

DIANCHI FUYINGYANGHUA
JI QI ZONGHE ZHILI JISHU YANJIU

刘玉生 郑丙辉 戴树桂 等 著

滇池富营养化及其

综合治理技术研究

 海洋出版社

滇池富营养化及其综合 治理技术研究

刘玉生 郑丙辉 戴树桂 著
钱彪 刘福焯 杨文龙

海洋出版社

2004年·北京

图书在版编目(CIP)数据

滇池富营养化及其综合治理技术研究/刘玉生等著. 北京:海洋出版社,2004.8
ISBN 7-5027-6164-0

I. 滇… II. 刘… III. 湖泊-富营养化-污染防治-研究-云南省 IV. X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 066762 号

责任编辑 彭 慧
责任印制 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京四季青印刷厂印刷 新华书店经销

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 22

字数: 549 千字 印数: 1~1000 册

定价: 45.50 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

国外对湖泊富营养化的系统研究开始于 20 世纪 60 年代, 半个世纪以来对富营养化发生的原因、机理、预测模型以及治理技术进行了广泛的研究。

国内 70 年代末才开始这方面的研究, 而“七五”科技攻关项目中首次设立了研究课题, 对湖泊富营养化开始了全面、系统与较深入的研究, 着重于污染源的调查, 富营养化成因, 营养物质的迁移转化, 生态动力学模型的建立, 综合治理技术, 以及富营养化控制系统规划等方面的研究, 并采用了生态的、流域的和系统工程的方法。“八五”科技攻关则设立了治理湖泊富营养化的示范工程研究课题。

本书介绍了滇池富营养化及其综合治理技术研究, 其内容基于刘玉生作为课题负责人的国家“七五”科技攻关课题(75-60-02-01-06)“中国典型湖泊氮、磷容量与富营养化综合防治技术研究”(滇池部分)及“八五”国家科技攻关课题(85-908-02-02)“滇池饮用水源地取水口水质恢复技术研究”。这些科研成果为滇池及其他湖泊的污染防治与水质管理提供了科学依据, 且目前仍然具有应用价值。由于情况的变化, 某些内容(如滇池水资源开发利用)已重新做了研究, 本书不再收入。“中国典型湖泊氮、磷容量与富营养化综合防治技术研究”还包括巢湖富营养化研究, 这部分内容已由屠清瑛、顾丁锡负责另外成书, 故本书不再赘述。由于著者们水平有限书中肯定存在不足之处, 错误也在所难免, 请读者批评指正。上述攻关课题成果是多个单位与众多的科技人员合作的结果, 其参加人员如下。

国家“七五”科技攻关课题“中国典型湖泊氮、磷容量与富营养化综合防治技术研究”(滇池部分)课题领导小组成员: 李广润、刘鸿亮、刘诗嵩、张朝辉、陶铸、范东文、张永良、孟伟; 课题组组长: 刘玉生; 副组长: 戴树桂、刘福灿、钱彪。子题 1“滇池社会、经济与环境调查”组长: 钱彪; 子题 2“流域水土流失”组长: 汤乘彬; 子题 3“滇池污染物与水环境容量研究”组长: 吴为梁; 子题 4“磷循环与反应过程研究”组长: 王桂林; 子题 5“藻类生长规律的研究”组长: 刘玉生; 子题 6“有机物降解的研究”组长: 刘玉生; 子题 7“底泥的释放与治理”组长: 刘玉生; 子题 8“氮循环与反应过程研究”组长: 戴树桂; 子题 9“滇池生物化学基础理论研究”组长: 戴树桂; 子题 10“滇池生态管理模型”组长: 刘玉生; 子题 11“滇池富营养化综合防治技术研究”组长: 刘玉生、杨文龙; 子题 12“滇池水污染控制系统规划”组长: 刘玉生, 副组长: 郑丙辉; 子题 13“滇池水资源开发利用规划”组长: 刘福灿, 副组长: 贺彬。滇池课题组成员中国环境科学研究院: 郑丙辉、邹兰、唐宗武、朱学庆、王桂林、韩梅、梁占彬、刘和平; 云南省环境科学研究所: 贺彬、杜鹃、张秀敏、张静芳、龚季兰、李跃青、汪丽、李富顺、姚美香、阎自申、刘丽萍、李森林、黄波、胡平、杨琼芳、刘斌、李玲、陈淑兰、黄永泰; 南开大学: 庄源益、陈天乙、金朝晖、黄国兰、袁有才、张明顺、王永岩、谷文新、刘孜、

