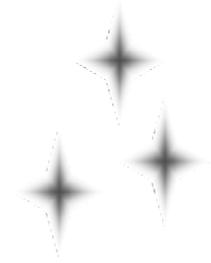




中国石油大学(北京)



# 海洋石油工程

## 第二章 海上钻井装置

石油天然气工程学院

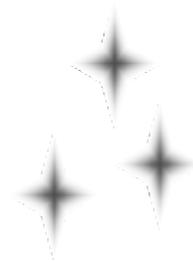
檀朝东

[tantcd@126.com](mailto:tantcd@126.com)

13801331255



## 第二章 海上钻井装置



### 第一节 海洋钻井概述



### 第二节 固定式钻井平台

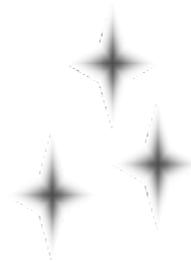


### 第三节 移动式钻井平台



## 第二节 固定式钻井平台

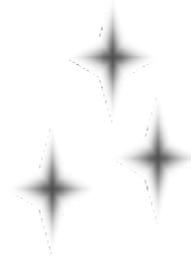
---



**固定式钻井平台**，固定于海底，在整个使用寿命期内位置固定不变，不能再移动。主要用于有工业油流的油田，一般工作水深在**20m**左右（如渤海早期的埕北A/B钻井平台）。某些钻采综合固定平台的工作水深超过**90m**，但平台建造费用较高。固定式平台的结构特点是通过**管架结构**在海底将平台固定。



## 第二节 固定式钻井平台



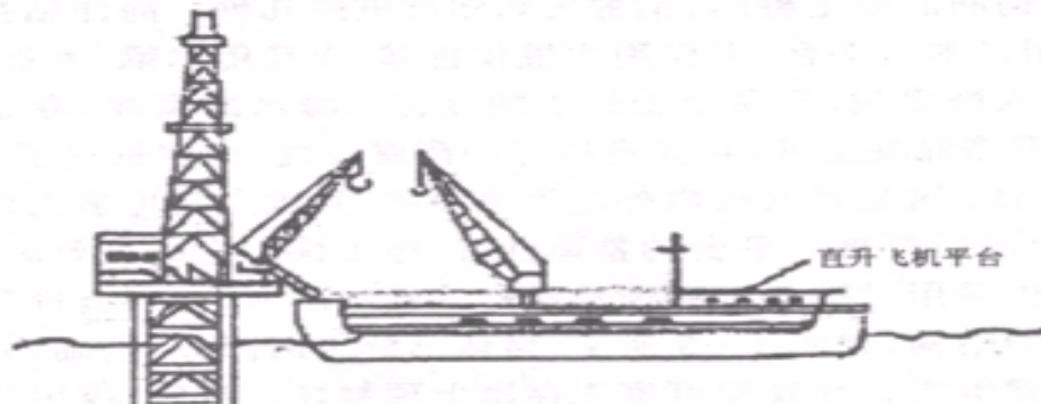
固定平台按照自给程度不同，分为：**自容型海洋型钻井平台**和**带辅助船的小型钻井平台**两类。

**自容型固定平台**型体尺寸较大，它能容纳全部钻井设备及一切队、附属设施，包括各种仓库及生活设施。因此，需要平台的面积大，建设费用高。为了缩减这类平台的面积，多做成**双层平台**的型式。



## 第二节 固定式钻井平台

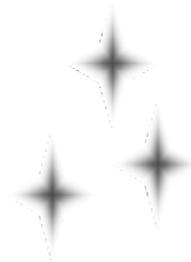
带辅助船的小型固定钻井平台则将部分设备和材料放在辅助船上，以减小平台的尺寸。这种小型平台建筑面积可以达到最小限度。一般只将井架、绞车、动力联动机及其附属设备放在平台上，而其它设施及食宿等都设置在辅助船上。它的优点是平台的投资少，体积小，便于施工，而且当钻完一口油井后，辅助船可以很快转移到另一井位，钻井平台可转化为采油平台使用。



带辅助船的固定式钻井平台



## 第二节 固定式钻井平台



固定式平台的结构特点是通过管架结构于海底将平台固定。它的主要类型有：

- 按导管架结构分：直桩式、直桩-斜桩式、联结式。

- 按桩柱结构分：木桩、钢桩、混凝土。

混凝土桩要先预制好，再在海上打桩。现在的钢管桩都要在管中加注混凝土。

- 按打桩的设施分：带桩架、不带桩架。

- 按设备布置分：带浮船、不带浮船。

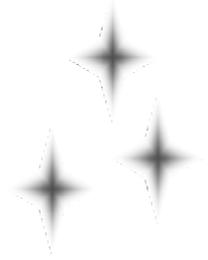
- 按结构特点可以分为：导管架式、重力式、张力式和绷绳塔式四类。

下面主要围绕着这种分类方法进行讲解。



## 第二节 固定式钻井平台

---

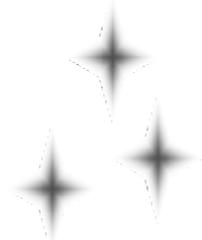


- 一、导管架平台的结构组成
- 二、导管架平台的海上安装
- 三、重力式平台的结构特点与组成
- 四、张力式平台的结构特点与组成
- 五、绷绳塔式平台的结构特点与组成



中国石油大学(北京)

## 固定式钻井平台——导管架式

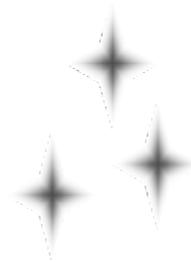


导管架型平台在软土地基上应用较多的一种桩基平台。



# 导管架平台的结构组成

---



**导管架型平台**在软土地基上应用较多的一种桩基平台。

**导管架型平台**是先在地上用钢管焊成一个锥台形空间框架，然后驳运或浮运至海上现场，就位后将钢桩从导管内打入海底，再在顶部安装甲板而成。

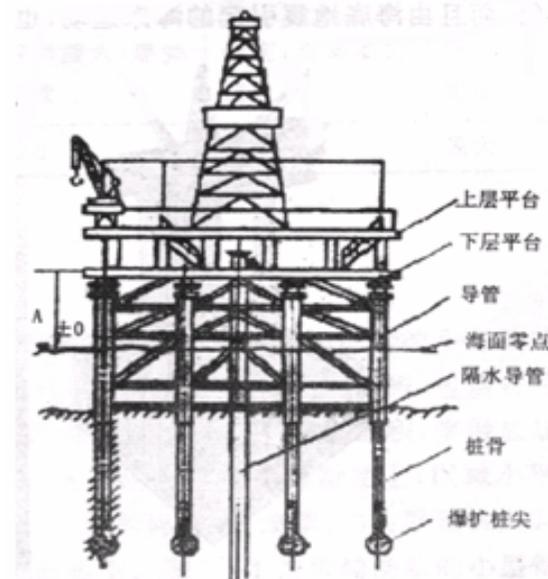
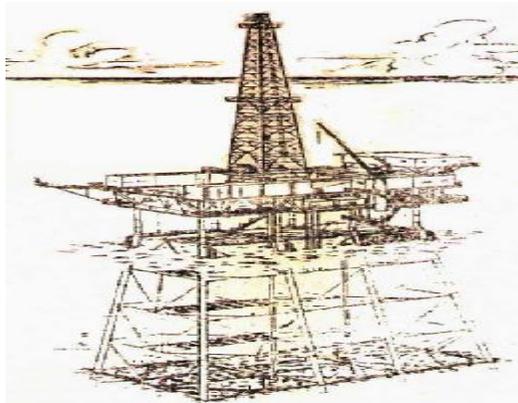
**导管架式钻井平台**所采用的建筑材料不同，有木桩的，钢筋混凝土桩的，钢桩的和铝质桩的几种。



# 导管架平台的结构组成

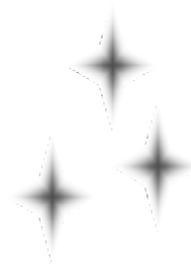
由上部结构（即平台甲板）和基础结构组成。

- 上部结构：一般由承受作业机械（机器）和其它载荷的上下层平台甲板和层间桁架或立柱构成。甲板上布置成套钻采装置及辅助工具、动力装置、泥浆循环净化设备、人员的工作、生活设施和直升飞机升降台等。平台甲板的尺寸由使用工艺确定。



