

宁夏平罗县平原区潜水水化学特征分析及成因

冯 波,唐 莲

(宁夏大学土木与水利工程学院,宁夏 银川 752100)

摘 要:研究地下水化学特征及成因,可为地下水资源评价及水生态环境保护提供依据。采用 Piper 三线图、主要离子空间分布图、Pearson 相关性分析、Gibbs 图、主要离子比例图和氯碱指数图的方法对平罗县平原区潜水水化学特征及成因进行研究分析。结果表明:(1)研究区潜水整体上呈微咸水、极硬水;(2)研究区内潜水阳离子主要为钠离子,阴离子主要为重碳酸根,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水;(3)蒸发岩和硅酸盐矿物是研究区潜水的主要离子来源;(4)研究区的地下水化学成分成因主要受蒸发浓缩、岩石风化、溶滤、阳离子交换作用影响和人类活动影响。

关键词:平原区;潜水;水化学特征;成因

中图分类号:P342

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2020)04-0073-06

地下水化学特征及成因是水文地质学的重要研究部分,其化学成分是地下水与外部环境长期相互作用的产物,能够反映该地区地下水的历史演变,可为地下水资源评价及水生态环境保护提供依据^[1-3]。尹恒等^[4]采用主要离子空间分布图法得出德阳市 TDS 的变化是由 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的浓度变化造成的;苏春田等^[5]运用 Gibbs 图法对湖南新田地下水化学进行研究,表明研究区地下水化学组成主要受水-岩相互作用的控制;朱谱成等^[6]采用离子比例系数法对牯牛川上中游区水化学组分形成受阳离子交替吸附作用、脱硫酸作用和混合作用影响。通过对某地区水化学特征的深入研究,可掌握控制水质环境变化的因素,为该地区地下水资源配置和生态重建提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理条件

本研究区位于宁夏平原北部(见图1),地表水资源匮乏,气候干旱,年平均降水量 193mm、年平均蒸发量 1 162mm,属于显著的大陆性气候,四季较为分明,日照充分,自然地理条件较为复杂,西临贺兰山,

贺兰山区高程在 1 250~2 800m 之间^[7]。

1.2 水文地质条件

依据平罗县的地下水储存条件、水理性质及水理特征,其地下水类型主要为第四系松散岩类孔隙水,松散岩类孔隙水类型可进一步划分为^[8]:(1)冲洪积平原潜水。含水层岩性为砂砾石、中粗砂、粉细砂,其含水层厚度由西向东变薄;颗粒变细,一般厚度 10~30m,水位埋藏由深变浅,一般 1~10m,富水性由强变弱,单井涌水量为 500~1 000m³/d,矿化度小于 1 000mg/L、局部大于 1 000mg/L。(2)冲湖积平原孔隙潜水。含水层岩性以细砂、粉细砂为主,其厚度在空间上变化较大,一般 10~30m,局部地段上覆 1~2m 或大于 2m 的粘性土层,使潜水微具承压性,水位埋深一般为 1~3m。

2 研究方法

2.1 样品采集

在充分掌握研究区域水文地质条件的基础上,本研究于 2018 年 8 月 1 日~8 月 7 日采集水样 18 组,因崇岗镇西边 3km 以外属于贺兰山基岩山区,没有监测井覆盖,属于空白区,故本次研究区域不包括该部分。

收稿日期:2019-10-11

基金项目:宁夏 2018 重点研发计划项目(2018BEG03008);宁夏高等学校一流学科(水利工程学科)项目(NXYLXK2017A03);国家自然科学基金项目(51269022)

作者简介:冯波(1989-),男,宁夏吴忠人,回族,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为水文地球化学和水文地质。E-mail:18995076955@163.com

通讯作者:唐莲(1975-),女,宁夏银川人,博士研究生,教授,主要研究方向为旱区水资源调控理论及技术。E-mail:nxdxtl@126.com

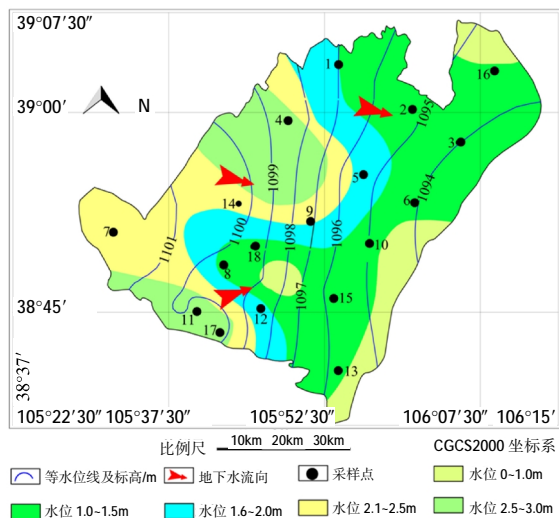


图1 研究区水文地质简图

Fig.1 The hydrogeological sketch of the study area

2.2 样品测试

取得的样品均送至宁夏地矿局中心实验室检测,样品的采集、保存和运送参照《地下水环境监测技术规范(HJ/T164-2004)》和《地下水质量标准(GB/T14848-2017)》,使用电感耦合等离子体发射光谱法测定 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,离子色谱法对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 进行测定,滴定法测试 HCO_3^- ,重量法测定溶解性总固体,采样点各成份测试结果见表1。

