

现代水资源丛书



水资源学

陈家琦 王 浩 杨小柳 著



科学出版社

现代水资源丛书

水 资 源 学

陈家琦 王 浩 杨小柳 著

本书受国家重点基础研究发展规划项目
“黄河水资源演变规律及二元演化模型(G1999043602)”资助



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书阐述了水资源学的形成与发展,探讨了水资源在变化的自然环境中以及因人类活动所引起的变化,及在水资源开发利用的全过程中对水资源的评价、规划、利用、保护和管理各个环节中的问题,对水资源学领域中的主要进展趋势进行了综述,并对水资源合理配置的理论与方法及其价值观进行了有益的探讨,展望了今后在水资源学领域应侧重研究解决的关键问题。

本书具有较强的科学性、知识性、方法性和资料性,可供水利、水资源、水文、地理、环境等专业的生产、教学、科研、管理及决策者使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源学/陈家琦,王浩,杨小柳著.-北京:科学出版社,2002

(现代水资源丛书)

ISBN 978-7-03-010005-4

I. 水… II. ①陈…②王…③杨… III. 水资源-概论 IV. TV211

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 001094 号

责任编辑:秦国英 李秋艳 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:王 浩

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 12 月第九次印刷 印张:16 1/4

字数:371 000

定价:79.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介

陈家琦,湖南长沙人,1924年生,前苏联技术科学副博士,教授级高级工程师,曾任水利电力部水文局局长,全国水资源协调小组办公室咨询,水利部技术委员会委员,中国水利学会理事,中国自然资源研究会副理事长,全球变化中国国家委员会常务理事,国际水文科学协会副主席,多年来从事水文和水资源研究管理工作。著有专著3部,在国内外刊物上发表论文80余篇。

王浩,北京人,1953年8月生,1989年获清华大学博士学位,教授级高级工程师,博士生导师,中国水利水电科学研究院水资源所所长。先后负责“八五”、“九五”、“十五”国家重大科技攻关专题项目,提出了基于宏观经济的水资源合理配置理论、水资源承载能力计算方法和面向可持续发展的水价理论,提出了具有创新性的区域水资源规划方法,曾两次获国家科技进步二等奖,多次获水利部科技进步一等奖,出版有关水资源的学术专著7部,发表论文30余篇。

杨小柳,1958年生于北京,法国环境科技博士,教授,博士生导师,中国水利水电科学研究院水资源研究所前所长。从事水文、水资源、水环境、水灾害和水管理方面研究工作15年,已经发表中、英、法文种科技论文40多篇,出版4部学术著作。曾获得省部级科技进步奖4项。并主持完成重大研究项目12项,包括国家攻关项目和多项与亚洲开发银行、世界银行、联合国开发计划署、瑞典、法国、英国、加拿大、澳大利亚等的合作项目。

前 言

自从人类在地球上出现,就为了其自身的生存与发展而不断地和水打交道,并随人类社会的进步,逐渐学会了如何开发利用水资源。长期以来,人们认识到自然界水现象的两重性,一方面要与水引起的灾害作斗争,另一方面则不断发现并利用水的各种可以兴利的功能。对可以源源不断更新补充的淡水资源,直到不久以前,并没有产生紧迫感,以为水是上天所赐,是取之不尽、用之不竭的自然物质。使用中大手大脚,珍惜不足。20 世纪以来,在科学技术进步的推动下,人类开始较大规模地利用各类工程措施来控制水流,蓄水兴利,以及随打井技术的进展,大范围开采地下水,灌溉、给水、发电、航运都在发展,各类用水量迅速增长。在 20 世纪上半叶各类水工程大量兴建,但对水资源的整体概念则比较模糊,对水资源问题的认识多集中于选定水工程地址河流以上所控制的流域上。虽然从 20 世纪 30~40 年代已经有了对单项水工程的开发实行多目标、综合利用的思路,但其基本点仍是建立在工程控制点以上的来水情况,并且认为这来水可以基本满足工程开发目的的要求,很少考虑开发是否会引起什么后果和影响。进入 20 世纪后半叶,一方面由于科学技术的进一步发展和人类对水资源控制能力的提高,以及二次大战以后老殖民主义体系的崩溃,大批原处于殖民地、半殖民地地位的国家走上独立的道路,并全力为提高本民族经济和人民生活水平而努力进行建设,人口的增长速度显然比过去要快得多,各类用水量大增。一些本来水资源条件比较脆弱的地区,相继出现水的供需紧张或水危机,水资源问题日益突出,人类才开始从资源的角度来看待这一与人类生存和发展有着密切关联,而又几乎无处不在的人类最熟悉的伙伴——水。特别是 20 世纪 70 年代以来,国际上各种政府间的和非政府间的组织纷纷以水为主题,或以水作为重要主题之一,举行了一系列国际会议和组织了各项活动,发表了会议报告、声明、行动计划、宣言和研究报告等,以提醒人们重视水的问题并采取行动以保护这一重要资源。正是因为水是所有社会 and 经济发展以及维护生态系统的基础资源,是维护人类生存环境不可或缺的要素,本应很好予以保护,但由于人类对水资源的滥采滥用和过度开发带来对环境和生态的危害,大量用后排放的废污水进一步污染水环境,并威胁到水源的安全,危及人类的生存空间。人们开始觉醒到,应当极力寻求一条可行的途径,既要使水资源成为永远保障社会和经济可持续发展的要素,又要力图使人类永远摆脱上述的尴尬局面。为此人们加强了对水资源问题的认识和研究,并在实践中积累了大量的经验和系统知识,逐步为建立以研究水资源问题为中心的学科创造条件,并在 20 世纪的后期其内容发展充实较快,形成了独立学科,即水资源学。水资源学中的一些基本问题早在水利科学的一些有关学科中有所发展,多出现于工程水文学、水利规划学中。由于计算机技术的进步与普及,使在水资源研究中出现了许多新的理论与方法,使水资源问题的研究深度与广度前进了一大步。可以说,在 20 世纪水资源学经历了由发展到成熟的过程,人们对水资源问题的理解和认识不断加深,并从一个点、一个工程所控制的流域上的局部问题,向面上扩展,向水资源整体扩展。从只是为适应具体工程的需要而被动地提供水量,转向要从水资源的整体情况出发,按照社会和经济的条件和可能,合理配置水资源,以约束工程的布局 and 规模。正是由于社会发展、人口增

