

# 对滇池流域山水林田湖草一体化保护和系统治理的思考

吴雪<sup>1,2</sup>, 邓义祥<sup>3\*</sup>, 何佳<sup>1</sup>, 郝晨林<sup>3</sup>, 谢坤<sup>1</sup>, 付立苹<sup>1</sup>

(1. 昆明市生态环境科学研究院, 云南昆明 650032; 2. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南昆明 650500; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**【摘要】**滇池是“九五”时期以来我国重点治理的“三河三湖”之一, 经过30年治理, 水质明显改善, 水生生态系统演变趋势向好。然而目前, 滇池流域“山水林田湖草”系统治理格局还未完全形成, 流域生态系统韧性不足, 水环境质量正处于进一步改善的瓶颈期。为探索滇池治理的未来发展路径, 本文系统总结了前期滇池治理历程与成效, 诊断了存在的主要问题, 分析了滇池流域自然—社会复合生态系统特征, 提出了滇池流域山水林田湖草一体化保护和系统治理的思路、目标、空间布局和重点任务, 以期为新时期滇池流域水生态环境保护提供指导, 也为其他城市型重污染湖泊流域从水污染防治向水生态保护的转变提供借鉴。

**【关键词】**滇池流域; 山水林田湖草; 策略

**【中图分类号】**X32

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1674-6252(2024)03-0066-09

**【DOI】**10.16868/j.cnki.1674-6252.2024.03.066

## 引言

近年来, 我国水环境质量取得明显改善, 根据《2022 中国生态环境状况公报》, 全国 3629 个地表水国考断面中, III 类及以上水质断面已达 87.9%<sup>[1]</sup>。水生态环境保护工作正在从水污染防治向以水生生态系统保护为目标的“三水”统筹转变<sup>[2]</sup>。湖泊流域是人类活动最密集、人与自然关系最密切的区域<sup>[3]</sup>。受社会经济快速发展影响, 我国湖泊普遍面临富营养化的问题, 尽管开展了大量治理工程, 成效却不显著<sup>[4]</sup>。造成这一问题的原因之一可能是对湖泊流域治理的系统性认识不足。习近平总书记提出“山水林田湖草是一个生命共同体”的系统整体观<sup>[5,6]</sup>, 强调把生态环境当成有机统一的整体, 突出水环境治理的全局性、综合性、系统性<sup>[7]</sup>, 为湖泊流域治理指明了方向。

滇池是国家重点治理的“三河三湖”之一, 也是我国长江上游生态安全格局的重要组成部分。经过多年治理, 滇池水质已达 30 年来最好水平, 取得了显著成效。然而, 滇池流域生态系统尚未进入良性循

环, 水生生态系统退化问题依然严重, 滇池治理已经进入了攻坚克难的“深水区”。“山水林田湖草生命共同体”理念的提出, 为下一阶段滇池流域水生态环境保护提供了历史机遇。本文立足于“山水林田湖草”系统治理的思路, 总结滇池治理历程与成效, 剖析滇池治理存在的问题和流域自然—社会复合系统特征, 对滇池流域水生态环境保护的未来发展路径进行探索, 可为滇池流域进一步深化治理提供参考, 也可为其他湖泊流域治理提供借鉴。

## 1 滇池流域概况

滇池位于长江上游, 是云南省最重要的高原断陷型半封闭浅水湖泊, 有“高原明珠”之称<sup>[8]</sup>, 具有工农业生产用水、调蓄防洪、调节气候等多种生态系统服务功能<sup>[9]</sup>。

滇池湖面面积 309km<sup>2</sup>, 平均水深 5.3m, 最大水深 10.24m, 库容量 15.6 亿 m<sup>3</sup>。滇池流域面积 2920km<sup>2</sup>, 占昆明市域面积的 13.8%<sup>[10,11]</sup>。根据第七次人口普查结果, 滇池流域常住总人口 545.4 万人, 城镇化率

**资助项目:** 国家重点研发计划项目(2022YFC3203300); 长江生态环境保护修复联合研究(二期)(2022-LHYJ-02-0511-01); 云南省技术创新人才培养对象项目(202305AD160060)。

**作者简介:** 吴雪(1986—), 女, 高级工程师, 研究方向为湖泊科学、环境规划与管理, E-mail: stellawu7@126.com。

**\* 责任作者:** 邓义祥(1974—), 男, 研究员, 研究方向为环境规划及模拟, E-mail: dengyxbj@163.com。

94.5%。滇池流域是云南省人口最密集、城市化程度最高、经济最发达的地区，社会经济发展给滇池治理带来严峻的挑战。自“七五”时期以来，滇池水质长期呈劣V类，富营养化问题突出，严重制约了昆明市和云南省社会经济绿色发展。

滇池流域是一个大型断陷盆地，具有高原湿地面山—湖岸—湖滨—湖盆的典型结构。滇池湖体、35条入湖河流和7个集中式饮用水水源地是滇池流域水资源的重要载体。流域植被类型以亚热带常绿阔叶林、云南松及华山松为主，森林覆盖率为42%，有金殿、棋盘山等国家森林公园。主要分布于滇池东岸和南岸的农田为流域人类生产生活提供了物质基础，也赋予了昆明“世界春城花都”的美誉。自2009年开始实施的环湖“四退三还”工程已建成湖滨湿地6.29万亩<sup>①</sup>，形成了晋宁南滇池国家湿地公园和昆明捞渔河国家湿地公园等主要湿地生态系统。总体上，滇池流域“山水林田湖草”要素齐备，各类要素相互依存，共同造就了滇池流域独特的生态系统。

## 2 滇池治理历程与成效

### 2.1 滇池流域水环境保护治理历程

#### 2.1.1 滇池流域水污染治理

自“九五”时期以来，滇池流域每五年编制一次流域水污染防治规划。截至“十三五”期末，共实施规划项目345个，完成投资616.37亿元（表1）。“九五”和“十五”期间，滇池治理以实施点源污染治理工程为主；“十一五”和“十二五”期间，强调综合施策，实施以环湖截污系统、环湖生态系统、水循环系统为重点的“六大工程”；“十三五”以来，以精准治污、提质增效为核心，在“十三五”规划的基础上编制并实施《滇池保护治理三年攻坚行动实施方案（2018—2020年）》，滇池治理的思路不断深入与完善<sup>[12-14]</sup>。

