

中国工程边坡 生态修复技术与实践

◎ 徐国钢 赖庆旺 主编

 中国农业科学技术出版社

中国工程边坡 生态修复技术与实践

◎ 徐国钢 赖庆旺 主编

 中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国工程边坡生态修复技术与实践 / 徐国钢, 赖庆旺主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2016. 10

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2739 - 1

I. ①中… II. ①徐…②赖… III. ①路基 - 边坡 - 生态恢复 - 研究 - 中国 IV. ①U416. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 218339 号

责任编辑 白姗姗

责任校对 贾海霞

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电话 (010) 82106638 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)

传真 (010) 82106650

网址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开本 787mm × 1 092mm 1/16

印张 25.5 彩插 20 面

字数 618 千字

版次 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

定价 298.00 元

《中国工程边坡生态修复技术与实践》

编 委 会

主 编 徐国钢 赖庆旺

副主编 张俊云 白史且 朱兆华 迟国梁
蓝美华

编 委 (按姓氏笔画排序)

马永林	马海天才	王镜钊	文光才
白史且	叶 川	刘 英	刘 杰
刘德荣	朱兆华	李大明	李财金
吴长文	余 隽	余喜初	迟国梁
张 安	张俊云	陆子锋	陈 霞
陈莉敏	陈晓蓉	苟文龙	罗 振
罗细梅	季晓菲	周 庆	官昭瑛
徐国钢	徐国胜	徐国强	徐新华
高敏化	黄庆海	黄国勤	梅晶星
董文庆	蓝美华	赖 涛	赖庆旺
雷立平	黎 宁		

内容简介

我国高速公路和高速铁路建设起步虽晚，但起点高，发展快，通车里程已居世界第一。工程建设机械创伤面约 70% 为裸露边坡，其中挖方边坡约占 40%，填方边坡约占 30%。截至 2014 年，仅“两高”建设沿线土地破坏，形成的路域边坡累计总面积超过 $4.15 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。这些边坡改变地形地貌，彻底破坏生态植被，植物生存环境恶劣，不仅影响生态景观，还加剧水土流失，产生滑坡、泥石流等次生地质灾害，引发边坡公共安全事故。因此，我国边坡生态修复与安全防护，引起了国家和社会的高度重视和关注，成为我国生态建设与产业发展亟待突破的重大科学技术问题。

经多年研发实践，现在中国工程边坡生态修复技术成果，随同动车装备和筑路技术，形成了举世瞩目的三大技术进步，已成为“一带一路”国际合作和我国生态文明建设的重大技术支撑体系。本书是第一部系统反映我国高速公路、高速铁路和城市工程边坡生态修复技术创新成就的专著。全书共分十三章，论述了我国现代基础工程边坡生态修复的理论体系、技术体系和市场体系，剖析了全国典型工程生态设计与施工实践，展示了我国高速道路边坡生态建设巨大成就，反映了我国路域边坡生态修复重大技术突破和创新。

本书以论文题材编写，内容丰富，数据严谨，案例突出，具有较高的可读性和实用性。既可作为生态修复、水土保持、岩土工程、地质灾害治理等专业技术人员和工程管理人员的科研、工作参考书，亦可作为公路、铁路、环保等专业大专院校师生辅助教材。

序 言

在社会经济快速发展的推动下，我国高速公路、高速铁路的建设蓬勃发展。2012年，我国高速公路通车里程超过了美国，跃居世界第一；2014年我国高速铁路行车速度达300km/h以上，实际通车里程超过世界高铁总和。

国家高速公路与高铁建设中所出现的工程边坡，是在国家工程基础建设中，由规模化、机械化开挖或填埋形成的裸露坡面，是在人类工程建设活动中，新形成的地质环境变异和土壤生态破坏的基本单元。它是根据道路工程建设土石方平衡需要，或由所穿越的复杂地形地貌，挖高填低所形成的工程边坡。由于道路工程建设的特需性与穿越地区自然与地质条件变异的复杂性及多样性，因而在道路建设过程中，难免会出现如植被破坏、水土流失、边坡失稳、水系泥沙堵塞、滑坡、泥石流次生地质灾害等问题，并对不同地区土壤生态环境产生不同程度的破坏影响。从学科领域上看，这些问题的研究，主要属现代土壤学、土壤修复工程学，或边坡生态修复工程学等学科的研究范畴，当前正得到国内与国际道路工程基础建设者及科技工作者的广泛关注与深入研究。

