

文章编号:1009-2722(2012)08-0043-06

舟山北部海域海底淡水资源研究现状

韩 月^{1,2}, 张志忠^{2,3}, 何兵寿¹

(1 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100; 2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071)

摘 要:近海海底第四纪淡水资源主要赋存在相对比较封闭的古河道砂体地层环境中, 埋藏古河道分布是海底淡水资源的研究重点。介绍了我国舟山北部海域海底淡水资源初步研究成果, 在综合前人研究成果的基础上, 指出了海底淡水资源调查研究中存在的问题, 对未来工作提出了展望。

关键词:近海海域; 海底淡水资源; 赋存条件; 埋藏古河道

中图分类号: P746

文献标识码: A

海底地下淡水指的是自然界赋存于海底之下、具有较大孔隙度的地层或构造中的淡水资源, 也包括沿着这些含水地层或构造在海底的出口喷涌而成的海底淡水泉或渗泄而成的弥散型海底淡水泉^[1]。海底地下水根据其储存场所和运动通道可以分为海底孔隙地下水、海底裂隙地下水和海底溶穴地下水^[2]。美国的 Florida 和希腊东南面的爱琴海等都有对于海底淡水资源特别是海底泉开发利用的先例, 已引起世界许多沿海国家的关注^[3], 如美国已发现 200 多处, 在我国近海海域也发现了几十处。对于海底地下水的研究, 国内外大多只是评价海底地下水排泄(SGD)的数量对海洋环境的影响^[3-5]及海底地下水对全球水循环的作用^[6]等方面, 对于海底地下水的研究所关注的主要都是碳酸盐岩溶含水层和基岩裂隙含水层地下水在海底溢出形成的海底泉^[3,7], 而对海底第四纪松散层孔隙淡水赋存和地下淡水资源的调查研究还很薄弱^[3,8,9]。

近年来, 随着沿海地区地层和含水层在海底的延伸及边界、近海海底地层的结构及沉积环境、

近海地区海底淡水是否存在等问题的解决, 为缓解海岸带和海岛地区水资源短缺、寻找新的供水水源指明了方向^[1]。我国在海岸带和近海地区开展了海底淡水资源及相关的水文地质调查和分析研究工作, 已取得了一些初步的研究成果。

1 海底淡水资源赋存条件

大陆架是大陆向海的自然延伸部分, 与现今陆地具有同源性, 根据“冰川控制说”, 大陆架是第四纪低海平面时期大陆边缘受侵蚀和堆积的产物^[10]。第四纪时期, 冰期和间冰期交替变化, 表现为寒冷与温暖的气候交替, 引起大陆冰川的发育与衰退, 在我国近海出现了周期性海平面升降、海陆变迁和海陆相相互作用的格局, 大陆架区发生海侵海退, 经历了江河摆荡和延缩、湖泊发育和消亡, 形成海、陆相层交替沉积^[11]。冰期低海平面时, 河流向海伸展, 陆架上经河流冲刷改造, 形成了宽阔的古河道, 河水携带的泥沙不断堆积在下游河床, 形成了以粗粒泥沙为主的河道沉积等陆相地层^[10-17]; 间冰期发生海侵, 陆相地层遭到海相沉积掩埋, 成了多期巨大规模的埋藏古河道^[10-18], 可能与陆地水系相接, 构成很好的淡水含水层, 而海相层多以黏土层为主, 密度小, 透水性差, 经过多期发育, 构成含水层良好的隔水顶底

收稿日期: 2012-05-25

基金项目: 国土资源大调查项目(1212010914044); 国家自然科学基金(41172228)

