

聊城市东阿岩溶水系统水化学特征研究

李 扬^{1,2}, 康凤新³, 原明考¹, 杨 桢¹, 周波波¹

(1. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 2. 山东大学土建与水利学院, 山东 济南 250061;
3. 山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013)

摘 要:针对地下水水化学环境恶化的现象,分析研究东阿岩溶水系统典型监测点多年水质动态变化资料,并对系统内 2015 年枯水期、丰水期主要水化学指标的分布、变化规律进行了分析对比,结果表明:多年来 TDS 位于 400~700 mg/L 之间,总硬度变化不显著,降雨补给是导致离子含量变化的重要因素;2015 年东阿岩溶水系统内水质类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型为主,枯丰水期离子运移规律大致相同,部分监测点存在污染问题,离子含量因污染现象发生明显改变;丰水期 TDS 含量高于枯水期 TDS 含量,排泄区 TDS 浓度偏高,对居民饮水安全造成一定影响。

关键词:岩溶水;离子运移规律;溶解性总固体;水化学环境

中图分类号:P641.134

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)03-0063-07

地下水作为重要的水资源之一,是多数城市 and 地区的主要供水水源,与人类生活和社会生产紧密相关^[1-2]。聊城市位于山东省西部,是一个严重缺水的地区,作为“江北水城”,该市工业及生活用水主要靠开采地下水,而东阿岩溶水系统下马头水源地承担着为该市以及周边县区供水的重任。然而,随着工业化、城镇化进程的不断推进,岩溶地下水水质污染不断加剧,地下水水质安全形势不容乐观^[3]。岩溶地下水也一直是研究的热点,国内外许多学者做了相关的研究,例如 C. Federico 等^[4]对意大利西北部岩溶地下水进行了研究,发现含水层垂向上的各向异性导致了不同温度、盐度和不同水化学成分的水样之间发生循环流动;Antonio J. 等^[5]在研究西班牙 Beti 山脉地热系统时,采用 Piper 三线图标出水化学类型,并对去白云石化作用进行了模拟;Linda Daniele 等^[6]在对西班牙东南部加塔角地区海岸带附近的水文地球化学作用进行研究时,采用 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 和 Br^-/Cl^- 比值对水样进行了分析,并进行了咸淡水混合作用的模拟;国内学者例如王宇^[7]应用系统分析方法对西南岩溶地区对各级系统进行了

分类,论述了各类型的水文地质特征,提出了各类型的地下水勘查评价要点;王桃良等^[8]通过对阳泉市供水水源地娘子关泉域岩溶水系统的水化学测定,采用物理混合方法评价河流渗漏途径对娘子关泉水水质的污染影响程度;赵春红等^[9]以北京西山黑龙关泉域岩溶水系统为研究对象,确定了黑龙关泉域岩溶水系统的边界与水文地质性质;曹金亮等^[10]通过对天桥泉域岩溶水系统水动态和降雨量资料、万家寨水库水位与岸边岩溶水水位动态关系以及岩溶水化学成分进行研究分析,确定了研究区岩溶地下水的流动方向和强径流带的分布位置;姜光辉等^[11]发现岩溶水中电导率曲线和水化学曲线的变化有助于分析解决水文地质中的关键问题。本文以东阿岩溶水系统为研究区域,从时间与空间角度探求岩溶水水化学特征变化特征,以期水资源管理提供技术支持。

1 概况

研究区位于聊城市东部,跨度 3 个县,分别为聊城市东阿县、泰安东平县和济南市平阴县。东南部为

收稿日期:2016-07-01

基金项目:山东省地矿局地质勘查科研项目“岩溶地下水水质演化机制及趋势预测研究”(KY201515);山东省博士后创新项目专项资金“基于¹⁵N 技术的岩溶地下水硝酸盐演化机理研究”(201502020)

