

# 微机数字地形要素制图

刘 志 江忠善

## 提 要

本文在采用网格地形高程数据结构的基础上,针对黄土高原地形破碎的特点,对小尺度(网格边长20米)研究区域的微机数字地形要素制图方法作了初步的探索,研制了适合于小尺度研究区域的数字地形要素微机制图系统软件,并通过小集水区研究实例绘制出了地面切割深度、坡度和坡向图。在此基础上,如再选择输入有关自然和社经的信息,可进行土壤侵蚀评价和土地利用评价等。

## 一、前 言

随着地理信息系统(GIS)的深入发展和计算机的广泛应用,根据数字高程模型(DEM)进行数字地形要素制图(DTFM),可基本实现计算机化。同时,再与其他有关的自然和社经信息相复合,即可在土壤侵蚀调查和其侵蚀评价方面得到广泛应用。

DTFM是在GIS中的DEM基础上经过一定的数学方法处理而派生出来的,DEM中的地形高程数字信息的获得手段直接影响DTFM的发展,它的精确度取决于地形高程数字信息的精确度和计算机数学处理的精确度。目前,由于一些测量新技术的发展和应用,DEM中的计算机高程采样逐渐取代了过去采用方格网点板在地形图上手工逐点量取高程数字的传统方法,并相应地提高了采样的速度和精度,从而推动了计算机制图的发展。

黄土高原地区DTFM的研究工作尚在进行中,由于黄土高原地形支离破碎、坡度陡峻等特点,一些常用的计算机制图方法(如趋势面法)受到了限制,因此探讨既有理论意义又有应用价值的DTFM方法是十分必要的。这对进一步推动数字高程模型的建立和广泛应用有着重要意义。

## 二、研 究 方 法

(一) DEM的数据结构。目前,根据数据结构和数据采集编码的技术方式,计算机地形数字要素制图的方法主要有网格法和多边形法两种。对于研究小尺度区域来说,采用网格法较为适宜。本研究的数据为我所小流域遥感监测课题组提供,是利用彩红外航片资料和地面控制测量资料,在立体测图仪A10上测制的 $20 \times 20\text{m}^2$ (图斑 $4 \times 4\text{mm}^2$ )格网高程数据。为使微机数据管理及制图时读取的数据与提供的数字高程模型相匹配,本研究的DEM的数据结构按图1进行各空间单元排列。

网格结构是目前流行的一种形式，其优点是数据结构简单，使用方便。此时每一网格既是数据采集点或区，又是数据贮存点或区。它们都赋有各自的坐标值，便于数据的存贮和管理。我们采取的数据输入格式是以左下角为起点，按逆时针旋转依次输入各点坐标值，同时由于各空间单元具有相同的尺寸和形状，所以便于进行各种空间分析和模拟。但这种结构格式需要的网格数量比较大，数据采集工作量也较大。网格面积的大小是根据研究目的和研究区域大小来决定，一般来讲网格面积选择较大时，信息量损失较多，制图精度降低。为保证制图的精度，在可能的范围内尽量选择小的网格面积。

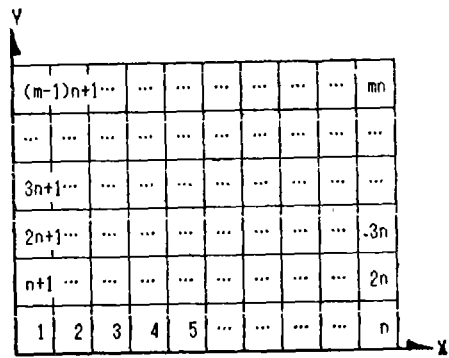


图1 各单元在XY平面中的排列方法

(二) 硬件的系统配置。微机制图硬件系统的配置，是DTFM得以实现的前题条件。一般根据研究问题的环境条件来进行微机类型和硬件配置。本研究是在IBM—PC/XT微机上进行的，外围设备有Roland DG DXY-980A绘图仪和打印机，以便输出绘制的各种地形要素图件及统计数据表格。

(三) 制图的数学方法。在网格法的基础上，进行地面切割深度、坡度和坡向地形要素制图数学方法较多，如趋势面法等。由于黄土高原地形异常复杂，这些方法产生的结果易于与实际有较大的出入。因此，对于我们采取的小网格面积来讲，利用解析几何法是比较适宜，并且能真正反映各个空间单元的地形特征。下面主要介绍求取各单元的地面切割深度、坡度和坡向的数学方法：

