

张志忠, 曹珂, 吕胜华, 等. 三门湾海岸带第四系地下水资源[J]. 海洋学报, 2022, 44(12): 109–115, doi:10.12284/hyxb2022151  
Zhang Zhizhong, Cao Ke, Lü Shenghua, et al. The study on Quaternary groundwater resources in Sanmen Bay coastal zone[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(12): 109–115, doi:10.12284/hyxb2022151

## 三门湾海岸带第四系地下水资源

张志忠<sup>1,2</sup>, 曹珂<sup>1</sup>, 吕胜华<sup>1</sup>, 周宇渤<sup>3</sup>, 印萍<sup>1</sup>, 李昂<sup>3</sup>, 高飞<sup>1</sup>

(1. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266237; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 浙江省水文地质工程地质大队, 浙江 宁波 315012)

**摘要:** 利用三门湾海岸带最近施工完成的水文地质孔、工程地质孔和地下水碳 (<sup>14</sup>C) 测年以及前人的分析研究资料, 对三门湾海岸带第四系分布、第四系承压含水层富水性和咸淡水资源分布、承压水年龄和可更新能力进行了深入研究。三门湾海岸带蛇盘滩涂围垦区第一承压含水层(组)富水性较好, 绝大部分地区为淡水; 宁海县长街镇区域承压水淡水资源总体呈“人”字型分布, 北部的大湖-车香港区域淡水主要分布在第一承压含水层(组)中, 在大湖-下洋涂区域淡水主要分布在第二承压含水层(组)中。三门湾海岸带第四系承压水年龄普遍较老。蛇盘滩涂围垦区第一承压含水层地下水年龄为 21 642~22 012 cal a BP, 未受到后期海侵作用影响; 长街下洋涂滩涂围垦区第二承压含水层地下水的年龄为 35 052~45 439 cal a BP, 部分地段受到后期海侵影响。在目前未开采利用条件下, 承压水补给条件差、水资源更新性差。对于拟作为应急供水水源地靶区, 应加强地下水资源管理。

**关键词:** 咸淡水分布; 地下水年龄; 可更新能力; 三门湾海岸带

中图分类号: P748; P641.7

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)12-0109-07

### 1 引言

三门湾海岸带地区位于浙江省宁波市东南、台州市东北沿海地带, 三面环山, 一面临海, 海岸线曲折。随着人口的增加和经济建设的持续发展, 三门湾地区对水资源的需求不断增加。鉴于三门湾地区基本上是以地表水为供水水源的单一供水结构, 在应对突发水质污染事故时极为不利, 加之极端天气事件偶有发生, 建设地下水应急后备水源地显得非常必要。

海岸带是海洋和陆地相互作用的地带, 陆地上观测到的地层与构造往往会向海岸带水下部分和浅海延伸<sup>[1]</sup>, 海岸带水下区域和近海也可能赋存地下水淡水资源, 海岸带滩涂围垦区第四系当然也可能赋存淡水资源。

本文以三门湾北部海岸带为主要研究区域, 在系

统分析海岸带第四系地质、水文地质资料基础上, 研究了三门湾海岸带第四系承压水水文地质条件, 对三门湾第四系承压淡水资源分布、地下水年龄及可更新性进行了分析研究, 为三门湾海岸带地下水应急水源地建设、地下水可持续开发利用以及生态环境保护奠定了基础。

### 2 资料来源

2019–2020 年青岛海洋地质研究所在三门湾海岸带陆域共施工完成了 37 个(3 274.1 m)揭穿第四系工程地质孔和 15 个第四系水文地质孔, 进行了抽水试验、地下水化学分析和地下水 AMS <sup>14</sup>C 测年。加之搜集得到的前人在三门湾海岸带(包括三门湾湾内区域)完成的 52 个揭穿第四系地质孔、18 个第四系水文地质孔、三门湾内浅地层剖面资料和综合分析研