何荣垣、耿瑞艳、付学起、王忠、杜式华；昆明市环境科学研究所：赵家聪、吴德玲、辜来章、朱云霞、何琳晖、周万祥、郝淑英、王劲、田丽筠、刘银芳、朱江、朱明瑛、周洁、李跃、李莉、李宏图、李屏雄、李东英、李肇南、胡平、张霞、张智、张立力、张丽萍、张琨玲、徐晓楣、施西云、杨兴永、杨红兵、杨常亮、杨晓珊、陈云进、黄文成、黄海魁、谢自珍、薛忠民、廖自基、赖家宁、韩亚平；清华大学：周雪漪；中国科学院生态中心：林毅雄。协作单位：云南省遥感技术应用研究中心、东南大学土木工程系、云南省工学院环境工程系、昆明市水利局、昆明有色冶金工程设计研究院。

国家“八五”科技攻关项目“滇池饮用水源地保护区水质恢复技术研究”专题组组长：刘玉生；副组长：戴树桂、张忠。子题1“滇池水源地保护区防护带划分技术”组长：戴树桂、张忠；主要成员：庄元益、金朝晖、袁有才、陈广宏、古文新、王萍、陶志宁。子题2“滇池饮用水源地消浪带研究”组长：何宪铭、方铎；主要成员：张万顺、何文社、曹叔尤、万国良、陆轶峰、李跃勋、王宏、杨树萍。子题3“滇池饮用水源地生物防护带工程技术研究”组长：张忠、刘玉生；副组长：韩梅、赵家聪；主要成员：濮培民、朱云霞、卢文汉、张大健、尚广成、许铮、沙建昆、徐顺林。子题4“滇池饮用水源地保护区水质恢复技术研究”组长：刘玉生；副组长：朱云霞、梁占彬；主要成员：郝丽芳、余向勇、郑丙辉、赵家聪、张清可、张万顺。子题5“滇池饮用水源地管理支持技术研究”组长：郑丙辉；副组长：吴德玲、龚季兰；主要成员：刘玉生、余向勇、韩梅、梁占彬、李莉、周洁、何琳晖、张永泽、张万顺、徐应明。

目 次

1 滇池流域及滇池概况	(1)
1.1 滇池流域与滇池自然环境	(1)
1.2 社会经济状况	(6)
1.3 自然资源与自然保护区	(7)
2 滇池点污染源及污染负荷	(10)
2.1 工业污染源及污染负荷	(10)
2.2 生活污染源及污染负荷预测	(14)
2.3 城市主要排污系统污染负荷量	(15)
3 滇池流域水土流失与滇池非点源	(20)
3.1 滇池水土流失	(20)
3.2 泥沙输移与沉积	(24)
3.3 非点污染源及污染负荷	(30)
3.4 非点污染源模型之改进	(51)
4 滇池中浮游生物之演变	(57)
4.1 滇池中浮游植物以及叶绿素 a 的动态	(57)
4.2 滇池富营养化对浮游动物的影响	(60)
4.3 富营养化与底栖动物	(61)
4.4 水生维管束植物群落营养的结构和演替	(63)
4.5 滇池富营养化及水华形成	(68)
5 湖区年污染物平衡	(70)
5.1 污染物的入湖量	(70)
5.2 污染物的出湖量	(74)
5.3 湖区水量和污染物平衡计算	(75)
5.4 滇池水体中的氮磷分布	(77)
6 磷循环及磷的沉积与释放	(79)
6.1 水体中磷的循环	(79)
6.2 滇池藻类摄取磷的反应动力学研究	(84)
6.3 磷的释放与沉积	(87)
7 氮循环与反应过程方程研究	(96)
7.1 氮循环主要过程基础研究	(96)
7.2 氮循环子模型的建模与计算.....	(107)
8 藻类生长规律研究	(114)
8.1 不同形态氮、磷、碳与叶绿素 a 含量之间相关性研究.....	(114)
8.2 滇池限制性元素的研究.....	(120)

8.3	光照与温度对藻类生长的影响	(126)
9	经验模型与容量计算	(131)
9.1	水动力学箱模型的建立	(131)
9.2	滇池水动力学箱模型	(133)
9.3	水环境容量的计算	(144)
9.4	经验模型与水环境容量研究	(146)
9.5	滇池有毒有机物污染的发展趋势与自净转化规律	(150)
10	滇池生态动力学模型	(155)
10.1	湖泊富营养化生态模型	(156)
10.2	箱式生态动力学模型的建立和验证	(163)
10.3	生态模型对于水质的预测	(168)
10.4	箱式生态模型对于容量的计算	(170)
10.5	箱式生态动力学模型的改进	(171)
10.6	滇池流速场的计算	(186)
10.7	利用 1993 年数据进行滇池浓度场的计算	(192)
11	滇池营养物质来源及控制途径分析	(196)
11.1	滇池营养物来源分析	(196)
11.2	滇池水体富营养化控制因素及途径分析	(198)
12	点污染源污水除磷脱氮治理技术研究	(200)
12.1	生物除磷脱氮工艺研究	(200)
12.2	化学除磷脱氮试验研究	(218)
12.3	氧化沟法处理昆明城市污水可行性研究	(227)
12.4	晶析法脱磷试验研究	(230)
13	湖内治理技术(饮用水源地水质恢复技术)及非点源治理技术	(234)
13.1	生物抑藻	(234)
13.2	水葫芦对湖水水质净化效果的研究	(241)
13.3	直接用于净化天然水体的生物膜技术工艺研究	(249)
13.4	关于非点源污染控制技术	(283)
14	点源污水治理工艺方法的技术经济评价	(286)
14.1	评价目的	(286)
14.2	评价方法	(286)
14.3	结果与分析	(291)
15	污染源可行治理方案的环境技术经济评价	(297)
15.1	点污染源治理方案	(297)
15.2	点源治理方案的环境技术经济评价	(305)
15.3	面源治理方案环境经济评价	(310)
16	滇池主要污染物总量控制规划	(314)
16.1	规划总则	(314)
16.2	方案优化决策模型	(317)

