

DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2017.02.04

银川平原水化学特征分析

张兆迪¹, 于开宁¹, 刘景涛²

(1. 河北地质大学, 河北 石家庄 050031; 2. 中国地质科学院水文地质环境研究所, 河北 石家庄 050803)

摘要: 基于银川平原的水文地质条件, 对研究区的地下水环境综合指标与地下水化学类型进行了分析: EC 值与 DO 值呈负相关关系, 随着含盐量的增高, EC 值增高, DO 值减小; TDS 与 EC 之间存在较好的正相关性, 水中溶解的盐类越多, 水的 TDS 值越高, 水的导电性越好, 其电导率 EC 值越大。阳离子平均浓度由大到小为 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$, 阴离子平均浓度由大到小为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ 。研究区地下水类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$, 以及 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 等类型为主。活度系数与离子强度呈反比, 即离子强度升高导致水溶液中的离子浓度和电荷量升高, 离子重新组合成溶质, 导致离子活度系数下降。研究区内方解石最接近于平衡状态, 可能存在于含水层环境中。对地下水环境综合指标和各组分浓度以及研究区水化学的形成环境进行分析可知: 位于研究区中南部的 65 号点属于 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 型水, 受污染的可能性大; 而在其南部的 4、83、290 号点, 由于位于黄河灌溉区, 受地表水的影响增强, 地下水污染程度较 65 号点低。

关键词: 银川平原; 水化学特征; 反应性矿物; 地下水系统

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2017)02-0023-08

Analysis of characteristic of Hydrogeochemistry in Yinchuan plain

ZHANG Zhaodi¹, YU Kaining¹, LIU jingtao²

(1. Hebei GEO University, Shijiazhuang, Hebei 050031, China; 2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050803, China)

Abstract: Based on the hydrogeological conditions of Yinchuan plain, the groundwater environmental comprehensive index and groundwater chemical types were analyzed: There is a negative correlation between DO and EC, the study also shows the positive correlation between EC and TDS, the increase of dissolved salts in groundwater leads to the increase of TDS, which makes the conductivity of groundwater and EC increased. The sort of average concentration of cation is $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$, and the sort of average concentration of anion is $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. The groundwater chemical type of study area mainly include: $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$, $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$, $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$, $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$. The study shows a negative correlation between activity coefficient and ionic strength: the increase of the ionic strength leads to the increase of the ions concentration and the charge in groundwater, which causes the ion to be reassembled into the solute, which leads to the decrease of activity coefficient of ionic. Calcite is closest to the equilibrium state in the study area, and it may exist in the aquifer environment. Based on the groundwater environmental comprehensive index and the concentration of each component, we can conclude from the groundwater chemical evolution environment of the study area: The No. 65 sample locates in the south of study area, and its groundwater chemical type is $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$, it has a high risk to be contaminated; The sample of No. 4,

收稿日期: 2016-10-08; 修订日期: 2017-01-08

基金项目: 国土资源大调查项目(1212011220982)

第一作者: 张兆迪(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水工环技术科学。E-mail: zzd0904@163.com

通讯作者: 于开宁(1965-), 男, 博士, 教授, 研究生导师, 从事地下水科学与工程研究。E-mail: yukn2000@hgu.edu.cn

No. 83, No. 290, which locate in the south of No. 65 and the Yellow River irrigation area, surface water has a more significant influence on groundwater, the pollution level of those samples is lower than No. 65 sample.

Keywords: Yinchuan plain; hydrogeochemistry characteristic; reactive mineral; groundwater system

银川平原位于宁夏回族自治区中部黄河两岸。北起石嘴山,南止黄土高原,东到鄂尔多斯高原,西接贺兰山,面积 17 000 km²,黄河斜贯其间,流程 397 km,水面宽阔,水流平缓。沿黄两岸地势平坦,早在 2 000 多年以前先民们就凿渠引水,区内沟渠纵横,农田密布,是重要的农林牧副渔生产区。

全境海拔 1 000 m 以上,地势南高北低,高差近 1 000 m,呈阶梯状下降。南部黄土丘陵海拔 2 000 m 左右,中部山间平原海拔 1 300 ~ 1 500 m,北部宁夏平原海拔 1 100 ~ 1 200 m,三者形成宁夏面积最大的三级地势阶梯。其余地区为山地和山前丘陵及沙漠,山地与平原多交错分布,此起彼落,高差悬殊,贺兰山与银川平原高差达 2 300 m。宁夏南部黄土丘陵区,水土流失严重,流水侵蚀强烈,沟壑地貌发育;中北部物理风化强烈,风和洪流作用盛行,沙丘、沙地广布,山前洪积扇发育^[1]。

宁夏属于典型的大陆性气候,其主要特点是:风大沙多,干旱少雨,蒸发强烈,冬寒长、夏热短,气温年日较差大。南北气候有显著差异,总的变化规律是:自南而北降水量递减,气温与蒸发量则递增。在全国气候区划中,固原南部属于中温带半湿润区,固原以北至同心、盐池一带属中温带半干旱区,宁夏平原属中温带干旱区。宁夏平原年平均降水量约 200 mm,大气降水年际间相差很大,丰水年同旱年相差可达数倍。年内降水分配也很不均匀,一般多集中于 7—9 月,占全年降水量的 70% 左右。宁夏空气相当干燥,即使盛夏季节,绝对湿度也很少超过 15 mb,年平均相对湿度大部分地区低于 60%。因此,蒸发相当强烈,多年平均蒸发量一般在 1 300 ~ 2 600 mm。

