

GUOJI SHUIZIYUAN YICONG

国际水资源译丛

SHUILI GIS: DIXIASHUI

DILI XINXI XITONG



水利GIS
——地下水
地理信息系统

[美] Gil Strassberg Norman L.Jones David R.Maidment 著

李娜 丁志雄 刘之平等译

叶梓川 屈吉鸿 校



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国 际 水 资 源 译 丛



水利GIS
——地下水
地理信息系统

[美] Gil Strassberg Norman L.Jones David R.Maidment 著

李娜 丁志雄 刘之平等译

叶梓川 屈吉鸿 校



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本书是国际水资源译丛之一,由国际著名水文学家 Gil Strassberg、Norman L. Jones、David R. Maidment 等人主编的一部 GIS 在地下水、水文地质等方面应用的工具书。主要内容包括:GIS 在地下水的应用基本情况以及地下水的基本数据集; Arc Hydro 的框架,包括建立地理数据模型、地理数据库、水文要素、Arc Hydro 框架及其实现; ArcGIS 中如何表现地下三维信息;如何构建地下水数据模型组件,包括地质制图、井和含水层以及三维水文地质图层等;时间序列、地下水模拟以及地下水数据模型在 ArcGIS 中的实现等。

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、中高等院校有关师生及研究人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利GIS:地下水地理信息系统 / (美)斯特拉斯伯格, (美)琼斯, (美)梅德门特著; 李娜等译. — 北京:中国水利水电出版社, 2015. 10

(国际水资源译丛)

书名原文: Arc Hydro Groundwater GIS for Hydrogeology

ISBN 978-7-5170-3782-8

I. ①水… II. ①斯… ②琼… ③梅… ④李… III. ①地理信息系统—应用—地下水—研究 IV. ①P641-39

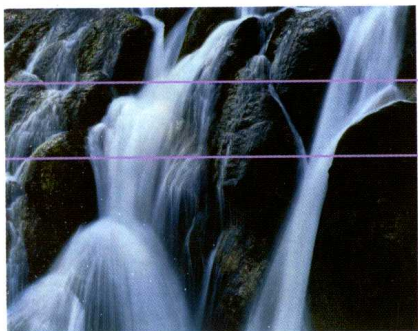
中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第255966号

书 名	国际水资源译丛 水利 GIS——地下水地理信息系统
作 者	[美] Gil Strassberg Norman L. Jones David R. Maidment 著 李娜 丁志雄 刘之平等译
出版发行	叶梓川 屈吉鸿 校 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 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	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	北京鑫丰华彩印有限公司
规 格	140mm×203mm 32开本 6.625印张 178千字
版 次	2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	36.00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

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，这种信息的管理、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，相对滞后，在相关行业应用的程度还不够深入，于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涉及不多。相反，国外在这方面已经处于前沿。以 ArcGIS 为代表，研究开发了 Arc Hydro 这样的水利应用 GIS 模块。为使我国学者和工程技术人员对 Arc Hydro 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——地下水地理信息系统》一书，该书是已经引进出版的《水利 GIS——水资源地理信息系统》一书的姊妹篇，这两本书构成了 Arc Hydro 应用的完整框架，藉以此能够使我国的 GIS 水利应用有一个质的飞跃，促进传统水利向现代水利的快速转变。该书共有 9 章，第 1~3 章主要介绍地下水地理信息系统的基本情况，核心数据模型框架以及在 ArcGIS 中如何表现三维对象；第 4~6 章主要介绍地下水数据模型的组件，包括地质制图、井和含水层以及三维水文地质图层等；第 7~9 章主要介绍时间序列、地下水模拟以及地下水数据模型在 ArcGIS 中的实现等。书中以翔实的图表、数据实例等介绍了地下水地理信息系统的有关内容。

本书是《水利 GIS——水资源地理信息系统》一书的续篇，由刘之平总体策划指导继续开展后续书籍的翻译出版工作，本书各章节翻译分工、校译及统审定稿情况如下：

前言和序由丁志雄、徐卫红翻译；

第 1 章（概论）由李娜、李超超翻译；

第 2 章（Arc Hydro 框架）由高建标翻译；

第 3 章（ArcGIS 的地下三维表达）由李超超、耿庆斋翻译；

第 4 章（地质图）由丁志雄、耿庆斋翻译；

第 5 章（含水层、水井和钻孔）由丁志雄、赵进勇翻译；

第 6 章（水文地层要素）由白音包力皋、王秀英翻译；

第 7 章（水文时间序列）由柴福鑫、高建标翻译；

第 8 章（地下水模拟模型）由徐卫红、曲伟翻译；

第 9 章（地下水地理信息系统的实现）由高建标翻译；

词汇表由丁志雄、徐卫红翻译；

叶梓川、屈吉鸿对全书译文进行了校译；李娜、丁志雄对全书进行了统稿、统审和定稿。

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，请注意。此外，“参考文献”系按原著著录的。

本书是 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，希望此书能够以快速有效的方式将 GIS 技术水利应用的最新信息传达给广大的研究者和爱好者。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

