



测绘科技专著出版基金资助

CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

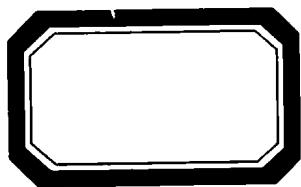
The Technology and Implementation of Digital Lake

赵俊三 朱兰艳 严泰来 龚纯伟 著

数字湖泊的 技术与实现



测绘出版社



科技专著出版基

数字湖泊的技术与实现

The Technology and Implementation of Digital Lake

赵俊三 朱兰艳 著
严泰来 龚纯伟

测绘出版社

· 北京 ·

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

本书结合湖泊区域管理的实际技术需求,系统地介绍了数字湖泊的内涵、信息系统结构和空间信息技术的原理,着重阐述了数字湖泊的数据组织与处理、地理空间分析模型、地理空间信息数据整合、应用支持模型的建立,以及实现方法等。对于数字湖泊的数据采集、数据分析等问题,也有较深入的阐述,旨在完整地介绍构建数字湖泊信息系统的技术与方法,以推动我国湖泊区域管理信息化的进程。

本书的读者对象为从事资源环境管理、水资源管理,特别是湖泊区域管理的信息工程技术人员,以及 GIS 相关专业的大学教师、本科生和研究生。本书也可作为理工科大学 GIS 与资源环境管理专业的教学或科研参考书。

数字湖泊的技术与实现/赵俊三等著. —北京:测绘出版社, 2011.7

I. ①数… II. ①赵… III. ①数字技术—应用—湖泊—环境管理 IV. ①X524-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 148100 号

责任编辑 贾晓林 执行编辑 赵福生 封面设计 李 伟 责任校对 董玉珍 李 艳

出版发行 测绘出版社

地 址 北京市西城区三里河路 50 号

电 话 010-68531160(营销)

邮政编码 100045

010-68531609(门市)

电子信箱 smp@sinomaps.com

网 址 www.sinomaps.com

印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司

经 销 新华书店

成品规格 169mm×239mm

印 张 15.25

字 数 290 千字

版 次 2011 年 7 月第 1 版

印 次 2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数 0001—1000

定 价 39.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-2357-6/P · 543

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

前言

当前,人类发展面临着资源与环境的严峻挑战。自然资源的短缺、生态环境的恶化已经构成了国民经济可持续发展乃至人类生存的重大威胁。湖泊,特别是淡水湖泊,不仅为人们提供重要的水资源,而且又是调节生态环境、保护人类家园的重要屏障。保护湖泊、科学合理地利用湖泊资源是全社会刻不容缓的战略任务。

我国现有湖泊 2 700 多个,总面积约有 $9.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。湖泊储水量达 $7.088 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中淡水储量约 $2.26 \times 10^8 \text{ m}^3$,这是一宗极其宝贵的自然资源。但由于自然原因,更主要的是人为原因,这宝贵的资源受到严重的威胁。据统计,仅在 1977 年至 1985 年的八年时间里,全国的湖泊因干涸消失了 473 座,总面积减少 11%。湖泊的水质急剧下降,目前已有 70% 以上的湖泊受到不同程度的污染。湖泊污染已成为生态环境恶化的代表,与构建和谐社会的战略目标极不相称。从数量与质量上遏制湖泊退化、消亡的势头,其关键在于强化管理。从科学管理中求效益、在严格管理下谋发展已成为人们的共识。

湖泊分为淡水湖泊与咸水湖泊两种。咸水湖泊在我国主要分布在西藏、青海、新疆等西部省份。咸水湖泊区域人口稀少,生态环境相对较好,区域管理的紧迫性以及目前管理的内容有别于淡水湖泊区域。再者,咸水湖泊不是人们生活用水、生产用水的来源,在水资源中的重要地位远逊于淡水湖泊。本书提到的湖泊区域、数字湖泊等所涉及的湖泊,都是指淡水湖泊,这里的湖泊管理是指对淡水湖泊的管理。

湖泊科学管理需要信息技术,特别是遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS),即 3S 技术。湖泊资源是一种空间型的自然资源,湖泊及其流域占有相当面积的地表空间,而 3S 技术正是集大面积空间信息的采集、整理、存储及空间分析于一体的集成技术,它不仅可以提供大面积湖泊流域的土地覆盖、污染源、水面面积及水质、水量等动态变化信息,而且提供地理空间分析与决策支持信息,包括湖泊供水潜力分析、生态环境对湖泊水质的影响、湖水污染及其成因等。这些信息既是湖泊区域管理的科学依据,又是开展湖泊区域研究的基础。3S 技术有力地支持了湖泊流域科学管理的发展,而湖泊科学管理又是 3S 技术施展功能的良好舞台,几乎 3S 技术所有门类都可以在此找到应用的领域。

