

邯郸市地下水水化学类型分布及污染物成因分析

王海峰¹, 王慧勇¹, 李春燕², 穆征¹

(1. 河北工程大学水利水电学院, 河北邯郸 056038; 2. 河北省邯郸水文水资源勘测局, 河北邯郸 056001)

摘要: 利用邯郸市地下水水质监测数据, 采用 O.A. 阿列金分类法对地下水进行了水化学类型分类, 确定该地区地下水水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型为主。在此基础上对邯郸市地下水的污染物及超标情况进行统计, 分析污染成因。结果表明: 邯郸市地下水超标物质主要为溶解性总固体、总硬度、氯化物、硫酸盐、氨氮、氟化物等, 其污染原因主要是原生污染。

关键词: 地下水; 水化学类型; O.A. 阿列金分类; 污染物

中图分类号: X523

文献标识码: A

Distribution of hydrochemical type and genesis of pollutant of groundwater in Handan city

WANG Haifeng¹, WANG Huiyong¹, LI Chunyan², MU Zheng¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower, Hebei University of Engineering, Hebei Handan, 56038, China;
2. Handan Hydrology and Water Resource Investigation Bureau, Hebei Handan, 056001, China)

Abstract: Groundwater hydrochemical type is the characterization of water chemical composition and environment, as well as an important part of groundwater quality assessment. The monitoring data of groundwater quality in handan city are analyzed and classified according to O.A. Arliekin classification method. On the basis of groundwater hydrochemical type, the pollution reasons are analyzed. The results show that total dissolved solids, total hardness, chloride, sulfate, ammonia nitrogen and fluoride, etc. are the main causes of pollution.

Key words: groundwater; hydrochemical type; O.A. Arliekin classification; pollutant

在水资源总量不足的邯郸地区, 地下水资源是当地人们生产和生活的重要水源。近年来, 随着工农业生产的快速发展和城镇化进程的不断加快, 地下水超采愈加严重, 污染面积不断扩大, 污染组分更加复杂, 水质恶化日益加剧。这不仅严重影响了城乡的供水质量, 危及人体健康, 也给当地地下水资源的可持续开发利用带来了威胁。因此, 科学合理的开发利用和保护地下水资源刻不容缓。本文通过研究地下水水化学类型, 分析主要污染物及其形成原因, 为该市地下水资源的合理开发利用、科学管理、保护及改善地下水环境质量提供科学依据。

1 概述

邯郸市位于河北省南端, 太行山东麓, 冀鲁豫

三省交界处, 东经 $113^\circ 28' \sim 115^\circ 48'$, 北纬 $36^\circ 03' \sim 37^\circ 01'$ 之间, 总面积 $7\,689\text{ km}^2$ 。地处半湿润、半干旱地区, 属暖温带大陆性季风气候, 多年平均降雨量 558.8 mm , 年蒸发量为 $1\,563\text{ mm}^{[1]}$ 。地下水资源主要包括第四系地层中第一含水组的潜水和第二含水组的微承压水。邯郸市共设地下水水质监测井 53 眼, 分布于 16 个县(市)区。参与评价的有 39 眼监测井, 2015 年 5 月、9 月各监测 1 次, 监测项目共 31 项, 其中参与评价的项目 19 项。

2 地下水水化学类型分类

2.1 阿列金分类法

本文采用阿列金分类法确定地下水水化学类型,

以评价地下水天然状态下水化学组成背景^[2]。该方法以 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 占多数的阴离子将地下水划分为三类, 分别表示 [C]、[S]、[Cl]; 而以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 占多数的阳离子将地下水划分为三组, 即钙组 (Ca)、镁组 (Mg)、钠组 (Na)^[3]; 每一组中根据阳离子和阴离子的相对含量分为四型, 用罗马数字表示。

具体的分类方法是:

(1) 分类, 将天然水按占多数 (指当量) 的阴离子分成三类: 重碳酸盐及碳酸盐 ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) 水、硫酸盐 (SO_4^{2-}) 水、氯化物 (Cl^-) 水。分别用其化学元素符号 (C、S、Cl) 表示其“类号”。

