

高等学校教材

铁路轨道

上海铁道学院 童大坝 主编

兰州铁道学院 许实儒 主审

中国铁道出版社

1988年·北京

前 言

本书是建国以来铁路高等院校本科铁道工程专业铁路轨道（前称铁路线路上部建筑）课程教材的第三个版本。

自从第一第二版本相继于1961年及1979年问世以后，对这门学科的教学、科研和生产实践，曾经起到过一定的指导作用。但由于受当时各方面的影响，在处理学习国外技术与介绍学科的基本知识和基础理论等方面有一定的片面性，以至使上述两个版本的教材存在着体系庞杂、逻辑性不强、内容重点不突出等缺点。使用过这两个版本的老师、学生及科技人员，对此曾提出过不少建设性的意见和建议，并迫切希望尽快地编写出新的教材，以适应形势的需要。

1984年9月，铁道部高等学校铁道工程、桥隧专业教材编委会，根据各方面意见，决定对1979年出版的《铁路轨道与路基》上、下册进行修订，上册改名为《铁路轨道》，下册改名为《铁路路基》。《铁路轨道》新一轮教材由上海铁道学院童大坝教授担任主编，兰州铁道学院许实儒副教授担任主审，并邀请北方交通大学颜秉善副教授、西南交通大学王其昌副教授和上海铁道学院王午生副教授担任协编。编写组于1984年底开始工作，1985年底完成初稿，1986年6月完成二稿，并油印讲义分送各校试用，征求意见。1986年7月由主审许实儒副教授以及仲延禧老师和各兄弟院校代表审查，1986年9月再次进行修改定稿。

新编教材中的某些内容，可以有所取舍，以适应各兄弟院校的教学需要。例如连续弹性基础梁理论和连续弹性点支承梁理论可任选一种，进行课堂教学；轨道横向受力的静力计算及轨道动力响应的动态计算和钢轨接头受力分析等可以少讲或不讲；轨道养护及修理的大部分内容，可以结合生产实习进行现场教学。教材中保留这些内容的目的，是为了今后生产实践和科研的需要。

在教材的编写过程中，本着既要建立完整的科学体系，又必须把篇幅控制在规定的72学时数之内的要求。在正确处理理论与实践、深度与广度、先进性与适应性以及少而精与系统性等关系方面，尽了我们的主观努力。但限于主编的学术水平和写作能力，尽管经过主审及兄弟院校代表们的反复讨论和广泛征求路内专家学者的意见，稿件几经更易，难免还有许多不足和错误之处，有待再版时进一步修改订正。

在编写过程中，承蒙各兄弟院校及科研、生产单位的专家、教授提供了很多宝贵的意见，使教材内容得到进一步的充实和提高，谨向他们表示衷心的感谢。还应当感谢上海铁道学院吴祖荣、寿采和、孙庆华、杜慕珊等几位老师给予的帮助，向他们表示深切的谢意。

上海铁道学院 童大坝

一九八六年九月

内 容 简 介

本教材是根据一九八四年铁道部高等学校铁道工程、桥隧专业教材编委会决定，对一九七九年出版的《铁路轨道与路基》上册进行修订，并改名为《铁路轨道》。

内容包括：导论，主要介绍轨道的组成、工作特点、运行条件与轨道结构的关系，以及轨道的合理配套；轨道几何形位，主要介绍几何形位基本要素、曲线轨距加宽、外轨超高，以及缓和曲线几何要素；轨道力学分析，主要叙述作用于轨道上的力及其计算理论和方法；钢轨，主要叙述钢轨的功用和钢轨应力计算，钢轨接头及钢轨伤损情况；轨下基础，主要介绍轨枕类型、尺寸及受力分析，道床的功用及道床应力分析以及各种新型道床；无缝线路，主要叙述温度应力及无缝线路的稳定性及结构设计，应力放散和调整；道岔，主要介绍道岔种类、几何形位及与轨道的连接；最后介绍轨道养护及修理的方法和注意事项。

本教材除供高等学校铁道工程专业用书外，还可供铁道工程、桥隧专业的技术人员参考。

高 等 学 校 教 材

铁 路 轨 道

上海铁道学院 董大垵 主编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 李云国 封面设计 刘景山

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米☆印张：17 字数：416千

1988年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5,000册 定价：2.85元

目 录

第一章 导 论	1
第一节 轨道的组成及其作用	1
第二节 轨道的工作特点	3
第三节 运营条件与轨道结构的关系	5
一、行车速度与轨道的关系	6
二、机车车辆轴重与轨道关系	7
三、铁路运量与轨道的关系	8
第四节 轨道的合理配套	9
一、基本要求	9
二、我国铁路轨道类型	10
第二章 轨道几何形位	12
第一节 机车车辆走行部分的构造	12
第二节 轨道几何形位基本要素	14
一、轨 距	14
二、水 平	15
三、前后高低	15
四、方 向	16
五、轨 底 坡	17
第三节 曲线轨道轨距加宽	17
一、机车车辆通过曲线轨道的几何条件	18
二、根据车辆条件确定轨距加宽	18
三、根据机车条件检算轨距加宽	19
四、最大的曲线轨道轨距	20
第四节 曲线轨道外轨超高	21
一、外轨超高的计算	21
二、未被平衡的离心加速度、欠超高和余超高	22
三、曲线轨道最大外轨超高的规定	23
四、曲线轨道的最高行车速度	25
第五节 缓和曲线	25
一、几何形位要求	26
二、常用缓和曲线	27
三、高次缓和曲线	28
四、缓和曲线长度	30
第三章 轨道力学分析	33

