铁路科技图书出版基金资助出版

铁路曲线钢轨磨耗及其减缓措施

练松良　孙琦　王午生　编著

中国铁道出版社
2001年·北京

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书从理论和实验两方面介绍了引起轮轨磨耗的原因和机车车辆通过曲线时轮轨受力的动态计算方法。根据多年来国内外在轮轨磨耗方面的研究成果,本书较详细地阐述了引起曲线钢轨侧磨的一些因素及减缓曲线钢轨侧磨的一些方法,并对曲线钢轨不均匀侧磨也作了详细的讨论。最后对钢轨的波浪形磨耗也作了一些探讨。

本书可供大专院校的线路专业师生,及从事铁路线路的研究人员和养护维修人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路曲线钢轨磨耗及其减缓措施/练松良,孙琦,王午生编著. -北京:中国铁道出版社,2001.1
ISBN 7-113-03446-2

Ⅰ.铁… Ⅱ.①练…②孙…③王… Ⅲ.曲线-钢轨-磨损-研究 Ⅳ.U213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 39170 号

书　　名:铁路曲线钢轨磨耗及其减缓措施
作　　者:练松良　孙琦　王午生
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)
责任编辑:李丽娟
封面设计:李艳阳
印　　刷:中国铁道出版社印刷厂
开　　本:850×1168　1/32　印张:5.875　字数:153 千
版　　本:2001 年 1 月第 1 版　2001 年 1 月第 1 次印刷
印　　数:1～2000 册
书　　号:ISBN 7-113-03446-2/U·950
定　　价:15.00 元

版权所有　盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前　言

自铁路问世以来,车轮踏面和钢轨的磨耗就一直是铁路部门的一个棘手问题。世界各国对此也进行了长期的研究。随着机车车辆结构的改变,列车牵引重量的增加和速度的提高,轮轨磨耗的问题就更加突出了。

铁路曲线的钢轨磨耗和机车车辆的车轮磨耗是一个较为复杂的问题,涉及到轮轨之间的作用力、钢轨的化学成分、机械性能、金相组织等。其中最主要的影响因素——轮轨之间的作用力,也受诸多因素的影响,如机车车辆转向架的动力性能、轮轨踏面的形状、轨道几何形位、轨道刚度等。所以,铁路研究人员一直对此问题进行研究。

近年来,随着计算机应用的普及,机车车辆曲线通过的动态模拟计算也应用得越来越多了。这些模拟程序的应用为分析轮轨之间的受力提供了有力的工具。铁路曲线钢轨侧磨是一个比较现实的问题,既有共性,也有个性。不同的曲线,由于线路条件及机车车辆运行条件不同,钢轨的侧磨也就有所不同。研究减缓钢轨侧磨的目的就是要根据不同的情况选取合理的减磨措施。

本书在撰写过程中引用了陈道兴博士、刘学毅博士及其他一些学者的文章,在此表示感谢。

编　者

2000 年 8 月 23 日

于上海铁道大学

目　录

第一章　轮轨接触几何关系及钢轨伤损和磨耗成因分析…… 1

§1.1　引　言 …… 1
§1.2　机车车辆曲线通过形态 …… 2
§1.3　轮轨接触几何关系 …… 6
§1.4　曲线钢轨伤损类型及引起钢轨侧磨的原因…… 13
§1.5　冲角的测量和冲角、导向力对轮轨磨耗的影响 …… 22
§1.6　钢轨侧磨因素的评价…… 30

第二章　曲线轨道受力分析 …… 36

§2.1　概　述…… 36
§2.2　用摩擦中心法计算轮轨之间的导向力…… 36
§2.3　用蠕滑中心法计算轮轨之间的导向力…… 39
§2.4　货车转向架稳态通过曲线的力学模型…… 43
§2.5　机车车辆动力通过曲线理论…… 48
§2.6　钢轨挠曲模型…… 79

第三章　轮轨接触面的受力分析 …… 81

§3.1　轮轨接触面上法向压力和蠕滑力的计算…… 81
§3.2　轮轨接触斑面积及长短轴的计算…… 95
§3.3　轮轨两点接触时轮缘导向力的处理…… 96
§3.4　轮轨接触几何参数的计算…… 99

