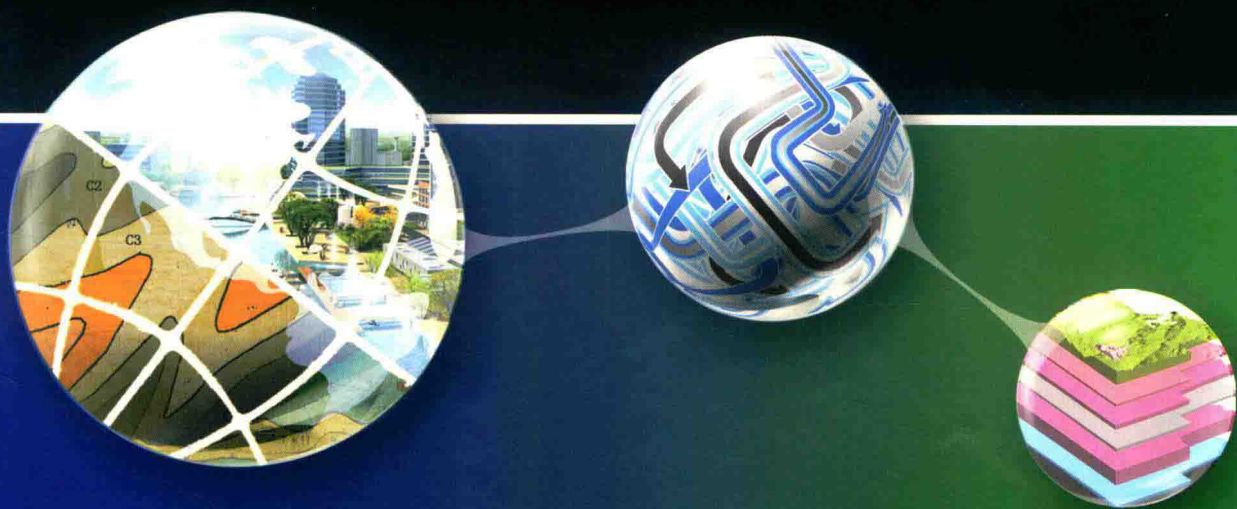


Applying Geographic Information
System to Urban Studies: a Manual

地理信息系统在城市研究 中的应用实验教程

向华丽 贺三维 张俊峰 编著



中国地质大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS

地理信息系统在城市 研究中的应用实验教程

Applying Geographic Information System to Urban Studies: a Manual

向华丽 贺三维 张俊峰 编著



中国地质大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS

内 容 简 介

本书是作者在多年从事地理信息系统应用教学与科研的基础上编著而成。全书共6章,第一章探讨了地理信息系统在城市研究中的应用现状;第二章主要介绍了城市地形数据分析原理、操作与案例;第三章概述了空间插值的基本原理,并详细描述了空间插值在城市环境中的应用操作与案例;第四章概述了路径分析与网络分析的基本原理,并详细描述了网络分析在城市空间可达性分析中的操作与案例;第五章概述了空间计量分析的基本原理,并详细描述了空间计量分析在区域经济发展格局及驱动力研究中操作与案例;第六章为基于地理信息系统的城市专题信息系统建设案例,主要介绍了城市管网信息系统、城市规划管理信息系统和数字化城市管理信息系统3个具体城市专题信息系统的建设内容、建设过程、建设中的主要规范、系统中主要技术和系统实施的各项管理制度;最后以华为和IBM“智慧城市”建设方案为例,概述了“智慧城市”建设理念。

本书可以作为高校城市管理等非地理信息系统专业本科生学习《地理信息系统》和《城市管理信息系统》等课程的案例与实验教材,也可用作其他需要使用空间分析、空间计量分析的经济、法律和管理等学科的本科生、研究生及科研人员的操作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统在城市研究中的应用实验教程/向华丽,贺三维,张俊峰编著. —武汉:中国地质大学出版社,2016.10

ISBN 978-7-5625-3827-1

I. ①地…

II. ①向…②贺…③张…

III. ①城市-地理信息系统-教材

IV. ①TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 246934 号

地理信息系统在城市研究中的应用实验教程

向华丽 贺三维 张俊峰 编著

责任编辑:王 荣

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cug.edu.cn

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:234千字 印张:9.125

版次:2016年10月第1版

印次:2016年10月第1次印刷

印刷:武汉市籍缘印刷厂

印数:1—1000册

ISBN 978-7-5625-3827-1

定价:28.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

目 录

第一章 GIS 在城市研究中的应用现状	(1)
第一节 地理信息系统新的机遇与挑战	(1)
第二节 地理信息系统的推广应用	(1)
第三节 地理信息系统在城市社会科学研究中的新应用	(2)
第二章 GIS 在城市地形和水文分析中的应用实验	(4)
第一节 数据准备	(4)
第二节 常见的地形制图法	(7)
第三节 地形要素	(13)
第四节 综合案例分析	(17)
第三章 GIS 在城市环境中的应用实验	(30)
第一节 概念梳理	(30)
第二节 全局插值法	(31)
第三节 局部插值法	(33)
第四节 空间插值方法的比较	(40)
第五节 综合案例分析	(40)
第四章 GIS 在城市空间可达性中的应用实验	(48)
第一节 最小耗费路径分析	(48)
第二节 地理网络分析	(54)
第三节 综合案例分析	(60)
第五章 GIS 在城市经济发展中的应用实验	(65)
第一节 空间格局表征和计量	(65)
第二节 探索性空间数据分析	(67)
第三节 空间回归分析	(74)

