

职业教育铁道运输系列创新教材

铁路轨道

主编 何宏斌 吴军

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

铁路轨道

铁路轨道

主编 何宏斌 吴军

选题策划: 金颖杰
责任编辑: 张 昕
封面设计: 黄燕美



定价: 48.00元

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

职业教育铁道运输系列创新教材

铁路轨道

主 编 何宏斌 吴 军



 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

内 容 简 介

本书共分为6个模块,内容包括轨道线路基础知识、直线轨道几何尺寸、轨道曲线、铁路道岔、无缝线路、线路设备综合养护与维修。本书根据职业院校学生的特点进行编写,对铁路轨道设计、施工、养护维修等内容在传统编排的基础上进行了新的优化组合,弱化了相关复杂理论的推导和计算,注重教材的实用性和够用性。

本书既可作为职业教育铁道运输类相关专业的教材,也可作为广大铁路职工的培训用书及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路轨道 / 何宏斌, 吴军主编. — 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2022. 9

ISBN 978-7-5661-3663-3

I. ①铁… II. ①何… ②吴… III. ①轨道(铁路) — 高等职业教育 — 教材 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 140983 号

铁路轨道

TIELU GUIDAO

选题策划 金颖杰

责任编辑 张 昕

封面设计 黄燕美

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 三河市骏杰印刷有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 15.5

字 数 321 千字

版 次 2022 年 9 月第 1 版

印 次 2022 年 9 月第 1 次印刷

定 价 48.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

PREFACE

随着我国经济的快速发展,国家对于基础设施建设的投资也越来越多。很多大的工程项目,如高速铁路网建设、城市地铁建设等一批关系到国家长远发展的基础工程全面开工。因此,培养轨道线路施工与养护维修技术人员是对国家基础设施建设的有力保障。

针对职业院校学生生源状况与学习特点,以帮助其掌握技能、提高就业能力为目的,我们编写了本书。本书内容及推荐学时如下表所示。

序 号	内 容	学 时
1	轨道线路基础知识	12
2	直线轨道几何尺寸	16
3	轨道曲线	16
4	铁路道岔	14
5	无缝线路	14
6	线路设备综合养护与维修	6
总计		78

本书具有以下特色:

(1)引入了《普速铁路线路修理规则》(2019年版)、《铁路技术管理规程》(2014年版)、《普速铁路工务安全规则》(2014年版)等技术、安全、维修规范和标准,严格按照国家相关标准和技术规范进行编写。

(2)结合目前职业院校学生的特点和学情分析,对铁路轨道设计、施工、养护维修等内容在传统编排的基础上进行了新的优化组合,弱化了相关复杂理论的推导和计算,注重教材的实用性和够用性。

(3)以图文并茂的方式阐述相关基本理论知识和操作技能,可以调动学生的主观能动性,提高学生的阅读效率和学习兴趣。

(4)为贯彻执行《高等学校课程思政建设指导纲要》,落实习近平新时代中国特色社会主义思想进课程教材,本书设置了“爱国加油站”“专业与课程思政讨论”栏目,将



培养高尚的爱国主义、奉献精神、职业道德和顽强的意志融入专业核心课程的日常教学中,将“立德树人”贯穿于课程教学全过程。

(5)为适应大数据时代的潮流,建设融媒体教材,本书配有丰富的二维码资源及电子教学资源,在辅助教学的同时可以帮助学生拓宽知识面,增强创新思维。

本书由西安铁路职业技术学院何宏斌、中国铁路西安局集团有限公司工程指挥部吴军任主编;西安铁路职业技术学院付红梅、邓洁,中铁第一勘察设计院集团有限公司王永东,中国铁路西安局集团有限公司工务部仇小强,中铁二十一局集团有限公司朱昌岳参与了编写。具体编写分工如下:模块1的1.1节至1.7节、1.9节,模块2的2.1节至2.5节由何宏斌编写;模块1的1.8节和1.10节由王永东和吴军共同编写;模块2的2.6节由仇小强编写;模块3的3.1节至3.3节,模块4的4.1节至4.6节由邓洁编写;模块3的3.4节至3.6节由吴军编写;模块4的4.7节和4.8节由邓洁和吴军共同编写;模块5的5.1节至5.7节,模块6的6.1节至6.4节由付红梅编写;模块5的5.8节由朱昌岳编写;模块6的6.5节和6.6节由付红梅和朱昌岳共同编写。本书由何宏斌负责统稿。

在编写本书的过程中,编者得到了西安铁路职业技术学院,中国铁路西安局集团有限公司工务部、西安工务段,中铁第一勘察设计院集团有限公司,中铁二十一局集团有限公司等单位各级领导的大力支持,同时,也得到了全国“工务技能”交流群中经验丰富的施工、养护等技术人员的关心、帮助和大力支持,在此,我们一并向他们表示深深的感谢。

本书在编写过程中注重工作经验、方法和实践的教学,以培养职业院校学生的工作实践能力为宗旨。我们在编写过程中还借鉴了一些工程师、大专院校教师及从事工务养护维修的一线技术人员的实践经验,在此也向他们表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请各位读者批评和指正。

编 者



目录

CONTENTS

模块 1	轨道线路基础知识	1
1.1	线路的组成	2
1.2	线路在平面上的连接	3
1.3	线路在纵断面上的连接	6
1.4	道床与道砟	9
1.5	铁路路基	21
1.6	路基的附属设施	34
1.7	轨枕	36
1.8	钢轨	45
1.9	混凝土枕扣件	64
1.10	线路两侧常见的标志桩	69
	复习思考题	74
模块 2	直线轨道几何尺寸	77
2.1	列车在轨道上的运行特点	78
2.2	轨距	80
2.3	水平	89
2.4	方向	93
2.5	高低	95
2.6	轨底坡	96
	复习思考题	98
模块 3	轨道曲线	100
3.1	铁路曲线的一般组成	101
3.2	圆曲线	101
3.3	缓和曲线	102



3.4	曲线超高	105
3.5	曲线加宽	111
3.6	曲线整正	117
	复习思考题	133
模块 4	铁路道岔	137
4.1	道岔的种类	138
4.2	普通单开道岔的构成特征	140
4.3	道岔的几何形位检测	154
4.4	单开道岔设计图	162
4.5	道岔几何尺寸的检查与数据记录	165
4.6	过岔速度和提高过岔速度的措施	182
4.7	高速道岔	186
4.8	道岔常见病害的原因分析与整治措施	189
	复习思考题	194
模块 5	无缝线路	196
5.1	无缝线路概述	197
5.2	无缝线路的基本原理	198
5.3	无缝线路的焊接、运输和铺设	205
5.4	应力放散与调整	207
5.5	无缝线路的养护维修	209
5.6	胀轨跑道的原因分析、防止与处理	213
5.7	断轨的原因分析、防止与处理	216
5.8	超长无缝线路的铺设、应力放散及维修养护	219
	复习思考题	222
模块 6	线路设备综合养护与维修	224
6.1	线路维修概述	225
6.2	线路维修工作的原则与内容	225
6.3	线路设备检查	231
6.4	轨道不平顺的管理	235
6.5	线路质量评定	237
6.6	现代工务养护维修机械化技术	239
	复习思考题	239
参考文献		242



模块1 轨道线路基础知识

本模块主要讲述普通线路的基础知识,重点讲述铁路轨道线路的连接方式、曲线要素、钢轨、钢轨接头、道砟、轨枕、道床边坡、道床厚度、路基面尺寸、线路标识等轨道线路养护维修的基础内容,根据内容阐述的需要将《普速铁路线路修理规则》(2019年版)、《铁路技术管理规程》(2014年版)、《普速铁路工务安全规则》(2014年版)中的技术和标准引入其中,引导学生掌握新的铁路技术规则 and 标准,为日后从事轨道线路养护维修工作打下基础。

教学目标



知识目标

- (1) 轨道线路在平面和纵断面上的连接方法及规定。
- (2) 钢轨、轨枕、道床、路基的养护维修标准及相互关系。
- (3) 线路的常用标志标识。



能力与素质目标

通过学习,学生能够掌握钢轨、钢轨接头、道砟、轨枕、道床边坡、道床厚度、路基面尺寸、线路标识等线路设备的使用标准及构成特点;能够对铁路轨道线路的整体组成有一个全面的了解和认识;能够认识到轨道线路养护维修在列车运行安全中的重要性。



专业思政素养

通过学习,学生能够认识到铁路轨道线路大多数铺设在山区,因此在养护维修工作中要做到尊重大自然、了解大自然,在提高轨道线路养护维修水平的同时,提高自身的素质,培养高尚的爱国主义、奉献精神、职业道德和顽强的意志,热爱自然、保护环境,为祖国的铁路养护维修建设做出应有的贡献。



1.1 线路的组成

本节主要介绍铁路线路的基本组成及其附属设备,主要包括轨道框架、接头夹板(无缝线路无接头夹板)、道砟、道岔等,同时结合高速铁路(客运专线)的发展介绍了轨道线路下的路基概况,勾画出了铁路路基的全貌。

1.1.1 线路总体的基本组成

铁路线路(图 1-1)主要由轨道线路和路基(图 1-2)两部分组成。其中,路基面以上的部分为轨道线路,主要由轨道框架和道床构成。

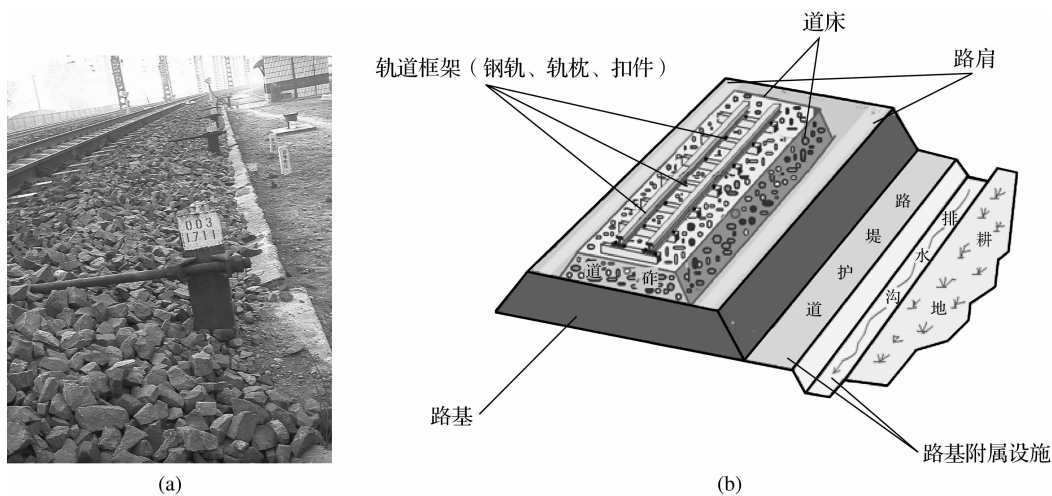
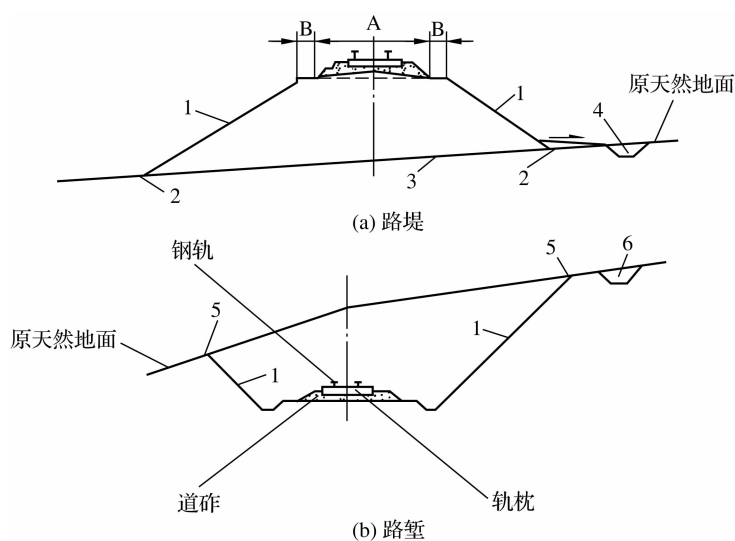


图 1-1 铁路线路的基本组成



A—道床; B—路肩; 1—边坡; 2—坡脚; 3—基底; 4—排水沟; 5—堑顶; 6—天沟。

图 1-2 路基的组成

1.1.2 轨道框架的基本组成

轨道框架主要由钢轨和轨枕组成。钢轨和轨枕通过扣件、接头夹板(无缝线路无接头夹板)连接而成,联结零件包括螺栓、弹条扣件、轨距挡板、挡板座等。

用联结零件将钢轨、轨枕和橡胶垫板组合在一起,就形成轨道框架,如图 1-3 所示。轨道框架将钢轨和轨枕连成一个整体,极大地提高了单根钢轨和轨枕的抗弯变形能力,为列车的平稳运行提供了稳定的基础。

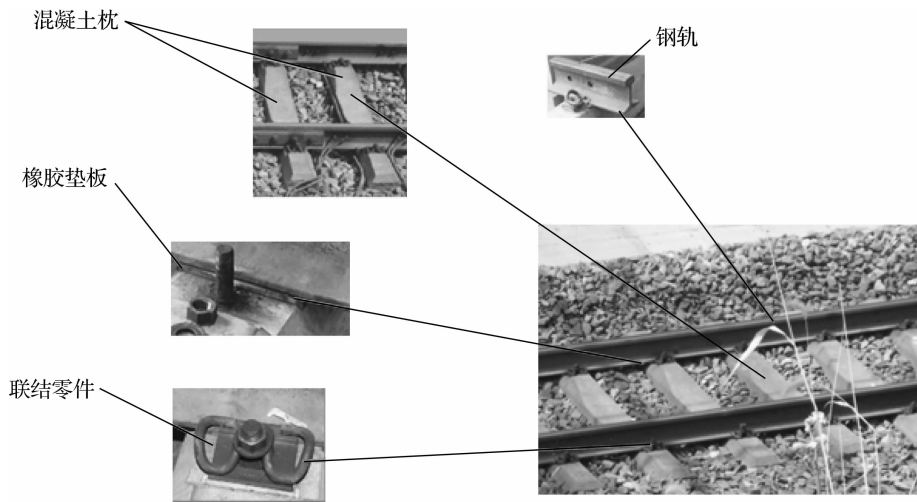


图 1-3 轨道框架的组成

路基面以下的部分为路基主体,本来它不属于轨道线路部分,但由于它本身的状况是否完好,对轨道线路的稳定与安全有着重要的影响,因此本模块将对路基部分进行简要介绍。

1.2 线路在平面上的连接

由于线路在设计时,要考虑沿途的城市、矿产、军事要塞等的分布,还要考虑沿途的不良地质,如大型水库、湖泊、滑坡地带、地震断裂带、火山等,因此线路在平面上不可能全为直线,而是由直线和曲线的相互衔接构成的。

线路的走向与地下条件、人口密度、经济、矿山、军事设施等因素有关。例如,宝鸡到西安的陇海铁路。两点之间直线最短,那为什么不在这两个城市之间直接修建直线铁路呢?这样既省钱又方便维修!这个就涉及铁路选线的知识了。尽管陇海铁路在八百里秦川的关中平原上,但是为了照顾眉县、武功县、咸阳市旅客的出行,轨道线路蜿蜒穿过了(连接)各个城市,而不是宝鸡到西安间的一条直线。如果宝鸡和西安之间是直线,则咸阳市、武功县、眉县等人口密集的城市就会距离轨道线路比较远,人们自然认为乘坐汽车会更方便,因此必然造成铁路客流的损失。所以,铁路采用曲线是为了更好地服务旅客和运输货物。

曲线在我们国家已经运营的轨道线路中,占比达 60%以上,因此,曲线的养护维修是铁路日常工作的一个主要部分。



在直线和曲线的衔接上,一般分为直线和曲线的直接连接与直线和曲线的间接连接两种。

1.2.1 直线和圆曲线的直接连接与间接连接

1. 直线和圆曲线的直接连接(无缓和曲线)

直线和圆曲线的直接连接(无缓和曲线)是直线和圆曲线的直接相切连接,如图 1-4(a)所示。在我国早期已建成的线路中,规定当曲线的半径 $R > 2\,000\text{ m}$ 时可以采用这种直线和圆曲线直接相切的连接形式。

2. 直线和圆曲线的间接连接(有缓和曲线)

直线和圆曲线的间接连接(有缓和曲线)是在直线和圆曲线直接相切连接的基础上,在直线和圆曲线之间插入一段缓和曲线,即曲线半径由无穷大逐渐变化到圆曲线半径 R 的曲线,缓和曲线的长度从直圆(ZY)点开始向直线和圆曲线方向各变化 $\frac{1}{2}$,这就使原来圆曲线的平面位置向圆心方向移动了一定的距离,如图 1-4(b)所示。

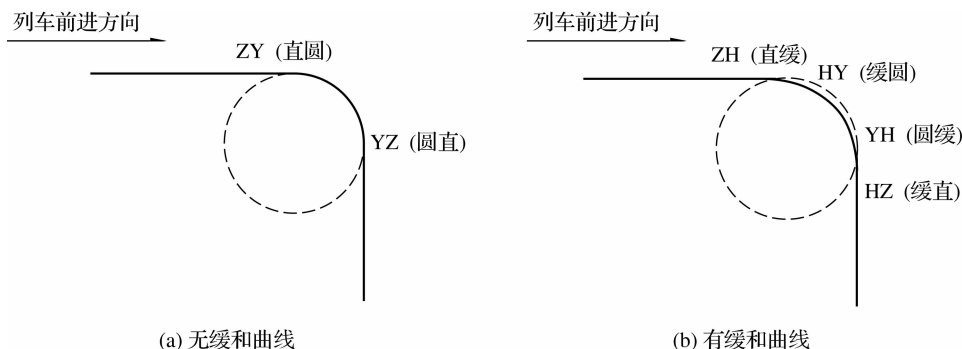


图 1-4 直线和圆曲线在平面上的连接

直线和圆曲线直接连接(无缓和曲线)的形式对于列车速度的提高有较大的限制,因此,在新修建的高速客运专线上,无论曲线半径多大,均采用直线和圆曲线间接连接的形式。在将原有有缝线路改造成无缝线路的过程中,也将无缓和曲线的直线和圆曲线的直接连接形式变为有缓和曲线的直线和圆曲线的间接连接形式,以利于列车速度的提高。

