

DILI

DILI XINXI XITONG JISHU
JI YINGYONG YANJIU

地理信息系统技术 及应用研究

胡 涛 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

地理信息系统技术 及应用研究

胡 涛 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

地理信息系统作为传统地学学科和现代科学相结合的产物,目前已发展成为集遥感、全球定位系统、互联网技术于一身的综合集成化技术系统。

本书重点论述了地理信息系统中地理空间数据的获取、处理、管理、空间分析、可视化等核心技术,并在最后探讨了地理信息系统的应用,其主要内容涵盖了对地理空间参照系统、地理空间数据、地理空间数据的获取等。

本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作,可供地理信息系统、测绘等工程技术人员和计算机技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统技术及应用研究/胡涛著. —北京:
中国水利水电出版社,2018.2

ISBN 978-7-5170-6356-8

I. ①地… II. ①胡… III. ①地理信息系统 IV.
①P208.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 051927 号

书 名	地理信息系统技术及应用研究 DILI XINXI XITONG JISHU JI YINGYONG YANJIU
作 者	胡 涛 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	北京一鑫印务有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 19.25 印张 249 千字
版 次	2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	92.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着信息技术的迅速发展,在原有学科交叉处派生出一门新兴的边缘学科——地理信息系统(GIS)。地理信息系统针对空间数据,既是表达现实空间世界和进行空间数据处理分析的“工具”,又可看作用于解决空间问题的“资源”,同时也是关于空间信息处理分析的“科学”。

地理信息系统是在计算机软硬件的支持下,用于处理和分析空间数据的一门综合性信息技术,涉及计算机科学技术、信息和管理学、地理学、空间科学及测量学等学科。作为一种兼容、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的空间信息计算机系统,GIS以一种新的方式组织和使用地理信息,从而能更加有效地分析和生产新的地理信息。与此同时,GIS的应用改变了地理信息的分发和交换方式。

GIS的发展得益于各学科和技术的发展与渗透。首先,多媒体技术、虚拟现实技术、数据库技术、图形图像处理技术、网络与通信技术、网络存储技术等日新月异的进步为GIS进一步快速发展提供了极其便利的条件。其次,国民经济信息化建设步伐的加快促使各行各业在地理空间数据获取、存储、处理、分析、使用以及数据共享与服务等方面的需求日益强烈。此外,随着对地观测以及各种数据采集技术的不断成熟与完善,GIS所处理的地理空间数据量空前增长。

GIS的许多技术和方法都是从实践中得以研究利用的,具有很强的实践性。为了介绍地理信息系统的基本原理、相关技术与应用,作者在借鉴已有相关成果的基础上,结合信息技术,以GIS技术经典理论为主,撰写了本书。

本书全面系统地讲述了地理信息系统的原理、结构、技术方

法、发展现状与动态,同时结合当前地理信息系统应用热点,讲述了 GIS 在相关领域的应用以及相关的新技术。

全书共分为 8 章,第 1 章为认识地理信息系统,介绍了地理信息系统的基本内容;第 2 章介绍了地理空间参照系统,从投影与坐标两方面阐述了地理信息系统的应用基础;第 3 章介绍了地理信息系统的空间数据;第 4 章介绍了地理信息系统中空间数据的获取方式;第 5 章介绍了地理空间数据的处理与质量控制;第 6 章介绍了地理信息数据的查询方式以及空间数据分析的方法;第 7 章介绍了地理信息数据的可视化与地图制图;第 8 章介绍了地理信息系统的经典应用以及相关新技术的应用。

在撰写过程中,作者参考了大量同行专家的著作和网络相关资料,在此向相关内容的作者表示衷心的感谢。

由于作者个人水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者在使用本书过程中,将发现的问题告知,以便进一步修正完善。

作 者

2017 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 认识地理信息系统	1
1.1 地理信息系统的定义、内容与基本特征	1
1.2 地理信息系统的基本功能与组成	5
1.3 地理信息系统开发与实施	18
1.4 地理信息系统与其他信息系统的关系	22
1.5 地理信息系统的应用领域及发展前景	27
第 2 章 地理空间参照系统	36
2.1 地理空间	36
2.2 地图投影	47
2.3 空间坐标转换	55
2.4 GIS 中坐标系与投影的应用	59
第 3 章 地理空间数据	63
3.1 空间数据概述	63
3.2 空间数据的空间关系表达	70
3.3 地理空间数据模型	78
第 4 章 地理空间数据的获取	105
4.1 地面测量与地图数字化	105
4.2 摄影测量	109
4.3 遥感	112
4.4 属性数据获取	121
4.5 空间数据获取技术发展	125
第 5 章 地理空间数据处理与质量控制	132
5.1 空间数据编辑	132

