

太湖

水资源水环境研究



黄贤金 王腊春 等著
高 超 史运良



科学出版社

www.sciencep.com



水資源水環境研究



內 容 提 要
本書收錄了太湖流域水資源、水環境研究的最新成果，包括太湖流域水資源、水環境的現狀、問題及對策，太湖流域水資源、水環境的評價，太湖流域水資源、水環境的保護與利用，太湖流域水資源、水環境的規劃與設計，太湖流域水資源、水環境的監測與評估，太湖流域水資源、水環境的治理與開發，太湖流域水資源、水環境的保護與利用，太湖流域水資源、水環境的規劃與設計，太湖流域水資源、水環境的監測與評估，太湖流域水資源、水環境的治理與開發。

中國環境科學出版社
CHINA ENVIRONMENTAL SCIENCE PUBLISHERS

教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0451)资助

太湖水资源水环境研究

黄贤金 王腊春 等著
高 超 史运良

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共包括四个部分:第一部分为综论,着重分析了太湖水资源系统的特征及其修复策略;第二部分为太湖及太湖流域水资源分析,涉及太湖水资源调节模型及其应用、洪涝及其模拟以及流域城市化的降雨效应等;第三部分为太湖及太湖流域水环境分析,涉及太湖流域水环境及其演变以及农业非点源污染、网围养殖污染、城市水污染、工业企业污染机理等分析方面;第四部分为太湖治理的经济、管理及政策研究,涉及太湖水污染损失及政策效应、太湖管理权分割及对策以及流域排污权交易设计等方面。

本书适合从事湖泊水资源水环境专业学习的研究生以及研究人员阅读,同时也可供相关政府部门人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

太湖水资源水环境研究 / 黄贤金等著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-022098-1

I. 太… II. 黄… III. ①太湖—水资源—研究②太湖—水环境—研究 IV. TV213.3 X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 074068 号

责任编辑:许 健 / 责任校对:刘珊珊
责任印制:刘 学 / 封面设计:一 明

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>

南京展望文化发展有限公司排版

常熟华通印刷有限公司印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2008 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 6 月第一次印刷 印张:10½

印数:1~2 500 字数:237 000

定价:32.00 元

前 言

太湖流域是南京大学研究的重要区域,长期以来南京大学的科研人员从地理、环境、经济、社会、城市、历史等角度对太湖流域开展了深入、系统的研究,为太湖流域经济社会发展决策作出了重要贡献。

太湖水资源水环境问题也是南京大学的重要研究对象,近年来在国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金以及有关省、市科技项目的资助下,也形成了较为系统的研究成果。

本书就是对近几年来太湖水资源水环境研究成果的一个初步总结。太湖水资源水环境与太湖流域是紧密关联的,因此,本书研究内容在重点突出太湖水资源水环境问题的基础上,也有的是从全流域角度来认识和分析水资源水环境的。全书内容分为四个部分,第一部分为综述,着重分析了太湖水资源系统特征及其修复策略;第二部分为太湖及太湖流域水资源分析,主要涉及太湖水资源调节模型及其应用,太湖洪涝及其模拟以及太湖流域城市化的降雨效应;第三部分为太湖及太湖流域水环境分析,涉及太湖流域水环境及其演变,农业非点源污染、网围养殖污染、城市水污染、工业企业污染机制等方面;第四部分为太湖治理的经济、管理及政策研究,主要涉及太湖水污染损失及政策效应、太湖管理权分割及其对策以及太湖流域排污权交易设计等方面。

本书由黄贤金提出写作大纲,黄贤金、王腊春、史运良等参加讨论确定,黄贤金、王腊春、高超、史运良等参加统稿,张兴榆、谭丹参加了部分章节内容的补充与修改。各章作者如下:

第一章：王栋、史运良、王腊春；第二章：王腊春、许晗之、汪院生；第三章：王腊春、许有鹏、周寅康；第四章：许有鹏、陈昌春；第五章：周慧平、高超；第六章：高超；第七章：赖力、黄贤金；第八章：王腊春、周宏伟、陈昌春；第九章：关劲峤、黄贤金；第十章：关劲峤、黄贤金、刘红明；第十一章：钟太洋、黄贤金；第十二章：黄贤金、于术桐、周宏伟。

