

公路高边坡地质 安全与减灾

陈洪凯 唐红梅 崔志波 何晓英 著
陈远川 叶四桥 林孝松 王林峰



科学出版社
www.sciencep.com

公路高边坡地质安全与减灾

陈洪凯 唐红梅 崔志波 何晓英
陈远川 叶四桥 林孝松 王林峰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书立足地质环境脆弱区的公路建设及养护需求,从公路高边坡分类、破坏机制、地质安全评价和减灾措施等方面构建了公路高边坡地质安全减灾理论与技术体系。通过室内模型试验揭示了公路高边坡的变形过程,采用损伤力学、断裂力学、岩体力学等科学理论,分析了公路高边坡破坏力学机制,采用非线性方法建立了公路高边坡地质安全评价理论,采用应力监测方法提出了高边坡局部地质安全隐患区精细识别方法,基于极限平衡理论建立了高边坡整体稳定性及局部稳定性分析方法,研发构建了公路高边坡整体减灾技术、局部减灾技术和重灾区的安全警报技术。

本书重视科学理论与工程实践的有机融合,对于从事道路工程、岩土工程、地质工程、水利水电工程研究、勘察、设计的科技人员具有重要参考价值。本书可作为从事道路工程、岩土工程、地质工程、公路及铁路工程、水利水电工程、城市建设等方向教学、科研及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路高边坡地质安全与减灾/陈洪凯等著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-027774-9

I. 公… II. 陈… III. 公路路基—边坡—地质灾害—防治
IV. U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 097065 号

责任编辑:张 静 于宏丽/责任校对:朱光光

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 5 月第一次印刷 印张: 15 3/4

印数: 1—2 000 字数: 305 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

我国三分之二以上的国土面积属于山地丘陵,近十年来快速发展的高等级公路建设已产生大量的高边坡,并且随着生产建设的发展公路高边坡还有加速增多之势。公路高边坡地质安全与减灾是公路建设及养护的重要环节。高边坡长期与短期地质安全、整体与局部地质安全及其防灾减灾已成为我国公路建设及养护中亟待解决的重大关键技术问题,公路高边坡的类型识别、破坏机制、整体稳定性分析、局部稳定性分析、地质安全评价及工程减灾措施则是公路高边坡地质安全隐患防灾减灾的核心科学研究内容。该书作者陈洪凯教授及其领衔的重庆交通大学“西部交通地质安全与岩土减灾创新团队”,立足西部地区的公路建设和养护,率先提出了公路高边坡地质安全理念,并在国内系统地开展了公路高边坡地质安全理论和减灾技术研究,通过室内模型试验揭示了公路高边坡的变形过程,采用损伤力学、断裂力学、岩体力学等理论分析了公路高边坡破坏力学机制,采用科学的分析方法建立了公路高边坡地质安全评价理论,采用应力监测方法提出了高边坡局部地质安全隐患区精细识别方法,基于极限平衡理论建立了高边坡整体稳定性及局部稳定性分析方法,研发了公路高边坡整体减灾技术、局部减灾技术和重灾点的安全警报技术。其研究成果形成了公路高边坡的地质安全理论与减灾技术体系,反映了该领域科技研究的最新前沿成果,是一部具有开拓性的著作,可为公路高边坡的勘察、设计、施工、监测及养护管理提供理论依据和技术支撑。

该书出版时值我国西部大开发、汶川大地震灾后重建,以及重庆市统筹城乡建设大发展之机,对于加快西部山区公路建设、提升公路养护水平有积极推动作用,对我国深入开展岩土工程减灾研究也有借鉴和参考价值。

该书是作者多年科研工作的结晶,其所取得的成就可庆可贺,特此为序。

中国工程院院士

鲜学福

2010年3月16日

前 言

近 10 年来,我国高等级公路里程日益增多,截至 2008 年底我国高速公路通车里程 6.03 万公里、等级公路近 100 万公里,计划到 2020 年高速公路通车里程达 10 万公里、等级公路超过 200 万公里,基本建成以高速公路为骨架的国家干线公路网。众所周知,我国国土总面积三分之二以上为山地丘陵,高等级公路建设将产生越来越多的高边坡。据初步统计,近年来我国公路高边坡以每年 2000~5000 公里的速度递增,仅重庆市近 10 年来公路沿线形成的高边坡累计长度便达 500 公里。

