

水文地质

济南西部地区地下水水化学特征及演变机理浅析

成世才¹, 卢兆群¹, 张强¹, 侯海巖², 徐建²

(1.中化地质矿山总局山东地质勘查院, 山东 济南 250013; 2.平阴县国土资源局, 山东 济南 250014)

摘要:对济南市济西水源地一个水文年地下水水化学特征进行研究发现:补给区→径流区→排泄区地下水水化学类型演化过程为 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型→ $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$ 型与 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型→ $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型。形成地下水水化学类型这一转变的原因为从补给区到径流区岩性变化的结果。地下水水化学演变机理研究认为,岩石风化及溶解作用是形成研究区独特地下水水化学演化规律的主导自然因素。

关键词:地下水;水化学类型;演化机理;岩性变化;济南市

中图分类号:P641.6

文献标识码:B

引文格式:成世才,卢兆群,张强,等.济南西部地区地下水水化学特征及演变机理浅析[J].山东国土资源,2017,33(1):55-58. CHENG Shicai, SONG Yongfen, LU Zhaoqun. Research on Hydro-chemical Characteristics and Evolution of Groundwater Sources in West of Jinan City[J]. Shandong Land and Resources, 2017,33(1):55-58.

对济南市地下水的研究程度由来已久,邢立亭^[1]对于济南泉域岩溶水环境现状的研究,徐慧珍^[2]济南城近郊区地下水头动态特征的研究等,高宗军^[3]对于济南岩溶水微量元素分布特征及其水文地质意义的研究等。过去问题多集中在济南地区水质、水量及水文地质边界的确定上,对地下水水化学特征及演化规律研究较少。该文试从地下水水化学类型演变的角度,浅析济西水源地地下水水化学特征及演化机理。

1 研究区概况

研究区位于济南市的西部及南部,范围涵盖济西水源地的补给区、径流区和排泄区。东南部为泰山山脉,西北部为黄河冲积平原,向NE缓倾,总体地势东南高西北低,地形从SE向NW依次为低山丘陵、山前倾斜平原及黄河冲积平原。区内主要河流有黄河、孝里河、南大沙河、北大沙河及玉符河。出露地层由新到老依次有新生代第四系,古生代寒武系,奥陶系及太古代泰山岩群变质岩系,总体为一单斜构造。

研究区地下水分为:松散岩类孔隙水、碳酸盐岩

类裂隙岩溶水、碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水及基岩裂隙水四类,含水层岩性及富水性见表1。

表1 研究区主要含水岩组特征

地下水类型	赋存层位	主要岩性	井(孔)涌水量 (m^3/d)
碳酸盐岩类裂隙岩溶水	寒武-奥陶纪九龙群炒米店组、三山子组和马家沟群	鲕粒灰岩、灰岩、豹斑灰岩	裸露区<500; 隐伏区 5000~10000、局部>10000
碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水	寒武纪长清群馒头组、朱砂洞组和九龙群张夏组、崮山组	以页岩、泥质页岩为主,夹薄层灰岩、白云岩	一般<500
基岩裂隙水	太古代泰山岩群	花岗岩、辉长岩、闪长岩	一般<100

补给区,主要为基岩裂隙水,分布于研究区南部及东南部变质岩、岩浆岩风化裂隙中;径流区,主要为碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水,分布于研究区中部的低山丘陵区;排泄区,主要为碳酸盐岩类裂隙岩溶水,广泛分布于研究区西部及北部,含水层主要包括寒武纪九龙群炒米店组上部、奥陶纪九龙群三山子组和马家沟群灰岩。

收稿日期:2016-05-25;修订日期:2016-09-08;编辑:曹丽丽

作者简介:成世才(1984—),男,山东烟台人,工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:chengshicai2008@163.com

2 采样布设与测试

2.1 采样布设

该次样品采集,在补给区,周边无明显污染源的位置采集;径流区,在不同岩性的位置分别采集;排泄区,选择地下水供水水源地采样。该次只选择 20 件具有代表性的样品。

2.2 样品测试

检测均按生活饮用水标准进行,检测依据为 GB/T5750-2006。检测仪器为电感耦合等离子体光谱仪、原子荧光光谱仪、离子色谱仪、紫外可见分光光度计、滴定管。

3 结果与讨论

3.1 地下水化学特征

3.1.1 地下水主要离子特征

可见补给、径流、排泄区地下水主要离子含量有较大差别。以 SO_4^{2-} 与 HCO_3^- 为例。补给区 SO_4^{2-} 毫克当量百分数平均 41.24%, HCO_3^- 毫克当量百分数平均 36.84%, $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$; 径流区 SO_4^{2-} 毫克当量百分数平均 25.50%, HCO_3^- 毫克当量百分数平均 54.04%, $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$; 排泄区 SO_4^{2-} 毫克当量百分数平均 17.72%, HCO_3^- 毫克当量百分数平均 64.21%, $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ (表 2)。