作者简介: 韩 月(1985—), 在读硕士, 主要从事海洋地质与水文地质方面的研究工作。E-mail: hanyue1985hy@126.com

板^[10,12-17],因此海底第四纪地层中很可能赋存淡水资源。

研究表明,海底第四纪淡水资源主要赋存在近海相对比较封闭的古河道砂层环境中^[10,12-17]。刘海龄等^[8,15,16]论述了陆架河口区海底淡水资源的形成条件,第四纪海陆变迁及与之相关的海陆沉积体系的互层发育,为海地淡水资源的赋存提供了优良的“生、运、滤、储、盖”组合条件:陆地水系会通过地下含水层向大陆架海域或陆源盆地边缘延伸,成为海底淡水的直接补给源;陆相地层中多期规模巨大的埋藏古河道系统,形成了多层原生海底淡水层,是主要的储存层,也是海底淡水运移的重要通道;海底含水层中的原积咸水在自然条件下可自发淡化,成为海底淡水次生源;含水层之上广泛覆盖的三角洲前缘相和浅海相黏土质沉积层,透水性差,一般分布范围广且连续稳定,构成了良好的隔水顶板层,保护含水层内淡水不受污染。张志忠等^[12]通过研究我国近海海底第四纪淡水资源,提出了海底第四纪淡水资源赋存需要具备的条件:①存在厚层的陆相地层,这样才能保证松散沉积层中大孔隙砂层储存大量的海底淡水;②封闭或近封闭的边界条件,只有这样,海底淡水含水层才不会受到咸水层及海水的污染,得以很好保存;③大型古河道或者厚层砂层的分布,它既是海底淡水资源的重要存储空间,又是陆地水系向海洋运移重要通道,陆地水系通过地下含水层向陆架海域运移。

2 舟山北部海域海底淡水资源

由于气候的南北分带,我国各海域第四纪时气候表现不一,沉积环境、岩相古地理也有差异,埋藏古河道形成的时代、分布范围也不相同^[18]。许多学者关注对东海沿岸及近海海域第四纪地层、沉积环境和岩相古地理研究^[19-21],大大提高了东海陆架区第四纪的研究程度,为海底淡水资源研究打下了良好的地质基础。位于东海西北部陆架区的舟山北部海域,其淡水资源研究比较深入,一直处于我国国内领先水平。

舟山群岛地处长江口东南、杭州湾外缘的东海海域,区内共有 1 390 个岛屿,有人居住的岛屿 98 个。嵊泗列岛位于舟山群岛东北部,远离大陆,受

地质条件限制,储水能力有限,境内输水和境外引水都很困难,海水淡化成本昂贵,淡水资源极其短缺,已严重影响当地经济和社会的发展^[1,3,9]。

2.1 舟山北部海域海底淡水资源研究现状调查

从 20 世纪 80、90 年代开始,有关单位就在舟山北部海域(东海陆架区)开展了水文地质物探、水文地质钻探、抽水试验等淡水资源调查和论证工作。

(1)1980 年,陆志坚先生在分析上海地区第四纪地下淡水古河道分布的基础上,预测长江古河道和钱塘江古河道由长江口和杭州湾外向舟山北部海域延伸^[9,22]。

(2)1991 年 12 月—1992 年 2 月,上海地质调查局开展了电火花浅地震剖面调查,根据剖面解释可划分出 3 个反射界面和 4 个反射层组,推测在嵊泗岛北部海域可能存在早更新世长江古河道,并提出下一步水文地质钻孔的位置^[23]。

(3)1992 年 3 月,浙江省地矿厅在上海南汇果园附近进行了浅地震 P 波法调查,该地区可划分出 7~8 个反射波组,其层位可与陆地钻孔资料及海区地震资料相对比,说明长江古河道有向海区延伸的趋势^[23]。

(4)1993 年 1—2 月,上海海洋地质调查局在嵊泗四礁岛偏西方向 16.5 km、水深 13.5 m 海域进行了“嵊泗一井”施工,通过水文地质钻探、地质录井、物探测井和抽水试验等工作认为,早更新统地层发育,厚度可达 140~160 m,可划分为 5 个含水砂层,除去第 2 砂层为咸水或半咸水外,其他层位皆为淡水,具有一定的开采价值^[23]。

(5)1993 年 2—4 月,上海海洋地质调查局在嵊泗列岛西北部海域进行了高分辨率地震调查工作,该地区可划分为 3 个反射界面和 4 个反射层组,通过调查推断了早更新世古河道大体呈现东西向分布^[23,24]。

(6)1997 年 8—12 月,上海海洋地质调查局第一海洋地质调查大队进行了浅层地震补充调查工作,勾画了整个嵊泗北部及西部海域的基岩面与第 4 含水顶板标高等值线,推测了长江古河道延展位置。

