

流域面源污染 控制技术

——以滇池流域为例

陈吉宁/主著

陈吉宁 李广贺 王洪涛

黄霞 张维理 李英南 杜鹏飞/等著



Nonpoint Source Pollution Control

Case studies in Dianchi Lake Catchments

By

Jining CHEN in Chief

And

Guanghe LI, Hongtao WANG, Xia HUANG,

Weili ZHANG, Yingnan LI, Pengfei DU

流域面源污染控制技术

——以滇池流域为例

Nonpoint Source Pollution Control

——Case studies in Dianchi Lake Catchments

陈吉宁 主著

陈吉宁 李广贺 王洪涛 黄霞
张维理 李英南 杜鹏飞 等著

By

Jining CHEN in Chief

And

Guanghe LI, Hongtao WANG, Xia HUANG, Weili ZHANG, Yingnan LI, Pengfei DU

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

流域面源污染控制技术: 以滇池流域为例/陈吉宁等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2009.4

ISBN 978-7-80209-979-1

I. 流… II. 陈… III. 农业环境—污染控制—研究—中国 IV. X322.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 045802 号

责任编辑 葛 莉
责任校对 尹 芳
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2009 年 4 月第 1 版
印 次 2009 年 4 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 27.25 插页 5
字 数 620 千字
定 价 120.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《流域面源污染控制技术——以滇池流域为例》

著者名单

主著：陈吉宁

著者：陈吉宁 李广贺 王洪涛 黄霞 张维理 李英南 杜鹏飞等

课题研究主要人员：

陈吉宁 李广贺 王洪涛 黄霞 钱易 张维理 李英南
周琪 张旭 张天柱 施汉昌 陆轶峰 张彭义 杜鹏飞
刘宏斌 胡洪营 祝万鹏 张琨玲 李小英 聂永丰 张涛
卢昌艾 温东辉 常学秀 陆文静 吴学灿 张荣社 彭炯
张建 刘超翔 张相锋 李旭东 张秀敏 姚美香 李卓卿
戴丽 刘建国 文传浩 刘岩 李文奇 段宗颜 吴为中等

序

滇池是我国著名的高原淡水湖泊，位于昆明市西南，流域总面积 2 920 km²，年径流量为 5.7×10⁸ m³。滇池南北长 40 km，东西宽 12.5 km，湖面面积为 298 km²，平均水深 4 m，最大容积 12 km³，是典型的浅水湖泊。滇池包括“草海”和“外海”两部分，湖面面积分别占总面积的 2.7%和 97.3%。滇池流域覆盖了昆明市的五华、盘龙两城区和西山、官渡、呈贡、晋宁、嵩明五个区县的 38 个乡镇，是昆明市主要社会经济活动区和未来发展的重要空间资源。2000 年流域内国内生产总值约占昆明市的 80%，人口 316 万（包括流动人口约 50 万），约占全市的 54%。滇池流域的发展对于云南省和昆明市具有举足轻重的地位。

滇池作为昆明市工农业生产、生活和生态用水的重要水源，在维持流域国民经济发展、提高居民生活水平和保障域内生态环境安全等方面具有不可替代的作用。近二十年来，随着经济发展和城市规模的扩大，滇池水体的富营养化日趋严重，水环境污染与水资源短缺的双重压力使昆明市的城市发展和城市功能的提高受到了严重的限制。滇池污染已成为昆明市全面实现小康社会目标的最大障碍之一，是昆明市可持续发展的重大制约因素。

滇池水体的严重污染已引起各级领导及社会各界的高度重视，在国务院《国民经济和社会发展“九五”和 2010 年远景目标纲要》中，滇池是“三河、三湖”国家重点治理流域之一；云南省省委、省政府和昆明市市委、市政府也把滇池的保护作为实施可持续发展战略的重点，纳入重要议事日程。自“八五”计划以来，各级政府从各种渠道筹措资金，分阶段、按规划开展滇池污染综合治理。随着工业企业达标排放工作的严格执行和工业环境管理的强化，滇池流域的工业污染源已得到了较好的控制，排污量所占的比重已低于农业、生活排污量，并且还在逐年减少；随着城市污水处理厂的相继建成并投入使用，城市生活污水的污染负荷也将逐步降低，滇池水质和生态恶化的趋势将在一定程度上得到缓解。

