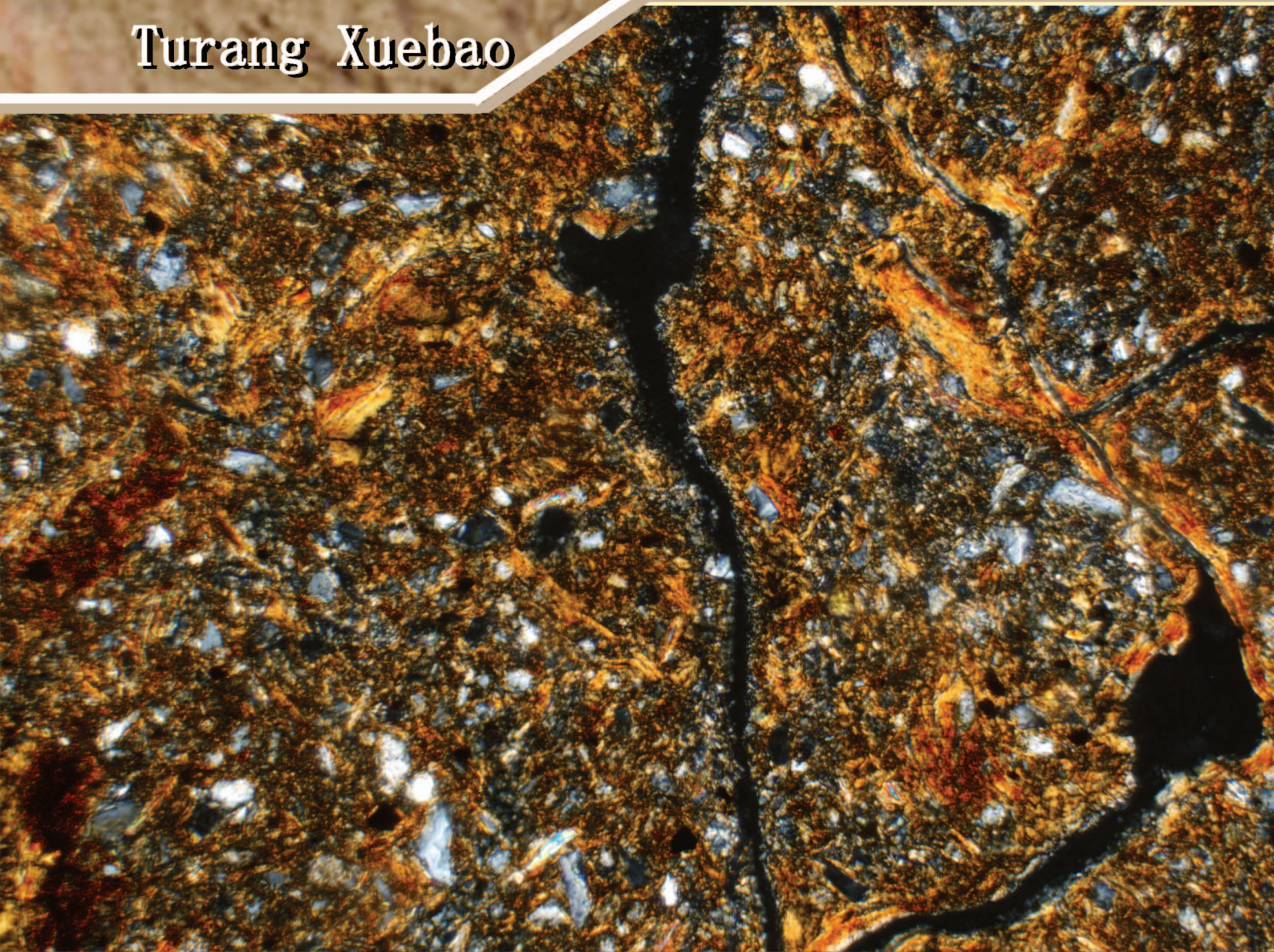


ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第 52 卷 第 2 期

Vol.52 No.2

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枏生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第52卷 第2期 2015年3月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 2 Mar., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路71号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史学正
主 管 中国科学院
主 办 中国土壤学会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京399信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

DOI: 10. 11766/trxb201410150522

中国南方基础工程建设中土壤生态修复技术 体系与实践*

徐国钢 程睿[†] 赖庆旺 朱兆华 孙吉雄

(深圳市万信达生态环境股份有限公司, 深圳 518038)

摘 要 我国现代化基础建设和城市化进程,促进了我国经济的快速发展。至 2013 年全国高速公路和高速铁路通车里程分别达到 10.44×10^4 km 和 1.3×10^4 km,跃居世界第一。但国家重大工程施工,均是以牺牲土壤生态为代价的基础建设项目,破坏了土壤圈物质与生物循环,加剧了土壤侵蚀和地质夷平过程,因此土壤生态修复势在必行。本文综合 15 年的研发,重点阐述了高速公路、高速铁路和城镇化发展中国重大工程建设所造成的土壤破坏特征,结合大量土壤生态修复工程实践,论述了道路创伤边坡、城市高陡岩石边坡土壤生态修复创新技术,为我国南方基础工程建设提供了侵蚀性土壤生态修复支撑技术体系。

关键词 基础建设;土壤破坏特征;土壤生态修复;技术体系;中国南方

中图分类号 X171.4 **文献标识码** A

以高速公路和高速铁路(简称“两高”)为中心的基础建设,推动了我国经济社会的快速发展。但是,国家现代化重大工程项目均是以破坏土壤生态为代价。因此,国家花巨资在完成道路主体工程的同时,也加大了土壤生态修复工程的投入,就“两高”建设累计完成土壤生态修复工程约 32×10^4 hm²。为我国土壤生态修复工程学的发展奠定了基础,并逐步形成了独特的理论体系、技术体系、市场体系和工程实践的新学科系统。土壤修复工程学作为我国现代化建设产生的一门新兴学科,丰富了传统土壤学科的内涵,是对我国近代土壤学科的创新与发展^[1-6]。土壤生态修复工程学主要研究侵蚀性(水土流失)、灾害性(地震和暴雨引起的坍塌、滑坡和泥石流)和污染性(污染源引起的重金属及其他毒害物)土壤生态修复。本文根据本企业研发团队近 15 年研发,及承建 $2\,000 \times 10^4$ m² 国家主干道及城市边坡土壤生态修复工程实践,就我国南方侵蚀性土壤生态修复技术体系与实践,作一专题论述。

