

太湖蓝藻成因分析与清淤方法探讨

叶上扬 ,喻国良 ,庞红犁

(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院 ,上海 200240)

摘要 :分析氮磷比和温度对太湖蓝藻生长与消亡的影响 ,结果表明 ,较高质量浓度的 TN、TP 是太湖富营养化的根本原因 ,适宜的氯磷比是太湖蓝藻大规模暴发的内因 ,25℃左右的水温是太湖蓝藻暴发的突变点。针对太湖传统清淤工作中存在的问题 ,提出了利用高频微幅振动清淤的湖泊淤泥疏浚新技术和清淤与淤灌相结合的综合清淤方案。

关键词 :太湖治理 ;蓝藻成因 ;高频振动 ;清淤

中图分类号 :X524 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2012)02-0030-04

Analysis of formation of blue-green algae and dredging methods in Taihu Lake

YE Shang-yang , YU Guo-liang , PANG Hong-li

(School of Naval Architecture , Ocean and Civil Engineering , Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200240 , China)

Abstract :The impacts of the nitrogen-to-phosphorus ratio and temperature on the growth and death of blue-green algae in Taihu Lake were analyzed. The results show that the high concentrations of TN and TP are the leading causes of eutrophication , a proper chlorine-to-phosphorus ratio is the internal cause of large-scale algal bloom , and a temperature of 25℃ is the critical point of algal bloom in Taihu Lake. To solve the problems of traditional dredging methods , a new silt dredging technology using high-frequency and micro-amplitude vibration and an integrated dredging scheme with a combination of the technologies of dredging and warping irrigation were proposed.

Key words :management of Taihu Lake ; formation cause of blue-green algae ; high-frequency vibration ; dredging

太湖流域是我国经济最发达、城市化程度最高的地区之一。太湖位于太湖流域中心 ,面积 2 338 km² ,南北长 68.5 km ,东西宽 34 km ,有大小岛屿 48 个 ,峰 72 座 ,常年水位下水深 1.89 m ,库容 44.3 亿 m³ ,是一个典型的平原浅水型湖泊。随着社会经济的发展 ,以及人类对太湖的过度开发利用 ,太湖的水质受到了严重的影响 ,并导致近年来太湖蓝藻暴发。太湖蓝藻的暴发不仅影响周边地区的生态环境 ,而且制约着人类社会经济的发展。

对太湖蓝藻的成因以及如何采取有效的方法来治理太湖 ,受到了很多学者的关注。国内外学者对蓝藻的研究已进行了几十年 ,对蓝藻暴发的成因也提出了各自的见解。笔者总结国内外相关研究成果 ,对太湖蓝藻暴发的成因进行分析 ,在现行太湖治

理方法的基础上 ,提出一种新的清淤治理方法 ,以期更好地治理太湖。

1 太湖流域特征与蓝藻成因

1.1 太湖流域特征

太湖流域行政区划分属江苏、浙江、上海、安徽 3 省 1 市 ,其中在江苏省的面积 19 399 km² ,占 52.6% ;在浙江省的面积 12 093 km² ,占 32.8% ;在上海市的面积 5 178 km² ,占 14% ;在安徽省的面积 225 km² ,占 0.6%。太湖流域湖泊星罗棋布 ,河网如织 ,流域面积 3.69 万 km² ,其中 80% 的面积为平原。太湖 66% 的区域分布有底泥 ,底泥总蓄积量为 19.12 亿 m³ ,近 80% 的底泥厚度在 2 m 以内 ,底泥平均深度为 1.24 m ,其中淤泥量(主要为污染底泥)达

2.33 亿 m³。范成新等^[1]在 1997—1999 年的现场调查结果表明,太湖有 69.83% 的面积为污染淤泥所覆盖,厚度最深达 5 m 以上,平均底泥厚度为 0.82 m。太湖西部较太湖东部的淤泥分布区域大,且泥层较厚,而湖心区底泥分布少且薄。

太湖的淤泥颗粒均在 1 mm 以下,大多数在 80 μm 以下,并含有粗屑垃圾及细砂,塑性指数均低于 8。太湖底泥主要为有机污染型,有机质、总磷、总氮等营养物质含量较高。沉积量大、污染严重的区域主要分布在无锡市附近的五里湖、竺山湖、梅梁湖、贡湖等湖湾的河流入湖口和漫山湖西侧近岸及东太湖。