第一节	概 述	33
第二节	作用于轨道上的力	34
✓ 一、	竖 向 力	34
	二、横向水平力	35
	三、纵向水平力	35
第三节	轨道竖向受力的静力计算——连续弹性基础梁理论	36
	一、基本假设和计算参数	36
	二、计算公式的推导	38
	三、轮载群作用下 y 、 M 、 R 值的计算	40
	四、算 例	41
第四节	连续弹性点支承梁理论	42
	一、连续弹性点支承梁的力矩和变形	42
	二、差分方程的建立及解算	43
	三、实用计算公式	47
	四、算 例	50
第五节	轨道横向受力的静力计算	51
	一、作用于轨道上的横向力	51
	二、静力计算微分方程的建立及其解	53
	三、钢轨的横向位移、弯矩及推力	55
第六节	轨道动力响应的准静态计算	56
	一、速度系数	56
	二、偏载系数	57
	三、横向水平力系数	58
	四、准静态计算公式	58
第七节	轨道动力响应的动态计算	58
	一、单自由度振动体系的钢轨挠曲振动	59
	二、双自由度振动体系的钢轨挠曲振动	62
	三、三自由度振动体系的钢轨挠曲振动	64
	四、计算参数	65
	五、算 例	66
第八节	机车车辆通过轨道不平顺的动力附加荷载	68
	一、轨道不平顺的形状	68
	二、动力平衡条件	68
	三、计算公式	69
第九节	车辆的脱轨条件	70
	一、导致车辆脱轨的原因	70
	二、车轮爬轨的临界条件	71
第四章	钢 轨	73
	第一节 钢轨的功用及性能	73
✓ 第二节	钢轨断面设计原则	74

第三节 钢轨化学成分及物理力学性能	76
一、化学成分	76
二、钢轨的物理力学性能	77
第四节 钢轨应力计算	78
一、基本应力计算	78
二、局部应力计算	79
第五节 钢轨接头	81
一、接头联结型式	81
二、钢轨接头联结零件	82
三、轨 缝	85
四、接头病害	85
第六节 钢轨接头受力分析	86
一、力学分析模型的建立	87
二、公式的推导	88
三、实用计算公式	91
四、轮轨作用力的限值问题	91
第七节 钢轨磨耗	92
一、侧面磨耗	92
二、头部压溃	93
三、波形磨耗	94
第八节 钢轨伤损	96
一、轨腰螺孔裂纹	96
二、轨头核伤	97
三、钢轨探伤	99
第九节 钢轨寿命	100
一、根据磨耗计算钢轨使用寿命	100
二、根据疲劳伤损估算钢轨使用寿命	102
第五章 轨下基础	105
第一节 概 述	105
第二节 木 枕	105
一、断面及尺寸	106
二、设计要求	107
三、本枕扣件	107
四、轨枕布置	109
五、使用寿命	110
第三节 混凝土轨枕及宽轨枕	111
一、混凝土轨枕类型	111
二、混凝土轨枕外形及截面尺寸	113
三、混凝土宽轨枕概述	115
四、宽轨枕结构类型	117

第四节	PC轨枕及宽轨枕的受力分析	118
第五节	PC轨枕和宽轨枕用扣件	119
	一、扣件类型	120
	二、扣件设计	124
第六节	道床	126
	一、道床的功用	126
	二、道床材料	127
	三、道床断面	128
第七节	道床应力分析	130
	一、道床顶面应力	130
	二、道床内部应力及路基顶面应力	131
	三、应用弹性理论计算道床应力	133
第八节	道床的变形	135
第九节	整体道床	137
	一、钢筋混凝土支承块	137
	二、钢筋混凝土道床	138
	三、钢轨扣件	139
	四、基底处理	140
	五、排水设施	140
	六、过渡段的设置	140
第十节	沥青道床	141
	一、铺装式沥青道床	141
	二、填充式沥青道床	142
	三、沥青及其混合材料	142
第十一节	板式轨道	144
第六章	无缝线路	146
第一节	无缝线路类型	146
第二节	基本原理	147
	一、温度力及锁定温度	147
	二、阻力	149
	三、温度力纵向分布规律	152
第三节	缓冲区的设置与轨缝计算	159
	一、缓冲区的设置	159
	二、轨缝计算	159
第四节	无缝线路稳定性	162
	一、基本概念	162
	二、影响无缝线路稳定性的因素	163
	三、计算公式	165
第五节	无缝线路结构设计	170
	一、轨道各部分应满足的要求	170

