

文章编号: 1001-8166(2002)01-0012-06

现代水资源评价及水资源学学科体系研究^{*}

王 浩¹, 王建华¹, 秦大庸¹, 陈传友²; 江 东², 姚治君²

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 在追溯水资源界定和内涵历史沿革的基础上, 根据水资源评价的有效性、可控性和可再生性准则, 按不同评价口径将水资源划分为广义水资源、狭义水资源、国民经济可利用量和生态环境需水量。从水资源承载的双重客体出发, 一定程度上澄清了历史上关于水资源评价和定义的争论。而后从水资源科学的发展入手, 刻划了水资源学研究的对象和三个层面上的内容, 即基础研究、应用研究和综合研究, 根据学科研究的内容, 构建了包括基础学科、应用学科和综合学科的水资源学学科体系, 并分别就三大组成部分作了剖析, 这对于水资源学科建设具有积极的意义。

关 键 词: 水资源; 水资源学; 学科体系

中图分类号: P33; TV21; P964 **文献标识码:** A

水是世间万物生命之源, 与人类的生存、发展和一切社会活动密切相关。从资源的角度来说, 水资源既是最为重要的三大基础自然资源之一, 也是最主要的社会发展的战略性经济资源。另外, 由于水资源的特殊性, 它还是生态环境的有机组成和控制性因素。水资源的短缺、时空变异性 and 易受破坏等特性使得水资源问题正在世界范围蔓延且日益激化, 并严重影响全球的环境与发展。因此关于水资源学学科体系的探索与建立不仅在理论上成为当今资源科学完善的一项重要任务, 而且也为解决水资源问题实践活动提供指导, 以保障水资源对社会发展的持续支持。

1 关于水资源学研究对象——水资源的界定

1.1 水资源定义与内涵探讨的历史沿革

水资源学是研究水资源运动规律与开发、利用及保护的一门科学。水资源一词最早出现于正式机构的名称, 是 1894 年美国地质调查局 (USGS) 设立了水资源处 (WRD) 并一直延续至今。100 多年过

去了, 关于水资源的定义及内涵却仍然见仁见智, 尚未有一个统一的界定。前苏联 Kalinin 为英国大百科全书中关于“水资源”一词表述为“自然界一切形态(液态、固态、汽态)的水”, 1963 年英国“水资源法”中定义为“具有足够数量的可用水源”, 即自然界中水的特定部分。1988 年联合国教科文组织 (UNESCO) 和世界气象组织 (WMO) 定义水资源是“作为资源的水应当是可供利用或可能被利用, 具有足够数量和可用质量, 并且可适合对某地为对水资源需求而能长期供应的水源”。

我国对水资源的理解也不尽相同:《中国大百科全书·大气科学·海洋科学·水文科学》卷中, 把水资源定义为“地球表层可供人类利用的水”; 而在《中国大百科全书·水利》卷中则定义为“自然界各种形态(汽态、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”;《中国资源科学百科全书》中, 把水资源定义为“可供人类直接利用、能不断更新的天然淡水, 主要指陆地上的地表水和地下水”。1991 年《水科学进展》编辑部组织了一次笔谈, 国内许多知名专家就水资源的定义和内涵进行

* 收稿日期: 2001-04-09; 修回日期: 2001-06-14.

* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目“黄河水资源演化规律与二元演化模型”(编号: G 1999043602)资助.

作者简介: 王浩(1953-), 男, 北京人, 教授, 长期从事水资源研究. E-mail: wanghao@iwhr.com

讨论, 陈家琦教授在《水问题论坛》上把讨论的观点, 做了扼要的阐述与归纳, 其中较有代表性的几种关于水资源内涵的观点如下^[1,2]:

(1) 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。

(2) 从自然资源的观念出发, 水资源可定义为与人类生产、生活资料有关的天然水源。

(3) 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后的总降水量。

(4) 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。

(5) 不能笼统地把降水、土壤水或地表水称之为水资源, 水资源数量上应具有一定的稳定性且可供利用。

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

(7) 作为维持人类社会存在和发展的重要自然资源之一的水资源, 应具有下列特性: 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水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要求。

