

郭晓东, 赵海卿. 珲春盆地地下水水化学特征分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 1010-1017.

Guo Xiaodong, Zhao Haiqing. Hydrochemical characteristics and correlation analysis of groundwater in Hunchun Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 1010-1017(in Chinese with English abstract).

珲春盆地地下水水化学特征分析

郭晓东^{1,2} 赵海卿²

(1.国土资源部沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034; 2.吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130021)

摘要:为查明珲春盆地地下水化学特征,对珲春盆地地下水进行了取样测试,对测试结果采用 Aquachm、SPSS 和 MAPGIS 等软件进行了水化学特征分析。结果表明珲春盆地地下水中 TFe、Mn²⁺和 NO₃⁻超标比较严重,总体珲春河南区比珲春河北区水质差。地下水化学类型以 HCO₃-CaMg 为主,部分地区为 ClHCO₃、ClSO₄HCO₃、SO₄ClHCO₃ 等型水。地下水中 TDS、Ca²⁺、Cl⁻、Mg²⁺、SO₄²⁻和 NO₃⁻(以 N 记)相关性较高,地下水化学演化过程主要是溶滤作用。

关键词:珲春盆地;水化学特征;煤矸石;溶滤作用

中图分类号:P641.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)03-1010-08

珲春市作为中国图们江区域国际合作示范区,是长一吉一图开发开放的先导区,又是吉林省重要的煤炭能源基地,发展潜力巨大,地下水环境质量受到高度关注^[1-26]。为了查明珲春市的地下水以及地质环境现状,2011年中国地质调查局部署了长一吉一图地质环境调查评价与区划项目,沈阳地调中心组织实施并开展了珲春市水工环综合调查。本文以此项目为基础,阐述了珲春盆地地下水水化学特征,主要水化学成分及其分布状况,主要水化学成分间的相互关系等,对保护地下水环境质量具有重要意义。

1 研究区概况

1.1 自然地理

珲春盆地位于珲春河下游,盆地西邻图们江、北东南3面低山丘陵环抱,珲春河自NE—SW横贯盆地中部汇入图们江。地貌类型为冲洪积河谷平原,地形平坦,两侧向河谷微倾斜,从河谷到山前波状台地之间形成了河漫滩、一、二、三级阶地,沿河

谷两侧呈条带状对称分布。气候属中温带近海洋性季风气候,多年平均降雨量为618 mm,多年蒸发量为1301.2 mm^[27]。

1.2 水文地质

珲春盆地地下水主要为第四系孔隙潜水。含水层岩性以粗砂、砂砾石、卵砾石为主,沿河漫滩到三级阶地,颗粒逐渐变细,单井涌水量从1500~3000 m³/d减小为<500 m³/d。地下水从南北两侧山前向珲春河汇流并向下游流动,径流条件较好,水位埋深多小于3 m,在二级阶地后缘和三级阶地为3~5 m,局地达5 m以上。

珲春盆地地下水主要靠大气降水和灌溉回渗补给,与珲春河水力联系紧密,水位变化幅度在3.5 m以内,河漫滩及一级阶地变化幅度小于1 m。排泄途径主要为潜水蒸发和人工开采。

1.3 矿产开发与农业生产

珲春盆地煤炭储量丰富,累计查明储量逾8亿t,共有18家煤炭企业,年生产原煤逾500万t。产生大量煤矸石,珲春盆地有大型矸石堆4处,主要分布

收稿日期:2013-07-13;改回日期:2014-02-13

基金项目:中国地质调查局项目(1212011140027)和沈阳地调中心自设项目(cgssy2012015)联合资助。

作者简介:郭晓东,男,1981年生,博士生,研究方向为地下水调查与评价;E-mail:287684839@qq.com。

在英安镇、板石镇、珲春城西等地,另有较多小型矽石堆零星分布。农业以水稻和玉米为主,珲春市耕地250 km²,其中水田70 km²。

2 取样与研究方法

研究区内珲春河横穿而过,将珲春盆地一分为二,形成了南、北两个相对独立的水文地质单元,珲春河北区城镇人口较为集中,地下水开发利用程度较高;珲春河南区农业活动相对发达,水田种植量较大。对珲春河南、北2区同时进行取样分析,珲春河北区取43组样品,珲春河南区取36组样品。对研究区样品分析结果进行整理,采用Aquchm软件分析其水化学特征。采用SPSS19软件对有关水化学参数进行分区统计和相关性分析,采用MAPGIS软件进行对水化学组分分析指标进行空间分析。结合相关资料,全面分析研究区地下水化学的空间变异特征与演化规律,揭示控制区地下水质量演化

的水化学过程^[1]。

2012年6月项目组采集了珲春盆地79组样品,样品点覆盖珲春盆地全部区域,采集样品同时进行了机民井调查,采样井多为民井,以压水井为主,个别为机井,井深多在5~10 m,个别点10~20 m。采样过程严格按照有关规范操作,现场测试pH值、氧化还原电位、电导率、浊度等指标,样品进行了水质全分析,分析单位为国土资源部东北矿产资源监督检测中心。采样点位见图1。

