

近海导管架平台

石油建筑工程丛书

近海导管架平台

陆文发

李林普

高明道

编著

海洋出版社

1992年·北京

内 容 提 要

本书系统地介绍了近海导管架平台基本设计理论和设计方法。全书共十章。主要内容包括：固定式平台发展的历史及平台分类，导管架平台的总规划与布置，作用于平台的荷载计算，结构总体受力分析，圆杆构件的强与稳定计算，管结点静强度设计与疲劳分析，平台结构的腐蚀与保护，可靠性工程在平台设计中的应用。

本书可供从事海上油田规划、开发、设计、施工及海洋工程研究人员和技术人员参考，也可作为高等院校海洋工程专业师生及研究生的教学参考书。

(京)新登字087号

海洋石油建筑工程丛书

近海导管架平台

陆文发 李林普 高明道 编著

*

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店北京科技发行所 海洋出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：23.3125 字数：500千

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

印数：1—500

ISBN 7-5027-1368-7/TE·3

定价：14.00元

目 录

章 绪论	(1)
§ 1-1 海洋开发与海洋工程.....	(1)
§ 1-2 海洋工程结构物分类.....	(4)
§ 1-3 海上固定式平台的发展.....	(8)
§ 1-4 正在兴起的我国平台工业.....	(18)
章 设计条件与设计荷载	(22)
§ 2-1 设计条件.....	(22)
§ 2-2 海上平台承受的主要荷载.....	(25)
§ 2-3 导管架平台的荷载组合.....	()
章 导管架平台总体规划	(143)
§ 3-1 导管架平台的构成及分类.....	(143)
§ 3-2 平台上部主要设施及工艺布置.....	(149)
§ 3-3 平台结构的主要轮廓尺度.....	(190)
§ 3-4 平台方位的选择.....	(206)
§ 3-5 平台的总体规划与布置.....	(207)
章 平台上部结构及附属设施设计	(223)
§ 4-1 上部结构型式的选择与计算简图的 选取.....	(224)
§ 4-2 甲板结构的内力计算与经济截面 确定.....	(239)
§ 4-3 平台上部设施与设备模块设计.....	(262)
§ 4-4 附属设施设计.....	(265)
章 平台支承结构设计	(280)
平台桩基设计.....	(281)
§ 5-2 导管架结构设计.....	(353)

§ 5-3 导管架制造与海上安装方法.....	(录
第六章 平台结构动力反应分析	(1 I .
§ 6-1 平台结构的动态特性及动力反应.....	(3 II .
§ 6-2 平台结构随机反应.....	(4 III .
§ 6-3 波浪作用下的平台结构随机反应 计算.....	(4 IV .
第七章 圆管构件的强度与稳定计算	(48
§ 7-1 概述.....	(48
§ 7-2 圆管构件强度计算.....	(489
§ 7-3 圆管构件稳定计算.....	(49
§ 7-4 圆管构件强度与稳定校核算例.....	(51
第八章 管结点的静力强度设计与疲劳分析	(
§ 8-1 管结点荷载形式与术语.....	(
§ 8-2 管结点的应力分布.....	(
§ 8-3 管结点的静力强度分析.....	(
§ 8-4 管结点静强度设计.....	(
§ 8-5 管结点疲劳分析.....	(
第九章 平台结构的腐蚀与保护	(5
§ 9-1 导管架平台结构在海洋环境中的 腐蚀.....	(5
§ 9-2 平台结构腐蚀区划分及保护方法.....	(5
§ 9-3 涂层、镀层与包覆保护.....	(6
§ 9-4 阴极保护系统.....	(6
§ 9-5 平台保护系统的检查、监控与维护.....	(6
第十章 平台结构可靠性分析	(6
§ 10-1 可靠性分析的基本概念.....	(6
§ 10-2 可靠性分析方法.....	(6
§ 10-3 工程结构系统的可靠性分析.....	(6
§ 10-4 荷载效应与结构抗力的统计分析.....	(6
§ 10-5 导管架平台的可靠性分析.....	(6

I. 规划设计资料调查与应用.....	(698)
II. 单跨梁的反力、弯矩和挠度.....	(700)
III. 整体稳定系数 φ	(719)
IV. 简单管结点的应力集中系数公式.....	(721)
V. 支管承受轴向荷载的T型结点弦管应力集中 系数表.....	(723)
VI. 中英文人名、公司名对照表.....	(731)

