

应用水土流失定量遥感方法监测 山东全省山丘区的研究*

卜兆宏

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

孙金庄 董勤瑞 刘绍清

(山东省水利厅水土保持办公室, 济南 250013)

摘要 本文简要介绍了水土流失定量遥感方法的组成和基本原理, 重点叙述了它在山东全省山丘区的应用作业和应用结果, 并讨论了它的准确性、实用性和应用前景等。该法的监测模型可与美国近年刊出的 RUSLE 相媲美, 且其因子算式算法系由我国实测资料所建, 故有更合我国流失实际的应用效果, 尤其适用于遥感和 GIS 数据的微机处理。其应用结果, 不仅有比常规调查法和定性遥感法更准确实用的流失总量、各级面积的统计数据 and 流失现状图, 而且还有流失治理规划的防治强度预报图。山东全省山丘区微机作业历时一年余, 达到了预计目标, 还建立了全省山丘区 80510.96km² 流失信息库。首次定量遥感监测结果为: 年均流失总量 12724.01 万吨; 轻度以上侵蚀面积 30724.97km²; 强度以上侵蚀面积 7156.00km²; 需治理面积 4240.21km² (含急需治理 674km²)。9 个拦河水库汇水区监测的年均流失总量与水文站实测算得的年均淤积量有 83% 的一致性, 且更符合近十年的流失治理实际, 则表明定量遥感方法的监测结果可靠。

关键词 定量遥感, 监测模型, 像元流失量

中图分类号 S159-3

在我国水蚀区, 常称土壤侵蚀为水土流失。为治理和预防水土流失, 需定期查清其现状。查清水土流失现状的方法, 有常规地面调查法和卫片目视解译法、遥感数据处理法 (后两种也可称为定性遥感法)^[1]。山东省 1983—1986 年采用 MSS 卫片目视解译加地面调查法, 首次获得全省山丘区的水土流失现状图和各级面积数。为推进水土流失调查方法的科技进步、克服现有方法存在人为定等误差和监测结果与治理脱节的缺陷, 中国科学院南京土壤所与山东省水土保持办公室等合作, 共同完成了国家自然科学基金资助的有关项目, 取得了经著名的地学、水保、遥感专家鉴定为国际先进水平的“水土流失定量遥感方法及其应用的研究”成果^[2], 获得了中国科学院 1996 年自然科学奖三等。经过十余年治理, 山

* 国家自然科学基金资助项目 (批准号 49271050) 论文

收稿日期: 1997-05-29; 收到修改稿日期: 1998-08-16

东全省山丘面貌变化巨大,干鲜果林大增,新造梯田随处可见。然而,近 20 年的水库容量年均淤积率为 0.13—0.51%,库容减小,洪旱灾害频率的增大,要求强化水土保持。为确保这次全省山丘区水土流失调查结果更准确实用,在相应准备后,山东省水土保持办公室与中国科学院南京土壤所再次合作,一年余完成了定量遥感监测任务,取得了省级或流域级应用的最佳作业流程。

1 水土流失定量遥感方法

1.1 方法的组成

水土流失定量遥感方法,由土壤年流失量及其影响参数的实测方法^[3]、定量遥感模型及其因子算式算法、涉及模型因子图的编制方法、遥感与非遥感像元(以 i 下角标注)因子图建立法、定量遥感成果(区域流失总量、部颁流失现状图和防治预报图及各级面积)运算与统计法和成果图自动整饰与输出法组成^[2]。其定量遥感监测模型为

$$A = f \cdot R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中, A 为土壤年流失量, f 为使 A 的单位(因 R, K 使用美习用单位)转换为 $t / (km^2 \cdot a)$ 的常数,等于 224.2, R 为降雨侵蚀力因子, K 为土壤可蚀性因子, S 为坡度因子, L 为坡长因子, C 为植被覆盖或作物管理因子, P 为保土措施因子(S, L, C, P 均为无量纲单位)。该模型形式虽与美 RUSLE 相同^[4],但其因子算式和算法软件则由我国各水蚀区实测数据所建和研制^[2,5-13]。其防治预报模型为

$$Y = CP - C'P' \quad (2)$$

式中 $C'P' = A_T / (fRKSL)$, A_T 为土壤容许流失量,除黄土高原外,一般为 $500t / (km^2 \cdot a)$;其余与(1)式同。 Y 为在 A_T 容许流失时的防治强度差,依据流失量和治理经费将 Y 划分为良好治理区、预防监督区、流失治理区、急需重点治理区。

