

# 锂离子电池在风电场储能系统中 放电性能和容量变化研究

高阳<sup>1</sup>, 葛天翔<sup>2</sup>, 杨斌<sup>3</sup>, 刘颖明<sup>3</sup>

(1.沈阳工程学院, 辽宁 沈阳 110136; 2.西交利物浦大学, 江苏 苏州 215028; 3.沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110870)

**摘要:** 文章针对锂离子电池在风电场储能系统中的放电性能和容量变化进行了研究。通过设计合理的实验方案,采用先进的测试技术,系统地探讨了锂离子电池在不同放电倍率下的性能表现及容量和温度变化。在自然散热状态下,电池中心的最高温度为69.87℃,加入液冷散热方式后,电池中心的最高温度为63.25℃,温度下降了9.475%,所需散热时间从45 min减少到25 min,相应地,温度从48.87℃降低到35.00℃。与自然散热相比,液冷散热在高倍率放电过程中具有显著的效果,不仅降低了温升而且缩短了降低温度所需要的时间。研究结果表明,高倍率放电下,锂离子电池在风电场储能系统应用中表现出良好的放电性能,但随着倍率增大放出容量会有一定程度的减少。文章研究结果不仅为锂离子电池在风电场储能系统中的应用提供了理论支持,也为优化其使用和散热技术提供了实践指导。

**关键词:** 钛酸锂电池; 高倍率放电; 风电场储能系统; 环境温度; 容量变化

**中图分类号:** TK81; TM912 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2025)04-0552-09

## 0 引言

随着可再生能源的快速发展,风电作为其中的重要组成部分,在全球范围内得到了广泛应用。然而,风电场输出功率的波动性和不稳定性给电网的稳定运行带来了挑战<sup>[1]</sup>。因此,开发高效的储能系统以平抑风电输出功率的波动成为了研究热点。锂离子电池作为一种成熟的储能技术,以其高能量密度、长循环寿命和较好的环境适应性,在风电场储能系统中展现出巨大的应用潜力<sup>[2]</sup>。然而,锂离子电池在实际应用中仍面临诸多挑战,特别是在风电场储能系统中,锂离子电池须要承受频繁的充、放电循环和复杂的运行环境,这些因素都可能影响其放电性能和容量变化。因此,深入研究锂离子电池在风电场储能系统中的放电性能和容量变化,对于优化其使用和温度控制、提高风电场储能系统的运行效率具有重要意义<sup>[3]</sup>。

中外学者针对高功率钛酸锂电池进行了各类的研究和探索,至今已经形成了一些结论,初步掌握了锂离子电池充、放电过程中的温度变化机理及原因。文献[4]在仿真软件中利用锂离子电池模块构建电池的电化学-热-机械耦合模型,证明了

电池形变随着温度的升高而发生大幅度变化。文献[5]通过不同放电倍率研究锂离子电池的具体行为,结果显示,放电倍率越高,电池发生热失控的时间越短。文献[6]对于锂离子电池模组充、放电过程中造成的温度不均匀现象进行研究,结果显示,电池模组的几何中心位置温度最高,并且放电倍率越大,电池表面温度差异越大,温升速率越大。文献[7]深入分析了锂离子电池在风电场储能系统中的应用,探讨了锂离子电池储能系统的技术特点、性能优势以及经济效益。通过实际案例和数据分析,研究了锂离子电池储能系统对风电场输出功率的平滑效果、并网能力以及经济效益的影响。文献[8,9]研究了锂离子电池的热分布问题,结果显示,在对电池进行测试过程中,不同的充、放电倍率会有不同的性能变化,在低倍率下电池体积发生膨胀,但在高倍率下会不可避免地产生热失控。目前,对锂离子电池的研究方向主要集中在低倍率放电过程中,在风电场储能系统广泛使用的钛酸锂电池的放电性能和散热技术研究上有欠缺和不足。

本文通过实验和理论分析相结合的方法,研

收稿日期: 2024-05-11。

基金项目: 辽宁省揭榜挂帅科技攻关专项(2021JH1/10400009)。

作者简介: 高阳(1974-),男,博士,教授,研究方向为电力系统自动化及新能源技术。E-mail: gaoyangjie@163.com

究锂离子电池在风电场储能系统中的放电性能和容量变化。通过设计合理的实验方案,采用先进的测试技术,系统地探讨锂离子电池在不同放电条件下的性能表现及容量变化。同时,结合风电场储能系统的实际运行需求,提出针对性的优化建议,为锂离子电池在风电场储能系统中的应用提供理论支持和实践指导<sup>[10]</sup>。

