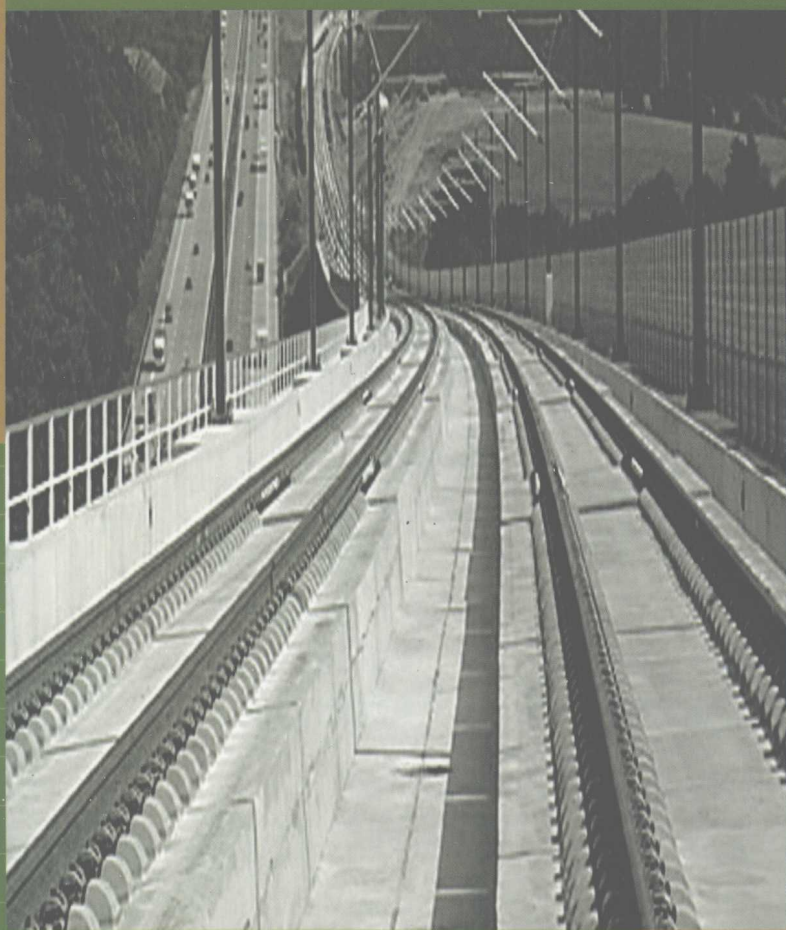




高等学校土木工程系列教材

轨道

李成辉 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等学校土木工程专业系列教材

轨 道

GUIDAO

李成辉 主编



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书以轨道的基本原理、基本知识和基本技能为基础,并将轨道设计理论、设计方法和维修、管理模式方面的新成果纳入其中,同时还扼要地介绍了轨道的发展动向。

全书共分七章,主要介绍了轨道结构、轨道几何形位、轨道力学分析、无碴轨道、道岔、无缝线路、轨道维护及管理。

本书为高等学校交通土建、交通运输和土木工程等专业轨道课程本科教材,并可供从事轨道交通的工程技术人員学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

轨道 / 李成辉主编. — 成都: 西南交通大学出版社,
2005.4
(高等学校土木工程专业系列教材)
ISBN 7-81104-043-3

I. 轨... II. 李... III. 轨道(铁路)
IV. U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 009635 号

高等学校土木工程专业系列教材

轨 道

李成辉 主编

*

责任编辑 张 波

责任校对 韩松云

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787mm × 1 092mm 1/16 印张: 14.25

字数: 356 千字 印数: 1—5 000 册

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-043-3/U · 007

定价: 22.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: (028) 87600562

前 言

本书是根据高等学校本科铁路轨道课程教学基本要求（参考学时为 85 学时）编写的，主要用于高等学校土建交通工程专业多学时轨道课程的教材。

近年来，我国轨道交通铁路、地铁和轻轨都以前所未有的速度发展，特别是铁路全面提速和客运专线的运营，促进了轨道结构的发展。为了适应运输要求，借助于新材料、新技术和新工艺的应用，轨道的设计理论，设计方法和维修、管理模式都有新的突破并取得了成果。为了满足本科教学和工程技术人员工作的需要，本书以轨道的基本原理、基本知识和基本技能为基础，将成熟的成果纳入其中，同时还扼要地介绍了轨道的发展动向。

本书由西南交通大学李成辉主编，万复光主审。参加编写的有西南交通大学刘学毅、王平、郭利康、杨荣山和北京交通大学高亮。具体分工为：绪论由李成辉编写；第一章由郭利康编写；第二章由杨荣山编写；第三章由李成辉、高亮编写；第四章由刘学毅、高亮编写；第五章由王平编写；第六章由王平、高亮编写；第七章由刘学毅编写。

本书以 2000 年版《铁道工程》中轨道部分的体系和内容为基础，在此向该书的主编郝瀛教授和有关编写者表示衷心的感谢。本书还参考和引用了已出版的有关规范和文献资料，在此一并表示感谢。

