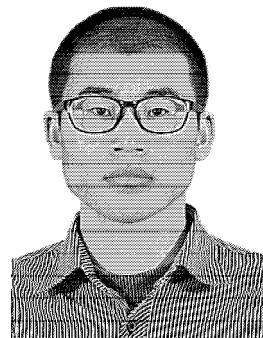


试
验
检
测

高速动车主变流器热管式空气冷却器 散热性能试验研究

罗爱华¹, 金 鹰², 岳 良², 金苏敏¹

(1. 南京工业大学 能源学院, 江苏 南京 211816;
2. 青岛宏达赛耐尔科技股份有限公司, 山东 青岛 266111)



作者简介: 罗爱华(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为制冷及低温工程。

摘 要: 介绍了高速动车主变流器冷却器工作原理, 研究了其热管式空气冷却器的传热特性, 掌握机车IGBT功率模块冷却器在正常运行过程中的散热量和基板温度的工作范围, 为散热器的选型和设计提供了科学依据。

关键词: 高速动车; 主变流器; IGBT; 热管; 温度; 散热性能

中图分类号: U292.91⁺4; TK172.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2013)03-0067-03

Test Research on Cooling Performance of Heat-pipe Air-cooling Device for High-speed EMUs Main Converter

LUO Ai-hua¹, JIN Ying², YUE Liang², JIN Su-min¹

(1. College of Energy Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu 210009, China;

2. Qingdao Hongda Schnell Science and Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: Operation principle of high-speed EMUs main converter cooling device was introduced. Heat-transfer character of heat-pipe air-cooling device was studied, and heat dissipating capacity and base-plate temperature range of IGBT cooling device in normal operation were obtained, which provided basis for radiator selection and design.

Key words: high-speed EMUs; main converter; IGBT; heat-pipe; temperature; dissipating performance

0 引言

IGBT(Insulate Gate Bipolar Transistor) 是高速动车组中的主变流器、制动斩波器等电气设备的核心部件, 由IGBT晶体管组成的功率模块是主变流器最主要的标准组件^[1]。伴随其高频、大功率^[2]和高集成化发展, 设备单位面积的热流密度越来越高, IGBT芯片温度直接影响到IGBT承载电流的能力^[3-4]、工作效率和使用寿命。较高的散热量无法通过常规的冷却方式来保证功率模块的安全运行, 因此需要根据发热的情况采取不同高效散热措施。高速动车受到重量、体积的严格限制, 对功率器件及其相匹配的风冷散热器的减重要求比地面装置苛刻得多^[5]。因此, 很有必要研究高速动车主变流器热管式空气冷却器的传热特性, 掌握热管式散热冷却设备在动车运行过程中的散热量及基板温度的工作范围, 从而为高速动车IGBT功率模块散热器的选型和设计提供依据。

1 主变流器冷却器工作原理

高速动车主变流器热管式空气冷却器冷凝段为热管冷凝段外加平直铝翅片, 蒸发段为实心铝板, 热管的蒸发段钎焊于实心铝板内, 热管在基板上的排列根据半导体器件热流密度的大小成非均匀分布。工作过程中IGBT模块将运行产生的热量通过具有较高导热率的绝缘的导热硅脂传递给冷却器导热基板^[6], 将热量透过热管管壁进入内腔, 负压状态下的工质受热为饱和蒸汽, 形成压差, 产生的蒸汽沿着内部通道上升到冷凝段冷凝释放出热量, 热管冷凝段有铝质翅片扩展散热表面, 在强制风冷作用下不断将热量带走^[7]。放出汽化潜热凝结成的液体, 在重力作用下流回蒸发段。制冷剂在冷却器内部不断重复以上过程把电子器件产生的热量散掉。图1为热管式冷却器工作原理图。

