

【国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2002AA601130)】

太湖流域 安全饮用水保障技术

乐林生 吴今明 高乃云 吕锡武 编著



化学工业出版社

[国家“863”高技术研究发展计划资助项目 (2002AA601130)]

太湖流域安全饮用水保障技术

乐林生 吴今明 高乃云 吕锡武 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

太湖流域安全饮用水保障技术/乐林生等编著. —北京:
化学工业出版社, 2006. 10
ISBN 978-7-5025-9562-3

I. 太… II. 乐… III. ①太湖-流域-饮用水-水处理-
研究②太湖-流域-饮用水-卫生管理-研究 IV. ①TU991.2
②R123

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127368 号

太湖流域安全饮用水保障技术

乐林生 吴今明 高乃云 吕锡武 编著

责任编辑: 徐 娟 管德存 伍大维

责任校对: 陶燕华

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 532 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9562-3

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

饮用水安全保障工作,是维护广大人民群众根本利益、落实科学发展观的基本要求;是实现全面建设小康社会的目标、构建和谐社会的重要内容;是将以人为本真正落到实处的一项紧迫任务。水源水质特征调查表明,太湖流域地面水普遍达不到饮用水水源地的最低水质要求〔《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类〕,主要存在氨氮、总磷、总氮超标的问题,同时水源中有机物含量偏高,可检出各种类型内分泌干扰物,且溶解性有机物以相对分子质量小于3000的小分子为主,水源水质不合格的现状对水质安全造成较大威胁。

国家“863”高技术研究发展计划重大科技专项课题“太湖流域安全饮用水保障技术”(编号:2002AA601130)紧紧围绕水源地生态防护示范工程、饮用水微污染净化示范工程和安全输配水三个示范工程,开展了原水沿程生物降解预处理、强化常规处理、深度处理、安全评价等全方位、多层次的相关技术研发。通过示范工程的建设,建立了从源头到龙头的优质供水保障系统,为保障太湖流域地区乃至我国南方地区饮用水水质安全提供了先进、可靠的技术支持和工程示范。

课题从水源水质特征调查及水源保护相关技术、微污染净化示范工程相关技术、饮用水深度处理小型工程相关技术、安全输配水示范工程和管网二次污染控制技术、饮用水及其净化技术的安全评价方法、示范工程关键技术与饮用水水质安全保障技术系统集成六大方面进行了详细研究。通过科技创新,形成了一批具有自主知识产权的技术和成果,集成系统达到了降低净水成本、安全优质地向用户供水的目的。

本书由乐林生、吴今明、高乃云、吕锡武编著。参加本书编写和试验研究的人员还有屈卫东、王如华、申一尘、陈国光、康兰英、鲍士荣、戴婕、陈明吉、刘遂庆、张东、顾振国、王绍祥、朱光灿、叶辉、王晏、许嘉炯、张玉先、邓慧萍、董秉直、杨健、徐斌、安东、袁志蓉、吴磊、蔡云龙、伍海辉、黄怡等。本书及“太湖流域安全饮用水保障技术”课题研究一直得到曲久辉、张悦、崔福义、余刚、柯兵、王磊等专家的指导,在此一并感谢!

书中不妥之处,希望各位同行不吝指正。

编著者

2006年10月

目 录

第一章 引言	1
第一节 研究背景与社会发展需求	1
第二节 本课题的目的和意义	2
第三节 研究目标	2
第四节 总研究课题设置	2
第五节 课题实施的技术路线	3
第二章 太湖流域水质特征与水源保护	5
第一节 氨氮和有机物的变化	5
一、太湖地区水源	5
二、黄浦江上游水源	6
第二节 有机物分子量分布特征	7
一、太湖地区水源	8
二、黄浦江上游水源	8
第三节 藻类与藻毒素	9
一、太湖地区水源	9
二、黄浦江上游水源	9
第四节 黄浦江原水及某水厂水处理单元几种内分泌干扰物的浓度调查	10
一、检测方法	11
二、水厂原水、沉淀水和出厂水水质指标	12
三、预氧化和常规处理对几种常见内分泌干扰物的去除效果分析	13
第五节 现行水处理工艺水质特征调查	15
一、黄浦江水源饮用水常规净水工艺及效果	15
二、常规净水工艺局限性分析	15
第六节 生态混凝土的制备和生态护坡构建技术	16
一、生态混凝土球的制备方法	16
二、生态混凝土球状砌块	16
三、生态混凝土板状砌块	17
四、生态混凝土护坡施工技术	17
第七节 小结	19
第三章 饮用水微污染净化示范工程相关技术	20
第一节 高效生物预处理工艺的研制	20
一、填料的选择	20
二、YS型悬浮颗粒填料生物反应器中试运行效果	22
三、YS型悬浮颗粒填料生物反应器生产性研究	23
第二节 新型引水渠道式生物反应器	24
一、渠道生物降解结果分析	25
二、渠道生物降解模型分析	26
三、原水到达各厂氨氮及 COD_{Mn} 值预估	27
第三节 臭氧预氧化工艺的优化	27
一、预臭氧与预氯化工艺的比较	27
二、预臭氧工艺的参数优化	34
三、预臭氧对后续处理工艺影响分析	36
第四节 含硅无机高分子助凝剂和混凝剂的研制与应用	39

