

三峡水库蓄水前后干流总磷浓度比较^{*}

娄保锋¹, 印士勇¹, 穆宏强², 张 翔³

(1: 长江流域水环境监测中心, 武汉 430010)

(2: 长江流域水资源保护局, 武汉 430010)

(3: 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

摘 要: 为认识三峡工程蓄水对水库总磷浓度的影响, 于蓄水前(1998–2002年)和蓄水后(2004–2009年)每月对三峡水库干流5个断面总磷浓度进行监测并对数据进行分析。结果表明, 同蓄水前相比, 蓄水后水库近坝水体总磷浓度显著降低, 至2009年, 巴东官渡口断面和坝上太平溪断面总磷浓度比蓄水前分别下降了42.8%和54.9%; 蓄水后年内总磷浓度虽然仍是丰水期>平、枯水期, 但是越近大坝, 这种水期差别越小; 蓄水后, 库区干流总磷浓度整体上表现为从库尾至库首沿程下降, 从涪陵下游的清溪场断面至坝上太平溪断面, 总磷浓度下降幅度约61%–65%, 尤以丰水期沿程下降最为突出。总磷浓度以上变化特征主要是由于库区水位抬高后, 流速减小导致的泥沙沉降。

关键词: 水电工程; 三峡水库; 总磷; 蓄水

Comparison of total phosphorus concentration of Yangtze River within the Three Gorges Reservoir before and after impoundment

LOU Baofeng¹, YIN Shiyong¹, MU Hongqiang² & ZHANG Xiang³

(1: *Yangtze Valley Water Environmental Monitoring Center, Wuhan 430010, P. R. China*)

(2: *Yangtze Valley Water Resource Protection Bureau, Wuhan 430010, P. R. China*)

(3: *State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China*)

Abstract: In order to study the impact of the Three Gorges Project on concentration of total phosphorus (TP), TP concentration of five sections in Yangtze River within the Three Gorges Reservoir was monitored monthly between 1998 and 2009 (impoundment began in 2003). Results showed that there have appeared new characteristics in spatial and temporal distribution of TP concentration after impoundment. TP concentration of water column near the dam decreased significantly comparing with that before impoundment. For example, the average TP concentration of Guandukou section and Taipingxi section in 2009 decreased by 42.8% and 54.9% than that before impoundment, respectively. TP concentration in wet season was still higher than that in even and dry seasons. Nearer the dam, smaller difference was observed between values in different seasons. After impoundment TP concentration declined from the tail to the head of the reservoir, and it decreased by 61%–65% from Qingxichang section (in the downstream of Fuling) to Taipingxi section (near the dam). The decrease was prominent especially in wet season. The reason for changes of TP concentration mentioned above was mainly due to sedimentation of sand in the reservoir, which resulted from water level increased and the velocity decreased.

Keywords: Hydropower project; Three Gorges Reservoir; total phosphorus; impoundment

湖泊、水库富营养化问题是一个世界性难题。在引起富营养化的营养物质中, 磷是多数淡水水体中藻类生长的限制性因子。国际上一般认为水体总磷浓度超过0.02 mg/L, 总氮浓度超过0.2 mg/L时, 易发生富营

^{*} 水利部公益性行业科研专项项目(200901013)、国家自然科学基金项目(71073115)和国家重大水专项项目(2009ZX07104-001)联合资助。2010-11-30 收稿; 2011-05-06 收修改稿。娄保锋, 男, 1968年生, 博士, 高级工程师; E-mail: lbfsdlc@126.com.

养化. 所以总磷在水质评价中占有重要地位,及时对水体中总磷浓度进行监测,了解其变化情况至关重要. 三峡工程是举世瞩目的大型水电工程,其对长江水环境质量的影响一直备受关注. 1992 年国家环境保护局审查和批准了《长江三峡水利枢纽环境影响报告书》,报告书全面分析了三峡工程对生态和环境的有利和不利影响. 根据报告书,水库蓄水后,流速减小,水深加大,水库对氮、磷等元素具有一定拦截作用,但未预测蓄水后具体浓度变化. 至今三峡工程已基本完工,依次进行了 135 m 蓄水(2003 年 6 月 1-10 日)、156 m 蓄水(2006 年 9 月 20 日至 10 月 27 日)和试验性蓄水(2008 年 9-11 月,2009 年 9-11 月),从初次蓄水至 2009 年底已有 6 年时间. 蓄水后,支流回水段和库湾多次发生水华^[1-3],而且支流回水区的水华表现为明显的磷限制特征^[4-5]. 干流和支流回水区存在着水的交换^[6-7],而且库区支流富营养化主要发生在支流回水区,所以库区干流磷元素含量对库区支流富营养化和水华影响的研究具有重要意义.

