

滇池流域入湖河流 环境现状与污染综合治理

Situation Assessment and Comprehensive Treatment of Water Pollution Control
for Dianchi Inflowing Rivers

李金花 周保学 金竹静 杨逢乐 著



科学出版社

滇池流域入湖河流环境 现状与污染综合治理

李金花 周保学 金竹静 杨逢乐 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在对滇池流域入湖河流环境现状进行调查和分析的基础上,针对已有的治理工程对滇池入湖河流水质改善、水生态功能恢复、河流形态以及河滨带景观功能等方面的影响,识别特征污染源对滇池流域入湖河流水质的影响,充分评估滇池流域入湖河流治理和生态修复效果,通过河流健康生态评价研究,系统总结了滇池入湖河流治理存在的问题,并以典型城市河流新运粮河和城郊河流盘龙江的综合治理作为案例介绍了河流污染治理与生态修复方法,为进一步认识滇池流域入湖河流存在的问题和推进治理提供支撑。

本书可供从事河流治理、湖泊管理、环境科学与工程、环境管理、水利管理部门的研究人员、管理人员及大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

滇池流域入湖河流环境现状与污染综合治理 / 李金花等著. —北京: 科学出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-03-050643-6

I. ①滇… II. ①李… III. ①滇池—流域—水环境—
污染防治—研究 IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274304 号

责任编辑: 许 健

责任印制: 谭宏宇 / 封面设计: 殷 靓

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

上海叶大印务发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 13

字数: 225 000

定价: 82.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

Foreword

前言

滇池,位于云贵高原中部,长江、珠江和红河三大水系分水岭地带,曾被誉为“高原明珠”,是昆明市用水、工农业用水的重要来源,对于维护区域内生态系统的平衡和社会经济的发展起着至关重要的作用。然而,由于湖泊自身水体置换周期长、城市化进程加剧以及位于昆明市下游的特殊地理位置等原因使得滇池流域经济发展与水环境保护不协调,短短二十多年,滇池由一个 20 世纪 70 年代Ⅲ类水质的湖泊恶化成为一个具有 V 类甚至是劣 V 类水质的重度富营养化湖泊。

滇池流域入湖河流众多,从北、东、南三面呈向心状注入滇池,其中水量较大的有盘龙江、宝象河、大清河、洛龙河、捞鱼河、梁王河、柴河、大河、东大河、古城河、护城河(注入外海)、新运粮河、老运粮河、船房河(注入草海)等。入湖河流进入滇池的年均水量近 9 亿 m^3 ,年均向滇池输送的化学需氧量(COD_{Cr})、总磷(TP)、总氮(TN)分别占滇池流域污染物负荷量的 72%、78%、80%。

为此,国家和云南省对滇池流域的入湖河流进行了大规模的综合治理。为实现滇池流域入湖河流水环境改善的目标,围绕如何控制入湖河流污染的核心问题,从点源、面源控制以及生态修复等方面开展了多项关键技术的研究,全面完成了多条入湖河道及支流的治理工作,采取堵口查污、截污导流、两岸拆临、拆违、拆迁、岸线公共空间贯通、沿岸绿化等措施,使大多数入湖河流实现了河床湿地化、河坎生态化、河岸景观化,将河道打造成城市连接滇池的绿色生态走廊。滇池流域入湖河流的污染物得到了有效控制,消减沿河两岸排水所带来的污染物,对于改善入湖河流水质,促进滇池水环境的良性循环起到明显的作用。但是目前,滇池入湖河流水质还是没有根本性地好转,滇池及其入湖河流治理仍然存在许多困难,这也就决定了滇池入湖河流治理是滇池治理工作中必须解决的重

点和难点问题。

因此,在国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07102-002)的资助下,研究组从2012年开始,选择八条典型的入滇河流,系统、深入地开展了入湖河流环境现状调查,通过河流生态健康评价研究,总结了滇池入湖河流治理过程中存在的问题,提出有针对性的处置方案和优化治理工程措施,为进一步认识滇池流域入湖河流存在的问题和后继治理提供支撑。

