第 11 卷第 5 期
2021 年 10 月

中国无机分析化学
Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry

Vol. 11, No. 5
91～96

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2021.05.016

雄县地下水多组分含量分析及水质评价

贾亮亮　田晓华
(河北省水文工程地质勘查院,石家庄 050021)

摘　要　为了解雄县地区地下水水化学特征及水质现状,选取 43 组地下水,采用仪器分析和容量法相结合的方式对雄县地下水典型的环境项目进行测定,运用数理统计和三元相图分析了雄县地下水的主要离子特征,并运用综合评价法对地下水质量予以评价。结果表明,该类指标的方法检出限为 0.001～1.30 mg/L,相对标准偏差为 0.30%～3.7%,pH 值和偏硅酸空间变异最低($CV<30\%$),Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}和碘化物的空间变异性最高($CV>100\%$),水化学类型主要以 HCO_3-Na 型为主,水质评价结果显示研究区域地下水水质总体状况较好,多为Ⅱ类水和Ⅲ类水。研究成果对了解雄县地下水水质现状具有重要意义。

关键词　仪器分析;容量法;地下水;水质评价

中图分类号:O655.2;O657.31　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:2095-1035(2021)05-0091-06

Multi-component Content Analysis and Water Quality Evaluation of Groundwater in Xiongxian

JIA Liangliang, TIAN Xiaohua
(Institute of Hydrology and Engineering Geological Prospecting Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

Abstract　In order to understand the hydro-chemical characteristics and water quality of groundwater in Xiongxian area, 43 groups of groundwater were selected and determined by the instrument analysis combined with volumetric method. The main ionic characteristics of groundwater in Xiongxian were analyzed, and the quality of groundwater was evaluated by comprehensive evaluation method. The results showed that the detection limit of these monitoring index was 0.001—1.30 mg/L, the relative standard deviation was 0.30%—3.7%, pH and metasilicate acid had the lowest spatial variation ($CV<30\%$), magnesium chloride and iodide had the highest spatial variability ($CV>100\%$), hydro-chemical type was mainly HCO_3-Na, and the results of water quality evaluation showed that the groundwater quality was well in the study area, mostly of those could reach the water quality of class II and III. The results were important for understanding the present situation of groundwater quality in Xiongxian.

Keywords　instrumental analysis; volumetric method; groundwater; water quality assessment

收稿日期:2021-01-24　　**修回日期**:2021-04-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0406504)

作者简介:贾亮亮,男,高级工程师,主要从事分析化学方面的研究工作。E-mail:jialiang0316@163.com

引用格式:贾亮亮,田晓华.雄县地下水多组分含量分析及水质评价[J].中国无机分析化学,2021,11(5):91-96.

JIA Liangliang, TIAN Xiaohua. Multi-component Content Analysis and Water Quality Evaluation of Groundwater in Xiongxian[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(5): 91-96.

前言

地下水作为水资源的重要组成部分，在社会经济发展中发挥了重要作用，保障了粮食安全生产[1]。地下水是河北省主要的供水水源，特别是在河北平原的广大农村、坝上高原等地区，地下水甚至是唯一可利用的水源[2]。地下水化学成分比较复杂，要想快速准确测定出各组分的含量，需要采用容量法和多种仪器分析法的有机结合才能快速准确完成[3-4]。

目前，文献报道较多的是单一方法测定地下水中的化学组分[5-6]，而对多种分析方法有机配套使用，以及通过数理统计分析地下水化学特征一并研究的报道较少。本文结合雄县地理位置，采取 43 组地下水，通过仪器分析和容量分析有机结合的方式，对地下水中多种化学成分进行快速准确测定。按照《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)对水质现状予以评价，研究结果对了解雄县地下水水质现状具有重要意义，同时也为该区地下水资源的合理开发利用和科学管理提供依据[7-8]。

