

中国民航飞行学院研究生系列教材

ZHONGGUO MINHANG FEIXING XUEYUAN YANJIUSHENG XILIE JIAOCAI

GISYUANLI YU HANGKONG
YINGYONG

GIS原理与航空应用

方学东 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

中国民航飞行学院研究生系列教材

ZHONGGUO MINHANG FEIXING XUEYUAN YANJIUSHENG XIL

GIS原理与航空应用

GIS YUANLI YU HANGKONG
YINGYONG

方学东 编 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

GIS原理与航空应用 / 方学东编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2013.10

中国民航飞行学院研究生系列教材

ISBN 978-7-5643-2608-1

I. ①G… II. ①方… III. ①地理信息系统 - 应用 - 民用航空 - 研究生 - 教材 IV. ①V19

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第196635号

中国民航飞行学院研究生系列教材

GIS原理与航空应用

编著 方学东

责任编辑	孟苏成
助理编辑	曾荣兵 姜锡伟
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路146号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	8.75
字 数	158千字
版 次	2013年10月第1版
印 次	2013年10月第1次
书 号	ISBN 978-7-5643-2608-1
定 价	28.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

21 世纪,人类已进入一个海量信息的时代,社会的发展、国家与企业的竞争能力越来越依赖于对信息的占有量与处理和利用能力。人类社会的活动,80%以上都和地理空间信息具有密切的联系,如何更快、更好、更充分地利用地理空间信息已成为全球关注的热点。以地理信息系统(GIS)为基础,融合遥感(RS)和全球定位系统(GPS),形成了新兴高技术交叉学科——空间信息科学与技术。该学科主要研究空间信息的获取、存储、管理、查询、分析、应用、共享、可视表达等理论、方法与技术。1998 年 1 月 31 日,美国副总统戈尔在加利福尼亚科学中心发表题为“数字地球——认识 21 世纪我们这颗星球”的演讲中首次提出数字地球概念。数字地球的关键支撑技术为 GPS 技术、RS 技术、GIS 技术、可视化和虚拟现实技术。

本书是中国民航飞行学院研究生课程建设项目“GIS 原理与航空应用”的研究成果之一,用于我校交通运输规划与管理学科的研究生教学。我校交通运输规划与管理学科主要为民航培养高层次的机场规划设计与运行管理、空中交通管理和航空运输管理等方面的高级专门人才。民航交通运输规划与管理学科的诸多研究方向都和地理信息具有密切的关系,本书的编写旨在抛砖引玉,通过将空间信息科学与技术重要分支——GIS 引入民航院校的教学,促进民航交通运输规划与管理学科相关研究领域的教学与科研工作。

本书共分六章:第一章为 GIS 概论,简要介绍 GIS 的基本概念、组成、主要功能,以及 GIS 的发展历史;第二章为地球坐标系与地图,在介绍地球形态的基础上,着重阐明常用地球坐标系及其转换方法,最后介绍地图的相关知识;第三章为 GIS 空间数据模型,以数据库技术的发展为脉络,着重论述了 GIS 数据的层次模型、关系模型和面向对象数据模型,阐明了空间数据的组织与管理方式及其索引机制;第四章为 GIS 空间数据结构及数据库,在阐明 GIS 空间对象的矢量和栅格数据结构的基础上,重点说明了空间数据库的设计;第五章为 GIS 的功能,详细论述了 GIS 的空间查询、量算、分析等功能及其算法;第六章为 GIS 在民用航空中的应用,以机场应急救援 GIS 系统的设计为实例,系统说明机场应急救援综合方格网图的屏幕矢量化方法,以最佳路径分析为例,阐明 GIS 分析功能的实现方法。

本书的编著参考了国内其他高校或科研单位科研人员发表的相关科研成果,同时,中国民航飞行学院硕士研究生宋伟伟、郑潇雨完成了大量文献整理、现场调研和系统开发工作,作者在此向参考文献的作者和两位研究生表示诚挚的感谢。