1.2 方法的基本原理

1.2.1 基本原理 (1)以实测数据建模与对成果检验的原理。实测数据有径流小区、标桩和水文站的;(2)遥感和非遥感数据配准与配置的原理^[1];(3)成果图显色的原理^[1]。

1.2.2 土壤流失量可遥感的原理^[1] (1)遥感数据的一般特征:在微机显示器上使用有关软件任意放大和增强处理,可观赏到地表极为丰富的信息,不存在卫片因暗室冲放作业产生失真现象,更能体现遥感技术的快速、真实优点。遥感数据的几何与光学特性,可按模型运算获几何位置准、定性定量适宜的成果图;(2)遥感数据的波段排序特征^[1]:绿色植被以覆盖度的大小在 TM_2, TM_3 波段数轴上由小到大的顺序排列,尤以 TM_3 更显著。土壤以其水分含量的多少在 TM_4 波段数轴上也由小到大的顺序排列,流失严重的干燥裸土,在三个波段的数据都最大。但含沙的水体则干扰 TM_2, TM_3 的排序,而植被又干扰 TM_4 的排序;(3)用非遥感数据弥补遥感数据的不足:一是用航测地图弥补,二是用常年观测的和大规模调查的已有资料弥补;(4)土壤年流失量的可感性:定量遥感监测的核心,是具备由实测数据建立的监测模型及其各因子算式算法。利用现时性强的遥感(RS)数据和非遥感(GIS)数据相结合,满足了流失量监测和预报模型要求,故能获得准确监测成果。自然,以像元流失量为基础的定量遥感需要更多高新技术,其中包括水土流失专用软件在内由 RS

和 GIS 集成的定量遥感软件系统^[2]。

2 山东全省山丘区的应用

2.1 山东全省山丘区概况

山东省山丘区,西和北临黄河平原、渤海,东邻黄海,南与江苏接壤,西南以微山湖为界,涉及 1:10 万地图共 68 幅,总计 81440.10km²。全省超过千米的陡峻孤峰有泰山(1524m)、沂山(1032m)、蒙山(1150m)和崂山(1133m);超过 500 米高程的低中山区、50 至 500 米的丘陵岗地和低于 50 米的沟谷盆地分别占全山丘区 4.2%、73.2% 和 22.6%。

该区属华北台地,区内断裂构造发育,其中以昌(邑、安丘、临沂)郯(城)断裂为最大。在此大断裂以西为鲁中南台背斜,以东为鲁东地盾。出露地层中的岩石,鲁东地区以变质岩为主,也有侵入花岗岩(如崂山);鲁中南地区则以沉积岩和变质岩为主,也有火成岩。这些岩石在山丘上的残积坡积物、在山丘间谷地的洪积冲积物 and 海滨的海相沉积物,以及黄土、红土堆积物,是山东山丘区土壤的成土母质。其发育的土壤有:分布于山丘的棕壤和褐土,山丘间谷地的潮土和砂姜黑土,海滨的盐土。其中,以含粉砂质的山丘土壤最易于被侵蚀。

该区气候,具有暖温带的湿润和半湿润季风特征。年均降雨量 400—1100mm,年间变化较大。区内雨量南部多于北部,沿海多于内陆,中低山区多于丘陵、平原。降雨多集中于 6—9 月,且多为暴雨,常形成洪涝灾害,该区暴雨多且大的特点,使其降雨侵蚀力较大,是造成山丘水土流失、河床抬升、库容减少和洪旱灾频繁发生的主因。

