



普通高等教育“十五”国家级规划教材

GIS设计与实现

李满春 任建武 编著
陈 刚 周炎坤



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书在充分研究和分析 GIS 发展现状的基础上,详细论述了 GIS 设计的理论基础、设计内容、相关规范与标准以及 GIS 设计的各种方法,并系统介绍了 GIS 设计与开发的各个阶段,即 GIS 系统定义、系统总体设计、系统详细设计、系统实施、系统测试及维护等的方法、步骤、工具以及 GIS 设计项目管理与质量保证的相关理论方法。此外,本书还对 GIS 空间数据库和分布式 GIS 的设计与实现进行了探讨。最后,本书以建设完成的县(市)级土地利用规划管理信息系统为例,具体实践了 GIS 设计各阶段的方法和内容。

本书既可作为高等院校 GIS 专业及相关专业本科生或研究生的教材,也可作为公司、科研机构 and 事业单位 GIS 研究、技术、应用、管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

GIS 设计与实现/李满春等编著. —北京:科学出版社,2003

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-03-011484-1

I. G… II. 李… 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(2003)第 042196 号

责任编辑:朱海燕 杨 红/责任校对:柏连海

责任印制:安春生/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

*

2003年8月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003年8月第一次印刷 印张: 15 1/4

印数: 1—3 500 字数: 279 000

定价: 25.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

当前国内外的一个重要发展趋势是将地理信息系统(GIS)融入国家信息化和知识经济的主体,为资源环境问题研究提供高技术手段,形成新的经济生长点,提高国家安全能力。为此,需要大力发展业务化的GIS运行系统,提高GIS应用水平和效益。

就本质而言,GIS是通过存储事物的空间数据和属性数据,记录事物之间的关系和演变过程,并根据事物的地理坐标对其进行管理、检索、评价、分析、结果输出等处理,提供动态模拟、统计分析、预测预报、决策支持等服务。从软件设计开发的角度看,GIS系统的建设与运行是一个相对复杂的系统工程,既涉及到需求分析、系统设计、软件研制、数据建库、系统集成等诸多技术环节,也牵涉到用户自身业务重组、研制方与用户方之间的协作、系统运行的制度保障等非技术因素。为此需要运用软件工程学的思想和方法,并结合地理信息自身的特点和相关理论,制定出详尽的系统设计、实施以及项目计划管理方案,从而保证软件质量、提高开发效率、降低开发成本。

应该指出的是,由于现有的计算机工程方法不完全适用于GIS系统设计,许多学者、工程师和系统分析人员在GIS项目工程实施过程中进行了有益的研究与探索,努力地发展适用的GIS软件工程方法。虽然不同GIS工程存在差异性和复杂性,难以公式化地制定一套放之四海而皆准的固定方法,但实践证明,采用通行的标准法则,能够总结形成一些针对特定问题集的一般方法,供工程人员剪裁、取舍和参考运用。

李满春教授根据多年从事GIS设计与开发的研究实践,以及主讲南京大学地图学与地理信息系统专业主干课程——《GIS设计》的教学经验,总结和编著了《GIS设计与实现》一书。该书以软件工程学的理论方法为总体框架,将地理信息与GIS的特点融入其中,并辅以大量的图表对GIS设计与开发的各种方法和步骤进行归纳、分类和对比,最后以作者自行研发的县(市)级土地利用规划管理信息系统为例,具体实践GIS设计各阶段的方法和内容。这样不仅为读者在学习过程中搭建联系理

论到实践、理性认识到感性认识的桥梁,也为其实际工作提供了具体详实的方法指导和参考依据。此外,该书还对 GIS 空间数据库建设的理论和方法进行了详细阐述,对分布式 GIS 的设计与开发以及 GIS 设计项目管理与质量保证的相关理论方法进行了详细地探讨。

该书内容既与生产实践紧密结合,同时又升华到理论方法的高度,是一本有关 GIS 设计的著作和参考教材,有着重要的参考和使用价值。

最后,衷心祝贺该书的出版。希望它能有助于推动我国当前的 GIS 教学改革,培养面向社会需求的 GIS 研发人才,促进我国 GIS 软件事业的发展!