作者简介:李扬(1986-),男,山东莒南人,博士后,高级工程师,主要从事地下水资源与环境研究。E-mail:Liyanbfu@163.com

从图 2 中可以看出,研究区内下马头监测点 TDS 浓度在 2009 年为 647.46 mg/L,从 2010 年至 2013 年一直位于 500 mg/L 以下,2014 年出现上升趋势。总硬度位于 300~400 mg/L 之间,5 年内变化不大;在阳离子方面, K^+Na^+ 离子呈现波浪式降低的趋势, Ca^{2+} 离子基本呈现先减后增的趋势,一般在 90 mg/L 上下浮动, Mg^{2+} 离子浓度位于 20~70 mg/L 之间,呈现波浪式浮动,波动性较大;在阴离子方面, HCO_3^- 占主导地位,浓度位于 270~450 mg/L 之间, SO_4^{2-} 位于 66.32~153.7 mg/L 之间,呈现一定的波动性, Cl^- 离子位于 35~80 mg/L 之间,变化规律与 TDS 基本一致, NO_3^- 离子时间分布不均匀,2010 年其浓度范围在 0.5~0.7 mg/L 之间,2014 年浓度两期监测数据均小于 4 mg/L,其他监测时间段其浓度均高于 10 mg/L,2011 年浓度高达 29.31 mg/L。

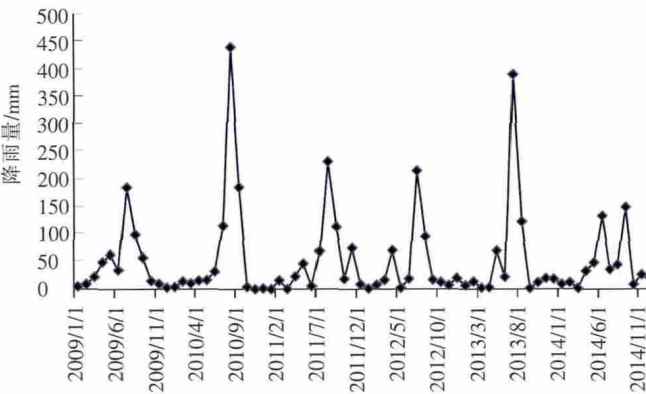


图 3 东阿县降雨量分布图
Fig.3 The rainfall distribution in the Dong-e county

东阿岩溶地下水近年来总硬度、TDS 和各离子浓度呈现波动性变化,而且与年际降水有密切关系,2010 年与 2013 年降雨量较大(见图 3),而岩溶水中主要阴阳离子 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的浓度都较高(见图 2)。原因在于岩溶地下水中各离子处于未饱和的状态,降水量较大的年份,补给增强,水分中 CO_2 促进了溶滤作用的进行,各离子含量呈现增加趋势,另外,离子浓度变化也受人为干扰影响,如 NO_3^- 离子浓度含量受农业氮肥、污水灌溉等影响,年际分布极为不均匀。

4 空间尺度水化学特征

东阿岩溶水系统地下水的整体流向为西南到东北。为了了解东阿岩溶地下水物理性质、水化学特征,沿水系统由南至北走向布设了 2 条岩溶地下水水质监测断面,2 条监测断面分别位于黄河北侧与黄河南侧,见图 4,在监测断面上沿地下水流向布设监测点,共计 15 个,并于 2015 年 6 月(枯水期)和 2015 年 10 月(丰

水期)分别进行了两次水样采集,并进行水质指标的分析测定。

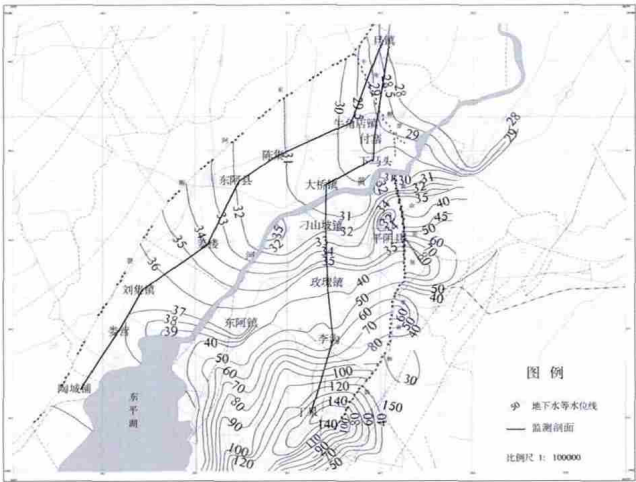


图 4 东阿岩溶水系统监测剖面图
Fig.4 The monitoring sectional view of the Dong-e karst water system

4.1 水化学类型特征

从表 1 可以看出,东阿岩溶水系统内黄河北岸监测断面各监测点枯丰水期水化学类型变化不大,径流区的牛角店监测点由以 HCO_3^- 型为主导的水化学类型变为以 SO_4^{2-} 为主导的水化学类型,其他监测点水化学类型基本不变。

