

# 高速公路弃土场的水土流失监测及其生态治理

卓慕宁<sup>1</sup>, 李定强<sup>1</sup>, 郑煜基<sup>1,2</sup>

(1. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东省农业环境综合治理重点实验室,  
广东 广州 510650; 2. 广州益坤环境绿化有限公司, 广东 广州 510650)

**摘要:** 高速公路弃土场边坡的生态治理是公路建设环境保护的重要内容。在京珠高速公路粤境南段弃土场开展水土流失监测研究, 探讨了弃土场的水土流失及其生态治理的水土保持效果。结果表明, 弃土场水土流失剧烈, 侵蚀模数平均为  $3.24 \times 10^4 \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 边坡沟蚀现象明显。采用香根草(*Vetiveria zizanioides*)生态护坡技术治理弃土场边坡水土流失, 水土保持效果显著, 坡面土壤流失量比对照小区减少 92.24%, 边坡稳定, 在一定程度上可代替浆砌石骨架植草护坡措施。因此, 高速公路弃土场的水土流失生态治理可大力推广应用香根草生态护坡技术。

**关键词:** 高速公路; 弃土场; 水土流失; 生态治理; 香根草

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)04-0096-04

中图分类号: X157, X171.4

## Soil and Water Loss Monitoring and Its Ecological Control on Spoil Ground in Expressway Construction

ZHUO Muning<sup>1</sup>, LI Ding-qiang<sup>1</sup>, ZHENG Yuj<sup>1,2</sup>

(1. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Science, Guangdong Key Laboratory of Integrated Agro-environment Control, Guangzhou, Guangdong 510650, China;

2. Guangzhou Eco-environmental Afforestation Co. Ltd, Guangzhou, Guangdong 510650, China)

**Abstract:** Ecological control to the slope of spoil ground is the key project of environmental protection in expressway construction. The monitoring experiment for soil and water loss in the spoil ground of Beijing-Zhuhai expressway's south section within the boundary of Guangdong Province was conducted to study the soil and water loss, ecological control and application effects of the slopes of spoil ground. Results showed that soil and water loss was serious, and soil erosion modulus was about  $32\ 360 \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  on spoil ground. Moreover, distinct gully erosion was observed on the slope. Soil and water conservation effects from using *Vetiveria zizanioides* to protect the slope were significant. Soil loss from the slope where *Vetiveria zizanioides* grows decreased by 92.24%, and the slope was stable compared with the control plots. To a certain extent, using *Vetiveria zizanioides* to protect slope can replace the slope protection measure of planting grass in mortar-rubble skeleton. Therefore, it is feasible to popularize *Vetiveria zizanioides* cultivation to protect the slope of spoil ground along the expressway.

**Keywords:** expressway; spoil ground; soil and water loss; ecological control; *Vetiveria zizanioides*

高速公路建设是一项穿越不同地形与区域的线状工程, 在开挖与堆填量不能平衡的时候, 将产生多余的弃土, 需要设置弃土场来堆放。弃土场一般设在地形低洼处或沟谷之中, 由于弃土自然堆置, 未经碾压, 形成裸露的松散堆积边坡, 边坡处于临界状态, 极易发生水土流失, 对周边环境造成威胁。因此, 高速

公路建设中设置的弃土场, 要求与路基工程同时实施水土保持措施, 或进行生态治理。

京珠高速公路粤境南段由于穿越山区、重丘区等复杂地形, 弃土产生量很大, 沿线设有大大小小的弃土场 40 多个, 弃土数量高达  $9.00 \times 10^6 \text{m}^3$ 。本文选择其中比较典型的弃土场开展水土流失及其生态

收稿日期: 2007-05-20

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(40331009); 广东省科技重大专项(2006A36801001); 广东省科技计划项目(2005B33302006, 2004B60204003, 2002C32202)

作者简介: 卓慕宁(1959-), 女(汉族), 广东省五华县人, 研究员。研究方向为水土保持与非点源污染。E-mail: mnzhuo@soil.gd.cn。

通讯作者: 李定强(1963-), 男(汉族), 湖南省湘潭县人, 研究员, 博士, 研究方向为水土保持与非点源污染。E-mail: diqili@soil.gd.cn。

治理研究,探讨弃土场的水土流失特点及其生态治理技术,以期为高速公路弃土场的水土保持提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试弃土场概况

供试弃土场位于京珠高速公路粤境南段终点路段太和互通立交附近。弃土前为山谷地貌,植被为稀树荒草林,以桉树、松树为主,部分为荔枝林,山体高度约90 m,谷底为水塘,与当地和龙水库仅一路之

