

Application of Vegetation-Growing Concrete Technology in Gravel Side Slope in Jigong Mountain Section of Beijing-Hongkong and Macao High Speed

Jun Liu¹, Zhengguang He², Shuxia Cao³, Yu Wu⁴, Xia Li², Wenjun Lu²

¹Henan Expressway Co., Ltd., Zhengzhou Henan

²School of Water Conservancy and Environment, ZZU, Zhengzhou Henan

³School of Chemical and Molecular Engineering, ZZU, Zhengzhou Henan

⁴Henan Zhongyuan Expressway Co., Ltd., Zhengzhou Henan

Email: hezhengguang163@163.com

Received: Oct. 21st, 2017; accepted: Nov. 4th, 2017; published: Nov. 10th, 2017

Abstract

Jigong Mountain area is the state-level AAAA nature reserve; the construction of highway by high filling and deep digging method produces many unstable bare slope, which result in not only the destruction of the ecological environment, but also the safety problem of the highway. The slope of the project is gravel; the soil nutrient deficiency is not suitable for vegetation growth; the rainfalls cause obvious soil erosion, and a certain degree of collapse and small gullies. For highway safety and restoring the local ecological environment through comparative study, this subject tried to build a restoration project of exposed slope using vegetation-growing concrete technology. The results show that slope protection effects have been greatly improved by adjusting the proportion of cement and mixed sowing grass species, and adopting proper construction methods in winter construction. It is a role model for local ecological restoration.

Keywords

Slope Protection, Gravel Slope, Vegetation-Growing Concrete, Ecological Restoration, Expressway

植被砼技术在京港澳高速鸡公山段砾石土边坡上的应用

刘 军¹, 何争光², 曹书霞³, 吴 禹⁴, 李 霞², 鲁文军²

¹河南高速公路有限责任公司, 河南 郑州

²郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州

文章引用: 刘军, 何争光, 曹书霞, 吴禹, 李霞, 鲁文军. 植被砼技术在京港澳高速鸡公山段砾石土边坡上的应用[J]. 植物学研究, 2017, 6(6): 398-405. DOI: 10.12677/br.2017.66052

³郑州大学化学与分子工程学院, 河南 郑州

⁴河南中原高速公路股份有限公司, 河南 郑州

Email: hezhengguang163@163.com

收稿日期: 2017年10月21日; 录用日期: 2017年11月4日; 发布日期: 2017年11月10日

摘要

鸡公山地区为国家4A级自然保护区, 大量高填深挖方法建设的高速公路产生了许多裸露路基边坡, 不仅破坏生态环境, 还可能危及高速公路的安全。该课题实施对象为砾石土边坡, 营养缺乏, 不适合植被生长, 雨季造成了水土流失, 坡面产生一定程度的垮落和小冲沟, 侵蚀明显。为保护高速公路的安全, 恢复当地生态环境, 通过系统对比研究, 本课题利用植被砼技术对高速公路鸡公山区域某示范段裸露边坡实施植被防护。结果显示, 通过合理调配植被砼中水泥含量、混播草种的比例以及营养成分等, 采用适当的施工方法, 在冬季施工的情况下, 边坡植被恢复良好, 护坡效果显著, 极大提高了高速公路的安全性, 对当地高速公路生态恢复起到很好的示范作用。

关键词

边坡防护, 砾石土边坡, 植被砼, 生态恢复, 高速公路

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

京港澳高速公路驻马店至信阳(豫鄂省界)段是国家高速公路网及河南省公路网主骨架的重要组成部分, 途经国家4A级景区——鸡公山景区。鸡公山风景区位于河南省信阳市南38 km的豫鄂两省交界处。地理坐标为东经114.05°、北纬31.50°, 京广铁路、京港澳高速、107国道沿山麓两侧穿过。大量高填深挖的高速公路建设产生了许多不稳定裸露边坡。近年来, 边坡的生态防护得到了越来越广泛的应用。常见的边坡防护方式有: 撒草籽、铺草皮护坡、液压喷播植草护坡、三维植被网植草护坡、土工格室植草护坡、植生袋护坡[1]、植被砼(即植被混凝土)护坡等[2]。其中, 植被砼技术就是一项新兴、先进的生态护坡技术[3]。本项目就是运用植被砼技术对京港澳高速鸡公山附近某段边坡进行生态防护, 建设示范工程。