随着点源污染控制力度的不断加大，滇池面源污染问题逐渐凸显出来。在 2000 年的总污染负荷中，由农村面源污染所产生的有机物，总氮和总磷成为入湖污染负荷的主要来源，其中村镇生活污水、农田氮磷化肥、农业固体废物、水土流失和暴雨径流是滇池流域面源污染的主要来源。由于面源污染具有量大面广、瞬时性强、构成复杂等特点，

使其成为控制和治理滇池水体污染的重大技术与工程的挑战。

为寻求系统的面源污染控制与治理技术，国家科技部和云南省政府共同立项，开展“滇池流域面源污染控制技术”的研究与示范，由清华大学，云南省环境科学研究所、中国农业科学院、同济大学、昆明市环境科学研究所、北京大学、西南林学院、云南大学、云南省农科院、呈贡县政府、大渔乡政府等组成的联合体中标，承担课题技术与工程示范。

基于滇池流域面源构成类型与输移途径，本课题研究的总体思想是：源头控制、资源回用、技术实用、总量削减和优化管理，通过域内面源污染的有效控制和生态环境的显著改善、促进示范区经济效益的提高和生活品质的改善。由此，村镇生活污水氮磷污染控制、农村固体废物无害化处理、台地水土和氮磷流失控制、坝区农田产业基地氮磷污染控制、暴雨径流氮磷污染控制、流域面源污染综合控制与管理构成课题的关键创新技术。

“滇池流域面源污染控制技术”研究在课题领导小组、专家组的指导下，在科技部、云南省各级政府的大力支持下，经过课题组全体研究人员同心协力、全力攻关，在面源污染控制关键技术与设备、工程实施、软件开发、污染控制示范工程建设与运行等方面取得了重要研究成果。在处理村镇生活污水的复合生态床、地下土壤渗滤技术和缺/好氧低能耗生物滤池技术，农村固体废物资源化处置的有机-无机多功能复混肥生产技术、农户型双室堆沤肥成套技术，农业化肥减量的精准化平衡施肥技术及其智能化配肥和施肥软件，暴雨径流污染控制的复合沸石强化湿地生态技术、多功能复合型固-液旋流技术，以及面源污染模拟与控制决策支持系统等成套技术、工程示范与运行方面取得创新与突破。课题研发了 8 项重要技术与设备、申报 11 项国家发明专利和 1 项实用新型专利、建设与运行 15 项面源污染控制示范工程。课题的研究成果为“滇池流域水污染防治‘十五’计划”和“环滇池生态建设规划”的工程建设提供了可推广应用的技术支撑。课题建设的规模化示范工程运行已产生了显著的环境、生态、经济和社会效益，已具备在滇池流域全面推广应用的条件。

本专著是对“滇池面源污染控制技术”课题的总结，虽然写作内容是以滇池流域为背景，但其所涉及的诸多对农村面源污染控制的思想、技术、控制体系和政策等的讨论无疑对其它流域的面源污染控制具有积极的借鉴意义，这正是本书作者们的写作初衷。由于面源污染控制涉及学科众多，内容庞杂，我们在写作中不可避免地存在诸多不足和错误，敬请广大读者批评指正。

陈吉宁

于清华园

2009年3月

目 录

1 滇池流域示范区面源污染概况	1
1.1 自然、社会经济与土地利用概况	1
1.2 污染源构成	7
1.3 村镇生活污水污染负荷	8
1.4 农村固体废物污染负荷	9
1.5 农田施肥现状和特点	14
1.6 台地水土和氮磷流失	17
1.7 暴雨径流氮磷污染物输移特征与污染负荷	18
2 农村生活污水污染控制	21
2.1 农村生活污水污染控制技术特征的分析与选择	21
2.2 农村生活污水污染控制研究的内容与技术路线	25
2.3 人工复合生态床污水处理技术	26
2.4 地下渗滤污水处理技术	46
2.5 示范工程	70
2.6 小结	84
3 农村固体废物无害化处理处置	87
3.1 农村固体废物处理处置技术特征的分析与选择	87
3.2 固体废物污染控制内容和技术路线	89
3.3 花卉秸秆纤维素分解菌的选育	91
3.4 高效纤维素分解菌的性状表征和优势菌分类鉴定	95
3.5 菌株混合发酵工艺与优化控制	102
3.6 复合菌剂在共堆肥体系的应用	107
3.7 蔬菜花卉秸秆和粪便共堆肥的中试	121
3.8 双底物堆肥数学模型与模拟	134
3.9 农户型双室堆沤肥技术	142
3.10 农村固体废物无害化处理示范工程	148
3.11 复合肥生产与应用	163
3.12 小结	173

