

中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室资助项目

数字地面模型

柯正谊 何建邦 池天河 编著

中国科学技术出版社

北 京

中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室资助项目

数字地面模型

柯正谊 何建邦 池天河 编著

中国科学技术出版社

北 京

(京)新登字 175 号
图书在版编目 (CIP) 数据

数字地面模型 / 柯正谊等编著. —北京: 中国科学技术出版社, 1993.5.
资源与环境信息系统国家重点实验室资助项目
ISBN 7-5046-1086-0

I. 数…
II. 柯…
III. 数字地面模型
IV. P287

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100081
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京朝阳大地印刷厂印刷

※

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22.5 字数: 540 千字
1993 年 5 月第 1 版 1993 年 5 月第 1 次印刷
印数: 1-1000 册 定价: 18.5 元

序 言

数字地面模型这一高技术是多学科交叉的产物。五十年代后期，它首先在美国公路设计中采用，以后，随着计算机科学的发展，数字地面模型的内涵日益丰富，应用领域也日益扩大，越来越受到科学技术、经济建设和国防建设等各方面人士的关注。我国在采用这一高技术方面也做了大量卓有成效的工作，它的应用在我国国民经济的发展中起到了应有的积极作用。我国在这领域中的学术研究工作，也同时促进着这一技术的发展。

本书是作者在自己科研实践活动的基础上，吸收国内、外的研究成果和应用经验撰写而成。书中全面系统地论述了数字地面模型的含义，构建数字地面模型的理论和方法以及应用实例。可以说，涉及从原始信息的获取和模型的构建到输出，从理论到具体应用，内容非常丰富。本书从总体上反映了国际上在这一领域的水平。如此系统详细专门论述这一内容的著作，在国内还是首次公开出版。本书的出版无疑将对我国数字地面模型的研究和应用起到推动作用。

钱曾波

1993年5月

前 言

米勒(C. L. Miller)于本世纪五十年代中期提出数字地面模型(Digital Terrain Models, DTM)这一重要概念。

本书从多尔(F. J. Doyle)七十年代对 DTM 所下的定义出发,将 DTM 解释为地面诸特性空间分布的数字描述,它是地理信息系统空间数据库的实体,它的本质属性是二维地理空间定位和数字表达。据此,凡涉及地理空间分布的课题都可以应用 DTM。三十多年来,随着计算机和环境遥感技术的发展,DTM 在土建工程、测绘、地学分析、农林区划、土地管理以及社会经济等诸多领域得到深入研究和广泛应用。

本书《绪论》部分介绍 DTM 的基本概念。第一、二、三章以较大篇幅依次叙述数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)的原始数据采集、内插和精度评定。这不仅因为地理空间的三维实质,更主要的是:构筑 DEM 以及从它派生数字地貌因子的方法有比较广泛的应用价值,凡在二维地理空间上连续分布并逐渐变化的地面特性,如重力、地磁、气压、降水,甚至地价,等等,一般都可用类似方法构筑它们自身的单项数字地面模型,并自动派生相当于各阶地貌因子的有效地面因子。第四章的内容是从数字高程模型到数字地面模型,主要介绍诸地貌因子的派生。第五、六两章分别为 DTM 的数据结构和输出形式。最后一章(第七章)介绍数字地面模型应用。

本书是在中国科学院学部委员陈述彭教授的热情鼓励和指导,以及资源与环境信息系统国家重点实验室的大力支持和资助下完成的。承蒙钱曾波教授审阅全书并作序,特此深致谢意。在本书编写过程中,黄杏元教授和戴企成同志提供了部分资料,黄绚研究员,励惠国、周成虎副研究员和李子川、赵炜等同志提出了宝贵意见,俞璇同志在校排本书时付出了辛勤劳动,柯嫣然、陈晓莉等同志作了大量的清稿工作,在此一并致谢。

笔者不揣固陋,意图通过本书,主要为农林、地理和土地管理等部门的工作人员以及有关专业师生全面介绍数字地面模型的基本概念、方法和应用。限于水平,难免错误欠妥之处,恳请不吝指正。