3 分析结果与讨论

3.1 水化学参数统计分析

对珲春盆地潜水水质资料进行统计分析,统计结果(表1)显示,研究区TFe、Mn²⁺和NO₃⁻含量比较高,总体来说珲春河南区水质较河北区差。珲春河北区TFe含量0.01~4.78 mg/L,超标率为39.5%,Mn²⁺含量0~7.5 mg/L,超标率为23.3%,NO₃⁻含量0~

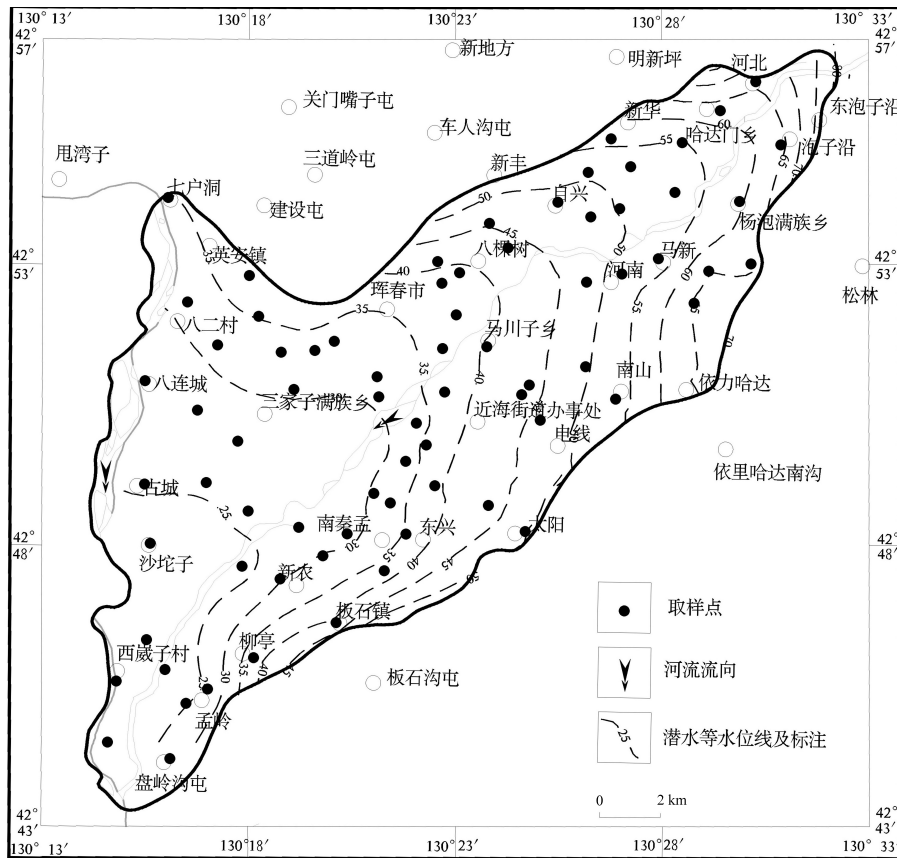


图1 珲春盆地取样点分布图
Fig.1 Sampling points in Hunchun Basin

表1 珲春盆地潜水水化学参数统计特征值一览(mg/L, pH除外)

Table 1 The phreatic water chemistry parameters characteristic values in Hunchun Basin

统计项目	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TFe	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Mn ²⁺	TDS	NH ₄ ⁺	pH
珲春河北区															
最小值	4.31	0.16	22.76	2.61	0.01	66.44	0.00	2.04	1.63	0.00	0.00	0.00	98.14	0.00	6.60
最大值	71.45	26.41	101.60	32.59	4.87	265.35	79.18	134.80	120.42	47.06	1.51	7.50	740.41	2.04	9.55
均值	21.49	3.08	46.50	12.66	0.72	140.73	3.55	27.11	35.17	6.67	0.12	0.35	277.09	0.28	7.53
标准差	14.42	4.57	16.93	7.47	1.23	52.50	12.89	27.52	29.99	9.43	0.29	1.19	124.13	0.42	0.56
珲春河南区															
最小值	7.75	0.82	22.22	3.31	0.05	55.37	0.00	4.50	0.13	0.00	0.00	0.00	118.36	0.00	6.89
最大值	74.64	11.41	87.78	32.63	17.34	224.25	0.00	104.74	123.97	46.78	1.49	1.82	630.04	0.47	7.94
均值	33.79	2.89	48.57	12.21	3.40	148.57	0.00	37.00	44.00	8.76	0.15	0.29	324.17	0.12	7.19
标准差	17.90	2.45	16.53	5.94	4.00	41.45	0.00	31.83	35.69	11.05	0.30	0.42	132.08	0.13	0.22

注: NO₃⁻以N记。

47.06 mg/L, 超标率为9.3%。珲春河南区 TFe 含量 0.05~17.34 mg/L, Mn²⁺含量 0~1.82 mg/L, NO₃⁻含量 0~46.78 mg/L, 超标率分别为: 80.56%、77.78%和 16.67%, 超标比较严重。TFe 超标最大为珲春河南区 s0024 点, 超标 57.8 倍, Mn²⁺超标最大为珲春河北区 gs055 点, 达到 75 倍, NO₃⁻超标最严重为珲春河南区 s0005 点, 超标 2.3 倍。Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻、TFe 和 TDS 的浓度分布见图 2~7。