1 高速公路和铁路建设中土壤生态修复问题

1.1 我国“两高”道路建设与土壤生态修复的发展动态

中国发展高速公路和高速铁路起步较晚,但起点高、发展快。我国高速公路最早始于 1984 年的沈(阳)大(连)高速公路,至 2012 年总里程达到 9.6×10^4 km,超过美国(9.2×10^4 km)跃居世界第一,2013 年全国又新增里程 0.84×10^4 km,达到 10.44×10^4 km,稳居世界第一。我国高速铁路建设始于 1999 年的秦(皇岛)沈(阳)客运专线,至 2013 年通车里程达到 1.3×10^4 km,已跃居世界第一。根据国家“十二五”规划,至 2015 年底,中国高速公路通车里程将达到 10.8×10^4 km,中国铁路营业总里程将达到 12×10^4 km 以上,其中高速铁路将达 1.6×10^4 km。但是,快速发展的“两高”交通建设均是以牺牲土壤生态环境为代价,每年形成大量的裸露边坡,造成严重的土壤破坏和水土流失,并威胁道路安全。

* 深圳市技术开发项目(CXZZ20140422142833835)资助

[†] 通讯作者, E-mail: chengrui99888@163.com

作者简介:徐国钢(1959—),男,安徽枞阳人,硕士,高级园林工程师,主要从事土壤生态修复研究

收稿日期:2014-10-15;收到修改稿日期:2015-01-06

据初步估算,“两高”建设沿线土壤破坏累计总面积为 $41.46 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。仅 2013 年就累计新增土壤破坏面积 $5.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中高速公路建设新增 $3.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$,高速铁路新增 $1.54 \times 10^4 \text{ hm}^2$,亟需进行土壤生态修复。国家非常重视路建工程土壤生态修复工作,2000 年前后曾多次下文要求土壤生态环境修复与道路主体工程同时设计、同时施工、同时验收,并在总工程预算中预列 8%~10% 作为土壤生态修复工程经费。在实施过程中,取得良好的生态与社会效益。

1.2 路域工程土壤生态修复工程特征

(1)南方道路工程创伤面特征:我国南方山地丘陵多,高速公路和铁路其实质是线型工程,主体工程以“平、直、宽、稳”为设计主基调。因此,路基施工采用“见山劈山、挖高填低、见水架桥、遇高山凿隧道”的机械化施工模式,局部改变了路域地形地貌,机械创伤面约 70% 为山体裸露边坡。其中挖方边坡约占 40%,填方边坡约占 30%。原生植被破坏,土体剥离输出,土壤生态修复困难。

(2)道路边坡土体构型及剖面形态:道路工程建设致使岩土层受到移动、变形,原有土体或山体自然结构改变,形成各种裸露坡面。垂直断面深厚,土壤剖面特征完整:有机质层(O)、表土层(A)、淋溶淀积层(B)、母质层(C),以及介于发生层之间兼有两者特征的过渡层(AB、BC),两基本发生层交错的指间层(A/B、E/B)等,纵横向层次均清晰可见,但层次间质地、结构、紧实度、水光热条件差异大。A 层和 B 层以及林地覆盖的 O 层,共同构成植被生长的土体层。土层及风化层厚度与母岩有关,花岗岩发育的表土层达 3~5 m;而风化层高达 10~20 m。C 层以下的 R 层(基岩或母岩),非土壤发生层,却是道路创伤边坡的主要组成部分,缺乏植物生长的基本要素。宜通过土壤回填与肥力调节,方能修复坡面整体生态。

(3)道路边坡植被破坏与土壤侵蚀:路建工程破坏了原生土壤植被,使山体边坡地表裸露,导致坡体土层失稳,以及人工形成的微地形自然安息角较大,水力作用敏感性增强,水土流失加剧^[7-9],并趋于坡体愈高,坡度愈陡,裸露面愈大,水土流失愈严重。据在深圳南坪路定点观测,新开挖 60° 山体边坡水土流失量达 $8\ 500 \sim 15\ 000 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$,远超国家标准 $500 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 公允值。道路边坡无论是挖方边坡或是填方边坡,均有间隔 1~2 年裸露期,待路基工程整好后,才进入土壤生态修复工程施

工,在此裸露期间遇暴雨大量泥砂冲刷,更威胁下游农田安全,填塞沟渠。因此,防治水土流失是土壤生态修复主要技术途径。

(4)边坡地质稳定性与安全性:道路边坡稳定性和安全性,不仅受坡体深度和岩土性质影响,还受地质构造特征、岩石的风化和破碎程度、土层的成因类型等影响。线型工程强烈的区域性差异,即便同样的土质或岩石,在不同地区具体指标也有差距。因此,边坡设计应全面考虑多元影响因素,详细掌握地勘资料,根据边坡岩土物理力学性质,综合确定合理参数,选择合适的坡率和边坡形式。工程实践中,路域边坡安全坡度多控制在 50° 以下,或坡比 1:1~1:0.75。同时控制挖方边坡高度,一般坡长在 60 m 以下。要从路域边坡的基本要素设计,保证挖方边坡和填方边坡的稳定性,为保障人、车、路、居安全基本功能打下基础。

(5)地带性气候与立体性气候:“两高”工程线路长、跨度大,有的道路纬度和经度跨越多个生物气候带。例一:多纬度工程。京珠高速公路,总长 2 285 km,从纬度 $39^\circ 52' \text{ N}$ (北京六里桥)至 $22^\circ 11' \text{ N}$ (珠海横琴),跨越纬度 $17^\circ 41' \text{ N}$ 。地经温带—亚热带等多个气候带。我们主持设计并参与施工的京珠高速粤北段有 50 多 km,项目区呈高寒山地立体气候特征,每年冬天冻雨行车事故多发,成为京珠高速治阻瓶颈之一。例二:高海拔工程。我们参与施工的昆玉—玉元—元磨高速公路,是昆明至西双版纳交通旅游主干线,总长 539.6 km,海拔高度 1 895 m(昆明)至 786 m(磨黑);从纬度 $25^\circ 02' \text{ N}$ (昆明)至 $23^\circ 20' \text{ N}$ (磨黑),经度 $102^\circ 42' \text{ E}$ (昆明)至 $101^\circ 80' \text{ E}$ (磨黑)。生物气候带由亚热带—干热河谷带—热带,高山峻岭,地形复杂,气候多变,土壤生态修复难度大。因此,路域工程土壤生态修复应围绕复杂的生物气候特点,从植物选择、种群配置、喷播方式、后养护、水肥管理等方面,采取相应的技术措施,方能快速修复土壤生态系统。经过多年考察,上述两路段所代表的不同气候带土壤生态修复工程效果显著,已融入了当地生态景观。

1.3 “两高”道路建设土壤生态修复技术

(1)道路边坡固坡工程处理技术:道路挖方边坡是土石相间的山体边坡。裸露坡面极易受暴雨冲刷,产生强烈的水土流失。特别是复杂地形、地质结构区,具有裂隙和节理发育,坡体岩土层不完整,存在潜在滑坡、崩塌等地质灾害风险,必须进行工程加固或支挡,确保沿线坡体稳定和行车安全。

