

DOI:10.12158/j.2096-3203.2022.06.007

# 锂离子电池储能舱风冷散热数值模拟与优化

杜生鑫, 金阳

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**锂离子电池在运行时存在热失控风险, 极端情况下甚至引起电池舱起火或爆炸等安全事故。有效的电池舱风冷散热系统可以有效抑制电池热量的积累和扩散, 然而现有的电池舱风冷系统结构简单, 散热效率低。文中提出在电池舱安装导流板改变舱内温度场和流场, 达到优化散热系统的目的。结果表明, 在环境温度 25 °C、风速 4 m/s 的条件下, 对 1 C 充电的电池舱进行风冷散热, 增设单导流板可使电池舱内的平均温度降低 2.9 °C, 最高温度降低 4.5 °C; 增设双导流板可以使电池舱内的平均温度降低 5.5 °C, 最高温度降低 8.6 °C。合理的导流板布置可以优化电池舱的风冷散热系统, 提高散热效率, 增加电池舱运行的安全性。

**关键词:**锂离子电池; 电池舱; 电池热失控; 电池管理系统; 风冷散热; 导流板

中图分类号: TM912

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2022)06-0058-07

## 0 引言

随着“双碳”目标的提出, 新型电化学储能技术和储能行业发展迅速。锂离子电池凭借其能量密度高、循环寿命长和对环境友好等优良特性成为储能电池舱主要选择的电池种类之一<sup>[1-2]</sup>。然而, 锂离子电池在充放电过程中会不断产生热量, 长时间超出温度范围运行, 会影响电池的性能及使用寿命。同时, 由于电池舱的限制, 锂离子电池产生的热量会在电池舱内持续积聚, 无法及时扩散到外界环境, 导致电池舱内部温度不断升高, 引发热失控的风险, 给电池舱带来安全隐患。储能电池舱安全性和经济性问题一直是影响其发展的主要问题, 储能电池舱持续发展的关键在于电池舱散热问题的解决。

风冷散热凭借其原理简单、操作便捷、成本较低的特点成为储能电池舱的主要散热方式。然而传统的电池舱散热系统相对简单、散热效率低, 且电池舱内温度分布不均匀, 长期运行会导致电池模组间一致性变差, 严重影响电池模组的使用寿命, 增加其热失控的可能性, 造成能源损耗和经济浪费。

目前对于电池散热的研究更侧重于改变强制风冷条件和风道设计, 对于在电池舱内增设导流板的研究依然较少。文献[3]以舱式储能系统的风道为研究对象, 在电池背部增设出风口, 达到均匀出风量, 保证舱内温度场均匀性的目的。文献仅考虑了电池背部冷却情况, 导致电池模组内部冷却一致性欠佳。文献[4]针对舱式电池储能系统设计风

道, 减少空调出风量损失, 提高电池换热效能, 但电池舱内空间狭小, 风道的设计较为复杂, 在实际应用中实施困难较大。文献[5]提出对舱式储能系统的空调回风口增设挡板, 提高储能系统温度分布的均匀性, 但研究设计较简单, 不能适应不同场景的使用。文献[6]研究舱式储能系统在不同充放电条件下锂离子电池温度分布和风道出口的位置关系, 但并未提出风冷散热系统的优化方案。文献[7]在电池舱内增设底部风道并在风道内增设导流板, 改善风量分布, 提高电池舱内流场和温度场分布的均匀性, 但使用时对电池舱结构要求较高。

基于此, 文中利用 SolidWorks、Ansys 软件针对现有电池舱风冷散热能力较差的问题<sup>[8-9]</sup>, 通过在电池舱内增设导流板的方式, 改变电池舱的流场情况, 提高电池舱的风冷散热能力, 降低电池舱热失控风险。同时, 提高电池舱内温度分布的均匀性, 使电池的一致性变好, 延长电池的使用寿命, 降低经济成本。

## 1 产热机理

### 1.1 电池生热模型

文中通过对电池舱的温度场进行数值模拟, 研究电池模组的发热特性。依据相关理论和公式, 对电池舱风冷散热系统提出优化设计方案。

文中选择的电池生热计算模型<sup>[10]</sup>为:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + q \quad (1)$$

式中:  $\rho$  为电池模组的平均密度;  $C_p$  为电池模组的比热容;  $T$  为电池的开尔文温度;  $t$  为时间;  $k_x, k_y, k_z$  分别为电池沿  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴方向的导热率;  $q$  为电池

收稿日期: 2022-06-07; 修回日期: 2022-08-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52177223)

