

太湖宜兴近岸水域‘湖泛’现象初析

陈荷生

(水利部太湖流域水资源保护局,上海 200434)

摘要 针对太湖西北部宜兴近岸带 2008 年 5 月 26 日至 6 月 9 日出现‘黑水团’、水体浑浊黑臭的问题,分析其产生的原因,采用实时调查监测等手段,获取水文气象与水动力和湖体水生态环境等资料信息。分析结果表明,‘黑水团’是水体中水-土界面耗氧性有机物在厌氧环境背景、微生物及细菌作用下发生强烈生化反应后呈现的生态灾变现象,称为‘湖泛’。其物质源以重污染底泥、沉积于水-土界面的藻类等生物、高浓度富含营养盐的悬浮物为主。最后提出控源减污、生态清淤、加快新孟河调水工程建设以及加强动态监测和‘湖泛’发生机理研究等建议。

关键词 太湖水域 黑水团 重污染沉积物 湖泛

中图分类号 X522

文献标识码 A

文章编号 1006-7647(2011)04-0033-05

Black water aggregation in Yixing inshore water area of Taihu Lake//CHEN He-sheng(*Taihu Lake Basin Water Resources Protection Bureau of MWR and NEPA, Shanghai 200434, China*)

Abstract : From May 26 to June 9, 2008, black spots and muddy and black-odor water occurred in Yixing inshore water area of northwestern Taihu Lake. The relevant causes were analyzed. The hydrometeorological, hydrodynamic and water ecological environment data were obtained by means of the real-time monitoring. The analytic results indicate that the black spots are considered as the eco-cataclysm caused by strong biochemical reaction of aerobic organic matters of water and water-sediment interface with microbe under anaerobic condition, which is called black water aggregation (BWA). These aerobic organic matters mainly include heavily polluted sediment, algae at the water-sediment interface and high-density nutrient suspension. Some suggestions were proposed as follows: control of pollution sources, ecological dredging, acceleration of construction of new Menhe River project and strengthening of dynamic monitoring and studies on the mechanism of BWA.

Key words : Taihu Lake water area; black spot; heavily polluted sediment; black water aggregation

2008 年 5 月 26 日至 6 月 9 日,太湖宜兴近岸水域发生‘黑水团’现象。江苏省水利厅和其他相关部门组织专家进行现场调查勘察,跟踪动态监测,综合气象、水文水动力、水质及富营养化参数,湖泊底泥特征和污染状况监测和分析,获取到‘黑水团’暴发全过程的实时监测信息,初步判定为‘湖泛’现象,为政府和有关部门拟定应急预案,并采取相应对策措施,提供了科学依据。

1 “黑水团”现象和时空分布

1.1 “黑水团”的表象

“黑水团”的颜色为灰褐色,水体浑浊,与邻近水体有清晰的界限,气味类似下水道恶臭和硫化氢或烂白菜的混合气味。湖水面时有气泡冒出(CH_4 , H_2S 等),气泡上泛时掀起较高浓度的混浊悬浮物质。湖面可见死

亡底栖生物残体,如死鱼等湖鳅类底栖生物。

1.2 “黑水团”发生的区域和面积变化

2008 年 5 月 26 日太湖宜兴近岸水域的周铁段、大浦口段 2 个水域发生大面积‘黑水团’,主要集中于太湖周铁段水域。“黑水团”面积从 $3.0 \sim 16.8 \text{ km}^2$ 不等,平均面积为 10.2 km^2 ,超过平均值的天数为 5 d,最大面积出现于 6 月 1 日,最小面积出现于 5 月 30 日。其中周铁段水域在 5 月 26 日至 6 月 4 日,“黑水团”现象一直存在,面积从 $2.49 \sim 12.50 \text{ km}^2$ 不等,平均面积为 7.7 km^2 ,最大值出现在 6 月 1 日,最小值出现于 5 月 30 日。大浦口段水域在 5 月 26 日至 6 月 4 日之间有 6 d 出现了“黑水团”现象(5 月 31 日、6 月 2—4 日未见‘黑水团’污染现象),面积从 $0.51 \sim 6.23 \text{ km}^2$ 不等,平均面积为 4.1 km^2 ,最大值出现在 5 月 27 日,最小值出现于 5 月 30 日。

