

冀东平原滨海地区浅层地下水水化学与同位素特征分析

刘宏伟¹, 杨君¹, 杜东¹, 柳富田¹, 孙晓明²

(1.中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

2.中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定 071051)

摘要:通过对2010年在冀东平原采集的34组水化学同位素样品进行分析,探讨了地下水 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 与 Cl^- 的关系,研究了氡氧同位素特征,为该区海(咸)水入侵研究提供了基础数据。研究表明:区内浅层地下水化学类型主要分为三类,沿南北方向具有一定的规律性;山前地段地下水受到的主要影响作用为溶滤作用和离子交换吸附作用,滨海地段地下水主要为混合作用和蒸发浓缩作用影响,过渡地段地下水主要为蒸发浓缩作用影响;滨海地段地下水样品受海水混入影响明显,是海(咸)水入侵的潜在危险区。

关键词:水化学;氡氧同位素;浅层地下水;冀东平原

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2014)02-0108-07

冀东平原滨海地区工程建设活动强烈,地下水开采活动频繁,存在海(咸)水入侵、土壤盐渍化、地下水位下降、地面沉降等诸多水土环境问题^[1]。为此,开展地下水化学和同位素特征分析,以及水土质量评价等工作对保护该区地下水生态环境具有重要意义。不少学者在此做了很多研究性工作,雷静^[2]选择地下水开采量、地下水埋深等指标评价了该区地下水的脆弱程度,王丹^[3]利用模糊数学法对沿海地区海水入侵地下水进行了评价,张伟敬^[4]探讨了该区地下水化学特征并分析了主要影响因素,田建平^[5]对滨海平原区浅层地下水水质进行了评价,这些成果为前期地下水的合理开发利用提供了重要依据。然而,随着地下水的持续开采,其水质和循环特征等也发生了相应变化。笔者借鉴前人的经验^[6-10]通过分析近期从研究区采集的地下水样品,研究主要离子和氡氧同位素特征,揭示现状条件下的地下水水化学形成作用,识别海(咸)水入侵的潜在危险区,以期为该区水土生态环境的保护提供参考。

1 研究区概况

研究区位于渤海湾北岸、冀东平原南部(图1),

包括部分山前倾斜平原和滨海冲积海积平原。山前地带地面高程5~35 m,由北向南、西南缓倾斜,地形坡度0.7‰~2.0‰;滨海地带高程多低于4 m,地势低平。属暖温带半湿润滨海大陆性季风气候,多年平均气温11.4℃,年降水量600~700 mm,70%~80%集中在7~9月,区内蒸发作用较强,多年平均蒸发量1400~1920 mm。

地下水按埋藏条件分为浅层地下水系统和深层地下水系统。其中浅层地下水主要受大气降水补给,其次为地表水体入渗和地下水的侧向径流补给,排泄方式主要为潜水蒸发、越流排泄及人工开采。根据沉积物岩性及水文地质特征,本区第四系含水层系自上而下又可分为四个含水层组^[11],浅层地下水系统与第一、第二含水层组相对应。第一含水层组底界面埋深40~60 m,岩性以粉砂、细砂为主,透水性好,属单、双层含水结构。第二含水层组底界面埋深120~170 m,山前地区岩性由中细砂-中粗砂-砾石、卵石或含砾粗砂组成,透水性及富水性较强;滨海地区以薄层细砂、粉砂为主,含水层间多见粘土,透水性及富水性较弱,补给与径流条件较差。

收稿日期:2014-01-14

资助项目:中国地质大调查项目:莱州湾地质环境调查评价(12120113003800);曹妃甸环境地质调查评价(1212011120086);国土资源部公益性行业科研专项经费课题(201011019-02)