2 试验系统及测试条件

图2为试验台流程图。试验台主要由离心风机、空

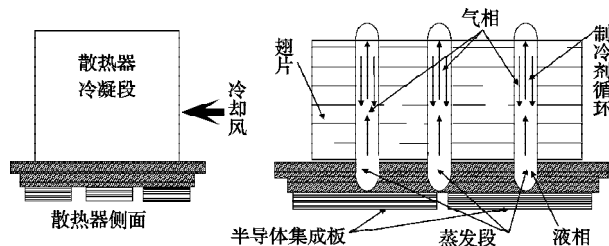


图1 热管式散热器工作原理图

气加热器、试验段及阀门和传感器组成, 试验系统模拟高速动车组运行时, 研究热管式空气冷却器的传热性能。试验通过控制和调节冷却器基板温度、冷却进风温度、冷却风量, 根据流经冷却器前后空气温差和风量计算得到冷却器在不同工况下的散热量。试验过程中冷却风量通过1台最大流量为3 984 m³/h, 全压为2 069 Pa的离心式风机提供。1台额定功率为15 kW的电加热器用来保证进入冷却器前空气温度保持和稳定在试验定范围。在空气加热器与测试段之间安装智能涡街流量计, 测量流经冷却器的风量, 流速范围0.5~10 m³/h。为了保证流量计测量精度应确保流量计前管段长度不少于10倍流量计直径, 后端管长度不少于5倍流量计直径。试验段有加热水箱和1个液压升降机。水箱内装有电加热装置, 电加热功率9 kW, 模拟IGBT功率模块的产热, 在导热基板底面布设4个E型热电偶, 检测和控制冷却器的受热情况。加热水箱下安装1台液压升降机, 便于试验段的高度和位置的调节。试验台设置了回风管路系统, 并在回风管路设置静压箱和电动阀门, 当环境温度比较低的时候(冬季工况), 在回风热量的作用下可以减少空气加热器的耗电, 起到节约能源的作用。表1为试验的条件。

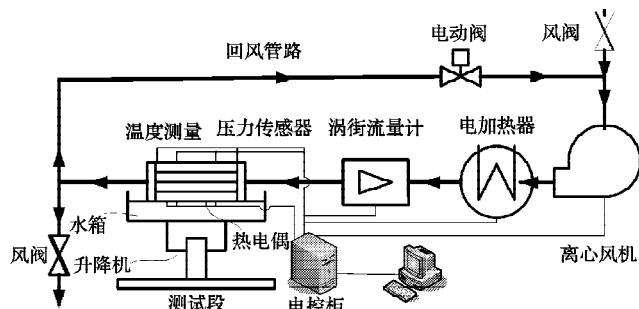


图2 试验台系统流程图

表1 试验条件

参数名称	数值
冷却器进口温度/℃	30, 35, 40, 45
冷却器导热基板温度/℃	70, 80
迎面风速/m·s ⁻¹	5, 6, 7
翅片类型	连续平直翅片
翅片间距/mm	4.6
管排数	6
管排方式	顺排, 非均匀

冷却器前后的温度通过pt100热电阻测得, 测量精度为±0.1℃; 流经冷却器的空气流量通过智能涡街流量计测得, 测量精度为±1.0%; 热管冷却器前后压力

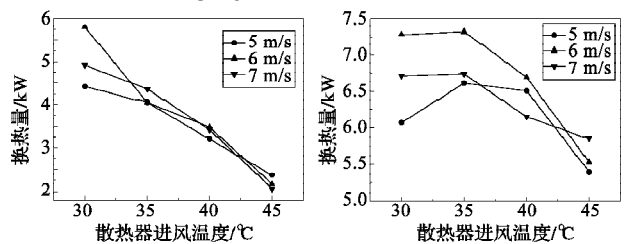
降通过压差变送器测得, 测量精度±1%。

表1中列出了试验的条件。一般来说, 散热器空气侧的换热系数与空气流量及换热器的表面结构相关, 所以散热器前后的温度测量、流经空气流量的测量十分重要, 需要通过较高精度的设备进行测得。试验选择水蒸汽加热, 为了更好地保持基板的温度和减少热量损失, 需要对散热器加热装置做良好的保温处理, 因此采用厚度为8 cm的石棉保温。