第四章　铁路曲线钢轨侧磨的形成及防治…… 103

§4.1　钢轨侧磨数据的测量 …… 103

§4.2 改变轨道结构几何参数对钢轨侧磨的影响 …… 105
§4.3 曲线轨道钢轨打磨对钢轨侧磨的影响 …… 124
§4.4 曲线圆顺度对钢轨侧磨的影响 …… 127
§4.5 轨道横向刚度对钢轨侧磨的影响 …… 128
§4.6 合金钢轨及淬火钢轨对钢轨侧磨的影响 …… 129
§4.7 钢轨侧面涂油和机车轮缘涂油 …… 132
§4.8 轮轨接触条件对钢轨受力及钢轨侧磨的影响 …… 138
§4.9 机车车辆构造性能及轴重等因素对曲线钢轨侧磨的影响 …… 142

第五章 曲线钢轨的不均匀侧磨…… 147

§5.1 不均匀侧磨的成因分析 …… 147
§5.2 对钢轨不均匀侧磨的评价 …… 155
§5.3 钢轨不均匀侧磨的防治 …… 158

第六章 钢轨波磨的成因及防治…… 161

§6.1 钢轨波磨的类型 …… 161
§6.2 钢轨波磨的成因 …… 164
§6.3 钢轨表面状态不良对波磨的影响 …… 171
§6.4 影响钢轨波磨的因素及预防、减缓波磨的措施…… 172
附录 机车车辆振动系统微分方程的数值解法…… 179
参考文献…… 182

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章　轮轨接触几何关系及钢轨伤损和磨耗成因分析

§1.1　引　　言

自 19 世纪 20 年代铁路问世以来,钢轨侧面磨耗就一直是铁路曲线上存在的问题。我国在 20 世纪 80 年代以前大量使用蒸汽牵引,虽然蒸汽机车固定轴距较长,但由于列车运行速度相对较低和导向轮的作用,所以在半径大于600 m的曲线上钢轨侧磨这一问题还不十分突出。随着使用内燃、电力牵引以来,列车牵引重量和机车车辆轴重的增加以及列车运行速度的提高,曲线钢轨侧磨速率大大加快。首先提出这一问题的是济南铁路局。济南铁路局在 20 世纪 80 年代初引进了美国生产的 ND_5 机车,此机车的牵引性能较好,但转向架的动力性能比国产 DF_4 机车转向架的动力性能差。该批机车在线路上运行一段时间后,工务部门普遍感到曲线钢轨的侧磨速率大大加快,迫使缩短换轨周期;机务部门也感到机车轮缘的磨耗速率较快,缩短了旋轮的周期,造成了铁路运输成本的增加。国外也同样存在这一问题。北美铁路以100 t货车组成的单元列车运行以后,钢轨磨耗急剧上升,而轮缘磨耗和钢轨侧磨所造成的金属耗损使机车车辆和线路的养护维修成本急剧上升。在小半径曲线上,造成外轨严重侧磨,内轨严重压溃,并且由于轨头的塑性变形而造成钢轨的波浪形磨耗,大大增加了铁路的运输成本,降低了行车质量,所以迫使铁路运营部门及铁路研究人员对此问题进行深入的研究。近年来,随着经济的发展,列车的运行速度、机车车辆轴重、行车密度都大大提高,使得轨道各部件的受力增加。除了钢轨、扣件、轨枕的其他一些伤损增加外,曲线钢轨的侧磨是一个比较突出的矛盾。世界各国的铁路工作者,包括一些

力学、材料、机械、摩擦磨耗及润滑的研究工作者,都对此问题进行了长期的研究,其目的是为了减缓曲线的外轨侧磨、内轨压溃、波浪形磨耗,以及降低轨道部件的力学伤损。通过多年的研究,已取得了一些突破性的成果。但世界各国铁路的列车运行情况不同,就是国内铁路,各条线路的列车运行情况也不相同,所以影响曲线钢轨侧磨的因素也就各不相同,采取的减磨措施也就各不相同:有提高钢轨材质、改善轮轨润滑条件;有改善机车车辆转向架转向性能、改变车轮踏面形状、钢轨预打磨;也有改变轨道结构几何参数等。但目的只有一个,就是降低钢轨侧面磨耗的速率和减少轨道部件的伤损,延长钢轨的使用寿命,从整体上提高铁路运输的经济效益。

