

信息边坡工程学的 理论与实践

谢谟文 蔡美峰 著

信息边坡工程学的理论与实践

谢谟文 蔡美峰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

信息边坡工程学相关的重点研究课题可以分为以下四个方面:稳定性分析课题、信息技术的应用课题、三维数据采集高技术手段和监测高技术手段。本书以稳定性分析及GIS信息技术应用为重点,主要讲述边坡三维稳定极限平衡法的GIS分析方法、数据处理及3DSlopeGIS系统开发和工程应用。对最新的三维数据采集及监测技术主要介绍飞机搭载三维激光扫描、地上型三维激光扫描及光纤应变监测技术等在边坡工程中的应用。

本书可供水电、采矿、土木工程、交通等领域从事岩土工程教学、设计及科研人员,以及GIS应用开发人员和相关大专院校的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

信息边坡工程学的理论与实践 / 谢谟文, 蔡美峰著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014815-0

I. 信… I. ①谢…②蔡… III. 地理信息系统-应用-道路工程-边坡稳定性 N. U416.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第141364号

责任编辑: 童安齐 / 责任校对: 柏连海

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第一版 开本: B5(720×1000)

2005年2月第一次印刷 印张: 12

印数: 1-2 000 字数: 240 000

定价: 25.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

(销售部电话: 010-62136131 编辑部电话: 010-62137026)

Expressing keen appreciation and dedicating this book to my research supervisor ;

Prof. Tetsuro Esaki

Mowen Xie

前 言

信息技术是当今发展最快的科学技术之一。它的快速发展改变着传统的科学研究方法,大大促进了其他学科的发展。

边坡失稳破坏引起的滑坡灾害的预测及防治是世界各国瞩目的研究课题,在我国尤其为此。我国是一个多山丘国家,在降雨、降雪及地震等外加不利因素的影响下,滑坡灾害的发生常常造成巨大的经济损失及人身伤亡,需要运用新的技术加以预测和防治。另外,在我国蓬勃发展的大型工程建设中还遇到大量棘手的边坡问题。边坡工程往往牵涉复杂的呈现时空四维分布的地理地质及水文信息,传统的分析方法很难有效地处理和分析这些时空数据,需要新的科学手段来解决。

本书将最新的 GIS 等信息技术与边坡稳定性分析的力学方法相结合,将传统的力学分析方法向信息化、可视化及时空四维化转换,介绍了一个新兴的研究领域——信息边坡工程学。岩土工程数值研究中占用时间最多的工作是数据准备和处理,有时一个小小的数据错误会耽误很多时间,而且某些数据更新后往往需要重新准备计算数据。本书将边坡工程与信息技术紧密结合,探索了 GIS 等信息技术在边坡工程中的应用方法、技术路线、技术难点以及完整的系统开发过程,提供了一个应用 GIS 信息技术解决土木工程领域专门问题的综合实施方案及技术路线。全书以解决应用技术及实际工程问题为目的,以大量的图表数据说明技术路线及实施方案,通过大量的应用实例说明了系统 3DSlopeGIS 的使用方法及有效性;通过介绍飞机搭载三维激光扫描、地上型三维激光扫描及光纤应变监测技术等,拓宽了信息边坡工程的研究内容和技术手段。著者希望通过本书的出版能够推动信息技术在土木工程中应用的理论研究与实践,推动我国的土木工程研究从传统的数学力学方法向信息技术方法转变。

