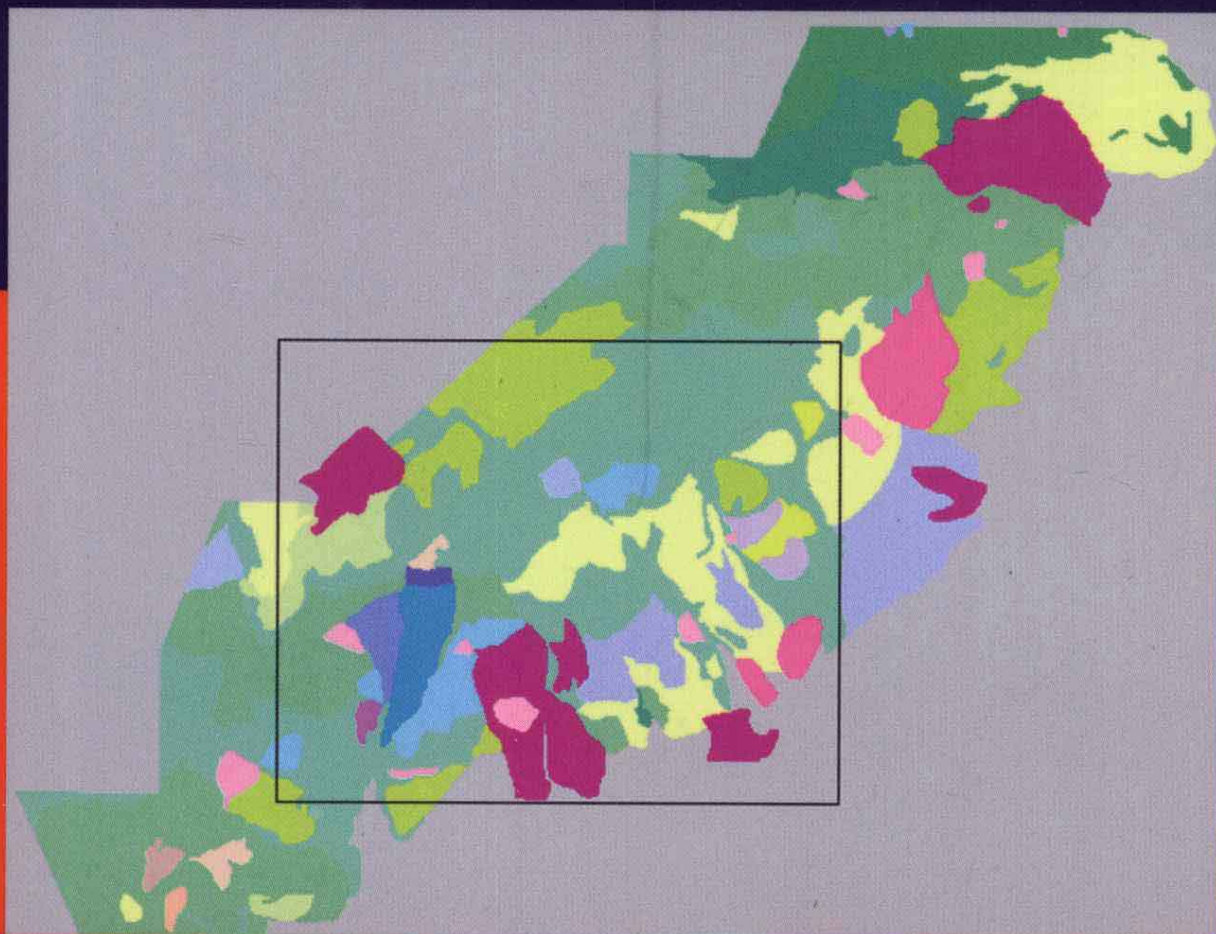


李雪平 编著

地理信息系统 在斜坡稳定性评价 与预警中的应用

DILI XINXI XITONG
ZAI XIEPO WENDINGXING PINGJIA
YU YUJING ZHONGDE YINGYONG



化学工业出版社

李雪平 编著

地理信息系统 在斜坡稳定性评价 与预警中的应用

DILI XINXI XITONG
ZAI XIEPO WENDINGXING PINGJIA
YU YUJING ZHONGDE YINGYONG



化学工业出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书针对地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 在斜坡稳定性评价应用中的实际需要, 全面阐述了应用型 GIS 的设计及二次研发, 着重介绍了 GIS 在区域斜坡稳定性评价中的应用、在滑坡监测中的应用以及在滑坡灾害信息发布中的应用。全书分为四篇。第一篇为 GIS 基本理论, 介绍了 GIS 的基本概念和应用型 GIS 的设计与实现。第二篇为基于 GIS 的区域斜坡稳定性评价系统。以三峡库区巫山县新城址区为实例, 介绍了区域斜坡稳定性评价 Logistic 回归模型, Bayes 统计推理模型的建立; 斜坡稳定性评价数据库建立及评价系统的建立。第三篇为吊钟坝滑坡群监测预警方案设计。以三峡库区忠县吊钟坝滑坡群为实例, 介绍了滑坡监测系统的需求分析、模型建立、数据采集、数据库设计的详细过程。第四篇为基于 WebGIS 的兰州市区滑坡预警系统研究。以兰州市区滑坡灾害预警信息发布为实例, 介绍了 WebGIS 技术的特点及功能, 基于 WebGIS 研发的滑坡灾害预警系统的总体结构架构及系统功能特点, 分析了系统实现的关键技术与方法。

本书理论联系实际, 重在 GIS 应用, 通过工程实例, 阐述了建立应用型 GIS 的基本思路、系统设计、研发途径、关键问题和步骤等, 从而使读者比较容易及全面地掌握 GIS 在斜坡稳定性评价中的应用技能。本书可作为高等院校相关专业本科学生和研究生的教学参考书, 也可供从事地质、信息资源开发、地理、灾害管理等领域的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