本书共分为七章,第一章阐述了滇池流域情况、入湖河流水污染的现状及目前存在的环境问题;第二章以滇池流域八条典型的入湖河流为代表,分析和评价滇池流域入湖河流水质和水生态现状;第三章采用聚类分析和因子分析等方法,识别了滇池特征污染源对入湖河流水质的影响,第四章在现状调查和资料查阅的基础上,介绍了滇池流域入湖河流植物植被资源现状;第五章为滇池流域入湖河流污染防治和生态治理技术研究,主要介绍了源头控制、沿程减污、河道治理和生态修复的技术研究成果;第六章建立入滇河流生态修复效果评估体系,并以新运粮河,宝象河和柴河为典型河流,结合环境现状特征,验证了评价指标体系对滇池流域入湖河流的适用性;第七章选择典型的城市河流新运粮河和城郊河流盘龙江综合治理作为案例,介绍了污染防治技术研究与应用成果。

本书由上海交通大学李金花副教授,周保学教授任主编,云南省环境科学研究院金竹静高级工程师和杨逢乐高级工程师任副主编。撰写过程中,云南省环境科学研究院孔德平高级工程师参与了河流水质、水生态调查、指导及相关内容的编写。上海交通大学的张先智、黄可、魏冉等,山东师范大学柴金岭教授课题组的张恒明,柳柠,刘宁宁,柴海会等,云南省环境科学研究院的田军,李佳钰,张春敏等参与了河流水质、水生态调查、分析及数据整理工作。

由于时间仓促,本书难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

作者

2016年8月

Contents

目 录

前言

1 滇池及其流域概况	1
1.1 滇池流域概况	1
1.1.1 滇池概况	1
1.1.2 滇池水环境现状	3
1.2 滇池流域入湖河流概况	4
1.2.1 入湖河流概况	4
1.2.2 入湖河流污染原因分析	5
1.2.3 入湖河流存在的主要问题	8
1.3 自然和社会经济概况	8
1.3.1 自然环境概况	8
1.3.2 滇池流域行政区及人口概况	9
1.3.3 滇池流域经济发展概况	9
1.4 本章小结	11
2 典型入湖河流水质和水生态现状	12
2.1 滇池流域典型入湖河流	12
2.2 滇池流域典型入湖河流水质分析	16
2.2.1 采样断面设置	16
2.2.2 监测指标	16
2.2.3 水质分析	16

2.3	滇池流域典型入湖河流浮游生物分析	27
2.3.1	浮游植物种类组成和密度	27
2.3.2	浮游动物种类组成和密度	30
2.3.3	底栖动物种类组成和密度	35
2.4	本章小结	36
3	滇池流域特征污染源对入湖河流水质的影响	38
3.1	滇池流域特征污染源概况	38
3.1.1	生活污水	38
3.1.2	污水处理厂尾水	39
3.1.3	农田径流	40
3.1.4	地表冲刷径流	40
3.1.5	工业废水	41
3.2	滇池流域入湖河流特征污染源的识别与验证	42
3.2.1	滇池北岸和东岸入湖河流污染源	42
3.2.2	滇池南岸入湖河流污染源	55
3.3	特征污染源对入湖河流水质的影响	58
3.3.1	特征污染源对入湖河流水质指标的总体影响	58
3.3.2	特征污染源对滇池北岸和东岸不同入湖河流水质的 影响	60
3.3.3	特征污染源对滇池南岸入湖河流柴河水质的影响	65
3.3.4	工业废水对部分河段水质的影响	65
3.4	本章小结	68
4	滇池流域入湖河流植物植被	70
4.1	调查区域	70
4.2	植被现状	71
4.2.1	自然植被	71
4.2.2	人工植被	72
4.3	植物资源现状	73
4.3.1	全部植物资源现状	73
4.3.2	栽培植物物种现状	73
4.3.3	野生植物物种现状	73