信息工程学是一门内容丰富的新兴学科,鉴于著者的知识水平有限,书中难免有不当之处,请读者不吝指正。

著 者

2004 年秋于福岡和北京

• i •

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 滑坡灾害	4
1.3 边坡稳定性评价与 GIS	4
1.4 本书的主要内容	5
第 2 章 GIS 数据结构	7
2.1 GIS	7
2.2 GIS 数据结构	8
2.3 GIS 与边坡稳定	12
第 3 章 基于 GIS 的边坡三维极限平衡模型	14
3.1 GIS 栅格数据与边坡三维极限平衡的柱体分析方法	14
3.2 模型 1:经典柱体单元模型	20
3.3 模型 2:扩展的 Bishop 三维模型	23
3.4 模型 3:扩展的 Janbu 三维模型	24
3.5 模型 4:基于滑动面上正应力分布假定的方法	24
3.6 边坡破坏概率计算	27
3.7 迭代计算	29
3.8 算法实现	30
第 4 章 边坡三维危险滑动面搜索	33
4.1 Monte Carlo 模拟方法	33
4.2 随机变量及其范围	34
4.2.1 椭球的三个轴参数	34
4.2.2 椭球中心点	36
4.2.3 椭球的倾角	36
4.2.4 Monte Carlo 随机变量的产生	36
4.3 算法实现	37
4.4 例题计算	38
4.4.1 实例 1:各向同性均质边坡	38
4.4.2 实例 2:有夹层的边坡	40

4.4.3 实例 3:带有不连续弱面的边坡	42
4.4.4 实例 4:土层人工边坡	43
4.4.5 实例 5:含有断层和地下水的三维边坡	44
4.5 结论与讨论	45
第 5 章 边坡单元划分	46
5.1 栅格单元与边坡单元的定义	46
5.2 基于数值地形的边坡单元划分方法	47
5.3 边坡单元的特征	51
5.4 实例	52
第 6 章 系统开发	54
6.1 系统开发说明	54
6.2 3DSlopeGIS-1:用于滑坡灾害分区	54
6.2.1 说明	54
6.2.2 三维边坡稳定性计算算法实现	55
6.2.3 功能介绍与计算步骤	55
6.3 3DSlopeGIS-2:用于单一边坡稳定评价	64
6.3.1 模型简介	64
6.3.2 计算程序实现	66
6.4 考题验证	68
6.4.1 考题 1	68
6.4.2 考题 2	71
6.4.3 考题 3	71
第 7 章 系统应用的工程实例	73
7.1 日本长崎县:佐世保原分地区滑坡灾害分区	73
7.1.1 基本信息	73
7.1.2 边坡单元	81
7.1.3 三维滑坡灾害图	83
7.2 日本福岛县:49 号公路沿线滑坡灾害分区	89
7.2.1 引言	89
7.2.2 研究方法	90
7.2.3 49 号公路沿线某段滑坡灾害图	94
7.3 日本熊本县水螟地区:滑坡发生地周围类似滑坡再发分析及灾害评价	96
7.3.1 引言	96
7.3.2 本次破坏机理分析	97
7.3.3 周围区域类似滑坡再发可能性分析	100
7.3.4 滑坡灾害评价	104
7.3.5 小结	107

7.4 日本长崎县:云仙火山喷发物熔岩裂块的三维稳定性评价	108
7.4.1 基础数据和 GIS 数据准备	108
7.4.2 三维危险滑动面搜索中合适随机参数选择	110
7.4.3 11 [#] 火山熔岩裂块的全局和部分三维稳定性研究	114
7.4.4 小结	116
7.5 湖北清江:茅坪滑坡三维稳定性评价	117
7.6 首钢水厂铁矿:大型深凹边坡的三维稳定评价	119
7.6.1 介绍	119
7.6.2 三维危险滑动面的搜索及稳定性评价	122
7.6.3 小结和讨论	138
第 8 章 降雨引起的浅层滑坡灾害时空预测	140
8.1 引言	140
8.2 降雨渗透模型	141
8.3 降雨渗透边坡稳定性分析模型	143
8.4 算法实现及模型验证	146
8.5 应用实例	151
第 9 章 三维激光扫描技术在边坡工程中的应用	156
9.1 引言	156
9.2 地上型三维激光扫描技术在边坡工程中的应用	157
9.3 地上型三维激光扫描技术用于边坡安全监测	160
第 10 章 光纤应变监测技术在边坡工程中的应用	163
10.1 引言	163
10.2 光纤应变监测技术及适用性	163
10.2.1 BOTDR	163
10.2.2 FBG	166
10.2.3 其他	168
10.3 光纤应变监测技术在边坡监测中的应用	170
10.4 结语	173
参考文献	174
附表 中英文对照名词解释	180

