



铁路科技图书出版基金资助项目

轮轨系统

轨道平顺状态的控制

罗 林 张格明 吴旺青 柴雪松 著

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助项目

轮轨系统轨道平顺状态的控制

罗 林 张格明 吴旺青 柴雪松 著

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北 京

内 容 简 介

本书是铁路轮轨关系领域的一部力作。是作者在多年工作经验形成的多篇论文基础上写成的专著,并收集介绍了近年来国内外许多重要的科研成果。全书分为十章,其内容均与轨道不平顺及其引起的车辆与轨道之间相互作用问题密切相关。作者着重从车辆与轨道相互作用的角度来阐述与轨道平顺性有关的重要问题,以有助于读者用轮轨之间相互作用的观点来理解和审视轨道的平顺性问题。

本书既有理论研究的阐述,又有实际应用的介绍。对于轨道及车辆的研究设计人员、线路施工与维修技术管理人员均具有指导与参考价值。也可供轨道、机车车辆、列车与轨道动力学等专业师生教学参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

轮轨系统轨道平顺状态的控制/罗林等著. —北京:

中国铁道出版社, 2006. 10

ISBN 7-113-07024-8

I. 轮… II. 罗… III. ①轮轨关系-研究②轮道
稳定性(铁路)-研究 IV. ①U211.5②U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 123473 号

书 名:轮轨系统轨道平顺状态的控制

作 者:罗林 张格明 吴旺青 柴雪松 著

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:张悦 徐艳

封面设计:冯龙彬

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

开 本:850mm×1168mm 1/32 印张:9.25 字数:241千

版 本:2006年10月第1版 2006年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-113-07024-8/U·1889

定 价:30.00元

版权所有 侵权必究

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。

编辑部电话:010-51873656(市电) 发行部电话:010-63573611(市电)

021-73656(路电)

021-73124(路电)

序 言

轮轨系统无论在长距离交通、城市轻轨、地下铁道,还是厂矿专线、天车等运输方式中都占有重要地位。支承、引导车轮运行的轨道,在机车、车辆荷载等因素的作用下,它的几何形位经常变化,从而形成各种轨道不平顺。轨道不平顺是轮轨相互作用研究领域内最基本的内容,也是很复杂、涉及面很广的重大问题。轨道的平顺状态直接影响轮轨系统的运行安全、行车速度、平稳舒适性、车辆轨道部件寿命、环境噪声等,并关系到设计、施工、养护维修等各部门的工作以及运输成本。

然而,我国至今尚无一本全面、系统地论述轨道不平顺种类、特征、影响、监测、控制管理等方面的书籍。由于对轨道不平顺影响等问题认识不够,我国铁路有过许多严重教训。厂矿专用线、车间天车也常受到轨道不平顺引起的振动、安全等问题的困扰。在当前提高铁路干线速度,发展高速客运专线等实际工作中,围绕轨道不平顺的监控管理等问题,存在不少争论。因此,编著出版《轮轨系统轨道平顺状态的控制》一书,具有重要的现实意义。

本书作者[罗林]研究员是我国轮轨相互作用、车辆轨道状态监控管理领域的资深专家,三十余年长期从事铁道工程及轨道车辆状态、轮轨相互作用、安全监测管理等多学科的研究以及培养硕士、博士、博士后方面的工作。张格明博士、研究员近十余年在建立车/轨/桥动力学仿真模型,计算分析轨道不平顺影响,安全监测技术等方面,进行了较深入的研究,其研究成果已在提速干线轨道不平顺控制等实际工作中得到应用。吴旺青副研究员亦有十余年从事轨道不平顺影响、轮轨检测技术、快速和高速铁路轨道不平顺控制标准研究的实际工作经验,并主持完成了秦沈客运专线轨道

