

周 丰 董延军 李丽娟 顾世祥 马 巍 等 / 著

滇池流域

水量 - 水质时空优化 调控技术研究

DIANCHI LIUYU

Shuiliang-Shuizhi Shikong Youhua
Tiaokong Jishu Yanjiu

中国环境出版集团

滇池流域水量-水质时空优化调控 技术研究

周 丰 董延军 李丽娟 顾世祥 马 巍 等著



中国环境出版集团·北京

图书在版编目（CIP）数据

滇池流域水量-水质时空优化调控技术研究/周丰等著. —北京：中国环境出版集团，2018.12
ISBN 978-7-5111-3804-0

I. ①滇… II. ①周… III. ①滇池—流域—水流量—调控—研究②滇池—流域—水质—调控—研究
IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 203050 号

出 版 人 武德凯
责任编辑 殷玉婷
责任校对 任 丽
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 12 月第 1 版
印 次 2018 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 22
字 数 480 千字
定 价 68.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

前 言

水资源短缺是制约经济社会可持续发展的主要因素之一,缺水很大程度上是由于资源得不到科学分配和合理利用造成的,因此加强水资源的管理调控是提高水资源利用效率的重要方向。水量调控管理是一个逐渐发展的过程,从最初的用水量控制为主到总量与用水效率并重。随着社会生活水平和工业化程度的提高,水质恶化成为缺水的重要原因,频繁发生的水污染事件使环境质量降低,生态系统退化。滇池湖泊水环境质量很差,蓝藻水华常年大面积暴发就是一个典型的例子。因此水量与水质联合调控是未来水量调配与水污染控制的主要决策技术。

滇池湖泊治理历经 20 多年的探索和研究,逐步形成对滇池治理的规律性认识,构建了“六大工程体系”的系统治理思路,六大工程体系中最关键的环节之一就是外流域调水。外流域调水在缓解滇池流域水资源短缺和改善滇池水环境质量方面发挥着支撑性作用。本研究是在国家“十二五”重大水专项“滇池流域水资源联合调度改善湖体水质关键技术与工程示范”中第 4 课题“流域水资源系统水质-水量时空优化调控技术”(2013ZX07102-006-04)的基础上逐步形成的。依托牛栏江—滇池补水工程、滇中引水工程等,本研究以改善滇池水质和控制蓝藻暴发为目标,开发一套流域水资源系统水质-水量时空优化调控关键技术,在宏观尺度上设计入湖河流的水量、水质及最佳实现途径。具体包括:①建立了滇池流域自然、人工水循环过程调查数据集;②自主开发或集成研发了流域水资源调度全过程多情景数值模拟技术、环境导向型滇池流域水资源优化配置技术、基于滇池水质改善的区域水资源优化调度技术;③形成区域水资源系统联合调度与滇池水质改善集成方案,主要包括滇池流域社会经济水循环系统及区域配置优化和改善滇池流域水质的水量-水质联合调度优化。

本研究通过以滇池流域为例的水量水质时空优化调配进行研究,特别是针对时空分布的差异性,探讨了流量水量-水质联合调控的基本理论和方法,建立了相关的技术框架体系,耦合湖体水动力模型、区域水资源配置模型和水库调度模型,实现水资源调度多情景过程数值模拟,为滇池水体改善以及区域的水资源优化配置提供技术支撑。

本书由周丰(北京大学)、董延军(珠江水利科学研究院)、李丽娟(中国科学院地理科学与资源研究所)、顾世祥(云南省水利水电勘测设计院)、马巍(中国水利水电科学研究院)和朱世洪(长江水利委员会长江勘测规划设计研究院)共同编写完成。具体分工如下:周丰负责第1、第3、第5章,董延军和朱世洪共同负责第6、第10章,李丽娟负责第4、第7、第8、第9章,朱世洪负责第2章,顾世祥参与编写第7章,马巍参与编写第5章。全书最后由周丰统稿定稿。

