



<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划项目

中国数字流域

Digital Basin of China

李纪人 潘世兵 张建立 丁志雄 魏加华 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

“十一五”国家重点图书出版规划项目

数字中国丛书

中国数字流域

Digital Basin of China

李纪人 潘世兵 张建立 丁志雄 魏加华 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是一本面向流域现代管理的新技术应用著作,内容广泛而新颖,反映了数字流域最新的发展理论与技术。本书分为9章和附录,系统论述了数字流域的基本概念、发展状况、框架和业务应用系统,以及数字流域所涉及的关键技术、流域模拟模型和常用专业软件,并对部分成功的案例进行了剖析。其中,业务应用系统涉及数字防汛、数字水资源调度、数字水保、数字水利工程建设与管理等;数字流域关键技术涉及数据仓库与数据挖掘技术、遥感、地理信息系统和全球导航卫星系统及其集成技术,多维信息可视化与虚拟现实技术,流域模拟模型技术,流域模型的检验与比较,协调大尺度和跨学科模型集成技术等。

本书可供从事流域管理现代化和信息化的研究人员、技术人员、高校师生和管理人员阅读或参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

中国数字流域/李纪人等编著. —北京:电子工业出版社,2009.6
(数字中国丛书)

ISBN 978-7-121-08816-2

I. 中… II. 李… III. 数字技术—应用—流域—综合管理—中国 IV. P344.2-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第073270号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn) 特约编辑:石灵芝

印 刷:北京智力达印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:418千字 彩插:1

印 次:2009年6月第1次印刷

定 价:45.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

《数字中国丛书》编委会

名誉主编：徐冠华 许智宏 陈述彭

执行主编：陈运泰 童庆禧

副主编：杨学山 刘燕华 李德仁 李小文 陈俊勇 迟惠生

方 裕 承继成 李 琦

编委：（按拼音排序）

陈拂晓 陈 军 陈秀万 程承旗 承继成 崔伟宏

董宝青 方 裕 龚健雅 过静君 郝 力 何建邦

蒋兴伟 景贵飞 李 斌 李伯衡 李纪人 李 京

李 莉 李 琦 李增元 李志林 李志忠 廖小罕

林 晖 林宗坚 刘定生 刘纪远 刘燕华 闾国年

马蔼乃 潘 懋 秦其明 邵立勤 史文中 田国良

王 宏 王 桥 王钦敏 王瑞江 邬 伦 吴立新

吴信才 徐 枫 徐希孺 晏 磊 杨崇俊 杨学山

叶嘉安 岳天祥 曾 澜 查宗祥 郑立中 周成虎

邹 生

执行编委：（按拼音排序）

陈拂晓 陈秀万 程承旗 承继成 方 裕 李 琦

秦其明 邬 伦 晏 磊 曾 澜 郑立中

执行编委召集人：方 裕 承继成

总 序

毛泽东同志语重心长，寄重望于青年，他说：“世界是你们的”，“你们是早上八九点钟的太阳”。在进步节奏越来越快的信息社会，青年同志承受着巨大的压力，渴望插上知识的翅膀，需要凝聚智慧的力量，展翅腾飞，才能胜任历史重任，适应社会需求。他们需要通过键盘去解释这个多动的世界，需要用电脑去跟踪这个多变的世界，去了解过去，去改善现状，去打造未来。

近半个世纪以来，人们已经向太空发射了数以千计的遥感对地观测卫星、地球定位卫星、全球通信卫星。这些卫星夜以继日地运行在太空，监测着地球上资源、环境和生态的变化，监视着城市化和土地覆盖的更新。人们敷设了遍布各大洲的通信光缆，设置了进入千家万户的宽带互连网络，加速了电离层以内的信息流的流动。人们在平流层开发了超音速飞机，加速了洲际往来，还在不断地修建高速公路，提速火车，增加集装箱的制造和门对门的运输，加速物流配送的能力。于是，地球上的时空观念发生了很大的变化，以上海双休日旅游半径为例，在一小时之内可以到达杭州、宁波和南京；两小时之内，可以到达黄山、庐山和武夷山。来自千里之外的新疆的石油、天然气和来自长江三峡的电力，川流不息地供应到市区和郊区……这就是我们今天生活中面对的信息社会的现实，使我们不能不转变传统的时空观念。