4	精准化平衡施肥技术	177
4.1	施肥技术特征分析与技术选择原则	177
4.2	精准化平衡施肥内容和技术路线	178
4.3	示范区种植结构与农田施肥状况调研	180
4.4	主要蔬菜、花卉作物氮磷肥料效应研究	186
4.5	蔬菜、花卉作物营养生理特性与需肥规律研究	193
4.6	氮素营养快速诊断和叶面肥、微生物肥施用效果	198
4.7	优化减量施用氮磷化肥对土壤肥力的影响研究	200
4.8	精准化平衡施肥技术的集成	203
4.9	示范区蔬菜花卉作物施肥技术规程	212
4.10	精准化平衡施肥示范	215
4.11	小结	227
5	台地水土和氮磷流失控制	230
5.1	技术特征分析与选择原则	230
5.2	台地水土和氮磷流失控制内容与技术路线	232
5.3	台地区水土和氮磷流失现状及成因分析	233
5.4	水土保持型速生高效乔灌木品种的选育	238
5.5	种植模式优选	253
5.6	生物篱技术研究	269
5.7	植被快速修复技术研究	270
5.8	径流控制净化技术研究	279
5.9	水土保持效果	282
5.10	水土和氮磷流失控制示范工程	284
5.11	小结	296
6	暴雨径流污染控制技术	298
6.1	控制技术体系选择	298
6.2	暴雨径流固-液分离技术与设备	299
6.3	复合型旋流分离器内部流场分析	316
6.4	复合型旋流分离器内固液两相流场的数值模拟	327
6.5	沸石潜流系统建立与运行	335
6.6	砾石潜流系统	355
6.7	表面流湿地系统	359
6.8	复合人工湿地系统	362
6.9	暴雨径流污染控制成套技术与工程	365
6.10	人工湿地植物群落特征	372
6.11	暴雨径流氮磷污染控制技术的经济效益分析	379
6.12	小结	383

7 面源污染模拟与控制决策支持系统	387
7.1 研究背景	387
7.2 NPSDSS 的开发	388
7.3 NPSDSS 的应用和验证	404
参考文献	418

1 滇池流域示范区面源污染概况

鉴于面源污染在空间上的广域性、时间上的随机性以及因果关系上的复杂性,开展现场信息调查、了解面源污染控制区的基本概况是制订面源污染控制方案,实施面源污染控制工程与最佳管理的重要依据和科学基础,必须对这一关键环节给予充分的重视,保障充足的时间和投入,以获得全面翔实的现场信息,使所制订的方案和实施的工程有的放矢,从而有效地提高政策、管理和工程的整体效益。但在实际工作中,由于基础信息调查并不能直接发挥污染控制功能,决策者和管理者往往忽视这一环节,从而造成后期财政投资和社会投入的极大浪费。

本章所介绍的内容,虽然调查范围主要局限于本研究的示范区,但它所提供的基本方法、内容和数据可为滇池流域及全国其它地区提供有价值的参考。

1.1 自然、社会经济与土地利用概况

1.1.1 自然概况

滇池流域属北亚热带湿润季风气候区,兼具低纬气候、季风气候和山原气候的特点。在低纬度和高海拔地理条件的综合影响下,受季风气候制约,形成了流域内四季温差小、垂直变异显著的低纬山原季风气候。气候的变化主要受西南季风和热带大陆气团交替控制。年平均气温 14.7℃,最热月平均气温 19.7℃;多年平均降雨量 874 mm,年平均蒸发量 1 409 mm,降雨的年内分布极不均匀,80%以上集中在雨季 5 月至 10 月,致使冬干夏湿,干湿分明。全年日照时数 2 250 h,无霜期达 230 d,主导风向为西南风。因温湿度适宜,冬无严寒,夏无酷暑,四季如春,花开不断,故以“春城”著称。

我们的研究示范区位于昆明市呈贡县西南大渔乡境内,地处滇池流域东部,地理位置如图(彩) 1-1 所示。研究示范区面积总计 13.5 km²,是典型的高强度农业生产区(见图 1-2)。地理坐标为东经 102°45′50″~102°47′57″、北纬 24°46′42″~24°51′19″,标高 1 880~2 000 m。距离昆明市主城区 25 km,距呈贡县城 8 km。由于靠近湖边,其气候特征与昆明市的平均状况略有不同,多年平均降雨量有所降低,约为 798.8 mm。