经查阅相关文献,未见关于三峡水库蓄水前后磷含量的对比研究. 相关研究包括冉祥滨等^[8]对蓄水前后入库和出库总磷负荷的计算,戴润泉等^[9]对蓄水前三峡水库水质的分析,王彻华等对^[10]蓄水前后库区干流水质类别的比较. 鉴于此,本文对蓄水前(1998-2002 年)和蓄水后(2004-2009 年)库区干流总磷浓度的变化情况进行研究,以分析三峡工程修建对库区总磷含量的影响.

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源

本文所用数据来自长江水利委员会 1998-2009 年的监测结果,监测频率为每月一次,断面参数值为断面各测点均值,年度均值为 12 个月份参数值的均值. 悬浮物(SS)测定方法:GB11901-89;总磷(TP)测定方法:钼酸铵分光光度法(GB11893-89)(过硫酸钾消解). 水样采集后,保持原水样(称为浑样)进行 TP 预处理.

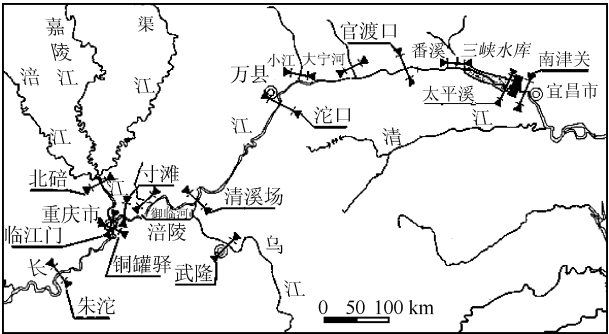


图 1 三峡库区水质监测断面示意图
Fig. 1 Water quality monitoring sections in the Three Gorges Reservoir area

1.2 断面选择和分布

水质分析空间范围为库区干流,从库尾至库首共选取寸滩(重庆城区下游)、清溪场(涪陵城区下游)、沱口(万州城区上游)、官渡口(巴东城区上游)、太平溪(坝上)五个断面(图 1)进行监测.

1.3 时段划分

除去蓄水实施年份 2003 年、2006 年和 2008 年,将不同的实际运行水位所对应年份划分为四个阶段(表 1),第一、第二、第三和第四阶段分别代表蓄水前、135 m 水位运行期、156 m 水位运行期和 172 m 水位运行期. 2009 年秋季的蓄水,其最高水位没有超过 2008 年最高蓄水位 172.8 m.

表 1 三峡水库不同水位运行代表时段

Tab. 1 Phases corresponding to different water levels of the Three Gorges Reservoir

阶段	回水末端	实际运行水位(m)		
		1-5 月	6-9 月	10-12 月
第一阶段(1998-2002 年)			约 60-90	
第二阶段(2004-2005 年)	涪陵	136-139	135-138	135-139
第三阶段(2007 年)	铜锣峡口	145-155	144-146	146-156
第四阶段(2009 年)	重庆主城区	150-169	145-157	158-171

另外,本文中,年度内长江丰水期指6-9月,平水期指4、5、10、11月,枯水期指1-3、12月。

1.4 数据处理

用Excel软件进行数据统计和处理。

2 结果

2.1 同一断面蓄水前后浓度比较

2003年135 m蓄水后至2009年,近坝段水域悬浮物浓度和总磷浓度显著下降。对每个断面总磷浓度及对其有重要影响的悬浮物浓度^[11]蓄水前后的差别进行显著性检验(表2),可见官渡口断面和太平溪断面总磷浓度蓄水前后具有显著差别,而且蓄水后浓度减小,太平溪断面P值小于官渡口断面,说明太平溪断面蓄水后总磷浓度下降幅度大于官渡口断面。悬浮物浓度也具有类似特点。蓄水后,万州沱口断面、巴东官渡口断面、坝上太平溪断面悬浮物浓度比蓄水前显著降低。