(7)2007 年 5—6 月,中国煤炭地质总局第三水文地质队在嵊泗本岛北西约 20 km、“嵊泗一

井”以西约 12 km 海域实施了“嵎泗二井”,通过水文地质钻探、地质录井、物探测井和抽水试验等工作,查明了第四系的沉积特征,确定了 2 个含水层的单井涌水量,对含水层的水质及水量进行了评价^[25-28]。

“嵎泗一井”和“嵎泗二井”水文地质孔发现了第四系可供开发利用的淡水含水层^[23,27,28],证实 在岛屿附近海域寻找和开发第四纪淡水资源是可行的,但是,由于物探、地质、水文地质等工作调查程度有限,还没有找到理想的淡水含水层。

2009 年,青岛海洋地质研究所开展了国土资源大调查项目——“浙江舟山北部海域海底淡水资源调查与评价”,是我国第 1 个系统的海底淡水资源调查项目。目前课题组根据于 2009 年实施的高分辨率单道地震资料及前人成果,基本查清了舟山北部海域第四系地层厚度变化规律,初步圈定了早、中更新世时期古河道的分布范围^[3,12,13]及主要的淡水有利赋存层分布范围。

2.2 第四系地层划分

根据层序划分原则和反射界面的识别标志,并结合研究区内已有钻孔资料,对舟山北部海域 2 230 km 高分辨率单道地震剖面进行解释、对比和全区闭合,通过钻孔资料得知基岩面以上地层为第四系松散沉积层。将研究区内地层剖面所揭示的第四系地层划分为 T₀、T₁、T₂、T₃、…、T₁₃ 共 14 个反射界面,再以反射界面为基础识别出 U₁、U₂、U₃、…、U₁₄ 共 14 个地层单元;其中地震单元 U₁、U₃、U₅、…、U₁₃ 为海进体系域即海相层;地震单元 U₂、U₄、U₆、…、U₁₄ 为高位体系域即陆相层^[3,12,13](图 1)。

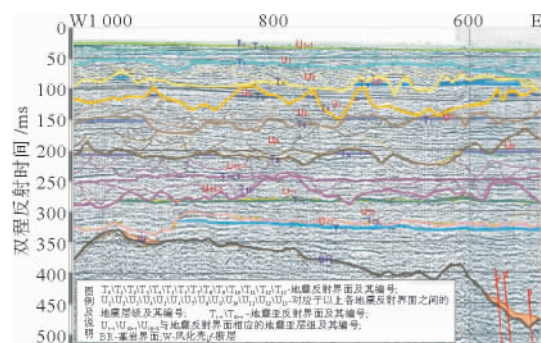


图 1 第四系地震单元划分(据文献[29])

Fig. 1 Division of the Quaternary seismic units (from refrence [29])

2.3 第四系松散层分布

海域第四系松散地层厚度分布受基岩埋深变化控制。海底基岩界面在单道地震剖面中有明显的强反射相位,一般都有区别于上下地层反射特征,比较容易识别(图 1)。据舟山北部海域单道地震资料解译成果,最后绘制出研究区舟山北部海域海底第四系松散层分布图(图 2)。

从图中可以看出,研究区北部除岛礁附近区域以外,海底第四系沉积比较平稳,厚度一般为 180 m 左右,变化不大;在鸡骨礁以北、研究区东北部、东部、东南部、西南部杭州湾方向,海底松散沉积物有逐渐增厚趋势,变化较大,东北部松散沉积物厚度最大可达 432.9 m,西南部杭州湾海底存在一第四系沉积凹陷区,第四系松散沉积物在凹陷中心最大沉积厚度可达 373 m。