收稿日期: 2021-12-22; 修订日期: 2022-05-29。

基金项目: 国家自然科学基金(41172228); 中国地质调查项目(DD20190237, DD20221775); 自然资源部华东海岸带野外科学观测研究站项目(ORSECCZ2022102)。

作者简介: 张志忠(1965—), 男, 河北省保定市人, 博士, 研究员, 研究方向为海岸带水文地质和环境地质。E-mail: zhangzcy@163.com

究资料,为分析研究三门湾海岸带第四系地下水资源奠定了基础。

### 3 研究区概况

三门湾海岸带地区陆地以丘陵为主,沿岸由几个小型冲(洪)积、海积平原盆地包围;侵蚀剥蚀低山多由流纹岩、熔结凝灰岩之类的坚硬岩石组成,侵蚀剥蚀丘陵主要由凝灰岩等酸性火山岩、砂页岩组成,有部分花岗岩;受赋存条件和构造等因素控制,三门湾海岸带基岩裂隙水和构造裂隙水富水性都较贫乏。三门湾岛屿罗列,动力作用较弱,又有一定的细颗粒物来源,因此淤泥质海岸发育,潮滩宽阔,岸滩处于缓慢淤涨或稳定状态;由于不断围填造地,海积平原不断扩大。三门湾北部海岸带陆域的宁海长街下洋涂和蛇盘岛西部区域都是滩涂围填造地而形成的。三门湾海岸带第四纪地层发育齐全,受新构造沉降运动、古地理环境和海平面波动的控制和影响,第四系沉积物厚度变化大,沉积类型复杂多样,岩相变化剧烈,岩性组合复杂。第四系松散岩类孔隙水富水性和咸淡水资源分布亦比较复杂。

### 4 三门湾海岸带第四系分布

三门湾海岸带滨海平原区由几个冲(洪)积、海积盆地组成,第四系包括全新统( $Q_n$ )和更新统( $Q_p$ )。

全新统可分为上组( $Q_n^1$ )、中组( $Q_n^2$ )、下组( $Q_n^3$ ),上组主要是以灰黄色黏土质粉砂为主的冲海积地层,中组主要是以黄灰色黏土质粉砂、灰色黏土质粉砂、粉砂为主的海积地层组成,下组主要由冲湖积的褐黄色黏土、粉砂质黏土和海积的灰色淤泥质黏土组成。

更新统( $Q_p$ )可分为上更新统( $Q_3$ )和中更新统( $Q_2$ );上更新统可分为上组( $Q_3^1$ )和下组( $Q_3^2$ ),上组上段( $Q_3^{2-2}$ )由冲湖积的褐黄色黏性土、灰绿色黏性土、海积的灰色黏性土和冲海积的灰色粉砂、粉细砂组成,上组下段( $Q_3^{1-1}$ )由冲湖积的褐黄色黏性土、灰绿色黏性土、海积的灰色黏性土和冲积、冲海积的灰色粉砂、灰黄色粉砂、灰绿色粉砂、粉砂、砂等组成;下组主要由冲湖积的褐黄色黏性土、灰绿色黏性土、海积的灰色黏性土和冲(洪)积的灰、灰黄色卵(砾)石、砾砂、砂等组成。中更新统( $Q_2$ )可分为上组( $Q_2^1$ )和下组( $Q_2^2$ ),上组主要由冲湖积杂色黏性土层和冲(洪)积的含黏性土角砾(圆砾)、砾砂、砂组成,下组主要由硬塑状的冲湖积杂色黏性土层和冲(洪)积的含黏性土圆砾组成。

三门湾海岸带第四系分布主要受山体和丘陵分布影响,山体普遍比较陡直。第四系厚度变化很大,近山体第四系厚度较薄,远离山体第四系较厚(图1)。在三门湾海岸带东北部陆域,象山县新桥镇象山影视城、王家村、下灶村、中站村、定塘镇、林家村西南一