中国地理信息系统协会会长

2003年8月18日于北京



前 言

GIS是横断计算机科学、信息学、遥感科学、测量学、地图学、地理学、资源学、环境学等学科的一门新兴边缘学科。它从20世纪60年代问世以来,已经历了40多个春秋的飞速发展,在技术上、体系上、组织上都日趋完善。从技术来看,GIS数据结构趋于完备,面向对象的空间数据存储方式使GIS的数据管理和维护极大地简化,空间数据管理方式也从文件管理发展到了关系型数据库管理;GIS空间分析操作功能日臻完善,对GIS空间分析与操作的研究也日益深入,诸如网络分析、缓冲区分析、叠加分析等理论都被成功地应用于GIS中;GIS应用技术趋于成熟,在社会、经济、生活中应用的深度和广度不断加强:从最初的简单绘制静态电子地图到进行动态监测和分析,从单纯的地理数据管理到规划辅助决策,从GIS信息孤岛到网络化GIS及互操作GIS,从政府GIS、企业GIS到社会GIS等。从理论体系来看,GIS已经发展成为一门学科,有其自身的理论基础、组织结构、技术规范和应用领域等,体系结构上趋于完整。从组织来看,许多国家都已成立GIS的组织和机构,并在传播GIS知识、把握GIS发展方向、促进学术交流、制定标准规范等方面起到了重要的作用;同时,出现了一大批从事GIS生产研究的公司企业,促进了GIS技术的发展和进步以及GIS在应用领域的推广。

随着GIS朝着社会化和产业化方向的不断深化,社会生产各部门、科研单位等GIS用户都迫切希望能尽快将先进的理论成果、管理模式转化为生产力,真正利用GIS实现高效的信息管理和决策辅助。而GIS的设计与实现正是联接上述理论与实践之间的桥梁。GIS设计与开发将用户抽象的目标和问题转化为GIS世界中的概念模型,再通过优良的硬件环境和多功能的GIS软件模块将概念模型具体化为信息世界中可操作的机理和过程,并设计简单易用的用户界面实现人机交互对话,从而真正实现了从抽象理论到现实系统的转化。随着GIS在众多管理、生产部门得以广泛普及,高等学校的地学类、测绘类等学科大都开设了GIS方面的课程,而且具有应用和开发GIS能力的毕业生也一直受到社会的

青睐,所以培养 GIS 专业人员的设计和开发能力是当前 GIS 教学改革的重要方面。由此,作者尝试编著本教材。

由于 GIS 软件不同于其他一般软件,它具有:空间数据量庞大、实体种类繁多、实体间的关联复杂;空间数据驱动开发设计;工程投资大、周期长、风险大、涉及部门繁多等独有的特点。这就要求我们在 GIS 的设计与实现过程中运用 GIS 工程学的思想,结合系统工程学、软件工程学和地理信息科学的理论和方法,坚持 GIS 设计的基本原则——整体设计上采用系统工程的设计和原则;重大问题上给予定性考虑,着重确定原则,总揽全局;实施方案设计上深入研究、详细描述,对各类细节都要制定出规范和技术说明文件;实施和运行过程中,制定管理和维护措施,科学地管理、调试和维护,保证系统正常运行,为科研生产和管理决策提供可靠的数据和科学可行的方法及手段。

GIS 设计主要包括 GIS 软件设计和空间数据库设计两部分的内容。GIS 软件设计通常包括以下几个阶段和任务:需求分析——用户需求调查、确定系统建设目标和用户对系统功能和性能的要求,分析系统建设的可行性,并生成需求分析报告;项目管理方案设计——对系统建设过程进行总体规划,包括对工作区域和可用资源的规定、开发成本估算、开发平台和开发工具选择、工作任务和进度安排等内容,最终提交项目管理计划方案书;系统总体设计——将系统的需求转换为数据结构和软件体系结构,即数据设计和体系结构设计,生成总体设计报告;系统详细设计——将总体设计阶段确定下来的软件模块结构和接口描述具体地实现,得出实现系统目标技术的精确描述,并编写详细设计报告;系统实施、运行和维护——根据详细设计报告的描述对系统的模块、函数和界面进行实现,并试运行和进行系统调试,以及对系统进行日常的维护和系统维护报告的编写。空间数据库系统是 GIS 软件设计的核心内容之一,进行空间数据库系统设计的主要任务是确定空间数据库的数据模型以及数据结构,并提出空间数据库相关功能的实现方案;空间数据库系统实现的主要任务是将设计的空间数据库系统的结构体系进行编码实现,并将收集来的空间数据入库,建立空间数据库管理信息系统。

