

# 开发建设项目水蚀量预测方法研究

李璐<sup>1</sup>, 袁建平<sup>2</sup>, 刘宝元<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875; 2. 水利部综合事业局, 北京 100053)

**摘 要:** 开发建设项目中水蚀量的预测方法研究对于防治新的水土流失具有十分重要的意义。在查阅已编报部审的水保方案和国内外有关此研究文献的基础上, 对我国目前水保方案中用到的预测方法进行了介绍和评价, 同时对国内外开发建设项目水蚀预测方面的研究进展进行了综述。

**关键词:** 开发建设项目; 水蚀量; 预测

**中图分类号:** S157.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)02-0081-04

## Review on Soil Erosion Prediction in Construction Projects

LI Lu<sup>1</sup>, YUAN Jian-ping<sup>2</sup>, LIU Bao-yuan<sup>1</sup>

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Bureau of Comprehensive Development, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

**Abstract:** How to predict water erosion in construction projects is important for the control of new erosion. It summarized and evaluated prediction methods about water erosion in construction sites that used in the soil and water conservation projects audited by Ministry of Water Resources and that presented in international literature. Furthermore, the development of international and national prediction methods about water erosion in construction sites is summarized.

**Key words:** construction project; water erosion; soil erosion prediction

## 1 引言

从生态学的观点看, 大多数开发建设项目是以干扰和破坏地表生态景观为特征的工程建设活动, 这些局地开发建设造成了大量的水土流失, 其土壤侵蚀量通常是开发前 2~40 000 倍<sup>[1]</sup>。我国每年有大量的土地被人为开发建设, 改造为公路、铁路、水库、矿山、住房和商业场所以及其它工程。我国法律规定, 开发建设项目必须依法编制、报批和认真实施水土保持方案, 并且严格执行“三同时”制度<sup>[2]</sup>, 从而有效防治开发建设项目所引起的新的水土流失。开发建设项目中新增水土流失量的预测是水土保持方案 and 环境影响评价中的重要内容, 其预测结果是布设水土保持设施的依据, 而预测方法的研究, 对于更加有效地防治和动态监测开发建设项目所引起的水土流失以及水土保持设施的效益评估都具有十分重要的意义。

所谓新增水土流失量, 是指在项目责任范围内, 假设不采取任何水土保持措施的前提下, 项目实施可能造成的土壤流失量与项目实施前原地地形植被条件下的原生土壤流失量的差值。针对新增水土流失量的预测结果, 开发建设项目必须布设一定的水土保持措施来使其减小到容许范围之内。

## 2 目前水保方案中用到的水蚀量预测方法及评价

对于开发建设项目水土流失中的水蚀量, 在预测时一般

分为弃渣和弃渣以外的项目责任范围内不同下垫面。

现在编制的水保方案中, 对于弃渣的预测方法大多采用流失比公式, 又叫流失系数法, 其数学表达式如下:

$$W_s = a \times V_s$$

式中:  $W_s$ ——可能产生的弃渣流失量, t;  $V_s$ ——弃渣量 (由设计施工资料结合实地勘测得到), t;  $a$ ——预测时段内工程弃渣的流失比/水土流失系数, 无量纲。

流失比/流失系数  $a$  可以有几种来源: 参照其它类比工程的调查资料, 参照所在地区的输移比资料, 进行实地天然降雨观测或布设人工降雨实验等。工程建设单位一般参照陕西煤炭研究院和黄委会水科院等研究成果及外业调查结果, 得到流失比或流失系数  $a$ <sup>[4]</sup>。

工程建设项目责任范围内水土流失预测区段的划分对于不同的开发建设项目是不同的。其划分是结合项目的功能区、水土保持防治分区和原生水土流失类型、方式 3 方面而决定的。对于不同的预测区段分别进行预测, 然后将各项的综合作为弃渣以外的各个预测区段的土壤流失量。假设某工程项目有  $n$  个预测区段, 则弃渣以外的各个预测区段的水土流失量可以用下式来计算。

$$L_i = \sum_{i=1}^n (A_i - A_0) F_i T_i$$

式中:  $L_i$ ——新增土壤流失量, (t);  $A_i$ ——第  $i$  种预测区段的

侵蚀模数,  $t/(km^2 \cdot a)$ ;  $A_{i0}$ ——第  $i$  种预测区段的原生侵蚀模数,  $t/(km^2 \cdot a)$ ;  $F_i$ ——第  $i$  种预测区段的面积,  $km^2$ ;  $T_i$ ——第  $i$  种预测区段所要预测的时间,  $a$ 。

