

现代环境下的流域水资源评价方法研究

王浩¹, 王建华¹, 贾仰文¹, 秦大庸¹, 仇亚琴¹, 王玲²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 2. 黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004)

摘 要: 本文总结了现行水资源评价方法应用现状以及发展的限制性因素, 提出适合于现代变化环境, 以“天然—人工”二元水循环理论为指导, 依据水资源评价的有效性、可控性及可再生性准则, 以 WEP-L 分布式水文模型为评价手段的层次化动态水资源评价方法。

关键词: 人类活动; 层次化动态水资源评价; 二元模式; WEP-L 模型

中图分类号: TV211.1; P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2006)03-0018-04

1 前言

《中国资源科学百科全书·水资源学》中定义水资源评价“按流域或地区对水资源的数量、质量、时空分布特征和开发利用条件作出全面的分析估价, 是水资源规划、开发、利用、保护和管理的基礎工作, 为国民经济和社会发展提供水决策依据”。联合国教科文组织/世界气象组织出版社的“国际水文学词汇”(UN-ESCO/WMO, 1992)将水资源评价定义为“为了利用和控制而进行的水资源的来源、范围、可靠性以及质量的确定”^[1]。

水资源评价工作始于 19 世纪的末期, 在随后的几十年内, 人口的膨胀, 工农业用水的增长以及用水方式的改变给水资源带来了前所未有的压力, 水资源匮乏已经在许多国家不同程度的出现, 成为制约全球经济三社会发展的一大因子, 许多国家开始寻求多种途径对水资源进行合理规划和管理, 水资源评价作为水资源综合规划和管理的基础性工作, 逐渐受到世界各国的关注, 联合国教科文组织和世界气象组织共同制定了《水资源评价活动——国家评价手册》, 并针对共同关心的一些水资源问题召开了一系列的国际学

术讨论会, 推动了水资源评价工作的进程。1965 年和 1978 年美国进行了两次水资源评价, 对美国水资源现状、可供水量和供水需求等进行了评价分析。1975 年西欧、日本、印度等国家相继提出水资源评价成果。1977 年联合国在马德普拉塔召开的第一届世界水会议中将水资源评价列为会议的一个非常重要议题。随后的 1990 年的《新德里宣言》、1992 年的《都柏林宣言》和以及 1997 年第一届水论坛加强了这一认识。在 2000 年第二届水论坛中, 联合国约定各国要进行周期性的淡水资源评价, 并以《世界水发展报告》的形式出现。我国的水资源评价工作始于 20 世纪 80 年代, 至今已经开展了两次大规模的全国水资源评价。

2 目前水资源评价中主要存在的问题

2.1 现代环境下的流域水循环演变

迄今为止的国内外水资源研究与实践均是基于“实测—还原”的一元静态评价模式。即通过实测获得水文要素后, 再把实测水文系列中隐含的人类活动影响扣除, “还原”到流域水资源的天然“本底”状态。随着人口增长和生产发展, 农业生产、城市化、水土保持和人工取、用、耗、排水等人类活动正深度改变着天

收稿日期: 2006-03-10

基金项目: 本文受国家自然科学基金委员会重点项目“黄河流域典型支流水循环机理研究”(50239050), 中国水利水电科学研究院科研专项(资助集 052D01)资助。

作者简介: 王浩(1953-), 男, 北京人, 中国工程院院士, 教授级高工, 博士生导师, 博士, 主要从事水文水资源学研究。

然水循环的大气、地表、土壤和地下各个过程,致使流域水循环呈现出明显的二元特性,一是驱动力的二元化,即现代环境下流域水循环的内在动力已经由过去一元自然驱动演变为“自然—人工”二元驱动;二是循环结构的二元化,即现代完整的水循环由“大气—坡面—地下—河道”自然循环和“取水—输水—用水—排水”的社会循环耦合而成;三是循环参数的二元化,即现代环境下流域水循环对于降水输入的总响应不仅决定于自然的陆面、土壤和地下等水文与地质参数,还取决于水资源开发利用与相关社会经济参数。伴随着流域水循环二元演变,流域水资源发生次生演变,包括水资源量、水资源结构和水资源服务功效的变化。

