

渤海海峡老铁山水道基底埋深特征

顾效源^{1,2}, 王伟^{1,2}, 何磊³

(1. 山东省海洋地质勘查院, 山东 烟台 264004; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004;
3. 中国地质调查局 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

摘 要:浅地层结构通常是跨海通道工程建设需要重点考虑的因素之一。在渤海海峡地区,查明蓬莱至旅顺一线海域海底浅地层结构是开展该区域海底隧道施工的先决条件。以往的海底浅地层结构调查多关注南段蓬莱角至砣矶岛,少有涉及到北段老铁山水道。本文以老铁山水道海底地层为重点研究对象,开展单道地震及钻探工作,获取了目标海域海底浅地层结构,对该海域海底基岩面埋深特征开展了初步探索。结果表明:老铁山水道南部以浅埋基岩为主,埋深多在 30 m 以浅;中部发育巨厚的粉砂黏土层,第四纪沉积层最厚 186.30 m 以上;北部大范围区域发育坚硬的厚砾土或铁板砂。本文的调查研究工作为渤海海峡海底隧道工程建设提供了科学支撑。

关键词:渤海海峡;老铁山水道;钻孔;单道地震

中图分类号:P738

文献标志码:A

文章编号:1002-3682(2021)03-0226-06

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2021.03.007

引用格式:GU X Y, WANG W, HE L. Characteristics of basement burial depth of the Laotieshan Channel in the Bohai Strait[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(3): 226-231. 顾效源, 王伟, 何磊. 渤海海峡老铁山水道基底埋深特征[J]. 海岸工程, 2021, 40(3): 226-231.

海底第四纪覆盖层埋深及结构特征是影响海底隧道建设的重要影响因素,也是论证跨海通道建设方案的重要依据^[1]。作为渤海海峡的重要组成部分,老铁山水道海域地质条件复杂^[2]。由于前期对老铁山水道基底埋深等相关的研究资料较少,且调查手段受限,导致学者们对其地层研究程度低,对海底第四纪覆盖层埋深及结构特征的认知存在较大的差异。以往较为普遍的认识是老铁山水道大部分海域第四纪沉积层缺失,因受强烈的侵蚀作用影响,水道底部崎岖不平,导致沉积物以砾石、粗砂、贝壳和结核为主。水道北部及南部多砾石和砂砾,并认为北部为基岩地层并发育断裂褶皱。中部为晚更新世硬黏土,具体厚度不明^[3-10]。

海底隧道埋藏区基岩覆盖厚度及第四纪承载力是影响海底隧道造价和安全的最重要的设计参数之一,本文基于实测单道地震及钻孔资料和历史资料,重点分析老铁山水道海域浅地层结构,描述海域第四纪覆盖层特征,以期利用物探及钻探新证据来统一对该区浅地层的认识。本文成果将对隧道埋置深度以及隧道的科学设计、合理施工皆具有重要的意义。

1 资料与方法

采用 Geo Spark 2000J 电火花单道地震系统进行海域物探,接收单元为 24 道组合检波水听器。采用尾拖方式,接收单元避开尾流的干扰,船速控制在 5 kn 以内。选在浪高小于 1.5 m 的良好海况下进行探测。最大探测深度大于 70 m(基岩面以上),垂向分辨率为 30 cm。海上作业前,先进行 8 km 海试,确定单道地震工作参数,如表 1 所示。

收稿日期:2021-01-27

资助项目:山东省财政地质勘查项目——山东半岛蓝色经济区重点规划区 1:5 万海岸带综合地质调查(丁字湾)(鲁勘字(2016)69 号);
山东省地质矿产勘查开发局 2020 年度局控地质勘查与科技创新项目——山东省海岸带地质环境演变规律与机制(202003)和
山东半岛重点海湾地质环境与开发保护评价(HJ202101)

作者简介:顾效源(1989—),男,工程师,硕士,主要从事近海海洋地质调查方面研究。E-mail: ggspeed@126.com

(王 燕 编辑)

