海洋工程研究进展

Advances in Ocean Engineering

王赤忠

浙江大学海洋学院

Email：cz_wang@zju.edu.cn

HP:18668214196

课程目标

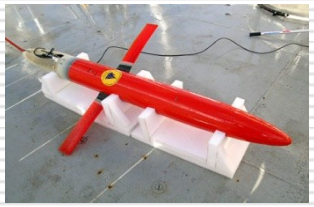
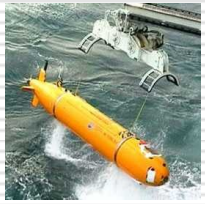
1. 拓宽博士研究生在海洋工程领域的专业知识面，了解海洋工程领域各研究方向的前沿研究进展;
2. 加强博士研究生本专业和相关学科专业学习的深度，掌握其研究难点;
3. 提高博士生独立分析问题的能力和探索未知问题的想象力。

课程设置方向

(一) 海洋结构物 (Ocean structures)

(二) 港口、海岸与近海工程 (Port, coastal and offshore engineering)

(三) 水下运载和探测技术(Underwater transport and detection technology)

课程考核

1. 撰写具交叉学科特点的基金申请报告一份，题目由导师确定；
2. 准备5分钟PPT报告。

海洋结构物和海洋装备技术

1. 海洋工程概论
2. 船舶与海洋结构物前沿技术问题
   - 海洋平台前沿技术问题
   - 船舶前沿技术及其未来的发展
3. 船舶与海洋结构物前沿研究问题
   - 海洋平台前沿研究问题
   - 高速船和特种水面飞行器前沿研究问题
4. 海洋装备技术

海洋工程研究对象

（1）资源开发技术

- 深海矿物勘探、开采、储运技术;
- 海底石油、天然气钻探、开采、储运技术;
- 海水资源与能源利用（淡化、提炼、潮汐、波力、温差等）技术;
- 海洋生物养殖、捕捞技术;
- 海底地形地貌的研究等。

（2）装备设施技术

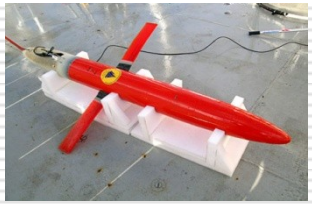
- 海洋探测装备（海洋各种科学数据的采集、结果分析，各种海况下的救助、潜水）技术;
- 海洋建设（港口、海洋平台、海岸及海底建筑）技术;
- 海洋运载器工程设备（水面各种船舶、半潜平台、潜水潜器、水下工作站、水下采油装置、水下军用设施等)技术等。

- 海洋工程分类
- 海洋石油平台种类及其工作环境
- 水下探测器

海洋工程分类

海洋工程是指以开发、利用、保护、恢复海洋资源为目的，并且工程主体位于海岸线向海一侧的新建、改建、扩建工程。

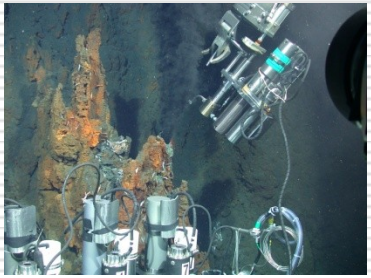
船舶与海洋工程结构物



海洋探测、运载工具

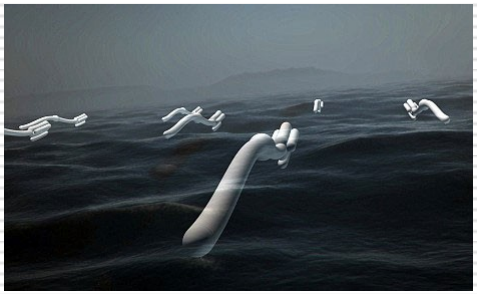
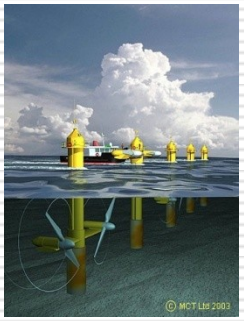
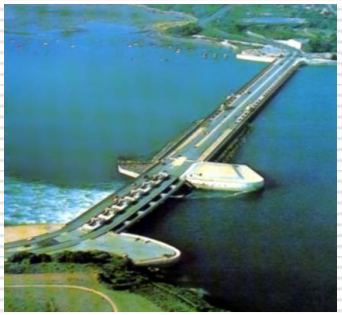
港口、海岸与近海工程

海洋工程分类



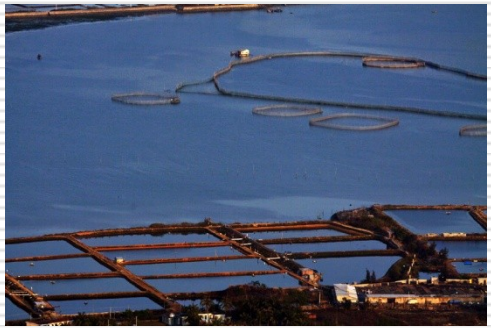
海洋矿产、热液气开发

海底管道、海底电（光）缆工程

波浪能、海(潮)流能、潮汐能、海上风能等发电

海洋工程分类



海上养殖

海水淡化

海洋工程研究对象

（1）资源开发技术

- 深海矿物勘探、开采、储运技术;
- 海底石油、天然气钻探、开采、储运技术;
- 海水资源与能源利用（淡化、提炼、潮汐、波力、温差等）技术;
- 海洋生物养殖、捕捞技术;
- 海底地形地貌的研究等。

（2）装备设施技术

- 海洋探测装备（海洋各种科学数据的采集、结果分析，各种海况下的救助、潜水）技术;
- 海洋建设（港口、海洋平台、海岸及海底建筑）技术;
- 海洋运载器工程设备（水面各种船舶、潜水潜器、 水下工作站、水下军用设施等)技术等。

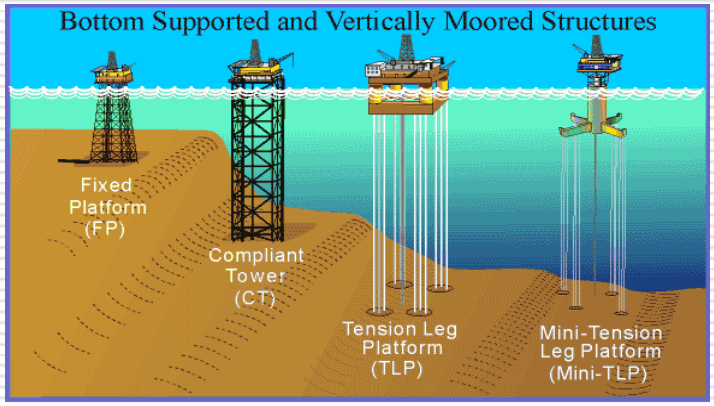
中国十大油田

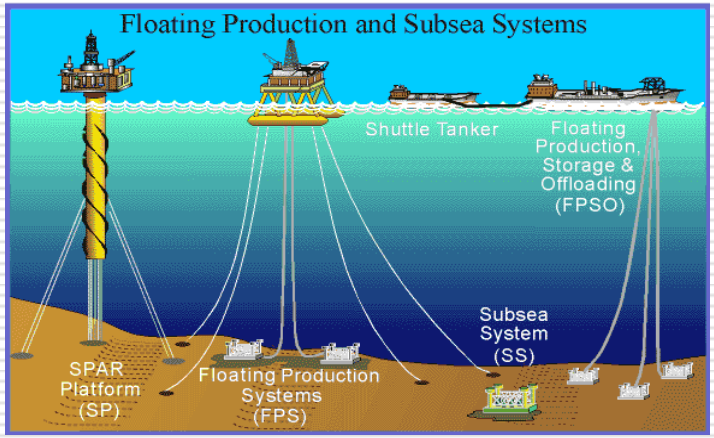
- 长庆油田：中国第一大油气田
- 大庆油田：储量约1.97亿吨(2015年)
- 胜利油田：减少职员、关停无效油田、无效单井拉油井
- 塔里木油田：
- 渤海油田：海上油田
- 新疆油田：退役的节奏
- 延长油田：减产、降薪
- 西南油气田：
- 辽河油田：精简人员、辞退外雇工
- 中原油田：关停低产井

海洋平台的分类

- 与陆地资源开发不同，海上资源开发需要人员驻留和设备集聚的固定在海面上的支撑结构：平台。
- 随着水深的不同，平台结构可分为：

- 重力式平台（GP, Gravity Platform ）
- 导管架平台（JP, Jacket Platform ）
- 顺应式平台（CP, Compliant Platform）
- 张力腿平台（TLP, Tension Leg Platform）
- 单柱式平台(Spar)
- 半潜式平台（Semi-submersible）
- 浮式生产系统（FPS, Floating Production Storage）
- 浮式生产储油与卸油系统（ FPSO, Floating Production Storage and Offloading）。





海洋平台的分类

- 按运动方式，可分为固定式与移动式两大类

- 海洋平台
  - 固定式
    - 桩基式（钢质桩基导管架平台）
    - 重力式
  - 移动式
    - 接地式
      - 坐底式*
      - 自升式*d
        - 独立腿式
        - 沉垫式
    - 浮式
      - 船式 *
      - 半潜式 *
    - 顺应式
      - 牵索塔式
      - 张力腿式

