

路基工程风险 识别与防范

魏永幸 罗一农 左德元 著

*Luji Gongcheng
Fengxian Shibie
yu Fangfan*



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

路基工程风险 识别与防范

魏永幸 罗一农 左德元 著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书以铁路、公路路基工程为研究对象,应用风险管理、系统工程等理论对路基工程风险进行了较为系统和全面的分析、研究,内容涵盖路基工程及路基工程风险特点、路基工程风险识别与管理流程、路基工程风险识别方法,以及各类典型路基工程风险事件与风险因素的识别和风险防范对策。本书汇集了路基工程风险管理研究的最新成果,也是路基工程风险管理实践的一本参考工具书。

本书可供铁路、公路、机场、市政等工程设计、施工技术及管理人员使用,也可供高等学校、科研院所师生和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

路基工程风险识别与防范 / 魏永幸, 罗一农, 左德元著. -- 北京: 人民交通出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-114-11027-6

I. ①路… II. ①魏… ②罗… ③左… III. ①路基工程—风险管理 IV. ①U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 281279 号

复杂山区道路路基边坡工程技术系列丛书

书 名:路基工程风险识别与防范

著 作 者:魏永幸 罗一农 左德元

责任编辑:温鹏飞

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14

字 数:332 千

版 次:2014 年 1 月 第 1 版

印 次:2014 年 1 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11027-6

定 价:49.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序 一

路基工程,是铁路、公路工程的重要组成部分,与桥梁、隧道等共同构成铁路或公路的线下基础。路基工程,具有以下显著特征:由岩土材料构成;处于露天环境;是一种由人工在现场建造的工程构筑物。上述路基工程特征,确定了路基工程建设及运营中必然会受到各种潜在的不确定因素的影响,即存在路基工程风险。如何有效规避或降低路基工程风险,一直是工程建设中的技术难题之一,如何识别潜在的风险并加以管理,已成为铁路、公路路基工程规划、设计和施工中的一项重要工作。

中铁二院工程集团有限责任公司立项开展了“西南山区铁路路基工程风险识别与防治对策研究”,组织专家团队系统识别了西南山区常见路基工程风险事件及风险因素,并研究了防范路基工程风险的对策。该项研究,首次将工程风险管理理论应用于铁路、公路路基工程,结合路基工程特点,研究提出了路基工程风险的分类,路基工程风险识别的途径和方法,以及路基工程风险管理对策和预防工程风险的技术措施。

在上述研究成果的基础上,研究人员进一步总结、提炼,并撰写了《路基工程风险识别与防范》一书,十分难能可贵。该书内容涵盖路基工程及路基工程风险特点,路基工程风险识别与管理流程,路基工程风险识别方法,以及各类典型路基工程风险事件与风险因素的识别和风险防范对策,内容丰富,是路基工程风险管理研究的最新成果,也是路基工程风险管理实践的一本参考工具书。

我相信,《路基工程风险识别与防范》的出版,必将进一步推动我国铁路、公路路基工程风险管理的研究与实践工作,对进一步提高我国铁路、公路路基工程建设管理水平将发挥重要作用。

中铁二院工程集团有限责任公司总经理



2013年10月18日

序 二

土木建筑工程,往往投资大、周期长,且建设环境复杂、涉及利益群体多等,影响工程建设目标的不确定因素相对较多,在工程项目管理中应用风险管理理论对不确定因素引起的工程建设风险进行管理,正日益受到工程建设各方的关注和重视。

路基工程是铁路、公路等陆地交通土木建筑工程的重要组成部分。路基工程,属岩土工程范畴,相比较其他工程,由于岩土材料的复杂性,确定了路基工程设计以及施工中必然存在由于岩土材料的不确定性因素而带来的结果的不确定性,并可能导致工程问题的发生及造成损失,即出现工程风险事件。路基工程建造在露天环境,也决定了路基工程必然遭受风、雨、雪、地震等自然因素的影响。此外,路基工程由人工建造,受施工过程中的“柔性”因素影响,如何有效控制工程质量,也是工程建设项目管理不可忽视的问题。因此,在路基工程建设管理中开展风险管理,十分必要。

