

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2017.30.041

· 水质卫生监测 ·

南水北调前后北京市某区自备井水硝酸盐等卫生指标变化分析 *

敬燕燕^{1,2} 信振江² 秦娟³ 郝静² 韩凤超² 徐赐贤² 何燕^{1Δ} 李洁^{2Δ}

(1 首都医科大学公共卫生学院流行病学与卫生统计学系 北京 100069;

2 北京市丰台区疾病预防控制中心水科 北京 100071;3 北京市卫生和计划生育监督所学校卫生监督科 北京 100034)

摘要 目的:掌握北京市某区南水北调通水前后农村地区自备井水中硝酸盐等主要指标含量及合格率的变化。**方法:**在某区农村地区 5 个乡镇设置 29 个自备井监测点,于 2014 年-2015 年每年枯丰水期对出厂水和末梢水进行监测,监测指标为硝酸盐、氨氮、总硬度、溶解性总固体、耗氧量、pH 值、硫酸盐、氯化物、氟化物。以 2014 年饮水监测结果作为南水北调前自备井水水质的基础数值,将南水北调后自备井水监测结果(2015 年)与南水北调通水前(2014 年)监测结果进行比较,分析南水北调通水对农村自备井水硝酸盐等指标含量及变化原因。**结果:**自备井水硝酸盐含量由 2014 年的 39.2 mg/L 降低至 2015 年的 35.9 mg/L,同时总硬度含量由 621 mg/L 降低至 581 mg/L,pH 由 2014 年的 7.17 升高至 2015 年的 7.36,差异均具有统计学意义($P<0.05$),其他指标含量无明显变化。硝酸盐合格率由 2014 年的 19.7%上升至 2015 年的 33.6%($P<0.05$),其他指标合格率无明显变化。**结论:**2015 年某区自备井水硝酸盐、总硬度含量下降,地下水水质呈优化现象,与南水北调有一定关联性,长期水质变化及健康影响需继续研究。

关键词:南水北调;自备井水;硝酸盐;总硬度;合格率

中图分类号:R123 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2017)30-5980-04

The Analysis of the Changes in Hygiene Indexes such as Nitrates in the well before and after the South-to-North Water Transfer in a Certain District of Beijing *

JING Yan-yan^{1,2}, XIN Zhen-jiang², QIN Juan³, HAO Jing², HAN Feng-chao², XU Ci-xian², HE Yan^{1Δ}, LI Jie^{2Δ}

(1 Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Capital Medical University, Beijing, 100069, China;

2 Fengtai District Center for Disease Control and Prevention of Beijing, Water Health Department, Beijing, 100071, China;

3 Beijing city health and family planning supervision, School health supervision section, Beijing, 100034, China)

ABSTRACT Objective: To evaluate the variation of the concentration and the qualification rate of major water quality indices such as nitrates in rural self-sufficient well before and after the South-to-North Water Transfer. **Methods:** We collected effluent water and table-water of 29 monitor points distributed in 5 rural townships in wet season and dry season from 2014 to 2015, and monitored the regular indices, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, Total hardness, TDS, CODMn, pH, SO_4^{2-} , Cl⁻, F⁻. Comparing the concentration and the qualification rate of water quality indices before and after South-to-North water diversion. **Results:** Nitrates and total hardness were significantly decreased from 39.2 mg/L, 621 mg/L in 2014 to 35.9 mg/L, 581 mg/L in 2015 respectively ($P<0.05$), while pH increased from 7.17 in 2014 to 7.36 in 2015 ($P<0.05$). The qualification rate of Nitrates was significantly increased from 19.7 % in 2014 to 33.6 % in 2015 ($P<0.05$).

Conclusion: The sanitary conditions of rural self-sufficient well got improvement in the district.

