

# 利用航空遥感信息进行小流域侵蚀环境 系列动态制图与分析——

以山西省离石县王家沟流域为例

钟 业 宏

(中国科学院遥感应用研究所)

1989 年 10 月 4 日收稿

## 摘 要

本研究工作是在利用航空遥感信息进行黄土丘陵沟壑区侵蚀环境系列制图的基础上,对黄土侵蚀环境动态变化作了初步分析探讨。通过利用山西省离石县王家沟流域不同时期的航空像片,应用先进的地理信息系统软件 Arc/INFO 系统编制出了该流域不同时期,不同时段和不同类型的侵蚀环境系列图,包括影响侵蚀因素系列图、土壤侵蚀量分布图,流域沟谷形态变化图,时段侵蚀平均发展速度图以及治理评价图,并在此基础上,利用环境动态分析法分时段分析了流域侵蚀状况变化及其环境的变化。在侵蚀环境的分析中,不仅分析了影响侵蚀的自然因素,还揭示了人为因素对侵蚀的影响。研究结果,为黄土高原小流域水土流失综合治理措施的制定提供了科学依据。

**关键词** 侵蚀环境 系列动态制图 侵蚀环境动态空间分析

## 概 述

黄土高原水土流失已成为当前我国一个严重的生态问题。对此,前人从各方面、各角度进行了大量的研究工作,并编制了各种关于黄土侵蚀的地图,但这些地图的编制无论在研究方法或技术手段上都存在着以下不足之处:

1. 缺乏利用图片资料对同一地区进行长期的动态研究、缺乏系列动态制图;
2. 在制图及其分析中缺乏多要素的综合定量分析,而多侧重于侵蚀要素及现状的描述;
3. 在制图技术及手段上多是传统的野外调查分析成图,或在卫、航片上直接判读成图,缺乏新技术的运用及在此基础上的更高层次的分析成图,不利于迅速、及时地获取和更新信息,分析和提取有用信息、及时反映复杂多变的侵蚀环境变化。

本研究工作是通过黄土高原典型区一个 9 平方公里的小流域 1959、1978 和 1987 年,近 30 年的三期土壤侵蚀环境及其影响因素系列制图,把遥感、地理信息系统和环境动态分析运用于侵蚀环境制图中,并对该流域土壤侵蚀状况及侵蚀环境做了动态分析。具体工作过程如图 1 所示。

