

# 水土流失定量遥感方法新进展 及其在太湖流域的应用\*

卜兆宏 唐万龙 杨林章 席承藩

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

刘复新 吴嘉裕 唐合年

(江苏省水利厅水土保持办公室, 南京 210029)

**摘要** 本文介绍了水土流失定量遥感方法研究所取得的新进展及其在太湖流域的应用结果。显示出该法具有快速、准确、省钱和实用的特点。建成了可供长期使用的太湖流域苏皖区水土流失定量遥感监测系统, 还有 1996、1997、1999 年的全区、分县市统计的土壤年流失量、侵蚀模数、流失强度等级面积、防治强度类型面积和相应最终成果图等。依据太湖流域苏皖区的监测结果, 讨论了水土流失的空间和时间变化、应用领域等。土壤年流失量及流失面积的增减, 与监测年的降雨侵蚀力  $R$  密切相关。凡土壤年流失量大的年份, 次年很可能出现水质恶化和蓝藻爆发, 表明监测结果将在太湖水质面源污染增量监测与治理中发挥应用价值。

**关键词** 水土流失, 定量遥感方法, 新进展, 土壤年流失量, 防治强度预报  
**中图分类号** S157

以土壤年流失量为监测目标的水土流失定量遥感方法, 其监测模型可与美国 RUSLE 相媲美<sup>[1,2]</sup>。自 1995 年经专家鉴定、获奖后, 通过山东、福建、江西等地推广应用, 显示出它具有省、地、县和小流域、中流域级的应用能力( $7.8 \sim 10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ), 监测结果与水文站测算值比达到 83% 的一致性, 为应用区的流失治理和依法定期监测、公告提供了有效手段和依据<sup>[3~5]</sup>。在完成由江苏省资助的太湖流域项目时, 为使该法更快更准更省和更实用, 特对它作了改进、完善研究。经更完善后的水土流失定量遥感方法, 在经费和作业人皆少的情况下, 还提前完成原定计划, 达到了预期目标。

## 1 水土流失定量遥感方法新进展

### 1.1 模型因子算式及其软件研究的新进展

(1) 改进了土壤粒级换算方法 在利用土壤普查理化分析数据计算土壤可蚀性( $K$ )值时, 原定定量遥感方法采用图解法才可转换为国际制土壤粒级, 但需费时长和伤眼的操作。为此特研究出一套土壤粒级换算式, 只花 2 天就顺利完成太湖流域 207 个剖面的土壤粒级国际制的精确转换。图解法转换的粒级只能达 0.1, 而粒级换算式计算的则可达 0.01。在所建的一套土壤粒级换算式中, 最简单的是 2~0.1 mm 粒级百分数  $d$  的转换式

$$d = b \cdot d' \quad (1)$$

式中  $d'$  为土壤剖面机械组成表中 1~0.05 mm 粒级百分数;  $b$  为系数, 小数点后取 9 位。

(2) 完善了模型因子算式算法 为提高监测模型各侵蚀因子的计算精度, 对其分别进行了完善研究, 使之既适应于省级也适用于小流域, 既适用于已应用的省地县, 也可供尚未应用的水蚀区应用<sup>[6]</sup>。例如, 降雨侵蚀力( $R$ )因子, 在增加了广东、甘肃、黑龙江、浙江等地, 连同原有七省十几个试验站累计

\* 国家自然科学基金(No. 40171060)和中国科学院创新项目“太湖流域水环境预警研究”(KZCX2-31)资助

342年5214次侵蚀性降雨资料后,检验和改进了 $R_n$ 新算法的基本关系式,变成如下降雨侵蚀力最佳算法式 $R_j$

$$R_j = 0.1281 \cdot I_{30B} \cdot P_f - 0.1575 \cdot I_{30B} \quad (2)$$

式中 $I_{30B}$ 为侵蚀性降雨最大30分钟雨强的年代表值, $P_f$ 为汛期月份总雨量,它们均作了更适合侵蚀实际的算法规则的改进<sup>[7]</sup>。

