

防治“湖泛” 保护太湖

张扬文¹, 朱 喜¹, 王惠¹, 李康民²

(1. 无锡市水利局, 江苏 无锡 214031; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214031)

摘要 太湖无锡水域 2007 年 5 月底至 6 月初发生的供水危机, 是以蓝藻为主的藻类大暴发引发“湖泛”造成的。“湖泛”是剧烈的生化反应, 是突发性水污染事件, 有其明显的特征和极大的危害性。阐述防治“湖泛”的综合性措施有: 清淤, 打捞蓝藻, 合理规划调水路径, 控制外源入湖, 修复水生态, 加强监测和制订应急预案, 以确保安全供水和改善太湖水环境。

关键词 太湖; “湖泛”; 蓝藻暴发; 生态修复

中图分类号 X824

文献标识码 B

文章编号 1004-6933(2009)S1-0049-03

太湖是平原淡水湖, 现面积 2 340 km²。自 20 世纪 80 年代以来, 太湖由于大量外源进入和内源污染, 水污染和富营养程度日益严重。2007 年 5 月底 6 月初产生大规模“湖泛”, 湖水发臭, 造成无锡市供水危机, 影响 200 余万人的饮水安全, 引起国内外高度关注。

1 关于“湖泛”

“湖泛”是湖泊在气温较高状态下, 以有机污染物为主的严重污染底泥在厌氧等特定环境下发生强烈生化反应后的一个现象。“湖泛”是新发现的太湖水污染的一种形式, “湖泛”的防治已在 2008 年被正式列入治理太湖的方案中。

其实太湖在 20 世纪 70 年代前也存在“湖泛”现象, 但发生次数少。20 世纪五六十年代农民通过河湖淤泥作为农田有机肥, 湖泊底泥淤积很少; 人粪尿均用作农肥, 工业污染少; 当时入湖污染负荷少, 底泥受污染轻; 太湖中也有藻类, 但不多, 藻类及其残体进入底泥的数量也很少; “湖泛”影响范围很小, 发生程度很轻, 有异味但不重。此类“湖泛”称为小型“湖泛”。

“湖泛”自 20 世纪 90 年代起, 发生几率增多, “湖泛”发生规模较大和程度比较强烈, 此类“湖泛”称为规模型“湖泛”。

2 历次规模型“湖泛”

1990 年前存在的小型“湖泛”, 由于影响程度和

范围很小, 且没有影响到太湖水源地安全供水, 有关文献较少。1990 年起太湖年年发生藻类暴发, 常引发规模型“湖泛”, 同时又危害水源地安全的有几次:

1990 年 7 月, 梅梁湖藻类大暴发, 梅梁湖三山以北同时产生一定规模的“湖泛”, 当时取水能力 15 万 m³/d 的梅园水厂减产 70%, 影响 15 万居民 25 d 的用水, 117 家工厂停产, 当时直接经济损失达到 1.3 亿元。

1994 年 7 月初, 梅梁湖三山以东以北产生严重的规模型“湖泛”和藻类暴发, 导致中桥新水厂(取水能力 60 万 m³/d)和梅园水厂自来水发臭, 影响全市近百万市民生活。

1995 年 7 月上旬, 梅梁湖三山以北由于在较短时间内大量进入污水, 引起规模型“湖泛”, 其间也存在藻类暴发, $\rho(\text{DO})$ 接近于零, $\rho(\text{TN}) = 8.48 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{TP}) = 0.285 \text{ mg/L}$, 整个湖水发臭, 梅园水厂 7 月 5 日~8 日停产 4 d, 影响 30 万市民生活和生产。

1998 年 8 月, 梅梁湖发生规模型“湖泛”, 藻类大暴发, 严重影响小湾里取水口和梅园水厂取水口水质, 造成 8 月初梅园水厂停产 5 d, 影响了数十万市民的生活和生产。

2007 年 5 月底至 6 月初, 贡湖水源地发生特别严重的规模型“湖泛”, 由于当时东南风使太湖藻类富集、堆积在贡湖, 引起藻类大暴发, 藻类大量死亡并沉入水底, 一方面消耗水体大量氧气, 另一方面使底泥中有机质大量增加, 有机质质量分数最大值达

