

胡博锐, 刘宏扬, 蔡春麟, 等. 海洋工程地震在海上风电场工程地质勘察中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(9): 97-100.

HU Borui, LIU Hongyang, CAI Chunlin, et al. Application of marine engineering seismic in engineering geological investigation of offshore wind power[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(9): 97-100.

DOI: [10.16028/j.1009-2722.2022.194](https://doi.org/10.16028/j.1009-2722.2022.194)

海洋工程地震在海上风电场工程地质勘察中的应用

胡博锐, 刘宏扬, 蔡春麟, 胡津荧, 李俊杰, 刘大鹏

(中石化海洋石油工程有限公司上海物探分公司, 上海 201208)

0 引言

中国拥有漫长的海岸线, 滨海和浅海海域风能资源丰富, 风电场建设正从陆地向海上大力发展。随着海上风电场的加速布局, 针对海上风电场的工程地质勘察工作越来越受到重视。工程地质勘察是工程设计的重要基础。按现行国家规范要求, 海上风电场的工程勘察分为规划、预可行性研究、可行性研究、招标设计和施工详图设计 5 个阶段。根据目前国内海上风电工程建设的实际情况, 规划、预可行性研究、可行性研究 3 个项目前期阶段的研究对象以风电场区为主, 称为工程地质勘察阶段, 采取包括工程物探和工程地质钻探, 及原位测试如静力触探(CPTU)等勘探方法, 为海上风机的设计、施工以及灾害地质因素的防治措施提供工程地质资料。其中工程物探须在工程地质钻探和原位测试之前进行, 其调查结果不仅可查明风电场区海底地层结构与空间展布、中部和深部地质构造特征, 分析海底潜在的地质灾害现象, 而且为地基工程地质评价、工程钻探及原位测试数据对比分析提供必要依据。

工程物探方法中浅地层剖面 and 二维多道地震都属于海洋工程地震勘探。相比于石油地震达几千米的勘探深度, 海洋工程地震勘探深度一般为海底几百米以浅, 其中浅地层剖面针对浅部地层分辨率高, 二维多道地震针对深部地层分辨率高, 两者联合探测可以了解海底面状况、中浅部地层结构及其空间展布, 以及查明不同深度的地质灾害现象等。本文基于渤海海域海上风电项目所完成的

浅地层剖面 and 二维多道地震所取得的成果资料, 分析和讨论介绍海洋工程地震方法的应用情况。

1 调查区概况

调查区位于渤海海域, 场址中心离岸距离约 45 km。风电场场址面积 48 km², 水深为 33~43 m。地形地貌属于北黄海西南部的堆积平原, 地形平缓。表层沉积物为陆源碎屑物, 局部地区有残留沉积。自岸向海沉积物由粗到细呈带状分布。沿岸区以细砂为主, 间有砾石等粗碎屑物质。中部深水区是泥质为主的细粒沉积物, 主要是黄河输入的物质。粗、细沉积物之间有宽窄不等的粉砂质沉积。基底主要由前寒武纪的混合岩、片麻岩、结晶片岩、大理岩、石英岩等变质岩组成。大地构造上北黄海属华北地台东部的上叠断陷盆地, 地质构造复杂, 断裂构造发育。

2 资料采集

海洋工程地震探测系统一般由震源系统、接收系统和记录与显示系统组成。实际作业时, 浅地层剖面调查采用英国 Applied Acoustics 公司生产的 AAE 浅地层剖面仪, DelphSeismic 采集系统, Boomer 震源, 其穿透深度为 10~70 m, 分辨率可达 0.2 m; 二维多道地震作业采用 NTRS2&SeaMUX3 地震采集系统, 震源为 SLEEVE 空气枪相干组合的枪阵, 总容量 140 in³, 最小道间距为 6.25 m, 记录道数 96 道, 记录长度 2 s。

