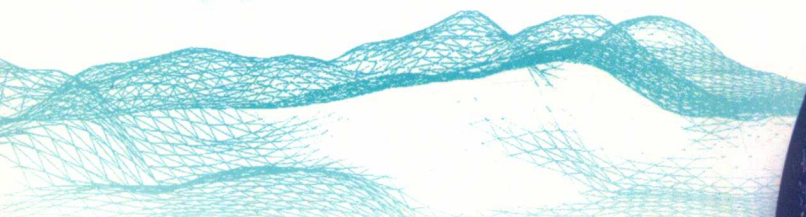
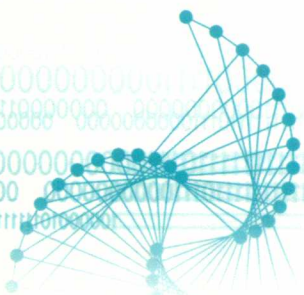
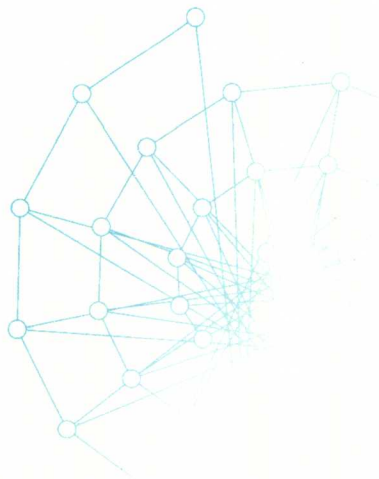




地理信息系统
现代理论与技术 系列丛书



数字地形建模 与地学分析

SHUZI DIXING JIANMO YU DIXUE FENXI

陈刚 张笑 薛梦姣 等 编

东南大学出版社

地理信息系统现代理论与技术系列丛书

数字地形建模与地学分析

陈 刚 张 笑 薛梦姣 等编

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 简 介

数字高程模型(DEM)作为基础测绘地理信息数字成果和国家空间数据基础设施(NSDI)的核心内容,也成为地理信息科学研究与教学的主要内容之一。基于数字高程模型,开展数字地形建模与分析,在地理信息、测绘工程、资源管理、环境保护、农业监测、林业工程、生态评价、灾害预警、城市规划、景观设计、水利水电、交通工程、数字战场等领域得到广泛应用。全书分九章,内容围绕DEM导论、数据来源、数据获取、数据预处理、数据内插、数据组织、数字地形建模、数字地形分析与地学应用等环节,系统介绍了数字地形建模与分析的基础理论、技术方法和软件工具,同时注重强化学生的综合地学分析与实践动手能力的培养。全书各章均附参考文献及思考习题,以便引导学生课外延伸阅读、复习与练习。

本书可作为高等院校地理、环境、地质、测绘、海洋、生态、气象、水利、农林等专业本科生和研究生参考教材,也可供相关学科各类专业技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字地形建模与地学分析 / 陈刚等编. — 南京:
东南大学出版社, 2019. 1

(地理信息系统现代理论与技术系列丛书)

ISBN 978-7-5641-7974-8

I. ①数… II. ①陈… III. ①影像地形图
IV. ①P931

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 203750 号

数字地形建模与地学分析

编 者: 陈 刚 张 笑 薛梦姣 等

责任编辑: 宋华莉

编辑邮箱: 52145104@qq.com

出版发行: 东南大学出版社

出 版 人: 江建中

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

印 刷: 南京玉河印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 16.75

字 数: 344 千字

版 印 次: 2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-7974-8

定 价: 56.00 元

经 销: 全国各地新华书店

发行热线: 025-83790519 83791830

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

前 言

数字高程模型(DEM)是国家基础测绘地理信息数字成果(4D产品)的重要组成部分,也是其他各类专题地理信息的载体。同时,DEM及其衍生产品——数字地形模型(DTM),作为国家空间数据基础设施(National Spatial Data Infrastructure, NSDI)的核心内容,在现代地理信息产业和科学研究中发挥着越来越重要的作用,成为地理信息科学研究与教学的主要内容。

自从美国麻省理工学院 Miller 教授在 1958 年首次提出 DEM 概念以来,经过 60 年的发展,关于 DEM 的理论、方法、技术与应用研究已逐步成熟与深入,并在地学研究中形成了令人瞩目的空间分析领域——数字地形分析,有力推进了地理格局、过程及机理研究,对促进数字地貌学、数字流域、数字战场、城市规划、景观设计等发挥了重要作用。近二十年来,高等院校相关专业,如地图学与地理信息系统、自然地理学、水文学、地理信息工程、摄影测量与遥感、测绘工程等,开始将数字高程模型列为本科生、研究生的必修或选修课程。