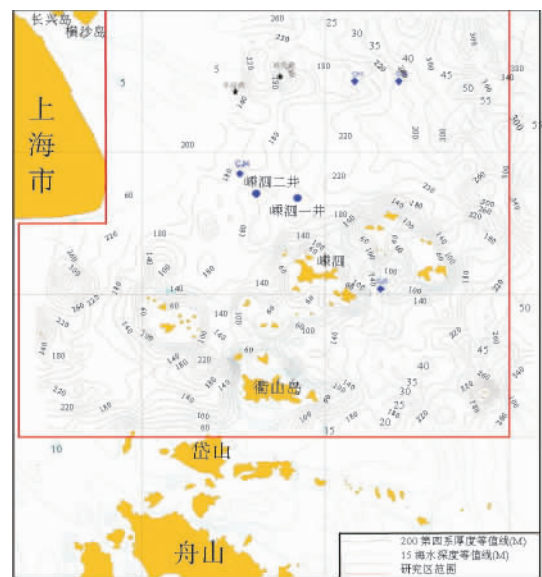


图 2 舟山北部海域第四系等厚图

Fig. 2 Isopach map of Quaternary unconsolidated sediments to the northern Zhoushan Islands

2.4 古河道分布

从 2009 年的单道地震剖面中可以看到许多不同规模、不同时代的古河谷或谷状地形,内部大多已被充填;部分地段可见复合河谷,内可见杂乱堆积,河道侧向迁移频繁,隐约可见数个小河谷,并有谷叠谷、谷中谷的现象(图 3、4),说明河道的

发育有继承性;通过舟山北部海域第四系地层分布研究、单道地震层序与区内“嵊泗一井”和“嵊泗二井”地质钻探成果对比分析,结合邻近调查海域的上海陆地区域地质资料,初步确定了调查海域早更新世中晚期、早期长江和钱塘江古河道的位置(图 5)。

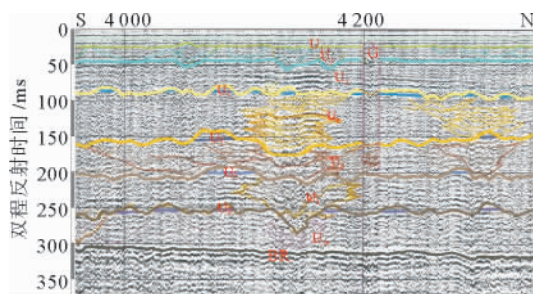


图 3 古河道带叠加的单道地震剖面

Fig. 3 Single-channel seismic profile of a superimposed paleochannel

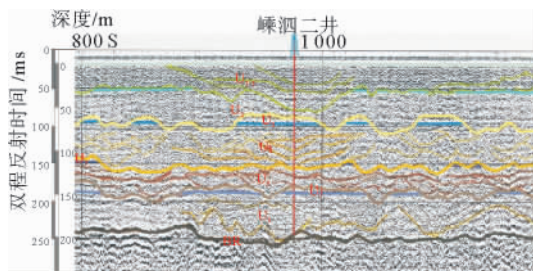


图 4 切穿嵊泗二井的单道地震剖面

Fig. 4 Single-channel seismic profile across Well Shengsi II

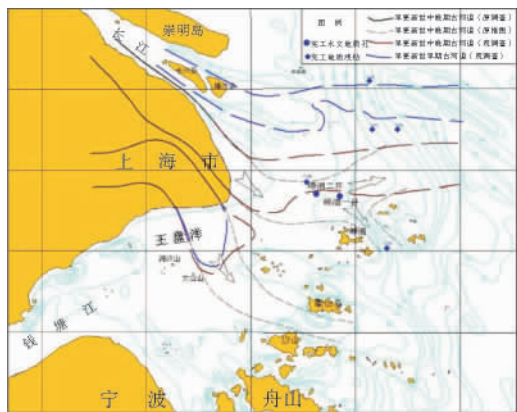


图 5 舟山北部海域海底古河道位置初步研究结果

Fig. 5 A location map of predicted submarine paleochannels in the offshore area to the northern Zhoushan Islands

从图 5 中可以看出,在早更新世中晚期,北部的长江古河道自南汇东部向东海大陆架延伸,进入大戢洋北部,通过嵊泗列岛和“嵊泗二井”以北,牛皮礁、鸡骨礁以南海域向东延伸;南部的钱塘江古河道经奉城进入滩浒山、大白山以北的王盘洋;与前人的预测有较大的出入。