5.2	空间拓扑关系与自动建立	135
5.3	几何变换	140
5.4	矢量、栅格数据相互转换	143
5.5	空间数据压缩	154
5.6	空间数据质量控制	162
第 6 章	地理数据空间分析	170
6.1	空间数据查询	170
6.2	空间统计分析	173
6.3	空间叠加分析	178
6.4	缓冲区分析	190
6.5	网络分析	196
6.6	数字高程模型分析	213
第 7 章	地理数据的可视化与地图制图	222
7.1	地图可视化表达	222
7.2	地图符号及符号库	228
7.3	三维空间数据的可视化	233
7.4	地理数据的版面设计与制图	246
7.5	地图输出	251
7.6	动态地图与虚拟现实	253
第 8 章	地理信息系统的应用	258
8.1	GIS 的应用	258
8.2	3S 集成技术及应用	275
8.3	云环境下的 GIS 及应用	278
8.4	地理信息技术应用热点——移动 GIS、三维 GIS、 影像 GIS	284
参考文献		298

第 1 章 认识地理信息系统

当今信息技术突飞猛进,信息产业空前发展,信息资源爆炸式扩张。自 20 世纪 60 年代被首次提出后,地理信息系统(GIS)凭借其快速处理和运筹帷幄的优势,已经在土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、城市规划以及经济建设等相关行业得到广泛应用。地理信息系统顺势而生,其迅速发展不仅为地理信息现代化管理提供了契机,而且有利于其他高新技术产业的发展。

1.1 地理信息系统的定义、内容与基本特征

1.1.1 地理信息系统的定义

对于地理信息系统,目前没有完全统一的定义,不同部门、不同应用目的,对其定义也不一样。有的定义侧重于 GIS 的技术内涵,有的则强调 GIS 的应用功能。

美国学者 Parker 认为“GIS 是一种存储、分析、显示空间和非空间数据的信息技术。”Goodchild 则把 GIS 定义为“采集、存储、管理、分析和显示有关地理现象信息的综合系统。”

加拿大的 Roger Tomlinson 认为“GIS 是全方位分析和操作地理数据的数字系统。”Burrough 认为“GIS 是属于从现实世界中采集、存储、提取、转换和显示空间数据的一组有力工具。”

俄罗斯学者则更多地把 GIS 理解为“一种解决各种复杂地理相关问题且具有内部联系的工具集合。”

中国地质大学吴信才教授认为“GIS 是处理地理数据的输入、输出、管理、查询、分析和辅助决策的计算机系统。”

现对地理信息系统(Geographic Information System, GIS)作

如下定义:GIS 是以空间数据库为基础,采用地理模型分析,达到实现地理信息的采集、存储、检索、分析、显示、预测和更新目的的系统,其概念框架和构成如图 1-1 所示。

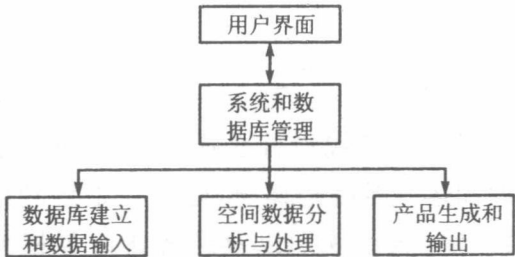


图 1-1 地理信息系统概念框架和构成

1.1.2 地理信息系统的内容

GIS 研究的对象是地理信息,但地理信息并不是零散地用文件形式存储,而是按照一定的标准规范保存在空间数据库里。随着 GIS 的发展,地理信息学的内涵与外延也在不断变化,这些变化集中体现在“S”的含义上,如图 1-2 所示。