4.4	本章小结	78
5	滇池流域入湖河流治理技术研究概况	79
5.1	河流水体处理技术研究现状	79
5.1.1	国外河流治理技术现状	79
5.1.2	国内河流治理技术现状	81
5.1.3	国内外富营养化流域河流污染研究进展	82
5.2	高原湖泊入湖河流治理技术	86
5.2.1	点源污染治理技术	86
5.2.2	面源污染控制技术	90
5.2.3	河道治理最佳可行技术	96
5.2.4	生态修复技术	105
5.2.5	生态多样性修复技术	108
5.3	本章小结	109
6	滇池流域入湖河流生态系统健康评估	110
6.1	河流健康概念	111
6.1.1	河流生态健康	111
6.1.2	河流生态系统健康评价方法	112
6.2	国内外研究现状	113
6.2.1	国际上河流健康研究现状	113
6.2.2	国内河流健康研究现状	115
6.3	滇池流域入湖河流健康评估	117
6.3.1	评估指标体系构建	117
6.3.2	滇池入湖河流指标层次结构	117
6.4	滇池流域入湖河流评估实例	122
6.4.1	城郊河流新宝象河	123
6.4.2	城市河流新运粮河	131
6.4.3	郊区河流柴河	138
6.5	本章小结	145
7	新运粮河和盘龙江综合治理效果案例研究	147
7.1	新运粮河治理工程	147

7.1.1	截污工程	148
7.1.2	初期雨水植被拦截工程	149
7.1.3	河岸立体岸带面源防控治理工程	149
7.1.4	水质修复工程	149
7.1.5	河口湿地工程	150
7.1.6	底泥疏浚工程	151
7.1.7	景观绿化及护岸工程	151
7.1.8	治理效果分析	151
7.2	盘龙江治理工程	153
7.2.1	截污工程	153
7.2.2	雨水调蓄池工程	154
7.2.3	护岸修复及景观绿化工程	154
7.2.4	外源调水工程	155
7.2.5	底泥疏浚工程	155
7.2.6	治理效果分析	156
7.3	本章小结	157
参考文献		159
附录		168
附录 1	滇池主要入湖河流浮游动物名录	168
附录 2	滇池主要入湖河流浮游植物名录	173
附录 3	滇池主要入湖河流底栖动物名录	181
附录 4	滇池主要入湖河流河岸带维管束植物名录	184

滇池及其流域概况

1.1 滇池流域概况

1.1.1 滇池概况

滇池位于云南省昆明市城区的下游($24^{\circ}51'N$, $102^{\circ}42'E$),湖面总面积 309 km^2 ,平均水深约 5 m ,是我国著名的浅水型高原淡水湖泊,处于长江、红河、珠江三大水系分水岭地带,同时也位于云南省昆明城市下游、盆地最低凹地带,被一道天然海埂上的人工闸分为外海和草海两部分(图 1-1)。滇池流域面积达到 $2\,920\text{ km}^2$,湖岸线长达 163 km ,在 $1\,887.4\text{ m}$ 高程运行水位下,湖泊水域面积达到 309 km^2 ,平均水深为 5.3 m ,湖泊容积有 15.6 亿 m^3 。湖泊属于半封闭类型,自净能力较低,平均每 4 年水才能置换一次。

滇池流域河流水系发达,常年汇入滇池的河流有 35 条(图 1-1,表 1-1),包括:新运粮河(R1)、老运粮河(R2)、乌龙河(R3)、大观河(R4)、西坝河(R5)、船房河(R6)、金汁河(R7)、明通河(R8)、枫槽河(R9)、金家河(R10)、采莲河(R11)、盘龙江(R12)、海河(R13)、虾坝河(R14)、老宝象河(R15)、新宝象河(R16)、姚安河(R17)、大清河(R18)、六甲宝象河(R19)、小清河(R20)、五甲宝象河(R21)、马料河(R22)、洛龙河(R23)、捞鱼河(R24)、南冲河(R25)、白鱼河(R26)、大河(R27)、茨巷河(R28)、柴河(R29)、东大河(R30)、中河(R31)、古城河(R32)、王家堆渠(R33)、冷水河(R34)、牧羊河(R35)。控制流域面积 $2\,906\text{ km}^2$,约为滇池流域总面积的 100%。市区常年汇入滇池的河流 20 余条,其中集水面积 100 km^2 以上的河流有 8 条。昆明主城区的由西向东依次穿城而过的河流