1.2.2 圆曲线和圆曲线连接的规定

1. 夹直线最小长度的规定

夹直线是线路两条相邻曲线之间的直线,其长度(图 1-5)的大小对于列车平稳安全通过曲线具有重要的影响。

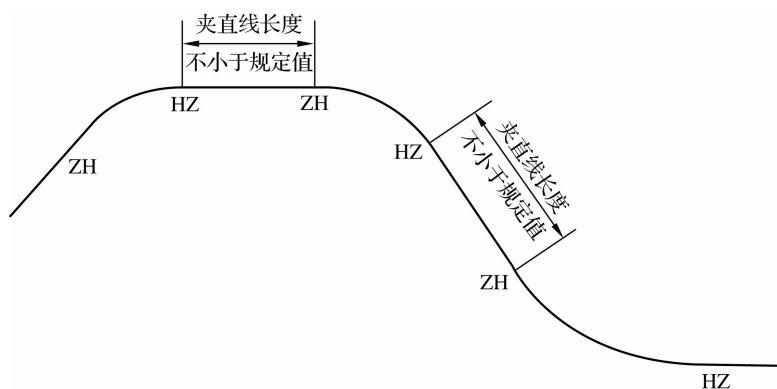


图 1-5 夹直线长度

圆曲线和圆曲线连接时,主要保证两个曲线之间的头尾尽可能不重叠,并且前一曲线的尾部缓直(HZ)点和后一曲线的前部直缓(ZH)点之间要留有足够的直线段(夹直线长度)。夹直线长度与设计通过的列车速度有关。这是因为一节列车车厢下最远的两个车轮轮轴之间的距离大约为 18 m。为了避免最远的两个车轮轮轴落在不同的曲线上(图 1-6),造成车轮和钢轨脱离悬空(因为曲线地段线路上左右两股钢轨因设置曲线超高而产生高低差),从而引发列车脱轨或翻车,《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)规定同向曲线两超高顺坡终点间的夹直线长度应满足表 1-1 的要求,允许速度不大于 160 km/h 的特殊困难地段不应短于 25 m;允许速度不大于 120 km/h 的线路在极个别情况下不足 25 m 时,可在直线部分设置不短于 25 m 的相等超高段。如果设置相等超高段困难,可在直线部分从较大超高向较小超高均匀顺坡。

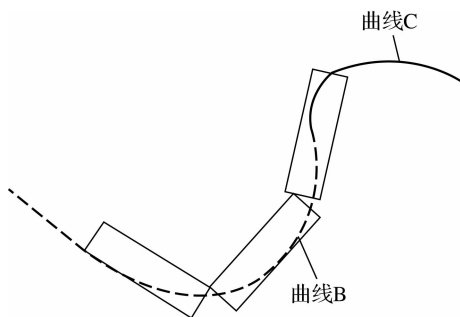


图 1-6 一节列车车厢跨越两条曲线

表 1-1 曲线间夹直线最小长度

线路允许速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		200	160	140	120	100	80
圆曲线或夹直线最小长度/m	一般	140	130	110	80	60	50
	困难	100	80	70	50	40	30

2. 铁路区间线路最小曲线半径的规定

当曲线半径设置较小时,列车也很容易脱轨或翻车。为保证列车顺利通过曲线、改善行车条件、提高列车速度、保护线路和列车的设备,《铁路技术管理规程》(2014 年版,普速铁路



部分)规定Ⅰ、Ⅱ级铁路区间线路的最小曲线半径应满足表 1-2 的要求。

表 1-2 铁路区间线路的最小曲线半径

铁路等级		Ⅰ			Ⅱ	
路段设计行车速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		200	160	120	120	80
最小曲线半径/m	一 般	3 500	2 800	1 200	1 200	600
	困 难	2 800	1 600	800	800	500

爱国加油站

结合本周国内外的相关新闻及自己的学习和了解,请同学们说一说:我国在轨道交通领域或其他领域所取得的成就。(根据发言,由班级同学现场投票打分,评选出本周“前三强”)

1.3 线路在纵断面上的连接

在设计线路时,不但要考虑平面上的连接问题,还要考虑地形地貌的高差问题,而且列车机车的牵引力和制动力是有限的。因此,对任何交通运输工具而言,其爬坡和下坡的坡度都必须有一个范围限制,这样不但可以保证运输的安全,而且可以在很大程度上提升运输效率。我国地形地貌的大体走向是西高东低,北高南低,因此,线路在纵断面上必然有上坡地段、下坡地段、平直地段,以及由上坡地段与下坡地段之间连接的竖向曲线组成的混合线路。线路在纵断面上的连接如图 1-7 所示。



视频
钢轨的认知

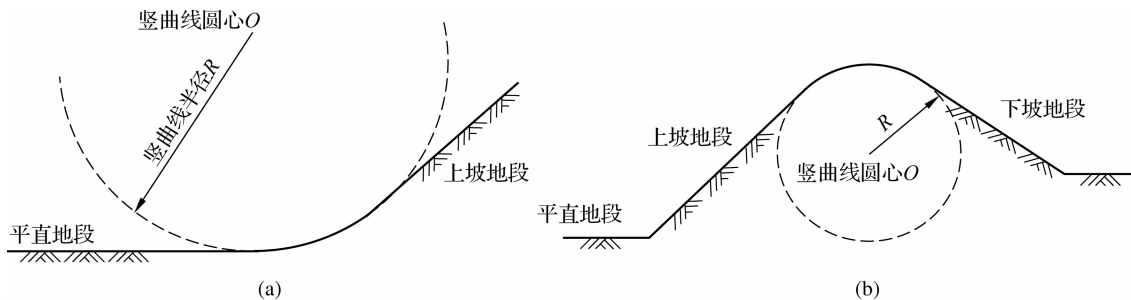


图 1-7 线路在纵断面上的连接

1.3.1 区间线路最大限制坡度的规定

当线路坡度较大、列车牵引力不足时,列车很容易发生爬坡失败、脱轨翻车的危险。为使列车顺利通过坡道(上坡、下坡)、改善行车条件、提高列车速度、保护线路和列车的设备,《铁路技术管理规程》(2014 年版,普速铁路部分)规定铁路区间线路的最大限制坡度应满足表 1-3 的要求。

表 1-3 铁路区间线路的最大限制坡度

单位:‰

铁路等级		I		II	
		一般	困难	一般	困难
牵引种类	电 力	6.0	15.0	6.0	20.0
	内 燃	6.0	12.0	6.0	15.0

各级铁路的加力牵引坡度,内燃牵引的机车可用至 25‰,电力牵引的机车可用至 30‰。

客运专线铁路的最大坡度应根据地形条件、列车牵引性能和运输要求经比选确定。不符合上述规定时,须经国家铁路局批准。

对于高速铁路,因为很多国家实行的是客运专线(客货分离),列车的牵引质量相对较小,且又受到在平面中使用大曲线半径及山区地形的影响,所以采用的最大限制坡度比较宽松。表 1-4 为国外几个主要国家高速铁路的最大限制坡度。

表 1-4 国外几个主要国家高速铁路的最大限制坡度

国 家	法国		德国	意大利	日本			
高速铁路线路	TGV 东南线(巴黎—里昂)	TGV 大西洋线(巴黎—图尔)	汉诺威—维尔茨堡	罗马—佛罗伦萨	东海道(东京—大阪)	山阳(新大阪—博多)	东北(上野—盛冈)	上越(大宫—新潟)
最大限制坡度/‰	35	25	12.5	8.5	20	15	15	15

1.3.2 轨道线路的竖曲线

竖曲线一般采用圆曲线的形式。竖曲线半径的大小,除应保证列车经过变坡点时车钩不脱钩、车轮不脱轨外,还应考虑在竖曲线上产生的竖向离心加速度和离心力对旅客的影响。理论分析认为,在一定机车车辆构造等条件下,竖曲线半径与行车速度有关,行车速度越快,竖曲线半径越大。我国既有轨道线路常用的竖曲线半径为 10 000 m。

1. 无竖曲线时可能产生的事故

20 多米长的列车车厢是一个刚体,不能弯曲,如果线路的变坡点处是直线与直线连接(图 1-8),那么列车行至坡顶即将下坡时会因为突然下落而脱轨翻车。

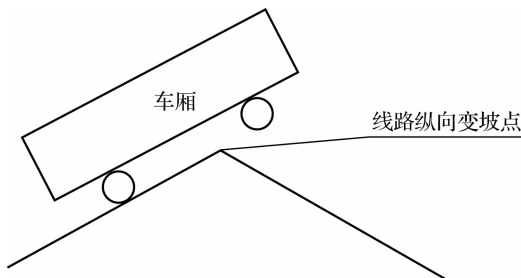


图 1-8 列车通过直线与直线连接的变坡点



2.《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对竖曲线的相关规定

(1)线路大修时,应改善线路坡度。当既有线路坡度超过限制坡度且改善困难时,可保持原状。线路大修纵断面设计应符合下列规定:

①应设计长坡段。允许速度大于 160 km/h 的线路最小坡段长度不应小于 600 m,困难条件下最小坡段长度不应小于 400 m;其他线路坡段长度不应小于该区段到发线有效长度的 1/2,个别困难地段也不应小于 200 m。

②相邻坡段的连接应按原线路标准设计为抛物线形或圆曲线形竖曲线(图 1-9)。

a. 当允许速度不大于 160 km/h 的线路采用抛物线形竖曲线时,若相邻坡段的坡度代数差大于 2‰,应设置竖曲线。20 m 范围内竖曲线的变坡率,凸形不应大于 1‰,凹形不应大于 0.5‰。当采用圆曲线形竖曲线时,若相邻坡段的坡度代数差大于 3‰,应设置竖曲线,竖曲线半径不得小于 10 000 m,困难地段不得小于 5 000 m。

b. 当允许速度大于 160 km/h 的线路的坡度代数差不小于 1‰时,应设置圆曲线形竖曲线,竖曲线半径不应小于 15 000 m,且长度不应小于 25 m。

竖曲线不得与竖曲线、缓和曲线重叠,不得侵入道岔、调节器及明桥面。

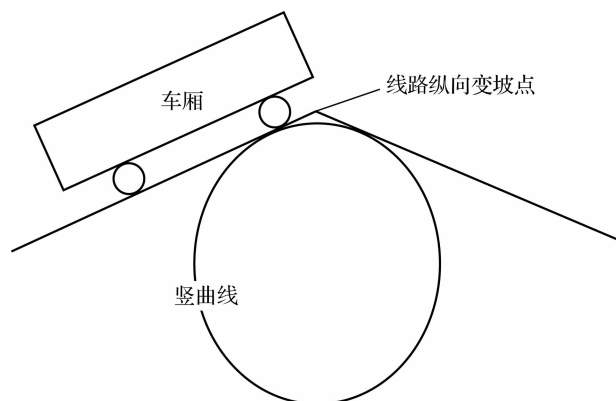


图 1-9 相邻坡段的连接设计为竖曲线

(2)当两线路中心距不大于 5 m 时,其轨面标高应设计为同一水平,困难地段高度差可不大于 300 mm,但易被雪埋地段的轨面标高差不应大于 150 mm,道口处不应大于 100 mm。

(3)大修地段与非大修地段的连接顺坡,应设在大修地段以外。其顺坡率为:允许速度不大于 120 km/h 的线路不应大于 2.0‰,允许速度为 120(不含)~160 km/h 的线路不应大于 1.0‰,允许速度大于 160 km/h 的线路不应大于 0.8‰。

3. 国外高速铁路线路使用的竖曲线半径

对于高速铁路,因行车速度很快,列车在通过竖曲线时会产生很大的离心力,容易造成列车脱轨和轨道框架变形,影响列车安全。因此,高速铁路对于竖曲线的要求比较高,表 1-5 为国外几个主要国家高速铁路所采用的竖曲线半径。

表 1-5 国外几个主要国家高速铁路所采用的竖曲线半径

国 家	法国		德国	意大利	日本			
高速铁路 线路	TGV 东南 线(巴黎— 里昂)	TGV 大西 洋线(巴 黎—图尔)	汉 诺 威— 维尔茨堡	罗马—佛罗 伦萨	东海道(东 京—大阪)	山阳(新大 阪—博多)	东 北 (上 野—盛冈)	上 越 (大 宫—新潟)
竖曲线 半径/m	25 000	16 000	25 000	20 000	10 000	15 000	15 000	15 000

1.4 道床与道砟

1.4.1 道床的类型与功用

道床是保证轨道线路框架稳定的基础,位于轨枕的底部,由上部的碎石和下部的细砂组成,是线路组成的主要部分,如图 1-10 所示。道床应保持饱满、均匀和整齐,并应根据道床不洁程度有计划地进行清筛,保持道床弹性和排水良好。道床应按规定保持密实,防止轨枕空吊、道床翻浆。



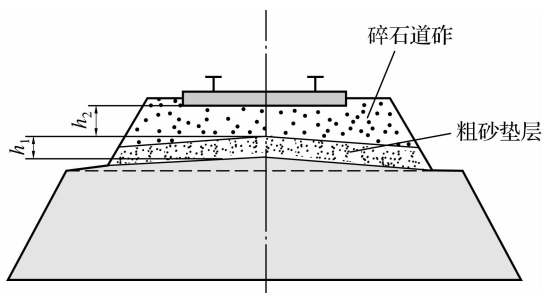
视频
轮轨游间简介



图 1-10 道床

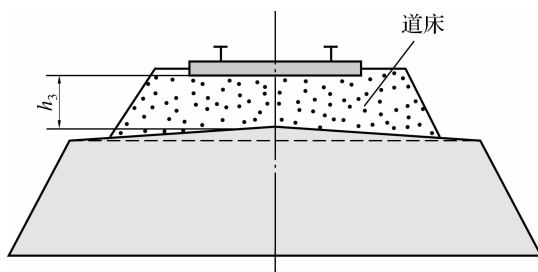
1. 道床的类型

道床分为有垫层道床和无垫层道床,如图 1-11 和图 1-12 所示。垫层一般由粗砂组成。



h_1 —粗砂垫层厚度; h_2 —碎石道砟厚度。

图 1-11 有垫层道床



h_3 —道床厚度。

图 1-12 无垫层道床

2. 道床的功用

- (1) 将轨枕传递的荷载均匀地分布于较大的路基面上。
- (2) 阻止轨道框架在列车作用下发生纵(横)向位移,保持轨道稳定。
- (3) 便于排水,使路基面和轨道保持干燥。
- (4) 使轨道具有更大的弹性和缓冲性能。
- (5) 便于校正轨道的平面和纵断面。

1.4.2 道砟的标准与生产加工要求

我国铁路上常用的道床材料是符合一定尺寸和颗粒级配的碎石,统称道砟。一般常见的道砟有碎石道砟、天然级配卵石道砟、筛选卵石道砟、砂子道砟和熔炉矿渣道砟。

1. 道砟的标准

作为道床的组成部分,道砟应具有以下一些性能:质地坚韧,有弹性,不易压碎和捣碎;排水性好,吸水性差;不易风化,不易被风吹动或被水冲走。

用作道砟的材料有碎石、天然级配卵石、筛选卵石、粗砂、中砂及熔炉矿渣等,应根据铁路运量、机车车辆轴重、行车速度,并结合成本和就地取材等条件来决定选用何种道砟材料。

碎石道砟的技术参数有:反映道砟材质的材质参数,如抗磨耗、抗冲击、抗压碎、渗水、抗风化、抗大气腐蚀等材料指标和参数,它们为道砟材质的分级提供了法定依据;反映道砟加工质量的参数,如道砟粒径、级配、颗粒形状、表面状态、清洁度等加工指标。道砟根据性能参数可分一级道砟和二级道砟,特重型轨道、隧道内轨道及宽轨枕轨道应使用一级道砟,其他轨道可使用二级道砟。

长期的研究和运用实践表明,花岗岩、玄武岩、片麻岩等火成岩和变质岩具有较好的抗磨耗、抗冲击、抗压碎、抗风化、抗大气腐蚀的能力。岩石破碎粉化后,黏性小,具有较好的渗水性,因此,道床的养护维修工作量小,清筛周期长,不易出现道床翻浆、板结等病害,这类道砟大多属于一级道砟。而石灰岩、白云岩等碳酸盐沉积岩的情况则相反,大部分属于二级道砟,甚至有些是等外级道砟。采用一级道砟可获得最佳的技术、经济效益,这早已被国内外的研究和经验所证实。因此,运输繁忙、轨道设备标准高的线路使用一级道砟,才能充分发挥重型轨道设备的作用。实行道砟分级,有利于把资源有限的好道砟用在运输最繁忙的干线上,迅速改变道床的不良状态。