不平顺管理值等研究任务。柴雪松博士在车辆轨道相互作用的仿真分析、车辆轨道状态检测技术、提速干线货车直线脱轨和直线钢轨交替侧磨等方面的研究也卓有成效。本书是在他们多年工作的心得、经验和多篇论文、专著的基础上整理书写而成,并收集介绍了近年来国内外许多重要的研究成果。本书内容丰富,既有理论研究的阐述,又有实际应用介绍,对轨道、车辆的研究设计人员,铁路线路工程施工和维修管理部门的科技人员以及相关部门的管理人员都会有所帮助。

该书的出版是我国轨道不平顺检测及管理成果的集大成,有着十分重要的现实意义,同时也寄托了对罗林研究员的缅怀之情。

方祖文

2006 年 6 月

前 言

铁路轨道是一种特殊结构物,它大多支承在密实度和弹性都很不均匀的道床和路基上,承受很大的随机性列车动荷载的反复作用。与一般工程结构物不同,轨道结构的几何形状、位置、尺寸是经常变化的。在工程实际中,铁路轨道除需满足强度条件外,还必须严格满足平顺性的要求。即使轨道各部件的应力和弹性变形都在允许范围内,只要轨道的不平顺超过一定限度,就不能正常使用。在许多情况下,轨道不平顺在有无轮载作用时的差别较大。

轨道不平顺是轮轨系统的激扰源,是引起机车车辆产生振动和轮轨动作力的主要原因。轨道不平顺对列车的行车安全性、平稳性、舒适性、车辆和轨道部件的寿命以及环境噪声等都有重要影响。在快速、高速、重载行车条件下,轨道不平顺的影响更大,是轨道方面直接限制行车速度的主要因素。快速、高速铁路必须具有高平顺性。高平顺性是高速铁路线桥设计、线路施工和选择轨道结构的控制性技术条件,是关系高速铁路建设成败的关键性问题。轨道平顺性是轨道结构综合性能和承载能力的重要体现。

轨道不平顺也是机车车辆动力学分析,确定悬挂减振参数不可缺少的主要输入函数。为了研究轮轨相互作用,研究车辆、轨道动力学性能,进行动力学试验、计算机仿真,都必须认真研究轨道不平顺。从事铁路设计施工、轨道维修管理、机车车辆动力性能设计以及铁路安全监察的科技人员和领导干部,都需要了解轨道的平顺性问题。

轨道不平顺的检测技术复杂,装备昂贵。校正轨道不平顺,维护保持轨道的平顺性,是一项技术性很强、费用很高的繁重工作,并且必需占用线路区间。

本书共分为十章,各章内容都与轨道不平顺及其引起的车辆轨道相互作用问题密切相关。作者力图从车辆/轨道相互作用的角度来阐述与轨道平顺性有关的重要问题,帮助读者用轮轨相互作用的观点来理解、审视轨道的平顺性问题。第一章主要介绍轨道不平顺的分类。第二章在归纳分析国内外对随机性轨道不平顺特征描述的理论、方法之后,作者提出了描述局部不平顺和连续不平顺的办法。此方法被我国和不少外国铁路专业人士采用。第三章在介绍了车辆轨道相互作用的研究方法之后,讨论了各种轨道不平顺的影响。第四章介绍了国内外对各种轨道不平顺的起源、发展、恶化的原因和影响因素的研究成果,分析了轨道不平顺发展变化的一般规律和重要现象。第五章从应用的角度,介绍了轨道状态检测的基本方法和应注意的一些重要问题。第六章介绍了轨道不平顺的评定方法及不良轨道状态的诊断原则,分析的结果用于确定允许的行车速度及指导养护维修作业。第七章介绍了国内外轨道谱的研究内容,并重点介绍了我国干线轨道不平顺功率谱的研究成果,对我国干线铁路的轨道状况作了整体的分析和总结。第八章和第九章介绍了我国和国外铁路对轨道平顺性管理的内容和标准。针对今后一段时间我国铁路建设的新内容,在第十章中重点介绍了快速铁路和高速铁路轨道平顺性的管理和控制。