1.1. 工程概况

鸡公山, 位于河南省信阳市境内, 区内森林茂密、生物资源丰富。该地区为亚热带向南温带的过渡地段, 地处中国南北的分水岭, 年平均气温15.2℃, 年平均降水量1118.7 mm。空气干燥度0.84。本段工程位于丘陵地区, 地形急剧起伏, 岗洼相间, 大部分岗地为荒丘, 洼地为稻田, 地面标高在70~90米(黄海高程系)。

驻信高速公路路线全长136.7 km, 按双向四车道高速公路建设, 驻马店至信阳设计速度为120 km/h, 路基宽28 m。其中中央分隔带3 m, 左侧路缘带2×0.75 m, 行车道2×2×3.75 m, 硬路肩2×3.5 m, 土路肩2×0.75 m, 路面横坡为2%; 土路肩横坡均为3%, 全线均为填方路基, 填方高度8 m以下路段,

边坡坡率为 1:1.5, 填方高度大于 8 m 路段, 8 m 以内坡率为 1:1.5, 大于 8 m 部分坡率为 1:1.75。信阳至九里关设计速度 100 km/h, 路基宽度 26.0 m;

该边坡防护项目位于京港澳高速驻信段鸡公山互通附近, 为填方边坡, 长约 100 m, 坡度为 1:1.5。原有边坡防护方式为高度 5 m 以下边坡撒播草籽, 5 m 以上边坡采用拱形骨架护坡。但该边坡主要由砾石土组成, 边坡土壤缺乏营养, 不适宜植被生长, 同时, 抗冲刷能力较差, 强降雨期间容易造成溜坡及拱形骨架坍塌现象。

1.2. 植被砼技术

植被砼护坡绿化技术是采用特定的混凝土配方和种子配方, 对边坡进行防护和绿化的一种新技术[4]。本技术是以水泥为粘结剂, 加上特制的添加剂、有机物(纤维+有机质或腐殖质)、沙壤土、植物种子、肥料、水等组成混合料进行护坡绿化的技术[5]。植被混凝土肥力高。护坡技术效益显著[6]。根据边坡地理位置、边坡角度、绿化要求等确定水泥、沙壤土、腐植质、保水剂、长效肥、特殊添加剂、混合绿植种子和水的组成比例。混合绿植种子由冷季型草种和暖季型草种根据生物生长特性优选混合而成, 植被能四季常青、多年生长、自然繁殖, 能增加护坡强度和抗冲刷能力, 营造较好的植物生长环境[7]。

2. 植被砼组成

2.1. 植被砼配方的确定

植被砼主要是由水泥、壤土、有机质、绿化添加剂等组成。植被砼配方参照试验研究和工程经验确定如表 1 所示[4] [8]。

1) 壤土是植被砼主要组成部分, 选用沙壤土。其含沙量可达 55%~85%, 一般湿时能成球状, 但球面不平。这种土壤土质松散, 通气透水, 不黏不硬, 宜于耕作。

2) 水泥是植被砼中的胶结组分, 选用 425#普通硅酸盐水泥。水泥使植被砼拌合物具有粘聚性, 能很好附着在岩石边坡表面, 使植被砼喷层固结, 能抵抗雨水冲刷。水泥用量与壤土的 pH 有关, 一般在 5%~10%之间, 用量太少, 起不到胶结效果, 太多会导致植被混凝土碱性过高, 不利于植被生长[9]。本项目实施时间为冬季, 低温对草籽的出芽有较消极的影响, 因此, 在该项目施工中选用较少的水泥用量。

3) 腐殖质基材肥力状况是保证坡面植物生长、演替, 确保边坡生态恢复效果的关键[10]。腐殖质一般用新鲜的和腐烂的稻壳、锯末等相混合的方式, 它能改善植被砼的三相比和保水性能, 向植被砼中引入大量微生物, 还能提供一定数量的氮、磷、钾等养分。其主要种类有胡敏酸和富里酸。腐殖质具有适度的黏结性, 能够使黏土疏松, 砂土黏结, 是形成团粒结构的良好胶结剂。

4) 复合肥料选用长效肥与短效肥配合使用。短效肥能使植被在短期快速生长, 而长效肥是为了使植被在以后一段时间内不衰退。采用两种以上植物所需元素的肥料, 如羟基磷酸钙, 硝酸铵等。