另外,用卵石做道砟材料时,最好采用粉碎后的破口卵石,而不宜采用天然浑圆的卵石。

因为浑圆的卵石不利于道床边坡的整体稳定性。

2. 道砟的生产加工要求

铁路道砟应尽可能使用强度和颗粒级配符合要求且具有一定清洁度的花岗石,如图 1-13 所示。道砟一般在中国铁路总公司指定的采石场内进行生产加工。

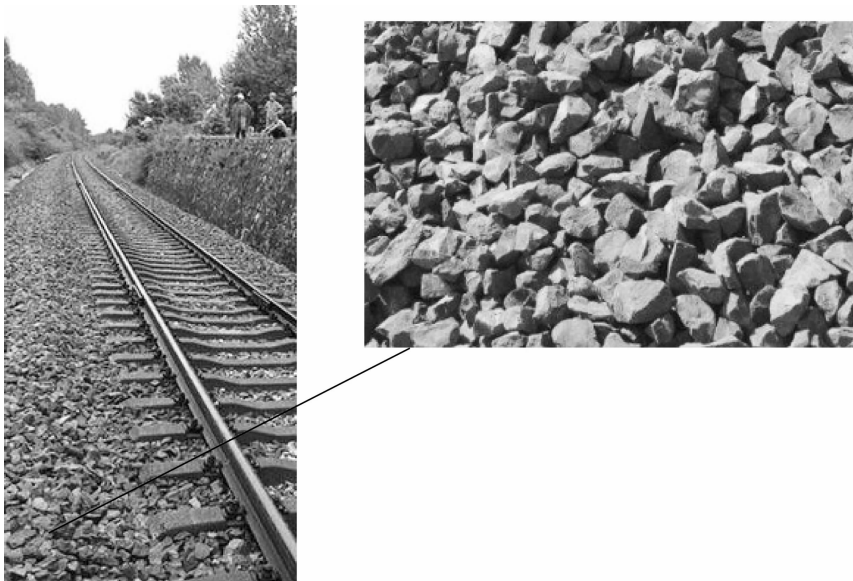


图 1-13 铁路道砟

1.4.3 标准碎石道砟的颗粒级配

道砟必须由不同粒径大小的碎石组成,这样才能保持一定的断面稳定性和道床弹性。道砟必须有“碎石道砟产品合格证”,作为竣工验收和评定道床质量的依据。道床大修、维修补充的道砟应使用一级碎石道砟,其颗粒级配应符合表 1-6 的规定。

表 1-6 一级碎石道砟的粒径级配

方孔筛的筛孔边长/mm	25	35.5	45	56	63
过筛质量百分率/%	0~5	25~40	55~75	92~97	97~100

标准碎石道砟的粒径为 16~63 mm,用于新建铁路、大修和维修。

为了防止碎石道砟在列车荷载的压力下陷进路基面,一般要在路基面和碎石道砟之间铺设一层底砟(也叫垫层),底砟的摊铺厚度宜为 150~250 mm。底砟的粒径为 0.075~45 mm,其粒径级配如表 1-7 所示。

表 1-7 底砟的粒径级配

方孔筛的筛孔边长/mm	0.075	0.1	0.5	1.7	7.1	16	25	45
过筛质量百分率/%	0~7	0~11	7~32	13~46	41~75	67~91	82~100	100

注:表中数据源自《铁路碎石道床底砟》(TB/T 2897—1998)。



1.4.4 道床厚度及其规定

1. 影响道床厚度的因素

道床断面一般采用等腰梯形,包括道床厚度、顶面宽度及边坡坡度三个主要特征。道床厚度是指钢轨下(曲线为内股钢轨下),轨枕底面与路基面之间的道砟厚度。根据轨道类型的不同,规定道床厚度为 30~50 cm,其厚度应满足轨枕底传递的压应力不大于路基面上容许最大压力的要求。道床断面如图 1-14 所示。道床过厚既有碍作业,也不经济。在运量较小、行车速度较慢的线路上,以及在隧道、车站范围内,可以酌情减小道床厚度,木枕地段不得小于 20~25 cm;混凝土枕地段不得小于 30 cm;站线上不得小于 20 cm;桥梁上道砟槽内不得小于 25 cm,如有困难可减至 20 cm;隧道内不应小于 20 cm。

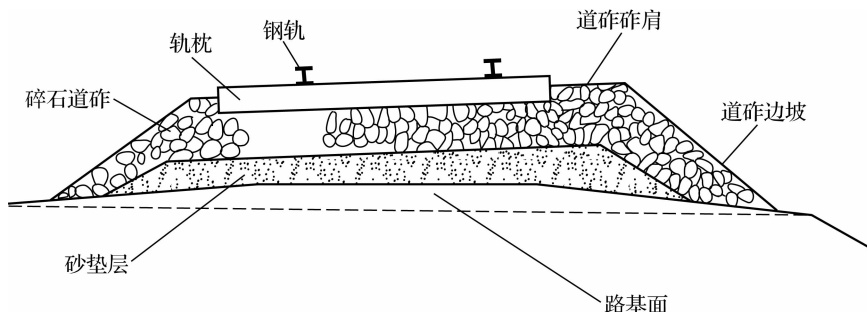


图 1-14 道床断面

道床厚度主要由以下几个因素确定:道床弹性、道床脏污增长率、垫砟层的承载能力、路基面的承载能力。道床弹性是由相互接触的道砟颗粒之间的弹性形变引起的。通常情况下,道床弹性与道床厚度成正比,并随着道砟颗粒粒径的增大、道床空隙比的增加而增加。但是,松散状态下的道床在荷载作用下所产生的变形主要是结构变形,卸载后结构变形不能恢复,故新铺设、清筛或作业后尚未密实的道床,尽管在列车荷载的作用下变形很大,但是也不能说明这种道砟有良好的弹性。因为新铺设或清筛后的道床,在未捣固密实之前,其道砟之间空隙较大,通过捣固或者列车荷载震动后变形(外观紧缩移动)比较大。因此,应该在道床捣固密实、列车运行几个月后,再对道床弹性进行评判。在石质路基上,尽管路基面的承载能力大,但是由于路基的弹性差反而要求有较厚的道床来保证轨道的整体弹性。道床厚度减小,必然导致道床的弹性变差,减振吸振的性能也变差,在相同的运营条件下,道床更易粉碎、脏污加速,从而导致日常维修工作量加大、清筛周期缩短。因此,足够的道床厚度是控制道床脏污增长率,维持一定的维修工作量和道床清筛周期所必需的。

当道床厚度较小时,会在碎石与砂垫层的接触面上形成类似枕底的凹形滞水槽,这是由于碎石层薄,轨枕荷载没有得到充分扩散,致使分布在垫砟层表面的压应力超过了垫砟层的承载能力,枕下部分垫砟层的表面应力最大,因而逐渐下沉,并形成排水能力差的滞水层。

不同的运输、轨道设备,道砟及垫砟材料,路基面条件对道床厚度起着控制作用。我国规定快速线路上道床面砟厚度不小于 30 cm,垫砟厚度不小于 20 cm。

2. 《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对道床厚度的规定

《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对道床厚度的规定如表 1-8 所示。

表 1-8 道床厚度标准

单位: mm

五年内年计划通过总重 $W_{\text{年}}/\text{Mt}$		$W_{\text{年}} \geq 50$	$50 > W_{\text{年}} \geq 25$	$25 > W_{\text{年}} \geq 15$	$W_{\text{年}} < 15$
无垫层的碎石道床	一般路基	450	450	400	350
	不易风化的岩石、碎石路基	350	350	300	300
有垫层的碎石道床(碎石/垫层)		300/200	300/200	250/200	250/200
有砟桥面上的碎石道床	$v_{\text{max}} \leq 120 \text{ km/h}$	250			
	$v_{\text{max}} > 120 \text{ km/h}$	300			

注: 允许速度大于 120 km/h 的线路, 无垫层时碎石道床厚度不得小于 450 mm; 有垫层时碎石道床厚度不得小于 300 mm, 垫层厚度不得小于 200 mm。

道床大修后, 无垫层的碎石道床, 枕下清砟厚度不得小于 300 mm; 特殊困难条件下道床厚度不足 300 mm 时, 应清筛至路基面, 并做好排水坡。

对于运量小、允许速度低的线路或在隧道内、桥梁上和车站内受建筑物限制时, 可酌情降低道床厚度。但正线木枕地段碎石道床厚度不得小于 200 mm, 混凝土枕地段不得小于 250 mm, 站线不得小于 200 mm。

3. 国外高速铁路的道床厚度

由于道床厚度对于传递到路基面上的应力有一定的影响, 故道床厚度是线路等级的一个主要指标。表 1-9 给出了国外几个主要国家高速铁路的道床厚度。

表 1-9 国外几个主要国家高速铁路的道床厚度

国 家	法国		德国	意大利	日本			
高速铁路 线路	TGV 东南 线(巴黎— 里昂)	TGV 大西 洋线(巴 黎—图尔)	汉诺威— 维尔茨堡	罗马—佛 罗伦萨	东海道(东 京—大阪)	山阳(新大 阪—博多)	东北(上 野—盛冈)	上越(大 宫—新潟)
道床厚度 /mm	碎石 350	碎石 300	碎石 300	碎石 350	碎石 250	轨枕板 300	轨枕板 300	轨枕板 300

1.4.5 道床顶面宽度及边坡坡度的相关规定

1. 道床顶面宽度及边坡坡度

道床顶面宽度等于轨枕长度及其两端道床肩宽之和。道床伸出轨枕两端的部分称为道床肩宽。为了保证道床有足够的横向阻力, 并阻止道砟自轨枕端部下方挤出, 道床必须有一定的肩宽。设道床肩宽为 a , 轨枕长度为 L , 则道床顶面宽度为 $b=L+2a$, 如图 1-15 所示。

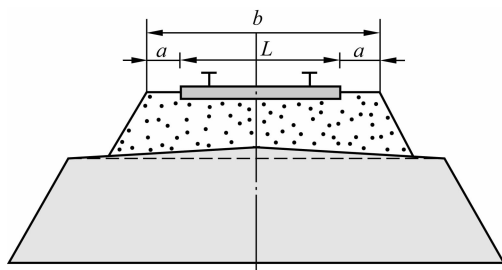


图 1-15 道床顶面宽度



一般木枕轨道的道床顶面应低于轨枕顶面 3 cm,混凝土枕地段的道床中部 60 cm 范围内,其道床顶面还应下凹,并低于轨枕底面 3 cm。S-2 型、J-2 型混凝土道床可不掏空,但应保持疏松,以防混凝土轨枕顶面在列车荷载的弯矩作用下开裂。

自道床顶面引向路基顶面的斜边称为道床边坡。道床边坡的大小应保证道床坚固稳定,在列车动力荷载作用下不发生坍塌。国内外的运营经验表明,道床边坡坡度不能陡于 1 : 1.5,因而一般正线的边坡坡度为 1 : 1.75。

通常认为,道床肩宽主要由保证枕轨的横向阻力和保持轨道的横向稳定性条件来决定。枕轨的横向阻力由轨枕底面、侧面、端面三部分提供,依据英国的试验结果,当道床肩宽为 30 cm,坡度为 1 : 1.2 时,轨枕底面提供的阻力占 67%,侧面提供的阻力占 28%,端面提供的阻力仅占 5%,可见,砟肩提供的横向阻力在整个轨枕横向阻力中所占比例不大。在道床边坡和轨枕端面尺寸不变的情况下,道床肩宽的增加对轨枕横向阻力的影响不大,当轨枕横向位移时,道砟在离枕头 43 cm 处隆起,43 cm 以外的道砟几乎不参与抵制轨枕横移的活动。因而,道床肩宽为 40~50 cm 已足够。

道床肩部堆高才是提高轨枕横向阻力最经济有效的手段。在肩部承载能力相同的情况下,一般趋于采用较大的肩宽和较陡的边坡,但过陡的边坡是不适宜的,因为边坡坡角受到散粒体自然坡角的限制和振动的影响。

2.《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对道床顶面宽度及边坡坡度的规定

《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)规定,道床顶面宽度及边坡坡度应符合表 1-10 的要求。对于曲线地段的路基,还应该考虑曲线外侧道床的加宽。

表 1-10 道床顶面宽度及边坡坡度

线路类别			顶面宽度/m	曲线外侧加宽		砟肩堆高/m	边坡坡度
				半径/m	加宽/m		
正线	无缝线路	$v_{\max} > 160 \text{ km/h}$	3.5	—	—	0.15	1 : 1.75
		$v_{\max} \leq 160 \text{ km/h}$	3.4	≤ 800	0.10	0.15	1 : 1.75
	普通线路	$100 < v_{\max} \leq 120 \text{ km/h}$	3.1	≤ 600	0.10	—	1 : 1.75
		$v_{\max} \leq 100 \text{ km/h}$	3.0	≤ 600	0.10	—	1 : 1.75
站线	无缝线路	Ⅲ型混凝土枕	3.4	≤ 600	0.10	0.15	1 : 1.75
		其他轨枕	3.3				
	普通线路	Ⅲ型混凝土枕	3.0	—	—	—	1 : 1.5
		其他轨枕	2.9				

轨底处道床顶面应低于轨枕顶面 20~30 mm,如图 1-16 所示。Ⅰ型混凝土枕中部道床应掏空,其顶面低于枕底不得小于 20 mm,长度应为 20~400 mm;Ⅱ型和Ⅲ型混凝土枕中部道床应填平,并不高于轨枕顶面。图 1-17 为混凝土轨枕埋深和砟肩堆高示意图。

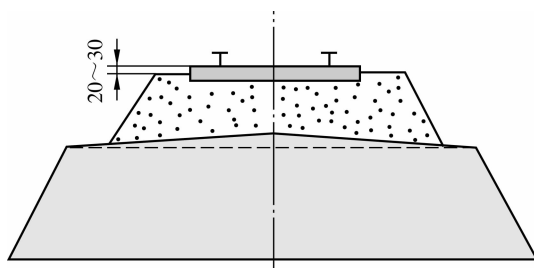


图 1-16 轨底处道床顶面的位置(单位:mm)

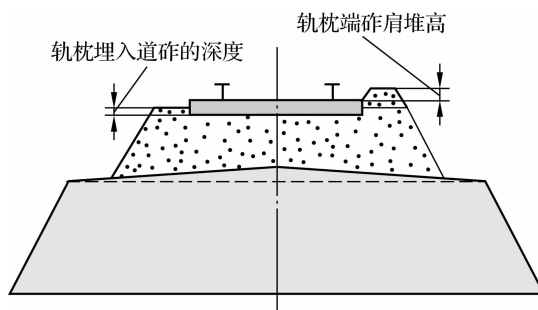


图 1-17 混凝土轨枕埋深和砟肩堆高示意图

有砟桥上应设挡砟墙(块),无缝线路地段应满足砟肩堆高的要求。曲线地段路基和道床的加宽如图 1-18 所示。混凝土宽枕线路的道床由面砟带和底层组成,均采用一级道砟。有垫层时道床厚度不得小于 250 mm,无垫层时不得小于 350 mm;在岩石、渗水土路基上,隧道内及有砟桥面上,不得小于 200 mm。道床顶面宽度不得小于 2.9 m,允许速度大于 120 km/h 的线路,道床顶面应与宽枕顶面平齐,其他线路枕端埋入道床的深度不得小于 80 mm。

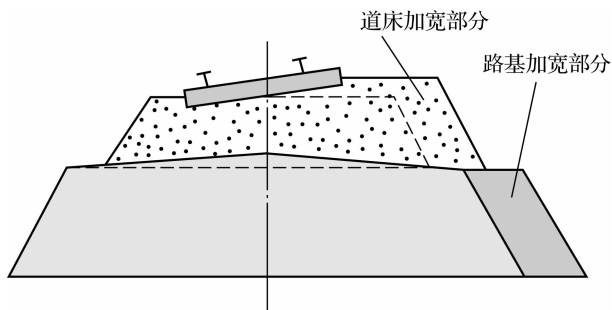


图 1-18 曲线地段路基和道床的加宽

1.4.6 评定道床工况的参数

评定道床工况的参数主要有道床脏污率(分为重量脏污率和体积脏污率)、道床密度、道床空隙率、道床弹性、轨枕横向阻力和轨枕垂向振动加速度。

1. 道床脏污率

在运营中,由于颗粒破碎及粉尘的渗入,道床中会含有小于上述规定的最小粒径成分,这就是道床的脏污成分。脏污成分与道床总重的百分比为道床的重量脏污率,脏污成分与道床



体积的百分比为道床的体积脏污率。道床脏污率的检测方法是清筛道床,工作烦琐,工作量大。

2. 道床密度或道床空隙率

道床密度是指道床单位体积的质量,道床空隙率是指道砟颗粒之间的空隙所占的体积与道床总体积之比。道床从新铺经密实、稳定到脏污、板结的过程,是一个道床密度逐渐增大、道床空隙率逐渐减小、道床脏污率逐渐增加的过程,三者间存在定量关系。道床密度和道床空隙率检测方便,检测结果精度高。

3. 道床弹性

道床弹性是轨道整体弹性的重要组成部分,随着道床的脏污和板结,道床的弹性逐渐丧失,影响道床正常职能的发挥。表征道床弹性的物理量有道床弹性模量和轨枕支承刚度等。

4. 轨枕横向阻力和轨枕垂向振动加速度

轨枕横向阻力是阻止轨枕横向移动,保持轨道稳定的重要条件。列车通过时的轨枕垂向振动加速度是由机车车辆、轨道结构和道床基础共同决定的一种动力效应,在机车、行车速度和轨道设备一定的条件下,轨枕垂向振动加速度的差异主要反映在道床状态的变化上。这种测试简单易行,易于推广。

1.4.7 道床应力与道床的磨损及脏污

1. 道床应力

轨枕底面下道床应力的分布情况,迄今尚未被完全掌握,其主要原因是道床是由许多相当大的颗粒组成的,道床具有结构物的性质而不具有连续体的性质。试验表明,道床压力分布的规律性不强,但道床内部的应力却随道床深度的增加而减少。道床压力传布规律的计算方法主要有两种:理论解法与经验方法。

其中,理论解法包括将荷载均匀分布在圆形面积上的方法(如 Boussinesq 弹性理论)和将轨枕看作无限长受载体的计算方法。前者假设道床和路基形成一个半无限的、弹性的、匀质的和各向同性的半空间体,由钢轨传来的荷载均匀地分布在一个圆形面积上。该方法得到的结论是:当道床厚度达 60 cm 以上时,路基面上的垂直应力分布趋于均匀;当轨枕间距为 63~79 cm 时,轨枕所受单位荷载对路基面垂直应力大小的影响是微不足道的。后者是把轨枕看作无限长带状受载面。