第一章 绪 论

§ 1-1 海洋开发与海洋工程

海洋蕴藏着极为丰富的资源，历来为人们所瞩目。随着科学技术的不断进步和人口的日益增长，陆地上的矿产和可利用的空间已不能满足人类社会经济迅速发展的需要。为了生存，必须开发海洋。因此近年来，人们开始大规模向海洋进军，开发占地球总面积71%的巨大资源宝库。

开发海洋资源为人类的生活和生产服务，就必须在海上安装和设置一系列的工程结构物，以获取人们需要的资源 and 数据，通常把人们的这一活动称为海洋开发事业。而把应用海洋基础科学，以开发和利用海洋中所包藏的各种资源为目的所建造的一系列工程结构物，以及为完成这一任务所需的技术和仪器设备统称为海洋工程。

近年来，海洋工程已经成为一门新兴的技术学科。海洋开发是继40年代原子能开发、50年代宇宙空间开发之后，于60年代蓬勃兴起的一个具有战略意义的开发领域。在现代海洋开发中，最令人感兴趣的是海洋石油开发。据统计，现已有一百多个国家进行过海洋地质勘探，四十多个国家在大陆架海域进行石油钻探和开采。目前世界上约有430个海上油田，年产量约占世界原油总产量的25%。我国具有广阔的海域，近海已发现6个大型含油气盆地。当前我国已从传统的海洋开发转向了以海洋石油开发为中心的现代海洋开发新时期。

一、海洋资源与海洋开发

海洋是一个巨大的资源宝库，它蕴藏着陆地上绝大多数种类

的资源。这些资源包括：

(一)海底矿产资源

据估计海底矿产资源可达 $6000 \times 10^{16} \text{t}$ 。世界上石油、天然气总储量的三分之一分布在沿海大陆架。此外锰结核、热液重金属矿床是大洋底的主要矿产。海底蕴藏的石油和天然气与大洋底部的锰结核和热液重金属矿床构成了四大海底矿产资源。

(二)海洋空间资源

自古以来海洋就做为人类的交通和贸易的通道。海运是人类开发和利用海洋空间最早的产业之一。海上观光、海上工厂（海上原子能发电站、海上垃圾处理工厂）、海上机场、海上城市、海底居住室以及为海洋石油开发而建造的海上储油罐和海上石油中转站等是现代开发海洋空间资源的主要领域。

(三)海洋生物资源

有人估计，在不破坏海洋生态平衡的条件下，海洋每年可为人类提供 $30 \times 10^8 \text{t}$ 水产品。海洋生物资源主要包括海洋动物资源（鱼类、贝类等）和海洋植物资源（海带、海藻等）两大类。

(四)海洋动力资源

浩瀚的海洋中，汹涌的波浪、不间断的潮汐运动、海水表层与底层的温度差以及海水浓度差等都是产生能量的形式，人们利用这种能量做为动力资源是取之不尽、用之不竭的能源宝库。目前动力资源开发主要包括：波能发电、潮汐能发电、温差能发电、海流能发电以及盐差能发电。

(五)海水化学资源

海水中含有80多种化学元素，其中盐类可达 $50 \times 10^{16} \text{t}$ 。除了已经提取的镁、溴、钾及碘外，还可从海水中提取铀。在陆地淡水不足的情况下，从海水中可以获得取之不尽的淡水。

海洋素有“蓝色的聚宝盆”之称，但要向海洋取宝并不是一件轻而易举的事情。面向复杂的海洋环境，要开发和利用海洋资源，需要有先进的技术、复杂的设备、大量的资金，并且敢于冒一定的风险。有人说“下海比登天还难”，的确如此。但人们并

没有望洋兴叹，近代科学技术的发展和社会生产力的迅速进步为海洋开发提供了物质基础。未来的海洋开发将为人類展示一个美好的前景。

二、海洋工程研究的主要内容

开发和利用海洋离不开海洋工程。海洋工程做为—门新兴的技术学科，它主要研究的内容包括：

(一)为海洋研究服务的各种工程结构物与装置

海洋研究是海洋开发和利用的前提和主要内容之一。为开发和利用海洋资源，要在海上安装和设置一系列的工程结构物和装置，这些结构物和装置必须能经受住可以估计到的海洋环境力的作用，使海洋开发活动能持续有效地进行。为此，海洋水文 海洋气象的观测和预报是十分重要的。为收集和分析海洋环境资料要在海上安装一系列的观测平台和设置各种各样的观测仪器和仪表，如水文气象观测平台、海洋自动观测站、海洋调查船、水下实验室 深潜水装置以及海洋卫星等结构物，装置和仪器设备的研制是海洋研究的主要课题。海洋动力因素对海洋工程结构设施的作用力的研究是海洋开发的关键。

