

G U O J I S H U I Z I Y U A N Y I C O N G

国 际 水 资 源 译 丛

S H U I L I G I S : S H U I Z I Y U A N

D I L I X I N X I X I T O N G

水利GIS
——水资源
地理信息系统



[美] David R. Maidment 著

刘之平 丁志雄 白音包力皋 路京选 等译

叶梓川 胡亚林 校



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国 际 水 资 源 译 丛



[美] David R. Maidment 著

刘之平 丁志雄 白音包力皋 路京选 等 译
叶梓川 胡亚林 校



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是国际水资源译丛之一，是由国际著名水文学家 David R. Maidment 主编的一部 GIS 水利应用的工具书，它还是一部详细介绍 GIS 水利应用模块的设计、开发、建模以及应用等有关内容的书籍。全书共分 9 章，主要对 GIS 水利应用的基本情况、Arc Hydro 的框架设计、水文网络搭建、汇流系统提取、河道要素描述、水文地理要素集成、时间序列应用、水文建模、Arc Hydro 应用实现等方面进行论述。

本书可供广大水文、水利、地理、环境、农林牧业等有关专业技术人员、高等院校有关师生及研究人员使用和参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

水利 GIS : 水资源地理信息系统 / (美) 梅德门特著 ; 刘之平等译. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2013. 4

(国际水资源译丛)

书名原文: Arc hydro GIS for water resources

ISBN 978-7-5170-0770-8

I. ①水… II. ①梅… ②刘… III. ①地理信息系统—应用—水资源管理—研究 IV. ①TV213. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 074636 号

书 名	国际水资源译丛 水利 GIS——水资源地理信息系统
作 者	[美] David R. Maidment 著 刘之平 丁志雄 白音包力皋 路京选 等 译 叶梓川 胡亚林 校
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京华联印刷有限公司
规 格	140mm×203mm 32 开本 7.25 印张 195 千字
版 次	2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

主编简介



本书的主编 David R. Maidment 博士，自 1981 年以来一直是美国得克萨斯 (Texas) 大学奥斯汀 (Austin) 分校的教授，他是 McGraw - Hill 出版公司出版的《应用水文学》的主要作者之一，也是《水文》 (Journal of Hydrology) 杂志的编辑。Maidment 先生在新西兰 Canterbury 大学 (位于 Christchurch) 获得农业工程专业学士学位，在美国伊利诺伊 (Illinois) 大学 (位于 Urbana - Champaign) 获得土木工程专业的硕士和博士学位。他在得克萨斯 (Texas) 大学奥斯汀 (Austin) 分校教授研究生课程，并从事地表水文学、水文统计方法、地理信息系统在水文中的应用等方面的研究。在 1992 年主编出版了《水文学手册》 (Handbook of Hydrology) 一书，本书在 2002 年由我国张建云、李纪生等人翻译出版，为我国的水文应用提供了重要的技术参考。

译者序



GIS 技术作为信息的管理、存储、处理和分析工具，为地球信息科学等领域的研究提供了有力的技术手段。随着 GIS 技术日新月异的快速发展，对信息的管理、处理分析能力越来越强，在经济和社会的各个领域有着广泛的应用前景。我国的 GIS 技术起步较晚，技术相对滞后，相关行业应用的程度还不够深入，水利行业的应用更是停滞在基础数据的处理分析和信息系统的开发这个阶段，而真正深入模型相结合的研究开发还处于探索阶段。相反国外在这方面已经很成熟。以 ArcGIS 为代表，研究开发了 Arc Hydro 水利 GIS 应用模块。为使我国学者和工程技术人员对该水利 GIS 深入开发研究的国际发展动态有一个全面的了解，中国水利水电科学研究院组织相关技术人员翻译了《水利 GIS——水资源地理信息系统》一书，藉以此使我国的 GIS 水利应用有一个更大的发展，以促进传统水利向现代水利的快速转变。该书从为什么要研究开发 Arc Hydro，到 Arc Hydro 框架的建立、水文网络、汇流系统、河道、水文地理要素、时间序列、水文建模以及 Arc Hydro 的使用等，详细阐述了 Arc Hydro 研究开发的各个方面。该书还以翔实的图表、数据以及美国国家水信息系统、美国国家数字高程模型、美国国家水文地理要素数据集、全球水流域数据集等为基础，从水文要素的表示、提取、分析计算、建模等各个方面论证了 Arc Hydro 的有效性和实用性。

