



海洋工程地质专辑

江

地质矿产部海洋地质调查局科技情报资料室

一九八五年十月

SC 139

海洋工程地质专辑

编辑出版：海洋地质调查局
科技情报资料室

内部发行

地址：上海市延安西路526号

1985年10月出版

印刷：江苏省沙洲县文教印刷厂

前 言

近二十年来,随着世界大陆架和大陆坡油气资源勘探的不断发展,如何正确的认识和评价与油气勘探开发有关的海底工程地质条件,是直接影响到钻探平台的设计、插桩、锚地选择、管道铺设、海底电缆的选址以及其它构筑物安置的重大课题。在施工过程中,一个很小的环境因素的疏忽,都有可能导致海难事件的严重后果。由于海底塌陷、滑坡、地震及浅层气体等给人们造成的巨大灾害和损失是屡见不鲜的。因此,海洋工程地质调查和研究工作已成为海洋地质及油气勘探工作中的先驱和不可缺少的一环,它的发展正方兴未艾。

为了紧密配合东海油气普查勘探和早期开采任务,我室进行了《海洋工程地质研究现状》的情报调研工作,围绕着这一课题的进展,我们选译了一批有关海洋工程地质方面的文章及述评,编印了《海洋工程地质专辑》,其目的是为了向读者介绍近年来国外海洋工程地质的发展现状、研究方法、实验手段以及生产实践中的新技术新方法等,内容较新、代表性较强,是开展海洋工程地质研究的较好参考资料。

在翻译过程中,获得了华东电力设计院张剑锋工程师的大力协助和指导,在此顺表谢意。鉴于目前此类文章甚少,某些刊物一时又无法获得,可能满足不了广大读者特别是同行们开展此项工作的需要,但作为一项尝试,为大家提供这样一个专辑,对海洋工程地质事业在我国的发展是不无益处的。由于我们水平所限,在选题和译文上还存在一定问题,谬误之处在所难免,敬希读者予以批评指正。

编 者

一九八五年十月

目 录

海洋土工学调查, 一种成熟的技术.....	(1)
近海硬粘土的应力史和强度.....	(11)
粉砂质粘土循环加荷的屈服界限.....	(21)
密西西比三角洲沉积物的动力学性质.....	(28)
动力流体、构筑物 and 土基的相互作用.....	(41)
墨西哥湾粘土的抗剪强度解释.....	(48)
LPC 旁压触探仪	(62)
在波弗特海所做的静力触探试验.....	(75)
近海平台设计的原位试验及其应用.....	(89)
大陆边缘的海洋工程地质研究: 评论.....	(102)
加利福尼亚北部和中部近海地质灾害及施工限制.....	(111)
自升式钻井平台底座在层状软土底质中的稳定性.....	(120)
自升式钻井平台桩腿贯入深度的预测.....	(135)

海洋土工学调查, 一种成熟的技术

J. de Ruiter 等

引 言

在墨西哥湾浅海和邻近水域, 岸外井场调查构成了井位选择的第一步工作。小型导管架建筑物桩基只需根据十分简单的土质调查(通常, 由测试取自裸眼井的顿钻样品构成), 即可设计和安装。这种技术证明, 测试裸眼井样品的办法并不适用于世界其他近海地区(包括七十年代初已进行大规模石油开发的北海在内)的较深水域、恶劣环境和较复杂的底土剖面。同时, 在要求对安全因素和经济价值进行细致而精确的土工学调查和设计研究的世界各地已经安装了一些巨型采油平台。

上述情况导致了技术上的突飞猛进。可以有把握地说, 目前近海有关土工学资料收集的质量可与陆上相媲美, 甚至超过陆上调查资料。二者的主要区别乃是调查费用, 近海调查费用通常为陆上的许多倍。由于预算不充足, 在许多情况下近海调查仍占次要地位。

在近海获得高质量土样甚至比陆上更为困难, 因而新技术的主要目的是通过现场试验确定土质特性。圆锥穿透计试验是许多重要软土调查中的一个标准部分, 而如果必需, 还可使用一系列其他装置, 例如压力计和现场十字板等。对于特殊土质条件, 例如钙质沉积物, 并已研制了可与标准土质调查计划中使用的基本系统一起采用的专门技术。同时, 用于获得未扰动样品和岩石取芯的技术也得到了改进。

这样, 就出现了一种成熟的技术, 其完整程度可满足近海工业不断把越来越大越来越复杂的结构物移往更深水域的要求。这种技术是船、钻探设备、井下钻具和探测器的复杂组合。在调查船上进行样品试验和资料解释已成为对数据的充分程度进行即时评价的一个重要部分。由于二次调查的费用常常过高, 故结果的不精确和不完整将是十分有害的。

现有的技术显然是应石油工业的需要而发展起来的。其中突出的情况是, 近海真实负荷试验实际上是不可能的, 因此, 精确的土工学资料和先进的工程分析是必不可少的。现有技术的成熟程度并非凭借近海油气开发的基础研究, 而是通过在其它方面的应用和对陆上工程的土工学研究的影响, 获得证实。