由深圳市万信达生态环境股份有限公司徐国钢、赖庆旺主持编写的《中国工程边坡生态修复技术与实践》一书，共包括十三章，60多万字。该书论述了我国主要高速公路及高铁干线建设中出现的工程边坡生态修复的理论与技术对策，其中包括：工程边坡分类与施工技术模式；不同生物气候带工程边坡植物选择与乔灌木配置；岩体边坡“V”型槽种植带技术；工程边坡规模化和机械化施工技术；边坡喷混有机基材与营养土组配技术；边坡草被生态退化与补救技术；城市岩石边坡生态景观低成本建植与后养护管理技术；城市有机废弃物资源化生态利用及路域边坡资源国产林草种产业化开发等项目在研究中所取得的突破性进展，相关成果为我国工程边坡土壤生态修复工程学的发展奠定了基础，体现了我国高速道路和城市边坡生态环境与绿色景观再造的科技创新特色。与国外同类科技相比，这些成果在生态设计理念、施工装备及土壤修复技术体系方面均有所创新。该书还阐述了我国现代化基础工程边坡生态修复的理论体系、技术体系和市场体系，剖析了重点工程生态设计与施工实践，展示了我国高速道路生态建设巨大成就，也反映了我国路域边坡生态修复技术水平的创新与突破。

综上所述，该书涵盖了我国高速道路工程和城市边坡生态建设的学科研究成果，内

容较为齐全,编写方法先进,框架结构合理,论证分析清晰。对我国高速道路生态建设的理论与实践具有指导意义,同时,该书也将在促进和提升我国高速道路工程和城市边坡生态建设的学科研究上起典范与引领作用。当然,它也是一本值得向大家推荐的供从事高速道路工程学、土壤生态工程学及环境科学研究人员的重要参考书。作为多年从事土壤学研究的科技工作者,在此,我愿为该书编写人员的辛勤劳动与书著出版表示点赞与祝贺!祝愿你们在推进我国道路工程研究和环境学科的发展与进步中不断取得新成就。

该书是在深圳市万信达生态环境股份有限公司的组织与推动下圆满完成的,这是当代新形势下,企业与科研相结合的“企产学研用”科技创新体系的新方向。深圳市万信达生态环境股份有限公司是专注于高速公路、高铁和城市边坡生态治理研究开发的国家高新技术企业。它与国内科研院校合作完成的《裸露坡面综合治理技术研究》曾获国家科学技术进步二等奖,另有4项成果获省、部级科技进步一、二等奖。公司依靠科技创新综合实力,近十多年来,就高速道路边坡和城市采石场生态修复课题,先后承担了国家科技部、广东省科学技术厅、深圳市政府下达的多个重大科研项目,得到了国家财政科技开发资金扶持,并授牌建立了“广东省受损边坡生态景观重建工程技术研究中心”及“深圳城市固体废物生态利用技术工程中心”两个研发平台。近年来,公司承建了边坡生态治理工程项目120个,累计生态修复治理面积达 $2.6 \times 10^7 \text{ m}^2$ 。工程轨迹遍布南方各省区高速路一、二期主干线工程,完成工程合同金额6.8亿元,打造了一批经典样板工程。该书就是以国家现代基础建设工程边坡生态修复重大技术问题为研究方向,以工程实践为研发基础,围绕国家、省、市项目,进行技术创新的研究成果。

2016年是“十三五”计划的开端年,我国将再建高速铁路 $3 \times 10^4 \text{ km}$,高速公路 $4.6 \times 10^4 \text{ km}$ 。按常规统计率估算,“十三五”期间,“两高”道路建设,约占用土地面积 $1.37 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中高速铁路占地 $4.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$,高速公路占地 $9.2 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。除去车道或轨道建设占地外,约余留边坡总面积 $1.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$,其中高速铁路边坡 $7.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$,高速公路边坡 $1.1 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。同时,在此期间,我国城镇化建设将加快,交通建设破坏沿线环境和城市采石场废弃边坡将不断叠增,裸露边坡将威胁道路行车与人居安全,其生态修复难度甚大。由此可见,“十三五”期间,土壤生态修复工程市场虽广阔,但生态修复任务极其艰巨。

