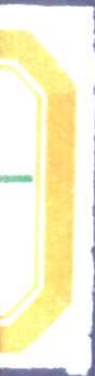


HYDROLOGIC SYSTEMS Rainfall-Runoff Modeling

[美] Vijay P. Singh 著
赵卫民 戴东 王玲 等译

水文系统 降雨径流模拟

黄河水利出版社



水文系统

降雨径流模拟

[美] Vijay P. Singh 著
赵卫民 戴 东 王 玲 等译

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

水文系统 降雨径流模拟/(美)辛格(V. P. Singh)
著:赵卫民等译. — 郑州:黄河水利出版社,1999. 12
ISBN 7-80621-293-0

I. 水… II. ①辛… ②赵… III. 降雨-径流-数学
模型 IV. P333.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 50544 号

著作权合同登记号 图字:16-99-0012

本书中文简体字版由 Prentice Hall Inc. 授权黄河水利出版社出版,未经出版者同意,不得以任何形式复制或抄袭本书的任何内容。

Translation Copyright[©][1999] by Yellow River Conservancy Press
Vijay P. Singh: Hydrology System vol. 1 Rainfall-Runoff Modelling
Copyright[©][1988] by Prentice Hall Inc All Rights Reserved
Published by arrangement with the original Publisher, Prentice Hall Inc.

责任编辑:王才香 雷元静
责任校对:裴惠

封面设计:郭琦
责任印制:温红建

出版发行:黄河水利出版社

地址 河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编:450003

发行部电话 (0371)6302620 传真:6302219

E-mail yrcp@public2.zz.ha.cn

印刷:黄河水利委员会印刷厂

开本 787mm×1092mm 1/16

印张:40.125

版别:1999 年 12 月 第 1 版

印数:1—1000

印次:1999 年 12 月 郑州第 1 次印刷

字数:927 千字

定 价:120.00 元

译者前言

1992年初,作为访问学者,本书译者之一在美国亚利桑那大学进修时,被美国学者 Vijay P. Singh 的下述文字所打动:

“……所有的水文问题起初均是黑箱子问题,亦即只有很少一部分因素能够被认识。随着能认识因素的逐步增加,出现了模型,并形成了不同的层次,从相对简单的模型到高度概括的模型,到更为复杂优秀的理论模型……

“模型划分为:①理论或物理模型;②概念模型;③经验模型。模型的这种分类取决于模型将输入转化为输出时是否考虑物理过程。但模型的这种划分具有任意性,因为某个人的经验或许就是他人的理论……

“经验模型不以物理定律为基础,它仅表示事实,即它是数据的表示。如果条件发生变化,便没有预测能力。但大部分情况下,经验模型能产生准确的答案。因此,能够服务于决策。

“理论模型可假定为控制现象的最重要的物理定律的体现。物理模型与自然系统的逻辑结构相似,在环境变化时也会有用。但所有的理论模型均是简化的。因此,也多少有不正确之处,因为一个抽象量不可能完善地表示物理实在。

“概念模型介于理论模型和经验模型之间,尽管它们可以广义地用来包含这两种模型。一般地说,概念模型以高度简化的方式考虑物理定律。概念模型对一些问题可经济有效地提供结果。其部分参数有物理意义,能用输入输出资料估计。

“所有这三种模型均有应用价值,它们表示对现实的不同水平的近似,取决于研究的目标、问题的复杂程度和所要求的精确程度……”

这些深刻揭示水文学发展规律及各类水文模型之间辩证关系的文字,出自 Vijay P. Singh 所著的《水文系统:降雨径流模拟》。译者在被这些朴实无华的文字深深打动的同时,也萌发了向国内水文界同仁介绍原著的意图。因为据译者浅近的目光,尚未见到国内水文界有如此精辟、明晰的论述。

Vijay P. Singh 是美国路易斯安那州立大学土木工程系教授,在国际水文界具有较高的知名度,曾给美国新墨西哥矿业和技术学院地球科学系、乔治华盛顿大学土木工程系、密西西比州立大学土木工程系、路易斯安那州立大学土木工程系等院系学生授课,并承担多项研究工作,先后编著了 28 本专著和教材,可谓著作等身、学富五车。