表 2 地下水样本主要离子毫克当量百分数统计 (Meq%)

主要离子	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
补给区	最大值	15.56	68.39	21.93	11.82	48.06
	最小值	10.20	63.38	21.06	6.78	36.36
	平均值	13.00	65.53	21.47	9.34	41.24
径流区	最大值	12.80	79.67	27.49	14.00	29.66
	最小值	4.58	63.66	15.75	6.46	23.23
	平均值	7.82	71.17	21.00	10.17	25.50
排泄区	最大值	13.18	75.57	25.76	16.54	20.07
	最小值	6.15	64.44	17.17	5.51	10.52
	平均值	9.95	68.9	21.15	10.89	15.45

3.1.2 地下水水化学类型空间分布特征

曹建荣等认为^[4],地下水化学类型由地下水流经处经历的岩石岩性、径流速度、地球化学反应特征和人类活动等因素决定^[5-6]。通常地下水化学类型从补给区到排泄区有如下变化规律: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow$

Cl^- 。而研究区作为一个独立的水文地质单元,具有独特的地质构造和地层岩性,决定了其地下水演化过程具有独特性^[7-9]。济西水源地地下水水化学类型演化过程为: $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型 $\rightarrow \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$ 型与 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型 $\rightarrow \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型。

研究区采用舒卡列夫地下水水化学类型分类法,主要地下水水化学类型分为 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型、 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型。补给、径流、排泄区地下水水化学类型详见表 3。

表 3 地下水水化学特征值 (g/L)

区段	主要水化学类型	TDS	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
补给区	$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$	0.4~0.6	0.20~0.28	0.01~0.03	0.06~0.13	0.02~0.05
	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$	0.4~0.7	0.25~0.30	0.01~0.03	0.07~0.11	0.04~0.10
排泄区	$\text{HCO}_3 - \text{Ca}$	0.3~0.6	0.21~0.29	0.02~0.04	0.02~0.08	0.02~0.05

可见,研究区东南部以基岩裂隙水为主的补给区,地下水水化学类型主要以 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型为主;以碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水为主的径流区,地下水水化学类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型为主,次为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型;而到西部、北部以碳酸盐岩类裂隙岩溶水为主的排泄区,地下水水化学类型以 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型为主 (图 1)。

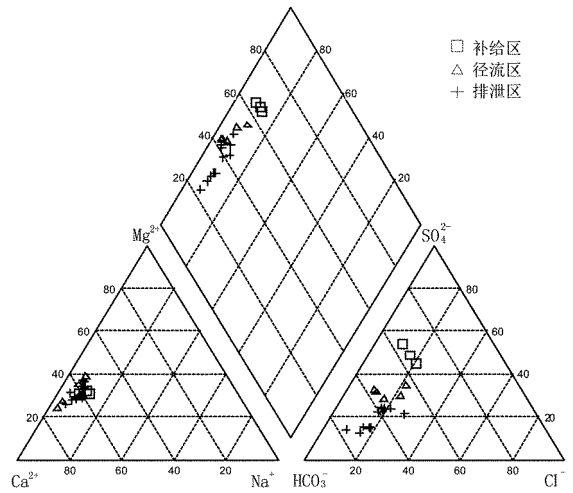


图 1 补给-径流-排泄区地下水 piper 三线图

3.1.3 地下水化学特征量相关性分析

相关性分析可揭示地下水化学参数的相似、相异性及来源的一致性和差异性^[4-12]。通过计算研究区地下水化学特征量的 Pearson 相关系数,见表 4,可以清晰地看出,研究区 Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 、总硬度与 TDS 呈现显著的正相关。说明 Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 是地下水 TDS 高低的主要控制因素。

Cl⁻与 TDS 的相关性异常的原因分析为研究区水样普遍受到一定程度污染所致。

表 4 地下水化学特征量相关系数矩阵

	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	总硬度	TDS
pH	1								
Na ⁺	-0.431	1							
Ca ²⁺	-0.163	0.408	1						
Mg ²⁺	-0.337	0.596	0.729	1					
Cl ⁻	-0.049	0.662	0.787	0.739	1				
SO ₄ ²⁻	-0.439	0.644	0.655	0.599	0.454	1			
HCO ₃ ⁻	0.133	-0.11	0.487	0.491	0.459	-0.222	1		
总硬度	-0.226	0.49	0.978	0.857	0.82	0.678	0.518	1	
TDS	-0.262	0.564	0.958	0.88	0.849	0.676	0.521	0.992	1