第四节 案例分析	(78)
第六章 基于地理信息系统的城市专题信息系统建设案例	(87)
案例 1 城市管网信息系统建设案例	(87)
案例 2 城市规划管理信息系统建设案例	(96)
案例 3 数字化城市管理信息系统建设案例	(104)
案例 4 智慧城市的建设与建设策略案例	(119)
主要参考文献	(138)

第一章 GIS 在城市研究中的应用现状

第一节 地理信息系统新的机遇与挑战

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是一门综合性学科,结合地理学与地图学以及遥感和计算机科学,已经广泛地应用在不同的领域,是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统,随着 GIS 的发展,也有称 GIS 为“地理信息科学”(Geographic Information Science),近年来,也有称 GIS 为“地理信息服务”(Geographic Information Service)。GIS 是一种基于计算机的工具,它可以对空间信息进行分析和处理(简而言之,是对地球上存在的现象和发生的事件进行成图和分析)。GIS 技术把地图这种独特的视觉化效果和地理分析功能与一般的数据库操作(例如查询和统计分析等)集成在一起。

古往今来,几乎人类所有活动都是发生在地球上,都与地球表面位置(即地理空间位置)息息相关,随着计算机技术的日益发展和普及,地理信息系统以及在此基础上发展起来的“数字地球”“数字城市”在人们的生产和生活中起着越来越重要的作用。

从城市角度来看,叶嘉安(2016)一方面肯定了地理信息系统在智慧城市建设中的作用。如地理信息系统为智慧城市建设提供了空间数据基础,为集成其他建设信息提供了空间参照系统。与此同时,地理信息系统还可以为收集、存储、分析和展示这些与空间相关的信息提供相应的理论和方法,为智慧城市建设提供服务和决策支持。另一方面也指出智慧城市为现有的地理信息系统在海量异构大数据方面带来了新的挑战。龚雅健(2013)基于“时空过程模拟与实时 GIS 系统”项目,指出时空信息在智慧城市建设中的重要性,希望在智慧城市的时空信息技术支撑方面取得一定的突破,从而为智慧城市建设贡献力量。

隋殿志等(2014)指出新兴的开放文化将会急速地改变游戏规则,并对技术发展、科学研究、商业实践、政府决策,甚至是个人消费产生极其深远的影响。开放式 GIS 范式提供了解决 GIS 问题的最好答案之一,如在解决最优决策和智能功能方面。开放式 GIS 的机遇至少体现在以下 4 个方面:①技术发展,技术的发展与突破可解决空间上的海量数据所带来的问题;②应用开发,主要是用于集体或个人决策的应用程序的开发;③好奇心驱使下全民参与的机会,地理科学可以发展成一种开放性的全民科学,人们将对我们日益变化的地球增进了解;④教育的机遇,将通过开放式 GIS 更好地实现在线教育。

第二节 地理信息系统的推广应用

20 世纪 70 年代,是 GIS 理论探索、技术储备的重要时期,进入 80 年代,出现了商业化运作的 GIS 软件产品,开始在发达国家推广。至少在如下领域出现了很多基于 GIS 的实用信息

系统:

- (1) 土地、房产管理(包括房地产税收)。
- (2) 农业、土壤、水资源评价、规划。
- (3) 森林采伐、养育。
- (4) 资源调查、地质勘察。
- (5) 环境监测、评价。
- (6) 市政、公用设施管理。
- (7) 交通运输。
- (8) 城市建设管理(包括城市规划、市政管理等)。
- (9) 国防、军事。

20 世纪 90 年代是 GIS 应用扩展时期,物流、服务设施选址、医疗卫生、治安、防灾、救灾等领域也得到应用。进入 21 世纪,借助互联网,特别是移动互联网,GIS 走向大众化,其中车辆导航、面向公众的地图浏览是两个迅速普及的领域(宋小冬等,2010)。

第三节 地理信息系统在城市社会科学研究中的新应用

地理信息系统除了在城市信息化建设方面得到充分应用外,近年来,随着大数据时代的到来,使得地理信息系统在社会科学领域的应用研究也得到了快速发展。王法辉(2011)指出“空间化”是社会科学近年来发展的潮流之一。社会科学的发展遇到更多的空间问题,这些问题的复杂性需要系统的科学方法来解决,例如全球化带来的区域间空间相互作用、环境变化中自然与人文因素的地域性。围绕这一主题的相关学术会议层出不穷,相关专著也越来越多。美国加州大学圣达巴巴拉分校的空间综合社会科学研究中心(Center for Spatially Integrated Social Sciences, CSISS)就是在美国国家科学基金(National Science Foundation, United States, NSF)资助下于 1999 年创建并发展起来的,为促进各种社会科学和行为科学中空间因素的分析发挥了重要作用。英国伦敦大学学院(University College London)的高级空间分析中心(Centre for Advanced Spatial Analysis, CASA)也集聚了地理学、经济学、城市规划、物理学、计算机科学等多学科的专家,集中研究社会经济系统在时空演变中的客观规律以及相应的政策与规划手段。哈佛大学 2005 年成立了一个地理分析研究中心(Center for Geographic Analysis),宗旨就是要推动空间分析和地理信息系统在人文与社会科学研究中的应用,中国历史地理信息系统(China Historical GIS, CHGIS)就是他们与中国学者合作的代表作。另外也属于常青藤联盟的布朗大学,近年来也在空间社会科学结构(Spatial Structures in Social Sciences, S4)的旗帜下着力整合社会科学中关注空间问题的各方面的学者,推动社会科学的空间化。

