

流域水量 调控模型与应用

Water Resources Regulation Modeling and its Application for River Basin

© 王光谦 魏加华 著



科学出版社

www.sciencep.com

流域水量调控模型与应用

Water Resources Regulation
Modeling and its Application for River Basin

王光谦 魏加华 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以流域水量调控为主线,结合黄河、塔里木河流域水量调度重大的科学与实践问题,对流域水量调控的理论、模型及应用进行了系统深入的研究;针对流域水量调控涉及内容广、影响因素多、来水和用水具有不确定性和随机性的特点,提出并建立了自适应控制模型和基于复杂适应系统的水量优化配置理论,这一理论在流域水资源管理、水量统一调度等方面具有推广应用价值。

本书可供从事水利工作特别是流域水资源管理和调度的人员参考,也可作为高等院校师生及科研院所技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

流域水量调控模型与应用 / 王光谦,魏加华著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-016601-9

I. 流… II. ①王…②魏… III. 流域-水量-调控-研究
IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 146077 号

责任编辑:童安齐 何舒民 / 责任校对:刘彦妮
责任印制:吕春珉 / 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>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2006年3月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:1—2 500

字数:500 000

定价:56.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

销售部门电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BA03)

前 言

合理配置和调度有限水资源是流域水管理重大的科学与实践问题。流域径流时空分布不均,年际和年来水变化大,且大部分径流集中在源流区或中上游地区,降雨的多年变化和年内集中程度均很大,导致一级流域年际间来水量可相差数倍,年内最大四个月来水可达全年径流的 80%。水资源不利的先天条件,造成我国许多地区农业灌溉的巨大用水缺口,生态环境脆弱,下游可利用量十分有限,甚至引起季节性断流。流域水资源短缺已严重制约了社会、经济和生态环境的可持续发展。

以黄河流域为例,黄河承担着我国西北、华北大部分地区的供水任务,其流域面积约占全国面积的 8%,但其河川径流量仅占全国的 2%,却承担了流域和下游引黄灌区占全国 15%的耕地和 12%的人口的供水任务。20 世纪 70 年代以来的黄河下游断流,对流域工农业生产和居民生活、下游河道的排洪能力、生态环境等均产生严重影响,是流域水资源供需矛盾的集中体现。类似的情况在我国内陆河同样存在。塔里木河干流为纯耗散性内陆河,自身不产流,其水资源全部来自源流补给。由于源流对干流补给量的减少,致使干流面临着严重的生态环境问题;尾间湖泊罗布泊和台特玛湖相继干涸,具有战略意义的下游绿色走廊濒临毁灭,流域生态环境问题已成为举世瞩目的重大问题。

水量调控是要维持水资源系统的和谐,保证系统的良性循环。系统科学原理揭示出协调与有序是内在联系的,比如经济系统协调、稳定发展就是有序,经济发展失调就是无序;维持生态平衡就是有序,否则就是无序。对于水资源系统,如果经济、社会、生态子系统都能够保持一定的秩序,而且在组合上协调、适度,那么整个系统就是有序的。因此,对水资源系统进行调控使之协调,也就是要提高水资源系统的有序性,实现向有序方向的演化。但是如何在较高的层次上来分析系统的演化,如何来衡量系统的有序性,理论上是系统科学研究的领域,应用上也是流域水量调控要解决的问题。充分利用流域骨干调蓄工程,合理调度流域上、中、下游的生活、生产和生态用水量非常重要。如何综合运用工程措施和非工程措施,特别是采用现代化的调控手段,实现流域水资源的合理调配,发挥水资源的最大效益,缓解水资源供需矛盾,是流域水资源面临的重大的理论和实践问题。

水量调控作为流域水资源管理的一种手段,有其可靠的理论基础。全书运用系统工程的理论方法,在分析流域水资源变化情势和国内外流域管理模式的基础上,提出流域水量调控的理论框架和模型体系,并在黄河和塔里木河流域水量调度中得到应用。全书共 12 章,第 1 章分析了国内外流域管理的现状和发展趋势。第 2 章提出流域水量调控的理论框架、模型体系,形成流域水量调控的方法。第 3 章分析了流域自适应水量调控问题,基于自适应控制的理论,建立了具有“总量控制、轨迹跟踪和滚动修正”功能的流域水量自适应调控模型。第 4 章基于复杂适应性理论,通过分析水资源开发利用与社会、经济和环境之间的相互关系,建立整体优化模型理论,提出流域水资源整体优化调控方案。在分析流域水资源系统的基础上,论述了复杂适应系统理论框架及模型构建,建立了流域水资源配置整

