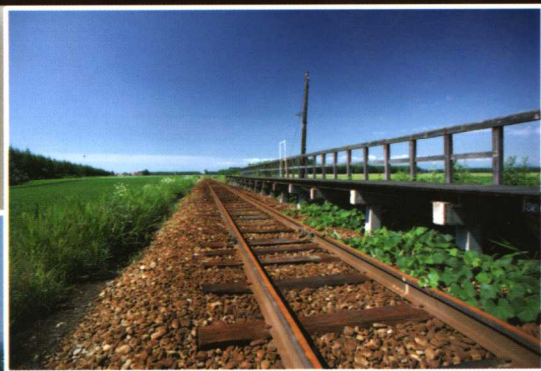
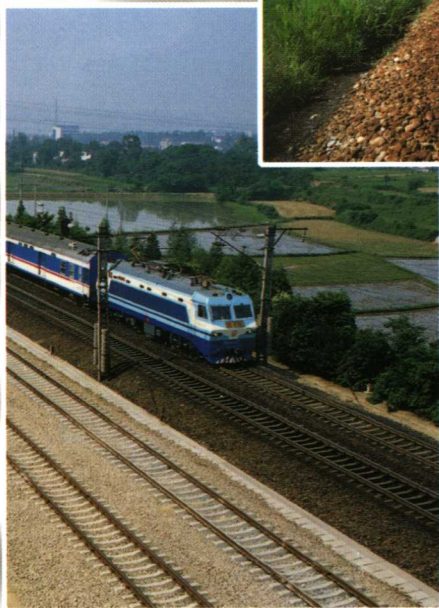




普通高等学校土木工程专业新编系列教材

# 铁路路基工程

宫全美 主编 周顺华 主审



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

RAILWAY  
CONSTRUCTION  
ENGINEERING

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

# 铁路路基工程

宫全美 主编  
周顺华 主审

中国铁道出版社

2007年·北京

## 内 容 简 介

本书对铁路路基工程设计的基本原理、基础知识及最新的发展概况作了阐述。全书共分七章,第一章介绍了铁路路基工程的概况;第二章阐述了铁路路基本体工程各组成部分的设计及施工要求;第三、四、五章分别介绍了路基排水工程、路基防护工程、路基支挡工程的设计原则及相关的计算方法;第六章为路基的养护维修相关知识;第七章对复杂条件下的路基(包括软土路基、黄土路基、膨胀土路基、滑坡路基、多年冻土路基)设计进行了阐述。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业学生的教材,也可作为有关专业的研究生教材或教学参考书,并可供从事铁路路基工程技术工作的科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

铁路路基工程/宫全美主编. - 北京:中国铁道出版社,2007. 1  
(普通高等学校土木工程专业新编系列教材)

ISBN 978 - 7 - 113 - 07726 - 6

I. 铁... II. 宫... III. 铁路路基 - 铁路工程 - 高等学校 - 教材 IV. U213. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 160160 号

书 名:铁路路基工程

作 者:宫全美 主编

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)

策划编辑:李丽娟

责任编辑:李丽娟

封面设计:薛小卉

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:12 字数:298千

版 本:2007年1月第1版 2007年1月第1次印刷

印 数:1~3000册

书 号:ISBN 978 - 7 - 113 - 07726 - 6/TU · 727

定 价:20.00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)51873135 发行部电话(010)51873124

# 前 言

铁路路基是铁路线路的重要组成部分,是为满足轨道铺设和运营条件而修建的土工构筑物,是轨道的基础。由于客观和人为多种因素的影响,在实际工作中,从路基标准的制订,到设计、施工、检测,甚至养护维修等方面能真正把路基工程当作基础,当作一种土工结构物来对待是不容易的。

自20世纪60年代第一条高速铁路在日本建成以后,世界范围内出现了竞相修建高速铁路的热潮。由于经济的高速发展,我国高速铁路建设也进入了一个新的高潮。高速铁路对传统铁路的设计、施工和养护维修提出了新的挑战,在许多方面深化和改变了传统的设计理念。

本教材结合新建客运专线的设计规程及高速铁路建设关注的主要问题,对路基的四个工程作了比较详尽的阐述,旨在为我国的高速铁路新线建设、既有铁路线的提速等培养人才。本书由同济大学宫全美主编,周顺华主审。参加编写的人员还有王炳龙、杨龙才。编写分工如下:第一章由王炳龙编写;第二章由宫全美、王炳龙、杨龙才编写;第三、四、五章由宫全美编写;第六章由王炳龙编写;第七章由宫全美、杨龙才编写。在本教材的编写过程中,主审人周顺华做了细致的策划和审阅工作。研究生董月英、杨红伟、汤梅芳、刘鑫等做了大量的文整工作,在此一并表示感谢。

限于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者提出批评和指正。

编 者  
2006年5月

## 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 路基的作用及其在铁道工程中的地位 .....	(1)
第二节 路基形式 .....	(1)
第三节 路基工程的特点和要求 .....	(2)
思考题 .....	(5)
<b>第二章 路基本体工程</b> .....	(6)
第一节 路基本体工程的组成 .....	(6)
第二节 路基承受的荷载 .....	(7)
第三节 路基面的构筑要求、形状及宽度 .....	(18)
第四节 路基基床结构 .....	(23)
第五节 路基填料选择及压实 .....	(25)
第六节 路堤的边坡设计和稳定性检算 .....	(38)
第七节 路堑的边坡设计和稳定性检算 .....	(43)
第八节 路基的变形与控制 .....	(48)
思考题 .....	(59)
<b>第三章 路基排水工程</b> .....	(61)
第一节 概 述 .....	(61)
第二节 地面排水 .....	(61)
第三节 地下排水 .....	(66)
第四节 站场排水 .....	(76)
思考题 .....	(82)
<b>第四章 路基防护工程</b> .....	(83)
第一节 概 述 .....	(83)
第二节 路基坡面防护 .....	(83)
第三节 路基冲刷防护 .....	(91)
第四节 路基防护的有关计算 .....	(98)
思考题 .....	(105)
<b>第五章 路基支挡工程</b> .....	(106)
第一节 概 述 .....	(106)