1 实验部分

1.1 样品采集

用聚乙烯瓶作为采样瓶，水样采集前先用蒸馏水清洗 3 次，再用待采集水样润洗 3 次，采样时严格防止气泡进入。根据不同的测试指标，加入相应的保护剂，防止氧化、还原、吸附等物理、化学变化的发生，取样后密封保存，送至实验室检测。样品从取样、保存、送检均按标准严格管理，操作过程按照《生活饮用水标准检验方法 水样的采集与保存》中所规定的方法进行，共取地下水水样 43 组。

1.2 仪器与试剂

Optima 7000 DV 等离子体发射光谱仪(美国 Perkin-Elmer 公司)，IC-6000 离子色谱仪(安徽皖仪科技股份有限公司)，PF6-3 原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)，T6 紫外-可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)，PHS-3C 型酸度计(上海仪电科学仪器股份有限公司)。

钾、钠、钙、镁、砷、硫酸盐、硝酸盐、氯化物、氨标准储备溶液(1 mg/mL)；氟化物、二氧化硅、亚硝酸盐、碘化物标准溶液(100 mg/mL)。

1.3 仪器条件

电感耦合等离子体发射光谱仪：RF 功率 1 350 W，等离子体气流量 13.0 L/min，辅助气流量 0.2 L/min，雾化气流量 0.8 L/min，样品流速 1.5 mL/min。

原子荧光光度计：灯电流 50 mA，负高压 280 V，原子化温度 200 ℃。

离子色谱仪：色谱柱 NJ-SA-4A(4 mm × 250 mm)，淋洗液碳酸钠(1.8 mmol/L)+碳酸氢钠(1.7 mmol/L)，进样体积 50 μL，流速 1.5 mL/min，柱温 30 ℃，抑制电流 40 mA。

1.4 样品测定

钾、钠、镁、钙采用 ICP-OES 测定，砷采用原子荧光光度计测定，硫酸盐和硝酸盐采用离子色谱法测定，氨、亚硝酸盐、氟化物、偏硅酸、碘化物采用紫外分光光度法测定，氯化物、总硬度、总碱度、重碳酸盐采用滴定法，溶解性总固体采用重量分析法。

2 结果与讨论

2.1 样品测定结果

从野外采取的水样按实验方法，对采样点各组样品进行测定，选取有代表性的 8 个样品测定结果列于表 1。

2.2 精密度和准确度实验

对一定浓度水平的有证标准物质进行多次平行测定，以考察方法的精密度和准确度，结果如表 2 所示，测得的均值在允许误差范围内，相对标准偏差为 0.30%～3.7%，表明方法准确度较高，且具有良好的重现性。

表 1　采样点各组分测试结果

Table 1　Test result of each component at sampling point　/(mg·L^{-1})

组分	B0940	B0941	B0954	B0967	B2129	B2493	B2494	B2602
K^+	0.4	0.8	0.3	0.4	1.0	0.5	0.4	0.4
Na^+	84.6	43.3	102.2	105.9	107.8	116.8	109.4	134.4
Ca^{2+}	41.08	25.12	6.78	6.78	15.55	43.86	45.47	3.62
Mg^{2+}	32.9	11.13	1.94	1.45	6.29	44.42	41.98	1.46
NH_4^+	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
HCO_3^-	401.3	212.3	191.3	217	240.3	372	418.6	241.8
Cl^-	25.42	4.30	19.69	17.19	20.41	93.82	90.95	15.04
SO_4^{2-}	56.6	18.5	32.4	26.9	56.0	95.9	49.0	39.2
F^-	0.61	0.13	0.60	0.53	0.10	0.31	1.00	0.54
NO_3^-	<0.40	0.94	1.27	3.59	2.76	6.09	<0.40	5.41
NO_2^-	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.02
碘化物	0.002	0.002	0.008	0.002	0.002	0.024	0.040	0.009
As	<0.001	0.001	0.004	0.002	0.002	0.001	<0.001	0.004
总硬度	238.1	108.6	24.9	22.9	64.7	292.5	286.5	15.1
总碱度	329.1	174.1	176	191.3	197.1	305	343.3	234.6
偏硅酸	22.15	22.56	16.41	15.59	19.34	24.06	22.37	12.41
TDS	459.3	227.7	284.9	291.3	344.9	606.2	564.9	352.3
pH 值	7.67	7.78	8.48	8.40	7.85	7.06	7.52	8.34