本教材由李满春策划并拟定编写大纲。自 1996 年起,先后参加本书编写的有李满春、任建武、陈刚、周炎坤、李响、刘正军、高月明、周丽彬、毛亮等人。张晓祥、刘永学、张健、梁健、姚静、李飞雪等人提供了资料

或提出了许多宝贵的修改意见。全书由李满春统稿,并在南京大学“GIS设计”课程教学中使用。在写作过程中还得到了黄杏元教授、徐寿成高级工程师、马劲松博士等的热情帮助;科学出版社彭胜潮、朱海燕、杨红编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示深深的谢意。

本教材有幸被评为普通高等教育“十五”国家级规划教材,同时得到了国家教学科学奖励计划(青年教师奖)、中国建设银行湖北省分行尊师重教联合会、国家理科人才培养和科学研究基地名牌课程建设项目、南京大学“985”工程教改项目等的资助。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2003年4月于南京大学

目 录

第一章 引论	1
第一节 什么是 GIS	1
一、GIS 概述	1
二、GIS 发展	3
三、GIS 应用	5
第二节 GIS 构成	7
一、硬件	7
二、软件	8
三、数据	8
四、人员	9
第三节 GIS 用户和产品模式	9
一、GIS 用户	9
二、GIS 产品模式	10
第四节 GIS 前瞻	12
思考题	14
第二章 GIS 设计思想、内容和标准	15
第一节 GIS 设计目标及其特点	15
一、GIS 设计目标	15
二、GIS 设计特点	16
第二节 GIS 设计的理论基础——GIS 工程学思想	17
一、GIS 工程学特点	17
二、GIS 工程学体系	18
三、GIS 工程学的基础理论	19
第三节 GIS 设计的内容	22
第四节 GIS 的规范化与标准化	25
一、GIS 规范化和标准化的作用	25
二、GIS 规范化和标准化的内容	26
思考题	33
第三章 GIS 设计方法	34
第一节 结构化生命周期法	34

一、概述	34
二、结构化生命周期法的类型划分	36
第二节 原型法	37
一、概述	37
二、原型的种类及构造方法	39
第三节 面向对象设计方法	40
一、概述	40
二、面向对象设计方法	42
三、面向对象方法在系统设计开发中的应用	44
第四节 GIS 基本设计方法比较与选择	45
一、基本设计方法比较	45
二、GIS 设计方法的选择	47
思考题	47
第四章 系统定义	49
第一节 系统需求调查和分析	49
一、系统目标分析	50
二、系统功能与性能分析	51
第二节 系统可行性研究	52
第三节 系统分析工具	54
一、GIS 数据流模型	55
二、GIS 数据字典	57
三、加工逻辑说明	58
第四节 软件需求规格说明	60
思考题	61
第五章 系统总体设计	62
第一节 总体设计的任务、方法和准则	62
一、总体设计的任务和方法	62
二、总体设计的准则	63
第二节 系统总体设计工具	65
一、层次图	65
二、HIPO 图	65
三、结构图	66
第三节 GIS 应用分析模型设计	67
一、GIS 空间处理与分析设计	67
二、GIS 地理建模	67

第四节 GIS 接口设计	74
一、系统与标准数据的接口	74
二、互操作接口	74
三、空间数据与属性数据的接口	76
四、GIS 与系统开发环境的接口	76
第五节 GIS 用户界面设计	77
一、以用户为中心的人机界面	78
二、GIS 用户界面设计与开发	80
第六节 系统总体设计报告	84
思考题	84
第六章 系统详细设计	86
第一节 详细设计的基本原则	86
第二节 详细设计的内容和具体任务	86
第三节 详细设计的表达工具	87
一、程序流程图	88
二、N-S 盒式图	89
三、问题分析图	90
四、类程序设计语言	90
第四节 数据结构和数据库详细设计	93
一、数据结构规范化	93
二、关系数据库建库	95
第五节 详细设计规格说明书	96
一、详细设计规格说明书内容体系	96
二、模块开发卷宗中模块说明表	97
三、详细设计评审报告审议项目列表	97
思考题	98
第七章 空间数据库系统的设计与实现	99
第一节 空间数据	99
一、空间数据的特征	99
二、空间数据的规范与标准	101
第二节 空间数据的逻辑预处理	103
第三节 空间数据库的概念设计	106
一、空间数据需求分析	106
二、E-R 模型	106
三、空间数据库的概念模型设计	112

