

# 南京地铁车辆 IPM 模块国产化设计与验证

张 勇<sup>1</sup>, 董兆兵<sup>2</sup>, 唐 龙<sup>3</sup>

(1. 南京地铁建设有限责任公司 系统设备处, 江苏 南京 210017; 2. 南京地铁运营有限责任公司, 江苏 南京 210012; 3. 长沙广义变流技术有限公司, 湖南 长沙 410100)

**摘 要:** 通过对地铁车辆辅助逆变器进行分析, 研究设计了国产化的 IPM 模块, 在南京地铁 1 号线列车进行装车试验, 解决了进口 IPM 模块备件供应不及时导致辅助逆变器无法修复的问题。

**关键词:** IPM 模块; 辅助逆变器; 地铁车辆; 南京地铁

**中图分类号:** U231; U264.3<sup>+</sup>72

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.05.024

## Localization Design and Test of IPM Module in Nanjing Metro Vehicle

ZHANG Yong<sup>1</sup>, DONG Zhaobing<sup>2</sup>, TANG Long<sup>3</sup>

(System Equipment Division, Nanjing Metro Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210017, China; 2. Nanjing Metro Operation Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210012, China; 3.O&C Electric Technique Co., Ltd., Changsha, Hunan 410100, China)

**Abstract:** Based on the analysis of existing auxiliary inverters in metro vehicles, a new IPM module had been researched and designed locally, and had been installed and tested in Nanjing metro line 1. The localization of IPM module solved the problem of auxiliary inverters' availability and maintainability when the spare parts supply of imported IPM module was not timely.

**Keywords:** IPM module; auxiliary inverter; metro vehicle; Nanjing metro

## 0 引言

南京地铁 1 号线于 2005 年 9 月开通运营, 地铁车辆陆续进入大修期, 辅助逆变模块作为辅助逆变器的核心部件, 故障率逐渐上升, 主要表现在 IPM 功率管和驱动电路板的故障, 直接影响到整列车的正常供电。原 IPM 模块由法国 ALSTOM 公司向三菱公司专门定制, 三菱独家生产, 采购途径窄, 购买备件极其不便。为了保证地铁列车正常运行, 解决 IPM 模块备件供应不及时导致辅助逆变器无法修复的难题, 南京地铁开展 IPM 模块国产化研究, 以国产化模块替代原 IPM 模块, 确保南京地铁 1 号线列车今后持续可靠地安全运营。

## 1 原辅助逆变模块分析

南京地铁 1 号线每列车包括 4 个辅助逆变模块, 布置在列车底部的辅助逆变器箱内, 主要功能是将 DC

1 500 V 转换成三相交流电供车上相关电气部件使用。每个辅助逆变模块主要由 3 个 IPM 功率管、3 个 IPM 驱动电路板、1 个 IGBT、1 个放电电阻 DZ、1 个滤波电容、1 个 IGBT 驱动电路板、1 个直流母排和 1 个散热装置组成。辅助逆变模块性能参数见表 1。

表 1 辅助逆变模块性能参数

输入	额定输入电压	DC 1 500 V
	工作电压范围	DC 1 000~2 000 V
	持续工作电压范围	DC 1 200~1 800 V
输出	额定容量	120 kVA
	最大容量	240 kVA
	额定输出电压 (基波)	三相交流电
	输出频率	50 (1 ± 1%) Hz

## 2 IPM 模块国产化设计思路

国产 IPM 模块由驱动电路板 (包括驱动电源板和驱动板) 和 IGBT 组成, 设计上要与原 IPM 及驱动电路板安装尺寸和电气接口相匹配, 并与辅助逆变模块

上的其他部件兼容。

### 2.1 设计框架

国产 IPM 模块电气原理图如图 1，其功能主要分 4 个部分：

①电源部分。变压器 T1 将外部引入的高频方波交流电源（幅值为 24 V，频率为 34.34 kHz）经隔离变压，得到相互隔离的三路输出。三路输出分别经全波整流和电容滤波，然后每一路输出经过 LM317 线性三端稳压器得到所需要的 IGBT 驱动电压 DC 28 V 和控制电压 DC 12 V。

