

水资源评价的发展历程和趋势*

王 浩 仇亚琴 贾仰文
(中国水利水电科学研究院, 100038, 北京)

摘要 水资源评价作为水资源规划、开发、利用、保护和管理的基礎工作,在水资源开发利用和可持续发展中起着重要的作用.重点评述了国内外的水资源评价发展历程,剖析了不同时代水资源评价的特点,以及水资源评价未来发展趋势,旨在推进水资源评价工作.

关键词 水资源评价; 发展历程; 趋势

联合国教科文组织/世界气象组织 1988 年《水资源评价活动——国家评估手册》中规定“水资源评价是指对资源的来源、范围、可依赖程度和质量进行确定,据此评估水资源利用和控制可能性”.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”(UNESCO/WMO, 1992)将水资源评价修改为“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,据此评估水资源利用、控制和长期发展的可能性”^[1].

《中国资源科学百科全书·水资源学》中定义水资源评价为“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”.

从水资源评价的定义来看,其实质是服务于水资源开发利用实践,解决水资源开发利用中存在的问题,为实现水资源可持续利用提供重要保障.随着人类活动影响的日益增大,水资源评价面临着许多新问题,需要依靠科技进步而不断发展.

1 水资源评价发展历程

1.1 国外的水资源评价 国外的水资源的评价始于 19 世纪的末期,主要是水文观测资料整编和水量统计方面的工作.自上世纪中期以来,随着世界范围人口的攀升和经济社会的发展,生产生活取用水和排水量不断增长,许多国家出现不同程度的缺水、水生态退化和水污染加剧等水资源问题,许多国家纷纷开始探求水资源可持续利用的实践途径,作为水资源规划和管理的基础性工作,水资源评价开始逐渐受到世界各国的重视.1968 年和 1978 年,美国完成了 2 次国家水资源

评价,第 1 次侧重于天然水资源本底状态的评价,并开展了水资源分区工作,第 2 次侧重于水资源开发利用评价与供需预测,2 次评价实践初步形成了以统计为主的水资源评价方法与技术.1975 年,西欧、日本、印度等国家相继提出了自己的水资源评价成果.针对日趋紧张的水资源情势,国际上逐步对于水资源评价工作的重要性达成了共识,1977 年在阿根廷召开的世界水会议,要求国家一级大力增加财政投入进行水资源评价的活动.1988 年,联合国教科文组织和世界气象组织在澳大利亚、德国、加纳、马来西亚、巴拿马、罗马尼亚和瑞典等国家开展实验项目的基础上,以及在非洲、亚洲和拉丁美洲进行专家审定的基础上,共同制定了《水资源评价活动——国家评价手册》,促进了不同国家水资源评价方法趋向一致,同时有力地推动了水资源评价工作的进程.1990 年的《新德里宣言》、1992 年的《都柏林宣言》和 1997 年第 1 届水论坛加强了对水的重要性的认识.随着水资源评价与管理需求形势的发展,1997 年,UNESCO 和 WMO 再次对《水资源评价活动——国家评价手册》进行了修订,出版了《水资源评价——国家能力评估手册》.在 2000 年第 2 届世界水论坛中,联合国约定各国要进行周期性的淡水水资源评价,并以《世界水发展报告》的形式出现.

1.2 国内的水资源评价 我国水资源评价方法的研究起步略晚于国外,但受水资源短缺实践需求的驱使,水资源评价理论与方法发展非常快.主要可以分为 3 个阶段:早期、中期和现代评价阶段.

1) 早期评价阶段 20 世纪 50 年代,我国就已经针对有关大河开展了较为系统的河川径流量的统计,但统计项单一,仅限于河川径流量.20 世纪 50 年代,开展了东部入海大江大河的年径流量统计.20 世纪 60

* 国家重点基础研究发展“973”计划课题资助项目(2006CB403404);国家自然科学基金创新研究群体基金资助项目(50721006);国家自然科学基金面上基金资助项目(E0905)

收稿日期:2009-12-18

年代,我国进行了较为系统的全国水文资料整编工作,并对全国的降水、河川径流、蒸散发、水质、侵蚀泥沙等水文要素的天然情况统计特征进行了分析,编制了各种等值线图和分区图表等,推动了水资源评价工作的前进,具有了水资源评价的雏形。