Key words: South-to-North water diversion; Self-sufficient-well water; Nitrates; Total hardness; The qualification rate

Chinese Library Classification(CLC): R123 **Document code:** A

Article ID:1673-6273(2017)30-5980-04

地下水水质与人类社会行为有关,Kazemi G A 对伊朗塞姆南省 Shahrood 市地下水研究认为,城市化很可能导致地下水污染并改变其水文地质特性^[1],同时一些保护水源、地下水涵养等改善环境的行为也将提高地下水卫生状况。

北京是中国最缺水的城市之一,影响地下水资源储备的主

要因素是降水少、人口增加和地下水超采等问题。1999 年至 2014 年,地下水埋深度下降近 26 米,平均 1 米/年。南水北调工程是应对水资源危机和供需矛盾的国家级战略举措,2014 年 12 月南水进京后,北京市压采地下水,同时利用南水回补恢复并涵养地下水。根据北京市水务局对全市 885 个地下水位监测

* 基金项目:北京市丰台区卫生计生系统科研项目(2015-88)

作者简介:敬燕燕(1980-),女,本科,副主任医师,流行病与卫生统计学,电话:13552726110,E-mail: 79847903@qq.com

Δ 通讯作者:何燕,E-mail: yanhe118@sina.com

李洁,E-mail: lijie7111@sina.com

(收稿日期:2017-04-02 接受日期:2017-04-30)

点的监测结果,2015年7月31日地下水埋深度较6月30日回升15米,这是自1999年以来地下水位首次回升^[2,3]。

地下水涵养和水位回升将影响自备井水质状况,某区以地下水为水源的自备井水既往存在总硬度、硝酸盐超标等卫生问题^[4]。为了解某区2014年12月南水北调通水后自备井水硝酸盐等卫生指标的变化,本研究对自备井开展调查及水质,并进行分析和探讨。

1 材料与方法

1.1 研究对象

2014年某区共有饮用自备井191口,分布于WZZ、CXDZ、HX、LGQX和NYX 5个乡镇,按乡镇对自备井进行分层,每个乡镇按照随机抽样的方法设置监测点,共设置自备井监测点29个。

1.2 水样采集及检测

2014年-2015年每年枯丰水期对所有监测点的出厂水和末梢水进行监测,共采集水样216件。监测指标包括硝酸盐(以氮计)、氨氮、总硬度、溶解性总固体、耗氧量、pH值、硫酸盐、氯化物、氟化物,依据《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)^[5]和

《生活饮用水标准检测方法》(GB/T5750-2006)^[6]的规定,采集、保存及检测水样。

1.3 自备井水卫生指标变化分析

将2015年南水北调通水后与2014年南水北调通水前相同监测点的自备井监测数据进行比较,分析南水北调前后自备井水硝酸盐等卫生指标含量的变化。

1.4 统计学方法

以均值表示符合正态分布的检测值,以中位数表示不符合正态分布的检测值,用SPSS 13.0进行数据统计分析。正态分布的计量资料,两组间比较应用配对t检验;非正态分布的计量资料,组间比较应用Wilcoxon配对秩和检验。两组间合格率比较应用pearson卡方检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

29个自备井监测点及水样分布于5个乡镇,WZZ和CXDZ的4个自备井井深大于1000米,为深井;HX、LGQX、NYX的25个自备井井深均在100米以下,为浅井(表1)。

表1 某区自备井监测点及水样分布情况

Table 1 The self-prepare well monitoring and distribution of water in one district

Villages and towns	Self-prepare well number(n)	Depth(m)	Number of samples(n)
WZZ	2	800-1000	16
CXDZ	2	800-1000	16
HX	10	30-100	72
LGQX	12	30-100	92
NYX	2	30-100	20
Total	29	—	216

2.2 南水北调后自备井水主要指标含量比较

对2014年与2015年自备井水检测结果进行比较,硝酸盐、总硬度、pH值、氯化物、氯化物、硫酸盐、溶解性总固体、氨

氮指标含量出现变化,耗氧量无明显变化。硝酸盐、总硬度降低,pH值升高,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)(表2)。