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

我国正处于经济建设的高速发展时期,各种建设项目中不可避免地要遇到边坡问题。由边坡破坏引起的灾害给我国土地城镇开发、水利、交通及矿山建设等方面带来了巨大的经济损失甚至人员伤亡。

边坡工程作为岩土工程一个非常重要且复杂的课题,为岩土技术人员和研究者的关键研究方向。边坡研究的主要课题是稳定性研究和边坡信息的取得和分析等。边坡稳定性研究主要采用极限平衡法和有限元等数值计算方法;边坡信息取得和分析主要研究边坡时空信息的获取以及对这些信息的分析,以便把握边坡的状况及预测未来发展趋势等。

不论是自然界中的天然边坡和人工改造边坡以及人工填筑边坡,边坡的稳定性研究和边坡信息取得和分析两个课题都要牵涉到边坡复杂的呈现时空四维分布的地理地质及水文信息,传统的分析方法很难有效地处理和分析这些时空数据,往往采用各种简化的数据模型。

信息技术是当今科学技术中发展最快的学科,它的快速发展在大大促进了其他学科发展的同时,也改变了一些传统的科学研究方法。各行业中所用的数据 80% 都牵涉到相关的空间属性,即信息依存于地理位置,因此大多数的科学研究都需要我们进行相关的空间分析。GIS(Geographical Information Systems,地理信息系统)是最近 20 年才发展起来的一门新兴信息技术,由于其强大的处理空间信息的能力正在成为一些与空间相关行业科学研究不可或缺的工具。GIS 对于所有空间相关的科学提供一个公用的平台和通用的数据结构,近年来在岩土工程中也越来越广泛应用。GIS 提供一种多功能的工具进行空间数据分析和表现,其相应的数据均存储于空间数据库中。GIS 大大缩短了数据准备和处理的时间,并且 GIS 能处理来自不同数据源的信息。可以预见,GIS 数据形式将成为空间数据处理的基本数据形式。

在现代的信息社会中,各种各样与生活、行政、商业相关的交往活动中,我们已经熟知了诸如数据库、电子邮件、网络等信息名词,而且已经被我们广泛使用。20 年来尤其是最近 10 年内,将各种数字、文字、图像等各种信息与地理位置相结合并融合计算机技术发展起来的地理信息系统(GIS)在世界范围内已经得到广泛应用,成为各行业及政府部门等不可缺少的技术手段之一。

GIS 的最初定义为空间数据与非空间数据(属性等)相结合,用于空间检索、管

理、解析及图像表现的系统。实际上,从欧美国家 20 世纪 60 年代开始用于信息统计用的计算机系统到 80 年代后期开始到现在的用于顾客管理、房地产、物流等商业领域,以及土地利用、合适地选择、环境评价、交通计划、流域管理、防灾等各种行政及专业领域的 GIS 系统, GIS 本身得到了飞速的发展。GIS 软件系统开发也大为进步,从单纯的数据管理、表示及查询等功能,现在已经开发了用于各行业的解析工具。这些工具的使用已经达到了进行专业思考的能力,因此这里我们将 GIS 重新定义:

对各种与现实世界相对应的空间数据及其关联的属性数据进行获得、管理、解析以及为各专业人员提供先进的解决空间相关问题能力的计算机系统。

可以想像,随着 GIS 技术的发展,也必将大力推进各与空间数据相关学科的发展。

尽管许多工程师和研究人员都知道 GIS 技术,但其强大的分析能力和潜能还未被深知。大多相关的应用局限于大区域的课题,如土地利用分析、环境分析及水文分析等,但实际上在小规模的课题研究中的应用也是可能的。GIS 在环境岩土工程中的应用已经有相当多的应用例子,这里将其具体应用领域初步划分为三类,列于表 1-1 中。