公路高边坡地质安全与减灾是公路养护的重要环节,高边坡长期与短期、整体与局部地质安全已成为我国公路建设及养护中亟待解决的重大关键技术问题。但是迄今为止,我国公路管理部门仍然未将公路高边坡的安全问题纳入日常养护范畴,未体现未雨绸缪的地质安全观,只在当公路边坡失稳成灾后才组织实施灾害处治。随着我国社会经济的高速发展,构建和谐社会,全面推进统筹城乡建设迫切需求,确保公路交通的安全、畅通、有序,革新公路养护机制,拓展公路养护科学内涵,是国家的迫切需求。本书针对公路高边坡,围绕高边坡的地质安全与减灾措施,遵循发现问题、认识问题、分析问题和解决问题的科学思路,从公路高边坡类型判识、破坏机制、稳定性分析、减灾技术和重灾点安全警报等方面系统构建公路高边坡地质安全与减灾原理,是公路工程结构地质安全减灾理论体系的重要组成部分,是对我国公路养护理论的科学补充,并为公路设计、施工、养护等相关技术规范和标准的修编提供科学依据。

在重庆交通大学“西部交通地质安全与岩土减灾创新团队”中,参与公路高边坡地质安全研究与工程实践的成员先后 30 余人,大家以“严谨的治学作风,求实的科学态度,勇攀科学高峰”的团队精神为指导,同心协力、兢兢业业,涌现出了一批立志公路高边坡地质安全与减灾研

究及防治的有为专家和青年学者。为此，作者深深感谢团队成员对公路高边坡地质安全与减灾研究及实践所作出的一切贡献！

在从事公路高边坡地质安全与减灾研究及工程实践中，作者长期得到兰州大学李吉均院士，重庆大学鲜学福院士，解放军后勤工程学院郑颖人院士，中国人民解放军总参谋部周丰峻院士，中国科学院力学研究所李家春院士，中国科学院山地研究所崔鹏教授和王全才教授，交通部科学研究院王先进教授，中国地质环境监测总院刘传正教授，重庆大学尹光志教授、许江教授、张永兴教授，解放军后勤工程学院陈正汉教授、陆新教授、刘元雪教授，重庆市地勘局刘东升教授、刘光华教授，西南大学王建力教授、谢世友教授、况明生教授，西南交通大学何川教授、胡卸文教授，重庆交通大学唐伯明教授、王昌贤教授、梁乃兴教授、易志坚教授、周华君教授、王多垠教授等的大力支持和鼓励，在此一并致以诚挚的谢意！

本书共分7章，第1章由陈洪凯和崔志波撰写，第2章由唐红梅和曹卫文撰写，第3章由唐红梅、何晓英和易丽云撰写，第4章由林孝松撰写，第5章由陈远川和崔志波撰写，第6章由陈洪凯、何晓英和王林峰撰写，第7章由陈洪凯、崔志波和叶四桥撰写。全书由陈洪凯教授和唐红梅教授负责统校，王林峰博士和何晓英硕士负责图件清绘。

由于时间仓促，虽然尽心竭力，但书中难免疏漏，敬请读者批评指正（陈洪凯教授电子邮箱 chen.h.k@163.com）。

陈洪凯

2010年2月22日

目 录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 国内外研究现状	1
1.2 公路高边坡开挖施工工艺	4
1.3 公路高边坡类型	10
1.4 公路高边坡地质安全与减灾原理学术框架	14
第 2 章 公路高边坡开挖过程模型试验	18
2.1 模型试验设计	18
2.2 试验方法与过程	18
2.3 公路高边坡开挖过程位移及应力变化规律	29
第 3 章 公路高边坡破坏机制	38
3.1 高边坡岩体损伤与断裂机制	38
3.2 高边坡形成过程结构面蠕变损伤机制	43
3.3 均质岩土高边坡破坏机制	49
3.4 顺层岩质高边坡破坏机制	53
3.5 反倾岩质高边坡破坏机制	59
3.6 混合岩土高边坡破坏机制	63
3.7 高边坡卸荷带宽度计算方法	67
第 4 章 公路高边坡地质安全评价理论	73
4.1 公路高边坡安全评价指标体系	73
4.2 物元可拓分析方法	82
4.3 模糊层次分析法	99
4.4 集对分析评价法	105
4.5 高边坡安全评价方法对比分析	111
4.6 公路高边坡地质安全分区	112
第 5 章 高边坡整体稳定性分析	124
5.1 高边坡稳定性评价标准	124
5.2 计算荷载与岩土力学参数	129
5.3 极限平衡分析法	135
5.4 有限元强度折减法	144
第 6 章 高边坡局部稳定性分析	152

6.1 强变形区域精细识别·····	152
6.2 嵌入型危石稳定性分析·····	154
6.3 凸出型危岩稳定性分析·····	158
6.4 楔形体稳定性分析·····	164
6.5 局部滑动块体稳定性分析·····	167
第7章 公路高边坡地质安全减灾技术·····	169
7.1 概述·····	169
7.2 公路高边坡整体减灾技术·····	170
7.3 公路高边坡局部减灾技术·····	194
7.4 公路高边坡地质安全隐患重灾点安全警报·····	210
参考文献·····	231