体模型。第5章至第8章将水量调控模型应用于黄河流域。其中第5章论述了黄河流域水量时空演化规律,提出黄河流域水量调控的必要性和可行性。第6章建立了黄河流域整体调配模型,在分析流域用水主体特征和水资源模拟计算的基础上,优化出各用水单位用水指标,作为年调度参考指标。第7章针对黄河水量调度中来水、用水过程随机性的特点,基于自适应控制的理论和方法,利用状态识别和系统模拟技术,建立了水库调度与河道演进耦合的水量调控模型,通过对流域内水位、水量调控,根据控制断面的最小流量要求,自适应地调节水库入库和出库过程,以满足各省区和生态用水需求。第8章建立了全干流一维水力学模型、重点河段日调控模型和CARMA模型。第9章在计算河口最小生态需水量和河流生态基流量的基础上,对黄河水量统一调度前后的效果进行了对比研究,利用遥感等多种技术方法,对河口生态恢复进行了评价。第10章至12章研究了塔里木河流域水量调控模型。其中第10章分析了塔里木河流域水资源特点和干流水资源消耗特征。第11章介绍了塔里木河流域水量调度系统和自适应调控模型。第12章建立了塔里木河流域农业和生态用水优化调度模型,并对模型结果进行了对比分析。

本书的研究成果得到国家重点基础研究发展规划(973)项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”第七课题(G1999043607)、国家自然科学基金创新研究群体基金项目“流域水沙过程与临界调控机理”(50221903)以及黄河水量调度管理系统、塔里木河流域水量调度管理系统等重大生产课题的资助。

参加本项研究的主要人员除本书作者外,还有翁文斌、赵建世、张长春、夏军强、傅旭东、蔡治国、孙金辉、陈志祥、刘家宏、李铁键、刘荣华、李海红、陈良程、王晓霖等。

鉴于流域水资源管理的复杂性,流域水量调控涉及内容广泛,影响因素众多,而且诸多不确定因素相互制约、相互矛盾,加之作者水平和时间有限,书中难免会有疏漏或不足之处,恳请读者批评指正。

作者

2005年10月于清华园

目 录

前言

第 1 章 流域水资源管理	1
1.1 流域管理现状及模式	1
1.1.1 美国的流域管理	2
1.1.2 英国的流域管理	3
1.1.3 法国的流域管理	4
1.1.4 德国莱茵河流域管理	5
1.1.5 澳大利亚的流域管理	7
1.1.6 日本的流域管理	8
1.1.7 中国的流域管理	9
1.2 流域管理发展趋势.....	11
1.2.1 流域管理共同特点	11
1.2.2 流域管理发展趋势	12
1.3 流域水资源配置与水量调度.....	17
1.3.1 流域水资源配置	17
1.3.2 流域水量统一调度	21
第 2 章 流域水量调控原理	25
2.1 流域水量调控.....	25
2.2 流域水量调控系统分析.....	26
2.2.1 水量调控系统	26
2.2.2 水量调控的基本特点	29
2.2.3 水量调控的基本原则	30
2.3 水量调控的模式与途径.....	31
2.3.1 水库群联合调控	32
2.3.2 地表水与地下水联合调控.....	34
2.4 流域水量调控模型框架.....	36
2.4.1 来水预报模型	37
2.4.2 需水预测模型	37
2.4.3 水量调配模型	41
2.4.4 河道演进模型	45
2.5 水量调控方案评价模型.....	50
2.6 水量调控方法.....	54

2.7 水量调控模型集成	55
第3章 自适应水量调控模型	58
3.1 自适应调控理论与方法	58
3.1.1 自适应控制理论与方法进展	58
3.1.2 自适应调控基本原理	60
3.1.3 自适应理论在水问题方面的应用进展	65
3.2 自适应水量调控问题描述	66
3.3 自适应调控模型框架	70
3.3.1 系统状态方程	71
3.3.2 系统状态参数估计	73
3.3.3 调控过程	74
3.4 自适应控制轨迹跟踪调度法	75
3.5 系统稳定性及误差分析	77
第4章 流域水资源配置整体模型	80
4.1 水资源系统分析与模型技术概述	80
4.1.1 水资源系统的宏观特性分析	80
4.1.2 水资源配置模型研究综述	81
4.1.3 水质水量综合管理研究	82
4.1.4 水资源系统中的经济估算	84
4.1.5 流域水资源配置综合模型(体系)	86
4.1.6 水资源配置模型研究方向	87
4.2 复杂适应系统理论及其建模方法	88
4.2.1 复杂适应系统理论的起源与发展	89
4.2.2 复杂适应系统理论及其建模方法	90
4.2.3 受限生成过程建模的基本步骤	92
4.2.4 受限生成过程建模的数学描述	93
4.2.5 水资源系统的复杂适应特性分析	95
4.3 基于复杂适应系统理论的水资源配置整体模型的构建	97
4.3.1 主体的分类	98
4.3.2 模型的框架结构	99
4.3.3 水资源系统整体模型的核心数学描述	99
4.3.4 水资源系统整体模型的求解	113
第5章 黄河流域水量变化规律分析	121
5.1 降水量基本特征	121
5.2 降水量时空变化特征及变化趋势	122
5.3 径流时空演化分析	123
5.3.1 径流量年际变化特点	123
5.3.2 径流量年内变化	127

