

轮轨多点接触及车辆—道岔 系统动态相互作用

Wheel/Rail Multi-Point Contacts and
Vehicle-Turnout System Dynamic Interactions

任尊松 著



科学出版社

轮轨多点接触及车辆-道岔 系统动态相互作用

Wheel/Rail Multi-Point Contacts and
Vehicle-Turnout System Dynamic Interactions

任尊松 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统而全面地阐述了作者提出的轮轨多点接触计算方法、车辆-道岔系统动态相互作用理论及应用。全书分九章,主要包括轮岔系统动态相互作用概论、轮轨多点接触几何关系、车辆系统动力学模型、道岔区轮轨接触几何关系、道岔系统动力学模型、轮岔系统安全性指标及数值计算系统、车辆-道岔系统动态相互作用、道岔区轮轨低动力作用、道岔区轨道板振动及疲劳寿命分析等内容。

本书理论性强,工程适用性好,内容完善,适合铁道机车车辆和铁路轨道专业的科研、设计和工程技术人员阅读参考,也可作为高校和院所车辆工程、载运工具运输工程以及轨道工程等相关专业 and 方向博士和硕士研究生的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

轮轨多点接触及车辆-道岔系统动态相互作用=Wheel/Rail Multi-Point Contacts and Vehicle-Turnout System Dynamic Interactions/任尊松著. —北京: 科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-039813-0

I. 轮… II. 任… III. 轨道(铁路)-道岔-接触器 IV. U284.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 030822 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



*

2014 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 2 月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:388 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

道岔是铁路轨道的重要组成部分,也是铁路轨道的薄弱环节之一,具有远比区间轨道复杂的结构及几何不平顺,极易产生各种病害,对轮岔动态相互作用和高速列车运行安全有十分重要的影响。

从 20 世纪 90 年代初期开始,特别是我国铁路实施既有线提速以来,本人一直关注车辆与道岔动态相互作用问题的研究与进展,也一直期待国内在该方面有所创新和突破,尤其是能够解决好轮岔相互作用关系及其动态安全等方面十分复杂的问题。

该书从研究轮轨多点接触关系出发,提出了迹线极值法轮轨多点接触几何关系判断和计算方法,在建立详细的车辆系统动力学模型、道岔系统动力学模型以及轮岔接触几何关系模型基础上,以道岔区特殊的轮岔动态关系为重点,全面开展了轮岔多点接触、动态相互作用安全、车辆系统振动、轨道系统振动和承载等方面的研究,在高速列车与高速道岔动态相互作用理论研究方面取得了丰富的成果。需要特别指出的是,道岔模型包含了 42 号板式无砟轨道高速道岔、38 号有砟轨道高速道岔以及 12 号提速道岔等,这三种道岔是国内近 20 年来不同阶段的主型道岔,具有典型性和实际意义。

该书的另一个特色是以轮岔低动力作用为目标,对道岔变截面区段钢轨空间结构、缓和曲线线型和轨下垫层参数等进行了深入研究,提出了可行的优化方案。这些细致的研究工作对降低轮岔动力作用和确保高速列车运行安全,具有重要意义。此外,该书还采用有限元方法,研究了轮岔接触和轮轨动力问题,丰富了车辆-道岔系统动态相互作用研究手段和成果。将轮岔动态载荷引入道岔区轨道板振动和疲劳可靠性研究,也是该书的另一创新之处。

该书是作者近年来潜心研究的成果,内容丰富,其理论性、创新性和实用性等得到了充分体现,相关的研究成果已在国内外陆续公开发表,产生了一定影响。相信,该书的出版对提升和完善高速车辆-道岔动力学研究具有重要的意义,对指导高速道岔设计和养护维修等具有良好的工程应用价值,也必将有助于我国高速铁路的发展。



