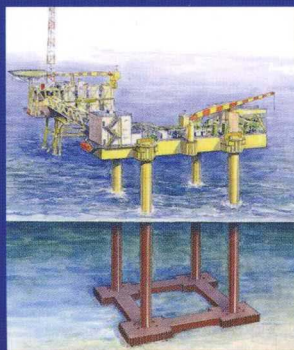




自升式钻井平台 插桩作业控制技术

姜 伟 汪顺文 杨 进 刘书杰 著



ZISHENGSHI
ZUANJING PINGTAI
CHAZHUANG ZUOYE
KONGZHI JISHU

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了自升式钻井平台在就位过程中桩腿入泥深度预测及插桩安全控制技术,包括自升式钻井平台插桩插入过程中桩腿与海底土的相互作用机理、桩腿插入过程模拟实验、桩腿承载力及拔桩阻力计算方法、桩腿插入深度计算模型,以及平台压载安全控制方法,同时对钻井平台插拔桩设计与施工计算软件系统进行了系统介绍。结合海洋石油 941 钻井平台案例,给出了自升式钻井平台桩腿入泥深度计算步骤和插桩作业控制工作流程,能够方便设计人员和现场施工人员学习和参考。

本书可作为海洋钻井技术人员、海洋工程人员进行钻井工程设计及现场施工的参考用书,也可作为石油院校相关专业教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自升式钻井平台插桩作业控制技术/姜伟等著.

北京:石油工业出版社,2012. 11

ISBN 978 - 7 - 5021 - 8945 - 7

I. 自…

II. 姜…

III. 海上钻探平台 - 安全控制技术

IV. TE951

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 229779 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523537 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:10.75

字数:272 千字 印数:1—1000 册

定价:50.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

中国海油 2010 年实现油气产量突破 5000 万吨,这标志着我国已成为世界海洋石油生产大国,在海洋石油勘探开发、海洋工程技术和大型装备等领域进入世界海上石油工业的先进行列,这些油气产量绝大多数来于中国近海。在近海油气田的勘探开发过程中,自升式钻井平台在钻完井作业中占据了非常重要的地位。自升式钻井平台因此成为了钻井施工中极其重要的装备和技术手段,这主要是因为其具有机动能力强、定位方便、稳定性好等突出的优点。

自升式钻井平台就位插桩作业是钻井平台海上施工的关键环节。自升式钻井平台插桩深度和拔桩阻力问题密切关系到钻井平台选型、施工过程中的作业安全及作业后的平台安全撤离。尤其在作业水深超过 100m 时,接近目前国内自升式钻井平台的临界作业水深极限,插桩深度的准确预测将关系到钻井平台类型的合理选择,选择不同类型的钻井平台施工会大大影响钻井成本和整个油田的开发效益。此外,在近十年的海上自升式钻井平台作业记录中,曾发生过多起严重的钻井平台刺穿事故,其关键原因在于自升式钻井平台插桩深度预测误差大。因此,为保证自升式钻井平台作业安全,开展钻井平台桩腿入泥深度、刺穿风险分析、拔桩阻力计算以及平台稳定性开展技术研究,为自升式钻井平台作业提供科学分析依据和技术指导,具有十分重要的意义。

自升式钻井平台插桩深度控制技术跨涉海洋工程、结构工程、岩土工程和钻井工程等多个工程技术学科。本书基于海洋石油总公司与中国石油大学(北京)海洋工程系近十年来合作研究取得的科研成果为基础,运用有关平台桩腿与海底土相互作用分析理论,系统介绍了自升式钻井平台桩腿与海底土作用机理、插桩数值模拟、桩腿承载力计算方法、桩腿入泥深度的计算方法、插桩作业控制和拔桩阻力分析方法。其中,在本书的最后介绍了钻井平台插拔桩设计与施工计算软件系统。这对现场分析和应用具有很好的指导作用和意义。

在本书编写过程中,中海石油(中国)有限公司工程技术部张春阳、周俊昌、谢梅波、李立宏、孙东征、蒋凯、李斌等同志提供了帮助;中海油研究总院周建良、王平双、何保生、耿亚楠、朱磊等同志提供了大量的技术资料和指导;深圳分公司唐海雄、韦红术、张俊斌、张伟国、王唐青、林海春、苏峰、谢华等同志提供了大量的南海东部油田资料和现场应用指导;湛江分公司谢玉洪、张勇、李中、黄熠、段泽辉、郭永宾、方满宗、顾纯巍等同志提供了大量的南海西部油田资料和现场应用指导;上海分公司罗勇、郭士生、张海山、陈伟宁、何福耀等同志提供了大量的东海油田和现场应用资料,在此表示衷心感谢。另外,中海油田服务股份有限公司齐美胜、赵景芳及海洋石油 941/942 钻井平台工作人员对该书资料的收集给予了一定的帮助,在此表示衷心感谢。