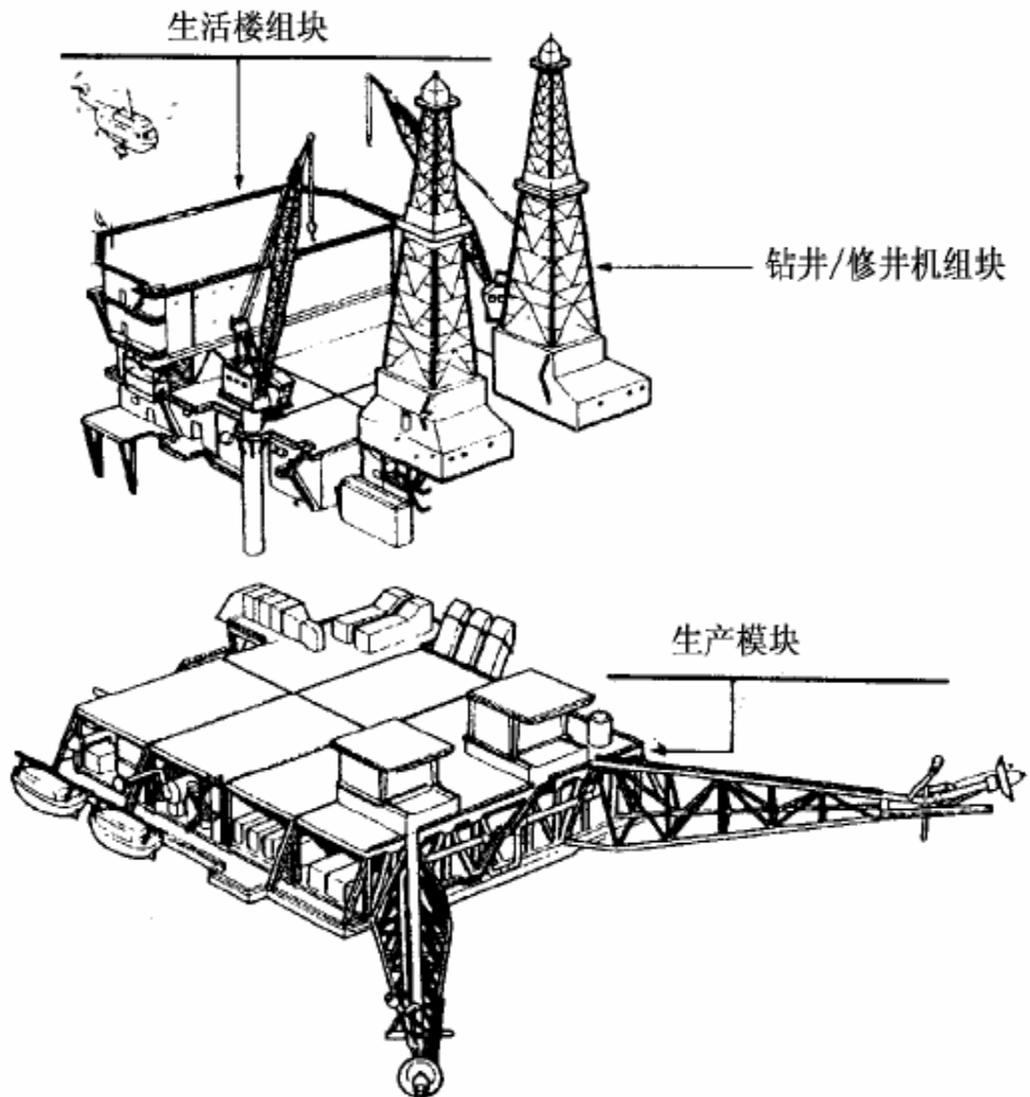


# 上部结构



Ø 上层平台：用作安放井架、绞车、钻具、生活设施和直升飞机升降台等；

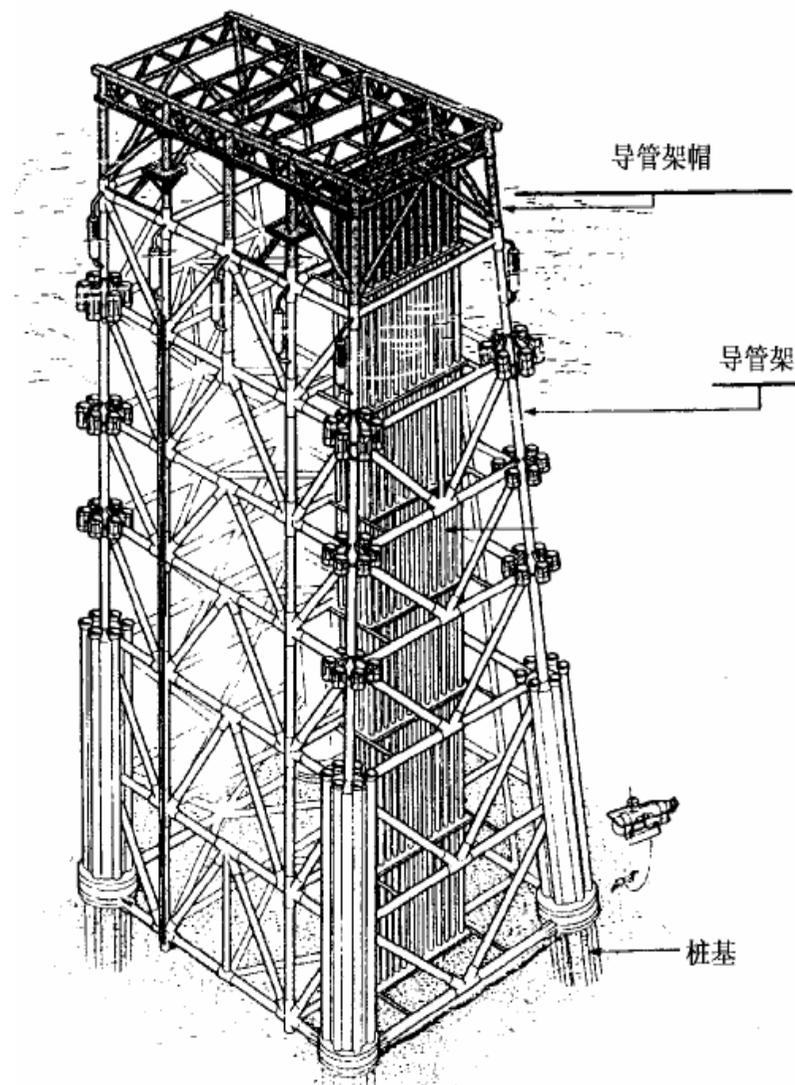
Ø 下层平台：安放泥浆泵、泥浆池、防喷器、发电房、固井设备、仓库等；





# 导管架平台的结构组成

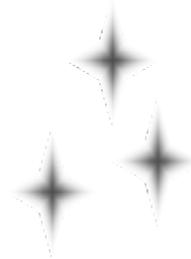
基础结构（即下部结构）。包括导管架和桩。





## 基础结构

---



导管架可事先在岸上预制好。然后，或用驳船运至目的地，或依靠中空的浮力拖至目的地，下沉并坐在海底上。再将桩管由导管内插入，并用打桩机打入海底一定深度。桩支承全部荷载并固定平台位置。

桩数、长度和桩径由海底地质条件及荷载决定。

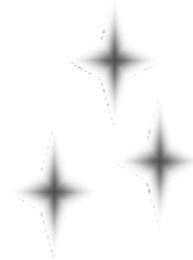
导管架立柱的直径取决于桩径，其水平支撑的层数根据立柱长细比的要求而定。

在冰块飘流的海区，应尽量在水线区域（潮差段）减少或不设支撑，以免冰块堆积。



## 导管架的作用

---

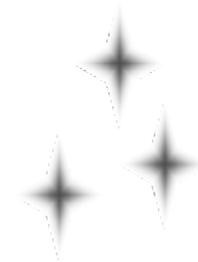


- Ø 支承上部结构
- Ø 作为打桩定位和导向的工具
- Ø 将平台上面的负荷比较均匀地传递到桩上
- Ø 可安装系靠船的设备
- Ø 可作为安装上部结构时的临时工作平台



# 桩

---



用于承受平台的垂直重量及水平环境推力。

桩可分为：

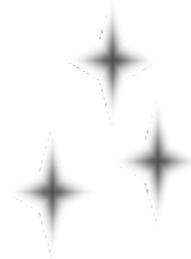
∅ 支承桩

∅ 磨擦桩



## 导管架平台的结构组成

---



对深海平台，还需进行结构动力分析。

结构应有足够的刚度以防止严重振动，保证安全操作。

应考虑防腐蚀及防海生物附着等问题。

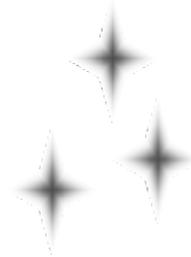
导管架焊接管结点的设计是一个重要问题，有些平台的失事，常由于管结点的破坏而引起。

管结点是一个空间结点，应力分布复杂；近年应用谱分析技术分析管结点的应力，取得较好的结果。



## 导管架平台

---



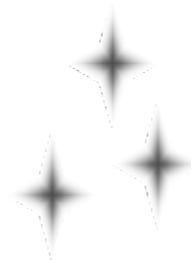
**钢质导管架式平台**通过打桩的方法固定于海底，它是目前海上油田使用最广泛的一种平台。使用水深一般小于300米，自1947年第一次被用在墨西哥湾6米水域以来，发展十分迅速，到1978年，其工作水深达到312米，目前世界上大于300米水深的导管架平台有7座。

其**优点**是可事先做成导管架形式，在岸上预制好，然后到海上进行打桩。平台的整体性好，施工快。它的主要**缺点**是抗海水腐蚀性能差。所以，有的地方，曾采用过抗海水腐蚀性能好的铝制平台，但因造价昂贵，未能普遍应用。



## 第二节 固定式钻井平台

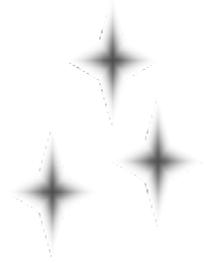
---



- 一、导管架平台的结构组成
- 二、导管架平台的海上安装
- 三、重力式平台的结构特点与组成
- 四、张力式平台的结构特点与组成
- 五、绷绳塔式平台的结构特点与组成