16.3	现状条件下滇池污染治理方案.....	(320)
16.4	1995年滇池污染治理方案.....	(323)
16.5	2000年滇池污染治理方案.....	(328)
16.6	滇池综合整治方案结语.....	(332)
17	滇池治理现状、存在问题及对今后治理的看法.....	(333)
17.1	滇池治理现状.....	(333)
17.2	污水处理厂采用的工艺情况.....	(334)
17.3	滇池污染治理存在问题及其原因.....	(335)
17.4	20世纪80年代以来滇池及我国湖泊富营养演化日趋加剧的基本原因	(336)
17.5	如何治理好富营养化湖泊以及需要多大力度和多少时间.....	(337)
17.6	几点说明和看法.....	(338)
	参考文献.....	(340)

1 滇池流域及滇池概况

1.1 滇池流域与滇池自然环境

滇池流域位于云贵高原中部, $24^{\circ}29' \sim 25^{\circ}28' \text{N}$, $102^{\circ}29' \sim 103^{\circ}01' \text{E}$, 处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带。流域面积为 $2\,920 \text{ km}^2$, 地形为山地丘陵构成的南北长东西窄的湖盆地, 海拔 $1\,900 \text{ m}$, 相对高差 $100 \sim 650 \text{ m}$ 。整个地形分为山地丘陵、淤积平原和滇池水域三个层次(其面积分别为 $2\,303, 590, 300 \text{ km}^2$), 可概括为七山、一水、二平原。昆明市以及滇池即坐落其中。

在地史历程中, 该区升降构造运动频繁, 海水时进时退, 沉积物源多向而丰富。地层沉积齐全, 厚度较大, 岩石组成复杂。元古界至新生界累计地层沉积总厚 $6\,902 \sim 13\,619 \text{ m}$ 。古生界在区内盆地四周分布较广, 总厚 $872.2 \sim 2\,837 \text{ m}$ 。底部渔沪村组属震旦系与寒武系过渡层, 由一套白云岩、白云质砂岩、磷矿层组成, 是滇池周围巨大磷矿资源的含矿层位, 厚度为 $54 \sim 287 \text{ m}$ 。

滇池流域属北亚热带润湿季风气候, 年大于等于 10°C 积温为 $4\,200 \sim 4\,500^{\circ}\text{C}$, 年平均气温 14.7°C 。多年平均雨量 $797 \sim 1\,007 \text{ mm}$, 蒸发量 $1\,870 \sim 2\,120 \text{ mm}$, 日照时数 $2\,081 \sim 2\,470 \text{ h}$ 。年日照率为 $47\% \sim 56\%$, 相对湿度为 $73\% \sim 74\%$ 。主导风向为西南风, 平均风速 $2.2 \sim 3.0 \text{ m/s}$ 。全年无霜期 227 d , 具有低纬度高原季风气候特征。其主要特点是:

(1) 冬无严寒, 夏无酷暑, 四季如春。在低纬度高海拔互为补偿下, 四季温差不大, 年温差小, 日温差大。流域内盆地坝区, 气候年温差在 $11.7 \sim 13.3^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 冬干夏湿, 干湿分明。干季在头年 11 月至次年 4 月。主要受印次大陆干暖气流控制, 风高物燥, 晴朗少云, 降雨少, 蒸发大, 光照足。多年平均降水变率一般为 15% 。

(3) 山区气候垂直差异大。一山有四季, 十里不同天, 山高一丈大不一样。流域盆地与山高相差 940 m , 海拔悬殊, 气温垂直变化, 随海拔升高而降低, 垂直递减率为每百米 0.525°C 。昆明市区(海拔 $1\,891.4 \text{ m}$)年均温度 14.7°C 。流域内具有河谷热、平坝暖、山区冷、高山寒的气候特点。

(4) 湖滨小气候, 冬暖夏冷, 春色更浓。故有“万紫千红花不谢, 冬暖夏凉四时春”的特点。

滇池属长江流域金沙江水系, 其上游河流皆源近流短, 主要入湖河流有盘龙江、宝象河、新河、运粮河、马料河、大青河、洛龙河、捞渔河、梁王河、大河、柴河、东大河等二十余条。其中最大的河流是盘龙江, 长约 106 km , 流域面积约 850 km^2 , 其径流量约为滇池来水的 $1/3$ 。河流多流经农田、城镇或磷矿区, 因此为湖区带来了丰富的氮、磷等营养物质。湖水出海口河向北经螳螂川入普渡河后汇入金沙江, 见图 1-1-1。

