第21卷 第3期 土 壤 学 报 Vol. 21, No. 3
1984 年 8 月 ACTA PEDOLOGICA SINICA Aug., 1984

用卫星磁带图象制水土流失图的实验研究*

卜兆宏 史德明 史久浩 吕 良
（中国科学院南京土壤研究所） （石油勘探开发研究院地质所）

一、实验目的和实验区概况

自 1972 年美国发射资源卫星以后，国内外土壤学界纷纷用卫片来作为土壤调查的工具[1-3,6]。在水土流失调查制图中也是如此[9,11]。然而，由于卫星胶片信息损失达 20% 以上[7]、目视判读的主观性和难于定量化，故即使用 1/25 万—1/20 万的合成片调查判读，也只能达到 1/50 万—1/100 万的调查制图精度。

随着计算机图象处理技术和设备的发展，用卫星磁带图象进行分类制图的应用试验，日益增多，并取得了一定的进展[5,10]，甚至有的达到应用的程度[1]。这与卫星磁带图象的信息很少损失有关；同时也因这种技术具有比目视判读更客观、更定量的突出优点。因此，这种遥感技术有可能达到 1/10 万—1/20 万的调查制图精度。

然而，计算机图象分类结果的精度如何评价？现有设备中各分类方法的效果如何？则是尚未解决而又急需解决的问题。只有解决这两个相关联的问题，才能找到适于县级水土流失调查制图的新方法。这就是本实验之目的。

我们选择了江西省兴国县为卫星磁带制水土流失图的实验区。兴国县水土流失之烈、为害之大，在我国南方红壤区是非常突出的。据 1980 年综合考察队实地调查的图件和资料表明，全县水土流失面积占全县总面积的 59%，占山地面积 84.8%，其中强度以上的流失面积为总流失面积的 35.2%。该县水土流失类型齐全，严重流失区大都集中在花岗岩和紫色页岩分布区，在我国南方具有一定的代表性，是全国八个重点治理区之一。

兴国县地处中亚热带南部，土壤、植被多样，地质、地貌复杂，为我国南方典型的山地丘陵区。主要土壤类型为红壤、紫色土、黄壤及水稻土等。严重流失区植被覆盖度小于 15%。

二、研究资料、仪器与方法

实验区的研究资料，主要是 1975 年 12 月 23 日 LANDSAT-2 遥感获得的 MSS 磁带图象。实验区约占该幅卫片的四分之一，约为 1024×1024 象元。此外，尚有用该幅胶片晒印的 1/50 万黑白卫片、1/5 万航片、1/5 万—1/20 万航测地形图、1980 年实地调查图和相应的文字报告及面积数据资料[2]。

* 本工作是在席承藩教授和王文彦所长、吴滨全主任指导、支持下完成的，工作过程中得到林业部规划局遥感、测绘室和作者所在单位诸同志的帮助，在此一并致谢。

1) 江森康文：A Case Study of Soil Mapping by Using Remote Sensing Technique。1982 年在印尼工作的初步总结报告资料。

2) 图件和调查报告，及本文引用的实地调查数据，均系兴国县水土保持综合考察队 1980 年调查总结的晒蓝、油印资料。

实验研究的主要仪器是 S101 系统，它是目前国际上较为先进的图象处理设备。这套系统由主计算机 HP3000、磁盘机、磁带机、宽行打印机、C-4500 彩色胶片扫描/记录仪、M-70 图象处理专用计算机及其彩色图象监视器和 DUN631 一次成象仪等组成。其图象处理操作系统有近 200 个程序块，分系统（\）、主机（>）、M-70 机（∧）三类操作命令[13]。此次实验涉及约 80 个命令。

实验研究中使用的方法主要有以下两种：

（1）磁带图象配置区界的方法：这是一种在磁带图象上配置行政区界或自然区域界线的方法。它是在此次实验研究时才摸索出的。经配置区界后的图象分类结果，可以与传统调查制图的结果相比较。有关其原理、作业程序和精度等，已有专文详述[1]。

