

研
究
开
发TGA18型内燃机车水冷
主变流器的研制

张 义, 饶沛南, 陈燕平

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



摘 要: 介绍了TGA18型大功率内燃机车水冷主变流器的主电路、电气技术参数及总体结构, 重点分析了该型变流器的器件选型及水冷系统的结构特点。通过实际装车考核, 表明该型主变流器运行稳定, 满足大功率交流传动内燃机车的运用要求。

关键词: 交流传动; 整流器; 逆变器; 水冷系统; 内燃机车

中图分类号: U262.43; TM46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)05-0021-04

作者简介: 张 义 (1982-), 男, 硕士, 工程师, 现从事主变流器的总体设计及系统方面的研究工作。

Development of TGA18 Water-Cooling Traction Converter for Diesel Locomotive

ZHANG Yi, RAO Pei-nan, CHEN Yan-ping

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

Abstract: Main circuit, electric technic parameters and overall structure of TGA18 water-cooling traction converter for high-power diesel locomotive were introduced, focusing on converter-device selection and structure of the cooling system. According to on-board test, the converter was proved to meet high-power AC-driving diesel locomotive operation requirements with stable performance.

Key words: AC drive; rectifier; inverter; cooling system; diesel locomotive

0 引言

内燃机车适用于客货运输, 且对环境的要求不高, 比如发生冰灾等自然灾害、电力无法供应的情况下, 内燃机车不会受到影响, 能够保证运输物资及时抵达, 所以内燃机车的需求前景仍然广阔。由于干线铁路货运量的增加, 发展干线大功率重载货运内燃机车已经成为发展趋势。3 000 kW功率等级以上机车能满足目前地方铁路和大中型工矿企业的运用要求, 适用于煤炭、冶金、石化、港口的运输工作。

TGA18型主变流器由株洲南车时代电气股份有限公司研制, 装备该变流器的内燃机车最大轮周牵引功率为2 311 kW。机车电传动系统采用IGBT水冷逆变器、水冷整流器、异步电机、直接转矩控制, 控制方式为轴控, 具有牵引功率大、恒功率速度范围宽、启动牵引力大、粘着利用率高等特点。每台机车安装1台主变流器, 机车轴式为 C_0-C_0 , 牵引电机的轴功率为460 kW。主电路分为2个独立的功能单元, 每个单元由1组三相二极整流器+3组逆变器组成, 分别为2

个转向架上的6台电机供电, 2个供电单元共用1套水冷系统。

1 变流器主电路及原理

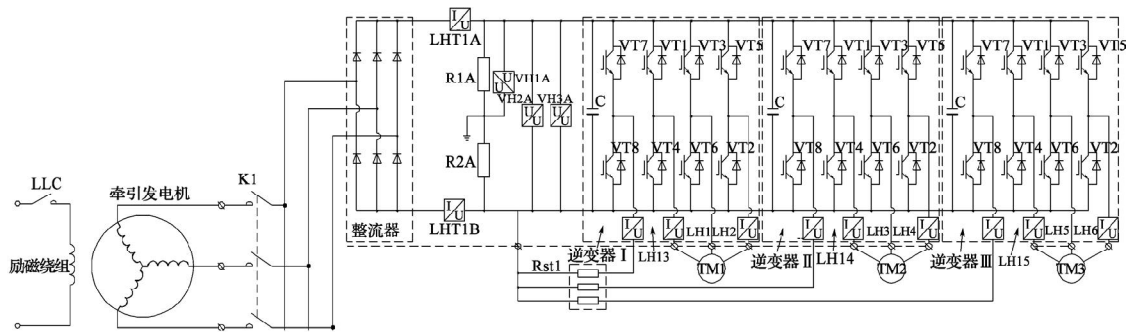
1.1 变流器主电路

TGA18型水冷主变流器的主电路如图1所示。变流器包括了虚线框内的所有电气部件, 变流器主电路由2架完全独立单元组成, 主要有三相交流接触器、三相二极管整流器、接地检测单元、信号检测单元、VVVF逆变器等部件组成。变流器的输入为柴油发电机组发出的三相交流电(通过2个交流接触器, 供给2个独立的供电单元); 中间直流环节设置有制动电阻, 在牵引工况、电阻制动工况及自负荷工况时, 将直流环节的能量通过变流器的斩波IGBT, 消耗在制动电阻上; 每个三相牵引逆变器驱动1台交流异步电机, 实现机车的单轴控制, 使得变流器的可靠性得以提高。