1.2 水资源的界定与评价

表面看来, 以上关于水资源的论述莫衷一是, 但如果从水资源承载的双重客体——人类社会和生态环境角度仔细分析不难发现, 上述看法其实存在许多共性, 结合可持续发展理念可以概括为对于水资源评价过程的有效性、可控性和可再生性准则的衡量。以往关于水资源的争执大多出于对以上三方面的探讨, 这是由水资源本身所具有的自然属性、社会经济属性和生态属性决定的。由此引出对水资源的有效性、可控性与可再生性的描述, 从而对水资源实施明确的界定和统一的评价。

1.2.1 有效性准则与广义水资源

《中国资源科学百科全书》当中定义“自然资源”一词是“自然界存在的对人类有用的自然物”, 《不列颠国际大百科事典》定义为“人类可以利用的、自然生成的及其生成源泉的环境能力”。由此可以看出, 自然资源评价的第一条准则就是它的有效性准则, 即它是否对于人类社会存在有一定的效用。因此从水资源的有效性出发定义水资源, 对传统意义上的

水资源概念进行拓展。目前评价口径的水资源是指: 与人类社会经济发展密切相关的淡水, 其补给来源主要为大气降水, 赋存形式为地表水、地下水和土壤水。有效性准则对传统水资源涵义的第一个拓展是: 与生态环境具有密切关系的水分都应该评价为水资源。这是因为, 有效水分不仅是国民经济和社会发展的基础性资源, 而且还滋养了对人类生存具有头等重要意义的生态系统, 水资源的有效性概念可以同时体现对生态环境保护和社会经济发展的决定性意义。有效性标准对水资源涵义的第二个拓展是, 对生态环境具有效用的水分不仅是径流性水资源, 而且还有部分降水资源。因为无论是天然生态还是人工生态, 有效降水都是研究其水分需求的前提, 在我国西北干旱半干旱地区就更是如此。由此可以认为, 从有效性出发定义的水资源是广义水资源。

根据水资源评价的有效性准则, 可以将大气降水分有效降水和无效降水, 其中有效降水就是指降水中对于生态环境和人类社会具有效用的那一部分降水, 也就是可能为生态系统和社会经济系统利用的水量, 包括各种消耗于天然生态系统(包括各类天然林草和天然河湖)和人工生态系统(包括人工林草、农田、鱼塘、水库、城市、工业区和农村等)的降雨和河川径流量。我国西北地区降雨中大约有 70% 是能够直接和间接为人类及生态环境所利用的广义水资源; 无效降水是指降水中对于生态环境和人类社会不具有效用的那一部分降水, 如消耗于高寒裸地、沙漠戈壁和天然盐碱地的蒸发。无效降水在我国西北地区占 30% 左右。

1.2.2 可控性准则与狭义水资源

对于以不同形式赋存的水资源, 人类社会只有通过对其开发利用才能实现从自然资源向实物资源的转变, 由此引出水资源评价的第二条准则——可控性准则。资源的可控性往往是自然资源实现其经济价值的基本保障。从可控性概念出发研究水资源, 是从人工调控角度对广义水资源做进一步的区分。广义水资源可以分为两类: 一类是有效降水, 可为天然生态系统和人工生态系统所直接利用, 这部分水量难于被工程所调控, 但可以调整发展模式, 增加对这部分水分的利用; 另一类是径流性水资源, 包括地表水、地下含水层中的潜水和承压水, 这部分水量可通过工程进行开发利用。因此, 从可控性准则定义的水资源是狭义水资源。

80 年代初我国第一次水资源评价时, 资源量中

不仅没有包括有效降水部分,而且也未将暴雨和洪水列为分析内容,虽然在统计河川径流当中经洪峰径流包括在内,但也能明显看出这一阶段的水资源评价相当于仅就狭义水资源进行的评价。

1.2.3 可再生性准则与生态需水量和国民经济水资源可利用量

从可再生性出发研究水资源,是对狭义水资源在可持续利用意义下再做进一步的界定,以便提出社会经济发展的水资源可利用量。由于水循环是狭义水资源与广义水资源的共同基础,水循环本身及其相关过程的长期稳定性,是水资源可再生性维持的必要和充分条件。维护水循环本身的稳定,需要保持能量和物质的双重平衡,具体表现为水热平衡和水量平衡;维护与水循环相关的物理、化学与生态过程的稳定,需要保持水沙平衡、水盐平衡和水土平衡。上述各类平衡归结到一点,就是在特定的时段和地域条件下保持有效水量的平衡。对于工程能够