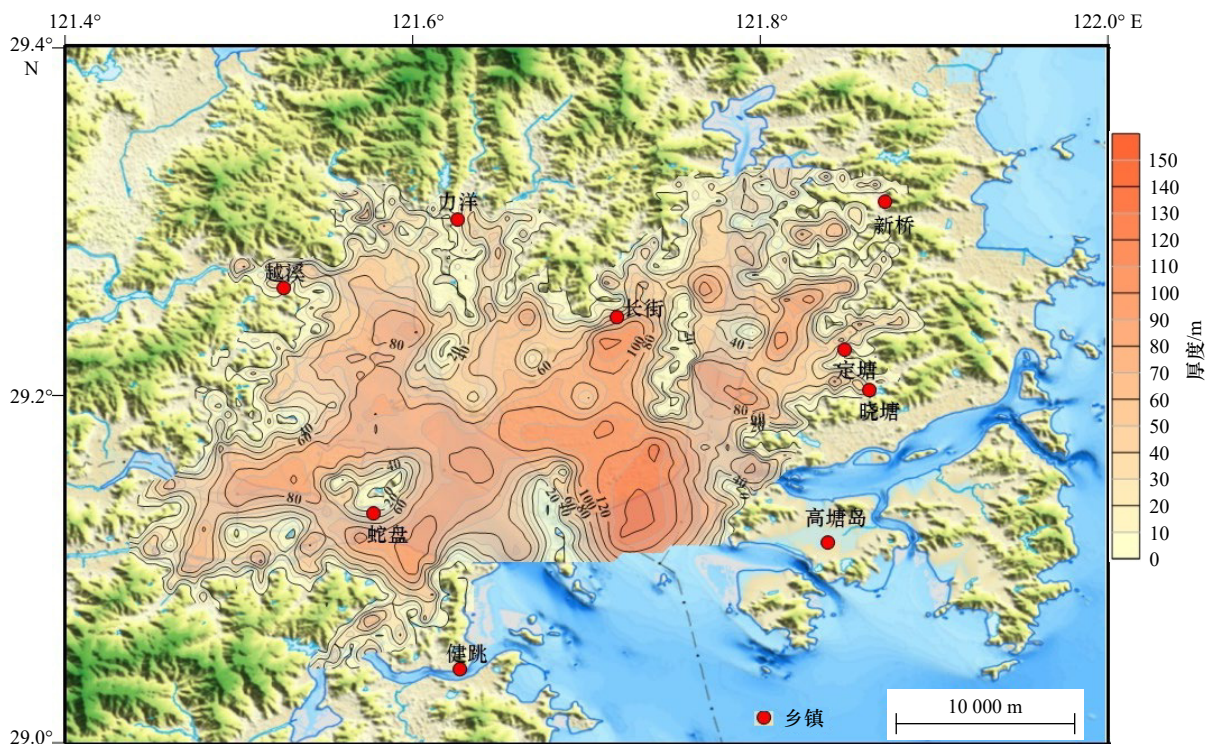


图1 三门湾海岸带第四系厚度分布

Fig. 1 Thickness distribution of quaternary in Sanmen Bay coastal zone



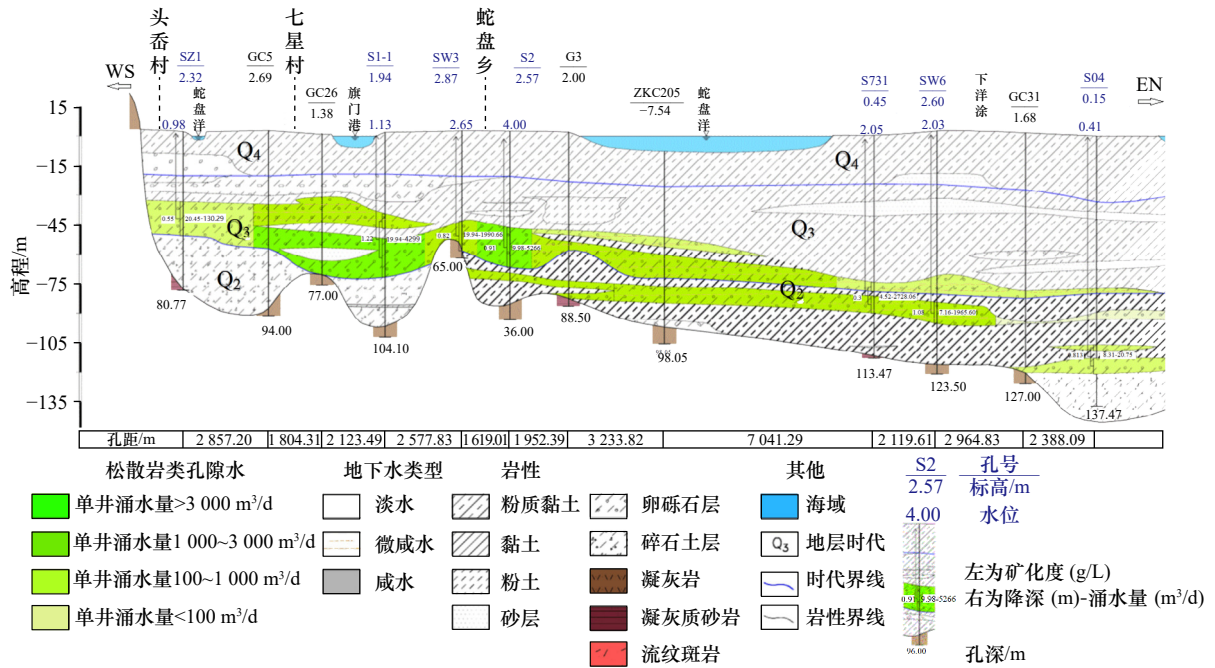


图3 水文地质剖面(A-A')

Fig. 3 Hydrogeological profile (A-A')

