

GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE

● 高等学校地图学与地理信息系统系列教材

水利地理信息系统

The Application of Geographical Information
System in Water Resource Conservancy

张成才 许志辉 孟令奎 刘嘉淳 孙喜梅 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校地图学与地理信息系统系列教材

水利地理信息系统

The Application of Geographical Information
System in Water Resource Conservancy

张成才 许志辉 孟令奎 刘嘉淳 孙喜梅 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到有关单位和个人的帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

内 容 提 要

本书从 GIS 和 RS 在水利信息化中应用与开发的角度,介绍了 GIS 技术在水利工程建设和管理中的开发、应用和关键技术。内容主要有:洪水灾害的监测、评估,防洪空间数据库设计,水利专业模型,黄河第三次调水调沙实验、凌汛的遥感监测、“数字黄河”空间基础设施规划等方面的研究。本书可作为高等院校水利、地理、遥感、城建、测绘等专业本科生和研究生的教材,也可供从事水利工程规划与管理、区域规划、水资源管理信息系统开发等工作的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利地理信息系统/张成才等编著. —武汉:武汉大学出版社,2005.9
高等学校地图学与地理信息系统系列教材
ISBN 7-307-04780-2

I. 水… II. 张…[等] III. 地理信息系统—应用—水利工程
IV. TV-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 092154 号

责任编辑:王金龙 责任校对:程小宜 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开本:787×1092 1/16 印张:10.125 字数:243 千字

版次:2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04780-2/TV·25 定价:17.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

地理信息系统 (Geographical Information System, GIS) 萌芽于 20 世纪 60 年代,它是地理学、计算机科学、遥感等涉及空间数据采集、处理和分析的多种学科和技术共同发展的结果。GIS 的应用前景十分广阔,几乎渗透到了与地理空间分布有关的各个领域。地理信息是水利工作的重要基础之一。传统的对地理信息的手工管理方式已经被科学技术的进步所淘汰,水利行业需要运用先进的信息管理手段来提高工作效率,推进信息化建设进程。地理信息系统技术为水利行业信息管理的标准化、网络化、空间化提供了有效的工具。

为了解决好新世纪水的问题,《全国水利发展“十五”计划和到 2010 年规划》中确定了调整治水思路、转变治水方针的原则,要实现从工程水利向资源水利的转变,从传统水利向现代化水利、可持续发展水利转变。水利部十五规划中明确指出“建设水利信息系统时要以地理信息系统 (GIS) 为框架”、“利用水利信息化推动水利现代化”。

在十五期间,金水工程建设重点进行了水利公用信息平台建设,即:基本建成覆盖全国水利系统的水利信息网络;建设和完善全国水文数据库、基础水利工程数据库,水利空间数据库等基础数据库;制定和完善一批水利信息化建设与管理的技术标准和规范;建成全国水利信息网络管理中心。因此,GIS 将在水资源和水环境管理中扮演重要的角色。

在国家自然科学基金和黄河联合研究基金项目 (50379048)、水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金、河南省教育厅自然科学基金 (2004601070) 和湖南青年骨干教师基金的资助下,完成了本书的编写和出版。本书共分 12 章,第一章全面介绍地理信息系统在水利工程建设和管理中的应用概况。第二章介绍洪水灾害的形成,洪水灾害评估的现状, GIS 在洪水灾害评估中的应用概况。第三章介绍遥感监测洪水灾害的理论与方法,分析各种遥感数据在洪水灾害监测中应用的特点。第四章针对黄河洪水灾害的特点,分析研究遥感在黄河洪灾中的应用技术和方法。第五章介绍黄河凌情遥感监测方法和近几年的黄河凌情监测实例。第六章主要介绍黄河第三次调水调沙试验中,河势的遥感监测技术,给出了重点监测河段的遥感图像。第七章论述 GIS 技术在洪水灾害损失评估中的应用概况,提出了洪水灾害损失评估系统的框架。第八章介绍数字高程模型 (DEM) 在洪灾评估中的应用情况,分析 DEM 的插值方法,提出分形插值在 DEM 中的应用,提高其精度。第九章介绍二维洪水模拟计算方法和洪灾损失计算方法,给出用显隐式插分求解圣维南方程组的过程。第十章基于 ARC/INFO 开发了洪水灾害评估信息系统,给出了系统开发的具体步骤。第十一章介绍洪水灾害评估信息系统在荆江分滞洪区的应用情况。第十二章介绍“数字黄河”工程空间信息基础设施的专题规划。

