

太湖蓝藻

监测处置与湖泛成因

陆桂华 张建华 等著



科学出版社

太湖蓝藻监测处置与湖泛成因

陆桂华 张建华 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

针对太湖水环境综合治理中的关键措施——蓝藻水华治理及湖泛防控,本书重点介绍了太湖蓝藻水华遥感监测与湖体监测相结合的立体监测网络和监测方法;首次定义了湖泛并分析了其成因,提出了湖泛的敏感指标;创建了实践证明行之有效的湖体蓝藻水华打捞组织体系;研发了具有完全自主知识产权、且能适应浅水湖泊不同作业环境的多种类型的蓝藻打捞船,实现了蓝藻从人工打捞向机械化打捞转变;并首次将基于气浮原理的藻水分离技术成功应用于太湖蓝藻处理,藻水日处理能力超万吨,实现了蓝藻的工厂化处理;经过三年多的研发,成功突破了利用藻泥厌氧发酵生产沼气和利用藻泥混合砗糠、木屑等,并添加脱毒微生物菌群制作高附加值有机肥的关键技术,实现了蓝藻的资源化利用。

本书可供水资源、水环境领域的学生、研究人员及从事湖泊研究与管理的技术人员参考。

图书在版编目 CIP 数据

太湖蓝藻监测处置与湖泛成因/陆桂华,张建华等著. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-031043-9

I. ①太… II. ①陆…②张… III. ①太湖-蓝藻纲-藻类水华-环境监测②太湖-蓝藻纲-藻类水华-成因 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 194991 号

责任编辑:罗 吉 王慧梅 周 丹 / 责任校对:李 影
责任印制:赵 博 / 封面设计:王 浩

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 10 月第一次印刷 印张:18

印数:1—1 600 字数:300 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

自序

太湖是我国第三大淡水湖泊，总面积约 2338km^2 ，位于我国东南沿海地区、长江三角洲区域，处于太湖流域的中心。她是江苏省无锡市、苏州市和浙江省湖州市等沿湖大中城市主要饮用水水源地，也是上海市、浙江省嘉兴市等下游城市的重要供水水源。太湖流域总面积约 3.69万 km^2 ，2009 年全流域地区生产总值 3.7 万亿元，约占全国的 11%，是全国经济最发达的地区之一。

20 世纪 80 年代以来，由于流域经济高速发展和水环境保护工作相对滞后，太湖水质恶化与湖泊富营养化问题日益突出，湖区西北部及南部等水域蓝藻水华频繁发生。2007 年 4 月底，太湖梅梁湖蓝藻水华大规模集中暴发，5 月中旬，梅梁湖和贡湖等水域的蓝藻进一步积聚，分布进一步扩大，浓度进一步升高。5 月 28 日，无锡市贡湖水源地蓝藻堆积死亡形成黑水团，导致无锡市自来水恶臭，影响了 200 多万人数天的生活饮用水，引发了震惊中外的无锡供水危机，严重影响了城市供水和人民群众的身体健康，造成极大的社会影响。

无锡供水危机发生后，党中央、国务院对太湖治理十分重视，党和国家领导人多次作出重要指示，要求加大治理力度，下决心根治太湖水污染问题，让太湖这颗“江南明珠”重现碧波美景。江苏省委、省政府果断决策，精心部署，加大投入，强化责任，狠抓落实，提出“铁腕治

污、科学治太”方针，全面动员，发起了一场声势浩大的太湖流域水环境治理的攻坚战。按照国务院批复的《太湖流域水环境综合治理总体方案》，江苏省政府制定出台了《江苏省实施方案》，明确治太的总体思路、目标和任务；强化控源截污、调水引流、生态修复、蓝藻治理、湖泛防控等治理措施。