本书作者将工程风险管理理论应用于路基工程,从分析路基工程特点入手,分析了路基工程风险特点,总结了路基工程风险识别的途径和方法,系统识别了常见各类路基工程的风险事件和风险因素,提出了路基工程风险管理对策。

该书内容十分丰富,特别是对各类路基工程风险事件和风险因素进行了系统、全面的识别与分析,具有很强的针对性、实用性和理论性,对工程建设中开展铁路、公路路基工程风险的识别与管理具有重要指导意义。

中国工程院院士



2013年10月18日

前言

作为铁路、公路重要基础设施的路基工程,必须具有足够的承载能力和长期稳定性。工程实践中,由于路基工程建筑材料、建造环境、施工方法的特殊性和复杂性,实现并保持路基工程具有符合使用要求的性能,并不容易。笔者长期从事路基工程的设计、研究与技术管理工作,曾主持内昆铁路、遂渝铁路、粤赣高速公路、武广高速铁路等铁路、公路路基工程设计,对此有深刻的认识:影响路基工程性能的不确定因素多,工程建设中必须有效识别路基工程潜在的风险并采取有效防范措施;路基工程成败的关键,在于路基工程风险的有效识别与防范。

基于上述认识,为深入研究路基工程风险识别与防范技术,笔者申请并获得了企业科技发展计划项目“西南山区铁路路基工程风险识别与防治对策研究”,组织研究团队开展了有关研究工作。该项目研究成果于2012年通过了四川省科技厅组织的专家鉴定。通过本项目研究,对路基工程风险识别的途径和方法,常见各类路基工程风险事件和风险因素及其关系,如何有效防范路基工程风险等,有了系统、全面的认识。

为进一步推广研究成果以造福社会,笔者联合课题主研人员,以课题主要创新成果为基础,撰写了本书,其内容包括:路基工程特点、路基工程风险特点及风险分类、路基工程风险识别途径与识别方法、路基工程风险识别与管理的基本流程、常见路基工程风险事件与风险因素的识别以及防范对策等。

全书由魏永幸教授级高工、罗一农教授级高工和左德元教授合作撰写,由魏永幸教授级高工负责统稿。西南交通大学硕士研究生李晖、廖崧、谢涛、李燕庭、聂洪亮等参与了课题研究以及本书初稿的编写工作。中铁二院李楚根、周成、刘洋、庞应刚、刘厚强、丁兆峰、叶世斌、徐峻等参与了课题研究。课题研究中,中铁二院和西南交大十多位长期从事路基工程勘察、设计和教学、研究的专家参与了路基工程风险的识别与分析,提供了十分宝贵的专家咨询意见,这也是本书十分重要的基础资料之一。中铁二院副总工程师秦小林教授级高工对本书编撰工作给予了指导。中铁二院技术中心对本书的出版提供了支持。

该书能够顺利出版,得益于研究团队的共同努力,也与单位领导和同事的支持分不开。在此,谨向研究团队全体成员,向给予我们关心、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,但难免疏漏,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,敬请读者批评指正。

作者 魏永幸

2013年9月30日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程风险管理的发展历程	1
1.2 风险识别与分析技术在工程领域的应用	1
1.3 路基工程风险识别与管理的现状与发展趋势	3
1.4 路基工程风险识别与防范的技术途径	3
第 2 章 路基工程形式与路基工程风险特点	5
2.1 路基工程形式与特点	5
2.2 路基工程常见问题及风险	8
2.3 路基工程风险特点	10
第 3 章 路基工程风险识别与管理	13
3.1 路基工程风险识别	13
3.2 路基工程风险管理	14
3.3 路基工程风险识别与管理流程	15
第 4 章 路基工程风险识别常用方法	19
4.1 专家调查法	19
4.2 分解分析法	21
4.3 核对表法	22
4.4 头脑风暴法	23
4.5 故障树分析法	24
4.6 图解法	26
4.7 敏感性分析法	28
4.8 蒙特卡罗模拟技术分析法	28
4.9 影响图分析法	29
4.10 层次分析法	29
4.11 专家打分法	29
4.12 仿真分析法	30
4.13 模型试验法	31
第 5 章 填方路基风险识别与防范	32
5.1 高填方路基风险识别与防范	33
5.2 低填方路基风险识别与防范	39