(2) 分组, 每一类再按占多数的阳离子分为三组: 钙组、镁组、钠组。并以其化学符号 Ca、Mg、Na 表示其“组”。

(3) 分型, 每一类按照离子间的比例分为四型:

I 型: $(\text{HCO}_3^-) > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$

II 型: $(\text{HCO}_3^-) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^-) + (\text{SO}_4^{2-})$

III 型: $(\text{HCO}_3^-) + (\text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 或 $(\text{Cl}^-) > (\text{Na}^+)$

IV 型: $(\text{HCO}_3^-) = 0$

IV 型仅出现于硫酸盐水与氯化物水两类的钙组和镁组中, 而这些组中没有 I 型水, 故每一组只有三型。“型号”用罗马数字 I、II、III、IV 表示。水化学类型分类见表 1。

I 型水是弱矿化水, 主要形成于含大量 Na^+ 与 K^+ 的火成岩地区, 水中含有相当数量的 NaHCO_3 成分 (即主要含有 Na^+ 与 HCO_3^-), 在某些情况下也可能由 Ca^{2+} 交换土壤和沉积物中的 Na^+ 而形成, 此水型多是低矿化度的。

II 型水为混合起源的水, 其形成既与水 and 火成岩的作用有关, 又与水和沉积岩的作用有关。多数低矿化和中矿化的河水、湖水和地下水属此类型。

III 型水也是混合起源的水, 但一般具有很高的矿化度。在此条件下, 由于离子交换作用使水的成

分明变化, 通常是水中的 Na^+ 交换出土壤和沉积岩中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 。海水、受海水影响地区的水和许多具有高矿化度的地下水属此类型。

IV 型水的特点是不含 HCO_3^- 。酸型沼泽水、硫化矿床水和火山水属此型。在碳酸盐类水中不可能有 IV 型水, 在硫酸盐与氯化物类的钙组和镁组中也不可能 I 型水, 而硫酸盐与氯化物类的钠组一般没有 IV 型水。

2.2 水化学类型

根据阿列金分类法和河北省邯郸市环境监测中心 2015 年地下水水质监测资料, 经计算分析邯郸市各地下水水质监测井水化学类型见表 2。

39 眼评价井中碳酸盐类水 28 眼, 氯化物类水 7 眼, 硫酸盐类水 4 眼, 钙组水 5 眼, 镁组水 5 眼, 钠组水 29 眼; I 型水 26 眼, II 型水 11 眼, III 型水 2 眼。碳酸盐类水包括钠组水 19 眼, 钙组水 5 眼, 镁组水 4 眼。邯郸市地下水监测井水以碳酸盐类水为主, 占全部评价井的 71.8%, 其中又以钠组水为主, 占碳酸盐类井数的 74.4%。氯化物水占全部评价井的 17.9%, 硫酸盐水比例较低, 占 10.3%。

3 主要污染物的检出、超标情况

根据邯郸市地下水的监测情况, 计算的主要污染物有 pH 值、总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、铁、挥发酚、高锰酸盐指数、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、氟化物、氰化物、汞、砷化物、六价铬、镉、铅、铜共 19 项^[4]。

检出率、超标率计算方法:

式中: J 为某项污染物检出率, %; $n_{\text{检出}}$ 为监测结果中该项污染物有含量的监测井数; B 为某项污染物超标率, %; $n_{\text{超标}}$ 为某项污染物超标井数; n 为监测井总数。

$$J = \frac{n_{\text{检出}}}{n} \times 100\% \quad B = \frac{n_{\text{超标}}}{n} \times 100\%$$

根据上述计算方法对所确定的 19 项污染物项目进行统计计算, 结果见表 3。

表 1 地下水水化学类型

Tab.1 Groundwater hydrochemical type

类	C			S			Cl		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
组	I	I	I	II	II	I	II	II	I
型	II	II	II	III	III	II	III	III	II
	III	III	III	IV	IV	III	IV	IV	III

