

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.01.009

白洋淀入淀流量变异程度分析

张东江, 哈建强, 史洪飞

(沧州水文水资源勘测局, 河北 沧州 061000)

摘要:为了评估白洋淀流域内水资源开发利用对湖泊水文情势的影响程度,提出以现状年环湖泊河流入湖实测月径流量与天然月径流量的差异表征入湖流量变异程度。结果表明:入湖天然径流量采用降雨径流关系法进行还原,效果较好;过度开发利用水资源,使入淀河流顺畅程度几乎全部为完全阻隔。最后提出相应的水资源利用和保护措施。

关键词:水资源;径流量;水资源变异程度;白洋淀

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2014)01-0043-05

Analysis of variation of flow into Baiyangdian Lake

ZHANG Dongjiang, HA Jianqiang, SHI Hongfei

(Cangzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Cangzhou 061000, China)

Abstract: In order to evaluate the influence of water resources utilization in the Baiyangdian Basin on the hydrological regime of the lake, it is proposed that the variation of flow into the lake be characterized by the difference between the observed monthly runoff amount from surrounding rivers into the lake in the evaluation year and the natural monthly runoff amount. The study results show that the precipitation-runoff relationship method can effectively restore the natural runoff amount into the lake, and over-exploitation of the water resources in the basin has caused most rivers that flow into the lake to be seriously obstructed. Several measures are proposed for the utilization and protection of water resources.

Key words: water resources; runoff amount; water resources variation; Baiyangdian Lake

1 白洋淀状况

白洋淀位于保定市的安新、高阳、容城、雄县和沧州市的任丘交界处,是华北地区少有的内陆淡水湖,它是由143个大小不等的淀泊和3700多条沟壕组成的湖泊群的统称。白洋淀围堤以内共有水围村36个,淀边半水围村62个^[1]。

白洋淀地处暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候区。春季干旱多风,夏季高温多雨,秋季天高气爽,冬季寒冷少雪。多年平均降水量为510.1 mm,降水量年内分配不均,年际变化较大。淀区多年平均水面蒸发量为1761.7 mm。白洋淀初冰期在11月末,冰期至翌年3月中旬,冰厚0.19~0.42 m。

白洋淀光、热、水资源丰富。20世纪60年代前,水深多为2~3 m,水质很好,适宜多种水生生物

繁殖和植物生长、农田灌溉、水产养殖、人畜饮用,浮游生物与底栖动物的种、属很多,渔、苇、粮产业及航运业均较发达。

大清河白洋淀以上流域位于海河流域的中部,流域面积为31 199 km²,其中山区面积为18 807 km²,平原面积为12 392 km²。在白洋淀淀区以上大清河分为南、北两支,1974年以前,只有南支汇入白洋淀。1974年后开挖了白沟引河,一般年份北支水量也汇入白洋淀,只有在大水年份才启用大清河分洪道分洪。该流域内地势西高东低,白洋淀处于华北平原低洼地带,淀区汇集了南、西、北三面呈扇形分布的潞龙河、孝义河、唐河、清水河、府河、瀑河、漕河、萍河、拒马河9条河流来水,然后从淀泊东面大清河经独流减河入渤海。历史上淀区蓄水主要源于上述河流洪沥水,近些年来也曾实施跨流域调水工程^[2]。

作者简介:张东江(1964—),男,高级工程师,主要从事流域水文水资源研究。E-mail:czjzhdj@163.com

2 入淀河道年径流量还原

入淀河道径流量是白洋淀水资源量的主要组成部分,它的多少以及时程变化是反应水资源健康与否的一个重要因素。

2.1 降雨径流关系的建立

2.1.1 选择雨量站点的原则

雨量站点的选择原则为:①在集水区域内分布相对均匀;②雨量观测值尽可能真实;③计算方法科学合理。基于这些原则,计算结果才能具备较好的代表性。

由于雨量站点历史上多有变动,因而在历史和现在雨量站点的选择上很难取得一致,这样就导致与真值存在一定误差,影响了计算精度;但由于站点选择得足够多,计算所得的面平均雨量可符合要求。

