

滇池流域近 20 年社会经济发展对水环境的影响^{*}

李中杰^{1,2}, 郑一新^{1**}, 张大为¹, 倪金碧^{1,2}

(1: 昆明市环境科学研究院, 昆明 650032)

(2: 云南高科环境保护科技有限公司, 昆明 650032)

摘 要: 滇池是我国著名的高原淡水湖泊, 滇池流域是云南省社会经济发展最为活跃的区域. 通过对 1988—2009 年流域社会经济发展和水环境变化情况进行系统调查, 分析流域水环境问题的主要影响因素, 并在此基础上进行趋势分析. 结果表明, 近 20 年来滇池流域人口数量年均增长 3.3%, GDP 年均增长 18%, 城市化率提高了 17%; 伴随着社会经济的快速发展, 流域用水总量及污染物排放总量持续增加, 由此导致流域主要河流水体水质恶化趋势明显, V 类水质河流占比增长了近 4 倍, 滇池草海、外海水体水质恶化为劣 V 类, 水体水质恶化及湖泊富营养化已成为滇池面临的重要水环境问题, 且短期内难以有大的改变. 最后从产业结构优化、污水处理系统建设、污水再生利用、农村环境保护、生态补偿机制等方面探讨了解决目前滇池流域水环境问题的主要措施及建议.

关键词: 滇池流域; 社会经济发展; 水环境; 富营养化

Impacts of 20-year socio-economic development on aquatic environment of Lake Dianchi Basin

LI Zhongjie^{1,2}, ZHENG Yixin¹, ZHANG Dawei¹ & NI Jinbi^{1,2}

(1: Kunming Institute of Environment Science, Kunming 650032, P. R. China)

(2: Yunnan Gaoke Environment Protection Science & Technology Co., Ltd, Kunming 650032, P. R. China)

Abstract: Lake Dianchi is a famous plateau freshwater lake, whose basin is the most active area of socio-economy in Yunnan Province. Through systematic investigation socio-economic development and changes of aquatic environment in 1988–2009, the main influencing factors of such changes were analyzed. Results showed that the annual increasing rate of population, GDP, and urbanization in the Lake Dianchi Basin reached 3.3%, 18%, 17% in recent 20 years, respectively; With the rapid development in socio-economy, total water consumptions and pollutant emissions continuously increased. At the same time, the water quality in main rivers deteriorated significantly, with the percentage of rivers with water quality type-V increased by nearly 4 times. The water quality of inner (Lake Caohai) and outside of the lake were degraded to worse than type-V. The deterioration of water quality and lake eutrophication have become important water environmental problems in Lake Dianchi, which are difficult to be relieved in the short term. In the basis, we proposed some measures and recommendations to improve the water environment in the basin, including optimizing industrial structures, construction of sewage treatment systems, wastewater reclamation, rural environmental protection, ecological compensation mechanism and so on.

Keywords: Lake Dianchi Basin; socio-economic development; aquatic environment; eutrophication

滇池流域(24°29′~25°28′N, 102°29′~103°01′E)位于云贵高原中部, 昆明市西南部, 属长江流域金沙江水系, 地处长江、红河、珠江三大水系分水岭地带. 流域面积 2920 km², 为南北长、东西窄的湖盆地形, 可分为山地丘陵、淤积平原和水域三个层次, 主要涉及昆明主城的五华、盘龙、官渡、西山四区及呈贡、晋宁两县

^{*} 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07102-001)和昆明市科学技术局 2008 年重大科技专项项目(昆科计字 08S100307 号)联合资助. 2011-07-01 收稿; 2012-04-01 收修改稿. 李中杰, 男, 1983 年生, 硕士, 工程师; E-mail: zhjli2527@163.com.

^{**} 通信作者; E-mail: zyxx3997@hotmail.com.