第二节	挡土墙设计中的土压力计算 .....	(108)
第三节	重力式挡土墙 .....	(122)
第四节	加筋土挡土墙 .....	(131)
第五节	锚杆挡土墙 .....	(137)
思考题	.....	(139)
<b>第六章</b>	<b>路基养护与维修 .....</b>	<b>(140)</b>
第一节	路基保养与路基设备状态评定 .....	(140)
第二节	路基维修、大修 .....	(141)
第三节	基床病害及整治 .....	(142)
思考题	.....	(147)
<b>第七章</b>	<b>复杂情况下的路基 .....</b>	<b>(148)</b>
第一节	软土地区路基 .....	(148)
第二节	黄土路基 .....	(155)
第三节	膨胀土(岩)路基 .....	(161)
第四节	滑坡地段路基 .....	(167)
第五节	多年冻土路基 .....	(177)
思考题	.....	(183)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(184)</b>

# 第一章

## 绪 论

### 第一节 路基的作用及其在铁道工程中的地位

铁路路基是铁路线路的重要组成部分,是为满足轨道铺设和运营条件而修建的土工结构物。路基必须保证轨顶需要的标高,并与桥梁、隧道连接,组成完整贯通的铁路线路。

路基在线路工程中无论是施工数量、占地面积还是投资等方面都占有重要的地位。在铁路全线上,除个别新建 300 km/h 速度的客运专线和专用铁路外,路基的长度总是大大长于桥梁和隧道的长度之和,例如,地形、地质条件十分复杂的成昆铁路全长 1 100 多公里,其中桥梁和隧道共长 429.6 km,仅占全长的 39%;又如时速 300 km 的郑西客运专线陕西境内路基占线路长度的比例也有约 60%;时速 300 km 的武广客运专线乌龙泉至韶关正线线路总长 715.1 km,其中路基工程长约 393.3 km,占线路总长的 55%。在一些条件比较复杂的路段,路基工程往往成为施工期限的关键控制因素。

在我国运营的铁路线上,由于水害所引起的铁路运输断道平均每年有 100 多次,其中 80% 是由于路基问题引起的。对这些事故不计抢修费,仅计停运部分,每年约损失 1 000 万 t 运送能力,而实际情况比这种估计复杂得多,经济损失和社会影响常常难以预料。如仅 2005 年 4 月下旬至 5 月中旬,由于南方大范围降雨天气接连不断,成渝、川黔、湘桂、黔桂、南昆、内六、鹰厦 7 条主要干线发生水害断道 19 次,中断行车 67 h 40 min。2005 年 5 月萧甬线驿亭至余姚西地段,线路发生长约 200 m、宽约 120 m 的路基滑坍,坍塌土方约 25 万 m<sup>3</sup>,造成线路下陷 6~8 m,钢轨悬空,中断上下行行车 101 h 25 min,造成很大经济损失。

路基问题也不只是水害一种,由于路基是轨道的基础,其稳定、沉降、基床病害等,无一不在整个铁道工程中起着牵一发而动全身的作用。最近几年提速铁路和高速铁路的发展,对路基提出了更严格的要求,路基工程的重要性更显重要。

路基工程包括本体、排水、防护及支挡四个工程,其中本体工程是直接铺设轨道结构并承受列车荷载的部分,是路基工程的主体建筑物,其他工程为路基工程的附属建筑物。由这些工程组成完整的体系,以保证路基正常、良好工作。

### 第二节 路基形式

根据线路设计确定的路肩标高与地面标高的关系,路基可分为六种形式:

- (1) 路堤,路基面高于地面需以填筑方式构成的路基。
- (2) 路堑,路基面低于地面需以开挖方式构成的路基。
- (3) 不填不挖路基,路基面与地面齐平不需填挖的路基。
- (4) 半路堤,地面横向倾斜,路堤的路基面一侧边缘和地面相交的路堤。
- (5) 半路堑,路堑的路基面一侧边缘和横向倾斜的地面相交的路堑。

(6) 半路堤半路堑, 即路基面和横向倾斜的地面在路基面内相交的路基, 其路基面一部分以填筑方式构成半路堤; 另一部分以开挖方式构成半路堑, 所以称为半路堤半路堑。