## 1 实验

### 1.1 实验材料

本文选择 LTO 型号的电池作为实验测试分析中的研究对象。表 1 中列举了钛酸锂电池的基本参数,这些数据是实验设计和结果分析的基础。

表 1 钛酸锂电池基本参数

Table 1 Basic parameters of lithium titanate battery

参数	数值
额定容量/Ah	15
额定电压/V	2.3
最大电压/V	2.8
最小电压/V	1.5
工作温度/°C	-30~55
正极材料	NCM
负极材料	LTO
质量/g	400

采用钛酸锂氧化物  $\text{Li}_{12}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  作为阳极材料,其由羧甲基纤维素和丁苯橡胶两种粘合剂组成。实验过程中最高放电电流为 1 200 A,对电池进行了不同倍率的放电实验,在 15 A 的充电电流和 2.75 V 的充电截止电压下,记录电池的温度。同时用红外线热像仪探测电池的整个表面温度,观测电池的温度变化,确保电池处于一个安全的温度范围之内。

如图 1 所示,风电场储能系统中的电池模组包含 55 个串联的单体电池,为了缩小电池表面温度差以及促进电池整体温度的均匀性,在每两个电池之间安装铝制均温板。为了更好地保持电池



图 1 电池模组

Fig.1 Battery module

模组在高倍率放电过程中的一致性,避免电池模组出现温度过高问题,实验中仅对电池模组进行 60 s 放电。

钛酸锂电池模组基本参数如表 2 所示。

表 2 钛酸锂电池模组基本参数

Table 2 Basic parameters of lithium titanate battery modules

参数	数值
额定电压/V	126.5
最大电压/V	154
最小电压/V	82.5
工作温度/°C	-30~55
正极材料	NCM
负极材料	LTO

### 1.2 实验步骤

本文使用锂离子电池的充、放电装置对各种倍率进行放电实验,在 1 C 倍率下对电池进行了充电,并放置 30 min。在实验测试期间,为了实时观察电池温度的变化,使用充、放电设备自带的热电偶进行检测,记录单体电池不同位置的温度变化。

单体电池和电池模组充、放电测试步骤:①恒流恒压(Constant-Current Constant-Voltage Charge, CCCV)充电:以 15 A 恒流充电至截止电压,然后转至恒压充电到电流降至 0.75 A;②静置 1 h;③以设定好的放电电流进行放电,直至截止电压,放电步骤停止;④静置 1 h。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同温度下电池放电分析

本节深入探讨了电池在普通放电速率条件下温度对其输出容量的影响。通过对实验数据的细致分析,发现温度的变化对电池性能有着显著的调控作用。为了全面评估这一影响,本文使用 15 A 的放电电流,并在 1.5 V 的放电截止电压下完成了严格的测试流程。不同环境温度下电池容量变化曲线如图 2 所示。

由图 2 可以看出,当电池电压达到 1.5 V 时,可以控制电池差保持一致。随着外部温度(-5~45 °C)的变化,15 A 的放电电流使电池的容量持续增加<sup>[11]</sup>。当环境温度为-5 °C时,电池的放出容量为 11.750 Ah;当环境温度为 25 °C时,电池的放出容量为 14.898 Ah;当环境温度为 45 °C时,电池的放出容量为 15.826 Ah。从实验结果来看,相比于 25 °C的环境温度,在-5 °C以及 45 °C下测试时,电池

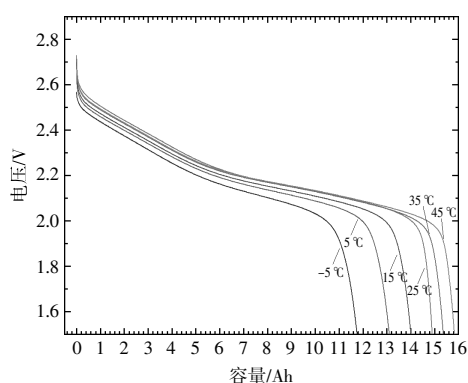


图2 不同温度下电池容量曲线

Fig.2 Battery capacity curve at different temperatures

的容量均出现了一定程度的降低和提升。具体而言,在-5℃下,电池的放出容量比25℃时降低了21.13%,而在45℃下则提升了6.23%,证明了25℃是一个合适的温度。在正常的放电速率下,这种影响可能会导致电池性能不稳定,进而影响整体的工作效率。因此,为了保证电池的最佳性能和延长使用周期,有必要采取措施来适应各种温度环境。

