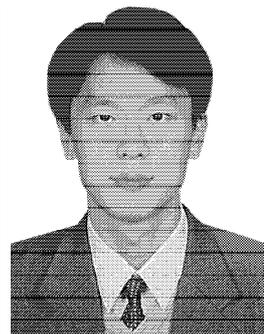


高速试验动车组用 TGA16 型 IGBT 变流器

翁星方, 刘 大, 邹档兵

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 翁星方(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事变流器的技术开发工作。

摘要: 介绍了高速试验动车组用 TGA16 型 IGBT 变流器主要技术参数、主电路原理、总体结构以及冷却系统, 简述了变流器的技术特点。试验证明该变流器能满足高速试验动车组的运用需求。

关键词: 高速试验动车组; IGBT; 变流器; 主电路; 冷却系统

中图分类号: U264.3⁺7; U269.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2014)02-0012-04

TGA16 Type IGBT Converter for High-speed Test EMUs

WENG Xing-fang, LIU Da, ZOU Dang-bing

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The main technical parameters, power circuit principle, structure and cooling system of the TGA16 type IGBT converter employed in the high-speed test EMUs were introduced, as well as the technical characteristics of the converter. The test proved the converter to meet operation demand of the high-speed test EMUs.

Keywords: high-speed test EMUs; IGBT; converter; power circuit; cooling system

0 引言

近年来, 高速铁路在资源、环境的可持续发展战略上的优势越来越明显, 发展高速铁路已在国际上形成共识。中国作为高铁大国, 在高铁技术创新方面, 正瞄准世界最先进水平, 持续不断地开展高速列车的理论研究和试验工作。牵引传动系统作为高铁的核心技术之一, 对其开展充分的理论研究及试验显得尤为重要。本文将详细介绍株洲南车时代电气股份有限公司研制的高速试验动车组用牵引电传动系统核心部件——TGA16型IGBT变流器(以下简称“变流器”)。

1 概述

高速试验动车组采用6M0T编组方式, 列车牵引系统由3个动力单元组成, 每个动力单元包括1台牵引变压器、2台变流器和8台牵引电机, 整车采用架控方式, 每台变流器驱动2台转向架上的4台牵引电机。变流器采用主辅一体化方式, 强迫水循环冷却, 所有热量通过水冷装置(变流器的配套装置)同外界进行热交换; 采用6 500 V/600 A高压IGBT元件, 直接转矩控制, 每台变流器最大牵引输出功率可达3 800 kW。

2 变流器主电路及主要技术参数

2.1 主电路介绍

变流器主电路采用二重四象限+逆变器形式, 辅助逆变器从中间直流环节取电, 主辅一体化设计, 主电路图如图1所示。变流器主电路包括5个IGBT变流器模块, 其中2个四象限脉冲整流器模块, 2个VVVF逆变器模块, 1个辅助逆变器模块。此外, 变流器主电路还包括独立的充电短接电路、斩波电路、固定放电电路、接地检测电路、二次谐振电路。

2.2 主电路工作原理

牵引变压器牵引绕组 $a_1 - x_1$, $a_2 - x_2$ 输入电压分别经由充电接触器CHK1、充电电阻R1和充电接触器CHK2、充电电阻R2组成的2个充电电路对中间直流电路支撑电容充电。电抗器L1和C1组成二次谐振电路, 用于过滤四象限脉冲整流器输出的二次谐波电流; Rch1、Rch2为过压斩波电阻, 用于直流电路的过电压抑制及停机后的快速放电; R3~R12为固定放电电阻, 用于快速放电电路故障后将支撑电容上的电压释放至安全电压以内; R5、R6同时也是直流分压电阻, 中点接地, 用于变流器主电路接地检测; LH1~LH12为电流传感器, 其中LH3~LH7、LH9~LH10用于检测变流器输出