* ： 主要类型平台

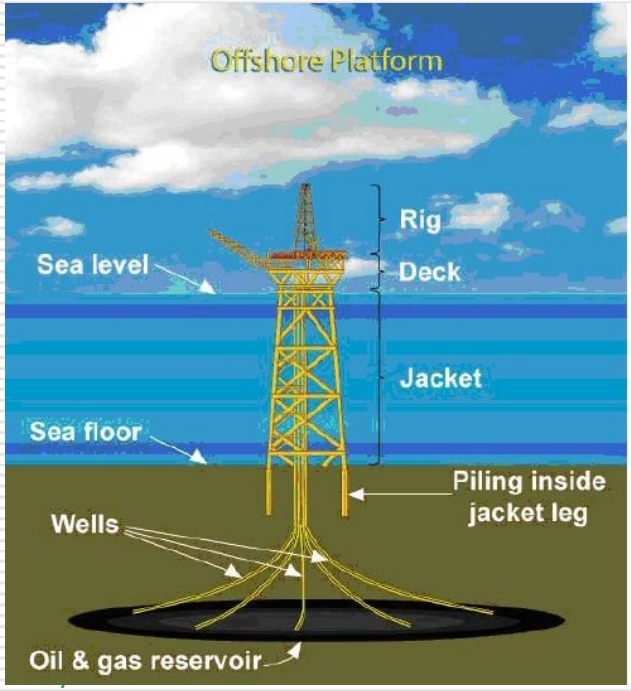
d: 通常为钻井平台

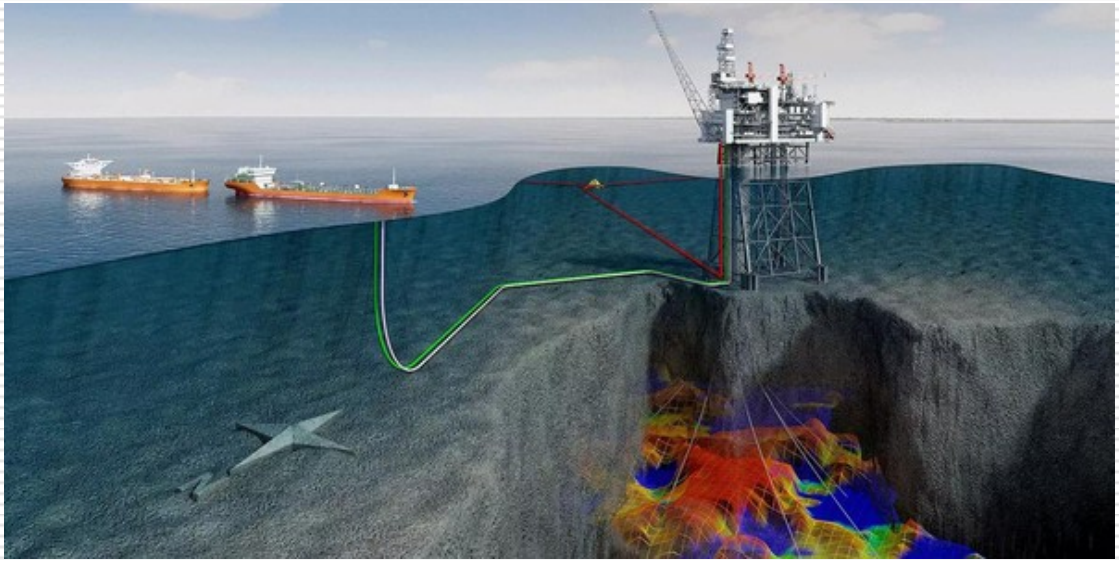
海洋平台的分类

- 按功能，海洋平台的分类有钻井平台、生产平台、生活平台、储油平台等。

导管架平台(Jacket Platform)

- 即桩基式平台。用钢桩固定于海底。钢桩穿过导管打入海底，并由若干根导管组合成导管架。导管架先在陆地预制好后，拖运到海上安放就位，然后顺着导管打桩，桩是打一节接一节的，最后在桩与导管之间的环形空隙里灌入水泥浆，使桩与导管连成一体固定于海底。
- 平台即设于导管架的顶部，高于作业的波高，具体高度须视当地的海况而定，一般大约高出4～5米，这样可避免波浪的冲击。

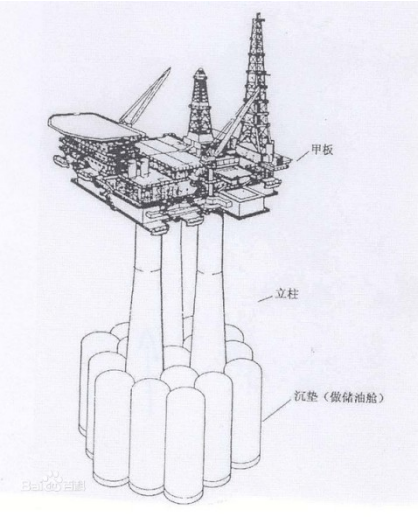




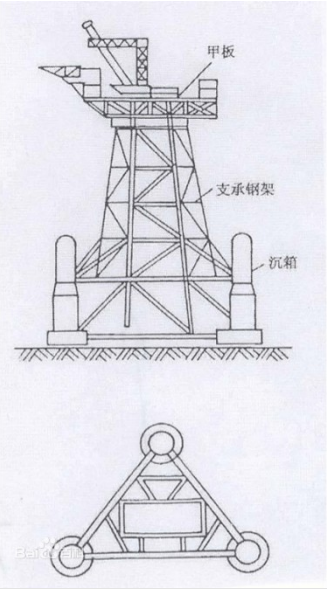
重力式平台(Gravity Platform)

- 不需要用插入海底的桩去承担垂直荷载和水平荷载，完全依靠本身的质量直接稳定在海底。根据建造材料的不同，又分为混凝土重力式平台和钢重力式平台两大类.
- 混凝土重力式平台：把混凝土重力式结构物用于岸边和浅水地带已有悠久历史，而用于外海却在20世纪70年代以后。目前，混凝土平台可以适应从浅到深的各种水深。
- 钢质重力式平台：整个平台由沉箱、支承框架和甲板三部分组成，沉箱兼作储罐。建造时，先把各个沉箱、支承框架、甲板分别预制，而后在岸边组装成整体，再拖运到井位下沉安放。

重力式平台



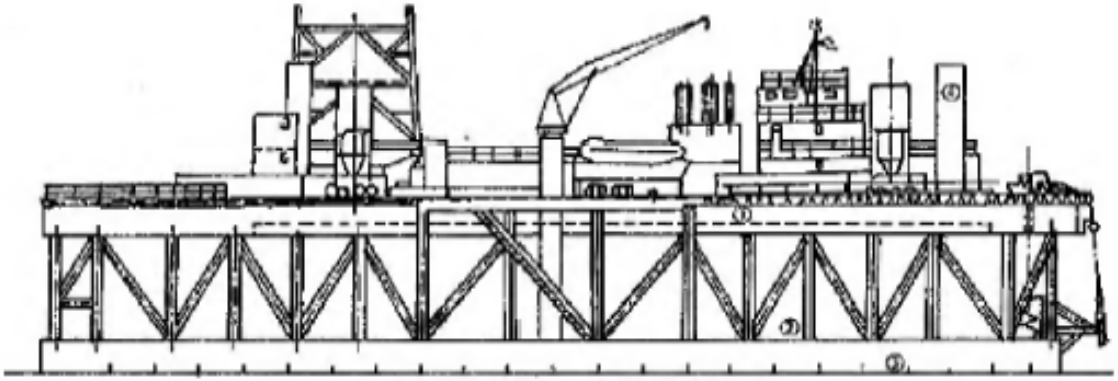
混凝土重力式平台



钢质重力式平台

坐底式平台 (submersible drilling platform)

- 又叫钻驳或插桩钻驳，亦称“沉浮式钻井平台”。是早期在浅水区域作业的一种移动式钻井平台；
- 组成：平台分本体与下体，由若干立柱连接平台本体与下体，平台上设置钻井设备、工作场所、储藏与生活舱室等；
- 特点：钻井前在下体中灌入压载水使之沉底，下体在坐底时支承平台的全部重量，而此时平台本体仍需高出水面，不受波浪冲击。在移动时，将下体排水上浮，提供平台所需的全部浮力；
- 工作水深：60m以内；