2 “黑水团”暴发期环境状况监测和调查

2.1 环湖风速风向

据环湖 7 个水文自动监测站(西山、瓜泾口、沙墩港、太浦河入口、大浦口、夹浦、小梅口)成果分析,2008 年 5 月 25 日以来,风向不定,变化频繁,平均风速为 2.7 m/s。“湖泛”发生期呈微风条件。

2.2 气温和水温

太湖周铁段和大浦口段水域气温为 20~30℃,水温为 23~26℃。

2.3 水质分析

2.3.1 湖泛区水质分析

2008 年 5 月 26 日至 6 月 4 日期间,太湖西岸北段宜兴近岸水域湖泛区水质综合类别全部为劣 V 类,污染严重,呈明显“四高一低”(COD_{Mn},TP,TN,NH₃-N 高,DO 低)。DO 质量浓度在 0.1~2.8 mg/L 之间(V 类水标准为 2 mg/L),平均值为 0.9 mg/L,单项评价除 6 月 2 日水质为 V 类外,其余时段全部为劣 V 类;COD_{Mn} 质量浓度在 14.1~23.2 mg/L 之间(V 类水标准为 15 mg/L),平均值为 17.3 mg/L,单项评价除 5 月 30 日、6 月 3 日水质为 V 类外,其余时段全部为劣 V 类;COD_{Cr} 质量浓度在 71.0~126.0 mg/L 之间(V 类水标准为 40 mg/L),平均值为 103 mg/L,单项评价水质全部为劣 V 类;TP 质量浓度在 0.350~0.907 mg/L 之间(V 类水标准为 0.2 mg/L),平均值为 0.642 mg/L,单项评价水质全部为劣 V 类;NH₃-N 在 2.91~8.88 mg/L 之间(V 类水标准为 2 mg/L),平均值为 7.39 mg/L,单项评价水质全部为劣 V 类;TN 质量浓度在 8.67~12.60 mg/L 之间(V 类水标准为 2 mg/L),平均值为 10.8 mg/L,单项评价水质全部为劣 V 类(表 1)。

表 1 太湖宜兴近岸水域湖泛区水质监测结果 mg/L

日期	主要水质指标					
	DO	COD _{Mn}	COD _{Cr}	TP	NH ₃ -N	TN
05-26	0.1	15.6	107.0	0.750	7.01	10.40
05-27	0.5	23.2	113.0	0.510	8.88	12.60
05-28	1.7	16.7	120.0	0.350	8.39	11.60
05-29	0.9	15.1	101.0	0.560	2.91	7.86
05-30	1.4	14.5	126.0	0.540	5.85	8.56
05-31	0.3	17.7	113.0	0.827	8.66	11.80
06-01	0.3	22.0		0.907	6.93	12.30
06-02	2.8	15.4	75.2	0.741	8.02	11.70
06-03	0.2	14.1	71.0	0.642	6.46	9.67
06-04	1.0	12.7	75.4	0.474	5.24	8.67

2.3.2 与2007年蓝藻暴发时锡东水厂水质对比分析

2008 年 5 月 26 日至 6 月 4 日宜兴湖泛区水质监测结果与 2007 年 5 月底至 6 月初贡湖南泉水厂取水口以东 1.5 km 处“黑水团”相比(表 2),水质污

染更为严重,“四高一低”现象更为明显 DO 降低 6.0 mg/L,COD_{Mn},TP,NH₃-N,TN 等指标变差,分别上升 13.6 mg/L,0.494 mg/L,6.08 mg/L,7.22 mg/L。

