



水资源数量与质量联合 评价方法及其应用

夏 军 刘克岩 谢 平 等 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

水资源数量与质量联合 评价方法及其应用

夏 军 刘克岩 谢 平等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统论述了水资源数量与质量联合评价及管理的理论体系,提出了联合评价方法与技术途径,尤其是针对地表来用水状况和针对河流水功能区划水质目标的水资源数量与质量联合评价、地下水资源数量与质量联合评价,以及基于流域水循环系统和模拟多闸坝人工调控河流的水质水量联合评价多个应用实例。

本书适用于水资源评价、水资源保护和水环境管理的专业人士参考,也可供水文、水资源、水环境、水生态、农业和社会经济等部门的有关科技人员及大专院校的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水资源数量与质量联合评价方法及其应用/夏军等著. —北京: 科学出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-03-038001-2

I. ①水… II. ①夏… III. ①水资源-资源评价-研究-中国
IV. ①TV211.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 136188 号

责任编辑: 朱海燕 李秋艳/责任校对: 刘亚琦

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

2013年6月第一次印刷 印张: 19

字数: 350 000

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



目 录

前言

第一章 水资源数量与质量联合评价问题	1
第一节 问题的提出	1
一、我国水资源管理面临的问题与挑战	1
二、水资源数量与质量联合评价面临的问题与挑战	2
第二节 国内外研究现状与前沿	4
一、水资源评价的回顾与国际前沿	4
二、水资源数量评价	7
三、水资源质量评价	10
四、水量水质联合评价	15
五、机遇与挑战	16
第二章 水资源数量和质量评价方法分类与指标体系	18
第一节 水资源数量和质量联合评价的概念	18
第二节 水资源数量和质量联合评价方法分类	20
一、针对应用目的的水量水质联合评价	20
二、针对不同类别的水量水质联合评价	20
第三节 水资源数量与质量联合评价的指标体系	22
一、水资源数量评价指标	22
二、水资源质量评价指标	25
三、地表水资源数量与质量联合评价的指标	25
第四节 水资源评价标准	26
一、地表水环境质量标准	26
二、《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)	29
三、湖库富营养化评价标准	32
第五节 水资源数量与质量联合评价方法体系	33
第三章 针对地表来用水状况的水量水质联合评价方法	35
第一节 基本思路	35
第二节 集总系统的水量水质联合评价方法	36
一、时段水资源量 $\Delta W(t_i)$ 的水量水质联合评价	38
二、水资源量总量 W 的水量水质联合评价	39
第三节 分布系统的水量水质联合评价方法	40
第四节 水资源数量与质量联合评价步骤	47
一、确定评价区	47

二、基础资料收集整理	47
三、确定水质水量结合评价站点	48
四、水资源数量与质量资料选用	48
五、河道站实测径流量评价	48
六、计算评价区的天然年径流量	48
七、统计不同水质类别的水量	48
八、扣除入境水量	48
九、进行水量调整	49
第五节 计算实例 1: 单元 (集总) 系统的水量水质联合评价方法的应用	49
一、基本数据收集	49
二、联合评价结果与分析	50
第六节 计算实例 2: 复合 (分布) 系统的水量水质联合评价方法的应用	52
一、研究区基本情况介绍	52
二、基本数据收集	56
三、联合评价结果	60
第七节 方法 2 与方法 1 的应用比较	61
一、联合评价的相关说明	62
二、联合评价的结果	62
三、评价结果的比较	63
四、结果合理性分析	64
五、结语	65
第四章 针对水功能区划水质目标的可用水资源量的评价方法	66
第一节 目的与意义	66
第二节 思路与途径	68
第三节 单元系统水量水质联合评价方法	68
一、单元系统的水量与水质概念模型及参数识别方法	68
二、单元系统的剩余可用水量	80
三、单元系统的最大可用水量	81
四、单元系统的最大排污负荷	81
第四节 多河段系统水量水质联合评价方法	81
一、现状条件下的可用水资源量的联合评价	82
二、改变用水分配条件下的最大可用水量的评价	84
三、模型的求解	86
第五节 模型参数分析	86
一、模型参数率定方法	86
二、模型参数影响研究	87
第六节 计算实例	95
一、研究区概况	95