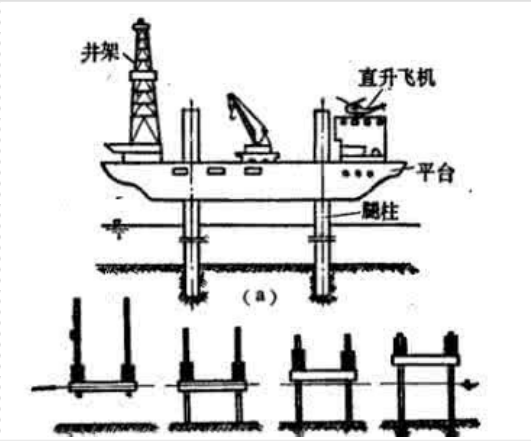


①上层平台 ②立柱 ③沉垫 ④抗滑桩

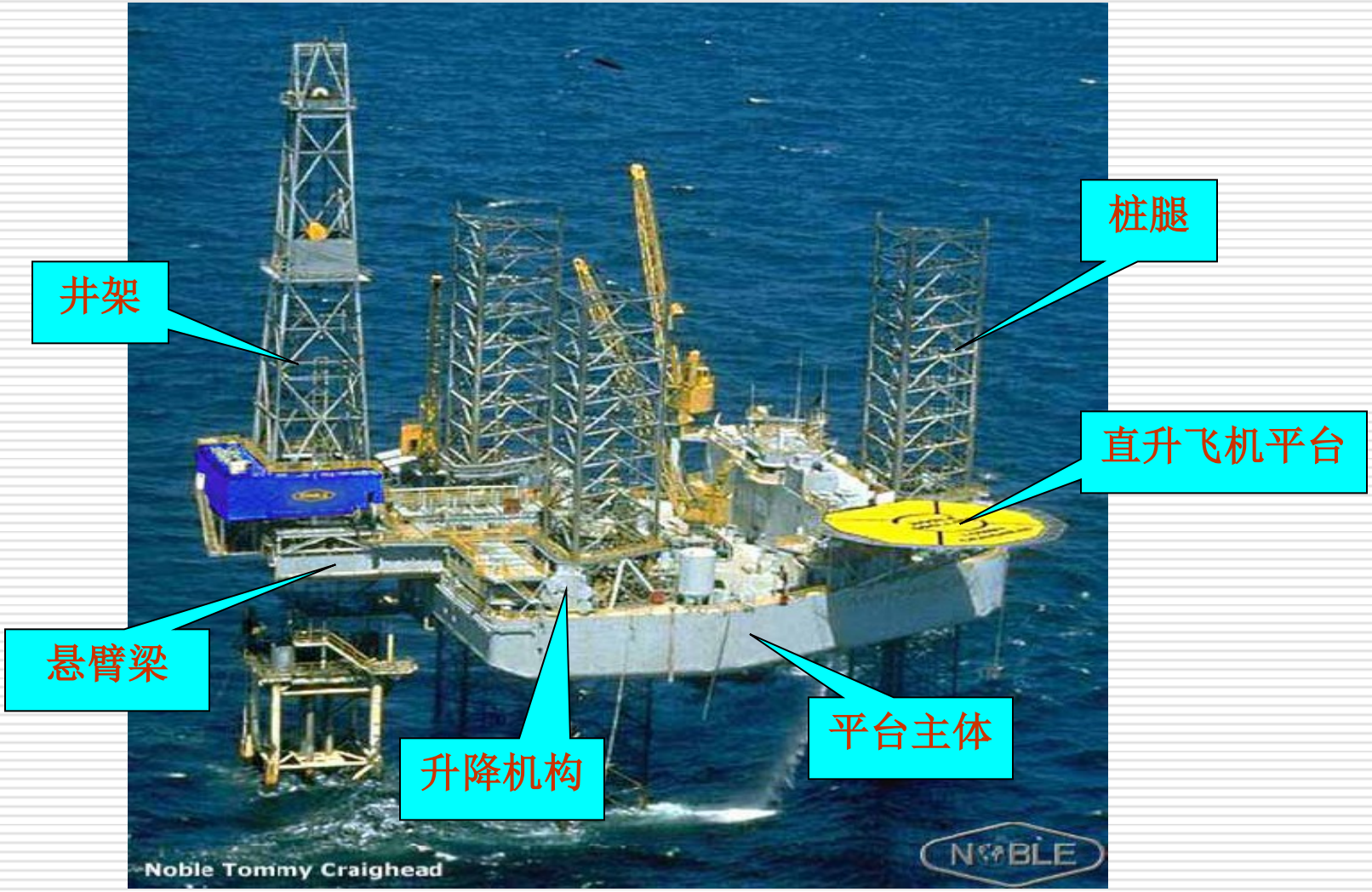
图 3.35 胜利二号

自升式平台(Jack-Up platform)

- 组成：一个上层平台和数个能够升降的桩腿；
- 工作过程：移航时桩腿升起，至井位后，船体升高作业，桩腿下降插入海底；
- 适用水深与海底条件：60m-100m，硬土区、珊瑚区、不平整海底；
- 优点：适用于不同海底土壤条件和相对较大的水深范围，移位灵活方便，便于建造，因而得到了广泛的应用。目前，在海上移动式钻井平台中它仍占绝大多数；
- 不足：水深愈大，桩腿愈长，结构强度和稳性愈差。桩腿加长时，下水受波浪力大；拖航时稳性差，受风力大。桩腿入泥太深，泥底滑动会造成平台倾斜；
- 要求：自升式钻井平台既要满足拖航移位时的浮性、稳性方面的要求，又要满足作业时稳性和强度的要求，以及升降平台和升降桩腿的要求。



自升式平台



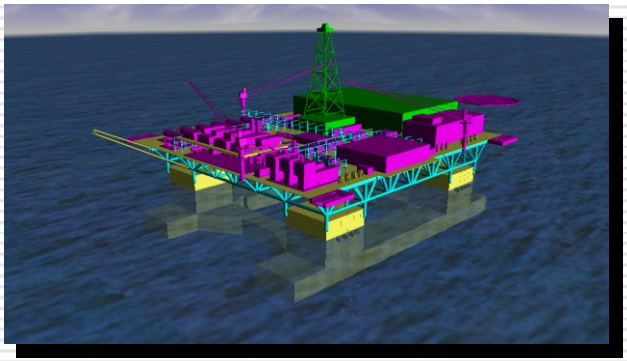
半潜式钻井平台 (semi-submersible platform)

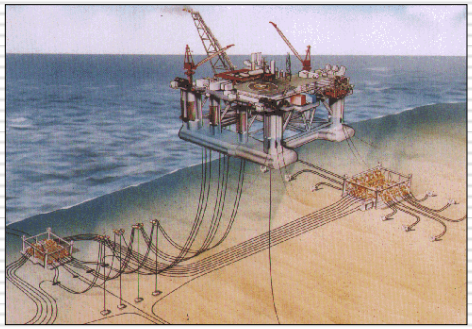
- 组成：由平台本体、立柱和下体或浮箱组成。平台上设有钻井机械设备、器材和生活舱室等，供钻井工作用。在下体与下体、立柱与立柱、立柱与平台本体之间还有一些支撑与斜撑连接。
- 特点：是大部分浮体沉没于水中的小水线面的移动式钻井平台，从坐底式钻井平台演变而来，有立柱稳定式平台
  - 平台本体与下体之间连接的立柱，具有小水线面的剖面，主柱与主柱之间相隔适当距离，以保证平台的稳性。
  - 下体间的连接支撑一般都设在下体上方，这样，当平台移位时，可使连接支撑位于水线之上，以减小阻力；
  - 平台本体高出水面一定高度，以免波浪的冲击；
  - 下体或浮箱提供主要浮力，沉没于水下以减小波浪的扰动力。

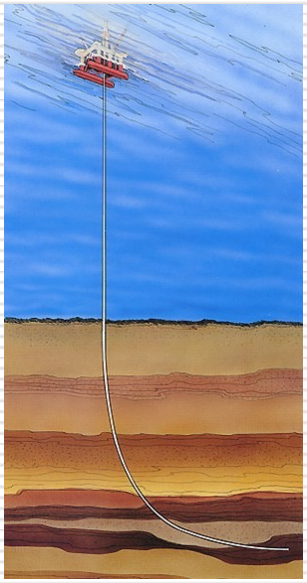
- 适用水深：500米-几千米
- 优缺点：稳性比较好。造价高

半潜式钻井平台

- 定位系统：
  - 锚泊系泊系统：8-12只锚链连接平台与海底，适用于200-300m水深
  - 动力定位系统：利用声纳系统和自动控制对船舶定位；适用1000m
  - 锚泊与动力的组合定位系统：风浪小时用锚泊，风浪大时用动力定位系统。适用600m以内
- 转移方式：自航和非自航式。距离远时，即使自航时也需拖船。移动时为了减小受风面，平放钻井架
- 井架布置：设在中部（常用方式，纵摇影响小）或端部







钻井船 (drilling ship)

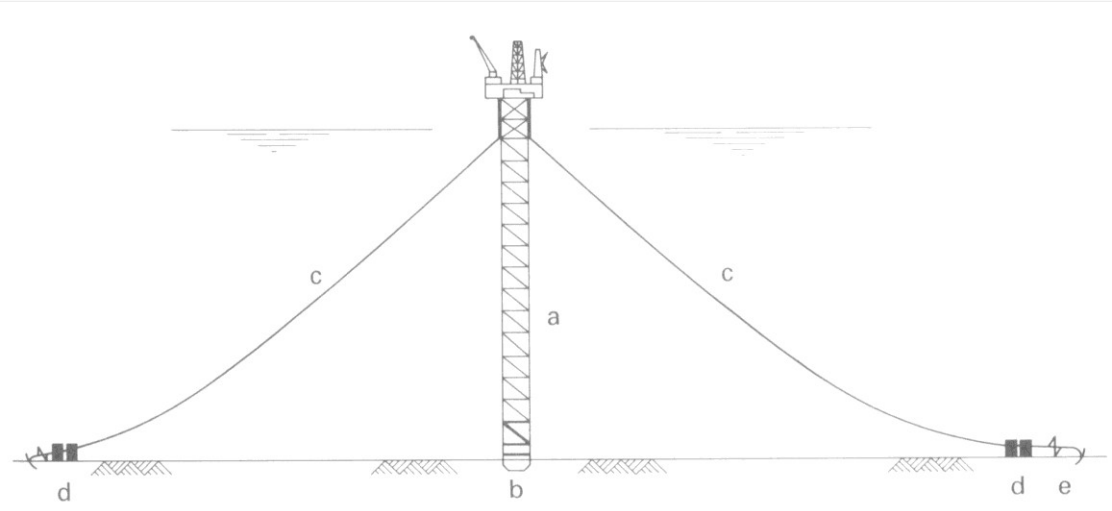
- 钻井船是设有钻井设备，能在水面上钻井和移位的船，也属于移动式(船式)钻井装置。较早的钻井船是用驳船、矿砂船、油船、供应船等改装的，现在已有专为钻井设计的专用船。目前，已有半潜、坐底、自升、双体、多体等类型，且多数具有自航能力。
- 优缺点：钻井船在钻井装置中机动性最好，但钻井性能却比较差。钻井船在波浪中的垂荡要比半潜式平台大，有时要被迫停钻，需采用垂荡补偿器来缓和垂荡运动。

钻井船

- 工作：钻井船与半潜式钻井平台一样，钻井时浮在水面。井架一般都设在船的中部，以减小船体摇荡对钻井工作的影响。
- 适用范围：适于深水作业，但需要适当的动力定位设施。钻井船适用于波高小、风速低的海区。它可以在600m水深的海底上进行探查，掌握海底油、气层的位置、特性、规模、贮量，提供生产能力等