地理信息系统在斜坡稳定性评价与预警中的应用/李雪平
编著. —北京: 化学工业出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-122-15301-2

I. ①地… II. ①李… III. ①地理信息系统-应用-斜坡
稳定性-研究 IV. ①TU413.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 213836 号

责任编辑: 彭明兰
责任校对: 周梦华

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 15½ 彩插 2 字数 294 千字

2013 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

滑坡是主要山地灾害之一，具有分布广泛、发生频繁、成灾快速等特点，给山区的经济发展造成了极大危害。滑坡灾害具有与地震、洪涝、飓风及其他自然灾害不同的特点，其分布更广泛，所造成的财产损失更大。由地震和暴雨造成的大量损失和相当比例的死亡是由于其导致的滑坡、泥石流所致。在许多发展中地区，斜坡不稳定是危害社会、经济结构的持续而长期的问题。

据统计，我国每年由于滑坡引起的直、间接经济损失达 200 亿元，用于滑坡治理的费用更高，因此滑坡预测治理已成为国家十分重视的研究领域。特别是近年来，随着城市化进程的加快，大型水利、水电工程及交通建设的大力发展，如三峡工程，长江、黄河上游在建和拟建的一系列大、巨型水力发电工程，南水北调工程，山区铁路、公路，尤其是高速公路工程等，这些工程的数量和复杂程度是前所未有的，所遇到的工程地质问题也是十分复杂的。工程选址规划及城市扩建改造工程使斜坡工程问题日趋严重，迫使人们更加关注斜坡稳定性预测研究及治理优化设计研究，而且在这一领域已取得了很大进步。

本书在阐述 GIS 技术在斜坡稳定性评价中的应用理论与方法的基础上，结合工程实例，详细地描述了斜坡稳定性评价系统从数据采集、模型建立到信息发布的实现过程，为防灾、减灾提供技术支持。