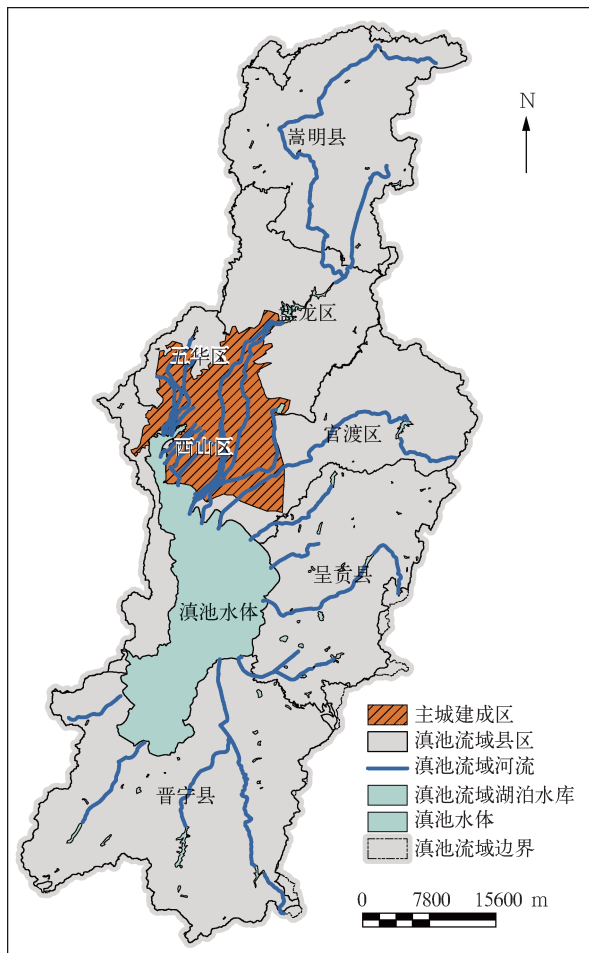


图1 滇池流域地理位置及行政区划

Fig. 1 The location and administrative districts of Lake Dianchi Basin

同时,昆明主城建成区规模不断扩张,由1988年的96 km²增长到2009年的264 km²,扩大了1.75倍,2000年以后增长最为迅速。随着城市发展水平不断提升,城市人口数量快速增长,城市化进程进一步加快,2009年流域城市化率达72%,较1988年的55%上升了17%,城市化率有较大提高(图2b)。

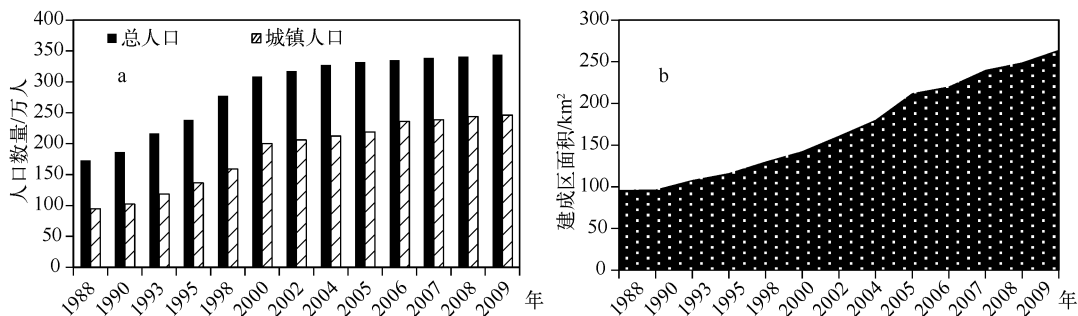


图2 1988—2009年滇池流域人口变化(a)及城市化发展(b)情况

Fig. 2 Changes of population(a) and urbanization(b) in Lake Dianchi Basin during 1988—2009

共55个乡(镇)、街道(图1)。

随着国民经济和社会迅速发展,人口快速增长和城市规模的不断扩大,滇池水资源供需矛盾突出、生态环境恶化,滇池水体及入湖河流水质下降,蓝藻水华频发、湖泊富营养化严重,景观及供水等功能大幅削减^[1],给滇池流域水环境带来巨大压力^[2]。2000年以来,滇池污染问题受到国家、省、市等各级政府的高度重视,被国务院列为重点治理的“三河三湖”之一,滇池污染治理工作得到快速推进。

本研究通过分析近20年来滇池流域经济社会发展与水环境变化的关系,试图摸清滇池流域社会经济发展对水环境的影响,揭示水环境变化对社会经济发展的制约和影响,为现代新昆明的全面可持续发展、为滇池科学治理与保护工作提供战略指导和理论支撑。

1 流域社会经济发展

1.1 流域人口总量与城镇化进程

滇池流域是云南省的政治、经济、文化中心,也是全省人口最稠密、社会经济最发达的地区。近年来,随着滇池流域社会经济的快速发展,流域范围内人口数量持续增长^[3],2009年流域人口达343.71万人,比1988年增加了171万,年均增长3.3%;平均人口密度达600~1200人/km²,高于人口密度等级第一级(100人/km²),属于人口密集区;而昆明主城区区域紧邻滇池北岸且位于上游(图1),其人口占流域总人口数的70%~85%,是流域范围内人口最为集中的区域,对滇池水环境构成重要威胁(图2a)。

