

第 1 章 概 论

人类在 21 世纪已全面进入信息时代，有关地球科学问题的研究需要以信息科学为基础，并以现代信息技术为手段。地理信息系统是与人类生存、发展、进步密切相关的一门信息科学与技术，是地球空间信息科学的重要组成部分，是信息产业的重要支柱，它被广泛应用于国民经济的许多部门，如城市规划设计、资源环境管理、生态环境监测与保护、地质勘探测量、城市管网、配电网、灾害监测防治等领域，越来越受到人们的重视。各国已经制定了不少耗资巨大的地理信息系统研制计划，随着工具型地理信息系统软件不断成熟，人们开始把目光转向应用型地理信息系统的设计与开发。

1.1 GIS 设计基础

1.1.1 地理信息系统基本概念

1. 信息

信息是近代科学的一个专门术语，已广泛应用于社会各个领域，信息概念已渗入信息论、控制论、生物学、管理科学等许多领域。关于信息有各种不同的定义，狭义信息论将信息定义为“两次不定性之差”，即指人们获得信息前后对事物认识的差别；广义信息论认为，信息是主体与外部客体之间相互联系的一种形式，是主体和客体之间的一切有用的消息和知识，是表征事物特征的一种普遍形式。在信息系统中，信息是向人们或机器提供的关于现实世界各种事实的知识，是经过加工后的数据，是数据、消息中所包含的意义，它不随载体的物理设备形式的改变而改变。

2. 地理信息

地理信息是指与地理空间分布有关的信息，它是表示地表物体和环境固有的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、图形、图像等的总称。

地理信息属于空间信息。它与一般信息的区别在于，它具有区域性、多维性和动态性。区域性是指地理信息的定位特征，且这种定位特征是通过公共的地理基础来体现的，例如，用经纬网或千米网坐标来识别空间位置，并指定特定的区域；多维性是指在二维空间的基础上实现多个专题的第三维结构，例如，在一个地面点上，可取得高程、污染、交通等多种信息；动态性是指地理信息的动态变化特征，即时序特征，从而使地理信息能够以时间尺度划分成不同时间段的信息，这就要求及时采集和更新地理信息，并根据多时相数据和信息来寻找时间分布规律，进而对未来做出预测和预报。

3. 信息系统

信息系统是具有采集、处理、管理和分析功能的系统，它能为企业部门或组织的决策过程

提供有用信息。在信息社会中，我们所说的信息系统大部分都由计算机系统支持，信息系统不只是单纯的计算机系统，而是辅助企业管理的人机系统。随着计算技术的发展，不同领域的各种信息系统相继出现，如图书情报信息系统、商业服务管理信息系统、财务管理信息系统、学籍管理信息系统等。

4. 地理信息系统

地理信息系统（Geographic Information System, GIS）这一术语是1963年由Roger F. Tomlinson提出的，20世纪80年代开始走向成熟，但对GIS没有统一的定义。不同的研究方向，不同的应用领域，不同的GIS专家，对它的理解是不一样的。有人认为，GIS是以计算机为工具，具有地理图形和空间定位功能的空间型数据管理系统；也有人认为，GIS是在计算机硬件和软件支持下，运用系统工程和信息科学理论，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、决策和研究所需信息的空间信息系统；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。虽然这些定义不同，但基本内容大同小异。仔细分析一下，会发现所有定义都是从三个方面考虑的：① GIS使用的工具：计算机软、硬件系统；② GIS研究对象：空间物体的地理分布数据及属性；③ GIS数据建立过程：采集、存储、管理、处理、检索、分析和显示。地理信息系统的主要特征是存储、管理、分析与位置有关的信息，因此地理信息系统也可以这样定义：GIS是在计算机软、硬件支持下，以采集、存储、管理、处理、检索、分析和显示空间物体的地理分布数据及与之相关的属性，并以回答用户问题等为主要任务的技术系统。

1.1.2 地理空间数据组成特征

1. 基础性与共享性

人口过剩、环境污染、森林破坏、自然灾害、流行疾病、寻找最适合某种作物生长的土壤、查找最佳行车路线等，都与地理因素有关。据悉，80%的信息都与空间位置相关。地理空间数据是数据库的基础，是其他数据库的一个重要组成部分，也就是说，在进行军事数据库、政务数据库、财经数据库、资源数据库、人口数据库等的建设时，往往离不开地理空间数据。

所有空间信息使用同一种规范或标准进行表达，这使得与空间信息打交道的人员可以使用同一种语言进行交流。在整个互联网环境内搭建一个畅通无阻的流通平台，使信息的交流与共享变得更加便捷，较好地解决了海量地理信息存储的不便，大大扩展了空间信息的共享范围。借助空间数据库系统，空间信息的应用范围更加广泛，实效性更能得到保障，准确性得以提高，信息的共享程度得到加强。

2. 随机性与模糊性

空间数据复杂性的一个特征就是不确定性，即模糊性。模糊性主要指介于有序和无序之间或无序与有序并存的现象，以及介于清楚和模糊之间或清楚和模糊并存的现象，表明事物性态或类属上的亦此亦彼性、中介过渡性，亦即对于事物是否具有某种性态，是否属于某个类别的问题，不能做出非此即彼的明确结论。模糊性几乎存在于各种类型的空间信息中，如空间位置的模糊性、空间相关性的模糊性以及模糊的属性值等。随机性描述事件发生的不确定性（某事件或者将发生或者不发生），数据不确定性是数据“真实值”不能被肯定的程度。传统的不确定性方法存在不足。概率统计通过概率考察随机事件发生的随机可能性，模糊集采用隶属度

描述元素对概念的隶属模糊性，粗集则以自己的上近似集和下近似集为基础，把包括二者在内的所有不确定位置之边界集笼统考虑。在空间数据挖掘和知识发现中，是像传统的经典数学一样同时抛弃随机性和模糊性？是像概率统计一样仅仅考虑随机性而不考虑模糊性？还是像模糊集仅仅考虑模糊性而不考虑随机性？或者像粗集一样把随机性和模糊性笼统考虑，而留下一个难以解决的边界集问题呢？因此，需要引入新的理论与有效的方法去研究空间数据所具有的不确定性。同时，数据的属性空间分布、属性不确定性描述指标的建立以及定性数据与定量数据的转换等问题都有待深入探讨。

3. 复杂性与多样性

空间数据源数据量大，时空类型不一致，数据噪声大。它既有空间特征（地学过程或现象的位置与相互关系），又有属性特征（地学过程或现象的特征）。空间数据不仅数据源丰富多样（如航天航空遥感、基础与专业地图和各种经济社会统计数据），而且结构复杂，且空间分辨率不断提高。这些数据源中的数据可能具有不同的数据格式和意义，为有效地传输和处理这些数据，需要对结构化或非结构化数据的集成进行深入的研究。随着对地观测计划的不断发展，每天可以获得上万亿兆字节的关于地球资源、环境特征的数据，使得对海量空间数据组织、处理和分析成为目前 GIS 亟待解决的问题之一。地理信息系统要处理比文字、数字等更复杂的地理空间数据。

4. 区域性与多层性

地理信息系统一般都针对特定的地理区域，或者说与特定的地理区域相联系，以地理空间数据和信息为处理对象；而地理空间数据和信息又通常以区域为单位来组织。因此，区域性是地理空间数据的天然特征，特别是进行区域研究的 GIS，如“陕西省生态环境数据库系统”、“塔里木河水资源管理信息系统”、“西安市房地产管理信息系统”等，系统名称前往往都冠以区域名称，指明了系统的区域性。区域沿地球表面展开，地球表面如此广阔，人们通常将地球表面分成很多的图幅来制图，以致区域的分布及特点常需要若干幅水平相接的地图来表达。这一特点导致地理信息系统的数据处理必须具备图幅接边和读图剪切等功能，而数据组织管理中需要有图幅管理或图库管理的功能。

