

水文学的现状与未来

芮孝芳 梁 霄

(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要 分析水文现象的复杂性及还原论的缺陷,探讨水文学发展的动力,总结现行水文学的理论基础及局限性,指出流域水文模型发展中可能存在的误区。最后,对水文学必须从“线性”向“非线性”拓展进行了初步讨论。

关键词 水文现象;水文学方法;还原论;非线性流域;水文模型;综述

中图分类号 P33 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2011)02-0001-04

Present situation and future of hydrology//RUI Xiao-fang, LIANG Xiao (College of Hydrology Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : The complexity of hydrological phenomenon and the defects of the reductionism were analyzed. The driving force for the development of hydrology was discussed. The theoretical basis and limitations of the existing hydrology were summarized. The existing misunderstandings in the development of hydrological models for watersheds were put forward. Finally, the necessity of the expansion of hydrology from “ linearity ” to “ nonlinearity ” was discussed.

Key words : hydrological phenomenon ; hydrological method ; reductionism ; nonlinear watershed ; hydrological model ; review

水文学是研究地球系统中水文循环过程、时空变化,以及水与生态、环境和经济社会之间相互作用的学科。其核心科学问题之一是降雨径流形成及演变规律。它是防治洪涝及干旱灾害、保障水资源可持续利用和保护生态、环境的重要支撑学科,也是水利、能源、交通等工程建设必须涉及的基础性学科。笔者学习和研究水文学已逾 50 年,这期间经历了从不懂水文学,到模糊地了解水文学,到逐步对水文学有所认识的人生历程。得出的体会是:水文学是一门博大精深的学科,尽管作了一些努力,但对它的了解还只是沧海中的一粟、冰山之一角。本文试图分成水文现象的复杂性与还原论的缺陷、水文学的分支及发展动力、水文学方法及现有理论的局限性、流域水文模型的发展趋势及可能的误区、水文学应从“线性”向“非线性”拓展等 5 个方面表达对水文学的认识。

1 水文现象的复杂性与还原论的缺陷

水文现象是大气过程与下垫面条件共同作用的产物^[1]。相同时空分布的降雨降落在不同下垫面条件的流域,以及不同时空分布的降雨降落在相同下垫面条件的流域,都会形成不同的洪水过程和不同

的水文时间序列。根据现有的认识水平,水文现象的复杂性主要表现为:①水文现象的时空变化既有确定性表现,又有不确定性表现,而且许多水文现象不确定性的表现更为强烈。②水文现象的确定性表现既有周期性表现,又有非周期性表现。非周期性表现又有因果性和趋势性之分。③水文现象的不确定性表现可能有随机性、灰性、模糊性、突变性、混沌性等不同形式。随机性又有纯随机性、平稳随机性和非平稳随机性之分。④水文现象时空跨度很大,时空变异性大多数表现十分强烈。⑤不同尺度的水文现象之间非相似性表现十分强烈。⑥水文现象与天气现象比较,更易受到人类活动的影响。

可见水文现象已经够复杂了,但由于受到人类认识自然能力的限制,笔者认为水文现象的复杂性可能还没有被充分揭示出来。正因为水文现象如此复杂,所以当人们用“还原论”^[2]讨论水文的规律时,有时就会碰壁。

还原论认为,通过将事物分解成越来越精细的组成部分就能最终对其做出彻底的理解。将还原论用于分析河道中洪水波的运动可以说相当成功,用于分析降雨径流形成也基本成功,而用于分析水文

循环时空变化和径流长期演变就碰壁了。因为水文循环是一个由多路径、多尺度构成的极其复杂的系统,企图用还原论对其做出彻底的理解几乎是不可能的。因此,有必要另辟蹊径来解决此类问题。此时遇到的最大挑战就是应该用什么样的数学物理工具才能够恰如其分、完整地描述如此复杂的系统。

2 水文学的分支及发展动力

地球系统是由四大圈层构成的。研究大气圈的是大气科学,研究岩石圈的是地质科学,研究生物圈的是生物科学,研究水圈的是由水文学和海洋学组成的水科学。作为一种独立学科,水文学也许是一个后辈,但在近半个世纪里得到了快速发展,已经与其他学科交叉形成了庞大的学科体系和众多的分支学科^[3]。按研究水体分(图1),有流域水文学、河流水文学、湖泊水库水文学、地下水水文学、河口海岸水文学、湿地水文学、冰川水文学、水文气象学、生态水文学和全球水文学等。按服务于经济社会分(图2),有工程水文学、桥涵水文学、城市水文学、农业水文学、森林水文学、水资源水文学、环境水文学等。按交叉学科或研究方法分(图3),有物理水文学、动力水文学、系统水文学、随机水文学、计算水文学、数字水文学、地理水文学、地貌水文学、水文测验学、水文信息学、实验水文学和同位素水文学等。