1.2 流域 GDP 总量与产业结构

1.2.1 流域 GDP 总量 近 20 年特别是“十一五”以来,滇池流域经济发展水平不断提升,地区生产总值(GDP)呈现持续增长趋势,GDP 总量增加了 31 倍,年均增长 18% (图 3). 2009 年滇池流域 GDP 总量达到 1431 亿元,约占昆明市总量的 78%,云南省总量的 23%,人均 GDP 达 4.2 万元,滇池流域已成为昆明市乃至云南省经济发展水平最高的区域。

1.2.2 流域产业结构 1988—2009 年期间,昆明市产业结构表现为第一产业比重持续下降,第二产业大幅下降,2000 年以后保持基本稳定,第三产业上升显著,取代第二产业成为新的支柱^[3]。滇池流域受昆明市的影响和制约显著,2009 年滇池流域三次产业中第一、二、三产业分别实现增加值

34.3、612、785 亿元,三次产业结构比例为 2.4:42.8:54.8,其中工业、三产已成为流域经济发展最主要的支撑力量。在近 20 年时间里,滇池流域工业增加值增长迅速,由 1988 年的 27 亿元上升到 2009 年的 581.2 亿元,年均增长率达 15.7%;与工业发展变化趋势不同,流域第三产业 2000 年以后才出现较大的发展,2009 年第三产业增加值达 785 亿元,与 1988 年的 13.5 亿元相比,年均增长 21.3%。

目前,滇池流域已经进入工业化发展的中期阶段,处于由资源、劳动密集型产业向资本、技术密集型产业,重工业化前期向重工业化后期过渡的关键时期^[4],工业化加速发展与资源需求和生态环境保护的矛盾日益明显。从工业结构来看,滇池流域产值排前五位的行业分别为卷烟、钢铁、有色冶金、电力、化工,除卷烟外其他工业企业基本属于高耗能、高排污的资源型企业,且过于集中在主城区附近和滇池水体周边,给滇池流域及下游区域的生态环境带来较大压力。

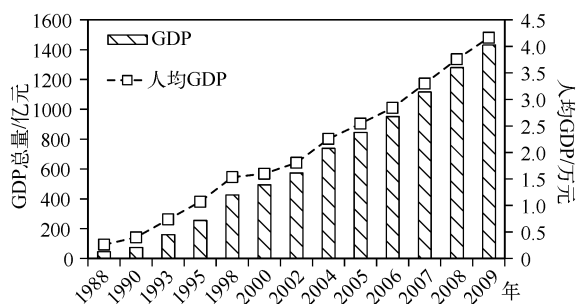


图 3 1988—2009 年滇池流域 GDP 变化情况

Fig. 3 The variation of GDP in Lake Dianchi Basin during 1988—2009

2 滇池流域社会经济发展对水环境的影响分析

2.1 流域用水总量不断上升

滇池流域为资源性缺水区域,多年水资源可利用量为 $1.0 \times 10^9 \text{ m}^3$,人均水资源量为 $300 \text{ m}^3/\text{a}$,仅为云南省人均值的 5.6%、全国人均值的 13%、世界人均值的 4.4%、联合国极度缺水标准的 55%。受经济发展及人类活动影响,近 20 年来流域范围内用水量总体呈现上升趋势,在一定程度上加剧了水资源的匮乏,使流域呈现资源性和水质性双重缺水局面。

根据《昆明市水资源公报》及滇池流域相关研究,随着城市发展和人民生活水平的提高,近 20 年来流域居民生活用水量呈现快速增长趋势,年均增长率为 16%;与此同时工业用水量也呈现增长态势,年均增长率为 6.5%,但随着生产工艺提高及节水技术推广,工业用水增长速度逐年下降;与生活、工业不同,流域农业用水总体上呈减小态势,年均递减率为 1.8%,这符合流域内产业结构调整,城市规模扩大、耕地面积减少及农业节水灌溉技术推广的实际情况。伴随着流域用水总量的持续增加,尽管污水处理能力逐年提升,但经处理后达标的水质、水量仍不容乐观,导致生活污水、工业废水排放量相应增大,多数河流成为纳污水体;虽然农业用水出现一定程度的下降,但灌溉回归水带来了大量氮、磷入湖^[5],在某种程度上加大了滇池治理的难度。

2.2 污染排放总量持续增加

2.2.1 流域污染物排放 随着滇池流域人口数量增加、城市规模扩大及生活方式的变化,流域内污染物排放总量呈现持续增加态势^[6]。2009 年滇池流域污染物 COD_{Cr} 、TN、TP 排放量分别达 101176、15184、1330 t,比 1988 年分别增长了 224%、223%、192%。在流域污染源污染排放总量中,城镇生活点源污染物 COD_{Cr} 、TN、TP 排放量最大,分别占流域污染物排放总量的 58%、80%、78%;其次为农业农村面源;而工业企业污染源污染排放占比最小,污染物 COD_{Cr} 、TN、TP 排放量分别占污染源污染排放总量的 15.0%、5.5%、9.5%。