表2 南水北调后自备井水主要指标含量变化

Table 2 Changes of main indexes of well water supply after the south to North Water Diversion Project

Index	Shallow well				Deep well				Compare			
	2014	2015	t	P	2014	2015	t	P	2014	2015	t	P
NO ₃ -N(mg/L)	39.2	35.9	-2.823	<0.05	3.8	4.0	0.160	0.875	34.0	31.2	-2.704	<0.05
Total hardness(mg/L)	621	581	-3.296	<0.05	279	276	-0.140	0.890	570	536	-3.171	<0.05
pH	7.17	7.36	4.862	<0.05	7.65	7.52	-1.573	0.137	7.24	7.38	3.803	<0.05
F-(mg/L)	0.21	0.20	-1.623	0.108	0.25	0.29	2.570	<0.05	0.22	0.22	-0.469	0.640
Cl(mg/L)	199	190	-1.523	0.131	31	40	0.690	0.500	174	167	-1.191	0.236
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	200	209	1.669	0.099	99	109	0.678	0.508	185	194	1.809	0.073
TDS(mg/L)	1216	1193	-1.231	0.221	433	463	0.492	0.630	1100	1085	-0.824	0.412
NH ₃ -N(mg/L)	0.01	0.01	-1.170	0.242	0.01	0.01	-1.414	0.157	0.01	0.01	-0.771	0.441
CODMn(mg/L)	0.96	0.90	-0.881	0.381	0.91	1.19	1.743	0.102	0.95	0.95	-0.082	0.935

浅井自备井水硝酸盐、总硬度含量分别由 2014 年的 39.2 mg/L、621 mg/L 降低至 2015 年的 35.9 mg/L、581 mg/L,差异均具有统计学意义 ($P<0.05$)。pH 值由 2014 年的 7.17 升高至 2015 年的 7.36,差异具有统计学意义($P<0.05$)。

深井水氟化物由 2014 年的 0.25 mg/L 升高至 2015 年的 0.29 mg/L,差异具有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 南水北调前后自备井水合格率比较

2.3.1 自备井浅水井与深水井水质变化比较 硝酸盐合格率

由 2014 年的 19.7 %上升至 2015 年的 33.6 %,差异具有统计学意义($P<0.05$)。氯化物、总硬度、硫酸盐以及溶解性总固体总合格率均上升,差异均无统计学意义,其他指标均合格(表 3)。

32 件深井水所有指标均合格。浅井水中,硝酸盐合格率由 2014 年的 7.5 %上升至 2015 年的 23.6 %,且差异具有统计学意义($P<0.05$);硝酸盐、氯化物、总硬度、硫酸盐、溶解性总固体以及总合格率均上升,差异均无统计学意义。

表 3 浅水井与深水井水质合格率变化比较

Table 3 Comparison of water quality pass rate in shallow well and deep well

Index	Qualified rate of shallow well(%)				Qualified rate of deep well(%)				Qualified rate of a year(%)			
	2014	2015	χ^2	P	2014	2015	χ^2	P	2014	2015	χ^2	P
NO ₃ -N	7.5	23.6	10.372	<0.05	100.0	100.0	-	-	19.7	33.6	6.061	<0.05
Cl ⁻	88.7	94.3	2.186	0.139	100.0	100.0	-	-	90.2	95.1	2.159	0.142
Total hardness	4.7	9.4	1.794	0.180	100.0	100.0	-	-	17.2	19.7	0.245	0.620
SO ₄ ²⁻	91.5	93.4	0.270	0.603	100.0	100.0	-	-	92.6	94.3	0.268	0.605
TDS	25.5	28.3	0.216	0.642	100.0	100.0	-	-	35.2	37.7	0.159	0.690
Total	0.9	4.7	1.544	0.214	100.0	100.0	-	-	13.9	15.6	0.130	0.718