表 1 单道地震工作参数
Table 1 Working parameters for the single-channel seismic survey

参数名称	参数值	参数名称	参数值	参数名称	参数值
激发间隔/ms	1 000	接收单元/个	24	滤波范围/Hz	-200~2 000
震源能量/J	1 600	延迟时间/ms	0	地层平均声速/(m·s ⁻¹)	1 600
记录长度/ms	200	采样频率/Hz	10 000	数据记录格式	SegY

采用 GeoSuite AllWorks 软件处理单道地震资料。解译过程中,根据以往经验及钻孔岩心对比确定平均声速,为 1 600 m/s。由于受地层剖面采集及记录方法的限制,本次工作所采集的剖面出现多次波、鸣震和侧面波等干扰因素(图 1 中 d 为深度)。通过对这些干扰及噪声做系统分析,利用滤波及反褶积处理技术,提高了数据的信噪比,压制了干扰波对原始资料的干扰。如测线 W1 和 W2 由于受多种因素的干扰,导致剖面数据不能很好地显示地层信息(图 1),通过对测 W1 和 W2 进行资料处理,部分剖面记录较好地揭示了海底 70 m 以内地层的内部结构和地震反射特征^[11]。

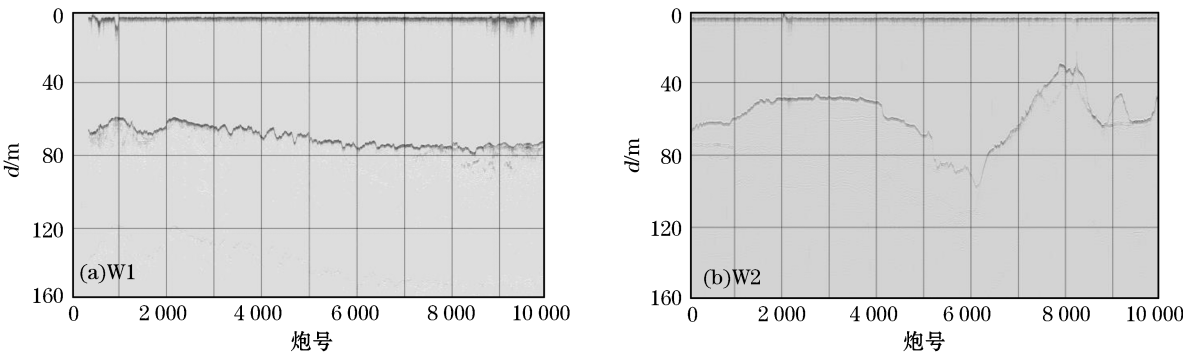


图 1 数据处理前的测线 W1 和 W2 剖面
Fig.1 Profiles of lines W1 and W2 before data processing

针对本研究目的,选取了自旅顺至小钦岛的 W1 和 W2 两条单道地震测线及 ZK1 和 ZK2 两个海域钻孔(图 2)。其中,W1 和 W2 两条测线长度总计 52.91 km; ZK1 孔深 186.30 m, ZK2 孔深 32.00 m。

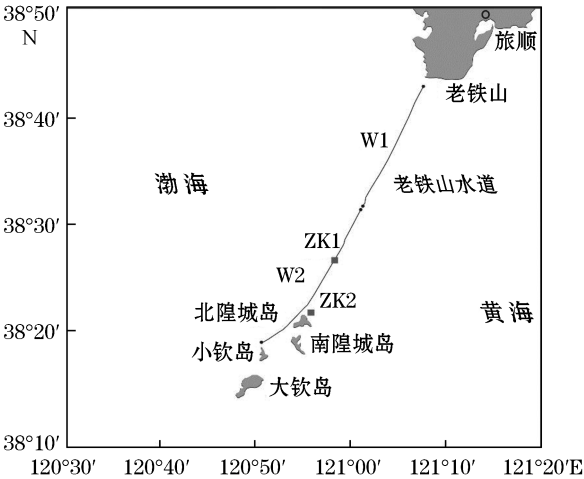


图 2 单道地震测线 W1 和 W2 及钻孔位置
Fig.2 Locations of single-channel seismic survey lines W1 and W2 and drilling holes