全书一共分为四篇。第一篇介绍 GIS 的基本概念和基本理论。第二篇结合三峡水利枢纽库区巫山县的新城选址，介绍了在 GIS 技术支持下区域斜坡稳定性评价系统的建立，其中详细介绍了 Logistic 回归模型和 Bayes 模型在 GIS 平台上的建模及实现。第三篇结合重庆市忠县吊钟坝滑坡群不稳定的现状，介绍了在 GIS 技术支持下滑坡监测系统的设计方案。第四篇结合兰州市区滑坡灾害预警的需求，介绍了基本 WebGIS 技术的斜坡预警预报系统的建立和发布。

本书的完成得到中国地质大学（武汉）王智济教授、唐辉明教授、苏爱军教授、简文星教授、李云安教授，甘肃省地质环境监测院余志山教授级工程师、王延江工程师、宋晓玲工程师等专家同行的大力支持和帮助，特向他们表示诚挚的谢意。同时，本书在编写过程中参考和吸取了近年来国内外专家和同行的研究成果，在此一并表示感谢。

由于各方面的原因，书中定有疏漏之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一篇

基本理论

第 1 章 GIS 概述	3
1.1 GIS 的定义及功能	3
1.2 GIS 的基本概念	5
1.3 GIS 的组成	8
1.4 GIS 的研究内容	11
1.5 GIS 的应用特点	12
1.6 GIS 的发展概况	13
1.7 GIS 的发展趋势	15
第 2 章 应用型 GIS 设计与实现	18
2.1 应用型 GIS 概述	18
2.2 应用型 GIS 的系统分析	20
2.3 应用型 GIS 的总体设计	23
2.4 应用型 GIS 的功能设计	37
2.5 应用型 GIS 的数据库详细设计	39
2.6 应用型 GIS 的应用模型分析	44
2.7 应用型 GIS 的输入与输出设计	50
2.8 应用型 GIS 的实施	53
2.9 系统评价	55

第二篇

基于 GIS 的区域斜坡稳定性评价系统

第 3 章 滑坡灾害空间评价的原理和方法	59
3.1 滑坡灾害评价的基本原理	59
3.2 滑坡灾害评价研究概况	61
3.3 滑坡灾害空间预测主要方法简介	63
3.4 GIS 在区域斜坡稳定性评价中的应用	72
3.5 建立基于 GIS 的斜坡稳定性评价 Logistic 模型和 Bayes 模型的必要性	75
第 4 章 Logistic 回归模型及估计	77
4.1 Logistic 回归模型	77
4.2 虚拟变量	80
4.3 Logistic 回归模型估计	82
4.4 分组数据的 Logistic 回归模型	85
第 5 章 Logistic 模型评价及统计检验	87
5.1 Logistic 整体模型的检验	87
5.2 Logistic 回归系数	90
5.3 Logistic 回归系数显著性检验	93
5.4 分组数据 Logistic 回归模型检验	96
第 6 章 趋势面分析与 Bayes 模型	98
6.1 趋势面分析	98
6.2 Bayes 模型简介	100

第 7 章 基于 GIS 的区域斜坡稳定性评价系统的设计与实现及系统简介	103
7.1 系统分析	103
7.2 系统总体设计	104
7.3 系统功能设计	106
7.4 系统简介	107
第 8 章 三峡水利枢纽库区巫山县地质环境概述及应用系统计算结果与分析	116
8.1 试验区地质环境概述	116
8.2 系统应用研究	120
第 9 章 基于 GIS 的区域斜坡稳定性评价系统的结论与建议	145
9.1 结论	145
9.2 建议	145

第三篇

吊钟坝滑坡群监测预警方案设计

第 10 章 滑坡监测预报研究简介	149
10.1 滑坡预测预报研究阶段	149
10.2 地质灾害预测预报理论基础	150
10.3 地质灾害预警预报模型简介	151
10.4 GIS 在滑坡监测预警中的应用研究简介	153
第 11 章 滑坡灾害预测预警常用模型	157
11.1 滑坡预报的时间尺度	157
11.2 滑坡预报的参数选择	157

11.3	滑坡预报方法选取原则	158
11.4	滑坡灾害预警预报常用模型	159
第 12 章	吊钟坝滑坡群监测预警方案设计	174
12.1	吊钟坝滑坡群简介	174
12.2	吊钟坝滑坡灾害监测方案设计	174
12.3	吊钟坝滑坡灾害预警预报系统设计	175
第 13 章	吊钟坝滑坡群监测预警方案结论与建议	189
13.1	结论	189
13.2	建议	189

