
岩土工程数字化 原理与技术

The Principle and Application of
Digitization for Geotechnology

丁伯阳 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

TU4/68

2007

岩土工程数字化原理与技术

The Principle and Application of Digitization for Geotechnology

丁伯阳 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在论述岩土工程数字化原理的基础上,系统地阐述了岩土工程数字化技术,包括场地方域的数字化(地理信息系统)、场地物性的数字化(地质统计学)、场地地层的数字化(岩土工程建模)、虚拟场地的创建(数据库建设)及实现上述技术的 MapInfo、MapX、MapBasic、Access 等平台工具的操作及虚拟场地的集成与交互的编程和使用;并介绍了岩土工程数字化的应用实例——杭州市岩土工程数字化系统。

本书是系统阐述岩土工程虚拟设计的第一本专著,可供岩土工程技术人员、IT 技术人员和大专院校相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程数字化原理与技术=The Principle and Application of Digitization for Geotechnology/丁伯阳等著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-020088-4

I. 岩… II. ①丁… III. 数字技术—应用—岩土工程 IV. TU4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 149481 号

责任编辑:刘宝莉 周 炜 / 责任校对:刘小梅

责任印制:刘士平/封面设计:黄华斌

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 10 月第一次印刷 印张:33 1/4

印数:1—2 500 字数:768 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

理论、实验与学科计算机技术已成为 21 世纪学科发展的三大支柱。随着计算机硬件、软件技术的快速发展,计算机在学科中的应用几乎每时每刻都在刷新。岩土工程数字化(虚拟场地)技术是计算机在岩土工程领域中的开拓、创新与发展。《岩土工程数字化原理与技术》一书是对它的介绍、阐述与归纳。

岩土工程数字化技术采用计算机技术生成逼真的虚拟场地,使用户能够在虚拟场地上进行工程操作。该技术能够实现各类软件的调用、交互、集成,从而解决各种繁琐的岩土工程问题,帮助用户优异地设计创新。它是 21 世纪技术革命的产物,是 21 世纪可能使社会发生巨变的技术,21 世纪的专业技术人员必须面对它的挑战。

目前我国正处于高速发展的新时期:高速路网在延伸,旧城市在改造,重大的工程建设不断涌现。每项工程从可行性研究、立项、规划、勘测、初步设计到施工图签发,各个环节都十分复杂,要花费大量的资源。如何利用已有的资料,如何进行空间数据的科学分析,如何采用科学有效的设计方法提高工程的设计效率是决定工程优劣、好坏,甚至是成败的关键。岩土工程数字化系统为工程师们提供了一条直观、新颖的分析途径和实现分析与设计无缝拼接的一体化平台,具有广阔的应用前景。

另外,几乎每一个岩土工程师都知道“经验”在岩土工程施工中的重要地位。今天也只有岩土工程数字化技术能够逐个工程逐个工程地凝聚广大岩土工作者的智慧,因为包含海量数据的岩土工程数据库能够集积他们的经验,并且集成与交互的分析软件是岩土力学与工程应用相互反馈的成果。它会成为工程勘测、岩土力学、施工经验、设计规范的全面综合,会是勘察到研究,研究到设计的全方位集成,这是工程师梦寐以求的实现。

正因为如此,岩土工程数字化技术的内容非常丰富,本书仅是它的入门与向导。为使读者更好、更快地掌握它,本书分为三篇:第一篇叙述岩土工程数字化原理,包含的内容有:第 1 章,绪论;第 2 章,场地方域的数字化——地理信息系统;第 3 章,场地物性的数字化——地质统计学;第 4 章,场地地层的数字化——岩土工程建模;第 5 章,虚拟场地的创建——数据库建设。第二篇叙述岩土工程数字化技术,包含的内容有:第 6 章,MapInfo 与 Basic;第 7 章,MapInfo MapX 的应用;第 8 章,基于 Access 的岩土工程数据库的操作;第 9 章,虚拟场地的集成与交互。第三篇给出应用实例,介绍了岩土工程数字化的应用实例——杭州市岩土工程数字化系统。