南京大学自 2000 年起在城市与资源学系(现名地理与海洋科学学院)开设“数字地面模型”课程,并列为专业核心课,由笔者承担教学任务。在课程建设之初,能看到的参考书只有李志林、朱庆主编的《数字高程模型》(武汉测绘科技大学出版社,2000),柯正谊、何建邦等编的《数字地面模型》(中国科学技术出版社,1993)等少数几种。为配合专业教学工作,笔者在十多年的教学实践中,面向地理学中 GIS 专业人才培养目标,大量收集、阅读与消化吸收国内外文献,并针对教学资源不足、实验数据缺乏和地学综合分析训练难等问题,在 DEM 地学分析实验教学、地形提取与分析算法等方面进行了大量准备,不断积累教学素材,逐步提升教学内容与质量。2005 年,联合国国际山地综合开发中心(ICIMOD)在西藏拉萨主办的 Geo- Informatics for Water Resource Management 研讨班,本人担任实验教学工作,准备了拉萨市达孜等三县的流域水文建模及 DEM 分析案例(感谢主办方提供的教学数据)。通过交流,还从中学习其成功的 Teamwork 项目团队训练经验,并吸纳为本课程的教学内容。2009 年,笔者作为中加交换教师,在加拿大滑铁卢大学地理与环境学系全程聆听 Douglas J. Dudycha 教授主持的两门课程“Spatial Analysis Using GIS”、“Spatial Databases”,其中关于数字地形分析的教学内容也极为丰富与深入,特别是课程中综合地学分析与学术论文撰写的训练,让本人受益颇深,也为丰富教学内容与方法等提供了有益借鉴。2013 年起,南京大学在庐山地理学综合实习教学中,全面引入数字地形图、数字高程模型与 GIS 空间分析等内容。

本人开始承担相关教学任务,并主要负责“数字庐山”建设项目,开始引导地理学各专业本科生使用数字地形分析与制图手段,来加强地貌、水文、土壤、植被、人文、旅游等模块的研究性学习,取得了良好成效。

同时,近十多年来,学术与工业界在数字地形建模与分析研究方面取得了长足进步。香港理工大学李志林教授等主编的 *Digital Terrain Modelling: Principles and Methodology* (CRC Press, 2004)、南京师范大学汤国安教授等主编的《数字高程模型教程》(科学出版社, 2005 年第一版、2010 年第二版)、香港浸会大学周启鸣教授与南京师范大学刘学军教授合著的《数字地形分析》(科学出版社, 2006) 等集中反映着国际学术界关于 DEM 教学和科研的最新进展,也为本课程建设提供了有力支持与补充。

2013 年,为配合学科建设,本课程正式更名为“数字地形分析”。教材编著正式列入南京大学地理与海洋科学学院教材建设计划,得到了学院领导,特别是王腊春教授的大力支持,也得到 GIS 学科带头人李满春教授的热忱指导。考虑到综合性大学人才培养的要求,教材编写是在多年教学讲义基础上展开,并作进一步梳理与提高。全书分九章,内容围绕 DEM 导论、数据来源、数据获取、数据预处理、数据内插、数据组织、数字地形建模、数字地形分析与地学应用等环节,系统介绍了数字地形建模与分析的基础理论、技术方法和软件工具,同时注重强化学生的综合地学分析与实践动手能力的培养。

教材由陈刚总体策划,并拟定编著大纲,具体参与本书编写任务的人员有陈刚(第一章、第二章、第四章部分、第五章、第九章部分)、张笑(第三章、第六章部分)、薛梦姣(第七章、第八章)、夏楠(第四章部分、第六章部分)、张扬(第九章部分)、马昕宇(第九章部分)。全稿由陈刚统稿,并由陈刚、罗丹、马昕宇等负责校对。在本书编著过程中,还得到研究生于靖、段森然、曹飞飞、于丙辰、徐海洋、刘玉轩,本科生张晨晔等的支持与帮助。同时,本书得到了王结臣教授、马劲松副教授、蒲英霞副教授的指导与建议。此外,教材编写过程中还大量参阅、引用了国内外学者们的学术论文、专著与教材,本书各章后列出其中主要部分。在此一并致以诚挚的感谢。

