

第一次全国水利普查侵蚀模数的批量计算方法

——基于 CSLE 和 GIS 的土壤水蚀模数计算器设计与应用

祝 赢^{1,2}, 章文波^{1,2}, 刘素红¹, 殷 兵¹, 谢 云^{1,2}

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 为快速有效地完成第一次全国水利普查水土保持情况普查中 30 000 多个野外调查单元的土壤侵蚀模数计算, 采用 NET 平台并结合 ArcEngine 二次开发包, 开发了基于中国土壤流失方程(CSLE)的土壤水蚀模数计算器软件。以陕西省安塞县野外调查单元数据为例, 应用该软件进行计算并得到了野外调查单元的水蚀模数, 将计算结果与手工操作 ArcMap 计算得到的侵蚀模数进行了比较。结果表明, 利用水蚀模数计算器软件计算得到的结果准确可靠, 并可极大地提高计算效率。该软件可用于区域水土流失调查水蚀模数的计算。

关键词: 水蚀模数计数器; 水土保持情况普查; CSLE; GIS

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0291-05

中图分类号: TP31

A Batch Computation Method of Soil Erosion Modulus in the First National Water Conservancy Survey

—Design and Application of Water Erosion Modulus Calculator Based on CSLE and GIS

ZHU Ying^{1,2}, ZHANG Wen-bo^{1,2}, LIU Su-hong¹, YIN Bing¹, XIE Yun^{1,2}

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

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to quickly and effectively compute the soil erosion modulus of more than 30 000 field investigation units in soil and water conservation survey(the first national water conservancy survey), water erosion modulus calculator software is designed and developed based on Chinese soil loss equation(CSLE) by using NET platform of microsoft and AcrEngine development kit. By taking the data of field investigation units selected in Ansai County of Shaanxi Province as an example, the software is applied to calculate the water erosion modulus of the units and the calculated result is compared with that by operating ArcMap with manual method. Results indicate that the calculated result using water erosion modulus calculator software is accurate and reliable, and it can improve the calculation efficiency greatly. The software can be used for water erosion modulus calculation in regional soil erosion survey.

Keywords: soil erosion modulus calculator; soil and water conservation survey; CSLE; GIS

土壤侵蚀模数是指单位时间、单位面积土地上的土壤侵蚀量, 常用每年 1 km² 的土壤侵蚀量或每年侵蚀土层的厚度表示^[1]。传统的土壤侵蚀模数计算采用手工计算方式进行, 随着以计算机为基础的地理信息系统(GIS)技术的发展, 众多的研究者开始使用 GIS 软件结合土壤侵蚀模型来计算土壤侵蚀模数。GIS 与土壤侵蚀模型结合计算土壤侵蚀模数的方式

可分为松散结合、紧密结合和完全结合 3 类。松散结合指 GIS 与模型相互独立, 通过操作 GIS 商业软件, 按照模型要求进行图形运算和地图代数运算, 而后得到计算结果。萧寒等^[2], 游松财等^[3], 胡良军等^[4], 刘兴文等^[5], 宫奎方等^[6], 于书霞等^[7], 孙希华^[8]等运用该类结合方法分别进行了实例应用研究。紧密结合是使用高级语言或者 GIS 提供的脚本语言进行二次

收稿日期: 2011-08-15

修回日期: 2011-11-13

资助项目: 第一次全国水利普查水土保持情况普查“全国土壤侵蚀影响因子计算分析与制图第 I 标段: 水力侵蚀因子计算分析与制图”

作者简介: 祝赢(1988—), 男(汉族), 安徽省安庆市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀与 GIS。E-mail: bnuzhuaying@gmail.com。

通信作者: 章文波(1971—), 男(汉族), 湖南省长沙市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: wenbozhang@bnu.edu.cn。

