

集成水文技术解读水基系统

刘宁¹, 杜国志^{1,2}

(1. 中华人民共和国水利部, 北京 100053; 2. 大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

摘要: 水基系统是复杂的巨系统和多维的开领域, 具有基础性、动态性、包融性、交互性等特征, 正确评价它的承载能力和运用状态, 并预测、引导其演化趋势对研究水问题是至关重要的。现代水文技术的不断发展和进步为解读水基系统提供了必要的前提, 水基系统的存在与演进及其解读, 需要不断拓展水文领域研究范围、改进监测手段、集成水文技术。

关键词: 水基系统; 水文技术集成; 解读

中图分类号: P32 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2005)05-0696-04

1 水基系统概念的辨识

水基系统概念的表述是: 水基系统, 是指在一定水文尺度和空间范围内, 水及与其相关的涉水介质和涉水工程共同构成的基础生境承载系统。不同水文尺度下、不同空间范围内, 水基系统有不同的表征, 水基系统具有基础性、动态性、包融性、交互性等属性^[1]。通过和谐度、稳定态和演进率等判别指标能够对水基系统的状态进行描述与刻画。下面, 举几个具体的事例, 对水基系统概念加以辨识。

第一个事例, 地下水严重超采和污染后, 对其重新注入等量的净水, 是否能够完成修复? 答案是否定的。即便重新注入等同的水, 但是因为地下水的包气带和饱和带中的水体与形成水体循环的动力、构造、机理和频次已发生了变化, 单纯的回灌, 对于地下水漏斗区并不能起到完全的修复作用, 难以使其业已形成的新状态回到原生状态。这说明地下水的开采和污染, 不仅改变了水本身的空间尺度, 还使得原有的地下水存储状态、环境空间发生了变化, 或者说水基系统发生了改变, 而这一改变是不可逆转的, 不是仅考虑水的回补就可以挽回, 还涉及与水相关的介质或物体。

第二个事例, 一些河流上修建了水坝等水工程, 使得河道及沿河生态随着水工程的建设而发生了变化, 甚至发生了突变。如果多年以后, 我们再拆掉这些水工程, 是否能恢复到原有状态? 答案也是否定的。实际的情况是: 即便没有对水量和水质进行改变, 只是水工程的修建对水的时间尺度和径流量上进行的调整, 单只这一调整, 就已使得原有的水运行状态或者说多年形成的水基系统发生了改变甚或是遭到了破坏, 导致依附其上的生境发生了改变。为何难以恢复? 或者说为何河道的生态无法恢复如初? 其原因是水工程的修建导致了水基系统无法恢复到原来。

第三个事例, 当我们实施跨流域调水时, 实际上水本身并没有发生改变, 改变的是水流的空间尺度, 是调出区和调入区的涉水状态, 这一状态的改变使得两地生境发生了改变, 实际上也是因为水基系统的改变而导致了生境改变。

生境的改变是水基系统改变带来的结果, 而并非单纯是水状态的改变。因为, 水不仅有量和质的变化, 当水与土壤、工程、河道等联合作用后, 便会形成特有的系统, 依附这个系统上的生境便得以滋生。因此, 这一系统构成了营造相应生境的基础, 这一基础又是因水的运行而生成, 也就是文献[1]所说的水基或水基系统的