在早更新世早期,北部的长江古河道自长兴岛、横沙岛向东海大陆架延伸,到达牛皮礁、鸡骨礁的西北部,自鸡骨礁的北部向东延伸;南部的钱塘江古河道与早更新世中晚期时的古河道位置基本相同,也是在滩浒山、大白山以北的王盘洋,只是分布范围略小。

2.5 淡水有利赋存层研究

从 2009 年完成的穿过“嵊泗二井”的南北向单道地震剖面(图 4)可以看出,与研究区第四系地层发育完全区域的 14 个地震单元相比,嵊泗二井揭露的第四系地层缺乏下部 6 个地震单元,只对应 U1—U8 共 8 个地震单元,从单道地震等资料来看基本可以判定下更新统地层发育不全,但是依靠井中岩屑和少部分岩心样品通过孢粉分析等资料,判定出“嵊泗二井”下部存在下更新统。

“嵊泗二井”进行抽水试验的Ⅲ含水层(139.33~182.00 m)(图 6)^[25]对应图 3 剖面中 U8 单元的地层,抽水试验结果表明单井涌水量为 119.3 m³,水量比较丰富,水质类型为 Cl—Na 型,为微咸水^[52],相对应的地质年代为 Q₁₂₋₃和 Q₂₁^[43],并不能与上海地区 Q₁₂₋₃的第Ⅳ承压含水层(富水性最好的淡水层)^[46]相对应,可能是上海地区第Ⅲ承压含水层(Q₂¹)^[28]和第Ⅳ承压含水层(Q₁²⁻³)的混合层,但从剖面整体来看,“嵊泗二井”附近海域 U8 单元及以下地层仍可能存在淡水资源;U8 地震单元以下,海相层都不太发育、厚度较薄,而陆相地层很发育、沉积厚度较大,主要为河流相沉积,对淡水资源的赋存比较有利。U7 单元作为盖层基本上能与第Ⅲ隔水层(125.00~139.33 m)(图 6)相对应,从整个剖面来看,区域分布较广,在局部地区缺失,可能会造成与上层含水层相通;通过研究可知,各种沉积体系中的泥质层、细粒沉积层均可作为盖层^[1,8,15,16],因此,在 U7 单元缺失的地区,U6 单元底部与 U8 单元顶部若含有泥质层、细粒沉积层也可作为含水层的