经过五个五年规划，滇池流域截污治污体系不断完善。至“十三五”期末，城镇生活

污水处理率从“九五”期间的49%提升到95%，共计建成市政排水管网7483km、城镇污水处理厂28座、日污水处理规模达到232万m<sup>3</sup>。城市区域的水污染治理从点源扩展到面源，为控制合流制溢流污染，建成并投入运行雨污调蓄池106座，设计调蓄量235万m<sup>3</sup>，涵盖面山雨洪拦截调蓄池、市政合流污水调蓄池、支流沟渠调蓄池、河口前置库等四种类型。为减少来自污水处理厂尾水的污染负荷，促进非常规水资源的循环利用，执行了《城镇污水处理厂主要水污染物排放限值》地方标准，开展了污水处理厂尾水提标工作，截至2022年底，滇池流域15座污水处理厂完成提标改造，完成总磷提标的污水处理能力达126.5万t/d，完成总氮提标的达22.5万t/d。农业农村面源污染防治有序推进，“九五”期间农村生活污水直接排放，至“十三五”末已建成945个村庄生活污水处理设施；农业面源控制方面实施了规模化畜禽禁养殖、测土配方施肥技术推广、秸秆资源化利用等综合措施。同时，实施了35条主要入湖河道及支流沟渠综合整治，对4100多个河道排污口进行截污改造，铺设改造截污管道1300km；完成22个城市黑臭水体治理，城市建成区黑臭水体全面消除。大量水污染防治项目的实施，对扭转滇池流域水污染形势、改善河湖水质起到了至关重要的作用，“十三五”时期滇池首次实现了规划水

表1 滇池流域主要实施的工程项目

时期	规划项目 / 个	规划投资 / 亿元	实施项目 / 个	完成投资 / 亿元	水质目标	目标完成情况
“九五” <sup>[15]</sup>	84	31.03	82	25.3	外海达到或接近Ⅲ类，草海达到Ⅴ类	外海、草海均为劣Ⅴ类，未完成目标
“十五” <sup>[16]</sup>	26	92.2	20	22.32	草海消除黑臭，草海和外海COD <sub>Mn</sub> 、TN、TP浓度低于2000年水平	草海TN、TP浓度上升，未完成目标，外海完成目标
“十一五” <sup>[17]</sup>	67	183.3	55	171.77	外海稳定达到Ⅴ类，力争接近Ⅳ类；草海力争接近Ⅴ类	外海、草海均为劣Ⅴ类，未完成目标
“十二五” <sup>[18]</sup>	101	420.14	93	289.79	外海基本达到Ⅳ类；草海基本达到Ⅴ类	外海草海均为劣Ⅴ类，未完成目标
“十三五” <sup>[19,20]</sup>	107	159.24	95	107.19	草海稳定达到Ⅴ类；外海稳定达到Ⅳ类（COD≤40mg/L）	草海Ⅳ类，外海Ⅳ类（COD=33mg/L），完成目标
合计	385	885.91	345	616.37	—	—

① 亩，中国市制面积单位，1亩≈666.67m<sup>2</sup>。

质目标。一系列截污治污工程的开展为滇池流域开展山水林田湖草一体化保护和系统治理奠定了良好的工程基础。

### 2.1.2 滇池生态保护修复

滇池周边有丰富的磷矿、石灰石等矿产资源，矿山开发破坏滇池面山生态环境，带来水土流失污染。为修复流域生态系统，昆明市自“十一五”开始系统推进滇池流域矿山关停整治工作，2017年底前关停72个矿山并逐步开展治理修复工作，因地制宜采用“自然修复”“辅助再生”“生态重建”等方式修复矿山，2018—2020年累计完成治理修复11291.29亩，完成率占采损区总面积的112.52%。中华人民共和国成立初期，滇池流域森林覆盖率可达55%左右，后因不合理开发利用，森林覆盖率一度下降至20%左右。为修复森林生态系统，从“九五”至“十三五”，昆明市结合退耕还林工程、天然林保护工程等林业生态建设工程，共计完成营造林225.79万亩，其中人工造林91.07万亩，封山育林及抚育134.72万亩，流域森林覆盖率保持42%。

受湖滨区工农业生产、生活、旅游等人为活动影响，滇池湖滨天然湿地在20世纪七八十年代就已消失殆尽。为恢复湖滨带的生态环境服务功能，昆明市自2009年开始实施滇池湖滨“四退三还”工程，通过恢复与建设湖滨湿地和湖滨林地，形成水陆间的缓冲区，逐步恢复湖泊生态系统的良性循环<sup>[21]</sup>。截至“十三五”末，共建成滇池环湖湿地6.29万亩（其中外海5.64万亩、草海0.65万亩）。随着滇池湖滨湿地的逐步恢复，湖滨生态环境明显改善，湖滨带植被覆盖率从2007年的13.1%提升到2020年的81%以上，生物多样性也逐步恢复。

### 2.1.3 滇池流域空间管控

滇池流域人类活动强度较大，生态涵养空间不足，国土空间管控尤为重要。2012年9月28日云南省人大通过了《云南省滇池保护条例》，并于2018年进行了修正<sup>[22]</sup>。2015年昆明市人民政府开始实施《滇池分级保护范围划定方案》划定的滇池一、二、三级保护区和城镇饮用水保护区方案。尽管已有明确的政策要求，但还是存在管控不严问题，出现了滇池沿岸过度开发、无序开发、贴线开发的现象。

为进一步强化流域国土空间管控，昆明市编制了《滇池流域国土空间保护和科学利用专项规划（2021—2035年）》，开展了滇池“两线”（湖滨生态红线和湖泊生态黄线）划定及“三区”（生态保护核心

区、生态保护缓冲区和绿色发展区）管控实施细则制定工作，由“两线”将滇池流域划分为“三区”，提出了细化管控措施。现行的“两线三区”充分考虑了生态保护、污染治理与经济发展的关系，体现了人与自然的和谐发展，奠定了滇池流域山水林田湖草一体化保护和系统治理的基本格局。