为使该书科技成果及应用前景有更广阔的空间,兹对今后“两高”路域边坡土壤生态修复研究方向提几点建议,仅供参考。

一是以国家提出的“创新,协调,绿色,开发,共享”五大发展理念及“四个全面”战略布局作为深化“两高”路域边坡土壤生态修复研究的指导思想与出发点。

二是应着重加强对工程边坡水土流失模数及物质迁移的定位监测与工程边坡次生地

质灾害的预警预测研究；边坡植被水分、养分循环系统的平衡与维护研究；工程边坡不同生物气候带植物群落生物质积累最大化的综合技术研究；工程边坡植物演替规律及持久性后效果监测研究；城市采石场边坡公益利用途径及渣土受纳场避灾处理研究。

三是进一步加强企业与国家科研院所专题攻关合作研究，以促进高科技与高效益成果的产出，为我国高速公路、高速铁路和城市生态文明建设，发展我国现代土壤科学做出创新贡献。

四是我国高速公路和高铁建设起步晚、起点高、发展快、技术成熟，是我国对外经济与技术合作靓丽名片。中国工程边坡生态修复技术成果，随同动车装备和筑路技术形成了举世瞩目三大技术进步，是国家“一带一路”战略布局的重大技术支撑体系。希望企业跨出国门，与国内著名交通建筑企业携手，参与国际基础工程生态建设大项目市场竞争，使该项成果更好地转化为生产力，推动创新型企业经济跨越式发展。

中国科学院院士



2016年6月15日

前 言

我国高速公路和高速铁路建设起步晚，但起点高，发展快。自 1984 年我国建设第一条沈（阳）大（连）高速公路以来，截至 2015 年我国高速公路通车里程达 12.5 万 km，连续 3 年超过美国，稳居世界第一。我国高速铁路始建于 1999 年秦（皇岛）沈（阳）客运专线，2015 年全国运营里程达 1.9 万 km，亦居世界第一。高速公路和铁路建设机械创伤面约 70% 为裸露边坡，其中挖方边坡约占 40%，填方边坡约占 30%。截至 2014 年，仅“两高”建设沿线土地破坏，形成的路域边坡累计总面积超过 41.46 万 hm^2 。此外，采石开矿、城市建设等亦产生了大量的边坡。据最新统计，我国现有矿山 10 多万座，累计毁损土地达 386.8 万 hm^2 ，影响地下含水层面积 538 万 hm^2 ，固体废弃物累计存量 400 亿 t。损毁土地中多为受损边坡。工程边坡地表生态植被破坏彻底，裸露时间长，若不及时治理，不仅影响生态景观，还将加剧水土流失，导致滑坡、泥石流等次生地质灾害，引发边坡公共安全事故。在本书编写过程中，正遇发生震惊中外的“12.20”深圳光明渣土受纳场特大滑坡事故，共造成了 73 人死亡，4 人下落不明，17 人受伤，33 栋建筑物被损毁、掩埋，90 家企业生产受影响，涉及员工 4 630 人，直接经济损失达 8.81 亿元，后果极为惨烈。因此，我国边坡生态修复与安全防护问题引起了政府、学术界、企业界及社会公众的高度重视和关注，成为我国生态环境建设科技创新及产业发展亟待突破的重点和难点。

深圳市万信达生态环境股份有限公司及研发团队，参与大量的工程实践，见证了我国高速公路、铁路建设快速发展的历程，推动了工程边坡生态防护技术的进步。截至目前，先后承担完成了国家、省、市级科研项目 13 项，获得国家科技进步二等奖和省部级一、二等奖在内的重大科技奖励 11 项，发明专利授权 12 项，实用新型专利授权 6 项，先后授牌“广东省受损边坡生态景观重建工程中心”“深圳城市有机废物综合利用工程中心”两大研发平台，对外提供公共性、开放性服务。自 1997 年以来，通过市场运作，累计完成深汕、京珠、成南、渝黔等 65 条高速公路及部分铁路边坡生态治理工程，总面积达 2 600 万 m^2 ，合同金额 6.8 亿元；还完成广州南沙、三亚亚龙湾等 40 多个采石场，总面积达 380 万 m^2 ，合同金额 4.56 亿元的高陡岩石边坡生态修复工程。