(3)完成水土流失定量遥感方法系统中有关软件的升级 为减少运算操作,提高出监测结果的运算速度和整个成果的质量,对该系统中的有关软件作了升级研究。例如,像元地形因子 $LS_i$ 软件,已从福建南安应用时的Ver.3.0升级为Ver.3.1。与其相配的DEM制作软件,也改进升级为较适用于多水系的南方地区。软件升级后,各方面的效果十分明显。就速度而言,同一幅1:10万(相当于2000km<sup>2</sup>)的DEM数据仅需时13分钟,而此前在586/120Mc机上要13小时才可完成 $LS_i$ 运算,提速63倍。整个成果质量也有较大提高,就成果图而言,江西、福建就比早应用的山东省的好,而太湖流域又比江西、福建的好。

## 1.2 操作技术研究的新进展

(1)改进了已有资料图件的输入编辑方法 经研究和实验证明,采用改进的屏幕编辑输入作法,可免去墨描、铅描已有图件或手工编侵蚀因子图等工序,而可直接对收集资料图扫描输入。这项改进,既缩短工时、加快进度,又不存在无法查验的墨铅描线时产生的大量偶然和系统误差,更节省了经费。在太湖流域苏皖区,对于土壤图、土地利用图和各地各年降雨侵蚀力 $R$ 值图,正是采用这种输入编辑方法才得以使进度加快的。

(2)改进了作业流程 上述方法的改进、完善和系统软件的升级等,使微机处理数据组的能力大增,为改进作业流程提供了可能。山东省、福建泉州晋江流域的作业流程都只能以1:10万图幅或约相当于1:10万图数据组的一个县市区为处理区,最后再拼接成全省或全泉州市晋江流域。如此处理,对处于跨不同图幅的山丘而言,则会影响 $LS_i$ 的数值精度。在太湖流域苏皖区的作业流程,改进为将全区作为一个处理区,先获得全区结果,再按省市县界分割获得各省市县的监测结果。这不仅能加快进度、提高侵蚀因子计算精度,而且更有利于所建系统在首次监测后更快实现后续应用的重复监测。

## 2 在太湖流域的应用

### 2.1 太湖流域苏皖区概况

依据地表径流最终汇入太湖的原则,划定该项目的研究作业区,涉及江苏省苏南五市、安徽省郎溪和广德两县、浙江省长兴和湖州两县的太湖湖面和少许湖堤岸地。其西、西南、西北、南西均以分水岭为界;其北和东北也以分水岭和较高路基的公路、铁路为界;其东以京杭大运河西岸公路为界;其东南和南以平望镇至南浔镇河道北岸公路、省界和太湖南岸湖堤为界。其涉及的作业面积约20000km<sup>2</sup>,研究区面积为11341.1853km<sup>2</sup>。

该区最高山位于宜兴南边界的黄塔顶(612m),位于周边550~350m的山丘有四顶山、伍员山、高丽山、髻山、茅山、长山等,还有不少散布于太湖畔的350~250m高低丘陵,一般平原区地面高程为2~3m,最低处是马山镇北围垦田高程负1m。整个地势西北高、东南低。

该区水系密如蛛网,水域所占面积共有3407.6934km<sup>2</sup>,其中太湖湖面为2395.6659km<sup>2</sup>。湖水经望虞闸、浏河闸、太浦闸等水闸流出与长江、黄浦江、钱塘江相通。在汛期,尤其是海水大潮时,打开水闸长江水会倒灌入湖。区内除西北部外有80%的水系可通航,只是近20年因河床淤泥增多,重载船易被搁浅受阻。湖水多年平均高程3.2m,最高达5.3m。

该区气候属东亚亚热带海洋性湿润季风区,四季分明,雨量充沛,年均降雨量约1100mm,年际变化大,年内多集中在5~8月,且暴雨次数多、历时长,尤遇台风时多暴雨,是该区水土流失、河湖淤积严重的动力源,也是导致1991年特大洪灾和1999年洪水的主因。

该区土壤,山丘多发育于变质砂岩、石灰岩风化物、下蜀黄土和第四纪红土等母质,平原多为河湖相冲积沉积物母质,第二次土壤普查图上将其分为黄棕壤、红壤、石灰土、紫色土、水稻土、潮土、沼泽土等七个大类,14个亚类,207个土属或土种。大多数土壤的质地为粉土,且有机质含量不高,使该区易蚀土

