

关中盆地浅层地下水水文地球化学分布特征研究

魏哲, 张春潮, 王文科, 段磊, 孙一博, 李慧

(长安大学 a. 环境科学与工程学院; b. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室;

c. 陕西省地下水与生态环境工程研究中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 以揭示地下水化学场的形成机理为研究目的, 在了解关中盆地水文地质的基础上, 分析了地下水的水化学特征, 讨论了其形成机理。结果表明: 水化学类型、矿化度、硬度均具有明显的水平分带特征, 但由于受到地质地貌和水文地质不同的制约, 又各有特点; 离子含量的分布与 pH 值、矿化度、硬度和水化学类型的分布规律有着一定的联系; 离子的变化趋势的大小明显受到矿化度大小的约束, 且地下水动力场对化学场起着控制性作用。

关键词: 水文地球化学; 地下水; 水化学类型; 关中盆地

中图分类号: P641.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)04-0085-05

Hydrogeochemical characteristics of groundwater in Guanzhong basin

WEI Zhe, ZHANG Chunchao, WANG Wenke, DUAN Lei, SUN Yibo, LI Hui

(a. School of Environmental Science and Engineering, b. Key Laboratory of Subsurface Hydrology

and Ecological Effect in Arid Region of Ministry of Education; c. Engineering Research Center of

Groundwater and Eco-Environment of Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: On the basis of understanding the hydrogeological conditions in Guanzhong Basin, in order to reveal the formation mechanism of chemical field of groundwater, the paper analyzed the chemical feature of groundwater and discussed its formation mechanism. The results show that the types of water chemistry, salinity and hardness have horizontal distribution characteristics, but they have own's characteristics due to the constraints of the geological and hydrological. The distribution of ionic content has a certain contact with pH value, salinity, hardness and water chemical types. The change tendency of ionic content is significantly constrained by the salinity, and the dynamic field of groundwater controls the chemical field.

Key words: hydrogeochemical; groundwater; types of water chemical; Guanzhong basin

关中盆地又称渭河盆地, 夹持于陕北高原与秦岭山脉之间, 为喜马拉雅运动时期形成的巨型断陷带, 三面环山, 东面敞开。该区是陕西省政治、经济、文化的中心地带, 在我国经济建设中具有重要的区位优势。随着工农业生产和人类活动的加剧, 地下水污染越来越严重, 环境问题日益突出, 而要从根本上了解和解决这些问题, 就必须对地下水水文地球化学空间分布特征进行研究, 高层次认识地下水环境问题^[1]。

本文旨在对关中盆地浅层地下水水文地球化学空间分布特征进行研究, 并阐述其机理, 为地下水的合理利用与开发、饮水安全以及改良水质提供可靠依据, 有助于探讨地下水水质与水化学场之间的相互联系, 研究在自然因素和人为因素的共同作用下, 地下水的变化对环境所起到的作用。

1 研究区概况

关中盆地北部为黄土高原, 南部为秦岭山区, 地貌主要有黄土丘陵区、黄土塬区、土石山区、黄土阶地区、河谷冲积平原区等。关中盆地水系众多, 渭河是主要河流。北岸支流多发源于黄土丘陵和黄土高原, 相对源远流长, 比降较小, 含沙量大; 南岸支流均发源于秦岭山区, 源短流急, 谷狭坡陡, 径流较丰, 含沙量小。关中盆地处于干旱地区和湿润地区的过渡地带, 多年平均降水量 572 mm (1956 - 2010 年系列, 下同)^[2]。降水量变化趋势南多北少, 山区多而盆地河谷少。降水量年际变化较大, C_v 值 0.21 ~ 0.29, 最大月降水量多发生在 7、8 月份, 最小月降水量多发生在 12、1 月份, 多年平均陆地蒸发量约 500 mm。

收稿日期: 2012-12-28; 修回日期: 2013-02-28

基金项目: 中国地质调查局实施项目 (1212010634700) 子课题之一

作者简介: 魏哲 (1988-), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 从事生态地球化学环境与饮水安全研究。

2 关中盆地浅层地下水水文地球化学特征

2.1 水化学类型、矿化度、硬度空间分布特征

现以 2011 年 10 - 12 月在关中盆地采集的 165 个浅层地下水水样(采样点见图 1)为依据,按照舒

卡列夫方法^[3]对地下水化学类型进行分类,全区共分成九种水化学类型,其中 HCO_3 型占 56. 79%, SO_4 型占 1. 23%, $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ 型占 16. 67%, $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$ 型占 6. 17%, $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4$ 占 13. 58%, $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}$ 型占 5. 56%。