模组的单位体积生热率。

对于电池模组的单位体积生热率  $q$  的数值计算主要使用 bernardi<sup>[11-12]</sup> 模型,其计算公式为:

$$q = \frac{I}{V_b} \left[ (U - U_0) + T \frac{dU_0}{dT} \right] \quad (2)$$

式中:  $V_b$  为电池模组的体积;  $I$  为电池充放电过程中的额定电流;  $U$ ,  $U_0$  分别为电池模组额定电压和开路电压;  $dU_0/dT$  在一定的充放电倍率下为常数,表示温度系数。

对于电池模组比热容  $C_p$  的计算主要有 2 种方法。实验方法是使用量热计直接对电池模组进行测量<sup>[13]</sup>,理论方法是通过数值计算得到电池模组的比热容,其计算公式为:

$$C_p = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n C_i m_i \quad (3)$$

式中:  $m$  为电池模组质量;  $m_i$  为电池模组所包含的材料  $i$  的质量;  $C_i$  为电池模组所包含的材料  $i$  的比热容;  $n$  为电池模组中不同材料种类。

文中根据测量得到所采用的磷酸铁锂单体电池比热容为  $1\,329\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。通过实验测量和公式计算得出文中采用的磷酸铁锂电池模组在  $1\text{ C}$  工况下充电时的生热率为  $13\,757.2\text{ W}/\text{m}^3$ 。

## 1.2 电池传热模型

物体间的传热方式主要包含热传导、热对流和热辐射 3 种。电池传热过程中,热传导主要发生在电池内部,热对流主要发生在电池模组和空气接触面,热辐射传递的热量相对较少,可以忽略不计。

电池内部的热传导通过内部材料传递,包括集流体、电极材料、隔膜和电解液这些物质。电池内部的热传导主要通过固体物质,因此可以忽略发生在电解液中的热传导,则电池热传导的能量方程<sup>[11,14-15]</sup>可以表示为:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \nabla^2 T = Q \quad (4)$$

式中:  $\nabla^2 T$  为电池温度向空间传递的拉普拉斯算子;  $\lambda$  为电池各向导热率;  $Q$  为电池内部热传导的生热率。

电池的热对流主要通过电池模组表面和空气接触进行实现。电池表面与外界的热对流情况可以使用牛顿冷却定律<sup>[11,15]</sup>表示为:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial t} = -h(T_{ab} - T) \quad (5)$$

式中:  $h$  为自然条件下,不同材料的对流换热系数;  $T_{ab}$  为环境温度。

## 1.3 流固耦合传热模型

电池舱风冷散热的热量交换主要发生在电池

模组和空气接触面。要研究电池舱的风冷散热情况,则需要建立电池舱流固耦合模型,分析电池模组表面和空气之间的传热关系。

流固耦合的传热表达式为<sup>[16]</sup>:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot (-k \nabla T) = q \quad (6)$$

式中:  $\mathbf{u}$  为流体场速度;  $k$  为电池的热导率。

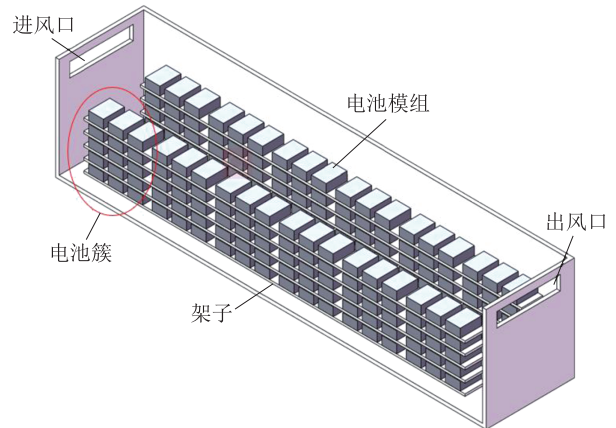
根据流固耦合传热表达式,文中选择  $k$ -epsilon 模型更有利于仿真计算收敛。

## 2 电池舱模型建立

文中模型按照实际储能舱 1:1 比例建立,采用 SolidWorks 软件对电池舱建立基本模型<sup>[17]</sup>,长 12 m,宽 2.4 m,高 2.8 m。电池舱内共放置 12 组电池簇,每侧放置 6 组,每组电池簇由 15 个电池模组组成。锂离子电池舱实际外观和模型内部结构如图 1 所示。