(二)为海洋资源开发和利用服务的各种工程结构物

为了开采海底油气资源，要在海上安装和设置钻井平台、采油平台、海底管线及海上油气储装设施；为了采集深海锰结核和热液重金属要建造各种采矿船；为了满足海上交通运输要求要建造各种类型、各种吨位的船舶以及为此而修建的港口；为了捕获海洋生物要建造“海上牧场”、渔港、养殖场以及鱼礁等；为了开发海洋能源要建造各种海上发电装置。

上述涉及的工程设施、建筑物及装置的设计、建造和安装是海洋工程技术的重要内容。与此有关的机械、电子设备，海洋工程材料及结构的防腐、防疲劳断裂，以及施工机具和方法也都属于海洋工程技术研究范围。

(三)为保护海洋环境和保障海上安全工作服务的工程设施和

设备

大规模的海洋开发活动的开展，必然对海洋生态、海洋环境和海上安全带来影响。为了保护海洋环境和海洋生态平衡，以保持海洋开发持续进行，必须控制海洋污染和保障海上安全。如海上船舶、油气开采设施以及海上工厂排出的废液、废气的处理和利用的研究；海洋做为废物、废热及噪声的排放场所的研究；海岸保护，海生物资源保护及海上安全保障等研究，为此要在海上安装一系列的处理设施和监控设备。

§ 1-2 海洋工程结构物分类

一、海洋工程结构物定义

所谓海洋工程结构物，它是为海洋开发所建造的结构物的总称。它是由重力、桩或锚固定于海底的结构，这是一个广义的概念。海洋工程结构物通常包括为海洋开发服务的各种船舶及各种海上工程设施。对海洋石油开发来说，船舶一般是指用于钻井的各种移动式钻井船，其中自升式钻井船、半潜式钻井船、浮式钻井船、驳船式钻井船以及浅水钻井船就属于此类；海上工程设施是指水上和水下各种固定或浮动建筑、装置和固定平台。

用于海洋石油勘探与开发的各种海洋工程结构物可分为海上固定式结构物、移动式结构物、系泊装置及海底井口底盘装置。

(一)海上固定式结构物

结构物上部伸出海面，用桩（或扩大基础）或张力装置，或万向铰（或有连接节的柱子）或牵索，来支承或固定于海底，为一定的目的较长时间保持固定位置的结构，称为海上固定式结构物或称为海上固定式平台，例如，重力式平台、导管架平台、张力腿平台等（图1-1）。

海上固定式结构物按其支承的刚度又可分为刚性支承的固定式结构物（如导管架平台、重力式平台）和柔性支承的固定式结构物（如张力腿平台、牵索固定的塔式平台）。

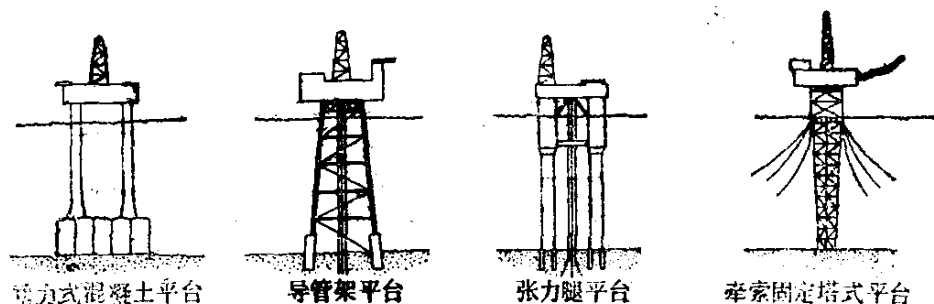


图 1-1 海上固定式结构物

(二) 移动式结构物

凡结构物用桩或锚或系泊系统或动力定位系统固定在一定的位置上,并可漂浮的称为移动式结构物,或称为浮式结构物,例如自升式平台、半潜式平台、浮式平台、坐底式平台等(图1-2)。

