

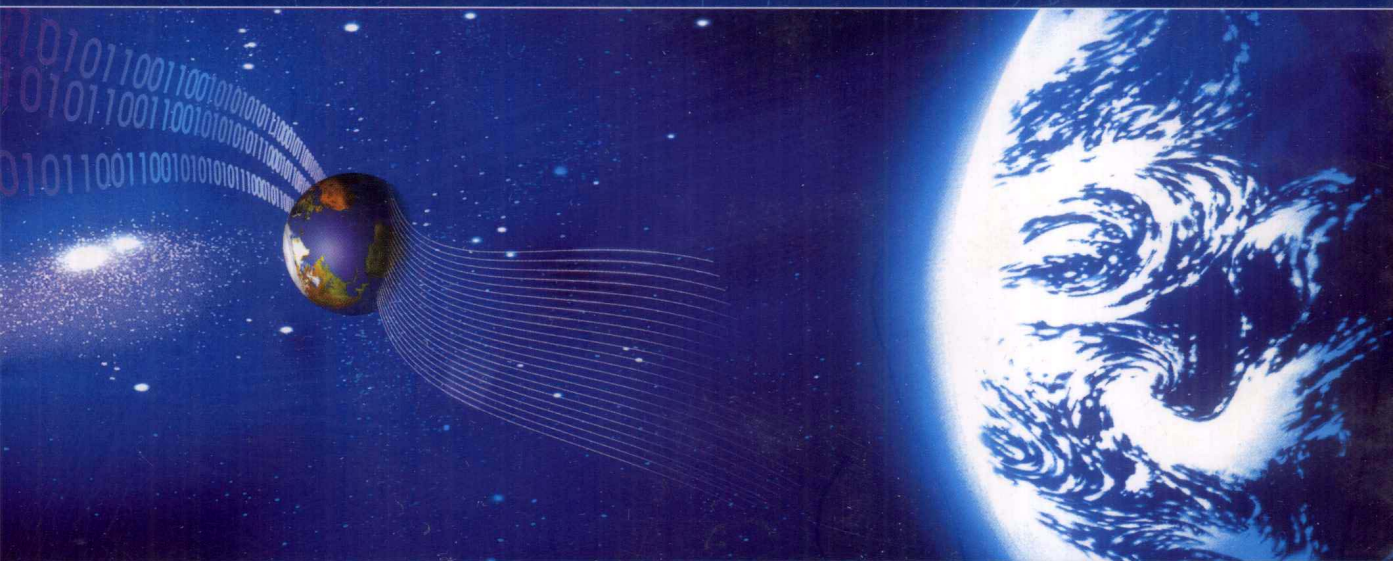
GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE

● 高等学校地图学与地理信息系统系列教材

(第二版)

地理信息系统原理、应用与工程

郑春燕 邱国锋 张正栋 胡华科 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校地图学与地理信息系统系列教材

地理信息系统原理、应用与工程

(第二版)

郑春燕 邱国锋 张正栋 胡华科 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理、应用与工程/郑春燕,邱国锋,张正栋,胡华科编著.
—2版. —武汉:武汉大学出版社,2011.4
高等学校地图学与地理信息系统系列教材
ISBN 978-7-307-08582-4

I. 地… II. ①郑… ②邱… ③张… ④胡… III. 地理信息系统
—高等学校—教材 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 037054 号

责任编辑:王金龙 责任校对:刘 欣 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中科兴业印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:520千字

版次:2005年9月第1版 2011年4月第2版

2011年4月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-08582-4/P·180

定价:38.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

第二版前言

本书第一版自 2005 年 9 月出版以来,得到国内部分兄弟院校的欢迎并作为地理信息系统课程的教材。为了跟踪学科发展方向,更好地为广大读者服务,编者对原书进行了修订。

这次修订基本保留本书原有框架体系,具体修订情况如下:

一、对原书中部分叙述不够准确的文字、插图进行了修改、补充和完善。

二、对原书第五章至第七章进行了重写。其中第五章加强了空间分析基本原理和方法的叙述,第六章重点补充了 DEM 的地形因子计算内容,第七章主要增加了关于 GIS 制图输出时图面配置的叙述。