本书出版得到东南大学出版社的大力支持,感谢在编辑与出版各环节中辛勤付出和给以支持的各位老师。

由于编者的水平所限,书中难免存在各种错误和不足之处,敬期读者批评指正,以便在未来修订中不断完善与改进。

陈刚

2018 年 8 月于南京大学仙林校区

目 录

1 导 论	1
1.1 地形表达方法	1
1.1.1 现代科学体系中的地形表达研究	1
1.1.2 地形、地貌及地形表达的意义	2
1.1.3 地形表达手段的发展	2
1.2 数字高程模型与数字地面模型	14
1.2.1 模型与数字模型	14
1.2.2 DEM、DTM 的引入	17
1.2.3 测绘学中的 DTM	17
1.2.4 地理信息系统中的 DTM	18
1.3 数字地面模型的基本概念	18
1.3.1 数字地面模型的定义	18
1.3.2 数字地面模型的数学描述	20
1.3.3 数字地面模型与数字高程模型的关系	20
1.3.4 数字地面模型的数据结构与一般特征	21
1.3.5 数字地形建模的一般流程	22
1.4 现代地理信息产业与 4D 产品	25
1.4.1 现代信息化测绘体系中的 4D 产品	25
1.4.2 国家地理空间基础信息框架	28
1.4.3 中国国家基础地理信息数据库与 DEM 数据库建设	31
1.4.4 关于数字高程模型产品的国家标准	32
1.5 数字地面模型的应用	33
1.5.1 数字地面模型的应用	33
1.5.2 由 DEM 派生的主要数字产品	34
1.5.3 DTM 的主要应用	35
思考与练习题	41
参考文献	42
2 数字地面模型的数据获取	43
2.1 数字高程模型的数据来源	43
2.1.1 航天遥感影像	43
2.1.2 航空摄影测量及其他新型采集技术	54
2.1.3 地形图扫描数字化	67
2.1.4 地面数据采集	69

2.2	地形数据采样的理论与方法	70
2.2.1	数据采样理论	70
2.2.2	数字地形采样的不同观点	71
2.2.3	采样数据集的基本属性	72
2.3	数字高程模型的原始数据采集及质量控制	72
2.3.1	DEM 数据采集概述	73
2.3.2	摄影测量数据采集方法	74
2.3.3	DEM 数据采集的质量控制	76
2.3.4	DEM 数据预处理	77
2.3.5	DEM 原始数据采集方法总结	78
	思考与练习题	79
	参考文献	79
3	数字高程模型内插	81
3.1	空间内插概述	81
3.1.1	空间内插的定义与要素	81
3.1.2	空间内插的步骤	82
3.1.3	空间内插的分类	83
3.2	整体内插	85
3.3	分块内插	86
3.3.1	多项式内插	86
3.3.2	多面叠加内插	91
3.4	逐点内插	95
3.4.1	移动拟合法	97
3.4.2	加权平均法	98
3.5	综合性内插	102
3.5.1	克里金插值	102
3.5.2	ANUDEM 算法	106
3.6	DEM 插值结果评价	109
3.6.1	数值指标与交叉验证	109
3.6.2	误差可视化模型	111
3.6.3	三维地形可视化分析	112
3.7	课程实验与延伸阅读	112
3.7.1	Surfer 及空间内插	112
3.7.2	Surfer 实验设计——插值方法比较	115
	思考与练习题	119
	参考文献	120
4	不规则三角网(TIN)与规则格网(Grid)的生成	122
4.1	不规则三角网	122

4.1.1	TIN 的基本性质	122
4.1.2	Voronoi 图和 Delaunay 三角网	123
4.1.3	不规则三角网的生成算法	125
4.1.4	规则数据 TIN	127
4.2	规则格网	127
4.2.1	规则格网基本概念	127
4.2.2	规则格网的数据组成	128
4.2.3	规则格网的生成	129
4.3	等值线的生成	129
4.3.1	三角网生成等值线	130
4.3.2	规则格网生成等值线	132
4.4	数据模型之间的相互转换	137
4.4.1	规则格网生成 TIN	137
4.4.2	TIN 转换为规则格网	138
4.4.3	等高线生成 TIN	139
4.4.4	规则格网生成等高线	139
4.5	课程实验与延伸阅读	140
4.5.1	ArcGIS 3D Analyst 及 TIN、RASTER 的建立与转换	140
4.5.2	编程实现算法	142
4.5.3	TIN 和 DEM 的转化	142
	思考与练习题	142
	参考文献	142
5	数字地面模型的数据组织	144
5.1	数字地面模型的格网数据结构	145
5.1.1	格网数据的组织方法	146
5.1.2	局部等值地面特性的格网结构	148
5.1.3	整体渐变地面特性的格网结构	154
5.2	数字地面模型的不规则三角网结构	156
5.3	数字地面模型的三维数据结构	156
5.3.1	八叉树三维数据结构	157
5.3.2	三维边界表示法	158
5.4	矢栅一体化数据结构	160
5.4.1	矢栅一体化数据结构的技术思想	160
5.4.2	三个约定和细分格网法	161
5.4.3	矢栅一体化数据结构的设计	161
	思考与练习题	164
	参考文献	164

