

数

字



基

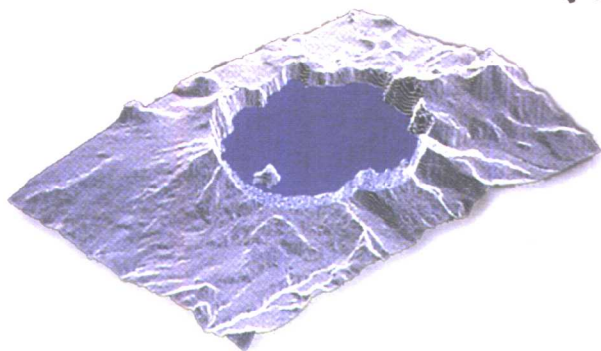
础

丛

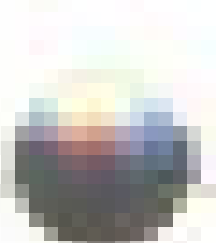
书

# 数字高程模型

李志林 朱庆 著



武汉大学出版社



# 数字高程模型

—— 教程 ——



数

字

地 球

基

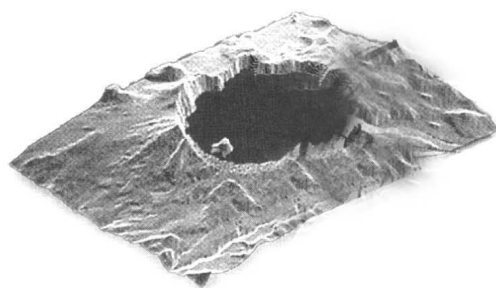
础

丛

书

# 数字高程模型

李志林 朱庆 著



BA/20/12

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字高程模型/李志林,朱庆著. —武汉:武汉大学出版社,2001.7

(数字地球基础丛书)

ISBN 7-307-03226-0

I. 数… II. ①李… ②朱… III. 高程测量—数字—地形模型  
IV. P216

责任编辑:任翔 封面设计:曾兵

---

出版:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

发行:新华书店湖北发行所

印刷:武汉市科普教育印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:350千字 插页:3

版次:2001年7月第1版 2001年7月第1次印刷

ISBN 7-307-03226-0/P·10 定价:40.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

**李志林** 40岁, 香港理工大学副教授, 美国纽约科学院院士, 多家国际著名期刊如 IJGIS, CGIS, The Cartographic Journal 和 Cartography 等的评委。1982年于西南交通大学获得摄影测量与遥感专业学士学位。1990年于英国 Glasgow 大学获博士学位。长期从事摄影测量特别是DTM、自动制图和制图综合方面的理论与应用研究, 在国际著名期刊上发表论文20多篇。

E-mail: lszlli@polyu.edu.hk

**朱庆** 34岁, 武汉测绘科技大学测绘遥感信息工程国家重点实验室教授。霍英东教育基金会第七届青年教师基金获得者。1986和1989年于西南交通大学分别获得摄影测量与遥感专业学士学位和硕士学位; 1995年于北方交通大学获博士学位。多年来一直从事数字摄影测量和多维GIS特别是关于数字地面模型的理论与应用研究, 已在国内外公开发表论文30余篇, 并成功研发了国家科技部推荐使用的三维建模与可视化软件GeoTIN。现正致力于数字城市的研究和开发工作。

E-mail: zhuq@rcgis.wtusm.edu.cn

# 序 言

数字化是在 20 世纪 50 年代电子计算机出现后才提出的新概念,而数字高程模型(DEM)的概念在 1958 年就已经提出了。到了今天,数字高程模型作为地球表面地形的数字描述和模拟已成为空间数据基础设施和“数字地球”的重要组成部分。几十年来对数字高程模型的研究方兴未艾、十分活跃。从 1972 年起,国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)一直把 DEM 作为主题,组织工作组进行国际性合作研究。

尽管有关 DEM 的论著和论文非常多,但是,当我读到由李志林和朱庆等一批年青的博士们写的这本书时,我仍然激动不已,一口气把它读完。我为这本书中理论的创造性、方法的实用性和对数字化生产的指导性而兴奋,中国的地球空间信息学后继有人!