在本书出版过程中,还得到了郭怀成、刘永、陈刚、刘佳旭、安玉敏、王森、郑江丽等的大力支持和帮助。借此机会向他们一并致谢。

本书的出版得到了国家“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项“滇池流域水资源联合调度改善湖体水质关键技术与工程示范”(2013ZX07102006)项目的资助支持。

这几年笔者一直从事流域水量水质相关工作的研究工作,本书是一些研究成果。我们期望通过这些研究成果,促进相关技术在我国流域水资源、水环境研究中大力推广和普及。由于笔者水平有限,成书仓促,书中的缺点和错误在所难免,竭诚欢迎读者批评指正和学术争鸣。相关建议可联系电子邮件 zhouf@pku.edu.cn 编者收。

编 者

目 录

1	绪论	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目标及内容	3
1.2.1	研究目标	3
1.2.2	研究内容	3
1.2.3	总体思路与技术路线	6
2	滇池流域概况	8
2.1	滇池流域自然环境特征	8
2.1.1	滇池流域概况	8
2.1.2	湖泊水系概况	10
2.1.3	滇池入湖河道概况	13
2.2	滇池流域经济社会状况	18
2.3	滇池流域水环境质量状况	19
2.3.1	滇池水环境质量状况评价	19
2.3.2	主要河流入湖水水质状况评价	28
2.4	滇池流域水体污染成因及防治对策研究	36
2.4.1	滇池流域水体污染成因分析	36
2.4.2	滇池流域水污染防治策略	37
2.4.3	滇池流域水污染治理总体对策	38
3	滇池流域自然、人工水循环过程调查	42
3.1	滇池—普渡河流域社会经济发展调查	42
3.1.1	滇池流域	42
3.1.2	海口—安宁—富民工业走廊	42

3.2 滇池—普渡河流域水资源系统调查与评价	43
3.2.1 水资源分区	43
3.2.2 水资源概况	43
3.2.3 水资源开发利用现状	45
3.2.4 用水量现状调查	48
3.2.5 滇池流域再生水利用情况调查	52
3.2.6 环湖湿地调查	52
3.3 滇池—普渡河流域工程水文分析及湖库径流还原	54
3.3.1 研究目标	54
3.3.2 研究内容及方法	54
3.3.3 主要研究成果	55
4 环境导向型滇池流域水资源优化配置技术	67
4.1 滇池流域水资源供需平衡模拟技术开发	67
4.1.1 模型原理	67
4.1.2 技术创新之处	74
4.1.3 模型验证和应用	74
4.2 滇池流域水资源优化配置技术开发	74
4.2.1 模型原理	74
4.2.2 技术创新之处	81
4.2.3 模型验证和应用	81
5 流域水资源调度全过程多情景数值模拟技术	83
5.1 水文和养分输移模块开发	83
5.1.1 模型原理	83
5.1.2 技术创新之处	88
5.1.3 数据与子流域划分	88
5.1.4 模型验证和应用	91
5.1.5 水质模拟	96
5.2 三维风场与水质水动力模块更新	101
5.2.1 模型原理	101
5.2.2 技术创新之处	107
5.2.3 滇池湖泊内源释放规律研究	107

