

偃师市浅层地下水流动系统水化学特征

崔迪^{1,2}, 董绍勤³, 李政葵², 冯海波², 刘晓波²

(1. 包头市国土资源局, 内蒙古 包头市 014010; 2. 内蒙古大学 环境与资源学院, 内蒙古 呼和浩特市 010021; 3. 招金有色金属业有限公司, 山东省 招远市 265400)

摘要:在水文地质调查和样品分析的基础上,应用水化学统计、离子相关性分析等方法对偃师市浅层地下水流动系统特征和水化学特征进行分析.研究表明:偃师市地下水化学特征具有明显的水平分带性,在沿着补给—径流—排泄的方向上,地下水化学类型由 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 型水向 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水演化.总体上研究区地下水中 TDS 不高,均值为 515.29 mg/L,与 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 质量浓度的分布规律具有明显的正相关性,主要表现为平原地区浓度高于南北两侧的丘陵山地.图 3,表 1,参 15.

关键词:地下水;水文地球化学;地下水流动系统;偃师市

中图分类号:P641.12

文献标识码:A

地下水流动是一个复杂多元的物理化学演变过程,在径流过程中,地下水不断与周围介质发生着水岩相互作用,使地下水的化学成分不断发生变化.通过研究地下水化学成分及其在时间和空间上的演变,可以探寻地下水的赋存环境、径流途径及物质能量交换等重要信息,从而揭示地下水的水化学特征和演化规律^[1-3].很多学者都从各自的角度对不同地区的地下水水化学和演化机理进行了分析和论证,取得了重要成果和进展^[4-7].其中,李向全等^[8]通过应用水化学统计方法及水文地球化学模拟技术研究了太原盆地地下水水化学类型及其空间分布特征,分析了该盆地地下水水化学组成的形成演化机制.任增平等^[9]对达拉特旗平原区地下水水化学平面分布特征及其形成机制进行了详细的研究.郭占荣等^[10]研究了三屯河流域平原地下水系统中主要离子、TDS 和水化学类型空间分布特征及其时间上的演化规律^[1].

近年来,偃师市城市化的迅速发展,对水资源

的需求量急剧上升,使得地下水被过度的开采,从而导致了一定的环境地质问题,对当地地下水的可持续利用带来了威胁.以往对于偃师市地下水的研究内容较少,主要是针对地下水的质量现状和监测方法进行一定的分析和探讨^[11-12],对整个地下水系统的空间分布特征和演化规律没有一个充分的理解和认识.因此,研究地下水水化学特征及其演化机制,对于探讨偃师市地下水资源的合理开发和利用具有重要的意义.

1 自然地理

偃师市位于河南省中西部,洛阳盆地东侧;区内主要河流为伊河、洛河以及其它

季节性河流.整个区域地下水分布不均,北部丘陵地区孔隙发育,岩性渗透性能较差;中部平原区地形坡度较小,地下水埋深浅,富水性强;南部主要为中低山,侵蚀切割强烈,水资源匮乏.偃师市地处暖温带地区,属暖温带大陆性季风气候.据偃师

市气象局资料,多年平均气温 14.2°C ,多年平均降水量 524.1 mm ,降水多集中在 7、8、9 三个月,占年

降水量的一半,多年平均蒸发量 1451.7 mm (见图 1).