5.3.3	径流量空间变化分析	127
5.4	流域地下水资源及其变化特征	129
5.4.1	流域地下水系统	129
5.4.2	地下水、降水和地表水转化趋势及特点	132
5.5	流域水资源利用与黄河断流	136
5.5.1	水资源利用现状及供需发展趋势	136
5.5.2	黄河断流及其流域水量调度	138
第6章	黄河流域整体模型与应用	142
6.1	基于整体模型的黄河水量优化调度	142
6.1.1	黄河水量调度年方案制定	142
6.1.2	整体模型在黄河流域的实现	143
6.1.3	模型的输入输出	150
6.1.4	数据校核和模型验证	150
6.2	整体模型应用	152
6.2.1	年方案制订步骤	152
6.2.2	计算实例及其边界设定	153
6.2.3	年方案制订实例结果	157
6.3	模型应用总结	158
6.3.1	理论特点	158
6.3.2	模型特点	159
第7章	黄河流域自适应水量调度	160
7.1	水量调控系统划分	160
7.2	系统调控目标	162
7.3	水量调控模型	165
7.3.1	河段区间水量平衡计算	165
7.3.2	水库水量平衡模型	165
7.3.3	水量分配模型	165
7.4	模型实现	167
7.5	系统输入	173
7.5.1	来水预报	173
7.5.2	汛期引水	177
7.5.3	初始流量	177
7.5.4	初始库容	177
7.6	状态参数估计	177
7.6.1	水流传播时间的计算方法	178
7.6.2	河道槽蓄量的计算方法	179
7.6.3	河道内不同流量级下的传播时间与槽蓄量计算结果	180
7.6.4	河道内流量演进计算	180

7.6.5	河道损失	185
7.6.6	退水比例	186
7.7	计算流程	187
7.7.1	水量调度方案编制系统输出	187
7.7.2	水量调度方案编制	187
7.8	自适应调控模型应用	189
7.8.1	年预案的编制	189
7.8.2	自适应月方案的编制	198
7.8.3	旬方案的编制	203
7.8.4	旬调度寻优控制	206
7.9	自适应调度与整体优化模型的对比分析	221
7.10	水量调控模型应用分析	223
第8章	黄河干流日水量调控模型	227
8.1	重点河段流量演进的一维水动力学模型	227
8.1.1	初、边界条件的选取	227
8.1.2	阻力参数的确定	228
8.1.3	重点河段一维模型径流演进算例	228
8.2	全流域流量演进一维水动力模型	231
8.2.1	计算节点图	231
8.2.2	边界条件	233
8.2.3	初始条件	234
8.2.4	计算流程图	234
8.2.5	全干流流量演进算例与结果分析	235
8.3	日调度 CARMA 模型	239
8.3.1	模型结构辨识	239
8.3.2	参数辨识及仿真结果	239
8.3.3	结果分析	240
第9章	黄河水量统一调度与河口生态恢复	241
9.1	河口最小生态需水量及河流生态基流量	241
9.1.1	河口最小生态需水量	241
9.1.2	黄河下游河道生态基流量	244
9.1.3	讨论	246
9.2	水量调度实施对河口水量的影响	246
9.3	河口生态恢复评价	250
9.3.1	径流量入海率	250
9.3.2	断流时间率	252
9.3.3	水质状况	252
9.3.4	生物多样性	253

9.3.5 湿地类型及其面积	255
第 10 章 塔里木河流域水资源系统分析	259
10.1 塔里木河流域概况	259
10.2 降水量变化特征	263
10.3 地表水资源及径流组成	264
10.3.1 径流年际变化	264
10.3.2 年内变化规律	268
10.3.3 径流量空间变化分析	271
10.4 水资源开发利用	273
10.5 干流生态环境现状	275
10.6 流域水量统一调度的必要性	276
第 11 章 塔里木河流域水量调度	278
11.1 水量调度控制目标	278
11.2 水量调度工作流程	279
11.3 调度节点概化	281
11.4 水文预报模型	282
11.5 现行调度方案	284
11.5.1 用水限额方案编制	284
11.5.2 汛期调度预案编制	286
11.5.3 旬方案的编制	287
11.6 自适应调度	288
第 12 章 塔河农业和生态用水优化调度	290
12.1 优化调度的思路	290
12.2 年水量优化分配模型结构	291
12.2.1 来水及需水管理	291
12.2.2 可供分配水量的计算	292
12.2.3 种植业经济效益模型	293
12.2.4 生态分水模型	297
12.2.5 水量分配多目标优化模型	298
12.3 月(旬)调度方案	301
12.4 模型的数学解法研究	301
12.4.1 多目标问题决策	301
12.4.2 单目标非线性优化模型的求解	303
12.5 水量分配优化模型的应用与分析	313
12.5.1 遗传算法性能分析	314
12.5.2 约束条件满足情况分析	315
12.5.3 算例分析	316
参考文献	323