(a) 实际电池舱外观



(b) 电池舱模型内部结构

图 1 电池舱模型结构

Fig.1 Battery cabin model structure

同时,为优化改良电池舱的散热效果,在电池舱顶部增加导流板,导流板宽度选择 500 mm。导流板可对吹进的空气起到阻挡作用,改变空气流向,改善电池舱内气体流场。设计时分别为电池舱增加单导流板和增加双导流板 2 种不同的优化方式。2 种不同增加导流板的电池舱模型布局方式如图 2 所示。

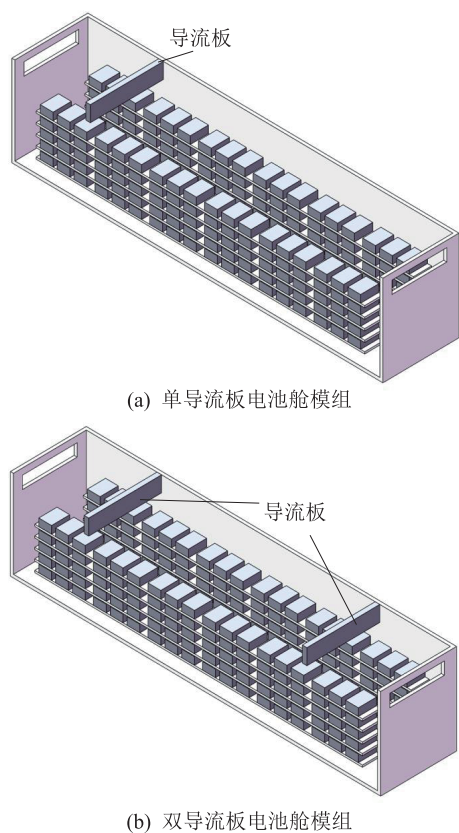


图2 2种优化电池舱模型

Fig.2 Two optimized battery cabin models

文中所采用的电池模组由 32 块单体磷酸铁锂电池组成。电池模组额定电压为 25.6 V, 额定容量为 344 A·h, 额定电量为 8.8 kW·h, 宽 420 mm, 深 600 mm, 高 240 mm。电池模组由于内部构造的复杂, 其不同方向上的材料分布不同, 导热系数也有所差别。根据文献[18-19], 磷酸铁锂电池模组外壳及 x 轴、y 轴、z 轴方向热特性参数如表 1 所示。

表 1 磷酸铁锂电池模组的热物性参数

Table 1 Thermal physical properties of lithium iron phosphate battery module

组件	导热系数/ [W·(m·K) <sup>-1</sup> ]	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	比热容/ [J·(kg·K) <sup>-1</sup> ]
外壳(铝)	238	2 702	903
模组(x轴)	3.72	2 405	1 329
模组(y轴)	26	2 405	1 329
模组(z轴)	28	2 405	1 329

### 3 仿真分析

#### 3.1 基本电池舱模型的仿真分析

通过对电池模组表面积数值计算可得到电池散热面积为 178.85 m<sup>2</sup>。将电池舱内部求解器设置为流固耦合场, 可以直接使用对流换热条件, 简化操作<sup>[20]</sup>。

仿真模型边界条件的设置主要包括温度、速度以及压力等方面。进口边界条件为速度进口, 风速为 4 m/s, 进口空气温度与环境温度设置一致, 取 25 ℃。出口边界条件为压力出口且抑制回流<sup>[21-22]</sup>。文中采用的电池模组在 1 C 工况下充电时的生热率已经通过实验测量和公式计算得出, 设置电池模组表面壁面为热源, 生热率为 13 757.2 W/m<sup>3</sup>, 其余面设置为壁面。由于电池舱体与外界温差并不大, 与外界热交换较小, 因此设置电池舱其他壁面为恒温绝热边界。

使用 Fluent 模块仿真计算收敛后, 可以得到基本电池舱模型的散热面温度云图, 如图 3 所示。

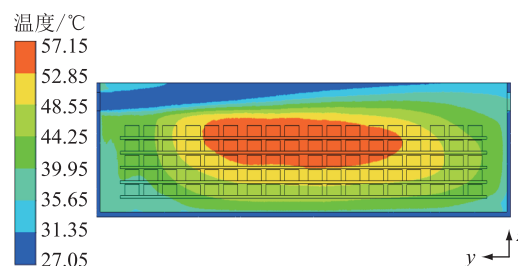


图3 基本电池舱温度

Fig.3 Temperature of basic battery cabin

由图 3 可知, 电池舱内高温区域集中在电池舱中心, 温度分布很不均匀, 电池舱内的平均温度为 46.3 ℃, 电池簇区域高低温差为 26.5 ℃。在电池舱中心区域温度最高, 高达 57.15 ℃。越靠近电池舱边缘区域温度越低, 在电池舱顶部和入口附近温度最低, 为 27.5 ℃。电池簇区域平均温度沿进风方向的温度变化曲线如图 4 所示。