所有的经验方法均可确定某一深度处最大垂直压力与轨枕全长范围内均布接触压力的关系。

目前道床力学的研究正从连续介质理论向散粒介质理论发展,借助散粒介质理论来研究道床的传力特性、弹塑性变化规律等。

2. 道床的磨损及脏污

道床的磨损及脏污会导致道床病害的发生,如道床翻浆冒泥、道床下沉或线路不平顺等。引起磨损及脏污的原因如下:

(1)道床的机械磨耗。捣固时捣头的打击和列车频繁的动力冲击作用,使得道砟不断被粉碎成末。

(2)外界松散物质和尘土等的侵入。道砟的机械磨耗和外界松散物质(如矿石、煤和灰

砂)的侵入,都直接与货运量的大小有关,尤其是位于煤、灰砂、矿石产区的线路更为严重。道床的脏污程度在其断面上的分布并不是均匀的,一般在轨枕底下 10 cm 范围内甚大,其结果是使道床丧失排水性能及应有的弹性,承载力迅速降低,从而引起翻浆冒泥、道床下沉和线路不平顺等病害。所以应定期清筛和补充石砟,以保持道床良好的弹性和排水性能。但清筛次数过多,又会增加线路维修费用且干扰列车的正常运行。

1.4.8 新型道床

1. 混凝土整体道床

混凝土整体道床(图 1-19),又称无砟轨道,是一种用混凝土取代道砟层的刚性轨下基础,常用于铁路隧道、地下铁道、无砟桥梁,以及有特殊需要、基础又经过适当处理的土质路基。

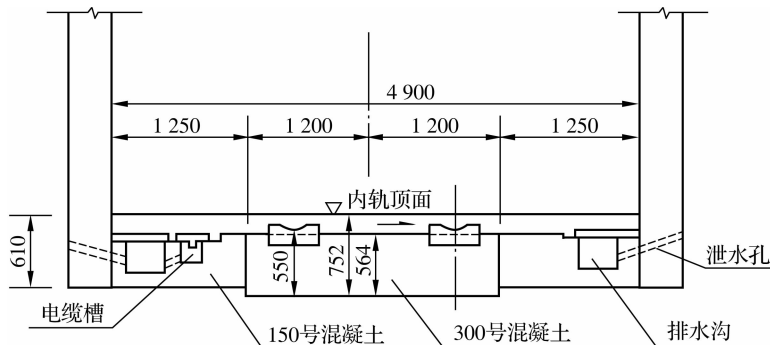


图 1-19 混凝土整体道床(单位:mm)

(1)混凝土整体道床的优缺点。

①优点。

a. 道床由混凝土浇筑成型,线路位置完全固定,因而线路稳定、平顺,有利于铺设无缝线路和实现高速行车。

b. 维修工作量小,改善了工人的劳动条件,减轻了工人的劳动强度,特别是对于通风照明不够完善的长大隧道,其优越性更为突出。

c. 坚固耐久、整洁美观、使用寿命长。

d. 在隧道、地下铁道内修筑混凝土整体道床,可减少开挖面积,增加净空高度。

②缺点。道床一旦损坏,整修非常困难,要求扣件和垫层具有较好的弹性。

(2)混凝土整体道床的结构形式。隧道内整体道床的结构形式按钢轨支撑方式分为支撑块式、短木枕式和直接联结式。

①支撑块式。支撑块式整体道床由钢筋混凝土支撑块、混凝土道床、隧道底部结构及排水沟等组成,其两侧有水沟排水。对有地下水的隧道,一定要采用两侧水沟式整体道床,侧沟沟底低于整体道床底面以排除道床积水,使基底经常处于干燥状态。寒冷地区的有水隧道应采用单侧或双侧防寒水沟。混凝土道床顶面应有向水沟方向 3% 的横坡,边墙及靠道床一侧水沟的边墙上均须预留泄水孔。支撑块顶面宽度至少为 300 mm,并有 1:40 的轨底坡,承轨槽上预留有硫黄锚固螺栓孔或预埋螺栓套管。



②短木枕式。为了增加道床的弹性,用短木枕作为钢轨支撑。这种形式的整体道床虽然弹性好,但木枕容易腐蚀,故使用较少。

③直接联结式。钢轨与混凝土道床不是通过预埋在道床中的混凝土支撑块或短木枕进行联结的,而是把钢轨扣件的螺旋道钉与预埋在道床混凝土中的联结套管直接相连,或锚固于预留在道床混凝土内的锚固孔中。

直接联结式整体道床解决了道床体内与钢筋混凝土支撑块或短木枕的黏结问题,从而大大提高了混凝土道床的整体性。

混凝土整体道床的宽度一般为 2.4 m,厚度为 35 cm,混凝土强度等级为 C28。混凝土整体道床因受混凝土收缩、温度效应及荷载作用产生的弯曲拉应力等的影响,应分段修筑并设置相应的伸缩缝,防止混凝土道床出现裂缝。伸缩缝的间距,洞口 300 m 范围内宜采用 6.25 m,洞口 300 m 以外宜采用 12.5 m。此外,在隧道衬砌沉降缝处,混凝土整体道床也应设置伸缩缝。伸缩缝的位置要与钢轨接头(或长钢轨焊缝)错开。伸缩缝一般宽 2 cm,用沥青浸泡过的木板填塞或用预制沥青板填塞。

在曲线地段浇筑混凝土整体道床时,应按近期最高行车速度计算的外轨超高一次做够。至于要达到按远期最高行车速度计算的外轨超高,可用增减垫板厚度的方法来解决。为此,在浇筑混凝土整体道床时,将内轨承轨槽降低(降低值为远期超高值减去近期超高值所得结果的一半),并在内轨下加设垫板给予补足。当要调整为远期外轨超高时,只需撤去在内轨下加高的垫板,而在外轨下加设同样厚度的垫板即可。例如,按近期最高行车速度计算的外轨超高为 80 mm,按远期最高行车速度计算的外轨超高为 100 mm。在浇筑混凝土整体道床时,内轨承轨槽比设计值降低 10 mm,此时的线路超高值为 90 mm。铺轨时,在内轨下加垫 10 mm 厚的橡胶垫片,即可满足近期 80 mm 的超高要求;等到远期行车时,将内轨下 10 mm 厚的橡胶垫片撤除,放置在外轨下,则此时的超高即为 100 mm,可以满足远期行车的要求。

为防止钢轨爬行,当线路纵坡大于 6‰时,应根据设计在混凝土整体道床上预留长 110 mm、宽 250 mm、高 150 mm 的防爬器槽口。作业线上的整体道床,不但可以供机车车辆走行,而且在其上可以进行多种技术作业。例如,对于车站作业线(机车车辆库段的准备作业线、加冰线、酸洗线、洗罐线),厂矿、大型库楼及港口码头的作业线(散粒货物、液体油类及粉末毒品货物装卸线),为使生产人员行走方便,提高劳动效率,保证生产安全,普遍修筑整体道床。作业线大多位于土质路基上,土质路基的承载力较低,对动力荷载及水侵蚀的反应灵敏。因此,土质地基上整体道床的修建,必须特别重视土质地基的加强处理和排水设施的设置。

由于以钢筋混凝土为主体的整体道床与碎石自然堆积(需捣固密实)形成的梯形断面道床相比,两者的整体弹性相差很大,为保证行车平稳、旅客舒适,减轻轮轨相互作用的动力响应,应在两者的衔接处设置道床弹性逐渐变化的过渡段。

2. 沥青道床

沥青道床是用沥青材料作为黏合剂,将散粒道砟固结为一体,或用沥青混凝土、沥青砂代替碎石道砟。它和混凝土整体道床具有相同的优点。此外,沥青材料便于再加工。因此,沥青道床更宜铺设于土质路基上,一旦发生路基下沉变形,道床产生病害,修复也较容易。沥青道床和混凝土枕配合使用,称为混凝土枕无砟线路;沥青道床和宽轨枕配合使用,称为

宽轨枕无砟线路。

沥青道床是新型道床中比较成功的一种,它的沥青层弹性好,可以缓冲列车运行中的冲击震动,延长钢轨和扣件的使用寿命,而且维修方便,因此被广泛应用于世界各国的铁路新干线上,其中在欧洲使用最多。图 1-20 至图 1-23 为法国新干线宽轨枕无砟线路的制作流程。

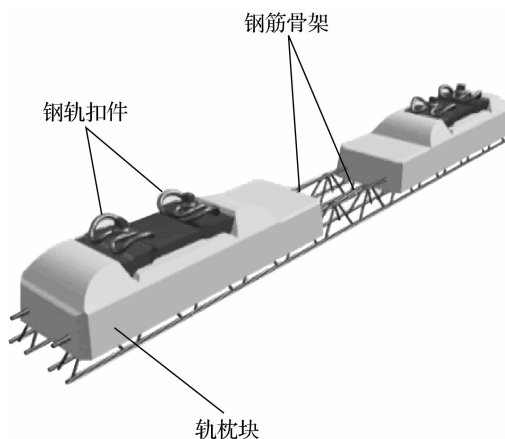


图 1-20 制作钢筋混凝土轨枕框架

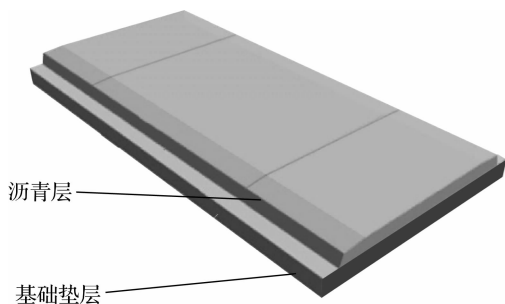


图 1-21 铺筑沥青垫层

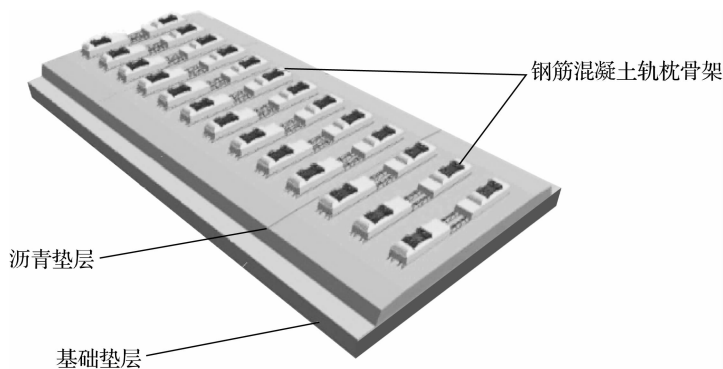


图 1-22 布置轨枕(未浇筑混凝土)

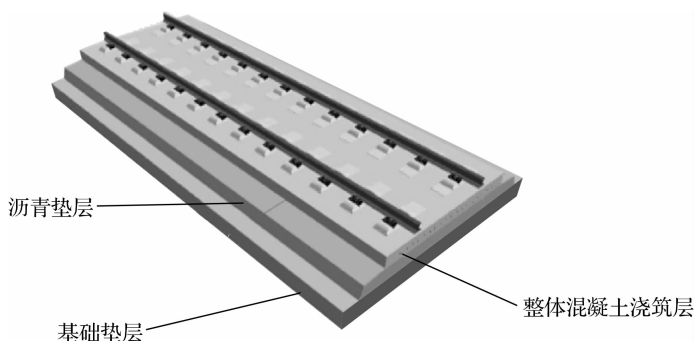


图 1-23 法国新干线宽轨枕无砟线路断面图(已浇筑混凝土)

3. 板式轨道

板式轨道是一种新型的轨道结构,用预制的钢筋混凝土板(轨道板)直接支承钢轨,并在轨道板与路基或桥隧建筑物基底上浇筑混凝土,基础板之间填充水泥沥青砂浆垫层,成为一种全面支承的板式轨道结构。

我国从 2000 年开始研制并在隧道内试铺板式轨道,这种轨道结构从根本上取消了轨下基础的轨枕和道床,是一种新型的轨道结构,为高速铁路道床的发展积累了丰富的经验。目前,我国自主研发的 CRTSⅢ型板式无砟轨道(国产化)已经成为世界高铁轨道技术的行业标准。

轨道板的长度一般以 4~5 m 为宜,宽度常为 2.4 m,厚度一般取 160~200 mm,每块轨道板的质量为 5 000 kg 左右。

轨道板的表面形状分为有承轨槽和无承轨槽,并留有预埋螺栓套管孔。此外,在板面上还留有若干注入孔,供注入水泥沥青砂浆之用。板的两侧装有吊耳,便于吊装。轨道板根据纵、横向受力情况,计算配置双层双向普通钢筋,在工厂或工地预制。在轨道板底面预先涂抹剥离剂,当基础下沉时,可以抬高轨道板,用注入的水泥沥青砂浆填充空隙,使轨道的几何尺寸得到有效的校正。

为阻止轨道板的纵、横向移动,在板的两端设有固定于混凝土基础板上的钢筋混凝土圆柱。当轨道板底面的摩擦力不足以完全克服由机车车辆传来的纵向和横向水平力时,其超出部分将由混凝土圆柱来承担。混凝土圆柱与轨道板之间的空隙,也用水泥沥青砂浆填塞。混凝土基础板一般就地建在隧道仰拱或铺底混凝土上,也可以与隧道回填一次浇筑完成。基础板的宽度一般比轨道板宽 200 mm,厚度为 100~200 mm。



视频
整理道床

爱国加油站

詹天佑被誉为中国首位铁路总工程师,他负责修建了京张铁路等工程,有“中国铁路之父”“中国近代工程之父”之称。请查阅百年老京张铁路的“人”字坡和青龙桥车站的相关资料。准备 200 字以内的发言稿,说一说詹天佑当年是如何解决铁路翻越山岭坡度大的难题的。

1.5 铁路路基

1.5.1 路基施工

铁路路基是轨道的基础,是铁道线路的重要组成部分。为了保证列车的安全运行和满足运营工作的需要,路基顶面应有一定的宽度,路肩的标高应符合线路纵断面的设计规定。更重要的是,路基必须持久地具有足够的强度和稳定性。

路基是以天然土石修筑而成的建筑物,它分布地区广,处在各种地质、水文、气候等复杂的自然环境下,它的强度和稳定性受到地质条件及雨、雪、水流、气温等各种自然条件因素的影响,特别是铁路所经地区的工程地质条件对路基的影响最大。因此,在铁路路基施工中,工程地质学的任务主要有以下几项:

(1)查明工程地质条件,即各种对路基有影响的地质因素,如地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及各种地质作用等。

(2)判断路基对各种地质条件的影响,即修筑路基后可能发生的工程地质问题(如基底下沉、边坡坍塌、自然山体失稳等),为选择有利的线路位置、路基设计和施工方案提供地质依据。

(3)针对不良地质现象提出有效的整治措施,保证路基坚固稳定,能够正常使用。

路基的边坡坡度与路基的稳定性及工程数量有密切的关系,因此合理地确定边坡坡度是基础设计的重要内容之一。

水的活动是促使路基病害发生发展的重要原因。为使路基不致遭受地面水、地下水的侵入和破坏,路基应有良好的排水、防护及加固建筑物。

路基的工程数量极为庞大,需要花费大量的劳动力、工程材料、施工机具和建设资金,大的土石方集中地段常常控制着整个铁路的施工期限。因此,在路基施工中应认真做好土石方调查,合理选择施工方法,以保证工程质量,加速施工进度,降低工程造价,提高经济效益。

路基应避免高堤深堑。路基两侧应留有足够宽度的铁路用地,保证路基稳定,满足维修检查通道、栅栏设置、绿色通道建设及防沙工程的要求。

在施工中还应注意节约用地,少占农田,少破坏自然地貌和植被,以免导致水土流失。对于路基病害,必须遵循以防为主、防治结合、一次整治、不留隐患的原则,并且采用合理的整治方案及有效的工程措施。

1.5.2 路基的断面形式及路基基床的厚度

1. 路基的断面形式

我国因受地形地貌的影响,路基多采用路堤和路堑,如图 1-24 和图 1-25 所示。



高路堤

图 1-24 铁路路基的高路堤



深路堑

图 1-25 铁路路基的深路堑

要保证列车的平稳运行,必须有稳定的路基和道床。路基一般是由土石碾压夯实而成的。根据路基所在的位置,路基常用的断面形式有六种:路堤、路堑、半路堤、半路堑、半堤半堑、不填不挖,如图 1-26 所示。

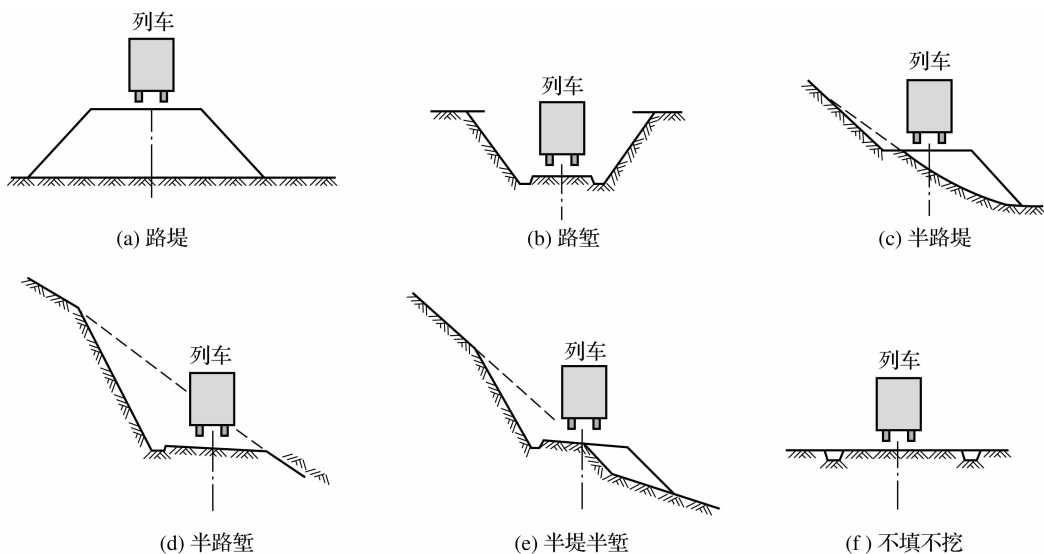


图 1-26 路基常用的断面形式

在设计和施工时常用的路基断面形式为路堤、路堑、不填不挖(图 1-27 和图 1-28),其他三种断面形式在山区等地质复杂的地段使用较多。

2. 路基基床的厚度

路基最重要的部分是基床。路基基床一般分为基床表层和基床底层。对于设计时速小于 160 km/h 的线路,基床表层的厚度为 0.6 m,基床底层的厚度为 1.9 m,基床总厚度为 2.5 m,如图 1-29 和图 1-30 所示。