一、聚合硅硫酸铝制备方法与特性	39
二、自来水处理用液体聚合硅硫酸铝技术规范	41
三、聚合硅硫酸铝的净水效果分析	41
四、聚合硅硫酸铝生产性应用的技术经济分析	43
五、活化硅酸助凝效果研究	44
六、运行管理	45
第五节 高效澄清池工艺运行参数优化与二次开发	45
一、高效澄清池处理工艺对黄浦江上游原水的适应性研究	46
二、高效澄清池工艺的二次创新	49
第六节 臭氧与曝气生物活性炭技术的优化	49
一、净水用煤质颗粒活性炭选择技术研究	50
二、曝气和臭氧生物活性炭深度处理技术的优化	64
第七节 深度处理中微量内分泌干扰物和藻毒素的控制	84
一、典型内分泌干扰物双酚 A 的去除特性	84
二、典型内分泌干扰物邻苯二甲酸二甲酯的高级氧化特性	85
三、典型内分泌干扰物邻苯二甲酸乙酯的去除特性	86
四、典型农药类内分泌干扰物的去除特性	86
五、新型改性活性炭吸附水中金属类内分泌干扰物砷和镉	87
六、微量微囊藻毒素的去除特性	88
第八节 新型消毒剂、消毒方式与消毒副产物的控制研究	90
一、消毒副产物生成特性研究	90
二、不同消毒剂和消毒方式对上海饮用水消毒效果研究	91
三、卤代消毒副产物生成特性与控制研究	94
四、臭氧活性炭工艺处理后不同分子量有机物生成卤乙酸的特性	95
五、活性炭去除卤乙酸的特性	96
第九节 污泥脱水成套技术	98
一、水厂排泥水量确定	98
二、滤池反冲洗废水量估算	99
三、水厂污泥量的确定	99
四、Lamella 浓缩池模型动态试验	100
五、污泥调质 PAM 的选型	101
六、黄浦江水源水厂污泥处理采用的脱水机械和工艺流程建议	103
七、黄浦江水源水厂脱水泥饼资源化利用试验研究	104
第十节 示范工程科学运行管理机制研究	105
一、管理系统	105
二、规程与制度	105
三、数据流向	105
第十一节 小结	106
第四章 饮用水深度处理小型示范工程相关技术研究	109
第一节 受污染原水的强化混凝技术研究	109
一、黄浦江原水最优强化混凝条件	109
二、混凝工艺对细菌的去除及机理研究	111
三、强化混凝生产性试验研究	112
第二节 改性石英砂滤料的强化过滤	113
一、改性滤料的制备	113
二、改性滤料的净水效果	117
三、改性滤料与活性炭联用去除有机物可行性	122
四、改性滤料的再生条件确定	122

五、吸附和再生机理分析	123
六、杨树浦水厂现场中试试验	124
第三节 改性粉末沸石强化氨氮和有机物去除研究	124
一、改性沸石的制备	124
二、改性沸石性质测试	124
三、改性沸石去除微污染原水中氨氮和有机物	128
四、改性粉末沸石在强化混凝中的作用	131
第四节 生物强化活性滤池技术	132
一、不同类型生物砂滤柱挂膜特性研究	133
二、生物强化活性砂滤池运行影响因素	135
三、生物强化活性滤池的反冲洗参数确定	136
第五节 超滤膜深度处理微污染原水的技术研究	137
一、粉末活性炭+超滤膜深度处理微污染黄浦江原水	138
二、粉末活性炭+超滤膜深度处理长江原水	146
三、超滤膜系统技术经济分析	154
四、跌水曝气生物预处理-超滤组合工艺净水技术	156
五、改性粉末沸石-超滤膜联用工艺	160
第六节 超滤膜处理地表原水膜阻力和膜污染控制	167
一、超滤膜直接过滤地表原水的阻力变化	167
二、影响膜污染的主要因素和污染机理	171
三、滤饼层对膜污染的防止作用和机理	176
四、过滤地表原水膜透水通量下降过程以及膜污染步骤	177
五、混凝、吸附与膜联用工艺处理地表原水的阻力变化及膜污染	178
第七节 小结	190
第五章 管网二次污染控制和安全输配技术研究	193
第一节 给水管网水质二次污染调查研究	193
第二节 不同管材的安全供水性能的技术经济比较	196
一、不同管材对水质的影响研究	196
二、提高管网水质的管材技术措施	200
三、供水管材应用推荐意见	200
第三节 供水系统中红虫的防治	201
一、供水系统中产生红虫的原因	202
二、维生素类杀生剂对红虫的杀灭	202
三、红虫的预防措施	204
第四节 管网水质稳定性与水质评价方法	204
一、供水主干中生物稳定性——AOC 的检测与分析	204
二、出厂水水质化学稳定性对管网水质的影响	209
三、供水管网水质变化规律	209
第五节 管网中途二次加氯研究和技术开发	216
一、二次加氯的选址优化问题	216
二、二次加氯的投加量优化	220
三、水质安全性和经济性分析	221
第六节 消毒副产物在输配水管网中的变化规律	222
一、黄浦江饮用水中消毒副产物在管网中的变化规律研究	222
二、长江饮用水中消毒副产物在管网中的变化	223
第七节 管网水质安全监控和预警预报系统	224
一、系统框架	224
二、控制参数	224