地理空间数据还具有鲜明的层次性，而且其层次性包含两种含义。第一，不同比例尺的区域层次。地球上的区域层次是很多的，例如，从我国的小村庄，到乡镇、县（市）、地区、省、大区、国家，直到七大洲。不同的区域层次的地图必须采用不同的比例尺。第二，描述不同地理要素的专题层次或图层。专题图层相当于地图学中的专题地图，同一区域或同一图幅可以有多种专题图，如杭州市范围的交通旅游图、环境保护图、土地利用图、城市规划图等。在地理信息系统中，不同要素的地理空间数据也常常分别加以组织，形成同一区域的多重图层或专题数据层次，或用以加强显示的功能和灵活性，或基于它们进行多因子叠合分析。

1.1.3 地理信息系统设计特点

地理信息系统是管理信息系统（MIS）技术的扩展，相对于早期的管理信息系统，地理信息系统涉及更多的学科、更宽范围的综合对象和更复杂的技术，正因为如此，地理信息系统也就涉及更复杂的技术方法和更高质量的数据要求，并对计算机软、硬件也有相对较高的要求。因而，地理信息系统的设计具有其自身独有的一些特点。

(1) 地理信息系统处理的是空间数据，具有数据量大、实体种类繁多、实体间的关联复

杂等特点。GIS 远比一般的 MIS 更复杂。除一般统计数据外，GIS 的设计更需要处理各种类型的地理空间数据（如遥感影像数据、矢量地图数据、GPS 定点采集数据、图形图像数据和声像等多媒体数据），其设计方法和设计工具也较一般的 MIS 更灵活和多样。因此，在 GIS 设计过程中，不仅需要对系统的业务流进行分析，更重要的是，必须对系统所涉及的地理实体类型以及实体间的各种关系进行分析和描述，并采用相关的地理数据模型进行科学的表达。

(2) 地理信息系统处理的数据与地球空间位置有关，也就是说，GIS 必须以地理坐标作为参照构筑整个数据信息的结构框架。而管理信息系统处理的数据大多是属性数据，与空间位置无关，因而，GIS 空间数据库设计必须以位置为参照，考虑空间数据基准和地图投影等其他问题，保证与应用相适应的空间数据精度。

(3) GIS 研究对象是与空间位置有关的空间数据与属性数据，GIS 是对现实世界系统的抽象和表达，由于现实世界系统的多变量、时变性和复杂性，因而 GIS 设计是一项复杂的系统工程，需要面对复杂大系统的分解与协调技术，系统分析方面的工作量非常巨大。

(4) GIS 设计以空间数据为驱动。GIS 从某种意义上说就是一种空间数据库，GIS 的功能是为空间数据库提供服务的，其主要任务是空间数据分析统计处理并辅助决策。因此，与一般软件以业务为导向建设系统的思想不同，GIS 设计以数据为导向进行系统建设，系统的功能设计以提高数据的存储、分析和处理效率为原则。

(5) GIS 工程投资大，周期长，风险大，涉及的部门繁多。因此，在 GIS 设计中，项目计划管理是一个十分重要的部分。在项目计划管理中，需要完成以下工作：估计系统建设的投资效益，评估系统建设的风险性和必要性；确定系统的建设进度安排，保证系统建设的高效性；建立系统建设的组织机构并进行人员协调等。

1.1.4 地理信息系统主要类型

1. 工具型地理信息系统

工具型地理信息系统也称为地理信息系统开发平台或外壳，它具有地理信息系统的通用功能，如对各种地理空间数据进行输入、处理、管理、查询、分析和输出，是可供其他系统调用或允许用户进行二次开发，以建立应用型地理信息系统的操作平台，其特点如下：对计算机硬件适应性强，数据管理和操作效率高、功能强，具有普遍性和易于扩展性，操作简便且容易掌握等。目前，国外已有很多商品化的工具型地理信息系统，如 ArcGIS、GenaMap、MapInfo、MGE、GeoMedia 等。国内近几年正在迅速开发工具型地理信息系统，并取得了很大的成绩，如 MapGIS、SuperMap、GeoStar、Citystar 等。

地理信息系统是一个复杂庞大的空间管理信息系统，用地理信息系统技术解决实际问题时，软件开发任务的工作量很大。如果用户都从底层进行开发，那么对人力、物力、财力是很大的浪费，也会延长软件的开发周期。工具型地理信息系统为地理信息系统的使用者提供一种技术支持，使用户能借助地理信息系统中工具的功能直接完成应用任务，或者利用工具型地理信息系统加上专题模型，完成应用任务。

工具型地理信息系统，特别是先进、技术含量高的流行商品地理信息处理平台，在很大程度上可以满足一般用户的应用要求，但其面向的是 GIS 的理论与技术，对用户的专业问题针对性不强。只有对 GIS 理论和技术方法熟练掌握的专业用户，才能够自如地解决自己的专业应用问题，而一般用户则难以直接使用。

另外，从用户应用角度来看，用户建立自己的 GIS 应用，未必一定要用到专用的工具型地

理信息系统。但在实践中，由于地理信息系统毕竟是一类复杂、先进的高技术，开发一个实用的地理信息系统，需要涉及 GIS 的有关理论、技术、方法、技术规范和数据标准等方方面面的内容，还要求掌握软件工程、空间数据结构、空间数据库技术、GIS 应用分析模型及其算法等，因而，除非特别需要，用户从时间、精力、投资、技术力量等多方面考虑，都不会选择从底层做起，而乐于使用专门的 GIS 开发工具。一些长期从事地理信息系统技术开发的企业或组织，则可能利用他们长期的开发经验和技能积累，从事地理信息系统开发方面的技术服务，成为地理信息系统（或基础软件）的专门开发商。

2. 应用型地理信息系统

虽然目前已有众多的工具型地理信息系统软件，但它们通常只具有地理信息系统的一些通用功能，不能满足不同行业应用的需要。随着地理信息系统应用领域的不断扩展，应用型地理信息系统的开发工作日益重要。应用型地理信息系统就是与特定的地理区域相联系的地理信息系统，是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特定应用问题的地理信息系统，除了具有地理信息系统的基本功能外，还具有解决地理空间实体与空间信息的分布规律、分布特性及相互依赖关系的应用模型和方法。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，增加解决一类或多类实际应用问题的应用模型和方法，因而工具型地理信息系统是建立应用型地理信息系统的一条捷径；也可以是为某专业部门专门设计研制的，此类系统针对性明确，专业性强，系统开销小。应用型地理信息系统一般都具有更为明确的应用目的和使用对象。例如，“塔里木河水资源管理信息系统”，明确指明其应用目的就是管理塔里木河的水资源，它的使用对象只能是对塔里木河水资源具有检查、规划、协调与调配权力的国家或地方机构。应用型地理信息系统按研究对象性质和内容又可分为专题地理信息系统和区域地理信息系统。

(1) 专题地理信息系统

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，为特定专门目的服务。这一类地理信息系统的应用范围、用户对象一般都比较明确，并且有很强的专业性，如水资源管理信息系统、矿产资源信息系统、房地产管理信息系统、森林动态监测信息系统、农作物估产信息系统、水土流失信息系统、草场资源管理信息系统等。中地公司研制的地籍管理地理信息系统、土地利用信息系统、环境保护和监测系统、城市管网系统、通信网络管理系统、配电网管理系统、城市规划系统、供水管网系统等都属于应用型地理信息系统。

