

GONGCHENG SHUIWENXUE

GONGCHENG SHUIWENXUE

高等学校教材

G O N G C H E N G S H U I W E N X U E

工 程 水 文 学

郝树堂 主 编
孙三祥 雷鹏帅 副主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

工程水文学

	郝树堂	主 编
孙三祥	雷鹏帅	副主编
张济世	何文社	主 审

中 国 铁 道 出 版 社

2009年·北京

内 容 简 介

本书参照给水排水、环境工程专业教学大纲, 引用新规范, 阐述了工程水文学的基本原理和方法。全书共六章, 内容包括: 绪论、河川径流形成的基本知识、水文信息采集与处理、水文统计基本知识、年径流及洪枯水、小流域设计洪峰流量的计算等。

本书可作为高等学校给水排水、环境工程、土木工程、水利水电工程本科专业教材, 也适用于成教、高职等教学, 还可作为其他相关专业教材或供相关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程水文学/郝树堂主编. —北京: 中国铁道出版社, 2009. 6
ISBN 978-7-113-10081-0

I. 工… II. 郝… III. 工程水文学 IV. TV12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 095245 号

书 名: 工程水文学
作 者: 郝树堂 孙三祥 雷鹏帅

策划编辑: 金 锋

责任编辑: 刘红梅 电话: 010-51873133

电子信箱: mm2005td@126.com

封面设计: 薛小卉

责任校对: 孙 玫

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

版 次: 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 11.5 字数: 230 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-10081-0/TV·7

定 价: 24.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

兰州交通大学“十一五”规划教材

编审委员会

主任:任恩恩

副主任:王晓明 盖宇仙

委员:(按姓氏笔划排名)

王 兵 朱 琨 陈宜吉

姜国栋 谢瑞峰 虞庐松

主 编:郝树堂

出版说明

近年来,兰州交通大学认真贯彻落实教育部有关文件精神,不断推进教育教学改革。学校先后出资数百万元,设立了教学改革、专业建设、重点课程(群)建设、教材建设等项基金,并制定了相应的教学改革与建设立项计划、项目管理及奖励办法等措施。根据培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高、具有创新精神的应用型的高级专门人才”的培养目标,学校各院(系、部)认真组织广大教师积极参加教学改革与建设,开展系统的研究与实践,取得了一系列教学改革与建设成果。

教学内容和课程体系的改革是教学改革的重点和难点,学校投入力量最大,花费时间最长,投入精力最多,取得的成效也最为显著,突出反映在教材建设方面。“十五”期间,学校共资助“十五”规划教材45本,资助普通教材56本,这些教材是一些学术造诣较深、教学水平较高、教学经验比较丰富的教师担任主编,骨干教师参编,同行专家主审而定稿的。在教材中凝聚了编著教师多年的教学、科研积累和成果,为推进教育创新、深化教学改革、提高教学质量做出了贡献。

2005年,在认真学习教育部相关文件精神的基础上,根据学校的办学指导思想和人才培养目标定位,各专业修订了新的人才培养方案,构建了“通识教育基础上的宽口径专业教育”的人才培养模式。为配合新的人才培养方案的实施,进一步深化教育教学改革,学校在“十五”教材建设的基础上,制定了“十一五”教材建设规划。“十一五”期间,学校将进一步加强教材建设工作,更好地发挥教材在人才培养中的重要作用。本着“重点支持优势、特色专业教材,兼顾一般教材,优选编者,保证质量”的原则,设立教材建设专项基金,力争在“十一五”期间出版一批高水平、高质量、有特色的教材。

本教材为学校“十一五”教材建设资助计划项目,并通过了学校教材编审委员会审定。希望该教材在教学实践过程中,广泛听取使用意见和建议,适时进一步修改、完善和提高。

兰州交通大学“十一五”规划

教材评审委员会

2006年4月

前 言

工程水文学是环境工程、给水排水、交通土建、水利工程等专业的一门技术基础课。按照课程的基本要求,突出对基本原理、方法和工程应用的介绍。通过课程的学习,使学生掌握工程水文学的基本概念和基本理论、了解水文现象的基本特征、水文资料的收集与整理、熟悉水文分析计算的基本方法。

