

城市小流域水污染控制

——桃花江上游来水污染 控制技术与示范

王敦球 张学洪 黄 明

张 华 解庆林 徐文炘

编著



 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

城市小流域水污染控制

——桃花江上游来水污染控制技术与示范

王敦球 张学洪 黄 明 编著
张 华 解庆林 徐文炘

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2009

内 容 提 要

本书在对旅游城市桂林漓江支流桃花江流域污染现状进行调查和分析的基础上,针对桃花江来水水质特征和流域经济发展现状,提出桃花江上游来水污染控制综合技术。

全书共分4章,主要论述了桂林桃花江水环境现状及污染控制规划、桃花江上游来水污染控制措施、桃花江上游来水污染控制技术、桃花江上游来水污染控制技术示范与应用。

本书可供从事废水处理工作的工程技术人员、管理人员以及高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市小流域水污染控制:桃花江上游来水污染控制技术与示范/王敦球等编著. —北京:冶金工业出版社,2009. 7
ISBN 978-7-5024-4927-8

I. 城… II. 王… III. 河流—水污染—污染控制—桂林市 IV. X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 105783 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4927-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 7 月第 1 版, 2009 年 7 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16; 14.75 印张; 355 千字; 226 页; 1-2000 册

42.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

环境问题是全球进入 21 世纪后所面临的主要问题之一,而水污染问题又是环境问题中最为主要的问题。我国的水污染问题极为严重。据统计,在 20 世纪 70 年代初全国日排放污水量已超过 1 亿 m^3 ,其中 80% 的污废水未经处理直接排入水域,使河流、水库、湖泊遭到不同程度的污染,水环境状况日益恶化,从而严重危害人类的健康。水污染已成为影响我国经济发展、社会安定的重要因素,水污染问题已成为关注的焦点。

近年来,随着桂林市经济的持续增长和城市化、工业化进程的发展,特别是桂林市“两江四湖”环城水系工程的建成,城市旧貌变新颜,人们的物质、文化生活水平不断得到改善。但工业化发展同时也带来了一系列的环境污染问题:由于工业废水与生活污水排放量大幅度增加,河流水污染程度日益严重,特别是“两江四湖”之一的桃花江市区段水体污染问题尤其突出;流域污水集中处理系统的建设尤其是市政管网建设没有适应形势的发展,加之又缺乏有效的水污染控制措施,导致流域的污染物排放与河流自净能力的平衡被打破,水质污染不断加剧,水体富营养化日益严重,尤其在枯水季节更为明显,其根本原因在于桃花江十分有限的水环境容量与逐年加重的水污染负荷之间的矛盾。桃花江污染问题不仅制约该区域内的经济发展,而且影响漓江干流的水质,更重要的是这与国务院已经批复桂林市城市总体规划“桃花江区域为旅游度假区”相矛盾。因此桃花江市区段水环境的改善是当前面临的主要问题。这对该区域生态环境和经济可持续发展,具有重要的现实意义和战略意义。

为实现桃花江市区段水环境改善的目标,围绕如何控制桃花江水污染的核心问题,从点源、线源和农业面源污染控制方面确定了各个关键技术的研究内容。在点源污染控制方面,调查和研究桃花江沿岸的污水水质、水量特征、排放规律和排放要求,研发出相应的村落和住宅小区污水高效、低耗处理装置和各种优化的处理工艺组合,并进行新型的高生物量和脱氮除磷功能的滤料的开发,形成村落和住宅小区一整套高效、低耗处理装置和处理工艺为核心的技术体系。在城市污水处理厂出水深度处理和污泥安全处置方面,以桃花江水环境功能区划为基础,研发出多种填料和多种植物混合栽种技术的复合垂直流人工湿地生态处理技术,以及可以高效去除污水中的氮磷等污染物的生物化学法污水深度处理组合技术,并指导建设示范工程。针对城市污水污泥中重金属含量偏高的现状,研究开发了相应的生物处理关键技术。在纳污支流治理方面,针

对纳污支流——乌金河的治理开展技术研究,形成了将生物修复、生态恢复技术以及各种处理单元相结合的一整套河道污染治理技术。在农业面源污染控制方面,研发了一批以农业面源污染源头控制为核心的关键技术,根据桃花江流域农业面源污染的形式和特征,以污染源头控制为核心,集成源头控制的各项关键技术,与生态工程相结合,建立高效的农业面源污染控制技术系统。

经过近三年的技术研究并通过各项研究成果的工程运用,对桃花江上游区段的污染物进行控制,削减桃花江上游来水所带来的污染物,减少对桃花江的污染,对于改善桃花江水质,促进桃花江水环境的良性循环起到明显的作用。

作者将多年来取得的科研成果融入本书的编写中,内容由浅入深,具有较强的科学性、完整性、实用性和独立性。本书层次分明,在每一部分中,章与章之间既有承合关系,又可独立成篇,都从实验方法、结果、分析等方面系统介绍了成果的实验过程和理论价值。既有作者自己大量的研究成果,又介绍了本领域国内外的研究成果和研究方法。资料非常丰富,读者能从中得到多方面的知识和信息,具有较强的可读性,对从事环境工程的专业人员及相关领域的研究人员了解该领域是很有帮助的。本书可供从事废水处理工作的工程技术人员、管理人员以及高等院校相关专业师生参考使用。

本书基础资料主要来自作者承担的“863 计划”等攻关项目的研究报告,在研究工作过程中得到广西壮族自治区科技厅、桂林市科技局和桂林理工大学(原桂林工学院)的资助和支持。除署名作者参加本研究工作外,参加该研究工作的还有朱义年、游少鸿、许立巍、赵文玉、李艳红、陆燕勤、魏彩春、刘辉利、李金城、刘康怀、梁延鹏、陈俊等同志,以及桂林工学院 2002~2005 级环境工程和市政工程专业硕士研究生 10 余人,研究工作在广西环境工程与保护评价重点实验室完成。本书引用了其他同志的部分研究成果,在此作者表示诚挚的谢意。