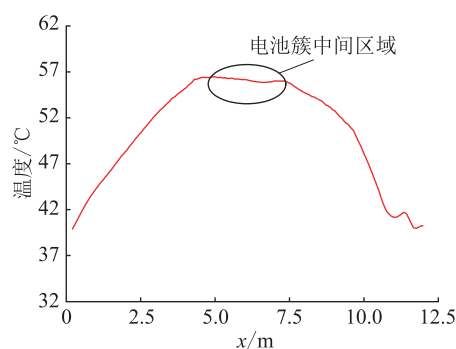


图4 基本电池舱电池簇区域平均温度曲线

Fig.4 Average temperature curve of battery cluster area in basic battery cabin

电池簇区域的平均温度最高值出现在中间位置, 为 56.2 ℃。最低值出现在电池舱边缘位置, 为 39.91 ℃。这是由于空气从入口进入到从出口流出的过程中, 在电池舱内形成涡流。位于电池舱边缘区域的流场速度更快, 可与电池模组进行更好的热量交换, 在电池舱中心区域的流场效果比较微弱,

无法与电池模组形成良好的热量交换,结合流场流线图也可以验证这一观点,如图5所示。

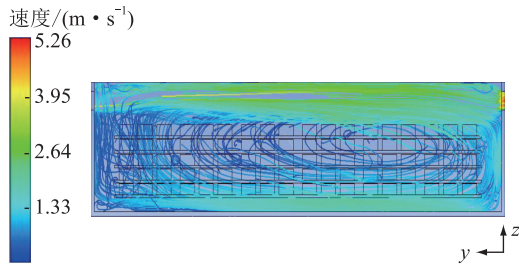


图5 基本电池舱流线

Fig.5 Streamline of basic battery cabin

由图5可知,位于电池舱上半部分的空气流速比较大,为3.2 m/s。大部分空气径直从出口流出,只有少部分空气带动电池舱下半部分的空气形成循环。电池舱中间部分的空气流速为0.8 m/s。很多空气并未与电池模组进行充分的热量交换,造成资源浪费,电池舱也无法得到优良的散热效果。

### 3.2 单导流板电池舱模型的仿真分析

为使电池舱获得更好的散热能力,可增强电池模组和空气的热量交换强度。通过合理的布置导流板,电池舱内流场发生改变,使其更加均匀分布,使空气和电池模组得到更充分的接触。

通常电池舱的进出风口都被安置在上部靠近顶端的位置,这时气流只会在电池舱上方流通,很难与电池舱下方气体进行对流,使得位于电池舱下部的模组散热效果不理想。在电池舱顶部安装导流板,阻止空气径直从出风口流出,改变气体流向,使气体能在整个电池舱流动,使电池模组能有更好的散热效应。增加单导流板后的电池舱模型散热面温度如图6所示。

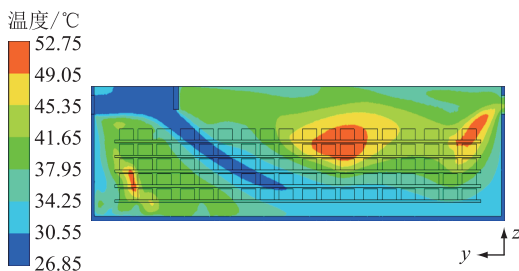


图6 单导流板电池舱温度

Fig.6 Temperature of battery cabin with single deflector

由图6可知,当在电池舱进气口附近增加导流板后,电池舱内的温度分布有较大变化,高温区域更小,分布更加均匀<sup>[23]</sup>,电池舱内的最高温度和平均温度都在下降。电池舱内的平均温度为43.4 °C,电池簇区域温差为24.1 °C。最高温度只出现在在电