《水文系统:降雨径流模拟》是作者编写的水文系统理论系列著作中的一卷,英文原著由 Prentice Hall 于 1988 年出版。

正如作者在原著前言中所指出的那样,自从单位线理论提出以来,系统科学在水文上的应用得到迅猛发展。作者撰写本书的目的则是综述这一迅猛发展的领域,描述有关模型,同时也意欲引发新的更全面的水文系统模型。

虽然原著作者强调编著本书的目的并不是给出关于水文系统的百科全书式的综述,

但仍可以将该书看作水文系统的基本工具书。该书详细介绍了水文系统的基本概念、思想、方法、模型等,更重要的是,作者不吝笔墨,对这些思想、方法、模型进行了理论分析和实例阐述,并指出其优缺点及其应用范围。其中许多模型和方法在国内较少介绍。相信不同层次的人员阅读本书均会有所收获。

本书既可作为系统水文的工具书、教科书,又可借此对系统水文的发展史、方法论等作更深入的研究。引发新的模型是作者编著此书的基本立意之一,而在解决中国的实际水文问题方面发挥作用,则是译者翻译此书的心愿。

本书由水利部黄河水利委员会水文局组织编译。第一章至第四章、第八章、第九章由赵卫民翻译(戴东校核),第五章至第七章由朱庆平翻译(赵卫民校核),第十章、第十九章由常炳炎翻译(赵卫民校核),第十一、第十二章、第十八章至第二十章由戴东翻译(赵卫民校核),第十三章至第十四章由王玲翻译(戴东校核),第十五章至第十七章由张红月翻译(戴东校核),全书由赵卫民、戴东通稿。

水利部黄河水利委员会水文局陈先德局长(教授级高级工程师)对本书的翻译出版十分关注,并在百忙中对本书中文稿前八章进行了技术审核和把关,水文局李良年副总工(教授级高级工程师)、张民琪总工(教授级高级工程师)、张国泰副局长(教授级高级工程师)分别对中文稿第九章至第二十章进行了技术审核。中国科学院地理研究所刘苏峡博士对本书的翻译出版提供了极大帮助。田捷、付延红等作了大量图表、公式处理工作。

感谢 Vijay P. Singh 教授允许翻译出版此书,并写了热情洋溢的鼓励信;Prentice Hall 公司许可在中国大陆地区出版简体汉字版;Simon & Schuster 公司原北京办事处的薛女士十分关注版权事宜,并给了极大帮助;Prentice Hall 公司新加坡办事处的 Rosalia Da Garsia 十分耐心地办理版权事宜,在此一并感谢。

译书是一件既辛苦又欣慰的工作。在“寂寞的一夜复一夜”和“一夜复一夜的寂寞”中,译稿一页页堆积起来,并终成“它山之石”。尽管十分谨慎,但错误遗漏仍在所难免。“聊做白鹿,待于青崖”,敬请读者批评指正。

赵卫民

1999年9月1日

译 序

作为地学的一个分支,水文学有基础研究的一面,也有满足工程建设和生产需求的一面。在这里,水文模拟是二者的基本结合点之一。霍顿下渗模型和希尔曼单位线的出现,标志着水文模拟的基础基本成熟。水文模拟的建立始于本世纪 40 年代,在 60 年代达到高潮。到目前为止,世界各地提出或应用的模型数以百计。

以系统科学方法研究水文问题,是水文科学的正确定位,也是水文科学蓬勃发展、硕果累累的主要原因之一。一方面水文现象的许多环节无法直接观察到,用经典的数学物理方法研究障碍重重,我们只能把守在一些关口做“文章”;另一方面,实际研究中采用的由输入到输出的研究模式,恰恰吻合了系统科学方法的基本要旨。水文模拟属于系统科学。系统方法关注的是系统的功能,即输入和输出之间的联系,而不去关注具体细节。水文模拟就是要按流域的水文特性,对系统的作用进行模拟,构成模型。模型既是一个有物理概念的概念性模型,也是一个可以严格计算的数学模型。水文模拟的目的,就在于决定“结构和参数”。

