

受损边坡生态修复工艺选择、目标群落设计与效果评价

朱兆华¹, 赖 涛², 陈晓蓉¹, 徐国钢¹, 赖庆旺¹

(1. 广东省受损边坡生态景观重建工程技术研究中心, 深圳市万信达生态环境股份有限公司, 广东 深圳 518000;

2. 深圳市深水水务咨询有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要:对道路边坡、采石边坡 2 类最常见的受损边坡生态修复工程的工艺选择、目标群落设计进行了总结, 对工程效果进行了调查和观测。结果表明, 道路边坡的植物群落总的演替顺序为草本植物群落→灌、草混生群落→乔、灌、草立体群落, 单纯草被群落在后期生物演替过程中存在退化, 而乔、灌、草混合生态模式则具有相当的稳定性, 生物多样性丰富, 是值得推荐的植物配置方式; 采石受损边坡植被覆盖率较高, 复层混合群落结构占主导, 生物多样性丰富, 演替过程明显, 但局部存在植被退化现象。总体而言, 调查样地受损边坡生态修复工艺选择与目标群落设计是成功的。

关键词:受损边坡; 生态修复; 目标群落; 生物演替

中图分类号:S721 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)03-0078-06

Process Selection, Target Community Design and Effect Assessment on Ecological Restoration Engineering of Damaged Slope

ZHU Zhao-hua¹, LAI Tao², CHEN Xiao-rong¹, XU Guo-gang¹, LAI Qing-wang¹

(1. Ecological Landscape Reconstruction Engineering Technology Research Center of Guangdong Province,

Shenzhen Master Environment Greening & Construction Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China;

2. Shenzhen Deep-water Consulting Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: This paper summarized the selection of techniques and the design of target plant community in the ecological restoration projects of 2 kinds of the most common damaged slopes (road slope and quarry slope). The effects of the projects were investigated. It was found that the sequence of the succession of plant communities in the road slope was herbaceous plant community, shrub and grass mixed community, and the community of arbors, shrubs and grasses. The grass community was degraded in the later stage of succession. However, the mixed ecological model that was consisted of arbors, shrubs and grasses was quite stable, and the biodiversity was rich, so it was worthy of recommendation. The vegetation coverage of quarry slope was relatively high, and the community structure of the mixed layer was dominant with rich biodiversity, and the succession process was very obvious, but the vegetation degradation was observed in some quarry slopes. Overall, the selection of ecological restoration technique and the design of the target plant community for the damaged slope survey sample were successful.

Key words: damaged slope; ecological restoration; target community; biological succession

受损边坡是由自然或人为因素造成的裸露坡面, 是地质灾害或现代工程建设的产物, 对地表生态景观破坏彻底, 如不及时治理, 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

害及边坡安全事件。边坡安全事件一旦发生, 通常伴随着极其巨大的生命财产损失, 如甘肃舟曲泥石流事件、光明渣土受纳场滑坡特大事故等, 结果惨烈, 影响巨大, 震惊世界。我国受损边坡具有来源

广、规模大、地质灾害多、治理难度大等特点,引起了学界、业界及社会公众的广泛关注^[1-7]。

本研究结合企业近20 a来的技术创新成果和工程实践经验^[8-10],对道路边坡、采石边坡2类常见的受损边坡生态修复的工艺选择、目标群落设计进行总结,观测生态修复工程的后效,以检查最初治理方案的科学性、合理性,研判治理目标是否得以实现。

1 受损边坡生态修复的原则和目标

1.1 生态修复原则

受损边坡生态修复一般需遵循4项原则^[8,10]。

1)因地制宜原则:受损边坡生态修复工艺、技术及材料的选择与使用的前提是适应当地的气候及环境条件;同时,即使是同一坡面的不同区域,其坡面类型和立地条件的差异性也是很大的,这就需要根