在本书编写中得到了天津大学张浦阳博士等学者们的帮助,在此深表感谢。

由于本书涉及内容较多,不妥之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 我国近海海底土特性	(1)
第一节 我国海上油气资源及开发	(1)
第二节 渤海湾海底土特性	(5)
第三节 东海与南黄海海底土的特性	(12)
第四节 南海海底土的特性	(19)
第五节 海底土的特性参数随水深的变化规律	(27)
第二章 自升式钻井平台概况	(33)
第一节 自升式平台发展历史	(33)
第二节 自升式平台在我国海上油气开发中的应用	(36)
第三节 我国自升式钻井平台的发展前景	(38)
第四节 自升式平台作业状态与设计工况	(39)
第三章 自升式钻井平台桩腿结构	(42)
第一节 桩腿整体结构	(42)
第二节 桩腿桁架	(44)
第三节 桩腿桩靴	(48)
第四节 桩腿升降系统	(51)
第四章 平台桩腿与海底土相互作用研究现状	(55)
第一节 桩靴承载力的研究现状	(55)
第二节 桩靴周围土体回流破坏机理的研究现状	(57)
第五章 平台桩腿与海底土相互作用数值模拟	(59)
第一节 饱和黏土的连续介质模型	(59)
第二节 土—桩靴系统分析模型	(66)
第三节 桩靴承载力数值计算	(66)
第六章 钻井平台桩腿承载力计算	(73)
第一节 桩靴承载力的计算方法	(73)
第二节 多层土地基中桩靴承载力计算方法	(78)
第三节 层状黏土中桩靴发生穿刺现象机理分析	(83)
第七章 钻井平台桩腿插入深度计算方法	(94)
第一节 钻井平台桩腿入泥深度计算方法	(94)
第二节 钻井平台桩腿刺穿风险分析	(102)
第八章 钻井平台桩腿压载方法	(105)
第一节 自升式钻井平台压载原理	(105)
第二节 自升式钻井平台压载流程	(106)

第三节 海洋石油 941/2 型自升式钻井平台桩腿压载过程中刺穿风险分析及作业实例
..... (108)

第九章 钻井平台撤离拔桩阻力分析 (118)

第一节 桩靴上拔问题的研究现状 (118)

第二节 作业过程中桩靴周围孔压消散规律分析 (120)

第三节 上拔过程桩靴周围孔压变化规律分析 (121)

第四节 桩靴上拔力的计算 (128)

第十章 钻井平台插拔桩设计与施工控制软件系统 (130)

第一节 自升式钻井平台桩腿入泥深度计算软件 (130)

第二节 自升式钻井平台拔桩分析软件 (137)

参考文献 (164)

第一章 我国近海海底土特性

我国是石油的生产大国,也是消费大国和世界上最大的石油进口国之一,自 1993 年成为石油净进口国以来,目前已成为世界第二大石油进口国。据预测,到 2020 年,我国石油消费将达 $(4.5 \sim 6.1) \times 10^8 \text{t}$, 缺口达 $(2.5 \sim 4.3) \times 10^8 \text{t}$ 。由此可以看出,我国的油气供求矛盾日益突出。虽然我国陆地油气资源勘探开发程度很高,但不少陆地大油田的开采年限已经超过了 30 年,开始进入衰退期,油气资源正在迅速减少。向海洋进军,开发新的油气资源,关系到国家能源安全,是我国能源发展的必然趋势。我国拥有漫长的海岸线和广阔的海域,油气资源十分丰富,据预测,海洋油气的资源量达数百亿吨。整体来说,我国的海洋油气还处于勘探的早中期阶段,产业化潜力非常大。大力开发海洋资源,是未来我国能源产业发展的战略重点。自升式钻井平台,可适用于不同海底土壤条件和较大的水深范围,移位灵活方便,便于建造,而且定位能力强,作业稳定性好,在大陆架海域的油气勘探开发中处于重要地位。

第一节 我国海上油气资源及开发

我国的海上油气资源,主要由中国海洋石油总公司负责进行勘探和开发。目前,已在渤海、南海和东海海域建有一大批海上合作和自营油气田。2010 年,中国海洋石油天然气国内年总产量首次超过 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 。这意味着我国蓝色国土上诞生了一个海上“大庆油田”,标志着我国已跨入了海洋油气生产大国的行列。从 1982 年起的近 30 年里,我国渤海、南海、东海开采了 80 余个油气田。至 2011 年,中国海洋石油油气产量约占全国石油油气年产量的 1/4。

作为中国石油工业的骄傲,1976—2002 年,大庆油田曾连续 27 年原油生产保持在 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上,创造了油田稳产的世界奇迹。目前,我国石油对外依存度已超过 50% 的国际公认警戒线。中国海油缔造的海上“大庆油田”已成为保障国家能源安全的一支重要力量。

中国海上石油开采的探索远远晚于发达国家。发现大庆油田次年,石油工人驾小船驶进莺歌海,钻了两眼 20 多米深的井,捞出 150kg 原油。此时距美国钻成世界首口海上探井已过了 73 年。到 1982 年中国海洋石油总公司(简称中国海油)成立,20 多年的时间里,中国海上石油产量仅有 $9 \times 10^4 \text{t}$ 。

1978 年 3 月,国家决定海洋石油率先实行全行业对外开放。中国海油随后成立,我国海洋石油工业开始迈进现代化时代。到 2008 年底,中国海油共与 21 个国家的 77 家公司合作过,吸引利用外资超过 100 亿美元。

