

基于 FloTHERM 的电池检测设备功率模组结构优化设计

周小岗

(中国电子科技集团公司第二十二研究所 河南 新乡 453000)

摘要: 新能源行业以及锂电池的快速发展推动电池检测设备技术逐步升级。电池检测设备功率模组直接影响设备的性能参数。文章对某设备功率模组进行建模,用 FloTHERM 进行有限元分析,根据仿真结果找出问题并分析原因,进行结构优化设计;利用 FloTHERM 对优化设计后的功率模组进行有限元分析,将仿真结果与优化前进行比较,理论上验证功率模组结构优化设计的正确性;依据结构优化设计方法对功率模组进行设计修改,结合实际测试验证功率模组结构优化方案的可行性。

关键词: 功率模组; FloTHERM 有限元分析; 优化设计

0 引言

电池检测设备用于锂电池或电池模组的性能测试与质量评定,可保存完整的测试数据,快速定位产品问题原因,对提高生产效率和电芯产品良品率至关重要。电芯或模组检测设备对电池进行充电或放电功能操作,其电流数值和精度通过功率模组实现。功率模组性能参数对整体设备质量影响很大。文章对某厂家 5V/100A 电池单体检测设备功率模组进行功能及问题分析,并结合实际测试验证优化方案的可行性。

1 原设备功率模组功能及仿真分析

1.1 设备功率模组及原理

5V/100A 电池单体检测设备单个输出通道为 1 个插箱,最大电流为 100A,其内部功率模组如图 1 所示,功率模组在输出通道对应通道插箱中安装固定。

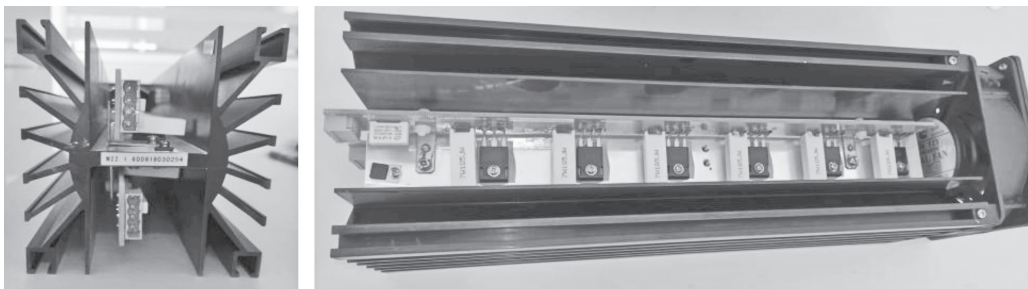


图 1 功率模组

该功率模组包括 12 个可控硅 MOS 管,型号为 IXFH60N50P3,交错安装在铝型材散热器中间部位的上下平面,铝型材截面如图 1 所示。MOS 管导热面与散热器接触面之间有导热硅胶片,功率模组一端有轴流风

机。铝型材散热器中间部位上下各有 1 个电路控制板,对散热风道有一定影响。

输出通道电流理论上由这 12 个可控硅 MOS 管平均分配。MOS 管在电流作用下产生热量,过高温度对 MOS 管性能和寿命影响很大。如果其中一个 MOS 管因温度过高失效,那么其他 MOS 管就会均分输出通道功率模组的总电流,导致其他 MOS 管加速失效,进而导致功率模组无法工作,最终影响整套检测设备的性能。为了确保检测设备功能正常,功率模组上 12 个 MOS 管必须实现可靠工作,每个 MOS 管产生热量过程与系统散热过程实现动态平衡,且每个 MOS 管承受工作温度在其允许范围之内。

1.2 功率模组建立模型及仿真分析

为了深入研究功率模组热量平衡过程,并分析各位置 MOS 管温度分布,需要按照功率模组在插箱的实际情况,建立三维分析模型,借助有限元软件 FloTHERM 进行仿真分析。

使用 SolidWorks 建立模型,将数学模型导入 FloTHERM 软件中,风机采用软件自带风机插件模型,按照实际参数设定风机尺寸和参数。MOS 管根据理论计算以及试验测定,单通道最大电流 100A 输出时,其发热功率为 40W,散热器中间部位上共 12 个。设置导热硅胶片材料参数中导热系数约为 $6W/(m \cdot K)$,划分计算网格,其中 MOS 管和导热硅胶片需要局部网格,调整网格合适纵横比。