第1章 概述

1.1 国内外研究现状

20 世纪 80 年代以前,国内外众多的岩土及地质工作者致力于边坡研究,取得了丰硕的研究成果。例如,极限平衡理论、边坡整体稳定分析法、条分法、基于边坡变形曲线的滑坡预测方法等;运用岩石力学基本原理初步建立了斜坡及边坡演化的力学机制;建立了边坡的灰色预报模型、黄金分割预报法、正交多项式最佳逼近法等。

20 世纪 80 年代,随着数理计算方法尤其是现代计算机技术的快速发展,边坡滑坡研究进入一个崭新的高速发展阶段,涌现出有限元法、离散元法、边界元法等数值模拟方法,显著推动了边坡演化过程研究;将数值模拟方法和传统的极限平衡分析法、Sarma 法、条分法等结合,推动了解析方法的发展。

20 世纪 90 年代,分形理论、突变理论、耗散结构、混沌理论、神经网络、流形元等非线性方法大量引入边坡研究,使边坡研究进入智能化时代。

进入 21 世纪以来,边坡研究进入多学科耦合研究与智能预测、安全警报并重的综合研究阶段,注重成果的实用性、时效性,研究成果体现在边坡变形破坏机制与稳定性分析、边坡安全评价、边坡监测预警、边坡防治技术等 4 个方面。

1.1.1 边坡变形破坏机制与稳定性分析

边坡变形破坏机制与稳定性分析是岩土力学及工程地质学的一个经典研究方向,也是国民经济建设中经常涉及的环境岩土工程问题。Richard 等^[1]认为河流下切、斜坡演化后退、地表夷平是 Davis 和 King 两种地貌演化理论的总体思路,均具有连续性和渐变性,二者的本质差异为斜坡演化后退机理,前者借鉴达尔文生物进化论思路,强调一个地区地貌演化的宏观过程,King 理论主要针对干旱、半干旱地区斜坡在风蚀及热力作用下的均匀后退;Tommasi 等^[2]通过地质调查并采用 GPR 方法分析了缓倾角侏罗纪薄层灰岩的屈曲现象,并通过数值模拟探讨了屈曲的形成机制,认为地下水压力是边坡产生屈曲变形的主要原因;Braathen 等^[3]认为北欧挪威境内岩石边坡破坏与软质泥岩密切相关,提出了边坡破坏的地质力学模型;陈祖煜等^[4]运用岩土力学和工程地质方法系统建立了岩质边坡稳定性分析的理论体系;谷栓成等^[5]和张慧梅^[6]采用压杆原理建立了反倾向岩质边坡屈曲破坏的力学机制;薛守义等^[7]利用块体力学方法推导出层状和块状岩体边坡地震滑动位移微分方程式;孙国富等^[8]分析了陡倾角外倾层状岩体边坡的破坏机制;Broadbent 等^[9]对岩石边坡破坏的流变

特性进行了分析,提出了边坡流变模型;刘宪权等^[10]分析了岩体边坡的渐进性破坏过程;王家臣等^[11]建立了边坡渐进性破坏过程的三维随机分析模型;张嘎等^[12]通过离心模型试验、陈亚军等^[13]应用底摩擦仪较系统地揭示了均质土坡的变形及破坏过程;针对安徽芜湖-铜陵高速公路高边坡,金培杰等^[14]分析了层状碎裂结构岩体、顺层层状结构和块状岩体结构的破坏模式,探讨了破碎结构岩体边坡的变形模式;肖克强等^[15]发现地震荷载下顺层岩体边坡的位移并不随坡高增加而单调增大,在坡高约 100m 时位移达到最大值,坡高超过 100m 位移反而有所降低;黄润秋^[16]提出了滑移-拉裂-剪断三段式机制、挡墙溃屈机制、倾倒变形机制、压缩-倾倒变形机制、阶梯状蠕滑-拉裂机制等 5 种高边坡破坏机制。

郑颖人等^[17]详细解析了有限元强度折减法,系统分析了该方法在公路高边坡预应力锚索框架优化设计中的应用方法;Al-Homoud 等^[18]采用修正 Bishop 法和修正 Janbu 法分析了约旦 Irbid-Amman 高速公路填土路基边坡的深部滑坡破坏问题;针对人工边坡,Rupke 等^[19]认为应基于边坡自然特性、水力及岩土力学条件综合评价进行工程设计,强调对边坡岩土体物理力学特性劣化机制的分析;Cheng 等^[20]建议将极限平衡理论和有限元强度折减法相结合,用于边坡稳定性分析,搜索边坡可能出现的破坏面位置;运用有限差分法获取边坡的应力场,并定义边坡内任一点的稳定系数,Singh 等^[21]分析了边坡上不同部位的稳定系数随坡高的变化特性;巨能攀等^[22]将变形理论与强度理论相结合,提出了基于地质过程的高边坡稳定性评价和灾害控制方法,强调勘察、设计、施工一体化;赵仕礼^[23]分析了浙江乐清老区连线公路 61m 高边坡的群滑现象,强调高边坡施工期间监控量测和信息化管理的重要性;Jiang 和 Yamagami^[24]认为土体的有效黏结力和有效内摩擦角之间存在理论关系,并据此提出了一种针对均质岩土边坡强度参数反分析方法;陈洪凯等^[25]系统分析了三峡库区公路高边坡链式崩塌演化机理;《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)^[26]将高度超过 15m 的岩石边坡和高度超过 12m 的土质边坡定义为高边坡,将传递系数法作为边坡稳定性分析推荐方法。