②驱动部分。外部驱动脉冲 X1:1、X1:2 经过光纤发送管 XF1、XF3 后变为 2 路相位相反的驱动脉冲，2 路光脉冲信号经过光纤接收管 XF2、XF4 转变成电信号，

再经过 U5 驱动芯片增强驱动能力，然后经过死区及上下管互锁电路，通过光耦驱动芯片进行电气隔离驱动，最后经过 IGBT 驱动调理电路将驱动脉冲送给 IGBT 的驱动级。

③保护电路部分。保护电路由过温保护、控制电源欠压保护电路构成。过温保护电路放于一次侧，控制电源欠压保护电路放于二次侧。当驱动电路板检测到故障信号后，屏蔽驱动脉冲，同时通过光耦将故障信号传回到控制单元。

④ IGBT 和 TP 板。TP 板用于检测铜板的温度，并将状态信号传送给驱动电源板。IGBT 接收驱动板输出的驱动信号，上下桥臂交替导通，将直流电压转换成交流电压。

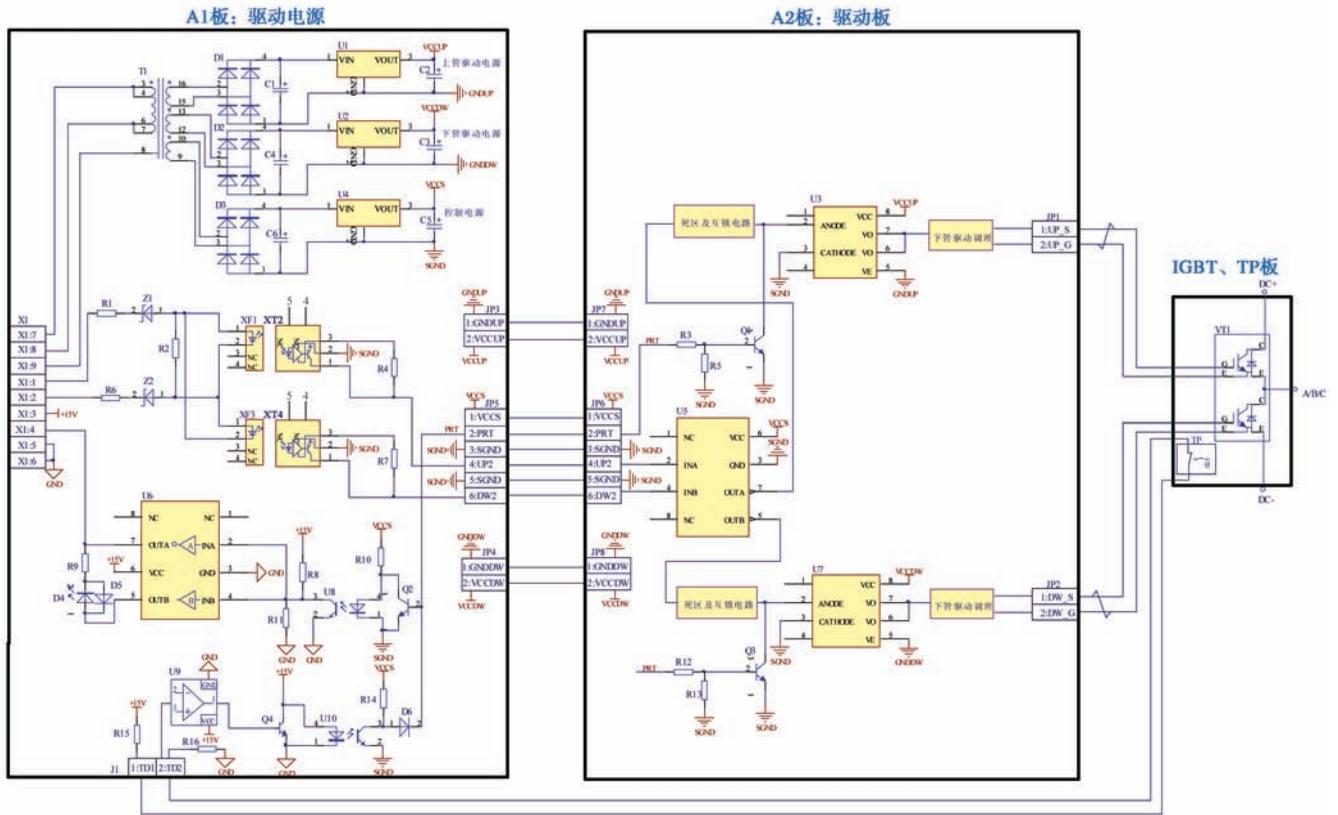


图 1 国产 IPM 模块电气原理图

