

运用检修

HXD3C型机车在鹰厦线小半径曲线轮缘磨耗原因分析

郑箭锋

(南昌铁路局 总师室,江西 南昌 330002)

摘 要: 分析了SS_{3B}、HXD_{3C}型电力机车在鹰厦线轮缘磨耗规律,并与运行于京九线的HXD_{1C}型机车轮缘磨耗情况进行了对比,提出了冲角、导向力是导致轮缘磨耗的主要因素,并给出了减缓轮缘磨耗的措施。“干式润滑涂覆法”简单易行,有效减少了轮轨间磨耗。

关键词: 电力机车; HXD_{3C}型; 轮缘磨耗; 冲角; 鹰厦线

中图分类号: U269.6; U260.331⁺.1 文献标识码: B
文章编号: 1000-128X(2013)03-0094-03

1 概述

随着直供电旅客列车的大量运用,南昌机务段自2010年10月始陆续配属了48台可以向旅客列车提供DC 600 V电源的HXD_{3C}型电力机车,担当包括南昌至厦门间的旅客列车牵引任务。该型机车自在鹰厦线投入运用以来,车轮镟修频繁,至今已有31台HXD_{3C}型机车因轮缘外形尺寸近限而镟修,严重影响了机车轮对使用寿命。为了最大限度地减少轮轨间磨耗,降低HXD_{3C}型电力机车检修成本和线路维护费用,有必要对轮轨磨耗原因进行分析,为减缓轮轨磨耗提供参考和依据。

1.1 鹰厦线小半径曲线概况

鹰厦线北起江西鹰潭,南至福建厦门,线路全长694 km,1957年底竣工通车,1993年12月电气化全线开通。鹰厦线南段沿江修建,地势险要,北段崇山峻岭坡陡弯急,其最小曲线半径 $R_{\min}=247$ m,400 m半径以下计700余处,长度累计200余公里(具体情况见表1),最大坡度为22.6‰,坡度大于20‰的,共计20处。

表1 鹰厦线小半径曲线情况

曲线半径/m	$247 \leq R \leq 250$	$250 < R \leq 300$	$300 < R \leq 400$
数量	240处	289处	207处
累计长度/km	67.6	101.1	56.7

1.2 鹰厦线电力机车轮缘磨耗情况

轮轨磨耗严重一直以来是鹰厦线由来已久的问题。为了方便分析,选择转向架均为六轴结构的SS_{3B}和HXD_{3C}型电力机车为研究对象(2种车型的走行部

主要技术参数见表2),分别统计了运行于鹰厦线的福州机务段和南昌机务段2011年以来14台SS_{3B}和8台HXD_{3C}型电力机车轮缘磨耗数据,并与运行于京九线(阜阳至龙川北)的向塘机务段70台HXD_{1C}机车(HXD_{1C}型机车走行部主要技术参数与表2的HXD_{3C}型机车相同)轮缘磨耗数据进行了对比。车轮轮缘磨耗量与机车走行公里数的关系见图1所示。

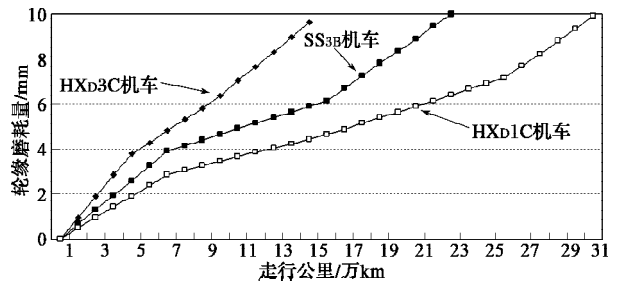


图1 轮缘磨耗与机车走行公里关系

表2 SS_{3B}、HXD_{3C}型电力机车走行部主要技术参数

技术参数	SS _{3B} 型机车	HXD _{3C} 型机车
轴式	C ₀ -C ₀	C ₀ -C ₀
轴距/mm	2 300+2 000	2 250+2 000
轴重/t	23	25
机车总重/t	138	138
通过最小曲线半径/m (机车速度≤5 km/h时)	125	125
转向架相对车体横动量/mm (2、5轴处/1、6轴处)	25/95	25/104
轮对横动量/mm	3.5-28.25-3.5(单侧)	±(10-25-10)
向旅客列车提供电源	/	DC 600 V
轮轨润滑装置	1、6位喷脂润滑	1、6位喷脂润滑
踏面类型	JM3磨耗型	JM3磨耗型

根据图1,可以发现机车轮缘磨耗可以分为3个阶段。第一阶段为初期激烈磨耗期,这一时期轮缘磨耗量随走行公里数呈线性递增,磨耗速率相对稳定,轮缘磨耗较快;第二阶段为稳定磨耗期,轮缘磨耗量相对减少,轮缘磨耗速率变缓;第三阶段是快速磨耗期,该阶段轮缘磨耗速率又相对变大,磨耗量增加。运行于鹰厦和京九线的SS_{3B}、HXD_{3C}和HXD_{1C}型机车轮缘磨耗规律和镟修周期见表3。

