

探地雷达在确定全新世海侵线方面的应用

祁雅莉^{1,2,3}, 黄海军^{1,2}, 刘艳霞^{1,2}, 刘 晓⁴, 杨曦光^{1,2,3}

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100039; 4. 山东理工大学 资环学院, 山东 淄博 255000)

摘要: 针对全新世大暖期古海岸线位置的不确定性问题, 提出了一种利用探地雷达进行最大海侵位置追踪的方法, 在探地雷达可获得连续沉积地层图像的理论基础上, 在具有丰富研究资料的莱州湾东岸开展了实验研究。结果表明, 利用 Mala RAMAC100MHz 天线结合相应的图像处理手段, 能够识别区域 10 m 以内浅地层中海陆相沉积物分界面, 与已有钻孔和现场探挖浅孔剖面对比, 具有较好的一致性。证实了利用探地雷达追踪全新世海侵时期古地层、将海相层尖灭点处确定为最大海侵线位置, 进一步恢复古环境是可行的。本文为研究古海岸线位置提供的方法, 即通过探地雷达探测地层, 得到高清的可视化图像, 这使得古海岸线位置确定更精确、更直观。

关键词: 全新世最大海侵线; 探地雷达; 地层; 图像处理; 尖灭点

中图分类号: P737.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)11-0108-08

doi: 10.11759/hyqx20130204001

全新世大暖期造成沿海许多低洼平原地区海岸线向陆地深入 300 km 之多^[1], 其中渤海沿岸在 6 ka B.P. 左右达到最大海侵范围, 海岸线向内陆延伸几公里至几百公里不等^[2]。恢复古海岸线和古海平面位置和变迁研究, 对研究古海陆格局、演化和预测未来海平面变化对海岸带地区造成的影响是非常重要的。从 20 世纪 70 年代以来, 很多学者开展了大量调查, 利用测年手段结合地貌学、沉积学和古生物学等方法对古海岸线位置进行了研究, 取得很多重要成果, 如利用沿海平原钻孔岩心的海相层中所含有孔虫、海相介形虫, 通过 ¹⁴C 测年^[3]、AMS 碳同位素测年^[4]、ESR 测年^[5]等方法来确定地层年代, 并根据生物组合和沉积特征来推测古海平面高度、古海岸线位置; 利用牡蛎礁、贝壳堤^[6]、古海蚀崖^[2]等典型的古岸线地貌和沉积标志, 来恢复古海平面等。但由于不同学者所采取的方法不同和条件的限制, 造成部分地区的大暖期古海岸线位置存在较大的争议。因此, 精确确定古海岸线位置, 对准确评估全球温度上升对我国岸线变化的影响幅度具有重要意义。

探地雷达(Ground Penetrating Radar, GPR)是通过电磁波来探测介质内部的目标及界面, 由于它的设备轻便、携带方便、采集速度非常快、图像比较直观、分辨率高、无损探测等优点, 是目前世界公认的应用范围较广的地球物理技术。在交通建设及维

护、城市建设规划、灾害地质评价与监测、环境工程^[7]等领域得到了广泛的应用。近些年来, 又在地质研究领域的浅地层探测、定位、成像等方面得到不断实验和探索, 并取得了许多阶段性的研究成果, 例如沙坝^[8]、三角洲^[9]等的沉积相和结构、古河道位置^[10]、湖泊岸线演化^[11]及更新世古海平面地层高度和年代^[12]等等。在国内, 探地雷达在海岸带的应用处于起步阶段, 在海岸的古环境恢复方面取得了初步的成果, 如殷勇等利用探地雷达研究了海南岛东部博鳌地区晚更新世以来沙坝-潟湖体系沉积序列和内部反射结构^[13]。本文选取具有典型古海岸线标识物的莱州湾东岸为研究区, 开展雷达探测浅层海相地层的层序变化实验研究, 探讨探地雷达技术用于确定全新世最大海侵位置的可行性。

1 材料与方 法

1.1 GPR 工作原理

GPR 是一种非介入性的地球物理技术, 由地面

收稿日期: 2013-02-04; 修回日期: 2013-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41106041); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05120601); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-EW-207)

作者简介: 祁雅莉(1987-), 女, 河北邯郸人, 硕士生, 从事遥感与地理信息系统在海岸带方面的应用研究, E-mail: qiyali1122@163.com; 黄海军(1963-), 通信作者, 男, 研究员, 博士生导师, E-mail: hjhuang@qdio.ac.cn