5.3 陡坡路堤风险识别与防范·····	41
第6章 挖方路基风险识别与防范 ·····	46
6.1 全挖方地段路基风险识别与防范·····	46
6.2 半填半挖地段路基风险识别与防范·····	55
第7章 特殊土路基风险识别与防范 ·····	59
7.1 软土路基风险识别与防范·····	59
7.2 膨胀土地段路基风险识别与防范·····	77
7.3 冻土地区路基风险识别与防范·····	96
7.4 黄土地区路基风险识别与防范·····	104
第8章 路基支挡风险识别与防范 ·····	111
8.1 常见路基支挡工程形式·····	111
8.2 重力式挡土墙风险识别与防范·····	111
8.3 悬臂式和扶壁式挡土墙风险识别与防范·····	118
8.4 加筋土挡土墙风险识别与防范·····	126
8.5 桩板墙风险识别与防范·····	133
8.6 锚索桩风险识别与防范·····	139
8.7 锚杆挡土墙风险识别与防范·····	144
8.8 风险因素敏感性分析·····	150
第9章 滑坡与岩堆地段路基风险识别与防范 ·····	154
9.1 影响滑坡发生和发展的主要因素·····	155
9.2 滑坡地段路基风险及识别·····	157
9.3 滑坡地段路基风险防范措施·····	174
9.4 岩堆地段路基风险及识别·····	180
9.5 岩堆地段风险防范措施·····	185
第10章 斜坡异物侵入灾害风险识别与防范 ·····	189
10.1 斜坡异物侵入灾害风险识别与防范·····	189
10.2 斜坡异物侵入风险监测·····	201
课题研究成果 ·····	209
参考文献 ·····	210
后记 ·····	213

第 1 章

绪 论

1.1 工程风险管理的发展历程

风险(Risk)的概念最早出现在 19 世纪末的西方经济领域中,其基本含义是损失的不确定性。工程风险管理(Risk Management)是在经济学、结构系统可靠性原理、管理学、行为科学、运筹学、概率统计、计算机科学、系统论、控制论以及信息论等多种学科和现代工程技术的基础上,运用于现代建设工程项目的风险控制而形成的边缘性学科,是在风险识别的前提下开展的工程项目管理工作,其内容包括风险分析、风险评价、风险处置和风险监控。

随着社会的发展,风险管理在全世界得到了广泛的关注,并应用于各个领域,如工业^[1-5]、农业^[6-10]、建筑业^[11-16]与金融^[17-21]等。风险管理在核工业、环境工程^[22]、船舶与海洋工程^[23]、火灾防护工程^[38]、大坝工程^[24]与安全科学等多个工程行业相继得到重视,各个工程领域的相关研究和应用已逐渐成熟。具体到建设工程来说,由于建设工程项目本身的特点,如项目开发的一次性和独特性,使得工程项目风险管理逐渐成为风险理论研究与实际应用的一个重要分支。

1.2 风险识别与分析技术在工程领域的应用

对存在于建设工程中的风险因素(事件)进行判断、分类,并对风险特征和风险后果进行初步估计的过程称为风险识别或风险辨识。对识别出的风险进一步分析,辨识其不确定性并评价其影响程度的过程称为风险分析或风险评估。风险识别作为整个风险管理的基础工作,是进行风险评估前必不可少的工作。现代工程的复杂性、不确定性,以及逐渐成为工程分析方法主流的概率方法等给工程风险评估发展提供了良好的应用背景和发展前提。

1) 核工业风险识别分析^[25-26]