壤和较易蚀土壤占全区陆地 83.06%<sup>[8]</sup>。这表明该区土壤易被侵蚀, 在多暴雨年份水土流失严重。

该区植被, 在山谷、缓坡和广大平原区, 主要是长期耕种轮作两熟的稻麦, 在尚未围垦的湖荡湿地为芦苇草地; 在 10~20 m 的岗地和 5~15° 坡地, 多为人工栽培的红薯、豆类、蔬菜等旱作物和柑橘、杨梅、板栗、茶叶等果园作物; 在低山丘陵区, 自然植被比较繁茂, 有属常绿阔叶林的青刚栎、石栎、冬青、豹皮樟、大叶楠、木荷等, 也有属针叶林的马尾松、杉木树等, 其中还有人工栽培的成片竹林。该区水热条件较好, 凡土层厚处, 一旦停止耕作当年就可恢复 50%~60% 的草灌植被, 而薄土的采石或开矿区则较难。植被有抵御暴雨击打、径流冲刷的保土贮水作用, 而在多暴雨时翻土的旱作坡地和顺坡茶园则会加剧水土流失。

总之, 太湖流域向为我国富庶宝地, 经济发展迅速, 既是高产优质高效农业区, 又是各种工矿交通企业高度发达区。然而, 太湖水质在严重恶化、洪灾频发等令人堪忧的景象, 则表明该流域是我国地道的生态环境脆弱区。

## 2.2 研究资料

本研究所需资料有: 1) 全区 1:5 万和 1:10 万共 23 幅地形图, 并在平原区增补了大量来自 1:1 万图的地形高程信息; 2) 苏南五个市 1:20 万和安徽省两个县 1:5 万土壤类型图及其含有理化分析数据的土壤志; 3) 苏州市 1:25 万和常州镇江无锡南京四个市 1:10 万及安徽省两个县 1:5 万约在 1996 年编绘的土地利用图, 也使用了句容、丹徒、高淳 1:5 万土地利用图; 4) 西部 1996、1999 年春和东部 1997、1998 年夏的 TM 卫星遥感数据; 5) 天目湖代表站 1996、1997、1999 三年降雨自记纸摘读降雨特征数据和 23 个一般站这三年的汛期总雨量。此外, 尚有全太湖流域 1964 年~1988 年共 25 年降雨侵蚀力( $R$ ) 值图及相应降雨资料。上述资料图, 比例尺变化大, 且有的专业图的几何精度不高, 使数据处理难度增大。

## 2.3 结果分析

经完善的水土流失定量遥感方法, 在太湖流域苏皖区的应用结果有:

**2.3.1 建成可更新的水土流失综合信息库** 该信息库既有监测模型和防治强度预报模型中各侵蚀因子像元图, 也有便于更新复合配准或配置用的 DEM、水系、土地利用三大类、配置 DEM 的遥感影像和便于成果图整饰与统计用的政区界交通地名注记等像元图。这些像元图虽以行列座标显示, 但可以行列坐标迅速算出相应像元的地图坐标。有了水土流失综合信息库中的基本信息, 开展每年小监测或定期大监测是很方便的。

**2.3.2 定期监测系统** 所建成的水土流失定量遥感监测系统, 是这次研究的最重要结果。它由可满足各侵蚀因子像元图的更新和按模型运算出监测与预报结果所必需的自研专用软件集成, 可供太湖流域苏皖区实现每年小监测或定期大监测时长期使用。该系统具备图像、图形处理功能, 凡具有 64 MB 以上内存的微机都可运行。

每年小监测, 只需在年底时摘读代表站当年降雨特征数据和收集 23 个一般站的汛期月降雨总量后, 就可更新降雨侵蚀力( $R$ ) 因子像元图, 而其他因子像元图被看作为不变, 那末最多花一周时间运行该系统, 就可获得当年全区和各省市县区的土壤年流失量、部颁标准<sup>[9]</sup>各流失级的面积等监测与预报结果。

定期大监测, 除摘读和收集自上次大监测以来各年降雨资料并用各年的  $R$  均值更新  $R_i$  图外, 还需购买遥感数据, 并运行该系统, 先对其实施与配置 DEM 的遥感图像复合配准, 然后与土地利用三大类图一道对植被作物覆盖与保土措施因子  $CP_i$  图的更新, 最终顶多十天时间就可获得上次大监测以来的全区和各省市县区的土壤年均流失量、部颁标准各流失级的面积等监测与预报结果。当在新遥感图像上发现有新开发或新造陡坡地、已坡改梯治理区等土壤和地形都有变化时, 则需先到实地采土样分析、用差分 GPS 实测出地形变化处的 XYZ 值, 然后运行该系统对 DEM 和各侵蚀因子像元图进行局部更新处理, 最终获得监测与预报结果就需一个月, 但肯定更准确。

