

国家自然科学基金资助项目(50579052)

全国水资源综合规划专题(SZYZB-1)

水资源与水电工程科学国家重点实验室(武汉大学)重点课题

变化环境下

地表水资源评价方法

谢平 陈广才 雷红富 韩淑敏 夏军 朱勇 著



科学出版社

www.sciencep.com

国家自然科学基金资助项目(50579052)

全国水资源综合规划专题(SZYZB-1)

水资源与水电工程科学国家重点实验室(武汉大学)重点课题

变化环境下 地表水资源评价方法

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对由于气候变化以及土地利用和覆被变化导致的年径流序列非一致性问题,系统地介绍了作者在变化环境下地表水资源评价方法方面的研究成果,全书由3篇共16章构成。第一篇基础理论,简要介绍了水文统计、水文时间序列分析、水资源评价三个方面的基础理论知识;第二篇统计途径,主要介绍了水文变异诊断系统、适应变化环境的水文频率计算原理、基于趋势分析、跳跃分析和降雨径流关系的地表水资源评价方法及其在官厅水库以上流域、疏勒河流域和黄壁庄流域的应用;第三篇成因途径,主要介绍了考虑土地利用/覆被变化的集总式流域水文模型、基于LWHM-LUCC模型的地表水资源评价方法及其在无定河流域的应用。

本书可供水文水资源学科、资源科学、地理科学、环境科学的科研人员,大学教师和相关专业的高年级本科生和研究生,以及从事水利工程、水土保持工程和环境工程的技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

变化环境下地表水资源评价方法/谢平等著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-022708-9

I. 变… II. 谢… III. 地面水资源-评价-方法 IV. TV211.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 119366 号

责任编辑:余 丁 王向珍 / 责任校对:赵燕珍

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 2 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 2 月第一次印刷 印张: 19 3/4

印数: 1—2 500 字数: 386 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

在水资源评价中,通常将河川径流的年径流量作为地表水资源量。由于受气候变化与频繁的人类活动影响,流域径流形成的物理条件发生了较大的变化,使得用于地表水资源评价计算的年径流序列失去了一致性。过去采用的流域内工农业、生活等用水量调查方法,虽然还原了天然产水量中的引水量、耗水量、流域内各水库水面蒸发的增耗量,但只能解决流域内人类活动直接引起的水量还原计算问题,而无法解决由于气候变化和流域下垫面变化间接引起的径流量变异问题。目前,国内广泛应用的“还原”或“还现”方法所推求的年径流频率分布只能反映过去或现状的径流形成条件,而无法反映环境变化条件下,特别是未来某个水平年的径流状况。就国际水文水资源研究领域而言,其前沿问题突出反映在强调变化环境下的水循环及水资源形成规律研究。1997年联合国教科文组织(UNESCO)国际水文计划颁布的《水资源评价:国家能力评估手册》指出,水资源评价方法需要考虑水量的时间空间变异特征,特别需要考虑气候变化以及土地利用和覆被变化对水资源的影响。进入21世纪,联合国教科文组织又专门实施了“全球水资源评价计划”(WWAP),要求从更大尺度评价全球水资源的变化。2007年1月,在法国巴黎发布的政府间气候变化专门委员会(IPCC)的第四次评估报告中指出自20世纪中期以来,气候变暖已经成为公认的事实,如何适应这种变化,如何减缓这个变化将成为全球面对的严峻挑战。全球水系统计划(GWSP)执行主席 Vörösmarty 认为:“各种人为因素以直接或间接的方式对区域和全球水循环产生了重要影响,这些因素包括土地利用变化、河道工程措施、灌溉、耗水损失、水生栖息地的消失以及污染。大量证据表明人类在更广泛的领域干扰了水循环的基本特性,由此产生了一系列水安全和生态安全问题,并且这些问题的产生机理亟待研究,尤其是对于发展中国家。”因此,如何评价变化环境下的地表水资源量(年径流量)已成为当今国内外水文水资源调查评价研究领域的关键问题。

地表水资源量评价的实质为对年径流序列的频率计算,这又细化为三个问题:首先,年径流序列是否具有-致性,如果不一致,那么在什么时间以何种形式发生了变异?其次,由于气候变化和人类活动造成下垫面环境变化而引起的年径流序列变异,如何运用流域水文模型来模拟和预测?最后,如何通过处理非一致性年径流序列来推求其适应变化环境的频率分布?