由于珲春河北区地下水开发利用程度较大, 时间较长, 潜水径流交替作用较好, pH 在 6.64~9.95,

均值为 7.53, 相对珲春河南区的 7.19 而言, pH 稍高, 呈现明显的人类活动的作用。珲春河南区地下水开发利用强度较小, 基本处于封闭状态, Eh 值平均值为 22.41 mV, 较珲春河北区的 24.83 mV 稍低, 地下水氧化性较弱。研究区超标指标中 TFe 和 Mn²⁺在地下水呈还原环境情况下, 易发生富集, 从图 6 可以看出, TFe 富集区主要分布于珲春河南区南部山前地带, 沿向河流方向逐渐降低, 具有明显的分带性^[9]。NO₃⁻超标主要是由于生活垃圾无序排放, 农田大量使用化肥以及煤矸石堆放溶滤作用等造

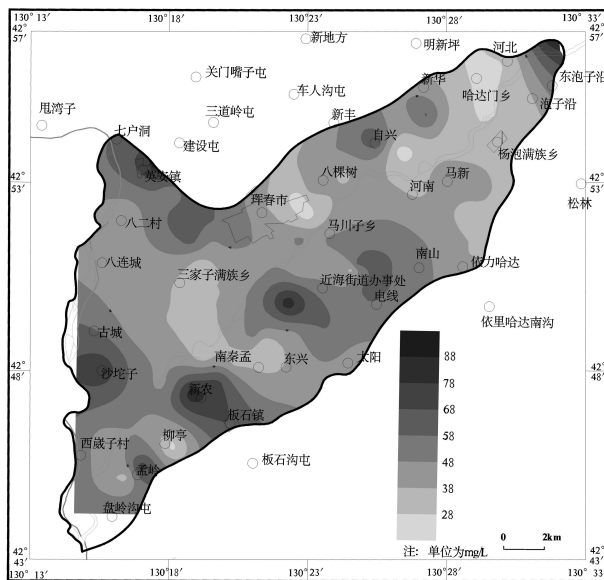


图2 Ca²⁺含量分布图

Fig.2 Density distribution of Ca²⁺

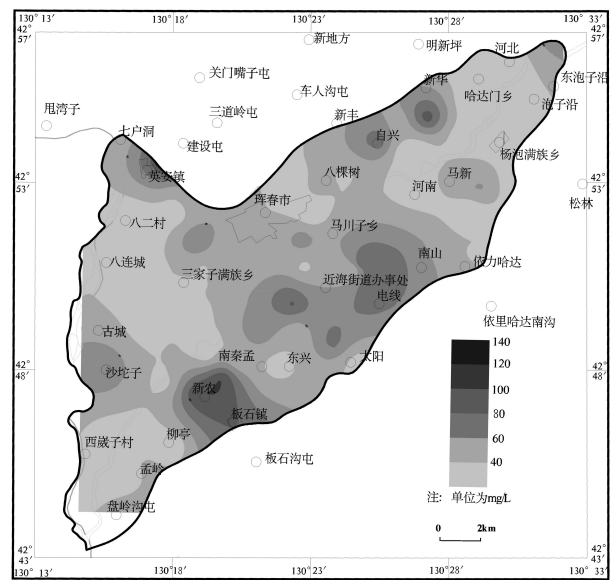


图3 Cl⁻含量分布图

Fig.3 Density distribution of Cl⁻

成。从图5可以看出,NO₃⁻富集区主要分布在板石镇、英安镇等煤矿长期开采区,煤矸石大量堆积,以及马川子、南山、自兴等农业种植区。沙陀子地区含量升高可能与图们江污染物入侵有关,而图们江由于受开山屯造纸厂、石岘造纸厂未处理污水直接排放而污染严重。其他地区的NO₃⁻含量的升高与地下水环境从山前到珲春河氧化性升高有关。

3.1 地下水化学类型

由于地质条件和人类活动的影响,珲春盆地地下水的水化学类型主要分为2大类(图8)。

珲春盆地地下水基本类型为HCO₃⁻-CaMg(Ca、CaNa)型,基本遍布全区,由于珲春盆地沿南北边界山前地带到珲春河,地下水埋深逐渐减小,从5 m以上逐渐降低到0.5~2 m,包气带岩性主要为粉质粘

