

水资源学概论

陈家琦 王浩

中国水利水电出版社

水 资 源 学 概 论

陈家琦 王 浩

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书在分析水资源学的形成和成长基础上,阐述了水资源学与水利科学及其有关学科的关系,介绍自20世纪后半叶以来国内外在水资源的评价、规划、管理、决策等方面的新进展,反映了国内外普遍关心的水资源问题和水资源研究的趋向和特点,简要介绍了世界上一些国家的水资源概况,以及与水资源学交叉的新学科,如水资源水文学、水资源经济学和水资源环境学。全书共分九章,具有较强科学性、方法性和资料性特点,是首次全面介绍水资源学且以此定名的专著。

本书可供水利、水资源、水文、地理、环境等专业的科研、教学、生产、计划管理人员及决策人员使用和参考,也可供有关高等院校学生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源学概论/陈家琦,王浩著. —北京:中国水利水电出版社, 1995

ISBN 7-80124-100-2

I. 水… II. ①陈… ②王… III. 水资源-理论 IV. TV211.1

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第20918号

书 名	水资源学概论
作 者	陈家琦 王 浩
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100014)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京京建照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 32开本 10.875印张 240千字
版 次	1996年5月第1版 1996年5月北京第一次印刷
印 数	0001 1070册
定 价	25.00元

前 言

对水资源的治理和开发利用，是人类自古以来就从事的活动，但从 20 世纪后半叶起，人们才开始从资源学的角度，来看待这一与人类的生存和发展有着最密切关系、而又几乎无处不在的自然界物质——水。水资源问题也因日益突出的供需矛盾和水的开发利用与环境保护的矛盾而引起人们更大的注意。在国际上和在许多国家内部，对水资源问题出于实践上的需要而开展了大量科学技术活动并逐渐深化。在这些活动中积累的系统知识和经验，为建立一门新的有关水的学科——水资源学创造了十分有利的条件。但迄今无论在国际上或在中国，尚未见到一本全面阐述水资源的分布、评价、规划、管理、决策、保护以及其发展前景的水资源专著，而多以专题形式反映水资源有关某一特定方面的问题的论述。也就是说，还未见到一本《水资源学》。正是从这一点出发，我们开始构思这样一本书，力求在本书中能够反映在水资源领域中国内外普遍关注的水资源问题、水资源研究与实践中的趋向和特点、在解决水资源问题中一些比较成熟的观点和新颖的成果，以及伴随而来的与水资源学交叉的新学科，如水资源水文学、水资源经济学和水资源环境学等，以及在今后发展中还会出现的更多新的交叉学科。这本书也是想起到宣告在世界学科之林中又出现了一支后起之秀——水资源学的作用。由于历史上的原因，在中国早就形成了在治水、用水方面比较综合的水利科学体系，水资源的有关问题多散见于

水利科学各有关学科中。但由于近年来在水资源方面的研究进展和丰富的实践活动，水资源学也正以水利科学体系中的分支学科面目出现。在国际论坛上，水资源学自 20 世纪 70 年代才崭露头角，并在其迅速成长中逐渐接近中国的水利科学的内涵。照顾到这个现实情况，在这本书中尽量把国内外在水资源领域中的主要经验吸取进来，并以 1992 年联合国在巴西召开的环境与发展大会上通过的“地球宣言”以及中国的 21 世纪议程等文件精神作为探讨水资源问题的依据。不过应当说这仅仅是一个开始。我们企盼本书能起到抛砖引玉的效果，以引起人们更大的兴趣，或能在共同努力下，把水资源学这一崭新的学科建树得更加完整，这就是作者的心愿。中国具有历史最悠久的治水用水经验，已建立有较完整的水利科学体系，中国人民又面临着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更好地成长。

本书在编写过程中力求占有较新的资料和信息，并对一些统计数据按所能获得的最近资料进行重新估计。在编写分工中，除第六章由王浩编写外，其余各章均由陈家琦执笔，并负责全书大纲的制订及总编。由于作者的水平及能力所限，书中必定有不少谬误和不足，恳切希望广大读者予以批评指正。在编写过程中，中国水利水电科学研究院鲁光四、张祥伟、李承惠、许新宜、谢新民、陈蓓玉，武汉水利电力大学夏军，世界气象组织罗达 (J. C. Rodda) 等对书稿提出宝贵意见，并提供部分资料；水利部水政水资源司和南京水文水资源研究所大力支持本书的出版，对此特一并表示衷心感谢。