1998 年 1 月美国提出“数字地球”的概念与数字地球战略。自此,各国数字化、信息化建设风起云涌,我国也将“数字地球”作为国家经济与科技发展的一个战略。“数字国土”、“数字农业”、“数字城市”、“数字流域”等一系列信息化工程概念

纷纷被提出并开始实施。在这种背景下,“数字湖泊”的概念应运而生。它是社会数字化、信息化的重要组成部分,与“数字国土”、“数字城市”等相辅相成,共同构成了“数字地球”的科学和技术体系。数字湖泊作为一种特定的数字流域,具有丰富的科学内涵与深刻的社会意义。构建“数字湖泊”信息系统是支持国民经济可持续发展的一个有力技术保障。

本书以开发数字洱海信息管理系统的实践为基础,全面介绍了开发、研制数字湖泊管理系统的经验与技术成果。全书共分为九章,系统地阐述了数字湖泊的内涵、信息系统结构、数字图形及数字影像的数据组织、空间分析模型及应用支持模型、地理空间信息整合与交换共享,并以洱海为例介绍数字湖泊的实验与分析方法以及系统开发技术等,对系统建设思路、空间数据组织、遥感应用技术、地理信息系统模型开发,特别是对于时空数据管理模型、遥感影像信息挖掘、面插值技术有较深入的分析与思考。赵俊三负责全书的整体结构设计、内容组织等工作,重点书写了概述、数字湖泊的概念、理论与技术体系、数字湖泊地理空间图形数据组织、时空数据分析模型与算法、数字湖泊应用支持模型、系统开发技术等内容;朱兰艳书写了数字湖泊地理空间信息整合与交换共享、实验与分析等内容;严泰来书写了遥感影像数据组织、影像识别技术等内容;龚纯伟书写了元数据管理、数字湖泊的实验与分析等内容。赵俊三、严泰来审校了全文。陶本藻教授对于本书的框架结构、内容剪裁进行了指导性的工作,并对本书做了全面的审查。

本书的编写还得到了云南省政府科技信息计划专项基金、昆明理工大学校基金的支持。在编写过程中,云南省大理洱海管理局的张惠萍、杨志宾、王嘉陵等多位工程师为本书的试验分析部分提供了非常有价值的试验环境及基础数据。同时昆明云金地科技有限公司的许文胜系统分析员以及赵生恩、张海龙工程师提供了数字洱海系统的设计开发资料,成为本书相关内容的重要参考。香港浸会大学的周启鸣教授、华南师范大学的赵耀龙博士、南京地理与湖泊所的高俊峰研究员曾在数字洱海项目的初期规划设计中提出了一些有益的建议。武汉大学的朱庆教授曾亲临数字洱海项目现场进行技术指导。在此,对所有为本书编写提供过帮助的专家和工程技术人员表示衷心的感谢。

本书可供从事 3S 技术、湖泊科学研究与管理人员以及相关专业的大学生、研究生参考使用。由于时间仓促,加之作者水平有限,书中错漏之处在所难免,敬请大家在发现问题后能及时反馈,以便我们更正。

作者

2011 年 3 月

目 录

第 1 章 概述	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 数字湖泊建设的目的与意义	3
§ 1.3 数字湖泊的技术特点与难点	6
§ 1.4 相关领域的研究开发现状	10
第 2 章 数字湖泊的理论技术体系	19
§ 2.1 数字湖泊的理论技术基础	19
§ 2.2 数字湖泊的内涵与基本模型	20
§ 2.3 数字湖泊技术体系	25
第 3 章 数字湖泊地理空间图形数据组织	30
§ 3.1 地理空间图形数据	30
§ 3.2 数字湖泊数据资源分析	41
§ 3.3 数字湖泊的数据结构	45
§ 3.4 图形数据库建设	50
§ 3.5 湖泊区域地理空间信息时空数据模型	52
§ 3.6 空间数据的不确定性问题	58
§ 3.7 湖泊区域地理空间数据元数据	60
第 4 章 数字湖泊地理空间影像数据组织	65
§ 4.1 湖泊区域地理空间影像数据的获取	65
§ 4.2 航空遥感数据	74
§ 4.3 卫星遥感数据	77
§ 4.4 遥感影像数据处理技术	82
§ 4.5 湖泊流域遥感影像数据组织及其数据支持	93
第 5 章 数字湖泊地理空间分析模型与算法	99
§ 5.1 数字湖泊空间分析概述	99
§ 5.2 湖泊区域地理空间数据插值与插值分析	106
§ 5.3 湖泊地形分析	109