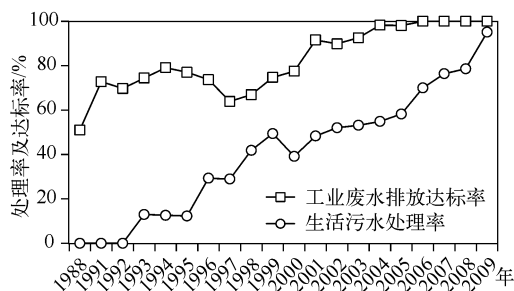


图4 1988—2009年滇池流域工业及生活污水处理率变化情况

Fig. 4 Changes of industrial and domestic sewage treatment rate of Lake Dianchi Basin during 1988—2009

2.2.2 污染削减能力不断增强 随着流域污染物排放量的持续增加,污染治理力度也不断加大(图4). 经过1999年实施滇池治理“零点行动”,流域工业废水排放达标率进一步提升,到2009年实现全部达标排放,较1988年增长了1倍,工业污染源治理效果逐步凸显. 随着人们认识的不断深入,污染治理不再局限在工业污染源治理,城市污水综合治理被纳入了政府规划,污水处理设施及收集系统相继建成并投入使用,流域污染处理能力持续增强^[7]. 到2009年,滇池流域污染物 COD_{Cr} 、TN、TP 削减量分别达 57965、6672、565 t, 比 1993 年分别增长了 3659%、3669%、4246%.

2.2.3 入湖总量总体呈现下降趋势 从污染物入湖总量看, COD_{Cr} 从 1995 年以后得到有效控制, 1998—2009 年持续下降; TN、TP 入湖量 1988—2000 年呈现稳定上升趋势, 此后 2002—2009 年出现波动下降趋势.

综合以上分析, 1988—2009 年期间, 滇池流域污染物排放总量持续增加, 不断增强的污染削减能力起到一定的减缓作用, 导致污染物 (COD_{Cr} 、TN、TP) 入湖总量呈现先增后减的变化趋势, 且流域污染物入湖总量在排放总量中的占比持续下降, 2009 年均达 50% 以下(图5).

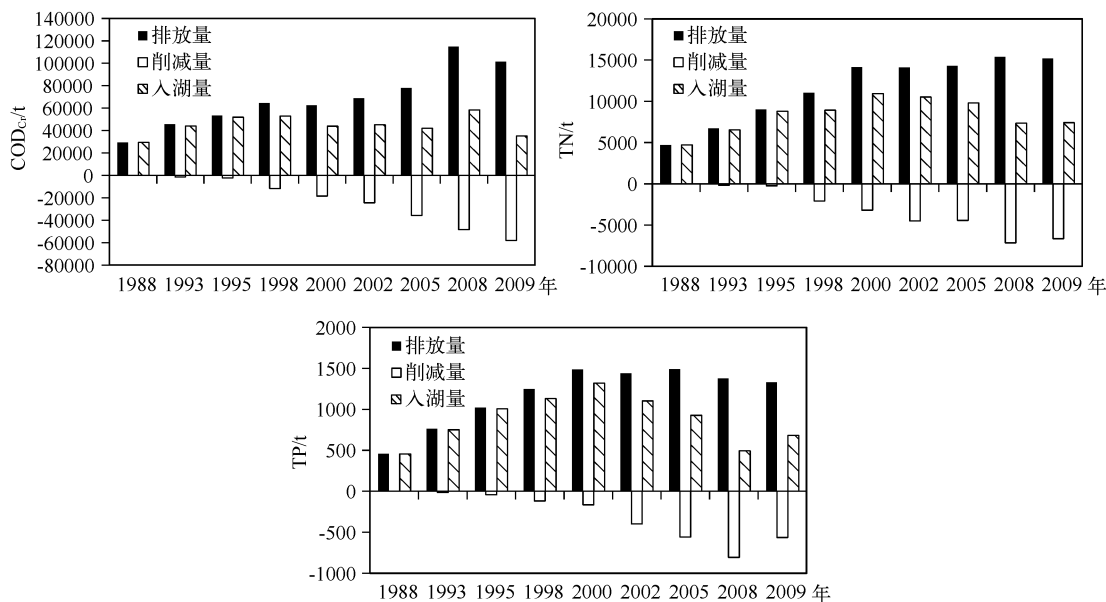


图5 1988—2009年滇池流域污染物变化情况

Fig. 5 Changes of main pollutants of Lake Dianchi Basin during 1988—2009

2.3 流域主要水体水质不断恶化

2.3.1 滇池水体 近20年来,滇池水体水质恶化趋势加快. 其中草海水体水质除1980s末为V类外,其余年份均为劣V类;而外海1980s末为IV类,1990s恶化为V类,2000年以后变为劣V类. 草海水体综合污染指数显著高于外海,水体水质恶化及湖泊富营养化已成为滇池面临的重要水环境问题.