(a) 路堤



(b) 路堑

图 1-27 路堤和路堑



图 1-28 平原地区路基的不填不挖(自然地面平坦)

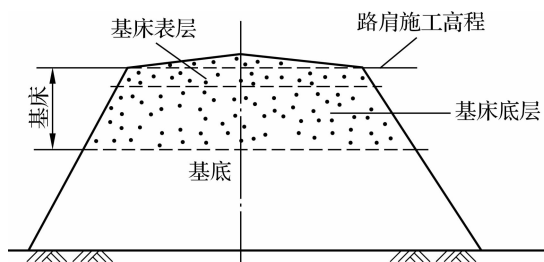


图 1-29 路堤路基基床的厚度

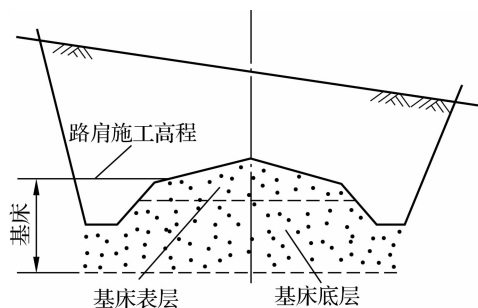


图 1-30 路堑路基基床的厚度



对于其他各级铁路,路基基床的厚度如表 1-11 所示。

表 1-11 铁路路基基床的厚度

单位:m

类 别	基床表层厚度	基床底层厚度	基床总厚度
客运专线	0.6~0.7	1.9~2.3	2.5~3.0
I 级铁路	0.6	1.9	2.5
II 级铁路	0.5	1.5	2.0
III 级铁路	0.4	1.1	1.5

1.5.3 路基的本工程及预留二线

1. 路基的本工程

路基工程包括路基的本工程(由路基面、路肩、基床、坡脚、边坡、基底等组成,如图 1-31 所示),排水设备,防护与加固建筑物,以及加宽、改变已有路基所引起的改河改沟工程。

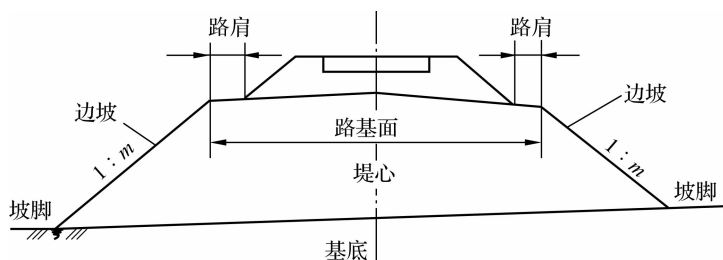
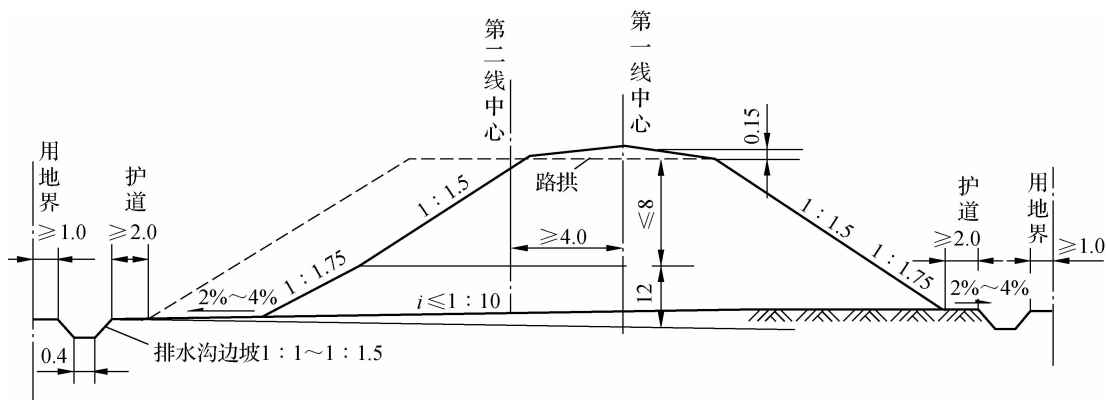


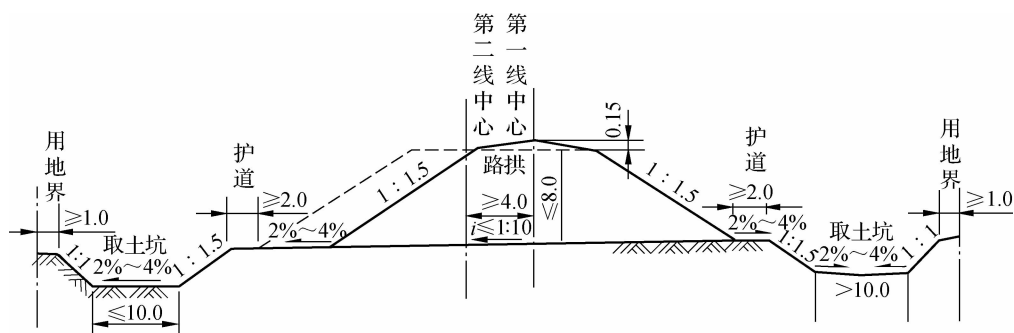
图 1-31 路基的本工程

2. 路基预留二线

考虑铁路远期运输能力和经济效益,在铁路建设初期,对于经济运输总量没有达到一定规模和要求的地段,一般先建设一条线路进行运营,等该地区经济规模发展到一定程度后再进行第二条轨道线路的建设。但为了日后施工方便,一般会预留第二线的路基,如图 1-32 和图 1-33 所示,其中 i 为天然地面的坡度。

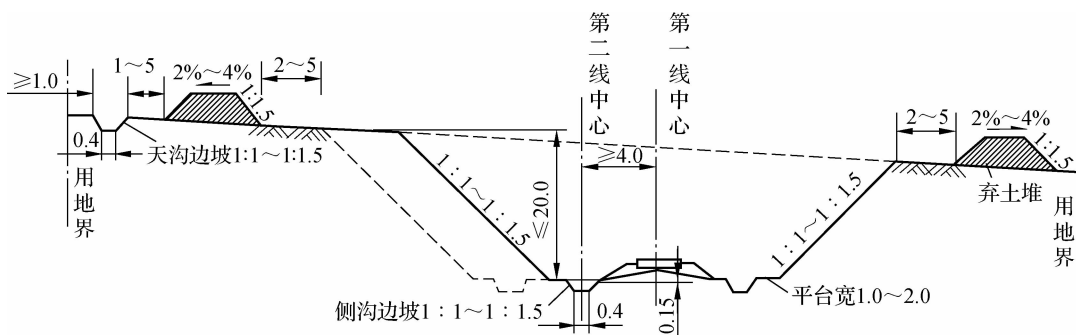


(a) 无取土坑横断面示意图

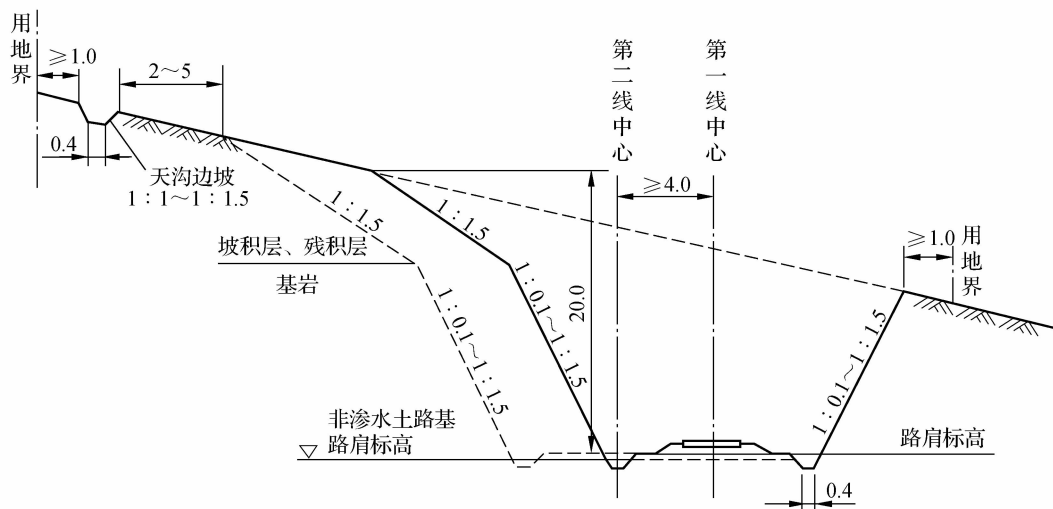


(b) 有取土坑横断面示意图

图 1-32 预留二线的路基(路堤)断面示意图(单位:m)



(a) 曲线地段一般黏性土路堑横断面示意图



(b) 直线地段岩石路堑横断面示意图

图 1-33 预留二线的路基(路堑)断面示意图(单位:m)

(1)路基的边坡高度。路基的边坡高度为路肩高程与坡脚标高之差。

(2)基底。基底为路基的地基,也就是路堤填土的天然地面以下受填土自重及轨道、列



车动载影响的土体部分。基底的稳固对路基本体以至轨道的稳定性都至关重要。因此,在软弱基底上修筑路堤时,必须对基底进行处理,以免危及行车安全与正常运营。

(3)护道。路堤坡脚与排水沟或取土坑边缘之间的天然地面称为护道。护道的作用是保护路堤坡脚不受排水沟或取土坑中水流的冲刷和浸润,以及开垦农田和耕作的影响。护道的宽度不小于 2.0 m,对于地质或排水条件良好地段或经济作物高产田地,当采取一定措施(如护坡或修建坡脚墙等)足以保证路堤稳定时,可减小至 1.0 m。

护道表面应平顺,并有 2%~4%的向外排水坡。如果天然地面达不到要求应进行人工修整。

(4)取土坑。取土坑的设置应根据取土数量,结合路基排水、地形、土质、施工方法、节约用地及未来路基加宽要求等统一规划,并符合以下规定:

①平坦地段,宜设在路堤一侧。当地面横坡陡于路基边坡时,宜设在路堤上侧。

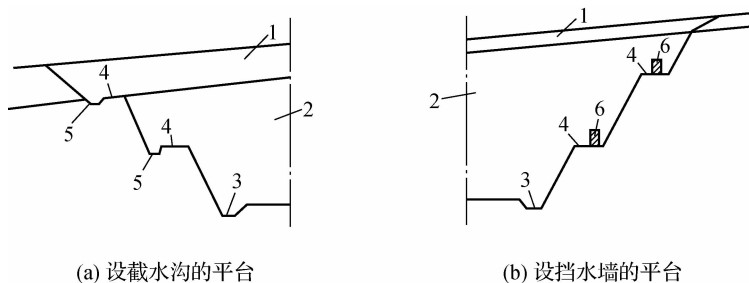
②对于桥头河滩路堤,取土坑必须设在下游一侧。

③兼作排水的取土坑,应确保水流通畅排出,其深度不宜超过该地区的地下水水位,并应与桥涵进口高程相衔接;其纵坡不应小于 2%,平坦地段不应小于 1%。

④坑边至坡脚距离应满足护道的设置要求。当取土坑较深时,应保证路堤边坡稳定的要求,对取土坑内壁应适当进行防护。

⑤对于良田地,当路堤填方大而集中,且地下水水位较高时,可远运或集中取土。

(5)路基平台。当路基边坡为碎石类土、砂类土、易风化岩石或其他不良土质(如膨胀土)时,为防止散落的土和碎石堵塞侧沟,应在侧沟外侧设置平台,平台宽度不宜小于 1.0 m,当边坡高度大于 20 m 时,可酌情增宽至 1.5~2.0 m,如图 1-34 所示。当边坡已全部设防护加固工程时,可不设平台。平台面上应有 2%~4%向侧沟方向的排水坡。



1—覆盖土; 2—岩层; 3—侧沟; 4—边坡平台; 5—截水沟; 6—挡水墙。

图 1-34 路基边坡平台示意图

(6)弃土堆。当开挖路基不能利用的岩土被弃于路基两侧时,一般应先考虑堆在路基山坡的下侧面,既可以降低运土的升高高度,又可以减少对边坡稳定性的威胁,防止因弃土堆滑动或被雨水冲刷而使土石流向路基中心,冲击和掩埋钢轨和轨枕。一般情况下,置于堑顶两侧的弃土堆应符合以下要求:

①弃土堆的内侧边坡高度不应大于 2.5 m,并应取不陡于土石休止角的边坡坡度。

②弃土堆的内侧坡脚至堑顶距离应不小于 1.2 m;对分期修建的复线或站场,弃土应考虑预留远期工程的位置。

③当弃土堆置于山坡的上侧时,应连续堆填;置于山坡的下侧时,应每隔适当距离留有

缺口,并保证堑顶地面水能顺利从缺口排出。

④当路基土质松软或在岩层倾向线路且倾角对边坡不利,或弃土堆有滑动危险,或有形成泥石流的危险时,均不应设置弃土堆。

此外,当沿河弃土时,不得阻塞河流、抬高水位及改变水流性质。弃土也不得压缩桥孔或涵管口,改变水流方向,危及桥梁或涵洞安全。在地面横坡陡于 1:2.5 的路堤边坡和滑坡路堤边坡上不应堆置弃土,必须堆置时,应采取加强路堤边坡稳定的措施。

1.5.4 路基面形状

1. 区间路基面

区间路基面根据基床土的性质分为有路拱路基面和无路拱路基面。

(1)有路拱路基面。有路拱路基面的形状如图 1-35 所示。

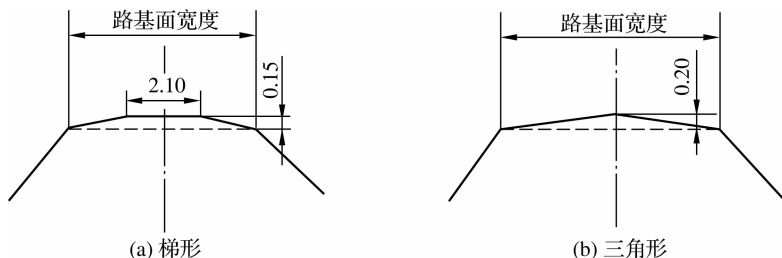


图 1-35 有路拱路基面的形状(单位:m)

设置路拱的目的是使路基面的雨水、雪水迅速从路肩两侧排走,保持路基面干燥,防止基床因浸水而强度下降,产生病害。因此,非渗水土和用封闭层处理的路基面应设路拱。年平均降水量大于 400 mm 的地区的易风化泥质岩石,因长期浸水会软化,在列车动荷载作用下易产生病害,故应按非渗水路基面考虑。路拱的形状为三角形,底宽等于路基面宽。路拱高度:单线路基 0.15 m,双线路基 0.20 m。

(2)无路拱路基面。无路拱即路基面是水平的。当路基面为渗水性土或不易风化岩石时,由于土本身的渗水性较强,能及时将雨水、雪水向下排走,或者由于岩石坚硬,抗渗性强,浸水后不易软化,因此,无论单线路基、双线路基均不做路拱。

当无路拱路基与有路拱路基衔接时,由于这两种路基顶面相差一个路拱高度,而且这两种路基的道床厚度也不一样,因此会造成钢轨顶面高度不一致。为了保证轨顶标高与线路纵断面设计一致,必须提高无路拱路基面(或路肩)的高度。对于单线路基,提高的高度 Δh 可按下式计算:

$$\Delta h = (h_1 - h_2) + 0.15$$

式中, h_1 为单线非渗水土路基的道床厚度(m); h_2 为单线渗水或坚硬岩石路基的道床厚度(m)。

有路拱路基与无路拱路基衔接时,自衔接处开始,由非渗水土路基的施工路肩高程和路拱顶面向渗水土或坚硬岩石路基的施工路肩高程顺坡,顺坡长度不小于 10.0 m,如图 1-36 所示。

