

分布不同,形成不同的入侵区——海水入侵区、海水及地下咸水混合入侵区和地下咸水入侵区^[4]。按照区域划分标准昌邑的闫安、楼子观测井位于地下咸水入侵区,莱州的孙家、朱家观测井位于海水入侵区。

对楼子、闫安、孙家、朱家四个观察井地下水位和7种主要离子(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻)浓度每隔15 d进行为期1 a的观测。

3.1 水位变化

图2、图3中包含4个观测井水位随时间的变化曲线,从图中可以看出地下水位总的变化趋势:从2月中旬至6月中旬,水位大部分处于持续下降时期,下降幅度最大超过2 m;6月中旬之后,地下水位开始上升。地下水位的变化主要受两个因素的影响,这就是降雨与灌溉。3月~6月为春灌时期,这一时期降雨量少,只占全年的13.5%。因此2月中旬至6月中旬水位降低过程系抽水灌溉造成的。6月份往往又是地下水位下降的最低点,因为这个时期为春灌的最盛时期。6月份之后水位开始上升主要是受降水的影响。莱州湾地区全年降水量主要集中在汛期的6~9月份,约占全年降水量的74%左右。其中6月中旬至7月中旬为地下水位快速回升时期,这一时期春灌基本结束,降雨量大,地下水补给增加。8月初水位有小幅度的下降也是抽水灌溉的结果。

每年的2月份至6月份地下淡水资源遭过量开采,地下水开采量大于补给量,淡水与海咸水之间的平衡遭到破坏,地下水水位下降,地下水漏斗负值区面积不断扩大,海水入侵逐渐发展,咸淡水界面向南推进。这种情况在6~9月份得到缓解。

3.2 水化学成分的变化

3.2.1 地下咸水入侵区——楼子、闫安观测井

每月的1日和15日在观测井内取水样进行7种主要离子质量浓度的监测,其质量浓度变化曲线见图2。从图2中可以看出楼子村各离子质量浓度(mg/L)的年变化幅度由大到小排序应是HCO₃⁻ > Na⁺ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺,闫安应为Na⁺ > HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > K⁺。闫安观测井中各离子的变幅均大于楼子村相应离子。楼子村HCO₃⁻在500 mg/L, Na⁺在100 mg/L,

Cl⁻和SO₄²⁻在60 mg/L, Mg²⁺在19 mg/L, Ca²⁺约在50 mg/L的界限上变动;而闫安HCO₃⁻在770 mg/L, Na⁺在570 mg/L, Cl⁻在440 mg/L, SO₄²⁻在60 mg/L, Mg²⁺在30 mg/L的量值上波动, Ca²⁺约在20 mg/L的水平上变化。因各离子的变幅不同所以垂直坐标采取不同比例尺用曲线展示各离子的变化趋势。从图中还可以看出各离子的质量浓度变化与水位变动的密切关系。这些离子中Cl⁻应是表现海水入侵区水化学变化最具代表性的离子,随着水位的下降Cl⁻的含量逐渐增加,而水位上升,Cl⁻含量相应减少。说明随着海水入侵的发展,Cl⁻呈增加的趋势。K⁺也有相似于Cl⁻的变化趋势。Ca²⁺与HCO₃⁻同水位变动之间的相关性较低。

将楼子和闫安观测井全年主要离子的水化学成分加以平均并按舒卡列夫法对地下水化学类型进行分类得表1。

表1 楼子、闫安观测井水化学成分

Tab. 1 Underground water hydrochemical component in Louzi and Yan'an inspection wells

观测井位	离子成分	质量浓度 (mg/L)	毫克当量百分数 (meq %)
楼子	K ⁺	13.2	3.8
	Na ⁺	106.8	51.9
	Ca ²⁺	47.6	26.6
	Mg ²⁺	19.2	17.7
	HCO ₃ ⁻	511.4	72.3
	Cl ⁻	68.6	16.7
	SO ₄ ²⁻	61.6	11
水的命名		HCO ₃ -Na·Ca	
闫安	K ⁺	26.92	2.6
	Na ⁺	572	85.5
	Ca ²⁺	20.37	3.5
	Mg ²⁺	29.33	8.4
	HCO ₃ ⁻	775.4	48
	Cl ⁻	443.43	47.1
	SO ₄ ²⁻	61.84	4.9
水的命名		HCO ₃ ·Cl-Na	

