当今主要海上平台简介

一、海上平台分类

随着海运、海防、海洋开发事业的发展，各类海洋工程设施应运而生。世界乃至我国都没有统一的海上平台分类，但一般按照移动和固定方式进行分类。通常海洋平台的种类如下：

海洋平台：（1）移动式平台： 坐底式平台　自升式平台　钻井船

半潜式平台　张力腿式平台　牵索塔式平台

（2）固定式平台：导管架式平台　重力式平台

固定平台又可以分为桩式海上固定平台、重力式海上固定平台、自升式海上固定平台（GB17503-1998 海上平台场址工程地质勘察规范）。

海上平台为在海上进行钻井、采油、集运、观测、导航、施工、风力发电等活动提供生产和生活设施的构筑物。按其结构特性和工作状态可分为**固定式、活动式和半固定式三大类**。

固定式平台的下部由桩、扩大基脚或其他构造直接支承并固着于海底，按支承情况分为桩基式和重力式两种。活动式平台浮于水中或支承于海底，能从一井位移至另一井位，接支承情况可分为着底式和浮动式两类。近年来正在研究新颖的半固定式海洋平台，它既能固定在深水中，又具有可移性，张力腿式平台即属此类。

固定式平台桩基式平台

①导管架型平台：在软土地基上应用较多的一种桩基平台。由上部结构（即平台甲板）和基础结构组成。上部结构一般由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。基础结构（即下部结构）包括导管架和桩。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。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。并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。



运输途中的导管架

导管架由导管（即立柱）和导管间的水平杆和斜杆焊接组成，钢桩沿导管打入海底。打桩完毕后，在两者的环形空隙内用水泥浆等胶结材料固结，使桩与导管架形成一个整体，以承受巨大的竖向和水平荷载。若桩的承载能力不能满足要求时，可在立柱之间和角立柱的周围增设钢桩。这种平台施工时一般先在陆地上预制导管架，再用驳船拖运就位进行安装，通过调节压舱水使驳船倾斜，然后用卷扬机将导管架送入水中，由其自身浮力悬浮在水中，再向导管架立柱内灌水，同时用起重船把导管架竖立就位于海底井址，再将桩逐段连续打入海底土层固定。用于深海的导管架高度很大，整体运输困难，可采用分段制造，分段下水连接而成。



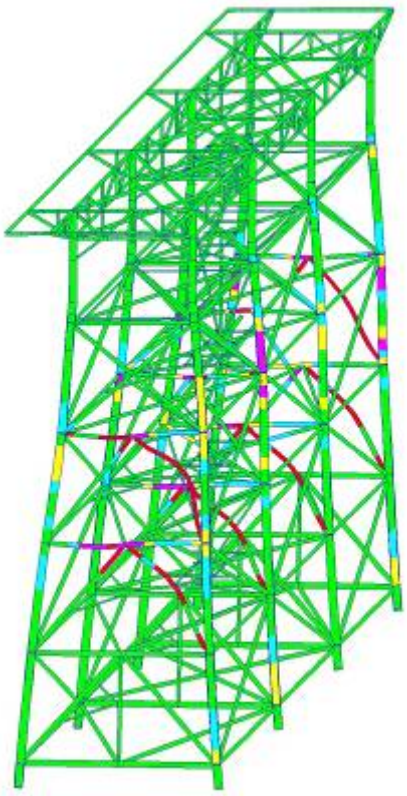
正在建设中的导管架



钢质导管架式平台

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。钢质导管架式平台自 1947 年第一次被用在墨西哥湾 6m 水深的海域以来，发展十分迅速，到 1978 年，其工作水深已达 312m。据报道，高度为 486m 的巨型导管架式平台将安置于墨西哥湾 411m 水深的海域内。





混凝土重力式平台的底部通常是一个巨大的混凝土基础（沉箱），用三个或四个空心的混凝土立柱支撑着甲板结构，在平台底部的巨大基础中被分隔为许多圆筒型的贮油舱和压载舱，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。



混凝土重力式钻井平台及供给船





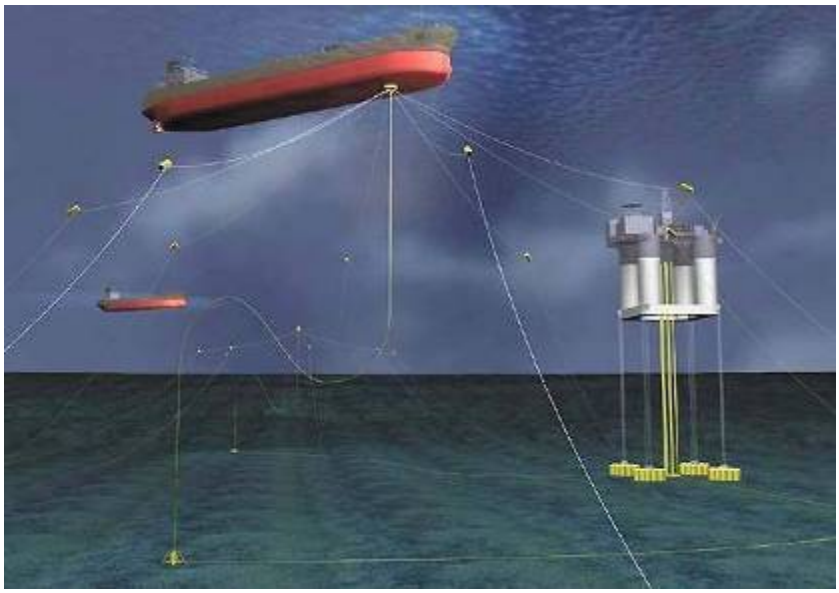








绥中 36-1A 平台



勘探船定位示意图

钻井船是浮船式钻井平台，它通常是在机动船或驳船上布置钻井设备。平台是靠锚泊或动力定位系统定位。

按其推进能力，分为自航式、非自航式；按船型分，有端部钻井、舷侧钻井、船中钻井和双体船钻井；按定位分，有一般锚泊式、中央转盘锚泊式和动力定位式。浮船式钻井装置船身浮于海面，易受波浪影口向，但是它可以用现有的船只进行改装，因而能以最快的速度投入使用。

适用于深海钻井的主要是两种浮式钻井装置——半潜式钻井平台和钻井船。

浮式钻井装置在海洋中处于漂浮状态，受风、浪、流的影响，必须采用可靠的技术进行准确定位。现有的深海半潜式钻井平台中，第二代 22 座正逐渐退出钻井市场；第三代 29 座，第四代 37 座；第五代 15 座，以动力定位为主，适用于超深海；在建的以第六代为主，适用于水深为 2550-3600 米的极恶劣海洋环境，采用动力定位系统。现有的钻井船大多数采用动力定位，适用于 1000 多米的水深；在建的钻井船全部采用动力定位。

坐底式钻井平台又叫钻驳或插桩钻驳，适用于河流和海湾等 30m 以下的浅水域。坐底式平台有两个船体，上船体又叫工作甲板，安置生活舱室和设备，通过尾郡开口借助悬臂结构钻井；下部是沉垫，其主要功能是压载以及海底支撑作用，用作钻井的基础。两个船体间由支撑结构相连。这种钻井装置在到达作业地点后往沉垫内注水，使其着底。因此从稳性和结构方面看，作业水深不但有限，而且也受到海底基础（平坦及坚实程度）的制约。所以这种平台发展缓慢。








实船图片



巴西的钻井船

然而我国渤海沿岸的胜利油田、大港油田和辽河油田等向海中延伸的浅海海域，潮差大而海底坡度小，对于开发这类浅海区域的石油资源，坐底式平台仍有较大的发展前途。

80 年代初，人们开始注意北极海域的石油开发，设计、建造极区坐底式平台也引起海洋工程界的兴趣。目前已有几座坐底式平台用于极区，它可加压载坐于海底，然后在平台中央填砂石以防止平台滑移，完成钻井后可排出压载起浮，并移至另一井位。



Island Frontier勘探船

三角形坐底式平台由三个粗立柱与多个细圆柱组成，每个大立柱下部有一个短形箱体。单立柱坐底式平台的下部由两根水平布置粗圆柱及一些细圆柱组成一个水平框架，使平台稳稳地坐于海底。

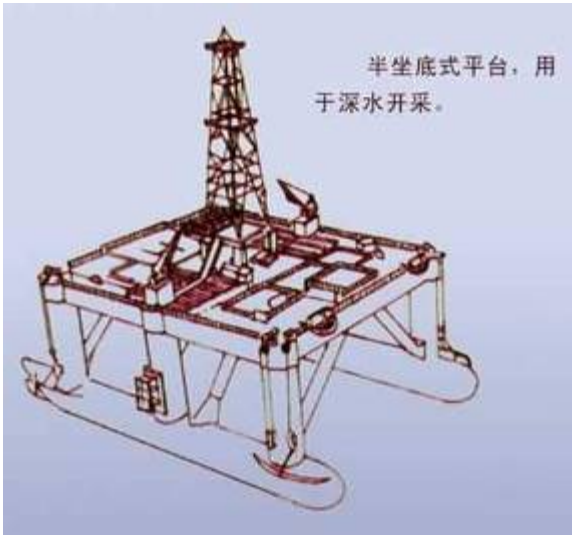


单桩柱坐底式钻井平台



山海关在建的坐底式平台中油海





自升式钻井平台又称甲板升降式或桩腿式平台。这种石油钻井装置在浮在水面的平台上装载钻井机械、动力、器材、居住设备以及若干可升降的桩腿，钻井时桩腿着底，平台则沿桩腿升离海面一定高度；移位时平台降至水面，桩腿升起，平台就像驳船，可由拖轮把它拖移到新的井位。自升式平台的优点主要是所需钢材少、造价低，在各种海况下都能平稳地进行钻井作业；缺点是桩腿长度有限，使它的工作水深受到限制，最大的工作水深约在 120m 左右。超过此水深，桩腿重量增加很快，同时拖航时桩腿升得很高，对平台稳性和桩腿强度都不利。

