

第三轨供电系统中受流器与第三轨的接触压力及其对受流性能的影响分析

宁晓芳¹ 柳拥军²

(1. 四川交通职业技术学院轨道交通工程系, 611130, 成都;

2. 北京交通大学机械与电子控制工程学院, 100044, 北京//第一作者, 助教)

摘要 介绍了第三轨受流器的结构原理。分析比较了弹簧式和气压式受流器与第三轨接触压力调节方式的特点。基于电接触基本理论详细的阐述了受流滑板与第三轨接触区的导电机理。接触区域的导电电路由无数微小的电阻及电容并联而成, 接触压力通过影响微小电阻、电容的数量比例, 进而影响接触面上的导电能力和磨损性能。标称静态接触压力的设计值接近或等于“法向压应力临界值”时, 导电能力和磨损特性取得均衡。

关键词 城市轨道交通; 第三轨供电系统; 接触压力; 受流性能

中图分类号 U231.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.025

Analysis of Contact Pressure between Collector and Conductor Rail and Its Influence on Current Collecting Performance in Third Rail Power Supply System

NING Xiaofang, LIU Yongjun

Abstract The structural principle of the third rail current collector is introduced, the characteristics of pressure regulation modes between spring type, air pressure type current collectors are compared, and the conduct mechanism of the contact area between current collection slide plate and the third rail are elaborated in detail based on the electrical contact basic theory. The conductive circuit in the contact area consists of a myriad tiny resistors and capacitors in parallel, and the contact pressure affects the number ratio of the tiny resistors and capacitors, thereby affecting the conductivity and wear performance of the contact surface. When the design value of the nominal static contact pressure is close to or equal to the “critical value of normal compressive stress,” the conductivity and wear characteristics are balanced.

Key words urban rail transit; third rail power supply system; contact pressure; current collecting performance

First-author's address Department of Rail Transit Engi-

neering, Sichuan Vocational and Technical College of Communications, 611130, Chengdu, China

第三轨供电系统具有便于维修与管理、运营可靠、寿命长、占用空间小等优点, 广泛运用在城市轨道交通领域。根据安装方式的不同, 第三轨供电系统受流形式有上部受流、下部受流和侧部受流。第三轨沿车辆走行轨的方向铺设, 受流器安装在车辆转向架构架上, 受流器滑板与第三轨轨面接触形成一个闭合回路从而传递电能^[1]。

受流器滑板与第三轨轨面之间的接触特性是保证安全稳定受流的关键。目前国内第三轨结构和安装工艺、受流器产品设计, 制造和检测试验已较为成熟, 相关的国家标准有: GB/T 32589—2016《轨道交通 第三轨受流器》^[2], CJ/T 414—2012《城市轨道交通钢铝复合导电轨技术要求》^[3], GB/T 14894—2005《城市轨道交通车辆组装后的检测与试验规则》^[4], GB/T 28027—2011《轨道交通 供电系统和机车车辆运行匹配》^[5]等。但受流器与第三轨接触关系的理论研究还不够充分, 深入研究这一问题有助于从根本上理解第三轨供电系统的结构设计原理, 促进接触受流式牵引供电技术的不断优化发展。

1 第三轨受流器结构原理

受流器主体为受流组件和熔断器, 受流功能主要由受流组件承担, 熔断器起到对供电母线电缆的保护作用。受流器主要由安装基座、背板、调节齿板、金属底座、柔性橡胶轴承、绝缘受流摆杆、受流滑板、托靴、复位气缸、弹簧、绝缘防护罩及自锁与限位机构等组成^[6]。