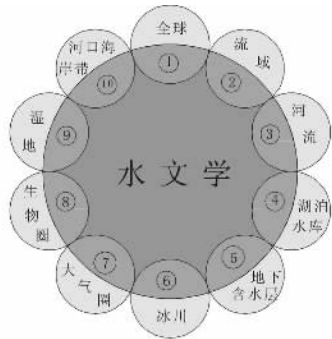


图1 水文学按照研究水体的分类

- ①全球水文学;②流域水文学;③河流水文学;④湖泊水库水文学;⑤地下水水文学;⑥冰川水文学;⑦水文气象学;⑧生态水文学;⑨湿地水文学;⑩河口海岸水文学

与任何一门学科发展一样,驱动水文学发展之力也来自3个方面:一是好奇心。这是人类天生的潜质。人们对水文现象的好奇心历来有之。我国唐代柳宗元就对产汇流现象产生好奇心,他在《天对》一文就写道:“坟垆燥疏,渗渴而升。充融有余,泄漏复行。”这可能是对蓄满产流最早期的描述。1674年,法国人 Perreault 就对塞纳河流域的年降雨量与年径流量的定量关系产生了好奇心,并得出该流域年径流量等于1/6年降雨量的结论^[4]。1961年英国人 Penman 曾用“ What happens to the rain ? 降

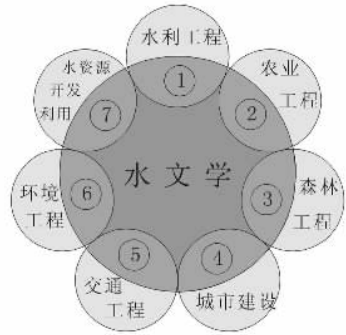


图2 水文学按照服务于经济社会的分类

- ①工程水文学;②农业水文学;③森林水文学;④城市水文学;⑤桥涵水文学;⑥环境水文学;⑦水资源水文学

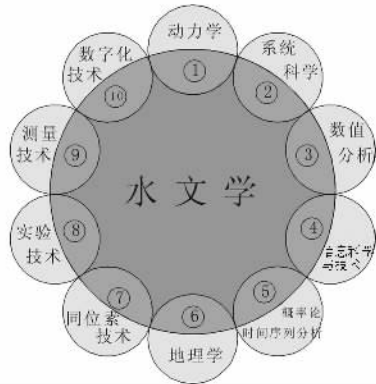


图3 水文学按照交叉学科或研究方法的分类

- ①动力水文学;②系统水文学;③计算水文学;④水文信息学;⑤随机水文学;⑥地理水文学;⑦同位素水文学;⑧实验水文学;⑨水文测验学;⑩数字水文学

雨后将发生什么?)”这样一句设问表达了他对降雨径流产生的好奇心^[5]。可以说,没有好奇心就没有科学的起源。二是经济社会发展的需要。工程水文学在20世纪30—40年代发展迅速,水资源水文学和环境水文学到了20世纪70年代以后才开始大力发展起来,近20年来又兴起了生态水文学的研究热潮,这些都是因为经济社会发展的要求。三是对科学真理的追求。在科学研究过程中追求真理是源于科学研究中的学术讨论及科学批判精神。科学讨论和批判的过程就是去伪存真、追求真理的过程。Dunne 在20世纪70年代提出新产流理论,就是基于他对原先的 Horton 产流理论的“批判”^[6]。Cunge^[7]能在1969年发现 Muskingum 法的水力学基础,就是因为他深信洪水演算问题既然可用水文学和水力学2种途径去解决,那么这2种途径之间就可能存在理论上的联系。这些例子无不体现了人们在追求科学真理的过程中确实推动了科学的发展。

上述3种推动水文学发展的驱动力是客观存在的、相辅相成的。目前在我国的的水文学研究中经济社会发展的需要十分强烈,项目多得做不完,在这种情况下应当注意可能出现的负面影响,如果能在保

持强烈的经济社会发展需求之下充分发挥另外 2 种驱动力的作用,那么获得创新成果的可能性就会大幅度增加。换言之,如果能处理好“做课题”与“做学问”之间的辩证关系,那么就会有更多的获得创新成果甚至原创性成果的机会。

