

## 高速公路边坡生态防护技术研究进展与思考

谭少华, 汪益敏

(华南理工大学交通学院, 广州 510640)

**摘 要:** 随着我国高速公路建设快速发展以及人类环境保护意识的不断增强, 边坡生态防护技术越来越受到重视, 在高速公路建设中被广泛应用。边坡生态防护技术具有良好的经济效益、环境效益和社会效益, 是公路建设工程中可持续发展的重要对策之一。目前, 边坡生态防护技术在我国尚缺乏系统的研究和总结。结合工程实践, 从边坡生态防护原理、护坡植物选择、生态防护施工方法及其经济效益比较等四个方面, 研究和总结我国高速公路边坡生态防护技术的发展现状, 指出存在的问题, 提出进一步研究的方向。

**关键词:** 高速公路; 边坡; 生态防护

**中图分类号:** S157.43; U412.36

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)03-0081-04

## Research Progress and Thinking of Bioengineering Techniques for Slope Protection in Expressway

TAN Shao-hua, WANG Yimin

(College of Traffic and Communications, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China)

**Abstract** With the rapid development of the construction of expressway and the increasing sense of environment protection of mankind in our country, the bioengineering techniques for slope protection are becoming more and more important and being used widely in the construction of expressway. It has good effect in economy, environment and society, and it is one of the important measures for sustainable development of highway construction. Up till now, there have been no systemic researches and conclusions on the bioengineering techniques for slope protection in China. Combining with the engineering practices, the present researching and developing situation in China on the theory of slope bioengineering protection, the selection of slope protection plants, the construction methods of bioengineering and the contrast of its economic effect were studied and concluded. The existing problems were proposed, and its further research direction was put forward.

**Key words:** expressway; slope; bioengineering protection

边坡生态防护(Slope Bioengineering Protection)是指单独用植物或者植物与土木工程和非生命的植物材料相结合的固坡措施<sup>[1]</sup>。在美国、日本及欧洲一些发达国家和地区, 由于建设高速公路的时间比较早, 60 年代开始就已经将生态保护和恢复措施纳入了高速公路建设之中, 并且为此进行了长期的研究和实践, 在边坡防护中已普遍采用各种柔性支护和绿化措施, 基本上实现了全路域绿化。我国在这方面的研究起步较晚, 90 年代开始, 我国的高速公路建设发展迅速, 用了短短 10 多年的时间就完成了发达国家高速公路建设 30~40 年的发展历程。截止 2002 年底, 全国高速公路总里程已达 25 130 km<sup>2</sup> (不包括港澳台), 仅次于美国, 居世界第二位。高速公路的建设, 有力地促进了沿线政治、经济、文化的长足发展。然而, 高速公路建设是以破坏生态环境为代价的一项现代化工程, 其开挖路堑、填筑路堤, 都导致原生植被破坏、动物栖息地破坏、水土侵蚀等一系列生态环境问题, 因

此恢复和重建高速公路边坡及路侧两旁的自然生态植被势在必行。对高速公路边坡的防护, 我国从 90 年代开始逐渐从采用单纯的土工防护技术, 如浆砌块石、干砌片石、喷射混凝土等, 转变为采用植被重建技术进行边坡生态防护。本文从边坡生态防护原理、护坡植物选择、生态防护施工方法及其经济效益比较等四个方面, 研究和总结我国高速公路边坡生态防护技术的发展现状, 并提出进一步研究的方向。

### 1 边坡生态防护的原理

#### 1.1 植被的力学效应<sup>[1]</sup>

##### 1.1.1 深根的锚固作用

植物的垂直根系穿过坡体浅层的松散风化带, 锚固到深处较稳定的岩土层上, 起到预应力锚杆的作用。禾本科、豆科植物和小灌木在地下 0.75~1.5 m 深处有明显的土壤加固作用, 树木根系的锚固作用可影响到地下更深的岩土层。

### 1.1.2 浅根的增加作用

植物的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,浅层草根可视为带预应力的三维加筋材料,使土体强度提高。

### 1.2 植被的水文效应<sup>[1]</sup>

#### 1.2.1 降低坡体孔隙水压力

降雨是诱发边坡滑动的重要因素之一,边坡的失稳与坡体水压力的大小有着密切关系。植物通过吸收和蒸腾坡体内水分,降低土体的孔隙水压力,增加土体吸力,提高土体的抗剪强度,有利于边坡体的稳定。

