

地铁车辆牵引电机动力连接器烧损原因分析及改进方案

卢一鹏 唐春燕 杨存平

(资阳中车电气科技有限公司, 641301, 资阳//第一作者, 高级工程师)

摘 要 某型地铁车辆的牵引电机动力连接器在运行过程中发生烧损。采用故障树分析方法,对故障电机动力连接器的烧损原因进行分析。模拟使用环境进行复合工况试验,复现了故障现象,确定造成现车电机动力连接器烧损的原因为连接器插孔簧片正压力不足,即簧片正压力不足致使其在长时间振动工况下出现接触不良,造成接触件温升过高或出现拉弧线型,进而导致设备烧损。根据故障原因,对该型电机动力连接器的设计方案进行优化改进,调整该型连接器插孔簧片的热处理参数,以提高接触件的单孔拔力。试验结果表明:改进后的设计方案有效解决了现车电机动力连接器的烧损问题。

关键词 地铁车辆; 牵引电机; 电机动力连接器; 烧损故障
中图分类号 U266.21

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.03.042

Burning Cause Analysis of Metro Vehicle Traction Motor Electrical Connector and Improvement Solution

LU Yipeng, TANG Chunyan, YANG Cunpin

Abstract The motor power electrical connector of a metro vehicle was burnt during operation. Fault tree analysis method is used to analyze the burning cause of the fault electrical connector. The composite working condition test is carried out by simulating the service environment, and the fault condition is replicated. It is determined that the burning cause of existing vehicle motor electrical connector is the insufficient positive pressure of connector socket spring, which leads to poor contact under long-time vibration working condition, and the excessive temperature rise of contact components or the arcing line further makes the consequent equipment burning. According to the fault cause, the design solution of the motor electrical connector is optimized and improved, and the heat treatment parameters of the above type connector socket spring are adjusted to improve the single hole pull force of the contact component. Test results show that the optimized design scheme effectively solves the burnout problem of existing vehicle motor

electrical connectors.

Key words metro vehicle; traction motor; motor electrical connector; burnout fault

Author's address Ziyang CRRC Electrical Technology Co., Ltd., 641301, Ziyang, China

电机动力连接器(以下简称“电连接器”)是轨道交通车辆的关键部件,其质量与性能关系到车辆的安全运行。用于地铁车辆电机动力电气连接的某型电连接器,在车辆运行检修时发现接触件有变色、烧损情况(如图1所示)。本文对该型电连接器的故障原因进行系统分析,模拟试验重现了故障现象,确定故障原因。在此基础上对该型电连接器的设计方案进行了优化。



图1 电连接器插孔、插针(已烧损)实物图
Fig.1 Picture of the actual electrical connector socket and pin (burnt)

1 电连接器的结构及参数

1.1 电连接器的主要技术参数

故障电连接器的主要参数如表1所示。

1.2 电连接器结构

故障电连接器为圆形螺旋卡扣式,接触件采用插入簧片接触式。该型电连接器具有结合后不易脱离构造的优点,各部件牢实可靠,耐振动,防雨水浸入,接触片能可靠通电。

表 1 故障电连接器的主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of the fault electrical connector

参数	参数值	备注
额定电压/V	DC 1 500	
额定电流/A	250	温升≤60 ℃
绝缘电阻/MΩ	≥10 000	
介电强度/V	5 400	工频电压下作用 1 min
额定冲击电压/kV	8	过电压类别为 2 类
接触电阻/MΩ	≤0.3	
单孔拔力/N	≥4.17	
防护性能等级	IP67	
工作温度/℃	- 40 ~ 125	
电缆规格/mm ²	70	