中国工程边坡生态修复技术成果，随同动车装备和筑路技术，组成了我国高速公路

和高铁建设举世瞩目三大技术进步,已成为“一带一路”国际合作和我国生态文明建设的重大技术支撑体系。但迄今为止,还没有一部系统反映我国高速公路和铁路工程边坡生态修复技术成就的专著出版。当前,无论是学界还是业界,都渴望有一部对我国边坡生态修复理论、技术体系及施工实践经验进行系统总结和提升的专著,以对从事交通、环保、生态工程领域的教学、研究、生产和市场管理等科技工作者提供借鉴和指导。为系统总结我国基础工程边坡生态修复理论与技术创新成果,我们决定编写、出版《中国工程边坡生态修复技术与实践》一书。同时还邀请了国内知名专家张俊云教授(西南交通大学)、白史且教授(四川草业科学研究院)、蓝美华总农艺师(原江西省农业厅高级农艺师),会同深圳市水土保持和生态工程专家、教授共42人,组成庞大写作班子,秉承“生态、理论、技术、实践”宗旨,共同完成这项艰巨而有深远意义的工作,以期为中国边坡生态工程学的创新和发展做贡献。

全书共分十三章,论述了我国现代化基础工程边坡生态修复的理论体系、技术体系 and 市场体系,剖析了全国典型工程生态设计与施工实践,展示了我国高速道路生态建设巨大成就,凸显了我国工程边坡生态修复重大技术突破和自主创新。

第一章回顾了我国高速公路、高铁和城市基础建设发展与边坡生态修复技术创新的历程,阐明了我国现代化基础建设发展成就、工程边坡岩土开挖对生态环境破坏影响、国外边坡生态修复技术研究进展、我国工程边坡生态修复技术的创新。本章由张俊云、赖庆旺、徐国钢主笔编写。

第二章主要对工程边坡生态修复的理论体系进行了梳理,阐述了边坡生态修复工程学学科分类体系及研究方向,植被根系固坡稳定性原理、生态修复技术原理、景观协调性理论、现代土壤学原理等。本章由张俊云、蓝美华、徐国钢主笔编写。

第三章论述了现代基础建设工程边坡原始特征,从边坡破坏类型、土壤与气候因素方面,分析了路域边坡和城市裸露岩体边坡特征和生态治理对策。本章由张俊云、赖庆旺、朱兆华主笔编写。

第四章研究了工程边坡的浅层与深层稳定性分析方法与数学模型、工程边坡的加固模式及防护技术、高陡边坡的工程加固与生物固坡技术、工程支挡加固技术。本章由张俊云、赖庆旺主笔编写。

第五章对边坡生态修复工程规划设计的理念、原则、方法、依据、内容等进行了全面地总结,阐述了城市边坡水土保持方案的编制方法及生态工程排水系统设计,并列举了京珠粤北高速公路边坡生态修复总体设计、三亚市抱坡岭新Ⅰ#边坡生态修复工程施工设计两个示范实例。本章由赖涛、陈霞、董文庆、罗细梅、王镜钊主笔编写。

第六章论述了工程边坡生态修复施工技术模式及支撑技术,包括边坡类型生态修复施工模式、液压喷播施工技术、三维网喷播植草施工技术、挂平面网(EM3、EM4)客

土喷播施工技术、挂铁丝网喷混植生施工技术、城市高陡岩体边坡“V”型槽植生带施工技术。本章由白史且、马海天才、苟文龙、周庆、高敏化、徐新华、梅晶星主笔编写。

第七章论述了工程边坡植物选择与种群配置技术，包括不同纬度和海拔地区植物选择方向、适应生物学与生态学特性、植物种群人工配置技术、工程边坡草被退化补救技术等。本章由白史且、陈晓蓉、张安、叶川、余喜初、李大明主笔编写。

第八章阐述了工程边坡新材料应用与机械化施工技术，着重介绍了三维网、镀锌铁丝网、无纺布、保水剂、黏结剂等水土保持新材料的应用、喷混有机基材及营养土的配制技术、工程边坡规模化机械施工技术，对边坡生态修复工程实施具有针对性和实践指导性。本章由白史且、刘德荣、马永林、陈莉梅、季晓菲主笔编写。

第九章论述了城市有机废弃物资源化利用技术途径，城市有机废弃物微生物技术开发的创新研究成果、微生物肥生产原理及产业化技术、原料碳氮比对生物肥发酵质量影响的实验分析、造纸废弃木质素的资源化利用，指出了城市有机废弃物生物利用研究的创新性与效益评价。本章由朱兆华、陈晓蓉、官昭瑛、迟国梁、雷立平、黎宁主笔编写。