（2）S101 系统的现有分类方法：它可分为无监督和监督分类。无监督分类又叫集群分类，它无须训练样区，主要靠变换参数的办法来改变分类结果，以求与实地调查一致。监督分类则要事先取得训练样区的实况资料，以建立统计文件。其中又分为查表法、最大似然法、最小距分类法和平行六面体法等（下简称为 A，B，C，D 法）。这些监督分类法的主要区别在于本身的算法和建立统计文件时对选样区的繁简差异。在实验研究中试用并比较了它们的分类效果。有关各种分类方法的数学原理和在 S101 系统中的操作，不少文献中都有介绍[13]。

实验研究的作业过程可概分为如下阶段：（1）准备：首先收集并分析卫片、航片、地形图、专业图及文字资料，然后在 S101 系统上对磁带图象作几何校正；（2）在磁带图象上配置区界；（3）选定监督分类样区，建立统计文件；（4）用配置了区界的磁带图象进行分类和上色，取得分类图象和各类面积数据；（5）将分类图象扫描成约 1/40 万的彩色胶片，或用静电晒印成彩色象片，或摄影成 135 的彩色胶片；（6）暗室处理成 1/10 万或 1/20 万的水土流失图。

三、结果和讨论

（一）主要结果

实验研究所取得的主要结果，除卫星磁带图象配置区界的方法外，尚有：

1. 无监督分类的实验结果：由于在 S101 系统上做无监督分类用的是 M-70 机，运算速度很快，少则几分钟，多则 20 分钟，就可以提供分类图和数据，故可以进行较多的反复比较实验。实验区的有、无区界的无监督分类共做了十几次，保存下记录和图象的就有十次。其结果无法详列，只能按有无区界、参数、分类结果等摘要地列成表 1。从分类的数据和图象看，以第 6，7 次的较好，尚能与实地调查数据作粗略比较。

2. 监督分类的实验结果：1980 年调查的图件和文字资料，代替了我们作地面实况调查，使我们能做好图象分析工作，确定出类数和训练样区。在选样区后建立的统计文件，除协方差阵外，均摘列在表 2 中。

皆使用这个统计文件，对兴国县做各种监督分类的结果，以及 1980 年实地调查的结果汇列在表 3。1980 年的水土流失图虽有堆积区表示，但无具体数据。它包括农田、沙滩地和水面等。从表 3 可知，以 B 法为好，平均分类精度达 69.42%；A 法次之，为 57.18%；C 法因把长岗水库的一半错分为陆地，根本无法比较。

在约 50 张无监督和监督分类图象中，根据各类数据与实地调查的符合程度，我们选定 B 法的分类图（见图版 I，图 1）作为兴国县水土流失图。图 1 是这次实验研究的最主要

1）卜兆宏、史久浩，1982年：卫星磁带图象分类制图中区域界线的配置方法。

表 1　无监督分类实验成果

Table 1　Tested results of unsupervised classification

无监督分类次序 Order of unsupervised classification			1	2	3	4	5	6		7	8	9	10
条件 Condition	区界		无	无	无	无	无	有	相***	有	有	有	有
	显示最大值		127	127	127	127	127	127	当于实地调查类	127	—	255	255
主要参数 Main parameter	类数		—	—	—	32	8	8		8	8	8	8
	最大类数		16	16	—	32	8	8		8	8	16	8
	迭代次数		12	16	—	32	32	32		32	32	32	32
	类的最小尺寸		—	—	—	—	—	—		—	0.1	—	—
分类结果 Classification result	类数(N)		16	16	16	32	8	8		8	7	9	9
	迭代次数		10	10	16	16	13	19		19	32	12	13
	各类的面积数**	1	98.41	100.04	112.49	47.48	127.77	500.68*		500.68	500.80	500.33	500.68
		2	82.42	80.80	78.81	79.80	132.88	49.65	C_1	49.65	93.38	37.45	36.93
		3	64.73	64.91	50.93	59.19	169.82	84.94	C_3	84.94	82.76	58.07	58.66
		4	32.56	32.48	30.93	7.47	90.04	99.71	C_4+C_6	99.71	121.73	95.76	96.19
		5	67.01	66.19	67.84	19.29	182.43	96.11	C_2 阴	96.11	35.84	86.51	84.71
		6	66.42	66.61	68.59	11.01	134.63	78.51	C_2 阳	78.51	80.48	35.79	39.12
		7	86.88	86.90	52.84	6.29	108.77	53.61	C_5	53.61	66.62	80.11	82.47
		8	56.88	56.80	84.44	17.94	34.73	18.22	C_8	18.32	—	64.61	70.10
		9	80.63	81.45	86.20	72.94	—	—		—	—	11.53	12.65
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	—	—		—	—	—	—
		N	25.68	25.67	26.17	11.13	—	—		—	—	—	—
		拒分	1.51	1.51	1.57	1.18	1.06	0.09		0.09	0.01	9.48	0.12