作 者
2006 年 6 月

目 录

第一章 轨道不平顺的类型.....	1
第一节 按扰动方向区分类型.....	1
第二节 按轨道不平顺波长特征区分类型.....	7
第三节 按轨道不平顺形状特征区分类型.....	9
第四节 静态和动态轨道不平顺	11
第二章 轨道不平顺的特征描述	14
第一节 轨道不平顺的随机性	14
第二节 轨道不平顺幅值的统计特征	15
第三节 揭示轨道不平顺波长结构的功率谱密度	16
第四节 局部轨道不平顺波形特征的近似描述	20
第三章 轨道不平顺与车辆/轨道之间的相互作用.....	27
第一节 考查轨道不平顺影响的动测试验	27
第二节 轨道不平顺影响的简化定性计算和概略分析	35
第三节 车辆/轨道动力学仿真计算.....	38
第四节 轨道不平顺对车辆轨道系统的影响	50
第五节 轨道不平顺波形特征的影响	58
第六节 几种主要轨道不平顺的影响	62
第四章 轨道不平顺的发生、发展及恶化.....	79
第一节 概 述	79
第二节 轨道不平顺的起源	80
第三节 轨道平顺状态的恶化	84
第四节 列车荷载是运营期间轨道不平顺发生和增大的主因	90
第五节 运输条件对轨道不平顺发展恶化的影响	93

第六节	影响轨道平顺状态发展变化的其他因素	99
第七节	国外有关轨道平顺性恶化的研究	105
第五章	轨道平顺状态的监测	115
第一节	对轨道平顺状态检测设备的基本要求	115
第二节	轨道不平顺的检测方法	117
第三节	各种测量方法、检测系统的检验	127
第四节	轨道几何状态检查车	131
第五节	辅助检测设备	135
第六章	轨道平顺状态的评定及不良状态的诊断	139
第一节	基于局部轨道不平顺幅值数据的评定	139
第二节	对轨道连续不平顺的评定	142
第三节	用功率谱密度评定轨道平顺状态	143
第四节	通过评定车辆的振动响应来诊断轨道的平 顺性	145
第五节	通过测量轮轨作用力评定轨道平顺状态	154
第六节	通过测量车辆响应辅助评定轨道平顺状态	156
第七章	国内外的轨道谱	158
第一节	国外的研究状况和各国铁路的轨道谱	158
第二节	国内的早期研究	168
第三节	“我国干线轨道不平顺功率谱”课题的研究	173
第四节	我国干线的轨道谱	181
第五节	轨道不平顺功率谱密度提供的信息及其用途	202
第六节	重要结论和发现	204
第八章	轨道平顺状态的管理及管理标准	209
第一节	轨道不平顺管理概述	209
第二节	轨道不平顺的安全管理(紧急补修和限速管理)	212
第三节	轨道不平顺的预防性计划维修管理	223
第四节	轨道平顺性的养护管理(优良目标管理和 舒适性目标管理)	226
第五节	在运营过程中控制轨道不平顺的主要措施	232

第六节	控制初始轨道不平顺的作业质量验收管理·····	239
第七节	轨道平顺状态科学管理的展望·····	241
第九章	国外铁路轨道平顺性的管理·····	244
第一节	日本既有线和高速线的管理·····	244
第二节	前苏联的轨道不平顺管理标准·····	253
第三节	法国国有铁路(SNCF)的管理·····	253
第四节	德国高速铁路管理·····	256
第五节	英国高速铁路管理·····	258
第六节	美国政府对轨道平顺状态的安全监督管理·····	259
第七节	瑞典铁路的管理·····	259
第八节	加拿大国铁 CN 和太平洋铁路公司 CP 的管理·····	262
第九节	波兰铁路的管理·····	262
第十节	欧亚联运线标准(建议案)·····	263
第十章	快速、高速铁路轨道平顺性控制·····	264
第一节	高速行车条件下轨道/车辆相互作用的特点·····	264
第二节	高速轨道高平顺性的体现·····	267
第三节	高速铁路轨道初始平顺性的控制·····	267
第四节	新线开通运营的平顺性控制标准·····	273
第五节	在建设阶段控制平顺性的主要技术措施·····	278
参考文献	·····	284

