

# 中国典型地区高碘地下水分布特征及启示

张二勇<sup>1</sup> 张福存<sup>2</sup> 钱 永<sup>3</sup> 叶念军<sup>4</sup> 龚建师<sup>4</sup> 王雨山<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局, 北京 100037; 2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051;

3. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050803; 4. 南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

**提要:**长期饮用高碘水( $>150 \mu\text{g/L}$ )将对人体造成危害。中国有 12 个省市存在高碘地下水, 主要分布在干旱半干旱内陆盆地、冲洪积平原区和沿海地区, 黄淮海平原是高碘地下水的主要分布区, 在分析华北平原、淮海流域平原高碘地下水分布特征及成因的基础上, 指出地下水中的碘主要是海洋碘通过大气输入, 受此影响近海地区含水层碘含量往往较高; 由河湖相地层组成且富含有机质、粘土矿物和铁铝氧化物的含水层有利于碘的富集; 呈中-碱性的灰岩风化层土壤也有利于碘的富集, 其中的碘通过水循环进入地下含水层, 形成高碘地下水区。在此基础上, 针对《生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)》碘限值规定的缺项和《地下水质量标准(GB/T14848-93)》碘限值规定的不足, 提出了地下水质量标准中碘限值修改的建议。

**关键词:**地下水; 高碘; 限值; 建议

**中图分类号:** P641.69

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3657(2010)03-0797-06

## 1 前言

碘是维持生物生长发育必须的微量元素, 高碘或缺碘均能引起人类或动物的各种疾病<sup>[1]</sup>。随着中国碘缺乏病基本得到控制, 高碘所带来的一系列健康问题也逐渐引起重视。根据卫生部提出的《水源性高碘地区和地方性高碘甲状腺肿病区的划定》标准, 居民饮用水碘含量超过  $150 \mu\text{g/L}$  为高碘地区、超过  $300 \mu\text{g/L}$  为高碘病区、超过  $1000 \mu\text{g/L}$  为超高碘区域。中国现有 12 个省市存在高碘地区<sup>[2-4]</sup>, 包括北京、天津、河北、河南、山东、山西、内蒙古、新疆、江苏、安徽、福建、陕西。区域上主要位于黄淮海平原、干旱内陆盆地、沿海地区等, 其中黄淮海平原是中国高碘地下水的主要分布区。

中国《生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)》中缺少碘限值标准的规定, 现行《地下水质量标准(GB/T14848-93)》中碘限值偏高, 不能有效地指导城乡居民安全供水。本文介绍华北平原、淮河流域典型地区高碘地下水分布特征, 并从含水层分布的地

理位置和沉积相角度, 对其成因进行初步讨论, 最后探讨地下水质量标准中碘限值的合理取值, 为有关标准规范的修订完善和安全供水提供参考。

## 2 华北平原高碘地下水分布及成因

### 2.1 地理概况

华北平原位于中国东部, 东临渤海, 西抵太行山, 北起燕山, 南至黄河, 包括北京、天津、河北省的全部平原及河南省、山东省的黄河以北平原地区, 面积  $14 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。年均降雨量 500~600 mm。

### 2.2 水文地质条件

华北平原第四系最厚达 600 m 左右, 区内广泛分布松散岩类孔隙地下水。含水层岩性从山前冲洪积平原的卵砾石逐渐过渡到中东部冲湖积、海积平原为的中粗砂、中细砂及粉细砂。根据埋藏条件、循环特征和滞留时间, 可将华北平原地下水划分为浅层地下水和深层地下水。浅层地下水一般分布于地表以下 120~170 m 以浅, 深层地下水的底界埋深由山前的 100 m 到东部平原逐渐增加到 550 m 左右, 是在

收稿日期: 2010-04-20; 改回日期: 2010-05-12

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010634700)资助。

作者简介: 张二勇, 男, 1978 年生, 博士, 从事水文地质调查研究工作; E-mail: zeryong@mail.cgs.gov.cn。

地质历史时期补给形成,并且循环更新速度极弱的地下水。主要分布在中东部的细颗粒含水层地区。

2.3 高碘地下水分布特征

为研究地下水中碘的分布,在华北平原 14×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 范围内共采集地表水、地下水样品 6021 组,根据所取样品测试结果,不同碘含量区间值的地下水样品所占百分数如表 1 所示,超过 60%的样品碘含量小于 40 μg/L,有将近 20%的样品碘含量大于 150 μg/L,属于高碘水。说明华北平原大部分地区地下水中碘含量不超标,但存在一定面积高碘地下水分布区。