### 2.2 不同放电倍率下电池温度变化分析

为了深入探究高倍率放电对电池温度的影响,在测试过程中,本文将电池置于不同的放电倍率下,直至达到1.5V的截止电压。在这个过程中,观察到电池表面的温度差不仅存在于不同区域,而且还表现出最高温度随放电倍率的上升而升高的趋势。同一单体电池在同一位置、不同放电倍率状态下的温度随时间的变化如图3所示。从图3中可以看出,随着放电倍率的增加,电池温度曲线呈现出先剧烈上升,然后下降再趋于平缓,而且高放电倍率下曲线上升幅度不高。这种变化不

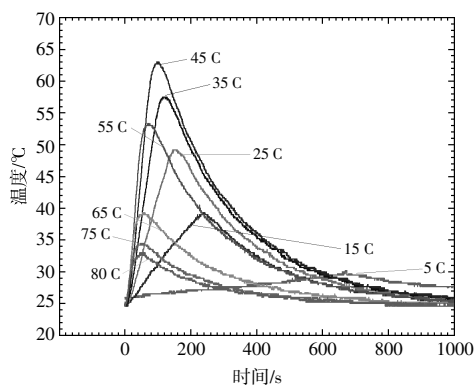


图3 不同放电倍率下电池温度变化

Fig.3 Changes in battery temperature under different discharge rates

仅揭示了高倍率放电对电池温度影响的本质,也为进一步优化电池设计提供了重要的参考信息。

从图3中还可以看出,在电池的放电倍率持续增大的同时,温度也发生了变化,但电池的温度并不会随着放电倍率的增大而继续增大,而是在45℃时达到一个峰值,本文称这个最高点<sup>[12]</sup>为温度变化的拐点。出现最高点的原因归结于放电性能的改变,电池因长时间频繁放电而逐渐衰减,因此其能够释放的能量也随之减少,当电池向外部释放能量终结后,不再产生大量的热量<sup>[13]</sup>。

在实际新能源电站储能系统中,锂离子电池的充、放电倍率主要为0.2~1C,但高倍率放电在工程应用中仍然具有其必要性和合理性。首先,高倍率放电能够更快地响应新能源出力的波动,提高储能系统的响应速度和调节能力;其次,在某些特殊情况下,如电网负荷突然增加或新能源出力突然下降时,高倍率放电能够提供更大的功率支持,保障电网的稳定运行。因此,高倍率放电的研究和应用仍具有重要意义。

### 2.3 不同位置电池温度变化

电池在常规倍率下放电时,表面温度不会出现过大的温度差。然而在一些特殊场合,电池进行高倍率放电时,放出容量和放电时间出现下降的同时,也会伴随极大温升和温差的出现<sup>[14]</sup>。

在45℃放电倍率下,单体电池8个监测点的最终温度结果如图4所示。

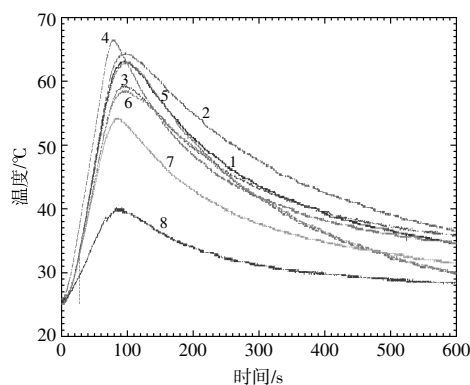


图4 单体电池不同测试点的温度变化

Fig.4 Temperature change of single cell at different test points

从图4中可以看出,在电池放电的整个过程以及放电结束后,单体电池的不同部位出现了显著的温度变化。温度点4的最高温度约为67℃,温度点8的最高温度约为40℃,二者相差27℃。

充分地揭示了电池内部结构中存在着巨大的温度差异性。这些温差不仅影响了电池的性能,还可能对电池安全性产生潜在的不利影响。因此,深入分析电池温度变化对于理解电池工作原理和散热策略具有重要意义。

1号和2号电池模组在自然散热状态下的温度变化如图5和图6所示。

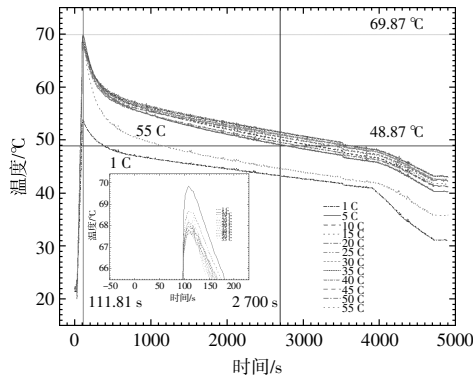


图5 1号电池模组自然散热中间位置的温度变化  
Fig.5 Temperature change in the middle position of natural heat dissipation of No.1 battery module