1. 单元地面切割深度。各单元的地面切割深度是相对一个参照点而言，这个参照点

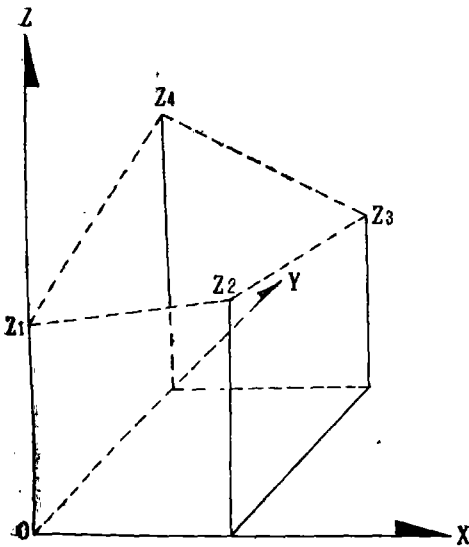


图2 各单元的四角坐标的排列

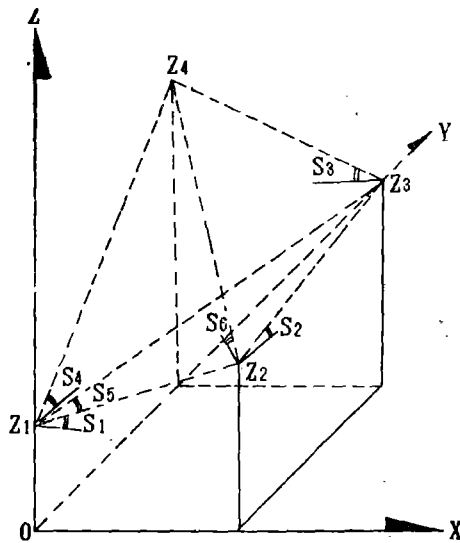


图3 各单元由解析几何法拟合的坡度

往往是要制图区域中的最高点高程。当参照点选定后,各单元的切割深度就迎刃而解。设某单元四角的高程(以左下角为起点按逆时针旋转)为 $Z_1, Z_2, Z_3$ 和 $Z_4$ (图2),参照点的高程为 $Z_M$ 。这个单元的地面切割深度便为:

$$ZA = Z_M - (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)/4$$

本研究以每切割深10m为一级别,共分21级(其最后一级以切割深大于200m为结束级)制图。

**2. 单元坡度。**据各单元的四角高程坐标,以解析几何的方法来决定任意单元的坡度,在每个单元中的最小高程是决定该单元坡度的基点,以该点向其余三点引线所拟合的三个坡度的平均值作为该单元的坡度。在单元中存在的六个解析几何坡度(图3)可表示如下:

$$S_1 = \text{Arc}[\text{tg}(|Z_2 - Z_1|/L)],$$

$$S_2 = \text{Arc}[\text{tg}(|Z_3 - Z_2|/L)],$$

$$S_3 = \text{Arc}[\text{tg}(|Z_4 - Z_3|/L)],$$

$$S_4 = \text{Arc}[\text{tg}(|Z_1 - Z_4|/L)],$$

$$S_5 = \text{Arc}[\text{tg}(|Z_3 - Z_1|/L_1)],$$

$$S_6 = \text{Arc}[\text{tg}(|Z_4 - Z_2|/L_1)], \quad L_1 = L/\sin 45^\circ.$$

在选择出最小高程后,根据上述几何关系便很容易求出该单元的坡度。例如:当 $Z_1$ 被选为最小高程时,该单元的坡度为:

$$SM = \text{Arc}[\text{tg}(S_1 + S_4 + S_5)/3]$$

其他情况也可类似求得。坡度分级为10级:1级为 $<5^\circ$ ,2级为 $5^\circ - 10^\circ$ ,3级为 $10^\circ - 15^\circ$ ,4级为 $15^\circ - 20^\circ$ ,5级为 $20^\circ - 25^\circ$ ,6级为 $25^\circ - 30^\circ$ ,7级为 $30^\circ - 35^\circ$ ,8级为 $35^\circ - 40^\circ$ ,9级为 $40^\circ - 45^\circ$ ,10级为 $>45^\circ$ 。