自升式平台有自航、助航和非自航之分，但大多数为非自航。平台形状有三角形平台（三根桩腿）、矩形平台（一般为四根桩腿）和五角形平台（五根桩腿）等。为了在较深水域和环境恶劣的海况下工作时减少平台所受的力，最佳的自升式平台应是单桩腿平台。欧洲北海使用的自升式平台大都是此种单桩腿的自升式平台。新加坡伯利恒公司为我国建造的“渤海 6 号”自升式钻井平台，长 50.6m，宽 51.8m，高 3m，有三根桩腿，直径均为 3.6m，可容纳船员 93 人。生活舱和工作舱可适用于冬季作业。



半潜式平台



壳体式桩腿自升钻井平台

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。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 36.5m2 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。



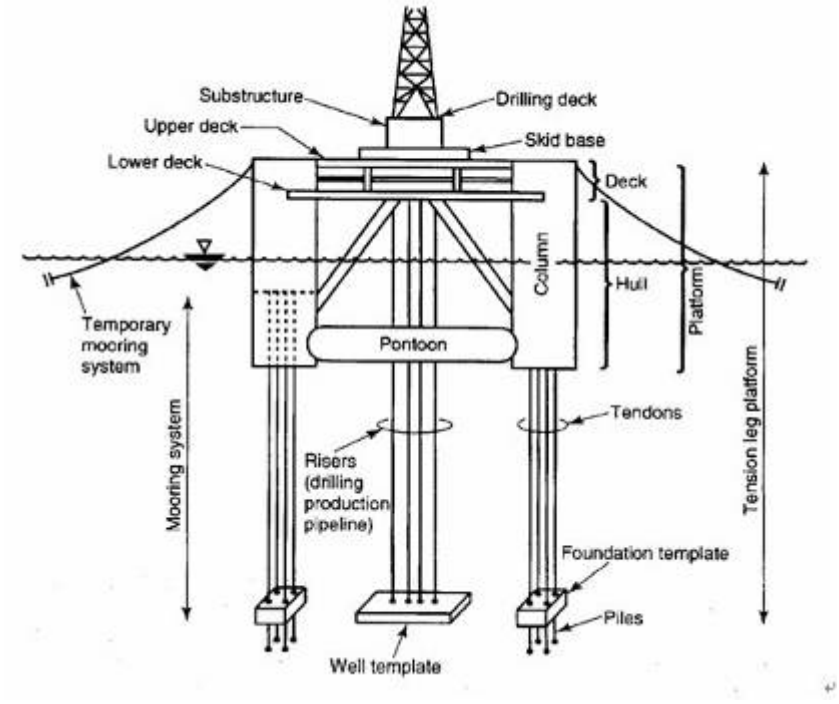





桁架式桩腿自升钻井平台

牵索塔式平台在波浪载荷作用下的动态响应数值分析指出，其桩基处的弯矩比塔的其它部分要小得多，整个系统上的水平力也主要由系缆系统承受。从其恢复力与塔的偏离平衡位置的关系曲线可以看出，当塔的偏离增大到一定程度时，系在牵索上原来固定在缆索上而沉于海底的重块被提起离开海底，从而使索内的张力增加变得缓慢，亦即比重块未被提起时吸收更多的能量。这样在遇到大幅值长周期的风暴波时，系统变软，更大的顺应性出现。由于这些优点，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 200m～650m。目前已经有几座在墨西哥湾牵索塔式平台工作于 640 米水深的海域。



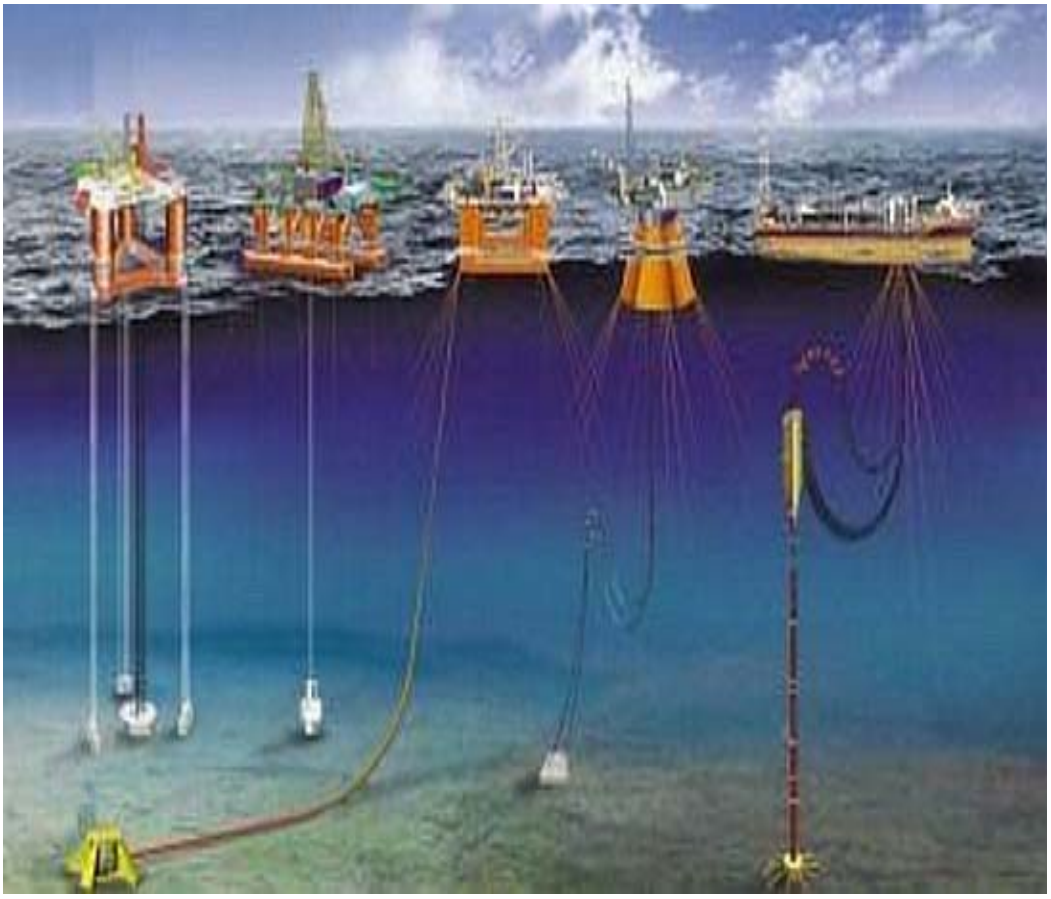


牵索塔式平台

张力腿式钻井平台是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或生产

平台。

张力腿式钻井平台也是采用锚泊定位的，但与——般半潜式平台不同。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。张力腿式平台的重力小于浮力，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。张力腿式平台自 1954 年提出设想以来，迄今已有 40 年的历史。



主要深水平台

作用于张力腿式钻井平台上的各种力并不是稳定不变的。在重力方面会因载荷与压载水的改变而变化；浮力方面会因波浪峰谷的变化而增减；扰动力方面因风浪的扰动会在垂向与水平方向产生周期变化，所以张力腿的设计，必须周密考虑不同的载荷与海况。对于平台的水下构件，不论垂向或水平的，都会因波浪的波峰与波谷的作用而产生影响，因此如何选取水下构件的形状与尺度，使波浪扰动力的作用为最小，减小平台在波浪中的运动以及锚索上的周期性载荷，是张力腿式平台的研究课题之一。一般张力腿式平台的重心高、浮心低，非锚泊情况时要求初稳性高为正值，为此要求稳心半径大或水线面的惯性矩大，这样在乎台发生严重事故时，仍能正浮于水面。要求达到此目的，就要把立柱设计得较粗，这样必然会使平台在波浪中的运动响应较大。也有一种把立柱设计得很细，虽然初稳性高可能出现负值，但在锚索拉力的作用下也是稳定的。这种平台在波浪中的运动响应较小，造价也可能低些，不过安全性差些。



典型的张力腿式钻井平台

张力腿平台（Tension Leg Patform简称为TLP），目前主要的深海石油其结构一般由平台本体、张力腿系统和基础系统三部分组成。基础部分不但承受着结构上部及海底的各种载荷，而且为结构提供必要的稳定性和安全性。据不完全统计， 目前全世界已经建成投产的TLP平台有九座， 它们分别为Hutton，Jollite， Snorre ，Auger ，Heidrun，M ars，Ursa， Seastar和Ram öPowell， 其中Heidrun平台是唯一的混凝土张力腿平台。有关资料详见表1。