2.1.2 面平均雨量的计算及降雨径流关系的建立

天然径流量按照水资源调查评价相关技术规定进行还原计算。

搜集水利工程建成之前某断面集水区域上的部分雨量站点的降水量以及对应河道监测断面相应时间段的径流量 W (或 R),采用算术平均法计算面平均降水量 P ,以建立天然状态下降雨径流关系。

鉴于该水系大型水库建成时间多在 1960 年附近,因此利用 20 世纪 60 年代以前实测径流量(认为接近天然径流量)与各河道相应监测断面上游控制集水区域内平均降水量建立降雨径流相关关系;利用评估年相应的年平均降水量,通过已建立的降雨径流关系,推求出评估年各河天然径流量^[3]。

经对历史测验资料的分析,在白洋淀周边 9 条主要入淀河流中,潞龙河、唐河、漕河、清水河、瀑河及拒马河设有历史和现实一致的水文站。

拒马河仅有支流中易水 1960 年所建的安各庄水库较大,库容 3.09 亿 m^3 ,集水面积 467 km^2 ,占新盖房站集水面积的 4.67%,可以看出控制集水面积相对新盖房站较小,影响较轻,故据 1954—1980 年资料绘制新盖房站降雨径流关系图(图 1)。

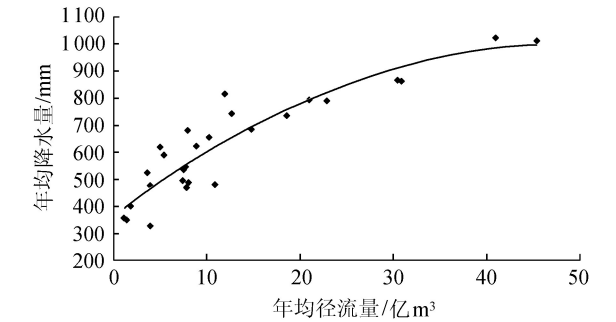


图 1 1954—1980 年新盖房站降雨径流关系

以此类推,根据 1954—1962 年汛期降水资料绘制漕河站汛期降雨径流关系图;根据 1971—1980 年资料绘制北辛店站降雨径流关系图;根据 1953—1959 年资料绘制西大洋水库站降雨径流关系;根据 1952—1961 年资料绘制北郭村站降雨径流关系图。

2.2 各站评估年(2010 年)还原后的天然径流量

根据白洋淀各入淀河道目前水文站点布设情况以及资料拥有程度,确定 2010 年为此次白洋淀水资源量健康评价工作的评估年。

a. 对于有资料的站点,通过计算 2010 年上述各水文站相应监测断面以上集水区域内的面平均降水量,然后查各自站点相应降雨径流关系图后得到 2010 年天然径流量。经计算,2010 年各站面平均雨量及天然径流量见表 1。

表 1 2010 年各站面平均雨量及天然径流量

河道名称	水文站	面平均雨量/mm	天然径流量/ 亿 m^3
拒马河	新盖房	499.1	5.22
漕 河	漕 河	539.0	1.11
潞龙河	北郭村	538.9	3.48
清水河	北辛店	477.8	0.29
唐 河	西大洋	571.1	4.51
萍 河	下河西	476.1	
孝义河	东方机	476.6	
府 河	小望亭	507.4	
瀑 河	塘 湖	545.8	

b. 由于小望亭、东方机和下河西 3 站集水面积均不详,无法进行还原计算。且由于府河、孝义河和萍河均属较小河流,对本次评估影响不大,因此不予计算。而瀑河塘湖站已于 20 世纪 70 年代撤掉,时至今日,该河道也未重新设立径流监测站。另外,塘湖站距离淀边较远,且下游有瀑河水库,因此分析计算数据对这次评估意义不大。虽然没参加计算的河道从数量看近乎半数,但是均为较小的河流。依据白洋淀集水区域进行估算,未参加计算的 4 条河道流域面积之和约占白洋淀控制流域面积(31 199 km^2) 的 8.3%。而径流量之和仅占入淀河道总径流量的一成左右,对本次评估影响较小。