2015 年 10 月



一些勇敢和有足够智慧的 GIS 研究团体，开发了一套可以广泛使用和共享的通用程序和方法，水文研究机构是实现这一点的最成功的团体之一。这是很重要的，因为采用通用方法，将 GIS 移植到 Web 上变得越来越重要。

与水和水资源管理的科学密切相关的水文研究机构所贡献的成果是开创性和革命性的，因为这些成果产生了一系列通用的，以科学为基础的方法，将 GIS 应用到水文应用的任何方面。

在很早以前，水文领域的学术带头人就意识到，这一工作对于淡水进行编目和了解淡水的质量和可用性是至关重要的，而淡水是人类以及地球上所有生命赖以生存的基础。他们开始思考制定一个标准的方法，可以涵盖广大的水资源和地理等方面的问题。他们意识到，要了解这些珍贵的资源，就需要建立内容丰富、简单易用、规范和明确的方法。这些方法应该是可靠的，能够在多个组织和司法管辖区持续使用统一、连续的水资源地理信息系统。

最初，他们的工作和进步集中在地表水方面。10 年前，一个重要突破就是 Arc Hydro 的开发和发布，这是地理信息系统应用到水文上的信息模型和工具。由 David Maidment 领导的这些工作，在如何应用 GIS 解决水资源问题方面取得了突破性进展。同时也产生了一个庞大且不断增长的采纳和应用地理信息系统的科学研究群体，他们的工作成果已应用于数千个世界各地的水组织中。

在这本书中提出的 Arc Hydro 的地下水数据模型代表了另一种利用地理信息系统在水文应用的重大突破。

在部署了最初的 Arc Hydro 数据模型后，水文研究机构的许多人都希望在地表水的建模工具和解决方案中集成地下水的有关内容。在得克萨斯大学由 Maidment 指导下，Gil Strassberg，以及 Norm Jones 和他在杨百翰大学和 Aquaveo 的研究团队在地下水的地理数据库设计和方法研究方面取得了重大进展。

由于原有的设计都只是针对独立的地表水模型和解决方案，所以本项工作的第一阶段主要集中在建立地下水模型和工具方面。在第二阶段，开始清楚地表述水文的两个方面（地表水和地下水）可以集成和结合成统一的水资源管理的观点。毕竟，谁说这不是有能力整合一个重要的地理信息系统的前提呢？

本书介绍了他们的结果，这是多年辛勤工作的成果，其结果非常出色。他们的贡献包括：三维信息和可视化的使用；时间序列的记录和观测数据的建模；地下水管理业务信息的设计；广泛采用科学的地下水模型集成到 GIS 的能力；利用地理信息系统支持地下水建模的应用等。

其设计优雅简洁、规定明确，任何水文学家都可以理解和使用这些模型。

同时，这支队伍继续在高级的以 GIS 为基础水文学研究方面取得进展，这个充满活力和不断变化的过程是非常激动人心的。地理信息系统正推进到了新的 Web2.0 的世界，在 Web2.0 中具有了所有社会网络的影响。三维地理信息系统和动态、具有时间感知的地理信息系统已开始在许多领域使用。地理信息系统和传感器的信息作为 Web 服务集成到了这些环境，就可以用地理信息系统进行聚合和组合。

