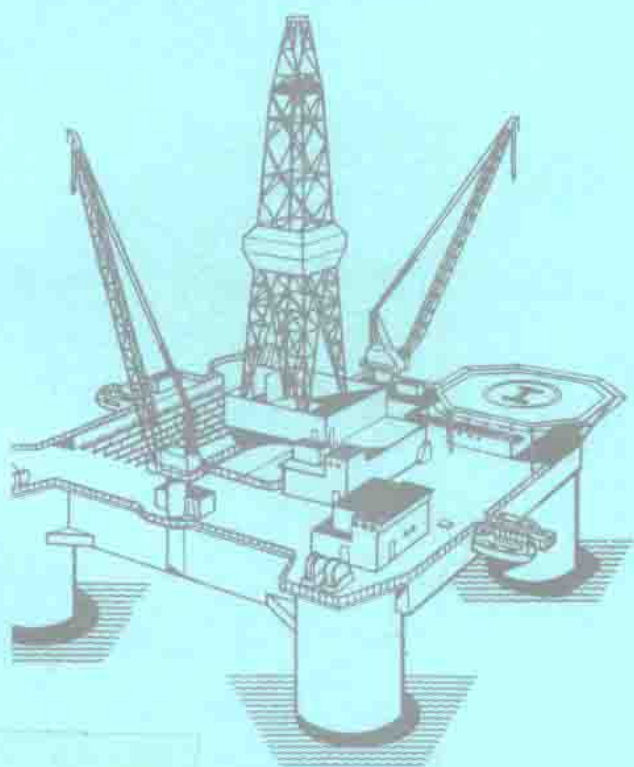


曾宪锦 编写 董恩环 审校

# 海上油气田生产系统



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

## 内 容 提 要

本书综合叙述了海上油气田三种生产系统的组成、特点、适用条件、应用现状及其发展趋势。对每种生产系统中所用设备的性能、结构、特点、设计原则及使用条件作了较为详细的论述。同时介绍了在选用生产系统时所要考虑的因素。

本书对从事海上油气田开发与开采的人员有很好的参考价值，并可作为海洋石油系统培训职工的基础教材。

## 海上油气田生产系统

曾宪锦 编写

董思环 审校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168 毫米 32 开本 7  $\frac{1}{4}$  印张 189 千字 印 1-1,000

1993 年 10 月北京第 1 版 1993 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0880-7 / TE · 822

定价：6.20 元

## 前 言

随着我国海洋石油工业的蓬勃发展,海上油气田的开发与生产进入了一个新阶段。

由于我国开发海上油气田起步晚,经验不足,广大科技与管理人员,渴求综合了解国外海上油气田开发与生产现状及发展趋势。鉴于目前系统地介绍这方面的资料较少,编者编写本书试图满足广大读者此种要求。

本书系统地介绍了国外开发海上油气田常用的典型的三大生产系统,尤其对固定平台和水下生产系统作了较为详尽的论述。对于以三大生产系统为基础所组成的综合生产系统也作了简单的介绍。

本书重点介绍三大生产系统所用设备的组成、性能、优缺点及适用条件。限于篇幅,没有系统介绍各种设备的设计原理和方法。

本书主要在收集国外资料的基础上汇编而成。固定平台、水下采油树和水下底盘种类繁多,名称不一,分类较杂,本书采用的一套命名与分类方法,仅供读者参考。

在编写过程中,还参考和引用了肖祖骐、陈利生、张旭晨、张奎英等同志提供的部分资料,汪汉琨同志给予了大力支持,在此表示衷心地感谢!