这个数字的信息社会，还只是一个虚拟的、透明的世界。展望未来，“数字地球”还将进一步改变我们人类居住的这个星球的面貌。在我国也相应地提出了“数字中国”计划，各级政府正在推行“电子政务”改革管理模式，提高工作效率和服务水平，转变政府职能。计划到 2008 年，全国政府采购额将达 76 亿元人民币，实现 80% 城市的信息化。以北京为例，在城区已设计了万米网格的管理和监理新模式，加强社区的空间管理，从社区开始打破过去条块分割的局面。2008 年北京市将设置 2000 个便民信息亭，扩大公共信息服务范围；公司和企业积极开展电子商务能力建设，力争与国际接轨，缩小数字鸿沟，提高商贸竞争能力，节约水土资源，降低能源消耗成本；工业基地努力推行“电子制造”，走信息化带动工业化的新路。例如，我国地图测绘、地震、地质、气象行业早已实现全数字化；东北老工业基地也在实现自动化设计与质量控制一体化的基础上，明显提高了产量、质量，逐步促进工业生产的良性循环，向循环经济发展；在科技教育部门，大力推广远程教育和远程医疗，在我国西部开发和成人职业教育方面，取得了相当显著的实效，受到了普遍的欢迎。

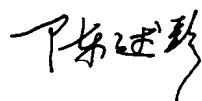
“数字中国”对国家经济规划与建设尤为重要。例如，粮食是否生产过剩，是否应该退耕还林、还草？煤炭生产是否过多？石油能源能否制约未来经济发展？是钢铁投资、汽车、房地产炒得过热，还是城市化过程太慢？水电、核电开发与火电比例是否失调？人口达到零增长是否导致老年化？西部开发战略，东北老工业基地改造与东部跨越式发展，带动中西部，孰先孰后，孰轻孰重？如何缩小地区差异、城乡差别？这些都是关系

国家全面建设小康生活中的大问题，需要定性、定量地作出空间分析，为科学发展观提供科学的依据。

中国主张从我做起，2004 年年底在北京大学成立了“数字中国研究院”；目前已有半数的省区开展“数字省区”建设；长江、黄河等五大河流启动“数字流域”工程；将近 1/3，约 200 个城市，广泛、深入地开展“数字城市”、“数字街区”和“数字社区”的试点。另外，在生态建设、功能区划、环境保护、文物保护等诸多方面，对协调城市与区域经济社会可持续发展，取得了可喜的进展。特别是近几年来，由于信息科学计算技术的迅速进步，IPv6 为网络计算提供大容量、快速的结点，第三代互联网的区域试点获得成功；空间信息的资源共享在技术上有了可靠的保障，公共的科学研究数据平台呼之欲出；空间分析模型与地学信息图谱也有所创新；汉字自动排版与专业制图软件开发有了重大突破；一个整合遥感、卫星定位系统、地理信息系统与互联网的全球技术系统，已脱颖而出，崭露头角，近 100 所大专院校为此设立了专科或本科，400 多家企业（法人）已注册，理论的梳理和人才的培养迫在眉睫。仅上海市就急需地理信息系统高级人才 6 万人。

从科学建设的角度着眼，无论是国家和社会的重大需求，还是人才培养、技术系统的开发、理论基础的研究，都需要一套能够反映当今国家数字化状况的丛书出版。北京大学的承继成、方裕教授等登高一呼，发起编写“数字中国丛书”，立刻得到了社会各界的积极响应，他们尽心尽力的奉献精神和协作攻关的团队精神，我是十分钦佩的。

丛书的形式能够为读者提供比较系统、全面的知识。早在清朝乾隆年间编辑的国家级《四库全书》举世瞩目，叹为观止；近代商务印书馆王云五主编的《大学丛书》、中华书局编印的中学生《万有文库》，对于我国近代人才的培养，发挥过巨大的历史作用，以这些丛书为范本，自学成才的名家大有人在。但上述丛书都是多学科性的，而《数字中国丛书》的编辑、出版则推陈出新，自成一体，它以数字技术为主体，以中国的信息化与现代化为研究范围，整合数字资源，集成信息系统，以科学理论指导应用实践，以技术系统支持科学研究。执笔者都是该领域工作在第一线的著名学者。该丛书不仅是为我国全面建设小康社会，加速信息化和现代化作出切实的贡献，同时也是为共建、共享“数字地球”作出示范。我衷心祝愿《数字中国丛书》为我国国民经济信息化建设起到一定的推动作用。