作者简介:刘宏伟(1982-),男,硕士,工程师,主要研究方向为水文地质、地下水同位素与水化学研究,E-mail: liuheny022@163.com。

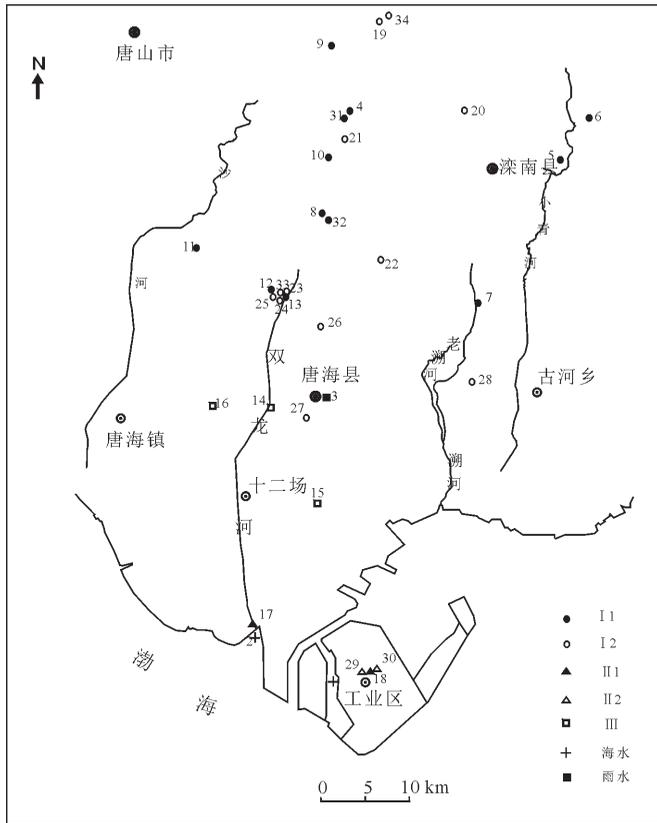


图1 研究区位置及样点分布图

Fig.1 Samples and location of the study area

2 样品采集与测试

在2010年沿地下水流向采取浅层地下水样31组、海水样2组、雨水样1组(图1),所有样品直接从井口采集,采集前抽出井筒3倍以上的水量,样品分别密封于1000 ml和100 ml 聚乙烯瓶中。水质简分析测试由天津地质矿产测试中心完成,环境同位素氘(²H)、氧(¹⁸O)测试由核工业地质分析测试研究中心和中科院地质与地球物理研究所完成,测试结果见表1。

3 测试数据分析

3.1 样品水化学类型分组

Piper 三线图显示浅层地下水样品的水化学类型可以分为3组(图2)。结合样品点所处的地理位置及含水层特征分析, I 组包含第一含水层组山前地段样品以及第二含水层组山前地段和山前-滨海过渡地段样品, II 组包含滨海地段第一、第二含水层组样品, III 组为第一含水层组山前-滨海过渡地段

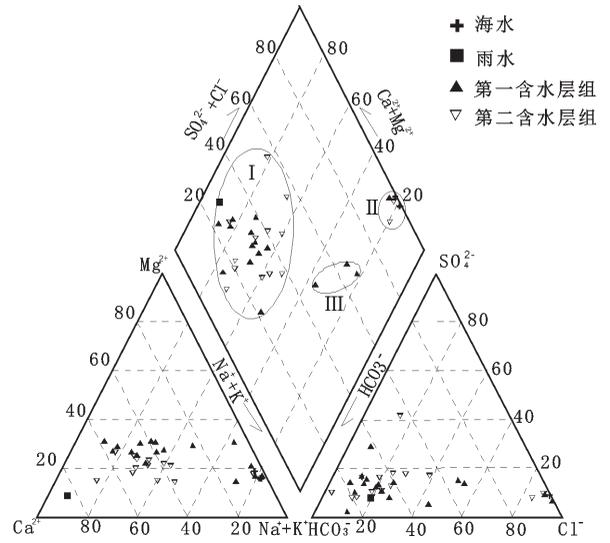


图2 样品Piper三线图

Fig.2 Piper figure of the samples

样品。

I 组: 该组为淡水, 样点 TDS < 1 g/L, Cl⁻ < 0.07 g/L, 阴离子以 HCO₃⁻ 为主, 阳离子以 Ca²⁺、Mg²⁺ 或 Ca²⁺、Na⁺ 为主。样品分布在唐海县城北约 10 km 以北区域的第一含水层组 (I 1 组), 以及唐海县城南约 10-15 km 以北区域的第二含水层组 (I 2 组)。