《水文系统:降雨径流模拟》及其姊妹卷《水文系统:流域模拟》是关于水文系统的百科全书式的巨著。从水文研究的基本思想、基本方法到各有关模型的背景、理论基础、优势和不足,乃至模型的应用实例,作者不厌其烦地作了详尽介绍。衷心希望本书的翻译出版能对水文科学的发展起到积极的作用。

陈 恩 沛

1999 年 6 月

凡 例

1. 本书英文原著由前言、致谢、正文、参考文献、附录组成。正文共分三篇二十章。除将原著正文各章后所列练习统一移至书末作为附录外,译文严格按原著体系编排,无任何删节。

2. 原著中的英文人名、地名、河流名、单位名、含人名的方法(模型)名等在译著中均使用英文原名。

3. 原著所列参考文献不作翻译,译文中照列。原著各章练习亦不作翻译,集中排在附录中。

4. 原著英制单位与公制单位混用。由于单位涉及许多公式的形式和参数值,同时也涉及许多例题的求解过程和结果,特别是有许多研究人员为使公式简明,有意使用某类单位,故翻译时仍保持原状。

5. 原著中部分术语与国内用法不十分一致,译文忠于原著,未进行更改。

6. 原著中部分术语含义有一定区别,但中文尚无相应词语与之对应,则仍按国内习惯,不加区分。

7. 原著引述较多,引文多以黑体、斜体或小号字排印。鉴于文中均注有出处,译著对引文字体与正文相同,不作区别。

8. 原著中有部分错误,集中在公式和例题中。翻译中作了力所能及的更改,凡约 70 余处,这些改动已经过原著作者同意。

9. 译文按照中华人民共和国国家标准《水文基本术语和符号标准(GB/T 50095 - 98)》进行了校改。

前 言

自从单位线理论提出以来,控制理论和系统理论在水文上的应用得到迅猛发展。这种发展的基本动力是其简单易行,而更主要的是解决实际水文问题的要求。一些水文教科书给出了基于这些概念的部分研究方法。J. C. I. Dooge 在《技术布告 1468 号》(美国农业部,1973)发表了“水文系统的线性理论”,这是关于这一问题的首次全面而又权威的论述。撰写这方面主题书的作者无不受惠于 Dooge 的贡献。最近几年,关于水文系统各种技术和应用的研究发展较快,而撰写本书的目的则是为了部分地综述这一迅猛发展的领域。需要强调的是,本书的目的并不是给出关于水文系统的百科全书式的综述,而是为了描述有关模型,同时也意欲引发新的更全面的分析和综合水文系统的模型。

本书综合了作者给新墨西哥矿业和技术学院(New Mexico Institute of Mining and Technology)地球科学、乔治华盛顿大学(George Washington University)土木工程、密西西比州立大学(Mississippi State University)土木工程、路易斯安那州立大学(Louisiana State University)土木工程等院系学生的授课材料。学生们提出的批评和讨论,一定程度上影响了本书的风格。本书在讨论概念和用实例阐述概念方面作出了相当的努力,以致增加了书的厚度,内容上也有所重复。对水文学者来说,这种风格有些不甚严谨,但对不熟悉专业的人来说则是有益的。经验表明,本书的内容对本科生或研究生可能需要两学期的课时。对特殊要求的课程,可从本书不同的章节选取内容。同时,作者也希望本书能引起农业工程、土木工程、地球科学、环境科学、森林和区域科学等方面人士的兴趣。附录部分或许对期望进一步探索的人员有所裨益。

本书分为三部分。第一部分包括七章,论述了背景知识,特别是开发水文模型的预备知识。该部分是本书的基础。第一章介绍了系统方法的方法论,第二章描述了定义和概念,第三章阐述了水文问题的类型和解决问题的模型。有关单元函数及其水文响应的讨论放在了第四章,这些函数的卷积问题在第五章给出。第六章给出的是用来估计水文模型参数的矩法和累积量法。第七章讨论了另外 7 种估计参数的方法,其中一些是最近才提出的。

