

# 空间工程辅助设计 GIS 系统的研究与实践

李胜强

(中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101)

**摘要** 探讨 GIS 技术在空间工程辅助设计(例如电力、电信管线工程)方面的应用。在系统分析空间工程设计的逻辑过程和工程辅助设计系统的发展与需求的基础上,对 GIS 技术在空间工程辅助设计中应用的优势及工程辅助设计 GIS 系统的结构、功能和特点以及系统基本设计思路进行了探讨,指出 GIS 技术的引入一方面提高了空间工程辅助设计的效率和水平,同时使空间工程辅助设计成为同时具有规划和设计功能的系统。

**关键词** 空间工程,地理信息系统,工程辅助设计,系统分析

## 1 引言

所谓空间工程,指自来水、电力、电信管线等工程,它与机械工程的区别在于前者强调空间现实性,而后者仅与几何空间相关联,即空间工程的设计过程必须与真实的地理空间位置相关联。空间工程设计具有数据量大、过程繁琐和投资巨大以及同时涉及空间和专题属性数据操作的特点,如何进行科学的计划和组织,提高工程设计的效率、质量和规范化程度,是该领域中经常遇到的一个问题。地理信息系统(GIS)由于其在空间数据和专题属性数据的集成管理、分析和应用方面的优势,已为众多领域(资源、环境、规划、土地和测绘等)所普遍接受。但是,地理信息系统在工程领域的应用起步较晚。目前 GIS 技术在工程领域的应用,可概括为两类:一是大型工程项目选址分析。即利用 GIS 技术,在综合环境、经济、交通等空间和属性信息的基础之上,科学地选定位置,以避免选址失误可能带来的环境负效、成本增加及资源供给紧张等问题<sup>[1~4]</sup>;二是大型工程项目的风险评价,即利用 GIS 工具模拟建成设施,并结合地形、周边社会经济状况及其它地理环境及条件信息,分析建成设施在发生各种可能的意外事故时的危害影响范围及损失分析<sup>[5]</sup>。

这两方面的应用解决了工程领域的许多问题,

它一方面说明 GIS 可以为国民经济和生产实践服务,另一方面又暗示着 GIS 从科学技术向现实生产力转化的巨大潜力。本文探讨 GIS 在空间工程辅助设计(以下简称“工程辅助设计”)领域的应用。在介绍传统工程辅助设计和基于 GIS 技术的工程辅助设计系统的基础之上,重点论述工程辅助设计 GIS 系统的应用领域,系统的功能、结构和特点,以及系统的基本设计思路等问题,并结合应用实例说明工程辅助设计 GIS 系统的建设。

## 2 传统工程设计的实现

图 1 描述了(手工或计算机辅助)工程项目设计的工作流程。首先根据用户或系统建设的需要,建立工程项目、确定工程项目设计的主要内容和目标;然后根据工程项目覆盖的空间范围,选择所涉及的专业设施图幅;辅助设计阶段,则根据设计目标进行专业设施图层空间和属性要素的增加、更新和删除;接着是设计成果的提交审核,并根据需要重新进入辅助设计阶段;审核通过后,设计图交付现场施工。在施工现场实况不符合设计要求时,应对设计图纸进行适当的调整。施工完成后要对原始设计作变更处理以反映地面实况;最后是设计结果的成图输出、归档入库和汇总报表。在这一流程的各主要环节上,都必须同时操作空间数据和属性数据。手工方式下,设