本书初稿于1987年完成,根据近几年来生产系统的发展,补充了一些新的资料。

本书曾作为中山大学海洋石油工程管理专业《海洋石油工程》教材。同时也可供海洋石油专业的大、中专学生及从事海上油气田开发、开采与工程建造的专业技术人员参考。

由于时间仓促,水平有限,错误和缺点在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1990年6月

# 目 录

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 第一章 绪论                | ( 1 )  |
| 第一节 固定平台生产系统          | ( 1 )  |
| 1. 刚性平台生产系统           | ( 1 )  |
| 2. 柔性平台生产系统           | ( 1 )  |
| 第二节 浮式生产系统            | ( 1 )  |
| 第三节 水下生产系统            | ( 2 )  |
| 1. 固定平台+浮式            | ( 2 )  |
| 2. 固定平台+水下式           | ( 3 )  |
| 3. 浮式+水下式             | ( 4 )  |
| 4. 固定平台+浮式+水下式        | ( 5 )  |
| 第二章 固定平台生产系统          | ( 9 )  |
| 第一节 固定平台生产系统的组成       | ( 9 )  |
| 一、平台                  | ( 9 )  |
| 1. 平台的类型              | ( 9 )  |
| 2. 平台上的油气水处理系统        | ( 35 ) |
| 3. 平台的腐蚀与防护           | ( 52 ) |
| 二、单点系泊系统              | ( 55 ) |
| 1. 单点系泊系统的类型          | ( 55 ) |
| 2. 单点系泊系统的优点          | ( 78 ) |
| 3. 单点系泊系统的安装          | ( 79 ) |
| 第二节 固定平台生产系统的应用现状及其特点 | ( 80 ) |
| 一、钢导管架平台              | ( 80 ) |
| 1. 使用数量每年增多           | ( 80 ) |
| 2. 结构形式多种多样           | ( 80 ) |
| 3. 使用水深不断增加           | ( 84 ) |
| 4. 生产能力不断扩大           | ( 85 ) |
| 二、重力式平台               | ( 86 ) |
| 第三章 浮式生产系统            | ( 91 ) |
| 第一节 什么是浮式生产系统         | ( 91 ) |

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 第二节 浮式生产系统的类型      | (91)  |
| 一、以油轮为主体的浮式生产系统    | (91)  |
| 二、以半潜式平台为主体的浮式生产系统 | (91)  |
| 三、以张力腿平台为主体的浮式生产系统 | (92)  |
| 四、以自升式平台为主体的浮式生产系统 | (93)  |
| 第三节 浮式生产系统的主要设备    | (94)  |
| 一、半潜式平台            | (94)  |
| 二、油轮               | (97)  |
| 三、张力腿平台            | (99)  |
| 四、自升式平台            | (103) |
| 五、采油立管             | (104) |
| 六、定位系统             | (107) |
| 七、浮式生产系统的油气水处理系统   | (111) |
| 第四节 浮式生产系统的优点      | (119) |
| 第五节 浮式生产系统的应用现状    | (119) |
| 第六节 浮式生产系统的主要进展    | (129) |
| 第七节 浮式生产系统今后的研究方向  | (136) |
| 第四章 水下生产系统         | (138) |
| 第一节 水下生产系统的定义及历史   | (138) |
| 第二节 水下生产系统所用的主要设备  | (139) |
| 一、水下采油树            | (139) |
| 1. 水下采油树的类型        | (139) |
| 2. 水下采油树的主要部件      | (156) |
| 3. 水下采油树的设计要求      | (165) |
| 4. 水下采油树的选用原则      | (167) |
| 二、水下管汇             | (168) |
| 三、水下管汇中心           | (169) |
| 四、水下底盘             | (181) |
| 1. 水下底盘的作用         | (181) |
| 2. 水下底盘的类型         | (182) |
| 3. 水下底盘的设计         | (187) |
| 4. 水下底盘的安装         | (188) |
| 5. 水下底盘的调平         | (190) |
| 6. 水下底盘的选用原则       | (191) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 五、海底管线·····               | (193) |
| 1. 海底管线的种类·····           | (193) |
| 2. 海底管线的铺设方法·····         | (195) |
| 六、水下分离器·····              | (202) |
| 第三节 水下生产系统的控制系统·····      | (205) |
| 一、控制系统的功能·····            | (205) |
| 二、控制系统的主要组成部分·····        | (205) |
| 三、控制系统的类型·····            | (206) |
| 1. 直接液压控制系统·····          | (206) |
| 2. 导向液压控制系统·····          | (206) |
| 3. 程序液压控制系统·····          | (208) |
| 4. 电动液压控制系统·····          | (209) |
| 5. 复合电动液压控制系统·····        | (212) |
| 6. 声波控制系统·····            | (212) |
| 第四节 水下完井系统的修井·····        | (215) |
| 一、修井的内容·····              | (215) |
| 二、修井的方法·····              | (215) |
| 1. 钢丝绳法·····              | (215) |
| 2. TFL 法·····             | (216) |
| 第五节 对水下生产系统的全面要求·····     | (218) |
| 第六节 水下完井系统的使用范围·····      | (219) |
| 第七节 水下完井系统的使用现状及发展趋势····· | (219) |

