

地铁车辆轮轨低粘着问题改善措施探讨

陈国清, 郑玄

(广州地铁集团有限公司, 广州 广东 510310)

摘要:通过对轮轨低粘着问题的主要因素分析, 探讨了地铁车辆在低粘着条件下的几种改善措施, 重点对撒砂系统进行研究, 从撒砂原理、控制方式、试验效果等方面进行阐述, 试验表明增设撒砂系统能有效提高轮轨间的粘着系数。

关键词: 地铁车辆; 撒砂系统; 轮轨粘着

中图分类号: U231; U260.11⁺5 **文献标识码:** B

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.03.023

目前国内地铁建设已经进入一个快速发展阶段, 不少城市地铁线路向城市外围发展, 其线路特点相对于传统地下线路有所变化, 如站间距长、运行速度高(100 km/h及以上)、线路多为地面露天高架、常采用大小交路及快慢车运营等。因此, 在车辆设计开始, 就需要为适应这些新特点而进行深入研究, 其中一个重要的课题就是针对高架露天线路如何改善轮轨间低粘着问题。

1 轮轨低粘着影响因素

在垂向静荷重 P 的作用下(图1), 轮轨接触面将发生弹性形变, 形成椭圆形接触区, 当车轮在驱动力矩 M 作用下向前滚动时, 在接触面上会产生切向力 F (F 即轮周牵引力), 且 $F=M/R$ (R 为半径), 轮轨接触的这种状态成为轮轨粘着。在理论研究中, 为了更好地评判粘着性能的优劣, 轮轨间能传递的最大切向力 F_{μ} 与垂向静荷重 P 的比值定义为粘着系数 μ 。

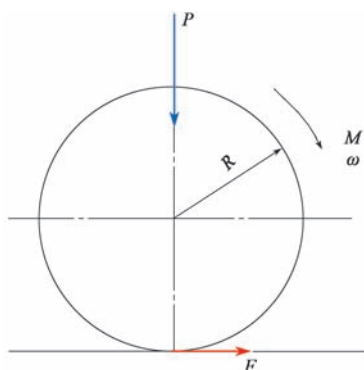


图1 轮轨接触面切向力

$$\text{粘着系数}(\mu) = \frac{\text{最大切向力}(F_{\mu})}{\text{垂向静荷重}(P)}$$

地铁车辆运行的特点是高牵引力和制动力, 为了获得这样的能力, 需要相对较高的轮轨粘着, 这样在一定的 P 下, 就能传递较大的 F_{μ} 。对于传统的地下线路来说, 处于隧道内干轨条件下, 轮轨粘着系数较高, 一般取值为 0.14~0.16, 而对于地面高架线路, 粘着系数则不确定, 下面对几个主要因素进行研究。

1.1 轮轨表面状况

多方研究表明, 地面露天高架线路的轮轨表面状况是轮轨粘着影响的主要因素。首先, 雨水对轮轨粘着系统影响非常大, 因雨雪、雾、露水等作用, 钢轨表面极易生锈, 污染物大多为铁的氧化物, 在蒙蒙细雨下, 此时水与铁锈颗粒、固定磨粒以及污染物等形成粘性膏状润滑物质, 极易造成轮轨粘着下降。此外, 地铁车轮的轮缘润滑油渗透到轨道表面, 使得轮轨粘着相较于水介质下降更低, 落叶、树梗在车轮碾压后在轨道表面形成难以去除的浆汁, 也使得轮轨粘着系数急剧下降。

1.2 车辆运行速度

图2为国外经过多年试验而得出的在不同轨面条件下的粘着系数影响分布图。图中蓝色区域表示干轨, 黄色区域表示湿轨, 绿色区域表示湿滑轨道。当列车速度为 80 km/h 时, 3种轨面的粘着系数约为 0.14~0.18, 0.08~0.14, 0.06~0.08; 当列车速度为 100 km/h 时, 3种轨面的粘着系数约为 0.13~0.17, 0.07~0.13, 0.05~0.07; 当列车速度为 120 km/h 时, 3种轨面的粘着系数约为 0.12~0.16, 0.06~0.12, 0.05~0.06。从以上数据可以看出, 总的趋势是随着速度的提高, 粘着系数有所下降。

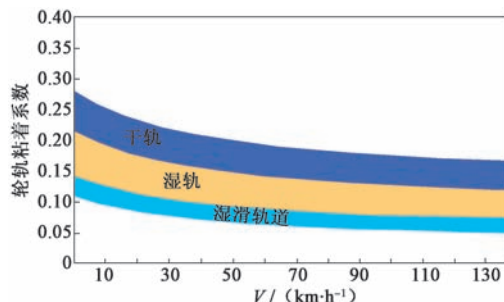


图2 不同工况下的粘着系数分布

2 轮轨低粘着改善措施

通过对影响轮轨粘着系数主要因素的分析,对于车辆系统来说,降低运行速度势必会影响线路运营效率,因此唯一的办法就是通过改变轮轨间的表面状况来改善并提高粘着系数。目前国内外通常的做法是采用磁轨制动、研磨子、撒砂等方案。