自1990s以来,除草海 COD_{Mn} 外,滇池草海、外海水体中 COD_{Mn} 、TN、TP 浓度总体呈现波动上升趋势. 其中,1988年滇池草海、外海 COD_{Mn} 、TN、TP 浓度分别为 13.3、6.8、0.4 mg/L 和 6.3、1.3、0.1 mg/L, 与 1988 年

相比,2009 年滇池草海、外海 COD_{Mn}、TN 和 TP 浓度分别升高了 - 5. 4%、148%、255% 和 82. 9%、60. 2%、22% (图 6)。

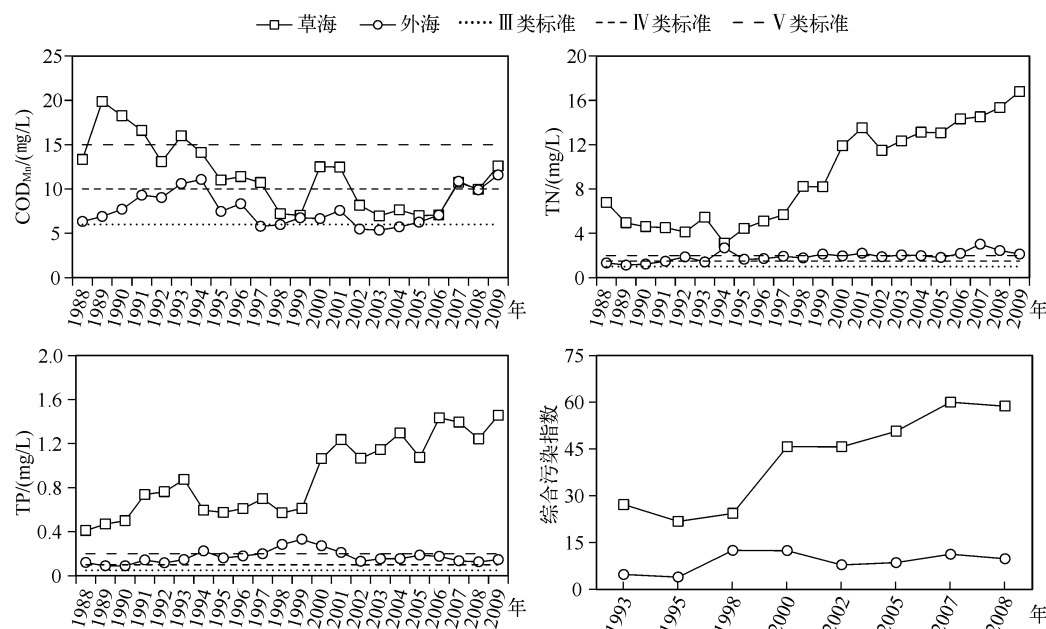


图 6 1988—2009 年滇池水体水质变化情况
Fig. 6 Changes of main water quality indices of Lake Dianchi in 1988—2009

2. 3. 2 主要入湖河道 与滇池水体水质变化情况相似,1980s 以来,滇池流域主要河流水体水质恶化趋势明显,V 类水质河流占比增长较快(图 7)。其中,1988—2001 年之间,流域 V 类水质河流占比总体呈现直线上升趋势,增长了近 4 倍;2001 年至今,V 类水质河流占比变化幅度较小,2006 年达到峰值,近三年出现小幅下降趋势,这可能与近几年的河道治理工作有关系,同时也表明滇池流域的水环境治理正在发挥积极作用。

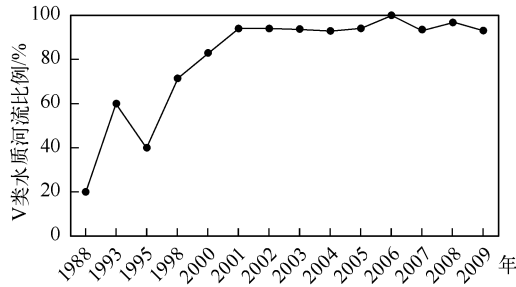


图 7 1988—2009 年滇池流域 V 类水质河流变化情况
Fig. 7 Changes of water quality type-V of channels of Lake Dianchi Basin in 1988—2009

