

中国城市地下水饮用水源地水质状况评价

唐克旺¹,朱党生²,唐 蕴¹,王 研¹

(1. 中国水利水电科学研究院水资源所,北京 100044; 2. 水利部水利水电规划设计总局,北京 100011)

摘要 根据调查的全国建制市和县级城镇的集中式地下水饮用水水源地水质监测结果,评价了我国城市地下水饮用水水源地的水质安全状况、污染特征、变化趋势等,为城市饮用水安全保障提供了重要的基础。评价结果表明,按照水质综合评价方法,全国城市 1 817 个地下水饮用水源地中,水质安全存在问题的比例高达 49.48%,其中有一般理化指标,也有有毒类物质。按照人为污染因子进行评价,不考虑天然水文地球化学特征的影响,有 25.88%的水源地受到不同程度的人为污染。

关键词 城市 地下水 饮用水水源 水质

中图分类号 TP641.8 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)01-0001-04

Groundwater quality assessment of urban drinking water sources in China

TANG Ke-wang¹, ZHU Dang-sheng², TANG Yun¹, WANG Yan¹

(1. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 2. General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Beijing 100011, China)

Abstract According to the groundwater quality monitoring data in drinking water source areas in the urban areas of China, the water quality security, pollution characteristics, and water quality changes were studied. The results show that, using general water quality evaluation methods, water quality in 49.48% of 1817 underground drinking water sources exceeds the water quality standard for one or more chemicals or toxic compounds. If the components controlled by natural hydrogeological characteristics are excluded and only the chemicals or indicators induced by human activities are taken into account, 25.88% of the groundwater sources were polluted.

Key words city; groundwater; drinking water sources; water quality

城市是我国社会经济发展的重要地区。2004 年,全国建制市及县级城镇人口达 3.8 亿,如果再考虑流动人口(居住半年以下的暂住人口),居住和生活在城市的人口数超过全国总人口的 30%^[1]。全国有三分之二的城市依靠地下水作为生活供水水源^[2]。可见,地下水水质对城市饮用水安全保障及城镇居民身体健康具有十分重要的影响。根据有关资料,随着我国城市的发展和城镇人口的增加,城市水污染问题越来越突出。根据《2005 年中国水资源质量年报》,当年全国城市全年符合饮用水标准的饮用水水源地仅占 53%^[3],监测总频次的合格率高于 80%的水源地不足 70%。地下水作为重要的城市饮

用水水源,水质问题也十分突出。据有关部门对 118 个城市 2~7 年的连续监测资料,约有 64%的城市地下水遭受了严重污染,33%的城市地下水受到轻度污染,基本清洁的城市地下水只有 3%。同时,城市地下水污染存在逐步恶化和发生有机有毒污染的趋势。根据《2005 年国土资源公报》,全国 158 个城市的地下水水质监测资料显示,污染趋势加重的城市有 21 个^[4]。可见,我国地下水水质问题已经十分突出。

以往我国没有全面开展过城市地下水水质的调查和评价工作,对于全国城市地下水的水质状况、污染严重程度、污染变化趋势等,缺乏系统的全覆盖式评价,仅个别部门针对少数城市进行典型调查。这

作者简介 唐克旺(1963—),男,吉林农安人,教授级高级工程师,博士,主要从事水资源保护和管理、生态环境保护等研究。E-mail: kwatang@iwhr.com

些结论难免以偏概全,不能全面客观真实地反映我国城市地下水饮用水源地的水质状况。本文利用水利部开展的“全国城市饮用水水源地安全保障规划”中的调查评价数据,系统地评价了全国建制市和县(镇)的城市地下水水质状况,对城市居民饮水安全保障具有重要的参考意义。