到 13.01%^[3],为贡湖同期底泥平均值 3.8% 的 3.4 倍,加上当时 30℃ 以上的气温,引起大规模强烈“湖泛”,形成“黑水团”,面积 3~4 km²。当时 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 最大值达到 12.4 mg/L,藻类全部死亡,水体颜色呈浓酱油汤,很臭,严重影响南泉水厂供水,造成臭自来水事件(即太湖无锡 5.29 供水危机),损失严重,为国内外媒体广泛关注。

竺山湖水域为无锡、常州共有。近几年水质一直为劣 V 类,主要污染指标为 TN、TP,2008 年 5 月 26 日~6 月 9 日,竺山湖发生较长时间的规模型“湖泛”,影响竺山湖北部和中部水域,面积大约 10~16 km²。期间 $\rho(\text{TN}) = 8.23 \sim 13.4 \text{ mg/L}$ (均为劣 V 类)、 $\rho(\text{TP}) = 0.42 \sim 1.02 \text{ mg/L}$ (均为劣 V 类)。水域呈酱油色(接近黑色),水体散发出强烈的臭鸡蛋味。竺山湖此次规模“湖泛”发生时间比较长,历时 13 d。其原因有:①气温、水温较高,当地气温 17~30℃,水温 23~26℃,且太隔运河、漕桥河、殷村港与其他河道长期把大量污水送进湖中,使底泥污染加重,积累大量有机质、N、P、S 等。②“湖泛”发生前,入湖河道中污染严重,DO 质量浓度很低(0.1~1.0 mg/L)的大量污水进入,周铁镇附近水域有较严重的藻类暴发、聚集和死亡现象,加重底泥的有机污染,严重污染的底泥在厌氧状态下发生强烈生化反应,期间 $\rho(\text{NH}_3\text{-N}) = 7 \sim 8 \text{ mg/L}$,水面上看不到聚集的藻类。③该水域目前可能调进较好的水,只能靠水体自身的湖流、波浪等因素消化、减弱和消除“湖泛”,所以,该次“湖泛”表征减弱直至消失的时间段比较长。但此水域无饮用水水源地。

3 “湖泛”现象产生的环境条件和特征

3.1 环境条件

太湖容易发生规模型“湖泛”的环境条件有以下几方面。①时间:一般均发生在春末-盛夏-秋初,高温闷热晴好天气。②水深:1.5~2.5 m。③底泥:表层底泥、浮泥中的有机污染重,且呈正释放状,并有一定量含硫物质和大量微生物、细菌存在,其中含硫物质主要来自工业、城市污水,如 1988 年入太湖河道中含硫物质达到 19.02 mg/L^[2]。④水体:污染严重,TN、TP、COD、NH₃-N 浓度高,营养盐含量多,水体达中富营养化或重富营养化。⑤风力:缓和微风。⑥水流:滞缓。⑦氧气:表层底泥严重缺氧,水体溶解氧低,一般小于 1 或接近 0。

3.2 发生水域

太湖容易发生规模型“湖泛”的水域一般为以有机污染为主的重污染底泥分布区,水污染严重的湖区物质与能量异常的作用区域。具体地说,太湖最

易发生规模型“湖泛”的水域是梅梁湖(太湖西北部的湖湾,面积 124 km²)、竺山湖(太湖西北部偏西的湖湾,面积 56.7 km²)和贡湖(太湖北部的湖湾,面积 148 km²),原因是这些水域入湖河道多、入湖污水多,以及由于上述湖湾形似口袋,容易在风力作用下堆积藻类等因素,当然太湖其他局部水域也可能发生规模型“湖泛”。

3.3 现象与特征

发生规模型“湖泛”的主要现象与特征有:“湖泛”水域呈浆(黑)褐色水体,透明度很小,混浊;发出类似下水道、臭鸡蛋的刺激臭味、有硫化氢的恶臭;有大量气泡、臭气逸出;“湖泛”区内鱼虾、底栖动物无法生存,水面常见漂浮鱼虾、底栖动物(如湖鳅)死亡残体,或鱼类迅速逃离该水域,而发生小型“湖泛”时,鱼类因缺氧仅是浮在水面上,发生“浮头”现象,很少有死亡的。湖面有相对清晰的边界,发生面积一般较蓝藻暴发面积要小得多;发生期相对较短,一般为数天至十多天,在原地发生,基本没有风力的聚合作用,“湖泛”可在不大的水域范围内移动,不定时发生。