为方便分析仿真结果，设置了D1-1、D1-2、D1-3、D1-4和D1-5共5个温度监控点。D1-1为冷却空气进口温度，D1-2为功率模组出口空气温度，D1-3和D1-4分别为散热器中间上部离风机最近和最远的MOS管温度，D1-5为散热器中间离风机最远的散热器温度。设置环境温度温度为25℃，功率模组插箱自然对流换热系数为 $8W/(m^2 \cdot K)$ ，进行仿真计算。

功率模组散热器整体温度场分布见图2。由分析可知，散热器两边散热齿温度明显低于散热器中间基板温度，说明散热器中间基板与两边散热齿之间热传导截面积较小，热传导过程热阻较大，需优化结构设计。

图3所示为功率模组散热空气仿真流动示意图。

由图3可见，散热器前半段空气处于平流状态且风速快，与散热器对流散热，带走热量多；散热器后半段空气部分回流，空气处于紊流状态，且风速降低，对流散热带走热量相对减少。

所设置5处温度监控点，各点温度数值见表1。出口处空气比进口处空气高约9℃。功率模组中MOS管工作温度都大于65℃，

表1 各温度监控点仿真温度数值

监控点名称	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-5
温度/℃	25.2	34.7	65.1	79.4	67.1

最远处MOS管工作温度约为79.4℃。MOS管工作温度不均匀，相差约14℃。因温度过高，最远处MOS管的寿命和可靠性能会受到影响。散热器最远处MOS管工作温度为67.1℃，温度较高，说明功率模组目前散热设计需要进一步优化。

2 功率模组结构优化设计及仿真分析

2.1 功率模组结构优化设计

热量传递有导热、对流和辐射3种基本方式。功率模组散热结构优化设计应主要从导热和对流两方面进行，在保持散热器材料不变的情况下，改变散热器形状结构，同时降低传导热阻，增大对流散热效果。

原散热器尺寸为120mm×120mm，优化设计为120mm×98mm，长度不变（图4）。MOS管安装在散热器中间上部两侧基板平面，单面等间距安装6个。结构优化后，散热器热传导热阻降低，散热面积增大。

考虑到装配因素，其电路控制板不能位于散热器中间位置，将两个电路控制板整合为一个，安装到散热器上端表面，加大电路控制板尺寸。在散热器120mm长度方向两侧设计挡风板，两侧挡风板、电路控制板以及插箱底面可以形成一个相对独立的散热风道，减小散热气流