表 2　精密度和准确度实验

Table 2　Test of accuracy and precision(n=6)

组分	测定值/(mg·L^{-1})						平均值/(mg·L^{-1})	标准值/(mg·L^{-1})	*RSD*/%
钾	5.0	4.9	4.8	5.1	4.9	4.9	4.9	5.0±0.4	2.1
钠	49.8	50.2	50.0	49.5	50.6	51.0	50.2	50.0±1.8	1.1
钙	19.3	19.7	20.2	20.1	20.6	19.5	19.9	20.0±1.0	2.4
镁	9.9	10.2	9.8	10.0	9.8	10.1	10.0	10.0±0.6	1.6
氨	0.96	0.95	0.93	0.98	0.92	0.98	0.95	0.96±0.09	2.6
重碳酸盐	202.6	203.8	197.7	201.4	198.9	200.1	200.7	200±6.2	1.1
氯化物	103.4	99.9	104.8	102.7	102.0	101.3	102.4	100±4.5	1.7
硫酸盐	25.5	26.0	24.9	25.3	25.8	24.7	25.4	25.0±1.2	2.0
硝酸盐氮	5.10	4.96	4.87	5.16	5.08	4.91	5.01	5.02±0.17	2.3
亚硝酸盐氮	0.067	0.070	0.069	0.066	0.069	0.068	0.068	0.067±0.004	2.2
氟化物	0.42	0.39	0.40	0.41	0.42	0.41	0.41	0.43±0.04	2.9
碘化物	5.01	5.02	5.03	5.04	5.01	5.00	5.02	5.02±0.025	0.30
二氧化硅	98.6	101.0	99.4	101.5	100.8	99.0	100.1	100±2	1.2
砷	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.011	0.010±0.004	3.7

2.3　方法检出限

在仪器的最佳条件下，按照实验方法重复 n($n\geqslant7$)次空白实验，将各测定结果换算为样品中的浓度，计算 n 次平行测定的标准偏差，按公式 $MDL=t_{(n-1,0.99)}\times S$ 计算检出限。分光光度法以扣除空白值后的值与 0.01 吸光度相对应的浓度值作为检出限，滴定法根据所用的滴定管产生的最小液滴的体积来计算。K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、NH_4^+、HCO_3^-、Cl^-、SO_4^{2-}、NO_3^-、NO_2^-、F^-、碘化物、偏硅酸、As 的检出限分别为 0.020、0.005、0.011、0.013、0.04、1.2、1.0、0.75、0.40、0.004、0.10、0.002、1.3、0.001 mg/L。

2.4　水化学特征

地下水的化学成分是地下水与环境长期相互作用的产物，对其进行描述性统计分析是研究其水化学特征的基础，分析结果见表 3。

由表 3 可知：研究区地下水中 pH 值在 7.06～8.50 之间，均值为 7.98，属偏弱碱性水。在各评价指标中，pH 值和偏硅酸含量在空间上变异最低($CV<30\%$)；Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、碘化物的空间变异性最高($CV>100\%$)；其余指标的空间变异中等($CV=30\%\sim100\%$)。

该区地下水中阳离子均值由大到小顺序为 $Na+>Ca^{2+}>Mg^{2+}>K^+$，以 Na^+ 为主；阴离子

均值由大到小依次为 HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > F^-，以 HCO_3^- 为主。通过描述性统计分析地下水的化学成分有助于了解地下水中化学成分富集，变化规律。