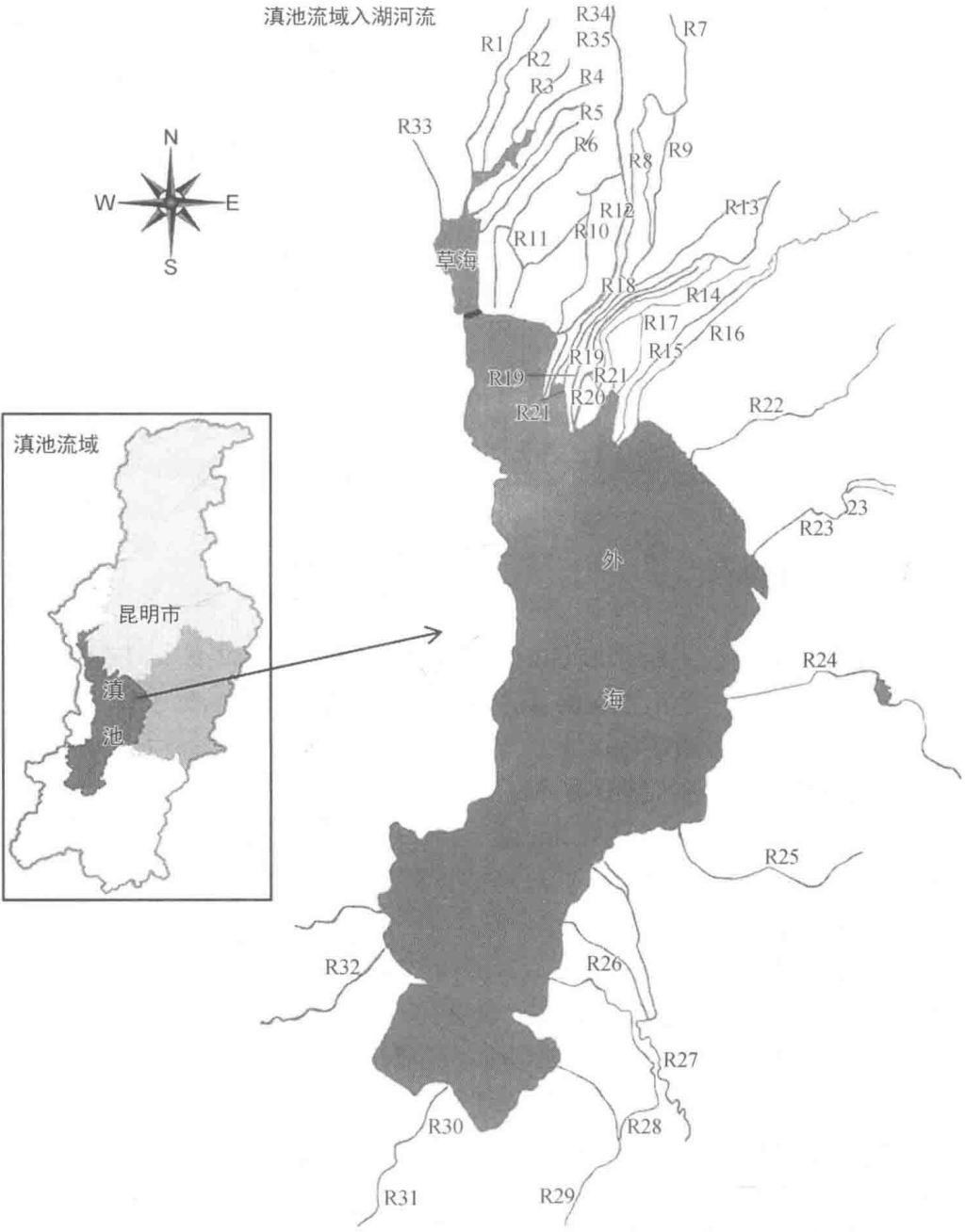


图 1-1 滇池流域分布图

是：新运粮河、老运粮河、乌龙河、西坝河、船房河、采莲河、盘龙江、大清河（明通河、枫槽河）、海河、小清河、宝象河等 11 条。入湖河流总集水面积达到 $1\,279\text{ km}^2$ ，占滇池流域面积的 44%。