三、安全保障体系框架	224
第八节 管网水质安全评价体系	225
一、管网水质安全评价体系概述	225
二、评价数据随机抽样分层技术	226
三、样本规模对管网水质样本的影响	230
四、采样时间对管网水质样本的影响	231
第九节 小结	231
第六章 饮用水检测技术及安全评价方法	233
一、藻毒素检测方法的建立	233
二、内分泌干扰物检测方法的建立	234
三、新增饮用水水质指标检测技术	239
四、饮用水中两虫的检测方法与分析	240
五、饮用水中异臭物质——土臭素及二甲基异冰片的测定方法	241
六、污染物混合暴露的综合效应分析	243
七、污染物混合暴露的长期健康效应评估	258
八、小结	265
第七章 工程示范及饮用水水质安全保障技术系统集成	266
一、生态护坡示范工程及技术研究	266
二、饮用水微污染净化示范工程	267
三、安全输配水示范工程	272
四、系统集成技术经济比较与科学运行管理	273
五、饮用水水质安全保障技术系统集成	275
第八章 课题关键技术与创新点	276
第一节 具有原始创新的关键技术——引水渠道沿程的原水生物预处理技术	276
一、技术特点	276
二、技术原理	276
三、技术效果	276
四、技术应用	278
第二节 引进消化吸收再创新的关键技术——新型高效澄清池技术	278
一、技术特点	278
二、技术原理	278
三、技术效果	278
四、技术应用	278
第三节 集成创新的关键技术——太湖流域饮用水安全保障的集成技术系统	279
一、系统特点	279
二、系统的先进性和创新性	279
三、集成技术系统的推广和应用	279
第四节 单元创新的关键技术——聚合硅硫酸铝混凝剂的制备与应用	280
一、技术特点	280
二、技术原理	280
三、技术效果	280
四、技术应用	281
第五节 单元创新的关键技术——饮用水及其净化技术安全评价方法	281
一、方法体系	281
二、系统方法的先进性和创新性	281
三、方法体系的应用	282
第六节 单元创新的关键技术——水源地生态防护水质改善技术研究与工程示范	282
一、技术特点	282

二、技术原理	282
三、技术效果	283
四、技术应用	283
第七节 净水用煤质颗粒活性炭选择技术与规范	284
一、技术特点	284
二、创新性和先进性	284
三、技术应用	284
第九章 结论与展望	285
一、太湖流域水质特征调查与水源保护相关技术研究	285
二、饮用水微污染净化示范工程相关技术开发研究	285
三、饮用水深度处理小型示范工程相关技术开发研究	286
四、管网二次污染控制和安全输配技术研究	287
五、饮用水及净化技术的安全评价方法	287
六、工程示范及饮用水水质安全保障技术系统集成	288
七、存在问题	288
八、展望	288
参考文献	289

第一章 引言

第一节 研究背景与社会发展需求

水是人类生活和生产活动中不可缺少的重要物质，又是不可替代的重要自然资源。随着经济发展、人口增长和人们物质文化生活水平的提高，世界各地对水的需求日益增长，对水质的要求也不断提高。一些国家和地区在 20 世纪 60 年代开始发生了水危机，水的问题引起了当代世界各国普遍关注。目前世界上有 80 个国家约 15 亿人口面临淡水不足，其中 26 个国家约 3 亿人生活在缺水状态。水量短缺和由于水污染导致的水质型缺水的问题将严重制约经济和社会的发展。

在我国，大量未经处理的生活污水以及未达标排放的工业废水排入江河湖海，导致了这些水体严重污染。据环保部门监测，全国 90% 以上的城市水域受到不同程度的污染，约 50% 重点城市的水源不符合饮用水水源标准。全国地表水近 60% 以上的水质降为Ⅳ类以下水质，已完全失去作为饮用水水源的功能。

2004 年我国七大水系的 412 个水质监测断面中（如图 1.1），Ⅰ～Ⅲ类、Ⅳ～Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 41.8%、30.3% 和 27.9%。按照我国《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）的规定，劣于Ⅲ类的水源是不能直接作为饮用水水源。目前我国主要水系达不到Ⅲ类水的比例已达到 49.4%，这表明我国水源水质呈现严重污染的状况。2004 年太湖水质均劣于Ⅳ类（如图 1.2），由于有机物和氮、磷浓度较高，湖体仍处于富营养化状态。

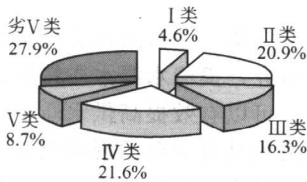


图 1.1 2004 年七大水系水质类别比例

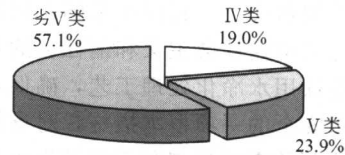


图 1.2 2004 年太湖水质类别比例

近年来，虽然我国在水污染防治方面做了许多工作，但不少江河湖泊的水质仍在逐渐变差，并呈发展势头，工业发达地区水域的污染尤为严重。在 47 个重点城市中，饮用水源地水质达标率为 100%、99.9%~80%、79.9%~60%、59.9%~0.1% 和 0 的城市分别为 25 个、8 个、3 个、10 个和 1 个，有一半左右重点城市水源达不到饮用水水源的要求。随着人口的快速增长和工农业生产的迅速发展，水源水质难以在短期内得到根本的改善，我国大量城镇自来水厂不得不使用达不到水源水质要求的受污染原水作为生活饮用水水源。因此，开展提高自来水厂除污染能力研究，保障供水水质安全已成为一项重要和迫切的课题。