二、锁定轨温的检算	171
三、焊接长钢轨布置	172
四、预留轨缝计算	172
五、防爬器布置	172
第六节 桥上无缝线路	173
一、设计要点	173
二、伸缩附加力的计算	174
三、算 例	177
四、挠曲附加力计算	178
五、断轨计算	181
六、附加力的组合	182
第七节 无缝线路应力放散与调整	182
一、应力放散方法	182
二、应力放散计算	183
三、应力放散步骤	184
四、应力调整	184
第八节 长钢轨的焊接、运输及铺设	185
一、长钢轨的焊接	185
二、长钢轨的运输及铺设	186
第九节 无缝线路养护维修及故障处理	187
一、无缝线路养护维修特点	188
二、胀轨跑道原因分析	189
三、胀轨跑道的防止及处理	189
四、断轨的防止及处理	190
第七章 道 岔	192
第一节 道岔类型	192
第二节 单开道岔构造	193
一、转 辙 器	193
二、辙叉及护轨	195
三、连接部分	198
四、岔 枕	199
第三节 道岔几何形位	199
一、道岔各部分轨距	200
二、转辙器几何形位	201
三、导曲线几何形位	202
四、辙叉及护轨几何形位	203
第四节 单开道岔总布置图	205
一、直线尖轨、直线辙叉单开道岔	205
二、曲线尖轨、直线辙叉单开道岔	210
三、岔枕配置	212

第五节 过岔速度及提高过岔速度的措施	212
一、侧向过岔速度	212
二、直向过岔速度	216
第六节 特种道岔	218
一、对称道岔	218
二、交分道岔	220
第七节 轨道连接	224
一、岔 线	224
二、平行股道连接	225
三、渡线、梯线、三角线	225
第八节 道岔的铺设与养护	228
一、道岔的铺设	228
二、道岔养护	229
第八章 轨道养护及修理	231
第一节 轨道几何形位检查	231
一、轨距检测	232
二、轨道不平顺、前后高低、左右水平的检测	232
三、曲线轨道外轨超高和横向水平的检测	234
四、轨道检测数据自动处理系统	234
第二节 养路工作基本原理	236
第三节 线路经常维修	238
一、性质及任务	238
二、计划维修工作内容	239
三、线路经常维修基本作业	239
第四节 轨缝调整	240
第五节 缩短轨布置	241
一、缩短量的计算	241
二、缩短轨的数量及其配置	242
第六节 曲线轨道方向整正	243
一、圆曲线计划正矢的计算	243
二、缓和曲线计划正矢的计算	244
三、测点不在曲线始、终点时计划正矢的计算	245
四、拨量计算	247
五、各点拨量对前后各点曲线正矢的影响	248
六、计算拨量的限制条件	249
七、计划正矢的进一步修正	249
八、曲线整正的步骤与方法	251
九、算 例	251
第七节 线路大修	251
一、线路大修工作内容	252

二、线路大修设计	252
三、线路大修预算	256
四、线路大修施工	256
五、线路大修机械化施工	257
参考文献	260

第一章 导 论

交通运输是当前我国国民经济发展的薄弱环节。提高交通运输能力是我们面临的一项刻不容缓的任务。目前我国铁路担负着全国60%以上的运输任务，占有举足轻重的位置。提高铁路运输能力是解决这一薄弱环节的重要途径之一。

铁路是由工务工程、机车车辆、通信信号和运输管理等几个主要部门组成的庞大企业。各个部门在完成铁路运输任务过程中必须相互配合，通力协作，提高劳动生产率和经济效益。

轨道是铁路的主要技术装备之一，是行车的基础。工务部门承担着既有线轨道的管理和技术改造工作。加强轨道结构、提高轨道质量，保证列车按规定的速度安全、平稳和不间断地运行是工务部门最重要的职责。

了解和掌握铁路轨道结构的基本原理和轨道养护的基本知识，是工务部门广大工程技术人员和工人提高业务水平和工作能力的必不可少的环节。

本章将扼要介绍铁路轨道的组成，作用于轨道上的荷载，运营条件与轨道结构的关系，以及轨道各部分合理配套的原则。

第一节 轨道的组成及其作用

铁路轨道由钢轨、轨枕、联结零件、道床、防爬设备及道岔等主要部件组成。它的作用是引导机车车辆运行，直接承受由车轮传来的巨大压力，并把它传布给路基或桥隧建筑物。轨道必须坚固稳定，并具有正确的几何形位，也就是说，轨道各部分应有正确的几何形状、相对位置和基本尺寸，以确保机车车辆的安全运行。

