

太湖

生态清淤及调水引流

陆桂华 张建华 马倩 等著



科学出版社

TV882.85
20131

阅 览

太湖生态清淤及调水引流

陆桂华 张建华 马 倩 等 著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书分析了太湖水环境问题的由来；重点总结了两项关键治理措施——生态清淤与调水引流；详细阐述了生态清淤方案、规划设计与组织实施；系统总结了淤泥调查、清淤深度确定、淤泥吸取、施工机械、余水处理等关键技术，并研究了淤泥固化处理的各种方法，结合工程实践，提出了淤泥综合利用的各种途径；研究开发了集射流式无扰动淤泥吸取、淤泥快速脱水、余水处理技术于一体的清淤固化一体化系统，实现了清淤、固化和余水处理的流水作业；在引江济太试验基础上，提出了调水引流技术方案并阐述了关键技术和实施过程。近五年的太湖治理实践表明，太湖生态清淤削减了内源污染负荷、清除了部分藻源、扼制了湖泛发生、改善了底栖生物生存环境；调水引流有效促进了太湖水体流动，改善了湖泊水动力条件，提升了水体自净能力。生态清淤和调水引流已成为改善太湖水环境的关键措施。

本书可供水文水资源、水环境及生态领域的学生、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

太湖生态清淤及调水引流 / 陆桂华等著. —北京：科学出版社，2012

ISBN 978-7-03-034357-4

I. ①太… II. ①陆… III. ①太湖-清淤-研究 IV. ①TV882.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 098136 号

责任编辑：罗 吉 张 鑫 刘燕春 / 责任校对：陈玉凤

责任印制：赵德静 / 封面设计：许 瑞

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 12 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2012 年 12 月第一次印刷 印张：15 3/4

字数：370 000

定价：89.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

2007 年太湖贡湖南泉水源地发生黑水团，引发无锡供水危机后，湖泛已成为一个新名词，是富营养化湖泊蓝藻与污染底泥在特定条件下的产物。去除污染底泥，特别是污染严重的流泥，是避免湖泛的关键措施。本书作为太湖水环境综合治理成果总结的姊妹篇，在《太湖蓝藻监测处置与湖泛成因》的基础上，以太湖生态清淤和调水引流为对象，重点阐述了生态清淤的必要性、关键技术、实施工程和成效以及调水引流技术方案形成过程、关键技术和实践成效。本书反映的湖泊内源污染治理技术的最新成果，可为类似湖泊的水环境治理与保护提供有益的借鉴。

全书共分为 9 章。第 1 章介绍了太湖水环境问题的由来、产生原因以及治理思路与技术路线。第 2 章重点介绍了太湖底泥的特点，包括来源、分布及其污染性质和危害。第 3 章阐述了生态清淤工程实施方案，重点介绍了各湖区实施过程。第 4 章为生态清淤关键技术，重点介绍了淤泥调查、生态清淤工程设计、淤泥吸取、施工及余水处理各个环节的关键技术及技术指标等内容。第 5 章介绍淤泥处置利用技术，阐述了物理固化、化学固化、复合干化方法及资源化利用途径。第 6 章为清淤固化一体化技术，阐述了具有完全自主知识产权的集新型射流式淤泥吸取、淤泥固化及余水处理于一体的创新技术。第 7 章评价了生态清淤实施效果，全面分析了生态清淤对湖体水质、泥水界面及其底栖生物的影响，并分析了回淤速率。第 8 章介绍了调水引流方案及关键技术，重点分析长江水质对太湖水体的影响。第 9 章为结论与展望，阐述了生态清淤和调水引流实践中取得的成果。

本书的主要研究成果是在国家科技支撑项目“河湖底泥智能化清淤装备及平台研制”(编号 2012BAC17B00)、国家重大科技专项“太湖湖泛与水华灾害应急处置技术研究及工程示范”(编号 2012ZX07101-010)和江苏省水利科技项目“太湖生态清淤关键技术与效果评估研究”等项目的共同资助下完成的。