2.3.2 自备井浅水井枯丰水期水质变化比较 浅水井水样 2015 年丰水期硝酸盐、氯化物的合格率较 2014 年同期均上升,差异具有统计学意义($P<0.05$)。总硬度、硫酸盐和总合格

率在枯丰水期两年比较均有上升,但是差异均无统计学意义(表 4)。

表 4 浅水井枯丰水期水质合格率变化比较

Table 4 Comparison of water quality pass rate in low water period and high water period

Index	Qualified rate of shallow well(%)				Qualified rate of deep well(%)				Qualified rate of a year(%)			
	2014	2015	χ^2	P	2014	2015	χ^2	P	2014	2015	χ^2	P
NO ₃ -N	5.6	12.7	0.931	0.335	9.6	35.3	9.789	<0.05	7.5	23.6	10.372	<0.05
Cl ⁻	88.9	89.1	0.001	0.973	88.5	100.0	4.322	<0.05	88.7	94.3	2.186	0.139
Total hardness	3.7	10.9	1.156	0.282	5.8	7.8	0.001	0.979	4.7	9.4	1.794	0.180
SO ₄ ²⁻	90.7	90.9	0.000	1.000	92.3	96.1	0.157	0.692	91.5	93.4	0.270	0.603
TDS	33.3	29.1	0.228	0.633	17.3	27.5	1.527	0.217	25.5	28.3	0.216	0.642
Total	0.0	5.5	1.334	0.248	1.9	3.9	0.000	0.986	0.9	4.7	1.544	0.214

3 讨论

农村饮水安全是评价农村社会经济发展及居民生活质量的重要指标,也是影响居民健康水平的重要因素^[7]。世界卫生组织(WHO)的资料显示,发展中国家 80 %的疾病是由于不安全的水和恶劣的环境卫生条件造成的^[8]。饮用不良水质导致的消化疾病,传染病,各种皮肤病,糖尿病,癌症,结石病,心血管病等多达 50 多种。根据我国农村饮水安全评价标准统计,截止 2004 年底,除港澳台及上海等地区外,我国农村饮水不安全人口为 3.2 亿,其中由于水质不达标人口约为 2.2 亿,占饮水不安全总人口的 70 %^[9]。在对南通农村开展的水质检测中,饮水中总硬度、氨氮、耗氧量、硫酸盐、氯化物等均超标严重^[10],居民发

生水性疾病风险较高。

本研究中南水北调后,自备井水硝酸盐、氯化物、总硬度、硫酸盐以及溶解性总固体均呈优化趋势,虽然深井水氟化物 2015 年较 2014 年有所增高,但 2015 年浓度均值 0.29 mg/L 低于国家标准^[9]限值 1.0 mg/L 的要求,符合饮用水卫生管理要求。地下水水质改善将降低居民饮水健康风险。

某区以地下水为水源的自备井水长期存在硝酸盐超标的问题^[11,12],NYX、HX、LGQX 地处永定河以东的平原地区,多是沙质地层,且自备井均为浅水井,容易受到地表和土层中污染物污染,可能是该地区自备井水硝酸盐超标的主要原因。饮用水中硝酸盐的含量较高时,硝酸盐在体内被还原为亚硝酸盐,与血红蛋白结合成高铁血红蛋白,长期饮用被较高浓度的硝酸

盐污染的水,可造成人体健康损害^[13]。南水北调后浅水井硝酸盐虽然仍高于国家标准^[5]要求及周边区县自备井水硝酸盐含量水平^[14,15],但硝酸盐浓度显著降低,合格率显著增高,相关饮水健康风险降低。

总硬度与地下水各卫生指标之间的关联性较好,总硬度变化趋势基本能代表地下水环境质量变化趋势^[16]。2015年浅井水、深井水的总硬度均值都显著降低,反映出该地区地下水环境质量优化的趋势。饮用低硬度的水可能与某些心血管疾病相关,但也有相反的报道^[17],总硬度降低的健康效应尚需要后期开展心血管疾病等疾病的评估,同时关注国际国内相关研究报道。