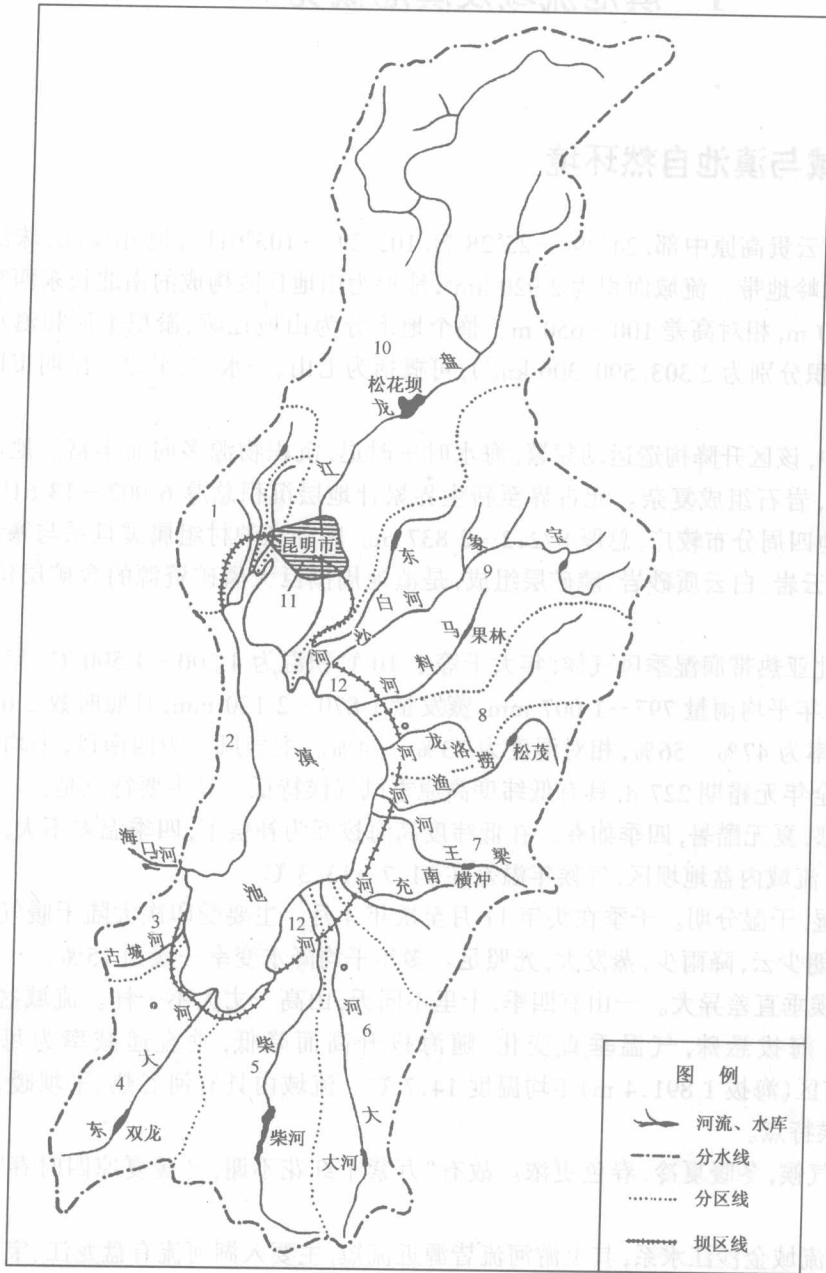


图 1-1-1 滇池流域水系及分区示意图

1. 新河区; 2. 西山散流区; 3. 古城河区; 4. 东大河区; 5. 柴河区; 6. 大河区; 7. 捞渔河区; 8. 洛龙河区;
9. 宝象河区; 10. 盘龙江区; 11. 城区径流区; 12. 湖滨区

滇池位于 $24^{\circ}40' \sim 25^{\circ}02'N$, $102^{\circ}36' \sim 120^{\circ}47'E$, 海拔 1 885.5 m, 见图 1-1-2。其北临昆明市, 呈南北向分布。北部有一湖堤将其分隔为南北两水区。北区称草海(内湖), 面积为 10.67 km^2 ; 南区为其主体, 称外海, 面积为 287.1 km^2 。南北两区有一航道相通。湖底浅平, 见图 1-1-3。西南岸有一人工控制的出水口, 称海口。内湖面积仅为滇池总面积的 3.58%, 外湖由于容积较大, 湖水移流方向与常年风向相对, 水质较为均匀。年均温度 16°C 。常年主导风向为西南风, 大风时波高可达 1.2 m, 波长可超过 10 m。湖流主要受入湖射流、风驱湖浪和外排流向及大规模取水的影响, 总的趋势是形成一个反时针环流。湖泊特征见表 1-1-1。