调控的狭义水资源而言,其不仅易于为国民经济所利用,更是干旱区非地带性植被赖以生存的基础,若在国民经济用水和生态环境用水之间调控不当,则会直接影响到流域水循环的稳定,进而影响到水资源的可持续利用。

由此可见,水资源评价的可再生性准则是可持续发展观点在狭义水资源开发利用方面的具体衡量标准。在这一准则的约束下,狭义水资源又划分为生态需水量和国民经济可利用量。而传统的水资源评价当中并未确立这一准则来指导水资源评价活动,用狭义水资源评价结果来代替国民经济水资源可利用量。在这种思想的指导下,引发了一系列不恰当的水资源开发利用方式和行为,造成许多不良后果,如黄河断流、地下水超采等。

我国西北地区不同准则指导下的水资源评价结果如图 1。

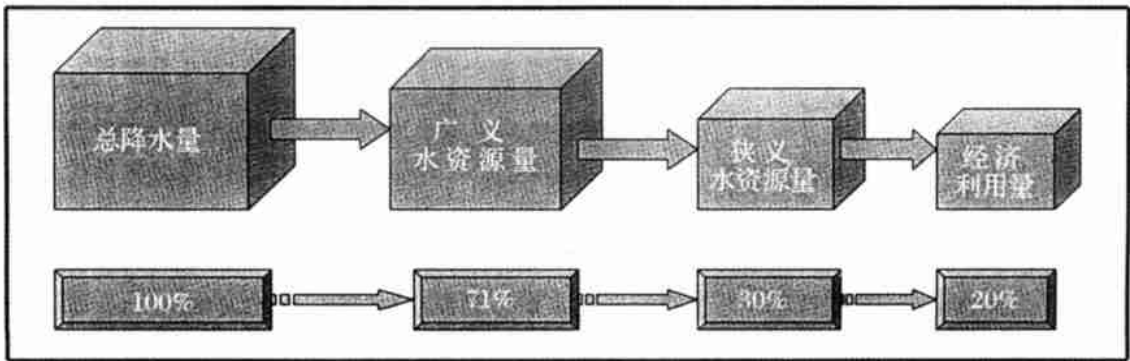


图 1 我国西北地区不同口径水资源评价示意图

Fig. 1 The water resources assessment sketch map in north-west area under different caliber

2 水资源学研究的对象与内容

2.1 水资源学科的发展历程

水资源学科为一融合自然科学、工程科学和社会科学的综合性应用科学,至今仍在发展之中。人类长期以来在面临各种水资源问题的过程中,逐渐形成有关水资源的专业知识和经验。从这个角度来说,水资源学具有悠久的历史,早在公元前 239 年问世的《吕氏春秋》中“圜道篇”上这样记载:“云气西行云云然,冬夏不辍;水泉东流,日夜不休;上不竭,下不满,小为大,重为轻,圜道也。”就是很朴素的水文循环描述。几乎是同一时期的希腊古哲学家柏拉图(Plato)和亚里士多德(Aristotle)等对河流长流不息

的解释是一个巨大的地下水水库所提供的水源,即所谓的“地下循环说”。1674 年法国人 P. Perrault 在《泉之源》论文中,论述了泉水的来源是降水,泉水流入海,产生蒸发,为降水来源提出了水文循环论,早在 1974 年被联合国教科文组织认作是“水文循环学说的创始”,且作为“科学水文学”的开始并组织了纪念活动。由此看出水资源学的基础理论和应用研究源远流长,从这个意义讲,水资源学是一门古老的科学。

但是由于水资源的广布性和水资源开发利用的局部性间的矛盾,致使人们难以将以各种形态赋存的水资源作为一个系统进行研究,因此在相当长的一段时期内,有关水资源的认识与科学方法常融汇

