

流域水污染防治的适应性管理探讨

——基于滇池流域水污染防治规划

冯庆¹

(昆明学院 昆明滇池(湖泊)污染防治合作研究中心, 云南 昆明 650214)

【摘要】: 基于适应性环境管理的理念, 对滇池流域水污染防治历次规划进行的回顾性评价表明, 滇池流域水污染防治规划, 在规划模式、管理目的及实施措施等方面, 已呈现出渐进式、问题导向及策略调整等适应性管理的特征。然而, 滇池流域严峻的水污染形势、外流域调水的风险、河湖水生态功能丧失、风险管理转型的迫切需求等问题依然存在。适应性管理可为新一轮滇池流域水污染防治规划提供思路, 即水环境管理目标向风险管理转型, 将规划范围拓展至调水水源区及周边辐射区域的广义流域, 侧重于重构具备健康水生态的良性循环生态系统, 并提升管理响应能力以应对流域水环境的变化风险, 使规划真正发挥引领和基础决策作用。

【关键词】: 适应性管理 水环境安全 规划 滇池流域

【中图分类号】: X32 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)06-178-07

规划是个人或机构事先决定未来某种行动方案的过程, 规划者的任务是要确定一种令人满意的未来, 并制订出相应的行动方案。而管理则通常被定义为掌控、把握或调度的能力, 管理者则具有为达此目的而调配资本、技术和人力资源的职责和权限^[1]。滇池自“九五”开始被列入国家水污染防治工作重中之重的“三河三湖”, 开始系统实施水污染防治五年规划(计划), 有效遏制了污染势头, 水质逐年改善。而与此同时, 滇池流域水环境安全管理中的复杂性、长期性与反复性显露, 要求新时期的滇池流域水环境保护规划及其管理能够应对环境变化, 并及时作出调整与适应。滇池流域水污染防治“九五”至“十三五”的规划与管理实践, 值得回顾和审视思考。

1 滇池流域水污染防治规划及实施总体情况

20 世纪 70 年代, 已有研究表明, 滇池水系每天受纳大量工业废水和城市生活污水, 其中 90%为工业废水。废水成分复杂, 含汞、砷、镉等有毒有害物质达 30 余种^[2]。1988 年滇池草海水水质总氮 7.51mg/L, 总磷 0.797mg/L, 分别超标 V 类水质 3.76 倍及 3.99 倍; 外海水质为 IV 类^[3]。此后的滇池水体, 二十多年来大多为劣 V 类, 中度至重度富营养, 水体功能几近丧失。20 世纪 80 年代, 政府主导开展了多项滇池污染及其治理的研究, 并于 1996 年开始系统实施滇池流域水污染防治规划。

中国的水污染防治规划, 始于 1970 年, 国家环境保护五年计划中, 均将水污染防治列为水环境保护的重点任务^[4]。“九五”规划以来, 利用目标总量控制模式, 以工业污染与城镇生活污染为重点污染控制对象, 在流域水污染防治规划中逐渐强化了规划的可操作性^[5]。滇池流域水污染防治系统规划便起始于“九五”时期。至今已完成四个五年规划, 实施第五个规划之年, 持续

¹作者简介: 冯庆, 硕士, 副教授, 研究方向为环境规划与管理。E-mail:fengq1001@126.com

基金项目: 云南省科技厅科技计划高校联合面上项目“基于利益相关者参与的云南高原湖泊流域协作型适应性水环境管理模式研究”(2018FH001-069); 云南省省院省校教育合作人文社会科学研究项目“云南高原湖泊环境协作共治长效机制与对策研究”(SYSX202029)

开展了“污染控制、水资源调配、生态修复、监督管理与研究示范”等重大项目。首个五年规划，从狠抓工业点源入手，完成了20家企业“关、停、禁、改、转”、29家企业限期治理以及118家企业进城市污水处理厂的工作，工业污染源基本实现达标排放；“十五”时期，持续治理点源污染，尤其是城市生活污水收集处理；“十一五”时期，面向全流域强调了流域水环境的科学综合整治，并实施了促进滇池水质目标顺利实现的“牛栏江—滇池生态补水”关键工程；“十二五”时期，除继承和完善滇池流域水污染防治“六大工程”，更为注重水环境质量改善和生态恢复，以健康的流域生态系统、社会经济与生态环境协调发展为目标；“十三五”规划，更明确了水环境保护优先的治理目标。

历经四个五年规划，在“十三五”规划起始的2015年，滇池全湖水质尚为劣V类，处于中度富营养状态，2016年转为V类，2018年全湖整体水质为Ⅳ类，为轻度富营养。综合营养状态指数持续降低，水质持续改善，健康安全的滇池流域水环境有望重塑(图1)。