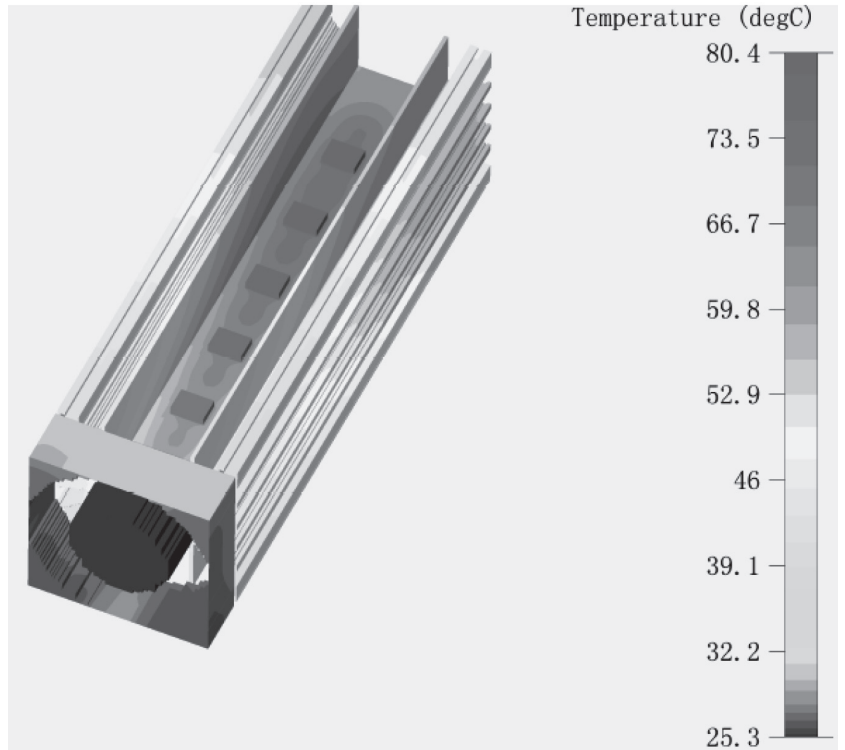


图2 功率模组散热器整体温度场分布

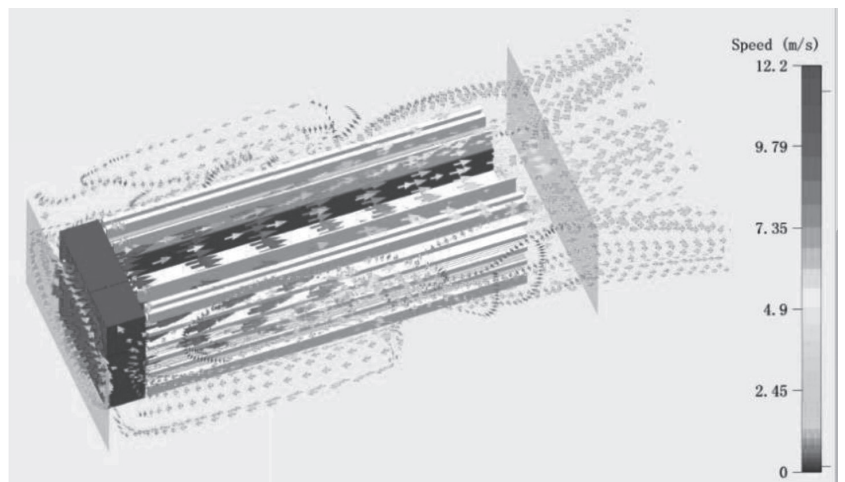


图3 功率模组散热空气仿真流动示意图

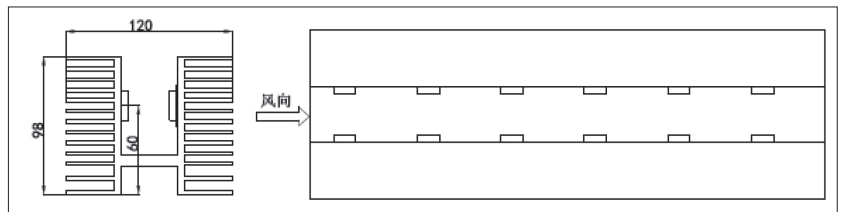


图4 优化后功率模组散热器结构示意图

紊流程度，增大对流散热效果。

2.2 优化设计后功率模组仿真分析

建立优化后插箱及功率模组三维数学模型，将优化后数学模型导入 FloTHERM 软件中，同样设置 D2-1、D2-2、D2-3、D2-4 和 D2-5 共 5 个温度监控点。D2-1 为冷却空气进口温度，D2-2 为出口空气温度，D2-3 和 D2-4 分别为散热器中间上部离风机最近和最远的 MOS 管温度，D2-5 为散热器中间离风机最远的散热器温度。划分计算网格，初始化设置后进行仿真计算。

优化设计后的功率模组散热器整体温度场分布情况如图 5 所示。最高温度数值降低，散热器热量可以较好地传导至散热翅片，说明散热器中间基板与两边散热齿之间热传导热阻减小，系统散热性能得到了改进。

图 6 为优化后的功率模组散热空气仿真流动示意图。

优化设计后，电路控制板、两侧挡板以及插箱底板共同组成相对独立的风道，散热空气从入口到出口基本处于平流状态，没有出现空气部分回流状况，散热器强制风冷对流散热效果得到提升。

设置的 5 处温度监控点温度如表 2 所示。出口处空气比进口处空气温度高约 16℃，说明空气带走更多热量。功率模组中最近处 MOS 管工作温度为 52.9℃，最远处 MOS 管工作温度约为 64.4℃，所有 MOS 管工作温度明显降低。最远处与最近处 MOS 管工作温度差值约为 11.5℃，比优化前差值（14℃）有所降低。