1.1.2 滇池水环境现状

在 20 世纪 50~60 年代，由于昆明市还未大规模发展，滇池水体清澈，水草丰腴，其水质能够达到 I~II 类。1996 年西园隧道修建后，流入草海的水体直接从西园隧道进入螳螂川，不再从位于外海西南侧的天然出水口海口河流出，从此滇池草海与外海被海埂船闸分割为两个水域，草海面积约占全湖的 3.3%。外海约占全湖的 96.7%。然而，随着昆明市发展过程中产生的大量生活污水和工业废水被排入滇池，滇池水质迅速恶化，基本上每十年下降一个等级，到了 20 世纪 90 年代，滇池总体水质已经超过地表水 V 类标准^[1]。据水质监测数据分析，滇池水质主要超标的指标是表征有机物底 5 日生化需氧量(BOD_5)、高锰盐指数(COD_{Mn})、总氮(TN)、总磷(TP)。昆明主城所产生污染物绝大部分流入草海，草海受到流域人口增长、经济发展的压力远大于外海。随着流域人口的增长，经济的快速发展，草海水体仍然有明显的继续恶化的趋势。2008 年草海营养状态指数为 77.9，处于重度富营养状态；外海营养状态指数为 66.4，处于中度富营养状态^[1]。滇池在过去的短短几十年内，经历了巨大的变化。水质污染最突出特点是伴随着严重的富营养化问题，每年滇池都会出现不同程度的蓝藻“暴发”现象^[2]，大量蓝藻聚集在湖面，鱼类因缺氧或藻毒素的毒害而死亡，原本脆弱的湖泊生态系统进一步遭到破坏。

滇池流域的水资源状况十分恶劣，从地理环境上看滇池属于半封闭性湖泊，周边没有大江、大河注入，水体自净能力较差。从水资源人均占有量和开发利用程度来看，滇池流域发展对水资源的需求已超过当地水资源的承载能力，水资源短缺类型属于资源缺水型；从整个昆明市行政辖区的水资源量来看，水资源分布极为不均，水资源丰富的地区对水资源的利用率极低，即有水资源，但缺少调节工程和输水工程，故水资源短缺类型属于工程缺水型；从滇池流域的水资源受污方面来看，水资源受污染而无法利用、失去使用价值，也是加剧水资源总量供需矛盾的重要因素之一，因此水资源短缺类型还属于污染缺水型。

滇池富营养化问题引起了国家的高度重视，自“九五”(1996~2000 年)开始，滇池成为国家水污染防治规划重点治理的“三湖三河”之一，大量资金被投

入到滇池流域水体污染的治理上来。“十一五”期间,提出了滇池流域污染控制的“六大工程”,包括环湖截污和交通工程、生态修复与建设工程、入湖河道整治工程、生态清淤工程和外流域调水及节水工程。经过将近二十年的治理,目前,滇池水体污染加重的趋势基本得到遏制,但水质改善仍然较缓慢^[3~6]。

1.2 滇池流域入湖河流概况

1.2.1 入湖河流概况

滇池流域主要入湖河流众多(图 1-2),从北、东、南三面呈向心状注入滇池,控制流域面积 2 906 km²,约为滇池流域总面积的 100%。由于入湖河流进入滇池的年均水量有近 9 亿 m³,在滇池入湖总水量中约占 73%,是滇池的主要补给水源,携带着大量的生活污水、生活垃圾、农业化肥及工业废水等污染物进入滇池。在 2002~2005 年间,入湖河流年均向滇池输送的 COD_{Cr}、TN、TP 分别达到 54 477 t、11 969 t、1 107 t,各占滇池流域污染物负荷量的 72%、78.8%和 80.2%。随着经济的快速发展,入湖河流水质大部分为劣 V 类,河水污浊、发黑发臭,河中水生生物基本灭绝,基本丧失农灌和景观用水功能,且河段排泄不畅,内涝现象经常出现,对沿岸居民的身心健康、滇池水污染防治和城市形象都造成严重影响^[7~12]。