由此,  $A_i$  的得到就成了解决开发建设项目水土流失预测的关键问题。就目前国内的研究情况, 其方法有下列几种。

## 2.1 类比分析法

开发建设项目毗邻地区有类似测试、研究成果的, 或者已建的类似项目有详细的水土流失资料的, 可以通过类比分析, 引用相近的资料进行本项目的拟建和在建工程的各个预测区段的水土流失量预测<sup>[5]</sup>。

经过对工程特性、项目责任区自然环境状况(气候条件、地形地貌、土壤和植被等)、水土流失特点(侵蚀因子、流失方式、水土保持设施、水土流失预测区段划分等)等的综合评判, 列类比条件分析表详细分析论证拟建工程和已有类比工程的可比性。分别对已有工程的各个水土流失预测区段的水土流失量进行资料收集和实地调查, 然后根据两个工程可比性的分析, 得出拟建工程各个水土流失预测区段的侵蚀模数。

这种方法的特点是简单易行, 可操作性强, 对于各类开发建设项目都可适用, 但是很难做到精确定量, 其科学性也较差, 这种方法是目前水保方案中用得最多的方法。

## 2.2 数学模型法

### 2.2.1 USLE 或 RUSLE

美国通用土壤流失预报模型及其修订版(USLE 及 RUSLE)是美国用于预测缓坡农耕地、矿山等多年平均土壤侵蚀量的统计模型, 在国内的开发建设项目水土流失预测中也得到了应用<sup>[6]</sup>, 其表达式如下:

$$A = R \cdot K \cdot C \cdot L \cdot S \cdot P$$

式中:  $A$ ——土壤侵蚀模数,  $t/(hm^2 \cdot a)$ ;  $R$ ——降雨侵蚀力因子,  $MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)$ ;  $K$ ——土壤可蚀性因子,  $t \cdot h/(MJ \cdot mm)$ ;  $C$ ——作物覆盖-管理因子, 无量纲;  $L$ ——坡长因子, 无量纲;  $S$ ——坡度因子, 无量纲;  $P$ ——水土保持措施因子, 无量纲。

但是 RUSLE 的应用也存在很多问题, 必须充分考虑土地扰动后  $K$  的变化相当大和未采取任何水土保持措施的  $C$ 、 $P$  值如何衡量和需要测定的数据如何获得等实际操作问题。

对于坡耕地土壤流失量的预测, 我国各地都有一定的研究, 也有很多学者开发了一些局地水土流失预报模型, 比如, 滇东北山区坡耕地土壤流失方程、黑龙江土壤流失方程、福建省土壤流失方程等。对于开发建设项目责任区内人为活动较少的区段, 比如大型水利工程或矿产开发的居民生活区, 水土流失量的预测可以选用这些已有的研究成果。

### 2.2.2 地方性模型

地方性模型是指某些区域内的一些大型开发建设项目在建设过程中进行了一些研究实验, 根据实验结果进行综合分析, 建立了一些适合局地工程水土流失预测的模型。

江西永平铜矿经验模型是江西铜业公司永平矿科研所<sup>[7]</sup>根据区域水土流失试验观测资料建立的影响水土流失量的经验模型。

$$\sum A = \sum CW_M^K \cdot P \cdot F \cdot R \cdot J$$

式中:  $A$ ——一次暴雨输沙模数,  $t/km^2$ ;  $W_M$ ——一次暴雨径流模数,  $m^3/km^2$ ;  $P$ ——植被因子系数(随植被盖度增加而减

小), 小数表示;  $J$ ——流域平均坡度,  $m/m$ ;  $F$ ——流域面积,  $km^2$ ;  $R$ ——可蚀性因子, 以土壤中细砂粒、加粉砂粒( $0.1 \sim 0.002 mm$ )的组成比例表示(小数);  $C$ 、 $K$  均为参数。