**2.3.3 首次监测与预报的结果** 太湖流域苏皖区的首次监测, 使用的是 1996 年降雨资料和 1996(西部)、1997(东部) 年遥感数据(TM) 及用 TM 对 DEM、土壤、土地利用等更新后的资料。运行监测系统按监测模型<sup>[1]</sup> 运算所获得的首次监测结果为全区土壤流失量图 THA96, 用其统计的全区和各省市县的土壤

表1 太湖流域苏皖区定量遥感监测结果汇编简表——1996年土壤流失总量、侵蚀模数M和各面积级统计  
Table 1 Compilation brief of monitoring results (soil losses, M = per km<sup>2</sup> losses and loss grades in 1996)  
in Taihu-Lake catchments by quantitative remote sensing method

地区 Region	项目 Monitoring results	微度流失 1 Little loss 1 (含水面) (0~1)	微度流失 2 Little loss 2 (1~500)	轻度流失 Slight loss (500~2500)	中度流失 Moderate loss (2500~5000)	强度流失 Severe loss (5000~8000)	极强度流失 More severe loss (8000~15000)	剧烈流失 Very severe loss (≥15000)	小计 Total
南京市 (2个市)	流失总量(t)	0.73	25748.92	53209.40	27678.76	13211.22	9803.75	4114.36	133767.14
	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.06533	230.9915	1149.6433	3389.6377	6209.4478	10394.1406	20500.0410	
镇江市 (3个市)	各级面积(km <sup>2</sup> )	19.2744	111.4713	46.2834	8.1657	2.1276	0.9432	0.2007	188.4663
	流失总量(t)	7.58	174495.92	201687.00	144179.69	6226.16	101112.31	99164.07	817072.73
常州市 (4个市县)	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.0711	152.5301	1142.7906	3518.5516	6235.2428	10571.8464	23644.2704	
	各级面积(km <sup>2</sup> )	106.5357	1144.0098	176.4864	40.9770	15.4647	9.5643	4.1940	1497.2319
无锡市 (3个市)	流失总量(t)	42.03	320885.46	440917.68	355317.70	267125.10	309709.64	326661.34	2020658.95
	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.0664	126.9075	1151.1387	3502.0575	6233.0561	10619.7328	25073.0205	
苏州市 (3个市)	各级面积(km <sup>2</sup> )	633.5820	2528.4987	383.0274	101.4597	42.8562	29.1636	13.0284	3731.6160
	流失总量(t)	44.06	103898.38	296759.59	333728.55	310369.84	447026.27	778713.15	2270539.84
苏州市 (3个市)	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.0458	73.4589	1253.1606	3575.6183	6305.0622	10742.8540	27810.3893	
	各级面积(km <sup>2</sup> )	962.1684	1414.3743	236.8089	93.3345	49.2255	41.6115	28.0008	2825.5239
安徽省 (2个县)	流失总量(t)	48.11	40234.03	108142.17	119284.75	114924.96	171971.82	386036.26	940642.10
	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.0236	55.6071	1247.4354	3571.3142	6310.2589	10790.5918	28748.6044	
浙江省 (2个县)	各级面积(km <sup>2</sup> )	2038.7187	723.5415	86.6916	33.4008	18.2124	15.9372	13.4280	2929.9302
	流失总量(t)	0.51	14265.88	32886.78	25610.21	16105.79	17987.92	12361.49	119138.57
浙江省 (2个县)	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.07487	186.6797	1189.6750	3460.5115	6263.6772	10572.6299	22406.1738	
	各级面积(km <sup>2</sup> )	6.8121	76.4190	27.6435	7.4007	2.5713	1.6938	0.5517	123.0921
浙江省 (2个县)	流失总量(t)	0.12	43391.88	5625.41	2072.02	1436.41	3412.69	35335.86	91274.39
	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.01019	167.4433	995.6129	3410.7297	6358.6191	11251.8633	43003.3594	
全流域	各级面积(km <sup>2</sup> )	11.7711	25.9452	5.6502	0.6075	0.2259	0.3033	0.8217	45.3249
	流失总量(t)	143.14	722920.47	1139228.03	1007871.68	819599.48	1061024.40	1642386.43	6393173.63
全流域	侵蚀模数(t km <sup>-2</sup> )	0.0380	119.8404	1183.5011	3532.1768	6271.6322	10693.9886	27270.7057	563.7130
	各级面积(km <sup>2</sup> )	3770.7624	6032.3598	962.5914	285.3459	130.6836	99.2169	60.2253	11341.1853