#### 1.2.2 降雨截留,削弱溅蚀

一部分降雨在到达坡面之前就被植被截留,以后重新蒸发到大气层或下落到坡面。下落的雨滴在打击坡面时,把动量传递给土体,产生的分裂力使土体颗粒分离飞溅,在滴溅过程中,雨滴动量越大,撞击分裂力越大,被溅出的土粒数量也越多,植被能拦截高速下落的雨滴,减少雨滴数量、滴溅能量及飞溅的土粒。

#### 1.2.3 控制土粒流失

地表径流带走已被滴溅分离的土粒,进一步可引起片蚀、沟蚀。植被能够抑制地表径流并削弱雨滴溅蚀,从而能控制土粒流失。通常情况下,土体的流失量随植被覆盖率的增加呈指数关系降低。

### 1.3 与圬工技术相结合的原理

采取圬工防护措施,对减轻坡面修建初期的不稳定性及侵蚀方面的效果很好,其深层锚固措施对边坡的加固作用非常有效。然而,随着时间的推移,岩石的风化,混凝土的老化,钢筋的腐蚀,强度会降低,防护与加固效果也越来越差。而采用生态护坡则与此相反,开始作用比较虚弱,但随着植物的生长和繁殖,强度增加,对减轻坡面不稳定性及侵蚀方面的作用会越来越大。另外,生态护坡还有一个显著的优点,是能够恢复由于工程建设所破坏的生态环境,保持生态间的平衡。

但是,生态护坡也有其局限性,如植被根系的延伸使土体产生裂隙,增加了土体的渗透率;又如植物的深根锚固仍无法控制边坡更深层的滑动,若植物根系延伸范围内无稳定的岩土层,则其防护作用便不明显,在降雨等边坡稳定不利因素影响下,边坡易于失稳。因此,生态护坡技术与圬工措施相结合,发挥二者各自的优点,在保证边坡稳定的同时,起到植被恢复作用,达到人类活动与自然环境相和谐的目的。

## 2 边坡生态防护的植物选择

边坡生态防护的主体是植物,由于公路边坡植物立地条件较差,坡度较陡,沿线地层、水文以及气候特征等因素变化较大,不同环境条件适宜生长的植物种类不同。因此,边坡生态防护工程中的护坡植物的选择非常重要。目前,我国高速公路边坡生态防护工程对于植物的选择具有以下主要特点:

(1)从初期引进外来植物为主,通过试验观察,逐渐认识到应以乡土植物为主<sup>[2]</sup>。例如云南昆曲高速公路修建于1996年,路基边坡采用湿法喷播绿化防护技术,护坡植物主要采用进口草种高羊茅、多年生黑麦草、红三叶、白三叶、紫花苜蓿、非洲狗尾草等,初期植物长势良好,但在随后都出现大面积的退化和消亡。在我国东北寒冷地区,由于气候条件恶劣,冬季寒冷、夏季高温干旱,外来草种的引进也非常不成功<sup>[2]</sup>。乡土植物是经过长期进化、自然选择的结果,能适应当

地的气候、土壤条件,十分有利于恢复和重建高速公路边坡植被。目前边坡生态防护工程中,趋向于选择乡土植物或者是一些与当地植物习性相近的外来植物类型。

(2)从初期的“单一草理论”,演变到目前的“草灌结合、灌木为主、草本为辅”理念<sup>[5]</sup>。由于高速公路边坡的水分、养分等供应较差,在自然状态下,品种单一的草坪草种生长力较弱,极易退化和消亡,不能起到固土防冲刷的保护效果。例如广东佛开高速公路、云南玉元高速公路、四川的成雅高速公路和成乐高速公路等边坡植草品种较单一,建成后不久都呈现不同程度的草坡退化现象。从生态学理论上来看,克服单一草被退化的重要措施就是构建草灌乔立体生态系统,包括灌木为主的灌草生态和草本为主的草灌生态<sup>[7]</sup>。天然植被一般都是草木混生,但目前边坡生态防护植物选择实际主要是草灌混播、灌木为主。究其原因,是由于深根性的乔木在贫瘠土质和石质边坡上不易长期存活,另外,乔木对高陡路基边坡的稳定性以及高速公路的行车视距带来的不利影响,因此,边坡生态防护工程中一般不推荐种植乔木。灌木的根系发达,涵水和固坡的能力大于草本,但相对于草本其早期生长慢,植被覆盖度低,防止初期的土壤侵蚀效果不佳,故边坡生态防护宜采用草灌结合、灌木为主、草本为辅的方法进行植物选择。