§1.2 机车车辆曲线通过形态

在我国总的铁路营业里程中,有将近三分之一的线路是曲线,而半径小于600 m的曲线约占曲线总数的一半。单就轮轨磨耗而言,情况严重的区段,机车走行数万公里轮缘就磨耗到限,钢轨每二三年就须更换,个别运量较大的线路不到一年就得换轨。因此,改善机车车辆曲线通过条件,减缓轮轨的磨耗速率,延长运输设备的使用周期,对于我国的铁路运输的经济效益具有特殊的重要意义。

机车车辆一般是依靠导向轮轮缘导向通过曲线的。由于机车轴重大,轴距长,通过曲线时轮轨间产生的横向作用力就较大,所以机车通过曲线要远比车辆困难。较大的轮轨横向作用力能引起较大的钢轨应力、较大的轮缘和钢轨磨耗,造成轨距扩大,严重时影响到列车的平稳运行。

机车车辆曲线通过有两个相互联系的研究内容:几何曲线通过和动力曲线通过。

几何曲线通过是研究机车车辆与线路的几何关系和机车车辆自身有关部分在曲线上的相互几何关系。研究机车车辆的几何曲线通过,也为研究动力曲线通过提供有关数据。

几何曲线通过主要解决以下问题:确定机车车辆所能通过的最小曲线半径和为此目的所需的机车轮对横动量;给出机车车辆转向架通过曲线时的转心位置;确定在曲线上机车车辆转向架相对于车体的偏转角,以及车体与建筑限界的关系等等。

由于机车的轴距较长,从几何关系可知,为了便利机车车辆通过曲线,采取的措施是曲线轨距加宽,并使机车轮对具有一定的横动量。

为了保证机车车辆能在曲线上顺利通过,轨距与轮缘外侧之间应保持有一定的间隙,也就是轨距要大于轮对宽度,如图 1-1 所示。从图中可知轮轨间隙的大小为:$\delta = S - (T + 2t)$。根据《铁路技术管理规程》,直线轨距 $S = (1\ 435^{+6}_{-2})$ mm;轮对的轮缘内侧距 $q = (1\ 353 \pm 3)$ mm;轮缘厚度,机车轮 $t = (33^{0}_{-10})$ mm,车辆轮 $t = (34^{0}_{-12})$ mm;所以轮轨间隙为机车轮:$\delta_{max} = 45$ mm,$\delta_0 = 16$ mm,$\delta_{min} = 11$ mm;车辆轮:$\delta_{max} = 47$ mm,$\delta_0 = 14$ mm,$\delta_{min} = 9$ mm。但轮轨间隙 δ 不能过大,过大不利于机车车辆的高速运行。在曲线上 δ 能帮助机车车辆通过曲线。因为过大的轮轨间隙会加剧轮对的蛇行运动,剧烈的蛇行运动会显著恶化机车车辆的运行品质和加重轮缘对钢轨侧面的冲击。为提高机车的几何曲线通过性能,将内轨适当内移,内移量 Δ 称为轨距加宽量。根据现行的铁路技术管理规程,其加宽值与曲线半径的关系为:半径350 m以上的曲线,轨距不加宽;半径 300～350 m的曲线,轨距加宽5 mm,半径300 m以下的曲线,轨距加宽15 mm。$\delta + \Delta$ 称为机车车辆轮对

图 1-1　钢轨与轮缘之间的间隙

在曲线上的全间隙。

在一般情况下,机车车辆转向架通过曲线时,转向架第一轮对的外轮总是贴靠外轨的内侧面轨距侧。其余轮对则视列车通过曲线的速度而定。低速时,转向架最后一轮对的内轮可能贴靠内轨,称转向架的这一位置为最大偏斜位,如图 1-2(a)所示。当速度高一些时,转向架最后一轮对的外轮不贴靠外轨,内轮不贴靠内轨,称转向架的这一位置为自由位,如图 1-2(b)所示。当速度达到一定值时,即离心力也大到一定值,此时转向架最后一轮对的外轮轮缘也贴靠外轨,称这一位置为最大外移位,如图 1-2(c)所示。列车速度再提高,转向架仍处于这一位置。在大多数情况下,转向架通过曲线的状态是自由位。最低速时转向架处于最大偏斜位,此时轮轨之间的冲角最大。而最大外移位时轮轨之间的冲角最小。