研究表明^[10],框架锚杆或混凝土骨架梁支护技术适用于结构面发育、岩体风化破碎、坡体中元不良结构面和土质的路堑高边坡;预应力锚索梁加固防护技术适用于裂隙和断层发育的岩石路堑高陡边坡及易滑坡地段、软硬质岩互层路堑高边坡;易坍塌滑坡的土质、软岩或顺层高边坡,宜将抗滑桩与框架锚索防滑加固工程结合使用;风化较严重边坡和坡面稳定的较高土质边坡、路堤边坡,宜采用格子梁护坡。此外,铺挂镀锌铁丝网和锚杆技术,抗拉力强度大,能有效地防止坍塌和碎石掉落,确保道路安全。在满足边坡稳定性和安全性下,宜将边坡工程防护与土壤生态植被防护相结合,尽量避免混

凝土封盖、浆砌石护面,以影响生态景观。

(2)道路边坡土壤生态修复技术模式:山体边坡具有土壤剖面的完整性。在土壤修复过程中,应根据岩土层次和边坡高度,选择不同的土壤生态修复施工技术。表1说明,低矮土质边坡或填方边坡,可直接喷播灌草种;高陡土质边坡挂EM3(三层三维土工网垫)网喷混植生;强风化层挂三维网客土喷混植生;弱风化层或局部岩石层,采取锚杆挂铁丝网、客土喷混植生技术。坡面喷射植生基材前,采取挂三维网、EM(三维土工网垫)网、铁丝网(镀锌或过塑)、土工格栅和土工格室,以及铺CF(椰丝纤维)网或植被草毯等,并用锚杆固定。

表1 不同路域边坡类型、特点^[11-12]及土壤生态修复模式^[12]

Table 1 Types and characteristics of roadside slopes and soil eco-restoration modes

边坡类型 Type of slope	边坡特点 Slope characteristics	剖面构型 Profile characteristics	坡比 Slope ration	土壤生态修复模式 Soil eco-restoration mode
土质边坡 Soil slope	挖方边坡 Cut slope	O-A-AB-B层 O-A-AB-B layer	$\leq 1:0.75$	客土喷播 Soil spray sowing
	填方边坡 Fill slope	AB混合层 AB mixed layer	$\leq 1:1$	液压喷播 Artificial planting or hydroseeding
风化层边坡 Weathered slope	缓坡 Gentle slope	AB-BC层 AB-BC layer	$\leq 1:1.25$	喷混植生 Ectopic-soil spray sowing
	陡坡 Steep slope	B-BC-C层 B-BC-C layer	$\leq 1:0.75$	三维网喷播 Three dimensional net ectopic-soil spray sowing
岩石边坡 Rock slope	弱风化岩石边坡 Weakly weathered rock slope	残留BC-C层 Residual BC-C layer	$1:0.75 \sim 1:1$	挂网喷混植生 Hanging a reticulated spray seeding planting technology
	岩石边坡 Rock slope	C层 C layer	$1:0.5 \sim 1:0.75$	锚杆挂铁丝网喷混植生或V型槽种植 Anchor and hanging a reticulated spray seeding planting technology or V type groove planting

(3)植物选择与种群配置技术:植物种群结构是道路边坡土壤修复重要环节^[11,13-14]。经研究,植物种类选择及种群配置的成熟技术主要有:①按气候地带性规律选择植物品种,北方以落叶树种为主,如胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、紫穗槐(*Amorpha fruticos*)等;南方以常绿树为主,如银合欢(*Acacia glauca*)、美国刺(*Leucaena leucocephala*)、台湾相思(*Acacia confusa*)等(表2),以充分利用南方水光热条件。②南方土壤生态重建应坚持生物多样性,种群结构以灌木为主,乔灌草藤结合。③针对路域土

壤实际,应以豆科植物为主,多科属配置,以维护低肥力下种群植物养分的常态循环。④以地方植物品种为主,以适应当地生物气候环境,提高成活率。⑤植物应立体配置,形态共生互补,并与周边生态景观相协调。2002年云南元(江)磨(黑)高速公路,我们以坡柳(*Dodonaea*)、银合欢等为主,灌草结合,第一次做出了乔、灌、草混植示范样板,现与周边热带雨林融为一体,为扭转全国高速公路单一草被生态作出了贡献。

表 2 我国南方地区土壤生态修复适用植物^[11,14-15]

Table 2 Plants suitable for soil eco-remediation in South China

种 Species	科 Families	属 Genera	种植方式 Planting pattern
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	禾本科 <i>Gramineae</i>	狗牙根属 <i>Cynodon</i>	种子混播 Spray-seeding
百喜草 <i>Paspalum notatum</i>	禾本科 <i>Gramineae</i>	雀稗属 <i>Paspalum</i>	种子混播 Spray-seeding
披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	禾本科 <i>Gramineae</i>	披碱草属 <i>Elymus</i>	种子混播 Spray-seeding
蟛蜞菊 <i>Wedelia chinensis</i>	菊科 <i>Compositae</i>	蟛蜞菊属 <i>Wedelia</i>	种子混播 Spray-seeding
大翼豆 <i>Macroptilium urban</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	大翼豆属 <i>Macroptilium</i>	种子混播 Spray-seeding
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	种子混播 Spray-seeding
木豆 <i>Cajanus cajan</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	木豆属 <i>Cajanus</i>	种子混播 Spray-seeding
多花木兰 <i>Magnolia multiflora</i>	木兰科 <i>Magnoliaceae</i>	木兰属 <i>Magnolia</i>	种子混播 Spray-seeding
银合欢 <i>Acacia glauca</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	金合欢属 <i>Acacia</i>	种子混播 Spray-seeding
金合欢 <i>Acacia farnesiana</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	金合欢属 <i>Acacia</i>	种子混播 Spray-seeding
紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	紫穗槐属 <i>Amorpha</i>	种子混播 Spray-seeding
台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	金合欢属 <i>Acacia</i>	移栽 Transplanting
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	马鞭草科 <i>Verbenaceae</i>	马缨丹属 <i>Lantana</i>	移栽 Transplanting
勒杜鹃 <i>Bougainvillea glabra</i>	紫茉莉科 <i>Nyctaginaceae</i>	叶子花属 <i>Bougainvillea</i>	移栽 Transplanting
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	桑科 <i>Moraceae</i>	榕属 <i>Ficus</i>	移栽 Transplanting
大红花 <i>Hibiscus Rosa-sinensis</i>	锦葵科 <i>Malvaceae</i>	木槿属 <i>Hibiscus</i>	移栽 Transplanting
夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	夹竹桃科 <i>Apocynaceae</i>	夹竹桃属 <i>Nerium</i>	移栽 Transplanting
紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	紫藤属 <i>Wisteria</i>	扦插繁殖 Cottage
葛藤 <i>Pueraria phaseoloides</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	葛属 <i>Pueraria</i>	扦插繁殖 Cottage
爬山虎 <i>Parthenocissus Planch</i>	葡萄科 <i>Vitaceae</i>	爬山虎属 <i>Parthenocissus</i>	扦插繁殖 Cottage