1.2 工作原理

如图1所示, 每台车配置1台主变流器, 主变流器向2个转向架的6台牵引电机供电。变流器主电路采用三相二极整流器+VVVF逆变器模式, 每重三相二极管

收稿日期: 2012-02-21; 收修改稿日期: 2012-04-28



K1A ——三相交流接触器；LHT1A ——电流传感器；R1A/R2A ——接地检测电阻；VH1A ——半电压检测传感器；VH2A/VH3A ——中间电压检测传感器；LH1~LH12 ——电机电流传感器；LH13~LH18 ——斩波电流传感器；Rst1 ——制动电阻

图 1 变流器主电路

整流器和 1 个逆变器组成一组独立的供电单元，为 1 台牵引电机供电。两架主电路单元通过三相交流接触器进行隔离，正常工作时隔离开关关闭。两架主电路从柴油发电机组的牵引绕组取电，每架主电路单元有独立的信号检测单元和固定放电单元。当其中任意一个主电路单元故障时，断开相应的交流接触器，将该故障单元切除，剩余单元正常工作，机车只损失 1/2 的动力，从而将故障造成的影响降至最低。

下面以第 1 个主电路单元说明变流器主电路的工作原理：柴油发电机组牵引绕组输出三相交流电压首先经由 K1，由三相二极管整流器将其整流为直流，通过中间直流环节支撑电容器滤波，得到平缓的 DC 1 600 V 电压，再经逆变器逆变为三相 VVVF 电压供给牵引电机；Rst1 为制动电阻，根据中间直流环节电压的波动和过压情况控制开关元件的通断，将过电压的能量消耗在制动电阻上，使得中间直流环节电压限定在规定的范围之内；R1A/R2A 为固定放电电阻模块，用于快速放电电路故障后将支撑电容上的电压放至安全电压以下，同时该模块也作为直流分压电阻，中点接地，用于变流器主电路接地检测。

机车采用轴控方式，由于各轴控制相对独立，可以单独控制各轴输出功率，减小或避免因为轮径磨损差异、轴重转移等造成的机车粘着利用不好；各轴相对独立的控制有利于实现机车粘着，在一定程度上提高粘着利用率。另外，采用轴控方式，若 1 台电机或 1 组逆变器出现故障时，机车仅损失 1/6 的动力，其余牵引电机及逆变器仍能正常运行，在一定程度上提高机车的牵引系统的可靠性及冗余性。

2 技术参数及器件选型

2.1 基本技术参数

变流器性能参数如表 1 所示。

2.2 变流器模块器件选型

1) 三相二极管整流器

三相二极管整流器在铁路机车上主要用于内燃机车或内燃动车组，其电路结构通常为三相不可控整流电路，输出电压的频率和柴油机的转速成正比，输出

表 1 变流器主要技术参数

项目	参数
三相不可控整流器 / 单组	额定输入电压 / V AC 1 248
	最大输入电压 / V AC 1 326
	额定输入电流 / A AC 764
中间直流环节	标称直流电压 / V DC 1 600
	标称直流电流 / A DC 970
VVVF 逆变器 / 单组	标称输入电压 / V DC 1 600
	输出电压 / V AC 0~1 248
	额定输出电流 / A AC 601
	最大输出电流 / A AC 660
冷却系统参数	冷却方式 强迫水循环冷却
	水和添加剂体积比 44%/56%
	入水口温度 / °C ≤ 55
	出水口温度 / °C ≤ 61
变流器总体参数	变流器效率 98%
	控制电源 / V DC 74 (-25%~+30%)
	外形尺寸 / mm : 3 100 × 600 × 2 000 (长 × 宽 × 高)
	质量 / kg 约 1 644