示范区由坝区和台地两部分构成,其中大部分为坝区,位于滇池湖岸,面积约为 10 km²,坝区地势平坦,坡度 2‰~4‰,坝区内农灌沟渠纵横交错,径流关系极为复杂,区内主要河流是捞渔河,属常年性河流。

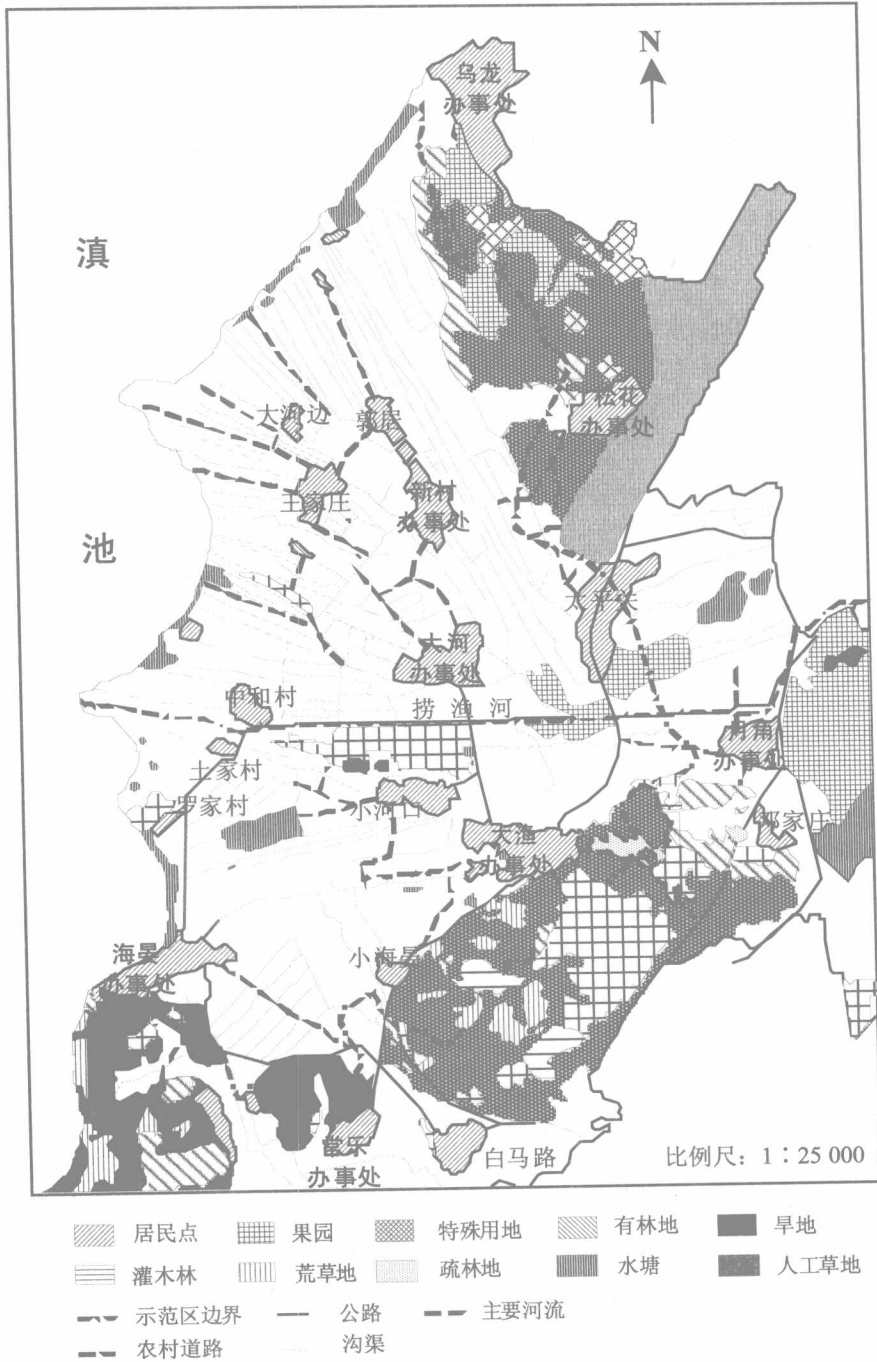


图 1-2 示范区土地利用图

示范区内共有大小山峰 8 座，分别位于示范区的东南和东北边界，其中最高点是位于示范区东南的关坡山，海拔 2 027.8 m，与示范区的最低点湖面海拔 1 886.5 m 相差 141.3 m。区内台地地形起伏明显，坡度较陡，经调查坡度在 25°以上的区域占示范区