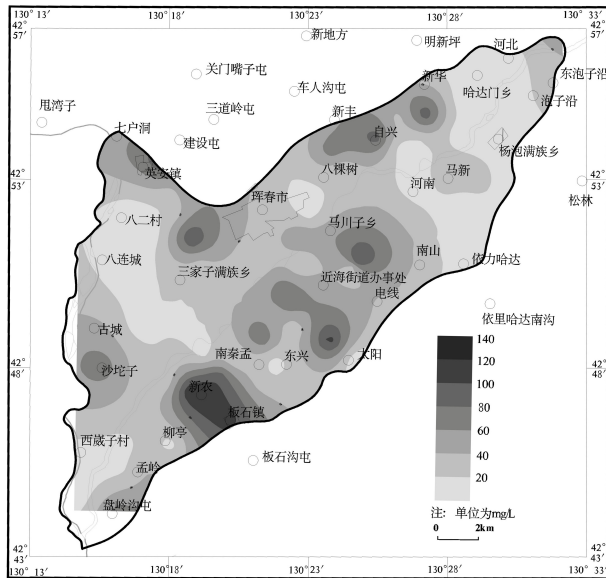


图4 SO₄²⁻含量分布图
Fig.4 Density distribution of SO₄²⁻

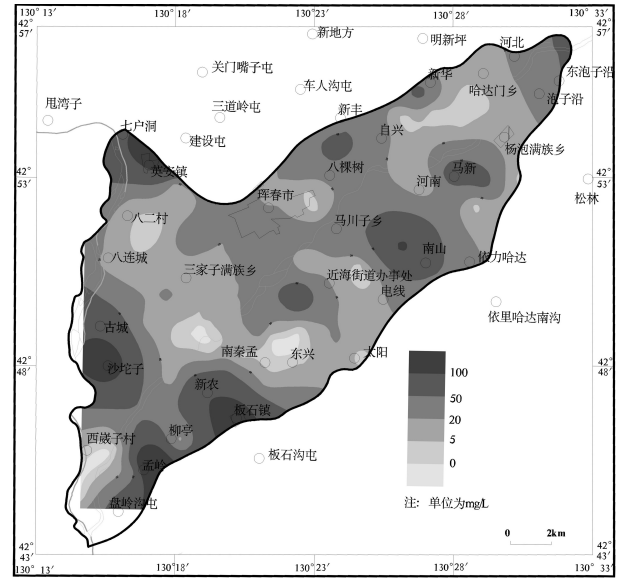


图5 NO₃⁻含量分布图
Fig.5 Density distribution of NO₃⁻

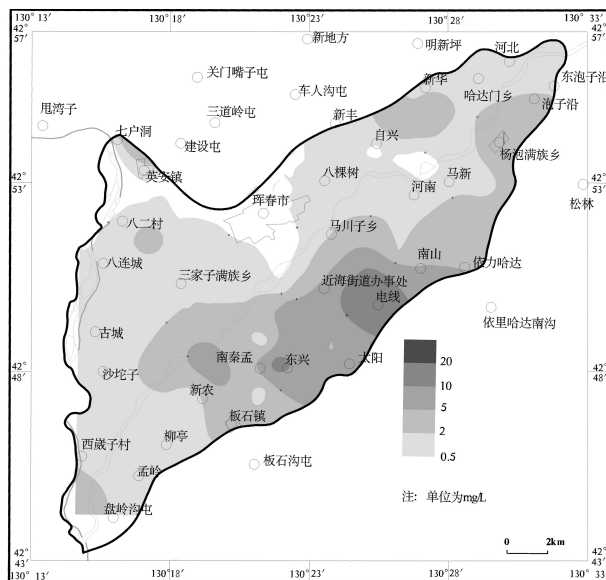


图6 TFe含量分布图
Fig.6 Density distribution of TFe

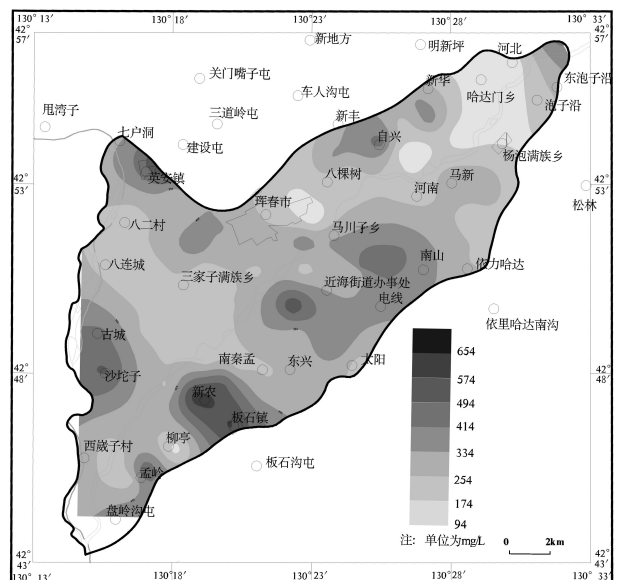


图7 TDS含量分布图
Fig.7 Density distribution of TDS

土,在河谷地带包气带岩性为砂砾石,含水层岩性主要为卵砾石或砂砾石,地下水径流条件好。虽然部分地区地下水埋深浅,易发生潜水蒸发,但是由于夏季水田灌溉,地表蒸发代替了地下水蒸发,所以,地下水灌溉期接受灌溉入渗。地下水水化学作用以溶滤作用为主。在溶滤作用以及良好的地下水径流条件下,地下水矿化度普遍较低,多小于0.5 g/L。形成了低矿化度、HCO₃-CaMg(Ca、CaNa)型的中性软水或极软水。

