

斜坡软弱地基填方 工程技术与实践

魏永幸 罗 强 邱延峻 著

Xiepa Ruannuo
Diji Tianfang
Gongcheng
Jishu Yanjiu
Yu Shijian



人民交通出版社
China Communications Press

▲ 复杂山区道路路基边坡工程技术系列丛书

斜坡软弱地基填方 工程技术与实践

魏永幸 罗 强 邱延峻 著



人民交通出版社
China Communications Press

序

山区铁路与公路工程边坡,因地形险峻、地质构造复杂且存在滑坡、错落、崩塌等不良地质现象,具有边坡灾害类型众多、成灾机理复杂、防治难度大等特点。长期以来,由于缺乏较为系统的科学理论指导,设计施工对经验的依赖性较大,施工中边坡地质灾害时有发生,建成后也时常出现溜坍、崩塌、滑坡等病害,对工程建设和正常运营造成了不利影响。随着国家基础建设的迅速发展,山区新建的铁路与公路工程不断增加,特别是高速铁路和公路的大量兴建,对边坡工程的安全性提出了更高要求,迫切需要适合山区铁路与公路工程边坡灾害防治的成套工程技术。

近十年来,中铁二院工程集团有限责任公司结合南昆、内昆、渝怀铁路及京珠高速公路等复杂山区铁路与公路工程建设,开展了“破碎软质岩层深路堑高边坡工程试验研究”、“路堑高边坡病害预防及防治措施研究”、“顺层岩质路堑边坡稳定性研究及支挡防护工程试验”、“渝怀铁路斜坡软弱地基填方工程特性及工程技术研究”、“影响支挡结构安全性因素分析研究”等课题的试验研究,完成了十余项复杂山区铁路与公路路基工程设计,形成了复杂山区铁路与公路路基边坡勘察、设计、施工的系列技术,成果显著。

为进一步推广复杂山区铁路与公路路基边坡工程新技术,有关课题主研人员撰写了“复杂山区道路路基边坡工程技术系列丛书”,共三册。

《新型铁路支挡设计与工程实例》系统介绍了支挡工程设计理论、计算方法以及工程实例,内容包括卸荷板挡土墙、悬臂式和扶壁式挡土墙、锚定板挡土墙、锚杆挡土墙、加筋土挡土墙、土钉墙、抗滑桩、桩板式挡土墙、桩基托梁挡土墙、预应力锚索、锚索桩等支挡结构及与支挡结构有关的植被护坡技术,每种结构包括了结构特点及使用条件、荷载和内力计算、强度和稳定分析、构造要求和设计注意事项以及工程实例等内容。该书既有设计理论的介绍,又有工程实例以供参考,并反映了近年来工程设计领域中的最新成果和有关设计规范中的新内容,是一本实用性强的工具书。

《顺层岩质边坡稳定性分析与支挡防护设计》针对山区铁路与公路建设中常见的顺层边坡问题,结合近几年来铁路顺层岩质路堑边坡工程实践与研究,介绍了顺层岩质边坡分类与结构面特征、失稳模式和稳定性评价、稳定性计算分析方法、顺层岩质边坡加固技术、

顺层岩质边坡爆破施工技术、顺层岩质边坡设计与工程实例。该书是对顺层边坡研究成果与实践经验的总结,具有很强的针对性、实用性和理论性。

《斜坡软弱地基填方工程技术研究与实践》针对山区特殊地形、地质与气候环境下形成的斜坡软弱地基,采用有限元计算与稳定分析、土工离心模型试验、现场原型测试等研究方法,以斜坡软弱地基在填方荷载作用下的变形特征为主线,系统分析了斜坡软弱地基填方工程的变形特性、破坏模式及加固机理,提出了斜坡软弱地基填方工程稳定分析方法及以限制地基侧向变形为核心的斜坡软弱地基填方工程技术。该书在理论上完善了斜坡软弱地基填方工程设计方法,同时为工程应用提供了可借鉴的工程实例,理论和工程意义兼备。

“复杂山区道路路基边坡工程技术系列丛书”,是中铁二院山区铁路和公路路基工程技术系列研究成果和实践经验的总结和升华,更是相关研究人员十余年在专业技术上辛勤耕耘的结果。可以预期,该系列丛书的出版必将进一步推动路基边坡工程技术的持续进步。

中铁二院工程集团有限责任公司总经理

朱颖

2010年10月30日

序 二

斜坡软弱地基填方工程在山区基本建设工程中十分普遍。由于斜坡地基的岩土特性,当斜坡地基中存在软弱地层时,在其上填筑土石方,易引起地基以及填方工程的变形和破坏。

本书作者结合渝怀铁路等山区铁路、公路工程的实践,采用有限元数值分析、土工离心机模型试验以及现场原型测试等方法,对填方荷载作用下斜坡软弱地基的破坏类型、变形特征和加固措施等进行了较深入的试验研究分析。在斜坡软弱地基的变形特性分析中,特别指出了地基侧向变形的存在,及其对上部填方工程稳定性的影响。提出并介绍了以限制地基侧向变形为核心的斜坡软弱地基填方工程设计原则、稳定分析方法及加固工程措施,这是对传统单一强度稳定分析的补充和完善,有很大的实用价值。