台地面积的 54.68%，属中山台地和高原丘陵台地（见表 1-1）。由于区内台地蕴藏磷矿，矿山开采带来了严重的大面积水土流失。

据 1984 年第二次全国土壤普查资料，示范区有二个土类、三个亚类、四个土属和七个土种。土类占全省 18 个土类的 1/10，主要是红壤及水稻土，分别占研究区总面积的 93.6% 和 6.4%。据测定，示范区土壤比重 2.74~2.80 g/cm³，容重 1.35~1.69 g/cm³，总孔隙率 46.8%~58.2%，天然孔隙比 0.89~1.40，表明土壤呈可塑状，属中压缩性土，结构较紧密。土壤饱和度 22%~50%，渗透系数 $0.8 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-5}$ cm/s，土层透水性较差。由于区内土壤胶结较密实，接受降水和地表水的渗入性能较差，在植被覆盖欠缺的地带，易产生一定程度的土壤表层（松散状结皮层）侵蚀与冲刷。根据土壤物理指标监测结果，以及不同土种粒级组成和渗透系数数值，示范区土壤可蚀性大小的排列顺序是：旱坡地 > 复式冲沟和果园 > 荒台地 > 单一冲沟 > 矿山排土 > 平坝地。前四种地类是示范区台地主要土壤类别，土壤土种属黄、红壤土，土壤侵蚀性较强；后三种地类土壤土种属红粉壤土、人工堆积土及黄沙泥田，土壤侵蚀性稍弱。

滇池流域特有的气象和地理条件，使示范区的面源污染物易于积累，积累时间长，瞬间径流冲击负荷高，径流路径短，可利用阻截和滞留暴雨径流的土地空间极为有限，从而为面源污染控制在技术和工程上的设计带来了巨大的挑战。

表 1-1 示范区台地坡度面积调查统计

坡度	面积/hm ²	所占比例/%
<8°	21.08	13.27
8°~15°	17.26	10.87
15°~25°	33.64	21.18
25°~35°	27.81	17.51
≥35°	59.04	37.17
合计	158.80	100

1.1.2 社会经济概况

区域社会经济状况反映了人类的活动强度、类型和特征，是区域面源污染产生的驱动力，是制定面源污染控制政策和技术方案的社会和经济条件，因而需要详细调查。

我们所研究的示范区包括 5 个办事处（行政村）的 13 个自然村。据 2000 年大渔乡人口普查，全乡共有 2 876 户家庭，总人口为 8 790 人，平均每户 3.4 人，其中示范区人口 8 377 人，占全乡人口的 90% 以上，见表 1-2。

大渔乡 2000 年的地方财政收入 107 万元，在呈贡县 7 个乡镇中排第六位，人均纯收入 2 631 元。乡政府的统计报表显示，近两年来全乡经济呈增长趋势，农林牧渔业总产值（1990 年不变价）1999 年为 4 254 万元，2000 年为 4 771 万元。2000 年第一、第二、第三产业收入分别占总收入的 9%、89%、2%。近年的经济增长主要由蔬菜和花卉的扩大生产所拉动，蔬菜总产量 1999 年为 22 893 t，2000 年达 49 668 t，增长率为 117%。相比之下，区内的畜牧业生产呈下降趋势，年末大牲畜存栏 1999 年为 459 头，2000 年为 427 头，减少 7%；年末生猪 1999 年为 3 390 头，2000 年为 2 803 头，减少 17.3%。区内农业结构

正处于优化调节阶段。

表 1-2 示范区各办事处基本情况

办事处名称	水田/ hm ²	旱地/ hm ²	人口/ 人	户数/ 户	劳动人口/ 人	农业人口/ 人	非农业人口/ 人
大河口	110	15.5	2 283	778	1 570	1 180	25
新村	138.3	12.6	2 419	799	1 610	1 456	49
大渔村	126.4	15.2	2 862	938	2 049	1 791	52
太平关	44.02	9.93	813	293	558	500	58
海晏	14.22	5.07	415	129	300	282	18
合计	432.93	58.29	8 377	2 937	6 087	5 210	202

总体而言，示范区的经济水平相对较低，乡村的基础设施建设能力和管理能力不高，公益事业的投入严重不足，农民对发展生产，提高收入的关注要远远高于对其生活质量和周边生态环境改善的关注，这无疑极大地限制和约束了示范区面源污染控制方案的制订和实施。