盆地中部由于人口村屯密集、工农业活动发

达,特别是存在大规模的煤矿开采活动。在珲春城区西部、板石镇、英安镇等地形成了大型的煤矸石堆,淋滤作用下,造成该地区Cl⁻和SO₄²⁻的含量升高,加之农业种植区农药化肥的大量使用,形成了CaHCO₃、CaSO₄HCO₃、SO₄CaHCO₃等型水,分布在主要矿区以及马川子、南山、沙陀子等水稻种植区。与王举等在10年前的研究成果^[27]相比,煤矿开采造成的煤矸石堆积对地下水水化学特征的影响更加凸显。由于板石煤矿和城西煤矿于20世纪90年代后期开始大规模开采,王举等人开展研究工作的时候,相关影响还不明显,地下水水化学特征主要还是受农业生产影响。

3.2 相关性分析

采用SPSS软件对珲春盆地潜水水化学参数相关性进行分析,分析结果见表2。根据相关性分析结果,Ca²⁺、Cl⁻、Mg²⁺和SO₄²⁻与TDS相关性较高,均大于0.8,其中Ca²⁺达到0.925,说明Ca²⁺、Cl⁻、Mg²⁺和SO₄²⁻是地下水离子的主要组成部分,其中Ca²⁺对TDS的分布起到决定作用,从图2可以看出,从山前到河流,Ca²⁺在溶滤作用下含量逐渐增加,相应的,TDS也服从这一规律。Cl⁻和SO₄²⁻相关性系数达到了0.896,具有较高的相关性,它们含量升高的区域在板石镇、英安以及珲春西部等煤矸石堆放区。这一现象主要受控于煤矸石的溶滤作用,张俊等^[28]通过煤矸石溶滤实验研究认为,煤矸石中Cl⁻和SO₄²⁻具有相似的淋溶规律。由于煤矸石溶滤液主要成分为Ca²⁺、Cl⁻、Mg²⁺、SO₄²⁻和NO₃⁻,所以这几种离子

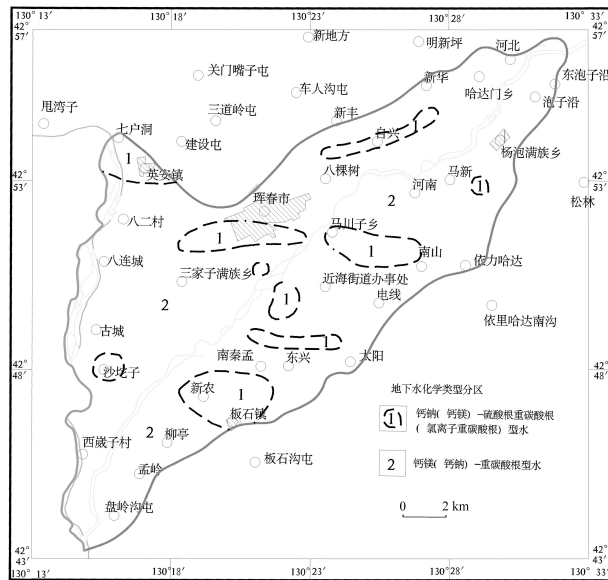


图8 珲春盆地水化学类型分布图

Fig.8 Distribution of hydrochemical types in Hunchun Basin

表2 珲春盆地水化学参数相关性系数矩阵

Table 2 Groundwater hydrochemical correlation coefficient matrix in Hunchun Basin

化学参数	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TFe	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Mn	TDS
Na ⁺	1	0.063	0.587**	0.525**	0.294**	0.124	0.780**	0.748**	0.487**	-0.047	-0.074	0.799**
K ⁺	0.063	1	0.342**	0.515**	-0.105	0.090	0.195	0.173	0.294**	0.481	-0.032	0.358**
Ca ²⁺	0.587**	0.342**	1	0.856**	0.099	0.129	0.808**	0.744**	0.737**	0.144	0.077	0.925**
Mg ²⁺	0.525**	0.515**	0.856**	1	-0.055	0.151	0.726**	0.713**	0.670**	0.182	0.053	0.876**
TFe	0.294**	-0.105	0.099	-0.055	1	0.247*	0.222*	0.068	-0.147	-0.106	0.213	0.138
HCO ₃ ⁻	0.124	0.090	0.129	0.151	0.247*	1	-0.136	-0.217	-0.253*	0.002	0.352**	0.078
Cl ⁻	0.780**	0.195	0.808**	0.726**	0.222*	-0.136	1	0.896**	0.594**	-0.017	-0.052	0.880**
SO ₄ ²⁻	0.748**	0.173	0.744**	0.713**	0.068	-0.217	0.896**	1	0.585**	-0.093	-0.143	0.841**
NO ₃ ⁻	0.487**	0.294**	0.737**	0.670**	-0.147	-0.253*	0.594**	0.585**	1	0.217	-0.105	0.789**
PO ₄ ³⁻	-0.047	0.481**	0.144	0.182	-0.106	0.002	-0.017	-0.093	0.217	1	-0.046	0.113
Mn	-0.074	-0.032	0.077	0.053	0.213	0.352**	-0.052	-0.143	-0.105	-0.046	1	0.014
TDS	0.799**	0.358**	0.925**	0.876**	0.138	0.078	0.880**	0.841**	0.789**	0.113	0.014	1