本书研究成果得到了国家自然科学基金、中国科学院方向性创新项目、江苏省环保科技基金项目等项目的资助。

感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所陈雯研究员，江苏省环境保护厅朱德明副主任、刘晓磊副处长，江苏省农业资源开发局武怀祥副处长等的帮助。

感谢《地理学报》、《环境科学》、《地理科学》、《生态学报》、《湖泊科学》、《测绘科学》、《长江流域资源与环境》、《中国人口、资源与环境》、《南京大学学报》(自然科学版)等期刊及其审稿人在有关成果发表过程中提出的宝贵建议。

黄贤金

2007年10月24日

目 录

前 言

第一章 太湖水资源系统及其修复策略	1
1.1 太湖流域概况	1
1.2 太湖水资源系统	5
1.3 太湖水资源系统修复策略	7
第二章 太湖水资源调节模型及其应用	10
2.1 太湖流域河网水量调节模拟原理	10
2.2 太湖河网水量调节模型的应用	16
2.3 太湖江苏区域调水改善水环境的方案探讨	22
第三章 太湖洪涝灾害及其模型	29
3.1 太湖流域洪涝灾害成因分析	29
3.2 太湖水网地区河网洪涝调蓄能力分析	31
3.3 太湖流域洪涝灾害评估理论模型	35
3.4 太湖流域 1991 年洪涝灾害经济损失评估及 2010 年损失预测	41
3.5 海平面及潮位变化对太湖流域排涝的影响	44
3.6 太湖南苕溪流域洪水特征模拟分析	47
第四章 太湖流域城市化的降雨效应	50
4.1 城市化对降水的影响	50
4.2 苏州城市化进程对降雨特征影响分析	53
4.3 雨岛效应对城市的影响及其应对策略	59
第五章 太湖流域水环境及其演变分析	63
5.1 太湖流域主要水环境问题	63

5.2	太湖流域水环境质量现状	70
5.3	太湖水环境质量演变趋势	72
第六章	农业非点源污染与太湖水环境	77
6.1	农业非点源污染对太湖水环境的影响	77
6.2	太湖流域农业非点源污染的发生机理及特点	83
6.3	太湖流域农业非点源污染的控制对策	93
第七章	网围养殖与太湖水环境：以东太湖为例	96
7.1	东太湖及其网围养殖发展状况	96
7.2	东太湖网围养殖的环境成本核算	97
7.3	东太湖网围养殖可持续发展的对策及建议	101
第八章	城市水污染与太湖水环境	103
8.1	城市水污染主要来源及其危害	103
8.2	太湖流域城市经济发展与污水排放关系分析——以苏州为例	107
8.3	城市水污染物排放总量控制方法研究——以无锡城北地区为例	110
第九章	工业企业环境行为与太湖流域水污染	118
9.1	工业企业环境行为及其分析	118
9.2	太湖流域印染企业污染行为分析	123
9.3	高科技企业污染行为分析	128
第十章	太湖流域水污染损失货币化成本及其政策效应	134
10.1	水环境变化的货币化成本测算	134
10.2	水环境变化的政策驱动力模型及环境治理政策实施效果分析	135
10.3	太湖流域经济增长方式转变与加快流域治理的政策建议	137
第十一章	太湖管理权分割及其对策研究	138
11.1	湖泊管理权分割	138
11.2	太湖管理权分割情况	139
11.3	太湖管理权分割对管理行为的影响	141
11.4	改善太湖流域管理权的政策建议	143
第十二章	太湖流域排污权交易政策设计与示范	144
12.1	水污染物排污权交易及太湖流域实施的可行性分析	144
12.2	太湖流域排污权交易政策体系：总量控制-许可证-排污权交易	146
12.3	太湖流域排污权交易示范研究：以江苏省张家港印染行业为例	148
12.4	太湖流域排污权交易政策实施的几点建议	150
参考文献		152

第一章

太湖水资源系统及其修复策略

水资源既是重要的自然资源,又是生态环境的基本要素,在保障经济社会可持续发展中具有不可替代性和重要的支撑作用。水资源具有自然属性和社会属性,水资源系统由自然水和社会水两大子系统构建,是具有一定地域背景,具备特定的结构、功能和动态平衡的复杂大系统。太湖流域是我国经济发达地区——长江三角洲的核心地区,其水资源系统具有独特的自然资源环境和经济社会背景。水资源的不合理开发利用,不注重水环境保护,以牺牲环境为代价追求经济社会的高速发展,导致水资源系统结构不合理、功能衰退和失衡,最终出现了严重的水质型缺水。提升水资源承载力和水环境承载力并相互协调是修复太湖水资源系统的有效途径。

