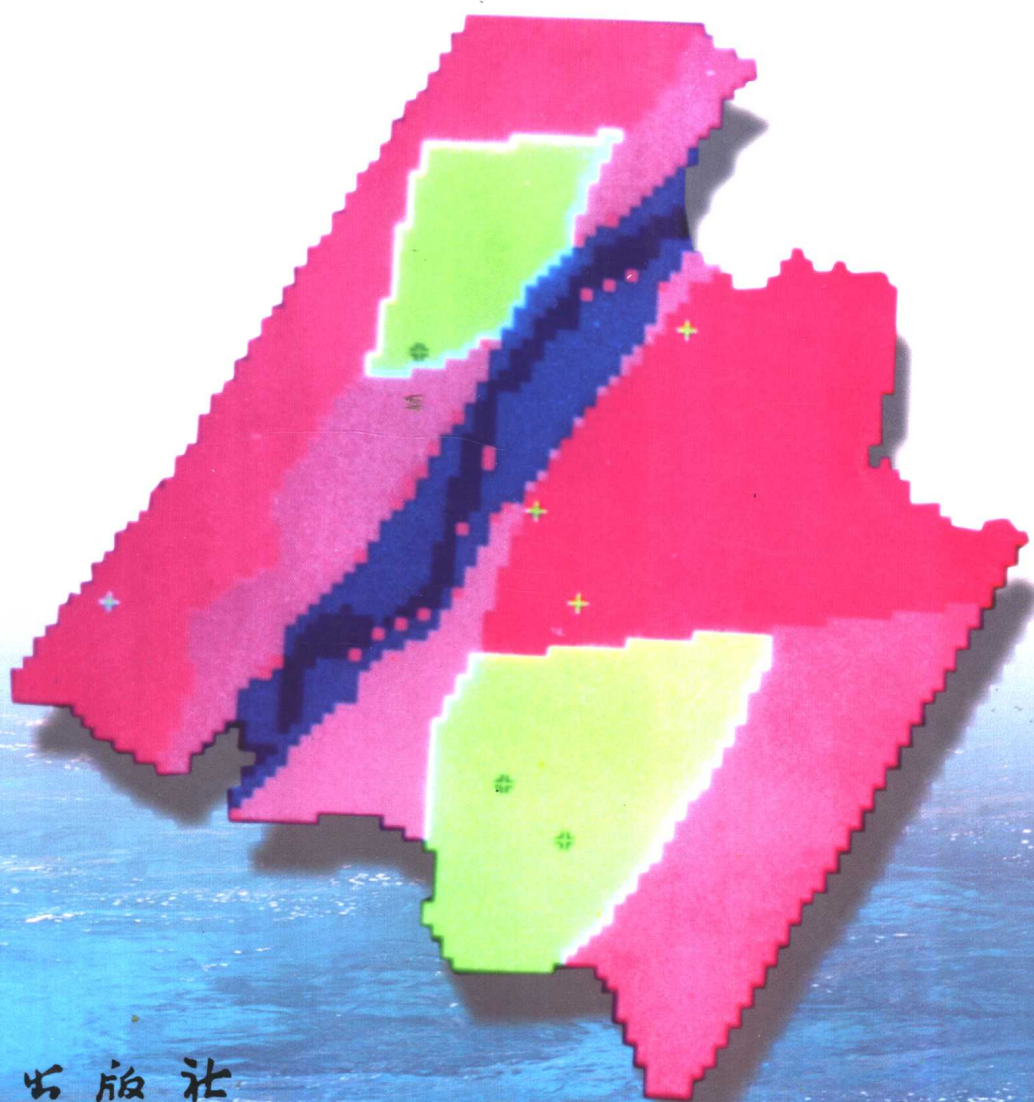


基于GIS的地质灾害和 水资源研究理论与方法

武 强 徐建芳 董东林 等著



地质出版社

基于 GIS 的地质灾害和 水资源研究理论与方法

武 强 徐建芳 董东林
赵苏启 傅耀军 曹红梅 著
邹德禹 管恩太 张 伟

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书在简要介绍了地理信息系统(GIS)的基本原理和功能的基础上,详细论述了GIS技术在地裂缝、海水入侵和煤矿底板突水等灾害的灾情模拟评价和预报中的应用,并结合实例说明了在多因子定量模拟分析和因子间相关关系定量研究方面,GIS中的多源地学信息复合叠加处理(Overlay)和FILTER等功能具有明显的优势和极高的效率。同时,本书系统地介绍了将GIS技术与地下水流数值模拟技术真正有机耦合形成的GIS-FEM模型,以及作者开发的地下水资源评价的GIS-FEM可视化专业软件系统。

本书适合于从事地质灾害、水资源、环境地质、生态水文、矿井突水和水文地质等专业的科技和管理人员阅读,也可作为高等院校有关专业的研究生和本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于GIS的地质灾害和水资源研究理论与方法/武强等著.-北京:地质出版社,2001.1
ISBN 7-116-03087-5

I. 基… II. 武… III. 地理信息系统-应用-自然灾害-预报 IV. P91

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第25281号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:杨友爱 王 仁