6 数字地形分析	166
6.1 地形分析	166
6.2 简单地形因子提取	167
6.2.1 坡度	167
6.2.2 坡向	168
6.2.3 体积	169
6.2.4 剖面积	169
6.2.5 坡形	170
6.2.6 格网 DEM 表面积和投影面积	171
6.2.7 凹凸系数	172
6.2.8 坡位	172
6.2.9 地形复杂度因子	173
6.2.10 等高线	173
6.3 地形特征提取	174
6.3.1 地形特征点	174
6.3.2 地形特征线	175
6.4 水文分析	175
6.4.1 水流洼地和洼地填充	177
6.4.2 水流方向	177
6.4.3 汇流累积量	178
6.4.4 河网的系列操作	179
6.4.5 集水区域	180
6.5 可视性分析	181
6.5.1 可视性分析原理	181
6.5.2 常见的通视分析算法	183
6.5.3 ArcGIS 中可视性分析的计算流程	185
6.6 误差与不确定性分析	186
6.6.1 DEM 的误差来源	187
6.6.2 数字地形分析算法和参数对于分析精度的影响	187
6.6.3 DEM 的精度评定技术与方法	188
6.7 课程实验	189
思考与练习题	192
参考文献	192
7 数字地形的可视化	194
7.1 地形可视化的概念	194
7.2 二维可视化的表达	195
7.2.1 等高线法	195
7.2.2 分层设色法	196
7.2.3 地形晕渲法	197

7.3	三维可视化的表达	197
7.3.1	立体等高线模型	198
7.3.2	三维线框透视模型	198
7.3.3	地表景观模型	202
7.4	三维地形的动态显示	203
7.4.1	虚拟现实	203
7.4.2	三维地形动态显示的建模技术	206
	思考与练习题	208
	参考文献	208
8	地形统计特征分析	210
8.1	基本概念	210
8.2	基本统计量	210
8.2.1	反映集中趋势的测度	210
8.2.2	反映离散程度的测度	211
8.2.3	反映正态分布的测度	211
8.3	空间自相关分析	212
8.3.1	空间权重矩阵	212
8.3.2	全局自相关统计量	213
8.3.3	局部自相关指数	216
8.4	回归分析	218
8.4.1	一元线性回归分析	218
8.4.2	多元线性回归分析	220
8.5	趋势面分析	223
8.5.1	趋势面模型的建立	223
8.5.2	趋势面的检验	223
8.6	案例分析	224
	思考与练习题	228
	参考文献	229
9	数字地形分析的应用	230
9.1	基本地形因子的提取	231
9.1.1	坡度与坡向	231
9.1.2	平面曲率与剖面曲率	233
9.1.3	坡长	233
9.2	复合地形因子的提取	235
9.2.1	地形起伏度	235
9.2.2	地表粗糙度	236
9.2.3	地表切割深度	237
9.2.4	山脊线与山谷线	238

9.3 庐山地区水文分析	241
9.3.1 洼地填充	242
9.3.2 流向确定	243
9.3.3 水流长度	244
9.3.4 汇流分析	244
9.3.5 河网生成	245
9.3.6 河流链接	246
9.3.7 河网分级	246
9.3.8 集水区域	247
9.3.9 淹没分析	248
9.4 DEM与3D地形打印	252
9.4.1 获取DEM	253
9.4.2 DEMto3D	255
9.4.3 3D打印	256
思考与练习题	257
参考文献	257