1 调查和评价方法

对全国城市 1 817 个集中式地下水供水水源地进行了调查。现状年份为 2004 年,数据采用多监测时段的水质数据数学平均值代表全年水质状况。

调查项目为 GB/T 14848—93《地下水质量标准》的 39 项以及其他一些补充项目,如有机物。水质评价主要依据 GB/T 14848—93《地下水质量标准》和 GB 5749—1985《生活饮用水卫生标准》。由于监测项目不全,很多项目数据缺乏,数据覆盖超过 75% 水源地的项目包括:pH 值、高锰酸盐指数、氨氮、氟化物、总硬度、氯化物、硫酸盐、TDS、亚硝酸盐、硝酸盐、铁、锰、挥发性酚类、汞、碘化物、镉、氰化物、铬、铜、砷、铅 21 项,统一采用这些指标进行评价。

参考生活饮用水卫生标准,将各水源地所有监测项目划分为一般化学指标、细菌学指标、毒理学指标和放射性指标 4 类。评价分水质安全评价和污染分析 2 类。

水源地水质安全评价又分 3 类:综合评价、一般评价和有毒评价。综合评价是按照所有项目的最差项目赋全权的“一票否决法”来确定水源地的水质类别及安全状况。一般评价按照感官指标和一般化学指标,加上细菌学指标进行“一票否决法”评价;有毒评价按照毒理学指标和放射性指标进行“一票否决法”评价。

水源地水质状况按照不同水质类别的水源地数量来评价。按照地下水质量标准,依据我国地下水水质现状、人体健康基准值与地下水质量保护目标,参照生活饮用水、工业与农业用水水质要求:

I 类:主要反映地下水化学组分的天然低背景含量。适用于各种用途。

II 类:主要反映地下水化学组分的天然背景含量。适用于各种用途。

III 类:以人体健康基准值为依据。主要适用于集中式生活饮用水水源及工业、农业用水。

IV 类:以农业和工业用水要求为依据。除适用于农业和部分工业用水外,适当处理后可作生活饮用水。

V 类:不宜饮用,其他用水可根据使用目的选用。

因此,I、II、III 类水质类别为安全类别,IV、V 类水质已经影响到饮用功能和人体健康,确定为不安全的

水源地。由于 IV 类水源地的水经过适当处理后,可以作为生活饮用水,确定为“轻度不安全”,V 类水确定为“严重不安全”。地下水质量分类指标见表 1。

表 1 地下水质量分类指标

项目	单位	标准值与对应类别				
		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
pH		6.5~8.5	6.5~8.5	6.5~8.5	5.5~6.5, 8.5~9.0	<5.5, >9.0
COD _{Mn}	mg/L	≤1.0	≤2.0	≤3.0	≤10	>10
NH ₃ -N	mg/L	≤0.02	≤0.02	≤0.2	≤0.5	>0.5
氟化物	mg/L	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0
总硬度 (以 CaCO ₃ 计)	mg/L	≤150	≤300	≤450	≤550	>150
氯化物	mg/L	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
硫酸盐	mg/L	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
溶解性总 固体/(TDS)	mg/L	≤300	≤500	≤1 000	≤2 000	>2 000
亚硝酸盐 (以 N 计)	mg/L	≤0.001	≤0.01	≤0.02	≤0.1	>0.1
硝酸盐 (以 N 计)	mg/L	≤2.0	≤5.0	≤20	≤30	>30
铁(Fe)	mg/L	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤1.5	>1.5
锰(Mn)	mg/L	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.0	>1.0
挥发性酚类 (以苯酚计)	mg/L	≤0.001	≤0.001	≤0.002	≤0.01	>0.01
汞(Hg)	mg/L	≤0.000 05	≤0.000 5	≤0.001	≤0.001	>0.001
碘化物	mg/L	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤1.0	>1.0
镉(Cd)	mg/L	≤0.000 1	≤0.001	≤0.01	≤0.01	>0.01
氰化物	mg/L	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
铬(六价)	mg/L	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
铜(Cu)	mg/L	≤0.01	≤0.05	≤1.0	≤1.5	>1.5
砷(As)	mg/L	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.05	>0.05
铅(Pb)	mg/L	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1