太湖流域地处我国东部沿海、长江三角洲南缘，包括上海以及江苏省的苏州、无锡、常州、镇江和浙江省的杭州、嘉兴、湖州 7 个地级市。太湖流域面积 36900km²，仅占全国总面积的 0.4%，但人口、国内生产总值和财政收入却分别占全国的 2.9%、11% 和 16%，城市化率已达到 51%，是我国经济最发达的地区之一。但是在经济高速增长的同时，太湖流域水环境却不乐观，水环境质量下降、水生态系统破坏造成的水质型缺水已严重地制约了本地区经济、社会的可持续发展。太湖湖体高锰酸盐指数符合Ⅲ类水质标准，但总氮、总磷污染较重，其中总氮水平为劣于Ⅴ类。环湖主要河流及环湖交界水体的 80 个水质监测断面中，劣Ⅴ类水质的断面比例高达 36.2%。

由于地表水污染严重，导致太湖流域绝大部分地区的饮用水水源地原水水质不合格，其中上

海市有 3/4 的饮用水水源地水质不符合要求。而目前普遍采用的饮用水常规处理工艺流程为混凝—沉淀—过滤—消毒,仅能有效地去除水中悬浮物、胶体物质和细菌等。在水源水质受到有机污染时,常规水处理工艺对有机物的去除率仅在 20%~30%之间,对水中的有机物、氨氮、藻毒素和微生物等均没有明显的去除效果,而且氯化过程还导致了水中对人体健康危害更大的有机卤化物的形成,水质安全性缺乏保证。目前,我国城市的自来水水质同发达国家相比差距很大。在太湖流域一些城市的自来水中,普遍含有致突变物质(Ames 试验呈阳性),对人体健康构成潜在的威胁。另一方面,人们对饮用水水质的要求也逐渐提高。卫生部 2001 年 6 月 7 日颁布的《生活饮用水卫生规范》提出了 96 项水质指标,2005 年建设部颁布的《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)又提出了 103 项水质指标,我国饮用水最新水质标准 106 项指标也即将问世。这些新标准的实施对饮用水的安全性提出了更高、更严的要求。因此,常规的饮用水处理工艺已不能与现有的水源水质和水质标准相适应,迫切需要开发有效的饮用水净化新工艺,保障供水水质。确保饮用水水质安全,已成为全面建设小康社会、保持社会持续发展的重要制约因素之一。

为此,我国将“饮用水安全保障技术”列为国家“十五”重大科技专项的一个重点内容,由上海市自来水市北公司牵头,同济大学、东南大学、上海市政工程设计研究总院、上海市原水股份有限公司和国家城市供水监测网上海监测站共同承担和完成了本重大专项的研究课题“太湖流域安全饮用水保障技术”。课题针对太湖流域饮用水水源污染和净水工艺普遍缺乏除污染能力的现状,围绕水源区生态防护示范工程、饮用水微污染净化示范工程和安全输配水示范工程三个示范工程,开展了相关技术的研发。通过示范工程的建设,建立从源头到龙头的优质供水保障系统,为整个太湖流域地区乃至我国南方地区饮用水水质安全保障提供可靠的技术支持和工程示范。

第二节 本课题的目的和意义

保障饮用水安全,直接关系到人民群众的身体健康与生命安全,关系到社会稳定与综合国力的增强,也是构建社会主义和谐社会的具体体现。通过科学研究,摸清水源水质特征,强化水源保护,改进饮用水净化处理工艺,确保水质输配过程的安全,可以有效提高供水质量,是保障广大人民饮水安全的一项根本措施,对支持社会经济的可持续发展具有重要的现实意义。

同时课题的实施将有利于促进供水企业采用先进的工艺、技术、材料和设备,有利于促进企业完善管理体制和提高管理水平,有利于推动供水行业的技术进步,提高城镇供水的安全可靠性。

第三节 研究目标

通过示范工程和相关试验研究,开发在太湖流域及南方地区具有广泛推广价值的水源保护、水厂内高效水质净化工艺和管网输配水技术的安全饮用水保障集成系统和饮用水及其净化技术安全评价体系,从而有效解决太湖流域、乃至整个南方地区饮用水安全问题,有力推动净水行业科技进步。其具体目标如下:

- ① 建立饮用水安全供给的集成技术系统;
- ② 建立饮用水及净水技术安全评价体系;
- ③ 建立包括专家技术参股的股份制科技创新机制,开展技术推广和成果产业化。

第四节 总研究课题设置

本课题以水源区生态防护示范工程、饮用水微污染净化示范工程和安全输配水示范工程三个示范工程及相关技术开发为主要内容,通过示范工程的建设,建立从源头(取水点)到龙头(用水点)的优质饮用水供水保障系统。同时开展适用于中小型常规工艺水厂提高除污染能力改造的深度处理小型示范研究,结合上述研究,建立饮用水及净水技术安全评价体系,完成饮用水水质

安全保障系统的技术集成。

总课题设置以下 6 个分课题：

- ① 水源保护示范工程和水质特征调查研究；
- ② 饮用水微污染净化示范工程及相关技术开发研究；
- ③ 安全输配水示范工程和管网二次污染控制技术研究；
- ④ 饮用水深度处理技术小型示范研究；
- ⑤ 饮用水及其净化技术的安全评价体系研究；
- ⑥ 示范工程关键技术与饮用水水质安全保障技术系统集成。