该区属暖温带落叶阔叶林带,植被多为人工营造林、灌草丛和农作物,次生自然植被的阔叶林较少。农作物中有小麦、玉米、黄豆、棉花、花生、芝麻、烟叶等,多分布于山丘间平川谷地和作了不同平整程度的坡地。增加复种指数的套作制,使作物覆盖度提高,可减少暴雨侵蚀量。近十年营造的大量苹果、桃、李、梨、杏、核桃、板栗、枣等鲜干果林地,以及连片改造坡耕地和炸山砌埂新建自流灌溉的梯田,既增产增收又防治了水土流失,成为当地一大风景线,构成与一般坡耕地迥然不同的遥感影像。

2.2 应用资料

2.2.1 遥感资料 山东省山丘区共涉及 9 景 Landsat 卫星遥感数据磁带(119 / 34, 119 / 35, 120 / 34, 120 / 35, 120 / 36, 121 / 34, 121 / 35, 121 / 36 和 122 / 35, 尚缺 122 / 36)的 TM₂、TM₃和 TM₄,其成像时间为 1990 年 5 月 28 日和 1991 年 6 月 22 日或 23 日。5、6 月是作物生长旺盛期,山丘荒山自然植被区的覆盖分异明显。农区 5 月 28 日小麦接近黄熟,玉米、花生、黄豆等旱作刚种不久,6 月 22,23 日小麦已收割,各种旱作包括套种于麦地的玉米,一般有约 10cm 高的苗,因水肥差异而存在作物长势和覆盖度的差别。全区成像时间的不同,虽给遥感数据处理带来难度,但仍可从其中提取植被和作物覆盖差异的信息。

2.2.2 非遥感资料 (1)等值线表示的资料:有航测地形等高线图和降雨侵蚀力等值线图;(2)图斑表示的资料:有土壤可蚀性 K 值图、土地利用大类图、单双线水系、政区界图、高程注记及点位图。它们均从 1:10 万地图上分别描绘出,各为 68 幅。

2.3 应用作业

2.3.1 作业前的准备 除了经费和资料准备外,主要是按定量遥感方法要求编制非遥感资料的图件,完成微机作业前的准备。

2.3.2 建立 68 幅 DEM 和 R_i 值像元图的处理 其作业有将等高线图、单双线水系图、高程注记及点位图、 R 等值线图扫描输入,使用专用软件经编辑、细化、矢量化、赋值后,则可运算出每 30×30 米一个高程 H 值的 DEM(或称 H_i) 像元图和 R_i 值像元图。

2.3.3 坡度因子与坡长因子乘积 S_iL_i 像元图的处理 (1)配准配置单线水系于 DEM 像元图:地表径流归槽进入水系后就对土壤不存在侵蚀力了,故在运算 S_iL_i 像元图前需将单线水系配准配置在 DEM 上。利用建 DEM 时的水系文件,运行 ARC/INFO 及有关图像处理软件,则可实现其配置;(2) S_iL_i 像元图的处理:为确保监测流失量精度和增强成果的实用性,对 S_iL_i 软件进行改进,输入该区各幅图 DEM 和运行相应图幅的 SL.exe,则可获得每幅的 S_iL_i 像元图和坡度 α_i 图。

2.3.4 土壤可蚀性 K 值像元图的处理 先将编制出的 K 值图分 4 块用 A_4 平板扫描仪输入微机,经用定量遥感软件系统的编辑、细化、矢量化、拼接、赋值等作业,则可获得 K_i 值像元图。