表 3 地下水化学组分特征统计

Table 3 Statistics of chemical composition characteristics of groundwater /%

项目	极小值	极大值	平均值	标准差	变异系数 CV
K^+	0.1	1.2	0.54	0.26	47.3
Na^+	38.3	269.4	105.06	56.95	54.2
Ca^{2+}	3.62	80.88	24.55	16.75	68.2
Mg^{2+}	1.45	65.90	16.52	18.11	109.6
HCO_3^-	66.5	563.5	276.91	109.69	39.6
Cl^-	2.51	149.32	36.73	40.56	110.4
SO_4^{2-}	12.6	347.1	62.53	73.59	117.7
F^-	0.10	1.91	0.65	0.47	72.0
碘化物	0.002	0.080	0.019	0.022	119.3
总硬度	15.1	405.1	129.36	113.21	87.5
总碱度	154.0	462.1	236.17	83.02	35.2
偏硅酸	12.41	27.27	20.71	3.10	15.0
TDS	218.4	1147.5	408.10	216.87	53.1
pH 值	7.06	8.50	7.98	0.43	5.3

注：小于检出限的化学组分未统计。

2.5 水化学类型

对水质检测结果进行舒卡列夫分类[9]，区内地下水化学类型共计 8 种，但以 HCO_3-Na 型为主。进一步采用三元相图对研究区内的地下水进行水化学分析，以反映水样的一般化学特征及各种离子的相对含量。在阳离子三角图中(图 1a)，水样点大部分散落在三角形的顶部，只有三个点位的 Ca^{2+}、Mg^{2+} 相对含量较高；在阴离子三角图中(图 1b)，水样点绝大部分散落在三角形的右上部，Cl^- 贫乏。

2.6 水质评价

采用《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)作为评价依据，对地下水质量分类(Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类)赋予值的 12 个化学组分进行水质评价。单指标评价：按指标值所在的限值范围确定地下水质量类别，指标限值相同时，从优不从劣；地下水质量综合评价：按单指标评价结果最差的类别确定，评价结果见表 4。

从表 4 的评价结果可以看出，研究区水质总体状况较好，多为Ⅱ类和Ⅲ类，适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水；少数地区地下水化学组分含量较高，评价结果为Ⅳ类，适用于农业和部分农业用水，但适当处理后仍可做生活饮用水。

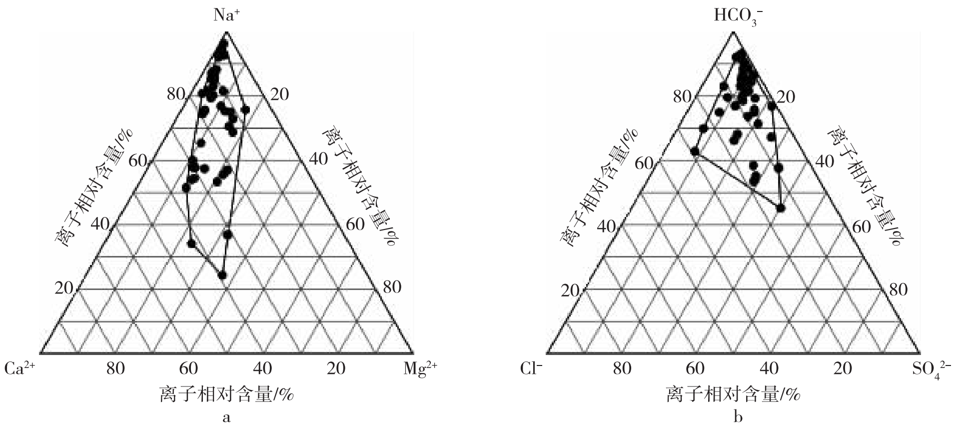

图 1 三元相图

Figure 1 Ternary plot.