本教材是在兰州交通大学郝树堂教授近年来编写的给排水专业、环境工程专业《水文学》讲义的基础上,根据近年制订的全国高校给水排水专业教学大纲,考虑环境类专业教学基本要求和新编规范修订而成。

根据课程的任务,结合扩招后学生的特点,修订过程中主要考虑:加强基础知识和基本技能的内容,反映水文学科科学水平,具有一定专业特色;增强学习兴趣,尽可能做到易教、易学。为此,增强了降水、蒸发、下渗、径流等部分的内容;水文信息采集部分,增加了水文遥感、水文信息等先进量测手段的内容;同时加强实用计算方法的介绍。重点介绍设计枯水、设计洪水的内容,其中水文统计主要介绍了我国近年来推荐的皮尔逊Ⅲ型频率曲线参数估计方法。在介绍暴雨强度公式的基础上,针对小流域设计洪峰流量采用推理公式计算,主要介绍了水文所方法和铁一院两所法。

本教材可作为高等学校给水排水、环境工程本科专业教材,也适用于成教、高职等教学,还可作为其他相关专业教材或供相关人员参考。

本教材由兰州交通大学郝树堂教授担任主编,孙三祥、雷鹏帅担任副主编。其中,第一、二、四章由郝树堂、孙三祥编写,第三、六章由郝树堂、雷鹏帅编写,第五章由张永秋、雷鹏帅编写;全书由兰州交通大学张济世教授、何文社教授主审。

对本书参考的相关文献的作者,编者在此一并致谢。

感谢兰州交通大学为教材的出版给予的大力支持。

真诚希望广大读者对本书的错误及不妥之处予以指正。

编 者

2009年7月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 人类面临的主要水问题	1
第二节 水文学发展的回顾	2
第三节 水文学主要分支学科	4
第四节 工程水文学在给水处理工程中的作用	6
第五节 水文学研究方法的基本特点	7
思考题及习题	9
第二章 河川径流形成的基本知识	10
第一节 水文循环现象	10
第二节 水文循环的尺度	11
第三节 地球系统中的水及水平衡	12
第四节 河流和流域	15
第五节 降 水	21
第六节 蒸 发	24
第七节 下 渗	25
第八节 径流及其形成过程	29
思考题及习题	35
第三章 水文信息采集与处理	36
第一节 测站与站网	36
第二节 水位观测与计算	40
第三节 流量测验	42
第四节 泥沙测验与计算	47
第五节 水文数据处理	52
思考题及习题	58
第四章 水文统计基本知识	60
第一节 概率的基本概念	61
第二节 随机变量及其分布参数	67

第三节	水文统计中常用的几种概率分布	72
第四节	分布参数的估算	74
第五节	现行水文频率计算方法	77
第六节	相关分析	85
思考题及习题	.....	93
第五章	年径流及洪、枯水	95
第一节	概 述	95
第二节	设计年径流量	96
第三节	设计年径流年内分配	103
第四节	设计枯水流量和枯水位的推求	105
第五节	设计洪峰流量和洪水位的推求	112
思考题及习题	.....	122
第六章	小流域设计洪峰流量的计算	126
第一节	概 述	126
第二节	小流域设计暴雨	127
第三节	小流域暴雨强度公式参数的推求	132
第四节	暴雨强度公式参数的地区综合	138
第五节	推理公式	140
第六节	用推理公式计算设计洪峰流量	143
第七节	地区经验公式	159
思考题及习题	.....	161
附 表	.....	163
附表 1	P-Ⅲ型频率曲线离均系数 Φ 值表	163
附表 2	频率格纸的横坐标分格表	168
附表 3	P-Ⅲ型曲线三点适线法 S 与 C_s 关系表	168
附表 4	海森概率格纸	171
附表 5	天然河道糙率 n 值表	172
参考文献	.....	174