## 2.2 滇池治理成效

### 2.2.1 滇池水质创30年最好水平

1987—2022年，滇池水质总体呈明显改善趋势（图1）。与历史最大值相比，2022年，滇池化学需氧量（COD）、氨氮（NH<sub>3</sub>-N）、总磷（TP）、总氮（TN）、叶绿素a（Chla）浓度和营养状态指数分别下降了61%、93%、86%、42%、58%和16%。2016年以前滇池水质长期为劣V类，是我国污染最严重的湖泊之一，2016年首次改善至V类，2018年起进一步提升至IV类，治理成效显著。

### 2.2.2 水生生态系统演变趋势向好

通过提升滇池水质、修复滇池生态环境，滇池流域水生态环境大幅改善，湖体营养状态由重度富营养好转为中度富营养，动植物数量、种类都有了较大幅度的提升<sup>[23]</sup>。截至“十三五”末，滇池流域有水生植物290种、鱼类23种、鸟类139种，苦草、轮藻、海菜花等植物群落重新出现，彩鹮、白眉鸭、钳嘴鹈、小滨鹬、三趾滨鹬等珍稀鸟类在滇池湖滨出现，濒危银白鱼、滇池金线鲃等滇池特有物种又逐渐重现，滇池水生生态系统正在往好的方向演变<sup>[24,25]</sup>。十年前滇池藻类以蓝藻为主，其占90%以上，2020年蓝藻占比下降至70%，其余30%为绿藻和硅藻，藻密度下降了40%（图2）。滇池流域的生物多样性明显提升，生态系统功能逐步恢复，生态系统健康将成为下一步滇池流域保护和系统治理的重要目标<sup>[14]</sup>。

总体上，滇池水质改善和水生态系统恢复与“九五”时期以来所采取的水污染防治、生态保护修复、流域空间管控的政策制度和工程措施密不可分，尤其是大规模的污水处理能力削减了90%的点源污染负荷，来自牛栏江流域的生态补水提高了滇池的水环境容量，滇池流域“双目标”考核制度和河道生态补偿机制的实施压实了水污染防治的责任。然而，随着滇池流域重大水污染控制工程的实施和工程效益的逐步释放，滇池水质进一步提升的难度加大。目前流域城镇生活污水处理率已达95%以上，进一步提升难度较大；牛栏江补水量已经逐年减少，2014—2019年年