本书关注的是降雨径流系统。一个系统由三部分组成:①输入;②系统功能;③输出。面平均降雨和地理特性常常形成降雨-径流系统的输入,这些放在本书的姊妹篇《水文系统:流域水文模型》中讨论。系统作用综合了降雨径流关系的各个方面,是本书第二部分和第三部分的主题。流域径流在第八章中介绍,其时间特性放在第九章。水文文献阐述了净雨-直接径流关系的各种数学模型。连续时间和离散时间的线性时不变模型分别在第十章和第十一章讨论。微分方程及其所描述的降雨径流系统的特性在第十二章中处理。同时涉及的还有微分方程与概念模型的关系。这些模型的连续时间和离散时间的线性时不变形式分别在第十三章和第十四章讨论。线性时变模型在第十五章介绍。有关非线性概念模型和非线性经验模型的讨论分别在第十六章和第十七章。线性和非线性模型

在无水文资料地区的应用在第十八章中论述。

最后,第三部分处理洪水演进。水库洪水演进在第十九章,线性模型和非线性模型、经验模型和概念模型均包括在内。第二十章描述河道洪水演进方法。同样,线性和非线性、经验和概念、时变和时不变等各种模型均在其中。

Vijay P. Singh
Baton Rouge Louisiana

对真理的探求既艰难又令人欣慰。任何人都不会全知全能,也不会毫无见地。每个人对自然知识都有点滴的贡献。而庄严正从所积聚的细节中产生。

亚里士多德

目 录

译序

译者前言

凡例

前言

第一篇 预备知识

第一章 引言:水文研究	(3)
1.1 物理方法	(3)
1.2 系统方法	(5)
1.3 系统方法辨析	(7)
1.4 物理方法和系统方法的互补	(8)
1.5 方法选择	(8)
第二章 系统方法:定义和概念	(9)
2.1 系统术语	(9)
2.2 系统表示方法	(11)
2.3 系统分类	(15)
第三章 水文问题与水文模型	(26)
3.1 水文问题分类	(26)
3.2 与系统方法相关的问题	(26)
3.3 水文模拟	(31)
3.4 灵敏度分析	(35)
3.5 误差分析	(36)
3.6 水文模型应用策略	(37)
第四章 单元函数及其水文响应	(38)
4.1 连续时间系统单元函数	(38)
4.2 δ 函数性能	(39)
4.3 连续时间函数表示	(42)
4.4 单元函数的水文响应	(44)
4.5 离散时间系统单元函数	(48)

第五章 褶合积分	(51)
5.1 连续时间系统	(51)
5.2 离散时间系统	(60)
第六章 参数估计	(67)
6.1 连续系统矩法	(67)
6.2 离散系统矩法	(83)
6.3 累积量法	(86)
第七章 其它参数估计方法	(91)
7.1 不完全中值法	(91)
7.2 概率加权矩法(PWM)	(94)
7.3 混合矩法(MIXM)	(96)
7.4 最大似然估计法(MLE)	(97)
7.5 最大熵法(POME)	(98)
7.6 最小二乘法(MOLS)	(101)
7.7 非线性最小二乘法(MONLS)	(103)
7.8 优化方法	(105)
7.9 参数估计中的问题	(107)

第二篇 净雨-直接径流关系

第八章 流域径流模拟初论	(111)
8.1 径流成分	(111)
8.2 径流成分划分	(112)
8.3 净雨	(119)
8.4 降雨径流关系	(119)
第九章 响应时间特性	(130)
9.1 响应时间特性的表示	(131)
9.2 时间特性影响因素	(132)
9.3 汇流时间 T_c	(133)
9.4 汇流时间估算方法	(133)
9.5 方程选择	(140)
9.6 滞时	(140)
9.7 流域滞时定律	(146)
9.8 滞时变化	(146)
9.9 汇流时间与滞时关系	(147)