经过三年多的努力，太湖水环境综合治理取得了阶段性成效，集中式饮用水源地水质达到了国家规定标准，湖体主要水质指标氨氮稳定在Ⅱ类、高锰酸盐指数稳定在Ⅲ类、总氮保持稳定、总磷浓度及富营养状态指数有了较大幅度下降，蓝藻大规模暴发的时间明显推迟，发生频次显著下降。太湖水质总体趋好。

富营养湖泊治理是一项世界性的难题，国内外都没有成熟的经验可供借鉴。本书从太湖蓝藻水华治理入手，系统总结了无锡供水危机以来，江苏省在太湖蓝藻治理方面所采取的一系列措施、手段和最新的科研成果，阐述了“立体监测、机械化打捞、工厂化处理、资源化利用”的整套关键技术及应用，对其他类似湖泊的治理具有示范和借鉴作用。

虽然太湖水环境综合治理已取得一定成效，湖体富营养化程度明显降低，但是太湖已形成的“藻型生境”并未根本改变，湖泊的生态修复将是长期的过程。我们坚信，在各级政府正确领导下，通过参与太湖治理的各方人员共同努力，团结协作，持续坚持，扎实推进，太湖一定能重现碧波美景。

前 言

直接从湖体中取出蓝藻，防止由蓝藻堆积死亡引发的湖泛（黑水团）生态危害，是富营养化湖泊治理最环保、最直接的一项措施，受到国内外专家的一致认可。2007 年无锡供水危机发生后，在江苏省委和省政府的正确领导下，在水利等有关部门及中国科学院南京地理与湖泊研究所、中国船舶重工集团公司（简称中船重工）第 702 研究所等科研机构的参与下，沿湖各级地方政府和群众共同努力，太湖蓝藻打捞从无到有，攻克了湖泊蓝藻立体监测关键技术，研制出具有完全自主知识产权的机械打捞船，集成创新了机械化打捞、工厂化处理和资源化利用的蓝藻治理一体化技术和设备，为防控湖泛灾害、改善太湖水质、确保供水安全提供了关键技术支撑。

本书围绕太湖蓝藻监测、打捞船研制、藻水分离处置和藻泥资源化利用及湖泛成因等方面，全面系统地总结了太湖蓝藻治理的组织体系、打捞设备研制、监测预警技术、藻水分离及资源化利用的技术创新和成功经验；揭示了湖泛成因，并提出了敏感指标。

全书共 8 章。第 1 章介绍太湖流域概况、蓝藻的特点及其危害；第 2 章重点介绍太湖蓝藻治理总体思路，阐述蓝藻治理组织体系、技术框架和实施方案；第 3 章为太湖蓝藻监测方法与技术，重点介绍太湖蓝藻水华

遥感监测与湖体监测相结合的立体监测网络、监测方法及其成果分析；第4章主要是蓝藻打捞船的研制，介绍打捞船的研制过程、技术特点和应用效果；第5章介绍藻水分离技术，系统讨论藻水分离技术特点、工艺流程及其应用效果；第6章以蓝藻资源化利用、无害化处理为重点，介绍藻泥生产有机肥、制作沼气的技术及其实施效果；第7章介绍湖泛形成过程及其敏感指标；第8章介绍太湖水环境改善的成效，并总结了蓝藻监测预警、打捞处置一体化技术及湖泛成因等方面的研究和应用成果。

本书的主要研究成果是在“十一五”国家科技支撑计划项目“蓝藻机械打捞技术研究及设备开发”（2009BAC52B01）、“十一五”国家科技支撑计划项目“蓝藻减容脱水技术研究及设备开发”（2009BAC52B02）、国家水体污染治理重大科技专项太湖项目子课题“水华蓝藻的拦截、浓聚与收集应急技术研究及示范”（2009ZX07101-011-01）、国家科技重大专项“湖泊大规模水华蓝藻去除与处理处置技术及工程示范”专题——太湖水域“湖泛”监测与成因分析（2009ZX07101-011）、水利部科技项目“蓝藻水华与太湖湖泛的发生机理研究”，以及江苏省水利科技项目“太湖水环境综合治理技术”等研究项目共同资助下完成的。