第四节 空间数据库的逻辑设计	113
一、传统数据模型	113
二、面向对象数据模型	115
三、空间数据模型	117
第五节 空间数据库的功能设计	120
一、空间数据输入设计	120
二、空间数据检索设计	121
三、空间数据输出设计	122
四、空间数据更新设计	123
五、空间数据共享设计	124
第六节 空间数据采集建库	125
一、建库前期准备工作	125
二、数字化方案的制订	127
三、空间数据库建库流程	128
四、地理编码	129
思考题	131
第八章 分布式 GIS	132
第一节 分布式 GIS 概述	132
一、分布式 GIS 定义	132
二、分布式 GIS 的技术基础	133
三、分布式 GIS 的产生和发展	136
第二节 分布式 GIS 的基本开发模式	138
一、基于数据共享的分布式 GIS	138
二、基于分布式计算的 WebGIS	140
三、基于 CORBA 的分布式 GIS	142
第三节 分布式 GIS 设计内容和步骤	144
一、分布式 GIS 的网络设计	145
二、分布式 GIS 的模型设计	148
第四节 分布式 GIS 开发的解决方案	150
思考题	153
第九章 系统实施	154
第一节 系统设计的评价	154
第二节 系统实施计划的制订	154
第三节 程序编写工作的组织管理	156
一、系统实施人员构成	156

二、程序编写的组织管理	156
第四节 程序代码的编写	157
一、程序语言的选择	157
二、程序设计的风格	158
三、系统代码文档的编写	160
第五节 程序的调试与安装	160
第六节 文档	161
一、系统说明书	162
二、用户手册	162
思考题	162
第十章 GIS 测试与评价	163
第一节 GIS 软件测试	163
一、GIS 软件测试方法	163
二、GIS 软件测试内容	164
第二节 GIS 软件评价	170
思考题	171
第十一章 GIS 维护	172
第一节 GIS 维护内容及组织保障	172
一、GIS 维护内容	172
二、GIS 维护的组织保障	173
第二节 微机系统维护规程及 GIS 日常维护管理	177
一、微机系统维护规程	177
二、GIS 日常维护管理	178
第三节 GIS 安全与保密	180
第四节 地理信息的维护	182
思考题	185
第十二章 GIS 设计项目管理与质量保证	186
第一节 GIS 项目估算	187
第二节 GIS 项目进度安排	188
一、GIS 项目进度安排考虑因素	188
二、GIS 项目进度安排表制订方法	189
第三节 GIS 软件度量	191
第四节 GIS 项目风险分析	191
一、风险识别与估计	192
二、风险驾驭与监控	193

第五节 GIS 项目追踪与控制	193
第六节 GIS 软件质量保证	194
一、GIS 软件质量特性	194
二、GIS 软件质量保证体系	196
三、实现质量保证的方法	198
思考题	199
第十三章 县(市)级土地利用规划管理信息系统设计与实现	200
第一节 系统建设背景	200
第二节 系统设计方法的选择	201
第三节 系统定义	201
一、系统定义的目标与方法	201
二、现状调查分析	201
三、功能和性能要求	203
四、系统模型设计	204
第四节 系统总体设计	205
第五节 系统详细设计	214
一、系统功能模块	215
二、系统数据库	217
第六节 系统的实现	217
一、系统设计的评价	217
二、代码编写工作的组织和管理	218
三、数据库建库	218
四、功能实现	218
五、系统的调试安装	220
思考题	220
参考文献	222

第一章 引 论

第一节 什么是 GIS

随着计算机的出现和发展,以计算机技术为核心的信息处理技术作为当代科技革命的主要标志之一,已广泛渗入到生产和生活的方方面面,影响和决定着社会经济的发展,并成为衡量一个国家科技发展水平的重要标准之一。人类的生存环境是一个三维地理空间,涉及的信息相当一部分与地理空间位置相关。地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)作为信息处理技术的一种,是以计算机技术为依托,以具有空间内涵的地理数据为处理对象,运用系统工程和信息科学的理论,采集、存储、显示、处理、分析、输出地理信息的计算机系统,为规划、管理和决策提供信息来源和技术支持。简单地说,GIS 就是研究如何利用计算机技术来管理和应用地球表面的空间信息,它是由计算机硬件、软件、地理数据和人员组成的有机体,用于高效地采集、存储、更新、处理、分析和显示各种类型的地理信息。