表1 黄河北岸枯丰水期水化学类型表

Table1 The chemical types of the water inthe north shore of the Yellow River during flood period

流域	监测点	代号	水化学类型	
			枯水期	丰水期
补给区	陶城铺	TCP	$SO_4 \cdot Cl-Na \cdot Mg$	$SO_4 \cdot Cl-Na \cdot Mg$
	姜营	LY	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$
	刘集	LJ	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$
径流区	姜楼	JL	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$
	陈集	CJ	$HCO_3-Ca \cdot Mg$	$HCO_3-Ca \cdot Mg$
	东阿	DE	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$	$HCO_3-Ca \cdot Mg$
排泄区	牛角店	NJD	$HCO_3-Na \cdot Ca \cdot Mg$	$HCO_3 \cdot SO_4-Ca \cdot Mg$
	旦镇	DZ	$HCO_3 \cdot SO_4-Na \cdot Mg$	$HCO_3 \cdot SO_4-Na \cdot Mg$

从表 2 中可以看出,东阿岩溶水系统内黄河南岸监测断面各监测点枯丰水期水化学类型有一定变化,补给区丁泉监测点由 $HCO_3 \cdot SO_4-Ca$ 型变为 $HCO_3-Ca \cdot Mg$ 型,径流区中李沟监测点由 $HCO_3-Ca \cdot Mg$ 型变为 HCO_3-Ca 型,大桥镇监测点由 $Cl-Na \cdot Ca \cdot Mg$ 型变为 $HCO_3 \cdot SO_4 \cdot Cl-Na \cdot Ca \cdot Mg$ 型,排泄区的下马头监测点由 HCO_3-Ca 型变为 $HCO_3-Ca \cdot Mg$ 型,付寨监测点 $HCO_3-Ca \cdot Mg$ 型变为 $HCO_3 \cdot SO_4-Ca \cdot Mg$ 型。

表2 黄河南岸枯丰水期水化学类型表

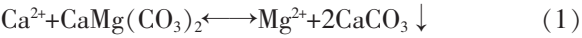
Table2 The chemical types of water in the south shore of the Yellow River during high flow and low flow periods

流域	监测点	代号	水化学类型	
			枯水期	丰水期
补给区	丁泉	DQ	HCO ₃ ·SO ₄ -Ca	HCO ₃ -Ca·Mg
	李沟	LGX	HCO ₃ -Ca·Mg	HCO ₃ -Ca
径流区	玫瑰镇	MGZ	HCO ₃ ·SO ₄ -Ca·Mg	HCO ₃ ·SO ₄ -Ca
	刁山坡	DSP	HCO ₃ ·Cl-Ca·Mg	HCO ₃ ·Cl-Ca·Mg
	大桥镇	DQZ	Cl-Na·Ca·Mg	HCO ₃ ·SO ₄ ·Cl-Na·Ca·Mg
	下马头	XMT	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca·Mg
排泄区	付寨	FZ	HCO ₃ -Ca·Mg	HCO ₃ ·SO ₄ -Ca·Mg
	旦镇	DZ	HCO ₃ ·SO ₄ -Na·Mg	HCO ₃ ·SO ₄ -Na·Mg

4.2 离子运移特征

图 5 显示黄河北岸监测断面沿地下水流向各离子运移特征,HCO₃⁻枯水期毫克当量百分比在 5.57%~38.72%之间, 丰水期毫克当量百分比在 5.07%~41.39%之间,各监测点丰水期毫克当量百分比略高于枯水期, 枯水期从补给区到排泄区呈现先增后减的趋势。SO₄²⁻枯水期毫克当量百分比位于 4.01%~22.3%之间,显现从补给区到径流区递减趋势,丰水期毫克当量百分比位于 5.07%~22.42%之间, 运移规律在前段与枯水期大致相同。Cl⁻毫克当量百分比枯丰水期运移规律大致相同。Na⁺+K⁺离子毫克当量百分比在补给区枯丰水期有一定的变化, 在径流区 2 个时期规律大致相同,在排泄区 Na⁺+K⁺离子毫克当量百分比均有明显上升。Ca²⁺毫克当量百分比在枯水期位于 2.52%~29.31%

之间,丰水期位于 7.47%~27.28%之间,从补给区到排泄区离子运移规律大致相同,均成“M”型波动。Mg²⁺毫克当量百分比在 2 个时期均呈现不规则型波动,与部分地区脱白云化作用相关(见式 1)。