3 水文学方法及现有理论的局限性

学科的发展,除了要有驱动力之外,有效、巧妙的方法也是不可缺少的,学科方法与学科繁荣发展相互促进,学科的繁荣发展在很大程度上得益于学科方法的创新,反过来又会有力地促进学科方法的深化和更奇妙方法的涌现。笔者认为,水文学发展到今天,水文学方法可从思维方法和研究方法 2 个层面来进行总结。所谓思维方法是指用什么样的思想来考察水文现象并揭示其规律性。水文学的思维方法主要体现在宏观与微观、统计与成因、聚集与解集、线性与非线性、物理规律与本构关系、物理过程与应用数学过程、模拟与预测等辩证关系的应用上。所谓研究方法是指用什么样的手段来表达所揭示的水文规律并达到使用的目的。水文学的具体研究方法一般包括如何考察水文现象的观测方法,以及如何表达其规律的分析方法。水文学中的“观察”一般包括野外设站观测、科学考察和科学实验。水文学中的“分析”主要有演绎推理和数学建模。“假设”、“猜想”、“比拟”就是水文学研究中常用的一些分析手段。

在水文学的历史长河中,曾经出现过许多引人入胜、体现了研究方法对推动学科发展起着重要作用的研究事例^[8],对其进行发掘和提炼,不仅可以启发人们的科学创新精神,而且也是对自然辩证法的弘扬。

回顾水文学的发展过程,人们不难发现,支撑现行水文学的一些理论主要是在近百年,尤其是 20 世纪 30 年代以来形成的,除了基本的物理定律,如质量守恒定律、能量守恒定律、动量守恒定律、热力学定律、扩散定律等以外,主要就是^[9]:①假设全球水文循环是一个闭合系统;②假设水文要素在一定空间范围内分布均匀;③假设有限时段内水文要素变化均匀;④满足叠加性和均匀性;⑤认为存在“门槛”效应;⑥假设具有随机独立性;⑦假设为平稳时间序列;⑧假设存在重现性和相似性。

对于上述所列各项的合理性与适用性,不可一概而论。有的可以获得一定实验或实测资料的近似验证,例如叠加性、倍比性、“门槛”效应、时空分布均匀性等,在一定条件下是可以近似得到满足的,但在另一些条件下则会造成较大的误差,甚至不可以使

用,有的则主要来自推测,例如独立随机性、平稳随机性、重现性和相似性假设等,应该说至今仍难以用实践来直接验证之。

现有水文学理论尽管存在上述问题,但基本上能满足当前经济社会发展对水文学的要求。

随着经济社会发展对水文学的要求越来越高,以及对科学真理不断高涨的追求,人们对现有水文学理论的合理性以及所能达到的精度提出了越来越多的质疑,要求改进水文学理论的呼声也越来越高。

4 流域水文模型的发展趋势及可能的误区

流域水文模型是水文学与计算机技术相结合的产物,在水文学发展历史中流域水文模型的出现具有划时代的意义。早在 20 世纪 80 年代,国际上有一些水文学家就曾预言:21 世纪将是“模型世纪”。现在的事实证明这个预言基本上已成为现实。根据 Singh 等^[5]统计,全世界已有数以百计的流域水文模型,其中有较大实用价值的有 70 个,而比较流行的也有 15 个之多,我国赵人俊研制的新安江模型属于其中之一。流域水文模型已逐步成为探索水文规律、解决经济社会可持续发展中遇到的水问题的重要工具。对流域水文模型的研究始终是围绕着提高精度、更好地模拟和预测“降雨后发生了什么”这一水文学基本科学问题而展开的。从近 30 年流域水文模型发展的事实看,其发展的总趋势大体上是:①从集总式、分散式向分布式发展;②从“黑箱子”、“概念性”向“具有物理基础”发展;③从仅考虑确定性或随机性向既能考虑确定性又能考虑随机性发展;④从仅模拟降雨径流形成向集成模拟产流、汇流、产沙、输沙和水质迁移转化发展;⑤从传统的研制方式向在数字流域平台上研制发展。

在流域水文模型的研究和应用中仍然存在一些值得注意的问题,笔者愿提出来与大家商榷:①将构建或使用流域水文模型看做是水文学研究的唯一追求,夸大其作用,不重视对水文物理过程机理的研究。②将在某种特定条件下研制出来的流域水文模型“万能化”。只要国外有什么模型,就会有追随者生搬硬套地到处使用,而不认真考虑它的具体使用条件。③盲目使用最优化方法率定模型参数,迷信数学方法,而几乎不顾及模型结构和参数的物理意义,对“异参同效”现象有点熟视无睹。④只注意拟合历史资料的效果,不注重模型的预测检验。不少研究报告或学术论文仅对 1 次或少数几次洪水模拟合格就宣布成功,不愿公布所采用的模型参数,更不愿做任何合理性分析。⑤人为地制造拟合效果好的