本文首先把近海土工学数据收集列入井场研究总计划范围内。其次对目前海洋土工学的调查技术发展水平进行了综述。对许多作者已发表了大量有关资料, 现已成为标准化的设备仅提出简单的参考文献。对较新型的仪器和技术进行了较深入的讨论。本文特别涉及一些陆上技术不适用的水深超过30米的海区的调查。最后, 文中还涉及了某些与石油工业无关的场合的应用, 并展望未来的发展。

一 般 方 法

典型的野外计划由两个主要部分组成, 地球物理测量和土工学调查。这两方面工作通

常是在不同时间用不同类型的船只进行调查的,即在土工学调查之前先进行地球物理测量。

调查计划一般是由所调查的问题究竟是井场特性还是建筑物特性所决定的。在第一种情况下,井场位置是已定的,土质条件可能影响地基设计,甚至影响基础建筑物类型。在后一种情况下,在建筑物类型已经选定,应允许井场位置有一定程度的活动范围,以保证有合适的土质条件。

表1: 海洋土工学研究计划的活动顺序

1. 确定井场或待调查井场的位置
2. 研究井场或井场附近的土质资料
3. 根据建议的建筑物类型及预期的土层和环境条件初步确定需要调查的范围
4. 定位系统的选择和可能的设备。该系统能精确地确定与日后要安装的建筑物的位置有关的测线和孔眼等的位置
5. 进行水深测量和浅层地球物理测量以确定海底地形和浅层沉积物成层现象
6. 根据地球物理测量得到的土层剖面的条件和多变性,以及对建议的建筑物及井场特性因素一如地震活动性和斜面稳定性的要求,确定土工学调查的最终计划
7. 进行土工学调查,包括取样、原位试验以及以资料初步评价为目的的船上样品试验
8. 在陆上实验室中进一步试验样品和对全部资料进行解释,以建立一条最终土质剖面 and 所钻遇物质的强度和变形特性
9. 基础设计,其中包括载荷力和载荷变形特性以及设备的技术可行性
10. 在海底填筑及随后的基座安装期间,不断监测建筑物的行为,以检验设计的假设条件

地球物理测量和水深测量

水深测量和浅地震剖面测量应尽早进行以便研究这些结果来制订切合实际的土工学调查规划。测量应覆盖足够大的区域以获得一张建议井场及其附近的可靠的海底条件图。进行这项工作常常使用一系列仪器,包括回声测深仪,旁侧声纳和地震反射设备(例如高分辨轰鸣器,深穿透电火花回声测深仪或3.5千赫地震仪)。可能还包括用咬合取样器、振动取芯器或重力取芯器进行的海底取样。除了海底地形以外,这些结果还能揭示浅层地貌(如埋藏古河道和基岩起伏)。此外,还应对记录就有关底土中的气显示和海底不稳定性迹象进行研究。所有上述现象表示了设想中的井场/建筑物组合的可能性。

常规回声测深仪因其精度仅达到水深的2%,往往不适于水深测量。高精度水深记录仪联同使用速度计进行现场平均声速校正,理论上可产生0.01%的精度,但实际精度仅接近0.1%。通常,这种精度已足于确定近海构筑物的位置。

两种新型回声测深仪已成为常用仪器:①双频率回声测声仪,可用于进行同线面和分辨率极高的海底剖面测量;②几乎能在任何水深条件下自动计算和绘制实际水深图的“海束”(“Seabeam”)系统。至今“海束”系统尚未用于井场土工学选择,但其具有适用性,尤其适用于陆坡和洋盆的测量。

利用旁侧声纳记录可以获得表层地文特征图(尤其是圈定海底表层不稳定范围的这类

图)。过去几年中已有三种旁侧声纳仪(表2)被广泛采用,这使人们能在一张记录中,于频谱的一端观察整个大陆边缘(陆架至深海平原)(图1),而在另一端观察到极详细的经修正过的大比例尺图(图2)。这样使近海工程技术人员首次能够对覆盖面积和所希望的细节进行选择。

近年来,井场调查普遍使用的地震反射方法没有发生很大变化,但是,深拖曳仪器的采用提高了成果品质。还可利用计算机进行数字信号处理以提高分辨率。

表2: 旁侧声纳

范 围	例子	近似最大水深 (公里)	近似倾斜范围 (公里)
长距离	GLORIA	7.5	70
中距离	SEA MARC	6	6
短距离	数字采样比例 校正型	1~6	0.5



图1 法国西部大陆坡的 GLORIA 声波记录,显示横向延伸到陆坡的海底山谷。水平比例尺约为20海里



图2 不列颠哥伦比亚岸外海底滑动部分。条带宽300米

应强调指出:地球物理测量提供了极其珍贵的地层资料,可使我们获得计划开发地区中土质条件均匀程度方面的资料。由于地球物理测量的不间断水平连续性,往往可获得胜过陆上地球物理剖面测量的地层图。我们常常遇到一些需要在土工学调查期间进一步鉴定

的地层。对多线测量获得的地球物理资料和土工学资料进行综合研究,可得到土质条件的三维图形。该图可用来评价土质条件的易变程度和精确地辨别土层,这在基础设计中是极其关键的。