编著者 一九九二年八月

内 容 提 要

本书介绍数字地面模型 (DTM) 的基本概念、方法和应用。全书共八章。主要内容有 DTM 的定义和分类, 数字高程模型 (DEM) 的原始数据采集、内插和成果精度评定, 从 DEM 到 DTM, DTM 的数据结构和输出形式, 以及 DTM 在地学分析、土建工程、测绘和农林区划等诸多领域的应用。

本书可作为大专院校有关专业的教学参考书, 也可供农林、地理、土建、测绘等部门的科技人员阅读。

责任编辑：江 山

封面设计：黄 绚

正文设计：俞 璇

目 录

绪 论	(1)
一、概念和方法	(1)
二、分类	(7)
三、与数字地面模型密切相关的学科和技术	(11)
四、应用范围	(12)
第一章 数字高程模型原始数据采集	(14)
第一节 以摄影测量立体像对为数据源的数字高程模型原始数据采集方法	(15)
一、仪器设备	(15)
二、采点方式	(34)
第二节 以地形图作为数据源的数字高程模型原始数据采集	(53)
一、工具和仪器	(53)
二、采点方式	(63)
第三节 从其它数据源获取数字高程模型原始数据	(78)
一、从航天遥感立体像对获取数字高程模型数据	(78)
二、野外实测获取数字高程模型原始数据	(79)
第二章 数字高程模型内插	(81)
第一节 数字高程模型分块内插	(81)
一、纯二维插值分块内插	(83)
二、数字高程模型的分块曲面拟合	(102)
第二节 数字高程模型剖分内插	(123)
一、数字高程模型剖分插值	(126)
二、数字高程模型剖分拟合	(146)
第三节 数字高程模型单点移面内插	(150)
第三章 数字高程模型的精度评定	(155)
第一节 数字高程模型精度评定试验	(156)
一、以航摄像对为数据源的数字高程模型精度评定试验	(157)
二、从地形图建立数字高程模型的精度评定试验	(174)
第二节 试验和推导相结合的精度评定方法	(194)
一、传递函数法	(194)
二、协方差函数法	(205)
三、结合应用要求估计数字高程模型精度的方法	(207)
第四章 从数字高程模型(DEM)到数字地面模型(DTM)	(212)
第一节 从数字高程模型到数字地貌模型	(212)
一、格网(点)型数字地貌模型	(212)

二、曲面型数字地貌模型	(241)
三、多边形数字地貌模型	(245)
第二节 从数字地貌模型到数字地面模型	(251)
第五章 数字地面模型的数据结构	(253)
第一节 数字地面模型的格网数据结构	(254)
一、局部等值地面特性的格网结构	(254)
二、整体渐变地面特性的格网结构	(262)
第二节 数字地面模型的矢量数据结构	(263)
一、平面矢量数据结构	(264)
二、空间多边形矢量数据结构	(277)
第三节 数字地面模型的曲面数据结构	(279)
第六章 数字地面模型输出	(281)
第一节 输出设备	(281)
一、交互式图形显示系统	(281)
二、绘图机	(282)
三、行式打印机	(283)
第二节 数字地面模型的平面图形输出	(283)
一、等值线图形	(283)
二、分带图和等值线点迹图	(292)
三、平面晕渲图	(294)
四、平面多边形图	(296)
五、平面线条或网络数字地面模型输出	(297)
六、散点数字地面模型	(298)
第三节 数字地面模型的三维图形输出	(298)
一、立体等值线图	(298)
二、剖面三维透视图	(301)
三、格网三维透视图	(305)
四、立体彩色图	(306)
第七章 数字地面模型的应用	(311)
第一节 在工程建设中的应用	(311)
一、土地平整和线路设计应用	(311)
二、水电站工程建设应用	(314)
三、厂矿和交通枢纽选址应用	(314)
第二节 在测绘与遥感中的应用	(314)
一、数字高程模型在制作正射影像图中的应用	(315)
二、数字地面模型在航天遥感数字图像定量解译中的应用	(315)
三、数字地面模型在建立地图数据库中的应用	(317)
第三节 在自然地理要素分析中的应用	(318)