二、基本数据收集	97
三、模型参数率定与分析	99
四、取水计算分析	100
五、联合评价的结果	107
六、结语	108
第五章 地下水资源水量水质联合评价方法	109
第一节 动态分质地下水资源评价方法研究	109
一、关于开采期的划分	109
二、动态分质地下水资源评价方法	112
三、各种地下水资源水质水量联合评价方法比较	114
第二节 应用实例	115
一、资料的选取及评价区的划分	116
二、流域分区动态分质地下水资源评价	116
三、行政分区动态分质地下水资源评价	120
第三节 动态分质地下水资源评价成果分析	122
一、符合生活饮用水卫生标准的地下水资源量	123
二、符合农田灌溉水质标准的地下水资源量	126
三、既不能饮用又不能用于灌溉的地下水资源量	128
第六章 基于流域水循环模拟的水量水质联合评价	131
第一节 评价方法与途径	131
第二节 水量与水质过程耦合模拟与评价	132
一、水量与水质过程耦合模拟	132
二、基于水量水质耦合模拟的联合评价	140
第三节 计算实例研究	141
一、研究区概况	141
二、基础资料收集	142
三、联合评价结果与分析	143
第七章 人工调控河流的水量水质影响评价	150
第一节 人工调控河流的水量水质影响评价问题	150
第二节 人工调控河流水量水质联合评价方法	150
一、机理认识	151
二、流域水系统综合模拟	156
三、多情景多指标影响评价	159
第三节 计算实例	162
一、温榆河流域概况	162
二、耦合闸坝体系的温榆河流域 SWAT 模型	164
三、闸坝调控对温榆河水资源数量与质量的影响评价	168
四、对策建议	173

第八章 滦河流域水资源数量与质量联合评价应用实例	175
第一节 滦河流域概况	175
一、自然地理	175
二、社会经济	178
第二节 水资源水环境状况综合分析	179
一、滦河山区地表水资源状况	180
二、滦河流域地表水环境质量状况	185
三、平原区浅层淡水资源状况	189
四、平原区浅层淡水水环境状况	189
五、地表水水质年内变化特征	191
第三节 滦河山区水资源数量与质量联合评价	193
第四节 滦河地表水资源数量与质量联合评价成果分析	194
一、滦河山区地表水资源水质水量联合评价成果	194
二、评价成果对比分析	198
三、成果合理性分析	199
第五节 滦河山区地下水资源水质水量结合评价成果	200
一、符合生活饮用水卫生标准的地下水资源量	201
二、符合农田灌溉水质标准的地下水资源量	202
三、既不能饮用又不能用于灌溉的地下水资源量	203
第九章 鉴江流域水资源数量与质量联合评价应用实例	205
第一节 鉴江流域基本概况	205
一、自然地理	205
二、社会经济	207
三、水资源与水环境状况分析	208
第二节 鉴江水资源数量与质量现状评价	222
一、利用场次洪水水量水质关系进行评价	222
二、针对地表来用水状况的水资源数量与质量联合评价	225
第三节 针对水功能区水质目标的可用水资源量联合评价	228
一、评价标准与水功能区划	228
二、可用水资源数量与质量的联合评价	229
第四节 水资源数量与质量联合评价成果应用分析	235
一、水资源数量与质量现状联合评价成果分析	235
二、针对水功能区划水质目标可新增可用水资源量联合评价成果	237
第十章 黑河流域水资源数量与质量联合评价应用实例	238
第一节 黑河流域自然地理及社会经济	238
一、地理背景	238
二、流域气候	239
三、河流水系、湖泊、冰川	239

四、流域社会经济	240
第二节 水资源水环境状况综合分析	241
一、地表水资源状况	241
二、流域地表水环境质量状况	242
第三节 地表水资源数量与质量联合评价方法应用	244
一、水资源数量与质量联合评价方法	245
二、水资源数量与质量联合评价步骤	246
三、黑河干流水资源数量与质量联合评价	247
四、地表水资源数量与质量联合评价结果比较	253
第四节 针对水功能区水质目标的可用水量联合评价应用	256
一、研究对象与基础数据	256
二、黑河干流水质年内变化	258
三、河段参数识别	260
四、取用水增量的计算	260
五、几点分析	263
第十一章 石羊河流域水量水质联合评价应用实例	265
第一节 石羊河流域概况	265
第二节 石羊河水资源水环境状况分析	268
一、地表水资源状况	268
二、流域地表水环境质量状况	268
第三节 石羊河水系水资源数量与质量联合评价	271
第四节 石羊河地表水资源水质水量结合评价成果	271
一、石羊河水系地表水资源水质水量联合评价	271
二、评价成果对比分析	273
三、水质水量联合评价成果合理性分析	274
第十二章 淮河流域闸坝对水量水质影响的评价	275
第一节 流域概况	275
一、自然地理	275
二、社会经济	276
三、水资源及其开发利用现状	276
四、水利工程建设与水环境问题	277
第二节 耦合闸坝群运行的流域分布式水量水质综合模型	279
一、模型的建立	279
二、参数率定及模拟	281
第三节 淮河流域闸坝对河流水量水质的影响评价	284
一、淮河水系典型年闸坝对河流水量的影响	284
二、淮河水系典型年闸坝对河流水质的影响	284
三、淮河水系典型年闸坝对河流水量水质综合影响评价	284