2.3.5 植被与作物因子和保土措施因子乘积 CP_i 像元图的处理 (1)遥感数据 TM 的校正:运行 ERDAS 几何校正软件,键入各地物的 TM 行、列座标和地图 X、Y 座标,则可校正像元为 30×30 米的 TM 遥感数据图像;(2)按幅裁割 TM 图像:凡与水系不配的 TM 图像,尚需重选控制点和进行几何精校正;(3)选训练样区和分类:依据植被或作物覆盖度的高低和地物(市镇村地、道路和水域)影像,一幅 TM 选取 15—30 种训练样区,并建成各幅的样区文件。运行分类命令,键入分类文件,则可获得遥感图像的分类图;(4)将分类图转换成 CP_i 像元图:首先,依据分类文件中各地物类的波段均值和参照每大地类中各类的流失量实测结果,建立相应的 CP 赋值文件。然后,依据土地利用大类将分类图分割为三。最后,运行赋值等运算的软件,将分割大地类中的各类赋值和合并赋过值的各大类图,则可获得该图幅完整的 CP_i 像元图。

2.3.6 因子图系统误差的分析 前面作业,只做了单因子图对照原始资料值及点位分析,达到了位置能配准和数值相符。然而,用它们能否准确监测流失量,还需对此次作业进行更深入的系统误差分析,并寻找到消除它的方法。在此次全省山丘区作业中,DEM 制作虽使用的 1:10 万地图,但软件未变;虽 S_iL_i 作了变动,但它只会更完善适用,尤其临朐县的 DEM 完全相同,且方法实验和此次运算的 S_iL_i 均值也一样,故它们不存在系统误差。作业中其它图的编制和运算方法,则略有差别。与方法实验的临朐县 R_i 、 K_i 、 CP_i 值比,发现此次作业的含临朐县四幅的因子值偏大,从而可得此次作业的系统误差值。据此分析,对全省山丘区各图的连乘积再乘以系统误差值,则可消除此次作业的系统误差。

2.3.7 各幅成果图运算的处理 (1)流失量 A_i 像元图的运算与统计:利用乘法命令,将 R_i 、 K_i 、 CP_i 、 S_iL_i 像元因子图、系统误差值、224.2 常数图连乘,得流失量 A_i 乘积图。对 A_i 图统计,则可获得该幅境内的土壤流失总量;(2)部颁流失现状图的运算与统计:运行新编软件,依据由“流失量→侵蚀等级”的部颁标准,使流失量 A_i 像元图转换为流失现状 A_0 图。对 A_0 图统计,则可获得其各级的面积;(3)防治预报图的运算与统计:首先,运算出各幅土壤

容许流失量的 $500\text{t}/\text{km}^2$ 值图、 $fRKS_L$ 图。然后,按防治模型运算出容许流失状态的 $C'P'$ 图。再按(2)式运算,则得该幅的 Y 值图。最后,依据 Y 值的分级文件和软件,将 Y 值图转换为防治预报 Y_u 图。对 Y_u 图统计,则可获得该幅各类的面积;(4)成果图扫描前的整饰运算:为方便脱机使用成果图,需对流失现状图 A_{0_i} 和防治预报 Y_{u_i} 图进行分版运算和汉字注记。依据显色原理运行分版软件将 A_{0_i} 和 Y_{u_i} 两成果图分版。汉字注记在制备各幅主要地名表后,先运行 $A81.exe$ 将波段的影像标注出,并消除 $TM3$ 影像,再用配置原理将整幅汉字配置在各版成果图上。同理,也可将该幅区界外的三个波段卫星遥感影像配置在相应版的成果图上。这些整饰好的文件,经压缩输出,则可在 $C-4500$ 光电扫描仪上扫出彩色胶片,经冲放后就可供实地对照使用了。如有黄品青黑 4 色的彩喷绘图仪,将三个分版文件转换成 $*.bmp$ 格式,也可输出成果图。

2.3.8 分幅分县流失与防治信息数据库的处理 用 $FOXBASE$ 可以将上述处理结果建成全省分幅和分县信息数据库和打印成报表。至此,则告完成定量遥感监测水土流失的应用作业。