1.2 太湖蓝藻成因

太湖流域水污染严重,尤其近年来大规模暴发太湖蓝藻,已经成为举世瞩目的水环境问题地区。近 10 a 来,虽然太湖流域管理局和当地政府投入了大量人力物力治理太湖,但太湖污染仍有加剧之势。太湖难于治理的主要原因在于:①来污量太大;②水深太浅;③水流流动性太低;④全球气温日益升高。

1.2.1 氮磷含量及比例

Chapman 等^[2]通过实验证明湖泊营养盐和水温是影响蓝藻生长的重要因素。含有高浓度氮磷钾的城市生活污水和工业污水的大量注入,使得太湖水环境受到了严重破坏,湖水中氮磷含量不断增大。国际上公认的湖泊发生富营养化的 TN 和 TP 质量浓度分别为 0.2 mg/L 和 0.02 mg/L^[3],而除湖心外,太湖各湖湾 TN 平均质量浓度均超过 4 mg/L,湖心平均质量浓度也超过 2 mg/L,全湖 TP 平均质量浓度也在 0.1 mg/L 以上^[4]。这是太湖富营养化的根本原因,而适宜的氮磷含量比例是蓝藻大规模暴发的内因。国内外专家就氮磷含量比对蓝藻暴发的影响进行了大量的研究,笔者对其进行了总结归纳,见表 1。

表 1 蓝藻暴发适宜氮磷比研究结果比较

适宜氮磷比	研究者
16:1	Klausmeier 等 ^[5]
< 29:1	Smith ^[6]
< 10:1	Takamura 等 ^[7]
9:1	Robert ^[8]
15:1	Redfield ^[9]
10:1	Home 等 ^[10]
6.5:1	Marcin 等 ^[11]
12:1 ~ 13:1	代堂刚 ^[12]
5:1	崔莉凤等 ^[13]
15:1 ~ 20:1	王云波等 ^[14]

国内外大部分学者都认为蓝藻暴发在一个适宜的氮磷比环境中,从表 1 可以看出,不同研究者对蓝藻暴发所适宜的氮磷比的研究结果存在一定差异。但也有学者认为,蓝藻暴发需要高的氮磷含量,但与

氮磷比没有直接的关系。Xie 等^[15]通过对东湖的实验研究表明,当氮磷含量很高的情况下,氮磷比不是决定因素,不同氮磷比都有可能形成蓝藻水华。

1.2.2 温度

太湖蓝藻暴发的内因是湖水中含有大量的氮磷以及适宜的氮磷比,而外因是太湖水深太浅,水流的流动性太低,在持续高温的阳光辐射下,整个水体和湖底淤泥温度上升。国内外学者就水温对蓝藻暴发的影响进行了大量研究。Huber^[16]的研究表明泡沫节球藻的生长水温要大于 16℃。Marcin^[9]的研究表明蓝藻类丝囊藻的最佳生长水体温度在 15 ~ 28℃ 之间,10℃ 以下才停止繁殖,蓝藻类泡沫节球藻和水华鱼腥藻大量繁殖的水体温度大于 18℃。王得玉等^[17]认为,合适的水体温度(24 ~ 30℃)是蓝藻暴发的必要条件,大于 30℃ 的高温对蓝藻的生长有明显的抑制作用。Kruger 等研究了温度对微囊藻生长的作用,指出铜绿微囊藻生长的最适宜温度为 28.8 ~ 30.5℃,并且认为 17.5℃ 是一个拐点,此时活化能突然降低^[14]。初步的室内试验显示,太湖微囊藻的最适宜生长温度为 30 ~ 35℃^[18]。王利利^[19]认为不同的浮游藻类具有不同的临界最适宜生长温度,蓝藻的最适宜生长温度为 25 ~ 35℃,硅藻生长适应的温度范围较广,在 15 ~ 35℃ 之间均可生长良好,但以 20 ~ 30℃ 为最佳,绿藻的最适宜生长温度为 20 ~ 25℃。中国环境科学研究院利用滇池湖水进行的温度对微囊藻生长影响的室内模拟试验显示,微囊藻的比增长率在 25 ~ 30℃ 时最大,超过 35℃,其比增长率急剧下降,表现出较强的高温阻碍^[20]。