斜坡填方工程的稳定性和变形的研究,主要属于土力学及岩土工程学科。这门学科在第二次世界大战之后虽有很大的发展,但仍处于半理论和半经验的阶段。因而,工程实践经验的积累是学科理论和相关技术发展提高的重要环节。近30年来,国内外土力学及岩土工程学界都很重视相关的“工程实例”专辑的出版和研讨。本书介绍了大量的工程实例,包含了丰富的原始勘测、设计、工程和监测资料,这对从事本专业的科研、教学和工程技术人员都有较大的参考价值。

中国工程院院士

周 鏡

2010年10月30日

前言

工程实践表明,在斜坡地基上填筑土石方,容易出现地基以及填方工程的失稳破坏,属于工程建设的薄弱环节。本书第一作者曾参加南昆、内昆铁路及绵广高速公路等山区铁路公路的勘察设计及配合施工工作,处理了较多的斜坡路堤病害工程。基于工程实践认识,作者总结了常见的斜坡软弱地基类型,提出了斜坡软弱地基填方工程地质力学模型,于2002年申报并获得了铁道部科技发展计划项目《渝怀铁路斜坡软弱地基填方工程特性及工程技术研究》的资助,主持开展了相关试验研究。

课题研究采取“产、学、研”联合攻关的方式,得到了主持单位中铁二院、协作单位西南交通大学和中铁十三局集团公司等单位的大力支持。课题运用有限元计算与稳定分析、土工离心模型试验、现场原型测试等研究方法,系统研究了斜坡软弱地基填方工程变形特性、破坏模式及加固机理,提出了斜坡软弱地基以限制地基侧向变形为核心的设计方法和加固技术。研究成果先后在渝怀、遂渝铁路及粤赣高速公路等工程中推广应用,取得了较为显著的社会和经济效益。《斜坡软弱地基填方工程特性及工程技术的研究与推广应用》荣获2009年度中国铁道学会科学技术二等奖。

为了进一步推广研究成果以造福社会,课题组决定将研究成果的主要创新内容编撰成书。

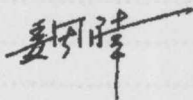
课题主研人员魏永幸教授级高工、罗强教授、邱延峻教授分工合作,共同承担了书稿的撰写工作。全书由魏永幸教授级高工负责统稿,课题组主研人员张良副教授、蒋鑫副教授等参加了编写工作。中铁二院副总工程师秦小林教授级高工审阅全书并提出了修改意见,中铁二院技术中心对本书的出版提供了支持。

该书能顺利出版,得益于课题组全体成员的辛勤劳动以及有关单位的大力支持。在此,谨向课题组所有成员,向曾给予我们关心、支持、帮助的领导、同事和朋友,表示衷心的感谢!

本书撰写中借鉴和参考的文献已列出,但难免遗漏,在此谨向有关文献作者一并致谢。

限于作者水平,书中或存在不妥之处,敬请读者批评指正。

作者



2010年8月19日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 路基填方工程	1
一、路基构造	1
二、路基结构分析	4
三、路基设计方法	5
第二节 国内外规范对路基填方的要求	6
一、铁路路基规范	6
二、公路路基规范	11
三、机场场道基础规范	14
四、国外路基规范	16
第三节 斜坡软弱地基填方工程问题	18
第二章 斜坡软弱地基特点及分类	21
第一节 斜坡软弱地基特点	21
一、水平软弱地基	21
二、斜坡软弱地基	25
第二节 斜坡软弱地基分类	26
一、山区丘间槽谷坡洪积软弱土地基	26
二、非沉积型斜坡软弱土地基	27
三、湖泊相软土边缘地基	28
四、斜坡松散堆积体地基	29
第三章 斜坡软弱地基填方工程稳定分析	30
第一节 路基稳定分析方法	30
第二节 斜坡软弱地基路堤稳定分析	32
一、稳定分析软件 GEO-SLOPE/W	32
二、稳定分析基本条件	35
三、斜坡软弱地基稳定特性及变化规律	36
第四章 斜坡软弱地基填方工程变形特性与破坏模式	41
第一节 斜坡软弱地基变形特性	41
一、有限元模拟计算分析	41
二、土工离心模型试验分析	55

三、变形特性分析小结	60
第二节 斜坡软弱地基路堤破坏模式	61
一、计算分析基本条件及假设	62
二、各种因素对滑面位置及破坏模式的影响	62
三、斜坡软弱地基破坏模式分析	71
四、斜坡软弱地基破坏模式判别	74
五、破坏模式分析小结	76
第五章 斜坡软弱地基填方工程加固技术分析	77
第一节 路基变形及控制标准	77
一、路基工后沉降控制标准	77
二、路堤填筑施工安全变形控制标准	78
三、不均匀沉降与差异变形控制标准	78
第二节 斜坡软弱地基路堤土工离心模型试验	79
一、铁路单线斜坡软弱地基路堤试验	79
二、站场斜坡软弱地基路堤试验	94
三、土工离心模型试验小结	108
第三节 斜坡软弱地基路堤现场原型测试分析	109
一、试验工点基本情况	109
二、测试数据及分析	110
三、现场原型测试小结	121
第四节 加固技术小结	122
第六章 斜坡软弱地基填方工程设计技术	123
第一节 斜坡软弱地基填方工程设计方法	123
一、斜坡软弱地基路堤稳定判别分析	123
二、斜坡软弱地基路堤设计技术原则	128
第二节 斜坡软弱地基填方工程加固措施	131
一、限制地基侧向变形技术措施	131
二、提高地基土层强度技术措施	132
第三节 斜坡软弱地基填方工程实例	134
一、内昆铁路斜坡软弱地基路堤	134
二、渝怀铁路斜坡软弱地基路堤	139
三、遂渝铁路斜坡软弱地基路堤	140
四、粤赣高速公路斜坡软弱地基高路堤	141
第七章 结论与展望	143
附录 A:课题主要研究成果	146
附录 B:典型斜坡软弱地基填方工程一览表	148
附录 C:典型斜坡软弱地基及路堤图片	183
参考文献	187