本书第一篇第 1 章由丁伯阳撰写,第 2 章、第 3 章、第 4 章由丁伯阳与梁师俊撰写,第 5 章由丁伯阳、梁师俊与潘晓东撰写;第二篇第 6 章由丁伯阳、梁师俊与陶海冰撰写,第 7 章由梁师俊、丁伯阳撰写,第 8 章由丁伯阳、潘晓东撰写,第 9 章由陶海冰、潘晓东、梁师俊、丁伯阳撰写;第三篇由潘晓东、丁伯阳、梁师俊、陶海冰撰写。全书由丁伯阳统稿。虽然本书是第一本系统阐述岩土工程数字化的专著,它涉及了地理信息系统(GIS)、数据库建设、计算机图形学、地质学、地质统计学、岩土场地工程建模、AutoCAD 和 AO 等一系列

技术,但它对上述领域的论述完全建立在前人工作之上,所有涉及上述领域的工作人员都是本书的作者。

本书课题获得浙江省工程地震研究所和浙江省地质矿产工程公司的资助。宋新初、朱连根、赵冬、洪永星在课题的研究、资料的收集和本书的出版中做了不少的工作,他们同样是本书的作者。

作者由衷地感谢益德清教授、汪国烈总工对本书出版的帮助与支持。

书中难免有错误、疏漏和不妥之处,欢迎专家与同仁指正。

作 者

2007年5月于杭州

geodigit@163.com

目 录

前言

第一篇 岩土工程数字化原理

第 1 章 绪论	3
第 2 章 场地方域的数字化——地理信息系统	8
2.1 地理信息系统介绍	8
2.2 方域的数字化	12
第 3 章 场地物性的数字化——地质统计学	21
3.1 地质参数的统计特性	21
3.2 克里金法与岩土工程物性参数区域回归	28
3.3 岩土工程地质参数区域统计理论	36
第 4 章 场地地层的数字化——岩土工程建模	43
4.1 岩土工程对象地质建模的特点	43
4.2 岩土工程地质模型的应用	52
4.3 物性参数模糊趋势面预测	62
4.4 地层的数字化构建	68
第 5 章 虚拟场地的创建——数据库建设	77
5.1 数据库的基本知识	78
5.2 岩土工程勘察数据库的设计	89

第二篇 岩土工程数字化技术

第 6 章 MapInfo 与 Basic	99
6.1 岩土工程数据信息基础图件选取	99
6.2 屏幕数字化技术	112
6.3 Visual Basic 基本知识	121
6.4 MapBasic 的概述	142
6.5 工程实例	171
第 7 章 MapInfo MapX 的应用	195
7.1 MapInfo MapX 的简介	195
7.2 MapInfo MapX 中数据绑定	205
7.3 岩土工程数字化的 VB 6.0 实现	213

第 8 章 基于 Access 的岩土工程数据库的操作	283
8.1 数据库建设与环境	283
8.2 数据库的使用	304
8.3 数据库的管理和升迁	345
第 9 章 虚拟场地的集成与交互	376
9.1 Mapinfo 的集成	376
9.2 AutoCAD 的二次开发	388
9.3 ABAQUS 在岩土工程数字化中的应用	414
9.4 虚拟场地上的地震反应分析	434
 第三篇 实例——杭州市岩土工程数字化系统	
第 10 章 杭州市岩土工程数字化系统	465
10.1 杭州市岩土工程的地质环境	465
10.2 岩土工程数字化系统的构成分析与设计	469
10.3 杭州市地铁隧洞开挖计算	476
10.4 杭州市某场地地震反应分析	504
10.5 关于虚拟场地的建设	519
参考文献	523

第一篇 岩土工程数字化原理

第 1 章 绪 论

岩土工程数字化技术,即岩土工程虚拟设计(virtual design, VD)系统,是近年刚提出的一门新技术,它比其他一切岩土工程设计都具有更高的层次。它对岩土工程虚拟现实的参与以及与岩土工程虚拟现实技术(virtual reality)的结合,不仅能帮助设计人员处理各类复杂的岩土工程图形、计算各种繁琐的岩土工程问题,还能帮助设计人员轻松地设计创新。因此,岩土工程虚拟设计技术,也像其他虚拟设计技术一样被认为是“21 世纪可能使社会发生巨变的几大技术之一”。目前,越来越多的工程人员和专家、学者都已认识到虚拟设计技术的研究与应用水平将直接影响一个国家的国防、经济、科学与教育各个方面,甚至影响整个国家的综合国力。因此,各个国家,特别是经济发达国家都投入了大量的人力与物力,对虚拟设计技术进行了深入的研究。岩土工程虚拟设计技术也必将同其他虚拟设计技术一样,成为 21 世纪的一个重大的研究方向。