钢轨是轨道的主要部件，用于引导机车车辆行驶，并将所承受的荷载传布于轨枕、道床及路基。同时，为车轮的滚动提供阻力为最小的接触面。钢轨按每米大致的质量(kg/m)区分类型。重型钢轨适用于运量大、速度高和行驶重载车辆的铁路；轻型钢轨则适用于运量较小的铁路和站线。

轨枕是轨道结构的重要部件，一般横向铺设在钢轨下的道床面上，承受来自钢轨的压力，使之传布于道床。同时利用扣件有效地保持轨道的几何形位。轨枕主要有木枕和混凝土枕两类。

联结零件是联结钢轨或联结钢轨和轨枕的部件。前者称接头联结零件，后者称中间联结零件，或扣件。其作用是长期有效地保证钢轨与钢轨或钢轨与轨枕间的可靠联结，尽可能地保持钢轨的连续性与整体性，阻止钢轨相对于轨枕的纵横向移动，确保轨距正常，并在机车车辆的动力作用下，充分发挥缓冲减振性能，延缓线路残余变形的积累。

防爬设备能有效地防止钢轨与轨枕之间发生纵向的相对移动，制止轨道爬行。

道床是轨枕的基础，在其上面以规定的间隔布置一定数量的轨枕，用以增加轨道的弹性和纵、横向移动的阻力，并便于排水和校正轨道的平面和纵断面。主要材料有碎石和筛选卵石。

石等。

至于路基，虽然不属于轨道的组成部分，但是通过钢轨、轨枕和道床传来的机车车辆动荷载，最终还要依靠路基来承受。路基是整个轨道结构的基础，其状态的良好与否，对轨道结构的正常工作有直接影响，因此，设计轨道时，必须对路基的坚固与稳定，进行综合的考虑。

道岔是机车车辆从一股轨道转入或越过另一股轨道时必不可少的线路设备，在铁路站场布置中应用极为广泛。它是轨道结构的重要组成部分。

由钢轨、轨枕和道床组成的轨道结构是世界各国广泛采用的一种传统型式。百余年来，这种结构型式变化不大，其基本特征是用不同力学性质的材料构筑而成。对这种结构来说，虽然力的传递方式是合理的，建筑费用也是经济的，但就其整体性而言，各组成部分之间的联结不够坚固稳定，使用寿命也很不一致。特别是道床的存在，使传统轨道成为一种很不稳定的结构。在列车荷载的重复作用下，产生较大的下沉，通过一定运量后就会出现各种各样的病害，必须加以整修。尽管如此，由于这种轨道结构型式具有投资小、弹性好和易于维修等优点，迄今仍被各国铁路作为一般轨道的主要结构型式而普遍使用。

随着铁路行车速度、机车车辆轴重和运量的增加以及科学技术的发展，已经出现了一些对传统轨道结构的某一组成部分或其整体进行重大改进或根本改革的新型轨道结构，以适应高速、重载、大运量、高密度铁路运输的需要，达到改善轮轨相互作用和轨道各部分应力应变分布状态，延长设备使用寿命，推迟养护维修周期诸目的。

多少年来，钢轨除每米的质量随着机车车辆轴重和行车速度的提高而有所增加外，没有什么重大的改进和根本性的改革。钢轨接头仍然是轨道结构的薄弱环节。世界各国正在努力设法，主要通过铺设无缝线路，即焊接长钢轨线路，尽可能地减少或根本消灭目前依然存在的钢轨接头。

轨道结构中钢轨以下的部分称轨下基础。20世纪70年代，世界各国出现了各种不同类型的新型轨下基础，主要有：

1. 采用新型轨下部件的轨下基础。这种轨下基础保留了传统的碎石道床，而把传统的横向轨枕改变为特殊形状的新型轨下部件，如荷兰铁路的“之”字型组合混凝土轨枕；奥地利铁路的平面上成双十字形的带翼轨枕；法国铁路的纵向混凝土轨枕等。我国从1966年开始试铺的混凝土宽轨枕，苏联的4型钢筋混凝土轨枕板和8型钢筋混凝土框架轨枕，也属于这种类型。

2. 采用新型道床的轨下基础。这种轨下基础对传统的碎石道床作了比较重大的改进，主要有如下两种方案：一是将松散的碎石道床更换成混凝土整体结构；二是保留碎石道床，在其间灌入沥青材料将它联成整体，使之整体化。前者称整体道床，后者称沥青道床。整体道床常用于隧道内部，在隧道基底上直接浇筑混凝土，以取代传统的碎石道床。整体道床坚固耐久，外观整洁，基本上能达到少维修的目的。缺点是造价高昂，施工复杂，一旦出现病害，整治非常困难。沥青道床的沥青材料灌入深度可达碎石道床的表面层，也可深入碎石道床的全部。沥青道床能增加线路强度，延缓轨道下沉，使维修工作量大大减少。在既有线上施工，能在不中断行车的条件下进行。