本书用简洁的语言,有条理地、系统而全面地论述了数字高程模型的概念、数据获取、建模方法、精度分析模型等。书中对由格网数据建立 DEM 的表面精度所作的深入分析和对 DEM 精度与格网间隔及等高距关系的分析具有理论创造性,是本书的一闪光点。

为了推动 DEM 数据库的建立,作者集中力量对数字高程模型生产的质量控制、数据组织和高程内插方法进行了深入分析,并介绍了生产中的项目设计和数据库建库方法,这些叙述是基于作者在“九五”国家测绘局重点科技攻关项目中的实际工作和调查研究得到的结果,具有实际推广应用价值。

对于 DEM 的应用,本书侧重介绍了数字地形分析、可视化和在土木工程、水利工程、环境工程及 GIS 中的应用。这些论述对推动 DEM 在各领域的应用,乃至在“数字地球”中的应用有实际意义。

书中选列的四个附录对于 DEM 的实际生产均是必不可少,也是很多情况下作业人员需要了解而又不易得到的,选材得当。

可喜的是本书的主要研究成果已在吉奥之星(GeoStar)GIS 软件中得以实现,相应的软件模块 GeoTIN 和 GeoGrid 已在我国“七大江河”1:1 万 DEM 和全国

1:5万 DEM 数据库建立中立下功劳,成为 1999 年国家科技部的推荐软件。

基于以上的理由,我愿向广大读者,包括科研、教学、生产和管理方面的读者推荐这本书。长江后浪推前浪,江山代有人才出!也希望本书的作者不断努力,创造更大的辉煌!

李德仁于武汉

1999.12.5

# 前言

数字地形模拟是针对地形地貌的一种数字建模过程,这种建模的结果通常就是一个数字高程模型(DEM)。自从 20 世纪 50 年代后期开始被采用以来,DEM 受到了极大的关注,并在测绘、土木工程、地质、矿山工程、景观建筑、道路设计、防洪、农业、规划、军事工程、飞行器与战场仿真等领域得到了广泛应用。

随着科学技术特别是计算技术的迅速发展,在 DEM 的数据获取方法、数据存储和数据处理速度等方面已经取得突破性进展。数字地形模拟已经成为地球科学重要的分支之一。实际上,由于地理信息系统(GIS)的普及,在美国、中国、德国、英国和其他国家,DEM 作为数字地形模拟的重要成果已经成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基本内容之一,并被纳入数字化空间数据框架(DGDF)进行规模化生产。今天,数字高程模型 DEMs 已经成为独立的标准的基础产品,并越来越广泛地被用来代替传统地形图中等高线对地形的描述。显然,同过去提供等高线地形图一样,提供 DEMs 也已成为各勘测部门的基本任务和日常工作之一。全国范围内的 DEMs 等价于中小比例尺的基本地形图,而其他大比例尺、高精度的 DEMs 则与更大比例尺的地形图相当。这些高精度 DEMs 无疑将由更多的地方或专业部门提供。随着各种精度级别 DEMs 的普遍获取,过去许多潜在的应用领域现在已经变成十分重要的用户。DEMs 作为地球空间框架数据的基本内容,是各种地理信息的载体,在国家空间数据基础设施的建设和数字地球战略的实施进程中都具有十分重要的作用。为了推动 DEMs 的生产和应用,有必要推出一本内容翔实、涉及面广的著作。换句话说,经过四十多年的发展,DEMs 的理论基础和涉及的主要技术方法都已经成熟,这些理论与技术应该被归纳总结到这样的书中,这也是我们致力于该项工作的主要原因。

综合专家学者十多年来在该领域的研究开发成果,汇集国内外最新的理论与技术成就,我们推出了这本著作。本书首次系统全面地论述了 DEMs 的概念、数据源、数据获取、建模方法、精度模型、质量控制、数字分析、可视化与应用等基本

理论与关键技术,并介绍了实用的生产项目设计和数据库建设的方法。其中,绝大部分内容都是经过作者实际工作考察和对比分析后取得的成果,具有较强的针对性和应用参考价值。许多先进的技术方法都已体现在吉奥之星(GeoStar)地理信息系统系列软件中,并在生产实践中得到了广泛采用。本书力求能为地学相关学科的各类专业技术(管理)人员进行科学研究、教学、生产和管理等工作提供较完整实用的理论依据与技术参考。