从区域分布来看,华北平原山前冲洪积平原—中部平原西部的大部分区域碘含量均小于 150 μg/L,尤

其山前平原,除邯郸地区有少数点的碘含量大于 1000 μg/L 外,其余地区均低于 150 μg/L。碘含量大于 150 μg/L 的地下水主要分布在华北平原的东南部和东部地区的冲湖积平原和黄河冲洪积平原区。

就检出层位来看,华北平原深层地下水中碘含量高于浅层地下水(表 2)。深层地下水(埋深>200 米)碘含量最高值达 10600 μg/L;而井深在 100~200 m 的井水中碘含量相对最低,最高值为 482 μg/L。

根据《水源性高碘地区和地方性高碘甲状腺肿病区的划定》,居民饮用水碘含量超过 150 μg/L 的地区即为高碘地区。由浅层地下水碘含量等值线分区图(图 1-a)可以看出,华北平原山前平原为低碘地下水分布区,高碘水分布地区及碘的最高值在天

表 1 华北平原不同碘含量区间值地下水样品百分数统计  
Table 1 Percentage statistics of groundwater samples of different iodine content intervals in North China plain

碘含量 (μg/L)	<40	40~80	80~100	100~150	150~300	>300
样品数 (%)	60.63	9.10	2.57	8.22	10.88	8.59

表 2 不同深度地下水中碘含量统计  
Table 2 Groundwater iodine content at different depths in North China plain

深度 (m)	碘含量的最低值 (μg/L)	碘含量的最高值 (μg/L)
<50	1.66	1901
50~100	1.11	1302
100~200	1.14	482
>200	1.03	10600

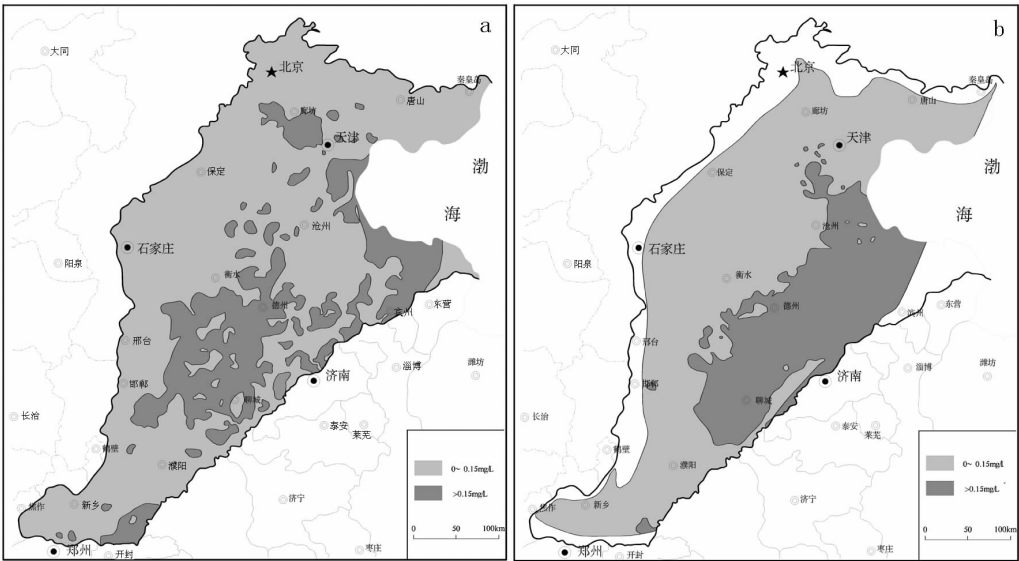


图 1 华北平原浅层(左)、深层(右)地下水碘含量等值线分区图(阶值 150 μg/L)  
Fig.1 Iodine content contour lines of shallow layer (left) and deep layer groundwater in North China plain

津大港为 600  $\mu\text{g/L}$ 、塘沽为 900  $\mu\text{g/L}$ 、河北廊坊为 1800  $\mu\text{g/L}$ 、沧州部分地区为 900  $\mu\text{g/L}$ 、衡水—邢台—邯郸一线东南地区为 1800  $\mu\text{g/L}$ 、鲁北平原的大部分地区为 150~300  $\mu\text{g/L}$ 、山东聊城—德州一线西北地区为 1200  $\mu\text{g/L}$ 、豫北平原东南部地区为 600  $\mu\text{g/L}$ 。