第一章 绪论

第一节 人类面临的主要水问题

水是人类最早接触到的自然物质之一。水作为一种自然物质,主要具有下列自然属性。

(1)水借助于大气运动和蒸发、降水、径流等现象在由岩石圈、水圈、大气圈和生物圈组成的地球系统中作周而复始的水文循环运动。地球上总水量虽大体不变,但每年的时空分布有所不同,甚至形成一些地方的洪水或干旱。

(2)水是良好的溶剂,许多物质都容易溶解于水。水流是重要的载体,坡面土壤的侵蚀与搬运、河流泥沙运动、水污染物质的迁移扩散都是在水流作用下进行的。没有水流,就不可能有坡面土壤流失、河道冲淤变化和水污染物质的迁移。

(3)水具有势能、动能、压力能和化学能等,这是驱使水发生流动、溶解物质、携带泥沙和其他物质的动力。如果将水具有的能量集中起来,就可成为一种可再生的清洁能源即水能。

水作为人类生存和经济社会发展不可缺少的自然资源,又具有如下社会属性。

(1)水是维持生命的不可替代的物质,是生命之源,是地球系统的“血液”。水文循环就是地球系统的“血液循环”。水文循环导致的水的时空分布是地球上具有丰富多彩生态系统和美妙自然景色的根本原因之一。

(2)水少可能引起缺水,甚至发生旱灾或水荒;水多可能引起洪涝,发生水灾;水污染可能引起环境恶化,有水不能用。旱灾、水灾和水污染是人类生活和生产对水的需求与水的自然属性不协调的结果。

(3)水资源虽可再生,但有时空变化。因此,人类开发利用水资源一般需要一定条件。这是水资源有价值,也有其价值规律的主要原因所在。

(4)如果处理不好,“争水”、“排洪”或“污染水体”可能引发河流上、下游之间、地区之间,甚至国家之间的尖锐矛盾,成为社会不稳定的一个因素。

人类经济社会的发展,从一定意义上说意味着人类向自然进行索取,如果这种索取不适当,则迟早会带来麻烦。人类面临的下列水问题就是这种麻烦的一些具体表现。

(1)水、旱灾害是人类面临的主要自然灾害。人类与水、旱灾害做斗争已有几千年历史,但时至今日,水、旱灾害造成的损失仍位居诸自然灾害之首。据统计,在世界范围内每年因水、旱灾害造成的损失占各种自然灾害总损失的比例达 55%,其中水灾为



40%，旱灾为15%。地球上的自然灾害主要分布在环太平洋和北纬 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 两个带状区域内，全球95%的火山、95%的地震、70%的海啸都发生在这里，大部分水、旱灾害也集中在这里。中国大部分地区位于这两个灾害带内，每年因水、旱灾害造成的损失占各种自然灾害总损失的比例要大于55%。近一个世纪以来，中国江河大洪水和特大洪水的出现发生了一些值得注意的倾向：一是长江、淮河及其以南地区和东北的松花江、辽河流域，大洪水和特大洪水发生频次增加；二是“小流量高水位”现象时有出现；三是有些地方，同样的降雨量和过程产生的洪水比过去更大。长江、黄河的洪涝灾害仍是中华民族的心腹之患。

(2)全球气候变暖增加了解决水问题的难度。人口的增加，工业的发展，导致二氧化碳等温室气体大量向大气排放，“温室效应”加剧，海平面上升，水文循环发生一些变化。全球气候变暖已对中国产生比较明显的影响：一是使中国一些地区降水量减少；二是使海平面明显上升。降水量减少加重了一些地区的干旱缺水，海平面上升加重了沿海地区和感潮河段的水灾。

(3)水污染还未得到有效的控制。有很长一段时间，人们对保护水环境意识淡薄，走了一条“先发展经济，后治理环境”的路子，留下了许多环境方面的后遗症。水污染的加剧，不仅带来了严重的生态与环境问题，而且也增加了一些缺水地区和缺水城市的缺水程度，甚至出现缺乏安全饮用水的危机。