一、气候分析应用	(318)
二、水文分析应用	(324)
三、地貌分析应用	(325)
四、土壤地理中的应用	(329)
五、植被分析应用	(333)
第四节 在农林业中的应用	(335)
第五节 在灾情监控和区域治理开发中的应用	(337)
第六节 在土地管理中的应用	(342)
第七节 在其它有关领域中的应用	(344)
参考文献	(348)

绪 论

一、概念和方法

本世纪五十年代中期,美国麻省理工学院摄影测量实验室主任米勒(C. L. Miller)首次将计算机与摄影测量技术结合在一起,比较成功地解决了道路工程的计算机辅助设计问题。他在用立体测图仪建立的光学立体模型上,量取沿待选公路两侧规则分布的大量样点的三维空间直角坐标,输入计算机,由计算机取代人工,执行土方估算、分析比较和选线等繁重的手工作业,大量缩减了工时和费用,取得了明显的经济效益。由于计算机只认识数字,唯有将直观描述地表形态的光学立体模型或地形图实现数字化,才能借助计算机解决道路工程的设计问题。米勒的重要贡献在于解决道路计算机辅助设计这一特殊工程课题的同时,提出了一个一般性的概念:数字地面模型。它的英文全称是 Digital Terrain Models,缩写成 DTM。三十多年来,数字地面模型在测绘和遥感、农林规划、土木水利工程、地学分析,以及地理信息系统等各个领域得到广泛深入的研究,发展迅速。

测绘学从地形测绘角度来研制数字地面模型,一般仅把基本地形图中的地理要素,特别是高程信息,作为数字地面模型的内容。测绘学家心目中的数字地面模型是新一代的地形图,地貌和地物不再用直观的等高线和图例符号在纸上表达,而是通过储存在磁性介质中的大量密集的(一般是规则排列的)地面点的空间坐标和地形属性编码,以数字形式描述。正因为如此,很多测绘学家把“Terrain”一词理解为地形,称 DTM 为数字地形模型,而且在不少场合,把数字地面模型和后文提到的数字高程模型等同看待。

其它非测绘应用的课题,通常都根据各自的具体需要,将某些非地形地面特性信息与地形信息结合在一起,构成数字地面模型。例如,米勒一开始便打算在他的为公路机助设计研制的数字地面模型中,纳入公路条形地带内各个规则格点的土壤力学特性信息。本世纪六十年代开始出现的地理信息系统,由于具有为众多用户共享的特点,它的数字地面模型所包含的地面特性信息类型就更加丰富了,它们一般可分为下列四组:

1) 地貌信息。如高程、坡度、坡向、坡面形态以及其它描述地表起伏情况的更为复杂的地貌因子。

2) 基本地物信息,如水系、交通网、居民点和工矿企业以及境界线等等。

3) 主要的自然资源和环境信息。如土壤、植被、地质、气候等等。

4) 主要的社会经济信息。如一个地区的人口分布、工农业产值、国民收入等等。

其中第 1)、2) 两组是测绘部门关心的地形信息,第 3)、4) 两组是除测绘部门以外各有关部门所需要的非地形地面特性信息。例如,某土地利用地块图斑的土地类型为水田,其编码为“11”;假定该图斑由带有不同二维地理坐标的 n 个微小等边方格拼合而成,则每个方格的土地利用取值也是“11”。又如,从统计报表中得知某村的人口总数为 A ,假定由该村行政境界围成的区域含有 L 个带不同二维地理坐标定位的微小等边方格,则任一方格的人口可取值为 A/L 。综合上述,地理信息系统和包括测绘在内的不同课题按自身需要建立的数字地面模型,虽各具特色,但都遵从一条基本原则,即所有这些数字地面模

型所包含的任何一个可转换为数字的地面特性数据，都与特定的二维地理坐标数值相结合。1978年，多伊尔(F. T. Doyle)在《数字地面模型综述》一文中对数字地面模型下了定义，意译如下：