由深层地下水碘含量等值线分区图(图 1-b)可以看出:深层地下水缺碘或低碘地区分布范围远较浅层地下水大,且深层地下水高碘分布相对集中,主要集中在鲁北平原,河北和天津有小范围分布,且主要分布在与鲁北平原相接的南部地区。鲁北平原部分地区为深层地下水高碘区,尤其聊城地区和德州—滨州一线为连续分布的高碘区,聊城地区碘含量最高达 2600  $\mu\text{g/L}$ ,德州—滨州一线碘含量一般为 600~1200  $\mu\text{g/L}$ ,最高为 1350  $\mu\text{g/L}$ 。河北平原深层地下水高碘区主要分布在沧州地区和衡水南部地区,其碘含量一般为 400~600  $\mu\text{g/L}$ ,最高值为 750  $\mu\text{g/L}$ (沧州南部)。天津平原深层地下水普遍低碘或缺碘,仅在静海区西南部、大港区南部有少量高碘水分布,且碘含量为 150~300  $\mu\text{g/L}$ 。

2.4 高碘地下水成因分析

华北平原浅层和深层高碘地下水均分布于地下水径流滞缓的华北平原中东部—南部地区冲积湖积平原与黄河冲积平原的交接部位,以及漳河、卫河和黄河在地质历史中不断改道形成的古浅水洼地区,这些分布区的沉积因河流下游地形梯度减小,冲湖积相沉积物中粘土和动植物残骸易于积聚,导致有机质含量增多,吸附碘的能力增强。在还原环境下随同有机质分解而解析出碘。

其次,华北平原近海地带,更新世曾发生几次海侵,沉积了海相地层。自全新世以来沿海带经常受风暴潮影响,海水沿河道倒灌和浸没,浅层沉积易被海水浸泡,使沉积物中可溶碘含量明显增大。

除了含水层中沉积物的高碘以外,还有大气中碘含量分布差异,越靠近渤海大气含碘量越高,这样降水、地表水和地下水的碘输入量越高。

3 淮河流域平原区高碘地下水分布及成因

3.1 地理概况

淮河流域地处暖温带,年降雨量 900~1100 mm。总面积为 27×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,西部、西南部及东北部为山区、丘陵区,其余为广阔的平原。山丘和平原的面积为 1:2。淮河干流以北为冲洪积平原,自西北向东南倾斜,高程一般 15~50 m。

3.2 水文地质条件

区内松散岩类孔隙水广泛分布,基岩裂隙水和岩溶水也较发育,松散岩类含水系统以 50 m 深度为界,分为浅层和深层含水系统。浅层含水岩组由全新统及上更新统组成,岩性主要为粉砂与细砂;深层含水岩组埋藏于地表 50 m 以下,目前开采深度多在 100~300 m,由中、下更新统及部分上新近系组成,含水层岩性主要为细、中砂及部分砂砾。

3.3 高碘地下水分布特征

在淮河流域平原区 18×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 范围内采集的 3846 组地下水样品中,碘含量低于 150  $\mu\text{g/L}$  的占总样品数的 85%,低于 100  $\mu\text{g/L}$  的占 79.9%,高于 150  $\mu\text{g/L}$  的高碘地下水样品数占到 14.9%(表 3)。

高碘地下水分布呈现较好的规律性(图 2),河南周口、山东菏泽和江苏徐州为最集中区域,其次,河南漯河、郑州、商丘,山东济宁、泰安、枣庄,江苏宿迁、连云港、淮安次之,安徽淮北、亳州也有零星分布。值得说明的是,河南周口地区检出高碘非常多,但是达到致病程度的很少,碘含量基本处于 150~300  $\mu\text{g/L}$ 。高碘病区地下水碘含量平均 874.7  $\mu\text{g/L}$ ,主要集中分布在山东菏泽、江苏徐州地区,而济宁、连云港、淮安、安徽亳州有零星分布。超高碘样品 22 组,占样品总数的 0.57%,主要集中分布在江苏沿海地区和济徐淮岩溶下伏地区。

浅层地下水一般为区内分散供水水源,农业用水(灌溉、农村生活用水)基本取于此层位;深层地下水主要用于集中供水,是区内非常重要的供水水源。

表 3 淮河流域平原区不同碘含量区间值地下水样品百分数统计  
Table 3 Percentage statistics of groundwater samples of different iodine content intervals in Huaihe plain

碘含量 ( $\mu\text{g/L}$ )	≤40	40~80	80~100	100~150	150~300	>300
样品数 (%)	66.2%	9.4%	4.3%	5.3%	8.5%	6.4%