20 世纪 50 年代中期,研究者开始设想运用概率论方法分析核电厂的安全性,以便于从定量角度评估核电厂的安全性,找出核电厂设计、建造和运行中的薄弱环节,提出确保核电厂安全运行的改进建议。1979 年 3 月,美国三哩岛核电厂 2 号机组发生了严重事故,而事故的进展过程已在反应堆安全研究中有所预示。1975 年美国核管会完成了对其管辖的核电站的系统安全研究,发布了著名的 WASH-1400 报告,发展和建立了概率风险评价方法(Probability Risk Assessment),成为风险分析方法在核工业应用的里程碑事件。1986 年前苏联切尔诺贝利核电站的灾难性事故表明,在实际工程应用中进一步完善风险识别分析方法是十分必要的。

此后,针对不同的具体问题相继提出了许多风险识别分析方法,集成的风险识别分析方法逐渐进入实际应用的阶段。

2) 环境风险识别分析^[27-31]

环境风险识别分析主要考虑与重大工程项目联系在一起的突发性环境灾难事故,如爆炸、泄漏等,并以社会 and 环境影响(而不是技术系统本身)为识别重点。印度博帕尔市农药厂事故后,世界银行的环境科学部很快颁布了关于“控制影响厂外人员和环境的重大危害事故”的导则和指南(World Bank 1985)。此后,联合国环境规划署、欧盟、亚洲开发银行相继颁布文件,以法令的形式规定将重大危险源的风险识别分析固定下来,我国类似法规也于 20 世纪 90 年代初期发布。这些措施快速地推动了环境风险评估研究和应用的发展。

3) 船舶与海洋工程风险识别分析^[32-37]

20 世纪 70 年代后期,英国石油公司在海洋工程领域引入了风险分析方法。1981 年挪威石油管理部门颁布了海洋平台的安全评估规范,规范要求所有新的离岸设施在概念设计阶段必须进行定量风险评估(QRA),并于 1993 年再版该规范,使得其风险评估过程和方法更加规范。1992 年以后,英国所有的离岸油气装备的设计和现有离岸结构性能的再评估均引入了风险评估方法。1996 年在 Mars 张力腿平台的设计、建造和安装过程中成功地运用了风险评估和风险管理技术,通过分层模型和仿真技术进行了建造成本和进度的风险分析。相比之下,国内船舶及海洋工程领域的风险评估和风险决策的研究与应用也在快速发展中。

4) 火灾风险识别分析^[38-40]

20 世纪 80 年代开始,一些经济发达国家出现了许多超高、超大、设计新颖的建筑,这些建筑的防火设计用现行的设计规范无法解决,只能依靠基于性能的防火设计方法,由此揭开了火灾风险评估方法学研究的序幕。目前已有近十三个国家在这方面投入大量的经费,推动相关研究工作的进行。我国关于火灾风险评估学的研究相对一些发达国家起步较晚,但近几年相关的研究工作日益活跃起来。特别是国家重点基础研究发展计划“火灾动力学演化与防治基础(973 计划项目)”给予火灾风险评估研究很大的支持,确定了基于火灾动力学和小样本统计理论耦合的火灾风险评估方法研究方向。

5) 大坝风险识别分析^[41-46]

从 20 世纪 70 年代开始,几次严重的大坝失事促使许多国家加大了大坝安全研究的力度,1973 年美国土木工程师协会发表了一篇用风险分析方法对溢洪道设计进行重新评估的检查报告,由此拉开了大坝风险识别分析研究的序幕。1979 年美国发表的大坝安全联邦导则,更是掀起了关于大坝风险识别分析的热潮。国内关于水利工程防洪可靠性的研究是 20 世纪 80 年代才开始的,主要集中在水利随机模型、结构抗力随机模型等方面。20 世纪 90 年代后期,部分学者将模糊数学引入大坝风险识别分析研究,逐渐形成了大坝模糊风险识别分析的新研究方向。

6) 安全科学领域的风险识别分析^[47]

安全科学是研究人、机和环境之间的关系,以建立三者平衡共生为目的的科学。20 世纪 70 年代,对于安全问题的研究逐渐将其上升到学科的高度。传统经验型的研究方法已不能满足现代高风险的技术环境,风险识别分析在安全科学领域中的研究和应用逐渐发展起来。安

