

雷州湾东海岛滨岸地下水化学要素 变化特征和水质现状

黄向青, 甘华阳, 路剑飞, 张顺枝, 潘毅

(国土资源部广州海洋地质调查局, 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广东 广州 510760)

摘要: 对位于雷州湾东海岛滨岸测井地下水进行了小、大潮周日取样及其化学测试。对 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、TDS 和总硬度变化与相互关系的分析显示, 离子平均值范围为 35.65 ~ 3 610.41 mg/L, K 最低, Cl^- 、 Na^+ 依次最高, TDS 为 4 970.89 ~ 6 441.48 mg/L, 总硬度为 1 054.75 ~ 1 409.65 mg/L, 统计特征随潮期有所不同; 离子比例较为稳定性, Cl^- 含量占 88 ~ 98%, 为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型水, 潮周期内要素变化较剧烈, 但同步性较好, 绝对振幅以 Cl^- 、 Na^+ 最高, 相对振幅以 SO_4^{2-} 、 Na^+ 最高, Na^+ 、 Cl^- 占离子强度 I 的比例较高, 离子重新配对, 盐效应明显, 具有侵入特征; $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 为 0.75 ~ 0.83, $\gamma\text{HCO}_3^-/\gamma\text{Cl}^-$ 为 0 ~ 0.015, 测次 SAR 平均值分别为 16.60、20.17, 活性系数 r 最高为 0.77; 线性拟合表明: 阳离子对 Cl^- 趋向性以 K^+ 最高, 其次是 Na^+ ; 离子平均含量序列很好地满足指数规律; 上述要素线性相关显著, 又以 Na^+ 、 Cl^- 与各要素相关系数最高, 再次表明两者具有主导性; $\gamma\text{Cl}^-/\gamma\text{HCO}_3^-$ 表明咸化程度较高, 潮周期内离子拟合趋势线斜率 $k > 0$, 表明调查期间呈现缓慢咸化趋势; 水质除了总硬度为 IV ~ V 类, 其它均为 V 类, 总体结果为较差。

关键词: 地下水; 化学要素; 变化特征; 水质

中图分类号: P641.8; X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)05-0059-07

Feature of variation of groundwater chemical elements and status of water quality along Donghaidao shore in Leizhou Bay

HUANG Xiangqing, GAN Huayang, LU Jianfei, ZHANG Shunzhi, PAN Yi

(Key Laboratory of Marine Mineral Resource, Guangzhou Bureau of Marine Geological Survey, MLR, Guangzhou 510760, China)

Abstract: Based on the test data of groundwater samples during two tidal cycles from monitoring well located at Donghaidao shore, Leizhou Bay, the paper analyzed the variations of Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , TDS and total hardness. The results show that chemical elements' variation is apparent, ions is 35.65 - 3610.41mg/L with lowest K^+ and highest Cl^- and Na^+ respectively. TDS is 4970.89 - 6441.48 mg/L and total hardness is 1054.75 - 1409.65 mg/L, the statistical features of ions vary with tidal periods. The percentage of ions in chemical element is relatively stable and the groundwater type is $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ featuring seawater intrusion, and the averaged concentration alignment of ions meet exponential allocation well in tidal cycles; Cl and Na have highest absolute amplitudes and SO_4^{2-} and Na^+ have highest relative amplitudes, both Na^+ and Cl^- take high proportion of ion strength I , ions re-pairing and salt effects are significant; $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ is 0.75 - 0.83, $\gamma\text{HCO}_3^-/\gamma\text{Cl}^-$ is 0 - 0.015 and SAR is 16.60, 20.17 in two tidal cycles in separation; linear correlations reveal that Cl^- and Na^+ have very good relationship with other elements, the averaged $\gamma\text{Cl}^-/\gamma\text{HCO}_3^-$ shows high saline level and there are gentle increase of ions in tidal cycles with fitness slope $k > 0$; groundwater quality is V type except hardness ranging is IV - V and the general assessment result is poor.

Key words: groundwater; chemical element; feature of variation; water quality

东海岛位于湛江雷州半岛以东, 四面环海, 岸线曲折, 潮汐类型属不规则半日潮。该岛与附近硇洲

岛相同, 为中晚更新世时期喷发形成的玄武岩火山岛屿, 沿岸间有狭窄滨海平原和海滩, 地势低平, 由

收稿日期: 2013-05-08; 修回日期: 2013-06-28

基金项目: 中国地质调查局“我国重点海岸带滨海环境地质调查与评价”(1212010914020)

作者简介: 黄向青(1964-), 女, 广东人, 高级工程师, 从事海洋地质环境研究。

滨海-浅海沉积的沙层和玄武岩组成。浅层含水层与陆地之间受到海水相隔,有一定独立性,但中、深层含水层与陆地相连,含水层之间水力联系密切。台地溺谷海岸海湾水浅,沿岸沉积物以细砂、粉砂质砂及粉砂质粘土为主,从现场测井钻孔岩性来看,以粘土和砂为主,粗砂、砂、粉砂、粘土、粘土夹砂交互而成。由于地处华南低纬度季风区,该岛地下水资源丰富,但近年来由于养殖业、农业快速发展,经济开发力度加强,地下水抽取量越来越大,浅、中层地下水过度开采导致水位降落漏斗明显,出现了海水倒灌的情况,影响了居民生活和生产活动,制约了该岛社会发展^[1-5]。为掌握华南滨海湿地水文地质特征及其生态环境状况,由中国地质调查局资助的“华南西部滨海湿地地质调查与生态环境评价”项目,于2012年8月在东海岛北部滨岸测井进行了地下水化学要素取样分析。本文以主要要素 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等为研究对象,分析评价了测井地下水化学要素周期变化特征和水质现状。