5.2.4 模型验证和应用..... 112

6 基于滇池水质改善的区域水资源优化调度技术..... 122

6.1 模型原理 122

6.1.1 水量平衡约束条件..... 122

6.1.2 模拟方法 125

6.1.3 评价方法 125

6.2 技术创新之处 127

6.3 调度信息及依据 127

6.3.1 德泽水库 127

6.3.2 滇池信息 134

6.4 模型验证与应用 138

6.4.1 现状年调度方案优选..... 138

6.4.2 2020 年调度方案优选..... 156

7 滇池区域水资源系统利用分配现状评价 158

7.1 水文与水资源概况 158

7.1.1 降水 158

7.1.2 当地水资源 162

7.1.3 再生水与外调水..... 164

7.2 水资源利用概况 166

7.2.1 农业用水 166

7.2.2 工业用水 170

7.2.3 生活用水 171

7.3 水资源短缺空间格局 172

7.3.1 水资源短缺评价..... 172

7.3.2 水资源短缺风险..... 176

7.4 水资源适宜性评价 180

7.4.1 研究方法 180

7.4.2 单项指标计算 181

7.4.3 评价结果与适宜性分级..... 188

7.4.4 乡镇单元水资源适宜性..... 190

7.4.5 流域单元水资源适宜性..... 193

8	补水条件下滇池区域水资源系统的分质供需预测与评估	194
8.1	常规水源可供水量	194
8.1.1	蓄水工程	194
8.1.2	引水工程	195
8.1.3	提水工程	196
8.1.4	外流域引调水	197
8.1.5	地下水	198
8.1.6	拟、在建工程	199
8.2	水资源需求预测	200
8.2.1	生活需水量	200
8.2.2	生产需水量	203
8.2.3	生态需水量	207
8.3	再生水可供水量及其适用性	210
8.3.1	可供水量分析	210
8.3.2	基于水土资源适宜性空间关系的灌溉用水适用性	213
8.3.3	工业与生态用水适用性分析	221
9	滇池流域社会经济水循环系统及区域配置优化方案	226
9.1	现状年水资源配置	226
9.1.1	总量配置	227
9.1.2	用水户间配置	228
9.2	近期规划年水资源配置	230
9.2.1	总量配置	233
9.2.2	用户间配置	236
9.3	滇中未通水远景规划年水资源配置	239
9.3.1	总量配置	243
9.3.2	用水户间配置	246
9.4	滇中通水远景规划年水资源配置	251
9.4.1	总量配置	252
9.4.2	用水户间配置	255
9.4.3	滇中调水前后对比	257
9.5	缺水空间格局	258
9.6	水资源配置优化方案	262

9.6.1 供需二次平衡 262

9.6.2 供需平衡措施 266

9.6.3 再生水利用削减入滇污染负荷 268

10 改善滇池流域水质的水量水质联合调度优化方案 271

10.1 未来情景预测及工况设计（2020 年和 2030 年） 271

10.2 德泽水库—滇池联合优化调度（现状年） 274

10.2.1 德泽水库补水调度方案 274

10.2.2 调度评价及最优方案确定 287

10.3 德泽水库—滇池联合优化调度（2020 年） 292

10.4 优化调度下入湖河道水量和负荷模拟 293

10.4.1 近期水平年入湖水量过程模拟预测 293

10.4.2 远期水平年入湖过程模拟及预测分析 296

10.4.3 近期水平年入湖水质过程模拟及预测分析 298

10.4.4 远期水平年入湖水质过程模拟及预测分析 306

10.4.5 规划水平年滇池入湖污染物时空分布特征 313

10.4.6 远期水平年滇池入湖污染物时空分布特征 316

10.5 基于水质改善的调水工程入湖通道优化及滇池水位调控方案 318

10.5.1 入湖通道水量与湖泊水质响应关系 318

10.5.2 入湖通道调水方案的模拟优化 322

10.5.3 规划水平年滇池湖泊水环境质量模拟预测 324

10.5.4 滇池水质时空分布特征及其变化模拟预测 332

10.5.5 基于水质改善的滇池水位优化调度方案 334

10.5.6 小结 335

参考文献 337

1 绪 论

1.1 研究背景

滇池流域地处长江、红河、珠江 3 大水系分水岭地带，集水面积 $2\,920\text{ km}^2$ ，涉及昆明市五华、盘龙、西山、官渡、呈贡 5 区和晋宁、嵩明两县，是云南省人口最集中、经济最发达的地区，是昆明人民繁衍生息的摇篮，是昆明的母亲湖，是维系昆明城市生态系统的根基，关乎昆明的生存发展。滇池流域年径流深 188.7 mm ，水资源总量 5.55 亿 m^3 ，人均水资源量低于 200 m^3 ，仅为全省平均水平的 $1/25$ ，与国内京津唐地区的人均水资源量相当，属水资源严重匮乏地区。日益短缺的水资源问题，致使滇池流域河湖生态环境用水被严重挤占，湖周无清洁水来源，大量的城市生活和生产废污水早已成为滇池水资源污染的主要来源之一，从而直接导致近些年来滇池流域水环境问题日益突出，滇池湖泊水环境质量很差，蓝藻水华常年大面积暴发，特别是进入 21 世纪，滇池草海、外海水质均长期维持在劣 V 类水平。滇池水质恶化，不仅严重破坏了湖泊生态系统平衡，影响了昆明旅游业发展，而且还对以滇池为水源的昆明城市供水系统造成了巨大压力，并不得不从近百公里外的掌鸠河、清水海等地调水解决昆明主城区供水问题，以保证昆明城市供水安全。滇池流域资源性缺水 and 水质性缺水并存，“水少、水脏、水景观差”问题是长期困扰滇池治理的难题。