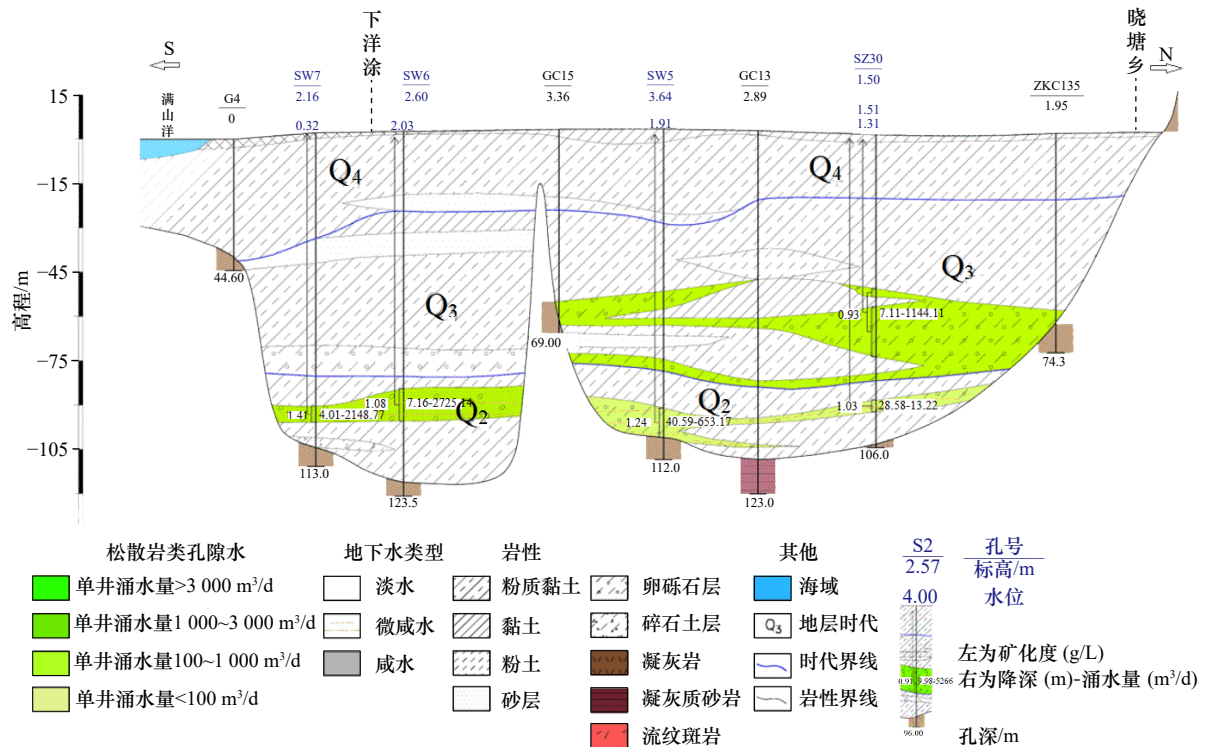


图4 水文地质剖面(B-B')

Fig. 4 Hydrogeological profile (B-B')

总体来看,三门湾海岸带陆域第四系承压水在古河道分布区富水性较强。受沉积环境、补给条件和赋存条件等因素影响,第一承压含水层(组)在部分地段为微咸水或咸水,而第二承压含水层(组)中的微咸水、咸水主要分布于古河道上游和河口地带。

(1) 宁海县长街镇第四系承压水

宁海县长街镇区域第四系含水层可分成两个承压含水层(组):上更新统下组第一承压含水层(组)和中更新统上组第二承压含水层(组)。淡水主要分布在第二承压含水层(组)中。

在车岙港-下洋涂区域承压水总体以淡水资源为主,淡水总体呈“人”字型分布,周围分布微咸水和咸水(图2)。

第一承压含水层(组)中淡水资源主要分布在长街镇北部的大湖-车岙港区域(图2,图4),含水层顶板埋深为52.2 m,厚度为23 m,降深10 m时的单井涌水量可达1 000 m<sup>3</sup>/d,水量较丰富,水质类型为Cl-HCO<sub>3</sub>-Ca·Na·Mg。

第二承压含水层(组)顶板埋深为87.6~107.3 m,含水层厚度为5.5~11.3 m,富水性差异较大。