图3是澳大利亚西北陆架水深约125米处取的地球物理和土工学资料。圆锥阻力峰值和地球物理剖面反射层之间存在明显的一致性。该区的土质条件在极大距离内表现的异常均一,这样有可能在把钻孔数量减少到最低限度的条件下取得足够样品和进行必需的原位测试程序。

土工学调查船和钻探系统

土工学调查使用的船和钻探装置的选择是由一系列因素所决定的,较重要的因素是①海况,包括水深,预期的海况和与锚泊有关的海底条件;②根据建议使用的构筑物和预先考虑的土质条件确定的调查计划;③船和钻探设备的可用性及费用。

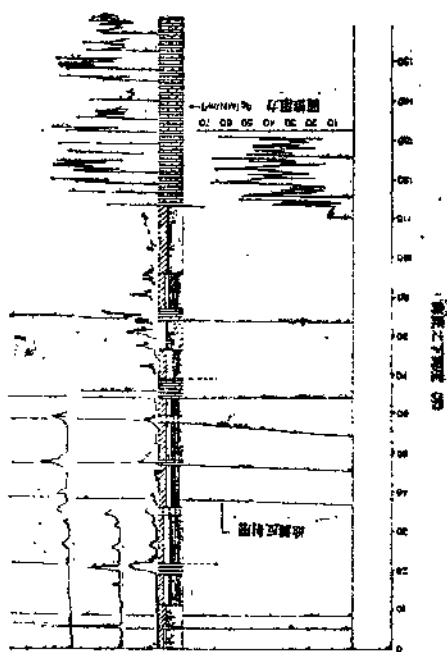


图3 钙质沉积物中典型的圆锥贯入试验和地震反射层

北海调查船通常配备4至6只锚来固定船位。这种锚泊系统适用于约300米水深。虽然在较大水深下可能需要拖船帮助,但调查船通常在艏推进器的帮助下即能自动抛锚、起锚。目前一些动力定位船正已进入市场,这些船不受水深的影响,并有一个额外优点,即能够接近现有构筑物、管线和海底装置进行作业。动力定位船因比锚泊船大而更为稳定,这对土工调查工作效率有积极影响,但它们还需要更高的日生产效率。

钻探是利用一个散式泥浆系统来进行的。钻井泥浆经钻杆循环并通过钻杆和孔壁之间的环形空间返回,它稳定孔眼和输送岩屑。泥浆和岩屑溢到海底,即无重复循环形成。在整个钻井和测试期间钻杆均留在钻孔中。取样和原位测试工具是在停钻时通过钻杆下放到

井内的。北海调查船的习惯做法是使用钻杆柱顶部的动力水龙头来旋转钻杆（图4）。此系统有如下优点胜过以前使用的动力大钳：①启开顶罩后即可将取样工具和测试设备通过动力水龙头下入任何钻透深度而不需要拆卸钻柱，②泥浆循环和钻杆旋转综合系统能提供更高的钻进效率—在全取样的原位测试条件下钻进速率达每小时2.5至5米。