表 4　水质评价结果

Table 4　Results of water quality evaluation

野外编号	单指标评价结果												综合评价
	Na^+	NH_4^+	Cl^-	SO_4^{2-}	F^-	NO_3^-	NO_2^-	碘化物	砷	总硬度	TDS	pH 值	
B0932	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B0940	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
B0941	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B0942	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B0949	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B0951	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B0954	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B0962	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B0965	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B0966	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B0967	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B1059	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2029	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B2060	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2061	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2062	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B2063	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B2064	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B2065	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B2066	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B2068	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B2076	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B2077	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2110	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
B2113	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
B2127	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B2129	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2132	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
B2141	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2142	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2492	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅳ
B2493	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2494	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2496	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
B2498	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2499	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2500	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅳ
B2601	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ
B2602	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2603	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ
B2605	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅳ
B2606	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅳ
B2607	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅳ

3　结论

通过野外调查取样，采用仪器分析和容量法相结合的方式，对研究区内的 43 组地下水进行快速准确检测，获得实验结果。综合运用描述性数理统计分析，分析了雄县地下水的主要离子特征，并运用综合评价法对地下水质量予以评价。得到以下结论：

1）该区地下水偏弱碱性，地下水化学类型以 HCO_3-Na 型为主；

2）pH 值和偏硅酸含量在空间上变异最低；Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、碘化物的空间变异性最高；其余化学组分的空间变异中等；

3）水质评价结果表明，该区地下水水质总体情况较好，多为Ⅱ水和Ⅲ类水。少数地区地下水化学

组分含量较高，评价结果为Ⅳ类，适用于农业和部分农业用水，但适当处理后仍可做生活饮用水。

参考文献

[1] 郑育林，刘成，雷声杨，等．我国部分地区高硬度地下水的水质特征及其处理需求分析[J]．中国给水排水，2018，34(18)：12-17.

ZHENG Yulin, LIU Cheng, LEI Shengyang, et al. Water quality characteristics of groundwater with high hardness in China and its treatment requirement[J]. China Water & Wastewater，2018，34(18)：12-17.

[2] 陈望河．河北地下水[M]．北京：地震出版社，1999：172-178.

CHEN Wanghe. Hebei groundwater[M]. Beijing: Seismological Press，1999：172-178.

[3] 贾亮亮．海兴地区地下水中多元素含量的测定[J]．中国无机分析化学，2015，5(3)：51-54.

JIA Liangliang. Determination of multiple elements in water from Haixing zone[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry，2015，5(3)：51-54.

[4] 刘铮铮，杨寅森，王静，等．离子色谱法测定水中常见阴离子和消毒副产物[J]．中国无机分析化学，2018，8(3)：4-7.

LIU Zhengzheng, YANG Yinsen, WANG Jing et al. Determination of common anions and disinfection by-products in water by ion chromatography[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry，2018，8(3)：4-7.

[5] 侯建国，陈文梅．在线自动配标离子色谱法同时测定饮用水中7种阴离子的含量J]．中国无机分析化学，2020，10(1)：54-57.

HOU Jianguo，CHEN Wenmei. Simultaneous determination of 7 kinds of anions by inline automatic calibration with ion chromatography in drinking water[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry，2020，10(1)：54-57.

[6] 周珊．石墨炉原子吸收光谱法测定生活饮用水中砷的方法优化[J]．中国无机分析化学，2019，9(3)：13-16.

ZHOU shan. Optimizedmethod for the determination of arsenic in drinking water by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry，2019，9(3)：13-16.

[7] 冯建国，季德帅，高宗军，等．山东淄博大武水源地地下水水化学特征及水质评价[J]．长江科学院院报，2020，39(7)：18-23.

FENG Jianguo, JI Deshuai, GAO Zongjun, et al. Hydrochemical characteristics and water quality evaluation of groundwater in Zibo Dawu water source, Shandong province[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute. 2020，39(7)：18-23.

[8] 吴庭雯，袁磊，韩双宝，等．安固里淖流域地下水水化学特征与水质评价[J]．环境科学与技术，2020，43(3)：198-205.

WU Tingwen, YUAN Lei, HAN Shuangbao, et al. Hydrochemical characteristics and water quality evaluation of groundwater in Angulinao Basin[J]. Environmental Science & Technology, 2020, 43(3): 198-205.

[9] RAJU N J. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru river basin，Cuddapah District，Andhra Pradesh，South India[J]. Environ. Geol.，2007(52)：1067-1074.