

# 实际运用中钢轨常见伤损与受力联系思考

张晓晖

国能朔黄铁路发展有限责任公司检测救援分公司 河北 沧州 062350

**摘要:** 随着铁路行业运量不断提升、载重不断加大、运行速度不断提升的发展趋势,对线路和钢轨本身技术数据、养护的要求越来越高。本文希望从研究钢轨受到的作用力为切入点,通过研究钢轨的受力情况可以了解钢轨产生伤损的本质,希望能以此为依据通过技术手段,对改善轨伤损的现状有所帮助

**关键词:** 钢轨伤损; 磨耗; 变形

## 引言

随着我国经济迅速发展的形势下,铁路承担的运输任务也在增长。对铁路轨道的主要部件钢轨来说,铁路运输量的增长意味着钢轨将受到更大的磨擦和伤损,使钢轨在最弱的部位产生破损或着因磨耗使钢轨的截面被削弱。

### 1 钢轨伤损形式及产生的原因

随着国家重载铁路、高速铁路工程的加快发展,重载铁路工程不断大幅度提升货运速度和货运载重,以满足不断提升的货运要求。在这样的发展趋势下,随着运载速度和载重的不断提升,钢轨通过总重也随之不断提升,带来的问题就是钢轨病害的集聚加速,所以在日常养护中对线路质量的要求也是越来越高<sup>[1]</sup>。

机车车辆车轮和钢轨段间形成的这种物理相互排斥作用的摩擦力,对于提升机车车辆在铁路线上的运行及平稳性,降低车辆车轮和线路钢轨之间的疲劳磨耗、机车本身和线路钢轨设备维修运行费用,以及保障列车轨道运行与安全生产等因素有极为深远的直接影响。研究铁路重载车辆车轮在线路上的正常运动轨迹和正常运动中的轮轨间发生的相互作用力,以及尽可能消除它们在动态过程中的不良因素等也因此就会更加重要了。

#### 1.1 现阶段钢轨伤损形式

为研究方便,通常把机车车辆的运动和轮轨作用力按纵向力和横向力分别研究,轮轨之间在纵向力、横向力和综合作用力的共同作用下表现出不同的病害形式。其中纵向力磨损对钢轨上表面形成S形变和波浪形磨耗等病害;横向力磨损对钢轨内侧和轨距角形成侧磨等病害;综合力磨损对钢轨表面形成斜裂纹和剥离掉块等病害。表浅的病害随着发展会愈发严重形成向内裂纹等病害。

#### 1.2 钢轨伤损产生的原因

钢轨产生伤损的因素有很多,包括不同型号的机车车辆转向架对钢轨的作用、线路技术要求对钢轨的作用(半径、超高、轨底坡等)、列车运行速度等。

综上钢轨伤损是经过长时间与车辆轮缘踏面相互作用产生的,在不同的环境下产生不同的作用力,随着时间的推移,从而产生不同的形式伤损。就是钢轨塑性在作用力的影响下产生变化,以伤损的形式表现出来的现象,在弯道上表现及其明显,内轨会有层状剥落、磨损残留物、钢轨表面疲劳裂纹,外轨会有垂向裂纹、深层剥落、表面疲劳剥落。

## 2 钢轨产生伤损的受力因素

### 2.1 纵向变形与纵向力

正常情况车轮应在中心线位置,这是理想状态,这时左右半径相等。这里以车轮向左偏移为例,车轮偏离钢轨中心线向左侧发生偏移,轮轨接触点就发生变化,左右两侧车轮的滚动半径就发生了变化,由于车轮为椎体,轮轨接触点越向车轮内侧靠近,滚动半径就越大,这时左侧车轮滚动半径变大,右侧车轮滚动半径变小,这样就产生了滚动半径差;由于车轮是个整体,在轴的作用下速度和角速度是一定的,不能差速滚动,滚动半径差表现在车轮上为相对移动,也就产生了不一致的作用力,在此作用力和反作用力的影响下钢轨发生磨损、疲劳、变形等伤损。

#### 2.1.1 钢轨S变形

在车轮偏离钢轨中心线的同时,车轮踏面与钢轨的接触点关系也同时发生着很大变化,由最初的单轮单点接触变为现在双轮三点接触(即左轨表面点、轨距角点和右轨表面点)。因为钢轨左轨非贴合式两点接触(即轨表面点、轨距角点),同样因为轮轨接触点越向车轮内侧靠近,滚动半径就越大,导致左侧车轮的表面点、轨距角点的滚动半径不同,就会产生不同的作用力<sup>[2]</sup>这里将单轮单点接触下的滚动半径称为R,所以左轨表面点的滚动半径为R1、产生的作用力为F1,左轨轨距角点的滚动半径为R2、产生的作用力为F2;因为 $R1 < R < R2$ ,  $F1 < F2$ 且方向相反,所以在左侧钢轨上因F1、F2共同作用下会产生S变