### 2.2 IGBT 的选型

目前国际上普遍采用 IGBT 功率管取代 IPM 功率管成为主流电气功率元器件。为保证设计可靠性以及与原 IPM 模块的一致性，国产 IPM 模块选择 3 300 V、400 A 的 IGBT。

### 2.3 电磁兼容方案设计

国产 IPM 模块设计充分考虑了电磁兼容性，采取的措施有以下几点：

①对于快速瞬变脉冲群抗扰度、射频场感应的传导骚扰抗扰度以及电源线上的传导骚扰，采取的措施有：辅助逆变箱的主电路输入侧设置 LC 滤波，PCB 板各关键电路均增加滤波电路、去耦电路，IGBT 的驱动线采用双绞线。

②对于浪涌采取的措施有：辅助逆变箱设置 LC 滤

波和输入过压保护的电路。

③对于静电放电抗扰度，采取的措施有：IPM 模块安装在辅助逆变箱后，模块结构部分与机壳可靠连接，保证产品良好地接地，将静电荷及时泄漏至大地。

④对于射频电磁场辐射抗扰度和辐射骚扰，采取的措施有：IPM 模块的 PCB 板部分各关键电路均添加有滤波电路、去耦电路，IGBT 的驱动线采用双绞线，结构设计的金属支架（位于 IGBT 和驱动板之间）对射频电磁场辐射有一定的吸收作用。

