

水文科学研究的世纪回眸与展望*

叶守泽, 夏 军

(武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 对 20 世纪国内外水文科学发展历程进行了回顾, 涉及到水文学的变革、水文测验、水文分析计算、水文模拟与预报和主要水文分支学科的兴起。对当今水文学术界的争论问题阐明了笔者的观点, 其中涉及到科学与技术的关系、科学研究与生产应用的关系, 数学方法与水文物理基础的关系。指出了我国水文学术界存在的若干问题。对 21 世纪水文科学的发展进行了展望。

关键词: 水文科学; 回顾; 21 世纪; 展望

中图分类号: P 33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2002)01-0093-12

“水文学”作为一门科学是在社会生产发展和人类活动需要中逐步形成的, 它是一门年轻的科学。1962 年美国联邦政府科技委员会提出水文学是一门关于地球上水的存在、循环、分布, 它的物理、化学性质以及环境包括与生活有关事物的反应的学科。1987 年《中国大百科全书》定义水文科学是关于地球上水的起源、存在、分布、循环运动等变化规律和运用这些规律为人类服务的知识体系。显然, 水文科学的内涵包括许多基础科学问题, 具有自然属性, 是地球科学的组成部分, 其研究方向是地理水文学; 另一方面, 由于它在形成与发展过程中, 直接为人类服务, 并受人类活动的影响, 具有社会属性, 又属于应用科学的范畴, 其研究方向是应用水文学或工程水文学。

1 水文科学的发展历程

1.1 20 世纪以前是水文科学的萌芽和奠基阶段

远古时代, 人们在治水工程中认识到水文工作的必要性。例如, 公元前约 3000 年埃及在尼罗河上设置水位观测设备, 公元前约 250 年李冰在都江堰设置“石人”观测水位, 隋代的石刻水则, 宋代的水碑等都是为了掌握水情而设立的。公元 6 世纪《水经注》定性描述了我国境内河流的概况, 表明古代已有水文知识和水情记载。

15 世纪以后, 水文测量技术和设备有了显著的发展, 自计雨量计(1663, C. 雷恩等), 蒸发器(1687, 哈雷), 流速仪(1870, T. G 埃利浦), 以及与水文有关水力学测试设备如伯诺里测压

* 收稿日期: 2000-10-21; 修订日期: 2000-12-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(59879018); 国家“973”项目子课题(G1999043605)资助

作者简介: 叶守泽(1920-), 男, 广西桂林人, 武汉大学水利水电学院教授, 博士生导师, 主要从事水文水环境教学和研究。

管、毕托管的发明,有关理论和公式如伯诺里原理、谢才公式(1775)等提出,特别是在19世纪,许多理论和公式相继出现,如达西定律(1856)、圣维南方程(1871)、曼宁公式(1889)、道尔顿蒸发公式(1802)以及库切林合理化公式(1889)为水文科学的发展奠定了基础。

1.2 1900 - 1960 年是应用水文学的兴起阶段

20世纪以来,随着生产建设的发展,为适应兴建大量水利工程和其它设施的需要,应用水文学应运而生,主要反映在以下几个方面:

(1) 建立了一些水文实验站如前苏联的瓦尔达依,美国的科威达水文实验站,我国建国初期也开始在长江、黄河、铁科院西南所和一些省区建立水文实验站,探索降雨径流变化规律,为生产建设提供水文数据。

(2) 设置水文站网,观测、调查、收集水文气象资料,为生产建设提供水文情报。

(3) 为适应水工建筑物水文计算的要求,大量的经验公式和参数估计方法相继出现。

(4) 产汇流理论和计算公式的提出,如谢尔曼单位线(1932)、佐贺瞬时单位线(1934)、麦卡锡的马斯京根洪水演算法(1936),以及耿贝尔极值分布(1941)和海森的水文频率计算(1930)促进了降雨径流和水文频率计算工作的开展。

1.3 1960 - 2000 年是水文科学的变革和发展阶段,也是进入现代水文学的一个新阶段

20世纪60年代以来,随着计算机技术的发展,遥感遥测技术的引用,一些新理论和边缘学科的渗透,加之人口膨胀、水资源紧张、环境污染、气候变化,使水文科学面临着机遇与挑战,特别是近二三十年,国际水文学学术活动频繁,我国水文界也开展了大量的研究工作,促进水文科学发生了深刻的变革和发展,从而使水文学进入了现代水文学的新阶段。

联合国科教文组织从20世纪60年代开始组织各国参加国际水文十年(IHP, 1965 - 1974)的国际水文学学术活动,主要研究工作在于全球水文基本资料收集和水量平衡研究。从1975年起继续执行国际水文计划(IHP),将1975 - 1995年分四个阶段进行,第一阶段着重人类活动影响,水资源与自然环境之间关系的研究;第二阶段着重于把研究领域扩大到各个特定的地理、气候区域,并向着综合利用水资源的水问题方向发展;第三阶段定名为“为经济、社会发展合理管理水资源的水文学和科学基础”,除继续把水文科学作为重点外,把计划内容扩大到合理管理水资源;第四阶段研究计划重点是大气-土壤-植被之间的水循环关系,全球气候变化对陆地水文过程的影响。目前还在进行的IHP第五阶段(1996 - 2001)主题是“脆弱环境中的水文水资源开发”。相对以前的四个阶段,它更加突出了通过水文科学的基础和知识支持可持续水资源的规划与管理。计划的核心内容有:水文过程中的尺度问题的作用,环境的脆弱性,水资源的综合集成管理,科学的教育训练与传播。