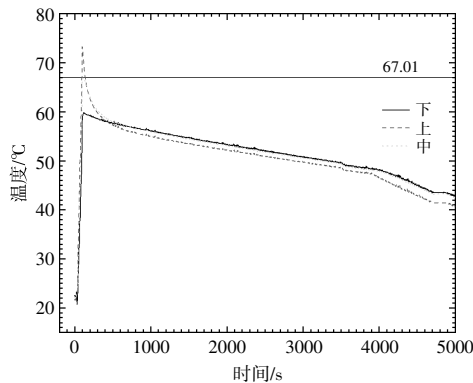


图6 2号电池模组自然散热温度变化  
Fig.6 Natural heat dissipation temperature change of No.2 battery module

图5显示了1号电池模组在自然散热状态下中间位置的温度变化情况,除了边缘的1号、55号单体电池,电池模组在放电60s和放电结束静置后,电池的温度变化趋势都是一致的,并且温度值也大体相同。

图6显示了在自然散热条件下,对2号电池模组中间单体电池进行上、中、下三部分的温度实验测试后的温度变化情况。从图6中可以看出,随着电池的放电,电池上部的温度最高,达到73.35 °C,当放电完成后,电池就会进入一种稳定的状态,此时,电池上部的温度与电池的中间、下部相比,出现了一个比

较迅速的降低趋势。

通过对两组电池模组中的单体电池进行温度变化的对比分析,发现电池温度变化规律基本相同,具有相互参考价值。

通过对两组电池模组进行实验测试,证实了电池在高倍率放电状态下会产生较大的温升,从而可以很好地解释高倍率放电状态下电池表面温度的不均匀性。

#### 2.4 电池模组不同放电倍率下电压变化

为了精确监测电池模组在放电过程中的行为,确保单体电池不会因为过快的截止电压而遭受不必要的损伤,本文在实验的开始阶段,统一对模组进行了60s的放电测试,以此来模拟日常使用中电池可能经历的典型充、放电过程。电池模组在不同放电电流下的电压变化曲线如图7所示。从图7中可以看出,随着放电电流的增大,电压降低的趋势随之增大。电池模组是由55个独立的单体单元并联组成,各单元的制造工艺各有差别,各单元之间无法达到高的一致性,比如,某一模块在某一特定的放电电流条件下,各单体单元的输出功率相等时,各单体电池的电压降低程度也并不十分一致。

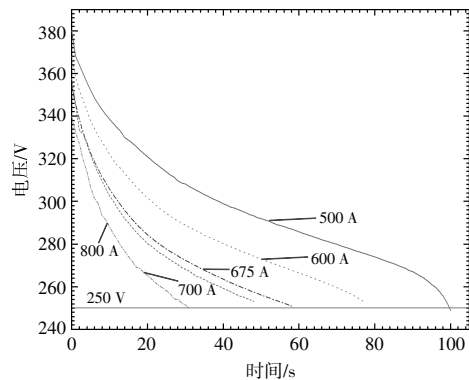


图7 电池模组在不同放电电流下电压变化  
Fig.7 Change of discharge voltage of battery module at different electric current

### 3 散热技术分析

#### 3.1 实验对象和说明

本文散热实验考虑海上风电和陆上风电两种散热方式。在海上风电场景中,由于海洋环境的特殊性,如高湿度、高盐度等,须要采用耐腐蚀、防水性能好的散热材料和散热设计。同时,由于海上风速较大,可以利用风力辅助散热。在陆上风电场景中,可以采用传统的散热方式,如散热片、风扇等,更全面

地评估锂离子电池储能系统的散热性能。

本文采用一种液冷散热技术对电池模组进行水冷散热, 并对其在高放电倍率条件下的性能进行实验与仿真研究, 实验结果表明, 该技术对高放电倍率下锂离子电池的散热具有很好的应用价值。实验过程中仿真几何模型如图 8 所示, 电池模组主要由水冷板、单体电池和散热铝片组成。

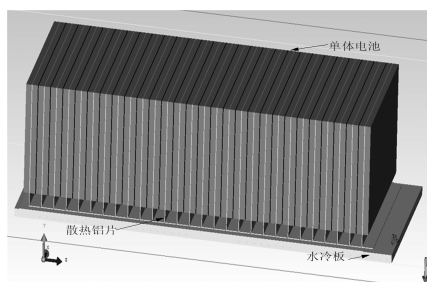


图 8 电池模组组成

Fig.8 Composition of battery module

### 3.2 实验结果分析

电池模组作为一种先进的储能单元, 在放电过程中, 电池内部温度分布呈现出明显的不均匀现象。这种不平衡的温度状态会对电池的性能产生不利影响, 尤其是在高放电倍率应用场景下, 对电池性能的负面影响尤为显著。本文采用液冷散热技术, 同时在两节单体电池之间加入散热铝片(图 8), 有效地降低了单体电池间的温差, 从而改善了整体的温度分布均匀性。