第一个问题可以归结为水文序列变异诊断分析。目前国内外的分析研究主要集中在序列的趋势性和跳跃性等方面,大致可以概括为统计检验方法和信息与系统诊断方法。但上述方法各有特点,有些方法反映序列在均值方面的变异,有

些反映序列在方差方面的变异,使得各种方法的检验结果常常不一致,甚至当变异点接近序列两端时,其检验误差非常大。由于水文序列的变异主要体现在频率分布函数的差异上,而不仅仅是单个统计参数上的差异,因此,如何对上述各种方法的检验结果进行综合,正是作者研制水文变异诊断系统所要解决的问题。

第二个问题可以归结为气候变化以及土地利用和覆被变化对流域年径流的影响,可以采用流域水文模型进行研究。但目前国内外大多数的流域水文模型并不是直接针对土地利用与覆被变化而研制的,特别是没有与我国的土地资源分类系统有机结合,不便于从模型结构和参数方面直接揭示土地利用和覆被变化的水文水资源效应,而作者建立的考虑土地利用和覆被变化的流域水文模型可以直接模拟和评价不同土地利用和覆被变化(如林地、草地、农田、水域等变化)对流域年径流的影响。

第三个问题可以归结为适应变化环境的非一致性序列水文频率计算。目前国内关于非一致性年径流序列的研究主要集中在“还原”和“还现”计算方法方面,所推求的年径流频率分布无法适应不同时期环境的变化。作者提出的变化环境下非一致性年径流序列的水文频率计算方法,分别从成因分析和统计分析着手,将非一致性年径流序列分解成非一致的确定性成分和一致的随机性成分,根据确定性成分在时间域的成因规律以及随机性成分在频率域的统计规律,采用序列合成方法可以推求非一致性年径流序列在过去、现状和未来不同时期的频率分布。

综上所述,本书针对的是由于气候变化以及土地利用和覆被变化而导致年径流序列非一致性问题,从水文变异诊断系统、考虑土地利用和覆被变化的流域水文模型、变化环境下非一致性年径流序列的水文频率计算方法三个方面研究变化环境下的地表水资源评价方法,不仅对变化环境下的水循环及水资源形成规律研究具有重要的理论意义,而且对于水资源综合规划工作具有重要的实际应用价值。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金资助项目“变化环境下非一致性年径流序列的水文频率计算方法研究”(50579052)、全国水资源综合规划专题“水资源数量与质量联合评价方法及其应用研究”(SZYZB-1)以及水资源与水电工程科学国家重点实验室(武汉大学)重点课题“变化环境下水资源时空演变规律及其生态环境效应”的资助,特向所有支持和关心作者研究工作的单位和个人表示衷心的感谢。书中有部分内容参考了有关单位或个人的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并致谢。本书由武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室资助出版,在此深表谢意。

由于变化环境下的地表水资源评价涉及气候学、水文学、地理学等多个学科知识,研究难度很大,再加上时间仓促,特别是作者水平所限,书中难免有不妥和不足之处,恳请读者提出宝贵的意见和建议。

作 者

2008年6月于武汉东湖之滨、珞珈山下

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的和意义	2
1.3 水资源及水资源评价概念	5
1.4 水资源评价研究进展	7
1.5 研究思路及研究内容	16
1.6 主要特色	19
1.7 小结	20
参考文献	20

第一篇 基础理论

第2章 水文统计基础	25
2.1 水文现象的随机性	25
2.2 概率论与统计学的基本概念	26
2.3 水文分布	34
2.4 水文分布参数估计	39
2.5 假设检验	50
2.6 相关分析	60
2.7 小结	67
参考文献	67
第3章 水文时间序列分析基础	68
3.1 概述	68
3.2 水文序列分析原理	76
3.3 水文序列的蒙特卡罗模拟	95
3.4 小结	99
参考文献	100
第4章 水资源评价基础	101
4.1 水资源评价的概念及意义	101
4.2 水资源基础评价	102
4.3 水资源利用评价	116