(3)从初期只强调短期效果,忽视长期效果的“快绿”,演变到现在短期和长期效果并重的“常绿”。初期高速公路生态防护中普遍存在着“强调短期效果,忽视长期效果”的倾向,导致公路边坡经常出现“一年绿,两年黄,三年枯,四年死”的现象,对我国高速公路生态建设极为不利。植物群落有其自身的演替规律,植物组合配置时要考虑先锋植物、中期植物和目标植物的搭配<sup>[6]</sup>。先锋植物早期生长速度快,能够起到尽快恢复植被,固土防冲刷和为其它植物的引进创造条件;中期植物为豆科固氮植物和一定比例的速生灌木,能够初步形成草灌结合的立体生态系统,保持水土和改善土壤,为后期灌木生长和乡土植物的侵入创造条件;目标植物为常绿灌木和侵入的乡土植物,能够形成较为稳定的草灌结合、灌木为主的立体生态系统,进行植物群落的自我营养循环和自我繁衍,实现边坡生态防护的低养护和与自然相协调的“常绿”。目前边坡生态防护措施中植物配合设计原则是浅根植物和深根植物相结合、豆科和禾本科植物相结合、草本与灌木植物相结合以及冷、暖季节草种相结合。例如广东省河惠高速公路一期工程 K76+140~+460 左侧路堑边坡客土喷播防护工程于 2001 年 2 月施工,采用的种子配合为狗牙根、旗草、多花木兰、柱花草、大翼豆。其中狗牙根为禾本科多年生草本植物,作为先锋植物,喜光耐热,有发达的须根及匍匐茎,生长快,不足之处是当光照不足时,其生长以匍匐茎为主,处于植物群落的最底层,因其不太耐荫,枝叶易发黄;旗草为禾本科多年生牧草,作为先锋植物,适应高温气候,生长快,分蘖多,植株较高大,对氮肥敏感,耐放牧、火烧,稍耐荫;大翼豆为豆科多年生草本植物,作为中期植物,根系发达,茎匍匐蔓生,长达 4 m 以上,覆盖范围广,从而弥补了成活率低的不足,较耐寒,耐干旱;柱花草为豆科多年生牧草,作为中期植物,根系发达,主根深达 2 m,生长快,耐旱、耐酸、耐瘠,亦可耐短期积水;多花木兰是豆科多年生常绿灌木,作为目标植物,株高 80~250 cm,生长速度快,根系发达,固土力强,抗旱、耐瘠,耐热。该边坡高约 68 m,分 5 级,第一级为预

应力锚索和护面墙,第二、三、四级中部为预应力锚索格笼,其中第二级坡率为1:0.75,第三、四、五级坡率为1:1。采用该植物组合配置原则后,在施工初期即取得了良好的先锋绿化效果:喷播三天后,植物即开始发芽、出苗,两周左右苗基本出齐。1个月后,植物已基本成坪,覆盖率达90%以上,草、灌木生长高度达20~40 cm。2003年8月19日,我们对该边坡再次进行了植物种类和生长特征调查,发现已基本形成较为稳定的草灌结合的立体生态群落,覆盖率达95%以上,旗草和大翼豆的长势最好,采用该植物组合配置后的边坡生态防护基本达到了预期的效果。

总的来说,由于植物对环境条件表现出不同的适应性,边坡生态防护植物选择时应遵循以下原则<sup>[1]</sup>:(1)适应当地的气候;(2)适应当地的土壤条件(水分、pH值、土壤性质等);(3)抗逆性(包括抗旱性、抗热性、抗寒性、抗贫瘠性、抗病虫害性等)强;(4)地上部较矮,根系发达,生长迅速,能在短期内覆盖坡面;(5)越年生或多年生;(6)适应粗放管理,能生产适量种子;(7)种子易得且成本合理。