(4) 可规模化、机械化施工的喷混植生创新技术:路域工程土壤生态修复规模大,工程量多,时限紧。我们自主研发的喷混植生技术,从质量、速率和效益上,适应了国家重大工程项目的需求,已在全国推广。其主体技术优势:①灌草种多品种混合喷播;②添加有机基材、营养物质、粘结剂、保水剂,有利于维护种苗安全生长环境;③增厚客土层,对缺少表土的风化层或母质层更适用。喷混物料厚度 10~15 cm,每天喷混 500~800 m² 8h⁻¹。

(5) 道路边坡土壤植被后养护技术:“两高”道路建设是国家重点工程,要求土壤生态修复养护期长,一般达 2~3 年,待植被层稳定后方能工程验收。多年工程实践表明,节水浇灌是后养护主要技术。因此,①在 500 m 内找好固定水源,否则宜打井,寻找地下水源;②配装高压抽水和灌溉机械,抽水系统是固定的,排灌可移动;③前期勤浇,后期间歇。出苗期一天两次,齐苗后一天一次,嗣后逐步减少;④南方温暖气候下,前期灌溉量 3 kg m⁻² 左右,后期灌溉量 2 kg m⁻² 左右,养护 2 年约需水量 800 kg m⁻²,若 1 × 10⁴ m² 工作面,即需水 8 000 t。一般养护 1~2 年即可依靠自然雨水维护水分和养分循环。

(6) 道路边坡土壤生态修复效果的后观察:近

两年,对 15 年来已完成的 2 000 × 10⁴ m² 南方道路边坡土壤生态修复多项工程的实际效果,进行了定点抽样观测(表 3),表明:①生物群落的演替总趋势。植物群落是由草本植物群落—灌草混生群落—乔灌草立体群落演变。植物群落立体配置技术,是保持边坡人工植被群落可持续演替和生物多样性的关键。②草被生态的演替过程。20 世纪末,多种草种单纯喷播工程,有海南西线、昆玉、玉元、漳龙早期参与的高速公路,人工草被寿命短,3~5 年后逐渐被芒箕(*Dicranopteris pedata*) 侵入,夹有少量山苍子(*Litsea cubeba*)、黄栀(*Gardenia jasminoides* Ellis)、野茉莉(*Styrax japonicus*) 丛。可见,道路边坡不宜单纯植草,草本植物水光热利用率极低,植被易退化,延长向自然立体生态演替过程。③乔、灌、草立体生态模式的稳定性。后期考察的相关工程有广惠、开阳、揭普、元磨、昆石、福宁、成南、粤赣粤北段、宁杭、清平等高速主干道,采用乔、灌、草混喷,乔灌木生长茂盛,林下草退化无几,外来侵入种极少。特别提及的种群组合中的金合欢(*Acacia farnesiana*)、银合欢、山毛豆(*Tephrosia candida*) 等强结实植物,种子成熟后散落地面,产生了多代演替,已成永久性植被。

表 3 土壤生态修复工程实践
Table 3 Soil ecological restoration projects implemented

工程实例 Engineering example	竣工时间 Completion date (yyyy-mm)	工程面积 Project area ($\times 10^4 \text{ m}^2$)	植物配置模式 Plant configuration mode	自然演替及后效果观察 Follow-up observation of natural succession
云南昆玉高速公路 Kun-Yu Expressway in Yunnan	1998-12	10.3	单草本混播 Herbeous grass	草被退化, 芒萁侵占 The grass was degraded, <i>Dicranopteris pedata</i> embezzlement
海南西线环岛高速公路 West section of the Round- Island Expressway in Hainan	1998-08	8.6	单草本混播 Herbeous grass	以狗牙根和铁芒萁为主的草、蕨植被 Vegetation grass fern with <i>Cynodon dactylon</i> and <i>Dicranopteris dichotoma</i> dominated
云南玉元高速公路 Yu-Yuan Expressway in Yunnan	2000-06	13.5	灌、草混播 Shrub & grass	以银合欢、狗牙根为主的灌、草二元结构 Shrub & grass two element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated
四川成南高速公路 Cheng-Nan Expressway in Sichuan	2002-10	16.8	灌、草混播 Shrub & grass	以银合欢、狗牙根为主的灌、草二元结构 Shrub & grass two element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated
京珠高速粤北 D 标段 Section D of the Jing-Zhu Expressway in Northern Guangdong	2002-12	25	灌、草混播 Shrub & grass	以银合欢、狗牙根为主的灌、草二元结构 Shrub & grass two element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated
云南元磨高速公路 Yuan-Mo Expressway in Yunnan	2003-05	18.7	乔、灌、草混播 Trees, shrubs & grass	以银合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构, 立体郁闭 Shrub & grass two element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated
四川达渝高速公路 Da-Yu Expressway in Sichuan	2004-02	15.5	乔、灌、草混播 Trees, shrubs & grass	以银合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass three element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy
粤赣高速公路粤北段 North section of the Yue-Gan Expressway	2005-03	17.4	乔、灌、草混播 Trees, shrubs & grass	以银合欢、金合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass three element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy
深圳市南坪快速路 Nanping Expressway in Shenzhen	2006-04	12.5	乔、灌、草混播 Trees, shrubs & grass	以银合欢、金合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass three element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy
广州南沙采石场治理 Nansha quarry in Guangzhou	2007-05	28.7	乔、灌、草、藤混播 Trees, shrubs, grass & vine	以小叶榕、银合欢、大翼豆、狗牙根为主的乔、灌、藤、草四元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass four element structure of <i>Ficus microcarpa</i> , <i>Acacia glauca</i> , <i>Macropitium urban</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy

续表

工程实例 Engineering example	竣工时间 Completion date (yyyy-mm)	工程面积 Project area ($\times 10^4 \text{ m}^2$)	植物配置模式 Plant configuration mode	自然演替及后效果观察 Follow-up observation of natural succession
深圳龙岗松子坑 2# 石场 Songzikeng 2# quarry in Longgang, Shenzhen	2009-07	5	乔、灌、草、藤混播 Trees, shrubs, grass & vine	以小叶榕、银合欢、葛藤、狗牙根为主的乔、灌、藤、草四元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass four element structure of <i>Ficus microcarpa</i> , <i>Acacia glauca</i> , <i>Pueraria phaseoloides</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy
广东清连高速公路 Qing-Lian Expressway in Guangdong	2010-09	10.6	乔、灌、草混播 Trees, shrubs, & grass	以银合欢、台湾相思、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass four element structure of <i>Acacia glauca</i> , <i>Acacia confusa</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy
海南三亚 A1、A2 石场边坡 A1, A2 quarry slopes in Sanya, Hainan	2013-05	12.5	乔、灌、藤种植 + 混播 Trees, shrubs, vine and grass	以小叶榕、银合欢、葛藤、狗牙根为主的乔、灌、藤、草四元结构, 立体郁闭 Trees, shrub & grass four element structure of <i>Ficus microcarpa</i> , <i>Acacia glauca</i> , <i>Pueraria phaseoloides</i> , <i>Cynodon dactylon</i> dominated, three-dimensional canopy

