



河北雨洪模型

HEBEI YUHONG MOXING

河北省水文水资源勘测局 著



河北科学技术出版社



河北雨洪模型

HEBEI YUHONG MOXING

河北省水文水资源勘测局 著



河北科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

河北雨洪模型 / 河北省水文水资源勘测局著. — 石家庄: 河北科学技术出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5375-8891-1

I. ①河… II. ①河… III. ①暴雨模式—研究—河北
IV. ①P333.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 089066 号

河北雨洪模型

河北省水文水资源勘测局 著

出版发行 河北科学技术出版社

地 址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编:050061)

印 刷 石家庄宝丽彩色印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16

印 张 5

字 数 58 千字

版 次 2017 年 7 月第 1 版

2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

内容提要

基于“大数据”建立的“河北雨洪模型”，在产流和汇流计算方面都有创新。本书对模型建立的依据、计算方法等，有较具体的叙述，可在河北省各流域的洪水预报中应用，有一定适应性。对其他半干旱半湿润地区，也有参考价值。

《河北雨洪模型》编委会

主任委员：程双虎

副主任委员：张金堂 马存湖

顾问：韩家田

委员：胡春歧 闫凤翔 刘慧霞 韩占军

主研人员：韩家田 胡春歧 冯秀英 陈玉林

刘惠霞 韩占军 刘彦华 赵 勇

序

水文规律是一种非常复杂的现象，它不仅受降雨影响，还受流域下垫面、人类活动等因素影响。因此，为揭示水文现象及其变化规律，多年来水文学者一直在不断地探索和研究。但是，至今仍有许多问题尚未解决。在没有完全搞清水文变化规律之前，通过建立模型对水文过程进行模拟，不失为一种可取的途径。随着计算机等信息技术在水文领域的广泛应用，水文模型的研究得到迅速发展，并广泛应用于水文规律研究、水旱灾害防治、水资源评价等领域。

洪水预报是防汛的参谋，是抗洪抢险救灾调度决策的重要依据。在防汛抗洪的关键时刻，及时准确的洪水预报可以带来巨大的经济效益和社会效益。

防汛指挥系统的建立要求洪水预报工作实现现代化、自动化，要有与之相应的预报方法，才能发挥其优越性。“水文模型”是随着电子计算机技术的迅速发展而兴起的现代化预报手段。水文模型把水文循环的全过程作为一个完整的系统来研究，较之经验性的预报方法有明显的优越性，可以大大提高预报成果精度和增长预见期。

河北省地处京津周围，省内各河的暴雨洪水严重威胁京津两市和交通干线的安全。京津冀协同发展，更要求确保防洪安全。洪水预报工作极为重要。

河北省属于半干旱半湿润地区，自然条件十分复杂，需要建立适合本省情况的洪水预报模型。

多年来，河北省洪水预报始终是预报人员的技术难题。从国内外引进的水文模型，由于降雨特性及流域下垫面条件差异，均不能很好地解决河北省洪水预报问题，严重制约着水利工程效益的发挥。

在借鉴国内外许多水文模型的基础上，结合河北省多年的洪水预报经验，利用先进技术和方法，对流域产流、汇流的成因进行分析和研究，揭示了流域产汇流基本规律，研制出了适合河北省流域特点的洪水预报模型，经在河北省近二十年的实际应用，取得了较好的效果，在我国北方半干旱半湿润地区也有推广应用前景。

本书将“河北雨洪模型”的理论概念、建立模型的依据及计算方法，做了较为具体的叙述，以便于推广应用。在使用过程中，还会发现一些问题，将不断改进，使之日臻完善。

值此《河北雨洪模型》出版之际，谨向付出了艰辛劳动的全体研制人员和本书编写人员致以崇高的敬意！向为此研究提供资料的同志们表示衷心的感谢！对本书的出版表示由衷的祝贺！

