

# 广州地铁 L 型车牵引系统功率单元架大修维修模式

刁满佳 杨丹枫 金文涛

(广州地铁集团有限公司运营事业总部, 510168, 广州//第一作者, 助理工程师)

**摘要** 通过拆解多个 L 型车功率单元故障件发现, 故障发生的主要原因是其内部智能功率模块散热不良。基于目前功率单元架大修维修方式的不足, 针对功率单元故障原因, 建立功率单元智能功率模块的装车运用标准, 提出清洁散热片、更换导热硅脂和及时拦截性能不良的智能功率模块等措施, 有效解决了 L 型车牵引系统功率单元烧损的惯性故障问题。实践结果验证了新维修模式的有效性。

**关键词** 地铁列车; 牵引系统; 功率单元; 维修模式

**中图分类号** U231.94

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.08.047

## Research on Overhaul and Maintenance Mode of Traction System Power Unit on Guangzhou Metro L-type Vehicle

DIAO Manjia, YANG Danfeng, JIN Wentao

**Abstract** By disassembling sufficient L-type vehicle power unit malfunction components, it is concluded that the main cause of the failure is poor heat dissipation of the internal IPM module. Based on the shortcomings of current overhaul and maintenance methods, targeting power unit failure causes, vehicle-mounting standards for power unit IPM module is established, and measures such as cleaning heat sink, changing thermal silica, withdrawing bad performance IPM module in time are proposed, which effectively solves the inertial failure problem of L-type vehicle traction system power unit burning down. Practice results have verified the efficacy of new overhaul and maintenance mode.

**Key words** metro vehicle; traction system; power unit; overhaul and maintenance mode

**Author's address** Operation Business Headquarters of Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510168, Guangzhou, China

牵引系统 PU(功率单元)内部重要组成元件为 IPM(智能功率模块)。牵引系统通过控制 IPM 的开通时间来改变输出电压,通过控制 IPM 的开通周期来改变输出频率,以实现牵引逆变器的变频变压

调节<sup>[1]</sup>。对于广州地铁 L 型车牵引系统 PU,在现阶段车辆架大修维修规程内的要求主要为清洁检查。但近年来,架大修后的牵引系统 PU 呈现出故障频发态势。牵引系统 PU 发生故障极易造成清客和列车晚点,对地铁运营服务质量造成一定影响。

为解决牵引系统故障、保障车辆的运营可靠性,文献[2]通过多次优化列车牵引系统的控制,解决了牵引过电流问题,提高了牵引系统的稳定性。本文通过对广州地铁 L 型车牵引系统 PU 故障发生的原因进行研究,提出了 L 型车牵引系统 PU 架大修的深度维修模式,并结合架大修开展的深度维修实践,验证了深度维修模式对 L 型车牵引系统 PU 惯性故障具有明显控制作用,改善了 L 型车牵引系统故障频发的现状,提升了地铁车辆的运营服务质量。

## 1 L 型车牵引系统 PU 故障原因分析

### 1.1 历史故障数据

分析历史故障数据发现,L 型车 PU 故障主要集中发生在每年潮湿、高温的月份。L 型车 PU 没有冷却设备,其在车辆运行过程中依靠自然风冷。在夏季炎热天气或在潮湿天气里,PU 易因散热不良导致故障多发。同样,在客流高峰期或当天气温较高时,处在散热不良环境下的 PU 故障发生率较高。此外,在广州地铁 4 号线和 5 号线的大客流区间,在客流高峰期对应的高负载牵引制动工况,PU 大功率运行,产生高热量,故障发生率也较高。

### 1.2 牵引系统 PU 故障件拆解

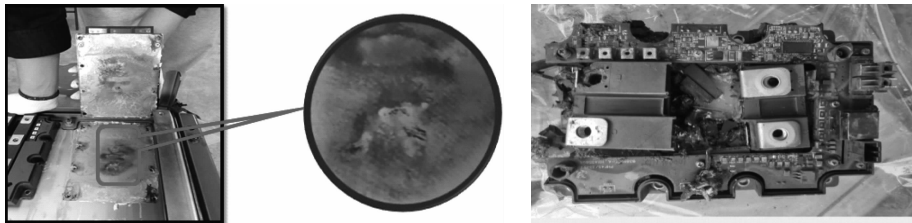
通过拆解故障件发现:

1) 故障 PU 的光电隔离上游为控制信号,无大电流通过,元器件外观良好。

2) 从光电隔离板下游开始,IPM 及低感母排是负载电流的流经区域,在大电流通过部件后产生较高的热量。因此,IPM 下部的导热硅脂会明显老化发黑甚至失效。导热硅脂一旦失效,就会出现散热

不良的情况。此时,故障件内部的低感母排会因过热而变形,产生鼓包,严重时散热基板上还会出现

烧蚀的凹坑,甚至发生 IPM 过热炸裂(见图 1)。



a) 散热基板上出现烧蚀的凹坑

图 1 故障 PU 的实景照片

分析牵引系统故障数据发现,故障发生时的牵引系统数据中显示“IGFO”,表示温度传感器测出基板的温度超过限值,发生过温保护,封锁门极驱动电路;而此时的门极保护信号为高电平。由此可以判断,在故障发生时刻,PU 内部温升超出了门限值。

### 1.3 牵引系统 PU 故障原因总结

由以上分析可知,在载客量大的高功率运行工况下,通过 IPM 的电流大,导致 IPM 温升高。此时,在环境温度高、散热条件不佳的情况下,叠加 PU 内部 IPM 等部件散热不良的因素,就会引发 IPM 失

效、甚至炸裂等故障。

## 2 PU 规程维修现状

目前,在 L 型车各级架大修规程中,对 PU 维修过程的技术要求主要集中在清洁及检查方面(见表 1),未要求对 PU 内部的 IPM 状态进行检查确认,也未要求对其进行定额更新,针对 PU 故障原因,现阶段的维修规程无法解决长时间运营后 IPM 失效导致的 PU 模块故障频发的问题,也无法及时发现 IPM 性能下降导致的故障。

表 1 架大修 PU 维修规程

车型及修程	技术要求
L1 型车大修	第 5.12.4.15 条: 检查清洁 PU 模块低感叠层母排, 要求无发黄、鼓泡、变形等异常现象 第 5.12.4.16 条: 检查清洁 PU 模块的散热片, 要求散热片无开裂、变形等异常现象
L1 型车二次架修	第 5.13.6.8 条: 清洁、检查功率模块, 要求清洁度达到Ⅲ级, 母排无变黄、变形
L3 架修	第 5.13.6.9 条: 清洁、检查功率模块, 要求清洁度达到Ⅲ级, 母排无变黄、变形
L4-I 型车架修	第 5.12.4.13 条: 清洁、检查 IPM、光电信号接口板。要求清洁度达到Ⅲ级, 安装正确牢固

注:Ⅲ级清洁度指以手擦拭,手上无污染。

### 3 PU 架大修的深度维修模式

由于频发 PU 故障的外界散热条件主要受线路条件和地域气候限制,很难改变。因此,提高 PU 自身的散热性能及拦截状态不良的 PU 内部元器件,是深度维修主要考虑的方向。

### 3.1 PU 架大修的散热不良处理措施

### 3.1.1 检查光电转换板、低感母排、IPM 及散热片的清洁状态

用手擦拭 PU 内部的光电转换板、低感母排及 IPM,以检查部件清洁状态。由于箱体密封性良好,一般情况下,手上基本无污染,部件外观良好。这说明以上部件通常不存在清洁度不佳导致散热不

良的问题。而散热片与外界直接接触,受污染程度高,需进行针对性清洁。

### 3.1.2 检查 IPM 导热硅脂状态

将 IPM 的固定螺栓取下,如发现 IPM 导热硅脂存在发黑现象(见图 2),则作出相应处理。

1) 如图 2 a) 所示, IPM 的导热硅脂发黑区域如分布在螺栓固定处或中部, 则可判断为导热硅脂涂抹不均匀或热传导不均匀。需进一步检测其性能, 判断是否能继续使用。

