

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.011

淮安市二河饮用水源地水质评价

赫淑杰¹, 梁忠民¹, 张建华², 王 嵘², 刘俊杰³

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 江苏省水利厅 水资源处, 南京 210029;
3. 江苏省水文水资源勘测局, 南京 210029)

摘要: 采用多指标综合评价方法对2012年淮安市二河饮用水源地水质状况进行评价, 结果表明其水质满足饮用水标准; 同时利用美国环境保护署(U.S. EPA)的水环境健康风险评价模型, 计算了该水源地水体中污染物由饮水途径对人体健康危害的风险度, 结果表明, 化学致癌物质的个人年风险度远大于非致癌物质, 各污染物的风险度从大到小依次为 As> Pb> 氟化物> 硝酸盐> Mn> Fe> 氨氮。研究成果可为二河饮用水源地的水质管理提供技术参考。

关键词: 淮安市; 二河水源地; 多指标综合评价; 水环境健康风险评价模型

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)03-0051-04

Water Quality Assessment in Erhe Drinking Water Source Region of Huai'an City

HE Shu jie¹, LIANG Zhong min¹, ZHANG Jian hua², WANG Rong², LIU Jun jie³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jiangsu Provincial Bureau of Water Resources Department, Nanjing 210029, China;

3. Jiangsu Provincial Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: In this paper, the multi index comprehensive evaluation method was used to evaluate the water quality of Erhe drinking water source region of Huai'an city in 2012, and the results showed that the current water quality meets the standards of drinking water. The risk scales of water pollutants on public health were assessed using the Water Environmental Health Risk Assessment Model of U. S. EPA, which indicated that the personal annual risk caused by the chemical carcinogens through drinking water is much greater than that by the non carcinogenic substances, and the order of risk scales for all pollutants is As> Pb> Fluoride> Nitrate> Mn> Fe> NH₃-N. The research results can provide technical support for the water quality management of Erhe drinking water source region.

Key words: Huai'an city; Erhe water source region; multi index comprehensive evaluation; water environmental health risk assessment

采用单一的评价方法或模型对同一水体进行水质评价时, 并不能全面地给出该水体的水质状况。对于饮用水水源地来说, 其水质评价应包括两个层面, 一是评价水质状况是否安全, 从整体上掌握该水源地的水质是否达到饮用水要求; 二是定量评价水体中各类污染物对人体健康危害的风险度。若该水源地水质不安全, 则通过比较各类污染物对人体健康危害的风险度, 得到治理各类污染物的顺序; 若该水源地水质基本安全或安全, 则通过比较各类污染物对人体健康危害的风险度, 得到预防各类污染物超标的顺序。

国内外关于水质评价的方法众多, Kunwar P. Singh等^[1]针对 Gomti河(印度)的研究证明了多元统计技术对于评价和解释大型复杂的水质数据集和污染源分摊的有效性,

为水资源的有效管理获得更多水质和监测网络设计的信息; 燕敏飞等^[2]采用可变模糊集理论模型及熵权法确定水质各指标权重对大连市地下水水质进行评价, 认为熵权法与可变模糊集理论相结合的评价结果较合理; 朱叶华等^[3]运用综合水质指数法对长江沙市江段的水质进行了评价, 并根据单项指数的结果得到铅、粪大肠菌群、总磷为沙市江段近期主要污染因子。在污染物对人体健康危害风险的评估方面, 美国环保局(U. S. EPA)提出的水环境健康风险评价模型^[4]得到了较广泛的应用, Said Muhammad等^[5]利用多元统计方法对科希斯坦地区和巴基斯坦北部饮用水源地中的砷元素进行了健康风险评价; 祝慧娜等^[6]建立了基于浓度参数综合评价的水环境健康风险评价模型, 并运用动态聚类分析法将评价

收稿日期: 2013-11-30 修回日期: 2014-01-15 网络出版时间: 2014-05-07

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.011.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2010CB951102)

作者简介: 赫淑杰(1988-), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: shujie_52118@163.com

通讯作者: 梁忠民(1962-), 男, 辽宁凤城人, 教授, 博士生导师, 从事水文水资源研究。E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

结果划分风险控制优先级;李如忠^[7]运用模糊集理论建立水环境健康风险评价模糊模型,并进行了实例验证。

本文分别采用多指标综合评价方法和水环境健康风险评价模型,对淮安市二河水源地的水质状况进行评价,为其水质管理提供技术参考。

1 水源地概况

淮安市二河饮用水水源地为河流型水源地,已纳入水利部公布的《全国重要饮用水水源地名录》(第二批),水功能区为“二河调水保护区”。二河饮用水水源地保护区的划分方案见《省政府关于全省县级以上集中式饮用水水源地保护区划分方案的批复》(苏政复[2009]2号)。二河由南向北流动,水量主要来自洪泽湖水通过二河闸下泄补给,具有分流入沂、淮河入海、淮水北调、江水北调、沂泗水补淮等综合功效^[8]。

