



地球物理勘察在海洋工程勘察设计中 工作中的作用 and 意义

吕邦来^{1, 2}, 麦若绵², 祝刘文²

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 以港珠澳大桥工程及其周边海洋工程项目为例, 从地层勘探、障碍物排查、疏浚量计算等方面论述地球物理勘探在海洋工程勘察设计中的作用和意义, 并分析目前地球物理勘探存在的缺陷和不同。

关键词: 海洋工程; 地球物理勘探; 海底管线; 海洋磁力; 侧扫声纳; 浅地层剖面; 地震映像

中图分类号: P 751

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0108-06

Effect of geophysical exploration for design of ocean engineering project

LV Bang-lai^{1, 2}, MAI Ruo-mian², ZHU Liu-wen²

(1. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on the HZM bridge engineering and other ocean engineering project, we analyze the effect of geophysical exploration on the ocean engineering, including geological survey, obstacles survey, dredging quantity calculation, etc. We also discuss the defects and differences of geophysical exploration.

Key words: ocean engineering; geophysical exploration; marine submerged pipeline; magnetic survey; side scan sonar; sub-bottom profile; seismic image

海洋工程的勘察设计工作主要包括项目的论证、工程可行性研究、专题研究、初步设计及施工图设计等环节的设计工作及与此相对应的勘察工作, 其中勘察工作是工程勘察的重要组成部分。工程勘察需要为项目选址、总平面设计、结构设计、工程量概算等工作提供大量准确可靠的地质资料。工程勘察的成果对工程设计和建设的影响重大而深远。

在项目的论证和前期设计阶段, 成本低、效率高、覆盖面积大的地球物理勘察通常是必选的勘察方法之一。根据美国密歇根大学工程物理实验室的统计, 2003—2007年的5年间, 环太平洋及南大西洋区域的可收集的153项海洋工程(不

完全统计, 以石油管线、跨国光缆、钻井平台为主), 采用浅地层探测及地震勘探技术(基于声学震源)的有139项, 采用声纳技术的有127项, 采用海洋磁力技术的有82项。而国内海洋工程也越来越多地采用了地球物理技术为工程建设服务。

地球物理勘察是一种间接的勘察方法, 其成本低、效率高、覆盖面积大的特点符合工程勘察可靠、高效、安全环保的要求。其作用主要体现在以下3个方面: 1) 给工程前期工作提供宏观而可靠的地质依据; 2) 排除工程项目建设潜在的障碍物等隐患, 降低工程建设风险; 3) 对于疏浚项目各类岩土疏浚量计算提供可靠的依据。

举世瞩目的港珠澳大桥项目, 其采用的地球

收稿日期: 2013-05-02

作者简介: 吕邦来(1978—), 男, 高级工程师, 从事水运工程物探工作。

物理勘察就充分发挥了上述3个方面的作用;珠三角周边区域以及目前国内外大多海洋工程项目都会采用地球物理勘察以达到特定的目的。

1 满足工程前期工作需要的地球物理勘察

工程前期工作主要包括项目选址和可行性研究,核心是可行性论证,主要包括选址是否合适、总平面布设是否合理、结构设计是否可行等工作。针对工程前期工作的特点,需要地质勘察提供可靠的区域性的地质成果,通常地球物理勘察是必选方法之一。

为满足工程前期工作对地质资料的需求,目前国内外海洋工程中主流的地球物理勘察通常包括浅地层剖面法、电火花式地震法、地震映像法等。不同地球物理方法针对的目标层不同:一般而言,浅地层剖面法分辨能力高,主要针对软土层的勘察,主要包括淤泥、淤泥质土、黏性土层等;电火花式地震兼顾分辨能力和穿透能力,主要针对主要岩土层的勘察,主要包括淤泥、淤泥质土、黏性土、砂层、残积土层以及基岩;地震映像穿透能力强,主要针对覆盖层、基岩面以及特殊地质构造进行勘察。

在港珠澳大桥前期论证阶段,岛隧结合的

设想受到很多专家的认可,但是缺少必要的地质资料作为依据,而在工程的论证阶段不可能安排大量的地质勘察工作。为了判断岛隧方案的可行性,在充分考虑工程拟建现场海域的特殊性和通航条件的特殊要求之后,设计单位布置了一定的地球物理勘察和地质钻探工作,在岛隧方案的轴线上布置了连续的地球物理勘察测线,并且在岛隧段布置3个钻孔用以验证地球物理勘察的成果,钻孔分别为ZK1、ZK2和ZK3。图1为依据钻孔资料绘制的地质剖面图,图2为地球物理勘察和地质钻探的测线综合地质剖面图。