以下三个实例说明 GIS 在城市相关社会科学领域中的应用,分别是城市社区管理、城市环境管理与城市人群行为研究。

1. 城市社区管理研究

Gordon-Larsen 等(2006)分析健身设施的地理和社会分布及其可获得性的差异性与肥胖的关系。基于 Logistic 回归在社区空间尺度上检验了健身设施与社会经济水平间的关系;基于个人为样本单位,检验了健身设施与超重、体育锻炼间的联系。结果表明,高的社会经济水

平区域具有高的健身设施可获得性,低的社会经济水平以及种族较多的区域具有较低的健身设施可获得性。基于边际效应的角度,增加一单位的健身设施就会相对增加一周大于等于5次的适度体育锻炼从而减少超重。显然,随着空间数据的普及以及GIS技术的发展,使得社会科学中传统的以人或家庭户为样本的计量分析逐步拓展到了以区域(不同空间尺度)为样本的计量分析,使得很多具有地域性的问题得到了定量的解答。

2. 城市环境管理

Michael等(2003)基于三个出生队列分析了交通大气颗粒物污染对哮喘发病率的影响。基于计量模型估计了荷兰,德国的慕尼黑,瑞典斯德哥尔摩三个城市社区人口交通大气颗粒物污染长期暴露平均水平。在1999年2月到2000年7月约1年时间内每两个星期1次在选择的监测点对大气颗粒物浓度进行测度,并对这些测度值计算年平均浓度。基于GIS搜集交通相关的变量,如人口密度、交通密度,并基于回归模型预测年平均大气颗粒物浓度。从这些模型,我们可以估计队列成员家庭周边大气颗粒物浓度。结果表明:使用交通相关的变量回归模型能够分别解释三个城市大气颗粒物浓度变化的73%、56%和50%。对过滤吸光度,回归模型分别解释了大气颗粒物浓度变化的81%、67%和66%。交叉验证估计的模型预测误差表示根均方误差PM_{2.5}为1.1~1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,吸光度为(0.22~0.31) $\times 10^{-5}$ m。因此,交通变量能够解释所有位置大气颗粒物年平均浓度的大部分变化。这个方法可以用来估计个人暴露与流行病学相关性研究,能够替代代理变量或传统利用周边环境监测数据的方法。

3. 城市人群行为研究

引用最多的文章是基于10万移动电话用户6个月的轨迹数据进行人类行为研究(Gonzalez et al,2008)。大量的移动轨迹数据蕴含人类行为的时空分布特性,对其研究可以挖掘人们的移动模式,理解人类行为动力学特征,同时了解用户所在区域的生活方式、地理环境、交通状况、发展水平等,进而为城市建设、道路规划、社会发展等提供参考。邓中伟(2012)指出在个人移动通讯、自动导航以及云计算普遍使用的今天,交通信息服务已经进入到智慧地球和自发式地理信息时代,导致了居民活动数据的获取和分析方式的巨大变化。并研究如何通过对海量异源异构数据进行有效整合,利用空间分析和智能化方法相结合的手段,提取和表达蕴含在居民出行轨迹数据中大量的人类活动信息和时空行为模式,对交通需求进行基于活动的预测管理,为城市交通拥挤问题提供解决方案。毛峰(2015)指出通过对城市当中多种异源异构的人类行为轨迹数据的获取、整合、分析和挖掘,来提取关于城市在职住空间方面的知识和智能,可有效识别和分析城市职住空间的特征。

第二章 GIS 在城市地形和水文分析中的应用实验

在传统的地形图中,用等高线、地貌符号及必要的数字注记表示地形,用各种不同符号与文字注记表示地面物体的位置、形状及特征,这都是将地面上的信息用图形与注记的方式表示在图纸上,这种优点在于能很直观地把地貌、地物以及各种名称表现出来,便于人工使用。但是,随着计算机技术和信息处理的飞速发展,纸质地图不能被计算机直接利用,无法满足各种工程设计自动化的要求,因此,地图的数字化产品逐步开发应用。在地图的数字化产品中,数字高程模型是一种典型的数字化产品,具有广泛的实际应用价值。

数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)概念于1958年由 Miller 首次提出,数字地面模型(Digital Terrain Model,DTM)是对地球表面实际地形地貌的一种数字建模过程(杨德麟,1998)。后来人们把基于高程或海拔分布的数字高程模型简称为 DEM,DEM 是建立 DTM 的基础数据,其他的地形要素可由 DEM 直接或间接导出,如坡度和坡向。目前 DEM 在水文建模、滑坡圈绘、土壤侵蚀、矿山工程、防洪、军事工程、飞行器与战场仿真等诸多领域得到了广泛应用(汤国安等,2001;李翀等,2004;He et al,2012;汤国安,2014),DEM 自开始被采用以来,就因为其很强的应用性,受到了研究者极大的关注。

本章第一节介绍三种主要的 DEM 数据类型;第二节介绍常用的地形制图类型;第三节介绍四种地形要素;第四节是典型案例分析,并附以具体的操作步骤,以供读者进行操作训练。

