



NEW METHODS FOR SUBGRADE DETECTING

路基检测新技术

杨新安 李怒放 李志华 编著
张 定 审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

路基检测新技术

杨新安
李怒放 编著
李志华
张 定 审

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北 京

内 容 简 介

本书对象是铁路和公路设计、施工、监理、咨询、养护维修、运营管理人员,内容包括新线和既有线路基检测的9种新的检测技术,适用于铁路和公路新线建设、既有线路大中修和日常养护维修,以及铁路提速中路基的评估、病害检测与整治。本书也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

路基检测新技术/杨新安,李怒放,李志华编著.
北京:中国铁道出版社,2006.4
ISBN 7-113-06975-4

I. 路… II. ①杨…②李…③李… III. ①公路
路基—检测②铁路路基—检测 IV. ①U416.1②
U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 027138 号

书 名: 路基检测新技术

作 者: 杨新安 李怒放 李志华 编著

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)

责任编辑: 时 博 编辑部电话: 010—51873141

封面设计: 马 利

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 10.75 字数: 253 千

版 本: 2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 7-113-06975-4/U·1876

定 价: 32.00 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。

联系电话:(市电)010—63545969 (路电)021—73169

网址: <http://www.tdpress.com>

前 言

路基检测是新线路基工程质量管理的重要组成部分,作为铁路和公路建设与管理中的关键性、基础性工作,对控制工程质量、加快施工进度和推动施工技术进步至关重要。路基检测对既有线同样重要,决定着线路养护决策的科学性,并直接影响养护资金分配的合理性,对保障运营安全和养护维修工作意义重大。

近年来,随着我国铁路、公路路基的技术标准、技术规范和质量检测标准的不断完善,许多国外和其他工程领域先进的检测设备和技術被引入路基检测,这些路基检测新技术的应用带来了巨大的经济效益和社会效益,检测速度和效率明显提高,显示出独特的优势和强大的生命力,引起了广泛的兴趣和关注。但是,这些检测方法和技术的综合、合理应用仍需要一定的专业知识和经验指导,为了系统介绍这些检测新技术,我们编写了这本书,也试图藉此提高中国路基检测技术水平和推动新技术的应用。

本书共分十章,第一章为路基、路基病害与路基检测,介绍新建铁路、公路路基设计规范对基床、路堤、地基等规定的技术标准和技术要求,以及既有线的技术规则和要求,总结既有线路基病害与危害的类型和特征;论述路基检测的目的和意义,说明路基检测的内容、方法和技术。第二至第十章详细论述了新线路基检测和既有线路基检测常用的9种新方法,按照“先新线后既有线”的顺序,分别为第二章地基系数 K_{30} 检测,第三章变形模量 E_{v2} 检测,第四章动态变形模量 E_{vd} 检测,第五章承载比(CBR)试验,第六章落锤式弯沉检测,第七章地质雷达探测,第八章动力触探试验,第九章瑞利面波法检测,第十章高密度电法探测。每种检测技术和方法都介绍其概念、原理、仪器设备、实施方法、数据整理与结果分析等内容,并给出应用实例。

本书第一、五、六、七、八、十章由同济大学杨新安编写,第二、三、四章由铁道部工程管理中心李怒放编写,第九章由铁道第三勘察设计院李志华编写,全书由杨新安统稿。

同济大学张定教授审阅全书,并提出宝贵意见。

本书在编写过程中,参阅了大量论文和技术资料,恕未一一列出,在此谨向有关专家和作者表示感谢!对书中内容,作者欢迎批评指正,意见请寄:xyang@mail.tongji.edu.cn。

杨新安 李怒放 李志华

2005年9月

FOREWORD

Subgrade is one of main structures of railway and highway. Subgrade detecting is an important part and essential work of engineering quality control during the construction of new railway and highway lines. It is also important to speed up the construction and raise the construction techniques. Subgrade detecting is also of significant importance for the railway and highway lines in service, Because selection of the maintenance strategy and the distribution of the maintenance funding depend upon the data of subgrade detecting. Subgrade detecting is the key to keep safe operating and reasonable maintenance for the railway and highway lines.