淮安市以地表水为集中供水水源,现有 3 座水厂,分别是城南水厂、北京路水厂和经济开发区水厂,其中城南水厂以二河为取水水源,是淮安市区的主力供水水厂,占淮安市水厂总供水规模的 1/3 以上。城南水厂取水口位于武墩大桥下游约 3 km(二河闸下游约 24 km)右岸(图 1)。

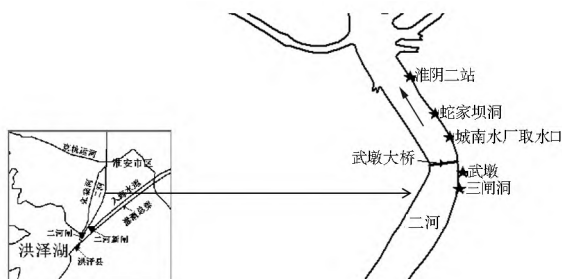


图 1 城南水厂取水口位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of water intake location at Chengnan water plant

2 水质评价方法

2.1 水质安全评价

饮用水水源地水质安全评价的依据是《全国城市饮用水水源地安全状况评价技术细则》(2005)^[9]和《地表水环境质量标准》(GB 3838 2002)^[10]中规定的指标标准值和评价方法。

2.1.1 常规项目安全评价指数的计算

第一步,计算单项指标安全评价指数(I_i)。

当评价指标 i 的监测值 C_i 处于两相邻标准限值 C_{ik} 和 $C_{i,k+1}$ 之间时,该评价指标 i 的安全评价指数按式(1)计算:

$$I_i = \left(\frac{C_i - C_{ik}}{C_{i,k+1} - C_{ik}} \right) + I_{ik} \quad (1)$$

式中: I_i 为评价指标 i 的安全评价指数; C_i 为评价指标 i 的实测浓度; C_{ik} 为评价指标 i 的安全评价指数为 k 时所对应的标准限值, $k = 1, 2, 3, 4$; $C_{i,k+1}$ 为评价指标 i 的安全评价指数为 $k+1$ 时所对应的标准限值, $k = 1, 2, 3, 4$ 。

当不同的安全评价指数对应相同的标准限值时,评价指标的安全评价指数按式(2)计算:

$$I_i = \left(\frac{C_i - C_{ik}}{C_{i,k+1} - C_{ik}} \right) \times m + I_{ik} \quad (2)$$

式中: m 为相同标准限值对应的安全评价指数个数; I_i 、 C_i 、

C_{ik} 、 $C_{i,k+1}$ 含义同式(1)。

溶解氧指标安全评价指数的计算与其他指标安全评价指数的计算正好相反,这是由于水体中溶解氧越多,水质越好。

第二步,计算常规项目的综合指数(WQI)。

对各评价指标 i 的安全评价指数求加权平均值,即得到综合指数(WQI)值,即:

$$WQI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式中: WQI 为综合指数; n 为评价指标个数。

第三步,根据综合指数确定常规项目的安全评价指数。

当常规项目的综合指数 WQI 分别处于(0, 1]、(1, 2]、(2, 3]、(3, 4]和(4, 5]时,对应的安全评价指数分别为 1、2、3、4 和 5。

区域内,若某评价指标未检测出来,则其水质安全评价指数 $I_i = 1$;若检测浓度大于所给的标准限值,则 $I_i = 5$ 。

2.1.2 有毒有机项目安全评价指数的计算

有毒有机项目与常规项目单项指标安全评价指数的计算相同,而有毒有机项目综合指数须取其各单项指标指数的最差值。

2.1.3 水质状况安全评价

饮用水水源地水质状况安全评价指数取常规项目和有毒有机项目安全评价指数的最大值。若水源地水质状况安全评价指数为 1 和 2,表明水源地水质状况为安全;若为 3,代表基本安全;若为 4 和 5,则代表不安全。