参与本书编写的人员还有翁震平、马倩、吴庆龙、胡明明、王嵘、王冬梅、刘俊杰、王慧梅、阮文权、何海、汪晶、匡民、江文波。

太湖蓝藻治理是在以江苏省水利厅吕振霖厅长为组长的省政府蓝藻治理协调组的直接组织领导下开展的，吕振霖厅长对本书给予了具体的指导和支持，在此表示特别的感谢。

本书得到了中船重工第702研究所顾建民副所长、中国科学院南京地

理与湖泊研究所杨桂山所长、江苏省农业科学院资源与环境研究所常志州所长、无锡德林海藻水分离技术发展有限公司孙阳总监、无锡天仁生物科技有限公司孙泳伦董事长、无锡唯琼生态农业集团公司陈达伟董事长以及无锡市水利局王鸿涌局长和张海泉副局长等领导和专家的大力支持，河海大学刘国伟教授提出了许多宝贵意见，吴志勇教授、张建、吴娟、匡亚红等参与了文字编辑工作，在此一并表示感谢。

限于作者水平和编写时间仓促，书中不足之处在所难免，敬请广大读者不吝批评赐教。

作 者

2011年5月于南京

目 录

自序

前言

第 1 章 太湖流域概况及蓝藻危害	1
1.1 太湖流域概况	1
1.1.1 自然地理	2
1.1.2 社会经济	11
1.1.3 水资源状况	14
1.1.4 水环境概况	15
1.1.5 水利工程体系	16
1.2 太湖蓝藻特点	18
1.2.1 太湖藻类的形成	18
1.2.2 蓝藻水华暴发频率	19
1.2.3 蓝藻水华空间分布	20
1.3 太湖蓝藻水华的危害	22
1.3.1 引发藻源性湖泛	22
1.3.2 影响湖泊生物群落	23
1.3.3 影响湖泊营养循环	26
1.3.4 危及城镇供水安全	26
1.3.5 破坏湖泊旅游功能	28

1.3.6 影响居民身体健康	28
本章小结	29
第2章 太湖蓝藻打捞与处置方案	30
2.1 蓝藻打捞与处置总体思路	30
2.1.1 蓝藻打捞的形成与发展	30
2.1.2 总体思路与技术路线	31
2.1.3 工作目标和原则	33
2.1.4 总体要求	34
2.2 组织指挥体系	35
2.3 工作内容	40
2.3.1 蓝藻监测	40
2.3.2 蓝藻预警	41
2.3.3 专家会商	43
2.3.4 打捞实施	44
2.3.5 蓝藻处理	45
2.3.6 资源化利用	46
2.3.7 督查考核	47
2.4 方案实施	49
2.4.1 苏州市	49
2.4.2 无锡市	49
2.4.3 武进区	51
本章小结	52
第3章 太湖蓝藻监测	54
3.1 概述	55
3.1.1 传统监测技术	55

3.1.2 现代监测技术	56
3.1.3 监测内容	57
3.2 遥感监测蓝藻技术	58
3.2.1 遥感技术概述	58
3.2.2 遥感监测蓝藻的优点	59
3.2.3 蓝藻的光谱特征	60
3.2.4 常用的遥感数据源	61
3.2.5 蓝藻定量遥感反演方法	62
3.2.6 蓝藻动态监测方法	65
3.2.7 应用与分析	67
3.3 蓝藻水质监测技术	75
3.3.1 监测原则	75
3.3.2 监测方案	76
3.3.3 监测方式	87
3.4 监测结果分析	90
3.4.1 风向、风力及风级	90
3.4.2 气温与水温	91
3.4.3 感官指标	93
3.4.4 pH	95
3.4.5 溶解氧	96
3.4.6 藻密度	98
3.5 信息发布	100
本章小结	100
附件1 太湖巡查简报	102
附件2 太湖护水控藻简报	104