1.1 太湖流域概况

1.1.1 自然环境

1. 流域与水系

太湖流域北抵长江口区,南濒钱塘江口及杭州湾,东临东海,西以天目山、茅山为界,行政隶属江苏、浙江、安徽和上海3省1市,流域面积 $3.69 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中江苏省占52.6%,浙江省占32.8%,上海市占14.0%,安徽省所占面积甚少,占0.6%。流域内分布有30个县市,其中包括特大城市——上海市,江苏省的苏州、无锡、常州、镇江和浙江省的杭州、嘉兴、湖州7个地级市(任美镔等,1994)。

太湖流域地势西部高、东部低,其地貌分为山地丘陵与平原两大类,山地丘陵主要分布在流域西部;平原主要分布在流域北部、东部和南部,是太湖流域的主体,占流域总面积的80%(王腊春等,1999)。

太湖水系濒江临海,不仅受到河流泥沙和潮汐的影响,还长期受到围堤筑圩的人类活动干预,有着复杂的演变历史,特别是湖区和下游水系,古今相比,变化较大。

现代的太湖水系是以太湖为中心的湖泊水网系统,太湖以西为上游水系,以东为下游水系(图1.1)。上游水系有苕溪水系和荆溪水系,部分水量分别注入太湖。下游水系主要有黄浦江和吴淞江等河流。黄浦江是长江的最后一条支流,贯穿上海市区,为一湖源的河网型潮汐河流,是太湖最大的泄水河道,承泄太湖来水量的70%~80%。吴淞江(上海段称苏州河)下游横贯上海市区,该江在历史上曾是太湖排水入海的主要河道,后逐渐缩

窄和淤积,成为黄浦江的一支流,对太湖泄洪作用已甚小。为减轻太湖地区的洪涝灾害,加大洪水排泄能力,后修建了太浦河、望虞河、杭嘉湖南排、武澄锡引排、红旗塘及杭嘉湖北排通道等人工防洪河道,加上环湖大堤,构建了以太湖拦蓄、两河分别东泄黄浦江、北泄长江和杭嘉湖洪涝水南排杭州湾的防洪工程体系。



图 1.1 太湖流域水资源分区图(朱威,2003)

2. 湖泊群中的太湖

太湖流域中下游平原区,周边海拔 5~6 m,中间海拔 2.5~3.5 m,为一巨型碟形洼地,湖泊星罗棋布,总面积为 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,水域面积 $0.32 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的 8.96%,是全国湖泊率(0.83%)10 倍。按湖泊地域分布可分为太湖西北侧的洮滬湖湖群及太湖,太湖东北侧的阳澄湖、昆承湖湖群和太湖东侧的淀、泖湖群。在四大湖群中,水域面积大于 50 km^2 的有太湖、滬湖、阳澄湖、洮湖和淀山湖,其中太湖面积最大。

太湖是长江中下游地区的五大淡水湖之一,水域面积 2338 km^2 。太湖原有出水口门 315 个,后因淤塞和人工改造,目前仅存 219 个。入湖河道主要是西部和西南部苕溪水系、荆溪和滬湖水系,集水面积总计 $1.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,年平均入湖水量 $52 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。出湖河道主要有梁溪河、望虞河、横塘港、吴淞江及太浦河等,前三河分别由望虞河、浏河注入长江,后二河注入黄浦江,再汇入长江。这些主要出湖河流和其他中小河港组成纵横交错的河网,流速缓慢,并受潮水顶托,产生了以下两方面的影响有二:一是中小水时,污水稀释能力小,且排污受阻;二是高水位时,泄洪能力小,排洪受阻,加重洪涝灾害。1991 年洪灾后,已对此进行综合治理。太湖在多年平均水位 2.99 m 时,平均水深仅 1.9 m,多年平均蓄水量 $44.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,可调蓄水量 $37 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1991 年大洪水时,太湖出现有记录以来的最高水位 4.78 m,总蓄水量达 $87.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ (吴浩云等,1991)。