为此自“八五”以来，滇池湖泊治理一直受到国家和云南省的高度重视，历经 20 多年的探索和研究，逐步形成对滇池治理的规律性认识，即以流域为单元，突出综合治理，从源头抓起，将污染治理与产业结构、城乡布局调整相结合；以污染治理为重点，充分与已有工作相衔接，强调综合治理的系统性，从而构建了“五大任务”和“六大工程体系”。五大任务主要包括：转变发展方式，统筹城乡发展；点面结合，全面开展入湖污染治理；采用多种措施，修复和保护生态环境；通过水资源调配，解决流域缺水；加强科技示范和

监管能力建设。六大工程体系主要包括：环湖截污和交通工程、外流域调水及节水工程、入湖河道整治工程、农业农村面源治理工程、生态修复与建设工程、生态清淤工程。从入湖污染物治理、生态修复与重建、补充流域水资源 3 个方面构建综合治理工程体系。其中入湖污染物治理包括环湖截污和交通工程、入湖河道治理工程、农业农村面源治理工程，旨在从源头上阻断污染物入湖，是综合治理和湖泊水质改善的关键性工程，直接关系到滇池水环境治理的成败；生态修复与重建包括生态修复与建设工程、生态清淤工程，是阻断入湖污染物后，巩固治理效果、恢复河湖自然生态必备的手段，是治理效果可持续性的保证；外流域引水及节水工程是解决滇池流域内水资源严重短缺，滇池流域河湖生态用水严重被挤占、湖泊换水周期过长，只靠入湖污染物治理和生态修复不能达到预期治理目标情况下的必然选择。这六大重点工程体系是滇池水环境综合治理的核心内容，各个体系层层递进，互为补充，缺一不可，只有全面落实六大工程措施并充分发挥各项工程的治污、控污、截污效益并增加流域内河湖生态环境用水量、改善湖泊水动力条件、增强湖泊稀释自净能力及改善滇池入湖污染物严重失衡的局面，才有可能使滇池 2020 年滇池外海水质基本实现规划水质保护目标。

水资源调度作用下对环境保护和改善的研究是当今国内外水科学研究的前沿和热点之一，其目的是通过改变现有水利工程或拟建水利工程的调度运行方式，发挥水利工程兴利避害的综合功能和综合效益，达到充分利用各种可利用的水资源，增加生产、生活的可利用水量，兼顾改善河道水质，实现水生态、水环境和水景观的修复、改善和保护，确保以水资源的可持续利用保障社会经济的可持续发展。掌鸠河引水供水工程、清水海供水工程和牛栏江滇池补水工程是滇池流域“六大工程体系”中“外流域引水及节水”的重要组成部分，其中牛栏江滇池补水工程是调水主体工程。牛栏江滇池补水工程在盘龙江入湖方案基础上，将盘龙江打造成牛栏江来水的“入湖清水通道”，通过建立德泽水库和滇池的联合调度运行机制，充分发挥牛栏江—滇池补水工程在缓解滇池流域水资源短缺和改善滇池水环境质量中的支撑性作用。

本研究依托国家“十二五”水专项“滇池流域水资源联合调度改善湖体水质关键技术与工程示范”，针对外流域调水这一问题，耦合水资源调度过程、地表水文过程、湖体水动力过程和水质 4 个方面的研究技术，回答并确定如何改善滇池流域水质目标和生态环境的最佳牛栏江引调水过程和时机。预期成果包括：①宏观策略——基于水资源条件的社会经济发展导向建议；②工程建议——已有、在建工程的优化调度方案，新建工程建议与愿景分析；③技术研发——调水条件下多水源系统模拟与优化配置技术。