参与本书编写的还有倪守高、冉光兴、范成新、吴泽毅、贾永志、王嵘、王菊、华萍、汪晶、倪其军、李巍、葛春康、罗荣彪、杨栋、洪方文、眭爱国、程南宁、杜心慧、何海。

著书过程得到了江苏省水利厅吕振霖厅长的具体指导和支持，在此表示特别的感谢。

本书得到了中国船舶重工集团公司第 702 研究所翁震平所长、顾建民副所长，水利部太湖流域管理局叶建春局长、朱威副局长，无锡市水利局王鸿涌局长、廖学军副局长等领导和专家的大力支持，科学出版社罗吉同志为本书编辑做了大量工作，河海大学刘国伟教授、吴志勇教授提出了许多宝贵意见，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

2012 年 12 月于南京

目 录

前言

第 1 章 太湖水环境问题由来	1
1.1 太湖流域概况	1
1.2 2007 年无锡供水危机	3
1.2.1 发生过程	3
1.2.2 媒体报道	5
1.2.3 危机成因	6
1.3 水环境问题与成因	8
1.3.1 水质恶化	8
1.3.2 蓝藻暴发	10
1.3.3 生态系统破坏	12
1.3.4 水环境恶化原因	13
1.4 水环境综合治理思路	15
1.4.1 总体目标	15
1.4.2 总体思路	16
1.4.3 技术路线	17
1.5 水环境综合治理措施	18
1.5.1 结构调整	19
1.5.2 点源治理	20
1.5.3 面源治理	22
1.5.4 节水减排	25
1.5.5 调水引流	26
1.5.6 生态清淤	27
1.5.7 蓝藻治理	28
本章小结	29
第 2 章 太湖底泥特性	30
2.1 底泥分布	30
2.1.1 底泥分布及蓄积量	30
2.1.2 流泥分布及流泥量	32
2.1.3 分布成因	34
2.2 底泥特性	36

2.2.1	物理性质	36
2.2.2	化学性质	38
2.2.3	污染释放	43
2.3	底泥污染过程	46
2.3.1	底泥来源	46
2.3.2	污染物垂向分布	47
2.3.3	污染物累积过程	50
2.4	与湖泛关系	51
2.4.1	湖泛的发生	51
2.4.2	底泥对湖泛生成影响	53
	本章小结	55
第3章	生态清淤工程	56
3.1	清淤缘由	56
3.1.1	清淤提出	57
3.1.2	政府决策	58
3.2	清淤工程	59
3.2.1	清淤方案	59
3.2.2	工程安排	61
3.2.3	工程实施	64
3.3	组织管理	78
3.3.1	第三方检测	78
3.3.2	第三方评估	79
3.3.3	清淤验收	82
	本章小结	84
第4章	生态清淤关键技术	86
4.1	底泥调查技术	87
4.1.1	水下地形测量	87
4.1.2	底泥勘探及淤积量计算	89
4.1.3	底泥污染状况调查	94
4.1.4	底泥调查技术要求	96
4.2	清淤范围与深度确定技术	96
4.2.1	清淤范围与面积确定	96
4.2.2	清淤深度确定	99
4.3	施工技术	102
4.3.1	设备要求	102
4.3.2	挖泥船选择	103
4.4	余水处理技术	109

4.4.1 余水排放控制	110
4.4.2 余水处理方法	110
4.4.3 物化组合处理工艺	112
4.4.4 应用实例	113
本章小结	117
第5章 淤泥干化与利用	119
5.1 物理处理方法	119
5.1.1 堆场干化技术	120
5.1.2 低位真空预压法	121
5.1.3 其他物理方法	124
5.1.4 工程实例	126
5.2 化学处理方法	131
5.2.1 技术原理	131
5.2.2 固化过程	134
5.2.3 工程实例	138
5.3 复合干化法	140
5.3.1 技术原理	140
5.3.2 适用性分析	141
5.4 技术比较	141
5.5 资源化利用	142
5.5.1 工程用土	142
5.5.2 建筑材料	144
5.5.3 建设湖滨带	146
5.5.4 构建湿地	147
本章小结	148
第6章 清淤固化一体化	149
6.1 原理与技术	149
6.1.1 工艺原理	149
6.1.2 核心技术	150
6.2 清淤船	150
6.2.1 系统构成	150
6.2.2 吸取系统	152
6.2.3 移动控制系统	156
6.2.4 作业管理系统	157
6.3 泥水处理系统	160
6.3.1 工艺流程	160
6.3.2 系统组成	161