由于作者理论水平和实践经验所限,书中不妥之处,热忱希望读者批评指正。

作 者

2009 年 1 月

目 录

1 桂林桃花江水环境现状及污染控制规划	1
1.1 桂林市桃花江流域概况	1
1.1.1 桃花江流域自然环境与社会经济概况	1
1.1.2 桃花江水环境质量概况	2
1.1.3 桃花江水环境污染源分析	4
1.1.4 桃花江流域水污染原因分析及主要存在问题	5
1.2 桃花江上游来水污染控制对策	7
1.2.1 点源污染控制	7
1.2.2 线源污染控制	7
1.2.3 农业面源污染控制	9
2 桂林市桃花江上游来水污染控制措施	10
2.1 桃花江上游来水点源污染控制	10
2.1.1 桃花江沿岸村落和住宅小区水污染现状及控制	10
2.1.2 城市污水处理厂出水深度处理技术方法及原理	16
2.1.3 城市污水处理厂污泥重金属控制措施	33
2.2 纳污支流污染治理	35
2.2.1 纳污支流——乌金河污染现状	35
2.2.2 河道污染治理途径分析	40
2.3 农业面源污染控制	40
2.3.1 流域内不同利用方式土地氮、磷污染物输出变化规律	40
2.3.2 农业非点源污染物输出模型与预测	44
2.3.3 农业面源污染控制途径分析	57
3 桃花江上游来水污染控制技术	61
3.1 桃花江上游来水点源污染控制技术	61
3.1.1 村落污水处理技术	61
3.1.2 住宅小区污水处理技术	75
3.1.3 城市污水处理厂出水深度处理技术	88
3.1.4 城市污水处理厂污泥生物处理技术	123
3.2 纳污支流水体净化技术	135
3.2.1 去砾间接接触氧化河道净化技术	135
3.2.2 人工湿地河道净化技术	141
3.3 农业面源污染控制关键技术	142

3.3.1 畜牧业废弃物资源化利用技术	142
3.3.2 种植业中化肥、农药减量、高效利用技术	165
3.3.3 有机农业代替传统农业种植技术	187
3.3.4 农田排水污染物控制技术	192
3.3.5 农业面源污染控制集成技术	199
4 桃花江上游来水污染控制技术示范与应用	201
4.1 鲁家村生活污水治理示范工程	201
4.1.1 鲁家村概况	201
4.1.2 自然条件	201
4.1.3 给水、排水现状	201
4.1.4 设计年限	202
4.1.5 工程选址	202
4.1.6 综合用水量预测	202
4.1.7 污水量预测	202
4.1.8 进水水质预测	203
4.1.9 出水水质	203
4.1.10 工程设计	203
4.1.11 结构设计	206
4.1.12 电气设计	207
4.1.13 工程估算	207
4.2 北冲污水处理厂出水深度处理示范工程	207
4.2.1 北冲污水处理厂概况	207
4.2.2 工艺选择	207
4.2.3 设计水质	208
4.2.4 流程说明	208
4.2.5 工艺设计	209
4.2.6 配套设备	209
4.2.7 工程投资	209
4.2.8 工程总结	210
4.3 纳污支流——乌金河污水净化技术示范工程	210
4.3.1 工艺流程	210
4.3.2 单体工艺设计	211
4.3.3 人工湿地	213
4.3.4 绿化设计	214
4.4 桂林桃花江观光农业园推广应用示范工程	214
4.4.1 推广应用示范工程概况	214
4.4.2 园区的功能分区及主要内容	217
4.4.3 园区生产方式	223
4.4.4 市场前景	223
参考文献	224

1 桂林桃花江水环境现状及污染控制规划

1.1 桂林市桃花江流域概况

桂林市位于广西壮族自治区东北部,东经 $110^{\circ}13' \sim 110^{\circ}40'$,北纬 $24^{\circ}39' \sim 25^{\circ}22'$ 。1982 年 2 月被公布为国家历史文化名城,1997 年 1 月,被国务院定名为全国重点风景旅游城市。桂林以其特有的岩溶地貌、峰林、孤峰和洞穴,构成甲天下的桂林奇山异洞。漓江自北向南蜿蜒迂回于群峰之中,形成“群峰侧影山浮水,无水无山不入神”的自然风光。独特秀美的山水自然景观和丰富多彩的人文景观令无数中外游客赞叹不已。早在一千五百多年前的南朝,桂林就已经有了风景游览活动,唐宋时期尤为兴盛,除不断开拓沿岸的名山胜景外,城区中还疏挖河滩、栽花修路,构筑环城水路交通与城防系统,并兼具游览功能。其中“两江四湖”是桂林市迄今为止规模最大的一项环境保护工程。该工程由桂林市委市政府于 1999 年提出整个构想,旨在把桂林市中心区建成一个大花园,即将桂林市中心区的江河湖塘与漓江、桃花江贯通,连江接湖、清淤截污、显山露水、修路架桥、绿化美化。2002 年 5 月,“两江四湖”一期工程全面贯通并胜利通航,如今,它不仅已成为桂林旅游发展的新亮点,四湖(榕湖、杉湖、桂湖、木龙湖)的水质也从原来劣于国家地表水五类水质标准提高到国家地表水 II ~ III 类水质标准,中心城区生态环境得到了巨大改善。为了提升桂林整个城市的防洪泄洪功能和改善城区水体水环境质量状况,“两江四湖”二期工程于 2002 年 10 月开始建设,该工程北起桂林市西环路桃花江大桥,南至桂林象鼻山桃花江与漓江汇合处,途经西门桥、南门桥、虹桥坝和文昌桥。其中桃花江流域水污染治理成为二期工程的主要内容,故“两江四湖”二期工程不仅是桂林市一项重要的城市防洪排涝工程,也是一项重要的环境保护工程。因此,桃花江流域水环境质量的改善和保护便成为“两江四湖”工程建设的首要问题。