1 研究区水文地质概况

银川平原是在新华夏系与祁吕系脊柱的复合作用下于新生代形成的断陷盆地,总体走向为北北东方向,新生代沉积巨厚。第四系最厚达 2 000 m,下伏古近系大于 1 700 m。

银川平原松散岩类孔隙水含水系统由山麓至黄河河床呈现出典型的带状分布:洪积→冲洪积(平罗西大滩一带为洪湖积)→冲湖积→冲积。洪积物以贺兰山东麓最发育,岩性主要由粗细不一的块石、碎石与砂

砾石组成,偶夹薄层黏性土,一般距山体愈近洪积物愈粗大,距山愈远愈细小,由连绵的洪积扇群构成洪积斜平原。在南部牛首山山前与灵武东山山麓地带,洪积扇较小,仅呈断续分布。在洪积扇前缘地带,洪积与冲积(或湖积)的粗细物质呈犬牙交错状堆积。部分扇前洼地甚至以黏性土为主。冲洪积仍以贺兰山东麓最发育,形成山前冲洪积倾斜平原,岩性以中细砂为主夹黏性土层。冲湖积由细砂、粉砂与黏性土的互层组成,局部夹淤泥。冲积主要分布于黄河两侧,岩性由上游至下游变细。在青铜峡至仁存渡一带,主要为砂卵石堆积,形成冲积扇,由河床向东西两侧变薄,往北增厚,粒度变细(由砂卵石变为砾砂和中粗砂)并逐渐过渡为中细砂夹黏性土。总之,由盆缘至沉降中心,沉积物是由粗变细的^[5]。

由于受上述岩性结构的控制,在贺兰山东麓洪积斜平原、青铜峡口冲积扇形成了主要由砂卵石组成、岩性上下基本一致的单一潜水区。由贺兰山东麓洪积斜平原往东,青铜峡口冲积扇往北,岩性由较单一的砂砾卵石层结构递变为砂性土与黏性土互层的多层结构,地下水亦由单一潜水逐渐过渡为潜水—承压水的多层结构区。一般有三个主要含水层。第一含水层为潜水,以下均为承压水^[4]。

银川平原松散岩类孔隙水的主要补给来源为引黄灌区渠系行水与田间灌水的渗漏,其次为周边山区的山洪径流于山前的渗入补给与地下径流的侧向补给,再次为大气降水的渗入补给。其中引黄灌区渠系和田间渗漏补给量占总补给量的 80% 以上^[5]。

银川平原地下水的径流条件总体是由西向东、由南向北变差。山前洪积斜平原,地下水径流条件好,水力坡度一般大于 1/500,地下水动态类型为渗入—径流型,水位年变幅南部和中部地区一般小于 2 m,北部地区可达 4 ~ 5 m。洪积—冲积倾斜平原,地下水径流条件较好,水力坡度一般在 1/500 ~ 1/1 000 之间,潜水动态类型为渗入—蒸发、径流型。冲积平原上游(银南地区),地下水径流条件较差,水力坡度为 1/1 000 ~ 1/5 000,潜水动态类型主要为渗入—蒸发、径流型;冲积平原下游(银北地区),地下水径流条件很差,水力坡度一般小于 1/5 000,潜水动态类型主要为渗入—蒸发型^[6]。引黄灌区潜水动态

主要受渠道行水与田间灌水的控制,水位年变幅较大,银南地区一般在2~3 m之间,银北地区一般在1~2 m之间,承压水的动态类型均属于渗入—径流型。承压水位年变幅在天然条件一般小于1 m,且含水层埋藏愈深水位变化幅度愈小。银川平原地下水的排泄有两方面,一方面是以蒸发和人工开采的形式排泄,另一方面则以侧向径流的形式流向排水沟和黄河^[7]。

按照地形地貌条件,将银川平原分为5个区,其中Ⅲ区又分为4个亚区,分别为山前洪积斜平原、冲洪积平原、冲湖积平原、湖积平原(图1)。本次采样区域位于贺兰山东麓山前洪积扇和青铜峡冲积扇下游的冲湖积平原的一级阶地上(Ⅳ区),黄河以西,由北向南布设采样点,见图2。