6.4 工程应用	167
6.4.1 主要设备	168
6.4.2 施工流程	169
6.4.3 设备布置	169
6.4.4 工程运行	171
6.4.5 清淤成本	173
本章小结	173
第7章 生态清淤效果	174
7.1 国内外研究现状	174
7.2 改善湖体水环境	175
7.2.1 遏制湖泛发生	175
7.2.2 降低蓝藻暴发强度	177
7.2.3 改善湖区水质	180
7.2.4 改善湖泊底栖环境	183
7.3 水生物监测评价	188
7.3.1 浮游植物	188
7.3.2 底栖生物	189
7.3.3 沉水植物	194
7.4 回淤速率分析	196
7.4.1 回淤情况	196
7.4.2 影响因素	199
本章小结	200
第8章 调水引流	202
8.1 调水引流由来	202
8.1.1 引江济太试验	203
8.1.2 2007年应急调水	204
8.1.3 调水引流提出	206
8.2 调水引流技术	207
8.2.1 调度原则	207
8.2.2 调度关键技术	212
8.2.3 调水沿线水质监测	213
8.2.4 调水引流实践	216
8.3 调水水质	220
8.3.1 长江源水	220
8.3.2 望虞河干流	220
8.3.3 入湖氮磷含量	223
8.3.4 主要入湖河道	226

8.4 引江调水扩建工程	226
8.4.1 工程必要性	228
8.4.2 工程布局	228
8.4.3 工程效果展望	230
本章小结	230
第9章 结论与展望	232
9.1 主要结论	232
9.2 各界评价	234
9.2.1 领导关心	234
9.2.2 媒体报道	235
9.3 展望	236
参考文献	238

太湖水环境问题由来

第 1 章

“太湖美，美就美在太湖水，……”这首歌谣曾引起人们对美丽太湖的无限遐想。的确如此，千百年来，太湖地区以美丽和富饶名闻天下，素有“鱼米之乡”的美誉，太湖流域以 0.4% 的国土面积、4.4% 的人口，创造了占全国近 11% 的国内生产总值（GDP），为中华民族经济腾飞做出了巨大的贡献。

随着流域经济的快速发展，工业化、城镇化的迅猛推进，人口、资源与环境的矛盾日益突显。特别是近 30 年来，人口的增加、工业的不断发展壮大、环境治理的相对滞后，导致水环境问题日益突出，太湖蓝藻暴发逐渐频繁，并在 2007 年达到高峰。2007 年 5 月底太湖蓝藻在贡湖大量堆积死亡，腐烂发酵后产生大面积黑水团，引发了震惊中外的无锡供水危机。太湖水环境综合治理由此全面展开。

1.1 太湖流域概况

太湖流域地处长江三角洲平原南缘，东临东海，北抵长江，南滨杭州湾，西以天目山、界岭、茅山为界，流域面积 3.69 万 km^2 ，分属江苏、浙江、安徽、上海三省一市。太湖是我国第三大淡水湖，正常水位下水域面积 2338 km^2 ，南北长 68.5 km、东西平均宽 34 km，湖岸线总长 405 km。太湖是一座天然的平原调蓄水库，正常水位下容积为 44.3 亿 m^3 ，平均水深 1.89 m，最大水深约 2.6 m，多年平均年吞吐量为 52 亿 m^3 ，水量年交换系数为 1.2，换水周期约 300 d。太湖是流域内最重要的供水水源地，不仅担负着上海、无锡、苏州和湖州等大中城市的城乡供水，还有向下游地区供水并改善河网水质的作用。