* 据配置区界后的图象直方图统计区界外面积为 500.68 万亩，占方块图形的 51.005%；

** 各类面积数据均换算成万亩，以与实地调查数比较；

*** 实地调查类：C_1 为无明显流失的植被类；C_2 为轻度流失类，下注"阴"为阴坡；C_3 为中度流失类；C_4 为强度流失类；C_5 为农田类；C_6 为剧烈流失类；C_8 为水面类。

表 2 训练统计文件 SRF30'42

Table 2 Statistical file of training fields

磁带数据特征 Character of CCT data / 项目 Term / 类别 Class	波段 No. of bands	标准差 S St. dev.	类均值 Me Mean vector	最小值 Mi Min. vector	最大值 Ma Max. vector	各类景观与彩色合成图象特点 Note.
C_1 无明显流失 No visible erosion	1	1.312	10.295	7.0	13.0	树草茂盛区，位于北部和县界的中低山区，多为千枚岩、片岩、板岩和石英砂岩；鲜红色图象
	2	2.399	10.283	4.0	19.0	
	3	8.633	21.402	3.0	38.0	
	4	10.953	22.694	0.0	44.0	
C_2 轻度流失 Light erosion	1	1.742	10.980	7.0	16.0	树草稍稀疏，位于低山区和高丘上，多为红色砂岩，也有花岗岩、灰岩等；红棕色图象
	2	3.339	11.989	5.0	22.0	
	3	7.654	19.373	3.0	39.0	
	4	9.077	19.477	0.0	40.0	
C_3 中度流失 Medium erosion	1	1.478	12.468	9.0	17.0	树较少，多为草灌，分布于高丘、低丘上，为红砂岩、变质岩；黄绿色图象
	2	3.321	16.936	9.0	28.0	
	3	4.855	20.721	7.0	33.0	
	4	5.142	19.357	2.0	32.0	
C_4 强度流失 Serious erosion	1	1.632	14.709	11.0	18.0	只有很稀疏的马尾松林或草灌，分布于低丘、岗地，为紫色页岩、砂岩、第四纪红土等；浅黄色图象
	2	2.648	21.963	13.0	30.0	
	3	3.469	26.624	17.0	34.0	
	4	3.193	22.963	12.0	32.0	
C_5 农田 Agriculture fields	1	1.874	15.642	10.0	20.0	作物大都收割或细小越冬作物，露土多，含水量较少，分布于河谷冲积平原；浅蓝色图象
	2	3.102	21.093	11.0	29.0	
	3	3.793	25.279	15.0	36.0	
	4	3.395	22.009	10.0	32.0	
C_6 剧烈流失 Very serious erosion	1	3.812	22.860	15.0	33.0	盖度在15%以下的植被区或露地，位于低丘，多为花岗岩区，当地称为“白沙岗”；灰白色图象
	2	7.158	35.332	19.0	54.0	
	3	8.017	43.342	24.0	66.0	
	4	7.773	38.043	18.0	54.0	
C_7 沙滩地 Sandy beach	1	2.810	28.291	21.0	33.0	分布于大小河流中或河边的冲积干沙滩地；白色图象
	2	5.356	44.111	29.0	53.0	
	3	6.346	48.541	33.0	61.0	
	4	5.999	41.416	26.0	52.0	
C_8 水面 Water surface	1	2.335	14.230	8.0	17.0	河、库、塘水面；蓝—浅蓝色
	2	5.526	12.418	6.0	25.0	
	3	5.321	7.196	1.0	21.0	
	4	2.773	1.743	0.0	10.0	