1 数据来源

编号为 J3 的测井位于东海岛北部的东简镇东南村,项目于2012年8月在测井分别进行了两个潮周期地下水取样(表1),还同步进行了水位测量。样品测试项目为离子含量、溶解性固体总量(TDS)、总硬度等^[6],测试执行标准为《地下水水质检验方法》(DZ/T 0064-93)。

表1 J3 测井地下水潮周期化学要素取样情况表

测次	潮期	日期	起始时间	间隔	样品数
J3-1	小潮	08-05-08-06	12:00~13:00	1h	26组
J3-2	大潮	08-11-08-12	11:00~12:00	1h	26组

2 地下水化学要素变化特征

2.1 统计特征及地下水类型

小潮期 J3-1 测次阳离子 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 总体变化范围为 17.79~2 241.85 mg/L(表2),平均值为 35.65~1 405.77 mg/L,阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 变化范围分别为 1 146.92~4 379.15 mg/L,141.61~613.65 mg/L,平均值分别为 2 779.415、353.12 mg/L,TDS 变化范围为 2 126.78~7 886.70 mg/L,平均值为 4 970.89 mg/L,总硬度为 411.88~1 672.10 mg/L,平均值为 1 054.75 mg/L;大潮期 J3-2 测次阳离子 42.18~2 344.04 mg/L,平均值 60.59~1 852.69 mg/L,阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 变化范围分别为 2 165.36~

4 557.77 mg/L,259.62~613.65 mg/L,平均值依次为 3 610.41、467.50 mg/L;TDS 变化范围 3 858.17~8 122.82 mg/L,平均值为 6 441.48 mg/L,总硬度变化范围为 811.46~1 782.75 mg/L,平均值为 1 409.65 mg/L。阳离子中 K^+ 含量最低,其次为 Ca^{2+} 、 Na^+ 含量均是最高。阴离子以 Cl^- 含量最高, SO_4^{2-} 次之,除了 Ca^{2+} 之外,大潮期离子含量均高于小潮期。偏态与峰值反映了数据集中或者分散程度,J3-1 测次要素以负偏(右偏),负峰值(坦峰)占绝对优势,J3-2 测次有所不同,偏态均为右偏,但峰值正负各有,以尖峰为主。将测井 TDS 平均值与邻近硃洲岛测站的 606~5 400 mg/L 对比,可见该测井远远超过硃洲岛一般测站,与海水入侵最严重的测站(英明村、大浪村)相近或者超出,再将 Cl^- 与珠江口西岸常年为 250 mg/L、个别测站枯季最高 2 500 mg/L 相比,该测井也是明显要高^[7-8]。

表2 测井地下水化学要素含量潮周期统计 mg/L

测次	项目	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS	总硬度
J3-1	最低	105.86	17.79	600.54	1146.92	141.61	2126.78	411.88
	最高	398.83	50.44	2241.85	4379.15	613.65	7886.70	1672.10
	平均	261.72	35.65	1405.77	2779.41	353.12	4970.89	1054.75
	偏态	-0.11	-0.21	-0.10	-0.13	0.24	-0.11	-0.11
	峰值	-1.20	-1.47	-1.43	-1.46	-1.05	-1.37	-1.46
J3-2	最低	118.17	42.18	1110.64	2165.36	259.62	3858.17	811.46
	最高	206.80	70.81	2344.04	4557.77	613.65	8122.82	1782.75
	平均	178.11	60.59	1852.69	3610.41	467.50	6441.48	1409.65
	偏态	-1.12	-1.07	-0.95	-1.06	-0.28	-0.98	-0.96
	峰值	0.35	0.32	0.16	0.31	-0.51	0.20	0.14

测井地下水离子体系阴离子逐时比例有一定的稳定性,阳离子均以 Na^+ 最高,J3-1 测次在 70%~86% 之间,J3-2 测次在 78%~82% 之间,其次是 Ca^{2+} 、 K^+ 最低;阴离子以 Cl^- 占据绝对优势,其次是 SO_4^{2-} 。J3-1 测次 Cl^- 在 94%~97% 之间,J3-2 测次在 96%~98% 之间, HCO_3^- 比例很低,测井为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型水(图1)。对比区域沿海地下水为重碳酸盐类型^[9],可见测井地下水类型有明显改变。

2.2 周期变化特征

从潮周期逐时变化来看(图2),要素变化较大且同步性较好,尤其是 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 三者几乎是完全同步,J3-1 测次波动幅度更为显著,最小周期为 4 h,最大周期为 9 h,对比两高一低的水位变化,两者变化并不完全同步,说明影响因素除了海水水位之外,还有离子交换、吸附/解吸等尺度的化学过程,加上之间存在联动性,导致变化比较频繁。