“没有清洁的河流就没有干净的湖泊,治滇先治河”,这就决定了入滇河流治理是滇池治理工程所必须解决的重点和难点问题。为加快滇池治理的步伐,“十一五”期间,昆明市对入湖河流开展堵口查污、截污导流、河床清污、生态修复等综合整治工程,使大多数入湖河流实现了河床湿地化、河坎生态化、河岸景观化,将河道打造成城市连接滇池的绿色生态走廊,极大地减少了入滇的外源污染。尽管目前的治理措施对入湖河流的水质改善有一定的效果,但由于河流支沟众多,截污工作难以全面覆盖,加之截污导流管网与市政管网系统不配套等问题,致使综合整治后河流水环境质量改善效果有限,综合整治后的大多数河流仍旧为劣 V 类(表 1-1)。这也就决定了入滇河流治理是滇池治理工作中必须解决的重点和难点问题。因此,从长远角度分析,入湖河流治理仍是滇池治理中必须不断研究、不断提高的重点工作。

表 1-1 滇池流域主要入湖河道水质监测数据汇总表

序号	河流名称	断面性质	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	高锰酸盐 指数(mg/L)	水质 类别
1	盘龙江	滇池入湖口	4.19	0.241	28	5	劣Ⅴ类
2	新宝象河	滇池入湖口	2.514	0.178	11	4.7	劣Ⅴ类
3	大观河	滇池入湖口	3.724	0.182	17	5.9	劣Ⅴ类
4	金汁河	交界断面	16.33	1.54	33	14	劣Ⅴ类
5	新运粮河	滇池入湖口	10.6	0.682	46	8.5	劣Ⅴ类
6	王家堆渠	滇池入湖口	11.34	1.75	40	10.7	劣Ⅴ类
7	马料河	滇池入湖口	0.521	0.163	19	6.2	Ⅳ类
8	西坝河	滇池入湖口	5.122	0.18	17	5.3	劣Ⅴ类
9	船房河	滇池入湖口	0.523	0.269	26	5.2	Ⅳ类
10	金家河	滇池入湖口	6.712	0.537	120	10	劣Ⅴ类
11	乌龙河	滇池入湖口	6.026	0.556	34	6.7	劣Ⅴ类
12	南冲河	滇池入湖口	0.461	0.22	41	4.6	劣Ⅴ类
13	五甲宝象河	滇池入湖口	1.095	0.128	40	7.2	Ⅴ类
14	虾坝河	滇池入湖口	10.38	0.774	26	13	劣Ⅴ类
15	海河	滇池入湖口	16.65	1.09	20	11.3	劣Ⅴ类
16	中河(城河)	滇池入湖口	3.956	0.281	52	4.2	劣Ⅴ类
17	捞鱼河	滇池入湖口	21.6	0.098	43	8.1	劣Ⅴ类
18	淤泥河	滇池入湖口	1.438	0.168	42	6.8	劣Ⅴ类
19	柴河	交界断面	0.187	0.245	25	3.8	Ⅳ类
20	白鱼河(大河)	滇池入湖口	1.224	0.103	28	5.1	Ⅳ类
21	茨巷河	滇池入湖口	0.307	0.36	34	2.4	Ⅴ类
22	采莲河	滇池入湖口	9.79	0.615	130	9.2	劣Ⅴ类
23	大清河	滇池入湖口	6.636	0.456	25	5.7	劣Ⅴ类
24	洛龙河	滇池入湖口	0.392	0.045	13	3.8	Ⅱ类
25	老运粮河	滇池入湖口	11.26	0.928	46	10.2	劣Ⅴ类
26	古城河	滇池入湖口	0.226	0.274	44	2.2	劣Ⅴ类
27	小清河	滇池入湖口	13.16	0.623	36	17.3	劣Ⅴ类
28	东大河	滇池入湖口	0.197	0.023	27	2.7	Ⅳ类
29	六甲宝象河	滇池入湖口	4.462	0.249	69	22	劣Ⅴ类
30	老宝象河	滇池入湖口	0.209	0.214	12	5	Ⅳ类
31	姚安河	滇池入湖口	0.769	0.188	26	8	Ⅳ类
32	老盘龙江	滇池入湖口	0.659	0.417	18	7	劣Ⅴ类
33	枧槽河	交界断面	17.63	2.56	37	12.1	劣Ⅴ类
34	太家河	滇池入湖口	18.97	3.69	200	13.7	劣Ⅴ类
35	广普大沟	滇池入湖口	33.93	1.21	46	13.2	劣Ⅴ类