表 2 太湖宜兴近岸水域湖泛区与

地 点	锡东水厂水质监测结果对比				
	DO	COD _{Mn}	TP	NH ₃ -N	TN
宜兴湖泛区	0.9	16.9	0.625	7.18	10.80
锡东水厂	6.9	3.3	0.131	1.10	3.58

3 原因分析

a. 太湖西部水体污染严重并呈增长和积累趋势是“湖泛”暴发的根源。据近 10 年环太湖的水质水量监测资料分析,1998—2007 年环太湖湖西地区年均入湖水量为 47.7 亿 m³,占环湖入湖水量的 51.9% 湖西地区主要入湖河流是环太湖入湖河流中污染最重的,湖西地区主要入湖河流的 NH₃-N,TP,TN 平均质量浓度分别为 3.02 mg/L,0.249 mg/L,5.16 mg/L;2006—2007 年主要入湖河道的 NH₃-N,TP,TN 平均质量浓度分别是 1998—2007 年的 1.45 倍、1.20 倍和 1.29 倍。可以看出 1998—2007 年主要入湖河道的 NH₃-N,TP,TN 质量浓度值及入湖污染量有逐年增加的趋势,质量浓度值年增长率分别为 10.4%,0.73%,7.7%,入河量年增长率分别为 11.9%,2.7%,8.7%,见表 3。

表 3 历年太湖湖西区污染物质量浓度及入湖量结果

年份	水量/ (亿 m ³ ·a ⁻¹)	质量浓度/(mg·L ⁻¹)			排污量/(t·a ⁻¹)		
		NH ₃ -N	TP	TN	NH ₃ -N	TP	TN
1998	46.0	1.25	0.171	2.88	5747	786	13241
1999	37.0	1.83	0.338	3.73	6763	1249	13785
2000	55.3	2.95	0.287	4.81	16323	1588	26614
2001	40.1	2.93	0.242	4.78	11742	970	19155
2002	52.2	2.83	0.215	5.26	14770	1122	27453
2003	57.2	3.94	0.240	5.73	22556	1374	32804
2004	41.6	2.64	0.181	5.11	10982	753	21257
2005	48.1	3.03	0.212	6.01	14581	1020	28921
2006	45.3	4.68	0.294	6.91	21189	1331	31286
2007	54.1	4.09	0.306	6.39	22130	1656	34574

b. 湖盆底泥污染和 N,P 释放是“湖泛”发生的基础与诱因之一。“湖泛”暴发区位于由大浦口、茭泾港向东北至金墅港和由沉浜港向东北至漫山湖 2 个底泥蓄积带的交汇区。底泥上部有厚度不等、湿密度为 1.2~1.3 g/cm³ 的淤泥,是入湖营养盐长期沉淀的富集区,污染严重,表层底泥中的有机质质量分数平均为 1.77%,TP 质量分数平均为 0.099%,TN 质量分数平均为 0.104%^[1-3]。这次“湖泛”分布的水域与太湖西部湖区北段流泥和淤泥集中的位置基本一致,流泥和淤泥集中区域的污染物是“湖泛”发生的直接物质来源。

重污染底泥中的污染物向水体的释放是“湖泛”发生的诱因之一,N,P 释放强度与上覆水体水质、底泥特征与污染状况、温度、水动力学条件、底栖生物,特别是微生物和细菌、氧化还原环境以及 DO,pH 等有关。湖西区殷村港口 TN,TP 释放强度分别为 33.7 mg/(m²·d)和 7.84 mg/(m²·d),温暖期底泥总体上呈强释放状态^[4-5]。