(4)不合理的工程措施和管理产生了负面影响。盲目砍伐森林，不合理的筑坝拦水、围垦、跨流域调水、引水灌溉和开采地下水等，都有可能带来负面影响。盲目砍伐森林，致使水土流失严重，恶化了当地生态与环境，造成了河道淤积，加之不合理的围垦，减少了水体的调蓄能力和输水能力，从而降低了江河防洪标准。过量地开采地下水，出现区域性地下水漏斗，引发地面沉降和海水入侵，不利于防洪，污染了地下水。不合理的引水灌溉，可能造成灌区次生盐碱化，也可能引起河流盐化。流域大量修建蓄水工程，或不合理使用河川径流，或不合理跨流域调水，可能使河川径流不合理地减少，甚至断流，导致下游河道淤积萎缩，防洪能力降低，湿地缩小，河口水环境恶化，生物多样性减少。

第二节 水文学发展的回顾

水文学作为地球物理科学的一个分支，主要研究地球系统中水的存在、分布、运动和循环变化规律，水的物理、化学性质，以及水圈与大气圈、岩石圈和生物圈的相互关系。水文学作为水利学科的重要组成部分，主要研究水资源的形成、时空分布、开发利用和保护，水旱灾害的形成、预测预报、防治，以及水利工程和其他工程建设的规划、设计、施工、管理中的水文水利计算技术。水资源合理开发利用和保护，以及水旱灾害的预测预报和防治，是实施经济社会可持续发展的重要支撑条件。因此，水文学在经济社



会可持续发展战略中占有重要的地位。

1674年,法国人佩劳特(Perreault)通过分析得出法国塞纳河流域的年径流量为该流域降雨量的 $1/6$ 的结论,这是有记载以来人类对水文规律所作的第一次定量描述。这一研究是水文学的开端,自此以后,水文学大体上经历了以下发展阶段。

在19世纪,以牛顿力学为基础的古典科学得到了极大的发展。例如,在物理科学领域,以牛顿力学为基础,统一了声学、光学、电磁学和热力学。牛顿力学有效地支配着小到超显微粒子、大到宇宙天体的物理世界。基于牛顿力学,水科学领域于1856年提出了描写渗流运动规律的达西(Darcy)定律,于1871年提出了描写明渠缓变非恒定流运动规律的圣维南(St. Venant)方程组。前者为研究土壤水、地下水动力学和地下水资源形成变化奠定了基础。后者为研究河道和坡面洪水运动,以及流域汇流奠定了基础。这一阶段是水文学的奠基阶段。

20世纪初至20世纪50年代,由于生产力的发展,人们期望能科学地了解和掌握河流洪水与枯水的变化规律,以便能预测预报洪水与枯水的发生和大小,建造水利工程达到控制洪水、调节枯水的目的。这种与水旱灾害做斗争的客观需要,促进了工程水文学的兴起与发展。1914年黑曾(Hazen)提出了水文频率计算方法,1921年罗斯(Ross)提出了面积-时间曲线,1932年谢尔曼(Sherman)提出了单位线,1935年霍顿(Horton)在他的著名论文“地表径流现象”中提出了均质包气带的产流理论,1938年麦卡锡(MacCarthy)提出了马斯京干(Muskingum)洪水演算方法。这些理论和方法的提出,奠定了工程水文学的基本内容,为许多工程的建造与运行管理提供了合理的水文计算方法,这一阶段确立了工程水文学的发展方向。

到了20世纪60~70年代,随着经济的迅速发展和人口的快速增长,一些国家和地区出现了水危机。水资源的紧缺已逐步成为经济社会发展的制约因素。加强水资源形成、变化规律和水资源合理开发利用及节水技术的研究,成为刻不容缓的任务。水文学就在这种背景下兴起并得到发展。差不多在同一时期,人们开始认识到,发展就是增长经济的片面观点必将导致人口膨胀、资源浪费、环境污染。而水环境是最先也是最易被污染的。1962年美国卡森(Cason)就呼吁要保护生态环境。因此,如何保护水环境,治理水污染,不仅是各国政府和人民关注的热点,而且促使了环境水文学的兴起。这一阶段确立了水文学中水资源水文学与环境水文学的发展方向。