2.3 分析研究方法

(1)采用 Piper 三线图法分析地下水水化学类型。(2)采用主要离子的空间分布图,掌握主要离子空间分布特征。(3)采用各主要水质参数的相关性分析法,并结合主要离子比例图和氯碱指数图法,判断分析离子的来源。(4)采用 Gibbs 图、主要离子比例图和氯碱指数图法分析研究区地下水的成因。

3 结果与分析

3.1 水化学类型特征

根据 Piper 三线图和舒卡列夫分类法确定研究区的水化学类型,通过计算各离子的毫克当量百分数,绘制出研究区潜水 Piper 三线图(见图2),此图由两个三角形和一个菱形组成,左下角三角形三条边线分别代表阳离子 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的毫克当量百分数,右下角三角形三条边线分别代表阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 的毫克当量百分数,引线相交于菱形中,菱形中红点表示各个水样阴阳离子相对含量。据图2可知,平罗县地下水阳离子主要为钠离子,阴离子主要为重碳酸根。Piper 三线图将菱形分为9个区,每一分区具有不同的特征,研究区水样主要分布于2、4、7区,主要特征为碱大于碱土、强酸大于弱酸。研究区的水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水^[9-11]。

表1 采样点各成份测试结果(mg/L,除pH外)

Table1 Test results for each component of the sampling site

井号	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Fe	Mn	NO_3^-	TDS	总硬度	pH	NO_3^-
1	792.00	224.45	320.05	1203.24	1286.39	692.07	16.78	1.11	0.00	4195.43	1723.22	7.89	0.00
2	73.90	37.41	69.41	97.47	142.36	254.63	0.63	0.16	0.00	548.39	327.33	8.09	0.00
3	5016.00	754.01	356.68	5075.11	6602.37	914.06	0.72	0.33	11.30	18279.45	3994.73	7.26	11.3
4	252.60	88.84	131.10	322.66	516.37	313.39	0.74	0.17	0.00	1470.27	693.14	7.95	0.00
5	153.30	67.80	96.40	131.08	286.37	470.09	5.79	0.37	0.00	974.87	519.86	8.04	0.00
6	406.00	51.44	48.20	295.77	332.16	496.20	1.82	0.08	3.84	1392.69	332.11	7.74	3.84
7	2006.50	320.31	100.26	1848.55	2653.16	718.19	0.70	0.54	0.00	7290.54	1568.97	7.76	0.00
8	317.60	88.84	104.11	289.05	442.13	568.02	4.85	0.42	0.00	1532.25	6602.37	8.03	0.00
9	119.00	60.79	138.82	218.47	156.32	476.62	4.24	0.88	0.00	937.05	596.90	7.37	0.00
10	272.60	60.79	67.48	329.38	349.62	182.81	0.16	0.09	2.94	1176.57	418.76	7.77	2.94
11	137.80	51.44	57.84	94.11	162.34	437.44	0.93	0.16	0.00	723.81	356.19	8.13	0.00
12	547.00	143.79	202.44	850.33	703.62	483.15	4.69	0.50	0.00	2695.54	1097.47	7.58	0.00
13	72.00	23.38	42.42	67.22	80.31	189.34	0.25	0.15	4.07	385.22	202.17	7.85	4.07
14	692.00	116.90	84.83	762.95	897.83	241.57	1.62	0.08	2.26	2680.68	693.09	7.91	2.26
15	90.00	29.23	25.06	84.03	40.26	215.46	0.07	0.04	0.00	402.84	182.90	8.40	0.00
16	1966.00	287.57	285.34	2117.43	2968.55	150.17	0.33	0.36	3.39	7709.34	1896.43	7.74	3.39
17	118.30	35.07	48.20	121.00	169.82	221.99	0.47	0.18	0.00	604.25	264.74	8.06	0.00
18	137.80	11.69	53.98	104.19	79.64	313.39	0.84	0.05	0.00	545.64	182.94	8.13	0.00