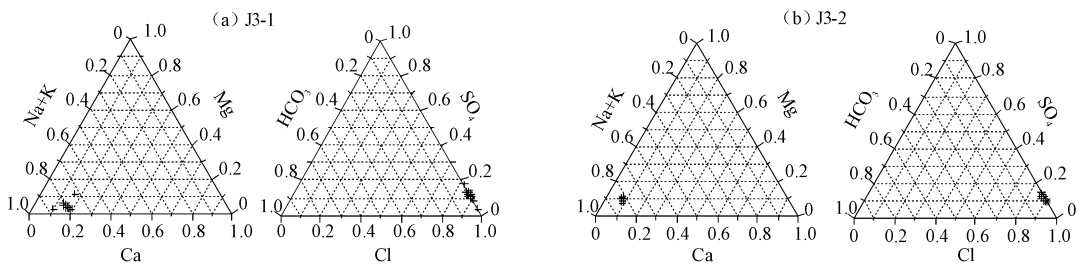


图 1 测井地下水化学要素含量潮周期比例分配图(mg/L)

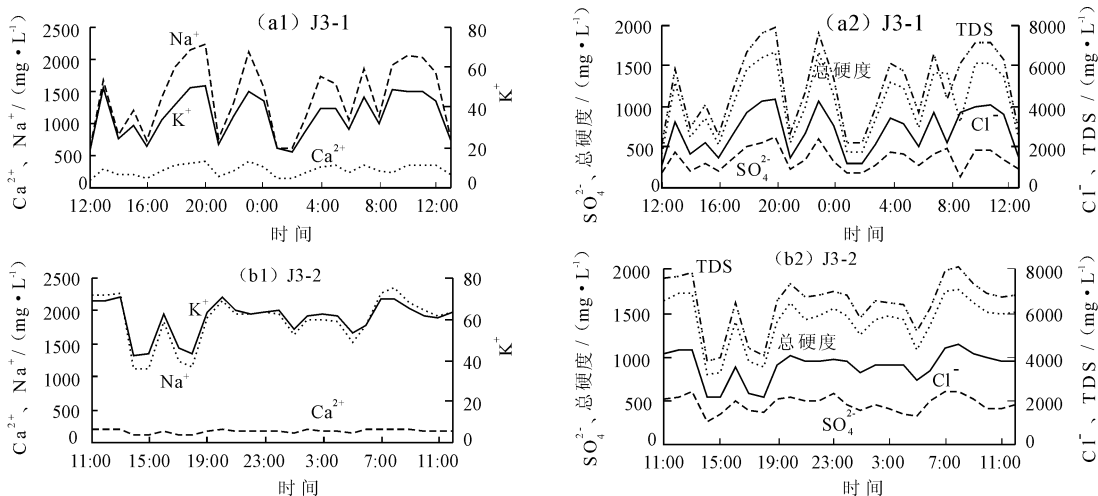


图 2 测井地下水化学要素含量潮周期变化图

以标准差和变幅来衡量波动的绝对振幅和相对振幅,离子中绝对振幅以 Na^+ 、 Cl^- 最大,J3-1 测次依次为 549.84、1093.34 mg/L,J3-2 测次依次为 361.00、696.58 mg/L,以小潮期最大, K^+ 的绝对振幅最小, Ca^{2+} 与 Na^+ 接近;相对振幅则有不同,以 Na^+ 为最高,J3-1 测次为 0.39,J3-2 测次为 0.19,其次是 SO_4^{2-} ,两测次依次为 0.39、0.21。 Na^+ 、 Cl^- 相对振幅在两测次也保持在较高水平,均为 0.38、0.19,说明两者不仅含量高,波动也明显。综合来看,J3-1 测次不仅绝对振幅大,相对振幅也比较大。

J3-1 测次潮周期内阳离子逐时最大降幅为 -1501.38 ~ -29.35 mg/L(表 3),最大增幅为 31.84 ~ 1 062.90 mg/L,阴离子最大降幅为 -2928.12 ~ -389.43 mg/L,最大增幅为 324.53 ~ 2076.62 mg/L,TDS 最大降幅为 -5218.18 mg/L,总硬度为 -1106.54 mg/L,最大增幅依次为 3737.82、872.93 mg/L;J3-2 测次阳离子逐时最大降幅为 -1160.36 ~ -28.63 mg/L,最大增幅为 19.74 ~ 777.26 mg/L,阴离子最大降幅为 -2182.83 ~ -342.23 mg/L,最大增幅为 165.21 ~ 1449.37 mg/L,TDS、总硬度最大降幅依次为 -3969.59、-909.82 mg/L,最大增幅依次为 2537.81、565.56 mg/L。

表 3 测井地下水化学要素潮周期时间变化极值 mg/L

测次	项目	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS	总硬度
J3	最小	-246.19	-29.35	-1501.38	-2928.12	-389.43	-5218.18	-1106.54
J3	最大	189.57	31.84	1062.90	2076.62	324.53	3737.82	872.93
J3	最小	-78.78	-28.63	-1160.36	-2182.83	-342.23	-3969.59	-909.82
J3	最大	54.16	19.74	771.26	1449.37	165.21	2537.81	565.56