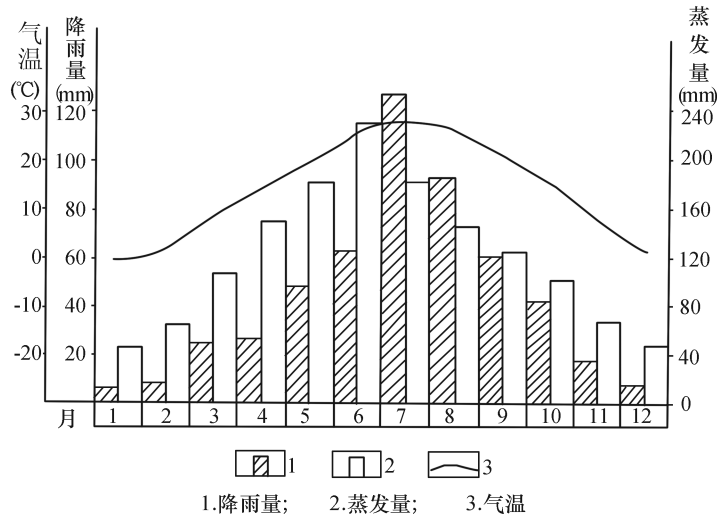


图 1 偃师市平均气象要素

Fig. 1 Average meteorological elements in Yanshi City

2 研究区地质及水文地质概况

偃师市地处嵩山北坡,地形南北高中间低,域内地貌类型复杂多样.北部及西部邙山丘陵区主要为黄土台塬,孔隙发育强烈,普遍存在黄土孔隙、孔洞、裂隙等;整个丘陵地形坡度较大,地下水的补给、储存能力较差.南部万安山一线为中低山,山体主要由太古宇、元古界变质岩、岩浆岩及古生界碳酸盐岩组成;山顶及山脊平缓,沟谷发育,背斜轴部纵张断裂,抗风化能力差,由于强烈的剥蚀作用,山体破碎,水资源贫乏.中部地区南北分别为山前倾斜平原和河谷平原.山前倾斜平原由南向北倾斜,南部较陡,组成物质为中、上更新统洪积含砾黄土状粉质粘土(北部)、含砾粉质粘土(南部)及卵砾石层,上更新统洪积层覆盖于洪积倾斜平原的中前部,前缘多有地下水溢出带.河谷平原分布于洛河、伊河沿岸一带,主要为第四系冲积、洪积及湖积物,下伏以卵石层为主的含水层、厚度较大,结构疏松,分选磨圆及渗透性能较好,埋藏有丰富的孔隙潜水.

3 偃师市浅层地下水化学特征及空间分布规律

3.1 浅层地下水成分统计分析

该次研究在偃师市共采集潜水样品 32 件,分别对钾、钙、镁、钠等主要离子和总溶解固体、氟化物、氮化物等浓度指标进行了测定.通过对整个偃师市地下水成分进行分析,可知研究区浅层地下水的总硬度在 $172 \sim 749\text{ mg/L}$ 之间,平均值达到 358.47 mg/L ;局部地区总硬度已超过现行生活饮用标准,主要分布在工业发展较快、人口密度大的伊洛河平原地区.其它如氟化物和氯化物的浓度分别为 $0.02 \sim 0.72\text{ mg/L}$ 和 $15.95 \sim 125.85\text{ mg/L}$ 之间,平均浓度分别为 0.37 mg/L 和 41.05 mg/L ;二者在河谷平原区伊洛河两岸的浓度要远高出西北部邙山丘陵区 and 南部中低山地区.此外,硝态氮最高值为 21.42 mg/L ,超出 3 类地下水水质标准 (GB/T 14848—93),位于伊洛河下游与巩义市交界处 (见表 1).

表 1 偃师市浅层地下水水化学成份统计表(mg/L)

Tab. 1 The chemical analysis results of shallow groundwater in Yanshi City(mg/L)

项目	范围值	均值	项目	范围值	均值
K ⁺ Na ⁺	11.66 ~ 151.64	49.58	Fe ³⁺	<0.01 ~ 0.87	0.16
Ca ²⁺	33.50 ~ 206.2	82.89	Fe ²⁺	<0.002 ~ 0.12	0.12
Mg ²⁺	22.52 ~ 70.96	36.87	pH	7.0 ~ 7.9	7.42
Cl ⁻	15.95 ~ 125.85	41.05	总溶解固体	212.85 ~ 1 184.09	515.29
SO ₄ ²⁻	17.29 ~ 260.32	70.75	总硬度	172 ~ 749	358.47
HCO ₃ ⁻	273.37 ~ 671.22	365.79	永久硬度	0 ~ 238.5	61.38
F ⁻	0.02 ~ 0.72	0.37	暂时硬度	172 ~ 535.5	297.73
NO ₃ ⁻ —N	0.1 ~ 21.42	5.76	负硬度	0 ~ 133.5	11.75
NO ₂ ⁻ —N	< 0.002 ~ 0.024	0.002	总碱度	178.5 ~ 535.5	308.86
NH ₄ ⁺ —N	0.02 ~ 0.20	0.022	游离 CO ₂	3.11 ~ 50.77	15.26

注:表中除 pH 值外,其它指标单位均为 mg/L

3.2 浅层地下水化学特征

偃师市北部及西部邙山丘陵区堆积有几米到几十米厚的以风成为主的黄土,其垂直节理及大孔隙发育,垂直渗透性能较强.该区水化学类型一般为 HCO₃—Ca·Mg 和 SO₄·HCO₃—Ca·Na 型,TDS <1 g/L.