图 1 关中盆地 2011 年水样点分布图

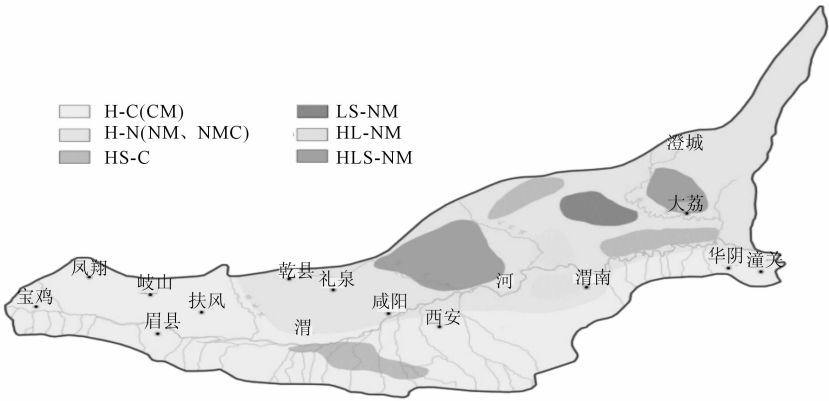


图 2 关中盆地浅层地下水水化学类型分区图

潜水和承压水由于径流路径和所在环境条件的差异,致使水化学特征存在一定的差异性^[4]。从图 2 可以看出,关中盆地地下水水化学类型呈现如下水平分布特征:渭北漆水河以西地区、渭河以南秦岭山前地区西安市局部,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ($\text{Ca} \cdot \text{Mg}$);漆水河 - 泾河河间地块、渭北北山山前地区及泾河 - 石川河河间的渭河沿岸,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$;渭北泾河以东的大部分地区,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - (\text{Na} \cdot \text{Mg})$;户县及石川河以东渭河沿岸,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Na}$ ($\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 或 $\text{Na} \cdot \text{Mg}$);渭北蒲城卤泊滩地区及渭南市部分地区,水化学类型主要为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}\text{-Na}$ 或 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{-Na}$ 。从分析可以看出,关中盆地地下水水化学类型渭河以南及泾河以西比较单一,泾河以东水化学类型较复杂,且自西向东水化

学类型逐渐由单一型变为复杂性。

关中盆地大部分都属于淡水。盐化水集中分布于渭北泾河以东河谷阶地的大部分地区(图 3)。其中大于 3 g/L 以上的盐化水集中在卤泊滩及周围地区。渭北自西向东,渭河以南由南向北矿化度逐渐升高,但在靠近渭河附近受渭河水入渗影响,矿化度有所减小^[5]。总体来看,从盆地边缘至盆地中央,从补给区到排泄区,矿化作用逐渐增强,矿化度逐渐升高(图 3)。

关中盆地浅层地下水硬度总体来说,软水(小于 150 mg/L)极少出现,主要分布在大荔、澄城以东地区,其他地区均大于 150 mg/L。其中最大值位于卤泊滩蒲城党睦镇樊家村,硬度高达 3 767. 53 mg/L。关中盆地浅层地下水硬度呈水平渐变分布(图 4)。对于渭北,从西向东硬度逐渐增大,最高值

出现在卤泊滩,到河口处硬度有所减小。泾河西以弱硬水、硬水为主,泾河-洛河之间以极硬水为主。渭河以南,大部分以弱硬水、硬水为主,局部区域出

现极硬水。自南向北,硬度总体来说呈现增大趋势。从盆地边缘到河谷阶地、盆地中心,硬度也呈现增长趋势。

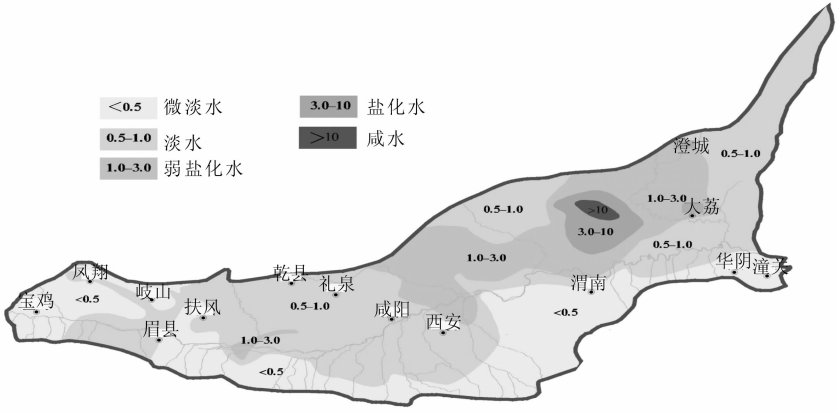


图 3 关中盆地浅层地下水矿化度分区图(2011)