4.4 水环境评价	121
4.5 小结	131
参考文献	131

第二篇 统计途径

第5章 水文变异诊断系统	135
5.1 水文变异定义	135
5.2 变异诊断系统	136
5.3 初步诊断	137
5.4 详细诊断	140
5.5 综合诊断	141
5.6 权重计算原理	142
5.7 诊断结论输出	148
5.8 小结	149
参考文献	149
第6章 适应变化环境的水文频率计算原理	151
6.1 引言	151
6.2 非一致性序列水文频率计算的假设前提	152
6.3 非一致性序列水文频率计算的一般方法	153
6.4 小结	156
参考文献	156
第7章 基于趋势分析的官厅水库以上流域地表水资源评价	158
7.1 流域概况	158
7.2 年降雨序列变异诊断分析	159
7.3 年径流序列变异诊断分析	160
7.4 基于趋势分析的年径流序列频率计算	166
7.5 小结	172
参考文献	172
第8章 基于跳跃分析的疏勒河流域地表水资源评价	173
8.1 流域概况	173
8.2 年降雨序列变异诊断分析	174
8.3 年径流序列变异诊断分析	179
8.4 基于跳跃分析的年径流序列频率计算	185
8.5 小结	190
参考文献	191

第 9 章 基于降雨径流关系的黄壁庄流域地表水资源评价	192
9.1 流域概况	192
9.2 年降雨序列变异诊断分析	193
9.3 年径流序列变异诊断分析	194
9.4 基于降雨径流关系的地表水资源评价方法	200
9.5 基于降雨径流关系的年径流序列频率计算	202
9.6 小结	209
参考文献	209
第三篇 成因途径	
第 10 章 基于 LWHM-LUCC 模型的地表水资源评价方法	213
10.1 引言	213
10.2 研究思路及内容	214
10.3 研究特色	215
10.4 小结	216
参考文献	216
第 11 章 考虑土地利用/覆被变化的流域水文模型	217
11.1 基于 Shreve 河链概念的单元划分方法	217
11.2 土地资源分类系统	218
11.3 单元水文结构	220
11.4 单元模型介绍	222
11.5 WHMLUCC 单元水文模型的扩展	228
11.6 小结	229
参考文献	230
第 12 章 无定河流域水文变异分析及近期土地利用信息提取	231
12.1 无定河流域概况	231
12.2 无定河流域水文变异分析	236
12.3 无定河流域地貌信息与现状土地利用信息提取	256
12.4 小结	259
参考文献	260
第 13 章 无定河流域过去土地利用信息反演	261
13.1 无定河流域 LWHM-LUCC 模型参数率定	261
13.2 模型参数合理性分析	264
13.3 过去土地利用信息反演	265
13.4 反演土地利用信息的合理性分析	268

13.5 小结	269
参考文献	270
第 14 章 无定河流域未来土地利用信息预测	272
14.1 马尔可夫链模型基本原理	272
14.2 无定河流域土地利用类型转换变化	274
14.3 无定河流域未来土地利用信息预测	276
14.4 小结	284
参考文献	285
第 15 章 变化环境下无定河流域地表水资源评价	286
15.1 无定河流域的气候变化情况	286
15.2 变化环境下年径流模拟计算	288
15.3 变化环境下的地表水资源评价	290
15.4 小结	299
参考文献	300
第 16 章 结论与展望	301
16.1 研究成果和主要结论	301
16.2 存在的不足	304
16.3 展望	306

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

水是地球万物生命之源,是生物圈的血液,是维持人类和生态系统的基础^[1]。一般将天然水中可供人类利用的淡水称为水资源。当前,随着全球气候的变化、世界人口的不断增长、城市建设和工农业生产的迅速发展以及人民生活水平的日益提高,人类活动对水循环要素的影响日益加剧,水资源供需矛盾日益尖锐,部分地区甚至出现了水危机。在气候变化与人类活动双重影响下,水资源将如何演变?尤其是跟人类密切联系的地表水资源的演变规律是什么?如何在变化环境下对地表水资源进行评估?这些问题亟待解决。