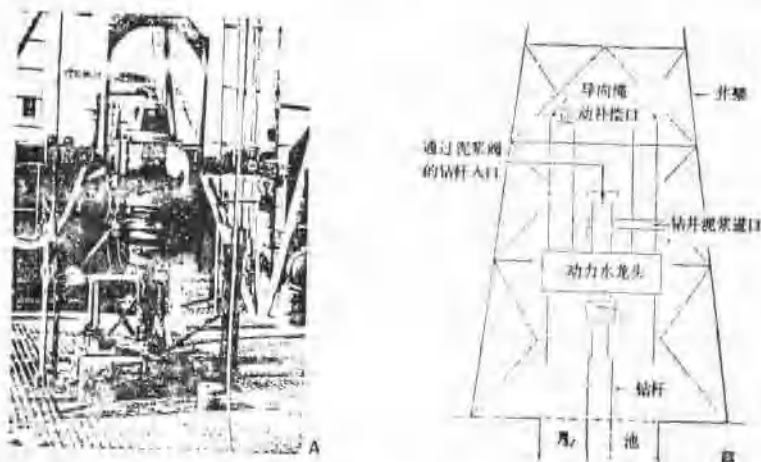


图4 系统略图

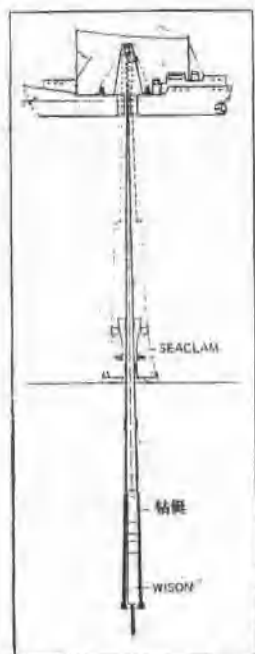


图5 Seacram钻杆控制装置（据Fugro）

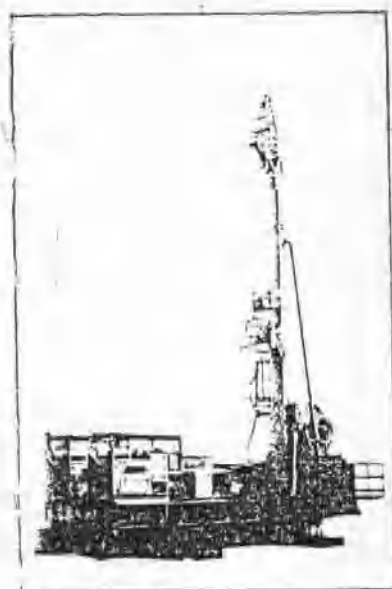


图6

为了克服船只上下起伏所出现的问题,北海调查船的钻探系统还构成了一个液力运动补偿器。这使钻头压力变化减至最小限度并减少了井底以下钻头下方土的扰动程度。

现在,北海调查船已广泛使用作为重返井口的导向架的钻柱控制装置,例如Fugro的“Seaclam”(图5)和McClelland的“Stingray”。这些装置在下钻前或下钻时经月池下放到海底。由于这些装置中都包括含有夹紧装置可使钻柱在取样和原位测试时保持固定,因而冲击取样和圆锥穿透的有效反应能够增加到约100努森数。多功能导向架可沿着钻机钢丝绳滑上滑下,提供了钻柱重返井眼的设备。海底控制装置座落在海底并能够在钻台上方索具上建立一个固定参考点。这样就提高了钻探和测试时深度测定的精度。总之,这些装置提高了海上土工学调查的质量和速度。

船上设备还包括搅拌和泵送钻井泥浆的一些设备,供给取样工具和测试仪器的液压和电力的设施以及能监视测试的读数装置与记录仪。此外,调查船还应留出土质实验室和修理车间的空间。船的总体布置应保证一定程度的自助能力,即不因等待陆上的支援而中断调查计划的实施。

北海调查船为一个完整的土工学调查(包括各种深度的原位测试)提供了一套理想的组合设备。因而,也经常在世界其他地区进行海洋调查。

在墨西哥湾常常用装有可拆卸式钻探装置的供应船替代专用钻探船。最常用的钻井装置在准备投入调查时可迅速安装在船上的Failing钻机。这些船只仅有一个直径为1米左右的中央月池,并配备了一个四点锚泊系统。调查结束后,即可拆除钻井装置并恢复船只的正常工作状态。Failing钻井装置非常适合配有敞式泥浆系统的常规钻探作业并钻取样。由于供应船上常用的小型钻井装置无法操作海底控制装置,故可能对原位测试和高质量取样有局限性。

为了克服供应船配备Failing钻井装置操作的缺陷,作者所属的公司对一台Wirth钻机进行了改造(图6),使其适用于海洋土工学调查。这是一种拖撬型钻机,具有北海调查船上所安装的钻井装置的全部工作能力。它装备有一个动力水龙头和运动补偿系统,使用5英寸标准API钻杆并具有600米钻深的提升能力。这种钻机可安装在各类船只和驳船上(既可装在月池上方就可以悬臂方式装在船尾或船侧),能操作海底控制装置和进行包括原位测试的全面调查。这钻井装置本身和辅助设备(包括泥浆罐和泥浆泵),具有ISO(国际标准化组织)集装箱尺寸,通过标准集装箱船即可运往任何地方。

岩土特性测定

近几年来,发展了种类日益增多的与钻探系统及遥控海底系统相配合的改进型取样器和探测器。这种发展往往紧紧地追随不同工业部门的现实需要和已感觉到的需要。尤其是特殊探测器已可以与圆锥穿透仪基础试验一起使用。论述和评述近几年来发展的文献有许多。表3列出了近海使用的各种系统。

七十年代发明的液力操纵的推进式绳索取样器已广泛地用于近海井场调查,这种取样器使用75毫米直径薄壁型不锈钢管。八十年代初,这些取样器正在被用液力操作的活塞式绳索取样器所替代。当钻柱被稳定来阻止传动冲程期间的垂直运动时,这种活塞取样器可以大大提高软土样品的质量。多年来圣迭戈、加利福尼亚大学的深海钻探计划一直用液压

操纵的活塞式绳索取样器从洋盆底采集质量十分高的样品。

新近发展的技术是压力取心筒。虽然深海钻探计划多年来一直将压力取心器用于地球化学研究,但这种绳索取心装置取得的是一种重塑的均化样品。为了采集石油储层研究中

表 3: 原位测试设备配置系统的类型

配置系统	说明
电缆, 运载工具和探测器运载工具包括千斤顶, 海底千斤顶可顶起全部钻柱; 海底装置	二种亚型均需要钻机、钻柱、运载工具和探测器。
无人操作的	
测试杆顶起的或马达驱动的	
与船连接的测试杆	水深有限制
与海底装置组合的测试杆	水深有限制
全遥控操作	
人工操作的	
潜水员操作的千斤顶	潜水员使用自携式水下呼吸器
潜水钟内的千斤顶和潜水员	潜水员处于 1 个大气压的加压舱中
船用千斤顶	从船上顶起测试杆, 仅能用于浅水
潜水装置	顶起或马达驱动测试杆和安装在潜水器舷内
自由下落穿孔器	或舷外的探测器
接近海底自由下落	以电缆与船连接的非一次性装置
通过水柱完全自由下落	装置可能全部是或部分是一次性的, 信号可通过电缆或以声波方式穿过水柱传递。