在大湖-下洋涂区域以淡水为主,淡水呈“八”字型分布,周围分布微咸水和咸水(图2至图4);除南端近海区域淡水富水性较强以外,其他淡水分布区富水性一般,单井出水量较小,降深10 m的单井涌水量一般小于100 m<sup>3</sup>/d,水质类型主要为HCO<sub>3</sub>-Cl-Na;在南部近海淡水富水性较强区降深10 m的单井涌水量达到399.5 m<sup>3</sup>/d,水质类型为HCO<sub>3</sub>-Cl-Na。在微咸水分布区(大渔冯村-文围村-下洋涂西部),自北向南方向富水性增强;在最南部区域,降深10 m的单井涌水量可达5 359.1 m<sup>3</sup>/d,水化学类型主要为Cl-Na型和Cl-HCO<sub>3</sub>-Na型,矿化度为1.08~1.411 g/L。

#### (2) 蛇盘第四系承压水

蛇盘滩涂围垦区地区第四系包含第一承压含水层(组)和第二承压含水层(组),上更新统下组第一承压含水层(组)富水性较好,为主要供水目的层。

第一承压含水层(组)顶板埋深为41.3~52.4 m,含水层厚度为7.2~28.1 m,富水性较好,渗透系数为4.0~36.0 m/d,单井涌水量一般为1 000~3 000 m<sup>3</sup>/d,局部可达5 277 m<sup>3</sup>/d,除边缘部分部位为微咸水外,绝大部分地区为淡水(图2),矿化度一般为0.506~0.815 g/L,水化学类型主要为HCO<sub>3</sub>-Na型和Cl-HCO<sub>3</sub>-Na·Mg·Ca型<sup>[2]</sup>。