北京超图公司不但提供了平台软件使用授权,而且袁俊江等技术支持人

员对软件应用提供了大量帮助，在此致以谢意。

空间信息科学与技术的发展非常迅速，在民航交通运输领域的应用方兴未艾，本书力求能紧跟发展趋势，但由于笔者水平有限，教材中难免存在不足之处，恳请同行专家和读者指正。

笔 者

2012 年 12 月于中国民航飞行学院

目 录

第1章 GIS概论	1
1.1 GIS基本概念	1
1.2 GIS的组成	3
1.3 GIS的功能概述	7
1.4 GIS的发展	9
复习思考题	12
第2章 地球坐标系与地图	13
2.1 地球形态	13
2.2 地球坐标系	15
2.3 地图及地图投影	21
2.4 航图简介	31
复习思考题	33
第3章 GIS空间数据模型	34
3.1 概 述	34
3.2 层次数据模型	35
3.3 网络数据模型	36
3.4 关系数据模型	38
3.5 面向对象数据模型	40
复习思考题	42
第4章 GIS空间数据结构及数据库	43
4.1 概 述	43
4.2 矢量数据结构	44
4.3 栅格数据结构	48
4.4 三维数据结构	54
4.5 空间数据库设计	56

复习思考题	58
第5章 GIS的功能	59
5.1 空间数据采集	59
5.2 空间查询	67
5.3 空间几何量算	71
5.4 空间分析	74
5.5 数字高程模型	88
5.6 GIS制图	96
复习思考题	108
第6章 GIS在民用航空中的应用	109
6.1 概 述	109
6.2 GIS在机场应急救援中的应用	110
复习思考题	129
附录 常用GIS软件介绍	130
参考文献	132

第 1 章 GIS 概论

1.1 GIS 基本概念

1.1.1 GIS 定义

GIS 是 Geographic Information System 的缩写,即地理信息系统。GIS 是在计算机软、硬件系统支持下,对大气层以下的地球表层空间中的有关地理空间数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示与制图输出的计算机技术系统。GIS 处理的对象是各种地理空间数据及其关系,包括空间定位数据、图形数据、遥感数据、属性数据等,用于分析一定地理空间内的各种对象,解决和地理空间对象相关的规划、决策与管理问题。

根据 GIS 的基本定义,可得出 GIS 的基本概念:

(1) GIS 是计算机技术系统,由若干个相互关联的子系统构成,包括数据采集子系统、数据管理子系统、数据处理子系统、数据分析子系统、图像处理子系统、数据输出子系统等。

(2) GIS 的操作对象是地理空间数据,即点、线、面、体这类有空间位置属性的地理实体。空间数据的最根本特点是每一个数据都按统一的地理坐标进行编码,实现对其定位、属性的描述,这是 GIS 的根本标志。

(3) GIS 与测绘学、地理学有着密切的关系。大地测量、工程测量、矿山测量、地籍测量、航空摄影测量和遥感技术为 GIS 中的空间实体提供各种不同比例尺和精度的定位数据。全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)、数字摄影测量工作站、遥感图像处理系统等现代测绘技术的使用,可直接、快速和自动地获取空间目标的数字化产品,为 GIS 提供实时的信息源。地理学是 GIS 的理论依托。有的学者断言,“地理信息系统和信息地理学是地理科学第二次革命的主要工具和手段。如果说 GIS 的兴起和发展是地理科学信息革命的一把钥匙,那么,信息地理学的兴起和发展将是打开地理科学信息革命的一扇大门,必将为地理科学的发展和提高开辟一个崭新的天地。”

GIS 被誉为地学的第三代语言——用数字形式来描述空间实体。

根据研究的范围大小, GIS 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。同级的各种专题性应用系统集中起来, 可以构成相应地域同级的区域综合系统。在规划、建立专题应用系统时, 应注意减少重复浪费, 提高数据共享程度和实用性。

1.1.2 GIS 与 MIS 的比较

MIS 是 Management Information System 的缩写, 即管理信息系统。GIS 是处理空间地理对象的计算机系统, 图形和图像数据是 GIS 的主要来源, 分析处理的结果也常用图形方式来表达。MIS 为处理自然界和社会生活中的各种纯属性数据的计算机系统, 不存在空间分析的功能, 其处理对象多为各种统计数据、表格数据。GIS 和 MIS 在计算机硬件和软件上都有明显的区别与联系。

1. 两者的区别

在硬件上, 为了处理图形和图像数据, GIS 需要配置专门的输入和输出设备, 如数字化仪、绘图机、图形图像的显示设备等。

在软件上, GIS 要求研制专门的图形和图像数据的分析算法和处理软件, 这些算法和软件又直接和数据的结构及数据库的管理方法有关。

在信息处理的内容方面, MIS 主要是查询和统计分析, 处理的结果一般制成表格; 而 GIS 除了基本的查询和统计分析外, 主要用于分析地理空间对象的发展变化趋势, 提供表格化或图形化的决策资料, 为生产实践提供依据。