各分课题间相互关系的组织如图 1.3 所示。

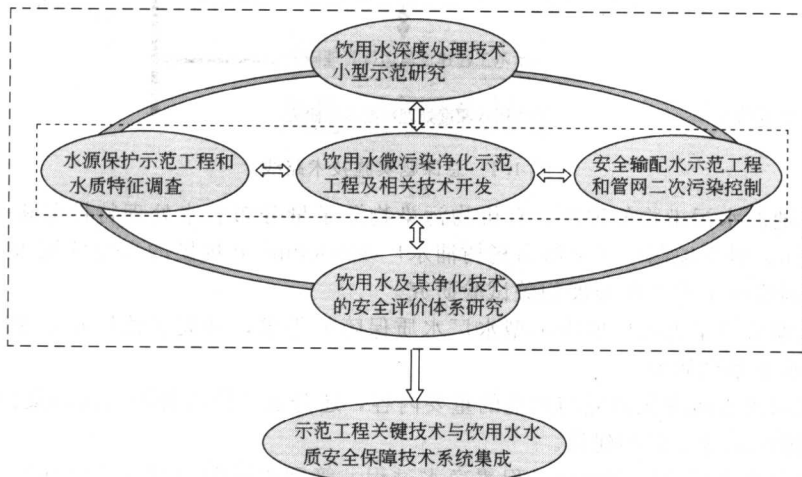


图 1.3 太湖流域安全饮用水保障技术分课题关系

总课题以太湖流域水源水为研究对象，依照水工艺研究过程，三大示范工程建设为主线，主要设置包括了水源保护、水厂净化和安全输配示范工程相关研究内容。开展水源地生态防护、输水渠道沿程生物降解预处理技术、强化常规处理技术、深度处理技术、组合净水工艺和安全输配水研究，并将研究成功应用于示范工程中。与“饮用水微污染净化示范工程相关技术开发”分课题紧密联系，为探索多种处理方法提高常规水厂出水水质的途径，进行饮用水安全保障技术储备，设立“饮用水深度处理技术小型示范研究”分课题。同时为完善科学合理的饮水净化技术和制定饮水管理法规提供客观的科学依据，以最大限度地维护人群健康为目标，设立“饮用水及其净化技术的安全评价体系研究”分课题，并将研究成果应用于示范工程中水质的安全风险评价中，建立综合水质与健康安全的桥梁。综合上述各分课题研究成果，为形成适合于太湖流域地区水质特征的饮用水安全保障综合系统，设立“示范工程关键技术与饮用水水质安全保障技术系统集成”分课题，从而为课题研究成果的推广打下坚实的基础。

第五节 课题实施的技术路线

课题研究过程实施的技术路线如图 1.4 所示。

研究围绕两条主线开展，一是展示饮用水安全保障体系的从源头到龙头的三个示范工程建设，二是建立中试基地开展相关技术攻关研究，具体如下。

① 开展上海市黄浦江上游水源地和太湖流域最有代表性的无锡市水源地的原水水质特征调查，分析研究了原水污染物的种类、有机污染物分子量分布和水处理特性。

② 在黄浦江上游水源地取水口进行了生态混凝土护坡示范工程建设，并结合该示范工程开展了护坡生态效应的模型试验研究。

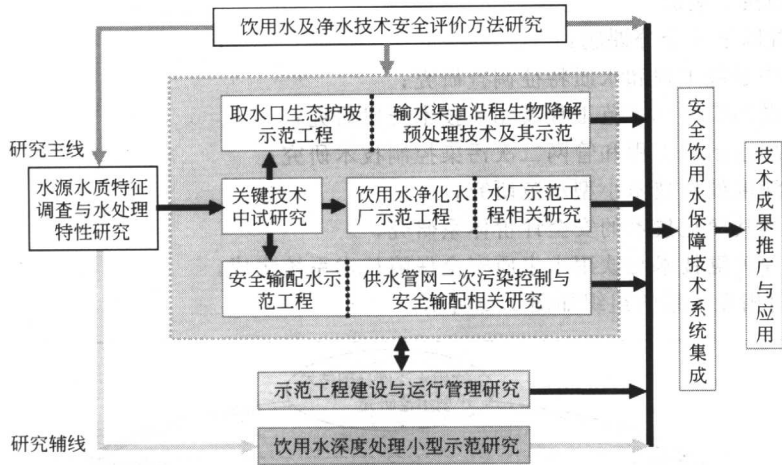


图 1.4 总课题实施技术路线

- ③ 以水源地原水污染物的种类、有机物污染物分子量分布和水处理特性分析研究的成果为依据，合理选择、科学地制定了上海市杨树浦水厂 360000m³/d 规模的大型饮用水净化示范工程工艺流程，并围绕该示范工程开展相关试验研究。
- ④ 针对太湖流域量大面广的中小型水厂水质保障的需求，开展了饮用水水质净化系列技术的小型试验与示范系列研究。
- ⑤ 作为饮用水水质净化研究与示范的重要内容，还开展了供水管网二次污染控制技术研究，以及供水安全输配示范工程的建设。
- ⑥ 通过对示范工程建设和运行，积累净水过程、管网水输配过程中关键环节管理运行的科学程序和办法，制定有效可行的操作运行管理规程。
- ⑦ 在工程示范及研究过程，以饮用水安全评价技术为核心，以人群健康为主体，吸收国内外先进的饮用水安全性评价方法，结合水源特点和水质特征，以卫生部颁布的 96 项饮用水卫生指标为基础，借鉴当前国内外在该领域的研究成果并将可能的技术引入评价体系，通过研究，建立一整套能以不同生物学效应终点为基础的综合评估模式，建立符合实际、可操作性强的评价体系。
- ⑧ 总结三个示范工程及研究的成果，集成安全饮用水保障技术系统，形成适合太湖流域、且在我国南方地区具有广泛推广价值的保障安全饮用水的实用技术，取得一系列推广应用的成果，达到低成本、可靠的饮用水安全保障的目的。