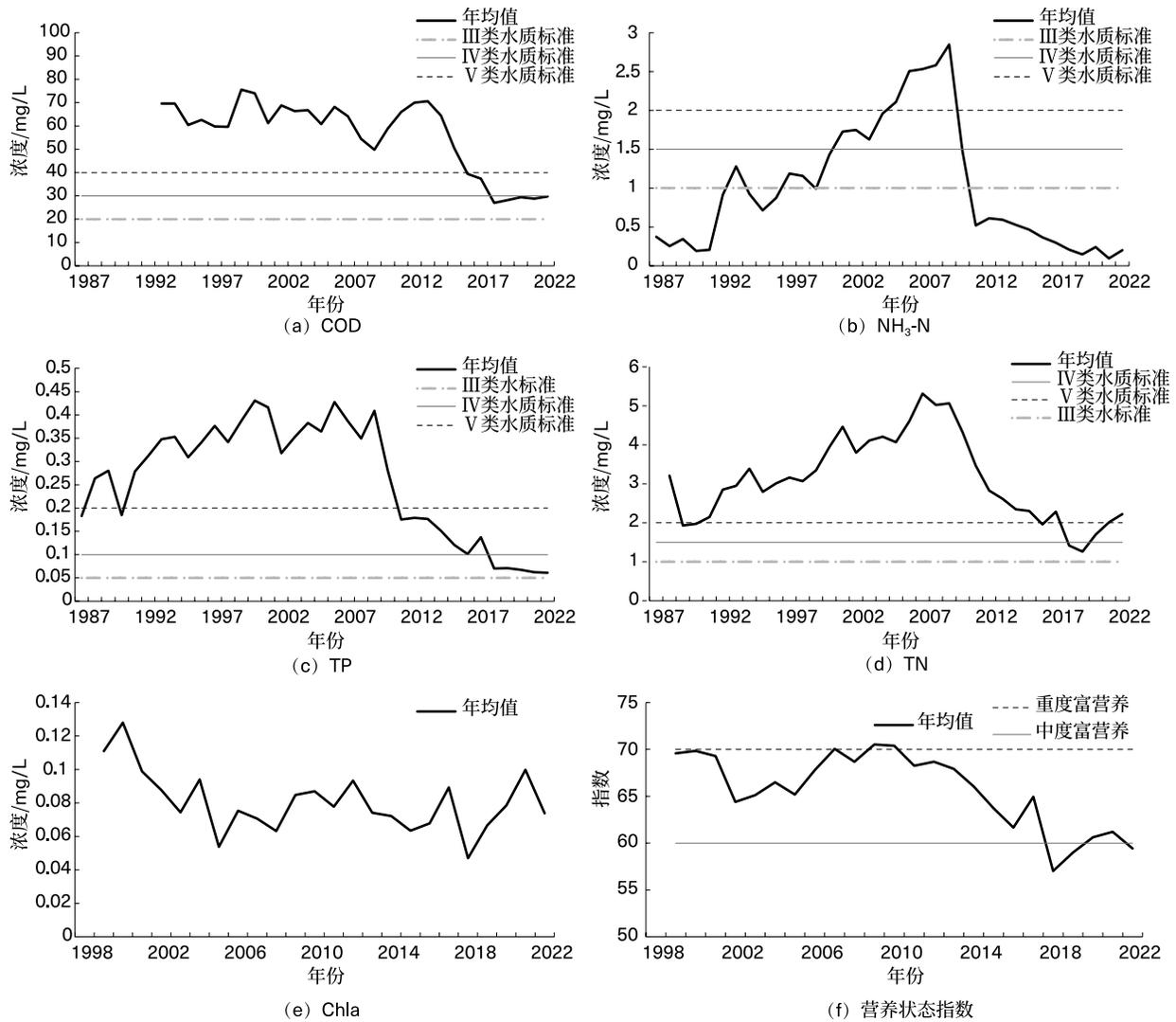


图1 1987—2022年滇池主要水质指标变化状况

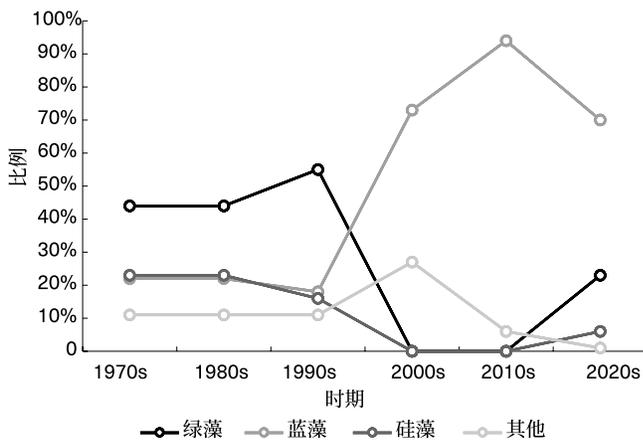


图2 滇池藻类变化趋势

均补水量约为 5.7 亿  $\text{m}^3$ , 2020—2022 年年均补水量减少到 3.1 亿  $\text{m}^3$ , 减少了近一半, 滇池流域已无法依赖外流域调水提升水环境容量。自 2019 年以来, 滇池湖体主要水污染指标下降的趋势已变缓, 个别指标甚

至有一定的反弹, 湖内沉水植被覆盖度依然不足 5%, 蓝藻水华仍然周年性发生、季节性富集, 滇池治理急需更加科学、系统、有效的思路和策略。

### 3 滇池流域治理存在的问题与特征

#### 3.1 滇池治理存在的问题

尽管取得了显著成效, 但滇池流域生态系统仍未根本改善, 河湖水质仍有波动, 湖泊水生生态类型依然为浊水藻型, 流域生态环境系统压力依然较大, “山水林田湖草” 系统治理格局还未完全形成, 滇池治理还存在突出问题。

3.1.1 面源污染治理缺乏有效措施, 河湖汛期污染强度较大

在点源污染逐渐受到控制的情况下, 滇池流域旱天水环境质量基本稳定, 但汛期受溢流污染及面源污

染的影响，河湖水质波动较为明显。2020—2022年，滇池流域主要入湖河道中的水质优良断面占比汛期较非汛期平均降低32%，滇池湖体水质也呈现出汛期水质恶化现象，尤其是COD和TP两项指标，草海COD和TP汛期比非汛期平均升高50%左右，外海COD和TP汛期比非汛期平均升高20%左右。滇池流域污染构成已经从二三十年前的以城镇生活污染和农业面源为主，转变为以城市面源和雨季合流制溢流污染为主。2022年滇池流域内有7个入湖河流断面被生态环境部列入全国汛期污染强度较大的50个断面。滇池流域汛期污染负荷主要来自城市区域的合流制溢流污染以及农业区域的面源污染。一方面，昆明主城雨污分流不完善，部分片区污水收集系统建设滞后，存在雨污混接、错接现象，部分城中村、老旧小区排水管网覆盖率低，出现雨季雨污混合水溢流进入河道的情况。另一方面，滇池流域农业以蔬菜、花卉种植为主，化肥施用量大，农业面源污染治理还缺乏有效措施，精细、绿色、生态的农业生产方式尚未完全形成，部分农村生活污水收集处理设施不完善，面源污染防治急需加强。

### 3.1.2 生态修复项目较为单一，系统性有待加强

生态修复与建设工程是滇池治理“六大工程”之一。“九五”以来，滇池流域实际实施生态修复与建设工程39项，累计完成投资122.22亿元，包括湖滨带生态建设和森林生态建设两类项目，其中湖滨带生态建设类项目完成投资110.71亿元，占比91%。森林生态建设类项目内容广泛，包括水土流失整治、面山生态修复和幼林抚育等，但投资占比较小，尤其缺乏后期的跟踪维护，导致森林生态系统质量不高，覆盖率偏低，水土保持、水源涵养等生态系统服务功能有待提高。湖滨生态系统还存在湿地连通性不强、布水系统不完善等问题，导致湿地生态效益不能充分发挥。湖内生境恢复和生态重建工作基本未开展，湖体处于亚健康状态，滇池水体透明度较低，2022年全湖平均为0.67m；TN、TP浓度依然远超国际公认的发生富营养化的浓度水平（TN 0.2 mg/L和TP 0.02 mg/L）；浮游植物密度常年处于高水平（ $10^7 \sim 10^8$  cells/L），水华蓝藻常年为水体中的优势种群；底栖动物以耐污种为主，多样性较差；大型水生植物覆盖度很低，不足5%；土著鱼类和特种鱼类较少，鱼类结构仍处于失衡状

态。生态系统结构极其单一，导致生态系统功能稳定性降低，对外部压力影响的抵抗能力变弱，生态系统完整性与多样性尚不能满足湖泊水生态安全需要。

### 3.1.3 流域管理碎片化，统筹协调有待加强

目前滇池流域供水、治水、排水分别由不同的部门进行管理，不同部门职能交叉重叠的问题十分突出，存在统筹不足、信息不畅、效能不优的问题<sup>[26]</sup>。滇池流域资源环境承载力不足，且流域内外缺乏统筹，水污染防治工作不平衡不协调的问题突出，“离湖布局、远湖发展”的战略有待落实。滇池流域内县区之间虽然实施了河道生态补偿机制，但在实际工作中仍存在上下游联动不足的问题。已经实施的治理工程项目缺乏系统衔接，如“厂—池—站—网”等排水设施缺乏有效联动，雨污分流对初期雨水收集处理考虑不足，作为湖滨生态屏障的湿地生态功能未充分发挥等。涉及多目标的流域管理信息共享程度不高，智能化信息化水平有待进一步增强。