1.1.1 桃花江流域自然环境与社会经济概况

1.1.1.1 自然环境概况

桃花江又名阳江,位于广西桂林市西北部,是漓江的主要支流之一。桃花江干流长 65 km,流域地质地貌较为复杂,以低山丘陵为主,兼有岩溶地貌,其中上游地势以低山、丘陵为主,中下游为平原。流域属中亚热带季风气候区,四季分明,气候温和,多年平均气温 19.1°C ,年平均降雨量 1900 mm,年平均蒸发量 1500 mm,平均风速 2.5 m/s ,以偏北风为主,基本风压值为 0.35 kPa 。每年 9 月至次年 2 月为旱季,3 月至 8 月为雨季,占全年的 70%(表 1-1)。

桃花江水量受雨季影响较大(表 1-2),枯水期河宽一般 $40 \sim 50\text{ m}$,水深一般 $2 \sim 4\text{ m}$;丰水期河槽一般宽 $50 \sim 60\text{ m}$,飞鸾桥最宽达 71 m。该流域雨量充沛,年平均降雨量为 $1900 \sim 2000\text{ mm}$,多集中在 5 ~ 7 月,约占全年降雨量的一半,流域集水面积为 298 km^2 ,年平均径流量为 3.66 亿 m^3 。实测最大流量 $840\text{ m}^3/\text{s}$,实测最小流量 $0.637\text{ m}^3/\text{s}$,年平均流量 $11.6\text{ m}^3/\text{s}$ 。

表 1-1 桂林市多年平均月降雨量、蒸发量

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降水量/mm	62.7	71.0	110.5	257.5	301.4	320.0	220.0	183.8	65.7	77.1	98.6	55.0
占全年降水量/%	3.4	3.8	6.0	14.1	16.7	17.6	12.1	10.2	3.6	4.2	5.4	3.2
蒸发量/mm	35.9	31.5	42.0	56.1	77.1	91.1	114.8	116.5	116.5	92.5	59.6	42.0
占全年蒸发量/%	4.1	3.6	4.8	6.4	8.8	10.4	13.1	13.3	13.3	10.6	6.8	4.8

表 1-2 桃花江桂林市区河段河道特征

(m)

断面位置	河底高程	枯水位	枯水深	河 宽		河岸高
				枯 水	丰 水	
伍仙坝	150.75	152.05	1.3	40	50	2.5
飞鸾桥	144.73	147.93	3.2	63	71	2.3
李公馆	143.96	147.76	3.8	45	60	2.5
狮子岩	144.12	147.12	3.0	54	62	2.0
胜利桥	142.43	146.43	4.0	37	49	4
燕子园	143.06	145.66	2.6	44	62	3.5
虹桥坝	143.96				80	5
雉山桥	143.14				68	3

引自《桂林市城市防洪总体规划报告》，桂林市水利电力局，1994 年。

桃花江流经桂林市区 19.1 km，自伍仙坝至雉山桥，断面河床坡降 0.44‰，枯水水面比降 0.43‰，洪水水面比降 0.03‰。桃花江沿岸河堤很低，枯水水面至河堤岸一般 2~3 m。河道弯曲度大，沿河桥坝较多。桃花江及其支流的主要功能为农业灌溉，流经桂林市城区内的两岸土地多被开垦为菜地或农田，为了拦水灌溉，两岸居民分段筑坝，致使河水深度变化起伏较大，河床宽度也不规整。

1.1.1.2 社会经济概况

桃花江流域地辖临桂、灵川两县的五通、庙岭、定江、潭下、灵川的五个乡镇和桂林市的秀峰、象山两个区。流域面积 298 km²，流域人口约 23.8 万人，市区河段内有 20 多家大中型企业，主要从事橡胶、机械、食品、制药、通讯、化工、造纸等行业生产，以及燕子园、虹桥和桃花新村等小区，有演波、庭江洞、南边、船埠头、水南、矮山、肖家、敦睦、徐家等共 16 个自然村，主要从事农业生产与家畜养殖业，有耕地 148.67 hm²，其中水田 126.67 hm²，旱地 22 hm²，另有鱼塘 46.67 hm²。此外，桃花江流域有芦笛、西山、象山公园和刘三姐风情园等旅游景点。芦笛公园占地 42.27 hm²，游览面积 11.69 hm²；西山公园总面积为 101.45 hm²，建成游览面积 20.49 hm²；象山公园东依漓江、北临桃花江，公园面积 11.38 hm²，建成游览面积 3.46 hm²，其集山、水、洞、文物于一身，已成为桂林山水的象征。依托旅游资源，沿岸第三产业发展迅速，建有较多的宾馆、饭店及旅游接待服务设施、文化教育及培训场所，初步形成了旅游、购物、娱乐、消费一条龙服务。

1.1.2 桃花江水环境质量概况

在 20 世纪 70 年代前，桃花江水质良好，是沿岸居民生产生活的主要水源。进入 80 年

代后,随着流域人口的迅速增长和经济建设的快速发展,沿岸工业废水和生活污水排放量不断增加,工业固废和生活垃圾沿河塘倾倒量加大,沿岸农业种植、养殖等开发活动加强,农业废弃物及富营养物质排放量迅速增多,导致河水浑浊,河流水质下降。影响水质的主要项目有:石油类、大肠杆菌、氨氮、总磷和色度等。