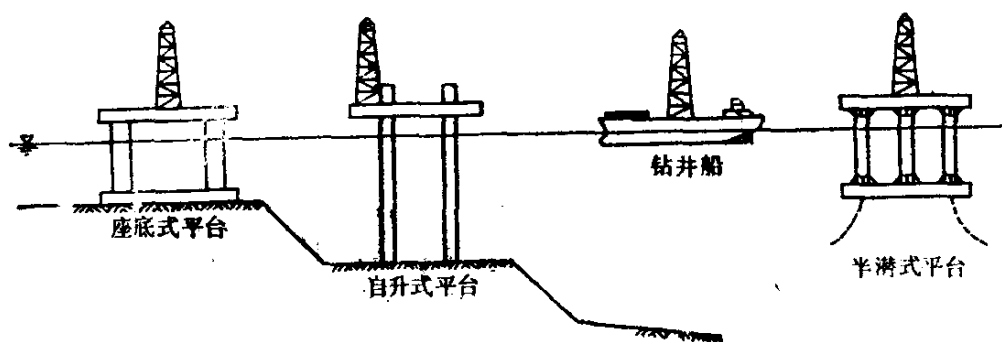


图 1-2 移动式结构物

移动式结构物按其支承型式又可分为着底式结构物(如自升式钻井船、坐底式钻井船)和漂浮式结构物(如半潜式钻井船、浮式钻井船)两类。

(三) 系泊装置

系泊装置是一个系泊于海底的浮筒。浮筒与海底之间用若干锚链相连。系泊装置通常分为单锚腿系统(SALM)和悬链式锚腿系统(CALM)(图1-3)。系泊装置主要用于系泊海上油气储装设施和油气处理设施。系泊装置与设施之间用缆绳或刚臂连接。