开发,形成自己独特的用户界面,将相对独立的模型与 GIS 集成到一个软件中,这是当前 GIS 与土壤侵蚀模型结合使用最多的一种形式,如 Stuart 和 Stocks^[9]利用 SPANS 的建模语言 SML 将 TOP-MODEL 与 SPANS 进行集成,Huang 和 Jiang^[10]利用 ArcView 的宏语言 Avenue 将 TOPMODEL 与 ArcView 进行了集成,Pullar 和 Springer^[11]利用 Avenue 将 AGNPS 与 ArcView 进行了集成。完全结合是将 GIS 嵌入到土壤侵蚀模型系统中使系统能够提供交互处理和结果显示等功能,或者使用 GIS 函数重写模型,使模型与 GIS 集成在一个系统中,共享一个数据库。荷兰土壤侵蚀模型 LISEM^[12]就是一个完全集合的典型实例,该实例使用 PCRaster 的空间动态模型语言实现。众多的研究者基于上述 3 种 GIS 与土壤模型结合的方式计算土壤侵蚀模数,但基本上都是对某一个具体的地块、流域或者地区的土壤侵蚀模数进行计算,目前还没有针对大范围或大区域的土壤侵蚀调查土壤侵蚀模数的批量计算程序或者软件。

2010—2012 年中国开展全国第一次水利普查,水土保持情况普查是其中的专项任务之一,土壤侵蚀普查是水土保持情况普查的关键内容^[13]。土壤侵蚀普查以土壤侵蚀模型为中心,采用抽样的方法调查影响侵蚀的各个因子。抽样在全国范围内统一按网格布局,根据网格大小划分为 4 层:第 1 层网格为 40 km×40 km,称为县级区;第 2 层网格在第 1 层基础上,划分为 10 km×10 km,称为乡级区;第 3 层网格在第 2 层基础上,划分为 5 km×5 km,称为控制区;第 4 层网格在第 3 层基础上,划分为 1 km×1 km,称为基本调查单元。以基本调查单元为基础,按 4% 密度抽样,在每个控制区(5 km×5 km)中心抽取一个 1 km×1 km 网格,即为野外调查单元。但如果属于山丘区的水蚀调查,应选择与控制区中心 1 km×1 km 网格相连的面积约 0.2~3 km² 的小流域为野外调查单元。针对土壤侵蚀外营力差异,分别布设水蚀、风蚀、冻融等 3 种不同类型的野外调查单元,其中水蚀野外调查单元数占 90% 以上(其余为风蚀或冻融野外调查单元),全国约有 30 000 多个。

根据水蚀调查单元的调查数据,采用中国土壤流失方程(CSLE)^[13]计算土壤侵蚀模数。本文结合 Microsoft .NET 平台和 ESRI ArcGIS Engine 软件二次开发包,设计开发基于中国土壤流失方程(CSLE)的土壤水蚀模数计算器软件。应用该软件能够快速、准确、可靠地完成水蚀普查中 30 000 多个野外调查单元的土壤侵蚀模数计算,这对于第一次全国

水利普查土壤侵蚀普查的顺利完成具有显著的促进作用。

1 中国土壤流失方程 CSLE 简介

CSLE 是中国土壤流失方程(Chinese soil loss equation)^[13-14]的简称,方程的基本形式为:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中: A ——坡面多年平均年土壤流失量[t/(hm²·a)],即土壤侵蚀模数。

1.1 降雨侵蚀力因子 R

降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是降雨特性的函数。中国土壤流失方程中降雨侵蚀力指标为一次降雨总动能 E 与该次降雨的最大 30 min 雨强 I_{30} 的乘积,用降雨过程资料计算。由于降雨过程资料难以获得,采用日雨量进行估算,公式为^[13]:

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^{24} \bar{R}_{\#月k} \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (2)$$

式中: \bar{R} ——多年平均降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm²·h·a)]; $R_{\#月k}$ ——第 k 半月的降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm²·h)]。

$$\bar{R}_{\#月k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\alpha \sum_{j=1}^m P_{dij}^{\beta}) \quad (3)$$

($i=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,24$)

$$\alpha = 21.239\beta^{-7.3967} \quad (4)$$

$$\beta = 0.6243 + (27.346/\bar{P}_{12}) \quad (5)$$

$$\bar{P}_{12} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\frac{1}{m} \sum_{l=1}^n P_{dil}) \quad (6)$$

($i=1,2,\dots,N; l=1,2,\dots,n$)

