

区域性海洋工程地质调查和评价

顾小芸 (中国科学院力学研究所)

提 要

本文从海洋工程地质工作的发展阐明区域性调查和评价是历史发展的必然和技术进步的结果。文中比较全面地介绍了包括海上和岸上两方面工作的调查方法,资料解释工作的目的和意义,以及工程地质评价的内容和作用。强调了地球物理、地质和土工等不同学科互相结合的重要性以及区域性海洋工程地质调查和评价工作在我国发展的现实意义。

随着海洋石油勘探和开发事业的发展,工程地质调查和评价的意义已越来越受到人们的重视。海洋工程地质调查分两大类:为完成结构物最终设计进行的特定场地的工程地质调查和大面积内进行的区域性工程地质调查。

前者已有四十年的发展历史,其重要性已为工程人员所接受。早在四十年代,美国着手开采墨西哥湾海洋石油时,就进行了这方面的工作。随着采油区面积的扩大,许多点上的工程地质调查资料连成一片,墨西哥湾海底整体的工程地质情况才清楚地显露出来。我国渤海海域的工程地质调查也是从这种小场地开始的,并已积累了一定资料。这种做法是技术发展的必然。但是,其中也曾付出过一定代价。例如,1969年卡米尔飓风袭击密西西比河三角洲,引起海底大面积土体滑移,致使平台倒塌,损失1亿多美元。这类代价是导致区域性工程地质调查工作发展的原因之一。

区域性工程地质调查和评价是近十年来,尤其是八十年代以来才发展起来的,其重要性还未被所有的工程人员所接受。调查的范围可达几百至几千平方公里,甚至上万平方公里。填图的比例尺从1:25000至1:500000。技术上则是地球物理、地质和土工等不同学科的工作互相结合和渗透的结果。区域性工程地质在一些新开发的或边远的海域中尤其重要,可以节省钻孔的数目,为勘探开发工程的初步考虑提供信息,是大大节约投资的一个良好手段。区域性工程地质评价可为选择钻井船的合适型式,预报钻井过程中的土工问题,海洋平台场址和管道线路的初选,平台基础的概念性设计,以及施工计划和成本的初步估算提供基础。

为了做到投资小,收效大,有必要借鉴国际经验

来开展我国的区域性海洋工程地质调查和评价工作。

调查方法

一、海上调查方法主要包括高分辨率的地球物理测量和采集土样。在条件许可时,可增加原位土工测试。

地球物理测量是在调查区域内沿网格进行的。网格间距依图件比例尺大小和地质情况复杂性而异,但多数情况为数公里。当船只沿着测量网络行进时,每隔200至500米,就有一个定位点,定位的绝对误差通常小于20米,最大时不能超过50米。

船只在前进过程中,几种地球物理仪器同时进行量测,给出水深、海底地形、海底以下几百米的土层分布和地质情况。测量的基本原理是由仪器发射出的声波达到海底或埋藏土层的界面时反射得到连续的信号。用于区域性调查的仪器可按用途归纳为三大类:

1. 水深记录仪——提供水深的仪器。
2. 侧扫声纳——提供海底平面图象的仪器。它射出的声波呈扇形分布达到船两侧的海底,再反射回来。侧扫记录类似于低倾斜度的航空照片,对于发现岩石露头、漂石、插桩遗址等海底特殊情况很有用。
3. 海底地层剖面仪——这里包括浅层剖面仪、自返式仪(boomer)、电火花、电脉冲、水枪等等许多不同型号的仪器,但它们的的功能都是提供船只下方海底以下土层的垂直剖面,故统称之为海底地层剖面仪。这类剖面仪的频率比上面两种仪器的低,发射能量的大部分穿透海底后,部分能量从较深的土层界面反射回来,形成连续的信号。通常用三种不同频率和不同分辨率的剖面仪同时进行测量,可以得到由十几米的浅层至数百米深层的信息。浅层剖面仪的穿透深度约为30米,分辨率为0.5—1米。中等深度的剖面仪能穿透75至200米的深度,分辨率为1—2米,其记录如图1所示。深层剖面仪可达900米深度,分辨率为9米。所有仪器的穿透深度不是固定的,随土质不同而异,最易穿透的是粘土层,砂层不易穿透,岩石则更难。频率低的仪器给出较大的穿透深度,但分辨率较小。

