

第一篇 海上油气田生产与集输

第一章 海上油气田生产系统

第一节 海上油气生产与集输

一、海上油气田生产的特点

海上油气田的生产就是将海底油（气）藏中的原油或天然气开采出来，经过采集、油气水初步分离与加工，短期的储存，装船运输或经海管外输的过程。

由于海上油气的生产是在海洋平台上或其它海上生产设施上进行，因而海上油气的生产与集输，有其自身的特点。

1. 海上生产设施应适应恶劣的海况和海洋环境的要求

海上平台要经受各种恶劣气候和风浪的袭击，经受海水的腐蚀，经受地震的危害。为了确保海洋平台的安全和可靠地工作，因此对海上生产设施的设计和建造提出了严格的要求。

2. 满足安全生产的要求

由于海上采出的油气是易燃易爆的危险品，各种生产作业频繁，发生事故的可能性很大。同时受平台空间的限制，油气处理设施、电气设施、人员住房可能集中在同一平台上，因此对平台的安全生产提出了极为严格的要求。要保证操作人员的安全、保证生产设备的正常运行和维护。

安全系统包括：火气探测与报警、紧急关断、消防、救生与逃生。

海上生产设施的安全系统以自动为主，手动为辅。

3. 海上生产应满足海洋环境保护的要求

油气生产过程对海洋的污染：一是正常作业情况下，油田生产污水以及其它污水的排放；另一是各种海洋石油生产作业事故造成的原油泄漏。因此，海上油气生产设施应设置污水处理设备，使之达标排放，还应备有原油泄漏的处理设施。

4. 平台上的设备更紧凑、自动化程度更高

由于平台规模大小决定了投资的多少，因此要求平台上的设备尺寸要小，效率高，布局要紧凑。

对于某些浮式生产系统上的设备来说，还要考虑船体的摇摆对油气处理设备的影响。

另外由于平台上操作人员少，因而要求设备的自动化程度高，一般都设置中央控制系统来对海上油气集输和公用设施运行进行集中监控。

5. 要有可靠、完善的生产生活供应系统

海上生产设施远离陆地，从几十公里到上百公里不等，因此必须建立一套完善的供应系

统以满足海上平台的生产和生活需求。

一般情况下，陆上要建立对海上设施的供应基地，供应基地的大小与海上生产设施的规模有关。供应的方式一般有两种：一是供应船向海上平台提供供给；二是直升飞机向平台运送物资和人员。供应船是向平台供给的主要工具。

供应船向平台提供生产作业用物资、生产/生活用水、燃料油、备品备件以及操作人员等。

直升飞机主要向平台运送人员以及少量急需的物资，并向平台人员提供紧急救助服务。

为了接收和储备生产物资和生活用品，海上生产设施要配备以下相关的设备和装置：

起吊物资和人员用的吊机、供应船靠船件、供直升机起降用的停机坪、储备和输送燃料油和淡水的储罐和输送泵、储藏备品备件的库房等。

一般情况下，海上生产辅助设施应有 7~10 天的自持能力，以保证正常的生产运行和人员生活。

6. 独立的发电/配电系统

海上生活设施的电气系统不同于陆上油田所采用的电网供电方式，海上油田一般采用平台自发电集中供电的形式。

一般情况下，海上平台利用燃气透平驱动发电机发电，并通过配电盘将电源送到各个用电场所，平台群中平台间的供电是通过海底电缆实现的。

发电机组的台数和容量应能保证其中最大容量的一台发电机损坏或停止工作时，仍能保证对生产作业和生活用的电气设备供电。

除主发电机外，有些平台还设置备用发电机组，以满足连续生产的需要。

为确保生产和生活的安全，平台上设有独立的应急电源，应急电源包括：应急发电机、蓄电池组和交流不间断电源（UPS）。

应急发电机设置的作用是，当主发电机出现故障或发生应急关断时，满足消防、应急照明等设备的需求。

应急发电机应在主电源失效的情况下，确保 4s 之内自动启动和供电，供电时间为 18h。

7. 可靠的通讯系统是海上生产和安全的保证

通讯系统对于海上安全生产是必不可少的，它的主要任务是在油田生产过程中，保证平台与外界、平台与平台之间以及平台内部能够进行有效地、可靠地通讯联系，使海上生产安全有效地运行。