作者

1995 年 4 月

目 录

前 言

1 导 言	1
1.1 水资源的涵义	2
1.2 水资源学的形成和发展	5
1.3 水资源学在科学体系中的地位	7
1.4 水资源学与其他有关水学科的关系	9
1.5 水资源学的性质及主要内容	17
2 全球和区域水资源概况	20
2.1 地球水圈及全球水文循环	20
2.2 各大洲水资源概况	24
2.3 世界上一些国家和地区水资源概况	26
2.4 中国的水资源	56
3 水资源评价	86
3.1 水资源评价的背景及其发展	86
3.2 水资源评价的目的、任务和条件	90
3.3 水资源基础评价	96
3.4 水资源供需分析	108
3.5 水环境质量评价	113
3.6 解决水资源供需关系的科学途径	132
4 水资源规划	142
4.1 水资源规划的内涵	142
4.2 水资源规划的制定	145
4.3 水资源系统分析和运筹学	150
4.4 经济分析和宏观经济水资源规划	159

4.5	水资源规划中的不确定性	165
5	水资源管理	177
5.1	水资源的管理原则、目标和内容	177
5.2	水资源管理体制	184
5.3	水资源保护	190
5.4	水资源法规	196
5.5	水资源管理的技术方面	199
6	水资源问题决策	205
6.1	水资源决策问题三要素	205
6.2	水资源决策问题的特点	209
6.3	水资源决策问题的描述	217
6.4	水资源持续开发利用及其决策	274
7	水资源与全球变化	276
7.1	天然水资源量的自然长期变化	278
7.2	因人类活动引起的水资源变化	280
7.3	研究气候变化对水资源影响的科学技术途径	285
8	与水资源学有关的交叉学科	292
8.1	水资源水文学	292
8.2	水资源经济学	299
8.3	水资源环境学	310
9	水资源学的展望	315
9.1	水资源的持续开发	317
9.2	节约用水和持续开发	325
9.3	地区水资源的开发限度	330
9.4	不断改善水环境	331
	参考文献	334

1 导 言

自 20 世纪 70 年代以来,世界上最热门的话题之一是水资源问题。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“马德里普拉塔行动计划 (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,在一些地方出现了水资源危机,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 年由国际水资源协会 (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，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，并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題，提到日程上来。水资源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，探索建立水资源有关的科学体系，以进一步提高水资源工作的水平。

1.1 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面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，并可适合对某地为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”卷中则仿照《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。”在1991年《水科学进展》编辑部组织国内有关人士对水资源的定义进行了一次笔谈，提出的观点有：^[6]

- 降水是大陆上一切水分的来源，但降水只是一种潜在的水资源，只有降水量中可被利用的那一部分才是真正的水资源。（张家诚）

- 人类所利用的水资源包括农业用水、工业和生活用水。河槽水流是工农业用剩的水量，不应误作全国水资源。（黄万里）

- 从自然资源的观念出发，水资源可定义为与人类生产与生活（有关）的天然水源。（刘昌明）

- 水资源是指可供国民经济利用的淡水资源，它来源于大气降水，其数量为扣除降水期蒸发的总降水量。（曲妖光）

- 一切具有利用价值，包括各种不同来源或不同形式的水，均属水资源范畴。（陈梦熊）

· 不能把降水、土壤水或地表水称之为水资源，犹如不能把海水、洪水、气态水当作水资源一样，（要）把具有稳定径流量、可供利用的相应数量的水定义为水资源。（施德鸿）

· 水资源主要指与人类社会用水密切相关而又能不断更新淡水，包括地表水、地下水和土壤水，其补给来源为大气降水。（贺伟程）

· 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。（陈家琦）

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。

从本世纪中期以来，一些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。

1.2 水资源学的形成和发展

人类长期以来在和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 and 经验常融会在其他已建立的学科如水文、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，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能永续利用的长远目的。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 年通过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。

水资源学在其成长过程中,可以归结为是对水资源进行评价、制定综合开发和合理利用水资源规划,解决水资源供需矛盾,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;其目标是探求水资源在地球自然资源体系中的位置、作用以及和其他自然资源间的相互关系;揭示水资源的形成、演化的机理,以及其在地球空间和时程上的变化规律;研究在经济和社会发展中水资源供求关系及其解决的科学途径;在人类各项经济活动中,特别是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对水资源的持续开发和利用的科学途径等。

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。

1.3 水资源学在科学体系中的地位

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)^[8]。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，因而不是不全面的。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

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，见图 1-1。

1.4 水资源学与其他有关水学科的关系

近二三十年来水资源一词在我国实践中流行起来，并且冲击着原有的一些名词。例如水资源和水文是什么关系，水资源和水利有无区别等，一阵子都说已经了然，一阵子却又糊涂起来。在建立水资源学这个学科以前，最好是尽可能把这些问题说清楚。

首先是水资源和水文的关系。在 20 世纪 70 年代水资源名词进入我国的实践中来，是从进行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”；而尚在执行中的第四期 IHP 计划（1990~1995）则命名为“在变化环境中的水资源和水文学”。由于一个时期内这些全球性水文科学活动，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，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从 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