1.2 研究目标及内容

1.2.1 研究目标

以改善滇池水质和控制蓝藻暴发为目标,为课题开发一套流域水资源系统水质-水量时空优化调控关键技术,回答如何发挥调水工程的功能,在宏观尺度上设计入湖河流的水量、水质及建立实现的最佳途径(配置、削减、调度),制定调度规则,并形成区域水资源系统联合调度与滇池水质改善集成方案及对滇池流域水污染防治“十三五”规划提供工程建议。

1.2.2 研究内容

1.2.2.1 滇池流域自然、人工水循环过程调查

(1) 补水工程实施后的滇池区域水资源系统利用分配现状调查与评价

①滇池—普渡河流域社会经济发展调查。调查滇池流域及海口—安宁—富民工业走廊的现状国内生产总值、工业总产值、三次产业结构、城镇发展规模、人口规模、市政设施、土地利用、农业发展等社会经济发展资料。

②滇池—普渡河流域水资源系统调查与评价。

水资源系统调查包括滇池流域的降雨、蒸发、入库径流、暴雨洪水、地表水资源量、地下水资源量、水资源总量、水资源可利用量、河流与湖体水质、现状供水设施、供水量和用水量等状况。

调查分析滇池流域各个分区供水水源结构及其变化趋势,生产、生活、生态用水的结构及其变化趋势,各个分区水资源的“供-用-耗-排”水关系等。

调查分析流域现状用水水平、用水效率、流域水资源开发利用程度等。供水设施、供水量和用水量调查包括本区的供水设施、外流域调水工程、中水及雨水利用等。

估算各个分区的用水消耗量,废污水排放量,对各个分区的“供-用-耗-排”水成果合理性进行检查。调查滇池流域各条入湖河道和滇池周边湿地建设情况,通过必要的现场测试和定位观测,初步分析各条河道和湿地的生态环境用水量。

调查分析现状滇池流域城镇发展挤占生态环境用水的程度,供水、用水存在的问题及发展变化趋势。

③滇池—普渡河流域工程水文分析及湖库径流还原。开展滇池—普渡河流域内重要水库和滇池的工程水文分析工作,得到各水库及滇池入库径流还原、暴雨洪水成果。对滇池—普渡河流域的洪水形成机制进行研究,分析各水源工程的洪水总量和过程线。

(2) 流域社会经济发展与水资源需求预测

- ①区域总人口变化趋势、城市化率，昆明主城周边其他城镇和产业园区的人口规模，以旅游为主体的流动人口规模及其季节性规律。
- ②产业园区的空间布局、主导产业及其经济发展规模。
- ③城镇和工业发展对灌溉面积及其空间格局的影响、都市农业发展与花卉蔬菜生产布局调整等导致的灌溉农业生产结构变化。通过模型分析，得出区域社会经济发展的可能情景，为水资源需求预测提供基础。