牵索塔式平台 (Guyedtower platform)

- 组成：甲板、塔体、牵索系统
- 牵索塔式平台是一瘦长的桁架结构，其下端依靠重力基座坐落于海底或是依靠支柱加以支撑，其上端支承作业甲板。
- 桁架的四周用钢索、重块、锚、锚链所组成的锚泊系统加以牵紧，使它能保持直立状态。

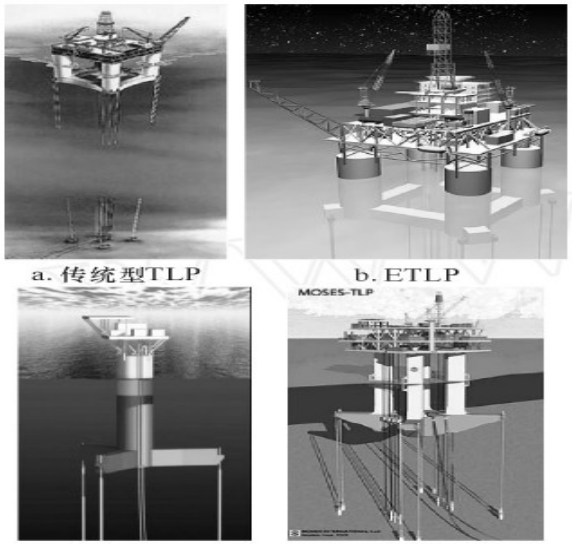


Guyed tower production platform

a – 塔体；b – 桩腿筒； c – 钢索；
d – 重块；e – 锚

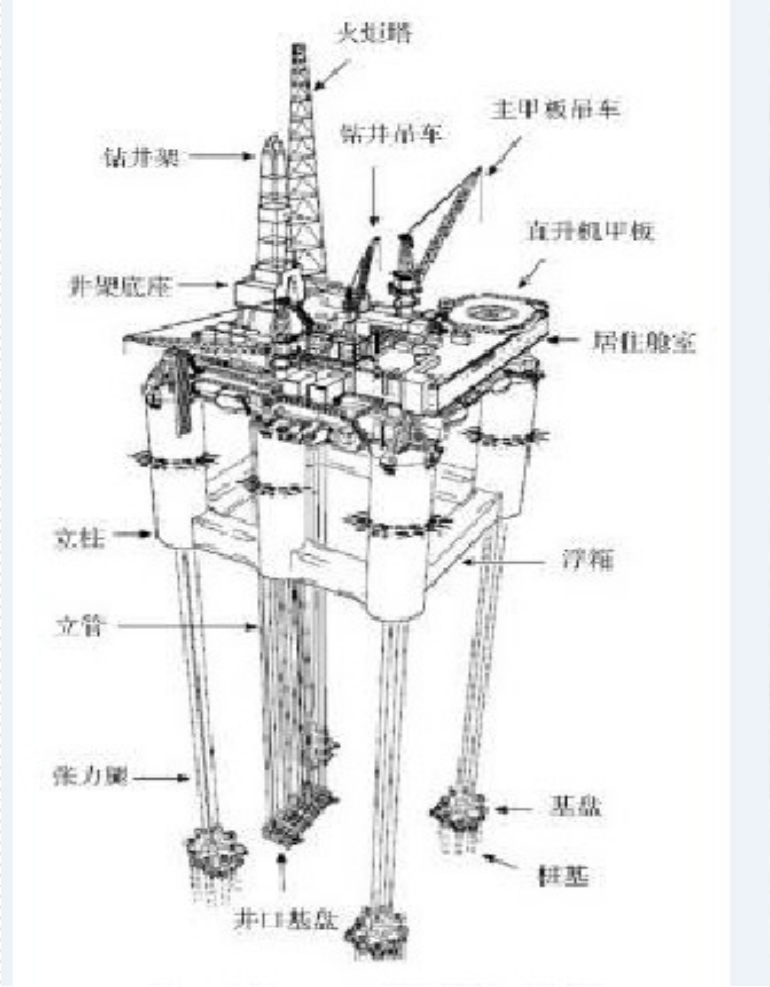
张力腿平台(TLP)

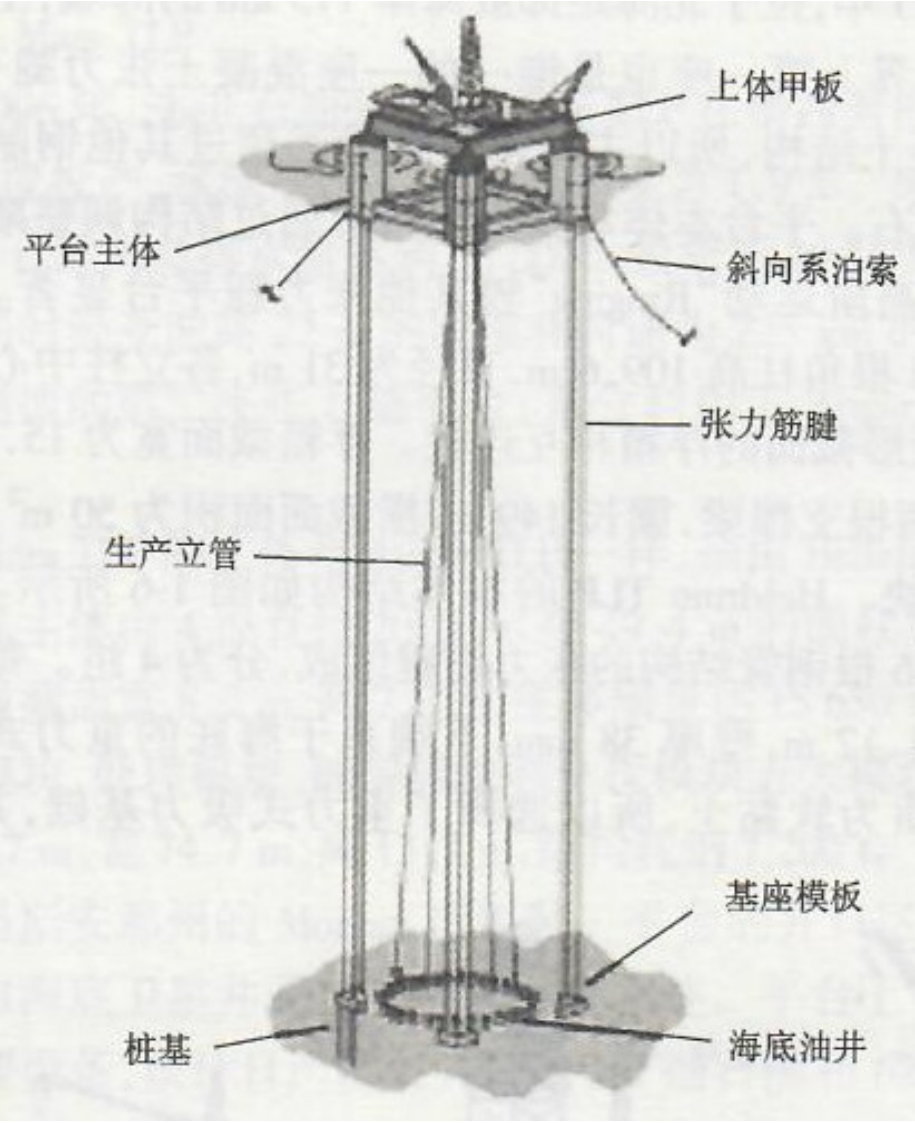
- 张力腿平台作为一种用于深海油气开采、生产和加工处理的海洋结构物，是深海油气勘探开发最重要的发展概念之一。TLP平台具有运动性能好、抗恶劣环境作用能力强、可移动和经济性好等特点，为深海油气生产、开发提供了经济的解决方案，具有良好的发展势头。