图1是国产某型一体式受流器受流组件示意图。受流组件安装在受流器背板上。首先, 在转向架构架上安装基座, 然后, 将受流器背板通过左右

两对齿板与基座连接,从而将受流器固定于转向架上。通过调整两对齿板的相对齿槽位置,可以改变背板相对于转向架的高度。

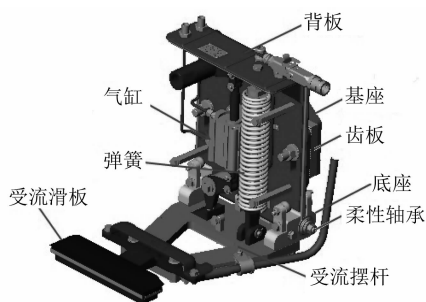


图1 某型受流器受流组件示意图

受流摆杆后端通过左右2个柔性轴承和中间轴连接于背板上。受流摆杆前端安装受流滑板。当受流摆杆绕轴承中心转动时,受流滑板高度(通常以滑板表面距走行轨上表面的距离表示)会相应发生变化,形成3个工况位置:正常工作位置、上极限位置(也称“上限位”)及下极限位置(也称“下限位”)。以图1中的下接触式受流器为例:正常工作位置是指受流滑板贴合于第三轨上表面,此时滑板高度为第三轨接触表面与走行轨上表面之间的距离;受流摆杆处于自由状态时为上限位,滑板高度大于正常工作位置;下限位是受流滑板向下降低的最低位置,滑板高度小于正常工作位。

2 接触压力

2.1 接触压力及其调节方式

受流器安装背板与摆杆之间设置有弹簧或可调压气缸,可对摆杆产生一个相对于轴承中心的力矩作用,使受流滑板在正常工作位置与第三轨接触面之间产生接触压力。

接触压力是维持稳定受流的重要条件。受流器调节接触压力的关键部件可采用弹簧或可调压气缸。二者调节接触压力的机理不同,效果也有很大的差异。

2.1.1 弹簧调节式受流器的接触压力

弹簧调节式受流器利用弹簧的弹性回复力使受流滑板与第三轨保持接触压力,属于被动调节。图2是下接触式的弹簧调节式受流器力学结构示意图。

假定处于正常工作位置的受流滑板始终保持与第三轨的接触,在标称静态接触压力下,受流摆杆转动中心与第三轨接触表面之间的垂向距为 D_0 ,忽略受流滑板惯性加速度影响的情况下,则在任意

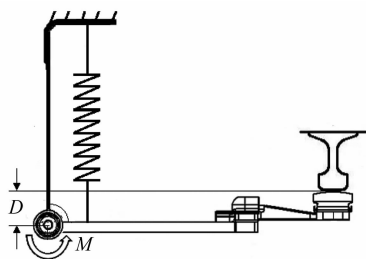


图2 弹簧调节式受流器力学结构示意图

时刻受流滑板与第三轨的接触压力为:

$$F = P_0 + K_1(D_0 - D) - mg \quad (1)$$

式中:

F ——接触压力;

P_0 ——标称静态接触压力;

D ——受流摆杆转动中心与第三轨接触表面之间垂向距离;

K_1 ——比例系数;

m ——受流摆杆及受流滑板组合的等效质量;

g ——重力加速度。

2.1.2 气压调节式受流器的接触压力

气压调节式受流器借助于供给气缸的气压来维持受流滑板与第三轨的接触压力,其力学结构如图3所示。

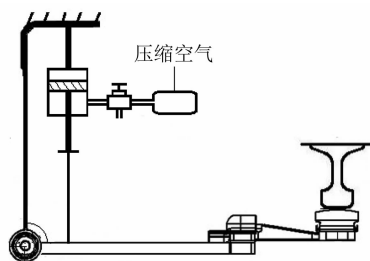


图3 气压调节式受流器力学结构示意图

气缸安装在背板上,活塞连接摆杆。接触压力取决于活塞推力,活塞推力则由气缸内的气压决定。列车运行时,活塞随同受流摆杆运动,引起气缸内气压变化,需要通过调节阀的排气和充气来维持气缸内的气压稳定。如果调压阀足够灵敏,气压稳定在规定的范围内,则接触压力的波动能够控制在较小范围内。忽略受流摆杆及受流滑板惯性加速度的情况下,气压调节受流器(下作用式)的接触压力为:

$$F = K_2 P - mg \quad (2)$$

式中:

K_2 ——压力系数;

P ——气缸的空气压力值。

2.1.3 两种受流器比较

根据实际运营经验:尽管弹簧调节式受流器在调节接触压力方面的性能不够理想,但制造和维护成本低,可靠性好;气压调节受流器能够更好地维持接触压力的稳定,但可靠性差,制造成本高,且维护工作量偏大。

2.2 标称静态接触压力

车辆静止状态下的接触压力称为静态接触压力。静态接触压力的标称值称为标称静态接触压力^[2]。通常,受流器在转向架上的安装位置要保证受流滑板在正常工作位置时的接触压力接近或等于标称静态接触压力。列车运行状态下由于外部激励因素的作用,接触压力会出现不同程度的波动,但在第三轨和受流器匹配良好的情况下,接触压力的平均值应接近或等于标称静态接触压力。