1.1.2 经济社会环境

太湖流域是我国人口最集中、经济最发达、产业最密集、城镇化程度最高的地区之一。流域面积仅占全国国土面积的 0.4%，2005 年流域总人口 4 533 万，占全国人口的 3.5%，人口密度高达 1 492 人/km²；流域内除特大城市上海外，有苏、锡、常、杭、嘉、湖等众多大中城市，城市化率已达 72.8%；2005 年国内生产总值为 21 221 亿元，占全国的 11.6%，人均国内生产总值 4.7 万元，在我国经济社会发展中具有举足轻重的作用。如按经济社会发展程度测算，太湖流域是全球第十九大经济区域(王有娟, 2006)。

1.1.3 太湖水资源水环境现状

1. 水资源

太湖流域地处北亚热带，属于季风气候，多年平均降水量为 1 141 mm，年总降水量为 $414 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。流域降水量年内分布不均，75%~78%雨量集中在 4~10 月，连续最大 4 个月降水大多出现在 6~9 月。降水量存在年际差异，最大年降水量出现在 1954 年，为 1 500 mm，最少年降雨量出现在 1978 年，为 680 mm。太湖流域的降水还存在着空间分布差异，总的来说西部大于东部，南部大于北部。径流的年内分配与降雨相对应，春夏季大，冬季小(高俊峰等, 2002)。

水资源量为降水形成的地表水量与地下水量之和，地表水量采用地表径流量，地下水量为各地调查数。太湖流域多年平均水资源量为 $162.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中，地表径流量为 $136.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占水资源总量的 84%；地下水资源为 $25.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占 16%；产水模数为 $44.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。水资源总量中，上游区为 $77.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总量的 48%；下游区为 $84.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总量的 52%(表 1.1)。

表 1.1 太湖流域的水资源量

(单位: 10^8 m^3)

流域分区	降水量	径流量	地下水资源量	水资源总量
上游区	204.4	71.6	5.8	77.4
下游区	209.6	65.1	19.8	84.9
流域合计	414	136.7	25.6	162.3

太湖流域旱地较少，产流面积所占比重较小，多年径流深仅 440 mm/km²，人均占有水量也仅为 440 m³/(人·年)，人均、亩均的水资源量分别为全国水平的 1/5 和 1/2，原本是一水资源紧缺地区。除流域当地水资源量为 $162 \times 10^8 \text{ m}^3$ 外(其中河川径流量为 $137 \times 10^8 \text{ m}^3$)，年均从长江调入 $45 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水，但流域早在 2000 年总用水量已达 $293 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，流域耗水量高达 $104 \times 10^8 \text{ m}^3$ (吴季松, 2004)。

2. 水环境

太湖流域近 20 多年来，经济持续高速增长，GDP 增长率在 10% 以上，城镇人口增长

率在 5% 以上(不包括外来人口),相应的工业、生活排放污水量已超过 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$, 近期年污水量已达 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$, 流域人均排放污水在 100 t 以上, 污径比(污水量与河川径流量之比)达到 1:2.7; 加上农业规模化经营中农药化肥的大量使用, 水污染更为严重。在 20 世纪的下半叶, 以“50 年代淘米洗菜, 60 年代洗衣灌溉, 70 年代水质变坏, 80 年代鱼虾绝代, 90 年代身心受害”之说, 形象地描述了太湖地区水污染逐年加剧, 由资源型缺水转化为水质型缺水的演变过程(梁瑞驹等, 1993)。

2000 年全流域 300 个监测点的水质监测、评价表明流域内有 84% 的监测点受到不同程度的污染, 其中劣于 V 类、V 类和 IV 类的监测分别占流域监测点的 50%、9% 和 25%(表 1.2)(黄宣伟, 2000)。

表 1.2 太湖流域水资源分区水质污染比例*

(单位: %)

水资源分区	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类	污染
湖西区	0	4.0	8.0	13.0	10.0	65.0	88.0
武澄锡虞区	0	0	0	0	0	100	100
阳澄淀泖区	0	0	10.8	32.3	10.8	46.1	89.2
杭嘉湖	0	9.6	9.6	41.4	9.6	30.1	81.1
浙西区	4.3	26.1	4.3	48.0	13.0	4.3	65.3
浦东、西区	0	0	0	25.0	13.6	61.4	100
全流域	0.3	6.0	9.7	25.0	9.0	50.0	84.0