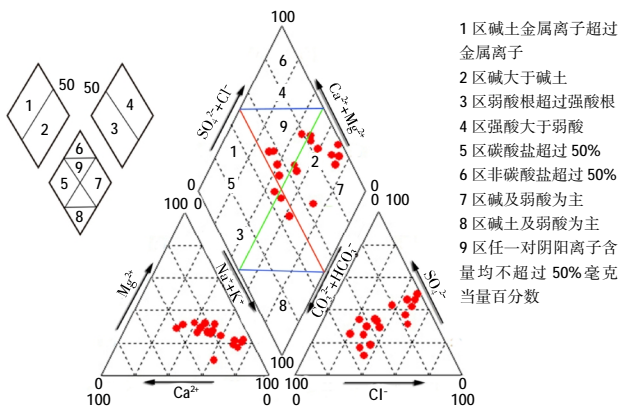


图2 潜水水化学 Piper 三线图
Fig.2 The Piper diagrams of phreatic water

3.2 主要离子、TDS 和总硬度的空间分布特征

运用 Surfer15.0 中的克里金(Kriging)插值方法^[612-13], 绘制出平罗县 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{-} 、TDS 和总硬度的浓度等值线图(见图3),可以看出地下水水化学空间分布特征存在的规律。

(1)图3(a-f)中, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{-} 离子质量浓度大致具有南部低北部高的特征,其中 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 质量浓度大致具有相同的分布规律,一个相同高值区和低值区,高值区在红崖子乡, Mg^{2+} 质量浓度 200mg/L 以上, Na^{+} 、 Cl^{-} 质量浓度 1 000mg/L 以上;低值区在通伏乡北边, Mg^{2+} 质量浓度 80mg/L 以下, Na^{+} 、 Cl^{-} 质量浓度 200mg/L 以下。

(2)图3(g)中,TDS 值具有由西向东逐渐变高的特征,符合地下水溶质质量大小从补给区向排泄区

越来越高的规律。依据 TDS 值的高低,将地下水划分为淡水(<1 000mg/L)、微咸水(1 000~3 000mg/L)、咸水(>3 000mg/L),研究区内 TDS 值大于 2 000mg/L,整体上呈微咸水。

(3)图3(h)中,总硬度质量浓度由西南向东北先降低后升高,绝大部分质量浓度均在 500mg/L 以上,根据硬度分级标准,研究区内绝大部分水为极硬水。

3.3 水化学参数相关性分析

相关性分析能够解释说明地下水水化学参数之间是否有一定相关关系,运用 SPSS 软件对研究区内18 个水样点 9 个水化学参数的 Pearson 相关系数见表2。根据表2 可以看出 Na^{+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 与 TDS 的相关系数接近 1,结合离子等值线图分析,TDS 值高的区域 Na^{+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 离子浓度值也较高, Na^{+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 与 TDS 有极大的相关性,另外 Na^{+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 和 SO_4^{2-} 为岩盐、石膏、芒硝等蒸发岩的主要成分^[14],所以蒸发岩可能是研究区地下水 TDS 偏大的原因。 Na^{+} 与 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 之间, Mg^{2+} 与 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 之间也存在着很高的相关性,地下水中的 Na^{+} 、 Cl^{-} 来自于岩盐的溶解, Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 来自于含镁碳酸盐^[1],结合研究区含水层岩性分析,说明地下水在流动的过程中一定程度上溶解了岩盐、含镁碳酸盐^[14-15]。