综合分析图1和图2,可以得出如下结论:1)从图1可以判断,地质钻探仅提供了勘探点位的地质信息,通过地层连线来划分地层形成地质剖面图;而结合了地球物理勘察之后,则可以绘制图2这样的测线地下介质的连续分布状态的测线综合地质剖面图,可以实现工程前期阶段的勘察目的。2)图2中存在的稳定的具有足够厚度的海陆相沉积层,可以作为海底隧道的拟建层位。3)海底地层,尤其是在珠江口海域的地层,由于历史形成的复杂性,层位交错,岩面起伏,地质形态非常复杂;ZK2和ZK3钻孔之间地层变化极大,仅依靠地质钻孔难以完全满足工程设计和建设的要求。

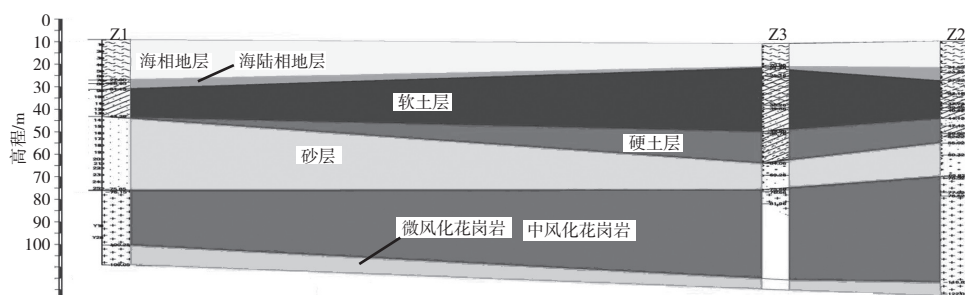


图1 依据钻孔成果绘制地质剖面图

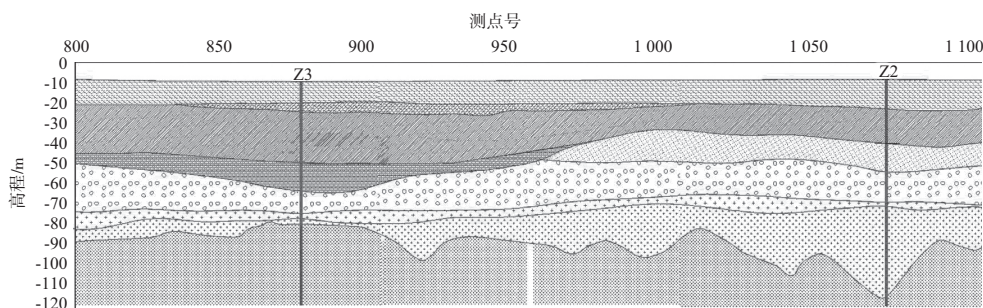


图2 依据地球物理和钻孔成果综合绘制地质剖面图

在珠江口海域附近的其他海洋工程项目中,地球物理勘察也同样可以发挥独特的作用。图3为珠江口海域某项目港池区域基岩面高程等值线图,在工程可行性研究阶段,按照规范布置的6个钻孔,只有2个钻孔揭示存在基岩,但通过地球物理勘察的成果,发现测区存在较大规模的两片基岩分布区,基岩埋深最浅处仅-3 m(理论最低潮面),如若按照以前的方案,项目疏浚费用会大幅提升,项目总平面布置据此进行了较大的调整,使设计方案更加合理。