可以看出随着反应的进行,水中 Mg²⁺含量不断增加,Ca²⁺则因方解石进一步沉淀在水中相对减少,由于东阿岩溶水系统主要含水层为碳酸盐岩溶含水层,地下水系统内岩溶发育良好, 地层中石膏含量较大,石膏在地下水流动冲蚀作用下发生溶解作用,使得水中 Ca²⁺含量较多,当 Ca²⁺含量增大到一定程度后与白云岩发生了脱白云化作用^[12-13]。

枯水期补给区陶城铺监测点水化学类型为 Cl·SO₄-Na·Mg 型, 以 Na 和 SO₄²⁻为主, 其中阴离子以 SO₄²⁻为主,Cl⁻离子次之,阳离子以 Na⁺为主,通常地下水中 SO₄²⁻主要来自于含石膏或者其他硫酸盐的沉积岩的溶解,而根据调查,陶城铺监测点存在烧砖厂,化石燃料的大量燃烧产生了大量的 SO₂, 而且本补给区为开放系统,SO₂ 与水分作用形成硫酸进入降水,然后补给进入岩溶水系统,致使 SO₄²⁻含量增加,另外,陶城铺监测点 Cl⁻离子也呈现较高的含量,Cl⁻离子是地下水中最稳定的离子,通常其含量随之 TDS 增大而不断增加,因此 Cl⁻离子经常用来说明地下水化学演变的历程,地下水中 Cl⁻离子主要有以下几种来源:(1)沉积岩中岩盐或者其他氯化物溶解;(2) 岩浆岩中含氯矿物的风化溶解;(3)海水补给地下水;(4)火山喷发物的溶滤;(5)人为污染:生活污水以及粪便中含有大量