式中: $R_{\#月k}$ ——第 k 半月的降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm²·h)]; P_{dij} ——第 i 年第 k 半月第 j 日大于等于 12 mm 的日降雨量; α, β ——回归系数; \bar{P}_{12} ——大于等于 12 mm 日雨量的多年平均值(mm); i ——年数; j ——第 i 年第 k 半月日雨量大于等于 12 mm 的日数; k ——1 年 24 个半月; l ——第 i 年日雨量大于等于 12 mm 的日数。

1.2 土壤可蚀性因子 K

定义为单位降雨侵蚀力在中国标准小区上造成的土壤流失量[t·hm²·h/(hm²·MJ·mm)]。标准小区的是指坡长 20 m,宽 5 m,坡度为 5°,连续保持清耕休闲状态,且实行顺坡耕作的小区。计算公式为:

$$K = (\sum_{e=1}^N Ae) / (\sum_{e=1}^N (EI_{30})_e) \quad (7)$$

式中: EI_{30} ——降雨侵蚀力因子; E ——降雨动能值; I_{30} ——最大 30 min 雨强; e ——降雨次数。

1.3 坡长因子 L

指某一坡长的坡地产生的土壤流失量,与同样条件下 22.13 m 坡长的坡地产生的土壤流失量之比,

其计算公式为:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (8)$$

式中: λ ——水平投影坡长; m ——可变的坡长指数。

1.4 坡度因子 S

指某坡度的坡地产生的土壤流失量,与其他条件相同,9%坡度的坡地产生的土壤流失量之比,其计算公式为:

$$\begin{cases} S = 10.8 \sin \theta + 0.03 & (\theta \leq 5^\circ) \\ S = 16.8 \sin \theta - 0.5 & (5^\circ < \theta < 10^\circ) \\ S = 21.91 \sin \theta - 0.96 & (\theta \geq 10^\circ) \end{cases} \quad (9)$$

1.5 水土保持措施因子 B, E, T

(1) B 为生物措施因子,无量纲,这个因子反映了地表覆盖对土壤侵蚀的作用;(2) E 为工程措施因子,无量纲,指通过改变小地形(如坡改梯、引水拉沙等)来改善农业生产条件,以减少或防止土壤侵蚀而采取的措施;(3) T 为耕作措施因子,无量纲,指以犁、锄、耙等为耕(整)地农具所采取的措施,以达到保水保土保肥的目的^[15]。 B, E, T 值的计算定义为有相应生物措施或工程措施或耕作措施的小区的土壤流失量与同等条件下清耕休闲地的土壤流失量之比,数值在 0~1。 B, E, T 值越小说明相应的措施对减小土壤流失的作用越大,反之亦然。

2 土壤水蚀模数计算器的设计

土壤水蚀模数计算器的核心是批量计算野外调查单元的土壤侵蚀模数,可分别选择省级、县级或调查单元计算不同尺度范围内的野外调查单元的土壤侵蚀模数。以野外调查单元为基本单位,每个对应野外调查单元的数据存储目录下面均有通过水蚀计算分析工具生成的 R, K, L, S, B, E, T 各个因子栅格文件。考虑到降雨侵蚀力和土壤可蚀性的尺度比较大,对这 2 个因子提供参数可以是常数或者栅格文件的不同选项。

2.1 数据库组织

要完成侵蚀模数的批量计算,首先要规范数据的组织和存储。本文采用中国第一次全国水利普查土壤侵蚀普查中水力侵蚀普查部分的标准^[13]对数据进行组织,以文件形式进行存储。

以每个省为单位,建立 4 级文件夹目录。1 级目录采用省级行政区划单位编码的 2 位数字命名,存储内容有 2 级目录文件夹、省(直辖市、自治区)水土流失普查野外调查单元分布地形图图幅号、野外调查单元水土保持措施汇总表。2 级目录由县级行政区划单位编码的 6 位数字命名,存储内容有 3 级目录文件

夹(按野外调查单元编码排序)和县级水土流失普查野外调查单元分布地形图图幅号等。3 级目录的名称由 6 位县级行政区划单位代码数字加 4 位野外调查单元编号组成,共 10 位数字,存储内容为 4 级目录。4 级目录有 3 个文件夹目录,命名分别为 basic, shp 和 raster,对应的存储内容分别是野外调查单元的基础信息、对野外调查单元处理后得到的基础矢量数据和使用中国土壤流失方程计算得到的中间文件和结果文件。