图 1-2 不同历史时期 GIS 含义的变化

- ①GIScience 地理信息科学,从地理信息的基础理论、原理方法研究地理信息的本质、表达模型、地理信息的认知过程等;
- ②GISystem 地理信息系统是从技术化、工程化角度研究地理信息的集成开发、系统结构、系统功能等;
- ③GIService 地理信息服务从产业化应用角度,研究面向社会化、网络化、多元化的信息服务,强调信息标准、管理、产业政策、规模化集成应用等,是地理信息产业发展的需求。

GIS 的核心内容就是围绕地理信息进行全生命周期的处理。信息处理的过程包括:采集各种时空数据,经过加工然后存储;有效检索出所需的地理信息,对其进行空间分析,并形象地展现分

析结果;通过分析对将来的发展变化进行预测,以及实现空间数据的动态更新等基本内容。

1.1.3 地理信息系统的基本特征

地理信息系统作为一种通用技术,它提供了一种认识、理解、组织和使用地理信息的新方式,是一门处理空间信息的交叉学科。GIS 属于信息系统的范畴,但其操作的数据对象主要为地理空间数据,其基本特征如图 1-3 所示。

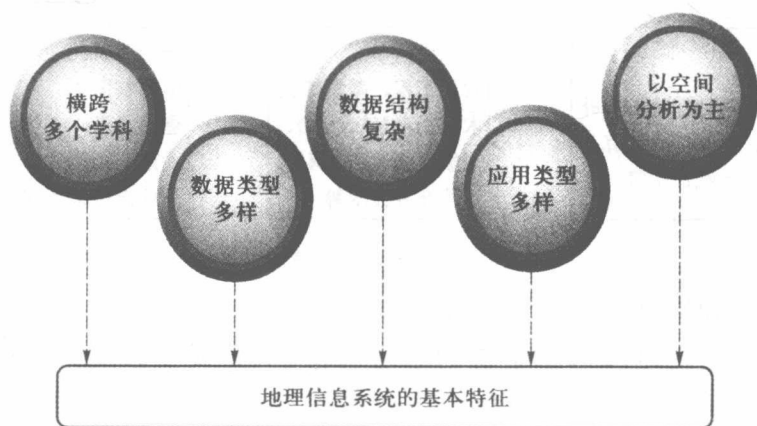


图 1-3 地理信息系统的基本特征

1. 横跨多个学科

地理信息系统是由计算机科学、测绘学、摄影测量与遥感、地理学、地图学、人工智能等多个学科组成的交叉学科,如图 1-4 所示。

2. 数据类型多样

随着 GIS 应用领域的不断推广与深入以及数据更新速度的不断加快,待处理的数据量越来越大,从最初的 MB 数量级,发展到现在的 GB 数量级甚至 TB 数量级,已经到了海量的程度,海量空间数据的组织与管理成了制约 GIS 发展的一个瓶颈。如全国

1:25 万基础地理信息数据库的数据量为 8GB,1:5 万数字高程数据达 150GB 以上,遥感影像的数据量就更大。

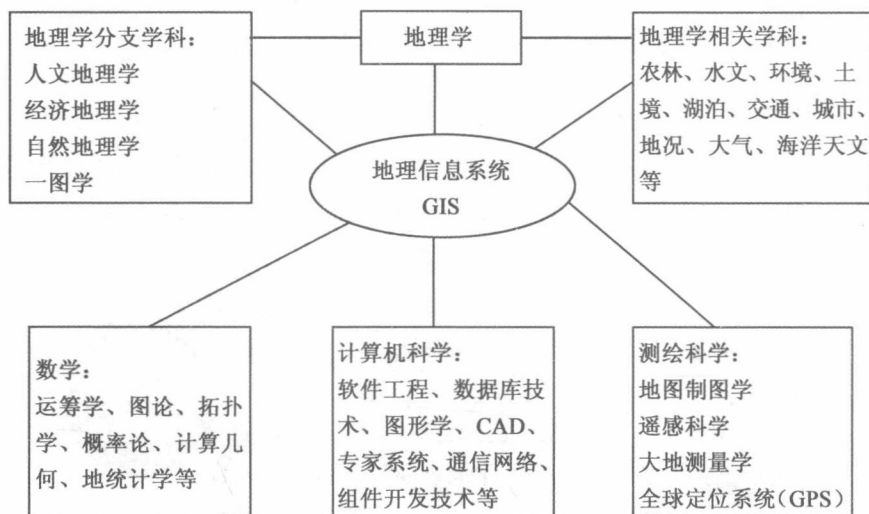


图 1-4 地理信息系统横跨多个学科

地理信息系统海量数据特征来自两个方面:一是地理数据,地理数据是地理信息系统的管理对象;二是派生数据,派生数据主要来自于空间分析。地理信息系统的海量数据带来的是系统运转、数据组织、网络传输等一系列的技术难题,这也是地理信息系统比其他信息系统复杂的又一个因素。