9.10 其它时间特性·····	(148)
第十章 连续时间系统的线性黑箱模型·····	(150)
10.1 推理法·····	(150)
10.2 时间—面积法·····	(159)
10.3 推理法改进·····	(171)
10.4 单位线法·····	(173)
第十一章 离散系统线性黑箱模型·····	(199)
11.1 数学表示·····	(199)
11.2 由单暴雨事件推导 UH 或 IUH ·····	(202)
11.3 由多场暴雨推导 UH ·····	(220)
11.4 UH 推导方法比较 ·····	(225)
第十二章 微分方程和水文系统特征·····	(227)
12.1 一般微分方程·····	(227)
12.2 系统特征: $M > N$ ·····	(227)
12.3 系统特征: $M < N$ ·····	(231)
12.4 网络表示·····	(231)
12.5 网络和微分方程·····	(234)
12.6 水文系统表示·····	(235)
第十三章 连续系统的线性概念模型·····	(239)
13.1 线性河道·····	(239)
13.2 线性水库·····	(243)
13.3 Zoch 模型 ·····	(247)
13.4 Clark 模型 ·····	(257)
13.5 O'Kelly 模型 ·····	(258)
13.6 线性河道和线性水库串联·····	(261)
13.7 线性河道串联·····	(262)
13.8 Nash 模型 ·····	(265)
13.9 不等线性水库的串联·····	(275)
13.10 Dooge 模型 ·····	(279)
13.11 具有分布净雨的不等线性水库的串连 ·····	(284)
13.12 具有离散净雨的相等线性水库串联 ·····	(288)
13.13 基于微分方程的模型 ·····	(290)
13.14 确定性模型和随机性模型的结构关系 ·····	(297)
第十四章 离散系统的线性概念模型·····	(301)

14.1	离散线性水库·····	(301)
14.2	离散滞时和演进模型·····	(307)
14.3	离散线性河道·····	(308)
14.4	离散 Nash 模型 ·····	(310)
14.5	一般线性差分方程·····	(313)
14.6	一般离散线性水库·····	(315)
14.7	确定性模型和随机模型的结构关系·····	(317)
第十五章	线性时变模型 ·····	(321)
15.1	时变线性水库·····	(321)
15.2	时变线性河道·····	(324)
15.3	水库和河道的结合·····	(329)
15.4	TA 法 ·····	(341)
15.5	线性微分方程·····	(343)
第十六章	非线性概念性模型 ·····	(344)
16.1	直接径流非线性的确认·····	(344)
16.2	时不变模型·····	(346)
16.3	概念性非线性时变模型·····	(377)
第十七章	非线性黑箱模型 ·····	(379)
17.1	VIS 模型·····	(379)
17.2	Volterra 核和非线性水库串联间的关系 ·····	(405)
17.3	两阶段卷积·····	(405)
第十八章	无资料流域模型 ·····	(409)
18.1	流量特征·····	(409)
18.2	线性黑箱模型·····	(410)
18.3	线性概念模型·····	(425)
18.4	非线性概念模型·····	(443)

第三篇 洪水演进

第十九章	水库洪水演进 ·····	(451)
19.1	洪水演进·····	(451)
19.2	洪水演进方法·····	(451)
19.3	水库洪水演进·····	(452)
19.4	累积曲线法·····	(454)
19.5	蓄量指标法·····	(463)

19.6	PULS 法	(466)
19.7	Wisler - Brater(WB)法	(472)
19.8	Goodrich 法	(472)
19.9	Steinberg 法	(472)
19.10	系数法	(472)
19.11	Woodward 法	(475)
19.12	点斜法	(478)
第二十章	河道洪水演进	(482)
20.1	凸法	(482)
20.2	线性 Muskingum 法	(485)
20.3	多河段 Muskingum 法	(510)
20.4	非线性 Muskingum 法	(514)
20.5	滞时和演进模型	(516)
20.6	Kalinin - Milyukov 模型	(518)
20.7	三参数 γ 分布法	(520)
20.8	变动传播时间(VTT)法	(521)
20.9	变动蓄量系数(VSC)法	(524)
20.10	HYMO 法	(527)
20.11	蓄量演进法 A	(529)
20.12	蓄量演进法 B	(532)
20.13	多重线性模型	(534)
20.14	非线性蓄量模型	(536)
20.15	通用蓄量模型	(541)
20.16	示储流量模型	(542)
20.17	损失性河道演进	(543)
附录 A	单位转换	(545)
附录 B	连续方程推导	(551)
附录 C	一般蓄量方程推导	(552)
附录 D	地表径流传播时间的推导	(555)
附录 E	用 Meixner 函数推导联结方程	(557)
练习		(560)
参考文献		(586)

第一篇 预备知识