隔,划归广东省水土流失重点监督区范围。弃土场堆积边坡居高临下面对公路与水库,面积约4 000 m<sup>2</sup>,按工程设计方案修整为4级,其中1—3级坡高10 m,坡率分别为1:2.00,1:1.75和1:1.50,每级边坡之间的平台宽4 m,第4级边坡高8 m,坡率1:1.50,坡底水塘为弃土所填。堆积平台面积约1.1×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>。边坡与平台土层松散、裸露,土壤为花岗岩风化或半风化物,砾石含量10.34%,质地为砂质壤土,肥力瘦瘠,其土壤理化性状见表1,除钾元素外,其余养分含量均缺乏,对水土保持植被恢复极为不利。

表1 供试弃土场土壤理化性状

项目	pH	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
土壤	6.80	1.50	4.28	0.21	27.22	1.17	51.25

由于地处南亚热带季风气候区,常年气温较高,雨量丰沛。平均气温20.3℃~21.7℃,平均降雨量1 537~2 201 mm,雨旱季节交替明显,其中4—9月为雨季,雨量占全年的70%以上,暴雨多集中在4—6月,7—9月常形成暴雨的第2高峰。多雨的气候条件使弃土场置于水土流失的潜在危险中。

### 1.2 研究方法

1.2.1 弃土场水土流失预测方法 采用类比分析法<sup>[2]</sup>,选择相邻区域地质、地貌、气候、土壤和植被等条件相似、性质近似的工程作为类比工程,应用类比工程的水土流失试验观测资料预测弃土场的水土流失。局部进行坡面侵蚀沟调查,根据弃土场边坡的地形特点,选择具有代表性和一定面积的坡面作为调查单元,在降雨后调查量测坡面的侵蚀沟数量、沟长、沟深与沟宽,并测定土壤容重,根据侵蚀沟的体积与容重,计算边坡土壤侵蚀模数。

1.2.2 弃土场生态治理措施 弃土场作为工程建设中的临时用地,一般在工程竣工后交还当地复垦利用。因此,在工程建设期间对此类临时用地的生态治理不仅要考虑其水土保持效果,而且要考虑其日后的复垦利用。供试弃土场边坡防护原工程设计方案采用浆砌片石拱架植草,拱架内铺当地草皮。由于该方案中含土工措施,对弃土场复垦不利。

本研究在第3、4级边坡改用香根草生态治理技术,保留第1、2级边坡原工程设计方案。

为了加强香根草的水土保持效果,香根草种植的等高距采用0.7 m,在坡面按等高间距0.7 m开挖水平沟,沟深15 cm,按丛距15 cm,每丛3~4株的规格种植,并下足基肥,浇定根水。利用香根草的生物工程特性,既稳定边坡又恢复植被,消除边坡的水土流

失隐患,同时为其将来复垦利用创造有利条件。

1.2.3 水土保持效果监测方法 弃土场实施生态治理、坡面恢复植被后用径流小区法观测水土流失量,分别在第3、4级边坡设置径流小区,并在第3级边坡设置对照小区不种任何植物,小区边界由镀锌铁皮垂直埋入土内围成,面积2 m×5 m,小区下方设集水桶收集坡面径流,测定降雨后的坡面径流量和土壤流失量,用于评价弃土场生态治理措施的水土保持效果。在坡面植被恢复时期,定期观测降雨后坡底水沟沉积的土壤厚度,估测边坡土壤流失量的变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 弃土场的水土流失预测

2.1.1 弃土场的土壤侵蚀强度 供试弃土场在弃土堆置前为自然山坡地,土地利用类型主要为林地和荒草地,植被覆盖度在60%以上,自然水土流失较轻微,土壤侵蚀模数在500 t/(km<sup>2</sup>·a)以下,在允许土壤侵蚀量范围内。弃土场形成后,产生1.10×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>的堆积平台和4 000 m<sup>2</sup>的堆积边坡。若按类比法预测其潜在水土流失量,采用该路段相邻区域工业园开发建设期同类工程的水土流失监测结果,堆积平台与堆积边坡的侵蚀模数分别为1.04×10<sup>4</sup> t/(km<sup>2</sup>·a)和9.28×10<sup>4</sup> t/(km<sup>2</sup>·a)。