1 导 论

数字地形表达是利用现代计算机技术对地形地貌的数字建模与可视化描述,也是现代信息测绘、地理信息系统建设的主要产品与技术手段,已成为地理信息科学(Geographic Information Science, GIS)研究与应用的重要分支。自 20 世纪 50 年代以来,随着数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)及其衍生产品——数字地面模型(Digital Terrain Model, DTM)的出现,迅速在测绘工程、地理研究、地质勘测、土木工程、道路设计、军事工程、水文水工等领域得到广泛应用,成为重要的基础地理信息产品,并作为地球空间信息框架的基本内容和其他各种空间信息的载体。

地球表层是人类生活、工农业生产与社会发展的自然基础与承载体,是构筑在地球之上和人类社会赖以存在的自然界(自然环境);其中,地形地貌又是地表自然环境的基础要素。区域地形特征一方面深刻影响着人类活动;另一方面,人类活动,特别是土地利用方式的变化,又在逐步影响和改变着地表形态。鉴于地形信息在地质、地形、水文、自然灾害监测、自然资源调查等诸多领域的重要性,人们从很早以前就开始研究地形信息的获取、管理表达与分析技术。

1.1 地形表达方法

1.1.1 现代科学体系中的地形表达研究

在现代科学体系中,与地形表达密切相关的学科主要有地理学与测量学。地理学是一门研究地球表面,即人类生活在其中的地理环境的科学,可分为自然地理学、人文地理学与地理信息科学三个二级学科。作为自然地理学的主要分支,地貌学(Geomorphology),或称“地形学”,主要研究地球表面(陆地和洋底)或某一地区地表起伏形态特征、成因、发育规律、分布和改造利用的科学,对于区域规划、城镇建设、军事活动、水工建筑、水土保持、地质灾害防治、地质勘探等具有重要的科学指导意义。同时,地图学及现代计算机技术支持下的地理信息科学也主要关注地理环境的专题制图与可视化表达,对于地表形态的地理表达与信息传输发挥着重要作用。

地理学主要关注地理环境及其组成要素的特征、格局、分异及其发展变化的规律,而测量学作为工程科学,主要研究地球的形状、大小以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位的技术方法,并对地理空间分布有关的信息进行采集处理、管理、更新和利用。其中,地形测量学(Topography)主要针对地形地貌,研究如何利用地球表面局部区域内的地物、地貌及其他有关信息测绘制作地形图的理论、方法和技术。

1.1.2 地形、地貌及地形表达的意义

地形,在地理学上现多称“地貌”,是地表各种形态的总称。地形是由于地球表层物质在内、外营力(内营力主要指地壳运动、火山活动、地震;外营力主要指流水、冰川、风、波浪、洋流等)综合作用下,经长期演变而逐步形成,并广泛分布的高低起伏、千姿百态的地表空间实物形体。一般而言,地形又可分为自然形体(自然地形景观)和人工形体(人工地形景观)两大类;受人类活动的影响,在地球表层上未经人类改造(或扰动)的自然地形越来越少,而以城市建筑景观为代表的人工地形景观则变得越来越普遍。地球表层包括陆地、海洋,地形变化复杂,仅以我国陆地区域为例,中国地域辽阔,从海拔 8 844 m 的珠穆朗玛峰至海平面以下 154 m 的艾丁湖湖面,大略分三个地势阶梯,地形起伏很大,地貌形态、类型错综复杂,地貌成因也多种多样,为地貌表达研究提出重要课题。

在现代地理学中,“地形”“地貌”在术语表达中有着细微的差异。地貌是一类地形特征的总体叫法,如按地表形态的差异,可分为山地地貌、丘陵地貌、高原地貌、平原地貌、盆地地貌等;或者按照地形成因,可分为构造地貌、流水地貌、侵蚀地貌、堆积地貌等。而“地形”则多用于偏向于局部地表形态的描述中,如鞍部地形、坡面地形等。

地形、地貌是地表自然地理环境的基础要素,地形的高低起伏与走向在一定程度上决定着地球表层的热量、水分的再分配,影响水系发育和流域形态,制约植被和土壤的形成,对居民地、道路也有较大的影响,在国防建设和军事行动上有着重要的意义。一个区域所在地貌区划及其特征,往往刻画了该区域的整体地理景观,成为区域生态环境、农业布局、建筑风貌、生活方式的基础,如我国西北地区黄土高原上城市风貌就与长江中下游平原地区的城市有着巨大差别。

地貌形态是人类认识地貌现象和地貌分类的主要指标。描述地貌形态的指标多种多样,其中,地面高度及其起伏度是最基本的形态指标,包括海拔高度、坡度、坡向、地表起伏度、地表粗糙度、形态结构、形态密度(如河网密度等)等。