# 导管架平台的海上安装



导管架平台的海上安装包括：

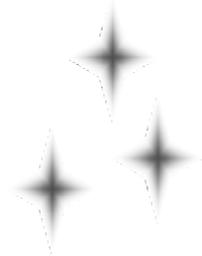
- Ø 导管架的运送、就位及安装；
- Ø 导管架帽安装；
- Ø 平台上部模块的安装。

海上吊装





## 导管架平台的海上安装



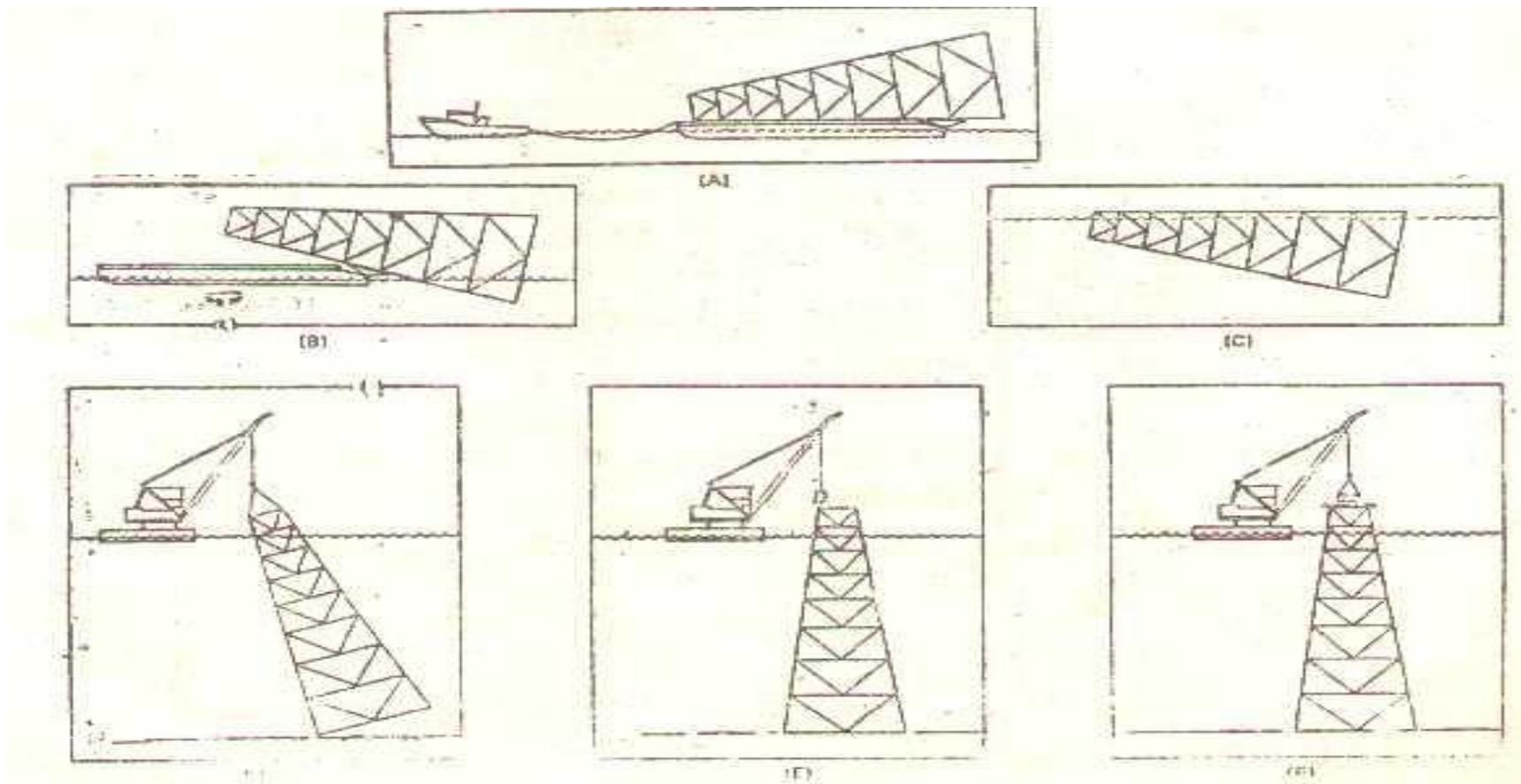
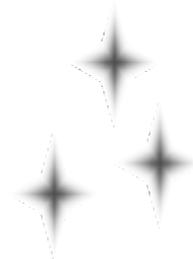
导管架平台的施工是一个复杂的过程，主要工序是结构物陆上预制与海上安装。海上安装包括海上运输和海上安装两部分。导管架和组块用驳船或其它方式运到油田现场，先将导管架沉放到预定位置，打桩固定，再将导管架帽安装在导管架上，最后用起重船将上部模块装到导管架帽上。

海上吊装





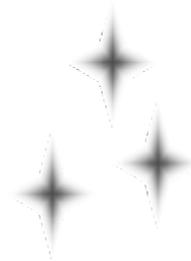
# 导管架的运送、就位及安装





# 导管架的安装

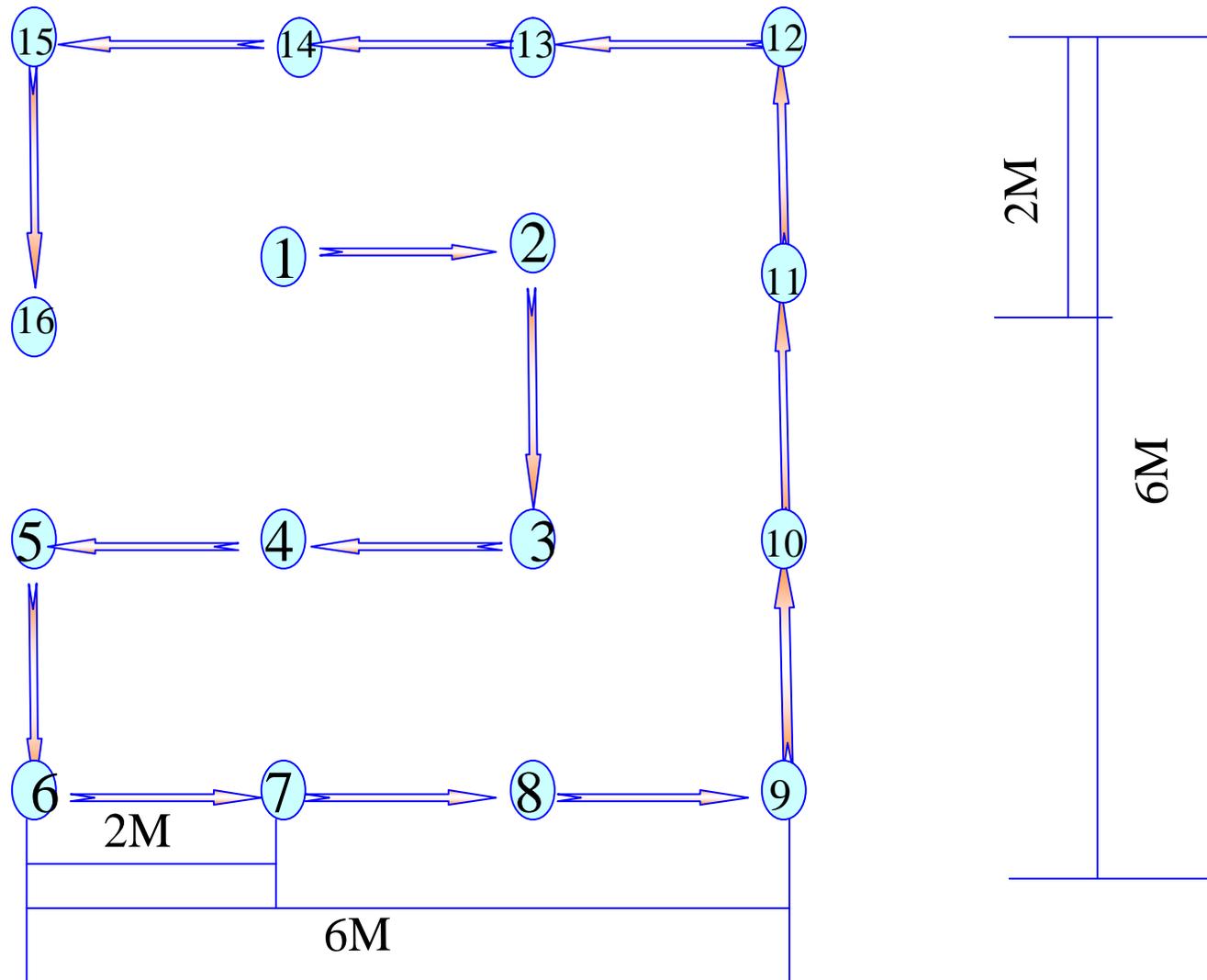
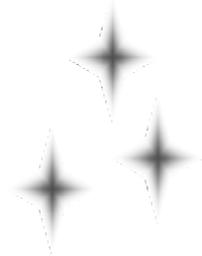
---