国际水文科学协会(IAHS)是国际上颇有响应的水文科学学术组织,下属有9个委员会,涉及地表水、地下水、陆地侵蚀与泥沙、冰雪、水质、水资源系统、水文遥感及资料传输、大气-土壤-植被关系和水文示踪等各方面。20世纪90年代后,IAHS召开了一系列直接与可持续水资源管理联系的水文学基础研究和应用研究学术研讨会。例如,国际上探讨提出“水文水资源中新的不确定性概念”包括水文变化的随机性、概念划分,非惟一的模糊性和信息不完全的“灰色”系统等。在“变化世界中的水资源规划”专题中,强调了水资源开发中“风险”问题的不确定性定量描述和水文学研究与水资源管理在可持续发展研究的内在联系。1999年7月,在英国召开了20世纪最后一年的国际地球物理学联合大会(IUGG)。在国际水文学协会举办

的一系列专题讨论中，交流了三个方面水文科学新的进展与展望：一是水文信息的支持，主要有专题学术讨论会 HS4：流域水文学集成方法（示踪、遥感和新的水文观测技术），HW1：全球水文资料数据库；二是水文科学基础的研究，其中包括：HS1-水文极值（洪水和干旱）问题的认识、预测与减灾，HS2-全球冰圈、气候和温室效应的相互作用；HW3-冰盖河流水文学；HW4-水文与大气交换作用陆面模型参数繁荣区域化；三是环境水文学问题研究，主要有：HS3-土地利用变化对不同源氮负荷的影响；HW5-地表水和地下水的水量水质交互作用问题；HW2-水文生态学：河流生态对变化了的水文情势、泥沙输送和氮负荷的响应；HS5-都市化增长对地表和地下水质的影响。以 HW2 的水文生态学和水资源管理专题为例，探索的主要问题是：水文循环与生态系统变化的联系是什么？反过来生态系统变化和影响变化带来的水文后果是什么？水文学的研究不仅需要认识如何作用于水文循环的物理过程。同时，也需要强调通过对水文循环的生物控制和它们的气候、水文和环境中的相互作用的反问题。认识对陆面生态系统改变的影响，认识全球变化和人类活动对国民经济和社会可持续发展的影响，保护人类生存的环境。其中，水文生态学已经成为近代水文学发展的一个重要方面。内容涉及：土壤-植被-大气转化模型的研制；河流生态系统多样性：时间和空间的变异性分析；生态系统变化与河流泥沙输送和氮负荷的响应的关系；和水文生态模型等等。国际地球科学在面向 21 世纪的发展中十分重视水文学和生态学交叉的方向研究。

我国近二三十年来，水文科学有很大的变革和发展。雷达测雨、中子测土壤含水、放射性示踪测流、卫星遥感传递资料等现代技术的引用，使人们能获得使用常规方法无法取得的水文信息。一些科研院所和高等院校建立了现代化设备的水文实验室，是人们有可能对水文现象的物理过程了解得更深透。设计洪水计算理论与方法，联机实时洪水预报技术与方法，流域水文模型等取得了适合我国需要的先进成果。开展了全国和各大江大河流域的水资源（水质）评价、水资源合理利用及水质研究、江河水文水情研究，以及气候变化对水文水资源影响评价等课题已列入国家科技攻关计划，广泛在各有关部门开展。随着新理论如信息论、系统论、控制论以及一些交叉学科如随机理论、模糊数学、灰色系统理论、人工神经网络系统方法的引进和渗入，使水文科学相继出现许多新的研究方向或分支学科，诸如系统水文学（包括灰色系统理论）、随机水文学、模糊水文学、环境水文学、水文遥感、水文学的地貌学研究方向等等，从而使水文科学进入一个变革与发展时期，形成百花齐放、百家争鸣的格局，也是在世纪交替进入现代水文学新阶段的一个特色。

2 我国工程水文学的发展

近十多年来，随着工业化和现代化的进展，水资源问题的日益突出，人类活动和气候变化所产生的水文效应等，给水文学提出了许多新问题、新任务和新要求，从而促进了水文科学的迅速发展。

2.1 水文测验

水文测验是水文工作的基础，站网建设反映国家经济的发展和在水文工作的重视程度。目前，世界水文站网平均密度约为 4 站/万 km^2 ，站网密度较大的国家是日本和美国，较小的是非洲，中国的站网密度处于平均水平。

近十多年来，电子技术、计算机技术、遥感技术、现代通讯技术等在水文测验的各个项目

中得到应用, 给水文测验带来了新的生机, 目前转子流速仪是世界各国的主要常规仪器, 但是在改进方面的共同特点是: (1) 信号装置内机械接触向非接触式转化; (2) 仪器信号频率由多转一个信号变为一转一个信号或一转多个信号; (3) 仪器的材料愈来愈多地采用高强度塑料; (4) 转子的物理参数日趋精确一致; (5) 采用有多种性能的电子计数器。除常规测流设备之外, 有一些国家, 如美国、日本、英国、荷兰、加拿大等, 分别采用电波、光学、超声波、激光等新技术的测流装置和水位观测装置, 中国在这方面也进行了研制和采用。