# 第一章 绪 论

自 70 年代以来, 由于对油气的需要量急剧增长, 促进了海洋石油工业的飞速发展。在传统的固定平台开采的基础上, 出现了一些新的结构形式, 并已逐步发展成为三种典型的海上油气田生产系统。

## 第一节 固定平台生产系统

所谓固定平台生产系统是指该系统中的主要设备—平台, 固定于海底, 对其产生支承压力的生产系统。该生产系统是世界上用得最早而且较为广泛的一种生产系统。在固定平台上用来开采海上油气田的各种工艺流程 (如注水、注气、油气水处理等) 和设备基本上与陆上油田相似。

固定平台生产系统经过近四十年的使用, 根据固定平台型式的不同, 已经发展成以下几种主要生产系统:

### 1. 刚性平台生产系统

- (1) 桩基式平台生产系统;
- (2) 重力式平台生产系统;
- (3) 混合式平台生产系统。

### 2. 柔性平台生产系统

主要为缆绳塔式平台生产系统。

## 第二节 浮式生产系统

这是 70 年代以来发展较快的一种生产系统。它以移动式浮体为主体, 在其上放置生产和处理设施, 收集、计量和处理来自

海底井的油气。这种生产系统的出现，不仅加快了海上油气田的开发速度，而且可作为“早期生产系统”以降低开发费用，及早回收投资。使过去用固定平台开发不经济的边际油田也能开发利用。

十多年来，这种系统得到了不断地完善和提高。根据浮体型式不同，逐步形成了以下几种类型浮式生产系统：

- (1) 以半潜式平台为主体的浮式生产系统
- (2) 以油轮为主体的浮式生产系统
- (3) 以张力腿平台为主体的浮式生产系统
- (4) 以自升式平台为主体的浮式生产系统

### 第三节 水下生产系统

这种系统主要包括水下完井、水下底盘、水下管汇（或水下管汇中心）、海底管线和水下分离器等。从装有水下采油树的海底井出来的油气，经海底管线到水下管汇（或水下管汇中心）进行计量、收集，再经水下分离器初步处理，然后通过海底管线或油轮运往岸上做进一步处理。目前，这套系统主要是水下完井系统（即采用水下采油树完井的系统，分干式和湿式二种）。在大多数的情况下，它可与固定平台或浮式生产系统结合使用。

自六十年代中期以来，对水下完井系统进行了广泛的研究，水下采油树的类型和结构日益完善，控制系统的可靠性逐步增加，水下完井系统的修井技术逐步发展和提高。这种完井系统不仅用于卫星井或作为浮式生产系统的组成部分，而且也可作为独立的生产系统用于开发小油田。

由于油田特征、地理位置和海洋环境的不同，往往采用上述三种中某一种单一的生产系统不能满足油气田开发的需要，因此在实践中经常采用上述几种生产系统的综合形式。主要有以下几种类型：

#### 1. 固定平台+浮式

这种类型的生产系统由一座或几座不同功能的平台（如放置采油树，收集、计量或初步处理生产出的流体）和具有处理、生产（如注气、注水）、生活等功能的浮体（油轮或半潜式）等组成。例如我国北部湾的涠103油田，有一座井口平台（采油树放在平台甲板上）和一艘油轮（具有处理、生活、注水、注气等功能）。流体从油井出来后，在平台上经过简单的计量收集和处理后，经海底管线输往油轮进一步处理，再用穿梭油轮运走（图1-1）。