河北省水利厅副厅长 

于2016年12月

目 录

1	绪 论	1
1.1	大数据与模型	1
1.2	水文模型	2
1.3	水文模型的建立	2
1.4	模型的局限性	4
2	河北省暴雨洪水特点	5
2.1	洪水与干旱并存	5
2.2	影响暴雨洪水的地貌地质条件	7
2.3	水文模型需要解决的课题	8
3	模型结构	9
4	产流模型	12
4.1	包气带水分运动	12
4.2	建立下渗曲线	14
4.3	下渗能力分配曲线	18
4.4	下渗曲线与下渗能力分配曲线的组合	19
4.5	时段下渗量计算	21
4.7	土湿计算	26
4.8	产流过程计算	32
5	汇流模型	35
5.1	建立蓄泄方程	36
5.2	汇流计算	45

5.3 有沿程损失的河道汇流计算	50
6 模型的应用	54
6.1 资料准备	54
6.2 集总模型与分散模型	55
6.3 参数的取值范围	55
6.4 参数率定	57
6.5 实时作业预报	58
7 应用举例	59
7.1 河道汇流:以卫运河南陶至临清段为例	59
7.2 有沿程损失的河道汇流:以滹沱河黄壁庄水库至北中山站河段为例	60
7.3 中、小流域产流汇流:以紫荆关以上流域为例	62
7.4 岩溶地区产流汇流:以东武仕、徘徊两站为例	64
7.5 大流域产流汇流:以新盖房以上流域为例	67
后记	70
参考文献	72

1 绪 论

1.1 大数据与模型

“大数据”是近年来的一个热门话题。顾名思义，指的是海量的多种多样的数据。从数据的采集、存储、统计分析到快速挖掘出有用的信息，都是大数据技术所关注的问题。其最终的价值，体现在采用新技术对数据的深度加工，在生产生活中产生的效益。在自然科学领域，“大数据”的利用由来已久。如气象、水文、地质、地震等部门，统计分析大量数据，提供不同标准的发生概率，研究各个因素之间的相关关系，建立模型，为工程建设提供依据，发布预测预报等等。

随着信息技术的快速发展，“大数据”技术在生产、经营、商业、金融等领域得到广泛的应用和爆发式的发展。“大数据”成为了一门大有可为的热门产业。

“模型”原指根据实物或图纸放大或缩小制成的样品。后来，将自然科学或社会科学的某个系统表达为数学结构，也称为模型。模型可以依据理论概念来建立，但要经过实践的检验。模型应从归纳分析“大数据”中建立；模型也是“大数据”深加工的成果。

1.2 水文模型

模拟流域的水文过程所建立的数学结构，称为水文模型，它是近四十多年来，随着电子计算机在水文工作中的广泛应用而发展起来的。

水文模型可以从几个方面分类。按模型所涉及的范围，可以有全球的、一个国家的、一个流域的、一个实验区的，甚至一个点（如下渗实验、蒸发实验等）的水文模型。按模型所研究的对象，可分为径流模型、水质模型、水资源综合利用模型等。依河北省的情况，径流模型又可分为春汛模型、雨洪模型、枯季退水模型等。按模型的性质可分为数学物理模型、概念性模型、黑箱子模型、随机模型等。此外，把流域作为一个整体建立模型为“集总模型”，把流域划分为若干单元、采用不同模型参数分别计算，再经演算得出全流域的总输出，称为“分散模型”。

以数学物理方法求解水流的时空变化为数学物理模型，由于流域情况的过于复杂，此种方法难于实用。从某物理概念出发建立数学结构，模拟水文现象，为概念性模型。不问水文现象的物理概念，只注意模拟的结果，为黑箱子模型。由于有些水文现象的物理概念还不十分清楚，有人又将概念性模型称为“灰箱子模型”。以上三种模型均为确定性模型。用数理统计学方法模拟水文现象的随机性为随机模型，是非确定性模型。

河北雨洪模型是预报由暴雨所产生的洪水的概念性模型。

1.3 水文模型的建立

模型就是数学结构加参数。结构是我们对水文规律的认识，参数代表流域的水文特性。建立一个概念性模型的一般步骤是：设计模型结构；确定模型各个环节的数学公式；调试、率定模型参数，对模型进行检验和评定。