2.2 水文分析计算

中国水文计算技术的发展可以大体上分为两个阶段。20 世纪 70 年代末以前主要侧重于山区水利枢纽、流域开发治理中的规划、设计、施工、管理阶段的水文计算问题, 并多以洪水计算为主, 形成了一套比较完整的分析计算方法, 编制了全国设计洪水分析计算规范和各地区的水文手册。20 世纪 80 年代以来, 随着水资源短缺, 水质恶化以及气候变化等原因, 给水文计算提出了许多新问题, 使水文计算的研究领域扩大, 甚至形成了许多新的分支学科 (将在以下论述)。

这里着重以设计洪水计算和水文模型问题, 说明中国在这方面取得的进展。

设计洪水是指水利工程规划设计所依据的各种标准的洪水。随着改革开放, 中国亟待开发利用的水利工程逐渐增多, 而国内外设计洪水计算技术又有了新的发展。为了适应新形势的需要, 水利水电规划设计总院 1993 年对 20 世纪 70 年代的设计洪水计算规范进行了修订, 修订后的规范反映了科学性、先进性和实用性, 并具有中国自己的特色。例如在频率计算参数估计方面, 总结了多年来的实践经验, 规定采用初估、实践、调整三个计算步骤; 在根据暴雨计算设计洪水的产汇流计算方面, 吸取了中国 20 世纪 80 年代编制暴雨等值线图和暴雨径流查算图表的经验和成果。

设计洪水是一种推求极值的问题, 属于超长期预报范畴, 但是从工程的安全和经济两个方面着想, 只能用洪水的重现期作为设计依据, 这样不得不用频率计算方法, 探求洪水特征值的总体分布规律, 但是, 总体分布是无法得知的, 必须根据人们所掌握的样本 (实测值和调查值), 从样本的分布去推估总体的分布。洪水频率计算的两个基本问题是分布的选择和所选分布的参数估计。分布的选择就是频率曲线线型的选择, 目前国际上使用的频率曲线都不一致, 例如中国采用 P- 型分布, 美国采用对数 P- 型分布, 意大利采用对数正态分布等等。中国新规范规定: 频率曲线的线型一般应采用 P- 型, 特殊情况, 经分析论证后可采用其他线型。

事实上, 洪水总体是无法得知的, 不管是哪一种分布, 都缺乏物理依据, 不能充分反映水文的物理属性, 因此, 目前频率曲线线型的使用仍然处于频率曲线拟合, 无法克服频率分布未知的这一缺陷。

参数估计方面, 总体概率密度函数 $f(X, Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ 是参数 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 的函数, 从样本 X_1, X_2, \dots, X_n 估计它们的参数, 在洪水频率计算中熟知的方法有矩法、极大似然法、最小二乘法等等, 矩法的概念在于用样本矩去估计总体矩, 在采用小样本时, 误差会大, 而矩阶越高, 偏差越大, 但计算简单, 我国很多单位仍使用矩法作初估值结合频率曲线拟合确定参数值。极大似然法比矩法优越, 特别在估计两参数总体分布时, 结果较好, 在原苏联规范中, 以极大似然法为首选方法。

为了改进矩法估计, 避免高阶矩 (如 C_3) 计算, 1980 年 (Rao) 应用蒙特卡洛技术, 将原始数

据的均值、方差以及原始数据的均值用于对数 P 型分布，或者将对数数据的均值、方差以及原始数据的均值用于对数 P 型分布，成为混合矩方法，后者与传统矩法对比，说明统计性能最优，偏差与抽样标准差也低。

1997年格林伍德 (Greenwood) 提出概率加权矩法求解象 Wakeby 分布具有反函数形式的分布参数估计问题，中国对该法进行了研究，推导出一套计算公式，用来估计 P 型分布参数。

20世纪70年代以来地质地貌信息在洪水频率分析中已受到重视，并且出现了许多估算洪水的地质地貌方法和古洪水计算方法。

瞬时单位线是流域内单位脉冲净雨的响应函数，认为流域的水文响应函数与降雨特征无关，即不随时间而变的时不变系统，这一假定不符合实际情况，在资料缺乏地区借用临近地区单位线时，精度难以保证。

1979年罗德里格斯-依特贝 (Rodríguez-Iturbe) 和沃尔德斯 (Voldes)，1980年格普塔 (Gupta) 以随机理论和地貌理论为基础，提出地貌单位线，为洪水分析计算开辟一条新的途径。中国有的学者已将地貌单位线用于洪水汇流计算，并在理论和方法上有所发展。

其次，关于当前水文计算中常用的一种方法，即水文模型。由于水文现象的复杂性，目前还不可能用严格的物理定理来描述。因此，通过建立水文模型近似地进行模拟已成为水文科学研究的一种手段和方法，水文模型包括模拟原形的某些物理性质的水文物理模型，以及用数学方法描述原形内部各物理量之间关系的水文数学模型。

水文物理模型包括野外径流实验站和室内水文试验站。20世纪50年代后期中国曾重视野外径流实验站的设置，在这方面发展较快，黄委、长办及一些省还先后建立水土保持实验站和径流试验站，取得了许多有益的资料。20世纪60年代初，中国就开始室内降雨汇流模型试验，中国科学院地理所、铁道部科学研究院西南研究所等长期进行室内水文试验研究工作，为验证产汇流理论创造室内模型试验的条件，并取得了许多有益的成果。陕西机械学院在实验室内建立了坡地降雨产流实验，系统研究了黄土坡地产流影响因素及机理。这些实验对深入认识产汇流规律很有用处。

