

某型机车变流器部件过热的分析及解决方案

宾 川^{1, 2}, 张 义¹

(1. 株洲中车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001;
2. 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 针对某型机车变流器中间直流环节的功率模块散热器、直流铜母线及支撑电容等关键器件发热严重以及柜体内部温度过高问题, 通过分析以及测试查找过热原因, 从设计上提出解决该问题的有效方案, 并通过测试对比进行了效果验证。该型变流器已累计批量装车近千台, 总体运行状态良好。

关键词: 变流器; 部件过热; 低感母排; 电力机车

中图分类号: U264.3⁺7

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.06.110

Analyze and Resolve of Locomotive Traction Converter Parts Overheat

BIN Chuan^{1,2}, ZHANG Yi¹

(1. Technology Center, Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. State Key Laboratory for Traction and Control System of EMU and Locomotive, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: In view of the serious heating of the key components such as the radiator of the power module in the intermediate DC link of a locomotive converter, the direct current copper bus bar and the supporting capacitor, and the excessive temperature inside the cabinet, through analysis and test to find out the causes of the overheating, an effective scheme to solve the problem was put forward from the design point of view, and the effectiveness was achieved through test and comparison. This type of converter has accumulated nearly 1 000 units, and the overall operation was in good condition.

Keywords: converter; component overheating; low inductance laminated bus bar; electric locomotive

0 引言

某型机车变流器采用主辅一体化结构设计, 每台机车(2节)配置2台变流器, 每台变流器中有2组供电单元, 每组供电电源向一个转向架的2台牵引电机供电。

变流器主电路采用二电平四象限PWM整流器+VVVF逆变器+辅助变流器模式^[1], 由两重四象限PWM整流器和2个VVVF逆变器组成。每个单元共用中间直流环节、预充电电路、二次谐振吸收电路、固定放电电路。辅助变流器直接并联到中间直流环节, 辅助变流器输出经变压器后输出三相AC 440 V给辅助设备供电。当其中任意一个逆变器模块故障时, TCU封锁故障逆变器模块脉冲, 机车功率只损失1/8; 当逆变器模块发生短路故障时, 将切除一台转向架的动力, 机车功率损失1/4; 当其中一个四象限模块发生故障时,

将切除一台转向架的动力, 机车功率损失1/4, 另一台辅助变流器冗余输出。

该型主变流器在进行型式试验时, 发现支撑电容器、直流铜母线、模块低感母排等各部件出现明显过热现象, 存在一定的隐患, 必须对其进行改进。

1 部件过热原因分析

在该型主变流器型式试验过程中, 主要电气部件的温升已经超过各部件所能承受的范围。变流器中间直流环节部件布置图如图1所示, 采用两根直流铜母线(母线正、母线负)将变流器中间直流环节并联起来, 再通过各支路母排连接到功能模块单元, 原理图如图2所示^[2]。图2中, A/4QS1和A/4QS2为四象限模块, A/INV1和A/INV2为逆变器模块, A/VVVF为辅助逆变器模块。采用PT100监测各关键部件的温度, 记录的温度数据如表1所示。

收稿日期: 2017-12-12; 修回日期: 2018-07-15

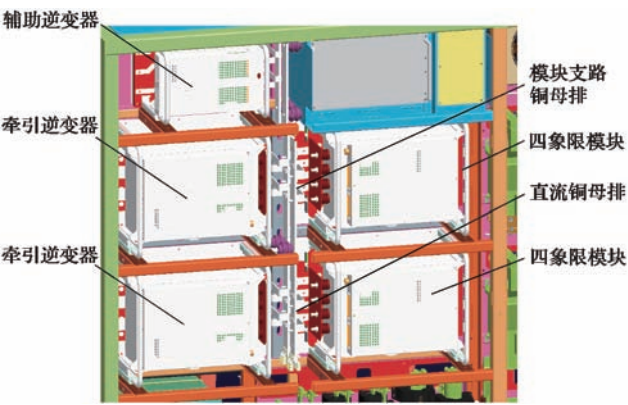


图1 中间直流环节部件布置图

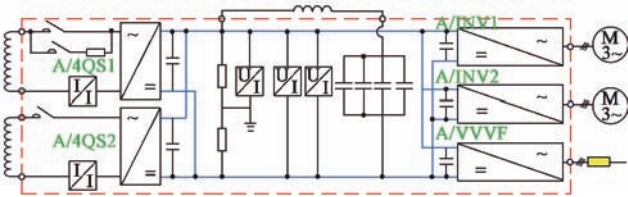


图2 变流器原理图（变流器半架电路）

表1 试验温度数据 ℃

A 转向架			B 转向架		
模块母排	直流母线	支撑电容	模块母排	直流母线	支撑电容
90.2	95.4	76.3	91.3	96.5	73.7

根据试验标准要求, 变流器模块的温升为散热器台面温度与冷却液入水口温度之差, 且温升不大于 30 K, 变流器入水口温度为 55℃, 表1 中所示温度已经超过规定限值。铜母线虽然没有规定具体的温升, 但是如果铜母线温度过高, 会对变流器内部空气进行加热, 引起柜内温度过高, 导致某些电子元器件过热失效等现象。电容器规定的使用环境温度为 -45~70℃, 温度过高会引起电容器鼓包、发热, 严重时会引起电容器爆炸等现象。