我国用不到 30 年的时间走过了发达国家上百年的海洋石油工业历程,已建立起完整的海洋石油工业体系。中国海油从无技术、无装备、无资金起步,已掌握了 300m 水深以内油气田勘探开发以及工程设备制造的成套技术,并已在 1500m 深水条件下从事勘探开发作业,积极筹备向 3000m 深水迈进。此外,中国海油与造船、钢铁等行业联合,自主研发出深水开发、环境保护的重要装备。

海上“大庆油田”是中国海油在改革开放的形势下,靠国家政策扶持,靠对外开放,靠引进、消化、吸收和再创新结出的硕果。近年来,中国海洋石油总公司陆续投资开发了一批海上

大油田,海洋石油天然气产量大幅度提高。我国在渤海湾地区和南海等海域最新发现的大油田有蓬莱 19-3、番禺 5-1、曹妃甸 11-1、渤中 29-4 和渤中 25-1 等,这些油田都具有丰富的油气储量,尤其是渤海湾的蓬莱 19-3,已探明的原油储量有 $3 \times 10^8 \text{t}$,且储量规模正进一步扩大,有可能成为继大庆之后我国发现的最大整装油田。蓬莱 19-3 油田生产能力估计可达每年 $1500 \times 10^4 \text{t}$ 。此外,我国将同时进行渤海湾地区绥中 36-1 二期油田、秦皇岛 32-6 油田以及文昌 13-1/2 油田等几个大工程项目,并在海上打 162 口生产井。随着海上新油田的开发生产,我国海洋石油产量平均每年将递增 20%。我国目前的近海油气田分布见图 1-1,海上油气情况见表 1-1 ~ 表 1-3。

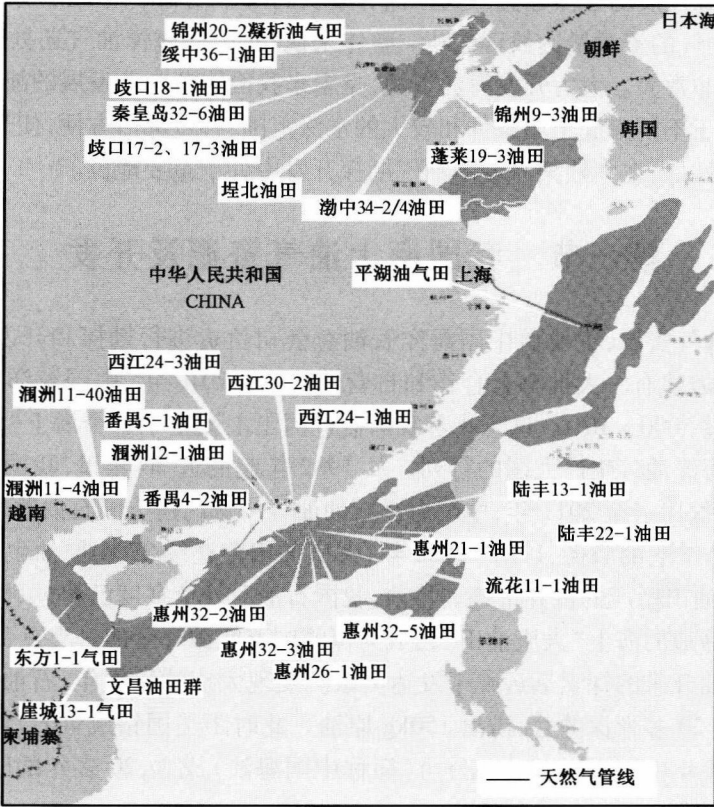


图 1-1 我国近海油气田分布图

表 1-1 我国各海的基本形态

海 名	位 置	面积(10^3km^2)	体积(10^3km^2)	平均深度(m)	最大深度(m)
渤海	西太平洋	约 80	约 1.6	约 20	70
黄海	西太平洋	约 400	约 16	约 40	106
东海	西太平洋	约 750	约 262.5	约 350	2717
南海	西南太平洋	约 3500	约 3990	约 1140	5560

表 1-2 我国海上油气日产量、储量

产 量	原油净产量(bbl/d)	1998 年	1999 年
	渤海湾	45100	45205
	南海西部	20300	35163
	南海东部	105500	88534
	东海	300	3249
	海外	4700	3123
	合计	175900	175274
	天然气净产量($10^4 \text{ft}^3/\text{d}$)	1998 年	1999 年
	渤海湾	3910	4410
	南海西部	14670	15840
	南海东部	0	0
	东海	0	460
	海外	0	0
	合计	18580	20710
	总计净产量(bbl 油当量)	206867	209802
储 量	净探明原油可采储量(10^4bbl)	1998 年	1999 年
	渤海湾	82770	91550
	南海西部	19770	19042
	南海东部	12560	11740
	东海	1470	822
	海外	1070	1010
	合计	117640	124160
	净探明原油可采储量(10^8ft^3)	1998 年	1999 年
	渤海湾	6040	6057
	南海西部	27153	26478
	南海东部	0	0
	东海	770	672
	海外	0	0
	合计	33963	33207
	总计净探明可采储量(10^6bbl 油当量)	1998 年	1999 年
	渤海湾	928. 4	1016. 5
	南海西部	650. 3	631. 7
	南海东部	125. 6	117. 4
	东海	27. 5	19. 4
	海外	10. 7	10. 1
	合计	1742. 5	1795. 1