据具体情况,分区分段地制定有针对性的工艺方案(图1)。

2)低养护原则:生态修复工程完工后的一段时间(如南方约1 a)需要进行养护,如覆盖无纺布以防冲刷及水分过度蒸发,并定期浇水、施肥、补苗等,当植被覆盖率达到一定程度,就要求能够减养护或免养护,使坡面植被能自然生长,并成功演替。因此,植物配置、工艺选择等都要遵循低养护原则,以节省人力、物力。

3)工程措施耐久性原则:施工所用的锚钉、锚杆、钢筋、铁丝网等材料要进行必要的防腐处理,构筑物(如V型槽等)要稳固,要能够长期固定和支撑坡面的植生基材及植株,经久耐用。

4)植物措施自我修复原则:所建植被自我修复能力强(如有自播能力、自生固氮等),生态景观1 a内明显改善,3 a后趋于自然,并且长期不退化。



图1 根据坡面类型及立地条件分区分段制定有针对性的工艺方案

Fig. 1 A process schematic diagram of the specific section based on the slope type and site conditions

1.2 生态修复目标

在工程实践中,受损坡面生态修复从功能目标上看是分层次的。第1个层次是植被恢复、水土保持与生态防护;第2个层次是进行生态景观的恢复或重建。具体地讲,受损边坡生态修复应达到多个目标^[8,10-12]。

- 1)与城市景观建设结合,构建近自然生态景观;
- 2)生态效果好,如吸收CO₂、SO₂,滞尘,降低PM 2.5,吸污等能力强;
- 3)科技和艺术相结合,合理配置植物,营造景观及保护生物多样性;
- 4)快速持久复绿,植被不退化,群落良性演替;
- 5)与工程防护结合

实现边坡稳定,消除安全隐患;6)开发及应用绿色低碳的新工艺、新技术及新材料;7)合理开发利用边坡资源,要向边坡要效益(如土地复垦、保持水土、森林碳汇等);8)创建“隐蔽工程”,即完工后,由于植被覆盖、植物造景及近自然生长而无法看到坡面创伤与修复的痕迹,这是受损边坡生态修复的最高境界。

2 受损边坡生态修复实例分析

2.1 受损边坡生态修复工艺选择及目标群落设计实例

2.1.1 道路边坡 据DB44/T 499—2008^[13],道路

边坡生态修复工艺选择与植物群落设计见表 1。

2.1.2 采石受损边坡 据 DB44/T 500—2008^[14], 采石受损边坡生态修复工艺选择与植物群落设计依据立地条件分类确定, 根据坡高和坡度可将采石受

损坡面分为 9 类(表 2)。

采石受损边坡生态修复工程常用的植生方法有客土喷播法、台阶法、V 型槽法、植生岛法和人工覆土种植法^[8,11,15]。

表 1 道路边坡不同立地类型下工艺选择与目标群落设计

Table 1 Process selection and target plant community design under different site types of road slopes

植生工艺	适用边坡类型			目标群落设计
	边坡质地	坡比		
人工种植	土质边坡	缓坡、较缓坡		森林型、灌草型或草灌型
喷播植生	土质边坡	缓坡、较缓坡、中等坡		森林型或灌草型
挂三维网客土喷播	土质边坡、强风化岩石边坡	较缓坡		灌草型或草灌型
客土喷播	土质边坡、强风化和弱风化岩石边坡	缓坡、较缓坡		灌草型或草灌型
挂铁丝网湿式客土喷播	弱风化岩石边坡	中等坡		灌草型或草灌型
挂铁丝网干式客土喷播	弱风化岩石边坡	中等坡、陡坡		灌草型或草灌型
V 型槽	弱风化岩石边坡	陡坡、急坡		灌草型或草灌型, 宜利用攀爬植物