(2) 区域地理信息系统

区域地理信息系统 (Regional GIS) 主要以区域综合研究和全面信息服务为目标。它一般作为社会公用的信息服务项目，没有针对性很强的专业应用目的和固定的用户对象，并且具有一个大而全面的数据库系统支持，涉及区域的自然、资源、环境和社会经济的方方面面，因而也适用于更多的应用部门和更广泛的用户群体。区域地理信息系统可以有不同的规模，如国家级的、地区级的或省级的、市级的或县级的等，这些系统是为不同级别行政区服务的区域信息系统。另外，也存在以自然分区或流域为单位的区域信息系统，如加拿大国家地理信息系统、日本国土信息系统等是面向全国，属于国家级的系统；黄河流域地理信息系统、黄土高原重点产沙区信息系统等是面向一个地区或一个流域的，属于区域级的系统；还有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，如北京水土流失信息系统、上海市环境管理信息系统、海南岛土地评价信息系统、河南省冬小麦估产信息系统、铜山县土地管理信息系统等是面向地方的，属于地方一级的系统。

1.1.5 地理信息系统应用领域

目前，以空间数据库为核心的地理信息系统的应用已经从解决道路、输电线路等基础设施的规划和管理，发展到更加复杂的领域，地理信息系统已经广泛应用于环境和资源管理、土地利用、城市规划、森林保护、人口调查、交通、地下管网、输油管道、商业网络等各个方面的管理与决策。

1. GIS 在交通领域中的应用

交通信息与地理空间信息息息相关，因此，交通领域必然是 GIS 的重点应用领域之一，交通地理信息系统由此应运而生。GIS - T (Geographical Information Systems for Transportation, 交通地理信息系统) 是收集、存储、管理、综合分析和处理空间信息及交通信息的计算机系统，它把 GIS 和 ITS (Intelligent Transportation Systems, 智能交通系统) 有机结合成一体，是 GIS 技术在交通领域的延伸，是 GIS 与多种交通信息分析和处理技术的集成。交通地理信息系统具有精度要求高、规则复杂、动态化、离散化等特点，原有的信息技术已经不能完全满足交通应用的需求，而借助于 GIS 的强大功能，可以适应交通信息化时代的要求。交通地理信息系统凭借其强大的交通信息服务和管理功能，必将促进交通规划、建设、管理以及智能交通的发展。

2. GIS 在市政工程中的应用

GIS 在市政工程建设方面可为政府和企业提供极为有力的管理、规划和决策工具，主要用于公共供应网络（电、气、水、废水）、电信网络、交通领域、区域和城市规划、市区设计、道路工程等。例如，贝鲁特利用 GIS 分析它的电力线路以减少损失、提高电压。GIS 用来模拟能达到最优电力效益的设施布置措施。美国新墨西哥州也利用 GIS 来管理其公共服务设施布局，并维护长达 2500 英里的电力输送。丹麦能源部正在建立全国每幢建筑中能源用量的数据库。这种信息对于规划发电站和设计分布体系非常重要。

3. GIS 在资源评价中的应用

GIS 在土地和资源评价管理中，广泛应用于土地管理、水资源清查、矿产资源评价（矿产预测、矿产评价、工程地质、地质灾害）。例如，埃及人口增长和农业扩张对水资源管理提出了新的要求。埃及政府建立了一个对尼罗河水道、运河、排水沟和泵站进行管理的系统。在美国佛罗里达州，水压计算模型用来减轻公共厕所下水道水量溢出的情况。当暴雨来临时，卫星影像用来估计降雨量并对下水道泵站的工作提供必要的帮助。

4. GIS 在精准农业中的应用

精准农业 (Precision Agriculture) 是 20 世纪 80 年代初国际农业领域发展起来的一门跨学科新兴综合技术。其特点是通过 3S 技术和自动化技术的综合应用，按照田间每块操作单元上的具体条件，相应调整物资投入，达到减少投入、增加收入、保护农业资源和改善环境质量的目的。地理信息系统便于建立农田管理、土壤数据、自然条件、作物苗情、病虫害发展趋势、作物产量等的空间信息数据库，以及进行空间信息的地理统计、处理分析、图形转换与表达

等，为分析差异性和实施调控提供决策方案。将表现土地利用的卫星影像与厄尔尼诺的气象波动模型相结合可以预测对农业的影响。将 GPS（全球定位系统）接收器与便携式 GIS 软件相结合，可以实时、准确地为农业生产提供某地化学物质的浓度。

5. GIS 在生态和环保中的应用

可以充分利用 GIS 技术实现对生态环境各要素的综合与分析，利用 GIS 对生态环境进行数据处理与空间分析，实现生态环境信息分析的空间与属性信息一体化分析与综合处理的功能，实现对生态环境监测与生态环境演变的动态模拟、区域生态环境治理、生态环境动态监测、生态环境评价、生态环境管理与规划、生物多样性研究、水土保持。在肯尼亚，通过 GIS 可以显示出，大型哺乳动物在雨季都散布在热带稀疏草原上，而在旱季则集中在盆地。理解哺乳动物的季节迁移模式对于管理野生动物和牲畜的水资源分配非常重要。在美国加利福尼亚州的 Santa Catalina 岛，GIS 被用来评估生态成本和泥土路的效益。道路虽然为生态管理提供通路，但同时又破坏了生态景观，因此在生态环境方面它的存在与否很难做出决断。

6. GIS 在环境评价与监测中的应用

在环境评价和监测方面，GIS 主要用于环境影响评价、污染评价、灌溉适宜性评价、灾害监测（森林火灾、洪水灾情、救灾抢险等）、生态系统的研究、生物圈遗迹管理、自然资源管理等。它能够有效地管理具有空间属性的多种环境监测信息，对监测管理和实践模式进行快速和重复的分析测试，从而便于制定决策，进行科学与政策标准评价，有效地对多时期的环境状况及生产活动变化进行动态监测和分析比较，将数据收集、空间分析和决策过程综合为一个共同的信息流，明显提高工作效率，为解决资源环境和保障可持续发展提供技术支持。例如，在加拿大，水力污染运输模型被用来模拟不同情况下多污染源的影响。

7. GIS 在卫生保健中的应用

GIS 作为一种空间分析技术手段，具有强大的时空分析功能，越来越广泛地应用于卫生保健研究领域，使深入揭示疾病病因和健康问题的时空分布规律以及对病情实时监控和决策成为可能。中国的卫生健康部门，适应信息社会及信息高速公路的发展，正在实施“金卫工程”，目标是准确、快速地为人民群众提供各类医疗保健信息。美国加利福尼亚州要求县政府报告门诊患者卫生保健中产生的文化和种族问题，GIS 用来表现地理、社会经济、人口统计以及卫生保健设施的数据。大学里的研究人员也利用 GIS 来分析罕见疾病的流行情况，并估计个人感染的环境危险系数。在美国科罗拉多州，体重过轻的婴儿的百分比高出了全国平均值，GIS 用来调查其原因，如年龄、种族、教育、身高及对公共卫生服务设施的获取情况。卫生保健事业的发展，迫切需要建立综合的公共卫生健康监测与控制系统，这种系统将由于 GIS 技术的介入而面貌焕然一新。