该书原著的主编是国际著名水文学家 David R. Maidment 博

士，并有多所大学、政府研究机构以及公司企业等相关领域的知名专家参与编写，是 GIS 在水利领域应用以及研究开发等方面不可多得的参考资料，希望该书能够以快速有效的方式将 GIS 水利应用技术的最新信息传达给广大的研究学者和爱好者。

该书在水利部 2010 年引进出版基金资助下，由刘之平总体策划指导，丁志雄负责书稿的翻译及整理工作。参与该书初步翻译工作的还有：白音包力皋译第 3 章水文网络；程先云、高静译第 4 章汇流系统；王秀英、陈康宁译第 5 章河道；路京选、郭晓晨译第 6 章水文地理要素；赵妍、柴福鑫、赵进勇译第 7 章时间序列；庞治国、耿庆斋译第 9 章 Arc Hydro 的实现。叶梓川、胡亚林对本书译文进行了校核。

需要指出的是，本书原著计量单位多采用英制单位 [如 in (英寸)、ft (英尺) 等]，且与国际单位特别是与我国国标计量单位的使用和表示方法有出入，为了保持原著特点和面貌，翻译时仍保留原著计量单位的使用和表示方法。读者在阅读时，请予注意。此外，“参考文献”系按原著著录的。

另外，在本书的翻译过程中还得到了朱星明教授、李纪人教授、阮本清教授、黄诗峰教授、陈子丹教授等人的热心帮助和指导，在此深表感谢。同时，本书能够顺利出版，也要感谢中国水利水电出版社林京等人为本书所做的努力以及 ESRI 中国为本书的翻译出版所做的工作。

由于译者水平有限，译文中难免有错漏和不足之处，敬请读者批评指正。

译者

2012 年 10 月

致谢



在这里，我要对从事 GIS 和水资源研究的多个部门的紧密合作与大力支持深表感谢。这些部门都为“水利 GIS”的开发指明了方向，他们是：ESRI 公司、美国环境保护署、美国地质调查局、美国陆军工程师兵团、得克萨斯自然资源保护委员会、得克萨斯水发展部、得克萨斯运输部、科罗拉多河下游管理局、得克萨斯奥斯汀市、多德森及联营公司、德莱赛与麦基集团、DHI 水与环境部等。

还有许多机构为本书提供了很多重要信息和建议，这里要特别感谢的是：美国地质调查局和环境保护局（USGS and EPA）的国家水文地理数据集的贡献，他们开发的美国水文地理数据模型是本书非常重要的指导；在南达科他州苏福尔斯的美国地质调查局地球资源观测卫星数据中心（U. S. Geological Survey's E-ROS Data Center）的地形科学计划一直都是开展陆地水文地形建模的重要指导；美国陆军工程师兵团水文工程中心（Hydrologic Engineering Center of the U. S. Army Corps of Engineers）开展了水文水力学 GIS 工具的建模方法；美国环境保护局的流域管理（Basins）研究组建立了第一个全面的水文信息系统——水质数据和模拟系统；DHI 的水与环境部是开发地理空间水文模拟的先驱。

在设计 Arc Hydro 的过程中给出了有关建议的机构主要有：Black & Veatch、Brown and Caldwell、CH2M Hill、科罗拉多州的斯普林斯公用事业局（Colorado Springs Utilities）、丹佛水

务局 (Denver Water Board)、地球工程公司 (Earth Tech Inc.)、EMA 公司 (EMA Inc.)、Haestad Methods 公司、地平线系统公司 (Horizon Systems Corporation)、约翰逊县 (Johnson County)、堪萨斯州 (Kansas)、MJ Harden Associates、纽约环境保护部 (New York Department of Environmental Protection)、公共广播公司 (PBS & J)、阿拉巴马州暴雨水管理局 (Storm Water Management Authority, Alabama)、塔兰特区域水区 (Tarrant Regional Water District)、Tetra Tech 公司、UMCES/切萨皮克湾的计划 (UMCES/Chesapeake Bay Program)、美国马里兰大学 (University of Maryland)、市区重建策略顾问公司 (URS Consultants)、美国陆军工程师研究与发展中心 (U. S. Army Engineer Research and Development Center)、美国林务局 (U. S. Forest Service), 以及威斯康星州自然资源部 (Wisconsin Department of Natural Resources) 等。