## 3.2 滇池流域自然—社会复合生态系统特征

滇池、洱海和抚仙湖是云南省最大的3个高原湖泊。除滇池以外，抚仙湖和洱海分别于2017年和2022年纳入全国山水林田湖草沙生态保护修复工程。洱海和抚仙湖水水质优良，属于生态保护型湖泊，而滇池属重度—中度污染的富营养化湖泊，治理难度更大。滇池流域自然—社会复合生态系统有如下特征（表2）。

### 3.2.1 水资源匮乏，水体自净能力弱

与平原湖泊相比，滇池、洱海、抚仙湖等云南高原断陷湖泊换水周期更长，湖体自净能力更弱，湖泊生态系统更加脆弱敏感。滇池流域水资源尤其匮乏，人均水资源量209m<sup>3</sup>，仅为全国人均水资源量的10%；35条入湖河流源近流短，缺乏清洁水源，自净能力小，水质改善难度相对较大。滇池流域的水资源开发利用率高达75%，远超过国际公认合理开发40%的上限，供水主要靠外流域调水，城市社会生活用水与生态补水矛盾突出。

表2 云南典型高原湖泊流域特征对比

湖泊	水域面积 /km <sup>2</sup>	流域面积 /km <sup>2</sup>	流域人口 /万人	人口密度 / (人 /km <sup>2</sup> )	GDP/ 亿元	单位面积 GDP/ (万元 /km <sup>2</sup> )	人均水资源量 / (m <sup>3</sup> /人)
抚仙湖 <sup>[28]</sup>	216.6	1 098.49	36.47 (2015年)	332	135	1 229	334
洱海 <sup>[29]</sup>	252	2 565	86 (2017年)	335	450.55	1 757	923
滇池	309	2 920	545.4 (2020年)	1 868	5 161.33	17 676	209

### 3.2.2 地理环境独特，保护治理难度大

与洱海流域的大理市位于湖泊下游不同，滇池位于昆明主城下游，地处流域最低点，是流域唯一汇水和出水通道，也是城市及农村生产、生活污染物唯一受纳体，点源和面源污染防治压力巨大。滇池南岸是我国著名的磷矿富集区，湖水总磷本底值偏高，对滇池流域生态系统形成了巨大的压力。流域适宜的温度及充足的日照为湖内藻类光合作用及繁殖生长提供了有利条件，使得滇池蓝藻水华防控形势更为严峻。

### 3.2.3 流域人类活动强度大，生态系统韧性不足

滇池流域社会经济压力较大。滇池流域人口密度分别是抚仙湖、洱海的 5.62 倍和 5.58 倍，单位面积 GDP 分别是抚仙湖、洱海的 14.38 倍和 11.46 倍，而人均水资源只有抚仙湖和洱海的 59.9% 和 21.7%。由于经济社会的不断发展，城镇空间迅速外延扩张<sup>[27]</sup>，挤占了流域内维持自然生态更新的空间。目前在滇池北岸已形成了人口密集、城市活动集中的主城区，建成区域不断扩大，城市建设逐渐向山脚区域蔓延。根据第三次全国国土调查，滇池流域人类高度开发的土地面积占 41.65%，林地和草地占 45.99%，水域及水利设施用地占 12.35%，流域生态空间不足，生态系统整体弹性较低，稳定性差，抗干扰能力差，社会发展与自然保护的可持续发展面临突出矛盾。

## 4 滇池流域山水林田湖草一体化保护和系统治理策略

### 4.1 重要性与必要性

滇池流域处于我国“三区四带”中长江重点生态区（含川滇生态屏障）川滇森林及生物多样生态功能区，是我国高原湖泊生物多样性保护的重要基因库，2021 年联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会在昆明召开，会议正式通过《昆明宣言》，滇池成为我国向世界展示生物多样性保护成就的一张重要名片。滇池流域也是云南省政府和昆明市政府驻地，是促进云南省区域性经济绿色发展的重要支撑，流域内自然—社会复合生态系统的协调有序发展已关乎地区社会、民族人文的永续发展。习近平总书记高度重视滇池治理，先后三次视察滇池并做出“按照山水林田湖草是一个生命共同体的理念治理滇池”的指示。实施滇池流域山水林田湖草一体化保护和系统治理是在“九五”时期以来大力推进滇池流域水污染防治、水质改善初具成效的基础上，优化滇池生态空间格局、

加强滇池生态系统完整性保护、进一步巩固和提升滇池水质的需要，也是滇池流域争当生态文明建设排头兵、打赢“湖泊革命”攻坚战的需要。

### 4.2 思路与目标

以改善滇池水质和流域生态系统质量为出发点，以提高滇池流域生态系统的韧性为目标，以多要素的生态系统服务功能提升为导向，遵循“山水林田湖草”的整体性、系统性、功能性核心思想，根据滇池流域现存主要生态环境问题和特征，实施清水产流、控源截污、生态修复、精细管理等治理策略。清水产流，就是要实现水资源的开源节流，既要做好水源涵养，也要做好水资源集约节约利用；控源截污，即根据流域入湖污染负荷特征的转变，重点做好城市区域的城市面源和溢流污染控制，以及农村区域的农业农村面源污染防治；生态修复，不仅要建设好湖滨生态安全屏障，也要加大力度做好森林生态系统修复和矿山生态修复，适时推进湖内水生态修复和生物多样性恢复；精细管理，需要加强信息化手段的利用，加强管理制度创新，统筹流域内外发展。以水源涵养、国土整治为手段，推进滇池流域生态基质保护，实现清水产流；以城镇生活污水治理、农田和农村面源治理为手段，修复滇池流域生产和生活空间，减少流域污染物排放量和入湖量；以湖滨生态修复为手段，守好滇池最后一道生态屏障，实现清水入湖；以土著鱼种保护和典型水域生态修复工程为主，改善滇池湖体的生物多样性。通过实施综合管理项目，构建滇池湖泊一流域生态系统监测网络，建设智慧滇池智能化管理平台，对滇池山水林田湖草一体化保护和系统治理工程的实施效果进行统一的监督和管理（图 3）。