一、GIS 概述

1. GIS 研究内容

GIS 是对人类的生存环境进行描述和建模的计算机系统,其研究内容包括以下几个方面。

1) 数据采集

GIS 常用的数据采集方法是纸质地图的数字化,它具有使用方便、技术成熟、精度高、容易控制等特点,同时也存在低效率和高代价的问题。目前 GIS 数据采集越来越多地借助于遥感(remote sensing,简称 RS)和全球定位系统(global positioning system,简称 GPS)技术。遥感数据已经成为 GIS 的重要数据来源,但是它必须进行一系列的图像处理 and 格式转换。GPS 技术虽然不能为 GIS 提供直接的数据来源,但是 GPS 可以准确、快速地定位在地球表面的任何地点,它在动态监测、紧急事件处理以及定位等方面具有很大的发展潜力。

2) 数据存储

地理数据存储是 GIS 中最底层和最基本的技术,庞大的数据量要求地理数据

能够进行高效存取。GIS 数据存储包括空间数据的存储和属性数据的存储,其中,空间数据存储受到计算机处理速度和数据量的限制,通常采取分层或分“要素”存储的模式以提高数据存取的速度,GIS 操作和分析只涉及到层。随着 GIS 向动态、多维方向发展,二维空间数据存储方式不能适应 GIS 在某些领域进一步发展的需求,故而动态、多维的空间数据存储成为目前 GIS 研究的热点。

3) 数据处理和分析

数据处理和分析是 GIS 对空间数据的一系列操作以获取相关信息的过程,强大的数据处理和分析能力是 GIS 被广泛应用的主要原因之一。通过 GIS 提供的空间处理和分析功能,用户可以从已知的海量地理数据挖掘出隐含的重要知识,这在许多应用领域中是至关重要的。

4) 数据输出

将查询统计的结果或是数据处理和分析的结果以指定的形式输出是 GIS 问题求解过程的最后一道工序。输出形式通常有两种:在计算机屏幕上显示或通过绘图仪输出。通过数据校正、编辑、图形整饰、误差消除、坐标变换、出版印刷等手段可以提高输出质量。

2. GIS 特点

GIS 是横断计算机科学、信息学、遥感科学、测量学、地图学、地理学、资源学、环境学等学科的一门新兴边缘学科。其核心是计算机科学,基本技术是数据库、地图可视化及空间分析技术,与其他信息系统相比,GIS 具有以下特点:

(1) GIS 的处理对象是地理数据。地理数据包括属性数据和空间数据。利用空间坐标来表达实体的空间位置是 GIS 数据管理的基本思想。GIS 采用数据库的一些基本技术,如数据模型、数据存储、数据检索等,与 GIS 地理数据的特征相结合,发展形成 GIS 空间数据库技术,用来实现地理数据的数据库管理。空间数据库技术是 GIS 技术的核心。

(2) GIS 提供了一系列的工具。基于空间数据库技术,GIS 提供了地理数据采集、存储、显示、操作、分析、建模、输出等工具,利用这些工具可以实现一些其他信息系统无法实现的功能,如空间位置的表达、工业选址、最佳路径选择、趋势分析、工程影响预测等。

(3) GIS 实现了地图实体与其属性数据库的关联。通过建立地图实体与属性数据库的关联关系,可以实现图形数据与属性数据的同步查询、统计和分析,这是 GIS 与其他图形系统的主要区别之一。

3. GIS 与其他学科的关系

1) GIS 与地图学

GIS 与地图学有着极密切的关系。首先,地图学的主要研究对象——地图与 GIS 相同,它们都是地理信息的载体,具有存储、分析和显示地理信息的功能,而且,地图还是 GIS 的主要数据来源,也是 GIS 的最终产品之一。其次,地图学成熟的理论、方法与功能是 GIS 发展的基础,而 GIS 是地图学在信息时代的发展。