第四节 几点对策与建议	286
一、加强对污染源的控制	286
二、防洪防污联合调度	287
三、加强应用基础研究	287
参考文献	289

第一章 水资源数量与质量联合评价问题

第一节 问题的提出

水资源是社会经济发展基础性的自然资源，又是国家和区域发展的战略性经济资源，是一个国家综合国力的有机组成部分。从当前和未来经济社会的发展需要看，我国的水资源形势相当严峻。气候变化与人类活动的影响加剧，频繁的洪涝灾害威胁着经济社会的发展，水资源紧缺已经成为经济社会发展的主要制约因素，水环境恶化的趋势还没有得到有效遏制，水资源问题已经成为维系国家安全的重要发展的瓶颈问题。为了有效解决或缓解面临的水资源挑战，迫切需要在流域水资源综合规划基础上，全面协调流域社会经济发展与生态和环境面临的矛盾，水资源数量与质量联合评价及管理，成为支撑变化环境下流域水资源可持续利用与管理的重要需求和科学技术问题。

一、我国水资源管理面临的问题与挑战

我国是全球和亚洲地区的人口大国，水资源短缺，水环境问题、水旱灾害对国家经济建设和发展的影响尤为显著。据水利部门统计，自 1949 年中华人民共和国成立，水利进入了发展时期。对黄河、淮河、海河、辽河等江河开始了全面整治。全国整修加固堤防约 20 万 km，修建了大、中、小型水库共 8 万多座，总库容 4 500 亿 m³，普遍提高了江河的防洪能力，并为工农业和城市供水 4700 亿 m³。农田水利方面，建成了万亩以上的灌区 5 300 多处，配套机井 250 多万眼，全国灌溉面积由 1949 年的 2.4 亿亩^①猛增到 2005 年的 9.28 亿亩，居世界各国首位。在不足全国耕地一半的灌溉土地上，生产出占全国产量 2/3 的粮食和占全国产量 60% 的经济作物。中国以占世界 7% 的耕地，基本解决了占世界 22% 的人口的温饱问题。

但是，随着我国经济社会的快速发展，国家面临的来自水资源的压力和挑战也与日俱增。20 世纪 70 年代末，即 30 多年前的中国，全国总人口约 9.9 亿，人均水资源量为 2 747m³。到 2000 年，我国总人口已增长到 12.6 亿，而人均水资源量减少到 2 185m³，不足世界平均水平的 1/3。我国多年平均的水资源总量约为 2.8 万亿 m³，其中河川径流量占 96%，而河川径流中洪水占绝大多数。天然水资源条件很差，开发利用难度大。另外，由于气候变化和社会经济发展联系的高强度人类活动的影响，许多河湖断流、沟渠淤塞、江河湖库水体污染的事件时有发生，与水相关的生态-环境问题越来越突出。

根据国家环境保护部发布的《2010 年中国环境状况公报》数据，我国的环境总体

^① 1 亩≈667m²

形势依然十分严峻,面临许多困难和挑战,其中全国地表水污染依然较重。全国七大水系总体为轻度污染。204 条河流 409 个国控断面中,Ⅰ~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 59.9%、23.7%和 16.4%。湖泊(水库)富营养化问题依然突出,在监测营养状态的 26 个湖泊(水库)中,轻度富营养化状态的湖泊(水库)占 42.3%。目前,全球变化导致水循环水资源的变异和自然灾害频发,也使原本十分脆弱的水资源供需矛盾和水旱灾害后果形成“雪上加霜”的叠加效应。因此,现代水资源管理的内涵与外延都发生了变化,增加了城市用水、工业供水、生态需水、水污染、水环境、水生态调度和流域水资源综合规划与管理等多方面的内容。展望未来即 2030~2050 年,据预测中国人口将达到 14 亿左右;中国的经济将持续高速发展,经济总量达到世界首位,人均 GDP 达到中等发达国家水平。全球的经济发展与我国的经济发展互为影响。因此,中国水的问题和水危机的压力将更加严峻。