加、资源开发和保护环境和生态系统间的矛盾仍未能有效地加以解决,在 21 世纪人类还将面临更加严峻的水资源形势。从现在起就必须加强研究解决这些问题,否则人类仍会因水的困扰而无以为继。这就是摆在我们面前的问题,但人类的智慧必将克服这一困扰,并通过科学技术和管理的进一步发展,找到走出这一困境的方法。水资源问题将是一个十分核心的问题,人们必须及时地把人类在和水资源打交道中的经验和科学技术问题系统地总结出来,使水资源学通过实践的大量检验去伪存真,不断丰富其内涵,不断前进,不断完善。

一个时期以来,国内外关于水资源有关的科学技术理论与方法、管理经验、法学研究、经济理论等方面的研究成果累累,论述不少,在推进、充实水资源学理论与方法方面,起了很大作用,但对水资源作为一个整体的研究论述则较少。20 世纪 90 年代初我们开始构思,对水资源学是否已经成长为一门独立学科,以及其主要的內容应当包括什么等,初步整理,并写出了《水资源学概论》一书,作为尝试和探索。但是水资源学是当前发展较快的新科学,在实践中新的问题不断涌现,人们也为此不断提出新的解决办法,摆在我们面前的水资源工作任重道远,需要随时总结过去,面对未来,使水资源的可持续开发利用和理论,成为人类社会和经济可持续发展的保障。因此我们认为有必要根据近 10 年来国际科学界对水资源问题的研究动态,特别是在我国水资源研究实践中取得的经验重新加以整理,力求能较多反映当前水资源学领域的实际与进展,并结合中国的实际,使其更能在指导水资源的实际工作中起点作用。因为在中国已经形成了在治水、用水方面比较综合的水利科学体系,但由于近 20 多年来在水资源方面的研究进展和丰富的实践,水资源学也正以水利科学体系中的新分支学科的面目出现,形成有中国特色的水资源学。因而在写作过程中,无论对水资源学的内涵还是对体系结构或方法方面,都作了比较大的补充和改进。

水资源学不是简单的技术科学,由于水资源问题深入千家万户,关系到国计民生,关系到社会的稳定,有时还会涉及到国与国之间的关系,甚至是引起动荡或战争的导火索,因此水资源是一个具有非常意义的社会问题,也是政治问题,在水资源工作中政府的行为占有主要位置。在实践中认识到水资源是一种特殊的商品,对水资源价值的正确认识是十分必要的,而这正是一些从事水资源工作的人员过去不太熟悉的问题,应当在水资源的内容中予以强调。在水资源学研究中,努力把自然科学、技术科学和社会科学结合起来,加强管理工作者、科学技术工作者、政府机构和企事业单位的联系以取得共识,并力求使更广大的群众参与进来,增强全民的水意识,将是今后的工作方向。中国具有悠久的治水用水经验,在新的千年开始又面临水资源对我们国家发展和人民生活安定最大的挑战,水资源学应当在这块土地上结出更加丰硕的果实。

本书的目的实际上只是抛砖引玉,希望能引起更多的人关心水资源学的成长和壮大,使其在大家的共同努力下,不断完善,以在解决 21 世纪的水资源问题和指导实践中起更大的作用。但作者的水平有限,书中谬误难免,望广大读者特别是同行给以批评指正。

中国水利水电科学研究院水资源所的同志在本书编写过程中给予了许多帮助,特此致谢。

作者

1999 年 12 月

目 录

前 言

第一章 水资源学概述.....	(1)
第一节 水资源的涵义.....	(1)
第二节 水资源学的形成和发展.....	(2)
第三节 水资源学的研究对象.....	(3)
第四节 水资源学的性质和特点.....	(4)
第五节 水资源学的体系结构和研究方法.....	(5)
第六节 水资源学的科学基础.....	(6)
第七节 水资源学与相关学科的关系.....	(7)
第二章 水资源的全球和区域分布	(11)
第一节 世界的水资源	(11)
第二节 世界各大洲水资源	(14)
第三节 世界各国水资源	(15)
第四节 中国的水资源	(26)
第三章 水资源、人类活动与环境的相互作用.....	(45)
第一节 水资源系统、生态环境系统和社会经济系统.....	(45)
第二节 人类活动对水资源的影响	(46)
第三节 气候变化对水资源的影响	(49)
第四节 水资源开发利用与社会经济发展	(52)
第五节 水资源开发利用与生态环境演变	(53)
第四章 水资源价值	(55)
第一节 水资源价值及其内涵	(55)
第二节 水资源核算	(60)
第三节 水价、水费和水资源费.....	(62)
第五章 水资源评价	(77)
第一节 水资源评价的发展及意义	(77)
第二节 水资源基础评价	(79)
第三节 水资源利用评价	(87)
第四节 水环境评价	(90)
第五节 解决水资源供需关系的科学途径.....	(101)
第六章 水资源规划.....	(104)
第一节 水资源规划的任务及其技术进展.....	(104)
第二节 水资源规划的科学基础和基本理论.....	(111)
第三节 水资源规划的指导思想及原则.....	(122)