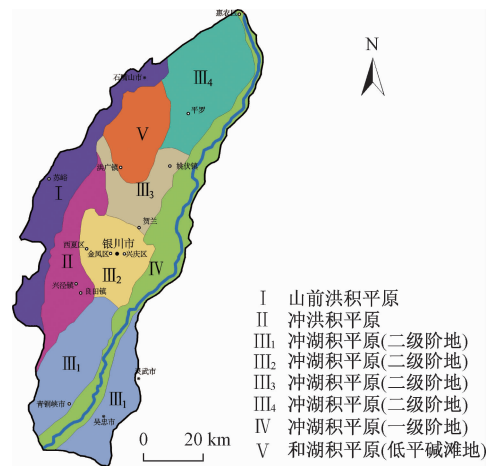


图1 银川平原地貌分区图

Fig. 1 The landform partition map of Yinchuan Plain

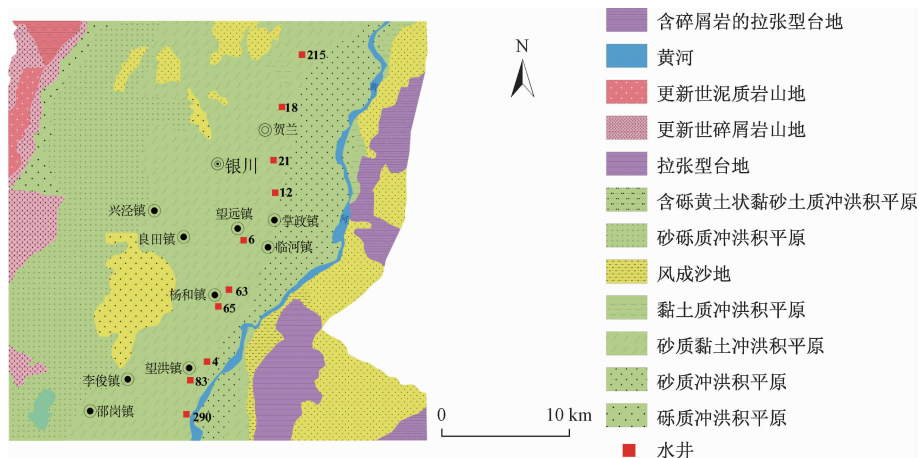


图2 采样区地形地貌图

Fig. 2 The geomorphologic map of sampling area

2 地下水水文地球化学特征

在地下水循环条件的影响下,地下水水化学特征具有明显的分带性^[8]。在基岩山区,作为地下水的补给区,地下水的水文地球化学作用以溶滤作用占优势,形成溶滤潜水区,水化学类型一般以 HCO_3 或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ 水为主。山前倾斜平原(包括洪积斜平原与冲洪积倾斜平原)为地下水的径流区,水交替积极,潜水水化学类型一般以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ 水占优势。在冲洪积平原边缘地带、盆地、洼地为地下水的排泄区或滞流区,水交替缓慢,加之潜水埋藏较浅,在强烈的蒸发作用下,潜水不断浓缩矿化,水化学类型一般以 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$ 或 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4$ 水为主,形成大陆盐质化潜水区^[9]。

除了地下水循环条件对水化学特征的影响外,

气象水文条件也是影响地下水化学特征的重要因素^[10]。银川平原虽地处中温带干旱区,含水层岩性以第四系砂砾石、中粗砂、中细砂、粉砂为主,不受或少受古近系高可溶盐地层的影响,使得溶解到地下水中的 Cl^- 离子较少;因此,地下水多为 HCO_3 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ 水,银川平原大部分地段地下水埋藏深度较浅,尤其是银川以北地区平均潜水水位埋深小于1.5 m,地下水蒸发极为强烈,局部地段地下水为 SO_4 、 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4$ 水。

2.1 地下水环境综合指标

pH值是重要的地下水环境指标,不同酸碱性条件下地下水中的污染因子表现出不同的污染性。样品中pH值的平均值为7.45,介于7.29~7.83之间;总体看,样品pH值分布较均匀,无明显规律,普遍呈弱碱性。

表 1 样品水质综合指标

Table 1 Sample quality comprehensive index

序号	总硬度 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH 值	EC /($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Eh /mV	DO /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TDS /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
4	583.41	7.42	1 404	-22	1.3	841.77
6	672.06	7.45	2 170	-23	2.1	1 129.02
12	788.93	7.38	1 846	-51	3.78	1 123.49
18	643.04	7.29	1 414	-63	1.47	992.19
21	642.87	7.38	18 320	-20	0.85	1 134.97
63	535.80	7.49	1 298	132	1.59	820.70
65	464.02	7.42	3 350	-72	3.07	2 198.41
83	597.92	7.45	1 488	-18	1.36	914.92
215	480.84	7.83	1 781	9	2.4	1 181.72
290	347.07	7.38	2 240	-19	1.67	1 121.74

水体中的 DO 来自大气中氧的溶解及水中植物光合作用释放的氧^[11]。常温下水中的 DO 含量一般为 8 ~ 14 mg/L。DO 除了可被水中硫化物、亚硝酸根、亚铁离子等还原性物质消耗外,也可被水中有机物质氧化分解消耗^[6]。所以当水体受无机和有机还原物质污染时,且氧化分解的耗氧速度超过大气复氧速度时,水体中 DO 将减少^[6]。因此,DO 是表征水体水质好坏的重要指标。水中的 DO 含量高则水体呈氧化状态,氧化还原电位较高,变价元素多以高价态存在;相反,DO 含量低时,则水体呈还原状态,氧化还原电位较低,变价元素多以低价态存在^[12]。样品 DO 值在 0.85 ~ 3.78 mg/L 范围内,平均值 1.96 mg/L。影响水体 DO 浓度的因素复杂多变,各种因素间存在协同作用,使用 SPSS 软件绘制 DO 与 EC 相关性散点图,如图 3,采样点地下水 DO 值与 EC 值呈负相关关系,即随着含盐量的增高,EC 值增高,DO 值减小,因为盐类在水中会发生氧化还原作用,即离子价态改变,这会导致 DO 值降低。一般来说,在温度不变的情况下,盐含量每增加 100 mg/L,溶解氧降低 1%^[15]。