表 3　各监督分类法结果与实地调查结果比较的精度*

Table 3 Comparison for the results of supervised classification and the results of survey

类别 Class	A 法		B 法		实地调查面积** (10^4mu) Survey area	说明 Note
	分类面积 (10^4mu) Area	精度 Exactitude	分类面积 (10^4mu) Area	精度 Exactitude		
C_1 无明显流失 No visible erosion	65.53	78.04%	94.41	54.17%	51.14	
C_2 轻度流失 Light erosion	52.20	37.09%	140.42	99.78%	140.73	
C_3 中度流失 Medium erosion	133.70	32.71%	73.38	59.59%	43.73	
C_4 强度流失 Serious erosion	120.25	62.71%	49.02	65.00%	75.41	
C_5 农田 Agriculture fields	54.63	97.93%	53.37	99.76%	53.50	
C_6 剧烈流失 Very serious erosion	16.00	64.21%	52.75	47.24%	24.92	
C_7 沙滩地 Sandy beach	1.04		0.41		—	
C_8 水面 Water surface	37.50	27.57%	17.11	60.43%	10.43	
拒分 Reject	0.09		0.07			
总计 Total	480.94		480.94		482.166	
平均分类精度 Mean exactitude of classes		57.18%		69.42%		
水土流失总面积精度 Exactitude of total area of erosion	322.15	88.42%	315.57	90.27%	284.86	
强度以上流失面积精度 Exactitude of total area of $C_4 + C_6$	136.25	73.64%	101.77	98.59%	100.33	