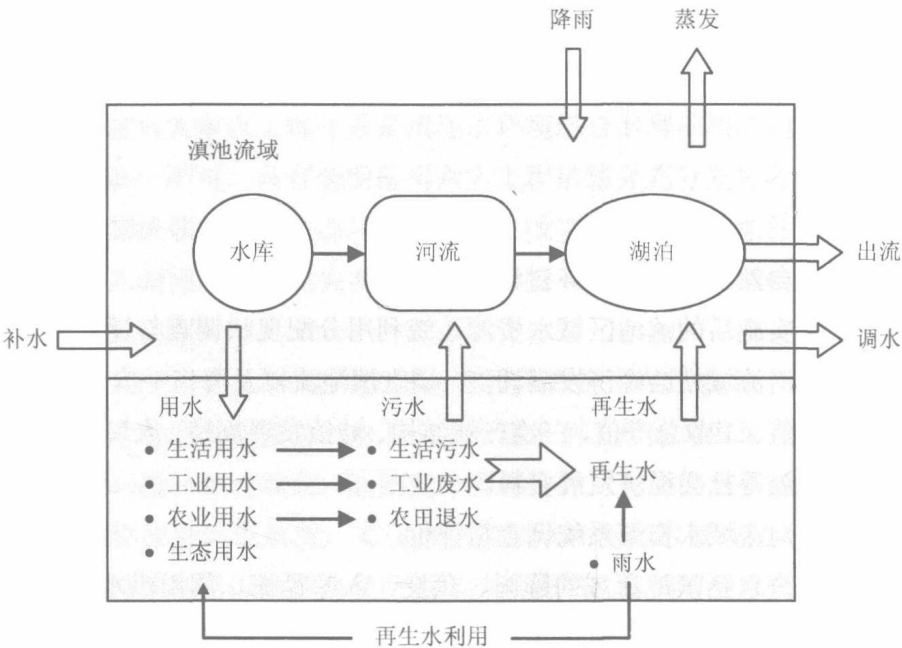


图 1-1 滇池流域水资源水环境系统分析

(3) 生态补水替代后的流域水资源格局和分质需求预测与评估

- ①生态补水条件下滇池区域水资源系统的水量-水质核算及时空格局变化。分析海口—安宁—富民工业走廊的社会经济发展对不同水质供水量的需求，特别是需要由滇池调节后供水的工业和农业需水量；分析滇池流域内城市再生水资源回用于海口—安宁—富民地区工农业生产用水的可能性和可行性；分析经滇池调节后，最大可以保障供给海口—安宁—富民工业走廊的工农业用水量。
- ②滇池区域水资源的分质需求预测与评估。预测分析滇池流域及下游海口—安宁—富民工业走廊水资源的分质供水要求及其时空分布，包括主要入湖河流、滇池周边湿地生态环境用水量调查与观测实验，“三生”用水的水量-水质要求；对滇池流域及下游海口—安宁—富民工业走廊各用水部门的需水量和用水水质进行预测；重点分析预测今后滇池流域土地利用变化带来的需水结构变化。通过现场调查和观测试验，根据滇池湿地的规模结构

分析预测今后的需水量。按“生活”“生产”和“生态”分别预测提出滇池流域及下游海口—安宁—富民工业走廊的需水量。在满足全社会各部门用水水质的前提下，分质预测现有和规划水源工程的可供水量，从质到量上都要满足研究区域的用水需求。

1.2.2.2 调水条件下多水源系统模拟与优化配置技术

水资源调度作用下对生态环境保护和改善的研究是当今国内外水科学研究的前沿和热点之一，其目的是通过改变现有水利工程或拟建水利工程的调度运行方式，发挥水利工程兴利避害的综合功能和综合效益，达到充分利用各种可利用的水资源，增加生产、生活的可利用水量，兼顾改善河道水质，实现水生态、水环境和水景观的修复、改善和保护，确保以水资源的可持续利用保障社会经济的可持续发展。本部分研究要实现水资源调度过程、地表水文过程、湖体水动力过程和水质 4 个方面的耦合模拟。需要解决的问题有如何实现天然水、外流域调水、流域内水库水、地下水、再生水、排水在滇池流域内外、用水单元的分配和调度，才能有效缓解水资源短缺，最大限度地恢复自然水循环，最大限度地产生和排放点源、非点源，最大限度地增加干净的入湖河川径流。预期成果包括：宏观策略——水资源配置与调度方案，基于水资源条件的社会经济发展导向建议；工程建议——已有、在建工程的优化调度方案，新建工程建议与愿景分析；技术研发——调水条件下多水源系统模拟与优化配置技术。耦合模型初步设计思路如图 1-2 所示。