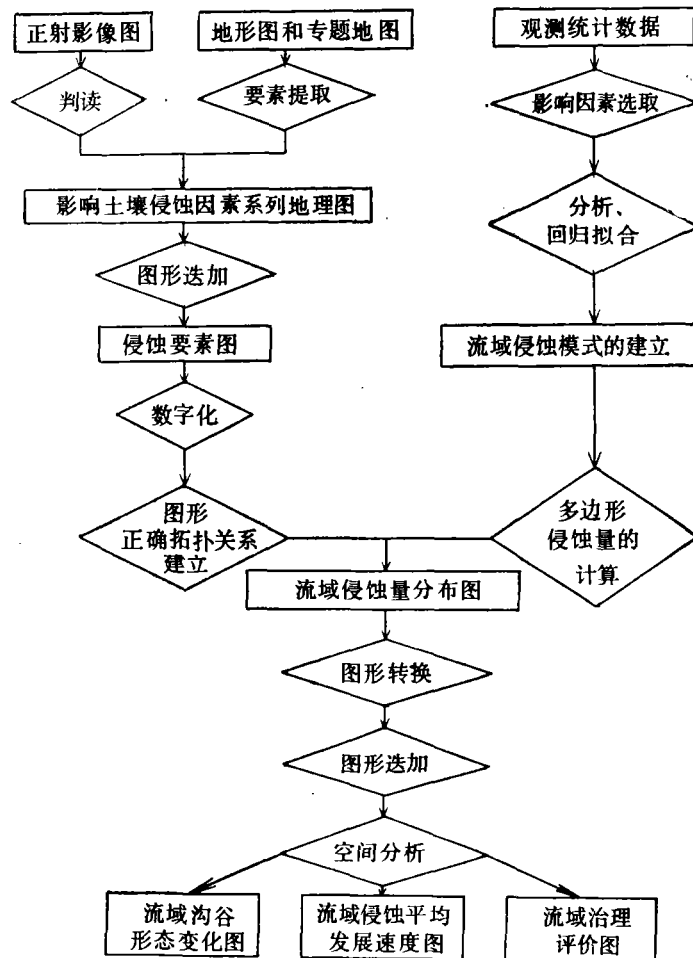


图 1 利用航空遥感信息进行小流域侵蚀环境系列动态制图与分析的过程  
 Fig. 1 Working process of series environmental mapping and analysis of small basin based on aerial remote sensing information

## 一、流域侵蚀模式的建立和土壤侵蚀影响因素系列地理图的编制

王家沟流域位于山西离石县城东北,属于典型的黄土高原沟壑区,土壤侵蚀受降水、地貌条件、植被、土壤质地及水土保持措施的影响,其中暴雨具有突出的影响。为进行定量分析,选择通用土壤流失方程式进行土壤侵蚀量的计算,其中各因子都根据流域内实验场资料进行数据分析拟合,得出了较适合该流域侵蚀量变化情况的侵蚀模式:

$$A = RKLSCP$$

A: 侵蚀量(吨/公顷·年); R: 降水力指数  $R = e^{(9.456887 - \frac{38.35795}{P})}$ ,

$P$  (毫米)为某次暴雨量;  $LS$ : 地貌因子  $LS = [(\lambda/72.6)^{0.3}(S/9)]^{1.3}$ ,  $\lambda$  (英寸)为坡长、 $S$  (弧度)为坡度;  $K$ : 土壤可蚀性因子,按流域内地貌部位不同,  $K$ 值如表 1 所示;  $CP$ : 生物及水保措施因子,  $CP$  按生物、水保效益求得,如表 2 所示。

表 1 不同地貌部位的土壤可蚀性因子

Table 1 Erosionable values of different geomorphical position

不同地貌区	梁脊顶部	梁脊顶—沟缘线以上	沟缘线以下	沟底坝地
K 值	0.00084	0.09278	0.27545	0.000525
图值代码	1	2	3	4

表 2 各种生物及水保因子 CP 值

Table 2 CP values of biological and management factors

利用及措施	图例系统	图值代码	效益(%)	CP 值
水平梯田	水平梯田	3	93.0	0.07
坡地地埂	坡地地埂	2	68.0	0.32
人工造林	密林地	6	88.8	0.112
人工种草	疏林地	5	77.6	0.224
荒地	幼林、荒坡地	4,7	0	1
坝地	沟底耕地	1	73.5	0.265

为研究侵蚀量在流域内的分布变化情况,依据 1959 年,1978 年 1:1 万正射影像图,1987 年 1:5000 彩红外影像图,进行目视判读,编制出突出反映各时期地貌特点、土地利用状况和水保措施状况的流域坡度、坡长图<sup>[2]\*</sup>、小型地貌类型图<sup>[3]</sup>、土地覆盖图<sup>[4]</sup>、并对同时期的这三类型图进行叠加、综合取舍<sup>[5]</sup>后,可得到反映流域侵蚀要素(坡度、坡长、地貌部位、土地利用、水保措施)分布状况的侵蚀要素图(见图版 I 图 2)。

## 二、应用 ARc/INFO 系统编制土壤侵蚀量分布图

ARc/INFO 系统是当前较先进的一个 GIS 软件。它包括描述地图特征和拓扑关系的 ARc 系统和记录属性数据的关系数据库管理系统 INFO 系统,并具有输入、分析、