2) GIS 与计算机制图

计算机制图是随着计算机技术的发展,以数字的形式,通过颜色、符号和文字说明等表达方式将实体通过计算机完整显现出来的技术。可以说计算机制图是 GIS 的雏形,而制图功能是 GIS 的一个基本功能。GIS 发展起来后,在制图功能的基础上,又增加计算机的空间查询、统计、处理和分析功能,包括定性、定量以及定位分析等。

3) GIS 与地理学

GIS 与地理学关系紧密,地理空间是两者共同的研究范畴。地理学的理论方法及其对自然规律和自然过程的研究结果既是 GIS 进行空间分析和建模的主要依据,也是 GIS 进行预测、预报和辅助决策的理论基础;而 GIS 的发展为地理学提供了一种高效、精确和全新的技术工具,是地理学发展强有力的技术支持,极大促进了地理学半定量化和定量化研究的发展。

4) GIS 与计算机辅助设计(computer aided design,简称 CAD)

GIS 与 CAD 有很多相似之处,但是 GIS 与 CAD 是完全不同的两个概念。CAD 主要用来辅助工程师们进行各种设计工作,它可绘制各种技术图形,大至飞机,小至微芯片等,也可用于产品加工中的实时控制。GIS 与 CAD 的共同点是两者都对图形图像进行加工处理。它们的区别主要有:一方面,GIS 数据库存储的是地理数据,数据量远远大于 CAD,数据存储方式也不相同;另一方面,GIS 是以数据库为核心的,它强调对图形数据和属性数据的同步处理,而 CAD 是以辅助绘图为中心的。

二、GIS 发展

GIS 经过 40 多年的发展,已经成为信息技术的重要组成部分。在资源管理、城市规划、环境管理、设施管理等空间信息相关领域得到了广泛应用,形成多层次

和多尺度的应用格局,并成为一个快速增长的产业。与此同时,GIS 软件技术体系也得到很大发展。

软件是 GIS 核心内容之一。GIS 软件技术是 GIS 软件的组织方式,依赖于一定的软件技术基础,决定了 GIS 软件的应用方式、集成效率等诸多方面的特点。从发展历程看,GIS 软件技术经历了五个阶段(图 1.1),即:集成式 GIS、模块式 GIS、核心式 GIS、组件式 GIS 和万维网 GIS。

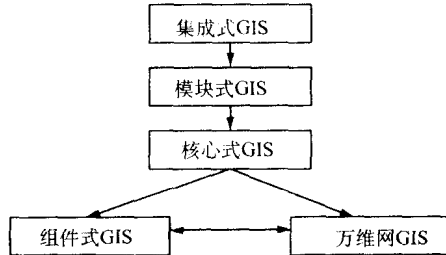


图 1.1 GIS 软件技术的发展(据钟耳顺,1998)

在 GIS 发展早期,为满足某些特定需求,产生了许多 GIS 功能模块。随着需求不断升级,研究人员开始将这些分散的功能模块集成为具有多种功能的综合性 GIS。该时期即 GIS 发展的集成化阶段。

集成化 GIS 结构过于复杂、成本较高。基于该问题,研究人员着眼于系统整体结构,按功能的关联度,将 GIS 划分为不同的功能模块。此过程即模块式 GIS 发展阶段。模块化 GIS 不是采用集成式 GIS 从下而上的开发思路,而是采用从上往下的方法进行开发,功能模块内聚性更强、划分更为合理。

集成式 GIS 和模块式 GIS 都没有解决 GIS 与其他系统的集成问题,核心式 GIS 正是基于该背景提出来的。它将 GIS 功能封装成动态链接库(DLL),通过应用程序接口(API)访问,以此来实现与其他系统的集成。

核心式 GIS 开发难度大,不易被开发人员掌握,不利于 GIS 社会化和大众化的发展,组件式 GIS 的出现在很大程度上解决了这个问题。它综合了模块式 GIS、核心式 GIS 的优点,将 GIS 功能划分为不同的功能模块,这些模块之间以及与其他系统之间通过标准的通信接口实现交互,不仅解决了异构系统的交互问题,而且开发成本低、易于掌握。

Internet 技术的发展使得网络化成为 GIS 发展的必然趋势,因此万维网 GIS 应运而生。万维网 GIS 的发展使得 Internet 用户可以通过万维网浏览空间数据、制作专题图以及进行各种空间检索和空间分析。

表 1.1 描述了 GIS 五个发展阶段的特征。