c. Mini TLP

张力腿平台


火炬塔
主甲板吊车
钻井吊车
钻井架
直升机甲板
井架底座
居住舱室
立柱
浮箱
立管
张力腿
基盘
桩基
井口基盘


上体甲板
平台主体
斜向系泊索
张力筋腱
生产立管
基座模板
桩基
海底油井

张力腿平台

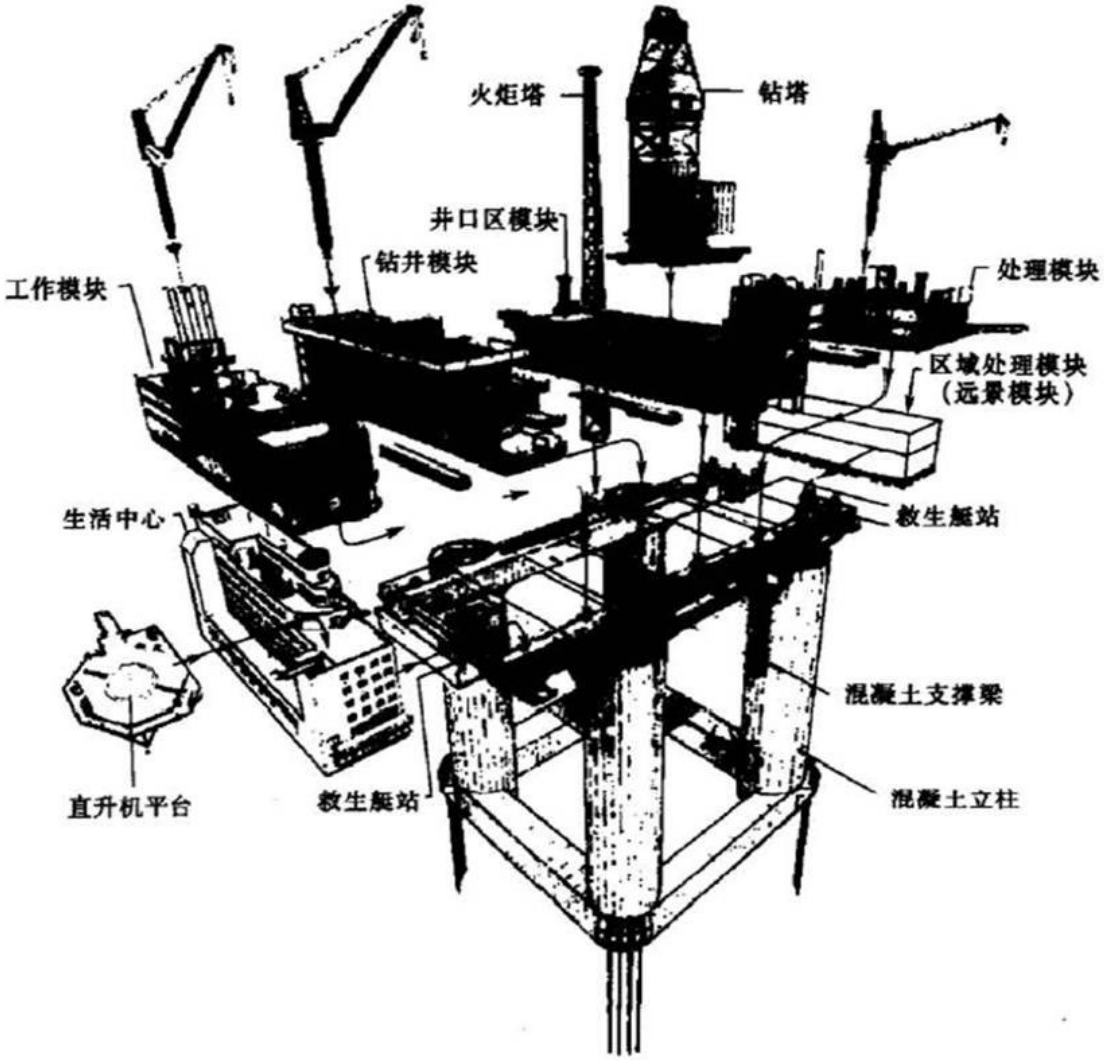
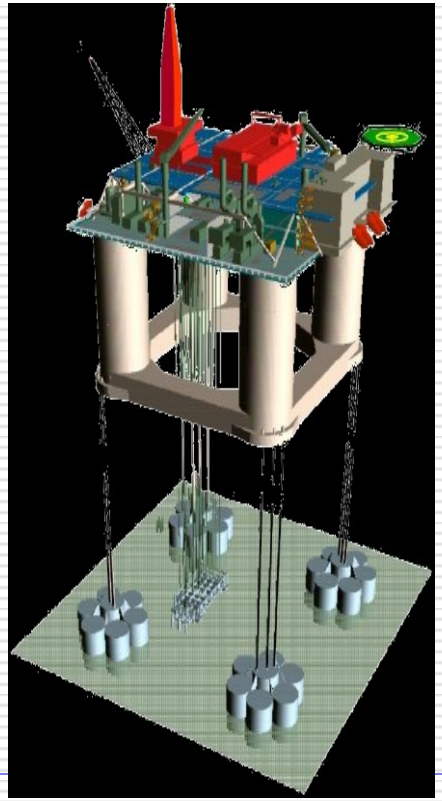


图 1-6　Heidrun TLP 的本体结构

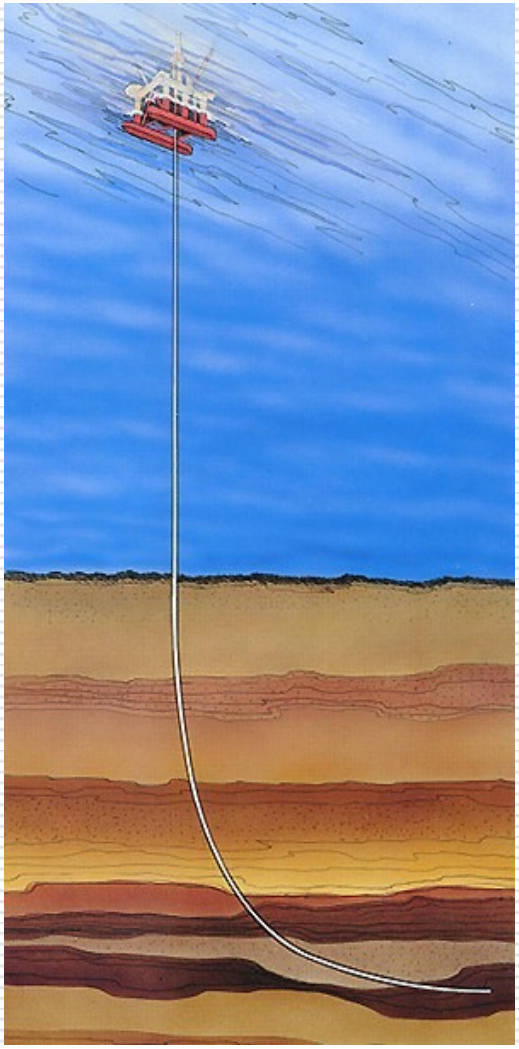
张力腿平台

- 张力腿式平台是利用绷紧状态下的锚索链产生的拉力与平台的剩余浮力相平衡的钻井平台或生产平台。张力腿式平台的重力小于浮力，所相差的力可依靠锚索向下的拉力来补偿，且此拉力应大于波浪产生的力，使锚索上经常有向下的拉力，起着绷紧平台的作用。

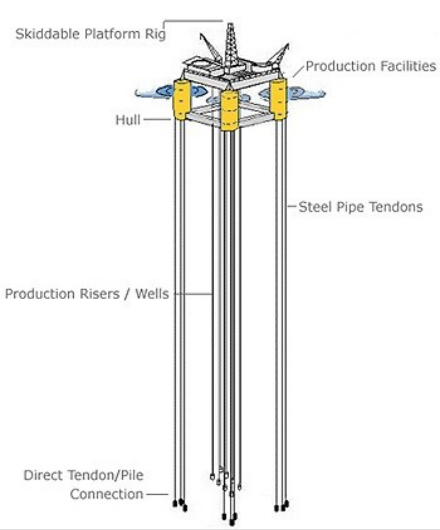


张力腿平台

- 张力腿式平台与半潜式平台的联系与区别：均有平台、立柱，均采用锚泊定位；半潜式平台锚泊定位系统的锚链为悬垂曲线，下端必须与水底相切，以保证锚柄不会从水底抬起，这样就可保证锚的抓力；张力腿式平台所用锚索是绷紧成直线的，钢索的下端与水底不是相切的，而是几乎垂直的。



- 不足：投资高
- 适用水深：460m～几千米



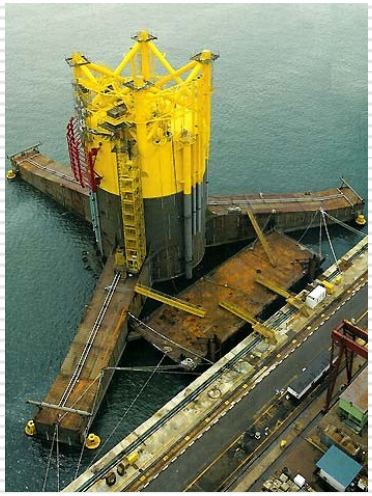
小型张力腿平台－MiniTLP(Mini Tension Leg Platform)