若按此进行类比预测,预测时段以1 a计,则该弃土场可产生水土流失量约485.4 t,平均侵蚀模数为3.24×10<sup>4</sup> t/(km<sup>2</sup>·a)。按照土壤侵蚀分级标准<sup>[3]</sup>,弃土场在未采取水土保持措施的情况下,水土流失强度可达剧烈程度,尤其是堆积边坡,水土流失更为严重,其侵蚀量可占总侵蚀量的76.43%,成为水土流失发生的重点部位。

2.1.2 弃土场边坡的沟蚀强度 弃土场边坡在未作生态治理前,降雨后发生明显的坡面沟蚀现象。选择弃土场面积为  $180\text{ m}^2$  的坡面,在一次连续降雨(中雨到大雨)6 d 后调查量测坡面产生的侵蚀沟,共有冲刷细沟 11 条,沟宽 6~15 cm,沟深 3~8 cm,长度不等,最长的为 8.63 m,最短的为 2.16 m。按坡面冲刷细沟流失的土壤容积估测,沟蚀强度约为  $1.69\text{ kg/m}^2$ 。按此估测,该弃土场边坡一次降雨可产生土壤侵蚀量 6.76 t。

## 2.2 弃土场水土保持效果

2.2.1 不同植被覆盖度的水土保持效果 弃土场边坡在 4 月中旬种植香根草,在香根草种植成活初期,坡面除了香根草外,尚无其它植物种类生长,坡面尚未形成有效覆盖,这期间经降雨由坡面冲刷下来沉积到坡底水沟的土壤厚度为 15.5 cm,按重量法粗略估算,土壤侵蚀量约为  $1\,314.29\text{ t/km}^2$ 。2 个月后,香根草开始分蘖生长,草带间亦有其它植物种类自然侵入,植株密度增加,植被覆盖度增加至 89%,这期间的降雨量增加,但经降雨冲刷产生的坡底水沟土壤厚度却下降为 2.1 cm,土壤侵蚀量约为  $178.50\text{ t/km}^2$ ,与种植初期相比,土壤侵蚀量减少 86.42%。随着香根草的生长,坡面植被覆盖度的增加,土壤侵蚀量大幅度减少。5 个月后,坡面基本上被植被覆盖,在这期间观测坡底水沟的土壤厚度不到 1 cm,土壤侵蚀已基本得到控制。至当年雨季结束,边坡未见发生

严重的水土流失现象。

2.2.2 边坡植被对土壤侵蚀的削减效率 香根草种植 1 a 后,设置径流小区监测弃土场生态治理措施的水土保持效果。整个监测期间对径流小区观测采样 13 次(单场降雨或多场降雨后),其统计值计算结果见表 2。香根草坡面径流量与土壤侵蚀量受降雨量与降雨强度的影响。根据供试弃土场附近地面自动观测站资料(由广东省气象局提供),观测期间共发生降雨 95 场,其中达到侵蚀性降雨标准 10 mm 的 20 场<sup>[4]</sup>,总降雨量 480.1 mm,占同期总雨量的 78.01%。达到暴雨标准的降雨为 5 场,大雨 13 场。表 3 为边坡在不同降雨量与雨强下的径流量与土壤流失量。从表 3 可见,在大雨—暴雨强度下,香根草小区土壤流失量很小,其中第 3 级边坡平均为  $146.11\text{ g/m}^2$ ,第 4 级边坡平均为  $9.95\text{ g/m}^2$ 。

观测数据的单因素方差分析及多重比较表明,不同边坡的香根草小区土壤流失量差异不大,但与对照边坡小区的差异达极显著水平( $P=0.01$ ),平均减沙效率第 3 级边坡为 85.75%,第 4 级边坡为 98.73%。可见,用种植香根草的方法对减轻弃土场堆积边坡土壤侵蚀的效果非常明显。

由于弃土堆积边坡土层疏松,土壤入渗率较大,同时,对照边坡小区在观测期间有少量植物自然生长,因此,其坡面径流量相对较小,径流系数平均为 0.107 3。

表 2 弃土场香根草坡面径流小区观测数据统计值

统计项目	降雨量/ mm	平均雨强/ ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )	径流量/( $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$ )			侵蚀量/( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )		
			第 3 级边坡	第 4 级边坡	对照	第 3 级边坡	第 4 级边坡	对照
最小值	12.80	2.13	1 715.00	665.00	2 100.00	0.60	0.16	7.47
最大值	75.20	12.75	3 010.00	2 835.00	3 294.00	325.52	27.3	971.04
平均值	38.05	5.23	2 737.27	2 160.23	2 721.58	82.35	9.30	396.90
变异系数	0.54	0.63	0.15	0.31	0.13	1.11	0.99	0.79