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:14 字数:340 000

2001年1月北京第一版·2001年1月北京第一次印刷

印数:1--1000册 定价:45.00元

ISBN 7-116-03087-5

P·2123

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序 言

地理信息系统(Geographic Information System,简称 GIS)亦称地学信息系统(Geo-Information System)、空间信息系统(Space Information System)或资源与环境信息系统(Natural Resource and Environment Information System)。虽然它们各自包括的范围略有出入,但其研究内容和使用方法基本上是一致的,是 60 年代以来迅速发展起来的地理空间信息处理新技术。

GIS 概念的提出,要追溯到 50 年代。由于电子计算机技术的兴起和它在航空摄影测量与地图制图学中的应用,使人们开始有可能利用电子计算机来搜集、存储和处理各种与空间和地理分布有关的图形和数据,并通过计算机对数据的分析,直接为管理和决策部门服务,这样就导致了 GIS 的问世。

GIS 是以地理空间数据库为基础,用计算机对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示,并采用地理模型分析方法,适时提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究和地理决策服务而建立起来的软件系统。

地理信息系统具有以下三方面的特征:①具有采集、管理、分析和输出各种地理空间信息的能力;②具有强大的空间分析和多要素综合分析以及动态预测的能力,并能产生高层次的地理信息;③计算机系统的支持是地理信息系统的重要特征,它使得地理信息系统对复杂地理系统能够进行快速、准确、综合地空间定位和动态分析,完成人类本身难以胜任的工作。

地质灾害的灾情模拟评价、预测预报和防治问题涉及地理空间数据库的建立和空间定位及空间分析工作。回顾地质灾害几十年的研究发展历史,尽管对不同灾种进行了大量卓有成效的工作,取得了一大批丰硕的研究成果,但总的来看,以往的研究缺乏对地质灾害致灾因子的系统综合分析,未能真实地刻画出各类致灾因子对地质灾害形成发生的控制机理和不同致灾因子相互之间的关系,特别是在致灾因子的定量模拟评价研究方面更加薄弱。

在地质灾害灾情模拟预报和水资源评价管理中,以能够存储、处理、分析、计算和成图显示海量空间数据而著称的地理信息系统具有得天独厚的优势。在进行多因子定量模拟分析和对因子间互相关定量研究方面,地理信息系统中的多源地学专题信息复合叠加处理功能(OVERLAY)和 FILTER 功能等显示出了明显的优势和极高的效率,对受控于多种因素影响和作用的地质灾害的定量仿真模拟和预测预报具有十分重要的理论指导意义和实用价值。

地裂缝灾害是一个在世界范围内普遍发育的灾种,它的发生频率和灾情状况以及所造成的危害程度正在逐年加剧。我国地裂缝灾害主要发生于汾渭地堑、郯庐断裂带华北平原及大别山北麓断裂系等几个新构造活动区域。根据笔者对山西临汾地裂缝灾害的分布规律和灾情特点研究,认为该地区地裂缝灾害的致灾主控因素主要包括地质构造条件、地下水开采所形成的渗流场特征、地层条件和地形地貌环境四个方面。这些主控因素与地裂缝灾害之间既表现出空间分布上的明显因果规律,又显示出相对应的时序特点;同时,各个主控因素之

间也反映出相互影响的关系。因此,充分利用现代先进的地理信息系统技术所拥有的多维结构和空间数据处理分析功能,对地裂缝灾害与其各个致灾主控因素的相关关系,进行敏感性的定量模拟评价预测,是其他任何灾害评价方法无法与之比拟的。它为地裂缝灾害研究开辟了一个崭新有效的途径,也为其他类似地质灾害的形成机理、灾情模拟评价、发展趋势预测和防灾减灾措施制订提供了一个可借鉴的研究思路,极大地提高了我国地质灾害的整体研究水平。

煤矿井底板岩溶水突水问题是中国岩溶水充水矿床的两大水文地质难题之一,也是占中国煤炭总储量三分之二的华北型煤田目前普遍面临的最棘手的安全问题之一。长期以来,广大矿床水文地质工作者为此做了大量工作,取得了一系列的重要研究成果。总的来说,这些工作可大致划分为两类:一类认为底板承压含水层和隔水岩段特征是矿井突水的主控因素,他们主要研究不同厚度、岩性和岩性组合情况下的隔水岩段对底板不同水压、富水性和补给条件的承压地下水的阻隔作用,如斯列萨列夫理论和突水系数法等;另一类则以矿压为突水主控因素,认为采动矿压首先导致煤层底板隔水岩层的变形和破坏,继而诱发底板承压含水层的突水。实际上,煤层底板突水问题是一个涉及多控制因素、结构极为复杂多变的系统工程。底板突水事故的发生,既与上述的承压含水层和隔水岩段特征有关,又与采动矿压有密切关系;同时,构造条件、导水水力边界和地应力分布等也同样控制着底板突水灾害的发生、发展和演化历程。可以说,矿井底板突水是一个受具有空间坐标内涵的多种因素控制的工业灾害,各种控制因素彼此间存在密切关系。因此,本书以全国著名的岩溶大水矿区——焦作演马庄矿底板突水为例,应用多源地学信息复合叠加原理,利用地理信息系统所具有的强大空间信息处理和分析以及成图功能,分析了煤矿井底板突水工业灾害与其多个控制因素之间的定性关系,建立了它们相互间物理关系的 GIS 数学模型,确定了它们相互间的定量数学表达关系。这项研究,可望能够进一步推动煤矿井底板突水灾害防治工作向前发展,提高其整体研究水平。