太湖流域物产丰富、交通便利，历史上就是著名的富庶之地。改革开放后，凭借良好的经济基础、强大的科技实力、高素质的人才队伍和日益完善的投资环境，经济社会得到了迅猛发展，太湖流域成为我国经济最发达、大中城市最密集的地区之一。流域内除特大城市上海外，还有杭州、苏州、无锡、常州、镇江、嘉兴和湖州等大中城市以及迅速发展的众多城镇。据统计，2011 年全流域人口为 5879 万人，GDP 达 48379 亿元，人均 GDP 为 8.2 万元，单位国土面积经济收益约为全国平均值的 57 倍。太湖流域行政区划如图 1-1 所示。

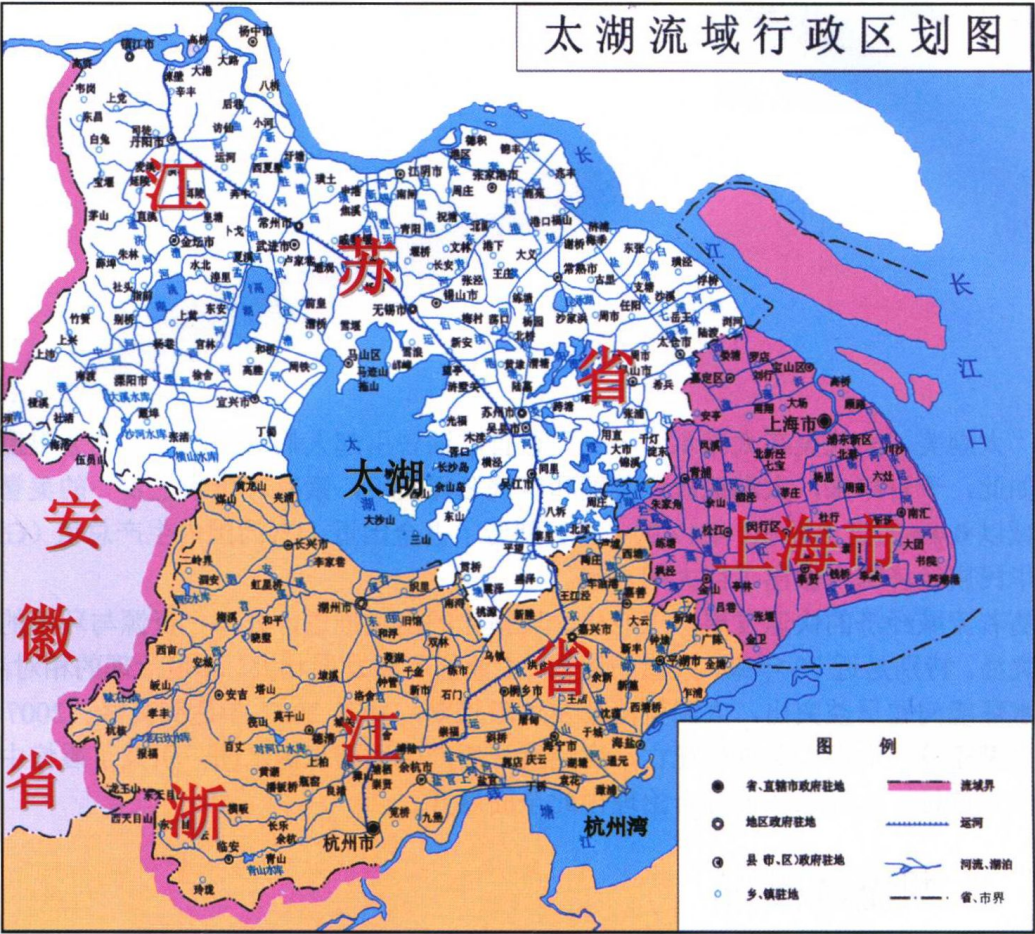


图 1-1 太湖流域行政区划图

太湖北部与东侧的湖岸线曲折，多岬角与湖湾，全部水域在江苏省境内，湖体南部与浙江省相连。太湖横跨苏州市吴中区、无锡市滨湖区、宜兴市、常州市武进区，分别由苏州、无锡、常州管辖，其中四分之三的水域面积在苏州市行政范围内，不足四分之一的水域在无锡市行政范围，其余在常州武进区域。根据各湖湾的地理特征，太湖又可细分为若干个湖湾区，包括竺山湖区、梅梁湖区、五里湖区、贡湖区、东太湖区、胥湖区、西部沿岸区、南部沿岸区、湖心区（图 1-2）。