1.1.3 土地利用概况

土地利用形式是影响面源污染空间分布和强度，决定面源污染输移路径和空间相互关系的最重要因素，也是开展区域面源污染模拟和制订控制方案的基础性资料，因此需要详尽了解面源污染控制区的土地利用信息。

本研究示范区的人均耕地面积仅 0.9 亩（1 亩=1/15 hm²），土地利用程度非常高，除部分坝区低洼水淹弃地和台地冲沟、强侵蚀区未被利用外，其余均作为农田使用。现场调查结果显示，2000 年大渔乡耕地面积共 13 438 亩，其中蔬菜种植面积 9 939 亩，占全乡的 74.0%；花卉种植面积 1 572 亩，占 11.7%；示范区五个办事处蔬菜种植面积共计 8 232 亩，花卉 1 549 亩，分别占全乡蔬菜、花卉种植面积的 82.8%和 98.5%。蔬菜、花卉种植在全乡种植业中占据主导地位，且绝大部分集中在示范区。表 1-3 统计了示范区各村 2000 年的花卉、蔬菜种植面积。

表 1-3 示范区各村的蔬菜、花卉播种面积统计

单位：亩

村名	蔬菜	花卉	村名	蔬菜	花卉
新村	1 700	550	月角	2 464	117
大河	1 034	800	海晏	980	70
大渔	2 054	12	示范区合计	8 720.5	1 606.5
			全乡	17 682	1 624.5

2000 年大渔乡蔬菜种类接近 30 种，其中播种面积超过 100 亩的有 15 种（表 1-4），占全部蔬菜播种面积的 92.5%；播种面积超过 1 000 亩的有 7 种，占全部蔬菜播种面积的 74.2%，分别为白菜、青花、甘蓝、辣椒、生菜、西芹和胡萝卜。

表 1-4 大渔乡主要蔬菜播种面积统计

蔬菜种类	播种面积/亩	所占比例/%	蔬菜种类	播种面积/亩	所占比例/%
白菜	2 461	13.9	甜脆豆	594	3.4
青花	2 100	11.9	大葱	518	2.9
甘蓝	2 091	11.8	菠菜	490	2.8
辣椒	1 816	10.3	豆尖	375	2.1
生菜	1 780	10.1	番茄	216	1.2
西芹	1 749	9.9	萝卜	175	1.0
胡萝卜	1 123	6.3	荷兰豆	154	0.9
花菜	721	4.1	其它	1 323	7.5
			合计	17 682	100

示范区花卉种植的种类较为单一，共有 13 种，2000 年的播种面积共计 1 625 亩。康乃馨最多，达 997 亩，占 61.4%；其次为玫瑰，占 17.9%，勿忘我达到 9.6%，其它花卉种植面积很少，总计 6.5%，详细统计见表 1-5。

表 1-5 2000 年大渔乡花卉种植情况

花卉种类	播种面积/亩	所占比例/%	花卉种类	播种面积/亩	所占比例/%
康乃馨	997	61.4	满天星	55	3.4
玫瑰	292	17.9	情人草	20	1.2
勿忘我	156	9.6	其它	106	6.5
			合计	1 625	100

由于用地紧张，示范区的台地也被过度开发，几乎所有坡度较小、有表土覆盖的区域都被开垦成农地。同时，在早期实行家庭联产承包制过程中，为了在各种土地分配之间达到平衡，土地分配在空间上十分凌乱，权属极为复杂。近年来，在市场经济的影响下，农地的轮作转化频繁，耕作方式多种多样，从而导致土地利用的方式十分破碎，表 1-6 总结了台地的土地利用统计结果（2000 年调查情况）。

表 1-6 台地土地利用类型统计

土地利用类型 (一级类型)	单位/hm ²	所占比例/%	土地利用类型 (一级类型)	单位/hm ²	所占比例/%
农地	33.48	21.08	矿区	10.01	6.30
农果混作	27.65	17.41	裸岩石砾地	0.45	0.28
农林混作	0.69	0.44	坟地	0.18	0.11
园地	19.39	12.21	房子	2.16	1.36
有林地	22.84	14.38	其他用地	15.69	9.88
灌木丛	8.66	5.45	一般道路	1.06	0.67
荒草地	16.26	10.24	农村道路	0.29	0.18
人工草地		0	合计	158.80	100