J3-1 测次阳离子最大相对降幅为 -74.02% ~ -58.19%,最大相对升幅为 174.66% ~ 270.87%,其它相近;J3-2 测次阳离子相对最大降幅为 -58.58% ~ -39.02%,最大升幅为 45.15% ~ 86.91%,均以 Na 最为明显;J3-1 测次阴离子最大降幅为 -71.43% ~ -66.87%,最大升幅为 181.06% ~ 229.17%,J3-2 测次则依次为 -56.86% ~ -50.20%、50.00% ~ 66.15%,均以 SO_4^{2-} 最为明显。以上结果均说明测井地下水化学要素具有变化剧烈的特征,低含量离子对波动的贡献也大,表明离子参与配对、解吸/吸附、交换等过程是同样活跃的。前面的类型划分是以含量为依据,现采用相对振幅即波动程度来划分,则情况不同,阳离子逐时数据点集中在三角形中部,显示变动幅度即其活跃性是基本一致的(图 3)。阴离子中,逐时数据点分布也有共同特点,趋向左下方, HCO_3^- 变动

幅度特别大,显示出与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的不同之处。

2.3 离子比值变化特征

测井地下水离子强度 I 为 53.68 ~ 212.82 mmol/L, J3-1 测次平均为 127.35 mmol/L, J3-2 测次平均为 168.17 mmol/L, 潮周期内 Na^+ 所占 I 的比例在 30.33% ~ 42.15% 之间, Cl^- 在 60.46% ~ 80.32% 之间(图4), 特别是 Cl^- 的强度贡献大。

J3-1 测次 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 变化范围为 0.75 ~ 0.83 (图5), J3-2 测次为 0.76 ~ 0.82, 变化比较稳定, 表明含盐量高, 矿化度也高, 且 Na^+ 、 Cl^- 供给充分, Na^+ 发生了阳离子交换。在闭合系统 Na^+ 有限的情

况下, 交换导致反相出现, Na^+ 减少, Ca^{2+} 增加, 但该测井属于滨海地区含水层-海水前缘带开放系统, Na^+ 补充充分和及时, 如前所述表现为 Na^+ 、 Ca^{2+} 是同步变化的。 Ca^{2+} 为淡水常见离子, 两测次 $\gamma\text{Ca}^{2+}/\gamma\text{Na}^+$ 在 0.10 ~ 0.26 之间变化, 反映出 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 阳离子交换导致 Ca^{2+} 有一定升高, 随着海水进退而有一定波动, 且与硃洲岛滨海地下水比值变化相近^[10]。 $\gamma\text{HCO}_3^-/\gamma\text{Cl}^-$ 变化明显, 最低为 0, 最高为 0.015, 结合上述 HCO_3^- 变动幅度, 表明淡水海水相互作用剧烈。