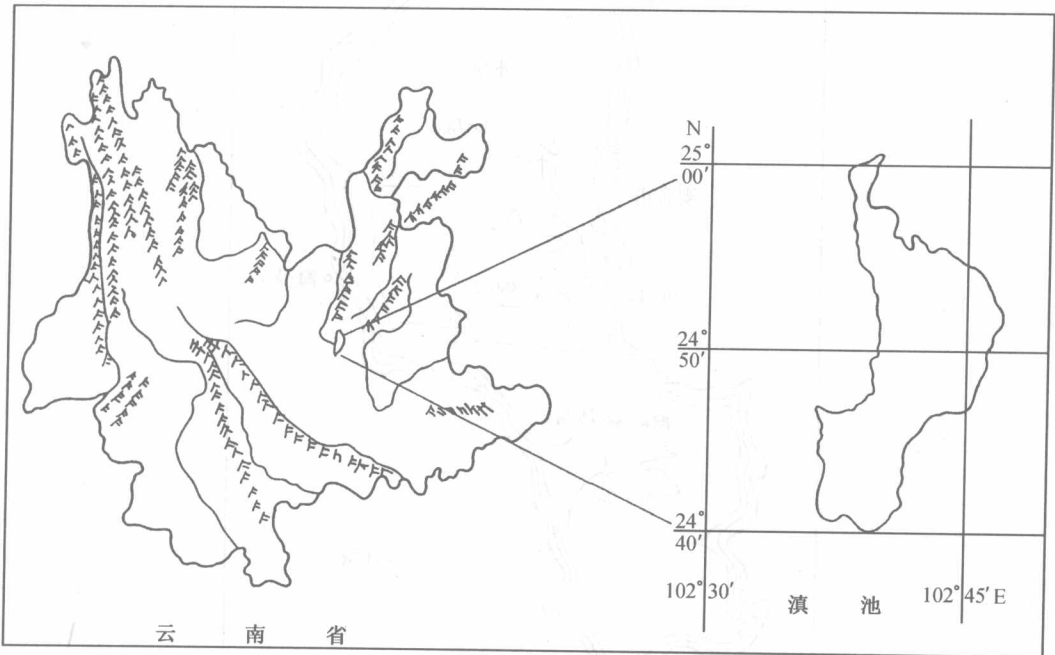


图 1-1-2 滇池地理位置图

滇池是一个由地层错断陷落而形成的构造湖。远在燕山运动中, 云南高原西山自震旦纪至三叠纪、侏罗纪的地层隆起、褶皱和断裂, 形成高山和盆地, 奠定了今日的地貌雏形。以后经历了长期的夷平, 强烈的新构造运动, 至晚新生代喜马拉雅运动, 形成了西山数十公里南北走向的大断层。断层陷落形成地堑。滇池就是地堑初成时积水而成的湖泊。新构造运动总趋势是上升的, 但也有相对静止和下降期。滇池就是在内外应力相互作用中演变而形成的。300 万年前的古滇池水面积为 $1\,260 \text{ km}^2$, 相当于现在面积的 4 倍; 蓄水 846 亿 m^3 ; 水位比现在高出 100 m。湖面北起松花坝, 南迄晋宁十里铺, 见图 1-1-4。