导航定位系统为各种物探检测仪器提供实时定位数据, 并为驾驶台提供导航显示。

浅地层剖面主测线平行于风机机位连线, 在连线两侧各 125 m 范围内分别以距连线 50、125 m 间

收稿日期: 2022-06-27

作者简介: 胡博锐(1988—), 男, 工程师, 主要从事海洋地质调查及研究工作。E-mail: hubr.shhy@sinopec.com

距各布设1条,共5条;检查线垂直于主测线布设若干条,并贯穿场区;二维多道地震探测主测线沿风机连线各布设1条,共4条;检查线布设与浅地层剖面相同。

3 资料处理与解释

3.1 资料处理

3.1.1 浅地层剖面资料处理

原始采集资料信噪比高,噪音干扰小,剖面记录连续、清晰,探测航迹与设计测线的偏离距不大于10 m。通过对比和分析,建立如下处理流程(图1),采取了包括带通滤波、振幅恢复、道均衡和涌浪滤波等处理技术,在处理剖面资料的海底以下30~50 m范围内,可进行层组划分及分析潜在的对风机安装有影响的浅层气、断层等地质灾害现象。

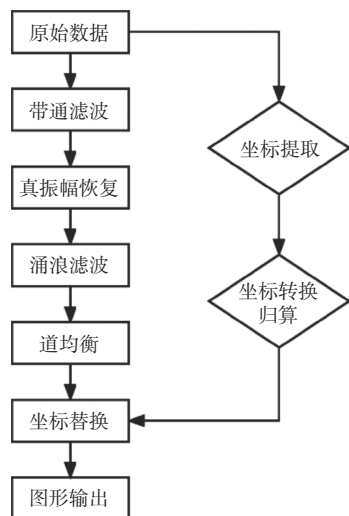


图1 浅地层剖面测量资料处理流程

Fig.1 Flow chart of sub-bottom profile data processing

3.1.2 二维多道地震资料处理

二维多道地震探测作业所获得的剖面资料连续、清晰,测线空炮率及连续空炮数均满足要求。针对原始资料的特点和处理要求,在大量的试验分析对比基础上,主要采用道合并、系统延迟校正、振幅恢复处理、综合噪音压制、多次波压制、交互式综合速度分析、高精度拉东(Radon)变换去多次波和叠后偏移等技术方法,形成图2的处理流程。根据最终处理结果,二维多道地震资料处理剖面层位清晰,资料的信噪比高,波组连续性好,波组特征比较明显;偏移成像聚焦较好,归位正确,地层结构细节清楚,有利于分析存在的灾害地质因素,如断裂