2.2 现行水资源评价的方法缺陷

在人类活动引起的变化环境下,现行水资源评价方法存在以下问题:

2.2.1 一元静态认知模式

人类活动加剧情况下,依然采用还原的方法使得还原比例越来越大,还原量逐渐占据河川径流量的主导地位已经改变了还原的初衷,而这种还原高比例必然一定程度上影响还原精度,还原参数选取时受资料条件等客观因素的限制和人为主观随意性的影响较大;另外,还原方法无法反映人类活动对天然循环的剧烈扰动,主要难以全面考虑下垫面变化对于水资源形成与演化的影响,如雨养农业和水土保持的实施很难在还原方法中体现出来。一方面还原比例高,另一方面还存在还原缺项的现象。因而还原方法是受当前计算手段所限制的一种权宜之计,比较适合于人类活动扰动较小的地方,而在人类活动剧烈的地区,应用还原法难以获取水资源量“真值”。

水文时间序列的长期演变既有确定性的一面,又有不确定性的一面,人类活动对于流域连续和渐变的水资源演变增加了这种不确定性,因此,研究连续和渐变人类活动对于研究水文序列及水资源的长期演变是有利的。而现行水资源评价方法采用“一致性修正”的方法只能反映某一时段的变化状况,难以反映水文的渐变过程,更无法预测未来时段的水资源系列变化情况。

2.2.2 集总式评价

现行水资源评价方法采用分区集总式评价方法,忽略了分区内水文参数和自然地理条件的空间差异性,均化了分区的地貌和水文地质的空间特性,在此基础上的计算值只代表了一个分区平均的概念,难以反

映分区内水资源形成和演化过程的空间分异特性。

2.2.3 单一评价口径

现行水资源评价方法以地表水和地下水构成的径流性水资源为评价口径,没有评价非径流性水资源,如植被、作物等生态系统对雨水形成的土壤水资源的就地直接利用量以及植被截留量,也没有区分节水中的无效蒸发与渗漏补给等循环利用部分,难以全面反映水资源的多元有效性。随着其他有效水分利用量的增加,评价口径单一所带来的相关问题会越来越突出。

2.2.4 时间尺度局限

水文要素的变化是和时间尺度紧紧联系在一起,不同时段的水文要素以及水资源都呈现出迥异的变化规律。现行水资源评价多以年系列、多年平均值来反映水资源量的变化情况,而缺乏较长系列的月以及日变化过程,难以满足水资源规划需求。

2.2.5 分离式评价

在水循环中,降水、地表水、土壤水和地下水之间存在着一定的单向或双向的转化关系;在国民经济发展中,合格的供水对于水量及水质提出双重需求。因此,现代综合管理需要实现水量水质、地表地下、水资源及开发利用的统一评价。而现行水资源评价采用地表水地下水分离评价模式,割裂了地表水与地下水复杂转化相关关系;水量水质单独评价,无法反映水质对于资源有效性的影响,给水质供水调控措施的实施带来了困难;水资源与开发利用分离评价隔离了人类活动和天然水循环,给水资源综合开发利用与规划带来了很大障碍。

另外现行水资源评价工作浩繁,受各种人为因素影响较大,评价周期较长,难以适应现代水资源宏观管理和规划的需求。因此,我们亟需建立一套能够反映天然及人类活动影响的理论性强、计算速度快、灵活、可操作性强、实用性强的层次化动态水资源评价方法。

3 现代环境下的流域水资源评价方法框架

3.1 理论基础

一元模式下,人类活动影响被消除,还原后水资源演化的驱动因素仅为自然要素;另一方面,天然水循环和人工侧支循环的动态相互作用被消除,成为没有加速效应的静态演化模式。这种模式在人类活动影响程度较小的情况下,能够满足实际需要。例如,对于全球、海洋和陆地尺度的水循环研究,由于海洋循环的巨大调节作用,一元静态模式完全适用;对于水循