海水入侵灾害是当今世界范围内大部分滨海地区在地下水开采活动过程中普遍面临的一个生态水文环境问题。研究内容主要包括:探讨海水入侵形成机理类型,查明可开采水资源的数量与时间变化规律,模拟海水入侵灾害的灾情现状,预测其发展变化趋势,制订海水入侵的防灾减灾方案和工程处理技术措施等。海水入侵现象具有明显的空间内涵概念,而地理信息系统恰好拥有以计算机软、硬件为基础,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地理数据的强大功能。因此,笔者首次应用现代先进的地理信息系统技术对秦皇岛洋戴河地区海水入侵规律和发展趋势,以及人工减灾调控措施进行了系统研究,创造性地将地理信息系统与地下水溶质运移弥散模拟有机地耦合起来,使得 GIS 具有的一大批诸如 FILTER 空间分析与处理功能很容易地为水质弥散模型所利用,这就使得地下水水质模拟评价模型如虎添翼,在解决诸如海水入侵和地下水污染模拟等水质问题中显示出更加强大的生命力。具体工作步骤是,首先借助 GIS 辅助建模的一系列功能,应用传统的有限元数值模拟方法快速有效地建立水量模型,解算确定出各个时段的渗流场分布;然后,基于地理信息系统的建模功能,将研究区进行网格单元剖分,根据每个单元的地下水溶质浓度和邻域单元的地下水水头、溶质浓度分布以及该单元本身的含水介质特征,构筑一个符合水文地质概念模型的溶质运移模型,最后求解确定出研究区地下水在各个时段的溶质浓度分布。同时,该项目运用地理信息系统的空间分析功能,对地下水水量与水质的数值模

拟结果进行了误差空间分析,并将其分析结果以空间分布图形和误差分布直方图的方式表达出来,其清晰度高,反映准确。

据统计,我国水资源拥有总量为 28000 亿 m^3 ,居世界第四位。但是,由于目前我国人口占全球总人口的四分之一,人均占有水资源量也仅为世界人均占有量的四分之一,在世界排位居第 88 名,成为全球 13 个水资源短缺国家之一。如此大的反差,要求我们珍惜每一滴水。在我国经济飞速发展的今天,工农业用水量迅速攀升,许多地方出现了用水无序状态,有些地方和城市“争水”现象十分严重。地下水资源的盲目滥采已经诱发了极其严重的生态水文和地质环境问题。区域地下水位持续下降、水源枯竭是首当其冲的问题。如我国华北平原地区,70 年代以后形成的地下水位降落漏斗面积达数千平方千米,漏斗中心的水位降深达数十米,而且漏斗还在不断向外延伸。因过度超采地下水引起其水质恶化是另一个环境地质问题,其结果造成地下水中的有害成分和微生物含量急剧增加,水质严重恶化。据对我国 50 个城市地下水的调查取样分析,有 45 个城市地下水不同程度遭受硝酸盐、酚、氰等有害物质的污染。第三个问题是干旱半干旱地区的生态水文系统保护。由于当地降水稀少,蒸发强烈,地表水的空间分布极不均匀,生态水文系统十分脆弱,故水资源的任何不合理开发均会导致生态与环境系统的恶化,造成河道萎缩,甚至断流、湖泊干枯,大片荒漠植被死亡,草场退化,沙漠化加剧,灾害性天气增多。第四个环境地质问题在覆盖型碳酸盐岩分布区,因地下水不合理开采所诱发的地面岩溶塌陷。此外,由于灌溉用水不适度,引起地下水位上升,土壤积盐而形成次生盐渍地,在地势低洼的地方,还可形成次生沼泽地,给农业生产和生态平衡带来了极端不利的影响。无怪乎早在 1977 年 2 月,联合国就惊呼“水不久将成为一项严重的社会危机,石油危机之后的下一个危机便是水”。这就给我们提出了一个郑重的警告,生活在地球上的人们必须与地球和睦相处,尽量做到合理开发利用水资源,以减少或减缓各种相关生态系统问题和地质灾害的发生频率。因此,如何应用现代科学技术和先进的方法与手段,科学合理地评价预测地下水可开采资源,提出一种在保证生态系统质量不变或其变化可以恢复情况下的水资源优化开发利用模式与方案,为有关领导部门的正确决策提供科学依据,已经迫在眉睫。

目前,有关地下水资源模拟与评价的方法种类较多。相对比较成熟的主要包括传统的数理统计方法(相关分析法和水文地质比拟法等)、集中参数随机模拟法、解析法、数值法和非线性数学模拟法等;如果考虑时间效应,又可划分为稳定流仿真模拟法与非稳定流仿真模拟法。但总的来看,由于分布参数的非稳定流数值仿真模拟方法具有适应边界能力强、善于描述含水介质的非均质和各向异性特征、容易处理泛定方程中的源汇项、能较好考虑开采过程中承压转无压的非线性问题和能较为圆满地解决复杂地下水流状态下资源量的计算评价难题等优点,在原始资料满足的条件下,该方法是目前地下水资源模拟评价较为推崇的主要方法。