\* 赵克林同志的硕士论文,黄土地貌形态结构分析及系列制图试验研究。

数据管理、显示和转换四部分功能。

本项工作是在 VAX-11/785 VMS 操作系统上完成的。采用多边形(polygon)数据,在图形终端上对要处理的每期侵蚀要素图(一期为一个 coverage)数字化、建立拓扑关系、生成一个对应于多边形的 PAT 文件,用内置标记点代表每个多边形的用户标识码,如表 3 就是对应于 Coverage ESA59 (1959 年侵蚀要素图)的 PAT 文件一部分。

表 3 1959 年侵蚀要素图的 PAT 属性表

Table 3 The polygon attribute table for erosion factors map of 1959

\$RECNO	AREA	PERIMETER	ESA59#	ESA59-ID
121	0.270	2.409	121	4
122	0.276	3.747	122	124
123	1.168	7.241	123	125
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
135	1.275	11.704	135	154
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
206	0.042	0.986	206	182

在 VMS 操作系统下,建立包含用户标识码、地貌部位特征值 POST,土地利用状况 USE、坡度 S、坡长  $\lambda$  的原始数据文件,输入计算侵蚀量的 FORTRAN 程序,计算出各多边形的侵蚀量,在 INFO 状态下,通过定义文件项,数据输入 INFO 文件和 INFO 文件合并等方式完成侵蚀量和对应多边形标识码对应的扩展 PAT 文件,如表 4 所示。

表 4 1959 年侵蚀要素图的扩展 PAT 属性表

Table 4 Extended polygon attribute table for erosion factors map of 1959

\$RECNO	AREA	PERIMETER	ESA59#	ESA59-ID	PST	USE	SLOP	AMOUNT
121	0.270	2.409	121	4	2	2	17.5	1185.035
122	0.276	3.747	122	124	2	2	17.5	1181.163
123	1.168	7.241	123	125	3	5	35.0	2527.544
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
135	1.275	11.704	135	154	3	7	35.0	11229.828
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
206	0.042	0.986	206	182	4	1	7.0	0.543

对计算出的侵蚀量进行分级,并在 INFO 状态下,对每级侵蚀量定义其颜色代码,在 ARcPLOT 子系统下,图形终端可显示侵蚀量分布图,图版 I 图 3 是 1959 年的流域侵蚀量分布图。

### 三、侵蚀环境系列动态图的编制与空间分析

侵蚀量图的编制是进行小流域侵蚀环境的动态变化分析的基础。为了进行三期侵蚀

量变化分析,需对侵蚀量图进行叠加。在图形叠加之前,需将三幅图的定位点(Tic点,每幅图中至少四个)相统一,考虑到所提供的各影像图的精度和比例尺,选择了1959年图的定位点为基准,产生了两个空 Coverage,然后按1978和1987年图的定位点完成1978和1987年图向空 Coverage 的转换。达到一定的转换精度(RMS errors)后,进行图形叠加。在图形叠加后机器会自动生成包含输入的三幅图的所有属性的叠加多边形属性PAT文件(见表5)。

表 5 叠加后的图形多边形 PAT 文件项

Table 5 Polygon attribute table items for overlaid map

DATAFILE NAME: OVERLAY1. PAT						
21 ITEMS: STARTING IN POSITION 1						
COL	ITEM NAME	WDTH	OPUT	TYPE	NDEC	ALTERNATE NAME
1	AREA	4	12	F	3	—
5	PERIMETER	4	12	F	3	—
9	OVERLAY1#	4	5	B	—	—
13	OVERLAY1-ID	4	5	B	—	—
17	ES59#	4	5	B	—	—
21	ES59-ID	4	5	B	—	—
25	POST59	1	2	I	—	—
26	USE59	1	1	I	—	—
27	AMOUNT59	8	10	F	—	—
35	ES78#	4	5	B	—	—
39	ES78-ID	4	5	B	—	—
43	POST 78	1	2	I	—	—
44	USE 78	1	2	I	—	—
45	AMOUNT78	8	10	F	—	—
53	ES87#	4	5	B	—	—
57	ES87-ID	4	5	B	—	—
61	POST 87	2	2	I	—	—
63	USE87	1	2	I	—	—
64	AMOUNT87	8	10	F	3	—
72	SP1	8	10	F	4	—
80	SP2	8	10	F	4	—
88	SP	8	10	F	4	—

