

莱州湾地区含卤层系沉积特征与卤水的形成*

姚 菁^{1,2,3,4}, 于洪军^{3,4}, 徐兴永^{3,4}, 易 亮^{3,4}, 苏 乔^{3,4}

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;

3. 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 4. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:莱州湾沿岸是我国沿海高矿化度地下卤水的主要分布区, 以在卤水分布区所钻取的 LZ908 孔为研究对象, 根据沉积物的粒度、含水率、微体古生物等特征, 分析卤水的富集层位、卤水含水层和隔水层的沉积特征、卤水形成前后的古海洋环境变化, 通过分析得到卤水主要赋存于海相砂层中, 形成于海侵后期的海退阶段。

关键词:莱州湾; 沉积特征; 环境变化; 卤水形成

中图分类号: P67

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2010)04-0473-05

莱州湾地下卤水资源丰富, 具有分布广、埋藏浅、层位稳定、储量大、矿化度高、稀有元素含量丰富、便于开采等一系列特征。如此大范围、高浓度的地下卤水在我国其他沿海地区是不存在的, 这可能与莱州湾沿岸的地形特征和古环境的变化密切相关。本研究利用莱州湾 LZ908 钻孔的分析资料, 研究其含卤岩系的沉积特征, 根据沉积特征分析卤水分布区的古海洋环境的变迁, 在此基础上探讨卤水的形成过程。

1 区域地质概况

钻孔位于山东省莱州湾南岸潍坊地区, 区内地势南高北低, 倾向海边。本区气候属暖温带季风型大陆性气候区, 第四系沉积物主要为山前冲洪积物和滨海沉积物, 局部地区有湖沼沉积物。山前冲洪积物主要由各河流形成的冲积扇群构成, 由山前至冲洪积扇前缘, 依次为砂砾石、砂、粉砂、砂质粘土和粘土。滨海沉积物主要为粉砂、细砂和粘土^[1]。地下卤水赋存于厚层第四系沉积物中, 含卤岩系包括一个潜水卤水层组和二、三个承压卤水层组及其之间的隔水层组成。

2 岩性特征

LZ908 钻孔总长 101.3 m, 位于莱州湾羊口盐场内(37°09'N, 118°58'E), 见图 1。

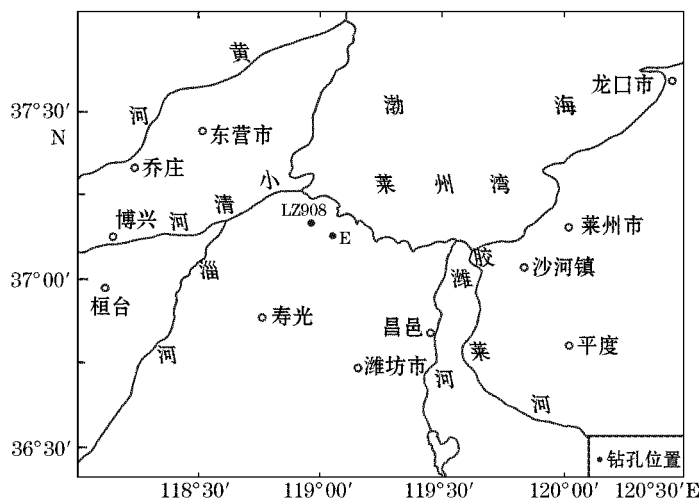


图 1 钻孔位置图

Fig. 1 The positions of the drill holes

* 收稿日期: 2009-08-10

资助项目: 我国近海海洋综合调查与评价专项课题——莱州湾海水入侵调查与研究(908-02-ZH2); 基本科研业务费专项资金项目——莱州湾古环境演化与地下卤水资源的形成(2008G13); 国家自然科学基金项目——滨海与内地第四纪地下卤水沉积环境与成因对比研究(40576035)

作者简介: 姚菁(1981-), 女, 山东龙口人, 研究实习员, 主要从事海洋地质方面研究. E-mail: sdhdjy@163.com

(张 骞 编辑)