1.1.3 地形表达手段的发展

古往今来,人类一直在寻求如何描述周围及其大区域范围的地形地貌形态及其地表现象的有效表达方式,也成为地理学、测量学长期以来研究与实践的主要课题。

总体而言,人类描绘地形的手段主要是伴随着人类社会需求的进步及地貌学研究、测绘技术的发展而不断演进,大体经历了模拟表达和数字表达两大阶段。在模拟表达阶段,现代地形图是其进步和发展的最高阶段,反映了人类认识与表达地形地貌的科学水平。而随着 20 世纪中期计算机技术的出现和快速发展,以数字高程模型(DEM)的出现为代表,标志着地形表达已进入了数字化时代,也是本课程的主要研究内容。

1) 地形写景方式——从图画到地图

古代地理学、测绘学最初诞生于人类生产、生活的需求。上古时期,埃及金字塔的建造、尼罗河泛滥与农田整修以及中国大禹治水的传说,都反映了早期测绘技术的发明与使用。古代汉字中亦出现了描述地貌的相关内容,比如《诗经·大雅》中记载的岗、塥和隰等。同时,配合文字方式,人类开始使用绘图、实物造型等形象化方式来描述各种地形现象。

在古代测绘科技还未充分发展之前,人类主要采用绘图方式直观描绘地形景观,这种方法称为地形写景法(或称“绘景法”)。写景法图形逼真,能清楚地显示山脉、主要河流的大体走向及重要山峰的相对位置。但是,它仅能反映一两个侧面,任意性很大,也不能在图上进行高程、坡度等各种量测。

在中国,大约自魏晋时期开始兴起山水画,中国山水画主要采用单色或彩色水墨,以写意手法描绘自然山川,形象化地再现地表景观,反映了山水等地貌现象的形态特征和色彩特性,并赋予自然界以文化内涵和审美的主体意识。如南宋《临安志》所附《西湖图》采用鸟瞰视角,配以中国画手法表现西湖及其周边山水风景及人文风貌,直观易读,富有艺术感染力,是我国现存最早的杭州西湖地图,也是我国现存最早的园林地图之一(图 1-1)。

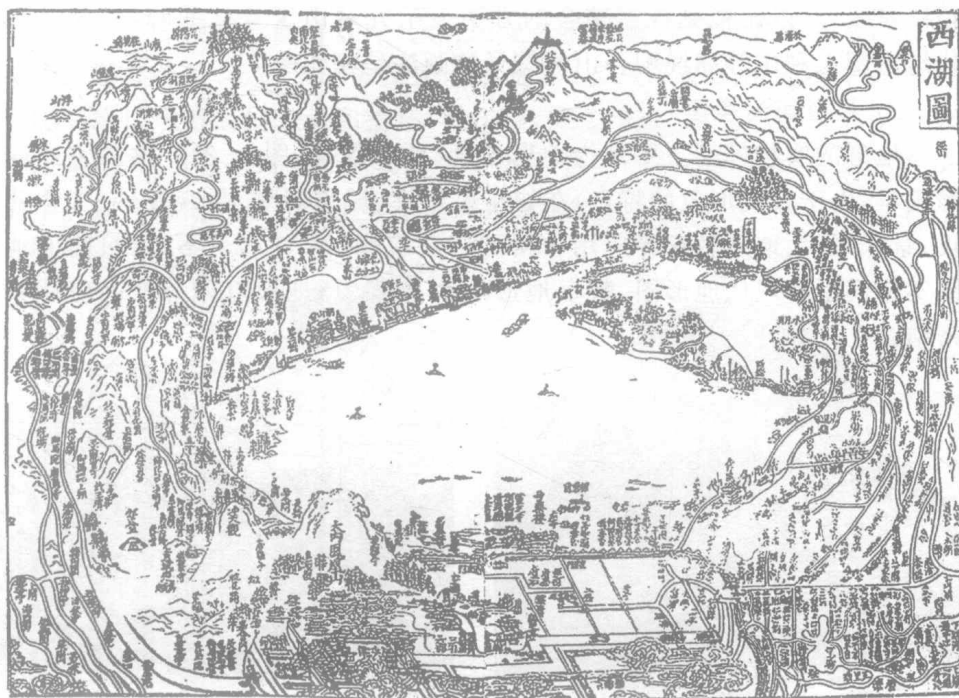


图 1-1 南宋咸淳四年(1268)《临安志》附图《西湖图》(选自清同治六年刊本)