注:表中只列出了本文涉及的 21 项指标。

由于地下水水质受人为和天然因素的共同影响,需要区分出天然影响和人为污染之间的界限^[5-6]。因此,污染分析采用人为影响因子如高锰酸盐指数、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、挥发性酚类、氰化物等进行。氟化物、总硬度、氯化物、硫酸盐、TDS 铁、锰等由于主要是水文地球化学特征决定的,不纳入污染评价范围。污染分析分未污染(I、II、III 类)、轻污染(IV 类)及重污染(V 类)3 级。

以 III 类水质标准作为控制标准,评判超标与否。超标率为某评价因子浓度超过 III 类标准值的水源地数占某行政区和评价范围内总监测井数的比例。

2 水质安全评价

2.1 城市地下水水质总体状况

表 2 为 1 817 个全国城市地下水水源地的总体评价结果。从综合评价结果来看,全国城市地下水水源地水质状况十分严峻,有 899 个(占总数的 49.48%)的水源地存在水质安全问题,其中 IV 类

轻度不安全的水源地占 20.69%，Ⅴ类严重不安全的水源地占 28.78%。

表 2 全国城市地下水饮用水水源地水质总体状况						
水质类别	综合评价		一般评价		有毒评价	
	水源地/个	比例/%	水源地/个	比例/%	水源地/个	比例/%
I	36	1.98	82	4.51	305	16.79
Ⅱ	198	10.90	337	18.55	467	25.70
Ⅲ	684	37.64	693	38.14	622	34.23
Ⅳ	376	20.69	337	18.55	167	9.19
Ⅴ	523	28.78	368	20.25	256	14.09
总计	1817	100.00	1817	100.00	1817	100.00

从一般安全评价结果看,存在水质不安全问题的水源地共 705 个,占总数的 38.8%。其中Ⅳ类轻度不安全的水源地占 18.55%，Ⅴ类严重不安全的水源地占 20.25%。

从有毒评价结果看,存在水质安全问题的水源地达 423 个,占水源地总数的 23.28%。其中Ⅳ类轻度不安全的水源地占 9.19%，Ⅴ类严重不安全的水源地占 14.09%。

2.2 主要因子分析

根据对 1817 个水源地的水质监测和评价,超标率从高到低排序的前 20 项见图 1。

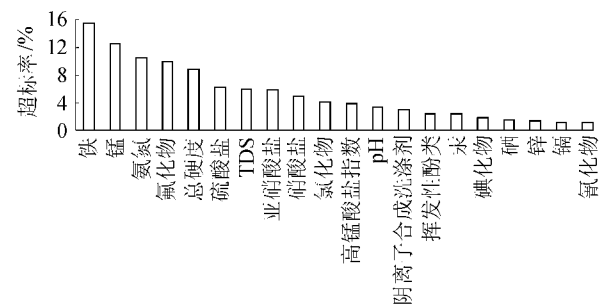


图 1 全国城市地下水水质超标情况

由图 1 可见,在所有评价因子中,铁、锰、氨氮的超标率位居前 3 位,超标率分别为 15.58%、12.56% 和 10.63%。在前 10 项优先超标因子中,有 7 项为天然水化学特征影响的因子,其他为人为污染的“三氮”指标。因此,天然水化学特征是影响城市地下水水质安全保障的重要因素。当然,也不能排除人为因素对前 7 项指标的影响,但天然因素的影响是主要的。

2.3 各省(市)地下水水源地的水质状况

表 3 为各省级行政区内城市地下水饮用水水源地的水质安全状况评价结果,天津、贵州、上海、浙江等省没有集中式城市地下水水源地。

从综合评价得出的不安全水源地数量比例来看,北京、江西、江苏、海南、青海五省(市)地下水水源水质较好,水源地不安全(Ⅳ、Ⅴ类的水源地)的比例不足 20%。东北三省、广东和广西、华北平原的河北、河南、山东、内蒙等省的城市地下水水源地水