形,当轨表面点和轨距角点距离越近产生的滚动半径差越大,S变形就越严重。

### 2.1.2 波浪形磨耗

在轮轨关系中的作用力驱使下,钢轨塑性流动产生波浪形磨耗,对轮轨动力作用产生极其不利的影响,加速铁路机车车辆及轨道部件等的变形与损坏,增加铁路机车车辆的维修养护时间和维修费用开支等因素;此外机车车辆运行时的振动加剧,会容易造成其它不利因素,严重之时很可能还会进一步引起威胁到行车安全事故的发生;波磨也是产生列车噪音的重要来源。

钢轨波型磨耗的影响因素:

(1)影响粘滑振动性能的三个首要制约因素主要是蠕滑率特性和蠕滑力值之间存在的负梯度特性,对决定粘滑振动特性形成与否往往起到了决定性作用。

(2)由于蠕滑应力在饱和和作用后形成的负斜率系数也不同,产生轮对的粘滑振动的振动频率值可能也将相应产生不同。蠕滑应力在饱和和作用后如无下降,无论对外界或者其他环境物理条件发生改变影响如何,认为均将是不会继续发生粘滑振动。

(3)必须考虑到钢轨自身的横向刚度、弯曲刚度和轮轨之间的扭转弯曲强度,当钢轨本身刚度下降过低或降到了某一定程度后,耦合震动会逐渐消失。长期观察发现附着在弹性比较好的基础上(如木枕)的钢轨,波磨产生较少,反之(如整体道床)的钢轨上就有较严重的波磨。轮轨关系之间也是这个道理,扭转和弯曲刚度越小,耦合震动消失,同样产生波磨。

### 2.2 侧磨与横向力

所谓横向力就是向心力、向心力及同方向的作用力。

车辆转弯时产生离心力,通过线路的超高和半径产生向心力,钢轨轮缘相互作用提供横向力。在三种力的共同作用下,车辆保持动态平衡,车轮与外轨形成冲角对外轨内侧造成侧磨伤损(如图8)。

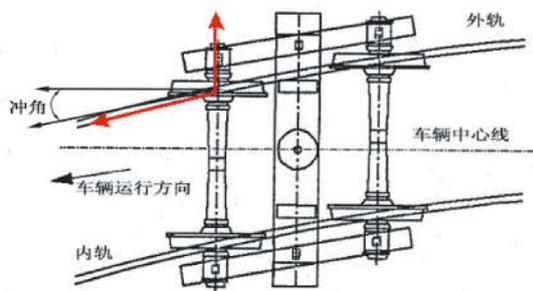


图8

钢轨的侧磨就是车辆在转向过程中,为了克服向心力,在轮轨之间的反作用力下,轮轨摩擦不断的过程中产

生和发展的,这样的磨耗,在当今现状下,随着速度快、载重大和曲线半径小的多重因素下,更为突出,主要表现为磨蚀和剥离同时发生,交替进行,使得轨面变窄。

### 2.3 横向力、纵向力共同作用产生斜裂纹

车辆转弯时(如图9),受到横向力 $F_1$ 和纵向力 $F_2$ 的共同作用下产生合力 $F$ ,在力 $F$ 的作用下沿 $F$ 作用力的方向上钢轨产生斜裂纹。

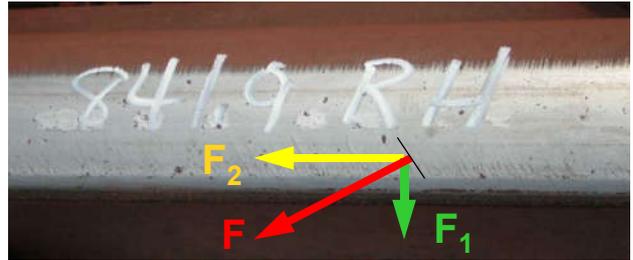


图9

斜裂纹是在轮轨接触方式及接触应力作用下,钢轨塑性变形后产生的斜线状裂纹,多发生在轨距角一侧。由于曲线外股钢轨轨头侧面磨耗不明显,且轮轨接触光带处的表层金属没有明显的塑性变形,表明轮轨接触面主要为轨头踏面(与车轮的踏面)一点接触,当轮轨接触压应力超过钢轨接触疲劳强度或抗塑性变形许用值时,将导致踏面表层金属产生塑性变形,疲劳裂纹在塑性变形层表面萌生并在接触剪应力作用下以一定的倾斜角度向下扩展,裂纹扩展到一定深度后,扩展方向开始受动弯应力和长钢轨温度应力的控制而开始向横向疲劳扩展,最后导致钢轨横向断裂。