中国科学院院士
西南交通大学首席教授
2014 年 1 月

前 言

道岔是铁路轨道的重要设备之一,承受并传递由铁道车辆运行引起的各种荷载,引导车轮沿既定方向行驶。道岔又是铁路的薄弱环节之一,具有远比区间轨道大的各种结构和动力不平顺,以致轮岔间发生剧烈的轮轨冲击振动。随着列车过岔速度进一步提高,尤其是高速道岔,其直向通过速度与区间正线相同,车辆-道岔系统动态相互作用越来越激烈,轮轨系统振动特性和安全性受到高度重视和关注。为此,本书主要研究车辆-道岔系统动态相互作用,即研究车辆系统与道岔系统之间的振动特性、轮轨接触关系、走行关系,以及以轮岔低动力目标道岔系统结构和参数优化等。

道岔与一般线路的区别不仅在于复杂的轨线布置和走行线路转换,而且体现在多变的轮岔接触几何关系方面。事实上,轮岔间必然发生多点接触。目前轮轨多点接触研究存在较大的困难,道岔多点接触问题在既有研究中多被忽略或者简化。为此,本书提出轮轨多点接触计算方法并对其进行车辆动态曲线通过验证,该方法为研究和解决轮岔多点接触问题奠定了基础。这部分研究内容体现在第2章。

转辙区和辙叉区钢轨的截面外形、轨顶宽度和高度不断变化,对轮轨接触和轮岔系统动态相互作用有重要影响。本书对现有高速客运专线42号和38号可动心轨式高速道岔、既有线12号可动心轨式提速道岔转辙区和心轨区钢轨变截面外形进行了数值离散,获得了它们的可用于轮岔动态相互作用研究的空间结构外形。结合轮轨多点接触和道岔区变截面外形,建立了轮轨接触关系子系统。这部分研究内容体现在第4章。

采用多体动力学方法,建立了铁道车辆系统动力学模型,给出了模型拓扑结构;在提取各种道岔共性的基础上,分别建立了42号板式轨道高速道岔、38号有砟轨道高速道岔和12号提速道岔模型。不同型号道岔存在各自特殊的结构、参数和边界条件,如道岔长度、轨道板/轨枕数目、变截面钢轨空间布置、尖轨和心轨起点位置以及为消除边界效应引入的道岔区前后计算区域等。这些差异和特征在每一种道岔模型中均得到了充分体现。车辆-道岔动态相互作用系统由车辆子系统、道岔子系统和轮轨关系子系统构成。轮轨接触关系子系统起到纽带作用,它将车辆子系统和道岔子系统联系在一起,形成一个相互耦合、互为反馈、动态相互作用的大系统。另外,在对比本系统研究结果、既有测试结果和数值计算结果基础上,完成了所建轮岔系统动态相互作用模型的验证工作。这部分研究内容体现在第3

章、第5章和第6章。

采用数值方法,详细研究了42号、38号和12号三种道岔轮岔系统动态相互作用特征。研究表明,列车通过任一类型道岔转辙区和心轨区时,轮轨之间必然发生多点接触,且转辙区轮轨多点接触范围大于辙叉区。辙叉区变截面钢轨长度远小于转辙区,由此辙叉区车轮走行时形成的道岔固有不平顺波长,远小于转辙区不平顺波长,致使直向过岔时辙叉区轮轨冲击大于转辙区轮轨冲击。发生轮轨冲击后,车辆系统和道岔系统均会发生剧烈振动,对行车安全有一定的影响。列车通过现有42号和38号道岔时,轮轨垂向力和横向力瞬态峰值、脱轨系数以及轮重减载率等安全性指标,均出现了较大值。依据相关标准采用一定频率滤波后的结果表明,这些安全性系数满足相关标准限值要求。另外,本书还在建立车轮-道岔有限元法模型的基础上,研究了轮岔接触和轮轨动力问题,验证了动力学研究中轮岔多点接触特性。这部分研究内容体现在第7章。

高速道岔存在多种结构和动力不平顺,是轨道线路的薄弱环节之一,如何降低高速列车-道岔系统动态相互作用并实现轮岔低动力,是高速道岔设计的重要目标。从高速道岔结构特征和影响轮轨动力的主要因素出发,本书还重点研究了辙叉区心轨关键变截面轨顶高度、缓和曲线线型以及道岔区轨下垫层刚度合理匹配问题,并以轮岔低动力为目标,提出了高速道岔合理的心轨区变截面优化结构、缓和曲线线型以及消除道岔动力不平顺轨下垫层合理刚度等,给出了转辙区和心轨区固有的轮轨走行几何不平顺性形式。这部分研究内容体现在第8章。