注:*和**分别代表0.05和0.01的显著水平。

含量具有较高的相关性,都在0.7以上。王伟新等^[29]通过对平顶山矿区煤矸石堆积区地下水质的讨论分析之后认为,煤矸石是 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的重要来源。本次研究中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 均方差值都比较大,在珲春河南区分别达到了31.83和35.69,离子含量变异明显,根据它们的分布情况,说明地下水化学特性受溶滤作用比较明显^[28-33]。

4 结 论

(1)珲春盆地地下水质量总体较差,除了地质构造作用影响之外还受到矿产开发和农业生产的影响。矿产开采区和农业种植区地下水 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 含量升高,水化学类型由 HCO_3^- 型水变异为 ClHCO_2^- 、 $\text{ClSO}_4\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4\text{ClHCO}_3^-$ 等型水。对比珲春河南北,河南区水质较河北区差,河南区主要受还原环境控制,河北区主要受氧化环境控制。

(2)珲春盆地地下水化学演化主要受到溶滤作用影响。大气降水对煤矸石以及农药化肥等地表物质的溶滤作用,造成了部分地区地下水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 等污染离子含量升高并在部分区域富集,离子均方差值变大,相关性较高证明了这一点。

参考文献(References):

- [1] 曹玉清, 胡宽璐, 李振拴. 地下水化学动力学与生态环境区划分[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 53-54.
Cao Yuqing, Hu Kuanrong, Li Zhenshuan. Groundwater Chemical Kinetics and Eco-Environmental Zonation[M]. Beijing: Science Press, 2009: 53-94(in Chinese with English abstract).
- [2] 魏晓鸥, 郑秀清, 顾江海. 柳林泉域岩溶地下水水化学特征及演化分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(1): 72-74.
Wei Xiaou, Zheng Xiuqing, Gu Jianghai. Analysis of hydrochemical characteristics and evolution of karstic groundwater in Liulin spring catchment[J]. Yellow River, 2012, 34(1): 72-74. (in Chinese with English abstract)
- [3] 赵景波, 张琪敏, 张琼华, 等. 长安南部地区地下水化学特征与污染防治[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2006, 34(1): 94-97.
Zhao Jingbo, Zhang Qimin, Zhang Qionghua, et al. Chemical characteristic and pollution prevention of groundwater in south of Chang'an[J]. Journal of Shaanxi Normal University(Natural Science Edition), 2006, 34(1): 94-97(in Chinese with English abstract).
- [4] 陈森, 吴永贵. 贵州水城石桥村铅锌矿山浅层地下水化学特征及水质评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2012, 34(3): 308-312.
Chen Miao, Wu Yonggui. Quality evaluation and chemical features analysis of shallow groundwater in lead-zinc mine mountain of Shuicheng, Guizhou[J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2012, 34(3): 308-312(in Chinese with English abstract).
- [5] 曹德福. 鄂尔多斯盆地南区洛河组地下水演化水文地球化学模拟[D]. 西安: 长安大学, 2005: 1-2.
Cao Defu. Hydrogeochemical Simulation Research on Groundwater Ecolution of Luohe Aquiferous Group in the South Area of Ordos Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005: 1-2(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘文波, 高存荣, 刘滨, 等. 河套平原浅层地下水水化学成分及其相关性分析[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 816-823.
Liu Wenbo, Gao Cunrong, Liu Bin, et al. Hydrochemical constituents and correlation analysis of shallow groundwater in the Hetao Plain[J]. Geology in China, 2010, 37(3): 816-823(in Chinese with English abstract).
- [7] 孙斌, 邢立亭. 济南市区附近地下水化学特征研究[J]. 中国农村水利水电, 2010, 24(11): 33-37.
Sun Bin, Xing Liting. Research on groundwater chemical characteristics in urban areas in Jinan[J]. China Rural Water and Hydropower, 2010, 24(11): 33-37(in Chinese with English abstract).
- [8] 黄平华, 陈建生, 宁超, 等. 焦作矿区地下水水化学特征及其地球化学模拟[J]. 现代地质, 2010, 24(2): 369-376.
Huang Pinghua, Chen Jiansheng, Ning Chao, et al. Hydrochemical characteristics and hydrochemical modeling of groundwater in the Jiaozuo mining district[J]. Geoscience, 2010, 24(2): 369-376(in Chinese with English abstract).
- [9] 黄冠星, 孙继朝, 荆继红, 等. 珠江三角洲地区地下水铁的分布特征及其成因[J]. 中国地质, 2008, 35(3): 531-538.
Huang Guanxing, Sun Jizhao, Jing Jihong, et al. Distribution and origin of iron in groundwater of the Zhujiang delta[J]. Geology in China, 2008, 35(3): 531-538(in Chinese with English abstract).
- [10] 郭雪莲, 朱锡芬, 刘秀铭, 等. 民勤盆地地下水水-岩作用地球化学模拟[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(9): 56-59.
Guo Xuelian, Zhu Xifen, Liu Xiuming, et al. Geochemical simulation of water-rock interaction of groundwater in the Minqin Basin, Gansu Province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(9): 56-59(in Chinese with English abstract).
- [11] 安乐生, 赵全升, 叶思源, 等. 黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用[J]. 环境科学, 2012, 33(2): 370-378.
An Lesheng, Zhao Quansheng, Ye Siyuan, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of shallow groundwater in the Yellow River delta[J]. Environmental Science, 2012, 33(2): 370-378(in Chinese with English abstract).
- [12] 高东燕, 孟婧莹, 吴春勇. 鄂尔多斯北区地下水水化学特征对应分析研究[J]. 人民黄河, 2012, 34(3): 57-59.
Gao Dongyan, Meng Jingying, Wu Chunyong. Application of correspondence analysis on hydrochemical characteristics of groundwater in North Ordos[J]. Yellow River, 2012, 34(3): 57-59