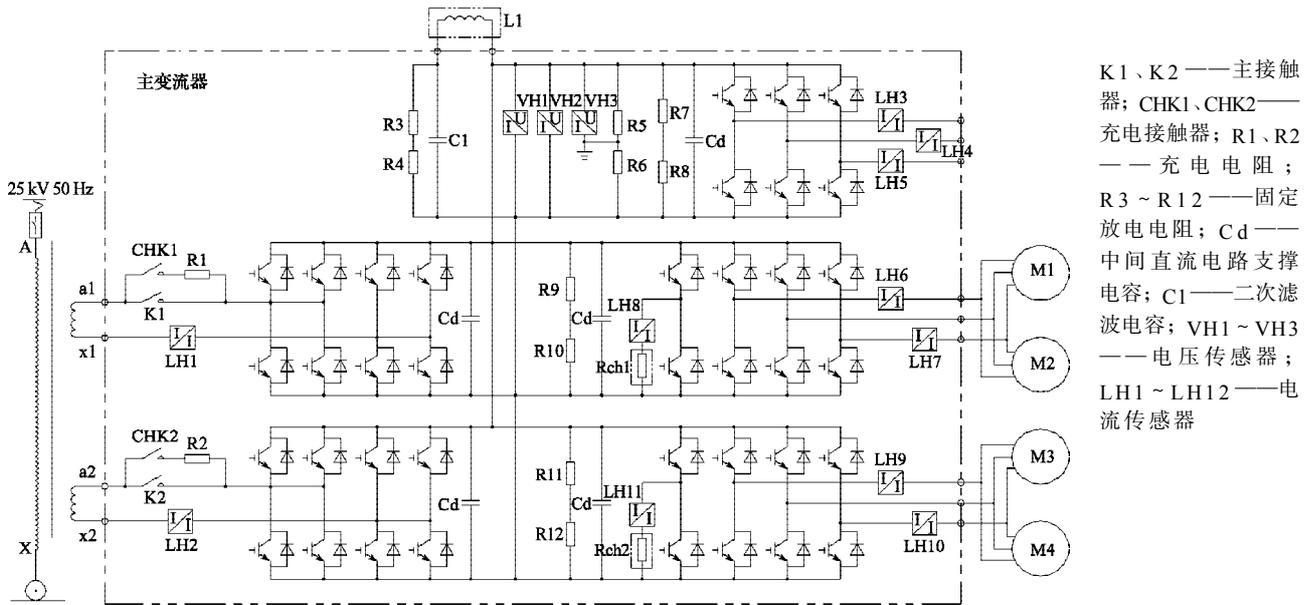


图 1 TGA16 型 IGBT 变流器主电路图

电流, LH1、LH2 用于检测变流器输入电流, LH8 和 LH11 用于检测斩波电流; VH1~VH3 为电压传感器, 分别用于检测变流器中间直流电路电压和半电压。

牵引工况, 单相 AC 2 121 V 工频电压经四象限脉冲整流器整流为 DC 3 500 V, 再经逆变器逆变为三相 VVVF 电压供给牵引电机; 再生制动工况, 牵引电机输出的三相电压经整流、逆变后通过牵引变压器、受电弓反馈回电网。中间直流环节经辅助逆变器逆变为三相 PWM 电压, 再经过辅助滤波柜降压、滤波为三相 AC 380 V 供辅助用电。

2.3 主要技术参数

1) 四象限脉冲整流器基本参数

输入电压	AC 2 121 V
额定输入电流	AC 2 × 698 A
一次侧功率因数	≥ 97%

2) VVVF 逆变器基本参数

输入电压	DC 3 500 V
输出电压	AC 0 ~ 2 730 V
额定输出电流	2 × 310 A
启动电流	2 × 434 A
输出频率	0 ~ 180 Hz
额定效率	约 99%

3) 辅助逆变器基本参数

输入电压	DC 3 500 V
额定输出电压	AC 1 672 V
输出频率	50 Hz

4) 冷却系统基本参数

冷却方式	强迫水循环冷却(有添加剂)
散热功率	55 kW
水和添加剂体积比	44%/56%
外形尺寸(长 × 宽 × 高)	3 000 mm × 2 200 mm × 755 mm
总质量	1 950 kg