自1981年开始,桂林市环保局在桃花江伍仙桥、胜利桥、南门桥三个断面及宁远河口设常规监测点(表1-3)。按《地面水环境质量标准》(GB 3838—1988)Ⅲ类标准,从1981~1990年,大肠菌群历年来一直超标,氨氮除1989年外均超标,色度除1982年、1986年、1987年外均超标。进入20世纪90年代,大肠菌群和石油类年年超标,悬浮物1991年、1994年、1995年超标,溶解氧除1996年外全部超标。1995~2007年水质监测具体结果见表1-4。

表1-3 桃花江监测布点及监测频次

断面名称	断面位置	断面类型	控制级别	监测点数	监测频次	监测项目
伍仙桥	伍仙桥下	对照断面	市控	1	6次/年	选测18项
胜利桥	胜利桥下	控制断面	市控	1		
南门桥	南门桥下	控制断面	市控	1		
宁远河	宁远河入漓江口	控制断面	市控	1		

据《广西壮族自治区桂林市环境质量报告书—1996~2000年度》,桂林市环境保护局,2001.4。

表1-4 1995~2007年桃花江干流各监测断面监测结果统计

(mg/L)

年 份	监 测 断 面											
	伍仙桥			胜利桥			南门桥			宁远河		
	悬浮物	氨氮	石油类	悬浮物	氨氮	石油类	悬浮物	氨氮	石油类	悬浮物	氨氮	石油类
1995	18.1	0.598	0.11	19.8	0.671	0.17	20.9	1.426	0.38	8.4	7.357	1.42
1996	14.2	0.472	0.14	15.2	0.602	0.12	11.4	6.515	4.19	11.4	6.515	4.19
1997	13.3	0.344	0.14	19.1	0.620	0.17	17.2	0.966	0.29	15.0	2.692	1.02
1998	13.1	0.194	0.11	11.8	0.465	0.18	12.9	1.803	0.15	12.9	1.840	0.46
1999	12.2	0.341	0.02	15.8	0.538	0.02	14.0	0.712	0.02	13.0	1.099	0.02
2000	17.0	0.325	0.02	14.0	0.731	0.02	14.2	1.308	0.02	14.0	1.702	0.02
2001	28.0	0.303	0.04	24.5	0.462	0.03	23.5	0.754	0.02	—	—	—
2003	—	0.588	0.02	—	0.909	0.02	—	1.057	0.07	—	—	—
2004	—	0.899	0.02	—	0.727	0.02	—	0.956	0.03	—	—	—
2005	—	0.154	0.02	—	0.460	0.02	—	1.187	0.05	—	—	—
2006	—	0.255	0.02	—	0.512	0.02	—	1.021	0.05	—	—	—
2007	—	0.204	0.02	—	0.404	0.02	—	0.868	0.02	—	—	—

《地面水环境质量标准》(GB 3838—1988)Ⅲ类标准:石油类 ≤ 0.05 mg/L。2001年所列数值为丰水期监测值。

注:1. 未检出项目按该项目检出限的1/2报出;

2. 表中所列数据均为平均值;

3. 据《广西壮族自治区桂林市环境质量报告书—1996~2007年度》,桂林市环境保护局,2001.4;《桃花江环境污染状况及工业废水治理方案》,桂林市环境保护局、桂林市环境保护科学研究所,1999.2。

从超标的几项指标来看,从 1995 ~ 2001 年,SS 在上游有两年超标,而下游只有一年超标,表明上游可能存在着雨水污染及水土流失带来的影响。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 上游较为轻微,胜利桥以下超标严重,说明与工业废水与城区生活污水的排入有关。到南门桥 $\text{NH}_3\text{-N}$ 几乎历年均超标,石油类污染从上游到下游在 1998 年以前基本上是超标的。但在 1998 年以后,历次监测中尚未发现石油类超标。总体来看桃花江水质下游较上游要差,2000 年和 2007 年水质监测情况表明水质有逐年改善的趋势。从以上分析可知,氨氮是桃花江的第一污染物,其次为溶解氧、石油类、SS、 BOD_5 、亚硝酸盐氮等。分析结果同时显示, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、石油类等超标,桃花江水质污染较为严重,且往下游呈污染加重的趋势,即伍仙桥至胜利桥为轻污染河段,胜利桥至象鼻山的入口为重污染河段。

此外,从桃花江上游河段的监测结果(表 1-5)来看,总磷已经成为桃花江水质恶化的另一主要污染因素。尽管桃花江上游平时总磷浓度并未超过《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准,但是,当降雨径流形成后,桃花江中总磷含量大幅度增加,超过该标准中的 0.2 mg/L。

表 1-5 桃花江上游各监测断面总磷监测结果 (mg/L)

项 目	监 测 断 面			
	飞鸾桥	鲁家村	甲山桥	胜利桥
降雨前总磷	0.152	0.155	0.118	0.157
降雨后总磷	0.365	0.378	0.330	0.273

1.1.3 桃花江水环境污染源分析

从污染源发生的类型来看,桃花江水环境的污染源可分为点源、线源和农业面源三大类。点源和线源污染主要是工业生产过程和城市生活中产生的污染物,这种污染形式具有排污点集中、排污途径明确等特点,包括桃花江流域内众多的纳污支流、北冲污水处理厂的出水和污泥以及沿江各住宅小区和村落的生活污水污染;农业面源污染就是指桃花江流域内农业生产由降雨引起地表径流所造成的农业面源污染,包括种植业中农药、化肥的不合理使用,畜禽养殖业废弃物的任意堆放和使用所造成的面源污染。