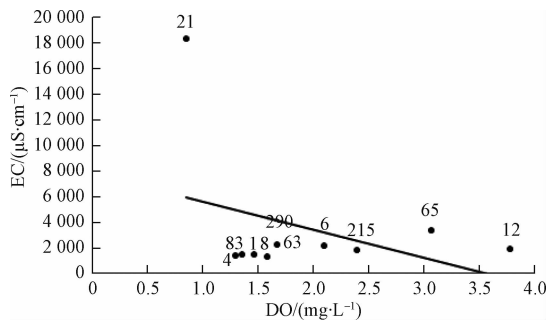


图 3 DO 与 EC 相关性散点图

Fig. 3 The correlation scatter chart between EC and DO

EC 是表示溶液传导电流能力的参数,与溶液中离子浓度和电荷有密切关系,也与离子迁移速率有关^[13]。可溶性离子越多,电阻就越小,EC 就越大。通

过 EC 的测定可以间接推测水中离子成分的总浓度。本次取样点 EC 值为 1 298 ~ 18 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 平均值 3 531.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。EC 值较高可能是受到补给排条件的影响:地下水由补给区向排泄区,随着径流途径增大,地下水 EC 逐渐升高。由于采样点位于冲洪积扇前缘,所以 EC 值偏高。

TDS 是表征水文地球化学作用的重要参数,也是反映地下水径流条件的重要指标^[14]。采样区 TDS 值为 820.70 ~ 2 198.41 mg/L, 平均值 1 145.89 mg/L。TDS 与 EC 之间存在较好的正相关性(图 4),水中溶解的盐类越多,水的 TDS 值就越大,水的导电性也越好,其电导率值也越大。

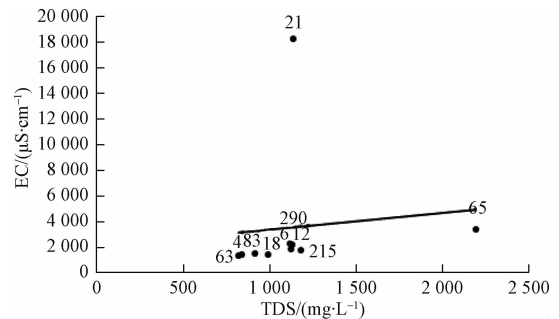


图 4 TDS 与 EC 相关性关系图

Fig. 4 The correlation diagram between TDS and EC

2.2 地下水化学类型

由表 2 可知, Ca^{2+} 质量浓度在平原内的变化相对较小,浓度的最大值和最小值分别为 134.4 mg/L 和 56.11 mg/L, 平均值为 88.33 mg/L。研究区内大部分地区钙离子质量浓度小于 100 mg/L, 只有位于采样区南部的黄河附近的 4、83 号浓度大于 100 mg/L, 其余采样点 Ca^{2+} 浓度值相差不大。

Mg^{2+} 质量浓度在研究区内总体上从南到北有增大的趋势。大部分地区小于 100 mg/L, 大于 100 mg/L 的高值区出现在研究区北部 6、12、18、21 号点, 最高值为 152.48 mg/L。

Na^{+} 质量浓度在研究区内大部分小于 200 mg/L, 最高值与最低值分别为 660 mg/L 和 81.5 mg/L, 平均值 206.56 mg/L。低值点主要出现在研究区南部的黄河附近, 浓度小于 100 mg/L, 高值出现在 65 号点, 为 660 mg/L。 Cl^{-} 质量浓度分布总体上与 Na^{+} 基本一致, 大多小于 200 mg/L, 两者的最高值出现在同一点, 都为 65 号点。 SO_4^{2-} 质量浓度为 201.68 ~ 476.35 mg/L, 平均值 271.1 mg/L, 浓度一般大于 200 mg/L, 高值出现在 65、18 号点。 HCO_3^{-} 质量浓度为 414.81 ~ 766.77 mg/L, 平均值 592.06 mg/L, 除 4、18、21 号点外, 其余点位浓度均大

于 500 mg/L。 HCO_3^- 质量浓度最大值和最小值分别为 942.75 mg/L 和 414.81 mg/L,分别出现在 65 号与 21 号点,平均值为 592.057 mg/L。由北向南 Ca^{2+} 离子浓度