在水文学和水利学当中,并没有形成自身的体系。至 20 世纪 50 年代以来,随着二战后的全球经济发展和人口大幅度增长,各类水资源问题日益突出,人们对水的高效、合理、永续利用有了进一步认识,从而逐步把水资源作为主体进行专门研究,并被提到全球性的议事日程上来。1965 年联合国科教文组织成立了国际水文十年(IHD)机构,120 多个国家参与了水资源研究,组织了水量平衡、洪涝、干旱、地下水、人类活动对水循环的影响等方面的大量研究,取得显著成绩;同年美国通过“水资源规划法案”,同时成立了水资源理事会,负责协调联邦政府各部门有关水资源的规划、管理和开发工作,并定期进行全美范围的水资源评价活动。1972 年由美国水文学家周文德倡议成立的国际水资源协会,其活动范围涉及到水资源的规划、开发、保护、管理等各方面的科学技术问题,包括水资源的基础理论、评价、规划、设计、施工、运行管理、水旱灾害防治、河流整治等专题研究。围绕水资源的评价、规划、开发、利用和保护所进行的一系列学术活动及业务工作逐渐形成了水资源相关产业,同时也使水资源学科初具雏形。1977 年,联合国在阿根廷召开世界水会议,要求各国进行一次专门的国家水平的综合评价,联合国科教文组织也制定了相应的水资源评价计划。

水资源学科的正式建立始于 1972 年。因为在这一年不仅建立了全球性的国际水资源协会(IWRA),而且自 1922 年就建立的国际水文科学协会(IAHS)在 1972 年通过的协会章程中正式将水资源学和地球科学一样作为学科来并列。1985 年,包括欧洲、亚洲、地中海、太平洋和南美州在内的地区开展河流情势国际实验和网络数据分析(FRIEND),将水资源从整体上置于一个更大区域范围来考虑。近年来,由于社会经济的飞速发展,水资源形势越来越严峻,主要表现在水资源短缺和水污染两方面,为此关于水资源开发利用与水资源保护之间协调的研究日益引起人们的重视。1992 年都柏林宣言、里约热内卢联合国环境与发展大会、1996 年北京宣言、1996 年安居会议和 1997 年摩洛哥第一届世纪水论坛会议精神都将水资源开发利用的合理性和可持续性作为水资源活动的衡量标准。1997 年,“国际水文计划”进入第 5 阶段,将这一阶段命名为“水文学与脆弱环境中的水资源开发”,同年 4 月在巴黎举行了“水、城市与城市规划”会议,探讨世界范围内水与卫生问题的重要性、迫切性及其可操作方式。

在近三四十年来,水资源学科迅速发展,进一步

融汇其它学科的有关知识,主要在水资源模拟与模型化、水资源系统分析、水资源信息系统管理、水环境研究、水资源管理及水法等方面取得了较大进展。它汲取了环境学、生态学、经济学、管理学、工程学、社会学、系统科学的有关原理和方法,从资源利用、环境保护、经济增长、社会发展之间的相互依存与相互制约的定量关系入手建立了自己的研究方法,为本学科的发展奠定了坚实的科学基础。

2.2 水资源学研究的对象与内容

水资源学是研究水资源形成、运动、循环和演变的科学,其直接研究对象是水资源。水资源学是资源科学支柱学科之一,具体研究内容包括 3 个层面上的问题⁵⁾:

第一层面是水资源本身的研究,包括水资源的运移、循环和演变规律的研究,是认识对象的过程,属于水资源基础研究。

传统水资源学基础研究的主要对象是可供人类社会直接利用的淡水资源,即水的特定部分,主要包括陆地地表和地下径流部分。然而,随着科学技术和认识水平的提高,水资源的外延不断得到拓展,其研究领域也相应地延伸到大气、海洋、深层地下水、冰川和极地。研究的时空尺度从人类社会常规时空尺度出发,逐步向下(Downscaling)或向上尺度化(Upscaling)至从土壤介质孔隙尺度到全球尺度。研究的视角也由最初的单个水文系统研究,如地表水系统、地下水系统等的发展到开始着眼于整个水循环过程,其发展过程经历了“三水转化—四水转化—SPAC 系统—GSAPC 系统研究”等阶段。在研究水循环的整体过程中,人们发现水从一个系统向另一个系统过渡的界面过程最能有效反应开放系统间的物质与能量交换信息,因此界面过程和界面内过程将成为现代水资源过程研究的热点问题⁹⁾。