第 1 章 流域水资源管理

流域管理以流域为单元,对流域内资源全面实行协调的、有计划、可持续的开发与管理,不断维护和提高环境质量,改善流域内居民生活水平,实现人与自然的协调发展。现代流域管理本质是流域综合管理,是可持续的流域管理,其目的是要实现人与流域的和谐发展。也就是说,流域管理要从流域整体出发,对流域内一切涉及资源、环境使用及保护的问题进行综合管理,从而促进流域内各种资源的合理开发利用、环境保护以及流域的可持续发展。近几十年来,世界各国对流域管理的内容、体制、政策、法律等方面进行了不断的探索和调整,大大丰富了流域管理的理论和实践,在促进流域环境资源的开发利用与保护方面发挥了巨大的作用。

流域水资源管理是将流域的上、中、下游,左岸与右岸,干流与支流,水量与水质,地表水与地下水,治理、开发与保护等作为一个完整的系统,将兴利与除害结合起来,全面考虑流域的经济效益、生态效益和环境效益,运用行政、法律、经济、技术和教育等手段,按流域进行水资源的统一协调管理。1968 年欧洲议会通过的《欧洲水宪章》强调应以自然流域为基础,建立适当的流域水资源管理机构。随后联合国环境与发展会议通过的“21 世纪议程”(中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书,1994)全面阐述了流域水资源管理的目标和任务,强调实现这一目标和任务的途径应根据各国的社会、经济情况、水资源管理的目标和当前的主要矛盾、水资源管理的历史沿革、国家的体制等来确定。由于流域管理不论从制度上还是从科学理论上都是非常复杂的,从现有各国流域管理的模式来看,在管理体制、管理方法、管理目标等方面,存在很大的差异,对于世界各国,流域管理很难有统一的成功模式,需要依据不同的边界条件来建立适应于流域自身特点的管理模式。

1.1 流域管理现状及模式

流域管理最早是在英国、美国、日本等发达国家出现的。早在 1865~1868 年英国就诞生了较早的流域机构,随后 1898 年组建了英国污水管理委员会,1945 年组织并建立水资源委员会咨询中心,1989 年英国组建了河流管理局(National River Authority, NRA)。美国也于 1933 年成立了田纳西流域管理局(Tennessee Valley Authority, TVA)。此后,世界各国相继成立了不同的流域管理机构,开展了流域管理工作。在欧美发达国家,经过近一个世纪的发展演变,流域水资源管理的内容和形式都发生重大变化。19 世纪末至 20 世纪初,水资源开发利用程度还较为低下,当时的流域水资源管理主要着眼于水资源的多功能特性,强调水资源的综合开发和利用,注重河流梯级开发、水工程的统一布局和水工程自身的综合功能,以求最大限度地开发利用水资源。特别是近几十年来,随着人口经济增长和水资源供需矛盾的加剧,人们逐渐认识到一个流域水环境容量的有限性和各种资源相互依存的整体性,以流域为单元对水资源进行综合开发与统一管理各国已形成共识,并结合自己的国情对流域水资源的管理内容、体制、政策、法律等方面进行了不断的探索和

实践,取得了较大成绩。流域不仅是一个以江河与支流水系为纽带,把各种资源有机结合起来的资源综合体,而且是支撑和保障人类生存和经济发展的水环境。于是,水资源开发利用程度已达到较高水平的欧美各国相继调整了水资源政策,逐渐由开发转向管理。但是,由于流域自身及其所处经济社会环境的复杂性,世界各国在流域管理范围、流域管理机构的性质、流域管理方法和流域开发方式等方面各具特点。

1.1.1 美国的流域管理

美国是世界上较早建立流域管理机构的国家之一,其流域管理主要有两种模式:一是流域管理局,以田纳西流域管理局为典型;另一种是流域协调委员会,流域协调委员会由国家立法或由河流流经的地区(州或省)政府和有关部门,通过协议建立的河流协调组织,如特拉华河流域委员会(Delaware River Basin Committee, DRBC)和萨斯奎那河流域管理委员会(Susquehanna River Basin Committee, SRBC)等。下面分别以田纳西和特拉华河的流域管理为例,介绍美国的流域管理模式。

1. 田纳西流域管理

田纳西(Tennessee)河位于美国东南部,是密西西比河的二级支流,全长 1050km,流域面积 $1.05 \times 10^5 \text{ km}^2$,地跨弗吉尼亚、北卡罗来纳、佐治亚、亚拉巴马、密西西比、田纳西和肯塔基 7 个州。田纳西流域的开发始于 20 世纪 30 年代,当时的美国正发生严重的经济危机,新任美国总统罗斯福为摆脱经济危机的困境,决定实施“新政”。而此时的田纳西流域由于长期缺乏治理,森林遭到破坏,水土流失严重,经常暴雨成灾,洪水为患,是美国最贫穷落后的地区之一,年人均收入仅 100 多美元,约为全国平均值的 45%。在这种特定的经济条件 and 政治气候影响下,将田纳西流域作为流域开发的一个试点,其目的就是试图通过一种新的管理模式,对其流域内的自然资源进行综合开发,达到振兴和发展区域经济的目。为此,1933 年,美国国会通过了“田纳西流域管理局法”(Tennessee Valley Authority Act),并据此成立了联邦政府的特殊机构——田纳西流域管理局,对田纳西流域进行综合开发治理。这是一个既具有政府职能又具有私人企业的主动性和灵活性的法人实体,这也是美国国会的一项重大“实验”。