如图 2 所示,故障电连接器主要由壳体、绝缘体、接触件(插针、插孔)、密封件及尾部附件等组成。

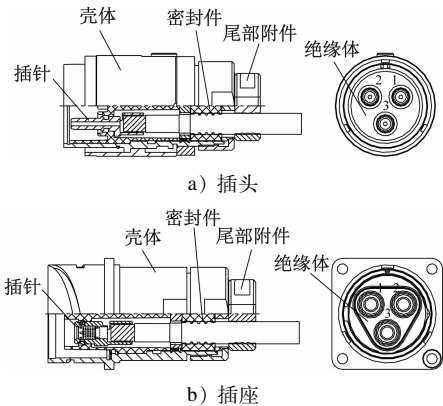


图 2 故障电连接器的结构

Fig. 2 Structure of the fault electrical connector

该型电连接器通过簧片实现插针与插孔间的电气连接。插针对接部位为圆柱状,插孔内安装有簧片,如图 3 和图 4 所示。

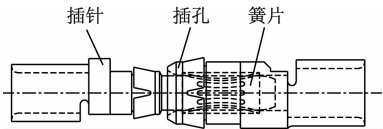


图 3 故障电连接器接触件的结构

Fig. 3 Structure of the fault electrical connector contact component

2 电连接器烧损原因分析

2.1 电连接器应用状态

如图 5 所示,故障电连接器用于地铁车辆牵引

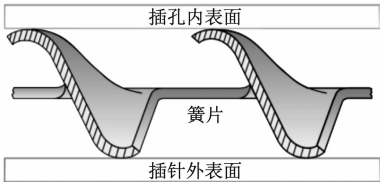


图 4 故障电连接器簧片的接触结构

Fig. 4 Structure of contact reed of the fault electrical connector

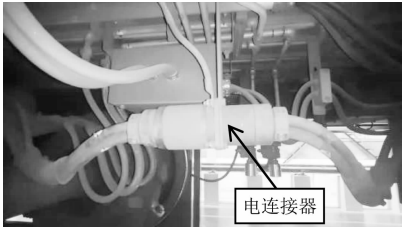


图 5 故障电连接器在车下的安装实物图

Fig. 5 Picture of the fault electrical connector installed beneath vehicle

电机动力电气连接,安装于车下。插座安装于支架上,尾部电缆与车体上的设备箱连接,插头电缆与转向架上的电机连接。

2.2 引起电连接器烧损失效的可能因素

本文建立电连接器烧损失效的故障树分析,如图 6 所示。根据故障电连接器的工作原理、性能结构等因素的影响,造成故障电连接器烧损失效的故障因素主要有绝缘不良、运行时线路出现异常的电流或电压、异物进入连接器及接触失效等。

2.2.1 绝缘失效分析

1) 耐受电压:故障电连接器绝缘体最薄位置的尺寸为 2.2 mm,绝缘体材料尼龙 66 的理论击穿强度为 24 kV/mm,理论击穿电压为 52.8 kV,远大于电连接器设计标准规定的 8.0 kV,满足技术要求。

2) 绝缘电阻:尼龙 66 的体积电阻率为 $1 \times 10^{14} \Omega \cdot m$,符合绝缘电阻要求。

3) 电气间隙和爬电距离:依据 GB/T 21413.1—2018《轨道交通机车车辆电气设备 第 1 部分:一般使用条件和通用规则》的规定,电连接器的电气间隙应不小于 8 mm,爬电距离应不小于 21 mm,故障电连接器的实际最小电气间隙和爬电距离均为 27 mm,符合标准要求。