表 2 优化设计后各温度监控点仿真温度数值

监控点名称	D2-1	D2-2	D2-3	D2-4	D2-5
温度 /℃	25.2	41.1	52.9	64.4	54.8

3 优化设计前后功率模组测试验证

在优化设计前的功率模组散热器上布置 3 个温度传感器 T1-1、T1-2 和 T1-3，T1-1 位于离风机最近的 MOS 管旁，T1-2 位于离风机最远的 MOS 管旁，T1-3 位于散热器中间基板上离风机最远的中间位置。

根据功率模组结构优化设计方案，加工制造优化后的铝型材散热器，控制电路板在保持原有功能的前提下重新设计，制作两侧挡风板，形成相对独立的散热风道。优化设计后的散热器中间上部左侧基板上布置 3 个温

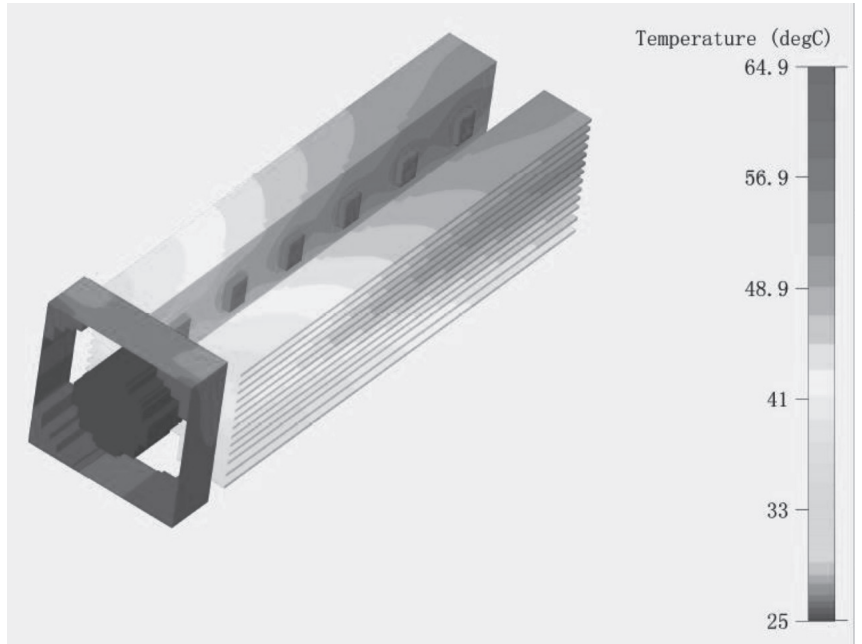


图 5 优化设计后功率模组散热器整体温度场分布

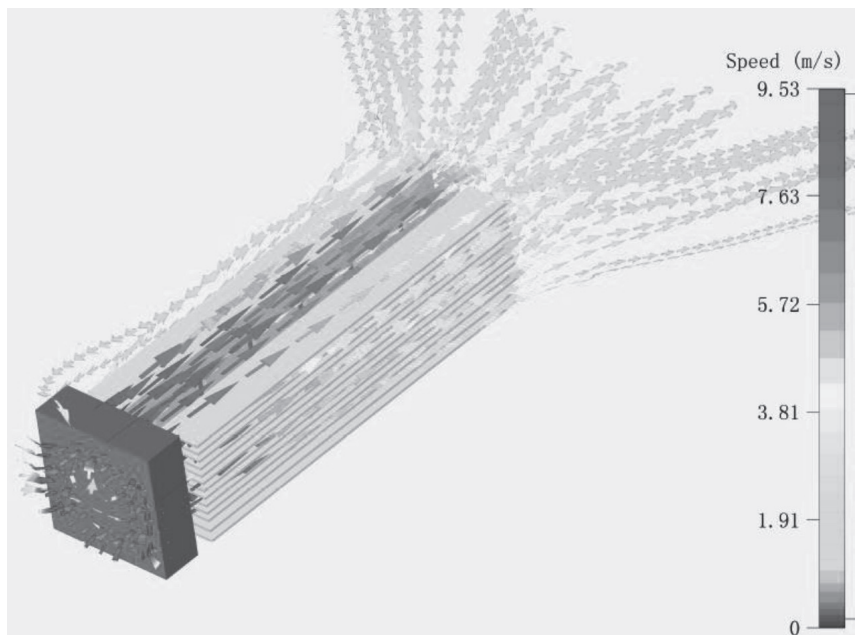


图 6 优化设计后功率模组散热空气仿真流动示意图

度传感器 T2-1、T2-2 和 T2-3，T2-1 位于离风机最近的 MOS 管旁，T2-2 位于离风机最远的 MOS 管旁，T2-3 位于中间上部左侧基板上离风机最远的中间位置。