本书编写分工如下:第一章、第二章和第三章由张成才和孙喜梅编写;第四章、第五章和第六章由许志辉编写;第七章、第八章、第九章、第十章、第十一章由张成才和刘嘉淳编写;第十二章由孟令奎编写。全书由张成才统稿和定稿。

本书编写过程中得到了黄河水利委员会信息中心、郑州大学环境与水利学院、北京大学遥感与地理信息系统研究所、武汉大学遥感信息工程学院等单位的领导和同志们的大力支持和帮助,武汉大学出版社的编辑付出了辛勤的劳动,做了大量细致的工作,特向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 5 月

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 GIS 技术在水利行业的应用	2
1.2.1 GIS 在防洪减灾方面的应用	2
1.2.2 水资源管理	4
1.2.3 水环境和水土保持	5
1.2.4 水利水电工程建设和管理	6
1.3 GIS 技术在水利行业应用的发展趋势	6
1.3.1 网络 GIS(WebGIS)	6
1.3.2 组件式 GIS(ComGIS)	7
1.3.3 三维 GIS 和四维 GIS	7
1.3.4 VR-GIS 技术	7
第二章 洪水灾害	9
2.1 概述	9
2.2 洪水灾害	10
2.3 中国洪水灾害剖析	11
2.3.1 中国洪涝灾害的地域分布规律	11
2.3.2 洪涝灾害主要发生在人口稠密和经济发达的地区	12
2.3.3 洪涝旱灾交替发生	12
2.3.4 洪水灾害的严重程度与水利建设的发展水平有密切关系	13
2.3.5 洪涝灾害的时间分布	13
2.3.6 建国以来中国洪涝灾害状况	14
2.4 洪水灾害的研究现状	15
2.5 RS 和 GIS 技术在洪灾损失评估中的应用	17
第三章 洪水灾情遥感监测理论与技术方法研究	20
3.1 引言	20
3.2 现代遥感技术的构成及特点	21
3.3 洪水灾害遥感监测理论	24
3.4 不同遥感资料在洪灾监测中的作用	25

3.4.1	航天遥感数据	25
3.4.2	航空遥感数据	26
3.5	遥感信息复合分析研究	27
3.5.1	多波段遥感信息间的复合	27
3.5.2	多时相遥感信息的复合	29
3.5.3	多平台遥感信息的复合	30
3.5.4	遥感信息与非遥感信息之间的复合	31
3.5.5	遥感信息和地理信息系统复合分析	32
3.6	遥感技术在洪水灾情监测中的应用	32
3.6.1	利用多种图像资料调查灾情	33
3.6.2	洪水淹没范围遥感估算方法	33
第四章	黄河下游河势及洪水遥感监测方法	36
4.1	概述	36
4.2	河势变化监测	36
4.2.1	滩区生产堤调查	36
4.2.2	2003 年汛期遥感监测河势变化	37
4.3	洪水动态监测	39
4.3.1	监测范围及目标	39
4.3.2	监测目标	39
4.4	技术路线	40
4.5	2003 年汛期遥感监测情况	41
4.5.1	渭河	41
4.5.2	伊洛河、沁河	41
4.5.3	黄河	41
第五章	黄河凌情遥感监测方法	49
5.1	监测任务	49
5.2	黄河凌情概况	49
5.2.1	宁蒙河段	49
5.2.2	中游河段	49
5.2.3	下游河段	50
5.3	遥感监测冰凌的理论基础	50
5.3.1	冰雪光谱特征	50
5.3.2	卫星遥感数据用于冰雪监测	50
5.4	监测范围及内容	50
5.4.1	监测范围	50
5.4.2	监测内容	51