北京市地下水常规补给途径主要为地表水的下渗和大气降水,本研究提示水质优化非常规补给途径引起。2015年全年累计降水量583 mm,较2014年439 mm增长32.80%^[18]。大气降水及地表水下渗到地下时,岩层中钙镁离子受水中pH值和盐类的影响。pH值小于6.5时,酸性溶滤作用及碳酸盐溶滤作用可促使钙镁碳酸盐溶解度增大,使大量钙镁由化合态转变成游离态,而导致总硬度升高。即通过常规地表水及大气降水补给,地下水中总硬度含量与硫酸盐、氯化物含量为正相关性。而本研究中硫酸盐、氯化物含量增高,总硬度含量降低,与既往研究及常规地表水补给总硬度与硫酸盐、氯化物含量的正相关性^[19,20]不一致。南水北调水源丹江口水中总硬度为120 mg/L^[21]远低于某区2014年地下水总硬度水平,硫酸盐、硫化物持平。监测结果提示,某区2015年地下水水质变化与常规地表水下渗及大气降水补给所引起的水质变化不一致,分析水质变化与南水回补涵养地下水有关。

结果表明,南水北调通水后地下水压采及南水回补地下水,在一定程度上改善了某区地下水水质,尤其是浅水井的水质状况,与刘立才等人对南水北调水源在密怀顺水源地回灌的地下水水质变化试验^[9]结果一致。南水北调是政府的长期战略性工程,随着时间的推进及北京持续采取的地下水涵养措施,农村地区自备井水质尤其是该地区长期存在的地下水硝酸盐超标问题有望得到持续改善,其水质变化及健康效应需要后期进一步研究。

参考文献(References)