路基的形式、构造、各部分的尺寸和构筑要求均可以垂直于线路中心线的横断面图表示, 各种形式路基的断面见图 1-1。

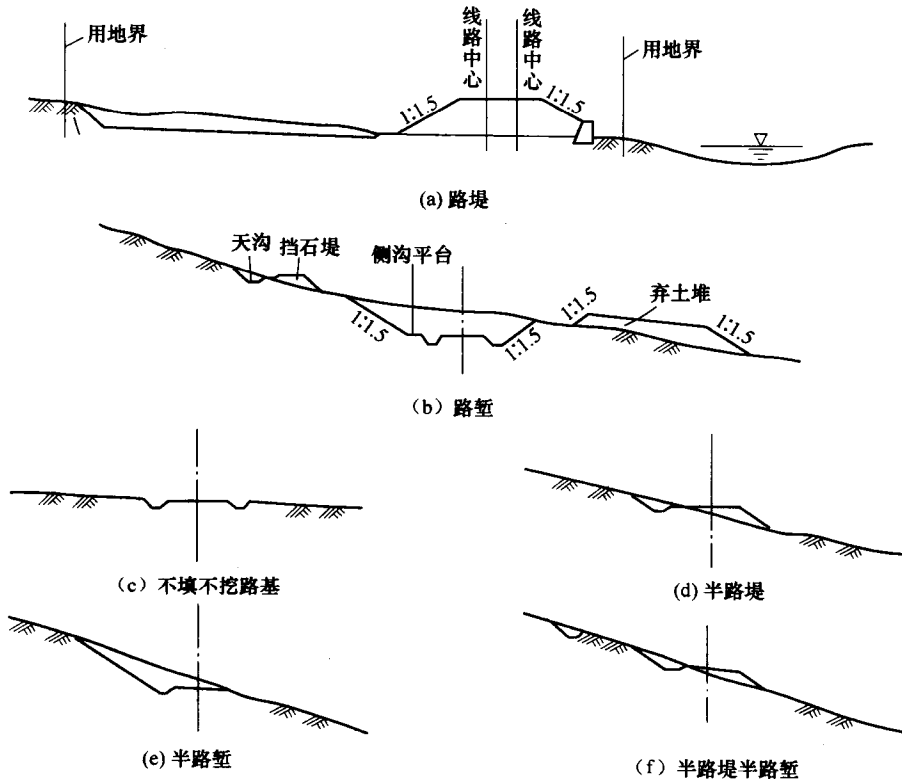


图 1-1 路基横断面形式

### 第三节 路基工程的特点和要求

#### 一、路基工程的特点

作为一种土工结构物, 路基工程具有不同于桥梁、隧道等工程结构物的独特特点。

##### 1. 建筑在岩土地基上, 并以岩土为建筑材料

岩土体是不连续介质, 具有破碎性、孔隙性和多相性, 其性质复杂多变, 不仅由于通过的地形、地质条件不同而具有完全不同的性质, 即使同一种岩土, 气候变化、受力状况的变异等都将对其工程性质产生根本的影响。如 2005 年 5 月, 萧甬线驿亭至余姚西地段的中断行车, 降雨仅是激发因素之一。

##### 2. 完全暴露在大自然之中

路基是一种线形结构物, 具有线路长、暴露在大自然之中的特点, 会遇见各种不同的地形、地质、气候、水文以及地震区划等条件, 因此, 无论何时都受这些自然条件的影响, 如路基边坡被水流冲蚀, 膨胀土吸水膨胀, 失水干缩, 路基冻害, 雨季发生大滑坡以及地震时砂土液化等这



些常见的路基问题,无一不与自然条件有密切关系。路基的设计、施工和养护工作,决不能离开具体的自然条件,而是应该充分调查研究,防患未然,减少其危害。

### 3. 路基同时受静荷载和动荷载的作用

路基上的填土荷载和轨道荷载是静荷载,列车荷载是动荷载。对于软土地基,在静荷载作用下,其沉降量大,历时长,甚至可能导致地基土破坏;动荷载是引起路基病害的主要原因之一,在动荷载作用下,基床土会产生塑性累积变形,强度降低可引起基床下沉外挤等病害;对于饱和砂土和软土作基底的低路堤,在动荷载作用下,甚至可能导致饱和砂土液化、软土蠕变,使路基失去稳定。

以上这些特点决定了路基工程的复杂性,所以必须充分分析研究路基工程所处的环境及工作条件,研究土的工程性质,掌握其在静荷载和动荷载作用下的变形和强度变化规律,在此基础上才能做出合理的设计,以保证路基工程具有足够的稳定性和耐久性,抵抗各种自然因素的侵袭和破坏。

## 二、路基的基本要求

根据路基的作用和特点,为使路基正常工作,路基工程应满足如下要求:

### 1. 路基必须平顺,路基面有足够宽度和限界

路基平顺状态指路肩标高等和平面位置与线路平面、纵断面设计相符。路基面宽度应满足轨道铺设和养护要求。在路基面上方应有足以保证行车安全和便于线路维修养护的安全空间,当路基面上方或两侧有接近线路的建筑物时,必须按照铁路限界的有关规定设置在限界范围以外。

### 2. 路基必须具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性

路基必须具有足够的强度和稳定性,能抵抗列车荷载产生的动应力而不至破坏;路基边坡应能长期稳定而不坍塌。

路基的弹性变形应满足安全性和舒适性的要求,因此路基必须具有足够的刚度;路基在静荷载和动荷载作用下,不产生大于容许值的沉降变形。

由于路基是在各种复杂条件下工作的土工结构物,各种自然因素影响它的强度和稳定性,如风、雪、雨、大气温度变化、地震、水流等常会对路基造成破坏作用。因此,路基必须具有在这些自然因素长期作用下的耐久性。

为保证铁路正常运营,应充分考虑路基的强度、刚度特性及其耐久性,制定相应的标准,将路基作为土工构筑物进行设计。同时,应通过地质调查和足够的勘探、试验工作,查明基底、路堑边坡、支挡结构等基础的岩土结构及其物理力学性质,查明不良地质情况,查明填料性质和分布,在取得可靠的地质资料基础上开展设计。

路基设计分为标准设计和个别设计两类:

(1) 凡地基稳定,选用填料和压实度满足要求,开挖地层无不利结构面,边坡高度不超过《铁路路基设计规范》所规定高度的路基,称为标准设计路基,线路中以这种路基为主。

(2) 边坡高度超过规范表列高度,水文地质工程地质条件复杂,特殊土地区,需特别防护加固地段,采用大爆破及水力冲填施工以及建筑在陡坡上的路堤等情况下的路基,称为特殊路基,须个别设计。个别设计的路基须加强实地调查,充分占有资料,对边坡、基底的稳定性进行验算,并常作多种方案对比以确保安全、经济。