II 组: 该组为咸水^[13], 样品 TDS > 10 g/L, Cl⁻ > 7 g/L, 水化学类型为 Cl⁻-Na⁺ 型。样品分布在唐海县城南约 15 ~ 20 km 岛区的第一 (II 1 组)、第二含水层组 (II 2 组)。

III 组: 该组为微咸水^[13], 样品 2.5 g/L < TDS < 3.5 g/L, 0.7 g/L < Cl⁻ < 1.1 g/L, 阴离子以 Cl⁻、HCO₃²⁻ 为主, 阳离子以 Na⁺ 或 Na⁺、Mg²⁺ 为主。分布于唐海县城南约 10 ~ 15 km 至县城之间的第一含水层组。

3.1 I 组样点

在 HCO₃⁻-Cl 图中(图3), 样点均偏离海水稀释线^[7,14] 较远; Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 样点也都高于海水稀释线, 其中 Ca²⁺ 偏离较 Mg²⁺、SO₄²⁻ 的小; Na⁺ 和 K⁺ 基本位于或临近海水线上。离子的向上偏离主要是地下水溶解了土壤中的 CO₂ 并与地层中方解石、白云石、石膏、钾长石等^[12] 矿物发生溶滤作用所致。图2中是以海水稀释线作为对比线, 因此不同离子与稀释线的间距主要受海水本身离子比值影响^[7]。六组关系图中仅有 K⁺ 在稀释线两侧轻微波动, 可能是因该项离子海水的比值小且在地下水中的含量低造成的。沿海地区单纯的大气降水可视为海水的强烈稀释^[15], 雨水点相

对降水线的偏离可能是溶解部分污染物或蒸发盐的原因^[7]。离子关系图说明该区样点为大气降水起源,在入渗地下和径流过程中融入CO₂并溶解了岩石矿物。

在 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图上(图4),该区样点都分布在大气降水线右前方且靠近雨水点,也说明样品来源于大气降水,且在补给过程中经受蒸发作用影响。

在piper三线图上(图2),样点远离海水点,紧靠雨水点,分布范围较为集中,说明该区样点具有大气降水特征,无海水混合迹象。

研究区海水的 $\gamma Mg^{2+}/\gamma Ca^{2+}$ 值^[17]以样点C1为基准,能很好的区别海水混合的程度及范围(图5)。该区的 $\gamma Mg^{2+}/\gamma Ca^{2+}$ 值除点C1达到1.28外,其余样点均小于1,可见海水混合甚微。