电压的幅值可以通过改变励磁电流和转速进行控制，且其整流电路整流后的电压脉动较小，可使交流发电机获得较大的输出功率。二极管元件选型如下：

额定输入电压： $U_N=U_d/K_u$

式中： K_u 为三相桥式整流电路考虑换相重叠损失后的换算系数； U_d 为中间直流环节电压。

三相不可控整流额定输入电流： $I_N=P_N/(\sqrt{3} \times U_N)$

式中： P_N 为额定输入容量，kVA。

中间直流环节额定电流： $I_d=I_N/K_i$

式中： K_i 为三相桥式整流电路考虑换相重叠损失后的换算系数。

整流器每个桥臂的电流有效值： $I=I_d/\sqrt{3}$

式中： I_d 为中间直流环节平均电流。

整流二极管的平均电流： $I_{av}=I \times 2/\pi$

整流二极管的最大反向电压： $U_{max}=\sqrt{2}U_{in}$

式中： U_{in} 为发电机输出电压。

2) IGBT 元件的选型

IGBT 元件选型基本按照最恶劣的工况进行选型。

电压定额： $V_{CE}=(U_{dc\ max} K_1 + \Delta U) K_2$

式中: V_{CE} 为 IGBT 元件集电极与发射极两端承受的电压; $U_{dc\ max}$ 为直流环节最高电压; K_1 为电压裕度系数, 一般取 1.15; K_2 为安全系数, 一般取 1.2; ΔU 为开关过电压。

电流定额: $I_C = \sqrt{2} I_{AC\ max} K_3$

式中: I_C 为流过 IGBT 元件集电极的电流; $I_{AC\ max}$ 为最大交流输入电流; K_3 为电流尖峰系数。

3 总体及结构设计

变流器外形尺寸为 3 100 mm × 600 mm × 2 000 mm (长 × 宽 × 高), 通过底部的直径 22 mm 螺孔固定在机车底架上。该变流器内部布置采用左右对称结构, 在柜体的前部两边各布置 1 个整流器模块和 3 个逆变器模块、1 个传动控制单元、1 个交流接触器。主电路输出接线端子、控制插头和网络插头位于柜体背面。主电路输入接线端子位于柜体前部下面。变流器内各部件采用模块化布局, 柜体中间部分布置有三相交流接触器、固定放电电阻、内循环风机等组件。所有高压电气接线采用铜母线连接, 减少了系统的电磁干扰、线路间的涡流现象和发热问题。采用内循环风机对变流器内部其他发热部件进行冷却, 降低、均衡整柜内部温度。2 台变流器共用 1 套水冷装置。水冷装置位于变流器背面, 不会存在由于漏水而引起电气绝缘的问题, 提高了冷却系统的可靠性及安全性。逆变器模块采用 IGBT 3 300 V/1 200 A 的元件, 技术成熟、可靠。

3.1 变流器模块

① 变流器为模块化结构, 通用化的逆变器模块集成了 IGBT 元件、散热器、温度传感器、门极驱动单元、门极驱动电源、脉冲分配单元、支持电容、低感母排等部件。变流器模块具有很强的通用性, 在电力机车上既可作为四象限变流器、逆变器用, 也可用作斩波器。根据系统的安装空间及散热条件, 变流器模块可选用铝散热器、热管散热器、水冷散热器等冷却方式。

② 整流器采用类似逆变器的模块化结构, 内部集成了整流二极管、散热器、温度传感器、阻容吸收电路、电流传感器等部件。

变流器模块化设计代表了今后变流器研制的主流, 通过模块化设计, 可以缩短变流器的开发周期, 降低研制成本, 提高产品的可靠性、互换性和维护性。

3.2 双模式冷却系统

变流器的冷却技术是变流器的关键技术之一, 冷却效果关系到主变流器部件的稳定运行、使用安全和寿命等。本冷却系统采用水冷系统和风冷系统相结合的方式, 如图 2 所示。