Recently, with the completion of specifications and code of railway and highway techniques, some advanced detecting methods and equipments are introduced in subgrade detecting from the abroad and some other engineering fields. Great economic and social benefits have been generated in the application of these new methods. Using these methods, the subgrade can be detected more quickly and efficiency. These methods show special advantages and great vitality. But, professional knowledge and experience are essential to use these methods. Hence, we write the book to introduce these new methods in a systematic way, hoping to advance the subgrade detecting and the application of these new detecting methods.

Ten chapters are included in the book. Chapter 1 introduces the technical standard and the requirements of subgrade of new railway and highway lines and the lines in service, summarize the classifications and its characteristics of subgrade defects and harms, discuss the aims, importance, contents and methods of subgrade detecting. From chapter 2 to 10, nine new methods are discussed in detail, which are commonly used in the field of construction of new railway and

highway lines and the lines in service. These new methods are given in the order from the new lines to the in-service-lines, chapter 2 discusses the subgrade reaction coefficient test (K_{30}); chapter 3, the second modulus of deformation E_{v2} test; chapter 4, the dynamic modulus of deformation E_{ud} test; chapter 5, the California bearing ratio (CBR) test; chapter 6, the falling weight deflectometer (FWD) test; chapter 7, the ground penetrating radar (GPR) inspecting; chapter 8, the dynamic penetration test (DPT); chapter 9, the Rayleigh surface wave investigation; chapter 10, the resistivity tomography. Elaboration of each method includes the concepts, fundamental, equipment, in-situ investigation and test, data process and results analyzing. Case histories are also given.

Chapter 1, 5, 6, 7, 8 and 10 are written by Xin'an Yang of Tongji University, chapter 2, 3 and 4 are written by Nufang Li of Engineering Management Center of China Railway Minister, chapter 9 is written by Zhihua Li of the 3-rd Railway Survey and Design Institute. Xin'an Yang edited the book.

Professor Ding Zhang of Tongji university read the book.

The authors referred to many papers and technical document. The authors wish to acknowledge the authors who provided these references.

Xin'an Yang, Nufang Li, Zhihua Li

September 2005

术语和符号

1 术 语

1.1 路基 subgrade

经开挖或填筑而形成的直接支撑铁路轨道结构或公路路面的土工结构物。

1.2 基床 subgrade bed

路基上部承受轨道、列车动力作用,并受水文、气候变化影响而具有一定厚度的土工结构。基床分表层与底层。

1.3 路床 road bed

公路路面以下 0.80 m 范围内的路基部分。在结构上分为上路床(0~0.30 m)及下路床(0.30~0.80 m)两层。

1.4 路堤 embankment

在原地面上,用土、石填筑的路基。

1.5 填料 fill materials

用以填筑路堤和地基换填的土料,包括经筛选或按一定要求掺和加工的土料。

1.6 改良土 improved soil

通过掺入石灰、水泥、粉煤灰、固化剂等材料以提高工程性能的土体。

1.7 压实系数(压实度)(K) compacting factor

填料压实后的干密度与击实试验得出的最大干密度的比值,以百分率表示。

1.8 地基系数(K_{30}) subgrade reaction coefficient

表示土体表面在平面压力作用下产生的可压缩性的大小。它是用直径为 300 mm 的刚性承载板进行静压平板载荷试验,取第一次加载测得的应力一位移($\delta-s$)曲线上 s 为 1.25 mm 所对应的荷载 σ_s ,按 $K_{30}=\sigma_s/1.25$ 计算得出,单位是 MPa/m。

1.9 动态变形模量(E_{vd}) dynamic modulus of deformation

土体在一定的竖向冲击力 F_s 和冲击时间 t_s 作用下抵抗变形能力的参数。

1.10 二次变形模量(E_{v2}) second modulus of deformation

土体在一定的荷载作用下抵抗变形能力的参数,其值通过二次加载测得的应力一位移曲线上 $0.3\sigma_{0max}$ 和 $0.7\sigma_{0max}$ 之间的位移割线斜率确定。

1.11 加州承载比(CBR) california bearing ratio

表征路基土、粒料、稳定土强度的一种指标,即标准试件在贯入量 2.5 mm 时所施加的试验荷载与标准碎石材料在相同贯入量时所施加的荷载之比值,以百分率表示。

1.12 动力触探试验(CPT) dynamic penetration test

用一定质量的穿心锤和一定的自由落距,将一定规格的圆锥形实心探头贯入土中一定深度并测记贯入过程中锤击数的测试方法。

1.13 标准贯入试验(SPT) standard penetration test

使用 63.5 kg 的穿心锤,以 76 cm 的自由落距,将一定规格的贯入器预先贯入钻孔孔底以下 15 cm,然后测记连续贯入 30 cm 过程中锤击数的测试方法,简称标贯试验。