2 结果与讨论

海底浅地层发育特征与海底地形紧密相关^[4]。分析收集的研究区所开展的多波束测量资料及浅地层剖面同步测深资料等^[1],根据赵铁虎等^[4]对渤海海峡跨海通道海域水下地形特征分区,本文将研究区大致分为北部平坦区、中部隆起区和南部沟槽区三个区块(图 3)。

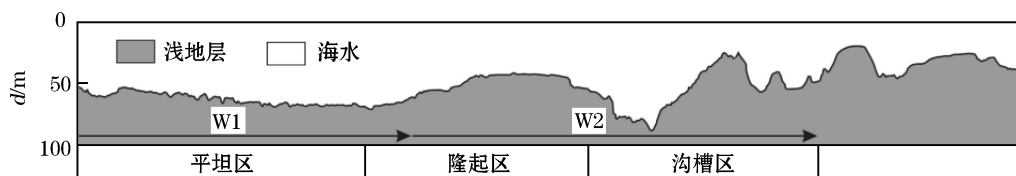


图 3 渤海海峡水下地形剖面

Fig.3 Underwater topographic profile of the Bohai Strait

受海底地形及沉积条件、构造运动的影响,研究区海底地层呈现出不同的埋藏特征。根据地震剖面解译信息及钻孔揭示信息,展开对海底地层的分析与讨论。

2.1 基底埋深分析

根据单道地震资料分析,测线 W1(图 4)主要代表了北部平坦区地层特征,测线 W2(图 5)代表了中部隆起区和南部沟槽区地层特征。所以,2 条测线基本可以揭示渤海海峡老铁山水道海域浅地层特征。

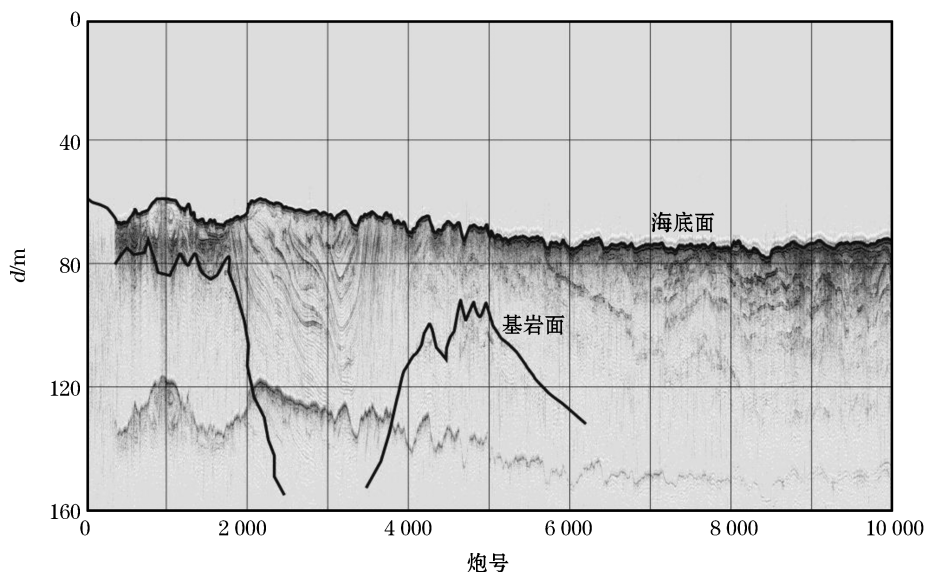


图 4 测线 W1 剖面

Fig.4 Profile of line W1

测线 W1 位于老铁山水道北段,长度 26.17 km。由水下地形图(图 3)可知,海底地形较为平坦,但基岩面起伏较大。0~2 000 炮及 4 500~5 500 炮基岩面较浅,特别是北部地层第四纪覆盖层很薄甚至缺失,这是由于北部海底地层中铁板砂广泛分布,导致声学信号无法穿透。5 500~10 000 炮及 2 000~4 500 炮基岩埋藏较深,特别是 6 300~10 000 炮基岩面追踪失败,电火花声学信号无法穿透此处地层。