3.4 水化学组分控制因素及来源

3.4.1 地下水主要控制因素

Gibbs 图是确定地下水化学成分的形成过程的一种重要方法,Gibbs 将地下水化学组分的控制因素划

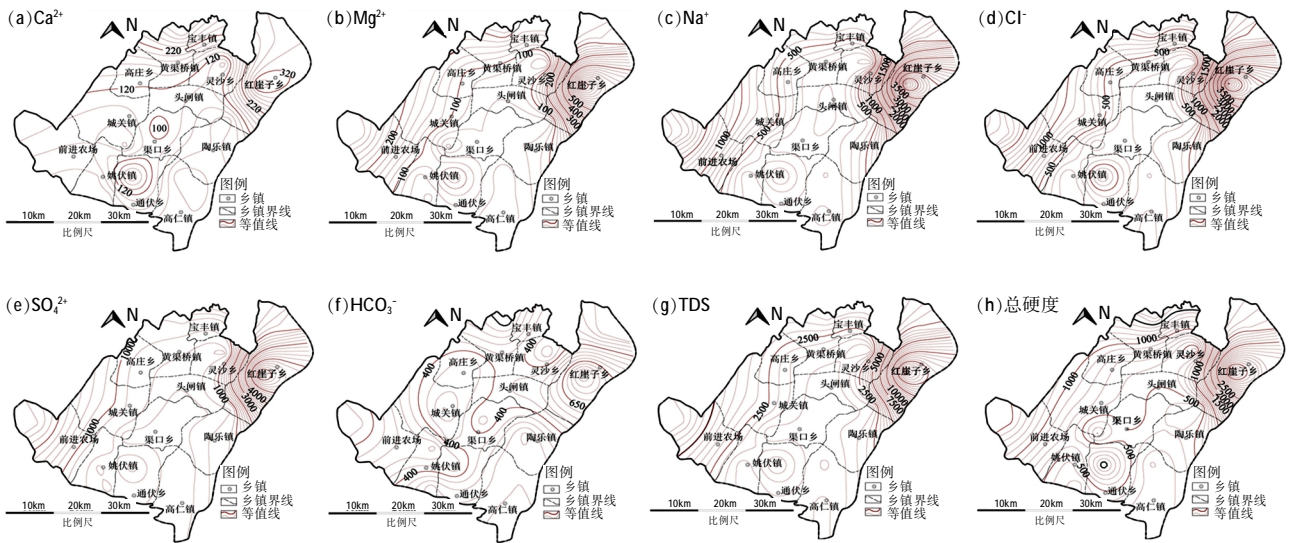


图3 主要离子、TDS 及总硬度空间分布
Fig.3 Spatial distributions of main ions, TDS and total hardness

分为三种类型:蒸发浓缩型、岩石风化型、降水控制型^[16-19]。将研究区域水样投入到 Gibbs 图(见图 4)中, $\rho\text{Na}^+/\rho(\text{Na}^++\text{Ca}^{2+})$ 和 $\rho(\text{Cl}^-+\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-+\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-})$ 的比值均大于 0.5,67%的水样 TDS 大于 1 000mg/L,表明阳离子和阴离子分别以 Na^+ 和 Cl^- 、 HCO_3^- 为主,地下水溶解性总固体值大。研究区的地下水化学成分基本上都在 Gibbs 模型中,主要受蒸发浓缩、岩石风化双重影响。

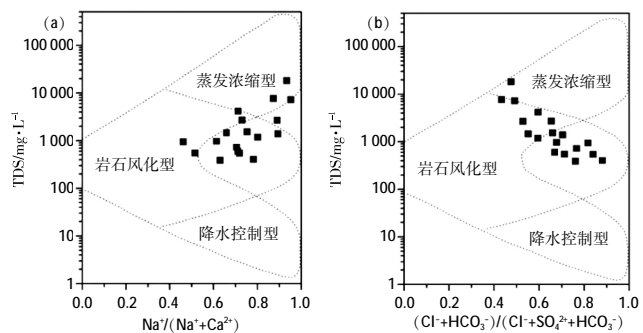


图 4 研究区潜水 Gibbs 图

Fig.4 The Gibbs chart of phreatic water in study area

3.4.2 溶滤作用

通过分析离子的比例关系,基本上可以反映出不同地层岩性对地下水化学成分的影响程度^[20-22]。从图 5 (a)中可以看出研究区所有水样点分布在 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-=1:1$ 等值线的上方且十分靠近等值线或者直接在等值线上,岩盐的主要化学成分为 NaCl ,表明研究区内的地下水经历了强溶滤作用,在溶解岩盐的基础上还溶解了一部分含钠的难溶矿物^[23]。图 5(b)中,全部的水样分布在 $\gamma(\text{HCO}_3^-)/\gamma(\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-)=1:1$ 等值线的下方,且离子浓度越大越远离等值线, SO_4^{2-} 、 Cl^- 含量比 HCO_3^- 多,同时 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为岩盐、石膏、芒硝中的主要成分,据此可以判断出地下水中的化学成分基本上主要来自于岩盐、石膏、芒硝等的溶解。虽然碳酸盐和硅铝酸盐矿物都能溶解出 HCO_3^- ,但是图 5(c)中全部水样分布在 $\gamma(\text{SO}_4^{2-}+\text{HCO}_3^-)/\gamma(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})=1:1$ 等值线的上方, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量比 $\text{SO}_4^{2-}+\text{HCO}_3^-$ 少,碳酸盐岩溶解时更容易产生较多的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,而硅酸盐相反^[24],因此 HCO_3^- 主要来自硅铝酸盐矿物而不是碳酸盐。所以研究区内地下水中化学成分的主要来源为岩盐、石膏、芒硝等