1.14 物理勘探 geophysical prospecting(geophysical exploration)

利用物理学的原理、方法和专门的仪器,观测并综合分析天然或人工地球物理场的分布特征,探测地质体或地质构造形态的勘探方法,简称“物探”。

1.15 地质雷达法 ground penetrating radar method

利用介质对电磁波的反射特性,对介质特征和内部的构造与缺陷进行探测的方法。

1.16 瑞雷波 rayleigh wave

沿地表面传播的一种弹性波,它的质点振动是在传播方向的垂直平面内呈椭圆形逆时针方向的振动。

1.17 电阻率 resistivity

电场强度和电流密度的比值,是介质的电性参数,表示电流通过某种介质的难易程度。

1.18 视电阻率 apparent resistivity

在地下介质电阻率不均匀的情况下,用均匀介质的电阻率理论表达式计算得到的电阻率值。其数值与介质电阻率、形态和观测条件有关。

1.19 介电常数 dielectric constant

在有外电场作用时,物质储存电荷能力的量度,是一个点上电位移和电场强度的比值。

2 符 号

CBR——加州承载比

D_r ——土的相对密度

E_c ——回弹模量

E_s ——土的压缩模量

E_{vd} ——动态变形模量

E_{v2} ——二次变形模量

K_{30} ——地基系数

K_h ——重型击实标准的压实系数

n ——孔隙率

ρ ——土的密度

ρ_d ——土的干密度

ρ_{dmax} ——最大干密度

φ ——内摩擦角

N ——标准贯入试验实测击数

N_{10} ——轻便动力触探试验实测击数

$N_{63.5}$ ——重型动力触探实测击数

P_s ——比贯入阻力

S ——修正后的沉降量

S' ——实测沉降量

S_r ——饱和度

σ_0 ——地基基本承载力

τ ——剪应力

ΔU ——电位差

ρ_s ——视电阻率

v_R ——瑞雷波速度

v_P ——纵波速度

v_S ——横波速度

f ——频率

λ ——波长

ϵ ——介电常数

ϵ_r ——相对介电常数

目 录

1 路基、路基病害与路基检测	1
1.1 新建铁路、公路路基	1
1.2 铁路既有线路基与路基病害	11
1.3 公路路基病害与成因	17
1.4 路基检测	19
参考文献	24
2 地基系数 K_{30} 检测	26
2.1 概念与发展	26
2.2 K_{30} 平板载荷试验的适用条件和要求	27
2.3 仪器设备	28
2.4 试验操作步骤	29
2.5 试验结果计算、记录与随机误差校正	30
2.6 K_{30} 平板载荷试验仪校验方法	31
参考文献	33
3 二次变形模量 E_v 检测	34
3.1 概念与发展	34
3.2 基本规定	35
3.3 仪器设备	35
3.4 检测步骤	38
3.5 检测结果分析、计算和表示	38
3.6 应用实例	41
参考文献	42
4 动态变形模量 E_{vd} 检测	43
4.1 概 述	43
4.2 发展现状	44
4.3 特点与应用前景	46
4.4 仪器设备	47
4.5 检测方法	48
4.6 应用实例	49
参考文献	50
5 承载比(CBR)试验	52