第一节 数据准备

地球表面有山川河流,其延绵起伏的地表是地图制作者所熟悉的。地形制图和分析技术的快速发展使 GIS 融入到各种应用领域中。DEM 是地表形态的数字化表达和模拟,表示高程点的规则排列。DEM 具体定义为通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟,是在计算机存储介质上科学而真实地描述、表达和模拟地形曲面实体,其建立实际上是一种地形数据的建模过程,是 DTM 的一个分支。随着 GIS 的发展,DEM 成为空间信息系统的一个重要组成部分,在测绘、遥感、军事、工业等行业有广泛的应用。

DEM 也可以用数学表达式表达,是指在区域 D 上的三维向量有限序列 $\{V_i = X_i, Y_i, Z_i; i = 1, 2, 3, \dots, n\}$,其中 $(X_i, Y_i \in D)$ 是平面坐标, Z_i 是 (X_i, Y_i) 的高程。DEM 数据模型主要包括规则格网、不规则三角网、等高线、离散点、断面线和混合式六种类型(谭仁春等,2006)。离散点数据模型,用散点的方式存储每个点的 X 、 Y 、 Z 值;不规则三角网数据模型,包括组成不规则三角形的点、线、面;等高线的数据模型,以等高线的方式记录高程位置信息;断面线 DEM 数据模型,断面线上按不等距离方式或等时间方式记录断面线上点的坐标;规则格网 DEM 数据模型,以行列的方式记录每个点的三维坐标值;混合式 DEM 数据模型,主要在已有的 Grid 基础上增加地形特征线和特殊范围线,规则格网 DEM 被分割从而形成一个局部的不规则三

角网。其中规则格网、不规则三角网最常用,且二者可以相互转换,同时也基本满足了地学研究 and 应用的需求,因此我们主要介绍这两种数据。

1. 规则格网

规则格网数据模型的数学含义是指在高斯投影平面上一系列在 X, Y 方向上等间隔排列的地形点的平面坐标 (X, Y) 及其高程 (Z) 的数据集。其任意一点的 P_{ij} 的平面坐标可根据该点在 DEM 中的行列号 i, j 及存放在该 DEM 文件头部或 DEM 辅助文件的基本信息推算出来。

矩形格网 DEM 的优点:存储量最小,数据采集自动化程度高,可以进行压缩存储,便于与遥感和栅格 GIS 结合,非常便于使用而且容易管理,因而是目前应用最广泛的一种形式。

矩形格网 DEM 的缺点:对山区、丘陵或地貌比较破碎地区,在格网中地形的结构和细部点的高程比四个格网点的高程都高或都低时,这些部分的内插高程与实际高程有一定的误差,所以不能正确表达地形的结构和细部,因此,基于 DEM 描绘的等高线不能正确地表示地貌。

为了完整地表示地貌,可以采用附加地形特征数据,如特征点、山脊线、山谷线等,从而构成完整的 DEM(郭庆胜等,2008)。无论 DEM 的数据从何而来,在做地形制图与分析之前,基于点的 DEM 数据必须首先转换成栅格数据格式,这样 DEM 数据中的高程点就会置于高程栅格的像元中心,DEM 和高程栅格数据就可以相互转换。虽然数字地形分析中的各种地形地貌因子和地形特征在不同结构的 DEM 上都可产生,但以在格网 DEM 上的实现最为简单,效率也最高。目前,许多国家的 DEM 数据都是以规则格网的数据矩阵形式提供的。

图 2-1 为我国格网 DEM 图,将其慢慢放大直至可见一个一个的栅格[图 2-1(c)],每个栅格的灰度值即对应一个高程值。根据颜色的深浅可判断出图 2-1(a)、(b)中的山谷线和山脊线,请读者思考。

2. 不规则三角网(TIN)

TIN 是指用一系列无重叠的三角形来近似模拟陆地表面,从而构成不规则的三角网。TIN 是 DEM 中一种很重要的数据模型,被视为最基本的一种网络,它既可适应规则分布数据,也可适应不规则分布数据;既可通过对三角网的内插生成规则格网网格,也可根据三角网直接建立连续或光滑表面模型,TIN 与规则格网 DEM 数据相对比,TIN 是基于高程点的不规则分布(朱庆等,1998)。由于构成 TIN 的每个点都是原始观测数据,避免了 DTM 内插的精度损失,所以 TIN 能较好地顾及地貌特征点、线,表示复杂地形比矩形格网精确。但是,TIN 的数据量较大,因为不仅要存储每个网点的高程,还要存储其平面坐标、网点连接的拓扑关系、三角形及邻接三角形等信息,另外数据结构较复杂,因此使用与管理也较复杂。研究能适应于海量数据的、高效的和符合实际应用需求的 TIN 的生成方法就是为了找到一种能高效建立数字高程模型的方法,使我们能够将数字高程模型应用到更广泛的地学领域中去。

TIN 的模型如图 2-2 所示。首先此模型是指根据区域内有限个点集将区域划分为相连的三角面网络,此时区域内的任意点与三角面的关系只有三种,即落在三角面的顶点、边上或三角形内。根据点落的情况,可以将点的高程值用以下三种情况分析:如果点落在三角形的边上,则其高程值用两个顶点的高程;如果点落在三角形内,则用三角形三个顶点的高程值表示;如果点落在顶点上,则用顶点的高程值表示。如果点没有落在顶点上,则需要用插值法来计算出来。