湖盆水-土界面是“湖泛”发生的生态载体和基底,重污染底泥区的高含量耗氧性有机污染物是主要的生物质源和物质基础(所谓泥源性),一般情况下易发生“湖泛”现象。

c. 湖西区北段蓝藻频发和聚集区域蓝藻残体是“湖泛”的主要生物质源。太湖西北部湖区水体污染严重,呈富营养水体,是蓝藻的高发区。同时,受夏季盛行主导风向作用,太湖产生的蓝藻在风力驱动下向湖西区北段聚集,是藻类集聚区域^[5-6]。大量蓝藻就地残败死亡,沉积堆聚于表层底泥,成为污染物和发生“湖泛”的主要生物质源(所谓藻源性)。在湖体柱状采样时,可见水土界面上有 7~15 cm 的类絮状似半胶体含高营养盐的物质^[7-8]。

d. 上覆水体中富含有机污染的悬浮物是“湖泛”的主要物质源之一。根据濮培民及近期学者的研究^[4,9],太湖悬浮物中有机质的质量分数远高于底泥表层中的质量分数,水中悬浮物中有机质质量分数表层为 27.3%~69.1%,中部为 26.1%~48.4%,底层为 27.8%~28.9%,并呈夏季大于冬季、表层高于底层的特点^[10]。“湖泛”发生期的高浊度现象表明,悬浮物中高营养盐质量分数的有机质是“湖泛”发生源的物质重要供给者之一,参与了生化反应过程^[11-12]。

e. 微生物和细菌作用。“湖泛”不仅是水-土界面的物-化释放机理作用,高耗氧性物质在特定环境条件下形成的有机微粒(核体),在特定微生物区系或细菌向营养性物质聚集和作用下,发生强烈的生化反应^[11-12],并呈聚裂变性变异,呈现突发性暴发。发生区域的多变不定性,微生物和细菌是关键因子,亟待深化机理研究和探索。目前机理和生态动力学成因尚不清晰。

4 “湖泛”现象分析

4.1 “湖泛”的基本定性

呈富营养湖泊水体,在高温闷热晴好天气(春末、盛夏、秋初)水体污染严重(TN,TP,NH₃-N,COD,Chl-a,SS 质量分数较高,DO 质量分数低),水-土界面有机污染严重(呈正释放过程),底泥及水-土界面(物质与能量异常作用区域)中耗氧性有机质在微生

物和细菌作用下,发生强烈的生化反应,导致水体呈黑褐色,透明度低,溶解氧耗尽,并产生刺激臭味^[13-14],有 CH₄,H₂S,NH₃ 等气体逸出(气泡冒出时掀动悬浮物泛出),水面时有漂浮底栖生物死亡残体(如湖鳅等),湖体中发生的特有现象称为“湖泛”。其边界相对清晰,发生面积比蓝藻水华暴发面积小,但呈突发性、灾害性、飘移性和影响严重性。其发生反应属强烈生化反应类,发生机理复杂^[13,15-16]。

4.2 “湖泛”现象发生的机理和过程

“湖泛”现象发生的机理和过程如图 1 所示。

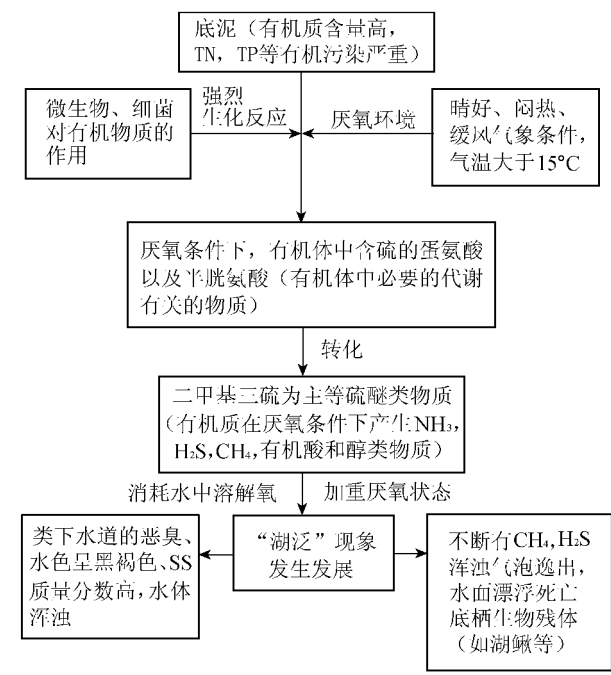


图 1 “湖泛”现象发生的机理和过程

注 ①H₂S 是强氧化物质,同时与水体藻类等有机物作用,杀死藻类并与死亡藻类残体作用,更加重“湖泛”恶臭气;②一般在强“湖泛”现象湖区,少见本湖区产生的藻类漂浮,有的也大部分是风力富集到该湖区。