* 污染比例总数为劣于 III 类标准之和(朱威, 2003)。

2005 年太湖流域内 86 个一级水质功能区中, 只有 16 个功能区水质达标, 达标率仅为 18.6%; 2007 km 评价河长中有 90% 的河长全年水质劣于 III 类, 73% 的省界河流断面水质劣于 III 类; 太湖整体处于富营养化水平, 其中五里湖、梅梁湖和竺山湖的水质均劣于 V 类(水利部太湖流域管理局, 2004~2007)。

水资源分区中, 以武澄锡最为严重, 水质均属劣 V 类。由于湖水污染加重, 富营养化加剧, 湖底淤泥中含有大量的有机氮和有机磷, 通过光照生化反应生成蓝藻, 每遇高温晴好天气和湖水较浅时, 蓝藻疯狂暴长, 每升湖水中蓝藻可达数百万个; 蓝藻死后残骸受光照迅速腐烂, 发生腥臭, 严重污染水质。自 20 世纪 90 年代以来, 蓝藻频频大规模暴发, 沿湖湖湾常出现大面积“水华”(黄漪平, 2001)。

2007 年 4 月底, 因气温高、降水偏少、湖水位低等原因, 蓝藻再次大规模暴发, 最为严重的是无锡市梅梁湖、贡湖等湖湾区。后因蓝藻集聚堵住供水厂取水口, 使该市百余万居民不能取用自来水, 发生了严重的饮用水危机。政府部门采取应急措施, 加大“引江济太”和梅梁湖调水力度[本次“引江济太”应急调水 $10.04 \times 10^8 \text{ m}^3$, 改善了太湖水源地水质(水利部太湖流域管理局, 江苏省水利厅, 江苏省环境保护厅, 2007)]、人工增雨作业、加大蓝藻打捞、外调纯净水供应, 有效缓解了这场饮用水危机(马巍等, 2007)。

1.2 太湖水资源系统

1.2.1 水资源及其特征

水资源是基础性自然资源,是生态环境因素之一,同时又是战略性的经济资源,是一个国家综合国力的有机组成部分;对于一个流域或区域而言,是其经济社会可持续发展的重要支撑和保障。

水资源可归纳为下列含义:水资源是指水体中已经或可能为人类开发利用,具备一定的水量 and 水质,可恢复更新、供永续使用的水源。

根据上述的水资源含义,水资源具有以下特性:① 水不等于水资源。水资源是参与自然水文循环的淡水,每年可得到周期性的水源补给,即为能够长期满足使用的可再生性资源。② 水资源具有自然属性和社会属性。水作为自然环境的组成要素,是所有生物赖以生存的基本条件,具有生态功能和环境功能,是生态系统进行能量交换和物质循环的载体,这是它的自然属性。人类社会的存在和发展需求决定了水资源的社会属性,它是人类得以从事生活和生产活动的不可一日或缺的物质资料,具有资源功能和经济功能。同时,社会经济发展水平也是水资源开发利用的内在要求和驱动要素,这是它的社会属性。③ 水资源包含水量和水质两方面的含义。水量和水质是水资源相辅相成的两个方面。水资源开发利用的同时又要求节水和保护。

1.2.2 水资源系统

为了实现以水资源的可持续利用支撑我国社会经济的可持续发展的目标,必须以新的思路和视野,从水资源系统的角度研究水资源的开发、利用、治理、配置、节约和保护问题。

水资源系统由自然水和社会水两大子系统构建,是包含一定地域背景,具备特定结构、功能和动态平衡的复杂大系统。水资源属性的双重性决定了水资源系统的特性也必然是自然水和社会水的结合,是水资源总量、可利用水量、可供水量、社会经济需求水量、消耗水量和弃水量等要素的有机组合和统一。

水资源系统的功能判别需要运用可持续发展观点,以水资源系统承载力作为度量。水资源系统承载力应包括两个方面的含义:水环境承载力 and 水资源承载力。水环境承载力是指在一定的水域,其水体能够被持续使用并仍能保持良好生态系统时,所能容纳污水及污染物的最大能力,水资源承载力是指在一定流域或区域内,其自身的水资源能够持续支撑经济社会发展规模,并维系良好的生态系统的能力(王栋等,2003)。

以水资源系统观念研究水资源问题,有以下特色:① 具有综合性,既考虑天然水的可供水量,又考虑社会经济和生态环境需水量;② 具有系统性,研究供水→需用→弃水回归的全过程;③ 具有统一性,统一考虑水量与水质,从源头起研究水污染,便于污染有效

