Frontier of Environmental Science
December 2014, Volume 3, Issue 4, PP.130-135

Characteristics Analysis of Water Quality Variations in the Downstream of Yangtze River

Shouhua Cai [1#], ***Jing Sun*** [1], ***Chunhong Zhou*** [2], ***Xiaolin Yang*** [1]

1. College of Water Conservancy Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

2. College of Environment Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

[#]Email: caishouhua@aliyun.com

Abstract

Based on the water quality data from 2006 to 2013, the paper discussed the characteristics and causes of water quality variations of the Yangtze River at Yizheng intake with the single factor index method and Nemerow index method. The results showed that, (1) the intra-annual changes of the single factor index and Nemerow index possessed obvious regularity because of the seasonal related factors' changes, such as water temperature, flow, sediment and pollutant concentration, but those changes were small as the runoff regulation of Three Gorges Reservoir improved water quality during the dry season; (2) Inter-annual changes of water quality showed a gradually improving tendency because of observably decreasing of iron concentration, especially in the last two years, the water quality basically met the quality standard for drinking water source. But the hexavalent chromium concentration was increasing gradually, therefore it was urgent to adopt measures to control the discharge of chromium the wastewater contained.

Keywords: Single Factor Index Method; Nemerow Index Method; Drinking Water Source; Water Quality; the Yangtze Rive

长江下游取水口水源水质变化特征分析*

蔡守华 [1]，孙静 [1]，周春洪 [2]，杨小令 [1]

1. 扬州大学 水利科学与工程学院，江苏 扬州 225009

2. 扬州大学 环境科学与工程学院，江苏 扬州 225009

摘　要：利用单因子指数法和内梅罗指数法相结合的方法，对 2006-2013 年长江下游仪征市取水口水源水质监测数据进行了分析。结果表明，（1）由于水温、流量、泥沙及污染物含量等要素的季节性变化，单因子指数及内梅罗指数的年内变化具有一定的规律性，但可能是由于三峡水库以丰补枯的调节作用，年内水质变化趋于平稳；（2）年际间溶解铁含量呈明显减小趋势，特别是近两年水质均基本符合饮用水源水水质标准的要求，但是六价铬含量呈增加明显趋势，需要采用措施控制含铬废水的排放。

关键词：单因子指数法；内梅罗指数法；饮用水源；水质；长江

引言

长江是世界第三大河，中国第一大河，其干流全长 6300km，流域面积 180 万 km^2，约占中国陆地面积的 1/5。由于在大规模开发及快速的经济发展中，未能处理了经济发展与环境保护的关系，使得长江流域生态环境质量大幅下降低，长江水质呈下降趋势[1,2]，直接影响沿岸的经济发展和社会进步，因此保护长江水质受到高度重视。

长江径流丰枯季变化明显，一般枯水期污染物含量较高，丰水期污染物含量较低[3]。但近年来，受三峡工程、南水北调等重大水利工程的影响，长江下流径流条件发生变化[4]，因此对长江下游水质会产生一定的

* 基金资助：“十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAJ25B01)。

影响。本文以仪征市长江取水口水源为对象，首先对标溶解氧、耗氧量、氨氮、六价铬等几项主要指标进行单因子指数分析，在此基础上利用内梅罗指数进行综合评价，以期对水源水质年内和年际变化特征进行较全面的分析。

1 研究方法

1.1 单因子指数评价法

单因子指数评价法是水质评价的最基本方法。

（1）对于随浓度增加而污染危害也增加的水质参数，其标准指数计算公式为：

$$S_i = \frac{C_i}{C_{S,i}} \tag{1}$$

式中：S_i 为第 i 项水质参数的标准指数；C_i 为第 i 项水质参数的实测值（mg/L）；$C_{S,i}$ 为第 i 水质参数的评价标准值（mg/L）。

（2）溶解氧随浓度降低，污染危害程度加大，其标准指数计算公式为：

$$S_{\mathrm{DO}} = \begin{cases} \dfrac{\left|C_{\mathrm{DO,F}} - C_{\mathrm{DO}}\right|}{C_{\mathrm{DO,F}} - C_{\mathrm{DO,S}}} & C_{\mathrm{DO}} \geq C_{\mathrm{DO,S}} \\ 10 - \dfrac{9C_{\mathrm{DO}}}{C_{\mathrm{DO,S}}} & C_{\mathrm{DO}} < C_{\mathrm{DO,S}} \end{cases} \tag{2}$$