流域管理体制上,“田纳西流域管理局法”为流域的统一管理提供了法律保证。TVA 是法律赋予很大行政管理权力的水企业,负责流域内水土资源开发,开发方式上以水电为龙头,实现流域的滚动开发。TVA 的管理由具有政府权力的机构——TVA 董事会和具有咨询性质的机构——地区资源管理理事会来实施。

田纳西流域的水资源管理是综合的多目标管理,涉及防洪、航运、发电、供水、水环境保护、娱乐 6 个方面。目前,TVA 在田纳西流域干支流上共建有 54 座大坝,其中干流的 10 座大坝是拥有船闸的水利枢纽,极大地改善了田纳西河的通航条件,可通航里程数为 1045km;在防洪方面,经对水利枢纽的综合调度,使田纳西流域的防洪能力达到百年一遇水平;水电装机 $4.8 \times 10^6 \text{ kW}$;20 世纪 50 年代后,TVA 兴建大批火电、核电及抽水蓄能电站。目前 TVA 总装机容量 $2.85 \times 10^7 \text{ kW}$,其中水电装机占 11%,火电装机占 61%,核电装机占 28%。1998 年总发电量为 $1.55 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$,发电收入高达 66 亿美元。另外,TVA 在田纳西流域范围的 7 个州内架设了 28 890km 的输电线路,其产权统属 TVA 所有。

经过 70 来年的实践表明,TVA 流域管理促进了地区经济发展和生态环境的改善。TVA 流域管理除水资源综合开发带来的各方面的效益外,TVA 电力系统为流域内 800 万居民提供了廉价的电力;在农业方面,TVA 建有全国最大的肥料研究中心,引导农民因地制宜合理利用土地,增施肥料,改良土壤,使农业单产比 20 世纪 30 年代提高两倍多;在生态环境方面,田纳西水土保持成效也非常显著,自然生态环境也得到显著改善。许多地方已成为美国广大群众旅游休闲、娱乐的胜地。TVA 在发展自身经济的同时,为田纳西流域提供了大量的就业机会,促进了田纳西流域整体的经济发展和社会稳定,改变了该地区贫穷落后的面貌,使其成为美国比较富裕、经济充满活力的地区。

2. 特拉华河流域管理

特拉华(Delaware)河位于美国东部,流经纽约州、宾夕法尼亚州、新泽西州和特拉华州,南流入大西洋特拉华湾。干流全长约 530km,流域面积约 $3.4 \times 10^4 \text{km}^2$ 。由于社会经济的发展,流域水资源矛盾十分尖锐,四个州的立法机构和美国国会认识到这一问题的严重性,由四州的州长和纽约市长、费城市长任命了一个临时顾问委员会,负责调查研究和起草立法文本草案。联邦和各州之间取得了共识,首先在联邦和相关各州分别立法,而后由四州和联邦为五个签约方,于 1961 年 10 月 27 日共同签署特拉华河流域协定(Delaware River Basin Compact)。协定签约当年,成立特拉华河流域委员会(DRBC)。

与田纳西流域管理体制不同,特拉华河流域管理体制属于流域协调委员会。委员会是各签约方政府的机构,是一个政府团体和法人组织,宪法批准作为平等伙伴加入联邦政府,纽约州、宾夕法尼亚州、新泽西州和特拉华州和联邦通过 DRBC 这一机构,以流域为基础,共同分享水资源管理和污染控制的自主权。

特拉华河流域委员会在流域水资源开发、利用、保护及水污染控制、自然生态保护、土地利用管理方面具有广泛的权利,委员会不只是协调机构,而且还是权力机构,可以制定方针、政策、法规,决定流域内的有关事务。在水资源分配方面,各州可以按规定分配水,但超过规定的取水,必须要经委员会批准,干旱期水资源的分配由委员会负责。这样就能保证最优先的用水项目,避免上游水资源的过度利用而影响河流的最小流量和州之间的用水矛盾。在水污染控制方面,委员会统一制定控制标准,河口去除率要达 85%,支流达到 92.5%,各州颁发的排污许可证,必须符合流域的统一要求。

1.1.2 英国的流域管理

英国迄今尚无国家一级专职管理水资源的政府部门,其水资源管理是由政府的有关部门分别承担,这些部门通常只起宏观控制和协调作用,主要负责制定和颁布有关水的法规政策及管理办法,监督法律的实施,并宏观控制地区或流域一级水管理机构的财务。地区一级的水资源管理准则由国家或地方法律规定成立的相应管理机构承担。

英国水管理经历了从地方分散管理到流域统一管理的历史演变,目前定型于国家对水资源按流域统一管理与水务私有化相结合的管理体制。国家依法对水资源进行政府宏观调控,包括发放取水 and 排污许可证、实行水权分配、制定水质标准、颁布费率标准、确定水价等,私营供水公司在分配到水权与水量的基础上,在政府和社会有关部门的指导和监督下,在服务范围内实行水务一体化经营和管理。