2.3 各河道 2010 年还原后的天然径流量月分配

采用典型年法求出评估年的各月天然径流量。雨量在平面上分布具备不均匀性,因此即使同一水文年不同河流的年均降水量也是有差别的^[4]。对于有历史资料的站,在考虑月雨量的面分布和月雨量的分配均应相似的情况下,从各站降雨径流关系的年份中查找与 2010 年面平均雨量相近的年份为典型年,按其月份径流量所占年径流量比例,对推求而得的 2010 年天然径流量进行月分配(表 2)。山区径流与降雨相关程度较高,当降雨面分布和时程

分配接近典型年即天然状态时,按典型年月份径流量比例计算出的水平年径流月分配也会有较高的合理性^[5]。

2.4 河流顺畅情况分析

2.4.1 河流闸坝及调控状况

部分主要入淀河流在 20 世纪 60 年代初期陆续建成了一些水库,如横山岭、口头、王快、西大洋、龙门和安各庄 6 座大型水库,8 座中型水库及一些小型水库,总控制集水面积 9 718 km²,总库容 36 亿 m³,其中 6 座大型水库库容合计为 33.016 亿 m³。闸坝调控在为削减洪峰、延续水资源利用时间起到了一定作用的同时,也增加了径流调控的人为因素,使径流变异程度剧增。

2.4.2 入淀水量变化情况

白洋淀淀区蓄水主要依靠上游降水产生的地表径流。流域平均降水量在 20 世纪 50 年代和 60 年代属丰水期;70 年代基本持平;80 年代和 90 年代属枯水期,与多年平均相比,分别偏枯 6.0% 和 7.4%^[6]。近 10 年随着上游经济社会发展对水资源需求量的不断增大,主要入淀河流没有天然来水。保定市废污水经污水处理厂集中处理后用于景观用水等后剩余水量通过府河入淀,每年入淀水量在 300 万~4 500 万 m³之间,2001—2009 年间入淀水量共计 2 亿 m³。近些年来,由于人为干预因素的增加,河道径流连通性变差,非汛期河道干涸断流现象经常发生。为改善白洋淀湿地生态系统的缺水局面,近 10 年多次从王快、西大洋、安各庄水库调水补淀以及从外流域岳城水库和黄河引水补给白洋淀,累计纳水约 9.55 亿 m³,一定程度上缓解了白洋淀湿地的生态危机,对维持白洋淀湿地的生态平衡起到了重要作用。

2.4.3 入淀河流水质情况

根据 2001—2009 年监测资料分析,府河入淀口及安新县城附近污染最严重,安新桥监测断面为劣 V 类,人口密集的村庄周围水域次之,大张庄、王家寨、同口、关城、端村监测断面水质类别在Ⅳ~Ⅴ类间。其他人类生活影响较小的水域水质良好,水质类别可达到Ⅳ类。

2.4.4 入淀河道顺畅情况

根据文献[7]中环湖河流顺畅状况判定标准规定,断流阻隔时间为 12、4、2、1、0 个月时,顺畅状况依次为完全阻隔、严重阻隔、阻隔、较顺畅和顺畅 5 个级别。将 2010 年各站逐月经流量、多年平均实测径流量与上述标准进行比较评判,即可得到各条入淀河流顺畅状况(表 3)。由表 3 可见,仅有清水河一条河流呈严重阻隔状态,其余河道均为完全阻隔状态。

表 3 2010 年各站逐月经流量、多年平均实测径流量及赋分值

河道名称	监测断面	月均径流量/亿 m ³			年径流量/亿 m ³	多年平均实测流量/亿 m ³	断流阻隔时间/月	顺畅状况
		1—7 月	8 月	9—12 月				
拒马河	新盖房	0	0	0	0	7.082	12	W
萍 河	下河西	0	0	0	0	0	12	W
瀑 河	徐 水	0	0	0	0	0	12	W
漕 河	漕 河	0	0	0	0	0	12	W
府 河	小望亭	0	0	0	0	0	12	W
清水河	北辛店	0	0.001 5	0	0.001 5	0.287	11	Y
唐 河	温 仁	0	0	0	0	0	12	W
孝义河	东方机	0	0	0	0	0	12	W
潞龙河	团丁庄	0	0	0	0	0	12	W