圆柱直径6.1-9.14m,水深
1310m，1432m

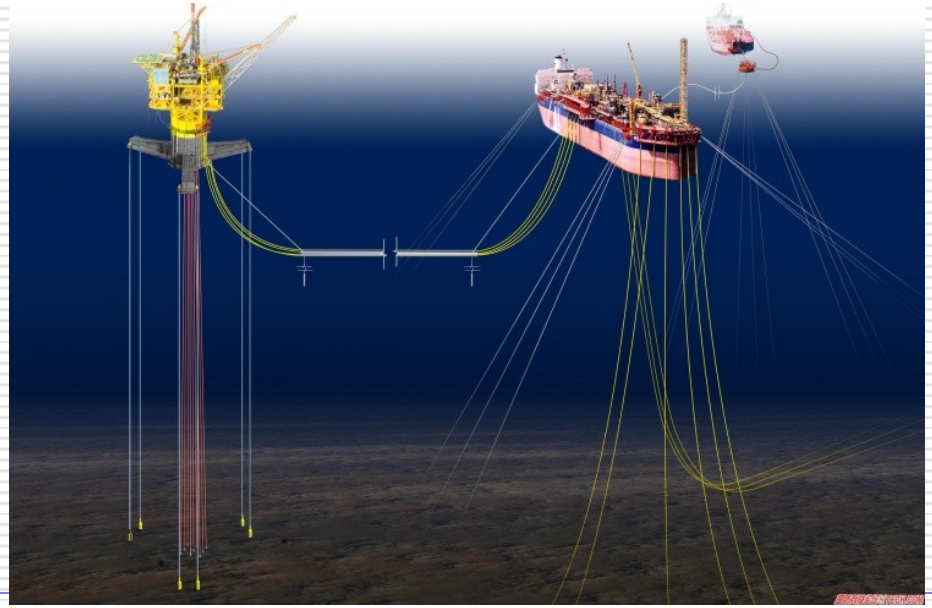
小型张力腿平台—MiniTLP

MORPETH GULF OF MEXICO, USA

小型张力腿平台—MiniTLP

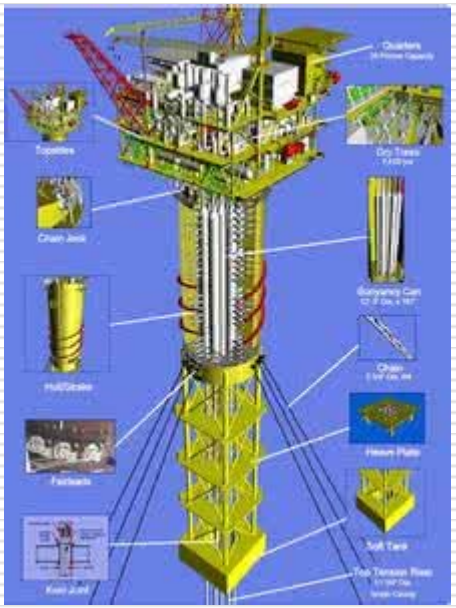


MATTERHORN, GULF OF MEXICO, USA



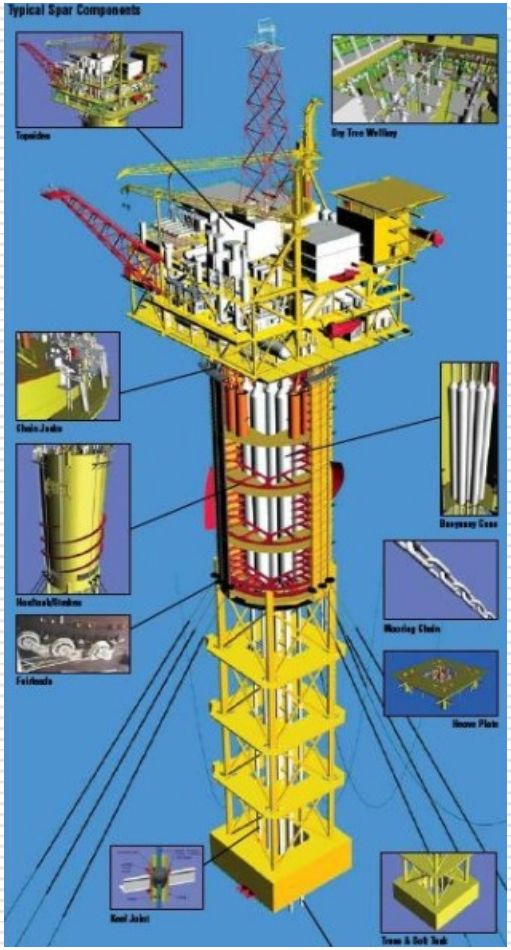
单立柱平台（SPAR）

- 由转盘、浮筒、悬链式锚链组成；
- 浮筒具有贮油能力与生产设备；
- 浮筒下一段备有贮油容器；
- 浮筒上面一段设有转盘，居住舱及工作设备

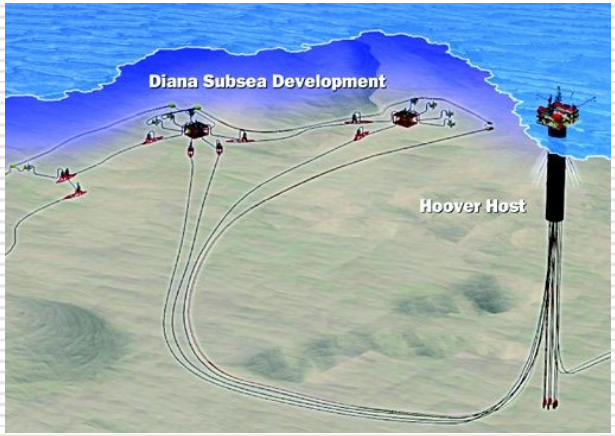


单立柱平台

- 用于深海的浮式平台
- 功能：采油、处理、钻井、修井等
- 特点：在深水环境中运动稳定，安全性好
- 采用缆索系泊固定，便于安装
- 比张力腿平台造价低，经济性好
- 使用水深：678～2800米



单立柱平台



HOOVER DIANA GULF OF MEXICO

GENESIS GULF OF MEXICO, USA

单立柱平台

The hull whilst in transit

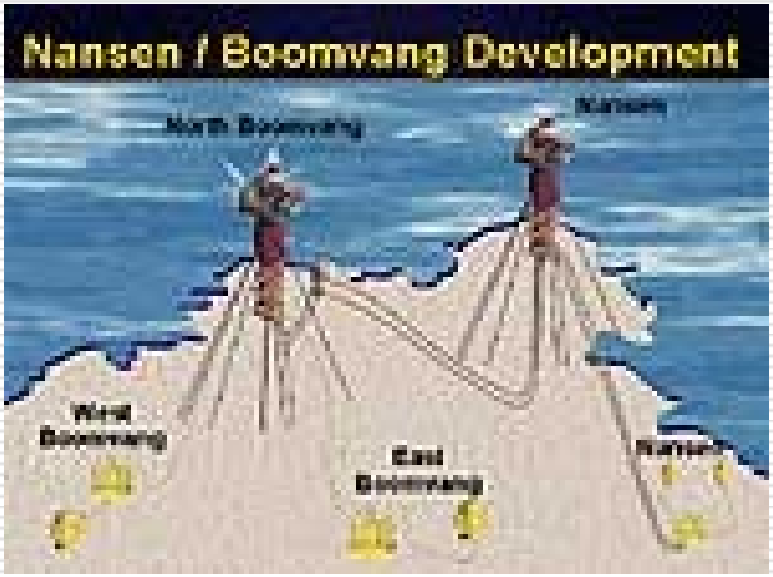
Hull installation

Topsides installation

NEPTUNE GULF OF MEXICO, USA

（The spar hull of the Neptune was fabricated in 17 sections. It is essentially a 22m-diameter cylinder, which is 215m long）

单立柱平台



NANSEN BOOMVANG GAS FIELD, GULF OF MEXICO, USA

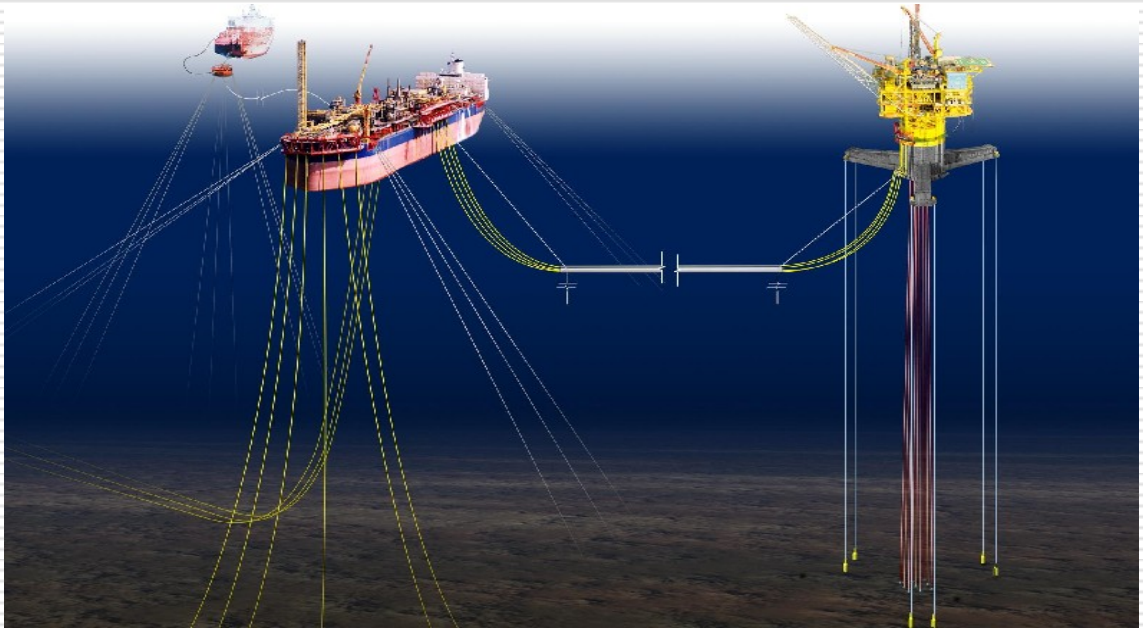
（Truss Spar， water depth 2000ft）

浮式生产储油卸油装置(FPSO)

- FPSO (Floating Production Storage and Offloading)是对开采的石油进行油气分离、处理含油污水、动力发电、供热、原油产品的储存和运输，集人员居住与生产指挥系统于一体的综合性的大型海上石油生产基地。
- FPSO始于20世纪70年代中期。它具有两个特点：一是体型庞大，船体一般从5～30万吨，一艘30万吨的FPSO甲板面积相当于3个足球场。二是功能较多，FPSO集合了各种油田设施，对油气水实施分离处理和原油储存，故被称为"海上工厂"、"油田心脏"。

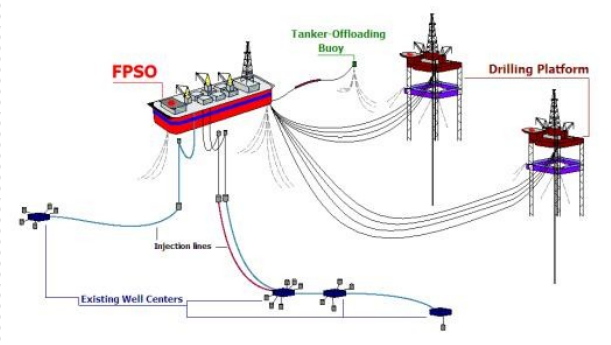
浮式生产储油卸油装置(FPSO)