池舱后半部分区域,为52.65 °C。最低温度出现在入口和导流板附近区域,为26.85 °C。电池簇区域平均温度沿进风方向的温度变化曲线如图7所示。

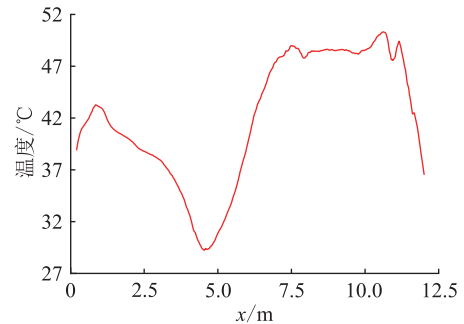


图7 单导流板电池舱电池簇区域平均温度曲线

Fig.7 Average temperature curve of battery cluster area in battery cabin with single deflector

由图7可知,整体温度曲线呈现驼峰状。第1个峰值区域最高温度为43.41 °C,且区域范围较小。这部分为导流板前一部分区域,空气还没有被导流板改变流向,所以平均温度略高于其他区域。第2个峰值区域最高温度为50.13 °C,区域范围更大。这部分为电池舱后半部分,空气被导流板改变流向后,在电池舱后半部形成涡流。电池簇区域最低温出现在波谷,为29.04 °C。这部分为导流板改变流向后空气直接冷却的区域,电池模组可与温度较低的空气进行更好的热量交换。

当空气从入口进入电池舱后,流道被导流板阻挡,人为更改空气的流向,使其不得不向电池舱下半部流动,与电池模组进行更充分的热量交换,结合流场流线图也可以验证这一观点,其流场流速如图8所示。

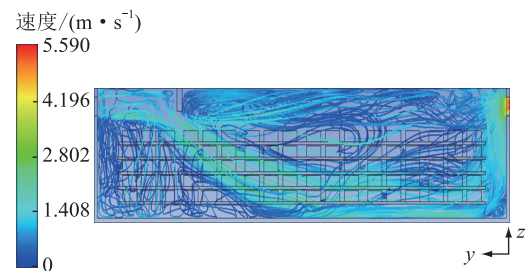


图8 单导流板电池舱流线

Fig.8 Streamline of battery cabin with single deflector

由图8可知,空气进入电池舱后受到导流板的阻隔,流向朝下改变,这时空气流过电池模组时的流速更快,为2.8 m/s,可与电池模组进行更充分的热量交换。空气主要在电池舱后半部分形成循环,部分空气在电池舱前端形成循环。但是电池舱的后半部分仍会形成涡流,出现部分区域温度过高的情况。

### 3.3 双导流板电池舱模型的仿真分析

为解决电池舱后半段仍有部分区域温度过高的情况,在电池舱出气口附近额外添加单导流板,以达到均匀流场的目的。后方的导流板可阻碍空气在电池舱后半部分形成涡流,改变空气流向,使空气和电池模组有更充分的接触。增加双导流板后的电池舱模型散热面温度云图如图 9 所示。

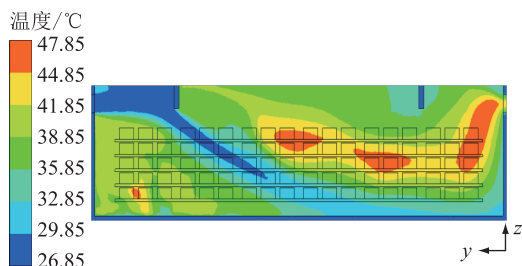


图 9 双导流板电池舱温度

Fig.9 Temperature of battery cabin with double deflectors

由图 9 可知,当在电池舱出气口附近增加导流板后,电池舱内的温度分布进一步得到改善,电池舱的最高温度和平均温度都有明显变化。电池舱内的平均温度为 40.8 °C,电池簇区域温差为 21.7 °C。最高温度仍出现在电池舱后半部分区域,但温度明显下降,为 47.55 °C。最低温度出现在入口和导流板附近区域,为 26.85 °C。电池簇区域平均温度沿进风方向的温度变化曲线如图 10 所示。

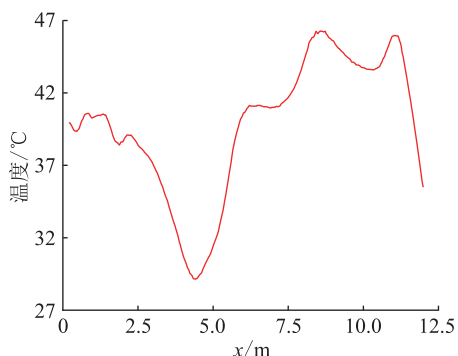


图 10 双导流板电池舱电池簇区域平均温度曲线

Fig.10 Average temperature curve of battery cluster area in battery cabin with double deflectors