4 地下水质量评价

4.1 主要污染物超标及分布情况

邯郸市地下水中高矿化度区主要分布在黑龙港平原和漳卫河平原^[5]。根据 2015 年最新监测资料，

最大值为肥乡的曹庄监测井，含量为 4 860 mg/L，超《地下水质量标准》Ⅲ类水标准 3.9 倍。

硫酸盐高含量分布区与矿化度分布区也基本相同，高含量中心为肥乡县的曹庄和广平的蒋庄，含量分别为 3 190mg/L 和 2 350mg/L，超《地下水质量

表 2 邯郸市地下水水化学类型统计表
Tab.2 Statistical table of groundwater hydrochemical type in Handan city

地点	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	类型
莲花口	116	105	2.41	97.1	169	333	0	555	C _I ^{Mg}
临洺关	306	68.5	6.78	86.4	46.2	651	0	462	C _{II} ^{Ca}
柳村	73.6	57.0	2.20	37.2	59.9	131	0	381	C _I ^{Mg}
鸡泽	48.8	38.4	2.80	138	11.3	282	20.1	299	C _I ^{Na}
小寨	64.3	34.6	2.33	206	29.6	457	17.7	300	C _I ^{Na}
前衙	478	179	4.80	355	735	984	0	559	Cl _{III} ^{Na}
曲周	154	50.7	2.84	111	216	211	0	396	C _I ^{Na}
东槐桥	326	59.1	2.79	212	548	437	0	521	Cl _{II} ^{Na}
邱城	40.8	49.2	1.81	227	116	347	27.2	327	C _I ^{Na}
南辛店	43.9	53.7	1.71	237	129	321	44.1	319	C _I ^{Na}
胡村	72.4	51.7	1.28	207	213	174	0	344	Cl _I ^{Na}
北堡	75.3	88.7	1.44	229	236	318	0	455	C _I ^{Na}
西大屯	211	62.8	2.46	157	381	236	0	215	Cl _{III} ^{Na}
二八五医院	74.8	44.0	1.75	66.4	114	94.9	0	245	C _I ^{Na}
辛安镇	132	63.9	1.70	295	83.3	314	17.2	660	C _I ^{Na}
曹庄	513	271	2.37	611	280	3190	0	702	S _I ^{Na}
陈村	53.0	61.1	1.62	76.9	47.0	160	14.7	291	C _I ^{Na}
香菜营	55.0	30.0	1.91	15.7	23.0	75.4	0	214	C _I ^{Ca}
洛村	51.1	51.3	1.52	42.1	37.5	21.8	7.35	361	C _I ^{Mg}
柴堡	77.5	53.9	1.48	600	173	661	76.2	891	C _I ^{Ca}
房寨	93.2	147	3.46	355	410	671	0	415	Cl _{II} ^{Na}
魏僧寨	261	210	4.88	356	558	1090	0	508	Cl _{II} ^{Na}
前佃坡	118	266	2.51	753	818	1390	0	459	Cl _{II} ^{Na}
蔡小庄	141	181	2.24	632	411	1260	22.1	648	S _{II} ^{Na}
三田	56.5	52.2	1.78	249	174	282	41.9	409	C _I ^{Na}
后消灭	65.1	104	2.38	187	204	242	9.8	509	C _I ^{Na}
三角店	71.6	98.6	2.7	145	160	291	0	448	C _I ^{Na}
胡庄	109	71.3	1.96	284	202	393	0	600	C _I ^{Na}
张辛庄	54.7	70.2	2.24	61.9	105	102	0	413	C _I ^{Mg}
张庄	88.7	78	2.01	117	56.4	318	0	458	C _I ^{Na}
大寨	120	156	1.98	2.85	214	1250	14.7	529	S _{II} ^{Mg}
磁县	118	30.7	1.58	2.04	71	206	0	270	C _I ^{Ca}
林坦	88.3	65.2	2.82	75.8	103	232	0	383	C _I ^{Na}
太平	68.3	51.8	1.47	70.1	66.3	236	0	368	C _I ^{Na}
岳城	63.8	41	3.69	53.2	40.5	222	0	236	C _I ^{Na}
广平	140	159	1.84	237	222	710	0	540	C _{II} ^{Na}
蒋庄	133	170	1.71	1072	112	2345	51.5	494	S _{II} ^{Na}
武安	127	45.6	2.62	45.6	75.4	252	0	228	C _{II} ^{Ca}
涉县	85	39.5	2.69	28.2	44.7	99.5	0	289	C _I ^{Ca}

