

# 新疆伊犁河谷地下水化学特征及其形成作用\*

邵杰<sup>1,3</sup>, 李瑛<sup>2,3</sup>, 侯光才<sup>2</sup>, 王文科<sup>3</sup>, 曾磊<sup>2,3</sup>

(1. 中国地质调查局国土资源实物地质资料中心, 三河 065201; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054;  
3. 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054)

**提 要:** 在野外水文地质调查工作基础上, 对伊犁河谷潜水进行取样分析测试, 采用 ArcGIS 空间分析功能、piper 三线图、Gibbs 图等方法, 重点对两条典型剖面的地下水化学特征及其成因进行了分析。结果表明: 1) 区域水化学组份阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  为主, 阴离子以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主。水化学类型以  $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}$  以及  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$  型为主, TDS 以  $<1\text{g/L}$  为主, 水质优良。2) "1号剖面" 主要阴、阳离子自北向南呈现同步变化规律, 自北向南水化学类型依次为  $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 。"2号剖面" 由东向西水化学类型依次为  $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 。地下水化学类型与所处地貌单元紧密相关。3) 研究区地下水水化学特征的形成与岩石溶滤作用、蒸发浓缩作用、混合作用等密不可分, 但以岩石溶滤作用为主。人类活动对研究区地下水化学组份产生的影响较小。

**关键词:** 伊犁河谷; 水化学特征; 水化学形成作用; 地下水

中图分类号: P641.1

文献标识码: A

地下水化学组份是地下水与环境长期相互作用的产物<sup>[1-3]</sup>。天然水体在与周围环境长期作用的过程中形成其特有的水化学特征, 在一定程度上记录着水体补给来源、运移等水循环信息<sup>[4-6]</sup>。地下水化学特征的形成受气象、水文、地质、地貌及水文地质条件等因素制约。通过分析区域地下水化学演变特征, 对水资源的合理开发和生态环境保护具有实际意义<sup>[7-8]</sup>。

伊犁河谷地处我国西北边陲, 西与哈萨克斯坦接壤<sup>[9]</sup>。是国家实施的"一带一路"经济战略上的一个重要支点。由于以往在该地区开展的水文地质工作程度有限, 导致对区域地下水化学特征认识程度较低。文中以野外水文地质调查为基础, 结合研究区以往资料, 在研究区域水化学特征基础上, 重点研究了两条典型剖面水化学特征, 分析了水化学的形成作用, 为伊犁河谷地区科学开发利用地下水资源和生态环境保护措施的制定提供科学依据。

## 1 材料与研究方法

### 1.1 研究区概况

伊犁河谷为典型的受河谷控制的山间谷地, 区内第四纪地层相当发育, 包括各个不同时期的多种成因类型的堆积物<sup>[10-12]</sup>。区内水系较为发育, 主要发育四大河流, 分别是巩乃斯河、伊犁河、特克斯河以及喀什河。沿伊犁河和巩乃斯河向 SEE 延伸至东部合拢, 为一断陷谷地, 第四系厚度由东向西增大, 最厚可达近千米, 地层结构多次由单层到多层交替, 岩层颗粒也多次由粗到细变化。除南北山前为单一砂砾石层外, 伊犁河两侧皆为细颗粒的多层结构。根据地下水水位埋藏实测数据可知, 在山前冲洪积扇区, 地下水埋藏较深, 埋藏深度  $>100\text{m}$ , 而在河流冲洪积扇的河谷区两侧, 地下水埋藏较浅, 埋深大多在  $0-15\text{m}$  范围内。地下水总流向是由东向西大体与巩乃斯河及伊犁河的流向相一致。研究区北部及南部的山区是地下

\* 收稿日期: 2016-5-9; 修回日期: 2016-8-16。

基金项目: 中国地质调查项目"新疆伊犁河谷地下水资源及环境问题调查与评价(1212011220972); 新疆伊犁河谷霍城-霍尔果斯口岸水文地质调查(12120115046401)"资助。