表 2 采石受损边坡立地条件分类

Table 2 Site condition classification of quarry damaged slopes

坡高	坡比		
	$\leq 1:1$	$1:1 \sim 1:0.5$	$\geq 1:0.5$
$\leq 15\text{ m}$ (低坡)	I 1	II 1	III 1
15~30 m(中坡)	I 2	II 2	III 2
$\geq 30\text{ m}$ (高坡)	I 3	II 3	III 3

植生方法对应表 2 的坡面立地条件类型及目标群落一般有 3 种。

1) I 1、I 2 类受损边坡: 多采用人工覆土种植法、客土喷播法进行植被建植, 目标植物群落可选森林型、灌草型或草灌型。

2) I 3、II 1、II 2 类受损边坡: 多采用客土喷播法进行植被建植, 目标植物群落可选灌草型或草灌型。

3) II 3、III 1~III 3 类受损边坡: 多采用 V 型槽法、植生岛法进行植被建植, 目标植物群落可选灌草型或草灌型(宜用攀爬植物)。

在采石场治理中, 景观再造法也常用到, 实际上是在有覆土条件的地方栽植景观苗木而进行的植物造景。一般用于位于具有较大景观价值区域的采石场, 利用采石场特有的环境条件, 根据一定的主题进行景观设计。目标植物群落根据设计的景观主题确定, 多在采石场的宕底及台阶法的平台(相当于 I 1、I 2 类)上进行。

2.2 生态修复工程效果观测

2.2.1 道路边坡

2.2.1.1 生态修复工程效果抽样调查方法 对 $2600 \times 10^4 \text{ m}^2$ 高速公路受损边坡生态修复工程的实际效果进行了定点抽样观测(表 3)。

2.2.1.2 生态修复工程效果抽样调查结果分析

1) 原单草本混播, 部分演替结果为草被退化, 芒箕(*Dicranopteris dichotoma*)侵占(如昆玉高速边

坡), 部分为以狗牙根(*Cynodon dactylon*)和芒箕为主的草、蕨植被(如海南环岛高速边坡); 原灌、草混播, 几乎全部演替为以银合欢(*Leucaena leucocephala*)、狗牙根为主的灌、草二元结构(如云南玉元高速、四川成南高速、京珠高速粤北 D 标段边坡); 原乔、灌、草混播, 大部分演替为以银合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构(如云南元磨高速、四川达渝高速、粤赣高速粤北段边坡), 少部分演替为以银合欢、金合欢(*Acacia farnesiana*)、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构(如深圳南坪快速路边坡), 或以银合欢、台湾相思(*Acacia confusa*)、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构(广东连清高速路边坡)。生物群落的演替总趋势是由草本植物群落→灌、草混生群落→乔、灌、草立体群落演变^[12,16-17]。这种演替总体上是良性的, 是近自然生长的过程, 生物多样性逐渐丰富起来, 植被退化现象较少。很多工程所建植的植被已与周边景物已高度融合, 基本达到前述“隐蔽工程”所呈现的情形, 即已看不到边坡受损的痕迹以及修复的痕迹, 成功的关键在于植物群落立体混配技术, 这是保持边坡人工建植群落可持续演替和生物多样性的关键(表 3)。

2) 单纯草被群落在生态演替过程中存在植被退化的问题: 20 世纪末, 多种草种单纯喷播工程有海南西线、昆玉、玉元、内宜、漳龙等早期参与的高速公路, 人工草被寿命短, 3~5 a 后逐渐被芒箕侵化, 夹有少量山苍子(*Litsea cubeba*)、黄栀(*Gardenia jasminoides*)、野茉莉(*Styrax japonicus*)丛等。可见, 道路边坡不宜单纯植草, 草本植物水光热利用率较低, 植被易退化, 延长了向自然立体生态群落演替的过程(表 3)。

3) 乔、灌、草立体混合生态模式具有相当的稳定性, 生物多样性丰富: 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、草混播,乔灌木生长茂盛,林下草退化无几,外来侵入种较少。特别提及的种群组合中的金合欢、银合欢、山毛豆(*Teprosia cndida*)等具有较强结实及自播能力的植物,种子成熟后散落地面,就地生根发芽,产生了多代演替,已成永久性植被(表3)。