3. 数据结构复杂

地理数据不仅需要表达地物的位置、形状和随时间变化的相关情况,还描述了地物之间的拓扑关系。空间位置特征是地理空间数据有别于其他数据的本质特征,GIS 中的数据必须通过某个坐标系统与地球表面的一个特定位置发生联系。不同来源的地理信息都是在统一的地理参照系统内进行表达的,任何 GIS 都应该具备地理坐标转换功能。一般信息系统仅包括属性和时间特征,没有位置的数据不能称为地理数据。

4. 应用类型广泛

当前 GIS 的应用非常广泛,可作为各种辅助决策支持的优秀

工具,以其特有的专业优势服务于多种应用领域,如国土管理、城市与交通规划、防震减灾以及其他各项与空间信息相关的业务过程。

5. 以空间分析为主

不同于其他信息系统,地理信息系统往往涉及大量的空间分析。空间分析是为了解决地理空间问题而进行的数据分析与数据挖掘,能从 GIS 空间目标之间的空间关系中获取派生的信息和新的知识,是从一个或多个空间数据图层中获取信息的过程。

空间分析主要通过空间数据和空间模型的联合分析来挖掘空间目标的潜在信息,而这些空间目标的基本信息,无非是空间位置、分布、形态、距离、方位、拓扑关系等,其中距离、方位、拓扑关系组成了空间目标的空间关系,是地理实体之间的空间特性,可以作为数据组织、查询、分析和推理的基础。通过将地理空间目标划分为点、线、面等不同的类型,可以获得这些不同类型目标的形态结构。

将空间目标的空间数据和属性数据结合起来,可以进行许多特定任务的空间计算与分析。例如,利用地理信息系统的空间分析功能,可以确定理想的公交转乘方案、统计道路扩建需要拆除的房屋面积等。

1.2 地理信息系统的基本功能与组成

1.2.1 地理信息系统的基本功能

地理信息系统具有数据采集、数据处理与变换、数据存储与管理、查询与空间分析、可视化等五大基本功能,如图 1-5 所示。

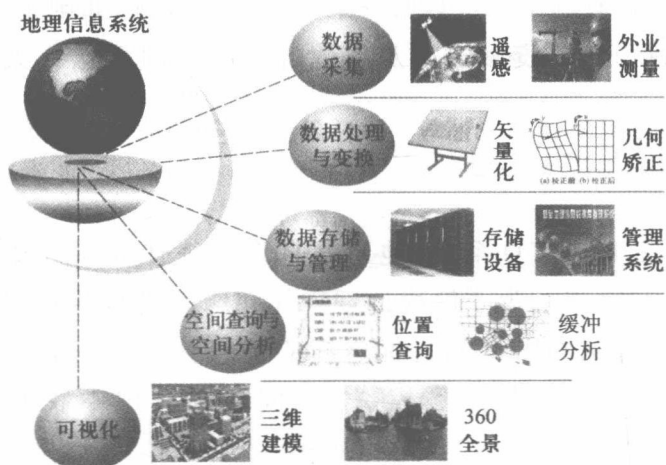


图 1-5 地理信息系统的基本功能

1. 数据采集功能

数据采集是把现有的地理实体或资料转换成计算机可以处理的数字形式,并保证相关数据的完整性、数据与逻辑上的一致性等。数据采集的总体目标是对各种各样的地理现象进行简化和抽象,以图形、图像等方式记录地理现象的位置、属性及相互关系。如用不同形状的多边形面状符号及其在空间上的疏密程度来表达不同建筑物的形状和空间分布特征;用双线的地图符号和与之相对应的属性数据来表示不同类型的道路。

GIS 的数据来源如图 1-6 所示,主要有:

- ①通过野外地面测量采集的图形数据;
- ②通过飞机或卫星等拍摄的图像数据;
- ③通过相应设备将纸质地图、文本、统计数据 and 多媒体数据等转化成地理空间数据。

在 GIS 数据采集中,大平板仪、全站仪、GPS 或者移动测绘系统等定位设备适用于野外的实地数据采集。野外采集设备可以进行布点、观测、记录数据等,而且测量精度高,主要适用于外业的 GIS 数据采集或者局部的数据修补测量和更新等测绘作业。

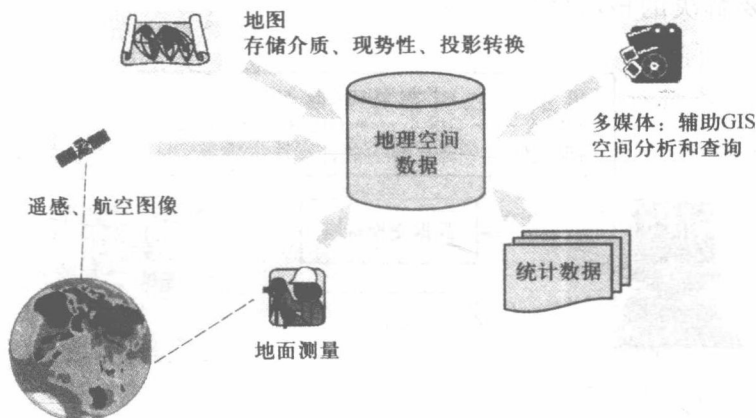


图 1-6 GIS 的数据来源

数字化采集的设备包括数字化仪、扫描仪和摄影测量设备等。此类设备的特点是采集范围大、速度快,主要是内业作业,外业补测的工作相对较少,能够快速获取大范围的 GIS 数据,适宜于大面积的 GIS 数据采集或者资源普查等应用。如在地理国情普查中,通过遥感图像快速获取基础地理信息数据的方法得到了广泛应用。

此外,其他系统数据资源通过数据交换的方法也可以用于 GIS 数据的采集。如在建设相关系统时,通过外业测量或者数字化处理进行数据采集,工作量会很大;此时,如果用户单位已经建设好“基础地理数据管理系统”,包括居民地、道路、水系等基础数据的图层信息,那么新建系统从该管理系统中提取 GIS 数据,并按照一定的数据标准规范转换并交换,就可避免大量繁杂的数据采集工作,从而提高数据的利用效率,减少不必要的重复投资建设。图 1-7 所示为数据交换的条件要求。

2. 数据存储与管理功能

GIS 的核心是地球表面各类地物的空间位置和属性信息,需要将海量空间数据存储于计算机的数据库里。如图 1-8 所示,点、线、面是记录地物位置和形状的基本图形要素。如何在有限的空间内采用相关图形要素存储尽量多的地物信息,是存储几何数据

所需要解决的核心问题。

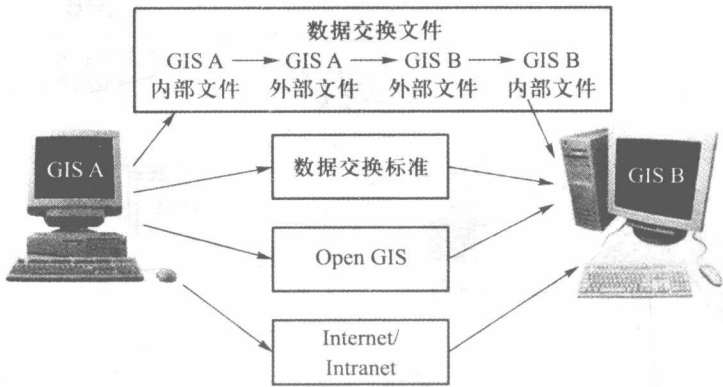


图 1-7 数据交换条件

点(points)	点集(multi-points)	弧段(lines)	多边形(polygons)

图 1-8 空间数据类型

属性数据的存储可以采用二维表的组织结构来记录数据的信息,如图 1-9 所示。如在 GIS 中,除了记录道路的位置、走向以外,还需要记录其名称、等级和长度等信息,那么就可以建立二维表格,并在表格的每一行中存储对应道路的相关属性信息。

OID	Shape	RoadType	...
1	XY,...	Highway	...