附件3 太湖应急治理工作情况日报	106
第4章 蓝藻打捞船研制	111
4.1 研制过程	111
4.1.1 国内外蓝藻打捞船现状	111
4.1.2 船型优化	113
4.1.3 机械化蓝藻打捞技术研发	116
4.1.4 技术集成和产品研发	122
4.2 国内外技术水平比较	133
4.3 实际应用	133
4.3.1 机械化打捞作业原则	133
4.3.2 机械化打捞作业模式	136
4.3.3 机械化打捞装备配置情况	137
4.3.4 效益分析	140
本章小结	141
第5章 藻水分离技术及应用	142
5.1 藻水分离技术特点	142
5.1.1 藻水分离目的与难点	142
5.1.2 藻水分离技术类型	143
5.1.3 蓝藻减容脱水技术	147
5.1.4 德林海藻水分离技术特点	148
5.2 太湖地区藻水分离站布局	150
5.2.1 藻水分离站布设原则	150
5.2.2 藻水分离工艺方案	152
5.2.3 藻水分离站布设	154
5.2.4 藻水分离站建设方案及配套设施	157

5.2.5 藻水分离站蓝藻收集	157
5.3 藻水分离站运行	159
5.3.1 运行情况	159
5.3.2 运行费用	160
5.3.3 运行效果	161
5.4 藻水分离技术发展	162
5.4.1 移动式打捞及分离一体化技术	162
5.4.2 藻水分离标准制定	169
本章小结	170
第 6 章 蓝藻资源化利用	171
6.1 概述	171
6.2 蓝藻沼气发电技术与应用	174
6.2.1 蓝藻沼气发电技术	175
6.2.2 技术路线	190
6.2.3 工艺设计	192
6.2.4 实施方案	195
6.3 蓝藻有机肥研制与生产	198
6.3.1 蓝藻制作有机肥技术	201
6.3.2 技术路线	202
6.3.3 工业设计	205
6.3.4 蓝藻有机肥项目实例	212
本章小结	217
第 7 章 湖泛成因及监测分析	219
7.1 什么是湖泛	219
7.1.1 无锡供水危机发生过程	219

7.1.2 湖泛认知过程	220
7.2 湖泛成因分析	223
7.2.1 湖泛事件的历史回顾	223
7.2.2 湖泛发生过程分析	224
7.2.3 形成湖泛的关键要素	225
7.3 湖泛监测成果	228
7.3.1 水质指标的时空变化	230
7.3.2 黑臭物质的组成及其时空变化	233
7.4 湖泛发生的预警指标	238
7.4.1 湖泛模拟试验研究	238
7.4.2 臭味物质浓度随时间的动态变化	239
7.4.3 臭味物质之间相互关系	242
7.4.4 敏感指标分析	246
本章小结	248
附件4 江苏省太湖湖泛应急预案	249
第8章 成效与结论	262
8.1 成效分析	262
8.1.1 社会评价	263
8.1.2 蓝藻暴发强度降低	264
8.1.3 湖体水质明显改善	266
8.1.4 湖泛发生频次和面积明显减少	267
8.2 主要结论	267
8.3 结语	268
主要参考文献	270

太湖流域概况 及蓝藻危害

第 1 章

1.1 太湖流域概况

太湖流域地处长江三角洲南缘，位于东经 $120^{\circ}08'$ ~ $121^{\circ}55'$ 、北纬 $30^{\circ}05'$ ~ $32^{\circ}08'$ 之间，北滨长江，南濒钱塘江，东临东海，西以天目山、茅山等山区为界。行政区划分属江苏、浙江、上海和安徽三省一市，包括江苏省苏州、无锡、常州市全部，镇江句容市、丹徒市，南京高淳县、溧水县的一部分；浙江省嘉兴市、湖州市全部与杭州市的一部分；上海市大陆部分（不含崇明、长兴、横沙三岛）以及安徽省宣城市的一部分地区（图 1-1）。太湖流域总面积 $36\,895\text{km}^2$ 。其中江苏 $19\,399\text{km}^2$ ，约占 52.6%；浙江 $12\,095\text{km}^2$ ，约占 32.8%；上海 5176km^2 ，约占 14.0%；安徽 225km^2 ，约占 0.6%。