5.1	室内 CBR 试验	52
5.2	现场 CBR 试验	59
5.3	落球仪现场 CBR 试验	61
	参考文献	62
6	落锤式弯沉仪检测	64
6.1	发展概况	64
6.2	路面结构承载能力测定方法及其评价	65
6.3	Dynatest 8000 FWD 测试车工作原理	68
6.4	落锤式弯沉仪动态弯沉盆几何特性分析	69
6.5	落锤式弯沉仪的应用	71
	参考文献	73
7	地质雷达探测	75
7.1	地质雷达探测路基技术的发展	75
7.2	地质雷达探测路基的功能与特点	78
7.3	地质雷达探测路基原理	79
7.4	地质雷达检测路基的现场实施	82
7.5	数据处理	87
7.6	路基分层介质特性及其地质雷达图像特征	88
7.7	应用实例	93
7.8	发展前景	98
	参考文献	99
8	动力触探试验	100
8.1	概述	100
8.2	动力触探试验方法	102
8.3	动力触探试验资料整理与分析	102
8.4	地基土的力学分层及击数平均值计算	104
8.5	动力触探试验的成果应用	105
8.6	动力触探试验应用实例	106
	参考文献	112
9	瑞雷面波探测	113
9.1	引言	113
9.2	瑞雷面波探测的理论基础	114
9.3	层状介质中的瑞雷面波	123
9.4	瑞雷面波探测原理	123
9.5	瑞雷面波探测仪器	124
9.6	瑞雷面波探测的资料采集	126
9.7	瑞雷面波探测的资料处理	128
9.8	瑞雷面波探测的资料解释	132

9.9 应用实例	135
参考文献	145
10 高密度电法探测	147
10.1 高密度电法工作原理	147
10.2 高密度电法工作方法	149
10.3 资料处理与分析	150
10.4 高密度电法仪器设备	151
10.5 高密度电法在路基检测中的应用	152
参考文献	158

CONTENTS

1 Subgrade、subgrade defects and subgrade detecting	1
1.1 Subgrade of new railway and highway lines	1
1.2 Subgrade of railway in service and its defects	11
1.3 Subgrade of highway in service and its defects	17
1.4 Subgrade detecting	19
References	24
2 Subgrade reaction coefficient test	26
2.1 Concept and development	26
2.2 The conditions and requements of K_{30} test	27
2.3 Test equipments	28
2.4 Test method and steps	29
2.5 Test results calculating, recording and random error correcting	30
2.6 Checking methods of the equipments	31
References	33
3 Second modulus of deformation E_{v2} test	34
3.1 Concept and development	34
3.2 Basic rules	35
3.3 Test equipments	35
3.4 Test method and steps	38
3.5 Test results analyzing, calculating and describing	38
3.6 Case histories	41
References	42
4 Dynamic modulus of deformation E_{vd} test	43
4.1 General outline	43
4.2 Current development	44
4.3 Characteristics and future applications	46
4.4 Test equipments	47
4.5 Test method and steps	48
4.6 Case histories	49
References	50
5 California bearing ratio(CBR)test	52
5.1 Lab CBR test	52

5.2	In situ CBR test	59
5.3	In situ CBR test using falling ball instrument	61
	References	62
6	Falling Weight Deflectometer (FWD) test	64
6.1	General outline	64
6.2	Pavement strength test methods and evaluation	65
6.3	Dynatest 8000 FWD working steps	68
6.4	Geomtry analyzing of FWD deflection basin	69
6.5	Case histories	71
	References	73
7	Ground penetrating radar (GPR) inspecting	75
7.1	The development of GPR inspecting subgrade	75
7.2	Functions and features of GPR inspecting subgrade	78
7.3	Fundamentals of GPR inspecting subgrade	79
7.4	GPR survey subgrade	82
7.5	Data processing	87
7.6	The characteristics of subgrade layers and its GPR reflections	88
7.7	Case histories	93
7.8	Further developments	98
	References	99
8	Dynamic penetration test	100
8.1	General outline	100
8.2	Dynamic penetration test method	102
8.3	Data processing and analyzing of DPT	102
8.4	Layer of foundation and its average calculating	104
8.5	Applications of DPT results	105
8.6	Case histories	106
	References	112
9	Rayleigh surface wave investigation	113
9.1	Introduction	113
9.2	The theory of investigating with Rayleigh surface wave	114
9.3	Rayleigh surface wave in the layered medium	123
9.4	Fundamentals of investigating with Rayleigh surface wave	123
9.5	The equipments	124
9.6	Data acquiring	126
9.7	Data process	128
9.8	Data analyzing and interpreting	132
9.9	Case histories	135

References	145
10 Resistivity tomography	147
10.1 Fundamentals of resistivity tomography	147
10.2 In situ method of resistivity tomography	149
10.3 Data processing and analyzing	150
10.4 Equipments of resistivity tomography	151
10.5 Applications of inspecting subgrade by resistivity tomography	152
References	158