三、适当增加了反映学科发展的新内容。

本书由郑春燕副教授(重写第五、六、七章)、张正栋教授、胡华科副教授进行统稿和修订,邱国锋教授审阅了全书。

本书在编写过程中,参阅和引用了国内外学者很多新的论著等资料,书中仅列出了主要部分,在此一并表示衷心感谢。

由于编者的水平有限,在第二版中必定还会有不少错误或不妥之处,敬请广大读者不吝赐教(hhkzcy@jyu.edu.cn)。

编 者

2011 年 2 月于嘉园

第一版前言

地理信息系统(GIS)是空间信息科学与技术的一个重要组成部分。近几年来,GIS 作为一类获取、处理、分析、访问、表示以及在不同用户、不同系统、不同地点之间传输数据的计算机信息系统,无论是在理论上还是在应用技术上都处在一个飞速发展的阶段,且已经广泛地应用于国民经济的各个领域和社会生活的诸多方面。同时,GIS 教育事业在国内也有了很大的发展,许多高校开设了 GIS 专业或 GIS 课程,这其中既有国内重点名牌高校,也有地方性高校,既有研究生层次的,也有本专科层次的,既有 GIS 专业的,也有非 GIS 专业的,故 GIS 教育和社会需求是多方向、多层次的,需要多种类型的教材以适应社会需要。

本书以 GIS 的基本理论和工程为主线,系统介绍了 GIS 的基本理论和工程实践。全书共分十五章。第一章到第九章,重点阐述地理信息系统的基本原理,主要包括:GIS 的基本概念、研究内容与应用,GIS 空间数据结构,GIS 数学基础,地理信息数据获取与处理,空间分析与建模,数字高程模型,GIS 产品输出,GIS 标准,GIS 技术的发展;第十章到第十五章,重点论述了 GIS 工程与实例,主要包括 GIS 系统分析、GIS 总体设计、GIS 功能设计、GIS 数据库设计、GIS 输入输出设计、GIS 实施、GIS 管理和维护及其应用实例。

全书写作提纲由张正栋拟定。主要编写人员有张正栋、邱国锋、郑春燕、胡华科。各章撰写分工为:第一章、第五章、第九章、第十二章和第十三章:张正栋;第七章、第八章和第十五章:邱国锋;第二章、第十一章、第十四章:郑春燕;第三章、第四章、第六章和第十章:胡华科。全书由张正栋、郑春燕统稿、改稿,张正栋定稿。

本书在编写过程中得到了梅州市科技局、嘉应学院、中国科学院广州地球化学研究所 GIS 室、中山大学地球资源与地球环境研究中心、嘉应学院“地图学与地理信息系统”重点扶持学科组等单位的大力支持和帮助;得到了中国科学院广州地球化学研究所 GIS 室和中山大学地球资源与地球环境研究中心全体同仁的大力支持,尤其是周永章教授、夏斌研究员、包世泰博士、张俊岭博士、陈邦胜高级工程师为本书提出了许多有益的建议和修改意见;得到了嘉应学院张亮院长、罗传厚书记、谭兆凤处长、张学先副处长和武汉大学出版社王金龙编辑的大力支持和关心。特别值得一提的是,本书在编写过程中参阅和引用了国内外学者的很多论著,书中仅列出了主要部分,在此一并表示衷心感谢。

尽管我们作了很大的努力,但由于水平有限,所掌握的文献有限,书中定有不少纰漏和不足,敬请诸位专家、同行、读者批评指正。

作 者

2005 年 5 月 28 日于嘉园

目 录

第一章 GIS 概论	1
第一节 GIS 基本概念	1
1 信息、地理信息	1
2 信息系统	2
3 GIS	2
4 GIS 与相关学科的关系	3
第二节 GIS 的构成	5
1 计算机硬件系统	5
2 计算机软件系统	5
3 地理空间数据	6
4 系统开发、管理和使用人员	6
第三节 GIS 的功能与应用	6
1 GIS 的功能	6
2 GIS 的应用	7
第四节 GIS 的发展概况	9
1 国际发展状况	9
2 国内发展状况	10
思考题	11
第二章 GIS 空间数据结构与数据库	12
第一节 GIS 空间数据模型与数据结构	12
1 空间数据的分类	12
2 空间数据模型	13
3 空间数据结构	15
4 数据模型与数据结构的关系	16
5 空间数据的拓扑关系	16
第二节 栅格数据结构及其编码	19
1 栅格数据结构	19
2 栅格数据的取值方法	21
3 压缩编码方法	22
第三节 矢量数据结构及其编码	31
1 矢量数据结构	31