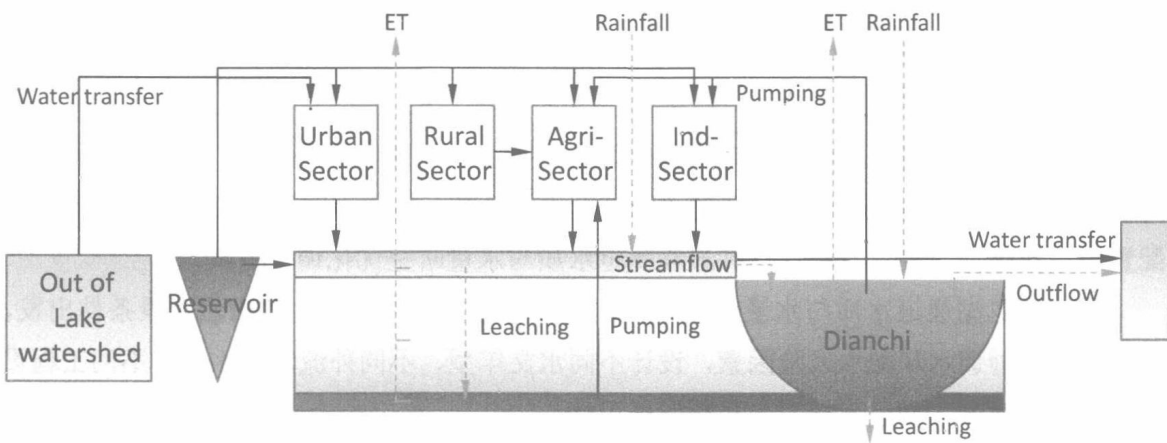


图 1-2 基于水质改善的滇池流域水量-水质数值模拟结构

1.2.2.3 滇池流域社会经济水循环系统及区域配置优化方案

在滇池流域水资源调查评价基础上，探讨区域水资源短缺格局；研究区域社会经济发展与水资源需求之间的规律，预测未来不同时期的用水需求；利用模型模拟区域水资源供需平衡状况，制定滇池流域水资源优化调配方案。具体研究内容包括：

①滇池流域水资源短缺评价与短缺格局研究。制定水资源短缺评价指标体系，科学描

述滇池流域水资源短缺状况。在流域水资源与水资源利用调查评价的基础上,探讨现状供用水系统下的滇池流域水资源短缺格局,为制定水资源优化调配方案提供科学基础。

②水资源需求预测与水资源供需平衡模拟。结合国内外其他地区的经验,探讨城镇化、工业化快速发展时期水资源需求演化规律,构建滇池流域区域发展——水资源系统演化模型;研究下垫面条件与供水体系变化下的滇池流域水资源供给能力,构建水资源供需平衡模拟模型,研究不同情景下的流域水资源供需平衡状况。

③变化环境下的滇池流域水资源优化调配方案。通过对多种来水条件的综合模拟,分析滇池流域水资源短缺风险,提出基于水资源条件的滇池流域产业布局导向建议与流域供水体系建设方案;给出不同情景方案、不同来水条件下的水资源优化配置方式,实现多水源供水格局下滇池流域社会经济用水与生态用水的联合优化调度。

1.2.2.4 滇池水质改善的流域水量-水质联合调度优化方案

控制蓝藻暴发,实现滇池湖体水质的全面改善是滇池流域水资源调度的首要目标,如何基于水质改善目标实现流域水量-水质的优化联合调度是实现这一目标的关键步骤。水量-水质联合调度是以流域模拟-优化模型为基础,通过对分质水资源量在时空上的合理配置,形成满足水量、水质约束的调度方案。本研究基于滇池流域可利用水资源量,以不同水质的水量合理配置为切入点,依托关键水利工程和流域经济社会调控措施,通过对滇池流域现有水资源与外流域调入水量在不同子流域中的优化分配,制定水质改善目标约束下的流域水质-水量的时空优化方案,评估不同方案对水质的改善效果与实施风险。基本研究内容可分为3个部分:

①滇池入湖通道水质与水量时空优化调控方案及效果评估,以任务二的模拟优化平台为技术支撑,综合考虑前3个子课题水库调度工程分析、再生水回用方案和社会用水配置等边界条件,进行方案评估并最终确定水质与水量时空优化调控方案。