1.1.3.1 点源污染

沿江各住宅小区(位于桃花江西岸)的生活污水由于排水系统不完善,污水无法进行统一处理;各村落也没有相应的处理措施,生活污水直接排入桃花江,主要污染物成分 N、P 对水体的富营养化贡献较高,也是造成桃花江水质恶化的原因之一。北冲污水处理新厂采用 A^2/O 工艺,该工艺除磷功效存在一定的局限性,即在维持高效脱氮的情况下,不能达到高效除磷的目的。当进水 TP 浓度偏高或碳源不足时,出水 TP 不能达到Ⅲ类水的标准。污水处理厂预计日产脱水污泥 26.3 t,绝大部分由附近农民运走进行农用,而污泥中重金属含量较高,农用过程中会通过地表径流冲刷,水体渗透作用进入地下水体和桃花江,影响桃花江流域内地下水体和地表水体。

1.1.3.2 线源污染

桃花江流域有众多的纳污支流,包括道光小溪、乌金河、徐家村小溪和敦睦村小溪等,其中乌金河的污染最有代表性。乌金河的污染主要是由沿线工农业生产和生活所排放的污染物造

成的,污染的形式不仅有沿线的面源污染,也有点源污染。面源污染中包括农药化肥的使用,污水灌溉,城镇地表径流以及水产养殖等所造成的污染。沿线共有 11 个排污口,排污总量约 $1.2 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,并且,沿线的上、中、下游都有排污口,涉及面较广,造成集中治理的困难。

1.1.3.3 农业面源污染

流域内散布着较多的农田,污染主要是农药、化肥污染以及畜禽废弃物的污染。畜禽废弃物的污染主要是由各村的养殖特点和养殖方式决定的,废弃物的处理也仅仅是以简单的堆沤为主,缺乏相关技术支持。同时,种植业中农药、化肥的不合理使用,以及农药、化肥的淋失率较高也是造成面源污染的主要原因。

1.1.4 桃花江流域水污染原因分析及主要存在问题

1.1.4.1 人口高度密集

桃花江流域紧靠桂林市城乡结合区,经济相对发达,人口相对集中,桃花江沿岸自上而下人口密度由 159 人/km^2 增加到 297 人/km^2 ,支流道光小溪沿岸达到 366 人/km^2 ,平均人口密度为 227 人/km^2 ,大于 200 人/km^2 ,为人口高度密集区。从工业性质看,流域农村人口占 75%,城市化人口占 25%,城市化程度不高,但未来城市化建设任务较重。从人口组成看,劳动力人口占了 51%,未来这个比例将进一步增加,生存、就业与老龄化问题将更加突出。人口的高度密集加大了对资源的需求与耗竭,加大对桃花江流域生态与环境的开发、破坏与污染。

1.1.4.2 水资源紧张

根据历年水资源统计,全流域耕地亩均水资源拥有量为 $1588 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,与西南、华南地区耕地平均水资源拥有量相当。但是,因流域人口高度密集,实际人口水资源相对紧张。桃花江多年平均径流总量 3.66 亿 m^3 ,基流 1.22 亿 m^3 (总径流的 $1/3$),加上市区居民排放生产废水从异域青狮潭补充部分灌溉水,平水期流量一般 $4 \sim 5 \text{ m}^3/\text{s}$,与实际相符;洪水径流 $2.44 \text{ 亿 m}^3/\text{s}$ (总径流的 $2/3$,为可以调控与开发利用的水资源),目前流域总有效库容 0.21 亿 m^3 、加上水塘(池)库容(按水库有效库容 10% 计),流域调蓄能力 0.23 亿 m^3 ,具有调控潜力 2.17 亿 m^3 。由于缺乏水利工程调蓄这部分径流,造成丰水期洪灾频繁,而春、秋、冬季干旱缺水。从水资源需求分析看,农业耕地用水 2.3 亿 m^3 (按 $1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$),旱地用水 0.26 亿 m^3 (按 $4500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$),养殖业用水 0.24 亿 m^3 (鸡 0.01 亿 m^3 、猪 0.01 亿 m^3 、牛 0.01 亿 m^3 、鸭 0.01 亿 m^3 、鱼 0.20 亿 m^3),农村人口生活用水 0.065 亿 m^3 、城市生活用水 0.066 亿 m^3 、工业生产用水 0.08 亿 m^3 、流域年需水 3.01 亿 m^3 ,超出了流域可供开发利用的水资源 0.57 亿 m^3 。由于降雨时空不均,流域缺乏调蓄能力,流域旱涝频繁,水资源供需紧张,成为典型的工程缺水型流域。

1.1.4.3 经济发展不平衡

桃花江流域生态系统复杂,每个流域内的生产力水平、生产方式、生活方式、消费水平有很大差异,从而出现价值与价格、物质流与经济流的不平衡流动,影响与制约了农民对生态保护与生态建设的积极性。

上游低山一丘陵林业生态系统,因离市区较远,农业生产以林业种植、农业种植为主,过着自给自足的传统生活方式。由于耕地少、农业收入低,主要依靠林业与林副业收入改善生活,森林砍伐与用材取暖不可避免。此外,树木生长期长,经济回报率低,严重影响了农民的种林、

养林、护林的积极性,水源林的保护与发展难以得到保障,导致森林覆盖率较低。

中游缓丘—平原区,为农田生态系统,生产方式以农业种植为主,兼有少量养殖业。由于农业种植收益高于林业生产,因而有些缓丘被垦荒种植(包括果树、茶叶等),而条件差的荒山多留荒。桃花江沿岸生态护岸与景观层次差,林业生产发展速度迟缓。