中国科学院院士
第三世界科学院院士
国际欧亚科学院院士

前 言

20 世纪末,前美国副总统戈尔提出“数字地球”的概念,受到国际社会的极大关注。“数字地球”是我们星球的虚拟表示,它包含了人类社会在内的所有系统和各种生命形式,并以多维、多尺度、多时相、多层面的信息设施表现出来^[1]。数字地球的外观是一个基于计算机的地球,具有交互式功能,是我们对真实地球认识的虚拟对照体,以及对真实地球及其相关现象统一性的数字化重现与认识。“数字地球”这一概念的提出,既是人们认识世界、改造世界的客观需要,更是知识经济、信息社会发展的必然进程。构筑“数字地球”对于提高人们的生活质量,促进科学技术的进步,实现经济与社会的可持续发展有着十分重要的意义^[2]。数字地球的应用可以划分为全球层、国家层、区域层 3 个层次。全球层是指以整个地球为对象,主要包括全球气候变化、全球植被与土地利用、土地覆盖变化、生物多样性变化、全球海平面及海洋环境变化、全球地形变化及地壳运动监测(地震)以及全球经济发展水平监测与评估等^[3, 4]。国家层是指以一个国家为对象,包括资源、环境、经济、社会、人口的动态监测与分析为研究对象,尤其对于农作物种植面积、长势及估产,洪涝、干旱、火灾、虫害等的监测,交通及经济状况监测等。区域层是指以城市、集镇、农村、社区为对象,包括信息化带动传统产业改造和升级、经济社会发展态势、管理和服务等。目前,数字地球、数字中国、数字城市、数字流域等研究在我国已蓬勃开展,取得了显著的成就。

发达国家在现代化管理(或数字管理)方面的研究和应用起步较早,并已在实际工程和管理中发挥了重要的作用,收到了巨大的效益。例如,美国、加拿大、日本、澳大利亚及西欧发达的国家在自然资源管理、河流(流域)现代化管理等方面,逐步实施了现代化管理,为现代河流管理提供了宝贵的经验。

数字流域是应用遥感(RS)、数据收集系统(DCS)、全球导航定位系统(GNSS)、地理信息系统(GIS)、计算机网络和多媒体技术、现代通信等高科技手段,对河流(流域)资源、环境、社会和经济等各个复杂系统的数字化、数字整合、仿真等信息集成的应用系统,并在可视化的条件下提供决策支持和服务。

本书深入分析讨论了中国数字流域基本概念、框架和业务应用系统,探讨了数字流域涉及的关键技术,对部分成功的案例进行了剖析。本书的特点是,跟踪数字流域最新理论与技术发展,理论和实践相结合,多视点探讨数字流域开发技术与实现。

本书共分 9 章和附录。第 1 章简述数字流域的基本概念和演化,以及数字流域与水利信息化之间的关系,数字流域国内外发展现状,数字流域的建设目标等内容,由李纪人、朱强执笔。第 2 章讨论数字流域基本框架、结构组成和保障体系等,由魏加华、潘世兵执笔。第 3 章讨论数字流域基础设施建设内容,涉及信息采集处理、通信和计算机网络、数据存储与管理信息系统以及信息安全体系建设等内容,由潘世兵、魏加华执笔。第 4 章讨论专业应用服务平台建设,涉及平台建设目标任务、平台结构、应用服务中间件、