### 3 边坡生态防护的施工方法

目前国内常用的边坡生态防护施工方法包括湿法喷播、三维网植草、客土喷播、喷混植草等技术。

#### 3.1 湿法喷播

湿法喷播是以水为载体的植被建植技术,将配制好的种子、肥料、覆盖料、土壤稳定剂等与水充分混合后,用高压喷枪均匀地喷射到土壤表面。喷播后的混合物在土壤表面形成一层膜状结构,能有效地防止种子被冲刷,并保证在较短时间内植株迅速覆盖地面,以达到稳固公路边坡和绿化美化路容之目的。施工工艺顺序为:前期准备,湿法喷播,铺盖无纺布,养护管理。与传统种植方法相比,其优势在于:(1)由于使用覆盖料、土壤稳定剂和专用肥料等材料,适用范围广,适用于各种土质边坡,特别是土质填方边坡;(2)对土地的平整度无严格要求,特别适合不平整土地的植被建植;(3)在覆盖料和土壤稳定剂的共同作用下,能有效防止雨水冲刷,避免种子流失,因此,建植的植被均匀整齐,防护和绿化效果显著;(4)喷播施工效率高,每台设备每天喷播万余平方米,可满足大面积绿化工程需要;(5)通过加接软管,可实行高、陡边坡的施工作业。该技术在90年代中期,交通部科技信息研究所首次将湿法喷播技术应用于大规模的公路生态工程建设。并在相关单位的共同努力下,经过引进、消化、吸收和改进,已基本实现了系列喷播机、覆盖料的国产化,部分国产稳定剂和草种也可以代替国外产品。先后在云南昆曲、楚大、昆玉、玉元高速公路,江苏的沪宁高速公路,海南环岛高速公路以及陕西、河北、北京、天津、西藏等地实施边坡生态防护工程,都取得了可喜的效果<sup>[2]</sup>。几年的研究和实践表明:湿法喷播与公路工程建设相结合,可以增加边坡稳定性,改善环境,是公路路域环境恢复与生态治理的有效手段。

#### 3.2 三维网植草

三维植被网植草技术将带有突出网包的多层聚合物网固定在边坡上,在网包中敷土植草对边坡进行绿化。网包可根据其抗拉能力和固土能力的不同设计为2~5层,一般薄层应用于填方边坡,厚层应用于挖方边坡。对于土质贫瘠的挖方边坡和土石混填的填方边坡,可以起到固土防冲刷并改善植草质量的良好效果。三维网植草采用液压、客土喷播或

人工撒播方法进行植草,喷播植草施工完成后,须在边坡表面覆盖无纺布,以保护坡面水分并减少降雨对种子的冲刷,促进种子生长。当植物生长高度达5 cm左右时,再揭开无纺布进行为期3~6个月的前期养护。三维网植草具有以下特点:(1)固土性能优良,三维植被网表面有波浪起伏的网包,对覆盖于网上的客土、草种有良好的固定作用,可减少雨水的冲蚀。(2)消能作用明显,由于网包层的存在,缓冲了雨滴的冲击能力,减弱了雨滴的溅蚀。(3)网络加筋突出,三维网植草的基础层和网包层网格间的经纬线交错分布粘结,对回填土或客土起着加筋作用。(4)保温功能良好,三维植被网垫具有良好的保温作用,在夏季可使植物根部的微环境温度比外部环境低3~5℃,在冬季则高3~5℃。1993年我国引进土工材料植草护坡技术,随后土木工程界与塑料制品生产厂家合作,开发研制出了各式各样的土工材料产品。三维植被网植草技术在铁路、公路、水利等工程的边坡中陆续获得应用。广东省惠河高速公路项目中也应用该技术进行了试点施工,成功之后又进行了推广,并结合该项目和其它项目的应用经验,撰写了《高速公路路基三维植被网植草施工技术规范(草案)》,该《规程》对推广和规范该技术的应用将起到非常有益的作用。