第四节	水资源规划目标及方法要点·····	(127)
第五节	水的供需预测综合分析·····	(140)
第六节	规划方案的制定·····	(150)
第七章	水资源问题的决策·····	(153)
第一节	水资源决策问题的特点·····	(154)
第二节	水资源规划决策问题的描述·····	(158)
第三节	决策支持系统·····	(172)
第四节	水资源问题决策的决策方法·····	(182)
第五节	本章小结·····	(189)
第八章	水环境保护·····	(191)
第一节	水资源开发与水环境保护·····	(191)
第二节	中国水体水质概况及评价·····	(200)
第三节	水环境保护措施·····	(208)
第九章	水资源管理·····	(224)
第一节	水资源管理的内涵·····	(224)
第二节	水资源管理体制·····	(227)
第三节	水资源的权属管理·····	(231)
第四节	水资源使用权分配及用水管理·····	(232)
第五节	需水管理·····	(234)
第六节	水质管理·····	(234)
第七节	水资源法规·····	(236)
第十章	水资源学展望·····	(239)
第一节	20 世纪水资源研究的主要进展 ·····	(239)
第二节	水资源研究的热点学术问题·····	(241)
第三节	21 世纪全球水资源问题国际协作重点 ·····	(244)
参考文献	·····	(248)

第一章 水资源学概述

水资源问题在全世界引起广泛重视,主要是 20 世纪后半叶许多国家用水量急剧上升,一些地区出现水危机,引起世界有关组织对水资源问题及其影响的重视和探讨,并把水作为环境中的最主要因素对待。为此联合国在 1977 年召开世界水会议,把水资源问题提到全球的战略高度考虑。这次会议通过的“马德普拉塔行动计划(Mar del Plata Action Plan)”中指出:“实现对水资源的加速开发并井井有条管理这样的目标,已成为努力改善人类经济和社会条件的关键因素,特别对于发展中国家更是如此。为了保障人类高质量的生活,增进人类的庄严和幸福,我们必须采取专门的并协调一致的行动,以谋求答案,并且把这种答案应用于国家和区域的水平上,不然就不能保证上述要求的实现。”^[1]但由于随工农业的发展和人民生活的改善,水的供需矛盾越来越突出,水资源危机地区不断扩大,水资源甚至成为重要的政治问题。1988 年世界环境与发展委员会(WCED)提出的一份报告中指出:“水资源正在取代石油而成为在全世界引起危机的主要问题”^[2]。1991 年国际水资源协会(IWRA)在摩洛哥召开的第七届世界水资源大会上,则进一步提出:“在干旱或半干旱地区国际河流和其他水源地的使用权可能成为两国间战争的导火线”的警告^[3]。在中东地区充满火药味的不安定因素中水资源的气息越来越浓,以致在中东和谈中水资源问题列为重要的谈判内容之一。1992 年在里约热内卢举行的联合国环境和发展大会上通过的《21 世纪议程》是一个非常重要的文件,其中第 18 章命名为“保护淡水资源的质量和供应:水资源开发、管理和利用的综合办法”,其中提到:“淡水是一种有限资源,不仅为维持地球上一切生命所必需,且对一切社会经济部门都具有生死攸关的重要意义。”^[4]有无数迹象表明,在人类社会的发展过程中,人类滥用并无节制地消耗自然资源,从而逐渐破坏了人类的生存环境而正在自掘坟墓。人类必须自律并探讨理性发展的途径,把保护人类的生存环境以及维持人类社会的持续发展的问题提到日程上来。水是有关国计民生的重要资源,也是全球环境中十分重要且十分活跃的因素,通过全球水文循环赋予物质和能量活动的动力,由于水环境的有利条件给各类生物提供可栖居的场所,但水资源问题的日益突出使人们感到不安,促使人们加强思考,并努力在实践的基础上总结并探求水资源工作的理论和方法。人们有责任不断探求使人类摆脱水资源困境的科学途径,探索建立与水资源有关的科学体系,以进一步提高水资源工作的水平。

第一节 水资源的涵义

水资源名词最早出现于正式的机构名称,是 1894 年美国地质调查局(USGS)内设立水资源处(WRD)并一直延续到现在,在这里水资源是和其他自然资源一道作为陆地地表水和地下水的总称,而水资源处的业务范围主要是地表河川径流和地下水的观测以及其资料的整编和分析等,但其业务并未包括覆盖地球表面面积约 71%的、总量占全球水储量约 96%的海洋水。从《不列颠百科全书》中由原苏联加里宁(K. P. Kalinin)撰写的条目“水资源”了解到,加里宁解释水资源的定义是“自然界一切形态(液态、固态和气态)的