2 矢量数据结构编码的基本内容	32
3 矢量数据结构的编码方式	35
4 多边形编码及拓扑关系的自动生成	39
第四节 矢栅结构的比较及转换算法	43
1 栅格结构与矢量结构的比较	43
2 相互转换算法	44
第五节 GIS 空间数据库与数据库管理系统	52
1 数据库	52
2 数据库管理系统	55
3 GIS 空间数据库	56
4 GIS 空间数据库管理系统	57
思考题	60
第三章 GIS 数学基础	61
第一节 地球椭球及其坐标系	61
1 地球椭球	61
2 各种坐标系的建立及其相互关系	64
3 我国的高程系	67
第二节 地图投影	67
1 地图投影的基本原理	67
2 常用的一些地图投影	71
3 我国编制地图常用的地图投影	77
4 地理信息系统中地图投影的配置	78
第三节 地图的分幅和编号	79
1 地图分幅	79
2 地图编号	79
3 我国地形图分幅和编号	79
思考题	84
第四章 GIS 数据获取与处理	86
第一节 GIS 的数据源	86
1 地图	86
2 遥感影像数据	86
3 社会经济数据	86
4 实测数据	86
5 数字数据	86
6 各种文字报告和立法文件	87
第二节 GIS 数据获取	87
1 属性数据的采集	87

2 几何数据的采集	87
第三节 GIS 数据处理	89
1 空间数据预处理	89
2 数据处理	91
第四节 GIS 空间数据质量及其控制	99
1 空间数据质量问题的产生	99
2 研究空间数据质量问题的目的和意义	100
3 空间数据质量体系	100
4 常见空间数据的误差分析	103
5 空间数据误差的传播	105
6 空间数据质量的控制	106
第五节 空间数据的元数据	107
1 元数据基本概念	107
2 空间数据元数据的获取与管理	110
3 空间数据元数据的标准	111
思考题	112
 第五章 GIS 空间分析与地学建模	 113
第一节 GIS 基本空间分析方法	113
1 空间查询与量算	113
2 缓冲区分析	117
3 叠加分析	121
4 网络分析	127
5 空间统计分析	131
6 空间统计分类分析	132
第二节 GIS 地学建模与应用	136
1 GIS 地学建模	136
2 GIS 地学建模的一般方法	138
3 应用实例	139
第三节 地学专家系统	142
1 概述	142
2 应用实例	144
思考题	145
 第六章 数字地面模型	 147
第一节 概述	147
1 DTM 与 DEM	147
2 DEM 的数据源	148
3 DEM 的精度与数据质量控制	151

第二节 DEM 的主要表示模型及其转换	151
1 主要表示模型	151
2 DEM 模型之间的相互转换	154
第三节 空间数据的内插	161
1 整体内插	161
2 分块内插	162
3 逐点内插	165
4 内插技术比较分析	168
第四节 DEM 的分析和应用	168
1 绘制等高线图	168
2 利用 DEM 绘制地面晕渲图	169
3 透视立体图的绘制	169
4 通视分析	170
5 DEM 的基本地形因子计算	173
思考题	180
 第七章 GIS 产品输出	182
第一节 GIS 产品类型	182
1 地图	182
2 图像	183
3 统计图表	183
4 其他数字数据的输出	186
第二节 GIS 产品输出设备	186
1 屏幕输出	187
2 矢量绘图输出	187
3 栅格绘图输出	187
4 绘图仪输出融合方式	189
第三节 GIS 地图制图输出	190
1 制图符号、注记与色彩	190
2 图面配置	195
3 地图输出	201
4 电子地图系统简介	201
思考题	201
 第八章 GIS 标准	202
第一节 GIS 标准概论	202
1 GIS 标准的定义	202
2 GIS 标准化的作用	203
3 GIS 标准化的内容	204