第四篇

基于 WebGIS 的兰州市区滑坡预警系统研究

第 14 章	滑坡预警系统研究简介	193
14.1	WebGIS 在地质灾害信息发布中的应用简介	193
14.2	区域地质灾害气象预警模型简介	195
14.3	动力学预警模型（第三代预警模型）	198
第 15 章	兰州市区滑坡发育特征	200
15.1	兰州市地质条件概述	200
15.2	滑坡的类型	201
15.3	滑坡发生的影响因素	202
第 16 章	兰州市区滑坡灾害潜在危险性评价及降雨预警模型	206
16.1	兰州市区滑坡灾害危险性评价指标体系建立	206
16.2	指标量化	207

16.3	兰州市区滑坡灾害危险性评价指标的权重确定	209
16.4	兰州市区滑坡灾害潜在危险度评价	210
16.5	临界降雨量及预警预报模型	211
第 17 章	基于 WebGIS 的滑坡灾害时空耦合预警系统实现及应用	214
17.1	WebGIS 在滑坡灾害预测预报中的开发策略	214
17.2	基于 WebGIS 的地质灾害时空耦合预警系统	219
17.3	兰州市区滑坡灾害气象预警系统简介	221
17.4	基于 WebGIS 的兰州市区滑坡预警系统研究小结	229
参考文献		230

第一篇

基本理论

第1章

GIS 概述

1.1 GIS 的定义及功能

1.1.1 GIS 的定义

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是在计算机软、硬件支持下, 采集、存储、管理、检索、分析和描述地理空间数据, 适时提供各种空间的和动态的地理信息, 用于管理和决策过程的计算机系统。它是集计算机科学、地理学、测绘遥感学、空间科学、环境科学、信息科学和管理科学等为一体的边缘学科, 其核心是计算机科学, 基本技术是地理空间数据库、地图可视化和空间分析^{[1]~[9]}。

1.1.2 GIS 的功能

GIS 的核心问题可归纳为五个方面的内容: 位置、条件、变化趋势、模式和模型。为了完成上述核心任务, 需要采用不同的功能来实现它们。目前大多数商用 GIS 软件包都提供了如下功能: 数据的获取 (Data Acquisition)、数据的初步处理 (Preliminary Data Processing)、数据的存储及检索 (Data Storage and Retrieval)、数据的查询与分析 (Data Search and Analysis)、图形的显示与交互 (Display and Interaction)。

1.1.2.1 数据采集、输入与编辑

该功能主要用于获取数据, 保证 GIS 数据库中的数据在内容与空间上的完整性、数值逻辑一致性与正确性等。一般而论, GIS 数据库的建设占整个系统建设投资的 70% 或更多。因此, 信息共享与自动化数据输入成为 GIS 研究的重要内容。目前可用于 GIS 数据采集的方法与技术很多, 如手扶跟踪数字化仪, 自动化扫描输入与遥感数据集成等。

1.1.2.2 数据处理

初步的数据处理主要包括数据格式化、转换、概括。数据的格式化是指不同数据结构的数据间变换, 是一种耗时、易错、需要大量计算量的工作, 应尽可能避免。数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变化等。在数据格式的转换方

式上, 矢量到栅格的转换要比其逆运算快速、简单。数据比例尺的变换涉及数据比例尺缩放、平移、旋转等方面, 其中最为重要的是投影变换。

1.1.2.3 数据存储与组织

这是建立 GIS 数据库的关键步骤, 涉及空间数据和属性数据的组织。栅格模型、矢量模型或栅格/矢量混合模型是常用的空间数据组织方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据与分析的功能。在地理数据组织与管理中, 最为关键的是如何将空间数据与属性数据融合为一体。目前大多数系统都是将二者分开存储, 通过公共项 (一般定义为地物标识码) 来连接。这种组织方式的缺点是数据的定义与数据操作相分离, 无法有效记录地物在时间域上的变化属性。