得克萨斯大学奥斯汀分校水资源研究中心许多正在开展的有关 GIS 与水资源研究项目的最新研究成果也应用在了 Arc Hydro 中。研究中心一些研究生也对本书的编写给予了大力支持, 主要有: Kim Davis、Eric De Jonge、Kevin Donnelly、Jordan Furnans、Jon Goodall、Venkatesh Merwade、Katherine Osborne、Oscar Robayo、Victoria Samuels、Kristina Schneider、Sarah Stone 以及 Tim Whiteaker 等。特别还要感谢得克萨斯 A&M 大学的 Francisco Olivera, 也对本书的编写给予了支持。另外, 本书的第 5 章由 ESRI 的 Nawajish Nornan 和杨百翰大学的 Jim Nelson 等人编写。

ESRI 软件设计师指导了 Arc Hydro 的开发工作, 尤其是 ESRI 的 David Arctur、Dean Djokic、Steve Grise、Dale Honeycutt 以及 Scott Morehouse 参加了这项工作, 还有 Jack Dangermond 推动了水资源 GIS 团队的形成。ESRI 水资源研究中心的 Dean Djokic、Zichuan Ye、Christine Dartiguenave、Sreeresh Sreedhar、Amit Sinha 以及 Tim Whiteaker 等人开发了 Arc

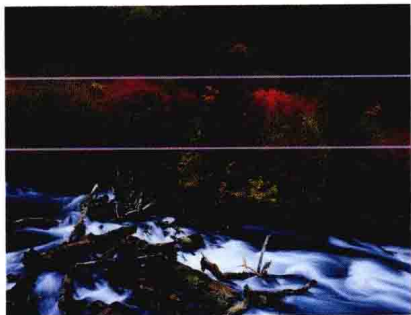
Hydro 软件工具，Lori Armstrong 给予了支持（他也是重要的参与者）。Mike Zeiler 绘制了精美的软件图表。Claudia Naber、Savitri Brant, Edith Punt 和 Tiffany Wilkerson 也为本书的出版做了许多工作。

我非常荣幸能够领导 Arc Hydro 的设计与开发工作，希望这本书能够为大家带来灵感并从中受益。

David R. Maidment

得克萨斯大学奥斯汀分校水资源研究中心

2002 年 5 月 22 日



写一本通用的地理数据模型的书是一件很冒险的事，为了发现并描述“最好的模型”，设计者需要深入了解数据库设计、UML、理论地理以及面向对象等陌生的专业，同时，设计者必须具备对有关内容的深刻理解、敏锐直觉和把工作做好的顽强信念。

设计者需要避开两大麻烦：沙漠的不毛之地（河流是蓝色曲线）和泥泞而又错综复杂的沼泽地（关于泉的意思——如果喷气孔就是热水源，那么这就是一种泉）。设计者在整个过程中需要博学强记、精益求精。数据模型的设计就是要让每个人都能理解，并能自由地传达建议。你不必像一名火箭科学家一样自信地谈论火箭的有关理论或绘制土星五号助推器的UML图等。在信息建模的专业行话中，可能有看似令人信服精确的建议：“由于河流对象有左岸和右岸对象相关联，岛屿对象一定也有左、右、上游以及下游的堤岸对象等”。但通常这样的建议是没有用的。

开发一个数据模型的工作不是一个单独的活动。就其性质而言，数据模型的设计涉及的人员，包括设计团队成员，以及模型的潜在用户。这可能会导致在设计过程中会有相互妥协的地方，这就是设计委员会“模式”的缺点。开发一个成功的工作模式是一种创造性的活动，就像制作电影或设计汽车。如果要取得成功，设计开发的队长应当是负责任和聪明的领导者，而不是简单的进程协调人（一个极端）或设计独断者（另一个极端）。