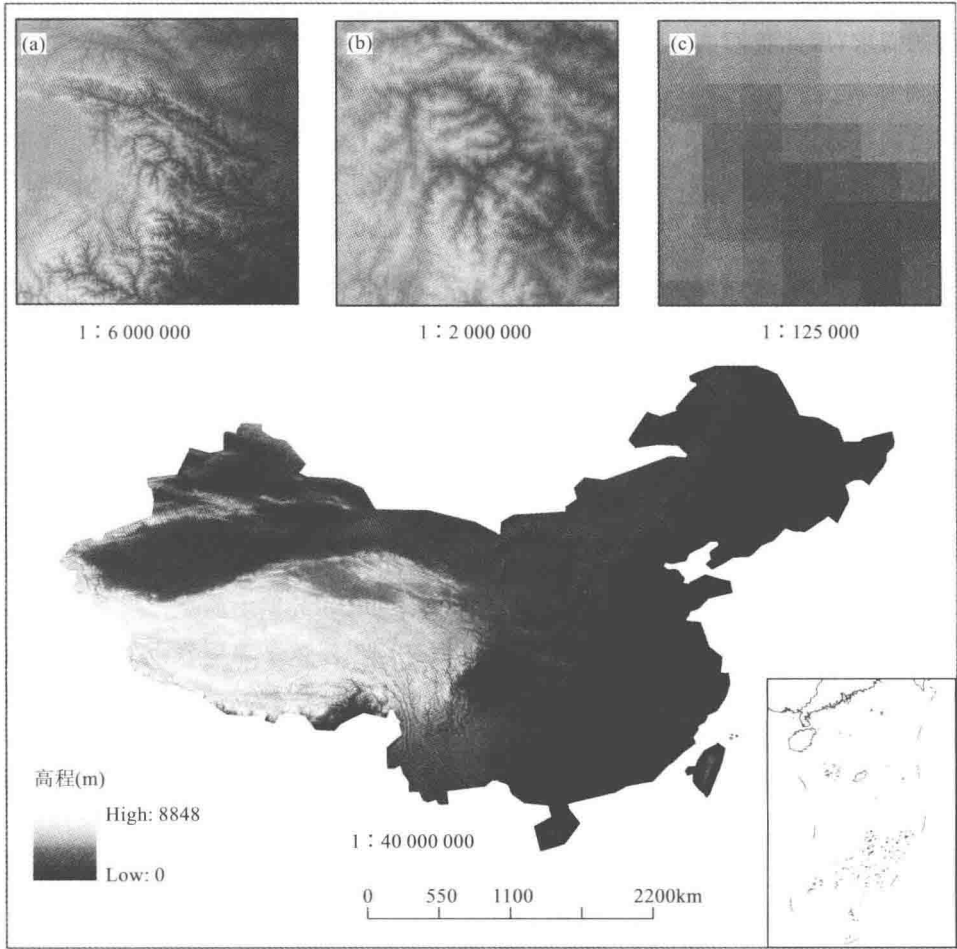


图 2-1 我国格网 DEM 示意图

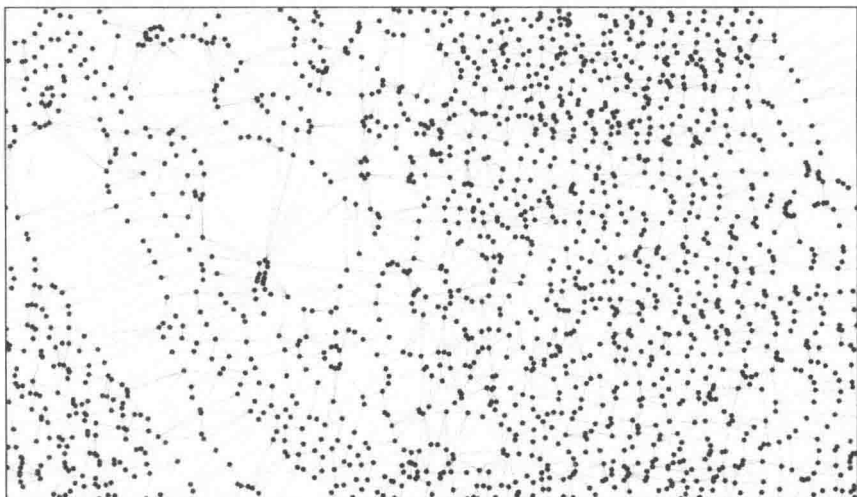


图 2-2 TIN 示意图

第二节 常见的地形制图法

本节介绍五种地形制图技术:等高线法、垂直剖面法、地貌晕渲图法、分层设色法和透视图法(Collier et al,2003)。

1. 等高线法

等高线是表示高程值相同的点的连线,是特殊的等值线。由等高线法制成的地图称为等高线地图,等高线地图是用二维平面表示三维地形的重要工具,等高线是地图学中最常用的地理要素,是地理信息系统最基础的数据。基于等高线的三维真实感地形的重建,摆脱了等高线二维图形表现地形、地貌特征的局限性。利用等高线数据构造三维地形不仅能保证一定的几何精度,而且数据易于获得,包含有丰富的地形地貌特征。