1.1.2.4 空间查询与分析

空间查询是 GIS 以及许多其他自动化地理数据处理系统应具备的最基本的分析功能; 而空间分析是 GIS 的核心功能, 也是 GIS 与其他计算机系统的根本区别。模型分析是在 GIS 支持下, 分析和解决现实世界中与空间相关的问题, 它是 GIS 应用深化的重要标志。GIS 的空间分析可分为 3 个不同的层次。

(1) **空间检索** 包括从空间位置检索空间物体及其属性和从属性条件集检索空间物体。空间索引是空间检索的关键技术, 如何有效地从大型的 GIS 数据库中检索出所需信息, 将影响 GIS 的分析能力; 另一方面, 空间物体的图形表达也是空间检索的重要部分。

(2) **空间拓扑叠加分析** 空间拓扑叠加实现了输入要素属性的合并 (Union) 以及要素属性在空间上的连接 (Join)。空间拓扑叠加本质是空间意义上的布尔运算。

(3) **空间模型分析** 在空间模型分析方面, 目前多数研究工作着重于如何将 GIS 与空间模型分析相结合。其研究可分以下 3 类。

第一类是 GIS 外部的空间模型分析, 将 GIS 当作一个通用的空间数据库, 而空间模型分析功能则借助于其他软件。

第二类是 GIS 内部的空间模型分析, 试图利用 GIS 软件来提供空间分析模块以及发展适用于问题解决模型的宏语言, 这种方法一般基于空间分析的复杂性与多样性, 易于理解和应用, 但由于 GIS 软件所能提供空间分析功能极为有限, 这种紧密结合的空间模型分析方法在实际 GIS 的设计中较少使用。

第三类是混合型的空间模型分析, 其宗旨在于尽可能地利用 GIS 所提供的功能, 同时也充分发挥 GIS 使用者的能动性。

1.1.2.5 数据显示与输出

GIS 为用户提供了许多用于地理数据表现的工具, 其形式既可以是计算机屏幕显示, 也可以是诸如报告、表格、地图等硬拷贝图件, 尤其要强调的是 GIS 的

地图输出功能。一个好的 GIS 应能提供一种良好的、交互式的制图环境，以供 GIS 的使用者能够设计和制作出高质量的地图。

1.2 GIS 的基本概念

1.2.1 信息

1.2.1.1 信息的含义

信息 (Information) 是现实世界在人们头脑中的反映。它以文字、数据、符号、声音、图像等形式记录下来，进行传递和处理，为人们的生产、建设、管理等提供依据。

1.2.1.2 信息的特点

(1) **客观性** 任何信息都是与客观事实紧密相关的，这是信息的正确性和精确度的保证。

(2) **实用性** 信息对决策是十分重要的，信息系统将地理空间的巨大数据流收集、组织和管理起来，经过处理、转换和分析变为对生产、管理和决策具有重要意义有用信息。

(3) **传输性** 信息可以在信息发送者和接受者之间传输，既包括系统把有用信息送至终端设备 (包括远程终端) 和以一定的形式或格式提供给有关用户，也包括信息在系统内各个子系统之间的流转和交换，如网络传输技术。

(4) **共享性** 信息与实物不同，信息可以传输给多个用户，为多个用户共享，而其本身并无损失。

信息的这些特点，使信息成为当代社会发展的一项重要资源。

1.2.2 数据

数据是指某一目标定性、定量描述的原始资料，包括数字、文字、符号、图形、图像以及它们能转换成的数据等形式。数据是用以载荷信息的物理符号，数据本身并没有意义。信息可以离开信息系统而独立存在，也可以离开信息系统的各个组成和阶段而独立存在；而数据的格式往往与计算机系统有关，并随载荷它的物理设备的形式而改变。

信息与数据是不可分离的。信息由与物理介质有关的数据表达，数据中所包含的意义就是信息。数据是记录下来的某种可以识别的符号，具有多种多样的形式，也可以由一种数据形式转换为其他数据形式，但其中包含的信息的内容不会改变。数据是信息的载体，但并不就是信息。只有理解了数据的含义，对数据做出解释，才能提取数据中所包含的信息。对数据进行处理 (运算、排序、编码、