对于一定的铜矿区,  $R$ 、 $J$ 、 $W_M$ 、 $F$ 、 $C$ 、 $K$  不变,  $P$  为决定因子, 选择合理  $P$  因子就可以计算出水土流失量, 但是并未查到关于此模型被其它开发建设项目广泛应用的文献; 而且, 此模型在估算过程中是以输沙模数来推定土壤侵蚀模数, 因此, 只能适用于输移比接近于 1.0 的地区。

地方经验模型是在区域资料的基础上建立, 具有一定的区域性, 不能普遍推广和盲目采用; 而且, 即使是用作类似的工程建设, 也必须进行各方面的分析, 修订模型中的参数后使用。

## 2.3 实地调查测试法

实地调查测试法指通过对各个预测区段的侵蚀情况进行实地调查和布设一些实验, 野外直接观测径流小区的产沙量以及量测沟蚀量等, 相对来说投入较大, 实际操作需要技术性强, 其预测结果最为可靠。布设的小区必须符合形态相似、动力学相似和几何相似等原则, 根据水利部颁布的《水土保持试验规范》(SD 239-87), 确定我国标准径流小区面积为  $20 m \times 5 m$ , 但实际中因地形、坡长情况的限制往往要作一些修改。小区布设一定要具有代表性, 代表根据不同植被、不同土地利用类型和不同工艺等条件而划分的各个预测区段。

在各个预测区段布设具有代表性的径流观测小区, 观测天然降雨或人工模拟降雨下的产沙量, 从而得出各个预测区段的侵蚀模数。由于沿程沉积量无法测定出来, 必须在实际操作中加以修订。

对于天然降雨观测不易实现的地区和季节, 查阅所在区域或毗邻区域的气象站的多年降雨资料, 通过综合分析, 并选取合适的降雨机进行人工模拟降雨, 再结合当地水土流失侵蚀模数的观测资料进行修正, 得出各个预测区段的侵蚀模数。

现场人工模拟降雨实验是一种可以快速获得各个预测区段侵蚀模数的方法, 能够在短时间内取得一系列具有规律性的数据, 但它在操作上必须掌握好参数, 同时它需要有一定的实验费用支持, 目前, 已有一些中、大型工程在编制水保方案的时候选取此种方法<sup>[8]</sup>。

## 2.4 侵蚀等级划分法

参照《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-96)中所列的数据标准, 参考有关资料, 根据项目建设的设计资料, 结合原生水土流失条件, 对项目责任区各个预测区段水土流失因子在建设前后的变化趋势进行综合评判和对比分析, 从而选取合适的侵蚀等级和侵蚀模数。<sup>[9]</sup>

由于开发建设的某些区域, 某些生产活动对原生景观的扰动很大, 用这种方法进行预测有可能造成预测的结果偏小, 很难做到客观定量的预测, 对于开发建设项目责任区内预测精度要求不高的区段, 比如大型水利工程或矿产开发的居民生活区水土流失量的预测可以适用。

## 2.5 专家预测法

专家预测法是指依据专家的经验, 根据项目区各个预测区段的原生地形、地貌、水文、植被等及水土流失情况, 结合工程项目主体工程本身的建设, 对各个预测区段的土壤侵蚀模数进行专家预测。这种方法实行起来比较简单易行, 但是难以做到定量预测, 一般在资料极度缺乏的情况下选用。

### 3 国内外研究进展

#### 3.1 国内研究进展

我国开发建设项目中水土流失预测方法的研究主要有以下两方面: 一方面是针对一些在建的具体工程, 定量研究其水土流失规律, 比如秦沈客运段、内昆铁路和安太堡煤矿等; 另一方面是对 U S L E 应用于工程建设项目水土流失量预测的探讨。

##### 3.1.1 铁路工程水土流失规律研究

中科院地理所的蔡强国、李忠武等(2001)在内昆铁路针对铁路施工期的5种下垫面布设小区, 做了人工降雨实验, 得出路堑和弃渣小区的产沙量和产沙率都明显大于其它小区, 是铁路修建造成沿线水土流失加剧的主要来源<sup>[10]</sup>。