第二章 太湖流域水质特征与水源保护

太湖流域河网密布,湖泊众多,水域面积 6134km^2 ,水面率达 17% ,河道和湖泊各占一半。面积在 0.5km^2 以上的湖泊 189 个。河道总长度 $12\times 10^4\text{km}$,平原地区河道密度达 $3.2\text{km}/\text{km}^2$,纵横交错,湖泊星罗棋布,为典型“江南水网”。作为重要的饮用水水源地之一,太湖为长三角提供了“生命之水”,孕育着长三角及太湖流域的繁荣。但是,在经济高速增长的同时,太湖的水环境却不容乐观。从 1998 年“聚焦太湖零点达标”行动到现在,太湖水质并没有得到明显改善。目前,太湖湖体平均水质劣于 V 类,全湖富营养化程度平均处于中富营养水平,经常暴发蓝藻,太湖水体的污染状况已经发展到严重威胁以太湖为水源地的饮用水水质安全的地步。黄浦江上游是上海市最主要的饮用水水源地,其中 76.3% 的饮用水源取自于黄浦江。近年来虽然政府保护力度不断加大,但受上游太湖和本地污染的影响,水源水质并未得到显著的改善。为详细了解太湖流域有代表性的水源地水质特征,本课题有针对性地考察了无锡市小湾里和充山两处水源地和上海市黄浦江原水取水口处水质的变化情况,太湖两个取样点主要分布在太湖的梅梁湖区,该湖区取水量占无锡市总供水量的 $30\%\sim 40\%$ 左右,取样点具体位置见图 2.1,上海市黄浦江原水取水点位置见图 2.2,该处取水量占上海市总供水量的 70% 左右。



图 2.1 太湖原水取水点位置示意



图 2.2 黄浦江原水取水点位置示意

第一节 氨氮和有机物的变化

一、太湖地区水源

太湖梅梁湖区充山和小湾里取水点原水氨氮、总磷、总氮的逐年变化如表 2.1 所示, COD_{Mn} 的逐月变化曲线如图 2.3 所示。

太湖流域的治理虽一直在进行,但水质却不见明显好转,单从氨氮、总氮和总磷的污染水平来看污染反而有逐年加重的趋势。取水点处水体富营养化较为严重,表现为氮、磷常年超标,水质多年属于 V 类至劣 V 类水平,原水水质明显达不到作为饮用水水源的基本要求,其中氨氮和总氮的月平均变化规律相似,都是在全年的 2 月、3 月浓度最高,8~10 月最低;总磷的变化规律则明显不同,7 月、8 月总磷的含量明显高于全年其他月份。

化学耗氧量 (COD_{Mn}) 作为有机物的综合指标,可表明水体受到有机物污染的程度。两处原水耗氧量的多年月平均值在一年中除 12 月外都达到或超过了地表水 III 类水体的标准限值。同时在 6~8 月原水的耗氧量是全年最高的,12 月~次年 1 月为全年最低的月份。太湖梅梁湖区原

表 2.1 梅梁湖区充山和小湾里取水点原水氨氮、总氮、总磷的逐年变化/(mg/L)

年 份	氨氮				总氮				总磷			
	充山		小湾里		充山		小湾里		充山		小湾里	
	均值	类别	均值	类别	均值	类别	均值	类别	均值	类别	均值	类别
1995	2.1	劣V	—		—		—		0.233	劣V	—	
1996	2.4	劣V	—		—		—		0.176	V	0.218	劣V类
1997	2.3	劣V	—		—		—		0.19	V	0.219	劣V类
1998	0.97	Ⅲ	—		—		—		0.216	劣V	0.194	V类
1999	1.2	Ⅳ	1.2	Ⅳ类	—		3.98	劣V	—		—	
2000	1.3	Ⅳ	0.33	Ⅱ类	3.61	劣V	3.98	劣V	—		—	
2001	1.4	Ⅳ	0.97	Ⅲ类	3.98	劣V	3.61	劣V	0.14	V	—	
2002	2.7	劣V	1.6	V类	5.81	劣V	—	劣V	0.18	V	—	
2003	3	劣V	1.9	V类	5.36	劣V	4.63	劣V	0.13	V	0.12	V类
2004	3.1	劣V	1.7	V类	5.61	劣V	4.48	劣V	0.21	劣V	0.2	V类

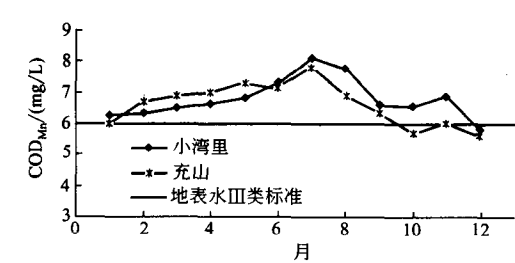


图 2.3 2000~2004 年原水 COD_{Mn} 逐月平均变化

水受有机污染较为严重。

对小湾里和充山原水进行 GC-MS 分析,其挥发性和半挥发性有机物情况表 2.2 所示。

小湾里原水中共检出挥发性有机物 13 种,半挥发性有机物 3 种,另有 27 个未检出名称的色谱峰;充山原水中共检出挥发性有机物 11 种,半挥发性有机物 5 种,另有 28 个未检出名称的色谱峰。在所有确定的检出物中,两处原水中共有的挥发性有机物 10 种,半挥发性有机物 3 种。对照美国环保局规定的 129 种优先控制污染物黑名单,小湾里原水中有 9 种优先控制污染物,充山也有 9 种。