2) 中期评价阶段 随后的20世纪80年代,根据全国农业自然资源调查和农业区划工作的需要,我国开展了第一次全国水资源评价工作,当时主要借鉴了美国提出和采用的水资源评价方法,同时根据我国实际情况做了进一步发展,包括提出了不重复的地下水资源概念及其评价方法等,最后形成了《中国水资源初步评价》和《中国水资源评价》等成果,初步摸清了我国水资源的家底。期间,贺伟程^[2]提出了较为系统完善的水资源评价理论方法。与当时国内外已有的水资源研究成果比较,此次提出的水资源评价理论方法有以下创新:第一,从水循环和水平衡原理出发,研究了降水、地表水、土壤水、地下水之间的转化关系,建立区域水循环概念模型,提出区域水资源总量定义和计算通式,为地表水、地下水综合评价奠定了理论基础,避免了地表水资源量与地下水资源量的重复计算。第二,针对我国降水量和径流量时空分布极不均匀的特点,在水资源评价中统一采用有较好代表性的同步(期)水文系列,计算出各级分区的水资源量系列及其特征值,从而解决了不同频率水资源量的地区组合问题,避免了分区同频率水量相加的不正确做法。第三,因自然、技术、经济条件的限制以及生态环境需水的要求,可用于经济社会发展的水资源有一定的限度,据此提出了水资源可利用量的基本概念和估算方法,对于分析区域水资源承载能力和进行水资源合理配置开创了新思路。此外地矿部门也对地下水进行了评价。随后,由于华北水资源问题突出,国家“六五”和“七五”重大攻关研究还专门对华北地区进行了水资源评价及相关问题研究。

1999年,水利部在总结全国第一次水资源调查评价以来实践的基础上,以行业标准的形式发布了《水资源评价导则》(SL/T 238-1999),对水资源评价的内容及其技术方法做了明确的规定,形成了较为稳定的水资源评价理论方法体系。

3) 现代评价阶段 改革开放以后,我国社会经济发展突飞猛进,人类活动对下垫面条件(包括植被、土壤、水面、耕地、潜水位等因素)的影响加剧,人类活动对于流域下垫面变化的影响,水体的开发和重塑、局部地貌的改变、土地覆被的改变以及人为建筑物的修健全方位地改造了下垫面,从而影响了流域天然下垫面的下渗、产流、蒸发、汇流水文特性,对水资源评价也

提出了新的挑战。因此,2001年,在国家发展改革委和水利部联合开展的“全国水资源综合规划”工作中,对水资源评价的技术和方法做了进一步的修改和完善:采用“一致性”修正的方法来处理下垫面条件变化对径流的影响。另外,在评价内容上也较第一次评价有所增加。水资源评价方法有了进一步的发展,目前在全国范围内广泛采用。

另外,水资源评价模型技术逐步发展起来,包括基于新安江模型和地下水动力学的地表-地下水资源联合评价模型^[3-4]等。随着3S技术和计算机的不断进步,分布式水文模型逐渐引入到水资源评价中来,并具备原有集总式模型难于实现的优势。

当然,我们也应该看到,赋存形式各异的水无所不在,而且相互转化不断运动,水资源的系统精确评价本身就是一项极具挑战性的工作。近几十年来,大规模的人工取水形成了与天然“坡面-河道”主循环相耦合的“取水-供水-用水-耗水-排水”为基本结构的人工侧支循环,我国北方的许多流域侧支循环通量甚至远远超过了主循环的实测通量;大规模排放温室气体,改变了天然水循环的降水输入和能量条件,导致当前序列的水资源基础条件与历史过程存在着不同,给水资源科学评价带来了困难。随着资源稀缺性的日益突出,水资源的合理配置和高效利用越来越受到重视;随着以人为本、和谐社会理念的普及,水资源开发利用的要求不再停留在有水可用的阶段,而且发展为有符合质量标准的水可用,这些实际需求都给水资源评价理论提出了新的要求,也成为水资源评价理论发展的方向。

在新形势的需求下,21世纪初,王浩^[5]等提出了基于二元水循环模式的水资源评价理论方法。所谓二元水循环模式,是指人类对水循环的干扰,打破了原有天然水循环系统的规律和平衡,使原有的水循环系统由单一的受自然主导的循环过程转变成受自然和人工共同影响、共同作用的新的水循环系统^[6,7]。其明显的二元特性是: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;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;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体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。

表1就二元水循环模式的水资源评价方法与国内外以往水资源评价方法进行了对比。从表中可以看出,该方法与以往评价方法存在的主要差异有,一是评价的视角上,将人工驱动项作为水资源演变的内生动力,