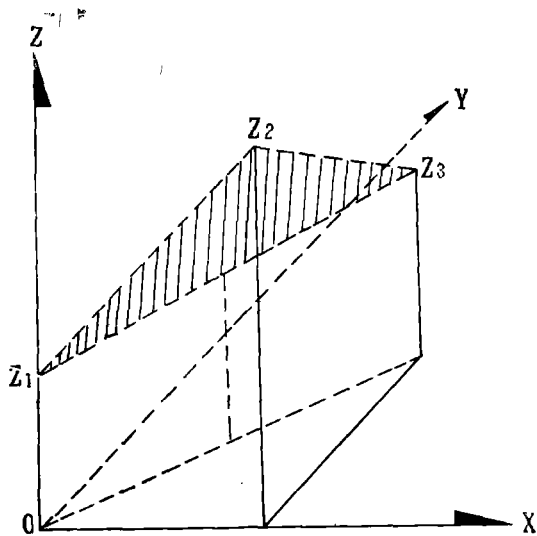


图4 单元选定的某一坡向拟合面

**3. 单元坡向。**坡向采用八个方位,即 $0^\circ - 45^\circ, 45^\circ - 90^\circ, 90^\circ - 135^\circ, 135^\circ - 180^\circ, 180^\circ - 225^\circ, 225^\circ - 270^\circ, 270^\circ - 315^\circ$ 和 $315^\circ - 360^\circ$ ,以正北为 $0^\circ$ 按顺时针方向旋转分布在四个象限内的八个方位。

(1) 单元拟合面的确定。每个单元的坡向是按由单元中任何三点拟合的四个三角形中的最大坡度那个坡面决定的,拟合三角形中最大坡度的选择是根据对角线中心点的高程决定的,当中心点高程与其余各点高程之差的绝对值为最大时,这时拟合成的等边三角形便为

代表该单元的坡向的拟合面。

(2) 单元拟合面倾向象限的确定。在代表面决定后,进一步决定该拟合面所在的象

限。象限的决定是由长边中心点与拟合的等边三角形顶点的差值来决定的。例如, 由  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$  组成的等边三角形为选定的拟合面 (图 4), 这时, 顶点高程为  $Z_2$ 。如果  $Z_2 > (Z_1 + Z_3)/2$ , 即中心点高程与顶点高程相减为负, 则该拟合面向第四象限倾, 即该拟合面的坡向是在  $270^\circ - 360^\circ$  方位角之间; 否则倾向第二象限, 即在  $90^\circ - 180^\circ$  方位角之间。

(3) 单元拟合面倾向方位的确定。在决定了单元拟合面所在的象限后, 可由等边三角形底边的两点高程来决定其在采用的八个方位的具体位置。如上例中, 当  $Z_2 > (Z_1 + Z_3)/2$  和  $Z_1 > Z_3$  时, 则该单元的坡向在  $315^\circ - 360^\circ$  之间; 当  $Z_2 > (Z_1 + Z_3)/2$  和  $Z_1 < Z_3$  时, 在  $270^\circ - 315^\circ$  之间。其他情况的判别方法类似。

### 三、制图系统软件的结构及功能

本研究建立的小尺度区域数字地形要素制图的软件系统, 主要由 DEM 数据管理系统、数据输出系统和制图与统计系统三部分组成 (见图 5)。

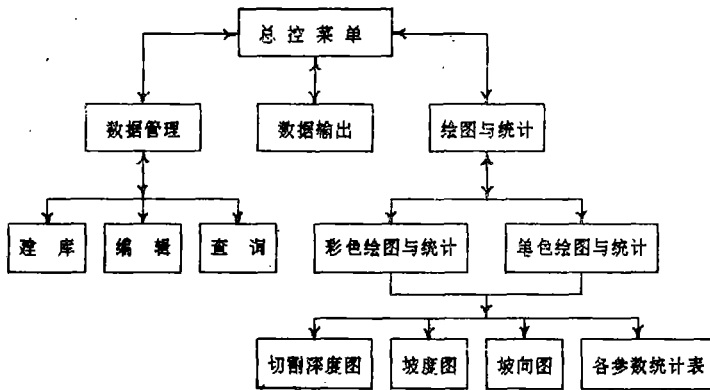


图5 数字地形要素制图系统的结构图

鉴于目前各类型微机的兼容性和运行语言的通用性, 我们采用高级BASIC 语言进行程序设计, 并在CCDOS环境下人机对话式菜单驱动。下面简要叙述各系统模块的功能及其使用说明:

#### (一) DEM数据管理系统模块

1. 建库子模块。本子模块, 主要是为DEM数据以随机文件形式存放在外围贮存设备 (如磁片等) 上开辟存储空间。

2. 数据输入子模块。本子模块的主要功能, 是将已获得的地形高程数字资料通过计算机输入到外围贮存介质上 (如磁片等)。以随机存取方式进行数据管理, 以便为制图模块提供数据资料。数据输入方法为, 各单元的四角高程以左下角为起点按逆时针方向输入, 对研究区域外的数据采取不输或按零输入。