2 城镇化建设中裸露山体土壤生态修复问题

2.1 采石过程破坏城市生态景观

2012 年末, 中国城镇化率达到 52.57%, 相比于西方发达国家均在 95% 以上, 美国是 97%, 中国城镇化水平仍然较低, 但当前正处于高速增长时期。大规模的城市建设产生了对石料、石材、石灰岩、石英砂等资源的大量需求, 在城市周边山体, 形成了大量废弃采石场和巍耸的高陡岩石边坡。以深圳为例, 城市化初期 1 953 km^2 的国土面积一度拥有 669 家采石场, 其中 3 000 m^2 以上 456 座, 边坡总面积超过 1 000 hm^2 。无序开采曾对城市生态景观造成了严重破坏, 给城市和人居环境带来了安全隐患。海南省三亚市是旅游岛建设的重点城市, 目前周边有 49 个废弃的采石场, 总面积达 $250 \times 10^4 \text{ m}^2$, 其中荔枝沟 II 号采石场面积 $6.3 \times 10^4 \text{ m}^2$, 正处于城市发展中央区, 边坡高陡, 岩石裸露, 曾给当地城市景观和生态文明带来严重破坏。这些采石场亟需政府整治和覆绿, 但城市岩石边坡, 土壤破坏彻底, 缺乏水肥土等植物生存的基本条件, 土壤生态修复难度极大^[12, 16], 已成为我国城镇化生态文明建设的热点和工程难点^[15-20]。

2.2 城市裸露山体岩石边坡特征

(1) 城市岩体边坡成型特征: 从城市岩体边坡

成型特征看, ①城市房建工程需用大量石料耗材, 考虑运输成本, 以就地取材为主的采石场, 大多以城市中央为轴心, 散乱分布在城市近郊或城乡结合部, 地势较陡峭、岩体外露的高丘或山地。②采石场石壁、山体岩口多为爆炸成型, 采用垂直开采方式, 自上而下挖掘, 机械与人工结合环形开挖, 石壁坡面凹凸不平。边坡坡度在 $80^\circ \sim 90^\circ$ 之间, 形成巨大的高低不平的断崖层面, 甚至倒坡, 岩体相对高度多在 80 ~ 130 m。③为方便石材、石料运输, 废弃采石场多呈半环形边坡。坡面受炸药震力作用, 局部多有裂痕或节理, 但整体岩层结构并未破坏, 石壁稳固和安全。

(2) 岩体边坡立地环境: 从边坡环境特征看, 采石场立地条件恶劣, 高陡石壁坡面缺少平台或平台窄小, 残存土壤极少, 原生植被破坏, 缺乏植被赖以生存的土壤。因此, 必须从工程措施上, 多途径解决回填种植土问题。同时, 采石场环形开采的微地形环境, 造成石岩内小气候差异性, 形成阴阳坡, 坡面温度、蒸发量、辐射热等差异显著, 石壁阳坡夏季温度可达 50°C 以上, 阴坡低 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 。在南方亚热带气候生物循环旺盛条件下, 应利用采石场生物小气候特点, 在土壤生态修复和种植养护技术上, 加以优势利用。

(3) 水土流失趋向: 从水土保持学特征看, 采石场选址确定后, 首先采用大型推土机和挖掘机, 将

土层推平运出,直见结实的岩石层。因此,岩体边坡早期存在水土流失,并出现高峰,但土层清场后,随着采石深度的下移,水土流失趋势减弱。而废弃采石场即使暴雨也只有水的流失,几乎没有土的流失。而且环形盆底容量很大,遇渍水也可通过周边渗漏,对下游区域不构成水土冲刷威胁,保障了下游农田和人居安全。

(4)岩体边坡剖面形态:从土壤发生学特征看,采石场边坡不具有完整的剖面特征,腐殖质层(O层)、表土层(A层)及淋溶淀积层(B层)基本被机械铲除,只剩残余的弱风化层(BC)和母岩层(C层)。我们从深圳和三亚观察到由花岗岩母质发育的城市岩体边坡,其周边残留体剖面乔灌木植被覆盖良好,表土层(A层)深1~1.5 m,风化层(B层)厚度3~4 m,母岩层(C层)埋藏在5~6 m以下。现状岩体边坡,90%为C层,BC层很薄。因此土壤生态修复过程中,必须靠外来土源输入,既要修接纳槽体,又要全面挂网锚固,工序复杂,工程成本较高,现市场价格达350~400元 m^{-2} 。但在城市生态文明建设的推动下,技术市场需求仍然广阔。

(5)岩体边坡力学性质:从岩体结构力学特征分析,采石场岩体多为近直立的花岗岩高边坡,岩体强度较高。受爆炸及开挖等外力卸荷作用影响,岩体内产生大量节理、裂隙,原生或构造节理张开。在各种节理裂隙作用下,岩体被切割成大块状,坡面岩体结构较破碎,具有危岩落石发生的可能。岩体破坏模式主要为倾倒、坠落及局部崩(滑)塌破坏,造成边坡局部失稳,形成大面积碎石流,采用工程防护措施时应注意这一特点。这增加了城市环境安全治理和生态施工的技术难度。因此,相对于其他山体边坡,特别是道路创伤边坡,采石场岩石边坡生态修复的难度更大。

2.3 城市高陡岩石边坡土壤生态修复技术体系

(1)城市岩体边坡土壤生态修复技术:实践表明,岩体边坡视角景观特别是俯视景观太差,生态修复技术难度太大。主要采取:①应以生物遮挡为主,辅以全面覆盖;②以种植苗木为主,结合灌草种子坡面混播;③充分利用边坡及坡底平台,种植高大乔木,以促早成林,发挥绿色遮挡效果;④坡面纵向间隔2m沿等高线设置植生槽,回填营养土;⑤充分利用槽内土壤资源栽植大苗木,建好植生带。