### 3. 路基的设计和施工应满足技术经济要求

路基修建的经济效益不仅指设计施工时的投资,而且包括日后的维修养护费用。路基工程的特点是工程数量大,耗费劳力多,涉及面较广,因此,还要根据国家建设政策考虑少占农田,保持当地生态平衡,便利人民生活。例如结合当地水文条件,综合考虑水利规划;结合当地气候条件,合理安排工期;根据地形条件制定土石方调配计划;考虑环保要求选择施工方案等。

### 三、路基工程技术的发展和展望

长期以来,由于国家对铁路建设的投资偏小,我国铁路 20 世纪 90 年代前旅客列车最高运行速度一直徘徊在 80 ~ 110 km/h。由于设计和施工的标准低,加上长期以来存在着重桥隧轻路基的观念,路基填筑大多靠就近取土,移挖作填完成。路基填料差,施工质量不能保证,运营后都出现相当数量的病害地段。铁路工务部门只有通过加大维修工作量来保证列车的正常运行。

为了使铁路交通系统充分发挥在我国国民经济发展中的“先行”作用,解决运能与运量日趋严重的矛盾,20 世纪 90 年代中,铁道部作出了分步骤在繁忙干线上实现列车提速的决定。列车提速已作为重大发展战略列入我国铁路发展计划之中,并将指导路网的改造和建设。截至 2006 年,铁道部已实施 5 次大提速,涉及的提速线路总里程达 2 万 km 左右。

铁路列车大提速提高了运输效率,带来了明显的社会效益和经济效益,但同时随着提速范围的扩大以及列车速度的不断提高,路基暴露出来的问题也越来越严重。提速后行车密度加大,维修作业时间相对减少,同时,行车速度提高后,列车对路基产生的动应力增加,特别是原有路基病害处,动应力加大致使病害加重,加快了轨道状态恶化,造成线路的恶化循环,影响行车安全。

对于既有线路往往只能在运营状态下进行提速改造,因此,在铁路路基的结构形式和要求上很难达到新线的标准,需要针对我国既有线的特点研究提速的路基技术条件。2004 年铁道部已提出了《既有线提速 160 km/h 路基技术条件》,以指导既有线提速的路基设计和施工。

快速化、高速化是当代铁路技术发展的重要标志。2004 年国务院讨论并原则通过了《中长期铁路网规划》。根据《中长期铁路网规划》,我国铁路将建设“四纵四横”铁路快速客运通道以及三个城际快速客运系统,建设客运专线 1.2 万 km 以上,客运速度目标值达到 200 km/h 及以上。高速铁路的出现对传统铁路的设计、施工和养护维修提出了新的挑战。

传统的铁路路基是按强度设计的,对路基的变形不作要求,由此带来的经验教训是惨痛的,如陇海线徐连段中云一带自 1987 年 4 月 26 日建成通车以来,至 1995 年工后沉降最大下沉量达 2.5 m,成为全国铁路软土地基下沉严重的典型。随着路基变形对铁路运行影响的逐步认识,《铁路特殊土路基设计规则》(TBJ 35—1992)第一次对工后沉降提出了要求,而高速铁路更是改变了传统的设计观念,对路基的变形作了严格的规定。对高速铁路路基来说,强度不是问题,控制路基的变形和纵向刚度均匀性变化才是高速铁路路基的关键问题。控制路基变形就是要控制列车行驶时路基面的弹性变形和路基的工后沉降。路基的弹性变形过大,列车速度不可能提高,沉降量大,需要频繁的维修养护。在高速铁路路基设计规范中,除了增加基床厚度,采用更好的填料外,为控制列车行驶时路基面的弹性变形,对路基各部位的地基系数  $K_{30}$ 、动态变形模量  $E_{vd}$  均做了规定,对路基的工后沉降也有严格的要求,如 200 ~ 250 km/h 时速的客运专线,有砟轨道路基一般地段工后沉降分别要求小于 15 ~ 10 cm,路桥过渡段工后沉降分别小于 8 ~ 5 cm。

高速铁路轨道结构主要类型有有砟轨道和无砟轨道。有砟轨道是铁路的传统结构,它具

有弹性良好、价格低廉、更换与维修方便、吸噪特性好等优点。但随着行车速度的提高,其缺点逐渐显现,主要是速度提高后,维修工作量显著增加,维修周期明显缩短。而无碴轨道由于轨道弹性均匀、线路状态稳定、养护工作量小、行车舒适性好等优点,在国外高速铁路获得了越来越广泛的应用,在我国客运专线建设中也大力发展这种无碴轨道。由于无碴轨道的基础一旦出现变形或破坏,其整治和修复较困难,资金和人力投入很大,维修耗时长,对无碴轨道的变形控制较有碴轨道更为严格。我国对无碴轨道的路基工后沉降要求小于 15 mm;路桥或路隧交界处的差异沉降不应大于 5 mm,过渡段沉降造成的路基与桥梁或隧道的折角不应大于 1/1 000。

过渡段始终是高速列车平顺、舒适运行的薄弱环节。过渡段由于刚度差别大,将引起轨道刚度变化,列车通过时,必然会引起车辆与线路相互作用力的增加,加速线路状态的恶化,因此高速铁路路基的另一个关键问题就是控制纵向刚度均匀性变化,即怎样在路桥、路隧、有碴轨道与无碴轨道等不同结构物之间实现纵向刚度的均匀变化。在高速铁路路基设计规范中,对过渡段的结构设计、变形和刚度控制指标均做了规定。

总之,高速铁路的出现,已彻底改变了以往重桥隧轻路基的观念,其设计理念已发生了根本性的转变,真正地把路基作为一种结构物来设计。此外,近年来在高速铁路路基设计中,采用了 CFG 桩、PHC 管桩加固软土地基和钢筋混凝土桩网结构、桩板结构加固湿陷性黄土的新技术;用动态变形模量测试仪测试路基土动态变形模量新的检测手段;在施工方面,引进和研制了一些土石方挖、装、运及碾压设备,施工机具效率有了很大提高。