南部中低山丘陵地区,地形坡度大,沟谷发育,切割强烈.该区岩层含水性较差,不利于地下水补给、储存,有利于地表水、地下水的径流及排泄.水化学类型主要包括:HCO₃—Ca·Na 和 HCO₃·SO₄—Ca·Mg 型,该类型水 HCO₃⁻ 含量较高,优势离子为 Ca²⁺、SO₄²⁻ 和 HCO₃⁻,TDS 在 300 ~ 600 mg/L 之间.

伊洛河冲积平原区的地形相对较低,是地表水和地下水的汇集场所.在洛河、伊河的漫滩区、一二级阶地区,松散堆积物主要为第四系冲积、洪积及湖积物.岩性一般为粉质粘土、粉土、砂及卵石互层的双层结构,表层多为粉土和粉质粘土;由于地形坡度小,地下水埋藏较浅,地表水及地下水径流滞缓,有利于大气降水入渗补给.水化学类型主要包括:HCO₃—Ca·Mg、HCO₃·SO₄—Mg 及 HCO₃·SO₄—Ca 型,TDS <1 g/L.整个平原区地下水主要由大气降水、河流水、边山岩溶水、裂隙水补给.

地下水水化学场特征受到多种因素的影响,包

括盆地周边基岩地下水的补给混合(岩溶水、裂隙水)、循环交替条件强弱和人类活动污染等^[13-15].综合分析研究区地下水的各化学指标空间分布特点,可以看出其存在的一些规律:

(1) 偃师市地地下水水化学场具有一定的分带特性.在沿着补给—径流—排泄的方向上,地下水接受边山岩溶水和碎屑岩裂隙水的补给,地下水的 Ca²⁺、Na⁺、HCO₃⁻ 质量浓度逐渐升高;从补给区到排泄区,地下水水化学类型主要由 SO₄·Cl—Mg 型水向 HCO₃—Ca·Na、HCO₃·SO₄—Ca·Na 型水演化,这一演化规律反映了地下水在补给—径流—排泄上的循环交替变化过程.

(2) 研究区地下水中 TDS 与 Mg²⁺、Ca²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻ 质量浓度的分布规律较为趋同,主要表现为伊洛河平原地区浓度较高,南北两侧的丘陵地带浓度较低.最高值区出现在岳滩及伊河和洛河交汇地带,TDS 在 800 mg/L 以上,Mg²⁺、Ca²⁺、SO₄²⁻ 及 Cl⁻ 也分别在这两个区域达到最高值(见图 2).

(3) pH 值呈现西北高东南低的变化规律.偃师市北部的邙山丘陵地区地下水的 pH 值大都在 7.5 以上,而在偏东南的河谷平原及山前倾斜平原地带的 pH 低于 7.3. CODMn 呈现出南北低中间高的分布特征,其最高浓度为 2.16 mg/L,处于伊河及洛河两岸工农业较为发达地区(见图 2).