根据所得地球物理资料,选择取样的最佳地点,以便通过最少数量的样品获得海底浅层土的土工特

四

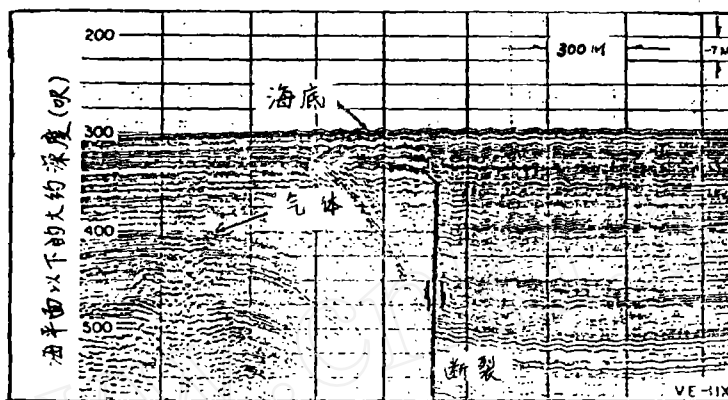


图 1 中深度剖面仪 (声脉仪) 记录

性。区域性调查中绝大多数土样是用重力式或活塞式取芯器取得的,取土深度仅数米,直径7—10厘米不等。在重力式取芯器不能获得足够土样的砂土区,可用振动式取样法,以鉴别土层的分类。根据取样器贯入速度可判断砂层的密实程度。各种取样方法和其可达深度列于表1中。

表 1 海底浅层取土器

名 称	穿透深度	用 途
抓 斗	0.2米	土质分类和海底生物调查
1公斤锤的重力式取芯器	3米	土质分类,强度和其它物理力学特性的确定
活塞式取芯器	2—15米	同 上
振动式取芯器	3—12米	土层分类,物理性质的鉴定

取土后,在船上用简单扭剪仪(torvane)、袖珍贯入仪和十字板剪力仪进行简单的强度试验,并测定部分土的含水量和容重,以便和岸上试验结果比较。其余原状土样运到岸上进行地质和土工试验。

由于海上钻孔取土非常昂贵,在区域性工作中只能视投资的可能性钻极少量深孔取原状土样,钻孔深度可达100—200米。因此地球物理资料和钻孔中所揭露的土层间的对比是非常重要的,可用来把钻孔中的土层延伸到一个区域

除此以外,为使区域性工程地质评价的结果实用可靠,在条件可能的情况下应进行浅层土的原位试验,尤其是静力触探试验。在软粘土区域还可进行十字板剪力试验。原位测试设备有“庸蝶”、“海马”、“鸟笼”和配有操纵架的“海豹”等。这几种设备都

可用于较小的船,不必专设月形池,只要求甲板上有一定空间就行。它们的普遍特点是吨位较小,穿透深度较浅,限于10米以内,是适宜于区域性调查的较为经济的手段。

二、岸上试验包括地质和土工两大类试验

地质试验的主要目的是判断海底土层的沉积年龄、环境和了解其结构及扰动性。采用的手段有古生物分析方法,同位素分析方法(例如C-14和Pb-210),以及X光照相方法。

土工试验包括常规的物理性质试验,固结试验,不固结不排水和固结不排水剪切强度试验,以及动力特性试验。此外,在条件可能的情况下进行一些蠕变试验,以便分析地质灾害时用,因为地质年代是漫长的,考虑时间因素极为必要。

资料的解释

根据高分辨率的地球物理资料和海底土性资料,可以得到比例尺范围为1:25000至1:500000的各种图件和剖面。由这些图件可确定海底水深、土质和浅层地质情况。

一、等深线图

等深线图主要由水深记录仪资料得到,它提供海底水深和海底地形。在地形比较复杂的区域,侧扫声纳的资料是很有用的。

二、土质方面的图件

如前所述,根据钻孔土性和声学单元之间的相关性可以由地球物理资料推测土性。虽然,这种推断有一定主观性,与工作人员的经验有关,而且是一种定性的结果,但它可以给出大区域中土性的概貌。

土质方面的图件有如下几种:

1. 底质图——表明海底表面土质分布的图。它

是根据海底土样，侧扫声纳和浅层剖面仪资料的结果得到的。任何岩石的露头或海底零星物体都应标在图上。图上还应注明哪些表土的厚度大于1米。

2. 下层土质图——由于表土层以下的土样往往不能直接取得，因此作这种图的重要依据往往是地球物理资料。有些图中除土的类别外，还标上土的压密程度，如图2。

3. 土的相似性图——当土的压密度和土质都不明时，可根据声学特性区分几种土的类别，每一类别

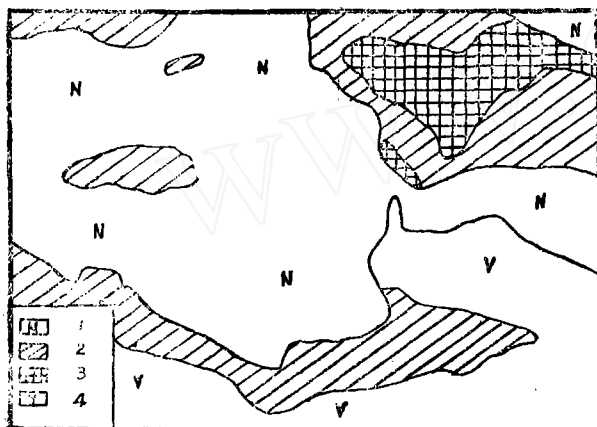


图2 下层土质图

1—正常压密粘土和粉土；2—中等至高超压密粘土和粉土；3—岩石；4—多变类：大陆坡上的沉积物

具有大致相似的土性。以后可根据钻孔的土性补充上实际的土质情况。这种相似性图对于确定该区所需钻孔的起码数目是一个很好的依据。

4. 厚度图——根据浅层取样结果比较容易得到表层土的厚度图。下层土、砂层或岩层的厚度图视可能条件绘制。

三、地质特征图

具有潜在工程意义的地质特征图往往是最重要的一张图。(图3)它是根据调查中可能得到的所有资料编制而成的。这张图表示了海底和海底以下直至300—900米深度的地质特征，其中包括断裂、滑坡、泥流、蠕动区、砂波、浅层气、陡坡、不规则海底地形，以及埋藏古河道等等。为了满足工程师的要求，这些地质特征要尽可能定量地描述，例如，给出海底坡度的陡度、滑坡体的厚度、不规则地形区的最大起伏等。

断裂有不同成因和型式。在地质特征图中要区分海底有断错的和埋藏的两种断裂。图3中前者用粗线表示，埋藏断裂则用细线表示。

土体滑动(包括滑坡、坍塌、泥流等)区域的规模应予以足够重视。如果它延伸几十公里以上，又有上百米的厚度，可能会对固定式的钢平台产生比风、流、浪更大的水平荷载。如果它只涉及十来米厚的土层，可能对管线埋设有影响。影响海底不稳定性的因

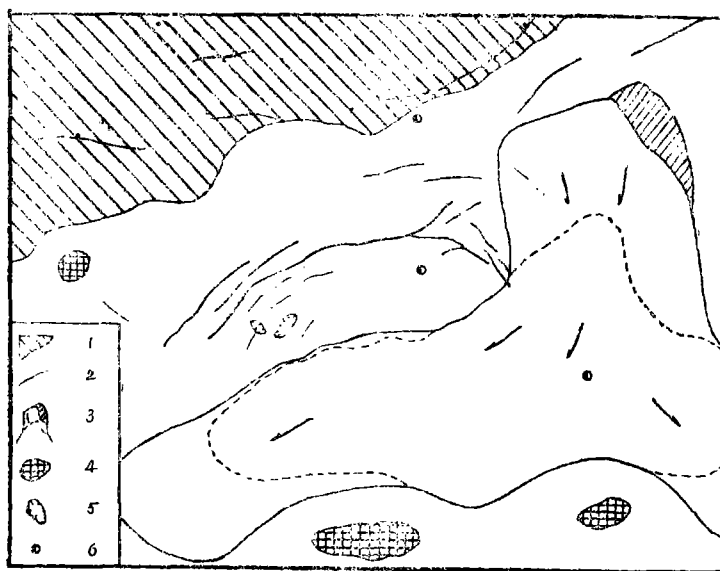


图3 地质特征图

1—发现浅层气的区域；2—断裂粗线表示有海底错动的，细线表示埋藏断裂；3—滑坡区域，右上角斜线部分为蠕变破坏区，箭头为滑动方向虚线包围区内海底因滑动引起不规则的地形；4—坚硬海底；5—海底凹陷；6—取样钻孔

素很多,有地形、土性和外力(包括重力、波浪力、地震力)等。通常认为,海底稳定性问题是许多三角洲外的海域和大陆坡区域中最重要的一个工程地质课题。为便于稳定性评价,在地质特征图中应尽可能区分新老不同年龄的滑动区。