土壤水蚀模数计算器计算所需要使用的数据和计算结果数据均存放在野外调查单元目录的 raster 目录中,即输入和输出的结果都在 raster 目录中。计算侵蚀模数前每个野外调查单元 4 级目录 raster 目录下,含有 7 个分别命名为 r, k, l, s, b, e, t 的 ESRI 公司定义的 GRID 格式的栅格数据。 R, K, L, S 因子可以通过方程提供的计算公式计算得到, B, E, T 因子可通过查找因子值表获得。

2.2 软件设计及实现

软件的开发平台选择采用 .NET 平台和 ArcGIS Engine。 .NET 是 Microsoft XML Web services 平台,由一组用于建立 WEB 服务应用程序和 Windows 桌面应用程序的软件组件构成,包括 .NET 框架和 .NET 开发工具等。 .NET 平台有支持多种语言的互操作,可跨多种操作平台,安全性高,支持 XML, HTTP 等网络标准和协议等优点。 ArcGIS Engine 简称为 ArcEngine,是 ESRI 公司的二次软件开发包,可用于构建完整的 GIS 应用程序和定制嵌入式的 GIS 应用。利用 ArcEngine 开发的 GIS 应用程序,可以完全脱离 ArcGIS 桌面而独立运行,从而为用户提供了一个功能确定、使用高效的 GIS 工具。

程序的界面设计充分考虑用户的易操作性,采用对话框等交互方式,使程序的功能高度集成,操作简单,界面友好。主要设计原则为:(1) 遵循 Windows 界面的设计风格,并能充分体现功能的直观性和方便性;(2) 数据操作的规范性和统一性;(3) 提供帮文件,对各个功能和方法提供帮助和操作说明。

计算调查单元级别的土壤侵蚀模数功能,主要是计算单个野外调查单元的土壤侵蚀模数。按照数据库的设计,根据选择计算的调查单元,读取该野外调查单元下 raster 目录下的全部栅格因子数据,利用 ArcEngine 的提供的栅格数据计算接口 IMapAlgebraOp,将因子相乘,结果数据保存到该 raster 目录下。计算级别为县级或省级的土壤侵蚀模数计算功能,实质是计算该县或该省所有野外调查单元的土壤侵蚀模数。以野外调查单元为基本计算单位,封装计

算单个野外调查单元的函数;当选择计算县级或省级时,遍历该县级或省级目录下所有的野外调查单元,对每个野外调查单元采用封装好的计算单个野外调查单元土壤侵蚀模数的函数,直至该县级或省级目录下所有的野外调查单元都计算完毕,从而实现了批量计算。软件提供了降雨侵蚀力和土壤可蚀性参数类型的可选项,主要是考虑这 2 个因子的尺度比较大。当选择降雨侵蚀力和土壤可蚀性参数的参数类型为常数时,在对应的文本框中输入对应降雨侵蚀力和土壤可蚀性参数后,所选择的省、县或调查单元的 R 和 K 因子将全部采用输入的参数常数,不会使用栅格文件参与计算土壤侵蚀模数。

3 土壤水蚀模数计算器的应用

3.1 资料准备

安塞县地处陕北黄土高原丘陵沟壑区,位于东经 $108^{\circ}51'44''-109^{\circ}26'18''$,北纬 $36^{\circ}30'45''-37^{\circ}19'3''$,全县面积约为 $2\,950.2\text{ km}^2$,海拔高程在 $997\sim 1\,731\text{ m}$,气候为中温带大陆性半干旱季风气候,年平均气温 $8.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 505.3 mm 。本文在陕西省安塞县附近选取有水文站控制的 1 个流域为例,采用抽样调查的方法,按 4% 抽样密度确定 29 个水蚀野外调查单元,于 2008 年进行实地野外调查。按照上述规范,对这些野外调查单元进行规范命名和存储,陕西省的行政区划代码为 61,因此建立省级目录并命名 61,在该目录下建立安塞县级目录命名为 610624,县目录下建立 29 个野外调查单元的目录,命名 6106240001—6106240029,每个调查单元的相关存储数据存放在该调查目录下。数据存储整理规范后根据公式和查表计算每个野外调查单元的降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、坡度因子、坡长因子、生物措施因子、工程措施因子和耕作措施因子后,将其生成 ESRI 公司的 GRID 栅格数据,保存在 raster 目录下。

