

研
究
开
发基于混合动力型内燃机车
主变流器的研制

饶沛南, 柴 多, 张 义

(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: 介绍了混合动力型内燃机车主变流器的性能以及主要技术参数, 通过动力蓄电池和柴油发电机共同实现机车牵引, 解决传统内燃机车存在的不足。详细介绍该主变流器的工作原理及研发过程, 阐述了主变流器的主要特点和创新点。

关键词: 主变流器; 交流传动; 技术参数; 混合动力型内燃机车

中图分类号: U262.43; TM46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)06-0001-04

作者简介: 饶沛南 (1979-), 男, 硕士, 高级工程师, 现从事牵引变流器总体设计及系统的研究工作。

Traction Converter Development of Hybrid-power Diesel Locomotive

RAO Pei-nan, CHAI Duo, ZHANG Yi

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

Abstract: Performance and main technic parameters of hybrid-power diesel locomotive traction converters were introduced, which overcame shortages of traditional diesel locomotive by using both power battery and diesel generator for traction. Operating principle, development process, main characteristics and innovation of traction converters were described particularly.

Key words: traction converter; AC drive; technical parameter; hybrid-power diesel locomotive

0 引言

随着石油资源的日益枯竭以及越来越多的环境问题给人类带来的影响, 人类追求可再生能源的需求越来越大。近年来, 混合动力在汽车领域发展迅速, 众多技术难关被攻克, 这也为混合动力技术应用在机车领域提供了实际的参考价值, 混合动力逐渐应用到了工业的各个领域。由于混合动力的实现使得燃油经济性能提高, 行驶性能优越, 如今在轨道交通方面逐步推广。在机车车辆领域, “纯电动”机车的研究尚在发展中, 由此研究混合动力机车作为传统内燃机车和“纯电动”机车之间的过渡形式, 受到各国机车领域专家的重视。中国南车资阳机车有限公司与株洲南车时代电气股份有限公司合作, 在平台技术的基础上对新型混合动力内燃机车的主变流器进行了设计与开发。该主变流器应用于混合动力内燃机车, 机车轴式为 B_0-B_0 , 传动结构为交直交。每台机车安装1台主变流器, 向2个转向架的4台牵引电机供电, 牵引电机采用轴控方式。

1 系统工作原理

混合动力机车整车功率1 150 kW, 其中柴油发电机组提供约600 kW功率, 牵引蓄电池组提供约550 kW功率。混合动力机车最大运用功率持续15 min约1 150 kW, 持续30 min约900 kW, 考虑柴油发电机组和牵引蓄电池组的功率系列化, 以此覆盖500~1 200 kW不同功率等级和不同混合程度的运用需求。

混合动力型机车存在2种工况: 根据混合动力机车的设计思路, 采用比平均使用功率稍大的柴油发电机组, 使其工作在基本稳定的经济运行工况内, 混合动力机车柴油机功率选定为500~600 kW, 当功率不能满足机车运用时, 由牵引蓄电池组补充。

图1为混合动力型内燃机车传动系统与控制原理框图, 主要包含了虚线框内的主变流器、辅助系统、动力蓄电池系统、柴油发电机系统、显示器和微机控制器等。

主变流器实现了交直交的转换; 辅助系统实现对冷却风机、牵引电机通风机的能源提供; 动力蓄电池在蓄电池管理系统的控制下, 针对司机控制挡位的不同进行能源供给, 实现与柴油机的油电动力混合。