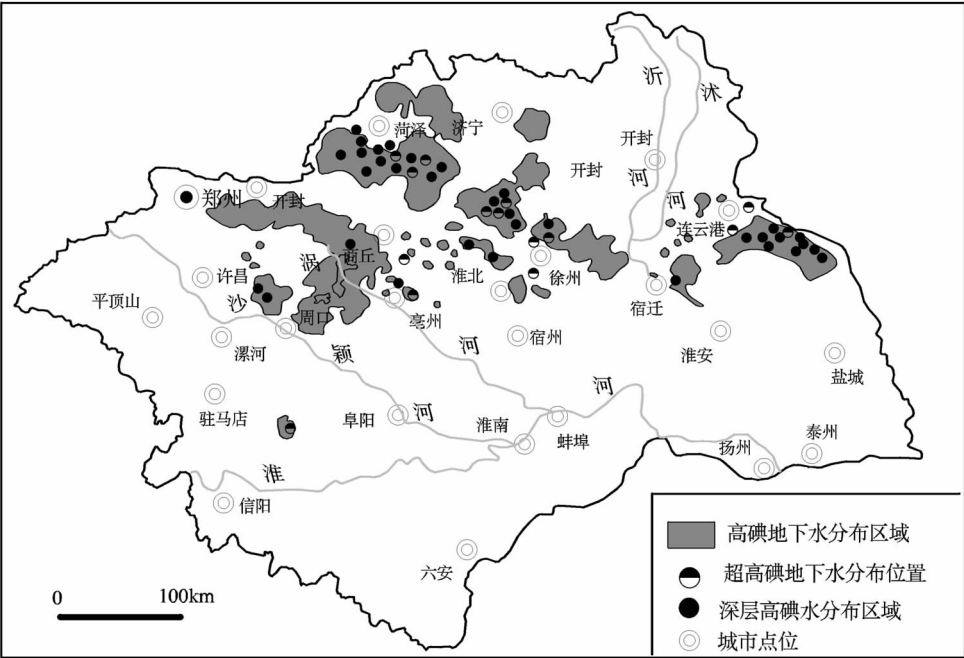


图 2 淮河流域高碘地下水分布图  
Fig.2 High iodine groundwater location in Huaihe plain

在 519 组高碘样品中,浅层地下水样品 457 组,占 88%,碘含量平均  $520.5\text{ }\mu\text{g/L}$ ;高碘致病样品 199 组,占 38%。主要分布在山东菏泽地区和江苏徐连地区,河南仅有部分地区分布,安徽最少,仅在皖北颍山、濉溪、亳州有分布。

深层地下水高碘样品 62 组, 占高碘总数比例 12%,碘含量平均  $310.6\text{ }\mu\text{g/L}$ 。主要分布在江苏洪泽湖东岸、苏北沿海及山东菏泽地区,河南有少部分分布。

总体上淮河流域高碘地下水中的浅层水碘含量高于深层水,在山东、苏北地区尤其明显(表 4)。

3.4 高碘地下水成因分析

淮河流域高碘地下水出现 3 个明显的区域分带:一是周口商丘亳州菏泽济宁一带,该带在  $Q_1$ 、 $Q_2$  时期属于黄淮海平原的沉降带,四周为山地,大量碎

屑物在地势低洼地带汇集,形成了以河湖相沉积为主。自  $Q_3$  以来一直处于黄河冲击扇的扇缘。因此,该带内沉积物富含粘土和有机质,有利于碘的富集,其他基本情况同上述华北平原;二是淮北徐州一带,由于灰岩裸露区的松散堆积物受到母岩(灰岩)碎屑的影响,沉积物为中碱性交替,吸附的碘以碘酸根  $IO_3$  形式存在,不能通过挥发转为气相,造成沉积物高碘;三是宿迁—连云港一带,属于基岩浅埋带,松散堆积物受海侵的影响明显,基本情况同上述华北平原。

4 地下水质量标准中碘限值的探讨

根据世界卫生组织(WHO)关于人体碘摄入量的最新推荐值<sup>[5]</sup>,成人每日碘的适宜供给量为每天

表 4 淮河流域平原区不同深度地下水中碘含量统计  
Table 4 Groundwater iodine content at different depths of Huaihe plain

深度 (m)	碘含量的最低值 ( $\mu\text{g/L}$ )	碘含量的最高值 ( $\mu\text{g/L}$ )
$\leq 50$	$<1$	68000
50~100	$<1$	1150
100~200	$<1$	750
$>200$	$<1$	480