利用车辆-轨道系统和车辆-道岔系统动态相互作用模型,结合结构疲劳理论和方法,本书研究了区间正线高速线路轨道板和道岔区道岔板疲劳寿命问题。该项研究有机地结合了轮轨动力学和结构可靠性两个领域的研究成果,是对车辆-道岔系统动态相互作用研究十分有意义的尝试和延伸。该项研究的总体思路是借助动力学数值方法获得轨道板动态载荷时间历程,并在建立轨道板有限元模型基础上获得轨道板结构动应力,再借助混凝土结构S-N曲线,确定出道岔区和正线区间线路轨道板疲劳寿命。这部分研究内容体现在第9章。

总体来看,本书不但提出了研究轮岔动态相互作用和轮岔低动力的有效方法和思路,而且解决了困扰车辆-道岔动力学研究的轮岔多点问题,揭示了轮岔动力特征和轮岔走行关系,并从轮轨低动力角度,提出了高速道岔钢轨变截面区域轨顶高度、缓和曲线线型以及道岔区轨下刚度合理匹配方法等。这些研究不仅在减轻轮岔动态相互作用、改善道岔受力状况、延长道岔使用寿命、预防和减少道岔区安全事故、节省大量投入等方面具有良好的理论意义和工程应用价值,而且对国内外高速铁路快速建设和快速运输等,具有良好的理论指导意义。

借本书出版之机,向资助和关心过相关研究工作及本书出版的各有关单位和个人致以诚挚的谢意!感谢国家自然科学基金(51175032、50875019、50575020、

U1134201)、国家“973”计划项目、中国铁路总公司科学技术部项目等对本研究工作提供的大力资助和支持。感谢北京交通大学结构强度与动力学研究团队的各位同事,特别是孙守光教授、谢基龙教授、李强教授、刘志明教授、缪龙秀教授以及中铁工程设计咨询集团有限公司许有全总工等,他们为作者提供了十分宝贵的技术资料,为建立、验证和完善车辆-道岔系统动态相互作用理论及应用起到了十分关键的作用。特别要感谢中国科学院院士翟婉明教授长期以来的关心、指导和帮助,并在百忙中为本书作序。最后要感谢我的研究生们,特别是博士生徐宁、杨光、李玉怡和硕士生马尚、闻方宇、刘永乾、翟贝贝以及王姗姗等,他们为整理书稿付出了辛勤劳动。

作 者

2013 年 12 月

目 录

序

前言

第 1 章 轮岔系统动态相互作用概论	1
1.1 车辆-道岔动态相互作用研究意义	1
1.2 道岔特点及主要功能	3
1.2.1 道岔主要功能	3
1.2.2 道岔工作特点	5
1.3 国内外高速道岔发展概况	6
1.3.1 国内高速道岔发展	6
1.3.2 国外高速道岔发展	9
1.4 轮轨动力学发展概况	13
1.4.1 车辆动力学研究	14
1.4.2 轨道动力学研究	15
1.4.3 车辆-轨道耦合动力学研究	15
1.4.4 轮轨接触研究	16
1.5 车辆-道岔系统动力学发展概况	17
参考文献	22
第 2 章 轮轨多点接触几何关系	29
2.1 轮轨接触状态及参数	30
2.1.1 车轮踏面及钢轨顶面外形	30
2.1.2 轮轨接触状态	34
2.1.3 轮轨接触几何问题提出	35
2.2 影响轮轨接触主要因素	36
2.2.1 轮轨接触几何主要参数	36
2.2.2 不考虑钢轨振动时影响因素	37
2.2.3 考虑钢轨振动时影响因素	38
2.3 轮轨多点接触判断及计算	39
2.3.1 轮轨接触几何关系研究发展过程	39
2.3.2 迹线法轮轨接触点求解	41
2.3.3 轮轨多点接触判定	44