表 1-3 我国海上在生产和在开发的主要油气资产

位置 及油田		作业者	合作伙伴	本公司 权益	1999 年 均产量 (bbl/d)	生产 井数 (口)	开始生产 日期	截至 1999 年 底净可采储量 (10 ⁶ bbl 油当量)
渤 海 湾								
生 产 期	绥中 36-1 I 期	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%	30700	48	1993 年	86.6
	渤西区块	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%	7900BOE/D	16	1997 年	14.0
	锦州区块	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%	8400bbl	8	1992 年	66.0
	锦州 9-3	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%	16000	44	1999 年	65.1
开 发 期	绥中 36-1 II 期	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%		180	2000 年	246.2
	秦皇岛 32-6	中国海洋 石油有限 公司	德士古阿科	51.0%		80	2001 年	103.4
	南堡 35-2	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%		20	2004 年	67.3
	渤南 区块	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%		67	2003 年	207.5
南 海 西 部								
生 产 期	崖城 13-1	阿科	阿科与科威特 石油公司	51.0%	158 × 10 ⁶ ft ³ /d	3	1995 年	151.0
	涠洲区块	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%	34500	53	1993 年	73.2
开 发 期	东方 1-1	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%		26	2003 年	212.3
	文昌区块	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%		20	2002 年	111.9
	乐东区块	中国海洋 石油有限 公司	—	100.0%		18	2007 年	83.3

续表

位置 及油田		作业者	合作伙伴	本公司 权益	1999 年 均产量 (bbl/d)	生产 井数 (口)	开始生产 日期	截至 1999 年 底净可采储量 (10 ⁶ bbl 油当量)
南 海 东 部								
生 产 期	惠州区块	CACT	阿吉普、佛龙、 德士古	51.0%	42740	28	1990 年	42.3
	西江区块	中国海洋石油 有限公司/ 菲利普斯	菲利普斯 派克顿	40.0% ~ 51.0%	26860	16	1994 年	31.3
	流花 11 - 1	中国海洋 石油有限 公司/阿莫科	阿莫科科麦奇	51.0%	11200	13	1996 年	10.3
	陆丰 13 - 1	JHN	日本石油 华南石油 日本矿产	25.0%	2900	4	1993 年	2.5
	陆丰 22 - 1	中国海洋石油 有限公司/ 挪威国家 石油公司	挪威国家 石油公司	25.0%	4900	1	1997 年	1.4
东 海								
生 产 期	平湖	中国海洋石油 有限公司	新星石油 上海市政府	30.0%	4020	2	1998 年	19.4

第二节 渤海湾海底土特性

渤海湾位于秦皇岛金山嘴(北纬 39°48.8', 东经 119°31.7')和老黄河口(北纬 38°08.5', 东经 118°52')连线为界以西海域,被河北省秦皇岛市、天津塘沽、河北省黄骅市、山东省沾化县等沿岸市县所环绕,其面积为 15000 余平方千米。其中河北省大清河口至山东省老黄河口一线以西的海域,海底地形平坦开阔。渤海湾海域水深变化不大,其最浅水深 6.1m,出现在老黄河口附近,而海湾近岸处水深最浅处为 6.7m;最大水深为 32.4m,出现在东北部凹槽处;海湾平均水深不大于 20.0m,约为 19.4m。海底地形平坦,除个别海域(如凹槽、水下岸坡的)外,海底地形坡度不大于 0.2‰。渤海湾地理位置见图 1-2。

一、渤海湾表层沉积物的粒度组成

渤海湾区为半封闭的渤海三大海湾之一,位于渤海的西南部。沿岸有众多的河流注入,其中以黄河、滦河和海河等三大河系为主。径流量和输沙量,以黄河最大。它除了影响本区外,主要影响渤海中部和莱州湾。滦河和海河的人海水、沙量相对来说,较前者少得多,但它是本

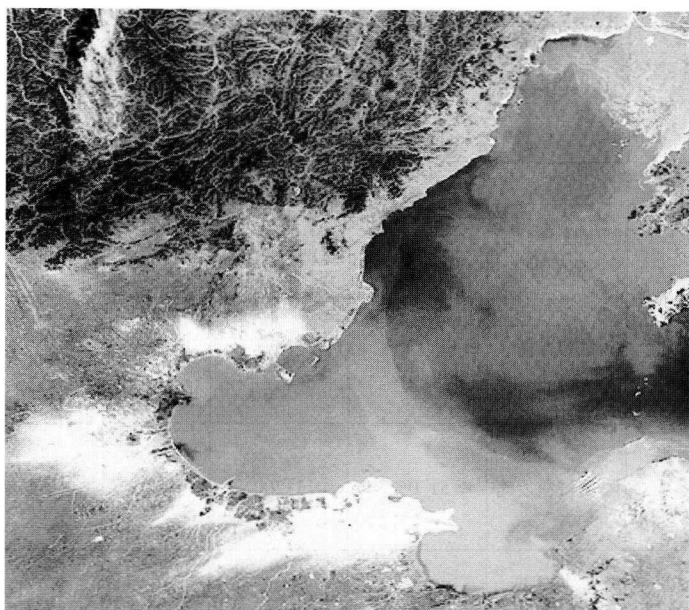


图 1-2 渤海湾地理地貌卫星图

区陆源碎屑物质的主要来源。陆源碎屑沉积物是区内的主要沉积物,其类型和分布受陆源物质、海底地形和水动力条件等因素控制,主要类型有黏土质砂、砂—粉砂—黏土、黏土质粉砂和粉砂质黏土(表 1-4)。以后两种类型为主,广泛分布于渤海湾内,占取样站位的 79%,粉砂仅一个站位有所分布,在海湾南岸附近。砂—粉砂—黏土混合沉积物呈带状和斑状分布于滦河口外和曹妃甸南部;黏土质粉砂呈舌状分布于滦河口外和带状砂—粉砂—黏土类型的西南端。