3 主要问题解析及发展趋势分析

3. 1 流域社会经济发展是水环境问题的主要影响因素

随着社会经济的发展,滇池流域经济总量不断增加,城镇化进程不断加速、人口数量持续增加,带来的是滇池流域城镇生活污水、生活垃圾以及农业生产活动带来的水土流失、化肥流失等污染物排放量的持续增长,使滇池流域水环境状况不断恶化,水质持续下降。对滇池流域 1988—2009 年经济社会发展与水环境数据进行相关性分析结果表明,流域 GDP 的快速增长、人口数量的持续增加显著导致流域污水、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(表 1)。1988—2009 年期间滇池流域污染负荷远大于水环境容量,流域有限的环境容量和流域社会经济的快速发展构成了两个相互矛盾的主体。

3. 1. 1 人口剧增及生活方式变化是流域城镇生活污染增加的主要原因 分析结果表明,滇池流域人口变化不会出现“九五”期间快速增长的现象,但人口聚集效应仍然明显,大量农转非人口将随着城市化进程而不断增加,滇池北岸昆明主城四区聚集了滇池流域 80% 以上的人口数量。近 20 年来特别是 1990s 以来,伴随

着流域社会经济的发展,居民生活水平提高及生活方式改变(如抽水马桶、洗衣机及洗浴设施的普及)加大了城镇生活用水量并改变着污水性质与浓度构成^[8],每日人均综合用水量从1988年的163 L增至2009年的240 L,同时污水中油类、厨余下水、日用化学品所占比重显著上升,城镇生活污染排放量的急剧增加给滇池水环境带来巨大压力。

表1 滇池流域经济社会发展与水环境的相关性分析

Tab. 1 The correlation analysis of socio-economic development and aquatic environment of Lake Dianchi Basin

	相关性	GDP	人口	污水排放量	COD _{Cr}	TN	TP
GDP	Pearson 相关性	1	0.873 **	0.886 **	0.965 **	0.971 **	0.966 **
	显著性(双侧)		0.001	0.001	0	0	0
	N	10	10	10	10	10	10
人口	Pearson 相关性	0.873 **	1	0.970 **	0.938 **	0.905 **	0.839 **
	显著性(双侧)	0.001		0	0	0	0.002
	N	10	10	10	10	10	10

** 表示在0.01水平(双侧)上显著相关。

根据《昆明城市总体规划修编(2008—2020)》及《昆明市国民经济和社会发展规划第十二个五年规划(2011—2015年)》,未来一段时间滇池流域社会经济将继续保持较快的发展趋势,城市化率将进一步提高,2015年、2020年滇池流域常住人口总数分别达到385.6万人和430万人,城市化率达到90%以上。由于人口数量的持续增长,会增加对滇池流域的用水需求,使得滇池的生态服务功能相对减弱;同时受经济总量提升和城市化进程的推进,对水质的要求也会出现多元化趋势,无疑将带来了更多的污染物排放,进一步加剧对滇池的污染负荷。

3.1.2 流域污染呈现显著的产业特征 在20世纪末,滇池流域第二产业特别是工业取得了较快的发展,工业企业的数量也呈现明显的增长趋势,其在地区生产总值中占有较大比重,且稳定在一个较高的水平,与之相应的是工业污染源的数量、工业企业污染物的排放总量都随之持续增加,但大多数污水处理设施还停留在以去除COD_{Cr}为主的局面,TN、TP及其它特征污染物治理能力较为有限。

近十年来,随着昆明市“退二进三”步伐加快,滇池流域第三产业呈现飞速的发展趋势,其在地区生产总值中所占比重已上升到较高的水平,已取代工业成为流域经济发展的支柱产业^[7]。但与工业相比,第三产业普遍存在污染处理设施较为简单、污水循环回用率低、污染物削减量较小、排放量不断增加的情况;同时第三产业中部分行业(如理发美容、医院、影印等)常排放一些危害人体健康的特征污染物,这也给滇池流域的水环境安全带来一定的隐患。

随着滇池流域农村社会经济的发展,化肥、农药施用量一直呈上升趋势,特别是在农村经济比较发达地区,偏施化肥、过量施肥十分普遍;此外,农村大规模畜禽养殖、村民生活方式改变等使农村固体废物、农村废水排放量增加。现阶段,尽管流域第一产业在地区生产总值所占比重较小,但受历史形成的种种原因及观念影响,对农村面源污染治理重视程度和投资较为薄弱,农业面源污染情况依然较为严重。