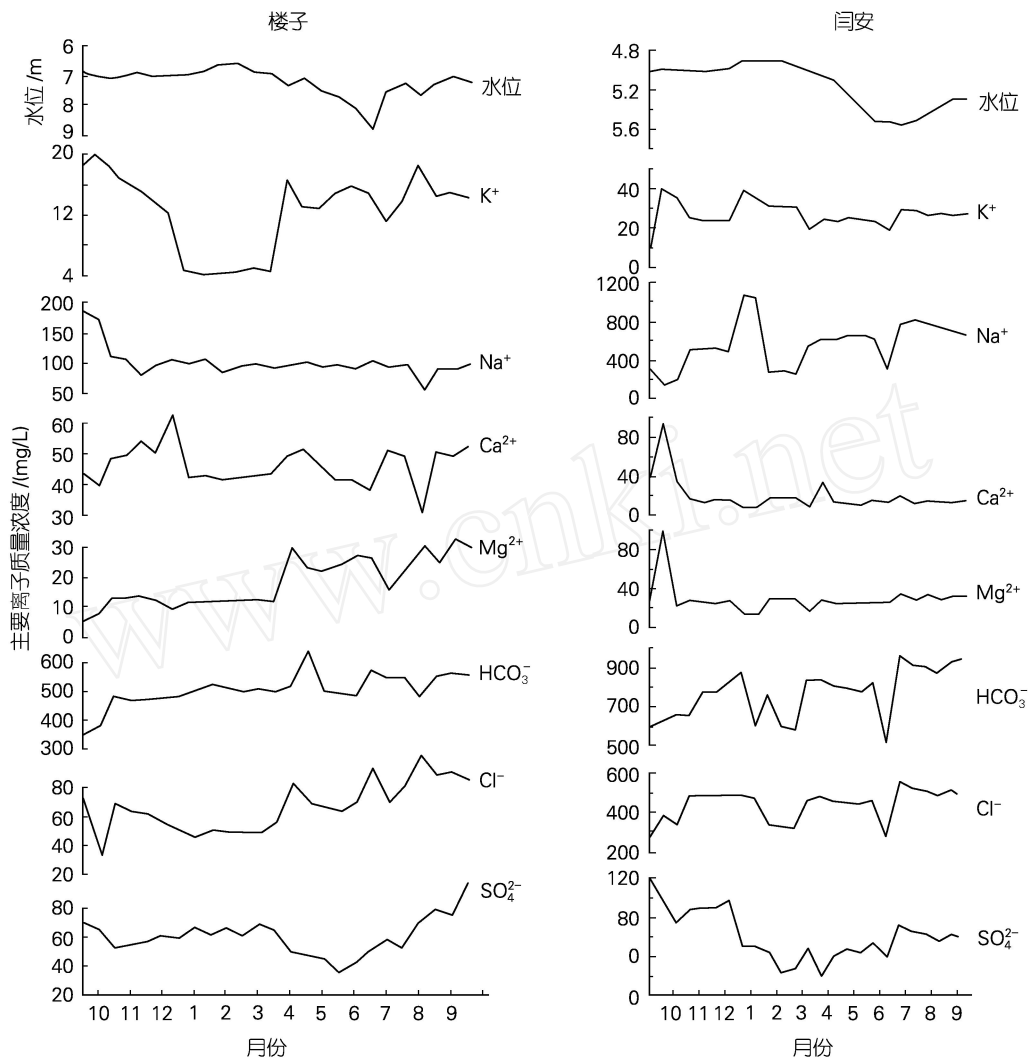


图2 楼子、闫安观测井中主要离子质量浓度随时间的变化曲线

Fig. 2 Main ion concentration change with time in Louzi and Yan'an inspection wells