我国高速铁路的建设刚刚起步,路基工程的设计、施工和养护技术与世界高速铁路发达国家相比还存在较大差距,因此,其设计、施工规范、标准还有待补充、修改和完善,许多课题还有待进一步研究解决,如应把路基与轨道结构作为线路工程一个整体的观念贯穿于整个设计、施工中,研究其设计理论和方法;开展路基动态设计方法;研究路基变形的预测与控制技术,无碴轨道路基与其他结构物过渡段的设计理论和方法等。在提速路基方面,研究制定既有线提速 200 km/h 路基技术条件和标准等,通过不断研究和总结,大幅度提升我国提速铁路、高速铁路路基工程的建设水平。

## 思 考 题

1. 铁路路基的基本要求有哪些?为什么?
2. 路基工程包含哪几部分工程?其各自有何特点?
3. 路基的形式有哪些?
4. 路基工程不同于其他工程的特点?
5. 高速铁路路基设计要求与普通铁路有何不同?为什么?

## 第二章

# 路基本体工程

## 第一节 路基本体工程的组成

路基本体工程是直接铺设轨道结构并承受列车荷载的部分,是路基工程的主体建筑物。图2-1为路基本体工程各组成部分示意图,其中图(a)为路堤,图(b)为路堑。

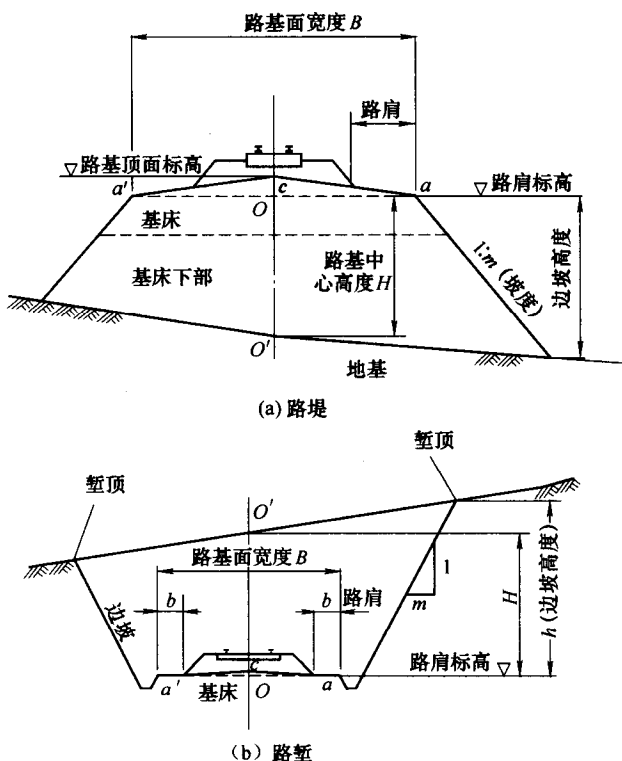


图2-1 路基本体组成部分示意图

路基本体工程包括路基面、路肩、边坡、基床、基床下部及地基等。高速铁路将基床以下部分视为路基本体。路基面是为使轨道能按线路设计要求铺设和在线路运行中能保持良好状态而构筑的工作面,如图中 $a'ca$ , $aa'$ 之间的直线距离称为路基面宽度。在路基面上,未被道床覆盖的那部分称为路肩,路肩的作用是加强路基的稳定性,保障道床的稳固及方便养护维修作业等,因此路肩必须在考虑了施工误差、路基沉降与自然剥蚀等因素之后,保持必要的宽度。

路基面以下受列车动荷载振动作用和水文气候影响较大的部分称为基床。基床分基床表层和基床底层。基床以下部分称为基床下部或堤心。

路基横断面两侧的边线称为路基边坡,路基边坡坡度常用 $1:m$ 表示, $m$ 的物理含义如图2-1(b)所示。在路堤中,边坡与路肩的交点称为路基顶肩或称路肩边缘点,与地面的交点称

为坡脚,路肩与坡脚标高之差称为边坡高度;路堑中的边坡与原地面的交点称为路堑顶边缘,其标高与路肩标高的差为路堑边坡高度或路堑深度;如果左右两侧的边坡高度不等,则规定以大者代表该横断面的边坡高度。

地基是路堤填土的天然地面以下受填土自重及轨道、列车荷载影响的土体部分。地基的稳定性,对整个路基本体以至轨道的稳定性都是极为关键的,特别是在软弱土的地基上修建路堤,必须对地基作妥善处理,以免危及行车安全及正常运营。

左右两侧顶肩的连线与横断面中线的交点(图中 $O$ 点)高程称为路基高程。因为路基高程基本与路肩高程(路基顶肩的高程)相同,所以,为测量工作方便起见,常用路肩高程代替路基高程。

路肩高程应保证路基不致被洪水淹没,也不致在地下水最高水位时因毛细水上升至路基面而产生冻胀或翻浆冒泥等病害,因此对路肩高程有一个最小值的要求。规范规定,路肩的最小高程应比设计洪水频率的水位连同波浪侵袭洪水高和雍水高在内,再加 $0.5\text{ m}$ 富余量,采用的设计洪水频率,在一般情况下,Ⅰ、Ⅱ级铁路为 $1/100$ ,Ⅲ级铁路为 $1/50$ 。

## 第二节 路基承受的荷载

### 一、路基荷载的定义

路基荷载是指作用在路基面上的应力,包括线路上部结构重量作用在路基面上的静荷载以及列车运行中通过轨道传递到路基面上的动荷载。

普通铁路路基设计把静荷载和动荷载一并简化作为静荷载处理,即通常的换算土柱法。随着列车速度的提高,路基面承受的动荷载增大,其对路基变形、耐久性的影响越来越大,因此高速铁路路基设计除考虑静荷载外,尚应进行动态分析,即需要计算列车动荷载在路基中所产生的动应力大小、分布规律及其对路基土体的影响。