表1 样品测试结果

Table 1 Results of samples measurement testing

样品 编号	井深 (m)	TDS	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	$\delta^{18}O$	δ^2H
		mg/l								‰	
C1	海水	31179.1	532.5	9375.0	428.8	1210.1	17154.3	2305.4	170.8	-0.22	-5.47
C2	海水	34978.4	296.4	11229.0	379.6	1161.0	19320.2	2423.0	167.8	-2.20	-9.80
C3	雨水	38.0	0.6	0.5	8.0	0.5	3.5	1.9	22.0	-10.09	-75.24
C4	-27	310.2	0.3	20.3	37.1	12.2	17.7	3.8	201.4	-7.90	-60.80
C5	-30	521.3	2.1	26.4	76.2	24.3	28.4	50.0	292.8	-8.22	-66.26
C6	-30	641.5	3.4	32.2	100.2	29.2	40.8	62.4	361.2	-6.94	-56.01
C7	-40	739.3	9.5	68.1	91.4	26.7	47.9	62.4	423.4	-6.68	-52.83
C8	-40	512.2	0.7	40.1	60.6	25.4	63.8	47.9	259.3	-7.10	-60.20
C9	-40	350.2	1.3	10.6	49.7	16.4	12.4	31.0	213.6	-8.10	-61.30
C10	-50	392.9	0.6	33.2	52.1	16.5	46.8	24.0	213.5	-7.87	-62.78
C11	-60	700.5	0.9	100.0	43.3	33.3	39.0	43.2	439.3	-8.95	-70.94
C12	-60	504.1	2.1	56.6	66.9	32.0	68.8	61.5	415.8	-6.80	-59.20
C13	-60	358.8	1.9	42.8	47.7	23.1	66.9	25.8	283.5	-9.13	-65.30
C14	-10	3414.1	25.3	667.6	56.0	176.9	771.0	129.4	1549.9	-8.00	-56.60
C15	-10	2564.2	86.2	587.3	104.2	70.0	806.0	322.1	920.0	-9.35	-68.30
C16	-30	3130.8	107.9	823.8	49.4	104.9	1067.5	377.8	1086.2	-2.82	-31.70
C17	-10	121284.7	1186.0	37310.0	1002.0	4244.0	69925.1	7120.0	491.2	-2.60	-22.00
C18	-50	23569.7	116.4	6753.0	360.8	973.2	12850.6	1756.0	753.6	-6.00	-40.00
C19	-70	580.9	0.7	31.6	87.9	25.2	42.5	160.4	216.6	-8.20	-59.70
C20	-80	323.9	0.4	16.4	60.1	7.8	17.7	32.7	185.5	-7.85	-62.52
C21	-90	366.3	0.6	30.8	48.1	14.1	20.9	17.3	229.4	-8.05	-64.96
C22	-100	364.6	0.6	29.0	48.1	14.6	24.5	17.3	229.4	-8.08	-64.22
C23	-70	624.1	1.0	66.0	76.2	24.3	73.0	72.0	308.7	-8.35	-66.54
C24	-75	906.5	0.9	98.0	114.3	32.4	182.6	106.5	357.0	-7.40	-59.10
C25	-80	593.4	0.5	74.2	54.7	19.1	63.8	40.1	326.5	-6.80	-66.80
C26	-130	415.2	0.5	35.8	55.3	12.6	6.0	24.0	280.6	-9.32	-73.71
C27	-150	519.2	1.2	78.0	55.3	12.2	62.7	42.3	266.0	-9.34	-74.54
C28	-160	447.6	0.6	58.0	56.1	10.9	39.0	25.9	244.0	-9.72	-78.04
C29	-72	13887.0	61.7	4166.0	173.6	426.9	7045.7	837.0	1165.5	-8.20	-58.20
C30	-100	25130.7	110.4	7521.0	423.8	878.9	13648.2	1924.0	616.3	-5.90	-36.00
C31	-30	321.3	0.4	31.5	31.6	13.3	30.1	26.2	170.9	-7.80	-60.60
C32	-40	481.2	0.5	53.1	46.4	21.2	19.5	87.7	238.0	-8.30	-59.60
C33	-70	836.9	0.8	103.2	87.0	29.5	120.5	96.3	384.4	-7.60	-58.50
C34	-130	328.8	0.7	27.9	44.4	9.1	28.4	32.5	167.8	-7.90	-60.60