收稿日期: 2005-04-04; 修订日期: 2005-06-07

作者简介: 刘宁(1962-), 男, 辽宁丹东人, 教授级高级工程师, 主要从事水利水电规划、设计和管理研究。

E-mail: liuning@mwr.gov.cn

概念,这一概念描述的水基系统相对于“陆基”和“空基”真实的存在着。

2 水基变量与水文

根据水基系统的概念模型^[1]: $S = F_{\Omega}(X, Y, Z)$

式中 S 为水基系统; F 为水基系统变量的函数关系; X 、 Y 、 Z 分别为水变量组、水介质变量组以及涉水工程变量组; Ω 为条件函数: $\Omega = \Omega(D, K, T)$, D 为水基系统的空间尺度,或域; K 为水基系统各变量的秩序关系,或熵; T 为时间尺度。水变量组、水介质变量组以及涉水工程变量组是水基系统的基本构成,每个变量组又可以进一步按照空间尺度和时间序列变化分解为一系列的单个变量(如表所示)。就水变量组而言,有限标定指标包括水位、流量、流速、含沙量、有机物含量、营养化程度、COD、总氮、总磷等;对水介质变量而言,其有限标定指标包括河道形态、岸线走向、底泥分布、河床属性、土壤类型、渗透能力、水利坡降、糙率等;就涉水工程而言,包括河道整治、堤防、闸坝、取水口、调水工程、蓄滞洪区、桥梁、输水管道、水处理工程、泵站等等。引入评价水基系统的和谐度、稳定态、演进率等指标以及建立水基系统与外部的联系后,在“生相”、“空相”、“地相”等干扰变量共同作用下,水基系统的影响因素还包括:生态、水生动物、水生植物、沼泽化、湿地面积、森林植被、大气环流、土壤水分蒸发、入渗以及人类活动影响、社会经济指标等。由此看来,解读水基系统涉及因素众多,关系复杂,解读这样的巨系统,进而实现水基系统的承载能力和运行状态的测评,稳固程度的研究和评价,以及可能出现的断裂和突变的预警和监测,需要多个学科和门类、多种方法和手段。

表1 水基系统变量及有限解读标定指标

Table 1 Variables of the base system of water and its analysis indexes

水基变量	有限解读标定指标
水变量 水量 水质	水位、流量、流速、含沙量、有机物含量、营养化程度、COD、总氮、总磷等
水工程变量	河道整治、堤防、闸坝、取水口、调水工程、蓄滞洪区、桥梁、输水管道、水处理工程、泵站等
涉水介质变量	河道形态、岸线走向、底泥分布、河床属性、土壤类型、渗透能力、水利坡降、糙率等
生相 干扰变量 陆相 空相	生态、水生动物、水生植物、沼泽化、湿地面积、森林植被、大气环流、土壤水分蒸发、入渗以及人类活动影响、社会经济指标等

水文学是探讨与水有关的自然现象和基本规律的基础科学。长期以来,水文工作应涉水工作的发展需求在不断拓展创新。要解读研讨水基系统,并有利于水基系统的演进,水文工作也必然成为重要的手段和方法。基于这样的认识作者将水文服务领域和方式划分为3个层次或阶段:第一个层次是对水量、水质分别的监测与分析评价,这一层次的明显特征是水量、水质相互分离,以量论量、以质论质,可称之为水文单一领域阶段;第二个层次是水量水质的综合分析评价,量质并重,分析研究水量与水质的相互影响和耦合关系,建立两者间综合评价体系,可称之为水文双向耦合阶段;第三个层次则不仅要关注水量与水质,还要关注与此相关的其他涉水介质与水的相互作用与影响,响应生态环境要求和人与自然和谐理念,监测、描述和刻画更为广泛的要素与变量,更为注重研究各种变量间的关系,从系统论的角度来展开水文工作,可称之为系统水文工作阶段。第三层次的水文工作是水基系统解读的要求和需要。当前,我国的水文工作整体上处于注重水量与水质双向耦合的阶段。

3 解读水基系统水文学面临的挑战

20世纪80年代以来,以信息技术、生物技术和新材料技术为中心的新技术革命浪潮席卷全球,引起经济、社会、文化、政治和军事等领域深刻的变革。高新技术在水利系统也获得了广泛应用,尤其是信息技术和“3S”技术等在水资源监控调度、洪水预报预警和调度决策支持、水旱灾害监测评估、水土保持、生态和水环境监测、大型水利工程规划设计与施工、大型灌区的灌溉用水计算机监控等领域的开发应用。自动化技术、核