增高与 Na^+ 、 Cl^- 离子降低,由于下游靠近黄河,与黄河对地下水的补给作用有关,即地下水与地表水的联系逐渐加强。

表 2 各样品主要离子浓度

Table 2 Major ion concentration of each sample

/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

编号	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	NH_4^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	偏硅酸
4	132.48	60.53	3	81.5	0.23	102.64	201.68	483.95	17.5
6	80.64	112.91	5	169	0	238.39	245.95	515.37	18.9
12	61.44	152.48	4.5	120	0	122.51	260.8	766.77	18.1
18	76.8	108.25	2.5	108.6	0.05	109.26	320.55	496.52	17.7
21	84.48	103.6	4	176	0	264.88	275.55	414.81	18.5
63	97.92	69.84	7	95.3	0	72.84	201.52	515.37	17.9
65	61.44	74.5	5	660	0.65	427.12	476.35	942.75	21.2
83	134.4	62.86	4	106	0.23	115.89	206.34	534.23	17.9
215	97.62	56.83	3.1	257	0.34	138.2	263.9	688.1	19.34
290	56.11	49.63	2.5	292.2	0.07	165.1	258.3	562.7	13.52
最大值	134.4	152.48	7	660	0.65	427.12	476.35	942.75	21.2
最小值	56.11	49.63	2.5	81.5	0	72.84	201.52	414.81	13.52
平均值	88.333	85.143	4.06	206.56	0.157	175.683	271.094	592.057	18.056

注:表 2 只列出了检出率大于 20% 的组分

绘制地下水 Piper 三线图(图 5),水样点主要处于三线图中的 5、9、7 区,对于 5 区(4、12、63、83)来说,地下水化学性质以碱土金属和弱酸为主;而 9 区(6、18、21、215)中的阴阳离子都没有超过 50%;7 区(290、65)地下水性质以碱金属和强酸为主^[17~18]。地下水阴离子主要以 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 为主, Cl^- 偏少;阳离子三角图中,基本处于中间部位。这决定了地下水类型以 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Na}\cdot\text{Mg}$,以及 $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Na}\cdot\text{Mg}$ 等类型为主。点 4、83、290 在黄河附近及灌区,受黄河水灌溉的影响,部分地段潜矿矿化度降低,水质变好^[19],水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$ 及 $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Mg}\cdot\text{Ca}$ 水(表 3)。

表 3 地下水类型分类表

Table 3 The classification table of groundwater types

点号	地下水类型
4	$\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$
6	$\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$
12	$\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$
18	$\text{HCO}_3\cdot\text{Cl—Ca}\cdot\text{Mg}$
21	$\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{—Ca}\cdot\text{Na}$
63	$\text{HCO}_3\text{—Ca}$
65	$\text{SO}_4\cdot\text{Cl—Na}$
83	$\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$
215	$\text{HCO}_3\text{—Na}$
290	$\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Na}\cdot\text{Ca}$

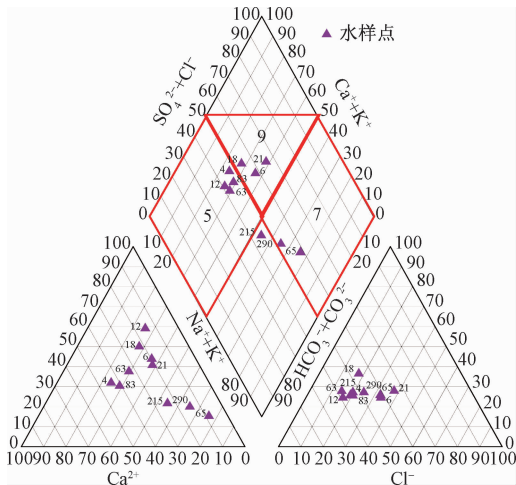


图 5 样品 Piper 三线图

Fig. 5 Piper trilinear diagram of groundwater samples

3 地下水化学成分的形成作用

10 组样品对应的离子强度 I 分别是 0.02、0.03、0.03、0.03、0.03、0.02、0.05、0.02、0.03、0.03。计算各样品中每种溶解性离子的活度系数,见表 4。

由图 6 可知,活度系数与离子强度呈反比;即离子强度升高导致水溶液中的离子浓度和电荷量升高,使得离子间的吸引能力变强,并重新组合成溶质^[20],离子的活度降低,使离子活度系数下降。

计算样品中白云石、石膏、方解石的平衡常数 K 、活度积 IAP 、以及相对地下水的饱和指数 SI ,见表 5,石膏处于未饱和状态,而白云石和方解石处于过饱和状态。由图 7 可知,方解石比白云石和石膏更接近平衡状态,说明方解石最有可能为反应性矿物并存在于含水层环境中^[6]。

表 4 各样品中溶解性离子活度系数

Table 4 Soluble ion activity coefficients in each sample

编号	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
4	0.583 0	0.605 8	0.858 7	0.858 7	0.855 8	0.858 7	0.557 6	0.864 1	0.858 7	0.861 5
6	0.551 4	0.577 5	0.843 4	0.843 4	0.839 8	0.843 4	0.522 0	0.850 0	0.843 4	0.846 8
12	0.543 0	0.570 0	0.839 1	0.839 1	0.835 4	0.839 1	0.512 5	0.846 1	0.839 1	0.842 7
18	0.561 4	0.586 5	0.848 3	0.848 3	0.845 0	0.848 3	0.533 3	0.854 6	0.848 3	0.851 5
21	0.543 9	0.570 3	0.840 1	0.840 1	0.836 5	0.840 1	0.514 4	0.846 9	0.840 1	0.843 6
63	0.588 1	0.610 4	0.861 0	0.861 0	0.858 2	0.861 0	0.563 2	0.866 3	0.861 0	0.863 7
65	0.494 9	0.527 4	0.813 2	0.813 2	0.808 2	0.813 2	0.457 8	0.822 6	0.813 2	0.818 0
83	0.575 4	0.598 9	0.855 1	0.855 1	0.852 0	0.855 1	0.549 0	0.860 8	0.855 1	0.858 0
215	0.557 9	0.583 3	0.846 6	0.846 6	0.843 2	0.846 6	0.529 3	0.852 9	0.846 6	0.849 8
290	0.570 9	0.595 0	0.852 9	0.852 9	0.849 7	0.852 9	0.543 9	0.858 8	0.852 9	0.855 9