表 2.2 充山和小湾里取水点挥发性有机物和半挥发性有机物情况/(μg/L)

化 合 物	小湾里原水	充山原水	化 合 物	小湾里原水	充山原水
挥发性有机物			挥发性有机物		
二氯甲烷	0.106	0.108	叔丁苯	0.010	—
氯仿	0.167	0.066	1,2,4-三甲苯	0.024	0.041
1,1-二氯丙烯	—	0.238	萘	0.165	1.267
苯	0.343	0.131	半挥发性有机物		
1,2-二氯丙烷	0.073	—	邻苯二甲酸二乙酯	0.425	0.660
甲苯	0.226	0.607	芴	—	0.067
氯苯	0.007	—	六氯苯	—	0.004
乙苯	0.189	0.097	菲	0.169	0.233
对二甲苯	0.107	0.112	蒽	0.189	0.287
间二甲苯	0.107	0.112	其他未检出名称的峰/个	27	28
邻二甲苯	0.050	0.037			

二、黄浦江上游水源

黄浦江是太湖流域通入东海的主要通道,是太湖流域尾间,黄浦江是上海市的主要供水水源之一,是一条中等感潮汐河流,年平均流量 300m³/s,黄浦江上游由有斜塘(拦路港)、园泄泾、大泖港三大支流会合至松江米市渡处,随后进入市区至吴淞长江口入海。黄浦江上游取水口处常规水质指标逐年变化如表 2.3 所示。

与太湖梅梁湖区原水水质特征相一致,黄浦江上游(松浦大桥)原水水质仅能维持在Ⅲ~Ⅳ类水质的水平。最主要的污染物指标包括总磷、高锰酸盐指数、氨氮、挥发酚,溶解氧仅能达到Ⅳ类水质的标准。原水中 2004~2005 年氨氮和高锰酸盐指数的逐月变化规律分别如图 2.4 和图 2.5 所示。

表 2.3 黄浦江上游取水口处常规水质指标的逐年变化/(mg/L)

年份	指标	溶解氧	COD _{Mn}	氨氮	挥发酚	总磷	镉	BOD ₅	阴离子表面活性剂
2001	均值	4.6	6.1	0.90	0.002	0.17	0.002	1.87	0.16
	类别	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ
2002	均值	4.9	6.0	1.16	0.003	0.12	0.001	1.93	0.14
	类别	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2003	均值	6.30	6.30	1.18	0.003	0.21	0.001	2.70	0.19
	类别	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2004	均值	4.90	6.20	1.30	0.005	0.19	0.003	1.85	0.20
	类别	Ⅳ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ
2005	均值	5.10	5.90	1.20	0.002	0.24	0.001	2.68	0.26
	类别	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅰ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅳ

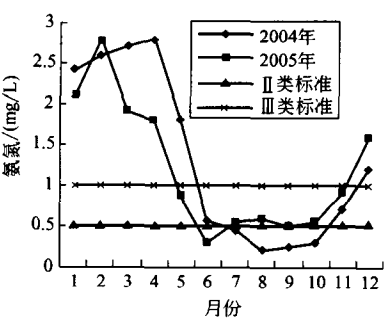


图 2.4 2004~2005 年黄浦江上游原水中不同月份氨氮浓度变化

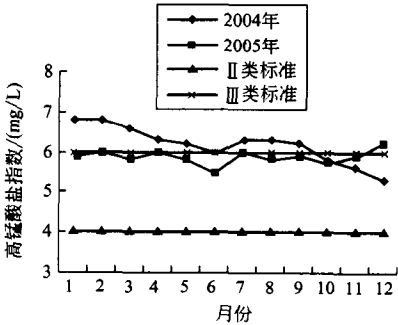


图 2.5 2004~2005 年黄浦江上游原水中不同月份高锰酸盐指数变化

受太湖总氮不同季节变化的影响，黄浦江原水中氨氮浓度呈现冬季高、夏季低的特点，全年中一半左右的时间超过最高标准值，冬季水质受氨氮影响污染非常严重；同时代表有机物含量的有机物指标高锰酸盐指数浓度，无明显的季节性变化，浓度值接近和超过最高标准值，这说明原水受有机污染严重。黄浦江上游取水口水质已越来越难以满足饮用水水源水质的要求。

黄浦江上游松浦大桥水源挥发性有机物的检测结果见表 2.4。

表 2.4 黄浦江上游松浦大桥水源挥发性有机物检测结果/(mg/L)

年份	1,1-二氯乙烯	二氯甲烷	1,1,1-三氯乙烷	1,2-二氯乙烷	苯	三氯乙烯
1999	0.0003	0.00026	0.0003	0.00138	0.00015	0.0003
2000	0.0003	0.00026	0.0003	0.00549	0.00015	0.0003
2001	0.0003	0.00026	0.0003	0.00216	0.00015	0.0003
2002	0.0003	0.00026	0.0003	0.00219	0.00015	0.0003
2003	0.0003	0.00026	0.0003	0.00403	0.00015	0.0003
年份	1,1,2-三氯乙烷	四氯乙烯	三溴甲烷	1,1,2,2-四氯乙烷	1,2-二氯苯	
1999	0.00015	0.00017	0.00026	0.00026	0.00042	
2000	0.00029	0.00045	0.00026	0.00026	0.00017	
2001	0.00015	0.00017	0.00026	0.00026	0.00017	
2002	0.00015	0.00017	0.00026	0.00026	0.00017	
2003	0.00015	0.00017	0.00026	0.00026	0.00017	