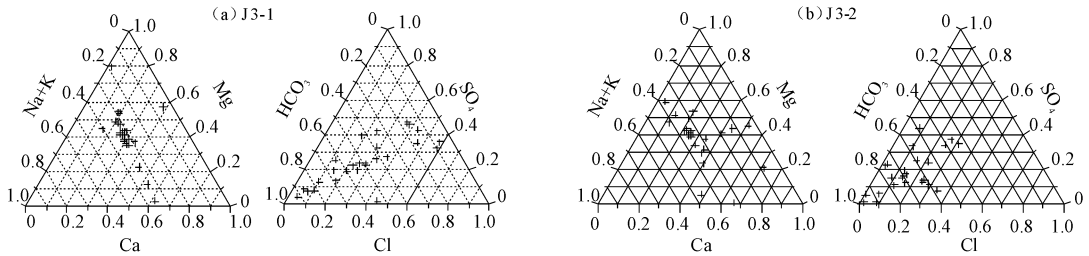


图3 测井地下水化学要素振幅比例超周期分配图

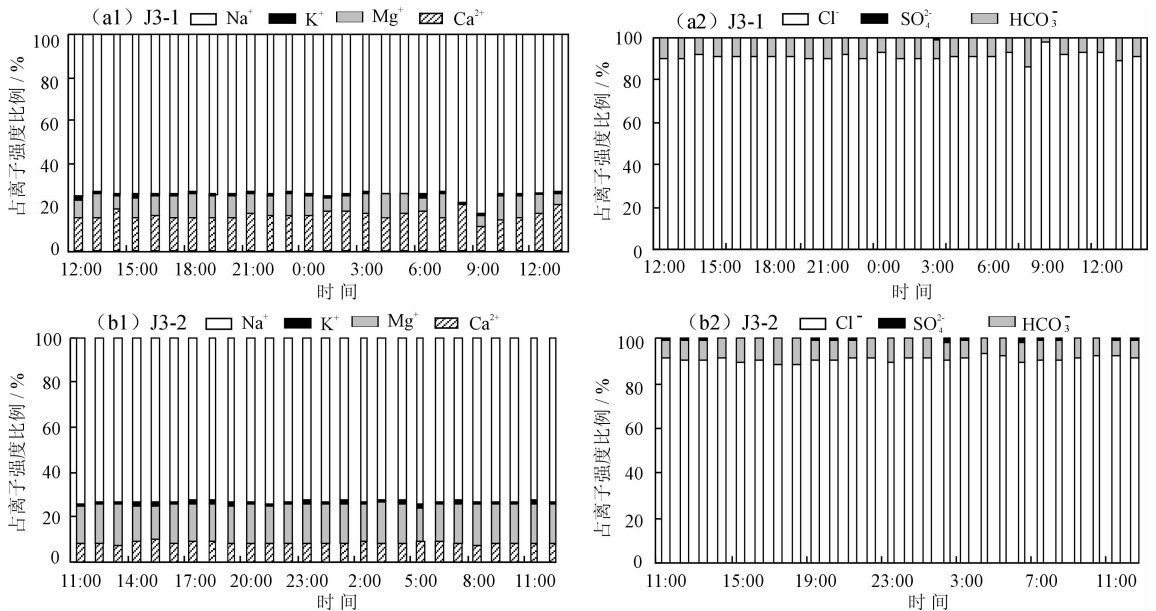


图4 测井地下水要素所占离子强度 I 比例潮周期变化图

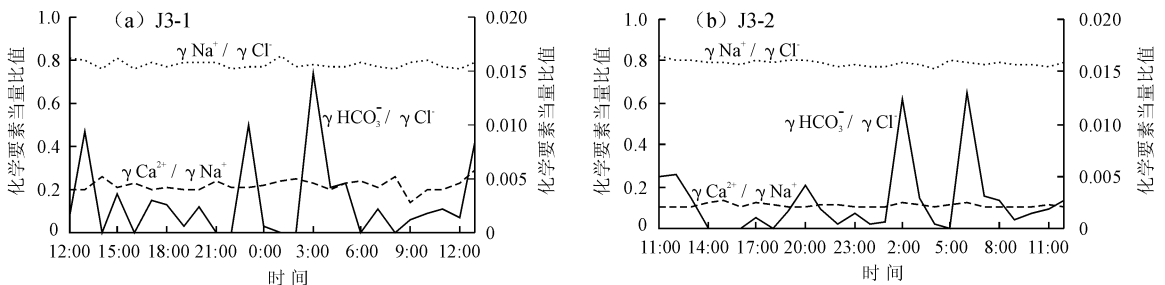


图5 测井地下水化学要素当量比值潮周期变化图

以 Ca^{2+} 、 Na^+ 毫克当量综合计算的钠吸附比 SAR 可表示阳离子交换程度^[11], J3-1 测次变化范围为 12.42 ~ 29.03, J3-2 测次为 16.52 ~ 24.07, 平均值为 20.17, 比 J3-1 测次的 16.60 要高, 可见 J3-1 测次阳离子交换更为活跃, 但 J3-2 测次的总体交换量要大(图 6)。

J3-1 测次阳离子活性系数 r 为 0.39 ~ 0.77, J3-2 测次为 0.35 ~ 0.74, Cl^- 依次为 0.74、0.71, SO_4^{2-} 依次为 0.34、0.29, 有下降趋势, 主要是离子成分的增多加大了 TDS 含量与电荷数量^[12]。在盐效应方面, 离子强度 I 与总盐量 TDS 有良好且稳定的线性关系, 两测次均为 $I(\text{mmol/L}) = 0.03\text{TDS}(\text{mg/L})$ 。以上均表明 Cl^- 、 Na^+ 的主导性, 且具有侵入特征, 测井水温在 22℃ 上下波动^[6], 现以 SO_4^{2-} 代表海相, HCO_3^- 代表陆相, 根据离子强度、活性系数、溶解度平衡方程计算得到离子对 CaSO_4 变化范围为 151.51 ~ 612.89 mg/L, MgSO_4 为 63.70 ~ 726.95 mg/L, K_2SO_4 为 2.08 ~ 7.91 mg/L, Na_2SO_4 为 48.07 ~ 191.16 mg/L, 以 Ca、Mg 盐为主, 所占比例最高

(图 7); $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 为 0.00 ~ 20.34 mg/L, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 为 0.00 ~ 1.69 mg/L, NaHCO_3 为 0.00 ~ 37.81 mg/L, 以 Na 盐为主, 其次是 Ca 盐和 Mg 盐, 测次各有高低, 但最低均是 K 盐。