目前,人们普遍认为用等高线正射投影法在地图上描绘地形,是表示地形起伏几何信息的最好方法。等高线就是与水平面平行的平面上的曲线,这些平面线上各点的高程相等,此高程就是相应等高线的高程。其本质上是一种虚构的线条,在实际地貌中并不存在。该方法的优点是等高线以一种简洁而又严谨的方式记录和传播地貌的几何形态、高程与高差、坡度与坡向,适合专业人士用图。其缺点是缺乏立体感,难以直观理解,不能产生直观形象的立体感,与真实的地貌形态具有很大差异。

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。如图 2-3 所示,它具有以下特性:在同一条等高线上各点的高程相同;等高线不相交;等高线是一条连续闭合曲线,但在了一幅图上不一定全部闭合;等高距全图一致;等高线疏密反映坡度缓陡;等高线与山谷线、山脊线成正交,山谷线突向高处,山脊线突向低处,等高线密集的区域表示此地区地形陡峭。根据此特性,读者可判断图 2-3 中西边山坡与东边山坡哪一边更加陡峭,并辨别出山谷和山脊。

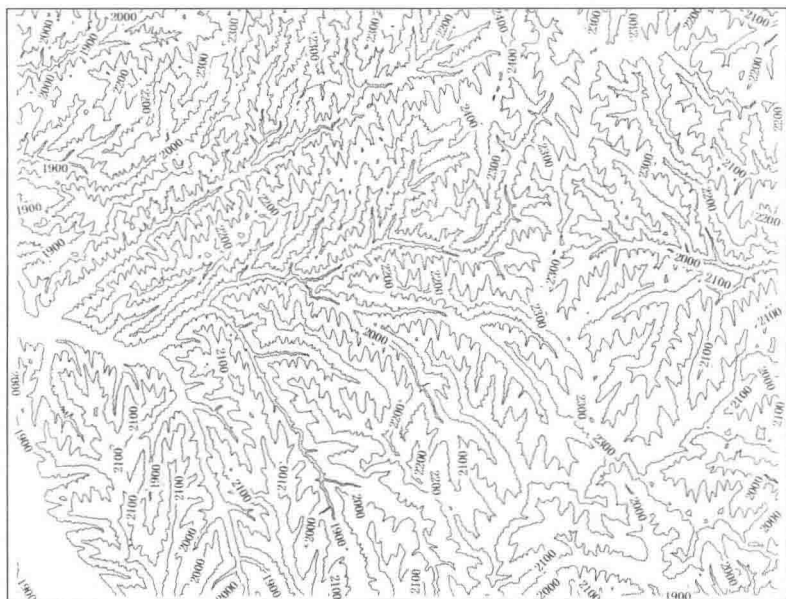


图 2-3 等高线法

习作 2-1 生成等高线并进行等高线标记

所需数据:dem,一个像元大小 25m 的高程栅格。

(1)启动 ArcMap,添加 dem 到 Layer,重命名为 Task1。确认 Tools 菜单下 Customize 和 Extensions 中的 3D Analyst 均已打钩。

(2)双击 dem 图层,点击 Source 选项卡。对话框中显示出 dem 属性有 910 列、749 行,像元大小为 25m,值域为 1801~2432m。且 dem 是浮点型的 ESRI 格网(grid)。

(3)在菜单栏上打开 ArcToolbox,依次选择 3D Analyst Tools→Raster Surface,双击 Contour,打开对话框,在 Input raster 下选择 dem,在 Output polyline features 选择保存路径并命名为 contour. shp,在 Contour interval 一栏中输入 100,表示等高线间隔为 100m,点击 OK。

(4)图层 contour. shp 会被自动加载到 ArcMap,右击选择 Properties,打开 Layer Properties 的对话框,选择 Labels 栏,勾选 Label features in this layer,选择 Contour 作为 Label Field。

(5)在 Labels 栏下点击 Symbol,继续点击 Edit Symbol,在弹出的对话框中选择 Mask 选项栏,选择 Halo,点击确定。

(6)在 Labels 栏下点击 Placement Properties,在 Position 一栏仅勾选 On the line,点击确定。根据需要,可以设置等高线的颜色、粗细等。

2. 垂直剖面法

垂直剖面一般是沿地表某一线(如河流、山脊)的高度向下作垂直切面而形成的直观形象的剖面,它能更加直观地反映某个地区地势高低起伏状况(曲均浩等,2007)。在手工绘制垂直剖面图时,是以等高线地形图为基础转绘而成的,自动绘制剖面图时,可在高程栅格、TIN 或 terrain 数据集表面上创建剖面(图 2-4)。

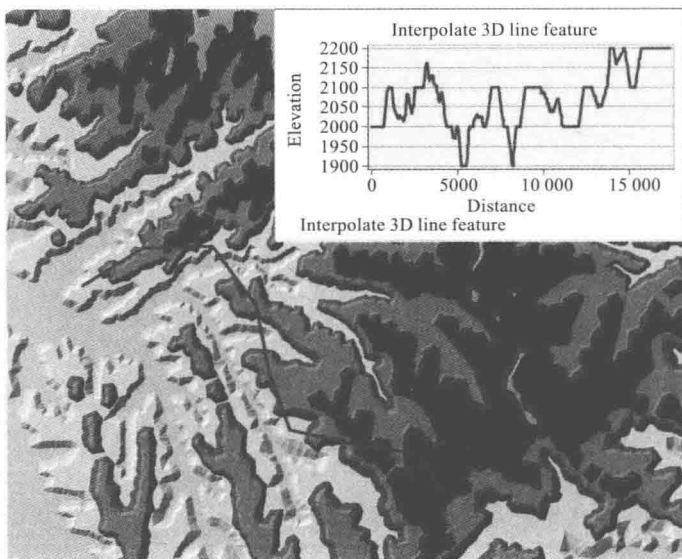


图 2-4 由 TIN 提取垂直剖面

习作 2-2 提取垂直剖面

所需数据: contour. shp, 为由习作 2-1 所生成的间隔为 100m 的等高线矢量图层。

(1) 启动 ArcMap, 添加 contour. shp 到 Layer。确认 Tools 菜单下 Customize 和 Extensions 中的 3D Analyst 均已打钩。