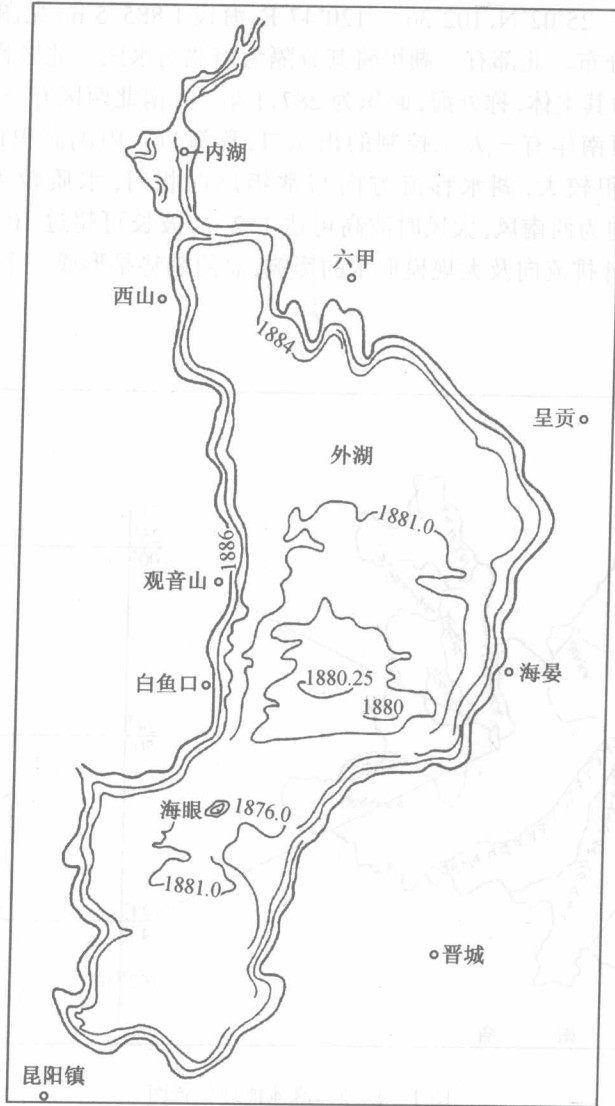


图 1-1-3 滇池水下地形示意图

表 1-1-1 滇池主要特征值

水位类别	水位 (m)	面积 (km ²)	湖长 (km)	最大宽度 (km)	最大水深 (m)	容积 (亿 m ³)	岸线长度 (km)	湖底平均坡度 (%)	KT 值	补给系数
				平均宽度 (km)	平均水深 (m)		岸线发展系数			
最高 洪水位	1 887.5	311.33	41.2	13.3	11.3	15.931	146.3	2.477	415.6	8.38
				7.56	5.12		2.338			
最低 工作水位	1 885.5	292.544	39.3	12.7	9.3	9.919	—	1.645	—	—
				7.44	3.39					

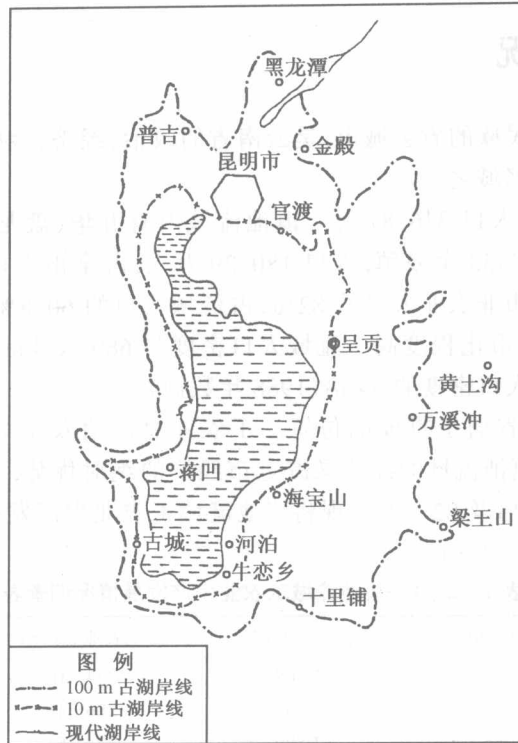


图 1-1-4 滇池 100 m、10 m 古湖岸线示意图

由于地壳不断抬升，湖水猛涨，湖盆被河流切穿，伴以河流袭夺，改变了水系系统和流向，使湖水大量外泄。近千年来，人类不断扩大滇池出水口，经涸湖、围湖，滇池水域已大为退缩，湖面减少，湖水变浅。今滇池水面积仅为古滇池的 24.7%，蓄水量不足古滇池的 2%，滇池在其历史中已进入了晚期。

滇池流域受山原地貌及热带季风下生物气候的影响，土壤类型复杂多样，共有 12 个土类，19 个亚类，36 个土属，59 个土种。主要土壤为红壤、水稻土、紫色土、棕壤、黄棕壤和沼泽土等。其中尤以红壤、水稻土和紫色土的分布最为广泛。土壤垂直分异明显。

红壤占总面积的 73.8%，水稻土占 14.6%，紫色土占 7%，其他占 4.6%，见表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 滇池流域土壤类型面积统计表

项目	土壤类型							其他	全流域
	红壤	水稻土	紫色土	棕壤	冲积土	黄棕壤	沼泽土		
面积 (km ²)	1545	304.6	145.8	3407	30	26.8	6.44	827.29	2920
比例 (%)	73.8	14.6	7	1.6	1.4	1.28	0.31	—	—

注：1)其他面积包括村镇居民点道路、裸岩石山、塘库河流及其他用地面积；

2)土壤比例不包括其他面积。

1.2 社会经济状况

昆明是祖国边疆多民族的省会城市,是云南省的政治、经济、金融、信息、科研、文化、教育中心和全国历史文化名城之一。

昆明市辖四区八县,人口 346.87 万。滇池流域内有五华、盘龙两城区,官渡、西山、晋宁、呈贡、嵩明 5 个区县的 38 个乡镇,人口 180.39 万人,占全市人口的 52%。其中非农业人口为 109.64 万人,占全市非农业人口的 82%,占流域人口的 60.8%。可见,流域非农业人口比重大于农业人口,城市化程度高。流域人口密度为 689 人/km²;城区人口密度则高达 2.36 万人/km²,为流域人口密度的 34 倍(1988 年数据)。