编 者

2004 年 11 月

目 录

绪 论	1
第一章 轨道结构	7
第一节 概 述	7
第二节 钢 轨	7
第三节 钢轨联结	16
第四节 轨 枕	22
第五节 扣 件	28
第六节 道 床	34
第二章 轨道几何形位	40
第一节 概 述	40
第二节 机车车辆走行部分的构造	40
第三节 轨道几何形位基本要素	43
第四节 曲线轨道轨距加宽	46
第五节 曲线轨道外轨超高	49
第六节 缓和曲线	54
第三章 轨道力学分析	61
第一节 轨道结构竖向静力分析模型	61
第二节 钢轨位移、弯矩和枕上压力计算	65
第三节 轨道强度检算	68
第四节 轨道强度检算算例	73
第五节 扣件力学分析	76
第六节 轮轨接触问题	78
第七节 车辆通过曲线	81
第八节 轨道动力学简介	86
第九节 轨道临界速度	91
第四章 无碴轨道	96
第一节 概 述	96
第二节 整体道床	97
第三节 板式无碴轨道	100
第四节 长枕埋入式无碴轨道	106

第五节	弹性支承无碴轨道	110
第六节	无碴轨道扣件	111
第七节	无碴轨道受力计算方法	117
第五章	道 岔	121
第一节	道岔的功用及类型	121
第二节	单开道岔的构造	123
第三节	单开道岔的几何尺寸	133
第四节	单开道岔的总布置图	138
第五节	过岔速度和提高过岔速度的措施	144
第六节	道岔的铺设与养护	152
第六章	无缝线路	157
第一节	概 述	157
第二节	基本原理	158
第三节	无缝线路的稳定性	167
第四节	普通无缝线路设计	182
第五节	桥上无缝线路	184
第六节	跨区间无缝线路	192
第七章	轨道维护及管理	201
第一节	轨道检查	201
第二节	轨道质量状态评价	204
第三节	线路维护及管理	210
第四节	线路大修及管理	214
第五节	缩短轨及曲线整正计算	217
参考文献		222

绪 论

一、轨道的作用和特点

1. 轨道的作用

轨道是铁路、地铁的主要技术装备之一，一些轻轨也采用同样的轨道形式。轨道是行车的基础，它的作用是引导机车车辆平稳安全运行，直接承受由车轮传来的荷载，并把它传递给路基或桥隧等建筑物。

作为行车基础的轨道是提高道路承载能力需求的产物。早在 16 世纪，随着英国工业革命的兴起，大量的矿石需要从矿区运到最近的码头，矿车的载重量越来越大，道路因沉重的矿车将其压出沟槽而破坏。为了降低车轮对路面的压力，提高运载重量和速度，1605 年有了第一条用木条铺成的木轨道，木轨道既减小了对路面的压力，也减小了运行阻力，使得马拉的矿车载重量成倍提高，速度也有了较大提高。

随着冶炼技术的进步，铁价越来越便宜，铁条被用来加强曲线和容易破坏地段的轨道。大约在 18 世纪中期，出现了铸铁轨轨道。为了限制车辆因横向运动而脱离轨道，采用了在车辆的车轮上设置轮缘的方法，并被沿用至今。铸铁轨轨道进一步提高了轨道承载能力。1830 年英国建成第一条由蒸汽机车牵引的真正意义上的铁路后，铁路运输的速度和载重量对轨道的承载能力提出了更高的要求。19 世纪 40 年代，在铁轨下铺设了与之垂直的木轨枕，用来连接两根铁轨。木轨枕的应用较好地保持了铁轨之间的相对位置，减小了轨枕下地面的应力。减小地面应力的另一个有效措施是在地面上轨枕下铺设一层碎石组成的道床。同时，碎石道床还提高了轨道的弹性和排水性能，使轨道便于维修。

铁路运输的效率和速度促使各发达资本主义国家竞相修建铁路，到 1860 年，世界各国已修建了 10 万 km 铁路。同时，铁路运输的发展也推动了轨道结构的发展和完善，1865 年，钢轨代替了铁轨，建成的轨道具有了现代轨道结构的基本结构形式，我们把它叫做传统轨道或普通轨道。传统轨道的道床由散体材料碎石组成，又叫有碴轨道。

2. 轨道的结构特点

从横截面看，传统轨道自上而下由钢轨、轨枕、碎石道床等力学性能不同的材料组成，钢轨和轨枕用扣件联结成轨排浮铺于碎石道床上。从轨道平面看，钢轨与钢轨用接头联结零件联结，在站场还有用于列车转换轨道的道岔。因此，轨道的结构特点是组合性和散体性。此外，轨道结构是非常长大的工程结构物，跨越各种地理环境，受环境影响因素多。

轨道结构最上层是强度最高的钢轨，用以承受车轮施加的巨大压力。轮载传递到轨枕时，由于相邻轨枕的分担作用，传到轨枕的压力约减小 $1/2$ ，再加上轨与枕之间接触面积增大，轨枕的应力一般不会超过木枕的强度极限。轨枕与道床之间的接触面积数倍于钢轨与轨枕的接触面积，散体材料堆积而成的碎石道床应力又减小数倍。经过道床的扩散，最后传递

到路基、桥隧结构物上的应力更小。从静力学角度看，传力机理非常合理。

为了保证机车车辆安全平稳地运行，轨道必须给有轮缘的车轮提供连续平顺滚动的表面，为此要求轨道具有一定的几何形位（如轨距、水平、轨向等）。轨道几何形位误差叫轨道不平顺。轨道结构的特点决定了轨道几何形位很难准确控制，轨道不平顺是客观存在的。