模型库及其管理系统以及资源服务管理等内容，由魏加华、潘世兵执笔。第 5 章重点讨论数字流域专业应用与决策支持，涉及数字防汛抗旱、数字水资源调度与管理、数字水环境管理、数字水土保持、数字水利工程建设管理等内容，由丁志雄、李纪人执笔。第 6 章讨论数字流域关键技术，包括信息采集自动化技术、数据仓库与数据挖掘技术、计算机网络通信技术、“3S”及其集成技术、三维可视化与虚拟仿真技术等，由张建立、李纪人和潘世兵执笔，其中部分内容引自《当代水利科技前沿》^[189]第十三章（该章由李纪人和潘世兵撰写）。第 7 章讨论流域模拟模型技术，涉及数字高程与河网提取模型、流域水文和水力学模型、水量调度模型、水环境模拟模型、水土侵蚀、泥沙模型、流域模型的检验和比较以及协调大尺度跨学科集成模拟技术等内容，由张建立、魏加华、李纪人、潘世兵和丁志雄执笔。第 8 章介绍数字流域常用的专业软件，由张建立、魏加华和李纪人执笔。第 9 章介绍数字流域应用的几个典型成功案例，由李纪人、丁志雄和潘世兵执笔，其中 9.3 节、9.4 节分别由王忠静、蒋云钟编写。附录由张建立整理、编写。全书由李纪人统稿。

本书是北京大学数字中国研究院组织编写的《数字中国丛书》之一，院长童庆禧院士、副院长陈秀万教授和多位院学术委员会委员在本书的编写和出版过程中给予了诸多指导、督促和建议，特此致以衷心的感谢！

数字流域是近几年提出和迅速发展的，但其理论和在我国的实践还处于探索阶段，本书涉及内容浩瀚，由于编者水平有限，错误在所难免，敬请读者见谅和不吝赐教。

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 数字流域的基本概念和内涵	(1)
1.2 水利信息化和数字流域建设的重要性	(2)
1.3 我国水利信息化和数字流域建设发展现状	(3)
1.4 国外数字流域技术发展概况	(5)
1.5 国外数字流域管理典型案例简介	(6)
1.5.1 美国田纳西河——流域管理	(6)
1.5.2 尼罗河——水资源开发	(9)
1.5.3 多瑙河——跨国管理	(12)
1.5.4 茵科马蒂河	(14)
1.6 数字流域建设的目标	(16)
1.7 数字流域发展基础与展望	(16)
第 2 章 数字流域框架	(20)
2.1 数字流域总体框架	(20)
2.1.1 数字流域的框架结构	(20)
2.1.2 结构组成	(21)
2.2 数字流域基础设施平台概述	(23)
2.3 专业应用服务平台概述	(24)
2.4 数字流域专业应用与决策平台概述	(24)
2.5 数字流域保障体系	(25)
2.5.1 数字流域标准体系	(25)
2.5.2 数字流域安全体系	(30)
第 3 章 数字流域基础设施	(32)
3.1 信息采集处理	(32)
3.2 通信和计算机网络	(32)
3.2.1 信息骨干网建设	(33)
3.2.2 部门网建设	(33)
3.2.3 信息网络中心建设	(34)
3.3 数据存储与管理系统	(35)
3.3.1 数据中心和数据分中心	(35)
3.3.2 数据库建设	(36)
3.4 信息安全体系建设	(41)

第 4 章 专业应用服务平台	(43)
4.1 专业应用服务平台的目标和任务	(43)
4.2 专业应用服务平台结构	(44)
4.3 应用服务中间件	(45)
4.4 模型库及其管理系统	(47)
4.4.1 数字流域模型体系	(47)
4.4.2 模型库及其管理系统建设	(48)
4.5 资源服务管理	(54)
第 5 章 数字流域专业应用与综合决策	(56)
5.1 概述	(56)
5.2 数字流域防汛指挥调度	(58)
5.2.1 基于数字流域防洪体系的特点	(59)
5.2.2 实现流域防洪信息化和智能化	(60)
5.2.3 流域防汛指挥调度决策支持系统	(60)
5.3 数字流域抗旱管理	(63)
5.3.1 流域旱情信息的数字化采集	(63)
5.3.2 旱情评估	(64)
5.3.3 旱情监测信息系统	(65)
5.4 数字流域水资源调度管理	(66)
5.5 数字流域水环境保护	(70)
5.5.1 水污染监测	(70)
5.5.2 水环境影响评价	(72)
5.5.3 流域水环境管理系统	(73)
5.6 数字流域水土保持	(74)
5.7 数字流域水利工程运行管理	(77)
第 6 章 数字流域中的关键技术	(81)
6.1 信息采集自动化技术	(81)
6.2 信息传输技术	(84)
6.2.1 信息传输方式	(84)
6.2.2 常用的信息传输技术	(87)
6.3 数据仓库技术	(87)
6.3.1 多元空间数据融合技术	(88)
6.3.2 空间数据挖掘技术	(88)
6.3.3 并行和分布式处理技术	(89)
6.4 “3S” 及其集成技术	(90)
6.4.1 遥感技术	(90)
6.4.2 地理信息系统技术	(95)
6.4.3 全球导航定位系统技术	(99)