3 接触压力对受流性能的影响

关于标称静态接触压力的取值国内外尚未有相关的技术标准,已开通的线路一般是依据运营经验而定,多数为 120~150 N,少数高速受流器取值达到 250 N^[7]。在我国,根据最新技术标准 GB/T 32589—2016《轨道交通 第三轨受流器》的规定,标称静态接触压力需满足 GB/T 7928—2003《地铁车辆通用技术条件》^[8]中第 11.10 条的要求,并由供需双方协商确定。技术标准的缺失使得标称静态接触压力的取值具有一定盲目性。因此从电接触基本理论出发,分析受流滑板与第三轨电接触关系的特点及其对受流质量的影响规律,进一步完善第三轨供电系统设计理论是十分必要的。

3.1 接触压力对导电性能的影响

受流滑板与第三轨的接触表面属于机械结合面,其几何结构与加工方法和磨损过程有关。宏观上看是光滑平整的,但在显微镜下仍是粗糙的,即表面上存在有波长很短的凹凸体,可用具有不同幅度和间距的峰谷来表征。所谓的峰,也称微凸体。接触面之间的接触实际上是发生在微凸体之间的^[9]。粗糙表面法向接触试验表明,实际接触面积仅是宏观名义接触面积的很小一部分,即使在接触压力很大的情况下,也只有少数的微突体发生了真正的接触^[10-11]。

受流滑板与第三轨接触面导电机理如图 4 所示,如果将两导电物体之间产生放电的最小间隙极限 d_{\min} 作为临界距离,那么当接触间隙 $d < d_{\min}$ 时为电阻性接触,当间隙 $d > d_{\min}$ 时为电容性接触^[12]。因

此,接触区的电传导电路是由无数个微小电阻和电容并联而成的。

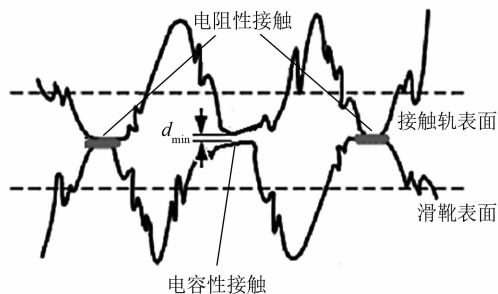


图4 受流滑板与第三轨接触面导电机理

城市轨道交通通常采用直流供电,对于直流电路,微小电阻的导电能力要高于微小电容。因此,当法向力增大时,接触表面上电阻性微突体数量增加,导电能力趋于上升,反之则电容性接触微突体数量增加,导电能力趋于下降。

3.2 接触压力对表面磨损的影响

正常受流时,受流滑板与第三轨之间的磨损为典型的载流磨损。由于电因素的介入,电场、电流及电弧等的作用都将影响摩擦副的摩擦学性能。

接触压力可以改变接触表面上电阻性接触微突体和电容性接触微突体的数量比例。当电流通过电阻性微突体导电面时,电流产生的焦耳热加强了接触点的黏着,摩擦力的增加使得机械磨损趋于增大。当电流通过电容性接触微突体时会产生拥堵放电,从而使接触点温度瞬间大增、材料熔化并产生微火花,接触点之间出现大量的离子介质,切向力减小,摩擦力下降;但此时的材料熔化和烧蚀表面磨损同样增大。因此,经合理推测,应当存在一个接触压力临界值,使得接触面上电阻性接触微突体与电容性接触微突体的数量比例适中,机械磨损最小。文献[13]对此在特定的试验条件下经研究证实,确实存在 1 个法向压应力临界值。当试验法向压应力大于此临界值时,摩擦系数随电流增加出现较小增幅;而当法向压应力小于此临界值时,随着电流的增加,摩擦系数出现较大降幅。进一步的试验研究表明,当法向压应力小于此临界值时,总磨损量随法向压应力的增大而减小;当法向压应力大于此临界值时,总磨损量随法向压应力的增大而增大。

城市轨道交通供电系统设计的基本原则是既要保持受流滑板与第三轨表面的稳定接触,又要降低受流滑板和第三轨表面的磨损量,最大限度地延长系统的工作寿命。受流器受流滑板与第三轨总磨损量主要由机械磨损量和电弧烧蚀损失量组成,