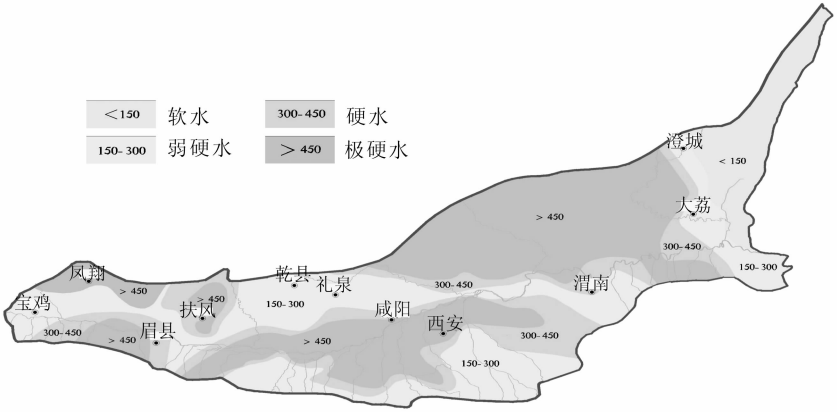


图 4 关中盆地浅层地下水硬度分区图(2011)

2.2 离子含量空间分布特征

根据关中盆地的地形地貌和水文地质条件,再结合水化学类型的分布特征,特将关中盆地划分为两个大区、七个亚区^[6]进行研究,并分别计算出各区的水化学参数及离子含量的平均值,分别讨论其离子的分布特征。

从表 1 中可以看出,不同的分区其 pH 值、矿化度、硬度和离子含量均具有明显的差异性,并呈现出一定的规律性。渭北自西向东,pH 值呈增大趋势,而矿化度、硬度和离子含量呈先增大后减小的趋势,其中易溶盐组分 Na^+ 、 SO_4^{2-} 波动范围较大。除 HCO_3^- 离子外,矿化度、硬度和其他离子含量均在石川河-洛河段出现最大值。渭河以南区域,从秦岭山前洪积扇到冲积平原区矿化度和硬度均增加。另外,除 Na^+ 含量略微减小之外,其他离子含量均呈增加趋势,其中 HCO_3^- 含量几乎不变。pH 值,矿化度和硬度也呈现出一定的规律性,随着 Na^+ 、 Mg^{2+} 、

Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量的增加而增加。总体来看,渭河以北除 Ca^{2+} 含量低于渭河以南外,pH、矿化度、硬度、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 含量,渭北均大于渭河以南。离子含量的分布与 pH 值、矿化度、硬度和水化学类型的分布规律有着一定的联系。当矿化度较小时, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 含量占优,其他离子含量较小;随着矿化度的增大, Na^+ 和 SO_4^{2-} 含量急剧增加,逐渐占优, Ca^{2+} 、 HCO_3^- 含量增加的幅度减小。

2.3 离子对当量比值空间分布特征

关中盆地作为一个开放的水文地球化学系统,在统一的地下水流场内,各亚区之间的水化学组分存在着有机的联系,由此而形成了关中盆地独特的水文地质格局。在地下水的化学成分中,各种组分之间的含量比例系数常被用来研究某些水文地球化学问题^[7]。表 2 从离子对当量比值来分析关中盆地浅层地下水水化学分布特征,各亚区的离子对当量比值如表 2。

rCl^-/rCa^{2+} 比值刻画了水动力条件的好坏。从表 2 可以看出,渭河以北,从漆水河以西至洛河 rCl^-/rCa^{2+} 逐渐增大,而至黄河河口处又减小,表明关中盆地渭河以北自西向东水动力条件逐渐变差, Cl^- 含量逐渐增大而富集,在石川河 - 洛河处水动

力条件极差。渭河以南,从山前洪积扇到冲积平原,水动力条件变化不明显,略微变差, Cl^- 含量升高, Ca^{2+} 逐渐减少。 Ca^{2+} 作为弱矿化水中的主要组分,渭北自西向东,渭河以南自南向北 Ca^{2+} 逐渐减少,说明矿化度逐渐增加。