2) 如图 2 b) 所示,部分 IPM 的导热硅脂已接近全部失效,判断为导热硅脂失效导致 IPM 散热不良,进而导致 IPM 电气性能下降。此时需更新导热硅脂。

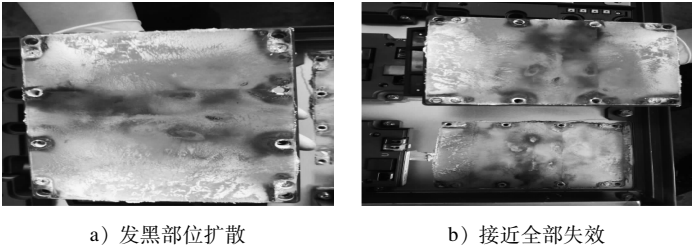


图 2 IPM 导热硅脂照片

3.2 建立深度维修后的 IPM 装车运用标准

基于 IPM 的基本技术参数,参考积累的 PU 维修经验,本文通过对 IPM 性能的测试(见表 2)来建立相关性能参数的深度维修后 IPM 装车运用标准值。通过检测相关性能参数,即可在设备不装车运

用的条件下排查出性能不良的 IPM,并在架大修深度维修过程中对其进行更换,从而避免性能不良的 IPM 在较差的工况下诱发设备故障,提高运营可靠度。

表 2 IPM 性能测试

测试项目	深度维修后 IPM 装车运用标准值	测试条件	正常 IPM 的曲线
集电极-发射极饱和导通压降 $V_{ce}$	2.50 ~ 3.95 V	$V_{ge} = 2\text{ V}$ , $I_c = 400\text{ A}$	
续流二极管正向电压 $V_{fd}$	2.50 ~ 3.75 V	$I_d = 400\text{ A}$	
集电极-发射极截止电流 $I_{ces}$	0 ~ 400 uA	$V_d = 3\text{ 300 V}$	

注:  $V_{ce}$ ——集电极-发射极饱和导通压降;  $V_{ge}$ ——IPM 驱动板的触发电压;  $I_c$ ——IPM 额定工作电流;  $V_{fd}$ ——续流二极管正向电压;  $I_d$ ——续流二极管正向电流;  $I_{ces}$ ——集电极-发射极截止电流;  $V_d$ ——集电极-发射极耐压值。

3.3 PU 架大修深度维修措施

由于 IPM 导热硅脂失效导致其散热不良是导致 PU 故障的主要原因,故需要在 PU 架大修维修过程制定对应的维修策略,以提高 PU 自身的散热性能。

- 1) 清洁 PU 散热片,更新 IPM 的导热硅脂,提高 IPM 的散热能力。
- 2) 测试并记录 IPM 的电气参数(包含集电极-发射极饱和导通压降、续流二极管正向电压、集电极-发射极截止电流等参数),通过建立 IPM 深度维修后的装车运用标准(见表 2),更换测试数据偏离

表 2 中装车标准范围的 IPM;及时拦截状态不良的 IPM,避免电气性能下降的 IPM 装车后诱发正线故障。

4 结语

目前,L 型车 PU 呈现出故障频发态势。故障 PU 被切除,将导致地铁车辆的牵引动力损失,进而影响地铁的运营服务质量。本文经分析发现,L 型车 PU 故障发生的主要原因是其内部 IPM 散热不良。本文还针对目前 PU 的架大修维修方式提出了改善PU内部散热不良现状的针对性改善方式,建

(下转第 229 页)

据计算和压缩,利用归档数据和历史数据库的数据,保证提供数据服务的一致性。数据接入系统的接口服务器负责采集实时数据,并储存3个月的运行实时数据。

当客户端发出数据查询请求时,查询服务软件自动根据查询条件中的时段、位置及设备等信息,判断是从实时服务器还是从线网中心的归档数据库中提取数据:如网络连通正常,则自动从数据管理平台的实时服务器中提取用户所要查询的数据;如果网络断开,则自动从本地存储的实时数据中读取数据,并提供给查询用户。