从国际水资源管理和水科学前沿来看,聚焦在前瞻性、战略性、交叉性的研究,强调以下三个发展方向:一是强调每个人要享受基本的社会经济福利,而水是这个基本社会福利保障的基础。要合理地分配、调度水资源,做到水循环利用,安全用水,避免因水而引起的战争,使社会稳定、经济持续发展。二是要维系一个良好的生态环境,展现在人们面前应是绿色的地球、蓝色的海洋。开展生态补偿,强调绿色的 GDP,改善水质、生态系统,合理控制对水质水量的需求。三是要有良好的水的建设与管理,要有科学的技术支撑,如在水的管理、水的调控、水的开发等方面。因此,变化环境下流域水资源综合规划与管理,迫切需要开展其基础之一的水资源数量与质量联合评价,它是科学支撑国家当前和未来水资源可持续利用和水资源科学管理的重要基础之一。

二、水资源数量与质量联合评价面临的问题与挑战

为贯彻落实国家新时期的治水方针,适应经济社会发展的需要,国内科技界和水的规划管理部正在着力解决新时期水资源的开发、利用、配置、节约、保护和治理等重大问题,加强水资源科学管理,提高水的利用效率,建设节水型社会,促进水资源可持续利用(贺伟程,1984;水利部水文司,1989,1997;王志民和任宪韶,2000;WMO and UNESCO,2001;钱正英和张光斗,2001)。2002 年,水利部、国家发展和改革委员会联合发文部署了在全国范围内开展水资源综合规划编制工作。总体目标是,在进一步查清我国水资源及其开发利用现状、分析评价水资源承载能力的基础上,按经济社会可持续发展的要求,提出符合社会主义市场经济规律的水资源合理开发、高效利用、综合治理、优化配置、全面节约、有效保护、科学管理的总体布局 and 实施方案,促进我国人口、资源、环境和经济、社会的协调发展,以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展(张海仑等,1985;陈家琦和王浩,1996;刘昌明和何希吾,1996;张国良,1999;张岳,2000)。

自 20 世纪 80 年代开展全国第一次水资源评价和水资源利用规划工作以来,我国水资源的外部环境和内部条件发生了很大变化,除了气候变化和人类活动影响导致水资源的数量相应发生了变化之外,河流水污染导致的水体质量问题日益突出。目前,全国主要江河 70%的河段受到不同程度的污染,其中长江以南不少地区水污染严重,导致水

质型缺水,甚至引发了水事纠纷。过去仅评价水资源数量的方法并不能反映受到不同程度污染的水量的分布情况。此外,水资源补给条件的变化和地下水的超采,部分地区水资源发生了很大变化,华北地区地下水累计超采 900 亿 m^3 ,导致地表沉降,海水入侵,对经济社会发展、生态环境造成很大的负面影响。这些问题迫使水资源评价从过去单方面考虑水资源的数量问题或者单方面考虑水资源的质量问题转向建立水资源数量和质量联合评价的新科学体系。

当前,从水资源综合规划、配置和管理的实际需求出发,需要探讨和解决如下两类水资源数量和质量联合评价问题(叶健等,2003;夏军等,2005,2006):

(1) 评价流域水资源数量中的水体质量分布情况,其中水资源量包括流域已经取用还原的水资源量。以黄河流域为例,已知黄河流域多年平均地表水资源总量为 580 亿 m^3 ,需要回答 580 亿 m^3 水资源总量中 I 类水体的水资源数量占水资源总量的比例是多少、II 类水体的水资源数量占水资源总量的比例是多少。如此等等,以说明水资源数量的质量分布。这类水资源数量和质量联合评价问题简称为“以来用水为主的水资源数量和质量联合评价问题”。

(2) 从水资源可持续利用的角度,回答能够与水环境保护、水资源配置和管理密切联系的水资源数量与质量联合评价问题。主要原因是:我国水资源矛盾与冲突日益突出,因此,水资源合理配置不仅要考虑生产、生活用水,还要考虑生态与环境用水。这里既有水量要求,又有水质要求,必须处理水资源数量和质量统一评价问题。从更深层次问题看,需要搞清楚一条河流在一定的生产、生活用水条件下,为了满足水功能区划水质目标和一定河道生态需水要求,究竟有多少可用和能够调配的水资源量,以及满足水功能区划目标所需削减的污染负荷。这涉及流域水资源数量与质量的联合评价,涉及一条河流在水功能区划和照顾到上下游需水、生产需水多目标下水的可用方式和可用水资源量的测算。