3. 综合采用新型轨下部件和新型道床的轨下基础。这种轨下基础，从根本上消灭了传统的碎石道床，因而也称无碴轨道，或板式轨道。板式轨道，不仅可以铺设在隧道内或高架桥上，也可铺设在一般的土质路基上。板式轨道用预制的钢筋混凝土板支承钢轨，在桥隧建

筑物的基底或路基顶面上，浇筑混凝土基础层，以代替传统的碎石道床。两者间设置可调整的缓冲垫层。板式轨道是从整体道床的基础上发展起来的，既保持了它的优点，又改进了其中的某些固有缺陷，在高速、重载、大运量、高密度铁路上应用，具有美好的前景。

铁路运营条件的改变，对钢轨联结零件也提出了更为严格的要求，除了要最大限度地保持钢轨的连续性与整体性外，还要在机车车辆的动力作用下充分发挥缓冲减振性能，延缓线路残余变形的积累。传统的不分开式扣件联结方式已完全被分开式代替。钢轨的扣压件已经从普通的道钉、螺纹道钉、扣板等刚性扣压件过渡到弹片和弹条等弹性扣压件，并在钢轨与轨下基础之间插入弹性很高的橡胶垫层，以提高整个轨道结构的缓冲减振性能。为了减少扣件的维修养护工作量，增加扣压件的扣压能力，有些国家研制了一些新型的无螺栓弹性扣件。其中比较有代表性的为英国的潘德罗尔 (Pandrol) 扣件及瑞士的费斯特 (Fist) 扣件。扣件的轨距调整方式也从分级调整向无级调整过渡，并提高调整轨距和轨面标高幅度。

第二节 轨道的工作特点

传统轨道的工作特点不同于其他一般工程结构物，主要表现在如下几个方面：

1. 荷载的随机性和重复性。
2. 结构的组合性和散体性。
3. 养护维修的经常性和周期性。

其中某些方面对新型轨道结构来说，无疑也同样具备。

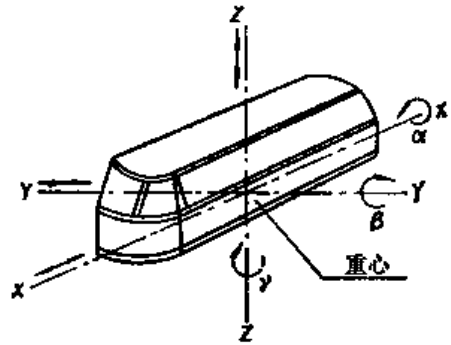


图 1-1

1. 荷载的随机性和重复性 轨道是一种专供机车车辆以一定速度行驶于其上的工程结构物。机车按其原动力分为蒸汽机车、内燃机车、燃气轮机车和电力机车。车辆按其使用目的分为客车、货车两大类。机车车辆走行部分的基本部件为轮对，分别安装在一个车架或几个转向架上。机车车辆总质量分配到每个轮对上的质量称轴质，其重力称“轴重”；分配到每个车轮上的质量和重力分别称轮质和轮重。不论是机车，还是车辆，都设有减振的弹簧装置，通过它把机车车辆分成簧下和簧上两个部分。当机车车辆在轨道上运行时，这两个部分的相互位置在各个方向上都会产生复杂的运动。除前进运动外，还伴随着一系列附加运动。它们经常以各种振动的形态出现，如图 1-1 所示。其中属于线振动的有：竖直方向的浮沉振动（即沿 Z 轴方向的上下跳动）；沿横坐标 Y—Y 方向的侧摆振动；沿纵坐标 X—X 方向的伸缩振动；属于角振动有：绕 Z 轴的 γ 转动（也称摇头振动或蛇行振动）；绕 Y 轴的 β 转动（也称点头振动）；绕 X 轴的 α 转动（也称侧滚振动）。实际上，各种振动的干扰力，在任何情况下，都不可能作用于车体或转向架的重心上，因而也有转向架本身的振动。所以每种振型既不是也不可能是单独出现，而往往是几种振型耦合在一起。如浮沉振动与点头振动同时产生合成为点浮振动，侧摆振动与摇头振动合成为摇摆振动，侧摆振动与侧滚振动复合形成滚摆振动等。再加上滚浮振动、摇伸振动、点伸振动共有六种基本振型。