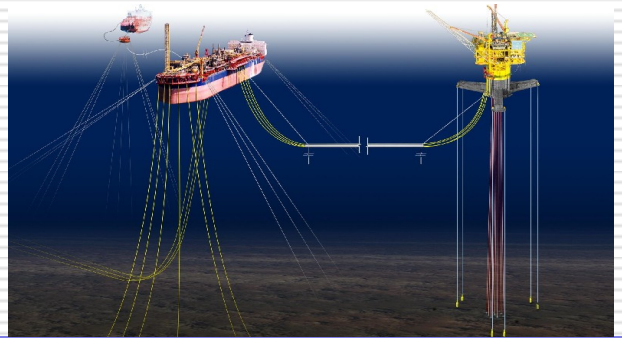
- FPSO之上安装了原油处理设备，有的FPSO有自航能力，有的则没有采用单点系泊模式在海面上固定。
- FPSO通常与钻油平台或海底采油系统组成一个完整的采油、原油处理、储油和卸油系统，其作业原理是：通过海底输油管线接受从海底油井中采出的原油，并在船上进行处理，然后储存在货油舱内，最后通过卸载系统输往穿梭油轮（SHUTTLE TANKER）。



浮式生产储油卸油装置(FPSO)

- FPSO主要由船体、负责油气生产处理的上部模块和水下单点系泊系统三部分组成，一般适用于20～2000米不同水深和各种环境的海况，通过固定式单点或悬链式单点系泊系统固定在海上，可随风、浪和水流的作用进行360度全方位的自由旋转，规避风浪带来的破坏力。
- 浮式天然气液化船（Floating Liquid Natural Gas，简称FLNG）是近年来海洋工程界提出的，集海上天然气/石油气的液化、储存和装卸为一体的新型FPSO装置。





FPSO的优点

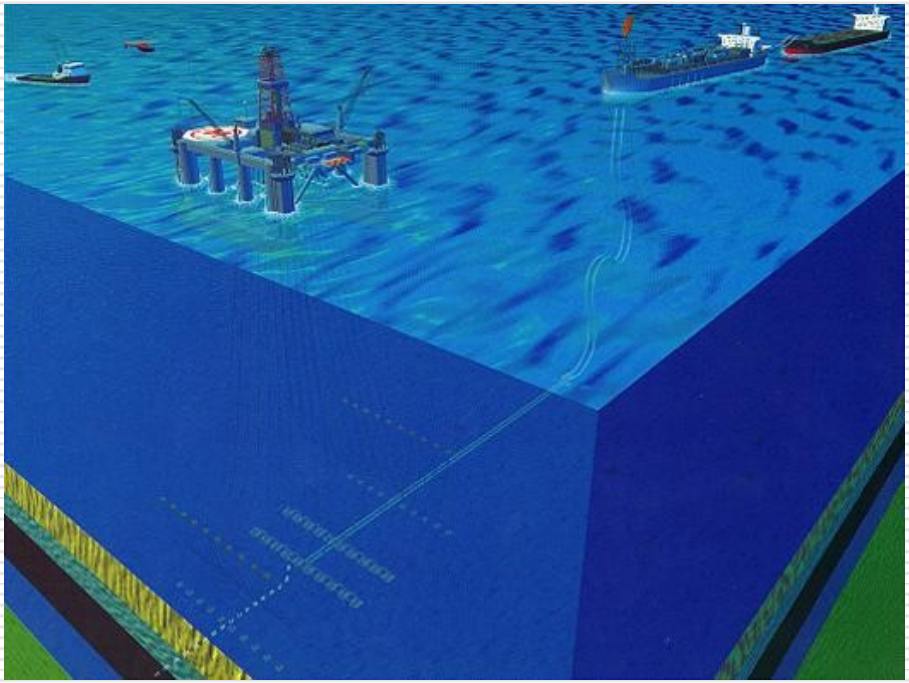
1. 生产系统投产快，投资低，若采用油船改装成FPSO，优势更为显着。而且目前很容易找到船龄不高，工况适宜大型油船；
2. 甲板面积宽阔，承重能力与抗风浪环境能力强，便于生产设备布置；
3. 储油能力大，船上原油可定期、安全、快速地通过卸油装置卸入穿梭油船中运输到岸上，穿梭油船不仅可与FPSO串联，也可傍靠FPSO系泊。最新FPSO还具备了海上天然气分离压缩罐装能力，提高了油田作业的经济性；
4. 应用灵活，移动方便，其海上自航能力是其它海洋平台系统所不具备的，因此，FPSO可根据作业需要和实际情况迅速转换工作海域和回厂检修。

FPSO

当前FPSO技术发展主要体现在以下五个方面：

- 建造技术向模块化发展，周期缩短 。早期建造一艘FPSO通常需要20个月或更长时间。目前，FPSO建造采用模块化生产工艺，船体结构和上部设施可以同时施工建造，使得FPSO建造周期可缩短至10-14个月。
- 定位与系泊技术创新，动力配置加大。新一代FPSO装置的系泊多为转塔式多点辐射状系泊，有的还在艏艉配备多个侧向推进器，发展了第三代动力定位技术(DPS-3)。新建FPSO配备强大的动力系统，并设计采用侧推螺旋桨技术以提高大尺寸船体在强风暴下的生存能力，确保正常航行时的快速性能。
- 降低油耗、循环利用。过去FPSO生产的原油主要靠穿梭油船外输，油田中生产的天然气在不值得铺设海底管线的情况下，只能将价值昂贵的天然气经分离处理后通过FPSO的火炬将其烧掉；现在，FPSO具有将天然气处理并转换成压缩天然气外输能力，即将海上采集的天然气压缩后用罐装，后用船舶外输，或管道输运。
- 石油生产能力不断加强
- FPSO新概念船正在加速研发 。

我国的几个平台



Computer-generated schematic of Liuhua 11-1 FPS and FPSO

The FPS is a modified semi-submersible drilling rig. Shown are the 25 flexible catenary lines on the FPS riser system.

LIUHUA 11-1 SOUTH CHINA SEA, CHINA

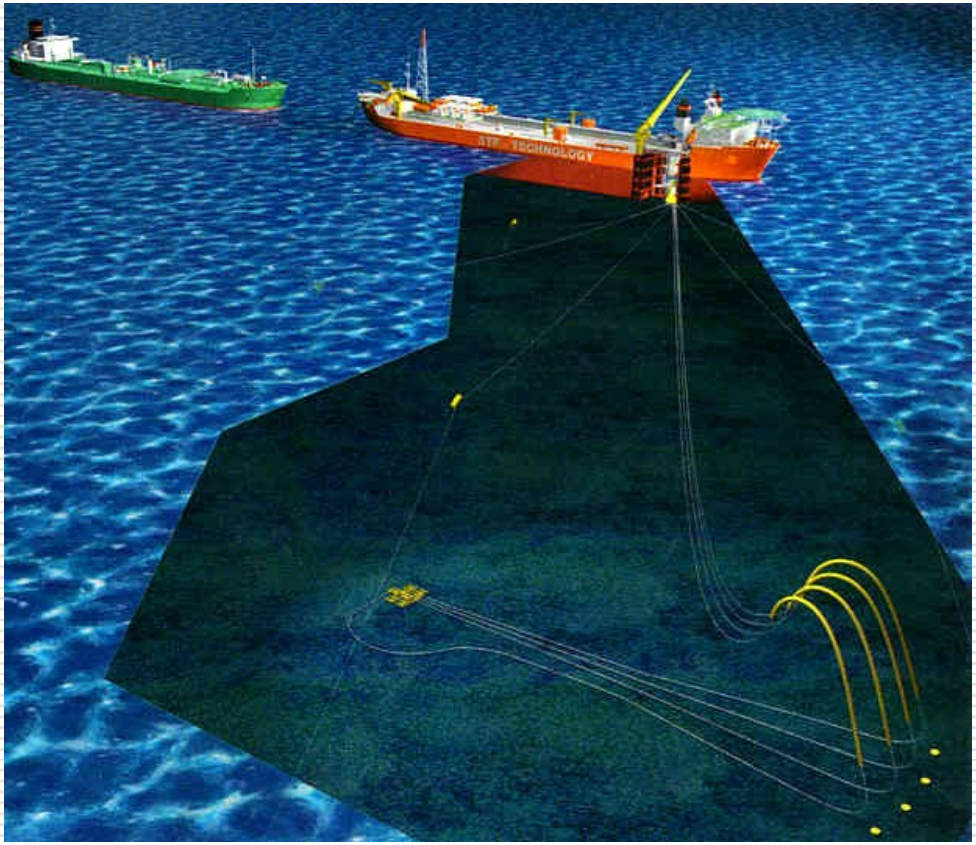
我国的几个平台

FPS Nanhai Tiao Zhan was converted from a semi-submersible drilling rig, purchased in September 1993.

FPSO Nanhai Sheng Li. The FPSO supports the processing equipment necessary to handle up to 5,000bbl of oil and 300,000bbl of total fluids per day

我国的几个平台

Schematic of the FPSO over the Lufeng field.