单位：mg/L

unit:mg/L

表 3 邯郸市地下水主要污染物检出率与超标率统计表

Tab.3 Detection rate and exceed standard rate of groundwater main pollutants in Handan City

污染物名称	J/%	B/%	污染物名称	J/%	B/%
pH	100	0	As	23.1	0
TDS	100	48.7	挥发酚	0	0
总硬度	100	59.0	Cr ⁶⁺	17.9	0
氯化物	100	20.5	Hg	0	0
硫酸盐	100	59.0	Cd	2.6	0
氨氮	100	35.9	Pb	0	0
亚硝酸盐氮	100	15.4	Cu	100	0
硝酸盐氮	100	2.6	Fe	38.5	0
高锰酸盐指数	100	0	氟化物	100	20.5
总氰化物	2.6	0			

标准》Ⅲ类水标准 11.8 倍和 8.4 倍。

氯化物高含量中心为曲周县前街和魏县前佃坡,含量分别为 735 mg/L 和 818 mg/L。

氟化物含量超标(大于1 mg/L)的区域主要有邱县和馆陶交界处、广平县南部、成安县中东部、魏县北部、大名县局部、曲周县西南部及磁县城关。其中馆陶县柴堡地下水中氟化物含量最高为3.33 mg/L,超《地下水质量标准》Ⅲ类水标准2.3 倍。

氨氮含量超标的区域主要分布在曲周县、魏县、大名县、广平县城关、馆陶县北部和南部、临漳县南部、永年县的东南部。含量最大的为曲周县四疃监测井,为 0.70 mg/L,其次为魏县蔡小庄监测井,为 0.57 mg/L。

4.2 污染物超标成因分析

4.2.1 原生污染

原生污染主要与地质环境、水文地质条件及其气候有关,其主要污染物有氯化物、硫酸盐、总硬度、矿化度、氟化物等。这种污染主要受沉积物岩性和地质结构的影响控制,作用方式为地下水化学成分的滤溶作用和浓缩作用,另外地下水的径流方式也对地下水化学成分产生影响^[6]。

邯郸市东部平原区地下水氯化物、硫酸盐、总硬度、矿化度较高,其原因是西部山丘区地下水的长期滤溶作用,造成岩层中大量的氯化物、硫酸盐流向平原区;中东部平原区地下水埋藏较浅,水平径流较弱,地下水的排泄方式以垂直蒸发为主,随着水分蒸发,地下水溶液逐渐浓缩,含盐量相对增加,同时地下水的化学成分也发生变化,以碳酸盐为主的地下水,在浓缩作用过程中碳酸盐达到饱和状态,

沉淀析出,使地下水成为以氯化物、硫酸盐为主的地下水。

4.2.2 地下水局部长超采

邯郸市属于资源型缺水城市。由于地表水量少质差,为满足工农业生产的发展需要,水资源只有靠开采地下水来解决,由于地下水长期超采,水位持续下降形成地下水水位降落漏斗,引起水动力条件变化,并造成含水层地球物理化学环境破坏,进而引起地下水水质恶化^[7]。邯郸市西部平原超采区浅层地下水矿化度、总硬度、硫酸盐、氯化物的含量较高,并处于增加趋势,东部平原区地下水矿化度,总硬度含量多数处于增加趋势,与地下水的局部长超采有关。

4.2.3 地表水对地下水的影响

邯郸市地表水水质较差,工业废水和城镇生活污水中,大量有毒、有害物质随着污水进入河道。河道中受到污染的水由于与两岸地下水水位存在一定水位差,河道水及其水中污染物在压力作用下侧向补给地下水,从而造成两岸地下水水质污染。

4.2.4 农药和化肥施用

据南京农科院研究发现,大量施用的农药化肥只有 10% 被农作物吸收,剩余的大多积蓄在土壤中,当上覆土层和含水层中的污染物积累到相当数量后,土层的滤污作用受到限制,随着地表水的入渗一些难以消解的污染物逐步进入到地下水中,造成地下水污染。

大量长期施用化肥会造成地下水 pH、氟化物、砷化物、挥发酚、氰化物、硫化物、氨氮、总磷含量升高。邯郸市地下水由于农药、化肥施用引起的

(下转第 65 页)