5) 保水剂在工程中采用吸水树脂。由于吸水树脂能吸收数倍于自身体积的水分, 在植被混凝土中添

Table 1. A formulation of vegetation-growing concrete

表 1. 植被砼主要材料配比表

| 材料名称 | | 425#水泥 | 壤土 | 腐殖质 | 绿化添加剂 | 复合肥 | 有机肥 | 种子 |
|------|------------------------|-----------------------------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| 基层 | 用量(kg/m ³) | 50 | 870 | 68 | 10 | 10 | 9 | |
| | 配合比 | 1:17.4:1.36:0.2:0.2:0.18 | | | | | | |
| 面层 | 用量(kg/m ³) | 35 | 980 | 54 | 28 | 12 | 11 | 3.5 |
| | 配合比 | 1:28:1.54:0.8:0.34:0.31:0.1 | | | | | | |

加少量吸水树脂, 就能显著提高喷层的抗旱性能。

6) 草种选择适合当地气候的草种和灌木种子。选择耐干旱、耐瘠薄、根系发达、覆盖度好、易于成活、易于管理、同时统筹景观效果的草本或木本植物。

2.2. 草籽配方的确定

根据目前国内草坪和公路用植被的选用情况, 对可用于植被的草种的性状进行了分析, 尤其是在对信阳地区广泛生长的植物进行调查的基础上, 列出了适合信阳地区的常用草种包括草坪草种和牧草种的根系状况、地上部高度及其对环境的抗性, 作为护坡植物选型的依据之一, 见表 2。

混播植物的选型原则如下[11]: 1) 每种植物种须满足坡面植物种的选型原则; 2) 一般应包括禾本科和豆科的植物种, 防止草坪退化; 3) 一般应采用冷、暖季型草坪植物搭配使用; 4) 生物生态型要互相搭配, 以便减少生存竞争的矛盾; 5) 不同植物种的发芽天数尽可能相近。

结合以上选型原则, 确定紫花苜蓿、狗牙根、狗尾草、黑麦草四种草种的组合作为混播草种, 对该混播草种的适用性分析见表 3。

由表 3 分析可知, 该混播草种配方各个方面表现良好, 可作为该段边坡的护坡草种。由于施工工期为 2015 年 11 月下旬, 已进入冬季, 低温情况也会影响草种出芽率, 为提高草种发芽率, 采用适当提高冬季草种比例的方法, 以期达到较高的出芽量、在早期产生较好的防护效果并使草种安全越冬的目的。植被中草种用量及搭配比例如表 4 所示。

3. 施工工艺

施工工艺主要包括坡面清理、基层施工、面层施工与草种拌合、养护等, 见图 1。

Table 2. Common grass species suitable for side slope protection of Expressway in Xinyang area
表 2. 适合信阳地区高速公路边坡防护的常用草种

| 名称 | 生物学特征 | 抗旱性 | 抗热性 | 抗寒性 | 抗贫瘠性 |
|--|--------------------------|-----|-----|-----|------|
| 紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i> .) | 根系良好, 植株高度 30~100 cm | A | B | A | B |
| 百喜草(<i>Paspalum notatum</i> Flugge) | 有粗壮的匍匐茎, 枝条高 15~80 cm | A | A | C | A |
| 白三叶(<i>Trifolium repens</i> L.) | 须根发达, 茎匍匐蔓, 高 10~30 cm | B | B | A | B |
| 百脉根(<i>Lotus corniculatus</i> L.) | 根系发达, 高 15~50 cm | B | C | B | B |
| 欧蓍草(<i>Achillea millefolium</i>) | 植株高度 30~60 cm, 根状茎匍匐 | B | B | B | A |
| 蟛蜞菊属(<i>Wedelia calandulacea</i>) | 根系一般, 植株高度中等 | B | A | B | A |
| 野菊(<i>Dendranthema indicum</i>) | 根系发达, 地下根茎, 高 25~100 cm | A | A | B | A |
| 大花金鸡菊(<i>Coreopsis grandiflora</i> Hogg.) | 根系一般, 植株高 20~100 cm | A | B | A | A |
| 二色胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.) | 根系发达, 茎直立, 植株高 | A | B | A | A |
| 百喜草(<i>Paspalum notatum</i> Flugge) | 有粗壮的匍匐茎, 枝条高 15~80 cm | A | A | C | A |
| 狗尾草(<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.) | 株高 10~100 cm, 种子经越冬休眠后萌发 | A | B | B | A |
| 狗牙根(<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.) | 根系发达, 植株高度 10~30 cm | A | A | B | A |
| 黑麦草(<i>Lolium perenne</i> L.) | 根系良好, 植株高度 45~70 cm | C | B | B | B |
| 虎尾草(<i>Chloris virgata</i> Swartz) | 丛生, 高 10~60 cm | A | A | C | A |
| 中华结缕草(<i>Zoysia sinica</i> Hance) | 根系发达, 植株高 13~30 cm | B | A | C | B |
| 画眉草(<i>Eragrostis</i>) | 根系良好, 植株高 90~120 cm | A | A | C | A |