环通量相对较大或水资源演变不甚明显的流域,采用一元静态模式指导实践也不致发生大的偏差。但是对于高强度人类活动扰动下的缺水流域,由于人类活动对于水循环的影响程度深、影响范围大,同时生态环境系统对流域水循环的演变响应敏感地区,传统的流域水循环的一元静态模式已不能有效地指导实践^[2]。在国家九五攻关西北水资源项目和国家 973 黄河项目中,中国水利水电科学研究院提出的“天然—人工”二元动态水循环理论,不仅显式考虑了人类活动的影响,同时还清晰地描述了流域水资源的各类转化关系,是现代环境下的流域水资源规划与调控的统一研究平台,也是水资源评价的理论基础,水资源二元演化模式见图 1。

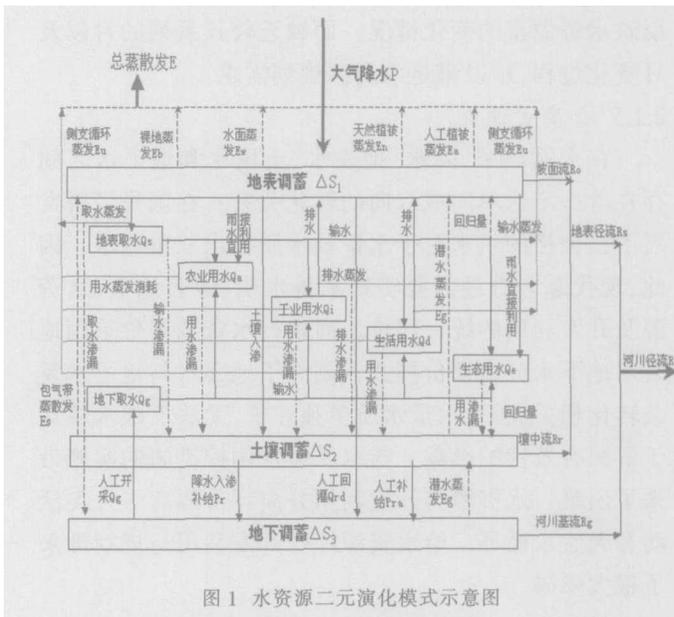


图1 水资源二元演化模式示意图

3.2 评价工具

大尺度分布式水文模型不仅能够模拟水文参数和自然地理条件空间变异特征,而且能够模拟大流域的径流过程。近几十年来,遥感技术(RS)、地理信息技术(GIS)包括数字高程模型(DEM)的快速发展以及雷达技术和卫星云图技术的进步,为大尺度分布式模型获取流域的气象、水文资料、下垫面特征以及人类活动影响等空间信息,并利用空间数据定量刻画水资源量的分布提供了强有力支持,为分布式物理模型的应用创造了条件。具有物理机制的 WEP-L^[3-6]模型正是建立在 3S 技术基础之上,综合了分布式流域水文模型和陆地地表过程模型的优势,能够精细描述大空间尺度和长时间序列的水文过程,并且能够耦合模拟流域“坡面—河道—地下”天然水循环过程与“取水—输水—用水—