这项技术不仅有助于优化电池内部温度分布, 还能进一步延长电池的使用寿命, 提高其可靠性和安全性。此外, 液冷散热技术还可以预防单体电池因为过度充电而过早地达到截止电压, 避免由于电池性能衰退可能导致电池模组受到不必要的损伤。同时, 也能防止因长期放电而引起的电池温度急剧升高。因此, 在后续的散热实验中, 本文对电池模组进行了 60 s 的放电测试, 旨在直观地观察电池模组的温度变化情况, 并验证这种散热措施的有效性。

通过软件仿真, 记录 1, 20, 40 min 时间下电池模组的整体温度数据。放电结束, 1, 20, 40 min 后模型的温度分布云图分别如图 9~11 所示。

通过电池模组在不同时间液冷板上的温度变化可以观察到, 电池模组从最高 26.7 °C 降低到 24 °C, 最后降低到 22.6 °C。同时出水口温度从最高 26.61 °C 降低到 23.27 °C, 最后降低到 22.24 °C。通

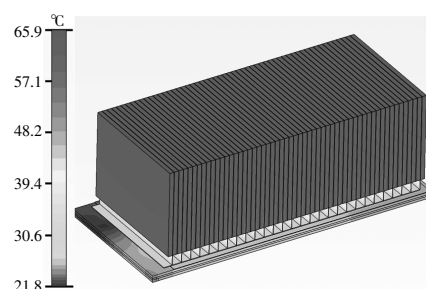


图 9 1 min 后模型的温度分布云图

Fig.9 Temperature distribution cloud map of the model after 1 minute

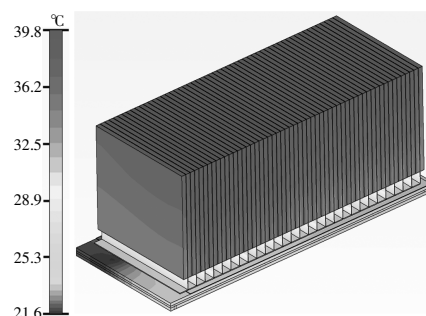


图 10 20 min 后模型的温度分布云图

Fig.10 Temperature distribution cloud map of the model after 20 minutes

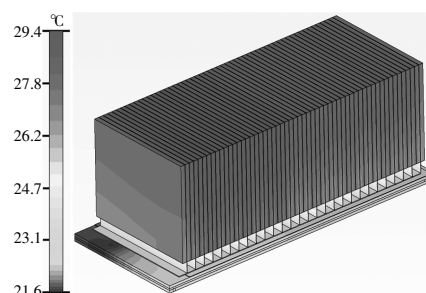


图 11 40 min 后模型的温度分布云图

Fig.11 Temperature distribution cloud map of the model after 40 minutes

过温度数据的对比, 可以明确液冷板的温度高值与出水温度接近。

在使用液冷散热的过程中, 液体通过液冷板时带走更多的热量, 使得电池模组的温度在升温时得到抑制, 电池散热时得到促进。电池模组放电过程以及放电截止后液冷板的温度变化如图 12~15 所示。

以位于模组核心位置的电池作为参照, 通过仔细观察电池温度分布曲线, 电池内部的热量主要从其底部接近液冷板的区域向外扩散。随着时间的推移和放电过程的持续进行, 这种热量分布逐渐形成了一个规律性的变化模式: 放电结束时,

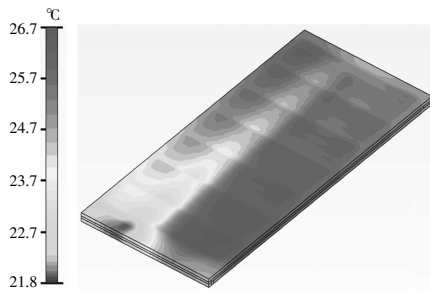


图 12 放电结束液冷板温度分布云图

Fig.12 Cloud chart of temperature distribution at the end of discharge for liquid cooled plate