通过分析, 发现中间直流环节铜母线、支撑电容、模块低感母排过热及柜内温度过高主要有以下几个方面的原因:

①支撑电容分散布置^[3]。主变流器采用两重四象限+逆变器+辅助逆变器构成, 支撑电容器因容量和体积限制, 往往由多个电容器并联实现, 为了能与整流或逆变单元尽快进行瞬时能量交换, 减少对直流电压的纹波冲击, 支撑电容器往往靠近开关桥臂布置, 因此支撑电容器往往分散布置在各个功率单元内。由于功率单元在不同的工作状态下, 开关切换状态不同, 使不同模块上电容器的电压存在电位差, 引起电容器之间相互倒能^[4-5], 诱发母排、电容器过热等现象。

②主变流器的额定工况比较恶劣。四象限额定输入电流为 1 440 A, 二次谐振电流为 1 140 A, 变流器持续工作在较大电流下, 模块载荷较大, 冷却系统的换热能力相对不足。

③内循环系统薄弱。内循环系统设计的冷却效果和实际冷却效果差异很大, 没有形成一个很好的对流

作用, 不能够将柜内热量及时散发出去。

2 优化方案

针对变流器部件过热的现象, 通过原因分析, 对主变流器进行系统完善。主要采用低感母排来降低主回路间的杂散电感和变更柜体结构提高变流器内部的内循环系统, 具体措施有如下几个方面。

2.1 采用低感母排

采用低感母排代替原有的直流铜母线。低感母排是一种利用导电铜柱将依序叠置的外层绝缘层、正铜排、中间绝缘层、负铜排及外层绝缘层固定连接成一种多层叠置体的电连接装置, 在导电铜柱及母排之间增设绝缘塞块; 在相邻两层之间设有起粘接作用的半固化片; 在绝缘层上位于 IGBT 两极区间的板体上设有增大爬电距离的凹槽。

采用低感母排代替传统直流铜母线可以减轻或消除功率开关在关断瞬间产生瞬时高压和电压振荡。低感母排适用于高压大电流变流器中。另外, 采用低感母排可以减少对空间的要求、提高可控性和改善系统工况, 可以获得良好的电气性能和力学性能。

2.1.1 采用低感母排方案 1

中间直流环节正负母排采用低感母排连接, 连接到各模块仍采用支路母排。如图3所示。

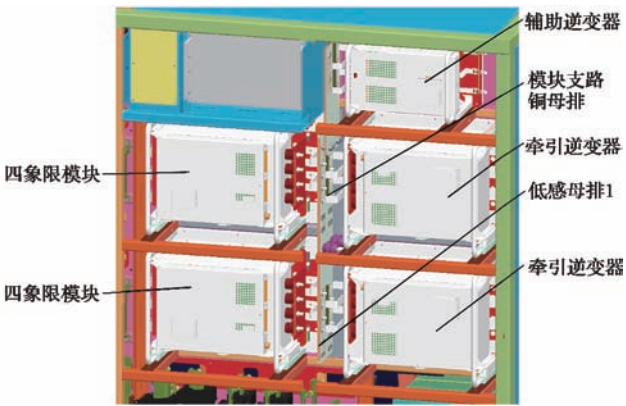


图3 采用低感母排方案1

2.1.2 采用低感母排方案 2

中间直流环节所有连接采用低感母排, 取消支路母排。如图4所示。



图4 采用低感母排方案2

2.2 更改变流器柜体结构

更改变流器柜体的现有结构方案,以提高柜体自身的散热条件。在柜体的相应部位增开散热孔,提高空气流动性,降低柜体的局部温度。如在直流母线后部的梁上增开散热孔,促进空气有效流通。

3 试验验证

3.1 电流测试

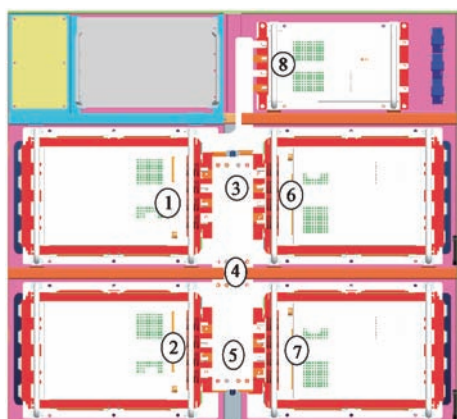
将 2 种直流环节低感母排电连接优化方案与优化前的铜母电线连接方案进行了电流测试比较,数据如表 2 所示。