本书是在中国科学院和中国工程院院士、测绘遥感信息工程国家重点实验室主任李德仁教授的热情鼓励和指导下完成的。承蒙他在百忙中审阅全书并作序,特此表示深深的敬意和感谢。感谢测绘遥感信息工程国家重点实验室常务副主任、首批“长江学者奖励计划”特聘教授龚健雅博士审阅全书并提出宝贵意见。同时,作者十分感谢眭海刚、黄铎、张珊珊和钟正同学在课题研究和资料整理过程中付出的大量艰辛劳动,没有他们的努力,本书很难及时完成。对于国家自然科学基金项目——“三维数字景观模型研究(周启鸣、李志林、陈军)”的资助表示诚挚的谢意。

朱 庆

测绘遥感信息工程国家重点实验室

1999年12月 武汉·珞珈山下

# 目 录

---

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 第一章 概述                         | (1)   |
| 第一节 数字地形表达                     | (1)   |
| 第二节 数字高程模型的含义                  | (5)   |
| 第三节 数字高程模型的分类                  | (6)   |
| 第四节 数字高程模型的应用范畴                | (8)   |
| 第五节 数字高程模型的生命周期                | (10)  |
| 第二章 数字高程模型的数据获取                | (12)  |
| 第一节 数字高程模型的数据来源                | (12)  |
| 第二节 数据采集方法                     | (15)  |
| 第三节 采样的理论基础                    | (20)  |
| 第四节 数字高程模型的生产项目设计              | (23)  |
| 第三章 数字高程模型表面建模                 | (29)  |
| 第一节 简介                         | (29)  |
| 第二节 建立 DEM 表面的各种方法             | (29)  |
| 第三节 三角网的生成                     | (34)  |
| 第四节 正方形格网的生成                   | (57)  |
| 第五节 不规则三角网 TIN 与正方形格网 Grid 的比较 | (59)  |
| 第四章 数字高程模型精度的数学模型              | (60)  |
| 第一节 简介                         | (60)  |
| 第二节 根据格网数据建立的 DEM 表面精度的数学模型    | (61)  |
| 第三节 DEM 精度与格网间隔及等高距的关系         | (72)  |
| 第五章 数字高程模型生产的质量控制              | (81)  |
| 第一节 简介                         | (81)  |
| 第二节 原始数据误差处理                   | (83)  |
| 第三节 数字高程模型的精度评定与质量检查           | (105) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 第六章 数字高程模型的数据组织·····           | (109) |
| 第一节 简介·····                    | (109) |
| 第二节 数据结构·····                  | (110) |
| 第三节 数据库管理系统·····               | (119) |
| 第七章 数字高程模型内插·····              | (125) |
| 第一节 简介·····                    | (125) |
| 第二节 整体内插·····                  | (125) |
| 第三节 分块内插·····                  | (126) |
| 第四节 逐点内插·····                  | (134) |
| 第五节 关于内插技术的探讨·····             | (139) |
| 第八章 数字地形分析·····                | (140) |
| 第一节 基本地形因子计算·····              | (140) |
| 第二节 特征提取·····                  | (145) |
| 第三节 水文分析·····                  | (151) |
| 第四节 可视性分析·····                 | (158) |
| 第九章 数字高程模型的可视化·····            | (164) |
| 第一节 简介·····                    | (164) |
| 第二节 高度真实感图形的生成·····            | (167) |
| 第三节 虚拟景观·····                  | (174) |
| 第十章 数字高程模型的应用·····             | (177) |
| 第一节 在土木工程中的应用·····             | (177) |
| 第二节 在GIS中的应用·····              | (181) |
| 第三节 其他应用·····                  | (187) |
| 附录1 1:5万数字高程模型(DEM)生产技术规定····· | (193) |
| 附录2 对DEM精度数学模型的实验验证·····       | (218) |
| 附录3 1:5万数字高程模型元数据及范例·····      | (226) |
| 附录4 术语汇编·····                  | (230) |
| 主要参考文献·····                    | (245) |

# 第一章 概述

## 第一节 数字地形表达

### 1 地形表达的方法

人们生活在地球上并与这个地球表面处处发生联系:工程师在地表设计、构筑楼房,地质学家研究地表结构,地质生态学家想了解地表形态和地物形成的过程;而测绘工作者则对地形起伏进行各种测量,并用各种方式如地图和正射影像等描述地形。尽管专业领域不同,研究的侧重点各异,但所有的工作都希望能用一种既方便又准确的方法来表达实际地表现象。

人类在很早以前就开始想方设法来描述自己所熟悉的各种地表现象,绘画可以说是最古老的一种。用图画可以粗略地反映所见到的地形景观,但这些信息反映的主要是对象的形态特征和色彩特性,定量的描述则非常有限。