注：数据来源于云南省昆明市环境监测中心(2013.8)。

1.2.2 入湖河流污染原因分析

滇池水环境污染的原因比较复杂,与太湖、巢湖水环境污染的成因既有同

因,又有其自身的特点。滇池北岸人口密集的中心城区是生活污水的主要来源,南岸则由于大棚农业发展迅速,成为农业面源污染的典型区域,与此同时,滇池流域内还存在一些典型的工业污染源。近年来,随着截污工程、入湖河道治理工程以及外流域调水等工程的实施和推进,滇池流域的污染源的征特征发生了很大变化。截污和污水处理厂的建设使滇池北岸的生活污水污染得到了很大控制,然而,处理之后的出水由于污染性质的改变,“低碳高氮”的尾水再次进入入湖河道之后,对河道的水质和生态产生了明显的影响。

(1) 人口高度密集

流域人口数量的增长和水质的变化有密切关系,当流域人口增加到 100 万以上,水体自然净化能力开始无法承受,此后每增长 30 万人口,水质就下降一个等级。超过 200 万人后,整个水体无法进行自我调节和净化,水质进入到劣 V 类。

滇池流域是云南省人口最集中、土地开发强度最大、经济最发达的地区,为昆明市和云南省经济社会发展的核心地带。从 2000 年到 2008 年间,滇池流域城镇人口占云南省的比重从 26.9%降低至 20.8%,而 GDP 比重则维持在 21%左右,依然是云南省人口最集中,经济最发达的核心区域。从昆明市域范围看,滇池流域城镇人口的比重基本维持在 83%左右,而 GDP 占昆明市的比重则不断提高,从 2000 年的 61.4%左右上升至 2005 年的 76.7%,可见昆明的社会经济活动日益集中于滇池流域,于昆明而言滇池流域的核心地位不断加强。滇池流域面积仅占昆明市的 13.9%,却集中了全市 54.23%的人口和 78.58%的生产总值,人口密度是昆明市平均水平的 4 倍。“十二五”期间昆明人口自然增长率控制在 6.5‰以内。同时,滇池流域城镇化水平进一步提高,城市化率将达到 90.9%。由于呈贡新区的迅速发展,呈贡县的总人口和非农业人口的比例都将大幅增长。昆明城正在规划着大都市的未来蓝图。治理费用一路高涨的滇池,已经从母亲湖的角色变身为城市的负担^[13]。

(2) 水资源紧张

由于自身土地及其他资源的限制,每个地区或者城市必然只能承担相应的人口规模。近几十年来滇池流域人口的高速增长,滇池地区的水资源却只占全省的 0.6%,人均水资源占有量不足 300 m³,是全球人均量的 1/40、全国的 1/10、全省的 1/25,处于国际公认的低于 500 m³将会使社会稳定和经济发展受到严重影响的警戒线以下。但同时,滇池流域每年地表水开发利用量达到 7 亿多立方米,约占流域地表水资源总量的 72%,当径流量利用率超过 50%时会对水环境产生严重影响的标准。城市化进程中的人口急剧增长导致滇池流域人均占有水

资源减少,水环境承载负荷增大。滇池流域水环境难以支持庞大规模的社会发展要求,水资源出现枯竭之势。

而昆明本身是一个缺水严重的城市,但目前,使用“中水”仍是一些单位不可接受的概念,这更加剧了水资源的浪费。昆明城区污水处理厂中水回用率为34%,但由于城市污水厂尾水达不到中水回用标准等原因,剔除作为景观用水回用于河道的污水厂尾水后,中水回用率仅约为4%。滇池处在严重缺水地区,外来干净水源少,干净水源基本靠雨水。因此,雨水资源的利用将成为解决滇池流域水资源匮乏的主要途径之一。但是,目前滇池流域的雨水资源尚未得到合理的利用,在农村雨水利用、社区中雨水利用,提倡水资源的合理利用尚未得到有力的技术支持。