(2)V型槽+挂网喷混技术模式:针对80°~90°坡度和土肥水皆无的城市高陡岩体边坡的特殊性,单用挂网喷草或喷混植生技术效果很差。采用

V型槽技术加挂网喷混植生技术模式,将工程措施与生物技术紧密结合,在垂直坡面上创造植物生长的微环境或植生带。V型槽的作用:①V型槽由钢筋混凝土现浇,深度约80 cm,面宽约70 cm,并与坡面成45°,2 m间距等高线布设,主要功能是接纳回填土和营养土;②分层切割坡面铁丝网和喷混层重力下垂拉力,减少灾害性拉力崩塌;③充分利用V型槽有限土壤资源,种植大苗,建立多层次植物生长带。

(3)V型槽技术模式的工艺流程^[12]:包括:坡面乱石清理→挂铁丝网→锚杆固网→构筑钢筋混凝土V型槽(搭设脚手架→钻孔→锚杆制作→绑扎钢筋→安装模板→浇筑混凝土)→槽内回填种植土→喷混植生(种植基材配置→喷基底土层→喷播种子→无纺布覆盖)→V型槽栽种大苗植物带→建滴灌系统→养护。

(4)垂直岩体坡面喷混植生关键技术:南方80°~90°岩石坡面推广喷混植生,宜采取:①挂双层铁丝网,并用长、短锚杆固网;②在有机基材混合料中添加粘结剂,为降低成本,粘结剂可用国产胶粉,甚至可用硅酸盐产品替代;③在网下垫草把或喷PE(聚乙烯)丝,可增加喷混层孔隙度和粘结力;④保障喷混层厚度10~15 cm,可分2~3次喷基底,待物料凝结后再喷,以避免泻底;⑤在喷播灌草过程中,宜加入少量藤本种子,以加快覆绿,并攀缘局部倒岩。

(5)V型槽种植带建植技术:根据深圳、广州南沙、海南三亚8个岩体边坡治理工程实践认为:①在回填土中加入营养基质,由腐殖质土、禽畜有机肥、复合肥、蘑菇肥及保水剂等组成,创造良好的根际土壤肥力环境;②针对南亚热带和热带气候特点,种植带建植坚持生物多样性,强调以豆科、灌木、常绿及乡土植物为主的原则(表2),增强植物的适应性和抗逆性;③加大藤本植物配置比例,组成乔、灌、藤、草人工生物群落;④提倡高密度种植,大苗、袋苗移栽。槽内分两排进行种植,内侧种植爬藤类,间距20 cm;外侧间隔50 cm栽植灌木袋苗,每米段栽植苗木株数5~7株,主栽苗木为台湾相思、小叶榕(*Ficus microcarpa*)、勒杜鹃(*Bougainvillea glabra*)等,藤本植物包括爬山虎(*Parthenocissus planch*)和葛藤(*Pueraria phaseoloides*)。

(6)节水滴灌养护技术:水肥管理是V型槽及边坡植物生长的安全保障。V型槽种植和喷混施工完成后,原工作台、架拆除,养护工作困难,且不安

全。因此,采用节水滴灌技术势在必行。节水滴灌系统由高压抽水泵站,蓄水池,PC(聚碳酸酯)主管、分管及滴水支管组成。蓄水池多设在山顶,以增加下泄压力,或自流灌溉,直接将水滴送入植物根际。必要时可添加水溶性复合肥,水利用率高、工作方便,非常适合采石场边坡水肥调节。同时做好缺苗修补、雨后追肥、防治病虫害等。养护2~3年,即可依靠自然雨水维护植被生长。

3 结 论

土壤生态修复工程学是我国现代化工程建设中产生的一门新兴学科,展示了土壤科学的创新和发展。国家重大基础工程建设,破坏了土壤圈物质和生物循环,加剧了土壤侵蚀和地质夷平过程。“两高”建设属线型工程,地跨多个纬度,地带性与立体性气候交错,土壤生态修复模式更具多样性。路域边坡土壤剖面结构具有完整性,应根据边坡特征,安排土壤生态修复施工模式。植物选择与配置,应维护生物多样性和植物群落演替可持续性。城市采石场边坡多是爆炸成型,地形陡峭,土壤剖面特征不完整,缺乏植物生存基本条件。采用V型槽加挂网锚固喷混植生技术,是岩体边坡土壤生态修复的重要技术途径。

参 考 文 献

- [1] 赵其国. 发展与创新现代土壤科学. 土壤学报, 2003, 40(3): 321—327. Zhao Q G. Development and innovation of modern soil science (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 321—327
- [2] 赵其国. 提升对土壤认识, 创新现代土壤学. 土壤学报, 2008, 45(5): 771—777. Zhao Q G. Improving knowledge of soil, innovating modern pedology (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 771—777
- [3] 赵其国, 万红友. 中国土壤科学发展的理论与实践. 生态环境, 2004, 13(1): 1—5. Zhao Q G, Wan H Y. Theory and practice of soil science development in China (In Chinese). *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 1—5
- [4] 赵其国, 周生路, 吴绍华, 等. 中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策. 土壤学报, 2006, 43(6): 662—672. Zhao Q G, Zhou S L, Wu S H, et al. Cultivated land resources and strategies for its sustainable utilization and protection in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6): 662—672
- [5] 钟晓兰, 周生路, 赵其国. 城乡结合部土壤污染及其生态环境效应. 土壤, 2006, 38(2): 122—129. Zhong X L, Zhou S L, Zhao Q G. Soil contamination and its eco-environmental impacts in the urban-rural marginal area (In Chinese). *Soils*, 2006, 38(2): 122—129
- [6] 骆永明, 滕应, 过园. 土壤修复——新兴的土壤科学分支学科. 土壤, 2005, 37(3): 230—235. Luo Y M, Teng Y, Guo Y. Soil remediation—A new branch discipline of soil science (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(3): 230—235
- [7] 何越磊. 铁路建设与脆弱生态环境的可持续发展. 铁道劳动安全与环保, 2007, 34(5): 219—222. He Y L. Construction of railways and sustainable development of the weak ecological environment (In Chinese). *Railway Occupational Safety Health & Environmental Protection*, 2007, 34(5): 219—222
- [8] 李广英, 张同作. 浅谈公路建设对生态环境的影响及其对策. 青海环境, 2002, 12(4): 169—171. Li G Y, Zhang T Z. Discussion on the impact on the ecological environment and the countermeasures of highway construction (In Chinese). *Journal of Qinghai Environment*, 2002, 12(4): 169—171
- [9] 蒋忠信. 路堑高边坡的工程和环境问题及对策. 铁道工程学报, 2005(5): 39—42, 87. Jiang Z X. Engineering and environmental problems and countermeasures of high cutting slope of subgrade (In Chinese). *Journal of Railway Engineering Society*, 2005(5): 39—42, 87
- [10] 李刚. 浅谈铁路隧道洞口及明洞段边坡防护. 山西建筑, 2010, 36(11): 327—328. Li G. Discussion on the side slope protection of railway tunnel portal and cut-and cover tunnel (In Chinese). *Shanxi Architecture*, 2010, 36(11): 327—328
- [11] 陈晓蓉, 徐国钢, 朱兆华, 等. 深圳地区道路边坡植物配置及群落建植技术. 草业科学, 2013, 30(9): 1359—1364. Chen X R, Xu G G, Zhu Z H, et al. Research on road slope plant configuration and ecological pattern in Shenzhen (In Chinese). *Practical Tural Science*, 2013, 30(9): 1359—1364
- [12] 曹华英, 朱兆华, 徐国钢, 等. 城市高陡岩石边坡V型槽生态修复的施工技术探索. 江西农业学报, 2013, 25(6): 129—131. Cao H Y, Zhu Z H, Xu G G, et al. Exploration of engineering technique for ecological restoration of urban high steep rock slope V-groove (In Chinese). *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2013, 25(6): 129—131
- [13] 徐国钢, 赖庆旺. 中国西南部道路边坡生态治理的实践. 草业科学, 2002, 19(1): 66—69. Xu G G, Lai Q W. Practice of ecological control of highway slopes in Southwest China (In Chinese). *Practical Tural Science*, 2002, 19(1): 66—69
- [14] 赖庆旺, 陈德华, 徐国钢, 等. 京珠高速公路粤境北段边坡生态防护技术. 草业科学, 2003, 20(9): 73—75. Lai Q W, Chen D H, Xu G G, et al. Ecological protection technology of side slope in Beijing-Zhuhai Expressway in Northern Guangdong (In Chinese). *Practical Tural Science*, 2003, 20(9): 73—75
- [15] 刘刚. 废弃采石场生态环境治理植物种类选择. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(4): 63—68. Liu G. Tree species selection and supporting technique for greening abandoned open pit (In Chinese). *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2010, 21(4): 63—68
- [16] Edwards J A, Liurdes J C. Mines and quarries; Industrial heritage tourism. *Annals of Tourism Research*, 1996, 23(2): 341—363
- [17] 罗松, 郑天媛. 采石场遗留石质开采面阶梯整形覆土绿化方