另外一种古老而有效并一直沿用至今的精确表达地表现象的方式是地图。在人类文明发展的历史长河中,人们对自身生存环境的认识和表示可以从地图上得到集中体现。地图对人类社会发展的作用,如同语言和文字对社会发展的作用一样,具有不言而喻的重要性。地图是记录和传达关于自然世界、社会和人文的位置与空间特性信息最卓越的工具。早期的原始地图用半符号、半写景的绘法来表示地形,实现了在各种二维介质平面上对实际三维地形表面的表示和描述。现代地图按照一定的数学法则,运用符号系统概括地将地面上各种自然和社会现象表示在平面上。地图具有三个基本的特性:数学法则性、制图综合性和内容符号性。现代地图的最大优点在于具有可量测性。

在各种地图中,用来准确描述地貌形态的是等高线地形图。用等高线来表达地形表面起伏可以追溯到18世纪,它的方便性和直观性使得人们认为在制图学的历史上等高线是一项最重要的发明。在等高线地形图上,所有的地形信息都正交地投影在水平面上,用线划或符号表示成比例缩小后的地物,而地物高度和地形起伏的信息则有选择地用等高线进行表达。

与各种线划图形相比,影像无疑具有更大的优点,如细节丰富、成像快速、直观逼真等,因此摄影术一出现就被广泛用于记录我们生活的这个绚丽多彩的世界。从1849年开始,就出现了利用地面摄影相片进行地形图的编绘,而航空摄影由于周期短、覆盖面广、现势性强而被广

泛采用。利用多张具有一定重叠度的像片还能够重建实际地形的立体模型,并可以进行精确的三维量测。

20 世纪 60 年代初期,遥感(Remote sensing)技术随着空间科学的发展而兴起。70 年代,美国地球资源卫星(LANDSAT)上天后,遥感技术获得了极为广泛的应用。在遥感技术中除了使用对可见光摄影的框幅式黑白摄影机,还使用彩色或彩红外摄影机、全景摄影机、红外扫描仪、多光谱扫描仪、雷达、CCD 推扫式行扫描仪和矩阵数字摄影机等,它们能提供比原先黑白像片更丰富的影像信息(包括几何和物理信息)。

从本质上讲,地图是对客观存在的特征和变化规则的一种科学的概括(综合)和抽象。对于地图中最典型也是最重要的地形图而言,由于其描述的客观世界是丰富多彩、千姿百态的三维空间实体,其二维空间的表达与所表示的三维现实世界之间,有着不可逾越的鸿沟。正因为如此,千百年来地图学者们一直致力于地形图的立体表示,试图寻求到一种既能符合人们的视觉生理习惯,又能恢复真实地形世界的表示方法。在此过程中曾先后出现过写景法(Scenography)、地貌晕翁法(Hachure)、地貌晕渲法(Shading)、分层设色法(Layer tinting)等,但这些方法由于缺乏严密的数学理论以及绘制复杂等而使其应用受到了很大局限。

20 世纪中叶以后,伴随着计算机科学、现代数学和计算机图形学等的发展,各种数字的地形表达方式也得到了迅猛的发展。电子计算机为自然科学的发展提供了进行严密计算和快速演绎的工具。使用计算机和计算技术是当今信息时代的一个重要标志,其在测绘方面的应用使得测绘学科逐步向数字化与自动化、实时处理与多用途的方向发展。计算机技术在很大程度上改变了地图制图的生产方式,同时也改变着地图产品的样式和用图概念。借助于数字地形表达,现实世界的三维特征能够得到充分而真实的再现。

总之,数字地形表达的方式可以分为两大类,即数学描述和图像描述。使用傅立叶级数和多项式来描述地形是常用的数学描述方法。规则格网、不规则格网、等高线、剖面图等则是图像描述的常用方式。图 1-1-1 是地形表达方式的分类示意图。