6.4.4	“3S”集成技术	(101)
6.5	虚拟现实-地理信息系统 (VR-GIS) 技术	(102)
6.5.1	VR-GIS 关键技术	(103)
6.5.2	VR-GIS 实现模块简介	(105)
6.6	计算机软件新技术	(108)
6.6.1	workflow 技术	(108)
6.6.2	中间件技术	(109)
6.6.3	门户技术	(110)
6.6.4	网格 GIS 技术	(111)
第 7 章	数字流域中的流域模拟模型技术	(115)
7.1	数字高程模型与数字河网提取模型	(115)
7.1.1	数字高程模型	(115)
7.1.2	数字河网提取模型	(117)
7.2	流域水文模拟模型	(120)
7.2.1	概念性水文模型	(122)
7.2.2	物理性水文模型	(126)
7.2.3	地下水模拟模型	(131)
7.3	水力学模型	(133)
7.3.1	一维水力学模型	(133)
7.3.2	二维水力学模型	(134)
7.3.3	MIKE 11 HD/SO	(135)
7.3.4	气象-水文-水力学耦合模拟模型	(135)
7.4	流域水量优化调度模型	(136)
7.4.1	流域水量模型框架	(137)
7.4.2	自适应控制轨迹跟踪调度法	(138)
7.4.3	优化调度	(145)
7.4.4	应急调度	(146)
7.5	水环境模拟模型	(146)
7.5.1	水环境模拟模型的发展历史	(147)
7.5.2	水环境模拟模型的分类	(148)
7.5.3	常用水环境模拟模型	(149)
7.6	水土侵蚀和泥沙模型	(150)
7.6.1	水土侵蚀模型	(150)
7.6.2	泥沙模型	(153)
7.7	协调大尺度和跨学科模型集成技术	(155)
7.7.1	建模环境	(156)
7.7.2	流域集成建模方法	(157)
7.7.3	流域集成建模步骤	(159)

7.8	流域模型的检验与比较	(159)
7.8.1	模型结构的检验	(159)
7.8.2	WMO (世界气象组织) 关于世界性水文模型对比检验概况	(161)
第 8 章	数字流域常用专业软件介绍	(164)
8.1	流域模拟软件	(164)
8.1.1	MIKE 系列	(164)
8.1.2	WMS/SMS/GMS 系列	(168)
8.1.3	HEC-RAS/ HEC-HMS 系列	(170)
8.1.4	InforWorks RS/FloodWorks	(174)
8.1.5	常用水质模型软件	(179)
8.2	流域特征信息提取的工具软件	(182)
8.2.1	Arc Hydro	(182)
8.2.2	River Tool (IDL)	(185)
8.3	流域三维仿真分析软件	(187)
8.3.1	Skyline TerraSuite	(187)
8.3.2	VR MAP	(190)
第 9 章	中国数字流域典型应用案例	(193)
9.1	数字黄河概况	(193)
9.1.1	“数字黄河”的业务应用	(193)
9.1.2	“数字黄河”的关键支撑技术	(194)
9.1.3	“数字黄河”的核心模型技术	(196)
9.1.4	“数字黄河”工程建设总体框架	(197)
9.2	数字长江概况	(205)
9.2.1	“数字长江”的特点	(205)
9.2.2	“数字长江”两大关键技术	(205)
9.2.3	“数字长江”的两大应用问题	(206)
9.2.4	“数字长江”建设的总体布局	(207)
9.3	基于分布式水文模型的海河流域水资源量演化分析	(208)
9.3.1	分布式水文模型原理	(209)
9.3.2	海河北系潮白河山区三级流域水资源变化趋势分析	(212)
9.3.3	海河流域水资源量集总分析	(215)
9.4	黑河流域水资源调配管理信息系统	(217)
9.4.1	系统总体结构	(218)
9.4.2	功能设计	(221)
9.4.3	水资源调配流程分析	(224)
9.4.4	三维虚拟仿真	(227)
9.4.5	水循环模拟	(228)
9.4.6	水资源调配	(232)