1.1.2 边坡安全评价

近年来,公路边坡的地质安全问题逐渐得到交通管理部门及学术界的高度重视,如针对公路沿线存在的崩塌灾害,Guzzetti 等^[27]提出了基于落石历史事件调查和落石数值模拟相结合的落石灾害风险评估方法;Oztekin 等^[28]采用 GIS 方法分析开挖公路边坡的崩落层、点荷载强度、风化层厚度、块体尺寸大小、采光层和剪切区域等要素的分布情况,据此进行边坡易损部位敏感性分区;胡存亮^[29]应用黄金分割法建立公路崩塌地质灾害发生的评判模型;Hwang 等^[30]提出了识别工程边坡破坏形式的决策树方法。

1.1.3 边坡监测预警

变形监测一直是边坡防治的重要内容,所获取的变形曲线是进行边坡地质灾害预警的重要依据。以河龙高速公路为例,刘峰^[31]总结了公路高边坡施工变形监测的基本思路;李卫民等^[32]采用固定式测斜仪、钢弦式传感器和数据存储控制仪构建公路高边坡自动化监测系统;王劲松等^[33]建立了基于GPS一机多天线思路的公路高边坡监测系统。但是在地质灾害预警方面,尚停留在区域性工作方面,如张桂荣等^[34]基于WebGIS技术开发了浙江省的地质灾害预警预报系统,杨佳等^[35]编制了湖北省地质灾害预警预报矢量图;薛根元等^[36]在分析浙江省地质灾害发生规律的基础上,提出了地质灾害气象等级预报(预警)模型,并用该模型预报了0414号台风“云娜”和0418号台风“艾利”影响期间浙江省地质灾害;王礼尧等^[37]建立了湖南省区域性地质灾害预报预警模型;文斌等^[38]以北京市突发性地质灾害预警预报信息系统为研究对象,将突发性地质灾害预警预报模型与GIS系统集成构建了区域地质灾害预警预报系统,该系统包含数据管理模块、查询统计分析功能模块、成果输出功能模块、地图操作功能模块、地质灾害预警预报分析模块、预灾方案分析模块、系统管理模块、预留功能模块等8个模块。

1.1.4 边坡防治技术

防治技术是边坡工程的重要内容,在山区城镇、道路交通、矿山、水利水电等基础设施建设中均受到高度重视,目前已经较系统地构建了边坡防治技术体系。《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)^[26]提出了锚杆、锚索、锚板、锚钉、坡率法等边坡防治技术,提出了动态设计、信息法施工的边坡防治原则;梁志标等^[39]介绍了京珠高速公路高边坡锚索加固方法的应用实例,分析了跟管钻进、劈裂注浆、花管防护、临时张拉等施工工艺;王良等^[40]详细介绍了预应力锚索在青海平安—阿岱高速公路高边坡整治中的施工方法,谭军^[41]分析了预应力锚索框架在高速公路高边坡分级防护中的应用方法,建议在锚索张拉施工中采用应力控制、用伸长值进行校核;胡华敏等^[42]分析了桩锚支挡体系在公路边坡防护实践中的应用方法;张健等^[43]提出了公路高边坡整体大爆破削平处理方法;李诚明^[44]系统介绍了压力分散型复合单元锚索在破碎公路岩体边坡分级锚固治理中的应用方法;骆凤涛等^[45]系统总结了锚索框架在高速公路高边坡加固中的应用步骤;顾丽亚^[46]认为公路高边坡从调查、勘探、设计到施工是一个环环相扣的系统工程;Lee等^[47]认为边坡坡角和坡长增大后易于诱发边坡表面侵蚀和浅层滑塌,提出采用放缓坡角、植草、设置台阶、格构和排水等方法实施软质泥岩边坡的整体防护;Turanboy等^[48]提出了基于开挖边坡不连续面现场量测结果进行边坡设计的新方法;朱明等^[49]以西攀高速公路高边坡为例,结合监测数据分析了土钉支护技术在公路高边坡防护中的实用性;刘光东^[50]总结提出了高速公路高边坡预应力锚索长期维护的基