第一章

绪 论

第一节 路基填方工程

路基填方工程是铁路、公路和机场建设的重要内容之一。由于营运期间的上承结构如铁路轨道、公路路面和机场道面传来的重复轮载,需要通过填方土体扩散于地基基础中,因此,路基填方工程应以满足使用要求和结构稳定为目的,从构造出发,根据作用荷载状态、上承结构特点和地基基础性质,合理确定构造形式,进行必要的结构分析,然后依照行业规范要求,选择适当的岩土作为填料,通过施工工艺设计验证后再进行施工。

一、路基构造

路基按照其强度形成方式可以分为岩土型路基和结构型路基。岩土型路基是指路基本体由岩土材料构成并通过对天然地基的填挖施工形成的路基,路基强度主要由组成路基各层结构的岩土材料形成,一般路基结构都属于岩土型路基范畴。结构型路基是指为满足特殊的地质条件或严格的变形要求,通过在路基岩土本体内部设置结构性骨架形成的路基结构,路基强度主要由组成路基骨架的构件形成,如近年来我国高速铁路建设中大量采用的桩网结构、桩筏结构、桩板结构路基等。

路基工程通常由路基本体、路基防护设施和路基排水设施三部分组成,路基防护和路基排水工程统称路基附属工程或路基附属设施。路基本体是指填挖部分,直接承受由轨道结构或路面结构传来的轮载作用。路基附属设施主要是为了保证路基本体的稳定性和耐久性而设置的防护和排水工程。填方路基的本体又称路堤,是指高于原地面通过填筑土石方并依据规范标准压实成形且符合路基几何断面要求的路基形式。图 1-1 为铁路路堤断面形式,图 1-2 为公路路基断面结构。路基横断面通常依据地形地貌地物等选择适宜的形式,如图 1-3 为各种不同的路基断面形式。由于路基直接承受上部结构传来的荷载作用并将其扩散于下部地层中,因此路基必须具有足够的强度、刚度和稳定性。路基强度保证了线路结构在重复轮载作用下的结构承载能力;刚度提供了线路结构在重复轮载作用下抵抗变形和不均匀变形的能力;稳定性是路基在荷载和环境作用下抵抗整体滑动的能力。随着快速密集交通形态的发展,路基工程还需满足严格的工后沉降、不均匀变形和长期耐久性要求。

1. 路基本体

路基宽度是指路基顶面两侧外缘之间的水平距离。路基高度是指中心线位置地表与路基顶面中心之间的垂直距离,而路基填土高度(也称边坡高度)是指路肩外缘距原地面的高度。

为保证路基稳定性要求,防止路基本体受地面水、地下水、毛细水和冻害影响,路基高度必须达到最小填土高度标准。路基坡度是指路基横断面两侧斜面的坡度。路基高程是指路基顶面边缘的高程,在平曲线范围内是设置超高加宽前的内侧路基边缘高程。