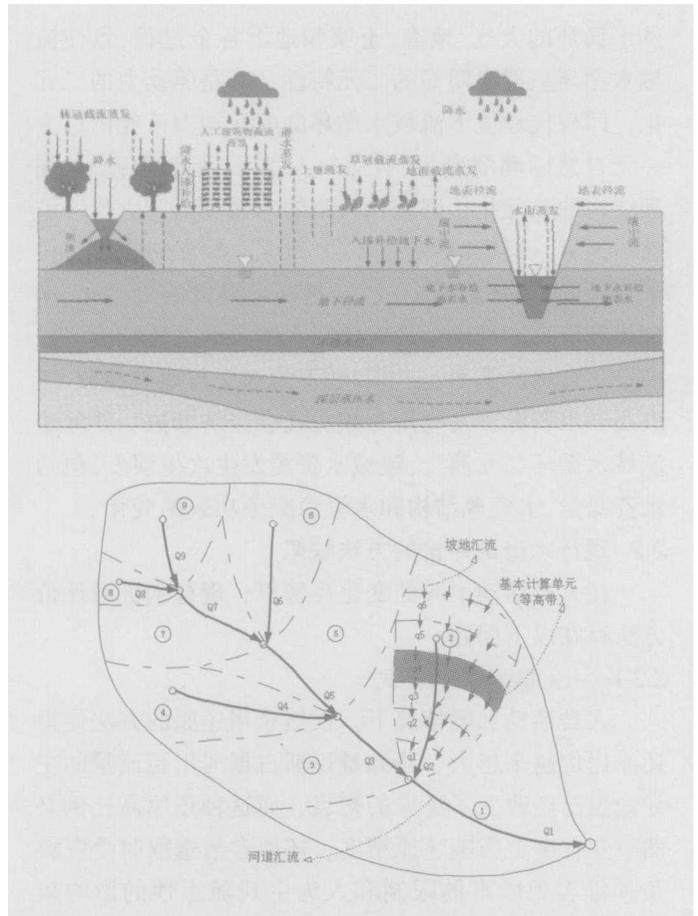


图2 WEP-L模型平面结构(下)和垂向结构图(上)

耗水—排水”社会水循环过程,以综合反映各项人类活动影响,适于作为现代变化环境下的流域水资源评价工具。WEP 模型的平面与垂向结构见图 2。

3.3 评价体系结构

层次化动态水资源评价方法建立在“天然—人工”二元演化模式^[2]的“实测—分离—耦合—建模”理论基础上,依据水资源评价的有效性、可控性及可再生性准则^[2,9,10],借助于 WEP-L 分布式水文模型,评价并预测不同下垫面条件下流域不同口径的水资源量包括广义水资源、狭义水资源以及国民经济可利用量见图 3。所谓“分离”,是指在实测水量中识别自然要素于人类活动影响各自的贡献;所谓“耦合”,是指分离后的各项参数保持其间的动态联系。

广义水资源^[2,9,10,11]总量包括两部分:一是现行水资源评价中的狭义水资源总量;二是天然与人工生态对降水的有效利用量,即雨水资源的有效利用量。可用式(1)表示:

$$W_s = (R_s + R_g) + E_p + E_{ss} + E_{es} \quad (1)$$

式中: W_s 为广义水资源量; R_s 为地表水资源量; R_g

为不重复的地下水资源量； E_p 为冠层截流蒸发量； E_{ss} 为地面截流有效蒸发； E_{es} 为与地表水、地下水不重复的土壤水有效蒸发量。其中 R_s+R_g 为狭义水资源量。

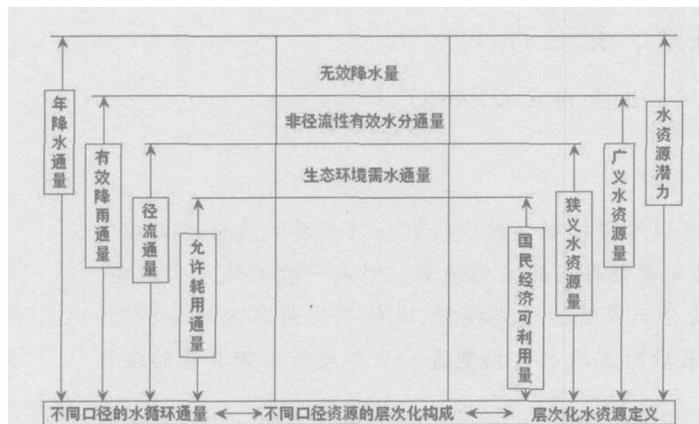


图3 水资源全口径评价示意图

林草冠层蒸发可直接降低植物表面和体内的温度，对维护植物正常生理是有益的，因此林草冠层截流蒸发是有效的；居民与工业用地是人类居住和活动的集散地，蒸发可以起到降温、湿润等直接的环境作用，本次研究认为这一部分蒸发也是有效的；对于地面截流蒸发，本次研究认为居民与工业用地上的地面截流蒸发、作物和林草棵间截流蒸发分别对于人类和生态环境主体是有直接环境效用的，应将其纳入到有效的广义水资源范畴；对于难利用土地截流蒸发（沼泽地除外）、稀疏草地的大棵间截流蒸发等都作为无效蒸发；对于土壤水蒸散发当中，蒸腾耗散的水分直接参与了生物量的生成属于有效水分，另外居民与工业用地土壤蒸发、作物和林草棵间土壤蒸发对于人类和生态环境主体也有直接环境效用，作为有效蒸发；潜水蒸散发是从狭义的地下水资源转化而来，全部属于有效水分。