1.1.1 人类活动改变下垫面条件,对水资源的影响日益加剧

自地球诞生以来,其环境就在不断变化。自从有了人类,地球自然系统就面临人类活动的干预^[2]。美国哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心等机构的科学家通过研究人口密度、道路和河流运输、电力基础设施以及城市和农业的综合影响,联合绘制了人类活动的“足迹图”^[3]。在该足迹图上,除了美国阿拉斯加、俄罗斯和加拿大等地的一些森林、蒙古等地的一些高原和南美亚马孙河的盆地以外,地球陆地上已经几乎没有什么人迹罕至的原始地域。足迹图还显示,目前地球 98% 的可耕地都已被人类用来种植水稻、小麦或其他谷物。据科学家估计,在过去 150 年的时间里,人类已经改变了 47% 的地球表面^[4]。

水乃生命之源,人类活动不可避免与水接触,并直接或间接地影响水资源的时空分布,从而引起水循环的要素、过程和水文情势发生变化。例如,人类修建水库以获得一定的防洪、发电、渔业、灌溉等利益,但是却使得区域蒸发量增大,水文过程受到了水库调节的影响。再如人类通过改变土地覆被状况等极大地改变了流域的下垫面条件,从而影响局部水循环。

1.1.2 全球气候变化改变水循环现状,使得水资源在时间和空间分布上发生变化

近 200 年来,全球气候在人类活动的影响下,发生了一些非自然的和不正常的变化,大气中二氧化碳浓度不断增加,全球地面平均温度节节攀升,这一变化已造成极地冰雪融化,海平面上升,极端天气频繁发生等。全球气候变化还将会对

农业、林业、水资源和沿海地区等领域或部门造成较大影响,这已被越来越多的国家及民众所认同。目前,气候变化已经成为国际社会公认的最主要的全球性环境问题之一^[5]。

气候变化对水资源的影响主要表现在以下三个方面:①加速或减缓水汽循环,改变降水强度和历时,变更径流的大小,扩大洪灾、旱灾的强度与频率以及诱发其他自然灾害;②对于水资源有关项目规划与管理的影响:降雨和径流的变化以及由此产生的海平面上升、土地利用变化、人口迁移、水资源的供求和水力发电变化等;③加速水分蒸发,改变土壤水分的含量及其渗透速率,由此影响农业、森林、草地、湿地等生态系统的稳定性及其生产量等。气候变化直接和显著地改变了天然水文过程,使得水资源在时间和空间分布上发生变化^[6]。

1.1.3 气候变化、人类活动与水循环系统相互影响

气候变化、人类活动、水循环系统三者之间是相互影响的,如图 1-1 所示,其中人类活动又是这一复杂系统中最为活跃的因素和主要的驱动力。一方面在气候变化和人类活动的作用下,水资源系统的结构、水资源的数量和质量都发生了变化,以及由此引发了水资源供给、需求、管理的变化和旱、涝等自然灾害的发生;另一方面,由于水资源系统的变化及其与人类社会活动和经济活动的密切关系,反过来又会对局部的气候产生影响,从而导致局部的气候变化,在某种程度上又加剧了气候变化^[6]。气候变化与人类活动加速水文系统的变化,导致水资源在时间和空间上的重新分配,从而进一步影响地球生态环境和人类社会的方方面面。

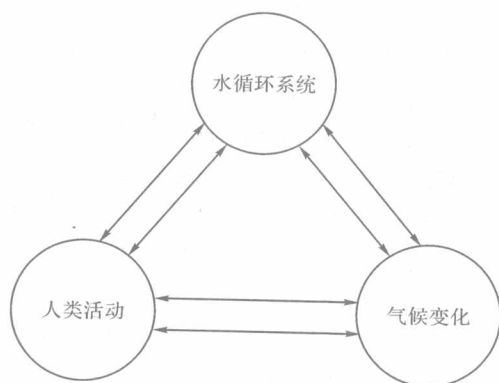


图 1-1 人类活动、气候变化与水循环系统的关系示意图^[7]

1.2 研究目的和意义

水资源作为自然资源的重要组成部分,其循环过程逐渐受气候变化以及日益

加剧的人类活动等多种因素影响。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在最近一次的研究报告中指出,气候变化对全球降水系统潜在的影响如下:降水的时间过程和区域态势将有所改变,降水日数可能增加;全球气候变化模型(GCM)模拟结果表明,全球气温上升 $1\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 将导致全球降水增加 $3\%\sim 15\%$;在大多数地区,洪水频率将增加^[8]。