GIS 处理空间对象的基本方法为系统分析法, 研究 GIS 中各组成部分间的相互关系, 利用统计数据建立系统的数学模型, 根据给定的目标函数, 进行数学规划, 寻求最优方案, 使该系统的经济效益为最佳。

GIS 有别于 MIS 之处还有空间分析量算的功能, 如计算面积、长度、方向、体积等以及地理实体之间的关系运算。

2. 两者共同之处

GIS 和 MIS 也有许多共同之处。如两者都是以计算机为核心的信息处理系统, 都具有数据量大和数据之间关系复杂的特点, 也都随着数据库技术的发展在不断地改进和完善。

1.2 GIS 的组成

与普通的管理信息系统类似，一个完整的 GIS 主要由四个部分构成，即计算机硬件系统、计算机软件系统、地理空间数据和 GIS 技术人员。构成 GIS 的基础是计算机系统（软件和硬件），GIS 的核心是地理空间数据，而技术人员则是 GIS 的灵魂，决定系统的工作方式和信息表示方式。GIS 构成如图 1.1 所示。

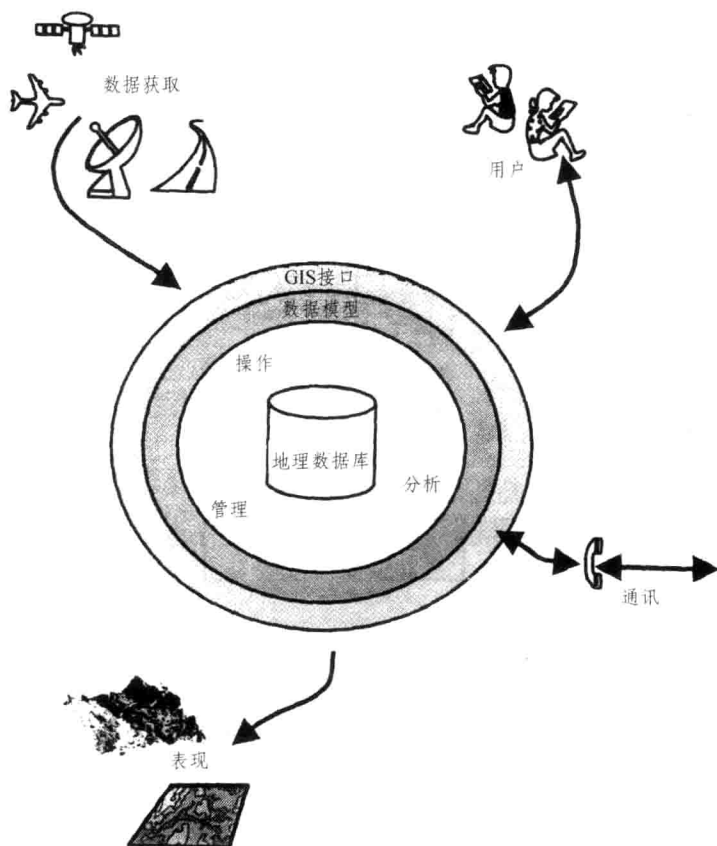


图 1.1 GIS 的构成

1.2.1 GIS 硬件

计算机硬件系统是计算机系统在实际物理装置的总称，包括电子的、

电的、磁的、机械的、光学的元件或装置，构成 GIS 的物理外壳。计算机硬件系统的性能、功能具有重要意义，受其指标的支持或制约。GIS 由于其任务的复杂性，必须由计算机硬件设备支持。构成计算机硬件系统的基本组件包括输入/输出设备、中央处理单元、存储器等，这些硬件组件协同工作，向计算机系统提供必要的信息，保存数据，将处理得到的结果或信息提供给用户。图 1.2 表示了常见的实现输入、输出功能的计算机外部设备，其中，GIS 专用的外部设备包括数字化仪、扫描仪、解析测图仪、测绘仪器和遥感图像处理系统，用于实现数据采集。