表3 鹰厦、京九线SS_{3B}、HXD_{3C}和HXD_{1C}型机车轮缘磨耗规律

车型	激烈磨耗期		稳定磨耗期		快速磨耗期		平均镟修周期/ 万 km
	运行公里/ 万 km	平均磨耗量/mm· (万 km) ⁻¹	运行公里/ 万 km	平均磨耗量/mm· (万 km) ⁻¹	运行公里/ 万 km	平均磨耗量/mm· (万 km) ⁻¹	
SS _{3B}	0~6	0.65	6~15	0.25	15~21	0.55	22
HXD _{3C}	0~4	0.95	5~9	0.50	10~15	0.65	15
HXD _{1C}	0~6	0.48	7~25	0.22	26~30	0.55	30

由于京九线南昌局管内最小曲线半径均在400 m之上,结合表1、表3可知曲线半径是轮缘磨耗的因素之一。

2 曲线轮缘磨耗分析

轮轨相互作用过程是一个非常复杂的摩擦学过程,轮轨相互作用的许多方面都与摩擦学密切相关。

收稿日期: 2012-12-03

国内外多年来对此进行了深入仔细的研究,虽取得了一些理论和试验结果,但至今未能从理论上解释轮轨相互作用的机理,轮轨磨耗也是多年来国内外没有一个公认的评定指标。

近年来滚动接触力学的发展表明,轮轨间的磨耗与摩擦功成正比,轮轨接触面之间所耗散的摩擦功基本上能代表轮轨磨耗量^[1]。也就是说与轨头侧面作用于轮缘的导向力(又称轮缘力)、轮缘与钢轨侧面的摩擦系数以及轮缘侧面的滑动量三者的乘积成正比;而其中滑动量又与机车第一轮对过曲线时形成的冲角成正比。因此,轮缘的导向力与车轮冲角乘积是轮缘磨耗的因素,以此可以分析判断轮缘在曲线上磨耗的快慢。

2.1 机车转向架对外轨冲角的计算

如图2所示,外轨内侧半径 $R_{\text{外}} = R + \frac{\delta}{2}$ (R 为曲线半径,下同);内轨外侧半径 $R_{\text{内}} = R - \left(\frac{\delta}{2} + \Delta\right)$, $R_{\text{外}} - R_{\text{内}} = \delta + \Delta$ 。为了简化三轴转向架在曲线上的几何关系,故采用轴线法进行表示。即用“ $\delta + \Delta$ ”表示轨距(其中 δ 为轮缘与钢轨间间隙, Δ 为曲线加宽度,两者之和为轮轨总间隙); AC 表示转向架, A 、 B 、 C 点表示轮对。第一轴 A 贴靠外轨,向外横动 y_1 ;第二轴 B 既不靠外轨也不靠内轨;第三轴 C 贴靠内轨,横动为 y_3 ,曲线中心 O 对 AC 的垂足 Ω 为转极,那么某轴至转极的距离为该轴的极距。

由此,第一轴转极:

$$x_1^2 = OA^2 - O\Omega^2 = OA^2 - OC^2 + L_3^2 - 2L_3x_1 + x_1^2$$

$$\text{化简得: } x_1 = \frac{L_3}{2} + \frac{OA^2 - OC^2}{2L_3}$$

由于 $OA = R - y_1$ (y_1 为负值), $OC = R - y_3$, 其中 L_3 为三轴转向架固定轴距,

$$\text{因而, } x_1 = \frac{L_3}{2} + \frac{OA^2 - OC^2}{2L_3} = \frac{L_3}{2} + \frac{R(y_3 - y_1)}{L_3}$$

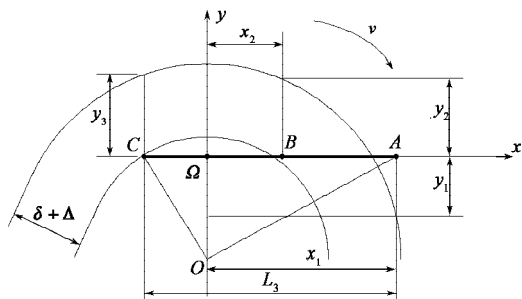


图2 三轴转向架在曲线上的位置

机车转向架对外轨冲角实际上就是转向架与轨道的夹角,即第1轮对的外轮对于外轨的夹角(图3所示)。由于这个夹角 α 较小,那么可以近似地求出 $\alpha \approx \frac{x_1}{R}$ (弧度)。将 x_1 代入 $\alpha \approx \frac{x_1}{R}$ 得: $\alpha \approx \frac{x_1}{R} = \frac{L_3}{2R} + \frac{(y_3 - y_1)}{L_3}$ (弧度),由此式知:曲线半径 R 越小,冲角 α 则越大。