工程虚拟设计技术实际上是利用一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统,采用以计算机为核心的现代高新技术来生成逼真的视觉、听觉与触觉虚拟环境。用户借助必要的硬件、软件设备以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互、影响,产生身临其境的感受与体验,从而完成现实世界指定项目的方案、计算、设计、评估、成图等任务。从某种意义上讲,虚拟设计也是利用虚拟现实技术在计算机辅助设计基础上发展起来的一种高级设计手段,它可以在计算机系统中以现实工程为对象,全方位地帮助设计人员完成设计工作。因此,虚拟工程设计系统不同于一般的计算机绘图系统,也不同于一般的计算机仿真系统。因为,它不仅能让用户真实地看到一个现实的工程环境,而且能让他们真正感到这个环境的存在,并能和这个环境进行自然交流,达到按用户意图改造这一环境的目的,一切就如同在现实工程环境中工作一样。

一个典型的虚拟工程设计系统具有以下特征(钟登华等,2004):

(1) 自主性。在虚拟环境中,对象的行为是自主的,是由程序自动完成的。因此,操作者能够感到的虚拟环境中的各种工程对象都是“客观的”和“自主的”,而且是“可操作的”,并且其行为完全符合各种物理规律和工程特征。

(2) 交互性。操作者能够对虚拟工程环境中的工程对象进行操作,可以在虚拟工程场地进行勘探。虚拟钻孔柱状图的出现使操作者能准确、真实地感觉到操作结果的存在。

(3) 融洽性。在虚拟环境中,操作者能够很好地感觉到各种不同的工程条件,并且虚拟工程条件表达的各种详细度、精确度、真实度能使操作者真正地感到与现实的融洽,并为之陶醉。

因此有人提出了虚拟现实技术的基本特征,即虚拟现实技术的“3I”图(如图 1.1 所示),三个“I”分别为 immersion(陶醉)、interaction(交互)和 imagination(想像)。这三个“I”指出了虚拟现实系统的三个基本特征,也强调了人在虚拟现实环境中的主导作用。理

论、实验与学科计算机技术已成为今天学科发展的三大支柱。而学科计算机技术在学科中的应用使学科孕育着一场新的革命。这场革命必将波及到岩土工程勘测和设计领域。因此,在岩土工程设计领域引入虚拟设计技术,对于完善岩土工程设计质量、缩短设计周期,节省设计成本、激发岩土工程设计创新和提高岩土工程设计现代化水平都具有极其重要的意义。

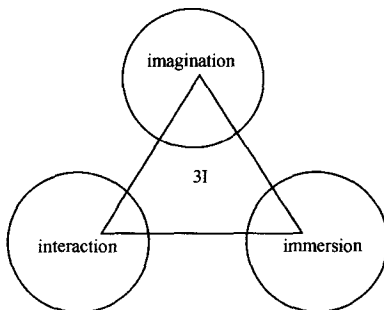


图 1.1 虚拟设计的“3I”图

事实上,岩土工程数字化技术,亦即岩土工程虚拟设计是以虚拟岩土工程建设环境为基础,以虚拟岩土工程建设对象为目标,借助各种成熟的设计手段,通过多种与多维的信息环境交互,在综合集成岩土工程场地虚拟环境中完成与创新完成岩土工程设计任务。虚拟设计的环境生成是工程虚拟设计系统的核心,而岩土工程虚拟设计的核心就是虚拟岩土工程场地的实现。这就需要根据岩土工程任务的性质和用户的要求,在岩土工程计算机工具软件和岩土工程数据库的支持下产生任务所需的、多维的适合岩土规范的虚拟情景和场景;使用户可以在这虚拟情景和场景下进行虚拟现实工程对象的方案、计算、设计、评估、成图,从而完成现实设计任务。实现岩土工程数字化,要做的工作明了地说,就是如何在现有计算机基本软件、硬件、开发工具和其他配件组成下完成或局部完成岩土工程勘测、设计和出图的一体化任务。也就是如何在现有各种数据库、工程设计计算机软件、图形计算机处理系统状况下,为实现这一目标获得技术支持。