- ∅ 打桩：少则四根，多则十必根，打入深度少则50m，多则几百米。
- ∅ 铺设平台上部结构：
  - ∩ 整体铺设
  - ∩ 分块铺设
- ∅ 井架的移位



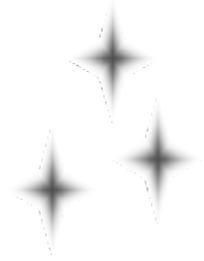
# 井架的移位过程





# 导管架的安装方法

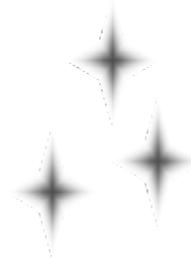
---



- ∅ 提升法：水深30m以内
- ∅ 滑入法：水深30—120m
- ∅ 浮运法：水深120m以上



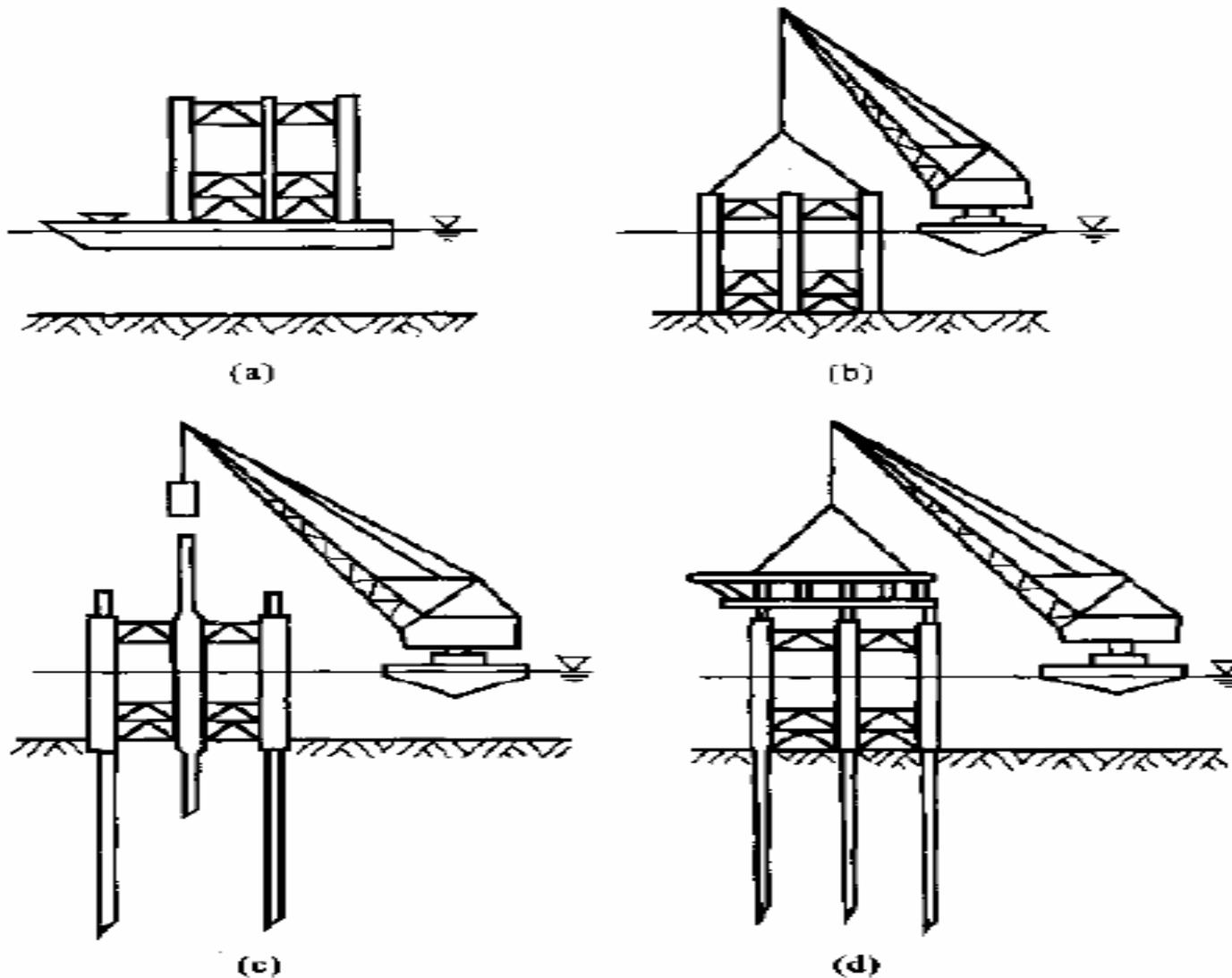
## 导管架的安装方法——提升法



(1) **提升法**。主要依靠起重船进行吊装，所以受起重船起重能力和起重高度的限制。导管架不能太重，也不能太高。如果太重，则要将它分成几块预制，分别吊放入海后在海上安装。这增加了海上施工的困难。安装过程如下图所示。



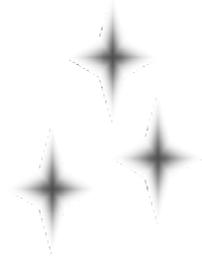
# 提升法安装导管架示意图



(a) 浮运; (b) 吊放; (c) 打桩; (d) 上部结构安装;



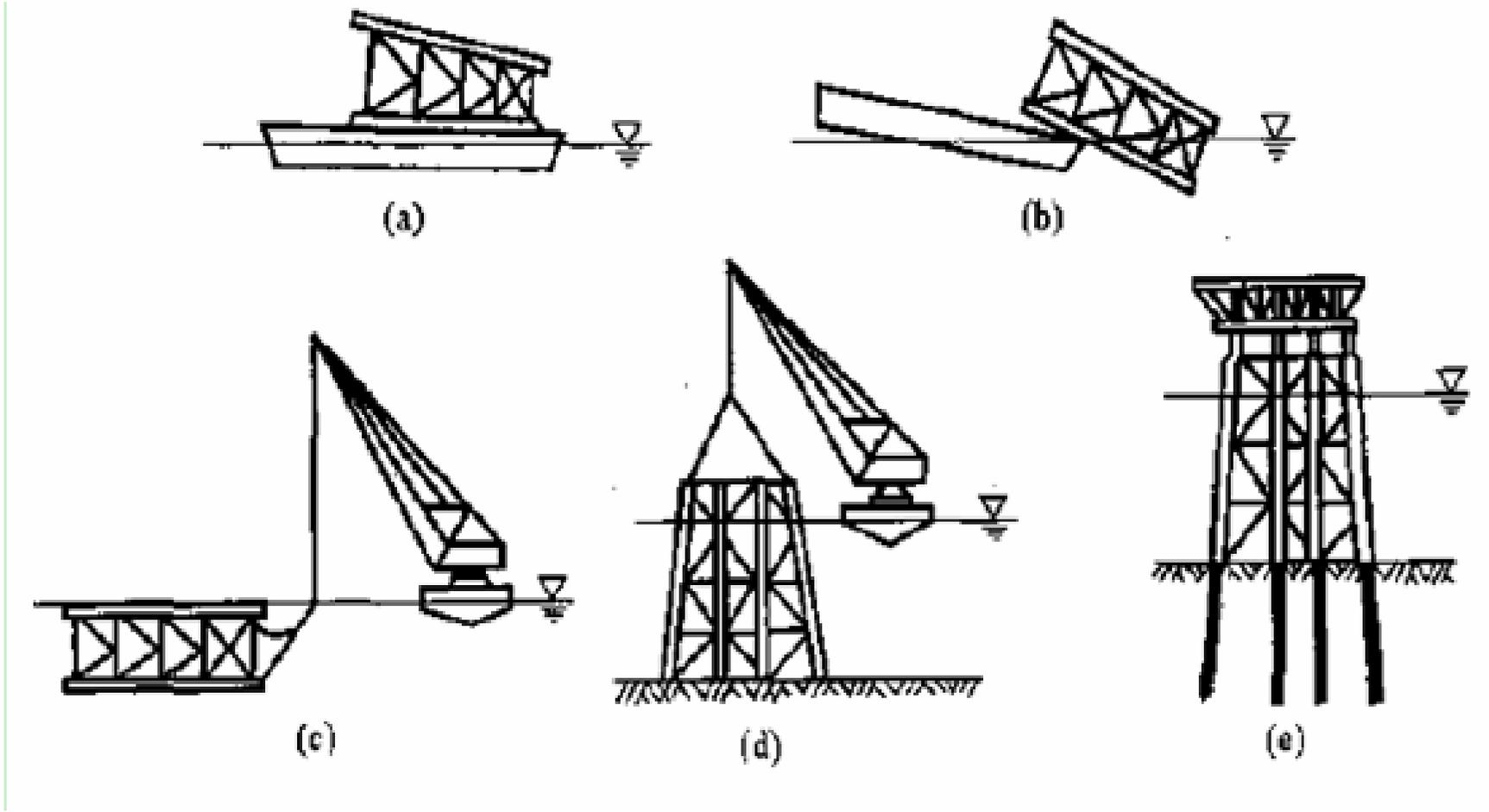
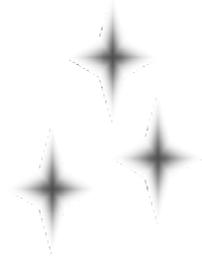
## 导管架的安装方法——滑入法



(2) 滑入法。把导管架的导管先密封，再用有下水滑道的驳船运到现场。到现场后，驳船倾斜，导管架沿滑道下滑入水并浮在水面在。这时向导管架内灌水，再用一个不大的起重船帮助就能把导管架平稳地放在海底，安装过程如下图所示。