#### (3) 象山县西南部第四系承压水

象山县西南部(新桥、晓塘、定塘西部)地区第四系可分成第一承压含水层(组)和第二承压含水层(组),第一承压含水层(组)上更新统上组下段在大部分地段为微咸水;第一承压含水层(组)中的上更新统下组含水层主要为淡水;第二承压含水层(组)富水性较好,水质为淡水(图2),为主要供水目的层。

第一承压含水层(组)中的上更新统下组含水层顶板埋深为64.3~66.7 m,含水层厚度为0.78~10.3 m,在大部分地段富水性较好,单井涌水量一般为33.6~112.0 m<sup>3</sup>/d,矿化度一般为0.50~0.99 g/L。

第二承压含水层(组)顶板埋深为59.0~92.7 m,含水层厚度为5.5~36.2 m,富水性差异较大,渗透系数为0.63 m/d,单井涌水量一般为3.6~190 m<sup>3</sup>/d,矿化度一般为0.48~0.754 g/L,水化学类型主要为Cl-HCO<sub>3</sub>-Na型。

从水文地质条件和地下水资源分布特征可以看出,宁海县长街镇下洋涂区域(面积约为73 km<sup>2</sup>)和蛇盘滩涂围垦区(面积约为21 km<sup>2</sup>)可作为应急供水水源地。

## 6 第四系承压水年龄及更新性

利用2019-2020年在研究区完成的第四系水文地质孔采集地下水样品,在青岛海洋科学与技术试点国家实验室进行了AMS <sup>14</sup>C测年,对蛇盘滩涂围垦区和宁海县长街镇下洋涂围垦区第四系承压水循环及可更新性进行了分析研究<sup>[3-7]</sup>。

根据地下水AMS <sup>14</sup>C测试结果(表1,图2)可以看出,蛇盘滩涂围垦区第一承压含水层地下水年龄为21 642~22 012 cal a BP,3个水样年龄非常接近,为晚更新世晚期补给的水,这部分地下水尚未开采,也基本没有接受山前入渗补给和潜水垂向越流补给,没有任何更新,处于天然状态。

表1 蛇盘滩涂围垦区第一承压含水层地下水年龄

Table 1 Groundwater ages of the first confined aquifer in Shepan tideland reclamation area

样号	<sup>14</sup> C/a BP	日历年龄/(cal a BP)		含水层位置/m	水化学类型	矿化度/(g·L <sup>-1</sup> )
		中值	范围(2σ)			
SW02	17 820	21 642	21 397~21 915	49.2~63.0	Cl-HCO <sub>3</sub> -Mg·Ca·Na	0.769
SW03	18 060	22 012	21 807~22 201	45.6~59.5	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na·Mg·Ca	0.815
SW11	17 560	21 199	20 962~21 412	51.4~81.0	HCO <sub>3</sub> -Na	0.506

从样品的水质类型和矿化度可以看出,蛇盘滩涂围垦区第一承压含水层地下水为淡水,说明蛇盘滩涂

围垦区晚更新世晚期补给的地下水基本未受到海侵作用影响。

从地下水 AMS  $^{14}\text{C}$  测试结果(表 2, 图 2)可以看出, 宁海长街镇下洋涂滩涂围垦区第二承压含水层 SW7 孔地下水的年龄为 35 052 cal a BP, SW13 孔地下水的年龄为 45 439 cal a BP, 均为晚更新世中期补给的水。SW13 孔水样的年龄较 SW7 孔更老, 可能是由

于 SW13 孔抽水层层段深度更深, 地下水为更老时期补给的水。宁海下洋涂滩涂围垦区第二承压含水层地下水尚未开发利用, 也基本没有接受山前入渗补给和潜水垂向越流补给, 没有任何更新, 处于天然状态。

表 2 长街镇下洋涂围垦区第二承压含水层地下水年龄

Table 2 Groundwater ages of the second confined aquifer in Xiayangtu, Changjie town tideland reclamation area