上的发射天线将高频电磁波以宽频带短脉冲(频率范围主要在1~1 000 MHz)的形式定向送入地下,这种高频电磁波当遇到存在电性差异的地层界面或者目标体时反射回地面,由接收天线接收成像,完成一次探测(图1)。电磁波传播过程中,其路径、磁场强度与波形都会随着不同介质的电性及几何形态而发生相应的改变,基于此,可以通过分析反映这些变化的电磁波参数推断介质的内部结构^[14],如电磁波的双向反射时间、振幅与波形资料等。

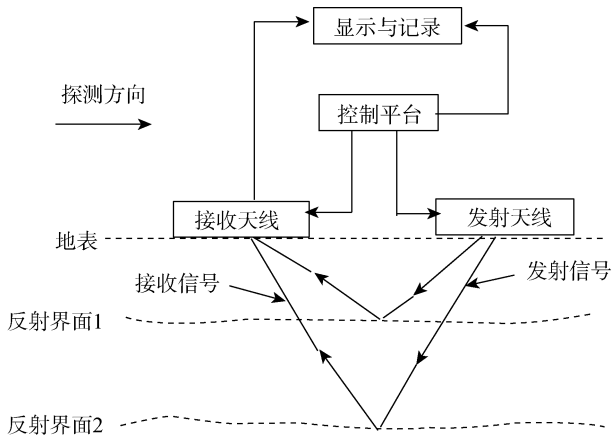


图1 探地雷达工作原理
Fig.1 Working principle of ground penetrating radar

1.2 GPR 测量与图像处理

1.2.1 现场测量

为了提高工作效率和获得高质量数据,在测量前需对研究区内已有钻孔数据、地质构造特征、区域地层分布、沉积物组成成分等研究成果或者资料进行收集和分析。根据已有对全新世海侵线位置的研究成果和已有钻孔数据,布设合适的探地雷达追踪剖面。并且考虑避开对探地雷达信号造成强干扰的环境因素,如电线、树林、金属物体等。测量时,根据区域地层分析、沉积物组成成分等初步判定测量目标埋深,据此选择合适频率的雷达天线和参数。

本实验选用瑞典MALA公司RAMAC/GPR型地质雷达,采用数字式光纤传输信号、GroundVision 2专业雷达软件采集数据。天线选用RAMAC 100MHz非屏蔽超强地面耦合天线(RTA),其主要是针对中深层地层进行的中等分辨率探测,地层分层识别效果好,探测深度约12~50 m,满足研究区全新世最大海侵层的探测。数据采集的采样间隔0.5 m,采样频率1 000 MHz,叠加次数128。采用RTK GPS采集地形

数据,精度厘米级。

1.2.2 数据处理

数据处理采用RAMAC/GPR配套的REFLEXW专业后处理软件。在处理时,需要根据数据采集实际情况和解译目标,不断调整,选择最适宜的步骤和参数。本文对获取雷达数据进行的处理主要包括去零漂、时差校正、去叠加信号(WOW)、增益、速度分析和地形校正等。

电磁波在介质中传播速度的正确估算对将图像双程反射时间 t 转换为精确深度值是很重要的。根据设备和实验获取数据情况,本文利用地下点目标的反射双曲线的弧度求速度方法求速度^[15]。设地下点目标顶部反射时间为 t_0 ,偏离顶点位置 x 处的反射时间为 t_x (图2),那么 V 即为电磁波到达地下点目标的平均速度,

$$V = \frac{2x}{\sqrt{t_x^2 - t_0^2}} \quad (1)$$

Z 则为点目标的深度,

$$Z = \frac{x}{\sqrt{\left(\frac{t_x}{t_0}\right)^2 - 1}} \quad (2)$$

双曲线提取实例图像如图2所示,据此计算出的平均速度为0.09 m/ns。

1.2.3 GPR 图像解译依据

探地雷达采集数据时所记录的数字信号,通过转换可以得到一系列随时间变化而波动的电磁波反射系数,它记录了地层中介质的电性质和几何形态随时间变化的信息。反射系数 R 公式如下^[14]:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r2}} - \sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r2}} + \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (3)$$

ϵ_{r1} 、 ϵ_{r2} 分别代表界面两侧介质的相对介电常数, $-1 < R < 1$ 。由公式可知,介质的相对介电常数差别越大,反射系数则越大。不同地质条件和沉积环境下形成的地层,受沉积物的岩性、有机质含量、粒度变化、矿物学性质、压实程度和含水量等性质差异,而形成各异的地层介电常数特性^[16],其反映在雷达图像上的波形、振幅等具有一定的规律性。通过对图像上波形的正或负峰多次叠加形成的同相轴的解译处理,可有效地识别地下反射界面^[14],可作为雷达图像解译的判读依据。