按照莱州湾地区海水入侵区 Cl^- 质量浓度大于 200 mg/L 的标准,闫安村的地下水已经被地下咸水侵染,而楼子村观测井并未受到侵染。但楼子村观测井水化学成分与莱州湾典型淡水并不相同,其主要特点是氯离子的毫克当量百分数从 11% 增加到 16%,钠离子从 26% 增至 52%,而钙离子从 44% 降至 27%。出现这种情况是由于莱州湾南岸滨海平原埋藏有大量的滨海相地下咸(卤)水,矿化度甚至高达 50~200 g/L,水质类型为 $\text{Cl}^- \text{Na}$ 或 $\text{Cl}^- \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型^[5]。长期以来这些地下咸水与地下淡水之间处于较稳定的动态平衡状态,近几十年来,由于大量开采地下淡水打破了固有的动态平衡,使地下卤水向内陆入侵。楼子村就处于地下咸水和地下淡水相混合

的边缘部位,地下水为二者混合作用的结果,因此浅层地下水中的钠离子和氯离子都有所增加。从表 1 中 Cl^- 质量浓度可以看出闫安村的地下水已遭侵染,其 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 都有大幅度的增加,而这些离子正是地下咸水中所富含的,其水化学特征反映了地下咸水与淡水的混合作用。闫安村的水化学类型也从楼子村的 $\text{HCO}_3^- \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型转变为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \text{Na}$ 型。另外,在过渡带咸水中富含的 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 随入侵过程会将含水层原来所吸附的大量 Ca^{2+} 替换下来进入地下水中,使水中的 Ca^{2+} 浓度大大增加,在咸淡水过渡区锋面 Ca^{2+} 浓度将达到最大^[6]。这就是闫安村 Ca^{2+} 毫克当量百分数远小于楼子村的原因。从离子毫克当量百分数可以看出,闫安村的 Cl^- ,

HCO_3^- 已经接近,说明随着咸水入侵的发展,地下水中的 Cl^- 质量浓度会不断增加。据多个观测井的结果表明莱州湾南岸平原浅层地下水水化学类型呈东西带状分布,由南而北,即由山前冲洪积平原向冲积

海积平原和海积平原,地下水水化学类型由 HCO_3^- 型 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}$ 型 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3^-$ 型 Cl 型的顺序变化,这种变化反映了地下咸水入侵区的地下水水化学特征^[7]。