* C 法因把一半水库错分为陆地，无法与实地调查资料比较，具有明显的缺点，故未打印数据

** 实地调查面积栏中，除“总计”取自江西省测绘局资料外，均引自 1980 年由长办、江西省、地、县和科学院有关单位组成的兴国县水保综合考察队的资料。其中，“农田”和“水面”分别引自林业组和水利组的资料；其余为土壤组的资料

结果。同样，其各类图型也可以与实地调查图比较。

3. 水土流失制图的最佳作业流程：通过实验研究，不仅取得了上述具体结果，而且还摸索出用卫星磁带图象制水土流失图的最佳作业流程，如图 1 所示。

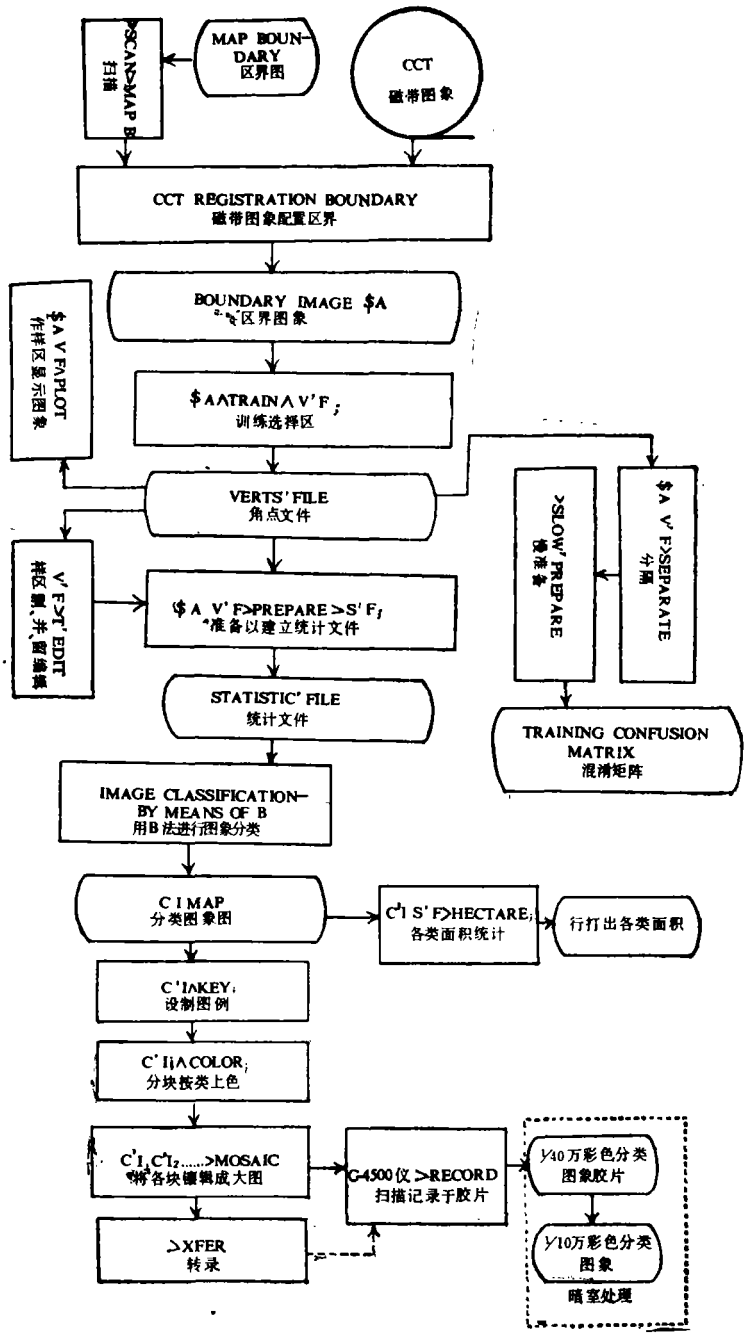

图 1 水土流失制图的最佳作业流程

Fig. 1 Optimal flow chart on the mapping of soil erosion

此外，还取得了 *KL* 变换的彩色图象。它对反映水系和水土流失区的状况，特别详尽。

（二）问题讨论

1. 图象分类方法的选用问题：根据大量无监督和监督分类的效果比较，对 *S*101 系统的现有分类程序及其有关数学分类方法的选用，有如下认识：

（1）无监督分类不宜选用：从拒分（象元）面积数皆小于总（象元）面积数的 1% 看来，应该说表 1 中的无监督分类都是符合要求的。然而，只要修改其中一个参数或条件，分类结果就很不一样，如 4、6 和 10 等。只有所有条件和参数完全一样，分类结果才能重复，如 6 和 7。变换八个参数，加上二个不同条件，共十个变量，每个变量有的可变 2—10 个数，故同一地区可以做出成百上千个不同的分类结果。但要从中找出一个与实地调查相一致的结果，却很困难。对于已调查区况且如此盲目、主观选参数和条件，对于未经全面调查的未知区就更不知所措了。因此，我们认为它是一种不宜选用的方法，至少在水土流失制图中不宜选用。

这一认识，与图象处理系统的设备情况是一致的。在 *S*101 系统中只有 M-70 机上才有集群分类，而主机则没有这种无监督分类程序。在日本 *KIMOTO* 公司的 M-301B 设备中，则把无监督分类的软件列为选购项目。此外，M-70 机上显示只限于 512 × 512 象元，大于此数需隔行隔列取样，使无监督分类精度降低。

（2）监督分类中宜选用 *B* 法：从表 3 可知，监督分类中以 *B* 法为优。虽然监督分类也有参数要确定，但较少，有的可取隐含值而不必置参数。因此监督分类在算法上人的主观性影响少，具有较客观分类的特点。*B* 法不仅算法较客观，而且分类结果也与实地调查的较一致。

重要的是包括 *B* 法在内的监督分类，有着推广应用于未知区的能力。这是它与无监督分类的根本区别。监督分类，对于已知区是按已知类数选训练样区；对于未知区则是到实地作线路调查，确定类数和样区。一旦各类样区确定并在磁带图象上找出，建立了统计文件，就可以获得这个未知区的水土流失分类图及各类的面积数据。