4.3 “湖泛”与蓝藻暴发堆积污染特征对比分析

a. 发生条件相似:高温闷热晴好天气(春末-盛夏-秋初),水体污染严重,TN,TP,COD,NH₃-N 质量分数高,达中-富(或异富)营养程度,底泥污染重,呈正释放过程,微风,水流滞缓。

b. 差异点 ①“湖泛”发生在耗氧性有机物及生物质源富集区,厌氧环境,呈爆发性、飘移不定性、范围有限性,边界较清晰,原地和低水位条件;蓝藻易在水体呈中-富营养及 N,P 质量分数高的水体中增殖暴发,与水位无明显线性关系,发生面积大,Chl-a 质量分数高。②藻类一般在水体污染重、呈中-富营养水域发生发展,也有风及湖流功力驱动的富聚;“湖泛”一般发生在水体中耗氧性有机物含量高、物质及能量异常的湖区。③湖泛区呈黑褐色水体,混浊,透明度低,发出类下水道的刺激臭味,黑臭指数

高^[13] 有 CH_4 , H_2S , NH_3 等气泡逸出,水面漂浮底栖动物死亡残体,边界相对清晰,发生面积相对较小。蓝藻暴发堆积面积大,湖面飘浮绿色油漆状黏着蓝藻集合体,边界不清,漂浮物随气温、光照上下浮动,草腥味为主,死亡后呈灰黄略带白色,有生物腐败臭味^[17]。

4.4 “湖泛”与底泥释放二次污染特征的异同性分析

a. 共同特性:高温晴好闷热天气(春末-夏季-秋初),水体有机污染严重,TP, TN, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量分数高的湖区。

b. 差异性:①“湖泛”产生的恶臭并非完全是藻类的代谢物,污染底泥及水-土界面、悬浮物中耗氧性有机物、在微生物和细菌作用下强烈生化反应的衍化物也产生污染水体的臭味。“湖泛”与底泥释放有一定的关联,但是不同类型的问题(机理、特性、驱动力、表象),底泥释放可以是常态现象,而“湖泛”发生的时间相对较短,呈突发性。②底泥释放后果仅污染水质,加重富营养程度;“湖泛”严重污染水环境,有生物毒害和异臭味,在水厂中难以消除,对水生态环境和人类负面影响程度和危害性更大,“湖泛”是湖泊生态问题的重症^[14]。③底泥释放是重污染底泥的营养盐在水-土界面的物质交换和能量流动,驱动力是界面浓度差和分子热运动,是有条件的物-化过程;“湖泛”呈典型生-化反应特征。底泥释放营养盐,无外观及嗅味的明显变化;“湖泛”导致水质、水色、嗅味、浊度的变化,湖面漂有死亡底栖生物残体,反应后的生成物或衍生物复杂。

5 建议

5.1 控污治污

由于太湖水污染治理滞后于流域经济增长,增长方式尚没有根本转变,边治理、边污染的现象仍然存在。总体而言,流域整体水环境质量尚未得到有效控制,河网水质超标,水污染问题突出,湖泊富营养化严重。抓紧太湖污染源治理已经迫在眉睫,刻不容缓。必须强化绿色流域建设,控源减污,从源头上减少污染,改善入湖河流水质,强化太湖内源污染控制与治理,特别是西部及西北部湖湾富营养化的规模性生态工程(陆域和水域)治理是根本和前提^[7,14,17]。

5.2 生态清淤

加快对太湖宜兴近岸水域生态清淤的进程,降低该水域内源污染负荷,控制底泥释放二次污染。重污染底泥的生态疏浚一方面可清除区域内污染严重的流泥和底泥,另一方面也可清除水-土界面的浮