图 1-2 转向架几何曲线通过的各种位置

在稳态曲线通过的研究中,将线路对车辆的激扰,如曲线半径 R,曲线超高不足角 θ_d 均视为常数来处理。也就是说,机车车辆以一定的速度通过半径和超高不变的曲线,但这种情况在车辆通过的全过程中只占一小部分。实际情况是,机车车辆从直线→缓和曲线→圆曲线→缓和曲线→直线这样一个行驶的全过程。缓和曲线的曲率及超高按一定的规律在变化。在这个运动过程中,显然车辆进入圆曲线的初始状态(亦即驶出缓和曲线的最终状态)必定要受到缓和曲线激扰的影响。

在研究机车车辆动态曲线通过时,要考虑下列诸因素:

(1)曲线的曲率、超高,缓和曲线上曲率和超高的变化率,钢轨的弹性、阻尼;

(2)轨道不平顺;

(3)轮轨处于一点接触还是两点接触;

(4)轮轨接触的非线性几何关系;

(5)蠕滑力的非线性特性;

(6)车辆悬挂元件的非线性特性。

机车车辆动力曲线通过理论是研究机车车辆以不同速度通过曲线时轮轨之间的相互作用力,探讨机车车辆安全通过时的条件和措施,并为机车车辆和线路的强度计算以及轮缘和钢轨的磨耗提供有关数据。

机车车辆动力曲线通过的理论计算结果和现场动态测试试验及观察结果都已证实,随着曲线半径的增大,机车车辆的动态曲线通过形态特征更加明显,并起着重要的影响作用。在300 m以上半径的曲线上,货车车辆处于动态曲线通过形态,机车的动力曲线通过形态特征要在半径更大的曲线上才能表现出来。在600 m半径的曲线上机车基本上仍以稳态特征为主。

在半径300 m和600 m的曲线上,计算得到的轮轨冲角、轮轨横向力、轮对位移的动态波形表明,车辆处于动态曲线通过状态。虽然轮对偏向轨道外侧,但外轮轮缘并不与钢轨侧面经常接触,表明轮缘与钢轨侧面处于"若即若离"的状态。对于曲线可知轮对走行一周时内外轨的轨线差为:

$$\Delta l = 2\pi r_0 \left(1 - \frac{R - s}{R + s}\right) \tag{1-1}$$

式中　r_0, R, s——轮对名义滚动圆半径、曲线半径和钢轨中心线距离之半。

如果一轮对的内外轮轮径差所产生的两轮走行距离差与式(1-1)的 Δl 相等,则轮对可实现无轮缘接触通过曲线。但在计算各种情况时,轮对都存在着摆动,即轮对踏面与钢轨顶面有一定的蠕滑力和蠕滑力矩。在蠕滑力和蠕滑力矩的共同作用下,轮对不断改变其运行方向。即轮对从某一位置沿由其锥度确定的滚动轨迹线前进,直到外轮轮缘与钢轨侧面接触、碰撞,改变轮对的运行方向,轮缘再一次脱离钢轨,运行一段距离,由轮对踏面锥度和轮

对的外移量决定轮对的走行轨迹,使得轮缘再一次与钢轨侧面接触。这一过程的反复进行就造成了钢轨侧面的振荡型不均匀侧磨。

通过理论研究发现,车辆蠕滑导向的最小曲线半径约为900～1 300 m。在目前机车车辆及运行速度的条件下,对现场曲线钢轨侧磨的调查发现,当曲线半径达到1 500 m,方可使得钢轨不产生侧磨。但随着在线路上运行的机车车辆类型的改变及列车速度的提高,钢轨不产生侧磨的曲线半径将发生变化。

§1.3 轮轨接触几何关系

目前我国铁路运行的机车大部分为三轴转向架,如 DF_4、ND_5、韶山型机车等。车辆则大部分为二轴转向架。当机车车辆沿钢轨运行时,其运行性能与轮轨接触几何关系和轮轨之间的相互作用有着密切的关系。

1. 轮轨接触参数和接触状态

钢轨轨头的形状一般由几段圆弧组成,在轨头中部的圆弧半径较大,而在靠近钢轨侧面处的圆弧半径较小。车轮踏面的设计也是由几段圆弧组成或由圆弧和直线组成。轮轨经过长期的使用磨耗以后,轨头和车轮踏面外形也逐渐产生变化,不再保持原来的设计形状,于是轮轨之间的接触几何关系和接触状态也相应产生变化,本节就此作一些介绍。