轨道不平顺可分为静不平顺和动不平顺：静不平顺是指钢轨的轮轨接触面不平顺，如钢轨轨面不平顺、不连续（接头、道岔）和几何形位误差；动不平顺是指轨下基础弹性不均匀，如扣件失效、轨下支承失效、路基不均匀以及桥台与路基、路基与隧道等过渡段的弹性不均匀。

3. 轨道荷载的特点

轨道荷载具有重复性和随机性的特点。

荷载的重复性表现在两个方面：一是指不同的列车通过时荷载的反复作用；二是指每列车通过时每个车轮荷载的反复作用。

相对轨道某一断面而言，车轮由远处而来、接近、离开，将车辆自重传递给钢轨及轨下基础，使线路发生沉陷、变形，形成一条以车轮和钢轨接触点为中心的位移变形曲线，钢轨及轨下基础承受由小到大再变小的荷载作用，并激起线路各部分振动。列车车轮依次通过该断面，轮群对线路该断面的荷载还具有周期性，轨道在列车轮群周期性荷载作用下作强迫振动。

列车在轨道上运行时，由于客观存在的轨道不平顺、车轮不圆顺、车辆的蛇行运动等原因，使轮轨系统产生冲击和振动。轮轨不平顺是轮轨系统的激振源，不平顺的波长、波深、出现位置都有很大的不确定性，因此振动及振动产生的荷载是随机的。

由于轨道荷载的重复性和随机性，轨道及各部件长期处于交变应力状态。交变应力产生于轮轨系统振动引起的动力循环和每通过一个车轮的一次应力循环。

4. 轨道的工作特点

轨道是边维修边工作的工程结构物，其工作特点是维修的经常性和周期性。

轨道结构是一种以“破坏”为前提的特殊结构物。所谓“破坏”是指轨道结构在列车荷载反复作用下，逐渐改变轨道的几何形位，形成轨道不平顺。轨道不平顺会影响行车平稳和旅客舒适，甚至会造成脱轨等，同时，轨道不平顺加剧轮轨系统的振动并加速轨道状况恶化。当轨道变形超过了轨道几何尺寸容许限度值，或者难以通过维修保持轨道变形小于容许限度，则认为轨道结构已不能满足应有的承载能力，为了恢复其功能必须进行大规模的维修。

导致轨道破坏的主要原因是轨道及其各部件长期受振动和交变应力的作用。在交变应力作用下部件的破坏叫疲劳破坏，其破坏形式与静荷载下发生的强度破坏截然不同。金属材料的疲劳破坏过程可分为疲劳裂纹形成、扩展和脆断3个阶段，其疲劳寿命主要由应力循环中的平均应力、应力幅和循环次数3个因素控制。轨道各部件的破坏主要表现为疲劳破坏，是交变应力作用下损伤逐渐积累的结果。

此外，振动使道碴颗粒间的摩擦系数减小，加速道床下沉，所以振动加速度也是造成轨道破坏的原因之一。

二、运营条件与轨道的关系

作为行车基础的轨道，其任务是安全、平稳地运输旅客和货物，同时运营费用还要尽可能低。为了满足运输要求，轨道结构必须与运营条件相适应。运营条件用行车速度、轴重和运量 3 个参数来描述，它们从不同的侧面影响轨道结构。

1. 行车速度与轨道的关系

行车速度对轨道的影响主要表现在动力作用方面。行车速度越高，机车车辆和轨道的振动强度越大，作用于轨道上的动荷载越大，轨道的几何形位越难保持，轨道及其各部件交变应力幅度和振动加速度越大。所以，行车速度越高，轨道结构及其部件破坏越快。

从理论上讲，当车轮圆顺的列车在平顺的轨道上行驶时，轨道承受的动轮载与静轮载相比增加很少，速度的影响不大。但由于客观存在的轨道不平顺和车轮不圆顺等因素，动力作用会随行车速度的增加而明显增加，严重时，可比静轮载大 2 倍多。

轨道横向水平力也随行车速度的提高而增大。横向力产生的主要原因是机车车辆的蛇行运动和机车车辆曲线通过的导向力。过大的横向力容易造成车轮脱轨、钢轨侧面磨耗，还会引起轨道框架横向位移，增加无缝线路失去稳定的可能性。

此外，提高行车速度引起车辆振动速度和加速度提高，影响乘客旅行舒适度。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。

因此，行车速度越高对轨道平顺性的要求越高，高速铁路要求轨道有高平顺性。要使轨道具有高平顺性，不但要严格控制轨道几何形位，还要强化轨道结构，控制动力作用下轨道的变形。

2. 轴重与轨道的关系

轴重是指一个轮对承受的机车或车辆重量。轴重反映了轨道承受的静荷载强度，它决定了各部件交变应力的平均应力水平。轴重的一半称为静轮重。轴重越大，轨道承受的荷载也就越大，各部件的交变应力水平随轴重增加而增大，所能承受的荷载循环次数大为减少，使用寿命缩短，轨道疲劳破坏速度加快。

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。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的高速列车对轨道的破坏程度大。如果轴重与行车速度同时增加，钢轨折损率的增长规律将更趋复杂。

3. 运量与轨道的关系

运量常用机车车辆的通过总重量表示，它是机车车辆轴重及其通过次数的乘积，是反映轴重、速度、行车密度的一项综合指标。行车速度和轴重决定了轨道结构的荷载强度，以及各部件交变应力的应力幅和平均应力；行车密度决定了荷载和应力作用的频率。钢轨的磨耗和折损、轨道永久变形积累、混凝土轨枕的破坏以及联结零件的伤损都和累计运量有直接