由图 10 可知,整体温度曲线和单导流板的情况类似,呈现 2 个峰值区域和 1 个波谷区域。电池簇区域最低温出现在波谷,为 29.05 °C。第 1 个峰值区域最高温度为 40.65 °C,相较于只有单导流板的情况,温度有所降低。第 2 个峰值区域最高温度为 46.05 °C,温度有明显的下降。这说明增加出风口附近的导流板有助于减低电池舱内的温度,减少温差。

由于增加双导流板会使电池舱内的流场情况

更加复杂,增强空气和电池模组之间的热量交换,使电池舱内的平均温度相较于单板的情况进一步降低。流场流速如图 11 所示。

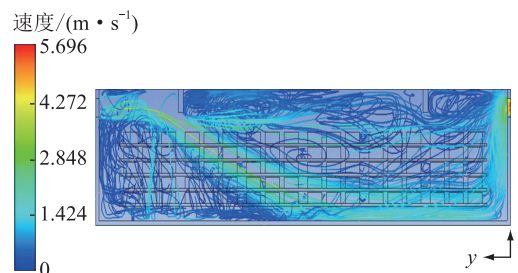


图 11 双导流板电池舱流线

Fig.11 Streamline of battery cabin with double deflectors

由图 11 可知,空气在电池舱后方将形成循环时,被导流板阻隔,迫使空气朝电池簇区域流动。电池舱内的流场情况更加复杂,所有电池模组都可与空气进行充分接触,得到更好的散热效果。有利于抑制电池模组的热失控情况,使电池工作在适合的温度范围,减缓电池老化,降低故障率,延长电池的使用寿命。同时,电池舱内温度分布更加均匀,电池的一致性更好,可降低电池舱起火爆炸事故的概率,进一步提高电池舱运行的安全性,保障人身安全、减少财产损失。

## 4 结论

文中以某型电池舱锂离子电池储能系统为研究对象,基于 SolidWorks、Ansys 软件对其风冷散热进行分析及优化。得出如下结论:

(1) 对电池舱添加风冷散热系统,可使电池舱内电池模组得到冷却,但是受限于电池舱内的结构,空气在电池舱内只能形成简单的循环,电池模组无法得到均匀的散热。处于电池舱中心区域的电池模组会产生更高的温升,中心区域最高温度为 57.15 °C。长时间运行后,处于中心区域的电池模组的使用寿命会被缩短,电池模组间的一致性更差,影响电池舱的正常运行。

(2) 在电池舱内增加单导流板后,空气在电池舱内的流场情况变得复杂。空气在电池舱内形成 2 个主要循环,与电池模组获得更多的接触,可以进行更充分的热量交换。电池舱内的平均温度降低 2.9 °C,最高温度降低 4.5 °C,并且最高温度出现的区域更小。电池簇区域的高低温差降低 2.4 °C,电池模组的温度分布变得平均,电池舱的风冷散热效果得到改善。

(3) 在电池舱内增加双导流板后,空气在电池

舱内的流场情况变得更加复杂。空气在电池舱内形成多个循环,与电池模组之间的热量交换更充分。电池舱内的平均温度降低 5.5 °C,最高温度降低 8.6 °C,且最高温度出现的区域更小。电池簇区域的高低温差降低 4.8 °C,电池模组间的温升变得平均,电池舱的风冷散热效果得到改善。

在电池舱内合理地安装导流板,可以有效改变电池舱内的流场情况,使空气可以与电池模组进行更充分的热量交换,进而改变电池模组的温度分布情况。电池舱内的平均温度得到降低,温度分布更加的均匀,电池模组间的温差更小,一致性更好,一定程度上提高电池模组的使用寿命。

