

河流水文学若干研究领域的回顾与展望

芮孝芳, 孔凡哲, 石 朋

(河海大学、江苏 南京 210098)

摘要:就 21 世纪的产汇流理论、流域定量地貌、河流洪水、河流泥沙、河流热状况与冰情、河流资源利用、河流水质与河流生态环境等河流水文学主要研究领域的发展前景作了初步的展望;要进一步揭示不同气候和下垫面条件下的产汇流规律,研制预测功能强的流域水文模型,发展和应用数字流域,深入揭示复杂条件下的洪水运动规律,提出高精度的分析计算方法;水流动力学与泥沙动力学相耦合的产沙计算方法将得到实际应用,河流输沙机理将进一步被揭示;继续探索河冰形成及河流冰情变化的热力学和水力学机理,完善冰凌数学模型,进一步揭示河流水流挟带污染物质的运动机理,完善水质模型,提高计算精度;要采用多学科综合的手段,深入探讨人类活动对河流生态系统的影响。

关键词:河流水文学;产汇流;洪水;泥沙;冰情;水环境

中图分类号:P33

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)02-0008-04

河流水文学是水文学中重要的、最先得到发展的分支学科之一。它主要研究河流中所发生的各种水文现象的基本规律,河流集水面积上的产流与汇流过程,河流资源的利用,以及人类活动与河流生态系统之间的关系等。河流水文现象主要包括洪水与枯水、热状况与冰情、水化学与水质、泥沙运动等问题。流域的地形地貌、河系的形态和河床演变,对河流水文现象有重要影响,也是河流水文学的重要研究课题。河流是地球上重要的生态系统,河流与人类生存休戚相关,因此,河流水文学还应着力研究河流资源的可持续利用,以及人类与河流生态系统和谐共存问题。

19 世纪以前,人们对河流水文现象的认识是感性的、局部的、描述性的。19 世纪牛顿力学体系的建立与不断完善,为河流水文学的发展奠定了理论基础。20 世纪,由于生产力的推动和科学技术的全面进步,河流水文学得到了蓬勃发展,形成了自身的学科体系。展望 21 世纪,随着科学技术必将出现的更深刻的革命,作为一门综合性较强的学科,河流水文学必将有更好的发展前景。

1 产汇流理论

河流是气候的产物,河中水流主要来源于降雨径流,因此,揭示降雨径流形成机理是河流水文学的

重要任务之一。20 世纪,在流域产流理论及计算方法方面的主要进展是^[1]:揭示了超渗地面径流、饱和地面径流、壤中水径流、地下水径流等四种径流成分形成的物理条件;提出了蓄满产流和超渗产流两种基本产流模式及其与气候条件和下垫面条件的关系;发现了在流域产流过程中产流面积随时间变化的原因及处理蓄满产流和超渗产流情况下产流面积随时间变化的方法;建立了一些具有实用价值的流域产流量分析计算方法。在流域汇流和计算方面的主要进展是:从水滴运动学、河网水力学、流域调蓄作用和流域汇流系统分析等不同角度阐述了流域汇流的机理或宏观表现;完善了线性情况下流域汇流的计算方法;发现了若干个可以描述推移和坦化现象的概念性元件,并提出了由此构造概念性流域汇流模型的方法;创立了地貌瞬时单位线理论^[2]。由于自然界产汇流机制本身就十分复杂,人类活动的影响又增加了这种复杂性,因此,在 21 世纪,进一步揭示不同气候和下垫面条件下的产汇流规律,尤其是探讨人类活动对产汇流的影响,仍然是十分重要的。发挥多学科交叉与相互渗透的作用,采用新的科学理论和技术,仍然是探求新的产汇流理论和计算方法的重要手段。在流域产流理论和计算方法方面,重点要研究下垫面结构各向异性、地形坡度等在产流中的作用,人类不同的土地利用方式对产流的影响,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:49771021)

作者简介:芮孝芳(1939—),男,江苏溧阳人,教授,从事水文学及水资源研究。

以及能分别计算出各种径流成分的流域产流量计算方法.在流域汇流理论和计算方法方面,重点要研究水系发展与流域汇流的关系、流域地形地貌与流域汇流的关系,以及在流域汇流计算中尺度对这些关系的影响.