表 5 各样品中主要溶解性物质的平衡常数、溶度积、饱和指数

Table 5 The equilibrium constants, solubility product, saturation index of the major soluble substances in each sample

编号	平衡常数 K			活度积 IAP			饱和指数 SI		
	方解石	白云石	石膏	方解石	白云石	石膏	方解石	白云石	石膏
4	$5.279 7 \times 10^{-18}$	1.38×10^{-4}	$3.373 7 \times 10^{-9}$	$1.772 6 \times 10^{-16}$	$2.262 1 \times 10^{-6}$	$1.496 8 \times 10^{-8}$	1.526 0	-1.785 8	0.647 1
6	$5.350 1 \times 10^{-18}$	1.31×10^{-4}	$3.371 8 \times 10^{-9}$	$2.001 7 \times 10^{-16}$	$1.486 8 \times 10^{-6}$	$9.049 8 \times 10^{-9}$	1.573 0	-1.946 0	0.428 8
12	$5.664 5 \times 10^{-18}$	1.0×10^{-4}	$3.363 5 \times 10^{-9}$	$4.489 6 \times 10^{-16}$	$1.161 3 \times 10^{-6}$	$1.016 8 \times 10^{-8}$	1.899 0	-1.957 9	0.480 5
18	$5.373 8 \times 10^{-18}$	1.29×10^{-4}	$3.371 2 \times 10^{-9}$	$1.775 8 \times 10^{-16}$	$1.919 6 \times 10^{-6}$	$8.506 8 \times 10^{-9}$	1.519 1	-1.827 6	0.402 0
21	$6.205 3 \times 10^{-18}$	7.424×10^{-5}	$3.350 2 \times 10^{-9}$	$1.277 1 \times 10^{-16}$	$1.696 1 \times 10^{-6}$	$7.720 2 \times 10^{-9}$	1.313 5	-1.641 2	0.362 6
63	$4.851 5 \times 10^{-18}$	1.9×10^{-4}	$3.386 1 \times 10^{-9}$	$1.693 9 \times 10^{-16}$	$1.701 9 \times 10^{-6}$	$1.171 7 \times 10^{-8}$	1.543 0	-2.050 6	0.539 1
65	$5.373 8 \times 10^{-18}$	1.29×10^{-4}	$3.371 2 \times 10^{-9}$	$2.588 9 \times 10^{-16}$	$1.726 8 \times 10^{-6}$	$1.096 3 \times 10^{-8}$	1.682 8	-1.873 6	0.512 2
83	$5.233 2 \times 10^{-18}$	1.42×10^{-4}	$3.375 0 \times 10^{-9}$	$2.195 4 \times 10^{-16}$	$2.281 1 \times 10^{-6}$	$1.644 9 \times 10^{-8}$	1.622 8	-1.797 0	0.687 9
215	$5.421 3 \times 10^{-18}$	1.25×10^{-4}	$3.369 9 \times 10^{-9}$	$2.248 4 \times 10^{-16}$	$1.980 9 \times 10^{-6}$	$1.488 7 \times 10^{-8}$	1.617 8	-1.799 2	0.645 2
290	$4.961 2 \times 10^{-18}$	1.75×10^{-4}	$3.382 8 \times 10^{-9}$	$7.712 9 \times 10^{-17}$	$1.171 8 \times 10^{-6}$	$7.085 3 \times 10^{-9}$	1.191 6	-2.175 3	0.321 1

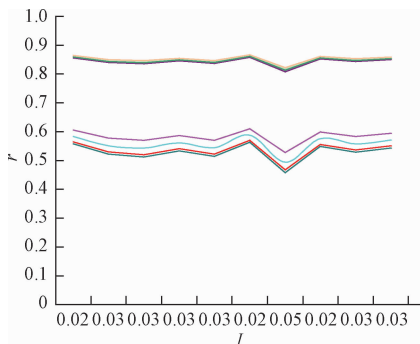


图 6 各样品活度系数与离子强度关系曲线

Fig. 6 The relationship figure between activity coefficient and ionic strength of each sample