(四) 海底井口底盘装置

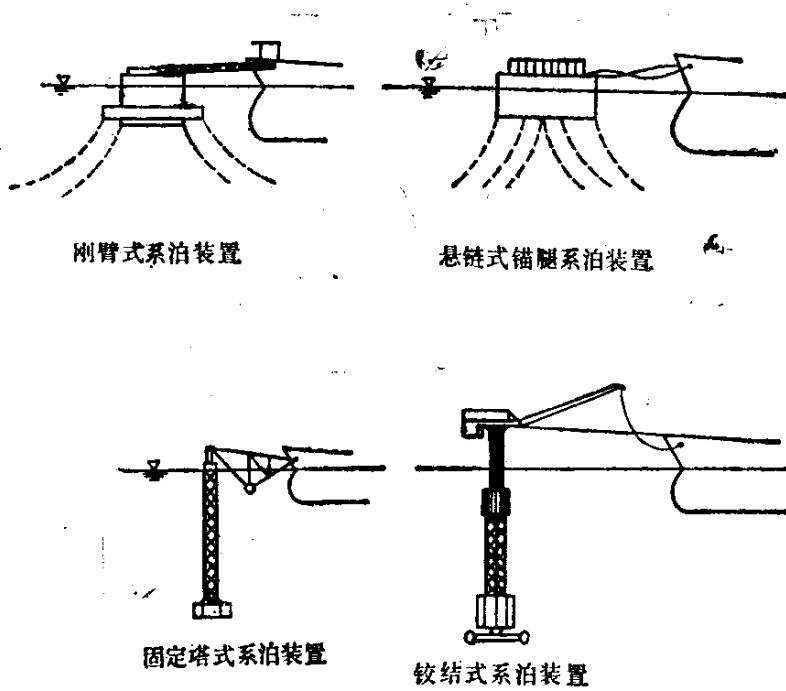


图 1-3 系泊装置

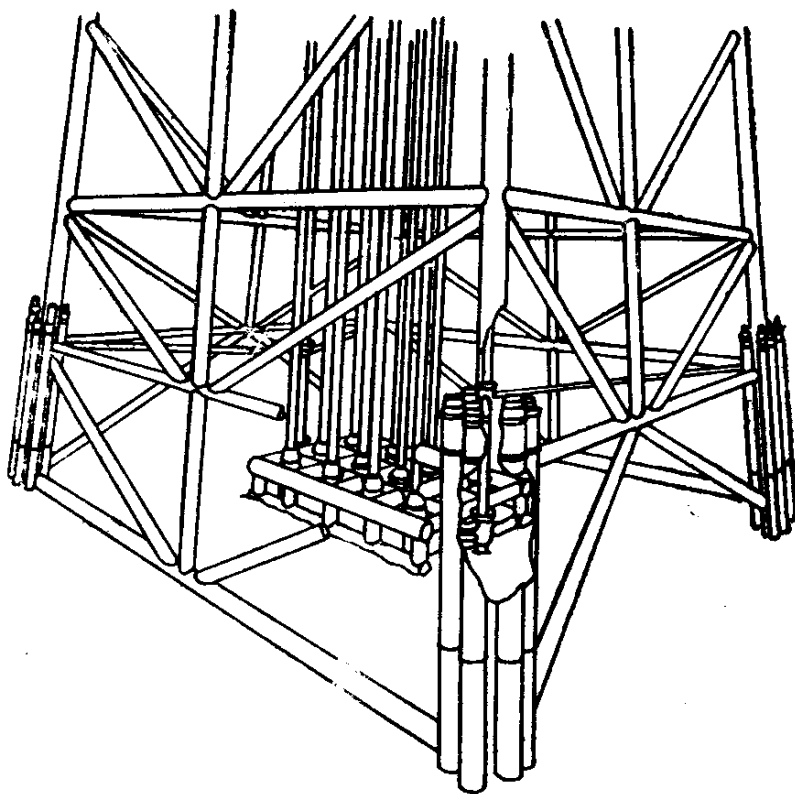


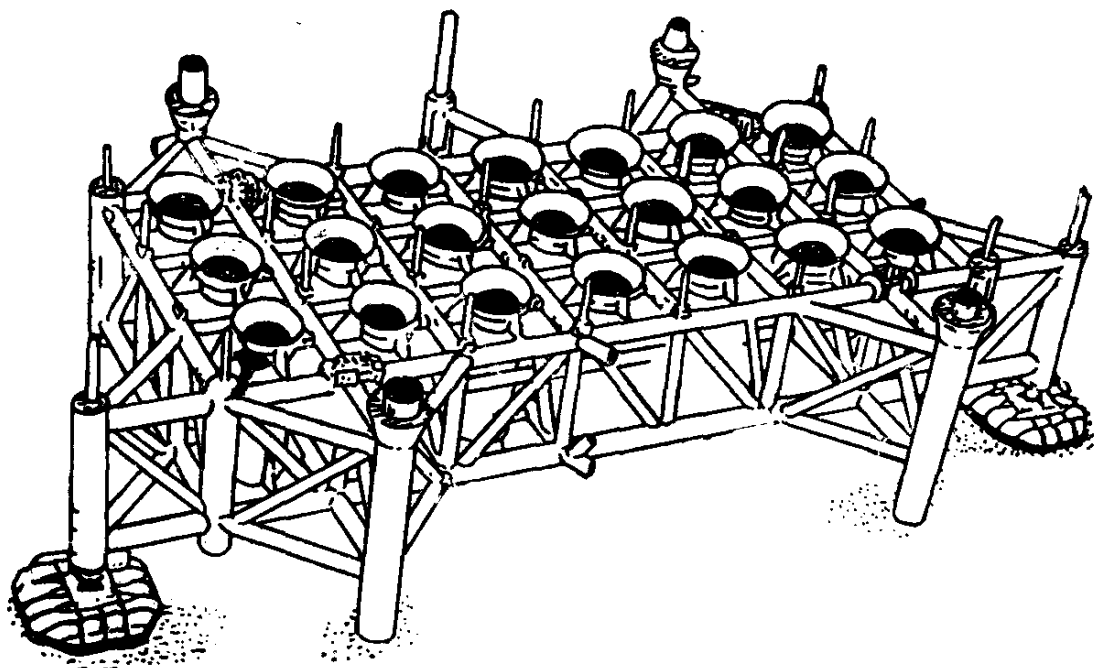
图 1-4

当采用固定式平台作为海上采油装置时，若平台安装后再钻生产油井，则开始出油时间要大大延长，如果采用井口底盘钻井，允许同时对固定式采油平台进行建造，在安装固定式采油平台时，已有一部分油井通过井口底盘进行预钻，这样就缩短了开始出油时间。井口底盘是固定于海底作为预钻井的水下装置，通过井口底盘钻井可以在水下完井，也可以把油井回接到采油平台上完井。海底井口底盘通常分为整体式、间隔式和组装式三种基本类型。