5.5 技术路线	51
5.5.1 数据源选择	51
5.5.2 技术路线	52
5.6 冰凌监测	54
5.7 监测结果评价	54
5.8 2003~2004年黄河主要河段凌汛监测结果	55
第六章 黄河第三次调水调沙河势遥感监测	60
6.1 前言	60
6.2 监测范围、目标与内容	60
6.2.1 监测范围	60
6.2.2 监测目标	61
6.2.3 监测内容与任务	61
6.3 遥感监测的工作步骤与流程	61
6.3.1 资料的收集与整理	61
6.3.2 遥感影像数据采集方案编制与数据采集	61
6.3.3 遥感影像处理与信息提取	63
6.3.4 河势分析与成果提交	63
6.3.5 成果网上发布	65
6.3.6 野外查勘	65
6.4 监测成果及意义	65
6.5 创 新 点	69
6.5.1 技术创新点	69
6.5.2 管理创新	71
第七章 GIS 技术及其在洪水灾害损失评估中的应用研究	74
7.1 引言	74
7.2 地理信息系统的特点及其组成	76
7.2.1 地理信息系统的特点	76
7.2.2 地理信息系统组成	78
7.3 GIS 数据源及数据标准	78
7.3.1 信息来源	78
7.3.2 GIS 的数据标准	79
7.4 空间操作分析	81
7.5 模型分析	82
7.6 GIS 与 RS 的集成研究	83
7.7 洪水灾害损失评估系统的建立	83
7.8 洪水灾害评估决策支持系统	84

第八章 数字高程模型 (DEM) 及其在洪灾评估中的应用	87
8.1 引言	87
8.2 数字高程模型原始数据采集	88
8.3 数字高程模型内插	88
8.3.1 反距离权插值 (IDW)	88
8.3.2 线性插值	88
8.3.3 趋势面插值 (Trend Surface Interpolation)	89
8.3.4 克里金 (Kriging) 插值	89
8.4 分形理论及其在地学领域中的应用	91
8.4.1 分形理论	91
8.4.2 分形理论在地学领域中的应用	91
8.5 分形插值	92
8.6 DEM 模型在洪水灾害评估中的应用	93
第九章 洪水模拟和洪灾损失计算方法的研究	96
9.1 引言	96
9.2 二维水流计算数学模型	96
9.2.1 数学模型	96
9.2.2 计算方法	97
9.3 洪水场景模拟	98
9.4 洪水淹没范围的计算	99
9.5 洪灾损失分类	99
9.6 洪灾损失评估模型	99
9.6.1 洪水灾害直接经济损失估算方法	100
9.6.2 洪水灾害间接经济损失估算方法	105
9.7 GIS 和二维水流模拟计算集成的洪灾损失评估方法	106
第十章 洪水灾害评估信息系统的研制	107
10.1 数据库的建立	107
10.1.1 数据库设计	107
10.1.2 洪灾数据库概念设计	107
10.1.3 洪水灾害评估系统的数据库逻辑设计	108
10.1.4 软件简介	110
10.2 模型库系统的建立	110
10.3 洪水灾害损失评估系统的建立	111
10.3.1 洪水灾害损失评估系统中图层的组织方式	111
10.3.2 系统组成	112
10.3.3 应用程序接口	113

10.3.4	系统建立的步骤	113
10.3.5	图层(COVERAGE)的设计	114
10.3.6	图层的建立	114
10.3.7	图件的编辑和修改	115
10.3.8	建立拓扑关系和要素属性表	115
10.3.9	为每个图层加入描述性数据	116
10.3.10	将 COVERAGE 由数字化坐标转化为真实世界坐标	116
10.4	洪水灾害损失评估系统流程与功能设计	117
10.4.1	基本流程	117
10.4.2	系统功能设计	117
10.5	系统的总体结构	118
第十一章	洪水灾害评估信息系统的应用	120
11.1	洪水灾害评估信息系统在荆江分滞洪区的应用	120
11.1.1	荆江分滞洪区概况	120
11.1.2	二维水流模型计算	121
11.2	洪水灾害的遥感监测分析子系统的应用	122
第十二章	“数字黄河”工程空间信息基础设施	127
12.1	基础设施建设的总体需求分析	127
12.1.1	通信和计算机网络的建设需求	127
12.1.2	信息网络安全体系建设需求	127
12.1.3	数据中心和分中心的建设需求	128
12.1.4	遥感与 GPS 数据采集和处理中心建设需求	128
12.1.5	地理信息系统建设需求	128
12.2	空间信息基础设施建设的总体框架	129
12.2.1	“数字黄河”工程的总体框架	129
12.2.2	空间信息基础设施的总体框架	129
12.2.3	空间信息基础设施的技术体系结构	132
12.3	空间信息基础设施专题规划	133
12.3.1	全球定位系统技术专题规划	134
12.3.2	全球定位系统技术在“数字黄河”中应用总体规划	135
12.3.3	遥感技术应用专题规划	137
12.3.4	地理信息系统建设专题规划	142
参考文献		149