本思路和技术流程;基于变形破坏机制,武玉明^[51]将山区高等级公路边坡分为坍塌、崩塌、滑坡、倾倒、错落等类型,提出了挡土墙、抗滑桩、锚杆挂网喷锚、预应力锚索等施工方法,归纳了桩-锚组合、锚-锚组合、桩-桩组合等高边坡加固工程结构形式。

1.1.5 公路高边坡安全问题

近10年来,我国高等级公路里程日益增多,截至2008年底我国高速公路通车里程 $6.03 \times 10^4 \text{ km}$ 、等级公路近 $1 \times 10^6 \text{ km}$,计划到2020年高速公路通车里程达到 $1 \times 10^5 \text{ km}$ 、等级公路逾 $2 \times 10^6 \text{ km}$,基本建成以高速公路为骨架的国家干线公路网。众所周知,我国2/3以上的国土面积为山地丘陵,高等级公路建设将产生越来越多的高边坡,初步统计发现,近年来我国公路高边坡以每年2000~5000km的速度递增,仅重庆市近10年来公路沿线形成的高边坡累计长度便达500km左右。

高边坡长期与短期、整体与局部地质安全已经是我国公路建设及养护中亟待解决的重大关键技术问题。如2007年11月20日,湖北省巴东县高阳寨的国道318线K1405边坡发生巨型崩塌灾害,一辆车牌号为鄂Q20684的客车被崩塌体掩埋,车内31人全部遇难,该崩塌灾害源位于路面以上34m处,崩塌体沿陡崖走向的长度约35m,高约24m,厚约5m,总体积 4512 m^3 ,坠落在路面的残余块体体积约 500 m^3 ,危岩体由灰岩组成;2007年11月25日早晨6:00,重庆至涪陵高速公路K42+400发生特大型岩崩,体积近 4000 m^3 ,中断交通7小时;2005年11月在重庆至涪陵高速公路K58处发生崩塌灾害,崩塌体积约 600 m^3 ,砸坏一辆装载冰箱的运输车,公路断道约30小时;2003年10月12日,在甘肃红古区民门公路体积约 45000 m^3 的危岩体从山峰顶端崩裂滑落,掩埋数十车辆;2003年5月11日凌晨1:55,贵州省三穗县台烈镇宏头村三穗至凯里高速公路正在施工的平溪特大桥3号墩附近发生山体崩塌,总方量约 200000 m^3 ,被掩埋的35人无一人生还;2001年5月1日发生在重庆市武隆县城北公路高切坡垮塌(高切坡垂直高度46.8m,前缘宽55.2m,后缘宽度25~30m,体积约 16000 m^3)事件,使一幢9层居民楼房瞬间被摧毁掩埋,造成79人死亡、4人受伤,震惊中外。

显然,在高边坡岩土及地质工程研究比较深入、系统、全面的科学背景下,系统实施公路高边坡地质安全研究,合理评价公路高边坡整体及局部地质安全状态,实时监控公路高边坡地质安全隐患,实施重灾点安全警报,有效治理公路高边坡地质安全危险区,确保我国山区公路交通安全有序,属于国家层面的重大需求。

1.2 公路高边坡开挖建设工艺

公路高边坡主要属于人工切坡,无论是土质路堑地段还是岩石地段的边坡稳定性均极为重要,如采用不加控制的爆破施工方法,易造成边坡失稳,形成边坡

坍塌^[52]。显然，公路高边坡开挖施工工艺是边坡稳定性控制的重要环节。《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—1995)将公路边坡分为土方路堑边坡和石方路堑边坡两类，本节简述每类边坡的开挖施工工艺。

1.2.1 公路高边坡开挖模式

目前，公路高边坡的开挖均采用逆做法，以尽可能减少边坡岩土体的施工损伤。开挖台阶高度根据边坡岩土体的软硬程度变化在 5~10m 之间。当边坡所处部位的地形坡度较大，且地表无重要居民、线路、水利等基础设施时，通常按坡率法进行边坡台阶设计，遵循 1→2→3→4→…的施工步骤进行开挖（图 1.1），每级台阶的边坡坡角均不大于边坡岩土体破裂角。当边坡放坡受到一定限制，边坡坡角与边坡岩土体破裂角相近时，需在边坡表层设置锚钉（图 1.2），增强边坡的安全储备。当边坡放坡受到明显限制，边坡台阶高度较大、坡角显著超过岩土体破裂角时，需采用锚索格构予以加固（图 1.3），确保边坡的安全性。综合以上 3 种情况，提出公路高边坡逆做法建设综合模式（图 1.4）。