- 法研究. 中国水土保持, 2001(2): 36—37. Luo S, Zhen T Y. Research methods of green plastic covering step of quarry left rock slope (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 2001(2): 36—37
- [18] 郑涛, 车伟光. 废弃采石场生态恢复以及景观再生研究——以北京市门头沟区废弃采石场为例. 草原与草坪, 2009(3): 65—68. Zhen T, Che W G. Study on the ecological restoration and landscape regeneration of abandoned open pit—A case study in Mentougou District of Beijing City (In Chinese). Grassland and Turf, 2009(3): 65—68
- [19] 柯林, 戈祖国, 王琼, 等. 废弃采石场的景观设计与生态治理研究. 草原与草坪, 2010, 30(3): 70—73. Ke L, Ge Z G, Wang Q, et al. Landscape design and ecological control of abandoned quarry (In Chinese). Grassland and Turf, 2010, 30(3): 70—73
- [20] 陈法扬. 城市化过程中的废弃采石场治理技术探讨. 中国水土保持, 2002(5): 39—40. Chen F Y. Discussion on the treatment technology of abandoned quarry in the city urbanization (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 2002(5): 39—40
- [21] 方华, 欧阳育林, 林建平, 等. 采石场生态整治的技术与行政措施——以深圳市为例. 水土保持研究, 2004, 11(1): 171—173. Fang H, Ouyang Y L, Lin J P, et al. Technical and administrative measures on quarry ecological renovation (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(1): 171—173

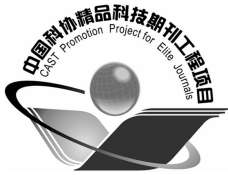
SOIL ECOLOGY REMEDIATION TECHNICAL SYSTEM AND ITS PRACTICE IN INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION IN SOUTH CHINA

Xu Guogang Cheng Rui[†] Lai Qingwang Zhu Zhaohua Sun Jixiong
(Shenzhen Master Ecology & Environment Co., Ltd., Shenzhen 518038, China)

Abstract The processes of modernized infrastructure construction and urbanization in China are promoting rapid development of the economy of the country. By 2013, the national highway and high speed railway traffic mileage had reached 104 400 km and 13 000 km, ranking first in the world. However, any one of the national major engineering construction projects is done at the expense of soil ecology, disturbing the circulation of material and biomass in the pedosphere, aggravating soil erosion and geological planation process. It is, therefore, essential and imperative to remedy the soil ecology after the construction is completed. A review is presented here of the researches and development in this aspect in the past 15 years, elaborating emphatically characteristics of the soil destruction caused by the national major engineering construction, like highways, high-speed railways traffic network construction, urbanization; discussing innovative technologies for soil ecology remediation of roadside slopes, city high steep rock slopes, etc. by taking into account a large number of soil ecology remediation engineering practices as examples; and providing a technical support system for ecology remediation of erosive soils in infrastructure construction in South China. After the construction of highways and high-speed railways, large tracts of soil ecology alongside the highways or railways were disturbed or damaged. About 70% of the soils existed in the form of slope, complete in soil structure and profile feature. Subjected to long term exposure, those bare slopes tend to generate large volumes of runoffs of water and sediment. The road or railway construction projects are often laid out linearly, stretching over a wide range of bio-climate zones with zonal climate interlaced with stereo climate. So in restoring vegetation on the slopes, shrubs, leguminous plants and plants of local varieties should be used as mainstay. Such vegetation integrating trees, shrubs, grass and vine, which mutually supplement each other in plant shape, forming a harmonious landscape. Urban steep rock slopes often result from explosions in engineering and lack such basic conditions as soil, water, nutrient, for plants to survive. Revegetation on such slopes is costly and technically does not have much choice. The technique of V type groove coupled mulching with nets fixed with bolts on the slopes and spraying suspension of grass seeds can be used to restore soil ecological landscape. This is a quite mature inventive technique for restoration of soil ecology on steep rock slopes in China.