年流失量、土壤侵蚀模数  $M$  和各级流失面积, 如表 1。1996 年是该区平雨年, 其  $R_i$  均值与 1964~1988 年共 25 年  $R_i$  均值相近, 故首次监测结果很有代表性。按部颁标准“由流失量<sup>-</sup>级别”将 THA96 转换为水土流失现状图, 参见(1)(图 1)。按预报模型型<sup>[1]</sup>算获得的首次防治强度预报结果, 有预报图 THYC96 和用其统计的各级面积, 参见(1)(图 2)和表 2。

表 2 太湖流域苏皖区防治强度预报各类面积( $\text{km}^2$ )统计(依据 1996 年流失量监测值和 25 年  $R$  均值)

Table 2 Forecasting areas of different conservation regions in Taihu Lake catchments in 1996

地区 Region	水域 Water area	无需治理区 Better conservation	预防监督区 Monitoring region	需要治理区 Need control loss region	急需治理区 Urgently need control loss region	小计 Total
南京市	9.466 2	128.538 9	49.954 5	0.506 7		188.466 3
镇江市	86.553 0	1 172.366 1	228.138 3	10.091 7	0.082 8	1 497.231 9
常州市	531.188 1	2 670.260 4	515.378 7	14.552 1	0.236 7	3 731.616 0
无锡市	844.507 8	1 549.094 4	423.147 6	8.149 5	0.624 6	2 825.523 9
苏州市	1 919.250 0	854.127 9	151.701 3	4.417 2	0.433 8	2 929.930 2
安徽省	5.337 0	81.456 3	35.521 2	0.774 9	0.002 7	123.092 1
浙江省	11.391 3	27.018 9	5.777 1	0.783 0	0.354 6	45.324 9
全流域	3 407.693 4	6 482.862 9	1 409.618 7	39.275 1	1.735 2	11 341.185 3

2.3.4 后续的监测与预报结果 在首次监测与预报后, 为进一步了解该区在旱、涝年的水土流失变化和检验所建监测系统后续应用效果, 特开展了全区的小、大监测。小监测使用的是 1997 年 THR97 值图, 其它侵蚀因子图与首次监测的相同, 运行监测系统只需 3 天就获得全区流失量图 THA97 和部颁标准流失现状图 THAC97 和防治预报图 THYC97, 其成果图和统计结果参见(1)(图 3、4)和表 3、表 4。1997 年是该区的干旱年, 全区土壤流失量、全区侵蚀模数  $M$ 、强度流失以上面积、需治理区和急需治理区的面积, 均比 1996 年少。

大监测使用的是 1999 年 THR99 值图和 1999 年(西部)、1998 年(东部)的 TM 遥感数据, 运行监测系统一周时间后, 获得的大监测与预报结果有全区土壤流失量图 THA99、水土流失现状图 THAC99 和防治强度预报图 THYC99, 以及用它们统计的结果, 分别参见(1)(图 5、6)和表 3 和表 4。1999 年属涝年, 且发生了洪灾, 全区土壤流失量、强度以上流失和需治理、急需治理的面积均比 1996 年大。

