

地铁接触轨偏磨分析研究

黄长海

(青岛地铁运营有限公司, 山东 青岛 266100)

【摘要】本文主要介绍了地铁供电接触轨系统中钢复合轨存在的偏磨问题, 研究导致接触轨偏磨现场发生的因素与直接原因, 对现场偏磨接触轨相关参数进行数据对比分析, 提出有效调整解决措施, 从一定程度上延长了钢铝复合轨寿命周期, 确保了地铁供电的稳定性。

【关键词】集电靴; 接触轨; 偏磨; 无电区; 拉弧

引言

地铁供电使用 DC1500V 接触轨下部授流方式, 车辆选用 4 动 2 拖 6 辆编组, 电客车通过集电靴与接触轨之间接触得电牵引, 自开通已经四年多的时间, 在运营人员日常对接触轨检修维护中, 发现部分接触轨不锈钢钢带与集电靴碳刷磨痕出现偏离不锈钢钢带中心线的现象, 当碳刷磨痕磨至接触轨受流面外沿且磨痕宽度小于碳滑板自身宽度时, 称之为接触轨“偏磨”现象。

不锈钢钢带上的集电靴碳刷磨痕一定程度代表着集电靴与接触轨接触的面积与轨迹关系, 部分区段偏磨接触轨钢带磨耗不均匀, 有的甚至近乎磨耗达到铝本体表面, 碳刷与接触轨受流面变小, 存在接触轨打火拉弧现象, 严重时会导致集电靴脱靴造成靴轨故障。随着运营时间的增加, 越来越多的接触轨钢带面厚度不满足技术标准规范需要进行更换, 接触轨使用寿命周期缩短, 运营风险增大, 遂解决接触轨偏磨问题对接触轨的全生命周期维护保养具有一定的必要性及重大意义。

一、接触轨的偏磨影响

(一) 接触轨偏磨导致脱靴

正常的靴轨关系为电客车通过集电靴碳滑板与钢铝复合轨受流面充分接触取流得电, 当碳滑板滑行轨迹偏离接触轨受流面中心时, 碳滑板与钢铝复合轨接触面积较小, 严重时造成集电靴脱靴, 影响正常取流。

(二) 接触轨偏磨加剧接触轨机械磨耗

当靴轨关系正常情况下, 接触轨集电靴碳滑板与接触轨受流面摩擦相对运动时二者发生摩擦或冲击引起, 正常的机械磨耗能使接触轨的磨损均匀且接触轨的使用寿命满足规范要求: 钢带磨耗量为 0.05mm/70 万次; 当发生接触轨偏磨情况时, 碳滑板仅单向偏磨接触轨受流面某一边缘, 接触轨受流面磨损不均匀, 局部磨损严重, 会导致接触轨机械磨耗量高于接触理论值, 加剧接触轨的机械磨损, 当接触轨

钢带厚度 $\leq 1\text{mm}$ 时, 需及时对钢铝复合轨进行更换。

(三) 接触轨偏磨加剧接触轨电气磨耗

电气磨耗是指由于运行中的集电靴与接触轨受流面接触不良或集电靴离开端部弯头处引起的电火花或电弧而造成的磨耗; 当接触轨发生偏磨时, 接触轨受流面与集电靴接触不良, 受流面磨耗加剧、造成打火拉弧等现象。

二、接触轨钢带磨耗原因

接触轨钢带磨损主要受机械与电气两方面因素影响。

(一) 机械磨耗

机械磨耗为集电靴与钢带表面摩擦挤压, 长期钢带表面产生的形变。机械磨耗主要由集电靴与集电靴碳滑板在钢带表面滑动摩擦力 f 决定。经查阅车辆资料得知, 集电靴升靴时工作为 252mm, 当接触轨导高大于 252mm 时, 集电靴碳滑板对接触轨压力为 0; 使用推拉力计向下按压碳滑板模拟接触轨导高为 200mm 时情景, 经测量集电靴碳滑板正压力为 120N。由于碳滑板对接触轨压力由受流器自身扭簧提供, 集电靴碳滑板与接触轨之间压力可以等效为扭簧形变量产生的弹力即 $F=K \Delta X$, 经现场实验模拟接触轨不同导高情况靴轨间压力, 当接触轨导高越低时, 集电靴碳滑面对接触轨受流面的正压力 F_n 增大, 由于滑动摩擦力 $f=\mu F_n$, 摩擦力与正压力成正比, 也就是说接触轨设置高度越低, 碳滑板工作面与接触轨受流面滑动摩擦力越大。 μ 为动摩擦因数, 其大小由接触面粗糙度决定, 当电客车行驶至放电拉弧较严重接触轨时, 由于打火拉弧接触轨受流面存在打火点形成的凹凸不平颗粒状小坑, 其滑动摩擦力也会随之增大, 所以我们得出结论当电客车行驶至接触轨导高小于 200mm 及接触轨易打火烧伤部位时, 其碳滑面与接触轨间滑动摩擦力增大, 其钢带磨耗量程度加重。