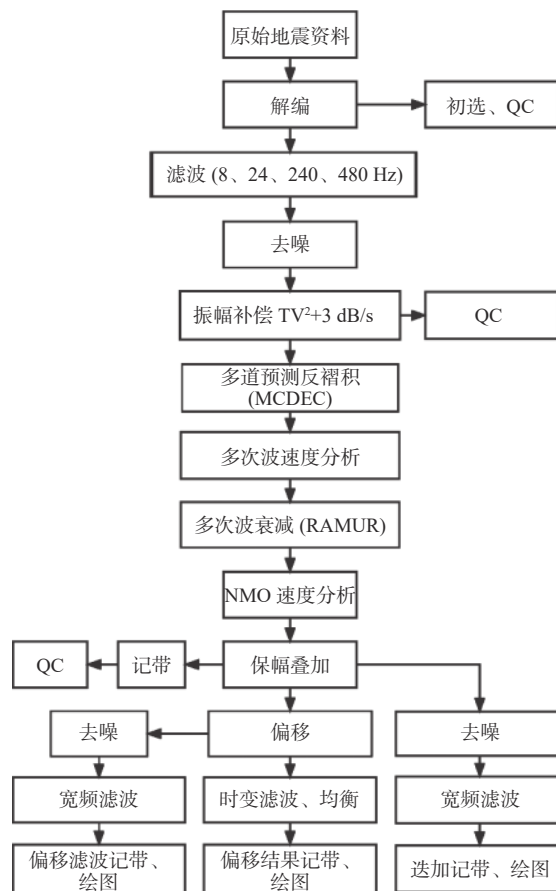


图2 二维多道地震资料处理流程

Fig.2 Flow chart of 2D multichannel seismic data processing

3.2 资料解释

3.2.1 海底地形

在整个场区总体呈北东低、南西高的缓坡状地形,平均坡降为0.80‰。除了北西侧发现数个近似于圆形或者椭圆形、宽约十几米的冲刷凹坑外,通过浅地层剖面资料,在场区东南侧发现一片面积约为7.0 km²的起伏状海底地形(图3),最大起伏高度约0.6 m,数条测线上可见,且越过多个风机预设位置。结合区域资料,应为沙波发育区。但从浅层剖面来看,其下伏沉积岩性仍属于空间变化较为稳定、且具有一定厚度的淤泥质黏土层,不会影响风机桩基的沉桩过程,但将来可能会引起海流对风机基础的冲刷程度不断加大。

3.2.2 层组划分及岩性推测

(1) 浅地层剖面

根据浅地层剖面的反射结构、反射终止类型、频率高低和振幅强弱、连续性等特征进行反射界面的识别和波组划分,可分为3个地层层序,叙述如下(图3、4):

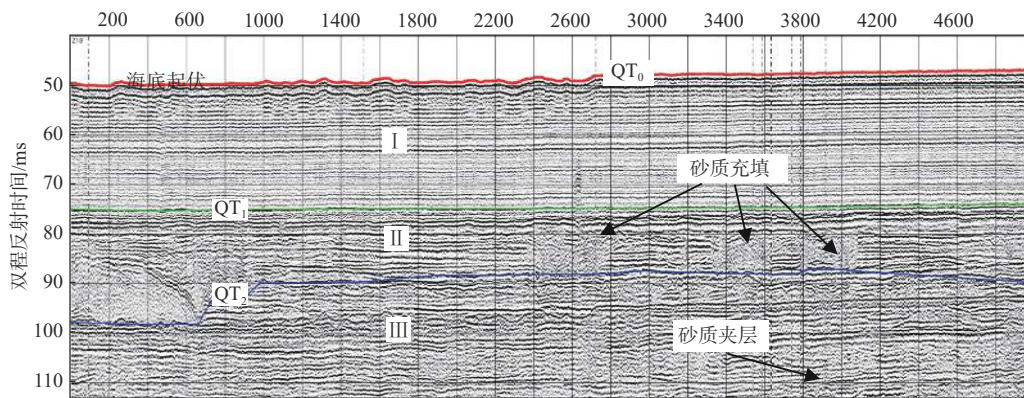


图 3 海底起伏状地形

Fig.3 Seafloor undulating terrain

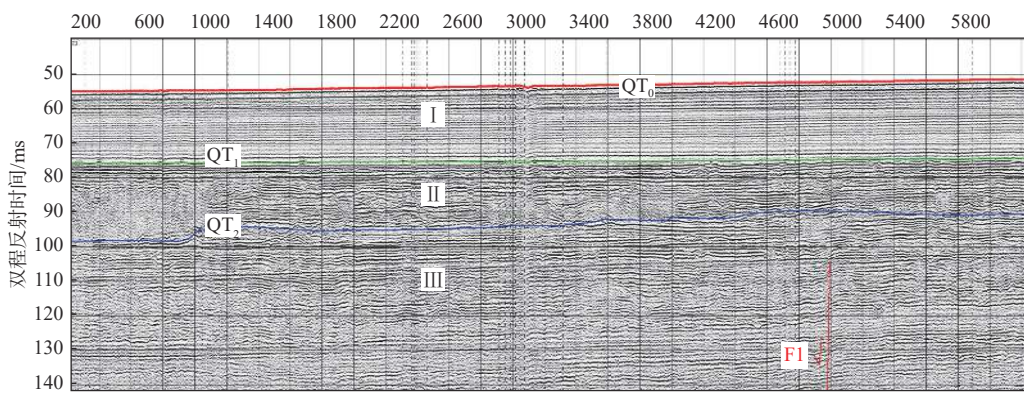


图 4 地层划分和浅部断层 (图中 F1 为断层)