8. GIS 在电信业中的应用

随着电信业务的发展，必须建立一套完善的电信网络资源管理体系，GIS 在电信系统中发挥着重要的作用。在哥伦比亚，光纤干线网络通过 GIS 数据库可以很容易地查看。在该数据库中，每个网络部件要素都被记录在案。在印度尼西亚，用 GIS 研究广播站的位置、听众人数以及设备的维护等，并以此来管理广播电话。电信咨询公司使用土地利用与土地覆盖数据来预测无线通信系统信号衰减情况。

9. GIS 在智能防御中的应用

用信息化提升机械化,最大限度地发挥现有各级武器装备的资源和潜力,是国防建设的重要目标之一。指挥自动化是军队信息化的主体,指挥自动化系统是信息时代军事斗争的基础设施。GIS 通过其强大的数据处理与分析能力,以及图文兼备的分析报告,可以保证指挥员迅速做出决策,提高作战效率。美国空军利用 GIS 技术来管理、维护和可视化数以百万计的气候记录。瑞典军队为改善军事计划,在这一方面做过更深入的工作,他们把军用和民用目标用不同的符号分别表示出来。加拿大军队则有定制的 GIS 软件并将其与陆军的命令系统结合起来应用。

1.2 GIS 的设计方法

1.2.1 结构化程序设计

结构化程序设计被称为软件发展中的第三个里程碑,其影响比前两个里程碑(子程序、高级语言)更为深远。结构化分析是面向数据流开展需求分析工作的一种有效方法。所谓结构化,就是有组织、有计划和有规律的一种安排。结构化系统分析方法,就是利用一般系统工程方法和有关结构概念,把它们应用于地理信息系统的设计。结构化程序设计的基本思想如下。

(1) 一般采用自顶向下、逐层分解的演义分析法来定义系统的需求,即先把分析对象抽象成一个系统,然后自顶向下地逐层分解,将复杂的系统分解成简单的、能够清楚地被理解和表达的若干个子系统。也就是将系统描述分为若干层次,最高层次描述系统的总功能,其他层次则一层一层更加精细、更加具体地描述系统功能,直到分解为程序设计语言的语句。它基本上可分为如下三个基本层次。

① 直观目录。用尽可能扼要的方式说明系统的所有功能和主要联系,是解释系统的索引。

② 概要图。概要地表示主要功能的输入、输出和处理内容,用符号和文字表示每个功能中处理活动之间的关系。

③ 详细图。详细地用接近编制程序的结构描述每个功能,使用必要的图表和文字说明,再向下则可进入程序框图。

(2) 地理信息系统的开发是一个连续有序、循环往复、不断提高的过程,每个循环就是一个生命周期,要严格划分工作阶段,保证阶段任务的完成。例如,没有调查研究,没有掌握必要的数据,就不可能很好地进行系统分析;没有设计出合理的逻辑模型,就不可能有很好的物理设计。这是系统设计的基本原则。

(3) 通过分析系统的每个细节、前后顺序和相互关系,找出各部分之间的数据接口。用结构化的方法构筑地理信息系统的逻辑和物理模型,包括在系统分析中分析信息流程,绘制数据流程图;根据数据的规范编制数据字典;根据概念结构的设计,确定数据文件的逻辑结构;选择系统执行的结构化语言,以及采用控制结构作为地理信息系统设计工具。这种用结构化方法构筑的地理信息系统,其组成清晰,层次分明,便于分工协作,而且容易调试和修改,是系统研制较为理想的工具。

(4) 结构化分析和设计的其他一些思想还包括:系统结构上的变化和功能的改变,以及面向用户的观点等,是衡量系统优劣的重要标准之一。

结构化软件设计的特点是，软件结构描述比较清晰，便于掌握系统全貌，也可逐步细化为程序语句，是一种使用相对广泛，也较为成熟和完善的系统分析方法。但结构化分析不适合需求经常改变的系統，因此结构化分析的前提是：面临静态需求。

1.2.2 原型化的设计方法

原型化方法是较常用的一种地理信息系统开发方法。该方法在开发初期不强调全面系统地掌握用户的需求，而是根据对用户需求的大致了解，由开发人员快速生成一个实实在在的初始系统原型。随着用户和开发者对系统理解的加深，不断对原型进行修正、补充和细化，用快速迭代的方法建立最终的系統，并提交给用户使用。这种设计方法的基本步骤如下。

(1) 确定用户需求。这是设计初始原型的依据。它不要求完整和完善，只要求有好的设想即可，同时还要大量收集和充分积累信息。

(2) 开发初始原型。提出一个有一定深度和广度的宏观控制模型，建立原型的初始方案，并从它开始迭代。建立初始原型所需时间是由系统的规模大小、复杂性、完整程度决定的。

(3) 征求改进意见。将初始原型提交给用户，通过与用户的交流取得对系统要求和开发潜力的新的认识，进而开发新的需求，并修改原有的需求。

(4) 修改完善原型。通过软件编制不断发现技术上的扩大点，并通过与用户的交流取得对系统需求和开发潜力的新的认识，调整系统方案，修改原型不合适的部分并将它作为新原型开发的基础。若原型基本上满足了用户关键性需求，则开发的原型就可告一段落，此时修改过的原型成为一个运行原型，它可以作为一个新的应用系统。

(5) 制定原型完成。根据一定标准判断用户需求是否已被体现，从而决定系统是继续迭代改进还是终止。随着用户对所研究的对象的不断深入和对系统了解的不断深化，可能提出新的需求和应用，这时，在运行原型的基础上，要根据用户关键性的需求是否得以完全体现和满足，来决定迭代过程是否终止，直到满足需求为止。

原型化方法尽管带有一定的盲目性，但对于非专业人员和小规模系统设计来说更为实用，而且有些探索性的系统，并不可能一开始就取得完整的认识，许多专门化的系统，也不一定需要十分复杂的设计。这种软件开发方法，一开始就针对具体目标开始工作，一边工作一边完成系统的定义，并通过一定的总结和调整补偿系统设计的不足，便于用户试用和提出意见，这样也就更有利于吸引用户介入系统设计工作，体现了不断迭代的快速修改过程，因此它是一种动态的软件开发技术。这种方法能够大大减少软件系统的后期维护费用，使系统功能能够正确反映用户的需求。同时这种设计思想对于较复杂和具有不确定性的系统目标有较强的适应性，可以使设计与实施的结合更为紧密。

1.2.3 面向对象的设计方法

面向对象 (Object - Oriented) 的设计方法是近年来发展起来的一种新的设计技术，其基本思想是：将系统所面对的问题，应用封装机制，按其自然属性进行分类，按人们通常的思维方式进行描述，建立每个对象的领域模型和联系，既模拟信息实体的内在结构又模拟动作机制 (如路径选择和图像解释就是矢量数据与栅格数据两类应用的典型范例)，使设计出的软件尽可能直接地表现出问题求解的过程。整个系统只由对象组成，对象之间的联系通过消息 (Messages) 进行。面向对象的设计方法所强调的是在系统调查资料的基础上，针对 OOA (Object - Oriented Analysis, 面向对象分析) 方法所需要的素材进行归类分析和整理，而不是

对管理业务现状和方法的分析。由于采用将数据和操作行为封装在一起的模块化结构，使系统很容易重组，但其他系统就必须重写，这对于结构复杂的系统是难以承受的。因此，面向对象设计方法的优点就是：加强对问题域和系统责任的理解；改进与分析有关的各类人员之间的交流；对需求的变化具有较强的适应性；贯穿软件生命周期全过程的一致性、实用性；有利于用户参与，容易扩充和重组。