同时，为避免过往船只对平台的碰撞，平台上设置了雾笛导航系统，当海上有雾时，雾笛鸣响；当夜晚降临时，航行灯向周围海域平射出光束，表示出平台的位置和大小。

二、海上油气集输系统

海上油气田的集输系统要根据采油方式、油品性质以及投资回收等问题进行确定，本章仅介绍一种典型的原油集输系统。

1. 油气的开采和汇集

海上油气的开采方式与陆上基本相同，分为自喷和人工举升两种。

目前国内海上常用人工举升方式为电潜泵采油。

由于电潜泵井需进行检泵作业，因此平台上需设置可移动式修井机进行修井作业，或用自升式钻井船进行修井。

采出的井液经采油树输送到管汇中，管汇分为生产管汇和测试管汇。

测试管汇分别将每口井的产出井液输送到计量分离器中进行分离并计量。

一般情况下，在计量分离器中进行气液两相分离，分出的天然气和液体分别进行计量。液相采用油水分析仪测量含水率，从而测算出单井油气水产量。

生产管汇是将每口油井的液体汇集起来，并输送到油气分离系统中去。

2. 油气处理系统

从生产管汇汇集的井液输送至三相分离器中，三相分离器将油、气、水进行初步分离。

分离出的原油因还含有乳化水，往往需要进入电脱水器进一步破乳、脱水，才能使处理后的原油达到合格的外输要求。

分离出的原油如果含盐量比较高，会对炼厂加工带来危害，影响原油的售价，因此有些油田还要增加脱盐设备进行脱盐处理。

为了将原油中的轻烃组分脱离出来，降低原油在储存和运输过程中的蒸发损耗，需要进行原油稳定，海上油田原油稳定的方法采用级次分离工艺，最多级数不超过三级。

处理合格的原油需要储存。储存的方法一般有两种：一是在平台建原油储罐，另一种是在浮式生产储油轮的油舱中储存。一般情况下，海上原油的储存周期为7~10天。

储存的合格原油经计量后可以用穿梭油轮输送走，也可以建长距离海底管线直接输送到陆上。

分离器分离出的天然气进入燃料气系统中，燃料气系统将天然气脱水后分配到各个用户。平台上的用户一般为：燃气透平发电机、热介质加热炉、蒸气炉等。对于某些油田来说，天然气经压缩可供注气或气举使用。低压天然气可以作为密封气使用，也可以用做仪表气。多余的天然气可通过火炬臂上的火炬头烧掉。

分离器分离出的含油污水进入含油污水处理系统中进行处理。

3. 水处理系统

水处理系统包括含油污水处理系统和注水系统。常规的含油污水处理流程为：从分离器分离出来的含油污水首先进入斜板隔油器中进行油水分离，然后进入气浮选器进行分离，如果二级处理后仍达不到规定的含油指标时，可增设砂滤器进行三级处理，处理合格后的污水排海。

近年来发展了水力旋流器处理含油污水。水力旋流器处理量大，占地面积小而得到广泛使用，但对于高密度稠油油田的含油污水处理效果不好。

注水系统从注水的来源不同而分为三类：注海水、注地层水和污水回注。

海水注水系统是海洋石油生产的一大特色。海水通过海水提升泵抽到平台甲板上，经粗、细过滤器过滤掉悬浮固体，再进入脱氧塔中脱去海水中的氧，脱氧后的海水经增压泵，注水泵注入到地层中去。

近年来由于环境保护的要求，经处理后的含油污水也回注到地层中去。

水源井注水是从采水地层，利用深井泵将地层水抽出，经粗、细过滤器滤掉悬浮颗粒达要求后，经注水泵将地层水注入到油层中。

三、海上油气田生产辅助系统

海上油气田生产辅助设施有别于陆上油田，考虑到海上设施远离陆地，海上运输的困难，需要设置相应生产辅助系统。

海上生产辅助系统包括：①安全系统；②中央控制系统；③发电/配电系统；④仪表风/工厂风系统；⑤柴油、海水和淡水系统；⑥供热系统；⑦空调与通风系统；⑧起重设备；⑨

生活住房系统；⑩排放系统；⑪放空系统；⑫通信系统；⑬化学药剂系统。

第二节 海上油气田生产设施

一、海上生产设施的类型

海上生产设施是指建立在海上的建筑物。由于海上设施是用于海底石油开发及采油工作，加上海洋水深及海况的差异、油藏面积的不同、开采年限不一，因此海上生产设施类型众多。基本上可分为三大类：海上固定式生产设施、浮式生产设施及水下生产系统。在此三大类中又可细分如下：