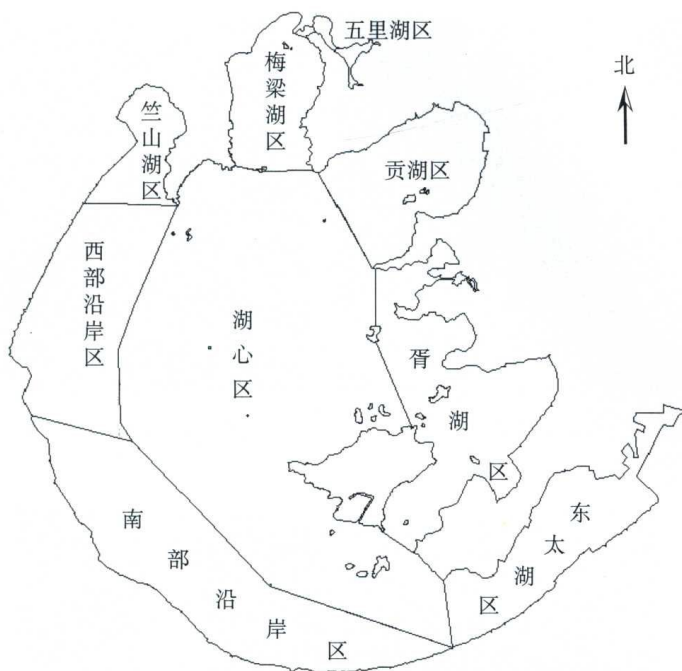


图 1-2 太湖及各湖湾区示意图

1.2 2007 年无锡供水危机

1.2.1 发生过程

2007 年 5 月 29 日，无锡市民一大早起来，像往常一样，拧开水龙头准备漱口洗脸时，却发现自来水管中流出来的是散发着强烈腥臭味的臭水，用自来水烧饭烧菜，结果米饭和菜汤也都是一股腥臭味，无法下咽。几乎整个无锡城的自来水一夜之间全都臭了。许多居民通过网络、电话表达气愤之情，整个城市怨声载道。措手不及的市民纷纷涌向超市，排队抢购纯净水，纯净水柜台前挤满了市民，有的市民干脆一口气买了四五箱（图 1-3）。

几乎无锡所有的老百姓都在讨论当天的水质，见面就问“你家的水臭吗？你家买纯净水了吗？”人们纷纷抢购纯净水，超市、商场的纯净水被抢购一空（图 1-4）。

许多水站的桶装纯净水也卖空了，有些市民载着空桶，到处找水，路上随处都可以看到来回运空桶的人（图 1-5）。

市民人心惶惶，谣言四起，一时间，无锡城区陷入一片混乱。供水危机惊动了江苏省委、省政府和无锡市委、市政府。当天，无锡市政府立即启动了应急方案，紧急派人员调查事故原因，确定臭水的来源。经过紧张调查，初步确定臭水是由于太湖梅梁湖和贡湖交界处的南泉水源地取水口受到了黑水团污染，受污染的原水经净水厂处理无效后进入供水管网所致。



图 1-3 涌入超市抢购纯净水的市民



图 1-4 抢购一空超市纯净水柜台



图 1-5 到处找纯净水的市民

(图片来源: <http://wangjunl.blshe.com/post/1860/58165>)

南泉水源地取水口设计生产能力日供水 100 万 t, 水源地原取水口距离岸边 240m(供水危机后, 取水口向湖中心延伸 2600m)。图 1-6 是南泉水源地位置图。