3 试验结果与分析

3.1 风速和温度对总换热量的影响

从图3(a)可以看出: 当基板底部外壁温度为70℃时, 热管式空气冷却器的换热量在2 000~5 000 W/s之间, 成稳定变化。换热量随着进风温度升高逐渐减少, 且受冷却风速影响比较小。这是因为试验风速下流经冷却器的空气成紊流状态, 对换热系数的改变比较小, 而进风温度的高低直接影响的是冷却器换热温差大小的原因。在进风温度为30℃, 风速为6 m/s时, 由于外界因素对流量计的干扰导致测量值变大。从图3(b)可以看出: 当基板底部外壁温度为80℃时, 冷却器换热量在5 400~7 400 W/s之间。换热量随着进风温度的升高而下降, 进风温度小于35℃时, 换热量减少得比较缓慢, 进风温度高于35℃时, 换热量下降得比较快。这是因为在试验风速下, 当进风温度小于35℃时, 冷却器换热能够产生较大的换热温差, 进风温度高于35℃时, 冷却器换热温差随着进风温度的升高而逐渐变小, 而冷却器的换热系数受风速的影响基本趋于一致, 所以导致换热量成图3(b)变换趋势。



(a) 散热器导热板底面温度70℃

(b) 散热器导热板底面温度80℃

图3 风速、进风温度与散热器换热量的关系

3.2 风速和温度对冷却器传热系数的影响

根据试验测得的冷却器的换热量, 平均换热温差和以基板为基准换热面积计算得到冷却器的传热系数值。从图4(a)可以看出: 当基板底部外壁温度为70℃时, 冷却器传热系数受冷却风速影响较小, 且随着进风温度升高先是略有升高后逐渐降低。原因分析: 基板温度在70℃时, 不同风速下换热温差逐渐变小导致冷却器的换热量随着进风温度的升高逐渐降低。从图4(b)可以看出: 基板温度在80℃时, 组成冷却器的热管处于正常工作状态, 基板温度在70℃时, 冷却器处于启动工作状态, 所以前者的换热量高于后者; 基板底部外壁温度为80℃时, 冷却器传热系数随着进风温度升高先是增大并维持一定高度后开始下降。这是因

为在进风温度小于 35°C 时,在不同风速下,随着进风温度的升高,冷却器换热量降低的百分比小于冷却器换热温差减小的百分比,所以导致换热系数先增大。随着进风温度的进一步升高(大于 35°C 时),冷却器换热量快速下降,然而因换热温差逐渐变小使得温差的降低幅度小于换热量降低幅度,导致冷却器传热系数快速下降,又因为随着进风温度的升高换热温差和空气侧换热系数趋于一致,所以使得冷却器传热系数随着进风温度的进一步升高,变化趋势趋于一致。

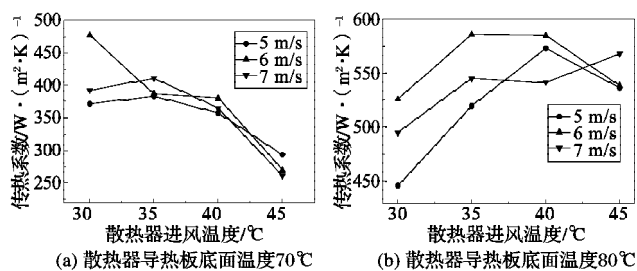


图4 风速、进风温度与传热系数的关系

3.3 风速和温度对散热器压力损失的影响

图5为试验条件下的冷却器阻力损失关系图,冷却器导热基板底面温度为 70°C 时的阻力损失用实线表示,冷却器导热基板底面温度为 80°C 时的阻力损失用虚线表示。从图5中可以看出,迎面风速是影响该热管散热器压损的主要因素,风速越高冷却器阻力损失越大。所以在对该类型冷却器进选型和设计时,要适当控制冷却器进风速度的大小,当选取的风速过高时会