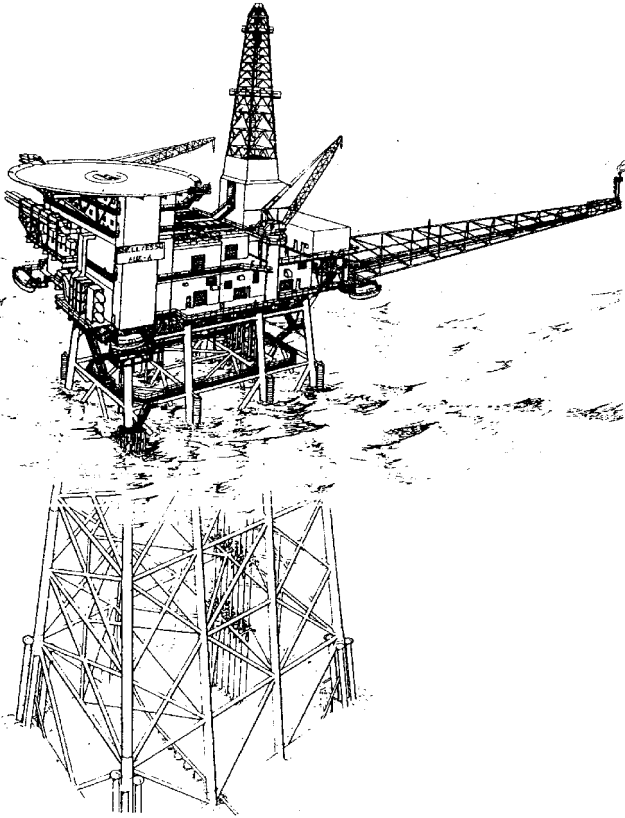
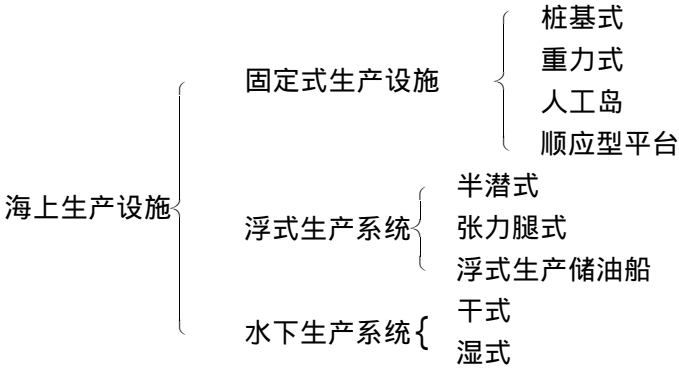


图 1-2-1 桩基式固定平台

典型的海上生产设施如图 1-2-1 至图 1-2-7 所示。

1. 固定式生产设施

固定式生产设施是用桩基、座底式基础或其它方法固定在海底，并具有一定稳定性和承载能力的海上结构物。海上固定式生产设施有各种各样的形式，按其结构形式可分为桩基式平台、重力式平台和人工岛以及顺应型平台；按其用途可分为井口平台、生产处理平台、储油平台、生活动力平台以及集钻井、井口、生产处理、生活设施于一体的综合平台。

(1) 桩基式固定平台

桩基式固定平台通常为钢质固定平台，是目前海上油（气）生产中应用最多的一种结构形式。

1) 钢质固定平台的结构形式

钢质固定平台中最多的导管架式平台，主要由四大部分组成：导管架、桩、导管架帽和甲板模块。

但在许多情况下，导管架帽和甲板模块合二为一，所以这时仅为三部分。如图 1-2-8 所示。

①导管架：系钢质桁架结构，由大直径、厚壁的低合金钢管焊接而成。钢桁架的主柱（也称大腿）作为打桩时的导向管，故称导管架。其主管可以是三根的塔式导管架，也有四柱式、六柱式、八柱式等，视平台上部模块尺寸大小和水深而定。导管架腿之间由水平横撑与斜撑、立向斜撑作为拉筋，以起传递负荷及加强导管架强度作用。