# 滑入法安装导管架示意图

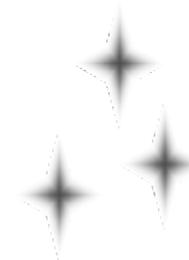


(a) 拖运; (b) 滑入水中; (c) 绑吊索; (d) 安放; (e) 打桩



## 导管架的安装——浮运法

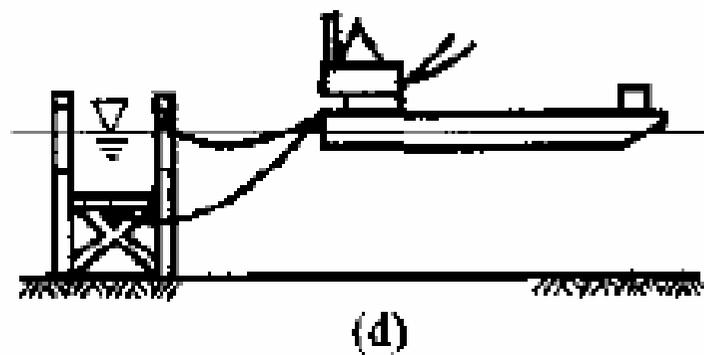
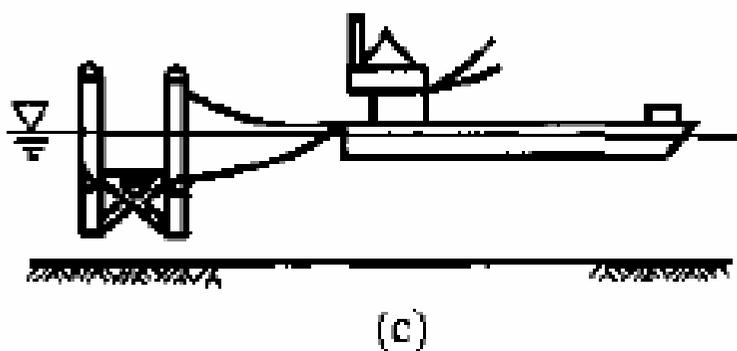
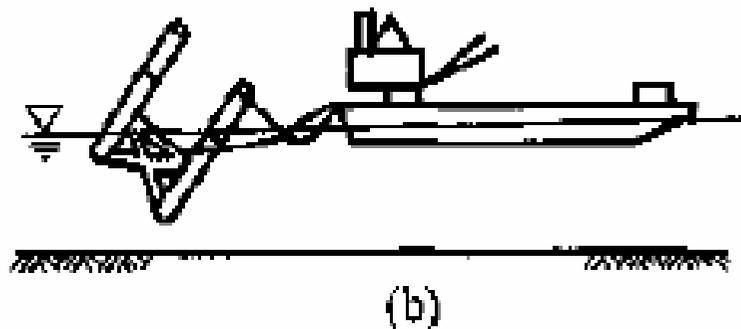
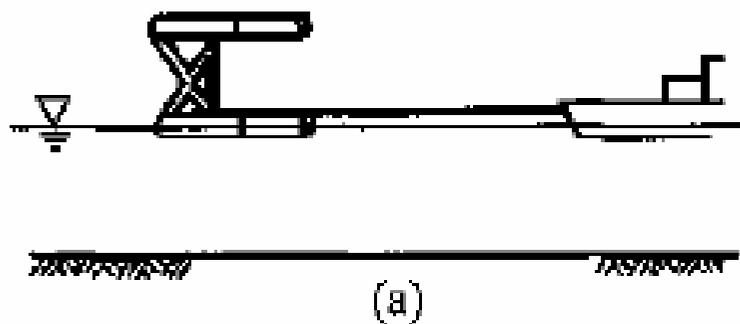
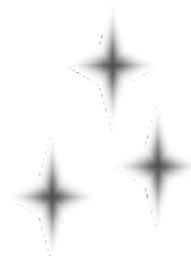
---



(3) **浮运法**。把导管架的两端密封后，靠它自身的浮力浮在水面上，用拖船把它拖到井位后，再向导管内灌水使它下沉并立在海底，安装过程如下图所示。



# 浮运法安装导管架的示意图

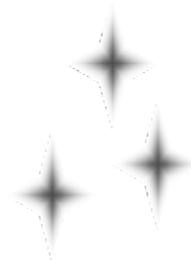


(a) 拖运; (b) 一侧充水; (c) 另一侧也充水; (d) 均匀充水下沉



## 海上浮拖法安装平台组块

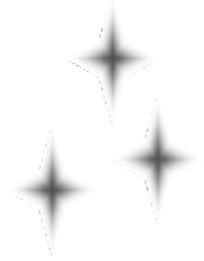
---



由于大型浮吊日费及动复员费用都非常高，有的浮吊日作业费用在18万美金以上，固定平台的安装费用占工程建设费用的比重较高，用浮拖法安装平台组块，整体安装，海上连接调试工作量小，作业周期缩短，不必动用昂贵的大型浮吊设备，适合大或超大型甲板组块，但对安装海况要求相对高；对施工船只要求高，如稳性、压载能力等；海上安装精度要求高。



## 海上浮托法安装平台组块



该技术关键环节是平台滑移装船；驳船调载；平台下沉就位。

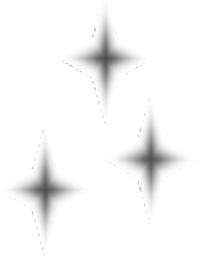
由于平台浮装技术复杂、难度高，一旦由于考虑不周出现技术事故，如船倾斜造成平台倾覆或平台就位倾斜等事故。

因此需要通过计算机模拟整个过程，充分掌握整个过程中出现的问题，在此基础上进行改进、完善，再仿真，再完善，以确保万无一失。



中国石油大学(北京)

# NB35-2CEP平台海上浮拖安装



装船运输到安装地点准备安装





中国石油大学(北京)

# NB35-2CEP平台海上浮拖安装





中国石油大学(北京)

# NB35-2CEP平台海上浮拖安装

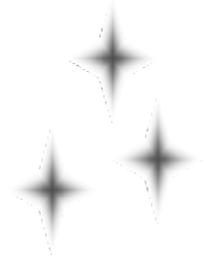
安装完毕后平台状态





## 第二节 固定式钻井平台

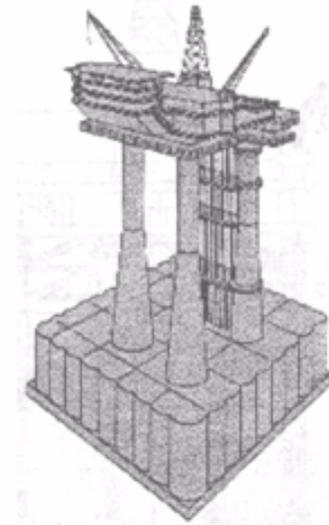
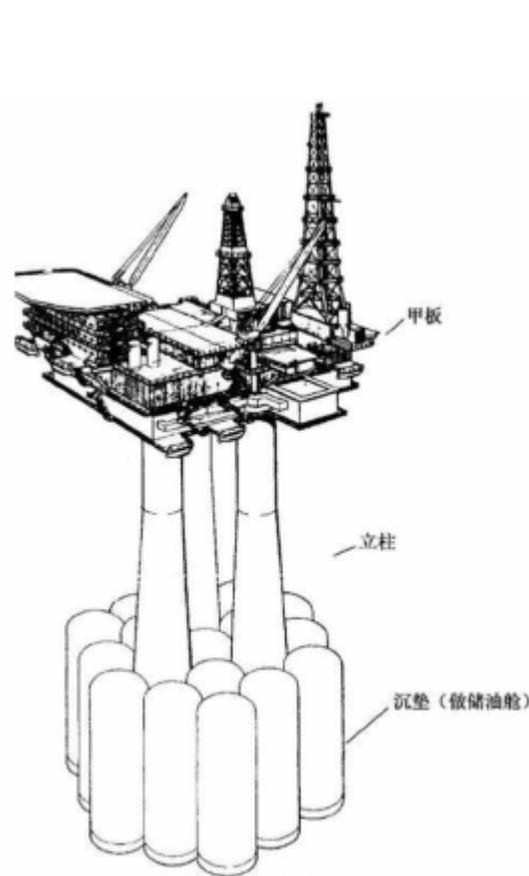
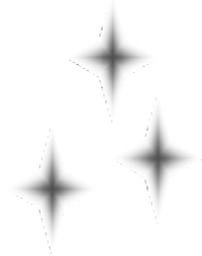
---



- 一、导管架平台的结构组成
- 二、导管架平台的海上安装
- 三、重力式平台的结构特点与组成
- 四、张力式平台的结构特点与组成
- 五、绷绳塔式平台的结构特点与组成



# 固定式钻井平台——重力式平台

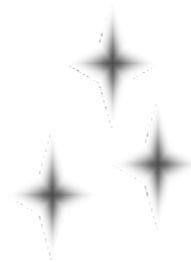


混凝土重力式平台



## 重力式平台

---



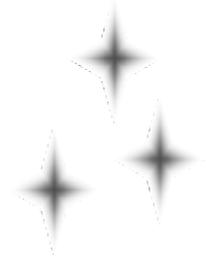
七十年代初出现，它完全借助于其本身的重量直接稳定地座在海底。

这种平台的底部是一个或多个钢筋混凝土沉箱组成的基座，基座上有钢立柱或钢筋混凝土立柱支撑上部甲板，在平台底部的巨大基础中被分隔为许多圆筒型的舱室，**这些舱室本身就是非常好的大型储油罐，在平台安装阶段的拖航和下沉时可作为压载舱。**这种平台的重量可达数十万吨，正是依靠自身的巨大重量，平台直接置于海底。现在已有大约20座混凝土重力式平台用于北海。由于混凝土平台自重很大，对地基要求很高，使用受到限制。