路基、路基病害与路基检测

本章介绍了新建铁路、公路路基设计规范对基床、路堤、地基等的规定技术标准和技术要求,以及既有线的技术规则和要求,总结了既有线路基病害与危害的类型和特征,论述了路基检测的目的和意义,说明了路基检测的内容、方法和技术。

1.1 新建铁路、公路路基

路基是铁路轨道和公路路面的基础,是铁路和公路系统的重要组成部分,随着速度提高,车辆的安全、舒适和平稳性要求更高,保证新线路基在填筑时的质量愈显重要。

经过多年试验和实践,中国铁路根据运输模式、新建铁路和改造铁路在经济性和舒适性方面平衡而提出了不同的技术要求,制订了适用于不同类型和等级的新建铁路的路基设计压实指标和检测方法,对道床、基床和路堤的填料、厚度、压实标准都有相应的规定。

世界各国对土体压实质量执行的标准不同,因此检测方法也各异。各国现行路基压实标准有 10 种以上,均是以各个国家或部门根据自己多年经验累积而得的。这些压实指标是互相关联的,可归纳为两大类,即测试土的物理指标和测试土的力学指标。力学指标是反映土的强度和变形的综合指标,如地基系数、二次变形模量 E_{v2} 等,物理指标是为满足力学性能的辅助指标,如压实系数 K 、孔隙率 n ,因此,两种指标应按需要配合使用,目的是确保路基的强度和稳定。

目前中国铁路路基工程中对不同等级的线路和填土主要使用 6 种不同压实质量检测指标,即压实系数 K 、孔隙率 n 、相对密度 D_r 、地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 和二次变形模量 E_{v2} 。随着铁路路基工程建设的发展,借鉴国内外先进的检测技术和经验,中国的路基技术标准会进一步发展和完善。

1.1.1 新建时速 160 km 客货共线铁路

2005 年 4 月 25 日发布实施的《铁路路基设计规范》,适用于铁路网中客货列车共线运行、旅客列车设计行车速度等于或小于 160 km/h、货物列车设计行车速度等于或小于 120 km/h 的 I、II 级铁路路基的设计。该规范对基床和路堤填料及其压实标准提出了具体要求,对路基的工后沉降也提出了要求。

1. 基 床

路基基床总厚度为 2.5 m,基床表层厚度为 0.6 m,基床底层厚度为 1.9 m。基床填料及其压实标准分述如下。

(1) 基床表层

I 级铁路应选用 A 组填料(砂类土除外,填料分组参见《铁路路基设计规范》,以下同),当缺乏 A 组填料时,可采用级配碎石或级配砂砾石。II 级铁路应优先选用 A 组填料,其次为 B 组填料。对不符合要求的填料,应采取土质改良或加固措施。填料的颗粒粒径不得大于

150 mm。

基床表层的压实控制指标和标准见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 新建时速 160 km 客货共线铁路基床的压实标准

层位	填料类别 铁路等级 压实标准	细粒土、粉土、 改良土		砂类土 (粉砂土除外)		砾石类		碎石类		块石类	
		I 级	II 级	I 级	II 级	I 级	II 级	I 级	II 级	I 级	II 级
基床表层	压实系数 K	—	(0.93)	—	—	—	—	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/m)	—	(100)	—	110	150	140	150	140	—	—
	相对密度 D_r	—	—	—	0.8	—	—	—	—	—	—
	孔隙率 n	—	—	—	—	28%	29%	28%	29%	—	—
基床底层	压实系数 K	(0.93)	0.91	—	—	—	—	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/m)	(100)	90	100	100	120	120	130	130	150	150
	相对密度 D_r	—	—	0.75	0.75	—	—	—	—	—	—
	孔隙率 n	—	—	—	—	31%	31%	31%	31%	—	—

注：1. 压实系数 K 为重型击实标准(以下同)；
2. 细粒土、粉砂、改良土一栏中，有括号的仅为改良土的压实标准，无括号的为细粒土、粉砂、改良土的压实标准。

表 1-2 新建时速 160 km 客货共线铁路级配碎石或砂砾石基床表层厚度及压实标准

填 料	厚度(m)	压实标准		适用范围
		地基系数 K_{30} (MPa/m)	孔隙率 n (%)	
级配碎石或级配砂砾石	0.60	≥ 150	< 28	路堤、软质岩、强风化硬质岩及土质路堑
级配碎石或级配砂砾石	0.50	≥ 150	< 28	
中粗砂	0.10	≥ 130	< 18	