全科学领域的风险识别分析发展至今,已经从对单一设备、设施或危险源的风险评价发展到了系统安全评价。

1.3 路基工程风险识别与管理的现状与发展趋势

建国以来,随着铁路、公路、城市道路的大规模建设,我国在路基工程建设上取得了显著的成就。特别是对特殊地区,各种复杂地形、地质、气候条件下的路基以及特殊土路基,无论在科学研究、工程实践、测试技术上都有很大的发展和提高,积累了丰富的经验。在勘测手段上不断更新,如以钻孔配合地球物理勘探了解地层层序、地质构造、岩溶溶洞范围;用静力触探仪、十字板剪力仪、旁压仪查明软土地基地层结构、强度、承载力等。在设计方面,用电子计算机对路基稳定性进行验算、对支挡结构进行优化设计;采用加载预压、排水固结、复合地基、刚性支撑结构等加固软土地基;采用 L 形挡土墙、桩锚结构及加筋土等轻型结构作为支挡建筑;采用高分子聚合材料整治病害等。在施工方面,引进和研制了多种土石方挖、装、运机械;以核子密度仪快速控制填土压实质量;土石方调配也冲破了只满足移挖作填的思想束缚,而讲究填料质量,并采用运筹学理论进行规划等。

随着高速公路、高速铁路、重载铁路和大运量铁路的兴建,对路基工程的质量标准提出了新的要求。虽然过去 50 年来路基工程取得了很大的成绩,但为了适应质量标准的要求,对路基工程质量风险识别内容需更为广泛、细致与科学。在保证路基工程质量方面,目前还存在着一些必须重视、亟待解决的问题。其中一个重要的问题就是路基工程风险管理还不是很健全。随着路基质量问题逐渐被人们所认识和重视,风险管理也逐渐在学术界得以重视。

随着我国经济的快速增长,铁路、公路建设的高速发展对路基工程的安全提出了更高的要求。复杂的地质情况和成灾原因多样性使路基工程存在各种风险。经济的发展和繁荣,使得路基的安全与公共安全息息相关。因此,如何保证路基工程的安全,降低风险发生的概率或者避免风险的发生,减少风险所带来的损失,已成为路基工程技术人员的一项重要工作,这也是我们研究路基工程风险识别与管理的目的。

1.4 路基工程风险识别与防范的技术途径

开展路基工程风险识别,有利于提高各部门的风险管理意识和风险管理能力,并根据风险识别结果采取相应的风险回避、控制、转移、分散等应对措施,从而达到减少工程事故发生和节省投资的目的。随着投资主体多元化以及工程保险的逐步发展,相应要求明确工程建设过程中的风险状况,因此,及时开展路基工程风险识别的系统研究工作非常迫切。具体来说,路基工程建设过程中存在的风险与工程环境、自然条件、设计方案、材料选择、施工工艺等密切相关,应充分分析路基工程特点,分析、判断风险发生的可能性及其危害,并采取相应的防范措施。

路基工程风险识别与防范的技术途径:从分析可能发生的风险事件入手,针对路基工程结构与所处的环境,综合应用风险识别与评估方法,研究风险事件及风险因素,分析风险发生可能性及后果,并相应采取防止风险发生或减轻风险后果的风险防范对策与措施。总体技术途

径可以概括为:识别项目可能出现的风险事件→建立项目风险清单→提出防范风险的对策与措施。其中,风险识别是关键,风险识别的目的是建立项目风险清单,而风险识别的关键是识别并确定风险事件及风险因素,分析、估计风险发生的可能性及后果。风险识别的一般流程如图 1-1 所示。