5 月 29 日前, 南泉水源地取水口附近到底发生了什么, 致使水源地取到的是受污染的黑水呢? 经过调查和分析, 事件的发生过程是这样的: 2007 年 4 月底开始, 太湖梅梁湖蓝藻水华大规模集中暴发, 比往年提前了近 1 个月。根据小湾里水源地、锡东水源地、南泉水源地的监测资料, 5 月 6 日叶绿素 a 含量梅梁湖小湾里水源地达到 $259\mu\text{g/L}$, 位于贡湖和梅梁湖交界的贡湖南泉水源地达到 $139\mu\text{g/L}$, 贡湖锡东水源地达到 $53\mu\text{g/L}$, 叶绿素 a 含量在太湖西北部湖湾全部超过 $40\mu\text{g/L}$ 的蓝藻暴发临界值。到 5 月中旬, 梅梁湖等湖湾的蓝藻进一步积聚, 分布范围扩大、程度加重。5 月 28 日据无锡市报道, 贡湖南泉水源恶臭、水质发黑, 氨氮指标上升到 12.7mg/L 以上, 溶解氧接近零, 导致无锡市自来水恶臭, 引发了供水危机。

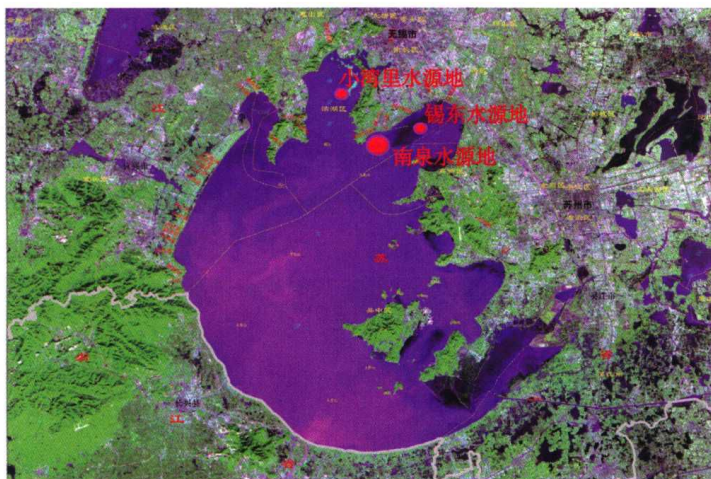


图 1-6 无锡南泉水源地位置示意图

原因查明后，相关部门一方面组织专家研究水处理工艺的改进方案；另一方面采取应急措施，加大引江调水，并应急启动梅梁湖泵站向外抽水，促进水体流动，全力尽快消除黑水团的影响。

2007 年 5 月 29 日，水利部门启动应急预案，增加引江调水流量，常熟水利枢纽的引江流量达到 $240\text{m}^3/\text{s}$ ，5 月 30 日，望亭立交入湖口的入湖流量超过了 $100\text{m}^3/\text{s}$ ，长江水进入湖体后，促进了太湖水体的流动，改善了水源地的水质。

无锡市政府紧急动员力量，开展蓝藻打捞作业，及时清理了水源地周围积聚的蓝藻。

同时，有关水处理专家经试验研究，提出的水处理工艺改进方案也及时投入实际应用。经过各方面的努力，各项应急措施发挥了作用，6 月 1 日无锡市供水全面恢复正常。

1.2.2 媒体报道

无锡供水危机影响深远，引起媒体高度关注。许多媒体做了相关报道。

2007 年 6 月 3 日，《人民日报》（海外版）以“太湖蓝藻敲响了警钟”为题，指出小小蓝藻在一夜之间让数百万群众的生活受到严重干扰，触动了中国经济发展和环境保护的那根敏感神经……