近10多年来,全球气候变化及大气、海洋、陆地相互作用过程的研究,引起了水文学家广泛的兴趣,认为波及许多国家和地区的水资源危机和洪涝灾害与全球气候变化异常有关。伊格尔森(Eagleson)于1986年提出了全球尺度(Globe Scale Hydrology)的概念。太阳辐射在地球上的再分布是气候研究的中心问题,而水在这种再分布过程中起着关键性的作用,因为蒸发、大气中水汽的输送和降水过程都与太阳辐射密切相关,这就是全球尺度水文学或大尺度水文学研究的基本问题,目前,全球尺度水文学的研究已初见端倪,已在大气相互作用理论的野外试验,以及应用遥感技术探索地表水文



过程空间变异特性等方面开展了研究,并取得了进展。

第三节 水文学主要分支学科

分类的依据不同,水文学的分支学科不同,按基础理论与应用区分,则可分为水文学原理(或称理论水文学)和应用水文学。应用水文学按研究方法区分,则可分为动力学水文学、系统水文学、计算水文学、确定性水文学、水文统计学、随机水文学、地理水文学、实验水文学、同位素水文学、数字水文学等;按研究对象区分,则可分为河流水文学、湖泊水文学、冰川水文学、河口河岸水文学、地下水文学、水文气象学、水文测验学、水资源学等;按应用范围区分,则可分为工程水文学、农业水文学、森林水文学、城市水文学、环境水文学、生态水文学等。学科的分类与学科的发展水平有关。

1. 水文学原理

研究自然界水文循环、水分运动和溶质输移转化机理,水圈与大气圈、岩石圈和生物圈的相互关系。主要内容包括:不同尺度水文循环机理、土壤水分运动、下渗和蒸散发机理、洪水波运动规律、山坡产流、汇流、产沙机理,水文循环中溶质输移转化机理等。

2. 应用水文学

(1) 随机水文学

研究应用随机过程理论、时间序列分析方法和蒙特—卡洛(Monte—Carlo)方法等描述水文要素时空变化的原理与方法。主要包括水文随机模型建立及其在表征水文现象统计特征中的应用等。

(2) 数字水文学

研究基于由信息时代最具代表性特征的数字化技术所构建的平台,描述水文现象、探索和揭示水文规律的理论基础和具体方法。

(3) 河流水文学

研究河流水文现象基本规律及河流水资源利用。河流水文现象主要包括:河流补给、河流洪水与枯水、河流热动态与冰情、河流泥沙和河流水质等。河流的形成与水系发育、河槽形势和河床演变、河流生态系统保护与修复也是河流水文学的研究课题。

(4) 湖泊水文学

研究湖泊(水库)水文现象基本规律和湖泊资源利用。湖泊水文现象主要包括:湖泊水量和水位的变化、湖水运动、湖水热动态、湖水光学、湖水化学、湖泊沉积、湖泊富营养化和生态系统等。湖泊形态及其演变也属于湖泊水文学的研究内容。

(5) 冰川水文学

研究地球表面冰川、积雪水文现象基本规律、冰雪水资源利用及融冰雪洪水灾害防治。冰川、积雪水文现象主要包括:冰川的形成与变化、全球气候变化对冰川的影响,冰川积雪融化与河流的补给的关系等。



(6)河口海岸水文学

研究入海河口和海岸带水文现象基本规律、河口和海岸带的利用及灾害防治。河口和海岸带的水文现象主要包括：河口洪水波传播与扩散、潮波传播与变形、近岸海流、增减水、河口盐淡水混合与盐水楔、河口过滤器效应、泥沙运动和泥沙流等。河口三角洲和滩涂形成演变、河口和滩涂生态系统，也是河口海岸水文学研究的重要内容。

(7)地下水文学

研究地下水水文现象基本规律及地下水资源开发利用。地下水水文现象主要包括：地下水形成和储存条件，地下水运动，地下水水量、水位和水质的动态变化等。地下水开发利用引起的环境和生态问题也是地下水文学研究的重要内容。