第十章以 12 条高速公路及 7 条铁路的边坡生态修复工程为实例，对我国东北高纬度寒温带（温带）、黄渤海暖温带及中西部干寒气候带、长江流域南方亚热带、华南热带和南亚热带等不同气候带的气候特征及典型路域边坡生态修复工程的治理模式、技术对策、植物选择、群落组配、生态效果等进行了剖析。本章由徐国钢、朱兆华、张安、刘杰、文光才、徐国胜、徐国强主笔编写。

第十一章论述了工程边坡生物演替规律和生态治理后效果评价，重点介绍了深圳 56 个岩石边坡生态修复工程效益及植被种群变化的观察结果。本章由吴长文、陈霞、赖涛、陆子峰、罗振、李财金主笔编写。

第十二章探讨了路域边坡土地资源的利用方向、路域林草种基地选育及扩繁技术，阐述了我国路域林草种产业化发展途径。本章由迟国梁、张安、白史且、陈晓蓉、刘杰、刘英主笔编写。

第十三章系统总结了我国工程边坡生态修复科技创新成就。本章由赖庆旺、徐国钢、张俊云、朱兆华、黄庆海、黄国勤主笔编写。

本书第一次系统总结了我国高速公路、高铁及城市边坡生态修复技术创新成就，主要是：①中国工程边坡生态修复技术成果，随同动车装备和筑路技术，形成了“两高”道路建设举世瞩目三大技术进步。②边坡生态修复工程学的发展与创新，已形成了具有独特的理论体系、技术体系、市场体系和工程施工实践，明确了在现代生态学的定位，是一门综合发展的新学科体系。③总结了我国工程边坡特征，边坡规模占比大，是现代

水土流失和地质灾害的重灾区，引起了国家和社会高度重视。④边坡失稳滑移面模型分析与防护实践效果的研究，为路域边坡稳定性与工程固坡提供了支撑技术原理。⑤工程边坡生态修复顶层设计理念创新及施工设计成熟技术，为我国高速公路、高铁和城市边坡的生态治理提供了设计典范。⑥边坡植物选择应以灌木为主、豆科为主、地方植物品种为主，构建边坡乔灌草藤多元植被群落结构立体模式，建立稳定的边坡生态体系。⑦规模化、国产化、机械化施工技术的突破与创新。⑧“V”型槽种植带技术，是城市岩石边坡生态重建的高效技术模式。⑨工程边坡生物演替规律及后效果观察的研究，为提升我国边坡生态工程质量，做出了“回头看”示范。⑩总结了不同生物气候带边坡生态修复典型工程的可复制、可推广的成熟技术。⑪工程边坡是可利用的土地资源，充分利用我国丰富的林草种质资源，实现资源多维融合，是路域边坡林草种产业化发展的引领技术。⑫以生物质积累最大化技术为目标，建立了工程边坡生态修复质量评价体系。⑬城市有机固废资源化利用技术研究，为工程边坡人工植被层建设带来了新途径。本书内容全面、科学严谨、结构新颖、案例突出，有较高的可读性和实用性，可作为生态修复、水土保持、岩土工程、地质灾害治理等专业技术人员和市场管理人员的科研和工程施工参考书籍，又可作为公路、铁路及环保专业大专院校师生的辅助教材，特别是相关生态专业硕士、博士研究生的定向培养教材。

由于编著者的专业结构、认知水平和实践经历所限，本书难免有遗漏和不当之处，恳请广大读者指正。

《中国工程边坡生态修复技术与实践》

编委会

2016年8月

目 录

第一章 我国现代化基础建设发展与边坡生态修复技术创新	(1)
第一节 我国现代化基础建设发展现状简述	(1)
一、我国高速公路发展历程	(1)
二、我国高速铁路发展历程	(3)
三、我国城镇化发展进程	(5)
第二节 基础建设中边坡岩土开挖对生态环境破坏的影响	(7)
一、对自然植被的破坏	(8)
二、对动物及其栖息地的破坏	(10)
三、加剧了水土流失	(11)
四、对自然景观的破坏	(13)
五、公路噪声对环境的影响	(14)
第三节 国外边坡生态修复技术研究进展	(17)
一、边坡生态修复的施工技术及喷播机械	(17)
二、边坡植被恢复的目标与景观设计	(20)
三、当前国际工程边坡植被恢复技术研究存在的问题	(21)
第四节 我国工程边坡生态修复技术的创新	(22)
一、高速道路工程边坡生态修复模式、建植规模及生态景观效果引领 世界各国	(22)
二、研究形成了适合我国国情的成熟的工程边坡生态修复技术体系	(22)
三、构建了全国不同气候带护坡植物种质资源筛选、配置及建植技术 体系	(23)
四、推行乔灌草多元结构立体模式，建立稳定、持久的工程边坡生态 体系	(23)
五、“V”型槽种植带技术，是城市岩石边坡生态重建的创新技术	(24)
六、边坡工程规模化施工带来了生态护坡机械化装备的技术进步	(24)
七、研制出木质纤维覆盖物、防护网和多种喷混基材，实现了边坡防护和 喷播材料的国产化	(24)
八、利用边坡土地资源，引领国产林草种产业经济发展	(25)
九、建立了边坡植被质量评价体系	(26)