质较差,不安全的水源地接近甚至超过全部地下水水源地的 50%。

表 3 各省(市)地下水饮用水水源地水质不安全比例 %							
省(市)	综合评价	一般评价	有毒评价	省(市)	综合评价	一般评价	有毒评价
北京	4.00	4.00	0	湖北	48.89	41.21	14.22
河北	49.73	34.43	28.42	湖南	47.62	47.62	8.16
山西	38.96	25.97	25.97	广东	92.31	84.62	7.69
内蒙古	51.37	32.19	32.19	广西	78.95	31.58	73.68
辽宁	50.64	46.79	4.49	海南	14.29	14.29	0
吉林	86.57	50.75	60.29	四川	43.86	21.05	28.07
黑龙江	74.77	73.36	18.22	云南	21.43	16.67	4.76
江苏	12.50	12.50	6.25	西藏	47.62	40.48	14.29
安徽	37.50	12.50	25.00	陕西	30.59	23.53	15.29
福建	16.67	5.56	11.11	甘肃	34.83	20.22	21.35
江西	5.56	5.56	0	青海	14.89	8.51	6.38
山东	53.90	45.45	42.21	宁夏	34.38	25.00	9.38
河南	63.46	53.85	36.54	新疆	41.76	37.36	6.59

从影响地下水水源水质安全的因子来分析,广东、广西以铁为主,东北主要是氟、铁、锰等。

从一般水质指标评价结果来看,除北京外,东北、华北其他各省和南方一些省(区)水质都较差,水质不安全(Ⅳ、Ⅴ类)的水源地超过 30% 以上,而福建、江西、青海、海南、云南等省一般水质指标安全程度较高,超标的水源地都在 20% 以内。从水质指标来分析,各省主要影响因子差别较大。例如,河北省总硬度超标率最高,达 11%,其次是氯化物和 TDS,超标率分别为 8.7% 和 7.1%。辽宁城市地下水中含铁锰较高,锰和铁的超标率分别达 23.7% 和 17.3%,成为影响水质的最主要因子。广东 13 个调查的地下水水源地中,有 9 个存在铁超标的问题。新疆位于西北干旱地区,其城市地下水超标因子主要是硫酸盐、总硬度和 TDS。

从有毒类水质安全评价结果来看,北京、青海、海南、江西、新疆、宁夏、云南、广东、江苏、辽宁等水质较好,其中北京、江西、海南未监测出有毒污染物质。但广西、吉林、山东、河南等省有毒类污染相对突出,不安全的水源地占 30% 以上。有毒物质的水质指标分析表明,各省的有毒类物质差异也很大。例如,河北省地下水水源地中,氟超标 21.31%,硝酸盐超标 8.2%,氨氮超标 6.56%,是 3 个主要的有毒污染物,其他类污染物超标率较少。而山西省污染特点不同,氟超标 9.1%,挥发酚超标 7.8%,硝酸盐和阴离子表面活性剂都超标 5.84%,另外还有汞超标 4.55%,呈现污染物多样化的特点。内蒙城市地下水水源地中,氟超标 19.86%,氨氮超标 13%。

3 地下水水源地水质污染分析

地下水水源地的水质受天然水化学特征和人为

影响的双重影响,在水质评价中,应区别对待这两类问题。本次评价选择与人类活动紧密相关的污染因子,单独对 1817 个水源地进行了污染分析,评价结果表明,受人类影响导致城市地下水发生污染的水源地比例高达 25.88%,其中轻污染的比例为 9.97%,重污染的比例为 15.91%。

将水质综合评价的结果和污染分析的结果对比不难看出,综合水质类别评价得出的不安全水源地比例 49.48%,比污染水源地的比例高达 23.60 个百分点。显然,不同的评价角度,得出的结论完全不同。

地下水水源地的污染问题和水质总体安全状况既有紧密联系,也有明显的差异。污染问题是人类社会经济活动造成的,因此,在未来的水源地保护和管理中,只要控制住污染源头,再结合适当的治理措施,是有可能实现水质改善和恢复的。但是,对于天然水化学特征决定的水质问题,就必须通过改水和增加处理工艺的方法来解决。