在英国,负责水管理的机构是环境部,其主要职责是制定水方面所有政策,包括水资源的开发利用、供水和制定水环境和水工业规章制度。环境部下设的环境机构负责水资源保护(污水治理)和防洪,以城市供水和水污染治理为主要任务。环境机构下设水务局,水务局下面有西北水务公司和泰晤士河水务公司等10个分公司。水务公司统一管理各流域的给排水、河道、污染控制、渔业等。水务公司是对河流进行统一规划与管理的权力性机构,有权提出水污染控制政策法规、标准,有权控制污染排放,在经济上也有独立性。例如:在英格兰和威尔士,水管理集中于根据1989年水法所规定建立的若干私营供水公司,这些私营供水公司具有一个基本职责,即开发和保持经济且有效地供水。

英国针对供水和水污染问题通过立法不断改进水资源的取水许可权管理和水资源的开发利用与保护工作,逐步完善管理体制。现已由过去的多头分散管理基本上统一到以流域为单元的综合性集中管理,逐步实现了水的良性循环,并在较大的河流上都设有流域委员会、水务局或水公司,统一流域水资源的规划和水利工程的建设与管理,直至供水到用户,然后进行污水回收与处理,形成一条龙的水管理服务体系,使水资源在水量、水质、水工程、水处理真正做到了一体化管理、一条龙服务,一切与水有关的活动均由水管部门统一管理,具体再按有关部门分工合作,互相配合。颁布一系列法令和制度要求水量水质并重,资源与工程一体化,综合管理水资源。为满足水量水质要求,取水必须事先得到许可,污水必须经过处理,达到法律规定的水质标准才能排入河流或湖泊。最突出的一点就是水资源的开发利用和保护工作全部由水管理部门负责(矫勇,2001)。以流域为基础的水资源统一管理和以私有企业为主体的水务一体化经营与管理相结合,完善的公民参与水管理的机制是英国流域管理的成功经验。

在水工业私有化后,由于供水单位由原来的国营公用事业单位变为纯企业性的股份公司,它必然按照企业经营方式来运作,必须照顾到包括股东在内的各方面的利益。因此,其经济运作目标就包含了更明显的盈利倾向,即要在满足服务水准的基础上,完成投入-产出目标,确保水公司的投资回报率。据了解,目前英国水公司的投资回报率平均约为6%,与别的行业相比,回报率很低,但却有着风险小、无竞争的优势。

1.1.3 法国的流域管理

法国位于欧亚大陆西岸,具有常年有雨的海洋性气候特征。法国境内水系相当稠密、发达,主要河流有卢瓦尔(Loire)河、罗纳(Rhone)河、塞纳(Seine)河、加龙(Garonne)河、莱茵(Rhine)河和索恩(Saone)河。各河流之间均有运河相通,组成了四通八达的水上交通网。

法国流域管理最大的特点在于以流域为基础建立起流域管理机构,即按河流水系将全国分为六大流域,并以此为基础建立流域委员会和流域财务局。法国现行的流域水资源管理也是世界上公认的较为成功的模式之一。

法国的水资源管理活动以流域为主体,其水管理体制分为国家、流域、支流或次流域3级。国家级水资源管理机构主要包括国家水务委员会和部际水资源管理委员会。国家水务委员会主席由议会成员担任,委员由参众议院两院的代表以及有关机构和政府部门的代表组成。主要职责是对国家有关水的政策方针及法规文本的起草提供咨询。部际水资源管理委员会由环境部、交通部、农业部、卫生部等有关部门组成,没有常设机构,不定期

召开会议。主要职责是制定江河治理的政策方针和协调各有关部门发生的纠纷等。

流域管理机构包括流域委员会和水管局。流域委员会(River Basin Committee, RBC),也称“水议会”,是议事决策层,流域水管局是管理执行层。流域委员会是流域内一切水问题的立法和咨询机构,委员会成员由各方代表组成,委员会主席由各方代表通过选举产生。流域委员会为非常设机构,每年定期召开1~2次会议对重大问题决策。其主要职责是:起草制定流域水资源开发和管理总体规划,确定水资源平衡、水量、水质管理的基本方针;指导审议其下设水管局对取水和排污收费的比率和基准,审查水管局5年计划及投资资助方案和指导私有或公有污水处理厂的有效运转。水管局(RBA)是流域委员会下的办事机构,相当于流域委员会的秘书处。水管局是法国水资源环境管理体制中的核心机构。其主要职能为:制定流域水资源开发利用总体规划,征收用水及排污费,对流域内水资源的开发利用及保护治理单位给予财政支持,资助水利研究项目,收集与发布水信息,提供技术咨询等。