2 适应性环境管理及其特征

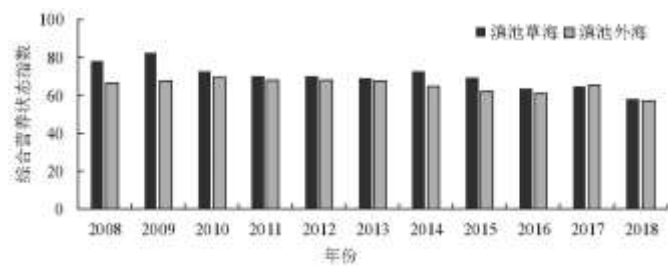


图1 滇池综合营养状态指数近10年变化情况

资料来源：据历年《云南省水资源公报》及《昆明市环境质量状况公报》整理。

适应性环境管理的概念最初是在20世纪70年代末针对系统的不确定性提出，以克服静态评价和环境管理的局限。其采用尝试—出错—再尝试的对付无知的传统方式，已知的东西是尝试的出发点，将出错视为提供了新的信息和认知，是再尝试的基础。根据整体环境的现状、未来可能出现的状况及满足发展目标等方面的新信息来进行调整，强调尝试者的学习和自身提高。与传统的一致性或机械管理相比较，适应性管理能够提供替代解决方案，允许错误并通过学习渐进调整，允许多主体平等互动地参与管理等，因而能更好地适应环境管理中的不确定性、意外和未知(表1)。适应性管理在水资源与水环境管理中逐渐得到重视。适应性管理通过进一步融合协同管理的思想，在欧美众多流域治理中得到了很好的应用与推广^[6]。如美国密苏里河流域生态恢复工程^[7]、澳大利亚大堡礁水质改善项目^[8]等。

表1 传统管理与适应性管理特征对比

特征		传统管理	适应性管理
环境		确定的	不确定、意外和未知的
管理目的		明确目标指向	问题解决指向
设计策略		解决问题的现成最佳方案	可供选择的多种解决方案
实施过程	规划	综合理性的	渐进的

	决策	集中的权力	分散的多主体
	领导与交流	命令式自上而下的科层管理	平等互动的参与式管理
监测或监控		执行、顺应与遵从	学习和调整计划与策略
评价		对不确定性和变化的低容忍	对不确定性和变化的高容忍

3 滇池流域水污染防治规划的适应性体现

滇池水污染势头得以遏制、水质的持续改善，得益于人们对滇池水污染现状认识的逐步深入，对滇池流域环境保护治理工作作出的及时调整。在历次滇池流域水污染防治规划(计划)中，也一定程度融入了适应性管理理念。

(1)从规划模式看，纲要性规划向渐进规划特征的转变。

纲要性规划也称综合理性规划，是规划的一种主流模式，纲要性规划模式的一个重要假设前提是：规划者收集到足够的数据，进行了足够的研究，对形势有准确的认识，并因而能够管理它和控制它。然而，现实中这是很难达到的，纲要性规划并不能很好地适应复杂性和不确定性，因而渐进规划作为一种替代模式便由此产生，并广泛应用。在渐进方式中，规划者关注的是多重的问题、目标和价值，他们并不追求最优，而是很实际地界定可实现又令人满意的目标^[1]。通过对滇池流域水污染防治历次五年规划目标的对比，可以看出由“明确目标”向“令人满意的目标”的变化，规划目标向理性、具体、以人为本转变，具有了渐进规划的特点。

“九五”计划是滇池流域水污染防治的第一个五年规划，规划目标具体为“外海水质Ⅲ类标准”及“草海水质Ⅴ类标准”。此时滇池外海水质已降为Ⅴ类，草海为劣Ⅴ类水质，又正值滇池水质急剧下降的时期，这样的目标显然是不切实际的；“十五”时期，总目标调整为“消除恶臭、控制恶化”；“十一五”及“十二五”，也均以“明显改善”“显著提高”“有效控制”“得到增强”“有效治理”等措辞表述，规划者认识到水污染治理的艰巨性与长期性，目标设定归于现实理性；“十二五”时期的大力度治理为“十三五”规划奠定了信心，除“明显改善”等措辞保留外，规划再次明确了“草海稳定达到Ⅴ类”“外海水质稳定达到Ⅳ类”以及入滇河道水质类别的目标。足以看出规划者“实际而又令人满意”的目标判断。规划并逐渐注重了人的感受，从最初仅提出“水质”目标到“消除恶臭”，从“十一五”起，更将“饮用水源、流域生态系统、重点工业污染、城镇污水、入湖河道”等与人类活动紧密相关的内容明确写入污染防治目标，并特别关注“由大规模水华爆发引起的水体黑臭现象”，体现了适应性管理多主体参与的特点。