②桩：导管架依靠桩固定于海底，它有主桩式，即所有的桩均由主腿内打入；也有裙桩式，即在导管架底部四周布置桩，裙桩一般是水下桩。

③导管架帽：导管架帽是指导管架以上，模块以下带有甲板的这部分结构。它是导管架与模块之间的过渡结构。

④模块：也称组块。由各种组

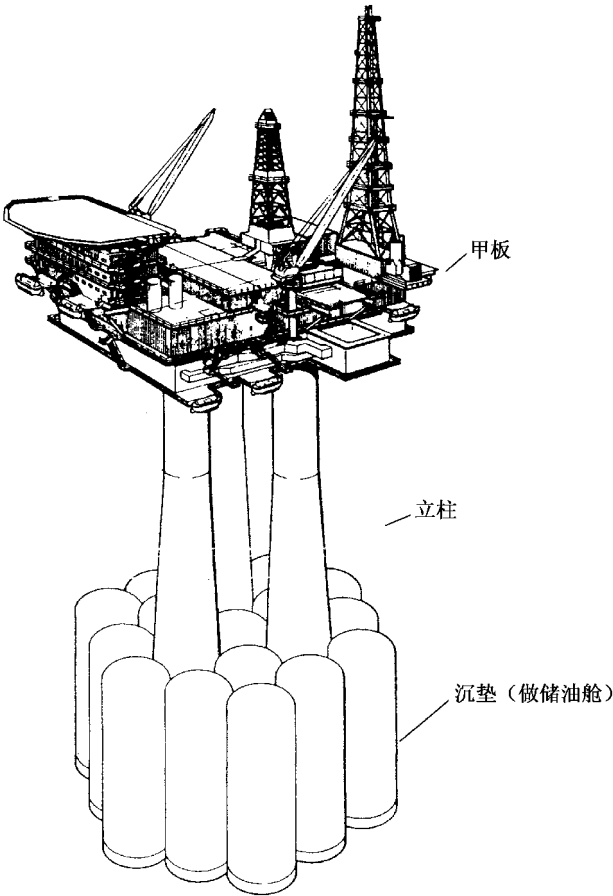


图 1-2-2 重力式混凝土平台

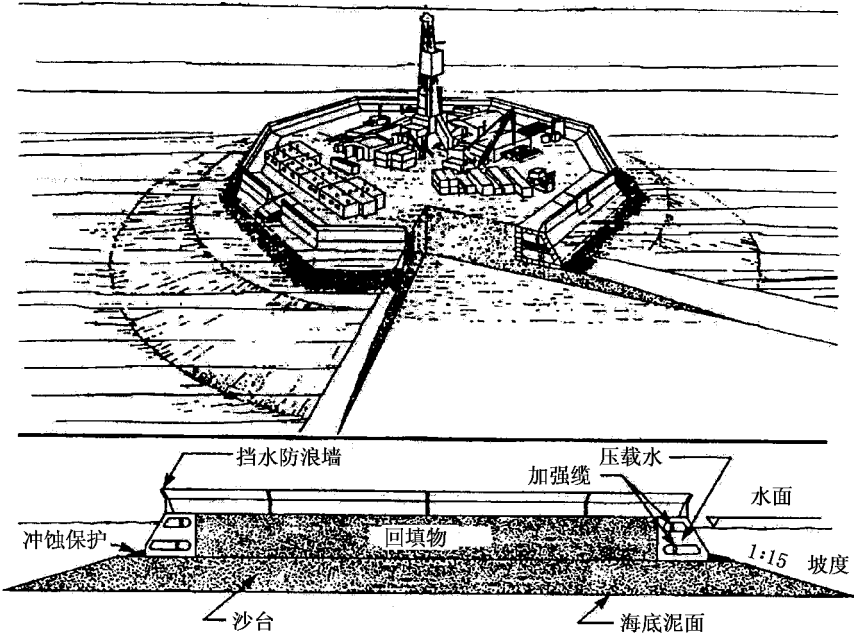


图 1-2-3 人工岛



图 1-2-4 浮式生产储油轮

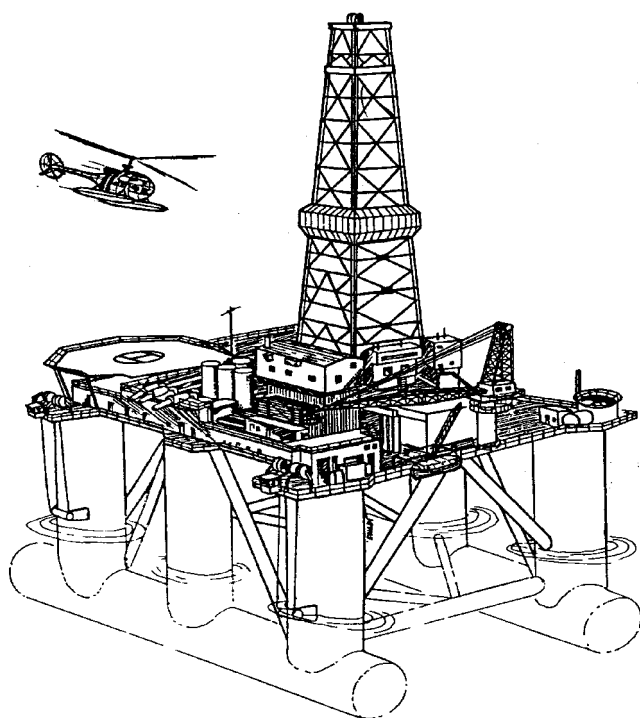


图 1-2-5 半潜式生产平台

块组成平台甲板。平台可以是一个多层甲板组成的结构，也可以是单层甲板组成的结构，视平台规模大小而定。如钻井区域的模块可称为钻井模块；采油生产处理区称为生产模块；机械动力区可称为动力模块；生活区称为生活模块等。

2) 钢质固定平台的施工

钢质固定平台的施工是一个复杂的过程，分为陆上预制和海上安装两种作业。

陆上预制是在专门的场地上进行。导管架、上部模块和导管架帽分别在陆上预制好。

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法运到油田现场，先将导管架沉放到预定位置，然后沿各导管向海底打桩，再将导管架帽安装在导管架上，最后用起重船将上部