图3 港池区域基岩面高程等值线

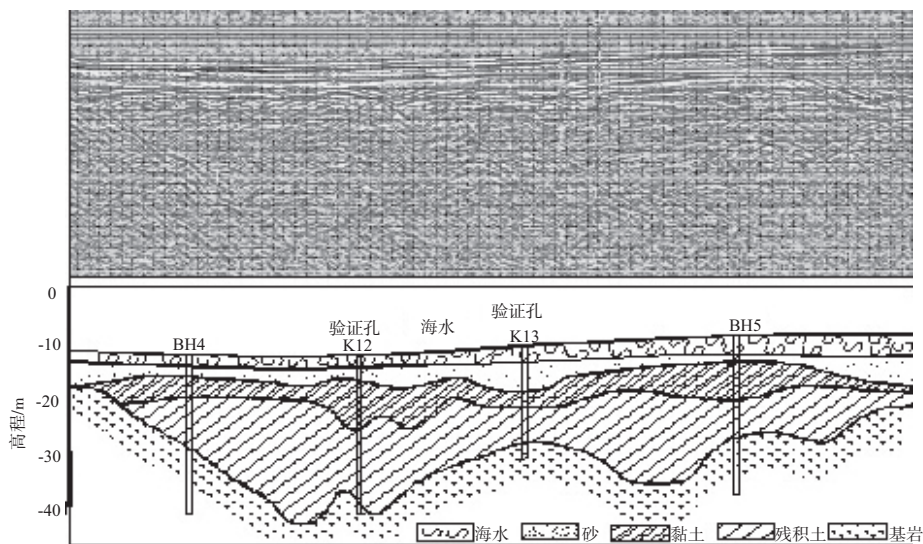


图4 码头前沿线地质剖面

海底障碍物进行排查是重要而迫切的。

海底障碍物的类型很多,在港珠澳大桥所在的珠江口水域,存在输油管线、供电电缆、军事及民用通信电缆、跨境通信光缆、排污管线、沉船、人工鱼礁等不同类型的海底设施和障碍物,还有正在建设的输气管线。针对这类海底障碍

图4为广东某项目的码头前沿线位置的地球物理勘察成果图,在预可阶段,在码头线沿线位置布置了BH4、BH5两个钻孔和地球物理勘察测线,地球物理勘察提供了连续的码头前沿线地质剖面图,在工可阶段,为了进一步了解前沿线位置的地质分布情况,在该测线位置补充了K12和K13两个钻孔,其结果与预可阶段的地球物理勘察成果一致,证明了预可阶段设计的合理性。

2 海域障碍物排查的地球物理勘察

随着海洋开发的逐步发展,近海港口、码头、航道、填海造地、桥梁等工程建设需要面临一个新的问题,那就是可能和已有的人类构筑物或遗弃物(比如海底管线、人工鱼礁、沉船、爆炸物等)发生冲突,其中,海底管线对于工程设计和施工的危害最大。近年来,由于没有探明海底管线而造成的工程事故时有发生,经济损失严重,社会影响较大。海底障碍物对项目的影响极其重大,在某些特定的水域,甚至会颠覆一个项目的方案,因此在工程建设的前期阶段,对

物,目前国际通行的方法是采用地球物理勘察进行探测,辅助人工探摸等方式加以验证,具体采用的地球物理方法包括浅地层剖面、侧扫声纳、海洋磁力等方法。其中浅地层剖面用以探明管线的埋深、形态、规模等;侧扫声纳用以探明海底面存在的障碍物的位置及形态;海洋磁力用以探

明海底铁质或水泥质的具有强磁性异常的障碍物。对于未知的障碍物,通常需要采用综合地球物理勘察的方法进行排查。

港珠澳大桥的建设需要跨越珠江口水域重要的海底输油管线崖13管线,必须探明港珠澳大桥跨越崖13管线的具体位置,管线的形态、埋深和状态,为港珠澳大桥的安全顺利建设提供准确可靠的基础资料。由于崖13线建设历史较长,具有一定的埋深,浅地层剖面探测和海洋磁力探测能够相互对应的揭示管线的平面位置及埋深。其中图5为海洋磁力探测揭示的崖13线的磁力异常,两处异常为来回观测的磁异常值,具有较好的异常位置一致性和连续性。图6为浅地层剖面探测揭示的管线埋设状态及平面位置、深度。

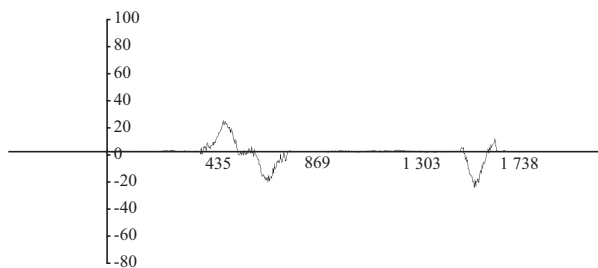


图5 海洋磁力探测揭示的崖13线的磁力异常图
(来回2次观测)