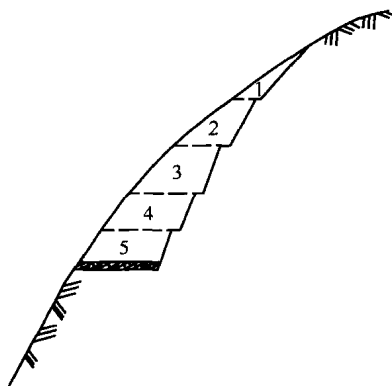


图 1.1 公路高边坡坡率型逆做法

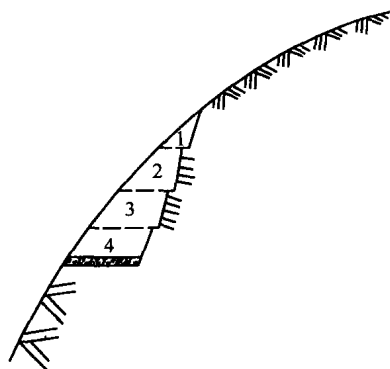


图 1.2 公路高边坡锚钉型逆做法

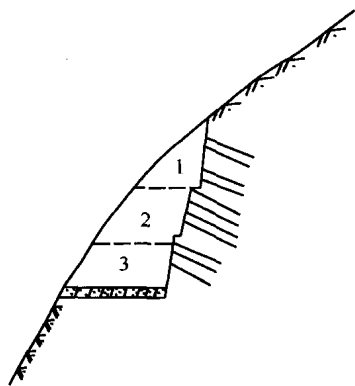


图 1.3 公路高边坡锚索型逆做法

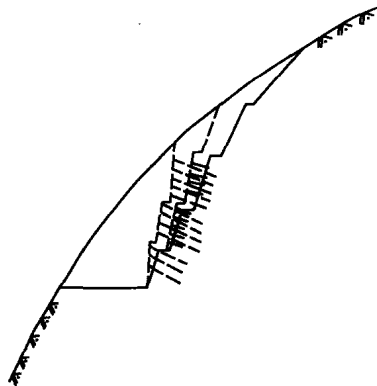


图 1.4 公路高边坡逆做法建设综合模型

1.2.2 土质边坡开挖施工工艺^[52]

根据路堑深度和纵向长度,土质边坡开挖方法包括横挖法、纵挖法和混合法3种。

1. 横挖法

针对路堑整个横断面的宽度和深度,从一端或两端逐渐向前开挖的方式称为横挖法,包括一层横向全宽挖掘法(图1.5)和多层横向全宽挖掘法(图1.6)。

用人力按横挖法挖掘路堑时,可在不同高度分几个台阶开挖,其深度一般宜为1.5~2.0m。无论是自两端一次横挖到路堑标高还是分台阶横挖,均应设单独的运土通道及临时排水沟;用机械按横挖法挖路堑且弃土运距较远时,宜采用挖掘机配合自卸汽车进行,每层台阶高度可增加到3~4m。

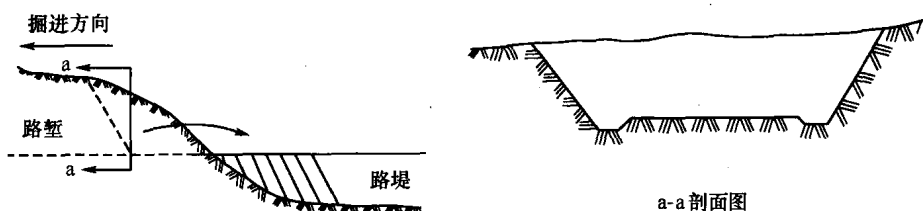


图1.5 一层横向全宽挖掘法

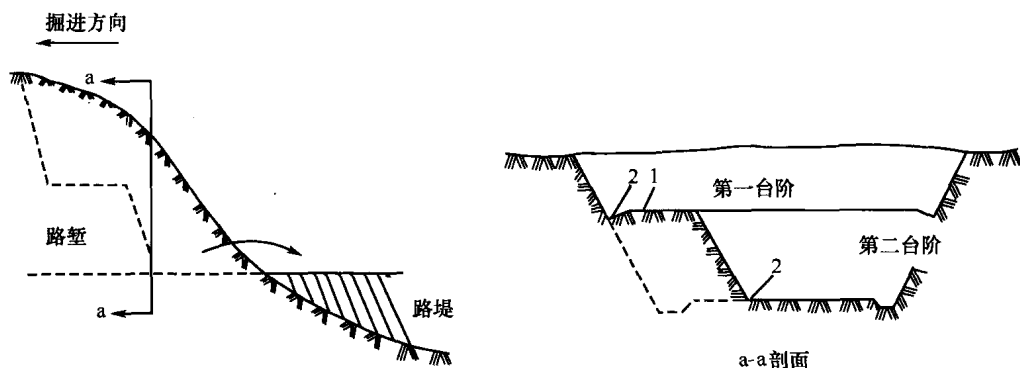


图1.6 多层横向全宽挖掘法

2. 纵挖法

沿路堑延伸方向进行开挖的方法称为边坡纵挖法,分为分层纵挖法(图1.7)、通道纵挖法(图1.8)和分段纵挖法(图1.9)3类。

当采用分层纵挖法挖掘的路堑长度较短(不超过100m),开挖深度不大于3m,地面坡度较陡时,宜采用推土机作业。推土机作业时每一铲挖地段的长度能满足一次铲切达到满载的要求,一般为5~10m,铲挖宜在下坡时进行;对于松土下