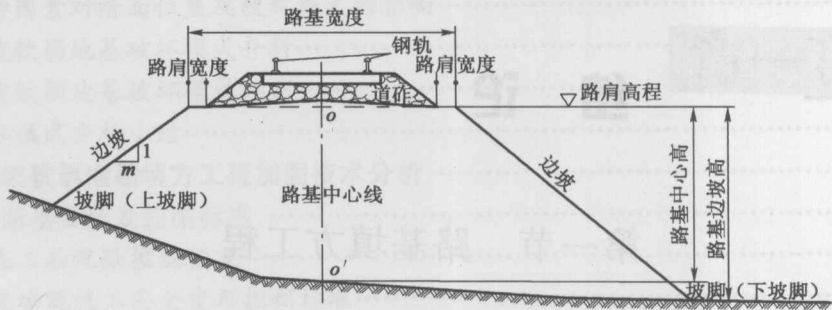


图 1-1 铁路路堤断面图

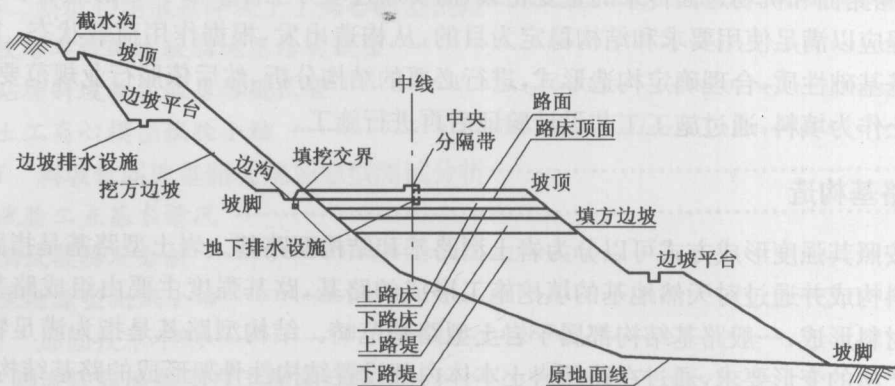


图 1-2 公路路基断面图

铁路路肩是指路基面上未被道砟覆盖的部分。公路路肩是指行车道两侧的宽余部分,依其组成材料不同,可以是土路肩、碎石路肩和硬路肩。公路路基工程中,行车道外侧硬路肩厚度可与行车道厚度相同,常作为非常态的应急车道,外接土路肩,城市道路在路肩位置一般设计缘石和人行道。路拱是指路基顶面沿中心线向两侧对称下倾横坡(俗称“人字坡”)形成的“三角形”路基横断面顶面状态,其主要作用是利于排水并预留由于重复荷载作用而累积的竖向沉降。渗透性能良好的路基或岩石路基可不设路拱。

基床(路床)是指铁路(公路)路基顶面以下一定深度范围内受重复轮载作用和气候水文影响明显的部分。铁路工程中的基床厚度因线路等级和轨道结构形式的不同而变化,如高速铁路无砟轨道的基床厚度为 2.7m,高速铁路有砟轨道的基床厚度为 3.0m,时速 200km 客货共线铁路和 I、II 级干线铁路的基床厚度为 2.5m。铁路基床又分为基床表层和基床底层,其厚度同样因铁路等级和轨道结构形式的不同而变化,如高速铁路无砟轨道的基床表层和基床底层厚度分别为 0.4m 和 2.3m,高速铁路有砟轨道的基床表层和基床底层厚度分别为 0.7m 和 2.3m,时速 200km 客货共线铁路和 I、II 级干线铁路的基床表层和基床底层厚度分别为 0.6m 和 1.9m。公路工程中路床厚度为 0.8m,其中顶部 0.3m 范围为上路床,底部 0.5m 部分为下路床。