的关系：运量越大，行车密度越大，列车荷载作用越频繁，单位时间内应力循环次数越多，整个轨道的永久变形积累及其部件的疲劳伤损越快，轨道的维修周期越来越短。同时，运量越大，可用以维修的作业时间越少。

满足运营条件的轴重、行车速度和运量 3 个参数基本上和平均应力、应力幅度、循环次数这 3 个因素相对应：轴重与平均应力对应；行车速度与应力幅度对应；运量与循环次数对应。运输的发展就是提高输送能力。铁路运输的发展方向是高速、重载、高密度。为了满足运输要求，轨道只能从提高轨道结构整体强度和轨道平顺性两方面入手，以降低疲劳应力幅度，增加轨道寿命，减少轨道维修工作，保证行车平稳和安全。

三、轨道类型

自从改革开放以来，我国运能与运量的矛盾越来越突出，铁路与公路、航空运输的竞争也越来越激烈。为了适应全面提速及重载货运的运输要求，借助于新技术、新材料的应用，在提高钢轨性能、消除钢轨接头、换铺混凝土轨枕、应用弹性扣件、铺设无碴轨道等方面取得了一系列成果，完成了对既有线的改造并提高了新建线路标准。

表 1 为我国目前根据运营条件确定正线轨道类型的标准。

表 1 正 线 轨 道 类 型

项 目				单 位	特重型	重 型		次重型	中 型	轻 型
运营 条件	年通过总质量			Mt	>50	25 ~ 50		15 ~ 25	8 ~ 15	< 8
	旅客列车最高设计行车速度			km/h	≤140	140	≤120	≤120	≤100	≤80
轨道 结 构	钢 轨			kg/m	75 或 60	60	60	50	50	50 或 43
	轨 枕	混凝土枕	型 号	—	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ 或 Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
			铺枕根数	根/km	1 680 ~ 1 720	1 680	1 840 或 1 680	1 680 ~ 1 760	1 600 ~ 1 680	1 520 ~ 1 640
		防腐木枕	型 号	—	—	—	I	I	I	Ⅱ
			铺枕根数	根/km	—	—	1 840	1 760 ~ 1 840	1 680 ~ 1 760	1 600 ~ 1 680
	碎石道床厚度	非渗水土路基	双层	道碴	Cm	30	30	30	25	20
				底碴	cm	20	20	20	20	15
		岩石、渗水土路基	单层	道碴	cm	35	35	35	30	30

由于轨道结构的组合性，轨道结构中的各个部件要有足够的强度和稳定性并合理配套。钢轨是轨道结构中最重要部件，确定轨道类型时，应先确定钢轨类型，然后从技术经济的观点出发，确定与之配套的轨枕类型与铺设数量，以及道床的材料与断面尺寸，使之组成一个等强度的整体结构，充分发挥各部件的作用。

四、轨道结构的强化

轨道随铁路运输的发展而发展。自第一条铁路建成以后，世界铁路建设经历了初期发展、建设高潮和建路鼎盛时期。20 世纪 40 年代后，由于其他运输方式的激烈竞争，铁路发

展一度进入艰难状态。随着重载运输和高速运输的发展，铁路才有了新的生命力，同时，也促进轨道不断发展，以满足重载高速运输的需要。

1. 提高轨道结构整体强度

(1) 钢轨重型化、强韧化。钢轨是轨道的重要部件，因直接承受车轮的巨大压力和冲击而发生弯曲变形、轨头磨损、压溃、断裂等。因此，要求钢轨有足够的抗弯刚度、抗冲击韧性和耐磨性。此外，无缝线路的发展还对钢轨的可焊性提出了要求。应用强韧化的重型钢轨可以提高轨道结构承载能力，目前，我国正线铁路全部采用 60 kg/m 钢轨，在小半径和大坡道地段尽量采用全长淬火轨。

(2) 铺设混凝土轨枕。混凝土轨枕的自重大、刚度大。用混凝土轨枕铺成的轨道刚度均匀、稳定性好、线路整齐美观，其主要缺点是弹性差，该问题是通过高弹性扣件研制来解决的。我国自 20 世纪 70 年代开始铺设混凝土轨枕，到目前已根据运营条件发展到第三代，除小部分小半径曲线还存在木枕外，绝大部分线路已换铺混凝土轨枕，用混凝土轨枕代替木枕已成为轨枕发展的主要方向。

(3) 无碴轨道。碎石道床道碴容易引起轨道的残余变形，产生轨道不平顺，整治道床占养护维修工作量的绝大部分。道床的强化方式之一是在碎石道床中灌入沥青材料或其他聚合材料将道碴固化成整体，称为沥青道床。

用混凝土整体结构或混凝土基础层和乳化沥青砂浆层取代碎石道床的轨道叫无碴轨道。无碴轨道与有碴轨道相比，具有稳定性、平顺性、刚度均匀性好，维修工作量少，简洁易清洗等显著优点，逐渐被世界上许多国家所认识并采用。我国在隧道、桥梁上已成功铺设无碴轨道，并开始了在土路基上铺设的研究工作。