表 1-1 GIS 在环境岩土工程领域的应用分类

类 别	说 明
开发与环境保护	核电站、水库、放射性废弃物处理场等位置选定及环境评价;流域管理(流入流出解析,洪水泛滥解析等);地区地质环境问题(土壤污染,地面沉降等);建设地综合地质环境评价等;土地复垦
防灾	区域滑坡灾害及其影响评价;道路等交通干线灾害;火山灾害评价;地震地质灾害评价
设计与运营管理	都市计划管理;土地利用;滑坡等自然灾害的监测及解析;交通及送电线等路线选定;环境景观评价

GIS 实际上已不是简单的地图工具,它通过科学的手段将现实空间世界转化为数据模型,通过这些数据模型的分析计算并结合各专业知识进行创造性的分析来解决问题。基于 GIS 的分析方法相比传统的分析方法,其特点可以表述为以下几点:

- (1) 可以更有效地使用现有的分析方法。
- (2) 作一些我们以前无法实现的分析。
- (3) 数据的高效共享和无缝连接。
- (4) 满足将来更高层次的分析需要。

为了达到 GIS 在岩土工程中的科学高效应用,今后课题可以概括为以下几个方面:

(1) 数据:数据是 GIS 应用的基础,我们现有的数据往往为小比例尺的大范围的数据,但这些数据不能满足具体岩土工程的应用需要。像边坡工程的分析需要

1/1000~1/500 左右的详细数据,因此如何高效低成本地获取这样详细的数据是一个关键问题。一般来说,地理数据牵涉到复杂的坐标系和投影方式等,这需要岩土人员了解这方面的知识。但是,岩土工程所牵涉到的工程的研究范围大多限定在较小的范围内,往往我们只需要工程相关的地形图、工程地质图及断面图等即可以满足我们研究的需求。我们一般只需要使用工程现有坐标系或者用相对坐标,一般可以不牵涉到投影。CAD 数据的使用往往是最合适的选择,同时利用在本书后第 9 章要介绍的三维激光扫描技术将是今后获取数据的有力手段。

(2) 利用 GIS 现有功能开发各专业用的分析工具:这需要专业人员掌握 GIS 技术及计算机知识。在 GIS 中开发专业用的分析工具将是 GIS 今后发展的强大动力。

(3) 时空四维解析问题:边坡工程体实际上是一个随时间变化的三维空间体,因此边坡四维空间的解析是今后的最有意义的研究领域。我们知道现有的 GIS 软件实际上为 2.5 维,因此如何在 GIS 系统中解决四维时空问题将是一个挑战。

对于复杂的边坡工程问题,其三维时空稳定性取决于复杂空间分布的地形、地层、岩土力学参数及地下水等因素,但这些空间分布的信息很难在一般的边坡(三维)稳定分析系统中处理,而 GIS 恰好提供了一个公用的平台来处理这些复杂的空间信息。

信息边坡工程学,作为信息岩土工程的一个具体表现实例,以现代高新信息技术 GIS 为平台,研究边坡的三维时空稳定、灾害控制及环境影响等稳定性相关问题和利用现代高精尖测量监测技术进行边坡快速实时信息获取及分析处理方法等的一门新兴学科。信息边坡工程学是一门岩土工程学与信息技术的交叉学科,其相关的重点研究课题可以分为以下四个方面:

(1) 稳定性分析课题:与边坡三维时空稳定分析预测、灾害控制及环境影响评价相关的本构关系及模型研究。牵涉边坡的三维稳定性评价、降雨稳定性评价、动稳定性评价及时空稳定性评价。

(2) 信息技术的应用课题:与信息边坡工程学相关的模型、数据库、分析技术、网络技术及三维时空处理技术的应用,如 GIS 模型技术、GIS 数据库技术、GIS 分析技术、Internet-GIS 技术、三维模型技术及时空处理技术等。

(3) 三维数据采集高技术手段:准确而及时地获得边坡三维形状的高新技术,如航空照片、卫星照片、立体三维摄影、GPS 测量技术、飞机搭载三维激光扫描及地上型三维激光扫描等以及对这些手段获取数据的处理及分析方法。