作者简介: 邵杰(1989-), 男, 安徽亳州人, 助理工程师, 主要从事水文地质与环境地质方面调查与研究。E-mail: 313439358@qq.com



9mg/L、12.2~35.0mg/L。变化幅度稍大。 $\text{Cl}^-$ 变化范围为7.1~31.9mg/L,  $\text{SO}_4^{2-}$ 变化范围为32.7~172.9mg/L。 $\text{HCO}_3^-$ 变化范围为100.1~299.0mg/L。三种阴离子在不同地貌单元中变化幅度稍大。由北向南水化学类型依次为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型。

表1 "1号剖面"潜水主要水化学指标测试结果

Table 1 The main unconfined water chemical index of "Section 1"

地貌分区	样品编号	$\text{K}^+$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Na}^+$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Cl}^-$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TDS ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	T /°C	pH
Q	D2W12	1.1	33.7	11.7	5.3	8.5	32.7	100.1	206.2	21.1	7.90
	D2W24	1.9	68.1	34.3	17.0	26.9	115.3	207.5	494.6	19.8	8.00
	D2W22	2.5	100.2	25.3	29.2	12.8	124.9	292.9	644.2	25.2	7.80
	G3W04	1.4	48.1	11.4	14.6	7.1	42.3	195.3	346.7	15.5	8.10
	H2W20	3.3	108.2	56.9	19.4	29.8	144.1	299.0	700.5	15.0	7.90
H	H2W19	2.4	80.2	19.7	24.3	14.2	86.5	278.3	538.5	14.5	7.70
	K2W02	3.1	72.1	29.0	38.9	24.8	96.1	329.5	629.5	15.9	7.80
	L3W02	2.2	88.2	57.0	38.9	31.9	172.9	353.9	771.1	14.0	7.70
C	K2W08	2.5	40.1	42.4	26.7	19.9	51.9	268.5	476.1	18.5	7.47
	K2W04	2.2	56.1	25.3	35.0	28.4	99.9	246.5	512.3	14.0	7.80
	CX01W0	1.0	44.1	34.4	12.2	14.2	42.3	207.5	382.6	14.0	7.72

注: Q表示强倾斜砾质平原区, H表示缓倾斜含砾细土平原区, C表示冲洪积细土平原区。

### 2.3 "2号剖面"水化学演化特征

"2号剖面"东起新源县那拉提镇,西至伊犁河出国界处,全长约350km。从东至西贯穿整个研究区,整个剖面分为三段,分别为巩乃斯河上、中段、巩乃斯下段及伊犁河段。巩乃斯河上、中段全长150km,采集潜水样品16组。由于该段地形坡度及水力坡度较大,水动力较强,第四系松散沉积物以卵石、砾石等砾径较大的堆积物为主,含水层结构为单一卵砾石层结构。地下水位埋深在3~65m。巩乃斯河下段全长60km,采集潜水样品8组,随着地形坡度及水力坡度变缓,水动力条件减弱,第四系松散堆积物以含中砂、细砂以及粉细砂的砂卵砾石为主,含水层结构出现了含水层与弱透土层互层的结构。地下水位埋深在4~35m。伊犁河段全长140km,采集潜水样品12组。水化学测试结果(表2)。该段是整个伊犁河谷的下游,地貌类型以冲洪积细土平原为主,沉积物颗粒较细。地下水位埋深在1.7~26m。

据表2知,主要阳离子及阴离子在沿程变化过程中,在巩乃斯河上、中段与巩乃斯河下段的分界点处,该分界点也是特克斯河汇入巩乃斯河的入河口处,出现了一个极小值,如阳离子 $\text{K}^+$ 从2.0mg/L降至1.7mg/L、 $\text{Ca}^{2+}$ 从88.2mg/L降至56.1mg/L、 $\text{Na}^+$ 从13.6mg/L降至9.7mg/L、 $\text{Mg}^{2+}$ 从14.6mg/L降至8.3mg/L;阴离子 $\text{SO}_4^{2-}$ 从84.5mg/L降至42.3mg/L、 $\text{HCO}_3^-$ 从256.3mg/L降至177mg/L;矿化度从501.2mg/L降至320.7mg/L, TDS亦从373mg/L降至232.2mg/L;出现这一异常现象的主要原因是该处为特克斯河的入河口出,特克斯河大量的河水在此汇聚,汇入巩乃斯谷地以后,局部破坏了巩乃斯谷地水化学的规律性。特克斯河冲洪积扇良好的径流条件及河水的大量渗入,使得该地区的地下水得到了大量的补给。从而使得重碳酸型地下水在巩乃斯谷地西部大面积分布。下部大厚度卵砾石含水层地下水径流条件较好,地下水保持了低矿化的特征。