但是,无论采用何种分布参数数值方法,在其计算之前,均必须进行单元网格剖分编号、坐标读数、数据插值、参数输入等枯燥的人工劳动,过程繁琐,涉及海量数据,极易出错。

随着地理信息系统(GIS)理论的日益成熟及其技术在地下水文学中应用范围的不断扩大,GIS 的管理空间专题信息(如参数分区信息、有限元网格剖分信息、水井信息、越流区信息、边界信息……)的优势逐渐得到了淋漓尽致的发挥。这些优势正好可以弥补数值模拟涉及信息量大,但分析处理功能弱的缺陷。为了充分利用 GIS 上述强大的专题信息管理功能

与 Visual Basic 数值计算能力,简化地下水资源模拟定量评价过程,发挥 GIS 技术自动剖分有限单元网格、坐标计算与输入及参数插值等工作,笔者参与了“九五”科技攻关项目“塔里木盆地找水新技术和地下水远景靶区的圈定研究”,开发研制了地理信息系统与地下水流数值模拟的耦合系统 GIS-FEM(GIS-Finite Element Module)。这套系统将地下水流的数值模拟基于 GIS 技术之上,把 Mapinfo 作为地下水流数值模拟的工作平台,处于可视化的环境之中,为新疆塔里木盆地地下水资源开发利用方案的定量评价提供了一条新的简单快速有效的途径;同时,这套系统作为 GIS 新技术支持下的地下水流数值模拟耦合系统,可望能够成为地下水流数值模拟评价发展历程的一个重要里程碑,为进一步完善和发展地下水流数值模拟评价方法起到积极带动作用。

总之,针对目前地下水资源模拟评价和地质灾害敏感性与发展趋势预测等研究领域所存在的海量数据难以充分分析处理的难题,本书主要着眼于多源地学信息复合叠加技术,充分发挥地理信息系统的强大空间数据操作优势,将 GIS 技术与地下水流数值模拟(GIS-FEM)有机地耦合在一起,相互取长补短,使得计算能力相对不足但具有许多诸如 OVERLAY 和 FILTER 等强大模块功能的 GIS 技术能够为地下水流数值模拟而直接服务,从而可以方便地提取所研究系统在各个时期、不同方面的多种空间指标和数据,不断加工分析处理;然后,将各种变化作用于数据模型组中,为各个规划管理部门提供准确的预测信息,为地下水资源评价预测和环境地质灾害防治寻求一种科学的解决方案。

目 录

序 言

第一篇 地理信息系统(GIS)的基本理论

第一章 地理信息系统的概念与功能	(1)
第二章 空间数据信息的采集	(4)
第一节 空间数据信息源	(4)
第二节 空间数据信息的质量与精度	(6)
第三节 空间信息的采集途径	(7)
第四节 空间信息的输入	(7)
第三章 空间数据结构及相互转换	(10)
第一节 空间数据结构	(10)
第二节 矢量数据结构及其编码方法	(11)
第三节 栅格数据结构及其编码方法	(16)
第四节 矢栅一体化数据结构	(22)
第五节 矢量数据与栅格数据的相互转换	(23)
第四章 空间数据库	(26)
第一节 数据库和空间数据库的概念及特点	(26)
第二节 数据库结构	(26)
第三节 空间数据库管理系统	(30)
第五章 空间数据分析	(31)
第一节 数字地形模型分析	(31)
第二节 基于矢量结构和栅格结构的空间分析	(32)
第六章 空间数据共享	(36)
第七章 GIS 模型库	(38)
第一节 模型库的概念与模型包的区别	(38)
第二节 地理信息系统模型库的主要研究内容	(38)
第八章 地理信息系统成果的输出	(40)
第九章 地理信息系统的设计	(42)
第一节 设计流程	(42)
第二节 软件设计	(43)
第三节 地理信息系统评价	(46)

第二篇 GIS 与地下水流数值模拟耦合系统(GIS-FEM)的研制 与应用——以新疆塔里木盆地为例

第一章 塔里木盆地水资源概况	(50)
第一节 自然地理概况	(50)
第二节 塔里木盆地社会经济发展状况	(50)
第三节 塔里木盆地水资源概况	(50)
第四节 塔里木盆地水资源开发、利用现状	(54)
第二章 GIS 与地下水流数值模拟耦合系统(GIS-FEM)的开发与研制	(55)
第一节 系统开发技术背景	(55)
第二节 系统总体设计	(55)
第三节 系统功能设计	(58)
第四节 数据库设计与建立	(65)
第五节 应用分析数学的建模	(66)
第三章 系统主要开发技术与功能增强简介	(69)
第一节 主要开发技术	(69)
第二节 Mapinfo 的不足与本系统的功能增强	(70)
第三节 系统主要功能的实现方法和数据可视化技术	(71)
第四章 GIS 与地下水流数值模拟耦合系统应用示例	(79)
第一节 呼图壁地区自然地理概况	(79)
第二节 呼图壁地区水文地质背景	(80)
第三节 基于 Mapinfo 的地下水流数值仿真模拟	(81)