全新世以来我国东部沿海主要发育一些埋藏式海相地层,是海侵、海退的可靠记录^[17]。每一次海侵、

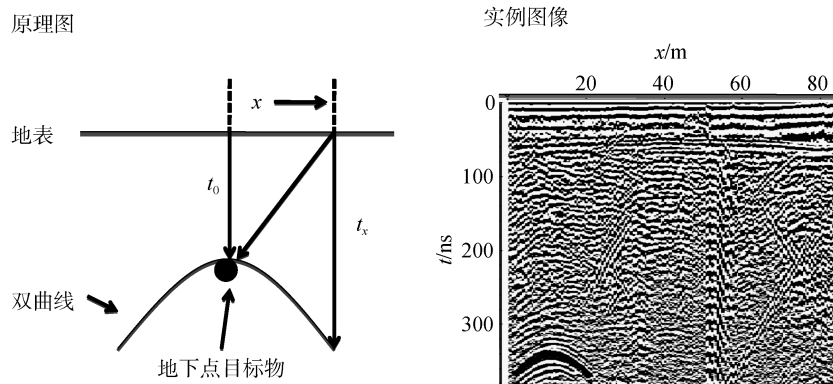


图2 双曲线提取速度原理图与实例图像

Fig.2 The Schematic diagram of extraction of velocity estimation in hyperbolic and the instance graph

海退都会在地层中留下一期较完整的海相地层, 这些海相层由于在不同地点与不同的沉积环境下形成, 具有不同的生物组合和沉积特征, 层位一般介于上覆、下伏新老陆相沉积层之间, 海陆相沉积层间可能还包含受海水影响的过渡相, 如河口、潟湖、三角洲等沉积过渡相, 随着向陆地延伸, 这些非陆相沉积会逐渐减少至消亡。这一变化会在雷达图像上形成相应的反射特征, 可作为识别海侵海退体系的重要基础^[18-19]。

2 实例结果与分析

2.1 研究区概况

研究区位于渤海南部、莱州湾东岸, 山东半岛的西北翼。已有研究表明, 随冰后期气候逐渐转暖, 本区大约在距今7.5 ka左右海水开始侵入, 约在6 ka B.P.左右海侵达到最大范围, 塑造了自龙口经石虎咀、西由抵虎头崖的古海蚀崖。随后海平面趋向稳定或缓慢下降, 在4.5 ka B.P.左右, 沿岸沙坝露出水面, 使沙坝以内的浅海逐渐淤成半封闭潟湖或平缓的浅滩, 在海平面稳定或缓慢下降的情况下, 潟湖逐渐淤浅, 入湖河流三角洲得以迅速向湖伸展, 河流由东南向西北入海, 形成三角洲沉积层, 并和现代冲积物逐渐覆盖大面积的潟湖区, 从而形成了近200 km²的潟湖-海积平原^[20](图3)。

2.2 GPR 剖面布设

古海岸线的位置, 可以根据海侵时留下的海蚀地形和沉积地层等标志物来判定。其中, 在研究区内至今保留着大范围的古海蚀崖遗迹^[21], 是全新世最大海侵古海岸线的地貌标志(图3)。位于古海蚀崖附近的钻孔 Y61较好地记录了该地区明显的沉积地层,

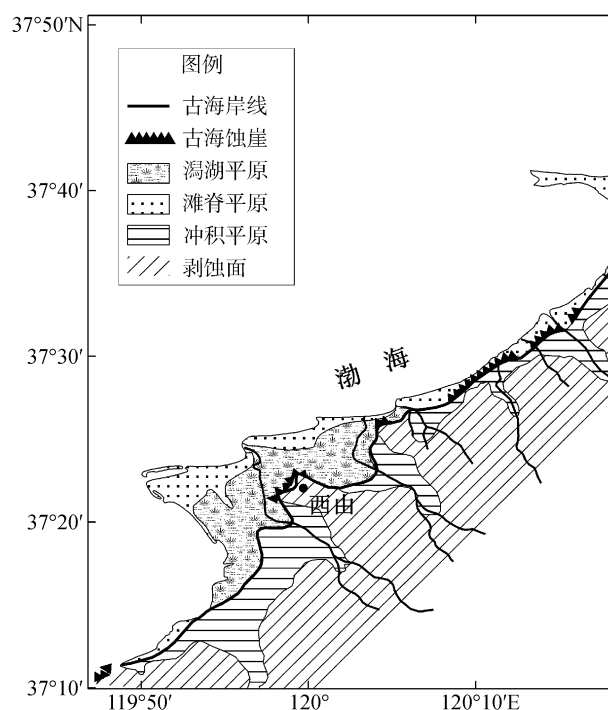


图3 莱州湾东岸地貌图(据文献[21]有修改)