从表中可以看出，黄浦江上游原水中的挥发性有机物，基本都没有超过我国《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002)中水源水挥发性有机物限值，对 COD_{Mn}和总有机碳 (TOC) 的贡献很小。

第二节 有机物分子量分布特征

作为饮用水水源，了解原水中溶解性有机物的分子量分布特性具有重要意义。不同的水处理工艺能够有效去除的有机物分子量范围不同，一般来讲，混凝沉淀优先去除大分子量有机物，但

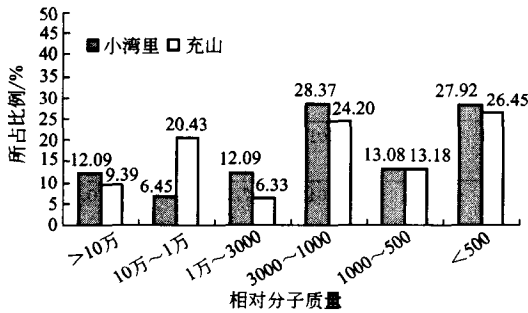


图 2.6 不同相对分子质量区间 DOC 比例分布 (太湖地区)

物主要分布在相对分子质量 3000~1000 和 <500 区间。所占比例分别为 28.37% 和 27.92%。在其余几个相对分子质量区间分布较少, 所占比例分别是: >10 万: 12.09%; 10 万~1 万: 6.45%; 1 万~3000: 12.09%; 1000~500: 13.08%。其中, 相对分子质量位于 10 万~1 万的有机物含量最少。

充山取水点处溶解性有机物的分子量分布规律有所不同。相对分子质量位于 10 万~1 万、3000~1000、<500 区间的有机物构成水中溶解性有机物的主体, 所占比例分别为: 20.43%、24.20% 和 26.45%。其次是相对分子质量位于 1000~500 区间的有机物, 约为 13.18%, 最少的是位于 1 万~3000 区间的有机物, 仅为 6.33%。

二、黄浦江上游水源

黄浦江上游原水中溶解性有机物相对分子质量分布如图 2.7 所示。

黄浦江上游原水中的有机物主要由相对分子质量 <1000 的小分子有机物所组成, <1000 的 DOC 为 44.92%, <1000 的 UV₂₅₄ 为 43.9%, 大分子量有机物含量较低。黄浦江主要水源来自太湖流域, 使得黄浦江水具有湖泊水质的特征, 而湖泊水中有机物多为溶解性的低分子量有机物。通常采用现有的饮用水水处理工艺, 对该类型有机物污染物去除效果不佳, 这将直接影响出厂水水质。对原水中有机物相对分子质量分布连续监测, 其结果如表 2.5 所示。

对小分子量有机物去除较差, 而生物处理则对小分子, 特别是相对分子质量 <500 的有机物有很好的去除效果。根据原水有机物的分子量分布特性结合不同水处理工艺去除不同分子量有机物的特点, 可以更加合理地选择合适的水处理工艺。

一、太湖地区水源

小湾里和充山两处水源地原水不同相对分子质量区间溶解性有机物 (DOC) 含量在总 DOC 中的比例分布如图 2.6 所示。

对小湾里取水点来说, 水中的溶解性有机

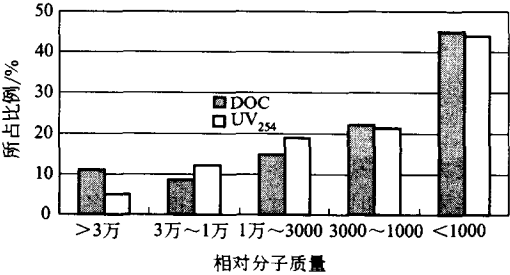


图 2.7 黄浦江上游原水中溶解性有机物相对分子质量分布

表 2.5 黄浦江原水有机物相对分子质量分布情况/%

时间	<0.45μm	0.45μm~3 万	3 万~1 万	1 万~3000	3000~1000	<1000
2003 年 11 月	5.828	13.9	14.9	14.8	24.7	31.7
2004 年 12 月	6.415	17.2	13.0	17.4	12.5	39.9
2004 年 1 月	6.534	12.9	6.6	14.0	7.3	59.2
2004 年 2 月	6.184	14.2	11.5	19.9	6.9	47.5
2004 年 3 月	6.365	8.4	11.9	19.1	22.8	37.8

黄浦江原水中不同季节的有机物相对分子质量分布情况变化不大, 在不同监测时间下, <3000 的溶解性有机物均占有最主要的部分, 1 万~3000 含量较为稳定, 而大分子量有机物所占比例较小。

太湖流域不同原水取样点相对分子质量分布的测定结果表明, 3000 以下的溶解性有机物构成了水中溶解性有机物的主体, 该地区水中溶解性有机物具有共同的分布特征。常规的水处理工艺对 3000 以下的溶解性有机物去除率较低, 因此非常有必要研究和开发饮用水深度处理技术。