Fig.4 Stratigraphic division and shallow faults

层序 I: 在整个风电场区均有分布, 反射特征为振幅中等, 频率较高, 层状反射结构。厚度约介于 15.6~20.3 m, 北侧薄南侧稍厚。根据层组反射特征推测为一套淤泥质黏土层。

层序 II: 遍布工区, 反射特征为振幅较强, 频率一般, 以层状反射结构为主, 杂乱状或弱反射较为发育。厚度约 9.4~17.3 m, 中间薄, 东西两侧稍厚。根据层组反射特征推测为一套黏性土为主的沉积层, 可见充填状和杂乱状砂性土层。

层序 III: 遍布工区, 反射特征为振幅中等, 频率一般, 上部呈层状反射, 下部以杂乱状反射结构为主。根据层组反射特征推测为一套粉质黏土层为主, 在部分区域可见薄层状和杂乱状砂性土层。

(2) 二维多道地震探测

在海底面以下 1 000 m 深度范围内可划分出 I、II、III、IV 和 V 等 5 个反射层组 (图 5):

层组 I: 为一套以弱振幅为主的反射层, 夹 2~3 个中等振幅的薄层。层组内反射波呈水平状或似水平平行结构, 连续性差。厚度约 44~65 m。层速度约为 1 560 m/s。推断该层组可能为一套以黏土、砂质粉土、砂为主的沉积。

层组 II: 为一套频率相对较高, 振幅以弱振幅为主的反射层组。层组内反射波似水平状平行结构, 连续较差。该层组厚度约 53~107 m。层速度约为 1 585 m/s。

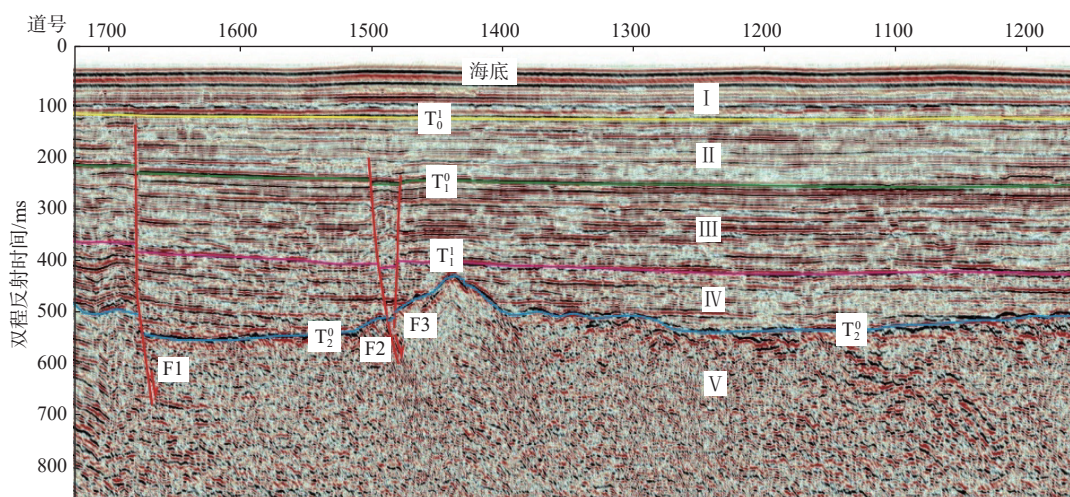
层组 III: 为频率相对较高, 以中强振幅为主, 部分区段出现弱振幅的反射层组, 连续性较好, 呈似水平状结构, 部分呈斜交状或乱岗状结构。该层组厚度约 103~146 m。层速度约为 1 620~1 670 m/s。

层组 IV: 为频率相对较高, 振幅强弱多变的反射层组。层组内反射波振幅强弱交替, 常呈断续延伸, 连续性较差, 呈似水平状结构, 部分呈斜交状或乱岗状结构, 与下伏第 IV 反射层组呈不整合接触关系。该层组厚度约 0~126 m, 层速度约为 1 750 m/s。