模块吊装到导管架帽上，这时平台即告建成。

3) 海上钢质固定平台用途分类

由于油气处理设施的设置不同，用途各异，钢质固定平台的类型也不同。一般情况下，钢制固定平台按其用途可分为：井口平台、生产处理平台、储罐平台等。

①井口平台：

常规井口平台上安装有一定数量的采油树，井液经采油树采出后，通过单井计量系统计量，用海底管线输送到中心处理平台或其它生产处理设施上进行处理。

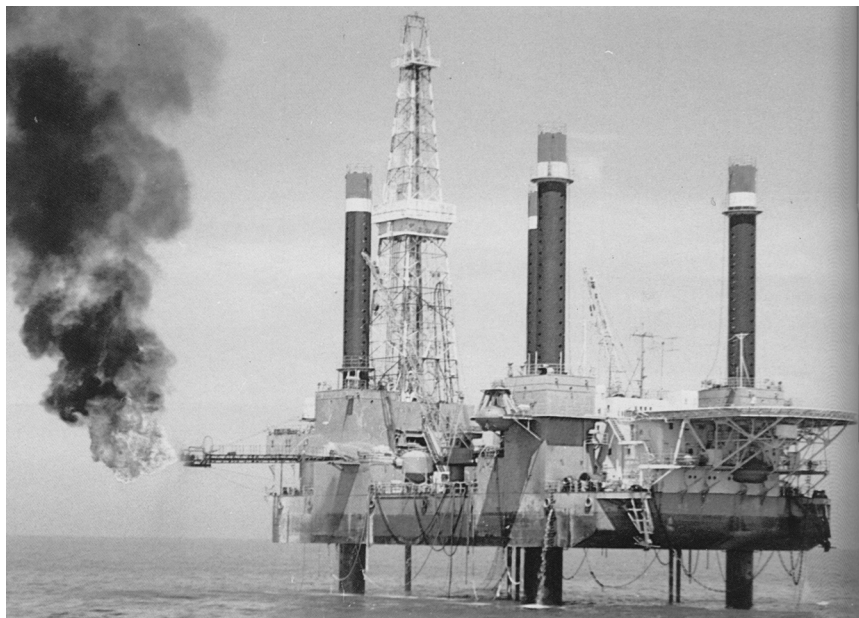


图 1-2-6 自升式生产平台

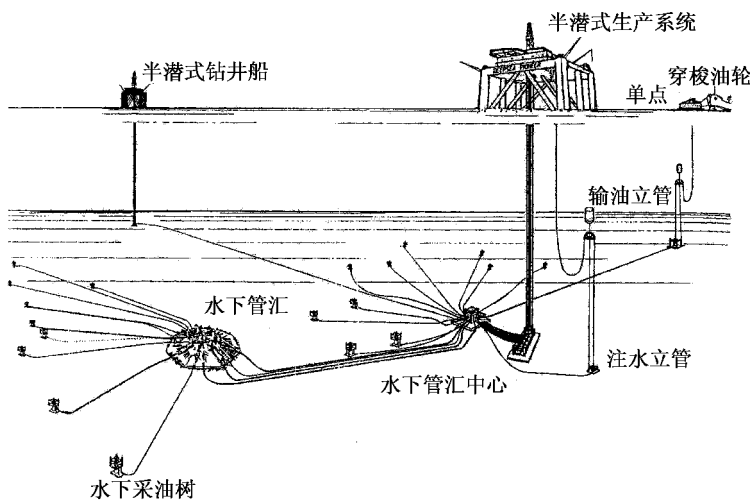


图 1-2-7 水下生产系统

井口平台上还设有必要的工艺设备及支持系统和公用系统。一般情况下，其动力和控制由中心平台提供。

某些井口平台由于生产操作的需要还设有生活楼。生活楼包括住房、办公室、通信室、娱乐室、厨房等。

对于井数较多，且油井为机采井的井口平台，平台上还设有修井机及其配套设施，以满足油井维修的特殊要求。

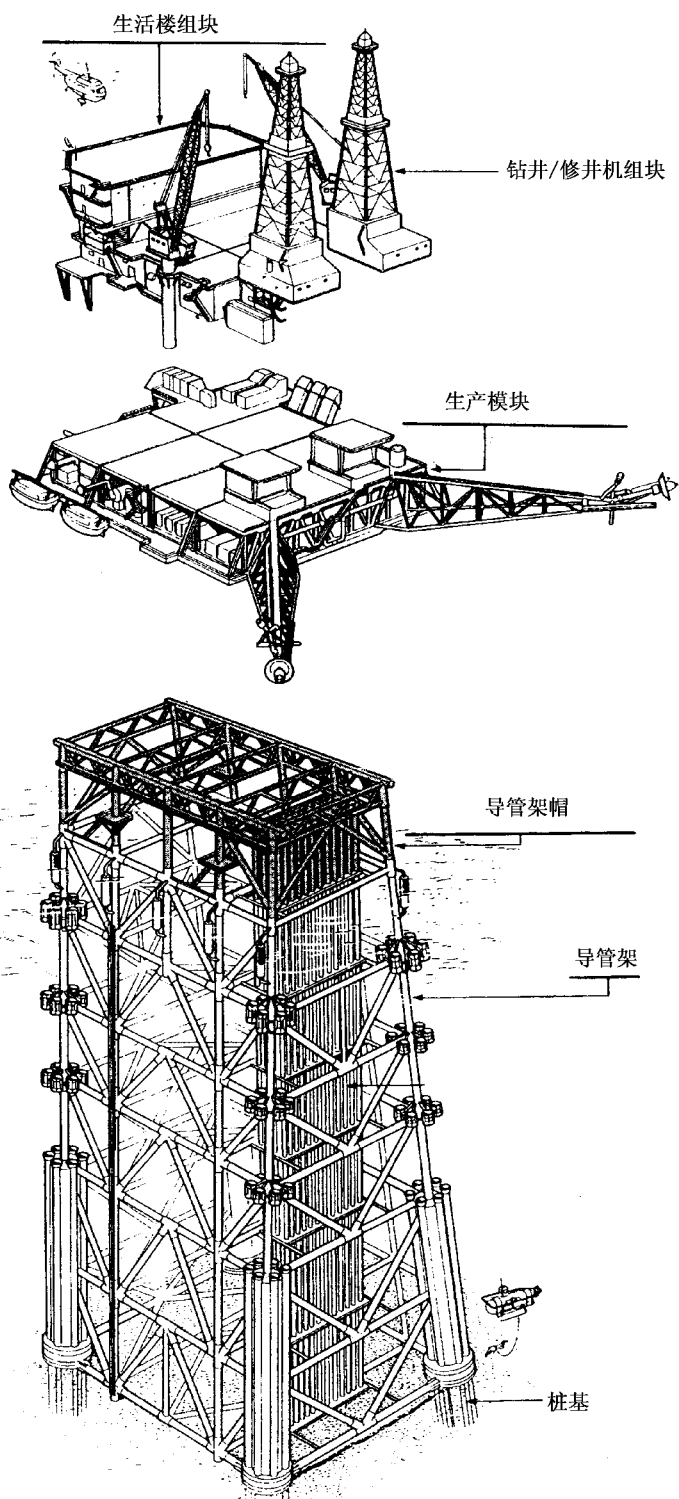


图 1-2-8 钢质固定平台的结构形式

有些井口平台井数较少，产量规模不大，从减少投资的角度出发，可设置成无人井口平台或简易井口平台。

典型的井口平台见图 1-2-9。

②生产处理平台：

生产平台亦称中心平台，它集原油生产处理系统、工艺辅助系统、公用系统、动力系统及生活楼于一体。

生产平台具有将各井口平台的来液进行加工处理的能力，也要有向各井口平台提供动力以及监控井口平台生产操作的功能。

生产平台按用途可分为：常



图 1-2-9 典型的井口平台

规生产平台；生产、生活、动力平台；钻井、生产、生活、动力平台以及生活、动力平台等。