(同位素) 技术等应用和水文气象学、城市水文学、资源水文学、环境水文学、生态水文学等新学科的渗入, 水文学由自然科学领域和技术科学领域, 融入了社会科学领域, 已经成为一门综合性很强的学科。这些技术的进步和学科的发展, 为解读水基系统提供了技术支撑和保障, 但是仍然存在一些挑战, 主要表现在以下几个方面:

3.1 全球气候变化导致水文情势的演变

在全球变暖^[2]的大背景下, 我国的气候特征和水文情势也发生了不同程度的变化。近百年来我国气候持续变暖, 平均气温上升了 0.6°C 左右^[3], 以冬季和西北、华北、东北最为明显, 华北地区自 20 世纪 50 年代以后出现了明显的暖干化趋势; 近 20 年来, 中国气候出现北旱南涝的态势, 北方大部分地区降水偏少, 尤以海河、黄河中下游地区以及山东半岛最为明显, 山东半岛减少达 16%; 尽管全国水资源总量变化不大, 但北方地区水资源减少显著, 黄淮海和辽河区域降水减少 6%, 其中海河区降水减少 10%, 地表水减少 41%, 总量减少 25%^[4]。

全球气候变暖是由自然的气候波动和人类活动共同引起的。面对气候变化, 水文学需要研究全球气候变化对区域水循环规律有何影响? 气圈-水圈-生物圈如何相互作用? 如何认识和揭示水资源的演变及其规律? 人类活动对水循环和水资源有那些主要影响? 如何量化这些影响? 等。

3.2 江河、湖库、湿地变化的作用

由于人类活动的不断加剧, 使江河、湖库以及湿地等发生了许多重大变化, 而这些变化对水文向水文学提出了新课题。一方面多泥沙河流的河床不断抬高, 相同流量级别洪水造成的洪水水位不断升高; 另一方面由于围垦造田, 使一些原本属于泄洪通道的湖泊、洼地蓄滞洪能力降低, 影响河道水文情势的变化。湖泊面积萎缩, 由于淤积、围垦等原因, 长江中下游的湖泊面积 20 世纪 90 年代比 50 年代减少了 45.5%。我国湿地正不断退化减少, 以松辽流域为例, 建国后 50 年间湿地面积减少了 75%, 约 8.6万 km^2 , 平均每年减少 1711km^2 。同时, 部分天然湿地被道路、农田、渠系分割而破碎化, 湿地功能退化。过度开采导致地下水资源量锐减和生态环境日趋恶化。截至 1993 年, 全国共有地下水超采区 164 片, 总面积 $181\,291 \text{km}^2$ 。90 年代以来地下水超采量呈上升趋势^[8]。许多地区都出现了地面沉降、地面塌陷、海水入侵以及荒漠化及沙化等现象, 并造成全国 118 个城市中, 64% 的城市地下水受到严重污染, 33% 的城市地下水轻度污染。

3.3 工程建设的影响

根据有关资料统计, 全国受水利工程建设影响的水文站 1173 个, 占基本水文站总数的 36.8%, 其中受到严重影响导致水文资料连续性遭到破坏的有 25%, 1998 年以后受到影响的水文站占全部受影响测站的 60.1%。截至 2003 年, 受工程影响的水文站共有 1706 个^[7]。

各类涉水工程的建设, 改变了流域下垫面情况, 改变了流域水文特性, 破坏了原有的水文测验条件, 使原有的水文站网观测到的数据不是原始的数据值, 造成水文观测值不闭合, 影响了水文站网的稳定性及其水文资料的连续性和代表性, 使区域水文特性长期规律和流域水文特征值需要重新分析计算。此外, 导致地区水资源量分析计算平衡难度加大, 进而对水文预测预报及系统的完整性产生很大的影响。