表 1 水文地球化学区水化学分布特征 mg/L

大区	亚区	pH 值	矿化度	硬度	离子含量					
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
渭河以北	漆水河以西	7.19	504.58	392.18	87.40	42.24	37.54	46.37	42.40	434.00
	漆水河 - 泾河	7.32	901.13	429.2	72.79	60.09	179.18	110.04	173.19	566.73
	泾河 - 石川河	7.49	1353.53	634.33	63.18	115.73	270.84	253.79	322.26	691.83
	石川河 - 洛河	7.84	2816.76	743.43	76.95	133.87	710.94	632.43	1000.94	560.64
	洛河 - 黄河	8.23	979.14	218.81	25.92	37.42	287.12	136.91	202.62	552.67
	平均	7.61	1311.03	483.59	65.25	77.87	297.12	235.91	348.29	561.18
渭河以南	秦岭山前洪积扇	7.38	599.00	365.97	91.04	33.67	78.31	53.26	119.62	430.40
	渭河冲积平原	7.00	702.40	520.97	148.51	36.46	50.30	89.58	133.94	430.78
	平均	7.19	650.7	443.47	119.77	35.06	64.31	71.42	126.78	430.59

注:表中数据均为各亚区段所有水样测试值的平均值。

表 2 水文地球化学分区及其水文地球化学参数

参 数	渭河以北					渭河以南	
	漆水河 以西	漆水河 - 泾河	泾河 - 石川河	石川河 - 洛河	洛河 - 黄河	秦岭山前 洪积扇	渭河冲 积平原
主要水化学类型	H - C (CM)	H - N (NM)	HLS - NM	LS - NM	HSL - NM	HSL - NM	H - C (CM)
矿化度	0.50	0.90	1.35	2.82	0.98	0.60	0.70
pH 值	7.19	7.32	7.49	7.84	8.23	7.38	7.00
rCl^-/rCa^{2+}	0.30	0.85	2.26	4.63	2.98	0.33	0.34
rMg^{2+}/rCa^{2+}	0.81	1.38	3.05	2.90	2.41	0.62	0.41
rNa^+/rMg^{2+}	0.46	1.56	1.22	2.77	4.00	1.21	0.72
$rCl^-/rHCO_3^-$	0.18	0.33	0.63	1.94	0.43	0.21	0.36
rCl^-/rSO_4^{2-}	1.23	0.72	0.89	0.71	0.76	0.50	0.75
rNa^+/rCl^-	1.25	2.51	1.65	1.74	3.24	2.27	0.87

注:表中 H 代表 HCO₃, S 代表 SO₄, L 代表 Cl, C 代表 Ca, M 代表 Mg, N 代表 Na; 表中数据均为平均值。

rMg^{2+}/rCa^{2+} 、 rNa^+/rMg^{2+} 比值反映了矿化作用的强弱,其值的增加表征了矿化度的增加。在漆水河 - 泾河段 rNa^+/rMg^{2+} 比值偏离了规律,是由于 Mg^{2+} 的增加使 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的配比组成发生变化。

$rCl^-/rHCO_3^-$ 、 rCl^-/rSO_4^{2-} 比值反映了阴离子演化过程及组分分配的变化。从表 2 可以看出,渭河以北自西向东 $rCl^-/rHCO_3^-$ 比值逐渐增大,至河口处又减少,说明 Cl^- 含量较 HCO_3^- 富集,渭河以南也是如此。而 rCl^-/rSO_4^{2-} 的波动则反映了 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量的相对变化。 rCl^-/rSO_4^{2-} 增加,表明 Cl^- 含量相对 SO_4^{2-} 增加,反之则相对减少。

rNa^+/rCl^- 比值反映了盐化过程及 Na^+ 、 Cl^- 相

对含量的增长情况。渭北漆水河 - 泾河,洛河以东, Na^+ 含量较 Cl^- 增加,水质总体向盐化方向发展;渭河以南,从山前洪积扇到冲积平原, Cl^- 含量较 Na^+ 增加速度快,表明水质朝恶化方向发展。

3 讨 论

由上述分析可知,关中盆地浅层地下水化学空间分布特征主要受地质、地貌和水文地质条件的制约。

补给区:山前洪积扇处,由于地形坡度大,地表水系发育,潜水径流途径短而且顺畅,水循环交替强烈,水文地球化学成因属于溶滤型,整个径流过程以脱盐作用为主、矿化作用微弱^[8],水化学类型较为单一,以 HCO₃-Ca (Ca · Mg) 型水为主。仅在户县附