供残余流体分析的土样, 若干家公司研制了一种井下压力取芯筒, 但是目前大直径取样器无法与 5 英寸钻杆配套使用, 样品质量差而无法用于土工用途。用于土工取样的压力取芯筒样机业已研制, 并成功地用于墨西哥湾的大陆架水深。据报道这种取样器取得了理想的高质量岩芯, 并在高压舱中由受过土工实验设备操作训练的潜水员对这些样品进行了测试。该工具至今还不适于近海工业的日常使用。

海上取样往往要求立刻知道土质特性, 因此经常要在调查船上进行一系列实验室试验。除了指数特性、含水量、湿密度等测量, 和利用无侧限压缩试验, Torvane, 袖珍穿透仪进行的剪切强度简易测定外, 还可以进行三轴试验。笔者所属公司使用一种改进型“Pilson Engineering Tricon”装置在海上进行了自动化三轴试验。船上进行测试提供了额外好处, 即可使由于时间影响和运输所造成样品质量损失减至最小。

近海岩石取样器可归纳为四种类型: (1) 使用 Christensen 取芯筒的海洋绳索取芯系统, 这个系统最适合取坚硬岩石样品, (2) 二种类型的“分段”(Piggyback) 系统, 一种使用标准的 Longyear 取心设备, 另一种使用 Diamec 250 取芯钻具, 两个系统的任何一种都可设置在套管顶部, 因而与陆上方法十分相似, (3) 潜水员操纵的浅水取芯系统, (4) 遥控操纵的深水系统, 该系统是自给式的或与潜水器连接, 目前还未开始商业性使用。作者的公司某一工程中使用的 Diamec 250 取芯工具是一种轻便型的高速钻

机，能高度自动化地用钻杆操作切割35毫米直径的样品。它似乎在取较软物质（例如钙质岩）样品时Longyear系统能易操作。Diamec 250—2型的有趣变型是使用有潜水员的潜水钟。最近潜水员操作旋转式钻井设备在新斯科舍和纽芬兰之间海底获得了一些岩芯。

压力圆锥（Piezocone）和压力计是正在近海迅速获得广泛用途的两种探测器。压力计在近海已使用了长达十年之久。过去几年里第二代压力计已开始用于近海工程调查，尤其在欧洲。根据英国、加拿大、法国和日本一些公司的使用情况来看，近海使用绳索及其它方法操作的这些设备是很容易弄到的。为了评价自钻（Self-boring）压力计是否比近海土质调查使用的推进型压力计有更显著的优点，挪威土工学院正在进行这方面的对比试验。

Marchetti膨胀计是另一种类型的，类似于压力计的应力—应变探测器。这种探测器已用于美国和加拿大岸外浅海区。由于这种探测器在近海开始推广应用，目前正在对其优缺点进行评价。

压力圆锥（图7）1981年首次由作者的公司用于近海，并迅速地被采用（装有或未装有一副磨擦衬套），重要的是要认识到所测得孔隙压力并不代表原位的周围孔隙压力，以及这种压力在许多近海土中可能是孔隙气体和孔隙液体压力综合构成的。虽然压力圆锥可获得十分有用的，特别有助于土质分类的地层资料（图8），但为了能更定量地解释动力孔隙压力，在标定探测器的压电计部分的方法上还存在一些问题。目前许多大学正在进行压力圆锥使用的理论研究和实践。

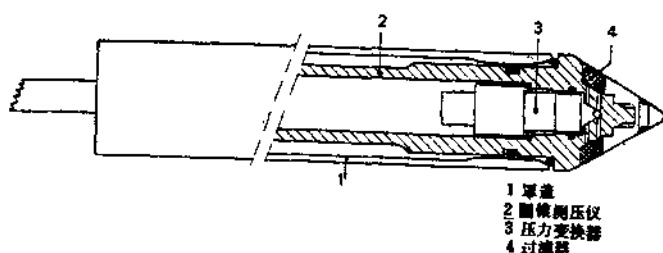


图7 压力圆锥

原位测试也可包括一些特殊试验。实例包括在钻孔的底部安装一根模型桩，在该桩上使用改进的圆锥贯入试验携载工具进行三轴载荷试验，通过一个海底千斤顶系统来测量水泥浆—土摩擦阻力的峰值和剩余值，使用一只海底千斤顶、井下泵（或）甲板泵以及一只钻柱锚来测定水压破裂孔底周围土所需要的临界泥浆压力。