样号	$^{14}\text{C/a BP}$	日历年龄/(cal a BP)		含水层位置/m	水化学类型	矿化度/( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )
		中值	范围( $2\sigma$ )			
SW7	30 710	35 052	34 500~35 634	91.0~96.5	$\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$	1.411
SW13	42 860	45 439	43 822~47 588	98.1~110.5	$\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$	0.84

从水质情况来看, SW7 孔水化学类型为  $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ , 矿化度为 1.411 g/L, 为微咸水; SW13 孔水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ , 矿化度为 0.84 g/L, 为淡水, 说明 SW13 孔 98.1~110.5 m 深度层段含水层(含水层厚 6.3 m, 上覆 11.0 m 黏土隔水层)没有受到后期海侵影响, 而 SW7 孔 91.0~96.5 m 较浅深度层段含水层(含水层厚 5.5 m, 上覆 8.6 m 黏土隔水层)中的地下水可能受到了晚更新世中晚期( $\text{Q}_3^{1-1}$ )海侵时淹没的海水或沿河道上溯的海水影响, 海水或微咸水入渗, 与早期形成的淡水混合, 使之咸化, 并包含了较 SW13 孔含水层较新的水。对比 SW13 孔和 SW7 孔可以看出, 含水层段位置越深、与上部含水层之间的隔水层越厚, 地下水矿化度越低、受后期海侵作用的影响越小。

从地下水的年龄结合地下水资源分布可以看出, 第一承压含水层和第二承压含水层都有淡水和微咸水分布, 说明晚更新世和中更新世时期三门湾盆地区(松散沉积物分布区)地势起伏变化较大, 地势较高的区未受后期海侵时海水淹没, 地势低洼区受到后期海侵海水淹没影响。后期海侵并未影响盆地所有地段承压含水层水质。

长街下洋涂围垦区与蛇盘滩涂围垦区相距不远, 隔海湾相望。从地下水测年结果可以看出, 随着承压含水层埋深的增加, 地下水的年龄也更老。在目前未开采利用条件下, 承压水补给条件差、资源更新性差。由于距离山前入渗补给区普遍较近, 在开发利用承压水时, 地下水补给和更新能力都会增强可能。对

于可作为应急供水水源地的蛇盘滩涂围垦区和下洋涂围垦区, 在开发地下水资源时, 应加强地下水资源管理, 科学地开发利用好地下水资源。

## 7 结论

(1) 三门湾海岸带滨海平原区由几个冲(洪)积、海积盆地组成, 第四系分布主要受山体和丘陵分布影响, 厚度变化很大, 近山体第四系厚度较薄, 远离山体第四系较厚。

(2) 三门湾海岸带第四系承压水富水性、咸淡水资源分布比较复杂。蛇盘第一承压含水层(组)富水性较好, 绝大部分地区为淡水。宁海长街镇区域承压含水层淡水总体呈“人”字型分布; 长街镇北部的大湖-车岙港区域淡水资源主要分布在第一承压含水层(组)中; 在长街镇大湖-下洋涂区域, 淡水资源主要分布在第二承压含水层(组)中, 在南部近海区域富水性较好。

(3) 三门湾海岸带第四系承压水年龄普遍较老。蛇盘滩涂围垦区第一承压含水层地下水年龄为 21 642~22 012 cal a BP, 未受到后期海侵作用影响; 下洋涂滩涂围垦区第二承压含水层地下水的年龄为 35 052~45 439 cal a BP, 部分地段受到后期海侵影响。后期海侵并未影响盆地所有地段承压含水层水质。在目前未开采利用条件下, 承压水补给条件差, 承压水资源更新性差。对于可作为应急供水水源地的下洋涂围垦区和蛇盘滩涂围垦区, 应加强地下水资源管理。

## 参考文献:

[1] 张志忠, 邹亮, 周良勇. 舟山北部海域海底第四系淡水资源赋存潜力[J]. 海洋学报, 2018, 40(3): 50-61.