张力腿平台的构造资料

平台名称	安装时间	水深（m）	材料	排水量/t	筋腱数量	筋腱接点	筋腱锚固	基础
Hutton	1984	170	钢	60000	16	螺栓	内部	重力基础
Snorre	1992	310	钢	106000	16	螺栓	内部	重力基础
Jolliet	1989	542	钢	16500	12	焊接	外部	16根桩基
Auger	1993	872	钢	65000	12	焊+螺栓	外部	16根桩基
Heidrun	1995	330	混凝土	278500	16	焊接	外部	重力基础
Mars	1996	905	钢	50000	12	焊接	外部	12根桩基
Ramöpowell	1996	981	钢	50000	12	焊接	外部	12根桩基
Seastar	1998	1067	钢	11000	6	焊接	外部	6根桩基
Ursa	1998	1226	钢	90000	16	焊接	外部	16根桩基

** 在7311m 以下采用筋腱连接

张力腿平台最重要的特点是平台的竖向运动很小，水平方向的运动是顺应式的， 结构惯性力主要是水平方向的回弹力。张力腿平台的结构造价一般不会随水深增加而大幅度地增大。通常张力腿平台由三大部分组成：提供结构预张力并支撑上部甲板和设备载荷的平台本体；将平台本体与海底地基连接起来，从而将结构相对固定入位的张力腿系统以及提供张力腿强大的抗拔力并为整体结构提供良好稳定性、安全性的基础。它不仅受到张力腿的拔拉力，且作为置于海洋中的结构承受着包括地震等各种载荷。基础形式的设计选择及其安装制造方法对张力腿平台整体的工作性能有极大的影响，因此，对于张力腿平台基础的研究一直是国内外学者非常重视的问题。

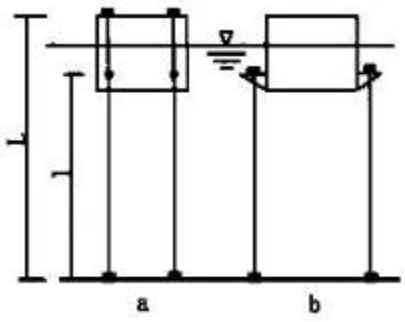


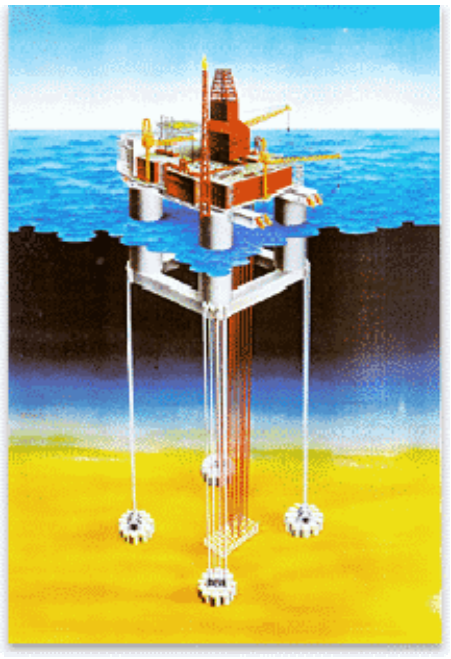
图　　张力腿平台的力学模型

Hutton 张力腿平台是第一座张力腿平台，由 Conoco 公司于年在北海建造、安装。它是一座中等水深油气钻探、生产的综合性平台。在中等水深条件下钢导管架平台是较经济的石油平台，当时选择张力腿平台形式的一个重要目的是希望在中等海况下获得关于张力腿平台运动性能的一些实测数据，为进一步在深水域内设计应用提供一些科学依据。



平台结构如图。本体由六根立柱和四个浮筒组成，平台每根角柱与四根厚壁钢管组成的张力腿与海底

地基基础连接，同时张力腿通过平台本体的浮力保持张拉的受力状态，张力腿通过角柱在水平面之上和甲板相锚固，张力腿力学模型如图 2（a）Hutton 张力腿平台所处的海底地基为中等强度粘土，选择了四个相互独立的重力式基础，这种基础在通常的土质下计算简单，设计可靠。





Snorre 平台由 Sage 公司 1992 建成投产，位于 300m 深的海域，是当时北海开发最深的海域。与 Hutton 平台相比，水深较深，结构尺度较大。Snorre 平台本体由四根立柱浮筒组成，张力腿的直径较大，壁厚较簿。Snorre 平台张力腿的连接方式与 Hutton 平台的相同，都是张力腿上端与平台连接，底端与张力腿连接，见图 2（a），这样的张力腿造价昂贵，安装困难，因此后来的张力腿设计都在柱外锚固，见图 2（b）。

Snorre 平台的海底土质条件是：上层为非常软的软粘土，整体土质不稳定，存在一定的孔穴和塌陷性土层，大约在 60m 深处粘土变为含有砾石的冰碛。在这样的土层情况下，选择了裙式重力基础形式，如图 3。它由四个混凝土基座组成，每个基座截面为 720m2，由三个高为 20m 的混凝土舱体构成，每个舱的直

径为 17m，裙的壁厚为 0.35m，舱上部设有密封的圆形顶盖，裙外壁由顶盖伸出 6m，形成一个圆形的外围，以利于在舱顶盖上放置压重物。混凝土基础实际重量为 5660t，水下重量为 3500t，再附加放置在舱顶盖 3500t 的压载（压载物一般为铁或橄榄石），最终基础的水下总重为 7000t。基础最初贯入是在自重作用下产生的，然后通过吸出裙舱内的水形成舱内负压实现进一步贯入，最终达到设计深度。混凝土基础基座上部中央和张力腿相连。由于海底并非是一个平面，所以在基础的贯入过程中通过调整对应的舱内负压来控制各基座的贯入深度，为张力腿提供一个水平面。当时关于基础形式的选择集中在重力裙式基础和桩基础之间，Sage 公司同时对两种基础形式在软土土质中的利弊进行了分析研究，J&WOffshore 进行了实验表明：重力裙式基础在动载作用下其运动及承载力有一套可靠的承载力计算方法；挪威土工协会进行了拔拉桩的动静态模型实验，在粉质粘土中桩动载的摩擦力和承载力远比静态载荷作用下实验的摩擦力和承载力低，同时在 NGI 作了关于拔拉桩模型实验，实验表明桩在交替的张拉力和压力作用下承载力大幅度减小，动承载力只是静态承载力的 40%。鉴于上述实验结果，考虑到若在粉砂质粘土中使用桩基础必然会大大增加工程造价，所以 Snorre 张力腿平台采用了裙式重力基础。

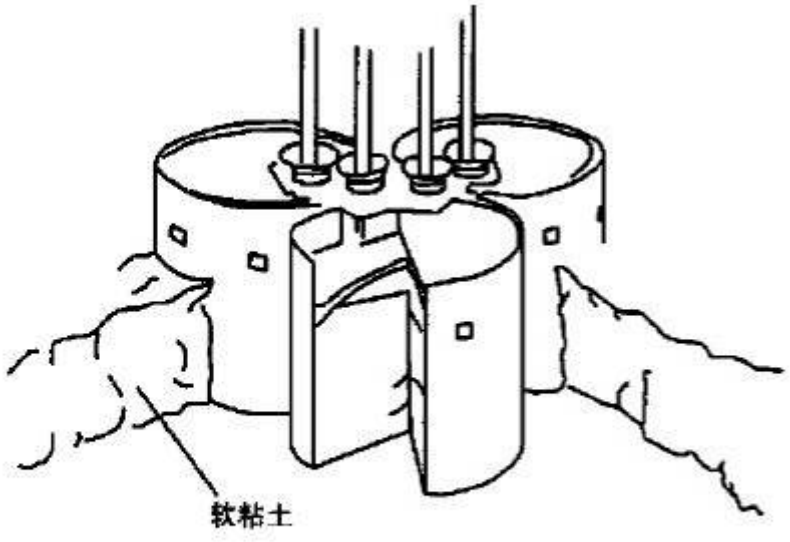


图　Snorre 基础结构

Snorre 平台作为第一座北海真正意义的深水平台结构，包含了许多技术创新，其中包括引进了一种简单经济的海洋浮式结构的锚固基础—裙式重力基础，第一次将混凝土基础作为大型的吸力锚。经过大量的模型实验测定以及实际检测证明，Snorre 混凝土基座是一种新型经济的海洋浮体结构的基础形式，比较适合软粘土海底地基，并以其经济性和安全性在软土地基中取代了桩基础，这种裙式重力基础还可移动，实现重复使用。

Jolliet 张力腿平台于 1989 年由 Conoco 公司承建，位于墨西哥海湾 542m 深的 Green 峡谷 184 海域。它与 Hutton 平台、Snorre 平台相比结构尺寸小很多，主要由钻探基座、基础系统、张力腿系统和平台本体四大部分组成，通常称之为井口张力腿平台。Jolliet 平台由四个立柱和四个浮筒组成，立柱下端与四组、十二根张力腿筋腱锚固，从而把平台与海底基础相连，