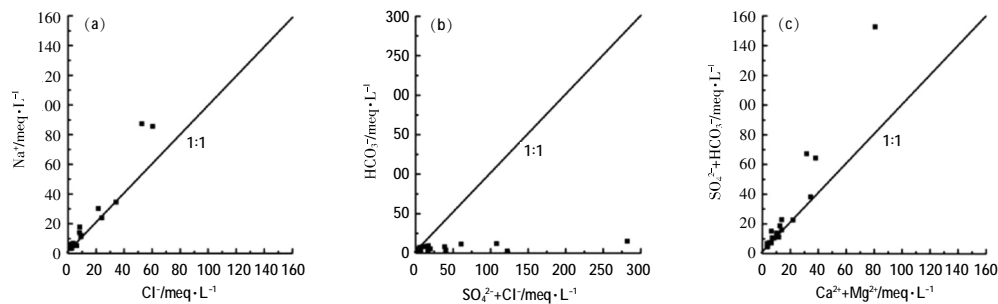


图 5 潜水中主要离子比值关系

Fig.5 The major ionic relationships of phreatic water

表2 水化学参数的相关系数矩阵

Table2 Correlation coefficients matrix of hydrochemical parameters

项目	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	总 Fe	NO ₃ ⁻	TDS
Na ⁺	1								
Mg ²⁺	0.988**	1							
Ca ²⁺	0.723**	0.793**	1						
Cl ⁻	0.994**	0.994**	0.788**	1					
SO ₄ ²⁻	0.997**	0.990**	0.758**	0.996**	1				
HCO ₃ ⁻	0.616**	0.682**	0.551*	0.617**	0.600**	1			
总 Fe	-0.078	0.052	0.474*	-0.003	-0.049	0.446	1		
NO ₃ ⁻	0.789**	0.736**	0.466	0.775**	0.769**	0.309	-0.250	1	
TDS	0.997**	0.995**	0.771**	0.999**	0.998**	0.631**	-0.016	0.770**	1

注:**表示相关性在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*表示相关性在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

的蒸发岩和硅铝酸盐矿物。

3.4.3 阳离子交换作用

通常采用 $\gamma(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^-)$ 与 $\gamma(\text{Na}^+-\text{Cl}^-)$ 的比值可判断是否发生阳离子交换作用, 如果比值在 -1 左右, 则发生了阳离子交换作用^[29]。从图 6(a) 中可以看出, 研究区平原潜水 $\gamma(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^-)$ 与 $\gamma(\text{Na}^+-\text{Cl}^-)$ 存在很强的负相关关系 ($R^2=1.0$), 且比值在 -1 左右, 说明潜水发生了阳离子交换作用。同时引入氯碱指数 (CAI1 和 CAI2) 进一步分析潜水阳离子交换作用发生的方向与强度。图 6(b) 为氯碱指数和 TDS 的关系, 图中潜水的 CAI1 和 CAI2 均大于 0, 表明发生了正向阳离子交换作用, 潜水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与含水层中的 Na^+ 和 K^+ 发生交换作用。

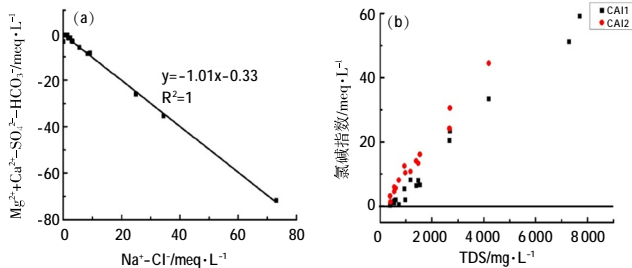


图 6 $\gamma(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^-)$ 与 $\gamma(\text{Na}^+-\text{Cl}^-)$ 以及氯碱指数与 TDS 关系

Fig.6 Relations between $\gamma(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^-)$ versus $\gamma(\text{Na}^+-\text{Cl}^-)$ and Chlor-alkaline indices versus TDS

3.4.4 人类活动的影响

据表 1 得出研究区地下水中的 NO_3^- (以 N 计) 检出率为 30%, 并结合图 1 分析, 硝酸盐在红崖子乡、陶乐镇和高仁镇呈长条状分布, 位于黄河东侧, 为水稻主产区, 化肥使用量较多, 同时地下水水位 1.0~1.5m, 水位较高, 导致氮元素随灌溉入渗进入到地下水中, 从而也就造成这一带地下水中硝酸盐含量较多, 其他地区地下水中基本不含硝酸盐^[26-27]。

4 结论

(1) 研究区地下水阳离子主要为钠离子, 阴离子主要为重碳酸根, 水化学类型为 HCO_3-Na 型水。

(2) 研究区潜水整体上呈微咸水、极硬水, 红崖子乡潜水 TDS 值极大, 呈咸水, 该地区的潜水不宜开采使用, 建设水厂时应避开红崖子乡, 平罗县最适合在通伏乡周边建设水厂。