在城郊结合部的平原区,人口密度大、土地利用率高,农业种植潜力已经有限,但该区域离市区近,交通便利,利于发展养殖与作坊加工,收益也较好,从而大大刺激了家庭养殖与作坊加工的发展(包括河中网箱养鱼与放鸭),造成过度消耗紫草,大量排放养殖业、加工业废水,使支流污染加重;大量打捞江中水草,使江水污浊,并由此带来地带性的面源污染。与此同时,城市基础设施建设对石料需求加大,由于在北至船埠头、南至机场路长达数公里地段线状炸山取石,造成岩溶石山生态环境的不可逆性破坏。养殖业的无序发展,炸山取石等大大加速了流域的生态破坏,导致了较严重的水土流失与面源污染,大大消耗了进入市区河段的水环境资源。

城市系统一直享受着城区污染、乡村净化的环境资源特权,而又很少对周边农村提供环境资源补偿。当周边农村也大量消耗环境资源时,城区的大量工业排污、生活排污等污染叠加,不可避免地会造成河流自净能力减弱等水环境的问题。

1.1.4.4 流域生态环境脆弱

由于地质地貌条件、社会经济发展水平、生态环境条件等诸多差异,在桃花江流域形成了社会与经济、人口与资源、生态与环境等多种界面,并导致了界面之间的多因素联合与转换、平衡与协调困难,而使系统界面脆弱。

山地平原过渡带:该带背靠山地,山体、坡地等土地资源坡度大,径流冲刷强烈,同时存在较大的高度梯度,易形成特殊的热力与动力条件,易形成暖区暖带和暴雨中心,并由此造成严重的旱情和水土流失,旱涝灾害较为频繁。

喀斯特水土严重流失区:市区河段,岩溶发育,石山陡峭,水土流失严重,土壤生成速度慢,上层薄,生态系统对外带作用抵抗低,自我恢复能力差,为最典型的生态脆弱区。

城乡结合部:该区域具有调节气候、消纳城市废物、增加城市空间的环境功能,又具有菜篮子工程和城乡之间人、财、物的高度集散的生产经济功能,它面临城市发展、土地开发、农民就业和环境污染的多重压力,是城市化、工业化过程中生态环境质量严重恶化的地段。

特殊保护目标区:在桃花江流域市区河段,分布有大量风景名胜,如芦笛岩、西山公园、象山公园、桃花江旅游度假区;分布有众多的人文景观与古树,如李宗仁官邸、唐代赵观文出生地、法藏禅寺,大量百年古榕、古樟、桂花、国槐等;并分布有众多学校、涉外宾馆、民宅小区和企事业单位。它们对生态保护、景观美化、环境卫生、污染防治、民族文化等有特殊性要求,而成为环境敏感区。

1.1.4.5 城市规划与建设不尽合理、城市化污染较重

由于历史的原因,耗水与污染规模较大的企业分布于城市河段上游,如造纸厂、桂林钢厂、乳胶厂、橡胶制品厂等,据统计沿河取水的企业和用水点有10多处;城市污水处理厂也建在上游,且通过了扩建建设(由 $0.35\text{万 m}^3/\text{d}$ 扩建到 $3.5\text{万 m}^3/\text{d}$),尾水流量 $0.4\text{ m}^3/\text{s}$,造成枯水期河流稀释与自净困难;同时企业(含乡镇企业)排污申报值与实际监测值出入很大,偷排、超标排放生产废水时有发生,市政排水系统建设严重滞后于城市的发展,导致生活污水直接排放。

在桃花江胜利桥以上河段,污染源有法源河、乌金河、道光小溪、敦睦小溪以及二造纸厂、北冲污水处理厂、桂林钢厂等,其中法源河污染负荷最大,其次是乌金河。胜利桥至象鼻山河段主要是菟子园至九岗岭一带的生活排污。

由于城北区市政排水管网建设滞后,且北冲污水处理厂超负荷运行,城北区的大部分生活污水只好溢污至乌金河、道光小溪。在桃花江市区河段(飞鸾桥—九岗岭)沿岸分布着十余个企事业单位和桃花新村、菟子园、九岗岭等居民小区,但这些地方排水设施缺乏,牯牛山泵站虽建有泵房,但配套设施没有建设,周边已建的排水管网也不能发挥作用,致使市区河段每天有 22000 m³ 以上的工业废水、5000 m³ 以上未处理的生活污水、16000 m³ 以上的农业排灌污水就近排入桃花江,日排放 COD 4 t/d 左右(工业废水平均日排放 1.5 t/d,生活废水平均日排放 0.7 t/d 以上,农业废水平均日排放 2.0 t/d 左右),造成桃花江的严重污染,且往下游有加大趋势。河水浊度主要与径流冲刷、农业废水排放以及鸭群放养、农民打捞水草等有关,局部水体富营养化也是造成水体浑浊的主要原因。

此外,部分河段区域的垃圾污染与工农业固体废弃物污染也有影响。在飞鸾桥至桃花江桥,垃圾污染比较严重,有一部分垃圾都沿岸倾倒。在桂钢,工业废渣沿水体倾倒,各种冲渣(灰)水直接排入水体。在长海西沿桃花江一带数公里地段大量炸山取石,产生废渣和土壤沿河倾倒。在北冲村建有的中养猪场、狮子山村的网箱养鱼场、演坡江东岸的养鸭场等产生的大量养殖业废水与粪便均直接排入桃花江,进一步加剧了桃花江水环境的污染。

1.2 桃花江上游来水污染控制对策

根据桂林市桃花江污染现状、污染源及污染原因调查分析,要解决当前桃花江水污染问题,改善桃花江市区段水环境状况,关键要从桃花江上游来水水质污染控制入手,达到削减进入桃花江中的污染物总量和改善水体质量的目的。