# 重力式平台分类

---

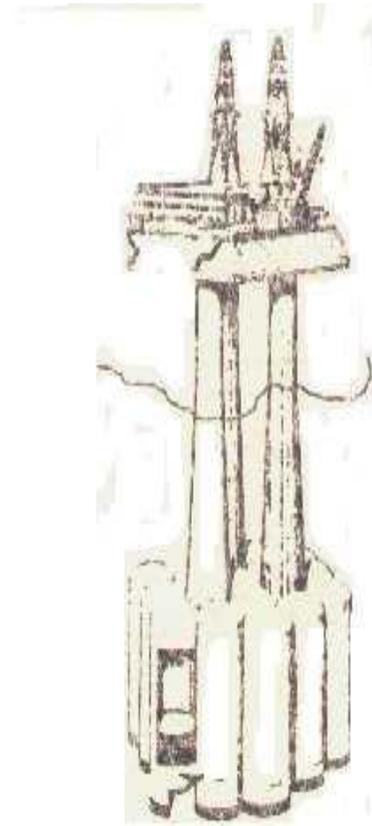
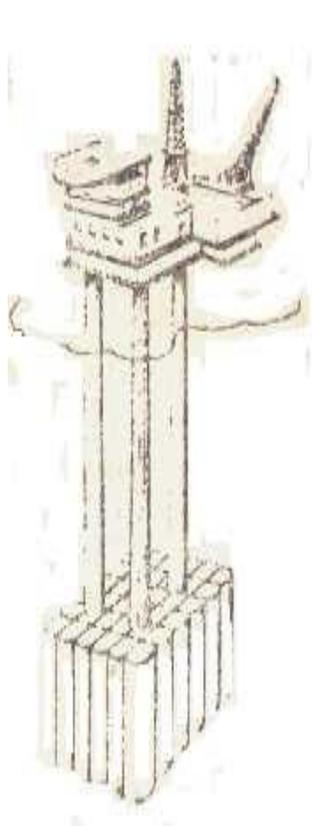
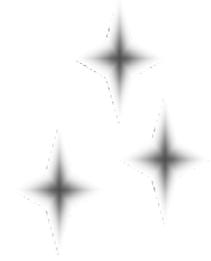


重力式平台可分为：

- ∅ 混凝土重力式平台
- ∅ 钢质重力式平台

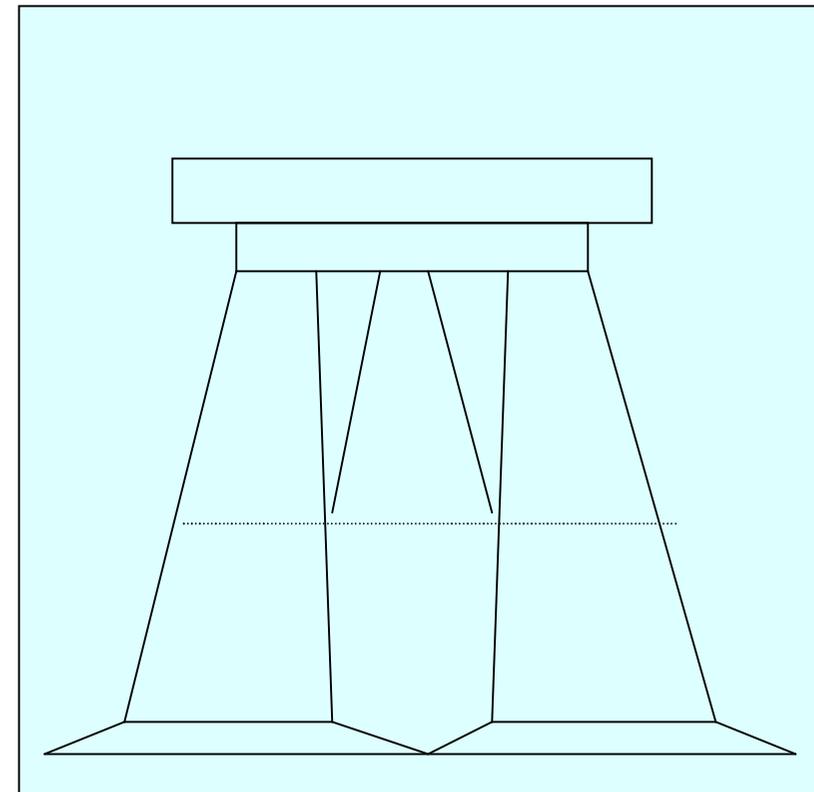


# 混凝土重力式平台



康迪普型平台  
此种平台1973年出现。

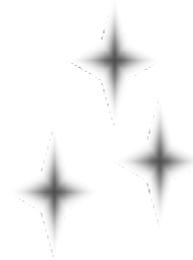
塞尔默型平台





## 混凝土重力式平台

---

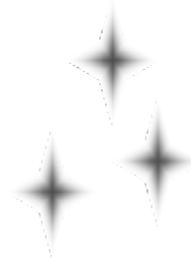


与导管架平台相比，具有以下优缺点：

- **优点：** 不需打桩  
具有相当的贮油能力  
节省钢材  
防火、防腐性较好，  
维修费用低，寿命长
- **缺点：** 对地质条件要求高  
出现缺陷后修复较困难



## 钢质重力式平台



1971年意大利首造，水深90米，称洛安高平台。

整个平台由沉箱、支承框架、甲板三部分组成，

沉箱可作贮油罐

**优点：** 重量比混凝土轻

预制过程中对水戩要求不高

拖船马力小

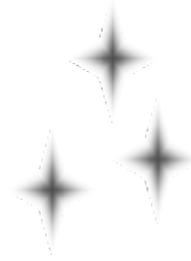
对地基承载力要求不高

**缺点：** 贮油量

用钢多，易腐蚀



## 重力式平台的结构特点与组成



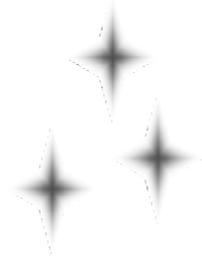
由于整个结构比较大，一般先在岸边开挖的泥坞中建造基座，再拖往有掩护的深水区接高，然后浮运至现场，加载下沉。目前这种平台一般是作为海底贮油罐或用于钻采海底石油。

其**主要特点**是抵御风暴及波浪袭击的能力强，结构耐久和维护费用低，但需开挖岸边坞坑，并要有近岸深水施工水域，结构高度因此受到限制。



# 重力式平台的结构特点与组成

---



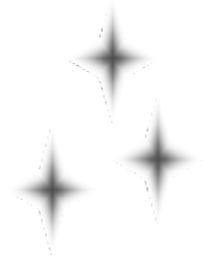
平台由沉垫、立柱、甲板三部分组成。

- ∅ 沉垫有多种形式：圆形、六角形、正方形
- ∅ 立柱有：三腿、四腿、独腿等几种
- ∅ 甲板有钢质和混凝土两种



## 第二节 固定式钻井平台

---

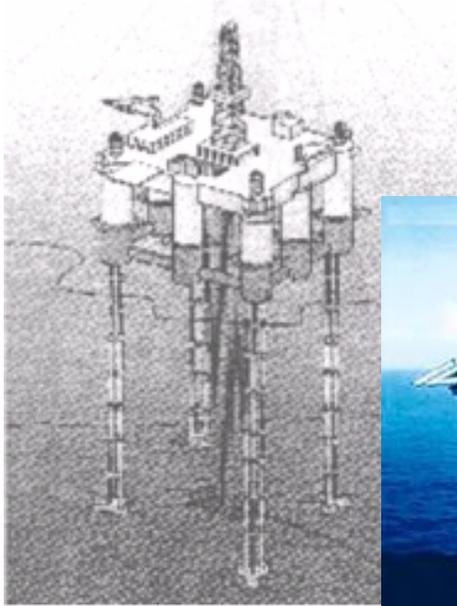
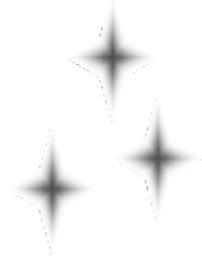


- 一、导管架平台的结构组成
- 二、导管架平台的海上安装
- 三、重力式平台的结构特点与组成
- 四、张力式平台的结构特点与组成
- 五、绷绳塔式平台的结构特点与组成



中国石油大学(北京)