美丽太湖，病得不轻……

无锡城市供水危机最直接的原因是蓝藻暴发，看上去是气温升高、降水不足等自然因素造成的，是天灾。但不可否认的是，在这一场生态灾难的背后，挥之不去的是人祸的影子。蓝藻是太湖病症的表象，真正源头是受到污染的水体。江苏太湖湖泊生态系统研究站的监测数据显示，2005 年以来，太湖夏季出现严重蓝藻水华的面积大幅扩大，目前已基本覆盖整个太湖。

对太湖水安全造成威胁的除工业污染外，还有农业面源和生活污染水，另外流域内 172 条河流的水质变化也直接影响太湖水。还有太湖上的过度养殖也威胁着太湖的美丽

和健康。监测数据显示,目前太湖流域的饮用水源地水质以Ⅱ、Ⅲ类为主,有32%的水体水质未达到饮用水要求,局部地方的饮用水源地水质超过Ⅳ类标准。由于水体严重富营养化,太湖流域的饮用水安全日益受到威胁。

这个事件反映出太湖已经非常脆弱,自我调节能力已经严重丧失。

2007年6月1日《新华日报》以“太湖受蓝藻影响 政府全力保水质”为题,对无锡供水危机进行了报道:近期,因受太湖蓝藻影响,无锡市沙渚水源地水质气味出现异常。5月30日晚,江苏省政府召开紧急会议,部署解决太湖蓝藻的措施;从前天起,无锡市政府已连续召开紧急会议,部署相关应急措施。

有关专家分析指出,4月份以来,因气温、水文、气象等因素的综合作用,太湖蓝藻提前大量产生并向北部湖区集聚,导致梅梁湖北部水质下降,位于梅梁湖与贡湖交界处的无锡市沙渚取水口(注:南泉水源地)受到影响。不过,专家同时解释说,从藻类分泌物中识别的致嗅物质主要为烯烃类、脂肪醇类,一般浓度较低,仅为每升几纳克($1\text{ng}=10^{-9}\text{g}$),对人畜健康无多大危害,但极低浓度即可使水体产生臭味。

2007年5月30日《江南时报》报道:29日开始,江苏省无锡市城区的大批市民家中自来水水质突然发生变化,并伴有难闻的气味,无法正常饮用,市民纷纷抢购纯净水和面包。

各方监测数据显示:2007年入夏以来,无锡市区域内的太湖水位出现50年以来最低值,加上天气连续高温少雨,太湖水体富营养化较重,诸多因素导致蓝藻提前暴发,影响了自来水水源地水质。

媒体的广泛报道,一方面说明无锡供水危机影响深远,引起了全社会的高度关注,另一方面也表明,以“鱼米之乡”名闻天下的太湖流域,水环境污染日趋严重,已影响到了饮用水安全,加快太湖流域水环境治理,刻不容缓。

1.2.3 危机成因

2007年5月底的无锡供水危机发生后,社会上传言很多,互联网上舆论也异常活跃。一些歪曲事实真相的传闻,让许多不明真相的人在从众心理和恐惧中无所适从。对于造成贡湖南泉水源地水质恶化的原因众说纷纭,专家也争论颇多,有的说是污染源偷排造成的,有的说是污泥上翻造成的,还有的说是调水造成的……

事发当时,作者带领专家组经过现场察看取水口附近黑水团分布范围、周边水域等情况后,认为蓝藻大量堆积死亡腐烂,快速消耗水中的溶解氧,是导致供水危机的直接原因。

事后,大量调查和分析证实了这一判断。

2007年4月25日开始,随着气温的升高,水体藻类含量不断增加,太湖藻类呈现异常增殖现象,至5月1日长假期间,梅梁湖鼋头渚风景区受到藻类水华的严重影响。据中国科学院南京地理与湖泊研究所的观测数据,除东太湖、东部光福湾、胥口湾以及洞庭西山南部水域外,太湖大部分水域藻类含量处于极高的水平,湖心区藻类叶绿素 a