数字地面模型(DTM)是描述地面诸特性空间分布的有序数值阵列。在最通常的情况下，所记的地面特性是高程 z ，它的空间分布由 x 、 y 水平坐标系统来描述，也可用经度 λ 和纬度 φ 来描述海拔 h 的分布。在新近的文献中，称上述高程或海拔分布的数字地面模型为数字高程模型(Digital Elevation Models, 缩写成DEM)，以与描述其它地面特性的数字地面模型有所区别。数字地面模型可以是每三个三维坐标值为一组元的散点结构，也可以是由多项式或富里叶级数确定的曲面方程，特别值得注意的是：数字地面模型可以包括除高程以外的诸如地价、土地权属、土壤类型、岩层深度以及土地利用等其它地面特性信息的数字数据(译文重点是译者附加的)。

张祖勋教授在《航测自动化与数字化》这本小册子中，对数字地面模型的概念也作过类似的叙述。本书以多伊尔的定义为基础，用下述二维函数系列取值的有序集合来概括地表示数字地面模型的丰富内容和多样形式：

$$\begin{aligned} k_p &= f_k(u_p, v_p) \\ k &= 1, 2, 3, \dots, m \\ p &= 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (0-1)$$

式中， k_p 为第 p 号地面点(可以是单一点，但一般是某点及其微小邻域所划定的一个地表面元)上的第 k 类地面特性信息的取值； u_p, v_p 为第 p 号地面点的二维坐标，可以采用任一地图投影的平面坐标，可用经纬度，也可以是矩阵的行列号； $m \geq 1$ ，为地面特性信息类型的数目， n 为地面点的个数。当上述函数的定义域为二维地理空间上的面域、线段或网络时， n 趋于正无穷大；当定义域为离散点集时， n 一般为有限正整数。例如，假定将土壤类型编作第 i 类地面特性信息，则数字地面模型的第 i 个组成部份为

$$\begin{aligned} i_p &= f_i(u_p, v_p) \\ p &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (0-2)$$

式(0-2)通常是对以土壤类型为第三维坐标的土壤图进行数字化，并经变换处理和概括的结果。当 $m=1$ ，且 f_1 为对地面高程的映射， (u_p, v_p) 为矩阵行列号时，式(0-1)表达的数字地面模型即通用的格点数字高程模型(DEM)。

地理空间实质上是三维的，但人们往往在二维地理空间上描述并分析地面特性的空间分布，如专题图大多是平面地图。数字地面模型是对某种或多种地面特性空间分布的数字描述，是叠加在二维地理空间上的一维或多维地面特性向量空间，是地理信息系统(GIS)空间数据库的某类实体或所有这些实体的总和。数字地面模型的本质共性是二维地理空间定位和数字描述。

本书根据上述定义，从所选数据源、包含内容、结构形式以及函数定义域的类型等各个方面，对数字地面模型进行了分类。随后按如下框图介绍数字地面模型(总体)的构筑流

程。

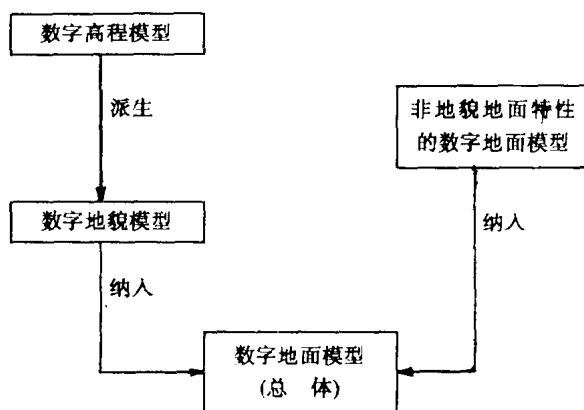


图 0-1 数字地面模型构筑流程

本书一开始使用较大篇幅介绍了数字高程模型的构筑方法和步骤，包括数字高程模型原始数据采集、内插和对成果精度的评定。从数字高程模型着手构筑数字地面模型总体，一方面是因为地理空间的三维实质，但主要还是出于下列两个原因：