(二) 电气磨耗

电气磨耗在集电靴与接触轨间持续取流会使取流点产生热量, 接触轨钢带受热量影响, 机械强度降

低,接触轨受流面与碳滑板面存在不同程度的磨损,首先分析接触轨与集电靴之间温升影响变量。

$$Q=I^2Rt \text{ (焦耳定律)} \quad (1)$$

$$R=\rho l/S \text{ (电阻决定式)} \quad (2)$$

$$\Delta T=Q/cm \text{ (比热容公式变形)} \quad (3) \text{ 式中:}$$

Q ——热量, J;

I ——电流, A;

R ——电阻, Ω ;

T ——时间, s;

P ——电阻的电阻率(是由其本身性质决定);

L ——电阻的长度;

S ——电阻的横截面积;

C ——比热容

m ——质量;

接触面积大小与接触部分温升高低的关系如下:

$$\Delta T=;$$

其中集电靴碳滑板密度由 d 表示,从公式中我们可以看出,集电靴碳滑板电阻率 ρ 固定,比热容 c 固定,集电靴密度固定,也就是说,在集电靴与接触轨相对运动过程中产生的电气温升,其与电流的平方成正比,与集电靴碳滑板接触面积的平方成反比。

当其存在偏磨情况时,集电靴碳滑板与接触轨受流面接触面积变小,其放热量增大,部分电流强度超过其开断电流值,产生拉弧放热,造成接触轨受流面处形成电气磨耗。

通过查阅车辆资料,我们发现列车电流变化与列车加速度大小有直接关系,加速度较大时,列车取流、馈流较大,通常达 $100 \sim 700 \text{ A}$ 。

三、接触轨偏磨原因

理论上接触轨偏磨多原因:主要原因有接触轨受流面与钢轨面不平行、导高拉出值超标、设备出厂存在误差等原因,我们就其中主要原因展开分析:

(一) 钢轨面与接触轨面不水平

曲线段钢轨外轨超高。由于机车车辆在曲线上行驶时产生离心力,使外轨承受较大的压力,发生剧烈的侧面磨耗,并使旅客感觉不适,严重时甚至会造成倾覆事故。为此须将外轨抬高到一定的程度,利用车体重力产生的向心分力(向心力)来平衡离心力,也称为“外轨超高”现象,即在曲线段时远离圆心曲线外侧钢轨存在一定抬升量。当钢轨内外轨高不一致时,车辆与线路中垂线间存在一定角度,使其集电臂较直线行驶时存在一定角度,导致碳滑板倾斜,与接触轨受流面存在角度,导致偏磨现象发生。

另外接触轨由于弯道处受自身重力及热胀冷缩影响,在卡爪允许的自由伸缩量中发生偏移,导致受流面与集电靴碳滑板之间存在一定角度,我们在现场实际偏磨点位进行数据统计分析进行验证。

在日常检修维护保养期间发现“偏磨”接触轨

共计 2.51 km , 约占线路总长的 4% , 就其中比较有代表性选取两个偏磨区间:选取 30 个偏磨抽样样本进行分析,其中分析数据主要包括现场接触轨导高拉出值技术参数、所处区段是否位于曲线段、行车方向为凸曲线(列车向右转弯)/凹曲线段(列车向左转弯)、现场受流面偏磨位置等角度进行分析偏磨点位随即抽取 44 组偏磨数据定位点进行统计分析,偏磨定位点导高拉出值均符合接触轨标准值范围区间内(导高 $200 \pm 5 \text{ mm}$, 拉出值 $752.5 \pm 5 \text{ mm}$), 其中偏磨点位位于曲线段 34 处,直线段 10 处,曲线段偏磨占比 77% , 曲线段中行车方向处于凹曲线即近接触轨侧外轨超高偏磨点位 32 处,占比 94% , 且行车位于凹曲线接触轨偏磨位置均处于远离钢轨侧方向,凸曲线均处于近钢轨侧位置。