Key words Infrastructure construction; Soil destruction characteristics; Soil ecological restoration; Technology system; South China

(责任编辑:陈德明)



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 2 期 2015 年 3 月

目 次

综述与评论

- 理论施氮量的改进及验证——兼论确定作物氮肥推荐量的方法 巨晓棠(249)
- 森林土壤氧化亚氮排放对大气氮沉降增加的响应研究进展 方华军 程淑兰 于贵瑞等(262)

研究论文

- 商丹盆地黄土母质发育土壤的微形态特征及其诊断意义 庞奖励 黄春长 查小春等(272)
- 基于土壤氮素平衡的氮肥推荐方法——以水稻为例 宁运旺 张永春(281)
- 三峡库区紫色土的碎石分布特征 王小燕 王天魏 蔡崇法等(293)
- 黄土区坡耕地土壤结皮对入渗的影响 吴秋菊 吴 佳 王林华等(303)
- 基于局部加权回归的土壤全氮含量可见-近红外光谱反演 陈颂超 冯来磊 李 硕等(312)
- 五价砷在中国南方两类典型土壤中的迁移特征 李璐璐 张 华 周世伟等(321)
- 柠檬酸盐对黑云母表面溶解及微结构变化的影响 李继福 张文君 鲁剑巍等(329)
- 活化过硫酸钠氧化土壤对挥发性有机污染物吸附特性的影响 丁浩然 王 磊 龙 涛等(336)
- 退化喀斯特森林植被自然恢复中土壤有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值特征 黄宗胜 喻理飞 符裕红等(345)
- 缓释复合肥对茄子产量和不同采果期品质的影响 王 菲 李银科 王正银等(355)
- 氮肥和秸秆施用对稻麦轮作体系下土壤剖面 N_2O 时空分布的影响 潘晓健 刘平丽 李 露等(364)
- 应用 ^{15}N 示踪法研究咸水滴灌棉田氮肥去向 张 文 周广威 闵 伟等(372)
- 中国南方基础工程建设中土壤生态修复技术体系与实践 徐国钢 程 睿 赖庆旺等(381)
- 黑土农田施加 AM 菌剂对大豆根际菌群结构的影响 宋福强 程 蛟 常 伟等(390)
- 自生固氮菌对土壤钾的活化作用 张 亮 袁 玲 黄建国(399)
- 长期保护性耕作对纤维素降解基因 *cbh 1* 多样性的影响 陈 坤 李传海 朱安宁等(406)
- 模拟条件下土壤硝化作用及硝化微生物对不同水分梯度的响应 刘若萱 张丽梅 白 刃等(415)
- 水力侵蚀影响下土壤有机碳和微生物数量动态变化特征 喻 为 李忠武 黄金权等(423)

研究简报

- 土壤制图中土壤类型配色模型构建与应用 徐爱国 张维理 张怀志等(431)
- 土壤专题图中采样点点位标识模型的构建 张怀志 张维理 徐爱国等(440)
- 非对称混合电解质体系中恒电荷颗粒表面与 Stern 电位的测定 樊会敏 赵 艳 刘新敏等(446)
- 植被重建下露天煤矿排土场边坡土壤碳储量变化 李俊超 党廷辉 薛 江等(453)
- 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系 谢文军 张衍鹏 张 森等(461)

信息

- 第 20 届国际土壤与耕作研究组织大会 (414)
- 《土壤学报》2014 年度审稿专家名录 (467)

封面图片: 陕西丹凤盆地土壤黏化层典型微形态(由庞奖励提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Improvement and validation of theoretical N rate (TNR)—Discussing the methods for N fertilizer recommendation Ju Xiaotang(261)
- Study on the responses of nitrous oxide emission to increased nitrogen deposition in forest soils; A review Fang Huajun, Cheng Shulan, Yu Guirui, et al. (270)

Research Articles

- Micromorphological features of soils derived from loess in Shangdan Basin and their significance in soil diagnosis Pang Jiangli, Huang Chunchang, Zha Xiaochun, et al. (279)
- Soil nitrogen balance based recommendation of nitrogen fertilization; A case study of rice ... Ning Yunwang, Zhang Yongchun(292)
- Spatial distribution of rock fragments in purple soil in Three Gorges Reservoir Area Wang Xiaoyan, Wang Tianwei, Cai Chongfa, et al. (301)
- Effects of soil crusts on infiltration in slope land in the Loess Area Wu Qiuju, Wu Jia, Wang Linhua, et al. (311)
- Vis-NIR spectral inversion for prediction of soil total nitrogen content in laboratory based on locally weighted regression Chen Songchao, Feng Lailei, Li Shuo, et al. (319)
- Migration of pentavalent antimony in two types of soils typical to South China Li Lulu, Zhang Hua, Zhou Shiwei, et al. (327)
- Effects of citrate dissolving surface and altering microstructure of biotite Li Jifu, Zhang Wenjun, Lu Jianwei, et al. (335)
- Effect of soil oxidation with reactivated sodium persulfate on sorption of volatile organic contaminants Ding Haoran, Wang Lei, Long Tao, et al. (343)
- Characteristics of $\delta^{13}\text{C}$ value of soil organic carbon under naturally restoring degenerative karst forest Huang Zongsheng, Yu Lifei, Fu Yuhong, et al. (353)
- Effects of slow-release compound fertilizer on yield and quality of eggplant relative to timing of harvest Wang Fei, Li Yinke, Wang Zhengyin, et al. (362)
- Spatial and temporal distributions of soil profile N_2O as affected by N fertilization and straw incorporation in the rice-wheat rotation system Pan Xiaojian, Liu Pingli, Li Lu, et al. (371)
- Fate of fertilizer N in saline water drip-irrigated cotton field using ^{15}N tracing method Zhang Wen, Zhou Guangwei, Min Wei, et al. (379)
- Soil ecology remediation technical system and its practice in infrastructure construction in South China Xu Guogang, Cheng Rui, Lai Qingwang, et al. (389)
- Impact of inoculation with AM fungi on microbial community structure in soybean rhizosphere in farmland of black soil Song Fuqiang, Cheng Jiao, Chang Wei, et al. (397)
- Mobilization of potassium in soils by *Azotobacter* Zhang Liang, Yuan Ling, Huang Jianguo(404)
- Effects of long-term conservation tillage on diversity of cellulose degradating gene *cbh I* in Fluvo-aquic soil Chen Kun, Li Chuanhai, Zhu Anning, et al. (413)
- Response of nitrification and nitrifier to change in soil moisture content under simulated conditions Liu Ruoxuan, Zhang Limei, Bai Ren, et al. (421)
- Dynamics of soil microbial population and organic carbon under water erosion Yu Wei, Li Zhongwu, Huang Jinquan, et al. (430)

Research Notes

- Construction of a color matching model for soil types and its application to soil mapping Xu Aiguo, Zhang Weili, Zhang Huaizhi, et al. (439)
- Development of soil sampling point labeling model for the matic soil maps Zhang Huaizhi, Zhang Weili, Xu Aiguo, et al. (445)
- Principle for determination of surface potential and Stern plane potential of constant charged particles in asymmetric mixed electrolyte solutions Fan Huimin, Zhao Yan, Liu Xinmin, et al. (452)
- Variability of soil organic carbon storage in dump slope of opencast coal mine under revegetation Li Junchao, Dang Tinghui, Xue Jiang, et al. (460)
- Relationships between soil physicochemical properties and wheat production in coastal saline soil Xie Wenjun, Zhang Yanpeng, Zhang Miao, et al. (466)

Cover Picture: Typical micromorphological photos in Horizon Bt of the soil profile in Danfeng Basin, Shaanxi Province, China (by Pang Jiangli)