1. 从数字高程模型可以自动派生描述地表起伏形态的各种地面特性，从测绘学而非地貌学的角度，可称这些地面特性为地貌因子，如坡度、坡向、坡度变化率、坡向变化率等等。它们各自的空间分布可称为相应地貌因子的单项数字地貌模型。所有这些地貌因子，以及它们的性线和非线性组合的空间分布的总和，本书称之为数字地貌模型(总体)。数字高程模型是零阶单纯的单项数字地貌模型，是数字地貌模型总体的滋生点。数字地貌模型总体是数字地面模型总体的重要子集。

2. 构筑数字高程模型和由它派生数字地貌模型的方法，有比较一般的应用意义。这是因为，凡在二维地理空间整体面域上连续分布，并逐步变化的地面特性，如重力、地磁、气压、降水甚至地价等等，都可以采用构筑数字高程模型的方法和步骤，来构筑它们自身的单项数字地面模型。在一般情况下，也可用它们为滋生点，派生和组合成相当于地貌因子的各种地面特性因子。

数字高程模型原始数据可以从地面实测记录、地形图、航空或航天像对等数据源直接取得。根据这些直接量取的原始数字高程，可以内插计算出更多的数字高程。

地形测绘学家主要是在研制数字高程模型上做了大量的研究工作，如原始高程数据采集和内插计算等方面。为了生产数字地形图，必须量取大量高程。如果测区已有可供利用的基本地形图，通常是手扶数字化仪，沿等高线遍历跟踪，将等高线图形数字化为按某种微小平距步长排列的平面坐标串，并输入相应的等高线高程数值，经过必要的编辑，按适当格式储存，以便检索和输出。如果要从上述数字化数据完全恢复原来的等高线图形，采样平距步长应不大于原地形图首曲线宽度的一半。此外，还要量测峰点、鞍点等孤立地貌特征点，数据量很大。手扶数字化仪遍历跟踪等高线作业的一个缺点是容易跑线，当相邻等高线平距很小时，跑线有可能造成等高线相交。目前测绘部门正试验一种扫描数字化等

高线的技术，使数字高程采集作业尽可能达到自动化。

如果测区没有现成的地形图，除了小区域大比例尺地形图可用电子速测仪进行实地采集数字高程外，多数测绘部门都是使用摄影测量的方法来获取数字高程的。可以用解析测图仪，也可以在模拟型立体测图仪或立体坐标仪上附装自动记录器件，对用航摄像对建立的光学立体模型一边测绘等高线，一边记录等高线上按一定平距或时间增量采样的点列平面坐标串，并补采等高线以外如峰、鞍等明显地貌特征点的平面坐标和高程。此外，还可在立体模型上进行断面扫描和渐进采样等作业，以获取数字高程。采点密度是影响航测数字高程模型精度的关键因素之一。利用频谱分析可估计测区地貌的破碎和复杂程度，再结合抽样定理，从理论上能确定恰当的样点间隔。航测法数字高程的采样密度通常相当稠密，在图像上的样点间隔可小于 0.2 毫米。

上述测绘部门量取数字高程数据的共同点是：

- 1) 采点稠密；
- 2) 需要精密昂贵的设备。

这些特点是由地形测图应用对高程数据的精度要求所决定的。数字高程原始采集数据的点位分布不一定符合地形测图的要求。例如，原始高程数据沿断面采集，应用是输出等高线，这就要通过内插计算，将断面数据变换为等高线数据。测绘学科多年来在数字地形模型方面做的工作，有很大一部分是为了寻求有效的高程内插方法。