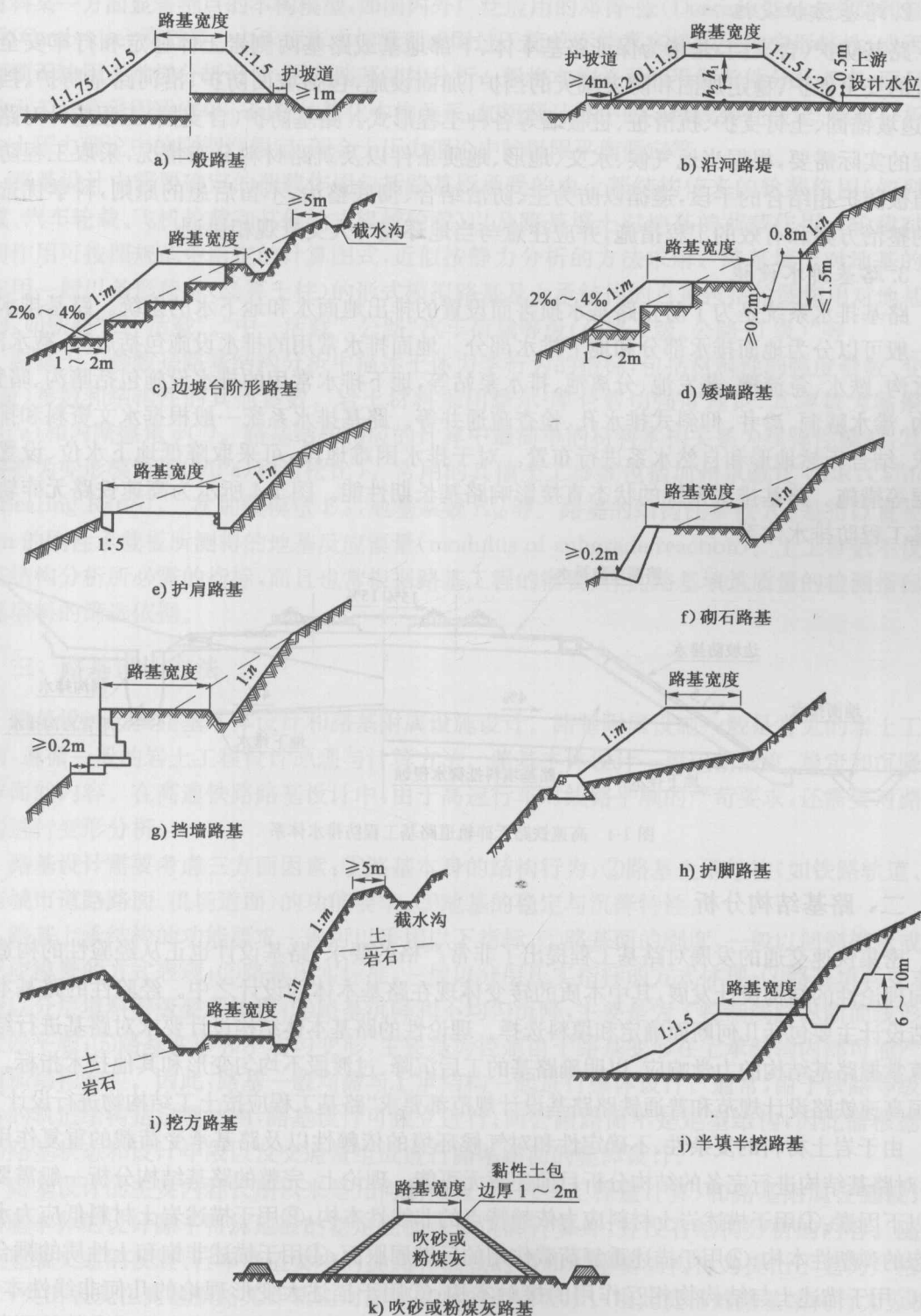


图 1-3 铁路、公路路基常用典型断面图

2. 路基防护设施

路基防护(含支挡)是指为保证路基本体、下部地基或路基两侧岩土体稳定和行车安全而设置的安全保护、稳定加固和防灾减灾的挡护、加固设施,包括坡面防护、沿河路基防护、挡土墙、边坡锚固、土钉支护、抗滑桩、桩板墙等各种工程形式。路基防护(含支挡)工程应针对路基工程的实际需要,根据当地气候、水文、地形、地质条件以及筑路材料分布情况,采取工程防护和植被防护相结合的手段,遵循以防为主、防治结合、彻底整治、不留后患的原则,科学优选合理的整治方案和有效的工程措施,并应注意与当地环境与人文景观相协调。

3. 路基排水设施

路基排水系统是为了防止路基水损害而设置的排出地面水和地下水的系统。路基排水系统一般可以分为地面排水部分和地下排水部分。地面排水常用的排水设施包括边沟、截水沟、排水沟、跌水、急流槽、蒸发池、分离池、排水泵站等,地下排水常用的排水设施包括暗沟、暗管、渗沟、渗水隧洞、渗井、仰斜式排水孔、检查疏通井等。路基排水系统一般根据水文资料和排水要求,结合天然地形和自然水系进行布置。对于排水困难地段,可采取降低地下水位、设置隔离层等措施。路基排水系统的状态直接影响路基长期性能。图 1-4 所示为高速铁路无砟轨道路基工程防排水体系。

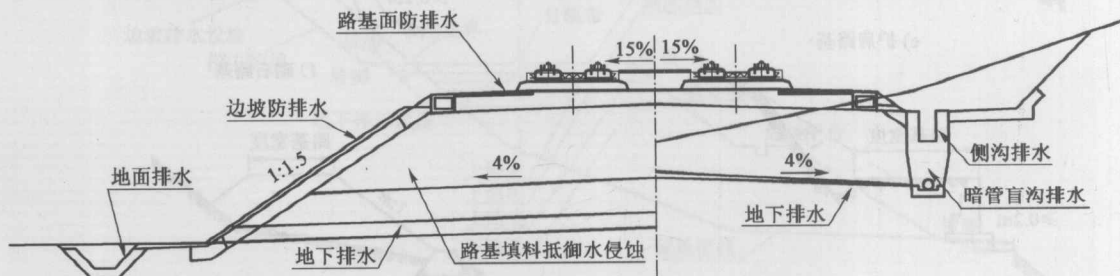


图 1-4 高速铁路无砟轨道路基工程防排水体系

二、路基结构分析

密集快速交通的发展对路基工程提出了非常严格的要求,路基设计也正从经验性的构造设计向理论性的结构设计发展,其中本质的转变体现在路基本体的设计之中。经验性的路基本体构造设计主要包括几何断面确定和填料选择。理论性的路基本体结构设计要求对路基进行结构计算掌握路基结构的力学响应,以明确路基的工后沉降、过渡段不均匀变形和其他技术指标。如我国高速铁路设计规范和普通铁路路基设计规范都要求“路基工程应按土工结构物进行设计”。

由于岩土材料的复杂性、不确定性和对气候环境的依赖性以及路基承受荷载的重复作用特点,对路基结构进行完备的结构分析目前还暂无可能。理论上,完整的路基结构分析一般需要考虑以下因素:①用于描述岩土材料应力依赖特点的非线性本构;②用于描述岩土材料低应力水平状态的弹塑性本构;③用于描述重复荷载作用的后继屈服面;④用于描述非饱和土性质的耦合本构;⑤用于描述土与结构物相互作用的接触本构;⑥用于描述大变形理论的几何非线性本构;⑦岩土自重结构分析中的模拟。随着岩土材料试验设备的不断发展、岩土性质参数的不断累积和计算方法的不断演进,自 20 世纪 50 年代后期以来,岩土研究人员相继构建了各种能考虑岩

土材料某一方面显著特点的本构模型,如国内外广泛应用的邓肯-张(Duncan-Chang)模型和修正剑桥(Cambridge)模型等。由于现有本构模型或因过于简单不能真实模拟土体变形特性,或因过于烦琐无法用于常规分析设计,因此路基结构分析一般将本构关系和平衡条件分开考虑,而且一般的土工计算采用适应单一问题的简化本构关系,如沉降计算中的一维线弹性假定、稳定分析和库仑土压力理论中的刚塑性假定、朗金土压力理论中的极限平衡假定等。

路基设计中需要确定的荷载作用包括路基所承受的由上部结构传来的轮载作用(如列车轮载、汽车轮载、飞机轮载和其他轮式机械轮载)以及路基填土对地基的荷载作用。轮载对路基的作用可按照规范中给定的计算图式,近似按静力分析的方法求解。路基填土对地基的荷载作用一般以条形荷载(换算土柱)的形式模拟路基及上承结构的自重包括轮载作用对地基的影响,如铁路“ZK 活载”、“中—活载”、公路“汽车荷载等级(公路-I级、公路-II级)”等。