第一章 绪 论

1.1 引 言

地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)通常泛指用于获取、存储、查询、综合、处理、分析、显示和应用地理空间数据及其与之相关信息的计算机系统。它把空间的逻辑思维延伸到了形象思维。地球上80%的信息是空间信息,即都与空间位置有关。由此可知,地理信息系统技术及其应用和发展在信息化时代将发挥多么重大的作用,其潜能无疑将超出人们的想像。

GIS是一个计算机系统,所以其发展与计算机科学和技术的发展紧密相关。自1963年提出GIS的概念到第一个GIS(CGIS)的建成历经了8年时间,其功能也十分简单。但20世纪70年代以来,由于计算机科学与技术在大容量存取以及图形显示上的发展,使得GIS迎来了迅速发展和推广应用的阶段。70年代共有近300个系统投入使用,同时也逐步形成了该领域的技术标准。80年代是GIS普及的阶段,在理论上也逐步完善。进入90年代以后,随着计算机技术、空间技术和通信技术的迅猛发展,尤其是计算机网络技术的大发展、地球信息科学的产生和数字地球概念的提出,为GIS的发展提供了历史性的机遇,通信手段作为GIS新的技术支撑之一,给GIS的发展带来了极其深刻的变化。

我国有关地理信息系统的研究与应用起步稍晚,但随着社会经济的迅猛发展,在需求的驱动下,这一领域内的发展势头相当迅猛。大体上可以分为三个阶段。70年代是起步阶段,GIS主要用于交通和输电线路等基础设施的规划管理,城市发展规划、土地农业利用和人口规划等。80年代是研究试验阶段,列入了国家“七五”科技攻关,主要研究数据标准化,数据处理与分析方法,空间数据库的建设以及应用程序的研制开发。90年代是全面发展的阶段,结合遥感和全球定位系统的发展,“3S”技术三位一体,使GIS纳入了产业化的轨道,并作为主要技术支撑之一纳入了许多产业部门的业务运行系统,国家重点扶持了国产GIS软件的研制,到2000年国产GIS软件的市场占有率已达到近30%,初步建立了我国的地理信息产业。90年代来,网络GIS(WebGIS)初显端倪,就这方面而言,国产的WebGIS已处在与国际同步的先进水平。

GIS在水利行业的应用相对滞后,80年代后期才有一些科研院所和高等院校开始接触和应用GIS。由于该项技术的实用性和普适性特别强,尤其是生产上广泛和迫切的要求,生产部门也很快开始了应用,先是与科研院所及高等院校合作,随后是自己组建一班人马,掌握了这项技术的应用。较长一段时间内,大多数部门的应用水平仅限于对数据的管理,主要是发挥它的数据存储、查询、统计和图形显示的功能,也就是说只发挥了GIS最低层次的功能。直到90年代后期,才在某些领域和少数单位开始将它作为分析、模拟、决策和预测的强

有力工具。21 世纪是信息时代,信息资源是重要的战略资源,水利部也提出了“以信息化带动水利现代化”的战略方针。信息中空间信息占 80%,而水利行业,这一比例还要更高一些。GIS 就像一座多功能水库,对信息起着集中、调节和净化的作用,它兼容并蓄各种来源的信息,按地理空间坐标进行数据管理、查询和检索,通过地学分析、空间分析、相关分析、模拟和预测等手段进行科学加工与决策,提供多层次和多功能的信息服务,因此 GIS 在水利信息化也就是水利现代化中起着并将继续起着至关重要的作用。