(2)从管理目的看，以问题为导向的重点项目既有延续也有调整。

历次规划(计划)项目，可按照实施内容的特性分为：污染控制类(含污水处理厂及配套管网建设等)、生态修复类、资源调配类(主要指跨流域调水以及中水回用等)、监督管理类、研究示范类(含农业和农村面源污染控制示范工程等)，水污染防治工作这5个方面展开。据此统计历次规划项目的投资情况，呈现污染控制为主、资源调配项目延续、生态修复经费明显增加等特点。

污染控制是历年的防治重点，按照工业源、城市源、农村源、内源分类治理，在历年规划项目投资各类型中比例均最高，尤其是规划开始的“九五”时期，污染控制类项目规划投资所占比例高达84.7%， “十三五”规划中比例最低，也占了全部投资的50.3%。

资源调配项目，“九五”规划之初，着重解决“饮用水源调配”；“十五”时期，除延续了饮用水补给调配工程外，开始实施滇池生态用水补给与节水及污水资源化工程，并延续至“十二五”规划；未来，“十三五”开工建设的滇中引水工程更将全面施惠于滇池流域生产、生活及生态用水。

生态修复投入经费增加趋势明显，除“十五”投入占比 25.17%是一个较大的增长外，“十三五”时期投入经费达到 45.1% 的最大占比。说明水环境保护治理重点工作向源头治理及全流域系统综合治理转变。

(3)从实施措施看，针对成果现状及及时调整计划策略。

以工业点源治理措施的调整为例。规划之初的“九五”时期针对各企业，主要措施包括工业污染源“关、停、禁、改、转”及“限期治理”，并于 1999 年开展了滇池污染治理“零点行动”；“十五”时期，规划编制者认识到“缺乏综合对策”“部分项目建设滞后”等问题。“监督企业污染排放，巩固治理成果”成为这一时期的工业源治理目标，污染控制措施调整为“建设污染物总量控制系统及高浓度有机废水处理处置中心”；“十一五”期间，考虑到滇池流域社会经济快速增长导致水环境压力增大的现实，提出“优化区域布局、加大污染治理和监管力度”的任务，在滇池流域实施包括工业污水收集在内的“污水全面收集处理”，及“流域内工业企业全部搬迁进入园区实行工业废水统一集中处理排放”等具体措施；“十二五”则针对“污水收集处理系统不完善”等问题，在产业基地及工业园区，加紧建设污水处理厂，并继续加强重点企业污染监管；为落实国家“水十条”政策，“十三五”污染防治工作包括取缔“十小”企业，继续开展污染源排放许可证核发，继续促进工业向园区集中，提升流域工业园区污水处理能力，完善自动在线监控和信息化系统等。以构建工业污染源防治的监督、管理、控制体系。

又如污染控制重点区域的适时转移。滇池流域按区域功能可划分为城市、农村及湖体等，据此统计历次规划投资。城市区域是历次规划的防治重点，投资总额逐年递增，这与人口分布及人类活动的密集程度关系密切。城市区域水污染控制的主要措施包括：工业污染源的控制与监管、城市及工业园区污水处理厂及配套管网建设、环湖干渠(管)截污、河道水环境综合整治、城市下水道清淤、城市生活垃圾清运及处置、调蓄池建设等。工业源控制主要对策是“监管”，在最初的“九五”时期投资比例是历次规划中最高的，通过采取达标废水城市并网统一处理、“15 小”企业坚决“关、停、禁、改、转”及超标企业总量控制等措施后，投资比重总体呈逐次减少的趋势。工业之外的“其他城市源”则始终是历次规划投资重点，占比最少的“九五”时期也投入了 73.97%的资金，进入“十三五”其他城市污染源控制计划投资占比达 97.36%之多；农村源也始终是规划的重要内容，主要有：农村面源、水源地污染、畜禽养殖污染控制，生态修复及流域水环境综合整治等。但各次规划投资占比波动较大。“十五”是历次规划中投资比例最高的时期，在经历“十一五”较低投入占比后，“十二五”投入占比回升，显示出农村源受重视程度提高；内源污染控制的总投资“十二五”前虽在逐年递增，但投资占比总体呈现逐年递减的特点。由“九五”时期占比 11.8%降至“十三五”时期占比 0.7%(图 2)。