笔者对 2007 年太湖蓝藻暴发的面积与当时太湖的水温情况进行了分析,并与 Jones^[21]实验观测的地表土壤温度与蓝藻生长速度的关系进行了比较,见图 1。图 1 中两条曲线表明,温度过高或是温度较低都不能形成蓝藻暴发,在蓝藻暴发的整个过程中,有个造成蓝藻暴发的突变温度点和蓝藻死亡的温度点,还有适宜蓝藻生长的温度区间。只是由于

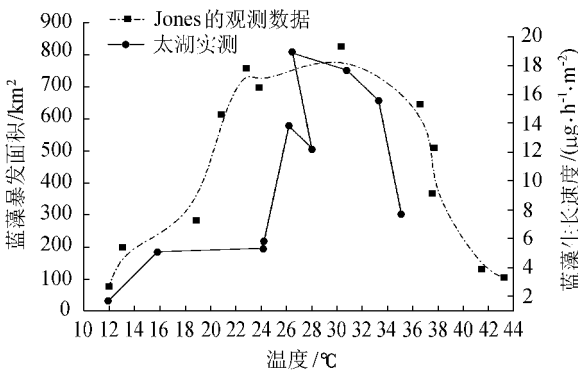


图 1 蓝藻暴发面积、生长速度与温度的关系

不同区域生长的优势藻类不同,其区域所对应的温度有一定的差异。从2007年太湖蓝藻暴发的过程可以看出,25℃左右水温是蓝藻暴发的突变点,当温度达到32℃左右时,蓝藻将会死亡。这与很多研究者的结论一致。

2 太湖清淤工作中存在的问题

根据上述蓝藻生长成因可知,在无法阻止全球温度日益升高的情况下,为避免大规模蓝藻灾难的发生,可行的太湖治理途径是:①有效控制来污量;②增加太湖水深,从而有效降低水体温度;③增大引江流量,增大水体流动性;④进行生态修复,从而建立稳定健康的水生态系统^[22]。

清淤可使太湖水深增加,流速增大,底泥的氮磷含量降低。虽然太湖清淤工程浩大,但清淤无疑是治理太湖环境、改善太湖水质,尤其是避免大规模蓝藻暴发的重要措施之一。国家“十一五”水体污染控制与治理科技重大专项中,太湖的清淤被列为重大课题,国家“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项中势将继续开展太湖清淤工作。据初步估计,如果按25元/m³的清淤成本计算,太湖清淤仅施工环节就需要人民币10亿~15亿元。

清淤在太湖治理骨干工程建设中已经发挥了重要作用,在望虞河、太浦河、拦路港、杭嘉湖南排工程也得到了广泛应用。然而,目前太湖湖泊及其河道清淤工作仍存在如下主要问题:

a. 在工程施工中,排泥场尾水发生了二次污染。排泥场内泥浆水浑浊,2~3周内不能沉淀,在汛期还有可能形成泥浆水倒灌入湖区^[23],泥浆水在排泥场内滞留3~4d后排入内河,使得内河有透明悬浮物存在,影响范围达上下游好几千米,使沿线渔业养殖蒙受损失,给人民生活造成不便。

b. 清淤的管道输送距离短,经常出现堵管、爆管等现象。

c. 清淤的费用太高,单价在10元/m³以上。

d. 需要的排泥场面积大。据初步调查,太湖流域淤泥总量为35亿m³,其中太湖淤泥19亿m³,如果按平均堆高3m计算,用于堆积太湖流域淤泥的临时排泥场占地11.67亿m²,但太湖周边地区经济发达,可利用土地少,要占用如此巨大的耕地面积是极其不现实的。