在巩乃斯河下段与伊犁河段分界点处,该分界点也是喀什河、巩乃斯河以及伊犁河三河交汇处。主要阳离子与阴离子出现了极大值。如阳离子 $\text{K}^+$ 从2.2mg/L升至5.8mg/L、 $\text{Ca}^{2+}$ 从80.2mg/L升至104.2mg/L、 $\text{Na}^+$ 从13.7mg/L升至40.1mg/L、 $\text{Mg}^{2+}$ 从12.2mg/L升至43.7mg/L;阴离子 $\text{Cl}^-$ 从12.8mg/L升至51mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$ 从38.4mg/L升至172.9mg/L、 $\text{HCO}_3^-$ 从256.3mg/L升至341.7mg/L;出现这一异常现象的原因,主要是此处为喀什河、巩乃斯河以及伊犁河三河交汇处,由于地下水受到河流的顶托作用,致使地下水流速率减小,径流缓慢,地下水在含水层中滞留时间延长,得以进行充分的水-岩相互作用。导致该地区的地下水水化学浓度普遍升高。阳离子以 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 为主,阴离子以 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主。由东向西水化学类型依次为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 。

## 3 讨论

水化学组分是地下水与周围介质长期作用的结果,其影响因素较多,如溶滤作用、蒸发浓缩作用、混合作用、阳离子交换吸附作用以及地质、地貌、气象水文等等。文中主要讨论地下水的溶滤作用、蒸发浓缩作

用、混合作用以及人类活动的影响<sup>[14]</sup>。

表2 "2号剖面"潜水主要水化学指标测试结果  
Table 2 The main unconfined water chemical index of "Section 2"

分段情况	样品编号	K <sup>+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	TDS (mg·L <sup>-1</sup> )	T /°C	pH
	C3W09	0.8	64.1	12.2	9.7	21.3	42.3	170.9	285.4	15.0	7.06
	XY13W02	0.5	60.1	8.8	9.7	5.7	28.8	207.5	245.6	12.0	7.60
	C3W11	1.6	76.2	22.3	19.4	24.8	67.2	231.9	377.4	14.0	7.30
	C3W15	0.8	73.7	8.0	13.6	7.1	28.8	262.4	294.7	16.0	7.25
	C3W18	1.2	80.2	34.8	29.2	34.0	57.6	317.3	426.2	12.0	7.69
	XY09W09	1.8	166.7	30.8	47.1	56.7	128.7	427.1	763.6	15.2	7.3
巩乃斯河	XY08W10	0.8	64.1	9.0	14.6	7.1	123.1	256.3	260.6	18.9	7.82
上、中段	C3W25	0.8	68.1	10.1	18.0	3.5	13.4	280.7	285.8	14.0	7.59
	C3W29	1.3	56.1	29	53.5	17.7	57.6	414.9	462.0	14.0	7.55
	C3W32-1	1.4	72.1	87.7	38.9	53.2	322.8	177.0	679.8	15.5	7.89
	XY06W03	2.1	44.1	57.1	25.8	39.0	111.4	207.5	402.6	14.4	7.82
	XY05W03	1.2	48.1	93.5	19.4	79.4	140.2	183.1	489.6	13.4	7.84
	C3W31	0.8	38.5	178.0	15.6	141.8	220.9	158.7	692.6	13.0	8.04
	XY03W01	4.1	64.1	292.5	29.2	8.5	432.3	518.7	1166.0	12.8	7.77
	XY02W02	2.0	88.2	13.6	14.6	8.5	84.5	256.3	373.0	16.1	7.62
	GL12W02	1.7	56.1	9.7	8.3	10.6	42.3	177.0	232.2	18.0	7.86
	GL10W12	23.9	104.2	26.7	65.6	49.6	182.5	445.4	701.0	15.0	7.59
	GL09W14	23.3	168.3	100.8	87.5	113.4	557.1	366.1	1256.6	13.2	7.49
巩乃斯河	GL08W01	10.6	104.2	46.7	50.1	35.4	174.8	469.9	676.2	12.6	7.56
下段	GL07W01	60.7	112.2	183.2	34.0	127.6	269.0	524.8	1087.4	16.6	7.57
	GL05W01	2.9	68.1	62.0	41.3	39.0	211.3	256.3	589.0	18.3	7.75
	GL03W01	3.0	72.1	153.4	24.3	42.5	249.8	378.3	771.2	13.8	7.68
	GL02W02	3.9	72.1	108.5	29.2	58.1	230.5	305.1	671.6	16.0	7.55
	GL01W01	2.2	80.2	13.7	12.2	12.8	38.4	256.3	325.8	15.5	7.44
	CX12W30	5.8	104.2	40.1	43.7	51.0	172.9	341.7	632	16.7	7.53
	CX11W31	8.9	112.2	49.1	38.9	48.2	192.1	341.7	659.6	27.0	7.39
	YN01W16	4.3	116.2	33.2	43.7	24.8	192.1	378.3	653.8	12.1	7.41
	CX10W21	7.2	128.3	79.8	53.5	56.7	211.3	462.5	811.2	15.9	7.42
	CX10W20	3.7	112.2	56.3	31.6	36.9	163.3	341.7	599.2	16.5	7.46
伊犁河段	CX09W19	34.7	144.3	88.2	48.6	78.0	236.3	482.1	965.8	15.3	7.45
	CX03W04	7.6	137.9	101.2	67.1	85.1	365.0	414.9	1017.8	15.2	7.55
	CX06W02	3.8	136.3	42.6	29.2	35.4	147.9	463.8	650.6	24.0	7.36
	CX05W02	1.5	76.2	31.3	36.4	35.4	119.1	292.9	474.2	13.7	7.76
	CX04W04	2.9	160.3	155.1	68.0	153.9	455.3	402.7	1231.0	13.7	7.33
	CX02W01	14.2	106.6	221.4	105.5	184.3	547.5	439.3	1426.4	13.1	7.50
	CX01W01	2.8	112.2	88.6	24.3	75.9	207.5	338.1	706.4	15.5	7.68