3.2 地下水水化学演化规律及机理分析

3.2.1 地下水水化学演化规律

补给区到排泄区,地下水 SO₄²⁻ 含量(以毫克当量百分数计)呈逐渐下降的趋势,而 HCO₃⁻ 含量呈逐渐上升的趋势(图 2),分析原因为:研究区补给—径流—排泄区的岩性依次主要为变质岩→碳酸盐岩夹碎屑岩类→碳酸盐岩类。地下水携带从变质岩类中溶解的 SO₄²⁻,进入到碳酸盐岩类径流、排泄区,此过程中地下水在溶解等物理作用和阳离子交换吸附等化学作用下,溶解了大量 HCO₃⁻,地下水水化学类型从 SO₄·HCO₃ 型逐渐过渡到 HCO₃ 型。地下水流经岩石的岩性变化决定了地下水水化学类型的转变。

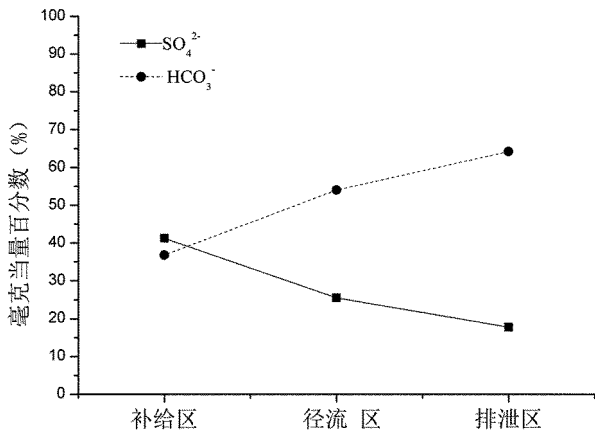


图 2 HCO₃⁻, SO₄²⁻ 毫克当量百分数变化趋势

3.2.2 地下水演化机理分析

对于地下水演化的自然影响因素, Gibbs^[13] 根据世界河流、湖泊及海水 TDS 与 Na⁺/(Na⁺+Ca²⁺), TDS 与 Cl⁻/(Cl⁻+HCO₃⁻) 关系,分析出大气降水、岩石风化和蒸发—结晶作用 3 种自然作用影响天然水化学成分起源机制,见图 3a。

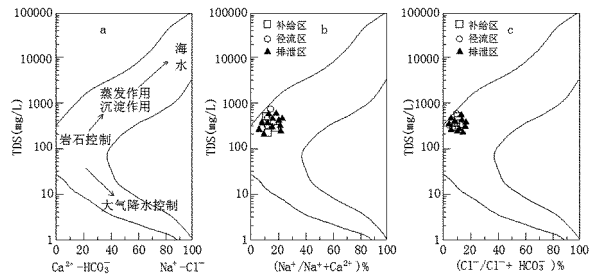


图 3 Gibbs 水化学 Boomerang Envelope 模型(a) 及研究区地下水水化学 Gibbs 分布图(b,c)

根据 2014 年对青海湖地下水演化机理的研究^[14-15],一般干旱区的河流 TDS 较高,同时也具有较高的 Na⁺/(Na⁺+Ca²⁺) 值或 Cl⁻/(Cl⁻+HCO₃⁻) 值,具有该特征点一般分布在图的右上角,反映了干旱地区蒸发结晶作用对河水的影响。2010 年对黄河三角洲地下水演化机理的研究发现^[4],三角洲水样点化学组成也主要位于模型的右上端,少量位于模型中部位置,表明该区地下水离子自然起源的优势机制是蒸发沉淀及结晶作用,岩石风化作用亦起到一定影响。研究区水样点化学组成主要位于模型的中部靠左,见图 3b、图 3c,说明研究区地下水化学组分形成的主导因素是岩石的风化—溶解作用。这一结论与研究区地质及岩性条件相适应。工作区地层岩性主要为灰岩、白云岩等,大多为可溶岩,地下水在这样的岩性条件中运移必然会产生与之相符的地下水水化学类型,从补给区的花岗岩、辉长岩地区流经补给径流区的灰岩、白云岩地区,必然形成地下水水化学类型从 SO₄·HCO₃ 型逐渐过渡到 HCO₃ 型的演化过程。

引起研究区水质变化另一个不容忽视的原因便是人类活动^[16]。周孝明等^[17] 研究发现,塔里木河下游地表水系解体、地下水位下降、水质恶化、植被衰败等生态系统退化是社会经济活动影响的结果,认为产业结构不合理是导致流域下游地区水资源紧张、生态退化的根源。人类工业活动大大改变了大气中温室气体的比例,从而引起气温升高、蒸发加快以及区域水循环改变等变化,另外,土地利用变化、农田灌溉、水渠挖潜等作用于流域下垫面的影响对地下水循环的影响更为明显。