80~150  $\mu\text{g/L}$ ,假设碘来源全部为饮用地下水,平均日饮水量为 2 L 的标准,饮用地下水中碘限值应该为 40~75  $\mu\text{g/L}$ 。结合前述华北平原、淮河流域、太原盆地地下水中碘的实际分布状况,参考有关资料尝试将地下水中碘限值做如下划分(表 5)。

按照新的划分标准对华北平原地下水质量进行了重新评价和分析,初步探讨地下水中碘限值的合

理取值。

对比华北平原碘限值修正前后两次评价结果(图 3~4)可以看出,I、II、III 和 IV 类水分布面积减少,V 类水分布面积明显增加,华北平原的保定、衡水、邯郸、鹤壁等城市 V 类水面积扩大明显,各类水分布面积变化见表 6。

根据华北平原地下水质量综合评价结果,碘限

表 5 地下水中碘限值新标准					
Table 5 New groundwater iodine standard					
指标	I 类水	II 类水	III 类水	IV 类水	V 类水
碘化物 ( $\mu\text{g/L}$ )	$\leq 40$	$\leq 40$	$\leq 40$	$\leq 80$	$> 80$

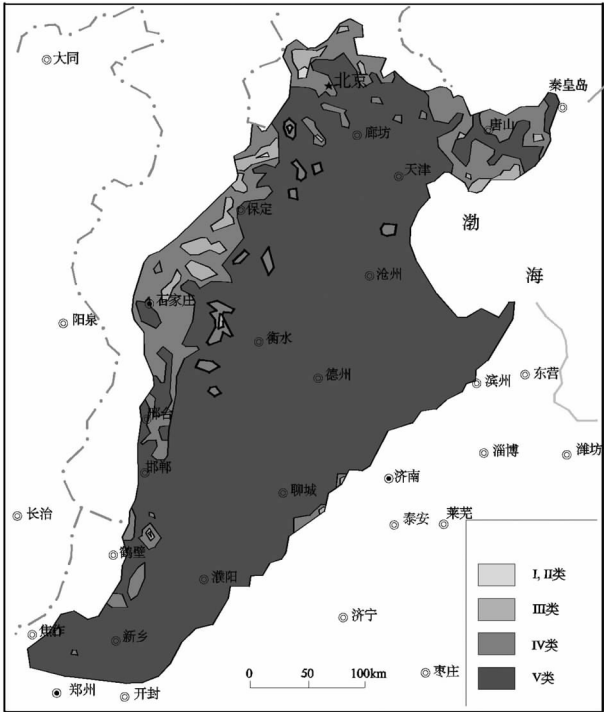
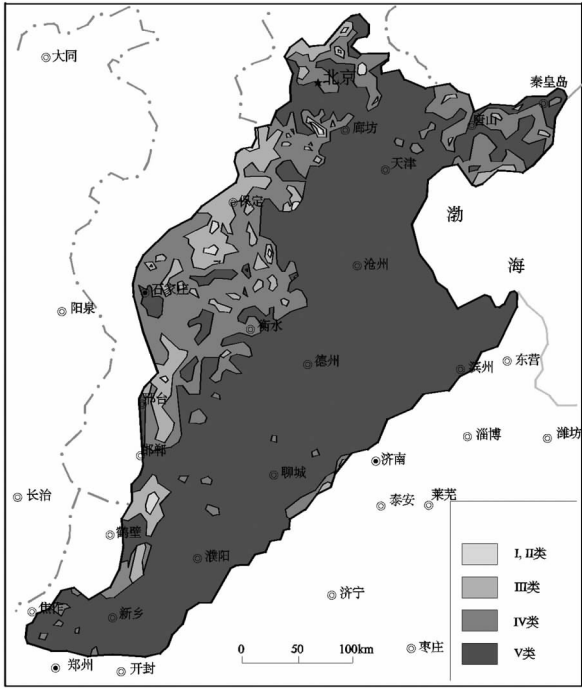


图 3 华北平原地下水质量综合评价图(修订前)

Fig.3 Groundwater quality evaluation map of North China plain (based on groundwater quality standard(GB/T14848-93))

图 4 华北平原地下水质量综合评价图(修订后)

Fig.4 Groundwater quality evaluation map of North China plain (based on Table 6)