2.1 物探资料

为了搞清钻孔周围地层的概况,以钻孔所在位置为中心,利用高密度电法测量布置了两条测线。测线 1 近南北向布设,测线 2 近东西向布设。电极间距为 5 m,测量最大深度为 100 m,测量结果如图 2。据物探结果钻孔附近地表以下沉积物的基本情况:0~20 m 视电阻率为 $0.6\sim 2.0\ \Omega\cdot\text{m}$,推断为粘土质粉砂,属于潜水卤水层,20~60 m 视电阻率为 $0.2\sim 0.6\ \Omega\cdot\text{m}$,推断为粉砂(有粘土夹层),属于承压卤水层,60~100 m 视电阻率为 $0.6\sim 2.0\ \Omega\cdot\text{m}$,推断为粘土层。据物探结果,地下卤水主要分布于深度 60 m 以上的范围,所以本研究只对 60 m 以上的含卤地层沉积特征进行详细的讨论。

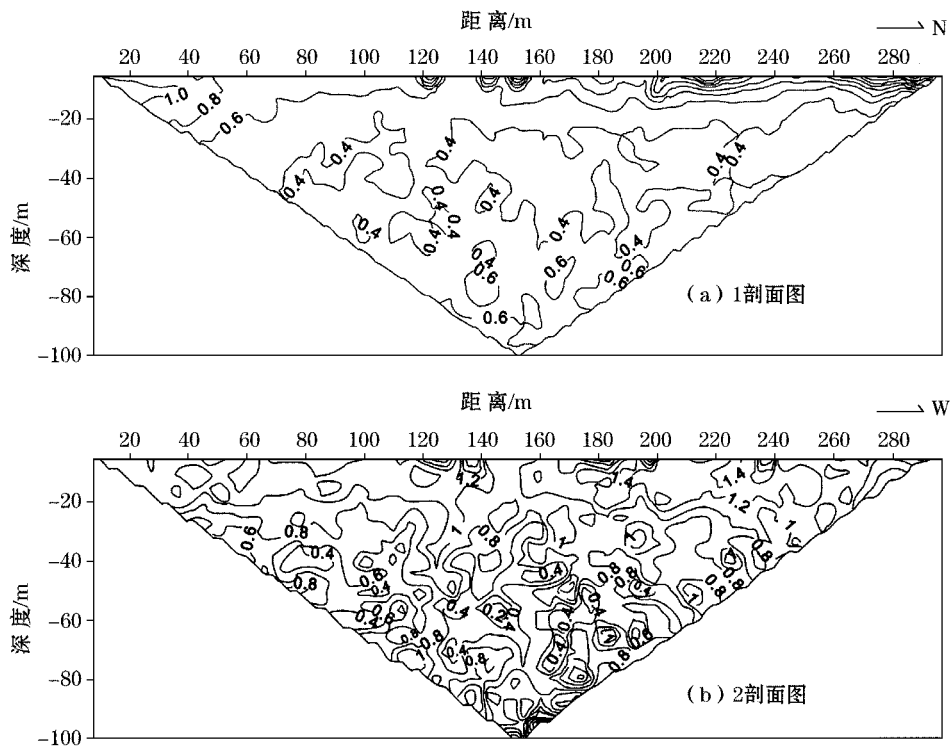


图 2 LZ908 钻孔周围物探测量剖面图

Fig. 2 The sections for geophysical survey around the LZ908 drill hole

2.2 岩性描述

样品的测量在海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室完成。采用了较为彻底的前处理方法^[2]。利用英国 Malvern Instruments 公司生产的 Mastersizer2000 激光粒度分析仪进行沉积物的粒度测定,取样间距 2 cm,结果如图 3。在实验室内对莱州湾 LZ908 孔进行了细致地分样工作,其 60 m 范围内的大体岩性如下:

- 2.35~3.20 m 黄褐色细砂,中间部分含贝壳碎片;
- 3.20~4.80 m 黄褐色粉砂,含细小贝壳碎片;
- 4.80~11.40 m 灰褐色粉砂,含贝壳碎片,上部含泥炭层,下部有未碳化的植物根系;
- 11.40~13.00 m 灰褐色粉砂质粘土,含点状结核,有锈斑;
- 13.00~13.30 m 黄褐色粘土质粉砂,含少量贝壳;