为了了解示范区农业生产和土壤营养物质流失的本底状况，现场调研中对示范区土壤的主要物理、化学等指标进行了系统的网格化取样调查。结果表明，示范区四个村的

农田土壤全氮含量水平基本相当,其中冬春季平均为 0.212%,夏秋季平均为 0.202%。示范区冬春季土壤全磷含量平均为 0.246%,夏秋季 0.252%。四个示范村中,大渔村土壤全磷含量较高,冬春季为 0.335%,夏秋季为 0.309%;新村土壤全磷含量较低,冬春季为 0.191%,夏秋季为 0.231%,详细指标见表 1-7。

示范区的地带性植被是滇青冈半湿润常绿阔叶林,但由于人类活动频繁、人为砍伐的严重破坏,原生植被目前已荡然无存。目前示范区的植被群落单一,绝大部分为人工种植植被。物种调查结果显示,该区有 26 个科的 64 种植物,但大部分乔灌类植物种没有形成群落,研究区的植被覆盖率仅为 62.53% (见表 1-8, 2000 年统计面积)。

表 1-7 土壤养分指标测试结果

项目	荒台地	旱坡地	果园	复式冲沟	单一冲沟	平坝地	矿山排土	全区平均
采样点编号	A	B	C	D	E	F	G	
全氮/%	0.070	0.061	0.102	0.058	0.067	0.119	0.034	0.073
全磷/%	2.265	0.240	0.173	0.509	0.065	0.337	0.293	0.555
全钾/%	1.097	2.757	2.456	2.377	3.619	1.291	2.789	2.341
速氮/(mg/kg)	45.53	33.3	72.2	26.09	29.81	86.4	4.64	42.57
速磷/(mg/kg)	253.25	52.61	71.02	85.73	10.08	115.07	43.49	90.18
速钾/(mg/kg)	102.13	112.98	122.75	171.28	187.4	358.04	106.23	165.83
有机质/%	1.2	0.79	1.56	0.83	0.99	1.98	0.22	1.08
pH 值	5.2	5.94	5.53	6.11	4.93	6.57	4.73	6.73~6.57
土壤肥力	好	一般	好	一般	一般	极好	瘦	一般
养分分级	4	5	4	5	5	3	6	4~5

表 1-8 植被综合盖度统计

植被类型		面积/m ²	综合盖度/%
合计		961 031	62.53
自然 植被	松林	2 246	68.00
	其他林地	2 173	60.00
	地盘松	19 940	65.00
	其他灌丛	38 970	69.77
	荒草地	136 130	70.73
	小计	199 459	12.98
人 工 植 被	农田植被	199 514	64.09
	农果混作	197 237	70.34
	农林混作	4 734	67.48
	梨园	37 867	65.03
	板栗园地	82 524	71.48
	葡萄园	7 292	56.44
	其他园地	5 325	57.99
	桉树	150 936	73.99
	圣诞树	41 511	84.64
	其他用地植被	34 631	36.92
小计	761 572	49.55	

1.2 污染源构成

滇池流域的主要污染问题是水体的严重富营养化，导致水体富营养化的主要污染源是工业污水、城市点源和面源以及农村面源污染。近年来，随着工业污染的有效控制和城市污水处理厂的建设，滇池流域的农村面源污染已经上升为主要污染来源。根据昆明市环境保护部门的有关资料，在 2000 年滇池入湖的污染负荷来源中（见表 1-9），面源污染的总氮（TN）和总磷（TP）负荷分别占整个滇池流域污染负荷的 26.7%和 44.5%，并且这一比例呈继续上升趋势，面源污染控制已经成为滇池流域水污染控制的重要方面。

表 1-9 2000 年滇池入湖污染负荷

污染源	污水量/ ($\times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$)	TN/ (t/a)	TP/ (t/a)	COD _{Cr} / (t/a)
工业废水	0.59	534	28	6 944
生活污水	1.81	9 835	796	32 494
面源	—	3 786	662	23 011
合计	2.4	14 155	1 486	62 449

作为典型的农业生产和农村生活区，示范区的面源污染具有较好的典型性和代表性，其类型主要包括分散的村镇生活污水、坝区产业基地（花卉、蔬菜基地）地表径流氮磷流失、农村生活和农业生产固体废物以及台地水土和氮磷流失，它们在暴雨径流的冲刷下，通过河道和沟渠最终排入水体。污染物的输移途径如图 1-3 所示。