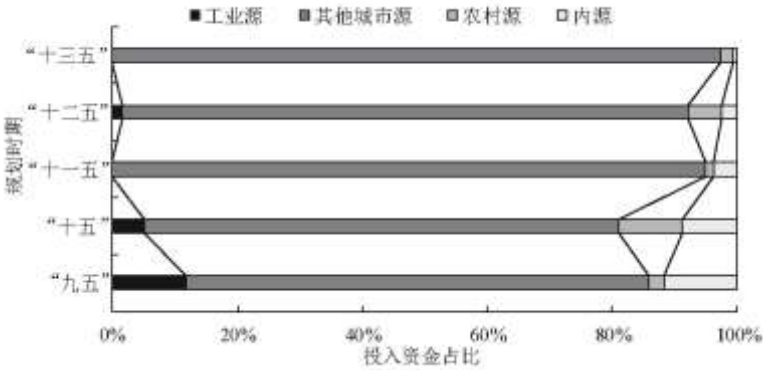


图 2 不同污染源污染控制类项目投入资金占比

4 当前滇池流域水环境安全面临的核心问题

然而,随着滇池流域水污染防治规划目标向“水环境保护”及“生态环境改善”的转变,变化环境下保障水环境安全成为规划的首要需求。水环境安全的概念于 20 世纪末提出^[9],充分考虑人的需求及水环境的系统性特点,水环境安全是指:陆地淡水水体环境保持足够的水量、安全的水质,以维持其生态系统稳定运行和生态功能持续发挥,既能满足人类生活和生产所需的健康持续用水,保障人类自身和人类群际关系处于不受威胁,又使自然水体生态系统稳定发展的状态。结合上述定义及滇池流域“十三五”水污染防治工作的新形势,在我们所做的基于层次分析法(AHP)的滇池流域水环境安全不确定性因素的识别与评价决策分析研究基础上,总结出滇池流域水环境安全核心问题呈现的新特点。

(1)水质方面,水污染仍是当前滇池流域水环境安全最大压力。

多年的滇池保护治理初见成效,2018 年全湖整体水质转好为Ⅳ类,治理成效可见但仍未达到滇池外海Ⅲ类水环境功能要求,且外海水质 4—6 月仍为Ⅴ类,7—9 月、11 月、12 月多个月份降为劣Ⅴ类,2019 年 2—7 月外海水质依然为Ⅴ类,8—12 月降为劣Ⅴ类,水体污染形势依然严峻^[10]。水质波动反弹压力主要来自:一是面源污染。自 2017 年昆明市在滇池流域实施河道生态补偿机制,以市级有关部门下达的水质考核目标和年度污水治理任务为依据进行核算,考核县(区)工作完成情况。“雨季河道水质超标”是多县(区)在考核中屡次反复反映的共性问题,城市截污及农村面源污染防治工作任务依然艰巨。二是人口数量的持续增加。人口增长导致流域污水、污染物排放总量的增加,是滇池流域水环境安全的重要影响因素之一^[11-12]。“十三五”规划之初的滇池流域人口密度已达 1393 人/平方千米,污水处理设施及处理能力亟须跟上人口的快速增长。三是城镇建设用地的迅速增加。有研究表明,城镇用地和耕地与水体污染物浓度间呈显著正相关^[13],而 1980—2012 年,滇池北部、东部城镇建设用地增加迅速,尤其是 1995 年后土地利用变化速率更快,强度更加剧烈^[14],近年来滇池东部及南部城镇建设用地仍在持续增加。

水污染使滇池流域承受了水质型缺水与资源型缺水的双重压力。若排除 5.7 亿立方米/年的牛栏江生态引水对滇池水质改善的贡献,水污染压力更为巨大。我们所做的决策分析研究也表明,相比较供水压力及用水压力,滇池流域水环境安全最大的压力来自水污染,其中生活废污水和农业废污水排放造成的压力最大。做好水污染防治工作,是积极应对水环境风险的首要工作。

(2)水量方面,外流域调水致水环境安全不确定性增大。

昆明是全国缺水最严重的 14 个城市之一,滇池流域缺水更甚。“十二五”末滇池流域人均水资源仅有 202 立方米,为全国的 9.9%、云南的 5.1%,低于全国主要缺水地区“京津唐”地区的人均占有量。“十二五”时期,昆明市采取了病险水库除险加固及干支渠防渗、建设“五小水利”工程及抗旱应急备用井等调蓄水保障措施,发展高效节水产业,建设再生水利用设施,建设雨水收集系统及公园绿地补建雨水综合利用设施等非常规水资源利用措施,及清水海引水、牛栏江—滇池补水盘龙天生坝、五华西翥等引调提水工程多种措施,初步构建了城乡水安全保障体系。其中,引调提水工程建设是解决滇池流域资源型缺水的最为重要的措施之一。