从污染的因子来说,也划分为一般常规的污染指标和有毒污染物指标。根据本次评价结果,一般污染的水源地达 16.97%,而有毒污染的水源地为 14.42%。这里的有毒污染物主要是无机的有毒污染物质,如氟、亚硝酸盐、铬、汞、挥发酚等。

4 结论和建议

通过对全国各建制市和县级城镇的集中式地下水饮用水水源地的水质调查和评价,揭示了我国城市地下水污染和水质形势和严峻性。

按照综合评价结果,全国城市有一半左右的水源地存在这样或那样的水质问题,居民饮用水安全受到严重的威胁。尽管城市有给水处理设施,但除微生物指标和一般的常规指标外,现有水处理工艺对大多数污染物没有净化作用。因此,城市饮水安全问题是十分严峻的,需要研究解决具体的对策和方案,例如加大水的深度处理力度,增加新工艺,提高出水水质的标准。

更为严重的是,城市地下水的污染已经呈现扩散之势。全国受人类社会经济活动影响导致不同程度受到污染的饮用水水源地已经占总数的四分之一以上。由于监测条件的限制,绝大多数水源地没有有毒有机监测,如果按照最新的饮用水标准 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》对 106 项进行全分析,超标比例可能更高。因此,必须采取措施,治理污染源,恢复地下水水源地的良好水质,通过水质安全保障,支持城市社会经济的健康发展。为此,提出如下 4 条建议。

4.1 开展城市及周边地区尤其是水源补给区污染源的详细调查

我国城市还处在发展的初期,废水、废物、垃圾等的处理能力还远远跟不上城市的发展。同时,由于对地下水保护的重要性认识不足,对垃圾填埋场、地下水井的管理、地下水补给区的保护等都十分薄弱。各城市应该结合各自地下水的水质情况,开展污染源的精细调查,研究处理方案。

4.2 制定并落实保障城市饮水安全的措施和方案

全国城市饮用水水源地安全保障规划已经编制完毕。各省(市)应根据各自的水质安全问题,研究针对性的对策,解决居民饮水安全问题,保障身体健康。对于污染严重、不能短期治理和解决的,要研究替代水源建设。对于缺乏清洁的替代水源的城市,要研究提高给水处理的工艺水平。

4.3 提高地下水水质监测能力

我国地下水水质监测工作相对薄弱,和水资源管理的要求还很不适应,很多水质项目缺乏系统的监测。因此,如果按照新颁布的 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》,对 106 项指标进行规范的调查和监测,得出的水质安全评价结论可能会更加严重。而目前,我国城市地下水水质监测工作和能力显然远远不能符合标准的要求。

4.4 建立地下水保护制度,建立和完善有关法规

我国地下水保护目前还没有一部国家的法律和法规,仅在有关的水污染控制或水法等条文中宏观地提出了一些要求。由于体制等方面的影响,1993 年建设部颁布的《城市地下水开发利用保护管理规定》并没有认真地落实和执行。因此,需要在政策、体制、法律法规等方面,研究城市地下水的保护和管理办法,实现城市地下水的可持续利用。

参考文献:

- [1] 国家统计局.城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2005.
- [2] 郝华.我国城市地下水污染状况与对策研究[J].水利发展研究,2004,4(3):23-25.
- [3] 水利部.2005 年中国水资源质量年报[M].北京:水利水电出版社,2006.
- [4] 国土资源部.2005 年国土资源公报[M].北京:地质出版社,2006.
- [5] 唐克旺,吴玉成,侯杰.中国地下水水质现状和污染分析[J].水资源保护,2006,22(3):1-8.
- [6] 唐克旺,侯杰,唐蕴.中国平原区地下水水化学特征[J].水资源保护,2006,22(2):1-5.

(收稿日期 2007-05-16 编辑 傅伟群)