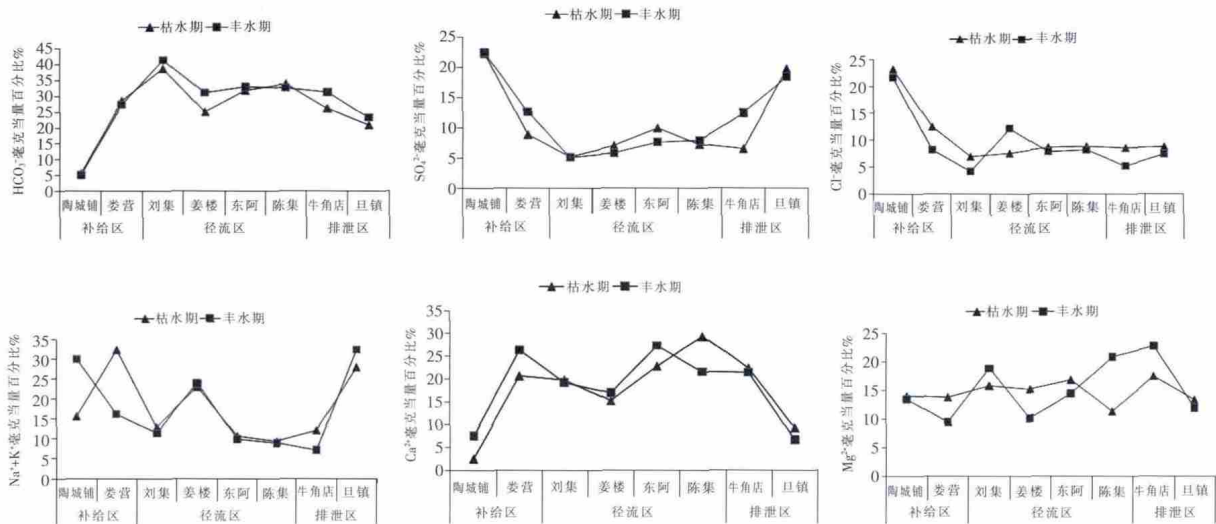


图 5 黄河北岸离子运移规律

Fig.5 The Ion behavior in the north shore of the Yellow River

的 Cl^- [14-15]。根据调查,陶城铺监测点附近有养鸡场,而通过取样分析,陶城铺监测点岩溶地下水 NO_3^- 含量为 18.74 mg/L , $\delta^{15}\text{N}$ 含量为 11.3‰ ,符合动物粪便 $\delta^{15}\text{N}$ 值 $7\text{‰}\sim 25\text{‰}$ 的区间范围 [17-18],因此禽类粪便可能是该监测点 Cl^- 离子超标的主要原因,丰水期陶城铺监测点水化学类型为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型,与禽类粪便有密切关系,补给区的姜营监测点受人为干扰很小,主要为岩溶水系统内的溶滤反应,即方解石、文石和白云石溶滤产生 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- , SO_4^{2-} 与 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 离子含量明显下降,阳离子中由 Na^+ 的含量占优势演化为 Ca^{2+} 的含量占优势,而阴离子由 SO_4^{2-} 的含量占优势演化为 HCO_3^- 的含量占主导地位。径流区基本为 HCO_3-Ca 型地下水,水动力良好,排泄区岩溶地下水类型为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型,阳离子以 Mg^{2+} 离子为主, SO_4^{2-} 离子含量增加,与脱白云化作用有关。

黄河南岸监测断面 HCO_3^- 枯水期毫克当量百分比在 $12.99\%\sim 39.25\%$ 之间(图略),丰水期毫克当量百分比在 $16.42\%\sim 40.73\%$ 之间,除付寨之外,其余监测点丰水期毫克当量百分比略高于枯水期。 SO_4^{2-} 枯水期毫克当量百分比位于 $5.06\%\sim 19.71\%$ 之间,丰水期毫克当量百分比位于 $2.30\%\sim 18.34\%$ 之间。 Cl^- 毫克当量百分比除刁山坡和大桥镇两个监测点之外,其余监测点在枯丰水期的毫克当量百分比均位于 10% 以下。 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 离子毫克当量百分比在大桥镇和旦镇出现高值。 Ca^{2+} 毫克当量百分比枯丰水期运移规律基本一致,从补给区到排泄区离子运移呈降低趋势,大多数监测点丰水期毫克当量百分比略高于枯水期。 Mg^{2+} 毫克当量百分比在2个时期均呈现从补给区到排泄区降低的趋势。

东阿岩溶水系统黄河南岸地下水补给区和径流区基本以 HCO_3-Ca 型为主,大桥镇监测点地下水类型为

$\text{Cl}\cdot\text{Na}-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,离子运移在大桥镇出现异值点,监测点阳离子以 Na^+ 离子为主,阴离子以 Cl^- 离子为主,因为取样时此监测点机井为废弃机井,取水层为静止死水,存在一定的污染情况。

东阿岩溶水系统接受的大气降水入渗补给主要发生在黄河南裸露区,在径流区由于覆盖层厚度较大(一般在 $30\sim 300 \text{ m}$)且底部普遍分布一层厚度 $16\sim 36 \text{ m}$ 的粘土作为隔水层,使得这一地区岩溶含水层不直接接受大气降水入渗补给,但是在位于黄河两侧的大桥镇和刁山坡监测点靠近黄河河道,这些地段灰岩含水层裂隙岩溶较为发育,岩溶水水位、水质与黄河水关系密切,受黄河水质影响在黄河南岸离子运移过程中,在大桥镇和刁山坡监测点会出现异常点,曲线发生一定波动。

4.3 枯丰水期 TDS 变化特征

从图6中可以看出,黄河北岸监测断面TDS在枯、丰水期从补给区到径流区的运移规律大致相同,基本呈现先减后增的趋势,汛期过后,岩溶地下水溶解性总固体指标基本呈现上升趋势,其中刘集监测点溶解性总固体变化最大,从 582.21 mg/L 增加至 689.92 mg/L ,涨幅为 18.09% ,陈集监测点溶解性总固体变化最小,由 424.93 mg/L 增加至 435.53 mg/L ,涨幅为 2.49% 。

黄河南岸监测断面TDS在枯、丰水期从补给区到径流区的运移规律也大致相同,丰水期岩溶地下水溶解性总固体指标基本呈现上升趋势,在南岸的8个监测点中,玫瑰镇监测点溶解性总固体变化最大,从 445.69 mg/L 增加至 537.48 mg/L ,涨幅为 20.60% ,下马头监测点溶解性总固体变化最小,由 455.64 mg/L 增加至 460.23 mg/L ,涨幅为 1.01% 。