第三篇 GIS 在地裂缝灾害敏感性评价与发展 趋势预测中的应用——以山西临汾市为例

第一章 研究区自然概况	(88)
第一节 位置与交通	(88)
第二节 气象和水文条件	(89)
第二章 地质条件概述	(90)
第一节 区域地层	(90)
第二节 区域构造	(91)
第三章 临汾市地裂缝的展布与发育动态特征	(94)
第一节 临汾主要地裂缝发育规模及分布	(94)
第二节 临汾地裂缝力学性质及活动水平	(96)
第三节 临汾地裂缝灾害状况	(98)
第四章 地理信息系统在研究区的应用分析	(99)
第一节 GIS 支持下的临汾地裂缝灾害敏感性评价的技术方法	(99)
第二节 临汾地裂缝各主要单影响因素分析	(99)

第三节 各单因素的 Coverage 生成与 AHP 法的应用	(118)
第五章 模型的建立、识别与检验	(129)
第一节 模型的建立	(129)
第二节 模型的识别与检验	(130)
第六章 地裂缝灾害敏感性综合评价	(131)
第一节 地裂缝灾害敏感性评价模型	(131)
第二节 综合评价结果及分析	(131)
第七章 地裂缝灾害发展趋势预测	(137)
第一节 预测模拟	(137)
第二节 预测分析	(137)

第四篇 GIS 在海水入侵灾害研究中的应用

——以秦皇岛市洋戴河地区为例

第一章 自然地理	(141)
第一节 位置与交通	(141)
第二节 气象、水文和地貌	(141)
第二章 地质与水文地质背景	(143)
第一节 地质背景	(143)
第二节 水文地质背景	(145)
第三章 海水入侵灾害在时、空域的演变与分布特征	(148)
第一节 时间域上的演变特征	(148)
第二节 空间域上的分布特征	(148)
第四章 海水入侵灾害的致灾因素分析	(153)
第一节 自然因素	(153)
第二节 人为因素	(153)
第五章 应用于海水入侵研究的 GIS 技术思路	(155)
第一节 地下水模型研究的传统步骤	(155)
第二节 海水入侵的传统建模方法	(155)
第三节 GIS 应用于海水入侵灾害研究的技术思路	(156)
第六章 地下水流模型建立与模拟识别	(158)
第一节 GIS 与有限元法结合建立水流模型的工作程序	(158)
第二节 地下水流模型的建立与识别	(159)
第七章 海水入侵的 GIS 溶质运移模型建立与识别预测	(172)
第一节 海水入侵的 GIS 溶质运移模型建立的技术思路	(172)
第二节 海水入侵的 GIS 溶质运移模型建立与模拟识别	(174)
第三节 海水入侵灾害发展趋势和减灾调控效果预测	(176)

第五篇 GIS 在煤矿井底板突水灾害研究中的应用

——以焦作演马庄矿为例

第一章 自然概况·····	(187)
第一节 位置交通·····	(187)
第二节 自然地理·····	(187)
第二章 地质与水文地质背景·····	(189)
第一节 地质背景·····	(189)
第二节 水文地质背景·····	(192)
第三章 矿井底板突水规律分析·····	(194)
第一节 矿井突水灾害基本灾情·····	(194)
第二节 矿井底板突水规律·····	(196)
第三节 底板突水灾害的致灾因素分析·····	(197)
第四章 底板突水灾害预测预报的数据预处理·····	(201)
第一节 GIS 在煤层底板突水灾害预测中的主要工作步骤·····	(201)
第二节 多源信息复合叠加技术简介·····	(202)
第三节 底板突水灾害控制因素的数据采集和图件编制·····	(202)
第五章 煤层底板突水灾害模式建立与灾情预测·····	(206)
第一节 单因素分析·····	(206)
第二节 多因素复合与煤层底板突水灾害灾情预测·····	(207)
参考文献·····	(212)

第一篇 地理信息系统 (GIS) 的基本理论

第一章 地理信息系统的概念与功能

地理信息系统 (Geographic Information System), 简称 GIS, 它是随着计算机辅助制图和空间数据分析技术的迅速发展而产生的, 是集特殊的空间数据采集、存储、检索、分析、传输和显示为一体的, 功能强大的一门新兴的交叉技术。

1963 年, W. L. Garrison 提出这个概念并建立了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统 (简称 CGIS); 之后, 地理信息系统经历了四个重要的发展时期: ①60 年代发展阶段 (机助制图阶段)。这个阶段, 除开发的加拿大地理信息系统用于自然资源的管理和规划外, 美国哈佛大学也研制出了类似的 SYMAP (Syna graphic Mapping System) 系统软件。由于当时的计算机水平不高, 这些 GIS 主要用于帮助人出图, 查询功能极为简单, 地学分析基本没有。②70 年代为巩固阶段 (不同专题、不同规模和不同类型的各具特色的地理信息系统研制阶段)。随着计算机硬件技术和软件技术的突破, 计算机得到了飞速发展。许多国家的政府部门对地理信息系统表现出极大的兴趣, 相继出现了不少与 GIS 相关的组织结构, 如美国的城市和区域信息系统协会 (URISA, 1966)、国际地理联合会 (IGU)、地理数据采集与处理委员会 (CGDSP, 1968) 等, 并先后建立了许多专业性的土地信息系统和地理信息系统, 对地理信息系统知识和发展 GIS 技术起了重要的不可缺少的作用。③80 年代为突破阶段 (地理信息系统成熟阶段)。计算机网络的兴起, 使得地理信息系统的传输时效得到了极大的提高, GIS 的软件的应用取得了日新月异的重大突破, 相继出现了一些代表性的 GIS 软件, 诸如 ARC/INFO、IGDS/MRS、TIGRIS、MICROSTATION、SICAD、GENAMAP 和 SYSEM9 等。④90 年代为应用与产业化阶段 (地理信息系统产业阶段)。一些国际著名的企业, 诸如全球最大的数据公司 Oracle、全球最大的软件公司 Microsoft、全球最有影响的 CAD 公司 Autodesk 等, 纷纷将目光投向地理信息系统产业, 将大量资金投入地理信息系统的推广与深层次的开发。地理信息系统业出现欣欣向荣的景象, GIS 软件产业每年以 30%~40% 的速度递增, 发展速度非常惊人。开发的应用领域已涉及各个方面, 主要有: 城市规划系统、电力配网系统、地籍管理系统、电信网线系统、军事指挥系统、遥感图像分析、GPS 卫星定位系统和多媒体数据库系统等。