通过实施山水林田湖草一体化保护和系统治理，滇池流域生态系统质量从根本上得以提高。流域人口和社会经济发展对水环境的压力得到明显缓解，主要水污染物削减量进一步提升。滇池流域生态系统质量明显提升，森林水源涵养能力和生态系统调节能力增强，水土流失情况明显改善。滇池流域生境进一步改善，为动植物提供良好的栖息环境与生存空间，生物多样性水平得到提升，生态系统稳定健康发展，更加筑牢长江上游生态安全屏障。流域水环境质量稳步提升，入湖河流水质全面达到或优于Ⅳ类，河道全面恢复有水；滇池水质稳中有进，草海水质稳定达到Ⅳ类，外海水质达到Ⅳ类（ $\text{COD} \leq 40\text{mg/L}$ ）；滇池富营养化得到有效控制，蓝藻水华程度明显减轻。

### 4.3 空间布局

在现行滇池流域管理空间布局的基础上，结合流域内生态系统类型、生态环境敏感性、生态服务功能和山水林田湖草一体化保护和系统治理要求，将滇池流域划分为“一湖三区”4个生态保护分区，分别为湖区、湖滨生态区、绿色发展区和水源涵养区（图4）。

其中，水源涵养区位于滇池流域最上游，主要存在的问题是森林生态退化、水源涵养功能衰退、水土流失等；修复的主要目标是提高山林水源的涵养能力和生物多样性，实现清水产流。绿色发展区是滇池流域城市区域和农业农村区域，是人类活动的主要区域，存在的主要问题是城镇生活污染、农业面源污染的问题；修复的主要目标是减少污染物负荷的产生量和入湖量，改善流域和滇池水质。湖滨生态区是指滇池环湖公路以内的区域，包括滇池生态缓冲区和一级保护区，存在的主要问题是湿地布局结构不合理，水质净化功能未充分发挥，另外缓冲区仍然存在一定的农业种植活动，造成面源污染；修复的主要目标是提高湖滨带的生态屏障作用，实现滇池清水入湖。湖体区即为滇池湖体，存在的主要问题是鱼类结构单一，水生植物覆盖度低，蓝藻水华暴发；修复的主要目标是改善滇池水质和生物多样性，减少蓝藻暴发的风险。

### 4.4 重点任务

#### 4.4.1 水源涵养与生物多样性保护

滇池流域森林覆盖率和森林质量不高，水资源极度匮乏，清水产流能力亟待提高，生物多样性保护水平有待提升。因此，在水源涵养区开展水源涵养与生物多样性保护任务，包括历史遗留矿山生态修复、水源涵养和保护、森林生态修复和水土保持等，以加强生物多样性保护，促进山、林生态修复与治理，进一步完善流域生态安全格局。重点实施滇池流域历史遗留矿山生态修复工程、滇池流域重要水源地水源涵养林建设及生物多样性保护工程、滇池流域山区水源涵养与生态修复支撑体系建设工程、滇池面山困难立地植被恢复工程等项目。

#### 4.4.2 农田和农村生态系统保护和系统治理

目前，滇池流域农业人口仅占总人口的5.5%，农业面源主要来自滇池东岸和南岸的蔬菜花卉种植和少量分散式畜禽养殖，农业农村面源污染贡献量占流域污染负荷入湖量的占比不足10%，后续治理重点应为进一步提升农村人居环境、发展高标准绿色农业，形成农业农村面源常态化防控局面。因此，在绿色发展