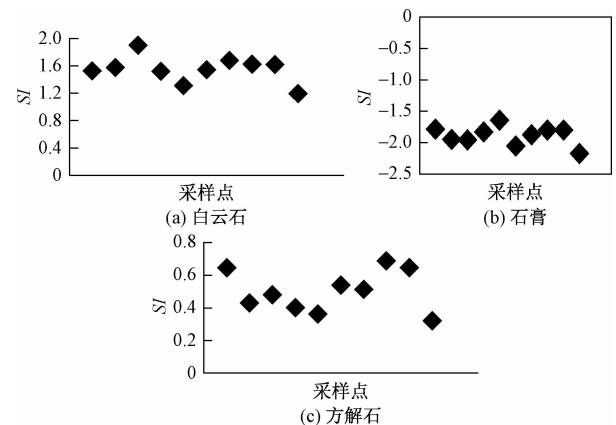


图 7 白云石、石膏和方解石饱和指数散点图

Fig. 7 The scatter diagram of dolomite, oulopholite and calcite saturation index

4 水化学形成环境分析

地下水的 EC 值主要受三方面因素影响。(1) 补给条件的影 响。地下水由补给区向排泄区,随着径流途径增大,地下水 EC 值逐渐升高。表现为从山区到平原、由山麓至盆地中心地下水 EC 呈逐渐增大的特征^[14,21]。采样点位于银川平原东部,其属于地下水排泄区。因此,随着由西向东径流途径增大,采样点的

EC 值普遍较高。(2) 含水层岩性。流经古近系泥岩、石膏层等地区的地下水 EC 值往往容易出现高值。(3) 地下水污染的影响。21 号点的 EC 值最高,达到了 18 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$;同时,该点的 DO 值也最低,推测其可能位于地下水排泄区或者已经遭受到污染。63、4 号水样的 TDS 较低,EC 值也与 TDS 具有较好的相关

性。说明这两点的水质相对于21号点要好。

65号与63号点距离很近,但是它们的现场测试指标和离子浓度却相差很多,就63号点来说,EC值为1298 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Eh值为132 mV, TDS为820.70 mg/L, 由此可认为该点处于氧化环境;而65号点的EC值与TDS是63号点的2倍还多, Eh值为-72 mV, 处于还原环境中,说明65号点遭受污染的可能性大。再根据表3可知,65号点属于 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$ 型水,说明,63号点较65号点水质好。

银川平原松散岩类孔隙水的主要补给来源为引黄灌区渠系行水与田间灌水的渗漏,引黄灌区渠系和田间渗漏补给量占总补给量的80%以上;又由于研究区靠近黄河,傍河取水是农业生产用水的主要方式^[23]。因此,研究区南部黄河附近的4、83、290号点受人类农业生产活动影响较大。

5 结论

(1)通过活度系数与离子强度的关系曲线可知:活度系数 r 与离子强度 I 成反比。若水溶液中的离子浓度和电荷量升高,则离子间的吸引能力变强,并重新组合成溶质,离子的活度降低,使离子活度系数下降;反之则亦然。

(2)根据矿物相对地下水饱和指数的计算结果,方解石最接近于平衡状态。因此,方解石存在于含水层环境中,且为采样区的主要反应性矿物并对该地区的地下水化学成分起控制作用。

(3)65号水样点的TDS、电导率均较高,氧化还原电位Eh最低,说明该点地下水含有较多的溶解性离子并处于还原环境;在与63号距离很近且水文地质条件相同的情况下,65号地下水点受污染的可能性较大。21号点的EC值最高,达到了18320 $\mu\text{S}/\text{cm}$,该点的DO值也最低,推测其可能位于地下水排泄区或者已经遭受到污染。

(4)研究区位于山前倾斜平原向冲湖积平原边缘、盆地、洼地的过渡地带;该区域地下水类型分布与第四系地层沉积规律基本一致,为 HCO_3 型向 SO_4-Cl 型过度的类型:以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg}$,以及 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 等类型为主。

(5)DO与TDS呈负相关关系,即随着地下水中的溶解性离子浓度增加,地下水中的溶解氧浓度将下降;而EC与TDS呈明显的正相关关系,EC与TDS都是对地下水中溶解性离子含量的一种表示。

参考文献:

- [1] 张钦,张黎. 银川平原主要水环境问题及其对策[J]. 地球科学与环境学报,2010(4):392-397. [ZHANG X, ZHANG L. Problems and counter measures of water environment in Yinchuan plain[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010(4): 392-397. (in Chinese)]
- [2] 周仰效,李文鹏. 地下水水质监测与评价[J]. 水文地质工程地质,2008,35(1):1-11. [ZHOU Y X, LI W P. Monitoring and Evaluation of Groundwater Quality[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, 35(1):1-11. (in Chinese)]
- [3] 卢慧蛟. 银川平原地下水水盐均衡分析及土壤盐渍化防治[D]. 西安:长安大学,2010. [LU H J. Analysis of groundwater salt balance in Yinchuan plain and control of soil salinization[D]. Xi'an:Chang'an University, 2010. (in Chinese)]
- [4] 陈梦熊. 中国地下水资源的区域特征与初步评价[J]. 自然资源学报,1986(1):18-26. [CHEN M X. Regional characteristics and preliminary evaluation of groundwater resources in China[J]. Journal of natural resources, 1986(1):18-26. (in Chinese)]
- [5] 钱会,马致远,李培月. 水文地球化学[M]. 北京:地质出版社,2014. [QIAN H, MA Z Y, LI P Y. Hydrogeochemistry[M]. Beijing: Geological Press, 2014. (in Chinese)]
- [6] 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,2014,42(1):25-33. [WANG X X, WANG W K, WANG Z F, et al. The chemical characteristics and its formation of Downstream of LuanHe River and coastal groundwater [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014,42(1): 25-33. (in Chinese)]
- [7] 王晓娟. 银川平原地下水化学成分演化规律及其形成机制研究[D]. 西安:长安大学,2005. [WANG X J. Chemical composition of groundwater in Yinchuan Plain evolution and its formation mechanism [D]. Xi'an: Chang'an University, 2005. (in Chinese)]
- [8] 周训. 深层地下卤水的基本特征与资源量分类[J]. 水文地质工程地质,2013,40(5):4-10. [ZHOU X. Basic characteristics and classification of the deep underground brine [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40(5): 4-10. (in Chinese)]