老铁山水道北部小型冲刷槽较为发育,水道底部崎岖不平。残留沉积主要为晚更新世的细砂、硬黏土以及

被侵蚀后残留的砾石、粗砂、贝壳和结核等。其中砾石和沙砾占比最大。由图 4 可知,地层中发育褶皱构造(2 000~4 000 炮),其形成背景与旅顺地区发育的 NW 向及 NNW 向延伸的褶皱与挤压性断裂构造带一致。

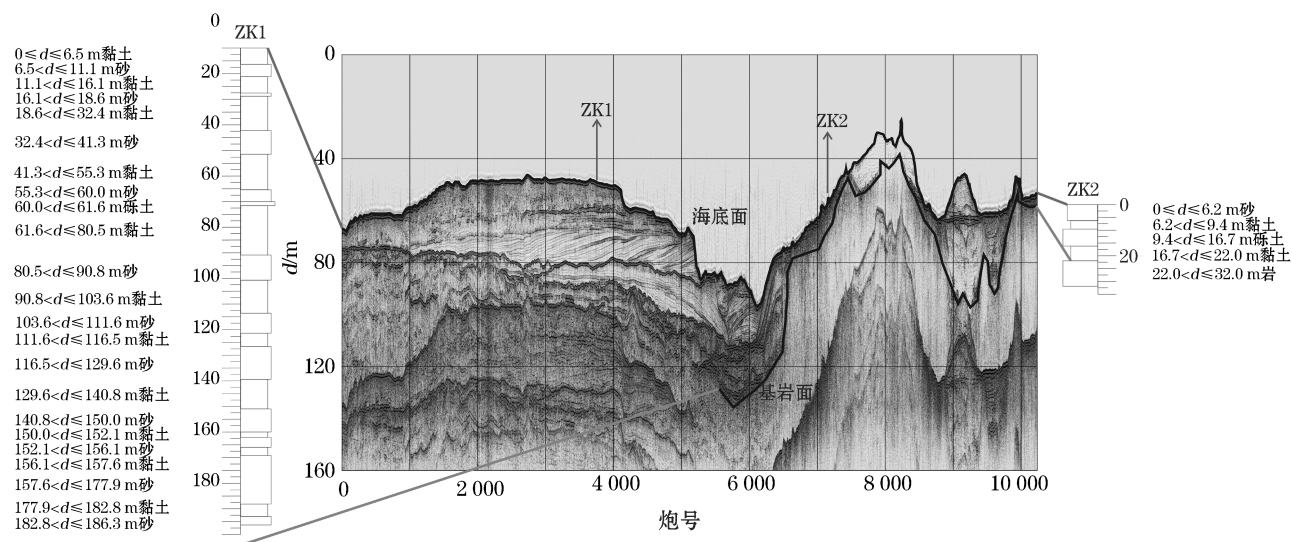


图 5 测线 W2 声学剖面与钻孔对比

Fig.5 Contrast between acoustic profile W2 and drilling holes

测线 W2 位于测线 W1 以南,由水下地形图(图 3)可知,W2 测线包括老铁山水道中部隆起区、南部沟槽区及南北隍城岛海域,长度 26.74 km。岛链附近第四纪地层缺失,有岩礁裸露,受强力的侵蚀作用,底部崎岖不平且基岩面整体埋藏较浅。结合图 5 沟槽区钻孔 ZK2 岩心可知,此区域表层以粉砂、黏土为主,粉砂、黏土层厚度约 10 m;10 m 以深以砾石土为主,一般粒径为 2~20 mm,将其推测为强侵蚀作用形成的残留沉积;对于中部隆起区,结合图 5 钻孔 ZK1 岩心可知,基岩面以上覆盖巨厚的粉砂及黏土层,单道地震剖面可揭露上层约 60~70 m 地层,主要岩性为粉土、黏土及粉砂等,剖面底层由钻孔揭示为细角砾土,一般粒径 30~60 mm,最大粒径为 80 mm,推测此砾土层为限制电火花信号传播的主要因素。