由于接触轨固定于绝缘支架上,绝缘支架垂直于线路中心线,正常情况下,接触轨平行于钢轨基准面,当列车行车路线为“凹曲线”时,存在近接触轨侧外轨超高情况时,车体与线路中垂线存在一定倾斜角,使集电靴碳滑板与接触轨受流面间存在一定角度(图 1),如图中“1”所示;集电靴碳滑板仅与远离线路侧接触轨受流面接触,所以仅远离钢轨侧存在碳刷磨耗,反之,当列车行车路线为“凸曲线”时,存在远离接触轨侧外轨超高情况,如图中“2”所示,集电靴碳滑板仅与近线路侧接触轨受流面接触,所以仅近钢轨侧存在碳刷磨耗,由于车体存在“倾斜”其受流臂与线路垂直方向夹角不同程度的变大或变小,导致碳刷面不水平,不能与接触轨受流面充分接触,导致接触轨偏磨。

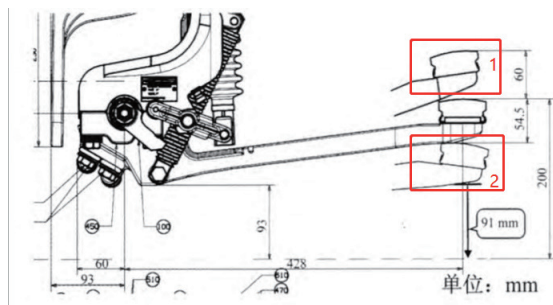


图 1 接触轨集电靴碳滑板位置

现场还存在 30% 直线段接触轨偏磨问题,针对此类问题,其两钢轨无超高情况,轨面水平,且垂直于绝缘支架,正常情况下钢铝复合轨纵向中轴线应与绝缘支架平齐,钢铝复合轨受流面与两钢轨轨顶组成的平面应水平。且接触轨导高拉出值参数为标准值时,集电靴碳滑板应延接触轨受流面中心线摩擦相对运动取电。我们就直线段接触轨导高、拉出值进行测量,分析其是否为影响接触轨偏磨的主要因素。

(二) 接触轨的导高、拉出值超标

拉出值即接触轨受流面中心线至相邻走行轨内

缘的水平距离。青岛地铁接触轨拉出值采用标准值 752.5mm，经车辆专业资料查找，列车集电靴碳刷中心距相邻走行轨内缘的水平距离为 754mm，理论上拉出值符合标准值接触轨，当碳滑板运动时刚好磨接触轨中心线，当接触轨拉出值偏大或偏小时，碳滑板与只与接触轨受流面某一侧面接触，形成偏磨。我们选取东韩-华楼山下行 K49+205 直线段位置进行测量，经测量该位置接触轨与钢轨面平齐，选取相邻 5 个定位点进行测量，发现导高为 200mm 标准值，拉出值为 757.5mm 左右偏大，集电靴碳滑板仅与接触轨受流面近钢轨侧接触，导致存在偏磨。另外我们发现存在直线段，接触轨水平、拉出值均无问题区段，其导高偏大，导致碳滑板抬升至极限值后存在倾斜，也会出现偏磨问题。

（三）接触轨受流面与集电靴碳刷出厂时的平齐度偏差

接触轨出厂时受流面平齐程度决定着靴轨位置关系，假设接触轨受流面与集电靴碳刷出厂时存在不平整情况，那么在靴轨运动中，势必存在部分碳刷磨不到接触轨的情况，在地铁建设中，需严格按照国标规范进行选料，保证接触轨集电靴碳滑板与接触轨受流面间平滑程度。