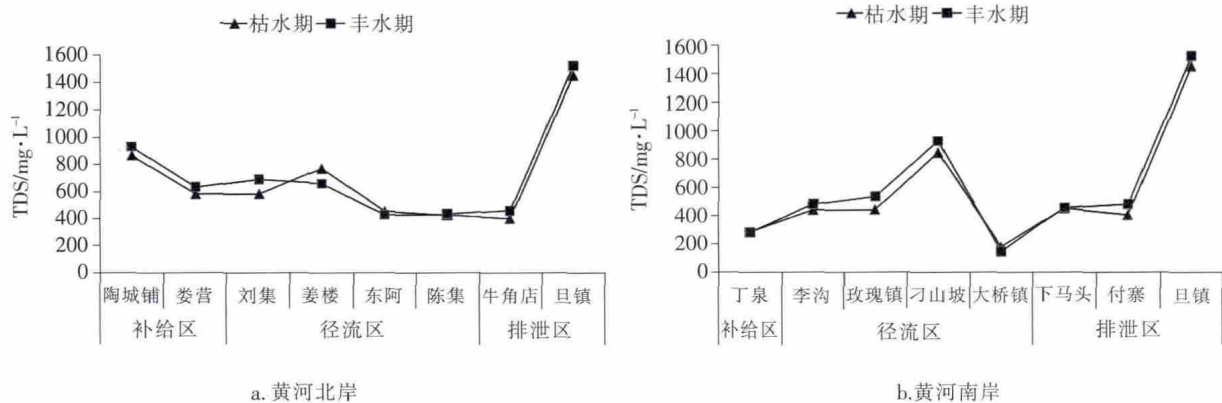


图6 东阿岩溶水系统地下水TDS特征图

Fig.6 The TDS characteristics of the groundwater in the Dong-e karst water system

一般情况下,随着溶解性总固体变化,地下水主要离子成分也随之变化,低 TDS 水中,常以 HCO_3^- 及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主;高 TDS 水,以 Cl^- 及 Na^+ 为主;中等 TDS 的地下水中,阴离子常以 SO_4^{2-} 为主,主要阳离子则可以认为 Na^+ ,也可以为 Ca^{2+} [19-20]。

北岸监测断面补给区陶城铺监测点在枯丰水期水化学类型分别为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型,以 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主,TDS 达到 865.43 mg/L,为中等 TDS 水,因存在污染问题,导致该监测点出现高 TDS 的现象,地下水补给区茭营监测点 TDS 为 582.21 mg/L,TDS 减小;在径流区水力条件良好,TDS 呈现降低趋势,为低 TDS 水;排泄区地下水流动滞缓,水力条件较差,水循环交替慢,旦镇监测点 TDS 接近 1 500 mg/L,表现为高矿化度,高 TDS 水。

黄河南岸监测断面以 HCO_3-Ca 型为主,补给区 TDS 较低,为典型 HCO_3-Ca 型水,沿着地下水流的方向由南向北各种组分含量整体呈现增大的趋势,排泄区各种组分含量大于补给区。

汛期过后,丰水期岩溶地下水 TDS 较枯水期而言出现明显增加趋势,原因主要有以下 3 点:(1)东阿岩溶地下水水系统主要含水层以石灰岩为主,个别地段白云岩较发育,汛期过后地表水补给地下水,水中的 CO_2 促进了溶滤作用的进行,产生 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- ,硬石膏和石膏也在水流作用下发生溶解产生 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} ,地下水中离子含量增加;(2)部分地区(如下马头、牛角店)出现“脱白云(石)化作用”,即 Ca^{2+} 与白云石发生反应,产生 Mg^{2+} 和碳酸钙沉淀,水中 Mg^{2+} 含量不断增加,对 TDS 增加也有一定影响 [21-22];(3)汛期地表径流中携带可溶性物质补给进入岩溶水系统,也会对地下水溶解性总固体增加有一定的影响。

5 结语

(1)东阿岩溶水系统岩溶地下水 TDS 浓度位于 400~700 mg/L 之间,总硬度常年小于 500 mg/L,多年离子含量变化与降雨量和人为干扰有一定关系。

(2)东阿岩溶水系统岩溶地下水以 HCO_3-Ca 型或 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 为主,枯丰水期水化学类型基本一致,枯丰水期离子运移规律大致相同,部分监测点如陶城铺、大桥镇因污染现象导致水化学类型的改变, Cl^- 离子等含量超标以及高 TDS 浓度,需要有效地解决存在的污染问题。

(3)丰水期 TDS 含量明显高于枯水期 TDS 含量,

与岩溶水系统内水化学反应和外源可溶性物质补给具有一定关系,排泄区地下水流动滞缓,水动力条件较差,TDS 浓度过高,高浓度 TDS 地下水不宜于居民饮用,需要引起一定的重视。