太湖是我国第三大淡水湖，也是长江中下游五大淡水湖之一。太湖号称“三万六千顷，周围八百里”，但它的实际面积由于受到泥沙淤积和人为围湖造田等因素的影响，在形成之后多有变化。今天的太湖，北临无锡，南濒湖州，西接宜兴，东邻苏州，水域面积约 2338km^2 ，其中 70% 在苏州市行政范围内，20% 在无锡市区行政范围内，其余 10% 分属

宜兴市和常州武进区（图 1-1）。湖中有岛屿 51 个。太湖平均水深 1.89m，属三角洲浅水湖泊类型。湖底地形十分平坦，湖底平均坡度为 $0^{\circ}0'19.66''$ 。从湖底地形可见，湖盆的地势由东向西倾斜，湖盆形态呈浅碟形。太湖湖岸线总长 480.5km。湖岸形态南岸为典型的圆弧形岸线，东北岸曲折多湾，湖岬、湖荡相间分布。

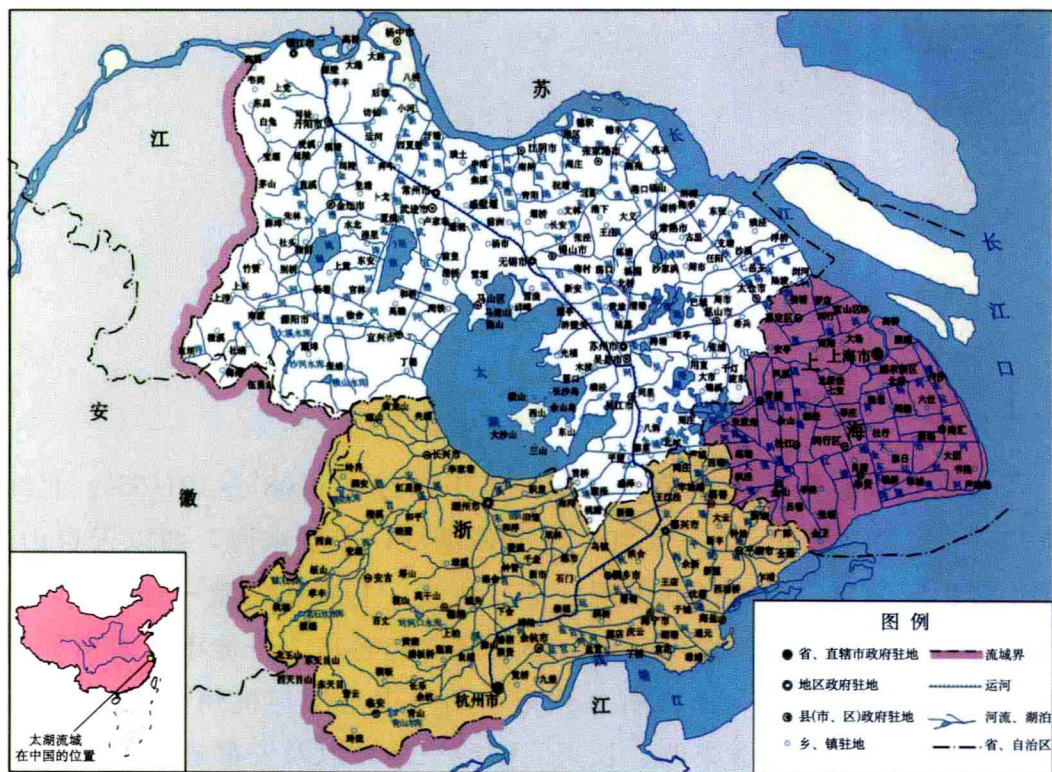


图 1-1 太湖流域行政区划图

1.1.1 自然地理

1. 地形地貌

太湖流域地形呈周边高、中间低的碟状地形。其西部为山区，属天目山区及茅山区的一部分，中间为平原河网和以太湖为中心的洼地及湖泊，北、东、南周边受长江口和杭州湾泥沙堆积的影响，地势高亢，形