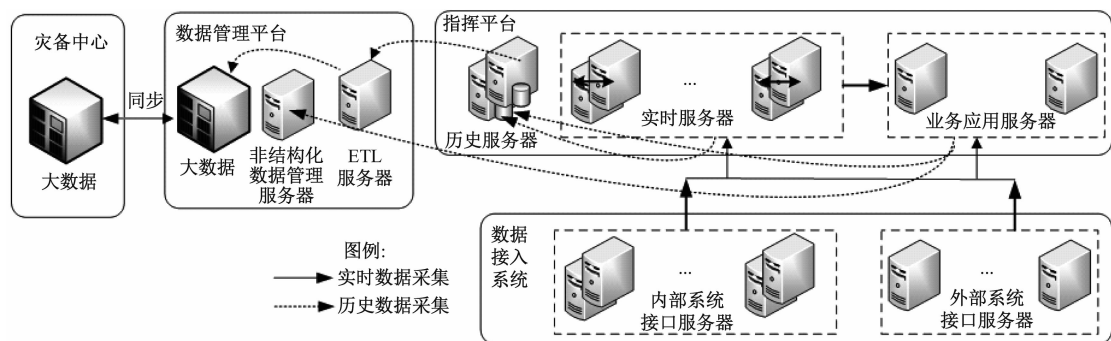


图2 线网中心集成软件系统数据流图

### 3 结语

本文详细分析了线网监控基础平台软件和业务应用基础平台软件的功能,提出了城市轨道交通线网中心实时监控软件与业务应用软件的无缝衔接方案。该方案在成都地铁线网中心得以成功应用。成都地铁线网采用综合监控系统、信号系统及应用系统等多业务后台与一体化指挥前台无缝整合的方案,完美实现了线网“业务多元、指挥统一”的需求,成功验证了“一个设计一个系统”的体系架构。其通过在新线不断接入情况下的高质量运营,检验了该架构平台软件在大数据规模下的可用性

当用户请求报表时,查询服务软件负责从归档数据和历史数据库中查询符合用户报表要求的数据,并提供给用户。如果网络断开,则查询服务软件将提示用户:其请求的数据范围仅限于各接口服务器3个月内的数据。

线网中心集成软件系统的数据流图如图2所示。由图2可见:①所有的监视和控制等实时数据保存至平台软件的实时数据库;②所有监控系统的实时数据进实时数据库,并形成历史数据;③历史报警、历史事件、SOE(事件顺序记录),以及需要统计分析的数据进关系数据库,并按需要形成报表。

和稳定性。

### 参考文献

- [1] 葛鑫. 关于城市轨道交通线网中心功能建设的几点思考[J]. 城市轨道交通研究, 2018(2): 17.
- [2] 胡彦. 城市轨道交通线网指挥中心大数据技术的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2018(2): 43.
- [3] 解凯, 钱晓超. 城市轨道交通线网指挥中心系统关键技术研究[J]. 现代城市轨道交通, 2018(6): 53.
- [4] 杨承东, 徐余明. 基于综合监控系统的线网指挥中心构建方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2013(10): 25.

(收稿日期: 2019-08-27)

(上接第225页)

立了PU内部IPM的装车运用标准,有效解决了L型车牵引系统PU烧损的惯性故障问题。

L型车牵引系统PU的架大修深度维修是一次成功的维修技术变革。通过该维修模式的实施,目前L型车牵引系统PU的故障率已得到有效控制。数据显示,开展深度维修后,PU故障率降幅达37.6%,PU惯性故障得以控制,节约了维修成本,提

升了运营可靠性及架大修维修质量。

### 参考文献

- [1] 人力资源和社会保障部教材办公室, 广州市地下铁道总公司. 车辆检修工[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009.
- [2] 王穗生, 计敏良. 地铁列车无感应板区间直线电机过电流问题的控制与优化[J]. 机电传动, 2015(3): 80.

(收稿日期: 2020-09-07)