本程序设计采用人机对话方式并带有汉字提示来引导操作人员工作, 同时自动设置了出错警告及误操作警告, 使数据不会因误操作而丢失或损坏。由于数据存储采用随机文件形式, 具有节省主机内存和数据管理方便之特点, 克服了由于数据繁多而易出错及

运行时占用机器有限内存空间的弊病。

**3. 数据修改, 删除子模块。**本子模块的主要功能是修正以输入数据的不正确性, 与此同时, 删除原来的数据资料, 将正确的数据资料进行存储。

**4. 数据查询子模块。**本子模块的主要功能是查阅各单元的数据资料, 可以查任意范围或任一单元的数据资料, 通过显示器显示出来, 以便操作人员进行浏览。

**(二) 数据输出系统模块。**本模块的主要功能是利用打印机把DEM的全部或部分数据资料按顺序打印成表格式资料, 以便用户进行书面检查和资料存档。

**(三) 制图与数据统计系统模块。**绘图仪与计算机连接的技术参数设置(即硬件系统配置接口技术参数的设置), 对于不同的绘图仪均有在不同语言环境下的技术参数设置, 因此, 接口技术是硬件系统配置主要解决的问题之一。本系统接口采用 RS-232C (即串行) 接口方式, 技术参数设置为“9600, E, 7, 1, CS65535”。

本模块的功能为在已有的网格式结构DEM数据库的前提下, 利用解析几何的数学原理设计的软件进行数字地形要素制图。计算机制图时自动进行数学计算、判别、分类统计和定位定量绘出所选择的地形要素图; 在绘图仪图幅受限时, 可分幅输出(在操作时给出作图的单元起止代码)。此模块可以输出地面切割深度图、坡度图和坡向图及其对应的各级参数(网格个数、面积比)统计表。

根据用户的硬件配置(尤指绘图仪)和图件应用要求, 本模块又进一步设计为八笔彩色填充绘画和单笔符号填充绘画两种模块。

## 四、结 果

在建立黄土高原小流域土壤侵蚀信息系统研究中, DEM的应用研究是该系统中重要组成部分, 数字地形要素信息是该系统的基本资料。我们现以“七五”期间重点治理的陕北安塞县纸坊沟小流域中的一条治理沟的数字地形要素制图为例, 说明DEM在数字地形要素制图中的应用和机助制图结果。该治理沟的面积为 $0.186\text{km}^2$ , 制图的网格式面积为 $20 \times 20\text{m}^2$ , 比例尺为1:5000, 因此图斑面积为 $4 \times 4\text{mm}^2$ 。输出的图件见图6、图7、图8, 参数统计表见表1、表2、表3。

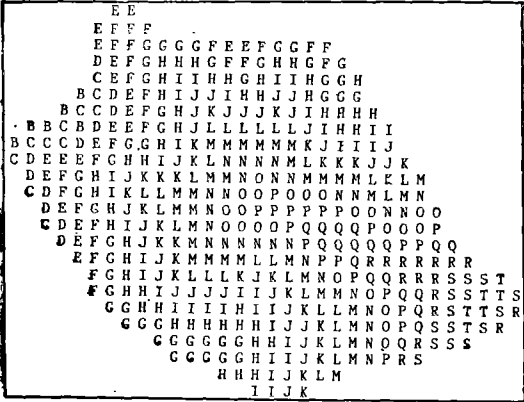
表1 各级地面切割深度的统计数据(每个方格面积为 $20 \times 20\text{m}^2$ )

级别	A级	B级	C级	D级	E级	F级	G级	H级	I级	J级	K级
方格(个)	0	6	11	11	21	27	46	50	36	35	29
面积(%)	0	1.29	2.36	2.36	4.51	5.80	9.90	10.8	7.74	7.52	6.23

级别	L级	M级	N级	O级	P级	Q级	R级	S级	T级	U级	全区
方格(个)	29	35	29	24	20	19	16	15	6	0	465
面积(%)	6.23	7.52	6.23	5.16	4.30	4.08	3.44	3.22	1.29	0	100

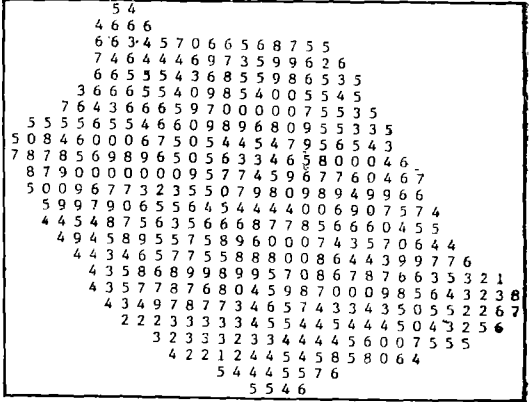
表 2 各级坡度的统计数据 (每个方格面积为 $20\times 20\text{m}^2$ )