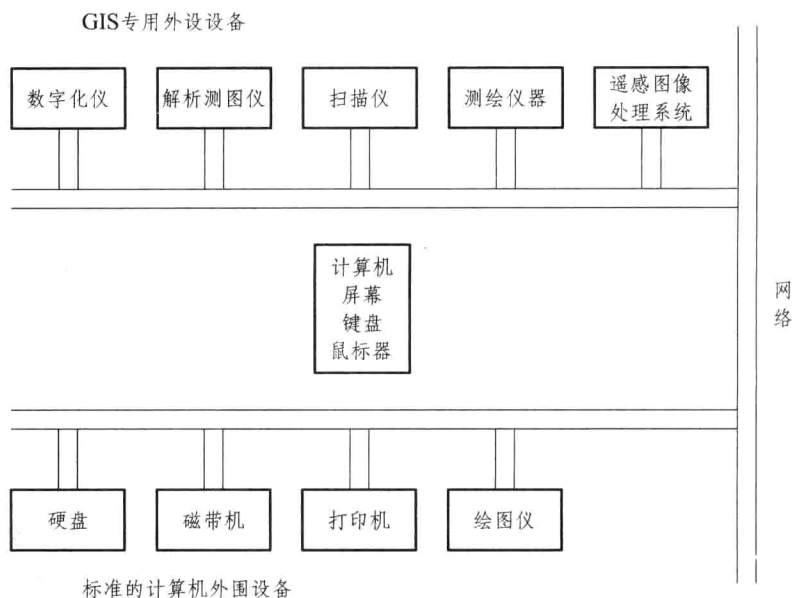


图 1.2 计算机标准外设和 GIS 使用的外设

1.2.2 GIS 软件

GIS 软件由计算机系统软件、GIS 专用软件和各种应用程序构成。

1. 计算机系统软件

指由计算机生产厂家提供，为用户使用计算机提供方便的程序系统。通常包括各种操作系统、汇编程序、编译程序、诊断程序、库程序以及各种维护使用手册、程序说明等，是 GIS 日常工作所必需的系统软件。

2. 地理信息系统软件和图形图像软件

包括国内外开发的通用 GIS 软件包, 以及数据库管理系统、计算机图形软件包、计算机图像处理系统、CAD 等, 用于对空间数据进行输入、存储、转换、输出和为用户接口提供支持。

3. GIS 应用分析程序

GIS 应用分析程序是系统开发人员或用户根据特定地理专题编制的用于某种特定地理应用任务的程序。在 GIS 工具支持下, 应用程序的开发应是透明的和动态的, 与系统的物理存储结构无关, 而随着系统应用水平的提高不断优化和扩充。应用程序作用于地理专题, 构成 GIS 的具体内容, 从空间数据中提取地理信息。用户进行 GIS 系统开发的大部分工作是开发 GIS 应用程序, 而应用程序的水平在很大程度上决定了系统应用性的优劣和成败。

GIS 软件包功能结构见图 1.3。

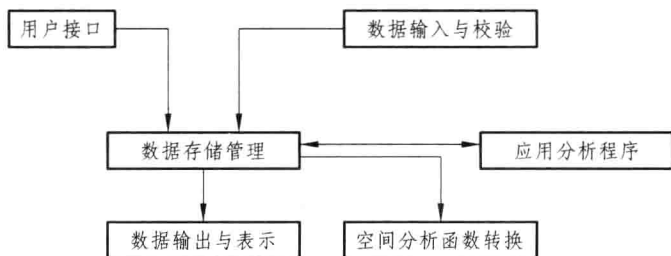


图 1.3 地理信息系统软件的功能框架

1.2.3 GIS 技术人员

技术人员是 GIS 的重要构成因素, 是 GIS 系统的灵魂。GIS 不同于一幅静态的地图, 而是一个动态的地理模型。仅有系统软硬件和数据还不能构成完整的地理信息系统, 需要技术人员进行系统组织、管理、维护和数据更新、系统扩充完善、应用程序开发, 并灵活运用地理分析模型提取多种信息, 为研究和决策服务。对于合格的系统设计、运行和使用来说, 地理信息系统专业技术人员是地理信息系统应用的关键, 而强有力的组织是系统运行的保障。一个周密规划的地理信息系统项目应包括负责系统设计和执行的项目经理、信息管理的技术人员、系统用户化的应用工程师以及最终运行系统的用户。

1.2.4 空间数据

空间数据是指大气层（含）以下以地球表面地理空间位置为参照的自然界和社会生活中的各种数据，包括图形、图像、文字、表格和数字等表现形式。空间数据由 GIS 系统的建立者通过数字化仪、扫描仪、键盘、磁带机或其他系统通讯输入 GIS，是系统程序作用的对象，是 GIS 所表达的现实世界经过模型抽象的实质性内容。在 GIS 中，空间数据主要包括：

1. 位置数据

位置数据即空间几何坐标，标志地理实体在自然界中的空间位置，如经纬度地理坐标、平面直角坐标、投影坐标、极坐标等。采用数字化仪输入时通常采用数字化仪直角坐标或屏幕直角坐标。