具体地说,有两个基本的情景:

(1) 针对河流水功能区划的水质目标以及保证向下游输水的河道最小流量(如河流环境流量、生态需水、下游基本用水)的要求,评价在河流受到一定程度污染和现状用水条件下,未超过水功能区划水质目标的可用的剩余的水资源量,简称为剩余可用水量。评价河流剩余可用水量,能够在河流水功能区划的水质目标和流域上游、中游、下游的可用水资源量之间建立联系,能够考虑水资源配置中的生态需水要求,为水资源综合规划与管理,包括初始水权的分配,协调上游、下游用水矛盾和生态需水的竞争等,提供科学依据。

(2) 评价在满足河流水功能区划水质目标和河道最小流量的条件下,如果改变现状用水并重新配置水资源后,河流的可用水资源量,简称为可用水量。评价满足河流水功能区划水质目标和河道最小流量约束下的河流可用水量,能够为水资源的优化配置、流域水资源可持续利用,提供决策依据。

当前面临的难点问题是:由于水体的流动性,一年之内以及年际之间,同一个监测点汛期与非汛期水质变化比较大;流域上游、中游、下游之间的水质状况差别也可能非常大。在北方地区,由于水污染严重,同样的流域水资源总量,对于河道水质评价结果

很差,但是对于水库,由于水体的自净能力强,水质评价结果则比较好。另外,国家尚缺乏专门针对流域水资源属性的水资源质量标准。如何针对不同应用目标,提出有科学性和实用性的水资源数量与质量联合评价方法,是当前全国水资源综合规划水资源调查评价面临的挑战性难题。

第二节 国内外研究现状与前沿

一、水资源评价的回顾与国际前沿

水资源评价始于19世纪末期的流域水量统计工作,例如美国于1894年在美国地质调查局(USGS)设立了水资源处(Water Resources Department),并一直延续至今(王浩等,2004)。20世纪60年代,随着全球经济的发展,世界各国都开始面临水资源短缺、水生态退化、水污染加剧等水安全问题,加强对水资源开发利用的管理和调控、保护水资源成为各国政府的共识。在此背景下,作为水资源规划和管理的基础性工作,水资源评价开始受到各国的重视。

1968年和1978年,美国首先完成了两次国家水资源评价,第一次侧重于天然水资源本底状态的评价,第二次侧重于水资源开发利用评价与供需预测,初步形成了以统计为主的水资源评价方法与技术(Vijiayan et al., 1999; Azevedo et al., 2000; Campbell et al., 2001; Dai et al., 2001; 王浩等,2006)。1975年,西欧、日本、印度等国家和地区得到了本国或本地区的水资源评价成果。针对日趋紧张的水资源情势,国际上逐步对水资源评价工作的重要性达成共识。

1977年联合国在阿根廷马德普拉塔召开了世界水会议,通过了《马德普拉塔行动计划》,指出“没有对水资源的综合评价就谈不上对水资源的使用规划与管理”,强调水资源评价是保证水资源持续开发和管理的 premise,是进行与水有关活动的基础。号召世界各国进行国家水平的水资源评价,要求各国建立水资源评价机构并开展国际合作(焦得生和石玉波,1998;李春晖和杨志峰,2004;王浩等,2006)。

1988年联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)在澳大利亚、德国、加纳等国家开展的实验项目,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,有力推动了水资源评价工作的进程(UNESCO and WMO, 1988),并于1997年进行了修订(世界气象组织和联合国教科文组织,2001)。2000年的第二届世界水论坛中,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》的形式公布(王浩等,2010b)。

在水资源评价方面,各国的做法各有不同。在评价对象上,美国只以河川径流量为评价对象。俄罗斯和英国虽未实施地下水资源评价,但也进行了水资源监测和评估。UNESCO也将地下含水层可恢复的供水量纳入水资源评价对象。我国的水资源评价中,将河川径流量和不重复的地下水资源量作为水资源评价对象。我国和一些国家只将当地产水量作为地表水资源量,联合国粮农组织(FAO)和法国地质矿产调查局(BRGM)则将入境河川径流量也作为地表水资源量。在评价模式上,国内外都将地表水和地下水分别评