第二个层面是人类对水资源开发利用的研究,属于水资源的应用研究。

水资源系统的直接承载对象是社会经济系统和生态环境系统,最终承载对象是人,承载主体与客体之间通过人类对水资源开发利用而联系起来,因此人类社会对于区域水资源开发利用的研究一直是传统水资源研究的重点。概括来说,对于水资源开发利用的研究主要从 3 个方面展开:其一是水资源开发范围的扩展研究,包括地下水的开采、雨水资源化、洪水资源化、海水资源化、劣质水资源化等方面的研究;其二是研究水资源利用内涵的不断添加,包括节水、水资源的优化配置、用水结构的调整等;其

三是水资源开发利用手段的研究,例如水利工程修建技术的提高、海水淡化费用的降低、新型节水器具的发明等。这一层面的研究是在对水资源系统发展规律有一定认识水平的基础上,着重发挥人类社会的能动性对于水资源系统的影响,或是在特定水资源形势下协调人类社会活动行为。

第三个层面是研究水资源系统对社会经济系统和生态环境系统三者平衡关系的研究,属于水资源的综合研究。

由于具有流动性和易溶性等特性,水资源还是生态环境的有机组成和控制性因素,因此单纯基于社会经济系统的水资源开发利用必然会影响到由水资源系统(A)、人类社会系统(B)、生态环境系统(C)共同构成的复杂巨系统(ABC)的稳定性。具体表现为河川径流的过度开发、生态系统的退化、水资源被污染、地下水超采、水土流失等问题。也正是在各种水资源和生态环境问题的胁迫下,人们开展了水资源系统、生态环境系统和社会经济平衡关系的研究,重点包括生态需水的研究和区域环境容量的研究。用系统的观点来看,对于由水资源系统(A)、人类社会系统(B)、生态环境系统(C)及其共同构成的复杂巨系统(ABC)来说,从基础研究到综合研究是水资源学研究的不同阶段,实质上是一个“A→A-C, A-B→A-B-C”的过程,是认识从局部到全面,从单个系统到多个相互关联系统,是从不可靠“元件”的研究发展到可靠“系统”的跃迁进化的必然结果。

3 水资源学的学科体系的探讨

水资源学是资源科学学科体系的一个重要分支,是水利科学的更高层次。从水资源学研究的内容可以看出,水资源学学科体系主要由基础学科、应用学科和综合学科三大部分组成。其中基础学科主要研究水资源运动、演变和循环规律,具体包括水文学、水力学、湖泊学、冰川学、沼泽学、地下水等;应用学科是研究解决人类开发和利用水资源过程中存在问题的科学,例如农田水利学、水能利用学、水利工程学、水工结构学等,基本上与我国传统的水利学科相当;综合学科,如水资源生态学、水资源环境学、水资源法学、水资源经济学、水资源管理学、水资源工程学、水资源信息学等,大多属于交叉学科。因此,水资源学与水利科学存在着既有区别又有联系的辩证关系,而且后者是水资源变为经济优势的手段。水资源学回答的主要问题是在水的问题上,人类社会如何与自然界协调发展。人类对水的认识也是经历了一个由低级向高级逐步推进的认识过程,水资源学是水利科学发展的更深层次阶段。

从学科的成长来看,虽然水资源学的具体构成尚不是特别明晰,但由于其基础学科和应用学科已经比较成熟和完善,加之其综合学科迅速成长,特别是水资源管理学、水资源生态学、水资源经济学和水资源法学等学科日新月异,水资源学正处于一个日