3 结果与讨论

3.1 应用结果

3.1.1 全省山丘区的土壤年流失总量 67 幅的山丘为 80510.97km^2 。其土壤年流失总量的为 127240068.43 吨。尚需说明的是,这数值属 20 年均值,因监测模型中使用的降雨侵蚀力是近 20 年的 R 均值。虽然在模型中使用的是 1991,1990 年遥感数据获得的 CP_i ,但所监测出的流失总量值的时间性质却是由 R 均值决定的。年均流失总量除以全山丘区陆地面积,则为其侵蚀模数 $1745.40\text{t}/\text{km}^2$ 。以地域而言,岸堤水库上游旧寨图幅的侵蚀模数最大,为全区的三倍达 $4831.3\text{t}/\text{km}^2$;东部小,西部大,尤以中部的沂蒙山丘区更大。其中,

表1 应用定量遥感方法监测山东全省山丘的结果汇编简表

Table 1 Monitoring results of soil erosion in mountain and hilly areas of Shandong province by using quantitative method of remote sensing.

侵蚀模数 Soil loss ($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$)	侵蚀级名 Name of soil loss grade	面积 Area (km^2)	防治类别名 Conservation class	面积 Area (km^2)
0—1	微度侵蚀	10551.46		
1—500	微度侵蚀	39234.50	防治良好区	49372.78
500—1000	轻度侵蚀	7219.78		
1000—2500	轻度侵蚀	9741.06	预防监督区	26933.97
2500—5000	中度侵蚀	6608.19		
5000—8000	强度侵蚀	3295.19	需要治理区	3530.21
8000—15000	极强度侵蚀	2691.07		
≥ 15000	剧烈侵蚀	1169.72	急需治理区	674.00

注:1. 0— $1\text{t}/\text{km}^2$ 的微度侵蚀中含 7610.78km^2 水域; 2. 尚有 5 幅图的边角无 TM 数据共计 193.6km^2 ;

3. 山丘 67 幅作业面积为 97575.5943km^2 , 其中本省水域 7610.78km^2 , 陆地 72900.19km^2 。

年均流失总量大的县有蒙阴、莱芜、沂源、沂水、平邑、临朐、费县、新泰和沂南等老区,且多为坡耕旱作农地。

3.1.2 各幅成果图及其统计结果 成果图有 67 幅流失现状图和防治预报图,既有可供扫描胶片的分版图,也有在微机显示的两幅成果图文件。其各幅的各级类统计结果,保存在数据库中,并可打印出。表 1 为各幅数据库和分县数据库信息统计表的汇编简表,列出了此次定量遥感监测的重要结果。此外,尚有可供农林水有关部门用的大量中间结果。

3.2 讨论

3.2.1 应用结果的准确性 为了检验应用结果的准确性,特从省水文站抄录了有关大中型水库的泥沙淤积资料,如表 2 所示。利用 DEM 显示的地形提取出相应水库流域的界线,藉助于这个界线从监测成果图中套取出属该水库流域的所有像元,并统计出该水库流域流失总量和流域面积(见表 2)。多数水库监测值与测算淤积量的一致性大于 80%,最好的是墙齐水库,最差的是雪野、冶源、崂山水库(监测值均较水文站测算的大)。3 个水库一致性差的原因在于,这些流域土壤含石英砂粒都较多,大部分流失量未能流入水库而沉积

表2 山东省九个大中型水库定量遥感监测结果与水文站实测推算值的比较

Table 2 The comparison between the results monitored by quantitative remote sensing method and the calculated value from data observed by hydrometric stations in the valley of 9 reservoirs in Shandong Province.

水库名 Name of reservoir	流域面积 Area of valley (km ²)	总库容 Total volume (×10 ⁸ m ³)	淤积库容 Silt volume (×10 ⁴ m ³)	水文实 测年数 Observed years	库区小库塘年均 淤积 Annual silt of small reservoir (×10 ⁴ m ³)	测算的年均 淤积量 Observed average silt (t)	定量遥感的 监测值 Monitoring value (t)	一致性 Accuracy (%)
岸堤	1690	7.36	4156	13	79.7	5192100	6474827.97	80.19
田庄	424	1.3596	1260	18	21.21	1185730	1392391.58	85.16
沙沟	163	1.0216	669.3	18	1.95	508733.3	415177.51	81.61
墙齐	656	3.28	1507.4	19	46.74	1638998.9	1491515.50	91.00
冶源x	786	2.03	1712.9	23	31.9	1382860.9	2368463.03	82.21
雪野x	444	2.21	1069.1	13	5.61	1142930	2005850.97	84.24
崂山x	99.6	0.56	146	12	0.44	163886.7	263167.25	77.08
米山	440	2.8	779	22	14.44	648038.2	538484.13	83.09
高崖	355	1.5107	1123.3	21	17.54	923396.2	758023.79	82.09