1.2 GIS 技术在水利行业的应用

我国的水问题比较复杂,“水多、水少、水脏”是对现状比较概括的描述,即水资源短缺与洪涝灾害频繁发生并存,洪涝灾害与干旱灾害并存,资源性缺水与水质性缺水并存。

任何一项先进技术的应用与发展都依附于生产的需求,GIS 技术在水利行业的应用也主要围绕着上述主要问题。

1.2.1 GIS 在防洪减灾方面的应用

我国幅员辽阔,自然地理条件复杂,洪涝灾害发生频繁,随着社会经济的飞速发展,洪涝灾害造成的损失越来越大,已成为制约我国社会经济持续发展的因素之一。

目前 GIS 技术在防洪减灾方面的应用主要有以下四个方面。

1. 防汛决策支持系统或信息管理系统的平台

在国家防汛指挥系统总体设计框架下,目前许多流域或省、市都在实施防汛决策支持系统或防汛信息管理系统的开发与建设,例如上海市、江西省、北京市、黑龙江省、沂沭泗流域、柳州市,等等,各地防洪减灾工作的实际需求各有特点,但都以 GIS 为平台。GIS 在这些系统中的作用主要有以下几个方面:

- 空间数据管理,包括查询、检索、更新和维护;
- 利用空间分析能力为防汛指挥决策提供辅助支持;
- 为各类应用模型提供数据;
- 优化模型参数;
- 预报预测;
- 防汛信息及决策方案的可视化表达。

2. 灾情评估

灾情评估包括灾前、灾中和灾后评估。灾前评估是按各种调度方案作出损失评估,从以下几方面为决策提供依据,包括:

- 可能造成的经济损失;
- 可能的受灾人口(涉及社会因素);
- 迁安能力(人数、道路、车辆调度);
- 重点保护区(交通大动脉、重要工业基地、军事要地);
- 抢险物资储运。

灾中评估在利用遥感技术确定受淹范围的基础上,与本底水体、土地利用、行政界线、社会经济等空间数据层叠加,用 GIS 技术进行灾情评估。

灾中评估的作用是:

- 确定灾情及发展趋势;
- 救灾物资数量与运输路线;
- 为后继洪水调度方案决策提供依据;
- 迁安人员的安置;
- 灾后重建的准备。

灾后评估用于:

- 上报损失的核实;
- 为防洪规划提供信息;
- 为灾后重建提供方案。

在灾情评估中, GIS 是主角,它发挥的主要作用是:

- 基础背景数据(包括地理、社会、经济)的管理;
- 空间和属性数据查询、检索、统计和显示的基础;
- 洪水演进的基础平台;
- 灾情数据的提取和分析;
- 灾情的可视化表达;
- 辅助决策的工具(行蓄洪区应用、抢险救灾物资储运、避险、迁安,等等)。

3. 洪涝灾害风险分析与区划

洪涝灾害风险分析是分析不同强度的洪水发生概率及其可能造成的损失,它包括洪水的危险性分析(即孕灾环境和致灾因子)、承灾体的易损性分析和损失评估。采用 GIS 技术,将涉及上述三方面诸多的自然、地理、社会因子并附上相应的权重进行空间叠加,是进行洪涝灾害风险分析与区划的有效手段。近几年的新成果在考虑的因素上比以前增加了许多,但仍有继续研讨的空间,例如充分利用 GIS 空间分析的功能,考虑上下游的关系,等等。

洪涝灾害风险分析与区划对于防洪规划,流域或区域的风险管理都十分重要。除了数据收集之外, GIS 技术在这项工作中起了至关重要的作用,数据层叠加,多边形合并,缓冲区的运用等功能得到了充分应用,概括起来讲, GIS 发挥的作用有:

- 多源、多尺度数据的管理;
- 空间数据的叠加与综合处理;
- 图形处理的特殊功能。

4. 城市防洪

由于城市社会经济地位的特殊性,而且在有条件的地方,城市大都是依水傍湖而建,因此防洪工作尤为重要。虽然城市堤防的建设标准较一般地方为高,但由于不透水面积多,产流量大,因此除堤防失守引起的洪灾外,由于暴雨积水来不及排走而引起内涝更是城市形成灾害的主要原因之一,排水系统也是城市防洪减灾的主要措施之一。另外由于城市街区复杂,社会经济要素分散混杂,因此在灾情评估上的难度远比农村地区大,要做洪水演进和受