## 3 试验验证

### 3.1 IPM 模块产品试验

按照标准对国产 IPM 模块进行系列试验，并与原 IPM 模块进行对比，原 IPM 模块双脉冲试验波形见图 2、

图 3, 国产 IPM 模块双脉冲试验波形见图 4、图 5。显示的波形说明各项指标均满足标准要求。

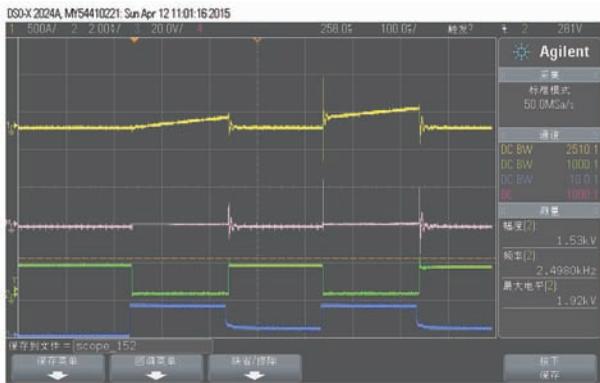


图 2 原 IPM 模块双脉冲试验下管波形

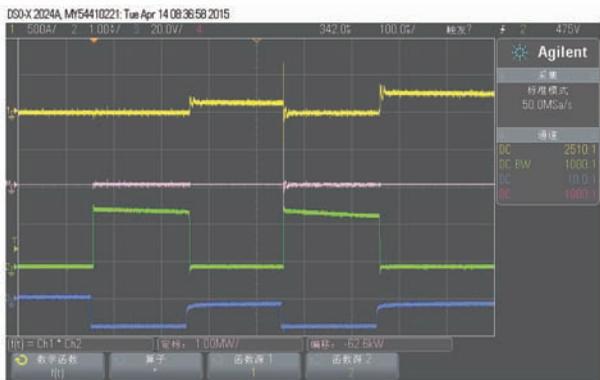


图 3 原 IPM 模块双脉冲试验上管波形



图 4 国产 IPM 模块双脉冲试验下管波形

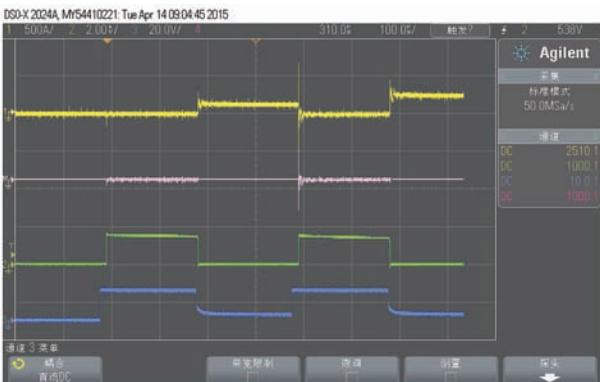


图 5 国产 IPM 模块双脉冲试验上管波形

### 3.2 装车试验

国产 IPM 模块装车后, 进行空载试验、负载试验、负载突变试验、老化试验, 并与原车进行对比试验。

试验表明, 国产 IPM 模块工作正常, 辅助逆变器三相输出正常, 与辅助逆变器模块其他部件兼容性好。

#### 3.2.1 负载试验

将辅助逆变器的空压机、司机室空调、所有客室空调、照明的负载断路器闭合, 接通辅助逆变模块的输入电压及控制电源, 启动辅助逆变器。使用示波器测量三相输出电压的任意两相间的电压波形, 输出电压应该为 AC (400 ± 20) V, 频率为 (50 ± 1) Hz。

试验结果为输出电压 AC 413 V, 输出频率 50 Hz。原辅助逆变器输出电压 AC 404 V, 输出频率 50 Hz, 满足要求, 试验波形见图 6、图 7。

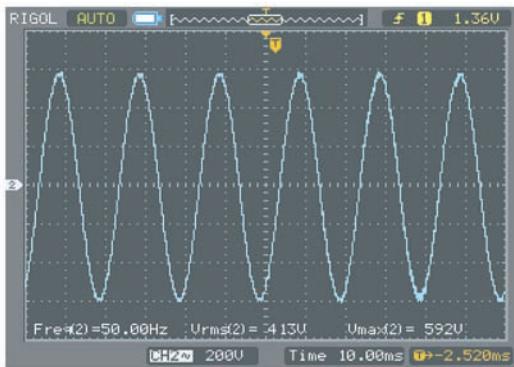


图 6 国产 IPM 模块负载试验图形

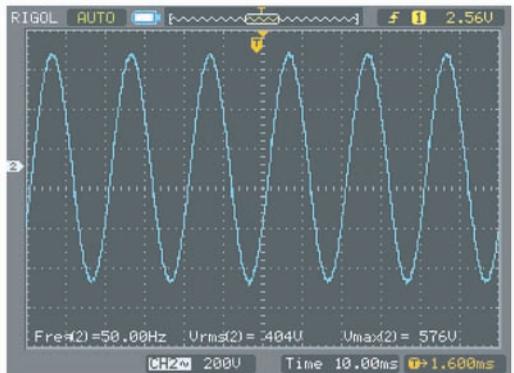


图 7 原 IPM 模块负载试验图形

#### 3.2.2 老化试验

在满负载状态下进行老化试验。接通辅助逆变模块的输入电压及控制电源, 启动辅助逆变器, 闭合所有负载断路器。让辅助逆变器持续工作 1 h, 试验过程中, 用热成像仪检测 IPM 模块附近的温度, IPM 模块附近的最高温度应不超过 80 °C。