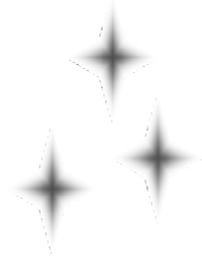
# 固定式钻井平台——张力腿式



张力腿式钻井平台



## 张力式平台的结构特点与组成

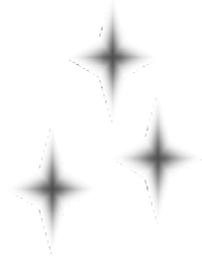


**张力式（又称张力腿式）平台**本身是一个浮动平台，平台的贮备浮力远远大于平台的重力，靠**缆绳或锚链**(称作张力腿)的张力将平台与事先固定在海底的锚桩拉紧，平衡一部分浮力，并使平台较好地固定在海面上。

这种**非刚性地连接**，不仅可减小平台的摇摆和倾斜，而且由海底地震引起的海床运动，也在到达平台之前被大大减弱了。



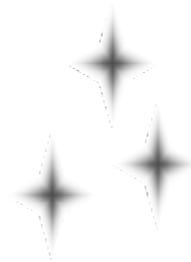
## 张力式平台的结构特点与组成



**张力腿式钻井平台（TLP）**是一种垂直系泊的顺应式平台，利用绷紧状态下的锚索产生的拉力与平台的剩余浮力相平衡的钻井平台。其所用锚索绷紧成直线，不是悬垂曲线，钢索的下端与水底不是相切的，而是几乎垂直的。用的是桩锚(即打入水底的桩为锚)或重力式锚(重块)等，不是一般容易起放的抓锚。



## 张力式平台的结构特点与组成



**张力腿式钻井平台（TLP）**的重力小于浮力，所相差的力量可依靠锚索向下的拉力来补偿，而且此拉力应大于由波浪产生的力，使锚索上经常有向下的拉力，起着绷紧平台的作用。

自1954年提出设想，英国北海Hutton油田首次于生产中使用此平台，1983年安装，84年投产。

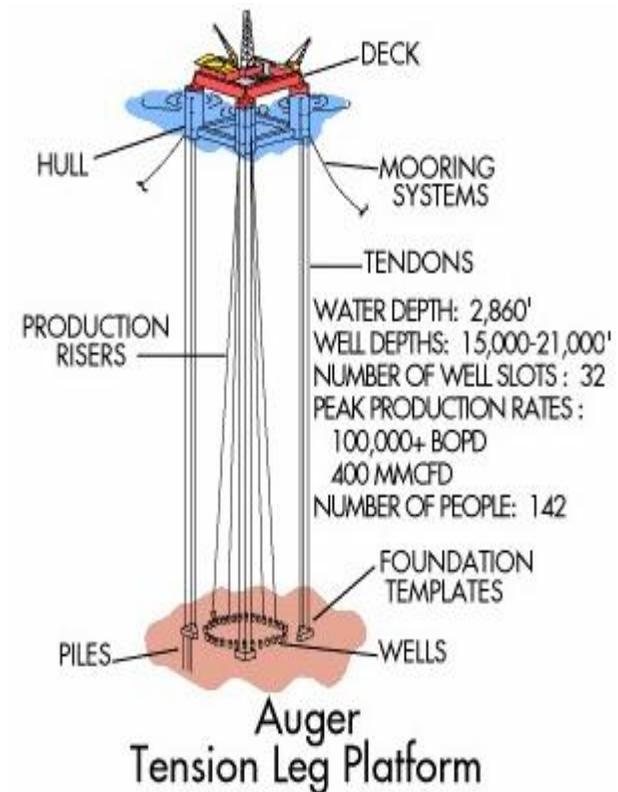


## 张力式平台的结构特点与组成

它一般由五大部分组成，分别是平台上体、立柱（含横撑和斜撑）、下体（沉箱）、张力腿系泊系统和锚固基础。

通常将平台上体、立柱及下体并称为平台本体。

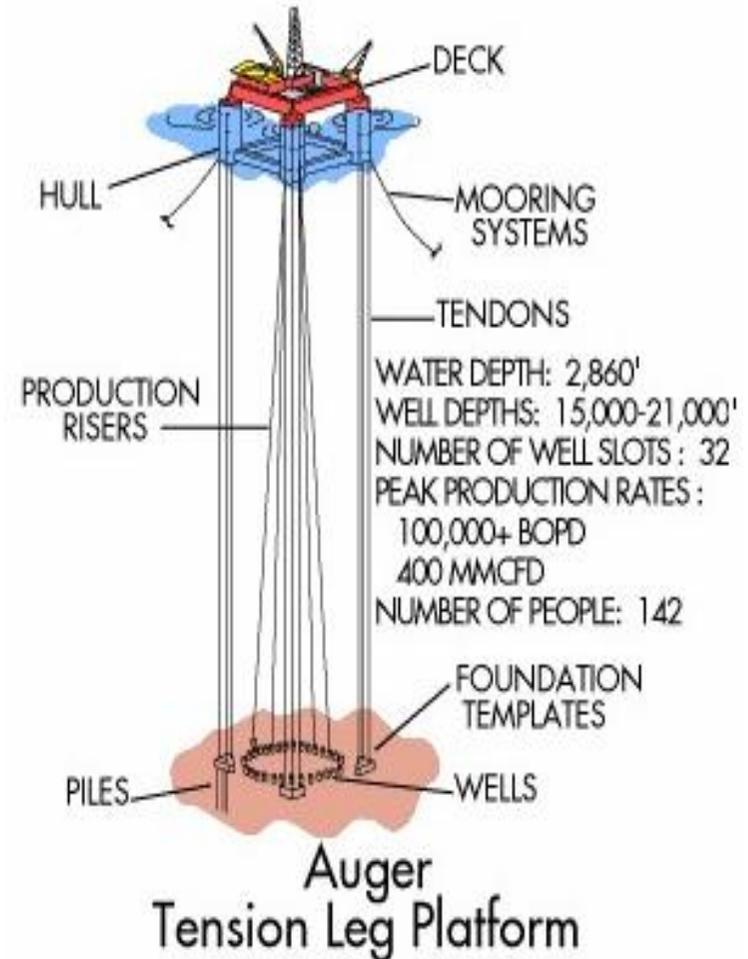
下面，以第一代张力腿平台 Auger Tension Leg Platform 为例，简要地介绍张力腿平台的总体结构。





## 张力式平台的结构特点与组成

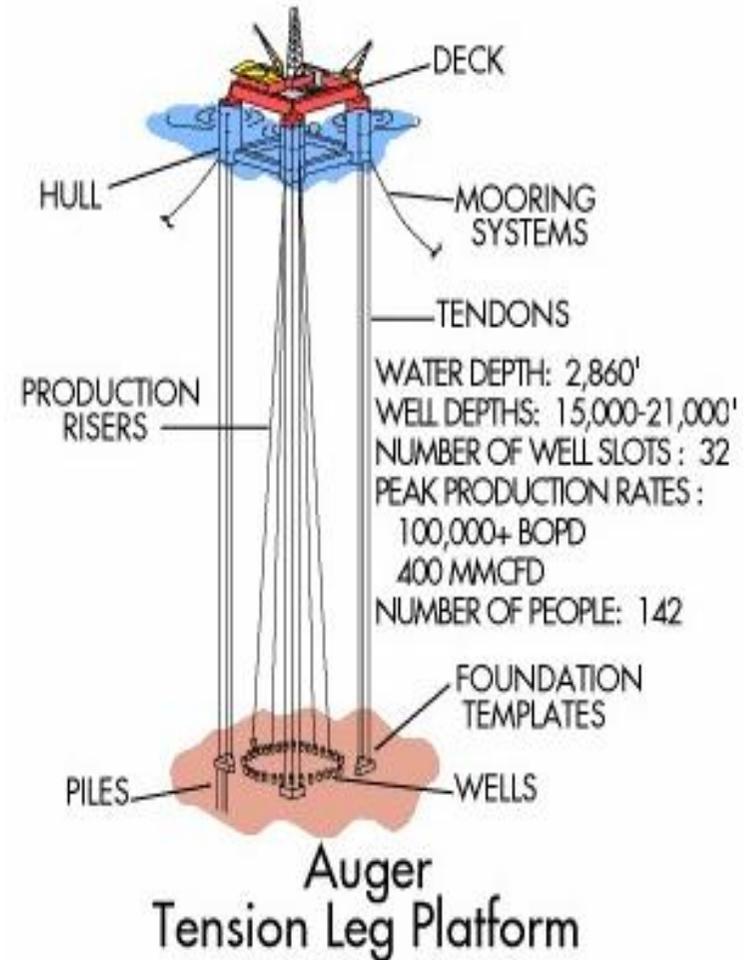
左图是一座第一代张力腿平台的总体结构示意图。这种张力腿平台的布局俯视一般都呈矩形或三角形，平台上体位于水面以上，通过4根或3根立柱与下体连接，立柱一般为圆柱形结构，是平台波浪力和海流力的主要承受部件，其主要作用是提供给平台本体必要的结构刚度。





## 张力式平台的结构特点与组成

平台的浮力由立柱和位于水面以下的下体浮箱提供。浮箱首尾与各立柱相接，形成环状结构。由于位于水面以下较深处，所以浮箱受表面波浪力的影响较小。张力腿与立柱的数量关系一般是一一对应的，每条张力腿由2~4根张力筋腱组成，上端固定在平台本体上，下端与海底基座模板相连，或是直接连接在桩基顶端。