解放以来,我国的岩土工程勘测和设计工作都取得了长足的进步。特别是计算机技术和现代科技技术的应用,更使岩土工程勘测、设计工作获得了迅猛发展。主要表现在:①我国岩土工程勘测在装备和先进技术应用水平上有较大进步和提高,尤其是进入 20 世纪 90 年代以后,在勘探、测量、设计等方面对计算机的应用都有了很大的发展;②随着 RS、GIS、GPS(3S 技术)的发展与集成,已促使岩土工程设计进入到以数据库为核心的勘测、设计一体化产业体系。但是在注意到上述发展的同时也应该看到,目前虽然计算机辅助设计(CAD)已广泛应用于岩土工程勘测设计中,功能日臻完善。但是,由于多种原因,岩土工程勘测、设计之间仍有许多问题亟待完善,如:①分散作业,手工操作;②图纸、表格、文字等资料还是以纸质媒体为主,转抄传递,效率低下,错漏时有发生;③资料共享性差;④资料再利用率低;⑤缺乏空间分析功能。因此需要发展和推广岩土工程数字化技术,以使岩土工程勘测、设计走向全面的现代化。

要实现岩土工程数字化,首先应该实现岩土工程勘测、设计流程的数字化。掌握先进的地理信息系统技术、空间数据管理技术、岩土工程建模理论、计算机图形学理论与技术、地质统计理论、现代高级数据库技术和多媒体技术,这些技术与理论的集成运用应该是实现岩土工程数字化的关键。今天的岩土工程勘测、设计已是一个多专业多学科的系统工程,因此岩土工程数字化过程是岩土学科计算机技术的集成与交互过程。集成就是创新,这一创新将开拓一个完全不同于传统岩土工程技术的崭新岩土工程天地。因此,岩土工程数字化技术就是将不同学科结合起来建立(或创造)的一种全新的分析、集成与交互技术。集成与交互是实现岩土数字化的技术重点,也是本书的创新。

从实现岩土工程数字化集成和交互的目标来看,针对数字化范畴,在当今岩土工程领域可以发现以下几点:

(1) 数字化地图与数字化设计系统间不够贯通。地形图是设计系统的基础数据,由于目前数字化地图中的某些环节技术条件不成熟,与 CAD 设计软件的接口不匹配,很多时候很难顺利实现对接,设计系统有时不得不将勘测资料重新数字化。这些都会阻碍交互与集成的实现,影响了数字化系统的推广。

(2) 设计软件不够完善。目前岩土工程软件用在工程设计中,主要是完成设计中的数值计算、只有很少部分软件能够完成设计文件的编制和工程图的绘制等任务。而设计前沿的核心问题,如方案设计、设计中的综合评价等经验性工作,现有的软件远不能胜任。并且一些设计软件功能较少,常以单一功能者居多,很难实现网络化和数据共享以及综合分析。

(3) 软件的系统封闭性。在我国,由于缺少自主知识产权软件,造成了软件系统的封闭,即缺乏系统的整体性,体现不了数字化的特征。使得勘测与设计、各专业 CAD 系统之间缺乏有效的信息沟通手段。工程勘测、设计信息的采集、处理、管理、加工、分析在总体上还是部门分离和专业分工的作业,并正如前所述不得不以纸质文件为信息载体来交换数据。

(4) 系统综合能力差。岩土工程勘测设计所涉及的信息是多方位的,如地形、地质、水文、气象、村镇分布、农田、交通、水利设施、环境、经济、社会人文等,这些信息既有空间定位特征,又有属性特征,既有定量指标,又有定性指标,既有确定性因素,又有不确定性因素。现有的岩土工程勘测设计系统由于缺乏对各类信息全面采集、表达、识别、分析手段,造成设计方案的优化和综合决策缺乏全面的情报支持。因此,弱化了在岩土工程虚拟场地环境中实现全方位的自然的交互。

(5) 研究成果和软件与实际使用脱节。许多软件是在比较落后的软硬件环境下,利用比较落后的软件手段和工具开发的,加之这些软件在解决具体问题本身上也很不完善,所以研究成果和软件与实际使用还有一定距离。

岩土工程数字化建设是一项长期而艰巨的任务,要做的事情还很多。要解决目前存在的问题,一方面需要建立一个统一的框架结构和协同工作环境,进行系统的总体设计和制定切合实际的实施方案,一步步地达到目标。另一方面要充分利用大量的已经成熟的技术并寻求新的或有待开发的先进技术的支持,从而修改、完善与补充目前可以和能够修改、完善与补充的规范,大力推广岩土工程数字化技术。应该看到,虽然这些先进技术的