滇池外流域调水始于 2007 年 3 月通水的“掌鸠河引水供水工程”,年自流引水量 2.4 亿立方米,全长 97.72 千米的全封闭输水管道穿过复杂地质构造区域^[15];其次是 2012 年 4 月完工通水的“板桥河—清水海引水济昆工程”,一期工程每年向昆明城市输水 1.04 亿立方米,引水和输水线路总长 74.560 千米,水源保护区总面积 314.8 平方千米^[16-17];三是牛栏江—滇池补水工程,2013 年 9 月竣工通水后每年向滇池补水 5.72 亿立方米,输水线路全长 115.6 千米,牛栏江德泽以上流域面积 4551 平方千米^[18-19]。上述三项外流域补水工程补水总量,是滇池流域多年平均实有水资源量 5.4 亿立方米的 1.7 倍之多;补水区控制流域或水源保护区总面积 5610.8 平方千米,是滇池流域面积的近 2 倍。滇中引水工程也于 2017 年 8 月正式开工建设,计划施工总工期 96 个月。引水工程虽解决了流域生产、生活及生态用水的问题,但用水供给风险也随之增大,面积更大的汇水区的污染防控、地处复杂地质构造区的蓄水工程及输水管道安全、外流域来水对滇池水生态的影响、滇池污水外排对下游水质的影响、跨流域调水的区域生态补偿博弈及其他社会经济综合影响等问题,未来规划均应予以高度重视并及早制订应对举措。

(3)水生态方面，恢复健康生态既是目标亦是难点所在。

水环境安全要求水量及水质足以维持水环境生态系统稳定运行、生态功能持续发挥，既能满足人类生活和生产所需的健康持续用水，又使自然水体生态系统稳定发展。滇池流域健康水生态应从陆地、湖滨、湖泊全流域来考量。

滇池流域的陆地和湖滨生态系统，承受了人类活动的频繁持续压力。其一，环境承载力不敌污染排放。滇池流域以约占云南省 0.75%的土地面积承载了全省约 23%的 GDP 和 8%的人口，是云南省人口密度、城镇化程度最高的地区。2015 年流域城市建成区面积达 412 平方千米，污水排放量 3.6 亿立方米，较 1988 年扩大或增长了 6 倍，污染负荷已超环境容量；其二，流域生态安全格局亟须改善。流域森林覆盖率“十二五”末虽已达 53.5%，但主要集中于水源区，分布极不均匀，且部分水源区及矿产开采区水土流失仍较严重；其三，湖滨湿地虽已部分恢复但功能有限。51 平方千米的滇池湖滨带的天然湿地几乎全部丧失，96%的土地受人为侵占和垦殖已被开发利用，“四退三还”工程的实施，虽恢复了湖滨人工湿地约 33.3 平方千米，但部分湿地尾水、河水、湖水连通不畅，缺乏长效管理和维护机制。且现有本土植物遭受物种入侵的风险巨大。2012 年在滇池湖滨区共发现湿地高等植物 88 科 299 种，其中本土植物 181 种，外来植物 118 种(包括 32 种入侵物种)，新出现了以大藻、喜旱莲子草等外来植物为优势种的群落类型，而以海菜花、苦草等本土植物为优势种的植物群落已消失。与 20 世纪 60 年代的调查结果相比，物种多样性虽明显增加，但却是以质量的蜕变为代价^[20]。

滇池湖泊水体生物多样性丧失，生态功能退化。滇池水质自 20 世纪 90 年代始多呈劣 V 类，2018 年后方在部分时间段及局部区域逐步转好为Ⅳ类，持续二十多年水体功能几近丧失。湖泊水体生物多样性损失迅速，20 世纪 60 年代滇池水生植被占湖面面积达 90%以上，20 世纪 70 年代末水生植被占滇池总面积已不到 20%，2010 年前后，沉水植物分布面积仅占 6.8%；水生维管束植物 20 世纪 50 年代尚有 28 科 44 种，21 世纪初的调查仅发现 12 科 15 种，原有植物群落分布范围也大大缩小；滇池土著鱼种由 20 世纪 60 年代的 25 种减至现在的 4 种，为外来种替代，底栖动物、贝类数量也大为减少；蓝藻的优势度持续居高，沉水植物的消亡，系统自我循环的生物网崩溃，滇池生态系统的稳定性和抗干扰能力严重削弱，湖泊自净能力所剩无几^[21]。