第二章 工程边坡生态修复的理论基础	(30)
第一节 工程边坡生态修复学科分类体系及研究方向	(30)
一、边坡生态修复工程学的学科体系定位	(30)
二、理论生态学的学科分类体系	(30)
三、应用生态学特征及发展方向	(32)
第二节 工程边坡植被防护的浅层稳定性分析	(34)
一、植物根系对土体抗剪强度的影响	(34)
二、边坡浅层稳定性分析	(36)
三、边坡浅层稳定性的影响因素分析	(38)
第三节 工程边坡生态修复的恢复生态学原理	(40)
一、生物演替理论	(41)
二、生态限制因子原理	(43)
三、空间生态学原理	(44)
四、生物多样性原理	(45)
五、生物自生原理	(46)
第四节 工程边坡植被的景观协调性理论	(47)
一、工程边坡景观的构成	(47)
二、边坡景观生态学的相关理论	(47)
三、边坡植被景观协调设计基本原则	(49)
四、工程边坡植被配置形式美学原则	(51)
五、边坡植被配置的色彩学应用	(53)
第五节 工程边坡生态修复的现代土壤学原理	(55)
一、工程边坡现代土壤学特征	(55)
二、边坡土壤的物理特性与植物生长原理	(56)
三、边坡土壤的水、气、热状况与植物生长原理	(58)
四、边坡土壤的化学特性与植物生长原理	(62)
第三章 现代基础建设工程边坡特征	(68)
第一节 工程边坡的分类与破坏类型	(68)
一、基础建设工程边坡分类	(68)
二、工程边坡的破坏类型	(70)
三、影响工程边坡稳定性的因素	(72)
第二节 工程边坡的主要土壤类型及其特性	(73)
一、我国工程边坡的主要土壤类型及分布	(73)
二、不同母质土壤基本性质的变异	(76)
三、工程边坡土壤的剖面特征	(81)
第三节 路域工程边坡的主要特征	(82)
一、“两高”路域边坡工程学特征	(83)

二、路域边坡土壤特性及改良途径	(84)
三、路域边坡植被的区域性特征	(85)
四、路域土质边坡水土流失与抗冲刷性	(86)
五、路域裸露边坡的破坏性及危险性评价	(88)
第四节 城镇化建设中裸露岩体边坡特征	(90)
一、采石场对城市生态景观的影响	(90)
二、城市采石场岩石边坡特征	(91)
三、采石场边坡剖面形态及岩体性质	(92)
第四章 工程边坡的稳定性分析及固坡处理技术	(96)
第一节 工程边坡的稳定性分析	(96)
一、边坡滑面的确定方法	(96)
二、平面破坏的边坡稳定性分析	(99)
三、圆弧滑面的稳定性分析	(101)
四、非圆弧滑动面的稳定性分析	(104)
第二节 工程边坡的加固及防护技术	(106)
一、支挡结构加固边坡技术	(106)
二、坡面防护的工程措施	(110)
三、工程边坡的排水工程	(112)
第三节 高陡边坡的加固与植被恢复技术	(116)
一、高陡边坡加固与生态重建技术思路	(116)
二、钢筋混凝土框架内填土植被恢复	(117)
三、预应力锚索框架地梁内植被恢复	(118)
四、预应力锚索地梁内植被恢复	(120)
第四节 工程边坡支挡加固结构的内力计算	(121)
一、抗滑桩的内力计算	(121)
二、预应力锚索桩的内力计算	(125)
三、预应力锚索地梁的内力计算	(127)
四、预应力锚索框架地梁的内力计算	(131)
五、工程固坡技术效果	(134)
第五章 边坡生态修复过程的规划设计	(135)
第一节 边坡生态修复工程规划设计的意义	(135)
第二节 工程边坡生态修复技术设计	(136)
一、项目概况及边坡环境特征现场调研	(136)
二、工程边坡生态修复规划设计的创新理念	(136)
三、设计的依据和原则	(138)
四、边坡生态治理分区设计	(138)
五、边坡生态修复技术模式设计	(138)