昆明市的经济在全省居于重要的位置。工农业总产值及工业总产值分别占全省的 32.05% 及 44.35%,而滇池流域的经济又占全市经济的绝对优势,工农业总产值及工业总产值分别为全市的 79.8% 及 82.2%。现将滇池流域工农业生产发展情况及主要指标占全市、全省的比重列于表 1-2-1。

表 1-2-1 滇池流域工农业生产发展情况调查表

单位:万元

年份	工业总产值	农业总产值	工农业总产值	人均总产值
1980	240 342	13 868	254 210	0.163
1981	270 477	16 164	286 641	0.181
1982	306 765	17 589	324 354	0.202
1983	343 411	19 008	362 419	0.222
1984	388 160	21 747	400 907	0.264
1985	438 454	18 002	456 456	0.268
1986	497 055	19 868	516 923	0.298
1987	567 652	23 816	591 468	0.334
1988	634 193	26 108	660 301	0.366
年增长率(%)	12.9	8.2	12.7	10.6

从表 1-2-2 可以看出,面积仅占全市 18.7% 的滇池流域,其经济占全市的 80%,大中型企业产值为全市的 81.4%。由此可见,昆明市的主要工业布局在滇池流域内。

表 1-2-2 滇池流域主要指标占全市、全省比重

主要指标	滇池流域	全市	全省	流域占全市(%)	流域占全省(%)
面积(万 km ²)	0.299	1.56	39.4	18.7	0.74
总人口(万人)	180.39	346.87	3594	52	5
人口密度(人/km ²)	689	223	89	—	—
工农业总产值(亿元)	66.03	93.81	261.47	79.79	25.3
工业总产值(亿元)	63.42	77.13	173.91	82.2	36.47
农业总产值(亿元)	2.61	6.68	87.56	39.07	2.98
粮食总产量(万 t)	26.15	75.23	940.72	34.8	2.8
人均工农业总产值(万元)	0.366	0.2416	0.073	—	—
大中型企业数(个)	86	104	237	82.7	36.3
大中型企业产值(亿元)	39	47.9	93.46	81.4	41.7

滇池流域的土地主要由山地、台地、河谷坝地、平原地几种类型构成。山地面积为 1 380.89 km², 占土地总面积的 47.2%; 台地面积为 410.55 km², 占土地总面积的 14.06%。镶嵌于山地、台地内的沟谷和河谷坝地面积为 397.7 km², 占土地总面积的 13.62%。滇池水面 298.34 km², 占土地总面积的 10.22%。昆明市两城区及其他占地 28.45 km², 占土地总面积的 0.98%。

以滇池为中心, 滇池流域的土地结构表现为流域分水岭范围内一系列沟谷河流呈向心式流向滇池。水系把山地、台地和平原有机的地连接在一起。滇池周围的平原部分, 由于长期接受来自上游部位的侵蚀物质及径流资源, 土层深厚, 土壤结构好, 肥力高, 加之水源、热量充足, 地势平坦, 因此是流域最好的耕地。台地部分, 经河流侵蚀切割作用, 形成现在的平坦顶部。部分侵蚀台阶地则因土层薄, 只适宜发展林业。

新中国成立时, 滇池流域的水利建设已具相当规模。建成小型水库一座, 坝塘数百座, 抽水站 100 多个, 引水渠数十条; 有效灌溉面积 1 万多公顷(20 多万亩), 水稻播种面积 2 万多公顷(40 多万亩)。

新中国成立后, 大兴水利建设, 到目前为止, 已建成中型水库 8 座, 小(一)型水库 22 座, 小(二)型水库 80 座, 坝塘 733 座, 排灌站 60 个, 灌溉面积为 3.1 万 hm²(46.58 万亩), 水利化程度达 70.14%, 名列云南省前茅。

昆明市区三面环山, 南濒滇池, 市内湖、山、园皆备, 花木遍布, 因而具有城在景中、景在城中的独特格局。城区面积从 1980 年的 22 km² 扩展到 1988 年的 30.62 km², 扩展后的面积约为 1949 年城区面积(7.8 km²) 的近 4 倍。兴建了一批大型的贸易、商业、金融、交通、旅游等设施, 增强了城市功能。城市居民住房条件也得到进一步改善。水冲厕所的覆盖率由 1978 年的不足 10% 提高到 1988 年的 50% 以上。城区公厕中的水厕由 1982 年前的 3 座(占 1.87%), 发展到 1988 年的 95 座(占 36.7%)。

全市有自来水厂 5 个。城市供水能力从 1980 年的 16 万 t/d 增加到 1988 年的 29 万 t/d, 增长了 81.5%。

滇池成立了专门的主管机构, 划定了保护范围, 制定了保护措施, 以保护植被、涵养水源、治理污染、杜绝建设性破坏。城市绿地面积已达 372 hm², 市区人均公共绿地占有量已达 2.73 m², 城区绿化覆盖率达 14.75%^①。