法国非常重视流域的综合管理,管理的范围广泛全面,包括从水资源的水量、水质、水工程、水处理等方面对地表水和地下水进行综合管理。流域机构对流域实行全面规划、统筹兼顾、综合治理。既包括对污染进行防治,也包括对流域水资源进行开发利用。注重从经济、社会、环境效益上强化流域的综合管理。这种开发的同时注重污染防治的综合管理有效促进了法国流域环境资源的合理利用和保护。流域管理机构带有财政金融的性质,主要通过对地方和企业水工程的资助和有效的协调监督、服务来实现流域管理,不经营、建设和管理水工程。法国的流域管理还非常强调多方参与,以增强其科学性与透明度。各级流域管理机构中除了中央及地方代表外,都吸纳了用水者和相关专家作为其组成成员,而且所占比例不小。在此基础上,法国的流域管理还在国家、流域及地方3个层次建立了“协商对话”机制。

1.1.4 德国莱茵河流域管理

由于德国的联邦机制,德国流域管理比较复杂。德国的流域管理机构包括流域委员会和相应的流域管理局。德国水资源管理规定的实施由联邦州和市政府完成。在大多数州内,水资源管理通过三个层次进行:① 高层机构负责战略决策制订和实施,以及监督下属机构。② 中层机构为区域政府部门,负责区域水资源管理规划,涉及对区域产生影响的水资源使用许可和管理程序。③ 低层机构为城市、城市城区和农村地区的技术机构,负责小范围水资源使用,以及水资源和废水排放的监测、技术指导、政策执行。

德国的流域管理规划通常可操作性强,其目的是明确指出需采取的措施,评价其社会经济和环境影响。德国主要流域管理规划包括水管理框架规划、水管理规划、污染物处理规划、污染负荷规划、水保护区域规划、防洪区域规划、热辐射负荷规划等。另外,还有一些不由水资源部门监管的规划也对水资源管理具有一定影响,如土地利用规划和水路交通运输规划等。

德国的大多数河流是跨国河流,其中,四条河流流入北海,即莱茵河,它起源于瑞士;埃尔伯河,起源于捷克共和国;埃姆斯河,其海港部分位于德国,部分位于荷兰;欧德尔河流经德国边境进入波罗的海,其流域的大部分位于捷克共和国和波兰;多瑙河经过几个东欧国家,流入黑海。因此,德国的国际流域管理是德国流域管理一个主要议题。德国流域

管理的国际合作在不同层次上开展。在第一层次上,城市协会之间开展国际合作;在中间层次上,中型流域开展国际合作;在第三层次上,主要小型流域及其子流域开展国际合作。因此,开展多层次的国际流域合作,以解决不同流域的水资源保护和利用问题是德国流域管理的重点。下面重点介绍莱茵河流域的管理。

莱茵河是一条国际性河流,流经法国、德国等 9 个国家,最后由荷兰汇入北海,是欧洲最长的河流之一,其流域管理是欧洲 9 国共同的议题。莱茵河流域的管理主要是进行跨国管理和协调。流域管理始于 19 世纪中叶,当时主要针对航运而设立航运管理机构。在 20 世纪 50 年代以前,欧洲莱茵河流域的水环境污染一直是困扰流域国家的主要问题,在 1950 年 7 月,由荷兰、瑞士、法国、卢森堡和德国等参与,在瑞士巴塞尔成立了旨在全面处理莱茵河流域保护问题并寻求解决方案的“莱茵河防治污染国际委员会”(ICPR)。这个委员会最初只是一个国际论坛,成立初期仅为流域内各国政府和组织提供咨询和建议,尔后,该委员会逐渐发展成为流域有关国家部长参加的国际协调组织。1963 年,在瑞士首都伯尔尼签署了莱茵河国际委员会的框架性协议,即伯尔尼公约,该公约奠定了莱茵河流域管理国际协调和发展的基础。1976 年,欧洲共同体委员会作为缔约方加入该委员会。1987 年委员会承担了恢复莱茵河生态环境的工作。该委员会成立后,实施了多项莱茵河环境保护计划,由于委员会工作有成效,受委托的任务增加。由于委员会授权范围拓宽,委员会改名为“莱茵河保护国际委员会”(Internationale Kommission zum Schutze des Rheins, IKSR),包括欧共体在内的莱茵河流域 6 个主要成员国,主要是组织每年召开一次的全体会议,落实执行部长会议制定的莱茵河保护、防洪等原则、工作计划和决策,以及部长会议委托的任务,对项目进行研究,提出建议与工作规划。

IKSR 还设有由政府间组织(如河流委员会等)和非政府间组织(如自然保护和环境保护组织等)组成的观察员小组,监督各国工作计划的实施。委员会下设许多技术和专业协调工作组,如生态工作组、排放标准工作组、防洪工作组、可持续发展规划工作组等。

莱茵河流域的管理除了跨国间的国际委员会外,在德国科布伦茨设立了对莱茵河水环境综合监测和洪水预报的德国水文研究所(BFG,相当于流域管理机构),在各国内部还有跨州的协调委员会。如德国境内莱茵河流经 4 个州,流域管理协调工作则由莱茵河上游的巴登符腾堡州主持,各州相关部门配合。各州环境保护部门和洪水应急救援部门统一协调跨越州界的水环境问题。