2.2 水质健康风险评价

水质健康风险评价是 20 世纪 80 年代兴起来的一项新的研究领域^[4],其主要任务是以风险度为评价指标,定量评估各类污染物对人体健康产生危害的潜在风险。

2.2.1 化学致癌物质的健康风险评价

化学致癌物质可通过饮水途径对人体健康产生危害,其风险度的具体计算步骤如下^[11-13]。

第一步,计算化学致癌物质 i 的单位体重日均暴露剂量 D_{ig} 。

$$D_{ig} = 2.2 \times C_i / 70 \quad (4)$$

式中: C_i 为化学致癌物质 i 的浓度(mg/L); 2.2 为个人平均每日饮水量(L); 70 为人类平均体重(kg)。

第二步,计算化学致癌物质 i 的平均个人年风险度。

$$R_{ig}^c = [1 - \exp(-D_{ig} q_{ig})] / 70 \quad (5)$$

式中: R_{ig}^c 为化学致癌物质 i 的平均个人年风险度(a^{-1}), $i = 1, 2, 3, \dots, k$; q_{ig} 为化学致癌物质 i 的致癌强度(mg/(kg·d)); 70 为人类平均寿命(a)。

第三步,计算所有化学致癌物质的个人年总风险度 R^c 。

$$R^c = \sum_{i=1}^k R_{ig}^c \quad (6)$$

2.2.2 非致癌物质的风险评价

非致癌物质由饮水途径所致健康危害的风险度的计算公式为:

$$R_{ig}^n = (D_{ig} \times 10^{-6} / R_{fD_{ig}}) / 70 \quad (7)$$

$$R^n = \sum_{i=1}^l R_{ig}^n \quad (8)$$

式中: R_{ig}^n 为非致癌物质 i 由饮水途径所致人体健康危害的平均个人年风险度(a^{-1}), $i = 1, 2, 3, \dots, l$; D_{ig} 为非致癌物质 i 由饮水途径的单位体重日均暴露剂量(mg/(kg·d)); $R_{fD_{ig}}$ 为

非致癌物质*i*的饮水途径参考剂量($mg/(kg \cdot d)$); 70 为人类平均寿命(*a*)。

2.2.3 水质综合健康风险评价

致癌物质与非致癌物质对人体健康危害的叠加风险,即为水质综合健康风险。若各种污染物质由饮水途径所致对人体健康危害的风险只呈相加关系,而不存在协同或拮抗关系,则水质健康的总风险度为:

$$R_{\text{总}} = R^c + R^n \quad (9)$$

式中: $R_{\text{总}}$ 为水体中各类污染物质的个人年总风险度。

3 评价结果及分析

选取二河蛇家坝洞(中)监测断面,其地理位置为东经

$118^{\circ}57'04''$, 北纬 $33^{\circ}33'05''$ 。监测项目共 22 项,为高锰酸盐指数、氨氮、溶解氧、化学需氧量、5 日生化需氧量、铜、锌、硫酸盐、氯化物、铁、锰、硒、氟化物、砷、汞、镉、六价铬、铅、氰化物、挥发性酚、石油类、硝酸盐氮。采用 2012 年二河水源地的水质实测资料评估该水源地的现状水质状况。

3.1 多指标综合评价

把常规项目评价指标分为必评和选评两种,必评指标为氨氮、高锰酸盐指数,选评指标为安全评价指数最差的 3 项监测指标(氨氮、高锰酸盐指数除外),然后采用加权平均法计算常规项目的综合指数,结果见表 1。对于有毒有机项目,则选择单项指标安全评价指数的最大值作为其安全评价指数,结果见表 2。

表 1 2012 年常规项目安全评价指数

Table 1 Safety assessment index of regular practice in 2012

断面	单项指标安全评价指数											综合指数 (WQI)	安全评价 指数	
	溶解氧	高锰酸盐指数	化学需氧量	5 日生化需氧量	氨氮	铜	锌	硫酸盐	氯化物	铁	锰			硒
蛇家坝洞(中)	1.00	1.89	2.70	1.00	1.19	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.96	2.00

表 2 2012 年有毒有机安全评价指数

Table 2 Safety assessment index of toxicant and organic in 2012

断面	单项指标安全评价指数										最大值	安全评价 指数
	石油类	硝酸盐	氟化物	汞	镉	铬	挥发酚	砷	铅	氰化物		
蛇家坝洞(中)	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00

可以看出,二河蛇家坝洞(中)断面的常规项目和有毒有机项目的安全评价指数均为 2,水质状况综合指数 = $\max\{\text{常规项目安全评价指数, 有毒有机项目安全评价指数}\} = \max\{2, 2\} = 2$,即二河水源地的水质状况为安全,满足饮用水水质要求。

3.2 水质健康风险评价

根据 2012 年二河水源地实测水质资料中的非致癌物质和化学致癌物质的指标,选择砷、铅、氨氮、氟化物、铁、锰和硝酸盐等指标进行计算,得出各类污染物由饮水途径所致健康危害的风险度,结果见表 3。