北方交大的杨成永、许兆义等(2001、2002)先后在秦沈客运段、内昆铁路施工期的不同下垫面布设小区, 做了人工降雨实验和天然降雨实测以及天然降雨实验沟蚀量的观测, 得出: 路堑小区的产沙量明显大于其它各小区, 为铁路施工期水土流失预防的重点坡面<sup>[11]</sup>; 沟蚀量的大小主要取决于半宽雨量<sup>[12]</sup>; 并拟合了铁路工程建设硬地面水土流失预测公式<sup>[13]</sup>; 对中科院地理所的蔡强国、李忠武等在内昆铁路做的降雨实验的数据进行了修正, 并提出了有关铁路工程项目降雨实验的有关问题的探讨<sup>[14]</sup>。

##### 3.1.2 煤矿水土流失规律及防治、复垦措施的研究

李文银、王治国等对安太堡煤矿的水土流失规律、防治措施、复垦等做了长期、系统的研究。王治国、白中科等(1992)用体积法测算细沟和浅沟冲刷量, 然后又根据安太堡露天煤矿设置的8个径流小区(1994)的参数和天然降雨观测结果, 推算出安太堡露天煤矿30年间的水土流失量可达389.17万t<sup>[15]</sup>。

王治国、白中科等(1994、1998)在安太堡南排土场的坡面对细沟、浅沟进行研究, 发现边坡细沟、浅沟发生频数、沟宽比和侵蚀量随坡位不同发生空间变异<sup>[16]</sup>, 整个坡面细沟侵蚀占总侵蚀量的79.6%, 而且与排土工艺和复垦种植有密切关系。<sup>[17]</sup>

##### 3.1.3 关于预报模型应用于工程建设项目水土流失量预测的探讨

王美芝等(2001)在云南宣威、黑龙江安达、福建龙岩的铁路沿线, 分别验证了 U S L E 和滇东北山区坡耕地土壤流失方程、黑龙江土壤流失方程、福建省土壤流失方程, 其结果显示, U S L E 预测的误差较大, 预报铁路沿线水土流失量时, 可优先分别采取滇东北、黑龙江省、福建省、闽东南、辽北、长江三峡等地已有的预报方程, 如果没有适用于当地的预报方程, 再考虑选择 U S L E。<sup>[18]</sup>

叶翠玲等(2001)通过对工程建设中有关 U S L E 所需的各种参数与 U S L E 的适用条件进行对比, 认为 U S L E 是适用于估算缓坡农耕地多年平均土壤侵蚀量的模型, 工程建设项目水土流失预测的时段及范围与 U S L E 的适用条件有较大差别, 经工程建设施工扰动的土体结构与农耕地的土壤结构有较大差异, 因此工程项目施工引起的水土流失不能直接用 U S L E 进行估算。<sup>[19]</sup>

朱正清等(2000)也定性指出, 铁路工程的实际工作中, 遇到水蚀、风蚀、重力侵蚀交融的情况, 有时用 U S L E 进行

预测, 会得出新的土壤侵蚀模数小于原地表侵蚀模数, 显然不正确、不合理。<sup>[20]</sup>

刘功贤等(2000)基于 U S L E 开发适用于黑龙江省的侵蚀预报方程, 并且认为可以适用于开发建设项目破坏原有地形、植被下的土壤流失预测和有水土保持措施的效益评估, 并给出了工程算例。<sup>[21]</sup>

#### 3.2 国外研究进展

因工矿、交通建设引起的水土流失问题已成为现代土壤侵蚀过程中非常突出的问题<sup>[22]</sup>。20世纪60~70年代, 美国每年大约有100万hm<sup>2</sup>的土地被人为开发建设, 改造为公路、铁路、水库、住房、商业场所等。开发建设所带来的侵蚀每年每平方英里从几百到10万t不等, 这些地区大量土壤侵蚀的发生经常带来严重的环境问题。Barnett等人<sup>[23]</sup>得出: 在大雨强下, 观测一个坡度为25°1的高速公路裸露边坡, 每公顷流失97t, 径流系数62%, 径流深68.6mm; 而一个邻近的经过覆盖防护的边坡, 每公顷仅仅流失10t, 径流系数40%。随着政府以及开发业主的重视, 开始广泛调查由于开发建设所造成的土壤侵蚀问题, 对于减少开发建设项目水土流失和泥沙沉积的总的方针已经由相关部门制定出台。