因此，*B* 法值得图象分类制图中选用，尤其宜于水土流失制图中选用。

2. 如何做好监督分类的问题：监督分类做完了的有二次。第一次的 *A* 法分类因选样区选得不纯，拒分和混淆的象元都很多，失败了。*B* 法采用的文件是 8 类集群分类文件，虽然效果好些，但也因拒分象元偏多和各类的含意不明，归为失败。第二次开始选择的样区，因有一类的磁带数据标准差大于类均值，而无法建立统计文件；后经查明，其中只一块样区选在混杂区。重选样时注意了每类的纯度和代表性，很快就建立了统计文件，才得做完各监督分类。可见，做好监督分类的关键在于选好样区。为了选好训练样区，事先应做好 1/50 万黑白卫片、合成卫片（用 DUN 631 做 1:1 取样的三波段彩色合成片和四波段黑白合成片）和航片的图象分析工作。同时，还要参阅实地调查图件和资料，了解每类的自然景观特点和图象特征。样区选好的标准是，各类的类均值符合自然物体波谱反射特性的基本规律[4,8]，且标准差小于类均值。

因此，监督分类的关键在于选好样区，而选好样区的关键在于做好图象分析。

3. 分类精度的评定方法与配置区界问题：在国外，通常用混淆矩阵对角线数据的平均值来评定整个图象分类的精度[5,10]。混淆矩阵，实质上只能代表各训练样区之间的混淆，并不能说明整个分类结果与实况的一致性。如果全部到实地核对，则经费和时间的耗费将变得无法实现，因而有人认为定量评定分类精度，是一个非常复杂难办的问题[12]。我们认为，近年传统法实地调查的结果(图和数据)，较客观地反映了地面实况，因而它可以作为评价磁带图象分类结果的比较标准。通过比较而评定出的精度，比用混淆矩阵法和分类者自行到实地做少量核对，更具有评定的客观性，更符合实际存在的精度。

怎样与传统调查结果比较呢？以往的计算机分类图皆为方块形状，而传统调查图几乎没有成方块状的图形，故两种结果无法做全面比较，至多仅能做局部图斑形状的比较。为了实现其全面比较，首先必须在卫星磁带图象上配置区界，而后再进行分类。这次实验研究出的配置区界方法，是实现与传统调查结果比较的有效措施。在兴国县配置区界后全县图象面积为 480.94 万亩，与县理论面积[1] 482.166 万亩比，误差为 0.25%，精度为 99.75%，这就肯定了两种结果有着可比较的基础了。

此外，磁带图象配置区界后，还可以提高分类本身的精度，其分类结果有利于生产部门使用，以发挥遥感技术的经济效益。方块形的图象分类，把县界外的图象拼入，既影响分类统计精度，也无法使用其分类结果。因此，在图象分类制图中必须配置区界。

4. 磁带制水土流失图的精度与应用前景：(1)水土流失面积的精度：表 3 可知，在全县范围内，*B* 法分类结果的平均精度为 69.42%，四个水土流失类型总面积(315.57 万亩)与 1980 年实地调查的流失总面积(284.86 万亩)比，精度达 90.27%，其中轻度流失类型精度最高，达 99.78%，剧烈流失类型最低为 47.24%；而强度以上流失类型(包括剧烈流失)面积的精度可达 98.59%。因此，磁带图象分类统计的水土流失面积，可以达到 90% 以上的精度。

(2) 应用前景：用卫星磁带制水土流失图的方法，不仅精度较高，而且还具有速度快、省工又省钱的特点。当采用最佳作业流程(图 1)制兴国县水土流失图时，只需 2—3人上机，约 15 个小时的机时就可完成，计费约 2500 元。它与传统法比，具有明显的经济效果。因此，它有着广为应用的可能。在我国南方丘陵山区，存在着许多与兴国县情况相近的县，为做好山水田综合治理规划，都需要切实调查出水土流失类型的分布和面积数量。这种国民经济发展的形势需要，又为它提供了广阔的应用前景。