表 3 各类污染物由饮水途径所致健康危害的风险度(个人年风险)

Table 3 The risk (personal annual risk) of health hazards caused by various pollutants through drinking water

断面	非致癌物质						合计	化学致癌物质	总风险
	铅(Pb)	氟化物	硝酸盐	铁(Fe)	锰(Mn)	氨氮		砷(As)	
蛇家坝洞(中)	1.02E-08	5.43E-09	3.67E-09	3.37E-10	6.41E-10	9.99E-11	2.04E-08	4.24E-05	4.24E-05

从表 3 可以得出,非致癌物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险度的大小顺序为 $Pb > \text{氟化物} > \text{硝酸盐} > Mn > Fe > \text{氨氮}$ 。非致癌物质对人体健康危害的个人年风险度小于 $10^{-7} a^{-1}$,即每年每千万人口中不到 1 人受饮用水中非致癌物质的危害^[14]。从表 3 还可以看出非致癌物质的个人年风险度比化学致癌物质小了 3 个数量级,化学致癌物质和非致癌物质占个人年总风险度的比例分别为 99.95%、0.05%。

水体中氟化物、硝酸盐、Pb、Mn、Fe、氨氮占非致癌物质年总风险度的比例分别为 26.65%、18.02%、50.03%、3.15%、1.65%、0.5%,见图 2。

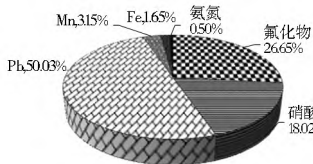


图 2 各类污染物占非致癌物质年总风险的比例

Fig. 2 The risk percentages of various pollutants of the total risk of somatic toxic substance

4 结论

采用多指标综合评价方法对二河水源地现状水质进行评价,结果表明其安全等级为 2 类,即水源地水质整体上是安全的。同时,利用水质健康风险评价模型的评价结果表明,虽然二河水源地水体中监测项目 Pb、氟化物、Mn、Fe、氨氮和砷的单因子安全评价指数均为 2,但其个人年风险度相差较大,由大到小依次为: $As > Pb > \text{氟化物} > Mn > Fe > \text{氨氮}$ 。水体中的主要污染物为砷,所以在水质管理中应加强控制化学致癌物质砷的排放量。

由于本文水质健康风险评价模型评价的是由饮水途径所致健康危害的风险,而且主要评价项目只考虑了化学致癌物质和非致癌物质,未考虑放射性物质,加上资料所限,未对有机物由饮水途径所致的健康危害进行评价,因此本文计算的风险度比实际偏小。

参考文献(References):