生产平台汇集了各井口平台的来液后，经三相分离器将来液的油、气、水进行分离。原油在原油处理系统中经脱水达到成品油要求后输送到储油平台或其它储油设施中储存；三相分离器分离出的天然气经气液分离、压缩等一系列处理后供发电机、气举和加热炉等用户使用，多余的天然气进火炬系统烧掉；分离器分离出的含油污水进入含油污水处理系统进行处理，合格的含油污水排海或回注地层。

典型的生产平台见图 1-2-10。

③储罐平台：

储罐平台是将原油储罐设置在平台上，中心平台处理合格的原油在储罐平台储存。储罐平台的大小要根据油田规模和穿梭油轮的大小来综合考虑。储罐平台由于投资较高，储油能力有限，已不常用。



图 1-2-10 典型的中心平台

和穿梭油轮的大小来综合考虑。储罐平台由于投资较高，储油能力有限，已不常用。

为了外输原油，有时设置海上码头。
典型的储罐平台和海上码头见图 1-2-11。



图 1-2-11 典型的储罐平台和海上码头

4) 海上钢质固定平台的优缺点

钢质固定平台的优点是：①技术成熟、可靠；②在浅海和中深海区使用较为经济；③海上作业平稳和安全。钢质固定平台的缺点是：①随着水深的增加费用显著增加；②海上安装工作量大；③制造和安装周期长；④当油田预测产量发生变化时，对油田开发方案进行调整的适应性受到限制。

(2) 重力式平台

重力式平台是与桩基平台不同的另一种形式的平台。它不需要用插入海底的桩去承担垂直荷载和水平荷载，完全依靠本身的重量直接稳定在海底。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。