1) 水冷系统原理

水冷系统由 2 支主水管、若干分支水管和软管共同组成。冷却介质由冷却塔进入主变流器, 流入并联连接的 8 个功率模块, 与功率器件进行热量交换, 再由出

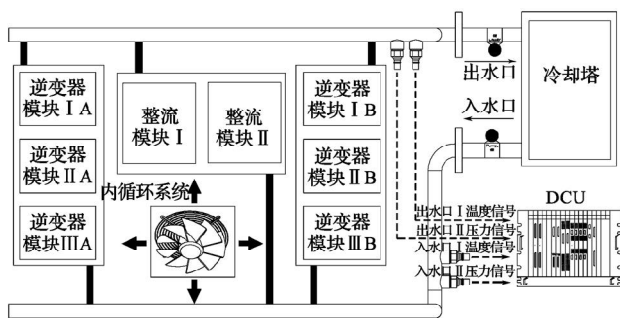


图 2 水冷系统框图

水管流入冷却塔, 完成一次循环。为了防止在冬季纯水结冰的现象, 冷却液采用纯水和乙二醇按照一定比例混合而成。冷却系统安装有温度、压力传感器, 通过传动控制单元对冷却系统进行实时监控及保护。

以往大功率机车应用水冷系统, 其水管布置于变流器内部, 水嘴和软管之间采用卡箍紧固, 在正常情况下, 可以满足机车运行, 且可靠性可以保障, 但是在昼夜温差较大的区域, 由于不锈钢和软管的热胀冷缩膨胀率差异, 导致在接头部位出现漏水现象, 对系统的电气绝缘有较大影响。本冷却系统将整个水路系统布置在变流器背面, 很大程度地提高了主变流器的可靠性。

2) 辅助冷却系统

在变流器的中下部装有冷却风机, 对变流器内部其他部件进行冷却, 内部设计有专用风道, 使得变流器内部热量均匀分布, 避免内部局部出现过热点。

3.3 传动控制单元

传动控制单元采用机箱结构, 每台变流器采用 2 个 DCU, 机箱为 6U × 84R 标准机箱。DCU 根据司机指令完成逆变器对交流异步电机的实时控制、粘着利用控制、逻辑控制, 同时具备完整的故障保护、记录、模块级的故障自诊断功能。控制箱放置于具有屏蔽结构的变流器柜内, 通过变流器背面的 6 个电连接器实现与机车的连接及通信。

4 试验结果

在交流传动试验台下, 变流器与牵引电机进行了长时间的地面模拟考核试验。变流器在输入电压为 1 248 V 条件下, 逆变器的输出电流可以持续在 610 A 下运行, 在最大电流 660 A 下可靠运行。

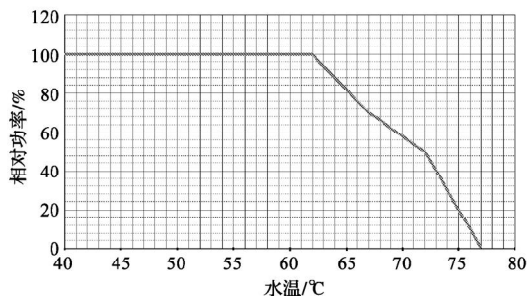
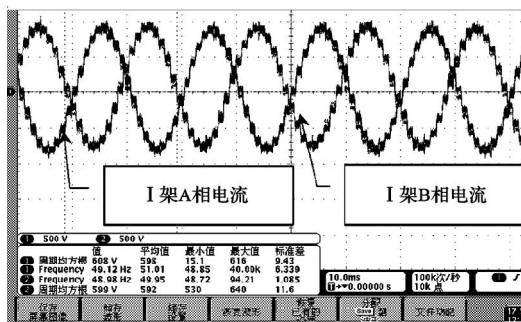
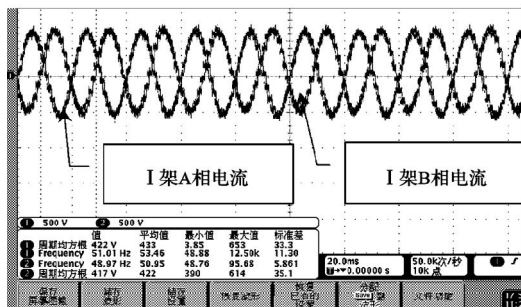