- [1] Kazemi G A. Impacts of urbanization on the groundwater resources in Shahrood, Northeastern Iran: Comparison with other Iranian and Asian cities[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2011, 36(5/6): 150-159
- [2] 新京报电子报. [OL]. http://epaper.bjnews.com.cn/html/2015-09/10/content_597401.htm?div=-1.2015
The Beijing news newsletter. [OL]. http://epaper.bjnews.com.cn/html/2015-09/10/content_597401.htm?div=-1.2015
- [3] 刘立才,郑凡东,李炳华,等.南水北调水源在密怀顺水源地回灌的地下水水质变化试验[J]. 水文地质工程地质, 2015, (04): 18-22+55
Liu Li-cai, Zheng Fan-dong, Li Bing-hua, et al. Experiment of groundwater quality change for simulating the South-to-North water into the Mihuaishun aquifer [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015, (04): 18-22+55
- [4] 姜体胜,杨忠山,黄振芳,等.北京郊区浅层地下水总硬度变化趋势及其机理浅析[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(4): 33-37
Jiang Ti-sheng, Yang Zhong-shan, Huang Zhen-fang, et al. Analysis on the change trend and mechanism of the total hardness of shallow groundwater in Beijing suburb [J]. Hydrogeology and engineering geology, 2010, 37(4): 33-37
- [5] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S].北京:中国标准出版社,2007
Ministry of Health of the PRC, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 5749-2006 Drinking Water Health Standard[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007
- [6] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.GB/T 5750-2006 生活饮用水标准检测方法[S].北京:中国标准出版社,2007
Ministry of Health of the PRC, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5750-2006 Standard examination methods for drinking water [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007
- [7] 张荣,李洪兴,武先锋,等.我国农村饮用水水质现状[J].环境与健康杂志, 2009, (01): 3-5
Zhang Rong, Li Hong-xing, Wu Xian-feng, et al. Present situation of rural drinking water quality in China [J]. Journal of Environment and Health, 2009, (01): 3-5
- [8] 张琦,陶勇.农村饮用水安全现状与对策[J].建设科技, 2009, (05): 62-63
Zhang Qi, Tao Yong. Current situation and Countermeasures of rural drinking water safety[J]. Construction Science and Technology, 2009, (05): 62-63
- [9] 戴向前,刘昌明,李丽娟.我国农村饮水安全问题探讨与对策[J].地理学报, 2007, 62(9): 907-916
Dai Xiang-qian, Liu Chang-ming, Li Li-juan. Problems and Countermeasures of rural drinking water safety in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2007, 62(9): 907-916
- [10] 花慧,桑军阳,陈晓东,等.南通市农村饮水卫生与水性疾病的调查研究[J].职业与健康, 2005, 21(4): 484-487
Hua Hui, Sang Jun-yang, Chen Xiao-dong, et al. Investigation on drinking water hygiene and waterborne diseases in rural areas of Nantong[J]. Occupation and Health, 2005, 21(4): 484-487
- [11] 常宪平,崔宝荣,赵建忠,等.丰台农村地区自备井水质总硬度和硝酸盐氮水平分析[J].预防医学情报杂志, 2012, (04): 276-278
Chang Xian-ping, Cui Bao-rong, Zhao Jian-zhong, et al. Total hardness and nitrates in drinking water of rural self-sufficient wells in Fengtai district[J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2012, (04): 276-278
- [12] 崔宝荣,邓惠玲,敬燕燕,等.农村生活饮用水源井的水质调查分析[J].环境卫生学杂志, 2012, (06): 280-284
Cui Bao-rong, Deng Hui-ling, Jing Yan-yan, et al. Investigation on the Quality of Groundwater in Rural Fengtai District [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2012, (06): 280-284
- [13] 肖智毅.海淀区地下水硝酸盐污染及其影响因素[J].环境与健康杂志, 2003, 20(3): 158-160
Xiao Zhi-yi. Nitrate pollution of groundwater in Haidian District and its influencing factors [J]. Journal of Environment and Health, 2003, 20(3): 158-160
- [14] 赵艳玲,张美云,郭春城,等.北京市某区自备井水质状况及空间特征分析[J].卫生研究, 2015, (03): 479-481 (下转第 5988 页)

- aeruginosa quorum sensing [J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2013, 57(2): 996-1005
- [41] El-Mowafy SA, Shaaban MI, Abd El Galil KH, et al. Sodium ascorbate as a quorum sensing inhibitor of *Pseudomonas aeruginosa* [J]. *J Appl Microbiol*, 2014, 117(5): 1388-1399
- [42] El-Mowafy SA, Abd El Galil KH, El-Messery SM, et al. Aspirin is an efficient inhibitor of quorum sensing, virulence and toxins in *Pseudomonas aeruginosa* [J]. *Microb Pathog*, 2014, 74: 25-32
- [43] Manolescu BN. Paraoxonases as protective agents against N-acyl homoserine lactone-producing pathogenic microorganisms [J]. *Maedica (Buchar)*, 2013, 8(1): 49-52
- [44] Kim JH, Choi DC, Yeon KM, et al. Enzyme-immobilized nanofiltration membrane to mitigate biofouling based on quorum quenching [J]. *Environ Sci Technol*, 2011, 45(4): 1601-1607
- [45] Koch G, Nadal-Jimenez P, Reis CR, et al. Reducing virulence of the human pathogen *Burkholderia* by altering the substrate specificity of the quorum-quenching acylase PvdQ [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2014, 111(4): 1568-1573
- [46] Manolescu BN. Paraoxonases as protective agents against N-acyl homoserine lactone-producing pathogenic microorganisms [J]. *Maedica (Buchar)*, 2013, 8(1): 49-52
- [47] Novak F, Vavrova L, Kodydkova J, et al. Decreased paraoxonase activity in critically ill patients with sepsis [J]. *Clin Exp Med*, 2010, 10(1): 21-25
- [48] Schweikert EM, Amort J, Wilgenbus P, et al. Paraoxonases-2 and -3 are important defense enzymes against *Pseudomonas aeruginosa* virulence factors due to their anti-oxidative and anti-inflammatory properties [J]. *J Lipids*, 2012, 2012: 352857
- [49] Kaufmann GF, Sartorio R, Lee SH, et al. Antibody interference with N-acyl homoserine lactone-mediated bacterial quorum sensing [J]. *J Am Chem Soc*, 2006, 128(9): 2802-2803
- [50] Kaufmann GF, Park J, Mee JM, et al. The quorum quenching antibody RS2-1G9 protects macrophages from the cytotoxic effects of the *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing signalling molecule N-3-oxo-dodecanoyl-homoserine lactone [J]. *Mol Immunol*, 2008, 45(9): 2710-2714
- [51] De Lamo Marin S, Xu Y, Meijler MM, et al. Antibody catalyzed hydrolysis of a quorum sensing signal found in Gram-negative bacteria [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2007, 17(6): 1549-1552