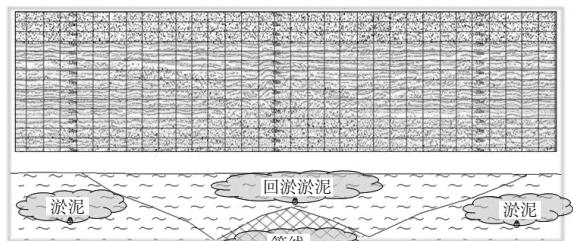


图6 浅地层剖面探测揭示的崖13管线的形态

图7为华南某海域存在的海底管线的浅地层剖面探测的海底管线形态图,图中可以清晰判断,存在两条管线,一条埋设时间较长,上部有覆盖物,一条埋设时间短,开挖基槽依然存在,经社会调查和分析,左侧为输油管线,右侧为供水管线。图8为该位置开挖基槽还在的供水管线的侧扫声纳探测图谱,能够与浅地层剖面所揭示的管线位置对应,已被覆盖的输油管线的侧扫声纳图则无法揭示。

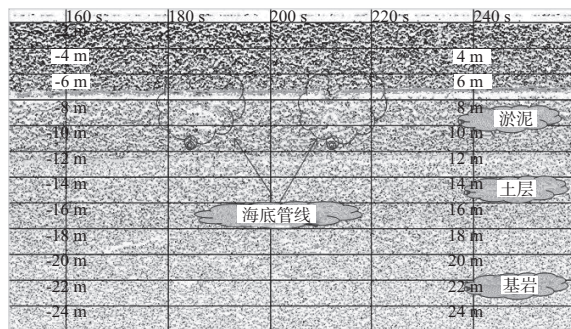


图7 华南某海域存在的海底管线浅地层剖面

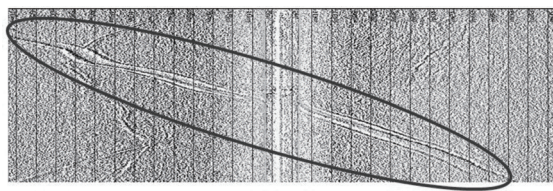


图8 华南某海域存在的海底管线侧扫声纳

图9 为港珠澳大桥珠海口岸人工岛建设海域的海底障碍物排查的侧扫声纳的图谱,图中清晰可见存在一条连续的长条状异常物,经潜水探摸验证,为遗弃的渔民使用过残旧的虾笼,具体形状与右侧图10的虾笼一模一样。

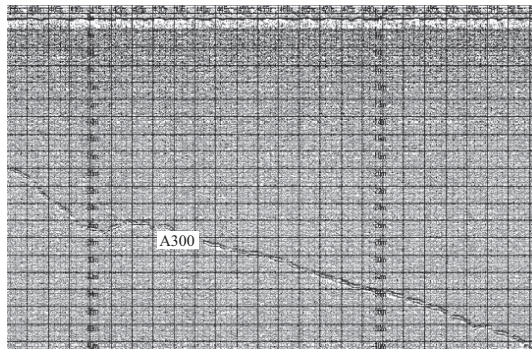


图9 侧扫声纳原始图谱



图10 现场的虾笼照片

3 工程疏浚量计算的地球物理勘察

海洋工程不可避免地会涉及到海域疏浚,尤其是港口码头航道等需要通航保证的水工建筑物,另外一些海洋工程也可能会涉及特定海域的疏浚以满足特殊的工程要求,比如港珠澳大桥隧道区暗埋段,就需要先疏浚到指定高程,进行地基处理之后再埋设沉管。疏浚量历来都是比较敏感的数据,而疏浚量的计算需要可靠而完整的地质依据作为支撑。显然,采用传统的地质钻探成果作为单一的资料已经无法满足设计的要求,目前国内外通行的办法是采用地球物理勘察结合地质钻探的方法来进行综合勘察,以提供准确而全面的地质信息。

地球物理勘察能够在地质钻探的基础上提供连续测线的地质资料,进而通过必要的插值可以形成疏浚区域立体的地质成果,对于需要疏浚的各类土分类计算疏浚量,从而大大提高疏浚量的计算精度。国内外比较常采用的地球物理方法是浅(中)地层剖面、单道地震、电火花式地震等。

图11为珠江口某航道三期工程的浅地层剖面探测成果,需要将现有航道拓宽拓深以满足日益增长的通航需求。通过地球物理勘察,可以清楚探明勘察区域的地层分布情况,从而判断需要疏浚的各类土的分布状态及方量。