水”。由于《不列颠百科全书》的权威性,这个解释曾在许多地方被引用。但在 1963 年英国国会通过的“水资源法”中,却定义水资源是“具有足够数量的可用水源”,即自然界中水的特定部分。而联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)在 1988 年则定义水资源是:“作为资源的水应当是可供利用或有可能被利用,具有足够数量和可用质量,并可适合某地对水的需求而能长期供应的水源”^[5]。在中国对水资源一词的理解也各有不同。具有一定权威性的《中国大百科全书》的不同卷中出现了不同解释,如在“大气科学·海洋科学·水文科学”卷中对水资源的定义是:“地球表层可供人类利用的水”,而在“水利”卷中则依照《不列颠百科全书》中的提法,定义水资源为“自然界各种形态(气态、液态或固态)的天然水”,并把可供人类利用的水作为“供评价的水资源”,但多数人都认为可被利用这一点,应当是水资源具有的特征,而不是泛指地球上一切形态的水。可供利用就意味着水源应当是可靠的,具有一定数量的,且可通过自然界水文循环不断更新补充的水,因此其补给来源是大气降水。

综合而言,作为维持人类社会存在并发展的重要自然资源之一的水资源应当具有下列特性:

- (1) 可以按照社会的需要提供或有可能提供的水量;
- (2) 这个水量有可靠的来源,且这个来源可以通过自然界水文循环不断得到更新或补充;
- (3) 这个水量可以由人工加以控制;
- (4) 这个水量及其水质能够适应人类用水的要求^[6]。

上述这些定义都是把水资源作为一种地球自然资源的属性而言的。但随水资源问题的日益重要,对水资源一词属性的认识,逐渐从一种单纯的自然资源,又扩展成为一种业务或行业的代称。如美国于 1965 年通过“水资源规划法案”,同时成立了水资源理事会(Water Resources Council),负责协调联邦政府各部门有关水资源的规划、管理和开发的工作,并定期进行全美国范围的水资源评价活动。在这里水资源就不仅仅是自然资源的一种,而是具有了一定的行业意义。于 1972 年由美籍华裔学者周文德倡办的国际水资源协会(IWRA),其活动范围涉及水资源的规划、开发、管理和保护等各方面的科学技术问题,包括有关水资源的基础工作、评价、规划、设计、施工和水资源工程的管理运行,以及防治水旱灾害、河流整治等,这和我国历来习用的“水利”业务范围基本一致。我国台湾省于 1972 年出版的《中国工程师手册》中列有由冯仲豫、徐世大主写的条目“水资源规划”,提出:“以水之控制及利用为主要对象之活动,统称水资源事业,包括水害防治、增加水源和用水。”在这里完全把“水资源”作为“水利”的同义语。

从 20 世纪中期以来,一些管理、研究机构以水资源作为机构的定语,许多高等院校开始设立水资源专业或水资源系。围绕水资源的评价、规划、开发、利用和保护举行一系列的学术活动或业务工作,形成了以水资源为中心的行业,也为水资源学科的建立奠定了基础。

第二节 水资源学的形成和发展

人类长期以来在和在水资源问题打交道的过程中,逐渐形成有关水资源的专业知识和

经验。但在相当长的一段时间里,有关水资源的知识和经验常融汇在其他已建立的学科如水文学、水利学中,没有形成水资源的专门学科。从 20 世纪中期以来,在工农业高速发展和人类物质文明不断提高的影响下,水资源问题日益突出,人们从不断出现的水资源问题中逐渐认识到需要从资源的观点重新认识自然界的水。通过在实践中成功的与失败的经验教训,人们开始认识到自然界的水资源并不是取之不尽、用之不竭的无限资源,需要认真进行研究并采取合理步骤开发利用,并在使用中保护资源,以达到对自然界水资源可持续开发利用的长远目的。正是如此,把水资源作为主体进行研究被提上全球的日程,并开展对水资源进行系统调查和评价活动,以作为实现合理开发利用水资源的根据。专门以水资源为对象的研究和实践在很大范围内有了发展和提高,并逐渐形成了与原有的有关水的学科内容有差别并自成体系的水资源学。

从 20 世纪中期以后,水资源学实际上在一些地方已被承认其存在。例如前述的国际水资源协会就是以水资源学为对象的学术团体。还有另一个从 1922 年就建立的国际水文科学协会(IAHS),在其 1972 年的协会章程中就这样谈到该协会的宗旨是:“为促进水文学作为地球科学和水资源学的一个方面来进行研究……”^[7],在这里水资源学和地球科学一样都作为学科的代表而并列。

从 20 世纪中期以来出现的区域性水资源评价活动,在联合国世界水会议的号召下已在世界多数国家展开。通过各国的实践以及在联合国教科文组织和世界气象组织的努力下,已经建立了比较成熟的水资源评价的理论和方法。这些理论和方法的出现以及在世界各国开展水资源评价活动,加上各类水资源模型的建立和应用,可以看作是水资源学已成长为独立学科的标志。

第三节 水资源学的研究对象

水资源学在其成长过程中,其研究对象主要可以归结为三个部分:首先是研究作为自然资源一员的水资源的形成、演化、运动的机理,及其在地球上的空间分布及时程变化的规律,以及在不同区域上的数量;其次是研究在人类社会及其经济发展中为适应用水的需要而开发利用水资源的科学途径;第三则是研究在人类开发利用水资源过程中引起的环境变化,以及这种变化对水资源自然规律的影响,探求在变化的环境中如何保持水资源的可持续开发利用的科学途径等。