2. 关系数据

地理实体间的空间关系通常包括：度量关系，如两个线状地物之间的距离和方位；拓扑关系，定义了地物之间的连通、邻接、包含关系，是 GIS 分析中最基本的关系，其中包括网络结点与网络线之间的枢纽关系[见图 1.4 (a)]，边界线与面实体间的构成关系[见图 1.4 (b)]，面实体与岛或内部点的包含关系[见图 1.4 (c)]等。

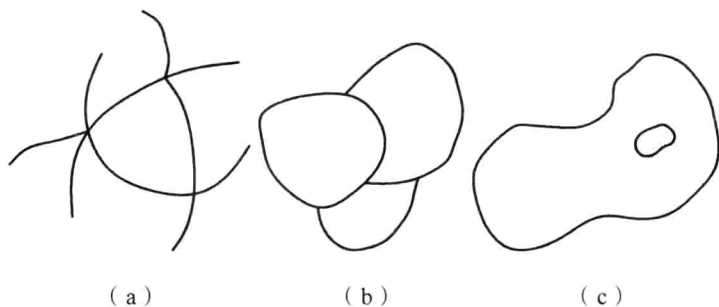


图 1.4 几种典型的拓扑关系

3. 属性数据

地理空间对象的属性数据是与地理实体相联系的地理变量或地理意义。属性分为定性和定量两种，前者包括名称、类型、特性等，后者包括数量和等级。定性描述的属性如特殊空域的空域类型、导航台类别等；定量的属性如空域面积、航线长度、人口数量等。属性数据一般经过抽象的概念，通过

分类、命名、量算、统计得到。任何地理实体至少有一个属性，而地理信息系统的分析、检索和表示主要是通过属性的操作运算实现的，因此，属性的分类系统、量算指标对系统的功能有较大的影响。

1.3 GIS 的功能概述

地理信息系统的核心功能可归纳为五个方面：数据的获取、数据的初步处理、数据的存储及检索、数据的查询与分析、图形的显示与交互。

图 1.5 说明了 GIS 功能之间的关系，以及它们操作数据的不同表现。

从图 1.5 中可以看出，数据获取是从现实世界的观察测量以及从现存文件或地图中获取数据。有些数据已经是数字化的形式，但是往往需要进行数据预处理，将原始数据转换为结构化的数据，以使其能够被 GIS 系统查询和分析。查询分析是求取数据的子集或对其进行转换，并交互显示结果。在整个处理过程中，都需要数据存储检索以及交互表现两项功能的支持，换言之，这两项功能贯穿了地理信息系统数据处理的始终。

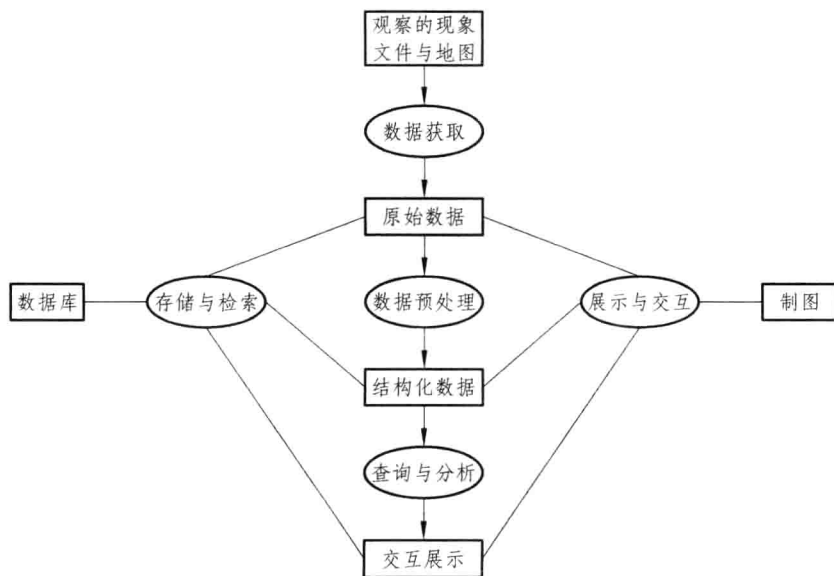


图 1.5 GIS 功能及表现

1.3.1 数据采集

数据采集主要用于获取数据, 保证地理信息系统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, 地理信息系统数据库的建设占整个系统建设投资的 70% 以上, 因此, 信息共享与自动化数据输入成为地理信息系统研究的重要内容。