表 6 华北平原碘限值修改前后不同等级地下水分布面积统计			
Table 6 Statistics of groundwater distribution areas according to old and new iodine standards in North China plain			
地下水质量分级	修订前分布面积 ( $\text{km}^2$ )	修订后分布面积 ( $\text{km}^2$ )	
I+II	69.8	1.9	
III	8328.8	5082.5	
IV	29457.4	18616.8	
V	98204.4	112359.2	

值修改后将地下水综合质量产生明显劣化影响,Ⅴ类水的面积增加明显,并将直接影响到中国现状供水结构和供水体系,根据华北平原碘限值修改前后的对比分析,结合中国供水实际状况,建议在修订《地下水质量标准(GB/T14848-93)》碘限值时,部分地区Ⅲ类地下水的碘限值可适度放宽到80~100  $\mu\text{g/L}$ ,从华北平原地下水质量综合评价来看,如果将Ⅲ类地下水质量标准中碘限值取为100  $\mu\text{g/L}$ ,那么仅有占13.2%的Ⅲ类水不再符合饮用水标准,整体上不会对供水现状产生明显影响,同时Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ类地下水的碘限值也可相应适度调整。

地下水质量标准中碘限值的修改涉及到地质、卫生、水利等多部门多学科,需要各领域学者共同研究从而制订一个科学合理的取值。本文仅从地下水方面进行初步探讨,以供参考。

**致谢:**本文参考了国土资源大调查项目成果,在此对相关单位和个人表示感谢!中国地质环境监测院王瑞久先生对文章的修改提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

## 参考文献(References):

- [1] 陈祖培. 中国控制碘缺乏病的对策[M]. 天津:天津科学技术出版社, 2002.  
Chen Zhupei. Tactics of IDD Control in China [M]. Tianjing: Science & Technology Press, 2002(in Chinese).
- [2] 张根红. 水源性高碘研究进展 [J]. 河南预防医学杂志, 2006, 17(1): 48-50.  
Zhang Genhong. The research progress on excessive iodine in drinking water [J]. Henan Journal of Preventive Medicine, 2006, 17(1): 48-50(in Chinese with English abstract).
- [3] 申红梅, 张树彬, 刘守军, 等. 全国高水碘地区地理分布及高碘地区水碘等值线研究[J]. 中国地方病学杂志, 2007, 26(6): 658-661.  
Shen Hongmei, Zhang Shubin, Liu Shoujun, et al. Study on geographic distribution of national high water iodine areas with contours of water iodine in high iodine areas [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2007, 26(6): 658-661 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王培桦, 赵金扣, 何天焯, 等. 江苏黄泛平原高碘水源分布特点[J]. 中国公共卫生, 1998, 14(8): 459-460.  
Wang Peihua, Zhao Jinkou, He Tianyu, et al. The features of distribution of high iodine water in Jiangsu Yellow River floodplain [J]. Chinese Public Health, 1998, 14(8): 459-460(in Chinese).
- [5] WHO (2003) Iodine in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/46).

## The distribution of high iodine groundwater in typical areas of China and its inspiration

ZHANG Er-yong<sup>1</sup>, ZHANG Fu-cun<sup>2</sup>, QIAN Yong<sup>3</sup>,  
YE Nian-jun<sup>4</sup>, GONG Jian-shi<sup>4</sup>, WANG Yu-shan<sup>2</sup>

(1. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. Center of Hydrogeology and Environmental Geology Survey, Baoding 071051, Hebei, China; 3. Institute of hydrogeology and Environmental Geology, Shijiazhuang 050803, Hebei, China; 4. Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

**Abstract:** High iodine water is harmful to human health. High iodine groundwater is distributed around arid and semi arid inland basins, fluvial plains and coastal areas, which cover 12 provinces and autonomous regions in China. Huanghuaihai plain is a major region of high iodine groundwater. This paper points out that the source of iodine in groundwater is derived from the sea and brought in through atmosphere cycle, so iodine in the coastal aquifer, such as coastal aquifer of Huabei plain and that of Huaihe river plain, is usually high. The aquifer composed of alluvial and lake deposited materials with rich organic matter, ferric oxide and aluminum oxide often has high iodine, and the weathering crust of limestone possesses strong adsorption capacity for iodine. At last, this paper gives some suggestions for modification of iodine indexes in Groundwater Quality Standard(GB/T14848-93) of China.

**Key words:** high iodine; groundwater; iodine Index and suggestion

**About the first author:** ZHANG Er-yong, male, born in 1978, doctor, engages in hydrogeology; E-mail: zeryong@mail.cgs.gov.cn.