13.30~13.40 m 黑灰色条带有机质含量增高;
 13.40~18.47 m 黄褐色细砂层,含贝壳碎片和钙质结核;
 18.47~18.98 m 灰褐、黄褐色粘土质粉砂层、有锈斑;
 18.98~22.84 m 黄褐色粉砂层,中间含大量贝壳碎片,底部见黑色有机质条带;
 22.84~28.13 m 红褐色粘土层与黄褐色粉砂层的互层,偶见贝壳细碎的团块,有锈斑;
 28.13~28.23 m 贝壳富集层;
 28.23~31.50 m 灰褐色含粉砂粘土层,见贝壳碎片;
 31.50~34.54 m 黄褐色粉砂层,含贝壳碎屑及幼体,有细粒钙质结核,底部黑色有机质条带;
 34.54~36.37 m 灰黄色密实粘土层,含大量钙质结核;
 36.37~39.25 m 黄褐色、灰色粘土质粉砂,含钙质结核,可见锈斑;
 39.25~41.43 m 灰褐色粘土层,含大量钙质结核,可见锈斑;
 41.43~42.10 m 含粉砂粘土层,见灰色钙质条带;
 42.10~43.92 m 粘土质粉砂层,见青灰色钙质条带,有锈斑;
 43.92~44.80 m 红褐色粘土层夹灰色钙质条带;
 44.80~47.28 m 黄褐色粉砂层,含大量贝壳;
 47.28~50.80 m 灰色、灰褐色含粘粉砂层,含大量贝壳(幼体为主);
 50.80~52.70 m 灰色粘土层,有机质含量极高,有青灰色碳质条带;
 52.70~54.49 m 黄灰色粉砂层,含钙质结核;
 54.49~56.62 m 褐色粘土层,较密实,底部含粉砂;
 56.62~57.02 m 灰褐、黄褐色中粗砂层;
 57.02~59.63 m 灰褐色粘土层,含大量钙质结核,可见锈斑;
 59.63~59.82 m 有机质含量高,颜色发黑;
 59.82~60.00 m 黄灰色粘土层,含钙质结核。

根据 LZ908 孔岩性和粒度组成特征,对比研究较成熟的莱州湾 E 孔(钻孔位置如图 1),LZ908 孔 57 m 处对应于莱州湾 E 孔 54 m 处,相当于晚更新世与中更新世的分界^[3]。57 m 以下为中更新世末期沉积的地层,据岩性和物探的结果,57 m 以下的地层岩性以粉砂、粘土沉积为主,砂的质量分数占有较小的比重。

3 含卤岩系的岩性特征

为了搞清卤水含水层的埋深,对柱状样每隔 10 cm 取样测试了沉积物的含水率(图 4)。由含水率可以看出卤水层主要分为潜水卤水层和承压卤水层。潜水卤水层底板埋深 0~-5 m 和 -10~-12 m,承压卤水层分为上承压卤水层、中承压卤水层和下承压卤水层,埋深分别为上承压卤水层 -23~-27 m,含 3~5 个含水砂层;中承压卤水层主要含 2 个含水砂层,埋深为 -31~-33 m 和 -36~-38 m;下承压卤水层埋深为 -45~-50 m。对照图 3 可以看出卤水富集层位的岩性特征:潜水卤水层和上承压卤水层的岩性主要以粉砂为主,砂的含量较少。中承压卤水层和下承压卤水层的岩性主要以砂为主,粉砂的质量分数较小。各含水层之间存在弱透水或不透水的隔水层,岩性为粉砂质粘土或粘土。