路基土工参数是路基结构分析中描述土体力学行为的指标,包括材料性的强度参数、变形(模量)参数和结构性的其他参数。岩土材料采用摩尔-库仑剪切强度理论,其参数为黏聚力 c (MPa) 和内摩擦角 φ ($^{\circ}$)。路基结构相应的计算中最简单的材料本构关系为线弹性模型,其材料参数为变形模量 E (MPa) 和泊松比 ν 。常用的其他土工参数包括加州承载比 CBR (California Bearing Ratio), 二次加载模量 E_{v2} , 地基系数 K_{30} 等。路基的结构性参数 K_{30} 是指以直径为 30cm 的刚性承载板所测得的地基反应模量(modulus of subgrade reaction)。土工参数不仅是路基结构分析所必需的指标,而且也常根据路基工程的需要,作为路基填筑质量的检测指标和路基填料的筛选依据。

三、路基设计方法

路基设计包括路基本体设计和路基附属设施设计。路基附属设施一般是常见的岩土工程结构,遵循一般的岩土工程设计原理与计算方法。路基本体设计一般包括强度、稳定和沉降三个方面的内容。在高速铁路路基设计中,由于高速行驶对线路平顺的严苛要求,还需要对路基结构进行变形分析。

路基设计需要考虑三方面因素:①路基本身的结构行为;②路基上承结构(如铁路轨道、公路与城市道路路面、机场道面)的功能要求;③地基的稳定与沉降特性。

路基上承结构的功能要求一般可以采用以下指标:①路基面的刚度,一般以回弹模量或地基反应模量的方式表现;②路基压实标准,一般以分层压实指标的方式体现;③路基填料要求,一般以分层填料等级要求体现;④路基沉降和不均匀沉降,主要是为了控制线路纵断面线形和过渡段平顺;⑤路基变形和不均匀变形,主要是为控制由于路基变形在上承结构内部可能产生的附加结构响应。因此,路基一般均需与上承结构一起进行整体设计。通常,由于铁路等级确定后的轨道结构是定型结构,路基设计可独立进行;而公路路面不是定型结构,因此需根据不同的路基状态和设计年限以及交通量组成进行路基路面的整体设计。

路基设计的主要内容长期以来是几何断面设计(包括工程量计算)和路基附属设施设计,而路基本体的设计除了特殊地段的稳定性检算和沉降计算外,并没有结构分析的内容。随着快速重载交通的发展、行车舒适要求的提高和轴载的增加对路基结构行为提出了更为严格的要求,突出表现在高速铁路无砟轨道对路基变形的严苛要求。由此提出的路基结构行为分析、路基结构设计方法和结构性路基设计对路基工程提出了技术理论与工程实践上的新挑战,也推动了路基分析理论与设计方法的发展。

第二节 国内外规范对路基填方的要求

我国铁路和公路行业均有独立的路基设计规范,同时还有针对特殊路基结构和路基附属设施的规范,如支挡结构、软土地基、膨胀土地基、土工合成材料等专门规范。而城市道路路基和机场场道基础(土基)的设计分别包含在城市道路设计规范和机场道面设计规范的有关路基条文中。但国外一般没有单列的路基设计规范,有关内容包含在通用规范中。

一、铁路路基规范

我国铁路路基规范,最早见于1961年出版的《标准轨距铁路设计技术规范》,“路基”首次单列成章。1975出版的《铁路工程技术规范》之线路篇中列入了有关路基内容。1984年首次单独编制的《铁路路基设计规范》(TBJ 1—85)、1986年发布的《铁路路基施工规范》(TBJ 202—86)、1990年推出的《铁路路基支挡结构物设计规则》(TBJ 25—90)、1992年出版的《铁路特殊土路基设计规则》(TBJ 35—92)构成了铁路路基的规范体系。这些规范在20世纪90年代为适应工程实践需要进行过局部或全面修订,目前适用规范为2005年发布的《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)。

路基面形状一般为三角形路拱,由路基中心线向两侧设4%的人字形排水坡。对新建铁路,全线的线路纵断面均按土质路基标准进行设计,线路纵断面上的高程为路肩设计高程,如图1-5所示。为使不同类型路基地段的轨面高程保持一致,并保证道砟厚度与路肩宽度满足要求,路基设计时须对线路纵断面的路肩设计高程进行抬高或降低(曲线加宽地段的曲线外侧、路基面两侧需加宽的软土路堤或高路堤),不同类型路基的路基设计高程的抬高值计算应按照《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)进行。