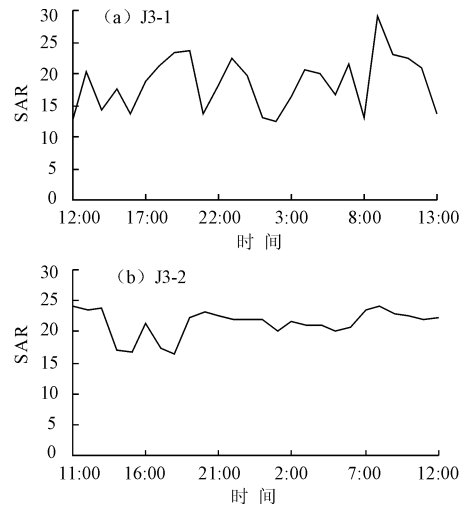


图 6 测井地下水 SAR 指标潮周期变化图

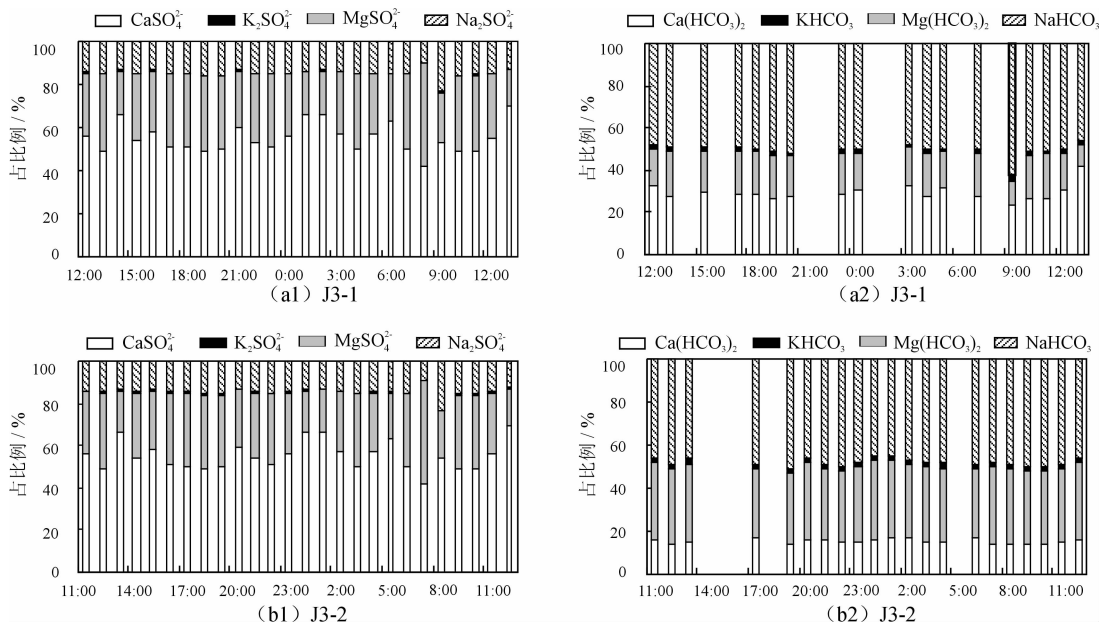


图 7 测井地下水离子对潮周期比例变化图

由于离子性质与本底含量不同, 为在同样水平上比较, 现按公式 x_i/X 对离子作归一化无单位系数处理, x_i 为潮周期逐时含量, X 为平均含量。结果表明, 阳离子与 Cl^- 有很好的线性对应关系。以线性拟合 k (斜率) 代表反应程度, R^2 代表趋向度, J3-1 测次 k 在 0.6169 ~ 1.1777 之间, 拟合度 R^2 在 0.8124 ~ 0.9976 之间, J3-2 测次 k 在 0.8391 ~ 1.3562 之间, 拟合度 R^2 在 0.9034 ~ 0.9930 之间。

其中, 均以 K^+ 的响应程度最高, Ca^{2+} 其次, 均以 Na^+ 趋向度最高, K^+ 次之。以 $k \cdot R^2$ 综合代表阳离子与 Cl^- 的响应性, 则是 K^+ 最高, 两测次依次是 1.31、1.12, Na^+ 、 Ca^{2+} 略低, 均接近 1.00, 应与其参与阳离子置换有关。

2.4 含量分配

潮周期内离子平均含量序列均很好地满足指数分配率(图 8)。 Cl^- 最高, Na^+ 次之, CO_3^{2-} 几乎为

0。两个测次指数函数系数数量级一致,主要区别在于指数曲线斜率不同, Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 顺序互换,说明两者参与阳离子交换,导致变化程度不一且随潮期有变。

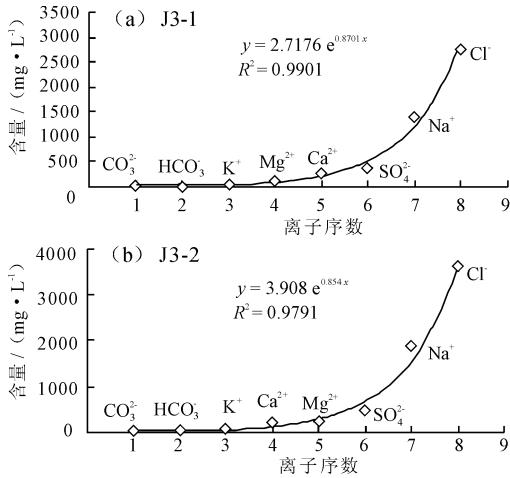


图8 测井地下水离子潮周期平均含量序列拟合图(mg/L)