第一章

轨道不平顺的类型

轨道不平顺是指轨道的几何形状、尺寸和空间位置相对其正常状态的偏差。凡是直线轨道不平、不直,对轨道中心线位置和高度、宽度正确尺寸的偏差;曲线轨道不圆顺,偏离正确的曲线中心线位置或正确的超高、轨距及顺坡变化数值,通称轨道不平顺。需要指出的是:长期以来,在前苏联和我国有关书刊、文献上,将轨道不平顺称为轨道变形,将轨道不平顺分为固有不平顺和弹性不平顺。

轨道不平顺的类型,可按它们对机车车辆激扰作用的方向、不平顺的波长或形状特征、显现记录时有无轮载作用等分类^[1]。

第一节 按激扰方向区分类型

根据对机车车辆激扰作用的方向,轨道不平顺可分为垂向、横

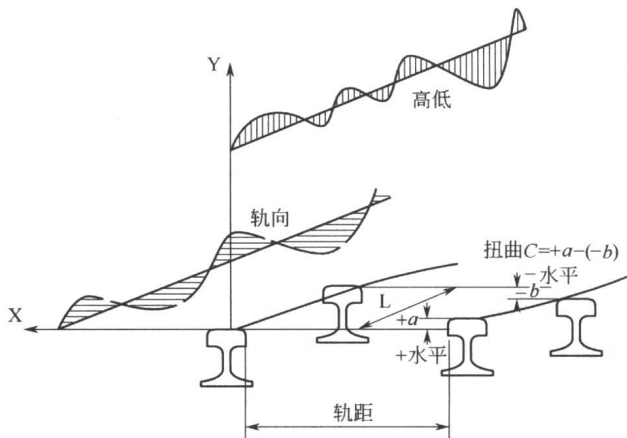


图 1-1 垂向、横向轨道不平顺示意图

向,和垂向、横向复合(简称复合)三类。

1. 垂向轨道不平顺

1.1 高低不平顺

高低不平顺是指轨道沿钢轨长度方向,在垂向上的凸凹不平。

它包括钢轨表面不平、轨道弹性变形和残余变形不均匀、部件间隙不一致、路基不均匀下沉等形成的垂向不平顺。

左、右两根钢轨高低的起伏变化趋势,虽然有时比较一致,但各自的变化并不完全相同,所以还必须区分左轨高低不平顺和右轨高低不平顺。

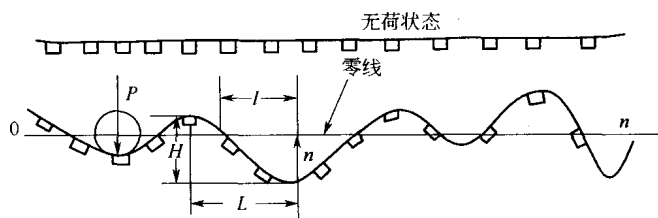


图 1-2 高低不平顺

1.2 水平不平顺

水平不平顺即轨道各个横截面上左右两轨顶面高差的波动变化。

水平不平顺的幅值,在曲线上是扣除正常超高值的偏差部分,在直线上是扣除一侧钢轨均匀抬高值后的偏差值。

1.3 扭曲不平顺

轨道平面扭曲(有些国家称为平面性,我国常称三角坑)即左右两轨顶面相对于轨道平面的扭曲,用相隔一定距离的两个横截面水平幅值的代数差度量。国际铁路联盟 UIC ORE B55 专门委员会将所谓“一定距离”定义为“作用距离”,指车辆的轴距或心盘距。