这项工作继续领导着关于如何将丰富的信息模型、分析工具和成果、交互式地图、三维可视化以及基于时间观测的工作向前推进。

水文研究机构在地理信息系统的应用和使用方面引领了许多

令人振奋的进步。Strassberg 和他的合作者已取得了这些方面的设计方法。这本书提供了一个为今后的工作和在这一领域取得进展的基础和出发点。

但我可能不能等到在未来的岁月看到他们取得的进步了。

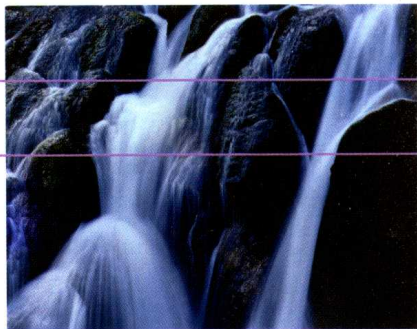
Clint Brown

ESRI

加利福尼亚州，雷德兰兹市

2010 年 10 月

前言



地理数据模型是非常重要的，因为它们建立了通用的语言，使得我们可以对一个大的区域进行连续系统的描述。数据模型不是具有特定结果的有限的几个项目，而是可以有不同的任何机构在不同的时间连续地处理地下水信息的一个完整系统，该系统可以按要求添加信息和相关细节。在我们的生活环境中，水是无处不在的，对于我们这个地球上的人类和生命是至关重要的。水的管理和有关科学问题影响因素太多，因此，需要许多学科的贡献来描述和理解。用标准化的数据模型建立的水文和水文地质信息系统可以为每个人对这样知识和信息的多样性提供共享和基础。

ESRI 出版社 2002 年出版的《Arc Hydro: GIS for Water Resources》，定义了地表水资源的地理数据模型，并在 ArcGIS 中进行了实现。在随后的几年中，Arc Hydro 工具集，已扩大到包括 100 多个工具，成为水资源应用中最广泛使用的地理空间工具包。在此期间经常问的一个问题是：“对地下水怎么样？”这本书回应了这个问题，建立了一个新的和不断改进的地下水的地理数据模型，命名为“地下水 GIS”。当我们向潜在用户展示该数据模型的初步设计时，他们反馈意见要求我们“应连接地表水和地下水——他们属于同一资源。”我们这样做了，通过创建一个通用的框架数据来表示地表水和地下水要素，关联一套更专业的数据模型组件，该模型组件对于地下水资源特殊性可以单独选定。我们希望这项工作能够激发别的人开发其他的数据模型组件，包括在我们的工作中没有涉及的内容。

开发地下水 GIS 的主要目标包括：

(1) 利用现成有效的数据为地下水系统的 GIS 应用提供标准途径，现成有效的数据主要包括：地质图与含水层图；井的位置及其钻孔信息附带的属性表；测压管水头水位和水质测量等观测数据。

(2) 建立地下水水文地质环境的三维表示，包括：钻孔的垂直结构；用“地质体”表示水文地质单元的空间范围；在钻孔之间绘制剖面或制作地下水水文地层的切面。

(3) 减少地下水的观测的时间和空间的间隔，并能够对观测数据进行空间插值和时间上的平均以创建时间序列的地图。

(4) 能够提供 ArcGIS 和地下水模型之间的连接，特别是 MODFLOW（模块化的有限差分流模型）地下水模拟模型，该模型是地下水领域的一个标准。

由此可以看出，“地下水 GIS”克服了两方面的难题：①用二维的地图环境表示三维的系统；②要描述地下水系统时间变化的特性。这两方面的问题通常都是限制 GIS 应用到地下水系统的关键因素。“地下水 GIS”解决这方面的问题，主要是通过将二维静态 GIS 扩展到地下水文地质的三维描述以及通过提供时空数据集描述地下水系统的时间变化特性等方法来实现。

“地下水 GIS”可以用 ArcGIS 桌面系统来处理地下水系统数据，并且可以用 ArcGIS 服务器系统来发布地下水系统的这些数据，随着越来越多的地理空间数据在 Web 服务上提供，“地下水 GIS”用通用的结构为联邦、州和地区的地下水相关水机构发布其地下水资源信息提供了一个理想的方式。

我们希望本书对于水资源工程师、水文学家、水文地质学家、地理学家以及 GIS 的专家等多学科的读者都是有用的。我们相信，教育工作者也会发现这本书对于大学生以及研究生的教学也是有学术价值的。这本书用得克萨斯州几个地方的地下水数据集来为“地下水 GIS”的真实情况的应用举例。这些数据集可以从“Arc Hydro”资源中心网站 (<http://resources.arcgis.com/>)

archydro) 下载。此外,也可从该网站下载本书用到的图形,以便在“地下水 GIS”的课程中老师可以用这些图像材料制作他们讲课的“PowerPoint”。在“Arc Hydro”资源中心可免费获取到“地下水 GIS”的工具集。