3.2 应用及结果查看分析

运行土壤水蚀模数计算器软件,将降雨侵蚀因子 R 和土壤可蚀性 K 参数都设置为栅格文件,计算级别选择为县级,点击浏览按钮在弹出的数据选择对话框中选择对应的县级文件夹路径。参数都设置完成后,点击开始计算按钮即开始进行安塞县所有调查单元的土壤侵蚀模数计算。

每个野外调查单元的土壤侵蚀模数计算结果在每个调查单元的 raster 目录下,为 ESRI 公司的 GRID 栅格数据文件格式,图 1 显示了安塞县 6106240001 号野外调查单元的土壤侵蚀模数大小及空间分布。6106240001 号野外调查单元平均侵蚀模数为 $3\,300.8\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,

最大侵蚀模数为 $8\,400.9\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,其中强度侵蚀所占比例最多,达到 30.1% ,极强度侵蚀最小,所占比例只有 2.0% (图 2)。

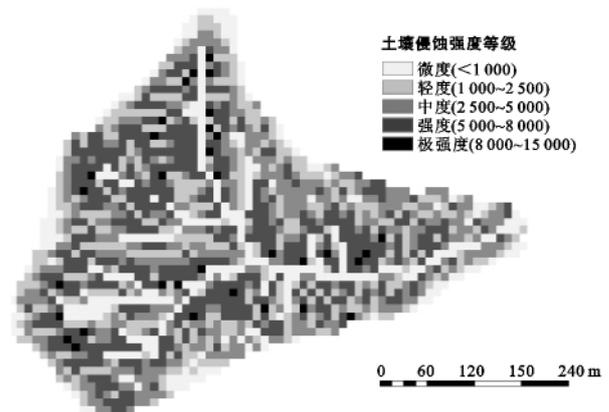


图 1 安塞县 6106240001 号野外调查单元土壤侵蚀强度

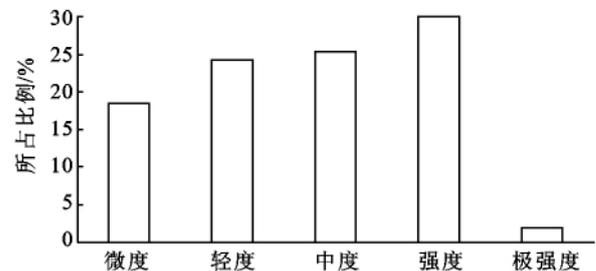


图 2 安塞县 6106240001 号野外调查单元土壤侵蚀模数分级统计

本文将 29 个野外调查单元所在临近的水文站资料与计算结果进行对比验证,水文站控制范围为杨家坪、泾川、毛家河等地。对 29 个野外调查单元进行汇总统计,计算得平均土壤侵蚀模数为 $2\,775.2\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,水文站的观测泥沙量平均为 $3\,129.8\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,考虑到黄土高原地区的高塬沟壑区泥沙输移比近似为 1^[16],调查单元计算的平均土壤侵蚀模数结果与实测泥沙量比较接近,证明了计算结果可信。

4 结论

本文使用采用 .NET 平台和 ArcEngine 软件二次开发包,开发了基于中国土壤流失方程(CSLE)的土壤水蚀模数计算器软件,并以陕西省安塞县(610624)附近的流域为实例计算了该县所有野外调查单元的土壤侵蚀模数,获得的计算结果比较满意。软件使用方便,操作简化,与手工使用 GIS 桌面软件 ArcMap 进行土壤侵蚀模数计算比较,极大地提高了计算效率,缩短了计算时间。因此土壤水蚀模数计算器软件可用于全国土壤侵蚀普查土壤侵蚀(水蚀)模数的计算。

[参 考 文 献]