Jolliet 平台首次将张力腿筋腱锚固在平台立柱外侧，见图 2（b），使张力腿的安装过程大大简化。

Jolliet 平台的海底比较平整。通过现场勘探实验表明，Jolliet 平台地基土质情况较好，海底表面的软粘

土硬度随水深逐渐增大，到 58.6 米为非常硬的粘土，到 201m 深土质为超固结粘土。Jolliet 平台基础采用桩基础形式，由一个矩形的基座和基座四角十六根深入海底的桩组成，基座面积大约为 62m^2，水下重为 700t，基座由八根相互交叉的直立钢架组成，钢架之间由水平支撑相连，基座四角外伸的水平钢架设有筋腱插孔和桩基套筒，分别在上方与筋腱连接。在下方与贯入海底的桩连接， 如图所示。

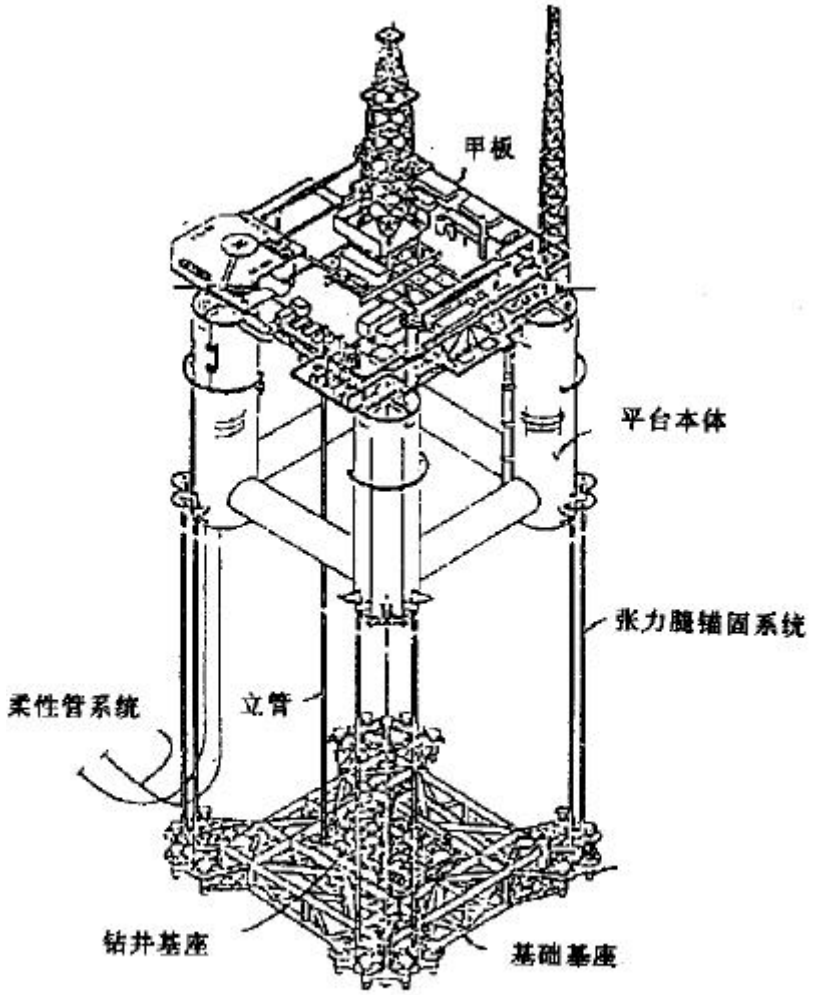


图　Jolliet 平台结构

Auger 张力腿平台位于墨西哥海湾 Garden Banks 区域，水深为 882m。Auger 平台代表着当时张力腿平台概念设计的前沿，它的结构尺寸和 Hutton 平台相同，却位于比 Jolliet 平台更深的海域。Auger 张力腿平台由十二根筋腱将平台本体与基础连接，其中每根角柱连接三根筋腱，三根筋腱作为一个张力腿与一个基础基座连接。除了张力腿，Auger 平台还有侧向的锚链，它们可以增加结构的侧向刚度，减小平台由于风、流、浪引起的静态偏移，使平台在钻探、维修等过程中有一个允许的偏移量。海底地基由正常固结软粘土组成，地基表面有一层海洋沉积物和塌陷性沉积物。结构基础是四个相互独立的桩基础基座，每一个基础基座由四根深入海底地基的桩安全定位，桩顶通过导向套筒与基座相连。图 6 为 Auger 张力腿平台张力腿基础基座，四个基座和十六根桩的详细尺寸及重量如下：基座长宽高分别为 1815m、1815m 和 1416m，实际重量为 611t；桩直径为 212m，高为 132m，实际重量为 203t。

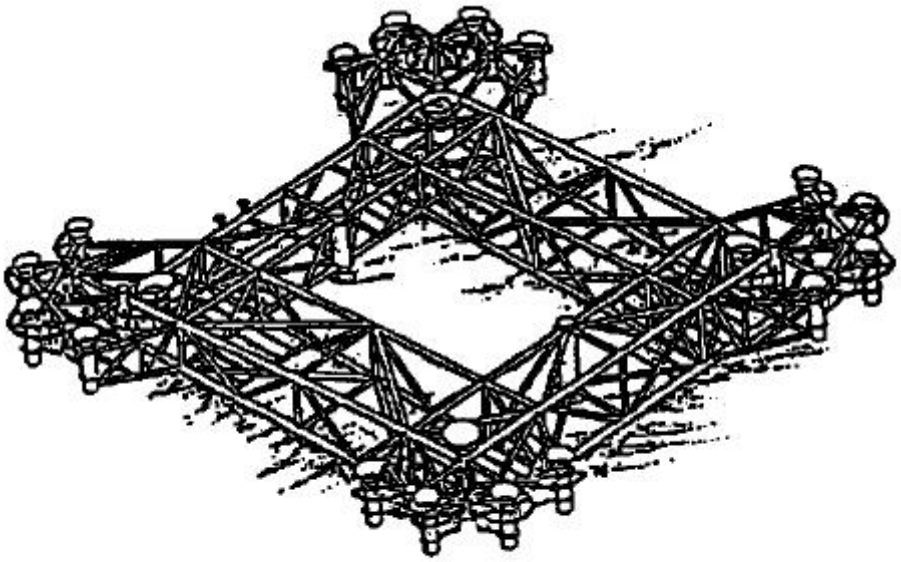


图　Jolliet 基础结构

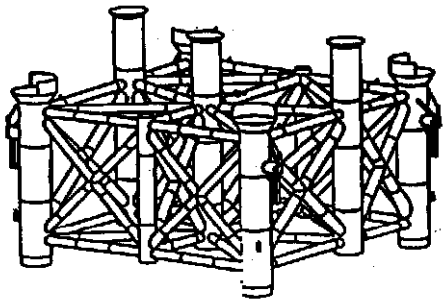


图　Auger 基础结构

Heidrun 张力腿平台落成于 1995 年，位于北海距挪威海岸 175km，345m 深的海域，结构排水量为 290310t，是当时最大的张力腿平台，也是世界上第一座混凝土张力腿平台，与其他张力腿平台相比有较大的平台吃水。平台本体和张力腿系统通过结构调整减小了一阶波浪运动，然而结构的高阶运动“ringing”较其他张力腿平台显著。Heidrun 平台本体的四根角柱高 10916m，直径为 31m，它们的下端由四根矩形截面的浮箱相互连接，浮箱截面的宽为 15175m，高为 13m，角柱上端有南北方向两根支撑梁，支撑着上部钢甲板的所有模块。张力腿系统由十六根筋腱组成，下端系于海底的重力式基础上。Heidrun 平台的地质为软粘土，所以选择了重力式吸力基础，共由四个独立的基础组成，每个基础包含十九个直径为 9m 的高强预应力混凝土舱。每个基础的底端截面为 43m×48m，一个基础的实际重量为 21000t，水下重 12500t。

Mars 平台于 1995 年建造，1996 年安装投产。Mars 张力腿平台位于墨西哥海湾密西西比峡谷 807 区域，水深 905m，海底倾斜度为 119%，Mars 结构排水量为 53000t，是墨西哥海湾破水深记录的工程，投资近十亿美元。它作为 Shell 公司建造的第二座张力腿平台，利用 Auger 平台的建造、安装、生产的经验。Mars 平台的张力腿由十二根分为四组的钢管组成，每根钢管直径为 816m，壁厚为 30mm，下端与深入海底 11516m 的桩基础系固。Mars 平台的基础由十二根直径为 216m，长 12217m 的桩组成，桩的总重为 2800t。Mars 平台基础的设计和 Auger 平台相似，认为是 Auger 平台设计的扩展。RamöPowell 张力腿平台是 Mars

平台的姊妹平台，它的结构形式、设计方法、地质条件及基础形式和 Mars 基本一致。

Seastar 张力腿平台 1998 年在墨西哥海湾安装投产，是世界上第一次采用小型张力腿平台概念设计的平台，首次实现了在深水域中建立非常经济的单柱张力腿平台生产系统。Seastar 平台主要组成部分为基础、张力腿、单浮筒柱的平台本体，见图。Seastar 平台的甲板由一中央柱支撑，柱下端连接三根矩形截面浮筒，它们在平面上的夹角为 120°，形成辐射状，且浮筒的末端截面逐渐缩小。Seastar 张力腿系统如下：1）.六根钢筋筋腱，平均分为三组，每支张力腿由两根筋腱组成。2）.每支张力腿的两根筋腱上端与一个浮筒的外侧边沿锚固。3）.张力腿六根筋腱下端分别连接在 6 根 105m 长的基础上。桩的直径尺寸为 216m，由于在泥面邻近区域呈现较大的轴向应力和弯曲应力，所以壁厚是变化的，在泥面处壁厚为 54mm，末端厚为 39mm。这种平台具有安全的工作性能，低廉的安装费用，是可靠、稳定、经济的张力腿系统，故在深水油气开发中有广阔前景。