我国进行的 GIS 研究工作是从 80 年代开始的, 起步较晚。但随着国家的重视、有关方面的资助和专业技术人员投入的加大, 经过“七五”、“八五”十余年的研制与开发, GIS 得到蓬勃发展, 相继建立了一批全国、省市和区域级的数据库和大型应用系统, 如全国 1:100

万基础地理数据库、重大自然灾害监测与评估系统、重点产粮区主要农作物估产系统和“三北”防护林系统等，解决了一系列技术方法和应用实际问题，积累了较为丰富的经验。特别是“九五”期间，国家将地理信息系统基础软件产品的开发和产业的发展列入了“重中之重”的科技攻关计划，提出了“引入竞争机制，坚持滚动发展，加强科技攻关，落实产业建设”的管理原则；之后，地理信息系统发展势头迅猛，出现了一些相对比较成熟的在国内有一定影响的软件系统，如中国地质大学（北京）的 MapGIS，深圳雅都信息系统公司的 AM/FM 专用软件 GROW，中国科学院遥感所的 SIMS 及 GRAMS，北京大学的 MICGIS、SYSTEM-W、GEOUNION 和武汉测绘科技大学的 MCGIS 系统。这些国产软件系统的应用或个别领域完全可以与国外优秀软件相抗衡。其中，空间分析、海量数据管理和全库漫游等性能已与国外软件水平相当；地图出版能力和 AM/FM 应用等性能已经超过国外软件的水平。

地理信息系统是多学科交叉的产物。以地理空间数据库为基础，运用系统工程和信息科学的理论，采用地理模型分析方法，通过提供多种空间的和动态的地理信息，产生对资源环境、灾害防治、区域规划和管理决策等方面的有用信息。其内涵是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型，将自然发生的或思维规划的过程加在此模型上，以获得对自然过程的分析和预测信息，用于管理和决策。

地理信息系统的核心是空间数据管理子系统，它由空间数据处理和空间数据分析构成。空间数据的主要来源有专题地图（等水位线图、地形地质图等）、遥感图像数据、统计数据及实测数据等。地理信息系统具有七大功能：数据的提取、转换和编辑，数据的集成，数据重构和数据转换，查询和检索，空间操作和分析，空间显示和成果输出以及数据的更新。以下分别介绍：

1. 数据的提取、转换和编辑

对所感兴趣的因子进行数量化的描述即为数据提取，也就是把图形数据和描述它的属性数据通过各种数字化设备将各种已存在的地图数字化，或者通过通讯或读磁盘、磁带方式录入遥感数据和其它已存在的数据，或者依赖于全球定位系统（GPS）获取数据，还包括以适当的方式录入各种统计的数据、野外调查数据和仪器记录的数据。

数据转换是地理信息系统的一个重要功能，它提供了一种与其它各种软件进行数据转换的接口，从而增强了 GIS 空间数据获取的能力。如地理信息系统的 IDRISI 软件和 Mapinfo 软件提供了 DXF 文件的标准交换格式，甚至包括不独立于系统的一些数据格式。

由于提取的各种空间数据不管是实地测量的、室内数字化和扫描的数据，还是空间数据或属性数据，都存在着不完善和错误，因此 GIS 提供有空间数据（点、线、面）的编辑功能。

2. 数据的集成

GIS 的主要数据可由二维或三维的空间型地图而来，它包括三方面的内容，分别为空间位置、拓扑关系和属性。自然界的任何实体都可抽象地表示为点、线、面。

（1）点（point）：也称为象元（pixel），是一个数据点，如地裂缝的位置，具有一对 (x, y) 和一个或一个以上的属性，逻辑上不可分。

（2）线（line）：是具有相同属性的点的轨迹，如断层，由一个坐标对序列表示，坐标对的顺序与线的形状有关。线上每个点有不多于二个的邻点，而且它们具有相同的公共属性，

并至少存在一个属性。

(3) 面 (area 或 polygon): 是一个具有相同属性的所有点的轨迹, 如地裂缝预测分区后的每一分区, 以 (x, y) 坐标对的集合来表示。坐标对的排列顺序不影响面的形态。