(8)水文气象学

研究水文循环的大气过程，气候系统中的水分交换，全球变化与水文循环的关系，旱涝中长期预报和可能最大暴雨等。

(9)水文测验学

研究观测水文要素量值及时空分布的方法、仪器设备、技术标准，以及水文资料的传输、分析、整编、储存、检索和数据库技术等。

(10)水资源学

研究水资源时空分布、供需平衡，以及水量、水能、水质的合理开发、利用、保护、管理的理论与方法。主要包括水资源供需分析、水资源系统分析、水资源经济分析和水资源管理等。

(11)工程水文学

研究水文学原理应用于工程实践的方法，为给排水工程或其他有关工程的规划、设计、施工、运行管理提供水文依据。主要包括水文计算、水文预报和水利计算等内容。

(12)农业水文学

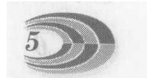
研究 SPAC(土壤—植物—大气连续体)系统中水文现象的基本规律，为农业合理用水、节水和灌溉提供科学依据。SPAC 系统中的水文现象主要包括：降水—地表水—土壤水—地下水的相互转化，溶质在 SPAC 系统中的运移、转化等。

(13)森林水文学

研究森林水文效应、保水作用及水土流失的防治。森林的水文效应主要包括：森林对降水的影响、林冠截留、林区蒸散发、林地土壤水动态和下渗过程、森林对径流形成机理的影响等。

(14)城市水文学

研究城市化水文效应，为城市的给排水和防洪工程建设，以及生态环境质量改善提供水文依据。城市化水文效应主要包括：城市“雨岛效应”、“热岛效应”、城市化对径流形成机理的影响等。



(15)环境水文学

研究水环境本底特征、水体自净机理及其与水文要素的关系。水环境影响评价和保护以及生态环境修复技术等。

(16)生态水文学

研究生态格局及生态过程中的水文机理,以植物如何影响水文过程及水文过程如何影响植物生长和分布作为主要研究内容。研究对象涉及江河生态系统、湖泊生态系统、湿地生态系统、森林和疏林生态系统、干旱区生态系统等。

第四节 工程水文学在给水排水工程中的作用

工程水文学(Engineering Hydrology)的主要内容是水文分析与计算的基本理论和方法。通过本课程的学习,要求能够掌握河川水文现象的基本规律,能够独立进行一般水文资料的收集、整理、具有必要的水文分析与计算的能力,以便为给水排水工程的规划、设计、施工和运营管理提供正确的水文资料和分析结果。

1. 规划、设计阶段主要是为确定工程规模提供水文依据。在设计直接从河流中取水的工程时,若洪水位估算偏高,就会使取水工程规模偏大;若洪水位或洪峰流量估算过小,则易使取水工程遭淹没破坏;若把河流枯水位估算过高,则易使取水工程在枯水期经常取不到足够水量;若把枯水位估算过低,不仅会使取水工程底面标高偏低,增加建设投资,并恶化取水水质,而且有可能使工程规模设计得偏小,使天然水资源得不到充分利用。给水工程使用期限一般是几十年,甚至百年以上。因此,在工程规划设计阶段,水文分析与计算的任务,就是研究这种长期的水文情势,预估水文特征值(如设计暴雨量,设计洪、枯水流量和水位等)作为工程设计依据。排水工程中雨水、污水排放工程的设计计算,也同样需要预估水文特征值。

2. 大型取水工程施工工期较长,一般需要一年以上。为了确定施工用临时性水工建筑物(如围堰)的尺寸,需要了解施工期间的来水情况。这仍需由水文计算提供,其中主要是提供施工期的设计洪水。显然,该洪水若估算得偏大,会使施工建筑物规模过大,造成浪费;反之,就易使施工建筑物遭受破坏,影响施工进度或造成巨大损失。

3. 运营管理阶段,需要经常掌握来水来沙情况,以便最优调度给水工程,向用户提供足量的合格用水。有时在工程运营期间,还必须不断复核和修正设计阶段的水文分析计算成果,必要时对工程进行改扩建。

