不同荷电状态(SOC)下的18650型锂离子电池进行了热爆炸实验。研究表明,安全阀开启后锂电池表面温度会出现下降的情况。此外,多篇文献^[13-18]中对不同形状和材料的锂电池进行过充或过热实验,也观察到了安全阀开启后表面温度下降的现象^[16-18]。

1.2 DTW 算法

DTW(Dynamic Time Warping, 动态时间规划)算法可求解不相等序列特征之间的距离,来衡量2段序列的相似性。对序列 X 和 Y 构造矩阵,矩阵元素分别表示 X_i 和 Y_j ,以欧氏距离作为矩阵中对应的元素的量^[19-21]。

根据动态规划的最终目标,寻找一条通过此矩阵网络中若干点的路径,现将此路径用 W 来表示, W 的第 q 个元素定义为 $W_q=(i,j)$, W 应满足以下条件:

(1)边界条件:基于时间的规划要求明确界定每个序列的起始与终止时间点(起点为矩阵左下角,终点为右上角),各序列间的长度可以有所不同。

(2)连续性: X 和 Y 中所有元素都不可缺少,并且只能与其相邻的点对齐。不会出现遗漏和跨越对齐情况。

(3)单调性: X 和 Y 中的元素必须是随着步长的增加而单调变化。

依据DTW,从(0,0)起每到一个点都对之前所有点的距离进行累加,累加距离 $D(i,j)$ 为:

$$D(i,j) = d(X_i, Y_j) + \min\{D(i-1, j-1), D(i, j-1), D(i-1, j)\} \quad (1)$$

当前格点距离 $d(X_i, Y_j)$,而DTW所研究的就是使得累加距离最小。

$$DTW(i, j) = \min \left(\frac{\sqrt{\sum_{q=1}^p W_q}}{P} \right) \quad (2)$$

P ——对不同长度的规划路径进行的补偿。

1.3 K-means 算法

K-means 聚类算法, 作为经典的基于距离的无监督学习算法, 依据样本间距离的度量标准, 将样本集划分为某种规则下的性质相近的数据子集, 这一过程旨在揭示数据间潜在的内在关联和区别, 可以深入理解数据的物理或逻辑分组特性^[22-23]。K-means 聚类算法中的 k 代表聚类个数, means 代表取每个聚类中数值的平均值作为该簇的中心, 即每个簇都用这个类的中心描述。这种聚类算法容易实现, 其具体实现流程如下:

- (1) 根据实际情况确定簇的个数 k 。
- (2) 计算各个采样点到簇中心的距离, 一般用欧氏距离表示。
- (3) 该采样点归类至最近中心点代表的簇中。根据新划分的簇, 更新“簇中心”。
- (4) 重复步骤(2)和步骤(3), 直到“簇中心”不再移动。

2 基于多特征融合的锂电池热失控预警方法

2.1 算法原理

异常锂电池的温升斜率会高于正常锂电池, 因此会出现异常电池的温升曲线偏离正常温升曲线的现象, 利用 DTW 算法可以将每个锂电池温度序列与其他锂电池温度序列进行相似性匹配, 再将每次匹配后的相似度求和, 这样每个温度序列都有一个相似度值, 然后利用 K-means 聚类算法将所有相似度值分为 2 类, 异常温度序列将被分为单独类, 这样可将异常温度曲线识别出来; 再根据异常锂电池安全阀开启后表面温度下降的物理现象, 通过识别异常温度序列温升速率是否出现由正到负的转变, 判断异常锂电池的安全阀开启时间和位置。

2.2 算法流程图

文章所述算法的总体流程如图 1 所示。算法主要包括以下 3 个部分:

- (1) 数据预处理: 当有锂电池的温度超过 40 ℃

时, 开始对所有锂电池温度数据进行采集, 每组采集 1 min 的数据。随后, 将采集的温度数据转换成温升斜率。在文章中, 对 10 个数据点进行 1 次斜率计算, 这样既能有效过滤掉部分噪声, 又能够保留安全阀开启后温升速率由正到负的情况。

(2) 基于 DTW-Kmeans 的异常温升速率划分算法: 利用 DTW 算法构建各个锂电池温度序列之间的相似度值, 然后利用 K-means 聚类算法将所有相似度值分为 2 类, 异常温度序列将被分为独立的异常类。