在西方,主要是以地景素描方式,运用透视法则和素描画法概略地表示地貌形态和分布位置的方法,又称透视法。这种方法在 18 世纪以前为西方各国普遍采用,特别是地理大发现时代以来,西方的探险家与地理学家,主要采用这种方法来描绘地理景观(图 1-2)。

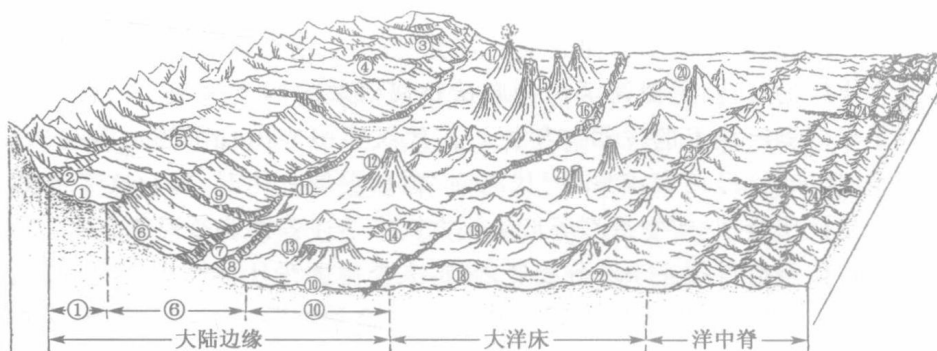


图 1-2 洋底地形地景素描图(郝庆祥 供图)

同时,地景绘图方式一般也是古地图的主要表现手段。古代地图除了采用地形绘景方式外,还采用象形符号,如山体用多组“^”符号(如中国方志地图)或毛虫法(西方近代地图),海洋、河流用波浪纹符号表达。我国很多古地图对山的表示都是很粗略的,而马王堆出土的两千多年前的帛地图中甚至采用了有投影概念的“山形线”画法,来具体表现山体范围、大小、走向等特征。同时,在山形线上加绘了“月牙形”符号,大概是表示山体外侧突出的具有军事上制高意义的山头、山嘴等。此外,在闭合的山形线内还辅以晕线,并以俯视侧视相结合的方法表示九疑山区耸立的峰丛,这与现代地形图上利用等高线配合山峰符号的画法是相似的。

2) 地形实物模型

地形的实物模型主要是指地形沙盘、地球仪等(图 1-3)。这种方式起源很早,由于直观形象的特点,在如军事指挥、城市规划、景观设计、工程建设、景区展示、地理教育等应用中得到广泛应用(图 1-4)。不过,目前的地形实物模型和现代地形图、数字地形表达甚至 3D 地形打印等产品应用紧密结合在一起(图 1-5,图 1-6)。



图 1-3 实物地形沙盘(瑞士英格堡)

(来源:Toni Mair 制作(1:10 000),
<http://www.mair-relief.ch/>)

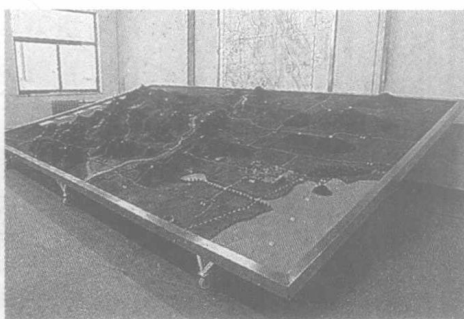


图 1-4 军事沙盘

(来源:北京四维瀚景科技有限公司,
<http://cn.made-in-china.com/>)

传统地形实物模型一般是指以石膏、塑料等材料根据等高线按一定比例缩小塑造、压膜成型来表示地形起伏的实物模型。而在现代数字战场应用中,军事仿真沙盘系统充分运用传统地形沙盘、数字仿真、多媒体展示等综合技术,具备实训教学、军事模拟、应急预案、动态仿真、形势推演等多种

功能。

近年来,在地形实物建模中,引入光电控制、多媒体、虚拟现实等先进技术,把独特的声、光、电、水等高新技术不断应用到地形模型制作当中,加入光控、遥控、感应控制、语音控制功能,分区演示功能,真水真喷和雾化功能,利用特殊光源和动感胶片制作动感水等。在较大规模的建筑模型中,还可与多媒体电脑联网,建立触摸式信息平台。