砂波是沉积物近代运输的现象,表明了海底结构物周围冲刷的极大可能性。大的砂波波高可达20米,波长可达100米。

浅层气是海底数百米内经常会遇到的。如果钻井时无意地穿透了含气层,就可能发生爆炸。浅层气也会降低有关土层的强度,从而影响结构物的地基基础设计。

在有些大陆架区域能遇到古河道。古河道内充填沉积物的土工特性与周围沉积物相比,可能有非常大的差别,并有显著的水平 and 垂直变化。

此外,土质图上的一些情况也应尽可能在地质特征图上标出,海底等深线也可淡淡地印在图上。这样,可以把水深、土质和浅层地质的最主要特征联系起来。

伴随上述各种基本图件,应给出几个典型的剖面。

工程地质评价

工程地质评价的内容分五个方面。评价报告中除文字部份外,图是重要的组成部分。

一、土性的评价

根据土工试验资料(可能条件下结合原位测试资料)确定土性参数。确定土性参数时,应该考虑测量性质的变异性。土性的空间变化,不均匀性,以及土样扰动性和试验过程中的加载速率等因素都会加强这种变异性,和试验结果的离散,从而使量测的土性参数和实际原位参数间有差别。土样的扰动程度由X光照相判断。此外,从所测参数确定土性间的相关性是很有必要的,它既可用于鉴别实验室结果的异常现象,又有助于根据有限的土性资料扩展到区域内土的一些定量关系。在砂土区域,根据土的粒径、动三轴试验结果和静力触探试验结果可以判断液化的可能性。

将所确定的土性参数与土质图结合起来,可以得到浅层土强度分布图和砂土液化区分布图。

二、地震危险性和烈度评价

我国海域处在太平洋板块和欧亚板块的交界处,是地震频发的地区。在考虑地震危险性时,首先要从调查区域的历史地震活动性和地质构造来估计地震的发生频度、大小和地点。然后对危险的地震估计基岩地面运动的振幅、频率和持续时间。应该指出,由于

近海地区地震历史资料不如陆地上多,因此,这种估计是相当粗略的。根据土层情况,再进行地面反应分析计算,可对调查区域进行初步的小区划,确定地震烈度的分布情况。

三、海底稳定性评价

地球物理资料提供了海底地貌和土层情况,土工试验给出了强度等土性参数,再考虑该区域的环境参数(水动力和地震),分析重力(包括蠕变)、水动力(包括潮、流、浪)和地震力作用下土体滑动的可能性。首先对产生滑动的典型断面进行安全系数计算,将计算结果与实测地球物理资料对比,以确定该区土体滑动的实际机制。当土体滑动的真正原因清楚后,将计算扩大到不同类型土层结构的区域,从所得安全系数值了解海底的相对稳定性,于是得到区域海底相对稳定性图。

四、对探油钻井影响的评价

海上石油钻井采用浮动式、半潜式和自升式钻井船。浮动式船适用于1500米以上的水深,故我国主要采用后两种。半潜式船用锚固定。锚的种类有所不同,有的适用于泥中,有的适用于砂中。自升式钻井船分桩腿式和沉垫式,采用哪种基底形式和海底土层有密切关系。土层分布情况对自升式平台又有明显作用,例如俗称“鸡蛋壳”的土层(硬土层下埋藏软土层)中出现的穿透现象会导致平台的倾覆。

由水深、土质和浅层土强度分布,结合各种不同的钻井船型式,可以编制钻井船选择图,锚固图和自升式钻井船考虑因素图。钻井船选择图中表示出哪些区域可用自升式钻井船,哪些范围用带锚的船只合适,哪些水深区要求用动力定位的船只。锚固图能分别表示用于泥或用于砂中的锚的不同区域,以及哪些区域可能出现锚抓不住或突然崩落的现象。自升式钻井船考虑因素图可显示出桩腿式平台和沉垫式平台各自适用的区域,桩腿拔出困难的地区,意外的穿透和平台翻倒有可能出现的区域。图中还可表示在哪些区域海底冲刷或土体移动可能影响自升式钻井船的稳定性。

五、可行性研究所需的评价

可行性研究的目的是确定生产和运输石油的经济价值。可行性研究包括场地和管线的初选以及生产平台的概念性设计。场址和管线相对有利性图上表明哪些地区适合于选址,哪些地区可能因土体滑动应该予以避开。

在管道线路考虑时,应定性评价深度达4米的土层,图中可表示出不同区域挖沟的难易程度,哪些区域要求用爆炸或其它特殊方法处理,哪些区域的土因

高塑性会牢牢地粘住挖沟机,以及沟墙稳定程度等。

为进行概念性设计,需考虑生产平台的型式,这时,桩基础考虑图(图4)就是很有用的。图中可分出打桩难易和承载力好好坏的区域。当图中显示出作业的难易条件后,人们就可以初步选择施工技术和设备,制定计划,并予估经济成本。