出现只不过是几十年,甚至是十几年、几年的事情,但它们在岩土工程的应用中已取得了可喜的成果。

本书介绍的岩土工程数字化涉及了地理信息系统、数据库、计算机图形学、地质学、地质统计学、岩土场地工程建模、AutoCAD 和 Word 自动化等一系列技术,它们以岩土工程勘测、设计规范作为相互联系的基础组成一个系统工程(如图 1.2 所示),并将以上诸多学科紧紧联系起来。也就是在这一体系中把当代测绘技术、数据库技术、计算机技术、网络通信技术和 CAD 技术,即把一个工程项目的信息(勘测、设计、进度、计划、变更等数据)通过计算机及其软件有机地集成起来。改变了各学科独立工作、相互之间缺乏交流的工作方式,促使各学科之间相互交互、反馈。从而,建立综合的计算机辅助信息流程,使勘测、设计的技术手段从手工方式向现代化 CAD 技术转变。做到数据采集信息化、勘测资料处理数字化、硬件系统网络化、图文处理自动化,逐步形成和建立适应多专业、多工种生产的高效益、高柔性、高智能化的岩土工程设计体系。该体系还用系统工程观点,把勘测、设计的图纸、图像、表格、文字等以数字化形式存储,供各专业设计使用。

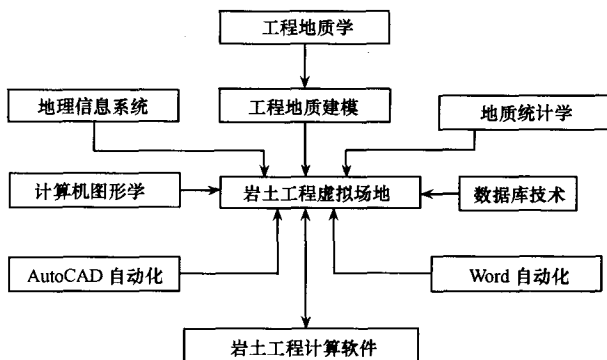


图 1.2 岩土工程数字化系统组成图

这一体系的根本是岩土工程数据库管理系统。系统的工作模式是通过各种采集手段,采用统一编码将采集到的信息转换为标准格式后存在信息数据库中,之后经过加工处理,与设计信息数据一起共同组成岩土工程数据库管理系统,作为各专业设计 CAD 的共同信息来源。信息处理系统是岩土工程虚拟设计信息系统的前期基础,而岩土工程数据库管理系统可将岩土工程勘测、设计搜集和形成的数据汇集于岩土工程数据库中,进行计算机数据管理。做到从原始资料到过程数据以及文档数据共享,形成岩土工程场地虚拟环境,这就是前面说的岩土工程数字化体系。因此,岩土工程数据管理系统可包括四大块,即数据采集、信息处理、岩土工程数据库管理和计算机文档管理。其概略工作流程如图 1.3 所示。本书对岩土工程数据管理系统的介绍尚嫌抽象,但读者能够自行完善。

岩土工程数字化的内容非常丰富,所介绍的仅是这一大厦的初步和入门。正像前面所述,在岩土工程数字化方面还有很多事情要做。希望本领域的同仁能介入这一行列,共同做好我国的岩土工程数字化课题,迎接 21 世纪新技术的挑战。

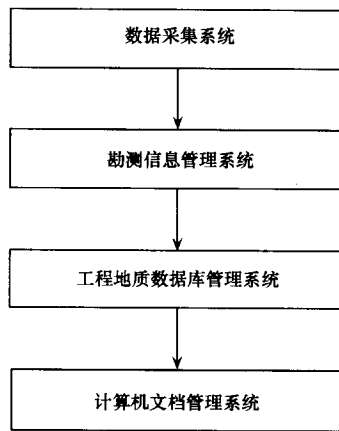


图 1.3 岩土工程数据库管理系统概略图

第2章 场地方域的数字化——地理信息系统

2.1 地理信息系统介绍

2.1.1 地理信息系统概念

地理信息系统是一门集计算机科学、信息科学、地理学等多门学科为一体的新兴学科,它是在计算机软件 and 硬件支持下,运用系统工程和信息科学的理论,科学管理和综合分析具有空间内涵的地理数据,以提供对规划、管理、决策和工程等所需信息的空间信息系统。GIS 的概念框架如图 2.1 所示(邬伦等,2001)。