4) 绝缘材料缺陷:对故障电连接器进行检查,并普查该型电连接器,均未发现绝缘件材料存在缺陷。

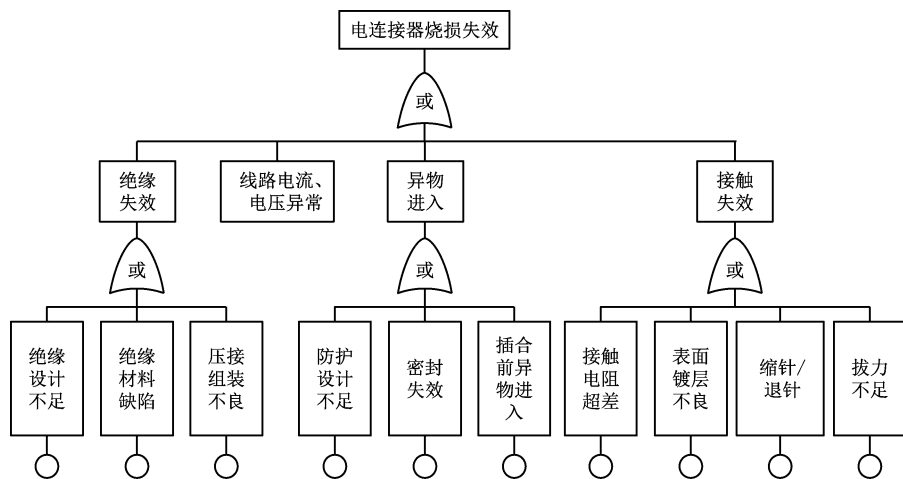


图6 电连接器烧损故障树

Fig.6 Fault tree of electrical connector burnout

5) 压接失效:电连接器接触件与电缆间采用冷压连接,电缆规格为 70 mm^2 ,压接应力应不小于 1750 N ;压接强度与设备的设计及工程施工有关,设计定型型式、试验压接强度满足标准的要求;电连接器在压接电缆开工前需进行压强拉力工艺试验;经查记录,未发现该型电连接器的压接存在异常,通过对故障接触件压接部进行检查,也未发现有变色、烧损等现象。

6) 每套电连接器出厂时都需经介电强度试验。对故障电连接器进行检查,并普查该型电连接器,并未发现连接器各相间有短路或插针对地短路烧损问题,未有爬电路径痕迹,也未发出过因绝缘不足引起的故障报警。

2.2.2 线路电流、电压异常分析

经检测,在列车运行过程中,未发现流经故障电连接器线路中的电流和电压有异常情况。

2.2.3 异物进入分析

1) 密封失效:该型电连接器的设计防护等级符合 GB/T 4208—2017《外壳防护等级标准(IP 代码)》中 IP67 的要求,可排除防护设计等级低这一因素。检查故障电连接器及普查该型电连接器,未发现电连接器内有水进入,因此电连接器故障原因可以排除连接密封失效的因素。

2) 插入前异物进入:电连接器组装插入完成后,需和整车进行压耐试验。在对该型电连接器的普查过程中,未发现电连接器内部有异物及被污染。

2.2.4 接触失效分析

1) 接触电阻超差:作为例行试验,产品出厂时已对每对接触件的接触电阻进行过检测,经查记录

未发现该类电连接器有接触电阻超差现象。由于故障电连接器的接触件已被烧损,无法检测其接触电阻,进而检测同款电连接器,同款电连接器也未出现故障的接触件,其接触电阻值满足要求。

2) 表面镀层不良:接触件表面整体镀银处理,例行试验需对外观进行检测。烧损故障件未烧损部位无镀层不良情况,同时普查过程中也未发现该类接触件存在镀层不良情况。

3) 缩针/退针:烧损故障件未出现缩针/退针状态,同时普查过程中也未发现该型电连接器存在缩针/退针情况。

4) 拔力不足:通过对更换下来的3对接触件进行拔力检测发现,第1对接触件基本检测不到拔力,第2对接触件的拔力为 5.1 N ,第3对接触件的拔力为 5.2 N ,拔力值均偏低,存在连接失效造成烧损的风险。

2.3 故障模拟对比试验

通过分析烧损失效可能的因素,最可能导致故障出现的因素为电接触失效。为了准确、深入地分析故障原因,本文进一步进行了振动+载流复合工况试验。

2.3.1 试验原理

载流性能为故障电连接器的核心能力,故试验时选取的测试指标为通过额定电流时接触件的温升值。本次烧损的故障连接器在通过工作电流的同时,还受到列车运行过程中产生的振动冲击作用,因此,本试验采用了在振动过程中同时通以额定电流的测试方式,以较真实地模拟故障发生时电连接器的实际状态。