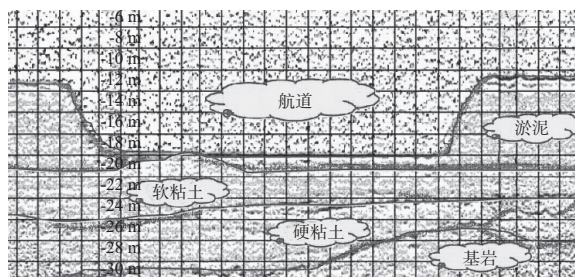


图11 珠江口某航道三期工程的浅地层剖面

图12为珠江口某海洋工程项目的电火花式地震勘察的实测测线航迹图,图13为该项目某测线段的原始图谱,从图中可以清晰判定测区疏浚深度内存在较大规模的基岩隆起,通过对测区网格状的地球物理勘察测线的成果进行综合分析,可以绘制图14所示的测区基岩面高程等值线,并以此为依据计算出测区需要炸礁的区域的炸礁量,最大限度的减少了施工过程中可能出现的对于工

程炸礁量的争议。

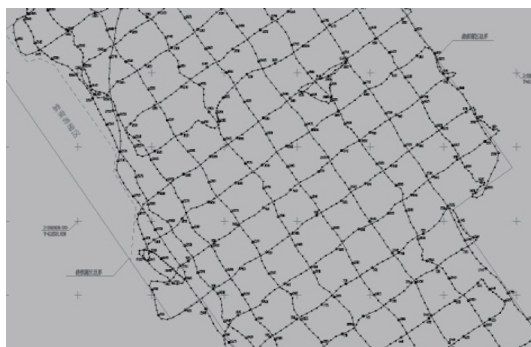


图12 某项目实测测线航迹

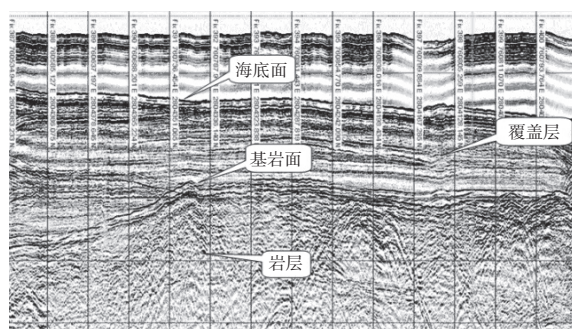


图13 电火花地震勘察的原始图谱

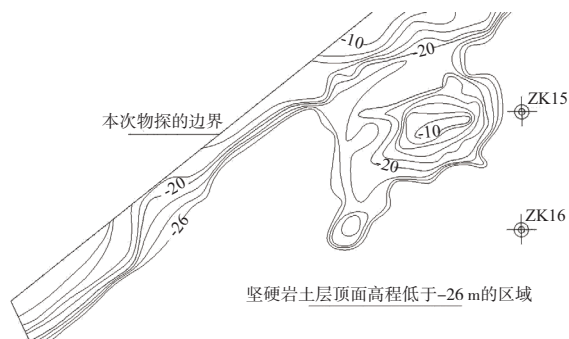


图14 某项目测区基岩面高程等值线

4 地球物理勘察的缺陷

虽然地球物理勘察在海洋工程勘察中的应用越来越广泛,但是,其固有的缺陷还是值得深入研究。由于地球物理勘探是一种通过间接的方式揭示地下介质特征的方法,无法像地质钻孔一样直观地对地下介质进行辨别判断,也无法提供样品进行物理和力学指标的试验分析,所以,到目前为止,地球物理勘察的定位依然是地质勘察的一种手段,是地质钻探必要的补充。总结起来,地球物理勘察存在以下3个方面的主要缺陷:

1) 无法提供地下介质的属性分析,图15为

港珠澳大桥项目某段测线的地球物理勘探实测图谱,采用的是地震法。图中可以清晰判断地下主要土层的分布状态,但是,如果没有可靠的地质钻探资料,则无法对地层1地层2地层3等各个土层进行属性判断。另外,地球物理勘探的成果精度和薄夹层的分辨能力还有待进一步的提高;多解性问题也有待进一步解决。