表 2 3 种电连接方案在不同电机转速下的电流数据 A

电机转速 / (r·min ⁻¹)	直流铜母线		低感母排方案 1		低感母排方案 2	
	四象限	逆变器	四象限	逆变器	四象限	逆变器
	半纹波	半纹波	半纹波	半纹波	半纹波	半纹波
200	120	124	70	89	57	55
600	139	136	77	81	59	57
1 000	146	139	103	102	79	80
1 400	145	136	111	99	90	91
1 720	153	141	112	89	86	89
2 000	152	139	109	86	85	87
2 200	141	134	109	86	82	86

3.2 温升试验

试验方案为在冷却水流量为 300 L/min 前提下,满力矩工况下测量 A 架牵引变流器的温升数据,以电机转速 1 400 r/min 考核 2 h,电机转速 1 720 r/min 考核 1 h,环境温度为 25.5℃,在牵引变流器的相应位置贴了 PT100 温度探头测量温度数据,温度探头所处位置如图 5 所示(对应编号所处位置)。



①—4QS1 电容;②—4QS2 电容;③—母排上;④—母排中;⑤—母排下;⑥—INV2 电容;⑦—INV1 电容;⑧—辅变电容。

图 5 PT100 温度探头位置示意图

针对采用低感母排方案 1 的试验条件:环境温度为 26.5℃,电机转速为 1 720 r/min,辅变模块额定工况运行,冷却水流量为 300 L/min,试验 2 h,低感母排温度为 77℃,温度曲线见图 6。

针对采用低感母排方案 2 的试验条件:电机转速为 1 400 r/min,12:50 切换转速至 1 720 r/min,试验结束时,低感母排温度最高为 83℃。温度曲线如 7。

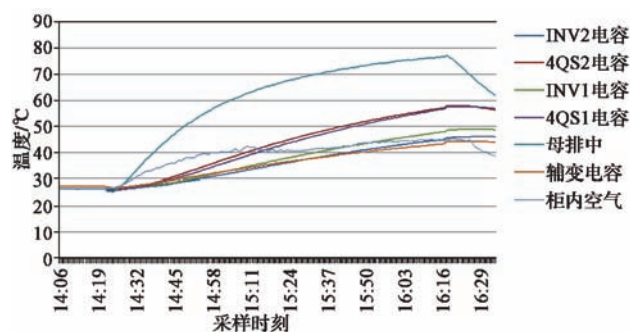


图 6 采用低感母排方案 1 温升曲线

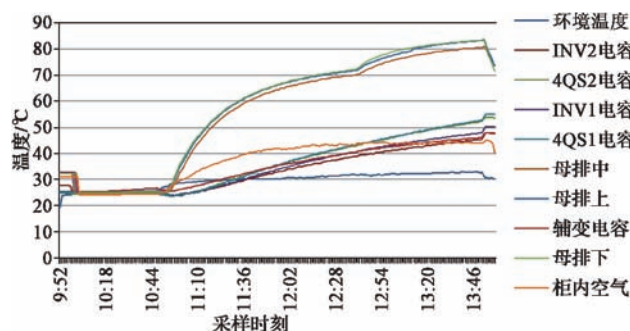


图 7 采用低感母排方案 2 温升曲线

3.3 夏季装车运行温度测试

在测试系统级热参数和重要部件热参数时,测点布置受安装空间、安全等因素的约束,部分测点可能无法布置或不能布置到理想位置。本系列试验的测点布置如表 3 所示。

表 3 试验测点位置分布情况

参数级别	测点位置	用途	测点实际位置情况
系统级	机械间	获取参考温度基准	机械间前、后(各 2 个)
	变流器柜内	获取柜内各位置环境温度	模块周边及换热器进口
	冷却塔进水 冷却塔出水	获取冷却塔热状态参数、系统热量参数	冷却塔进水管表面
模块级	IGBT 散热器(入口远端)	获取远端 IGBT 温度特性	IGBT 散热器边沿
	驱动板、电源板安装位置	获取驱动板、电源板工作环境温度	整流逆变各 1 个