淹过程模拟,对地形资料精度和尺度的要求也高得多。除了在一般防洪减灾决策支持系统或信息系统中的作用外,GIS 在城市防洪中发挥的作用更多更大,目前比较突出的有以下几个方面:

- 城市积水、退水的预报预测;
- 现有排水设施(排水管网、泵站等)信息的管理;
- 排水设施的规划与设计;
- 城市绿地(透水面)的面积与位置的规划;
- 暴雨时空特征分析(4DGIS);
- 以街道为统计单元和以街区为空间单元的社会经济数据空间展布;
- 暴雨分布及积水街道分布的可视化显示;
- 高分辨率、多层次、多源和更新频繁的数据的存储、维护和管理。

由于城市防汛信息管理及决策支持系统的复杂性,不少方面还在继续深入研究,可以肯定的是 GIS 技术在这进程中能发挥的作用将越来越大。

1.2.2 水资源管理

我国水资源短缺,且时空分布又极不均匀,尤其是西北地区,西北五省面积占全国的 32.2%,而水资源总量却只占全国的 8%。由于社会经济飞速发展过程中对环境保护不力,因此在资源性缺水的同时又加上了水质性缺水,水资源严重短缺的同时又存在有水资源浪费。面临如此严峻的形势,水资源的管理已被赋予了维系社会经济可持续发展的历史性重任。水利工作的重心已从工程建设转移到对水资源的合理开发、高效利用、有效保护、优化配置、全面节约和综合治理上来。行业发展战略思想的这一调整体现了可持续发展的思想,同时也对水资源管理工作提出了更高的要求,由此也决定了必须用现代化手段,实现以信息化为基础的监控管理,才能解决好资源水利中诸多复杂的问题,这就为 GIS 提供了大显身手的绝好机遇。

目前如上海、广东、山西等省市都已建设了一批以 GIS 技术为支撑的水资源信息管理系统,有的已在此基础上向水资源管理决策支持系统迈开了新的步伐,形式上大多是空间决策支持系统(SDSS)。

水资源信息的面非常广,有水文气象、地理、地质、水质、泥沙、水利工程、供水工程、水处理工程、各行各业与生活需水量、点面污染源、农作物与植被分布、土壤类型与侵蚀、地表水与地下水、灌溉渠系、墒情、管理条例和行政法规等,大多数数据既有历史的,又有实时或现状的,从性质上决定了其多源、多时相、多种类、巨量和动态这几个基本特征。

水资源信息管理系统可发挥的作用是从时空上了解水资源的现状与变化、直观地表现水资源状况、有助于了解水资源的变化规律,完成信息处理与分析,提供管理的基础信息与手段,完善水资源信息的管理与更新,实现数据共享。

在这类信息管理系统中 GIS 发挥的作用大致有以下几个方面:

- 历史数据管理和实时数据的动态加载;
- 信息的空间与属性双向查询;
- 时空统计;
- 以多种方式直观地可视化表达各类信息的空间分布及动态变化过程;

- 区域水资源的空間分析;
- 区域水资源管理模式区划,如地下水禁采与限采区划、水环境区划等。

1.2.3 水环境和水土保持

由于社会经济高速发展中的人类活动影响,我国水体的污染已十分严重,大江大河中也只有两条水质能达到二级。土壤侵蚀面积达国土面积的 20 % 以上,而土壤侵蚀本身也是造成水体污染的主要因素之一。

已建和在建的水环境信息管理系统在水利部门已有不少例子,有包括 170 多个主要测站的全国信息管理系统,有如广东的省级系统,有如三峡库区的区域性系统,这些以 GIS 技术为支撑的信息管理系统和 SDSS 的功能主要有以下几个方面:

- 数据管理:包括自然、地理、社会经济等基础背景数据,水利工程与设施、监测站点,水质与水量的历史与实时数据,水环境评价等级,水质标准及法规和条例,决策项目和边界条件数据,水污染预测数据,等等。

- 水质参数的双向查询:即点击站点位置,查询该站的基本信息、水质参数、水质等级、超标物名称、以月或年为单位的水质等级过程线;也可由水质等级或某物质超标来查(显示)测站位置或河段。