式中：S_{DO} 为溶解氧标准指数；$C_{\mathrm{DO,F}}$ 为饱和溶解氧浓度（mg/L），计算公式为 $C_{\mathrm{DO,F}} = 468/(31.6+T)$，$T$ 为温度（℃）；C_{DO} 为溶解氧实测值（mg/L）；$C_{\mathrm{DO,S}}$ 为溶解氧评价标准值（mg/L）。

以《生活饮用水水源水质标准》（CJ3020- 93）二级标准值为评价标准值。水质标准指数大于 1，表明该水质参数超过了规定的水质标准，不能满足使用要求。

单因子指数评价方法计算最为简单，可直接判断水质的级别（或类别），但不能综合反映水体污染情况，特别是不能进一步定量比较同一级别（或类别）水体在水质上优劣。

1.2 内梅罗指数法

为克服单因子指数法的缺陷，在实际评价中经常采用多因子综合污染指数评价法[5]。综合污染指数评价法主要有幂指数法、加权平均指数法、算术平均指数法、向量模法、内梅罗指数法、罗斯水质指数法、有机污染综合评价指数法等。其中内梅罗指数法是当前国内外应用较多的一种方法。内梅罗指数突出污染最严重的污染物的影响，也兼顾了单因子污染指数平均值，因而能够较好地在总体上反映水环境质量。

内梅罗指数法先根据单因子指数计算方法求出各单因子指数，然后按下式计算：

$$S = \sqrt{\frac{\overline{S}^2 + S_{\max}^2}{2}} \tag{3}$$

$$\overline{S} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i \tag{4}$$

式中：S 为内梅罗指数；$\overline{S}$ 为各单因子标准指数的平均值；$S_{\max}$ 为各单因子标准指数中的最大值；S_i 为第 i 项目单因子标准指数；n 为计算中考虑水质因子的个数。

内梅罗指数小于或等于 1 表示水体达到《生活饮用水水源水质标准》（CJ3020- 93）二级标准值。根据内梅罗指数，也可根据设定的划分标准，进一进将水质划分为“清洁”（达到评价中规定的标准）、“轻污染”、“污染”、“重污染”等类别。

如前所述，单因子指数评价法和内罗梅指数法各有其利弊，因此两种方法联合应用，可以取长补短，有利于全面反映水源水质状况。

2 数据来源

自 2006 年开始，仪征市自来水公司每月对长江取水口水源水质进行了检测。检测指标依据《生活饮用水水源水质标准》（CJ3020-93）所列的指标。本文选该取水口近 3 年（2011～2013 年）的检测结果分析年内水质变化特征，选取近 8 年（2006～2013 年）的检测结果分析年际水质变化特征。

3 结果与讨论

3.1 水源水质年内变化特征分析

3.1.1 单因子指数分析

经分析，pH 值、总硬度、硫酸盐等污染指数年内变化比较平稳。下面重点说明溶解氧、耗氧量、氨氮和六价铬年内变化特征及成因。

（1）溶解氧。图 1 反映了近 3 年水源溶解氧指数年内变化情况。长江原水年内溶解氧的指数总体上呈现先上降后下降的趋势[6]。近 3 年溶解氧浓度最小值（6.1mg/L）发生在 2011 年 8 月，此时溶解氧指数为 0.70。1～4 月份及 12 月份，水温低，纳氧能力强，因此溶解氧指数较低。5～11 月份水温高，水体纳氧能弱，加之这一时期水体中泥沙及污染物质较多，增加了对水体溶解氧的消耗，因此溶解氧指数较高（溶解氧含量较低）。溶解氧除受温度影响外，还受水情、上游污染物排放的影响，因此部分年份（如 2012 年）温度较低月份溶解氧指数仍然较高。