2.2.2 采石受损边坡

2.2.2.1 生态修复样本选择 2011年1月,在深圳市水务局水土保持处组织下,成立了深圳受损岩石边坡工程绿化技术应用推广野外调查组,对选取的深圳市56处已治理裸露山体缺口进行重点调查,其中废弃采石取土场项目为28处,遗留边坡项目为

28处。其中有1处采石场、3处边坡已转为地质灾害整治,1处采石场转为重污染物填埋场,1处边坡已因开发建设被挖除,实际调查分析的有50处。为保证取样代表性,以深圳市水务部门已治理的215个裸露山体缺口为总样本数,其中,坡度 $\leq 45^\circ$ 的土石混合质边坡31个,占样本总体14.35%,坡度 $>45^\circ$ 的土石混合质边坡23个,占样本总体10.76%,坡度 $\leq 60^\circ$ 的石质边坡50个,占样本总体23.17%,坡度 $>60^\circ$ 的石质边坡111个,占样本总体51.72%;最后,采用分层抽样与随机抽样相结合的方法来确定具体调查样点。调查指标包括植被覆盖率、现状植物群落(即植被建植后演替到调查时的群落构成及生长状态)、群落优势种等。

表3 道路边坡生态修复工程效果抽样调查(包括但不限于本表所列)

Table 3 Effects of road slope ecological restoration projects

工程实例	竣工时间/(年—月)	工程面积(10^4 m^2)	植物配置模式	自然演替及后效果观察
云南昆玉高速公路	1998—12	10.3	单草本混播	草被退化,芒箕侵占
海南西线环岛高速公路	1998—08	9.6	单草本混播	以狗牙根和铁芒箕为主的草、蕨植被
云南玉元高速公路	2000—06	13.5	灌、草混播	以银合欢、狗牙根为主的灌、草二元结构
四川成南高速公路	2002—10	16.8	灌、草混播	以银合欢、狗牙根为主的灌、草二元结构
京珠高速粤北D标段	2002—12	25.0	灌、草混播	以银合欢、狗牙根为主的灌、草二元结构
云南元磨高速公路	2003—05	18.7	乔、灌、草混播	以银合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构,立体郁闭
四川达渝高速公路	2004—02	15.5	乔、灌、草混播	以银合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构,立体郁闭
粤赣高速公路粤北段	2005—03	17.4	乔、灌、草混播	以银合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构,立体郁闭
深圳市南坪快速路	2006—04	12.5	乔、灌、草混播	以银合欢、金合欢、狗牙根为主的乔、灌、草三元结构,立体郁闭
广东连清高速公路	2010—09	10.6	乔、灌、草混播	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

2.2.2.2 生态修复工程效果抽样调查结果分析

1) 总体植被覆盖率较高,但也有局部偏低

调查样本中,按面积加权平均后的植被覆盖率达到71.5%,说明经过人工治理后采石受损边坡的裸露地明显减少,植被已大幅度恢复,水土流失显著减少;然而,其中植被覆盖率较低的盐灶水库边坡,植被覆盖率仅达到30%,主要原因是坡度陡,绿化方式单一,采取人工植生盆种植形式,没有考虑其他绿化方式,加之后期肥力不能持续供应,导致植被退化,使覆盖率较低(表4)。

2) 复层混合群落结构占主导,生物多样性丰富

植物群落为灌草二元或乔灌草三元结构,乔灌草群落占总数的85%,群落类型满足边坡近自然生态修复的要求。根据群落的优势种数量不同,主要表现为单优种群落及多优种群落。单优种群落的优势种有:银合欢、簕杜鹃(*Bougainvillea glabra*)、桉树(*Eucalyptus robusta*)、芒草(*Epimeredi indica*)、马占相思(*Acacia mangium*)、台湾相思。多优种群落主要有马占相思+金合欢,台湾相思+金合欢,马占相思+台湾相思,银合欢+金合欢,桉树+芒草,马占相思+银合欢,桉树+金合欢,台湾相思+桉树