3.4 人与自然和谐的要求

生态与环境问题越来越得到世界范围的广泛关注。水是自然界的基本组成物质, 研究生态与环境问题必然涉及水和水介质或物体共同构成的水基系统, 而解读这一系统必然需要包括水文技术在内的各种集成技术的支持。对照这样的要求, 目前水文学与水文技术还存在很多需要进一步探讨和研究的问题, 比如: 水旱灾害的监测和预报技术相对落后; 大尺度以及环境变迁影响下的水文问题研究薄弱; 区域性水文研究和关于不同水体的研究很不平衡; 水文测报和服务技术手段落后, 新技术新方法开发和推广应用比较缓慢, 水文基础研究薄弱等。

4 基于水基系统的水文研究方向

(1) 解读水基系统, 要求水文学研究要从单个孤立环节向多尺度、多系统耦合过程发展, 除了要揭示水文循环本身的一般规律外, 还要求侧重研究人类活动影响下水文过程及其要素的变化规律、水文循环中生态过程的变化规律、涉水介质或物体所构成的生境承载系统的演进变化规律等。另外还需要将基础理论转化为能够解

决实际问题的定量化、指标化应用理论。这就要求水文服务领域的不断拓展、水文基础理论和应用技术的不断创新和发展。

(2) 解读水基系统要求水文技术与监测系统的协调发展。随着信息化和高新技术的发展, 信息采集的技术手段发展很快, 如遥感、GPS等, 站网布设与监测内容、监测手段等需要充分考虑科技水平的发展, 实现与监测技术的协调, 实现与经济社会发展需求的协调。同时应用技术开发也要充分考虑监测系统的需求, 以弥补监测系统的不足。

(3) 解读水基系统, 要求加强水文等基础理论研究和水文基础工作。尽管以往水文基础研究取得了一些进展, 但仍然难以满足新的需要, 还应该在如下几方面大力加强研究: 水文分析计算、风险理论研究与应用、洪水演进及预报调度、无资料地区的水文模拟、水资源、水环境承载能力和气候变化、人类活动影响等方面。在水文基础工作方面, 要加强站网优化完善、资料综合分析处理、暴雨洪水基本规律分析和分期设计洪水、动态汛限水位分析等方面的水文基础工作。做好这样的基础研究和基础工作需要以产业导向、成本分担、鼓励合作, 促进技术推广等方式, 加大水文科技投入, 加快实现水文测报手段现代化、信息处理集成化、信息服务网络化。

参考文献:

- [1] 刘宁. 水基系统的概念内涵与演进研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 475-481.
- [2] Robert T, Waton *et al.* Climate Change 2001: Synthesis Report. The Third Assessment Report of IPCC. WMO, UNEP[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [3] 王绍武, 翟盘茂, 等. 2002年是近百年来中国第二个最暖年[J]. 气候变化通讯, 2003, 2(3): 11-12.
- [4] 潘家华. 近50年中国极端温度和降水之间变化规律的研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2002.
- [5] 刘昌明, 陈志凯主编. 中国水资源现状和供需发展趋势[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [6] 刘志雨, 郑文. 1998年长江洪水初步分析[J]. 水文, 1998(增刊): 104-107.
- [7] 水利部水文局. 全国水文站网受工程影响情况汇总表[R]. 北京: 水利部水文局, 2004.
- [8] 水利部水资源司. 全国地下水资源开发利用规划[R]. 北京: 水利部水资源司, 2001.

Integrating the hydrological technology for analyzing the base system of water

LIU Ning¹, DU Guozhi^{1,2}

(1. Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China; 2. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: This article describes the concept of base system of water. It is also considered that the system is frequently adjusted, amended, and evolved. It is great important to correctly estimate its load capability and operational status, as well as to appropriately forecast its trend. For analyzing the base system of water, the hydrological domain should be objectively extended, the hydrological technology need to be integrated, and fundamental theory researches and hydrological basic work both have to be strengthen.

Key words: base system of water; integrating hydrological technology; analysis