(4) 弹性扣件。混凝土轨枕的应用，特别是无碴轨道的应用对扣件提出了很高的要求，它除了有联结钢轨与轨枕的基本功能外，还要有调整轨距和超高的功能，在车辆动力作用下的减振功能。钢轨扣件已经从传统的普通道钉、螺纹道钉、扣板等刚性扣压件过渡到弹片和弹条等弹性扣件及方便安装的无螺栓扣件。

2. 铺设无缝线路

钢轨接头是轨道的薄弱环节之一。由于接头的存在，列车通过时轮轨冲击非常强烈，车速越高，冲击强度越大。在接头冲击力的作用下，轨道各部件的使用寿命缩短、线路状态恶化，接头区轨道养护维修工作量大。此外，接头冲击还影响行车的平稳和舒适。

从 20 世纪 30 年代开始至今，人们一直致力于将钢轨焊接成尽可能长的长轨条，消除钢轨接头。铺设无缝线路的研究与实践，解决了接头焊接，长轨条在列车动力和温度力共同作用下的强度和稳定性，长轨条与桥梁相互作用，长轨运输、铺设施工、养护维修等一系列理论和技术问题，使无缝线路在世界各国得到广泛的应用。我国从 1957 年开始铺设无缝线路，现在无缝线路在既有线路中占很大比重。

无缝有碴轨道线路消除了大量的接头，因而具有行车平稳、旅客舒适，同时机车车辆和轨道的维修费用减少，使用寿命延长等一系列优点。目前除常速铁路基本铺设无缝线路外，高速铁路和轻轨铁路也采用这种轨道结构，如法国和德国的高速铁路，原联邦德国汉堡和菲律宾马尼拉的高架线路。

早期的无缝线路长度受闭塞分区和道岔的限制，轨道上还存在少量的接头，叫做普通无缝线路。后来随着胶接绝缘接头和无绝缘轨道电路技术的应用，使无缝线路的长度突破闭塞分区限制，而只是在道岔处不焊连，铺设了区间无缝线路。无缝道岔设计、焊接与铺设问题的解决，为铺设跨区间无缝线路创造了条件。现在除了特殊的长大桥梁外，跨区间无缝线路长度已不受限制。我国从 1996 年开始铺设跨区间无缝线路，最长的轨条长达 200 多 km。

3. 高速道岔和提速道岔

普通道岔是控制行车速度的重要因素之一，是发展高速客运的障碍；其次，普通道岔的可焊性和道岔区复杂的结构形式使该处存在接头，影响车速提高。

提高列车过岔速度有两种途径：使用高速道岔和可动心轨道岔。

高速道岔在功能和构造上与常速道岔相比没有原则上的区别，只是对道岔的平纵断面、构造、制造工艺、道岔区内的轨下基础以及养护维修等提出了更高的要求。我国设计制造出的 38 号道岔在秦沈客运专线通车动力试验中，直向最高试验速度为 260 km/h，侧向最高试验速度为 160 km/h，标志着我国道岔设计迈上了新的台阶。

采用可动心轨型辙叉代替固定辙叉，能够保证列车过岔时线路连续，从根本上消灭有害空间，并使道岔强度大大提高。适当加长翼轨、护轨缓冲段长度，减小冲击角，或采用不等长护轨，以满足直向高速度的要求。近年来，可动心轨道岔已铺设于提速线路。

当无缝线路与普通道岔联结时，道岔区中的钢轨不但承受巨大的温度力作用，而且里侧轨线两端受力状况不同，这种不平衡的温度力状态使道岔中的钢轨受力与变形位移发生变化，使道岔不能正常工作。无缝道岔设计、焊接与铺设问题的解决，使无缝线路长度突破了道岔限制。

第一章 轨道结构

第一节 概 述

轨道是铁路的主要技术装备之一，是行车的基础。轨道的作用是引导机车车辆运行，直接承受列车荷载作用，并把荷载分布传递给路基或桥隧建筑物。轨道结构应该保证机车车辆在规定的最大载重和最高速度运行时，具有足够的强度、稳定性、平顺性和合理的维修周期。

有碴轨道结构由钢轨、轨枕、联结零件、轨道加强设备、道床和道岔组成。

钢轨是轨道结构最重要的组成部件，它为车轮的滚动提供连续且阻力最小的接触面，用于引导列车运行，直接承受列车的荷载，并将所承受的荷载分布传递于轨枕。

轨枕的作用是承受来自钢轨的压力，并把它分布传递至道床；同时利用扣件保持钢轨的正确位置。

联结零件分接头联结零件与中间联结零件。接头联结零件用于钢轨与钢轨的可靠联结，保持钢轨的连续性与整体性；中间联结零件，又称扣件，是联结钢轨和轨枕的部件，其作用是固定钢轨位置，阻止钢轨的纵、横向移动，防止钢轨翻转。

轨道加强设备主要有防爬设备、轨距杆、轨撑等，主要用于木枕线路。防爬设备用于加强钢轨与轨枕间的联结，增加线路抵抗钢轨纵向爬行的能力；在线路曲线上安装轨撑和轨距杆，可提高钢轨横向稳定性，防止轨距扩大。

道床是轨枕的基础，用于固定轨枕位置，防止轨枕纵、横向位移并把所承受的压力分布传递给路基或桥隧建筑物，同时还起到排水的作用。

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。

第二节 钢 轨

一、钢轨的功用及基本要求

1. 钢轨的功用

钢轨是轨道最重要的组成部件。它的功用是：为车轮提供连续、平顺和阻力最小的滚动表面，引导列车运行；直接承受车轮的巨大压力，并分布传递到轨枕；在电气化铁路或自动闭塞区段，还兼做轨道电路之用。