(4) 监测高技术手段:监测边坡三维时空稳定并预测预报其灾害的高技术手段。如 GPS 干涉测量技术、立体三维摄影、光纤应变监测技术、飞机搭载三维激光扫描及地上型三维激光扫描等,同时也包括对这些监测数据的处理及分析。

本书将以稳定性分析及信息技术应用为重点,主要讲述边坡三维稳定极限平衡法的 GIS 分析方法、数据处理及系统开发。对最新的三维数据采集及监测技术

主要介绍飞机搭载三维激光扫描、地上型三维激光扫描及光纤应变监测技术。

1.2 滑坡灾害

自然灾害可以分为七大类,即气候灾害、海洋灾害、洪水灾害、地质灾害、地震灾害、生物灾害及火灾等。滑坡作为地质灾害的一种主要形式得到广泛的关注。最近,滑坡灾害的评价及危险预测在世界各地成为地质岩土工程人员及地方政府都感兴趣的课题,其主要原因是因为滑坡灾害对社会经济的巨大影响以及都市开发及环境保护方面的紧迫课题。随着城市的发展向山丘地区延伸,边坡稳定及滑坡评价变得愈加受关注。

据估计每年有近 600 人死于滑坡灾害,1979 年国际工程地质学会滑坡委员会估计因滑坡灾害的死亡人数占到所有灾害死亡人数的 14%。世界范围内,自然灾害引起的经济损失约占 GDP 的 1%~2%(Hutchinson,1995),其中滑坡灾害引起的约占 5%。虽然滑坡灾害的损失巨大,但其重要性往往被轻视,其中主要的原因是往往将滑坡灾害的损失划分到地震、降雨及洪水等灾害中。

据不完全的统计,从 1949 年到 1990 年的 40 年间,我国因滑坡灾害的直接经济损失约 100 亿美元,另外有大约 87 000 公顷耕地被毁,平均每年 200 多人死于滑坡灾害(<http://www.disaster-reduction.gov.cn>)。

滑坡灾害的主要问题是边坡稳定性问题,边坡不稳定的直接后果就是滑坡。滑坡定义为岩土体沿边坡的向下移动(Cruden,1990)。虽然滑坡的定义非常简单,但它却是一种复杂的地质地理现象,其分类可以基于它的物质类型或移动类型(Cruden and Varnes,1996)。根据滑坡的移动类型滑坡可以分为五大类(National Academy of Science,1978):坠落(falls)、倾倒(topples)、滑移(slides)、飞散(spreads)和流动(flows)。而根据物质类型滑坡可以分为两类:岩层滑动和土层滑动。

本书中所说的滑坡是指滑移,本书研究开发的方法主要用于工程土和岩石边坡的滑移三维破坏稳定性评价。

1.3 边坡稳定性评价与 GIS

大约 80% 的科学数据都具有空间特性,也就是说它们可以也应该进行空间分析。GIS 在自然资源利用及人与环境的协调发展方面为我们提供一个有效的空间框架。GIS 最常用的功能是为我们将信息用地图和符号表现。可视化是胜过任何语言的表现手法,一张地图清楚地表现物体的位置,以及它们是什么、如何利用何种交通手段到达及其附近有什么等。GIS 也能通过信息的相互分析得到纸地图无法表现的信息,如我们可以将与某一对象属性相关的所有属性用表列出,我们也可以

进行流动模拟和污染扩散等。同时,如果我们采用一个基于 GIS 的岩土力学模型, GIS 也可以很容易地进行边坡稳定性分析。岩土力学模型,可以是定量的或概率的,在土木工程和岩土地质工程中广泛用于边坡稳定性分析。定量模型往往认为足以满足均质和非均质的边坡稳定分析,其稳定性判断标准是大家熟知的基于合适的岩土模型和物理力学参数的稳定性安全系数。