3.4 性质和产物

规模型“湖泛”以典型有机厌氧生化反应为主导,反应强烈。反应中,底泥有机质中含硫的蛋氨酸等物质在厌氧环境下转化为二甲基三硫为主的硫醚类物质,是产生恶臭的主因^[3]。“湖泛”过程中有大量 CH₄、H₂S、NH₃-N 等气体逸出,以及产生硫化物与有机体(蛋白质、脂肪)等生化反应后的生成物或衍生物。“湖泛”产生的恶臭一般并非是藻类的直接代谢物,其机理复杂,有待进一步研究。

4 发生“湖泛”的主要因素

4.1 基本因素

必须满足前述太湖发生规模型“湖泛”的基本环境条件,包括时间、水深和温度条件,底泥有机污染重、水体污染严重、厌氧等特定环境,微风、水流滞缓等条件。

4.2 特定因素

太湖规模型“湖泛”多发除上述基本因素外,还有以下特定因素。

a. 与藻类暴发有关。由于太湖富营养状况日益严重,1990 年起太湖藻类年年暴发,并且由于风力作用造成藻类在某一水域聚集、堆积、大批死亡并沉入水底,藻类死亡腐败过程消耗大量氧气,造成该水域严重缺氧和增加了底泥的有机污染,污染严重的底泥在厌氧状态下进行强烈的生化反应,频频形成规模型“湖泛”。高浓度的 H₂S、NH₃-N 能杀死藻类,根据以往积累的资料和观察分析,当 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$

大于 $7 \sim 8 \text{ mg/L}$ 时,藻类几乎全部死亡,所以一般在规模型‘湖泛’区见不到本湖区产生的藻类漂浮,仅有部分外水域藻类经风力富集到本湖区,且漂来不久即死亡,进一步加剧‘湖泛’。强烈的厌氧生化反应能分解藻毒素,经一段时间就监测不出藻毒素。但并不是每次藻类暴发均要引发规模型‘湖泛’。据不完全统计,自 1990 年~2008 年的 19 年间,藻类年年暴发,但引发规模型‘湖泛’仅为 7 次,如 2003 年 8 月,梅梁湖发生大规模藻类暴发,但未引发规模型‘湖泛’,其原因是没有满足发生‘湖泛’的全部因素。

b. 与高浓度污水大量入湖有关。自 20 世纪 80 年代起,入湖河道带入太湖的生活、工业污水,以及其他污染物日渐增加,特别是梅梁湖、竺山湖和贡湖周围的入湖河道多,河道水质从 20 世纪 70 年代的 IV 类水变为 90 年代至 21 世纪初的劣 V 类水,并且河道带入污水量多,当水体和湖泊底泥污染到一定程度,特别是某一时段入湖河道把大量高浓度、溶解氧很低的污水带入太湖,推进到湖泊一定纵深范围,并满足‘湖泛’发生的厌氧等基本条件,就发生规模型‘湖泛’。

c. 在上述两种情况共同作用下产生规模型‘湖泛’

4.3 1990 年后‘湖泛’加重的原因

“湖泛”加重包括规模范围和剧烈程度两方面。“湖泛”加重的基本原因是:①河湖淤泥作为农田有机肥的现象已不存在,使太湖底泥沉积大幅增多;②由于大量生活、工业污水进入太湖,及地面径流污染太湖等因素,底泥受 N、P 和有机污染程度很重;③太湖中以藻类为主的水生物残体大量进入底泥。规模型‘湖泛’的影响范围较大,可达到数 km^2 ;发生程度相当严重,臭味很强烈,湖水中鱼类和底栖动物都不能存活,就是耐污染的藻类一般都不能存活。

5 规模型‘湖泛’的防治

要保护太湖水资源、防治水污染、改善水生态系统和确保水源地安全供水,必须防治规模型‘湖泛’。总体要求是减少有机质和其他有关污染物进入底泥和水体,清除已存在于底泥和水体中的此类物质,增加底泥及其上覆水体的氧气,降低水温,以此减少规模‘湖泛’发生的可能性和减弱可能发生‘湖泛’的规模和强烈程度。主要防治措施有以下几方面:

a. 适时适量生态清淤。清除污染底泥及其中大量的有机质、N、P、S 等污染物质。一般清淤深度为 $30 \sim 50 \text{ cm}$ 。如以往为解决梅梁湖、贡湖‘湖泛’的后遗症和防治再次发生‘湖泛’,多次进行了生态清淤 ①梅园水厂水源地清淤。1994 年、1995 年夏天