当车辆沿线路运行时,为了避免车轮轮缘与钢轨侧面经常接触和便于机车车辆通过曲线,左右车轮的轮缘外侧距离小于轨距,因此轮对可以相对轨道作横向位移和摇头角位移。轮对在不同横向位移和摇头角位移的条件下,左右轮轨之间的接触点有不同位置,于是轮轨之间的接触参数也相应出现变化。对车辆运行中动力学性能影响较大的轮轨接触几何参数如下(图 1-3):

(1) 左轮和右轮实际滚动圆半径为 r_L、r_R。由于轮对是一个刚体,轮对绕其中心线转动时,各部分的转速是一致的,车轮滚动圆半径大,在同样转角下走行的距离就长。同一轮对左右轮滚动

需要全本请访问 www.ertongbook.com

圆半径差越大,左右车轮滚动时的走行距离差也就越大。此外车轮滚动圆半径大小也影响轮轨接触应力。

(2) 左轮和右轮在轮轨接触点处的踏面曲率半径为 R_L 和 R_R。

图 1-3　轮轨接触几何参数

(3) 左轨和右轨在轮轨接触点处的轨头截面曲率半径 R_L'和 R_R'。轮轨接触点处的曲率半径大小将会影响轮轨实际接触斑的大小、形状和轮轨之间的接触应力。

(4) 左轮和右轮与左轨和右轨在接触点处的接触角 δ_L 和 δ_R,即轮轨接触点处的公切面与轮对中心线之间的夹角。轮轨接触角的大小影响轮轨之间的法向力和切向力在垂向和水平方向分量的大小。

(5) 轮对侧滚角 φ_w,即轮对轴线与轨道水平面之间的夹角。轮对侧滚角会引起转向架和车体的侧滚。

(6) 轮对中心上下位移 Z_w。该变量变化会引起转向架和车体的垂向位移。轮对横向位移 y_w 将会引起转向架和车体的侧摆。

轮轨之间的接触状态主要有两种,即一点接触[图 1-4(a)]和两点接触[图 1-4(b)]。当轮对相对于轨道的横移量不大时,即轮对的横移量小于轮轨之间游间的一半时,一般只出现车轮踏面与钢轨顶面相接触,称为“一点接触”;当轮对相对轨道的横移和摇头角位移量超过一定范围时,即轮对的横移量接近或等于轮轨之间

的游间一半时,根据不同的轮轨形状特点可能引起车轮踏面和轮缘同时与钢轨踏面和轨头侧面接触,称为“两点接触”。一般说来,当轮对相对轨道有足够横移量时,轮对摇头角越大,轮轨之间出现两点接触的可能性也就越大。另外一种情况,就是轨头圆角的半径小于车轮轮缘与踏面之间连接圆弧的半径,当轮对横移量为轮轨之间游间的一半时,轨头圆角就与车轮踏面与轮缘之间的连接圆弧相接触,车轮踏面不与钢轨踏面接触,轮缘也不与轨头侧面接触,此时也称为一点接触,一般磨耗型踏面的车轮出现这种情况的可能性较大。

图 1-4 轮轨之间的一点接触和二点接触

当轮对相对轨道只有横移而无摇头角位移时,轮轨间的接触点处于通过轮对中心线的铅垂平面内。但当轮对相对轨道有摇头角位移时,即使轮轨之间仍保持踏面一点接触的情况,轮轨接触点也不位于通过轮对中心线的铅垂平面内。如此时轮缘与轨头侧面接触,则此接触点与轮对中心线的铅垂平面之间有一段距离,称该段距离为接触点超前量(或滞后量)。轮缘接触点的超前量对车轮爬轨有较大影响。

车轮沿钢轨运行时,轮轨接触点的位置不断发生变化,车轮踏面与钢轨踏面的接触点是车轮的瞬时转动中心。从宏观看,轮轨之间似无相对滑动,但在有两点接触的情况下,车轮轮缘与轨头侧面的接触点也不断发生变化。由于车轮绕瞬时转动中心转动,因此轮缘与轨头侧面之间在接触点处将会产生相对滑动,造成轮缘

与轨头侧面的磨耗,而且轮缘接触点离踏面接触点的垂向距离越大,则摩擦越严重。因此,在轮轨踏面设计时应尽量避免两点接触,并尽可能减小两个接触点之间的横向距离和垂向距离以减少轮轨磨耗。