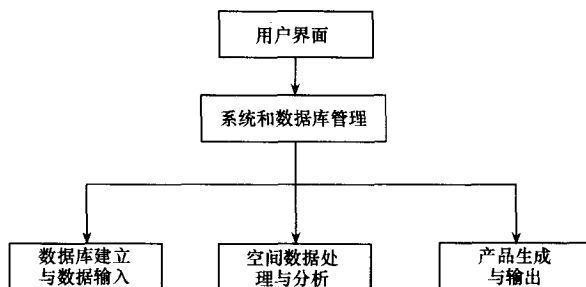


图 2.1 GIS 的概念框架图

1. 地理信息系统的组成

一个典型的 GIS 系统应包括四个基本的组成部分:计算机系统(硬件、软件)、空间数据库系统、应用人员与组织机构、应用模型。各组成部分及其相互关系如图 2.2 所示(王家耀,2001)。

计算机系统包括硬件系统和软件系统。计算机与一些外围设备连接形成 GIS 的硬件环境。计算机是硬件系统的核心,用作数据的处理与管理。与它连接的外围设备包括输入用的专用设备,如数字化仪、解析测图仪及其他测绘设备等。GIS 输出和存储用的外部设备,通常是指标准的计算机外围设备,包括打印机、高分辨率显示装置、绘图仪等。今天硬件配置已经包括远程通信装置。

地理信息系统的软件系统包括核心软件和应用软件。核心软件包括数据处理、管理、地图显示和空间分析等部分,应用软件则紧紧地与核心模块相连,并且可以面向一些特殊的应用问题,如网络分析、数字高程(DEM)、数字地形模型(DTM)分析等。GIS 软件系统基本组成如图 2.3 所示(胡鹏等,2002)。