此处水源地发生藻类暴发和引发规模型‘湖泛’,影响供水,即进行清淤。清淤工程位于梅梁湖北部梅园水厂取水口周围,清淤面积 0.15 km^2 ,因为取水口比较深,所以清淤平均深 1.4 m ,清淤量 22 万 m^3 ,1996 年 3 月至 4 月清淤。改善水环境的效果很好,如 COD_{Mn} ,清淤后为 4.6 mg/L ,而 1995 年 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 同期为 8.5 mg/L ,下降 45.9% 。②小湾里水源地清淤。1994、1995 年夏天梅梁湖小湾里水源地发生藻类暴发和引发规模型‘湖泛’,影响供水,所以 1996 年春天进行清淤。清淤工程位于梅梁湖东部的小湾里水厂取水口周围,清淤面积 0.5 km^2 ,清淤平均深 0.4 m ,清淤量 20 万 m^3 ,当年有较好改善水环境效果。③贡湖南泉水厂水源地清淤。因为 2007 年 5~6 月贡湖南泉水厂水源地发生藻类暴发和引发规模型‘湖泛’造成无锡 5.29 供水危机,所以在 2007 年 7 月~2008 年上半年进行清淤。清淤范围在贡湖北部的南泉水厂、锡东水厂取水口周围 10.9 km^2 ,清淤深度 $20 \sim 30 \text{ cm}$,平均 26 cm ,采用环保型绞吸式挖泥船清除 20 世纪 70 年代后淤积的污染底泥及底泥中活的藻类细胞,清淤量 282 万 m^3 。清淤后,水质从 2007 年的劣 V 类改善为 V 类,有效改善了水源地水质,以后未发生‘湖泛’。④竺山湖清淤。因为 2008 年 5~6 月竺山湖发生大规模‘湖泛’(该水域无取水口),决定在竺山湖进行 1 km^2 的试验性清淤,清淤深度 $20 \sim 40 \text{ cm}$,清淤量 30 万 m^3 左右,以后再扩大清淤范围。

b. 打捞、清除藻类。为阻止藻类在取水口及重要水域大量聚集、死亡和沉入水底,并取走水体中大量藻类及其所载的大量有机物和 N、P 等污染物,无锡市已在易发生‘湖泛’的水域组建 47 支打捞藻类专业队伍,主要采用机械化打捞,利用离心泵吸取藻类,在机械无法作业的水域进行人工辅助打捞,确保易发生‘湖泛’水域无藻类大量堆积现象。2007 年、2008 年已经分别打捞藻水(含藻类干物质 $0.5\% \sim 1\%$ 的藻类与水的混合物) 19 万 m^3 、 50 万 m^3 ,并对藻水进行机械化分离、脱水,大幅度减少藻水运费,并对脱水后藻类进行生产沼气-发电、制造肥料等资源化利用,基本上控制了因大规模藻类暴发引起的“湖泛”。

c. 合理规划调水路径。在易发生‘湖泛’和有条件进行调水的水域,在气温较高($4 \sim 10 \text{ 月}$)或最高温度 $\geq 20^\circ\text{C}$ 时,进行调水,促进水体流动,以增加环境容量,增加溶解氧和降低水温。同时应该注意调水路径,使易发生‘湖泛’水域的水体能进行有序流动,以充分起到上述作用^[4]。

(下转第 123 页)

4 建 议

4.1 加快污水处理厂建设和市政管网建设,提高污水处理能力

青岛市的污水处理能力在规模和质量上均不能满足目前经济和社会发展的需要;“十一五”期间,青岛市将在市区的墨水河、楼山河、李村河、海泊河和尼布湾等排污单元进行城市污水处理厂的新建和扩建,扩大污水处理厂规模,提高污水处理率。但是污水处理厂在结构设计和处理深度上与发达国家仍有一定差距,例如生活污水的再利用率低,,有些污水处理厂尚不能脱氮,对污水只能进行一级和二级处理等,因此污水处理厂的建设和发展还有很大空间,尚需加强。