表2 蓄水前后水质参数浓度差别的显著性检验*

Tab. 2 Significance test to differences between concentrations before and after impoundment

参数	寸滩			清溪场			沱口			官渡口			太平溪		
	P 值	蓄水前	蓄水后	P 值	蓄水前	蓄水后	P 值	蓄水前	蓄水后	P 值	蓄水前	蓄水后	P 值	蓄水前	蓄水后
总磷	0.32	0.20	0.25	0.20	0.21	0.28	1.00	0.23	0.23	0.04	0.18	0.13	0.00089	0.25	0.08
悬浮物	0.12	361	295	0.55	311	285	0.0029	334	214	0.0071	480	139	0.00082	366	52

* 蓄水前年份为1998-2002年,蓄水后年份选择2004年、2005年、2007年、2009年;总磷和悬浮物浓度单位均为mg/L;显著性水平α为0.05。

如果将1998-2002年的浓度值作为背景值,则135 m蓄水后的2004-2005年,巴东官渡口和坝上太平溪断面总磷浓度分别下降了约19.9%和59.6%,而随着蓄水位的继续升高,官渡口断面总磷浓度继续下降,实现172 m蓄水位后的2009年,官渡口断面和太平溪断面总磷浓度比135 m蓄水前减小的比例分别为42.8%和54.9%(图2a)。从万州沱口至大坝的干流水域悬浮物浓度大幅下降,而且离大坝越近,下降幅度越大,万州沱口、巴东官渡口、坝上太平溪断面悬浮物浓度分别下降了约32.9%、70.9%、85.9%,而随着蓄水位的继续升高,三个断面悬浮物浓度变化不大,实现172 m蓄水位后的2009年,三个断面悬浮物浓度比135 m蓄水前减小的比例分别为43.3%、77.3%、90.4%(图2b)。

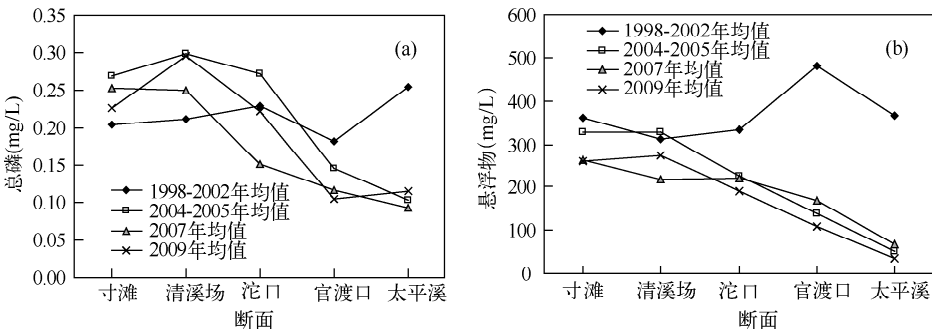


图2 库区干流浑样总磷浓度(a)和悬浮物浓度(b)四个阶段变化情况

Fig. 2 TP(a) and suspended solids(b) concentrations of initial samples of Yangtze River within the Three Gorges Reservoir in four phases

2.2 年内浓度随水期的变化特点

蓄水后2004-2009年间各年度水期特征基本一致,用2009年情况为代表,无论是蓄水前,还是蓄水后,都表现出总磷浓度丰水期>平水期>枯水期(图3a,b),但蓄水后呈现出新的特点,一是越近库首,丰水期和

其它水期之间的总磷浓度差别越小,二是蓄水后平水期和枯水期之间的总磷浓度差别变小,尤其是近大坝水域. 悬浮物浓度水期特征与总磷具有高度相似性(图3c,d).