坡坡度介于 10%~15% 范围；傍山卸土的运行道应设有向内稍低的横坡，但应同时留有向外排水的通道。

当采用分层纵挖法挖掘的路堑长度较长（超过 100m）时，宜采用铲运机作业。铲运机在路基上的作业距离不宜小于 100m。铲运机运土道，单道宽度不应小于 4m，双道宽度不应小于 8m，重载上坡纵坡不宜大于 8%。铲运机卸土场的大小应满足分层铺卸的要求。

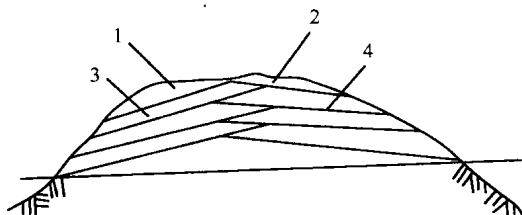


图 1.7 分层纵挖法

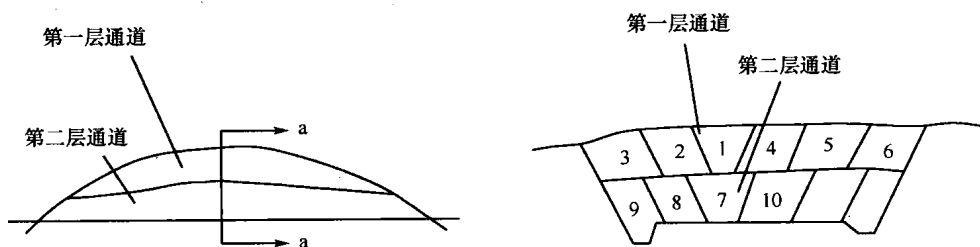


图 1.8 通道纵挖法

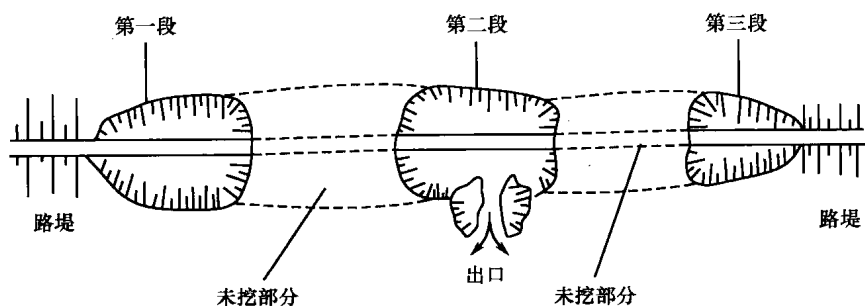


图 1.9 分段纵挖法

3. 混合法

当路线纵向长度和挖深都很大时，宜采用横挖法和通道纵挖法相结合的混合法。先沿路堑纵向挖通道，然后沿横向坡面方向挖掘，以增加开挖坡面（图 1.10）。

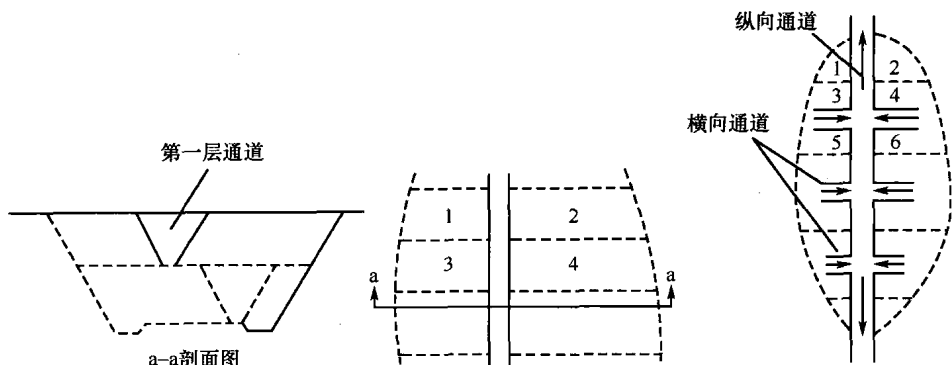


图 1.10 混合法

深挖路堑高边坡是否能够稳定, 决定因素很多, 最主要是边坡坡度大小。若坡度小、边坡平缓, 则易于稳定; 否则反之, 同时与气候有关。实践表明, 路堑边坡按照一定高度设平台与从上至下一面坡相比, 虽然设平台的综合坡度与一面坡的坡度相同, 但前者边坡较稳定。此外, 分层设有平台还可以起到碎落台作用。机械施工的平台宽度要求不小于 3m, 目的在于方便推土机施工。