2.2 基底埋深讨论

以往研究^[1-4]普遍认为渤海海峡北部特别是老铁山水道海域第四纪覆盖层大部分为缺失状态,只有局部地区发育残留沉积覆盖于基岩面之上,然而本研究发现事实并非如此,真实情况是老铁山水道海域地层很大范围内发育巨厚的覆盖层,其中由单道地震测线 W2 地层剖面可见,中部隆起区基岩以上发育以粉砂和黏土为主的巨厚的第四纪沉积层。根据钻孔 ZK1 岩心证据,此区域第四纪沉积层最厚在 186.30 m 以上。

隆起区以南发育一深切沟槽,沟槽区以北基岩面埋藏较浅,由钻孔 ZK2 岩心显示此位置第四纪覆盖层厚度为 22 m,其岩性主要以黏土和砾土为主。于测线 W1 南侧发现的褶皱构造同样证明了此处发育巨厚的第四纪覆盖层,且覆盖层在百米以上。测线 W1 北部靠近旅顺、大连一侧的单道地震剖面基岩界面追踪失败,以往学者^[1-4]普遍认为此处为基岩裸露发育,但本文认为此处并非如此。本文认为声波未能穿透的原因因此处表层发育较为坚硬的砾土或铁板砂,很大范围内海域浅地层仍以较厚的第四纪覆盖层为主。

3 结 论

基于单道地震及钻孔资料的综合分析,确定了渤海海峡老铁山水道海底隧道建设区基岩覆盖厚度,主要得出以下结论:

①老铁山水道北部平坦区海底地形整体起伏不大,由于声波穿透受限基岩面难以确定,推测靠近旅顺一侧基岩埋藏较浅或出露。向南发育一褶皱,褶皱以南基岩面埋藏逐渐变深;中部隆起区第四纪沉积层埋藏最深,为 186.30 m 以上,发育巨厚的粉砂黏土层;沟槽区以南以浅埋基岩为主,基岩埋藏深度多在 30 m 以浅。

②W1 测线最北侧的声波未能穿透地层,且缺乏钻孔资料辅助,未能探明该段海底地层特征。为满足跨海通道工程建设需要,需对该段海域地层进行更进一步的调查分析,进而掌握老铁山水道整体基岩埋深情况,为工程建设提供全面准确的基础地层资料。

参考文献 (References):