+银合欢,台湾相思+银合欢+金合欢,银合欢+金合欢+山毛豆(表4)。

表4 采石受损边坡植被特征

Table 4 Vegetation characteristics of quarry damaged slopes

调查样地	植被 覆盖率/%	现状 植物群落	群落优势种
龙翔大道30号路 南侧边坡	100	乔灌草	芒草 /
龙翔大道30号路 西侧边坡	98	乔灌草	桉树 芒草
龙眼山石场	85	乔灌草	银合欢 /
罗湖玉龙新村白 芒岭边坡	95	乔灌草	马占相思 /
梅林深华石场	80	乔灌草	马占相思 银合欢
梅沙水厂边坡	98	灌草	山毛豆 /
上木古石场	70	乔灌草	桉树 金合欢
梧桐山立交石质 边坡	100	乔灌草	台湾相思 /
盐灶水库边坡	30	灌草	台湾相思 /

3) 植被演替过程明显

我国工程边坡防护技术经历了由地质工程固坡(抗滑桩、锚索等)→建筑工程护坡(浆砌石、砂浆封面、钢筋混凝土格子梁、挡土墙等)→草被生态护坡→林草多元植被护坡等阶段^[16-17]。本次调查的采石受损边坡生态修复的时间较早,调查样地当时主要

采用喷播先锋草本植物种子的方法进行植被建植。一些先期喷播的先锋草本植物,如狗牙根、百喜草(*Paspalum notatum*)、高羊茅(*Festuca elata*)、猪屎豆(*Crotalaria pallida*)、木豆(*Cajanus cajan*)等,在植被恢复初期的1~3 a内已经开始逐步退化或死亡,而有些抗逆性强的本地乡土植物,如马尾松(*Pinus massoniana*)、南洋楹(*Albizia falcata*)、木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、木荷(*Schima superba*)、山乌柏(*Sapium discolor*)、枫香树(*Liquidambar formosana*)、野牡丹(*Paeonia delavayi*)、五色梅(*Lantana camara*)、芒草、芒萁、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、蟛蜞菊(*Wedelia chinensis*)等已经入侵,并成为坡面植被的主要植物种;先期种植的乔灌木如台湾相思、马占相思、金合欢、银合欢等已经成为边坡优势植物种。经过3~5 a的自然适应,人工植被和自然入侵植物的竞争逐渐达到了平衡,建群种开始形成,最后达到较为稳定的植物群落结构,一些小动物、昆虫和鸟类也开始出现,岩石坡面植物群落逐渐融入到了周边山体的自然植被群落中,进入良性生物演替过程(表4)。

4) 存在局部退化现象,但总体上看不严重

覆盖率指标(表4)表明,盐灶水库边坡仅有30%的覆盖率,上木吉石场有70%,即建植植被退化导致的结果。出现这种情况的原因可能在于采石受损边坡是典型的困难立地,无土,无肥,涵养水分能力弱,极易干旱、极度贫瘠,水热安全性差。相较于道路边坡,其坡度更大,有的坡度甚至达到90°以上(即倒坡)。在这样的立地条件下进行植被建植,植生基材的固定与附着本身就是一个大难题^[8-10,17],以雨季施工为重。

3 结论与讨论

生物群落是一个随物种内部因素及外界环境系统的改变而随时间推移变化的动态系统。一个群落的消失必定伴随着另一个群落的兴起,最后达到一个稳定阶段,即生物演替。如高速公路边坡的生物演替顺序:地衣阶段→苔藓阶段→草本植物阶段→灌木阶段→森林阶段,但这种自然生物演化更替过程需要漫长的时间^[16-17]。现在高铁、高速公路边坡和采石受损边坡生态修复所建植的植被群落被人为强制性干预,生物演替及持续效果变化发展是管理层及科技工作者十分关心的问题。