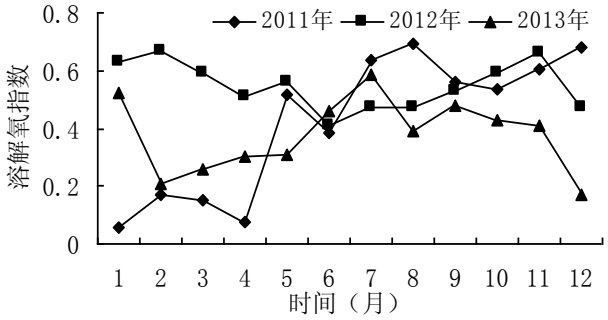

图 1 2011~2013 年溶解氧指数年内变化

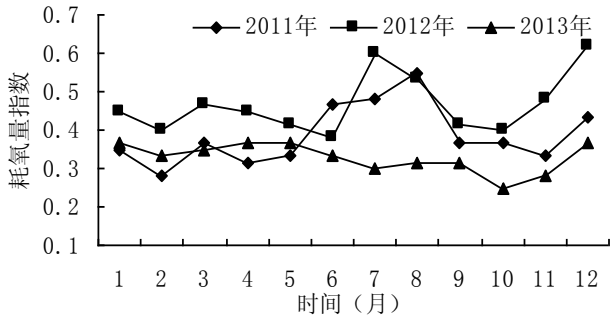

图 2 2011~2013 年耗氧量指数年内变化

（2）耗氧量（BOD_5）。图 2 反映了近 3 年水源耗氧量年内变化情况。3 年各月耗氧量指数均小于 1。耗氧量年内变化与溶解氧含量基本相反，一般春、夏、冬季较低，秋季较高。耗氧量主要与水体中耗氧污染物含量有关。7、8 月虽处汛期，水量较大，但是上游洪水含沙量大，夹带有机污染物多，细菌活性高，因此耗氧量较大，常会超出 CJ3020-93 一级水源标准（3mg/L）。2012 年 12 月，虽处非汛期，但是耗氧量较高，其原因可能是上游排污量增加或上流游来水流量较小，不能有效稀释污染物。

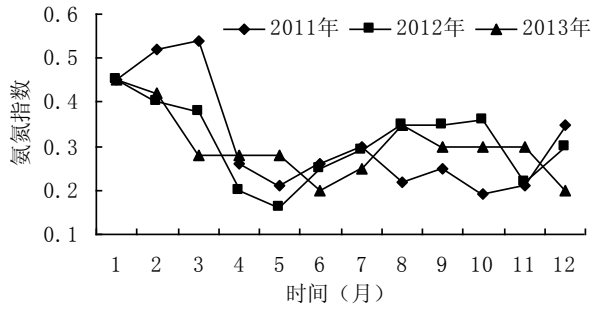

图 3 2011~2013 年氨氮指数年内变化

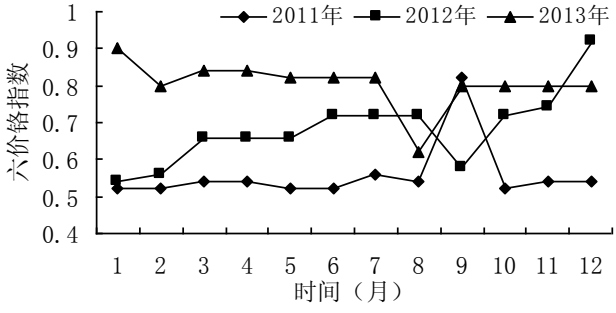

图 4 2011~2013 年六价铬指数年内变化

（3）氨氮。如图 3 所示，氨氮含量 2～3 月份最高，往往超过 CJ3020-93 一级水标准（0.5mg/L），4～5

月份迅速降低到最低，之后又缓慢回升。4～5 月份进入春汛，由于水量稀释，导致氨氮的迅速降低。之后，虽全流域进入主汛期，但水量含沙量增加，而且较高的温度有利于水中的氨转化为亚硝酸盐或硝酸盐[7]，因此氨氮浓度又逐渐加大。进入枯水期（11 月～次年 3 月），由于虽温度降低，但由于流量减少，氨氮浓度仍呈上升趋势。

（4）六价铬（Cr^{6+}）。如图 4 所示，2011 年六价铬指数变化基本平稳，2012 年内呈明显加大趋势，2013 年六价铬指数在比较高的水平上基本保持稳定。但在主汛期内（8～9 月）可能受水情影响，六价铬指数较不稳定，出现显著跳跃。

3.1.2 内梅罗指数分析

由图 5 可知，内梅罗指数总体上呈现丰水期（5~11 月）小，枯水期（12 月至次年 4 月）大的特征，其原因可能是夏季长江流域降雨量大，长江流量大，各类污染物得到稀释，水质较好；秋冬季节，长江流量明显减少，污染物富集，水质较差。近几年，由于三峡水库以丰补枯的流量调节，对提高枯水期水质发挥了一定的作用。