#### 3.3 客土喷播

客土喷播是一种融合土壤学、植物学、生态学理论的生态防护技术。它以经处理加工的树皮、养生材料、植物种子与少量当地优质土混合,添加营养剂、粘结剂和土壤稳定剂制成客土,借助喷播机用挂网喷射的方式均匀涂喷于坡面上,从而实现对岩石边坡的防护和绿化。客土喷播工程设计对于稳定边坡首先进行设计调查,根据地区环境观察、周边植物调查、地形地质调查、气候资料调查确定坡面目标植物群落选型及混合植物种子设计。然后根据边坡类型确定锚杆及挂网设计,再根据气候区划确定客土混合物配合比设计,同时根据边坡类型、年平均降水量、边坡坡度确定客土混合物喷射厚度及材料用量设计,客土喷播厚度一般为3~10 cm。对于不稳定边坡则在设计调查之前,首先对边坡采取工程加固措施,保证边坡深层稳定之后再按稳定边坡的步骤进行客土喷射植被护坡结构设计。施工顺序为:清理坡面,钻孔打锚杆,挂网,喷射客土,养护。其突出优点在于:(1)以土壤结构改良为突破口,力求简化公路植被长期养护管理,节省公路养护费用。(2)由于客土的应用,为灌木和树木根系提供了良好的生长基础,能够实现草、灌、乔合理的植物群落配比,达到建设后路域植被与自然植被融为一体的效果。(3)喷播设备性能优良,客土设计合理,使岩石坡面及不具植物生长的高大边坡完全可能实现绿化。90年代末期,交通部科学研究院从日本引进客土喷播技术,开始对高陡的岩石边坡开展绿化研究,于2000年在广东省惠河高速公路岩石边坡上修建国内首个客土喷播现场试验工程,随后在湖南临长、云南大保、四川成南、河南信九和云南昆石等高速公路进行客土喷播技术的研究并做了试验工程,2002年该技术在广东省河惠高速公路二期工程中开始大面积推广。与此同时,国内其它的绿化公司及相关部门也进行了该方面的研究。例如由四川省励自生态与环境工程技术有限公司和西南交通大学岩土工程研究所联合研究开发的岩石边坡厚层基材喷射植被护坡工程成套技术(TBS技术),使用经改进的混凝土喷射

机将拌和均匀的厚层基材混合物按设计厚度喷射到岩石坡面上,其自行研究开发的绿化基材 GBM 是整个技术的核心。该技术于 2000 年通过国家技术成果鉴定,随后在国内铁路、公路及市政等工程建设中获得了大面积的应用和推广。

### 3.4 喷混植草

喷混植草是一种将含草种、有机质的混凝土喷在岩石坡面上,达到既防护边坡又恢复植被目的的边坡处理方法,类似于客土喷播,其核心是在风化岩质坡面上营造一层既能让植物生长发育的种植基质又耐冲刷的多孔稳定结构。对于潜在不稳定的边坡,首先在坡面上打设锚杆并挂镀锌编织铁丝网起到稳定坡面的作用,然后将由土壤、肥料、有机质、保水材料、植物种子、水泥等通过一定配方拌和的混合物喷射在边坡上,喷射厚度一般为 6~10 cm,视坡率和坡面的破碎程度而定。对于边坡比较稳定者则可以直接在原始坡面上喷射混合物。施工工艺顺序为:清理坡面,锚杆、金属网施工,喷混,盖无纺布,养护。喷混植草生态防护技术的优点在于:(1)具有边坡防护和绿化两个功能;(2)施工完毕后不再需要人工管理;(3)适用于各种地质条件的边坡;(4)施工成本低。该技术于 1997 年由湖北宜昌久丰植生有限公司参考日本和台湾的相关技术引进,经消化改进后曾在三峡工程永久船闸和襄(樊)(当)阳铁路中成功试点和实施。三峡大学经过多年的试验和研究目前已获得植被混凝土护坡绿化专利技术,并成功应用于清江隔河岩电厂高陡混凝土边坡绿化。目前该技术在广东开阳、福建漳龙、广东惠河和河南信九等高速公路中边坡防护的试点施工也基本获得了成功。但与客土喷播相比,此项技术的缺点是保水、保肥效果较差,植物演替及隔热性能较低。

### 4 经济效益比较

以惠河高速公路工程边坡防护为例,各种边坡防护技术的综合单价列于表 1。

从表中可以看出,在防护功能同等条件下,喷混植草综合单价约为浆砌片石的一半,客土喷播约为其 1/3,三维网植草和湿法喷播的综合单价更低,生态防护技术措施具有明显的经济效益。同时边坡生态防护技术在涵养水源、水土保持、改