六、不同气候带植物选择与种群配置技术设计	(139)
七、工程边坡理顺水系及后养护设计	(140)
八、施工图设计	(140)
九、工程预算	(141)
第三节 城市边坡生态治理与水土保持方案编制	(141)
一、前言	(141)
二、水土保持方案编制总则	(142)
三、项目分析及水土流失预测	(143)
四、水土流失预测	(144)
五、水土流失防治方案设计	(145)
六、水土保持措施设计与进度安排	(146)
七、主要工程量及水土保持投资估(概)算	(146)
八、实施保障措施	(147)
九、结论和建议	(147)
第四节 边坡生态工程排水系统设计	(148)
一、工程边坡面汇流量计算	(148)
二、工程边坡截、排水沟断面设计	(148)
三、工程边坡排水系统布置	(149)
四、坡面排水系统设计实例(以深圳大南山北侧遗留边坡为例)	(149)
第五节 京珠粤北高速公路边坡生态修复总体设计实例	(151)
一、项目概况	(151)
二、边坡生态工程设计依据	(151)
三、边坡生态工程设计的目的和意义	(152)
四、生态工程设计指导思想及原则	(152)
五、边坡生态工程设计范围	(152)
六、边坡沿线植物选择	(153)
七、平面图及施工图设计	(154)
八、项目预算	(154)
九、十年后边坡生态修复效果评价	(154)
第六节 三亚市抱坡岭新 I [#] 边坡生态修复工程设计实践	(167)
一、项目概况	(167)
二、设计依据	(168)
三、生态设计理念与原则	(168)
四、设计单位制及设计标高	(168)
五、生态整治分区及治理措施设计	(169)
六、主体技术施工程序设计	(169)
七、建“V”型植生槽	(169)
八、挂网喷混植生	(170)

九、树木种植与管护技术	(171)
十、岩石边坡滴灌体系设计	(172)
十一、施工设计主要技术参数	(173)
十二、主要工程量	(174)
十三、生态工程预算总造价	(175)
十四、平面布置图及施工图	(175)
第六章 工程边坡生态修复施工技术模式	(180)
第一节 工程边坡类型生态修复施工模式	(180)
一、工程边坡生态修复技术策略	(180)
二、整体挖方坡面生态修复技术布局	(181)
三、路域填方边坡生态修复技术布局	(183)
第二节 工程边坡液压喷播施工技术	(183)
一、液压喷播施工技术的特点	(183)
二、施工工艺	(184)
三、液压喷播施工中主要的关键环节	(186)
第三节 工程边坡三维网喷播植草施工技术	(187)
一、三维网喷播植草技术特点	(187)
二、三维网喷播材料与要求	(188)
三、三维网植草施工工艺	(189)
第四节 工程边坡挂平面网 (EM3、EM4) 客土喷播施工技术	(190)
一、客土喷播的原理	(190)
二、工程边坡平面网的作用	(190)
三、工程边坡平面网客土喷播的施工工艺	(191)
第五节 工程边坡挂铁丝网喷混植生施工技术	(192)
一、岩石边坡挂铁丝网+混植生施工技术特点	(192)
二、喷混植生主要材料与要求	(193)
三、挂铁丝网喷混植生施工工艺	(194)
第六节 城市高陡岩体边坡“V”型槽植生带施工技术	(196)
一、城市高陡岩体边坡的工程地质特征	(196)
二、“V”型槽植生带生态恢复技术	(197)
三、城市岩体边坡“V”型槽生态修复的施工工艺	(198)
第七章 工程边坡植物选择与种群配置技术	(202)
第一节 构建有乔灌木参与的边坡生态体系是植物选择的方向	(202)
一、边坡植物的选择依据	(202)
二、路域边坡区位气候的植物物种选择	(203)
三、不同类型边坡绿化植物的比对与布局	(205)
第二节 工程边坡常用植物的生物学、生态学特性	(206)