注: A 表示良好, B 表示一般, C 表示较差

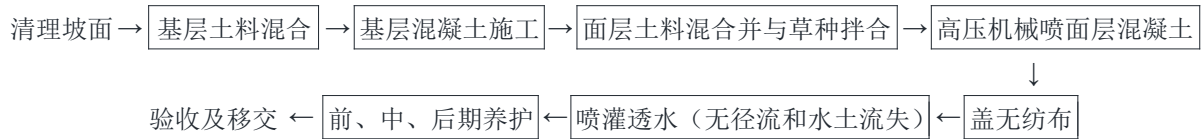


Figure 1. Construction flow chart of vegetation-growing concrete

图 1. 植被混凝土施工流程图

Table 3. Analysis of mixed grass species used in the project

表 3. 项目所确定的混播草种分析

| 适应性 | 抗性分析 | 季节分布 | 景观效果 | 可利用性 | 护坡效果 |
|--|---|---|--|---|--|
| 紫花苜蓿、狗牙根、狗尾草、黑麦草四种草种均可适应信阳地区亚热带向温带过渡的气候条件。 | 紫花苜蓿抗旱、抗寒性好，狗牙根抗旱、抗热、抗贫瘠性能好，狗尾草抗旱、抗贫瘠性好，该组合各混播草种抗性可达到互补的效果。 | 紫花苜蓿、狗牙根为夏季草种，狗尾草、黑麦草为冬季草种，可保证一年四季护坡效果良好。 | 紫花苜蓿植株较高，狗尾草和黑麦草较矮，狗牙根多匍匐茎，可形成边坡植被高、中、低三层的景观效果。草花组合，景观效果好。 | 紫花苜蓿、狗尾草和黑麦草都为优良牧草，在成熟季节，可刈割后做畜禽饲料，对植被价值充分利用。 | 紫花苜蓿根系发达多深根，狗牙根具有根状茎和匍匐枝，须根细而坚韧，狗尾草根为须状，深根浅根相结合，可有效固土护坡。 |

Table 4. Proportion of grass seeds in vegetation-growing concrete

表 4. 植被砼中草种用量及搭配比例表

| 草籽种类 | 紫花苜蓿 | 狗牙根 | 狗尾草 | 黑麦草 |
|-----------------------------|-------|-----|-------|-------|
| 搭配比例(%) | 13.4% | 20% | 33.3% | 33.3% |
| 单位用量(kg/m ³ 植被砼) | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |

3.1. 植被砼混拌

选定好土壤后适当风干(土壤含水量不超过 20%为宜)，然后打碎过筛，筛网孔径以 1 cm 左右为宜。按照“表 1. 植被砼配方表”的配合比准确称量，倒入搅拌机中进行机械混拌至均匀为止，物料湿度以用手抓混拌料能成团，松开手掉地面能散开为度。

面层植被砼的搅拌基本同上，物料宜随拌随喷，不宜放置过久，以防水泥结块失效。

3.2. 植被砼喷射或铺摊

植被砼既可采用高压喷浆机械施喷，也可采用人工摊铺，分两层施工(两层共厚 10 cm)，先基层后面层，每次喷射单宽 4~6 米，高度 3~5 米。施工完成，随机挖坑取 10 个样，进行初步验收。基层混凝土和面层混凝土摊铺均匀，没有斑块，层理不明显，pH 值均在 8 左右，植被砼抗压强度平均为 0.3 MPa，摊铺厚度/设计厚度平均值为 95.5%，验收合格。

3.3. 植被砼养护

养护管理阶段，主要抓好喷灌水、追施肥料、病虫害防治等养护管理工作[12]。根据边坡干湿度定期进行浇水保湿并勤于现场观察。主要分前、中、后期进行管理，前期喷灌水养护为 3 天，播后第一次灌水浇透，但不宜有径流发生；此后根据天气状况，经常保持土壤湿润，以促进种子发芽；第二个月每隔 5~7 天浇一次，使土壤干湿交替，促进灌草、幼草扎根和快速生长；中期养护每月喷水 1 次；后期靠自然雨水养护，直至交付验收(图 2)。