LUFENG 22-1 SOUTH CHINA SEA, CHINA

（陆丰22-1，长117.35米、型宽22米、型深9米）

我国的几个平台

中国海域 FPSO 一览表

	油气田	FPSO	
渤海	渤中 34-2/4	长青号	5.03
	渤中 28-1	友谊号	4.5
	渤中 26-2		
	秦皇岛 32-6	世纪号	15
	蓬莱 19-3	明珠号	5.2
		海洋石油 117	30
	曹妃甸 11-1	海洋石油 112	15
	曹妃甸 11-2		
	渤中 25-1/S	海洋石油 113	16
南海西部	文昌 13-1	奋进号	14
	文昌 13-2		
	新文昌油田群	海洋石油 116	10
南海东部	惠州油田群	发现号	25
	西江 30-2	开拓号	15
	西江 24-3		
	陆丰 13-1	盛开号	12
	陆丰 22-1	睦宁号	10
	流花 11-1	胜利号	14
	番禺 4-2	海洋石油 111	15
	番禺 5-1		
	西江 23-1	海洋石油 115	10

注："海洋石油 114"为中海油东南亚有限公司租赁使用。
相关资料由有限公司开发生产部提供。

我国的几个平台

- 2017年2月13日，由中集来福士海洋工程有限公司建造的全球最先进的超深水双钻塔半潜式钻井平台“蓝鲸1号”在山东烟台交付。
- 该平台长117米，宽92.7米，高118米，最大作业水深3658米，最大钻井深度15240米，适用于全球深海作业。与传统单钻塔平台相比，“蓝鲸1号”配置了高效的液压双钻塔和全球领先的DP3闭环动力管理系统，可提升30%作业效率，节省10%的燃料消耗。
- 重42000吨，集中了27354台设备，40000多根管路。
- 蓝鲸1号”建造成本超过7亿美元，折合人民币超过45亿元。

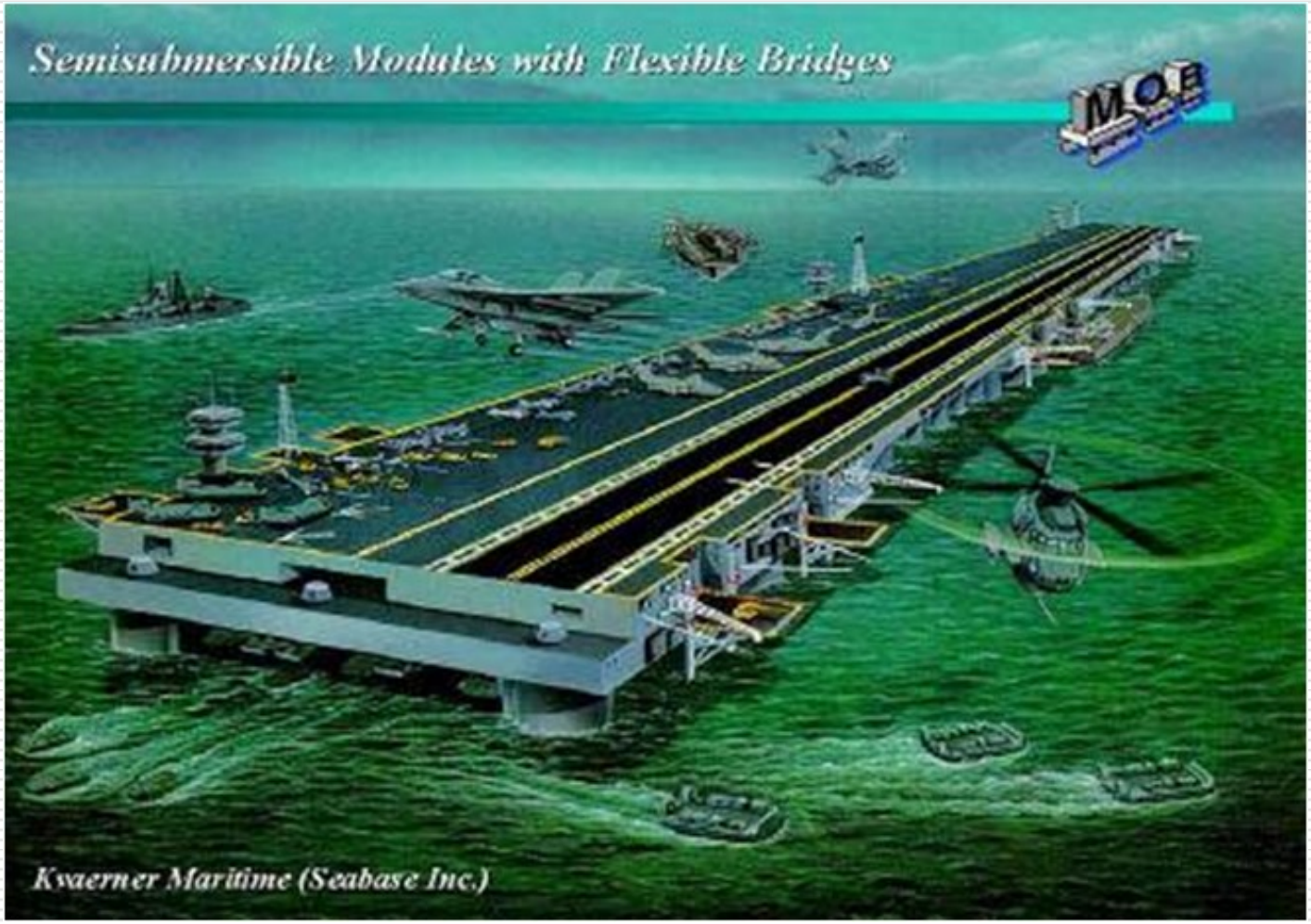
蓝鲸1号

- 平台发展以材料论，从木质平台——钢质平台，以类型论，从固定式平台——移动式平台；
- 固定式平台：对恶劣环境适应性强；不利于拆除搬迁，水深增加后不经济；移动式平台：适合深水，利于拆除搬迁；部分平台对恶劣环境适应性弱。

超大型海上浮式结构物

- 超大型海上浮式结构物(Very Large Floating Structures，VLFS)作为一种海上大型综合保障基地，近几年已经成为国际上海洋平台研究的新热点。
- 超大型浮式结构物是指尺寸以千米计的浮式结构物，可以以岛屿或岛礁群为依托，为实现某种目的，永久或半永久性地布置和存在。
- 作为海上移动基地、海上机场、离岸码头、大型旅游设施、石油开采保障基地和大型能源提供平台，VLFS具有相当的综合性以及多功能多用途的特点，投入使用的超大型浮式结构物将会极大程度地影响其周边的政治、经济和社会活动。

超大型海上浮式结构物



研究中的美国海军移动基地(VLFS)

4500×750×350英尺

超大型海上浮式结构物

超大型海上浮式结构物

- 长与高的比值非常大，VLFS 是一个极为扁平的柔性结构物。在海洋岛礁环境下，水深、波浪不均匀、结构弹性响应对波浪载荷和结构响应有一定的影响；
- 由于 VLFS 体量巨大，考虑到建造、运输、安装、维护、使用安全性的需要，其构型和结构一般具有模块化的特征。模块之间通过连接器的相互作用以及水动力的相互影响导致它是一个多体系统的耦合问题；
- 相比于一般的海洋工程结构物，超大型浮式结构物的单模块长度可以达到300 米以上，构型独特、体量庞大，其水动力响应特征可能有明显区别；
- 多模块的耦合运动和载荷与单模块自由运动和载荷之间可能存在较大差别，如何合理地确定超大型浮体结构的设计工况，在保证结构安全的前提下提高评估效率对浮体结构的设计建造十分重要。

海洋石油平台工作环境

海洋石油平台工作环境

- 海洋平台在风、浪、流作用下产生运动

  - 风：无风、软风、轻风、微风、和风、清风、强风、劲风、大风、烈风、狂风、暴风、飓风（蒲氏风力等级）；
  - 浪：风浪、风暴潮、海啸、内波、潮汐波、畸形波等；
  - 流：海流、潮流。

蒲福风力等级表

风级	名称	风速(m/s)	(km/h)	陆地地面物象	海面波浪	浪高(m)	最高(m)
0	无风	0.0-0.2	<1	静,烟直上	平静	0.0	0.0
1	软风	0.3-1.5	1-5	烟示风向	微波峰无飞沫	0.1	0.1
2	轻风	1.6-3.3	6-11	感觉有风	小波峰未破碎	0.2	0.3
3	微风	3.4-5.4	12-19	旌旗展开	小波峰顶破裂	0.6	1.0
4	和风	5.5-7.9	20-28	吹起尘土	小浪白沫波峰	1.0	1.5
5	劲风	8.0-10.7	29-38	小树摇摆	中浪折沫峰群	2.0	2.5
6	强风	10.8-13.8	39-49	电线有声	大浪白沫离峰	3.0	4.0
7	疾风	13.9-17.1	50-61	步行困难	破峰白沫成条	4.0	5.5
8	大风	17.2-20.7	62-74	折毁树枝	浪长高有浪花	5.5	7.5
9	烈风	20.8-24.4	75-88	小损房屋	浪峰倒卷	7.0	10.0
10	狂风	24.5-28.4	89-102	拔起树木	海浪翻滚咆哮	9.0	12.5
11	暴风	28.5-32.6	103-117	损毁重大	波峰全呈飞沫	11.5	16.0
12	飓风	>32.6	>117	摧毁极大	海浪滔天	14.0	-

海洋石油平台工作环境

- 海洋平台以一定时期固定于某一水域进行专业活动如钻探、采油。
- 船舶是以航运活动为主，强调以最经济、最安全以及最短的时间到达目的地。
- 两者的设计、研究方面没有本质的区别，只是侧重点不同。
- 实际上，广义的海洋工程应该包括整个船舶工程和海洋工程。既使将船舶工程与海洋工程分为两个学科，其所研究的内容、范围也是很难严格区别，很难彼此独立的。

例如：人们可以将一个运输船舶改装为一个石油钻井船；一个用于军事目的如侦察、救生潜器与用于深海勘探的潜器从结构上更不会有太大的区别。

平台设计

设计内容

- 总体设计
- 结构设计
- 舾装设计
- 钻井工艺
- 轮机设计
- 电气设计

设计阶段

- 初步设计：总体说明书，总布置图，外形图、结构强度和稳性计算书、主要设备规格明细表
- 技术设计：总体说明书，详细的总布置图，外形图、结构强度和稳性计算书、主要设备规格明细表、重量及重心计算书，锚泊、起重、救生、消防等设备计算书。
- 施工设计：结合建造厂具体技术条件，制定所需的配套技术文件。
- 完工文件：建成后与原设计的出入、改动