Fig.3 The geomorphologic map of the east coast of the Laizhou Bay (modified from the literature[21])

从下向上依次为: 中全新世海侵前的陆相冲积层、中全新世潟湖浅海相、晚全新世冲积土层(图4)^[18], 揭示了研究区内全新世海侵以来经历了陆地-浅海-潟湖-陆地的演化过程。为验证探地雷达结合已有钻孔数据追踪最大海侵边界的可行性, 如图5所示, 本文设计将探地雷达探测测线 L1布设在钻孔 Y61与古海蚀崖之间, 起点位于西由镇后邓村西500 m 王河东, 向东垂直古海蚀崖方向测量; 将测线 L2布设在与 L1平行的海蚀崖附近。为了排除探地雷达数据的多解性, 在测线 L1的420, 520 m处利用钻孔 ZK1、ZK2

进行验证。

层号	埋深 (m)	柱状图	沉积层	¹⁴ C测年 (a.B.P.)
C	3.75		冲积层	
B	B4	4.75	潟湖相	840±65
	B3	5.62	滨海相	3815±130
	B2	7.12		
	B1	7.92		5800±120
A	9.42		冲积层	

图 4 钻孔 Y61 柱状图(据文献[21]有修改)

Fig. 4 Histogram of Bore Y61 (modified from the literature [21])

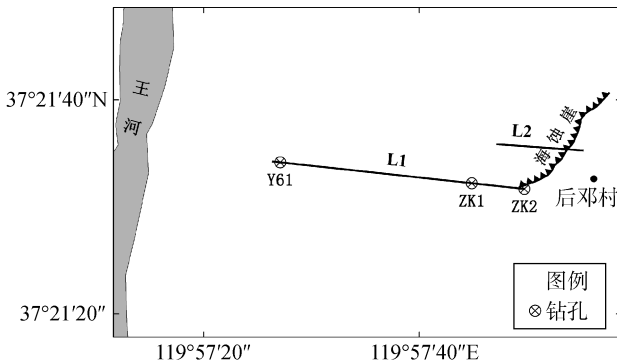


图 5 莱州湾东岸探地雷达野外测线位置图

Fig.5 The map showing the location of research borehole and GPR profiles at east coast of the Laizhou Bay

2.3 雷达图像解译

对研究区采集测线 L1 的雷达图像进行数据处理 (横坐标 x 为侧线距离, 纵坐标 t 为双程反射时间、 h 为探测深度), 并且可初步识别出明显的反射界面分别是 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 、 m_5 , 如图 6。

钻孔 ZK1 柱状图(图 7)显示上层黄褐色黏土质粉砂和浅黄色中粗粉砂对应 Y61 的 C 层, 即晚更新世冲积层。下层灰黑色黏土为海退时期的潟湖相沉积层, 与钻孔 Y61 的 B4 层对应。最下层为黄褐色粉砂质黏土, 与钻孔 Y61 的 A 层性质一致, 为全新世海侵前的冲积层。从钻孔 ZK2 取样得之, 在雷达剖面