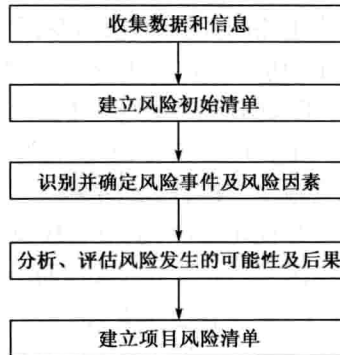


图 1-1 风险识别流程图

第2章

路基工程形式与路基工程风险特点

2.1 路基工程形式与特点

铁路与公路路基的类型很多,按自然、环境和岩土性质来分有:浸水路堤、海滨路堤、水库路堤、滑坡地段路基、崩塌及岩堆地段路基、岩溶与人工洞穴路基、软土和泥沼地区路基、膨胀土路基、盐渍土地区路基、黄土地区路基、风沙地区路基、多年冻土地区路基、雪害地区路基、地震地区路基等。从路基的断面形式来分有:深挖路基、高填路基、陡坡路基、高边坡路基等。针对路基的不同形式,对路基本体、地基、边坡等的支挡结构和加固防护措施更多,常用的支挡结构就有十多种。下面将简要介绍路基的基本形式及特点。

2.1.1 路基工程形式

通常根据铁路(或公路)路线设计确定的路基高程与天然地面高程是不同的,路基设计高程高于天然地面时,需进行填筑;路基设计高程低于天然地面时,需进行挖掘。通常把垂直线路中心线截取的截面称为路基横断面。路基横断面形式、构造尺寸、各部分组成和主要设备均可在路基横断面图上得到反映,路基横断面图是路基设计的主要对象之一。

1) 路基横断面基本形式

根据填挖情况不同,路基横断面基本形式可分为以下几种:

(1) 路堤

当铺设轨道或路面的路基面高程高于天然地面时,路基以填筑方式构成,这种路基称为路堤,如图 2-1a)所示。

(2) 路堑

当铺设轨道或路面的路基面高程低于天然地面时,路基以开挖方式构成,这种路基称为路堑,如图 2-1b)所示。

(3) 半路堤

当天然地面横向倾斜,路堤的路基面边线和天然地面相交时,路堤体在地面和路基面相交线以上部分无填筑工程量,这种路堤称为半路堤,如图 2-1c)所示。

(4) 半路堑

当天然地面横向倾斜,路堑路基面的一侧无开挖工作量时,这种路基称为半路堑,如图 2-1d)所示。

(5) 半路堤半路堑

当天然地面横向倾斜,路基一部分以填筑方式构成而另一部分以开挖方式构成时,这种路基称为半路堤半路堑,如图 2-1e)所示。

(6) 不填不挖路基

当路基的路基面和经过清理后的天然地基面平起,路基无填挖土方时,这种路基称为不填不挖路基,如图 2-1f)所示。

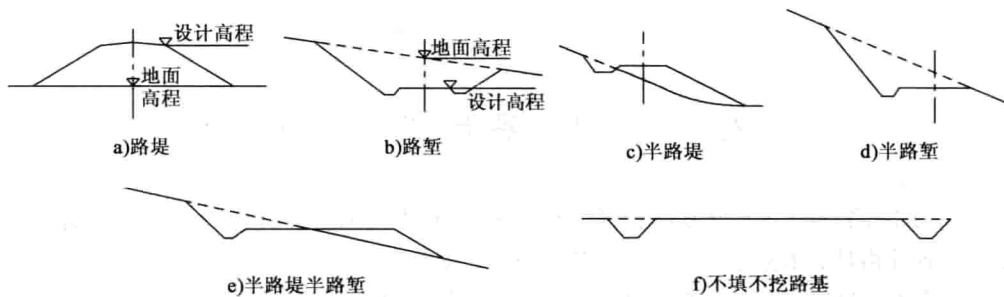


图 2-1 路基横断面形式

2)路基横断面功能构成

从使用功能上区分,路基由路基面、路肩、基床(路床)、基床下部、边坡、路基基底等几部分构成,如图 2-2 所示。

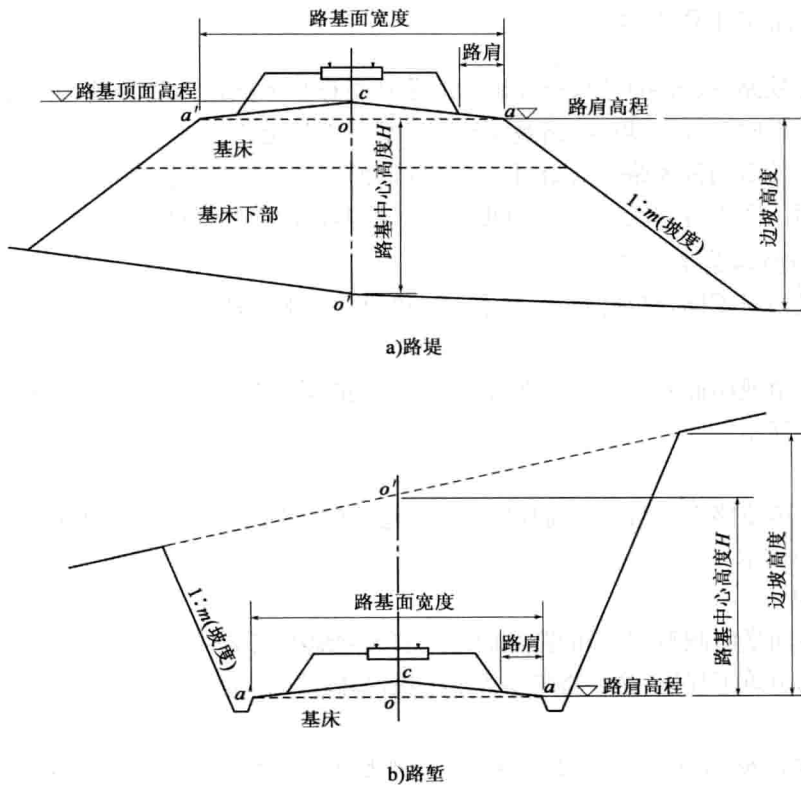


图 2-2 路基横断面功能构成

(1) 路基面

在路堤中路基顶面即为路堤堤身的顶面,也称路堤顶面;在路堑中,路基顶面即为开挖地面后形成的构造面。路基顶面是为确保线路正常运营而构筑的工作面,必须具有一定的宽度,如图 2-2 中 aa' 之间的直线距离称为路基面宽度。

(2) 路肩

铁路路基顶面两侧自道床坡脚至路基面边缘的部分称为路肩。其作用是:保护轨道以下的路基土体,防止其在列车动荷载作用下侧向挤动;防止道砟失落;防止路基面边缘部分的土体稍有塌落时,影响轨道道床的完整状态;保持路基路面的横向排水;在线路养护维修作业中,路肩是线路器材的存放处和辅助工作面。此外,铁路线路的标志、信号设备以及通信、电力及给水设施也都设置在路肩上或埋置在路肩下。

公路路肩指的是位于车行道外边缘至路基边缘,具有一定宽度的带状部分(包括硬路肩与土路肩),为保持车行道的功能和临时停车使用,也作为路面的横向支承。其主要作用有:保护行车道等主要结构的稳定;为发生机械故障或遇到紧急情况下的车辆需要临时停车提供位置;提供侧向余宽,有利于安全,增加舒适感;可供人、自行车通行;为设置路上设施提供位置;作为养护操作的工作场地;在不损害公路构造的前提下,也可作为埋设地下设施的位置;改善挖方路段的弯道视距,提高交通安全;使雨水能够在远离行车道的位置排放,减少行车车道雨水渗透,减少路面损坏。

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。在线路设计中,铁路路基设计高程以路肩边缘的高程表示;公路路基设计高程按公路级别、新建或改建有不同规定。

(3) 基床(路床)及基床下部

路基面以下受列车(或汽车)动荷载作用和水文、气候四季变化影响到的范围称为基床(公路称为路床)。其状态直接影响到车辆运行的平稳和速度的提高,设计时应严格执行现行《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)或《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)对基床(路床)厚度、填料及其压实标准、排水等的规定。基床分为基床表层和基床底层。路堤基床以下的部分称为基床下部或堤心。