### 1. 自然侵蚀和人为因素相互作用在流域形态上的反映

这里所说的流域形态变化指由于自然侵蚀或人为治理,使沟缘线上升、下降或沟谷线内移、外移的情况。其变化量的大小可依据其在平面上的面积而定,在 INFO 状态下,选择地貌部位值  $POST59 = 2$  同时  $POST 78 = 3$  的多边形,它们代表1959年沟缘线以上的部分。而到了1978年已位于沟缘线以下,这说明是由于自然侵蚀引起的沟缘线上升。同样也可选出沟缘线下降的部分和沟底线外移的部分,表6是经以上数据操作后各时期流域形态变化状况。

表 6 流域各时期形态变化状况  
Table 6 Basin shape change of different periods

年	面积	自然因素		人为因素	
		沟缘线上升量	沟缘线下降量	沟缘线下降量	沟底线外移量
1959—1978		5.69	5.49		1.3
1978—1987		0.61	3.71		1.19
后期占前期比例		10.8%	67.7%		

从表 6 中可看出, 1978—1987 年沟缘线上升量大大幅度下降, 而沟缘线下降量也是 1959—1978 年这 19 年间总下降量的 67.7%。

1959—1978 年, 是流域内自然侵蚀和人为因素相互作用时期, 虽然进行了大量水土保持工作, 但土壤侵蚀仍以自然侵蚀为主。

1978—1987 年, 是人为因素为主的影响侵蚀时期。其影响引起的流域形态变化量相当于前 19 年总变化量的 67.7%。而自然因素引起的流域形态变化量只相当于前 19 年的 10.8%。这说明从 1959 年到 1987 年的治理工作中, 1978—1987 年是大见成效时期。图版 I 图 4 是 1959—1978 年的流域沟谷形态变化图。

## 2. 自然侵蚀和人为因素相互作用在流域土壤侵蚀平均发展速度上的反映

侵蚀平均发展速度体现了侵蚀量变化的平均快慢程度, 是侵蚀发展的过程参量。其计算如下:

$$V = \sqrt[m]{a_n/a_0}$$

表 7 各级侵蚀平均发展速度分布面积  
Table 7 Distribution areas of average erosion developing speeds

	1959—1978	面积	图例	1978—1987	面积	图例	说 明
	SP1	AREA		SP2	AREA		
1	2—1	3.86	6	2—1	0.73	8	较陡沟间地耕种后被侵蚀
2	1	75.78	5	1	79.01	7	第一次治理后没再治理或根本未治理
3	0.9—1	24.97	4	0.9—1	5.98	6	沟间治理、开梯田、退耕还林
4	0.8—0.9	16.29	3	0.8—0.9	14.71	5	沟缘线以上荒地变梯田、坡耕地
5	0.7—0.8	7.69	2	0.7—0.8	0.4	4	治沟(开梯田、开坡耕地、种树)
6	0.6—0.7	0		0.6—0.7	27.85	3	治沟为主、种疏林、密林、开梯田
7	0.5—0.6	1.3	1	0.5—0.6	1.11	2	沟缘线以下陡荒地淤坝地
8	0.4—0.5	0		0.4—0.5	0.04	1	少量较陡坡耕地淤坝地
9	0.3—0.4	0		0.3—0.4	0.04	1	沟缘线以下陡坡耕地淤坝地

其中:  $a_n$ ——报告期水平;  $a_0$ ——基期水平;  $m$ ——基期到报告期的时间。

在 INFO 状态下,计算出各多边形中的各时段侵蚀平均发展速度,分级统计其面积,结果如表 7 所示。

据表 7 中的数据,若以侵蚀平均发展速度值做为横坐标,其相应的面积值做为纵坐标,可得流域 1959—1978 年和 1978—1987 年侵蚀平均发展速度动态线(如图 5 所示)。从中反映出两段时期侵蚀速度发展特点及相应的治理重点。