由于车轮和钢轨的弹性不大,接近刚体,而且在正常条件下轮轨始终保持接触,轮轨之间的相对运动除纵向运动外还有横向位移和摇头角位移。轮轨接触几何参数与轮对在钢轨上的纵向位置无关,这些参数实际是轮对相对轨道的横移和摇头角的函数。

2. 轮轨接触几何关系

设车轮具有锥形踏面,钢轨踏面为圆弧形,如果左右车轮的形状相同,左右钢轨形状相同,当轮对在初始位置时轮对与轨道中心相一致,轮对相对轨道无摇头角。在初始位置时车轮与钢轨接触的滚动圆半径为 r_0,车轮踏面斜率为 λ。当轮对向右移动量为 y_w 时,左右车轮与钢轨仍保持踏面接触,此时右侧车轮接触点处的滚动圆半径为: $r_R = r_0 + \lambda y_w$;左侧车轮与钢轨接触点处的滚动圆半径为: $r_L = r_0 - \lambda y_w$。轮对的侧滚角为: $_w = \dfrac{\lambda}{s} y_w$,其中 s 为左右车轮两滚动圆跨距之半。由于踏面斜率 λ 不变,故左右轮轨接触角 $\delta_L = \delta_R = \lambda$ 保持不变。

磨耗形踏面与锥形踏面不同,磨耗形踏面的接触面与水平面的夹角是随着轮对横移而变化的。设轮对中心与轨道中心线一致时的左右两轮与钢轨的接触角同为 δ_0,滚动圆半径同为 r_0 (参见图 1-3),当轮对发生横向位移 y_w 时,左右两轮与钢轨接触面与水平线的夹角分别为:

$$\delta_L = \delta_0 + \frac{\varepsilon y_w}{s}, \quad \delta_R = \delta_0 - \frac{\varepsilon y_w}{s} \tag{1-2}$$

式中　ε——接触角参数,为接触面斜率对于轮对横移量的变化率。

对于磨耗形踏面,经过几何关系推导,得:

$$\varepsilon = \frac{s}{(R - R')} \frac{s + R\delta_0}{s - r_0\delta_0} \approx \frac{s}{(R - R')} \tag{1-3}$$

式中 R, R'——车轮踏面曲率半径和钢轨顶面曲率半径。

轮对横移 y_w 时,由于左右轮接触半径不同,形成轮对侧滚角 $_w$ 为:

$$_w \approx \frac{\delta_0}{1 - \dfrac{r_0 \delta_0}{s}} \times \frac{y_w}{s} \tag{1-4}$$

对于锥形踏面, $R \to \infty$,如不考虑 $_w$ 的影响,则 $\varepsilon = 0$,即 $\delta_L = \delta_R = \delta_0$。如考虑 $_w$ 的影响,则 $\varepsilon = \dfrac{s}{(R - R')} \dfrac{s + R\delta_0}{s - r_0 \delta_0}$, $\varepsilon \neq 0$,即 $\delta_L = \delta_0 + _w$, $\delta_R = \delta_0 - _w$。

当轮对横移量为 y_w 时,轮对中心线至轮轨接触点的距离分别为:

$$s_L = s + \xi y_w, \quad s_R = s - \xi y_w \tag{1-5}$$

式中 ξ——轮对中心线至轮轨接触点的距离对于轮对横移量的变化率。

对于磨耗形踏面:

$$\xi = \frac{R}{R - R'} \frac{s + R\delta_0}{s - r_0 \delta_0} \approx \frac{R}{R - R'} \tag{1-6}$$

对于锥形踏面: $R \to \infty$, $\xi = 1$。

轮对横移量为 y_w 时,左右轮滚动圆半径分别为:

$$r_L = r_0 + \lambda y_w, \quad r_R = r_0 - \lambda y_w \tag{1-7}$$

式中 λ——等效斜率,表示左右轮滚动圆半径差对于轮对横移量的变化率,其值为:

$$\lambda = \frac{r_L - r_R}{2 y_w} = \frac{\Delta r}{y_w}$$

其中 Δr——左右轮滚动圆半径差。

对于磨耗型踏面:

$$\lambda = \frac{R\delta_0}{R - R'} \frac{s + R'\delta_0}{s - r_0 \delta_0} \approx \frac{R\delta_0}{R - R'} \tag{1-8}$$