(上接第 5983 页)

- Zhao Yan-ling, Zhang Mei-yun, Guo Chun-cheng, et al. Analysis of water quality and spatial characteristics of a well in Beijing [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2015, (03): 479-481
- [15] 陈海平, 宫建, 陈建峰, 等. 北京市海淀区农村自备井生活饮用水毒理学指标合格情况调查 [J]. *中国公共卫生*, 2016, (07): 944-947
- Chen Hai-ping, Gong Jian, Chen Jian-feng, et al. Qualification rate of toxicological indicators for drinking water from rural self-drilled wells in Haidian district of Beijing [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2016, (07): 944-947
- [16] 毕二平, 高扬, 刘长礼. 人类活动影响下石家庄市地下水环境质量现状及趋势研究 [J]. *水文地质工程地质*, 2000, 27(4): 40-43
- Bi Er-ping, Gao Yang, Liu Chang-li. Study on the current situation and trend of groundwater environmental quality in Shijiazhuang under the influence of human activities [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2000, 27(4): 40-43
- [17] 金银龙, 鄂学礼, 张岚. 生活饮用水卫生标准释义 [M]. 中国标准出版社, 2007, 59
- Jin Yin-long, E Xue-li, Zhang Lan. Domestic and drinking water hygiene standard definition [M]. Standards Press of China, 2007, 59
- [18] 北京市水务局便民信息, 城市雨情. [OL]. <http://www.bjwater.gov.cn/pub/bjwater/bmfw>
- Beijing Water Bureau convenience information, City rainfall. [OL]. <http://www.bjwater.gov.cn/pub/bjwater/bmfw>
- [19] 韩世丽, 赵伟良, 陈日暖, 等. 江门市新会区水源水总硬度的影响因素 [J]. *职业与健康*, 2014, 30(3): 391-392, 395
- Han Shi-li, Zhao Wei-liang, Chen Ri-nuan, et al. Influencing factors of total hardness of water source in Xinhui District of Jiangmen [J]. *Occupation and Health*, 2014, 30(3): 391-392, 395
- [20] 付慧英, 聂晶, 李勇. 北京市门头沟区农村自备井水质总硬度分布特征 [J]. *职业与健康*, 2014, 30(17): 2452-2456
- Fu Hui-ying, Nie Jing, Li Yong. Distribution characteristics of total hardness of water supply in rural well in Mentougou District of Beijing [J]. *Occupation and Health*, 2014, 30(17): 2452-2456
- [21] 石宝友, 鲁智礼, 徐硕, 等. 丹江口水源对北方某市管网铁释放影响的研究 [J]. *中国给水排水*, 2013, 29(11): 33-39
- Shi Bao-You, Lu Zhi-li, Xu Shuo, et al. Study on the effect of Danjiangkou water source on the iron release from the pipe network in a northern city [J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(11): 33-39