泥和沉淀的活体或死亡的蓝藻残体(生物质源的清除),以减轻“湖泛”的危害程度,减少暴发频率。2008年“黑水团”事件爆发后宜兴近岸水域采取了应急生态疏浚,实践证明生态疏浚对遏制“湖泛”有一定实效^[17-19]。

5.3 加快新孟河调水工程建设

针对太湖目前的实际情况,尤其是太湖蓝藻水华频发的状况,在强化水污染防治的同时,更要加快建设新孟河工程,形成新的引江调水通道,实现长江与太湖之间的大引大排,既能满足太湖日益增长的水资源需求,又能更大程度地增加太湖的水环境容量和改善水文水动力条件^[7]。在“湖泛”发生时,也可作为应急措施,开泵(开闸)引清释污,改善水动力条件,阻断其发生链,扰阻其发生生境和环境条件,有效减轻影响,遏制“湖泛”的发生。

5.4 加强动态监测和“湖泛”发生机理研究

研发“湖泛”现象的评价参数和风险评估方法及预测预警技术,建立原位定点监控与动态巡测相结合、3G和3S技术以及在线自动站连续的监视体系,获取发生时的特征水质、生态环境与藻华数据样本,建立监控决策平台^[17-18]。

探索“湖泛”形成的物源、能源和动力基础、水文气象和关键特征参数,研究“湖泛”发生和发展的气象、水文、生态环境、微生物与细菌等相互耦合关系和抗诘,研发阻控、遏制、消减以及预警等应急技术。

6 结 语

2008年太湖宜兴近岸水域发生的“湖泛”现象给人们警示:太湖流域水污染防治亟须加强,控污减排是核心,陆域治理是关键。太湖的富营养化综合防治和蓝藻水华更应加大规模化、连片化治理^[15]。“湖泛”是太湖新近发生的生态灾变现象,其危害甚于蓝藻水华,应加强发生机理研究,建立预警预报体系。

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] 袁旭音,陈骏,季峻峰.太湖沉积物和湖岸土壤的污染元素特征及环境变化效应[J].沉积学报,2002,20(3):427-434.
[3] 邓建才,陈桥,翟水晶.太湖水体中氮、磷空间分布特征及环境效应[J].环境科学,2008,29(12):3382-3386.
[4] 秦伯强,胡维平,陈伟民.太湖水环境演化过程与机理[M].北京:科学出版社,2004.
[5] 范成新,张路,包先明,等.太湖沉积物-水界面生源要素迁移机制及定量化[J].湖泊科学,2004,16(1):10-20.

- [6] 蔡后建,陈伟民. 微囊藻水华的飘移和沉降对太湖环境的影响[M]. 北京:气象出版社,1998.
- [7] 陈荷生. 太湖湖内污染控制理念与技术[J]. 中国水利, 2006(9): 23-26.
- [8] 谢平. 太湖蓝藻的历史发展与水华灾害[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [9] 濮培民,王国祥,胡春华,等. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗?[J]. 湖泊科学,2009,21(3): 269-278.
- [10] 张运林,秦伯强,陈伟民. 太湖水体中悬浮物研究[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(3): 266-271.
- [11] 秦伯强,胡维平,张金善. 太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念性模式[J]. 科学通报,2003,48(17): 1822-1831.
- [12] 范成新,张路. 太湖沉积物污染与修复原理[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [13] 沈培民,陈正夫,张东平. 恶臭的评价与分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [14] 李勇,张晓健,陈超. 我国饮用水中嗅味问题及其研究进展[J]. 环境科学,2008,30(2): 583-588.
- [15] 张晓健,张悦,王欢,等. 无锡自来水事件的城市供水应急除臭技术[J]. 给水排水,2007(9): 7-12.
- [16] 王建伟,李宗来. 无锡市饮用水嗅味突发事件致嗅原因及潜在问题分析[J]. 环境科学学报,2007,27(11): 1771-1777.
- [17] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 太湖梅梁湾 2007 年蓝藻水华形成及取水口污水团成因分析与应急措施建议[J]. 湖泊科学,2007,19(11): 357-368.
- [18] 秦伯强,王小冬,汤祥明,等. 太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机原因与对策[J]. 地球科学进展, 2007,22: 896-906.
- [19] 钟继承,范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学,2007,19(1): 1-10.