显然，复杂的机车车辆振动必然会导致复杂的作用于轨道上的荷载。但是为了简便起见，基本上可以把它们分为竖向力、横向水平力和纵向水平力等三种不同的荷载。

(1) 竖向力 竖向力包括静轮重和附加动压力两部分。静轮重是车轮质量因重力加速

度而引起的竖向压力，是静止地作用于轨道上的一种荷载。静轮重随机车车辆类型而异，可从机车车辆的构造性能表中查取。附加动压力产生的原因比较复杂。它可以是蒸汽机车所特有的汽缸蒸汽压力、往复运动构件（活塞、摇杆和曲拐等）惯性力，以及过量平衡锤离心力所产生的附加竖向动压力。也可以是机车车辆车轮通过轨道不平顺时因簧下部分质量振动而产生的附加竖向动压力。其值随机车车辆类型、轨道不平顺的长度和深度以及行车速度而异。不平顺的长度愈小，深度愈大、行车速度愈高，作用于轨道上的附加动压力就愈大。尤其是车轮通过短不平顺时，附加动压力具有瞬时冲击荷载的性质，在行车速度较高的情况下，可达很大的数值。轮踏面上有不均匀磨损（扁瘠）、轮箍和轮心尺寸不正确（偏心）的车轮，在平顺的轨面上运行时，也会产生和圆顺车轮在不平顺轨面上运行时同样出现的附加动压力。也可能是因机车车辆簧上部分质量振动面作用于车轮上的附加动压力。它与机车车辆的弹簧悬挂装置的刚度和挠度有关，并随行车速度的增加而增加。这种力时面向上，时而向下，因此它对轨道有时起加载作用，有时则起减载作用。

以上几种荷载在机车车辆运行过程中不断重复出现，其数值也在不断变化，时而增大，时而减小，具有很大的随机性。因此，必须应用数理统计的原理，把这些作用于轨道上的竖向力组合起来。比较科学的方法是，通过精密的调查研究和实际测算，把它们在轨道预期使用寿命期间内以荷载大小及其出现频率表示的列车荷载谱形式确定下来。

很明显，机车车辆作用于轨道上的荷载是一种不稳定的重复荷载。当车轮通过轨道的某一特定断面时，荷载达最大值（随机值），通过后回到最小值（零值），因而使应力具有重复交变的性质。这就是为什么轨道各部件会发生疲劳破坏的症结所在。

（2）横向水平力 列车在运行过程中，除产生竖向力外，还产生横向水平力。

在直线地段，横向水平力主要因机车车辆的蛇行运动而产生。目前还没有正确计算直线地段横向水平力的方法。

在曲线地段，特别是小半径曲线地段，横向水平力一般要大出直线地段好几倍。机车车辆轮缘作用于钢轨上的横向水平力等于车轮通过曲线时的导向力与车轮循转向架转动中心转动时轮轨间摩擦力之差或和，随车轮的转动方向而定。导向力很据转向架通过曲线时与作用于其上的离心力、向心力、轮轨摩擦阻力的平衡条件计算求得。横向水平力受机车车辆、轨道结构类型，曲线半径，轮轨摩擦系数和轨道侧向刚度等众多因素的影响，目前我们只能用简化的计算公式或用实测方法确定它的近似值。

（3）纵向水平力 作用于轨道上的水平力主要有因轨温变化而在钢轨内部产生的温度力，轨道纵向爬行时的爬行力和列车制动时的制动力等。

2. 结构的组合性和散体性 轨道结构采用力学性能不同的材料组成，这是铁路长期使用过程中的经验总结。钢轨以很小的承压面积承受车轮的强大压力，通过中间扣件和本身的纵向挠曲变形将所受荷载传给其下的几根轨枕上。荷载通过钢轨的传递到轨下后有明显的减小。在正常情况下，作用于轨枕上的最大竖向压力和横向水平压力约为作用于钢轨上的50~60%左右。轨枕承受来自钢轨的各向压力，并弹性地传布于道床。通过这一传递，荷载又得到进一步的减小。道床是钢轨和轨枕组装而成的轨排的基础。它承受来自轨排的荷载并均匀地传布于较大的路基面上，使作用于路基面上的压力不大于一般土的承载能力。

虽然传统轨道在力的传递方面有它明显的优点，但是把钢轨和轨枕组成的轨排浮装在由松散颗粒作成的道床之上，这就不可避免地使轨道产生相应的变形。轨道变形包括弹性变形和残余变形（或称永久变形）两种。前者列车通过后即行消失，只要变形幅度不超过一定的

限度，无损于轨道的坚固与稳定。后者则随列车重复作用的次数而增大，当达到一定数值时，就必须通过养护维修作业，使轨道恢复原来的状态。

正确的轨道几何形位是保证列车安全和平稳运行的必要条件，传统轨道的组合性和散体性，使这一条件很难得到完全满足。而轨道的竖向、横向和纵向稳定性的强弱，均取决于道床的稳定程度。因此，有必要对传统轨道的道床稳定问题，进行更深入的研究。

3. 养护维修的经常性和周期性

传统轨道在机车车辆动力作用下，在风、沙、雨、雪和温度变化等自然条件影响下，产生一系列的变形。其中永久变形的存在不仅影响列车的高速和平稳运行，当积累到一定程度后，将大大削弱轨道的强度和稳定性，威胁行车安全。