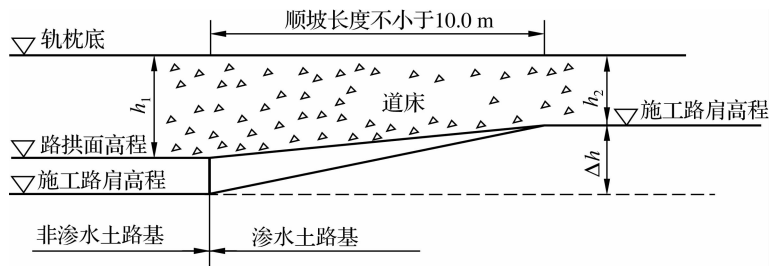


图 1-36 有路拱路基与无路拱路基的衔接

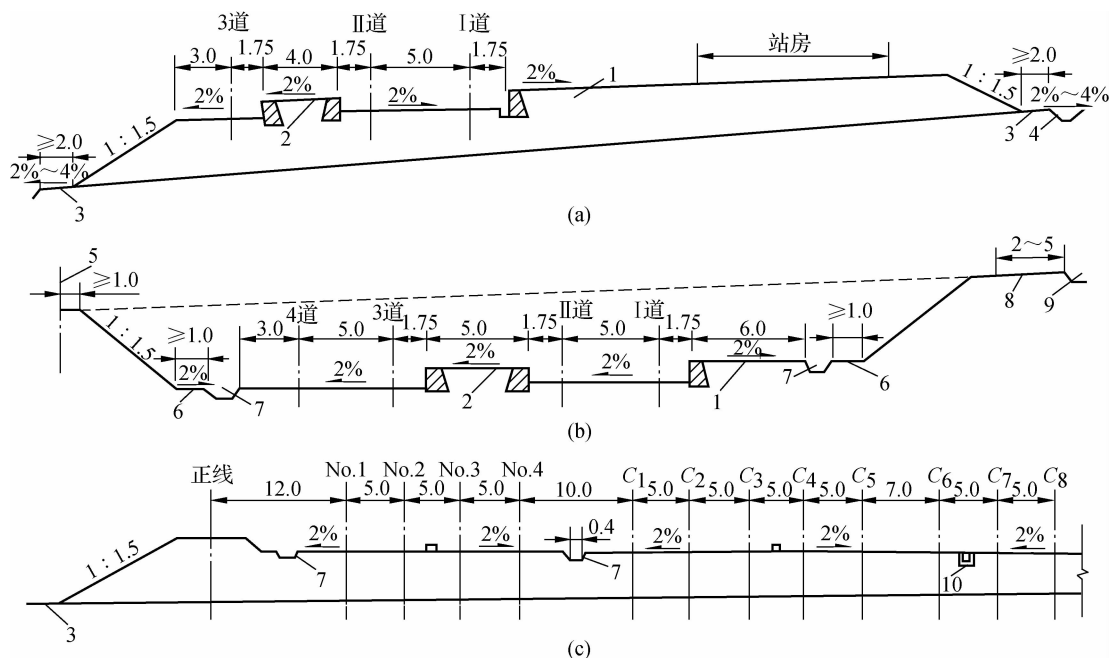
2. 站场路基面

站场路基面应有一定的横向坡度,以保证及时排走路基面上的雨水、雪水,保持路基面和基床干燥。根据站场路基的宽度、排水要求及路基填挖情况,可将站场路基面设计成单面坡、双面坡或锯齿形坡的横断面。横向坡度的大小为 $2\% \sim 4\%$ 。

(1)单面坡。单面坡用于中小站,坡向要根据正线和站台位置而定,一般从正线向到发线倾斜。当有两个站台时,坡向可考虑自到发线向正线倾斜,以减少用于调整各股道轨顶高差道砟的数量。

(2)双面坡。大站股道数量多,当需要在同一坡面上设置较多股道,且调整各股道轨顶高差所用道砟较多时,可采用双面坡。双面坡分坡点的位置应根据调平各股道水平高差所用道砟量较少的情况来确定,一般情况下选取整个断面的中间位置作为分坡点的位置。

(3)锯齿形坡。当站场的股道数特别多时,可以采用锯齿形坡,如图 1-37 所示。它的特点是中间有多个双面坡(双面坡的分坡点一般比较高,就像锯齿的排列一样),其中的 No. 1, No. 2, ..., $C_1, C_2, \dots$ 是站台线路中心线的位置。



1—基本站台; 2—站台; 3—护道; 4—排水沟; 5—用地界; 6—侧沟平台;
7—侧沟; 8—隔带; 9—天沟; 10—盖板暗沟。

图 1-37 站场路基面锯齿形坡的横断面(单位:m)

1.5.5 路基面宽度及曲线路基加宽的规定

1. 路基面宽度的规定

路基面宽度等于道床覆盖宽度加上两侧路肩宽度,如图 1-38 所示。区间路基面宽度应根据铁路等级、正线数目、线间距、远期采用的轨道类型、路基面形状、曲线加宽、路肩宽度等计算确定。站场路基面宽度应根据站房用地、站台数量、股道数量及股道线间距,以及站内排水设备等计算确定。

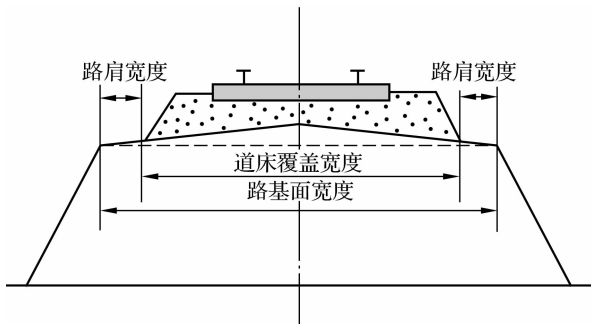


图 1-38 路基面宽度

我国在 2000 年以前制定的规范对于新建区间直线地段路基面宽度的规定如表 1-12 所示,2000 年以后制定的规范对于新建区间直线地段路基面宽度有所加宽,基本上是在 2000 年的基础上增加了 0.5 m,具体数值可查阅 2000 年以后制定的新规范。

表 1-12 路基面宽度

单位:m

铁路等级	轨道类型	单 线						双 线					
		非渗水土			岩石、渗水土			非渗水土			岩石、渗水土		
		道床厚度	路基面宽度		道床厚度	路基面宽度		道床厚度	路基面宽度		道床厚度	路基面宽度	
			路堤	路堑		路堤	路堑		路堤	路堑		路堤	路堑
I	特重型	0.50	7.0	6.7	0.35	6.1	5.7	0.50	11.1	10.7	0.35	10.1	9.7
	重型	0.50	6.9	6.6	0.35	6.0	5.6	0.50	11.0	10.6	0.35	10.0	9.6
III	次重型	0.45	6.7	6.4	0.30	5.8	5.4	0.45	10.8	10.4	0.30	9.8	9.4
II	中型	0.40	6.5	6.2	0.30	5.8	5.4	0.40	10.6	10.2	0.30	9.8	9.4
III	轻型	0.35	5.6	5.6	0.25	4.9	4.9						

《铁路技术管理规程》(2014 年版,普速铁路部分)规定,路基面的宽度应考虑远期发展的铁路等级、维修和机械化作业,并根据路拱断面、轨道类型、道床标准形式及尺寸、线间距、电缆槽、接触网支柱、路肩宽度等计算确定。

2. 曲线路基加宽的规定

在曲线地段由于设置外轨超高,路基面和路肩均需向曲线外侧加宽。其加宽值如表 1-13 所示。



视频

中间联结零件的拆装



表 1-13 曲线地段路基加宽值

单位:m

铁路等级	曲线半径 R	路基外侧加宽值
I 级、II 级	$R \leq 800$	0.5
	$800 < R \leq 1\,000$	0.4
	$1\,000 < R \leq 1\,600$	0.3
	$1\,600 < R \leq 6\,000$	0.2
	$6\,000 < R \leq 10\,000$	0.1
III 级	$R \leq 600$	0.5
	$600 < R \leq 800$	0.4
	$800 < R \leq 1\,000$	0.3
	$1\,000 < R \leq 2\,000$	0.2
	$2\,000 < R \leq 5\,000$	0.1

区间双线曲线路基宽度除考虑在曲线外侧设置超高加宽外,还须考虑为保证规定的安全行车空间的线间距的加宽值。因此,区间双线曲线路基面加宽值应根据外轨超高、线间距、道床宽度及坡度、路拱形状等计算确定。

1.5.6 路肩高程的规定

路肩高程即线路纵断面的设计高度,在一般地段,根据线路纵断面设计需要决定,以保证线路平顺、满足运输要求和节约工程数量为原则。

《铁路路基设计规范》(TB 10001—2016)对路肩高程规定如下:

(1)滨河、河滩路堤的路肩高程应大于设计洪水位、壅水高(包括河道卡口或建筑物造成的壅水、河湾水面超高)、波浪侵袭高或斜水流局部冲高、河床淤积影响高度、安全高度等之和。其中波浪侵袭高与斜水流局部冲高应取二者中之大值。

(2)水库路基的路肩高程应大于设计水位、波浪侵袭高、壅水高(包括水库回水及边岸壅水)、安全高度等之和。当按规定洪水频率计算的设计水位低于水库正常高水位时,应采用水库正常高水位作为设计水位,如图 1-39 所示。

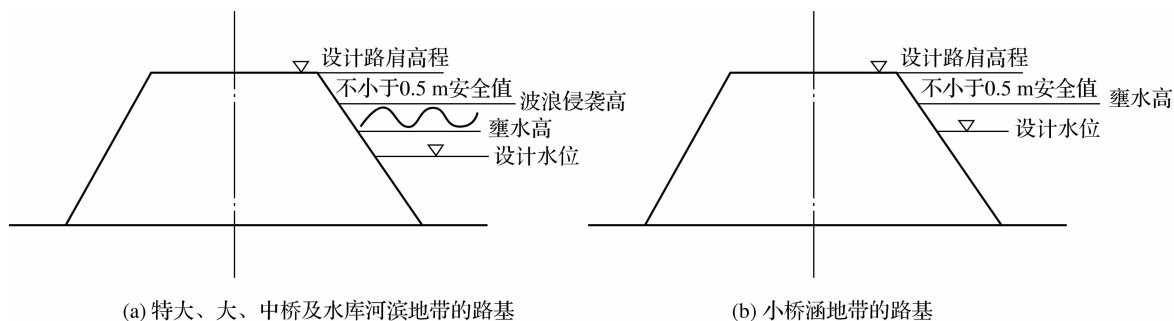


图 1-39 设计路肩高程与水位的关系

(3)滨海路堤,当顶部未设防浪胸墙时,其路肩高程应大于设计高潮水位、波浪侵袭高

(波浪爬高)、安全高度等之和;当设有防浪胸墙时,路肩高程应大于设计高潮位与安全高度之和。为确保滨海路基的安全,路肩的设计高程除满足设计水位(设计标准高潮位)所需高度外,同时要考虑为抗御波浪对路堤的侵袭所需的高度。因此,路肩高程不能低于设计高潮水位加波浪侵袭高度(波浪爬高),并加不小于 0.5 m 的安全高度。

(4)地下水水位或地面积水水位较高地段的路基,其路肩高程应大于最高地下水水位或最高地面积水水位、毛细水强烈上升高度、安全高度等之和。

(5)季节性冻土地区路基的路肩高程应大于冻前地下水水位或冻前地面积水水位、毛细水强烈上升高度、有害冻胀深度、安全高度等之和。一般地区有害冻胀深度为最大冻结深度的 60%;东北地区因温度低且持续时间长,有害冻胀深度达最大冻结深度的 95%。综合以上因素,高速铁路、无砟轨道有害冻胀深度可以按最大冻结深度取值;其他铁路有害冻胀深度根据工程所处地区特点可以按最大冻结深度的 60%~95%取值。

确定毛细水强烈上升高度的方法有直接观测法等。直接观测法是开挖试坑 1~2 d 后,直接观测坑壁干湿变化情况,干湿变化明显处即为毛细水强烈上升带与破裂带的分界点,此点至地下水位距离为毛细水强烈上升高度。

(6)盐渍土路基的路肩高程应大于最高地下水水位或最高地面积水水位、毛细水强烈上升高度、蒸发强烈影响深度、安全高度等之和。当盐渍土路基存在季节性冻害时,应按第(5)条和本条的规定分别计算路肩高程,取二者中之大值。

1.5.7 路肩加宽

1. 路肩宽度的规定

路肩宽度也是比较重要的数据。由于路肩主要是供铁路工作人员及养护维修设备和工具通行的主要道路,所以,路肩应有足够的宽度以满足其功能需要,但又不能太宽,以免过多地增加路基土石方数量和工程费用。路肩宽度应考虑远期发展的铁路等级、维修和机械化作业的变化,并根据路拱断面、轨道类型、道床标准形式及尺寸等计算确定。一般铁路路肩宽度如表 1-14 所示。

表 1-14 一般铁路路肩宽度

单位:m

铁路等级		路肩宽度	
		路 堤	路 堑
I	一般情况	≥ 0.8	≥ 0.6
	困难情况	≥ 0.6	≥ 0.4
II		≥ 0.6	≥ 0.4
III		≥ 0.4	
客运专线		≥ 1.0	≥ 0.8

《铁路技术管理规程》(2014 年版,普速铁路部分)规定,有砟轨道路肩宽度:线路设计速度为 200 km/h 区段的路肩宽度不应小于 1.0 m;线路设计速度为 160 km/h 及以下的铁路,位于路堤上的路肩宽度不应小于 0.8 m,位于路堑上的路肩宽度不应小于 0.6 m。牵出线的中心线至路肩边缘的宽度不小于 3.5 m,如图 1-40 所示。

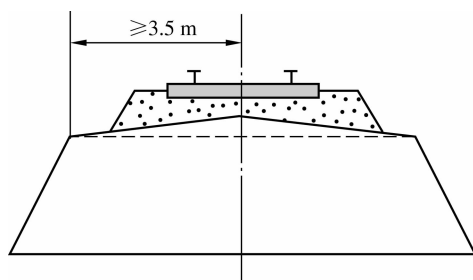


图 1-40 牵出线的中心线至路肩边缘的宽度

2. 路肩加宽的原因

- (1) 曲线地段由于外轨超高引起的路肩外侧加宽。
- (2) 新交付运营的铁路, 由于自然沉落或列车荷载作用引起沉陷, 使纵断面发生变化, 在整治病害的同时, 应根据需要加宽路肩。
- (3) 由既有线路提速、线路改造引起的路肩加宽。
- (4) 为养路机械作业让车时, 需预留的路肩加宽。

3. 路肩加宽的常用措施

(1) 填土加宽路肩(图 1-41)。填筑前应清除坡面上和坡脚地面填土范围内的杂草、树根等, 挖好台阶(宽度一般不小于 1.0 m), 然后用渗水性不低于原路基土的填料从坡脚开始分层填筑、夯实平整。坡面应采取防冲刷措施。填宽尺寸应满足下列要求:

① 当边坡高度 $H' \leq 2$ m 时, $b_1 \geq 0.5$ m, $b_2 \geq 1.0$ m。

② 当边坡高度 $H' > 2$ m 时, $b_1 \geq 1.0$ m, $b_2 \geq 2.0$ m。

(2) 干砌片石加宽路肩(图 1-42)。加宽路肩一般不宜超过 1.0 m, 否则应个别设计。顶面用水泥砂浆抹面, 侧面勾缝, 留泄水孔, 道床坡脚与片石路肩间填以渗水性材料(如砂砾、炉渣等)。

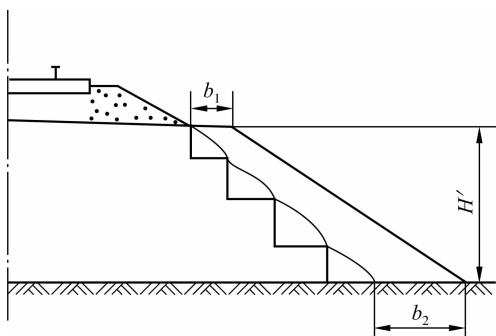


图 1-41 填土加宽路肩

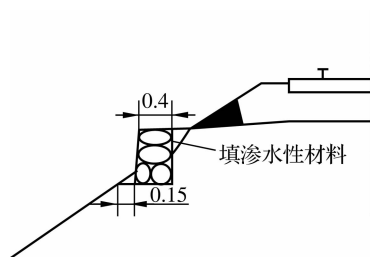


图 1-42 干砌片石加宽路肩(单位:m)

(3) 浆砌片石加宽路肩(图 1-43)。路基坡脚与侧沟交汇处采用浆砌片石路肩墙加宽路肩, 一般情况下, 连同侧沟(图 1-44)一起浆砌。

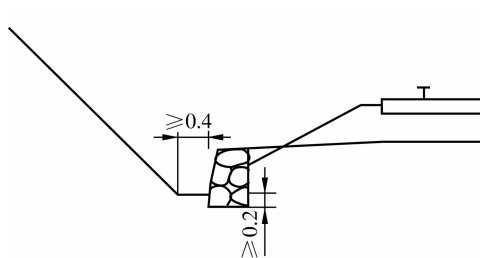


图 1-43 浆砌片石加宽路肩(单位:m)

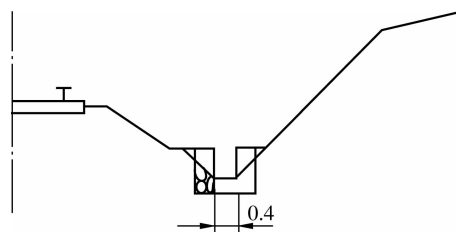
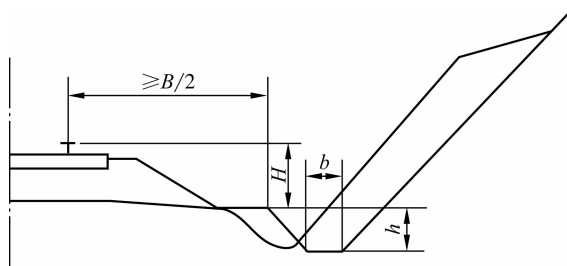


图 1-44 矩形侧沟(单位:m)

(4)刷坡加宽路肩(图 1-45)。对于高度不大的土质路基,可采用刷坡方法加宽路肩。

(5)钢筋混凝土盖板加宽路肩(图 1-46)。当石质路基的坡脚处已有挡墙等较大圬工构筑物时,在原侧沟之上加钢筋混凝土盖板。



h —侧沟实际深度(m); b —侧沟宽度,流量不大时用 0.4 m;