价,对水量和水质也分别评价。国外多以流域、水资源分区或行政分区为空间单元,以年为时间单元。我国则以流域和行政区结合作为空间单元,以年为时间单元。在评价方法上,早期主要使用统计方法,后在 20 世纪 80 年代以来逐渐发展为水量均衡法,而后发展为基于 GIS 的水均衡模型,现在也逐渐在水资源评价中引入水文模型。国内外多采用“统计—还原”方法对人工取用水进行修正,用“一致性”修正或在评价模型中设置变量的方式修正下垫面的影响(王浩等,2006)。2012 年在法国马赛举行的第六届世界水论坛首日,正式举行了由联合国教科文组织世界水评价计划(WWAP)编写的第四版《2012 世界水发展报告》(WWDR4)发布仪式。主题为“不确定性和风险之中的水资源管理”(Managing Water under Uncertainty and Risk)。报告阐述了全球水资源的现状及挑战、近期发展态势、管理水及其风险的现实需求等,面向可持续发展与绿色经济发展目标,呼吁各国政府创新水资源管理方式,推动全球合作,共同应对水资源所面临的风险与不确定性。因此,水资源评价的内容和任务在不断地变化,与经济社会发展与环境保护的需求和联系更加紧密,尤其是进入 21 世纪后,地球系统发展将水量-水质-经济-社会耦合形成水系统科学(water system)科学,为水质水量联合评价的研究与发展,提出了新的机遇与挑战(World Bank, 2006; Cecilia et al., 2012; Xia, 2012)。

水循环是指大自然的水通过蒸发、植物蒸腾、水汽输送、降水、地表径流、下渗、地下径流等环节,在水圈、大气圈、岩石圈、生物圈连续运动的过程,水循环是联系地圈-生物圈-大气圈的纽带。由于区域发展联系的高强度人类活动影响和全球气候变化的影响,现实中的流域水循环过程已不是纯自然的降水-径流-蒸发以及地表水、地下水的转化过程,而是与水循环过程中伴随的坡面、河流、湖泊(水库)多个环节的物质迁移转化(水环境)过程密切联系,与区域经济社会发展中河流开发、水体调蓄和各个行业部门取用水、跨流域调水以及农业、生态耗水过程和水管理政策的制约与作用紧密相连。由水循环为纽带联系这三大过程构成的整体在国际学科前沿被称为水系统(图 1-1)。以水循环为纽带的流域水系统的物理、生物与生物地球化学、人文三大过程及其耦合与调控的研究,是当前国际水科学的前沿,是解决我国复杂水问题的关键与核心。

流域是水系统的基本单元。由于人类活动和气候变化的影响,流域水系统的三大过程交互作用,具有多要素、多过程和多尺度联系与反馈的特点。面对变化环境下复杂的水问题,需要通过水系统的三大过程机理研究与多个环节的综合调控,以维系流域健康水循环,支撑社会经济可持续发展。

从国际水科学发展态势看,20 世纪 70 年代,国际上重点关注的是以“四水”转换、水量平衡为基础的水资源评价研究,如联合国教科文组织国际水文计划(UNESCO-IHP)等。到 90 年代后,就逐步从水循环的水量研究转向与水循环动力过程联系的水环境与生态过程研究,如国际地圈生物圈计划(IGBP)启动的水文循环的生物圈方面计划(IGBP-BAHC)等。近年来,面对全球变化的挑战,水问题的研究已经从部分到整体、从水量-水质-水生态到流域水系统综合研究。进入 21 世纪后,国际地圈生物圈研究计划(IGBP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)和国际生物多样性计划(DIVERSITAS)联合发起的当今地学领域最具影响的地球系统科学合作伙伴计划(ESSP),水循环及其联系的水系统是其核心和