地下水数据模型设计和开发主要归功于 Gil Strassberg,他在得克萨斯大学奥斯汀分校水资源研究中心 David Maidment 合作导师的指导下完成了他的博士研究。这是他博士研究主要完成的内容,Strassberg 进行了三维数据结构的实验,调研了相关领域其他人所作的工作,设计了数据模型组件,建立了原型工具实现数据模型,在许多区域开发了应用实例,并写出了论文来描述所有这些研究。Strassberg 作为第一作者承担了本书主要内容的编写。地下水数据模型,在 2006 年 ESRI 用户大会上获得了 ESRI 的最佳数据模型奖。

Gil Strassberg
Norman L. Jones
David R. Maidment



译者序

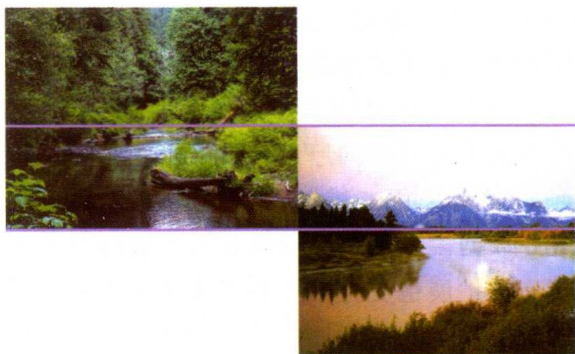
序

前言

1 概论	1
1.1 为什么需要地下水 GIS?	1
1.2 利用 GIS 对水的分析有什么不同	3
1.3 爱德华兹含水层	4
1.4 地表水与地下水	5
1.5 地下水数据集	7
1.6 地下水水井	8
1.7 地下水地层	9
1.8 地下水模拟	10
1.9 本书主要内容	11
2 Arc Hydro 框架	13
2.1 概述	14
2.2 桌面、服务端和在线 GIS	15
2.3 建立地理数据模型	17
2.4 地理数据库	18
2.5 水文要素	20
2.6 Arc Hydro 框架	23

2.7 框架实现	30
3 ArcGIS 的地下三维表达	37
3.1 地下特征三维地理信息系统	38
3.2 地理数据库中的 Z 要素	40
3.3 创建立体对象 (多面体)	43
4 地质图	47
4.1 地质图和地质图数据库	48
4.2 地质数据模型组成	51
4.3 地质数据模型实现	54
5 含水层、水井和钻孔	57
5.1 含水层地图和含水层要素	58
5.2 水井数据库和水井要素	58
5.3 含水层和水井的地理数据库	63
5.4 含水层和水井要素的关系	66
5.5 创建含水层和水井要素的步骤	67
5.6 三维钻孔数据	72
5.7 钻孔记录表	72
5.8 钻孔点和钻孔线要素	75
5.9 创建三维钻孔数据的步骤	76
6 水文地层要素	83
6.1 水文地质单元地理数据库表示	85
6.2 垂直断面二维展示	95
6.3 水文地层组件的实现步骤	100
7 水文时间序列	109
7.1 时间序列	111
7.2 时间序列数据源	111
7.3 空间-时间数据集	116
7.4 时间序列变量	118

7.5	单变量时间序列	119
7.6	属性序列	126
7.7	栅格序列	128
7.8	要素序列	130
7.9	数据集目录	131
7.10	ArcGIS 图层的时间启用	132
7.11	时态框架和扩展部件	133
7.12	实现时态部件的步骤	133
8	地下水模拟模型	139
8.1	模拟模型的种类	140
8.2	模拟模型的地理数据库	142
8.3	接口数据模型	148
8.4	MODFLOW 数据模型	149
8.5	地下水模拟的实施步骤	156
9	地下水地理信息系统的实现	163
9.1	实现过程	163
9.2	设计模式选择	178
9.3	超出模板的其他设计方法	180
	后记	181
	作者简介	183
	词汇表	184
	参考文献	193



概论^{*}

1.1 为什么需要地下水 GIS?

淡水是地球上最宝贵的资源之一，对人类的生命以及动植物的生命等至关重要。地下水储量远大于河流和湖泊中储存的水量，但其位于陆地表面以下隐藏的含水层中。地球上约 90% 可用的淡水资源以地下水的形式储存着，它们通过靠近地球表面的岩石孔隙和裂缝缓慢渗透形成。世界上许多地区依靠地下水供水，特别是在农村地区，因为含水层空间分布广泛。

地下水与地表水不同，地下水地理信息系统不是一个传统的 GIS 应用领域，部分原因是由于地下水资源相比于溪流、河道、

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

湖泊以及流域等不可见且不易于制图。此外，地下水 GIS 本质上是一个三维现象，能否获取地下水的水井深度是一个关键的因素。在开挖一口水井时，钻孔会通过许多不同地质时期的地层。这些地层的横向空间范围远大于其垂向厚度，就像纸张一样，所以对于一般的地下水项目，都采用二维的 GIS 来对井位和含水层边界制图。Arc Hydro 数据模型的核心框架支持二维地下水资源制图，并且该数据模型的扩展也支持钻孔和水文地质地层的三维表示。