而并非采取“剔除”的方式实现“还原”;二是在评价过程中,要保持天然水循环过程和人工水循环过程的动态耦合关系,同时能够充分反映人类活动的影响;三是评价的内容和成果要同时服务于不同层次的生态建设、环境保护和经济社会发展.基于二元水循环模式的水资源量评价所遵循的原则有:¹ 水资源量评价应当从流域水循环的总通量出发,以对不同特性不同效用的水循环通量的界定作为资源评价的基础;^④“有用”是自然资源首要属性,因此在水循环全口径通量中进一步对效用进行区分与度量是水资源评价的第二项

内容;“可用”是继“有用”后自然资源另外一个重要的属性,因此根据可控性准则对于“有用”资源做进一步区分是水资源评价中第3层内容;^{1/4} 二元模式下的资源的概念是相对生态环境和经济社会两大系统而言的,因此评价中还需在可控水资源中进一步区分国民经济允许的开发利用量;^{1/2} 基于现代环境下的水资源评价还应当能够清晰描述人类活动对于水资源演变的影响.

以上5个层次和方面的内容,整体构成了二元水循环模式下水资源评价的基本思路.

表1 水资源评价方法对比表

对比项	基于二元水循环模式的水资源评价理论方法		国内以往的水资源评价方法		
评价对象	包括地表水、土壤水、地下水,分广义水资源、狭义水资源和国民经济可利用量等多个层次		原来只评价地表水和地下水,目前开始评价国民经济可利用量		
评价模式	统一评价模式,包括各类有效水分/循环通量/循环效用/水量-水质		分离评价模式,地表-地下水/水量-水质,未涉及效用评价		
定量手段	以具有物理机制分布式二元模型为工具,以水循环全要素过程模拟为基础		以“实测-还原-汇总”为基本过程,含经验成分		
空间单元	分布式评价		流域套行政区		
时间单元	年、月、日及实时评价		年		
人类活动影响处理方式	精细考虑下垫面变化、人工取水等不同人类活动的分项与综合影响		不能考虑单项人类活动影响,通过还原消除人类活动影响或通过一致性处理进行修正		

对比项	UNESCO	美国	俄罗斯	英国	日本
评价对象	河川径流量 地下水资源量	河川径流量	河川径流量 地下水动态	河川径流量 地下水动态	水资源赋存量 (理论最大可利用量)
评价模式	水质/水量分离 地表/地下分离	水质/水量分离 单一地表水评价	水质/水量分离 单一地表水评价	水质/水量分离 单一地表水评价	水质/水量分离 地表/地下分离
评价手段	实测汇总分析为主要手段,提出模型开发	实测汇总分析为主要手段	观测信息 登记与调查统计	监测信息 统计与调查统计	实测汇总与水收支分析为主要手段,提出模型开发
空间单元	流域	行政区或流域	行政区或流域	行政区或流域	行政区或流域
时间单元	年	年	年	年	年
人类活动影响处理方式	还原方法	还原方法 提出一致性处理	还原方法	还原方法	还原方法

2 水资源评价发展趋势

从水资源评价工作的进展过程中,可以看出水资源评价理论方法在评价基础、评价模式、评价对象和评价技术等方面都随着时代的前进而不断丰富和完善.其主要发展动向主要体现在以下4个方面.

评价基础方面,以往水资源评价采取的是“实测-还原-修正”思路,评价的出发点是通过“剔除”人类活动影响的处理方式,将实测到的水循环通量还原到天然状态,以此为基础评价水资源量.这种评价方法在人类活动影响程度较小的情况下,还能够满足实际需求,而随着人类活动逐渐加强,需要还原和修正的水循环通量比例越来越高,这种一元静态的评价思路显然不

适合现实实际.当前水资源评价已经开始由“实测-还原-修正”的一元模式开始向“实测-分离-耦合-建模-评价”的二元动态评价模式发展.

在评价模式方面,国内外长期一直采取地表水-地下水分离评价、水量-水质分离评价的模式,如在水资源量评价中,在评价地表水的时候将地下水作为源汇项,评价地下水时候将地表水体作为源汇项,分别进行评价.这种评价模式割裂了地表水与地下水复杂转化相关关系,无法反映水质对于资源有效性的影响,不利于水资源的系统配置、联合调度和综合管理.当前地表水-地下水、水量-水质联合评价也逐渐受到重视,成为水资源评价方法的重要研究方向.