(3) 岩盐、石膏、芒硝等蒸发岩和硅酸盐矿物是研

究区潜水的主要离子来源。

(4) 研究区的地下水化学成分形成作用主要受蒸发浓缩、岩石风化、溶滤和阳离子交换作用影响, 潜水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与含水层中的 Na^+ 和 K^+ 发生交换作用。

(5) 研究区地下水中的 NO_3^- 在红崖子乡、陶乐镇和高仁镇呈长条状分布, 主要是受水稻田过量使用化肥影响, 所以在后期种植过程中应该减少化肥使用量, 从而保护水生态环境。

参考文献:

- [1] 张人权, 梁杏, 靳孟贵, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 2011. (ZHANG Renquan, LIANG Xing, JIN Menggui, et al. General Hydrogeology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011. (in Chinese))
- [2] 李宝玲, 乔小娟, 宋凡, 等. 阿拉善诺日公地区地下水系统水化学特征分析[J]. 水文, 2018, 38(2): 73-80. (LI Baoling, QIAO Xiaojuan, SONG Fan, et al. Hydrochemical characteristics of groundwater system in Nuorigong basin [J]. Journal of China Hydrology, 2018, 38(2): 73-80. (in Chinese))
- [3] 马传明, 宁立波, 王现国, 等. 中牟县浅层地下水资源评价[J]. 水文, 2007, 27(3): 83-87. (MA Chuanming, NING Libo, WANG Xianguo, et al. Assessment of phreatic water resources in Zhongmou county [J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(3): 83-87. (in Chinese))
- [4] 尹恒, 吴勇, 高东东, 等. 德阳市城市规划区地下水化学特征分析[J]. 地下水, 2012, 34(1): 30-35. (YIN Heng, WU Yong, GAO Dongdong, et al. Analysis of groundwater chemical characteristics in urban planning area of Deyang city [J]. Ground Water, 2012, 34(1): 30-35. (in Chinese))
- [5] 苏春田, 聂发运, 邹胜章, 等. 湖南新田富锶地下水水化学特征与成因分析[J]. 现代地质, 2018, 32(3): 554-564. (SU Chuntian, NIE Fayun, ZOU Shengzhang, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of Strontium-rich groundwater in Xintian county, Hunan province [J]. Geoscience, 2018, 32(3): 554-564. (in Chinese))
- [6] 朱谱成, 耿新新, 马琳娜, 等. 牯牛川上中游区地下水水化学特征及其成因分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(19): 162-169. (ZHU Pucheng, GENG Xinxin, MA Linna, et al. Analysis of groundwater Hydrochemical characteristics and its formation mechanism in the upper-middle reaches of Beiniuchuan river [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(19): 162-169. (in Chinese))
- [7] 李健. 宁夏平罗县崇岗镇山洪灾害浅析 [J]. 甘肃农业, 2014, (17): 62-63. (LI Jian. Study of the mountain flood disaster in Chonggang town, Pingluo county, Ningxia [J]. Gansu Agriculture, 2014, (17): 62-63. (in Chinese))
- [8] 吴学华, 钱会, 郁冬梅, 等. 银川平原地下水资源合理配置调查评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2008. (WU Xuehua, QIAN Hui, YU Dongmei, et al. Investigation and Evaluation on Rational Allocation of Groundwater Resources in Yinchuan Plain [M]. Beijing: Geological