3.1 溶虑作用

图2是研究区"1号剖面"、"2号剖面"潜水水样主要阴、阳离子浓度与(溶解性总固体)TDS之间关系图。从图中可看出随着TDS的增大,主要阴离子(Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)与主要阳离子(K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>)浓度随之增大。阴离子中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>对TDS贡献较大,Cl<sup>-</sup>对其贡献最小,阳离子中Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>对TDS贡献较大,K<sup>+</sup>对其贡献最小。蒸发岩的主要成分包含SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>及Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>等。并且这些离子与TDS之间具有良好的相关性,所以蒸发岩的溶解是研究区地下水化学组分形成的主要作用之一。

为了更加清晰说明研究区的岩石溶虑作用,绘制了"1号剖面"、"2号剖面"潜水水样Gibbs图,从图3可以看出,"1号剖面"、"2号剖面"潜水大部分水样受到岩石溶虑作用控制,表明岩石溶虑作用是研究区地下水化学主要形成作用之一。

3.2 蒸发浓缩作用

当水分蒸发时,盐分并不减少,且质量浓度相对增大,这种作用为蒸发浓缩作用。蒸发浓缩作用的直接结果是使矿化度增加。蒸发浓缩作用主要发生在近地表的潜水含水层,特别是地形低洼处,地下水排滞