- [1] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 7-8.
- [2] 肖寒, 欧阳志云, 王效科, 等. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 75-80.
- [3] 游松财, 李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算: 以江西省泰和县灌溪乡为例[J]. 自然资源学报, 1998, 14(1): 62-68.
- [4] 胡良军, 李锐, 杨勤科. 基于 RS 和 GIS 的区域水土流失快速定量评价方法[J]. 水土保持通报, 2000, 20(6): 42-44.
- [5] 刘兴文, 陈亚宁. GIS 技术在土壤侵蚀量模拟计算中的应用: 以新疆头屯河区流域为例[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 73-78.
- [6] 宫奎方, 范建容, 张定容, 等. RS 和 GIS 技术支持下的昌都县土壤侵蚀评估[J]. 中国水土保持, 2011(5): 51-53.
- [7] 于书霞, 王宁, 朱颜明, 等. 基于地理信息系统的土壤侵蚀研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 20-23.
- [8] 孙希华. 基于遥感和 GIS 的山东山丘区土壤侵蚀调查研究[J]. 山东师大学报: 自然科学版, 2001, 16(2): 168-172.
- [9] Stuart N, Stocks C. Hydrological modelling within GIS: An integrated approach[C]. 1993: 319-329.
- [10] Huang B, Jiang B. AVTOP: A full integration of TOPMODEL into GIS[J]. Environ. Modell. Softw., 2002, 17(3): 261-268.
- [11] Pullar D, Springer D. Towards integrating GIS and catchment models[J]. Environ Modell Softw, 2000, 15(5): 451-459.
- [12] De Roo A P J, Wesseling C G, Cremers N, et al. LISEM: A new physically-based hydrological and soil erosion model in a GIS-environment, Theory and implementation[C]// Variability in Stream Erosion and Sediment Transport (Proceedings of the Canberra Symposium). 1994: 224.
- [13] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 第一次全国水利普查培训教材之六: 水土保持情况普查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [14] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An empirical soil loss equation[C]// Proceedings of 12th ISCO Conference, Process of Erosion and its Environmental Effects (Volume II). Beijing: Tsinghua University, 2002: 21-25.
- [15] 章文波, 刘宝元. 基于 GIS 的中国土壤侵蚀预报信息系统[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 89-92.
- [16] 陈永宗. 黄土高原沟道流域产沙过程的初步分析[J]. 地理研究, 1983, 2(3): 35-46.

(上接第 290 页)

4 结 论

(1) 通过层次分析法构建了生产建设项目水土保持综合评价模型。

(2) 生产建设项目水土保持效益指数 ≤ 45.98 为效益非常差, $45.98 \sim 54.35$ 为效益差, $54.35 \sim 64.83$ 为效益一般, $64.83 \sim 69.77$ 为效益好, ≥ 69.77 为效益非常好, 应该加大水保效益指数小于 54.35 的生产建设项目防治力度。

(3) 总体上点状生产建设项目水土保持效益要大于线状项目, 点状项目水土保持效益波动性比线状项目要小。

(4) 点状生产建设项目中房地产类项目水保效益最大, 其次为电厂项目, 最后为矿场项目; 水土保持效益波动性从大到小顺序依次为电厂项目、矿场项目、房地产项目。

[参 考 文 献]

- [1] 郭索彦, 赵永军, 张峰. 生产建设项目水土流失科学考察成果简介[J]. 中国水土保持, 2008(12): 67-70.
- [2] 曾红娟, 史明昌, 陈胜利, 等. 生产建设项目水土保持监测指标体系及监测方法初探[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 95-98.
- [3] 王梅, 周之豪. 水土保持项目综合评价指标体系[J]. 中国水土保持, 1996(1): 40-43.
- [4] 姜德文. 以科学发展观建立生产建设项目水土保持损益评价体系[J]. 中国水土保持, 2005(6): 5-7.
- [5] 刘纪根, 张平仓, 喻惠花. 水土流失综合治理率综合评价指标体系框架研究[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(3): 82-89.
- [6] 张理华, 周秉根, 万蓉蓉, 等. 皖南低山丘陵区水土保持综合评价[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 20-23.
- [7] 陈渠昌, 张如生. 水土保持综合效益定量分析方法及指标体系研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2007, 5(2): 95-103.
- [8] 姜德文. 生产建设项目水土流失影响度评价方法研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 107-109.
- [9] 张绒君, 王晓, 段菊卿. 线性生产建设项目的土壤侵蚀与工程防治[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 139-141.