市政管网建设落后,存在雨污混流现象。在暴雨发生时,暴雨溢流严重,地表污染物大量入海,对海域水质造成严重污染。因此应加强市政管网建设,制订应对暴雨溢流的措施,同时加强入海排污口的有效管理^[3]。

4.2 进行胶州湾环境容量计算,为可持续发展提供基础数据

当前,海湾的环境保护日益受到重视,海湾环境容量和陆源污染物入海量的研究也备受关注^[4-5]。胶州湾是半封闭性海湾,其水文、水动力条件不利于污染物的迁移扩散,很容易造成局部海域水质恶化,

因此进行环境容量计算可以预测陆源污染物的输入量,为陆源污染物的削减提供依据。

4.3 加强湿地的保护和恢复

逐渐开展“退耕还草”“退池还海”,把已失去经济价值的养殖池、耕地和超出批准使用年限的养殖池等逐步收回恢复湿地生态环境。

建立湿地自然保护区逐步恢复湿地景观,开发生态旅游业,充分利用湿地景观和生物资源开发相应的旅游项目(如湿地科普性项目)吸引游人,最大限度的发挥该区域的自然和社会价值,以旅游业带动周边地区的发展,建设旅游配套设施,发展与该区域资源相适应的服务业、水产加工、盐业等行业,使该区域的生产发展活动都逐步与湿地保护相协调。

参考文献:

[1] 中国标准出版社.水质分析方法国家标准汇编[G].北京:国家标准出版社,1996.
[2] 杨德渐,王永良.中国北部海洋无脊椎动物[M].北京:高等教育出版社,1996.
[3] 纪灵,王荣纯,刘昌文.海岸带综合管理中的海洋污染监测及其在决策中的应用[J].海洋通报,2001,20(5):54-59.
[4] 陈克亮,朱晓东,王金坑,等.厦门市海岸带水污染负荷估算及预测[J].应用生态学报,2007,18(9):2091-2096.
[5] 周鲁闽,卢昌义.厦门第二轮海岸带综合管理战略行动计划研究[J].台湾海峡,2006,25(2):302-308.

(收稿日期:2008-10-31 编辑:高渭文)

(上接第 51 页)

d. 大幅削减外源入湖。大幅削减生活、工业、农业污水入湖,减少有机质、N、P、S 等污染物质进入水体和底泥。

e. 水生态修复。在适当的环境条件和时间,种植水生植物,阻挡、削减风浪和固定底泥,吸收底泥、水体中有机质和其他污染物质,减少参与“湖泛”的基本物质和降低水温^[5]。

f. 做好“湖泛”监测和应急预案。加强对容易发生“湖泛”水域,特别是有可能影响供水水域“湖泛”的监测,包括底泥(浮泥)中耗氧有机物、微生物和细菌,水体的污染物,底泥表层和水体的厌氧条件,生化反应的生成物质等。同时做好发生“湖泛”的应急预案。

7 结 论

规模型“湖泛”造成的危害性很大,但通过清淤、打捞蓝藻、合理路径调水、控制外源入湖、水生态修

复等综合性防治措施是可以防治和得到控制的。无锡市采用上述措施,使 2007 年下半年和 2008 年易发生“湖泛”的梅梁湖和贡湖水域均没发生规模型“湖泛”。估计经 10 年持之以恒的努力,基本可控制“湖泛”和消除规模型“湖泛”,确保太湖供水安全和水环境的全面改善。

参考文献:

[1] 江苏省水文水资源勘测局无锡分局、中国科学院南京地理与湖泊研究所.贡湖南泉水厂取水口底泥调查及污染分析报告[R].无锡:无锡市水利局,2007.
[2] 黄漪平,范成新,濮培民,等.太湖水环境及其污染控制[M].北京:科学出版社,2001:143.
[3] 扬敏.美国《科学》杂志《来信》栏目[N].2008-01-11(4).
[4] 朱喜,张扬文.无锡市水资源综合规划报告[R].无锡:无锡市水利局,2007.
[5] 朱喜,张扬文.无锡市水生态系统保护和修复规划[R].无锡:无锡市水利局,2006.

(收稿日期:2009-08-15 编辑:高渭文)