实践表明，传统轨道永久变形的发展及其积累是不均匀、不一致的。这是因为轨道上有钢轨接头区与非接头区的区别，轨枕材质、使用年限和尺寸上的不一致，道床厚度和脏污程度的不同，以及轨道各部件材质上的差别等，造成轨道的弹性不均匀，使轨道在列车动力作用下，产生平面和纵断面上的不平顺，增大机车车辆对轨道的动力冲击，在某些地方加速了永久变形的积累。

对目前的轨道结构来说，产生不均匀的永久变形是无法避免的。人们只能延缓和他的发展，并把它限制在一定范围之内，但不能完全消除。即使整个轨道和各组成部分的强度均在容许的限度之内，情况仍然是这样。为保证列车的正常运行，应对轨道各部分的几何形位规定严格的技术标准，一旦这个技术标准被突破，就必须进行轨道的经常维修和定期修理。

此外，还有一个轨道各组成部件的疲劳伤损问题，特别是钢轨。在一般情况下，钢轨所受的基本应力，虽然不超过它的容许应力，甚至相差很大，但只要反复加载的次数达到一定的数值，也会出现疲劳伤损，使钢轨的有效面积很快被削弱，最后突然断裂，因此，有必要加强维修，防止事故的发生。

由此可见，轨道是一种需要边工作边维修的工程结构物，没有经常维修和定期修理，就不可能有一个能保证列车安全运行的轨道结构。但是轨道的修理周期受到铁路运营条件的影响。随着运营条件的不断提高，无疑将使修理周期大为缩短，并使可供修理的列车间隙时间大为减少。这就成为今后铁路运输工作中日益尖锐的矛盾。有识之士早已提出要发展一种少维修的新型轨道结构。有关这方面的情况，将在以后陆续加以说明。

第三节 运营条件与轨道结构的关系

机车车辆在轨道上日夜运行，完成运输任务的过程，也就是轨道与机车车辆相互作用的过程。因此，有必要对机车车辆的构造性能，作一些扼要的介绍。机车除按其原动力区分类外，还可按其车架或转向架上的车轴数量和排列形式加以表示，称为轴列式。蒸汽机车通常以三个数字分别表示机车导轮、动轮和从轮的对数。例如 1—5—1，表示该机车有一对导轮，五对动轮，一对从轮。内燃机车和电力机车的轴列式，用前后二台转向架上由牵引电动机驱动的动轮对数表示。例如 3_0-3_0 （或 C_0-C_0 ）表示内燃机车或电力机车前后二台转向架上，各有三对（C 表示 3）由牵引电动机驱动的动轮。角注 0 表示有牵引电动机驱动的动轮轴。机车车辆从其本身构造来说可能达到的最高运行速度，称机车车辆的构造速度。

车辆除按其用途分为客车和货车两大类外，还可按其轴数分为四轴、六轴及多轴车。车辆的转向架以两轴转向架为最常用。同一机车车辆最前位和最后位车轴中心间水平距离，称

为它的全轴距。同一车架或转向架上始终保持平行的最前位和最后位车轴中心间水平距离，称为它的固定轴距。

目前，我国铁路主型机车车辆的构造性能见表 1—1。

主型机车车辆构造性能

表 1—1

类 型	轴 列 式	构造速度 (km/h)	平均轴重 (kN)	车轮直径 (cm)	固定轴距 (cm)
一、蒸汽机车					
前进 (QJ)	1—5—1	80	196	159	640
建设 (JS)	1—4—1	80	196	137	442
人民 (RM)	2—3—1	110	201	175	366
二、内燃机车					
东风	3 ₀ —3 ₁	100	206	105	420
东风 ₁	3 ₀ —3 ₁	100	206	105	420
东风 ₂	3 ₀ —3 ₁	100~120	225	105	360
ND ₂	3 ₀ —3 ₁	120	196	110	410
ND ₃	3 ₀ —3 ₁	118	225	105	414
三、电力机车					
韶山 (SS)	3 ₀ —3 ₁	95	225	125	160
韶山 (SS ₂)	2 ₀ —2 ₁ —2 ₂ —2 ₃	100	225	125	300
6G	3 ₀ —3 ₁	112	225	125	467
四、车辆					
新转 8 (货)	2 轴	120	210	84	175
202 (客)	2 轴	120	151	91.5	240
209 (客)	3 轴	160	175	91.5	240

为确保列车的安全、平稳和不间断运行，轨道的设备和状态必须与机车车辆的运营条件相适应。运营条件主要由行车速度、轴重和运量等三个参数来描述。了解轨道结构与运营条件之间的内在联系，就可以为选择轨道结构类型提供必要的理论依据。

一、行车速度与轨道的关系

一般认为，现有轨道结构所能达到的极限行车速度为300~350km/h，超过这个速度，传统的轮轨系统必须加以改变，如采用气垫列车、磁浮列车或管道列车等。目前各国铁路运营列车实际达到的最高速度为：日本260km/h，法国300km/h，美国190km/h，苏联、英国、联邦德国为160km/h。一般铁路上的最高行车速度均在160km/h以下。