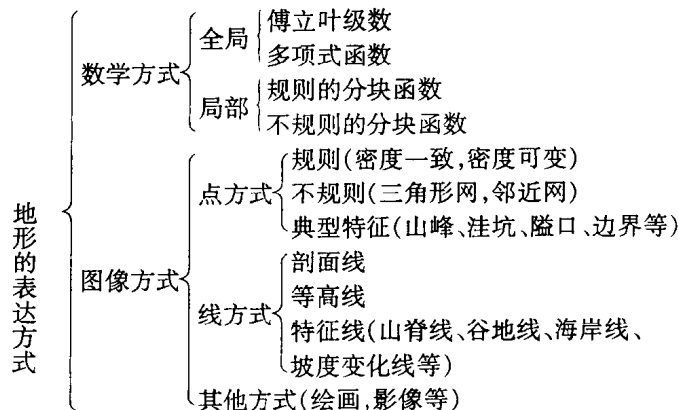


图 1-1-1 地形表达的方式

## 2 数字地面模型

根据 Meyer(1985)的定义,模型(model)是指用来表现其他事物的一个对象或概念,是按比例缩减并转变到我们能够理解的形式的事物本体。建立模型可以有许多特定的目的,如预测、控制等。在这种情况下,模型只需要具备足够重要的细节来满足需要即可。同时,模型也可以被用来表现系统或现象的最初状态,或者用来表现某些假定或预测的情形等。一般说来,模型可以分为三种不同的层次,即概念模型、物质模型和数学模型。概念模型是基于个人的经验与知识在大脑中形成的关于状况或对象的模型,概念模型往往也形成了模拟的初级阶段。然而,如果事物非常复杂难于描述,则模拟也许只能停留在概念的形式上。物质模型通常是一个模拟的模型,如用橡胶、塑料或泥土制成的地形模型等。在摄影测量中广泛使用的基于光学或机械投影原理的三维立体模型也属于这类。物质模型的大小通常要比实际的小一些。数学模型一般是基于数字系统的定量模型。根据问题的确定性和随机性数学模型又有函数模型和随机模型之分。采用数学模型具有以下明显的优点:

- (1) 是理解现实世界和发现自然规律的工具;
- (2) 提供了考虑所有可能性、评价选择性和排除不可能性的机会;
- (3) 帮助在其他领域推广或应用解决问题的结果;
- (4) 帮助明了思路,集中精力关注问题重要的方面;
- (5) 使得问题的主要成分能够被更好地观察,同时确保交流,减少模糊,并提供关于问题一致性看法的机会。

既然采用数学模型具有上述优点,那么什么样的数学模型才是应该采用的呢?这与如何评价模型有关。Meyer 提出了如下的评价标准:

- (1) 精确性:模型的输出是正确的或非常接近正确;
- (2) 描述的现实性:基于正确的假设;
- (3) 准确性:模型的预测是确定的数字、函数或几何图表等;
- (4) 可靠性:对输入数据中的错误具有相对免疫力;
- (5) 一般性:适用于大多数情况;
- (6) 成效性:结论有用,并可以启发或指导其他好的模型。

地形模型是军事人员、规划人员、景观建筑师、土木工程师和地球科学的许多学科专家所要求的。过去,地形模型都是物质的,如在二战中美国海军制作的许多模型都是用橡皮复制的。数学的和数字的技术被引入到地形模拟主要应归功于土木工程领域的摄影测量专家。1955~1960 年期间,美国麻省理工学院摄影测量实验室主任 Chaires. L. Miller 教授在美国麻省土木工程部门和美国交通部门研究工作期间,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,输入到计算机中,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,惟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。Miller 和 LaFlamme 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(DTM: Digital Terrain Model),即使用横断面数据来定义地形表面。四十多年来,数字地面模型在测绘和遥感、农林规划、土木与水利工程、军事领域、地学分析以及地理信息系统各个领域得到了广泛深入的研究和普遍应用。

测绘学从地形测绘的角度来研究数字地面模型,一般仅把基本地形图中的地形要素,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(一般是规则的)地面点的空间坐标和地形属性编码,以数字的形式描述。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。

其他非测绘应用的课题,通常都根据各自的具体需要,将某些非地形的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而研制的数字地面模型中,纳入公路条形地带内各个规则格网点的土壤力学特性信息。20 世纪 60 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,它的数字地面模型中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、坡面形态以及其他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;

(3) 主要的自然资源和环境信息,如土壤、植被、地质、气候等;

(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。

其中(1)、(2)两组是测绘部门关心的地形信息,(3)、(4)两组是其他一些相关部门所需要的非地形地面特性信息。例如,某土地利用图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的微小等边方格,则任一方格的人口可取值为  $A/L$ 。综上所述,包括地理信息系统在内的不同领域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。数字地形模拟也是一个数学模拟的过程,在此过程中形成地形表面的大量采样点将按一定精度进行观测,这时地形表面被一组数字数据所表达。如果需要该数字表面上其他位置处的属性,则应用一种内插方法来处理该组观测数据。在内插过程中,数学模型被用来建立基于数字观测数据的地形表面模型即 DTM,从 DTM 便可以得到任何位置处的属性值。