Zhang Zhizhong, Zou Liang, Zhou Liangyong. Occurrence potential study on submarine Quaternary freshwater resources in the North

- Zhoushan sea area[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(3): 50–61.
- [2] 吴炳华, 周庆胜, 潘小青, 等. 宁波市蛇蟠岛应急水源地建设与环境效应[J]. *水资源保护*, 2017, 33(3): 38–41, 51.  
Wu Binghua, Zhou Qingsheng, Pan Xiaoqing, et al. Research of emergency water source area construction and environmental effect evaluation for Shepan Island of Ningbo City[J]. *Water Resources Protection*, 2017, 33(3): 38–41, 51.
- [3] Cao Guoliang, Han Dongmei, Currell M J, et al. Revised conceptualization of the North China basin groundwater flow system: groundwater age, heat and flow simulations[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 127: 119–136.
- [4] Darling W G, Sorensen J P R, Newell A J, et al. The age and origin of groundwater in the Great Western Erg sub-basin of the north-western Sahara aquifer system: insights from Krechba, central Algeria[J]. *Applied Geochemistry*, 2018, 96: 277–286.
- [5] 陈宗宇, 聂振龙, 张荷生, 等. 从黑河流域地下水年龄论其资源属性[J]. *地质学报*, 2004, 78(4): 560–567.  
Chen Zongyu, Nie Zhenlong, Zhang Hesheng, et al. Groundwater renewability based on groundwater ages in the Heihe valley alluvial basin, northwestern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(4): 560–567.
- [6] 阮云峰, 赵洪菊, 肖洪浪, 等. 黑河流域地下水同位素年龄及可更新能力研究[J]. *冰川冻土*, 2015, 37(3): 767–782.  
Ruan Yunfeng, Zhao Liangju, Xiao Honglang, et al. The groundwater in the Heihe River basin: isotope age and renewability[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(3): 767–782.
- [7] 周宏春, 哈承佑. 海岸带咸、淡水成因研究的途径与实例[J]. *勘察科学技术*, 1987(3): 29–34.  
Zhou Hongchun, Ha Chengyou. Research approach and examples on freshwater and saltwater cause in coastal zone[J]. *Site Investigation Science and Technology*, 1987(3): 29–34.

## The study on Quaternary groundwater resources in Sanmen Bay coastal zone

Zhang Zhizhong<sup>1,2</sup>, Cao Ke<sup>1</sup>, Lü Shenghua<sup>1</sup>, Zhou Yubo<sup>3</sup>, Yin Ping<sup>1</sup>, Li Ang<sup>3</sup>, Gao Fei<sup>1</sup>

(1. *Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266237, China*; 2. *Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China*; 3. *Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ningbo 315012, China*)

**Abstract:** Quaternary distribution, Quaternary confined aquifer productivity, distribution of freshwater and seawater resources, confined groundwater age and renewability are further studied based on recently completed hydrogeological borehole, engineering pores and AMS <sup>14</sup>C dating combined with previous data. The first confined aquifer productivity in Shepan tideland reclamation area of Sanmen Bay coastal zone is better, most of groundwater is fresh water. As a whole, freshwater resources of confined aquifer at Changjie Town of Ninghai County are distributed by herringbone patterns. Freshwater resources are mainly distributed in first confined aquifer at Dahu-Cheaogang of north Changjie Town, and freshwater resources are mainly distributed in second confined aquifer at Dahu-Xiayangtu of Changjie Town. The Quaternary confined aquifer ages are generally older. The groundwater ages of the first confined aquifer in Shepan tideland reclamation area are 21 642–22 012 cal a BP, the groundwater is not affected by late transgression. The groundwater ages of the second confined aquifer in Xiayangtu tideland reclamation area are of Changjie Town are 35 052–45 439 cal a BP, the groundwater in partial site is affected by late transgression. Under present unexploited conditions the condition of confined groundwater recharge is bad, the renewability of groundwater resources is not good. Therefore, the management of groundwater resources should be strengthened in emergency water source.

**Key words:** distribution of freshwater and seawater resources; groundwater ages; renewability; Sanmen Bay coastal zone