### 二、路基承受的静荷载及其计算方法

把路基荷载作为静荷载设计时,需作两个简化假定:①把列车(活)荷载作为静荷载处理;②把列车(活)荷载和轨道静荷载的总重 $P$ 简化为与路基土同质的土柱,均匀地作用在路基面上。

轨道荷载和停留在轨道上的机车车辆荷载可按机车车辆轮对的轴重和轴距,轨道的类型、构造和其材质,通过计算或者实测得到,也可采用我国铁路标准活载,如普通铁路中一活载的计算图式(图2-2),不计冲击力、离心力、制动力和摇摆力的作用。作用在路基面上的活载若按最不利情况计算,则只考虑机车轴重即可,不需考虑后面

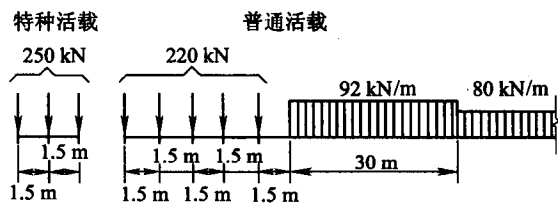
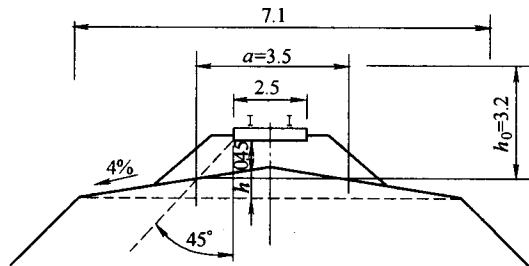


图 2-2 活载图式

车辆部分的分布力。由于路堤、路堑或挡土墙等路基建筑物的横断面设计理论是按平面问题考虑的,其沿线路纵向的长度取一单位厚度,因此路基面上所有静荷载均应化为单位长度的荷载强度。如轴重是集中力,因此在具体计算时应把轴重简化成纵向分布的线荷载,并假定每个轴重的分布宽度等于轴距,最后得到沿纵向作用在路基面上的列车(活)荷载分布强度  $q = 220/1.5 = 146.67\text{ kN/m}$ 。

考虑列车(活)荷载和轨道静荷载总重的换算土柱宽度及高度的确定如图2-3所示。自

轨枕底两端向下按 45°角扩散,其与路基面两交点间的水平距离即为换算土柱的宽度。土柱的高度  $h_0 = \frac{P}{\gamma \cdot a}$ ,  $a$  为土柱的宽度,  $\gamma$  为路基土的容重,  $P$  为路基面以上所有静荷载在线路纵向单位长度的强度。表 2-1 为列车和轨道荷载换算土柱高度及分布宽度。



线路等级: I  
轨道类型: 次重型  
非渗水土  
路拱高: 0.15 m  
路基面宽: 7.1 m

图 2-3 换算土柱算例

表 2-1 列车和轨道荷载换算土柱高度及分布宽度

项 目	单位	I 级 铁 路				II 级 铁 路								
		特重型		重 型		次重型	次重型	中 型	轻 型					
路段旅客列车设计行车速度 $v$	km/h	$120 \leq v \leq 160$		$120 < v \leq 160$		120	$80 \leq v \leq 120$	$80 \leq v \leq 10$	80					
轨道条件	钢轨	75	60	60	60	50	50	50	50					
	混凝土轨枕型号	III	III	III	III	II	II	II	II					
	铺轨根数	1 667	1 667	1 667	1 667	1 760	1 760	1 760	1 760					
	混凝土轨枕长度	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5					
	道床顶面宽度	3.5	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.0	2.9					
	道床边坡坡率		1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.5				
基床表层类型	土 质	换算土柱	道床厚度		m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.40	0.35	
			换算土柱宽度		m	3.7	3.7	3.7	3.7	3.5	3.5	3.4	3.3	
			荷载强度		kPa	60.2	60.2	59.7	59.7	60.1	60.1	59.1	58.5	
			重 度	换算土柱高度	18 kN/m <sup>3</sup>	m	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3
					19 kN/m <sup>3</sup>	m	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1
					20 kN/m <sup>3</sup>	m	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	21 kN/m <sup>3</sup>	m			2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8		
	硬 质 岩 石	换算土柱	道床厚度		m	0.35	0.35	0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.25	
			换算土柱宽度		m	3.4	3.4	3.4	3.4	3.2	3.2	3.2	3.1	
			荷载强度		m kPa	60.5	60.4	60.1	60.8	60.8	59.8	59.6		
			重 度	换算土柱高度	19 kN/m <sup>3</sup>	m	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1
					20 kN/m <sup>3</sup>	m	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0
					21 kN/m <sup>3</sup>	m	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
					22 kN/m <sup>3</sup>	m	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
			级配碎石或级配砂砾石	换算土柱	道床厚度		m	0.3	0.3	0.3	—	—	—	—
换算土柱宽度					m	3.3	3.3	3.3	—	—	—	—	—	
荷载强度		kPa			60.8	60.7	60.3	—	—	—	—	—		
重 度	换算土柱高度	19 kN/m <sup>3</sup>			m	3.2	3.2	3.2	—	—	—	—	—	
		20 kN/m <sup>3</sup>			m	3.1	3.1	3.1	—	—	—	—	—	
		21 kN/m <sup>3</sup>			m	2.9	2.9	2.9	—	—	—	—	—	
		22 kN/m <sup>3</sup>	m	2.8	2.8	2.8	—	—	—	—	—			