9.4.7 水资源调配评价..... (232)

9.5 松花江洪水管理系统..... (233)

9.5.1 流域和洪涝灾害概况..... (233)

9.5.2 松花江洪水管理中存在的问题..... (235)

9.5.3 松花江洪水特点和洪水管理中的难点及对策..... (235)

9.5.4 系统总体结构..... (238)

9.5.5 系统功能..... (240)

9.6 三维电子江河系统简介..... (242)

附录 A 数字流域术语..... (244)

附录 B 缩略语..... (253)

参考文献..... (259)

第1章 概 论

1.1 数字流域的基本概念和内涵

随着数字地球概念的提出和国内信息化的发展,水利界和相关领域的专家们也纷纷提出了数字流域的概念。流域是以水系划分的地理区域,在地理上属区域层面。在此层面上,数字区域、数字城市等似乎都应包揽在内。但它在领域中又属于专业层面,尤其是水利专业的层面,目前在流域管理层面上也只有水利部派出的各个流域水利委员会。此外,由于“流域”一词对一般人员来说比河流抽象,数字流域不像数字河流那样单纯,它所涉及的不仅仅是河流本身,而是流域面上的方方面面,尤其是社会、经济和环境等方面,与水利以外的领域有很多交叉与重叠。另外,水利工作者的关注点又往往在流域内具体的水利问题上,在考虑时容易向“数字水利”偏。数字水利是数字流域在水利中的应用体系,包括水利的各种专业应用,因此又有数字水文、数字水资源、数字防洪、数字水文、数字水环境、数字水库防洪调度、数字灌区管理、数字城市水务管理、数字水土保持等。数字流域并不等于以水系划分的区域上的数字水利,当然也不是以水系划分的区域上的数字区域。因此,“数字流域”至今还没有公认的和统一的学术定义,其基本概念和内涵尚无定论,不像其他信息化名词那样明确。但是,“流域作为一个具有明确边界的地理单元,它以水为纽带,将上、中、下游组成一个普遍具有因果联系的复合生态系统,是实现资源和环境管理的最佳单元。”因此,“数字流域”有明显的特点和重要性,专业性也比较强,决非数字区域之类可以取而代之的。

2001年初,全国水利厅局长会议在涉及海河数字化流域的建设时,提出了“数字流域”是按空间位置组织和管理所有流域内的水信息以及与水相关的经济社会发展的信息,并能在计算机网络中真实再现的信息系统。有的学者认为:“数字流域是数字地球的一个重要区域层次,它的开发和研究是实施数字地球的一个很好的试验场所和切入点。”也有的学者理解为:“数字流域”是实现流域的智能管理和开发,对真实流域及其相关的信息进行数字化重现与分析。数字流域的主要信息系统包括地质地理、水文气象、自然资源、生态环境、旅游景点、商业交通、社会经济、文化民俗等,是对真实流域及其现象的统一的数字化的认识,是以因特网为基础,以空间数据为使用依托,以虚拟现实技术为表现手段,具有三维界面和多种分辨率浏览器的系统。

我们认为,“数字流域”可以理解为实体流域在数字虚拟环境下的表达与再现,它以空间坐标为框架,以空间信息技术为主要手段,是流域信息资源采集整合、管理更新、共享服务和开发利用的支撑平台。

数字流域可以高度概括地定义为:流域信息基础设施及其应用。

在此,信息基础设施的内容非常广泛,可以充分地囊括空间信息和非空间信息,信

息的采集、传输、管理、表达、再现、整合、集成、服务，也包括平台、软件、硬件和网络系统。而信息基础设施的应用则是数字流域的不可或缺的又一个重要方面。

无疑，数字流域是“数字地球”和“数字中国”的组成部分，是它们在流域尺度上的实践。从实际需求出发，它是信息技术支持层和信息应用服务层构成的纵横交错的二维经纬结构，两者缺一不可。其关键词有信息、技术（信息、专业）、服务和应用。之所以这样定义，是考虑到它既有数字区域的特点，又有专业的特点。因此，仅有信息、服务以及信息技术层面是不够的，必须有专业技术和专业应用层面。