- Publishing House, 2008. (in Chinese))
- [9] 王雅茹,施龙青,邱梅. 基于 Piper 三线图的矿井水化学特征分析[J]. 山东煤炭科技, 2019,(4):145-147+150.(WANG Yaru, SHI Longqing, QIU Mei. Analysis of chemical characteristics of mine water based on Piper trilinear diagram [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2019,(4):145-147+150. (in Chinese))
- [10] 高宗军,陈晨. 基于库尔洛夫式和舒卡列夫分类原则的水化学分类表示方法[J]. 地下水, 2018,40(4):6-11. (GAO Zongjun, CHEN Chen. The classification method of water chemical types based on the principle of Kurllov's Formula and Shoka Lev classification [J]. Ground Water, 2018,40(4):6-11. (in Chinese))
- [11] 舒旺,王鹏,肖汉玉,等. 鄱阳湖流域乐安河水化学特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019,28(3):681-690. (SHU Wang, WANG Peng, XIAO Hanyu, et al. Hydrochemical characteristics and influencing factors in the Le'an river, Poyang lake basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019,28(3):681-690. (in Chinese))
- [12] 李英,李洁,薛忠歧,等. 银川平原浅层地下水 Fe、Mn 空间分布及影响因素研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018,32(5):110-115. (LI Ying, LI Jie, XUE Zhongqi, et al. Spatial distribution of iron and manganese in shallow groundwater in Yinchuan plain [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018,32(5):110-115. (in Chinese))
- [13] 李志红,胡伏生,周文生,等. 银川地区承压水水化学特征及控制因素[J]. 水文地质工程地质, 2017,44(2):31-39. (LI Zhihong, HU Fusheng, ZHOU Wensheng, et al. Hydrogeochemical characteristics and controlling factors of confined water in Yinchuan [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2017,44(2):31-39. (in Chinese))
- [14] 钱程,武雄. 盐池内流区地下水水化学特征及其形成作用[J]. 干旱区资源与环境, 2016,30(3):169-175. (QIAN Cheng, WU Xiong. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in the inner flow area in Yanchi [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016,30(3):169-175. (in Chinese))
- [15] 张路遥,马祖陆,覃星铭. 岩溶水水化学特征的主成分分析和因子分析[J]. 广西科学院学报, 2018,34(4):309-316. (ZHANG Luyao, MA Zulu, QIN Xingming. Principal component analysis and factor analysis of chemical characteristics of karst water [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2018,34(4):309-316. (in Chinese))
- [16] 孙一博,刘朋飞,王文科,等. 渭河流域地下水的水化学特征及形成机制[J]. 南水北调与水利科技, 2016,14(2):152-158. (SUN Yibo, LIU Pengfei, WANG Wenke, et al. Chemical characteristics and formation mechanism of groundwater in Wei river basin [J]. South-to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016,14(2):152-158. (in Chinese))
- [17] 王晓曦,王文科,王周锋,等. 滦河下游河水及沿岸地下水水化学特征及其形成作用[J]. 水文地质工程地质, 2014,41(1):25-33+73. (WANG Xiaoxi, WANG Wenke, WANG Zhoufeng, et al. Calculation of ultimate bearing capacity of composite foundation with geosynthetic encased stone columns [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014,41(1):25-33+73. (in Chinese))
- [18] 邵杰,李瑛,侯光才,等. 新疆伊犁河谷地下水化学特征及其形成作用[J]. 干旱区资源与环境, 2017,31(4):99-105. (SHAO Jie, LI Ying, HOU Guangcai, et al. Chemical characteristics of groundwater in Yili river valley of Xinjiang [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017,31(4):99-105. (in Chinese))
- [19] Gibbs R J. Mechanisms controlling world water chemistry [J]. American Association for the Advancement of Science, 1970,170(3962):1088-1090.
- [20] 吴初,武雄,钱程,等. 内蒙古杭锦旗气田区地下水水化学特征及其形成机制[J]. 现代地质, 2017,31(3):629-636. (WU Chu, WU Xiong, QIAN Cheng, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater from gas field in the Hangjinqi, Inner Mongolia [J]. Geoscience, 2017,31(3):629-636. (in Chinese))
- [21] 李玲,周金龙,齐万秋,等. 新疆和田河流域绿洲区浅层地下水水化学特征及成因分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018,29(3):14-20. (LI Ling, ZHOU Jinlong, QI Wanqiu, et al. Hydrochemical characteristics and formation reasons of shallow groundwater in oasis area of Hotan river basin, Xinjiang [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2018,29(3):14-20. (in Chinese))
- [22] 魏兴,周金龙,乃尉华,等. 新疆喀什三角洲区地下水水化学特征及演化规律[J]. 环境科学, 2019,40(9):4042-4051. (WEI Xing, ZHOU Jinlong, NAI Weihua, et al. Hydrochemical characteristics and evolution of groundwater in the kashgar delta area in Xinjiang [J]. Environmental Science, 2019,40(9):4042-4051. (in Chinese))
- [23] 李会亚,冯起,陈丽娟,等. 民勤绿洲灌区地下水水化学特征及其演化驱动机理[J]. 干旱区研究, 2017,34(4):733-740. (LI Huiya, FENG Qi, CHEN Lijuan, et al. Hydrochemical characteristics and evolution mechanism of groundwater in the Minqin Oasis [J]. Arid Zone Research, 2017,34(4):733-740. (in Chinese))
- [24] Lakshmanan E, Kannan R, SenthilKumar M. Major ion chemistry and identification of hydrogeo chemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India [J]. Environmental Geosciences, 2003.
- [25] 党慧慧,董军,岳宁,等. 贺兰山以北乌兰布和沙漠地下水水化学特征演化规律研究[J]. 冰川冻土, 2015,37(3):793-802. (DANG Huihui, DONG Jun, YUE Ning, et al. Study of the evolution of hydrochemical properties of groundwater in Ulan Buh desert in the north of the Helan mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015,37(3):793-802. (in Chinese))
- [26] 李潇瀚,张翼龙,王瑞,等. 呼和浩特盆地地下水水化学特征及成因[J]. 南水北调与水利科技, 2018,16(4):136-145. (LI Xiaohan, ZHANG Yilong, WANG Rui, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in Hohho basin [J]. South-to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018,16(4):136-145. (in Chinese))
- [27] 管蓉,赵桂鹏,刘朝晖,等. 2013 年中部某地区农村饮用水中氯化物、硫酸盐、硝酸盐的调查分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2014, 24 (22):3309-3312. (GUAN Rong, ZHAO Guipeng, LIU Zhaohui, et al. Investigation and analysis of chlorides, sulfates and nitrates in rural drinking water of central China in 2013 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2014,24(22):3309-3312. (in Chinese))