2.5 要素相互关系

从上可见,各测次测井地下水化学要素相互关系比较密切,线性相关计算和F检验表明,测井要素有如下特征:①具有线性相关特征,相关系数最高为0.99,最低为0.74(表4);②相关系数均为正数,与以上潮周期内同步变化结果是一致的,均为显著正相关;③离子与TDS、总硬度显著正相关,进一步表明盐效应明显;④离子中又以 Na^+ 、 Cl^- 与各要素相关系数最高,再次表明两者具有主导性,要素之间的相互关系与华南滨岸地区地下水要素关系是一致的^[13-14]。

2.6 变化趋势

咸化系数 $\gamma_{Cl^-}/\gamma_{HCO_3^-}$ ^[15]平均为333.30,表明测井海水咸化程度高。进一步来看,J3-1测次潮周期 Ca^{2+} 平均增幅为13.51%, K^+ 为11.66%, Na^+ 为16.08%, Cl^- 为16.16%, SO_4^{2-} 为18.02%,J3-2测次由于平均含量高于J3-1测次,增幅显得要低, Ca^{2+} 平均增幅为0.95%, K^+ 为1.12%, Na^+ 为2.24%, Cl^- 为2.37%, SO_4^{2-} 为2.00%。线性趋势

拟合得出,在两个测次潮周期之内,离子拟合斜率 k 均为正值,呈现上升趋势,表明有继续咸化的趋向。两测次 Cl^- 斜率为33.22、26.917 mg/(L·h), Na^+ 分别为15.91、11.666 mg/(L·h), K^+ 为0.3329、0.2034 mg/(L·h)(图9)。由于各测次平均含量的差异,导致截距也不相同。

表4 测井地下水化学要素潮周期相关系数

测次	项目	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS	总硬度
J3-1	Ca^{2+}	1.00	0.91	0.95	0.95	0.89	0.97	0.97
	K^+		1.00	0.97	0.97	0.74	0.97	0.88
	Na^+			1.00	0.99	0.79	0.99	0.91
	Cl^-				1.00	0.80	0.99	0.92
	SO_4^{2-}					1.00	0.83	0.94
	TDS						1.00	0.94
	总硬度							1.00
	J3-2	Ca^{2+}	1.00	0.94	0.95	0.95	0.81	0.96
K^+		1.00	0.99	0.98	0.83	0.98	0.98	0.98
Na^+			1.00	0.99	0.83	0.99	0.99	0.99
Cl^-				1.00	0.81	0.99	0.99	0.99
SO_4^{2-}					1.00	0.84	0.84	0.84
TDS						1.00	0.99	0.99
总硬度							1.00	1.00

3 地下水水质现状

滨海地下水水质是广受关注的问题。一般对滨海地区地下水有如下划分:淡水(小于1 000 mg/L)、微咸水(1 000~3 000 mg/L)、咸水(3 000~10 000 mg/L)、高咸水(>10 000 mg/L),可见测井地下水主要在微咸水~咸水之间变化。根据地下水水质标准GB/T 14848-93的评价结果(图10),随着淡水-海水进退,水质呈现波动变化,J3-1测次TDS、 Cl^- 均稳定在V类(5等级), SO_4^{2-} 、总硬度在III类~V(3等级~5等级)类之间变化,J3-2测次基本稳定在V类,说明水质具有逐时变化和随潮期变动。

根据上述水质标准中的Fi评分法,TDS在J3-1测次总体上为IV类,在J3-2测次为V类,

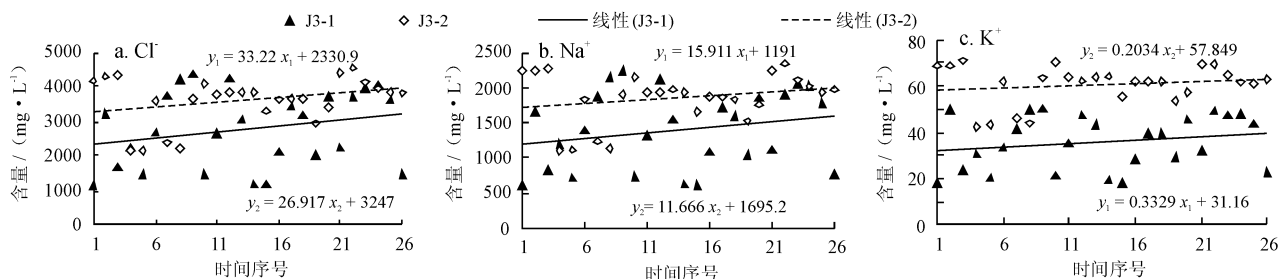


图9 测井地下水化学要素潮周期变化趋势图

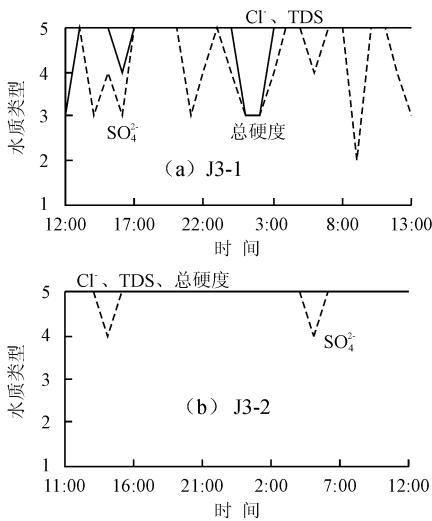


图 10 测井地下水水质潮周期变化图

TDS、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 均为 V 类,总体水质为较差(表 5),对比附近岛屿东寮岛、硃洲岛滨海地下水总硬度、氯化物的大幅超标情况^[6-7],本结果与其具有可比性。