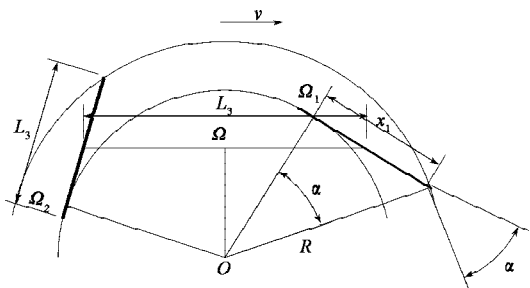


图3 转向架处于最大位置时转向架与轨道的夹角

根据表2,SS3B机车转向架三轴固定轴距为(2.3+2)m,各轴相对于轴箱,轴箱相对于转向架构架横动量叠加之和为 $\pm(0.0035 - 0.02825 - 0.0035)$ m,因此,SS3B机车在 $R=250$ m曲线半径上的第1轮对转心距:

$$x_1 = \frac{2.3+2}{2} + \frac{250(0.031+0.0035+0.0035)}{(2.3+2)} = 2.15 + 2.2 = 4.35 \text{ m}$$

(根据《铁路技术管理规程》曲线半径 < 350 m时,轮轨总间隙 $\delta + \Delta = 0.031$ m)

则,SS3B机车在曲线半径 $R=250$ m的曲线上冲角:

$$\alpha_1 = \frac{4.35}{250} = 0.0174 \text{ (rad)} = 0.997^\circ$$

同理,HXD3C机车的冲角为:

$$\alpha_2 = \left[\frac{2.25+2}{2} + \frac{250(0.031+0.02+0.02)}{(2.25+2)} \right] \div 250 = \frac{6.302}{250} =$$

$$0.0252 \text{ (rad)} = 1.445^\circ$$

由此,HXD3C机车的冲角 $\alpha_2 > \text{SS3B机车的冲角 } \alpha_1$ 。

2.2 冲角与轮缘磨耗的关系

如图4所示,机车通过曲线时,转向架第一轮对外轮贴靠外轨,并形成冲角 α ,轮缘与钢轨的接触点 A 超前于踏面与钢轨的接触点 B 。前者承受横向载荷和部分垂向载荷,后者为轨顶和踏面接触区域,主要承受垂向载荷和大部分的切向载荷。

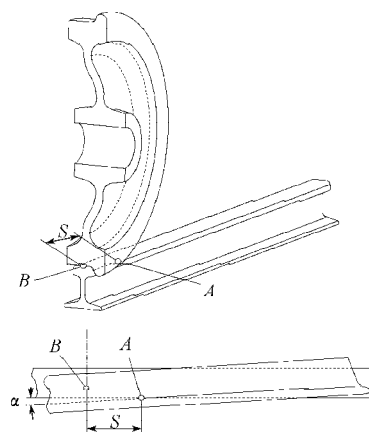


图4 当冲角为 α 时轮对与钢轨两点接触示意图

A 与 B 间的超前量

S 使得轮缘面沿轨头圆角向下滑动,外加在轮缘和轨侧的接触面上的法向载荷和切向载荷,这个滑动引起的滑动摩擦使得轮缘部位的磨耗是以表面剥离为主。其次,由于冲角的存在,轮对的角速度可以分解为垂直于钢轨方向(横向)和沿钢轨方向(纵向)的 ω_x 和 ω_y 分量,这样轮缘相当于以 $\omega_x = \omega \sin \alpha$ 角速度旋转的“砂轮”,在打磨钢轨的同时也在磨削自己。因此,冲角增大, A 与

B 间的超前量 S 也会增加,意味着轮轨间的摩擦运动行程增加,最终导致磨耗也增加。又因 $\omega_x = \omega \sin \alpha \approx \omega \alpha$ (α 比较小), ω_x 与 α 成正比,故冲角越大,钢轨“磨削”轮缘的角速度就越大,轮缘磨耗就越迅速越严重。这就是HXD3C机车比SS3B机车在鹰厦线通过同样多的小半径曲线时轮缘磨耗速度快,轮对平均镟修周期短的主要原因。

2.3 导向力、轴重与轮缘磨耗的关系

导向力的作用就是克服一切阻碍转向架的力矩,引导转向架按曲线运行。研究表明导向力与机车通过曲线速度有关,作用于前进方向第一轮对外轮的导向力 F_1 随机车速度升高而增大;作用于第三轮对内轮导向力 F_3 分3个阶段变化,当机车速度高于某值时 F_3 随机车速度升高而增大,低于该速度时 F_3 则随机车速度升高而减少,甚至为零^[2]。导向力增大后,轮缘与轨侧摩擦副上的法向载荷增大,微观蠕滑率增加,蠕滑会导致轮缘萌生裂纹,引起疲劳磨耗。因此,机车通过曲线的速度越高,至少是第1轮对外轮轮缘易因蠕滑而发生磨耗。