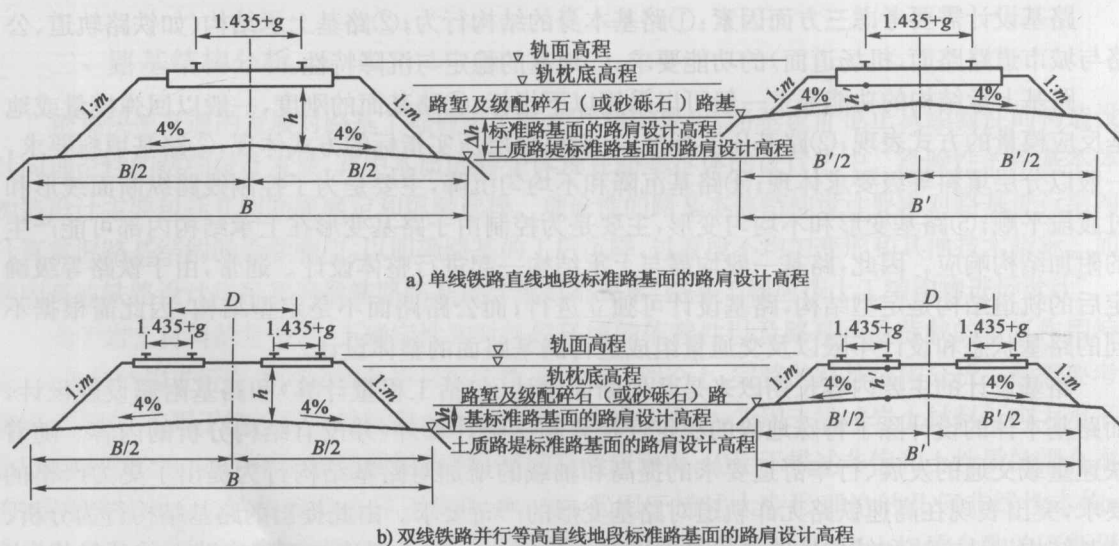


图 1-5 直线段标准路基面路肩设计高程

区间路基面宽度应根据旅客列车设计行车速度、远期采用的轨道类型、正线数目、线间距、曲线加宽、道床顶面宽度、路基面两侧沉降加宽、路肩宽度、养路形式、接触网立柱的设置位置等综合考虑并通过计算确定,必要时还应考虑通信、信号、电力电缆槽及声屏障基础的设置。路堤的路肩宽度一般不应小于 0.8m,路堑的路肩宽度不应小于 0.6m。我国时速 200km 以下铁路直线地段标准路基面宽度见表 1-1。

直线地段标准路基面宽度

表 1-1

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	
旅客列车设计行车速度 v			km/h	160	$120 \leq v < 160$	160	$120 < v < 160$	120	120	$80 \leq v \leq 120$	$80 \leq v \leq 100$	80	
双线线间距			m	4.2	4.0	4.2	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
道床顶面宽度			m	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.0	2.9	
基床表层类型	土质	道砟厚度		m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.40	0.35
		单 线	路堤	m	7.9	7.9	7.8	7.8	7.8	7.5	7.5	7.0	6.3
			路堑	m	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4	7.1	7.1	6.6	5.9
		双 线	路堤	m	12.3	12.1	12.2	12	12	11.7	11.7	11.2	10.5
			路堑	m	11.9	11.7	11.8	11.6	11.6	11.3	11.3	10.8	10.1
	硬质岩石	道砟厚度		m	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.25
		单线路堑		m	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.5	6.5	6.2	5.7
		双线路堑		m	11.3	11.1	11.2	11	11	10.7	10.7	10.4	9.9
		道砟厚度		m	0.3	0.3	0.3	0.3	—	—	—	—	—
	级配碎石或级配砂砾石	单 线	路堤	m	7.1	7.1	7	7	—	—	—	—	—
			路堑	m	6.7	6.7	6.6	6.6	—	—	—	—	—
		双 线	路堤	m	11.5	11.3	11.4	11.2	—	—	—	—	—
			路堑	m	11.1	10.9	11.0	10.8	—	—	—	—	—

- 注:1. 特重型、重型轨道的路基面宽度为无缝线路轨道、III 型混凝土枕的标准值。对 $v=120\text{km/h}$ 的重型轨道:当采用无缝线路轨道和 II 型混凝土枕时,路基面宽度应减小 0.1m;当采用有缝线路轨道和 II 型或 III 型混凝土枕时,路基面宽度应减小 0.3m。
2. 次重型轨道的路基面宽度为无缝线路轨道、II 型混凝土枕的标准值。当采用有缝线路轨道时,路基面宽度应减小 0.2m。
3. 中型、轻型轨道的路基面宽度为有缝线路轨道、II 型混凝土枕的标准值。
4. 采用大型养路机械的电气化铁路,当接触网的立柱设在路肩上时,直线地段路基面宽度应满足以下标准:单线铁路不小于 7.7m;双线铁路 160km/h 地段不小于 11.9m(其他不小于 11.7m);表中宽度小于该标准时应采用该标准。

路基填料的质量直接影响路基的压实特性和力学特性。填料的质量首先需要通过地质测绘和勘探试验工作查明岩土性质和分布后开展填料设计工作,如确定填料的来源选择、分布、运距、土石特性、名称、分组、改良措施、施工工艺、压实标准及检测要求等。普通填料参照岩土分类方法按颗粒粒径大小分为三大类别:巨粒土、粗粒土和细粒土。巨粒土和粗粒土填料应根据颗粒组成、颗粒形状、细粒含量、级配组成、抗风化能力等要素,分成 A、B、C、D、E 五组。细粒土分为粉土、黏性土和有机质土,其中粉土和黏性土根据其液限大小分为 C 组和 D 组填料,有机质土为 E 组填料。级配碎石、级配砂砾石用作基床填料时应符合铁路碎石道床底砟的有关规定。填料来源受限时,对不满足要求的土质可以通过物理改良或化学改良的方式来提高