为了预测未来的发展趋势,降低或避免人类活动对自然环境的消极影响,以地球系统的整体行为作为研究对象的全球变化科学正在迅速发展,并注重地球各圈层子系统之间的相互作用和反馈。

在过去几十年里,国际水文学发展较快且研究十分活跃,20世纪60年代以后,联合国教科文组织(UNESCO)、国际科学联合会理事会(ICSU)、国际水文学科学协会(IAHS)和世界气象组织(WMO)等实施了一系列国际水科学研究计划,如国际水文十年(IHD)、国际水文计划(IHP)、世界气候研究计划(WCRP)、全球能量和水循环试验项目(GEWEX)、国际地圈生物圈计划(IGBP)等。

联合国教科文组织的国际水文计划是由世界各个国家政府组织参加,在国际上具有重要影响的关于水科学及相关水资源和环境科学的大型国际研究计划。从1965~1974年联合国教科文组织实施国际水文十年(IHD)计划以来,国际水文计划已经执行了5个阶段,其中前三个阶段着重于水资源基础理论和研究方法的探讨,逐步考虑了水资源与人类活动、自然环境、区域气候、地理、经济社会等各方面的关系,进而探讨了水资源的合理管理;在第四、五个阶段中全球气候变化和脆弱环境中的水资源开发成为主要的研究方向。进入21世纪,国际水文计划开展了第六阶段(2002~2007年)的研究,其方向确定为“水的相互作用:来自风险和社会挑战的体系”,“全球变化与水资源”成为其5个研究主题之一。2004年9月20~25日在法国巴黎召开了国际水文计划第16届政府间理事会,大会确定了国际水文计划第七阶段(2008~2013年)的研究方向为“水的相互依赖与作用:来自各方面压力的系统和社会响应”,并确定“全球变化、流域与浅层地下水”为其研究主题之一,全球变化、流域循环、生态水文与环境、健康、食物安全相关的水资源研究再次成为未来水科学研究的热点问题^[9]。

国际地圈生物圈计划(IGBP)是国际地球科学交叉研究的重大科学计划之一,代表世界地球科学发展的前沿与趋势,其核心项目“水文循环的生物圈方面”(IGBP-BAHC)是专门研究水与生态作用规律的科学计划,受到国际地球学科、水文学科、生态学科的广泛关注与国际性参与。针对全球变化和水资源问题,IGBP于2003年召开了“全球水系统计划”(GWSP)会议,重点研究由人类活动引起的水循环与资源环境问题。它有5个核心主题,即①入海径流变化趋势;②影响全球不同尺度河流情势变化的关键因素;③全球尺度水系统评价的工具与数据集;④全球水系统变化的主要影响与反馈;⑤变化环境的全球水系统主要弹性与适应

性^[9]。由此可见,当今 IGBP 的前沿问题更加突出了与人类生存、发展紧密联系的基础科学和所需问题。自然变化和人类活动影响下的水资源演变规律成为水科学发展前沿之一。

国际水文科学协会是推动水文学研究和学术交流的重要国际组织,创建于 1922 年。1981 年,国际水文科学协会确定每 4 年举行一次国际水文科学大会,包括各个议题的学术研讨会、专题讨论会以及工作组会议。首届国际水文科学大会于 1982 年在英国的埃克塞特(Exeter)举行,其后分别在匈牙利首都布达佩斯(Budapest)、美国的巴尔的摩(Baltimore)、日本的横滨(Yokohama)、摩洛哥首都拉巴特(Rabat)、荷兰的马斯特里希特(Maastricht)举行了 5 次国际水文科学大会。2005 年 4 月 3~9 日第七届国际水文科学大会在巴西的伊瓜苏(Foz do Iguacu)召开。此次大会是以“面向不确定性的水的可持续性”(Freshwater: Sustainability within Uncertainty)为主题,划分 7 个学术研讨会和 8 个专题讨论会,讨论内容主要包括:无资料地区水文预报,不确定性、非线性和尺度问题,生态水文学,水文模型及资料获取与参数识别,气候变化的水文响应,水资源可持续利用,城市水文水资源,同位素技术和遥感技术在水文学中的应用。从第七届国际水文科学大会关注的问题可以看出:变化环境下水文水资源研究将是未来研究的热点问题。