Figure 2. Construction site of vegetation-growing concrete
图 2. 植被砼施工现场

3.4. 植被砼阶段状况

施工完成两个月后考察植被砼状况，坡面没有垮落，没有冲沟。

施工完成九个月后考察植被砼状况，即 2016 年 8 月份，经历过夏季雨期，植被砼边坡状态依旧良好，坡面没有垮落，虽有少量轻微小冲沟，但坡面侵蚀不明显，坡面生态恢复效果良好，植被茂密，生长旺盛，基本没有看到病虫害。

经实地观察，所播种的植物种类都有生长，现阶段的优势物种为紫花苜蓿、狗尾草和狗牙根，但部分地段也出现了诸如地锦、商路等草类，这属于当地物种入侵现象，表明人工生态正向自然生态过度。

4. 植被砼防护效果

4.1. 植被砼应用前后防护效果的对比

本示范工程施工路段包括路肩部分、无骨架护坡路基和有拱形骨架护坡路基。植被砼应用前、后边坡状况如图 3，图 3(a)为示范工程实施前在原路基上直接撒播草籽的边坡，植被稀疏，拱形骨架和边坡裸露在外，景观效果差且边坡有明显冲刷；植被砼应用后路基植被防护效果如图 3(b)和图 3(c)所示，植被茂盛，枝叶交错，骨架部分已经淹没在繁茂的枝叶中，草的地下部分相互交错，达到了很好的防止冲刷和固土效果，有效防止了土量流失及拱形骨架坍塌的发生，护坡效果好且生态景观效果极佳。

4.2. 植被防护机理分析

植物对边坡的保护主要在于水文效应和力学效应[13]。水文效应包括降低坡体孔隙水压力、降雨截留、削弱溅蚀和控制土粒流失[14]。护坡植物庞大的地上枝叶部分可以对雨水形成有效的截留和削弱溅蚀的作用，同时，冠层蒸腾作用又可以降低坡体的孔隙水压力；植物的力学效应包括深根的锚固作用和浅根的增加作用。植物的垂直根系锚固到深处土层上，水平根系在土中错综盘结，使边坡土体在其延伸范围内成为土与草根的复合材料，使土体强度提高，如图 4 所示。

草籽配方中的紫花苜蓿为豆科植物，根系为直根系，其它三种为禾本科植物，根系均为须根系，狗牙根具有发达的匍匐茎。紫花苜蓿其强大的直根系统在没有明显土壤障碍因子的情况下，生长 1 年入土深度约为 1~2 m，生长 2~5 年者多在 2~5 m 之间[15]，可以有很好的锚固及加筋作用；狗尾草和黑麦草强大的须根系统可加强加筋作用；狗牙根具有庞大的匍匐茎和须根，通过一段时间的生长，匍匐茎伸展、交错可在边坡表面形成植被护坡网[16]。