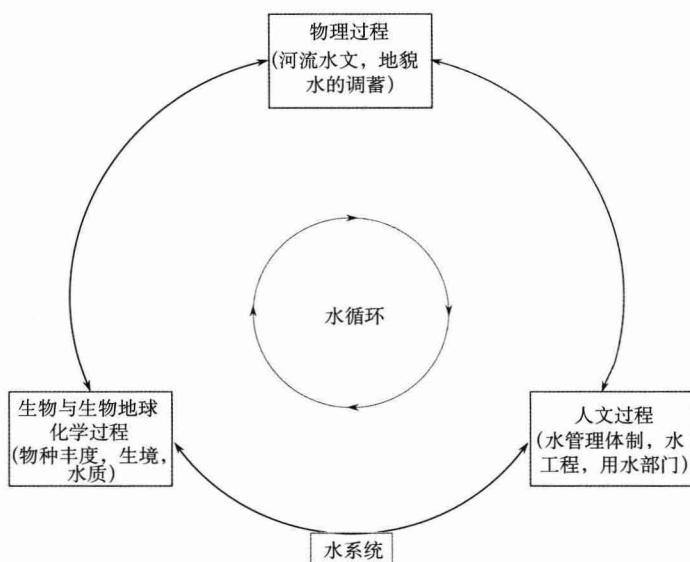


图 1-1 以水循环为纽带联系的三大过程与水系统示意图

关键。2004 年, ESSP 特别启动了全球水系统计划 (Global Water System Project, GWSP)。GWSP 核心科学问题: 水系统变化的量级与机理; 水系统三大过程的作用与反馈; 水系统承载能力与调控机理。GWSP 核心任务: 探知人类影响水系统动力机制的方式, 并告知决策者如何缓解这些影响的环境与社会经济后果。

国家在水的安全保障战略方面, 特别强调水的可持续利用、人水和谐, 重视流域水的生态-环境效应和水的综合管理, 最大限度改善和维系健康水循环。由于流域水循环的复杂性以及高强度人类活动和气候变化的多重影响, 水循环系统时空变化的量级与机理、水循环系统各部分作用与反馈、环境变化下社会经济发展的水系统承载能力与适应性, 成为水问题研究亟待解决的三大关键科学问题。其中, 水量水质联合评价与水质管理成为变化环境下水管理面临的科技问题与重要需求。

相对世界其他国家, 我国的水资源评价开展较晚, 但因解决水资源问题的现实需求而发展较快。从新中国成立至今, 我国已经完成两次全国水资源评价。根据这两次水资源评价的时间, 可以把我国水资源评价的进程划分为三个阶段。

第一阶段是从新中国成立至 1978 年。新中国成立后不久, 我国就对主要江河开展了较为系统的河川径流量统计工作。20 世纪 50 年代, 我国开展了东部地区入海大江大河的年径流量统计工作。20 世纪 60 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, 编制了相应的等值线图 and 分区图表, 推动了水资源评价的前进, 为后面开展全国水资源评价打下了基础。

第二阶段从 1979 年至 2001 年。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, 选用了几十年观测积累的水文、气象、地

质资料,第一次全面评价了全国地表及地下水资源数量、质量、分布十分复杂、水资源总量和开发利用情况。这次水资源评价为国民经济宏观决策、工农业合理布局、水资源开发利用和保护等提供了科学依据。这次全国水资源评价工作的成果于1987年出版了《中国水资源评价》,于1989年出版了《中国水资源利用》。随后,为适应经济发展需要,1985年至1987年,又陆续开展了华北地区水资源及其开发利用研究、全国水中期供求计划编制、地下水开发利用规划、缺水城市供水水源地规划等区域性和专题性水资源评价工作。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和技术方法做了明确的规定,初步形成了水资源评价方法体系。在第一次水资源评价中,水质评价是评价内容中的一部分,是数量评价的补充。在1984年和1996年,水利部先后完成了两次全国水质评价,并于1996年出版了《中国水资源质量评价》。第一次水资源评价以来,水资源评价已经成为各级水资源管理部门日常工作的一部分,各级政府陆续发布水资源公报。1994年开始,水利部每年发布《中国北方地区水资源公报》,自1997年开始扩大范围而成为每年发布的《中国水资源公报》。

第三阶段从2002年至今。改革开放以后,我国社会经济迅速发展,人类活动对下垫面的影响十分显著,同时气候变化对水资源的影响也日益受到重视。在此背景下,我国于2001年在国家发改委和水利部联合开展的“全国水资源综合规划”工作对水资源评价的技术和方法做了进一步的修改和完善,并于2002年开始了第二次全国水资源评价。随着资料的完善、技术的进步、认识的深入,第二次全国水资源评价使用了更长序列的气象、水文资料,应用了计算机技术、“3S”技术、水文模型等新方法、新技术,同时在评价内容上也比第一次有所增加。在这一阶段,随着计算机技术的发展和普及,具有物理机制的水文模型越来越多地应用到水资源评价中。梁建义(2001)、宋承新(2003)、陈民等(2006)分别介绍了河北省、山东省、海河流域在两次水资源评价中的不同。这一时期,“全国水资源综合规划”项目也促进了我国水资源质量评价方法的发展(夏军,1997,1999,2011;万咸涛,2006)。同时,水资源是质与量的综合这一观点也深入人心,越来越多的学者投入到水资源的水质水量联合评价中(毛学文和林祚顶,2003;夏军等,2006;王渺林等,2008;仕玉治等,2009;张永勇等,2009;游进军等,2010;张修宇等,2011),促进了可利用水资源量的计算方法的发展。在保护生态、治理环境的大背景下,水资源的合理开发利用也成为水资源评价的重要内容,出现了水资源承载力评价、水安全评价等评价方法与结果。这些新方法与新成果极大促进了我国水资源评价水平的提高。王浩等在总结已有水资源评价的基础上,提出了目前水资源评价存在的问题,认为未来水资源评价会在评价对象、评价模式、评价基础、评价手段上全面拓展、延伸,并在资源量评价、水分利用效用评价和动态评价方面阐述了变化环境下的水资源评价理论方法(王浩等,2010a,2010b)。