中 520 m 左右、地表层到 m_5 界面之间有古海滩粗砂沉积, 该位置为最大海侵时期潮间带以上的古海滩。

结合已有钻孔 Y61 和用来验证的钻孔 ZK1、ZK2 的沉积组分、岩性描述和地层分布特征情况, 可将雷达图像剖面的 5 个界面分为 5 个沉积层: XH 潟湖相沉积层、BH1 滨海相沉积层 1、BH2 滨海相沉积层 2、BH3 滨海相沉积层 3、CJ 全新世冲积相沉积层(图 8)。CJ 全新世冲积相沉积层的上界面是 m_5 , 由于探地雷达天线对探测深度和分辨率的限制, 其下界面在雷达图像上未出现明显反射界面。CJ 层即为本地区全新世海侵前的陆相层, 与钻孔 Y61、ZK1 柱状样对比可知, 其岩性为褐黄色、浅黄色粉砂质黏土、并含有多层河流层理发育的砂砾石层^[22]。在雷达图像上的纹理呈由东向西相对陡峭的倾斜反射, 可能反映的是由地势引起的古河流冲积而成的砂砾石层理。BH1 滨海相沉积层 1 的上界面是 m_4 , 下界面为 m_5 , 结合钻孔资料而得该层岩性为含贝壳、贝壳碎屑、钙质结核的砂质粉砂层, 与下伏海侵前的古陆相冲积土层即 CJ 层呈突变接触, 从而造成相邻地层介电常数的差异, 在雷达图像上反映出一个明显的界面 m_5 。BH1 中以广盐性的有孔虫、以及异地搬运而来的滨海软体动物化石为主^[21], 反映出滨岸潮间带环境, ¹⁴C 测年为 5 800 a.B.P.± 120 a.B.P., 代表海侵初期滨岸相沉积。BH2 滨海相沉积层 2 的上界面是 m_3 , 下界面是 m_4 , 钻孔资料得到该层岩性为青灰色砂质粉砂, 分选好质地均一, 并含有多种海相种有孔虫和介形虫^[21], 反映的是波浪作用较弱的较大水深的滨海环境, 即海侵时的滨海相沉积。BH3 滨海相沉积层 3, 钻孔资料显示该层为含有贝壳的细砂层, 并含广盐性有孔虫和原地生长的滨海软体动物化石, 代表沉积层为正处于宽阔浅滩, 或者半封闭潟湖的潮间带下带至低潮线外的激浪环境。BH2 层和 BH3 层沉积物粒度和含水量差别比较小, 介电常数差别不大, 分层界面在图像上反映较弱。XH 潟湖相沉积层的上界面是 m_1 , 下界面 m_2 , 在雷达图像上的层理很细并且平行连续, 反映的是静水环境下接近封闭的潟湖相沉积, 及海退时期的潟湖相沉积。

通过雷达影像识别和古地层恢复, 研究区全新世海侵时期的古环境为: 即从海侵开始, 海水向陆方向入侵变成一定水深的滨海, 到 6 ka B.P.左右到达最大边界即古海蚀崖位置, 随后海退, 逐渐形成半封闭的潟湖, 此时古海蚀崖也不再受波浪作用,

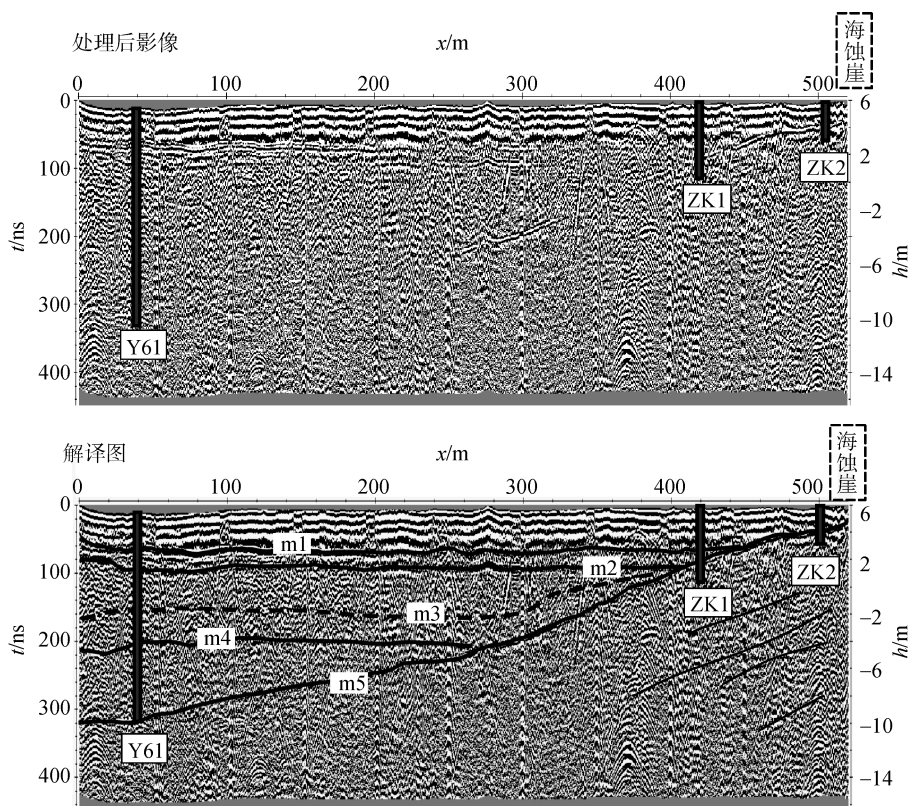


图6 测线 L1 GPR 剖面处理后影像与解译图

Fig.6 Uninterpreted and interpreted GPR profiles after image processing of line L1