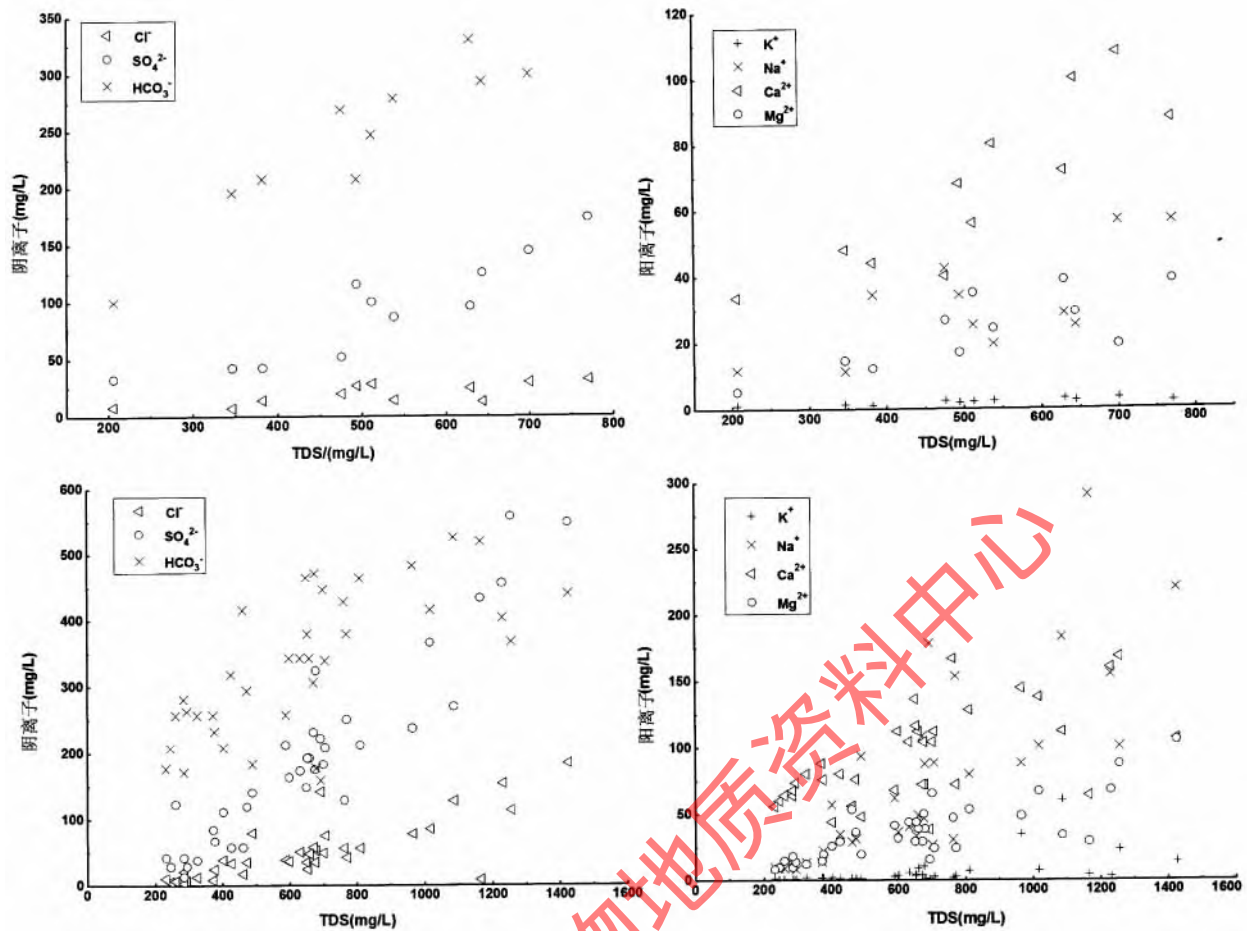


图2 "1号剖面、2号剖面"潜水TDS值与主要离子浓度关系图

Figure 2 Relationships between TDS values and main ions concentrations in unconfined water of "Section 1 and 2"

区。由图3可知,"1号剖面"、"2号剖面"潜水只是在排泄区(地下水埋深变浅)极少水样受到蒸发浓缩作用控制

### 3.3 混合作用

混合作用是指两种不同组分的水汇合在一起,形成化学成分不同的地下水。研究区潜水与承压水存在较为强烈的水力联系,潜水与承压水矿化度都均以 < 1g/L 为主,地下水化学类型均以  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca}$  及  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  为主。混合作用也是研究区地下水化学成分形成主要作用之一。

### 3.4 人类活动影响

人类活动对地下水组分的影响包括两个方面,一是人类活动与生产活动产生的废物污染地下水,二是人类活动改变了地下水的形成条件,使地下水化学成分改变。根据研究区地下水水样分析测试结果来看,研究区地下水水质总体良好,受人类活动干扰较小。

## 4 结论

文中在分析研究区区域水化学特征基础之上,重点研究了典型剖面地下水化学分布特征及其形成作用,主要得到了以下结论:

(1) 区域水化学组分相对较为简单,阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  为主, $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  含量相对较少,阴离子以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主, $\text{Cl}^-$  含量相对较少。区域水化学类型比较简单,大面积(约占 95%) 分布  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$  以及  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型水,局部地区(约占 5%) 出现  $\text{SO}_4 - \text{Ca}$ 、 $\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Ca}$  及  $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型水。TDS 以 < 1g/L 居多,水质优良,符合饮用水标准。

(2) "1号剖面"主要阴、阳离子自北向南呈现出同步的变化规律,阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  为主,阴

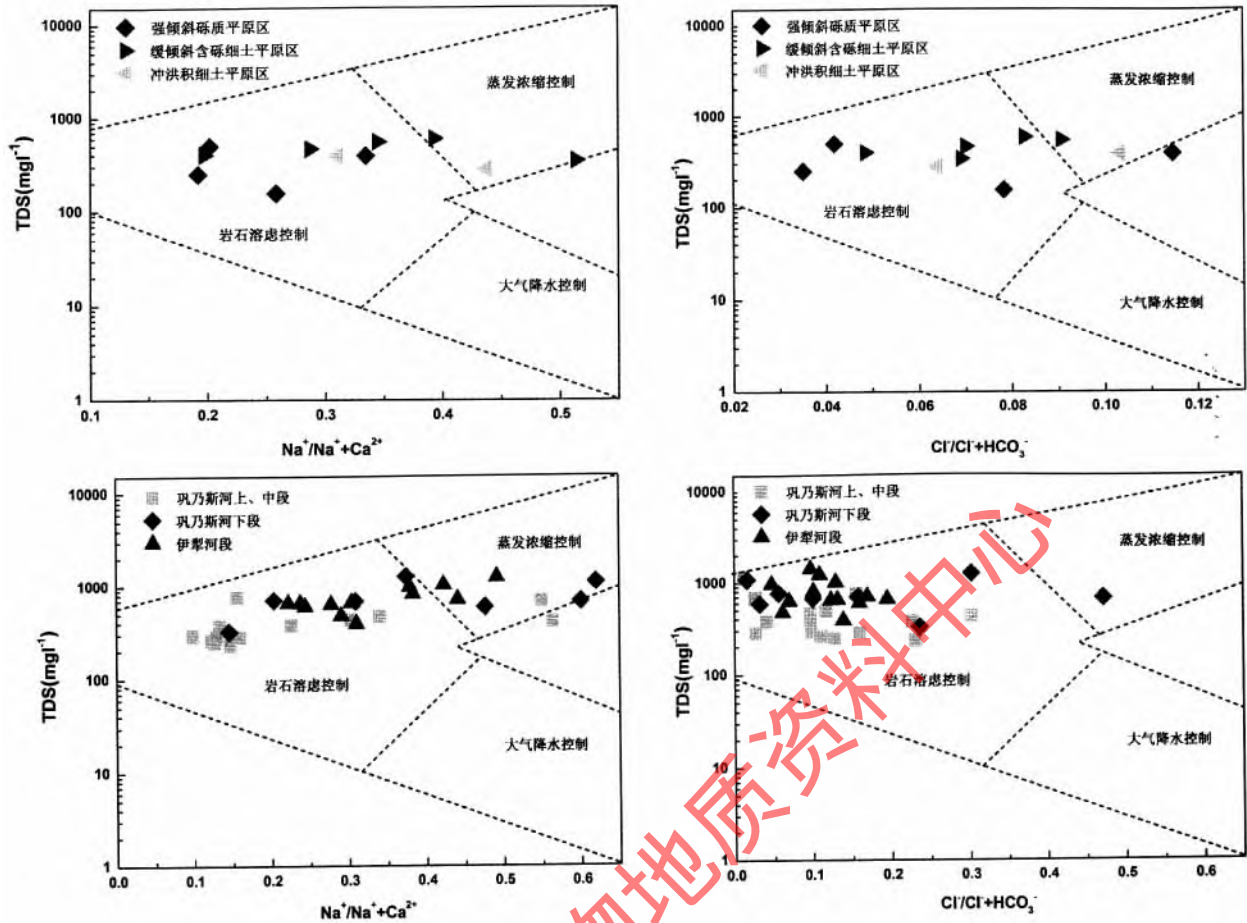


图 3 "1号剖面,2号剖面"潜水 Gibbs 图

Figure 3 Piper diagram of unconfined water

离子以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主。自北向南水化学类型依次为  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$  型。"2号剖面"阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  为主,阴离子以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主。由东向西水化学类型依次为  $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 。地下水化学类型与所处地貌单元紧密相关。