3 变流器总体结构及主要功能单元

3.1 总体结构

变流器安装于车下设备舱内, 整体采用框架式结构, 柜体材料为不锈钢, 设备防护等级为 IP54, 其外形结构及对外接口如图 2 所示, 采用 12 个 M20 高强度螺栓安装。变流器内部主要包括四象限整流器模块、VVVF 逆变器模块、辅助逆变器模块、主接触器单元、充电单元、充电电阻、放电电阻、二次滤波电容、热交换器、DCU 控制单元以及传感器单元等功能部件。此外, 变流器斩波电阻及二次滤波电抗器布置在水冷装置内, 并通过变流器二次输出接口连接到变流器内部中间直流电路上。变流器结构设计充分体现了模块化设计理念及 RAMS 可维护性要求, 所有功能单元尽量采取模块化结构设计, 并在变流器柜体上设计有必要的检查门, 便于日常检修维护。

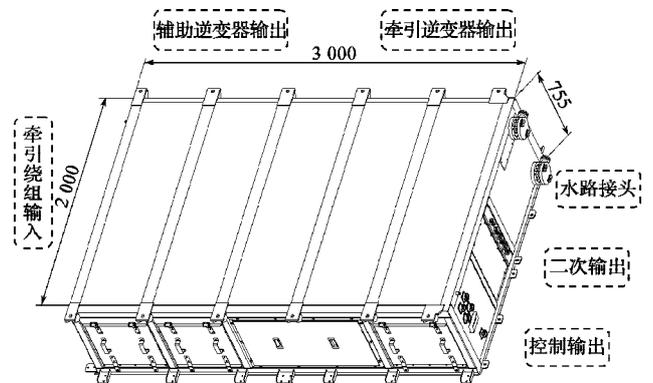


图 2 主变流器外形结构及接口图

3.2 功率模块

变流器功率模块包括四象限脉冲整流器模块、VVVF 逆变器模块和辅助逆变器模块。功率模块安装结构采取前部螺栓固定, 尾部销定位安装方式, 安装及维护均可从模块的前部实现。功率模块采取水冷散热

方式,与水冷系统水路连接均采用快速接头的方式。每台功率模块集成有8个(辅助逆变模块集成有6个)高压IGBT元件。此外,还集成了直流支撑电容、低感复合母排(Busbar)、控制单元等关键部件。功率模块实物如图3所示。

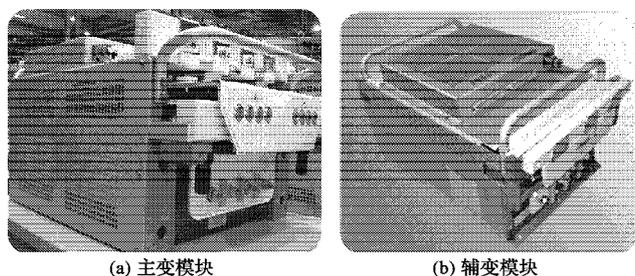


图3 变流器功率模块

3.3 传动控制单元

变流器包括1个传动控制单元(DCU)。它采用标准的6U×84R机箱结构,能够根据司机指令完成对四象限脉冲整流器的实时控制、逆变器对交流异步牵引电机的实时控制、粘着利用控制以及辅助逆变器的控制,同时具备完整的故障保护、记录、模块级的故障自诊断功能和轻微故障的自复位功能。

变流器对外连接列车总线(MVB)和工业以太网,将电传动系统与微机网络控制系统联系起来,实现变流器控制与网络通信系统的信息交换,具有可靠、高效、标准化、智能化的特点。

4 冷却系统

变流器冷却系统采用当前比较成熟的密闭式水循环冷却方式。密闭式水循环冷却原理如下:系统工作时冷却介质通过水冷装置中循环水泵加压,流经变流器内需冷却的发热设备,带走发热设备工作时产生的热量,携带热量的冷却介质通过散热器由外部冷却空气进行强制冷却以实现整个系统的热交换。变流器冷却系统流程图如图4所示。循环水泵为整个冷却系统循环提供动力,冷却介质通过循环水泵加压后,通过系统管道出水管流进主变流器内功率模块散热器以及热交换器,再由进水管流回水冷装置散热器,冷却介质在散热器内通过冷却风强制冷却后再通过循环水泵进入下一个循环。膨胀水箱用于冷却系统的冷却介质补充和自动排泄及调节因温度变化导致的冷却介质体积