柱状图	岩性描述	沉积层	对应 Y61 层号
0	黄褐色黏土质粉砂	冲积相	C
1	浅黄色中细砂, 含黏土块、小砾石等		
2	灰黑色黏土质粉砂, 富含有机质, 具有水平层理	潟湖相	B4
3	浅黄色粗砂, 含小砾石	冲积相	A

图7 钻孔 ZK1 柱状图

Fig.7 Histogram of Bore ZK1

而后潟湖干涸成陆, 被现代冲洪积物覆盖。并且得出, 测线 L1 反射界面 m5 是海相层和古陆相层沉积物的交界面。通过追踪探测该界面, 发现它逐渐向地表抬升至距离现代地表约 1 m 处的位置即高程 5 m, 直至平行与地表, 并且海相层在古海蚀崖位置处消失, 海相层的尖灭处即为最大海侵时期的边界。

测线 L2 解译后的雷达剖面, 与 L1 测线剖面呈

现了比较好的一致性。该测线穿过古海蚀崖, 即在雷达剖面的 200 m 左右(图 9), 界面 M 在古海蚀崖附近抬升并在高程 5 m 处尖灭, 其他海相层消失。证实了通过探地雷达对古地层的分层成像, 寻找海相层和古陆相层的界面, 追踪该界面至其尖灭的位置, 即是全新世最大海侵的古海岸线位置。

3 讨论和结论

(1) 我国东部沿海全新世以来发育的埋葬式古海相层, 留下了海侵海退的信息, 这些不同沉积环境下产生的古海相层, 具有不同的生物组合和沉积特征, 向陆方向延伸并减少至尖灭。通过利用探地雷达在莱州湾东岸进行古海岸线位置探测的实验研究表明, 结合已有的钻孔资料或者露头剖面, 可定性地获得研究区高质量、高分辨率和连续的反射剖面。本文在追踪古海相地层的尖灭点从而确定古海岸线的位置、恢复全新世大暖期海侵时期的古环境方面, 取得了较为理想的效果, 验证了探地雷达确定古海岸线位置的可行性。