所谓面向对象的定义，是指无论怎样复杂的事物都可以准确地由一个对象表示。例如，地图上多边形的一个节点或一条弧段可定义为对象；一条河流，或一个省，也可定义为一个对象。下面是面向对象技术的一些有关概念。

(1) 对象 (Object)。对象是事物的抽象单位，具有特征的内部状态、性质、知识和处理能力，通过消息传递与其他对象相联系，是构成系统的元素或说是封装了数据和操作集的实体。

(2) 消息 (Message)。消息是请求对象执行某一操作或回答某些信息的要求，用以统一数据层和操作控制，将对象联系起来。

(3) 分类 (Classification)。分类是关于同类对象的集合。具有相同属性和操作的对象组合在一起形成类。属于同一类的所有对象共享相同的属性项和操作方法，但每个对象可能有不同的属性值。以一个城市的 GIS 为例，它包含建筑物、街道、公园、给排水管道、电力设施等类型，而中山路 51 号是建筑物类中的一个实体，即对象；建筑物类中可能还有诸如地址、房主、用途、建筑日期等其他属性，并可能需要显示对象、更新属性数据等操作。

(4) 概括 (Generalization)。在定义类型时，将几种类型中某些具有公共特征的属性和操作抽象出来，形成一种更一般的所谓超类，称为概括 (或父类)。例如，饭店、商店、学校、医院等都涉及建筑物，所以可以将建筑物抽象出来，形成一种超类，建立饭店、商店、学校、医院等子类的公共属性项和操作。子类还可以进一步分类，如饭店类可以进一步分为餐馆、旅店、涉外宾馆、招待所等类型。所以一个类可能是某个或几个超类的子类，同时又可能是几个子类的超类。

(5) 联合 (Association)。在定义对象时，将同一类对象中的几个具有相同属性值的对象组合起来，为了避免重复，设立一个更高层次的对象来表示那些相同的属性值。例如，某农户拥有两块农田，使用同样的耕种方法，种植同样的庄稼，这里农田主、耕种方法和庄稼三个属性相同，因而可把这两个对象 (农田) 组合成一个新的对象，而新对象中包含这三个属性。

(6) 聚集 (Aggregation)。聚集有点类似于联合，但聚集是将几个不同特征的对象组合成一个更高层次的对象。每个不同特征的对象是这个聚集的一部分，它们有自己的属性描述数据和操作，这些是不能为聚集所公用的，但聚集可以从它们那里派生得到一些信息。例如，房子从某种意义上说是一个聚集，因为它是由墙、门、窗、房顶等组成的。

(7) 传播 (Propagation)。传播是作用于联合和聚集的工具，它通过一种强制性的手段将子对象的属性信息传播给高层次的组合对象。也就是说，高层次的组合对象，联合和聚集的某些属性值并不单独存在于数据库中，而是从它的子对象中提取和派生。例如，一个多边形的位置坐标数据并不直接存在于多边形文件中，而是存在于弧段和节点文件中。多边形文件仅提供一种组织对象的功能和机制，即借助于传播工具可以得到多边形位置信息。

面向对象技术具有如下三个性质。

(1) 封装性

一个对象即是一个独立存在的实体，对象有各自的属性和行为，彼此以信息进行通信，对象的属性只能通过自己的行为来改变，实现了数据封装。

(2) 继承性

相关对象在进行合并分类后，有可能出现共享某些性质，通过抽象后使多种相关的对象表现为一定的组织层次，低层次的对象继承其高层次对象的特性，这便是对象的继承性。

类通过继承定义成不同的层次结构，将相关的特点抽象出来作为父类，子类继承父类，即子类的某些属性和操作来源于它的父类。因此，在同一父类下的子类拥有某些公共属性，并且在继承过程中，还可以将父类的操作和属性遗传给子类的子类。继承是有力的建模工具，有助于进行共享说明和实现几何数据与属性数据的一体化。

(3) 多态性

对象的某种操作在不同的条件环境下可以实现不同的处理，产生不同的结果，也就是说，不同类中的对象，对系统发生的同一信息都具有反应能力。例如，发出绘图命令时，不同对象（方形、圆形、椭圆形等）都有反应能力。

面向对象的设计方法，更接近于对问题而不是对程序的描述，软件设计带有智能化的性质，这种形式更便于程序设计人员与应用人员的交流，软件设计也更具有普遍意义，尤其是在地理信息系统的智能化要求和专家系统技术不断提高的形势下，面向对象的软件设计是更有效的途径。

1.2.4 面向服务的设计方法

面向服务的架构（Service - Oriented Architecture, SOA）是最近国内外研究的一个非常热门的领域，目前尚没有一个明确的能普遍接受的定义，以下是一些具有代表性的表述（Eric Newcomer, 2006；Thomas Erl, 2005）。

(1) SOA 的关键是“服务”的概念，W3C（World Wide Web Consortium，万维网联盟）将服务定义为：“服务提供者完成一组工作，为服务使用者交付所需的最终结果。最终结果通常会使用户的状态发生变化，但也可能使提供者的状态改变，或者双方都产生变化”。

(2) Service - architecture 网将 SOA 定义为：“本质上是服务的集合。服务间彼此通信，这种通信可能是简单的数据传送，也可能是两个或更多的服务协调进行某些活动。服务间需要某些方法进行连接。所谓服务就是精确定义、封装完善、独立于其他服务所处环境和状态的函数。”

(3) Looselycoupled 网将 SOA 定义为：“按需连接资源的系统。在 SOA 中，资源被作为可通过标准方式访问的独立服务，提供给网络中的其他成员。与传统的系统结构相比，SOA 规定了资源间更为灵活的松散耦合关系。”

(4) METH 将 SOA 定义为：“一种以通用为目的、可扩展、具有联合协作性的架构，所有流程都被定义为服务，服务通过基于类封装的服务接口委托给服务提供者，服务接口根据可扩展标识符、格式和协议单独描述。”该定义的最后部分表明在服务接口和其实现之间有明确的分界。

(5) Gartner 公司则将 SOA 描述为：“客户 - 服务器（Client/Server）的软件设计方法，应用由软件服务和软件服务使用者组成。SOA 与大多数通用的 Client/Server 模型的不同之处在于，它着重强调软件组件的松散耦合，并使用独立的标准接口。”Gartner 相信 BPM（Business Process Management）和 SOA 的结合对所有类型的应用集成都大有助益：“SOA 极大地得益于 BPM 技术和方法论，但是 SOA 面临的真正问题是确立正确的企业意识，即：强化战略化的 SOA 计划（针对供应和使用）并鼓励重用。”

虽然不同组织或个人对 SOA 有着不同的理解，但是仍然可以从上述的定义中看到 SOA 的

几个关键特性：一种粗粒度、松耦合服务架构，服务之间通过简单、精确定义接口进行通信，不涉及底层编程接口和通信模型。SOA 不是一种语言，也不是一种具体的技术，而是一种架构模式，它将应用程序的不同功能单元（称为服务）通过这些服务之间定义良好的接口和契约联系起来，这使得构建在各种这样的系统中的服务可以以一种统一和通用的方式进行交互。SOA 要求开发人员跳出应用本身进行思考，考虑现有服务的重用，或思索他们的服务如何能够被其他项目重用，将应用设计为服务的集合。

SOA 作为新一代的软件构架，在未来将给软件产业带来革命性的变化。在 SOA 架构下，无数软件制造者可将它的研制软件功能以“服务”形式提供出来，各功能之间是相互独立的，以一种称为“松耦合”的协议机制来组合；因此理论上系统可以无限扩大，而无须担忧负荷过大。在 SOA 时代，任何一个大的应用软件系统，都不再由一个软件开发商独立完成，而是由不同厂商生产的基于基础标准和接口的中间件相互协作完成。