参考文献:

- [1] 徐玉裕,范华,项剑飞,等.杭州市主城区浅层地下水水质现状[J].环境监测管理与技术,2010,22(3):38-42.(XU Yuyu, FAN Hua, XIANG Jianfei, et al. Present situation of shallow ground water quality in urban area of Hangzhou [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2010, 22(3): 38-42. (in Chinese))
- [2] Navarro A, Carbonell M. Evaluation of groundwater contamination beneath an urban environment: the Besòs River basin (Barcelona, Spain) [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(2): 259-269.
- [3] 郭永丽,姜光辉,郭芳,等.地下水污染预警研究进展[J].水文,2015,35(6):12-18+36.(GUO Yongli, JIANG Guanghui, GUO Fang, et al. Research overview of early warning of groundwater pollution [J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(6): 12-18+36. (in Chinese))
- [4] C. Federico, L. Pizzino, D. Cinti, et al. Inverse and forward modeling of groundwater circulation in a seismically active area (Monferrato, Piedmont, NW Italy): insights into stress-induced variations in water chemistry [J]. Chemical Geology, 2008, 248: 14-39.
- [5] Antonio J. Prado-Perez, Luis Perez del Villar. Dedolomitization as an analogue process for assessing the long-term behaviour of a CO_2 deep geological storage: the Alicun de las Torres thermal system (Betic Cordillera, Spain) [J]. Chemical Geology, 2011, 289: 98-113.
- [6] Linda Daniele, Angela Vallejos, Fernando Sola, et al. Hydrogeochemical processes in the vicinity of a desalination plant (Cabo de Gata, SE Spain) [J]. Desalination, 2011, 277: 338-347.
- [7] 王宇.西南岩溶地区岩溶水系统分类、特征及勘查评价要点[J].中国岩溶,2002,21(2):114-119.(WANG Yu. Classification features of Karst water system and key point for the evaluation to karst water exploration in southwest China Karst area [J]. Carsologica Sinica, 2002, 21(2): 114-119. (in Chinese))
- [8] 王桃良,赵春红,梁永平,等.地表水渗漏对娘子关岩溶泉水水质的影响[J].水文,2015,35(5):41-45.(WANG Taoliang, ZHAO Chunhong, LIANG Yongping, et al. Influence of surface water seepage on water quality in Niangziguan spring area [J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(5): 41-45. (in Chinese))
- [9] 赵春红,李强,梁永平,等.北京西山黑龙关泉域岩溶水系统边界与水文地质性质[J].地球科学进展,2014,29(3):412-419.(ZHAO Chunhong, LI Qiang, LIANG Yongping, et al. Karst water system boundaries and hydrogeological properties of Heilongguan springshed in Xishan region, Beijing [J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(3): 412-419. (in Chinese))
- [10] 曹金亮,韩颖,袁新华,等.天桥泉域岩溶水系统水力场、水化学场特征分析[J].中国岩溶,2002,21(2):114-119.(CAO Jinliang, HAN Ying, YUAN Xinhua, et al. Analysis on the characteristics of hydrochemical field and hydrochemical field of Karst ground-