2.3.2 试验方法

选用与现车同种规格(70 mm²)电缆的接触件,将接触件安装于同类型的电连接器中。按照车辆实际安装方式,将测试的电连接器安装在振动试验台上,根据 GB/T 21563—2018《轨道交通机车车辆设备冲击和振动试验》的振动等级 2 类(以下简称“2 类”)进行振动试验,在试验过程中持续通以 250 A 额定电流。

2.3.3 试验过程及数据分析

根据电连接器的设计要求,静态下的温升不应超过 60 ℃,工作状态下的温升和环境温度的总和不应超过电连接器的最高工作温度上限(125 ℃)。

2.3.3.1 第 1 组试验

采用与故障件同类型的簧片接触件,分别进行了静态 5 h、垂向振动 5 h、纵向振动 5 h 及横向振动 5 h 的温升试验,振动过程中持续通过 250 A 电流,监测接触件的温升情况。静态 5 h 后的温升数据如表 2 所示,振动状态下的温升数据如表 3 所示。

表 2 静态下接触件的温升测试结果
Tab. 2 Temperature rise test results of contact components in static state

样件编号	接触电阻/MΩ	单孔拔力/N	温升值/K
01-01	0.069	4.41	42.2
01-02	0.059	5.83	41.2
01-03	0.065	4.52	40.8

注:环境温度为 25.2 ℃。

表 3 振动状态下接触件的温升测试结果
Tab. 3 Temperature rise test results of contact components in vibration state

样件编号	接触电阻/MΩ	单孔拔力/N	温升值/K		
			垂向振动 5 h	纵向振动 5 h	横向振动 5 h
01-01	0.069	4.41	74.6	69.7	56.4
01-02	0.059	5.83	58.0	61.0	52.4
01-03	0.065	4.52	61.9	60.0	54.1

注:环境温度为 25.3 ℃。

由表 2 和表 3 可知:①静态温升数据符合标准要求;②振动状态下的温升数据超过了标准要求,接触件表面已开始出现烧损迹象;③温升最大值主要集中在垂向振动过程中,因此可推断在现有应用安装状态下垂向振动对接触件的温升影响最大。

2.3.3.2 第 2 组试验

基于第 1 组试验情况,第 2 组为强化试验,其试

验方案为:采用与故障件同类型的簧片接触件,连续进行 2 类垂向 15 h 的长寿命振动试验,测速过程中持续通过 250 A 电流,监测接触件温升,每间隔 5 h 观察接触件的表面状态。其试验结果如表 4 所示。

表 4 加强垂向振动下接触件的温升测试结果
Tab. 4 Temperature rise test results of contact components in enhanced vertical vibration state

样件编号	接触电阻/MΩ	单孔拔力/N	温升值/K		
			累计振动 5 h	累计振动 10 h	累计振动 15 h
01-04	0.075	8.05	104.3	108.2	130.5
01-05	0.074	5.56	66.2	79.2	80.2
01-06	0.072	5.89	90.2	104.0	107.1

注:环境温度为 25.5 ℃。

由表 4 可知:在加强垂向振动下,与故障件同类型的簧片接触件的温升远远超过了标准要求。此外,出现了与现车故障件同类状态的烧损情况,如图 7 所示。

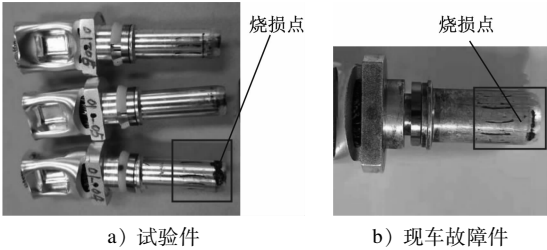


图 7 试验接触件与现车故障件的烧损情况对比
Fig. 7 Burnout condition comparison between test contact component and vehicle fault parts

2.4 确定电连接器烧毁原因

经上文分析,可确定造成现车电连接器烧损故障的原因为电连接器插孔簧片正压力不足,致使其在长时间振动工况下出现接触不良,造成接触件温升过高或出现拉弧线型,进而导致设备烧损。