(4)水社会经济方面，生态环境管理转型任务艰巨。

进入新时代，我国社会主要矛盾转化为人民日益增长的对美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾，人民群众对优美生态环境需要已成为这一矛盾的重要方面。面对当前复杂的生态环境，有效防范生态环境风险是人民群众健康生活的基本需求。昆明市近五年均未发生特大(Ⅰ级)、重大(Ⅱ级)及较大(Ⅲ级)突发环境事件，一般(Ⅳ级)突发环境事件均已得到妥善处置。但应警醒的是，除突发型环境事件外，累积型生态环境风险问题已成为生态文明建设面临的巨大考验；同时，昆明全力打造“全省‘三张牌’(绿色能源、绿色食品、健康生活目的地)中心区”发展目标下，需要有更高的生态环境要求。但在宏观政策层面，全过程、多层次的水环境风险防范体系尚未纳入滇池流域保护治理战略和规划；也缺乏能为流域决策提供科学评估、协调和监督生态环境风险管理的研究与实践；土壤污染、地下水水质监测覆盖不到位，加之企业除法律规定必须公开的情形外大多不愿公开环境信息，造成风险信息交流不畅；随着生态环境保护意识及对健康生活需求的提高，公众可接受的生态环境风险水平持续降低，公众的环境诉求不断增加，风险管理转型是必然而紧迫的趋势。

当前的滇池流域水环境管理“质量控制”任务仍有较大压力。以环保督查整改工作为例，2018 年中央第六环境保护督察组向云南省反馈“回头看”及高原湖泊环境问题专项督察情况，仍然发现了《云南省滇池保护条例》对一级保护区内允许建设的滇池保护设施，二级保护区内允许建设的“生态旅游、文化建设项目”和禁止建设的“其他房地产”没有明确界定，导致一些旅游地产项目“打擦边球”；以及未按要求及时出台保护条例配套政策文件，严重影响条例的执行效果等问题，滇池保护条例亟须再次修订完善。此外的问题还有：滇池治理“十二五”规划项目进展完工率极低、湖泊水质均未达到水环境功能区要求，推进农村污水设施建设缓慢，尚存在滇池湖滨区“边治理、边破坏”“居民退、房产进”等违规开发现象等。风险管理转型压力大、任务重。

5 基于水环境安全适应性管理的滇池流域“十四五”规划建议

规划是对未来整体性、长期性、基本性问题的考量和设计，是对未来环境，尤其是变化环境的一种预测和判断。滇池流域水环境系统已然是一个人类强烈干预的复杂系统，适应性是复杂系统稳定运行的重要特征，规划是适应性管理的重要应对措施。基于以往滇池流域水污染防治规划的适应性特点及水环境安全核心问题，即将迎来的又一个滇池流域水污染防治五年规划应充分考虑以下几方面。

(1) 目标导向上，关注不确定性推进水环境的风险管理转型。

适应性管理因采用尝试一出错一再尝试的方法，能容忍不确定性和变化而更适用于风险管理。党的十九大将生态文明建设持续提升到历史新高高度，随着我国社会主要矛盾发生变化，人民群众对优美生态环境的需要成为新时代矛盾的重要方面，良好生态环境成为最普惠的民生福祉。2018年全国生态环境保护大会上，习近平总书记正式提出了有效防范生态环境风险这一论述，指出生态环境风险是国家安全的重要组成部分，是经济社会持续健康发展的重要保障。新时代的水环境管理，要坚持以人民为中心的价值导向，提升人民群众对优美、健康的生态环境的获得感，向群众需求转型。满足人们生活和生产所需的健康持续用水是水环境安全的重要内涵，滇池流域水环境风险管理应当重点防范的方面包括：部分河道或滇池降雨后水质下降等滇池水质不稳定的问题；外流域调水的水资源供给安全保障、水资源优化调度，以及流域自身储备水资源安全的问题；滇池湖泊及湖滨生态系统重构的水生态安全问题等。特别是滇池流域不仅需要外流域优质供水保障，更重要的是应形成流域自身可持续水环境管理格局。

面对滇池流域多方面复杂的水环境安全问题，在水环境质量控制得以保障的同时，要及时向以风险管理为导向的生态环境管理模式转型，加强环境监测，瞄准核心问题，科学预判水环境安全不确定性与风险，把生态环境风险纳入常态化管理，系统构建全过程、多层次生态环境风险防范体系，建构完善的生态风险监测、预警、宣传教育等防范制度和法律体系，推动流域社会经济与生态环境的同步协调发展。