- 统计某流域或区域各等级水质的测站所占的比例或各等级水质的河段长等。
- 区域或上下游水质的空间分析,找出某水质参数严重超标的污染源。
- 各类可视化表达。
- 水质水量模拟与预测。
- 污染排放管理与控制。
- 取水点位置优化。
- 突发污染事件的处理方案及优化。
- 改善水质现状的对策及优化。

水环境信息管理系统是空间决策支持系统的基础或者是组成部分,而 GIS 是其基础。GIS 与空间决策支持的各类模型有三种结合方式:

- 以 GIS 为平台建模;
- 松散结合,从 GIS 提取数据,又回到 GIS 上显示结果;
- 用 GIS 软件本身的建模功能建立一些数值分析模型,实现有限的决策支持功能。

土壤侵蚀与地形坡度、沟谷密度、成土母质、植被、降雨等几个要素有关。植被通常用覆盖度表示,按 $>70\%$ 、 $(70 \sim 50)\%$ 、 $(50 \sim 30)\%$ 、 $(30 \sim 10)\%$ 、 $<10\%$ 分成 5 级;坡度按 $<5^\circ$ 、 $5^\circ \sim 8^\circ$ 、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $>25^\circ$ 分成 5 级;成土母质按砂石、土石、土、石四种分类;沟谷密度用 GIS 软件完成沟谷数字化编程计算沟谷密度图;降雨强度则用汛期最大 30 天雨量、最大 1 日雨量的加权值代表,上述五个图层用 GIS 软件叠加,并对各种因子赋予一定的权重,可以得到初步土壤侵蚀强度级别的空间分布。判别土壤侵蚀强度级别的从属关系函数中参数和因子权重值;流域土壤侵蚀强度分级的阈值可通过与流域内各级水土实际流失面积的分布,或通过流域出口断面实测输沙量与初步判别的侵蚀量的拟合调整。

GIS 不仅是确定土壤侵蚀强度级别的有力工具,也是了解其动态变化以及调查各类水土保持措施效益的工具,即建立以 GIS 为平台的动态信息系统。这样的信息系统的底层信

息还不止上述判别土壤侵蚀的五个因子,通常还有自然地理、土地利用、地形、植被种类、水文气象等许多基础背景数据,因此在这样的信息数据库的支持下,还可以建立土壤侵蚀估算模型进行模拟,包括水保措施的效果模拟以及水土流失的预测。在 GIS 的支持下,还可以进行流域产沙和汇沙模型的研究,即进一步模拟和预测水土流失在时空上的过程。

GIS 在水土保持中的应用是比较全面的,是全过程的应用。从土壤侵蚀发生与否的判断、侵蚀强度划分、侵蚀量的计算、流域泥沙输移,水保措施的效益评价,一直到土壤侵蚀过程的模拟与预测,GIS 始终在技术上起着支撑作用,所以与其他领域比较,水土保持中一些应用模型大多采用与 GIS 紧密结合的方式,即就是直接用 GIS 为建模平台,这是一个比较鲜明的特点。

1.2.4 水利水电工程建设和管理

GIS 是水利水电工程选址、规划、乃至设计、施工管理中十分重要的工具,例如移民安置地环境容量调查、调水工程选线及环境影响评价、梯级开发的淹没调查、水库高水位运行的淹没调查、大中型水利工程的环境影响评价、防洪规划、大型水利水电工程抗震安全、河道管理、大型水利水电工程物料贮运管理、蓄滞洪区规划与建设,等等。

水利水电工程建设与管理中利用 GIS 功能最多的有以下几个方面:

- 三维可视化显示及贯穿飞行模拟;
- 位置或路线的优化;
- 空间信息的叠加与分析;
- 影响区(范围)的确定;
- 开挖量及剖面分析;
- 淹没分析;
- 交互式的工程布置方案修改。