表 5 测井地下水化学要素潮周期总体水质状况

测次	总硬度	TDS	SO_4^{2-}	Cl^-	水质状况
J3-1	IV	V	V	V	较差
J3-2	V	V	V	V	较差

4 结 语

(1) Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 总体变化范围为 17.79 ~ 2344.04mg/L, Cl^- 、 SO_4^{2-} 变化范围分别为 1146.92 ~ 4557.77mg/L, TDS 变化范围为 2126.78 ~ 8122.82 mg/L,总硬度为 411.88 ~ 1782.75 mg/L,分布以右偏、尖峰占优。

(2) 要素具有变化大、变化频繁、同步性较好、变化不均的特征, K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 几乎是完全同步。绝对振幅以 Cl^- 、 Na^+ 依次最高,相对振幅则以 Na^+ 、 SO_4^{2-} 依次最高, K^+ 预期接近的相对振幅表明低含量离子的活跃性。

(3) 测井为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型水,具有明显盐效应,离子平均含量很好地满足指数律, Na^+ 与 Cl^- 占离子强度的比例较高,离子对重新分配,离子强度 I 与 TDS 有良好线性关系。

(4) $\gamma_{\text{Na}^+}/\gamma_{\text{Cl}^-}$ 为 0.75 ~ 0.83, $\gamma_{\text{Ca}^{2+}}/\gamma_{\text{Na}^+}$ 为 0.10 ~ 0.26,结合 SAR 结果表明,阳离子交换比较活跃,且导致 Ca^{2+} 有一定升高。 $\gamma_{\text{HCO}_3^-}/\gamma_{\text{Cl}^-}$ 在 0 ~ 0.015 之间,淡水-海水相互作用明显,均表明具有侵染特征。从周期变化同步性、相互关系以及对 Cl^- 趋向性等分析来看, Ca^{2+} 有些不同,应与其参与阳离子置换有关。

(5) 线性拟合表明 K^+ 、 Na^+ 对 Cl^- 的趋向性依次最高,与变化同步性相对应。要素之间为显著正相关,其中又以 Na^+ 、 Cl^- 与各要素相关系数最高,均表明两者具有主导性。

(6) 测井地下水有咸化趋向。潮周期内各 Cl^- 、 Na^+ 等要素上升斜率在 0.2034 ~ 33.22 mg/(L·h) 之间。水质呈现波动变化, J3-1 测次 TDS、 Cl^- 均稳定在 V 类, SO_4^{2-} 、总硬度在 III 类 ~ V 类之间变化, J3-2 测次稳定在 V 类,总体水质为较差。

参考文献:

- [1] 孔中恒. 雷州半岛火山岩的水文地质特征与富水规律[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 136-139.
- [2] 曾黄锦. 雷州半岛地下水开发利用对环境的影响分析[J]. 水利水电快报, 2006, 27(7): 8-10+21.
- [3] 中国地质调查局. 海岸带地质环境与城市发展论文集[M]. 北京: 大地出版社, 2005: 416-435.
- [4] 黄磊, 郭占荣. 中国沿海地区海水入侵机理及防治措施研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 118-122.
- [5] 周鹏鹏, 李国敏, 卢耀东, 等. 大陆岛地下水动力学特征——以湛江东海岛为例[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(1): 12-17.
- [6] 湛江粤西地质工程勘察院. 华南西部滨海湿地地质调查与生态环境评价项目地下水观测井钻凿、观测及取样生产技术总结报告[R]. 湛江: 湛江粤西地质工程勘察院, 2012.
- [7] 陈苑. 硃洲岛地下水水质咸化和海水入侵主要成因及对策[J]. 大众科技, 2011(4): 114-115.
- [8] 孙宗勋, 陈军, 谢强, 等. 珠江口西岸海水入侵现状调查分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(8): 81-84.
- [9] 李家熙, 吴功建. 中国生态环境地球化学图集[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 80-82.
- [10] 张文杰, 谭红兵, 陈喜, 等. 广东硃洲岛地下水化学演化及成因机理[J]. 水文, 2012, 32(3): 51-58.
- [11] 沈照理, 朱宛华, 等. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 45-55.
- [12] 姚锦梅, 周训, 谢朝海. 广西北海市海城区西段含水层海水入侵地球化学过程研究[J]. 地质学报, 2011, 85(1): 136-144.
- [13] 韩绘芳, 蒋方媛, 王谊. 海水入侵影响下的地下水化学演化及其指示意义——以深圳市宝安区为例[J]. 安全与环境工程, 2009, 16(4): 2-5.
- [14] 常艳娥, 黎广钊. 北海市海水养殖区海水入侵特征及对地下水的影响——以南流江三角洲平原为例[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(18): 11057-11060.
- [15] 杜中, 李占斌, 李鹏, 等. 海水入侵区地下水氯值统计及其规律运用[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(4): 83-85.