1.3.1 模型结构设计

根据流域情况和实测降雨、径流资料，分析产流、汇流的特点，确定模型的总体结构。主要是研究产流方式，划分水源，建立降雨、蒸发、地面径流、地下径流各环节的结构系统。

1.3.2 确定各个环节的数学公式

包括土壤湿度计算，产流、汇流计算等许多方面。每个环节的数学函数式都应尽可能从实测资料中分析确定，如下渗计算用什么公式，下渗能力分配曲线采用什么线型，两者的组合用什么方式等，都要用实测资料来检验。用模型计算出的最终结果与实测水文过程进行比较，是说明模型精度的最好办法。但中间的环节，能够单独检验的也要尽可能进行检验分析，以求较高的精度。

1.3.3 参数率定与模型评定

建立了模型，完成了全部程序设计并调试无误后，要进行参数率定，检验模型计算成果与实测资料拟合的情况，确定模型参数。率定参数所采用的资料及许可误差等，按水利部颁发的《水文情报预报规范》的要求进行。如果模型的总体合格率较低，且无论怎样调整参数，效果也不理想，则应检查模型的各个环节有没有概念不合理或错误的地方，反复分析计算。有时要经过多年反复的研究才能解决某个难题，找到改进的办法，使模拟的精度有所提高。正如华裔美籍水文学家周文德所说：“水文模拟方法部分是科学部分是艺术。其所以是艺术，因为巧妙性和判断性参与了模拟过程及其评价；其所以是科学，因为它需要先进的物理原则上的知识和数学方法。”

模型最终完成以后，再根据其检验结果，对其实用性进行评定。

1.4 模型的局限性

应用水文模型预报洪水的优越性是明显的。水文模型纳入自动测报系统，进行实时校正洪水预报，速度快、精度高，可以避免人为的随意性。并且，水文模型较为容易应用于缺乏资料地区。但是，像任何一种技术方法一样，都有其局限性。

首先是地域的局限性。一般的模型只能适用于某种自然条件，很难有一个模型可以包容所有不同的自然地理特征。

其次是流域尺度的局限性。由于自然地理条件和降雨的分布不均匀，水文模型大多只适用于中小流域，大流域则必须划分单元进行计算，而划分单元又会带来计算复杂、误差加大等新的问题。

第三是洪水尺度的局限性。大、中型洪水较为容易算准，而小洪水和特大洪水的预报则困难得多。

第四是时间的局限性。汛初的洪水不易算准，大汛期间的洪水预报可能要好于汛初。

总之，每个模型都有其适用范围，使用时必须注意。

“河北雨洪模型”是适用于河北省的中等流域面积的大、中型洪水的水文预报模型。

2 河北省暴雨洪水特点

河北省为温带季风型气候，属于半干旱、半湿润地区。但由于特定的自然地理环境，其暴雨、洪水有许多不同于其他省区的特点。

2.1 洪水与干旱并存

河北省的绝大部分位于海河流域。原水利部副部长娄溥礼生前对海河流域的特点有过一段精辟的论述。他说：“海河的来水有一个显著的特点，就是大水、小水和平水的差别都非常大，突发性很强。海河流域的水资源相当于世界上最干旱的中东地区，暴雨强度相当于东南亚一些国家的情况。世界上还找不到海河流域这样一个大的流域，同时闹着严重的水荒，又存在严重水灾威胁的可能。”

娄溥礼指出了三点：①突发性强；②暴雨强度大；③干旱严重。

(1) 突发性强：就是说大水、小水差别大，暴雨洪水突然发生，往往使人措手不及。

河北省多年平均年降水量 532mm，是我国东部降水量最少的省份。既少于山东、江苏、浙江、福建等南部各省，也少于东北的辽宁、吉林等省，见表 2-1。省内降水分布不均，北部接近内蒙草原的坝上地区年降水量只有 300mm，沿燕山、太行山迎风坡的暴雨中心地带 700~800mm。降

水的年内分配十分集中，6-9月降水量占年降水量的75%~85%，大洪水年一次3~5天的暴雨其降水量就相当于全年降水的80%以上。降水的年际分配更不均匀，全省年降水的最大记录为1963年獐犸站2549mm，最小记录为1934年文安站102mm，前者为后者的25倍。獐犸站年最大24小时暴雨量的历年最大值为最小值的20.4倍。因而降水的变差系数(C_v)较大。河北省年降水 C_v 值0.3~0.4，而我国东部各省都在0.25左右(表2-1)。年最大24小时暴雨的变差系数为0.6~0.8，也是我国东部最大的省份。