遏制和治理;④ 具有先进性,便于研究水环境承载力 and 水资源承载力的耦合调控模型,为水资源的可持续利用提供科学理论和调控决策依据。

1.2.3 太湖水资源系统

1. 水资源系统构建

太湖水资源系统由自然水系统和社会水系统组成。自然水系统中,包括水资源总量中的当地水资源(地表水资源和地下水资源)和长江调入水量,太湖流域多年平均 1 141 mm 的雨,补给形成 $162.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的当地水资源量(地表水资源量为 $136.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源量 $25.6 \times 10^8 \text{ m}^3$),长江过境水量为 $9\,335 \times 10^8 \text{ m}^3$,引江水量为 $45 \times 10^8 \text{ m}^3$,以弥补当地水资源不足。自然水子系统为自然系统提供了生态环境水量后,剩余部分为可利用水量。生态环境水量与水环境承载力之间,可利用水量与水资源承载力之间,以及水环境承载力与水资源承载力之间,相互联系,相互影响(秦伯强等,2002)。

对于社会水子系统,社会系统存在的社会经济需求水量,由自然水子系统可利用水量中的可供水量提供。在人类生活和生产活动作用下,社会经济需求水量分解成消耗水量和弃水量,弃水量通过点源、面源和内源污染过程影响自然水子系统的水环境承载力。图 1.2 清晰表明,在密集的人类活动影响下,太湖水资源系统受控于自然水和社会水两子系统的耦合和协调情况。

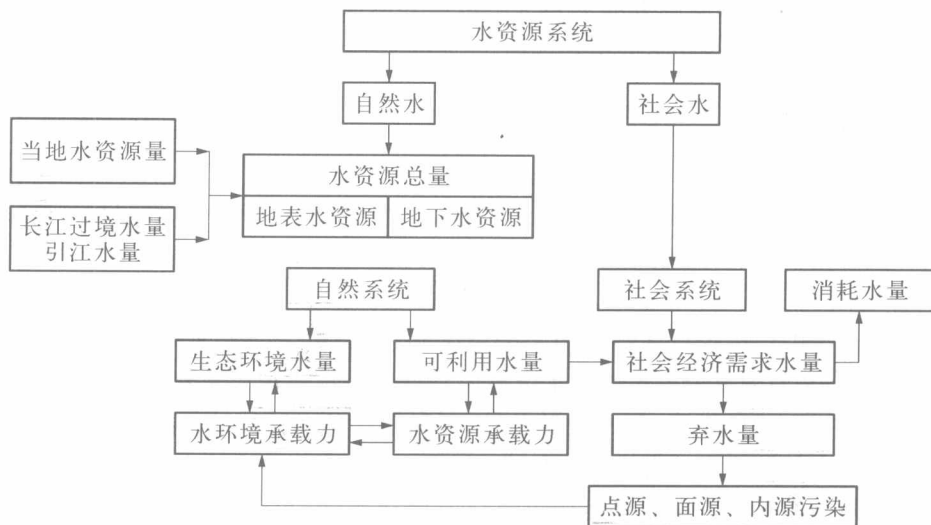


图 1.2 太湖水资源系统框图

2. 水资源系统特征

太湖水资源系统反映了太湖流域特有的地域和经济社会背景,具有“自然-人工”二元化特征。

(1) 水资源系统的自然水子系统较弱。当地水资源不足,可供水量和生态环境需水量更少。前者不能满足生活和生产的需水要求,使该区的人均、亩均占有水量均大幅度低

于全国平均水平,水资源承载力先天性较低;后者不能维持该区生态环境,反而进一步恶化和加重。水环境承载力也是先天性较低。水资源和水环境两大承载力不足,制约着经济社会可持续发展和生态环境的改善。

(2) 该水资源系统中社会水子系统结构不合理,功能退化。优质水源保护、供水量、需求水量、节约用水、提高利用率、弃水量处理,点源、面源、内源污染的控制与处理等环节未整合成一个系统。据有关部门研究,近 20 年来,随着沿湖地区经济的迅速发展和城镇化速度加快,大量未经处理的城市污水入湖,农田化肥、农药的大量使用以及水产养殖业的不断扩大,点、面源污染严重;加之内源污染,相关调查表明,太湖 $19.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的底泥中受污染的达 $2.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,主要分布在湖湾区,这些底泥成为主要的污染内源,致使太湖水污染状况日趋严重,水源地失去保护(杨桂山等,2003)。