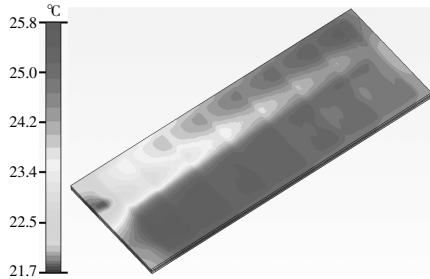


图 13 1 min 后液冷板的温度分布云图

Fig.13 Temperature distribution cloud map of liquid cooling plate after 1 minute

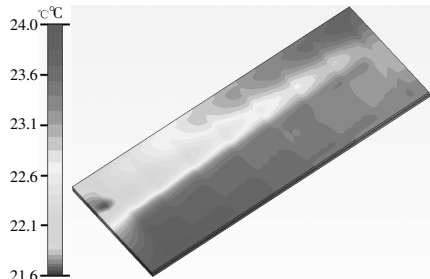


图 14 20 min 后液冷板的温度分布云图

Fig.14 Temperature distribution cloud map of liquid cooling plate after 20 minutes

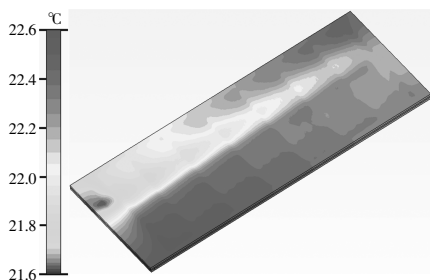


图 15 40 min 后液冷板的温度分布云图

Fig.15 Temperature distribution cloud map of liquid cooling plate after 40 minutes

电池内部温度为 65.6 °C;经过 20 min 后,温度降至 38.5 °C;而在最后 40 min 内,温度降至 28.5 °C。温降趋势显示出一种明显的递减现象,即在 0~20 min 内,温度下降速率达到了 1.36 °C/min,随后在

20~40 min 的时间里,这一速度减缓至 0.5 °C/min。这主要是因为,电池与水冷板之间的温差越小,意味着热量传递效率越低。当温差较大时,热传导能有效促进热量散发,从而提高散热效果。

图 16~18 为放电结束时中间位置电池在不同时间的温度分布云图。

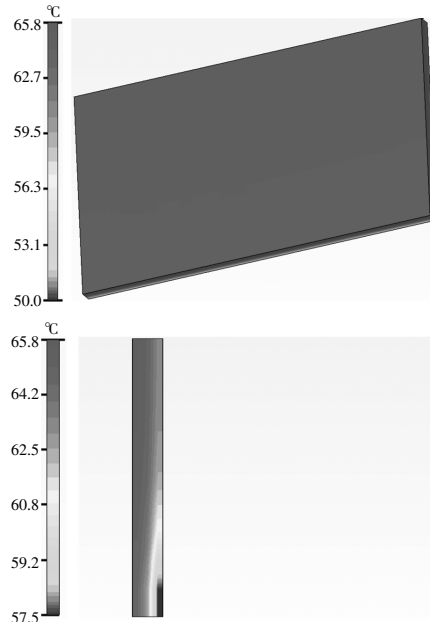


图 16 1 min 后中间位置电池的温度分布云图

Fig.16 Temperature distribution cloud map of the battery in the middle position after 1 minute

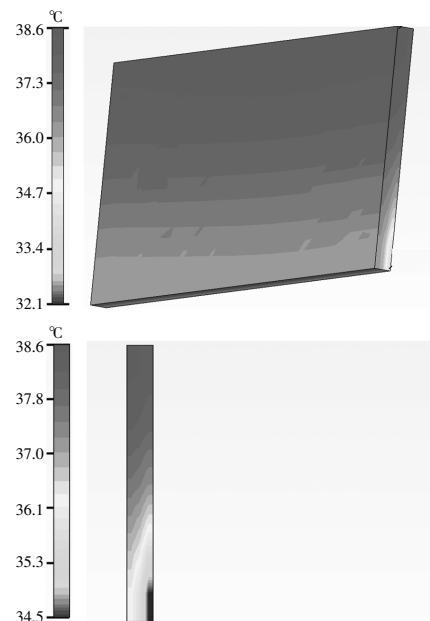


图 17 20 min 后中间位置电池的温度分布云图

Fig.17 Temperature distribution cloud map of the battery in the middle position after 20 minutes

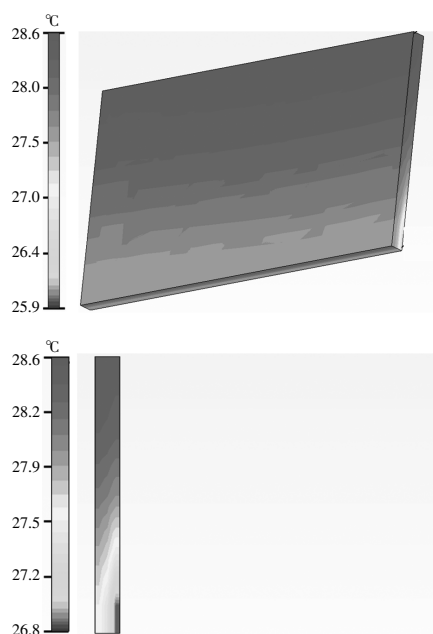


图 18 40 min 后中间位置电池的温度分布云图

Fig.18 Temperature distribution cloud map of the battery in the middle position after 40 minutes