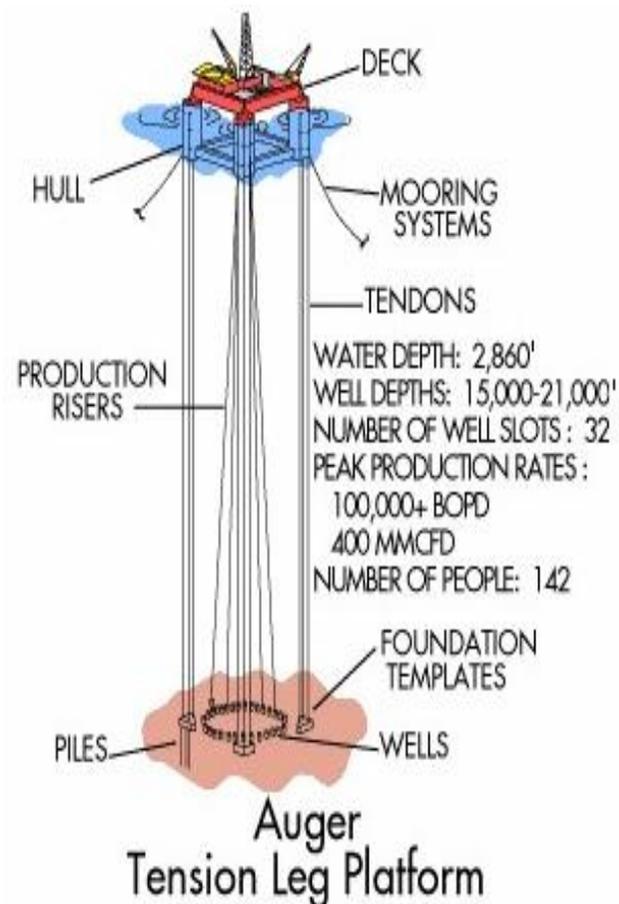
## 张力式平台的结构特点与组成

有时候为了增加平台系统的侧向刚度，还会安装侧向系泊索系统，作为垂直张力腿系统的辅助。

海底基础将平台固定入位，主要有桩基或是吸力式基础两种形式。

中央井道位于平台本体的中心，可以支持干树系统，生产立管通过中央井道上与生产设备相接，下与海底油井相接。

从结构特点看，张力腿平台就像一个倒置的钟摆，是一个刚性系统和弹性系统两者综合的复杂非线性动力系统。

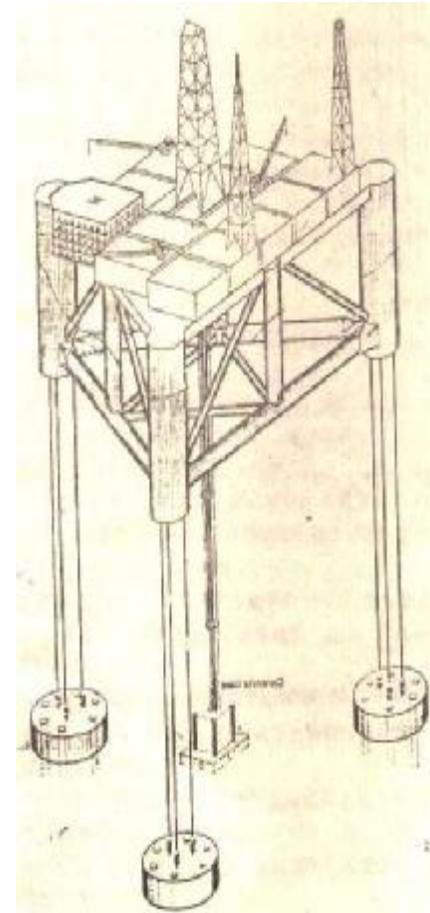




## 张力式平台的优点

张力式平台是今后深水用主要平台，其优点：

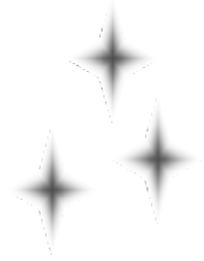
- ∅ 受力合理
- ∅ 用钢少
- ∅ 成本低
- ∅ 适用于深水
- ∅ 对海洋环境适应性大





## 第二节 固定式钻井平台

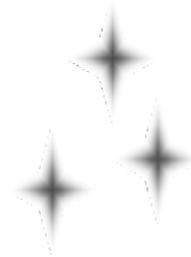
---



- 一、导管架平台的结构组成
- 二、导管架平台的海上安装
- 三、重力式平台的结构特点与组成
- 四、张力式平台的结构特点与组成
- 五、绷绳塔式平台的结构特点与组成



## 绷绳塔式平台的结构特点与组成

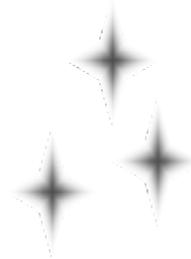


**绷绳塔式平台**亦称**牵索塔平台**，是将一个预制的钢质塔身安放在海底基础块上，四周用钢索锚定拉紧而成。它适用于水深较大的海域。

**牵索塔式钻井平台**得名于它支撑平台的结构如一桁架式的塔，该塔用对称布置的缆索将塔保持正浮状态。在平台上可进行通常的钻井与生产作业。原油一般是通过管线运输，在深水中可用近海装油设施进行输送。



## 绷绳塔式钻井平台



牵索塔式平台比导管架式平台、重力式平台更适合于深水海域作业，它的应用范围在200米~650米，而研究证明：最经济的工作水深范围在40~480米之间。

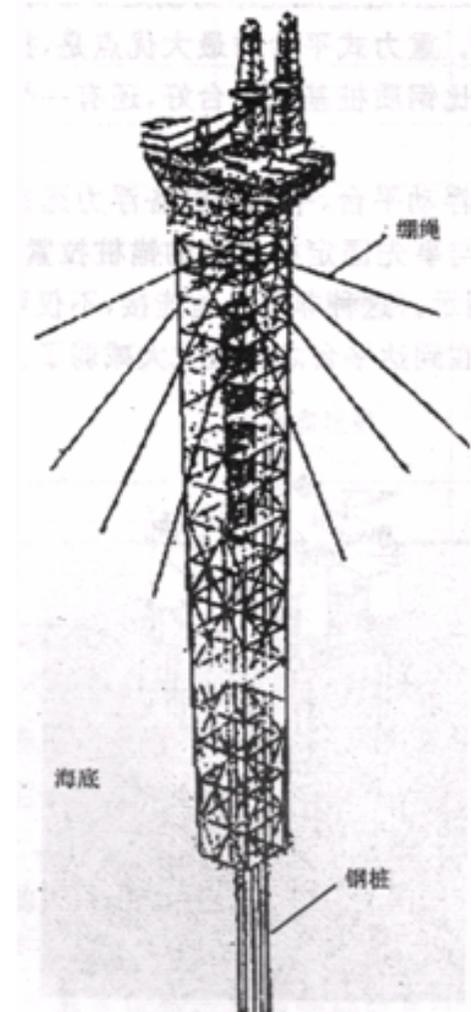
与钢质导管架平台相比，**优点**如下：

- ⊙ 节省钢材（成本低）
- ⊙ 井口装置可设置于水面上



## 绷绳塔式平台的结构特点与组成

如1983年建于墨西哥湾水深305米的海域，塔架高329米，重19000吨，用钢桩打入海底。但该塔架又瘦又高，柔性较大，在波浪作用下可以允许轻微摇摆。整个塔架靠20根直径227毫米的钢绳作为绷绳向四面八方的海底拉紧，并固定于海底。由于该平台的固有频率，所以平台的摇摆不会对人员健康和生产作业有大的影响。



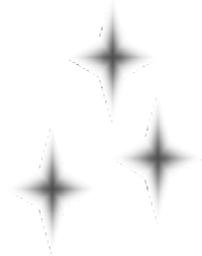


## 绷绳塔式平台的结构特点与组成

埃克逊技术公司曾为欧洲北海350m水深的环境设计牵索塔，该塔具有面积为 $36.5\text{m}^2$ 的四方形剖面的塔式结构，整个长度的剖面都一样，其一端承载平台设备，另一端停放在称为桩腿筒的竖向承载基础上，有16根桩腿，另有10.8cm的钢缆24根作为导引索系统，每根钢缆通过旋转接头直到海底，分别与165t重的水泥块和1.4m长的桩连接拉紧。桩的分布半径约有1000m，油井导管穿过桩腿筒，整个系统可容纳30个油井导管。塔是顺应式的，能随波浪力的响应稍微移动，其系泊系统能对塔提供足够的复原力，使它始终保持垂直状态。设计时允许塔的倾斜度在2度以内。



# 各类固定式钻井平台性能对比表

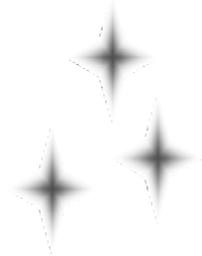


种类 性能指标	导管架式	重力式	张力式	绷绳塔式
用途	钻井、采油	钻井、采油、集输	钻井、采油	钻井、采油
工作水深(m)	到达400	超过150	超过180	超过300
可钻井深(m)	超过3000	超过3000	超过3000	超过3000
海底条件限制	对海底无特殊要求	要求平整、稳定的海底	各种海底	各种海底
灵活性	极差	极差	差	差
可钻井数	10~60	10~60		
工作效率	90%	90%	90%	90%
安全性	好	好	好	好
定位方式	桩基固定	靠重力定位	靠张力腿定位	桩和绷绳定位
船体储藏能力	较大	很大	较大	大



## 固定式钻井平台

---



固定式钻井平台的优点是稳定、海面气象条件对它的影响较小，而且完井后可作为采油平台，使用时间大大增加。但是，它的灵活性差，不能及时运移，而且造价高，不能在较深的水域工作。

各平台的适应水深：重力式平台适用的水深较浅，导管架式平台适用的水深稍深，张力式和绷绳塔式平台则可在较深的水域使用。

谢谢大家