桃花江上游来水污染控制(污染控制规划示意图 1-1)首先从截污开始,针对桂林市桃花江流域内的地形特征和现状情况,将桃花江东岸的污水进行截流(图上箭头所示范围右侧),进入桂林市第四污水处理厂和北冲污水处理厂进行处理,截污之后能解决东岸大部分的生活污水污染问题;同时对长海机械厂的工业点源也进行了截污(图上虚线箭头所示范围左侧)。然后,根据上游来水的污染形式和污染特征,从点源、线源和农业面源污染三大方面结合相应的控制技术,实现污染控制。

1.2.1 点源污染控制

在桃花江东岸分布着众多的住宅小区以及有污水集中收集系统的村落,污水中 N、P 浓度较高;同时截污后,北冲污水处理厂出水中总磷的浓度还达不到桃花江水环境功能区划的要求,因此根据这些具体情况进行适用性技术研究,开发相应的污水处理工艺,削减进入桃花江的污染物。通过点源污染控制,实现桃花江沿岸点源水污染物的达标排放。

1.2.2 线源污染控制

乌金河位于桃花江东岸,但流域内因为地形原因无法开展全面截污,因此,乌金河的污染治理应以河道污染治理技术为主,实现乌金河沿线点源和面源污染的综合治理,最终降低乌金河流域对桃花江污染负荷的贡献率,减少对桃花江水环境的影响。

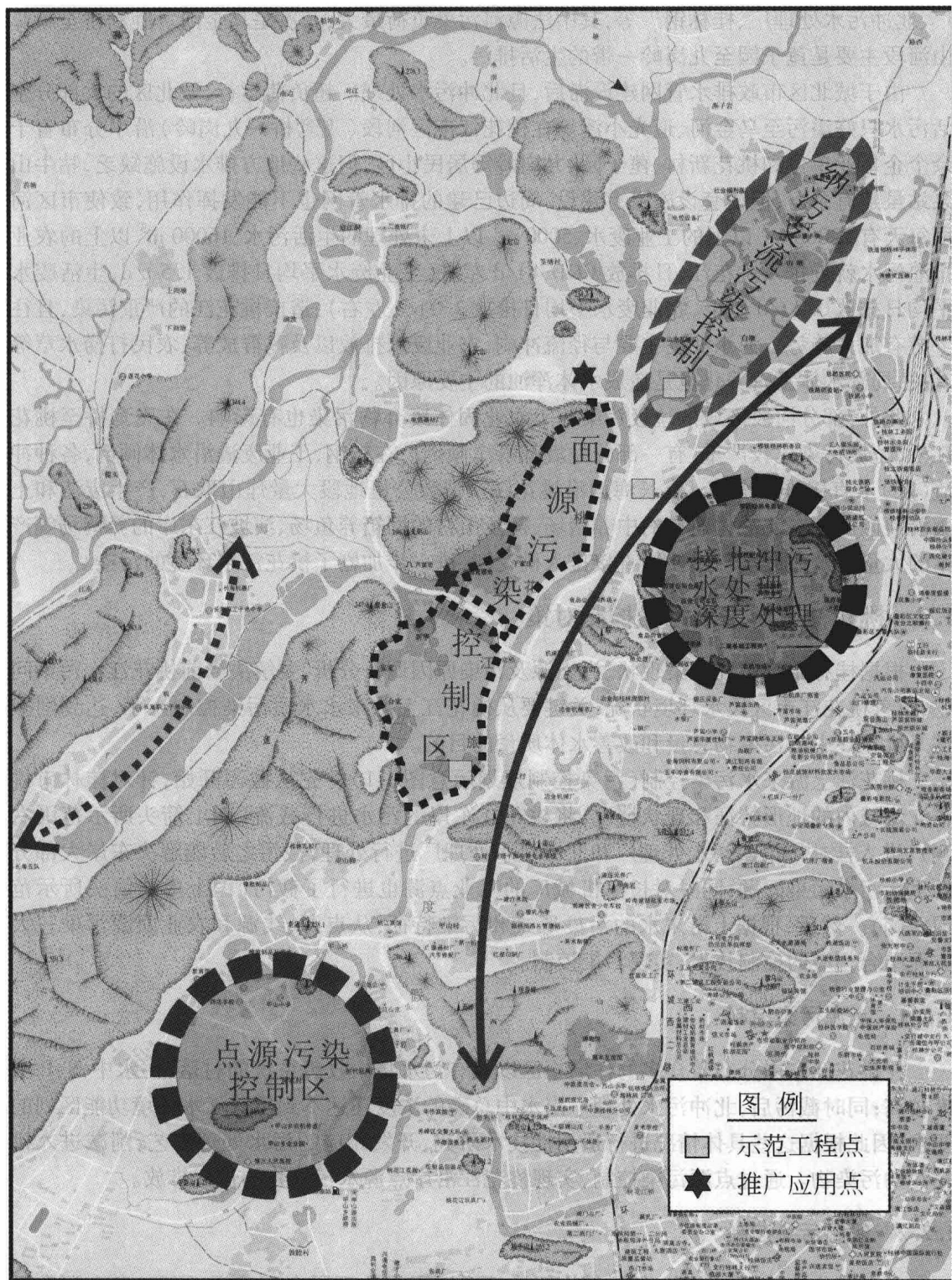


图 1-1 桃花江上游来水污染控制初步方案

1.2.3 农业面源污染控制

桃花江流域内的农业生产主要集中在桃花江西岸,针对农业面源污染的形式和特征,进行相应的技术研究,使种植和养殖业高效联动,实现污染物输出最小化,实现农业生产的良性循环。