含量也达到了 $34.8\mu\text{g/L}$ ，湖心偏北区域藻类含量与历史上藻类水华最严重的梅梁湖处于同一水平。在偏南低风作用下，太湖藻类不断向梅梁湖、贡湖等北部区域积聚。随风速增大，太湖藻类与湖水混合，造成了太湖藻类水华消失的假象，5月16、17日因在 $7\sim 9\text{m/s}$ 南风作用下太湖风浪较大，虽湖面可见藻类相对较少，但是藻类总量并未减少，5月19日静风天气出现，湖面顿时浮现大量藻类，卫星图片（卫片）监测到的蓝藻面积达 450km^2 （图 1-7）。

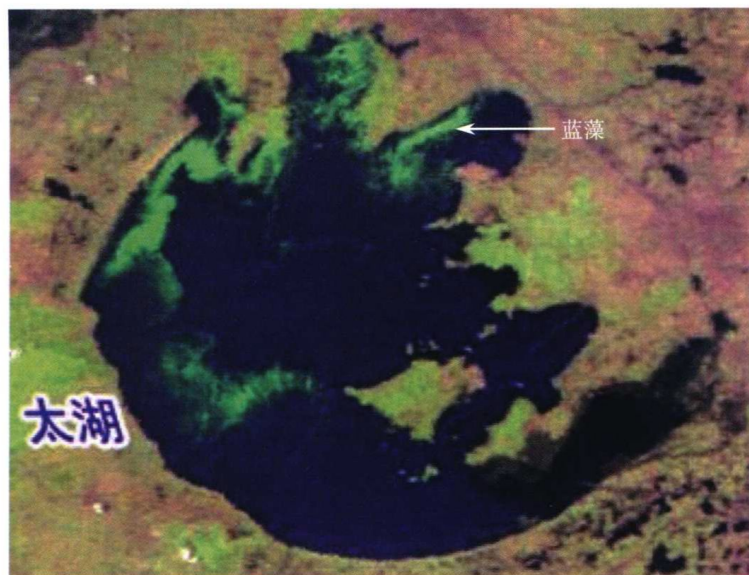


图 1-7 2007 年 5 月 19 日太湖蓝藻分布状况

此后至 5 月 29 日，在持续的南风与西风作用下，太湖大量藻类水华在梅梁湖和贡湖北部沿岸长时间堆积，并在梅梁湖和贡湖一带死亡，腐烂分解，发出异味（图 1-8）。

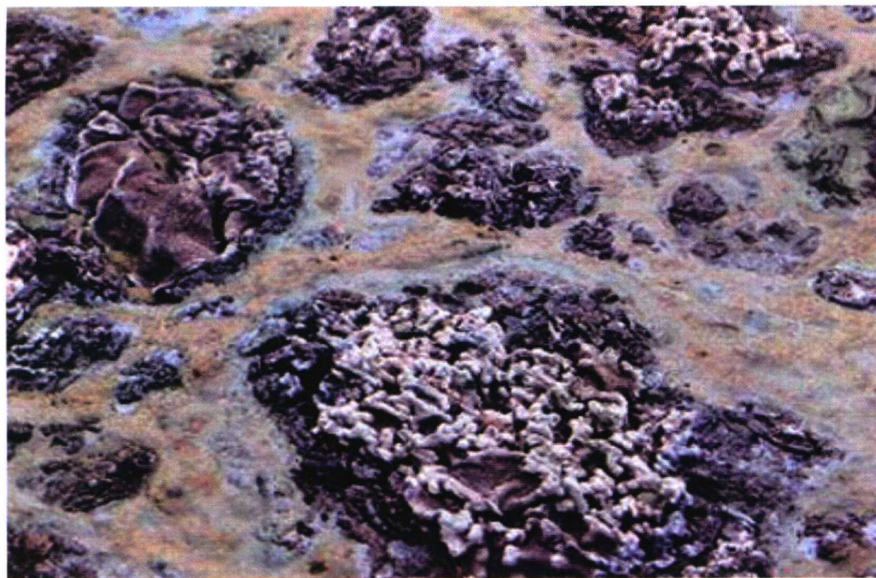


图 1-8 蓝藻堆积死亡厌氧发酵