层组 V (未见底): 为一套频率相对较低, 强弱振幅交替的反射层组, 受构造运动影响呈倾斜状或波状, 与上覆第 IV 反射层组呈不整合接触关系, 层速度 > 1 810 m/s。

3.2.3 砂质充填

从图 3 和图 4 中可以看出, 在浅地层剖面资料中的层序 II、III 及以下沉积岩性颗粒变粗, 在黏性土中, 砂质含量增多, 且由充填状砂质沉积向薄层



图中 F1、F2 和 F3 为断层

图 5 层组划分和中深部断层

Fig.5 Stratigraphic division and middle-deep faults

或夹层砂层变化。

从根据区域资料,调查区岩土为第四系全新统海相沉积层(Q4m),岩性变化具有一定的沉积韵律特征,即从上至下依次为:淤泥质黏土层、粉质黏土夹粉土和粉砂、粉质黏土-粉砂-细砂。

3.2.4 地质灾害

根据对浅地层剖面的解释,在场区海底面以下

60 m 深度范围内,未发现潜在的浅层气、古河道及浅部断层等地质灾害;对二维多道地震的解释,在调查区海底面以下 1 000 m 深度范围内未发现浅层气。

通过解释,调查区内发现 6 条断裂构造,均为正断层(图 6)。其中场区西北部 1 条断层(F1)在浅地层剖面可见,该断层顶部距海底约 56 m,离风机最近约 393 m,同相轴错断明显(图 4)。

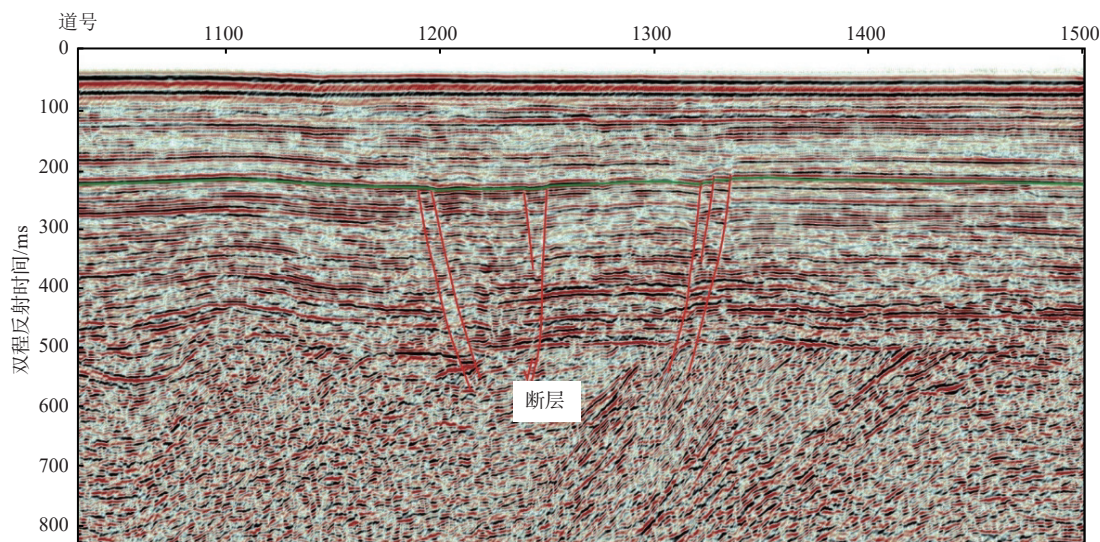


图 6 二维多道地震剖面上正断层示意图

Fig.6 Schematic diagram of normal fault on 2D multichannel seismic profile

4 结论

按照规范要求,在海上风电项目进入详勘设计阶段之前,必须完成相应的工程地质勘察,取得必要的基础地质资料。本项目通过浅地层剖面 and 二维多

道地震,获取了质量良好的勘察资料。经过精细处理和解释,满足了针对浅、中部地层的高分辨率要求。特别是结合下一步的工程钻探及原位测试数据,有利于进行岩土工程地质评价和地基承载力分析。海上工程地震勘探联合应用及其处理方法将为今后在其他海域实施的风电项目提供参考和借鉴。