## 3 如何改进轮轨关系的不利因素

### 3.1 改善纵向力

#### 3.1.1 贴合适两点接触改善纵向力产生病害

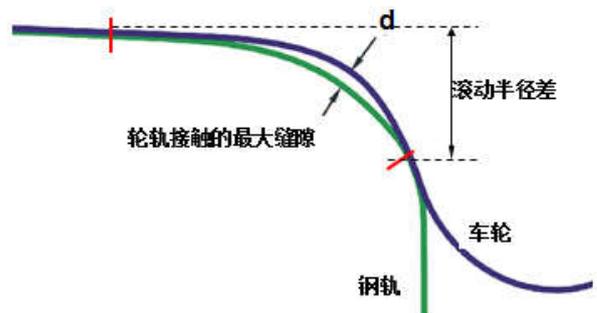


图11

$d$ 为滚动半径差(如图11),减少滚动半径差可以改善钢轨纵向力产生的病害。

现在通过改变钢轨及轮缘踏面的形状,改变两者的接触情况,(如图12)将 $R_1$ 接触点向钢轨内侧移动,目的使 $R_1$ 、 $R_2$ 比较接近(即滚动半径差 $d$ 减小)改变钢轨接

触关系为贴合式两点接触，从而改善钢轨S变形。

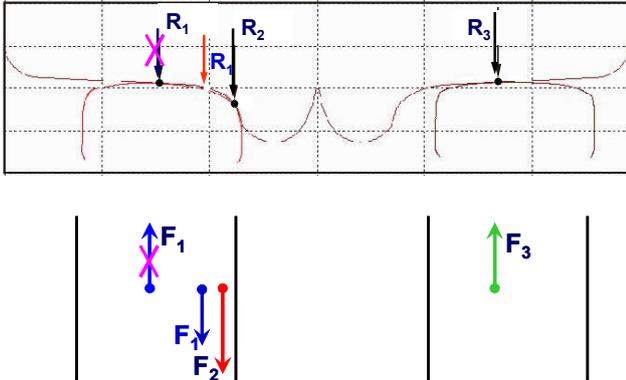


图12

### 3.1.2 波浪型磨耗的减缓措施

预防波磨的关键，一是消除曲线地段轮对的粘滑振动；二是消除由粘滑振动引起的钢轨不均匀磨损的累加效应。提出了以下几点减缓波磨的措施。

(1) 减小轨道不平顺。减小轨道不平顺对减缓波磨及其它轮轨病害均十分有利。减小轨道不平顺可减少粘滑振动的发生机率及钢轨不均匀磨损的累加效应，从而有效地控制波磨发展速率。

(2) 加大轨道弹性、提高轨道阻尼。增加轨道弹性可有效地减小轮对粘滑振动发生机率，而提高轨道阻尼则可明显降低波磨的发展速率。

(3) 钢轨打磨。钢轨打磨是最有效的减缓波磨的措施之一。波磨一旦出现，又反过来激化和加剧轮对粘滑振动，促进波磨进一步发展，波深越大则波磨发展越快，构成恶性循环。钢轨打磨中断了这种恶性循环的发展过程，减缓了波磨发展速率。

### 3.2 改善侧磨因素

侧磨是必然发生的，不能防止也不能根除，通过有效的手段可以改善侧磨的发展趋势。改善侧向摩擦力是改善侧磨的根本，通过改变向心力、离心力、横向力从而达到改善摩擦力的作用。

轮轨的踏面形状也应该有一个合理的匹配，这是因为它直接影响到轮轨接触时的接触面积、接触应力以及曲线上轮轨的两点接触机会和产生两点接触后的冲角大小。如为了减少车轮轮缘磨耗，把车轮踏面由圆锥型改为磨耗型踏面，这样不但减少了车轮轮缘的磨耗，而且也减少了钢轨侧面磨耗<sup>[3]</sup>再比如，为了减少钢轨侧面磨耗，对钢轨采用不对称打磨等，都是为了改善轮轨踏面形状，使之有一个合理的匹配。

根据线路条件，通过调整调整超高半径改变向心力，使转弯动作过程中作用力适应转弯条件，达到减小侧面摩擦力的目的，改善侧磨的发展趋势。

### 3.3 钢轨轮廓修整改善钢轨伤损变形

踏面斜裂纹伤损属于滚动接触疲劳裂纹伤损类型。预防和减缓钢轨踏面斜裂纹的产生和发展应从以下几方面予以考虑：提高钢轨的接触疲劳强度，在曲线上尽量使用微合金淬火的钢轨；研究和改善轮轨接触方式，以改善接触应力的大小和分布；加强轨道的养护维修，合理的进行预防性打磨和校正性打磨；改进车辆性能等。

### 结束语

综上所述从研究钢轨受到的作用力为切入点，通过研究钢轨的受力最基本的情况可以了解钢轨产生伤损的本质，对实际生产中存在的S变形、波浪形磨耗、侧磨、斜裂纹和玻璃掉块等病害的受力联系进行了一定的分析，以最通俗易懂的方式表现出来，希望能以此为依据通过技术手段，对改善钢轨伤损的现状有所帮助。

### 参考文献

- [1]孟鸿涛.钢轨踏面斜裂纹伤损原因及对策的研究[J].城市建设理论研究,2015(23):254-254
- [2]刘学毅,印洪.钢轨波形磨耗的影响因素及减缓措施[J].西南交通大学学报,2002,37(5):483-487
- [3]张挺.轮轨磨耗问题及减缓措施的研究[D].辽宁:大连交通大学,2007.DOI:10.7666/d.y1404863