1.3 地理信息系统设计内容

1.3.1 地理信息系统设计原则

地理信息系统设计应当根据系统工程的设计思想，使应用 GIS 系统满足科学化、合理化、经济化的总体要求。一般，应遵循以下基本原则。

(1) 完备性。主要是指系统功能的齐全、完备。一般的应用型 GIS 都具有数据采集、管理、处理、查询、编辑、显示、绘图、转换、分析、输出等功能。

(2) 标准化。系统的标准化有两层含义：一是指系统设计应符合 GIS 的基本要求和标准；二是指数据类型、编码、图式符号应符合现有的国家标准和行业规范。

(3) 系统性。属性数据库管理子系统、图形数据库管理子系统及应用模型子系统必须有机地结合为一体，各种参数可以互相进行传输。

(4) 兼容性。数据具有可交换性，选择标准的数据格式和设计合适的数据格式变换软件，与不同的 GIS、CAD、各类数据库之间实现数据共享。

(5) 通用性。系统必须能够在不同范围内推广使用，不受区域限制。

(6) 可靠性。系统的可靠性包括两个方面，一是系统运行的安全性；二是数据精度的可靠性和符号内容的完整性。

(7) 实用性。系统数据组织灵活，可以满足不同应用分析的需求。系统真正做到能够解决用户所关心的问题，为生产实践、科研教学服务。

(8) 可扩充性。考虑到应用型 GIS 的发展，系统设计时应采用模块化结构设计，模块的独立性强，模块增加、减少或修改均对整个系统影响很小，便于对系统改进、扩充，使系统处于不断完善过程中。

1.3.2 地理信息系统设计内容

地理信息系统设计的主要内容如下。

1. 系统总体设计

在对建设系统主、客观条件进行深入调查研究、用户信息需求分析等工作的基础上，确定

系统目标和任务，设计出系统的总体框架结构、模块子系统、硬件系统组成、软件体系结构、用户界面等。

2. 数据模型设计

依据系统所涉及专业数据及相关信息的特点等，为系统设计适合表达的数据模型及数据分类体系。例如，ArcGIS 用一个高级的通用地理数据模型——地理数据库（GeoDatabase）来表示空间信息，包括空间要素、遥感数据以及其他的空间数据类型。ArcGIS 同时支持基于文件的空间数据类型和基于数据库的空间数据类型。GeoDatabase 是一种采用标准关系数据库技术来表现地理信息的数据模型，它支持在标准的数据库管理系统（DBMS）表中存储和管理地理信息。

3. 数据库设计

设计系统的数据库模型。地理数据库是一种应用于地理信息处理和信息分析领域的工程数据库，它管理的对象主要是地理数据（包括空间数据和属性数据），它要求数据库系统必须具备对地理对象（大多为具有复杂结构和内涵、相互关联的复杂对象）进行建模、操纵、分析和推理的功能。关系数据库系统主要操纵诸如二维表这样的简单对象，无法有效地支持以复杂地理实体对象（如图形、图像）为主体的 GIS 工程应用。目前，较为常用的是文件与关系数据库混合管理模式。但是，采用文件管理系统管理空间数据，数据的安全性、一致性、完整性、并发控制以及数据修复等方面都有很大欠缺，不能说是真正意义上的空间数据库管理系统。ESRI 推出的 GeoDatabase 数据模型基于面向对象技术，在通用的关系型数据库的基础上建立空间数据库，通过空间数据引擎进行访问，这种对象-关系数据库管理模式已经在很多领域投入使用，是一种较为优越的高效空间数据库管理模式。

数据库为 GIS 的核心，一个完整的、开放的、柔性的数据库可以保证 GIS 运行的成功。一个数据库采取什么样的结构，是与其应用接口相关的，且要考虑将来的发展需要。GIS 数据库的设计方法，和计算机在其他方面的应用相比较，是一样的方法，其基本原则是：数据应能反映真实世界的情况，具备查询功能，数据要能共享并加以保护，数据库应能扩展，可方便地进行管理与维护，同时数据库的结构应尽量少占存储空间。

数据库的结构可以采用层次结构、网状结构、关系结构中的一种。根据应用目的，综合考虑数据相互的独立性、连接方式、存取速度、存取容量、使用简易性、学习的困难程度等因素，选择其中一种合适的结构来完成一个数据库的建立。

4. 系统功能设计

一个实用的 GIS 系统，要提供对空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示等功能，但任何功能完备的 GIS 工具软件都不可能在自己的产品中囊括所有用户的所有应用问题。在绝大多数的应用地理信息系统开发中，总还会有少量乃至较多的用户应用问题在所使用的 GIS 工具软件中无法解决。这时，就需要系统开发者通过系统功能设计，开发通用 GIS 不具备的功能。

5. 应用模型设计

应用模型代表了用户通过建立地理信息系统要求最终解决或处理的实际应用问题，它是应用系统开发、建设的根本目的。在一般的 GIS 工具软件中，必须借助于应用系统的开发，通过软件设计实现对工具型地理信息系统的底层功能调用，为系统设计适合表达数据的、解决专业问题的应用模型和主要的空间分析方法。此外，作为应用型地理信息系统，一般都有相对固定的用户群

体和一定的专业特点，这必然对应用系统的界面设计有更高的要求，除了配置完善、易于使用的帮助系统外，还要符合相应的专业习惯，使用相应的专业用语，适合相应用户的知识水平。

6. 输入/输出设计

基础数据和专业数据的采集与输入，规划加工后的信息产品输出。

1.3.3 地理信息系统设计过程

地理信息系统的建立过程是一项耗费大量人力、财力、物力和时间的系统工程。为了使系统开发达到预期目标，就必须针对组织、机构管理和计算机信息系统的特点，根据软件工程思想，采用科学的开发步骤和技术，对系统建立的全过程进行控制与协调。通常，开发 GIS 按开发时间序列可划分为 4 个主要阶段：系统分析、系统设计、系统实施、运行维护与系统评价，如表 1.1 所示。在每个阶段按照相应的规范进行工作，并形成一定的文档资料，它是确保整个开发活动成功的关键，也有利于系统的运行和维护。

表 1.1 应用型 GIS 开发阶段及过程

阶 段	内 容	用 户	管 理 人 员	开 发 人 员
系统分析	需求分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提出所要解决的问题 2. 指出所需要的信息 3. 详细介绍现行系统 4. 提供各种资料和数据 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 批准开始研究 2. 组织开发队伍 3. 进行必要培训 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 了解用户要求 2. 回答用户的问题 3. 详细调查现行系统 4. 收集资料和数据 5. 总结和分析
	可行性研究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 评价现行系统 2. 协助提出各种方案 3. 选择最适宜的方案 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 审查可行性报告 2. 决定是否开发 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提出多种备选方案 2. 与用户一起讨论各方案的优劣 3. 开发的费用估计和时间估计
系统设计	总体设计	<ol style="list-style-type: none"> 1. 讨论子系统模块的合理性并提出看法 2. 对设备选择发表看法 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鼓励用户参加系统设计 2. 要求开发人员多听用户意见 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 说明系统目标和功能 2. 子系统和模块划分 3. 计算机系统选择
	详细设计	<ol style="list-style-type: none"> 1. 讨论设计和用户界面的合理性 2. 提出修改意见 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 听取用户有关系统界面的反映 2. 批准转入系统实施 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 软件设计 2. 代码设计 3. 功能设计 4. 数据库设计 5. 用户界面设计 6. 输入、输出设计
系统实施	编程	随时准备回答一些具体的业务问题	监督编程进度	分头进行编程和调试
	调试	<ol style="list-style-type: none"> 1. 评价系统的总调 2. 检查用户界面的良好性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 监督调试的进度 2. 协调用户与开发人员的不同意见 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模块调试 2. 分调（子系统调试） 3. 总调（系统调试）
	培训	接受培训	<ol style="list-style-type: none"> 1. 组织培训 2. 批准系统转换 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 编写用户手册 2. 进行培训
运行维护与系统评价	运行和维护	<ol style="list-style-type: none"> 1. 按系统的要求定期输入数据 2. 使用系统的输出 3. 提出修改和扩充意见 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 监督用户严格执行操作规程 2. 批准适应性和完善性维护 3. 准备对系统全面评价 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 按系统要求进行数据处理工作 2. 积极稳妥地进行维护
	系统评价	参加系统评价	组织系统评价	<ol style="list-style-type: none"> 1. 参加系统评价 2. 总结经验教训