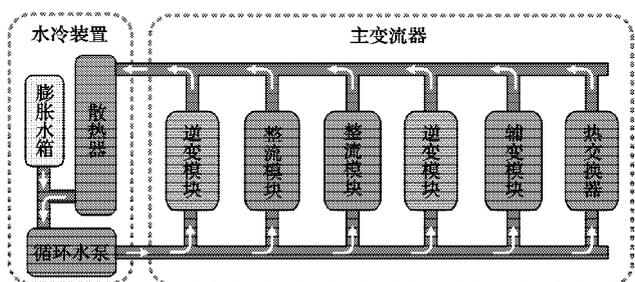


图4 变流器冷却系统流程图

变化。冷却介质液位可以通过膨胀水箱上的液位显示器显示或通过膨胀水箱内的浮控开关进行监视。

5 变流器关键技术

5.1 6 500 V 高压 IGBT 元件应用技术

变流器选用当前最先进的6 500 V/600 A 高压IGBT功率元件,可实现变流器更高电压、更大功率密度设计,这也是未来大功率车载变流器的发展方向。同以往采用3 300 V/1 200 A IGBT功率元件变流器相比,采用6 500 V 高压IGBT可使变流器具有以下优点:①中间直流电路电压提高1倍,同时也可使单轴电机功率做到更大;②电压等级提高,相应电流则降低,系统总体损耗也随之降低。

5.2 主辅一体化设计

将主变流器和辅助变流器集成设计,两者共用同一中间直流电路和冷却系统,节省了设备安装空间,同时也降低了设备总重量,符合整车轻量化要求。在功能上,由于变流器主电路采用主辅一体结构,当列车过分相区时,再生制动能量可反馈给辅助供电系统,以实现列车过分相区时不间断供电,避免了辅助系统的频繁启停,大大提高了这些设备的使用寿命和系统可靠性,同时也进一步提升了整车的舒适性。

5.3 辅助并联供电设计

由于牵引系统容量的提升,带来辅助系统容量的相应提升,以6节编组动车组为例,辅助系统的总需求达到760 kVA,考虑到损坏1台辅助变流器整车辅助供电不受影响,兼顾下一代新型动车组对设备轻量化的要求,变流器辅助供电采用了先进的并联供电技术,变流器辅助供电输出均并联输送到母线,辅助负载直接从母线取电,整车辅助供电可实现更大的冗余。当某一节车变流器辅助供电失效时,可切除故障变流器的辅变,该车的辅助负载可继续从母线上取电并保持持续供电。并联供电提高了变流器辅助系统冗余,减少了故障工况复杂的扩展供电逻辑控制,提高了系统可靠性。

5.4 高效水冷散热技术

水冷散热由于具有热容量大、效率高、体积小、环保等优点,在大功率牵引变流器中已广泛应用,特别是在高速带来的牵引系统容量大幅提升,车辆底部的设备空间尺寸有限的情况下,高效的水冷却方式更能发挥其优越性。

变流器通过损耗计算得出单个功率模块的最大损耗达到13.1 kW,系统总损耗约55 kW,通过优化冷却系统设计及仿真核算,将功率模块水冷散热器台面温升控制在15 K以下,确保了变流器在最大牵引输出功率达3 800 kW时仍能可靠安全地运行。

5.5 模块化设计

变流器功率模块均采用完全自主开发的系列化、

标准化变流器模块平台产品, 四象限整流器模块和VVVF逆变器模块可以完全互换, 通过不同的主电路连接和控制信号输入输出, 可分别实现整流和逆变功能。此外, 还设计了电阻模块、充电单元模块、接触器模块等小的模块单元, 在方便现场运营维护和检修的同时, 也实现了变流器的轻量化。