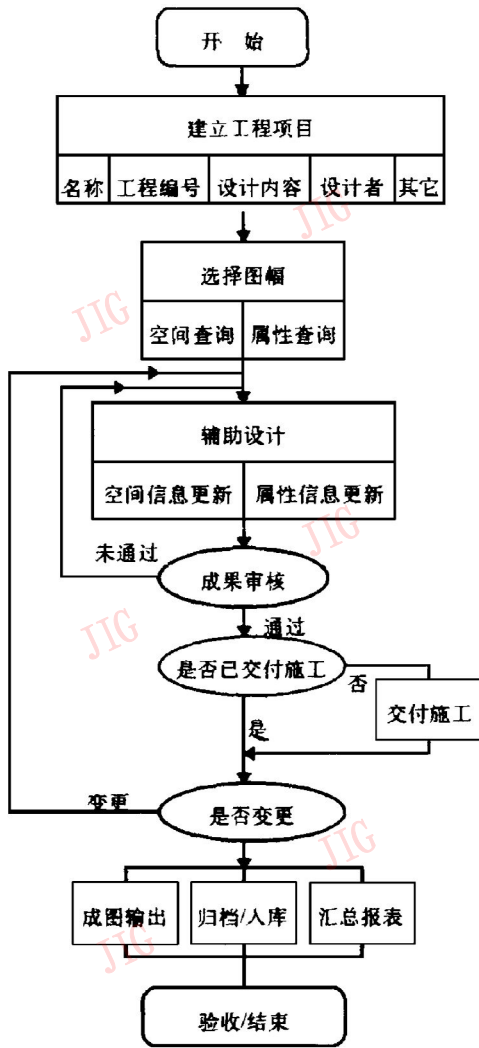


图 1 工程项目设计的一般工作流程

Fig. 1 The general procedure of spatial engineering design

设计人员必须利用索引图到图纸档案管理部门查图,根据图号提取基础底图,然后按设计要求绘出表示新增设施的各种图形。这样做工作量大、过程繁琐,且出错后又难于修改,所以工程设计的规范化难于实现。

传统的计算机辅助工程设计通常采用 CAD 系统来进行,它解决了工程设计整个流程中的部分问题,例如空间要素的更新、图幅框架、标识符号的规范化以及设计成果的输出。但选图、归档/入库、汇总报表等还必须由人工完成。此外,由于 CAD 系统无法建立图幅与现实世界空间位置的联系,使得设计结果的可重用性差,难于建成数字化设计结果图幅数据库,对于信息统计汇总、规划分析等任务非常不利。

### 3 基于 GIS 技术的工程辅助设计系统

GIS 技术在以下两个方面的优势使得基于 GIS 技术的工程辅助设计系统在性能和结构上优于传统的基于 CAD 技术的工程辅助设计系统:

一是地理信息系统的空间现实性。CAD 系统的空间指几何空间,而地理信息系统中的空间概念则针对现实世界而言,这一点恰恰满足了空间工程辅助设计对空间现实性的客观需求。这样就可以利用 GIS 技术建立起具有真实空间参照的工程辅助设计空间数据库。与 CAD 系统不同的是, GIS 系统的工程辅助设计图形(地形、道路、专业设施等)不是相互孤立的几何图形,而是具有统一地理坐标系统的相互联系的图幅,据此建立空间索引机制,将 CAD 系统中相互孤立的图幅纳入工程辅助设计空间数据库从而成为相互联系的整体。

建成空间数据库后,一方面便于数据的集成化管理,保证数据的唯一性和消除数据冗余;另一方面,空间索引机制又为空间查询提供了条件,这样就可以实现工程辅助设计流程中选图阶段计算机化;此外,空间数据库可以为工程辅助设计本身扩展规划的功能,将以往现场施工中可能遇到的问题提前到辅助设计阶段完成。例如,在建设地下管线开挖之前,利用空间数据库查询专业设施图层以便了解相应地下位置是否已有专业设施,这样就可以避免破坏原有设施。空间数据库的建立又为以后可能的分析需求提供了保证。

GIS 技术的另一优势是空间数据和属性数据的集成管理。它保证了在工程设计的各环节中全部替代人工。例如“选择图幅”阶段的“属性信息查询”和“辅助设计”阶段的“属性信息更新”等。对于 CAD 系统是难以实现的,而在 GIS 环境下便可迎刃而解。

基于 GIS 的工程辅助设计系统可能会引起手工方式下设计部门机构的重新优化组合,因为原本由档案图库管理部门负责的选图、提图、归档/入库以及汇总报表等均可在工程辅助设计的一体化环境下完成,设计人员用不着再在图库和设计室之间奔波。最后,由于空间要素与相应的专题属性共同存储和使用,就更增加了数据现实性和数据间的联系。两种数据的集成管理又为以后的规划统计和分析提供了基础,例如对电信部门来说,地下管线资产的分布

调查和汇总等问题就可以很容易地得到解决。

关于基于 GIS 技术的工程辅助设计系统,可以概括为以下几个方面:

(1) 建立了专业图幅和基础底图空间数据库,便于数据的管理、查询和更新。

(2) 实现了工程设计各环节自动化,大大提高了工程设计的效率和规范化程度。

(3) 提供了灵活、系统和全面的数据查询、分析、统计功能,使工程辅助设计系统具备了规划分析和辅助设计的双重功能。

### 4 工程辅助设计 GIS 系统的应用领域

工程辅助设计 GIS 系统主要应用于强调真实空间参照的工程设计领域。强调“真实空间参照”的目的是为了区别于“建筑设计”和“机械设计”等以几何空间为参照系的工程设计。在空间尺度上,主要是城市一级的行政区所对应的空间范围。工程辅助设计 GIS 系统的空间数据库覆盖整个城市范围,工程设计可在城市的任何区域展开,相应的专业设施也会遍布整个城区。

典型的应用领域包括公路交通道路工程、市政工程(自来水、天然气/煤气管线、地下管线)、电力与电信管线工程、人防工程等。这些领域的工程设计中经常要解决的问题包括选线(选择最佳专业设施埋设和扩展路线)、资产调查汇总(查清专业设施的空间分布和资产总额)以及线路和设施规划等。

这些领域都是与居民日常生活以及国家经济建设密切相关的领域,这更进一步体现了 GIS 技术向现实生产力转化,服务于生产实践的巨大潜力。

### 5 工程辅助设计 GIS 系统的结构、功能和特点

#### 5.1 结构

在硬件结构上,工程辅助设计 GIS 系统构成了一个完整的输入、存储、加工、输出的体系。其中硬件包括数字化仪、扫描仪、图形工作站、网络服务器、高档微机、绘图仪、打印机及其它各种外部设备。

它们通过网络联成统一的整体,实现数据和资源的共享(图 2)。

在软件结构上,包括操作系统软件、网络软件、终端仿真软件及外部设备驱动软件、GIS 系统与应用软件以及其它辅助软件。其中操作系统软件、网络软件是底层基础,终端仿真和外部设备驱动以及其它辅助软件为工程辅助设计 GIS 系统提供支持, GIS 系统与应用软件是核心。图 3 是工程辅助设计系统中 GIS 部分的结构框架。对此需要做两点说明:

(1) 之所以包括 CAD 系统,是因为一方面工程辅助设计 GIS 系统空间数据库的建立需要利用传统辅助设计以 CAD 格式积累的数据;另一方面业务部门还很难从 CAD 一步转化到 GIS 的工作方式下,部分数据输入还要依赖 CAD 系统。

(2) 应用程序用户界面是业务人员和设计人员与 GIS 系统间的交互的主要途径。用户无需了解 GIS 系统内部复杂的结构,而只需要按照工程设计本身的逻辑过程操纵计算机。

#### 5.2 功能

##### 5.2.1 数据输入和转换

一部分是基础底图和背景图形的输入,它们与大地坐标相匹配,可通过扫描、数字化、矢量化等过程输入,也可以从交通、测绘等部分获得数字数据。另一部分数据输入工作主要是专业设施图层的输入,包括图纸数据和 CAD 数据。无论是图纸数据还是 CAD 数据,都存在坐标变换问题,即将几何坐标