在下面各节中，我们将对上述各种类型的面源污染来源进行详细介绍。

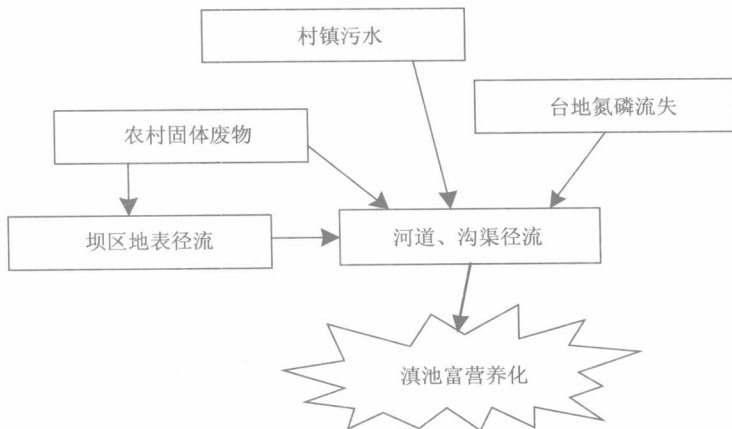


图 1-3 示范区面源污染物输移途径图

1.3 村镇生活污水污染负荷

我们对示范区的新村、大河口、大渔村和太平关四个自然村的 530 户家庭（占示范区总户数的 27%）进行了村镇生活用水和排水特征的详细调查，调查内容包括家庭人口、取水方式、日用水量、洗衣方式、洗澡方式、家庭厕所、能源结构等方面，调查方式包括普查和典型户跟踪实测。下面介绍主要调查结果。

1.3.1 人均用水量

示范区的农户家庭用水均以地下水为饮用水源。调查结果表明，示范区的家庭用水量相差较大，户用水量从 30 L 到 400 L 不等（见图 1-4），主要取决于家庭是否拥有独立的水井以及家庭拥有洗衣机、沐浴设施、厕所类型等卫生设施的状况。示范区家庭拥有独立水井农户的平均比例为 75%，其中太平关 91%，新村 88%，大渔村 54%，大河村口 82%；洗衣机、沐浴设施和厕所的普及程度分别为 50%、9%和 100%。

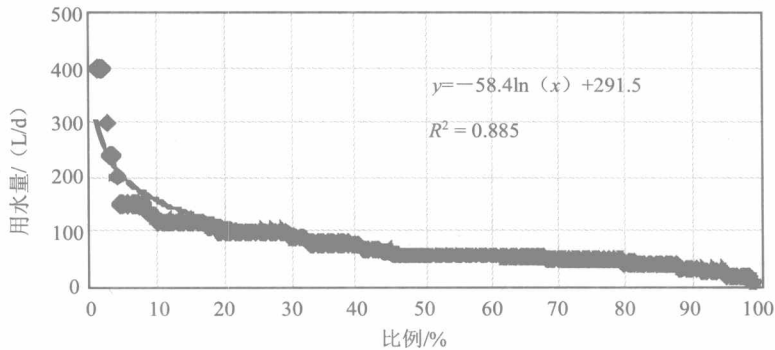


图 1-4 大渔村每户日均用水量分布曲线

由图 1-4 可以看出，在所调查的总户数中每户日平均用水量小于 120 L/d 的占 80%，小于 100 L/d 的占 70%。若以 70%~80%为置信区间，每户平均人口数为 3.45，则示范区人均日常生活用水量为 29~35 L/(人·d)。

1.3.2 生活污水的排放方式和特点

农村生活污水一般是通过院内污水沟、门外污水沟或泼在门外空地三种方式排放。在人口密集和规模较大的自然村，沿着房屋和道路一般建有一些非规范性的、大小不一和敞开式的污水排放沟，这些水沟往往与流经村中或村边的农灌渠或其它沟渠相连接，它们通常具有纳污、泄洪和农灌等多种功能。由于疏于管理，这些沟渠也经常成为垃圾的丢弃处，致使沟渠的淤积现象十分普遍。由于农村用水量小以及滇池流域的高蒸发强度，使沟渠中的水流流量很小，并经常存在断流的现象，从而进一步加重了沟渠的淤积。因此，当暴雨径流发生的时候，沟渠中大量淤积的污染物会被冲刷起来，带入接纳水体，从而形成较大的冲击污染负荷。

由于研究区仍然普遍使用干厕，用水量偏小，与城市生活污水相比，村镇生活污水