2.3.5 应用结果的可靠性 依据监测结果与水文、水保站实测值的一致程度, 是全面评价应用结果可靠性的最为可信的方法。山东、福建等地的应用结果, 正是采用这种方法才被得到肯定的。然而, 太湖流域苏皖区 24 个水文站历来没有采水样实测泥沙的数据, 这使全面评价应用结果的难度增大。幸而在 1999 年 1 月 23 日~2000 年 2 月 12 日用标桩法周年实测了土壤流失量及其影响因素, 每个标桩的实测数据与水保站所建一个径流小区的实测值等效<sup>[10]</sup>。这次周年实测结果如表 5。从表 5 可知, 在 1999 年降雨侵蚀力作用下, 黄棕壤(黄刚土)全年裸土的年流失量(即  $M$ )最大可达  $114\ 114\ \text{t}\ \text{km}^{-2}$ , 草丛植被变化于 0~80% 的人工全垦竹园黄棕壤(黄沙土)为  $32\ 918\ \text{t}\ \text{km}^{-2}$ ; 凡实测的土壤年流失量(表 5), 在 1999 年监测结果 THA99 像元图都可查找出, 并在表 3 有所反映。因此, 用标桩法周年实测结果至少可局部肯定太湖流域应用结果的可靠性。其全面监测的精度, 因方法更完善肯定比山东省的 83% 高。

(1) “用定量遥感方法监测与防治太湖流域的水土流失”总结报告(江苏省水土保持办公室和江苏省科工委 2000 年存档资料)

表3 太湖流域苏皖区定量遥感监测结果汇编简表——1997、1999年土壤流失量、M和各级面积统计  
 Table 3 Compilation brief of monitoring results (soil losses, M = per km<sup>2</sup> losses and loss grades in 1997 and 1999)

年度 Year	项目 Monitoring results	in Taihu-Lake catchments by quantitative remote sensing method						小计 Total	
		微度流失 1 Little loss 1 (含水面) (0 ~ 1)	微度流失 2 Little loss 2 (1 ~ 500)	轻度流失 Slight loss (500 ~ 2500)	中度流失 Moderate loss (2500 ~ 5000)	强度流失 severe loss (5000 ~ 8000)	极强度流失 More severe loss (8000 ~ 15000)		剧烈流失 Very severe loss (≥15000)
1997	流失量(t)	147.04	598 156.89	1 016 266.13	805 161.77	586 562.83	688 133.80	872 828.55	4 567 257.01
	侵蚀模数 (t km <sup>-2</sup> )	0.038 2	96.347 3	1 178.869 2	3 507.807 4	6 257.310 9	10 641.370 5	25 928.655 5	402.714 2
1999	各级面积 (km <sup>2</sup> )	3 846.709 8	6 210.803 7	862.068 6	229.534 2	93.740 4	64.665 9	33.662 7	11 341.185 3
	流失量 (t)	62.69	732 856.97	1 705 046.02	972 918.99	896 328.08	1 520 729.85	6 289 721.47	12 118 617.67
	侵蚀模数 (t km <sup>-2</sup> )	0.017 7	135.355 0	1 030.529 5	3 546.587 3	6 317.245 6	10 911.426 3	35 648.196 6	1 068.465 3
	各级面积 (km <sup>2</sup> )	3 540.300 3	5 414.330 7	1 654.533 9	274.325 4	141.885 9	139.370 4	176.438 7	11 341.185 3

表 4 太湖流域苏皖区 1997 和 1999 年防治强度预报各类面积 (km<sup>2</sup>) 统计<sup>1)</sup>

Table 4 The forecasting areas of various conservation regions in 1997 and 1999 in Taihu-Lake catchments

防治强度类型 Conservation type	水 域 Water area	无需治理区 Better conservation		预防监督区 Monitoring region		需要治理区 Need control loss		急需治理区 Urgently need control loss		小 计 Total
		1997 年	1999 年	1997 年	1999 年	1997 年	1999 年	1997 年	1999 年	
		全 流 域	3 407.6934	7181.3304	6 023.2158	731.5974	1513.6695	19.0899	339.5367	

1) 分别依据 1997 年流失量监测值及该年  $R$  值和 1999 年流失量监测值及 25 年  $R$  均值预报

表 5 太湖流域苏皖区天目湖站附近各测区土壤年流失量及其影响因素实测结果 ( $R=315.1$ )<sup>1)</sup>Table 5 Results observed for soil annual loss and its influencing factors in Taihu-Lake catchments ( $R=315.1$ )