二、海洋工程结构物分类

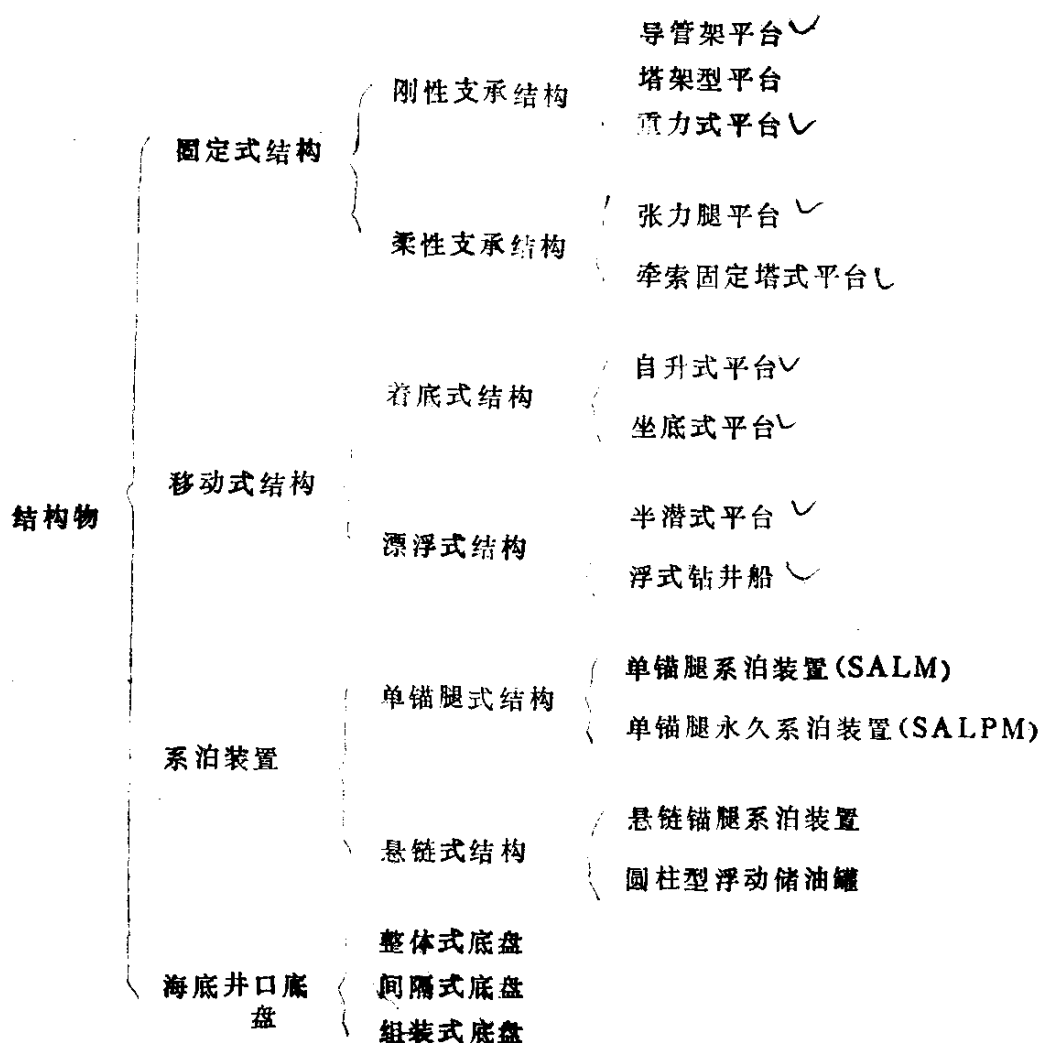
海洋工程结构物做为一个广义的概念，其分类是十分复杂的，任何分类都会被认为是不完善的、不能令人满意的。这里不想就广义概念进行分类，只是对用于海洋石油勘探与开发的结构物进行分类。

从设计的观点来看，它要受到使用要求和结构型式的影响。



海底井口底盘

因此，按结构物性能和结构型式，可做如下分类：



结构物也可以按结构所采用的材料和结构物的用途进行分类。

§ 1-3 海上固定式平台的发展

一、固定式平台的发展历史

世界上第一座固定式平台始建于1887年，它安装在美国加利福尼亚海岸由陆地延伸到海上的油田上，实际上这是一座木结构的栈桥。若从这一平台算起，海上固定式平台发展至今已有近百年的历史了。回顾平台发展的历史，大体经历了三个时期。

(一) 木结构平台时期

从第一个木结构平台问世直到第二次世界大战前，除委内瑞拉的马拉开波湖因腐蚀问题严重而采用过混凝土桩基平台外，近60年的时间里海上油气田开发一直采用木结构平台（图1-5）。