目前, 可用于地理信息系统数据采集的方法与技术主要包括: GPS 等测绘仪器实测、手扶跟踪数字化、扫描屏幕自动化输入、遥感数据集成。

1.3.2 数据处理

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; 数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变化、投影方式的变换等。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的缩放。投影变换指不同坐标之间的平移、旋转等。目前, 地理信息系统所提供的数据概括功能极弱, 与地图综合的要求还有很大差距, 需要进一步发展。

1.3.3 数据存储与组织

这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。栅格、矢量或栅格/矢量混合结构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位置数据与属性数据融为一体。目前大多数系统都是将二者分开存储, 通过地物 ID 码来连接。

1.3.4 空间查询与分析

空间查询是 GIS 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。

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地理信息系统数据库中检索出所需信息，将影响地理信息的分析能力；再者，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以及要素属性在空间上的连接。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地理信息系统与空间模型分析相结合。其研究可分三类：

第一类是地理信息系统外部的空间模型分析，将地理信息系统当做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。

第二类是地理信息系统内部的空间模型分析，试图利用地理信息系统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。这种方法一般是基于空间分析的复杂性与多样性。

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地理信息系统所提供的功能，同时也充分发挥地理信息系统使用者的能动性。

1.3.5 图形输出与交互显示

地理信息系统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，以及地图综合制图输出。成熟的地理信息系统均可提供良好的、交互式制图环境，以供地理信息系统的使用者设计和制作出高质量的专题地图。

1.4 GIS 的发展

GIS 脱胎于地图，是地理信息的载体，具有采集、存储、编辑、处理、分析与显示地理数据的功能。地图是地理学的第二代语言，而 GIS 是地理学的第三代语言。

1.4.1 GIS的发展简史

20 世纪 60 年代是 GIS 思想和技术的开拓阶段。60 年代初, 计算机技术开始用于地图量算、分析和制作, 由于机助制图具有快速、廉价、易于更新、便于存储、量测、分类、合并和叠加分析等优点而迅速发展起来。60 年代中期, 由于对于自然资源 and 环境的规划管理和应用加速增长的需要, 对大量空间数据存储、分析和显示技术方法改进的要求, 以及计算机技术及其在自然资源和环境数据处理中应用的迅速发展, 促使对地图进行综合分析和输出的系统日益增多。60 年代中后期, 许多与 GIS 有关的组织和机构纷纷建立并开展工作, 如美国“城市和区域系统协会”(URISA) 在 1966 年成立, “城市信息系统跨机构委员会”(UAAC) 在 1968 年成立, “国际地理联合会”(IGU) 的“地理数据遥感和处理小组委员会”在 1968 年成立, 美国“信息系统全国协会”(NASIS) 在 1969 年成立等。

最初的 GIS 用于土地管理, 如国际上最早建立的、较为完善的大型 GIS——加拿大地理信息系统 (CGIS) 就是为处理加拿大土地调查获得的大量数据而建立的。CGIS 由加拿大政府组织, 于 1963 年开始研制实施, 到 1971 年投入正式运行。

由于 20 世纪 60 年代计算机硬件系统功能较弱, 限制了软件技术的发展。这一时期地理信息系统软件的研制主要是针对具体的 GIS 应用进行的, 到 60 年代末期, 针对 GIS 一些具体功能的软件技术有了较大进展。

第一, 栅格——矢量转换技术、自动拓扑编码以及多边形中拓扑误差检测等方法得以发展, 开辟了分别处理图形和属性数据的途径。

第二, 单张或部分图幅可以与其他图幅或部分在图边自动拼接, 从而构成一幅更大的图件, 使小型计算机能够分块处理较大空间范围的数据文件。

第三, 采用命令语言建立空间数据管理系统, 对属性再分类、分解线段、合并多边形、改变比例尺、测量面积、产生图与新的多边形、按属性搜索、输出表格与报告以及多边形的叠加处理等。

20 世纪 70 年代是 GIS 的发展巩固阶段。进入 70 年代以后, 由于计算机硬件和软件技术的飞速发展, 尤其是大容量存取设备——硬盘的使用, 为空间数据的录入、存储、检索和输出提供了强有力的手段。用户屏幕和图形、图像卡的发展增强了人机对话和高质量图形显示功能, 促使 GIS 朝着使用方向迅速发展。一些发达国家先后建立了许多不同专题、不同规模、不同类型的各具特色的地理信息系统。如美国森林调查局发展了全国林业统一使用的资源信息显示系统; 日本国土院从 1974 年开始建立数字国土信息系统,