表2-1

省份	多年平均年降水(mm)	年降水变差系数 C_v
吉林	604	0.2~0.25
辽宁	687	0.2~0.25
河北	532	0.3~0.4
山东	724	0.25~0.3
江苏	996	0.25~0.3
浙江	1508	0.2~0.25
福建	1666	0.2~0.25
注:引自《中国水资源评价》		

河北省有记录以来的最大暴雨洪水发生在1963年，此后30多年未发大洪水。1996年8月初，全省上下正在全力抗旱。突然，出乎意料的发生一场局部特大洪水，转眼间就改变了局面，防汛抗洪立即紧张起来。

暴雨洪水的突发性，给防汛抗洪和洪水预报工作带来了困难。

(2) 暴雨强度大：河北省短历时暴雨强度接近全国最高记录。1963年獐犸站7天雨量2050mm，为我国大陆最高记录，与东南亚的印度乞拉朋吉2045mm（三天降雨）、菲律宾碧瑶2010mm（三天降雨）不相上下。由于暴雨强度大且分布十分集中，洪峰很高。如滦河滦县站控制流域面积44100km²，调查最大洪峰流量为1886年的35000m³/s（实测为1962年的34000m³/s），为国内相当面积的最高记录，与黄河的流量不相上下。黄河三

门峡站控制流域面积 $688\,400\text{km}^2$ ，为滦县站的15倍，调查最大洪峰流量为1843年的 $36\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。

(3) 干旱严重：河北省既有洪涝灾害，又存在严重的水荒。由于降水少，全省人均地表水资源占有量约为全国平均的 $1/8$ ，是全国最少的省份之一。

由于干旱缺水，每年汛期既要随时准备抗洪，还要抓紧有利时机蓄水。这就对洪水预报提出了更高的要求。每次暴雨不论大、小，都应进行预报，以便确定大、中型水库如何运用，是蓄还是泄。当水库水位较高，又接近大汛尾声时，更要及时做出准确的预报，以确保水库安全，并能储备较多的水源。

2.2 影响暴雨洪水的地貌地质条件

河北省有复杂多样的地貌、地质，也给洪水预报和水文模型的研制增加了复杂性。

(1) 河北省东北部、中西部连接着燕山及太行山脉，呈弧形环抱平原，北部边缘为坝上高原，东南部为平原，构成了多样的地貌类型。既有高原、山地，又有山间盆地和平原。由于暴雨集中在燕山、太行山迎风带，各河大多源短流急。加之暴雨强度大、范围小，洪峰陡涨陡落，在中小流域的降雨径流预报中，计算时段为一小时，也可能会漏掉洪峰。

(2) 河北省大部分山区土层覆盖较薄，下渗量较小，径流中的地下水补给不大，较为稳定。但山区面积（ 11.4万 km^2 ）的20%有岩容分布，是我国北方岩溶分布较广的地区。子牙河上游的冶河和滏阳河最为集中，有娘子关（河北、山西交界处）、百泉（邢台市境内）和黑龙洞（邯郸市境内）三个较为完整的水文地质单元。滏阳河上游有大片的漏水区和岩溶大泉出露，形成一些不闭合的小流域，洪水预报中也要解决这个问题。

(3) 此外, 由于连年干旱, 大量开采地下水, 各河大多干涸, 一遇洪水损失很大。因而在河道汇流预报中必须考虑洪水的沿程损失问题。

2.3 水文模型需要解决的课题

针对上述特点在洪水预报模型中需要解决的课题有:

(1) 由于暴雨强度大、下渗较小, 要应用下渗曲线进行产流预报, 需要研制适合于本省的下渗曲线。

(2) 流域内下渗能力分布不均问题。

(3) 降雨分布不均问题。

(4) 汇流计算中的沿程损失问题。

(5) 流域不闭合问题。

总之, 河北省既有年降水 300~400mm 的半干旱地带, 又有年降水 700~800mm 的半湿润地区。洪水预报模型既要兼顾上述课题, 还要有较强的适应性。