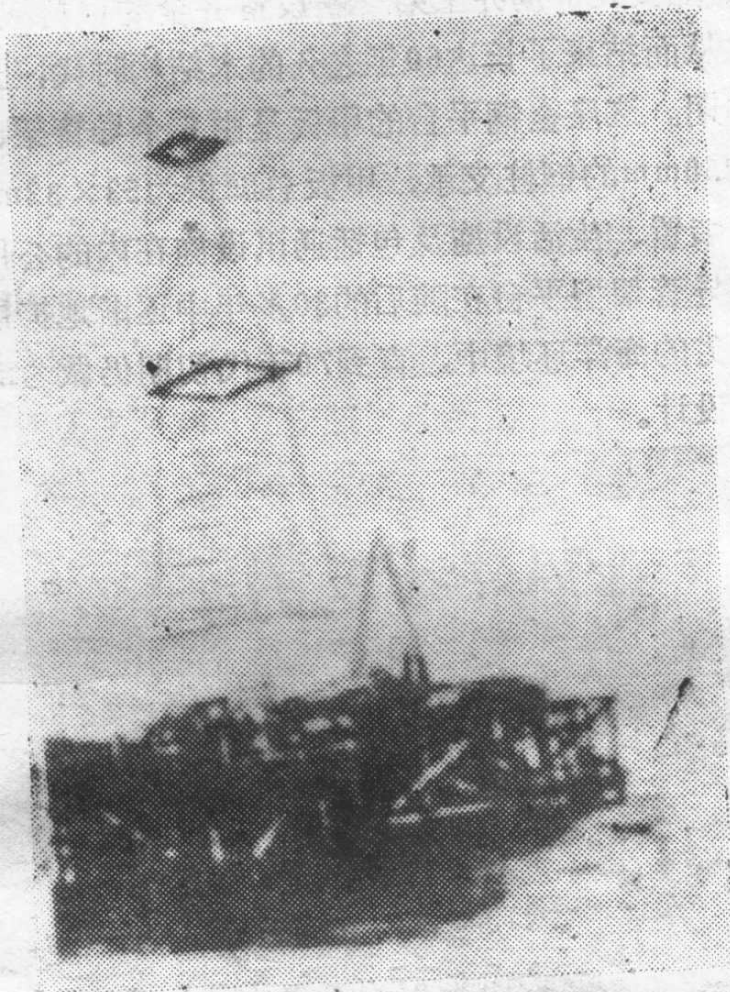


图 1-5 木结构钻井平台

这一时期的主要特点：

（1）平台一般都安装在自然条件较好、水面比较平静及水深较浅（一般3.0—4.5m）的岸边或内湖。

（2）平台建造方法比较简单，技术比较落后，设备比较原始。

（3）平台承载能力低，结构相当庞大。

这一时期油气开发比较活跃的地区主要集中在美国的墨西哥湾近岸、委内瑞拉的马拉开波湖和苏联的里海。由于当时的生产条件较差，技术比较低下，固定式平台发展极为缓慢。

(二) 钢结构迅速发展时期

第二次世界大战之后,战争中许多先进科学技术成果被应用到海洋开发中。1947年在美国墨西哥湾沃密林 (Vermilion) 水深6m处成功地安装了世界上第一座设备齐全的自持式的钢导管架型平台,从而结束了长达60年之久的木结构时代,开创了海洋开发的新时期。这座全钢平台的甲板是由6个导管架、267根直径为200—250mm的钢桩支承,甲板总面积为 $53 \times 33\text{m}^2$ 。甲板上布设有钻井装置、生活设施及包括通讯设施在内的公用设施(图1-6)。这种导管架型平台在随后的30多年中逐渐地扩展到更深的水域和更恶劣的海洋环境中,直到70年代初期仍做为海洋油气田开发的标准设计。