在现代新昆明建设的推动下,滇池流域经济总量将持续增长,产业结构总体呈现第三产业占比平稳增加,第二产业占比基本稳定,第一产业占比持续下降的态势,流域不同行业的污染特征将会进一步显现。

3.2 污染治理未能满足流域水环境的需求

3.2.1 城镇生活污染治理手段及方式亟待改变 流域社会经济发展及人口的持续增长直接刺激了城市规模的不断扩张,致使能源、物质、资源消耗量持续增加,同时还会产生更多的污染物。而城市规模不断扩张导致污水排放分布的不均衡性又造成了生活污水处理压力分布的不平衡,在时间和空间上分布的不同步和不均衡,直接导致主城雨、污水管网等环保基础设施建设的严重滞后,流域污染处理系统呈现不配套、不健全的状态,致使污染处理效率整体不高^[7]。

1) 污染处理时空差异显著。现阶段及今后一段时间,昆明市仍维持合流制、分流制并存的城市排水体制,由城市(镇)生活污水、部分工业废水、基流和地下渗水构成的污水通过河道排泄。目前,流域污水处理厂

多由河道取水进行处理,相比旱季,雨季时雨水混入污水管网占用了大量资源,导致污水处理厂进水浓度均低于设计浓度,纯污水处理量明显降低,不能充分发挥污水处理厂作用。同时,这种不完善的城市排水体系,致使生活污水在高密度人口分布的中心城区产生后,在局部地区导致处理压力很大,直接影响生活污水处理及污染物削减。

2) 配套管网建设滞后。目前昆明主城区污水处理厂纳污范围约为 110 km^2 ,而建成区面积为 264 km^2 ,表明有 150 km^2 的建成区污水因无完善的管网或者污水处理厂无能力接纳而无法进入污水处理厂。同时,已建主干管和所在区域沿途次、支管缺乏连通,污水处理厂纳污范围内管网密度较低,污水处理厂进水量远小于其设计规模,污水处理厂不能实现满负荷运行,现有的处理能力未得到充分发挥。

因此,伴随着人口增长、水资源需求、污染排放和土地利用等方面的变化,污染已成为影响流域水环境质量的主导因素,给滇池流域的水环境和生态环境带来巨大的压力。

3.2.2 流域污染监管力度亟需提升 与东部地区其它大中型城市相比,目前滇池流域工业企业新鲜水用量、单位产值耗水强度等指标均较高,而工业重复用水率则明显偏低,在滇池流域水资源紧缺、水环境污染严重的现状下,高耗水工业的发展对滇池流域水污染治理工作十分不利。流域内多数工业企业均建设了污水处理站(装置),工业废水经处理后循环回用或达标外排,但由于企业监管队伍人手少、排污监督频次低,企业超标排污情况时有发生。“十二五”期间,应通过加强技术提升、工业内部结构调整等工作,继续推进节能减排工作,以促进工业用水量、工业污水及污染物排放强度进一步下降。

未来一段时间,城镇生活污染将成为流域点源污染治理的重点;在工业污染治理取得成效的情况下,需要关注新的污染形式,如重金属污染、有机污染、有毒有害物质污染等^[9]。同时,由于农业非点源污染涉及范围广、过程复杂,对其控制能力有限,需要增加对农业、农村等非点源污染的投入力度,防止大范围污染事件的发生。

4 结论与建议

滇池作为“三河三湖”治理重点之一及“三湖”治理的难点,自“九五”以来,国家、云南省、昆明市等各级政府相继投入大量的经费及人力物力,确定了以“环湖截污和交通、农业生产面源治理、生态修复与建设、入湖河道整治、生态清淤、外流域调水及节水”六大工程为重点的治理思路,滇池水质恶化趋势得到基本遏制,主要入湖河道及地表饮用水源水质显著提升,但滇池流域环境治理工作仍然任重道远。针对滇池流域水环境现状,需要从以下几个方面对社会经济发展进行规划和调整,以减轻其对水环境系统的影响,促进流域社会经济发展与水环境保护相协调。

1) 转变经济增长方式和控制人口快速增长,加强流域污染源头控制力度。针对现阶段流域经济增长呈现粗放型的特点,要尽快转变滇池流域经济发展模式,严禁以牺牲环境为代价来推动流域社会经济的高速发展。一是加大产业结构调整力度,提升第三产业在经济总量中的占比;二是全面推动现代化管理与技术进步,积极推进企业节能减排与清洁生产^[10-11],大力削减流域水环境污染负荷;三是协调昆明主城及卫星城镇的发展定位,控制流域内人口数量的过快增长。最终以流域水环境容量为约束条件,将人口增长、经济发展与水环境承载力挂钩^[8],处理、协调好流域社会经济发展与环境保护的关系,使流域水污染恶化趋势得到有效控制。