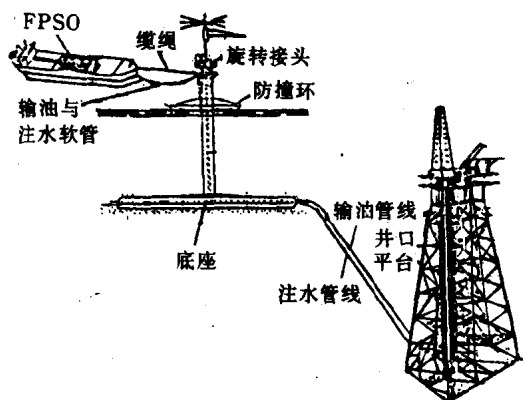


图 1-1 固定平台+浮式生产系统

## 2. 固定平台+水下式

这种类型的生产系统由一座或数座固定平台和一口或数口采用水下完井（底盘井和/或卫星井）的油气井组成。当水比较深，海况恶劣，同时转投产的探井、评价井、边缘井或注水井用固定平台管辖不到时，就可以采用这种生产系统来开发油气田。如为了开发北海 Beryl 油田以西 6~8km 的 Ness 油田。利用该油田的探井、评价井和注水井各一口作为水下完井，把油气输往 Beryl 油田的 B 平台，构成固定平台+水下式生产系统。该油田日产油  $3180\text{m}^3/\text{d}$ 。（图 1-2）。<sup>[1]</sup>

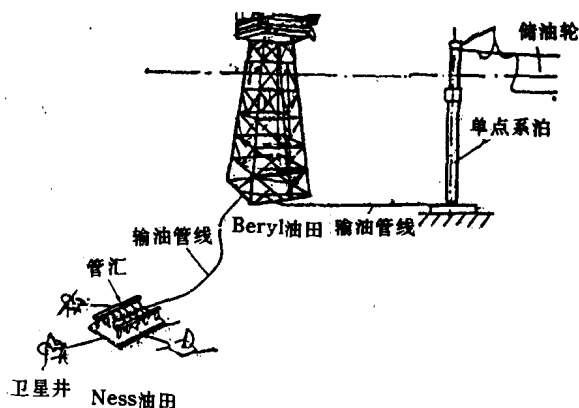


图 1-2 固定平台+水下式生产系统

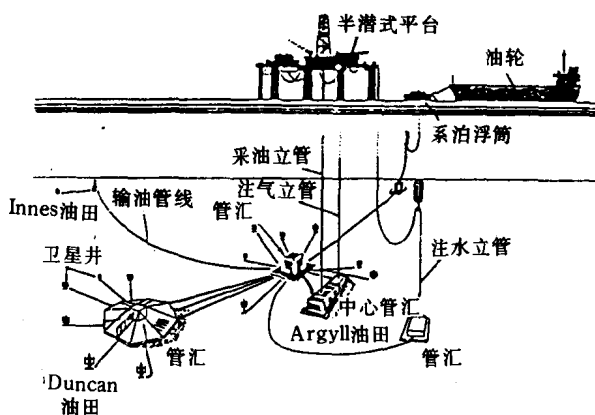


图 1-3 浮式+水下式生产系统

### 3. 浮式+水下式

该种类型的生产系统由一座具有生产（注气、注水）、处理、生活、遥控等功能的浮体（半潜式或油轮等）和水下完井系统组成。当前世界上采用的浮式生产系统绝大多数都是这种类型的生产系统。在把采油树放在浮体上的很多技术问题（例如浮体