1. 系统分析

系统分析的基本意思是从系统观点出发，通过对事物进行分析与综合，找出可行的方案，为系统设计提供依据。它的任务是对系统用户进行需求调查和可行性分析，最后提出新系统的目标和结构方案。系统分析是使设计达到合理、优化的重要步骤，其工作深入与否直接影响到将来新系统的设计质量和实用性，因此必须予以高度重视。

2. 系统设计

一般来说，需求分析阶段的主要任务是确定系统“做什么”，而设计阶段则要解决“怎么做”的问题。通常，设计阶段在明确系统目的、任务、目标等原则问题的基础上，又划分为总体设计和详细设计。总体设计的主要任务是根据系统分析的成果，在明确系统目的、任务、目标等原则问题的基础上，设计系统总体结构，规划系统的规模和确定系统的各个子系统组成部分，并说明子系统在整个系统中的作用与相互关系，规定系统采用的合适技术规范，以保证系统总体目标的实现。详细设计是在总体设计的基础上，结合系统物理实现所进行的详细规划，它描述如何具体地实现系统，并编制系统设计说明书，是系统实现的依据。

3. 系统实施

系统实施是 GIS 建设付诸实施的实践阶段，是在系统设计的原则指导下，按照详细设计方案确定的目标、内容和方法，分阶段、分步骤完成系统开发的过程。该阶段建立 GIS 物理模型，通过编码把系统设计方案加以具体实现。在这一过程中，需要投入大量的人力、物力，占用较长的时间，因此必须根据系统设计说明书的要求组织工作、安排计划。

4. 运行维护与系统评价

系统运行是指系统经过调试和验收以后，交付用户使用。为了保证系统正常运行，必须认真制定并严格遵守操作规则。系统维护是为保证系统正常工作而采取的一切措施和实际步骤。例如，数据的维护使系统数据始终处于相对最新的状态，软件的维护使软件能适应运行环境和用户需求的不断变化，硬件的维护使硬件能经常保持完好和正常运行的状态等。一般，在新系统交付验收时要进行系统评价，在系统经过一段时间的运行后也要对系统进行评价，对系统进行评价的主要工作是对系统运行情况进行检查，并与系统要求的预期目标进行对比，写出系统评价报告。系统评价工作主要由领导、业务人员、系统设计开发人员、系统操作人员及其他相关人员参加。

1.4 地理信息系统二次开发

地理信息系统技术及其产业对于我国国民经济增长和社会发展的基础性、战略性的产业地位，对于其他众多产业的辐射和推动作用，已越来越得到广泛的社会认可和各级政府的重视。随着地理信息系统应用领域的不断扩大，应用趋向于社会化、全球化，应用型 GIS 的开发工作日显重要。目前虽已有众多的 GIS 工具软件，但通常只具有一些 GIS 的通用功能，不能满足不同行业应用的需要。如何针对不同的专业应用领域，选择合适的开发方式和工具，高效地开发出合乎行业需要、操作方便、功能丰富的地理信息系统，已成为应用型 GIS 开发者迫切关心的问题。

1.4.1 GIS 开发模式

GIS 开发是一项十分复杂的系统工程，通常投资大、周期长、风险大、涉及部门多。应用型 GIS 的种类繁多，涉及应用领域广泛，技术要求千差万别。对于功能单一、简单小型的应用型 GIS 系统可直接购买 GIS 商品化软件；但对规模较大、功能复杂、需求不确定性程度比较高的系统，购买商品化软件很难满足要求，必须进行二次开发。应用型 GIS 的开发是采用 GIS 的原理和方法，基于系统化思想指导的工程化建设过程。根据不同应用型 GIS 的要求，其开发模式都应遵循软件工程的原则和要求进行。

1. 自行开发模式

自行开发模式是指由用户依靠自己的力量独立完成系统的设计与开发。自行开发方式需求明确、开发费用低，易于维护，但对用户要求较高。自行开发模式不但要求用户有较强的系统分析、设计和编程能力，还要求具备一定的软件工程的组织管理能力。

2. 委托开发模式

委托开发模式是指由用户委托 GIS 开发商按照用户的需求完成全部设计、开发任务，而用户只配备精通管理业务的人参与开发。委托开发模式相对于自行开发模式来说，用户比较省事，但开发费用高，维护和扩展均要依赖对方。

3. 联合开发模式

联合开发模式是指由用户提供精通管理业务、计算机技术、GIS 技术的开发人员与有丰富经验的专业开发人员共同完成系统的分析、设计、实施、评价、管理和维护工作。联合开发模式折中了前两种开发模式的优点，但增加了系统开发工作中合作和协调的困难。

1.4.2 GIS 开发方式

早期的 GIS 开发和今天的 GIS 开发有很大的不同。早期的 GIS 开发一般是在 UNIX、MS - DOS 操作系统的文字操作界面环境下进行的，当时的 GIS 应用一般只是在具有空间数据输入、显示、分析和处理操作的计算机程序和简单软件系统下所进行的一些应用性的空间数据处理或专题地理制图的有序操作。用户通过输入操作系统内部命令与外部命令的方式（MS - DOS 将可执行程序视为自己的外部命令）与系统进行对话来完成地理信息的输入、显示与分析操作任务，由于地理信息应用的复杂性，用户输入的每条命令行往往需要附带一系列的参数，从而使系统的使用极其烦琐而复杂，中间操作过程中的任何失误都可能导致之前的工作前功尽弃。因此，如何针对具体的应用目标，高效地开发出既合乎需要又美观方便的应用型地理信息系统，就成为了众多二次开发者关注的焦点。目前，GIS 开发可以分为独立开发、宿主开发和集成开发三种方式。

1. 独立开发

独立开发是指不依赖于任何 GIS 工具软件，利用专业程序设计语言开发应用模型，直接访问 GIS 软件的内部数据结构。从空间数据的采集、编辑到数据的处理分析及结果输出，所有的算法都由开发者独立设计，然后选用某种程序设计语言，如 Visual C ++、Visual Basic、

Delphi、Java、C#等，在一定的操作系统平台上编程实现。这种开发方式适用于开发商品化的 GIS 软件平台，好处在于无须依赖任何商业 GIS 工具软件，独立性强，降低了开发成本。用这种开发方式建立的系统，其各组成部分之间的联系最为紧密、综合程度和操作效率最高。但对于大多数开发者来说，开发难度大、开发周期长、投资大，同时开发出来的系统的功能与稳定性往往比现有的成熟 GIS 系统的功能和稳定性差，很难与商业化 GIS 工具软件相比，而且开发过程中的花费可能会远大于购买 GIS 工具软件所需的费用，因此并不适用于一般的 GIS 开发用户。在 GIS 应用发展的初期，由于 GIS 工具平台功能尚不完善，因此 GIS 应用开发多选择这种方式。