(2) 莱州湾东岸作为典型研究区, 垂向沉积物主要以黏土、粉砂、细砂按沉积环境交错沉积, 这对

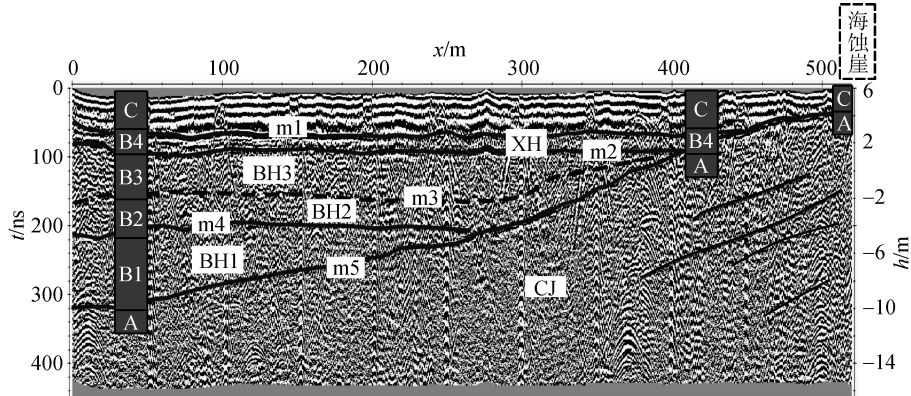


图 8 测线 L1 GPR 剖面解译图与钻孔信息对比图

Fig.8 Interpreted GPR profiles of line L1 compared with drilling information

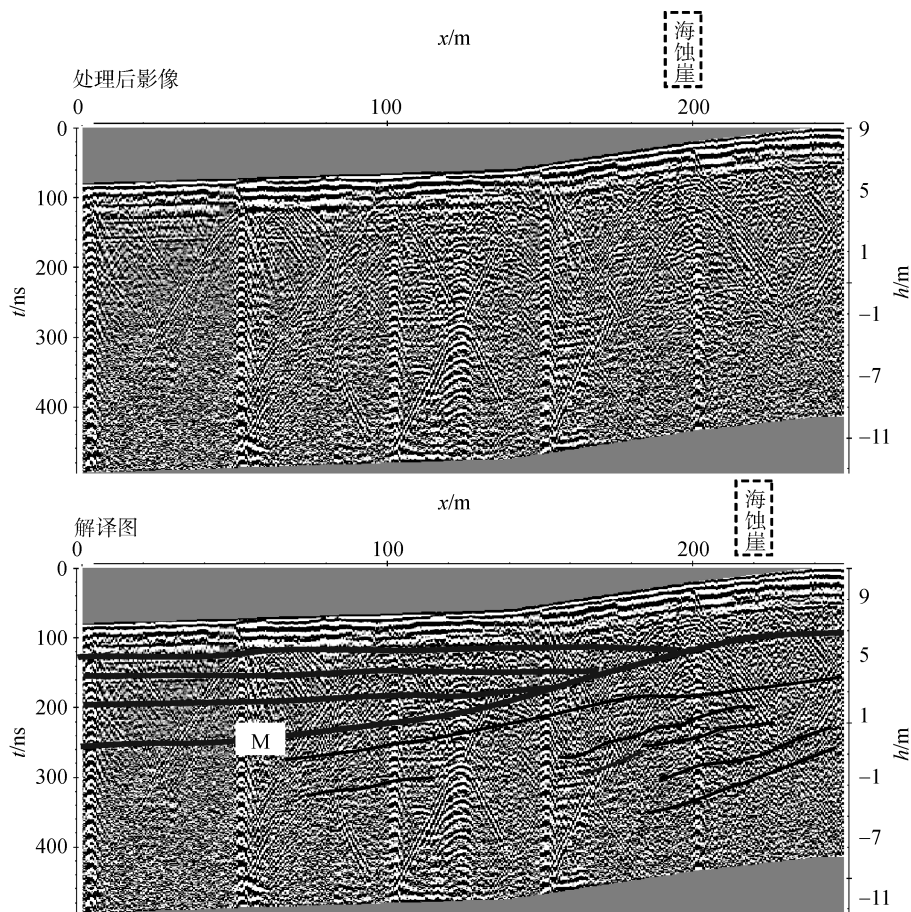


图 9 L2 测线 GPR 剖面处理后影像与解译图

Fig.9 Uninterpreted and interpreted GPR profiles after image processing of line L2

探地雷达恢复古环境的成像提供较有利的条件。在应用于其他区域时，应充分了解该区域的地层分布、沉积物组成成分等，在不同地层中沉积物的介电常数差别不大时，效果可能不佳。

(3) 实验区采用的 100 MHz 超强地面耦合天线，对莱州湾东岸海相层的埋深和海陆相界面的识别取

得了较理想的效果。但由于探地雷达分辨率和探测深度相互制约关系，使得地层沉积体内部结构的识别存在局限性。为此需要结合研究区域实际情况选择合适的天线及参数，充分利用已有钻孔、古海岸地貌标志等研究成果，并辅助以野外探孔，为探地雷达探测工作提供必要的先验知识。

(4) 该实验区位于山东半岛北部的金牛断裂以西,晚更新世以来构造运动以缓慢抬升为主,平均构造抬升速率为 $0.5 \text{ mm/a}^{[22]}$,经计算全新世最大海侵以来该区域抬升值约 3 m。所以,全新世最大海侵时期海平面相对现代海平面变化值,是古海平面在现代高程标高 5 m 的基础上消除由于构造抬升 3 m 而引起的高程变化。通过计算可以得到全新世最大海侵以来,该地区的海平面变化为 2 m。与前人学者^[6]推测的最大海侵时期海平面高出现今海面 2 m 一致。

(5) 下阶段通过得到不同区域的精确古海岸线位置和高程,可比较其古海岸线在高程上的差异,进一步开展古地层垂直运动方面的研究,对古海岸线和古环境的演变有一定意义,也对第四纪地层垂直运动的定性与定量研究提供了新的可能。