表 1-4 渤海湾区表层沉积物类型及其粒度组成

沉积物类型	样品数量	粒度组成(%)		
		砂土直径 (0.02~2mm)	粉砂土直径 (0.002~0.02mm)	黏土直径 (<0.002mm)
砂—粉砂—黏土	2	33.7(砾石 4.2)	23.5	38.6
黏土质砂	3	59.4	15.8	24.8
粉砂	1	0.4	81.6	18.0
黏土质粉砂	9	1.2	57.5	41.3
粉砂质黏土	13	5.2	40.6	54.2

二、渤海湾海底土工程地质特点

海洋研究所对渤海湾区海底土的工程地质调查深入到海床面以下 5m 深处,把 1m 以内深的土划为第一层,2~4m 深的土划为第二层。调查结果表明海底表面浮泥厚度大,一般大于 5~10cm,渤海湾区中部多为褐灰色,含水率大,呈流塑状。粉砂质黏土和黏土质粉砂为褐灰—灰色,半流塑状,容重小,天然含水率接近或大于液限,孔隙比大于 1,工程上属软土类,压缩性高,强度低,渗透系数小。黏土物质含量高,多数超过 40%,砂含量极少,均小于 5%。按

浅层土的分层,两层土的工程性质参数分别如表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-5 渤海湾区海底浅层土的物理及力学性质(第一层)

参 数	高塑性黏土	细砂	黏质细砂
含水率 $w(\%)$	62.9	24.2	28.9
重度 (kN/m^3)	16.1	20.11	19.03
孔隙比 e_0	1.637	0.590	0.837
相对密度 G_s	2.709	2.666	2.690
液限 $w_L(\%)$	54.7	—	—
塑限 $w_P(\%)$	25.7	—	—
塑性指数 I_P	29.0	—	—
液限指数 I_L	1.32	—	—
不排水强度 $C_u(\text{kPa})$	4.13	—	—

表 1-6 渤海湾区海底浅层土的物理及力学性质(第二层)

参 数	粉质黏土	高塑性黏土	粉质细砂	粉土
含水率 $w(\%)$	38.1	46.5	30.8	45.3
重度 (kN/m^3)	18.3	17.7	18.0	17.4
孔隙比 e_0	0.986	1.30	0.762	1.224
相对密度 G_s	2.688	—	2.678	—
液限 $w_L(\%)$	40.2	46.7	—	52.7
塑限 $w_P(\%)$	21.7	24.1	—	29.7
塑性指数 I_P	18.5	22.6	—	22.3
液限指数 I_L	1.08	1.0	—	0.73
不排水强度 $C_u(\text{kPa})$	10.39	9.49	—	14.02

三、钻井平台场址的工程地质特点

以下实验结果均由中海油田服务股份有限公司物探事业部勘察服务中心测得。

1. 渤海 A 平台场址地质情况

渤海 A 平台地处渤海湾:东经 120°18'41.368",北纬 39°09'43.190",水深 21.9m。取海底以下 20m 内土样的试验数据来研究表层海底土的物理工程性质。其中有效重度、含水率、塑限、液限、不排水抗剪强度直接由试验获得,塑性指数由公式 $I_P = w_L - w_P$ (去掉百分号)计算得到。液性指数由公式 $I_L = (w - w_P)/(w_L - w_P)$ 计算得到。试验数据见表 1-7。

表 1-7 A 平台海底浅层土的物理及力学性质

深度 (m)	重度 (kN/m^3)	含水率 (%)	塑限 (%)	液限 (%)	不排水抗剪 强度(kPa)	塑性 指数	液性指数
2	16.8	62.9	25.7	54.7	4.13	29	1.28
4	17.7	46.5	24.1	46.7	9.49	22.6	0.99
6	18.0	33.4	20.1	27.5	10.2	7.4	1.80
8	18.0	35.5	18.2	31.4	14.6	13.2	1.31

续表

深度 (m)	重度 (kN/m ³)	含水率 (%)	塑限 (%)	液限 (%)	不排水抗剪 强度(kPa)	塑性 指数	液性指数
10	18.2	38.4	18.8	36.4	20.8	17.6	1.11
12	18.3	42.2	22.1	42.8	26.7	20.7	0.97
14	18.5	40.2	22.5	40.4	30.4	17.9	0.99
16	18.9	32.4	21.8	36.6	38.9	14.8	0.72
18	19.4	30.6	22.7	36.2	43.6	13.5	0.59
20	19.8	20	20.8	36.1	45.8	15.3	-0.05