假象。例如有人竟不用顺时序过程而改成历时曲线来判断模型的模拟效果,甚至以经验公式的计算结果作为率定参数的判据。

5 水文学应从“线性”向“非线性”拓展

在哲学上,思维方法可以分为线性思维和非线性思维两大类。线性思维是建立在机械论世界观基础上的一种思维方法,而非线性思维是建立在复杂性世界观基础上的一种思维方法。

线性思维就是线性系统思维。线性系统的基本性质是:系统初始状态的变化将导致任何后续状态成比例地变化。随着非线性科学^[10]而产生的非线性思维则是从总体、过程和演化来考察世界,在非线性的思维中人们看到的将不是牛顿、爱因斯坦等创立的决定性的、简单和谐的模式,而是一个开放的、演化的、复杂的世界,一幅更接近真实的图景,也就是事物被看做是一个具有整体性的复杂系统,其中部分功能之和并不等于整体功能,诸多相互关联的因素也不满足叠加原理,具有非平衡、非均匀、非周期、非对称、不可积、不可逆、不连续等特征。

在科学发展的历史长河中,线性思维在人们探求自然规律并利用这些规律解决实际生产问题中起到了重要的作用,有效地促进了科学技术的发展和社会生产力的提高。但是在科学研究正逐步深入到生态系统、地球系统、宇宙系统和社会系统的今天,线性思维就显得力不从心了。这是因为线性思维并不是理解事实和解决问题的最佳思维。事实上,包括水文现象在内的许多自然现象并不像线性思维所认为和描写的那样简单,而是一个既可以找到决定性成分,又可找到不确定性成分;既可找到可逆过程,又可找到不可逆过程的复杂系统。跟踪水文学的发展轨迹,一路走来,人们所看到的正是这样的现实。用线性思维方法虽然基本上解决了河道洪水波运动和流域降雨径流形成这样一些科学问题,但却解决不了揭示全球水文循环时空变化所引起的旱涝规律问题;虽然可以使有些情况下的短期洪水预报精度基本满足生产要求,但却不能使水文长期预报成果摆脱“用”和“弃”的两难局面。

当然,从“线性”走向“非线性”并不是说要抛弃“线性”,而是应当将“线性”的基础打得更加扎实,因为线性思维与非线性思维之间并不存在不可逾越的鸿沟。线性思维方法不仅仍是今后解决一些水文问题的有效工具,而且是用于逐步逼近非线性思维的重要工具。

从“线性”走向“非线性”是水文学向更高阶段发展的需要,也可以说是历史的必然。让水文学研究

走“非线性”之路,一定非常艰辛,但这毕竟是前途无量的。

参考文献:

[1] 芮孝芳,蒋成煜.流域水文与地貌特征关系研究的回顾与展望[J].水科学进展,2010,21(4):444-449.

[2] 常绍舜.从整体与部分的辩证关系看系统论与还原论的适用范围[J].系统科学学报,2008,16(1):87-89.

[3] 芮孝芳.水文学原理[M].北京:中国水利水电出版社,2004.

[4] BIAWAS A K. 水文学史[M].刘国纬,译.北京:中国科学出版社,2007.

[5] SINGH V P,WOOLHISER D A. Mathematical modeling of watershed hydrology[J].J of Hydrologic Engineering,2002,7(4):270-292.

[6] KIRKBY M J. Hillslope hydrology[M]. New York:John Wiley and Sons,1979.

[7] CUNGE J A. On the subject of flood propagation computation method(Muskingum method)[J]. J of Hydraul Res,1969,7(2):205-230.

[8] 芮孝芳.水文学的研究方法与理论创新[J].水利水电科技进展,2003,23(2):46-50.

[9] 芮孝芳,刘方贵,邢贞相.水文学的发展及其所面临的若干前沿问题[J].水利水电科技进展,2007,27(1):75-79.

[10] 仪垂祥.非线性科学及其在地学中的应用[M].北京:气象出版社,1995.

(收稿日期 2010-11-29 编辑 高建群)

·简讯·

世界水日和中国水周

为了唤起公众的水意识,建立一种更为全面的水资源可持续利用的体制和相应的运行机制,1993年1月18日,第47届联合国大会根据联合国环境与发展大会制定的《21世纪行动议程》中提出的建议,通过了第193号决议,确定自1993年起,将每年的3月22日定为“世界水日”,以推动对水资源进行综合性统筹规划和管理,加强水资源保护,解决日益严峻的缺水问题。同时,通过开展广泛的宣传教育活动,增强公众对开发和保护水资源的意识。

2011年3月22日是第19届“世界水日”,3月22~28日是第24届“中国水周”。联合国确定的2011年“世界水日”主题是“城市用水:应对都市化挑战”。2011年我国纪念“世界水日”和开展“中国水周”活动的宣传主题为“严格管理水资源,推进水利新跨越”。(本刊编辑部供稿)