当然，本实验因属初次，方法尚需进一步完善。例如，因实验时使用的是冬季成象的磁带，山影甚多，分类时有把阴影错分成水的情况，故最好选用太阳高度角大于 50° 的卫星磁带。又如，分类图上缺乏地名注记，不便于使用的问题。这些都有待于推广应用试验中加以解决。

四、结 语

通过在 *S*101 系统上的大量实验，在理论和实践方面都取得了较满意的结果。在理论

1) 县理论面积数引自江西省测绘局制图室资料。

上，研究出磁带图象配置区界的方法；找到了适于水土流失制图的最佳作业流程。在实践上，制出了江西省兴国县水土流失图，取得了较准确的水土流失面积和农田面积数。

本文的主要结论是：1. 至少在水土流失制图的图象分类中不宜选用无监督分类，而宜用 *B* 分类法；2. 图象分类的关键在选样区，而选样区的关键在图象分析；3. 图象分类前必配置区界；4. 用卫星磁带图象制 1/10 万—1/20 万水土流失图，是一个快速准确又省工省钱的方法，值得推广应用。

参　考　文　献

[1] 戴昌达、卜兆宏，1977：土壤资源勘测技术的发展。土壤农化，4 期，1—5 页。

[2] 戴昌达、卜兆宏等，1978：应用遥感资料进行荒地资源综合考察的初步研究。科学通报，11 期，687—691 页。

[3] 戴昌达、卜兆宏等，1980：南疆荒地资源综合考察中遥感资料的应用。土壤专报，37 号，129—144 页。

[4] 武汉测绘学院航空摄影教研组编，1960：摄影与空中摄影学。测绘出版社。

[5] 安田嘉純、江森康文等，1980：ランドサットデータによる土壌図作成。写真測量とリモートセンシング，Vol. 19, No. 4。

[6] Caroll D. M., 1973: Remote Sensing Techniques and Their Application to Soil Science. Soils and Fertilizers, Vol. 36, No. 7, 8.

[7] James V. T., 1978: Characteristics of the LANDSAT Multispectral Data System. U. S. G. S., Open-File Report 78—187, Sioux Falls, South Dakota.

[8] Krinov E. L., 1947: Spectral Reflectance Properties of Natural Formations. Laboratoriia Aerometodov, Akad. Nauk USSR, Moscow.

[9] Manas Watanasak, 1978: Study on the Evaluation of Soil Erosion Status Using Universal Soil Loss Equation and LANDSAT Imagery Techniques in Chonburi and Rayong Provinces. Mahidol University, Bangkok.

[10] Marvin E. B., Jan E. C., et al., 1979: Identification and Area Estimation of Agricultural Corps by Computer Classification of LANDSAT MSS Data. Remote Sensing of Environment, Vol. 8, No. 1, 77—92.

[11] Pongpit Piyapongse, 1981: The Applications of LANDSAT Imagery to Soil Erosion Survey In THAILAND.

[12] Quirk B. K. Scarpace F. L., 1980: A Method of Assesing Accuracy of Digital Classification. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, No. 11.

[13] Stanford Technology Corporation: Image Processing Operating System (IPOS/101) User Manual, October, 1980.

STUDY ON MAPPING OF SOIL EROSION BY MEANS OF LANDSAT MSS CCT's IMAGE

Pu Zhaohong and Si Deming

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Si Jiuhao and Lu Liang

(Institute of Geology, Academy of Petroleum Prospecting and Exploitation)

Summary

With the introduction and using of the System 101, some satisfactory results on the mapping of soil erosion by using of LANDSAT MSS CCT's images were obtained. The results include the method of registering regional boundaries on CCT's images, and the selection of optimal process available for the mapping of soil erosion. Is practice, the map of soil erosion in Xinggu County of Jiangxi Province was compiled and the area of eroded soils and agricultural fields in the region were calculated. The conclusions of this paper are summarized as follows:

1. Unsupervised classification is not suitable for image classification, at least in the mapping of soil erosion, but B classification is suitable for it.