注:不排水抗剪强度取电动十字板剪切实验的结果。

2. 渤海 B 平台场址地质情况

渤海 B 平台的地理位置如图 1-3 所示。该区域平均水深 20.9m,取土样处水深 20.4m。取海底以下 20m 内的土样进行试验,土样取上来后立即用推土器把它从取心筒中推出,置于塑料槽中,然后搬到船上实验室,清除其表面的泥浆等杂质,量取记录取样长度,留取用于陆上实验室试验的土样,剩下的进行现场土工试验。其中有效重度、含水率、塑限、液限、不排水抗剪强度直接由试验获得,塑性指数由公式 $I_p = w_L - w_p$ (去掉百分号) 计算得到。液性指数由公式 $I_L = (w - w_p)/(w_L - w_p)$ 计算得到。试验结果如表 1-8 所示。

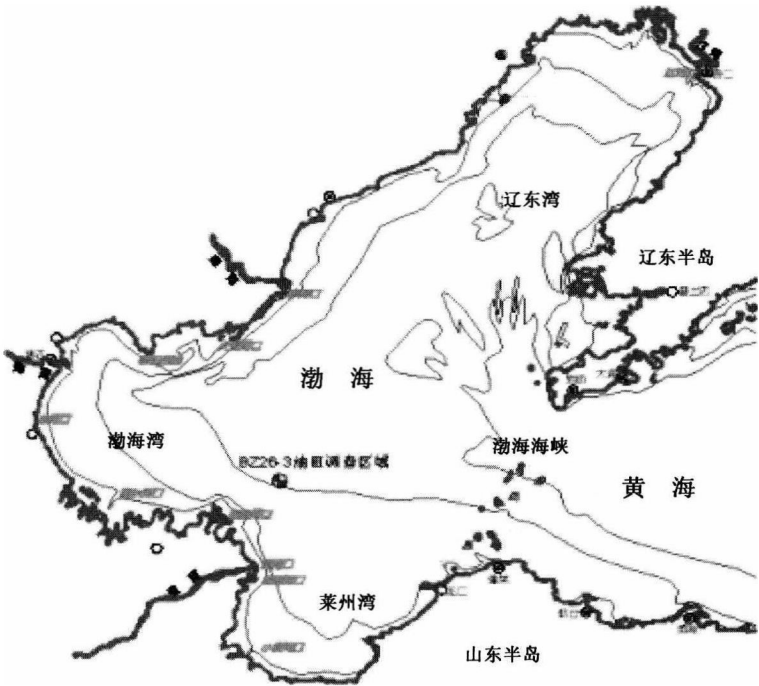


图 1-3 B 平台的地理位置

表 1-8 B 平台海底浅层土的物理力学性质

深度 (m)	重度 (kN/m ³)	含水率 (%)	塑限 (%)	液限 (%)	不排水抗剪 强度(kPa)	塑性指数	液性指数
2	17.4	42	20	34.5	6.25	14.5	1.52
4	17.5	43.5	20	38	13.8	18	1.31
6	19.2	23	20.5	35.4	12.6	14.9	0.23
8	19.2	26.3	22.6	41	13	18.4	0.20
10	19.2	25	18	24	21	6	1.17
12	19.4	23	15	26	29.4	11	0.73
14	19.7	20.5	15.4	28	37.5	12.6	0.41
16	20.2	17.6	16	30	45.3	14	0.11
18	19.3	25.4	22.6	37.5	54.3	14.9	0.19
20	19.5	24	26	39	56.8	13	-0.15

3. 渤海 C 平台场址地质情况

渤海 C 平台的地理位置如图 1-4 所示。该区域平均水深 20.9m,取土样处水深 20.4m。取海底以下 20m 内的土样进行试验,其试验方法与渤海 B 平台海底土的试验方法相同。试验结果如表 1-9 所示。