4 结论

研究区东南部以基岩裂隙水为主的补给区,地下水水化学类型主要以 SO₄·HCO₃-Ca 型为主;以

碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水为主的径流区,地下水水化学类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型为主, 次为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型; 而到西部、北部以碳酸盐岩类裂隙岩溶水为主的排泄区, 地下水水化学类型以 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型为主。研究区地下水水化学类型演化过程为: $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型 \rightarrow $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$ 型与 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型 \rightarrow $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型。从补给区到排泄区, 地下水 SO_4^{2-} 含量逐渐下降, 而 HCO_3^- 含量逐渐上升, 地下水在溶解等物理作用和阳离子交换吸附等化学作用下, 流经岩石的岩性变化决定了地下水水化学类型的转变。地下水水化学演化机理研究结果认为, 研究区地下水化学组分形成的主导因素是岩石的风化-溶解作用。

参考文献:

- [1] 邢立亭, 陆敏, 胡兰英. 济南泉域岩溶水环境现状与保护对策[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2006, 20(4): 345-349.
- [2] 徐慧珍, 段秀铭, 高赞东, 王庆兵. 济南城近郊区地下水头动态特征及原因分析[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(2): 87-89.
- [3] 高宗军, 徐军祥. 济南岩溶水微量元素分布特征及其水文地质意义[J]. 地学前缘, 2014, (4): 15-19.
- [4] 曹建荣, 徐兴永. 黄河三角洲浅层地下水化学特征与演化[J]. 海洋科学, 2014, 38(12): 78-85.
- [5] 姚秀菊, 王洪德, 张福存, 等. 黄河三角洲地下淡水(微咸水)的形成与演化[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 375-378.

- [6] 张效龙, 孙永福, 刘敦武. 黄河三角洲地区地下水分析[J]. 海洋地质动态, 2005, 21(6): 26-28.
- [7] 徐慧珍, 段秀铭, 高赞东, 王庆兵. 济南泉域排泄区岩溶地下水水化学特征[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(3): 15-19.
- [8] 万利勤, 徐慧珍, 殷秀兰, 李文鹏, 王庆兵. 济南岩溶地下水化学成分的形成[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(3): 61-64.
- [9] 徐慧珍, 李文鹏, 殷秀兰, 段秀铭. 济南泉域浅层地下水水化学同位素研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(3): 65-69.
- [10] 路洪海, 章程. 济南泉域岩溶水质演变及其对人类活动的响应[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 242-244.
- [11] 王瑞久. 三线图解及其水文地质解释[J]. 工程勘探, 1983, (6): 6-11.
- [12] 马金珠, 李相虎, 黄天明, 等. 石羊河流域水化学演化与地下水补给特征[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 117-122.
- [13] Von Asmuth J, Mass K. The method of impulse response moments; a new method integrating groundwater and eco-hydrological modeling[J]. IAHS Publ, 2001, (269): 51-58.
- [14] Bu - Li Cui, Xiao - Yan Li. Characteristics of stable isotope and hydrochemistry of the groundwater around Qinghai Lake, NE Qinghai - Tibet Plateau, China [J]. Environ Earth Sci, 2014, (71): 1159-1167.
- [15] 胡汝骥, 樊自立, 王亚俊, 等. 中国西北干旱区的地下水资源及其特征[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 322-326.
- [16] 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态水文问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 89-91.
- [17] 周孝明, 陈亚宁, 李卫红, 等. 近 50 年来塔里木河流域下游生态系统退化社会经济因素分析[J]. 资源科学, 2008, 30(9): 1389-1396.

Research on Hydro - chemical Characteristics and Evolution of Groundwater Sources in West of Jinan City

CHENG Shicai¹, LU Zhaoqun¹, ZHANG Qiang¹, HOU Haidian², XU Jian²

(1. Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Shandong Jinan 250013, China; 2. Pingyin Bureau of Land and Resources, Shandong Pingyin 250400, China)

Abstract: Through study on hydro - chemical characteristics of groundwater sources in west of Jinan city, it is found that groundwater chemical type evolution from recharge area \rightarrow run off area \rightarrow drain area is $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca} \rightarrow \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$ and $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \rightarrow \text{HCO}_3 - \text{Ca}$. Reasons for the formation of groundwater chemical type evolution is the changes in lithology. Through study on groundwater water chemistry, it is suggested that rock weathering and dissolution is the dominant natural factor of the unique hydro - chemical evolution mechanism in study area.

Key words: Groundwater; hydro - chemical type; evolution mechanism; changes in lithology; Jinan city