1971年, Meyer, L. D., W. H. Wischmeier, and W. H. Daniel等人<sup>[24]</sup>模拟最典型的开发建设项目的条件, 设计了6种不同下垫面情况下的径流小区实验, 得出: 裸露地的水土流失是很大的; 在被测试的扰动区域中, 有覆盖防护的可蚀性要明显小于被测试的其它条件下的土壤; 在填方区减少压实使土壤保持良好的物理条件会减少侵蚀和径流。并且将这项研究数据用于验证 Wischmeier 和 Mannering<sup>[25]</sup>提出的计算 K 值的公式(U S L E), 结果证实了这个公式可以应用到建设项目水土流失估算中。

1999年, Toy, T. J., R. Forster, and K. G. Renard<sup>[26]</sup>指出 RU S L E 1.06 已经被应用到估测一些特殊条件下的土壤侵蚀量, 诸如矿山以及其它的一些开发建设项目中, 这个版本也可以应用到环境影响评价和建设规划的前期工作中, 同样也适用于工程的后期评估中。这也为项目规划者提供测试不同的“最佳管理方案”(BMP)的工具以及对该项目中各种措施的结合实施作出评估, 并且指出了 RU S L E 在应用中所表现出来的局限性。

目前对开发建设项目水土流失量的预测, 美国普遍采用 U S L E 及其修订版 RU S L E, 就应用的效果来看, 如果资料详实、技术可行, 对于高速公路、大型的房地产开发等建设项目水土流失量的预测基本准确。RU S L E 不仅用于预测, 而且是筛选和测试、评估不同“最佳管理方案”(BMP)的有效途径, 并且能够在准确预测工程建设项目产生土壤流失的基础上指导水土保持措施的布设、评估造价、使用年限及经济效益。

基于趋于网络化的 GIS 技术的迅猛发展, 美国密歇根大学水研究所的有关学者<sup>[27]</sup>在 RU S L E 的基础上开发了一个网上在线系统, 用来计算密歇根州的开发建设项目的土壤流失预测量。其用户界面友好, 用户只需登录网站, 逐次在下拉菜单中作出正确真实的选择, 此系统将马上计算出水土流失量。

加州州立大学的 Andrew J. Sloan 等(2002)开发了高速公路土壤侵蚀评价工具(HEAT), 用来评估加州高速公路绿化和生物措施防治水土流失的效果, 其中土壤流失预测是用 U S L E 来完成的, U S L E 是其后台程序的主要部分。通过这个

系统, 还可以收集加州高速公路水土流失及其防治的数据。<sup>[28]</sup>

## 4 结 论

(1) 目前, 我国已审批了开发建设项目水土保持方案达 17 余万份, 土壤流失预测是水土保持方案中的重中之重, 又是水土保持措施布设和效益评估、实施监测的前提和理论依据, 然而, 目前在预测方法方面缺乏基础数据的收集和基础理论的研究, 也没有合理可行、比较满意的预测方法出台, 目前的预测方法问题很大, 用径流小区实测和专家预测法对比, 其误差可达 177.3 倍<sup>[29]</sup>, 其预测很难达到科学、定量和准确。

(2) 国内有关开发建设项目土壤流失量预测的研究, 多集中于降雨、径流因素和土壤容重等个别单因素与产沙量的相关关系分析, 对于植被因素、地形因素、土壤其它物理性

质、水土保持措施因素还缺乏实验研究, 也并没有可行的预报方程问世。

(3) 对于 U SLE 是否适用于开发建设项目水土流失量的争议, 还只停留在定性分析方程适用条件和实际工程情况的对比上, 并未有大量的野外实验数据对此争论有令人信服

的结论。

(4) 国外普遍采用 U SLE 或 RU SLE 预测开发建设项目中的土壤流失量, 并成功地发展为界面友好的终端用户系统, 其应用面越来越广, 这与其基础数据的丰富关系密切, 虽然 U SLE 或 RU SLE 在预测开发建设项目中的土壤流失量中也存在很多问题, 但 U SLE 或 RU SLE 在预测高速公路等交通建设项目以及一般的市政开发建设项目上已经比较成熟, 并逐渐趋于网络化, 能更方便地为用户服务。