模块化设计使变流器能够逐步形成系列化、谱系化的平台产品, 符合未来动车组谱系化发展的需求。

6 变流器试验

在地面系统组合试验中, 对变流器可靠性及最大输出能力进行了充分验证。变流器在交流额定输入2 121 V条件下, 四象限整流输入电流可持续698 A运行, 中间直流电压可维持3 500 V, 逆变输出电流可持续310 A运行, 辅变输出可维持在165 A可靠运行。在最大输出条件下, 变流器可在输入电压2 333 V, 输入电流826 A条件下, 中间直流电压可维持3 650 V, 逆变输出电流可397 A持续运行。此外, 除了完成标准规定的型式试验项目以外, 变流器还通过了120 h长寿命考核试

验及高低温恶劣环境考核试验, 试验中变流器均能够稳定可靠运行。

7 结语

TGA16型IGBT变流器是株洲南车时代电气股份有限公司首次采用6 500 V高压IGBT作为功率器件完全自主开发的动车组用牵引变流器, 具有主辅一体、可并联供电、电压等级高、功率密度大等特点, 其各项技术性能指标均达到了国内先进水平。目前该变流器已完成装车调试, 即将进行线路考核。

参考文献:

- [1] 荣智林. TGA6型主辅一体化IGBT变流器[J]. 机车电传动, 2010(5).
- [2] 李小红. 动力分散交流传动电动车组用TGA1型IGBT牵引变流器[J]. 机车电传动, 2001(4).
- [3] 蒋启伟. 牵引变流器冷却系统的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [4] 丁荣军. 现代变流技术与电气传动[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

(上接第5页) 要求采取相应的技术措施并对效果进行确认。安全性分析关键技术包括: 故障模式、影响与危害性分析(FMECA), 初步危害分析(PHA), 事件树分析(ETA)等^[7-8]。

安全技术可分为直接的、间接的和提示性的三类。直接安全技术, 即在设计、开发时采取措施, 使所设计的产品本身避免产生危险; 间接的安全技术, 即建立保护系统和安全防护装置, 以防止危险事故的发生; 提示性安全技术, 是在危险发生之前发出警告, 通过指示器进行预先警示, 提醒操作人员及时采取必要措施, 以免发生险情, 并制定专用规程和对人员进行培训。原则上的优先顺序是: 优先采用直接安全技术, 然后是间接安全技术, 最后采用提示性安全技术。

3.5 可用性分析

可用性是产品可靠性、维修性和保障性的综合表征。提高产品的可用性既可以通过提高产品的可靠性水平即增大平均故障间隔时间, 也可以通过提高维修性和保障性水平来实现。常用的可用性指标包括固有可用度(A_i)、可达可用度(A_a)和运营可用度(A_o)等^[5]。

4 结语

RAMS设计是一个持续迭代和闭环管理的过程, 前期的相关指标的预计、分配和设计实现等, 必须通过后续的可靠性试验和现场数据来验证和闭环。只有通过现场RAMS指标的评价和考核, 才能全面反应前

期RAMS工作的质量, 并能促进RAMS工作不断借鉴成功经验和持续改进。卓有成效地导入和开展RAMS工作需要组织保障、全过程覆盖和全员参与。RAMS技术是提升产品质量的基础, RAMS管理是实施RAMS工作的保障。

参考文献:

- [1] 杨为民. 可靠性, 维修性, 保障性总论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [2] IRIS(International Railway Industry Standard), Revision 02, UNIFE 2009[S].
- [3] IEC 61508:2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems[S].
- [4] IEC 62278:2002 Railway applications-The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)[S].
- [5] IEC 62278-3:2010 Railway applications-Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety(RAMS)-Part3: Guide to the application for rolling stock RAM[S].
- [6] IEC 60706-2:2006 Maintainability of equipment Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development phase[S].
- [7] IEC 62425:2007 Railway applications-Communication, signalling and processing system-Safety related electronic systems for signalling[S].
- [8] IEC 62279: 2002 Railway applications-Communication, signalling and processing system-Software for railway control and protection systems[S].