- (in Chinese with English abstract).
- [13] 张光辉, 刘少玉, 张翠云, 等. 黑河流域地下水循环演化规律研究[J]. 中国地质, 2004, 31(3): 289–293.
Zhang Guanghui, Liu Shaoyu, Zhang Cuiyun, et al. Evolution of groundwater circulation in the Heihe River drainage area[J]. *Geology in China*, 2004, 31(3): 289–293(in Chinese with English abstract).
- [14] Claus K, Christoph S, Jose B H, et al. Recharge sources and hydrogeochemical evolution of groundwater in semiarid and karstic environments: A field study in the Granada Basin(Southern Spain)[J]. *Applied Geochemistry*, 2008, 23(4): 846–862.
- [15] 秦兵, 李俊霞. 大同盆地高氟地下水水化学特征及其成因[J]. 地质科技情报, 2012, 31(2): 106–111.
Qin Bing, Li Junxia. Hydrochemistry and occurrence of high fluoride groundwater in Datong basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2012, 31(2): 106–111(in Chinese with English abstract).
- [16] 丁宏伟, 张举. 河西走廊地下水水化学特征及其演化规律[J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 24–28.
Ding Hongwei, Zhang Ju. Geochemical properties and evolution of groundwater beneath the Hexi corridor, Gansu Province[J]. *Arid Zone Research*, 2005, 22(1): 24–28(in Chinese with English abstract).
- [17] 全长水, 张连胜, 王瑞龙, 等. 金堤河流域台前段地下水化学特征[J]. 人民黄河, 2012, 34(11): 57–59.
Tong Changshui, Zhang Liansheng, Wang Ruilong, et al. Groundwater hydrochemical characteristics of Jindi River in Taiqian county[J]. *Yellow River*, 2012, 34(11): 57–59(in Chinese with English abstract).
- [18] 董维红, 苏小四, 侯光才, 等. 鄂尔多斯白垩系地下水盆地地下水水化学类型的分布规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(2), 288–292.
Dong Weihong, Su Xiaosi, Hou Guangcai, et al. Distribution law of groundwater hydrochemical type in the Ordos Cretaceous artesian basin[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2007, 37(2), 288–292(in Chinese with English abstract).
- [19] 张文杰, 谭红兵, 陈喜, 等. 广东涠洲岛地下水化学演化及成因机理[J]. 水文, 2012, 32(3): 51–59.
Zhang Wenjie, Tan Hongbing, Chen Xi, et al. Geochemical evolution and formation mechanism of groundwater in Naozhou island, Guangdong Province[J]. *Hydrology*, 2012, 32(3): 51–59(in Chinese with English abstract).
- [20] 邹环, 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, 2011, 32(3): 357–366.
Xun Huan, Wang Jinsheng, Zhai Yuanzheng, et al. Chemical characteristics and evolution of groundwater in the Yongding River aluvial fan of Beijing plain[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2011, 32(3): 357–366(in Chinese with English abstract).
- [21] 姜体胜, 杨忠山, 王明玉, 等. 北京市南口地区浅层地下水水化学时空变化特征分析[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 203–208.
Jiang Tisheng, Yang Zhongshan, Wang Mingyu, et al. Analysis on the temporal and spatial variations of hydrochemical characteristics of shallow groundwater in Nankou, Beijing[J]. *Earth and Environment*, 2011, 39(2): 203–208(in Chinese with English abstract).
- [22] 张翼龙, 王丽娟, 王文中, 等. 呼和浩特市浅层地下水水化学特征演变规律[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(6): 14–17.
Zhang Yilong, Wang Lijuan, Wang Wenzhong, et al. Hydrochemical characteristics and variation of mineralization for the groundwater in Hohhot Country[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2010, 8(6): 14–17(in Chinese with English abstract).
- [23] 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): 9–14.
Chen Li, Zhang Fawang, Cheng Yanpei, et al. Hydrogeochemical characteristics and evolution laws of groundwater in Haiyuan basin, Ningxia[J]. *Geoscience*, 2009, 23(1): 9–14(in Chinese with English abstract).
- [24] 席海洋, 冯起, 司建华, 等. 分水对额济纳绿洲浅层地下水水化学性质的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(5): 129–131.
Xi Haiyang, Feng Qi, Si Jianhua, et al. Hydrochemistry of shallow groundwater changes in Ejina Oasis of the lower reaches of the Heihe River after its water import[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(5): 129–131(in Chinese with English abstract).
- [25] 张玉玺, 孙继朝, 黄冠星, 等. 珠江三角洲地区浅层地下水铍的分布及成因探讨[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 197–203.
Zhang Yuxi, Sun Jichao, Huang Guanxing, et al. Distribution of beryllium in shallow groundwater of the Zhujiang Delta and a preliminary analysis of its origin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 197–203(in Chinese with English abstract).
- [26] 韩双宝, 张福存, 张徽, 等. 中国北方高砷地下水分布特征及成因分析[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 747–753.
Han Shuangbao, Zhang Fucun, Zhang Hui, et al. An analysis of the distribution and formation of high arsenic groundwater in northern China[J]. *Geology in China*, 2010, 37(3): 747–753(in Chinese with English abstract).
- [27] 王举, 王佰友. 珲春盆地地下水水化学特征与环境质量评价[J]. 长春工程学院(自然科学版), 2004, 5(3): 39–42.
Wang Ju, Wang Baiyou. Chemical properties of undergroundwater in Hunchun Basin and evaluation on its environmental quality[J]. *Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2004, 5(3): 39–42(in Chinese with English abstract).
- [28] 张俊, 张生, 李畅游, 等. 基于土柱淋滤实验的煤矸石饱和状态下溶质释放过程研究[J]. 煤田地质与勘探, 2012, 40(5): 56–59.
Zhang Jun, Zhang Sheng, Li Changyou, et al. Coal gangue saturated solute release based on the soil column leaching experiments[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2012, 40(5): 56–59