- 因分析[J].水科学进展, 2014,25(5):658-667. (LUO Wei, ZHANG Xi-ang, DEGN Zhimin, et al. Runoff and sediment load transport and cause analysis in Poyang Lake basin over the period 1956-2008[J]. Advances in Water Science, 2014,25(5):658-667. (in Chinese))
- [30] 彭俊. 1950 年以来鄱阳湖流域水沙变化规律及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015,24(10):1751-1761. (PENG Jun. Spatial and temporal changes of runoff and sediment loads in the Poyang Lake basin since 1950 and their influence factors [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015,24(10): 1751-1761. (in Chinese))

Response of Stage Variation of the Poyang Lake to Human Activities

ZHAO Junkai¹, LI Lixian¹, LI Jiufa², ZHAO Ruizhe³, WANG Hui¹, LIU Xinsheng¹

(1. College of Tourism and Geography, Jiujiang Key Laboratory of Surveying and Mapping on Land and 3S Technology Application, Jiujiang University, Jiujiang 332005, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Institute of Information Engineering, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract: Since the beginning of 21st century, the operation of reservoir groups in the upper reaches of the the Yangtze River trunk stream and the artificial sand mining behavior of the Poyang Lake has an important influence on the water and sand exchange, which has accelerated the evolution of river-lake relationship. Mann-Kendall trend test and statistical analysis were used to analyze the characteristics of stage trend in Poyang Lake during recent 50 years. The influence of reservoir group regulation and sand mining activities on stage trend of Poyang Lake was also discussed. The results show that the stage of Poyang Lake decreases during 2000-2014. During 2006-2014, the stage drops to the lowest level, which is 1.08 m lower than that before 2000. Since 2000, the average stage of the Poyang Lake has a decreasing trend in the whole year, flood season and dry season; the average stage in October shows a significant reduction trend; the variation trend of the stage in the main lake area and the water channel is not consistent in different seasons. The effect of reservoir regulation of the upper reaches of the Yangtze River main stream to the stage of Poyang Lake is different in spatial and temporal. The impounding period of the reservoir group aggravates the decline of the stage of Poyang Lake. In dry season, especially in winter, it is more obvious that the sand excavating activities influence the stage of Poyang Lake. It is of great significance to control rationally reservoir groups in the upper reaches of the Yangtze River trunk stream and sand excavation activities on the Poyang Lake for maintaining the healthy relationship.

Key words: the stage change trend; regulation of reservoir group; sand excavating; the Poyang Lake; human activities

(上接第 78 页)

Hydrochemical Characteristics Analysis and Origin of Plain Phreatic Water in Pingluo County of Ningxia

FENG Bo, TANG Lian

(School of Civil Engineering and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 752100, China)

Abstract: This study focused on the chemical characteristics and origin of groundwater, and provided the basis for the evaluation of groundwater resources and the protection of water ecological environment. The chemical characteristics and origin of plain phreatic water in Pingluo county of Ningxia Province were analyzed by the Piper, spatial distribution of main ions, Pearson correlation analysis, Gibbs diagrams, proportion diagram of major ion and alkali index. The results suggest that (1) the phreatic water is slightly salty and extremely hard water as a whole. (2) The major cation and anion of phreatic water are Na^+ and HCO_3^- , respectively, while the major hydrochemical type is $\text{HCO}_3\text{-Na}$. (3) The chemical composition of phreatic water majorly originates from the evaporate minerals and silicate minerals. (4) The formation of the hydrochemical characteristics of the phreatic water is mainly influenced by the evaporation concentration, rock-weathering dissolution, mineral dissolution, cation exchange adsorption and human activities.

Key words: plain; phreatic water; hydrogeochemical characteristics; origin