基于安全系数的定量分析方法可以在 GIS 内部也可在 GIS 外部进行计算。如果计算在 GIS 外部进行, GIS 系统仅仅作为一个空间数据库来进行存储、显示并更新数据等。这种处理方法的优点是可以直接使用现有的模型,不需要花时间将模型统合到 GIS 系统中;但是,数据的转化是这种方法的主要缺点,由于外部模型的多样性,其数据形式可能非常特别,相对来说,ASCII 形式的格式可能是最简单的方式。利用外部模型的另一个缺点是外部模型结果的非空间性与 GIS 空间特性的矛盾。

为了克服外部模型的缺点,定量分析可以在 GIS 内部进行。但是在 GIS 内部进行计算牵涉到复杂的算法、迭代计算以及如何在二维的 GIS 中处理边坡的三维问题。现在采用一维的无限斜面模型可以较方便地计算空间分布的安全系数,但这种模型有其局限性。因此,只有使用复杂的三维模型才能较好地解决这个问题。

调查现有利用 GIS 进行边坡稳定评价的应用例子发现,大多数的研究人员主要利用统计方法来分析边坡破坏与各影响因素的关系,利用 GIS 的叠加功能等得到滑坡灾害图。只有少数的研究人员采用定量的力学模型,而且也仅仅局限于利用无限斜面模型 (Anbalagan, 1992; Dai, 2001; Mankelow 和 Murphy, 1998; van Westen 等, 1993, 1997, 1998)。

边坡稳定安全系数的定量计算可以是二维或者是三维的,由于在一个区域内有无数个边坡剖面,利用二维模型得到区域内的稳定性空间分布是非常耗时的,因为我们要分析所有的边坡。

本书中我们主要研究和使用边坡稳定分析的三维极限平衡模型,结合基于柱体单元的三维模型和 GIS 栅格数据,新开发的基于 GIS 的三维极限平衡模型将用于滑坡灾害评价中的边坡三维稳定分析和用于边坡危险滑动面搜索和稳定性综合评价。

1.4 本书的主要内容

边坡失稳破坏引起的滑坡灾害的预测及防治是世界各国瞩目的研究课题。尤其我国是一个多山丘国家,在降雨、降雪及地震等外加不利因素的影响下,滑坡灾害的发生常常造成巨大的经济损失及人身伤亡。另外,我国大量的大型工程建设往往遇到的很多棘手的边坡问题需要新的科学手段来解决。边坡工程牵涉到复杂的呈现时空四维分布的地理地质及水文信息,传统的分析方法很难有效的处理和分

析这些时空数据。GIS 作为最近 20 年才发展起来的一门新兴信息技术,由于其强大的处理空间信息的能力正在成为一些与空间相关科学研究不可或缺的工具。本书以稳定性分析及 GIS 信息技术应用为重点,主要讲述边坡三维稳定极限平衡法的 GIS 分析方法、数据处理及系统开发;同时介绍边坡工程中最新的三维数据采集技术及监测技术。全书共分 10 章,第 1 章为绪论,介绍滑坡灾害及边坡稳定,稳定性评价与 GIS;第 2 章为 GIS 数据结构,介绍 GIS 各种数据结构及其适用性;第 3 章为基于 GIS 的边坡三维极限平衡模型,介绍边坡三维极限平衡模型的 GIS 形式研究开发;第 4 章为边坡三维危险滑动面搜索,介绍边坡三维最危险滑动面搜索的 Monte-Carlo 方法及数据处理相关技术;第 5 章为边坡单元划分,叙述滑坡灾害评价中边坡单元的划分方法;第 6 章为计算实现及系统开发,讲述基于 GIS 的边坡三维极限平衡分析方法的计算机实现及系统开发,一个系统用于广域滑坡灾害评价,另一个用于单个边坡的稳定性综合评价;第 7 章为系统应用的工程实例,介绍 3DSlopeGIS 系统在实际边坡工程中的应用;第 8 章为降雨引起的浅层滑坡灾害时空预测;第 9 章为飞机搭载型和地上型三维激光扫描技术在边坡工程中的应用;第 10 章为光纤应变监测技术在边坡工程中的应用。