2. 钢轨的基本要求

随着铁路向高速、重载方向发展，钢轨也正向重型化、强韧化及纯净化发展。为完成上述功能，对钢轨质量、断面、材质三要素均提出了相应的要求。

(1) 足够的强度和耐磨性。钢轨的工作条件十分复杂。车轮施加于钢轨上的作用力具有很强的随机性。除轮载外,气候及其他因素对钢轨受力也有影响。例如,轨温变化使钢轨内部产生极大的温度力,尤其是无缝线路。

钢轨是作为一根支承在弹性基础上的无限长梁进行工作的。它主要承受轮载作用下的弯曲应力,但它也必须有能力承担轮轨接触应力,以及轨腰与轨头或轨底连接处可能产生的局部应力和温度变化作用下的温度应力。在轮载和温度力的作用下,钢轨产生复杂的变形:压缩、伸长、弯曲、扭转、压溃、磨耗等。为使列车能够安全、平稳和不间断地运行,钢轨必须保证在轮载和轨温变化作用下,应力和变形均不超过规定的限值,这就要求钢轨具有足够的强度、韧性和耐磨性能。

(2) 较高的抗疲劳强度和冲击韧性。钢轨长期在列车重复荷载作用下工作,随着轴重增加和钢轨重型化,轨头部分的疲劳伤损成为钢轨伤损的主要形式之一。为防止轨头内侧剥离及由此可能引起的钢轨横向折断,钢轨应具有较高的抗疲劳强度和较好的冲击韧性。

(3) 一定的弹性。钢轨依靠本身的刚度抵抗轮载作用下的弹性弯曲,这就要求钢轨应具有足够的刚度,但为了减轻车轮对钢轨的动力冲击作用,防止机车车辆走行部分及钢轨的折损,又要求钢轨具有必要的弹性。

(4) 足够光滑的顶面。对车辆来说,车轮与钢轨顶面之间的摩阻力太大会使行车阻力增加,这就要求钢轨有一个光滑的滚动表面,而机车依靠其动轮与钢轨顶面之间的摩擦作用牵引列车前进,则要求钢轨顶面具有一定的粗糙度,以使车轮与钢轨之间产生足够的摩擦力。从这一矛盾的主要方面出发,钢轨仍应维持其光滑的表面,必要时,可用向轨面撒砂的方法提高机车动轮与钢轨之间的黏着力。

(5) 良好的可焊性。随着轨道结构无缝化的不断发展,区间无缝线路和跨区间无缝线路的大范围应用,要求钢轨应具有良好的可焊性,以便采用无缝线路。

(6) 高速铁路钢轨的高平直度。钢轨的平直性要求对轨道平顺性有决定性的影响,同时轨端平直性、对称性对钢轨焊接也有很大影响。高速铁路对钢轨平直性的要求比一般线路更高更严,控制指标也更多更全面。

根据经济合理原则,钢轨还应做到断面设计合理,价格低廉,轻重兼备,自成系列。

二、钢轨类型及断面尺寸

1. 钢轨类型及长度

钢轨类型以每米大致质量(kg)数划分。我国铁路的钢轨类型主要有75, 60, 50, 43 kg/m四种。

我国钢轨标准长度为12.5 m及25 m两种,对于75 kg/m钢轨只有25 m长一种。还有用于曲线内股的缩短轨系列:对于12.5 m标准轨系列的缩短轨有缩短量40, 80, 120 mm三种;对于25 m标准轨系列有缩短量40, 80, 160 mm三种。

随着铁路轨道向高速、重载方向发展,长尺钢轨的生产成为一种趋势。如法国生产的钢轨由原来的36 m改造成72~80 m,德国改造成120 m。长尺钢轨的生产便于对钢轨进行热预弯,消除钢轨矫直前的弯曲度,减少钢轨的残余应力。由于长尺钢轨两端可以锯掉0.8~

1.5 m，用于消除原标准长度钢轨两端的矫直盲区和探伤盲区，这样在提高生产率的同时可充分保证钢轨的平直度和内部质量。我国也在加紧进行 100 m 长尺钢轨的研制。

2. 钢轨断面设计

列车作用于直线轨道钢轨上的力主要是竖直力，其结果是使钢轨挠曲。钢轨被视为支承在弹性基础上的无限长梁，而梁抵抗挠曲的最佳断面形状为“工”字形。因此，钢轨采用工字形断面，由轨头、轨腰和轨底 3 部分组成。钢轨断面设计应满足以下要求：

（1）钢轨头部设计。钢轨头部是直接和车轮接触的部分，应具有抵抗压溃和耐磨的能力，故轨头宜大而厚，并应具有和车轮踏面相适应的外形。钢轨头部顶面应有足够的宽度，使在其上面滚动的车轮踏面和钢轨顶面磨耗均匀。钢轨头部顶面应轧制成隆起的圆弧形，使由车轮传来的压力能集中于钢轨中轴。钢轨被车轮长期滚压以后，顶面形成近似于 200 ~ 300 mm 半径的圆弧，因此，在我国铁路上，较轻型钢轨的顶面，常轧制成 1 个半径为 300 mm 的圆弧，而较重型钢轨的顶面，则用 3 个半径分别为 80, 300, 80 mm 或 80, 500, 80 mm 的复合圆弧组成。