2) 加快污水处理系统建设和再生水利用,实现流域污染过程削减。针对昆明老城雨污合流、新城雨污不清的现状,应尽快开展管网优化设计工作,加强配套污水管网建设力度,分区、分段、分块推进雨污分流建设改造,彻底改变局部分流、总体合流的窘境,有效提升污水处理厂污水收集和处理能力。同时,开展节水和再生水开发利用,加大污水处理厂尾水出水、分散式污水再生利用建设工作,对流域水资源进行时空上的合理配置,真正实现“优水优用、分质使用”的水资源利用模式,为流域水环境减负奠定基础,最终实现“不让一滴污水流进滇池”的愿景。

3) 加强流域综合管理,确保流域污染末端治理。以《昆明市人民政府关于加强“一湖两江”流域水环境保护工作的若干规定》为抓手,积极推进“全面截污、全面禁养、全面绿化、全面整治”工作有效开展。通过开展流域生态示范村建设、农村分散污水处理、禁花减菜等工作,推进流域面源污染控制,减少农村和农业面

源污染物排放. 加强滇池流域生态治理工作, 强化滇池面山绿化和水土流失治理工作, 全面完成“四退三还一护”任务, 加快出入滇河道综合整治工程建设, 统筹协调外流域调水、补水工程, 确保滇池生态用水及入水清洁.

4) 强化水环境保护制度建设, 确保流域可持续发展. 以流域可持续发展为理念, 理顺现有流域管理体制, 建立“纵向到底、横向到边”的滇池污染治理责任制和责任追究制度. 正确处理社会经济发展与环境保护的关系, 政府部门要定期向社会公布环境质量和环境污染的信息, 为公众和民间团体提供参与监督的信息渠道和反馈机制^[12], 提高环境决策和管理的科学化、民主化. 拓宽融资渠道, 加大治理投入, 积极推进生态补偿机制研究和实施^[13], 真正实现资源有偿使用, 坚持“谁污染谁治理、谁污染谁补偿”的原则^[11], 加大环保工程建设和环保监督、管理力度, 提升流域环境保护整体意识.

致谢: 本研究部分数据来源于本项目组成员的研究结果, 在此深表感谢!

5 参考文献

- [1] 潘珉, 高路. 滇池流域社会经济发展对滇池水质变化的影响. 中国工程科学, 2010, 12(6): 117-122.
- [2] 段昌群, 王焕校. 滇池区域生态经济系统的特点及其同昆明城市功能的关系的探讨. 城市环境与城市生态, 1992, 3(5): 31-34.
- [3] 昆明市统计局. 昆明统计年鉴 2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [4] 杨海军, 肖灵机, 邹泽清. 工业化阶段的判断标准: 霍夫曼系数法的缺陷及其修正——以江西、江苏为例的分析. 财经论丛, 2008, 136(2): 7-14.
- [5] 郭有安. 滇池流域水资源演变情势分析. 水资源研究, 2003, 24(4): 11-14.
- [6] 徐晓梅, 张琨玲. 影响滇池入湖污染物总量变化的主要因素分析. 云南环境科学, 2004, 23(4): 42-44.
- [7] 何佳, 徐晓梅, 陈云波等. 滇池流域点源污染负荷总量变化趋势及原因分析. 中国工程科学, 2010, 12(6): 75-79.
- [8] 李跃勋, 徐晓梅, 何佳等. 滇池流域点源污染控制与存在问题解析. 湖泊科学, 2010, 22(5): 633-639.
- [9] 靳晓莉, 高俊峰, 赵广举. 太湖流域近 20 年社会经济发展对水环境影响及发展趋势. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 298-302.
- [10] 许刚. 太湖流域社会经济发展对水环境的影响研究——以无锡市为例. 地域研究与开发, 2002, 21(1): 55-59.
- [11] 唐德善, 张伟, 曾令刚. 水环境与社会经济发展阶段关系初探. 人民长江, 2003, 34(11): 7-9.
- [12] 许刚, 朱振国, 黄建光等. 无锡市社会经济发展对水环境的影响. 湖泊科学, 2002, 14(2): 167-172.
- [13] 卢杰, 丁金城, 施汉昌等. 水资源保护区水环境保护与社会经济协调发展——以太河水库为例. 安全与环境工程, 2005, 12(3): 11-14.