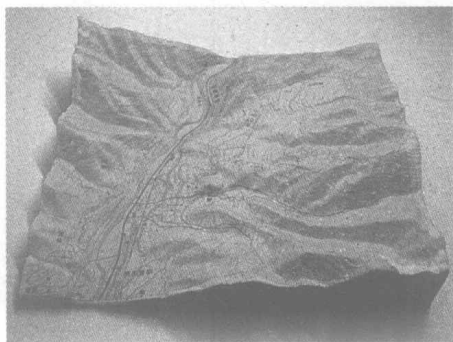


图 1-5 3D 打印地形图



图 1-6 3D 打印数字沙盘(东京地区)

(来源:日本国土地理院 <http://www.gsi.go.jp>)

3) 地图与地形图

地图是一种古老而有效、一直沿用至今的精确表述地表的方式。古代地图运用半符号、半写景的方法来表示地形,实现了在二维介质平面上对实际三维地形表面的表示和描述(图 1-7,图 1-8)。现代地图按照一定数学法则,运用符号系统概括地将地面上各种自然和社会经济现象表示在平面上。现代地图的最大优点在于具有可量测性。



图 1-7 天水放马滩纸地图

(来源:甘肃省博物馆(收藏地)

<http://www.gansumuseum.com>)



图 1-8 现存最早在中国制作的地球仪

(来源:大英博物馆(British Museum))

地图上表示地貌,一般有以下要求:

- 便于确定地图上任意一个地面点的高程。
- 便于判断地面的坡向、坡度并量测其坡度。
- 便于清楚地识别各种地貌的类型、形态特征、分布规律和相互关系,量测其面积和体积。

现代地形图主要采用等高线来表现地形要素。在各种地图中,用来

准确描述地貌形态的是等高线地形图。在等高线地形图上,所有的地形信息都正交投影在水平面上,用线划符号或点状符号表示按比例缩小后的地物,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。现代地形图一般是运用航空摄影立体测图原理,基于航空立体像对,采用透视法则,制作等高线,这样绘出的地图图形(等高线)能较为科学地表示地貌的形态、位置、高度等,保证显示的地貌具有科学性,但立体效果、精度仍不够理想。

等高线法(Contouring Method)几乎与晕滃法同时出现,都是以测量技术为基础而产生的。实际上在制作晕滃地图时,晕滃线的描绘就以假想的等高线为控制线,即将每一根晕滃线的两端定位在相邻的“等高线”上。但最早的等高线地图,是在1920年代航空摄影测量技术出现之后才大量生产的,该技术提高了测图的速度和精度。等高线以一种简洁而又严谨的方式来记录和传播地貌的几何形态、高程与高差、坡度与坡向。然而,它的缺点也很明显:缺乏立体感,难以直观理解。为此,地图学者通过改变等高线的线划粗细(或颜色)来改良其三维效果。常用的方法包括“粗细等高线”和“明暗等高线”。前者的做法之一是高程越大,等高线的线划越粗,同一海拔高程的等高线等粗,此法绘制技术简单,但三维效果不明显。做法之二是遵循光影原理,山体越暗的部位,等高线线划越粗,因此,每根等高线在不同位置上的线粗不同。此法立体感强,但绘制复杂,明暗等高线法也遵循光影原理,所不同的是要在图上均匀渲染一缕中等亮度的颜色,处于迎光面的等高线绘以较亮色(游雄,2000)。

对具有三度空间的地貌,如何表示到地图这个二度空间平面上,使之既有立体感又有一定的数学精度,以便进行上述的各种量测,人类经历了漫长的历程和多种尝试,创设了多种地图上表示地貌的方法。这些方法又往往与地形图上等高线表示法结合起来,可称为地形图的立体表示法。

现代地形图的立体表示方法一般包括写景法、地貌晕滃法、地貌晕渲法和分层设色法四种:

(1) 写景法(Scenography)

在现代地图制作中,一般以地形图为基础,参用古代地图中的写景表示法,既可以运用西方地景素描法,利用透视法则来展示地表形态及其景观特征;也可以运用中国古代写意画法来描绘山水地貌(图1-9,图1-10)。这种表示手段,一般以现代地图的表示手段为主,辅助性采用写景法,来增加地图的立体感与艺术表示力,因此除了地貌要素多用俯视写景表示外,其他地图要素仍多用正射投影图形。

以透视写景法为例,常用的绘制方法有:①传统素描法;②三度空间定点法:先定出主要山头及其特征点的空间位置,再用线条或着色造成光线暗影以塑造立体形态;③用平行地形剖面,然后按一定方法叠加,再经地貌塑形。