§ 5.4	淹没分析模型	116
§ 5.5	遥感影像地物识别技术	119
第 6 章	数字湖泊地理空间信息整合与交换共享	137
§ 6.1	湖泊区域地理空间信息数据整合概述	137
§ 6.2	信息交换共享系统设计与实现	139
§ 6.3	地理空间数据转换系统开发实现	145
§ 6.4	数据更新的技术体系与实现方法	146
第 7 章	数字湖泊应用支持模型	151
§ 7.1	GIS 与湖泊水资源环境模型的关系	151
§ 7.2	湖泊区域数字化管理综述	152
§ 7.3	数字湖泊专业支持模型研究	157
§ 7.4	土地利用覆盖变化与湖泊水质关系初探	168
第 8 章	数字湖泊的系统开发技术分析	176
§ 8.1	数字湖泊系统建设分析	176
§ 8.2	数字湖泊系统的总体设计	185
§ 8.3	数字湖泊业务系统功能设计要求	189
§ 8.4	数字湖泊系统技术架构与开发技术	197
§ 8.5	数字湖泊系统建设规划	199
§ 8.6	数字湖泊建设项目管理方法	201
§ 8.7	未来数字湖泊技术展望	203
第 9 章	数字湖泊的实验与分析——以洱海为例	205
§ 9.1	洱海湖泊区域基本情况	205
§ 9.2	洱海湖泊区域管理信息系统研究与开发	207
§ 9.3	实验成果及分析	215
§ 9.4	实验分析过程中所解决的关键技术问题	221
参考文献		223
附录 1	数字湖泊系统数据库构成	226
附录 2	数字湖泊系统所使用的主要管理数据表类型	227
附录 3	数字湖泊基本元数据列表	230
附录 4	数字湖泊元数据的计算机网络下载程序	232

Contents

Chapter 1	Overview	1
§ 1.1	Introduction	1
§ 1.2	The Purpose and Meaning of Digital Lake	3
§ 1.3	Technical Characteristics and Difficulties of Digital Lake	6
§ 1.4	Research Status	10
Chapter 2	The Theory and Technology of Digital Lake	19
§ 2.1	The Theoretical and Technological Foundation of Digital Lake	19
§ 2.2	The Connotation and Main Models of Digital Lake	20
§ 2.3	Digital Lake Technology	25
Chapter 3	Geospatial Graphics Data Organization of Digital Lake	30
§ 3.1	Introduction of Geospatial Graphics Data	30
§ 3.2	Analysis on Data Resources	41
§ 3.3	Data Structure of Digital Lake	45
§ 3.4	Graphics Database Construction	50
§ 3.5	Temporal Data Model of Geospatial Information of Lake District	52
§ 3.6	The Problem of Spatial Data Uncertainty	58
§ 3.7	Metadata of Geospatial Data of Lake District	60
Chapter 4	Geospatial Image Organization of Digital Lake	65
§ 4.1	Digital Image Data Collection	65
§ 4.2	Aerial Remote Sensing Data	74
§ 4.3	Satellite Remote Sensing Data	77
§ 4.4	Remote Sensing Data Processing	82
§ 4.5	Organization of Remote Sensing Data	93
Chapter 5	Geospatial Analysis Model and Algorithm of Digital Lake	99
§ 5.1	Overview of Spatial Analysis of Digital Lake	99

§ 5.2	Geospatial Data Interpolation and Interpolation Analysis of Lake District	106
§ 5.3	Lakes Terrain Analysis	109
§ 5.4	Inundation Analysis Model	116
§ 5.5	Object Recognition Technology for Remote Sensing Image	119
Chapter 6	Integration and Exchange of Digital Lake Geospatial Information	137
§ 6.1	Geospatial Data Integration Overview	137
§ 6.2	Design and Implementation of Information Exchange and Sharing System	139
§ 6.3	Development of Geospatial Data Conversion Systems	145
§ 6.4	Data Update Technology and Implementation Methods	146
Chapter 7	Application Support Models of Digital Lake	151
§ 7.1	Relationship between GIS and Lake Water Environmental Models	151
§ 7.2	Summary of Digital Management of Lake District	152
§ 7.3	Research on the Professional Support Models of Digital Lake	157
§ 7.4	Preliminary Study on the Relationship between Land Use Change and Lake Water Quality	168
Chapter 8	The Analysis of Development Technology of Digital Lake System	176
§ 8.1	The Analysis on the System Construction	176
§ 8.2	Overall Design of Digital Lake System	185
§ 8.3	Requirements of Business System Functional Design of Digital Lake	189
§ 8.4	Technology Architecture of Digital Lake and Development Technology	197
§ 8.5	Construction Planning on Digital Lake	199
§ 8.6	The Method Project Management of Digital Lake Construction	201
§ 8.7	Prospects to the Digital Lake Technology	203