第一部分的对象主要是地球水资源本身。地球上包括大气层、地表和地下一切形态的水,总储量约 $13.86 \times 10^7 \text{ km}^3$,但其中与人类生存和发展关系密切的淡水储量不过是水总储量的 2.53%,且其中约有 70% 以上是难以利用的两极和高山冰川以及永冻土中的冰,而和人类关系最密切的是每年通过全球水文循环不断更新补充的地表水(主要是河川径流)和地下淡水,这些水是水资源学的主要研究对象,对这些水的研究基本上是水文学的范畴,也是水资源的基础部分,因此,水文学是水资源学的基础。这部分的研究内容主要是水资源的基础评价,包括评价的理论和方法。需解决的科学问题有大气水、降水、地表水、土壤水、地下水的相互转化机理以及在人类活动影响下这些转化机理如何变化等问题。目标是弄清不同流域上的水资源及其开发潜力,为开发利用水资源提供条件。

第二部分的研究对象主要是如何合理开发利用水资源,核心是水资源的合理配置理

论与方法,包括水资源利用评价和区域水资源规划的原则和基础。由于人类社会在发展中对水的需求不断增长,合理解决好水的供需平衡问题是其中的关键。需解决的科学问题有正确认识并处理好水资源与社会经济间的关系,处理好减轻水旱灾害和水资源开发利用间的关系,正确认识水资源的价值及处理好当前与未来的利益问题等。目标是使水资源的开发利用能适应社会和经济可持续发展的要求。

第三部分的研究对象主要是开发利用水资源要和环境、生态系统协调好,努力发扬水资源在改善环境和生态系统方面的作用,尽量减少其副作用和负作用。需解决的科学问题有正确认识并处理好水资源与环境 and 生态系统间的关系,有效地减轻水污染和污水处理途径,变化环境中水资源的变化规律及其对策等。

综上所述,水资源学是对水资源进行评价、合理配置、综合开发和合理利用和保护,为社会和经济的可持续发展提供水的保证,处理好水资源和社会经济发展及环境、生态系统间关系,以及对水资源实行科学管理和保护经验的系统总结所形成的知识体系,是指导水资源业务的理论基础。

第四节 水资源学的性质和特点

水资源学的发展动力是人类社会生存和发展的需要,其研究核心是人类社会发展和人类生存环境演化中水供需问题的合理解决途径及可持续开发利用水资源的途径。水资源的开发利用给人类社会带来经济效益、社会效益和环境效益,水资源开发利用和保护需要投资的支撑,也会对环境 and 生态系统带来某些副作用和一些社会问题,而水资源的形成和分布又与气候、地表特征有密切关系,因此,水资源学带有自然科学、技术科学和社会科学的性质,但主要是技术科学。在中国,水资源学属水利科学的一个分支。这样的体系可能是在中国历史条件下所特有的。中国早已形成完整的水利科学体系,并且水利行业在中国是一个综合性很强的行业,而水资源学中许多内容在水利科学的有关学科中也有所发展,水资源学形成独立学科较晚,因而在中国我们不得不对水资源学赋予比较狭义的内涵,并成为水利科学中的一个独立分支。对于没有形成如中国这样完整的水利科学体系的国家,水资源学正因水资源问题的日益突出而逐渐成长,并且完全有可能在水资源学的名义下逐渐丰富其内涵,而达到如中国的水利事业的意义,并且伴随有关学科的不断介入而形成水资源科学体系。到那个时候,国际上的水资源科学将和中国的水利科学具有十分相近的意义。而在中国,水利和水资源两个名词将会长期并存下去,水资源学总会是水利科学的一个组成部分。

如在第三节所述,水资源学的基础之一是水文学,因此水资源学的研究起点是对气象、水文、水文地质等自然现象的长期观测资料系列,并在此基础上进行水资源的评价、合理配置、规划等方面的研究。由于这些自然现象的地区特点,水资源学也总是以区域的或地区的对象为研究对象,而少作没有具体对象的抽象研究。

其次,水资源学研究的问题主要是研究具体区域或地区水资源的供需问题,而研究的结果要在解决这一实际问题中起作用并得到实际的认可,取得预期的效益,这才证明所采用理论和方法的正确性。当不能取得理想效果时也应及时改进采用的理论和方法,以达到比较理想的效果。因此水资源学是一个实践性较强的科学。

第三,研究水资源问题不能就事论事,例如为了解决供水问题不能只考虑从水源地如何把水引出来,而要同时考虑这一取水活动是否会对下游用水产生不利影响,上游的今后发展是否会影响供水水源的变化,从流域或区域的角度在取水地点的合理取水量应是多少,是否会引起地区间的收入分配不公,取水后是否造成环境的影响和生态系统的不利变化,这些都应是水资源所回答的问题,因此,水资源学的研究必须从整体性的观念出发。

第四,由于人类社会面对人口、资源、环境与发展的重重压力,而水则是其中核心问题之一,研究水资源的开发利用与保护,既要考虑为当前的需要合理安排调整供水规模与供水体系,以及水环境的保护,又要考虑今后随社会和经济的发展,用水的增加和水环境的变化,引起新的问题。为此应对水资源的开发利用做出长远安排,并考虑社会条件的变化和环境的改变,从而水资源学的研究必须结合社会科学和环境科学进行。特别是在人口增长、社会经济发展的不同阶段,研究水资源开发利用的合理规模问题是其重要特点。也就是说,为了人类社会的可持续发展,水资源的可持续开发利用的原则必须贯彻于水资源工作的始终。但在实践中全面贯彻执行这一原则,还要进行许多科学的、技术的、社会的、意识形态的、法学的研究,这也是水资源学在前进中应当把握的方向。