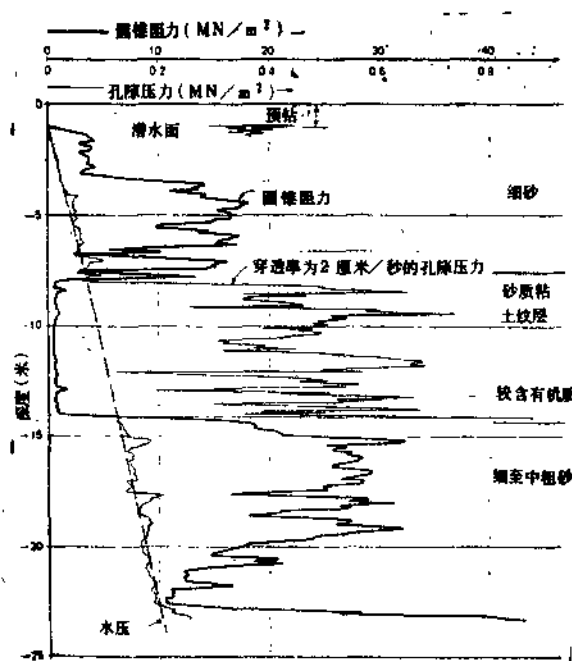


图8 在荷兰一井场使用压力圆锥获得的成果

未 来 发 展

经济性仍然是井场调查的推动力，而大量的工作继续与石油公司有关。然而，一些新发展受到环境、社会和政治的控制更甚于经济的影响。各国政府机构日益意识到需要保护环境，而有关环境影响的声明也已常常成为全世界地基调查的组成部分。政府机构还关心环境的使用，例如，海底或海底中各种废料的处理，因此导致了新技术的发展。下面列举了预期未来发展的一些实例。提出的选择并不一定完整。

可随船移动而预测土质特性的方法会有重大改进。在将来，使用多频率回声测深仪，把日趋完善的叠加数字资料和计算机信息数字资料以及模式分类器，用小型‘Seabeam’，计算机化描写系统是可能实现的。土质特性可用地球物理方法来描述，尤其在测量原位总密度和含水量测定方面。使用一次式多普勒穿孔器获得的原始结果表明，剪切强度估计达到在实验室用近似位置的岩芯测量值的30%范围内，在无岩芯剪切强度资料的地区可达到概率值的50%。这样一种系统能在6公里水深工作。穿孔器是一种特别重大的发展，因为当非加速记录可与原位剪切强度更精确地联系起来时，此方法因其无需停船就可较深地穿透地层就特别引人注目。

一旦选定一个位置，为了用低成本来获得大量资料，一系列的改进的新设备就会问世。或许组合探测器与一种新型的井壁取样器组合就能测量出绝大多数原位物理参数和土工学参数。没有任何技术原因可表明为什么井下仪器或遥控海底探头系统不适用于任何水深。六十年代，用具有很浅穿透能力的简单样机来有线遥测(Wiretelemeter)现在可用十字板和圆锥穿透计海底探头获得的剪切强度资料和用位于水深约4公里的核传动密度计探

头获得的总密度资料。

可以预期,数据采集和分析的方法很快就会得益于上述系统的处理方法,这种方法中,模拟—数字转换器可以与受控遥测机和微处理机一同工作,把来自探测器的相应信息数据直接输入一台计算机绘图仪。因此没有任何理由表明人们为什么不能随时为一份公司报告或出版物提供一张最终图表和表格。目前另一趋势是将使用人机联作图形计算来储存、核对、修正不同来源的原始数据,并用各种三维显示展示这些数据。

分析方法也得到迅速提高。现在已有可能用总压力计或势差压力计直接测量,根据以均速插入海底的压电锥头估计,或利用固定在适当位置(时间长的可足以使所产生的孔隙压力全部或部分消散)的压电式圆锥测量等各种方法来获得原位的周围孔隙压力。直接使用带有CPT的核反向散射密度计原位测量总密度也是可能的。下一步显然是如何组合密度计和压力计,这将能够直接在原位进行关键的有效应力参数测量。电阻率也能够用于原位总密度测量,但这种方法要求在水深小于陆架坡折(约120米)处同时测定孔隙水盐度。虽然在近海工程中已测量了这两种参数,但是测量工具是复杂的,并似乎还不适用于需要在日常工作基础上获得的深贯入数据的商业性使用。另外,借助于原位应力应变关系和 k_v 的测定,就能更好地确定土的形变特性。很可能在若干年内,对原位应力、近海底土的可压缩性和形变特性的认识的重大进展,将使基础设计更加依赖于基础的土质特性而不是以经验关系为根据。这本身又会产生更确切的安全系数并降低海底建筑物安装的成本。

金康辰译 陆曦初校

摘译自《Geotechnical Practice
In Offshore Engineering》

近海硬粘土的应力史和强度

Charles C. Ladd 等

前 言

当用摩擦桩腿把近海建筑物支承在粘性沉积物上时,其通用的设计方法在很大程度上依靠经验:既依靠实验方法对土的性质作出评价;又依靠分析技术对桩腿性能作出预测。过去30年来,一些所谓标准的方法已经形成。这主要是以在墨西哥湾内深而“软”的塑性粘土上,设计桩腿支撑式平台所积累起来的广泛经验为依据的。这一方法典型地把着重点放在对锤击绳索样品进行“强度指标”的试验结果上(即微型十字板、贯入仪、自由下落圆锥触探仪、不排水不固结三轴仪),以求得不排水的强度剖面。上述方法应用于墨西哥湾时,通常是令人满意的。但当把它用到别的土质情况,如北海或加利福尼亚近海时,便酿成谬误。因此,任何勘探和试验程序,如果基本上使用经验方法来评价土质参数的话,必然包含有下列固有的局限性:

- (1) 用经验对比去联系“强度指标”的试验数据,其局限在于,桩腿的负载能力随着精确取样、试验方法、取样深度、粘土类型及其应力史的不同而异。
- (2) 取得的数据常常出现过分散,因而会导致对土质原地变化的真实性给出错误的信息,甚至可能出现随深度增加,错误趋向亦随之增大的情况。
- (3) 人们对基础条件的真实性质,例如基本的强度-形变特征以及这些特征是如何在侧向上变化的和随深度变化的,不可能有预见。因此,每项新工程需要另加(往往是昂贵的)现场特殊勘探和试验程序。

近海工程实践

委内瑞拉石油技术研究所(INTEVEP)需要在其的近海六个区内为建造平台进行初步设计,而这些区内的土质包括从富有硬粘土、致密砂到厚层松软的塑性粘土。鉴于上述“常规勘探和试验程序”的局限性,该所进行了多年的努力,采用综合地球物理方法、原地测试和复杂的实验室试验,旨在达到更全面地评价基础条件。特别是对图1所示的钻孔位置上获得的粘土样,在麻省理工学院进行了详细的成分分析和SHANSEP试验。

本文介绍五个“硬粘土”沉积(三个位于吐依·卡利亚柯,两个位于北帕里亚)的应力史、规范化的土性质数据以及用这些数据求得的不排水剪切强度(c_u)剖面。用简化概率方法来考虑包括用SHANSEP法在内的不确定度,并把求得的 c_u 剖面与用常规强度指标试验所得的这种剖面进行了比较。Azzouz等人用同样的实验室程序对在帕里亚湾和奥里诺科三角洲内遇到的一层厚40米、软而塑性的奥里诺科粘土进行试验所得的数据。他们还将这些数据和对E₁孔、E₂孔进行原地荷兰电圆锥贯入试验、侧压探测试验所得的预测数据作了比较。

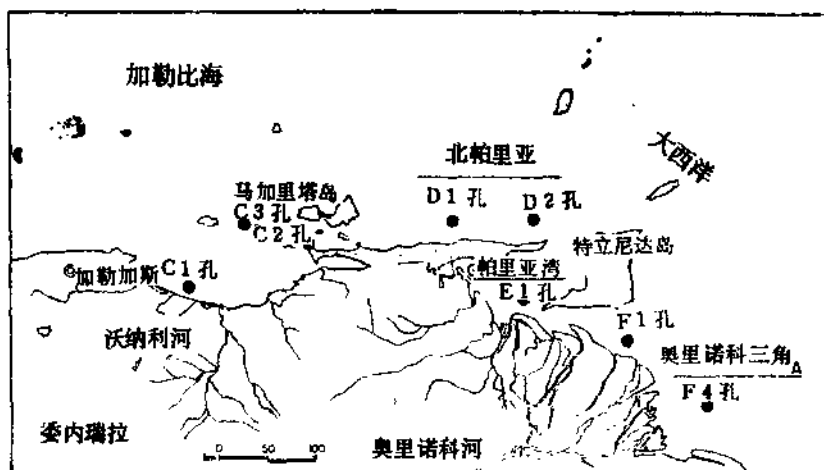


图 1 委内瑞拉近海钻孔位置图

取样、实验室试验程序及概率分析

勘探和取样工作是在1979年由辉固海湾公司的M/VSURVEYO R号调查船进行的，该公司担任了这项工程的土工技术顾问。钻孔使用动力钳式回转钻机，外径为5英寸内平的钻杆带一个末端开口的钻头。一个重型补偿器和合适的钻连接头以及钻井接箍，使之能与辉固公司的液压孔底不停钻取样器相连。这种装置能将2—3英尺长的外径为3英寸的薄衬套取样管以每秒约2厘米的速度推进。大部分样品在船上被挤出来，用作肉眼分类、常规强度指标试验（即微型十字板、小型十字板、袖珍贯入仪、自由下落圆锥触探仪、不排水不固结三轴仪等）、容重、含水量测定等。预定在麻省理工学院进行试验的样品（图2—图6为所考虑的五個钻孔的取样位置）则密封在管子内。运到麻省理工学院后，对所有管子进行射线摄影，以评价它们的下列类型：土质类型的变化及分层；过渡扰动的层段；有无岩石、珊瑚、空白段、气中产生的裂纹以及其它缺陷（如剪切面）等。这些信息对估计每一管中合用的土数量和选择最佳部分作工程试验是非常重要的。