3. 数据结构的重构和数据转换

空间数据重构包括空间数据或属性数据结构的改变, 多指矢量数据结构与栅格数据结构之间的转换。

空间数据的转换包括比例尺的缩放, 旋转平移和转换; 属性数据的转换包括线性和非线性函数的转换。

4. 空间数据的查询和检索

GIS 提供了功能强大的查询和检索功能, 即从空间位置检索空间物体, 以及满足一定属性条件的空间对象, 这一点在进行地裂缝灾害预测寻找阈值时体现得尤为明显。

5. 空间操作和分析

这一功能是 GIS 中最关键的、也是最重要的功能, 因为它的对象是空间数据, 不仅包括几何数据, 而且涉及属性数据。如果几何数据要进行操作, 那么对应的属性数据也要进行相应的分析。空间操作与分析包括再取样模块 (resample model)、分类模块 (reclass model)、交叉表模块 (crosstab model)、计算面积模块 (area 或 area p model)、周长计算模块 (perim 或 perim p model)、叠加模块 (overlay model)、时间序列分析模块 (time series analysis model) 等。其中, 叠加模块为核心, 它集中了地图代数 (map algebra) 的各种功能, 如信息专题层 (coverage) 之间的加、减、乘、除等。通过这些模块的协同, 各因子对所研究的主体的贡献也就一目了然。特别是时间序列分析模块的趋势和相关分析的利用, 可以发现研究主体时空的发展规律。

6. 空间显示和成果输出

空间显示包括图形的二维显示和三维显示, 二维可由颜色不同以区分不同的值, 三维可以用直观的起伏来表示大小。成果输出包括统计报表、表格等, 可由各种回归模块和显示模块来完成。

7. 空间数据的更新

自然界无时无刻地在发生着或大或小的变化, 包括人类的改造引起的变化, 所以各种因子也不可避免地改变着。为了更准确地反映这些变化, 空间数据库的数据必须定期更新。

第二章 空间数据信息的采集

空间数据信息是具地理坐标位置的、具各种属性特征的载体。数据采集和输入是一项十分主要的基础工作，是建立地理信息系统不可缺少的一部分。没有数据的采集和输入，建立一个数据实体就成了无稽之谈，数据管理、分析和成果输出就成了空架子，没有任何实用价值。

地理信息系统的空间数据信息采集和输入是指将各种地学信息通过某种数字化方法并经过编辑处理，变为系统可以存储管理和分析的形式。

第一节 空间数据信息源

空间信息由图形、图像数据信息和文字数据信息组成。而图形数据信息可从基础地图（包括地形图、地形地质图、水文地质图等）、工程图、照片等获得；图像数据信息则可从照片和航空与遥感影像中得到。文字信息则需要从调查报告、文件、统计数据、实验数据和野外调查原始记录等取得。具体的空间数据信息尽可能地按照国家规范研究组建议的数据分类和项目来获取（表 1-1），这样可避免重复研究，减少工作量，以更好地实现不同部门之间的数据共享。

表 1-1 国家规范研究组建议的数据分类和项目总表 （张超，1995）

项 目	内 容	基本数据来源
1 社会环境		
1. 城市与人口	① 城镇人口、分县人口总数 ② 自然村密度（大小、数目、按第Ⅲ级格网） ③ 人口分布（第Ⅲ级格网）	人口普查办公室 1:1万~1:10万地形图 人口普查办公室
2. 交通网	① 铁路（双轨、单轨、车站、专用线、程度、运输能力、与省界、公路等的交叉点）	铁道部
	② 公路（省级、县级、乡简易公路、桥梁载重限制、与省界、铁路和主要河流的交叉点）	交通部
	③ 航运（港口、泊位、船舶吨位、通航路线、水深、季节变化）	交通部
	④ 航空（航线、航班、航空港、运输能力）	民航总局
3. 行政规划	① 国界、省、市、县级界限与面积（多边形） ② 省、市、县级管辖区（按Ⅴ级格网点） ③ 城市规划区（按Ⅴ级格网点） ④ 自然保护区管辖区 ⑤ 工矿区（油田、禁区、饲养场、旅游点、名胜文物保护单位）	外交部、民政部、国家测绘局等 城乡建设环境保护部等 林业部等 城乡建设环境保护部、林业部等
4. 地名	① 城市名称及其中心坐标 ② 各县名称及县城中心坐标 ③ 主要河流、湖泊、山峰、港湾名称及坐标 ④ 自然地理单元及其区域坐标（山脉、流域、盆地、高原）	地名委员会 地名委员会 地名委员会 地名委员会
5. 文化和通信设施	① 学校、医院等 ② 科学试验站网点（气象、水文、地震台站等） ③ 邮电通信网点	文化部、教育部、卫生部等 邮电部