相关研究表明,太湖流域生活和工业需用的优质水量约为 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,而目前流域内 I~III 类优质地表水资源量约为 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$,且主要分布在流域上游的山区水库和太湖湖心区、东部湖区及太浦河,与主要需用水的流域下游区空间上不相匹配。

太湖流域与经济社会高度发展不相协调的是三个“低”:防洪减灾能力低,水资源调控能力低,水资源和水环境承载能力低。在相应形成该流域洪涝、缺水和水污染的三大问题中,对原来主要的洪、涝灾害水问题,因已兴建的 11 项骨干排洪、除涝工程,得到了有效治理,2010 年前将达到 50 年一遇的防洪标准。现今在三大问题中水污染已上升为主要问题,加剧了水资源短缺,由原来的资源型缺水转化为水质型缺水。

(3) 退化的社会水子系统反馈影响自然水子系统。社会水子系统中,通过点源、面源及内源污染和大量废弃水入湖等方式来反馈给自然水子系统,其危害有二:一是降低太湖水环境承载力,除减少必需的生态环境水量外,反馈损害了水环境承载力;二是水环境承载力减低,污染加重,从而减弱了水资源承载力,可利用水量减少,并互为恶化关系。水资源承载力和水环境承载力是水资源系统健全与否的诊断指标,此为太湖流域由原资源型缺水转化为现今水质型缺水的科学诠释,可见该水资源系统为一不健康的“病态”系统。

1.3 太湖水资源系统修复策略

健康的水资源系统是流域(区域)经济社会可持续发展,人水和谐的基本保证。对于太湖流域“病态”水资源系统必须加以修复,协调两个子系统的关系。其修复策略为:

1. 提高、协调、平衡水资源系统承载力

水资源承载力和水环境承载力是水资源系统承载力的两个方面,它们相辅相成,相互联系,相互影响。一定条件下,二者会互惠互利,良性循环,共同促进经济社会的持续、快速、稳定发展;另一一定条件下,二者则可能互损互害,恶性循环,共同制约经济社会的可持续发展。

太湖流域当地水资源紧缺,本身水资源承载力小,逐年加剧的水污染又降低了水资源承载力,使得流域由资源型缺水转化为水质型缺水;另一方面,水资源的过度开发使用使水环境承载力减小,再加上防污治污力度不够,加重了水污染,反过来又降低了水资源承

载力。

因此,太湖流域水资源系统的修复与调控必须运用可持续发展观点,必须将该区的江、河、湖作为一个整体系统,建立在提高、协调、平衡水资源系统承载力的前提和基础之上,以水资源系统承载力来度量和判别水资源系统功能。

2. 确保生活用水安全,建立安全保障体系

太湖流域经济社会发展过程中,在对水资源数量的需求保持增长的情况下,对水资源质量的要求将日益提高。生活和一般工业用水对水质要求最高,必须达到Ⅱ~Ⅲ类水,两者年总用水量已达 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。据初步预测,流域内城镇化的加速、居民生活的提高、外来人口的增加、第三产业特别是服务业的快速发展,对优质水的需求量必将随之增加。在保证率 50% 的平水年,以流域优质水为水源的用水量,2010 年将为 $74 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020 年将为 $86 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030 年将为 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ (朱威,2003)。

优质水资源中的生活用水尤为重要。一旦发生水危机,优质水无法满足生活用水,特别是饮用水,必将影响社会安定,使整个经济社会系统处于瘫痪之中。2007 年 5 月底至 6 月初,无锡市的水危机就是明显的例证。为此,必须建立生活用水安全保障体系,其中最为重要的是分别建立太湖流域的生活用水的正常水源、备用水源和应急水源,湖水和江水可为正常水源,江水为备用水源,地下水为应急水源,并建立完整的供水系统。

3. 减污增容是太湖水资源系统修复的核心问题和主要目标

调控社会水子系统重在减污和节水。节水就是减污,从而降低入河、湖水域的排污量,保持和提高水资源和水环境承载力,保持和增加自然水子系统的排补通道,加速自然水循环速度和水体换水周期,增加行洪引水能力。