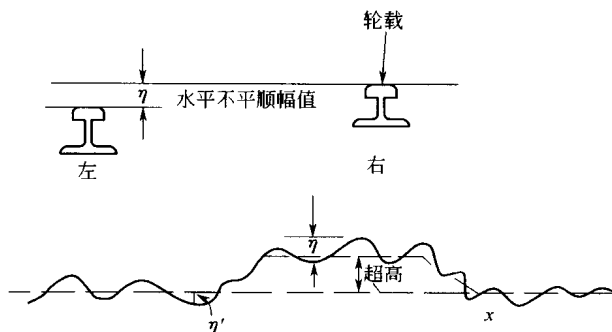


图 1-3 水平不平顺

1.4 轨面短波不平顺

即钢轨顶面小范围内的不平顺。包括轨面不均匀磨耗、擦伤、剥离掉块、焊缝不平、接头错牙等钢轨表面不平顺。其中,轨面擦伤、焊缝不平、接头错牙等多是孤立的不具周期性。而波纹磨耗、波浪形磨耗具有周期性特征。

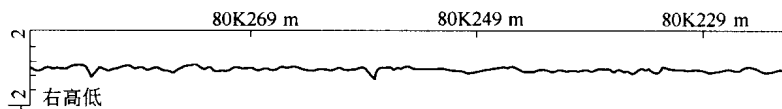


图 1-4 非周期轨面短波不平顺实测波形

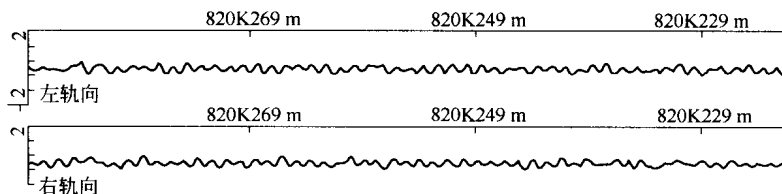


图 1-5 周期性轨面短波不平顺实测波形

1.5 新轨轨身垂向周期性不平顺

钢轨在轧制校直过程中,由于轧辊等的影响会形成轨身垂向周期性的弯曲变形。

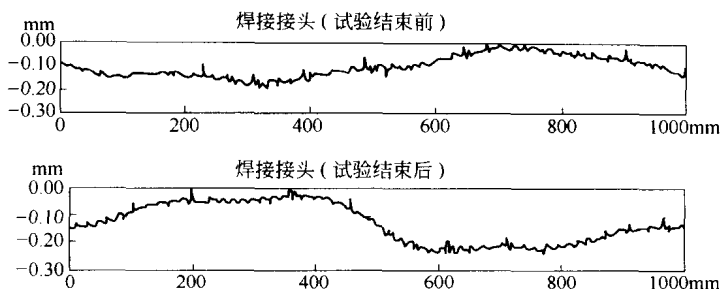


图 1-6 焊缝区短波不平顺



图 1-7 新轨轨身垂向周期性不平顺示意图

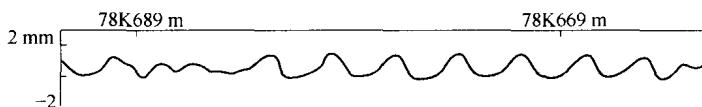


图 1-8 新轨轨身垂向周期性不平顺实测波形

2. 横向轨道不平顺

2.1 轨道方向不平顺

轨道方向不平顺(常简称轨向不平顺或方向不平顺)指轨头内侧面沿长度方向的横向凸凹不平顺。它包括轨道中心线偏差、轨排横向不均匀残余变形积累、轨头侧面不均匀磨损、轨道横向弹性不一致等形成的横向不平顺。