3 电连接器的改进方案

3.1 改进方案

根据该电连接器的故障失效原因,在不改变接触件的结构与尺寸、不改变簧片材料和结构的基础上,调整簧片的热处理参数,将热处理后簧片硬度由原先的 220 ~ 240 HV 增加至 340 ~ 380 HV,以此提高接触件的单孔拔力。

3.2 改进方案验证

对改进后的簧片接触件实施上文 2.3 所述的试验方案,分别进行了同样的振动 + 载流复合工况试验,其试验结果如表 5—表 7 所示。由表 5—表 7 可知:改进后簧片接触件的静态、三向振动 + 载流状态下的温升均符合标准要求;在垂向加强振动 + 载流状态下持续 10 h 后,虽然接触件的温升超过了标准要求,但此时电连接器的温升与环境温度的总和为 94.2 ℃,仍远小于工作上限温度(125 ℃)。

表 5 优化后静态下接触件的温升测试结果
Tab.5 Temperature rise test results of improved contact components in static state

样件编号	接触电阻/MΩ	单孔拔力/N	温升值/K
02-01	0.033	44.71	37.0
02-02	0.037	39.64	37.1
02-03	0.039	31.91	38.1

注:环境温度为 25.5 ℃。

表 6 优化后振动状态下接触件的温升测试结果
Tab.6 Temperature rise test results of improved contact components in vibration state

样件编号	接触电阻/MΩ	单孔拔力/N	温升值/K		
			垂向振动 5 h	纵向振动 5 h	横向振动 5 h
02-01	0.033	44.71	45.1	47.9	46.3
02-02	0.037	39.64	51.1	49.3	47.2
02-03	0.039	31.91	54.3	46.3	44.8

注:环境温度为 25.3 ℃。

表 7 优化后加强垂向振动下接触件的温升测试结果
Tab.7 Temperature rise test results of improved contact components in enhanced vertical vibration state

样件编号	接触电阻/MΩ	单孔拔力/N	温升值/K		
			累计振动 5 h	累计振动 10 h	累计振动 15 h
02-04	0.034	48.97	55.5	64.2	68.7
02-05	0.037	40.89	53.0	60.7	65.3
02-06	0.037	51.83	56.9	62.4	67.6

注:环境温度为 25.5 ℃。

随后更换了现车电连接器上所有的簧片,从列车实际运行情况看,该改进方案是可行、有效的。

4 结语

本文对某型电机动力连接器烧损进行故障原因分析和试验验证,得到电连接器烧损的确切原因,据此提出了解决方案。振动环境对电连接器的载流能力影响很大,目前电连接器设计标准所规定的拔力参数指标范围较宽,且缺乏复合试验,这导致产品在设计阶段未能充分识别应用状态下的故障。后续在进行电连接器设计时,应充分考虑其具体的实际应用场景,特别是对于大电流动力连接器要充分考虑其在振动等复合工况下的性能设计,并进行相关的功能验证。

参考文献

[1] 金涛. 电连接器可靠性试验方案设计[J]. 环境技术, 2020, 38(4): 78.
JIN Tao. Design of reliability test scheme for electrical connector [J]. Environmental Technology, 2020, 38(4): 78.
[2] 段桂环, 陈宁. 轨道交通电连接器国内环境试验标准分析[J]. 环境技术, 2016, 34(6): 69.
DUAN Guihuan, CHEN Ning. Analysis on domestic environmental test standard for electric connector of rail transit[J]. Environmental Technology, 2016, 34(6): 69.
[3] 杨奋为. 连接器常规电性能检验技术研究[J]. 机电元件, 2001, 21(2): 30.
YANG Fenwei. Research on conventional electrical performance inspection technology of connectors [J]. Electromechanical Components, 2001, 21(2): 30.
[4] 于阳. 振动状态下电连接器接触件形变测试技术研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2015.
YU Yang. Research on testing technology of contacts deformation of electrical connectors under the vibration state[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015.

(收稿日期:2021-11-28)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》
服务热线 021—56830728 转 821