2.4 轮轨多点接触静态验证	48
2.4.1 LMA 踏面新轮新轨接触状态	48
2.4.2 LMA 踏面磨耗后轮轨接触状态	49
2.4.3 S1002/UIC60 轮轨接触状态	52
2.5 轮轨多点接触动态验证	52
2.5.1 轮轨法向力求解	52
2.5.2 动态曲线通过轮轨接触关系	53
2.6 本章小结	56
参考文献	57
第3章 车辆系统动力学模型	59
3.1 车辆系统动力学建模基本方法	60
3.2 车辆系统作用力描述	62
3.2.1 无间隙弹簧阻尼力描述	62
3.2.2 分段线性作用力描述	62
3.2.3 阻尼力离散点描述	63
3.3 车辆系统垂向动力学模型	64
3.3.1 三自由度垂向振动模型	65
3.3.2 十自由度垂向振动模型	66
3.4 车辆系统横向垂向动力学模型	68
3.4.1 系统坐标变换关系	68
3.4.2 轮轨法向力求解	71
3.4.3 车辆系统模型	73
3.5 弹性车体模型	80
3.5.1 振型函数	81
3.5.2 振动方程	82
3.6 轮对多点接触振动模型	83
3.7 本章小结	85
参考文献	85
第4章 道岔区轮轨接触几何关系	87
4.1 道岔区关键截面钢轨轨头外形离散	87
4.1.1 基本轨离散	88
4.1.2 42号道岔关键截面离散	88
4.1.3 38号道岔关键截面离散	93
4.2 道岔区关键截面轨顶截面生成	101
4.2.1 关键截面轨顶截面生成	101

4.2.2 关键截面轨顶连续变化	104
4.2.3 非关键截面轨顶截面插值生成	106
4.3 道岔区轮轨多点接触处理	107
4.3.1 转辙区和心轨区轮岔接触关系	108
4.3.2 轮缘槽位置轮轨多点接触关系	109
4.4 本章小结	111
参考文献	112
第5章 道岔系统动力学模型	114
5.1 道岔区主要部件处理方式	114
5.2 道岔区空间动力学模型	116
5.2.1 轨道模型	116
5.2.2 岔枕模型	126
5.2.3 道床模型	128
5.2.4 顶铁和间隔铁模型	133
5.2.5 相邻钢轨密贴处理方式	135
5.2.6 垫板处理方式	136
5.2.7 钢岔枕参振质量及抗弯刚度	136
5.2.8 道岔区岔枕横向结构	136
5.3 轮岔系统有限元模型	137
5.3.1 辙叉区模型	138
5.3.2 轮岔模型网格	139
5.4 道岔区轮轨力转移与分配	140
5.5 本章小结	142
参考文献	142
第6章 轮岔系统安全性指标及数值计算系统	144
6.1 车辆运行安全性及评价标准	144
6.1.1 脱轨系数	145
6.1.2 轮重减载率	150
6.2 轨道结构动力作用评价标准	151
6.2.1 防止钢轨侧翻标准	151
6.2.2 轨距扩大标准	152
6.2.3 轮轨力限制标准	153
6.3 车辆系统参数选取和轨道模态参数选取	156
6.4 道岔系统参数选取和轨道模态参数选取	157
6.4.1 道岔系统参数选取	157

6.4.2 轨道模态参数选取	159
6.5 系统数值方法及程序结构和流程	160
6.5.1 数值积分方法	160
6.5.2 系统程序和流程	161
6.6 车辆-轨道动态相互作用模型验证	165
6.7 车辆-道岔动态相互作用模型校验	169
6.8 本章小结	172
参考文献	172
第7章 车辆-道岔系统动态相互作用	174
7.1 42号道岔轮轨动力作用	175
7.1.1 侧向通过	175
7.1.2 直向通过	183
7.2 38号道岔轮轨动力作用	188
7.2.1 侧向通过	189
7.2.2 直向通过	197
7.3 12号提速道岔轮轨动态相互作用	200
7.3.1 侧向通过	201
7.3.2 直向通过	208
7.4 38号道岔岔心区有限元法轮轨动力分析	211
7.4.1 高速轮岔动态分析	212
7.4.2 影响轮岔动力因素分析	217
7.5 道岔病害对轮岔系统影响	225
7.6 本章小结	228
参考文献	228
第8章 道岔区轮轨低动力作用	230
8.1 轨顶高度低动力设计	230
8.1.1 38号道岔低动力轨顶高度优化	233
8.1.2 12号提速道岔低动力轨顶高度优化	237
8.2 缓和曲线合理线型及低动力作用	240
8.2.1 高速道岔与缓和曲线	241
8.2.2 缓和曲线理论分析	247
8.2.3 曲线通过计算结果与分析	251
8.2.4 道岔曲线通过计算结果与分析	256
8.2.5 合理线型选取	259
8.3 轨下垫层刚度低动力设计	260