第五节 水资源学的体系结构和研究方法

为了说明水资源学的体系结构,首先应对水资源学在科学体系中的地位进行分析。

地球圈层学说的出现是人类对所在地球认识的一个飞跃,并从而奠定了科学体系的基础。这些圈层迄今为世界所公认的有岩石圈(包括土圈)(lithosphere)、大气圈(atmosphere)、水圈(hydrosphere)、生物圈(biosphere)。谢家泽曾对这些圈层的演变及其相互关系作过精辟的阐述,并提出了从人类出现后,又形成了一个人类圈(human-sphere)。在以往没有区分人类圈和生物圈,而把人类包含于生物类,但这种区分法看不到人类在认识世界、改造世界中的作用,因而不全面的。谢家泽提出的人类圈作为对地球其他圈层都相互作用的圈层的观点,是在地球圈层学说中一个很大的进步。人类所以不同于其他生物,就是由于人类具有较高的智慧,且具有较高的组织能力,并形成了人类的群体——人类社会。人类也只有依靠群体的智慧和力量,才使人类成为地球的主宰。因此,为有别于自然人和群体的人类社会,或者这一最新形成的地球圈层,叫作人类社会圈(human-society-sphere)更可体现其实质性的特点。

由于人类社会圈的出现,人类在以群体的力量与智慧和自然界进行斗争以争取生存和发展的过程中,对自然界客观事物逐步积累了认识、解释并在适当范围内进行干预的经验,并形成了有关的科学体系。

人类对地球各自然圈层的认识和系统知识体系的形成可如下表述:由岩石圈产生了地理科学、地质科学、地球物理科学和地球化学科学,并衍生了地磁学、地震学、地壳构造学、火山学等;由大气圈产生了大气科学,其中非常实用的部分是气象学;由水圈产生了水科学,其中重要的分支如海洋水文学、陆地水文学、水动力学等;由生物圈产生了生物科学,重要的分支是动物学和植物学,以及生命科学等。上述这些从观察地球本身产生的科学和人类观察地球以外的天体而产生的天文科学,以及由于人类思维的逻辑化和观察事物本质而产生的数学科学、物理科学和化学科学,组成了自然科学体系。

人类社会在其发展过程中,对自然条件和地球自然资源的开发利用和保护等干预、控制的技术知识和工程能力积累而得的系统知识体系,形成了技术(应用)科学体系。在利用资源学观点看待岩石圈、水圈和生物圈时,产生了矿产资源学、土地资源学、水资源学和生物资源学。在开发利用这些资源服务于人类社会发展需要的过程中,进一步形成采矿工程学和矿冶工程学、土地利用学和土地改良学、水利(包括水电)工程学和水利科学、农业科学、农业工程学和生物工程学以及医学科学等。

对人类社会圈的认识包括对人类自身、人际关系、人和自然的关系以及人类社会的组织、管理等知识体系,形成了社会科学这一大门类,包括政治学、经济学、伦理学、心理学、逻辑学、法学、人文学等。

对地圈、生物圈和人类社会圈的形成、存在和演化的外部条件及其相互作用的认识,形成环境科学这一较新的科学领域,包括自然环境学、生态环境学、社会环境学等。由于水资源学的特点,水资源学一方面属于自然资源科学的一个分支学科,也同时是水利科学的一个分支学科。前者主要反映其形成、分布和运移、转化的规律,后者则主要反映对其开发利用和保护的知识体系。水资源学与有关学科的相互渗透也形成了一些新的边缘学科,如水资源水文学、水资源经济学、水资源环境学等。

水资源学的研究方法也因其特有的性质而带有如下特点:

(1) 由于水资源的自然资源特性,对水资源本身的基本研究方法是以对水资源的形成、转化等有关气象、水文要素的长期观测资料为依据,因此对水资源量、分布、时程变化等方面的研究应成因分析与统计方法相结合,并注意其不同年段资料的代表性和长周期振荡等问题。

(2) 对水资源的研究是出于社会的需要,因而其开发利用与保护的研究主要是问题导向型,研究的目的是为了解决实际中出现的问题。检验研究效果的标准是看是否真正回答了问题,或提出解决的可行方案,因此研究必须密切结合实际。

(3) 研究水资源需回答的问题在很多情况下是需对未来的水资源供需形势进行预测或预估,从而包括一定的不确定性因素,因而对水资源问题中的不确定性的研究常是贯穿研究方法中的主要问题。

(4) 水资源问题是密切与本地区和本国的社会、经济、自然条件等相关的,因此水资源研究应当从当地的具体条件出发研究其特有的问题。不应生搬硬套与本地条件不同地区的经验。

(5) 由于水资源问题涉及社会、经济、环境等各方面,涉及千家万户,涉及水资源本身的供需平衡以及水资源与其他有关自然资源的关系,研究水资源必须从整体出发,综合考虑各有关方面,应当在充分利用现代科学技术的基础上,建立切合实际的决策支持系统,该系统应具有使决策者及其智囊团有在决策过程中参与意见、变换计算过程的性能,以使提出的方案更能反映专家经验和实际情况。