（2）钢轨腰部设计。钢轨腰部必须有足够的厚度和高度，以使钢轨有足够的承载能力和抗弯能力。轨腰的两侧为曲线。轨腰与钢轨头部及底部的连接，必须保证夹板能有足够的支承面。

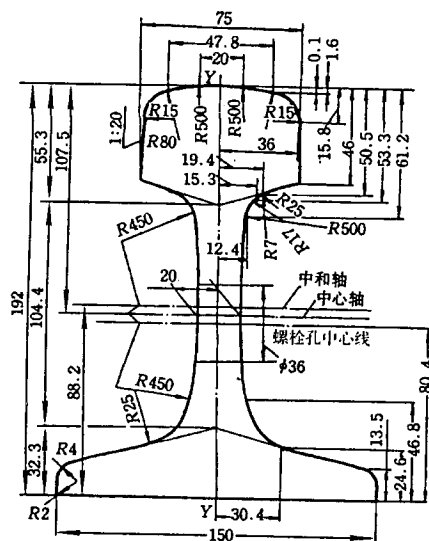
（3）钢轨底部设计。钢轨底部应保持钢轨的稳定，轨底应有足够的宽度和厚度，并具有必要的刚度和抵抗锈蚀的能力。

钢轨的头部顶面宽度（ b ）、轨腰厚度（ t ）、钢轨高度（ H ）及轨底宽度（ B ）是钢轨断面的 4 个主要参数。钢轨高度应尽可能大一些，以保证有足够的惯性矩及截面系数来承受竖直的轮载动力作用。但钢轨越高，其在横向水平力作用下的稳定性越差。钢轨高度与轨底宽度间应有一个适当的比例。一般要求钢轨高度与轨底宽度之比为 1.15 ~ 1.20。为使钢轨轧制冷却均匀，要求轨头、轨腰及轨底的面积分配有一个较合适的比例。

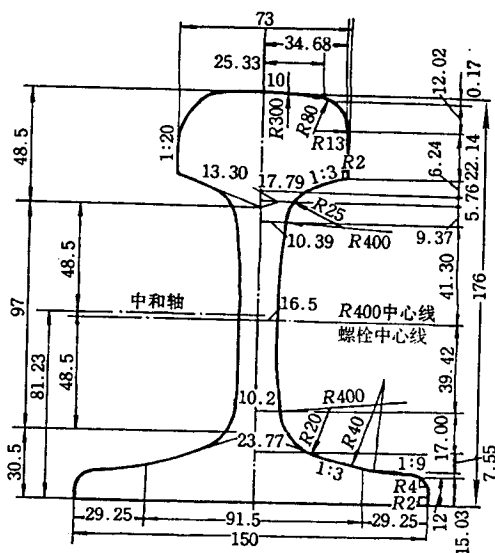
我国主要钢轨类型的断面尺寸及特征见表 1.1。60, 75 kg/m 钢轨断面尺寸如图 1.1 所示。

表 1.1 钢轨断面尺寸及特性

钢轨类型 / (kg/m)	75	60	50	43	UIC60
每米质量 M / kg	74.414	60.64	51.514	44.653	60.34
断面积 A / cm^2	95.04	77.45	65.8	57	76.86
重心距轨底面距离 y_1 / mm	88	81	71	69	80.95
对水平轴的惯性矩 I_x / cm^4	4 489	3 217	2 037	1 489	3 055
对竖直轴的惯性矩 I_y / cm^4	665	524	377	260	512.9
下部截面系数 W_1 / cm^3	509	396	287	217	377
上部截面系数 W_2 / cm^3	432	339	251	208	336
轨底横向挠曲断面系数 W_y / cm^3	89	70	57	46	68.4
轨头所占面积 A_h / %	37.42	37.47	38.68	42.83	
轨腰所占面积 A_w / %	26.54	25.29	23.77	21.31	
轨底所占面积 A_b / %	36.04	37.24	37.55	35.86	
钢轨高度 H / mm	192	176	152	140	172
钢轨底宽 B / mm	150	150	132	114	150
轨头高度 h / mm	55.3	48.5	42	42	51
轨头宽度 b / mm	75	73	70	70	74.3
轨腰厚度 t / mm	20	16.5	15.5	14.5	16.5



(a) 60 kg/m 钢轨 (尺寸单位: mm)



(b) 75 kg/m 钢轨 (尺寸单位: mm)

图 1.1 钢轨断面图

由于铁路市场的国际化, UIC60 钢轨在我国也得到部分生产及应用, 为了比较 UIC60 钢轨与我国铁路钢轨的断面及性能, 在表 1.1 中还列出了 UIC60 钢轨的断面尺寸及特征, 其断面尺寸图见图 1.2 所示。