[1] Kunwar P Singh, Amrita Malik, Sarita Sinha. Water Quality

- Qssessment and Qpportionment of Pollution Sources of Gomti River (India) using Multivariate Statistical Techniques A Case Study[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, 538(1-2): 355-374.
- [2] 燕敏飞, 彭勇, 王国利. 基于熵权权重的可变模糊理论在大连市地下水水质评价中的应用[J]. *南水北调与水利科技*, 2012, 10(3): 58-61. (YAN Minfei, PENG Yong, WANG Guoli. Application of Variable Fuzzy Sets Model Based on Entropy Weight in Groundwater Quality Assessment of Dalian[J]. *South to North Water Diversion and Water Science & Technology*, 2012, 10(3): 58-61. (in Chinese))
- [3] 朱叶华, 曾涛, 杨军, 等. 综合水质指数法对长沙湘江段的水质评价[J]. *南水北调与水利科技*, 2010, 8(5): 122-124. (ZHU Yehua, ZENG Tao, YANG Jun, et al. Water Quality Assessment in Shashi of the Yangtze River by Comprehensive Water Quality Index[J]. *South to North Water Diversion and Water Science & Technology*, 2010, 8(5): 122-124. (in Chinese))
- [4] U. S. EPA. The Risk Assessment Guidelines of 1986[R]. EPA/600/1887/045. Washington DC: Office of Emergency and Remedial Response, U. S. EPA, 1986.
- [5] Said Muhammada, M. Tahir Shah, Sardar Khan. Arsenic Health Risk Assessment in Drinking Water and Source Apportionment using Multivariate Statistical Techniques in Kohistan Region, Northern Pakistan[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(10): 2855-2864.
- [6] 祝慧娜, 袁兴中, 曾光明, 等. 基于动态聚类分析的水环境健康风险综合评价[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2010, 37(9): 73-78. (ZHU Huina, YUNA Xingzhong, ZENG Guangming, et al. Integrated Assessment of the Environmental Health Risks of Water Sources Based on Dynamic Cluster Analysis[J]. *Journal of Hunan University(Natural Sciences)*, 2010, 37(9): 73-78. (in Chinese))
- [7] 李如忠. 基于不确定信息的城市水源水环境健康风险评价[J]. *水利学报*, 2007, 38(8): 895-900. (LI Ruzhong. Assessment for Environmental Health of Urban Water Supply Source Based on Uncertain Information[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(8): 895-900. (in Chinese))
- [8] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典·淮河卷[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010: 129-130. (Editorial Committee of Encyclopedia of Rivers and Lakes in China. Encyclopedia of Rivers and Lakes in China: Section of Huaihe River Basin[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2010: 129-130. (in Chinese))
- [9] 水利部水利电力规划设计总院. 全国城市饮用水水源地安全状况评价技术细则[R]. 北京: 水利部水利电力规划设计总院, 2005. (Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, MWR. The Technical Details of National City Drinking Water Sources Safety Evaluation[R]. Beijing: Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, MWR, 2005. (in Chinese))
- [10] GB 3838-2002, 中华人民共和国地表水环境质量标准[S]. (GB 3838-2002, Surface Water Quality Standards of the People's Republic of China[S]. (in Chinese))
- [11] U. S. EPA. Superfund public health evaluation manual[S]. EPA/540/186060, 1986.
- [12] U. S. EPA. Supplement risk assessment Part I. Guidance for public health risk assessment[S]. EPA, 601/528922001, 1989.
- [13] Kannan Krishnan, Joel Paterson, David T Williams. Health Risk Assessment of Drinking Water Contaminants in Canada: the Applicability of Mixture Risk Assessment Methods[J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 1997, 26(2): 179-187.
- [14] 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评估模型及其应用[J]. *水电能源科学*, 1997, 15(4): 28-33. (ZENG Guangming, ZHUO Li, ZHONG Zhenglin, et al. Assessment Models for Water Environmental Health Risk Analysis[J]. *Water Resources and Power*, 1997, 15(4): 28-33. (in Chinese))

(上接第41页)

- [6] 于延胜, 陈兴伟. RS和Mann-Kendall法综合分析水文时间序列未来的趋势特征[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2008, 19(3): 41-44. (YU Yansheng, CHEN Xingwei. Analysis of Future Trend Characteristics of Hydrological Time Series Based on RS and Mann-Kendall methods[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2008, 19(3): 41-44. (in Chinese))
- [7] 王洁, 徐宗学. 白洋淀流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析[J]. *资源科学*, 2009, 31(9): 1498-1505. (WANG Jie, XU Zongxue. Long term Trend and the Sustainability of Air Temperature and Precipitation in the Baiyangdian Basin[J]. *Resources Science*, 2009, 31(9): 1498-1505. (in Chinese))
- [8] 徐宗学, 李占玲, 史晓崑. 石羊河流域主要气象要素及径流变化趋势分析[J]. *资源科学*, 2007, 29(5): 12-128. (XU Zongxue, LI Zhanling, SHI Xiaokun. Long-term Trends of Climatic Variables and Runoff in the Shiyang River Basin[J]. *Resources Science*, 2007, 29(5): 12-128. (in Chinese))
- [9] 樊毅, 周芸, 邹玥, 等. 西南干热河谷降水蒸发变化趋势分析[J]. *人民长江*, 2010, 41(3): 17-20. (FAN Yi, ZHOU Yun, ZOU Yue et al. Analysis on Change Trend of Precipitation and Evaporation in Dry-hot Valley in Southwest China[J]. *Yangtze River*, 2010, 41(3): 17-20. (in Chinese))
- [10] Mandelbrot B B, Wallis J R. Some Long-run Properties of Geographical Records[J]. *Water Resource Research*, 1969, 5(2): 321-340.
- [11] Mandelbrot B B, Wallis J R. Robustness of the Rescaled Range R/S in the Measurement of Noncyclic Long-run Statistical Dependence[J]. *Water Resource Research*, 1969b, 5(4): 967-988.
- [12] 程建刚, 解明恩. 近50年云南区域气候变化特征分析[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(5): 19-26. (CHENG Jiangan, XIE Ming'en. The Analysis of Regional Climate Change Features over Yunnan in Recent 50 Years[J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(5): 19-26. (in Chinese))
- [13] 姜世中, 梁川. 降水和植被变化对龙川江径流量的影响[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2006, 38(5): 58-64. (JIANG Shizhong, LIANG Chuan. The Influence of Precipitation and Vegetation Change on the Runoff of Longchuanjiang River[J]. *Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition)*, 2006, 38(5): 58-64. (in Chinese))