其它需要建立数字高程模型的非测绘部门，除了拥有充足资金和先进技术的科研院所和大工程建设单位，目前一般都不能采用上述精密技术来获取数字高程数据，特别是地方一级的农、林和土地管理部门，大多没有这种条件。不过这些非测绘部门建立数字高程模型，通常是为了派生用作各自专业课题辅助性数据的地貌因子，它们对高程数据的精度要求，一般远低于数字地形测图的要求。根据具体精度要求，可以设计出合理的数字高程模型的研制方法。长期以来，非测绘部门一直在寻找某种造价相对低廉、无需昂贵设备和复杂技艺，但又能满足各自专题研究要求精度的数字高程模型的建立方法。这些方法有下述的共同点：

- 1) 用适当比例尺质量合格的地形图作为数字高程模型的数据源；
- 2) 使用格点膜片或低档手扶数字化仪等简易平面量测工具；按规则格点、断面扫描或沿重要等高线采集曲率极值点等采点方式，采集相对稀疏、合理分布的数字高程模型样点；
- 3) 应用通用微型计算机、在直接量取的样点集上，按二维内插算法展铺数学面，逼近实际地面，从而能确定曲面水平投影范围内任一平面点位的高程。

包括测绘专业在内的各有关专业建立数字高程模型的内插方法，可按图 0-2 进行大致的分类。

从图 0-2 中看出，内插分类树分成两大“主权”，即纯二维插值和曲面拟合。前者是指数学面通过全部原始量测样点（又称参考点）的内插算法，后者是遵从参考点实量高程与内插高程的较差平方和为最小的最小二乘法原理的算法。每一主权分为“分块”、“剖分”和“单点移面”三个“分权”。各分权又伸出若干“枝条”，如“二元样条函数插值”、“手工剖分拟合”等。大多数枝条的“树叶”超过一枚，如“二元样条插值”枝条有“双线性样条”，“双三次样条”等树叶。“单点移面拟合”枝条有“二元多项式拟合”和“带权平均法”等树叶(图 0-2

中未标出“树叶”）。

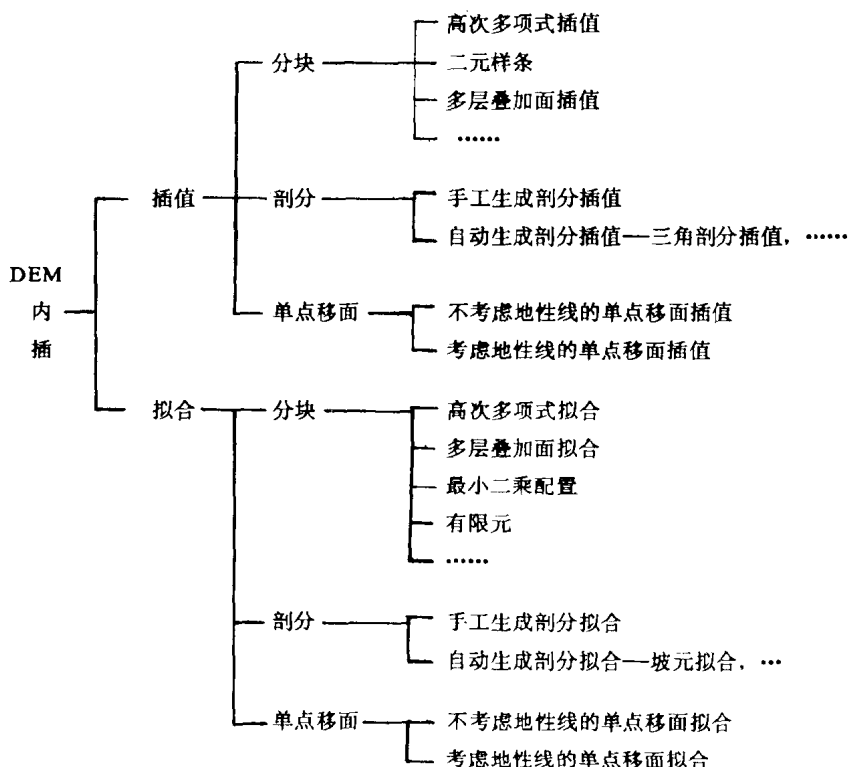


图 0-2 数字高程模型内插方法分类

前面已经说过，对于数字地形测图课题，建立数字地面模型的任务一般到建成数字高程模型即告完成，而非测绘课题建立数字高程模型的目的，除获取数字高程数据本身以外，主要是为了从数字高程模型派生对各自课题有应用价值的各种地貌因子。