在我国,随着经济和社会的发展,人类和水资源之间的关系从历史上的人少水多、人水和谐逐渐向人多水少、人水矛盾方向发展,且矛盾日益尖锐。特别是近年来,由于气候变化和人类活动的影响,全国各流域径流量都出现了不同程度的增大或减少的趋势,水旱灾害频繁,与此相对应,以流域径流为载体的社会、经济和环境发展指标也随流域径流的时空分布特征的变化而发生动态改变^[2]。

我国于 20 世纪 70 年代末开始系统地研究关于气候变化和人类活动对水文水资源的影响,并于 1988 年 10 月在武汉召开了“人类活动对水文要素影响的研究”学术会议,会议结合国际水文计划和国际水文十年提出了进一步开展研究的三个专题:①水利工程、农业措施对水循环的影响;②森林的水文效应;③城市化水文效应和城市水资源危机。此后,由于人口的急剧增加、经济的快速发展,我国西北和华北地区出现缺水问题,黄河水旱灾害问题也日益突出,一些针对性的研究计划和科研项目相继启动。

1998 年 5 月,国际水文科协水资源系统委员会(ICWRS)、国际水资源协会(IWRA)与中国水利学会和武汉水利电力大学联合,在中国武汉召开了国际“水资源量与质的可持续管理问题研讨会”,交流了变化环境下的流域水循环、流域水量水质统一评价管理的水文学基础等问题与可持续发展量化研究。

2002 年,武汉大学和中国科学院共同发起了举办中国水问题研究学术论坛的建议,并于 2003 年 11 月 20~22 日在湖北武汉举办了首届水问题论坛会议。其后分别在北京中国科学院地理科学与资源研究所、西安理工大学、郑州大学举

行了三次水问题论坛,并更名为水论坛。2007年11月11~12日在南京河海大学召开了第五届水论坛,会议以“环境变化与水安全”为主题。变化环境成为水论坛的核心内容,并受到越来越多的关注和重视。

2006年6月7~10日,由中山大学水资源与环境研究中心和香港中文大学地理与资源管理系等单位主办的“亚洲发展中国家的水科学与水资源管理”国际会议在中国广州召开。作为会议主题之一的“水资源管理中的水文科学和工程技术”包括了“农业水文和人类活动引起的水文变化”、“全球气候变化对于水文特征的影响”等分议题^[2]。

由此可见,由于人类活动和气候变化,水资源问题日益演变为社会、经济与环境等多方面的问题。该问题受到国内外的广泛关注,并成为需要继续研究、发展的前沿课题。变化环境(人类活动和气候变化)下水循环演变规律及其对社会经济的影响等方面的研究具有十分重要的理论和现实意义。特别是与人们生活生产密切相关的地表水资源的演变规律,在变化环境下如何对其进行评估?这些已成为当前我国水文水资源调查评价研究中的关键问题。

1.3 水资源及水资源评价概念

1.3.1 水资源

水资源(water resources)一词很久以前就出现了,随着时代的进步其内涵也在不断丰富和发展^[10]。1894年,美国地质调查局(USGS)设立了水资源处(WRD),使“水资源”这一名词开始被正式使用,在过去的一百多年中,人类对水资源的研究日益深入,研究的内容也日益广泛,但是对水资源的定义和内涵依然没有一个系统概念^[11]。

《大不列颠百科全书》将水资源解释为“全部自然界任何形态的水,包括气态水、液态水和固态水的总量”。但资源的本质性就是体现在其“可利用性”上,不能被人类所利用的水不能称为水资源。鉴于此,1963年英国《水资源法》把水资源定义为“具有足够数量的水资源”,即自然界中水的特定部分^[10]。1988年,联合国教科文组织和世界气象组织(WMO)共同制定的《水资源评价活动——国家评价手册》中,定义水资源为“可利用或有可能被利用的水源,具有足够数量和可用的质量,并能在某一地点为满足某种用途而被利用”^[12]。1992年出版的《国际水文学词汇》将水资源定义为:“在一个地区和一个时期内,可以满足某种特定需求的、有足够数量和质量的可用水量或可以被开发利用的水量”。有“量”无“质”,或有“质”无“量”均不能称其为水资源^[10]。