8.3.1 道岔区弹性不平顺	261
8.3.2 道岔区固有不平顺	262
8.3.3 轨下垫层刚度匹配	267
8.4 本章小结	271
参考文献	272
第9章 道岔区轨道板振动及疲劳寿命分析	274
9.1 轨道板疲劳寿命分析方法	274
9.1.1 轨道板疲劳寿命研究发展	275
9.1.2 轨道板疲劳寿命研究方法	277
9.2 轨道板载荷	279
9.2.1 京津线路谱激励作用下载荷	279
9.2.2 42号道岔激励作用下载荷	280
9.3 轨道板疲劳分析模型	281
9.3.1 区间线路轨道板疲劳分析模型	281
9.3.2 42号道岔轨道板疲劳分析模型	281
9.4 疲劳结果与分析	283
9.4.1 疲劳载荷及工况	284
9.4.2 材料疲劳特性	284
9.4.3 京津线轨道板疲劳寿命分析	287
9.4.4 道岔区道岔板疲劳寿命分析	289
9.5 本章小结	290
参考文献	290

第 1 章 轮岔系统动态相互作用概论

铁路运输具有运载量大、速度快、连续性强、时刻准、运价低,以及受自然条件影响小等优势,在世界范围内得到了普遍发展,尤其是在国土辽阔的国家,铁路运输的地位十分突出。随着京津城际、京沪、京广以及哈大等高速客运专线开通运营,我国铁路技术装备水平、运输效率和运输能力得到了大幅提升,铁路运输已成为我国地面运输的重要支柱。从铁路运输的载体来看,主要涉及铁道车辆和铁路线路。从动力学角度来看,与前者相关的是车辆系统动力学,与后者相关的是轨道动力学。就研究内容而言,前者主要研究铁道车辆振动和安全性,后者主要研究铁路线路结构、振动和安全性等。

截至 20 世纪 80 年代末期,车辆系统动力学和轨道系统动力学作为两门相对独立的学科在各自领域内都取得了长足的进步,已发展成为内容丰富的学科,其理论水平和研究成果均已达到了相对完善的阶段。事实上,列车在轨道上行驶,铁道车辆和轨道之间必然发生相互作用。为此,20 世纪 90 年代初期,车辆-轨道耦合动力学^[1,2]作为一门交叉研究学科逐步发展起来,其目的是研究铁道车辆和轨道之间相互作用和相互影响下的性能特性。20 世纪 90 年代中期,在相对常规的车辆-轨道系统动力学取得长足进步之后,更为复杂和繁琐的车辆-道岔系统动力学研究成为研究轮轨耦合振动的重点内容之一。鉴于道岔既是轨道系统最主要结构之一,也是最薄弱环节之一^[3-5],车辆-道岔系统动态相互作用研究成为 20 世纪末至 21 世纪初最迫切需要研究的课题之一。目前,我国铁路运输速度已经达到 350km/h 及以上,在铁路运输高速化环境下,这就显得更为迫切。

1.1 车辆-道岔动态相互作用研究意义

道岔作为线路的重要设备,其结构和振动与区间正线相比存在较大的差异。20 世纪 90 年代以前,由于车辆过岔速度较低,车辆与道岔之间的动态相互作用不十分明显,车辆与道岔之间的相互作用问题未能得到足够的重视。某种程度上说,与道岔有关的研究仅限于研究道岔本身的受力、振动及变形情况,忽略了列车过岔时车辆系统及轨下基础的动力行为和振动特征。