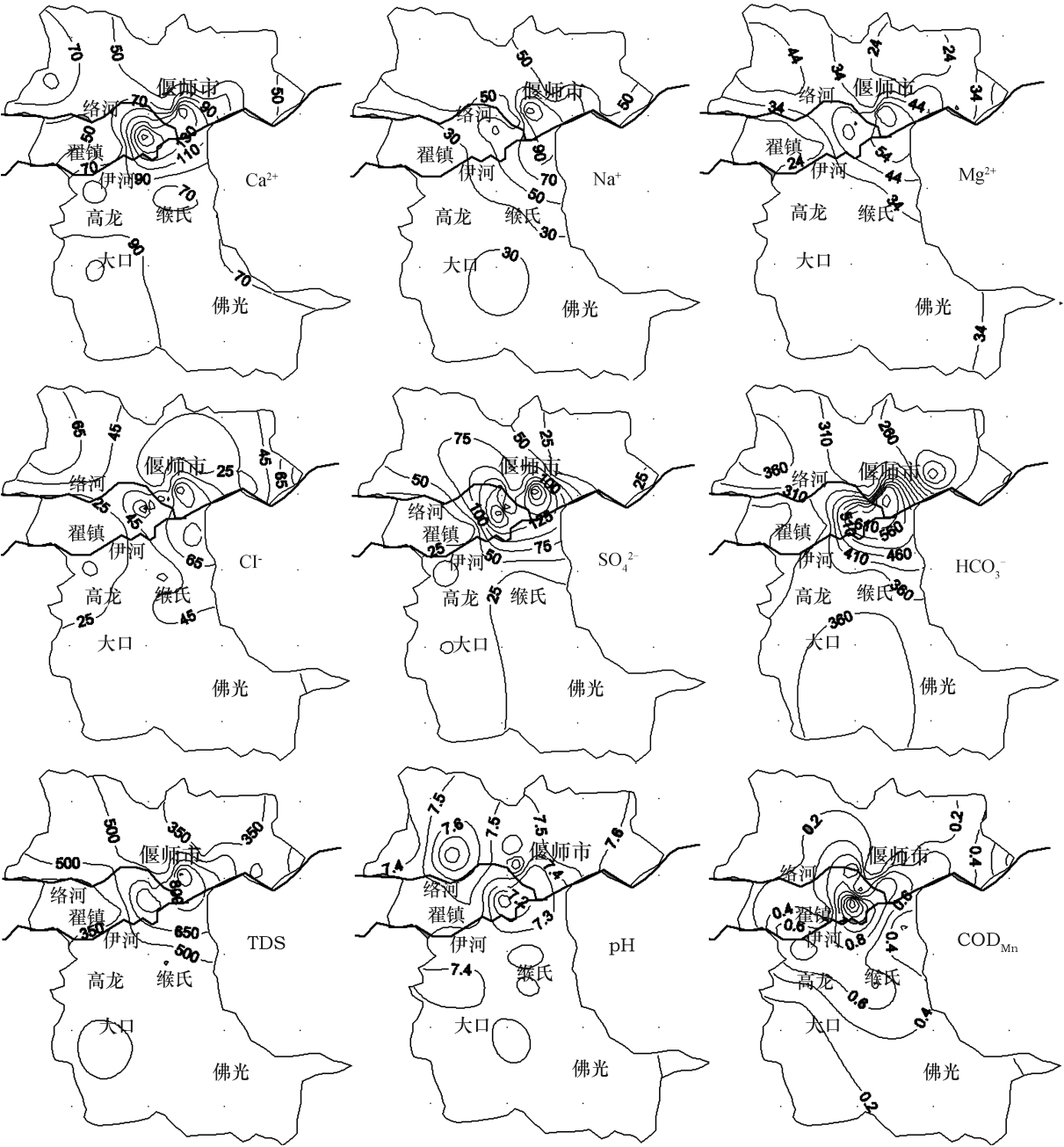


图 2 偃师市地下水主要水化学指标空间分布图 (mg /L)

Fig.2 Spatial distribution of the major hydrochemical indexes of groundwater in Yanshi City (mg/L)

4 研究区浅层地下水主要化学指标相关性分析

为了深入分析偃师市地下水化学特征及演化机制,对其地下水主要离子浓度变化进行相关分析.根据地下水主要离子成分的相关分析图(见图

3),与 TDS 指标相关性较好的阳离子成分有: Mg^{2+} 质量浓度与 TDS 的相关性最好,相关系数达 0.880 9;其次为 Ca^{2+} ,相关系数为 0.800 8; Na^{+} 相关性最小,为 0.638 6与 TDS 指标相关性较好的阴离子成分有; SO_4^{2-} 的质量浓度与 TDS 的相关系最好,相关系数为 0.765 9;然后依次为 Cl^{-} 和 HCO_3^{-} ,相关系数分别为 0.724 2 和 0.622 1. 相关分析都表现

出随这些主要离子成分浓度升高 TDS 值增大的变化规律. 可以发现,偃师市地下水在演化过程中,总

溶解固体增加主要与 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 离子成分增加有关.