(4) 边坡

在路堤的路肩边缘以下和在路堑路基面两侧的侧沟外,因填挖而形成的斜坡面,称为路基边坡。在路堤中,边坡与路肩的交点称为路肩顶肩或路肩边缘点,边坡与地面的交点称为坡脚,路肩高程与坡脚高程之差称为路堤的边坡高度;在路堑中,边坡与原地面的交点称为路堑顶边缘,其高程与路肩高程点差为路堑边坡高度。边坡的坡形在路基中常修筑成单坡形、折线形或阶梯形,每一坡段坡面的斜率以边坡断面图上下两点间的高差与水平距离之比表示,如当高差为 1 单位长,水平距离经折算为 m 单位长时,则斜率为 $1:m$ 。在路基工程中,以 $1:m$ 方式表示的斜率称为坡度, m 称为坡率。在路基本体构造中,边坡的形状和坡度的缓陡对路基本体的稳定和工程费用有重要影响。

(5) 路基基底

路堤填土天然地面以下受填土自重及轨道(或路面)、列车(或汽车)荷载作用的部分称为路堤基底。基底部分土体的稳固性,对整个路堤本体以至轨道(或路面)的稳定性都是极为关

键的,特别是在软弱土的基底上修建路堤,必须对基底做妥善处理,以免危及行车安全与正常运营。

2.1.2 路基工程特点

路基工程建造于岩土之上、大自然之中,从我国几十年的铁路、公路建设和运营经验来看,路基工程发生各类风险的概率相对桥隧工程更大,这是由路基工程特性决定的。相比其他工程,路基工程具有以下显著特点:

1) 路基建筑在岩土地基上,并以岩土为建筑材料

岩和土都是不连续的介质,具有破碎性、孔隙性和多相性,其性质复杂多变,不仅由于线路通过的地形、地质条件不同而具有完全不同的性质,即使同一种岩土,由于气候四季循环、水位涨落、受力状况的变异等都将对其工程性质产生较大影响。过去的研究中大多都将土石视为弹性体,假设其应力—应变关系是线性的,在许多计算中采用材料力学和弹性力学的既有公式,或将土石视为刚塑性体。这些假设都与土石受力后的性状不完全相符。

2) 路基完全暴露在大自然中

铁路、公路路基常遇见各种复杂的地形、地质、气候、水文等环境以及受暴雨、地震等自然灾害的影响,常引发路基各种病害,如边坡被水流冲蚀,膨胀土路基干缩湿胀引起路基边坡坍落,路基冻害,雨季发生大滑坡以及地震时砂土液化引起路基下沉、滑移等路基病害,均与路基所处的自然环境有密切关系。路基的设计、施工和养护应针对具体的自然、环境条件,充分调查研究、认识并采取积极的措施克服自然、环境带来的工程风险。

3) 路基同时受静荷载和动荷载的作用

路基上的轨道或路面结构和附属建筑物产生静荷载效应,列车或汽车运行产生动荷载效应。动荷载是造成路床或基床病害的主要原因之一。研究土体在动力作用下的变形、稳定问题,必须了解土的动力特性,包括土的动强度和液化、动孔隙水压力增长及消散模式、土的震陷等。一些新的测试手段和计算模式的出现,为进一步研究基(路)床土动力响应,为我国重载高速铁路和高速公路的发展提供了更完善的条件。

2.2 路基工程常见问题及风险

路基裸露在自然界中,整个路基经常受到自重、列车荷载和各种自然因素的作用。由于水、温度和各种荷载的作用,路基的各部分将产生可恢复的变形和不能恢复的变形,那些不能恢复的变形,将引起路基高程和边坡坡度、形状的改变,甚至造成土体位移和路基横断面几何形状的改变,危及路基及其各组成部分的完整和稳定,形成路基的病害。铁路路基常见病害有基床翻浆冒泥、路基下沉等9种:

1) 基床翻浆冒泥

基床翻浆冒泥是指含黏粒、粉粒的基床表层土,在水和列车轮对反复加载与卸载的作用下,发生软化或触变、液化,形成泥浆,列车通过时轨枕上下起伏使泥浆受挤压抽吸而通过道床孔隙向上翻冒,造成道砟脏污、板结,丧失弹性。