2.1 磁轨制动

磁轨制动是在电磁吸力的作用下,磁靴牢牢地吸附在钢轨上,靠磁靴和钢轨的摩擦阻力产生制动,摩擦力则取决于磁靴与钢轨面的滑动摩擦系数以及磁靴间的电磁吸力。根据摩擦材料特性,随滑动速度的减少,磁靴和钢轨的摩擦力会相应增加。环境气候对磁轨制动的影响极小,因此可以为车辆提供一种非粘着制动力。虽然磁轨制动和轮轨间的粘着状态无直接关联,但施加磁轨制动作用后,有清扫钢轨表面的作用,因此,对后续车轮的实际粘着利用有提高作用。但磁轨制动通常受到地铁车辆转向架安装空间及重量的限制而使实际应用受到限制,主要应用在有轨电车方面。

2.2 研磨子

研磨子由填料和纤维粘合而成,填料以金属铁粉为主、铝矾土为辅配成,纤维主要选用钢纤维和矿物纤维混合而成。研磨子类似于闸瓦的磨耗件,在列车的行进过程中,研磨子压在车轮踏面上,清扫车轮表面的雨水、油污、锈迹、尘埃及杂质等,增大轮轨间的接触面积,对轮轨间粘着性能有一定改善。但研磨子需要连续数分钟与车轮发生摩擦,要求其具有良好的耐磨性和耐热性,以满足不产生火花、烟雾和对车轮的损伤,这就对复合材料提出了更高的要求,因此,在使用范围上存在一定的局限性。

2.3 撒砂

撒砂是目前国内外应用最广泛、最成熟的方案,也是轮轨表面状况改善效果最直接的方案,通过撒砂可以破坏轮轨接触表面间的污染膜,增大轮轨表面间的粗糙度,从而增大轮轨间的粘着力。下面就主要从撒砂系统的控制原理、控制方式以及试验效果等方面对该系统如何充分改善粘着效果进行说明。

1) 控制原理

如图3所示,撒砂控制系统主要由撒砂控制电磁阀、干燥控制电磁阀、减压阀(压力可在0.3~0.6 MPa之间调整),撒砂器等组成。砂箱还有电加热功能,可以通过加热空气来对砂箱内的砂子进行干燥。

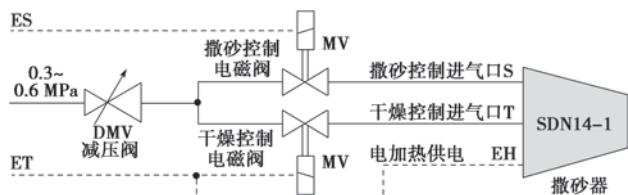


图3 撒砂控制系统原理图

撒砂器安装在图4所示的砂箱c底部。砂箱控制用风有2路:一路为从T口进入撒砂器的压缩空气用于砂箱内砂子干燥;另一路为从S口进入撒砂器的压缩空气用于实际撒砂。在撒砂控制器上分别设有对应输出不同压力的减压阀,通过各自的电磁阀控制,使需要的压力从撒砂器的S口(撒砂)或T口(干燥)进入砂箱。

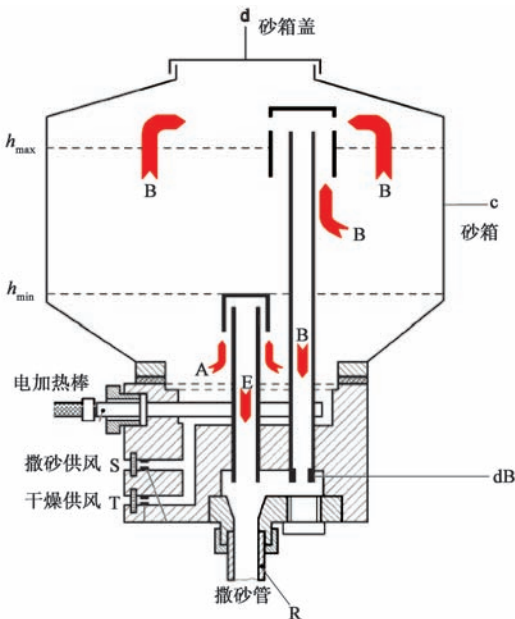


图4 撒砂器工作原理

当撒砂器仅处于干燥状态时,撒砂控制器上的干燥电磁阀得电,从而将干燥所需的减压压缩空气从撒砂器底部通过电加热棒(根据外温条件由人工控制是否需要投入工作)进入砂箱c。由于进入砂箱c的干燥空气压力及流量不足以使砂箱c中的砂子被带动至喷砂管内,因此,进入砂箱内的干燥空气仅用于干燥砂子的目的,该较小压力及流量的压缩空气主要通过喷砂管(图4中的气流A→E),还有少量空气通过砂层后进入砂箱内的呼吸管(图4中的气流B),再通过撒砂管R通入大气,这样使砂箱内的砂子保持干燥及松散状态,增加撒砂时的砂的流动性。

当撒砂器处于撒砂状态时,撒砂控制器上的撒砂电磁阀得电,从而将撒砂所需的减压压缩空气从撒砂器底部通过电加热棒(根据外温条件由人工控制是否需要投入工作)进入砂箱c。进入砂箱内的撒砂压缩空气分为2股:大部分气流A将砂子带入喷撒器内(图4中的气流A→E);小部分气流B在穿过砂层后通过呼吸管进入喷撒器(图4中的气流B)。气流A及气流B共同作用将进入喷撒器内的砂子通过喷撒管R撒向钢轨表面。

2) 控制方式

触发撒砂动作的方式通常由手动方式与自动方式组合而成。手动控制主要用于测试撒砂功能及特殊紧急情况时使用;自动控制方式可以综合考虑牵引空转、