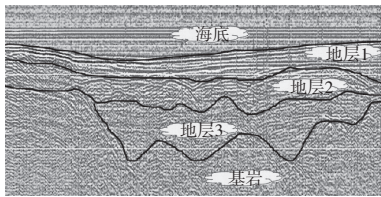


图15 港珠澳大桥项目某段测线地球物理勘探实测图

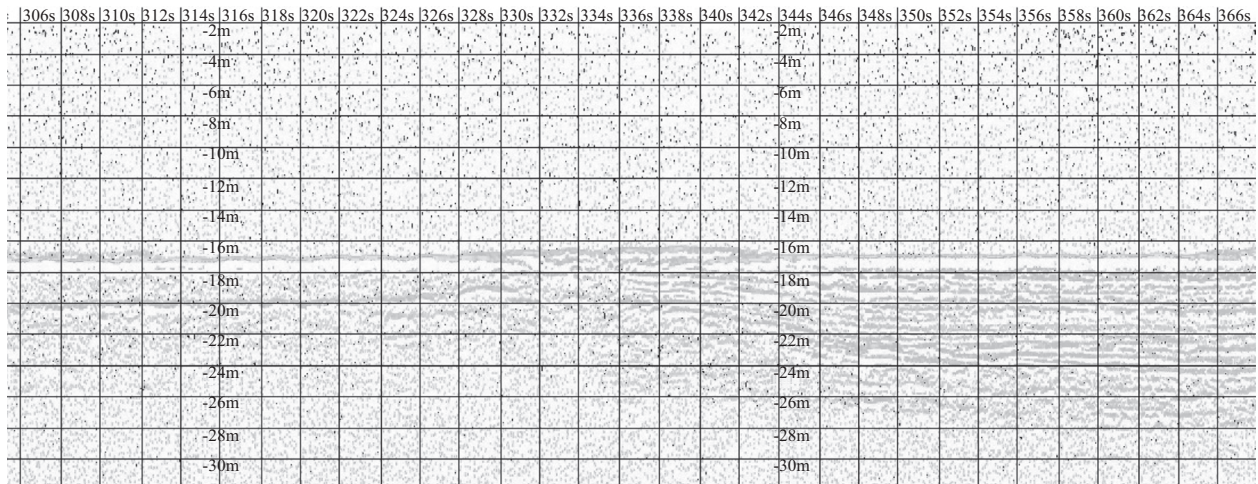


图16 珠江口某航道项目地球物理勘探实测图谱

5 结语

地球物理勘探在港珠澳大桥建设项目中被多次应用在不同阶段解决不同的问题,充分发挥了地球物理勘探独特的优势和价值。在珠江口区域乃至国内外的海洋工程中,地球物理勘探也被越来越多地应用,其在地层勘探、障碍物排查、疏浚量计算等方面的技术能力被越来越多的工程建设者认可,其自身的技术能力、技术装备也获得了巨大的发展。

虽然地球物理勘探依然存在一定的技术缺陷,但是目前世界各地的地球物理学家们正在利用新理论新技术新方法不断改善和充实其成果精度和生产效率。可以预见,在不久的将来,地球物理勘探的应用将会获得更加广阔的空间。

2) 地球物理勘探对某一些土层的勘察效果比较差,比如较厚的砂层等。图16为珠江口某航道项目的地球物理勘探实测图谱,采用的是浅地层剖面法,图的左侧为海底面以下为砂层,右侧海底面以下为淤泥及淤泥质土层,淤泥及淤泥质土层具有较好的穿透性,二砂层则具有较好的屏蔽性。

3) 地球物理勘探依据网格状测线的地层分布特征绘制的工程建设区域的立体地层数据图,对于测线没有经过的区域,则采用数学插值的方法进行推断,不可避免的存在一定的误差和遗漏,所以需要根据工程的设计阶段和勘探目的慎重决定地球物理勘探的工作量(即测线的间距与密度),力求在工期、费用与技术需求之间取得平衡。

参考文献:

- [1] 吕邦来. 工程物探技术在海域工程勘察中的应用[J]. 港工技术, 2008(2): 52-58.
- [2] 张兆富. SES296 参量阵测深浅地层剖面仪的特点及其应用[J]. 中国港湾建设, 2001(3): 41-43.
- [3] LV B L. Application of engineering geophysical techniques to the prospecting and survey of offshore project sites[C]// Science Press USA Inc. ICEEG, 2006: 767-772.
- [4] LV B L. A case study on geophysical techniques for the marine submerged pipeline[C]//Science Press USA Inc. ICEEG, 2010: 802-809.
- [5] 吕邦来. 浅地层剖面探测与地震映像法勘探在海洋工程勘察中的应用对比与分析[C]//工程物探新技术, 2006.

(本文编辑 郭雪珍)