水文数学模型是用数学语言去描述的模拟水文模型的特征和过程。水文数学模型分类，目前尚无统一的认识，按照笔者的理解和认识，水文数学模型可以划分为两类，一类是概念性模型，另一类是系统理论模型。

概念性模型是以水文现象的物理概念作为基础进行模拟的，它所模拟的不完全是真的物理实体，而是对水文的物理现象进行概化，具体地说，它是把流域径流形成过程作为一个整体的系统来研究，诸如降水、蒸发、截留、下渗、地表径流、壤中流、地下径流以及调蓄和流量演算，分别用数学方法作定量描述，是对复杂水文现象的一种概化模拟。比较有代表性的是第号斯坦福水文模型、SSARR模型、萨克拉门托水文模型、水箱模型、SCS模型、HEC-1模型等等，河海大学提出的新安江水文模型在我国已得到了广泛的应用。这类模型在中国又统称为流域水文模型。

系统理论模型是对流域结构内部的物理机制往往不能实现确定，而只能建立“系统识别”过程结局上的一种方法，或者说，是建立在系统输入—输出关系上的数学模型。20世纪80年代初以来，中国在这方面已开始研究，特别是水文非线性理论方法，出版了许多论文和专著，逐步形成了自己研究的特色。

水文数学模型作为水文分析计算工作的一种工具和手段,其应用范围非常广泛,诸如应用流域水文模型展延短期河川径流系列,生成日平均流量、月平均流量、年平均流量以及洪峰流量和洪水过程线;用于河川径流预报,并可进行实时预报;还可用于估算人类活动后对径流的影响等等。

2.3 水文预报

随着现代科学技术的发展,给水文预报工作应用新技术、新理论带来了广阔的前景。人造地球卫星可作为空间传输手段,快速实时预报地面上各种水文、气象信息,又可利用卫星在高空直接探测地球表层许多水文、气象因素。遥感技术是利用装在飞机或人造卫星等运载工具上的传感器获取地表的图像或光谱数据,并通过获取地表的图像或光谱数据进行处理和判读,以达到鉴别地表物体及其性质。中国从 20 世纪 70 年代后期以来,已在部分流域机构和水利枢纽利用人造卫星和遥感技术进行水文预报信息收集和传输,开展水文预报工作,逐步改进当前水文气象站网的手工操作与传输方法。

中国水利部门除在邮电部门有线通讯系统基础上,发展了部分无线电通讯网,实行了利用小型计算机和微机处理水情信息自动化系统与预报系统联接,提高水情信息处理和水情服务的时效,亦为实时联机水文预报创造了必要的条件。

在水文预报技术和方法方面,中国近十年来也取得了较大的进展,无论在产流计算、汇流计算以及水文数学模型的研究与应用,与世界各国比较,相差不大,在实时水文预报方法方面,国际上采用的方法有:(1)正规卡尔曼滤波;(2)递推最小二乘法;(3)自适应滤波等。中国一些流域机构、科研院所、大专院校也进行了研究和应用,出版了专著。但在一些地县部门还没有普遍应用,对于实时联机预报技术的应用与推广,尚待努力。

2.4 分支学科的兴起

随着国民经济建设的需要,现代科学技术的发展,边缘学科向水文学科领域的渗透,正在逐步形成的几门水文分支学科,如随机水文学、模糊水文学、灰色系统水文学、环境水文学等,在我国得到了发展,特别是近几年来,在一些高等院校和科研机构对这些新兴的分支科学进行了深入的探究,并形成了各自的特色。

随机水文学是建立在水文现象随时间变化具有随机特性的基础上,将水文过程看作随机水文过程,用随机过程和时间序列的分析技术来研究这种复杂的水文过程,模拟的水文序列已开始应用于未来洪、枯水的预估以及洪水预报方案中估计和修正预报精度。随机分析与统计理论学科本身发展相对比较成熟,它为研究水文不确定性提供了很好的工具。但是水文现象并非完全的纯随机问题,如何将水文的随机现象和成因规律有机的结合在一起,即所谓的“随机-确定性水文模拟”理论,是国内外正在发展的一个方面。

水文现象的模糊性一般不易被人们所认识。现象或事物差异的一方到差异的另一方,中间经历一个从量变到质变的过渡过程,这些差异的中介过渡性,由中介过渡性而产生划分上的非确定性就是模糊性。水文事件或现象中的模糊性是存在的,例如,汛期和非汛期划分,年径流的丰、平、枯等等。中国大连理工大学在 20 世纪 60 年代首次提出综合运用系统的成因分析,逐步形成了模糊水文水资源学这一新兴的分支,目前还在发展。