的升沉波动问题)还没有解决之前,水下完井(把采油树放在海底)系统是浮式生产系统的不可缺少的组成部分。如英国北海30/24区块的三个油田(Argyll, Duncan 和 Llnes)共用了一套该种类型的生产系统。从三个油田的水下卫星井中产出的性质不同的流体分别通过各自的输油管线和遥控水下管汇回输到水下中心管汇,再通过刚性立管上升到半潜式生产装置进行处理和稳定后输往系泊于单浮筒系统的穿梭油轮(图1-3)<sup>[2]</sup>。

#### 4. 固定平台+浮式+水下式

该种类型的生产系统由一座或数座井口平台、一艘生产、贮油、卸油轮和数口水下完井组成。例如埃及近海的苏伊士湾南部的 Geisum 油田就是采用这种类型的生产系统进行开发的。该油田包括一座中心井口平台(WP-1平台)、三口水下卫星井和一艘生产、贮油、卸油轮。从水下卫星井产出的流体经4英寸输油管线输往中心井口平台(WP-1),经过计量、收集和简单处理后,通过8英寸管线输往永久系泊的生产贮油卸油轮作进一步的处理后,由穿梭油轮运走(图1-4)<sup>[3]</sup>。

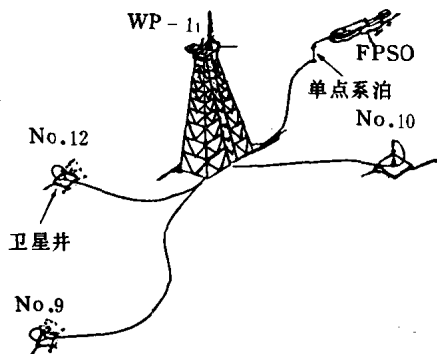


图1-4 固定平台+浮式+水下式生产系统

海上油气田生产系统类型见图1-5。

上面所述的三种生产系统各有其特点及适用条件,在选用时应根据本油田的具体情况,按照投资少的原则,综合考虑各种因

素，对每种生产系统进行可行性研究，经过对比分析，最后筛选出一种至几种单一的或综合的较为有效的方案。

在选用时，应该考虑的主要因素是：

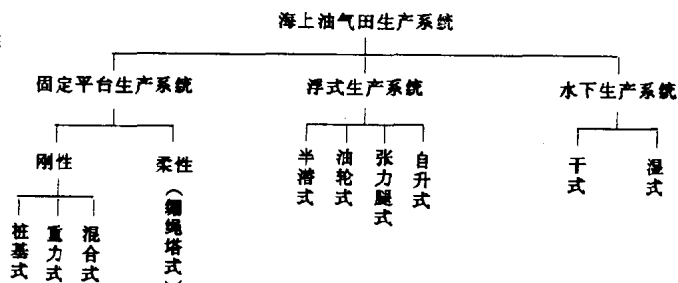


图 1-5 海上油气田生产系统类型

### (1) 水深

水深对选择方案有重大影响，从经济的角度出发，在浅水中（小于 300m），常选用固定平台生产系统（钢导管架平台或重力式平台）。在深水中（大于 300m），由于上两种平台费用急剧上升（图 1-6），故一般不考虑选用，多考虑浮式生产系统<sup>[4]</sup>。

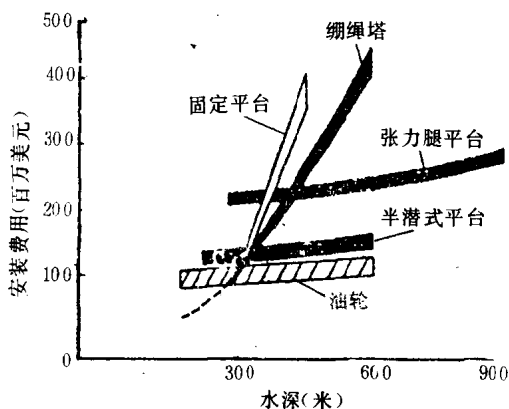


图 1-6 各种生产系统费用比较

## (2) 油田地理位置及规模

如果是离岸较远，且储量较少的边际油田，可考虑选用浮式生产系统。因浮式生产系统装置可重复使用。如果油田靠近已开发的油田，有现有的海底管线，不必贮油，则选用浮式生产系统中的张力腿式或半潜式，不选用油轮式（如墨西哥湾的浮式生产系统多选用半潜式）。