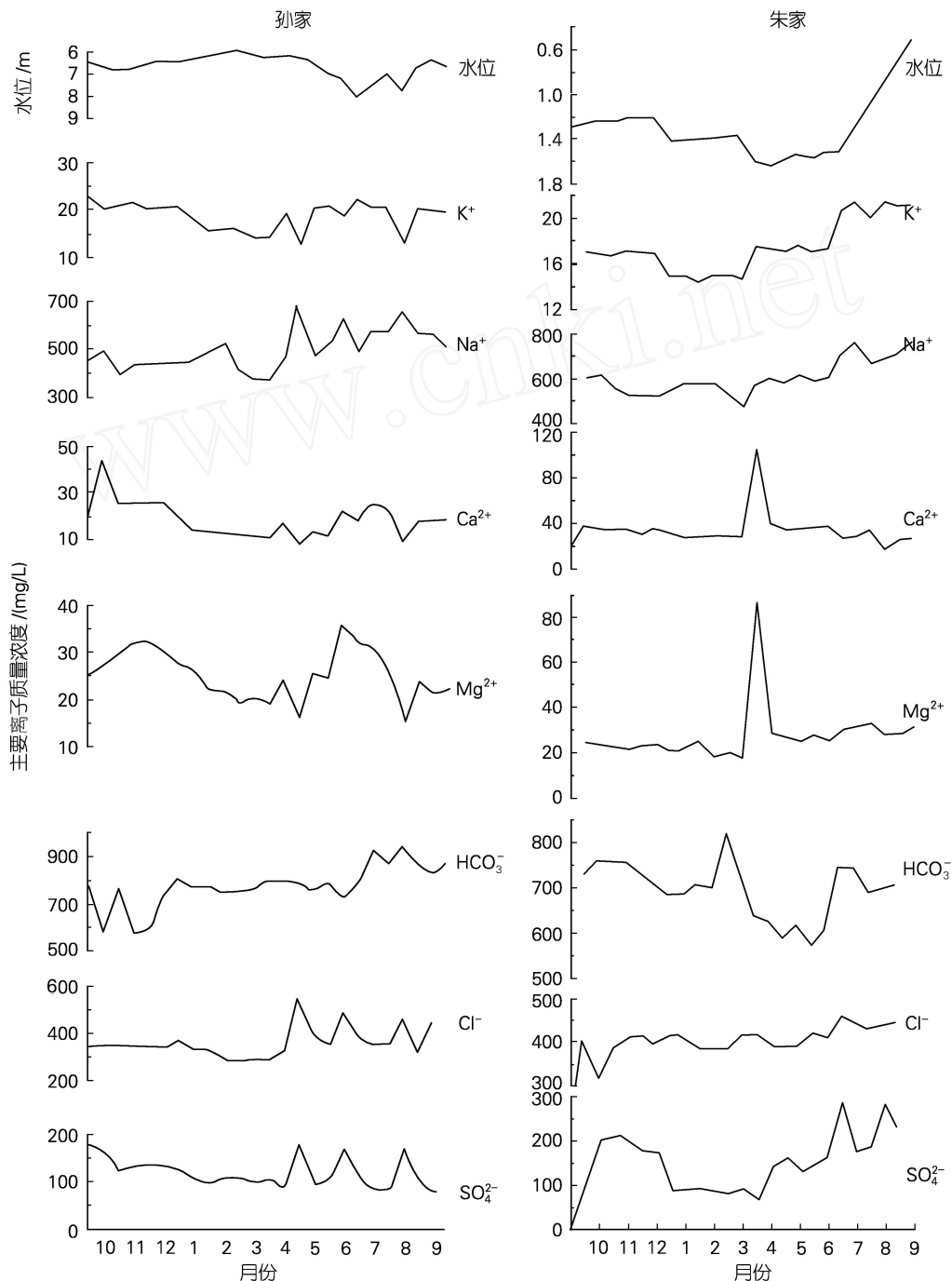


图3 孙家、朱家观测井中主要离子质量浓度随时间的变化曲线

Fig. 3 Main ion concentration change with time in Sunjia and Zhuja inspection wells

3.2.2 海水入侵区——孙家、朱家观测井

孙家、朱家观测井主要离子质量浓度的变化曲线如图3。由图3可知,孙家、朱家各离子质量浓度(mg/L)的年变化幅度的排列顺序一致,从大到小应为 $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 。孙家 HCO_3^- 在 770 mg/L, Na^+ 在 480 mg/L, Cl^- 在 330 mg/L, SO_4^{2-} 在 110 mg/L, Mg^{2+} 在 25 mg/L, Ca^{2+} 在 18 mg/L 的量值上波动;朱家 HCO_3^- 在 670 mg/L, Na^+ 在 480 mg/L, Cl^- 在 390 mg/L, SO_4^{2-} 在 150 mg/L, Mg^{2+} 在 30 mg/L, Ca^{2+} 在 35 mg/L 的水平上变动。其主要离子质量浓度随水位的变化趋势与楼子、闫安的基本相同。但主要离子质量浓度有所不同, SO_4^{2-} 质量浓度较楼子、闫安高,而 K^+ , Na^+ , Cl^- 较低。这是由于莱州湾近岸现代浓缩海水中的 SO_4^{2-} 含量大于地质历史时期形成的卤水,其原因可能是地下卤水在长期的赋存过程中与岩层中的 Ca^{2+} 不断结合形成石膏沉积造成^[6]。所以海水入侵区的 SO_4^{2-} 质量浓度较咸水入侵区的稍高。

将朱家、孙家观测井全年主要离子的水化学成分加以平均并按舒卡列夫法对地下水化学类型进行分类见表2。

表2 朱家、孙家观测井水化学成分

Tab.2 Underground water hydrochemical component in Zhujia and Sunjia inspection wells

观测井位	离子成分	质量浓度 (mg/L)	毫克当量百分数 (meq %)
朱家	K^+	17.09	1.7
	Na^+	483.46	82.2
	Ca^{2+}	35.01	6.8
	Mg^{2+}	28.49	9.3
	HCO_3^-	671.33	43.5
	Cl^-	393.2	43.8
孙家	SO_4^{2-}	153.38	12.7
	水的命名	Cl · HCO_3^- -Na	
	K^+	18.43	1.9
	Na^+	488.62	86
	Ca^{2+}	17.71	3.6
	Mg^{2+}	25.35	8.5
朱家	HCO_3^-	766.38	51.7
	Cl^-	332.46	38.5
	SO_4^{2-}	114.48	9.8
	水的命名	HCO_3^- · Cl- Na	