盖层,使淡水资源得以储存。源丰富区。

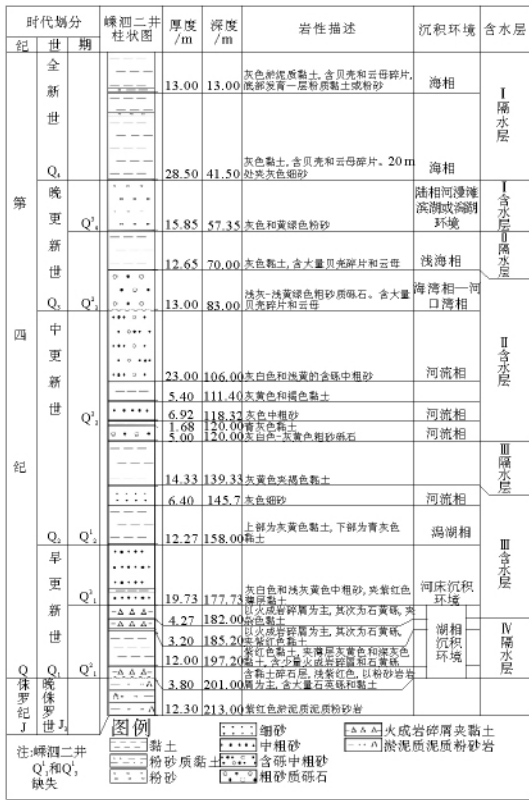


图 6 “嵊泗二井”柱状图与含水层划分

Fig. 6 Lithological column and aquifers of Well Shengsi II

通过此 23 条地震剖面的测量统计,绘制出研究区 U8 单元陆相层分布图(图 7),由图 7 可以看出,U8 单元陆相层主要分布在研究区内除去岛礁及其附近的区域。在研究区东南部,U8 单元主要分布在基岩埋深>190 m 的区域内;在嵊泗列岛的东部、北部和西北, U8 单元主要分布在基岩埋深>150 m 的区域内;而在西南部杭州湾附近,U8 单元主要分布在基岩埋深>190 m 的区域内。研究区南部的衢山岛 NW 向有一凹陷存在,可能有 U8 单元分布,由于缺乏单道地震资料,只是做出了推测。研究区西北部,由于缺少剖面资料,无法判断。舟山北部海域的西部钱塘江口北侧、嵊泗列岛和“嵊泗二井”以北、嵊泗东北部海域第四纪松散层发育,其中 U8 单元陆相层厚度在大约在 30~50 m 之间,沉积厚度较大,对淡水资源的赋存比较有利,此区还是早更新世古河道分布区,符合海底淡水资源储存条件,为海底淡水资

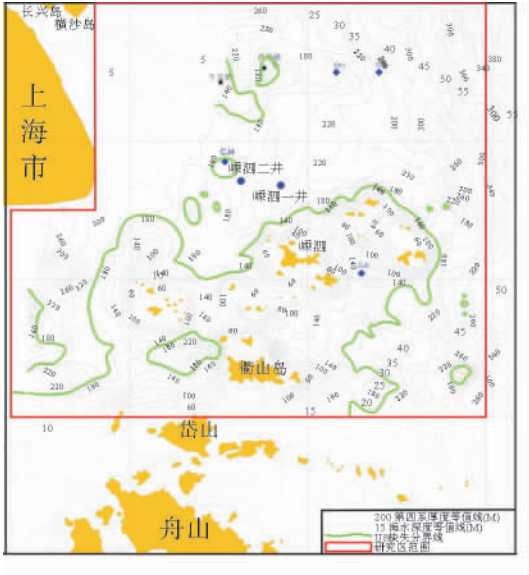


图 7 舟山北部海域 U8 单元陆相层分布范围

Fig. 7 Distribution of unit U8 in the area to the northern Zhoushan Islands

3 结语

海底淡水资源研究是海洋资源开发与利用的一项重要内容,起步较晚,目前仍处于探索阶段,调查方法和手段还不太成熟。针对前人的研究,笔者提出以下结论和仍存在的问题:

(1)第四纪时期,我国近海海相和陆相地层交替沉积,陆相地层中古河道发育,相对比较封闭的古河道砂层环境中可能赋存淡水资源。从南海至渤海,我国近海海域和岛屿附近海域都可能赋存丰富的海底淡水资源^[14]。

(2)舟山北部海域的西部钱塘江口北侧、嵊泗列岛和“嵊泗二井”以北、嵊泗东北部海域第四系松散层发育,下更新统陆相层沉积厚度较大、沿古河道分布,海底第四纪淡水资源丰富区。