如果离岸较近，一般多考虑用固定平台生产系统。

## (3) 开发油田所需的井数

根据每种生产系统的平台或浮体最多所能容纳的井数不同，而选用不同的生产系统。固定平台生产系统容纳的井数最多（最多 96 口），浮式生产系统所容纳的井数最少（张力腿为 40 口，半潜式为 25 口，油轮式为 20 口），所以在选用时应根据每种生产系统最多所容纳的井数来考虑。例如，墨西哥湾用钢导管架平台，绷绳塔式平台和张力腿平台可以满足所需井数。但对于深水油藏面积大，用一个单平台生产面积又稍小，也不经济，井数又可以满足时，则可考虑用半潜式浮式生产系统。

## (4) 海况条件

对环境恶劣的浅水中小油田，可考虑钢导管架平台，对深水中大油田，可考虑张力腿平台或绷绳塔式平台。用半潜式或油轮式浮式生产系统，对环境恶劣的海况条件适应性不如前两种平台。

## (5) 修井的要求

水下井的维修费用高，所以在选用时尽量考虑井口能放在平台上的生产系统（如固定平台生产系统和张力腿浮式生产系统），不考虑采油树放在海底的半潜式或油轮式浮式生产系统。

## (6) 海底地形

对于海底地形平坦，土质坚硬的海域可考虑采用重力式平台（如北海的挪威海域）。对于土质松软，海底不平坦的海域，则不宜考虑（如墨西哥湾）。

### (7) 生产介质和采油工艺要求

对于气井、凝析油井、出砂井、作业频繁井，需要用电潜泵或水力活塞泵开采的井，尽量不考虑选用浮式生产系统，因采用水下完井有许多技术问题还没有完全解决。

### 主要参考文献

- [1] OTC 5723, 1988 年。
- [2] OTC 5693, 1988 年。
- [3] OTC 5585, 1987 年。
- [4] OGJ, 1986 年 5 月 5 日。

## 第二章 固定平台生产系统

### 第一节 固定平台生产系统的组成

典型的固定平台生产系统主要包括平台（采油树安装于甲板上）、单点系泊系统、回接到平台的采油立管系统、水下底盘、水下管汇、油轮（贮油轮和穿梭油轮）、海底管线和底盘井等（见图 2-1）。

从位于水下底盘上的油（气）井生产出来的流体，经采油立管上升到平台，经计量和处理后再经采油立管和输油管线流往单点系泊，再经单点系泊流入系于其上的油轮，用穿梭油轮运走。

#### 一、平台

用于生产作业的平台叫生产平台。它的作用是从海上油、气生产性的开采、

处理、贮藏、监控、计量等作业。一个平台有的只具有一种功能。有的有多种功能，也有的由几种不同功能的平台用引桥相连组合成的多平台生产系统。

#### 1. 平台的类型

固定式海上采油平台，是用桩基、沉垫基础或其它方法固定在海底面上指定位置并对其产生支承压力的结构物。

固定式生产平台随着使用情况、海洋环境和建筑材料的不同又分为许多类型。

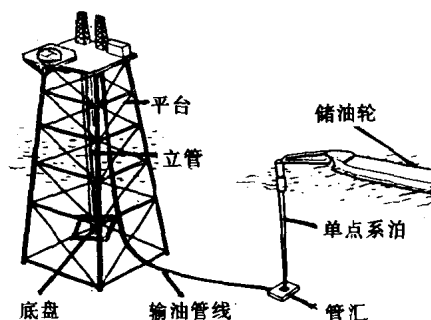


图 2-1 固定平台生产系统

## (1) 刚性平台

所谓刚性平台是指在海洋环境载荷作用下不发生偏移稳座于海底的平台。它分为以下两大类：

### 1) 桩基式平台

#### ① 导管架式平台 (见图 2-2)

##### a. 组成部分

##### (a) 导管架

是由若干直立的和具有一定斜度的导管由横向、斜向连杆联成一体的框架结构，如图 2-3。导管的数目和位置与桩的数目和位置相同，导管的内径略大于桩的外径。导管架的主要作用：