最终,通过截污和点源、线源和农业面源污染控制,实现桃花江上游来水污染的总体控制。桃花江上游来水污染控制技术路线见图 1-2。

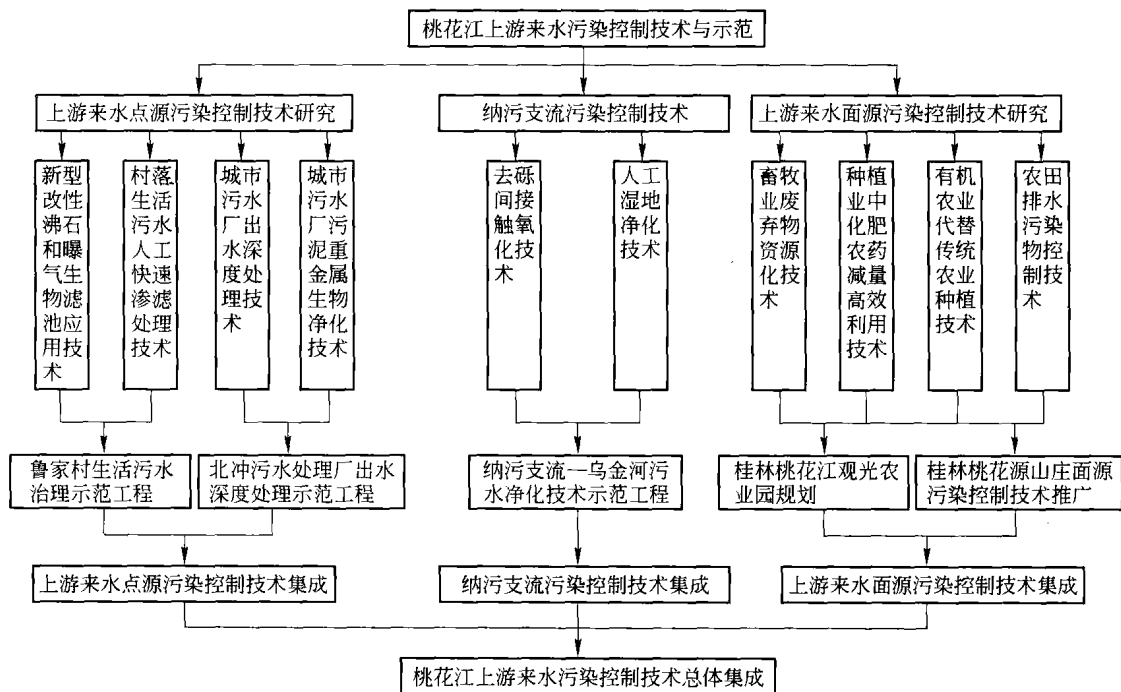


图 1-2 桃花江上游来水污染控制路线

2 桂林市桃花江上游来水污染控制措施

桃花江上游来水污染形式总体上可归纳为点源、线源和农业面源污染形式三方面,通过对该区域的调查和分析,明确流域不同区段内的污染形式和污染特征,提出可行的污染控制途径。

2.1 桃花江上游来水点源污染控制

桃花江流域桂林市区段来水的点源污染主要有沿江村落和住宅小区的生活污水排放,以及北冲污水处理厂出水的排放。由于沿江村落和住宅小区较多,不具备完善的排水系统,污水直排桃花江,生活污水中 N、P 浓度较高,对水体的富营养化贡献较高。而北冲污水处理厂出水中的总磷达不到桃花江Ⅲ类水的标准,以及污水处理厂的污泥大部分作农用,其中的部分重金属含量偏高,农用过程中易受降雨冲刷对水环境造成潜在的危害。

2.1.1 桃花江沿岸村落和住宅小区水污染现状及控制

2.1.1.1 桃花江沿岸村落和住宅小区水污染现状

A 村落生活污水排放现状

村落生活污水是造成桃花江流域水环境污染的主要污染点源之一,由于其位于桂林市的城郊结合部,各个村落的生活方式、生产结构发生了一定变化,各村落的城市化程度较高。村落中生活污水排放量增大,排放时间集中,主要污染物 N、P 含量增大。桃花江上游流域(从仙人桥到胜利桥河段)的村落主要有狮子岩村、徐家村、甲山村、巫山脚村、鲁家村、肖家里、合家村、张家里、桥头村、新华村、于家庄和北冲村等,其中狮子岩村、甲山村、肖家里、桥头村和北冲村的生活污水规划排入市政排水管网,输送到新扩建的北冲污水处理厂统一处理。因此,桃花江西岸主要村落生活污水水质控制是点源控制关注的重点。通过对桃花江西岸的徐家村、巫山脚村、鲁家村等主要村落的污水排放量和污染物情况进行了调查分析(表 2-1)。

表 2-1 桃花江西岸主要村落生活污水排放现状^①

序号	名 称	排放量 /m ³ ·d ⁻¹	主要污染物浓度/mg·L ⁻¹					
			COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
1	徐家村	150	210~420	120~250	120~200	30~52	32~67	0.8~2.1
2	巫山脚村	150	200~460	120~270	110~240	28~46	31~53	1.2~2.8
3	鲁家村	150	210~1150	120~570	110~260	32~82	35~96	2.5~6.5
4	合家村	100	190~430	110~250	120~240	31~46	38~64	2.5~3.8
5	张家里	100	200~380	120~230	110~230	23~42	34~61	0.8~2.4
6	新华村	100	180~410	100~250	130~270	28~40	33~58	1.0~2.7
7	于家庄	150	190~400	110~240	110~240	26~43	31~57	1.5~3.1

① 本监测数据均为平均值。