级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级	10 级	全区
方格(个)	2	3	41	72	93	69	47	36	37	53	465
面积(%)	0.43	3.22	8.81	15.5	20.0	14.8	10.1	7.75	7.95	11.4	100



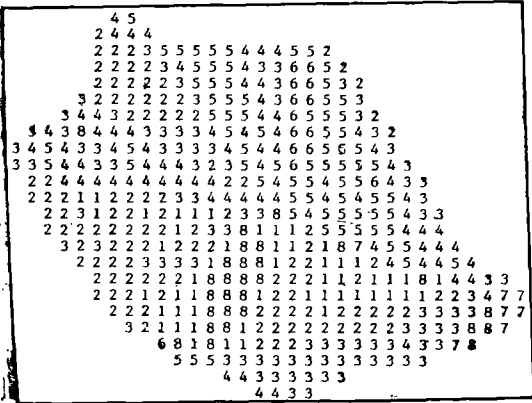
图例 A:0-10, B:10-20, C:20-30, D:30-40, E:40-50, F:50-60, G:60-70, H:70-80, I:80-90, J:90-100, K:100-110, L:110-120, M:120-130, N:130-140, O:140-150, P:150-160, Q:160-170, R:170-180, S:180-190, T:190-200, U:>200, (单位: m)

图 6 计算机输出的研究区域的地面切割深度图



图例 1:<5°, 2:5°-10°, 3:10°-15°, 4:15°-20°, 5:20°-25°, 6:25°-30°, 7:30°-35°, 8:35°-40°, 9:40°-45°, 0:>45°

图 7 计算机输出的研究区域的坡度图



图例 1:0°-45°, 2:45°-90°, 3:90°-135°, 4:135°-180°, 5:180°-225°, 6:225°-270°, 7:270°-315°, 8:315°-360°

图 8 计算机输出的研究区域的坡向图

将图 6 和表 1 相结合, 可分析研究区域的地势结构和集水区的起伏概貌等。图 7 和表 2 相结合, 可用来分析研究区域的地面坡度状况, 其中包括坡势的陡缓、坡度结构、各级坡度的分布面积及其分布规律。从表 2 可以看出, 大于 $20^\circ$  以上的面积占研究区域的72%, 这与实际坡度的分布所占的比例十分接近。图 8 与表 3 相结合, 可以分析研究区域的坡向分布特点及其规律等。

### 五、结 束 语

本文针对黄土高原的地形破碎的特点, 采用网格数据结构形式, 探讨了小

尺度地域的数字地形要素机助制图的方法。结果表明, 对于地形复杂的研究区域采用网

表 3 各种坡向的统计数据 (每个方格面积为 $20 \times 20\text{m}^2$ )

级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	全区
方格(个)	51	115	94	81	75	14	7	28	465
面积(%)	11.0	24.7	20.2	17.4	16.1	3.01	1.50	6.02	100

格结构形式进行大比例尺数字地形要素制图是可行的,其网格面积的大小是影响制图精度的重要方面,采取 $20 \times 20\text{m}^2$ 网格比较能真实地反映黄土丘陵区地形特征;同时这种制图的数据结构形式简单并便于数据管理。由DEM产生的地形要素信息再与其他一些有关信息相复合,可以进行土壤侵蚀评价和土地利用评价等。

## 参 考 文 献

- [1] Lyle W. Zevenbergen et al, Quantitative Analysis of Land Surface Topography, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 12, 47—56, 1987.
- [2] Joseph K. Berry et al, Geographic Information Analysis Workshop Workbook, Papers in Spatial Information Systems, 1984.
- [3] 傅伯杰等:“土地资源评价信息系统”,《水土保持学报》,第3卷第1期,1—9,1989.

## Microcomputer Mapping of Digital Topographic Elements

Liu Zhi      Jiang Zhongshan

## Abstract

This paper is based on the raster format of digital elevation model, in light of the characteristics of breaking topography of the loess plateau to probe the method for the small raster formats (the each component 20 by 20 meters grid cell) of microcomputer mapping of digital topographic elements, and the mapping software is developed at the same time. The maps of surface cutting depth, slope and aspect of the cited small watershed in the study area are obtained.