(3) 基于表面温度下降的安全阀开启判断方法: 通过异常类温升速率出现由正到负的突变, 正常类温升速率没有由正到负, 判断异常锂电池的安全阀已开启。

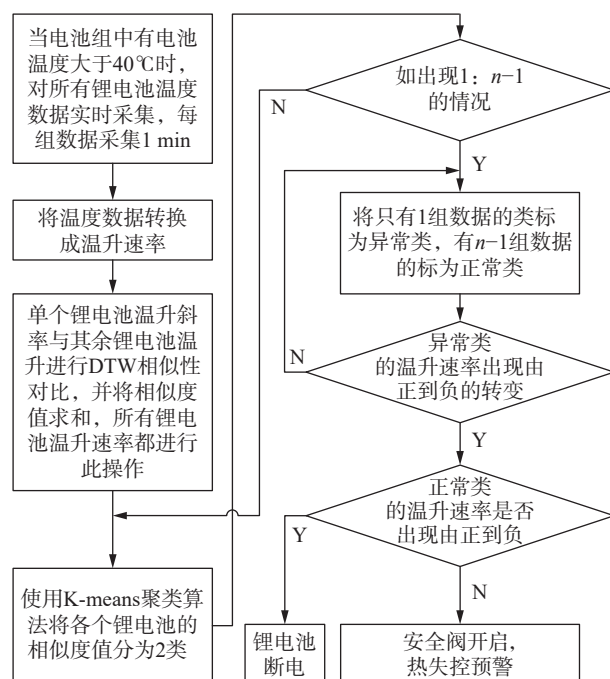


图 1 锂电池热失控预警算法流程图

Fig. 1 Flow chart of lithium battery thermal runaway warning method

3 实验及结果分析

为获取实验数据集, 文章进行 4 组锂电池过充热失控实验, 采集数据包括温度及电压数据。算法测试硬件环境为 Intel Core i5-12500H CPU@2.50 GHz, 操作系统为 Windows 11, 编程环境为 Matlab2021b。

3.1 锂电池热失控实验设置

实验在防爆箱中进行, 以 18650 锂离子电池为研究对象, 在 1 C、1/2 C、1/3 C 及 1/5 C 充电倍率下

对锂离子动力电池进行过充电实验。

实验平台和实验图如图2、图3所示。实验步骤如下:

(1)每组实验有4节锂电池,1节锂电池预先充电20 min,静置1 h,之后4节锂电池串联进行过充实验。

(2)将热电阻探头贴于锂电池表面,温度采集电路连接计算机USB接口以传输温度数据。

(3)实验在室温下进行,实验时打开高清摄影机进行实验记录。

(4)热失控结束后,待电池表面温度降至室温停止数据采集。

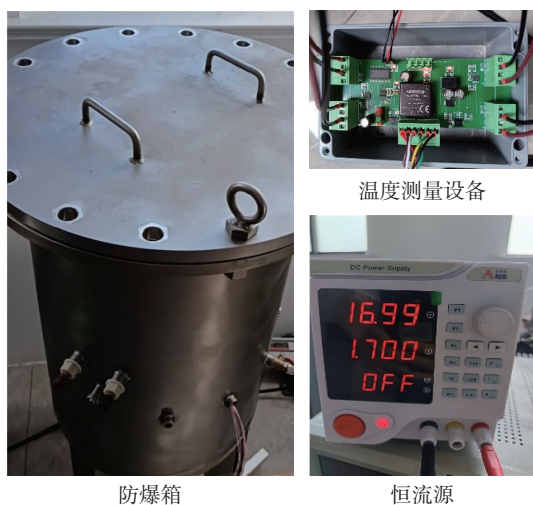


图2 过充实验平台

Fig. 2 Overcharge experimental platform



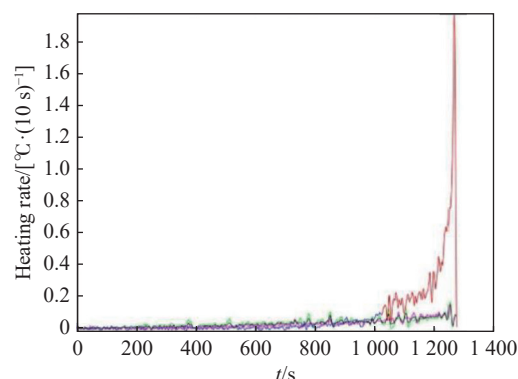
图3 锂电池过充实验图

Fig. 3 Lithium battery overcharge experiment diagram

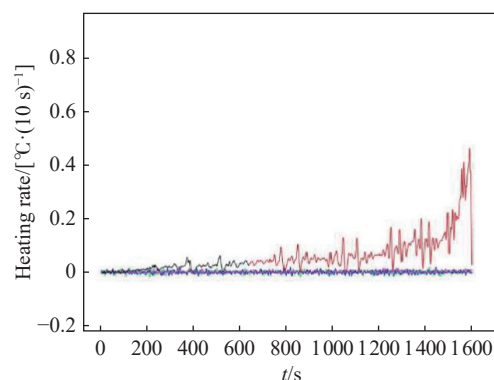
3.2 实验结果分析

使用DTW-Kmeans算法对温度数据进行测试,每组数据测试20次。实验结果如图4所示,预警算法的准确率如表1所示。

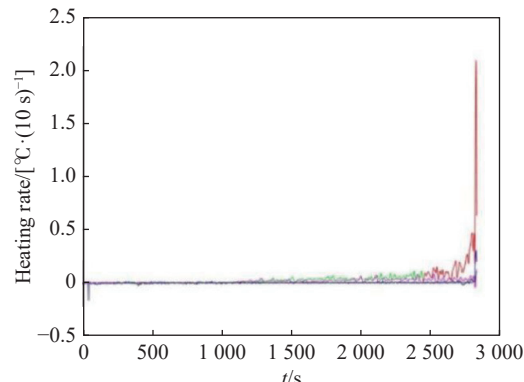
通过观察图4中曲线的红色区域,可以清晰地看出预警算法在区分异常锂电池的温升速率与其他



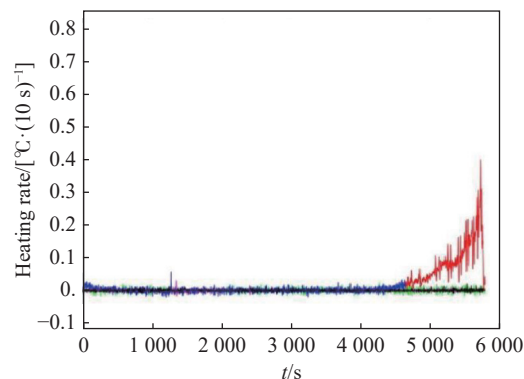
(a) 第1组数据



(b) 第2组数据



(c) 第3组数据



(d) 第4组数据

图4 预警算法实验结果

Fig. 4 Experimental results of early warning algorithm

表1 预警算法重复性测试

Tab. 1 Repeatability testing of early warning algorithms

指标	第1组	第2组	第3组	第4组
位置正确次数/次	18	18	19	18
时间正确次数/次	18	18	19	18
总体准确率/%	90	90	95	90

正常锂电池方面的有效性。特别是在异常锂电池温升速率由正向负的突变出现时,数据截止。4组数据的截止时间与安全阀开启相差在10 s内。这证实了预警算法能够准确识别出发生异常热反应的锂电池,并且对安全阀开启时间和位置的监测具有高效性。

此外,从表1的数据可以看出,4组数据的测试准确率均超过90%,说明预警算法在发现锂电池安全阀开启时间和位置方面具有可靠性。

4 结论

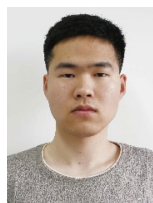
尽管锂电池的发展势头强劲,但对于锂电池热失控安全管理的研究仍然存在不足之处,该领域的安全管理依然备受关注。根据文章的实验结果可知,文章所提出的基于多特征融合的锂电池热失控预警算法是有效的。通过采用DTW-Kmeans算法区分异常锂电池的温升速率,从而识别温升异常的锂电池,随后结合了锂电池安全阀开启后表面温度下降的物理特征,有效检测到了锂电池安全阀开启时间和位置,为锂电池热失控提供预警。未来的研究可探索更新的相似性匹配和聚类算法,深入研究更多热失控前期特征,并进行多特征融合,以提升系统的实际应用性能和可靠性。

参考文献:

- [1] 王超,陈奇,谷新梅,等.基于麻雀优化算法的锂电池健康状态估计方法[J].南方能源建设,2023,10(6):89-97. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.06.010.
WANG C, CHEN Q, GU X M, et al. Assessment method for health state of li-ion batteries based on sparrow search algorithm [J]. Southern energy construction, 2023, 10(6): 89-97. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.06.010.
- [2] 文婷,陈雷,曾鹏骁,等.广东新型储能配套政策建议[J].南方能源建设,2022,9(4):70-77. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.009.
WEN T, CHEN L, ZENG P X, et al. Suggestions on supporting policies for new energy storage in Guangdong [J]. Southern energy construction, 2022, 9(4): 70-77. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.009.
- [3] 李学斌,赵号,陈世龙.预制舱式磷酸铁锂电池储能电站能耗计算研究[J].南方能源建设,2023,10(2):71-77. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.010.
LI X B, ZHAO H, CHEN S L. Research on energy consumption calculation of prefabricated cabin type lithium iron phosphate battery energy storage power station [J]. Southern energy construction, 2023, 10(2): 71-77. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.010.
- [4] 李正力,李肖辉,王京,等.锂离子电池储能电站热失控预警与防护研究进展[J].高压电器,2024,60(1):87-99. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2024.01.011.
LI Z L, LI X H, WANG J, et al. Research progress on thermal runaway warning and protection of lithium-ion battery in energy storage power station [J]. High voltage apparatus, 2024, 60(1): 87-99. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2024.01.011.
- [5] 李汪繁,吴何来.双碳目标下我国碳市场发展分析及建议[J].南方能源建设,2022,9(4):118-126. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.015.
LI W F, WU H L. Analysis and suggestions for the development of carbon emissions trading markets in China under carbon peak and neutrality goals [J]. Southern energy construction, 2022, 9(4): 118-126. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.015.
- [6] 李涵,王炎,张西龙,等.热辐射触发锂离子电池热失效行为及其射流热特性[J].汽车安全与节能学报,2024,15(1):83-91. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8484.2024.01.009.
LI H, WANG Y, ZHANG X L, et al. Thermal failure behaviors and the heat efflux characteristics of Li-ion batteries triggered by thermal radiation [J]. Journal of automotive safety and energy, 2024, 15(1): 83-91. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8484.2024.01.009.
- [7] 刘昊东,张鹏飞,黄钰期.三元锂电池热失控射流可视化及速度场测试[J].化工进展,2024,43(2):703-712. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2023-1363.
LIU H D, ZHANG P F, HUANG Y Q. Visualization and velocity field test of thermal runaway jet of ternary lithium battery [J]. Chemical industry and engineering progress, 2024, 43(2): 703-712. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2023-1363.
- [8] 王春力,贡丽妙,亢平,等.锂离子电池储能电站早期预警系统研究[J].储能科学与技术,2018,7(6):1152-1158. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2018.0174.
WANG C L, GONG L M, KANG P, et al. Research on early warning system of lithium ion battery energy storage power station [J]. Energy storage science and technology, 2018, 7(6): 1152-1158. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2018.0174.
- [9] 苏同伦.基于声信号的锂电池储能舱安全预警及故障定位方法研究[D].郑州:郑州大学,2021. DOI: 10.27466/d.cnki.gzzdu.2021.000418.
SU T L. Research on safety warning and fault location of lithium battery energy storage cabin based on acoustic signal [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2021. DOI: 10.27466/d.cnki.gzzdu.2021.000418.
- [10] 曹勇,杨大鹏,朱清,等.大容量磷酸铁锂电池模组热失控研究[J].储能科学与技术,2024,13(7):2462-2469. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0108.
CAO Y, YANG D P, ZHU Q, et al. Thermal runaway of large