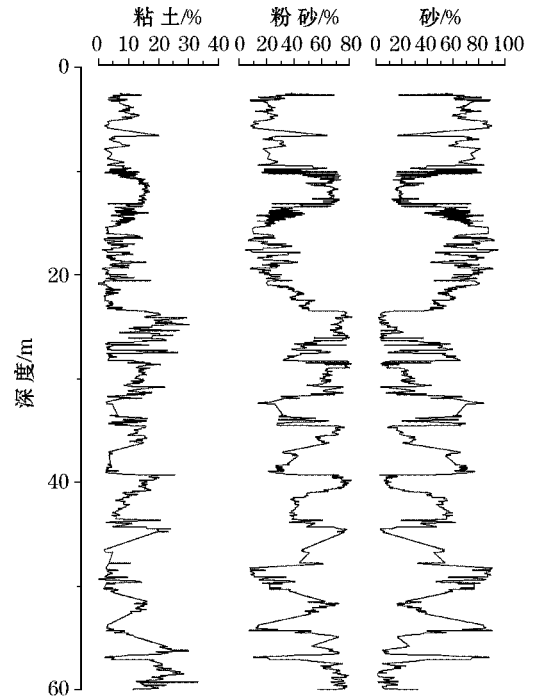


图 3 LZ908 孔粒径变化图

Fig. 3 Granularity variations in the sediments from the LZ908 drill hole

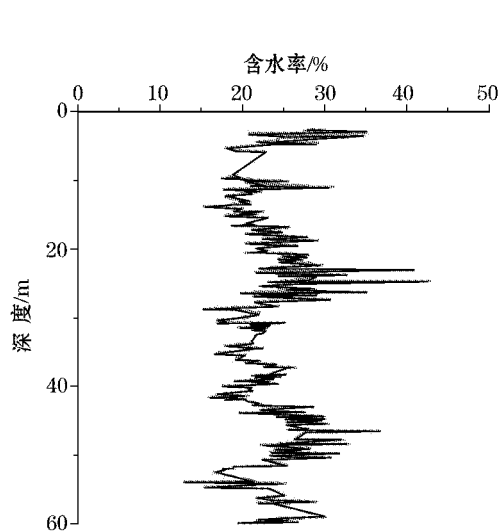


图 4 LZ908 孔含水率变化图

Fig. 4 Aqueous content variation in the LZ908 drill hole

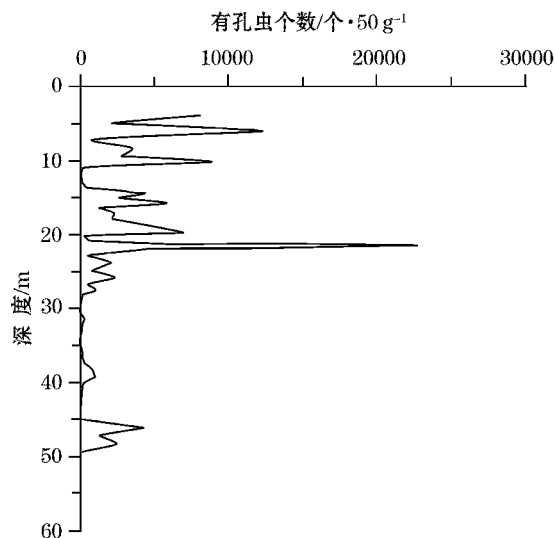


图 5 LZ908 孔有孔虫丰度随深度变化图

Fig. 5 Variation of Foraminifer abundance in the LZ908 drill hole

4 莱州湾地区晚更新世以来的海侵海退

卤水的形成与古海洋环境的变迁密切相关,所以对卤水的形成过程有清晰的认识,必须搞清海侵、海退的古环境变化。因此对岩芯沉积物的有孔虫进行了鉴定分析,以此作为区分海相层和陆相层的一个指标。研究区每 50 g 干样中有孔虫数量的变化如图 5。根据 LZ908 孔沉积物中的有孔虫特征,海相地层主要埋藏层位为: -45.2 ~ -50.3 m; -14 ~ -28.2 m; -8.2 ~ -11.3 m, 深度 5 m 以上为现代滨海沉积,说明渤海地区晚更新世以来存在 3 次大规模海侵,与以往的研究成果相吻合^[4-7]。这 3 次海侵发生时间为 110 ka B. P. ~ 70 ka B. P.、46 ka B. P. ~ 21 ka B. P.、11 ka B. P. ~ 6 ka B. P.^[8]。

5 卤水形成过程的探讨

将卤水层埋藏深度与海相地层的埋藏深度进行对照,可以看出卤水主要富集于海相地层中,综合分析卤水分布层位及含卤岩系沉积特征,认为我国北方沿海地下卤水的形成与晚更新世以来环境变化密切相关,卤水形成于海侵后期的海退阶段。间冰期气候温暖,海平面上升,海水覆盖卤水分布区的大面积陆地,为卤水的形成提供了丰富的盐类物质来源。冰期时气候由暖湿向冷干变化,海平面逐渐降低,海面降低到一定深度,渤海与黄海之间水体交换减弱,渤海与黄海基本分开,在渤海区域断陷盆地内逐渐形成许多盐湖。盐湖期的出现,标志着成卤过程进入最佳时期。其主要原因有二:其一,气候相对干燥,盐湖蒸发量远远大于补给量,使盐湖浓度增大;其二,气候寒冷,海水结冰,海冰主要成分为淡水,其下部海水的浓度也就逐渐增加。在这两方面因素的共同作用下,盐湖水浓缩形成卤水,卤水逐渐下渗进入储水层——海相沉积地层。高浓度的卤水一旦形成后就会向下移动,直到隔水层,卤水含水层之上又会沉积陆相的细粒物质,成为新的隔水层。即使重新发生海侵,地层被海水覆盖,大比重的卤水也不向上移动,所以卤水得以长期保存。每一个海侵海退的过程就会形成一层新的卤水,所以莱州湾地区存在多层卤水与晚更新世以来规模不同的多次海侵相对应。