随着社会进步和经济发展,铁路运输日益高速化,要求道岔直向通过速度与区间正线基本保持一致,侧向过岔也有较高的通过速度。但是,随着车辆过岔速度逐步提高,车辆系统与道岔系统之间的相互作用表现得越来越激烈,系统振动越来越

强烈,这就要求将车辆系统和道岔系统作为一个总体大系统,对其进行深入和详细地研究,获得系统振动的基本规律和实质,提出道岔系统低动力作用设计理论和方法,以期降低轮岔系统的动态相互作用、提高车辆过岔速度、确保高速列车运行安全、延长道岔使用寿命,为国民经济的长足发展创造有利条件。因此,开展车辆-道岔系统动态相互作用研究的意义主要体现在以下几个方面。

第一,铁路运输高速化决定了我国目前迫切需要开展高速列车与高速道岔系统动态相互作用理论、道岔低动力设计理论以及工程应用方面的研究工作。我国是一个铁路大国,对铁路运输依赖性非常强。但是,随着国民经济快速发展,铁路运输愈加重载化和高速化,尤其是经过既有线五次大提速以后,列车与道岔之间的动态相互作用越来越激烈,道岔振动越来越强烈,部件破坏也越来越频繁和严重。实施该项研究工作,对降低高速轮岔冲击振动、确保高速列车行车安全,具有良好的理论指导意义。

第二,有利于全面了解和掌握高速列车与道岔动态相互作用关系。研究结果显示,对于真正意义上的列车与道岔之间动态相互作用问题,尤其是轮岔走行关系问题,国外目前还没有很好地解决。国内在这方面虽然做了一定的研究工作,但仍有诸多问题尚未解决,亟须在高速列车与高速道岔动态相互作用理论研究方面取得进展和突破。我们从道岔区轮轨接触关系出发,研究高速列车与高速道岔动态相互作用理论,高速道岔结构低动力设计理论和方法,为国内高速道岔研制创造条件。

第三,对提升我国高速道岔设计与养护水平具有良好的理论指导意义,对满足我国高速铁路建设和高速运输需要具有较高的工程应用价值。国内目前在常规轮轨动态相互作用方面的研究已经取得了突破,但更为复杂的轮岔动态相互作用关系问题,如轮岔多点接触问题、横向冲击问题、道岔平面结构优化问题、磨耗问题、特殊截面强度问题等,至今仍未能得到很好地解决,制约了国内高速道岔设计、制造与维护。我们的研究在一定程度上能够弥补上述不足,对提高高速道岔设计与养护水平、减少国家财政投入等,具有指导意义。

第四,可为我国建立高速道岔动力评估系统提供理论依据。现阶段我国道岔在完成结构设计并满足现场铺设条件下,其动力指标,如转辙区和辙叉区最大轮轨力、尖轨和心轨最大振动加速度、岔枕截面最大弯矩、轮岔磨耗指数、垫板动态作用力、尖轨和心轨前端最大开口量和跳轨量等,均未能得到严格的考核与限制,致使道岔铺设上路后在短时间内产生病害,增加了列车安全运行风险、加大了养护与维修工作量、浪费了人力与财力。因此,我国目前特别需要建立针对高速道岔系统的动力及安全评估系统,对道岔结构设计进行验证与校核。这不仅能够在道岔设计完成之前发现潜在的问题并提出合理的解决方案,而且还可以对其使用过程中的安全性进行考核和评估。实施本项研究是建立高速道岔动力及安全评估系统的必

要条件之一,将为其奠定良好的理论基础。

综上所述,本项研究工作旨在高速道岔低动力作用理论方面取得进展和突破。这不仅在减轻轮岔动态相互作用、改善道岔受力状况、提高列车过岔速度、延长道岔使用寿命、预防和减少道岔区安全事故、节省投入等方面具有良好的理论意义和工程应用价值,而且能够进一步满足铁路快速建设与快速运输的需要,满足国民经济快速发展的需要。