测区 Region	标桩号 No. of file	土壤年流失厚度 Annual thickness of soil loss (mm)	土壤可蚀性 ( $K$ ) 值 $K$ -value of soil erodibility	土壤容重 Soil volume weight ( $g\ cm^{-3}$ )	坡 度 Slope ( $^{\circ}$ )	坡长 Slope length (m)	土壤年流失量 Annual soil loss ( $t\ km^{-2}$ )
III 北坡	1	3.1	0.4912	1.38	38.20	3.6	4.278
	2	3.5	0.4912	1.38	47.10	3.0	4.830
	3	3.1	0.4912	1.38	51.20	2.4	4.278
	4	9.0	0.4912	1.38	62.10	2.2	12.420
	5	4.0	0.4912	1.38	39.00	3.9	5.520
	6	11.9	0.6202	1.48	68.20	3.9	17.612
III 中坡	7	8.5	0.6202	1.48	67.00	3.9	12.580
	8	2.5	0.6202	1.48	20.00	0.9	3.700
	9	12.7	0.6202	1.48	63.10	0.8	18.796
测区 Region	标桩号 No. of file	土壤年流失厚度 Annual thickness of soil loss (mm)	土壤可蚀性 ( $K$ ) 值 $K$ -value of soil erodibility	土壤容重 Soil volume weight ( $g\ cm^{-3}$ )	坡 度 Slope ( $^{\circ}$ )	坡长 Slope length (m)	土壤年流失量 Annual soil loss ( $t\ km^{-2}$ )
V	22	30.48	0.3392	1.08	29.20	14.0	329.18
VI 路边坡	23	46.32	0.2187	1.47	37.00	2.2	68.090.4
	24	12.74	0.2187	1.47	32.50	2.4	18.727.8
	25	20.94	0.2187	1.47	40.50	2.8	30.781.8
	26	28.44	0.2187	1.47	49.40	2.8	41.806.8
	13	60.4	0.6674	1.43	10.00	27.7	863.72
III 中坡	14	79.8	0.6674	1.43	7.00	30.4	114.114
	15	59.0	0.6674	1.43	5.40	17.4	843.70
	16	11.0	0.6674	1.43	31.30	1.7	157.30

1) 除测区 V 植被覆盖率从冬全垦后至周年实测时变化于 0~80% 外, 其它测区皆为裸土。土壤可蚀性 ( $K$ ) 值通过采土分析算得。参与实测者: 溧阳市天目湖镇茶亭村 詹水新、尤维忠

2.3.6 太湖流域苏皖区的水土流失 (1) 太湖流域苏皖区水土流失的分布 依据 1996 年监测结果(图 2)<sup>(1)</sup> 和 THA96 统计的详表中<sup>(1)</sup> 各县级市强度以上流失面积及其占该市陆地总面积的排序, 水土流失严重的县级市依次为无锡市的市辖区(强度以上流失面积 12.06 km<sup>2</sup>, 占陆地总面积 7.60%、轻度

以上流失面积占陆地总面积 31.1%)、苏州市的吴县(46.70 km<sup>2</sup>, 7.33%、25.4%)、无锡市的宜兴(101.96 km<sup>2</sup>, 6.79%、25.1%)、镇江市的句容(15.79 km<sup>2</sup>, 6.03%、36.6%)、常州市的溧阳(66.03 km<sup>2</sup>, 4.68%、30.7%);这五个县级市的流失量占全区的 76.6%,其中强度以上流失面积则占全区的 83.6%。

依据 1997 年监测结果,水土流失严重的县级市依次为无锡市的宜兴和市辖区、苏州市的吴县、镇江市的句容、常州市的溧阳;其流失量占全区的 75.9%,其中强度以上流失面积则占全区的 83.6%。

依据 1999 年监测结果,水土流失严重的县级市依次为苏州市的吴县、无锡市的市辖区和宜兴、常州市的溧阳、镇江市的句容;其流失量占全区的 77.5%,其中强度以上流失面积则占全区 81.1%。