2 流域水文模型

计算机技术与产汇流理论相结合导致了流域水文模型的出现.这是 20 世纪河流文学重要成就之一.现行的流域水文模型主要是集总式的,它一般只能给出产汇流过程空间上的均化的结果,这与流域产汇流空间分布不均匀的实际情况不符.降雨空间分布不均匀和下垫面特征空间分布不均匀是导致流域产汇流空间分布不均匀的根源.因此,研制与之相适应的分布式流域水文模型是十分迫切的,这是提高流域水文模型精度的关键所在.这个问题在 20 世纪已经提出来了,并且已有了初步的处理方法.21 世纪人们必将花费更大的气力来研究这个问题.现在可以预见的研究途径可能有二:一是利用概率论和数理统计方法来处理降雨及下垫面特征的空间分布不均匀性;二是依赖地理信息系统(GIS)的支撑来描述降雨和下垫面特征的空间分布不均匀性.当然,也可以采用这两种途径的结合.现行流域水文模型的另一个主要问题是其结构和参数需要依据实测资料来率定.这就使得现行流域水文模型的主要功能是从数量上模拟自然界降雨径流形成过程,这是有悖于人们研制流域水文模型的初衷的.人们探求自然规律的根本目的不是模拟过去,而是预测未来.因此,研制预测功能强的流域水文模型,试图用分析模型取代模拟模型,是 21 世纪摆在人们面前艰巨而迫切的任务.要在这方面取得进展,一要依靠科学实验,二要依靠新的科学理论.水文科学实验,在 20 世纪中叶曾经有过快速发展,在揭示河流水文规律方面发挥过巨大作用.21 世纪,以遥感技术、雷达技术、示踪剂技术为代表的新的水文实验技术必将得到广泛应用,这些先进观测技术与传统的水文观测方法比较,将为人们实现以水文要素的面观测值代替点观测值、以动态观测值代替静态观测值的理想提供可能性.19 世纪最伟大的自然科学发现是牛顿力学.20 世纪公认的三大自然科学发现为相对论、量子力学和混沌理论,其中混沌理论的重大意义在于揭示了牛顿力学是具有内在的随机性的,从而架起了决定论与概率论描述之间由此及彼的桥梁.牛顿力学是河流文学的理论基础,因此,可以预见,在 21 世纪,混沌理论将可能成为深入揭示河流水文规律的理论武器.

3 河系结构与流域地貌

河系及流域地貌是决定径流过程线形状的重要地质背景.20 世纪,地貌学经历了由定性研究向定量研究的初步发展过程^[3],在河系拓扑及流域定量地貌方面已取得了一批重要研究成果,通过建立河系随机模型,及基于分形理论,揭示了河系分叉规律,河系、坡度、集水面积的分布规律,发现并解释了面积与河长之间的定量关系,以及从不同比例尺地形图上获取的地貌参数之间的分形关系^[4].基于数字高程模型(DEM)的数字流域已见端倪.信息科学发展趋势表明,21 世纪将是一个数字化世纪,因此,在 21 世纪,数字流域无论在理论上或实际应用上必将有巨大发展,人们将可以方便地利用数字流域的理论技术生成河系和流域形状,提取河系拓扑参数和流域地貌参数.数字流域与水文学的交叉和相互渗透将使传统的水文学增添生机,地貌水文学将可能最终形成.

4 河流洪水

河流洪水是最重要的河流水文现象之一,也是导致洪涝灾害的自然因素.20 世纪在河流洪水运动及变化规律的研究方面的主要进展是:基于 19 世纪提出的描述明渠缓变不稳定流运动的 St. Venant 方程组,证明驱使河道洪水波运动的各项作用力的对比决定了洪水波运动的特征^[5];对运动波、扩散波和动力波的特征从物理上作了深入的讨论,对惯性波的特征也作了初步的讨论;提出了水文学和水力学两类主要的洪水演算途径,并发现了它们之间的相互联系^[1,6];所建立的众多的水文学洪水演算方法和水力学洪水演算方法在实践中均行之有效;认识到河流洪水的长期变化既有确定性一面,也有不确定性一面;对引起河流洪水长期变化的气候因子、地球物理因子和宇宙物理因子作了一定的揭示;对河流洪水长期变化所表现出的不确定性特征作了多方探索,例如,应用概率论和数理统计探索河流洪水长期变化的随机性特点,应用模糊数学方法探索河流洪水长期变化的模糊性特点,以及应用混沌动力学理论探索河流洪水长期变化的混沌性特点等.21 世纪,人们应当对复杂条件下的洪水运动规律作深入的揭示,并提出精度较高的分析计算方法.这些复杂的条件主要指:平原河网、河湖(库)系统、洪泛区行洪、河道水流与地下水之间的联系、河道冲淤变化,以及工程控制运用等;对惯性波的特征及计算方法要更进一步探索和不断完善.特大洪水的发生规律及预测,是人们特别关注的问题.但特大洪水的发

生,与其它重大自然现象,如地震、海啸、台风等一样,应当是宇宙力量所致,尤其是其中太阳系对地球的作用和地球系统本身的变化.这些自然因素发生突变将可能导致全球或局部地区气候异常和水文循环变异,从而可能形成特大洪水.因此,随着宇宙科学和地球科学的进展,人类揭示特大洪水发生规律的能力,在21世纪有可能得到较大的提高.此外,人类活动向大气大量排放温室气体可能引起的气候异常和相应的水文异常,也是21世纪必须进一步加强研究的课题.