注:常规离子测试由天津地质矿产测试中心完成,同位素测试由核工业北京地质研究院完成

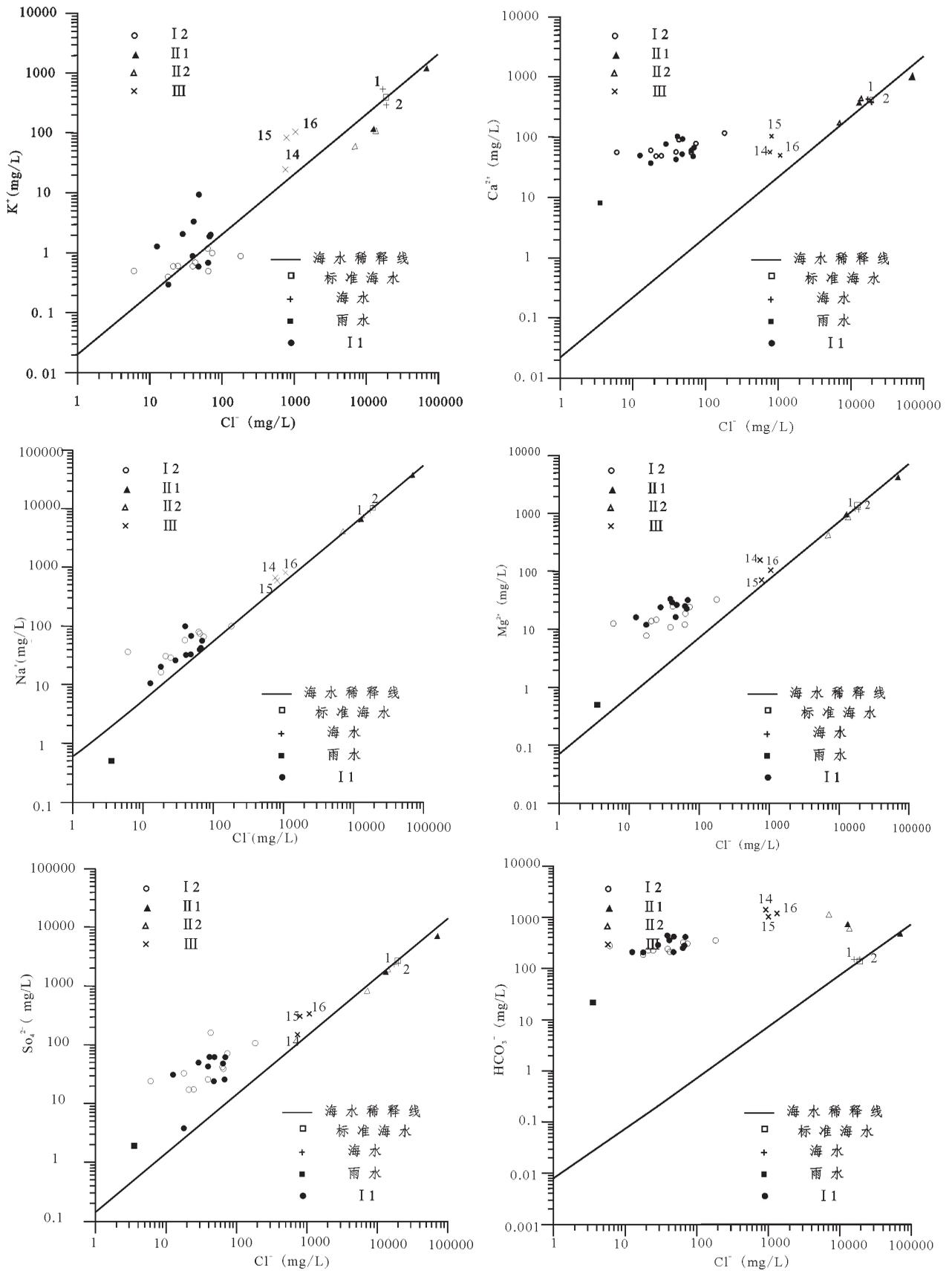


图3 主要离子与Cl⁻关系图

Fig.3 Relationship figure between main ions and chloride ion

以上四个方面可以说明该区样点为大气降水来源,经受蒸发效应入渗补给地下,水化学作用以溶滤作用和离子交换吸附为主。

3.2 II组样点

图2中Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻样点很好的落于海水稀释线上,且靠近海水样点,说明海水混入比例较大。HCO₃⁻的偏离也是因为CO₂的溶解,K⁺离子的轻微波动同样是因其含量低以及海水比值小造成。

δD-δ¹⁸O图上(图4),该区中样点C29落于大气降水域。其他样点位于淡水点和海水点之间,证明样点的水分子是由海水和大气降水混合组成。C17点经历较为明显的蒸发效应。