- capacity lithium-iron phosphate battery pack [J]. *Energy storage science and technology*, 2024, 13(7): 2462-2469. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0108.
- [11] 冯旭宁. 车用锂离子动力电池热失控诱发与扩展机理、建模与防控 [D]. 北京: 清华大学, 2016.
- FENG X N. Thermal runaway initiation and propagation of lithium-ion traction battery for electric vehicle: test, modeling and prevention [D]. Beijing: Tsinghua University, 2016.
- [12] 赵春朋, 王青松, 余彦. 密闭空间中锂离子电池的热爆炸危险性 [J]. *储能科学与技术*, 2018, 7(3): 424-430. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2018.0001.
- ZHAO C P, WANG Q S, YU Y. Thermal explosion hazards of lithium-ion batteries in hermetic space [J]. *Energy storage science and technology*, 2018, 7(3): 424-430. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2018.0001.
- [13] 程志翔, 曹伟, 卢波, 等. 储能用大容量磷酸铁锂电池热失控行为及燃爆传播特性 [J]. *储能科学与技术*, 2023, 12(3): 923-933. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2022.0690.
- CHENG Z X, CAO W, HU B, et al. Thermal runaway and explosion propagation characteristics of large lithium iron phosphate battery for energy storage station [J]. *Energy storage science and technology*, 2023, 12(3): 923-933. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2022.0690.
- [14] 张少禹, 王玥, 董海斌, 等. 锂电池热失控爆炸超压及液氮惰化效果分析 [J]. *中国安全科学学报*, 2024, 34(3): 39-44. DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.03.0878.
- ZHANG S Y, WANG Y, DONG H B, et al. Analysis of thermal runaway explosion overpressure and liquid nitrogen inerting effect of lithium battery [J]. *China safety science journal*, 2024, 34(3): 39-44. DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.03.0878.
- [15] 朱亚宁, 张振东, 盛雷, 等. 21700 锂离子电池在不同 SOC 下的热失控实验研究 [J]. *汽车安全与节能学报*, 2024, 15(2): 218-225. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8484.2024.02.010.
- ZHU Y N, ZHANG Z D, SHENG L, et al. Experimental study on thermal runaway of 21700 Li-ion battery under different charging conditions [J]. *Journal of automotive safety and energy*, 2024, 15(2): 218-225. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8484.2024.02.010.
- [16] 朱亚宁, 张振东, 盛雷, 等. 21700 锂离子电池在不同健康状态下的热失控实验研究 [J]. *储能科学与技术*, 2024, 13(3): 971-980. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0695.
- ZHU Y N, ZHANG Z D, SHENG L, et al. Thermal runaway experiment of 21700 lithium-ion battery under different health conditions [J]. *Energy storage science and technology*, 2024, 13(3): 971-980. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0695.
- [17] 雷旗开, 余胤, 彭鹏, 等. 隔热材料布局方式对 280 Ah 磷酸铁锂电池热失控传播抑制效果的影响 [J]. *储能科学与技术*, 2024, 13(2): 495-502. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0535.
- LEI Q K, YU Y, PENG P, et al. Effect of thermal insulation material layout on thermal runaway propagation inhibition effect of 280 Ah lithium-iron phosphate battery [J]. *Energy storage science and technology*, 2024, 13(2): 495-502. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0535.
- [18] ZHOU Z Z, ZHOU X D, PENG Y, et al. Quantitative study on the thermal failure features of lithium iron phosphate batteries under varied heating powers [J]. *Applied thermal engineering*, 2021, 185: 116346. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116346.
- [19] NORTHCOTT P A, BUCHHALTER I, MORRISSY A S, et al. The whole-genome landscape of medulloblastoma subtypes [J]. *Nature*, 2017, 547(7663): 311-317. DOI: 10.1038/nature22973.
- [20] 邓祥力, 廖玥琳, 朱宏业, 等. 基于数字孪生模型电流动态时间规整差异度的变压器早期故障辨识 [J]. *电力系统保护与控制*, 2023, 51(12): 156-167. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.221634.
- DENG X L, LIAO Y L, ZHU H Y, et al. Early fault identification for a transformer based on current dynamic time warping difference of a digital twin model [J]. *Power system protection and control*, 2023, 51(12): 156-167. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.221634.
- [21] 祁兵, 董超, 武昕, 等. 基于 DTW 算法与稳态电流波形的非侵入式负荷辨识方法 [J]. *电力系统自动化*, 2018, 42(3): 70-76. DOI: 10.7500/AEPS20170103001.
- QI B, DONG C, WU X, et al. Non-intrusive load identification method based on DTW algorithm and steady-state current waveform [J]. *Automation of electric power systems*, 2018, 42(3): 70-76. DOI: 10.7500/AEPS20170103001.
- [22] CHABCHOUB Y, FRICKER C. Classification of the vélis stations using Kmeans, dynamic time wrapping and DBA averaging method [C]//Proceedings of 2014 International Workshop on Computational Intelligence for Multimedia Understanding, Paris, November 1-2, 2014. New York: IEEE, 2014: 1-5. DOI: 10.1109/IWCIM.2014.7008802.
- [23] 杜将武, 唐小强, 罗志伟, 等. 面向综合能源园区的丰枯电价定价方法 [J]. *发电技术*, 2023, 44(2): 261-269. DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.21119.
- DU J W, TANG X Q, LUO Z W, et al. Pricing method for season of use in integrated energy park [J]. *Power generation technology*, 2023, 44(2): 261-269. DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.21119.

作者简介:



戴明威

戴明威(第一作者)

1999-, 男, 硕士, 主要研究方向为电池管理系统(e-mail)1071781954@qq.com。

张春富(通信作者)

1975-, 男, 盐城工学院副教授, 博士, 主要研究领域为自动化测控(e-mail)zhangchunfu@ycit.edu.cn。

杨佳武

1999-, 男, 硕士, 主要研究方向为电池管理系统(e-mail)1091307813@qq.com。

(编辑 叶筠英)