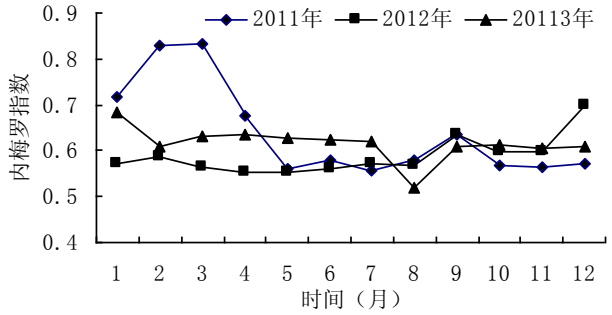

图 5 2011~2013 年内梅罗指数年内变化

3.2 水源水质年际变化特征分析

3.2.1 单因子指数分析

经分析，耗氧量指数、氨氮等污染指数年际间变化较平稳，变化较显著有溶解氧指数、六价铬指数和溶解铁指数。溶解氧、六价铬和溶解铁年平均值和最劣值的污染指数变化如图 6~图 8。由各图可知，溶解氧指数呈减小趋势，六价铬指数呈较显著的加大趋势，溶解铁指数呈显著的减小趋势。相对于年最劣值，年平均值的波动明显小于年最劣值。

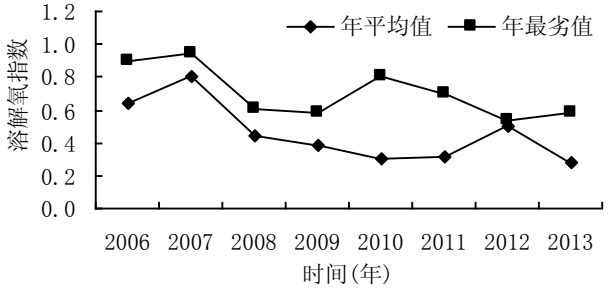

图 6 溶解氧指数年际变化

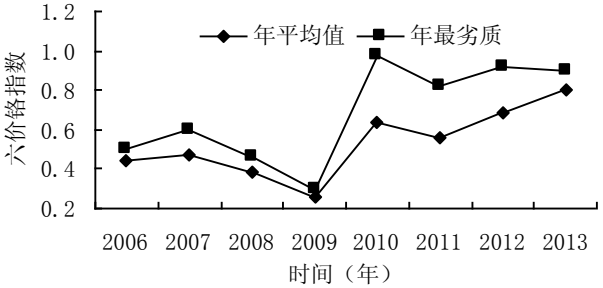

图 7 六价铬指数年际变化

近几年取水口水源耗氧量指数、氨氮等污染指数基本稳定，溶解氧指数呈减小趋势，表明工业废水达标排放、农业面源污染控制取得了成效。

六价铬指数呈显著增大趋势，2010 年最劣值六价铬指数达到了 0.98，这表明含铬废水排水未得到有效控制。近年来，随着工业的发展, 铬及其化合物作为冶金、电镀、制革、油漆、颜料、印染、制药等行业的重

要原料，得到了广泛的应用。与此同时，大量的含铬废水排放对水体造成了严重的污染。水溶性六价铬已被列为对人体危害最大的 8 种化学物质之一，也是国际公认的 3 种致癌金属物之一[8]。因此，迫切需要采取措施，控制含铬废水的排放。

溶解铁主要存在于含铁土壤及含铁工业废水中。2006～2010 年间溶解铁含量明显偏高，同期长江镇江段水质也有类似情况[9]。溶解铁指数显著减小，表明长江上游水保持工作发挥了作用或含铁废水排放得到了扼制。

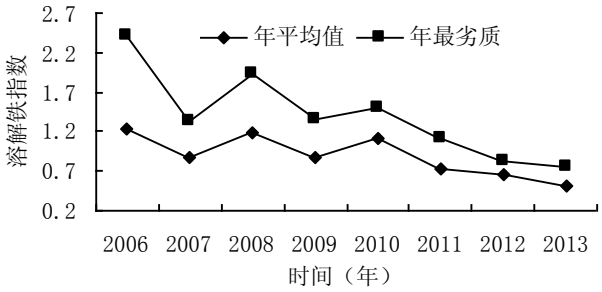

图 8 溶解铁指数年际变化

3.2.2 内梅罗指数分析

根据各年水质单因子分析，不同水质指标表现出相反的变化趋势，因此难以从整体上判断水质的变化情况。为此有必要采用内梅罗指数法进行综合分析。

采用内梅罗指数法计算出各年的内梅罗指数变化过程，见图 9。根据图 9，各年的内梅罗指数总体趋势是下降的，由此可以判断长江水质总体上正在逐步好转。经分析，内梅罗指数明显减小，主要是由于溶解铁显著减小所致。若不考虑溶解铁这一指标，近 8 年该水源内梅罗指数仍呈缓慢增加趋势，如图 10 所示。其中，2011 年最劣值内梅罗指数达 1.01，主要是因为该年最劣 pH 值超标（达 9.2）。