从认识水文时间和空间变化过程看,存在很多未知或非确知的东西,包括很多水文环节尚缺乏有充分依据的第一原理即水文学定律。例如,大气与陆面水分、能量交换的尺度问题,以

及水文循环在生物圈-大气圈-地圈联系的相互作用及流域蒸散发等方面。随着信息论和系统论发展和对水文学领域的交叉渗透,武汉大学(原武汉水利电力大学)提出了灰色系统水文学的理论方法。其特色是基于水文信息量度和灰集合、灰数的分析工具,量化水文过程模拟、预测及其应用中的部分信息已知、部分信息未知的问题。通过对不确定性参数、变量的灰度识别,认识水文现象不确定性的来源,识别水文风险和改善水文模拟的精度。灰色系统水文学是发展系统水文学的一个重要方面。

环境水文学是研究环境与水文的相互关系,是水文科学与环境密切结合、相互渗透的一门新兴科学。环境水文学是研究环境在水循环过程中的影响,以及水体水文情势的改变对环境的影响,水体中量和质的变化规律以及预测预报的方法。环境科学的形成只有三四十年的历史,因此,环境水文学还处于开拓发展阶段。尽管如此,中国对环境水文问题十分重视,20世纪70年代后期,从中央到地方及流域水利部门相继设立了主管环境保护的专门机构和研究所,部分高等学校设置环境专业,原有的水利部门和水利院校,结合环境问题开展环境水文研究,在国家历届科技攻关计划中都列有环境水文的课题。特别是近十年来,中国的环境水文研究工作有了很大的发展,并都是从国情的实际出发,紧密结合工程的需要进行,提出了不少学术论文和专著,推动了环境水文学科的兴起。

3 当今水文学术界的争论

水文科学是地球科学的组成部分,也是现代技术科学的一个领域。水文科学是研究地球上水的起源、存在、分布、循环、运动变化规律的科学。从1856年达西定律或1889年推理公式算起,水文科学体系的形成和发展过程已一百多年。今天,水文科学已发展成有一系列分支学科组成的涉及整个水资源,并与多个边缘学科相互渗透的与社会科学紧密联系的一门综合性学科。但是,由于水文现象复杂性,同时受大气、下垫面和人类活动的多重影响,实践中又往往要求对水文现象和水文要素作出定量的预估,再加上多个边缘学科的引进(应用数学、系统论、生物化学等等),以及人们在应用中加入某些假设和主观臆断,从而使当今国内外水文界对水文科学的评价和前景产生了不同的认识和观点,在不少的国际会议(也包括一些国内会议)展开了争论,归纳起来主要有两方面,即科学与技术、科学与生产应用的关系,数学方法与物理基础的关系。

3.1 科学与技术,科学研究与生产应用的关系

水文是一门科学,是正在不断发展的科学。但是,也有人对当前水文领域的研究现状和问题存在不同看法,认为水文不是一门科学(或者说尚未巩固其作为一门科学的地位),而是一种技术,一种应用手段。1988年曾任国际水文科协主席的克来麦士博士(Klemes)指出,科学与技术的任务是不同的,前者是对事物的认识,后者是对事物的实践。推动科学的基本活动是研究,而推动技术的基本活动是发展。尽管词典上解释水文学是一门科学,但是,贴着水文学标签的四分之三的工作包括大量研究论文、教科书、手册及大学课程,归根到底不属于水文科学的范畴,而是企图在缺乏水文科学知识的条件下,解决与水文有关的技术。因此当前水文的任务不是提高对水循环的认识,而是解决与水有关的紧迫问题,这些与水有关的技术问题不可能使水文学本身形成一门科学。他认为当前水文学科领域存在一种偏向,就是侧重于解决与水有关的技术问题,或者说把水文科学者变成水利工程师、水资源管理人员,只回答一个水文的

数字,例如,给出一个大坝所必须提供的设计洪水相应的洪水水位有多高?一个地区的水资源评价的数量有多少?等等,而忽视了水文本身的研究。这方面的论点是与当前水文科学的发展水平不如其它科学的迅速有着一定关系,始终担心水文科学的发展裹足不前。但是,另一种观点认为水文学的发展动力主要来自于对人类社会的服务与应用,来自社会对水文学的需要。也曾担任国际水文科学协会主席沙米尔博士(U. Shamir)认为,水文科学的发展不是要减少对实践的服务及对水资源问题的研究,恰恰要进一步加强对水资源开发利用和管理中的问题进行研究,才能更好促进水文科学的发展。这两位学者的观点代表了当前水文科学发展的争论。

3.2 数学方法与物理基础的关系

20世纪60年代以来,由于计算机的发展,水文研究工作广泛地使用各种复杂的数学方法,这是其它学科相互渗透的结果,对水文学科的发展起到了一定的作用。的确,在使用数学方法时也出现盲目性和脱离水文基本概念的现象。克莱麦士曾经指出,水文学本身是一门科学,而不是其它科学的附属物。但是,目前尚未能建立起巩固的科学基础,这种轻视水文科学基础的倾向正由于把水文学当作纯粹的数学游戏而很难根除。

综上所述,当今水文界的争论焦点在于水文科学的基础与水文科学为生产服务的关系问题。不难看出,水文科学的基本研究和水文科学为生产服务都是十分必要的,两者不能偏废,而应有机地结合起来,在为生产建设服务的过程中,探索水文科学的基本规律,促进水文科学的发展。正如1987年杜格(Dooge)教授所说,人类对水文现象的不断深入认识和对水文规律的揭示是通过理解-应用-资料-理解这样一个循环往复的过程进行的。因此,水文学的发展要加强其服务作用,并出于应用的需要而不断扩大资料信息的来源,以求进一步深入认识水文现象的本质,达到更好地为实践需要服务的目的。