4 GIS 标准化的方法	206
5 GIS 标准化工作	210
第二节 开放的地理数据互操作规范 OpenGIS	213
1 OpenGIS 的定义	213
2 OpenGIS 的作用	214
3 OpenGIS 的内容	215
第三节 ISO/TC 211 地理信息标准	218
1 国际标准化组织(ISO)	218
2 国际标准化组织地理信息技术委员会 ISO/TC 211	218
3 ISO/TC 211 工作组	220
思考题	222
 第九章 GIS 技术的发展	223
第一节 组件式 GIS 技术	223
1 组件式 GIS (ComGIS) 的概念	223
2 ComGIS 的特点	224
3 ComGIS 的设计与开发	226
第二节 嵌入式地理信息系统	228
1 嵌入式系统概述	228
2 嵌入式 GIS	229
3 嵌入式 GIS 开发平台 eSuperMap 介绍	232
第三节 网络地理信息系统技术	232
1 Web GIS 简介	232
2 Web GIS 的工作模式	233
第四节 3S 集成技术	237
1 遥感概述	237
2 全球定位系统概述	242
3 GIS 与遥感的集成及具体技术	246
4 GIS 与 GPS 的集成	248
5 RS 与 GPS 的结合	249
6 3S 集成综述	249
思考题	250
 第十章 GIS 工程概述	251
第一节 GIS 工程概述	251
1 软件工程	251
2 GIS 工程	253
3 GIS 软件工程标准	254
4 GIS 工程设计与开发的步骤	254

5 GIS 工程的关键影响因素	255
第二节 GIS 工程设计方法与过程模型	256
1 GIS 工程设计方法	256
2 开发过程模型	258
第三节 GIS 工程的人员配置	260
思考题	262
第十一章 GIS 系统分析	263
第一节 GIS 需求分析	263
1 系统调查	263
2 数据分析	266
3 功能需求分析	266
4 业务流程分析	267
5 其他需求分析	267
第二节 GIS 可行性分析	267
1 技术	268
2 经费	268
3 进度	268
4 支持程度	269
5 制定设计实施的初步计划	269
思考题	269
第十二章 GIS 系统设计	270
第一节 概述	270
1 系统设计基本原则	270
2 总体设计	271
3 详细设计	273
第二节 软、硬件配置设计	274
1 系统配置方案设计原则	274
2 设计配置方案的方法	275
3 配置方案的具体内容	276
4 系统设备配置与机器选型	277
第三节 系统模块结构设计	280
1 模块分解的原则和依据	280
2 模块结构的标准形式	281
3 处理过程设计	282
第四节 数据管理设计	282
1 文件管理	283
2 文件结合关系数据库管理	284

3 全部采用关系数据库管理	284
4 采用面向对象数据库(OO-DBMS)管理	285
第五节 输入、输出设计	286
1 输出设计	286
2 输入设计	287
第六节 界面设计	288
1 界面设计原则	288
2 界面样式	289
第七节 GIS 工程的网络设计	290
1 概述	290
2 计算机网络系统的连接方式	291
3 网络 GIS 的组合方式	292
4 网络 GIS 的概念设计	294
第八节 GIS 系统设计报告	299
1 系统设计的成果	299
2 系统设计说明书的组成	299
思考题	300
 第十三章 GIS 系统实施	 301
第一节 程序编制与调试	301
1 程序设计的任务与基本要求	301
2 程序设计方法	302
3 程序设计语言的选择	303
4 程序设计的风格	304
5 衡量编程工作指标	305
6 常用的编程工具	305
7 程序调试	307
第二节 数据采集与数据库建立	308
第三节 人员的技术培训	309
1 事务管理人员	309
2 系统操作员	310
3 系统维护人员	310
第四节 系统测试	310
1 系统测试原因	311
2 系统测试方法	311
思考题	312
 第十四章 GIS 系统的维护和评价	 314
第一节 系统的维护	314

1 影响系统维护代价的主要因素	314
2 系统维护活动的内容	315
第二节 系统的评价	316
1 性能评价	317
2 经济效益评价	317
3 综合评价	318
4 系统评价报告	319
第三节 我国优秀 GIS 工程标准	319
第四节 提高我国 GIS 工程建设与管理技术水平的几点建议	320
1 积极建立符合我国国情的 GIS 工程建设规范	320
2 推动建立 GIS 工程咨询与监理体系	320
3 完善 GIS 工程教育与培训体系	320
思考题	321

第十五章 GIS 工程实例

——深圳市土地管理信息系统	322
第一节 系统调查	322
第二节 系统分析	324
1 功能要求	324
2 性能要求	325
第三节 系统设计与实施	325
1 总体设计与实施	325
2 软、硬件配置与实施	326
3 模块设计与实施	326
4 数据库设计	327
5 数据字典	328
6 接口设计	329
思考题	330