土质深挖路堑边坡施工时, 靠边坡 3m 以内禁止采用炸药爆破。当边坡土质紧密, 为加快施工进度, 在距离边坡 3m 以外准备采用爆破法施工时, 应避免药量过多, 致使爆破时将边坡上的土炸松, 导致增强边坡的安全隐患。

1.2.3 石方边坡开挖施工工艺^[52]

石方边坡应根据岩石的类别、风化程度和节理发育程度等确定开挖方式。对于软岩和强风化岩石, 能用机械直接挖掘的应采用机械开挖, 也可人工开挖。凡不能使用机械或人工直接开挖的石方, 则应采用爆破法开挖。

1. 石方开挖基本原则

公路石方开挖, 应充分重视挖方边坡稳定, 宜选用中小炮爆破法; 开挖对于边坡不利的石方时, 宜用小型排炮微差爆破; 当岩层走向与路线走向基本一致, 倾角大于 15° , 且倾向公路或者开挖边界线外有建筑物, 爆破可能对建筑物产生不利影响时, 应在开挖边界沿坡设计坡面打预裂孔, 孔深同炮孔深度, 孔内不装炸药和其他爆破材料; 开挖层靠边坡的两列炮孔, 特别是靠顺层边坡的一列炮孔, 宜采用减弱松动爆破。

2. 爆破法开挖基本程序

爆破法开挖基本程序如下:

施工区管线调查→炮位设计与设计审批→配备专业施爆人员→用机械或人工清除施爆区覆盖层和强风化岩石→钻孔→爆破器材检查与试验→炮孔检查与废渣

清除→装药并安装引爆器材→布置安全岗和施爆区安全人员→炮孔堵塞→撤离施爆区和飞石、强地震波区内的人畜→起爆→清除瞎炮→解除警戒→测定爆破效果。

3. 炮眼法

炮眼深度：根据岩石的坚硬程度而决定炮眼深度，由式 (1.1) 确定，即

$$L = CH \quad (1.1)$$

式中， L 为炮眼深度 (m)； H 为爆破岩石的厚度，即阶梯高度 (m)； C 为系数，坚石为 1.0~1.15，次坚石为 0.85~0.95，软石为 0.7~0.9。

炮眼间距：用排炮爆破时，同排炮眼的间距，视岩石的类别、节理发育程度，参照式 (1.2) 确定，即

$$a = bW \quad (1.2)$$

式中， a 为炮眼间距 (m)； W 为最小抵抗线 (m)； b 为系数，采用火雷管起爆为 1.2~2.0，采用电雷管起爆为 0.8~2.3。

当使用多排排炮起爆时，炮眼应按梅花形布置，炮排距约为同排炮孔距的 0.86 倍。

装药量：炮眼的装药高度一般为炮孔深度的 1/3~1/2，特殊情况下也不得超过 2/3，对于松动爆破或减弱松动爆破，装药高度可降低到炮孔深度的 1/4~1/3。

提高爆破效果的措施：为提高爆破效果，可选用空心炮、石子炮或木棍炮进行爆破。

4. 药壶法

药壶炮是将炮眼底部扩大成葫芦形，以便将炸药基本集中在炮眼底部的扩大部分，提高爆破效果。葫芦炮炮眼较深，适用于均匀致密黏土、次坚石、坚石。

炮眼深度一般为 5~7m，不宜靠近设计边坡布设，药室距设计边坡线的水平距离不宜小于最小抵抗线。

葫芦炮的用药量按式 (1.3) 计算，即

$$Q = KW^3 \quad (1.3)$$

式中， Q 为炸药质量 (kg)； W 为最小抵抗线 (m)，一般为阶梯高度的 0.5~0.8 倍； K 为单位岩石的硝铵炸药消耗量 (kg/m^3)，坚石为 0.34~0.35 kg/m^3 ，次坚石为 0.28~0.34 kg/m^3 ，软石为 0.26~0.28 kg/m^3 。

单排群炮用电雷管起爆，每排药炮间距为

$$a = (0.8 \sim 1.0)W \quad (1.4)$$

式中， a 为每排内炮眼间距 (m)； W 为相邻两炮之间最小抵抗线的平均值 (m)。

多排群炮各排之间的药炮间距为

$$b = 1.5W \quad (1.5)$$

当炮眼布置呈三角形时，上下层药包间距为

$$a = 2W_{\text{下}} \quad (1.6)$$