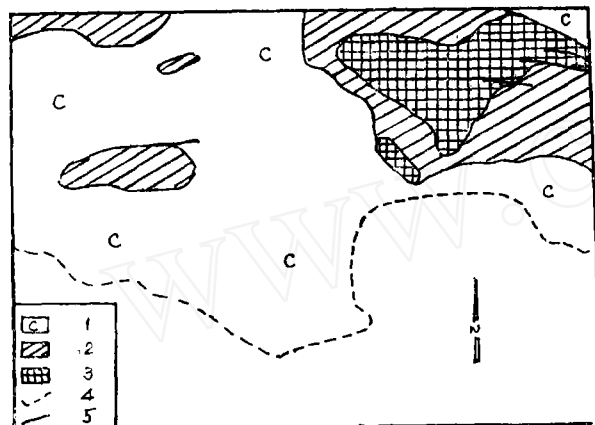


图4 桩基础考虑图

1—打桩正常区;2—打桩较难区;3—不能打桩区;4—该线以南打桩有困难;5—活动断层,可能有海底破坏

在我国广阔的近海区,区域性海洋工程地质调查和评价工作的开展会带来很大的经济效益。由于这一

陕西关中多处优质饮用天然矿泉水 通过国家级评审鉴定

矿泉水分别位于西安市工人疗养院、华山脚下和渭北大荔县,其共同特点是:水中所含的偏硅酸、锶均达到国家规定的饮用天然矿泉水标准;锌、溴含量接近达标;还含有对人体健康有益的碘、氟、铜、钴、硒等微量元素和氡;补给区远,循环较深,水味纯正,甘甜爽口;水质水量稳定,流量大,日流量分别为486立方米、519立方米和56000立方米;所处地理位置优越,交通十分方便,开发利用价值高。

陕西兰田金龙第一个低钠优质饮用矿泉水通过省级鉴定,它的显著特点和最大优点是钠含量低,属低钠含锶的硅质重碳酸钙型矿泉水,特别适用于防治高血压、肾脏病和心血管病。金龙矿泉水补给区远,埋藏深,洁净透亮,纯美可口;锶、偏硅酸含量均达到国家饮用天然矿泉水标准;还含有锂、锌、溴、碘和氡等对人体有益的微量元素;其它各项理化性质与微生物指标也都符合饮用天然矿泉水标准的要求;流量稳定;当地居民世代饮用此水,反映良好,多有长寿者。专家们认为它可作为瓶装矿泉水予以开发。

另外,1979年至今年元月又有兰田县泄湖镇、向阳公司13号、普化乡和西安市工人疗养院、华山脚下渭北大荔县等七处饮用天然矿泉水通过国家级和省级评审鉴定。其共同特

工作在技术上要求多学科的共同配合,我国具备进行该项工作设备、条件和资金的单位又分布在不同的部门和单位,必须大力提倡统筹规划,分工协作,以使该项工作有效而蓬勃地发展。

REGIONAL MARINE ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION AND ASSESSMENT

Gu Xiaoyun

Abstract

This paper, in the light of the developments of marine engineering geology, expounds that the regional offshore site investigation and assessment are a historical necessity and a result of technical progress. Three parts of the work are introduced: investigation method including offshore and onshore, data interpretation, and engineering geological assessment. By introducing the content of different parts of the work it is emphasized that the coordination of different scientific disciplines like geophysics, geology and geotechnique is especially important and that the development of regional offshore site investigation and assessment in our country has practical significance.

点是:水中所含的锶、偏硅酸均达到国家规定的饮用天然矿泉水标准;还含有对人体健康有益的锌、溴、碘、铜、氡等微量元素;补给区远,循环较深,水味纯正,甘甜爽口;水质水量稳定;所处地理位置优越,均在著名旅游区或其附近,交通便利,开发利用价值高。

(黄平稳)

按国际分幅进行的1:100万昌都幅综合水文地质 普查报告及水文地质图元月底在成都通过局级评审

昌都幅位于我国西部青藏高原东南隅,自然条件特殊,天然资源丰富,是我国待开发的重要能源基地。该项目是部下达的指令性任务,同时也是我国水文地质工作的基础项目。该成果详细阐述了图区内的区域水文地质条件的水平和垂直分带规律及水资源量分布特征;对区内地下热水的分布规律,区域工程地质条件,区域环境地质条件也有详尽的论述;还概算了图区内地下水天然资源每年189.061亿立方米,地表水资源每年780.6亿立方米,地下水天然资源每年7468.49吨立方米,填补了我国水文地质空白14.7万平方公里。成果表明,图区水文地质条件、工程地质条件比较复杂,水土流失、地方病比较严重,自然的生态环境已开始遭受不同程度的破坏,因此,保护自然资源,合理开发利用至关重要。

(唐波)