#### 4 液冷散热实验验证分析

为了验证液冷散热技术在本文应用工况的散热性能,以及电池模组冷却模型的精确度,对两组电池模组进行组装和液冷散热实验。

在实验阶段,对 1 号电池模组每相隔 5 个单体电池分别进行上、中、下 3 个区域的温度检测,对 2 号电池模组中心的单体电池分别进行上、中、下 3 个区域的温度检测,在液体冷却的情况下,观察电池模组的温度变化,结果见图 19,20。

从图 19 和图 20 中可以清晰地观察到,采用液冷散热技术后,电池模组在运行过程中温度有显著的改善。电池模组在使用液体散热方式时,最高温度仅达到 63.25 °C,相较于传统的自然对流

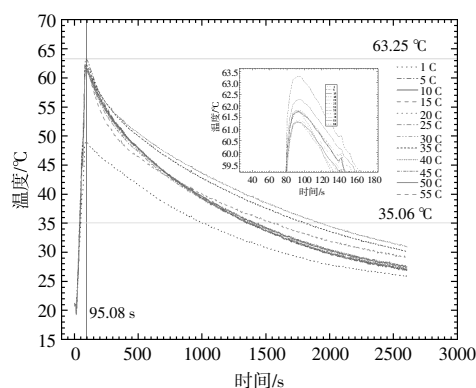


图 19 1 号模组加水冷温度变化

Fig.19 Water cooling temperature change of module 1

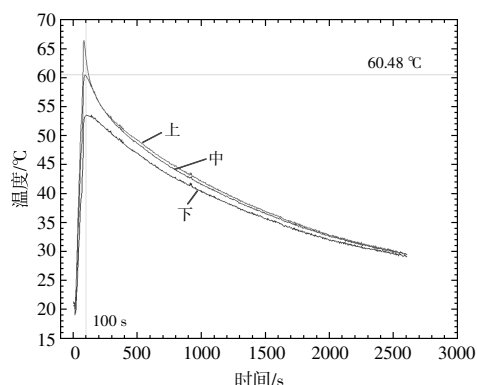


图 20 2 号模组加水冷温度变化

Fig.20 Water cooling temperature change of module 2

散热方式,温度降低了 9.475%。这个结果表明,液体作为一种有效的传热介质,能够有效地将电池产生的热量传导出去,从而减少了内部组件过热的风险。进一步分析数据,在 45 min 的放电周期结束后,未采取任何散热措施的电池模组温度仍高达 48.87 °C。而通过液冷散热技术,大多数电池在 25 min 后便能稳定在 35 °C 以下,这不仅大幅度缩短了高温持续时间,而且从整体上看,最大温差达到了 13.87 °C。这样的温差变化意味着液冷散热技术极大地提高了电池模组的工作效率和稳定性。

在仿真过程中,可以实时测量电池中心区域的温度,与实验测量的环境温度基本一致。放电完成后,电池中间位置的温度为 65.36~66.00 °C,实验测试值为 61.31~63.29 °C;在 20 min 后,温度为 36.60~39.43 °C,实验测试值为 35.78~40.65 °C;在 40 min 后,温度为 27.34~28.80 °C,实验测试值为 27.33~31.59 °C。研究结果显示,液冷散热技术可以很好地控制电池模组的温升,在高倍率放电的过程中,对电池模组采用液体冷却的方式,在保证最大温升的情况下,减少了热量散发的时间,中心位置的最高温度由 69.87 °C 降至 63.25 °C,下降了 9.475%,达到了实验的目的和效果。

#### 5 结论

本文针对锂离子电池在风电场储能系统中的放电性能和容量变化进行了研究。通过一系列的实验、数据和仿真分析,得出以下结论。

①高倍率放电带来温度变化。在电池进行不同倍率放电过程中,随着放电倍率的增大,电池的温升并非持续上升,而是在 45 C 时,电池的温度

发生了一个转折点,最高温度为 63.25 ℃,相对于 25 ℃实验环境温度的温升值为 38.25 ℃。通过对单体电池和电池模组在放电过程中的温度变化进行分析,为电池模组散热结构的设计提供了参考。