续表

项 目	内 容	基本数据来源
Ⅰ 自然环境		
6. 地形	① 海拔高程 (按 V 级格式网点) ② 山峰高程, 水库湖面高程 ③ 湖泊, 水库, 水深, 大陆架以及海深 ④ 地形图与遥感资料检索	国家测绘局 (同上) (同上)
7. 海岸及海域	① 分县海岸长度, 线段坐标 ② 分县岛屿岸线、面积、长度、坐标 ③ 基本海况: 滩涂面积, 潮汐, 台风, 常年风向, 底质, 温度, 海浪等	海洋局 海洋局 海洋局
8. 水系及流域	① 流域划分界线及面积 (100km ² 以上与省界交点, 控制站点, 水库坝址及坐标, 分段节点) ② 流域辖区 (按第Ⅲ级格网) ③ 水系交汇点 (坐标, 面积) 及干、支流等级, 长度 (交叉点坐标)	水电部 水电部 水电部
9. 基础地质	① 地岩类或沉积层及其时代 ② 断层性质 (特别是活动性质) ③ 地球物理观测点 (重力、地磁、地震等) ④ 人工地震 (浅层、中层和深层, 包括海上) ⑤ 地球化学观测点及其特性 ⑥ 环境地质 (地面沉降, 土壤承压压力, 滑坡泥石流, 崩塌等) ⑦ 地震烈度区划	地矿部 地矿部、地震局 地矿部、石油部 地震局、中科院 石油部、地矿部、地震局、煤炭部、中科院等 地矿部、中科院 地震局
Ⅱ 资源与能量		
10. 土地资源	① 地貌类型 (包括海岸和浅海) ② 土壤类型 (包括土壤肥力等) ③ 土地利用类型 ④ 灾害 (风沙, 盐碱, 台风, 雪害, 水土流失, 旱涝, 霜冻, 寒潮)	中科院、农牧渔业部 中科院等 国家测绘局、农牧渔业部、林业部等 气象局、水电部、农牧渔业部、中科院等
11. 气候和水热资源	① 辐射量, 日照量和云量 (按第Ⅲ级格网) ② 热量资源 (年最高温、最低温, 年均温, 月均温, 积温等) ③ 降水 (年最高, 年最低, 年、月平均, 积雪量等) ④ 风能 ⑤ 陆地水文 (最高、最低流量, 年、月平均流量, 含沙量, 洪峰, 污染等) ⑥ 冰川, 雪被, 冻土 ⑦ 湖泊, 水库, 港湾 ⑧ 地下水	国家气象局 国家气象局 国家气象局 国家气象局 水电部 中科院、交通部、水电部, 中科院 水电部等
12. 生物资源	① 主要作物, 分年的耕作面积, 亩产, 灌溉面积等 ② 森林类型、面积, 树种, 储积量, 采伐、更新面积 ③ 草场类型、面积、产草量、载畜量 ④ 淡水养殖与渔业 (种类、面积、产量等) ⑤ 病虫害, 减产频率和程度 ⑥ 野生植物, 野生动物资源	农牧渔业部, 林业部 农牧渔业部 农牧渔业部 农牧渔业部 农牧渔业部 农牧渔业部, 林业部
13. 矿产资源	① 煤炭, 泥炭 (类型、储量、矿区矿点, 生产能力) ② 石油, 天然气, 油页岩 (类型、储量、油田、生产能力) ③ 黑色金属 (分类、储量、矿山、生产能力) ④ 有色金属 (分类、储量、矿山、生产能力) ⑤ 稀土元素 (分类、储量、矿山、生产能力) ⑥ 非金属 (分类、储量、矿山、生产能力)	地矿部、煤炭部、石油部、冶金部、有色金属总公司等
14. 海洋资源	① 海洋能源 ② 海洋养殖与水产 ③ 海底矿产资源 ④ 海涂资源	国家海洋局

第二节 空间数据信息的质量与精度

众所周知，如果数据信息的采集和获取有误的话，即使所采用的各种软件模拟系统是一流的，所得到的结果也是不可信的。特别是评估空间数据质量的代价随空间数据精度而变化，空间数据质量要求愈精确，测试的代价也愈高。测试代价包括了数据检查过程的纠正错误过程所用的花费和时间。因此，必须尽可能地提高各个环节的精度，尽可能地减少误差。

数据信息的误差主要来自三个途径：明显误差、原始误差和数据处理过程中的误差。明显误差为最明显和最容易察觉的误差，主要有以下来源（表 1-2）。

表 1-2 GIS 过程中的数据信息的误差源

阶 段	数据信息误差源
数据采集	实地测量误差 地图本身的误差 航测遥感数据分析误差
数据输入	在数字化过程中由操作员和设备造成的误差 某些地理属性没有明显边界引起的误差 地图配准时产生的误差
数据存储	数字存储有效位不能满足 空间精度不能满足
数据操作	类别间的不明确 边界误差 多层数据信息叠加所产生的误差 多边形叠加所造成的裂缝
数据输出	比例尺误差 输出设备误差 媒质不稳定误差（如地图变形等）
成果的使用	用户错误理解信息造成的误差 不正确地使用信息造成的误差

（1）数据信息的时代。在项目和课题研究中，由于搜集资料的途径不同及经费与时间的限制，搜集到的数据很有可能在时代上不一致，如在应用了现有的有关地图和数据的同时，又使用了最新的水位资料、遥感图像信息等。

（2）地图的比例尺。因将不同比例尺的基础底图应用于同一研究中所造成的误差。

（3）区域误差。由于不同区域所提取的数据的标准和测量人员素质的不同而引起的误差。

（4）数据信息的格式。因数据结构和数据格式的不同，在相互转换时带来的误差。

（5）数据密度。研究区由于地形的限制，造成观测的密度不同产生的误差。

（6）相关数据。由于项目经费问题或有关数据不可得到而采用相关数据而造成的误差。

（7）可接近性。因不同部门之间、不同地区之间的数据信息相互保密，而造成研究人员不能直接接近有关数据信息而引起的误差。

（8）数据的代价。可能研究人员出于对于经济问题的考虑，而需要在代价与数据之间作出选择。