成碟边。流域地貌以丹阳—溧阳—宜兴—湖州—杭州为界，分为山地丘陵与平原，平原区又分为中部平原区、沿江滨海平原区和太湖湖区等三类（图 1-2）。西部山丘区面积约 7631km²，约占总面积的 21%，其中，山区海拔一般为 200~500m（吴淞高程，下同），丘陵海拔一般为 12~32m；中部平原区面积约 18 960km²，约占总面积的 51%，海拔一般低于 5m；沿江滨海高亢平原区约 7115km²，约占总面积的 19%，海拔一般为 5~12m；太湖湖区约 3191km²，约占总面积的 9%。

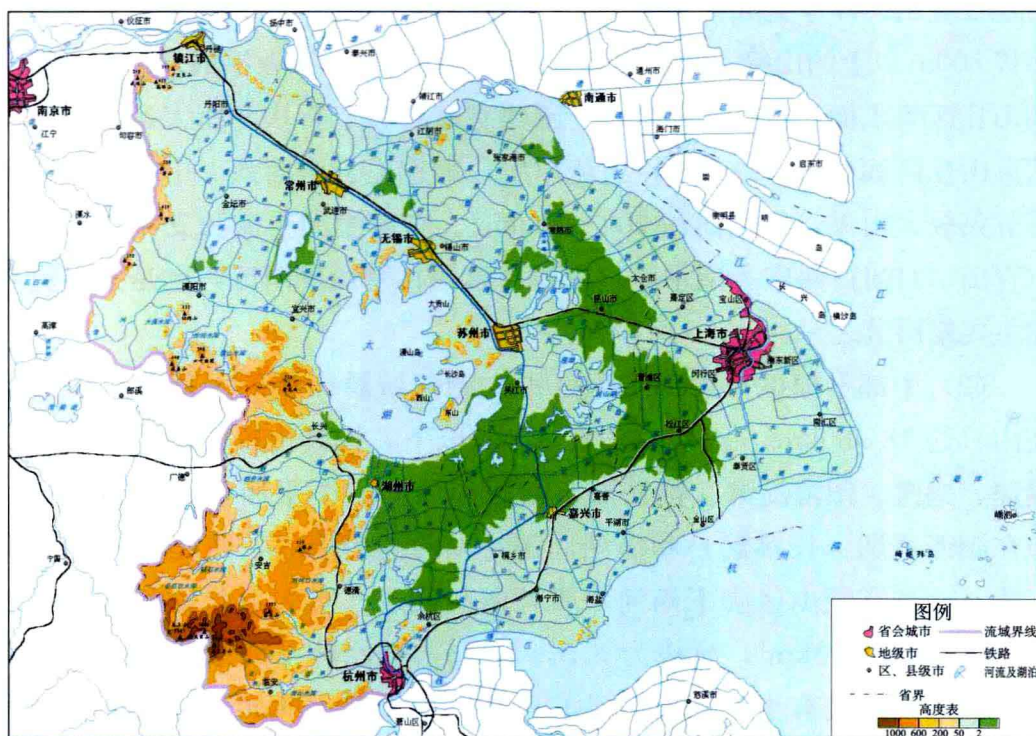


图 1-2 太湖流域地形地貌图

(1) 西部山丘区。太湖流域西部山丘区自北向南分布有茅山山区、宜溧山区、长兴西部山丘区、天目山山地丘陵，分属江苏、浙江两省。江苏省境内为茅山山区和宜溧山区；浙江省境内为长兴西部山丘区和天