(2) 在菜单栏上打开 ArcToolbox, 依次选择 3D Analyst Tools→Data Management, 双击 Create TIN, 打开对话框, 在 Input Feature Class 下选择 contour. shp, 在 Output TIN 选择保存路径并命名为 TIN, 点击 OK。

(3) TIN 数据集自动加载到 ArcMap, 双击该图层打开 Layer Properties 对话框, 选择 Symbology 选项, 将 Edge types 前面检查框中的钩去掉, 点击确定。将图层 contour 前面检查框中的钩去掉。

(4) 在菜单栏空白处右击, 勾选 3D Analyst, 出现 3D Analyst 工具条, 单击 Interpolate line, 在 TIN 数据集上将折点添加到线后, 双击以停止数字化。

(5) 在 3D Analyst 工具条上选择 Profile Graph, 出现垂直剖面图。切换到 Layout view 页面, 单击 Profile Graph, 并右击选择 Add to Layout, 关闭原垂直剖面图。

(6) 双击 Profile Graph, 选择 Appearance, 在 Title 和 Footer 下均输入 Interpolate 3D line feature, 在 Axis properties 下 Left 选项 Title 处输入 Elevation, 在 Bottom 选项 Title 处输入 Distance。

3. 地貌晕渲图法

地球表面是个凸凹不平的曲面, 如何在一张平面的地图上表现出这种起伏不平的地貌, 使之既能定位、定量, 又有立体感, 是个比较复杂的制图问题。历代地图学家从不同角度、不同原理出发创造了很多表示方法。

晕渲法是指根据假定光源对地面照射所产生的明暗程度, 用相应浓淡的墨色或彩色沿斜坡渲绘其阴影, 造成明暗对比, 从而显示地貌的分布、起伏和形态特征。地貌晕渲图是指模拟太阳光与地表要素相互作用下的地形容貌, 通俗来讲就是光源从某个角度照射表面时所产生的明暗效果(吴樊等, 2003)。面光的山坡明亮而背光的山坡阴暗。由于这种光影阴暗法对地形起伏具有突出的表现力, 因此晕渲逐渐成为表达地貌立体感的主要方法之一。目前, 晕渲法是水平投影法中三维效果最好的一种地貌表示法。过去采用晕渲法表示地貌时, 工艺复杂、工作量大, 所以这种方法没有得到大规模的应用。从 20 世纪 90 年代开始, 随着计算机在各个领域的应用, 晕渲法才大量被应用于地图生产实际中。

通常最高品质的晕渲图都是天才艺术家手绘的, 绘制者必须技术高超, 同时也必须熟悉所绘地形的特征。随着技术的发展, 人们一直试图在制作过程中尽可能利用计算机, 使制作者所需的艺术才能减到最低限度。在计算机中生成地貌晕渲图的原理是: 首先在 DEM 数据的基础之上, 根据光照度、高程值及有关数据对地形进行建模, 再编程序输入计算机, 由计算机设备实现地貌渲染。具体来说, 是将地面立体模型的连续表面分割成许多个单元(如矩形), 然后根据单元平面与入射光线之间的关系计算出每个单元的光照度, 确定其灰度值, 并把它投影到平面上, 达到模拟现实地貌起伏的效果。当然, 单元选得越小, 表现的晕渲就越连续、自然。在这个过程中地貌晕渲视觉效果主要受太阳方位角和太阳高度角的影响。太阳方位角, 是光线

进来的方向,光线变化范围为顺时针方向 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$,一般默认的太阳方位角是 315° 。太阳方位角其实就是光源位置的意思,光源位置大体上有 3 种:直照光源、斜照光源和综合照光源。直照光源有助于表现地表的细部特征,斜照光源有利于表示地表的起伏,而综合光照结合直照和斜照的特点,表现地表的特征介于二者之间。太阳高度角是入射光线与地平线的夹角,变化范围为 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。地貌晕渲效果也受坡度和坡向的影响。

在制作地貌晕渲图时,不仅要考虑光影变化的要求,还要考虑色彩表现的要求,在设色时将色彩的立体特征与地形地貌特征相结合,根据地形地貌特征,设计相应的色彩,如红、橙、黄及其中间色有凸起感,为前进色,可用于表示山地等;青、蓝、灰及其中间色有凹下感,为后退色,可用于表示平原和谷地等。

图 2-5 是利用 DEM 数据由 GIS 软件自动生成的晕渲图,可以看出晕渲图能够很醒目地表示出区域总的地势起伏和地貌的整体格局以及区域内主要山脉、主要地貌的立体形象。



图 2-5 由 DEM 生成的地貌晕渲图

4. 分层设色法

分层设色以地貌等高线为依据应用颜色的饱和度和亮度变换,按不同高程带的自然象征色设色,来表现地貌形态和高度分布的特征(凌勇等,2009)。选用合理的颜色来显示不同的高程,一方面可以起到强调特殊的高程分区的作用,另一方面能够使地图具有明快、美观的立体效果,让读者清晰易读。