3 湖泊淤泥疏浚技术

实施大型湖泊淤泥的环保疏浚,必须解决淤泥的长距离输送问题,还要大大降低清淤成本。笔者提出了湖泊淤泥疏浚新技术。该技术利用淤泥水下

松动和流变机理,通过高频微幅振动将水下淤泥液化,使淤泥变成流动性很好的泥浆,然后利用吸泥泵吸取泥浆,泥浆经管道向外进行远距离排放。具体过程是:进行远距离输送淤泥前,在管道的进口段设置高频微幅振动源,对淤泥施加高频微幅振动,使之液化变成流性好的液态均匀泥浆,然后采用高压活塞泵或泥浆泵等进行管道输送;在液态均匀泥浆被输送一定距离后,液态泥浆的均匀性会下降、流动性也会降低,设置高频微幅振动源对输送的淤泥再次施加高频微幅振动,在高频微幅振动下,输送的淤泥进一步液化,变成流性好的液态均匀泥浆,保证了整个远距离输送管道内液态泥浆的均匀性、流动性,从而大大降低淤泥在远距离输送过程中的沿程水头损失,并避免了管道堵塞现象。

这种利用高频微幅振动将板结的泥沙与水快速掺混,使之变成流性好的液态均匀泥浆,然后采用高压活塞泵或泥浆泵将泥浆进行远距离管道输送的技术,可以广泛应用于水库、湖泊和塘堰的淤泥清理工程和海塘的吹填工程。与传统清淤技术相比,该技术实施简单,淤泥远距离输送的沿程水头损失小,且不容易发生管道堵塞,能耗低,设备成本小,功效高,保护了环境,尤其适宜于大型水库的淤泥清理。但如何将该项技术应用于太湖清淤,目前正在研究中。

4 综合清淤方案

笔者认为,为了太湖的环境治理,①将清淤和农田淤灌相结合,像黄河淤灌一样,用浑水灌溉农田,每次灌溉后浑水中的泥沙在农田里留下一层淤泥,可促进农业发展;②将清淤和水产养殖相结合,促进渔业发展。

4.1 河道清淤与土地复垦积肥结合

利用湖泊淤泥疏浚新技术把河道清淤同土地复垦积肥结合起来。将河道的淤泥排放到低田、废河,并进行平整复垦,既清淤了河道,又整理了田容田貌,增加了耕地面积;实施田间淤灌,既清淤了河道,又灌溉了耕地,灌溉后田间沉积的淤泥作为农作物的肥料,对改善土质、节省化肥施用量作用明显,可谓一举多得。

4.2 清淤与水产养殖结合

鱼塘的冬季清淤是渔业生产中一项必不可少的工作。由于现在劳动力价格提高,人工清淤基本无法进行,于是年复一年,池底淤泥越积越厚,鱼塘生态状况恶化。

据调查,鱼塘的淤积一般以每年5~10cm的速度增加,精养池塘以及靠近村镇有生活污水流入的池塘,其淤积速度更快。池塘淤积已成为限制池塘

养鱼产量的主要因素之一,也直接减少了池塘蓄水量,减少了池塘对太湖污染物的拦蓄作用。

利用湖泊淤泥疏浚新技术把鱼塘清淤同水产养殖、田间淤灌结合起来,在不需要将水放干的情况下,对鱼塘淤泥进行局部高频振动,使淤泥液化形成流动性好的泥浆,并以较低浓度排放到田间,实施田间淤灌,既清淤了鱼塘,又灌溉了耕地。灌溉后田间沉积的淤泥作为农作物的肥料,改善了土质,节省了化肥施用量。采用湖泊淤泥疏浚新技术进行鱼塘淤泥疏浚时,不会搅浑水,不会伤鱼,清淤机在指定的工作区域内自由行走吸泥,并将淤泥通过浮在水面的管道向高岸处输送,从而结束了手提肩扛塘泥的历史,提高了生产力。

4.3 塘堰清淤与太湖治理结合

由于现在的劳动力价格高,以往的人工清淤基本无法开展,使太湖流域大量塘堰淤积严重,成了盘子塘、碟子堰,一下雨就满,一放水就干,许多塘堰基本丧失了蓄水灌溉功能。

在不需要将水放干的情况下,对塘堰淤泥进行高频振动,使淤泥液化形成流动性好的泥浆,以较低浓度排放到田间,实施田间淤灌,既清淤了塘堰,又灌溉了耕地。采用湖泊淤泥疏浚新技术进行塘堰清淤和鱼塘清淤具有同样的优点,而且采用湖泊淤泥疏浚新技术进行塘堰清淤,最大的优点是不需要将水放干,节约了水资源,清淤后恢复了塘堰的蓄水灌溉功能,直接减少太湖的淤积来源。