1.3 GIS 技术在水利行业应用的发展趋势

GIS 技术的发展与计算机硬件和操作系统、元数据库的建设、数据仓库、数据挖掘、网络、遥感、数据库管理、数字摄影与自动成像等技术的发展是紧密相关的。数据获取与更新是 GIS 的基础;数据存储、管理、分析、可视化是 GIS 的基本功能;计算机技术是 GIS 的根基;网络是 GIS 的翅膀;应用科学技术是 GIS 发展的动力,总之,每项技术的发展都会给 GIS 带来深刻的变化。GIS 技术在水利行业应用的发展,不仅仅取决于 GIS 技术的发展,更取决于水利行业信息化,尤其是数字化的进程。在以信息化带动水利现代化的战略方针指导下,GIS 在水利行业的应用将“无孔不入”,而且迅速地占领管理和决策层面,并且势必作为基础技术支撑,进入数字流域或数字水利的框架。在技术上已经发展并逐步成熟,而且在水利行业开始应用的主要趋势有以下四个方面。

1.3.1 网络 GIS(WebGIS)

WebGIS 可用于除一般数据外的特殊数据类型,尤其是矢量数据的处理,以网络浏览器为应用工作平台,在客户端可以实现对矢量数据的操作,可以在多个客户端实现原来在本机

上才能实现的功能,并可通过网络远程调用和发布各类数据、图形、图像,这些优点对 GIS 的使用者来说是显而易见的。目前国内 WebGIS 的研制基本上与国际同步,但在应用上常受制于网络传输能力,即带宽。WebGIS 在防汛会商等系统中特别有用,但如动态地访问地理空间数据时反应太慢,显然会大大影响工作,但随着信息基础设施的发展,这不会成为影响 WebGIS 发挥其突出优越性的障碍。

1.3.2 组件式 GIS(ComGIS)

GIS 软件的技术体系经历了 GIS 模块、集成式 GIS 和模块式 GIS 这三个阶段后,已发展到了组件式 GIS 阶段,即基于组件平台,以一组具有某种标准通信接口实现交互,甚至是跨计算机交互。ComGIS 使软件的可配置性、可扩展性和开放性更强,使用更灵活,更便于二次开发,特别有利于应用系统集成和拓展。

1.3.3 三维 GIS 和四维 GIS

三维尤其是实时的三维 GIS 系统为各种水利信息提供了更为直观的表现方式,在调水线路沿线贯穿飞行、城市及蓄滞区洪水演进、水利工程布置、大坝及堤防等工情信息的表达、地面与地下结合的地质构造描述、水流流动的三维表现、厂房或结构内部的描述、库区的描述、宏观地形地貌表现、通视性分析等方面使用得特别多,具有很好的应用前景,而且它也是虚拟或仿真的基础,目前三维功能较强的 GIS 软件也趋于采用组件架构。

水利上很多问题是时间序列问题、动态监测及过程问题,因此加上时间维的 4D GIS 应用需求很广。4D GIS 要解决的主要问题是数据冗余,即在过程中既有变化也有不变化的数据,对每个时相的数据都完整地存储是没有必要的,而且大量的冗余也会造成数据存储与管理在物理上的困难以及反应速度迟缓,目前尽管有几种处理方法,但其实质都是从消除无变化数据的冗余来着手解决问题。

1.3.4 VR-GIS 技术

VR-GIS 技术是虚拟现实技术与 GIS 技术的结合,包括与 WebGIS 和 ComGIS 结合的技术,专门用于研究地学或以地球系统为对象的虚拟现实技术,目前只能达到仿真的水平,虚拟现实技术可以做到:

- 对现时的地理区域非常真实的表达;
- 可在所在地理范围内外自由移动;
- 在三维数据库中有 GIS 的各种功能;
- 以可视化功能作为用户接口的自然整体部分。

应用 VR-GIS 技术进行模拟试验时必须要了解对象的机制,并建立模型(数理模型或概念模型)或采用人工智能及可视化技术,此外还必须进行实验分析和验证。

在水利行业可模拟的例子也不少,例如工程结构、河流地貌过程、三角洲演化过程、天气过程、湖泊与沼泽演化过程、调水工程、水资源调控、河道整治、大型水利工程的环境评价、水质污染过程、区域可持续发展、生态系统的恶化与恢复、洪涝灾害的发生与救灾、防洪规划、河口与港口整治、溃堤、土壤侵蚀、水土保持效果、荒漠化过程、大型水利水电工程规划以及替代传统的水工模拟等。