B —路基面的宽度; H —钢轨顶面相对于路基面的高度。

图 1-45 刷坡加宽路肩

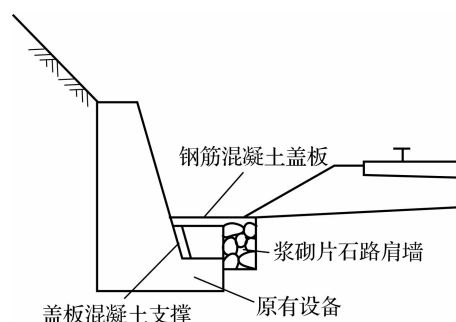


图 1-46 钢筋混凝土盖板加宽路肩

1.5.8 路基边坡

路基边坡包括路堤边坡和路堑边坡。路基边坡坡度是指边坡的垂直高度与其水平投影距离之比,一般用 $1:m$ 表示。

1. 路堤边坡

路堤边坡的形式和坡度应根据填料的物理力学性质、边坡高度、列车荷载和地基工程地质条件等确定。当地基条件良好、边坡高度不大于 20 m 时,路堤边坡坡度按表 1-15 选用。

表 1-15 路堤边坡坡度

填料名称	路堤边坡高度/m			边坡坡度		
	全部高度	上部高度	下部高度	全部高度	上部高度	下部高度
砂粉土、粉土、黏粉土	20	8	12	—	$1:1.5$	$1:1.75$
砾石、角砾、砾砂、沙砾、粗砂、中砂土	12	—	—	$1:1.5$	—	—
漂石、卵石、碎石、碎石土	20	12	8	—	$1:1.5$	$1:1.75$
不易风化硬石土	8	—	—	$1:1.3$	—	—
	20	—	—	$1:1.5$	—	—

注:对于特殊的土质或边坡,设计中可另行使用,不受本表限制。



2. 路堑边坡

(1)土质路堑边坡。土质路堑边坡的形式及坡度应根据工程地质、水文地质条件、土的性质、边坡高度、排水措施等条件确定。当地基条件良好、边坡高度不大于 20 m 时,土质路堑边坡坡度按表 1-16 选用。

表 1-16 土质路堑边坡坡度

土的类别		边坡坡度
黏土、粉质黏土、 $I_p > 3$ 的粉土		1 : 1 ~ 1 : 1.5
中密以上的中粗砂土、砾砂土		1 : 1.5 ~ 1 : 1.75
卵石、碎石、圆砾、角砾	胶结密实	1 : 0.5 ~ 1 : 1
	中密	1 : 1 ~ 1 : 1.5

(2)岩石路堑边坡。岩石路堑边坡的形式及坡度应根据工程地质、水文地质条件、岩性、边坡高度、施工方法,并结合岩体结构、结构面产状、风化程度、地貌形态、自然稳定边坡和人工边坡的调查综合确定,必要时可采用稳定分析法予以验算。当地基条件良好、边坡高度不大于 20 m 时,岩石路堑边坡坡度按表 1-17 选用。当边坡高度大于 20 m 时,边坡坡度应进行个别设计。一般为节省工程土方量,边坡坡度大多采用台阶式多坡段的形式。

表 1-17 岩石路堑边坡坡度

岩石类别	风化程度	边坡坡度
硬质岩石	未风化~微风化	1 : 0.1 ~ 1 : 0.3
	弱风化~强风化	1 : 0.1 ~ 1 : 0.75
	全风化	1 : 0.75 ~ 1 : 1
软质岩石	未风化~微风化	1 : 0.3 ~ 1 : 0.75
	弱风化~强风化	1 : 0.5 ~ 1 : 1
	全风化	1 : 0.75 ~ 1 : 1.5

1.6 路基的附属设施

路基的附属设施主要有三大类:路基排水设施、路基加固支撑设施、路基两侧用于行车通信和安全防护的设施。

1. 路基排水设施

路基排水设施是路基附属设备的主要部分,它是为了保证路基不受水流冲刷、浸泡而专门修建的设施。路基排水设施分为地面排水设施和地下排水设施。

(1)地面排水设施。地面排水设施主要包括排水沟、侧沟、天沟、急流槽等设施。

①排水沟位于路堤路基的两侧,将降落到路基表面的地表水汇集并排走。

②侧沟位于路堑路基的两侧,将降落到路基表面及路基坡面上的地表水汇集并排走。

③天沟一般位于高路堤深路堑或山坡坡脚路基面积较大的山坡面上,一般沿山坡等高线布置,主要是将降落到山坡表面的地表水汇集并排走,防止山坡表面的地表水向下冲毁或淹没路基。

④急流槽是一种将不同高度的水连接起来的设施,主要是将高处的水引到低处排走。例如,它可将天沟的水引到排水沟或侧沟并排走。

(2)地下排水设施。地下水可使路基软化、坍塌、变形、下沉等,对路基危害的时间较长,而且破坏性比较隐蔽。因此,要将地下水疏干、降低、拦截和排走,不能采取堵截的办法。地下排水设施主要包括横向盲沟、浅埋渗沟、边坡渗沟、支撑渗沟、渗井、渗水隧道、渗管、水平排水管等设施,该设施一般位于地下,不易直接看见。

由于路基的主体是由土石夯实而成的,很容易受到水害的毁坏,因此路基的防洪、防冲刷非常重要。每年的7月到9月是路基水害的高发期,如图1-47所示。

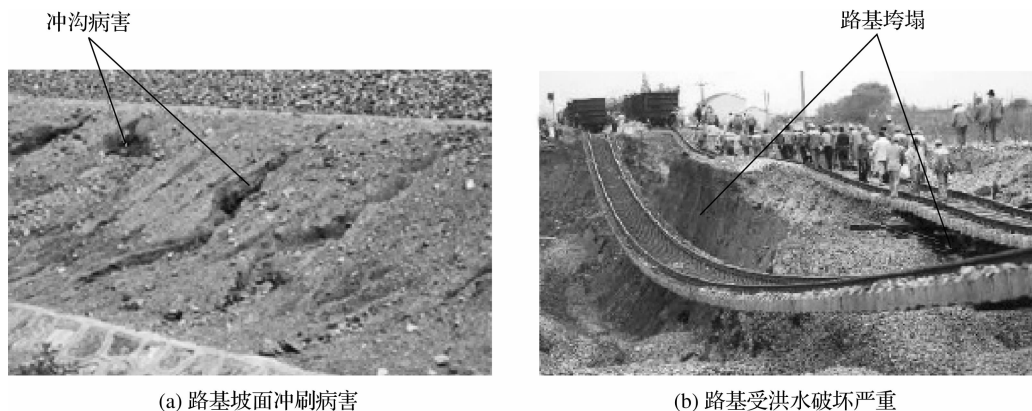
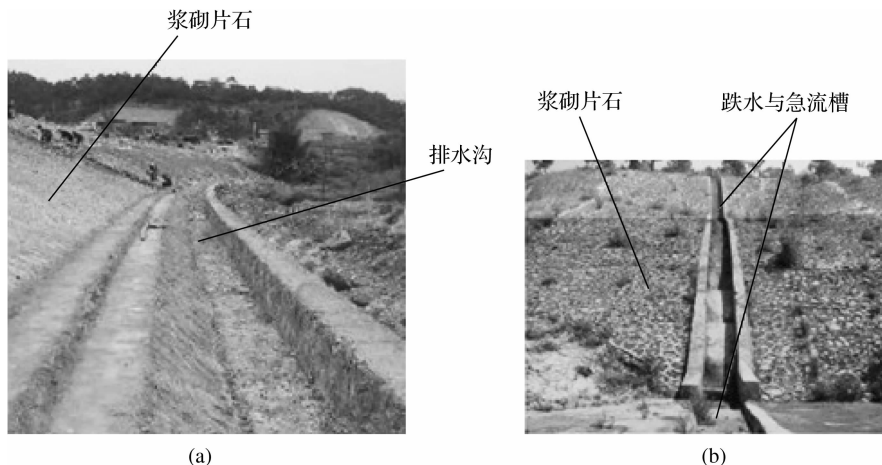


图 1-47 路基受到水害的毁坏

路基的养护维修也是日常工作之一,如图1-48所示。首先要定期清理路基两侧的排水沟和侧沟,保持排水畅通。其次要通过浆砌片石和种植绿色植被进行综合的路基坡面防护。



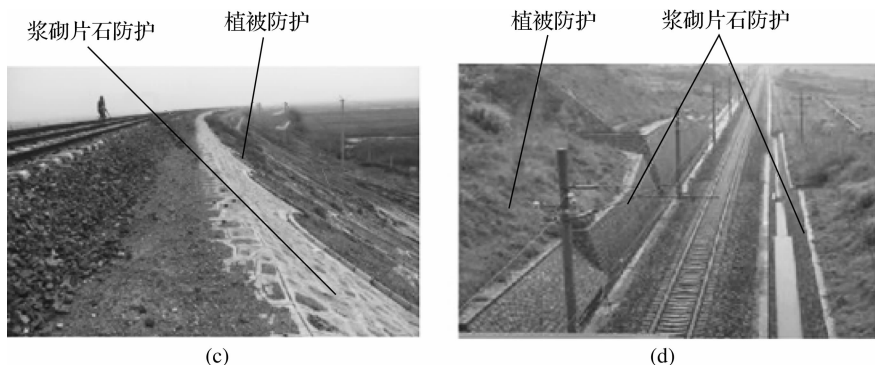


图 1-48 路基的养护维修

2. 路基加固支撑设施

路基加固支撑设施主要设置于易出现落石(滚石)、滑坡、坍塌的高路堤深路堑或山坡坡脚路基面积较大的山坡面,一般用浆砌片石或钢筋混凝土抗滑桩、混凝土挡土墙等建成。

3. 路基两侧用于行车通信和安全防护的设施

路基两侧用于行车通信和安全防护的设施,如通信电杆、电缆沟槽、防护网等,它们虽然不是路基的主要部分,但其位置对路基却有很大的影响。



视频
线路施工养护
分类

爱国加油站

请同学们查阅“新中国第一条铁路——成渝铁路”的相关资料,了解当年修建该铁路时,当地军民和技术人员付出的艰辛劳动。请自备发言稿,说一说作为当代年轻人应该如何投身到祖国的轨道交通工程建设中。

1.7 轨 枕

1.7.1 轨枕的功用和种类

轨枕是铁路轨道的轨下支撑和承重体,用于固定钢轨的位置、支撑钢轨,并把所受荷载传递到其下的路基或桥隧建筑物上。由于列车速度和轴重的不断提高,发展宽轨枕和松散体道床(如沥青垫层)是今后轨下基础结构的主要发展方向。轨枕应具有必要的坚固性、弹性、耐久性,并且造价低、制作简单、铺设及养护方便。

轨枕按材料分为木枕和混凝土枕(图 1-49),按用途分为普通轨枕、岔枕(图 1-50)和桥枕。

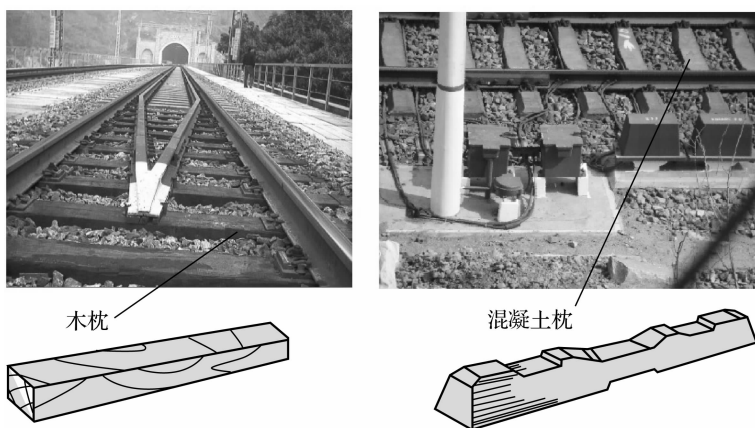


图 1-49 木枕和混凝土枕



图 1-50 岔枕

1.7.2 木枕

1. 木枕的优缺点及功用

木枕又称枕木,具有弹性好,易于加工制作,运输、铺设、养护、修理方便,与钢轨连接简便,绝缘性能好,成本低等优点。但是木枕容易腐朽,使用寿命短,需要耗费大量宝贵的木材,特别是它的强度、弹性和耐久性不一致,在机车车辆荷载作用下容易出现轨道不平顺的现象,从而产生巨大的车轮附加动压力,不仅会缩短轨道各部件的使用寿命,而且会加速线路几何状态的残余变形累积。

木枕的功用是支撑钢轨,保持钢轨的位置和稳定,同时将车轮的压力传递到下面的道砟上,如图 1-51 所示。

1949—1984 年,我国使用的轨枕几乎全部是木枕。木枕一般需要使用上等的松树、柏树等质地较好的树木。从环保、生产成本以及木枕容易风化开裂、不耐腐蚀等方面考虑,木枕在 1984 年之后逐渐被混凝土枕所替代。目前一些铁路专用线上还在使用木枕,而运营的铁路干线上只有极少数的线路道岔位置还使用木枕。

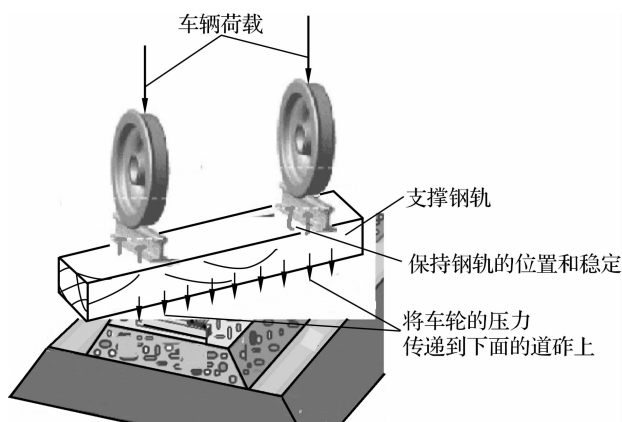


图 1-51 木枕的功用

2. 木枕的种类及尺寸

木枕按用途分为普通木枕、道岔木枕和桥梁木枕。普通木枕分为Ⅰ型普通木枕和Ⅱ型普通木枕。《木枕》(GB 154—2013)规定:Ⅰ型普通木枕的枕长为 2.50 m,枕高为 160 mm,枕宽为 220 mm。Ⅱ型普通木枕的枕长为 2.50 m,枕高为 145 mm,枕宽为 200 mm。Ⅰ型普通木枕多用于正线,Ⅱ型普通木枕用于站线。道岔木枕的枕长为 2.60~5.00 m(按 0.15 m 或 0.20 m 晋级),枕高为 160 mm,枕宽为 220 mm、240 mm、260 mm。桥梁木枕的尺寸如表 1-18 所示。

表 1-18 桥梁木枕的尺寸

枕长/m	3.00						3.20		3.40	4.20~4.80				
枕宽/mm	220			240			220	240	240	200		220		240
枕高/mm	240	260	280	260	280	300	280	300	300	220	240	260	280	300

3. 木枕失效的原因及处理措施

木枕失效的原因主要是腐朽、机械磨损及裂缝。裂缝与机械磨损会加速木枕的腐朽,腐朽也会加剧机械磨损和裂缝扩大,因此,在采取延长木枕使用寿命的措施时应综合考虑两者。

防腐处理是延长木枕使用寿命的主要措施。未经防腐处理的木枕称为素枕,经过防腐处理的木枕称为油枕。木枕常用的防腐剂是水溶性硅酸钠(Na_2SiO_3)。

减轻机械磨损的措施:扩大垫板面积,减小木枕表面的单位压力;在木枕上预钻道钉孔;垫板与木枕之间的连接应有单独的零件,尽量减少垫板的振动。垫板与木枕间的空隙应填入经过防腐处理的垫板或压制的沥青麻布,以防污物、水或砂侵入。

为防止木枕开裂,应严格控制防腐处理前的含水量。对已形成的裂缝,可先灌入防腐浆并夹紧,再用铁丝捆扎,避免铺设后加剧裂开。

在铺设木枕时,应成段将尺寸、强度及耐久性能相同的木枕铺在一起,接头处尽量选用尺寸标准、材质优良者。

注意:树心朝下,若有圆角,则大面朝下。

4. 木枕的配置

轨枕每千米配置的根数应根据运量、行车速度及轨道的设备条件确定,并结合钢轨及道床等综合考虑,以保证在最经济的条件下,轨道具有足够的强度和稳定性。轨枕铺设得密一些,道床、路基面、钢轨及轨枕本身的受力可以小一些,轨距、方向也易于保持,这对行车速度高的地段尤为重要。但也不能太密,太密则不经济,而且净距过小,会在一定程度上影响捣固质量。符合下列条件之一的正线轨道应加强捣固:

- (1)曲线地段的木枕轨道半径不大于 800 m,混凝土枕轨道半径不大于 600 m。
- (2)陡于 12‰的下坡制动地段。
- (3)长度大于 300 m 的隧道内。

当每千米铺设的轨枕根数确定后,每节钢轨下轨枕的间距并不是平均分布的,而应进行配置计算。这是因为在普通轨道上悬空式接头处轨枕的间距(c)要比钢轨中部轨枕的间距(a)小,而两者之间还有一个过渡的轨枕间距(b),一般 $a > b > c$,如图 1-52 所示。

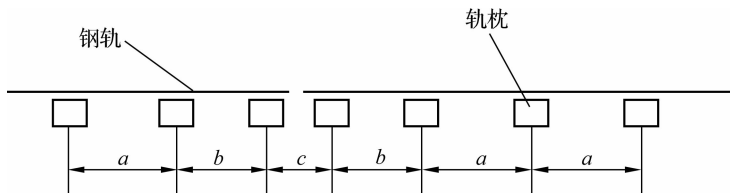


图 1-52 有缝线路轨枕间距的配置

普通线路的轨枕间距如表 1-19 所示。

表 1-19 普通线路的轨枕间距

轨型	钢轨长度 /m	每千米配置 根数	每节钢轨 配置根数	木枕/mm			混凝土枕/mm		
				c	b	a	c	b	a
75 kg/m、 60 kg/m 或 50 kg/m	12.5	1 600	20	440	594	640	540	587	635
		1 680	21	440	544	610	540	584	600
		1 760	22	440	524	580	540	569	570
		1 840	23	440	534	550	540	542	544
		1 920	24	440	469	530	—	—	—
	25.0	1 600	40	440	537	635	540	579	630
		1 680	42	440	487	605	540	573	598
		1 760	44	440	497	575	540	549	570
		1 840	46	440	459	550	540	538	544
		1 920	48	440	472	525	—	—	—