## 第二节 数字高程模型的含义

### 1 数字地面模型的含义

根据上一节的叙述可知,从最一般的形式上看,数字地面模型包括平面和地形起伏两种数据,并且从其本身导出的数据如坡度、坡向、可视性等也包含在其中。Miller 和 Laflamme 在 1958 年给出 DTM 如下的定义:

数字地面模型是利用一个任意坐标场中大量选择的已知  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的坐标点对连续地面的一个简单的统计表示,或者说,DTM 就是地形表面简单的数字表示。

自从提出 DTM 的概念以后,相继又出现了许多其他相近的术语。如在德国使用的 DHM (Digital Height Model)、英国使用的 DGM (Digital Ground Model)、美国地质测量局 USGS 使用的 DTEM (Digital Terrain Elevation Model)、DEM (Digital Elevation Model) 等。这些术语在使用上可能有些限制,但实质上差别很小。比如 height 和 elevation 本来就是同义词。当然,DTM 趋向于表达比 DEM 和 DHM 更广意义上的内容,如河流、山脊线、断裂线等也可以包括在内。

数字地面模型更通用的定义是描述地球表面形态多种信息空间分布的有序数值阵列,从数学的角度,可以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:

$$K_p = f_k(u_p, v_p) (k = 1, 2, 3, \dots, m; p = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1-2-1)$$

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,可以是采用任一地图投影的平面坐标,或者是经纬度和矩阵的行列号等;  $m$  ( $m$  大于等于 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  $i$  个组成部分为:

$$I_p = f_i(u_p, v_p) (p = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1-2-2)$$

地理空间实质是三维的,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一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。

## 2 数字高程模型的含义

在式(1-2-1)中,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(1-2-1)表达的数字地面模型即所谓的数字高程模型(Digital Elevation Model, 简称 DEM)。显然,DEM 是 DTM 的一个子集。实际上,DEM 是 DTM 中最基本的部分,它是对地球表面地形地貌的一种离散的数字表达。

总之,数字高程模型 DEM 是表示区域  $D$  上的三维向量有限序列,用函数的形式描述为:

$$V_i = (X_i, Y_i, Z_i) (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1-2-3)$$

式(1-2-3)中,  $X_i, Y_i$  是平面坐标,  $Z_i$  是  $(X_i, Y_i)$  对应的高程。当该序列中各平面向量的平面位置呈规则网格排列时,其平面坐标可省略,此时 DEM 就简化为一维向量序列  $\{Z_i, i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 。

## 3 数字高程模型的特点

与传统地形图比较,DEM 作为地形表面的一种数字表达形式有如下特点:

(1) 容易以多种形式显示地形信息。地形数据经过计算机软件处理后,产生多种比例尺的地形图、纵横断面图和立体图。而常规地形图一经制作完成后,比例尺不容易改变,改变或者绘制其他形式的地形图,则需要人工处理。

(2) 精度不会损失。常规地图随着时间的推移,图纸将会变形,失掉原有的精度。而 DEM 采用数字媒介,因而能保持精度不变。另外,由常规的地图用人工的方法制作其他种类的地图,精度会受到损失,而由 DEM 直接输出,精度可得到控制。

(3) 容易实现自动化、实时化。常规地图要增加和修改都必须重复相同的工序,劳动强度大而且周期长,不利于地图的实时更新。而 DEM 由于是数字形式的,所以增加或改变地形信息只需将修改信息直接输入到计算机,经软件处理后立即可产生实时化的各种地形图。概括起来,数字高程模型具有以下显著的特点:便于存储、更新、传播和计算机自动处理;具有多比例尺特性,如 1m 分辨率的 DEM 自动涵盖了更小分辨率如 10m 和 100m 的 DEM 内容;特别适合于各种定量分析与三维建模。

## 第三节 数字高程模型的分类

根据不同的分类标准,可以有不同的类型。

### 1 根据大小和覆盖范围分类

局部的 DEMs(Local):建立局部的模型往往源于这样的前提,即待模拟的区域非常复杂,只能对一个个局部的范围进行处理。