Piper 三线图上(图2),该区样点紧靠海水点,显示与海水点相同的特征,说明海水混入比例很大。

图5显示,该区中点C30的γMg²⁺/γCa²⁺值最小也达到3.45,其余样点值均超过4.09,显示受海水影响明显。

以上四个方面可以说明该区样点为海水和淡水的混合,且海水混入比例较大,水化学作用以混合作用和蒸发浓缩作用为主。

3.3 III组样点

从图2中K⁺、Na⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻与Cl⁻关系可以看出,该组样点虽然较少但分布相对集中,且很靠近海水稀释线。CO₂的溶解导致HCO₃⁻的偏离,Ca²⁺的偏离程度较I区样点明显减小,说明其溶解矿物的能力已

渐趋稳定。随着样点与海距离的逐渐缩短,海水成分的混入逐渐掩盖了淡水中原有浓度明显高的成分。

δD-δ¹⁸O图上(图4),该组中样点C14、C15表现出与I区样点相同的特征。样点C16位于淡水点和海水点之间,且更靠近海水,表现出海水与淡水混合的特征。

三线图上(图2),该区样点位于淡水点和海水点之间,显示海水混入迹象。该区处于I、II两区连线偏下的位置,说明受到了水化学作用过程的影响。

图5中,C14样点γMg²⁺/γCa²⁺值达到5.26,点C16的γMg²⁺/γCa²⁺达到3.54,均指示受海水混入影响;而点C15在此表现为淡水特征。

图6中该区和II区样点的TDS-Cl⁻线性关系很好(R²=0.99),这显示Cl⁻越来越能反映出TDS的特征,说明随着样点与海的距离逐渐接近,海水的混合作用越来越明显。与之相反,淡水I区样点TDS与Cl⁻比值变化较大,这反映出溶滤作用是淡水区矿化度的主要影响因素。

图7也显示该组以及II区样点Na⁺+K⁺与Cl⁻有很强线性关系(R²=0.99),说明其Na⁺+K⁺的来源主要是海水。而淡水I区的Na⁺+K⁺主要来源于雨水及上游的地下水的侧向补给,所以线性关系相对较差。