近,由于地形较平坦,地下水径流滞缓以及人为污染的原因使得该区出现了 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}(\text{Ca} \cdot \text{Mg})$ 型水。

径流区:洪积扇前缘及黄土台塬处,因含水层颗粒细、地下水径流滞缓,水交替变弱,矿化度增高, Cl^- 得到富集。该区潜水含水层以砂质黏土为主,地下水中的 Ca 与黄土中的 Na 发生离子交换作用,使 Na 离子富集,易溶盐开始积累,水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl-Na} \cdot \text{Mg}$ 型水为主;塬面洼地处,包气带疏松,垂向渗透系数大,蓄水能力强,水位埋藏浅,径流更加滞缓,洼地蓄水区携带大量盐分,水文地球化学成因从溶滤型过渡为蒸发浓缩型,主要为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水;至黄土台塬前缘处,水力坡度增大,径流条件变好,但也有例外,如卤泊滩周围,由于该处地势低洼,降雨量也很小,加上强烈的蒸发浓缩作用,使得该处出现了矿化度 20 g/L 左右的 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} \cdot \text{HCO}_3\text{-Na} \cdot \text{Mg}$ 型水;渭河阶地区,渗透性能较好,径流途径短,水力坡度较大,接受降雨、河水的渗入补给和塬面的径流补给,水交替比较积极,主要为 $\text{HCO}_3\text{-Na} \cdot \text{Mg}(\text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca})$ 型水。

排泄区:至冲积平原处,由于河床与两岸地形高差较小,受河流侵蚀基准面的控制^[9],地下水位埋藏较浅,含水层与包气带岩性较细,水力坡度很小,径流滞缓,使得蒸发浓缩作用增强,主要为 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Na} \cdot \text{Mg}$ 和 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{Cl-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水。但在渭河附近,由于地下水受到渭河河水混合的影响,形成一沿渭河的水质淡化带^[5]。

4 结 语

(1)关中盆地浅层地下水无论是渭北自西向东、渭河以南自南向北,还是从盆地边缘至盆地中心,水化学类型从比较单一逐渐过渡为复杂型,呈明显水平分带性规律。

(2)离子含量的分布特征与 pH 值、矿化度、硬度和水化学类型的分布规律有着一定的联系; pH 值,矿化度和硬度随着 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量

的增加而增加。矿化度较小时, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 含量占优;随着矿化度的增大, Na^+ 和 SO_4^{2-} 含量逐渐占优。

(3)由区内水文地质参数空间分布及其变化情况来看,关中盆地浅层地下水的空间特征表明了地下水动力场对水化学场的控制作用。从河流上游到下游,从山前地带到盆地中心,随着地形逐渐变缓,径流从顺畅变得滞缓,地下水排泄方式从水平排泄变为垂直蒸发为主,水化学作用从溶滤作用为主变为蒸发浓缩作用为主,矿化度也随之增高,水化学类型从单一重碳酸水变为复杂的多种组合方式,水质也朝着恶化的方向发展。

参考文献:

- [1] 田春声,王丽艳. 关中盆地潜水化学特征及其变化趋势[J]. 西安地质学院学报,1993,15(Z):10-14.
- [2] 李文鹏,周宏春,周仰效,等. 中国西北典型干旱区地下水流系统[M]. 北京:地震出版社,1995.
- [3] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995:60-62.
- [4] 段 磊,王文科,曹玉清,等. 天山北麓中段地下水水化学特征及其形成作用[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(9):29-34.
- [5] 王文科,王雁林,段 磊,等. 关中盆地地下水环境演化与可再生维持途径[M]. 郑州:黄河水利出版,2006. 12.
- [6] 孙 熠,王文科,刘国东,等. 关中盆地浅层地下水水化学场演化规律研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2005,31(6):874-879.
- [7] 沈照理. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [8] Ya Wang, Jiu Jimmy Jiao. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in the confined Quaternary aquifer of the Pearl River Delta, China[J]. Journal of Hydrology, 2012(438-439):112-124.
- [9] Kyu Youl Sung, Seong Taek Yun, Maeng Eon Park. Reaction path modeling of hydrogeochemical evolution of groundwater in granitic bedrocks, South Korea[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2012,118:90-97.