1959—1978 年变化线,反映这段时期流域绝大部分(面积达 96%)的面积侵蚀平均发展速度较大,其值都在 0.7 以上;虽然平均发展速度总体减少,但侵蚀发展速度减少较慢,是治理的初级阶段,初见成效。并且有 2.97% 的流域面积上存在着自然侵蚀大于治理的现象。

1978—1987 年变化线中,流域侵蚀平均发展速度 SP2 值大于 0.7 以上的只占流域面积的 77.1%,且大部分集中在 0.8—0.9 的范围内,侵蚀平均发展速度 SP2 小于 0.6 的占流域面积的 22.4%。侵蚀大于治理的只占流域面积的 0.56%,这说明在此时期内,流域

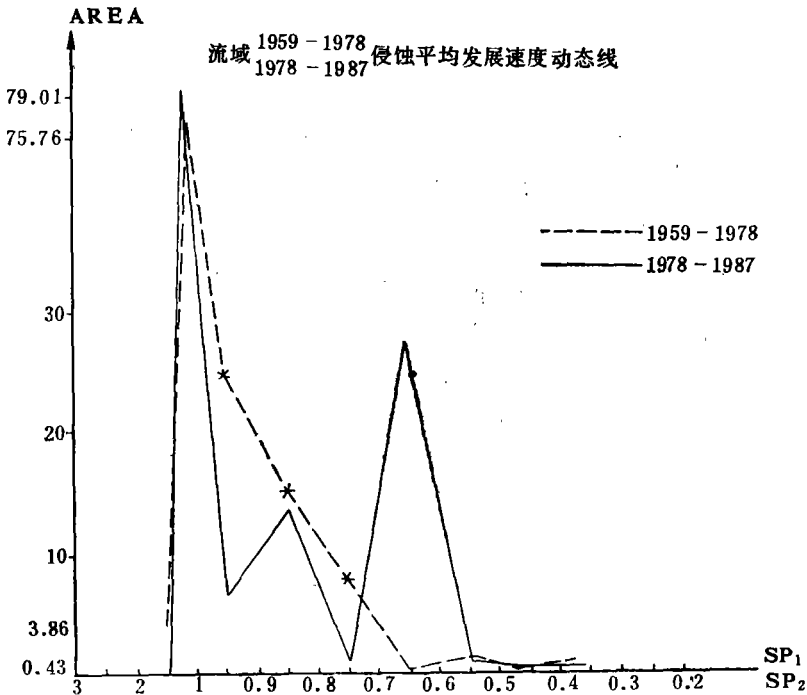


图 5 1959—1978 年和 1978—1987 年流域侵蚀平均发展速度动态线图

Fig. 5 Dynamic line for average erosion developing speed of different periods

侵蚀平均发展速度明显减小,这是从流域治理以来多年综合治理大见成效期。

通过侵蚀平均发展速度的选取和对应的地貌部位特征值 POST 以及土地利用,水土保持值 USE 的统计分析,可反映出各时期治理的重点。

1959—1978 年,治理以沟间地为主,重点措施是荒坡地开垦为坡耕地以及陡坡地开梯田,还包括部分坡耕地淤坝地等。

1978—1987 年,流域治理以治坡、治沟为主,主要措施是沟谷地中植树造林,荒坡地和坡耕地重新整治为梯田,陡坡淤坝等。

图版 I 图 6 是 1959—1978 年侵蚀平均发展速度图。

### 3. 流域治理综合评价

用侵蚀量减少量占原侵蚀量的百分数来衡量治理的效益,其值愈小,效益愈大。在 INFO 状态下计算出其治理效益值,并分级统计各级面积后,得表 8 的结果。

表 8 治理效益及其所占面积

Table 8 The beneficial results of management and their area

图例	SP	效益	占流域面积	评 价
1	-1 ---0.7	>70%	59.1%	侵蚀量减少了原来的 70% 以上,治理效益最高
2	-0.5---0.7	50—70%	6.6%	治理成效较好,一半以上侵蚀被控制
3	-0.3---0.5	30—50%	5.2%	治理一般,侵蚀减少量不够理想
4	-0.2---0.3	20—30%	0.19%	治理后侵蚀有所减少,但效益不明显,仍有相对多的侵蚀
5	0	0	28.86%	自 1959 年以来没有治理过,有前期治理的,也有从未治理的
6	1.957	出现侵蚀	0.068%	沟缘线以上荒坡地侵蚀成沟缘线以下荒坡地
7	28.618	出现较强侵蚀	0.081%	沟缘线荒坡地侵蚀成沟缘线以下坡地,并还在耕种

在 INFO 状态下,定义各级的色彩代码,在 ARcPLOT 子系统下显示流域综合治理评价图(见图版 I 图 7)。

根据效益代表值和各级范围内土地利用状况可以做如下的流域利用评价:

(1) 对梁峁顶的治理。只要耕作利用或植树,侵蚀控制效益都是明显的。

(2) 对梁峁顶以下的沟间地治理。梯田在该地区是最好的治理措施,植树也是一种很好地控制侵蚀措施,但疏林和密林在沟缘线以上部位效益相近。

(3) 对沟谷地的治理。在近底部淤坝地效益最高,但淤坝地是自然侵蚀后淤地过程,不可全流域推广。沟谷植树是一个相当好的方法,其中密林的效益更大,所以建议在沟谷治理中应以植密林为主(覆盖度大于 40%)。

(4) 沟间地中靠近沟缘线部分的荒地或坡耕地以及沟头凹形坡处最易引起进一步侵蚀,与沟谷形态变化图中侵蚀强的部位相吻合。治理中坡耕地效益不高,应开成梯田或采用其他有效措施。

(5) 如果沟缘线以上的沟间地边缘已被侵蚀成沟缘线以下的沟谷地,但仍在耕种,势必引起更剧烈的侵蚀,应尽早退耕还林。

### 参 考 文 献

- [1] 周鸣、刘兆庆,关于环境地图几个问题的探讨,地理科学 Vol.7 No. 2, 科学出版社,1987 年。