根据车辆的实际运行状况,对温度数据进行对比分析,包括对系统、模块两级数据进行分析。由于测试时环境温度存在差异,分析时以温升作为温度水平的衡量标准。

系统级温度数据曲线如图 8。

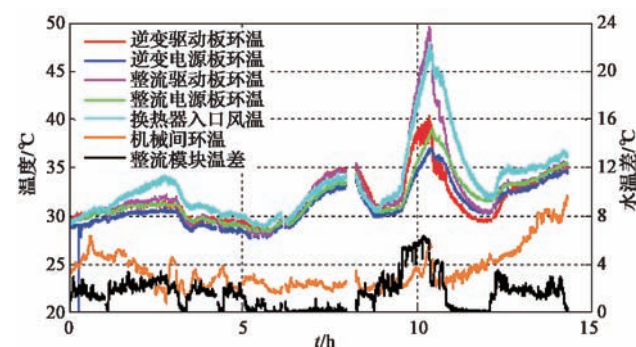


图 8 系统级温度数据曲线

系统级的温度数据包括冷却塔进、出水温和环境温度。模块环境温度数据包括驱动板环温、电源板环温和换热器入口风温等,如图9所示。从图8、图9可知:

①冷却塔水温相对环境温度最大温升都在 15°C 左右;

②在变流器功率变化时,冷却塔水温均有大范围快速变化,波动较大 ($10^{\circ}\text{C}/\text{min}$);

③整流驱动板环温高出逆变驱动板环温,整流驱动板的最大温升约为 28K ;

④模块环温受机械间环温(外部环温)和变流器输出功率共同影响,受变流器输出功率的影响最大;

⑤系统级、模块级温升均在合理范围内。

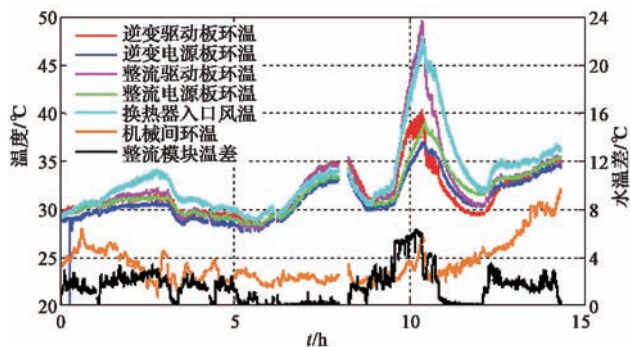


图9 模块环境温度曲线

4 结语

在遇到变流器内部温升过大问题后,根据原因分

析、方案制定以及试验验证三大步骤获得2种优化方案与优化前对比的完整试验数据,通过对试验数据分析,确认采用低感母排方案2较采用低感母排方案1在各部件温升及纹波电流方面都有所改善。在工程化实现方面,采用低感母排方案2在变流器模块组装、维护、维修方面工作量较大。综合考虑试验数据、可制造性和可维护性等因素,采用低感母排方案1基本能够满足变流器优化需求。采用低感母排方案1后,在后续装车试验中,变流器内部各部件的温度得到很好的控制。近几年,该型机车已成为我国干线货运的主力车型,该型变流器已累计装车近千台,总体运行状态良好。

参考文献:

- [1] 忻力.兆瓦级IGBT牵引逆变器的开发[J].机车电传动,2000(5):4-5.
- [2] 秦方方,李华,李鹏.几种主要的“和谐”型电力机车主变流器主电路对比[J].机车电传动,2012(5):43-46.
- [3] 陈燕平,忻力.变流器中电容器并联时的谐振现象及噪声研究[J].机车电传动,2008(5):19-22.
- [4] 荣智林.TGN10型地铁车辆用DC1500VIGBT牵引逆变器[J].机车电传动,2004(4):31-33.
- [5] 刘海涛.地铁车辆用DC1500VIGBT牵引逆变器[J].机车电传动,2008(5):42-44.

作者简介:宾 川(1984-),男,工程师,现从事机车电气牵引系统研发工作。

(上接第75页)

- [6] 王勋,李琳,高学敏,等.基于IGBT串联的电压源换流器的电动力计算及振动分析[J].电力科学与工程,2014(3):29-34.
- [7] ZORN C, PITON M, KAMINSKI N. Impact of humidity on railway converters [J]. PCIM Europe 2017, 2017: 715-722.
- [8] CIAPPA M, MALBERTI P, FICHTNER W, et al. Lifetime extrapolation for IGBT modules under realistic operation condition [J]. Microelectronics Reliability, 1999: 1131-1136.
- [9] 王彦刚, DINESH C, 李世平, 等. 功率IGBT模块的寿命预测[J]. 机车电传动, 2013(2): 13-17.
- [10] 谢超, 叶建铸, 石延辉, 等. 直流滤波电容器剩余预期寿命

的试验研究[J].电力电容器与无功补偿,2017(2):87-93.

- [11] 张国龙,蔡金燕,梁玉英,等.电子装备多应力加速退化试验技术及可靠性评估方法研究[J].航空学报,2013(12):2815-2822.
- [12] 魏星,方峻,王卫国.加速退化试验下电流传感器的可靠性评估[J].机械设计与制造,2017(8):69-72.
- [13] 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验:GB/T 21563—2008 [S].

作者简介:张开辉(1968-),男,硕士,高级工程师,长期从事轨道交通车辆的技术管理工作。