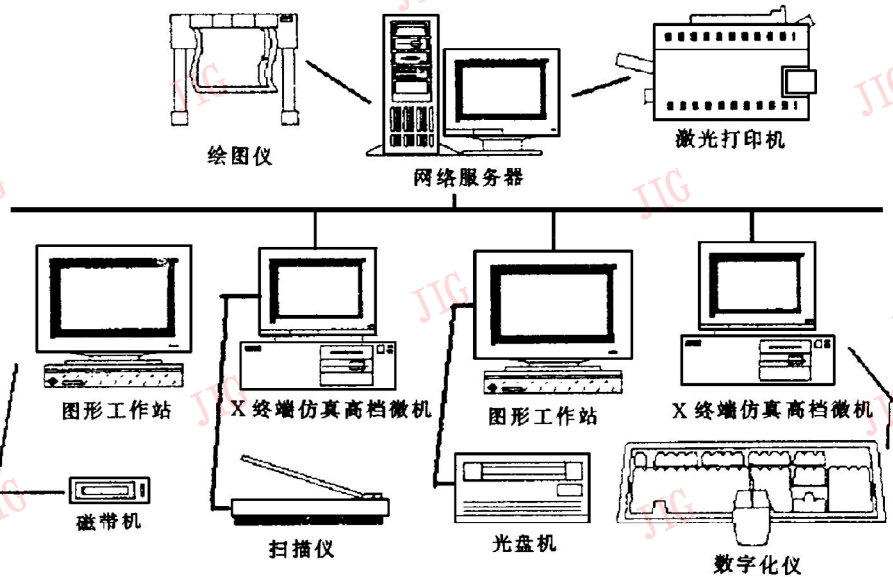


图 2 工程辅助设计 GIS 系统硬件体系结构框架

Fig. 2 The hardware framework of GIS system for spatial engineering design

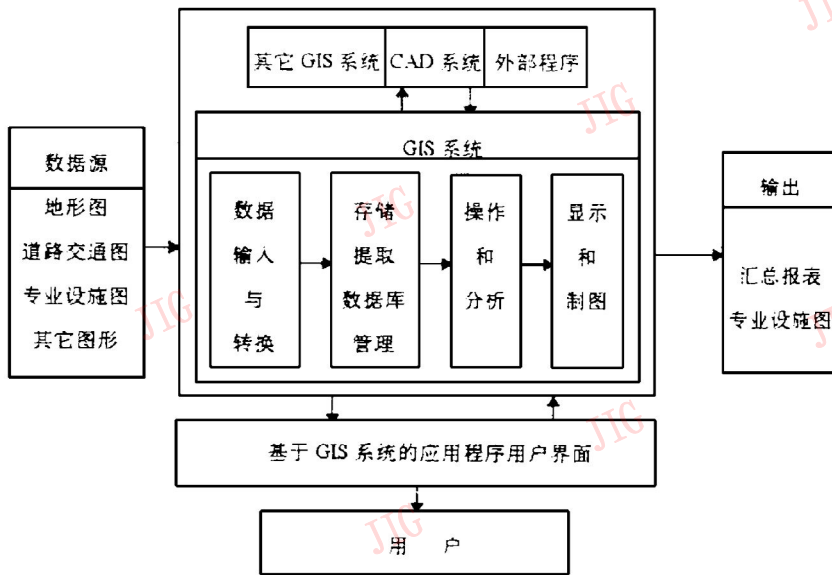


图 3 工程辅助设计 GIS 系统核心结构框架

Fig. 3 The framework of GIS system for spatial engineering design

转换为大地坐标,这样数据才能在 GIS 系统中建立联系,成为具有现实意义的数据。

数据输入和转换要占系统建设工作量的 70%~80%,而且数据质量的优劣直接影响到数据的使用和分析<sup>[6]</sup>,因此它是建设工程辅助设计 GIS 系统中非常艰巨和重要的部分。

### 5.2.2 图库管理

工程辅助设计 GIS 系统应用的空间尺度主要在城市一级上,而且设计过程中所操作地物特征与资源环境等区域尺度的信息系统不同,都是非常细小的具体地物,例如一条沿街伸展的电信或自来水管线,因此图幅比例尺较大,一般都在 1:2 000、1:1 000,多数是 1:500 的图幅,这样对于整个城市的空间范围而言,就会有大量的图幅,如果不建立起有效的管理机制,对数据的有效利用是根本不可能的。

事实上,空间数据库是工程辅助设计 GIS 系统的基础和优越性的集中体现。空间数据库的数字数据替代了手工方式中图纸档案库,原先由图纸档案管理部门完成的工作统一由 GIS 通过图库管理来实现。通过图库的空间索引机制,还可以实现方便的空间和属性查询。另外,流程中的图幅归档和入库部分也将由图库管理来实现的。

### 5.2.3 专业符号设计和系统符号库的建立

图形数据的符号化是工程辅助设计过程的必要条件,又是直观表现 GIS 产品最有效的方法<sup>[1]</sup>。几乎所有 GIS 系统都提供了基本符合体系,但还很难满

足工程辅助设计各专业领域的具体要求。一方面多数符号是 GIS 系统软件本身并未提供的;另一方面虽然 GIS 系统提供了相关专业的符号库(例如多数 GIS 系统都有市政设施符号库),但它们未必符合工程设计专业标准,同时也存在是否符号本国标准的问题。因此工程辅助设计 GIS 系统必须提供符号设计功能,并能够根据专业标准建立专业符号库,供工程辅助设计和成果输出时灵活调用。

### 5.2.4 图件编辑和更新

工程辅助设计的主要任务将由图件编辑和更新功能来完成。它完成建立在专业符号库系统上的要素的增加、删除、更新等操作。在设计过程中,系统以菜单方式为用户提供图形要素的复制、剪切、旋转、变形、拉伸、拼接、断线等功能会极大地提高图件编辑的效率和质量。在图件编辑和更新过程中还会涉及许多建立在查询选择基础之上的编辑功能,GIS 系统空间和属性数据集成管理的特点为此提供了条件。