从表中可以看出,两村的地下水均已被海水侵

染,孙家村离海较远,地下水化学类型为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{Na}$ 型,朱家离海较近,其水化学类型已演变为 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}$ 型。说明随着海水入侵的发展, Cl^- 含量也呈增加的趋势。比较两村主要离子的含量可知朱家村 Ca^{2+} 质量浓度明显大于孙家,说明从内陆至滨海 Ca^{2+} 总的趋势是增加的^[8]。而朱家村 HCO_3^- 的质量浓度却低于孙家,说明 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 两者在地下水中的伴生关系上是相互排斥的,即一种离子的质量浓度增高,必然在统计上伴随另一种离子质量浓度的降低^[6]。

4 结论

莱州湾地区在降雨和灌溉等因素的影响下,在2月中旬至6月中旬,水位处于下降时期,这一时期咸淡水界面会向陆移动,海水入侵面积会加大。在7种主要离子 (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) 中, K^+ , Na^+ , Cl^- 随水位下降浓度增加随水位上升质量浓度减少的趋势比较明显,其它离子质量浓度变化与水位变化相关性较低。

在咸水入侵区,随着入侵过程的发展, Ca^{2+} 质量浓度呈减少的趋势,而 Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} 等地下咸水中所富含的离子其质量浓度会有大幅度的增加。由山前冲洪积平原向冲积海积平原和海积平原,地下水水化学类型由 HCO_3^- 型 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^-$ 型 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^-$ 型 Cl^- 型呈带状分布。

在海水入侵区,随海水入侵的发展, HCO_3^- 质量浓度逐渐减少,而 Ca^{2+} 质量浓度逐渐增加,两者在伴生关系上相互排斥。另外,海水入侵区的 SO_4^{2-} 质量浓度可能是由于浓缩海水中 SO_4^{2-} 含量大于卤水,要较咸水入侵区的高。

参考文献:

- [1] 郑新奇,张乃兴,李新运. 莱州湾东南沿岸地下水水位动态与海水入侵相关规律研究[J]. 水文地质工程地质, 1997, 3: 6-9.
- [2] 季明川. 渤海莱州湾滨海地区海水入侵主要特征及其灾害[J]. 海洋科学, 1992, 6: 33-35.
- [3] 韩美,孟庆海. 莱州湾沿岸的地貌类型[J]. 山东师大学报(自然科学版), 1996, 11(3): 63-67.
- [4] 孟广兰,韩有松,王少青. 莱州湾南岸海水入侵类型及其分区[J]. 黄渤海海洋, 1997, 15(2): 25-32.
- [5] 韩有松,孟广兰,王少青. 中国北方沿海第四纪地下水[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [6] 张祖陆,彭利民. 莱州湾东南沿海(咸)水入侵的地下水水化学特征[J]. 中国环境科学, 1998, 18(2): 121-125.
- [7] 姜爱霞,李道高. 莱州湾南岸滨海平原咸水入侵区浅层地下水水化学特征[J]. 海洋学报, 1997, 19(4): 142-147.
- [8] 邱汉学,刘贵群. 海水入侵区地下水化学成分的形成作用[J]. 工程勘察, 1999, 1: 43-46.

(下转第41页)

The underground water hydrochemical characteristics of sea water invasion area around Laizhou Bay

YAO Jing , YU Hong-jun ,WANG Shu-kun ,MA Long

(The First Institute of Oceanography , State Oceanic Administration , Key Laboratory of Science and Engineering for Marine Ecological Environment ,State Oceanic Administration , Qingdao 266061 , China)

Received :May ,10 ,2006

Key words :Laizhou Bay ; seawater invasion ; underground water hydrochemical characteristics

Abstract :Laizhou Bay is one of the grave seawater invasion regions located in Chinese east littoral. This article analyses concentration changes about 7 kinds of main ions in 12 inspection wells (4 wells are itemized) and educes the relation between main ions concentration and groundwater level. At the same time the region around Laizhou Bay was divided into two different invasion regions (seawater invasion region and salt water invasion region) and the change of groundwater hydrochemical type along with the develop of seawater invasion was summed up.

(本文编辑 :刘珊珊)