Ursa 张力腿平台是目前墨西哥海湾最大最深的平台，水深为 1226m，排水量为 90000t，Ursa 张力腿基础的设计、建造和安装等是建立在以前其它张力腿平台的丰富设计建造经验之上的，但 Ursa 又有其自身的特点：张力腿由 16 根筋腱组成，平均分为四组；筋腱较大，直径为 0198m，壁厚为 46mm。Ursa 的土质比 Mars 平台的土质稍硬一些，基础为十六根独立的桩基，Ursa 张力腿平台的大小约为 Mars 和 RamöPowell 平台的两倍，所以桩基础每个角部从 3 个增加到 4 个，同时桩柱的外径也从 216m 增大到 3m，Mars 桩基贯入深度为 11516m，而 Ursa 的桩基贯入深度加大到 122m。Ursa 张力腿平台的设计实践证明目前的张力腿和基础的设计法对于深海域是适合的，只要稍加修改不需要更大的资金投入就可以应用到更深海域。

通过对现有深水张力腿平台及其基础设计的综合分析，可得出以下结论和建议：

1）近几十年来，经过张力腿平台设计生产的实践，证明张力腿平台具有良好的运动性能，是深水海域油气生产适宜的平台形式。

2）张力腿平台的平台本体、张力腿系统和基础形式的选择比较复杂，它由多种因素决定，如：水深和风、流、浪以及地震等环境条件，海底的地质条件以及平台的建造安装方法，工程期限，投资、造价等因素。

3）基础的问题一般较为复杂，张力腿平台基础设计主要通过场地地质评估、土工勘察及对张力腿载荷分析，根据基础的设计准则选择基础的形式。目前张力腿平台存在着重力式基础和桩基础两种基础形式。重力式基础以吸力锚固基础为主，在北海海域常见这种基础形式。墨西哥海湾建造的张力腿平台基础以桩基居多。

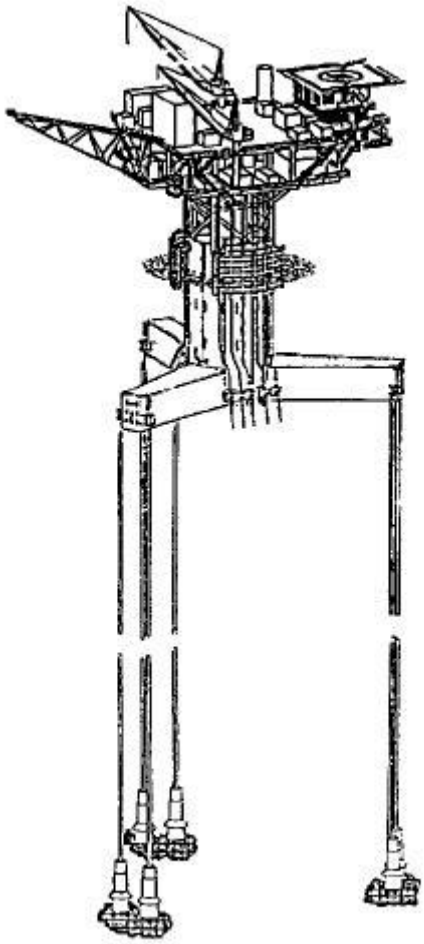


图　Seastar 平台结构

4）重力式吸力锚基础一般为浅基础，适合于非常软的粘土土质、粉砂质粘土或者土质情况不稳定，存在一定的塌陷性状的土层。在这样的土层情况下桩基础承载力较低，不宜采用。另外在重力式基础设计时除考虑基础抗拉承载力之外，还需要考虑基础的抗倾覆力。

5）桩基础的张拉力来自平台本体，而环境载荷通过平台与张力腿对基础产生侧向力和附加的轴向力。桩基础的设计通常根据土的参数、桩的内力决定桩的长度。同时由于桩基通常通过锤击打桩达到设计深度，所以设计桩时需要注意由于打桩引起的桩变形以及产生的微裂纹的计算。

6）无论何种形式的基础，其与土层的相互耦合作用对于基础设计十分重要，特别是有一定贯入深度的桩基，这种耦合作用的影响比较明显，仍是张力腿平台基础设计中一个值得重视的问题。

深海海洋环境的平台为了减小波激运动，往往将这些新型结构物的自然频率设计得远离波浪功率谱的最大频率。Spar 平台即为这种用于深海石油的开采、生产、处理加工和储存的平台结构形式之一。与其他平台形式相比，Spar 平台具有以下特点：

- 可以应用于深达 3000m 水深处的石油生产；
- 具有较大的有效载荷；
- 刚性生产立管（Rigidsteelproductionrisers）位于中心井内部；
- 由于其浮心高于重心，因此能保证无条件稳定；
- 与其它浮体结构相比，具有更好的运动特性；

• 壳体可以为钢结构或是水泥结构；

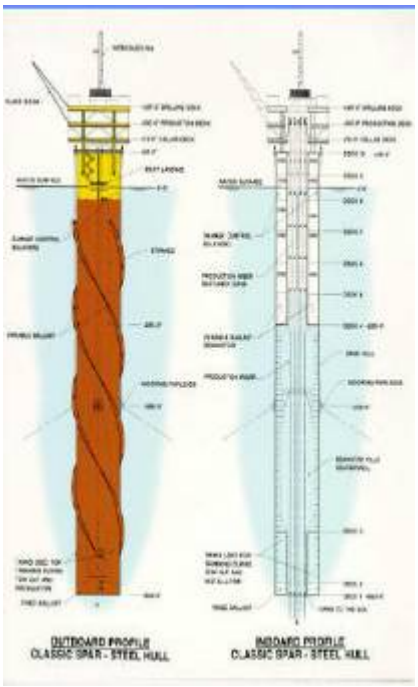
• 可以低成本储藏石油；

• 系泊系统的建造、操纵和定位较为容易；

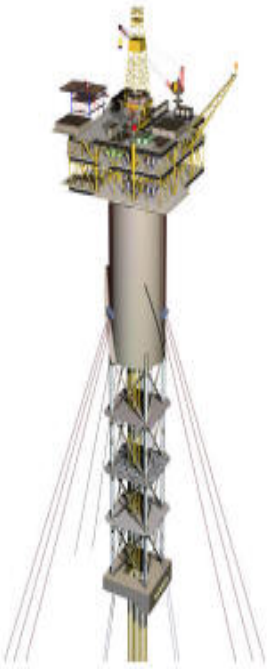
• 立管等钻井设备能装置在 Spar 内部，从而得到有效的保护。

正因为 Spar 平台具有上述特点，它能够很好地满足深度为 500m 至 3000m 水域中石油的生产和储存，已经逐渐变成最具有吸引力和发展潜力的平台形式之一，被很多石油公司列为新一代的海洋石油开采平台。

Spar 平台的发展如图 1 所示



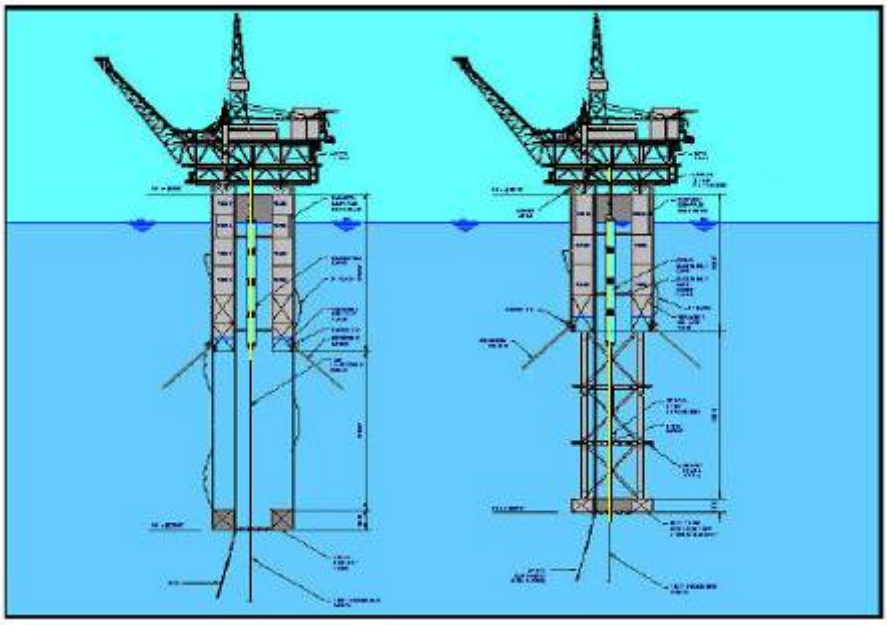
传统 spar 平台



桁架式 Spar 平台



多柱式 Spar 平台



Spar 的概念对人们来说并不陌生，它的技术在 30 年前就在海洋工程中得到应用，那时 Spar 是一种储

油和卸油的浮筒。l987 年，EdwardE.Horton 在柱形浮标（Spar）和张力腿平台概念的基础上提出一种用于深水的生产平台，即单柱平台（Spar Platform），并于 1996 年应用于墨西哥的 Neptune （水深 588m）。