老化试验过程中辅助逆变器输出电压波形正常, 且司机室无故障指示, IPM 国产化装置附近的最高温度为 56 °C, 原辅助逆变器老化试验后 IPM 装置附近的最高温度为 54 °C, 满足要求。

### 3.3 运行考核

#### 3.3.1 试车线运行考核

将装有国产 IPM 模块列车在车辆段试车线保持正常上线运行状态, 在满负载情况下让辅助逆变器长期工作, 持续观察辅助逆变器的工作状态。

经 2 h 试车线试验, 司机室 DDU 无故障显示, 辅助逆变器工作正常。

### 3.3.2 正线运行考核

选取南京地铁 1 号线 2 列车安装国产 IPM 模块,进行正线运行考核,观察辅助逆变器工作情况,考核期为 6 个月。

在 6 个月的正线运行考核期内 2 列车分别运行 69 402 km 和 76 545 km,2 列车上的国产 IPM 模块运行良好,未报一起故障,并经受住了夏季的高温考验。

## 4 结语

南京地铁车辆 IPM 模块国产化从设计到验证历经 2 年多时间,通过了装车联调试验,在运营车辆上经历了长时间和各种工况下的运行考验,产品运行可靠,各项性能指标满足实际需求,完全可以替代原 IPM 模块。IPM 模块国产化设计验证成功,为 IPM 模块备件供应不及时导致的辅助逆变器无法修复的问题提供了一种解决方案,同时可降低辅助逆变模块的养护维修

成本,提高了车辆的国产化水平。今后将进一步扩大装车范围,不断改进国产 IPM 模块的各项性能,确保国产 IPM 模块为南京地铁的运营提供安全可靠的服务。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 轨道交通 机车车辆用电力变流器 第 1 部分: 特性和试验方法: GB/T 25122.1—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 轨道交通 机车车辆电子装置: GB/T 25119—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论: GB/T 17626.1—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

作者简介: 张 勇 (1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 现从事城市轨道交通车辆项目技术管理工作。

(上接第 100 页) 主动接管该网络内的制动管理工作,但实际上由于通信等故障导致 CAN 网络内部主辅 G 阀不能正常切换,最终导致常用制动(保持制动)无法缓解。如上文提到的一个单元内常用制动无法缓解等情况,一定要先选择紧急牵引(硬线模式)来旁路网络信号(排除网络干扰),再把司机控制器主手柄推到牵引位并用远程缓解按钮缓解常用制动,持续按住远程缓解按钮(建议 10 s 以上),待常用制动缓解后即可牵引动车。

当然在正线应急故障处置中,若使用远程缓解仍然不能缓解列车的常用制动,必须隔离相应车辆的常用制动截断塞门,使制动缸排气,再配合 BBS 进行动车。

## 6 结语

本文根据设计原理、实际运营经验和现场测试研究对远程缓解的工作机理、安全性、测试方法以及如何合理使用等进行了探讨和分析。结合实际运行中发

生的故障案例,根据故障类别,组合使用远程缓解和制动旁路 2 个重要功能,提出了科学的运用方法,以最大程度地减少城轨列车救援事件。

### 参考文献:

- [1] 姜祥禄,蔡永丽. 地铁车辆 EP2002 制动系统防滑保护 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2008, 31(4): 47-49.
- [2] 南京地铁运营有限责任公司. 南京地铁车辆维护手册 [G]. 南京: 南京地铁运营有限责任公司, 2013.
- [3] 南京地铁运营有限责任公司. 南京地铁电客车制动旁路装置使用规定 [S]. 南京: 南京地铁运营有限责任公司, 2013.
- [4] 胡薇,朱皓清,王宗明,等. 基于 AMESim 的轨道交通车辆架控系统建模与仿真 [J]. 城市轨道交通研究, 2015(1): 90.

作者简介: 张小军 (1973—), 男, 硕士, 工程师, 现从事地铁车辆维修技术管理工作。