注: 1. 表中换算土柱高度按特重型、重型、次重型轨道为无缝线路, 中型、轻型为有缝线路轨道的计算值; 当重型、次重型

轨道铺设无缝线路时, 其换算土柱高度应减小 0.1 m;

2. 重度与本表不符时, 需另计算换算土柱高度;

3. 列车竖向荷载采用“中—活载”, 即轴重 220 kN, 间距 1.5 m;

4. 列车和轨道荷载分布于路基面上的宽度, 自轨枕底两端向下按 45°扩散角计算;

5. II 型轨枕的换算土柱高度考虑了轨枕加强地段每千米铺设根数 1 840 的影响。

新建时速 200 ~ 250 km 客运专线的列车荷载采用 ZK 荷载, 见图 2-4, 即 0.8UIC 荷载, 其换算土柱高度及分布宽度见表 2-2。其中时速 200 km 时, 道床厚度按 30 cm, 道碴重度  $20 \text{ kN/m}^3$ , 钢轨重量  $0.6064 \text{ kN/m}$ , 轨枕长 2.6 m, 轨枕及扣件重量  $3.7 \text{ kN/根}$  计算。

钢轨重量:  $0.6064 \times 2 = 1.2 \text{ kN}$

道碴重量:  $20 \times (2.32 - 0.21) = 42.2 \text{ kN}$

轨道荷载:  $P = 42.2 + 1.2 + 3.7 \times 1.667 = 49.6 \text{ kN/m}$

列车活载:  $Q = 200/1.6 = 125 \text{ kN/m}$ ,  $l_0 = 3.26 \text{ m} \approx 3.3 \text{ m}$

换算土柱高: 
$$h = \frac{P+Q}{\gamma \times 3.3}$$

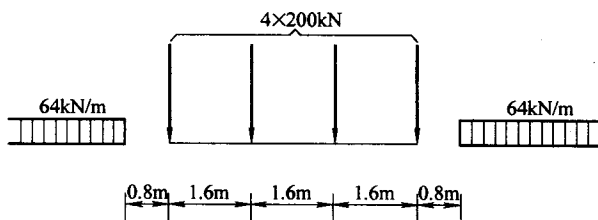


图 2-4 ZK 荷载图式

当  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  时,  $h_0 = 2.94 \approx 3.0 \text{ m}$ ;

当  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$  时,  $h_0 = 2.78 \approx 2.8 \text{ m}$ ;

当  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  时,  $h_0 = 2.65 \approx 2.7 \text{ m}$ 。

以此类推, 可以得到不同填料容重时的换算土柱高度。时速 250 km 时, 道床厚度为 35 cm, 其他参数取值及换算方法同时速 200 km。

表 2-2 时速 200 ~ 250 km 新建客运专线铁路换算土柱高度及分布宽度

设计速度 (km/h)	设计轴重 (kN)	换算土柱		
		宽度 (m)	重度 ( $\text{kN/m}^3$ )	高度 (m)
$v = 200$	200	3.3	18	3.0
			19	2.8
			20	2.7
			21	2.6
			22	2.5
$200 < v \leq 250$		3.4	18	3.0
			19	2.9
			20	2.7
			21	2.6
			22	2.5

### 三、路基承受的动荷载及简化计算方法

#### (一) 路基动应力的一般规律

##### 1. 动应力沿线路纵向的分布特征

图 2-5 为西南交通大学在大秦线实测的多个轮载所产生的动应力沿线路纵向的典型分布特征图, 图 2-6 为同济大学在沪宁线上实测的铁路列车过程中路基面上一点的动应力变化过程。由图可见, 对客车来说, 机车的荷载明显大于后面车辆的荷载, 而对货车来说, 机车和车辆的荷载基本相当。对路基面上某一点, 每当一个轮轴通过时都有一次加载和卸载的循环。

卸载时的最小值  $p'$  与加载时的最大值  $p$  之比值  $p'/p$  表示分布特征的不均匀性,这种不均匀性反映荷载重复作用的次数。对于线路与机车车辆之间具有理想匹配的情况,应当使比值  $p'/p$  最大。这样,每通过一个转向架虽然有两个轮载力,但只有一次应力变动(加、卸载)而不是两次,因而大大延长了线路的维修周期。比值  $p'/p$  与机车车辆的轴重、轴距、轨型、枕性、枕距、道床厚度、道床和基床的弹性系数(这些因素综合反映轨道的刚度)等有关。

实际上,由于道床、轨枕、路基土体对应力的扩散作用,路基面以下不同深度处应力沿纵向的分布

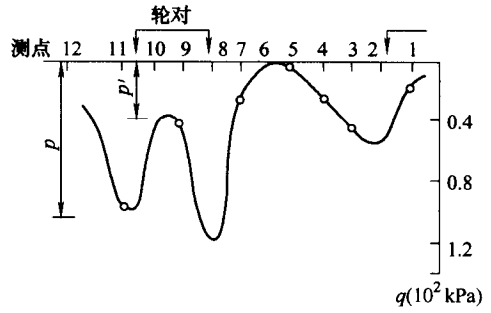
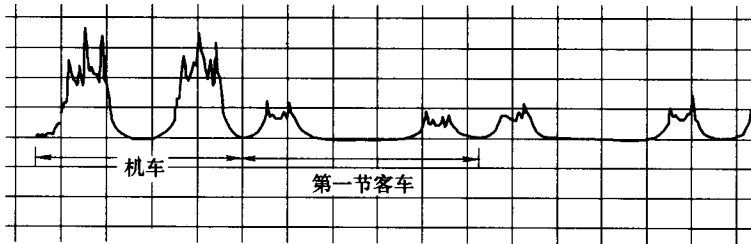
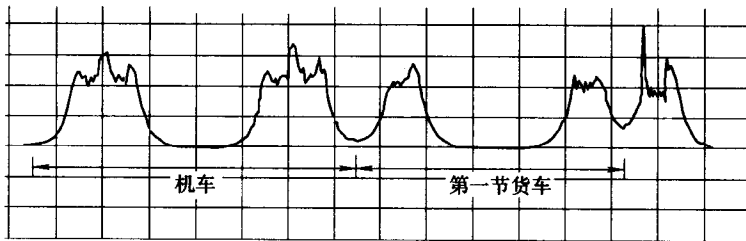