(3)海洋地球物理、地质钻孔和水文地质孔的综合调查研究是开展近海海底淡水资源研究的主要手段,缺一不可。近海海底淡水资源的调查研究对于海岸带和沿海地区水文地质调查研究工作具有重要的推进作用,对于沿海地层和含水层在海底的延伸、沿海地区地下水资源评价和管理工作具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 刘海龄. 向海底要淡水迫在眉睫[N]. 科学时报, 2007-07-19, 4094.
- [2] 肖长来, 梁秀娟, 王 彪. 水文地质学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [3] 张志忠, 邹 亮, 韩 月. 舟山北部海域海底淡水资源研究[J]. 地质论评, 2012, 57(1): 81-86.
- [4] Mijatovic B. The groundwater discharge in the Mediterranean karst coastal zones and freshwater tapping: set problems and adopted solutions [J]. Environment Geology, 2007, 51: 737-742.
- [5] 郭占荣, 黄 磊, 刘花台. 镭同位素示踪隆教湾的海底地下水排泄[J]. 地球学报, 2008, 29(5): 647-652.
- [6] Li H L, Jiao J J. Tide-induced seawater - groundwater circulation in a multi-layered coastal leaky aquifer system[J]. Journal of Hydrology, 2003, 274: 211-224.
- [7] Fleury P, Bakalowicz M, Marsily G. Submarine springs and coastal karst aquifers: A review[J]. Journal of Hydrology, 2007, 339: 79-92.
- [8] 刘海龄, 吴世敏, 杨树康. 初谈海底淡水资源的形成条件与开发意义[J]. 海洋科学, 1995(5): 32-33.
- [9] 陆志坚. 从上海地区地下水淡水古河道含水的分布探讨嵊泗列岛的供水问题[J]. 上海地质, 1989(1): 23-26.
- [10] 龚士良, 茅鸿妹. 长江口水下淡水资源及其供水意义[J]. 海洋开发与管理, 1995, 12(2): 54-56.
- [11] 何起祥, 等. 中国海洋沉积地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 454-468.
- [12] 张志忠, 邹 亮, 崔汝勇, 等. 海底淡水资源赋存条件与舟山北部海底淡水资源[J]. 海洋通报, 2012, 30(1): 47-52.
- [13] 张志忠, 邹 亮, 杨子庚, 等. 舟山北部海域海底淡水资源调查与研究[C]//2010年城市地质环境与可持续发展论坛文集, 2010: 122-127.
- [14] 龚士良, 茅鸿妹. 长江口水下淡水资源及其供水意义[J]. 海洋开发与管理, 1995, 12(02): 54-56.
- [15] 刘海龄, 杨树康, 陈丽红. 海底淡水可解沿海水荒[J]. 海洋开发与管理, 1997(3): 47-50.
- [16] 刘海龄, 吴世敏, 魏常兴, 等. 论河口海底淡水资源的形成[J]. 自然资源学报, 1998, 13(04): 364-367.
- [17] 张云吉, 金秉福. 向海洋要淡水解决沿海水荒问题探讨[J]. 海洋湖沼通报, 1999(2): 60-64.
- [18] 耿秀山. 中国东部陆架的海底古河系[J]. 海洋科学, 1981(2): 22-27.
- [19] 王开发, 孙煜华, 张玉兰. 东海北部沉积物的孢粉、藻类组合及其地层、古地理[J]. 同济大学学报, 1979(2): 129-152.
- [20] 唐保根. 东海陆架第四纪地层层序的初步研究[J]. 上海地质, 1996(2): 22-30.
- [21] 刘振夏, 印 萍, Berne S, 等. 第四纪东海的海进层序和海退层序[J]. 科学通报, 2001(S1): 74-79.
- [22] 陆志坚. 上海市地下淡水承压含水层的分布及其向海域延伸的探讨[J]. 上海地质, 1994(1): 1-12.
- [23] 王振宇. 浙江嵊泗海域海底淡水资源初探[J]. 上海地质, 2005, 95(3): 16-21.
- [24] 张 藻, 陆志坚, 严礼川. 杭州湾海底淡水含水层开发前景初探[J]. 上海地质, 1998(1): 1-6.
- [25] 张春林, 王玉春. 海底第四系水文地质勘探——嵊泗二井施工工艺的探讨[J]. 中国煤田地质, 2007, 19(A02): 90-92.
- [26] 刘金保. 浙江省嵊泗海域海底地下水资源勘探施工技术[J]. 探矿工程, 2009(S1): 213-216.
- [27] 李 珍, 李 杰, 李 贞, 等. 浙江嵊泗海域第四纪沉积层序及含水层位特征初探[J]. 上海地质, 2008(2): 7-13.
- [28] 李家彪. 东海区域地质[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 600-615.
- [29] 杨子庚. 单道地震在舟山海底水文地质探测方面的应用[R]. 海底淡水资源调查与评价研讨会, 2009.

PRELIMINARY RESEARCH OF SUBMARINE FRESHWATER RESOURCES OFF NORTHERN ZHOUSHAN ISLANDS

HAN Yue^{1,2}, ZHANG Zhizhong^{2,3}, HE Bingshou¹

(1 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 3 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and

Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China)

Abstract: Submarine freshwater, as a kind of potential water resources, are mainly preserved in the relatively closed ancient sandy channel fillings. Therefore, paleochannel is regarded as the main target for submarine freshwater exploration. In this paper, we provided an overview of the distribution pattern of paleochannels and the conditions for submarine freshwater accumulation in the offshore area to the north of the Zhoushan Islands. Technical problems and future exploration strategies were also discussed.

Key words: offshore area; submarine freshwater resources; storage conditions; paleochannel