本书将最新的信息技术与边坡分析的力学方法相结合,将传统的分析方法向信息化、可视化及时空四维化转换,快速发展的信息技术必将快速推动边坡工程学的飞跃发展。

第 2 章 GIS 数据结构

2.1 GIS

简单地讲, GIS 系统将描述位置的层信息结合在一起, 通过这些信息可以使你更好地认识这个位置(ESRI, HP)。我们可以按照需要选择使用哪些层信息, 比如找一个更好的地段设立商铺、分析环境危害, 通过综合分析城市中相同的犯罪发现犯罪类型等等。GIS 系统是将描述“在什么地方”的信息与描述“这是什么”的信息相链接的软件。与画在纸上的地图不同, GIS 是“所见即所得”的一个 GIS 地图关联许多不同的层信息。一幅画在纸上的地图, 我们所能做的操作就是打开它。这时候展现在面前的是关于城市、道路、山峦、河流、铁道和行政区划的一些表现。城市在这些地图上只能用一个点或一个圈表示, 道路是一条黑线, 山峰是一个很小的三角, 而湖泊则是一个蓝色的多边形。同纸地图一样, GIS 产生的数字地图也是用像素(pixel)或点(point)表示诸如城市这样的信息, 用线(line)表示道路这样的信息、多边形(polygon)表示湖泊等信息。但是不同的是, 这些信息都来自数据库, 并且只在用户选择显示它们的时候才被显示。数据库中存储着诸如这个点的位置、道路的长度、甚至湖泊的面积等信息。数字地图上的每一条信息都位于一个层上, 用户可以根据需要打开或关闭这些层。一个层也许构成了一个地区所有的道路信息, 另外的层也许表现了同一个地区所有湖泊的信息。当然, 也许还会有一个层描述所有的城市信息。为什么分层是如此重要呢? GIS 同纸地图相比, 强大之处就是运用 GIS 你可以根据你行动的目的去选择你想看的信息。

对于岩土工作者来说, 我们肯定熟悉 CAD、数据库(database)、表格(spread-sheets)及插值(interpolation, extrapolation)等, GIS 则是一个较新的软件应用系统。GIS 就是将上述各种相关的数据信息集合到一个系统中, 使得可以对这些信息进行叠加(overlay)、分析并用地图(map)表现出来。GIS 是在土地利用、资源、环境、交通、城市规划及城市设施等的计划和管理中, 对各种关联的地理数据进行数据输入、管理、查询、计算分析及输出的信息系统。

如图 2-1 所示是 GIS 的组成要素(ESRI, HP), 其中关键的组成部分是计算机系统、地理空间数据及人。计算机系统用于地理空间数据输入、处理、分析、模型化及图形(画像)输出的软硬件环境。地理空间数据, 包括各种地图、航空照片、卫星照片、统计表等及其相关联的文件等的数字化。人是 GIS 系统中的核心, 因为是人来选取适用的数据信息、制定合理的标准及高效的处理方式, 并根据要求和目的进行各种 GIS 分析。