注: 1. 水库名后的 x 为悬移质与流失总量之比或称悬总比, x 代表悬总比为 0.48, 依据冶源水库上游辛庄小流域水文点实测水沙量和沟道淤积量确定。x 也可依据土质含砂石量和沟河长度估算, 一般含砂少的流域 x 近于 1 (流失泥沙大部或全入库), 反之 x 则较小(泥沙多沉积于河床)。冶源、雪野、崂山水库流域的土壤皆发育于花岗岩或花岗片麻岩, 故 x 取与冶源水库流域相同值;

2. 定量遥感监测值乘悬总比后与水文站测算的年均淤积量两者的相对一致性, 平均为 82.96%;

3. 测算的淤积量依据泥沙干容重 1.3t/m³ 乘含库区小库塘的年均淤积库容而得。

于河床。例如, 冶源水库流域的土壤多发育于花岗片麻岩的粗骨棕壤, 含砂粒较多; 据其上游辛庄小流域水文点 1986—1991 年实测流出的悬移质平均为 5547.8 吨, 而沉积于测点上游河床约为 9400 吨, 由此获得该小流域的悬移质与流失总量之比(简称为悬总比)为 0.3711, 顾及中、下游含砂较少的土区, 取全流域的悬总比 0.48, 乘以流失总量的结果值

(1136862.25 吨),就与水文站测算的游积量有 82.21% 一致性。据此,监测值与水文站测算淤积量的平均一致性为 82.96%。由于监测模型中使用的是近年的 CP_1 值,故遥感监测结果较符合近十年治理流失的实际。9 个水库遥感监测的流域流失总量中,5 个大于、4 个小于水文站不含河床沉积的测算值;若顾及河床沉积量需将其乘以悬总比,则皆小于水文站测算值,符合这些库区大面积治理后的减沙效果。通过占全省山丘区总面积 6.53% 的 9 个水库水文站测算数据的检验表明,定量遥感监测结果是准确的。

3.2.2 应用结果的实用性 应用定量遥感结果的各项数据和成果图,由于它们比定性遥感结果准确和表示的图斑细(为实地 30×30 米),使其实用性更大。不仅在水土保持的科学管理中有更大的实用价值,而且对农林水的可持续发展规划都有应用价值。例如,流失量大处多出现在旱作坡地,要求农业部门强化坡改梯和重视减少雨季耕翻、露土的耕作制变革;要求林业部门不宜采用大面积扰动土壤的山丘坡地造林。又如,在估算水利工程使用寿命和防洪减灾决策方面,虽然水文站能测算出流经测站的水含沙量、流量和淤积量,但即使再准也无法测出泥沙的来源和分布,更无法作出治理淤积沙源的决策,而用定量遥感监测则可以实现。除具体应用结果的实用性外,首次应用全省所建立的定量遥感软硬件系统和中间结果,将在今后的定期快速准确监测中发挥长久的作用。例如,为获得每年的流失量,仅需更换 R_1 年均值图为每年的 R_t 值图;在治理几年后,再购遥感数据更新 CP_1 值图和 R_1 值图,则可准确获得流失治理状况和水域淤积泥沙的动态变化,而所需经费、人力和时间却很少。