对于锥形踏面, $R \to \infty$, $\lambda = \delta_0$。

踏面等效斜率对机车车辆的蛇行稳定性有很大的影响,1∶20锥形踏面的斜率为 0.05,车轮磨耗后逐渐变为磨耗形踏面,踏面曲率半径逐渐减小,λ渐增。设计新的磨耗形踏面时,$(R - R')$不能太小,通常使等效斜率 λ= 0.15 左右。

大的等效斜率不利于机车车辆的稳定运行。但是考虑到磨耗形车轮踏面能改善机车车辆通过曲线时的引导性能,并在运用中能较长时间地保持其形状,所以不少国家的铁路一开始就将车轮镟成磨耗形的凹曲面,以将这种磨耗形踏面的镟修周期延长到与机车的一般维修周期相适应的程度。同时采取措施,如选用合理的轮轨几何匹配关系、轮对定位参数、车体与转向架的横向连接刚度,以及设置抗蛇行的减振器等,使磨耗形踏面因锥度大而降低了的稳定性基本上得到了补偿。

3. 轮缘不贴靠钢轨通过曲线及蠕滑力导向机理

一个具有锥形踏面的自由轮对以等速在一定曲率半径的曲线上作稳态运动时,能以其不同的滚动圆半径与钢轨相接触,并依靠轮对的蠕滑力和蠕滑力矩使轮对实现最理想的纯滚动(关于蠕滑率和蠕滑力的计算内容见第三章轮轨接触面的受力分析)。

为使一个自由轮对沿等半径 R 的曲线作纯滚动,外轮所滚过的距离必须大于内轮所滚过的距离。由于车轮踏面是锥形的,内外两轮可有不同的滚动圆半径。当轮对向曲线外侧横向位移一个距离 y_0 时,外轮的滚动圆半径就大于内轮的滚动圆半径,轮对通过曲线时就能达到纯滚动的要求。因此,轮对具有锥形踏面是它在曲线上具备纯滚动的必要条件。磨耗形踏面也具有这一特性。

轮对作纯滚动时,轮对中心所走过的轨迹在轨道平面内的铅垂投影称为纯滚动线。因此,纯滚动线是一段圆弧,它与轨道中心线的圆曲线相平行,其曲率中心与圆曲线的曲率中心是重合的,纯滚动线总是位于圆曲线轨道中心线的外侧。

研究轮对的几何曲线通过时(图 1-5),取纯滚动线 L_{Pr} 与径向线 L_{ra} 作为坐标系统,相应地,轮对相对于该坐标系统的横向位移量用 y^* 表示,当轮对中心位于纯滚动线时,$y^* = 0$,摇头角用 φ 表

示。

图 1-5 自由轮对纯滚动时的轮轨几何关系

轮对作纯滚动时,设轮对中心线的外移量为 y_0(如果不考虑超高),在外(左)轮滚动圆半径 r_L 处作一垂直于轮对轴线的截面得一圆 C_L,在内(右)轮滚动圆半径 r_R 处作一垂直于轮对轴线的截面得一圆 C_R。显然,圆 C_L 大于圆 C_R,连接两圆圆周上相应的点,并延长交于线路曲率中心 O 点,即可得一母线为各连线组成的圆锥形。这样,轮对在圆曲线上纯滚动时,相当于圆锥体以其尖顶绕 O 点在钢轨平面内滚动。轮对两滚动圆与钢轨的接触点与线路中心线间的相对位移未变。因此有:$\frac{R}{r_0}=\frac{R+s}{r_L}$,由于 $r_0=\frac{1}{2}(r_L+r_R)$,所以有:$r_L-r_R=\frac{2r_0s}{R}$。

对于新轮的踏面斜率为 λ,在某一范围内可以是认为相同的,对于旧轮或各种不同的磨耗形踏面,其斜率在不同的滚动圆位置上不再是常数,而是随轮对横向位移量 y 变化的一个函数。已知踏面等效斜率的定义为:$\lambda_e=\frac{r_L-r_R}{2y}$,则可得纯滚动线距轨道中心线的距离为:$y_0=-\frac{r_0s}{\lambda_e R}$,式中负号表明纯滚动线位于线路中心线外侧。

如果轮对在通过曲线的全过程中,始终能保持其轴线处于曲

需要全本请访问 www.ertongbook.com