图 1-9 空间数据二维属性表

3. 数据处理与转换功能

特定的 GIS 项目有可能需要将数据转换或处理成某种需要的形式以适应系统。数据转换和处理的具体操作包括坐标变换、格式转换等,如图 1-10 所示。在综合分析数据之前,需要通过数据处理与变换操作,把各数据层转换到同一参考坐标体系下,才能确保各种数据的精确叠加,从而满足相关空间分析的要求。

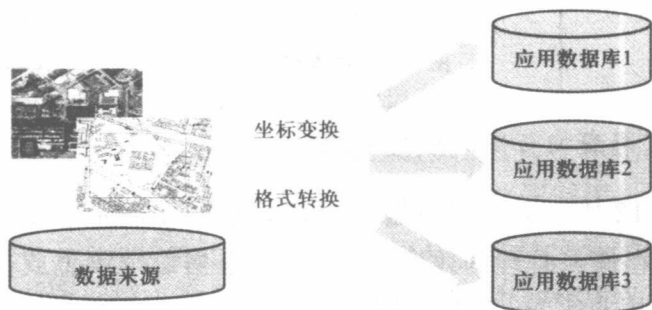


图 1-10 数据转换

在 GIS 中,需要使用一系列的点来确定数据的位置和形状,而点的坐标值是与坐标系相关的。不同的坐标系具有不同的坐标原点,或者不同的坐标轴角度。如果源数据与目标数据的坐标系或者投影系统不一致,那么进行数据的综合应用,就需要进行坐标的变换。计算两个系统之间的转换参数,然后对源数据内的每一对坐标值进行相对应的转换计算,属于“坐标变换”的操作内容。此外,为了运算的方便,GIS 还需要进行图幅的裁剪和拼接。

在数据的处理和变换过程中,有时需要进行数据格式的转换,如图 1-11 所示。如 AutoCAD 和 ArcGIS 是常见的应用软件,它们使用的数据格式 dwg 和 shp 也比较常见。在使用相关软件时,需要转换两种数据格式。此外,有时图形和图像数据也需要相互转换,但转换需要保持信息的一致性,避免遗漏数据或损失精度。

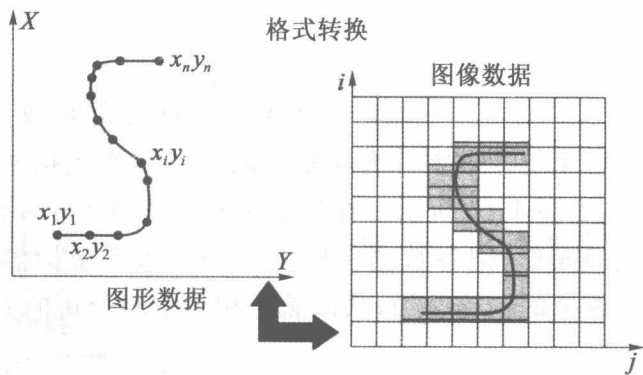


图 1-11 数据格式转换

4. 空间查询与空间分析功能

图 1-12 所示为空间数据库管理系统的功能示意图。为提高 GIS 数据存储与管理的效率,开发人员根据每个单位或部门的数据特点和用户需求,开发空间数据库管理系统,以方便用户进行数据的浏览、查询、编辑或者进行数据的导入、导出,从而实现数据的规范统一和有效管理。

基本功能	数据更新功能	历史数据管理功能
数据处理 数据编辑 数据表达 查询统计	子库更新 要素更新 属性更新 其他信息更新	版本管理 数据版本压缩 历史数据浏览
建库管理功能	元数据管理功能	安全管理功能
导入导出 数据质量检查 坐标系统转换 图形图像配准 空间索引管理	元数据模板定制 元数据提取与录入 元数据更新维护 元数据查询检索 元数据输入输出	用户管理 日志管理 数据备份

图 1-12 空间数据库管理系统功能

空间分析作为 GIS 独特的应用工具,具有非常广泛的应用前景。如在实际工作中,可以使用 GIS 技术中的空间缓冲区分析方法来确定地物的空间邻近关系;使用 GIS 技术中的空间叠置分析方法,针对不同时间段的数据进行叠置处理,可以获得不同时段