如果把高程看作零阶单纯地貌因子，则反映高程变化率的坡度和坡向，可通过对数字高程模型求一阶导数或进行一次差分运算获得，因此可称它们为一阶单纯地貌因子。由坡度、坡向，可分别导出两者各自的变化率，称为二阶单纯地貌因子。对于大多数课题，有应用价值的单纯地貌因子一般到二阶为止。

以上各阶单纯地貌因子，只表述它们自身；高程就是高程，坡度就是坡度。还有一些与多种地貌特征有关的地貌因子，可称之为复合地貌因子。例如，“某点到分水岭的高差”是复合地貌因子：“分水岭”已是复合的地貌特征信息，加上“高差”，更显出这一地貌因子的复合性。此外还有一些平均地貌因子，如平均高程，平均坡度等等。

除了描述地面上某一点位或某一面积微元地貌特征的地貌因子外，还有描述空间多边形(坡元)地面的地貌因子，它们对各有关课题更有应用价值。

综合上述，可以把构成数字地貌模型的各种地貌因子进行分类，如下图所示。

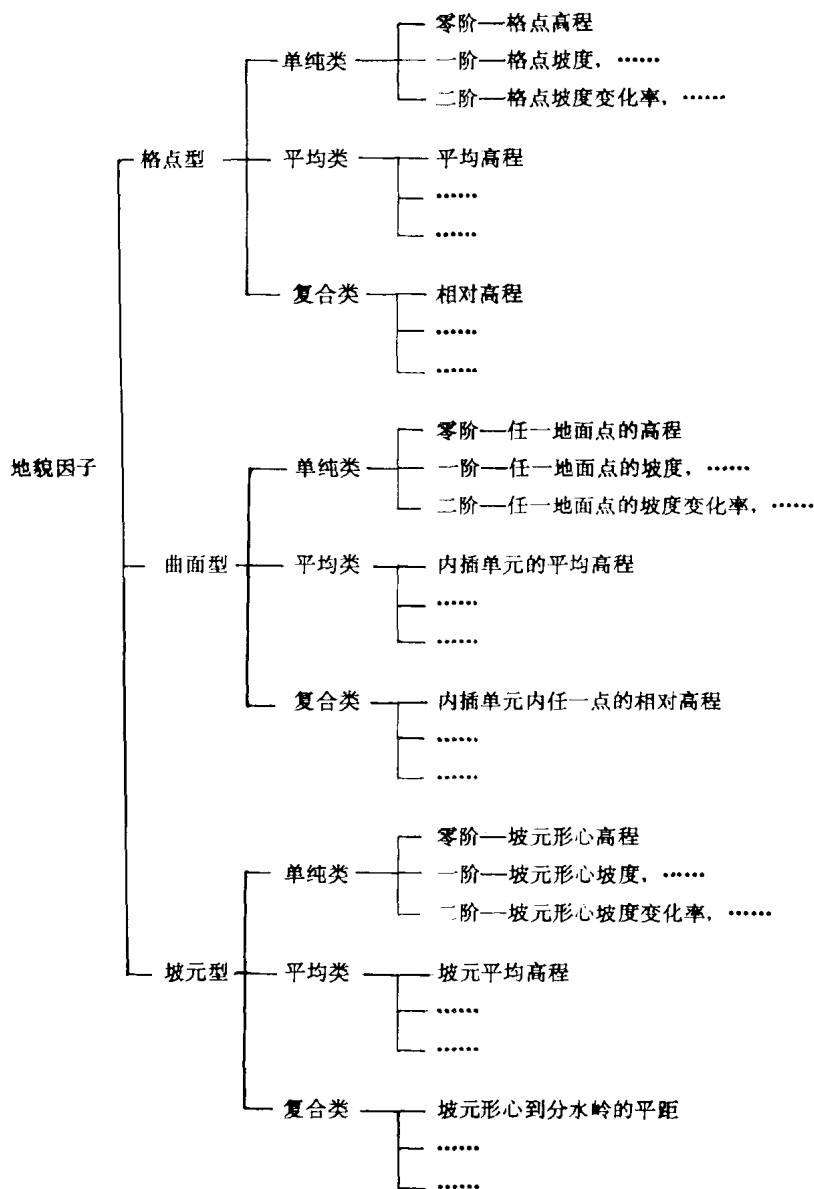


图 0-3 地貌因子分类

数字地面模型的非地貌地面特性组份，包括地形的和非地形的，主要从各种资源、环境的专题图中获取，也可从遥感图像和统计报表中取得。

各类专题地图，如土壤图、植被图、土地权属图、人口分布图等等，一般是以多边形图斑为制图单元的线划图。可以用手扶或扫描数字化二值图像的方法，将各类专题图斑界线经数字化和适当的变换处理后，加入数字地面模型。与此同时，应对各专题图斑的类型、属性或等级编码赋值。

遥感图像有的已经是数字形式的计算机兼容磁带数据，有的是全色和单谱段的黑白图片或多谱段的彩色合成图片。磁带数据可直接输入计算机，经数字图像处理，提取各类数字地面模型特性信息。遥感图片的影像可先用微密度计扫描成数字数据，再按处理遥感磁

带数据的方法，提取数字地面模型所需的信息，也可以先目视解译和手工专题成图，再将专题图斑数字化纳入数字地面模型。

非地形数据中，有一部分是从统计报表中取得的，特别是那些社会、经济信息，它们一般须通过对行政区周界的数字化处理，才能转化为数字地面模型的组成部分。