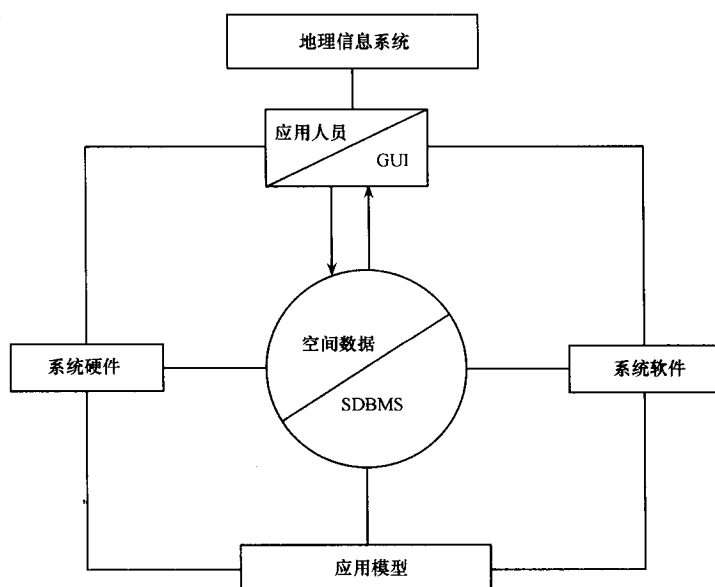


图 2.2 GIS 系统组成图

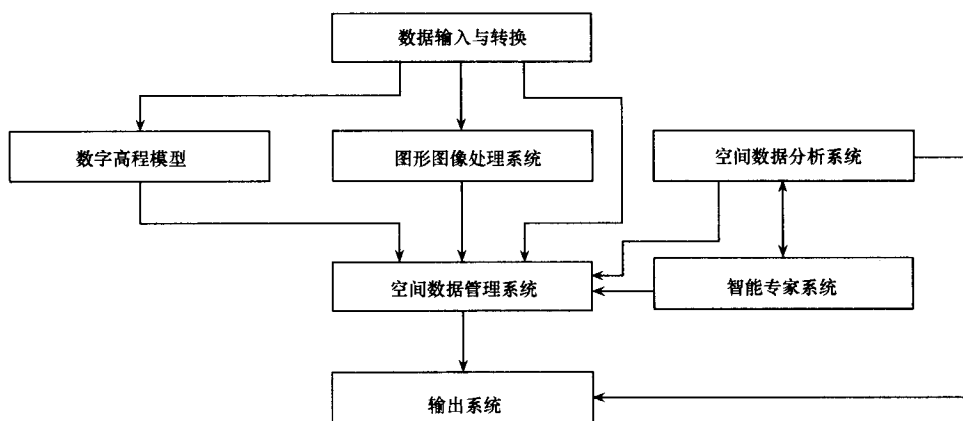


图 2.3 GIS 软件系统基本组成图

空间数据库系统由数据库实体和空间数据库管理系统(SDBMS)组成。地理信息系统的空间数据分为几何数据和属性数据。几何数据表现地理空间实体的位置、大小、形状、方向以及拓扑关系,可以采用栅格和矢量两种形式。属性数据描述地理空间实体的名称、类型、数量等。空间数据库管理系统主要用于数据维护、操作和查询检索等。

GIS 应用模型的构建和选择也是 GIS 系统应用成败的至关重要的因素。虽然 GIS 为解决各种实际应用提供了有效的基本工具,但对于某一专门应用目的的解决,必须通过构建专门的应用模型,例如土地利用适宜性模型、选址模型、洪水预测模型、人口扩散模型等。这些模型是客观世界中相应系统经由观念世界到信息世界的映射,是联系 GIS 系统

与专业研究之间的纽带,反映了人类对客观世界利用改造的能动作用,并且是 GIS 技术产生经济效益的关键所在,因此在 GIS 技术中具有十分重要的地位。

2. 地理信息系统的类型

地理信息系统根据其内容、功能和作用可分为两大基本类型:工具型地理信息系统和应用型地理信息系统。

工具型地理信息系统就是 GIS 工具软件包,它具有空间数据输入、存储、处理、分析和输出等 GIS 基本功能,是地理信息系统开发的平台或外壳,为地理信息系统的使用者提供一种技术支持,是供其他系统调用或用户进行二次开发的操作平台。用户能借助地理信息系统工具中的功能直接完成任务,或者利用工具型地理信息系统加上专题模型完成任务。目前已有很多商品化的工具型地理信息系统,如 ARC/INFO、GENAMAP、Map/Info、MGE 等。国内近几年在工具型地理信息系统的开发方面也取得了很大的成绩,如 MAP/GIS、Geostar、CITYSTAR 等。

应用型地理信息系统以某一专业、领域或工作为主要内容,根据用户的需求和应用目的而设计的一种解决一类或多类实际问题的地理信息系统。它除了具有地理信息系统基本功能外,还具有解决地理空间实体及空间信息分布规律、分布特性及相互依赖关系等的模型和方法。因此它可以在比较成熟的工具型地理信息系统基础上进行二次开发完成,也可以是为某专业专门设计的。应用型地理信息系统具有针对性明确、专业性强、系统开发成本小等特点。随着地理信息系统应用领域的扩展,应用型 GIS 的开发工作日益重要。如何针对在岩土工程中不同的应用目标,高效地开发出既合乎需要又具有方便、美观、丰富的界面形式的地理信息系统,是新一代岩土工程技术人员应该关心的问题。

2.1.2 地理系统的功能与应用

1. 地理系统的功能(刘光等,2003)

作为地理信息自动处理和分析系统,地理系统的功能贯穿数据采集、分析、决策应用的全部过程,可概括为以下几个方面:

(1) 数据采集与编辑。即在数据处理系统中将系统外部原始数据传输给系统内部,主要用于获取数据,保证系统数据库中的数据在内容上与空间上的完整性、数据值逻辑一致、无错等。目前可用于地理信息系统数据采集的方法和技术很多,如跟踪数字化、扫描数字化、遥感等。

(2) 数据操作,包括数据的格式化、转换、概化。数据的格式化是指不同数据结构的数据间变换;数据转换包括格式转换(如矢、栅格式的转换)、数据比例尺的变换、投影变换等;数据概化包括数据平滑、特征集结等。

(3) 数据的存储与组织。这是一个数据继承的过程,也是建立地理信息系统数据库的关键步骤,涉及空间数据和属性数据的组织,其关键是如何将两者融合为一体。

(4) 查询、检索、统计、计算功能。这是地理信息系统应具备的最基本的分析功能。