参考文献(References):

- [1] ZHANG Y X, XUE Y Q, CHEN H H. The characteristic and formation environment of the ancient seawater in the late Pleistocene sedimentary strata at the southern coast of Laizhou Bay [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1996, 18(6): 61-68. 张永祥,薛禹群,陈鸿汉. 莱州湾南岸晚更新世后地层中沉积海水的特征及其形成环境[J]. *海洋学报*, 1996, 18(6): 61-68.
- [2] LU H Y, AN Z S. Pretreatment methods influences on grain size measurement of loess[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(23): 2535-2538. 鹿化煜,安芷生. 前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究[J]. *科学通报*, 1997, 42(23): 2535-2538.
- [3] ZHAO S L. Continental shelf desertification[M]. Beijing: Ocean Press, 1995: 164-165. 赵松龄. 陆架沙漠化[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 164-165.
- [4] HAN Y S, MENG G L, WANG S Q. The geological events and Paleo-environment of the coastal plain of Laizhou Bay in Bohai sea during late Quaternary[J]. *Studia Marina Sinica*, 1994, 35: 87-96. 韩有松,孟广兰,王少青. 渤海莱州湾滨海平原晚第四纪地质事件与古环境[J]. *海洋科学集刊*, 1994, 35: 87-96.
- [5] LIN F, WANG J Z, LI J F, et al. Characteristics of microfossil assemblages and evolution of the sedimentary environment since the late Quaternary in the Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(9): 879-884. 林防,王建中,李建芬,等. 渤海莱州湾第四纪晚期以来微体化石组合特征和沉积环境演化[J]. *地质通报*, 2005, 24(9): 879-884.
- [6] LU H Y. The Sporo-Pollen assemblages in the sediments in the south Bohai Sea since the late Pleistocene and its Palaeo-environmental analysis[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1989, 6(2): 11-25. 吕厚远. 渤海南部晚更新世以来的孢粉组合及古环境分析[J]. *黄渤海海洋*, 1989, 6(2): 11-25.
- [7] ZHANG Z L, NIE X H, LIU E F, et al. The accumulation records of environmental evolution on the salt-water intruded area south of Laizhou Bay since late Pleistocene[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 105-112. 张祖陆,聂晓红,刘恩峰,等. 莱州湾南岸咸水入侵区晚更新世以来的古环境演变[J]. *地理研究*, 2005, 24(1): 105-112.
- [8] PENG Z C, HAN Y, ZHANG X, et al. The study of the changes of sedimental environments in the Laizhou Bay area[J]. *Geological Review*, 1992, 38(4): 360-367. 彭子成,韩岳,张巽,等. 莱州湾地区 10 万年以来沉积环境变化[J]. *地质论评*, 1992, 38(4): 360-367.

Deposition Characteristics in Brine Aquifers and Brine Formation in Laizhou Bay Area

YAO Jing^{1,2,3,4}, YU Hong-jun^{3,4}, XU Xing-yong^{3,4}, YI Liang^{3,4}, SU Qiao^{3,4}

(1. *Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University, CAS, Beijing 100049, China;*

3. Key Lab of Marine Sedimentology and Environmental Geology of SOA, Qingdao 266061, China;

4. First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: The coastal area around the Laizhou Bay is one of the regions where the underground highly-mineralized brine are distributed in China. The sediment samples are collected from the LZ908 drill hole in the brine-distributed area of Laizhou for the related studies. Based on the characteristics of the sediment granularity, the aqueous content, and the micropaleontology, the analysis is concentrated at the depths of the brine-enriched layer, the sedimentation characteristics respectively in the brine aquifers and in the impervious layers, and the palaeo-oceanic environmental variation before and after the brine formation. It is learnt from the analysis that the brine is mainly stored in the sandy layer of sea facies, and formed in the regression phase of the later transgression.

Key words: the Laizhou Bay; deposition characteristics; environmental variation; brine formation

Received: August 10, 2009