Chapter 9	Digital Lake Experiment and Analysis: a Case Study on Er Hai Lake	
	Lake	205
§ 9.1	The Basic Situation of the Er Hai Lake	205
§ 9.2	Design and Development of the Er Hai Lake and Watershed Management Information System	207
§ 9.3	Experimental Results and Analysis	215
§ 9.4	Solutions for the Key Technical Problems in Experiment	221
References		223
Appendix 1	Database Constitutes of Lake and Watershed Management Information System	226
Appendix 2	The Key Data Tables of Digital Lake	227
Appendix 3	The Basic Metadata Tables of Digital Lake	230
Appendix 4	Download Program of Digital Lake Metadata	232

第1章 概述

§ 1.1 引言

据统计,全球范围内封闭多边形面积大于 0.1 km^2 的水域,包括湖泊、水库和河流等,总数约为 25 万个,其中面积大于 50 km^2 的湖泊有 3 067 个,容积大于 0.5 km^3 的湖泊有 654 个(Lehner et al, 2004)。湖泊及其流域已成为人类活动的重要区域,并对全球的气候变化与资源环境产生重要的影响。中国是一个多湖泊的国家,现有湖泊 2 700 余个,总面积达 $9.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土面积的 0.95%。其中面积在 1 km^2 以上的湖泊达 2 300 多个,总面积为 $7.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占国土面积的 0.8%。湖泊储水总量 $7.088 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中淡水储量约 $2.260 \times 10^8 \text{ m}^3$, 这是一宗巨大而又极其宝贵的淡水资源,是工农业生产用水、人们生活用水的主要来源之一。我国河川径流量(地表水资源量)居世界第六位。但由于人口基数巨大,人均淡水占有量仅是世界人均占有量的四分之一。由于全球变暖带来的气候影响,再加上泥沙淤积、不合理的围垦以及河流沿途用水量的增加,许多湖泊面积萎缩。据统计,1985 年与 1977 年相比,全国湖泊面积减少 11%(史晓新 等, 2005)。

湖泊及其流域共同构成了相对独立的水资源环境,它是一个既封闭又开放的区域。其封闭性是指湖泊水体表面和由分水岭所构成的区域具有相对独立的水流汇集、生态环境系统;其开放性是指湖泊及其流域与人类的生活和生产活动密切相关,而且极易受到各种人为和自然因素的影响与破坏。国际人类因素计划(HDP)研究指出,当前人为因素对环境影响的范围具有全球性,它在局部地区的极端行为将导致整个环境的毁灭(孙成权 等, 1993)。湖泊是分布于地表低洼处的水体,历来是人类活动最集中的场所之一,具有较高的生态价值和社会经济价值(王云飞 等, 1999)。但随着人类各种非理性活动的发生,湖泊区域的生态环境正在遭到破坏,湖泊水质不断恶化。据不完全统计,目前我国被严重污染的和生态环境遭到破坏的湖泊区域占总数的 40% 左右。有些湖泊因此而失去了作为水资源的价值和功能,而成为当地社会经济发展的瓶颈,如我国的滇池、太湖等。由湖泊污染而造成的直接经济损失和因生态环境破坏而造成的间接经济损失是难以估量的。在全球范围内,因自然因素和人为破坏所造成的湖泊干枯、消亡与严重污染的例子也非常多,如在非洲、澳大利亚、欧洲等地区都有大量的关于湖泊消亡、干涸和污染的研究和报道(Matsui et al, 1995; DeVogel et al, 2004)。又如日本的第二大湖——霞

浦湖,它是国外发达国家湖泊污染与治理的一个典型例子。霞浦湖面积220 km²,略比我国滇池面积小。20世纪50年代后,霞浦湖开始受到污染,到了70年代初,霞浦湖水质污染达到高峰,每年都暴发淡水赤潮。为治理霞浦湖,日本从70年代开始,先后投资约合人民币1300多亿元,相当于每平方千米水面投资5.8亿元人民币。尽管如此,目前仅恢复到相当于我国四类水质的水平。