第六节 水资源学的科学基础

水资源学的科学基础是数学、物理学、化学、生物学和地学,而气象学、水文学(含水文地质学)水力学和地理学、地质学则是与水资源的形成、分布、时程变化、动态演变等有

关的专业学科。水资源的开发利用和保护则涉及工程学、环境学、经济学和管理学等。

对一个区域、一个国家的水资源概况的研究和统计,是水资源学最基本的依据,并可在此基础上综合各大洲以及全球的水资源概况,这项工作通常是通过水资源的基础评价获得的。气象、水文的定点地面连续观测与利用卫星遥感技术的空间和面上观测,是不断加深认识气象水文现象变化及水资源形成分布及动态变化规律的基础。

对社会和经济概况的调查和分析,是水资源学研究水资源的合理配置及开发利用的依据。社会概况中主要是人口现状及其增长率和城乡人口比例的变化,经济概况主要是生产各部类的概况及其发展过程,以及城乡生活、工农业各部门的用水、耗水情况及其发展过程。这些统计分析数据应当连续滚动进行,是研究水资源问题的主要依据。

环境概况的监测和统计是研究水资源开发利用对环境影响的依据,这包括废污水对水体的影响,因水造成的灾害分类统计等。

各类经济的发展概况和缺水造成对经济的影响,包括国民生产总值的增长情况,及对水资源开发利用和保护(包括前期工作)投资占国民生产总值的比例等。

可以看出,水资源学的发展除要为社会需要而不断提高其自身科学技术能力外,还要借助许多方面的共同协助与配合,并为其提供翔实可靠的科学基础,才能有所作为。

第七节 水资源学与相关学科的关系

水资源学作为一门独立学科,与原有的一些相关学科是什么关系常引起一些混淆,在我国实践中,就需要弄清水资源学和水文学是什么关系,水资源和水利如何区别等。

一、水资源学和水文学的关系

20 世纪 70 年代水资源名词突然大量出现在我国的实践中,是从开展全国性水资源评价工作开始的。当时国际水文科学界讨论的话题以及从书刊上见到国外文献有关水文学方面的文章中水资源的比重突然大了起来,世界气象组织主管水文工作的部门是水文水资源司,前面已经提到过美国地质调查局主管水文工作的部门叫水资源处,世界气象组织和联合国教科文组织共同主持进行的一项国际合作学术计划叫水文水资源计划,由联合国教科文组织主持进行并得到包括世界气象组织协助的国际水文计划第一期计划(IHP-I)(1975~1980),突出强调了把水文学的意义延伸到与水资源综合利用、水资源保护等有联系的生态、经济和社会各个方面;而第二期 IHP 计划(1981~1983)进一步加强了水文学的水资源方向;第三期 IHP 计划(1984~1989)则干脆命名为:“为经济和社会发展合理管理水资源的水文学和科学基础”;第四期 IHP 计划(1990~1995)则命名为“在变化环境中的水资源和水文学”;第五期 IHP 计划(1996~2001)命名为“在脆弱环境中的水文学和水资源开发”。由于一个时期内这些全球性水文科学活动都与水资源密切联系,使有些人以为水文学正在向水资源学转化。但仔细观察可以认识到,现代水文学正在不断加强和水资源学的协作,而不是用水资源学取代水文学。

为了说明这个问题,首先应当弄清楚水文学究竟是怎样一门学科。在这里需要说明的是,从 20 世纪中叶以后,由于水文学本身的发展,水文学已经从一个单一学科成为多学

科的科学体系,即水文科学。水文科学的正式命名可以以 1972 年国际科学水文协会(IASH)正式改名为国际水文科学协会(IAHS)作为一个标志,此后在许多文献中开始出现水文科学的名词,并给水文科学定义。例如国际水文科学协会从 1972 年制定并沿用到今天的协会章程中,对水文学的目标和任务是这样规定的:“(协会)促进水文学作为地球科学和水资源学的一个方面的研究;研究地球上水文循环和大陆上各种水,如地表水和地下水,雪和冰川及其物理的、化学的和生物学的变化过程;各类形态的水与气候及其他物理的和地理的因素间的关系,以及它们之间的相互作用;研究侵蚀和泥沙同水文循环的关系;检验在水资源管理和利用中的水文问题,以及在人类活动影响下水的变化;提供水资源系统优化利用的坚实科学基础,包括在规划、工程、管理和经济方面传授应用水文学的知识等。”^[7]在中国,关于水文科学的定义是在 1987 年出版的《中国大百科全书·大气科学、海洋科学、水文科学》卷中的:“水文科学是地球上水的起源、存在、分布、循环、运动等变化规律和运用这些规律为人类服务的知识体系。”“水圈同大气圈、岩石圈和生物圈等自然圈层的关系,也是水文科学的研究领域。”^[8]在 1988 年美国国家研究院水科学技术局中成立了水文科学中机遇问题委员会(Committee on Opportunities in the Hydrologic Science, Water Science and Technology Board, US National Research Council)给水文科学的范畴定义为:“①在陆地水文循环中一切尺度的物理的和化学的过程,以及和水文循环相互作用着的生物学过程;②在地球系统所有方面的全球水平衡时空分布特性。”^[9]在 20 世纪 80 年代后期在国际水文界掀起的关于水文科学发展方向的大辩论中,日本的 Jin Lee 则试图把水文科学定义为:“作为一门科学的水文学的目标是对具有任何空间域(从点到全球)和时间尺度(从几秒到几年)的水平衡动态规律,以及通过水文循环而实现的物理的、化学的和生物学的变化过程。”从以上各方面的叙述来看,中国大百科全书中给出的水文科学定义包括最广,是以地球水圈为基本对象所下的定义;Jin Lee 的定义次之,他对水文科学研究范围的空间域和时间尺度都定得较广,基本上也是以全球水文循环和全球水平衡为目标;美国国家研究院给出的定义又次之,虽然也讲到地球系统各个方面的全球水平衡,但重点则落在水文循环全过程中的陆地水文循环部分;而国际水文科学协会关于水文科学范畴的阐述则基本上说的是陆地上的水文现象。只有中国大百科全书和国际水文科学协会关于水文科学的职责之一才有应用方面的广阔天地。这种情况说明,水文科学在其实际的发展过程中,尽管把全球水文循环和全球水平衡作为水文学的基础对象,但水文学家却在研究这个循环过程中偏重了陆面上的过程,而对这个过程的其他部分则留给了海洋学家、气候学家和大气物理学家。同时也可以看到,无论怎么说水文学仍然是以自然界水为研究对象,是应用水文学原理去解决水资源问题,而不是用水资源学代替水文学。