因此,城市发展的水资源需求分析、水资源的合理配置、开源节水已成为昆明城市发展、控源治污的迫切需求。

(3) 经济发展不平衡

流域作为一个系统,经济发展、人口增长和污染负荷的排放密切相关,三者之间是动态的、反馈的关系。滇池流域是昆明市产业发展的核心区,滇池流域国土面积仅占云南省总面积的0.78%,却集中了全省40%的大中型企业。3个子流域外海北岸重污染排水区、城西草海汇水区、宝象河子流域与昆明市主城区西山区、官渡区、五华区 and 盘龙区范围基本吻合,其生产总值占流域GDP约92.66%,同时COD排放量、TN和TP入湖量比例也分别达87.19%、68.08%和65.97%。此外,滇池流域内有若干产业园区,特别是国家级高新区和经开区已经具有较强的产业基础。但是,这些园区的产业配置还存在一定的重复建设问题,各个产业园区的专业化程度还需要进一步提升。

而滇池东岸的呈贡县,充分利用地理优势,大力发展蔬菜和花卉的种植业,促使流域农业迅猛发展^[12]。虽然第一产业比重大幅下降,但由于第一产业生产总值总量的增长及农业化肥施用量的不合理增长,导致了较严重的水土流失和面源污染,大大消耗了进入市区河段的水环境资源,不可避免地会造成河流自净能力减弱等水环境问题。

(4) 土地利用方式的突变

从20世纪以来,滇池流域土地利用变化较大,数量结构上耕地和未利用地总量减少,城乡居民用地迅速增加。时空结构上城乡居民用地变化最活跃,变化速度最快,具有很强的扩展性,面积持续增加;耕地变化也比较活跃,面积不断减少;草地分布变化较大。空间转换上城乡居民用地变化最为剧烈,耕地是主要的转入类型;未利用地主要转出为耕地、林地、城乡居民用地等^[13,14]。可见,在城

城市化进程中,滇池流域土地利用方式、空间结构、分布都发生了变化,建设用地的扩张、未利用地的开发以及林地向耕地的转换,都加剧了区域发展对区域生态系统的干扰,增加了营养元素及悬浮物的入湖通量,是导致流域水体富营养化和污染的病根之一。

1.2.3 入湖河流存在的主要问题

从滇池入湖河流的现状,以及综合整治后的效果看,目前的治理措施对入湖河流的水质改善形势并不是十分乐观,入湖河流仍旧是向滇池输入污染最主要的途径。

(1) 水资源量严重不足

由于人口增加,人均水资源量从 20 世纪 50 年代的 $1\,000\text{ m}^3$,降到目前的不足 300 m^3 。同时,近年来滇池流域工业发展较快,也挤占了部分水资源量。由于大量的水资源被生活和生产挤占,入湖清水急剧减少,水体对污染物的稀释自净能力下降。目前城镇生活污水截污率约为 60%,城市污水处理厂的污水混入大量的雨水和地下水,导致污水处理厂运行效率偏低,对高效削减入湖负荷有明显影响。

(2) 再生水利用能力受限

再生水利用流域内利用为主,规模较低,且以城市杂用为主,工业及冲厕利用不足,使大部分再生水主要进入雨水循环系统,并最终进入入湖河道和滇池。同时也使再生水利用的季节性波动大,丰水期无法利用,大部分负荷随雨水进入河道及滇池。

(3) 面源污染控制效果不明显

随着点源削减量的不断提高,非点源削减逐渐成为改善滇池水质的最重要的任务之一。滇池流域污染物削减主要依靠城市的污水处理厂和截污泵进行削减,使得滇池各类污染源控制仍然存在盲目性,河流两岸入河的城市、城郊、农业面源未得到有效控制。

1.3 自然和社会经济概况

1.3.1 自然环境概况

滇池流域处于滇黔高原湖盆亚区,以浅丘缓坡地势为主,河谷切割相对浅,