1.2 道岔特点及主要功能

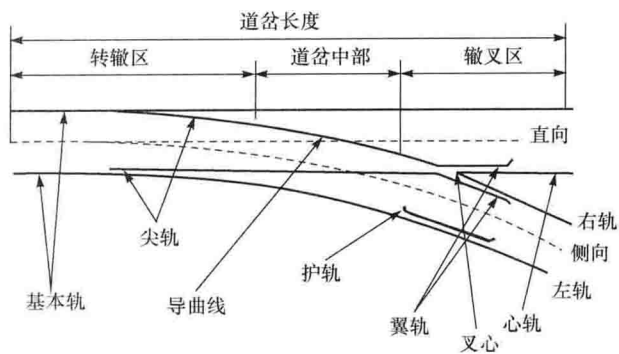
1.2.1 道岔主要功能

道岔是铁路轨道连接的重要设备,其功能是承受、传递由铁道车辆运行引起的各种荷载及引导车轮沿既定方向在轨道上行驶。实际上,道岔的技术水平比较集中地反映了一个国家铁路轨道的发展水平。同时,作为衡量道岔主要性能指标的直向过岔速度和侧向过岔速度也比较集中地反映了铁路装备的整体水平。与普通轨道不同的是,道岔范围内轨道由一股分支成两股(图 1.1)或多股,必须通过转换转辙器可动部件为铁道车辆提供转线,在轨线平面交叉点设置构造较为复杂的辙叉以满足两向轮缘通过要求。由于这些构造特点,使其具有量值非区间轨道所能比拟的纵剖面几何不平顺、轨下基础非均匀弹性不平顺等,进而使得它与铁道车辆之间的动态相互作用较区间轨道复杂,导致其部件使用寿命短、维修工作量大。因此,道岔既是轨道中的薄弱环节,又是保证行车安全和控制列车过站速度的关键设备。

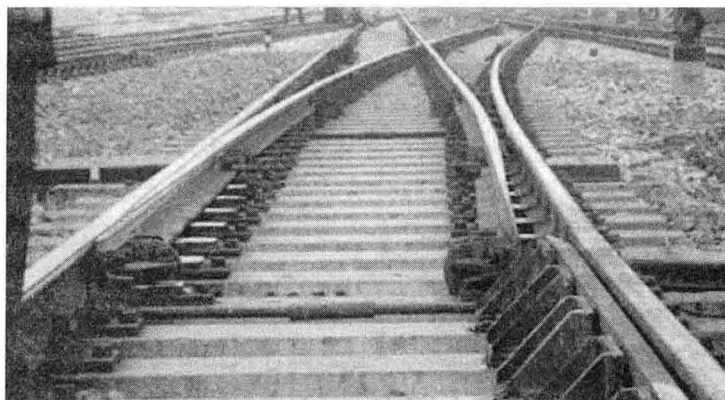
另外,道岔在轨道中的重要作用不仅体现在它实现了铁道车辆线路转换功能,而且还体现在它在铁道运输业务中不可或缺的地位,如运输业中的调车、编组、列车到发、会让、越行、摘挂机车、车辆取送、装卸、机车整备、车辆入库修理等作业,以及专用线与路网线路连接、修建施工临时便线等,无不借助于道岔来完成。

道岔除了需要保证列车运行线路顺利转换之外,还需要满足在高速、大运量条件下与铁道车辆相互作用的可靠性、稳定性、舒适性以及较长的使用寿命和较低的养护维修工作量。因此,道岔是铁路线上最关键的设备之一,是决定行车速度和安全的重要因素。