左、右两根钢轨方向的变化往往不同,尤其在木枕和扣件薄弱的曲线区段差异更大,因此需要区分左轨方向不平顺和右轨方向不平顺,并将左、右轨方向不平顺的平均值作为轨道的中心线方向偏差。

2.2 轨距偏差

即在轨道同一横截面、钢轨顶面以下 16mm 处、左右两根钢轨之间的最小内侧距离相对于标准轨距的偏差。(欧洲等许多铁

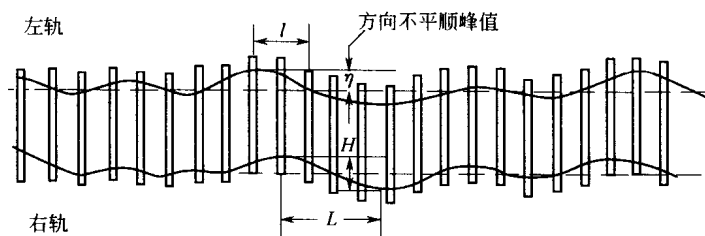


图 1—9 轨道方向不顺顺

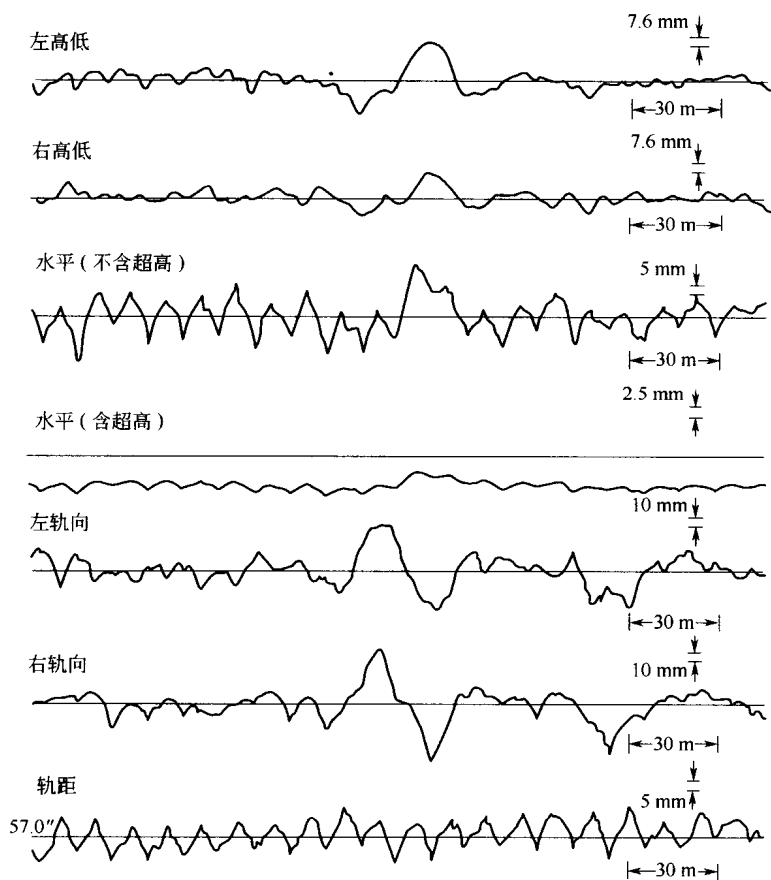


图 1—10 国外高低、轨向、水平、扭曲、轨距等不顺顺的实测波形

路规定在轨面以下 14mm 处测量轨距)。

2.3 轨身横向周期性不平顺

钢轨在轧制校直过程中产生的轨身横向周期性弯曲变形。

3. 复合不平顺

在轨道同一位置上,垂向和横向不平顺共存形成的双向不平顺称为轨道复合不平顺,危害较大的复合不平顺如下所述。

3.1 方向水平逆相复合不平顺

方向水平逆相复合不平顺是指在同一位置既有方向不平顺又有水平不平顺,并且轨道臃曲方向与高轨位置形成反超高状态。

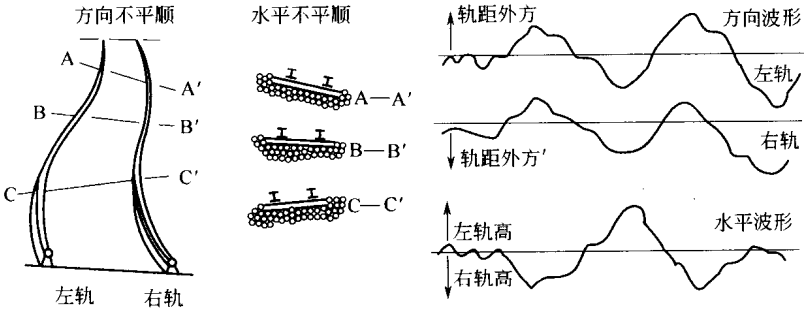


图 1-11 方向水平逆相复合不平顺

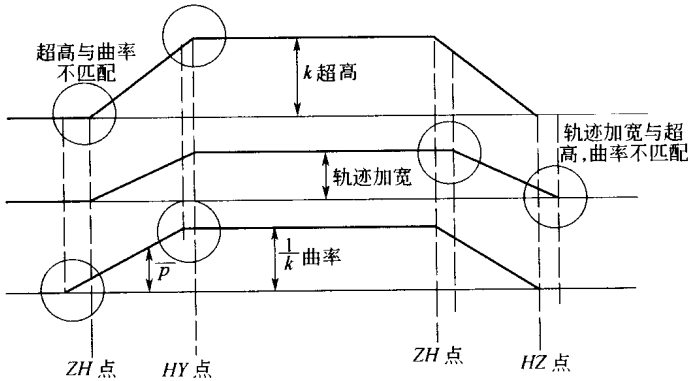


图 1-12 曲线头尾的几何偏差

日本等国的研究和我国的试验均证实,方向水平逆向复合不平顺对行车安全有严重影响,往往是引起脱轨的重要原因。