我们使用了大量术语来定义 Arc Hydro 的各个方面。Arc Hydro 是指描述水文的整体数据模型，包括地表水和地下水。在这本书中，我们把这种通用模型称作 Arc Hydro 数据模型，或简称为 Arc Hydro。Arc Hydro 的第一个版本，主要描述地表水系统，包括排水区、河流网络和时间序列，这些内容在《Arc Hydro: GIS for Water Resources》一书中出版了。我们对原来的 Arc Hydro 模型进行了重新设计，包括简化用于描述地表水和地下水要素的基本框架。本书中，Arc Hydro 框架就是指数据模型框架，或者简称框架。在 Arc Hydro 框架里，你可以用 Arc Hydro 增加地表水和地下水的组件来描述水文系统的不同方面（在第 2 章中所描述的数据模型和组件框架）。地下水的 Arc Hydro 就是地下水的数据库模型组件，或简称地下水数据模型，这是 Arc Hydro Groundwater 的主要内容，即地下水地理信息系统。

Arc Hydro 不只是一个数据模型，其可以提供丰富的工具集，以帮助 ArcGIS 用户实现数据模型，组织他们的数据，并创建 GIS 产品。这些工具充分利用数据模型中标准的数据结构和要素之间的关系，以提高 ArcGIS 的水资源管理和分析能力。对于地表水分析，ESRI 已经开发了一套名为地表水 Arc Hydro 的工具。该工具可以在 ESRI 网站 (www.esri.com/archydro) 上找到。对地下水的分析，Aquaveo（在犹他州的水资源工程咨询公司）和 ESRI 已经合作开发了一套工具，名为地下水 GIS 工具，该工具可以在 Aquaveo 的网站 (www.aquaveo.com/archydro) 上找到。

1.2 利用 GIS 对水的分析有什么不同

GIS 广泛地应用到诸多领域的案例表明其可以描述具有地理空间数据的任何领域。那么，对于水的应用会有什么不同？为什么需要建立水的特殊地理数据模型？首先，水是一种奇妙的物质，它在地表或由地下从一个地方流到另一个地方，水分蒸发后在大气中迅速传播很远的距离，然后通过降水返回地球表面，在溪流和河道中川流不息，并在湖泊、海湾和河口聚集形成了地形图上的蓝色区域。水文循环中水的运动（见图 1.1）是非常复杂的，至今人们尚没有完全理解其机理。

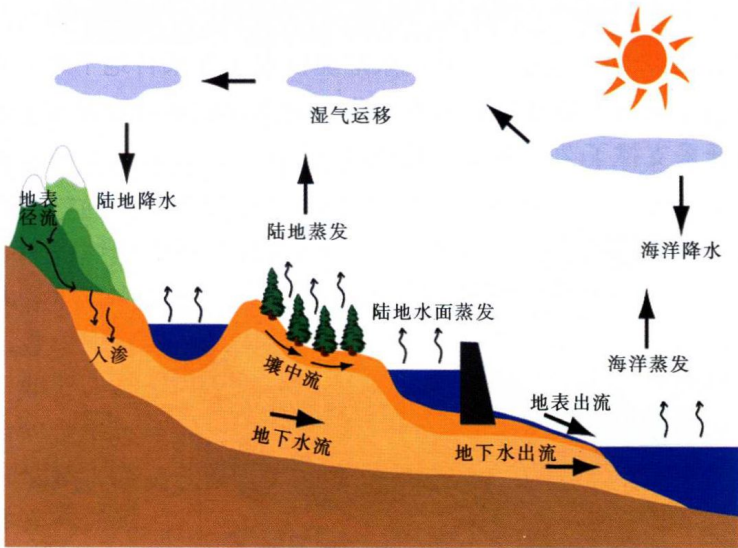


图 1.1 地球上水流动的水文循环过程

用 GIS 描述自然水系统需要一种描述水流运动连通性的方法。仅仅知道地理数据层，如溪流、含水层、水井等要素是远远不够的，特别是在地下水系统中，还需要知道哪些溪流对含水层有补充，含水层的哪些井是用于居民生活或灌溉，只有这样，才能了解水的流入和流出，从而更科学地管理好这些系统。本书采