从1986年开始,国际湖泊环境委员会(International Lake Environment Committee, ILEC)与联合国环境计划署(United Nations Environment Programme, UNEP)联合开展了世界湖泊环境状况调查项目,目的是收集全球重要湖泊的环境数据,并进行编辑处理,作为湖泊环境管理依据之一(Matsui et al, 1995)。这次调查是从全球73个国家中选取217个湖泊作为研究对象,其结果出版成五卷《世界湖泊环境数据手册》(Data Book of World Lake Environments)。ILEC和UNEP通过系统地分析,认为目前全球范围内的湖泊及水库水资源环境面临下面六个方面的环境问题:①湖泊水位降低;②加速的泥沙淤积;③酸化;④有毒物污染;⑤富营养化;⑥生态系统破坏和生物种群灭亡。这些问题导致了水资源和水生动植物生态环境的危机。图1-1显示了世界湖泊所面临的六个主要环境问题及其关联关系。

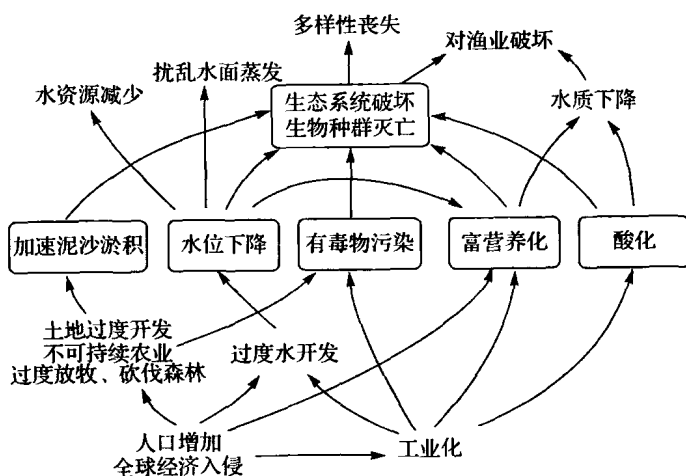


图 1-1 世界湖泊六个主要环境问题

由于全球范围内湖泊区域面临严重的污染和生态环境破坏等问题,其保护、科学管理、合理的开发利用已成为亟需解决的问题,严重关系到国计民生和社会经济的可持续发展。遏制湖泊干涸的发展趋势、缓解湖泊污染的发展势头需要国家和地方政府采取强有力的行政与技术等方面的综合措施。

湖泊区域管理是一项十分复杂的系统工程,其主要内容有:①湖泊区域的生态环境保护,如水土保持、森林覆盖、土地利用及湖滨带湿地的恢复、建设与保护等;②湖泊区域社会经济活动的合理规划与实施,如城市化与工业化的发展、人口的控

制、农业发展等;③湖泊水资源的合理调度与开发利用;④污染源的控制与治理,包括生态环境及水质监测体系的建立、水生动植物的保护与合理开发利用等。

湖泊区域所有的科学管理活动均与湖泊所处的自然地理位置、分布状况及地形、地貌等自然特征,以及湖泊水体的属性信息密切相关。而所有这些信息都要架构在空间信息之上。因此,作为空间信息获取、管理和分析平台的地理信息系统(geographical information systems, GIS)、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、遥感技术(remote sensing, RS)以及 3S 集成技术,是数字湖泊和实施湖泊区域科学管理的支撑性技术。

3S 技术及由此衍生的地理信息科学与技术,在最近 20 多年来得到了迅速的发展。3S 技术将基于地理位置及各种相关的专题属性信息与专业知识有机地结合起来,并通过空间分析、可视化的表达及模型系统的推演把各种复杂的问题简单化,成为人们认识世界、解决各种问题的有效工具。3S 技术已被广泛地应用到资源环境管理与分析、城市规划、土地利用分析、交通管理(智能交通)、区域发展规划、环境保护等领域,正日益对人们的日常工作、生活和学习产生深远的影响。湖泊及流域的管理、保护与开发利用均与地理空间位置有着紧密的联系。因此,利用 3S 技术解决湖泊区域管理问题已成为国内外 3S 领域的热点研究问题之一。但是,由于湖泊区域管理的复杂性,基于 3S 技术以及相关支持模型的数字湖泊建设还有许多关键性的理论和技术问题需要研究和加以解决。