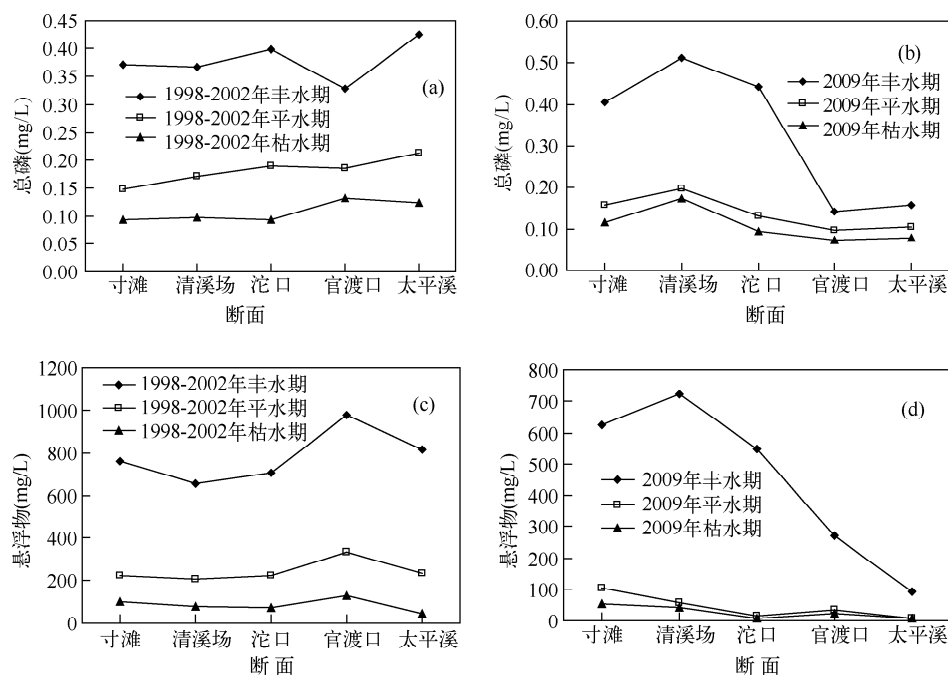


图3 库区干流浑样总磷和悬浮物浓度在蓄水前(1998-2002年)(a,c)和蓄水后(以2009年为代表)(b,d)的水期特征

Fig. 3 TP and SS concentrations of initial samples in different periods before impoundment (1998-2002) (a, c) and after impoundment (2009 regarded as a representative year) (b, d)

2.3 浓度沿程变化特点

135 m 蓄水后直到2009年,总磷浓度表现为从库尾至库首沿程明显降低(图2a),2004-2005年135 m 水位运行期,从清溪场断面至太平溪断面,总磷浓度由0.298 mg/L下降为0.103 mg/L,下降幅度为65.4%;2007年156 m 水位运行期,从清溪场断面至太平溪断面,总磷浓度由0.250 mg/L下降为0.093 mg/L,下降幅度为62.8%;2009年172 m 水位运行期,从清溪场断面至太平溪断面,总磷浓度由0.295 mg/L下降为0.115 mg/L,下降幅度为61.0%。这种结果与悬浮物的沿程变化(图2b)也具有高度的相似性。从清溪场断面至太平溪断面,2004-2005年135 m 水位运行期,悬浮物浓度下降幅度约为84.3%;2007年156 m 水位运行期,下降幅度为68.5%;2009年172 m 水位运行期,下降幅度为87.3%。蓄水后,总磷和悬浮物浓度的沿程下降都以丰水期最为突出(图3b,d)。在135 m 蓄水前,总磷和悬浮物浓度没有表现出如此程度的沿程下降特点(图2)。

3 讨论

地表水体中磷主要以颗粒态存在^[11-15],河流水体中的总磷含量与悬浮物浓度密切相关;对三峡库区干流总磷赋存形态和悬浮物浓度的关系研究结果^[11]表明:悬浮物大于500 mg/L时,80%以上的磷以颗粒态存在。蓄水后,库区干流水位、流速等水文特征变化巨大,坝上水位蓄水前一般为60-90 m,2009年为145-171 m;巴东官渡口水域流速由蓄水前的1.0-5.3 m/s下降至蓄水后的0.1-0.9 m/s。流速减缓导致泥沙大量沉积。据《中国河流泥沙公报》,2001-2002年,大坝下游的宜昌站年均输沙量为 2.635×10^8 t/a;2008-2009年,宜昌站年均输沙量为 0.336×10^8 t/a,比2001-2002年下降约87.2%。而135 m 蓄水目标实现后至2009年,万州沱口断面悬浮物比蓄水前下降约33%-43%;巴东官渡口断面下降约65%-77%;近坝的太平