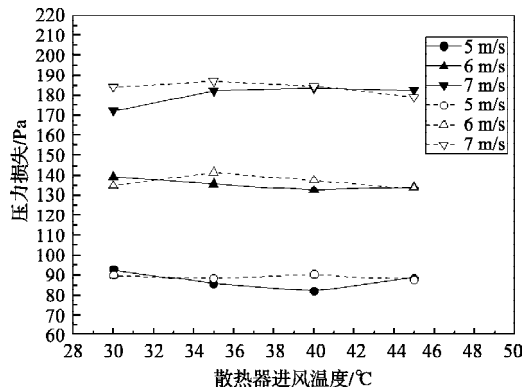


图5 风速、进风温度与压力损失的关系

产生较大的阻力损失,从而造成能源的浪费、成本的增加、噪声的增大和设备占用空间体积的增大。如果工作环境温度不超过 40°C 时,冷却器进风速度最好不要超过 6 m/s ;如果环境温度经常维持在 45°C 左右时,冷却器进风速度最好不要超过 7 m/s 。

4 结语

①在试验测试工况下,基板底部外壁温度为 70°C 时,热管式空气冷却器的换热量在 $2\,000\sim 5\,000\text{ W/s}$ 之间;基板底部外壁温度为 80°C 时,冷却器换热量在 $5\,400\sim 7\,400\text{ W/s}$ 之间。

②在试验条件下,热管式空气冷却器导热基板底面壁温在最近工作温度:高于 70°C ,低于 90°C 。 70°C 时热管冷却处于一个开始启动工作状态, 90°C 时,冷却器的散热量和模拟IGBT集成半导体的产热量在达到散热平衡时,使得冷却器基板的温度无法超过 90°C 。

③综合换热量、传热系数和阻力损失等因素,冷却器导热基板底部外壁温度处在 80°C 左右最佳。工作环境温度在 40°C 左右时,冷却器进风速度不宜超过 6 m/s ;工作环境温度在 45°C 左右时,冷却器进风速度不宜超过 7 m/s 。

参考文献:

- [1] С В Покровский. 大功率IGBT晶体管牵引变流器[J]. 国外内燃机车, 2011(6): 7-14.
- [2] Thomas Luttin, 等. 大功率应用中的IGBT技术[J]. 国外内燃机车, 2001(5): 44-46.
- [3] Hans-Joachim Knaak, 等. 采用IGBT技术的牵引变流器——新晶体管技术应用的优点和运用经验[J]. 国外内燃机车, 1996(10): 4-10.
- [4] 王 雄, 马伯乐, 陈明翔, 等. 轨道车辆大功率IGBT散热器的热设计与试验研究[J]. 机车电传动, 2012(4): 71-73.
- [5] 王正星. 功率器件用风冷散热器的新型结构[J]. 机车电传动, 1986(1): 40-43.
- [6] 宗朝晖. 现代电力电子的冷却技术[J]. 交流技术与电力牵引, 2007(4): 6-12.
- [7] 袁 斌. 矩形平翅片热管散热器的传热分析和数值模拟[D]. 南京: 江苏大学, 2006.

(上接第66页)

- [3] IEC 61377-2: 2002, Railway applications-Rolling stock-Part 3: Combined testing of alternating current motors, fed by an indirect convertor, and their control system[S].
- [4] 梁裕国. 机车交流传动试验系统研究[J]. 机车电传动, 2003(6).
- [5] GB/T 7928—2003, 地铁车辆通用技术条件[S].
- [6] 吴茂杉. 国内城轨车辆电传动系统主要问题分析[J]. 变流技术与电力牵引, 2007(1).
- [7] CCITT. Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines[S]. Geneva: CCITT, 1989.

- [8] CECS 67—1994, 交流电气化铁道对电信线路杂音干扰影响的计算规程[S].
- [9] 庞廷智. 直流输电线路对电信线路影响的标准及计算[J]. 电网技术, 1999(11).
- [10] ISO 17025: 2005, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories[S].
- [11] ISO 14253-2: 2011, Geometrical product specifications (GPS). Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification[S].