在我国对水资源的理解也各不相同。《中国大百科全书》“水利卷”中,水资源

被定义为“自然界各种形态(气态、固态或液态)的天然水”,并将“可供人类利用的水资源作为评价的水资源”^[10]。20世纪80年代初进行的第一次水资源评价,在《中国水资源初步评价》中将其定义为:“逐年可以得到恢复的淡水量,包括河川径流和地下水补给量,而大气降水则是它们补给的来源”^[12]。1991年,《水科学进展》编辑部组织多名知名学者对水资源的含义进行探讨,但主要观点并不一致。2001年,郭洪宇等将水资源理解为“人类长期的生存、生活和生产过程中所需要的各种水,既包括了数量和质量,又包括它的使用价值和经济价值”^[13]。2002年,王浩等^[11]提出要从水资源承载的双重客体——人类社会和生态环境角度,结合可持续发展理念对水资源的有效性、可控性与可再生性进行描述,从而对水资源实施明确的界定和统一的评价。同时按不同评价口径将水资源划分为广义水资源量、狭义水资源量、生态需水量和国民经济可利用量。2003年,陈家琦认为:广义的水资源是指在地球的水循环中,可供生态环境和人类社会利用的淡水,它的补给来源是大气降水,它的赋存形式是地表水、地下水和土壤水^[14]。《水资源评价与管理》指出狭义的水资源^[10]是指人类在一定的经济技术条件下能够直接利用的淡水,主要指陆地上的地表水和地下水,通常以淡水体的年补给量作为狭义水资源量的定量指标,如用河川径流量表示地表水资源量,用含水层补给量表示地下水资源量;广义上的水资源是指能够直接或间接利用的各种水和水中物质,任何在社会生活和生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源^[10]。

本书中所指的水资源仅限于狭义水资源,即满足人类及其生存环境稳健发展所需的又能不断更新的淡水资源,书中内容仅涉及地表水资源,其补给来源主要为大气降水,具有资源、社会、生态等多重属性。

1.3.2 水资源评价

水资源评价(water resources assessment)是指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、水供需状况等作出全面的分析评估,是水资源规划、开发、利用、保护和管理的基础工作,为国民经济和社会发展提供水决策依据^[10]。1992年联合国教科文组织/世界气象组织出版的《国际水文学词汇》对水资源评价作了定义:为了控制和利用水资源,确定水资源的来源、范围、可靠性以及质量。

2004年水利部水利水电规划设计总院在《中国水资源及其开发利用调查评价》中指出水资源调查评价是依据长期监测和调查积累的相关资料,通过对水资源形成、转换和演变规律及其影响因素的分析,对水资源开发、利用、消耗的特点和规律的研究,对生态环境状况演变、成因和影响因素的调查分析,系统评价水资源的数量、质量和可利用量,水资源开发利用的程度、水平和效率,生态与环境状况、演变及存在问题等。

总之,水资源评价就是确定水资源的数量、质量、分布范围和可靠性以及人类活动对其造成的影响,对水资源开发利用状况及开发潜力做出评估。水资源评价的目的是评估供需之间可能出现的矛盾,为水资源的合理开发利用提供科学依据。因此,分析水资源评价现状及面临的主要问题,根据社会经济可持续发展的要求,对构建面向 21 世纪的水资源评价体系,具有十分重要的意义。

1.4 水资源评价研究进展

1.4.1 水资源评价历史回顾

无论是生活、农业、工业供水,还是发电,水资源量和质的评价对于水资源的开发和管理都是极其重要的前期工作^[15]。国外水资源评价工作很早就开始了,人口的膨胀、工农业用水的增长和用水方式的改变给水资源带来了前所未有的压力,在许多国家已经出现了不同程度的水资源缺乏问题,同时成为全球经济发展的一大障碍,许多国家开始寻找用于水资源合理规划和管理的新途径,水资源评价作为水资源综合规划和管理的基础性工作,逐渐受到世界各国的关注^[16]。