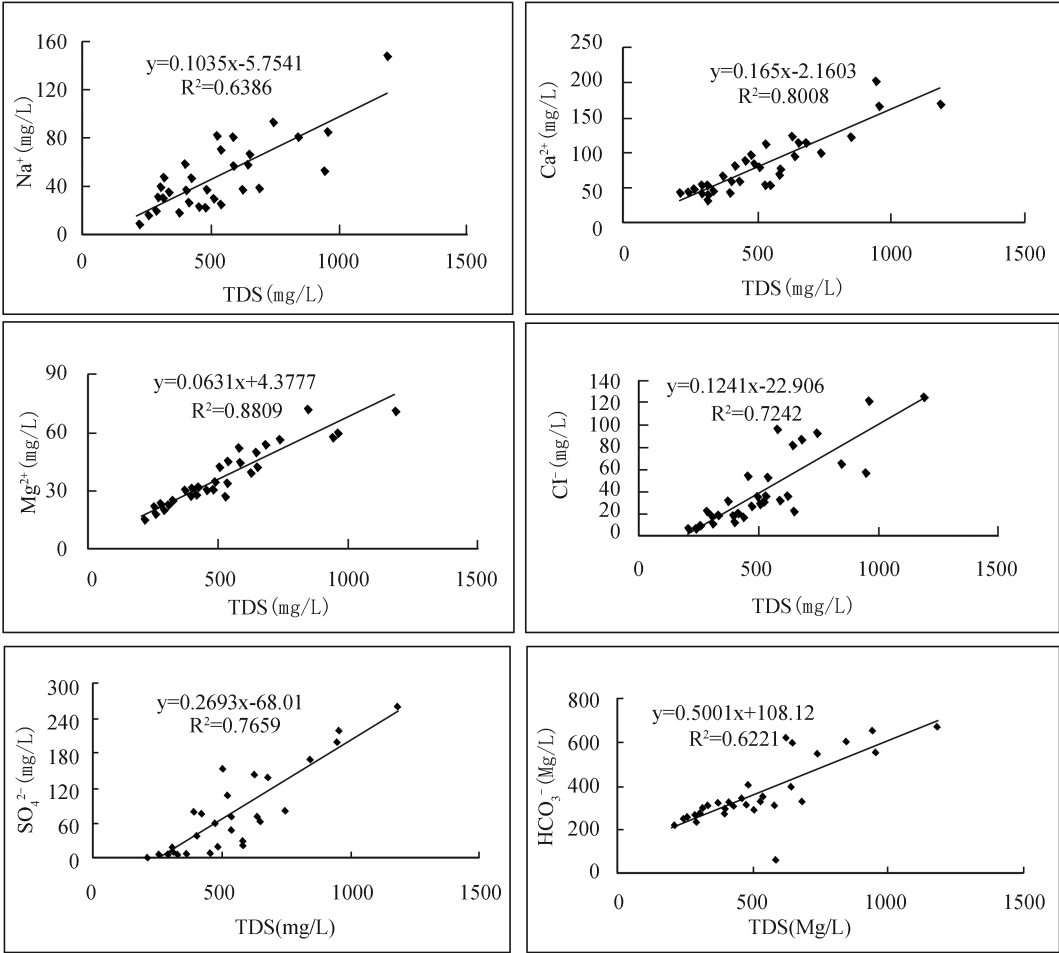


图3 偃师市地地下水中 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 质量浓度与 TDS 相关分析图

Fig.3 Correlation analysis chart of Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- and TDS of groundwater in Yanshi City

5 结 论

通过应用水化学统计及离子相关分析方法,对偃师市地下水的水化学特征和整个区域演化机理进行了分析和探讨,主要得出以下结论:

(1)研究区浅层地下水的总硬度在 172 ~ 749 mg/L 之间,平均值达到 358.47 mg/L;局部地区总硬度已超过现行生活饮用标准. 硝态氮浓度最高值为 21.42 mg/L,分布在伊洛河下游与巩义市交界处. CODMn 呈现出南北低中间高的分布特征,主要

集中在伊河及洛河两岸工农业较为发达地区.

(2)偃师市地下水水化学场具有一定的分带特性. 在沿着补给—径流—排泄的方向上,地下水接受河流水、边山岩溶水及碎屑岩裂隙水的补给,地下水的水化学类型主要由 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Mg}$ 型水向 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型水演化.

(3)研究区地下水中 TDS 与 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 的质量浓度具有明显的正相关性,主要表现为伊洛河平原地区浓度较高,南北两侧的丘陵地带浓度较低;TDS 的最高值处于在岳滩及伊河和洛河交汇地带,达到 800 mg/L 以上.