数字流域的有关术语详见附录 A。

1.2 水利信息化和数字流域建设的重要性

流域是以水系划分的区域。数字流域是数字中国的组成部分，当然也是信息化和水利信息化的组成部分，是水利信息化的基础。作为水利信息化的一个重要组成部分，数字流域的提出相对较晚。数字流域建设尚处于探索阶段，理论体系尚未建立，但水利信息化的基础设施建设和作为数字流域在水利中应用体系的数字水利或数字河流则有较快的发展。

所谓信息化，就是国民经济各部门和社会活动各领域普遍应用先进的信息技术，从而大大提高社会劳动率和工作效率，大大改善人民的物质和文化生活质量的过程。信息化水平已成为衡量现代化水平和综合国力的重要标志。党的十五届五中全会《关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议》中指出，信息化是当今世界经济和社会发展的趋势，也是我国产业优化升级和实现工业化、现代化的关键环节，要把推进国民经济和社会信息化放在优先位置。水是基础性的自然资源和战略性的经济资源，水利是国民经济的重要基础设施，是实现社会经济可持续发展的重要物质基础。水利事业发展和水资源的可持续利用直接关系到国家全面建设小康社会目标的实现。国民经济的现代化建设离不开水利现代化的保障，而水利信息化是水利现代化的基本标志和重要内容。水利信息化是国家信息化建设的重要组成部分，也是水利事业自身发展的迫切需要^[6]。

人类已步入 21 世纪，水利事业面临新形势、新任务，肩负重大的历史责任。洪涝灾害、干旱缺水、水环境污染三大水问题已经严重制约着国民经济和社会发展。要解决好 21 世纪水的问题，就必须调整治水思路，转变治水方针，从工程水利向资源水利转变，从传统水利向现代水利、可持续发展水利转变。在这个历史转变过程中，要把水利信息化放在优先的位置^[14-15]。所谓水利信息化，就是在水利全行业普遍应用现代通信、计算机网络等先进的信息技术，充分开发应用与水有关的信息资源，直接为防洪、抗旱、减灾，水资源的开发、利用、配置、节约、保护等综合管理，以及水环境保护、治理等决策服务，提高水及水工程的科学管理水平。

流域是一个整体，上、中、下游，河道和汇水区，自然和社会经济，资源和环境都有密不可分的关系。流域管理必须是全流域的统一和综合管理，切不可头痛医头，脚痛医脚。因此，数字流域是我国流域管理的发展方向，是流域现代化管理的重要技术手段。

1.3 我国水利信息化和数字流域建设发展现状

1. 水利信息化建设成果

我国水利信息化工作于“七五”期间起步，经过二十多年的发展，至今已取得了如下一些成果：

(1) 制定了全国水利信息化规划（金水工程规划）。

(2) 在信息采集与工程监控方面，全国水利系统已有 50%雨量监测数据和近 50%的水位监测数据的采集实现了数字化长期自动记录，部分重要水利工程实现了自动监控和远程监控。航空航天遥感、GIS 和 GNSS 等高新技术在部分业务中已得到越来越广泛的应用。

(3) 2000 年已全部实现了全国水雨情信息网络化传输，大大地提高了防汛信息的时效性，在近年的防汛抗旱工作中发挥了突出的作用。

(4) 在信息处理方面，流域水资源预报调度等复杂运算工作已能在计算机上实现，GIS 技术在数据分析与表达方面也有了深层次的应用，各种新技术、新方法的引入迅速，个别应用软件系统还达到了国际先进水平。

(5) 开始部分实行远程文件传输、公文管理和档案管理，办公自动化的水平逐步提高，全面提高了办公效率和管理水平。

(6) 在全国范围内初步建成了“国家水文数据库”，全国 80%以上的历史水文整编资料已经入库，初步能够对外提供查询服务；国家级水利政策法规数据库初步建成，也已向社会公众提供服务；研究开发了一批信息服务及洪水预报调度等软件系统。