## 参考文献

- [1] Harbor J, Engineering geomorphology at the cutting edge of land disturbance: erosion and sediment control on construction sites[J]. Geomorphology, 1999, 31: 247- 263
- [2] 中华人民共和国水土保持法第 18、19 条[Z]. 1991
- [3] 中华人民共和国水利部水土保持局 开发建设项目水土保持方案技术规范[S] (SL 204- 98), 1998
- [4] 国家电力公司西北电力设计院 白龙江紫兰坝水电站水土保持方案报告书[R]. 2002 26- 30
- [5] 李智广, 曾大林 开发建设项目土壤流失量预测方法初探[J]. 中国水土保持, 2001, (4): 24- 26
- [6] 交通部公路科学研究所环境工程研究设计室 国道 213 线元江- 磨黑段水土保持方案编制大纲[Z]. 2001 24- 26
- [7] 江西铜业公司永平矿科研所 永平铜矿露采终了岩石边坡和排土场植被工程试验研究综合报告[R]. 1986
- [8] 国家电力公司西北电力设计院 甘肃省窑街矿务局劣质煤热电厂工程水土保持方案报告书[R]. 2001 17- 34
- [9] 国家电力公司成都勘测设计研究院, 中国水利水电科学研究所 西南成品油管道工程水土保持方案报告书[R]. 2000 82 - 102
- [10] 李忠武, 蔡强国, 吴淑安, 等 内昆铁路施工期不同下垫面土壤侵蚀模拟研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 5- 8
- [11] 叶翠玲, 许兆义, 杨成永 秦沈客运专线建设过程中的水土流失实验研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 9- 13
- [12] 杨成永, 王美芝, 许兆义 秦沈客运专线路堤边坡土壤侵蚀预报研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 14- 16
- [13] 王美芝, 杨成永, 许兆义, 等 道路建设中形成的硬地面水土流失预测[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 77- 79
- [14] 王美芝, 杨成永, 许兆义, 等 铁路建设陡坡降雨试验及相关问题讨论[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 84- 86
- [15] 李文银, 王治国, 蔡继清 工矿区水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 1996 127.
- [16] 王治国, 白中科, 赵景逵, 等 黄土区大型露天矿排土场岩石侵蚀及其控制技术的研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 10- 17
- [17] 白中科, 胡振华, 王治国 露天矿排土场人为加速侵蚀及分类研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 34- 40
- [18] 王美芝, 杨成永, 许兆义 铁路建设环评中沿线水土流失的评价问题[J]. 铁道工程学报, 2001, (4): 40- 43
- [19] 叶翠玲, 许兆义, 董瑞银, 等 U SLE 用于估算工程建设项目水土流失量的讨论[J]. 中国水土保持, 2001, (12): 29- 30
- [20] 朱正清 铁路建设项目水土保持方案编制中的几个问题[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2000, (7): 236- 239
- [21] 刘功贤, 詹敏, 陈生永 黑龙江省土壤流失方程在工程建设项目土壤流失预测中的应用[J]. 中国水土保持, 2000, (7): 23 - 25
- [22] Warkentin B P. The changing concept of soil quality[J]. J. Soil and Water Conservation, 1995, 50: 226- 228
- [23] Barnett, A P Discker, E G, Rishardson, E C. Evaluation of mulching methods on highway back slopes[J]. Agronomy Journal, 1967: 59- 83
- [24] Meyer, L D, W H Wischmeier, W H Daniel Erosion, runoff, and revegetation of denuded construction site[J]. Transactions of the ASAE, 1971, 14(1): 138- 141.
- [25] Wischmeier, W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland[A]. USDA Agr. Handbook[M]. No. 282, 1965
- [26] Toy, T J, R Forster, K G Renard RU SLE for mining, construction and reclamation lands[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999, 54(2): 462- 467.
- [27] Dauyang et al <http://www.iwr.msu.edu/rusle/constructionsite/alcona.htm> [EB/OL]. 2002
- [28] Andrew J Sloan, Mica Hart, Joel Kinmeishue Development of the highway erosion assessment tool(HEAT) for evaluation of roadside slopes[A]. Orlando Proceedings of Conference[C]. International Erosion Control Association, 2002
- [29] 焦居仁, 等 开发建设项目水土保持[M]. 北京: 中国法制出版社, 1998 191.