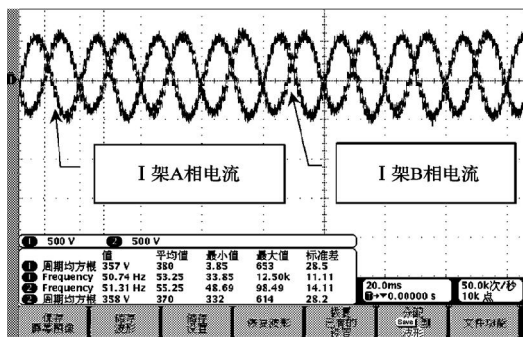
图 3 降功运行曲线



(a) 满功率运行



(b) 降功率至 70% 运行



(c) 降功率 50% 运行

图 4 变流器输出电流波形

针对环境温度为 60 °C 条件下, 模拟降功率运行, 系统运行稳定可靠。DCU 控制主变流器按图 3 所示曲线

进行功率输出, 以满足规格书中环境温度变化时, 电气牵引系统的功率输出要求。其中: ① 出口水温低于 62 °C, 功率 100%; ② 出口水温在 62~67 °C, 线性降功率至 70%; ③ 出口水温在 67~72 °C, 线性降功率至 50%; ④ 出口水温在 72~77 °C, 线性降功率至 0%。

变流器按照图 3 的降功曲线, 输出波形如图 4 所示。

① 变流器水冷系统温度在 41~44 °C 时, 额定功率考核, 感性负载输出电流 600 A 左右。② 变流器水冷系统温度在 61~64 °C 时, 降功至 70%, 输出电流 420 A 左右。③ 变流器水冷系统温度在 65~67 °C 时, 降功 50%, 输出电流 350 A 左右, 出水口温度达到 65 °C 后, 温度基本处于稳定状态, 没有继续上升 (鉴于高温考核时间不宜过长, 大约考核 20 min 左右)。

通过试验证明, 按照降功曲线, 将变流器水冷系统的温度控制在规定的范围内, 在保障 IGBT 安全的同时, 能够维持变流器的持续工作。

5 结语

TGA18 型大功率水冷主变流器采用大功率 IGBT 水冷技术、电机单轴控制以及完善的保护功能。通过联调试验表明, 该变流器各项技术性能指标达到技术条件的要求。目前 TGA18 型大功率水冷主变流器产品已经批量生产, 正在逐步装车, 该型变流器为大功率内燃机车采用平台化设计奠定坚实基础。

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).
- [2] 荣智林. TGN10 型地铁车辆用 DC 1 500 V IGBT 牵引逆变器 [J]. 机车电传动, 2004(4).
- [3] 刘连根. 内燃机车中间直流电压的选择与变流器系统标准化设计 [J]. 机车电传动, 2002(2): 19-22.

动态消息

中国工程院与中国南车签署合作协议 探讨轨道牵引创新趋势

8月10日下午, 中国南车股份有限公司 (简称“中国南车”) 与中国工程院在株洲签署科技合作协议书, 双方将在“战略咨询服务、加强合作研发和成果转化、开展科技合作与交流、引进和培养高端科技人才”等四大领域开展合作, 提速我国轨道交通装备制造业。中国工程院院长周济、中国南车总裁郑昌泓分别代表双方在协议书上签字。

8月11日, 中国南车携手中国工程院召开中国轨道电力牵引技术创新论坛, 探讨中国轨道电力牵引在高速、重载的基础上如何实现向绿色、智能的方向实施工程演化, 满足人与自

然和谐的可持续发展。包括12位院士在内的与会专家以储能式电力牵引轻轨车辆为载体, 从“轨道电力牵引新能源策略的思考、储能式电力牵引轻轨交通的研发、动力型超级电容器应用研发、轨道交通装备智能化技术的研究及应用”等9个专题展开论述, 展望轨道交通未来的发展趋势。

中国工程院是中国工程科学技术界的最高荣誉性、咨询性学术机构和国家工程科技思想库, 汇聚了中国工程科技领域最顶尖的人才。而中国南车是我国轨道交通装备制造业的龙头企业, 拥有2名中国工程院院士, 构建了铁路机车车辆、动车组、城轨车辆自主研发、规模制造、规范服务的完整体系, 同时积极发展储能式轻轨、100%低地板有轨电车等战略性新兴产业。目前, 中国南车已建立起了国际先进水平的技术、制造和产品三大技术平台, 支撑其成为世界轨道交通装备研制领域前三强。

(朱一迪)