美国早在 1840 年就对俄亥俄州密西西比河的水量进行了统计,并于 20 世纪初编写了《纽约州水资源》和《科罗拉多州水资源》,对区域水资源状况进行了简单的统计^[12,13]。1884 年,美国地质调查局设立了水资源处,对地表河川径流和地下水进行了观测^[10]。1965 年美国通过了水资源规划法案,同时成立了水资源理事会(Water Resources Council),开展了全国水资源评价工作^[10]。1968 年完成了国家第一次水资源评价,阐述了水资源现状,分析了供需状况,并提交了 2020 年需水预测成果^[17]。到 20 世纪 60 年代,发现预测的结果与后来的实际情况相差较大,不能再指导当时的水资源开发利用,1978 年又开展了第二次水资源评价工作,对水资源的关键问题(如地下水超采、洪水灾害等)进行了专门研究,这一次水资源的评价将环境问题提到了相当的高度,其中心内容是强调节水 and 水的循环利用,其中特别强调了制造工业的循环用水政策,减少污废水的排放,以便将水资源污染问题减小到最低程度。同时也提出了很多关于河道水资源利用限量的估算方法,这也是目前研究生态需水的早期雏形^[12]。

苏联于 1930 年开始编制《国家水资源编目》,主要对天然条件下地表水数量和化学成分的观测资料进行了整理^[13]。1960 年以后又进行国家水册的第二次修订。西欧各国、亚洲的日本、印度等国家也于 1975 年提出了水资源评价成果^[18]。日本于 1983 年对 21 世纪的需水预测进行了分析,1984 年完成了水资源开发利用和保护的评价工作,其中包括了对天然水资源量的估算、用水要求、水资源开发利用以及对水的价格、缺水状况和对策等方面的研究^[12]。

联合国教科文组织等国际组织也加强了水资源评价的国际的协调与交流。1977年,联合国在马德普拉塔召开了第一届世界水会议,提出了《马德普拉塔行动计划》,并号召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^[18]。1988年,联合国教科文组织和世界气象组织共同制订了《水资源评价活动——国家评价手册》,该手册从水资源评价工作的方法,组织机构,数据收集、整编和检索,水文要素的区域评价,人力资源、教育和培训,技术研究、开发和技术交流,规划所需的水文数据和信息,水资源评价能力评述等诸多方面进行了论述,并且可以作为相对比较统一的方法用来评估一个国家承担水资源评价工作的能力^[15]。1990年的《新德里宣言》、1992年的《都柏林声明》和联合国环境与发展大会的《里约热内卢宣言》以及1997年第一届世界水论坛都强调了水资源评价的重要作用,从而使水资源评价进入了全球性的新阶段。2000年,在海牙举行的第二届世界水问题论坛会议上,联合国提出了世界水资源评价计划(WWAP),以帮助各国提高水资源自我评价的能力,评价结果在每三年举行一次的世界水论坛上以《世界水发展报告》的形式出现,现已出版两本(分别于2003年3月22日、2006年3月22日出版)。

我国的水资源量评价工作始于1973年7月,并于1976年11月正式刊印了《海滦河流域年径流分析报告》,作为我国最初的水资源数量评价的成果^[12]。1979年,我国开始第一次全国性水资源评价工作,由原水利电力部负责,共投入2000余名技术人员,采用1956~1979年的水文、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、分布规律、水资源总量、开发利用状况以及供需情况。于1981年底通过汇总全国成果编制出版了《中国水资源初步评价》。原水电部于1985年提出全国性成果,1987年出版的《中国水资源评价》主要反映了天然水资源状况,1989年出版的《中国水资源利用》则主要反映水资源开发利用情况及分析成果^[18]。

第一次水资源评价成果全面系统地描述了我国的水资源数量、分布及其特征,为国民经济宏观决策、工农业合理布局、水资源开发利用保护提供了科学依据。为了适应经济发展的需要,1985~1987年陆续开展了华北地区水资源及其开发利用研究、西北水资源合理配置研究、全国水资源中长期供求计划编制、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的水资源评价工作。1984年和1996年水利部又先后完成了两次全国水质评价,从1996年正式出版的《中国水资源质量评价》的评价结果可以得出,在全部评价河长中,已有1/2受到污染,其中严重污染的占1/10,仅10年时间,污染河长增加一倍,发展趋势令人忧虑^[18]。

第一次水资源评价的结果对指导当时的水资源开发利用起到了很大的作用。然而自全国第一次水资源评价以来,我国水资源的外部环境与内部条件均发生了