§ 1.2 数字湖泊建设的目的与意义

1.2.1 背景

由于湖泊在人类生产和生活中的重要性,以及目前面临的污染治理等问题的严重性,国际上每年都多次举行与湖泊相关的专题学术会议或论坛,专门针对湖泊开发、利用和保护方面的技术与理论、政策措施等问题进行讨论和研究。1984 年在日本滋贺县琵琶湖畔的大津市召开了首届世界湖泊会议,其后每两年在某国的一座湖畔城市召开一次大会,其目的在于使行政官员、科学研究人员和市民聚集在一起,共同讨论解决湖泊环境问题。在最近几届国际湖泊大会上,逐步把利用先进的技术手段,特别是以 3S 技术为核心的地理空间信息技术应用于湖泊及其流域的管理,作为会议讨论的重点问题之一。如 2001 年 11 月,在日本滋贺县大津市召开的第九届世界湖泊会议,提出了国际湖泊水资源治理、保护、管理等面临的形势,并对湖泊治理新技术进行了广泛的交流,形成了《琵琶湖宣言 2001》。宣言主要内容就包含了“加强湖泊各类信息的公布和共享”、“提倡湖泊流域的统一管理”等内容。在国际上定期召开的与湖泊相关的专题会议或论坛还有“国际河流与湖泊环境会

议”、“国际浅水湖泊会议”、“世界水论坛”等。在已经举办的这些会议上均提出了一些数字湖泊流域管理相关的议题和研究方向,特别是 2003 年 3 月在日本的京都、大阪和滋贺召开的第三届世界水论坛大会,涉及湖泊区域管理的众多内容。如在“供水、卫生与水污染”议题中提到了“缩小数字化差距”的问题;在“水资源统一管理与流域管理”议题中提到了“流域统一管理”、“未来世界湖泊的行动准则”、“世界湖泊展望”和“GIS 在国际河流流域管理中的应用”等;在“水、自然与环境”议题中提到了“保护世界湖泊生物多样性的战略”和“水监测和管理的生态系统方法”等;在“水与信息”议题中提到了“解决水问题的有关信息和方法”、“水文信息系统”和“水资源分布电子地图(改善决策的综合信息)”等;在“防洪”议题中提到了“统一防洪管理”和“洪水报警系统”等。这些议题和研究方向可以看成是数字湖泊初期的基本问题,为世界范围内湖泊区域管理的理论、技术、政策与措施指明了方向。第四届世界水论坛于 2006 年 3 月在墨西哥首都墨西哥城召开,论坛的主题为“采取地方行动,应对全球挑战”。2009 年 11 月在武汉召开了第 13 届国际湖泊大会并发表《武汉宣言》,大会主题“让湖泊休养生息、全球挑战与中国创新”。《武汉宣言》认为制约湖泊及其流域资源可持续利用的根本原因是:不可持续的生产和消费方式、不健全的湖泊治理制度和法律、不充足的资金支持、不能支撑的治理技术以及环境污染加剧引起的更多挑战和不确定性。由此可以看出,湖泊区域管理特别是数字化管理已得到了全世界的关注。在各种湖泊区域管理的许多国际会议上,虽然只是提出一些问题,还没有形成系统性的数字湖泊区域管理的理论、方法和技术体系,但为未来的数字湖泊区域管理开发研究奠定了基础,提出了许多研究方向和具体问题。

就云南省的情况来说,全省境内分布着大量的高原湖泊,其中对社会经济发展和生态环境产生重大影响的湖泊有九个。近年来,随着社会经济的发展,号称高原明珠的九大湖泊受到了不同程度的污染,并有不断恶化的趋势。尽管政府部门和众多的研究机构投入了大量的资金、人力和物力开展研究和治理工作,但总体效果很不理想。因此,政府部门和相关研究机构开始把目光转向更加科学的湖泊区域管理与综合性的基础研究开发工作上来。2001 年初,云南省政府提出了“洱海湖泊区域管理信息系统”的研究开发项目,目的是探讨利用 3S 技术及其他高新技术解决湖泊区域管理中的共性问题,为高原湖泊的科学管理、保护和合理开发利用提供现代化的工具。本书作者全程参与了该项目的建设,为数字湖泊的理论与技术探讨提供了重要的实证研究区域。本书也正是该项目的重要研究成果之一,以作者开发数字洱海信息管理系统的实践为基础,全面介绍研究、开发数字湖泊管理信息系统的理论与技术。

1.2.2 目的与意义

科学发展观是对我国当前以及今后相当长的时间内国民经济发展带有重大战略意义的根本思想。实施科学发展观要求我们充分认识自然资源的有限性,珍惜

与保护自然资源。人类的一切生产与社会活动都要遵从自然规律,与自然相和谐,实行节约经济、循环经济,可持续地利用自然资源。与此同时,以人为本,尽最大的努力减少环境污染,保护我们生存的生态环境,构建和谐向上的社会环境。