国民经济水资源可利用量特指在自然条件和经济条件允许情况下，狭义水资源中能够被工程系统一次性开发利用的最大潜在量。这一最大潜在量包括了地表水和地下水两部分的可利用量，由于二者间的相互转化关系，地表水和地下水的可利用量均不是固定的，要根据二元模型进行计算。

4 结语

随着人类活动对于流域水循环影响的加剧，现行传统水资源评价方法已经不能适应现代环境下流域水

资源规划于管理需求，水资源评价方法需要从基础理论、评价口径、评价手段等方面进行系统革新，本文所提出的流域水资源全口径层次化动态评价方法框架正是这样一种探索和尝试。该方法目前已在黄河流域进行了初步应用，应用结果较为满意，初步显示了方法与模型的适用性与广阔的应用前景。但是也应该看到，变化环境下的水资源评价是一个复杂的科学问题，本评价方法的应用与推广应用受分布式水文模型发展的制约，如时间尺度与水循环的动力学机制的描述问题、数据不足问题、不确定问题等等，同时在水量水质联合模拟评价方面也有待进一步完善。也希望能够与广大水文水资源工作者一道努力，尽快形成一套完整的且具有中国特色的水资源评价新方法。

参考文献：

- [1] 世界气象组织，联合国教科文组织编.李世明，张海敏，朱庆平，等译. 水资源评价——国家能力评估手册[M]. 郑州：黄河水利出版社，2001，p7.
- [2] 王浩，陈敏建，秦大庸，等. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究 [M]. 郑州：黄河水利出版社，2003，p23~26.
- [3] 贾仰文，王浩，王建华，等. 黄河流域分布式水文模型开发与验证[J]. 自然资源学报，2005，第20卷(2):300~308.
- [4] 贾仰文.WEP模型的开发和应用[J].水科学进展，2003，14(增刊): 50~56.
- [5] Jia Yangwen, Tsuyoshi Kinouchi and Junichi Yoshitani, Distributed hydrologic modeling in a partially urbanized agricultural watershed using WEP model. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 10(4): 253~263, 2005.
- [6] Jia Yangwen, Tsuyoshi Kinouchi and Junichi Yoshitani, Distributed hydrological modeling in the Yata watershed using the WEP model and propagation of rainfall estimation error Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modeling, Proc. of 7th IAHS Congress, Sapporo, Japan, IAHS Redbook (No. 282), 121~129, 2003.
- [7] Jia Yangwen, Guangheng Ni, Junichi Yoshitani, Yoshihisa Kawahara and Tsuyoshi Kinouchi . Coupling Simulation of Water and Energy Budgets and Analysis of Urban Development Impact. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE,7(4): 302~311, 2002.
- [8] Jia Yangwen, Guangheng Ni, Yoshihisa Kawahara and Tadashi Suetsugi. Development of WEP Model and Its Application to an Urban Watershed. Hydrological Processes, John Wiley & Sons, 15(11), 2175~2194, 2001
- [9] 王浩，王建华，秦大庸，等.现代水资源评价及水资源学学科体系研究 [J].地球科学进展，2002，17(1):12~17.
- [10] 王浩，秦大庸，陈晓军.水资源评价准则及其计算口径[J].水利水电技术，2004(2):1~4.
- [11] 王浩，贾仰文，王建华，等.人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律初探[J].自然资源学报，2005，第20卷(2):158~162.