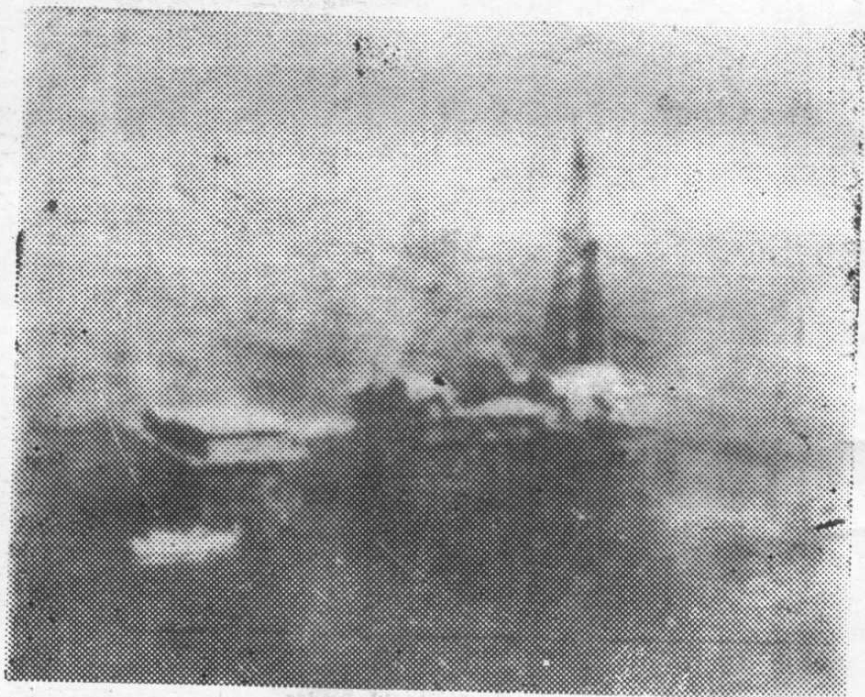


图 1-6 1947年安装在沃密林的导管架平台

这一时期的主要特点:

(1) 平台安装水深不断增加。50年代中期平台安装水深超过了30m; 50年代末期安装水深增加到60m; 60年代中期平台安装水深达到100m左右。但是,在随后一些年中,平台安装水深一直停留在100—150m左右。

(2) 桩的数目不断减少,桩径和桩的壁厚不断增加。70年代

初, 平台甲板通常由16根桩或8根桩支承, 桩的平均直径达到1220mm, 桩在泥面处壁厚约为32mm。

(3) 施工设备不断完善。为安装平台而建造的大型浮吊、为运送导管架下水的新型运输驳船以及为打桩而设计的打桩船不断更新, 其尺寸不断增大, 性能不断提高, 使平台安装周期大大缩短。

(4) 模块结构得到了迅速发展。平台甲板上设备通常在陆上按工艺布置安装在模块中, 然后把整个模块送往现场, 安放在平台甲板上, 这样大大减少了海上安装的工作量。

这一时期除了墨西哥湾、马拉开波湖继续大规模开发油气田外, 60年代初, 在欧洲北海南部地区发现了具有工业价值气田, 并于1966年在水深30m处安装了北海第一个导管架平台。同一时

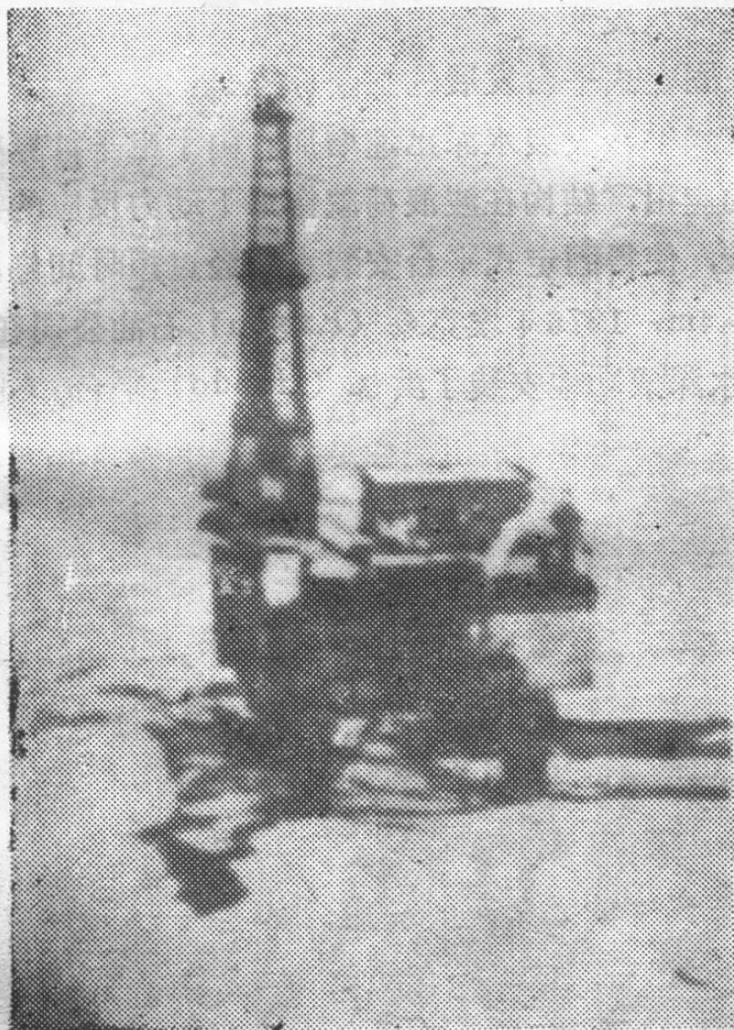


图 1-7 安装在库克湾的钻井平台