麻省理工学院的试验程序包括两个主要部分：（1）成分分析，以鉴定任何不常见的粘土矿物及与地质—工程性能之间的相互关系；（2）进行SHANSEP类型试验，以建立各粘土层的应力史，它们的固结特征和K。固结不排水剪切试验（CK.U），从而获得“规范化”的应力—应变—强度数据，为评价原地不排水强度变形的性质。大多数SHANSEP强度试验使用 Geonor 直接单剪装置（DSS），因为这种试验只需少量土样，且容易进行，得出的结果比用CK.U三轴试验法更加适合作不排水稳定性和变形分析。此外，Randolph和Wroth最近的研究亦认为直接单剪试验的破坏状态可能与粘结土质沿摩擦桩腿四周发生的状态相类似。

用SHANSEP试验程序计算直接单剪破坏模式从而估计原地不排水剪切强度值（ c_u ）时，用以下公式：

$$c_u = \sigma_{v0} \cdot S \cdot (OCR)^m \quad (1)$$

其中 σ'_{vo} = 原地有效覆盖层应力, 对正常固结粘土, $S = c_u \cdot (DSS) / \sigma'_{vo}$, 则 $OCR = \sigma'_p / \sigma'_{vo}$, 其中 σ'_p 为固结前压力, m 为指数, 该指数用以控制 c_u 值随超固结率增加而增加的比率。简化概率分析要考虑公式 (1) 中各参数带来的不确定度以及由此计算出的强度剖面。这些分析用下面的关系式 (2) 求得变化系数。这种变化系数是在 $c_u = Cov [c_u] = \text{标准偏差除以平均估计值} = SD [c_u] / E [c_u]$:

$$Cov^2 c_u = Cov^2 S + m^2 \cdot Cov^2 (\sigma'_p) + \ln^2 (OCR) \cdot SD^2 [m] \quad (2)$$

其中三项分别反映 S 、 σ'_p 和 m 三个数值的分散度和不确定度 (σ'_{vo} 假定可以确定)。除非另有说明, $Cov []$ 量反映出平均值测得的总分散度和由于有限数量的分散结果所引起的中值位置的“统计”误差, 这两者的联合影响。然而, 除了去掉明显的 σ'_p 低值外, 在上述这些结果中潜在“偏离”是忽略不计的。

Mishu 等人 and Ladd 等人分别详细地介绍了在吐依·卡利亚柯和帕里亚北部有关的全部试验程序和实验资料。

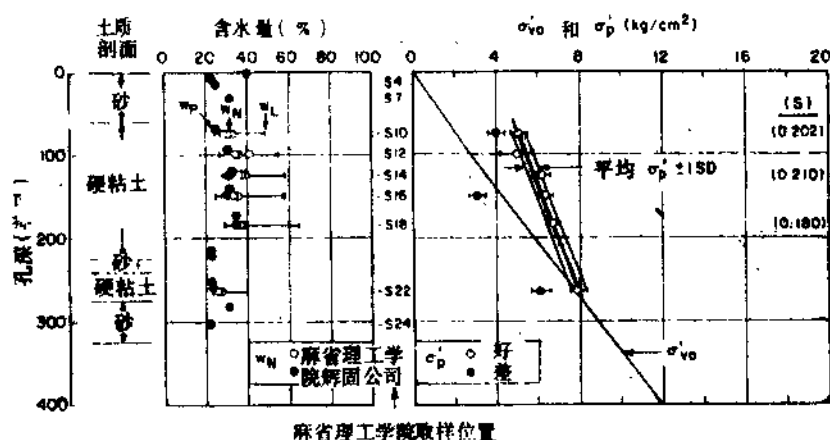


图2 C1孔的土质剖面、指标性质和应力史 (水深为201英尺)

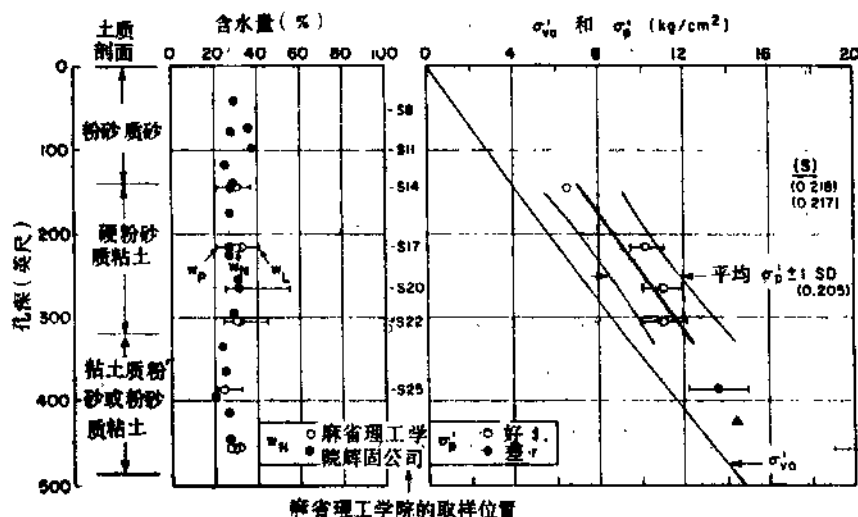


图3 C2孔的土质剖面、指标性质和应力史 (水深为425英尺)