总之,兴建和管理给水排水工程都必须掌握河流和工程地区的长期水情和雨情。如果给水与灌溉、航运、水力发电等其他水利工程设施结合在一起,进行水资源综合利用,其水文分析计算的内容更加复杂、广泛。没有正确的水文分析计算成果,就不能正确地规划设计和调度给水排水工程。因此,工程水文是每个给水排水工程技术人员必须掌握的基础知识。



第五节 水文学研究方法的基本特点

学科的发展,新规律的发现,从一定意义得益于新的研究方法的应用。从水文学发展过程中,可以初步总结出水文学研究方法的下列主要特点。

1. 多学科的交叉与渗透

学科的相互交叉与渗透,既存在于同一门类的相邻学科之间,也存在于不同门类的相关学科之间。水动力学和热力学的引入,产生了动力学水文学;系统论、控制论的引入,产生了系统水文学;引入计算机技术又产生了计算水文学和实时水文预报技术;时间序列分析和蒙特-卡洛方法的引入,产生了随机水文技术;河系地貌定律和统计物理学方法的引入,产生了地貌瞬时单位线理论。虽然,圣维南方法早在 1871 年就提出来了,但只有在高速度、大容量计算机出现以后,才能在实际中得到广泛应用;谢尔曼单位线自 1932 年以后就被广泛使用,但只有在系统理论引入后,才认识到单位线概念是处理线性系统普遍的有效工具,也就是说,凡属线性系统,不论何种现象,均可借助于单位线来解决实际问题。于是,河段单位线、坡地单位线、地下水单位线、泥沙单位线先后提出来了,完全可以预言,用于河流水质模拟的浓度单位线也会提出来的。对于熟知的马斯京干法和线性水库概念也是如此,只有当水力学和系统论引入后,它们才表现出重要的理论价值。在其他学科不断向水文学科渗透的同时,水文学科也随时和其他学科交叉。早期水文学科主要根据水利工程的规划、设计、运行管理的需要而发展,因而很早就出现了工程水文学。20 世纪 70 年代以来产生的森林水文学、农业水文学、环境水文学和城市水文学,则是本学科与农林科学、环境科学和城市科学交叉的结果。

2. 通过水文实验揭示水文规律

广义的水文实验包括布设水文站网进行观测、实验流域和实验室试验等三种。达西定律的发现离不开达西的沙柱渗流试验。20 世纪 60 年代,通过对大量的不同气候和下垫面条件下的水文观测资料的科学分析与归纳,赵人俊教授提出了湿润地区以蓄满产流为主,干旱地区以超渗产流为主的结论。这一重要结论为后来赵人俊教授等研制新安江二水源模型和陕北模型奠定了理论基础。20 世纪 70 年代,随着实验流域的发展,邓恩(Dune)等人提出用霍顿产流理论无法解释的饱和地面径流和壤中水径流的产流机制,这一发展后来成为新安江二水源模型向新安江三水源模型发展的理论依据。1963 年休利尔特(Hewlett)等人曾在室内将一个 $3\text{ ft} \times 3\text{ ft} \times 45\text{ ft}$ ($1\text{ ft} = 0.3048\text{ m}$) 的倾斜水泥槽,填满充分混合的自然沙土,然后灌水至田间持水量,加盖塑膜,以防止蒸发,结果在 150 天内可明显地观测到水流从槽中排出。这证明了非饱和地下水径流和壤中水径流形成机制的存在。1992 年顾慰祖在滁州水文实验站利用环境同位素技术对一次洪水过程线的径流成分进行了实验分析,发现地面径流不一定都源于本次降雨,而壤中水径流与地下水径流中必有非本次降雨的水量,因此认为,降雨与地面径流之间

严格的一一对应关系是很难获得的。水文实验的难度一般较大,水文现象发生的介质条件、边界条件和初始条件不易进行比尺模拟;由于不同比尺实验结果相互转换关系一般不是线性的,因此单点实验结果有时较难推广到流域中去。曾经有一些水文学家有过水文实验得不偿失的观点,但1986年克莱米斯(Klimes)指出:“水文学家最好不要去追求部分相关、部分噪声、有限元、无限划分等,而去研究热力学、地球化学、土壤物理学、植物生理学。”这说明了水文实验对揭示水文规律的重要性。