(2) 基床底层

I 级铁路应选用 A、B 组填料，否则应采取土质改良或加固措施。II 级铁路可选用 A、B、C 组填料。当采用 C 组填料时，在年平均降水量大于 500 mm 地区，其塑性指数不得大于 12，液限不得大于 32%，否则应采取土质改良或加固措施。填料的颗粒粒径不应大于 200 mm，或摊铺厚度的 2/3。

基床底层的压实控制指标和标准见表 1-1。

2. 路 堤

路堤基床以下部位填料，宜选用 A、B、C 组填料。当采用 D 组填料时，应采取加固或土质改良，严禁使用 E 组填料。

路堤基床以下部位填料的压实标准见表 1-3。

3. 地 基

软土及其他类型松软地基上的路基应进行工后沉降分析。路基的工后沉降量应满足 I 级铁路不应大于 20 cm，路桥过渡段不应大于 10 cm，沉降速率均不应大于 5 cm/年；II 级铁路不应大于 30 cm。

表 1-3 新建时速 160 km 客货共线铁路路堤基床以下部位填料的压实标准

层位	填料类别 铁路等级 压实标准	细粒土、粉土、改良土		砂类土 (粉砂土除外)		砾石类		碎石类		块石类	
		I 级	II 级	I 级	II 级	I 级	II 级	I 级	II 级	I 级	II 级
不浸水部分	压实系数 K	0.90	0.90	—	—	—	—	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/m)	80	80	80	80	110	110	120	120	130	130
	相对密度 D_r	—	—	0.7	0.7	—	—	—	—	—	—
	孔隙率 n	—	—	—	—	32%	32%	32%	32%	—	—
浸水部分及桥涵两端	压实系数 K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/m)	—	—	(80)	(80)	(110)	(120)	(120)	(120)	(130)	(130)
	相对密度 D_r	—	—	(0.7)	(0.7)	—	—	—	—	—	—
	孔隙率 n	—	—	—	—	(32%)	(32%)	(32%)	(32%)	—	—

注:括号内为砂类土(粉砂除外)、砾石类、碎石类、块石类中渗水土填料的压实标准。

1.1.2 新建时速 200 km 客货共线铁路

2005 年 4 月 25 日发布实施的《新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定》,适用于新建客货列车共线运行、旅客列车设计行车速度 200 km/h、货物列车设计行车速度 120 km/h 铁路的设计。

图 1-1 为时速 200 km 客货共线铁路双线路堤标准横断面示意图,图 1-2 为时速 200 km 客货共线铁路单线路堤标准横断面示意图。

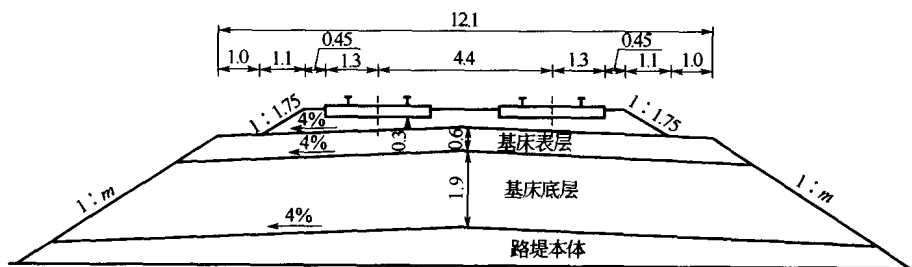


图 1-1 时速 200 km 客货共线双线路堤标准横断面示意图(单位:m)

时速 200 km 客货共线铁路路基的基床、路堤填料及其压实标准如下,同时对路基的工后沉降也提出了要求。

1. 基 床

路基基床是列车动荷载作用显著的部分,分为基床表层和基床底层两部分,其中动应力数值大且变化剧烈的部分称为基床表层。

为保证列车运行平稳,基床以下填土的长期稳定以及基床土具有足够强度,结合秦沈客运专线的经验,基床表层厚度确定为 0.6 m。

为增强线路强度,扩散动应力和防止基床病害,基床表层除应有一定厚度外,还要求材料