在评价对象方面,以往水资源评价的对象主要是

包括地表水和地下水在内的径流性水资源, 国际上一些国家甚至只评价地表水资源. 而事实上, 处于地表和地下之间的非饱和带中的土壤水资源, 始终在农业生产和生态与环境建设方面发挥重要的作用. 随着水资源稀缺性的凸现, 人们开始关心不同赋存形式水资源的综合利用, 因此土壤水资源已逐渐引起学术界和相关部门的广泛关注^[8], 世界粮农组织已将作为植物生产环节之一的蒸汽流又回到大气的“绿水”作为重要的研究内容^[9]. 因此, 水资源评价的对象逐渐从径流性水资源为评价通量, 向以降水为评价通量拓展.

评价手段方面, 早期水资源评价主要依靠统计方法, 自 20 世纪 80 年代以来, 水资源评价方法逐渐发展为流域水量均衡方法, 联合国粮农组织为了促进各国水资源评价的一致性, 进一步提出了基于 GIS 的水均衡模型. 近年来, 一些学者尝试将分布式水文模型技术引入水资源评价^[10-12]中来, 成为水资源评价方法发展的重要内容. 随着 3S 技术和计算机的进一步发展, 具有物理机制的分布式水资源动态评价模型将会成为发展的趋势.

3 结语

从水资源评价工作的发展历程看, 水资源评价活动带有明显的目的性, 在于解决不同时期出现的水资源问题, 保证水资源的可持续开发和管理. 实践需求是应用科学理论与技术发展的源动力, 而现代环境下水资源系统主体演变和客体需求的变化成为推动水资源评价理论和技术发展的动力. 水资源开发治理过程中不断涌现出的水资源问题以及人们对客观世界的进一步深入认识, 还会促使水资源评价理论方法的长足进步和发展. 在人类活动日益显著的影响作用下, 二元动态评价、水量水质联合评价、径流性水资源和非饱和土壤水综合评价以及分布式模型评价等将会成为今后发

展的趋势.

4 参考文献

- [1] 世界气象组织, 联合国教科文组织. 水资源评价: 国家能力评估手册[M]. 李世明, 张海敏, 朱庆平, 等译. 郑州: 黄河水利出版社, 2001: 7
- [2] 贺伟程. 水利水电科学研究院科学研究论文集: 第 14 集: 水资源[G]. 北京: 水利电力出版社, 1983: 13-24
- [3] 谢新民, 郭洪宇, 唐克旺, 等. 华北平原区地表水与地下水统一评价的二元耦合模型研究[J]. 水利学报, 2002(12): 95
- [4] 郝振纯. 地面地下水资源联合评价模型探讨[D]. 南京: 河海大学, 1988
- [5] 王浩, 王建华, 秦大庸, 等. 基于二元水循环模式的水资源评价理论方法[J]. 水利学报, 2006, 37(12), 1496
- [6] 陈家琦, 王浩. 水资源学概论[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996
- [7] 王浩, 秦大庸, 王建华. 多尺度区域水循环过程模拟进展与二元水循环模式的研究[C]// 刘昌明, 陈效图. 黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究和进展. 郑州: 黄河水利出版社, 2001: 34-42
- [8] 王浩, 杨贵羽, 贾仰文, 等. 基于区域 ET 结构的黄河流域土壤水资源消耗效用研究[J]. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2007, 37(12): 1643
- [9] 国际科学院组织. 走向可持续的 21 世纪: 科学与技术的贡献[M]. 傅伯杰, 刘健, 曹京华, 等译. 北京: 科学出版社, 2005
- [10] Jia Y W, Wang H, Zhou ZH, et al. Development of the WEP-L distributed hydrological model and dynamic assessment of water resources in the Yellow River Basin [J]. Journal of Hydrology, 2006, 331, 606
- [11] 贾仰文, 王浩, 王建华, 等. 黄河流域分布式水文模型开发和验证[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 300
- [12] 刘昌明, 陈效图. 黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001

DEVELOPMENT COURSE AND TENDENCY OF WATER RESOURCES ASSESSMENT

WANG Hao QIU Yaqin JIA Yangwen

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 100038, Beijing, China)

Abstract Water resources assessment as a basic work of planning, utilization, development, conservation and management of water resources plays an important role in the development and sustainable utilization of water resources. The development course of water resources at home and abroad is reviewed and its characteristic in different era and development tendency are also analyzed in this paper, which aims at promote the work of assessment of water resources.

Key words water resources assessment; development course; tendency