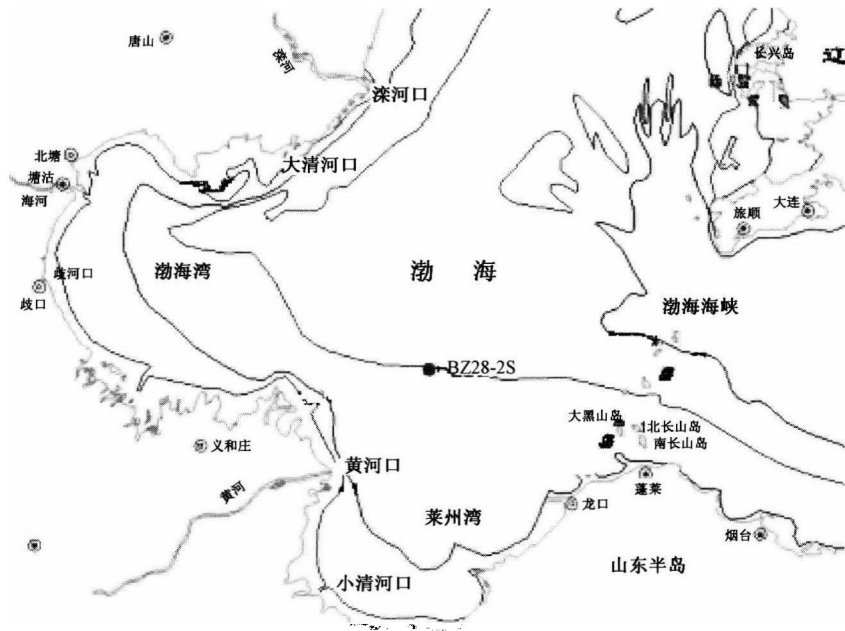


图 1-4 C 平台地理位置

表 1-9 C 平台海底浅层土的物理及力学性质

深度 (m)	有效重度 (kN/m^3)	含水率 (%)	塑限 (%)	液限 (%)	不排水抗剪 强度(kPa)	塑性指数	液性指数
2	16.4	46.7	19.2	34.6	6.4	15.4	0.95
4	16.6	44.2	20.4	42.4	10.2	22	1.05
6	18.4	28.6	23.5	40.8	24.5	17.3	0.69
8	18.1	29	20.6	36.4	33.6	15.8	0.64
10	19.2	21.5	19.4	36.1	41.2	16.7	0.12
12	19.6	20.2	17.3	33.7	51	16.4	0.14
14	19.1	20.6	15.4	23.6	60.5	8.2	0.29
16	19.4	21.4	16.8	27.4	70.2	10.6	0.31
18	20.5	20.8	13.6	24.8	70.2	11.2	0.53
20	19.2	20	12.8	20.7	70.2	7.9	0.47

4. 数据统计

为了更加直观地观察渤海海域浅层沉积物随土深度的变化规律,下面分别作土的重度 γ 、含水率 w 、塑性指数 I_p 、不排水抗剪强度 S_u 与土深度 h 的关系图。

图 1-5 反映了海底土有效重度随土深度的变化情况。从图中可以看出,在 10m 土深范围内,渤海海底土的有效重度随土深的增加而增加,且近似为直线变化。在 10~20m 的范围内,土的有效重度基本在 18.3kN/m^3 左右,没有较大变化。

图 1-6 反映了渤海海底土含水率随土深度的变化情况。从海床面至土深 8m 处,含水率随深度的增加呈直线减小,8m 以下土的含水率为 20%,基本保持不变。

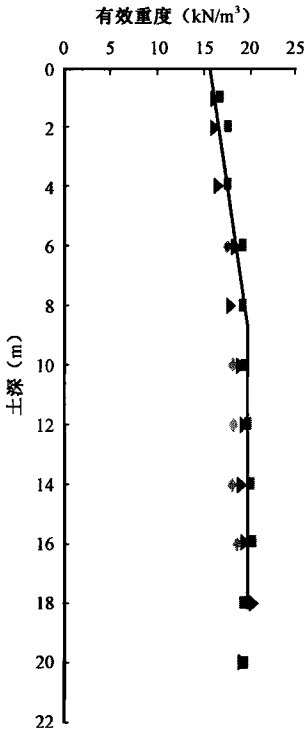


图 1-5 有效重度随土深的变化规律

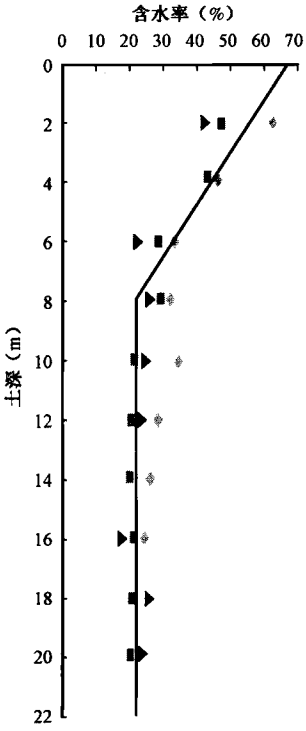


图 1-6 含水率随土深的变化规律

图 1-7 反映了 3 座平台场址处海底土不排水抗剪强度的变化趋势。从抗剪强度值的分布值来看,3 个不同场址的抗剪强度存在一定的差异,但差值不大且总体变化趋势相同:在 18m 土深范围内,海底土的抗剪强度随土深的增加而增加,18m 以下抗剪强度基本不再变化。

从图 1-8 塑性指数与土深的关系图可以看出,海床面以下 20m 内土的塑性指数 I_p 随机地分布在 13~20 之间,根据我国工程中以 I_p 值的范围对黏土及粉土进行分类的方法(当 $I_p > 17$ 时,为黏土;当 $10 < I_p \leq 17$ 时,为粉质黏土;当 $3 < I_p \leq 10$ 时,为粉土),可以判断 3 座平台处的海底土为黏土或粉质黏土。