- (in Chinese with English abstract).
- [29] 王伟新, 钟宁宁, 韩习运, 等. 煤矸石堆积对地下水的无机盐污染效应[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(9): 49–54.
Wang Weixin, Zhong Ningning, Han Xiyun, et al. Pollution effect of inorganic salt coal gangue poles on groundwater[J]. Environmental Pollution & Control, 2009, 31(9): 49–54(in Chinese with English abstract).
- [30] 孙亚乔, 钱会, 张黎, 等. 银川地区地下水化学特征[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 185–189.
Sun Yaqiao, Qian Hui, Zhang Li, et al. The groundwater chemistry characteristics of Yinchuan region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(3): 185–189(in Chinese with English abstract).
- [31] 章光新, 邓伟, 何岩, 等. 中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 20–28.
Zhang Guangxin, Deng Wei, He Yan, et al. Hydrochemical characteristics and evolution laws of groundwater in Songnen Plain, Northeast China[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 20–28(in Chinese with English abstract).
- [32] 王婷, 陈鹏, 尹玲玲. 矿物饱和指数对矿区地下水水化学场特性的研究[J]. 矿业安全与环保, 2006, 22(6): 24–25.
Wang Ting, Chen Peng, Yin Lingling. Research on hydrochemical field distribution of underground water in mining area with saturation indices[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2006, 22(6): 24–25(in Chinese with English abstract).
- [33] 孙亚乔, 钱会, 段磊. pH值对混合溶液中矿物溶解/沉淀的影响[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(4): 413–416.
Sun Yaqiao, Qian Hui, Duan Lei. Impact of pH on dissolution and precipitation of mineral in mixing solution[J]. Journal of Earth Sciences and Environment. 2009, 31(4): 413–416(in Chinese with English abstract).

Hydrochemical characteristics and correlation analysis of groundwater in Hunchun Basin

GUO Xiao-dong^{1,2}, ZHAO Hai-qing²

(1. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, MLR, Shenyang 110032, Liaoning, China;*
2. *College of Environment and Resource, Jilin University, Changchun 130021, Jilin, China*)

Abstract: In order to identify chemical characteristics of groundwater in Hunchun Basin, the authors collected groundwater samples for test and then used the Aquchm, SPSS and MapGis to analyze the hydrochemical characteristics and correlation of groundwater in Hunchun Basin. The results show that TFe, Mn²⁺ and NO₃⁻ exceed the standards seriously in groundwater of Hunchun Basin, and the groundwater quality of Henan district is on the whole poorer than that of Hebei district. The hydrochemical types of groundwater in Hunchun Basin are dominated by HCO₃-CaMg type, with ClHCO₃, ClSO₄HCO₃, and SO₄.ClHCO₃ types in some areas. The correlation of TDS, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, SO₄²⁻ and NO₃⁻ (credited with N) in groundwater is high. The main process of the groundwater chemical evolution is the leaching effect.

Key words: Hunchun Basin; hydrochemical characteristics; coal gangue; leaching effect

About the first author: GUO Xiao-dong, male, born in 1981, doctor candidate, mainly engages in the study of groundwater environment and risk assessment; E-mail: 287684839@qq.com.