参考文献	331
------------	-----

第一章 GIS 概论

第一节 GIS 基本概念

1 信息、地理信息

1.1 数据和信息

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其他形式。数据是用以载荷信息的物理符号,其本身并没有意义。信息是用文字、数字、符号、语言、图像等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征,从而向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实和知识,作为生产、建设、经营、管理、分析和决策的依据。

信息与数据是不可分离的。数据是客观对象的表示,表示原始事实,而信息则是数据处理的结果,表示数据内涵的意义,是数据的内容和解释。对数据进行处理(运算、排序、编码、分类、增强等),可以得到数据中包含的信息。

1.2 地理数据和地理信息

地理数据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,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(简称属性)及时域特征(或时间)三部分。空间位置数据描述地物所在的位置。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,如空间上的相邻、包含等。属性数据有时又称非空间数据,是描述一定地物特征的定性或定量指标,即描述信息的非空间组成部分,包括语义与统计数据等。时域特征是指地理数据采集或地理现象发生的时刻或时段。时间数据对环境模拟分析非常重要,正受到地理信息系统学界越来越多的重视。空间位置、属性及时间是地理空间分析的三大基本要素。

地理信息是有关地理实体的性质、特征和运动状态的表征及一切有用的知识,它是对表达地理特征与地理现象之间关系的地理数据的解释。地理信息除了具有信息的一般特性外,还具有以下特性:

(1)空间分布性。地理信息具有空间定位的特点,这是地理信息区别于其他类型信息的最显著的标志。

(2)多维结构特性。即在二维空间的基础上实现多专题的多维结构。

(3) 时序特征明显。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。

(4) 数据量大。地理信息具有空间特征、属性特征和时间特征,因此其数据量很大。尤其是随着全球对地观测计划的不断发展,人们每天都可以获得海量的关于地球资源、环境特征的数据,这必然对数据处理与分析带来很大压力。

2 信息系统

2.1 信息系统的基本组成

信息系统是具有数据采集、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,并由计算机硬件、软件、数据和用户四大要素组成。另外,智能化的信息系统还包括知识。

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;软件是支持数据采集、存储加工、再现和回答用户问题的计算机程序系统,它接收有效数据,并正确地处理数据;在一定的时间内提供适用的、正确的信息,并存储信息;数据是系统分析与处理的对象,是构成系统的应用基础;用户操作信息系统,是信息系统服务的对象。

2.2 信息系统的类型

根据系统所执行的任务,信息系统可分为:

(1) 事务处理系统。它主要负责处理日常事务。事务处理系统强调的是数据的记录和操作,民航订票系统是其典型示例之一。

(2) 管理信息系统。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。主要用于中层管理者日常管理服务。

(3) 决策支持系统。是一组处理数据和进行推测的分析程序,用以支持管理者获得辅助决策方案的交互式计算机系统,一般由语言系统、知识系统和问题处理系统共同构成。管理者能从管理信息系统中获得信息,帮助管理者制定好的决策。

(4) 人工智能和专家系统。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。管理信息系统能提供信息帮助制定决策,决策支持系统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。

3 GIS

3.1 定义

地理信息系统(Geographic Information System 或 Geo-Information System, GIS)或称为地学信息系统、资源与环境信息系统。它是在计算机硬件、软件系统的支持下,对整个或部分地球表层(包括大气层)空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示

和描述以及辅助决策的技术系统。地理信息系统处理、管理的对象是多种地理空间实体数据及其关系,包括空间定位数据、图形数据、遥感图像数据、属性数据等,用于分析和处理在一定地理区域内分布的各种现象和过程,解决复杂的规划、决策和管理问题。

3.2 特点

- (1) 具有采集、管理、分析和输出多种地理信息的能力,具有空间性和动态性;
- (2) 由计算机系统支持进行空间地理数据管理,并由计算机程序模拟常规的或专门的地理分析方法,作用于空间数据,产生有用信息;
- (3) 以地理研究和地理决策为目的,以地理模型方法为手段,具有空间分析、多要素综合分析和动态预测的能力,并能产生高层次的地理信息。

地理信息系统从外部来看,它表现为计算机软硬件系统;而其内涵却是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型,是一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统,信息的流动及信息流动的结果完全由计算机程序的运行和数据的交换来仿真。

3.3 类型

地理信息系统按研究的范围大小可分为全球性的、区域性的和局部性的,按研究内容的不同可分为综合性的与专题性的。同级的各种专业应用系统集中起来,可以构成相应地域同级的区域综合系统。在规划、建立应用系统时,应统一规划各种系统的发展,以减少重复浪费,提高数据共享的程度和实用性。