3.2 曲线头尾的几何偏差

在曲线圆缓点区、缓直点区,超高、正矢、轨距顺坡起点、终点不一致或不匹配形成的几何偏差,对行车平稳舒适和安全有不可忽视的影响。

第二节 按轨道不平顺波长特征区分类型

随机性轨道不平顺包含许多不同的波长成分,波长范围很宽,0.01~200 m波长的不平顺均常见。波长1 m以下的轨面短波不平顺幅值很小,多在0.1~2 mm,主要由钢轨接头焊缝、不均匀磨耗、轨头擦伤、剥离掉块、波浪和波纹磨耗以及轨枕间距等因素形成。1~3.5 m范围的波长成分,主要是钢轨在轧制过程中形成的周期性成分和波浪形磨耗。3~30 m波段主要由道床路基的残余变形不均匀,道床弹性、密实度不均,各部件间隙不等,接头或焊头形成的以轨长为基波的复杂周期波成分,以及桥涵、道口等轨道刚度变化和中、小跨度桥梁的动挠度、折角等形成。30~150 m波段多由路基工后沉降不均、路基施工的高程偏差、跨度较大的桥梁动挠度等构成。更长的长波多为地形起伏、线路坡度变化等形成。

轨道不平顺不仅波长的变化范围大,而且不同波长的不平顺,其影响也各不相同。因此需要按轨道不平顺的波长分类。

按轨道不平顺的波长特征,可分为短波、中波、长波不平顺三类。又可分为周期性和非周期性两种。周期性不平顺的特征是多波连续,基频波的波长相同,幅值具有随机性。非周期性不平顺的波长各不相同,无明显的基频波。

各国划分的波长类型基本相近,但各类型的波长范围不完全相同。根据我国的实际情况,划分如表1-1所列。