收稿日期: 2012-02-21

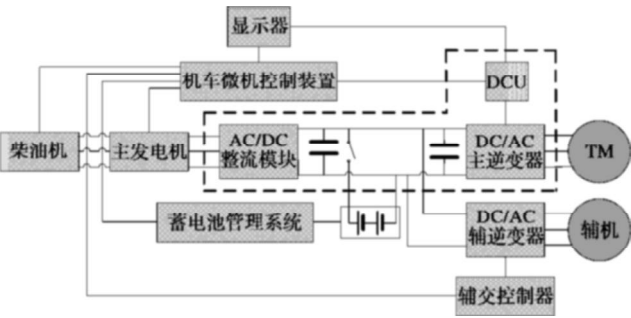


图 1 混合动力型内燃机车主传动系统及控制原理框图

如图2所示,主变流器由三相二极管整流器、中间直流环节和逆变器构成。用三相不可控整流器将柴油发电机组输出的三相交流电整流为DC 750 V直流电压。中间直流环节由支撑电容器、预充电电路、接地检测

电路、斩波电路等构成。预充电电路由线路接触器、充电接触器和充电电阻构成,通过向中间电容器充电以减少合闸时对中间电容器的冲击。支撑电容主要起稳定中间直流环节电压的作用及向牵引电机提供基波无功功率和高次谐波的通路;主接地保护电路是由2个串联电阻和1个接地信号传感器组成,接地信号传感器一端接在串联电阻的中点,另一端接地。当主电路正常时,传感器测定的电压值等于直流支撑电压的一半。当主电路的某一点接地时则形成回路,保护装置动作,主断路器断开,通过传感器对主变流器中间直流环节的电压进行检测,保证主变流器中间电压维持在正常的范围内,该电阻还同时作为放电电阻,主要实现停机及制动时支撑电容的快速放电;过压斩波环节由IGBT元件、斩波电阻、中间电压测量电路组成。

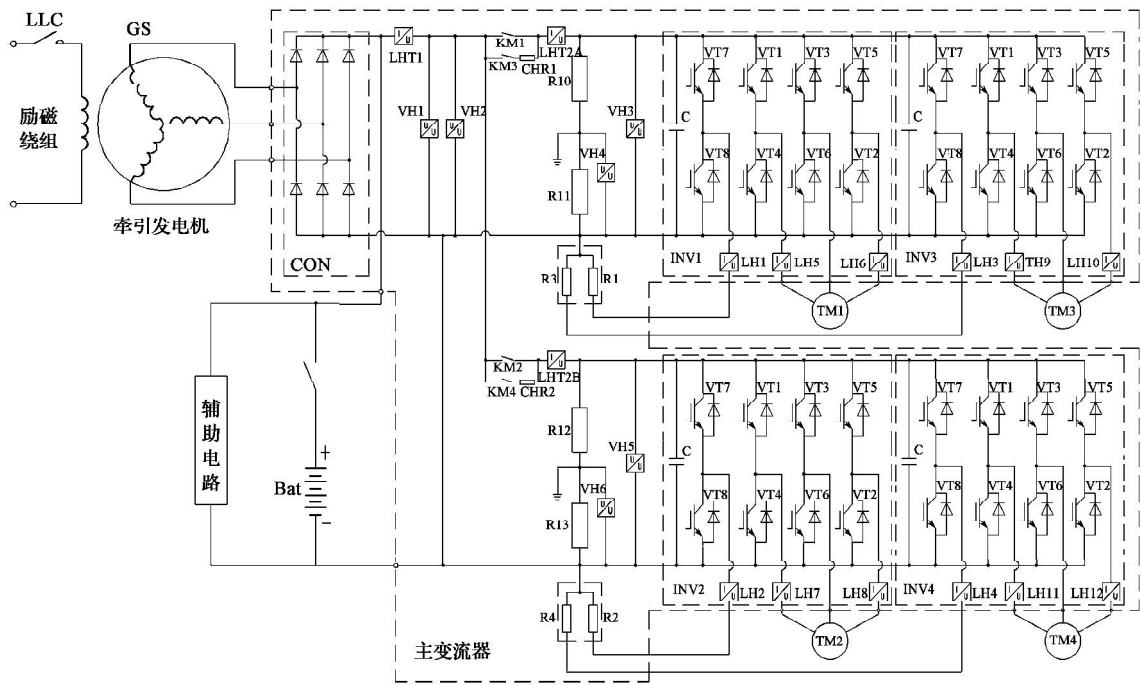


图 2 主变流器系统框图

2 主变流器主要技术参数

基于混合动力型内燃机车主变流器主要技术参数如下:

整流器基本参数	
额定输入电压	AC 585 V
额定输入电流	AC 621 A
逆变器基本参数(单组)	
最大输入电压	DC 750 V
最大输入电流	490 A
额定输出电压	三相交流0~585 V
额定输出电流	493 A
最大电流	695 A
效率	≥ 98%
冷却方式	强迫风冷

3 研制与开发

3.1 元器件选型

混合动力型主变流器采用IGBT作为开关器件。参考图2主电路的功率器件,中间直流环节电压在柴油机全转速范围内均恒定在750 V,以使得柴油机在任何转速、任何功率等级输出下均可对蓄电池进行充电。其中,中间直流环节电压变化范围为DC 500~800 V,整流器的额定输入电压为585 V,额定直流电流为790 A。由此可确立二极管器件参数。

整流器每个桥臂的电流有效值:

$$I_K = I_d / \sqrt{3} = 790 / 1.732 = 456 \text{ A}$$

整流二极管的平均电流:

$$I_{F(av)} = I_{ab} \times 2/\pi = 456 \times 2/\pi = 290 \text{ A}$$

整流二极管的最大反向电压:

$$U_{Fmax}=\sqrt{2}\times U_{FN}=1.414\times 585=827\text{ V}$$

为了兼容后续的平台开发,三相整流模块选择正向平均电流为 1 070 A,反向重复峰值电压为 1 800 V 的二极管作为整流元件。

同种工况下,根据牵引电机的实际数据,其最大输入电流峰值为 983 A,因此逆变器用 IGBT 器件的电流定额为:

$$I_{CE}=I_{max}\times K_I=983\times 1.2=1\,179\text{ A}$$

式中: K_I ——电流裕量系数。

假设 IGBT 器件最大过电压 $\Delta U=500\text{ V}$ 则 IGBT 电压定额为:

$$V_{CE}=(U_{DCmax}\times K_1+\Delta U)\times K_2=\\(800\times 1.15+500)\times 1.1=1\,562\text{ V}$$

式中: U_{DCmax} ——输入最高直流电压;

K_1 ——电压裕度系数;

K_2 ——安全系数;

ΔU ——开关过电压。

根据现场使用以及参照样本,可以选用 1 600 A、1 700 V 的 IGBT 器件。

3.2 热设计

混合动力柜体安装采用两边为走廊的方式,柜内各部件采用模块化设计,抗振动,耐冲击,安全可靠,同时采用防尘、防水和通风散热措施;风道设计必须全面考虑部件的散热,借助仿真及试验手段验证器件散热的快速性与均匀性,以保证系统的可靠性。

由于机车负载平均功率较小,变流器平均功耗不大,散热较容易,故系统热设计按正常工况状态计算即可。根据计算采用铝散热器,主变流器采用强迫风冷能够满足散热要求,再根据主变流器风道有效面积确定风机流量,通过计算模拟仿真确定散热器压力损失,专门制造符合要求的离心式冷却风机,置于主变流器外部,冷却风机电源供电电压为三相 AC 480 V,风量 360 m³/min,电机功率 50 kW,转速 2 733 r/min,符合系统热设计要求。

3.3 总体结构设计

与一般机车布置方式类似,变流器安装于变流器柜中,布置在车体内部,底部通过 4 个 T 型螺栓固定在 C 型车体轨道上,柜体采用两边开门式结构,便于日常维护检测,变流器底部两侧主要放置牵引电机、辅助系统及蓄电池的对外接线,顶部为柴油发电机组的输入线。外形如图 3 所示。变流器外形尺寸为 1 750 mm × 1 400 mm × 2 000 mm (长 × 宽 × 高),内部部件主要包括整流模块、逆变模块、DCU 控制单元、过压斩波电阻、接地检测模块、预充电电路、信号检测单元等,各部件采用模块化结构设计,便于标准化、通用化设计及方便维修检测。