Spar 平台主要由四个系统组成[2]：顶部模块、壳体、系泊系统和立管（生产、钻探、输油等）。顶部模块是一个多层桁架结构，它可以用来进行钻探、油井维修、产品处理或其它组合作业。用来支撑钻探设备和生产设备的生产钻探甲板及中间甲板与固定平台的甲板很接近，井口布置在中部。

传统 Spar 的主体是一个大直径、大吃水的具有规则外形的浮式柱状结构。水线以下部分为密封空心体，以提供浮力，称为浮力舱，舱底部一般装压载水或用以储油（柱内可储油也成为 Spar 的显著优点），中部由锚链呈悬链线状锚泊于海底。

主体中有四种形式的舱。第一种是硬舱，位于壳体的上部，它们的作用是提供平台的浮力。中间部分是储存舱。在平台建造时，底部为平衡/稳定舱（Trim/stabilitytank），当平台已经系泊并准备开始生产时，这些舱则转化为固定压载舱，它们主要用来降低重心高度。最后，还有一些压载舱，用于吃水控制。

Spar 通过半张紧的钢悬索系泊系统来定位。系泊索包括海底桩链，锚链和钢缆组成。锚所承受的上拔载荷由打桩或负压法安装的吸力锚来承担。导缆孔通常位于硬舱的下部。系泊结构不仅与载荷大小有关，还与水深有关。在设计 Spar 的系泊系统时，通常使其在一根系泊索断开的情况下可以抵御百年一遇恶劣海况。系泊系统可以预先安装好，在壳体就位后进行连接。

Spar 的立管系统主要由生产立管、钻探立管、输出立管以及输送管线等部分组成。由于 Spar 的垂荡运动很小，因此它可以支持顶端张紧立管（Toptensionedriser，TTR）和干集油树（Drytrees）。由于每个立管通过自带的浮力罐提供张力支持，因此立管的轴向载荷与壳体运动解耦，同时使得平台对水深也不是很敏感。Spar 底部接头（Keeljoint）的设计，使得 Spar 和立管之间可以有相对运动。浮力罐从接近水表面一直延伸到水下一定深度。在一些情况下，浮力罐超出硬舱底部。在中心井内部，由弹簧导向承座提供这些浮罐的横向支持。柔性海底管线（包括柔性输出立管）可以附着在 Spar 的硬舱和软舱的外部，也可以通过导向管拉进桁架内部，继而进入到硬舱的中心井中。

桁架式 Spar 平台（TrussSpar）

第二代的桁架式 Spar 的概念是 DeepOilTechnology（DOT）公司和 SparInternational 公司从 1996 年起经过大量的工作，历时 5 年后提出的，并于 2000 年 2 月份第一次应用于 Nansen/Boomvang 油田。

与传统 Spar 相比，桁架式 Spar 的最大优势在于其建造时对钢材的用量大大降低，从而能有效的控制建造费用，因此得到广泛的应用。

桁架式 Spar 的设计概念是应用桁架结构代替传统 Spar 柱体的中部结构（Midsection）。作为连接顶部硬舱和底部软舱的结构，这个桁架部分是一个类似于导管架（jacket）结构的空间钢架，同传统 Spar 的金属圆柱中部结构相比，可以节省 50%的钢材。桁架式 Spar 通常由无内倾立腿，水平撑杆，斜杆和垂荡板（Heaveplate）组成。桁架中的管状部件在整个 Spar 的使用过程中均产生浮力。垂荡板通常由带支架（Girders）的刚性金属结构组成，通过水平撑杆支撑，它的设计已成为桁架设计的一部分。通过增加垂直和正交的撑杆来减小垂荡板之间的跨距。垂荡板的主要作用是增加 Spar 平台垂直运动的附加质量和阻尼，同时也为顶端张紧立管和刚性立管（SteelCatenaryRisers，SCRs）提供侧向支撑。通过将桁架腿柱构件伸长至顶部硬舱壳体结构中，来连接桁架和硬舱。硬舱和桁架结构通常是分开建造的，通过焊接交叉部分的腿柱连接在一起。在作业时，桁架结构、垂荡板和结点均受到波浪和 Spar 运动的连续动力载荷[3]。因此，

在结构分析和设计的过程中，必须充分考虑桁架和结点的结构强度和疲劳。桁架式 Spar 平台如图 3 所示。其特点如下：

- 中部结构和软舱部分使用较少的钢材料，建造较为便宜；
- 总体吃水减小，使得单部分的建造和运输变得可行（降低了建造和运输的难度）；
- 通过阻尼板减小了垂荡运动，在长周期涌中都具有较好的响应；
- 由于中部结构为开放式（open）的撑杆，降低了环流造成的拖曳载荷；
- 壳体的涡激振荡（VortexInducedVibration，VIV）响应减小了；
- 刚性立管可以从开放式的桁架中间穿过而无需穿过硬的壳体。

多柱式 Spar 平台（CellSpar）

由于传统 Spar 和桁架式 Spar 的主体部分都包含大直径的圆柱体，对建造工艺的要求很高。因此，一种新型的，被称作多柱式 Spar 的平台被设计出来，日前正在 Texas 建造。多柱式 Spar 的最大优点在于，同现有的 Spar 平台相比，它降低了建造难度，经济性较好。这种新型 Spar 平台的壳体由一束圆柱体组成，称为 Cell，由很多处在它们空隙间的水平的和垂直的结构单元连接起来。如图所示。

多柱式 Spar 的上部结构由六个外圆柱围绕一个中心圆柱组成。这些上部圆柱提供整体所需浮力。Spar 的下部通过将外圆柱中的三个延伸到底部（延长的部分称为圆柱腿）来构成。压载舱包含在这些圆柱腿的底部，从而确保平台具有足够的稳性。同大多数已经投入使用的 Spar 平台一样，由于浮心高于重心，多柱式 Spar 同样是无条件稳定的。

垂荡板装圆柱腿上，能提供较大的垂荡附加质量和附加阻尼。因此，多柱式 Spar 也是一种低垂荡的平台，适合刚性立管。由于多柱式 Spar 没有干集油树，因此，并不需要中心井，在这种情况下，中心圆柱体提供浮力。

在建造过程中，圆柱体由滚压机制成，并通过自动焊接机焊接在一起，同时，内部的环形加强构件也由相同的自动焊接机焊接到圆柱体部件上。而这种工艺在压力舱和固定平台的制造过程中已经使用多年。当需要更大直径的中心井时，可以考虑更多的外圆柱，例如 8 根或者更多。但是，多柱式 Spar 中的其它一些结构的设计还有待进一步的解决。例如，由于多柱式 Spar 具有组合外表面，传统 Spar 上使用的侧板不能应用于多柱式 Spar。

关键技术的研究

目前对 Spar 平台的研究主要集中在平台动力响应、系泊系统、疲劳分析、垂荡板（Heaveplate）和侧板（Strak econfi guration）的设计研究以及平台主体与系泊系统、平台构件之间的相互作用的耦合分析，同时，浮力罐与支架间的碰撞问题近年来也成为研究的热点问题之一。

动力响应

同其它形式平台的动力响应一样，对 Spar 平台运动响应的研究主要考虑垂荡运动、纵荡/横荡、纵摇/横摇、首摇和涡激振荡。对于没有回复力的三个运动--纵荡、横荡和首摇，由于 Spar 壳体具有柱形结构，所以通常受到很小的首摇激励力，首摇运动因此可以忽略不计。而 Spar 的半张紧系泊装置使其水平刚度比较大，因此位置漂移比较小。通常在设计 Spar 时，对于完整系泊状态，要求漂移小于 4%水深；对于有损坏的系泊状态，漂移小于 6%水深。

Spar 的纵摇/横摇刚度由 GM 值（重心和稳心的距离）决定。对于纵摇/横摇运动性能的要求通常来自

于立管和顶层模块的设计。一般设计要求在百年一遇的风暴中，Spar 的最大组合纵摇/横摇角小于 10º，纵摇/横摇固有周期在 50～80s 之间。Spar 的壳体设计通常由对最大纵摇/横摇的要求决定。对于一些海况较好的海域，纵摇/横摇较小，因此壳体设计通常由稳性要求决定。

目前，Spar 平台的垂荡运动和涡激振动是两个受到比较广泛关注的研究方向。Spar 的垂向刚度主要来自于它的水线面面积。系泊系统的垂向刚度与静水压力引起的刚度相比可以忽略不计。由于 Spar 平台的圆柱体形状以及恒定的横截面积（传统 Spar），它的阻尼和自然周期较小，在长周期涌的条件下，将产生一个线性激励垂荡共振运动。从而使得一阶波浪力比二阶差频波浪力变得更为重要。在共振的情况下，垂荡响应会急剧地增大，并会产生纵摇耦合运动。