3.2.3 定量遥感方法的特点与应用前景 山东全省山丘区的应用,以更大的推广应用范围、更为全面的检验,再次显示了以像元流失量为基础的定量遥感方法的四大特点:①方法较科学,表现在像元流失量监测模型包容了土壤侵蚀的各个因素,没有人为定级的主观性;②技术更先进,体现于由遥感和 GIS 技术所集成的定量遥感软件系统,可反复查对、存储和更新,确保了方法科学性的实现;③成果更准确和实用,在南、北方实验区和山东全省的成果都能经受水文、水保站实测数据的检验,因而其实用价值比定性遥感方法的大;④成本更低,虽然在相应准备后首次应用费时费力作业一年,但费钱却不多,加上定期重复监测的廉价和成果与中间图像的多用性,其成本只会比定性遥感方法的低。随着高速微机价格的下降和要求将防洪旱灾最佳决策与强化水土保持结合呼声的增高,被专家肯定为高新科技的定量遥感监测方法必将在洪旱灾频生的水土流失区得到广泛应用,并显示出它应有的经济、生态和社会效益。

参 考 文 献

1. 卜兆宏,李士鸿. 水土流失调查的遥感数据处理. 南京:东南大学出版社,1989,216
2. 卜兆宏,孙金庄,周伏建. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究. 土壤学报,1997,34(3):235—245
3. 卜兆宏,刘绍清. 土壤流失量及其参数实测的新方法. 土壤学报,1995,32(2):210—220
4. Renard K G, Foster G R, Yoder D C, McCool D K. RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future. J. of Soil & Water Conservation, 1994, 49(3):213—220
5. 卜兆宏,董勤瑞,周伏建,张立文. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究. 土壤学报,1992,29(4):408—418
6. 赵富梅,赵宏夫. 应用新算法编制永定河上游张家口地区 R 值图的研究. 海河水利,1994,(2):47—51
7. 卜兆宏,李全英. 土壤可蚀性(K)图编制方法的初步研究. 遥感技术与应用,1994,9(4):22—27

8. 席承藩,章士炎. 全国土壤普查科研项目成果简介. 土壤学报,1994,31(3):330—335
9. 卜兆宏,唐万龙. 像元坡度新算法的初步研究. 遥感技术与应用,1993,8(1):1—6
10. 卜兆宏,唐万龙. 土壤流失量遥感监测中 GIS 像元地形因子算法的研究. 土壤学报,1994,31(3):322—329
11. 卜兆宏,赵宏夫,刘绍清,陈明华. 用于土壤流失量遥感监测的植被因子算法的初步研究. 遥感技术与应用,1993,8(4):16—22
12. 陈述彭,赵英时. 遥感地学分析. 北京:测绘出版社,1990,297
13. Tang W L, Bu Z H. A new software for GIS image pixel topographic factor in remote sensing monitoring of soil losses. *Pedosphere*, 1995, 5(1):67—74

STUDY ON QUANTITATIVE REMOTE SENSING METHOD FOR SOIL EROSION LOSSES AND ITS APPLICATION IN SHANDONG PROVINCE, CHINA *

Bu Zhao-hong

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)

Sun Jin-zhuang Dong Qin-rui Liu Shao-qing

(Office of Soil and Water Conservation, Water Conservancy Department of Shandong Province, Ji'nan 250013)

Summary

In this paper, a quantitative remote sensing method for soil erosion losses is briefly introduced, and its operation and application in the mountain and hilly areas of Shandong Province, China are described. Although the model form of this method for monitoring soil erosion losses is the same as that of the (American) RUSLE, the formula and algorithms for model factors are generated from the loss data observed in China. Therefore, the method is more applicable to loss regions in our country and is suitable for personal computers to process the data of GIS and remote sensing. It is a more accurate and practical method compared with the conventional survey method and the qualitative remote sensing method. The results of its application include the total loss of region, the area of different grades of soil loss, the soil erosion map, and the forecast map of soil conservation. The total losses monitored by the quantitative remote sensing method are conformable to the deposition values observed and calculated by hydrometric stations in the 9 reservoir valleys with an average accuracy of 82.96%, showing the accuracy of the monitoring results obtained by this method in Shandong Province (see Table 2).

Key words Monitoring model, Quantitative remote sensing method, Soil loss of pixel

* The Project (No. 49271050) supported by the National Natural Science Foundation of China.