然而,水文界的争论是客观存在的。究其原因不外乎三个方面:第一,在科学研究或生产应用中,忽视水文基本规律、基本概念,在使用数学方法时,生搬硬套、张冠李戴,缺乏物理基础,脱离实际。正如克莱麦士曾经引用水文杂志某编辑审核某研究生的论文时所说的,授予该研究生的学位他无异议,但希望告诉该研究生,洪水的形成是由于暴雨和融雪,而不是过剩的随机数。这一段话是对那些忽视水文基本概念的有力讽刺;第二,在研究过程中,由个别到一般,由局部到整体,由低级到高级是一种规律,应该允许的。只看到一面而忽视了另一面,总认为自己研究的东西是正确的,旁人研究的东西是错误的。例如,产流汇流是径流形成过程中两个既有区别又有联系的环节,于是,有的看重产流研究,否定汇流研究;有的着重汇流研究,否定产流研究,各持己见,莫衷一是,无补于研究工作的深入和发展;第三,对水文科学的基础研究,缺乏统一的认识。不少学者认为当今水文界轻视水文科学基础的倾向十分严重,强调要加强水文科学的基础研究。什么是基础?如何加强基础?由于认识不一致,可能把一些属于基础研究的东西被批判了,或者借批判忽视科学基础的研究而否定了应用研究的必要性。

无论是科学与技术、科学研究与生产应用还是数学方法与物理基础的关系的论争,一句话,就是当今水文界科学研究与生产实践之间存在着差距,科学研究要形成生产力,两者要紧密结合,互相促进,这个问题有待于水文工作者共同努力去解决。

4 我国水文学界存在的问题

4.1 水文科学的基础不牢固，基础研究不成熟

水文科学有自然属性，是地球科学的部分，但主要属于应用科学而不是纯科学。纯科学主要涉及到理论的发展，当理论得到足够论证后，就成为科学的定律或原理。应用科学涉及到把纯科学的工作定律运用到生活、生产实际，增强人类对自然和环境的控制能力，从而也促进纯科学的发展，二者相互作用。水文科学既然是一门科学，就应该有它的科学基础。问题在于什么是它的科学基础？水文学是研究地球上水循环运动形式的基本规律，以及运用这些规律为人类服务的知识体系。所谓基础是指人类使本门学科立于不败之地，不被其它学科所取代或搞垮的东西。因此，水文科学的科学基础应该包括认识水循环变化规律的丰富和准确的信息，研究水运动规律的先进技术手段和对水运动规律的本质的认识和揭露。上述工作越有效，研究越深入，说明科学的基础越牢固，基础研究越成熟。至于数学、地理学、气象学、流体力学以及现代的一些新技术新理论应该是水文学的基础知识，获取科学基础的技术手段，但不能代替水文学的科学基础。从这个观点出发，尽管至今已经派生出许多水文分支学科，但仍然可以说是水文科学的基础不牢靠，基础研究不成熟。加强基础研究和应用基础研究的工作有待于我们在21世纪给予更多的重视和努力。

4.2 科研成果未能广泛推广，未能转化为生产力

近40年来国际水文学学术活动比较频繁，我国在20世纪60年代后的二三十年水文科研十分活跃，取得了很多的成果，形成了百花齐放，百家争鸣的格局。但是一些新理论、新技术、新方法以及新兴学科分支的成果，诸如设计洪水新方法，联机实时洪水预报新技术，水文序列的随机模拟，水文水资源系统的模糊集分析，灰色系统方法等只是在一些大型的生产部门采用和使用，还没有在地县普遍采用。这些部门在生产上出现的水文问题，仍然采用传统的常规方法，将是今后要解决的一个现实问题。

4.3 地理水文学和工程水文学之间缺乏沟通

国家自然科学基金委员会将水文学科分两类：一是地理水文，二是应用水文（如工程水文）。地理水文学是从区域综合的角度研究水文过程和水资源的形成、变化规律及其时空分布特征，是自然科学。应用水文学是运用水文学和有关学科的理论和方法，研究水利工程各种实际水文问题的解决途径和方法，属于技术科学。两者研究的目的有分工，通过科学技术的发展和生产建设的要求，相互促进，相互提高，最终推动水文科学的发展。但是，我国多年来地理水文学和应用水文学（尤其是工程水文学）分属于两个系统，地理水文学有地理部门和高校的地理系进行研究，偏重区域自然地理和水文实验机理方面。工程水文学由水利、铁路研究部门和高校的水文系进行研究，着重于工程实际问题的分析计算、预测预报等。学术活动方面在地理学会有水文专业委员会，侧重于地理水文，水利学会也有水文专业委员会，侧重于工程水文。平时这两个系统的学术活动缺少联系和交流，不利于水文事业的发展。希望两个系统今后加强沟通和交流，加强科研合作，达到相互渗透、相互提高，促进水文科学发展的目的。

5 21世纪水文科学的展望

纵观国际和中国水文科学的发展，可以看出水文学研究有下列趋势与特点：

(1) 水文科学研究的领域愈来愈广泛, 研究的问题也越来越复杂, 并且遇到了来自许多方面的不确定性和非确知问题, 这给水文学的进展提出了挑战, 也提出了机遇。探索水文现象复杂性和不确定性, 将是水文学的一项长期的任务和责任。