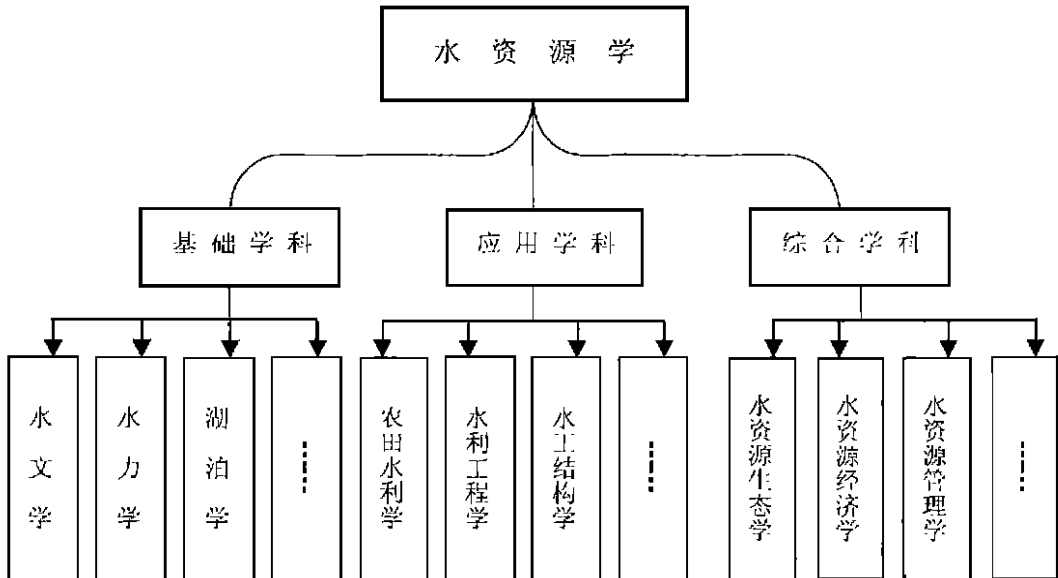


图 2 水资源学学科体系示意图

Fig. 2 The knowledge brunches of water resources subject

益完善的过程,已初步取得了国际和国内各方面的认可。国际水文科学协会(IAHS)在其章程中谈到该协会的宗旨时写到“促进把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]。地球科学、生物科学、技术科学、社会科学、环境科学等学科领域的发展,为水资源学与有关学科的相互支持与发展奠定了基础。水资源的理论研究与实践探索为水资源学学科体系的形成和完善创造了基本条件。因此虽然水资源学自20世纪70年代才崭露头角,但由于其自身在迅速成长过程中不断与其它学科交叉渗透,从而逐渐展现出自己的学科体系轮廓,显示了强大的生命力和广阔前景。

参考文献(References):

[1] Chen Jiaqi, Wang Hao. The Conspectus of Water Resources Study[M]. Beijing: The Publishing Company of Water Resources and Hydropower, 1997. 7-24. [陈家琦,王浩.水资源学概论[M].北京:中国水利水电出版社,1997.7-24.]

- [2] Chen Jiaqi. The study on the relationship of water resources research and hydrology[J]. The Forum of Water Problem, 1993, (3): 1-8. [陈家琦.水文学与水资源学关系浅析[J].水问题论坛,1993,(3):1-8.]
- [3] Conversation by Writing. The conception and connotation of water resources[J]. Advance of Water Resources Research, 1991, (3): 46-53. [编辑部组稿.笔谈:水资源的定义和内涵[J].水科学进展,1991,(3):46-53.]
- [4] Chen Chuanyou, Wang Chunyuan, Dou Yisong. Water Resources and Sustainable Development[M]. Beijing: Science Press, 1998. 12-40. [陈传友,王春元,窦以松.水资源与可持续发展[M].北京:科学出版社,1998.12-40.]
- [5] Liu Changming, Sun Rui. Water cycle on ecology: the advance of water and energy in SPAC system, Advance of water resources research, 1995, (3): 25-31. [刘昌明,孙睿.水循环的生态学方面:土壤-植被-大气系统(SPAC)水分能量平衡研究进展[J].水科学进展,1995,(3):25-31.]
- [6] Howard R Oliver, Sylvia A Oliver. The Role of Water and Hydrological Cycle in Global Change[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 129-147.

THE STUDY ON WATER RESOURCES ASSESSMENT AND SUBJECT SYSTEM OF WATER RESOURCES STUDY ON MODERN TIMES

WANG Hao¹, WANG Jian-hua¹, QIN Da-yong¹
CHEN Chuan-you², JIANG Dong², YAO Zhi-jun²

(1. *The Institute of Geography Science and Resources, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *The China Institute of Water Resources and Hydropower, Beijing 100044, China*)

Abstract: Based on the summary of the conception and connotation evolution of water resources bounded by other hydrologists, the paper divides water resources into generalized water resources, specialized water resources, useable water resources quantity for national economy and ecological water requirements on different caliber. It clears the argument on water resources assessment and definition in history from the double carrying object of water resources. And that it scores the object of water resources research and its contents on three layers proceeded with water resources development course, which includes basic research, applied research and integrated research. According to the contents of subject, the paper constructs the water resources research system consisted of base subject, application subject and integration subject and analysis three parts separately in-depth. It is of positive significance for construction of water resources study.

Key words: Water Resources; Water Resources Study; Subject System.