- water system in Tianqiao spring basin[J]. *Carsologica Sinica*, 2005, 24(4): 312–317. (in Chinese))
- [11] 姜光辉, 郭芳, 于爽. 岩溶水系统的水化学曲线及其在水文地质研究中的应用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2015, 45(3): 899–907. (JIANG Guanghui, GUO Fang, YU Shi. Chemographs of karst water system and its new application in hydrogeological survey[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science)*, 2015, 45(3): 899–907. (in Chinese))
- [12] 徐慧珍, 段秀铭, 高赞东. 济南泉域排泄区岩溶地下水水化学特征[J]. *水文地质工程地质*, 2007, 34(3): 15–19. (XU Huizhen, DUAN Xiuming, GAO Zandong, et al. Hydrochemical study of karst groundwater in the Jinan spring catchment[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2007, 34(3): 15–19. (in Chinese))
- [13] 李旭东, 曹玉清, 胡宽荣. 水文地质单元内水化学类型形成某些机制问题的探讨—以新安泉域趵突泉区为例[J]. *地球科学*, 2000, 25(2): 205–208. (LI Xudong, CAO Yuqing, HU Kuanrong. Some mechanisms for hydrochemical reaction model within hydrogeology unit: an example of Lu'an mine, Xin'an springs[J]. *Earth Science*, 2000, 25(2): 205–208. (in Chinese))
- [14] 宋晓焱, 尹国勋, 谭利敏, 等. 污水灌溉对地下水污染的机理研究[J]. *安全与环境学报*, 2006, 6(1): 136–138. (SONG Xiaoyan, YIN Guoxun, TAN Limin, et al. Study on mechanism of groundwater pollution study due to applying condition sewage water for irrigation[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2006, 6(1): 136–138. (in Chinese))
- [15] 王玉强. 上海市域地下水环境氯离子含量的时空演化特征研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 46(6): 892–897. (WANG Yuqiang. Study on the temporal and spatial evolution characteristics of chloride ion content in the groundwater environment of Shanghai city[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2015, 46(6): 892–897. (in Chinese))
- [16] 汪铁山, 周蒙, 陈伯恒. 黄石市区地下水化学组分增高和污染源因分析[J]. *资源环境与工程*, 2014, 28(2): 181–183. (WANG Tieshan, ZHOU Meng, CHEN Boheng. Analysis on increasing chemical components content of groundwater Huangshi city[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2014, 28(2): 181–183. (in Chinese))
- [17] Spalding, R. E., U, Z. K., Hyun, S. W., et al. Source identification of nitrate on Cheju island, South Korea[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 61: 237–246.
- [18] Choi, W. J., Han, C. H., Lee, S. M., et al. Impact of land-use types on nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in unconfined groundwater in rural areas of Korea[J]. *Agric Ecosyst. Environ*, 2007, 120(2–4): 259–268.
- [19] 王利书, 唐泽军. 石羊河流域地下水循环的同位素和地球化学演化特征[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(6): 1748–1755. (WANG Lishu, TANG Zhejun. Isotopic and geochemical evolution characteristics of groundwater circulation in the Shiyang River basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(6): 1748–1755. (in Chinese))
- [20] 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]. *环境科学学报*, 2009, 23(1): 9–14. (CHEN Li, ZHANG Fawang, CHENG Yanpei, et al. Hydrogeo-chemical characteristics and evolution laws of groundwater in Haiyuan Basin Ningxia[J]. *Geoscience*, 2009, 23(1): 9–14. (in Chinese))
- [21] 赵庆令, 李清彩, 卜华, 等. 鲁中南典型岩溶区岩溶水水化学特征及成因分析——以双村岩溶水系统为例[J]. *水文*, 2015, 35(2): 70–76. (ZHAO Qingling, LI Qingcai, BU Hua, et al. Hydrochemical characteristics and cause analysis of karst water in middle and south Shandong Ppovince: case of Shuangcui karst water system[J]. *Journal of China Hydrology*, 2015, 35(2): 70–76. (in Chinese))
- [22] 徐军祥, 邢立亭. 济南泉域地下水环境演化与保护[J]. *水文地质工程地质*, 2004, (6): 69–73. (XU Junxiang, XING Liting, TONG Guangyu, et al. Groundwater environment evolution and its conservation in Jinan spring catchment[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2004, (6): 69–73. (in Chinese))

Research on Hydrochemical Characteristics of Dong'e Karst Water System in Liao Cheng City

LI Yang^{1,2}, KANG Fengxin³, YUAN Mingkao¹, YANG Zhen¹, ZHOU Bobo¹

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Jinnan 250013, China;

2. Shandong University, School of Civil Engineering, Jinnan 250061, China;

3. Shandong Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan 250013, China)

Abstract: In view of the groundwater quality deterioration, this paper analyzed the data of annual water quality changes at the representative monitoring sites of the Dong-e karst water system, and made contrastive analysis of the water chemistry indicators distribution between in dry season and wet season. The results show that TDS is between 400mg/L and 700 mg/L, change oif total hardness is not obvious, and rainfall recharge is the main factor of leading to the changes of ion content. In 2015, the main type of water is $\text{HCO}_3\text{--Ca}$ in the Dong'e karst water system, the ions movement rule is basically same in dry season and wet season, and there is water pollution at some monitoring sites, which lead to the change of ion content. TDS concentration in wet season is higher than that in dry season, and TDS concentration in discharge areas, which impacates on the safety of drinking water.

Key words: Karst water; ions movement rule; TDS; hydrochemical characteristics environment