- [1] ZHAO T H, GAO X H, QI J, et al. Shallow structure characteristics in trans-sea channel of Bohai Strait[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2014, 34(2): 38-42. 赵铁虎, 高小惠, 齐君. 渤海海峡跨海通道道区浅地层结构探测[J]. 海洋测绘, 2014, 34(2): 38-42.
- [2] YIN Y H, YE S Y, ZHAO T H, et al. Marine geo-environment analysis of the proposed bridge-tunnel path system across the Bohai Strait and suggestions on construction schemes[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2017, 37(3): 1-16. 尹延鸿, 叶思源, 赵铁虎, 等. 渤海海峡跨海桥隧建设的海洋地质环境分析及修建方案思考[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(3): 1-16.
- [3] CHEN X H, ZHANG X H, LI R H, et al. A preliminary study on hazardous geology in the Bohai Strait[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2014, 34(1): 11-19. 陈晓辉, 张训华, 李日辉, 等. 渤海海峡海域灾害地质研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(1): 11-19.
- [4] ZHAO T H, QI J, MEI S, et al. Survey and analysis of the geological conditions in trans-sea channel of Bohai Strait[J]. Science & Technology Review, 2016, 34(21): 39-47. 赵铁虎, 齐君, 梅赛, 等. 渤海海峡跨海通道地质条件调查与分析[J]. 科学导报, 2016, 34(21): 39-47.
- [5] GU X Y, LU Q Y, YE S Y, et al. Deltaic progradation and geo-environmental succession of coastal wetlands in the Yellow River Delta [J]. Geological Review, 2016, 62(3): 682-692. 顾效源, 鲁青原, 叶思源, 等. 黄河三角洲进积与滨海湿地地质环境演替模式[J]. 地质论评, 2016, 62(3): 682-692.
- [6] WANG M S, SONG K Z. Urgency and current construction conditions and preliminary scheme of Bohai Strait cross-sea channel[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2013, 37(1): 1-10. 王梦恕, 宋克志. 渤海湾跨海通道建设的紧迫性及现实条件和初步方案[J]. 北京交通大学学报, 2013, 37(1): 1-10.
- [7] SONG K Z, DENG J J, WANG M S. Feasibility study on Bohai Strait tunnel connecting Yantai and Dalian[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2007, 4(1): 121-129. 宋克志, 邓建俊, 王梦恕. 烟大渤海海峡隧道的可行性研究初探[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 4(1): 121-129.
- [8] LU G J, TIAN B H. Research on development scheme of sea-crossing railway through the Bohai Channel[J]. Railway Standard Design, 2013(8): 37-41. 卢光杰, 田宝红. 渤海海峡跨海通道建设方案研究[J]. 铁道标准设计, 2013(8): 37-41.
- [9] TAN Z S, WANG M S. Scheme study of Bohai Strait cross-sea tunnel[J]. Strategic Study of CAE, 2013, 15(12): 45-51. 谭忠盛, 王梦恕. 渤海海峡跨海隧道方案研究[J]. 中国工程科学, 2013, 15(12): 45-51.
- [10] TAN Z S, WU Y S, WAN F. Analysis of natural condition for Bohai Strait cross-sea engineering[J]. Strategic Study of CAE, 2013, 15(12): 32-38. 谭忠盛, 吴永胜, 万飞. 渤海海峡跨海工程自然条件分析[J]. 中国工程科学, 2013, 15(12): 32-38.
- [11] GU X Y, YU J F, HAN M Z, et al. Application of single channel seismic technology in marine geological survey-setting the northern sea area in Chudao Island in Weihai City as an example[J]. Shandong Land and Resources, 2020, 36(1): 72-78. 顾效源, 于剑峰, 韩明智, 等. 单道地震技术在海洋地质调查中的应用——以威海褚岛北部海域为例[J]. 山东国土资源, 2020, 36(1): 72-78.

Characteristics of Basement Burial Depth of the Laotieshan Channel in the Bohai Strait

GU Xiao-yuan^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, HE Lei³

(1. *Shandong Marine Geological Survey Institute*, Yantai 264004, China;

2. *No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources*, Yantai 264004, China;

3. *Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey*, Qingdao 266071, China)

Abstract: The shallow stratigraphic structure is one of the key factors to be considered in the project of cross-sea channel construction. In order to carry out the construction of a subbottom tunnel in the Bohai Strait, one of the prerequisites is to ascertain the undersea shallow stratigraphic structure in area from Penglai to Lüshun. In the previous surveys, the investigations of undersea shallow stratigraphic structure were mostly focused on in the southern area from Penglai to Tuoji Island, but rarely in the area of the Laotieshan Channel. In this paper, the undersea shallow stratigraphy in the area of the Laotieshan Channel is taken as the key object of study. The undersea shallow stratigraphic structures in the study area are obtained by means of single-channel seismic surveys and drilling work, and based on these data, the characteristics of the substrate burial depth in the study area are preliminarily investigated. The results indicate that in the southern part of the Laotieshan Channel shallow buried bedrocks are dominant, with the burial depth being mostly shallower than 30 m, and in the middle part of the channel a huge-thick silty clay layer is developed and the maximal thickness of the Quaternary sedimentary strata is over 186.30 m. In the northern part of the channel hard and thick gravels or iron-plate-like sands are developed in a wide area. This study can provide scientific support for the project of subbottom tunnel in the Bohai Strait.

Key words: Bohai Strait; Laotieshan Channel; drilling hole; single-channel seismology

Received: January 27, 2021