4.4 湖泊清淤同农田淤灌结合

在太湖淤积的 19.15 亿 m³ 底泥中,TN 大约为 84 万 t,TP 约为 60 万 t。大量底泥的蓄积,破坏了太湖良好的生态系统。采用湖泊淤泥疏浚新技术在水下对淤泥进行局部液化形成流动性好的泥浆,通过吸泥泵将泥浆送入长距离管道输送系统,最后将淤泥以较低浓度排放到田间,实施田间淤灌,这样既清淤了湖泊,又灌溉了耕地,灌溉后田间沉积的淤泥可作为农作物的肥料,既改善了土质,又节省化肥施用量。采用湖泊淤泥疏浚新技术进行湖泊清淤的最大优点是:不需要将水放干,淤泥输送阻力小,节能环保,促进了农业发展。

5 结 语

根据太湖蓝藻生长的成因,实施太湖清淤是一种可行的太湖治理方法。然而,太湖的清淤治理是一个非常复杂的系统工程,建议相关的研究从创新出发,使研究成果更科学合理,更具有操作性,政府和行政管理部门更加重视太湖流域底泥生态疏浚和太湖水土资源的开发利用,组织开展对太湖流域底

泥生态疏浚规划、太湖水土资源开发利用、疏浚与农田灌溉技术、清淤管道的长距离输送工程技术、环保疏浚机械工程技术等的调查与研究,以及开展工程技术在工程实施过程中要采取的具体措施和实施方案等研究。

参考文献:

[1] 范成新,刘元波,陈荷生.太湖底泥蓄积量估算及分布特征探讨[J].上海环境科学,2000,19(2):72-75.

[2] CHAPMAN B R ,FERRY B W ,FORD T W. Phytoplankton communities in water bodies at dungeness ,UK : analysis of seasonal changes in response to environmental factors[J]. Hydrobiologia ,1998 ,362 :161-170.

[3] 彭近新,陈慧君.水质富营养化与防治[M].北京:中国环境科学出版社,1988.

[4] 丁静.太湖氮磷分布特征及其吸附/解吸特征研究[D].南京:南京理工大学,2010.

[5] KLAUSMEIER C A ,LITCHMAN E ,DAUFRESNE T ,et al. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton [J]. Nature ,2004 ,429 :171-174.

[6] SMITH V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton[J]. Science ,1983 ,221 :669-671.

[7] TAKAMURA N ,OTSUKI A ,AIZAKI M ,et al. Phytoplankton species shift accompanied by transition from nitrogen dependence to phosphorus dependence of primary production in lake Kasumigaura ,Japan[J]. Arch Hydrobiol ,1992 ,124 :129-148.

[8] ROBERT E L. Phycology[M]. 2nd ed. London : Cambridge University Press ,1985.

[9] REDFIELD A C. The biological control of chemical factors in the environmen[J]. Am Sci ,1958 ,46 :205-221.

[10] HORNE A J ,GOLDMAN C R. Limnogy[M]. 2nd ed. New York : McGraw-Hill ,Inc. ,1994.

[11] MARCIN P ,TOMASZ J. Temperature and N:P ratio as factors causing blooms of blue-green algae in the Gulf of Gdańsk[J]. Oceanologia ,1999 ,41(1):73-80.

[12] 代堂刚.渔洞水库氮磷趋势分析[J].水资源研究,2008,29(3):29-30.

[13] 崔莉凤,游亮,黄振芳,等.北京城区水华发生氮磷比变化趋势及原因分析[J].环境科学与技术,2007,30(10):47-49.

[14] 王云波,谭万春.水源蓝藻暴发的原因分析及水质安全保障措施[J].中国农村水利水电,2008(5):37-40.

[15] XIE Li-qiang ,XIE Ping ,LI Si-xin ,et al. The low TN :TP ratio , a cause or a result of Microcystis Blooms[J]. Water Res , 2003 ,37 :2073-2080.

[16] HUBER A L. Nodularia (Cyanobacteriaceae) akinetes in the sediments of the Peel-Harvey Estuary ,Western Australia : potential inoculum source for Nodularia blooms[J]. Appl. Environm. Microbiol ,1984 ,47 :234-238.

(下转第 41 页)