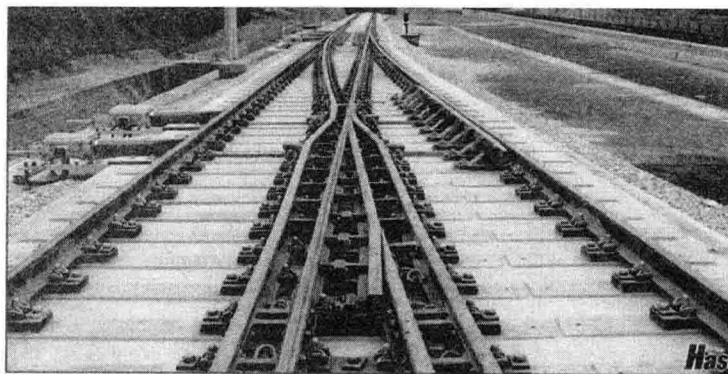
道岔区轮轨动态相互作用远大于一般区间线路,且在高速状态下这种动态相互作用尤为激烈。这不但是引起列车部件疲劳伤损的主要因素之一,而且还是造成尖轨和心轨严重磨损、轨道板/岔枕裂缝、螺栓断裂、垫板开裂等多种道岔病害的根源。根据近年来国内外统计结果显示,在所有工务事故中,道岔区发生的事事故占有相当大的比重,这些事故对各国铁路运输安全造成了严重影响。据欧洲不完全统计,每年因道岔磨损和破损更换道岔的费用,约占其整个轨道线路养护维修费



(a) 道岔区间名称



(b) 有砟轨道道岔



(c) 混凝土道岔板高速道岔

图 1.1 单开道岔平面示意图

用的三分之一左右。因此,道岔既是铁路轨道最薄弱环节,也是限制列车速度的主要线路部位。

我国现有的普通道岔和提速道岔约 50 000 组,未来 10 年内新铺设和更换高速道岔约为 6000 余组(图 1.1(c)为国内新铺设的混凝土道岔板高速道岔)。大量道岔必须确保其高质量设计和优良养护,否则将造成道岔运用安全性低、维修和更换工作量庞大以及耗费巨大等问题。

1.2.2 道岔工作特点

道岔数量大、种类多。在目前国内现役道岔中,单开道岔应用最为广泛,占道岔总数的 90% 以上^[1,4],其余为对称道岔、三开道岔、交叉道岔、交叉渡线等。单开道岔的结构特点是主线为一条直线,侧线由主线向线路的左侧(左开道岔)或者右侧(右开道岔)岔出。该型道岔结构较为简单,具有一定的代表性。因此,道岔与区间轨道相比存在较大的差异,主要表现在道岔区内轨线出现分支,尖轨只是跟部固定在岔枕上,转辙区和辙叉区都存在垂直不平顺,尖轨、翼轨和护轨部位具有水平冲击角,并且导曲线未设置超高等。所有这些结构特征,决定了道岔主要具有以下几个工作特点。

(1) 使用期限短

道岔结构本身的一系列特殊性,如转辙器部分尖轨、辙叉部分翼轨和护轨存在平面冲击角、固定辙叉叉心处轨线中断、轨线刚度变化、轨下基础弹性不均等,决定了道岔区存在不可避免的、量值远非一般区间线路所能比拟的几何不平顺和动力不平顺,导致轨线承受荷载复杂、变形量值大等,决定了其具有使用期限短、养护维修工作量大等特点。相关文献表明,整铸辙叉的使用寿命仅为区间线路同型钢轨的 $1/8 \sim 1/10$ ^[6]。

(2) 过岔速度受限

道岔在尖轨、护轨、翼轨及固定辙叉叉心处存在轮轨冲击,引起动能损失;导曲线半径一般较小且不设置外轨超高和缓和曲线,车辆无法平衡由此产生的瞬间较大离心加速度和离心力等;为保证车轮顺利过岔,转辙区尖轨和辙叉区心轨前端轨顶高度均会有所降低,如图 1.2 所示。虽然各截面轨顶高度降低量不同,道岔型号之间有所差异,但车轮通过时仍将形成走行轨线结构不平顺;道岔区内轨线刚度和轨下基础非均匀变化,导致车辆与道岔之间动态相互作用非常复杂。因此,为了保证行驶安全并减缓道岔破损与更换,列车运行过程中不得不降低过岔速度,尤其是

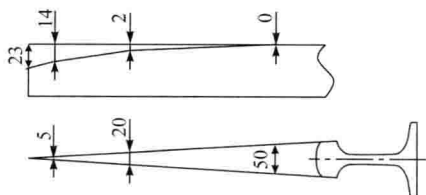


图 1.2 尖轨或心轨变截面区段轨顶高度和宽度变化