湖泊及其流域属于地球表面一个特定的地理空间区域,其内部有着复杂的物质流、能量流和信息流,与外部多种因素相互作用、相互影响,构成一个具有普遍自然因果联系的复合巨型系统。湖泊作为一种特定的水体,与区域环境、气候演化乃至全球变化有着密切的联系,又作为一种重要的水资源,对区域社会经济发展具有重要影响。湖泊区域的生态环境体系十分脆弱,极易受到人类活动和自然因素的影响以致污染、干涸和消亡。政府部门在制定社会经济发展规划时,要从湖泊区域的地理空间位置、自然、社会、经济、人口和文化各个方面加以考虑,采取各种技术和行政的手段加强湖泊区域的管理,协调区域发展,实现水资源的可持续利用和生态环境的保护。随着社会经济的发展,江、河、湖泊区域的管理、污染治理和生态环境保护已进入各级政府的重要议事日程,成为各级政府部门落实科学发展观的重要内容。准确信息的获取是科学管理的先决条件,管理手段信息化建设势在必行,数字湖泊或湖泊区域管理信息系统(lake and watershed management information system, LWMISS)建设已成为湖泊区域实施可持续经济发展战略的一个重要技术保障。

数字湖泊是以信息技术为手段,以现代管理理论、技术为指南,以区域可持续发展为宗旨,综合水利灌溉、城市供水、旅游开发、发电、航运、养殖、气候和环保等多学科技术与应用,深层次开发 3S、管理信息系统(MIS)等信息技术,全方位获取湖泊区域的环境与生态信息,在专业模型支持下,辅助政府部门对湖泊区域的水资源及生态资源的综合开发和合理利用进行科学管理与决策,对湖泊的环境、水质、水量等变化适时提供监测、预警以及预测信息。数字湖泊具有典型的时空信息系统的特征,为满足获取湖泊发展演化、污染防治、生态环境变化、水资源管理等信息数据的需要,必须对湖泊区域的地理空间数据框架进行研究。通过数据整合和多源数据的集成,根据统一的地理空间基准,把湖泊区域多类型、多时相、多比例尺的地理空间数据、文本、视频和音频信息有机地集成和组织起来,使湖泊区域管理信息系统能够实现精准定位、定量和可视化的管理,为湖泊区域科学管理提供现代化的工具。

为了实现对湖泊区域的水资源状况(水质、水量、淹没状况等)、生态环境、水资源调度等进行动态化管理和科学的预测、预报与分析,就必须以湖泊区域的地理空间数据为基础,通过对大量生态环境数据、水资源数据、土地利用数据及其他社会经济数据的统计分析,建立相应的支持模型,如水量平衡分析与水资源调度模型、淹没分析模型、水质模型、生态模型等。因此,支持模型的建立与运行是数字湖泊研究开发中必须解决好的关键技术问题之一。

实现湖泊区域数字化管理是数字地球战略、3S 技术和信息通信网络技术发展的一种必然趋势。以数字化的方式将湖泊及其流域的各种生态环境信息、土地利

用信息、社会经济信息(人口、工业、农业、居民点分布等)、水文地质信息、气象信息、污染源信息、水下及地表地形地貌等空间与属性信息存储在数据库中,通过开发相应的数据管理、空间分析、查询检索等工具实现对湖泊区域各种信息的全数字化管理。同时,通过建立知识库并与专业分析模型结合,可以对湖泊区域的生态环境、水量、水质的变化进行监测和预报,提供科学的湖泊开发利用、保护、治理方案,保证湖泊区域的可持续发展与水资源的可持续利用,实现社会经济的科学发展。由此可见,湖泊区域数字化建设是保护、治理和科学合理利用湖泊区域资源的重要基础工作。同时,数字湖泊是一项非常复杂的系统工程,学科覆盖领域广泛,信息数据繁多,理论与技术综合性强,应用部门技术要求高,因而必须对数字湖泊相关的诸多类型数据进行深入系统分析,缜密构建基础地理空间数据框架,并对与此相关的各种支持模型进行全面的 research 才能实现对湖泊的数字化、科学化管理。