四、整改措施

根据现场偏磨规律，我们把偏磨问题分为两类分别采取不同整改措施并持续观察整改效果。

（一）接触轨受流面与钢轨面不平行

外曲线超高及接触轨受流面不水平我们归类为第一种偏磨现象，其根本原因为接触轨受流面与钢轨面不水平导致集电靴碳滑板与接触轨接触间存在角度，由于钢轨面固定，我们准备调整接触轨受流面水平度来整改偏磨问题。接触轨安装于绝缘支架上部，支撑绝缘支架的金属底座延道床轨枕排布，我们利用调整绝缘支架底面与金属底座顶面间的角度进而调整接触轨的水平度。如图所示我们在凹曲线行车段、偏磨远离钢轨侧通过在 b 处加装 20*20*3mm 垫板方式连续整改若干个定位点（图 2）。

其中假设在 b 点下方垫 x 个 3mm 厚垫板，我们将绝缘支架模拟为一个直角三角形结构，其中加装垫板位置 b 与三角形底角相距 175mm，其中 b 点抬升量为 3xmm，抬升后绝缘支架位置如（图 2）虚线三角形所示，抬升后支架间存在角度 α ，与支撑接触轨角度 β 相同，其中接触轨逆时针旋转调整角度 $\beta = \alpha = \arctan$ ，我们可以根据通过现场测量曲线外轨超高钢轨平面与道床角度，将绝缘支架下方垫相应数量垫板。同理在凸曲线段，我们在 a 处加装 y 个垫板，a 距离三角形底边为 295mm，其接触轨顺时针调整角度 $\gamma = \arctan$ 。考虑到每个跨距绝缘支架支撑约 70kg 接触轨，为保证设备安全性，绝缘支架倾角应 $< 5^\circ$ ，即 b 处添加垫板不多于 5 个，a 处添加垫板不多于 24 个。

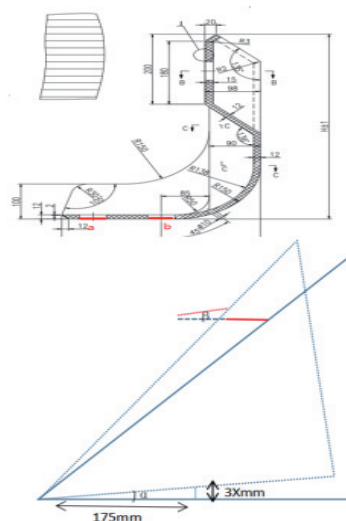


图 2 绝缘支架垫升模拟三角形

对整改前碳刷磨痕中心线偏离接触轨中心线距离进行测量并擦除原先碳刷印，经整改后复测，偏移值明显减少，消除偏磨现象。

（二）接触轨导高拉出值问题

部分接触轨定位点接触轨导高拉出值存在偏大或偏小问题，围绕在接触轨导高标准值（ $200 \pm 5\text{mm}$ ）及拉出值标准值（ $752.5 \pm 5\text{mm}$ ）范围内进行调整。

在偏磨位置位于远离钢轨侧时，将接触轨拉出值调大（但不超过极限值 757.5mm），同时将接触轨导高调低（但不超过极限值 195mm）；同理在偏磨位置位于近钢轨侧，我们将接触轨拉出值调小（但不小于极限值 747.5mm），同时将接触轨导高调高（但不超过极限值 205mm），经上述调整后同样对整改前碳刷磨痕中心线偏离接触轨中心线距离进行测量并擦除原先碳刷印，经整改后复测，偏移值明显减少，消除偏磨现象。

此外，积极研究对绝缘支架形式，对其重新进行设计，试点生产出厂底面自带一定斜度的支架，用于安装于隧道大曲线区段，以抵消接触轨面与钢轨面存在倾角偏磨问题。

结语

接触轨偏磨随在短期对接触轨供电系统不会造成影响，但长期以往会使接触轨一侧钢带磨耗严重，缩短了接触的使用寿命，本文利用现场偏磨问题大数据台账作为支撑，并尝试使用理论计算理清接触轨偏磨问题的原因并施加有效整改措施，为这类电接触系统在运营生产中碰到类似问题时提供一个分析思路。

参考文献：

- [1] 郭远哲. 广州地铁 6 号线集电靴烧伤原因分析[J]. 城市轨道交通, 2014(5): 156-160
- [2] 张志伟. 广州地铁接触轨系统钢铝复合轨钢带偏磨原因分析[J]. 学术研究, 2019(4): 430