还有过一种说法,即水资源学是水文学的延伸和发展。这很可能是由于对某些提法的误解。在前述的 IHP 第一期计划(1975~1980)中,曾突出强调了“把水文学的意义延伸到水资源综合利用、水资源保护等有联系的生态、经济和社会各方面”,并在随后的许多国际学术活动中总是把水文学和水资源学相提并论,就使有些人误以为水文学正在向水资源学转化。但是,所谓把水文学的意义延伸到水资源领域,是指水文学应当加强同水资源的合作,并强调水文学要在为水资源的开发、利用、管理和保护的服务中发展自己,而不是说用水资源学取代水文学。水文学在早期主要是对自然界中水现象的描绘,研究自

自然界水的循环、演变、运动和转化规律,属地理学的一个分支。当人类开始用工程措施来进一步开发利用和治理水资源时,水文学加强了为水工程服务而出现了工程水文学,但没有人因工程水文学是“把水文学的意义延伸到为水工程服务”并迅速发展成为水文学的主要内容,而认为水文学是否变成了水利工程学。实际情况是,水文学不仅继续在描绘自然界中水的变化规律,继续为水工程的规划、设计和运行服务,而且在水资源的开发、利用、管理和保护工作中加强了水文学和水资源学的联系,并且把意义延伸到因水资源的开发利用所引起的环境和生态系统的影响方面,这只能说水文学在工程水文学的基础上又前进了一步,即达到水资源水文学的新阶段。这个概念在 1986 年由作者首次提出,并指出了传统的地理水文学、工程水文学和水资源水文学间的差异^[10]。所谓水资源水文学就是把水资源作为一个整体,研究其在天然状态下的水文规律在受到人为的干预后,在一定程度上如何发生变化,以及当这种变化发生后,如何保证科学地分配水源以使整体工程调度方案最优化。水资源水文学就是要把地球上一切水资源,包括各类地表水和地下水、水量和水质、水能,都看作是一个整体系统进行研究,以为水资源的开发、利用、管理和保护提供科学依据。水资源学与水文学的不同点在于:水资源学是以研究评价和合理开发利用与保护水资源为总目标,即使水文学发展到了水资源水文学阶段,也仍然是以研究水文规律为主要目标,是水资源学的科学基础。但在研究水文循环中,在陆面上的水文循环除了自然状态下通过土壤和地表植被的蒸腾作用而对水文循环要素的影响外,因社会需水量增加,供水量加大而出现一种受人为影响干预的“侧支循环”,即通过取水、用水和耗水、排水形成的小循环。这个侧支循环在一定程度上影响了陆面上的水文循环。水文学和水资源学间的联系,也主要通过这个侧支循环来反映。

但水文学是水资源学的基础,而不是水资源学的前身。在与水资源有关的科学技术活动中,其中的基础部分大多是水文学的活动。如水资源的基础评价就是其中一例。研究水资源的极值现象如洪、涝、旱、渍等变化规律,也是属于水文学的范畴。由于水资源问题的日益突出,并不断向其基础水文学提出新的要求,二者在发展中相互促进,以求在更高层次上相互依存,共同发展^[11]。

二、水资源和水利的关系

在中国由于长期以来就有水利一词的存在,并已形成一些固定概念,当水资源作为行业的代称出现后,水资源和水利就时而一致,时而不一致。不同的人对此有不同的理解。在世界上许多其他国家,由于历史的原因,并没有如中国这样历史悠久又内容广泛的“水利”专用名词,近年来出现“水资源”而作为一种行业,其内容与“水利”越来越接近,以至在把 water resources 译成中文时,许多地方就译成“水利”。但在中国由于水资源名词是后来的,在许多地方水利就不能以水资源代替。例如,在《中华人民共和国水法》中明确规定要实行“水资源统一管理”的原则,并为各方所接受,但如叫做“水利统一管理”,恐怕就很难通过。

在中国,水利是已经确立的有关治水业务的综合行业,包括江河整治、防洪治涝、供水兴利、改善人类生存环境等方面的基础工作、前期工作、工程技术、科学管理等方面的全部过程,内容涉及水文学、地质学、地理学、气象学、水力学、材料力学、工程力学、管理科学