§ 1.3 数字湖泊的技术特点与难点

从前面的叙述可以看出,数字湖泊不等于湖泊数字化。湖泊数字化是将湖泊流域空间的各种要素用坐标数据标定下来,并附以属性数据,存储在计算机中加以管理。在现代信息技术高度发展、如此普及的今天,湖泊数字化作为区域数字化工程的一部分,技术上已不存在困难。但是,数字湖泊系统不仅仅是将湖泊流域数字化,而是在其基础上,对湖泊流域的各类资源,特别是淡水资源,加以自动化、智能化管理,包括水资源管理与行政执法管理;研究湖泊的水质污染、土壤侵蚀、土地利用及土地覆盖等演化的规律,加以综合治理与管理;本着以人为本的思想对湖泊流域的各种自然灾害进行预警、防灾减灾;将湖泊流域与整个自然、社会相协调,确保湖泊流域的可持续发展,保护与合理使用以淡水资源为主的各类湖泊流域的生态资源,使之得以永续利用,并支持全社会的可持续发展。以这样的高度来要求数字湖泊系统建设,数字湖泊就不仅是一项工程性的建设,而是研究与技术开发相结合的深层次的理论与技术基础设施建设。事实上,数字湖泊与其他数字领域,如数字国土、数字农业、数字城市乃至数字地球一样,是一个长期的理论与技术的建设过程。数字湖泊建设依托于信息科学与技术,并对信息科学与技术的发展起到强有力的推动作用。它也是对其他数字领域建设的有力补充,具有较强的技术特点与难点,以下分别加以叙述。

1. 数据的综合性

数字湖泊管理信息系统是一个跨领域、多门类、多目标的管理信息系统,这就决定系统的数据具有很强的综合性特点。

数字湖泊系统首先是一个空间信息系统,空间数据是其基础数据。多数情况下湖泊流域覆盖面积较大,空间信息数据应当是多尺度的数据,包括遥感影像数

据、矢量图形数据等,还应当是多时相、多年的历史沿革数据。由此引发了大量的多源、多尺度、多时相空间信息数据管理理论与技术问题,其中主要有:

(1)空间数据的不确定问题。这里既有一维的数据不确定问题,比如湖岸边界线长度的数据,又有二维的数据不确定问题,如湖底表面积、山体表面积、山体坡耕地的坡度等。空间数据不确定问题是当代地理信息研究的热点与难点,有不少理论与技术前沿问题需要解决,实施数字湖泊也有这方面的具体工程技术问题亟待解决。

(2)时空数据一体化管理问题。湖泊流域的空间数据都是动态数据,有其时间特性,一些空间数据如土地利用数据、污染数据在短时间内变化还很剧烈。如何将带时间维的空间数据加以合理组织,既减少数据的冗余又方便检索使用,目前已有不少研究成果,但距离实际要求尚有一定距离。

(3)空间数据的表达与管理模式问题。面向对象思想用于信息数据管理与分析是计算机科学与技术的一个突破性的进步,而基于关系代数的关系型数据库管理系统是数据库技术发展的一个主流。如何将两者结合起来真正用于时空数据的管理,形成准三维的或者真三维的时空数据表达模型,其理论与技术问题需要解决,特别是湖泊流域信息管理更亟待解决。

(4)多源多尺度空间数据的整合与匹配问题。数字湖泊系统的数据来自多个数据源,包括多种遥感数据、多种测量数据、历史文档数据等。如何对不同数据源和不同尺度数据(包括空间尺度与时间尺度)进行匹配。使之相互合理匹配存在不少问题,包括插值技术、误差估计与误差连带影响、数据时效的影响估计等。

数字湖泊系统又是带有大量属性数据的信息系统。湖泊系统数据的综合性主要体现在属性数据的综合性。这里既有自然属性数据,如土壤类型与性状数据、水文数据、土地覆盖数据等,还有社会属性数据,如土地权属数据、资源经济数据等。将这些数据准确采集与管理,在理论与技术上还有以下主要问题:

(1)属性数据的正确性评定与判别问题。属性数据的采集不同于空间数据采集,后者使用3S技术,可以自动地在短时间内将数据采集上来,数据质量较为统一;而属性数据中的绝大多数需要大量人工采集,各人采集的数据质量不一,数据质量难以衡量。在属性数据的种类与数据量都十分巨大的数字湖泊系统中,这个问题尤为突出。

(2)属性数据的时效性问题。前面已经述及,属性数据中的绝大多数需要诸多人工采集,在面积较大的湖泊区域,采集工作量较大,而在采集过程中,属性数据可能有部分数据再次发生变化。如何统一采集过程中发生变化的属性数据时效性问题,在构建数字湖泊工程中也是一个实际问题。

(3)属性数据的指标体系问题。在数字湖泊中,有一些数据具有复杂的指标体系,比如土壤类别划分,有美国指标体系,还有苏联指标体系。两种指标体系相互独立,在各自的指标体系下有各自的划分类别与标准,直接影响到土壤侵蚀的测算