2. 宿主开发

随着 GIS 工具平台的不断完善，一些 GIS 软件提供了可供用户进行二次开发的宏语言和专用开发语言。宏语言编程过程如下：按照预先调试好的对某空间数据集合的处理模式，将在系统下输入的处理命令按照先后顺序写成命令序列并作为文件保存，执行时调入并执行该文件中的命令，就可完成对该空间数据集的程序化操作，以提高处理效率。专用开发语言与宏命令语言最大的不同在于，它比宏命令语言级别低，即不具有宏命令语言“宏”的含义，从而它更支持对系统底层功能的调用，有利于用户进行深入编程。但过于低级的开发语言必然增大了用户学习、掌握的难度。宿主开发指基于现有的成熟 GIS 平台进行应用开发，完全借助于 GIS 工具软件提供的宏语言和专用开发语言进行应用系统开发，以原 GIS 工具软件为开发平台，开发出针对不同应用对象的应用程序。

目前市场上 GIS 工具软件大多提供了可供用户进行二次开发的语言，如 ArcGIS 提供了 AML 语言、ArcView 提供了 Avenue 语言、MapInfo 的 MapInfo Professional 提供了 MapBasic 语言等。AML 语言是 ArcGIS Workstation 一个不可或缺的重要组成部分。AML 宏语言发出命令，要求其他程序进行相应的操作。AML 属于解释型高级宏语言，其语法结构简单，解释执行，不需编译，执行和开发效率高；此外，还提供可视化菜单、对话框编辑工具。

MapBasic 语言是在 MapInfo 平台上进行二次开发的专用开发语言。利用 MapBasic 语言进行编程，能够扩展 MapInfo 的功能，简化用户的重复操作，并能使 MapInfo 与其他应用软件集成。MapBasic 是一种类 BASIC 语言，它具有自己的语法规则，对于想要快速建立以地图空间分析为主要功能的企业用户来说，选用 MapBasic 语言进行开发是一种最快也最简单的方式，因为 MapBasic 集成程度很高，并提供很多复杂的地图分析。通过集成方式，用户也可使用诸如 Visual Basic、C++、PowerBuilder 和 Delphi 等语言编写应用软件。目前，MapBasic 语言已经被世界上数百个第三方厂商认可。

宿主开发方式简单易行，开发周期短，系统的稳定性和可靠性高，许多功能可以直接从原有的平台软件中引用过来，因而这种开发方式目前采用较多。但这种开发方式也有较多的缺点：移植性差；受开发平台的影响，不能脱离原有系统单独运行；受系统提供的开发语言的功能限制，二次开发的宏语言作为编程语言只能算是二流的，功能一般较弱。GIS 所提供的二次开发语言往往不能与专业程序设计语言相比，难以开发复杂的应用模型，用它们开发出来的系统结构松散，系统显得有些臃肿，功能和效率也较差。总之，用二次开发语言来开发应用程序仍然不尽如人意。

3. 集成开发

集成开发是指利用专业的 GIS 工具软件，如 ArcGIS、MapInfo Professional、ArcView 等，实

现 GIS 的基本功能，以通用软件开发工具尤其是可视化开发工具，如 Visual C++、Visual Basic、Delphi、PowerBuilder 等为开发平台，采用 OLE/DDE 或 GIS 控件两种方式，通过 ADO 与数据库系统连接，进行二者的集成开发。

(1) OLE/DDE 方式

这种方式采用 OLE Automation 技术或 DDE 技术，用软件开发工具开发前台可执行应用程序，以 OLE 自动化方式或 DDE 方式启动 GIS 工具软件在后台执行，利用回调技术动态获取其返回信息，实现应用程序中的地理信息处理功能。

(2) GIS 组件方式

组件（或称控件）是指那些具有某些特定功能，独立于应用程序，但能够容易地组装起来，以高效地创建应用程序的可重用软件“零件”。GIS 组件方式的基本思想是把 GIS 的各大功能模块划分为几个控件，每个控件完成不同的功能。各个 GIS 控件之间，以及 GIS 控件与其他非 GIS 控件之间，可以方便地通过可视化的软件开发工具集成起来，形成最终的 GIS 应用。控件如同一堆各式各样的积木一样，它们分别实现不同的功能（包括 GIS 功能和非 GIS 功能），根据需要把实现各种功能的“积木”搭建起来，就构成应用系统。

利用 GIS 工具软件生产厂家提供的建立在 OCX 技术基础上的 GIS 组件，在某种可视化编程工具如 Visual C++、Visual Basic、Delphi、.NET 上实现 GIS 的基本功能，直接将 GIS 功能嵌入其中，实现 GIS 的各种功能。由于 GIS 组件往往以 ActiveX 控件的方式提供，因此可以很简单地被通用的开发工具使用，在此基础上实现 GIS 应用系统的功能。这种建立在 OCX 技术基础上的 GIS 控件又称为组件式 GIS。

GIS 组件的代表作首推 Mapobject 和 MapX 等，其中 Mapobject 由全球最大的 GIS 厂商 ESRI（美国环境研究所）推出，MapX 由著名的桌面 GIS 厂商美国 MapInfo 公司推出。国内也涌现出一些优秀的组件，如中地公司的 MapGIS 组件和超图公司的 GIS 组件。

组件式开发作为 MapGIS 的重要开发手段，必须尽可能地在多个层次上对 MapGIS 的功能进行封装，供用户使用。MapGIS 软件包含众多强大的功能，二次开发函数库提供了上千个函数，要把所有这些功能放在一个组件（控件）中几乎是不可能的，而且可能会带来系统效率低下的问题。根据 COMGIS 设计应遵循应用领域的需求的规则、组件式软件的设计规则和 MapGIS 的体系结构，MapGIS 组件分成数据管理组件、图形显示与编辑组件、工程管理组件、图库管理组件、图例管理组件、图形裁剪组件、图像分析管理组件、投影转换组件、网络分析管理组件、输出排版组件、DTM 分析组件、数据转换组件、空间分析组件等 13 大类。MapGIS 组件不依赖于某种特定的开发语言，可以直接嵌入到某些通用的开发环境（如 Visual Basic 或 Delphi）中进行应用开发，实现 GIS 功能。而其他的专业模型则可以使用这些通用开发环境来实现，也可以插入其他专业性模型的分析控件，各个模块之间既可相互关联共同处理数据，又可在维护修改时独立操作而互不影响。因此，利用 MapGIS 组件进行 GIS 应用系统的开发可以实现高效、无缝的系统集成。

由于独立开发难度大，宿主开发受 GIS 工具提供的编程语言的限制而差强人意，因此，结合 GIS 工具软件与当今可视化开发语言的集成二次开发方式就成为 GIS 应用开发的主流。它的优点是：既可以充分利用 GIS 工具软件对空间数据库的管理、分析功能，又可以利用其他可视化开发语言具有的高效、方便等编程优点，集二者之所长，不仅能大大提高应用系统的开发效率，而且使用可视化软件开发工具开发出来的应用程序具有更好的外观效果，更强大的数据库功能，且可靠性好、易于移植、便于维护。尤其是使用 ActiveX 技术，利用 GIS 功能组件进行集成开发，更能表现出这些优势。