Spar 平台上具有较多的圆柱形构件，在一定的雷诺数范围内，旋涡自主体上周期性地脱落，造成作用在弹性主体上的周期激振力，产生涡激振动。这是一种十分典型的流固耦合问题。在旋涡脱落的激振力作用下，如果柱体的自振频率和激振频率接近，就会产生共振，产生大幅度的变形和运动。试验发现，当来流的无量纲速度处于一定的范围内时，旋涡脱落的频率不再随来流速度而增加，而是和柱体的自振频率保持一致，从而产生锁定（Lock-in）效应。锁定效应扩大了共振范围，引起结构的大幅度振动，同时由于波浪质点的往复运动，造成圆柱前后都有旋涡脱落，流动和受力情况更为复杂。

对 Spar 来说，环流和它们产生的旋涡会在海平面下保持较高的速度，在整个 Spar 壳体上产生很大的应力。涡激振动会对系泊系统和立管产生疲劳损害，减少整个平台的疲劳寿命，同时增大壳体上的拖曳力。试验表明，平台上的圆柱形结构物，如立管、浮筒等最容易受到涡激振动的影响，而且其它形状的构件也会产生不同程度涡激振动。同时，风暴流同样可以使 Spar 产生较大的涡激振动。

Haslum 和 Faltinsen（1999）指出，减小波频响应有三种途径：一是增加系统的阻尼；二是增加垂荡自然周期，使之离开波能量的范围；三是减小垂荡激励力[7]。为了增加阻尼，传统 Spar 壳体上使用了螺旋状的侧板。实验研究表明，通过在 Spar 壳体上加装螺旋状的侧板，可以有效的减小涡激振动[8]。对于桁架式 Spar，除了在它的上部壳体外使用侧板外，在下部桁架部分安装垂荡板，通过垂荡板增大 Spar 垂荡附加质量。侧板和垂荡板的研究目前受到了较为广泛的关注。

垂荡板和侧板的研究

正如前面所提到的，由于吃水较深，传统 Spar 平台具有较长的垂荡自然周期，通常为 25s 以上。在大多数海况下，这一频率远离了波浪频率范围，因而垂荡运动并不明显。然而，在某些海洋环境下（例如西非），一年中的长涌工况占据了一定比例，这些涌浪的周期峰值处在 23～25s 的范围内，甚至可以达到 30s。而风暴中的波周期为 5～20s。在这种情况下，必须考虑到 Spar 平台与长周期涌产生共振的可能性。

Haslum 和 Faltinsen（1999）解释了 Spar 一阶和二阶垂荡激励的机理，以及减小它的方式。从设计的角度考虑，Spar 的垂荡可以通过下述方式减小：

- 消谐（Detuning）--使垂荡自然频率远离波能量的范围；
- 增加系统的阻尼。

Spar 的垂荡自然周期可以通过改变结构吃水、质量和附加质量或增加水线面积来实现。但是，增加吃水会导致系统质量的增加，从而影响其它方面的设计，增加了成本。而通过在 Spar 的底部加装一个类似与圆盘或是台阶一样的附属物，就可以增加阻尼和附加质量。

KrishP.Thiagarajanetal.（2002）研究了垂荡板的形状对传统 Spar 平台垂荡响应的影响。他们通过理论

计算和试验研究，得出：附加质量系数同垂荡板的直径成正比；垂荡阻尼比与直径的平方成正比；垂荡板直径最小为典型垂荡幅度的 4 倍，从而得到最大阻尼效应。为得到最大阻尼，需减小垂荡板厚度以满足结构物和疲劳强度要求。同时认为系泊引起的垂荡阻尼必须得到研究。

理论分析和试验研究表明，在 Spar 壳体上安装侧板能够有效地减小 VIV 响应。Ro-sikParketal.（2002）通过数值计算，研究了侧板的螺距、高度和数目的变化对 Spar 运动响应的影响。他们认为，对不同数目和螺距的螺旋状侧板，纵荡运动在高频时受到的影响比低频时大。当侧板的高度增加到 9m 以上时，随着侧板螺距的减小，垂荡附加质量在高频时受到较大的影响。当螺距比较小的时候，阻尼系数在高频区域产生无规律的变化。Spar 浮筒的动力特性和稳定性会受到螺旋的数目、螺距、高度和环绕方式的影响。

Rad boud van Dijketal.（2003）通过模型试验研究了优化侧板装置的方法。实验表明，加装侧板可以明显地减小 VIV 响应。由于实际情况的限制，侧板的设计并不是在所有的流方向上都有效。因而，VIV 在某些方向上仍将存在。同时由于 VIV 对微小的艏向变化都很敏感，需引入很小的艏向增量。在锁定的情况下，无侧板 Spar 的重心（CoG）的运动轨线类似于数字 8 的形状。这一运动方式在其它发生 VIV 的结构物上也可以观察到。而装有侧板的 Spar 的运动轨线明显不同，可描述为半圆圈或"香蕉形"。

多柱式 Spar 作为一种新的 Spar 平台形式，它的很多关键技术需要重新研究。由于多柱式 Spar 上部的外表面并不能形成一个规则的圆柱体，因此，在已有的 Spar 上使用的侧板不能应用于多柱式 Spar。L.D. Finnetal.（2003）提出了两种新型的侧板形式。通过实验发现，在多柱式 Spar 上安装侧板能有效地减小它的 VIV 响应。在上体（upperhull）上使用 14%的侧板，同时在圆柱腿上用 10%的侧板能使 VIV 响应变得很低。

侧板中间的缝隙和侧板表面的不规则会降低 Spar 的 VIV 性能。支柱（Stanchion）的设计是一种新的侧板形式的尝试，它重量轻，建造容易，可以降低的 VIV 响应。

系泊系统

一组典型的 Spar 系泊系统由甲板锚、钢索或尼龙缆以及锚链组成。系泊腿是半张紧的。系泊锚链可以对称或是不对称地分布在壳体的周围。目前对 Spar 系泊系统的研究主要集中在降低 VIV 方面。为了减小 Spar 的 VIV 响应，在它的壳体上安装了螺旋状的侧板。然而，从建造和运输的角度考虑，Spar 的侧板并不能完全覆盖它的表面，而只能在壳体一端截断或是降低高度。侧板的不对称性和 Spar 外部的其它附属物会导致 Spar 的运动响应具有方向性。进出立管和位于中心井内的顶端张紧立管导致更大的方向系泊强度。VIV 引起的方向强度和阻尼增加会影响系泊系统的最大载荷。Allan Mageeetal.（2003）研究了存在 VIV 时 Spar 系泊系统设计的关键技术。考虑到了 Spar 系泊和 VIV 响应之间的相互作用，以及环流的方向分布。文中介绍和讨论了两种在 VIV 响应下，计算 Spar 系泊锚链载荷的分析技术 （DRIVESIM 和 FORCE-IT）。通过分析认为，两种技术同模型试验测量的系泊响应力十分吻合，可以用来计算系泊锚链的极限强度和疲劳环境，而且对包括传统 Spar 和桁架式 Spar 在内的各种 Spar 形式均有效。

RadboudR.T.vanDijketal.（2003）将桁架式 Spar 在剪切流中的涡激运动同水池试验的结果进行了比较。模型试验的结果表明，系泊系统的选择和流的分布对 Spar 的 VIV 响应都具有重要的影响。如果在整个 Spar 深度方向都是恒定的流速，水池试验能很好地反映实际情况。如果流速随 Spar 深度方向变化，可以考虑流中的测量。但是，如果用到高速剪切流，则必须考虑尺度效应对 Spar 运动的影响。

疲劳分析

针对 Spar 平台的疲劳强度分析主要集中在 Spar 上的关键节点。这些节点主要包括顶部模块同 Spar 壳体间的连接，桁架同硬舱/软舱间的连接等，同时，垂荡板的研究也是值得关注的问题。疲劳分析表明，这些节点相对于设计要求来说，具有较短的疲劳寿命。

当波频运动和低频运动同时产生疲劳破坏时，低频损害往往被忽略。MichaelY.H.Luoetal.（2003）分析了顶部模块同 Spar 壳体间的连接处，低频运动在疲劳破坏中所占的分量，同时讨论了低频破坏在其它关键节点（如桁架-硬舱、桁架-软舱连接）处的情况。通过对不同方法的比较，得出对于顶部模块-壳体连接，谱分析法能准确地预计疲劳破坏。时域分析表明，90%的顶部模块-壳体连接疲劳破坏是由波频运动引起的。对于桁架-硬舱/软舱连接，如果疲劳破坏计算仅考虑波频运动的因素，那么根据不同海况，计算结果将会比实际情况低 20%～50%。

从运动的角度来说，垂荡板会带动大量的水同壳体一起运动，从而使垂荡自然周期长于波周期。拖曳力提供垂荡阻尼的主要部分。在结构上，垂荡板提供桁架的平面强度和立管的侧向支撑。RogerR.Luetal.（2003）讨论了垂荡板的水动力特性。为了结构分析，将平板离散为与整个平板强度和水动力性能等效的很多子平板（Sub-plate）的组合。通过时域分析得到子平板上的载荷分布。这些载荷可以给出最大和最小压力，从而进行强度设计和压曲检验。压力载荷的时间关系可用来进行强度分析，这在平板在 Spar 正常使用和短期湿拖（wet-tow）时都是十分重要的。

随着海洋石油的开采逐渐向深海的方向发展，Spar 平台在运动响应和建造等方面的优势使其受到广泛的关注和研究。从第一座 Spar 平台建成投入使用以来，它已经由第一代传统 Spar 向第二代桁架式 Spar 和新型多柱式 Spar 的方向发展。Spar 平台的研究热点主要集中在平台运动响应、垂荡板和侧板的设计、系泊系统、疲劳分析、平台主体与系泊系统耦合分析以及平台构件之间的相互作用等问题，同时，浮力罐与支架间的碰撞问题近年来也成为研究的热点问题之一。

下面是 Genesis spar platform 的整个施工过程



1.The spar platform hull was delivered in June 1998



2.Transshelf moved the main sections of the production spar Genesis from Finland，to the US Gulf， in just 24 days.