注:W 表示完全阻隔,Y 表示严重阻隔。

3 入湖流量变异程度

3.1 计算方法

入湖流量过程变异程度系指环湖泊河流入湖实测月径流量与天然月径流量过程的差异。反映评估湖泊流域内水资源开发利用对湖泊水文情势的影响程度。

评估年实测径流量按各河水文站各月实测值。采取评估年(2010 年)环湖泊河流入湖逐月实测径流量之和与天然月径流量的平均偏差程度表达入湖流量变异程度,计算公式为

$$I_{FD} = \left[\sum_{m=1}^{12} \left(\frac{q_m - Q_m}{Q_m} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{1}$$

其中

$$Q_m = \sum_{n=1}^N Q_n \tag{2}$$

$$q_m = \sum_{n=1}^N q_n \tag{3}$$

表 2 经还原后 2010 年各站逐月天然径流量

站名	年降雨量/mm	逐月天然径流量/亿 m ³												年径流量/亿 m ³
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
新盖房	499.1	0.599 1	0.678 2	0.454 3	0.069 1	0.052 1	0.112 1	0.792 1	0.933 3	0.363 9	0.486 7	0.356 5	0.322 6	5.220 0
漕 河	539.0	0.239 0	0.043 2	0.018 9	0.006 7	0.006 8	0.002 4	0.407 3	0.369 9	0.008 8	0.002 9	0.002 9	0.001 2	1.110 0
北郭村	538.9	0.301 0	0.295 8	0.455 6	0.336 5	0.073 0	0.484 2	0.221 7	0.504 4	0.616 2	0.045 7	0.062 4	0.083 5	3.480 0
北辛店	477.8	0.025 4	0.023 9	0.020 3	0.015 5	0.003 6	0.014 4	0.005 0	0.084 8	0.051 3	0.026 2	0.012 2	0.007 4	0.290 0
西大洋	571.1	0.319 6	0.256 1	0.290 8	0.293 5	0.181 3	0.472 5	0.416 5	0.906 5	0.554 2	0.310 6	0.260 6	0.247 8	4.510 0

$$\overline{Q}_m=\frac{1}{12}\sum_{m=1}^{12}Q_m\tag{4}$$

式中: I_{FD} 为入湖流量变异程度; q_n 为评估年每条入湖河流的实测月径流量; q_m 为评估年所有入湖河流的实测月径流量; Q_n 为评估年每条入湖河流的天然月径流量; Q_m 为评估年所有入湖河流的天然月径流量; N 为环湖入湖河道数量; $\overline{Q}_m$ 为评估年天然月径流量年均值。

3.2 白洋淀入淀流量变异程度计算结果

根据表4 计算成果,利用式(2)~(4),即可计算出 q_m 、 Q_m (表4、表5)和 $\overline{Q}_m$ 值。评估年天然月径流量年均值为1.2175亿 m^3 。将表中的数据代入式(1),即可求得 $I_{\text{FD}}=3.855$ 。

入湖流量过程变异程度指标(I_{FD})的赋分标准根据全国重点水文站1956—2000年实测径流与天然径流计算获得,入湖流量过程变异程度在0~5.0之间。

3.3 分析结论

通过上述分析可以看出,入淀流量过程变异程度是相当高的。另外,从表4可以看出,现状情况下,不但断流河道数量多,各河道断流时间也较长,几乎是全年处于完全阻隔状态,表明无论是年径流总量还是年中径流过程,现状与天然差异都比较大,在此水系上,人类开发利用水资源的程度已经相当高了。

4 水资源管理措施

近年来,随着社会经济的快速发展,白洋淀水资源紧缺状况相当严峻,数次发生连年干涸现象,严重

影响了区域水环境健康以及旅游观光、水产养殖等产业,进而影响淀区居民的生活,为此,必须尽快采取措施增加水量,改善淀区水环境。

a. 加强淀区上游水土保持治理力度,提高山区水资源涵养效果。实施退耕还林、植树造林等措施,减少山洪、泥石流等危害,保证水源持续不断,尽量减少人为因素的破坏。

b. 加大水污染治理力度,严格控制排污量。认真核算河道和淀区自净能力、纳污能力,根据受水区净化能力控制污水排放量,对无序排放污水的现象采取严厉的惩罚措施,大力鼓励表彰污水处理达标单位。加强淀区生活垃圾管理,研究科学合理的办法,减少污水排放量。