(7) 完成了一些规范和标准的制定。

(8) 启动了一些水利信息化专项工程，如金水工程，国家防汛抗旱指挥系统一期工程，全国水土保持监测网络与信息系统，水利部和七大流域的水利电子政务系统，水资源实时监控系统等；也启动了信息化配套项目，如塔河、黑河流域水资源综合规划与生态环境保护工程，长江干堤加固，治太，治淮，首都水资源保护等。

(9) 启动和规划了以“数字黄河”为代表的一批数字河流，如数字海河、数字黑河等的建设。

(10) 成立了北京大学数字中国研究院（Institute of Digital China, IDC）数字流域研究中心（Digital Basin Center, DBC）。IDC 数字流域研究中心是在水利部主管部门和北京大学数字中国研究院的领导下，以国家中长期发展规划为指导，紧密结合水利信息化的需要，汇集相关领域一流高校、科研院所以及资深企业的人才、技术和成果等优势成立的立足于国家战略层面的数字流域研究机构。这标志我国“数字流域”的建设与发展有了技术研发的基地，为“数字流域”可持续发展提供了基础平台。

2. 水利信息化建设存在问题

我国的水利信息化工作尚存在以下问题：

(1) 信息资源不足：除了初步建成的“国家水文数据库”等一些基础数据库以外，从整体上看，信息采集系统不健全、不配套，直接通过数字化手段进行采集的信息要素类型较少，时间、空间、类型、采集频度与精度与水利各项工作的整体需求不相适应，数字化的信息量占信息总量的比例严重偏低。涉及减灾决策、水资源优化配置和水利建设管理等众多急需的相关基础信息资源建设还极不完善，尤其是地下水、水质和墒情监测站网的完整性和代表性较差。服务于多层次业务需求的多尺度空间数据、社会经济状况、水资源配置、工程规划设计和已建工程等专业数据库的建设尚未全面启动。

(2) 标准规范滞后、不配套、修改频繁，在很大程度上拖了信息化建设的后腿。

(3) 信息共享困难：由于水利信息化还处于起步阶段，各种信息基础设施与共享体制不健全、机制不配套，导致信息利用率低，社会化服务与产业化程度较低，造成了“数据饥渴”和“数据闲置”并存的奇怪现象。主要表现在：服务目标单一，导致条块分割；标准规范不全，形成数字鸿沟；共享机制缺乏，产生信息壁垒；基础设施不足，阻碍信息交流。由于存在“多头管水”等体制问题，跨部门信息共享难度更大。

(4) 信息采集和更新的技术相对落后，以空间信息技术为主的高新技术应用和普及水平有待提高。遥感技术向定量化、动态化、网络化、实用化和产业化方向发展，不同空间分辨率和高光谱等多源遥感信息的综合应用为资源环境监测提供了有力的技术支撑，但水资源水环境遥感监测中多源遥感信息的综合应用，以及实用化、业务化研究等方面尚需进一步加强，例如基于遥感的水体自动识别和快速提取技术、旱情遥感监测定量评估、水质遥感监测模型和生态环境遥感评估模型等方面的研究亟待加强。

(5) 决策支持系统尚待完善。目前，在各流域机构陆续研究开发了若干水资源管理和决策支持应用系统。但是，由于模型与数据库相对独立，未能有效集成和紧密结合，模型参数不能及时得到更新，导致模型系统运用效率和精度不高。模型应用系统之间集成度低，难以实现流域范围内水量、水质联合调度以及多水源多目标管理和规划。信息资源利用的深度和广度不够，缺少基于信息资源的综合分析和决策支持系统。

(6) 建设管理体制不健全，投资渠道不畅，重建轻管，数据维护和更新以及系统运行经费没有保障，维护的人员不落实。随着各类系统的建设越来越多，这些问题日益严重。

(7) 既懂水利又懂信息技术(IT)的专业技术人员严重缺乏。

这些问题的存在使已经形成的信息处理能力难以充分发挥，还不能满足水利现代化的要求。

国内数字流域发展的一些范例将在第9章中做比较详细的介绍。