- [2] 苏时雨,制图工作中的地貌分析,地理集刊第 14 号(地理制图),科学出版社,1982 年。
- [3] A.R. Williams & R.P.C Morgan, Geomorphological mapping applied to soil erosion evaluation Journal of soil and water conservation, Vol. 31. No. 4, 1976.
- [4] 苏映平,地貌图体现农业生产条件的标准,地貌制图研究文集,测绘出版社,1986 年。
- [5] 廖克,试论自然地图上轮廓界线的特征和绘制方法,地理集刊。第 14 号(地理制图),科学出版社,1982 年。

## Systematic Dynamic Mapping and Analysis of Small Basin Erosion Environment Based on Aerial Remote Sensing Information

Zhong Yiehong

*(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)*

### Abstract

On the basis of application of aerial remote sensing information to erosion environmental systematic mapping of valley and gully area on loess plateau, an extensive study on loess erosion environment changes has been made in this paper. By using the different period aerial-photos of Wang Jia Gou, a small basin, which located in Li Shi county, Shanxi province, and by using the advanced geographical information system software Arc/INFO system, we have compiled the erosion environmental systematic maps of different periods and of different types: multiple factors erosion map, erosion amount distribution map, basin's valley and gully shape change map, average erosion developing speed map and basin multiple management evaluation map. On the basis of above works, we have made an analysis of erosion situation and environment changes in this small basin in different period by using environmental dynamic analysis method. Many-impacts, especially, the human impacts has been emphasized in the erosion environmental analysis.

The results of this work has provided a scientific basis for multiple management for small basin on Loess plateau.