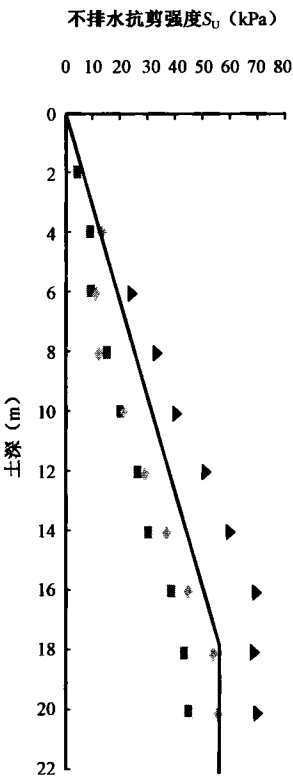


图 1-7 不排水抗剪强度
随土深的变化规律

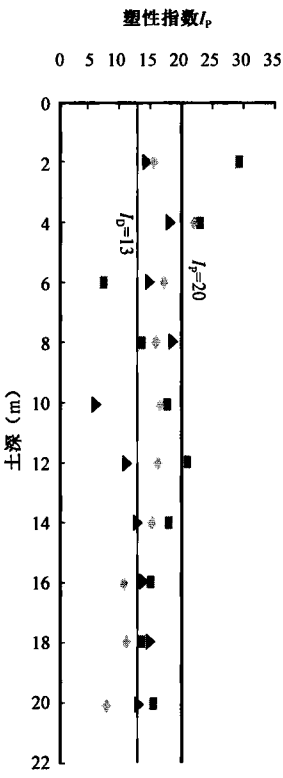


图 1-8 塑性指数
随土深的变化规律

图 1-9 是根据美国 A. 卡萨格兰德 1948 年提出的用塑限、液限对土进行分类的方法作出的塑性图。根据该分类方法,渤海海底土属于中液限黏性土。

通过对渤海海底土进行分析,可知渤海海底沉积物的特征为:(1) 粒度较大,土质以黏土质砂、黏土质粉砂、砂质黏土为主;(2) 容重、含水率、抗剪强度在一定土深范围内都随着取土深度的变化而变化,其中,容重、抗剪强度随土深增加,含水率随土深减小且变化较大;(3) 属于中液限黏性土。

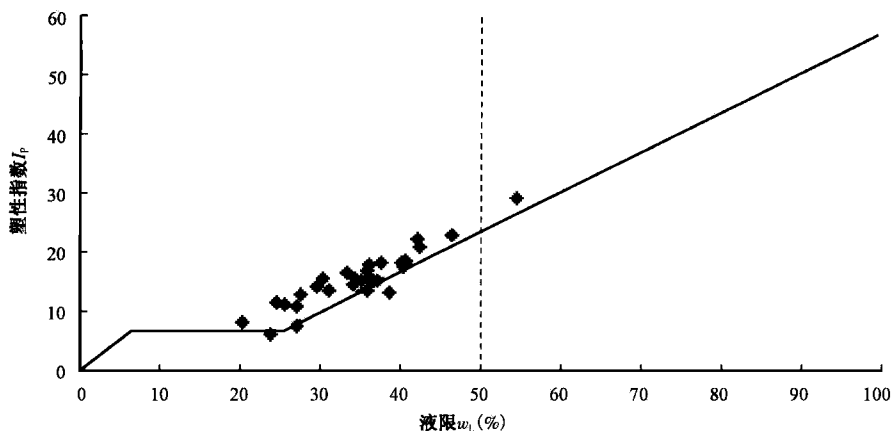


图 1-9 渤海湾海底土的塑性图

第三节 东海与南黄海海底土的特性

自 1995 年以来,国家海洋局第一海洋研究所在东海海域进行了 4 次航海地质调查,在南黄海进行了 1 次航海地质调查,并取得了海底沉积物土样。返航后,对土样进行室内试验,取得了两海域海底土的物理及力学特征数据。以下数据,主要取自国家海洋局第一研究所的试验结果。

一、研究区域概况

黄海位于中国大陆与朝鲜半岛之间,是一个典型的半封闭型陆架海。黄海沉积物主要来自中国大陆,少部分来自朝鲜半岛,其沉积作用和沉积环境受到海洋动力作用的制约,在世界同类陆架海中具有独特的沉积特征。本文研究区域为南黄海油气资源区,如图 1-10 所示,在北纬 $34^{\circ} \sim 38^{\circ}$ 、东经 $124^{\circ} \sim 125^{\circ}$ 之间。南黄海是太平洋边缘海的一部分,调查区绝大部分位于陆架上,水深小于 200m,地形平坦,取样处的水深在 140 ~ 200m。研究区沉积物以淤泥、淤泥质粉质黏土和黏质粉土等黏性土分布为主。

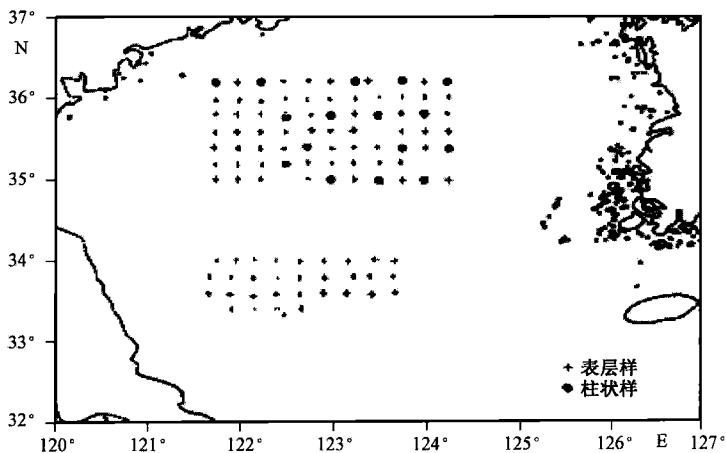


图 1-10 南黄海研究区域位置图