机车轴重是指机车静止状态下,每位轮对作用在钢轨上的重量。研究表明随着轴重的增加,轮轨滚动接触质点间接触面积、总滑动量和摩擦功都明显增加^[3]。因此,轮轨间的磨耗量也会明显增加。根据表2, HXD3C机车轴重大于SS3B机车,前者轮缘比后者易磨耗。

3 减缓轮缘磨耗的措施

根据以上分析,导致轮缘磨耗主要的因素是冲角和导向力,次之为轴重。在曲线半径一定时,冲角、导向力、轴重越大,轮缘越易磨耗。而冲角、轴重与机车结构有关,机务段不可能对其进行改造;导向力与机车通过曲线半径速度有关,而曲线半径限速是一定的,要求安全、正点的旅客列车必须按LKJ装置既定的贴近限速的速度通过曲线半径。

因此,在鹰厦线要减缓机车轮缘磨耗最主要的途径就是在确保机车轮轨润滑装置工作正常的情况下,可以采取“干式润滑涂覆法”,即在鹰厦线所有的小半径曲线钢轨内侧涂覆干式润滑油,以降低轮轨摩擦系数,减缓轮缘磨耗。由于HXD3C型、SS3B型机车通过同一曲线半径时,前者冲角比后者大,前者轮缘更易磨耗,因此建议进入鹰厦线的旅客列车自带发电车,由SS3B担当牵引任务。毕竟HXD3C机车因轮箍厚度磨耗到限更换轮饼每台份要花费 $6 \times 8.3 = 49.8$ 万元,而SS3B机车只需更换轮箍,每台份费用为 $6 \times 1.2 = 7.2$ 万元。根据HXD3C机车的性能特点,应该在曲线半径大,坡度小的线路上使用,以充分发挥大功率交流传动电力机车牵引功效。

4 结语

“干式润滑涂覆法”是比较简单易行的减少轮轨间磨耗的方法,尤其在小半径曲线应用较广。南昌铁路局漳龙线漳平—龙岩区段小半径曲线多,仅2010年上半年因轮缘磨耗导致的机车轮对大修费294万元,因曲线磨耗更换重伤轨的成本支出达238.5万元。采用“干式润滑涂覆法”(成本支出为41.4万元/年)后,上述现象立即得到遏制,2011年机车轮对大修和更换重伤轨成本分别下降了71%和88%。因此,将该方法推广到鹰厦线对于降低HXD3C机车轮缘磨耗大有裨益。

参考文献:

- [1] 沈志云. 轮轨磨耗的动力学预测及减少轮轨磨耗的措施[J]. 铁道学报, 1992, 14(2): 64-70.
- [2] 王彩云, 郭俊, 刘启跃. 曲线半径及轴重对轮轨摩擦影响的研究[J]. 机械设计与研究, 2009, 36(8): 5-8.
- [3] 李志彪. 电力机车总体及走行部[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [4] 张曙光. HXD3型电力机车[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [5] 刘友梅. 韶山3型4000系列电力机车[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.

动态消息

国产化轮轨直线电机车辆正式载客运营

近日,装载南车株洲电力机车研究所有限公司(简称公司)大功率直线电机交流传动系统、辅助供电系统、网络控制系统的广州地铁5号线国产化轮轨直线电机车辆正式载客运营。

此次广州地铁5号线轮轨直线电机车辆的正式载客运营,标志着公司已经完全掌握了城轨交通大功率直线电机的控制技术,打破了国外技术的垄断地位,填补了国内空白。该技术可广泛应用于轨道交通、国防、建筑等直线电机应用领域,提升了公司在变流领域的核心竞争力。

直线电机地铁列车(L型)是当今世界先进的城市轨道交通移动装备,与传统的旋转电机地铁列车相比,直线电机地铁列车有着工程造价低、爬坡性能好、噪声低、曲线通过能力强诸多优势,车辆无粘着条件限制,适合在大坡度、转弯多、城市地质结构复杂的区域内运行,将会有越来越多的大城市轨道交通采用直线电机车辆。

公司牵引系统在保持与原车辆接口一致性的基础上,对整个牵引系统进行了优化创新,成功解决了制动过程中和地面能量吸收装置匹配的难题,并通过控制策略的优化,避免了车辆在无感应板区域的过流问题及连续断电区保护等诸多问题。同时,牵引系统在轻量化的基础上提高了可靠性,车辆采用六编组全动车模式,全车配置3个VVVF逆变器,2个SIV辅助逆变器,双BCM冗余网络。(张毓福)