应关系。

2) 根据对比有机污染物对斑马鱼 96 h 半致死浓度 LC_{50} , 有机污染物毒性大小为: 氯苯 > 苯酚 > 二甲苯 > 甲苯 > 苯。根据鱼类毒性分级标准, 其中苯酚、甲苯、二甲苯、氯苯为中毒, 苯为低毒。各种有机污染物对斑马鱼死亡率存在剂量-效应关系。

3) 用重金属离子与有机污染物对斑马鱼的死亡状况加以对比。重金属离子对斑马鱼致死程度比较高, 有机污染物对斑马鱼的有较弱的麻醉作用。

参考文献:

- [1] 张奇磊, 高琦, 沈琰. 饮用水源地水质预警系统的建立和应用研究 [J]. 环境科学与管理, 2014(2): 123-125.
- [2] 张冉, 黎如昊, 刘芸, 等. 在线生物毒性监测技术预警水质有毒物质污染与因果关系分析的案例研究 [J]. 生态毒理学报, 2014(6): 1232-1238.

- [3] 李文攀, 周密, 白雪, 等. 集中式饮用水水源地水质预警指标体系构建 [J]. 中国环境监测, 2016(1): 128-132.
- [4] 袁永钦, 匡科, 沈军. 广州市西江引水工程水质预警系统研究与实践 [J]. 中国给水排水, 2011(6): 1-5.
- [5] 刘宴辉, 王绍祥, 黄怡, 等. 黄浦江水源原水水质安全在线监测指标筛选 [J]. 净水技术, 2012(4): 31-33.
- [6] 李洁, 杨敏, 李应. 水源地水质在线生物监测系统的现状和展望 [J]. 安徽农业科学, 2013(23): 9755-9756.
- [7] 杨培莎, 朱艳华. 水质生物监测方法及应用展望 [J]. 北方环境, 2010(2): 71-73.
- [8] 刘在平, 张松林. 斑马鱼在环境检测领域中的应用 [J]. 环境监控与预警, 2011(1): 17-20.
- [9] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 780-781.

(责任编辑 王利君)

(上接第 56 页)

地下水污染不明显, 只是部分区域地下水氨氮、硝酸盐氮含量较高, 但从多年地下水水质资料分析, 各种污染物质含量和检出率呈现上升趋势, 潜在的污染是存在的。

5 结论

邯郸市地下水水化学类型多为碳酸盐类, 占全部评价井的 71.8%, 又以钠组水的 I 型水为主。邯郸市地下水超标物质主要为溶解性总固体、总硬度、氯化物、硫酸盐、氨氮、氟化物、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮。其污染原因主要是原生污染, 与邯郸市的地质环境、水文地质条件及其气候有关。另外地下水长期超采、污染的地表水、农药化肥的使用都是地下水污染的重要因素。由于地下水具有污染过程缓慢、污染源难确定、污染难治理等特点, 一旦受到污染, 很难修复。所以加强地下水管理和保护, 建立健全其管理体制刻不容缓。

参考文献:

- [1] 姚辉, 李朝阳, 张永生. 卧龙湖矿 8101 面地下水水质分类判别研究 [J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2014, 31(4): 40-45.
- [2] 席北斗, 赫英臣, 龚斌. 德国巴伐利亚州水域水质分类特征 [J]. 人民黄河, 2010, 32(1): 50-52.
- [3] 薛巧英. 水环境质量评价方法的比较分析 [J]. 环境保护科学, 2004, 30(4): 64-67.
- [4] LIAO Jianping. Comparison of Two Methods for Determination of Cyanide in Quality-Controlled Water Sample [J]. Journal of Environment and Health, 2002, 19(6): 75-78.
- [5] 程继雄, 程胜高, 张炜. 地下水水质质量评价常用方法的对比分析 [J]. 安全与环境工程, 2008, 15(2): 24-28.
- [6] 郭劲松, 王红. 水资源水质评价方法分析与进展 [J]. 重庆环境科学, 1999, 21(6): 1-9.
- [7] 水利部水环境监测评价研究中心. 水质分析方法标准汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

(责任编辑 王利君)