习作 2-3 生成地貌晕渲图

所需数据:dem,一个像元大小 25m 的高程栅格。

(1)启动 ArcMap,添加 dem 到 Layer。确认 Tools 菜单下 Customize 和 Extensions 中的 3D Analyst 均已打钩。

(2)在菜单栏上打开 ArcToolbox,依次选择 3D Analyst Tools→Raster surface,双击 Hillshade,打开对话框,在 Input raster 下选择 dem,在 Output raster 中选择保存路径并命名为 dem_hillshade,点击 OK。

(3)图层 dem_hillshade 会被自动加载到 ArcMap,右击选择 Properties,打开 Layer Properties 的对话框,选择 Symbology 栏,将 Color Ramp 改成绿色向红色渐变的彩色带。

(4)然后点击 Layer Properties 对话框中的 Display,更改 Transparency 的值为 50%。

分层设色地势图的立体感强,既能表示地势,又能在一定程度上表示各种地貌形态类型,区分高山、中山、低山、丘陵、平原、盆地等地貌单元。分层设色最重要的就是建立合适的高度表。每一张图都有自己的高程表,这是建立美观、协调、合理地势的重要依据。高程表的基本单元是等间隔的,每一个单元就是一个高程带,随地势增高,各高程带的等高距逐渐增大。每个高程带的界线是与地貌类型的界线相吻合的,高程带的交界也是颜色变更的界线。所以设计地貌高程表对地形表达有至关重要的作用。

设计地貌高度表的原则和步骤:

(1)确定研究区域内各种不同类型的地貌特征,这是确定高程带等高距的关键。

(2)划分高程带。在划分高程带过程中需要研究同类小比例尺地势图的高度带,为了更好地表示地形地貌,可以采取变动的等高距。在开发程度较高的地区,需详细表示这些地区的地表起伏,等高距略小;而对于可概略表示的高山区域,其等高距可大些。每个高程带应反映地面按高度分布的某种地貌类型,高程带的分界线选在地貌类型的变更线上。

(3)高程带设色的原则需按照人们阅读地势图的通常习惯,用象征色来表示不同的高程带,如陆地按地面由低到高的顺序,用绿、黄、棕等颜色分别表示平原、高原和高山地貌,绿色越浓,表示地势越低,黄色越深海拔越高,棕褐色越深,表示地势越高;海洋用浓淡不同的蓝色表示海洋的不同深度。雪线以上的地区通常用近似白色的浅紫色表示。

(4)通过不断地实验和调整高度表高程带,建立最终合适的高度表。

分层设色法就是在不同的高程梯级内,设以有规律的颜色来表现地貌的起伏。但分层设色法的优势并不在于其对山体三维效果的表达,而在于其表现了山体高度带的分布规律以及生动的背景效果。图 2-6 为由 DEM 生成的分层设色图。

5. 透视图法

透视图法是地形的三维视图。透视图主要受观察方位、观察角度、观察距离和竖向比例尺的影响。观察方位是指观察者到地面的方向,变化范围是顺时针 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$;观察角度是观察者所在高度与地平面的夹角,在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,观察角度为 90° 表示从地表正上方观察地面,观察角度为 0° 表示从正前方观察地面,因此观察角度是 0° 时三维效果最大;观察距离是观察者与地面的距离,可以调整观察距离来看近或者远看;竖向比例尺是垂直比例尺与水平比例尺的比率。图 2-7 是由 DEM 进行三维拉伸产生的透视图。



图 2-6 由 DEM 生成的分层设色图

习作 2-4 生成分层设色图

所需数据: dem, 一个像元大小 25m 的高程栅格。

(1) 启动 ArcMap, 添加 dem 到 Layer。确认 Tools 菜单下 Customize 和 Extensions 中的 3D Analyst 均已打钩。

(2) 双击图层 dem, 打开 Layer Properties 的对话框, 选择 Symbology 栏, 将 Color Ramp 修改为绿色向红色渐变的彩色带, 点击 Classify, 打开分类对话框。

(3) 将 Classes 修改为 6, 在 Break Values 里将前五个临界值修改为 1902、2002、2102、2202、2302, 点击 OK, 回到 Layer Properties 对话框。

(4) 在颜色分类指示框内, 单击 Label 栏, 选择 Format Labels, 在 Rounding 框内, 选择第一项 Number of decimal places, 并修改为 0, 点击 OK, 点击确定。由此将图例显示的数字变为整数。

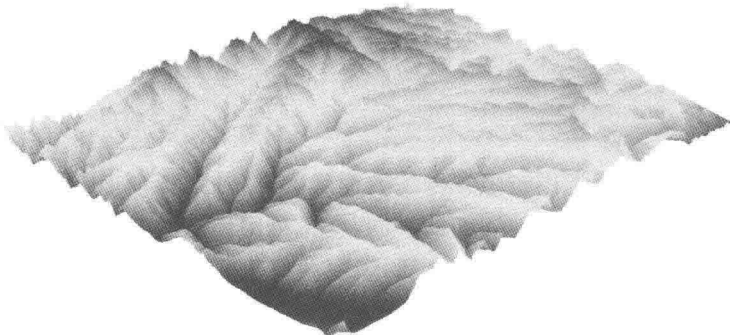


图 2-7 透视图