参考文献:

- [1] 郇 环,王金生,翟远征,等. 北京平原区永定河冲洪积扇地下水水化学特征与演化规律[J]. 地球学报,2001,32(3):358-365.
- [2] Maria P, Theologos M, Spiros R, Anastasia S. Groundwater Hydrochemistry at Balkan Coastal Plains—the Case of Marathon of Attica, Greece[J]. Desalination,2007,213:230-237.
- [3] Stadler S, Osenbrück K, Suckow A O, Himmelsbach T, Hötzel H. Groundwater Flow Regime, Recharge and Regional-scale Solute Transport in the Semi-arid Kalahari of Botswana Derived from Isotope Hydrology and Hydrochemistry[J]. Journal of Hydrology,2010,388:291-303.
- [4] Isa N M, Aris A Z, Sulaiman W N. Extent and Severity of Groundwater Contamination Based on Hydrochemistry Mechanism of Sandy Tropical Coastal Aquifer[J]. Science of the Total Environment,2012,438:414-425.
- [5] Chae G T, Yun S T, Choi B Y, et al. Hydrochemistry of Urban Groundwater, Seoul, Korea: The Impact of Subway Tunnels on Groundwater Quality[J]. Journal of Contaminant Hydrology,2008,201:42-52.
- [6] Giambastiani B M S, Colombani N, Mastrocicco M, Fidelibus M D. Characterization of the Lowland Coastal Aquifer of Comacchio (Ferrara, Italy): Hydrology, Hydrochemistry and Evolution of the System[J]. Journal of Hydrology,2013,501:35-44.
- [7] 董少刚,唐仲华,马 腾,等. 大同盆地地下水数值模拟及水资源优化配置评价[J]. 工程勘察,2008(3):30-35.
- [8] 李向全,侯新伟,周志超,等. 太原盆地地下水系统水化学特征及形成演化机制[J]. 现代地质,2009,23(1):2-8.
- [9] 任增平,闫俊萍. 内蒙古达拉特旗平原区地下水水化学特征及形成机制分析[J]. 中国煤田地质,1999.11(3):31-34.
- [10] 郭占荣,聂振龙,焦 鹏. 等. 三屯河流域平原区地下水化学组成特征及变化[J]. 勘查科学技术,2002(3):34-38.
- [11] 薛 辉,张艳平,彭端伟. 偃师市地下水质量现状评价[J]. 河南水利与南水北调,2007(8):4-5.
- [12] 王现国,刘丕新,务宗伟. 农村浅层地下水污染特征及防治对策[J]. 地下水,2005(4):282-284.
- [13] 陈立张,发 旺,程彦培,等. 宁夏海原盆地地下水水化学特征及其演化规律[J]. 现代地质,2009,23(1):10-14.
- [14] 炳 华,崔学慧,朱亚雷,等. 北京市朝阳区地下水化学特征及其变化规律[J]. 水资源保护,2012,28(5):7-11.
- [15] Alaa A. M. Groundwater Quality Assessment of the Shallow Aquifers West of the Nile Delta (Egypt) Using Multivariate Statistical and Geostatistical Techniques[J]. Journal of African Earth Sciences,2014,95:123-137.

Hydrogeochemical Characteristics of Shallow Groundwater in Yanshi City

CUI Di^{1,2}, DONG Shao-qin³, LI Zheng-kui²,
FENG Hai-bo², LIU Xiao-bo²

(1. Baotou Land and Resources Bureau, Baotou 014010, China; 2. College of Environment and Resources, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 3. Zhaojin Nonferrous Metal Mining Co., Ltd, Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: On the basis of hydrogeological investigations and sample analysis, statistical methods and Ion correlation analysis were systematically used to study Groundwater flow system characteristics and the hydrochemical types of ground waters in Yanshi city. The results showed as follows: from the recharge area to the discharge area of Yanshi groundwater, the chemical characteristics of local groundwater had the obvious zonation patterns. The chemical type of groundwater changed from $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ to $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ and $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$. On the whole, the concentration of TDS in the groundwater of this region was moderate with an average value of 515.29 mg/L, and was in significantly positive correlation with the contents of Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- . The concentration of TDS in plains was obviously higher than that in both sides of the hills. 3figs., 1tab., 15refs.

Keywords: groundwater; groundwater hydrochemistry; groundwater flow system; Yanshi city.