更新空间要素的同时还要增加或修改相应的属性信息。因此必须建立专业设备及分类属性的标准编码体系,例如将对管线型号和建筑方式所作的专业分类进行编码,供用户为专业设施赋属性。采用标准编码体系有助于工程设计的规范化,例如可根据标准分类编码为图形要素设置颜色、符号、线型以及填充方式,以保证同类设施的图形显示方式相同。

尽管 GIS 系统可为用户提供许多编辑工具,但专业设计过程的要求以及设计人员的设计习惯是多种多样的,系统无法为每一种思路设计一个菜单或工具项,这就要求用户灵活组合使用通用工具来达到自己的设计目标。

### 5.2.5 制图输出

工程辅助设计过程中的制图输出具有两方面的作用,一是设计初步完成后经审核的结果,需要以图纸形式提供给施工部门使用;二是需要保留设计结果的图纸。制图输出是工程设计成果的重要表现形式之一,必须符合专业符号表达、图例设计、图面负载等制图规范。

### 5.2.6 基本信息查询和统计报表

旨在实现手工方式下的资产管理工作的自动化。同时也使工程辅助设计 GIS 系统具备了规划的

功能。例如在施工开挖之前,需要查询地下是否已有专业设施。又如了解整个城市范围内某种专业设施的分布和资产总值,这些都需要查询分析功能的保障。

工程辅助设计 GIS 系统是在网络环境下运行的系统,各项功能的实现必须考虑网络环境下数据共享可能带来的问题。例如不同工程项目的设计人员可能会使用同一图幅(以不同的备份形式)进行设计、加入新的设备,因此在图库管理中进行图幅的归档和入库时,就必须考虑这种情况,以避免后期归库的图幅覆盖图库中的图幅所造成的设计信息丢失。

### 5.3 特点

综上所述,工程辅助设计 GIS 系统的特点可概括如下:

(1) 工程辅助设计 GIS 系统具有规划和设计的双重属性,规划服务于设计。

(2) 工程辅助设计是大比例尺、多图类的空间应用项目,数据量非常大。

(3) 投资大:要具备输入、加工、输出的整套设备,数据还需要不断更新。

(4) 专业设计的需求非常丰富和复杂,要灵活地运用系统,需要设计人员充分发挥和运用自身的智力和经验。

## 6 工程辅助设计 GIS 系统的基本设计思路

工程辅助设计 GIS 系统以“基于工程项目的管理”为基本设计思路,即用户与系统的交互均在工程项目的框架中进行。系统为每个工程项目建立各自的工作空间,项目设计中涉及的所有图幅及其相关数据都拷贝到工程项目工作空间中,所有设计工作都在该工作空间下进行,甚至设计结果的提交审核都是以工程项目空间的形式实现,即审核人员获得工程项目编号和口令等信息后,进入工程项目工作空间显示图幅以便进行审核。在执行任何设计工作之前,必须首先进入一个工程项目工作空间(由应用程序用户界面来控制)。系统为工程项目提供安全保障机制,未授权的用户无法读写其它工程项目的数据。工程项目工作空间也将随着工程项目的实际验收完成而被删除。

除严格按照工程项目设计的逻辑过程运行之外,这一基本设计思路具有 4 个优点:

(1) 利于工程设计项目的管理和工程项目(数据)安全机制的实现。

(2) 利于工程项目设计成果的提交。

(3) 便于实现磁盘空间的管理。

(4) 有利于避免数据冲突。

## 7 实例研究

笔者参加了“上海通信工程设计和应用系统”的研制和开发。它是空间工程辅助设计 GIS 系统的一个典型应用实例。其目标是在上海电话规划设计所内建成以计算机软硬件为基础的工程辅助设计和图纸档案管理系统,以提高设计效率和规划的科学性。