5 河流泥沙及河床演变

流域产沙与产流密切相关.通过产流模型与产沙模型的耦合来处理流域产沙的定量计算,在20世纪已经有了良好的开端,但由于以概念性产流、产沙模型为基础的流域产沙计算方法在揭示产流、产沙机理上的粗浅,甚至不合理,现有的流域产沙模型的计算精度是不尽如人意的.21世纪必须进一步探索产流、产沙机理,可以预见,随着处理降雨和下垫面特性空间分布不均匀的技术水平的不断提高,理论上更合理的、分布式的水流动力学与泥沙动力学相耦合的产沙计算方法将会得到实际应用.近代河流泥沙理论及河床演变理论始于19世纪末,并于20世纪得到蓬勃发展,其主要进展是^[7-9]:在河流输沙机理方面,基于流体力学和水力学理论,通过物理模型试验和对天然河流的泥沙测验,揭示了泥沙颗粒在河水中沉降与悬浮的规律及影响因素,分析了河流泥沙颗粒的作用力及定量方法,提出了适用于不同水流、泥沙条件的泥沙沉降速度公式、泥沙起动流速公式、河流输沙率公式等.在河床演变理论方面,揭示了天然河流的河相关系,提出了造床流量概念;对河型进行了分类,并探讨了它们之间的相互转换条件.泥沙运动理论与计算机技术相结合,促进了河流泥沙数学模型的大力发展,目前已在解决工程泥沙问题和河床演变预测中得到比较成功的应用.中国许多河流都存在不同程度的泥沙问题,黄河的含沙量为世界之最,因此,中国学者在20世纪,在河流泥沙研究中有特殊的贡献^[7,8],例如,提出了非平衡输沙理论,初步揭示了高含沙水流运动的特性,成功地解决了长江三峡工程和黄河小浪底工程的工程泥沙问题,以及黄河泥沙来源和下游游荡性河流的整治问题.在20世纪河流泥沙和河床演变研究取得丰硕成果的基础上,21世纪将要着重研究的主要问题是:挟沙水流紊动结构及输沙机理;大水深条件下泥沙起动、扬动及泥沙与床面的交换规律;非均匀、非恒定输沙规律;粘性泥沙的物理化学特性及沉降规

律;泥沙物理模型相似理论及试验技术;三维河流泥沙数学模型的完善与应用;不同类型河道的河床演变规律;平原河道崩岸机理及防治技术等.

6 河流热状态及冰情

河流热状况、水温的时空变化,不仅是河流冰情发生与变化的根据,而且是河流水环境与生态系统发生变化的重要影响因素.20世纪,人们在探讨河流热量平衡和河水热力学的基础上,揭示了河冰形成的机理,对河流封冻、冰厚增消、冰坝和冰塞的形成、解冻和冰凌洪水等冰情进行了全面的研究^[10,11];基于热力学和水力学理论的冰凌数学模型的研制也提上了议事日程.但由于河流热动态、河冰形成、河流冰情变化等都十分复杂,因此,20世纪在这方面的研究成果大都是初步的、经验性较强的.21世纪应着重对河冰形成及河流冰情变化的热力学和水力学机理继续作深入的研究,以促使冰凌数学模型日臻完善.

7 河流水质及生态环境

河流水流挟带污染物质的运动,既包含物理过程,也包含化学过程、物理化学过程、生物过程、生物化学过程等.这要比河流水流单纯挟带泥沙的运动复杂得多.自20世纪20年代世界上第一个水质模型诞生以来,由于环境问题日益受到人们的关注,人们对河流水流挟带污染物质的运动机理的研究有了长足的进步^[12,13],不仅揭示了水流中污染物的对流、扩散、弥散、沉降、悬浮、吸附等机理,而且揭示了流水中污染物质的降解、转化等机理,并在此基础上建立了许多水质模型^[14],尤其是有机污染的水质模型,在实际中达到较好的使用效果.21世纪,河流水流挟带污染物质的运动机理,必将得到更深入、更精确的揭示,现有的水质模型必将不断完善,计算精度必将得到进一步提高.随着新的水污染问题的出现,新的水质模型必将不断涌现出来,例如:描述重金属污染、油污染、富营养化污染等的水质模型的研究可能会越来越受到重视.此外,面污染模型的结构和精度也将随着流域产汇流理论和监测技术的进步而得到改进.