二、水资源数量评价

水资源数量评价是指对地表水体、地下水体所包含的水资源数量进行的评价。水资

源数量评价就是传统意义上的水资源量评价。在水资源评价发展初期,水资源评价主要针对水资源数量进行评价,在此阶段水资源评价基本相当于水资源数量评价。

根据水资源分布,水资源数量评价可以分为地表水和地下水的水资源数量评价,前者针对河流、湖泊、冰川等地表水体中所包含的水资源数量,后者针对岩石孔隙、裂隙和溶洞之中等地下水体所包含的水资源数量。根据水资源更新,水资源数量评价可以分为当年和多年平均的水资源数量评价,前者主要评价由当地降水形成的、可以逐年更新的动态水量,后者主要评价一个区域(水资源分区或行政分区)内潜在的多以多年平均为代表的可利用水资源数量。地表水资源量使用天然河川径流量表示,其评价以水文站的径流观测资料和区域用水资料为基础。地下水资源量评价时还应考虑地下水、大气降水、土壤水等的转化关系,扣除与地表水资源量的重复量。

我国系统性开展的水资源数量评价始于1973年的流域年径流分析评价工作,以《海滦河流域年径流分析报告》为成果代表。在此基础上,水利部于1979年成立了专门机构,组织协调、指导、推动全国的水资源数量调查、评价、区划工作,1981年提出了初步评价成果。在初步成果基础上,根据评价工作中遇到的问题组织力量集中攻关,编写了《地表水资源调查和统计分析技术细则》和《地下水资源调查评价工作技术细则》,进一步明确了调查评价的具体方法、要求和技术标准。在汇总全国水资源评价成果的基础上,水利电力部水文局于1987年出版了《中国水资源评价》。这次水资源调查评价分为地表水、地下水和水源污染三部分,为今后的水资源评价制定了基础。

自第一次水资源评价后,每年定期进行水资源评价成为各行政分区、水资源分区水资源管理的重要工作,各地也陆续开始每年发布水资源公报,介绍当年当地水资源情况。经过十余年的发展,受气候变化、人类活动、社会经济发展的影响,我国水资源情况发生了很大变化,同时水资源评价的技术手段也有了很大改进。在此背景下,水利部于2002年开始了第二次全国水资源评价。第二次水资源评价中使用了很多新方法、新技术,极大提高了水资源数量评价的质量。第二次水资源评价的成果已经整理为《中国水资源及其开发利用调查评价》一书,待出版。2010年,水利部又开展了水利普查工作,预计2012年底结束,目的主要是摸清我国水资源开发利用家底。

水资源数量评价的方法一般可以采取单项指标法、多项指标法和综合评价法三种。单项指标法是针对评价区域内水资源的某一特定属性进行评价。例如,水资源人均占有量、水资源利用率、水能资源开发程度、开发潜力、管理体制、价值量评价等。单项指标评价是多项指标和综合评价的基础。

单项指标法的评价方法、标准(或基准值)有相当一部分内容已由国家及有关行业部门已经制定,评价中可直接应用。目前还没有制订统一标准和方法的内容,需要进一步研究,如水资源保护程度评价、管理体制评价和水资源价值量评价等。

多项指标法是选择评价区域内能反映评价目标内容的多个特性指标进行评价。首先进行单项指标评价,然后采用如算术平均法、加权平均法或其他数学和技术处理手段,求出多项指标的综合数值作为多项指标评价的结果。在利用单项指标转化为多项指标综合数值时,一般应经过无因次处理,评价时各评价区域的多项指标中的各个单项指标必须一致,否则缺乏可比性。