在本书中，David R. Maidment 博士等人论述了对水文及水

文地理（众所周知的“地图上蓝色的东西”）数据模型成功设计和探索的结果。作为一个有用的数据模型，其本身就让人产生兴趣。作为“好的 GIS 数据模型设计”的模板或例子也是非常有意义的。我见证了这项工作自发起以来的整个过程。我深信这项工作的成功有两个相辅相成的原因。

首先，设计者一直很清楚的是建立水文数据模型是要能够做一些事情的，而不仅仅是知识的表达。该模型在设计过程中，就不断地进行测试是否能够支持由数据生成信息产品。具体来说，就是该模型需要能够直接支持制图和水资源应用。其核心的思想是“在 GIS 中定义一个简单的模型作为基本水文图层，同时，为水资源应用服务。”该模型设计过程中针对实际应用需求得到不断的验证。依靠这些功能方面的准则，使得设计者能够避免像对地貌描述中的沼泽地一样的问题（试图区分间歇流、洼地、池塘与水库等的含义），在考虑制图和水资源建模的功能要求方面，这样的区分不是很重要。事实上，该模型只定义了两种网络线对象，水流线对象和海岸线对象，这两种对象可以带有其他方面的描述属性，但这不是模型所要定义的核心。

其次，该模型成功的第二个基础是创建模型的过程。David R. Maidment 博士一直很开放，通过开讨论会，用户和开发人员组成联合体，以及共享文件草稿和软件等方式，使广泛的各方都能参与模型的设计和审定。他一直在工作中与许多不同的人 and 观点无私地分享信用和创建一个智力群体。并且，他很明确地负起了责任，确保设计知识的完整及其有效使用。

非常高兴能够与这项工作有关，我认为，这项设计不仅能服务于 GIS 用户的水文群体（令人惊讶的多样性和实用性），而且也是一个具有代表性的优秀的 GIS 数据模型设计。

Scott Morehouse

加利福尼亚州，雷德兰兹市

2002 年 5 月 22 日



主编简介

译者序

致谢

前言

1 概论	1
1.1 日常生活与水	2
1.2 GIS 的水利应用	6
1.3 Arc Hydro 与 ArcGIS 关系	8
1.4 水文信息系统	10
1.5 本书主要内容	13
2 Arc Hydro 基本框架	15
2.1 水文系统	16
2.2 构建地理数据模型	17
2.3 Arc Hydro 设计中的三个关键因素	21
2.4 地理数据库与 ArcObjects	25
2.5 Arc Hydro 要素	27
2.6 Arc Hydro 框架	30
2.7 Arc Hydro 数据模型组件	33
3 水文网络	37
3.1 水流网络	38

3.2	水文网络	39
3.3	水流方向	41
3.4	连接水文要素与水文结点	44
3.5	水文追踪	46
3.6	河流地址	50
3.7	水文事件	53
3.8	瓜达卢佩 (Guadalupe) 流域的水文网络	54
3.9	数据结构	57
4	汇流系统	61
4.1	地表汇流	62
4.2	汇流区域	66
4.3	信息资源	70
4.4	基于数字高程模型的汇流区分析	73
4.5	子流域划分	80
4.6	子流域分析	86
4.7	数据结构	89
5	河道	93
5.1	了解河流	94
5.2	数字地形模型	99
5.3	TIN 的要素	102
5.4	河流、河槽及断面	103
5.5	Arc Hydro 中的河道信息表示	105
5.6	追溯河道信息	111
5.7	创建断面地理数据库	113
5.8	断面的其他数据源	120
5.9	河流生态的 Arc Hydro 应用	121
5.10	数据结构	123
6	水文地理要素	125
6.1	水文地理要素的表达	126

6.2	美国国家及地区级的数据集	128
6.3	水文点要素	136
6.4	水文线要素	139
6.5	水文面要素	140
6.6	水文响应单元要素	141
6.7	数据结构	145
7	时间序列	151
7.1	时间序列的数据来源	152
7.2	水文和 GIS 中的时间序列	156
7.3	Arc Hydro 中的时间序列	157
7.4	Arc Hydro 时间序列的应用	168
7.5	数据结构	176
8	水文建模	179
8.1	水文建模与 GIS 集成	180
8.2	水文建模接口	183
8.3	用 Arc Hydro 数据进行水文建模	185
9	Arc Hydro 的实现	191
9.1	一个简单的 Arc Hydro 实现	192
9.2	使用 CASE 工具和 UML 统一建模语言	198
	词汇表	204
	参考文献	215