(下转第92页)

3.3 水资源分析计算

近几十年来,工程水文技术的发展滞后于经济社会的发展,随着水利工程开发重点的转移,出现了一系列相应的技术问题。同时,新理论新技术在工程水文方面的应用研究门类较多,但与工程结合的深入研究并不多见。因此,为提供高质量的江河流域规划、工程水文计算成果,应加强人类活动影响条件下工程水文问题的研究,深化干旱、岩溶、冰川、平原等特殊地区水文计算方法分析,积极探求分期洪水及水库汛限水位动态控制方法,开展洪水风险分析应用研究。

经济社会要持续发展,而水资源供需矛盾日益突出,从系统论的角度出发,综合考虑全局利益,开展区域水资源合理开发利用,越来越受到人们的重视。要尽快构建包括水资源调查评价、水资源预测、水资源供需平衡分析、水资源配置与水资源管理的水资源系统模型,开展枯季水量分配方案、水资源承载能力等资源水利应用研究,探索关键地区(如边界河流、河口地区、南水北调水源区)水资源对策措施研究。为水资源合理开发、高效利用、优化配置、全面节约、有效保护和节水型社会建设提供支撑。

长江水文应积极涉足建设项目水资源论证、排污口论证、防洪评价等应用领域,拓宽服务领域,开展公路、桥梁、输变电、核电领域等工程的水文设计。

3.4 水环境监测

发挥水文部门在水量、水质同步监测方面的优势,完善长江流域江河湖库及地下水的的水质监测体系,优化水质站网布局,不断扩展监测内容、监测站点和监测密度。积极研究和引进先进的水质监测设施设备和手段,加强水环境监测中心软硬件建

设,不断提高水质监测能力和分析评价与预测质量。努力实现水质信息采集、传输、处理和查询服务的自动化、标准化,为促进水质质量与水环境的有效保护提供重要的技术支撑。加强对供水水源地、入河排污口、南水北调沿线、三峡库区、重点河湖的水量水质监测,对用水和排污进行有效监控,推进水资源保护工作,为核定水域纳污能力、限制排污总量提供技术支撑。建立反应快速、数据可靠的水质与水环境监测服务系统,提高监测应急能力。

4 结语

水利是国民经济的基础产业,水文又是水利的基础及先行兵,是防洪抗旱的耳目和参谋,在防洪减灾、支撑国民经济发展等方面发挥了重要的作用。当前,科学技术迅速发展,各种新技术、新方法层出不穷,如何将这些技术用于水文工作中去,是水文急需解决的问题。总之,长江水文在未来相当长的时间内,应进一步用高新技术对传统水文、水质、河道、泥沙测验手段和方式进行改造与更新,整体提高水文科技含量;加快水文网络信息建设的速度,逐渐达到水文工作的现代化与信息化;大力开展水文、泥沙、河道、预报、水资源基础研究以及前沿技术研究,则是今后的长江水文的发展方向。

参考文献:

- [1] SL 278-2002, 水利水电工程水文计算规范[S].
- [2] SL 34-92, 水文站网规划技术导则[S].
- [3] SL 219-98, 水环境监测规范[S].
- [4] CH 1003-95, 测绘产品质量评定标准[S].
- [5] SL 250-2000, 水文情报预报规范[S].

Development and Prospects of Hydrology in the Yangtze River Basin

WEI Shan-zhong, WANG Jun

(Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: In the Yangtze River Basin, the observed hydrologic data, water quality, river channels information, meteo-hydrological forecasts and water resources evaluating results are all the basic supporting information for sustaining a healthy river system. It is the development trend of hydrology in the Yangtze River Basin to strengthen and optimize hydrometric network planning and construction, speed up the modernization of hydrological monitoring and data transmission, enhance hydrological and water resources forecasting capacity, carry out vigorously research on hydrological regularities and promote the advancement of hydrological undertaking.

Key words: hydrology; water resources; development; prospects

(上接第 21 页)

A Study on the Method of Water Resources Assessment in River Basin under the Present Environment

WANG Hao¹, WANG Jian-hua¹, JIA Yang-wen¹, QIN Da-yong¹, QIU Ya-qin¹, WANG Ling²

(1. China Institute of Hydropower and Water Resources Research, Beijing, 100044, China;

2. Bureau of Hydrology, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: This paper summarizes the status of water resources assessment methods. According to the water resources assessment rule in effectivity, controllability and renewability, the paper puts forward a dynamic water resources assessment method suitable to the present environment with the WEP-L distributed hydrological model as a tool, which is directed by the theory of "natural-artificial" dualistic water cycle.

Key words: human activities; dynamic water resources assessment; dualistic pattern; WEP-L model