当法向压应力大于等于临界值时,以机械磨损为主;当法向压应力小于临界值时,以电弧烧蚀为主。因此,当法向压应力等于或接近临界值时,机械磨损和电弧烧蚀取得均衡。这样既能保证供电性能,又能使得摩擦副材料的总损失最小。此时的接触压力应是最佳的标称静态接触压力。

4 结论

1) 受流器与第三轨的相互作用主要是由二者之间的接触压力来支配的。不同调节方式的接触压力特点有很大的差异,其中气压调节方式受流器受流性能高于弹簧调节方式的受流器。目前,我国已经研制成功并批量投入运用的自主知识产权受流器主要采用弹簧调节方式。尽管气压调节式受流器成本偏高,但对进一步提高受流性能有利。因此,加快对这种类型受流器自主知识产权产品的研发是十分必要的。

2) 当法向压应力接近或等于临界值时,接触面上的导电和磨损性能取得均衡,既能保证供电性能,又实现了摩擦副材料的总损失最小。因此,若在某一接触压力作用下使受流滑板与第三轨接触区的法向压应力接近或等于临界值,则该接触压力就是理想的标称静态接触压力设计值。法向压应力临界值与两接触体的尺寸、材料以及通过的电流密度等多种因素相关,需要经过大量的试验研究才能确定。法向压应力临界值的具体取值将成为今后的研究重点。

参考文献

[1] 柳拥军.城市轨道交通[M].北京:科学出版社,2016:10.

(上接第105页)

通过对比金湖广场站车站原始设计方案及优化方案的仿真结果发现,优化方案可明显改善车站站厅层客流流线,提升客流流速,减少换乘时间。在既有的土建工程条件下,优化方案可分步实施。其中,优化措施三与措施四涉及1号线车站既有运营部分的土建改造,可视3号线开通后的具体客流情况再实施。

参考文献

[1] 史海欧,孙元广.地铁系统能力和服务水平的若干设计标准探讨[J].城市轨道交通研究,2012(6):23.
[2] 孙元广,杨乃莲,史聪灵,等.基于行人仿真技术的轨道交通多

- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通 第三轨受流器:GB/T 32589—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通钢铝复合导电轨技术要求:CJ/T 414—2012[S].北京:中国标准出版社,2013.
[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通车辆组装后的检测与试验规则:GB/T 14894—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.
[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通 供电系统和机车车辆运行匹配:GB/T 28027—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
[6] 谭协民,谭振兴,程卫群,等.用于广州地铁14/21号线的新型地铁车辆第三轨下部气动受流器设计[J].数字通信世界,2015(7):202.
[7] HARTLAND D.High-speed third rail shoe gear[J].Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit,1995,209:77.
[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁车辆通用技术条件:GB/T 7928—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
[9] 杨晓艳.基于分形理论的受流器/第三轨动态接触特性研究[D].北京:北京交通大学,2015.
[10] HANDZEL P Z, KLIMCZAK T, POLIJANIUK A.On the experimental verification of the Greenwood-Williamson model for the contact of rough surface[J].Wear,1992,154(1):115.
[11] GOERKE D,WILLNER K.Normal contact of fractal surfaces: experimental and numerical investigations [J].Wear,2008,264(7):589.
[12] HOLM R.Electric contacts[M].New York:Springer.1967.
[13] 董霖,陈光雄,朱曼旻,等.地铁钢铝复合式第三轨/受电靴载流摩擦磨损特性研究[J].摩擦学学报,2007(3):274.

(收稿日期:2018-05-18)

线换乘车站设计研究-以广州天河公园站为例[J].中国安全生产科学技术,2014,10(10):106.

- [3] 刘智成,史聪灵,钟茂华,等.地铁车站突发客流疏散运输能力的理论计算与分析[J].中国安全科学学报,2006,16(9):34.
[4] 广州地铁设计研究院股份有限公司.南宁市轨道交通一号线客流预测修编[R].广州:广州地铁设计研究院股份有限公司,2010
[5] 广州地铁设计研究院股份有限公司.广州地铁列车、车站服务水平调研及服务等级分类研究[R].广州:广州地铁设计研究院股份有限公司,2016
[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.

(收稿日期:2019-05-08)