综合分析三年监测结果表明:无锡市的市辖区、宜兴和苏州市的吴县,是该区最严重的流失区。这三个县市的强度以上流失区分布于环太湖山丘,离太湖湖面最近。

(2) 太湖流域苏皖区水土流失的时间变化 从各年监测结果可知,土壤年流失量和各级流失面积是很不同的,这反映了该区水土流失的年间变化,是符合水土流失实际的。造成水土流失年间变化很大的原因,首先是由与旱涝涝相关的全年降雨侵蚀力( $R$ )值决定<sup>[11]</sup>。属该区旱年的 1997 年  $R$  值为 151.50(变化于 126~261)、平年的 1996 年  $R$  值 232.91(178~301)、涝年 1999 年  $R$  值 265.15(208~428),而相应年的全年土壤流失量的比是 0.714 : 1.896。其次是该区土壤可蚀性( $K$ )值平均为 0.3767<sup>[8]</sup>比山东、福建应用区的大,使水土流失年间差异对  $R$  值的变化十分敏感。当  $R$ 、 $K$  值不变时,植被作物覆盖率与保土措施的变化则是水土流失年间差异的重要因素。水土流失的年内变化,主要由年内各月  $R$  值决定<sup>[12]</sup>。以 1999 年为例,6~9 月汛期  $R$  值为 272.54,是非汛期  $R$  值的 23.4 倍。可见,旱作坡地改种免耕或少耕作物、增加表土覆盖率是减少全区水土流失的十分重要措施。

### 3 结 语

1. 水土流失定量遥感方法在模型因子算式、算法、软件等改进升级后具有科学先进、快速准确和省钱实用的特点。

2. 水土流失定量遥感方法具备在省、地、县和大、中、小流域以同一精度监测的能力。

3. 水土流失定量遥感方法的监测结果,符合水土流失的年度变化实际。

4. 水土流失定量遥感方法的监测结果除供水土保持应用外,在水质面源污染量监测和防洪减灾等领域都有应用价值。

### 参考文献

1. 卜兆宏,等. 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
2. Renard K G, *et al.* Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning with revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA(NRCS), Agricultural Handbook 703, Washington, D. C., 1997
3. 卜兆宏,孙金庄,等. 应用定量遥感方法监测山东全省山区水土流失的研究. 土壤学报,1999,36(1):1~8
4. 卜兆宏,等. 用定量遥感方法监测 UNDP 试区小流域水土流失的研究. 水科学进展, 1999, 10(1):31~36
5. 陈永宝. 水土流失动态监测系统及其应用研究. 李锐主编. 全国区域水土流失快速调查与管理信息系统研究. 郑州:黄河水利出版社, 2000
6. 卜兆宏,刘复新,等. 水土流失定量遥感方法应用与研究的新进展. 世界科技研究与发展, 2000, 22(4):64~67
7. 卜兆宏,等. 降雨侵蚀力( $R$ )最佳算法及其应用的研究成果简介. 中国水土保持, 1999, (6):16~17
8. 卜兆宏,杨林章,卜宇行,等. 太湖流域苏皖区土壤可蚀性  $K$  值图及其应用的研究. 土壤学报, 2002, 39(3): 296~300
9. 水利部农水水土保持司. 水土保持技术规范, SD 238—87. 北京:水利电力出版社, 1987
10. 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
11. 卜兆宏. 长江流域太湖区降雨侵蚀力及其应用的研究. 农村生态环境, 1994, 10(4): 1~6
12. 卜兆宏,唐万龙,等. 强化治理山丘水土流失才是平原水患治本之策. 长江流域洪涝灾害与科技对策. 北京:科学出版社, 1999, 118~124



# THE PROGRESS OF QUANTITATIVE REMOTE SENSING METHOD FOR ANNUAL SOIL LOSSES AND ITS APPLICATION IN TAIHU-LAKE CATCHMENTS

Bu Zhao-hong Tang Wan-long Yang Lin-zhang Xi Cheng-fan

*(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)*

Liu Fu-xing Wu Jia-yu Tang He-nian

*(Office of Water and Soil Conservation, Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)*

## Summary

The advance of quantitative remote sensing for monitoring annual soil losses and its application in Taihu-Lake catchments was introduced in this paper. The form of the model for monitoring soil losses in the method is as good as the RUSLE. The application results of modified method include not only the total losses of annual soil erosion, statistic data of different grades and soil erosion map and forecasting map of soil conservation intensity in 1996, 1997, 1999, but also monitoring system in long-term. The monitoring results of Taihu-Lake catchments application again showed that the QRSM is more accurate, more rapid and more economic than original QRSM in the applications Shandong province and Quanzhou city of Fujian province. The variance character of time, space of soil annual losses and the application spectrum of monitoring results, and the non-point source pollution of water quality were discussed according to monitoring results in Taihu-Lake catchments. With the work of monitoring soil losses in our country, the QRSM will be widely used in soil erosion region and shows its economic, ecological and social benefit.

**Key words** QRSM, Monitoring, Soil annual losses, Forecasting, Conservation intensity