3. 应用流域水文模型探索水文规律

流域水文模型是由描述流域降雨径流形成过程的各函数构成的一种物理结构或概念性结构,或者说是通过一组耦合函数关系及相应参数来模拟流域降雨径流形成过程的一种结构,它严格满足流域水量平衡原理。流域水文模型的输入是降雨、蒸散发能力等,输出是流域出口断面流量过程或流域蓄水过程或流域蒸散发过程等。流域水文模型与计算机的出现及广泛应用分不开。20世纪70~80年代是流域水文模型的蓬勃发展时期。国内自20世纪70年代开始,一方面积极引进国外有用的流域水文模型,另一方面致力于新的流域水文模型的研制。在引进的流域水文模型中,有代表性的是美国Sacramento河流预报中心模型、日本水箱(TANK)模型和意大利约束系统(CLS)模型等。在国内自行研制的流域水文模型中,赵人俊教授等研制的新安江模型和陕北模型最具代表性。由于这两个模型结构合理,参数物理意义较强,使用精度较高,不仅在国内被广泛应用,而且受到世界气象组织的推荐,美国国家天气局也在采用,还被爱尔兰国立大学Galway学院国际水文研究生班作为教材。流域水文模型是一条又快、又好、又省的模拟自然界径流形成的途径,既可用于对流域径流形成规律的探求,又可用于处理实际应用问题。事实上,一些原来主要借助于物理模型来研究的问题,如水工水力学问题、工程泥沙问题等,也开始转向主要使用数学模型来寻求问题的解了。经典水力学与计算机技术的结合,已在20世纪70年代产生了计算水力学和计算河流水力学。随着流域水文模型研究深入必将导致水文学与计算机技术的更进一步的结合,计算水文学也将会以独立的分支学科问世。鉴于现行流域水文模型的局限性,一种可以考虑降雨和下垫面条件空间分布不均匀的分布式流域水文模型,已经成为新的研究热点。

4. 确定性与随机性研究方法的结合

水的物质结构既不同于固体,也不同于气体。对于固体,分子与分子、质点与质点之间的相互作用十分强烈,确实是组织严密,有条不紊。因此,其分子或质点的运动规律完全由牛顿力学定律来支配。对于气体,情况正好相反,分子与分子、质点与质点之间的相互作用十分微弱,可看做相互独立。因此,气体分子或质点所表现出的非结构纯随机运动,可用统计力学方法来精确描述。对于液体,分子与分子、质点与质点之间,既非严密有序,也非完全随机,而是一种松散的结构关系,牛顿力学不能精确地描述这种运动,统计力学也不能精确地描述这种运动。水的物质结构的这种特点,必然要求在探讨其运动规律时,将确定性的研究方法和随机性的研究方法有机地结合起来,相互补



充。此外,自然界的水文要素随时间的变化也是既有确定性的一面,又有随机性的一面的。例如径流在一年之内有丰、枯水期的变化,在年与年之间有多水年、少水年的变化,这是径流变化的确定性表现;径流在未来某一时刻将出现什么量值,一般是不能事先确切预知的,这是径流变化随机性的表现,而且预见期越长,这种随机性表现越明显。因此,在探讨水文要素变化规律时,也应当将确定性的研究方法与随机性的研究方法有机地结合起来,相互补充。20世纪80年代以来,地貌瞬时单位线理论的创立,以及水文随机模拟技术的发展,已经显示了这种确定性与随机性研究方法的相结合在探索水文规律中的重要作用。

思考题及习题

- 1.1 什么是水文学?它研究的主要内容是什么?
- 1.2 自然界常见的水文现象有哪些?其变化有哪些基本规律?
- 1.3 水文研究的基本方法有哪些?
- 1.4 水文学在给排水工程规划、设计、管理中有哪些作用?试举例说明。