莱茵河流域内的 9 个国家,经济发展水平不平衡,同时,莱茵河对各国经济发展所起的作用也不相同。可以说,世界上没有其他任何地方比欧洲低地平原国家更能理解流域整体目标为主的管理必须承担国际性义务的含义。经过 30 年不懈的努力,到 20 世纪 80 年代,莱茵河流域保护国际委员会在国际合作共同治理莱茵河流域环境污染和洪水问题方面,签署了一系列的莱茵河流域水环境管理协议。签约国家协调一致,共同采取行动,完成协议确定的目标,对莱茵河的环境改善和流域管理起到了巨大作用(黄真理,2000)。

尽管莱茵河流域各国经济发展水平不同,但实施莱茵河流域可持续管理的认识是相同的。莱茵河流域管理行动计划要求跨国和跨部门间的密切合作。根据 1999 年签署的新莱茵河公约,莱茵河流域保护国际委员会的目标是寻求莱茵河流域的可持续发展,以清洁泥沙、防洪、生态保护以及改善北海水环境来保障莱茵河作为饮用水水源。莱茵河流域保护国际委员会的工作领域涉及莱茵河流域、与莱茵河有关的地下水、水生和陆生生态系统、污染和防洪工程等,其工作的基本原则是预防、源头治理优先、污染者付费和补偿、可

持续发展、新技术的应用、污染不转移等方面。

1.1.5 澳大利亚的流域管理

澳大利亚水管理大体上分为联邦、州和地方三级,以州为主,流域与区域管理相结合,社会与民间组织参与管理。流域管理是澳大利亚水资源管理的一个很重要的特色和经验。墨累-达令(Murrumbidgee)河流域是澳大利亚最大的流域,河流总长 3750km,流域面积 $1.06 \times 10^6 \text{ km}^2$,地跨四个州。墨累河是澳大利亚最大的河流,河长 2500km,达令河是墨累河最大的一级支流,其流量占墨累河总流量的 20%。墨累-达令河流域最初的流域管理始于 1863 年墨尔本会议,那时水资源问题不突出,州与州合作愿望还不很强烈。19 世纪末,人口主要聚居区发生严重干旱和用水冲突,突出的水资源矛盾迫使有关州走到一起共商水资源开发问题,1902 年科罗瓦非政府组织会议上达成了综合开发流域的具可操作性的意向。经过长达 10 年的反复磋商,就墨累河管理制度达成一致意见,签署了“墨累河水协议”,成立了墨累河管理委员会,负责分水协议的执行。

随着水问题的日益突出,为了加强流域管理,根据澳大利亚联邦政府与 4 个州政府所达成的“墨累-达令河流域管理协议”,联邦政府设立了墨累-达令流域部长理事会(Murray Darling Basin Ministerial Council)、墨累-达令流域委员会(Murray Darling Basin Committee)和社区咨询委员会(Community Advisory Committee)。部长理事会是墨累-达令河流域管理的最高决策机构,由来自联邦政府有关部门的领导、流域内四个州政府负责国土、水资源和环境资源的部长组成,通常有 12 名成员。部长理事会是一个政治论坛,有权对流域内的水务作出决策。

社区咨询委员会是部长理事会的咨询协调机构,负责广泛收集各方面的意见,进行调查研究,并就一些决策问题进行协调咨询,保证各方面的信息交流,及时发布最新的研究成果。委员会通常有 21 名成员,来自 4 个州、12 个地方流域机构和 4 个特殊利益群体的代表。根据墨累-达令流域的特点,并适当考虑行政界线,该流域分成 12 个单元,并相应成立了 12 个地方流域机构(Catchment authority),每个流域机构派 1 名代表加入社区咨询委员会。4 个特殊利益群体分别是全国农民联合会、澳大利亚自然保护基金会、澳大利亚地方政府协会、澳大利亚工会理事会。该社区咨询委员会在人数规模限制条件下,体现了广泛的代表性。社区咨询委员会负责流域委员会和社区之间的双向沟通,其宗旨是“确保社区有效参与以解决流域内的水土资源和环境问题”。社区咨询委员会对流域委员会提供下列咨询:即向部级理事会和委员会就应关注的自然资源管理问题提供咨询,向委员会反映社区对所关注的问题的观点和意见。

流域委员会是部长理事会的办事机构,负责流域内主要水利工程的运行管理,流域内四个州通过批准的协议共享流域水资源。委员会成员由来自流域 4 个州的政府中负责土地、水利及环境的司局长或高级官员担任,每州 2 名,其主席由部级理事会指派,通常由持中立态度的大学教授担任。委员会是一个独立机构,它既要对各州政府负责,但又不是任何一个州政府的法定机构,其职能由流域管理协议规定。流域委员会的主要职责是:分配流域水资源;向部级理事会就流域自然资源管理提供咨询意见;实施资源管理策略,包括提供资金和框架性文件。另外,流域委员会下设一个由 40 名工作人员组成的办公室,负责日常事务。为了加强流域的综合规划与管理,建立了 20 多个特别工作组,聘请来自政府部