②滇池入湖通道水质与水量时空优化调控情景方案研究;从流域自然背景条件出发,综合考虑多种调水和配水风险因素,设计不同水文年型、不同外流域来水量、不同工程设施保证率等情景,涵盖流域未来多种发展可能。

③滇池入湖通道水质与水量时空优化调控方案情景优选;基于不同的发展情景,采用流域水质模拟与水资源优化调度耦合模型,制定不同情景下滇池流域水量-水质优化调度方案,并评估各方案对水质改善的效果与实施的风险水平。

1.2.3 总体思路与技术路线

本研究的问题实质上是滇池的水环境问题与流域水文过程和伴生过程关系问题。为缓解和改善滇池水环境,除了加强内源和外源治理,还要加强水资源调度,通过水资源调度提供淡水,淡水增强湖体水动力过程或稀释降解作用。那么如何通过合理的水资源调度达

到这一效果和目的，则需要实现水资源调度（水库）过程、非点源负荷形成过程和湖体水动力过程相互耦合模拟，也就是流域水文过程、水污染迁移转化、河湖水动力过程和水资源调度过程、水资源优化配置 5 个方面的耦合。显然这个过程是高度非线性的（图 1-3）。

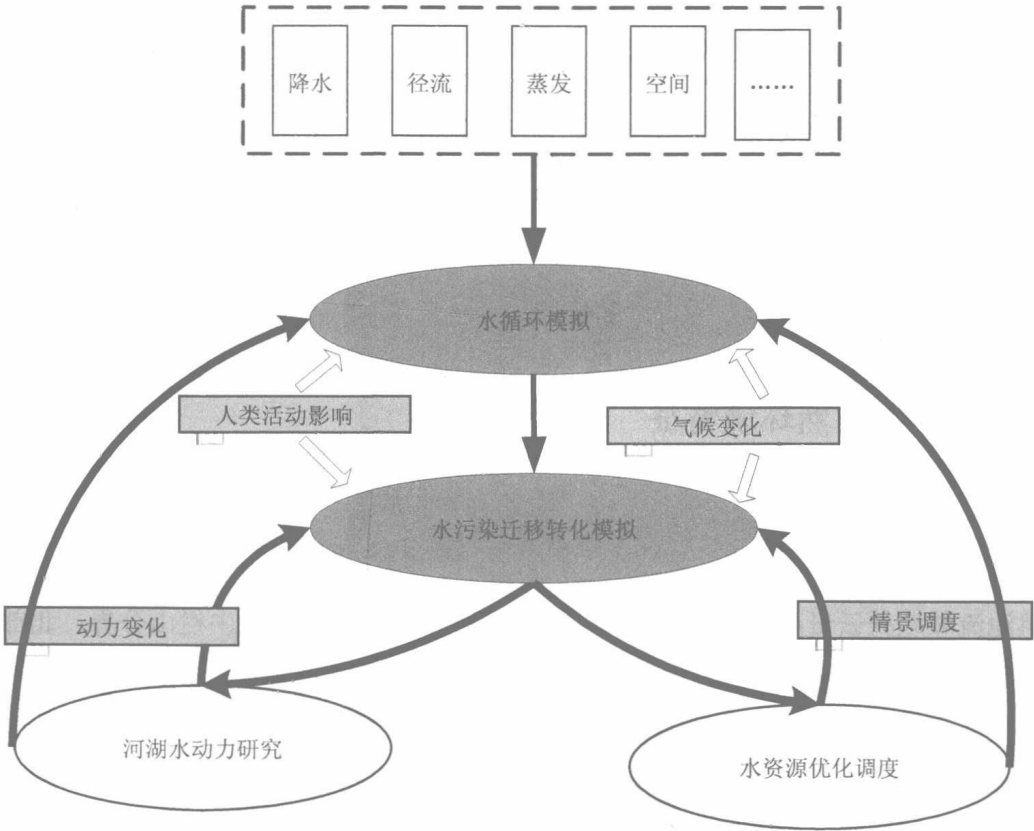


图 1-3 流域水资源系统水质-水量时空优化调控技术路线