综上所述,该区样点水化学同位素特征显示地下水主要受蒸发浓缩作用影响,其次受到混合(海

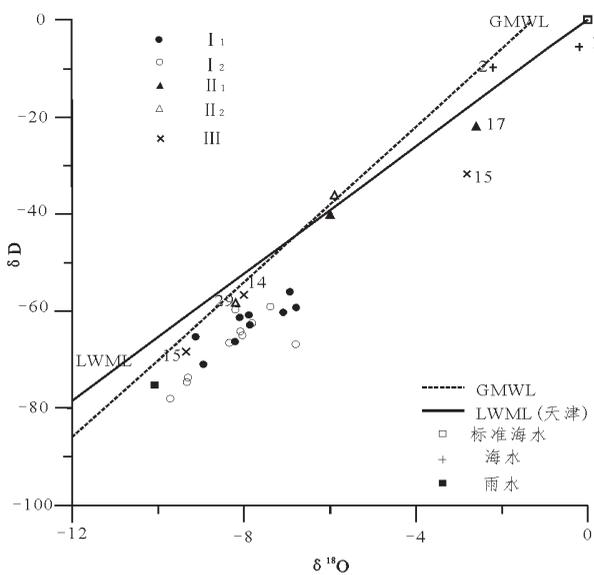


图4 δD-δ¹⁸O关系图^[16]
Fig.4 Relation of δD and δ¹⁸O

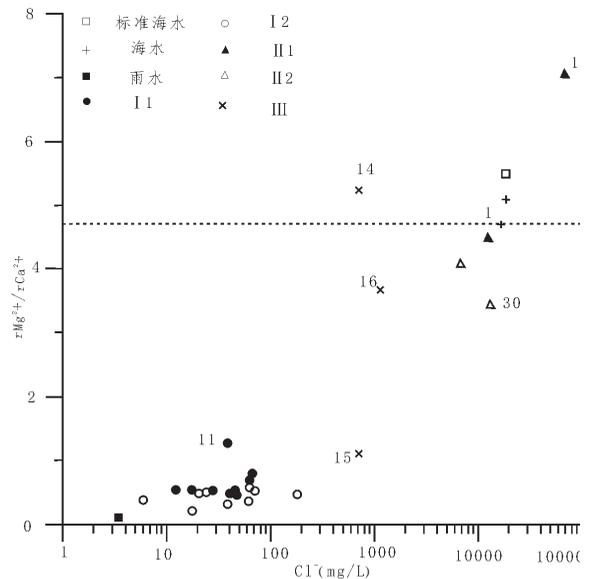


图5 γMg²⁺/γCa²⁺与Cl⁻关系图
Fig.5 Relation of γMg²⁺/γCa²⁺ and Cl⁻

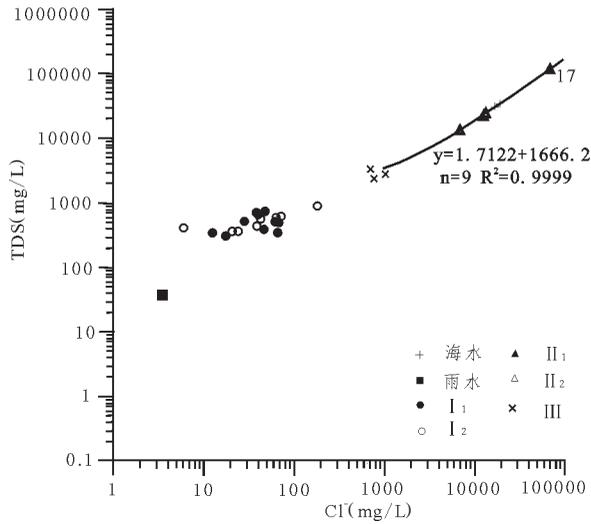


图6 TDS-Cl关系图
Fig.6 Relation of TDS and Cl

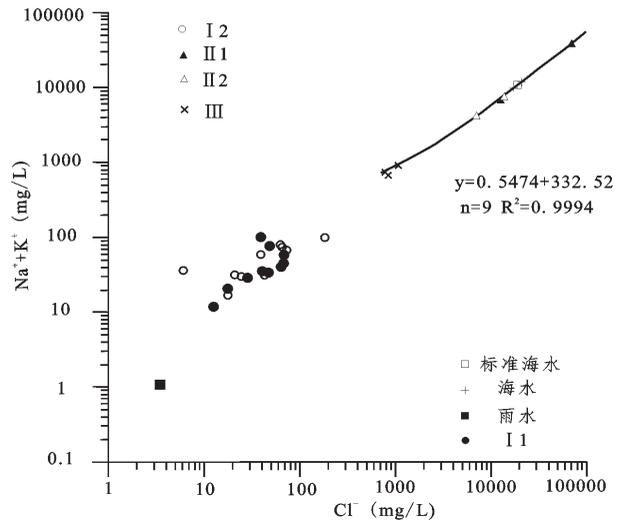


图7 Na+K-Cl关系图
Fig.7 Relation of Na⁺+K⁺ and Cl

水、咸水)作用和离子交换作用等影响。

4 讨论

野外采取地下水样品时,受实际条件的限制导致唐海县城南至岛区之间样品点较少,造成该地段地下水化学特征揭示不够全面,建议后续研究进一步补充样点。

研究区地下水从山前到滨海径流过程中经历溶滤作用、蒸发浓缩作用、混合作用以及阳离子交替吸附作用等复杂过程形成现有的水化学成分,因此后续海(咸)水入侵研究时不能简单的以淡水和海(咸)水作为两个端元计算混合比例。

5 结论

(1)自北部山前至滨海,浅层地下水(I区、III区、II区)化学类型分布呈现出一定的规律性,即由 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} (\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Na}^+) \rightarrow \text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ (\text{Na}^+ \cdot \text{Mg}^{2+}) \rightarrow \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ 过渡。

(2)相对而言,山前地段地下水受溶滤作用和离子交换吸附作用影响明显,滨海地段地下水受混合作用和蒸发浓缩作用影响明显,过渡地段地下水受蒸发浓缩作用影响明显。

(3)从地下水样品中海水混入比例来看,滨海地段是海(咸)水入侵灾害发生的潜在危险区。

参考文献:

[1]孙晓明,吴登定,徐建国,等.环渤海地区地下水资源与环

境地质若干问题探讨[J].地质调查与研究.2006,29(1):47-56.