图 2-5 动应力沿线路纵向的分布特征(轮对)



(a) 客车(140km/h)



(b) 货车(70km/h)

图 2-6 路基面上一点的动应力随铁路行车过程的典型变化过程

特征是不同的。图 2-7 表示线路纵向单根轨枕横断面方向上的动应力传播情况,图中左侧为木枕情况,右侧为钢筋混凝土轨枕情况;图 2-8 为按 Boussinesq 理论计算得到的枕底压力及不同深度处的应力分布情况。可见,在较浅深度范围内,路基内轨枕正下方的应力较大,应力沿纵向是不均匀的,但随着深度的增加,如轨枕下深度达到轨枕宽度的 3 倍,即距枕底 70 cm 左右时,沿线路纵向的应力分布就比较均匀了。

2. 动应力沿线路横向的分布特征

一般情况下路基面上的动应力最大值位于轨枕正下方(线路纵向)或钢轨正下方(横断面方向),而两侧最小。路基面应力沿横向总体上呈马鞍形分布。

图 2-9 为郑武线试验时的路基动应力横向分布,轨枕端下的应力约为钢轨下的 37% ~ 50%,线路中心的应力约为钢轨下的 16% ~ 37%。秦沈线实测的路基面线路中心的动应力约为钢轨下方的 40%,轨枕端下则为 63%。

道床或基床内铺设土工材料后,将使路基面沿横向的应力分布趋于均匀。如同济大学在



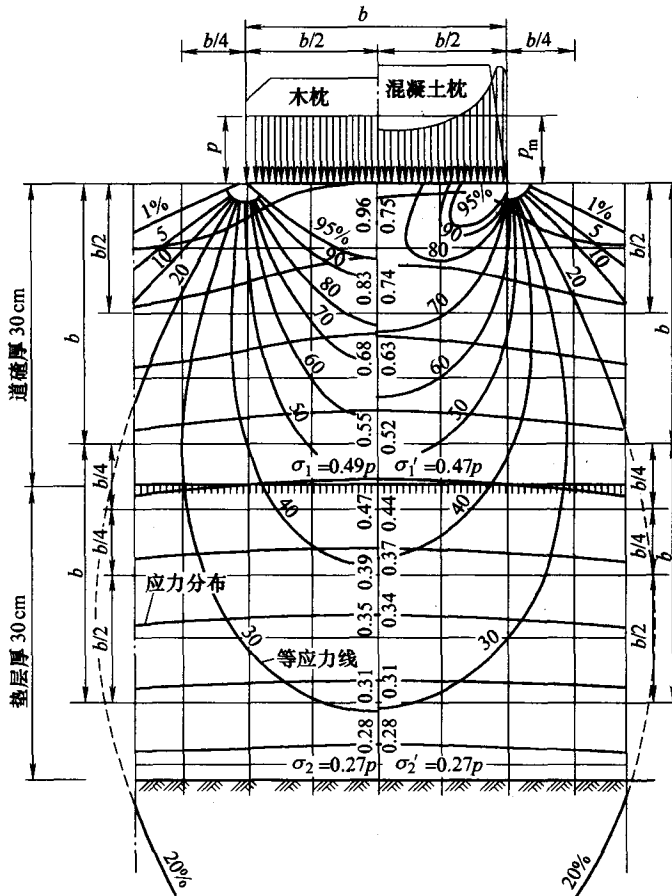


图 2-7 单根轨枕下的压力分布(德国资料)

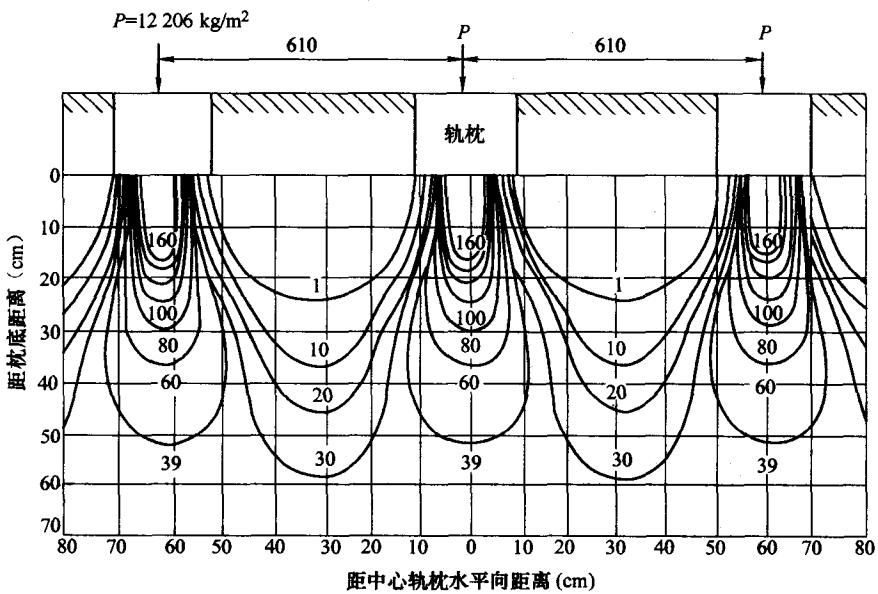


图 2-8 多根轨枕下应力沿纵向的分布图