对于上述所有含单项非高程地面特性信息的数字地面模型，只要它们是整体连续分布逐步变化并建立在原始量测样点数据基础上的，一般都可以应用图 0-2 的各种内插算法进行内插变换或加密，唯一不同处是将作为函数值的高程数据，置换为各种非高程地面特性的数据。例如，根据某地区各地面站的降水记录，可以内插绘制出该地区的雨量等值线图；根据各测点的重力，可内插估算非测点的重力等等。

同样，对于相当数量的非地貌地面特性信息，也有它们自己相当于数字高程的源因子，可从它导出一系列相当于各阶单纯、平均和复合地貌因子的专题派生因子。例如，从数字地温模型可派生出温差数字地面模型，从重力数字地面模型，可派生出重力变化率数字地面模型等等。

各类数字地面模型由于性质不同，来源不同和获取的方法不同，它们的数据结构也会有多种形式。航天遥感磁带数据和扫描图像得到的各类专题数据是格点面元数据，而用手扶数字化仪跟踪得到的是矢量形式的数字。一个比较复杂的数字地面模型的各个组份，不论它们在获取和输入时采用何种数据形式，一般都可以变换成为统一的规则格点或格点面元形式。格点或格点面元数字地面模型用下列矩阵表示：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1s} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{T1} & a_{T2} & a_{T3} & \cdots & a_{Ts} \end{bmatrix} \quad (0-3)$$

式中，矩阵元素 $a_{ij}(i=1, 2, \dots, T; j=1, 2, \dots, s)$ 为多维向量，向量的维数就是这个数字地面模型所包含的地面特性信息类型数。矩阵形式的数字地面模型是函数值有序集合形式(式 0-1)的一个特例，是最通用的数字地面模型结构形式。

二、分 类

数字地面模型可以按它的数据源、包含内容和结构形式等方面进行分类。

(一) 按数据源分类

1. 以航空和航天遥感资料为数据源

1) 以航摄立体像对为数据源：

主要是从航摄立体像对量取密集数字高程数据，建立数字高程模型，用于大比例尺的数字地形制图和土方估算等对高程精度要求较高的地形测绘和工程技术课题。

从航空摄影像片上也可以提取地物和资源、环境、人口等其它非地形地面特性信息，