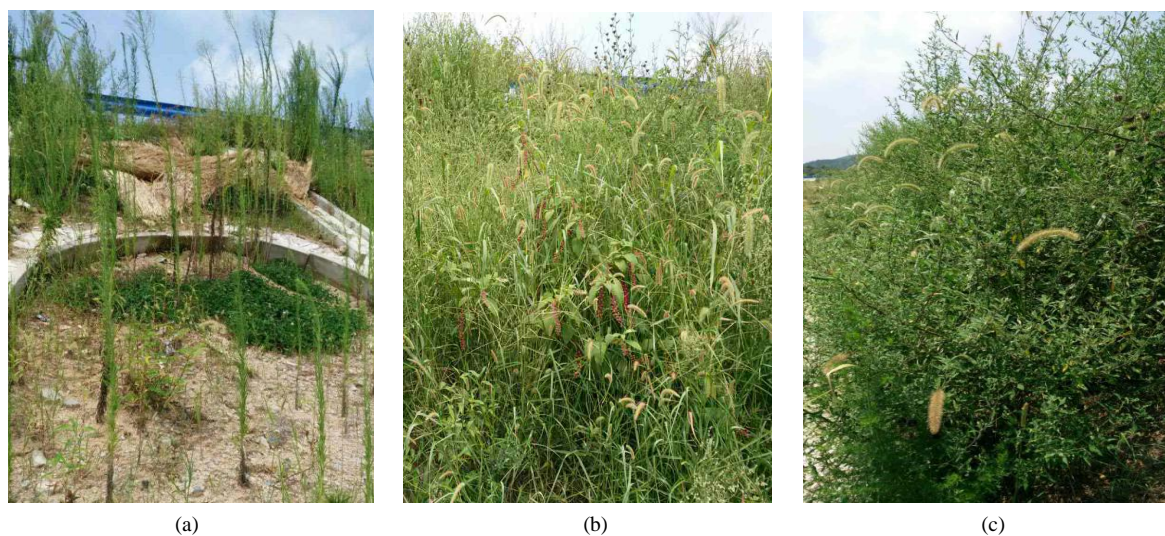


Figure 3. Effect of slop protection by vegetation-growing concrete
图 3. 植被砼护坡效果图



Figure 4. Roots and stolons of plant
图 4. 植物的根系及匍匐茎

5. 结语

本次植被砼护坡示范项目对植被砼配方、草籽配方、施工方法等方面进行了探索。工程验证表明，在综合考虑当地降雨强度、边坡状况、施工条件，考虑当地气候条件和草种之间的适应因素，合理确定植被砼中水泥用量、腐殖质种类和草籽配方等，可以收到很好的护坡及生态效果。

项目实施一年后，坡面防护形成了与传统的挂网加锚杆(或铆钉)固定相同的效果。该草种配方对当地环境适应性良好，植被形成后经过暴雨冲刷边坡未受到明显冲刷，护坡效果良好，生态恢复效果极佳。后期还出现了当地物种入侵的现象，表明人工边坡正在进行着向自然边坡演替的良性发展。相对于传统的护坡方法具有更好的生态效果和景观效果，这对植被砼技术的广泛推广及应用具有重要意义。

基金项目

课题得到“河南高速公路发展有限责任公司”的基金资助。课题编号 20150203A。

参考文献 (References)

- [1] 陈冀川, 辜彬. 论植生袋在岩质边坡上的景观应用[J]. 中国水土保持 SWCC, 2014(5): 32-35.
- [2] 李运生, 石亮. 我国高速公路边坡植被防护技术初探[J]. 防护林科技, 2011(1): 105-114.
- [3] 赵春权. 喷混植生技术在高速公路岩石边坡防护中的应用[J]. 北方交通, 2013(1): 27-29.
- [4] 黄国雄. 生态植被混凝土施工技术与应用[J]. 中国科技信息, 2008(20): 64-65.
- [5] 周明涛, 杨平, 胡欢, 等. 植被混凝土生态基材冻融效应试验研究[J]. 水土保持研究, 2013(2): 282-287.
- [6] 吴彬, 刘刚, 肖海, 等. 雅砻江官地水电站生态护坡工程初期土壤肥力状况[J]. 水土保持通报, 2014(2): 172-176.
- [7] 余海龙, 黄菊莹, 赖荣生. 基于边坡立地条件的内蒙古中东部高速公路边坡生物防护模式研究[J]. 路基工程, 2014(5): 1-5.
- [8] 刘大翔, 李少丽, 许文年, 等. 植被混凝土有机质类型与配比的合理选取[J]. 水利水电科技进展, 2018(4): 37-40, 54.
- [9] Lee, K.-H. and Yang, K.-H. (2016) Development of a Neutral Cementitious Material to Promote Vegetation Concrete. *Construction and Building Materials*, **127**, 442-449.
- [10] 丁瑜, 胡文静, 夏振尧, 等. 生态护坡生境基材土壤肥力动态变化研究[J]. 水生态学杂志, 2017(2): 31-37.
- [11] 漆贵荣. 植被混凝土坡面防护技术的应用[J]. 公路工程, 2009(2): 112-116.
- [12] 黄国雄. 生态植被混凝土施工技术与应用[J]. 中国科技信息, 2008(20): 64-65.
- [13] 钟贞明, 桂勇, 罗嗣海, 等. 植物护坡对边坡稳定性作用机理研究综述[J]. 路基工程, 2013(6): 1-7.
- [14] 谭少华, 汪益敏. 高速公路边坡生态防护技术研究进展与思考[J]. 水土保持研究, 2004, 9(3): 81-84.
- [15] 孙洪仁, 武瑞鑫, 李品红, 等. 紫花苜蓿根系入土深度[J]. 草地学报, 2008, 5(3): 307-312.
- [16] 宋玲, 余娜, 许文年, 等. 植被混凝土护坡绿化技术在高陡边坡生态治理中的应用[J]. 中国水土保持 SWCC, 2009(5): 15-16.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: br@hanspub.org