②不同环境温度下放出容量的变化。通过单体电池在不同环境下的放电测试,验证了温度对于电池放出容量的极大影响。伴随着外界环境温度的降低,钛酸锂电池的放出容量呈现出不断减小的趋势,电池在适宜条件下放出容量可以达到 15 Ah,但在-5 ℃和 45 ℃外界环境下,放出容量分别为 11.750 Ah 和 15.826 Ah,证明了外界环境改变对于电池放电容量的极大影响。

③电池液冷散热技术。通过实验和仿真模拟相结合的方法,研究液冷散热技术在钛酸锂电池高倍率放电应用中的高效性,对实现锂离子电池模组高效降温产生极大的促进作用,降低电池模组最高温度的同时,也缩短了温度降低的时间。

#### 参考文献:

- [1] 丁博.基于锂电池放电深度功率化处理的风储联合系统经济调度研究[D].南京:南京理工大学,2021.
- [2] 谢善益,仲卫,杨强,等.台风条件下含混合电氢储能的海上风电场并网运行智能控制方法[J].电机与控制应用,2024,51(3):49-59.
- [3] 李洋涛.用于风功率平抑的混合储能系统容量配置研究[D].北京:华北电力大学(北京),2022.
- [4] Chen Zhang, Lingyu Zhu, Qing Xiong, et al. An investigation on deformation behavior of Lithium-ion battery based on the electrochemical-thermal-mechanical coupling model[A].Power System and Green Energy Conference[C].Xi'an:Xi'an Jiaotong University, 2021.20-25.
- [5] 高飞,杨凯,王聪杰,等.能量型磷酸铁锂电池过充致热失控试验研究[J].合成材料老化与应用,2021,50(1):39-41,67.
- [6] 王康康,高飞,朱艳丽,等.过充条件下锂离子电池组的热效应分析[J].合成材料老化与应用,2017,46(5):68-72,88.
- [7] 王磊.平抑风电功率波动的混合储能功率分配策略与容量配置研究[D].石家庄:河北科技大学,2022.
- [8] Tobishima S,Yamaki J. A consideration of lithium cell safety [J]. Journal of Power Sources,1999,81-82:882-886.
- [9] 王延宁,严其艳,席海亮.高温脉冲工况下钛酸锂电池热特性[J].电源技术,2021,45(5):615-618.
- [10] 周兴振,孙丙香,张维戈,等.钛酸锂动力电池针刺内短路试验与机理研究[J].机械工程学报,2023,59(22):111-123.
- [11] 杨元龙,张高凡,刘强,等.基于热-流耦合模型的动力电池液冷系统冷却性能研究[J].电源技术,2023,47(11):1433-1437.
- [12] 何倩.基于液体冷却的锂离子动力电池散热结构研究[D].成都:西华大学,2022.
- [13] Barre A, Deguilhem B, Grolleau S, et al. A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications [J]. Journal of Power Sources,2013,241:680-689.
- [14] 秦亚莉,杨续来.锂离子电池膨胀特性检测方法研究进展[J].仪器仪表学报,2023,44(12):22-33.

## Research on discharge performance and capacity changes of lithium-ion batteries in wind farm energy storage systems

Gao Yang<sup>1</sup>, Ge Tianxiang<sup>2</sup>, Yang Bin<sup>3</sup>, Liu Yingming<sup>3</sup>

(1.Shenyang Engineering College, Shenyang 110136, China; 2.Xi'an Jiaotong Liverpool University, Suzhou 215028, China; 3.Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

**Abstract:** This paper studies the discharge performance and capacity changes of lithium-ion batteries in wind farm energy storage systems. Through a well-designed experimental scheme and advanced testing technology, the performance and capacity and temperature changes of lithium-ion batteries at different discharge rates are systematically discussed. In the state of natural heat dissipation, the maximum temperature of the battery center is 69.87 °C. After adding liquid cooling heat dissipation method, the maximum temperature of the battery center is 63.25 °C, the temperature drops by 9.475%, the required heat dissipation time is reduced from 45 min to 25 min, and correspondingly, the temperature is reduced from 48.87 °C to 35.00 °C. Compared with natural heat dissipation, liquid cooling heat dissipation has a significant effect in the process of high-rate discharge, which not only reduces the temperature rise but also shortens the time required to reduce the temperature. The research results show that lithium-ion batteries exhibit good discharge performance in wind farm energy storage system applications under high discharge rate, but the discharge capacity will decrease to a certain extent as the rate increases. The research results of this paper not only provide theoretical support for the application of lithium-ion batteries in wind farm energy storage systems, but also provide practical guidance for optimizing their use and heat dissipation technology.

**Keywords:** lithium titanate batteries; high rate discharge; wind farm energy storage system; environmental temperature; capacity changes