地理信息系统按其内容可以分为三大类:

(1) 专题地理信息系统(Thematic GIS),是具有有限目标和专业特点的地理信息系统,为特定的专门目的服务,如森林动态监测信息系统、水资源管理信息系统、矿业资源信息系统、农作物估产信息系统、草场资源管理信息系统、水土流失信息系统等。

(2) 区域信息系统(Regional GIS),主要以区域综合研究和全面的信息服务为目标,可以有不同的规模,如国家级的、地区或省级的、市级和县级等为各不同级别行政区服务的区域信息系统;也可以按自然分区或流域为单位,如中国黄河流域信息系统等。许多实际的地理信息系统是介于上述二者之间的区域性专题信息系统,如北京市水土流失信息系统、海南岛土地评价信息系统、河南省冬小麦估产信息系统等。

(3) 地理信息系统工具(GIS Tools),是一组具有图形图像数字化、存储管理、查询检索、分析运算和多种输出等地理信息系统基本功能的软件包。它们或者是专门设计研制的,或者是在完成了实用地理信息系统后抽取掉具体区域或专题的地理空间数据后得到的,具有对计算机硬件适应性强、数据管理和操作效率高、功能强且具有普遍性的实用性信息系统,也可以用作 GIS 教学软件。

4 GIS 与相关学科的关系

GIS 是现代科学技术发展和社会需求的产物,是包括自然科学、工程技术、社会科学等多种学科交叉的产物。它将传统科学与现代技术相结合,为各种涉及空间数据分析的学科提供了新的方法,而这些学科的发展都不同程度地提供了一些构成地理信息系统的技术与方法。为更好地掌握并深刻地理解地理信息系统,有必要认识和理解与地理信息系统相关

的学科。

4.1 地理学

地理学以地域单元研究人类居住的地球及其部分区域,研究人类环境的结构、功能、演化以及人地关系。在地理学研究中,空间分析的理论和方法为地理信息系统提供了引导空间分析的基本观点与方法,成为地理信息系统的基础理论依托。

自然界与人类存在着深刻的信息联系,地理学家所面对的是一个形体的即自然的地理世界,而感受到的却是一个地理信息世界。地理研究实际上是基于这个与真实世界并存而且在信息意义上等价的信息世界,GIS 提供了解决地理问题的全新的技术手段,即以地理信息世界表达地理现实世界,可以真实、快速地模拟各种自然的和思维的过程,对地理研究和预测具有十分重要的作用。如果说地图是地理学的第二代语言,那么地理信息系统就是地理学的第三代语言。

4.2 测绘学

GIS 与测绘学有着密切的关系。现代测绘学是研究地球有关的基础空间信息采集、处理、显示、管理、利用的科学与技术,测绘学科的应用范围和对象应从单纯的控制测量、测图扩大到国民经济、国防建设以及社会可持续发展中与地理空间信息有关的各个领域。测绘学及其分支学科,如大地测量学、摄影测量与遥感、地图制图、地图投影等不但为 GIS 提供了高精度、快速、可靠、多时相和廉价的基础地理空间数据,而且其误差理论、地图投影与变换理论、图形学理论等许多相关的算法可直接用于 GIS 空间数据的变换处理,并促使 GIS 向更高层次发展。

4.3 遥感

遥感是一种不通过直接接触目标物而获得其信息的一种新型的探测技术。GIS 主要用于数据处理、操作和分析,遥感则作为一种空间数据采集手段已成为地理信息系统的主要信息源与数据更新途径。同时,地理信息系统的应用又进一步支持遥感信息的综合开发与利用,从而使遥感和地理信息系统的结合在“全数字”的环境下进入新的阶段。

4.4 计算机科学

地理信息系统技术的创立和发展是与地理空间信息的表达、处理、分析和应用手段的不断发展分不开的。地理信息系统与计算机的数据库技术、计算机辅助设计、计算机辅助制图和计算机图形学等有着密切的联系。计算机图形学是 GIS 图形算法设计的基础。数据库管理系统是各种类型信息系统包括 GIS 的核心,数据库的一些基本技术,如数据模型、数据存储、数据检索等,都在 GIS 中被广泛应用。

4.5 数学

数学的许多分支,尤其是几何学、图论、拓扑学、统计学、决策优化方法等被广泛应用于 GIS 空间数据的分析。