优化后的电池舱风冷散热系统,可以抑制锂离子电池模组发生热失控现象,提高储能电池舱运行的安全性,延长电池使用寿命,提高电池舱风冷散热的经济性。

#### 参考文献:

- [1] 刘兰胜. 磷酸铁锂电池应用现状及发展趋势[J]. 电池工业, 2021, 25(5): 263-265.  
LIU Lansheng. Application status and development trend of lithium iron phosphate battery[J]. Chinese Battery Industry, 2021, 25(5): 263-265.
- [2] 杜炜凝,周杨,于晓蒙,等. 基于锂离子电池储能系统的消防安全技术研究[J]. 供用电, 2020, 37(2): 34-40.  
DU Weining, ZHOU Yang, YU Xiaomeng, et al. Research on fire safety technology of energy storage system based on lithium-ion battery[J]. Distribution & Utilization, 2020, 37(2): 34-40.
- [3] 张子峰,王林,陈东红,等. 集装箱储能系统散热及抗震性研究[J]. 储能科学与技术, 2013, 2(6): 642-648.  
ZHANG Zifeng, WANG Lin, CHEN Donghong, et al. Cooling and aseismicity study of the containerized energy storage systems[J]. Energy Storage Science and Technology, 2013, 2(6): 642-648.
- [4] 田刚领,张柳丽,牛哲芸,等. 集装箱式储能系统热管理设计[J]. 电源技术, 2021, 45(3): 317-319, 329.  
TIAN Gangling, ZHANG Liuli, NIU Zhehui, et al. Design of thermal management for container-type energy storage system[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2021, 45(3): 317-319, 329.
- [5] 沈毅. 集装箱式储能系统的热分析及优化[J]. 电子世界, 2017(11): 29-30.  
SHEN Yi. Thermal analysis and optimization of container energy storage system[J]. Electronics World, 2017(11): 29-30.
- [6] 罗军,田刚领,张柳丽,等. 集装箱式储能系统温度特性研究[J]. 电器与能效管理技术, 2019(9): 48-52.  
LUO Jun, TIAN Gangling, ZHANG Liuli, et al. Temperature characteristic research of containerized energy storage system[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2019(9): 48-52.
- [7] 王晓松,游峰,张敏吉,等. 集装箱式储能系统数值仿真模拟与优化[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(4): 577-582.  
WANG Xiaosong, YOU Feng, ZHANG Minji, et al. Numerical simulation and parametric optimization on the container type energy storage system[J]. Energy Storage Science and Technology, 2016, 5(4): 577-582.
- [8] 李华伟,于晨晨. 基于 ANSYS Icepak 软件的风冷电池箱散热仿真分析[J]. 中国设备工程, 2018(14): 162-164.  
LI Huawei, YU Chenchen. Simulation analysis of heat dissipation of air-cooled battery box based on ANSYS Icepak software[J]. China Plant Engineering, 2018(14): 162-164.
- [9] 李勇琦,郑耀东,董缙,等. 退役锂离子动力电池储能系统风冷热管理仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(12): 8-15.  
LI Yongqi, ZHENG Yaodong, DONG Ti, et al. Wind cooling heat management simulation of a retired lithium ion battery energy storage system[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(12): 8-15.
- [10] 潘海鸿,李熠婧,张沫,等. 锂离子电池多因素动态生热率模型[J]. 汽车工程, 2021, 43(2): 204-209, 217.  
PAN Haihong, LI Yijing, ZHANG Mo, et al. Multiple factors dynamic heat generation rate model of lithium-ion battery[J]. Automotive Engineering, 2021, 43(2): 204-209, 217.
- [11] 徐蒙,张竹茜,贾力,等. 圆柱形锂离子动力电池放电过程电化学与传热特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(32): 54-61, 5.  
XU Meng, ZHANG Zhuqian, JIA Li, et al. Study on electrochemical and heat transfer characteristics of cylindrical lithium-ion power battery during discharge cycle[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(32): 54-61, 5.
- [12] 吕超,张爽,朱世怀,等. 储能锂离子电池包强制风冷系统热仿真分析与优化[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(12): 48-55.  
LYU Chao, ZHANG Shuang, ZHU Shihuai, et al. Thermal simulation analysis and optimization of forced air cooling system for energy storage lithium-ion battery pack[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(12): 48-55.
- [13] 吴青余,张恒运,李俊伟. 校准量热法测量锂电池比热容和生热率[J]. 汽车工程, 2020, 42(1): 59-65.  
WU Qingyu, ZHANG Hengyun, LI Junwei. Calibrated calorimetry for measuring the specific heat capacity and heat generation rate of lithium-ion battery[J]. Automotive Engineering, 2020, 42(1): 59-65.
- [14] XU M, ZHANG Z Q, WANG X, et al. Two-dimensional electrochemical-thermal coupled modeling of cylindrical LiFePO<sub>4</sub> batteries[J]. Journal of Power Sources, 2014, 256: 233-243.
- [15] 谭梅鲜. 磷酸铁锂电池充放电过程的电化学与热特性研究[D]. 广州:华南理工大学, 2020.  
TAN Meixian. Study on electrochemical and thermal characteristics of LiFePO<sub>4</sub> battery during charging and discharging process[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [16] 陈旭海,罗景生,陈永福,等. 基于 Ansys 的磷酸铁锂储能电