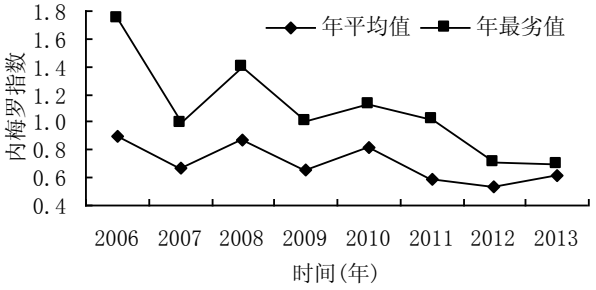

图 9 内梅罗指数年际变化

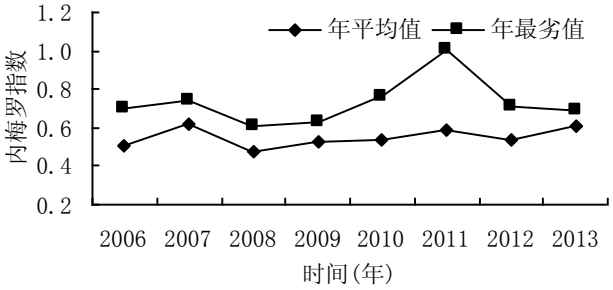

图 10 内梅罗指数年际变化（不考虑溶解铁）

4 结论

各单因子水质指标虽能较好的反映某一指标的达标情况及变化趋势，但难以从整体上反映水质的变化趋势。因此，采用单因子指标法和综合指标法相结合的方法是比较理想的方法。

仪征市长江取水口水源水质在年内基本呈丰水期水质较好，枯水期水质较差的特征，其主要原因是水温、流量、泥沙及污染物含量等要素的季节性变化。但可能是由于三峡水库以丰补枯的调节作用，相对于三峡水库建设以前的状况[6]，年内水质变化趋于平稳。

由于溶解铁含量逐年显著减小，自 2006~2011 年该取水口水源内梅罗指数呈减小趋势，特别是近两年各项指标均满足《生活饮用水水源水质标准》（CJ3020-93）二级水质标准。但是如果不考虑溶解铁，近几年该取水口水源内梅罗指数仍呈缓慢增加趋势，因此不可盲目乐观。特别需要注意的是，六价铬浓度呈显著增加趋势，近几年六价铬指数已经很接近于 1，因此迫切需要采取措施，控制含铬废水排放。

REFERENCES

[1] ze River at Xuliujing section in 1997-2011[J]. Journal of Ecology and Environment. 2013, 29(5): 577-580

[2] Bian Li, Analysis of water quality of Yangtze River through Jiangsu province. Agricultural Science & Technology. 2013, 14(6): 879-881

[3] Lingzhi Tan, Jing Jiang, Qi Zhang. Water quality monitoring on Shanhai reach Yangtze River[J]. Yangtze River, 2012, 43(2): 50-52

[4] Juanjuan Fang, Yitian Li, Zhaohua Sun, et al. Analysis of runoff change characteristics at Datong station of Yangtze River[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(5): 9-12

[5] Maolong Qiu, Linghua Liu, Xiaowen Zou, et al. Comparison of source water quality standards and evaluation methods between China and some developed countries[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013, 11(3): 176-182

[6] Bingzhi Dong. Water quality characteristics and process method of the Yangtze River[J]. Water & Wastewater Engineering, 1998, 24(5): 6-10

[7] Juanying Li, Qingxiang Zhao. Effects of factors affecting nitrif ication at low ammonia concentration[J], Environmental Pollution & Control, 2006, 28(1): 11-13

[8] Wan Liu, Zeqin Li. Progress on research of treating Cr containing wastewater[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2007, 14(9): 5-9

[9] Zhaofeng Jiang, Fangan Han, Hong Xu. Survey on water quality of the centralized water supply units from different sections of the Yangtze River in Zhenjiang City from 2007 to 2008[J]. Preventive Medicine Tribune, 2010, (6): 531-533

【作者简介】



[1] 蔡守华（1964-），男，汉，博士，扬州大学水利科学与工程学院教授，研究方向：农业水土环境及水生态技术。Email: caishouhua@aliyun.com

[2] 孙静（1990-），女，汉，硕士研究生，研究方向：水环境及水生态技术。Email: 445838380@qq.com

[3] 周春洪（1968-），女，汉，本科，实验师，研究方向：环境科学。Email: chhzhou@yzu.edu.cn

[4] 杨小令（1960-），男，汉，本科，讲师，研究方向：水环境及水生态技术。Email: xlyang@yzu.edu.cn