逆变器模块为平台 IBXM 系列化变流器模块,成熟可靠且集成度非常高。电路包括 3 个逆变桥臂和 1 个斩波桥臂,每个桥臂由 2 个 1 600 A/1 700 V 的 IGBT 器件组成。结构主要包括 8 个 IGBT 器件、铝散热器、直流支撑电容、脉冲分配单元以及门控单元。IGBT 器件与直流

支撑电容的连接采用低感母排,减小了线路的杂散电感,省去了元件两端的过压吸收电路,使电路更为简洁可靠。脉冲分配单元与门控单元之间的信号采用光纤进行传输,在实现高、低电压隔离的同时增强了系统的抗干扰能力。脉冲分配单元的作用则是将控制单元发出的脉冲信号经过死区等处理后转变为光信号发送给门控单元,同时将门控单元反馈的 IGBT 状态信号经过处理后转变为电信号反馈至控制单元。

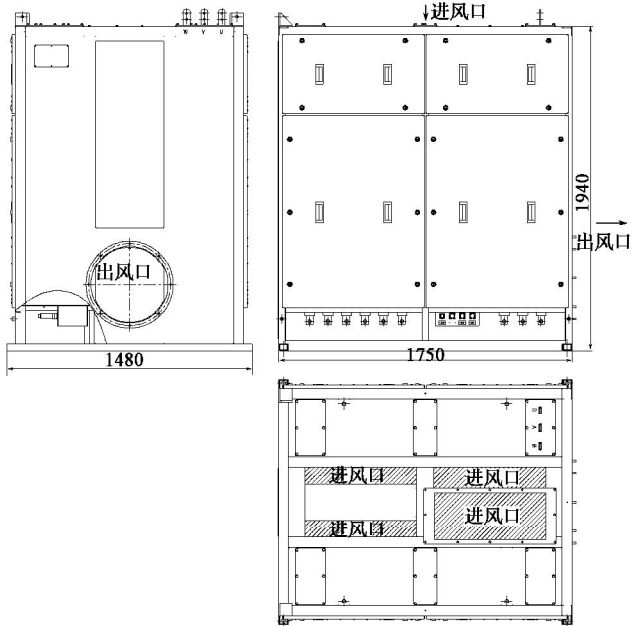


图 3 主变流器外形图

整流器模块采用类似变流器模块的结构设计,主要包括整流二极管、散热器、阻容吸收电路和信号检测传感器等。由于现有产品没有量产,对整流模块尚未进行系列化研究,若今后研究中对机车的功率等级及机车类型进行明确规定,即可形成整流模块系列化产品。

风道位于主变流器内部中间位置,通风方向由上往下,为了让冷却风更加均匀地流过散热器,采用抽风方式,即冷却风自主变流器顶部进入,从柜体下部右侧出风的方式进行强迫风冷。冷却风经进风口进入风道,经过整流模块、逆变模块、斩波模块排出。柜体下方右侧安装有通向牵引电机的风道,抽出的冷却风也可通过风道对牵引电机进行冷却。顶部进风口安装了滤网,对风道内的散热器进行了有效的保护。风道示意图如图 4 所示。

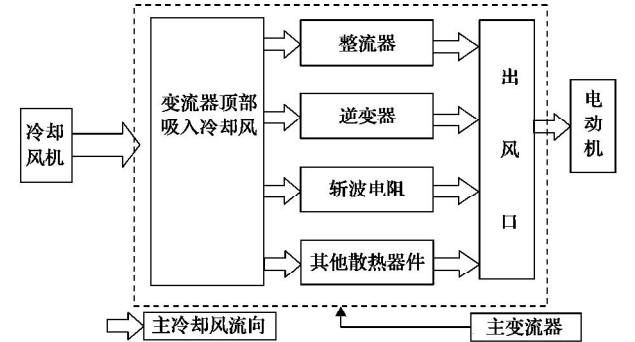


图 4 主变流器内部冷却风向示意图

4 变流器关键技术

4.1 平台化设计

该型机车变流器采用统一的设备布置,统一的屏柜结构,以及统一的电气、机械安装接口,并可根据负载形式和功能需求进行模块整体变换或局部变换。为适应内燃机车平台化技术的发展,该主变流器具有高度的兼容性,具体表现在:

四轴车与六轴车的通用性。通过变换器件的空间布局,适应不同轴式机车。可将信号检测单元更换为整流模块,斩波电阻单元和过线单元更换为变流器模块,通过2个传动控制单元(DCU)对2个转向架的6台电机完全进行独立控制,根据器件布局及接口的变化,实现用于四轴机车与用于六轴机车的转换。

功率等级的提升。通过更换变流器模块的电压等级,适应不同功率等级的机车。鉴于中间直流环节电压选择与目前大功率电力电子的发展水平相适应,且与柴油机的装车功率有关,一般的中间直流环节电压选取为750 V、1 500 V、2 600 V。建立中间直流环节电压的标准,也是实现内燃机车交流传动设备的简化、标准化的一项重要措施。通过更换变流模块的功率等级,可匹配不同柴油机功率的输出要求。

不同车型的通用性。可通过接口的变换,实现传统机车与混合动力型机车的通用性。在中间直流环节并联上燃料电池等储能装置,转化为新型混合动力机车,对节能环保都有重要意义。

4.2 动力混合设计

传统内燃机车柴油机燃料效率随机车的运行工况而变化,且在机车制动时能量无法得到重新利用,造成内燃机车电传动系统运行效率较低。而采用柴油发电机组—蓄电池双工况运行模式可弥补传统内燃机车的缺陷。当负载功率低于柴油发电机组输出功率或机车制动时,通过蓄电池吸收并储存发电机发出的多余能量;当负载需求功率大于柴油发电机组的输出能力时,可通过蓄电池释放储存的能量进行补偿。和传统的内燃机车相比,该方案可保证较小功率的柴油发电机大部分情况下工作在额定功率,降低燃油消耗量和降低环境污染。

混合动力机车主变流器预留对外接口,将动力蓄电池通过接触器直接跨接在变流器中间直流环节上,可直接进行牵引、储能等功能。混合动力内燃机车功率为750 kW,其中柴油发电机组提供约600 kW功率,牵引蓄电池组提供约550 kW功率。混合动力机车最大运用功率持续15 min约1 150 kW。

5 试验

变流器与牵引电动机进行了长时间地面组合试验,在整流侧输入电压为三相585 V条件下,逆变输出额定电流有效值493 A时,对主变流器进行了长时间的考核,在最大输出电流为695 A条件下进行了短时运行。所有上述考核试验中,主变流器均工作正常,与技术指标要求相符。

6 总结

混合动力技术在轨道交通行业的首次运用标志着“低碳、环保”理念的进一步实施,同时燃油、电力的混合使用很大程度地减少了长期工作的油耗。改进型机车主变流器的成功试制,也为后期考虑柴油发电机组和牵引蓄电池组的功率系列化,覆盖500~1 200 kW不同功率等级和不同混合程度的运用需求打下了良好的基础。

此外,混合动力实施成功也对动力蓄电池的发展起到了促进作用,希望通过努力实现由柴油发电机组提供机车牵引所需功率,不足时由动力蓄电池组提供这一经济、环保的方案。随着电气化铁路的日益发展以及对环保要求的逐步提高,相信混合动力将会成为今后轨道交通牵引动力的发展趋势。

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] 陈燕平,杨进峰,忻 力. 牵引-焊接双工况变流器的研制[J]. 大功率变流技术, 2008(3).
- [4] 丁荣军,黄济荣. 现代变流技术与电气传动[M]. 北京: 科学出版社, 2009.