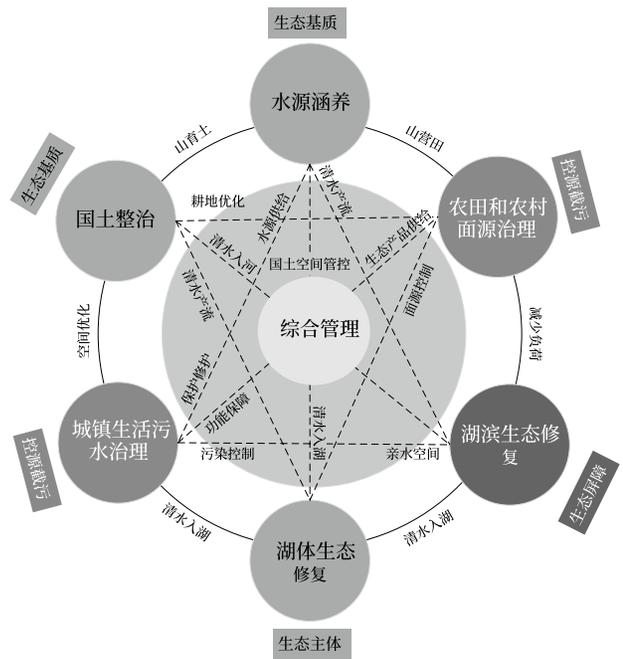


图3 滇池流域保护和系统治理思路

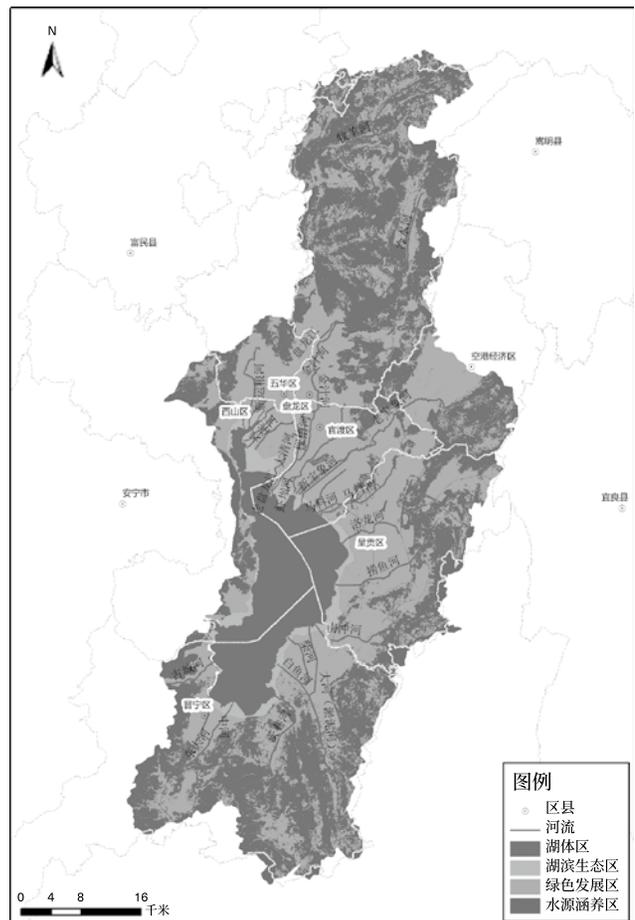


图4 滇池流域保护和系统治理分区

区内的农业农村区域开展农田和农村生态系统保护和系统治理任务,包括国土综合整治、农业面源治理、农村生活污水收集处理等,以改善农村人居环境、发展高效生态农业、促进农田和农村生态系统进入良性循环。重点实施滇池流域国土综合整治项目、滇池流域及补水区受污染耕地安全利用技术推广项目、滇池流域及补水区农村农业有机废弃物资源化利用项目、滇池流域及补水区农田径流污染控制工程等项目。

#### 4.4.3 城市生态系统保护和系统治理

滇池流域城镇化率较高,人类活动对流域生态系统影响较大。经过多年治理,目前点源污染治理已达较高水平,城市面源和合流制溢流污染逐渐成为城市区域的主要水污染源;生产生活用水与河湖生态补水矛盾突出,依赖外流域调水,滇池流域每年产生的约7亿 $m^3$ 的污水处理厂尾水的再生水循环利用水平有待提高。因此,在绿色发展区中的城市区域开展城市生态系统保护和系统治理任务,包括主城区雨污分流管网建设、滇池入湖河流水环境综合整治、再生水循环利用等,以减少城市区域水污染物排放量、提高入湖河道生态净化能力、提升再生水利用水平,促进城市生态系统保护,探索城市区域人与自然和谐共生的滇池模式。重点实施主城区雨污分流改造提升工程、支流沟渠水环境综合整治工程、主城区再生水处理站及配套管网扩能增效工程等项目。

#### 4.4.4 湖滨生态保护和系统治理

滇池湖滨区域已经开展了“四退三环”工程,但还存在湿地生态功能发挥不足的问题,也出现过环湖过度开发的现象,湖滨生态系统的保护和修复水平有待提高。因此,在湖滨区开展湖滨生态保护和系统治理任务,包括实施农业产业结构调整、湖滨生态带建设、湖滨湿地建设等,以实现滇池环湖路临湖一侧大水大肥大药的种植方式全部退出,按照“再野化”理念提升湿地保护水平,让湖滨带切实发挥“绿色屏障”功能。重点实施滇池草海缓冲带生态修复、滇池环湖路临湖一侧农业产业结构调整、滇池外海西岸湿地建设等项目。

#### 4.4.5 湖体生态保护和系统治理

水污染“问题在水里,但根源在岸上”。前期的滇池治理也主要在陆域上开展水污染防治工作。目前,滇池水质的改善,为湖内水生态系统恢复提供了有利条件。在滇池湖体开展湖体生态保护和系统治理任务,包括沉积物内源治理、蓝藻应急防控、水生态修复等,通过改善生境促进滇池水生态恢复,通过水生态修复工程示范带动滇池水生态功能的整体恢复,

促进“水污染防治”向“水生态系统”转变。重点实施滇池土著鱼种人工繁育基地建设、滇池典型水域生态修复、蓝藻水华应急处理设施建设、沉积物内源治理等项目。

#### 4.4.6 加强综合管理能力建设

目前,滇池流域综合管理还存在突出问题:①水生态环境保护有关的数据分散在各部门,缺乏有效整合提炼,不利于利用大数据的优势及时诊断发现问题并采取措施。②缺乏系统、持续的水生态监测,覆盖水、土、生物等主要元素的一体化生态系统监测网络尚未建立,缺少体现高原湖泊特征的水生态系统评价体系。为加强各生态保护分区任务统筹协调,有必要建立完善滇池流域生态保护修复综合管理体系,实施流域生态系统状态监测网络建设、滇池流域智能化管理平台建设等修复任务,建立完善滇池流域水生态监测评估机制,提升智慧化管理水平。

## 5 结语

滇池是“三湖”治理的难点,流域生态系统曾遭受严重破坏,因湖体富营养化严重而广受关注。经过近30年的治理,流域生态系统逐步恢复,2018年以来滇池水质稳定达Ⅳ类,富营养化得到初步控制。当前,随着滇池流域污水收集处理基础设施建设的全面完善,滇池保护和治理正处于转型期和瓶颈期。要进一步做好滇池保护治理工作,必须将“山水林田湖草是一个命运共同体”的系统整体观作为根本遵循,把滇池流域山水林田湖草视为一个生命有机体,构建多要素衔接的系统治理体系,进一步增强滇池流域生态系统的韧性,从根本上提升滇池流域的生态环境质量。

针对滇池流域目前存在的主要问题及其流域特征,以建设山清水秀的美丽滇池为目标,按照滇池流域山水林田湖草要素的系统联系,将滇池流域划分为“一湖三区”4个生态保护分区,实施山水林田湖草一体化保护和系统治理。通过精准识别各分区存在的问题,明确修复目标和重点措施,尊重自然、顺应自然,进一步提升流域生态保护修复的系统性、科学性,滇池有望成为我国山水林田湖草一体化保护和系统治理的重大标志性工程,成为世界重污染高原湖泊治理的典范。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 2022 中国生态环境状况公报 [EB/OL]. 北京: 生态环境部网站, (2023-05-24)[2023-06-06]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202305/P020230529570623593284.pdf>.