致谢:感谢国家海洋局第一研究所高伟博士和中国海洋大学孟庆生副教授在野外数据采集上提供的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 施雅风,孔昭宸,王苏民,等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境[J]. 中国科学: B 辑, 1993, 23(8): 865-873.
- [2] 庄振业,许卫东. 渤海南岸 6000 年来的岸线演变[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 1991, 21(2): 99-110.
- [3] 王绍鸿. 莱州湾西岸晚第四纪海相地层及其沉积环境的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1979, 10(1): 9-23.
- [4] 阎玉忠,王宏,李凤林,等. 渤海湾西岸晚更新世沉积的差异性特征[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 321-326.
- [5] 王兆荣,张汉昌. 根据 ESR 测年和古气候对渤海海平面变化的探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1995, 14(3): 163-165.
- [6] 赵希涛,耿秀山,张景文. 中国东部 20000 年来的海平面变化[J]. 海洋学报, 1979, 1(2): 269-281.
- [7] 曾昭发. 探地雷达方法原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 207-237.
- [8] Bennett M R, Cassidy N J, Pile J. Internal structure of a barrier beach as revealed by ground penetrating radar (GPR): Chesil beach, UK[J]. Geomorphology, 2009, 104(3): 218-229.
- [9] Lee K, Zeng X, McMechan G A, et al. A ground-penetrating radar survey of a delta-front reservoir analog in the Wall Creek Member, Frontier Formation, Wyoming[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(9): 1139-1155.
- [10] Leopold M, Völkel J, Heine K. A ground-penetrating radar survey of late Holocene fluvial sediments in NW Namibian river valleys: characterization and comparison[J]. Journal of the Geological Society, 2006, 163(6): 923-936.
- [11] Kanbur Z, Gormus M, Kanbur S, et al. Significance of shallow seismic reflection (SSR) and ground penetrating radar (GPR) profiling on the Modern Coast line History of the Bedre area, Egirdir Lake, Isparta, Turkey[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 38(6): 262-273.
- [12] O'Neal M L, McGeary S. Late Quaternary stratigraphy and sea-level history of the northern Delaware Bay margin, southern New Jersey, USA: a ground penetrating radar analysis of composite Quaternary coastal terraces[J]. Quaternary Science Reviews, 2002, 21(8): 929-946.
- [13] 殷勇. 博鳌地区沙坝—潟湖沉积及探地雷达的应用[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 301-309.
- [14] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-3, 17-22.
- [15] 袁明德. 探地雷达检测中如何计算速度 [J]. 物探与化探, 2003, 27(3): 220-222.
- [16] Davis J L, Annan A P. Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy[J]. Geophysical Prospecting, 1989, 37(5): 531-551.
- [17] 赵松龄,张宏才. 渤海地区近 20 万年以来的海面变化[J]. 海洋科学, 1985, 9(3): 10-14.
- [18] 彭子成,韩岳,张翼,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.
- [19] 王宏. 渤海湾泥质海岸带近现代地质环境变化研究(): 成果与讨论[J]. 第四纪研究, 2003, 23(4): 393-403.
- [20] 周江,庄振业,王姣姣,等. 莱州湾东岸沿海平原区全新世主要地质事件[J]. 海洋湖沼通报, 2007, 2: 26-33.
- [21] 庄振业,李建华,仇士华,等. 莱州湾东岸的全新世海侵和地层[J]. 海洋湖沼通报, 1987, 2: 31-39.
- [22] 王庆,王圣洁. 晚更新世以来山东半岛北部沿海地区的构造抬升速率[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3): 71-78.

The application of ground penetrating radar in determination of Holocene transgressive boundary

QI Ya-li^{1, 2, 3}, HUANG Hai-jun^{1, 2}, LIU Yan-xia^{1, 2}, LIU Xiao⁴, YANG Xi-guang^{1, 2, 3}

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. School of Resource and Environment, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Received: Feb., 4, 2013

Key words: Holocene maximum transgression coastline; ground penetrating radar (GPR); stratum; image process; thin out point

Abstract: This work determined Holocene transgressive boundary by using ground penetrating radar (GPR), based on the theory that GPR image can obtain continuous sedimentary strata. The experimental study was carried out in the east coast of the Laizhou Bay that has a plenty of historical research data. The results show that the interface of marine and terrestrial sediments in the shallow strata within 10 m in the study area was identified by the Mala RAMAC 100 MHz antenna acquisition, which is consistent with the profiles of historical borehole data and field sampling well. It is confirmed that the method can be used to determine the maximum transgression position and recover the paleo-environment by using GPR to trace paleo-formation in the period of Holocene transgression. In conclusion, this study provides the method for research of paleo-coastline position, and makes paleo-coastline position more precise and intuitive through using GPR to survey formation and get visual images with high resolution.

(本文编辑: 刘珊珊 李晓燕)