溪断面下降约 81%–90%。河流泥沙公报上所提供的蓄水后输沙量减小比例和本文计算所得悬浮物浓度下降比例可互相印证计算的可靠性。

泥沙淤积导致大量的磷发生沉降。三峡水库总磷浓度的影响因素主要包括泥沙沉降程度和磷入库量等。蓄水后作为入库断面的寸滩江段磷浓度比蓄水前并未减小(图 2a),而且该断面年径流量(中国河流泥沙公报)蓄水前后也未有明显变化,如 1991–2000 年间年径流量为 $3361 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 2004–2009 年间年径流量为 $3243 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 仅相差约 3.5%。由此可知,蓄水后泥沙沉降是总磷浓度下降的主要原因。图 3b 和图 3d 所表现的丰水期悬浮物和总磷沿程下降的相似性也可以说明这一点。

4 结论

(1) 三峡水库蓄水后,近坝水体泥沙沉降作用显著。同蓄水前相比万州沱口附近水域悬浮物浓度下降约 33%–43%;巴东官渡口附近水域下降约 65%–77%;太平溪断面代表的坝上水域下降约 81%–90%。越近大坝,泥沙沉降作用越显著;

(2) 泥沙沉降作用导致蓄水后水库近坝水域总磷浓度显著降低,至 2009 年,巴东官渡口断面和坝上太平溪断面总磷浓度比蓄水前分别下降了 42.8% 和 54.9%;

(3) 蓄水后年内总磷浓度仍然是丰水期 > 平、枯水期,但越近大坝,这种水期差别越小;

(4) 蓄水后,库区干流总磷浓度整体上表现为从库尾至库首沿程下降,从涪陵下游的清溪场断面至坝上太平溪断面,总磷浓度下降幅度约 61%–65%。

致谢:感谢长江流域水环境监测中心王英才博士为本文提出的建议,同时也感谢审稿人给予的宝贵意见。

5 参考文献

- [1] 邱光胜,涂敏,叶丹等.三峡库区支流富营养化状况普查.人民长江,2008,39(13):1-4.
- [2] 周广杰,况琪军,胡征宇等.三峡库区四条支流藻类多样性评价及“水华”防治.中国环境科学,2006,26(3):337-341.
- [3] 叶麟,徐耀阳,蔡庆华.三峡水库香溪河库湾春季水华期间硝酸盐、磷酸盐的时空分布.水生生物学报,2006,30(1):75-79.
- [4] 胡正峰,张磊,邱勤等.三峡库区长江干流和支流富营养化研究.山东农业科学,2009,12:74-80.
- [5] 李哲,方芳,郭劲松等.三峡小江回水段 2007 年春季水华与营养盐特征.湖泊科学,2009,21(1):36-44.
- [6] 张晟,宋丹,张可等.三峡水库典型支流上游区和回水区营养状态分析.湖泊科学,2010,22(2):201-207.
- [7] 冉祥滨,陈洪涛,姚庆祯等.三峡水库小江库湾水体混合过程中营养盐的行为研究.水生态学杂志,2009,2(2):21-27.
- [8] 冉祥滨,姚庆祯,巩瑶等.蓄水前后三峡水库营养盐收支计算.水生态学杂志,2009,2(2):1-8.
- [9] 戴润泉,臧小平,邱光胜.三峡水库蓄水前库区水质状况研究.长江流域资源与环境,2004,13(2):124-127.
- [10] 王彻华,刘辉,余明星等.三峡水库蓄水至 135m 库区水质变化分析与保护建议.水利水电快报,2006,27(7):24-27.
- [11] 娄保锋,臧小平,洪一平等.水样不同处理方式对总磷监测值的影响.环境科学学报,2006,26(8):1393-1399.
- [12] 李敏,韦鹤平,王光谦等.长江口、杭州湾水域沉积物对磷吸附行为的研究.海洋学报,2004,26(1):132-136.
- [13] Pant HK, Reddy KR. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. Environmental Quality, 2001, 30(4):1474-1480.
- [14] 张斌亮,张昱,杨敏.长江中下游平原三个湖泊表层沉积物对磷的吸附特征.环境科学学报,2004,24(4):595-600.
- [15] 朱广伟,秦伯强,高光.长江中下游浅水湖泊沉积物中磷的形态及其与水相磷的关系.环境科学学报,2004,24(3):381-388.