(3) 研究区地下水水化学特征的形成与岩石溶虑作用、蒸发浓缩作用、混合作用等密不可分,但以岩石溶虑作用为主。人类活动对研究区地下水化学组分产生的影响较小。

参考文献

[1] Stallard R F, Edmond J M. Geochemistry of the Amazon 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge[J]. Journal of Geophysical Research, 1981, 86: 9844 - 9858.

[2] Stallard R F, Edmond J M. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load [J]. Journal of Geophysical Research, 1983, 88: 9671 - 9688.

[3] Zhang F, Jin Z D, Hu G, et al. Seasonally chemical weathering and  $\text{CO}_2$  consumption flux of Lake Qinghai river system in the northeastern Tibetan Plateau [J]. Environmental Earth Sciences, 2009, 59: 297 - 313.

[4] 侯光才, 张茂省, 刘方, 等. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 67 - 72.

[5] 张宗枯, 沈照理, 施德鸿, 等. 人类活动影响华北平原地下水环境的演化与发展[J]. 地球学报, 1997, 18(4): 337 - 343.

[6] 王文科, 王雁林, 段磊, 等. 关中盆地地下水环境演化与可再生维持途径[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006: 53 - 65.

[7] 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, 35(5): 53 - 54.

[8] 赖坤荣, 刘秀花, 周维博. 陕西"二华"地区浅层地下水循环特征分析[J]. 人民黄河, 2013, 35(8): 33 - 34.

[9] 徐娇媚, 徐文修, 张富伟, 等. 近 50a 伊犁河谷  $\geq 0^\circ\text{C}$  和  $\geq 10^\circ\text{C}$  期间降水量的时空变化特征分析[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(10): 1806 - 1813.

[10] 伊犁地区水利电力勘测设计院. 新疆伊犁地区地下水资源[R]. 伊犁: 伊犁地区水利电力勘测设计院, 1990.

[11] 计划委员会国土办. 伊犁哈萨克自治州国土资源(上册) [M]. 合肥: 黄山出版社, 1993: 138 - 161.

[12] 邵杰. 新疆伊犁-巩乃斯河谷地下水循环演化规律研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.

[13] 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): 169-170.

[14] 段磊, 王文科, 曹玉清, 等. 天山北麓中段地下水水化学特征及其指示作用[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(9): 29-34.

## Chemical characteristics of groundwater in Yili river valley of Xinjiang

SHAO Jie<sup>1,3</sup>, LI Ying<sup>2,3</sup>, HOU Guangcai<sup>2</sup>, WANG Wenke<sup>3</sup>, ZENG Lei<sup>2,3</sup>

(1. Cores and Samples Center of Land&Resources (CSCLR), China Geological Survey (CGS), Sanhe 065201; 2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey (CGS); Xi'an 710054; 3. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** On the basis of field hydrogeological investigation, unconfined water of the Yili River Valley was sampled and tested, and then the spatial analysis function of ArcGIS, the piper diagram, Gibbs diagram were used to analyze chemical characteristics and causes of unconfined water of two typical sections. Following results were obtained: 1) the regional water chemical components are mainly  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , and  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  as the main anions. Water chemical types are mainly belong to  $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ ,  $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ ,  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}$ , and  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ , TDS mainly is  $<1\text{g/L}$ , water quality is excellent. 2) At "section 1" the main anions and cations from north to south show the same law of change; from the north to the south of the chemical types are  $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ ,  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$  and  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ . At "section 2" water chemistry types from the east to west is followed by  $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ ,  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$  and  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ . The chemical types of groundwater are closely related to the landform unit. 3) The formation of groundwater chemical characteristics in the study area is closely related to the rock dissolution, evaporation and concentrating, and mixing function, and the rock dissolution is the key driver. Human activities have less influence on the chemical composition of groundwater in the study area.

**Key words:** Yili river valley; hydrochemical characteristics; formation of water chemistry; groundwater

国土资源实物世界网