(2) 区域范围上，拓展至调水水源区及周边辐射区域的广义流域。

适应性管理关注的焦点是生态系统而不是行政区，即适应性方法采用生态系统边界而非行政管理边界。生态系统边界理念在如今的滇池流域管理中是非常必要的。外流域调水大大缓解了滇池流域水资源短缺压力，有效改善了滇池水质，但更大面积的供水区的水环境安全、蓄水工程及输水管线等的安全保障要求也应运而生。因而，新一轮滇池保护治理规划必须淡化行政边界，充分考虑调水区域的水环境不确定性风险。应关注以下三方面问题：一是对滇池流域现有及即将建成通水的各条调水流域展开水环境安全科学评估，进行包括其水质、水量、水生态及水经济等全面的科学预判，把握不确定性因素、辨析水环境安全风险级别，进而制定外流域的不确定性风险应对举措；二是精细谋划、科学决策水资源的分配与管理，建设配套设施、优化水资源调度，确保调水引水能够在滇池流域保障水质水量、水生态与水文化构建等方面得到综合、高效的利用；三是加强流域自身建设，持续建设“海绵”城市、优化已建成的雨污调蓄池功能、节水并提高水资源循环利用效率，以克服滇池流域对外流域补水较高的依赖性。

此外，基于适应性管理生态系统范围的考虑，滇池保护治理还应在区域生态文明建设中发挥积极的辐射带动作用。为保护治理滇池，流域外的昆明市周边区县承接了大部分蔬菜、花卉种植及污染工业企业的工农业发展职能转移，一方面，在疏解了滇池流域污染压力、服务中心城市发展的同时，这些工农业仍要依托昆明中心城市的物流、商贸、信息、交通等优势；另一方面，“高药高肥”的蔬菜、花卉种植及污染工业企业虽然迁离滇池流域，但在新落地区域同样面临污染控制及绿色发展需求；作为长江流域上游的滇池，在“长江大保护”中也需要对滇池下游普渡河全流域进行系统保护治理，确保长江水质安全。

鉴于此，亟须统筹安排区域环境保护及经济发展，不仅是滇池流域内的水环境安全，也应系统考虑昆明市乃至全省的水环

境安全管理。因而新一轮规划应打破传统的县级行政区划管理界限，“跳出”滇池流域，协调统筹流域内外经济、社会、生态环境问题，以滇池为核心辐射带动周边区域水环境保护治理，实现滇池流域水环境保护与区域发展的协同推进。

(3) 重点内容上，着力于重构具备健康水生态的良性循环生态系统。

德国科学家的最新研究表明，人类活动正在从根本上改变生物多样性，全球生物多样性危机主要不在于衰减，而在于大规模重组^[22]。如今的滇池流域，在湖泊水体功能几近丧失、陆地和湖滨生态系统受人类活动深刻影响的背景下，促进滇池生物多样性重组、提高湖泊自净能力、恢复良性循环的健康水生态成为未来的工作核心。生态安全体系作为生态文明体系的重要组成部分，以生态系统良性循环和环境风险有效防控为重点^[23]，而生态系统良性循环作为生态安全的基础，就尤为重要。

湖泊自净依靠物理、化学、理化、生物和生化等作用得以实现，各种作用相互影响、交织进行。滇池污染防治工作的控源截污、生态修复、蓝藻打捞、底泥清淤、调优质水入湖及调劣质水出湖等各类综合措施均能一定程度增强湖泊自净能力，但需经历一个漫长时期，健康水生态系统重构，应是陆地生态系统和湖泊生态系统的协同治理。在陆地生态系统中的水源区，植树种草要着力于水源涵养及防治水土流失；在人口聚集的村庄与城市，秉持低影响开发理念，可通过植草浅沟、下凹式绿地、雨水花园、绿色屋顶、地下蓄渗、透水路面等设施，使市区尽量接近于自然的水文循环与功能；在河岸、湖滨及湖泊生态系统，遵循能量塔和食物链物质流动原理，调整植物类型与结构，搭配不同食性鱼类及其他水生动物，充分利用动植物之间的交互作用，促进生物多样性重组；继续实施河道截污、生态修复、底泥清淤、植被扩增、湖滨湿地塘库系统构建、水体连通、滇池增殖放鱼等措施，提升湖滨湿地生态环境效能。可见，流域生态系统的不同区域有着不同的保护治理目标，适应性管理中问题解决指向的、多主体平等互动的参与式管理正适用于此。

(4) 能力保障上，提升监测及信息共享水平以增强学习响应能力。

要实现对变化环境的迅速响应，不断学习与适应至关重要。通过深入的学习，准确把握整体环境的现状、未来可能出现的状况及满足发展目标等方面的新信息，才能不断调整未来行动和方向。这些学习内容，来自及时准确的监测保障和系统科学的研究引领，以及研究成果和监测数据面向管理决策者的实时共享。