c. 加强水资源管理,限制淀区提调水量。水量是保证淀区效能的主要因素之一,近年来,淀区水位一直处在低位运行,严重影响着航运、水产养殖以及旅游观光等产业的发展,并造成了不小的损失,因此,要严格周边大面积农田灌溉以及高耗水企业的无序取水,控制外调水量^[8]。

d. 积极开拓水源,加大引调水力度。引调水工程已经实施多年,在保护淀区水环境、发展淀区经济等方面取得了一定的效益。按当地水资源状况分析,水资源紧缺程度将会持续严峻,因此,(跨流域)调水也将成为维持淀区水资源健康的一项强有力措施。黄河及海河流域各水系河道水量丰枯不定,时常出现断流情况,建议白洋淀补水水源改为南水北调的长江水,可分配一定水量指标,建立长效的供水机制,以保证白洋淀的生态健康。

表4 评估年(2010年)部分主要河道天然径流量 亿 m^3

站名	逐月天然径流量												年径流量
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
新盖房	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
漕河	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
北辛店	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015
西大洋	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1551	0.1058	0.0000	0.0000	0.0295	0.0086	0.2006	0.0000	0.4996
北郭村	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
q_m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1551	0.1058	0.0000	0.0015	0.0295	0.0086	0.2006	0.0000	0.5011

表5 评估年(2010年)部分主要河道实测径流量 亿 m^3

站名	逐月实测径流量												年径流量
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
新盖房	0.5991	0.6782	0.4543	0.0691	0.0521	0.1121	0.7921	0.9333	0.3639	0.4867	0.3565	0.3226	5.2200
漕河	0.2390	0.0432	0.0189	0.0067	0.0068	0.0024	0.4073	0.3699	0.0088	0.0029	0.0029	0.0012	1.1100
北辛店	0.0254	0.0239	0.0203	0.0155	0.0036	0.0144	0.0050	0.0848	0.0513	0.0262	0.0122	0.0074	0.2900
西大洋	0.3196	0.2561	0.2908	0.2935	0.1813	0.4725	0.4165	0.9065	0.5542	0.3106	0.2606	0.2478	4.5100
北郭村	0.3010	0.2958	0.4556	0.3365	0.0730	0.4842	0.2217	0.5044	0.6162	0.0457	0.0624	0.0835	3.4800
Q_m	1.4841	1.2972	1.2399	0.7213	0.3168	1.0856	1.8426	2.7989	1.5944	0.8721	0.6946	0.6625	14.6100

参考文献:

[1] 关涛,钮媚娜,侯越. 浅谈白洋淀水资源的可持续发展[J]. 黑龙江科技信息,2011(25):42-45. (GUAN Tao, NIU Meina, HOU Yue. Introduction to baiyangdian water resources sustainable development [J]. Heilongjiang Science and Technology Information,2011(25):42-45. (in Chinese))

[2] 刘立华. 白洋淀湿地水资源承载能力及水环境研究[D]. 上海:中国科学院上海冶金研究所,2000.

[3] 许万清,何永健. 山区水文站天然年径流量的还原计算方法浅析[J]. 吉林水利,2009(9):38-40. (XU Wanqing, HE Yongjian. Mountains of hydrologic natural annual runoff reduction method makes analysis [J]. Journal of Jilin Water,2009(9):38-40. (in Chinese))

[4] 燕荷叶. 径流还原计算技术方法及其应用研究[J]. 吉林水利,2009(9):65-70. (YAN Heye. Runoff reduction computing methods and its application [J]. Journal of Jilin Water,2009(9):65-70. (in Chinese))

(上接第 17 页)

[2] 孙超,陈振楼,张翠,等. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价[J]. 环境科学研究,2009,22(1):60-65. (SUN Chao, CHEN Zhenlou, ZHANG Cui, et al. Health risk assessment of heavy metals in drinking water sources in Shanghai, China [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(1):60-65. (in Chinese))

[3] 廖国礼. 典型有色矿山重金属迁移规律与污染评价研究[D]. 长沙:中南大学,2005.