列车在轨道上行驶时，由于动力作用，车轮的垂直压力要比静止时的重力为大，其增长幅度随具体情况而异。从理论上讲，当圆顺的车轮在平顺的轨道上行驶时，车轮对钢轨的动压力比静止时的车轮压力增加很少，速度的影响不大。实际试验也证实了这一点。如在平顺的轨面上，行车速度从10km/h增大到100km/h，动压力只比静压力增加7%，但是，车轮的偏心 and 扁瘠以及钢轨接头及其他不平顺是无法避免的，只有通过经常维修把它们限制在容许范围之内。在存在局部不平顺的情况下，机车车辆的动力作用随行车速度的增加而增加。如轨面上有60mm长、3mm深的不平顺时，动压力将增加1.5倍，如果车轮上出现扁瘠，甚至可增加2~2.5倍。这将大大加剧轨道的破坏。试验结果表明，轨枕和道床的振动加速度也随行

车速度的提高而增加。道床下沉与作用于轨道上的压力成正比，且因道床振动使道碴颗粒间的摩擦系数减少，故也与道床的振动加速度成正比。一般说来，道床的振动加速度随机车车辆行驶速度的增加而增加，但振动频率不变。在钢轨接头和其他轨道不平顺处，道床振动加速度将与机车车辆行驶速度的平方成正比，振动频率则与机车车辆行驶速度成正比。因此，提高行车速度，将促使轨道状态变化，增加养路工作量，特别是轴重较大和路基不良的情况下，更为严重。

试验与理论分析结果还表明，提高行车速度，对横向水平力增加的影响也很大，特别是在高速行车时有可能出现车轮的瞬时卸载，导致车轮脱轨、增加轨道框架横向位移，以及失去稳定等严重事故。

此外，还必须考虑因提高行车速度而引起的速度和加速度改变对乘客旅行舒适度的影响。试验证明，人体可以适应较大的速度变化，但对加速度的变化却是非常敏感的。对高速列车，相应的加速度有（1）因列车加速或减速而引起的纵向（前后）加速度；（2）因曲线上未被平衡超高而产生的横向（左右）加速度；（3）因车体弹簧振动而产生的竖向（上下）加速度。人体所能承受的竖向加速度较横向加速度为小。一般认为，人体较长时间所能承受的竖向加速度不超过 0.5m/s^2 ，而横向加速度可达 1.0m/s^2 。

目前的传统轨道结构也适用于行驶高速列车，但需要较高的养护费用，确保车轮和轨道不平顺不超限。为减少因提高行车速度而带来的轨道破坏，可在提高轨道养护维修质量的同时，增强轨道结构抵抗振动的能力，如采用无缝线路以消除轨道的振动冲击源，采用高弹性扣件和轨下垫层，以提高轨道的弹性。也可采用新型碎石道床结构或板式轨道，达到少维修的目的。

二、机车车辆轴重与轨道关系

增加轴重，例如改用大型机车或行驶重载车辆，会增加整个轨道及其各部件的损坏，特别是钢轨。

钢轨在轮轨系统运输中占有重要的地位。随着轴重的增加，钢轨承受轮载而产生的轮轨接触应力、轨头内部剪应力、局部应力和弯曲应力等都将相应增加。同时，钢轨疲劳循环荷载作用下的应力水平也将随之提高，使钢轨所能承受的荷载循环次数大为减少，缩短钢轨的使用寿命。

研究表明，钢轨头部伤损几乎全是疲劳伤损，而且都是由超载所引起的。钢轨折损率随轴重的增加而增加。除钢轨外，其他轨道部件也同样出现这种情况。由于各种疲劳现象而导致的钢轨折损，以及轨道几何形位的破坏，都与轴重有关。各国钢轨疲劳损伤统计资料的分析结果，也充分说明了钢轨疲劳折损率和轴载之间的函数关系。例如，在法国，钢轨疲劳折损率与轴载的2.25次方成正比；在美国，则与轴载的3.8次方成正比；在苏联，当轴载从206 kN增加到225 kN时，尽管轴载仅增加10%，但钢轨疲劳折损率却增加近一倍。如果轴重与行车速度同时增加，钢轨疲劳折损率的增长规律，将更趋复杂。重载货物列车，即使运行速度不高，其对轨道的破坏，往往要比一般高速列车大。有些国家认为，轴载超过245 kN后，机车车辆对轨道的影响，将比行车速度提高到160 km/h更大。

接触理论表明，轮轨面上的接触应力和轨头内部的剪应力与轴载 P 成正比，与车轮直径 D 成反比，因此，常用 P/D 这样一个比值来衡量轮轨接触应力的水平（有的国家则用 $P/$