无缝线路的轨枕应均匀布置,轨枕间距如表 1-20 所示。



表 1-20 无缝线路的轨枕间距

轨枕配置根数/(根·km ⁻¹)	轨枕间距/mm
1 667	600.0
1 760	568.2
1 840	543.5
1 920	520.8

此外,非同类轨枕不得混铺。混凝土枕与木枕、混凝土枕与宽轨枕的分界处,距钢轨接头不得少于 5 根轨枕。木枕与宽轨枕之间应用混凝土枕过渡,其长度不得小于 25 m。如为混凝土枕的轨道,在距木岔枕或无砟桥的挡砟墙和有护轮轨的有砟桥面两端,应铺过渡段,以保证轨道的弹性一致。

轨枕的位置应用白铅油标记,原则上,直线地段标记在顺计算千米方向左股钢轨内侧的轨腰上,曲线地段标记在外股钢轨内侧的轨腰上。各标记位置与轨端距离的误差不得大于 10 mm。轨枕应按标记的位置铺设放正,并与线路中线垂直。

木枕在生产时对木材有较高的要求,一般要求是直径在 30 cm 以上、材身端直均匀的松木或柏木。随着人们对环境要求的提高,以及森林资源的日渐匮乏,木枕的生产成本很高,再加之木枕容易腐蚀、风化、开裂等,所以现在木枕基本已被淘汰,取而代之的是取材广泛、强度高、耐腐蚀的混凝土枕。



视频
线路施工防护
基础

1.7.3 混凝土枕

1. 混凝土枕的优缺点及适用范围

混凝土枕的优点是材料来源丰富、尺寸统一,轨道弹性均匀,提高了轨道的稳定性;不受气候、腐朽、虫蛀及失火的影响,使用寿命长。此外,混凝土枕还具有较大的阻力,这对提高无缝线路的横向稳定性是十分有利的。但是混凝土枕也存在以下缺点:弹性差、钢轨联结零件复杂、质量大、更换较困难。一根混凝土枕的质量为 220~250 kg,是木枕的 4 倍左右,能为轨道线路提供足够大的稳定性,有利于列车速度的提高。混凝土枕的弹性差,在同样荷载的作用下,道床受力比木枕大 25% 左右,冲击作用也比木枕大得多,所以要求道床断面的厚度大,并且必须在钢轨底部增设弹性垫层。对于临时便线、冻害或严重翻浆冒泥及其他路基不稳定地段、半径小于 300 m 的曲线及正线上使用砂道床的地段,均不宜铺设混凝土枕。

2. 混凝土枕的发展历史

我国混凝土枕的发展大致经历了三个阶段。

1953—1984 年,我国试验研制了多个型号的混凝土枕,如弦 69 型、弦 79 型(在混凝土枕中加入钢丝),筋 79 型(在混凝土枕中加入钢筋)。这个时期的混凝土枕一般称为 I 型混凝土枕,如图 1-53 所示。

1978 年,铁道部开始研发 II 型混凝土枕,并于 1984 年通过鉴定。其间,试验研制的 II 型混凝土枕的型号有 S-2 型、J-2 型、Y II-F 型、TGK-2 型、新 II 型等。目前,II 型混凝土枕依然在次一级的铁路线上大量使用,如图 1-54 所示。



图 1-53 I 型混凝土枕



图 1-54 II 型混凝土枕

Ⅲ型混凝土枕的研发是近几年开始的,是按照世界银行第五批工务系统贷款 PCBW 项目研制的,如图 1-55 所示。根据生产工艺,有 TK-Ⅲ型(按长模法工艺生产)、M-Ⅲ型(按短模法工艺生产),一般通称为 C-Ⅲ型混凝土枕。目前,我国一级铁路线基本全部更换为Ⅲ型混凝土枕。

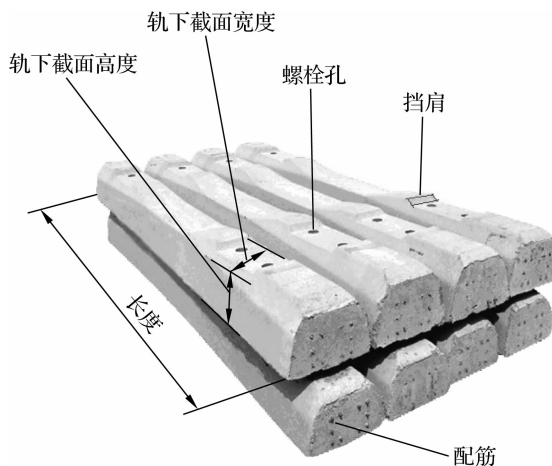


图 1-55 Ⅲ型混凝土枕

注意:轨枕场生产的轨枕只预留螺栓孔,螺栓杆的锚固是线路工后续要做的工作。

3. II 型、Ⅲ型混凝土枕的主要特征和区别

Ⅱ型混凝土枕和Ⅲ型混凝土枕是目前铁路干线上最常用的混凝土枕。它们的主要尺寸特征如表 1-21 所示。其中,长度和轨下截面宽度是区分Ⅱ型、Ⅲ型混凝土枕的最主要特征。

表 1-21 II 型、Ⅲ型混凝土枕的主要特征

项 目	新 II 型混凝土枕	TGK-2 型 II 型轨枕	Y II -F 型 II 型轨枕	Ⅲ 型混凝土枕
长度/mm	2 500	2 500	2 500	2 600
质量/(kg · 根 ⁻¹)	273	251	251	320
轨下顶面宽度/mm	169.5	165.5	165.5	170
轨下截面高度/mm	205	201	201	233



Ⅲ型混凝土枕下端总长 2 600 mm, 两端高 280 mm, 中间高 180 mm, 上部端头至中间高度的变化坡度为 4‰。

以上说的是普通区间干线上使用的混凝土枕。除此之外, 还有在桥梁上使用的桥枕(图 1-56), 因为中间要加装桥上护轨, 所以桥枕的螺栓孔比普通轨枕多; 在道岔区域使用的岔枕(图 1-57), 岔枕的长度根据道岔区域的大小而变化, 一般采用标准的矩形断面尺寸, 长度为 2.60~4.85 m。另外, 部分车站还铺设了一些宽轨枕, 它在一定程度上可以保持车站的整洁和卫生。



图 1-56 桥上Ⅲ型混凝土枕



图 1-57 道岔上的Ⅲ型混凝土枕

4. S-2 型、J-2 型混凝土枕的尺寸及配筋

各类混凝土枕的截面均采用上窄下宽的梯形, 这是为了增加轨枕的支撑面积, 并且能在轨下截面内配置较多的钢筋以抵抗正弯矩。在轨枕中部长度 60 cm 范围内采用相同的枕底宽度, 60 cm 范围外至枕端逐渐增加枕底宽度, 并在枕底做出一些凹槽。轨枕为两端厚中间薄。这样做的目的是因为在轨枕内采取全长直线配筋, 要使预应力钢筋的合力作用线在轨下截面内处于截面形心线以下, 在中间截面内处于截面形心线以上, 以便利用钢筋对混凝土施加预应力所形成的偏心, 使混凝土枕所承受的正负应力不超过容许限度, 以防止产生裂纹或发生折断。Ⅱ型混凝土枕的外形尺寸及配筋如图 1-58 所示。

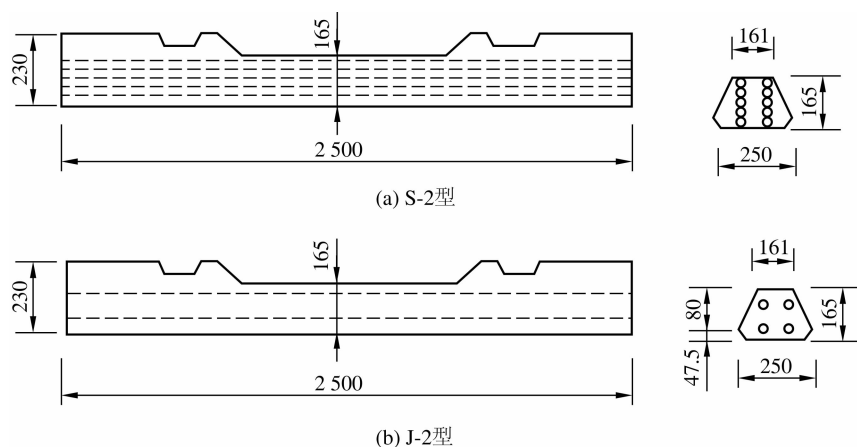


图 1-58 Ⅱ型混凝土枕的外形尺寸及配筋(单位:mm)

5. 混凝土枕的铺设及维修注意事项

在混凝土枕铺设初期,一般道床不稳定,线路会发生不均匀下沉,扣件易松动,方向难保持,这时应加强捣固、拧紧扣件和拨正方向,使线路尽快地稳定下来。

混凝土枕线路容易出现轨枕开裂、扣件松动、道床板结等病害,在钢轨接头处,这些病害尤为突出。为了防止和减少病害的发生,维修时应着重注意以下几点:

(1)混凝土枕的特点是重、硬、脆和刚度大,所以在装卸和起道作业时,应轻起、轻放,防止轨枕被碰裂。

(2)捣固作业要在轨枕承砟面的全长范围内均匀进行,使承砟面受力一致,以免下沉不均。捣固质量的好坏,直接影响到轨枕的使用寿命,如果捣固不均,会导致轨枕开裂。如果钢轨内侧捣固硬,外侧捣固软,或枕端因列车振动而松塌,会使轨枕出现上挠裂纹;如果捣固后中部未按规定串空(掏空道砟),或压实后轨枕两端出现下沉,造成中部受力过大,会使轨枕产生上挠裂纹;如果钢轨外侧捣固过硬,或内侧捣固长度不足,造成两枕端受力过大,会使轨枕中部出现下挠裂纹。

(3)清筛道床,防止轨下道床板结和翻浆冒泥,提高轨道的弹性。

(4)经常拧紧扣件,保证扣件位置正确、顶严、扣压紧密,防止钢轨爬行。

6. 宽轨枕

宽轨枕是继我国大量推广混凝土枕后新发展起来的轨道结构。

(1)优点。

①支承面积大(宽度约为混凝土枕的一倍),道床所受应力小,变形小,能防止道床脏污,减少清筛次数。

②质量大,每块重约 500 kg,枕底摩擦力大,可提高轨道的横向稳定性,如铺于无缝线路上,既能保持行车平稳,又可增强抵抗胀轨跑道的能力。

③维修工作量少,且线路质量高(轨距、水平、轨向变化小),一般比混凝土枕的维修工作量少 $1/2 \sim 2/3$,且外表整齐美观。

④在新线隧道内铺设时,可比灌注整体道床减少施工干扰和缩短工期。

(2)铺设及应用范围。宽轨枕需用扣压力较大且弹性好的扣件,如 I 型弹条扣件和厚度为 1 mm 的橡胶垫板。宽轨枕的铺设主要为密铺式。底宽 54.2 cm,每块间隔 2.6 cm,每千米铺设 1 760 根,两相邻宽轨枕的中心距为 56.8 cm。

宽轨枕的应用范围很广,只要曲线半径不小于 400 m、路基坚实稳定、排水良好的线路都可铺设。铺设前,可先在铺轨基地将宽轨枕组装成轨排,然后由铺轨列车运到工点,再用龙门架吊铺。换铺前的道床需清筛洁净并压实,道砟质量应符合技术要求。在新线路堤地段铺设时,路堤应进行充分压实,以免换铺后路堤下沉量过大,造成维修与养护困难。

为了保持道床清洁,在铺设三个月至一年,当轨道初步稳定后,须将宽轨枕间的缝隙用沥青混凝土合缝。在隧道内,应对宽轨枕端头与挡砟墙之间的道床面进行封填。

7. 混凝土枕的配置根数

《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对混凝土枕的轨枕类型和配置根数的要求如表 1-22 和表 1-23 所示。



表 1-22 正线轨枕类型和配置根数标准

项 目		单 位	I 级铁路				II 级铁路	
运营条件	旅客列车设计行车速度	km/h	200	160	120		≤ 120	
	货物列车设计行车速度	km/h	≤ 120	≤ 120	≤ 80		≤ 80	
混凝土枕	型号		Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	新Ⅱ	Ⅲ	新Ⅱ
	铺枕根数	根/km	1 667	1 667	1 667	1 760	1 667	1 760

表 1-23 站线轨枕类型和配置根数标准

项 目		单 位	到 发 线				其他站线
			无缝线路		普通线路		
混凝土枕	型号		Ⅲ	新Ⅱ	Ⅲ	新Ⅱ	新Ⅱ
	铺枕根数	根/km	1 667	1 760	1 600	1 600～1 760	1 600

符合下列条件之一的正线铺设新Ⅱ型混凝土枕或木枕地段,线路设备大修时应增加轨枕配置数量:

- (1)半径为 800 m 及以下的曲线地段(含两端缓和曲线)。
- (2)坡度大于 12‰的地段。

上述条件重叠时,铺设数量只增加一次;轨枕加强地段每千米增加的轨枕数量和最多铺设根数按表 1-24 的规定。

表 1-24 每千米增加的轨枕数量和最多铺设根数

单位:根/km

轨枕类型	新Ⅱ型混凝土枕	木枕
增加的轨枕数量	80	160
最多铺设根数	1 840	1 920

8. 对混凝土枕失效的规定

经过列车碾压震动,混凝土枕会因产生裂缝或开裂而失效。抽换轨枕作业就是将失效的混凝土枕更换为新轨枕,如图 1-59 所示。

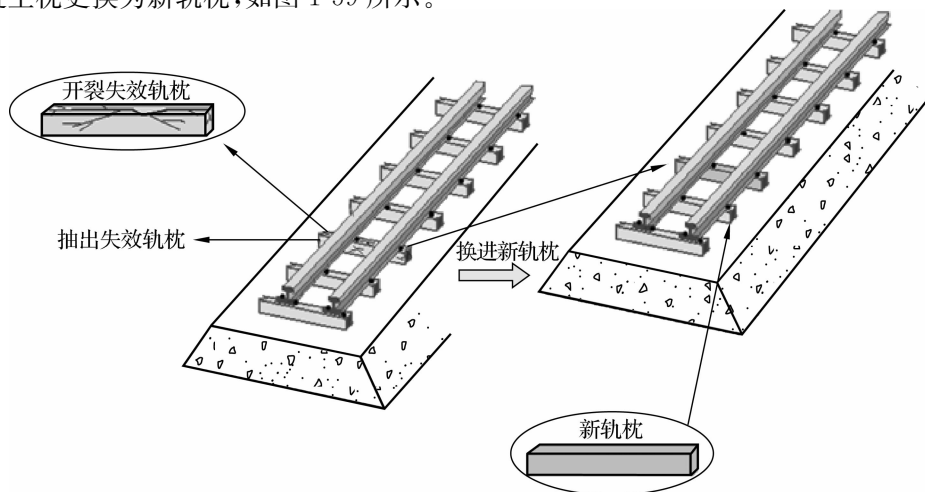


图 1-59 混凝土枕的损伤与更换

《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对混凝土枕(含混凝土宽枕、混凝土岔枕及短轨枕)失效标准的规定如下:

- (1)明显折断。
- (2)纵向通裂。
 - ①挡肩顶角处缝宽大于 1.5 mm。
 - ②纵向水平裂缝基本贯通(缝宽大于 0.5 mm)。
- (3)横裂(或斜裂)接近环状裂纹(残余裂缝宽度超过 0.5 mm 或长度超过 $2/3$ 枕高)。
- (4)挡肩破损,接近失去支承能力(破损长度超过挡肩长度的 $1/2$)。
- (5)严重掉块,影响钢轨或扣件正常安装及使用,或影响枕轨其他正常使用功能。

9. 对混凝土枕严重损伤标准的规定

在轨枕中,与列车前进方向一致的裂缝为纵向裂缝,与列车前进方向垂直的裂缝为横向裂缝,如图 1-60 所示。

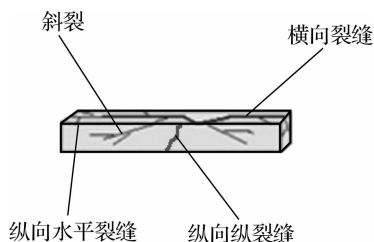


图 1-60 混凝土枕的裂缝

《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对混凝土枕严重损伤标准的规定如下:

- (1)横向裂缝长度为枕高的 $1/2 \sim 2/3$ 。
- (2)纵裂。
 - ①两螺栓孔间纵裂(挡肩顶角处缝宽不大于 1.5 mm)。
 - ②纵向水平裂缝基本贯通(缝宽不大于 0.5 mm)。
- (3)挡肩破损长度为挡肩长度的 $1/3 \sim 1/2$ 。
- (4)严重网状龟裂和掉块。
- (5)承轨槽压溃,深度超过 2 mm。
- (6)钢筋(或钢丝)外露(钢筋未锈蚀,长度超过 100 mm)。
- (7)斜裂长度为枕高的 $1/2 \sim 2/3$ 。

1.8 钢 轨

钢轨是铁路轨道的组成部件,它直接承受机车车辆传来的压力、冲击和震动,并传之于轨枕。在电气化铁道或自动闭塞区段,钢轨还可兼作轨道电路之用。钢轨的主要作用是支持并引导车轮沿着运行方向前进,因此要求钢轨能为车轮提供连续、平顺的滚动轨面。

为了充分发挥钢轨的功用,既要求钢轨踏面粗糙,以增加轮轨间的黏着力,又要求轨面光滑,以减少行车阻力;既要求钢轨有相当大的刚度,以抵抗车轮压力所产生的挠曲,又要求