- [2] 徐敏, 秦顺兴, 马乐宽, 等. 水生态环境保护回顾与展望: 从污染防治到三水统筹 [J]. 中国环境管理, 2021, 13(5): 69-78.
- [3] 王健, 徐望朋, 马方凯, 等. 城市湖泊治理思考与建议 [J]. 人民长江, 2022, 53(2): 41-47, 71-71.
- [4] 张运林, 秦伯强, 朱广伟, 等. 论湖泊重要性及我国湖泊面临的主要生态环境问题 [J]. 科学通报, 2022, 67(30): 3503-3519.
- [5] 罗明, 于恩逸, 周妍, 等. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略 [J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [6] 周妍, 陈妍, 应凌霄, 等. 山水林田湖草生态保护修复技术框架研究 [J]. 地学前缘, 2021, 28(4): 14-24.
- [7] 任勇. 关于习近平生态文明思想的理论与制度创新问题的探讨 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(4): 11-16.
- [8] 黄杰, 王英才, 邓晓庆, 等. 滇池水质及营养状态时空变化特征 [J]. 人民长江, 2022, 53(6): 61-67.
- [9] 刘林, 雷冬梅, 冉玉菊, 等. 基于生态系统服务功能的滇池流域关键性生态用地识别 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(11): 277-284.
- [10] 姚云辉, 崔松云, 马巍, 等. 滇池草海水动力特性及牛栏江补水规模适宜性研究 [J]. 水电能源科学, 2018, 36(11): 41-45.
- [11] 孙鸿雁, 周红斌. 滇池流域生态环境现状及保护对策探讨 [J]. 林业建设, 2010(2): 45-48.
- [12] 杨枫, 许秋瑾, 宋永会, 等. 滇池流域水生态环境演变趋势、治理历程及成效 [J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(3): 633-643.
- [13] 徐畅, 刘颖, 刘元元. 滇池流域保护治理研究与展望 [J]. 四川环境, 2021, 40(6): 246-251.
- [14] 刘瑞华, 曹暄林. 滇池 20 年污染治理实践与探索 [J]. 环境科学导刊, 2017, 36(6): 31-37.
- [15] 国务院《关于滇池流域水污染防治“九五”计划及 2010 年规划》的批复 [J]. 中国环保产业, 1998(6): 7-7.
- [16] 张琨玲. 编制滇池流域水污染防治“十一五”规划的初步设想 [J]. 云南环境科学, 2005, 24(S1): 57-59.
- [17] 张锦. 滇池“十一五”规划项目完成 80% [N]. 昆明日报, 2010-11-13(002).
- [18] 曾思育, 曾亚妮, 董欣, 等. 滇池流域水污染防治“十二五”规划实施效果后评估 [J]. 环境影响评价, 2018, 40(4): 34-38.
- [19] 昆明市人民政府. 昆明市人民政府关于印发滇池保护治理“十四五”规划的通知 [EB/OL]. 昆明市人民政府. (2024-05-24). <https://www.km.gov.cn/zzms/c/2022-11-04/4599056.shtml>.
- [20] 杜托. 王喜良调研滇池治理“十三五”规划项目推进 [EB/OL]. 昆明: 昆明市滇池管理局, (2020-10-14)[2022-11-30]. <https://dgj.km.gov.cn/c/2020-10-14/3689516.shtml>.
- [21] 李玫兵. 滇池湖滨生态文明建设的借鉴和启示 [J]. 社会主义论坛, 2018(1): 38-39.
- [22] 昆明市人民政府. 昆明市人民政府关于进一步贯彻落实《云南省滇池保护条例》的实施意见 [EB/OL]. 昆明: 昆明市人民政府, (2021-10-20)[2022-11-30]. <https://www.km.gov.cn/c/2021-10-22/4128584.shtml>.
- [23] 王寿兵, 徐紫然, 张洁. 滇池高等沉水植物 50 年变迁状况对生态修复的启示 [J]. 水资源保护, 2016, 32(6): 1-5, 18-18.
- [24] 李加龙, 罗纯良, 吕恒, 等. 2002—2018 年滇池外海蓝藻水华暴发时空变化特征及其驱动因子 [J]. 生态学报, 2023, 43(2): 878-891.
- [25] 李杨, 黄育红, 杜劲松, 等. 滇池湖滨湿地保护现状及其对策研究 [J]. 环境科学导刊, 2020, 39(S1): 7-10.
- [26] 孟婷婷. 滇池流域管理体制机制改革方案初探 [J]. 中国环境管理, 2016, 8(3): 53-59.
- [27] 唐建军, 杨民安, 周亮, 等. 高原环湖城镇聚落的景观格局及空间形态演变特征——以滇池为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(10): 2274-2284.
- [28] 牛远, 胡小贞, 王琳杰, 等. 抚仙湖流域山水林田湖草生态保护修复思路与实践 [J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(5): 482-490.
- [29] 储昭升, 高思佳, 庞燕, 等. 洱海流域山水林田湖草各要素特征、存在问题及生态保护修复措施 [J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(5): 507-514.

## Considerations on the Integrated Protection and Systematic Conservation of Mountain-Water-Forest-Farmland-Lake-Grassland System in Dianchi Lake Basin

WU Xue<sup>1,2</sup>, DENG Yixiang<sup>3\*</sup>, HE Jia<sup>1</sup>, HAO Chenlin<sup>3</sup>, XIE Kun<sup>1</sup>, FU Liping<sup>1</sup>

(1. Kunming Institute of Eco-Environmental Sciences, Kunming 650032, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Dianchi Lake is one of the “three rivers and three lakes” that China has focused on since the 9th Five-Year Plan period. After 30 years of treatment, the water quality has improved significantly, and the evolution trend of the water ecosystem has improved. However, at present, the governance pattern of “mountain, water, forest, farmland, lake, grassland system” in the Dianchi Lake basin has not been fully formed, the resilience of the basin ecosystem is insufficient, and the water environment quality is currently in a bottleneck period of further improvement. In order to explore the future development path of the Dianchi Lake governance, the process and effectiveness of Dianchi Lake management in the early stage were systematically summarized, the main problems were diagnosed, and the characteristics of natural and social complex ecosystem in Dianchi Lake Basin were analyzed. The ideas, objectives, spatial layout and key tasks of integrated protection and systematic management of “mountain, water, forest, farmland, lake, grassland system” in the Dianchi Lake basin were put forward, which provides guidance for the ecological environment protection of the Dianchi Lake basin in the new era, and also provides reference for the transformation from water pollution prevention to water ecological protection in other urban heavily polluted lake basins.

**Keywords:** the Dianchi Lake basin; mountain-water-forest-farmland-lake-grassland system; strategy