3.The Genesis hull travels through the Corpus Christi shipping channel， passing Cline's Landing condominium complex in Port Aransas， Texas.



4.Towing the Genesis hull into place， in the Gulf of Mexico



5.The Genesis hull， as it begins the 'uprighting' process



6. The Genesis hull just after it was 'uprighted', with crane barge in the background.



7.The 122ft-diameter 'uprighted' Genesis hull.



8.The Genesis spar platform

塔架型平台。另一种适于软土地基的桩基平台。由腿柱（通常直径达 6 米）、水平杆和斜杆及大梁（圆

形或箱形）组成。为减小挡水面积，桩均设置在腿柱内，排成圆形，桩顶与腿柱焊接，空隙内灌入水泥浆，以防止薄壁腿柱发生局部压屈，并使桩固定在腿柱下端。施工时将塔架侧放并拖运就位，注入压舱水，使塔架直立，然后打桩，最后安装平台甲板。在自然条件恶劣的深水区，目前多采用导管架和塔架的组合方式。

重力式平台①钢筋混凝土重力式平台。依靠自身重量维持稳定的固定式海洋平台。主要由上部结构、腿柱和基础三部分组成。基础分整体式和分离式两种。整体式基础一般是由若干圆筒形的舱室组成的大沉垫。沉垫也可采用平板分仓的蜂窝式结构，其侧表面可做成多波形或平板形。分离式基础用若干个分离的舱室做基础，它对地基适应性强，受力明确，抗动力性能好，腿柱间距大，在拖航及下沉作业时较安全。

钢重力式平台。也属于分离式基础型，由钢塔和钢浮筒组成，浮筒也兼作储油罐。

钢-钢筋混凝土重力式平台。上部结构和腿柱用钢材建造，沉箱底座用钢筋混凝土建造，可充分发挥两种材料的特性。

以上三种重力式平台适用于较深海域。整体式基础多建造在密实的砂土上，避免建在松散砂或较厚的软土地基上。分离式基础由于基础面积视地质条件而定，立柱的间距随水深而变，故对地基和水深的适应性很强，可用于地质条件较差的场合。重力式平台的施工分两个阶段，前阶段在干坞中进行，后阶段在近岸可避风浪的深水区进行。施工程序是；在干坞中建造基础下部，至预定高度后向干坞中灌水，把已建成的基础下部连同起重设备一起浮运至能避风浪的深水区，并牢牢系泊，继续建造基础的上部及立柱，直至混凝土工程全部完成，再向基础内部灌水，使平台下沉，然后将预制的平台甲板构件用驳船运到立柱上，使基础排水，稍稍起浮，直至立柱恰好顶在平台甲板的预定位置。最后把立柱与平台甲板牢固地连在一起，形成平台。重力式平台设计时应防止基础舱壁失稳或压坏。当基础兼做储油罐时，应考虑由于内外温差所产生的温度应力。平台要有足够的整体稳定性。基础下边可设有插入地基的裙板，防止基础底座沿海底滑动。此外，结构的倾斜度，总沉降量及动力效应都要求不超过限值。

活动式平台着底式平台①坐底式平台。最早的活动平台采用钻井驳船。后来随着海洋石油钻探水深的不断增加，钻井驳船进一步发展成坐底式平台，它由沉垫、立柱和平台甲板三部分组成，适用于水深为 5～30 米而且海底比较平坦的场合。沉垫可以是整体式，也可以是分离式。向沉垫内灌水，平台即下沉坐落在海底。把水排出，平台就能浮起，故这种平台又有沉浮式之称，要求沉得下，坐得稳，浮得起。中国建成的胜利一号平台即属浅海坐底式平台。

自升式平台：由一个驳船式船体和若干能升降并能起支撑作用的桩腿组成，船体有足够的浮力以运载钻井设备和给养到达工作地点。作业时平台被桩腿支撑并抬升到海面以上。转移时，把桩腿拔起，驳船式船体下降浮于水面，即可拖运到另一地点。

自升式平台分为插桩自升式和沉垫自升式。桩腿可插入海底，也可在桩腿下面设置“桩靴”或独立的小沉垫。桩腿结构可以是封闭壳体式，也可以是构架式。桩腿升降机构，有电动液压式和电动齿轮齿条式。船体平面形状可以是三角形、矩形或五边形，其特点是浮运方便，作业时稳定性好，适用水深为 5～90 米。这种平台的应用较广。







主要的自升式平台类型



中海油服 941 自升式平台类型

浮动式平台①钻井船：把钻井设备安装在船体上，靠锚系或动力定位，在漂浮的状态下钻井。一般都有自航能力，可在几百米或上千米水深的海域工作，但对风浪极为敏感，当风力超过 7～8 级，波高超过 3～4 米时就要停止作业。

半潜式平台。主要由上部结构、下潜体、立柱及斜撑组成，下潜体有靴式、矩形驳船船体式、条形浮筒式。其外形与坐底式平台相似，上部结构装设全部钻井机械、平台操作设备以及物资储备和生活设施、它是一个由顶板、底板、侧壁和若干纵横仓壁组成的空间箱形结构，水密性较高，能提供较大的浮力，作业时下潜体灌入压舱水使其潜入水下一定深度，靠锚缆或动力定位。拖航时排出压舱水，使下潜体浮在水面。在浅水区作业时可使下潜体坐落在海底，类似坐底式平台。它既可在 10～600 米深的海域工作，又能适应恶劣的海况，但其经济水深一般为 100～300 米。





在深水海域中开发石油时，坐底式钻井平台不能满足要求；自升式平台虽然使用水深较大，但不经济；浮动式钻井船可适用于较大水深，然而受海况的影响，其开工率很低；而半潜式平台既可在很深的海域工作，又较能适应恶劣的海况，有良好的运动特性。因此，半潜式平台是目前深海钻井的主要装置。



上海船厂 1984 年建成的“勘探三号”半潜式钻井平台的施工现场

半固定式平台：张力腿式平台：上部结构是浮体，通过收紧锚固在海底的缆索，使浮体的吃水深度比静平衡状态大一些，浮力大于浮体重力，剩余浮力由缆索的张力来平衡。当平台受到扰动力时，缆索张力

改变而产生弹性变形，因此，平台只产生微量位移。缆索可竖向或斜向布置。对于深水海域，如果采用固定平台，则造价随水深增大而剧增，海上安装工程也趋于困难，相应配备的工程船舶均需大型化，而张力腿式平台仅需加长缆索，对造价影响不大，这种平台在工作完成后可浮运到其他地点。施工时整座平台在工厂建造，工作地点定位，适用于开采周期较短的深水井小型油田。

拉索塔式平台。是一种新型的海洋平台结构，其支承塔架下端着地，上端一般用 4～8 根钢索张紧固定。这种平台用料少，工作水深大，适用于大深度水域。

各类平台的适用范围活动式平台，由于机动性能好，故一般均用于钻井。坐底式平台特别适合于浅海（10 米左右及岸边的潮间区）油田的钻井和采油工作。自升式平台和半潜式平台主要是供钻井之用，当油田的规模很小而又不宜设置固定式平台时，也可做采油用。活动式平台整体稳定性较差，对地基及环境条件有一定的要求。

固定式平台整体稳定性好，刚度较大，受季节和气候的影响较小，抗风暴的能力强。缺点是机动性能差，一经下沉定位固定，则较难移位重复使用。桩基平台属钻井、采油平台，工作水深一般在十余米到 200 米的范围内（个别平台超过 300 米），是目前世界上使用最多的一种平台。从设计理论和建造技术来衡量，它都是一种最成熟和最通用的平台型式。钢筋混凝土重力式平台是 70 年代初开始发展起来的一种新型平台结构，目前主要用于欧洲的北海油田。这种平台具有钻井、采油、储油等多种功能，水深在 200 米以内均可采用，最佳水深为 100～150 米。

半固定的张力腿式平台及拉索塔式平台是两种适合于大深度海域（200 米以上）的平台结构。是近年来发展起来的新结构型式，具有明显的优点。但仍处于研究试制的阶段。

勘探开发深海油气资源，深水钻井装备是关键，也是制约我国石油公司进军深海的主要瓶颈。适用于深海钻井的主要是两种浮式钻井装置——半潜式钻井平台和钻井船。

浮式钻井装置在海洋中处于漂浮状态，受风、浪、流的影响，必须采用可靠的技术进行准确定位。现有的深海半潜式钻井平台中，第二代 22 座正逐渐退出钻井市场；第三代 29 座，第四代 37 座；第五代 15 座，以动力定位为主，适用于超深海；在建的以第六代为主，适用于水深为 2550-3600 米的极恶劣海洋环境，采用动力定位系统。现有的钻井船大多数采用动力定位，适用于 1000 多米的水深；在建的钻井船全部采用动力定位。