其物理力学性质使之符合路基填筑要求。填料改良应通过试验得出最佳掺和料、最佳配合比及改良后的物理力学指标。

路基上部受到列车动力作用和水文气候变化影响较大的部分称为基床，其状态直接影响列车运行的速度和质量，其厚度在 2.0~3.0m 之间。根据铁路等级不同，基床设计厚度不同，如 I 级铁路基床总厚度为 2.5m，其中基床表层 0.6m，基床底层 1.9m。基床底层的顶部和基床以下填料部位的顶部应设 4% 的人字形排水坡。I 级铁路的基床表层应选用 A 组填料（砂类土除外），当缺乏 A 组填料时可通过经济比选采用级配碎石或级配砂砾石，基床底层应选用 A、B 组填料，否则应采取土质改良或加固措施。II 级铁路的基床表层应优先选用 A 组填料，其次为 B 组填料，否则应采取土质改良或加固措施，基床底层可选用 A、B、C 组填料。当采用 C 组填料时，在年平均降水量大于 500mm 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。基床填料的粒径一般铁路要求表层不得大于 150mm，底层不应大于 200mm 或摊铺厚度的 2/3。基床的压实标准如表 1-2 所列：对细粒土、粉砂、改良土应采用压实系数和地基系数作为控制指标；对砂类土（粉砂除外）应采用相对密度和地基系数作为控制指标；对砾石类、碎石类、级配碎石或级配砂砾石应采用地基系数和孔隙率作为控制指标；对块石类应采用地基系数作为控制指标。级配碎石或级配砂砾石的基床表层厚度及压实标准如表 1-3 所列。

基床的压实标准 表 1-2

层位	填 料 类 别	细粒土、粉砂、改良土		砂类土（粉砂除外）		砾 石 类		碎 石 类		块 石 类	
	铁路等级 压实指标	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	—	—
不浸水	压实系数 K	0.9	0.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	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	—	—	—	—	—	—
浸水桥涵端	孔隙率 $n(\%)$	—	—	—	—	32	32	32	32	—	—
	压实系数 K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/m)	—	—	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)	—	—

注：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。压实系数 K 由重型击实试验法求得。

级配碎石或级配砂砾石的基床表层厚度及压实标准 表 1-3

填 料	厚度(m)	地基系数 K_{30} (MPa/m)	孔隙率(%)	适 用 范 围
级配碎石或级配砂砾石	0.6	≥ 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	0.5	≥ 150	< 28	
中粗砂	0.1	≥ 130	< 18	

路堤基床以下部位填料,宜选用 A、B、C 组填料。当选用 D 组填料时,应采取加固或土质改良措施,严禁使用 E 组填料。填料的最大粒径不宜大于 300mm 或摊铺厚度的 2/3。路堤浸水部分的填料应采用渗水土填料。填料的压实标准如表 1-2 所列。路堤的边坡形式和坡率应根据填料的物理力学性质、边坡高度、轨道和列车荷载及地基工程地质条件等确定,如表 1-4 所示。

路堤边坡形式和坡率 表 1-4

填 料 名 称	边坡高度(m)			边 坡 坡 率			边坡形式
	全部高度	上部高度	下部高度	全部坡率	上部坡率	下部坡率	
细粒土、易风化的软块石土	20	8	12	—	1 : 1.5	1 : 1.75	折线型
细粒土(细砂、粉砂除外)、漂石土、卵石土、碎石土、不易风化的软块石土	20	12	8	—	1 : 1.5	1 : 1.75	折线型
硬块石土	8	—	—	1 : 1.3	—	—	直线型
	20	—	—	1 : 1.5	—	—	直线型

- 注:1. 当有可靠资料和经验时,可不受本表限制。
2. I 级铁路的路堤边坡高度不宜大于 15m。
3. 填料为粉砂、细砂、膨胀土等时,其边坡形式和坡率应按《铁路特殊路基设计规范》的有关规定设计。

路堑边坡高度不宜超过 30m。土质路堑边坡形式及坡率应根据工程地质和水文地质条件、土的性质、边坡高度、防排水措施、施工方法,并结合自然稳定山坡和人工边坡的调查及力学分析综合确定。岩质路堑边坡形式及坡率应根据工程地质和水文地质条件、岩性、边坡高度、施工方法,并结合岩体结构、结构面产状、风化程度和地貌形态以及自然稳定边坡和人工边坡的调查等因素综合考虑确定。当土质或岩质路堑边坡高度小于 20m 时,可按照表 1-5 所列数值确定。

路堑边坡坡率 表 1-5

岩 土 类 别	岩 土 特 征	边 坡 坡 率
硬质岩	未风化、微风化	1 : 0.1~1 : 0.3
	弱风化、强风化	1 : 0.3~1 : 0.75
	全风化	1 : 0.75~1 : 1
软质岩	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
漂石土、块石土、卵石土、碎石土、圆砾土、角砾土	胶结和密实	1 : 0.5~1 : 1.25
	中密	1 : 1.25~1 : 1.5
黏土、粉质黏土、塑性指数大于 3 的粉土		1 : 1~1 : 1.5
中密以上的中砂、粗砂、砾砂		1 : 1.5~1 : 1.75

- 注:1. 细砂、粉砂、黄土、膨胀土等土质路堑边坡形式及坡率应按《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035)有关规定执行。
2. 膨胀岩等特殊岩质路堑边坡形式及坡率应按《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035)有关规定执行。
3. 有可靠的(试验)资料和经验时,可不受本表限制。