从市场角度看,当今我国高铁、高速公路及采石受损边坡生态修复工程竣工后,基本上处于无人过问的状态,原先的业务单位不管,绿化工程施工企业亦无责,植物种群的存亡顺其自然。对多年前竣工

的受损边坡生态修复工程现场,就人工建植植被生物演替规律和生态修复后效果开展调研,可为我国边坡生态工程学的持续发展提供基础数据。

我国城市化进程中开山采石、挖山填海、房地产建设等过程中都形成了大面积受损岩石边坡,给城市留下了“千疮百孔”的伤疤,破坏了原有的生态环境和自然景观,与生态城市建设极不协调。以深圳为例,在城市建设过程中形成的采石裸露边坡的数量达到669个,对于陆域面积仅有1 952 km²的深圳来说,其密集程度居全国之首。经过近20 a的努力,深圳在高陡岩石边坡生态修复技术方面取得较大突破。2002—2008年深圳市政府累计下达计划投资约3.4亿元用于岩石边坡治理,目前岩石边坡治理面积达到760万m²,实现各类生态效益3亿多元/a,为深圳生态城市建设做出重要贡献,亦形成了成熟的治理模式及关键技术。

这些技术成果已逐步在一些地区推广应用,如在海南三亚大隆水库、国家开发银行三亚基地、广东飞来峡水利枢纽工程、珠海华发大型地产项目、厦深铁路、深圳水官高速、盐坝高速二期、粤赣高速、昌樟高速等的边坡治理和生态恢复中都有良好的经济效益和生态效益。2005—2007年,在广州南沙高新区有40多个采石场采用了深圳岩石边坡种植槽(即V型槽)、喷混植生等受损边坡绿化新技术,均实现了可持续的生态恢复,为改善南沙高新区的生态环境做出了贡献。2008年,在沈阳世界园艺博览会进园道路边坡的施工中,亦因地制宜地采用了深圳岩石边坡喷混植生技术,绿化效果获得中外嘉宾好评,证明这一技术成果在北方也有推广应用价值。

受损边坡是一种典型的困难立地,具有无土,无肥,涵养水分能力弱,极易干旱、极度贫瘠,水热安全性差的特点,加之坡度大(采石边坡尤甚),植被建植困难,生态修复难度大。本文结合近20 a来的技术创新成果和工程实践经验,对道路边坡、采石边坡两类最常见的受损边坡生态修复工程的工艺选择、目标群落设计进行了总结,对工程后效进行了大量的观测,得出道路边坡的植物群落总的演替顺序为草本植物群落→灌、草混生群落→乔、灌、草立体群落,单纯草被群落在生态演替过程中存在植被退化,而乔、灌、草立体混合生态模式则具有相当的稳定性,生物多样性丰富,是值得推荐的植物配置方式;采石受损边坡植被覆盖率较高,复层混合群落结构占主导,生物多样性丰富,演替过程明显;局部亦存在植被退化现象。通过工程效果观测,显示受损边坡生态修复工艺选择与目标群落设计总体上基本成功,实现了当初设定的修复目标,其修复原则、治理模

式、工艺技术等具有相当的成熟度和适用性,宜大范围推广。

参考文献:

- [1] 张果,芦建国.中原地区高速公路景观设计研究—以河南省高速公路沿线景观调查分析为例[J].西北林学院学报,2009,24(3):190-193.
ZHANG G,LU J G. Landscape planning and design of freeway in the central plain region of China—a case study alongthe freeways in Henan Province[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(3):190-193. (in Chinese)
- [2] 邵治亮.沙漠高速公路生态景观植物群落选择与设计—以榆靖高速公路为例[J].西北林学院学报,2006,21(6):21-23.
SHAO Z L. Selection and design of ecological landscape vegetation along expressway in the desert area—a case study on Yulin-Jingbian expressway in Maowusu Sandland[J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(6):21-23. (in Chinese)
- [3] 王海银,邹志荣.宝天高速公路生态修复与景观设计研究[J].西北林学院学报,2012,27(1):205-209.
WANG H Y,ZOU Z R. Ecological restoration and landscape design along the Baotian Highwag[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(1):205-209. (in Chinese)
- [4] 王太平,杨晓明.高速公路边坡植物群落物种多样性[J].西北林学院学报,2012,27(2):230-234.
WANG T P,YANG X M. Species diversity of plant community on highway slope[J]. Journal of Northwest Forestry Universit,2012,27(2):230-234. (in Chinese)
- [5] 刘春霞,韩烈保.高速公路边坡植被恢复研究进展[J].生态学报,2007,27(5):2090-2098.
LIU C X,HAN L B. Review of researches in vegetation restoration of freeway slopes[J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(5):2090-2098. (in Chinese)
- [6] 段玉婷,王志泰,徐小明,等.石质边坡人工植被群落动态研究[J].西北林学院学报,2015,30(1):75-81.
DUAN Y T,WANG Z T,XU X M,*et al.* Artificial vegetation community dynamics of rocky slope[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(1):75-81. (in Chinese)
- [7] 鄢朝勇,叶建军,韦书勇.植物对边坡浅层稳定性的影响[J].水土保持研究,2007,14(2):135-136.
YAN C Y,YE J J,WEI S Y. Influence of vegetation on slope shallow stability[J]. Research of Soil and Water Conservation,2007,14(2):135-136. (in Chinese)
- [8] 朱兆华,徐国钢,陈晓蓉,等.道路边坡及裸露山体植被恢复与生态防护技术[J].中国科技成果,2014(16):24-30.
[9] 朱兆华,徐国钢,曹华英,等.造纸废液木质素化学改性及在道路边坡和裸露山体植被恢复上的应用[J].中国科技成果,2014(15):33-35,43.
[10] 朱兆华,陈晓蓉,徐国钢,等.受损边坡生态修复与景观重建技术探索与实践[J].江西农业学报,2016,28(10):75-81.
ZHU Z H,CHEN X R,XU G G,*et al.* Technology exploration and practice of ecological restoration and landscape reconstruction of damaged slope[J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2016,28(10):75-81. (in Chinese)
- [11] 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[J].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[J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2013,25(6):129-131. (in Chinese)
- [12] 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[J].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 patter in Shenzhen[J]. Pratacultural Science,2013,30(9):1359-1364. (in Chinese)
- [13] DB44/T 499-2008.道路边坡生态防护工程施工及验收技术规范[S],2008.
- [14] DB44/T 500-2008.采石场生态恢复工程施工及验收技术规范[S].2008.
- [15] 徐国钢,程睿,赖庆旺,等.中国南方基础建设中土壤生态修复技术体系与实践[J].土壤学报,2015,52(2):133-141.
XU G G,CHENG R,LAI Q W,*et al.* Soil ecology remediation technical system and its practice in infrastructure construction in south China[J]. Acta Pedologica Sinica,2015,52(2):133-141. (in Chinese)
- [16] 程睿,赖庆旺,徐国钢,等.我国基础建设中土壤生态破坏与修复问题探讨[J].江西农业学报,2015,27(7):65-68.
CHENG R,LAI Q W,XU G G,*et al.* Discussion on soil ecological destruction and remediation in infrastructure construction of China[J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2015,27(7):65-68. (in Chinese)
- [17] 徐国钢,朱兆华,赖庆旺,等.我国工程边坡生态修复几个重大技术问题的认知与实践[J].江西农业学报,2016,28(5):88-94.
XU G G,ZHU Z H,LAI Q W,*et al.* Cognition and practice of several key technical matters about ecological restoration of engineering slopes in China[J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2016,28(5):88-94. (in Chinese)