系统的主要数据包括地形图(以 1:500、1:1000 和 1:2000 比例尺提供基础定位信息)、电缆图(包括电缆位置、走向、占用情况、电缆对数、交接箱、分线箱位置等信息)、管道图(包括管孔位置、人井骨架、电缆管、占用情况等)、宅宇图(包括局产和非局产住宅通信线信息)、光缆图(包括光缆位置和走向等信息)及其它图纸档案资料。在此基础上建成了地形要素、电缆图、管道图、宅宇图、光缆图及档案资料数据库。所有专业图幅均以地形图为标准实现从几何坐标到地理坐标的转换,从而将它们组织到统一的地理框架内,形成具有相互联系的空间数据库(图库),这使得系统区别于传统的 CAD 数据集,实现了专业图幅及基础底图数据的计算机化管理。

系统在基于工程项目的思路前提下,按照电话规划设计的逻辑过程划分为工程图纸档案管理系统、工程辅助设计子系统和工程辅助设计图纸变更管理子系统 3 个部分。其中变更管理子系统集中体现了对“基于工程项目管理”设计思路的实现方式,包括工程项目的建立、图幅的增删、有关工程项目信息的查询、工程项目工作空间的维护(创建、删除)、设计成果的入库等,系统建立必要的安全机制,以防止对他人工作空间的非法操作,保证系统的安全性;图纸档案管理子系统负责图库的管理(包括图形的空间配准、纠正、切边以及必要的编辑功能)、图幅的空间和属性查询、选择,数据输入和处理的大部分工作将在该子系统的控制下完成;工程辅助设计子系统负责专业符号库的建立、线路工程和管道工程空间要素的增、删、改以及相对应的属性信息的更新、设计成果的制图输出。该子系统为用户提供了大

量编辑工具,从而使繁琐的设计工作变得简单,同时因为使用了统一的符号和标准的分类编码体系,从而使工程辅助设计的规范化程度大大提高。工程设计中的图纸变更所涉及的编辑工作也将在辅助设计子系统中完成,其原因是可以充分利用这一部分的强大编辑功能,而不需要在其它部分重复。

系统已完成一期工程,进入试运行阶段。

## 8 结 语

GIS 技术在工程辅助设计领域的应用是 GIS 技术向现实生产力转化,为经济建设和生产实践服务的具体体现。工程辅助设计 GIS 系统是具有规划和设计的双重属性,以提高工程辅助设计效率和加强工程规划的科学性为目标的实用型业务系统。应该看到,对于 GIS 技术在工程辅助设计领域的应用的研究还不够,应用本身也起步较晚,是一个亟待加强的研究和实践领域。

李胜强,1994 年考入中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室攻读地理信息系统专业博士学位。长期从事 ARC/INFO 地理信息系统教材编译和技术培训工作,曾参加“厦门测绘信息系统”及中国科学院航空遥感中心“航空遥感信息管理系统”的研制与开发。

## 参 考 文 献

- 1 程册根等. 面向对象的地图符号组织及其实现方法, 94' 地理信息系统学术讨论会论文集, 1994.
- 2 李发祥等. 工程方案 GIS 系统评价模型应用研究, 94' 地理信息系统学术讨论会论文集, 1994.
- 3 Aifandopoulou G, et. al. ETIS : A GIS Technology Based Tool for Supporting Strategic Environmentally Friendly Planning of Urban Transport Infrastructure Development, Proceeding of Arc/Info User Conference'95 on CDROM, 1995.
- 4 Murata M. A GIS Application for Power Transmission Line Siting, Proceeding of Arc/Info User Conference'95 on CD-ROM, 1995.
- 5 Guber, A. L., et. al, 1995. A Geographic Information System for Radiologic Emergency Response, Proceeding of Arc/Info User Conference'95 on CD-ROM, 1995.
- 6 Maguire D J, et. al. Geographical Information System: Principle and Application 1991.

# The Studies on GIS System for Computer-Assitant Spatial Engineering Design

Li Shengqiang

(State Lab. of Resource and Environment Information System, Institute of Geography, CAS Beijing 100101)

**Abstract** Spatial Engineering Design is a complex system engineering which is strongly characterized by large volume of data, complicated procedure and involving operation both on spatial—referenced information and thematic information. Geographic information system is a powerful tool for the management and operation of both spatial and attribute information. The combination of these two field are explored in details in this paper. The hardware and software structure, function requirement and the characteristics as well as the the principles of construction of spatial engineering design GIS system are discussed. The conclusion is that the efficiency and the quality of the spatial engineering design is substantially improved by adopting GIS technologies in the computer assistant design of spatial engineering.

**Keywords** Spatial engineering, Geographic information system, Computer assistant design systematic analysis