概论^{*}

水是人类生活的基础，自然环境的组成部分。正是水资源的范围和规模使得地理信息系统（GIS）成为一个强大的应用开发工具的关键，ESRI 的 ArcGIS 软件的出现为水资源数据的 GIS 表现提供了一个更好的方式。Arc Hydro 其实就是一个 ArcGIS 的水资源数据模型，为搭建水文信息系统综合地理空间和水资源数据时间序列进行水文分析和模拟提供了解决途径。

* 本章作者为 David R. Maidment，得克萨斯州立大学奥斯汀分校。

1.1 日常生活与水

居民非常关心的是城市自然水系统，希望能够免遭洪涝灾害，有稳定的供水，还能在河流或湖泊中自由地游泳或垂钓。但是大自然有的时候却很残酷，洪水可以在几个小时之内摧毁一大片家园夺走无数生命。人们往往还会因为水资源的分配而激发矛盾，尤其是在干旱时期，由于没有能够满足生活所需的水而导致严重的冲突。随着人口的增长和经济社会的发展引发的水质下降，导致野生动物的生存环境恶化。在美国得克萨斯州，就存在上述所有的问题，经常性的洪涝和干旱灾害几乎成为了这里的生活方式，得克萨斯州的瓜达卢佩河（Guadalupe）流域将作为示例贯穿于该书，用以介绍 Arc Hydro 数据模型。

1995 年，得克萨斯州秋季的降雨比一般正常年份少，这引发了 1996 年的干旱灾害。在 1996 年经历了头年冬季和当年春季持续的降水稀少后，原本用于滋养种子，蓄满水库的 4 月和 5 月的降雨也没有如期而至，到了 6 月，得克萨斯州南部就成为了干旱的中心，在瓜达卢佩河流域，专家把这里的天气称为是“延长了的干旱魔咒”，灾害涉及了许多方面，水库的储水量和地下蓄水层持续下降，农作物枯萎，家畜死亡。到 1996 年干旱结束时，得克萨斯州的经济损失超过 15 亿美元，此次干旱并不是一个特别的个案，20 世纪 50 年代的大干旱整整持续了 6 年，给当地的居民留下了深刻的记忆。

在 1996 年，求救声横跨了整个得克萨斯州，当时的美国总统乔治·布什（George W. Bush）询问国家水管理部门，有多少水，其中有多少是可以用的，需要用多少水？这些问题的答案其实就是救灾的关键，但是当时的水管理部门并没有充分的信息来回答这些问题。美国农业部副部长丹·格利克曼（Dan Glickman）称干旱是比飓风、洪水和龙卷风更可怕的危害（图 1-1），“因为它发生缓慢，影响范围大、持续时间长。”



图 1-1 干旱的土地

认识到这些问题后，得克萨斯州立法机构于 1997 年启动了一项宏大的水利规划，构建了详细的、覆盖整个州的地表地形、土壤、土地利用、水文地理、地理空间图层。现在得克萨斯州就是利用这些数字地理空间框架来管理供水以取代成堆的纸质地图。本书讲述的 Arc Hydro 数字模型正是得克萨斯州供水模型所使用的地理空间信息框架。

得克萨斯州 1996 年的干旱过后，1998 年 10 月，一场持续不断的暴雨在得克萨斯州南部引发了巨大的洪水（图 1-2），洪水在瓜达卢佩河流域的流量比 1930 年暴雨监测站建立以来记录的任何流量的两倍还要多。有 40 人在这场洪水中丧生，并造成 21 亿美元的损失，然而数字和统计都不足以形容当时的惨状，当洪水从一个被淹没于水下 23 英尺的家中退去后，人们唯一能做的事情就是用推土机清理干净混凝土地基的厚石板，以至于当时的乔治·布什总统说：“大自然正在被破坏，3 个月前还在祈求下雨，但是现在得克萨斯州的雨又下得太多了，一切发生得如此快。”