- [9] 徐芬,马腾,石柳,等. 内蒙古河套平原高碘地下水的水文地球化学特征[J]. 水文地质工程地质, 2012,39(5):8-15. [XU F, MA T, SHI L, *et al.* Hetao Plain, Mongolia of hydrogeochemical characteristics of high iodine of groundwater [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012,39(5):8-15. (in Chinese)]
- [10] 尹秉喜. 银川平原地下水补给及水质分布综合研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006. [YIN B X. Comprehensive research on groundwater recharge and distribution of water quality in Yinchuan Plain [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006. (in Chinese)]
- [11] 王焰新. 地下水污染与防治[M]. 北京:高等教育出版社, 2013. [WANG Y X. Groundwater Contamination[M]. Beijing: Higher Education Press, 2013. (in Chinese)]
- [12] 曹文炳,万力,周训,等. 西北地区沙丘凝结水形成机制及对生态环境影响初步探讨[J]. 水文地质工程地质,2003,30(2):6-10. [CAO W B, WAN L, ZHOU X, *et al.* Preliminary study on the dune condensation water formation mechanism in northwest China and its influence on ecological environment[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003,30(2):6-10. (in Chinese)]
- [13] 任小荣. 银川平原地下水脆弱性评价[D]. 西安:长安大学, 2007. [REN X R. Groundwater vulnerability assessment in Yinchuan Plain[D]. Xi'an: Chang'an University, 2007. (in Chinese)]
- [14] 薛奇. 银川平原地下水补给特征及其变化规律[J]. 地质灾害与环境保护, 2011(1):56-62. [XUE Q. The characteristic of supply, runoff, drainage of groundwater in Yinchuan Plain and its variation [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2011(1):56-62. (in Chinese)]
- [15] 崔秀凌,李庚阳. 引水渠道渗漏对银川平原地下水的影响[J]. 农业科学研究, 2012(4):47-50. [CUI X L, LI G Y. Influence of water diversion channel seepage on groundwater in Yinchuan Plain [J]. Journal of Agricultural Sciences, 2012(4):47-50. (in Chinese)]
- [16] 周金成. 银川市地下水资源情况[J]. 科技资讯, 2008(19):133-134. [ZHOU J C. Situation of groundwater resources in Yinchuan City[J]. Science & Technology Information, 2008(19):133-134. (in Chinese)]
- [17] 周文生,余秋生,李英,等. 银北平原黄河以东地区地下水化学特征研究[J]. 人民黄河, 2013(5):53-55. [ZHOU W S, YU Q S, LI Y, *et al.* The research of Chemical characteristics of groundwater in the north of the Yinchuan Plain and the east of the Yellow River[J]. Yellow River, 2013(5):53-55. (in Chinese)]
- [18] 郭高轩,辛宝东,刘文臣,等. 我国地下水环境背景值研究综述[J]. 水文地质工程地质, 2010,37(2):95-98. [GUO G X, XIN B D, LIU Y C. *et al.* Study on groundwater environmental background values in China [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(2):95-98. (in Chinese)]
- [19] 张新钰,辛宝东,王晓彤,等. 我国地下水污染研究进展[J]. 地球与环境, 2011,39(3):415-421. [ZHANG X Y, XIN B D, WANG X T. Progress of research on groundwater pollution in China[J]. Earth and Environment, 2011, 39(3):415-421. (in Chinese)]
- [20] 刘槐亮,陈玉春. 宁夏地下水监测现状调查及对策[J]. 地下水, 2014,36(6):100-101. [LIU H L, CHEN Y C. The investigation of groundwater monitoring situation and Countermeasure in Ningxia Hui autonomous region [J]. Ground Water, 2014,36(6):100-101. (in Chinese)]
- [21] Kenneth Y Lee. Modeling Long-Term Transport of Contaminants Resulting from Dissolution of a Coal Tar Pool in Saturated Porous Media[J]. J Envir Engrg, 2004,130(12):1507-1513.
- [22] Khotanzad, A, Elragal H, Lu Tsun-Lang. Combination of Artificial Neural Network ForECasters for Prediction of Natural Gas Consumption[J]. IEEE, Transactions on Natural Network, 2000,11(2):464-473.
- [23] Nayef Al-Mutairi. Modeling and Predicting Biological Performance of Contact Stabilization Process Using Artificial Neural Networks[J]. J Comp in Civ Engrg, 2004,18(4):341-349.