- 池系统热分析及优化[J]. 电器与能效管理技术, 2020(10):41-46.
- CHEN Xuhai, LUO Jingsheng, CHEN Yongfu, et al. Thermal simulation and optimization of lithium iron phosphate battery modules based on Ansys[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2020(10):41-46.
- [17] 牛志远, 王怀钊, 金阳, 等. 不同倍率下磷酸铁锂电池模组过充热失控特性研究[J]. 电力工程技术, 2021, 40(4): 167-174.
- NIU Zhiyuan, WANG Huairu, JIN Yang, et al. Overcharging and runaway characteristics of lithium iron phosphate battery modules at different rates[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(4):167-174.
- [18] 王怀钊, 孙宜听, 金阳. 磷酸铁锂储能电池簇过充热失控蔓延特性仿真研究[J]. 机械工程学报, 2021, 57(14):32-39.
- WANG Huairu, SUN Yiting, JIN Yang. Simulation study on overcharge thermal runaway propagation of lithium-iron-phosphate energy storage battery clusters[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2021, 57(14):32-39.
- [19] 曹有琪. 磷酸铁锂动力电池发热特性及散热系统设计[D]. 西安:西安科技大学, 2021.
- CAO Youqi. Heating characteristics and cooling system design of lithium iron phosphate power battery[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology, 2021.
- [20] 冯竟阳, 戴作强, 张纪鹏, 等. 基于 Ansys Workbench12.0 的磷酸铁锂动力电池温度场特性研究[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2013, 28(1):51-55, 64.
- FENG Jingyang, DAI Zuoqiang, ZHANG Jipeng, et al. Research on the temperature field characteristics of LiFePO<sub>4</sub> power battery based on Ansys Workbench12.0[J]. Journal of Qingdao University (Engineering & Technology Edition), 2013, 28(1):51-55, 64.
- [21] 邹燧涛, 裴后举, 施红, 等. 某型集装箱储能电池组冷却风道设计及优化[J]. 储能科学与技术, 2020, 9(6):1864-1871.
- ZOU Yitao, PEI Houju, SHI Hong, et al. Design and optimization of the cooling duct system for the battery pack of a certain container energy storage[J]. Energy Storage Science and Technology, 2020, 9(6):1864-1871.
- [22] 白亚平, 张柳丽, 牛哲荟, 等. 集装箱式储能系统热管理设计及试验验证[J]. 河南科技, 2020, 39(31):25-28.
- BAI Yaping, ZHANG Liuli, NIU Zhehui, et al. Thermal management design and verification of containerized energy storage system[J]. Henan Science and Technology, 2020, 39(31):25-28.
- [23] 胡锐鸿. 电动汽车用锂离子电池热特性及散热装置的数值模拟[D]. 广州:华南理工大学, 2014.
- HU Ruihong. Numerical simulation on the thermal property and thermal management of the lithium-ion battery for electric vehicle[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.

作者简介:



杜生鑫

杜生鑫(1998),男,硕士在读,研究方向为电池管理系统(E-mail:2534871467@qq.com);金阳(1989),男,博士,教授,研究方向为电化学储能电站安全性和电池储能技术。

## Numerical simulation and optimization of air cooling heat dissipation of lithium-ion battery storage cabin

DU Shengxin, JIN Yang

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** For the purpose of investigating the air-cooling heat dissipation system of lithium-ion battery cabin, based on the simulation model of the actual battery cabin, the optimization scheme of air-cooling heat dissipation is designed. Due to the thermal characteristics of lithium-ion batteries, safety accidents like fire and explosion happen under extreme conditions. Effective thermal management can inhibit the accumulation and spread of battery heat. However, the existing battery cabin air cooling system is relatively simple and the heat dissipation efficiency is low. In order to optimize the heat dissipation system, deflectors are installed in the battery cabin to change the temperature field and flow field in the cabin. When the environment temperature is 25 °C and the wind speed is 4 m/s, the air-cooling heat dissipation system of 1 C charging battery cabin is conducted. The results show that by adding one deflector can reduce the average and the maximum temperature in the battery cabin by 2.9 °C and 4.5 °C respectively. Adding two deflectors can reduce the average and the maximum temperature in the battery cabin by 5.5 °C and 8.6 °C respectively. Reasonable deflector arrangement can optimize the air-cooling heat dissipation system, improving the heat dissipation efficiency and the safety of battery cabin operation.

**Keywords:** lithium-ion battery; battery cabin; battery thermal runaway; battery management system; battery cooling; guide plate

(编辑 李栋)