河流生态系统属于地球湿地生态系统.湿地生态系统、海洋生态系统和森林生态系统合称为地球上三大生态系统.许多河流都与人类文明发展有着密切的联系,例如,埃及的文明与尼罗河相联系,美索不达米亚(即两河地区)的文明与底格里斯河和幼发拉底河相联系,中华民族的文明与黄河、长江两条母亲河分不开.20世纪,由于人口激增,经济社会快

速发展,人类以前所未有的速度加快了对河流的开发利用,以前所未有的规模加大了向自然的索取。但是,对河流的不合理的开发利用将导致水质变坏、湿地减退,甚至发生断流或加剧洪水灾害,严重地破坏了原有的良好的河流生态平衡和生物多样性,恶化了人类自身的生存环境。20世纪中叶,人们开始注意到人类活动可能对河流生态系统产生负效应。20世纪70年代,人们提出了旨在保护生态环境、寻求人与自然和谐共存的经济社会可持续发展的模式。21世纪,应当采用多学科综合的手段,更加深入地探讨人类活动对河流生态系统的影响,以及防止或减少负效应的对策。人类在开发利用河流时,应当使河流生态系统维持在对人类生存与发展有利的状态,或朝着更有利于人类生存与发展的方向改变,这就是建设生态河流的问题,它必将成为21世纪河流文学研究的一个重要课题。

人们已经看到了21世纪科学技术飞速发展的曙光,这将是一个知识创新时代,它必将给古老而又年轻的河流文学的发展带来新机遇。

参考文献:

- [1] 芮孝芳. 产汇流理论[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [2] Rodriguze-Iturbe I, et al. The geomorphologic structure of hydrological response[J]. Water Resources Research, 1979, 15

(6):1409~1420.

- [3] 承继成,等. 流域地貌数学模型[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [4] Mararu A, Rigon R, Rinaldo A. A note on fractal channel networks[J]. Water Resources Research, 1991, 27(12):3041~3049.
- [5] Ponce V M, Simons D B. Shallow wave propagation in open channel flow[J]. J of Hydraul Div, ASCE, 1977, 103(12):1461~1476.
- [6] 谭维炎. 计算浅水水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
- [7] 钱宁. 高含沙水流运动[M]. 北京:清华大学出版社,1987.
- [8] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [9] Ackers P, White W R. Sediment transport: new approach and analysis[J]. J of Hydraul Div, ASCE, 1973, 106(11).
- [10] 清华大学水利工程系,黄河水利委员会工务处. 黄河下游凌汛[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [11] Beltaos S. River ice jams: theory, case study, and applications[J]. J of Hydraul Eng, ASCE, 1983, 109(10):1338~1359.
- [12] 张书农. 环境水力学[M]. 南京:河海大学出版社,1989.
- [13] 陈瑞生,等. 河流重金属污染研究[M]. 北京:北京大学出版社,1990.
- [14] 傅国伟. 河流水质数学模型及其模拟计算[M]. 北京:中国环境科学出版社,1987.

(收稿日期:2001-01-16 编辑:马敏峰)

(上接第7页)

度,采用保护原有植被,控制过度放牧,封山封沙与人工造林相结合,在局部可能引水发展灌溉农业的地方,则要采取与以建设护田林网为中心的植被建设措施。

2.5 搞好水土保持产业化

要组建以农业为依托,以企业为龙头,以市场为导向,以效益为目标,以商业为纽带的贸工农、产供销相结合的生产经营综合体系,搞好农产品及农副产品的加工利用,提高水保产品商品率,使产品有批量、有质量、有规格,从而增强竞争力^[11,12]。推行适度的规模经营,培植水保“拳头”产品和具有高附加值、高商品率、高创汇率的水保产品,积极创造条件发展水保产业化,培养水土保持产品中介队伍,实行生产要素的优化组合,保证小流域农产品生产、加工、销售联合经营,积极兴办各类专业合作社,提高系列化服务水平,走合作社之路,促进小流域经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] 上官周平,彭珂珊. 黄土高原粮食生产与可持续发展研究[M]. 西安:陕西人民出版社,1999. 76~87.

- [2] 彭珂珊. 西部大开发中退耕还林(草)面临的挑战及其作用[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(6):2~5.
- [3] 彭珂珊. 黄土高原地区农田土壤水分高效调控技术[J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(1):5~8.
- [4] 彭珂珊. 21世纪中国水资源危机[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(5):13~16.
- [5] 付国儒. 江西省洪灾与水土保持[J]. 水土保持研究, 1999(2):13~15.
- [6] 刘昌明. 中国21世纪水问题方略[M]. 北京:科学出版社, 1998. 1~19.
- [7] 孙立达,孙保平,齐实. 小流域综合治理理论与实践[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1992. 1~35.
- [8] 刘运河. 水土保持[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 1988. 93~140.
- [9] 蒋定生. 论小流域综合治理与规划指导思想[J]. 水土保持通报, 1996(1):78~85.
- [10] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1997. 72~273.
- [11] 彭珂珊. 黄土高原水土流失区退耕还林(草)的基本思路[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(3):9~14.
- [12] 彭珂珊. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(4):15~18.

(收稿日期:2001-01-04 编辑:康水斌)