减污,此为太湖水环境治理中非做不可的重要工作,但要有清晰的战略思想,是以末端治理为主还是以源头控制为主,这对太湖而言,是有巨大教训的。末端治理采取的是“达标排放,总量控制”,太湖 10 余年来治污收效不大说明末端治污是难以做到的,实际上排污既不达标也不能控制总量。因此,最为有效的途径是以源头控制为主,点源、面源、内源污染综合治理。

增容,就是增强太湖纳污能力或水环境承载能力,减污应是增容的措施之一,但是太湖特定水域所能容纳的污染物是有限的,超过一定限度就会对生态环境造成很大的破坏。目前太湖的增容是通过调水工程——望虞河“引江济太”来实现的。望虞河全长 60.8 km,连接长江与太湖,是治太工程中具有排洪引水功能的重点骨干工程之一,在该河两端的长江口和太湖口分别建有常熟水利枢纽和望亭水利枢纽两座控制性工程。“引江济太”时,由常熟枢纽调引长江清水入河,再由湖口望亭水利枢纽引水入湖,最后由太湖闸向下游供水。“引江济太”加快了太湖水体流速,缩短了换水周期,进而带动流域中下游河网水体的流动,提高了水体的自净能力,改善了太湖流域湖湾河网水环境,实现了“以动治静,以清释污,以丰补枯,改善水质”的目标。“引江济太”工程所取得的效果是在特定的水资源条件和工程条件下实现的,其长效运行机制、污染转移、水质调度等问题都需要进一步研究并统筹考虑,具体是今后如何扩大“引江济太”规模,加强闸站科学调度和优化运用,并进一步加强太湖水体“活化”环境建设和补水工程的科学布局研究。

“引江济太”工程不仅是“以动治静、以清释污”的“引水冲污”,其调引江水又是“以丰

补枯”的多目标的水资源调度和有效配置,是具有地域和经济社会特点的新治水理念和成功实践。

4. 改革管理体制,实行水资源一体化统一管理

现今社会,特别是在城镇地区,水资源的开发利用流程,是一个“水源地-水工程-供水管网-排水管理-治污处理-中水回用”的系统过程。完整系统的水资源开发利用流程,客观上要求对水资源必须一体化统一管理。

国家《水法》中规定“国家对水资源实行流域管理和行政区管理相结合的管理体制”,兼顾了水资源自然属性和社会属性,体现了水资源系统的“自然-人工”二元结构特性(王浩等,2007)。

水资源开发利用流程要求在统一管理的前提下,水利、环保、供水、渔业、交通、旅游、司法等部门,在水资源保护上从分散目标管理变成统一目标管理。分散化管理体制导致水资源保护缺乏有效的责任机制和实施手段。建立太湖流域内水资源统一管理体制,首要是实现流域排污管理与水功能区环境管理的对接。

应该强调的是,公众是区域环境和水资源使用权的拥有者,而一旦水资源受污染和水环境被破坏,公众又是受害主体,因此公众理应成为水资源和水环境保护与治理的决策参与者。

5. 促进人与自然、人与水和谐相处

太湖流域经济社会的高速发展,在环境上付出了较大的代价:地下水超采致使地面沉降;盲目围湖造地、侵占河道、湖面缩小、部分河网消失,致使洪涝灾害加剧;未经处理的污水直接排入河湖,致使水污染日趋严重,甚至蓝藻频发,导致饮用水无安全保障。灾害性的后果警示:人与自然、人与水要和谐相处,给洪水以出路,合理利用、科学配置、大力保护水资源,太湖流域才能重现河清湖秀的景色,才能实现水资源的可持续利用的目的。

江苏省针对太湖蓝藻暴发事件,召开了太湖水污染治理工作会议,对彻底治理太湖进行了全面部署,采取控源、截污、引流、清淤、修复等多种手段,对太湖流域进行全面、系统、科学的治理,加强水源地保护,确保饮用水安全。彻底治理太湖分为两个阶段性目标:3~5年内实现太湖水质明显好转,确保太湖周边地区饮用水安全;8~10年内恢复太湖地区山青水秀的自然风貌,从而形成流域生态良性循环,人与自然、人与水和谐相处的宜居环境,最终达到人水和谐,维护河流、湖泊的健康生命,以水资源的可持续利用保障流域经济社会的可持续发展,让“太湖美,美就美在太湖水”能够永远传唱!