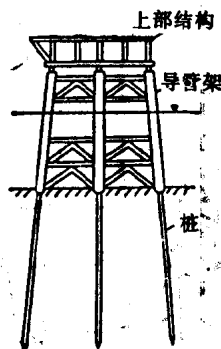


图 2-2 导管架式平台

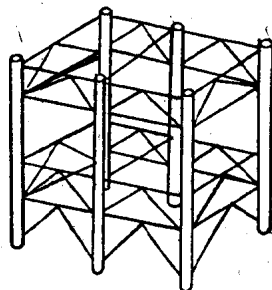


图 2-3 导管架结构示意图

a) 在工时，作为打桩定位和导向的工具，使桩群在施打过程中就有一定的相互联系。

b) 在结构上，导管架本身的刚度可以提高平台结构的整体性，且能使平台上部的负荷比较均匀地传递到桩上。

c) 在使用上，还可以安装靠船设备，以供应船舶系靠平台时用。

d) 在平台施工安装上部结构时，可利用导管架架设临时工作平台，有利于施工进度的加快和安全。

##### (b) 桩

桩是带尖的钢桩。要用桩锤打入海底。它承担着平台的全部重量，并通过桩周的摩擦力和桩尖阻力，将这一负荷传递给基土层，桩承受垂直负荷的能力叫轴向承载力，它的大小既取决于桩的长短，桩身截面形状和材料，同时也取决于地基土壤的性质。当海底淤泥下面不深处就有硬层时，只要把桩尖打至硬土层就行，这种桩叫做支承桩。当海底没有硬层时，桩的轴向承载力主要靠桩身四周和土壤之间的摩擦力来提供，如图 2-4 (a) 所示，所以这种桩叫摩擦桩。如果摩擦桩的轴向承载力不够，还可采用扩大桩尖的办法，就是在已打好的桩尖下面放置炸药，并且在桩筒中充填混凝土，炸药爆炸后，把桩尖处的土壤炸出一个较大的孔洞，桩筒中尚未凝固的混凝土在自重作用下迅速下落，把孔洞填满，待混凝土凝固后，就形成扩大的桩尖，而增加了桩的轴向承载力，如图 2-4 (b) 所示。

除垂直负荷外，桩还要承受由风、波、海流、冰等产生的巨大的水平推力。垂直的桩承受水平推力的能力有限，所以全部直桩的平台目前已很少采用。位于四周的桩都改成向外倾斜的，如图 2-2 所示。斜度越大，对抵抗水平荷载和改善桩的受力条件越好，同时也加大了平台在海底的支承面积，因而增加了平台抵抗倾复的稳定性。但斜度过大，又会造成海上施工的困难。

平台究竟用多大的桩径，多少根桩要根据平台的工作条件。

对抗冰平台，宜采用长桩，桩数要少，因而桩径较粗，以增大桩基承受力。并尽可能使四周的桩具有一定的斜度，最大坡度为 1:8~1:11 左右。对考虑搬迁的平台，一般不考虑抗冰要求，

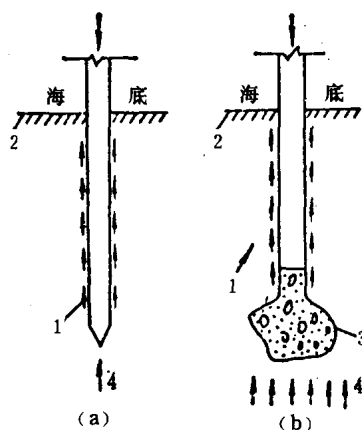


图 2-4 两种摩擦桩

- 1—桩周摩擦力；2—地面；  
3—混凝土；4—桩尖抗力