[4] 张光贵. 湖南省水污染防治对策研究[J]. 水资源保护,2003,19(4):43-45. (ZHANG Guanggui. Measures for water pollution control in Hunan Province [J]. Water Resources Protection, 2003, 19(4):43-45. (in Chinese))

[5] 李祥平,齐剑英,陈永亨,等. 广州市主要饮用水源中重金属健康风险的初步评价[J]. 环境科学学报,2011,31(3):547-553. (LI Xiangping, QI Jianying, CHEN Yongheng, et al. Preliminary health risk assessment of heavy metals in the main drinking water sources of Guangzhou [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2011,31(3):547-553. (in Chinese))

[6] 孙树青,胡国华,王勇泽,等. 湘江干流水环境健康风险评估[J]. 安全与环境学报,2006,6(2):12-15. (SUN Shuqing, HU Guohua, WANG Yongze, et al. Water environmental health risk assessment of Xiangjiang River [J]. Journal of Safety and Environment,2006,6(2):12-15. (in Chinese))

[7] 邹滨,曾永年,BENJAMIN F Z,等. 城市水环境健康风险评估[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(2):94-98. (ZOU Bin, ZENG Yongnian, BENJAMIN F Z, et al. Spatial and temporal health risk assessment of water

[5] 李素霞. 河北省山区天然年径流量的还原计算[J]. 地下水,2009(3):78-81. (LI Suxia. Hebei mountain natural annual runoff reduction calculation [J]. Journal of Groundwater,2009(3):78-81. (in Chinese))

[6] 尹健梅,程伍群,严磊. 白洋淀湿地水文水资源变化趋势分析. 水资源保护,2010,25(1):52-55. (YIN Jianmei, CHENG Wuqun, YAN Lei. Baiyangdian wetland hydrology and water resources change trend analysis [J]. Water Resources Protection, 2010, 25(1):52-55. (in Chinese))

[7] 彭文启. 湖泊健康评价指标、标准与方法[R]. 北京:中国水利水电科学研究院水环境研究所,2011.

[8] 张素珍,宋保平. 白洋淀水资源承载力研究[J]. 南水北调与水利科技,2009(7):91-94. (ZHANG Suzhen, SONG Baoping. Baiyangdian water resources carrying capacity research [J]. Journal of the South-North Water Diversion and Water Conservancy Science and Technology,2009(7):91-94. (in Chinese))

(收稿日期:2013-07-21 编辑:徐 娟)

environment in urban area [J]. Geography and Geo-Information Science,2009,25(2):94-98. (in Chinese))

[8] 杨忠芳,夏学齐,余涛,等. 湖南洞庭湖水系 As 和 Cd 等重金属元素分布特征及输送通量[J]. 现代地质,2008,22(6):897-908. (YANG Zhongfang, XIA Xueqi, YU Tao, et al. Distribution and fluxes of As and Cd metals in the Dongting Lake water system, Hunan Province, China [J]. Geoscience,2008,22(6):897-908. (in Chinese))

[9] 窦鸿身,姜加虎. 洞庭湖[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2000:3-10.

[10] 倪彬,王洪波,李旭东,等. 湖泊饮用水源地水环境健康风险评估[J]. 环境科学研究,2010,23(1):74-79. (NI Bin, WANG Hongbo, LI Xudong, et al. Water environmental health risk assessment in lake source of drinking water [J]. Research of Environmental Sciences, 2010,23(1):74-79. (in Chinese))

[11] 秦普丰,雷鸣,郭雯. 湘江湘潭段水环境主要污染物的健康风险评估[J]. 环境科学研究,2008,21(4):190-195. (QIN Pufeng, LEI Ming, GUO Wen. Health risk assessment of main water pollutants of Xiangjiang River in Xiangtan City [J]. Research of Environmental Sciences, 2008,21(4):190-195. (in Chinese))

[12] 刘丽,秦普丰,李细红,等. 湘江株洲段水环境健康风险评估[J]. 环境科学与管理,2011,36(4):173-176. (LIU Li, QIN Pufeng, LI Xihong, et al. Water environmental health risk assessment of Xiangjiang in Zhuzhou City [J]. Environmental Science and Mangement, 2011, 36(4):173-176. (in Chinese))

[13] 曾北危,李健. 洞庭湖水系水环境中微量元素的地球化学特征[C]//刘卓澄. 环境中重金属研究文集. 北京:科学出版社,1988:105-121.

(收稿日期:2013-03-21 编辑:彭桃英)