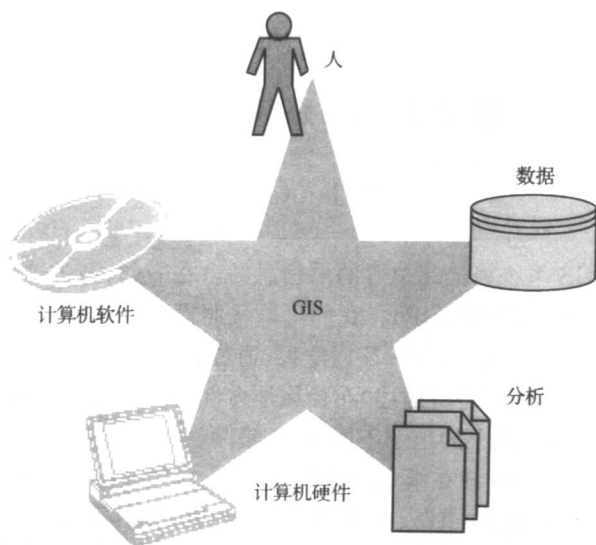


图 2-1 GIS 的组成部分

2.2 GIS 数据结构

GIS 数据有三种基本的格式：

(1) 空间数据(spatial data)——构成地图的基本数据。

空间数据是由点、线、面构成,是 GIS 系统的核心。空间数据用来表达位置和地图要素的形状信息,如建筑物、街道和城市。

(2) 表格数据(tabular data)——为地图添加信息。

表格数据是描述地图要素的数据,比如一幅表现客户位置的地图可能同时链接到这些客户的其他各种个人信息。

(3) 影像数据(image data)——应用影像建立地图。

影像数据有许多不同的来源,比如卫星影像、航空影像,以及扫描数据——从纸地图得到的数字格式。

此外,这些数据可以被进一步划分为两种数据模型:

(4) 矢量数据模型(vector data model)。

不连续的要素,比如客户的位置(point)、街道(line)以及区域(polygon)数据通常用矢量数据描述。

(5) 栅格数据模型(raster data model)。

连续的数值,比如地面高程、气温分布及降雨量分布等。连续的类,比如植被类型及土地利用等都通常用栅格数据模型描述。

当我们为 GIS 系统选择数据时,需要经过一个过程,根据需求列出需要的数据并进行研究。

所有的数据必须能正确匹配,显示时才能相互叠加。这就意味着它们必须在相同的地图投影和坐标系统中。在选择地图投影和坐标系统时需要考虑很多问题,包括地图数据位于地球的什么区域,这个地区有多大,以及是否需要保证长度或面积的量算精度。

地图投影:地图投影将地球上的位置信息转化到了平面的地图上。所有的地图投影方式在显示地图要素时,都不同程度的扭曲了要素的形状、面积、距离或方向(这就解释了为什么在有些世界地图上格陵兰岛看起来同北美洲的面积一样大)。如果你绘制像县或镇那样的小块地图,这种变形通常被忽略。绘制的区域越大,这种变形的影响就越大。

坐标系统:坐标系统定义了二维空间中定位要素所用的单位以及原点。经度和纬度也是一种坐标系(经常称为“地理”坐标系)。

如果我们使用一个原有的 GIS 数据库,那么可能在这个数据库中的数据使用的是相同的坐标系和投影。如果从不同的数据源采集数据,那么我们需要确认数据的坐标系和投影信息。

地理属性:任何一个地理要素都会有一个或多个属性来识别这个要素是什么,描述信息,或者要素的一些相关度量。我们所做的各种分析可能大部分依靠于这些关联的属性。这些属性值的类型包括:

类别:类是相同类别的集合。它可以帮助我们组织和使用数据。具有相同类别值的所有要素都在某些方面具有相似性,并且与其他类别值的要素相区别。比如:你可以用高速公路、公路和城市道路来对道路进行分类。类的值可以用数值编码或文字来描述,为了在表格中节约空间,文字的值经常被写成缩写。

级别:分级把要素按从高到低的顺序排列。当直接的量测比较困难或者数值代表一个综合因素时,就进行分级。比如:很难量化一条河流的风景值。可是我们可以认定流经高山峡谷的那段河流的景色要比流过农场的那段景色好。既然级别是相对的,我们仅仅知道那些要素的排列顺序——并不需要知道这个值比那个值高或低多少。比如:只需要知道 3 级比 2 级高,比 4 级低,但并不知道究竟高或低多少。你可以根据其他的一些要素属性(通常是类型或类别)进行分级,比如可以按照某一农作物的土壤适宜性对所有土壤进行分级。

计数和数量:数目和数量显示了总数。计数代表地图要素的真实数目。数量可以是要素的任何相关度量值,比如,在一个公司中有多少雇员。运用计数和数量可以使我们发现每个要素的真实的值,以及数量。

比率:比率是用要素中的一个量除以另一个量,得出两个量之间的对比关系。比如:用一个地区中人口的数据除以这一地区的家庭数,就得出了每个家庭的平均人口数。运用比率统一了面积大和小、要素多和少的区域间的不同,因此地图可以