1.3 自然资源与自然保护区

昆明的主要水源有地表水和地下水。流域内的地表水体主要有松花坝水库和滇池两部分。松花坝水库位于盘龙江上游, 汇水面积 629.8 km², 库容 0.68 亿 m³。多年平均径流量 1.99 亿 m³, 控制利用径流量 0.8 亿 m³。滇池多年平均陆地入流 6.961 2 亿 m³, 湖面降水 2.772 0 亿 m³, 合计 9.733 2 亿 m³。农业耗水 1.349 7 亿 m³, 工业耗水 0.045 7 亿 m³, 生活耗水 1.349 7 亿 m³, 湖面蒸发 4.279 4 亿 m³, 海口出流 4.071 3 亿 m³, 共计 9.771 0 亿 m³, 湖泊蓄水量减少 0.037 8 亿 m³。

根据流域内年降水量分布情况, 结合考虑气候要素变化特点, 使用 1953—1987 年资料,

① 本章数据除注明外, 均以 1988 年计。

估算得到各河流多年平均入湖水量,见表 1-3-1。流域内人为活动对径流的影响强烈。按其影响情况,分为三个区域:一是上游水库群区域,控制径流面积 1 380 km²,占滇池流域面积的 47%;二是水库群至滇池区间,径流面积 1 240 km²,占流域面积 43%;三是滇池水域,水面面积 300 km²,占流域面积的 10%。滇池最低工作水位为 1 885.50 m,正常水位为 1 887.4 m,调节库容为 5.7 亿 m³,多年平均可供水量为 3 亿 m³,人均可利用水量为 386 m³/a。

表 1-3-1 滇池各入湖河流径流量

河流	流域面积 (km ²)	年径流量	
		(亿 m ³)	(万 m ³ /km ²)
新河	112.5	0.457	40.62
运粮河	14.5	0.054	37.24
宝象河、东白沙河、马料河	463.4	0.790	17.05
洛龙河	135.2	0.187	13.83
捞渔河、梁王河、南充河	280.8	0.479	17.06
大青河	205.2	0.460	22.42
柴河	256.4	0.505	19.70
东大河	180.4	0.423	23.45
盘龙江	858.6	3.300	38.43
古城河	34.1	0.054	15.83
西山散流	78.9	0.252	31.94
滇池	300	—	—
合计	2 920	6.961	—

昆明地区地下水资源在全省属中等水平,市区周围出露的泉水(龙潭)共有 300 余处。流域内孔隙水贮存面积为 846.5 km²,占流域面积的 29%,主要分布在盘龙江、东白沙河、宝象河、梁王河等两岸地带。裂隙水贮存面积 1 142.2 km²,占流域面积的 39%。岩溶水贮存面积 292.3 km²,占流域面积的 32%,为流域内水源。

流域内共有 49 个富水块段,总量为 2.73 亿 m³。目前已开采 0.8 亿 m³/a,占可开采资源 45%。流域内现有开采井 530 余口,日开采量为 22 万 m³。

本区气候温和,雨量充沛,适宜植物生长。林地面积 1 071 km²,为流域总面积的 36.48%,主要植被是以滇青岗、高山栲、元江栲等为主的常绿阔叶林及云南松林、灌丛草地、水生植被及水田植被。由于长期人为活动的破坏,森林覆盖率大幅度下降,1950 年为 55%,1970 年为 34%,1976 年为 25.1%,1980 年为 24%。

滇池西山区域的林地质量向不良方向发展,呈逆行演替趋势。这反映林地生境条件正由湿润、半湿润型向干旱贫瘠型退化。现在西山区域树种组成以针叶林为主,其占有面积为林地面积的 73.4%,经济林如果木林占 23%,阔叶林仅占 3.6%。

水田植被为稻-油菜、稻-麦。

旱田植被为玉米-小麦、玉米套洋芋-小麦、玉米套绿肥-小麦,为大小春两熟作物。

在滇池水生生物利用中,渔业居首位。滇池鱼虾产量为 9 140 t (1987 年),占全市总产量的 76%。滇池 1987 年有湖面 3 万 hm^2 (45 万亩),人均占有水面约 167 m^2 (0.25 亩)。就供饵能力来看,平均每公顷可产鱼 967.5 kg(亩产 64.5 kg),年平均每公顷可产 300 kg(亩产 20 kg),拥有较大的水产品生产潜力。主要水产品为银鱼、鲫鱼、鲤鱼、虾等。

流域内已探明储量的矿产有 14 种,矿产地 41 处。其中以磷矿为主,属全国三大磷矿区之一。流域内资源总储量为 14.77 亿 t。

环绕滇池已形成各具特色的风景名胜和疗养胜地,计 11 处,因而其旅游业十分发达。

松花坝水源保护区于 1981 年建立。该区面积 629.8 km^2 ,年径流量为 1.99 亿 m^3 ,占滇池总径流量的 1/4。