**Key words** erosion environment systematic dynamic mapping Spacial and dynamic analysis of erosion environment

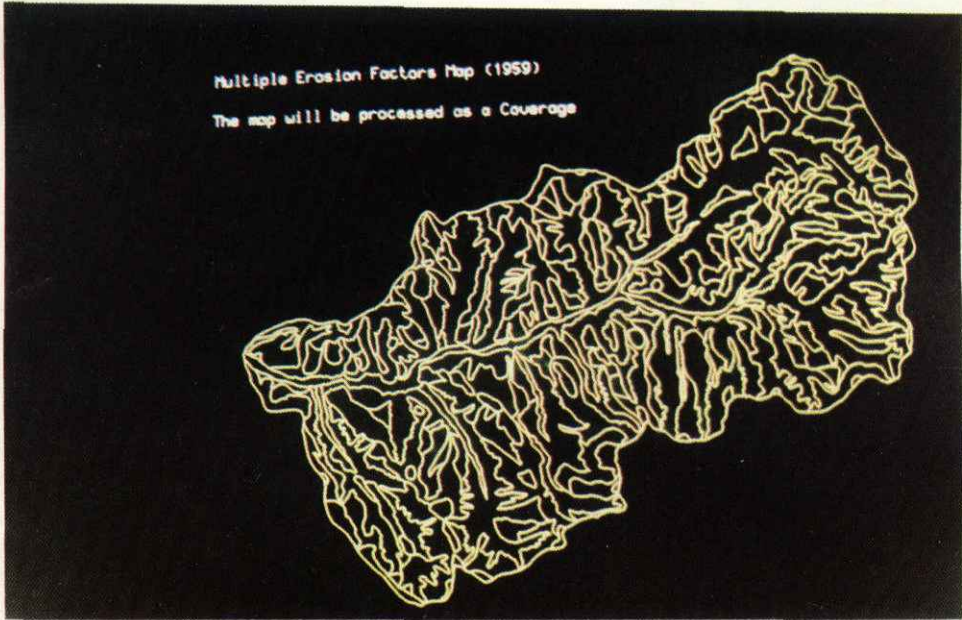


图 2 1959年侵蚀要素图

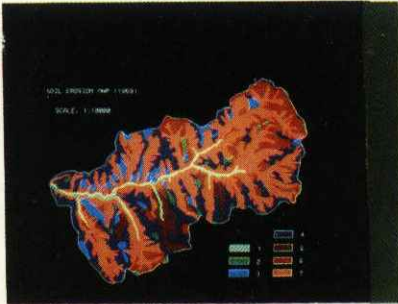


图 3 1959年流域侵蚀量分布图

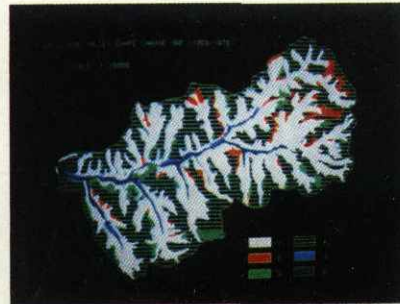


图 4 1959 - 1978年流域沟谷形态变化图

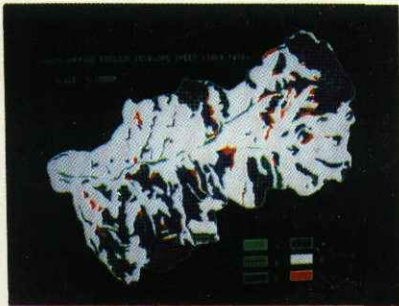


图 6 流域侵蚀平均发展速度图  
(1959 - 1978年)

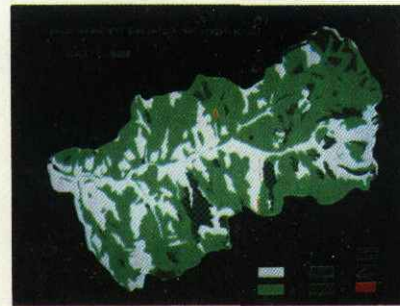


图 7 流域综合治理评价图