(2) 近代水文学的研究已愈来愈注重系统性和整体性。例如, 对流域尺度水文学问题, 不是将其产汇流割裂开而是整体(即系统观点)的流域水文学方法研究; 又如, 近代水文学将水圈、大气圈、生物圈视为一个有机的联系体, 从地球系统角度研究气候-水循环-生态影响-气候变化的相互作用, 并预测未来趋势的变化和对人类社会经济影响。水文系统分析的观点和方法论得到了提倡, 这给系统水文学的发展提出最新的要求和动力。

(3) 水文学的研究与为人类服务, 解决实际工作中各项水的问题的联系紧密了, 如研究全球气候变化的影响, 水旱灾害预报与减免。

预计 21 世纪中国水文科学将对世界水文学的发展做出更多贡献, 在国家和有关部门的积极支持下, 将在下列方面取得新的进步。

5.1 水文信息新技术的应用研究

利用更多的高新技术, 如水文遥感、水文示踪技术和地理信息系统等, 揭示水文时间和空间变化规律, 提出新的认识, 是 21 世纪水文科学发展的一个必然趋势。遥感技术能观测地球表面的信息, 并可观测一些传统方法观测不到的水文变量。近年来遥感技术在观测降水, 获取冰雪水文资料, 测量蒸散发和土壤湿度等方面的应用, 对区域和大尺度水文学的发展起着重大的推动作用。随着更多卫星的发射、遥感技术的改进和水文示踪技术的应用, 人们将能够更多地获取水文循环中的一些重要变量信息, 补充常规观测数据的不足, 将会扩大现有水文科学的研究领域。随着地理信息系统、数字水文的应用开发, 使得集成影响水文过程变化识别多方位信息成为现实, 使得认识水文复杂性规律水平得到明显提高。

5.2 水文尺度问题的研究

水文学的研究对象包括了地球水圈范围所有尺度水文现象及过程与环境的相互作用研究。水文理论研究和实践表明, 不同时间和空间尺度的水文系统规律通常有很大的差异。典型的例子是微观尺度水文实验获得的“物理”参数, 如土壤饱和含水率(K_s), 往往不能直接应用到流域尺度的水文模拟; 反过来, 宏观尺度的水文气象背景值变化也不能直接套用时空变异性十分突出的微观水文生态模拟预报。从水文系统的观点看, 不同尺度之间是有客观的联系和能量的输送。如何寻求它们之间的内在联系, 即水文尺度问题, 将是 21 世纪水文学基础研究的前沿课题。

展望 21 世纪, 不同尺度的水文规律或特性将会被不断地认识和采用新的理论方法量化(如地貌尺度的分形律, 水文动力学参数的尺度化律等); 通过高新技术的应用和水文学基础理论的发展, 过去主要应用在微观尺度水文学的物理方法, 将会逐步向流域和全球的中观或宏观尺度扩展, 不同尺度的水文规律和它们之间的某种新的过渡规律, 会得到新的认识。

5.3 水资源管理的水文基础研究

充分了解流域的水文信息、自然界变化与人类活动经济发展对水文水资源量和质的影响, 是可持续水资源管理的重要前提。除了不同尺度水文循环观测和机理研究外, 可持续水资源管理的水文学基础研究包括跨越不同时间和空间尺度水文信息变化的相似性和变异性研究、长期变化的预测和生态需水量等。21 世纪的水文学研究进展将会有: 变化环境中的水文循环及水

资源形成机理的认识,包括水资源开发对水循环的影响规律,土地利用对水循环的影响规律,城市化进程对水循环的影响规律等;变化环境中的水文环境生态演进规律,干旱半干旱地区的生态需水规律认识,水形态转化过程中污染形成与水质转化机理,水文水环境的相互作用与转化关系,跨越不同时空尺度水信息变化的相似性和变异性等。期待在 21 世纪能够打破地区行政(包括国家)的界限,以整个陆地系统或者自然流域为基础建立的有较高时空分辨率的水文水资源信息系统。

5.4 水文复杂性和不确定性研究

水文复杂性和不确定性是水文科学研究最为重要和棘手的两个方面,它们既有联系又有区别。水文复杂性涉及降水、蒸发、下渗和径流形成的水文循环机理与水文尺度问题。水文不确定性既与水文输入变量和水文状态变量观测精度有关,又与复杂性认识不足等诸问题(缺乏充分信息模型设计不准确)有联系,它是输入不确定性和系统不确定性的综合体现。目前,特别在全球水文及气候变化研究中,水文不确定性比较突出,成为水文科学发展中一个新的前沿课题。传统的水文不确定性涉及到水文的随机性或统计特性,而近代水文不确定性的概念有了新的拓展,它包括对系统认识的不确定性(模糊性、灰色系统)和水文复杂性(混沌与分形)的未知程度。随着科学技术水平的提高和对水文不确定性认识的升华,预计 21 世纪水文不确定性研究和方法论会有新的发展。

参考文献:

- [1] 施成熙,华士乾,陈道弘,等.水文科学[M].中国大百科全书(大气科学海洋科学水文科学卷).北京:中国大百科全书出版社,1987.17-21.
- [2] Dooge J C I. Scale Problems in Hydrology[A]. The 5th Kiesel Memorial Lecture[C]. Univ of Arizona, USA, 1986.
- [3] 陈家琦.中国水利(第一章,中国的水资源)[M].北京:水利电力出版社,1990.
- [4] U S National Report 1983-1986:Contribution in Hydrology[A]. 19th IUGG, Vancouver[C]. Canada, 1987.
- [5] Klemes V. Dilettantism in hydrology, transition or destiny? [J]Water Resource Research, 1986,(22), 9:1 379 - 1 391.
- [6] Dooge J C I.Looking for hydrologic laws[J]. Water Resources Research, "Trends and Directions in Hydrology"1986, 22 (9).
- [7] J E Nash, Eagleson P S, Philip J R, Molen W H vande. The education of hydrologists (Report of an IAHS/ UNESCO panel on Hydrological Education) [J]. Hydrological Science Journal, 1990, 36(6):29 - 44.
- [8] U S National Report 1987-1990:Contribution in Hydrology[C]. 20th IUGG. Vienna, Austria, 1991.
- [9] Committee on Opportunities in the Hydrological Science:Opportunities in the hydrological science[C]. Executive summary. National Academy Press, Washington, 1991.
- [10] 夏 军.国际 IAMAP-IAHS 93 科学大会及水文科学新的发展趋势[J].人民长江,1993,24(12):50 - 53.
- [11] 夏 军,等.现代水科学不确定性研究与进展[M].成都:成都科技大学出版社,1994.
- [12] 叶守泽,夏 军.水的问题与可持续发展[J].水利水电科技进展,1999,19(1),6 - 11.
- [13] 汤奇成,等.中国河流水文[M].北京:科学出版社,1998.
- [14] 沈 晋,等.动力水文实验研究[M].西安:陕西科学技术出版社,1991.
- [15] 詹道江,叶守泽.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [16] 长江水利委员会,南京水文水资源研究所.水利水电工程设计洪水计算手册[M].北京:水利水电出版社,1995.
- [17] 丁 晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.

- [18] 陈守煜. 模糊水文学与水资源系统模糊原理[M]. 大连:大连理工大学出版社, 1990.
- [19] 夏 军. 灰色系统水文学[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2000.
- [20] 梁瑞驹. 环境水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1998.
- [21] Singh V P. Hydrologic Systems[A]. Vol. 1, Rainfall Runoff Modeling[C]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1988.
- [22] 魏文秋. 水文遥感[M]. 北京:水利电力出版社, 1995.
- [23] 叶守泽, 夏 军. 水文系统识别(原理与方法)[M]. 北京:水利电力出版社, 1989.
- [24] 葛守西. 现代洪水预报技术[M]. 北京:中国水利电力出版社, 1989.
- [25] 夏 军. 水文尺度问题[J]. 水利学报, 1993, (5):32 - 37.
- [26] 任立良. 水文尺度若干问题研究述评[J]. 水科学进展, 1996, 7(增), 87 - 96.
- [27] 赵人俊. 流域水文模拟[M]. 北京:水利电力出版社, 1984.
- [28] 长办水文局. 水文测验误差研究文集[C]. 贵阳:贵阳人民出版社, 1984.
- [29] 夏 军. 可持续水资源管理研究的若干热点及讨论[J]. 人民长江, 1997, 28(4):25 - 26.
- [30] International Geosphere-Biosphere Program: A study of Global Change (IGPB): Biosphere Aspects of Hydrological Cycle (BAHC) [R]. The Operational Plan. Stockholm, 1993.
- [31] Shamir U. Sustainable Management of Water Resources, Proceedings[C]. Volume for International Conference on Water Resources Environmental Research: Towards the 21th Century[A]. Kyoto, Japan, 1996.
- [32] Schultz G.A. A change of Paradigm in Environmental and Water Science at the Turn of the Century? [C]Proceedings: Volume for International Conference on Water Resources Environmental Research: Towards the 21st Century[A]. Kyoto Japan, 1996.
- [33] Seuna P, *et al.* (ed). FRIEND: Flow regimes from international experimental and network data[J]. Proceedings of International Conference, IAHS Publication 1994, 221.
- [34] Xia Jun, K Tackeuchi. Barriers to sustainable management of water quantity and quality[J]. Guest editors for Special Issue, Hydrological Science Journal. 1999, 44(4), 503 - 505.
- [35] 夏 军. 水文学科发展与思考[J]. 中国科学基金. 2000, 14(5):293 - 297.
- [36] 陆大道. 地理学发展与创新[M]. 北京:科学出版社, 1999.

Century's retrospect and looking into the future of hydrological science^{*}

YE Shou-ze, XIA Jun

(College of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper focuses on the issue of the 20-Century's retrospect of hydrological science, and reviews several important developed stages of hydrological science on hydrological measurements, runoff analysis and calculation, hydrological modeling and forecasting, and main branches of stochastic hydrology, fuzzy hydrology and hydrological system approach. Main problems of present argument, such as the relationships between hydrological science and technology, research and application, and mathematics methods and hydrological physics, are discussed. The paper shows that dilettantism of hydrology in China needs to be attention. There are opportunities and challenges on hydrological science in the 21-Century of China.

Key words: hydrological science; retrospect; 21-century; looking for the future

* The project is supported by National Natural Science Fund of China (No. 59879018).