2. The key to image classification is the selection of training fields, of which the key is the analysis of the image.

3. Before image classification the regional boundary must be registered.

4. The mapping of soil erosion by means of LANDSAT CCT's images is a more rapid, accurate method with low cost.

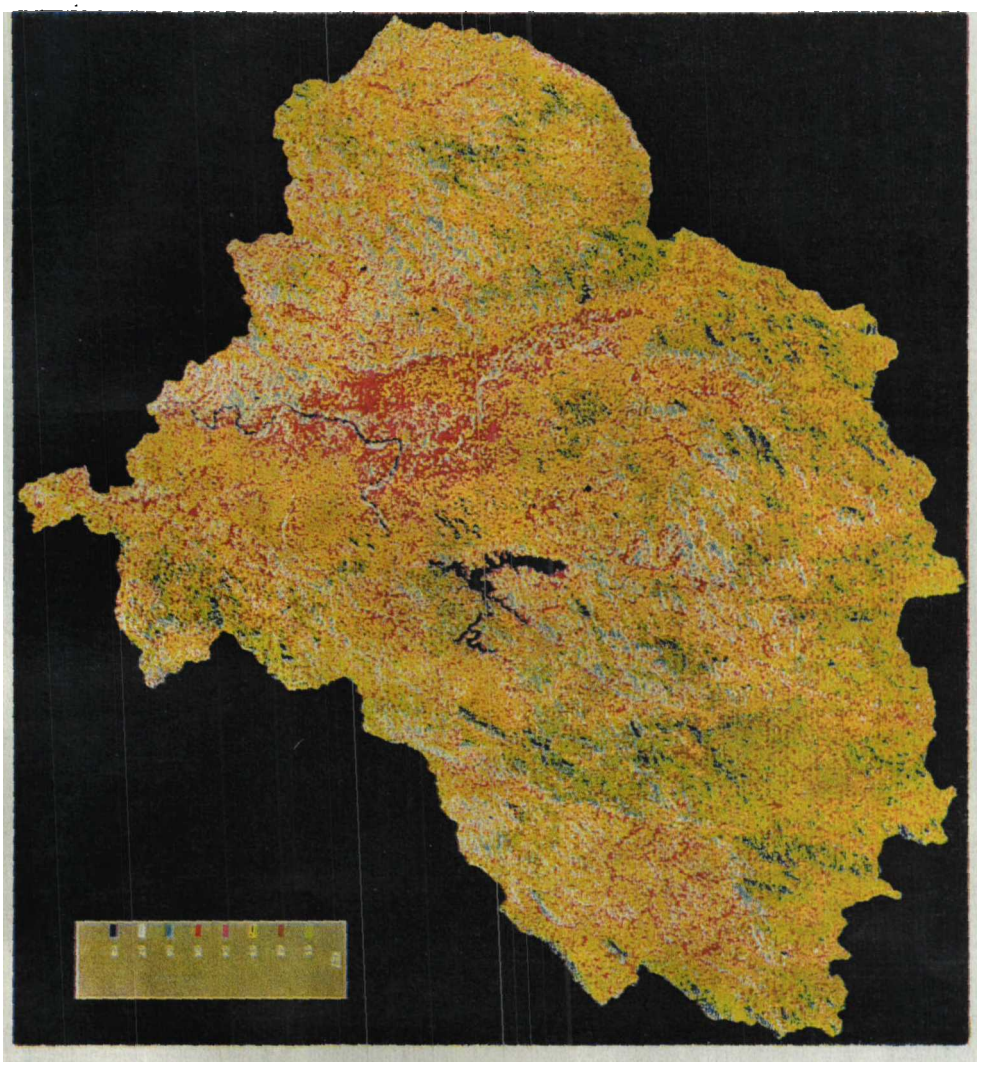

图 1　用卫星磁带制出的水土流失图(原图为 1/10 万)

Fig. 1　Map of soil erosion compiled by LANDSAT MSS CCT data