分别将优化设计前后 2 个功率模组安装到 2 个插箱内部，将 2 个插箱安装到电池检测设备对应输出通道上。使用空调整实验室测试环境温度为 25℃，并用温度计确认。其他条件不变，连接负载，使 2 个输出通道都以最大电流 100A 输出，实时监控 6 个温度传感器数值。温度传感器数值稳定后记录实测数值。用 0 ~ 100℃ 量程水银温度计测量优化设计前后 2 个功率模组插箱进风

口与出风口空气温度值(表3)。

表3 优化设计前后功率模组实际测试温度值

优化设计前	位置	温度 /℃	优化设计后	位置	温度 /℃
	进口空气温度	25.1		进口空气温度	25.1
出口空气温度	35.1	出口空气温度	42.2		
T1-1	63.4	T2-1	50.3		
T1-2	77.6	T2-2	62.7		
T1-3	67.8	T2-3	55.4		

结果显示,实测数据与仿真数据存在一定误差,在允许范围之内,实际测试结果与FloTHERM仿真结果基本一致。优化后的出口空气温度比优化前提高7℃,散热空气对流散热效果提升。功率模组优化设计后比优化设计前MOS管温度明显降低,功率模组散热器的散热能力得到提高。

4 结语

通过优化设计,功率模组的散热空气对流散热效果得到提升,验证了优化方案具有可行性。

参考文献:

[1] 余建祖,高红霞,谢永奇.电子设备热设计及分

析技术(第2版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.

[2] 李波,李科群,俞丹海.FloTHERM软件在电子设备热设计中的应用[J].电子机械工程,2008,24(03):11-13+30.

[3] 朱其安.基于FloTHERM的某型电源模块热设计与优化[J].机电工程技术,2020,49(08):231-233.

[4] 王长昌,杜广群.基于FloTHERM的车载电气设备风冷散热器参数优化设计[J].铁道车辆,2019,57(04):17-20.

[5] 李波.FloTHERM软件基础与应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2014.

[6] 梅宇.基于FloTHERM分析的某插箱热设计研究[J].舰船电子对抗,2018,41(05):111-113+117.

[7] 杨雨薇,王婉人,周尧,等.某机载设备散热器的优化设计[J].机械研究与应用,2021,34(01):99-100.

[8] 毛杨础,许升,谢磊.基于FloTHERM的风冷机箱散热设计及优化分析[J].雷达与对抗,2019,39(04):36-40.

作者简介:周小岗(1986-),男,汉族,河南新乡人,硕士,工程师,研究方向:机电产品研发。

(上接第19页)

额定功率的2倍。

5 结语

综上所述,实践验证基于DSP技术设计的高频熔炼炉功率分配器,能够充分地实现总输出率限制下的电源功率分配。并且可以实现两台熔炼炉一台在保温,另一台连续浇注的需求。不过想要利用该类型的调节形式来满足更大功率的电源,就需要注重对谐波抑制问题的重视。

基金项目:2021年度江苏省大学生创新训练项目(项目编号:202112054002Y)

参考文献:

[1] 杜彬,张志斌,雷云清,等.电子束冷床炉熔炼TA15钛合金的工艺技术[J].中国有色金属学

报,2020,30(11):2706-2713.

[2] 李宏.谈我国大功率低频电源的发展[J].电源学报,2020,18(04):200-205.

[3] 李韵豪.铸造工业的感应加热第二讲感应熔炼电炉容量确定与功率和频率的选择[J].金属加工(热加工),2020(02):63-71.

[4] 贾庆功,王珑,马乐.电子束熔炼炉自动化控制系统设计[J].设备管理与维修,2021(06):61-62.

[5] 张研,樊永辉.离心浇注球墨铸铁铸管车间除尘系统设计[J].现代铸铁,2021,41(02):58-60+64.

作者简介:朱敬花(1986-),女,汉族,山东临沂人,硕士,讲师,研究方向:智能控制技术;宋东晨(2002-),男,汉族,河南商丘人,本科,研究方向:智能控制;庄燕(1981-),女,汉族,江苏徐州人,本科,讲师,研究方向:数控技术。