监测作为基础保障，“十三五”期间滇池流域进一步完善和提升了环境信息化监测网络，水环境监测方面实现了与滇管、水务等少部分直管部门的信息共享，新一轮规划还应当在农、林、环保、工业等部门，尤其是在系统科学研究中，更加扩大监测数据的共享范围。更广泛的管理部门及更优越的科研机构的介入，才能依据良好的数据和信息，实现管理与科研的交互共享，真正实现科研对管理的支撑服务功能。有了数据信息，才能进一步推演制作趋势图以及搭建更复杂的模型，预测评估不确定性以了解并降低风险，制订应对风险和不确定性的适应性规划，提出替代性措施方案，并继续监测、建模、预测及优化决策。尤其是在科学预测和推演下设计与谋划的替代性方案，是适应性规划的重要成果体现，新一轮水环境保护治理规划中应充分考虑可供选择的多种解决方案的设计。

多主体的互动协同是适应性管理的重要特征，水环境安全的各利益相关方可以在监测、提供信息、首先感知变化、适应性决策、全过程管理等方面提供最丰富的信息进而提供有益的帮助。更多的信息将有助于减少不确定性或更多地把握风险所在。因而，管理者为各方搭建一个信息交流互动平台或渠道是非常有必要的，通过进一步融合协同管理的思想，适应性管理将在流域的生态恢复、水质改善等治理中得到很好的应用与推广。

参考文献:

[1][加]布鲁斯·米切尔. 资源与环境管理[M]. 蔡运龙, 李燕琴, 后立胜, 等, 译. 北京: 商务印书馆, 2004: 63-69.

-
- [2]何经昌,刘振华,李长江.滇池水系污染对鱼类影响的初步调查[J].云南大学学报(自然科学版),1980(1):142-148.
- [3]昆明环境科学研究所编著.滇池富营养化调查研究[M].昆明:云南科技出版社,1992.
- [4]张建宇,秦虎.差异与借鉴——中美水污染防治比较[J].环境保护,2007(14):74-76.
- [5]郁亚娟,王翔,王冬,等.滇池流域水污染防治规划回顾性评估[J].环境科学与管理,2012(4):184-189.
- [6]Berkes F.Evolution of co-management:Role of knowledge generation,bridging organizations and social learning[J].Journal of Environmental Management,2009,90(5):1692-1702.
- [7]Prato T.Adaptive management of large rivers with special reference to the Missouri river[J].Journal of the American Water Resources Association,2003,39(4):935-946.
- [8]Broderick K M. Adaptive management for water quality improvement in the Great Barrier Reef catchments:Learning on the edge[J].Geographical Research,2008,46(3):303-313
- [9]杨京平,卢剑波.生态安全的系统分析[M].北京:化学工业出版社,2002:7-13.
- [10]云南省环境保护厅.高原湖泊水质月报[EB/OL].(2019-03-01).<http://sthjt.yn.gov.cn/partial/monthlist.aspx>.
- [11]欧阳志宏,郭怀成,王婉晶,等.1982—2012年滇池水质变化及社会经济发展对水质的影响[J].中国环境监测,2015(2):68-73.
- [12]李中杰,郑一新,张大为,等.滇池流域近20年社会经济发展对水环境的影响[J].湖泊科学,2012(6):875-882.
- [13]Tong S T Y,Chen W L.Modeling the relationship between land use and surface water quality[J].Journal of Environmental Management,2002,66(4):377-393.
- [14]王圣瑞.滇池水环境[M].北京:科学出版社,2015.
- [15]刘烈平.昆明破解饮水难——昆明市掌鸠河引水供水工程建设纪事[J].支部生活:中共云南省委党刊,2007(5):12-13.
- [16]谭志华,梁为邦.清水海引水工程隧洞地质灾害成因分析及施工处理[C]//中国水利水电勘测设计协会.水工隧洞技术应用与发展.北京:中国水利水电出版社,2018:185-198.
- [17]昆明市人民代表大会常务委员会.昆明市清水海保护条例[N].昆明日报,2019-08-09(19).
- [18]水电十四局.牛栏江——滇池补水工程输水线路贯通[J].云南水力发电,2013(4):167.
- [19]谢波,顾世祥,苏建广.牛栏江——滇池补水工程可调水量分析[J].人民长江,2010(15):15-18,42.
- [20]项希希,吴兆录,罗康,等.人为干扰对滇池湖滨区湿地高等植物种类组成的影响[J].应用生态学报,2013(9):

2457-2463.

[21]戴丽, 胡小贞, 陈静, 等. 滇池生态安全保障策略研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2012.

[22]Eriksson B K,Hillebrand H.Rapid reorganization of global biodiversity[J]. Science, 2019, 366(6463):308-309.

[23]新华社. 习近平出席全国生态环境保护大会并发表重要讲话[EB/OL]. (2018-05-19). http://www.gov.cn/xinwen/2018-05/19/content_5292116.htm.