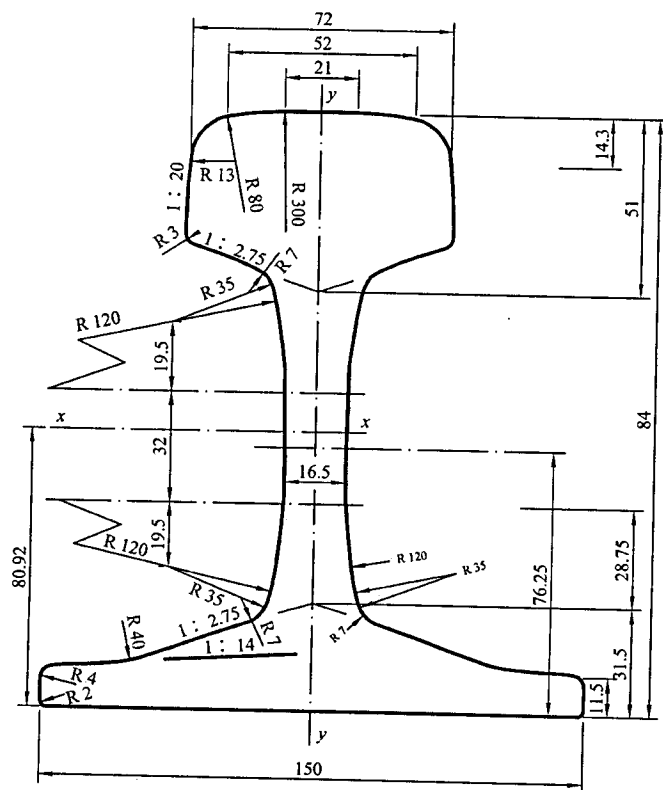


图 1.2 UIC60 钢轨断面图 (单位: mm)

三、钢轨的材质和机械性能

钢轨的材质和机械性能主要取决于钢轨的化学成分、金属组织及热处理工艺。

1. 钢轨钢的化学成分和力学性能

钢轨钢的化学成分主要为铁 (Fe)，其他还含有碳 (C)、锰 (Mn)、硅 (Si)、磷 (P)、硫 (S) 等元素。

碳对钢轨的性质影响最大。提高钢轨的含碳量，其抗拉强度、耐磨性及硬度都迅速增加。但含碳量过高，会使钢轨的伸长率、断面收缩率和冲击韧性显著下降。因此，一般钢轨的含碳量不超过 0.82%。

锰可以提高钢轨的强度和韧性，去除有害的氧化铁和硫夹杂物，其含量一般为 0.6% ~ 1.0%。锰含量超过 1.2% 称中锰钢，其抗磨性能较好。

硅易与氧化合，故能去除钢中气泡，增加密度，使钢质密实细致。在碳素钢中，硅含量一般为 0.15% ~ 0.30%。提高钢轨的含硅量，也能提高钢轨的耐磨性能。

磷与硫在钢中均属有害成分。磷过多（超过 0.1%），会使钢轨具有冷脆性，在冬季严寒地区，易突然断裂。硫不溶于铁，不论含量多少均生成硫化铁，在 985 °C 时，呈晶态结晶析出。这种晶体性脆易溶，使金属在 800 ~ 1 200 °C 时发脆，在钢轨轧制或热加工过程中容易出现大量废品。所以钢轨中磷、硫的含量必须严格加以控制。

另外，在钢轨的化学成分中适当增加铬 (Cr)、镍 (Ni)、钼 (Mo)、铌 (Nb)、钒 (V)、钛 (Ti) 和铜 (Cu) 等元素，制成合金钢轨，可有效提高钢轨的抗拉和疲劳强度，以及耐磨和耐腐蚀的性能。

我国用于轧制钢轨的主要钢种的化学成分及力学性能见表 1.2。

表 1.2 钢轨钢的化学成分及力学性能

钢 号	化 学 成 分 / %						力 学 性 能		使用范围 (钢轨类型)
	C	Si	Mn	Cu	P	S	抗拉强度 σ_b / MPa	伸长率 δ_5 / %	
U ₇₁	0.64 ~ 0.77	0.13 ~ 0.28	0.60 ~ 0.90		≤0.040	≤0.050	785	10	50
U ₇₄	0.67 ~ 0.80	0.13 ~ 0.28	0.70 ~ 1.00		≤0.040	≤0.050	785	9	50, 60, 75
U ₇₁ Cu	0.65 ~ 0.77	0.15 ~ 0.30	0.70 ~ 1.00	0.10 ~ 0.40	≤0.040	≤0.050	785	9	50
U ₇₁ Mn	0.65 ~ 0.77	0.15 ~ 0.35	1.10 ~ 1.50		≤0.040	≤0.040	883	8	50, 60, 75
U ₇₀ MnSi	0.65 ~ 0.75	0.85 ~ 1.15	0.85 ~ 1.15		≤0.040	≤0.040	883	8	50
U ₇₁ MnSiCu	0.65 ~ 0.77	0.70 ~ 1.10	0.80 ~ 1.20	0.10 ~ 0.40	≤0.040	≤0.040	883	8	50
PD ₂	0.74 ~ 0.82	0.15 ~ 0.35	0.70 ~ 1.00		≤0.040	≤0.040	1 175*	8	50, 60, 75
PD ₃	0.70 ~ 0.78	0.50 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	0.04 ~ 0.08**	≤0.035	≤0.035	980	8	50, 60, 75
U ₇₆ NbRE	0.70 ~ 0.82	0.60 ~ 0.90	0.90 ~ 1.30	0.02 ~ 0.05***	≤0.040	≤0.040	980	8	
UIC900A	0.60 ~ 0.80	0.30 ~ 0.90	0.80 ~ 1.30		≤0.040	≤0.040	880	10	

注：*为 PD₂ 全长淬火钢轨；**为 PD₃ 中微钒的含量；***为 U₇₆NbRe 中 Re 的含量。

钢轨钢的物理力学性能包括强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 、疲劳极限 σ_r 、伸长率 δ_5 、断面收