(收稿日期 2010-10-13 编辑 方宇彤)

(上接第 7 页)

性蓄水期间,对库区地震、地质灾害、生态与水环境、泥沙冲淤、城镇以及居民点住房及交通道路桥梁等设施进行周密的监测,并对枢纽建筑物进行安全监测及水轮发电机组进行试验。监测成果表明:各枢纽建筑物变形、渗流、应力应变符合正常规律,监测值均小于计算值,建筑物工作性态正常,运行安全;库区地震 99.9% 都是低于 3 级的微震和极微震,实测最大震级 4.1 级,低于设计预计的 5.5 级;试验性蓄水过程中库岸再造所出现的问题均在设计范围之内,且已渐趋稳定,符合水库蓄水的库岸再造规律。三峡工程蓄水至设计水位 175.0 m 进入正常运行期后,对枢纽建筑物、水库泥沙、库区移民设施、地质地震灾害及水环境仍需加强监测,发现问题及时处理,以防患于未然,确保工程安全运行及长期使用,全面发挥综合效益,保长江安澜,沿岸城乡构建和谐社

参考文献:

- [1] 长江水利委员会. 长江治理开发保护 60 年[M]. 武汉:长江出版社,2009.
- [2] 潘家铮. 中国三峡工程[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1999.
- [3] 长江水利委员会. 长江三峡水利枢纽初步设计报告(枢纽工程)[R]. 武汉:长江水利委员会,1992.
- [4] 长江水利委员会. 长江三峡工程可行性研究报告[R]. 武汉:长江水利委员会,1983.
- [5] 长江水利委员会. 三峡工程论证及可行性研究阶段性评估设计工作汇报材料[R]. 武汉:长江水利委员会, 2008.

(收稿日期 2010-01-27 编辑 高建群)

(上接第 19 页)

- [2] 周君亮. 关于南水北调东线工程的建议[C]//中国工程院第四次院士大会学术报告汇编. 北京:中国工程院, 1998: 269-277.
- [3] 周君亮. 对南水北调工程规划布局的意见[J]. 科技导报,2002(5): 6-10.
- [4] 周君亮. 南水北调规划布局商榷[C]//陈吉余. 南水北调(东线)对长江口生态环境影响及其对策. 上海:华东师范大学出版社,2001: 1-7.
- [5] 周君亮. 关于淮河入海水道工程[J]. 江苏水利,2001(2): 8-9.
- [6] 周君亮. 中国水利可持续发展[J]. 中国水利,2000(8): 35-37.
- [7] 周君亮. 洪泽湖与淮河下游的关系[J]. 河海大学学报:自然科学版,2006,34(S2): 1-8.
- [8] 王御华,恽才兴. 河口海岸工程导论[M]. 北京:海洋出版社,2004.
- [9] 严恺. 中国海岸工程[M]. 南京:河海大学出版社,1992.
- [10] 薛鸿超. 海岸及近海工程[M]. 北京:中国环境科学出版社,2003: 128.
- [11] 陈吉余. 中国河口海岸研究与实践[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [12] 窦国仁. 潮汐水流中悬沙运动及冲淤计算[J]. 水利学报,1963,7(4): 13-24.
- [13] 刘凌,常木春,毛媛媛,等. 里下河地区主要通海通道冲淤保港生态需水量研究[C]//江苏省水利厅. 江苏省沿海闸下通道淤积防治对策研究论文集. 北京:海洋出版社,2007.
- [14] 王学功,王久晟,张波. 淮河与洪泽湖分离方案比较[J]. 水利水电科技进展,2011,31(1): 1-7.

(收稿日期 2011-01-27 编辑 高建群)