注:降雨资料由广东省气象局提供;对照指未作生态治理处理,植被自然恢复,盖度 15%;统计样本数  $n=13$ 。

表 3 香根草坡面径流与土壤流失特征

观测日期	降雨量/ mm	降雨强度/ ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )	径流小区	径流量/ ( $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$ )	径流系数	土壤流失量/ ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	减沙效率/ %
--06 22	47.5	2.26	第 3 级边坡	1 475	0.0 311	76.11	88.62
			第 4 级边坡	1 010	0.0 213	13.72	97.95
			对照边坡	3 120	0.0 657	669.05	—
--07 20	26.0	5.20	第 3 级边坡	1 975	0.0 760	216.10	82.88
			第 4 级边坡	1 817	0.0 699	6.18	99.51
			对照边坡	3 870	0.1 488	1 262.24	—

注:对照边坡有少量植物自然生长。

根据观测数据的单因素方差分析及多重比较,不同边坡的香根草小区径流量差异不大,但与对照边坡小区的差异显著( $P=0.05$ ),与对照边坡相比,第3级和第4级边坡的径流量分别减少50.85%,60.34%,可见,种植香根草能够拦截坡面径流。

2.2.3 边坡的稳定性 根据香根草的力学特征,其根系的抗拉强度平均为75~85 MPa,相当于钢极限强度的 $1/6^{[5]}$ 。

在香根草种植1 a后,抽样量测根系长度,平均为36.2 cm,最大根长为41.5 cm。发达的根系及其强大的抗拉强度,增强了弃土堆积边坡松散土体的抗蚀能力,保护边坡土体不至于下滑或塌方。3 a的跟踪观测表明,供试弃土场堆积边坡种植香根草以来,经历了当地亚热带季风气候区每年4—9月的雨季,在降雨集中、短历时大雨或暴雨频繁的情况下,整个边坡处于稳定的状态,坡面未出现明显的冲刷沟槽,或坍塌、滑坡等严重水土流失现象,其稳定性与浆砌片石拱架植草的第1,2级边坡相当。

### 3 结论

(1) 高速公路弃土场在未实施水土保持措施前,土壤侵蚀可达到剧烈程度,按类比法分析结果,平均

侵蚀模数为 $3.24 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。坡面沟蚀现象明显,沟蚀强度约为 $1.69 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

(2) 在高速公路弃土场堆积边坡种植香根草治理水土流失的实践证明,该方法水土保持效果显著,可使坡面土壤侵蚀得到有效控制,边坡稳定性与浆砌片石拱架植草的相当,在一定程度上可以代替工程护坡措施。

致谢:参加本试验工作的还有项目组的其他成员,香根草苗由华南植物园夏汉平研究员提供,降雨数据由广东省气象局提供,在此一并致谢。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 凌云,王玲.生态恢复与水土保持技术在高速公路临时用地中的应用[J].广东公路交通,2004(4):16—18.
- [2] 高玉华,林海鹰,王晓惠.开发建设项目水土流失预测方法探讨[J].黑龙江水利科技,2002(1):25.
- [3] 水利部国际合作与科技司编.水利技术标准汇编·水土保持卷[M].北京:中国水利水电出版社,2002.9—10.
- [4] 刘震主编.水土保持监测技术[M].北京:中国大地出版社,2004.40—42.
- [5] 冯子元.香根草技术在道路边坡中的应用与成本分析[J].公路,2003(4):136—139.

(上接第95页)

(5) 面向 agent 与面向对象不是互相排斥的。在面向 agent 的方法中,完成 agent 内部的各任务模块时,也要利用面向对象的方法来分析设计与实现。与对象相比,agent 粒度更大,是具有自主性的实体。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 何炎祥,陈莘萌.agent和多agent系统的设计与应用.[M]武汉:武汉大学出版社,2001.
- [2] 吴元斌.面向agent技术[J].现代计算机,2001(6):

32—34.

- [3] 高长元.基于Internet高新技术产品评价群决策支持系统研究[D].哈尔滨工业大学博士学位论文,2002.
- [4] 毛海军,唐焕文.基于agent的决策支持系统研究[J].计算机工程与应用,2003,37(15):12—13.
- [5] 胡代平,王浣尘.基于多agent的模型系统研究[J].系统工程理论方法应用,2001,10(2):89—92.
- [6] 岳新利,汪妮,张永进,等.基于智能Agent的防汛决策模型[J].西安理工大学学报,2004,20(3):240—248.