善气候、吸毒滞尘等环境保护方面具有突出的优势。随着边坡生态防护技术的喷播机械、喷播材料进一步的国产化,喷播工艺的进一步成熟和合理,其造价将进一步降低。

表 1 惠河高速公路各种边坡防护措施经济效益比较<sup>[12,13]</sup>

编号	措施	综合单价	主要适用范围
1	浆砌片石护面墙, 厚约 0.5~1.5 m	180 元/m <sup>3</sup>	土、石质边坡
2	浆砌片石护坡, 厚约 0.3 m	180 元/m <sup>3</sup>	土质边坡、封闭作用
3	挂网喷砼, 厚 0.08 m	130 元/m <sup>2</sup>	石质边坡、封闭作用
4	喷混植草, 厚约 0.06~0.1 m	80~100 元/m <sup>2</sup>	较软石质边坡
5	客土喷播, 厚约 0.03~0.1 m	40~70 元/m <sup>2</sup>	较硬石质边坡
6	三维网植草	23~28 元/m <sup>2</sup>	填石、填砂、路堤
7	湿法喷播	5~10 元/m <sup>2</sup>	土质边坡、边坡高度低

### 5 结论及进一步研究的方向

公路边坡生态防护的目的是采用与工程防护相结合的原则,在边坡稳定的前提下,恢复和重建坡面植被,从而抑制径流、防止冲刷、稳定坡面、美化道路景观,保护环境。边坡生态防护技术具有良好的经济效益、环境效益和社会效益,是公路建设工程中可持续发展的重要对策之一。但由于国内对边坡生态防护技术开展研究起步较晚,我国的边坡生态防护技术同国外相比,总体上尚处于引进、消化和吸收新技术的初级阶段。客土喷播、喷混植草等边坡生态防护技术从植物选择、喷播基材配方、施工工艺到养护管理均不是很成熟。路基边坡生态防护技术的设计、施工规范尚未制定,质量验收标准尚未提出。现行的“公路路基设计与施工规范”在路基边坡生态防护技术方面的不足已引起国内道路工作者的普遍关注。进一步研究的方向包括以下几个方面:(1)研制国产坡面绿化材料及施工设备,替代进口产品,降低成本;(2)研究适合于我国高速公路路基边坡生态防护的设计理论和施工方法;(3)尽快开展路基边坡生态防护技术典型工程的防护效果跟踪调查、试验研究及合理评价,提出质量验收标准,制定适合我国公路建设特点的路基边坡生态防护技术规范。

### 参考文献

- [1] 周德培,张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003
- [2] 长安大学,交通部科学研究所,中交第二公路勘察设计院,等. 路基边坡防护设计与施工技术规范研究分报告[R]. 西安:长安大学,2002. 1-8
- [3] 陈济丁. 昆曲高速公路绿化实践和思考[J]. 云南交通科技,1998,14(2): 23-25
- [4] 张华君. 公路边坡生态防护的植物选择[J]. 公路环境保护,2003,(专刊): 37-38
- [5] 黄小军,陈兵. 高速公路生态恢复若干问题探讨[J]. 公路环境保护,2003,(专刊): 47-48
- [6] 江玉林. 公路生物环境工程技术研究进展[J]. 中国园林,2003,(1): 13-15
- [7] 舒翔,杜鹃,廖晓瑾,等. 客土喷播防护技术在惠河高速公路中的应用[J]. 公路环境保护,2003,(专刊): 21-24
- [8] 马海天才,廖心北. 边坡生物防护研究现状初探[J]. 四川草原,2003,(3): 15-16
- [9] 马万权,沈康健,邓辅唐. 客土喷播技术对石质边坡防护的运用[J]. 云南交通科技,2003,19(3): 7-11
- [10] 刘龙. 外来植物物种的引进对路域生态的影响[J]. 交通环保,2003,24(2): 20-22
- [11] 舒翔,杜鹃,曹映泓,等. 生态工程在高速公路岩石边坡防护工程中的应用[J]. 公路,2001,(7): 86-89
- [12] 张俊云,周德培,李绍才. 高速公路岩石边坡绿化方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(9): 1400-1403
- [13] 张玉平,祝于华,付美兰,等. 信九高速公路边坡植物防护技术及施工验收要求[J]. 公路,2003,(3): 122-123
- [14] 金钟. 喷砼植草技术在惠河高速公路高边坡防护中的试验应用[J]. 广东公路交通,2001,(2): 18-19
- [15] 日本岩磐绿化协会. 有机质系吹付岩磐绿化工法技术资料[Z]. 1997. 1-20