[2]雷静,张思聪.唐山市平原区地下水脆弱性评价研究[J].环境科学学报.2003,23(1):94-99.
[3]王丹,陶志刚,李昌存,等.唐山沿海海水入侵地下水水质评价[J].海洋地质动态.2006,22(6):10-14.
[4]张伟敬,孙晓明,柳富田,等.曹妃甸地区地下水水化学特征及影响因素的R型因子分析[J].安全与环境工程.2010,17(1):1-5.
[5]田建平,张国辉.唐山市平原区浅层地下水水质评价[J].海河水利,2011,4:24-25.
[6]Edmunds,W.M.,Groundwater as an archive of climatic and environmental change.In Aggarwal,P.K., Gat,J.R.,Froehlich,K.F.O.,Eds.,Isotopes in the water cycle:past,present and future of a developing science.IEA, Netherland[J].2005a,341-352.
[7]杨巧凤,李文鹏,王瑞久.深圳沿海带浅层地下水的稳定同位素与地球化学[J].水文地质工程地质,2010,37(5):26-32.
[8] Avner Vengosh, Arie Ben-Zvi. Formation of a salt plume in the Coastal Plain aquifer of Israel: the Be'er Toviyya region[J]. Journal of Hydrology,1994,160:21-52.
[9] Eleonora Carol, Eduardo Kruse, Josep Mas-Pla. Hydrochemical and isotopical evidence of ground water salinization processes on the coastal plain of Samboromb ó n Bay, Argentina[J]. Journal of Hydrology, 2009,365:335-345.
[10] M.A. Schiavo, S. Hauser, P.P. Povinec. Stable isotopes of water as a tool to study groundwater-seawater interactions in coastal south-eastern Sicily[J]. Journal of Hydrology, 2009,364:40-49.
[11]河北省地矿局水文工程地质勘察院,曹妃甸地区应急后备水源地质勘察报告(送审稿)[R],2009.12.

- [12] 柳富田,方成,秦雅飞,等.曹妃甸地区地下水水化学形成作用分析[J].地质调查与研究,2011,34(3):220-227.
- [13] Davis S.N. and R.J.M. De Wiest.Hydrogeology[M].John Wiley and Sons Inc. New York-London-Sydney.1966.
- [14] Yamanaka M, Kumagai Y. Sulfur isotope constraint on the provenance of salinity in a confined aquifer system of the southwestern Nobi Plain, central Japan [J]. Journal of Hydrology , 2006,325:35-55.
- [15] Appelo C A J, Postma D. Geochemistry, groundwater and pollution[M].1993:22-24.
- [16] 陈宗宇,齐继祥,张兆吉.北方典型盆地同位素水文地质学方法应用[M].科学出版社.2010.
- [17] 沈照理、朱宛华等.水文地球化学基础[M].地质出版社, 1999.

Hydrochemical and Isotopic Characteristics Analysis of the Shallow Groundwater in Jidong Coastal Area

LIU Hong-wei¹, YANG Jun¹, DU Dong¹, LIU Fu-tian¹, SUN Xiao-ming²

(Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin, 300170, China;

Hydrogeology and Environmental Geology Center of CGS, Baoding, Hebei, 071051, China)

Abstract: The hydrochemical and isotopic data of the groundwater are analyzed based on 34 samples taken from coastal area, Jidong plain in 2010. The relationships among K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- and Cl^- are discussed. Meanwhile, the relationship between D and O^{18} was analyzed, which provided the data base for sea (salty) water intrusion research. The results show that there are three kinds of hydrochemical types for shallow groundwater which have a regular distribution along SN direction. The characteristics of groundwater are mainly affected by leaching and evaporation in piedmont zone, by mixing and evaporation in coastal zone, and by evaporation in the transitional zone. Samples are affected by seawater mixing in coastal area, which indicates a potential dangerous zone for saltwater intrusion.

Key words: hydrochemistry; deuterium; oxygen isotope; shallow groundwater; Jidong plain