分类、增强等)就是为了得到数据中包含的信息。

数据包含原始事实,信息是把数据处理成有意义的和有用的形式。例如,每个学生所得分数对教师来说是原始数据,而把这些数据进行汇总并计算每班平均得分,教师根据平均分判断班级总体情况,这些结果对教师来说就是信息。与数据相比,信息具有以下特征:数据是原始事实,信息是数据处理的结果;对一个人是信息对其他人可能是数据;信息必须是有意义或有用的;使用的信息必须是完整、精确、相关和及时的。

人的知识、经验作用到数据上,可以得到信息,而获得信息量的多少,与人的知识水平高低有关。

1.2.3 地理信息和地理数据

地理信息是指表征地理圈或地理环境固有要素或物质的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、图像和图形等的总称。地理信息是有关地理实体的性质、特征和运动状态的表征和一切有用的知识,它是对地理数据的解释。在地理信息中,其位置是通过数据进行标识的,这是地理信息区别于其他类型信息的最显著的标志。地理信息具有区域性、多维结构特性和动态变化的特性。

① 区域性是通过经纬网等建立的地理坐标来实现空间位置的标识。

② 多维结构特性即在二维空间的基础上实现多专题的第三维结构。

③ 地理信息的时序特征十分明显,可以按时间尺度将地理信息划分为超短期的(如台风、地震)、短期的(如江河洪水、秋季低温)、中期的(如土地利用、作物估产)、长期的(如城市化、水土流失)、超长期的(如地壳变动、气候变化)等。

地理数据是各种地理特征和现象间关系的符号化表示,包括空间位置、属性特征及时态特征三部分。空间位置数据描述地物所在位置,这种位置既可以根据大地参照系定义,如大地经纬度坐标,也可以定义为地物间的相对位置关系,如空间上的距离、邻接、重叠、包含等;属性数据又称为非空间数据,是属于一定地物、描述其特征的定性或定量指标,即描述了信息的非空间组成部分,包括语义与统计数据等;时态特征是指地理数据采集或地理现象发生的时刻或时段,时态数据对环境模拟分析非常重要,越来越受到 GIS 学界的重视。

1.2.4 信息系统及其类型

1.2.4.1 信息系统

信息系统(Information System)是具有数据采集、管理、分析和表达数据能力的系统,它能够为单一的或有组织的决策过程提供有用的信息。在计算机时代,信息系统都部分或全部由计算机系统支持,人们常常使用计算机收集数据并

将数据处理成信息，计算机的使用导致了一场信息革命，目前，计算机已经渗透到各个领域。一个基于计算机的信息系统包括计算机硬件、软件、数据和用户四大要素。

① 计算机硬件包括各类计算机处理及终端设备，它帮助人们在非常短的时间内处理大量数据、存储信息和快速获得帮助。

② 软件是支持数据信息的采集、存储加工、再现和回答用户问题的计算机程序系统，它接受有效数据，并正确地处理数据，在一定的时间内提供实用的、正确的信息，并存储信息为将来所用。

③ 数据是系统分析与处理的对象，构成系统的应用基础。

④ 用户是信息系统所服务的对象。由于信息系统并不是完全自动化的，在系统中总是包含一些人的复杂因素，人的作用是输入数据、使用信息和操作信息系统，建立信息系统也需要人。

1.2.4.2 信息系统的类型

信息的需要完全取决于管理的层次，设计一个系统要满足组织中所有层次人员的信息需要，这种系统是很复杂的，因为组织中使用的信息在数量、状态和类型上都是易变和不可预知的。在组织中将信息系统分成 3 个管理层次：操作层（底层）、战术层（中间层）和战略层（顶层）。操作层包括的人员如会计师、销售人员和商店经理，他们执行日常工作和上级管理所做的计划；战术层包括组织中的高级管理人员和参与最高管理的中层管理人员；而战略管理层负责决定组织的发展方向。为了解决系统复杂性这一问题，大多数组织建立不同类型的系统来满足他们的需要，信息系统类型见图 1.1。

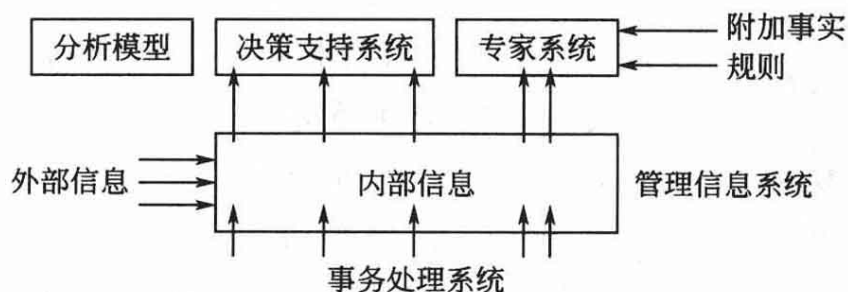


图 1.1 信息系统的类型（据邬伦等，2001）

(1) 事务处理系统（Transaction Process System，简称为 TPS） 主要用以支持操作层人员的日常活动。它主要负责处理日常事务。

(2) 管理信息系统（Management Information System，简称为 MIS） 需要包含组织中的事务处理系统，并提供了内部综合形式的数据，以及外部组织的一般范围和大范围的数据。许多战术层提供的信息能按照该层管理者希望的那样以熟悉的和喜欢的形式提供。但是，为战术层管理者提供的另外一部分信息和大多数为战略层管理者提供的信息是不可能事先确定的。这些不确定性对管理信息系

统的设计者来说是个很大的挑战。

(3) **决策支持系统** (Decision Support System, 简称为 DSS) 能从管理信息系统中获得信息, 帮助管理者制定好的决策。该系统是一组处理数据和进行推测的分析程序, 用以支持管理者制定决策。它是基于计算机的交互式的信息系统, 由分析决策模型、管理信息系统中的信息、决策者的推测三者相组合达到好的决策效果。

(4) **人工智能和专家系统** (Expert System, 简称为 ES) 是能模仿人工决策处理过程的基于计算机的信息系统。专家系统扩大了计算机的应用范围, 使其从传统的资料处理领域发展到智能推理上来。MIS 能提供信息帮助制定决策, DSS 能帮助改善决策的质量, 只有专家系统能应用智能推理制作决策并解释决策理由。专家系统由 5 个部分组成: 知识库、推理机、解释系统、用户接口和知识获得系统。

1.3 GIS 的组成

一个实用的 GIS 系统, 要支持对空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示等功能, 其基本组成一般包括以下 5 个主要部分: 系统硬件、系统软件、空间数据、应用人员和应用模型。它们之间的关系如图 1.2 所示。硬件和软件为 GIS 建设提供环境; 数据是 GIS 的重要内容; 模型为 GIS 建设提供解决方案; 人员是系统建设中的关键和能动性因素, 直接影响和协调其他几个组成部分。



1.3.1 系统硬件

GIS 系统硬件用以存储、处理、传输和显示地理信息或空间数据。计算机与一些外部设备及网络设备的连接构成 GIS 的硬件环境。计算机是 GIS 的主机, 它是硬件系统的核心, 包括从主机服务器到桌面工作站, 用作数据的处理、管理与计算。GIS 外部设备包括输入设备, 即数字化仪、扫描仪和全站型测量仪器等; 输出设备, 即绘图仪、打印机和高分辨率显示装置等; 数据存储与传送设备, 即磁带机、光盘机、活动硬盘和硬盘阵列等。GIS 的网络设备包括布线系统、网桥、路由器和交换机等, 具体的网络设备根据网络计算的体系结构来确定。

1.3.2 系统软件

GIS 软件是系统的核心, 用于执行 GIS 功能的各种操作, 包括数据输入、处理、数据库管理、空间分析和图形用户界面 (GUI) 等。按照其功能分为 GIS 专业软件、数据库软件和系统管理软件等, 如图 1.3 所示。