1) 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 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。混凝土重力式平台的结构见图 1-2-2。

①组成部分：混凝土平台由沉垫、甲板和立柱三部分组成。已建成和正在研究、设计的混凝土平台种类繁多，有把底座做成六角形、正方形、圆形，也有把立柱做成三腿、四腿、独腿的等各种形式。

(a) 底座：底座是整个建筑物的基础。为了抵抗巨大的风浪推力，要求平台有很大的底座结构，而较大的底座又正好可以用来储存原油，这就使得混凝土平台具备了把钻、采、储三者兼顾起来的优点。

(b) 甲板：甲板为生产提供工作场所，在甲板上可安装各种生产处理设施和生活设施。

(c) 立柱：立柱连接在沉垫和甲板之间，用于支撑甲板。

②建造过程：混凝土平台的建造相当复杂，采用类似桩基平台的常规建造办法是行不通的。图 1-2-12 是这种平台建造的简要过程。

第一步：在干坞内建造底座的下半部分，如图 1-2-12 (a)。因为底座底面积大，重

量也大，所以不能在一般的船坞或滑道上建造，只能在地基较好的岸边挖出一块施工预制场地，并用围堰把施工场地和海水隔开，这块预制场地就叫干坞。

第二步：在干坞内建造至预定高度后，注入海水和海平面一致（向底座内注压载水使其固定），打开船坞闸，排除压载水，使底座上浮，用拖船把底座从干坞内拖出，如图 1-2-12 (b)。

第三步：把底座拖至岸边比较深的、隐蔽较好的施工水域，在海面上锚泊，采用滑动施工法建造底座上部，如图 1-2-12 (c)。

第四步：用滑动施工法继续浇注立柱，如图 1-2-12 (d)。

第五步：用拖轮把结构物拖至深水海域，以便安装甲板，见图 1-2-12 (e)。

第六步：向底座注入压载水，使结构物下沉到海水没至立柱上部左右，再安装甲板，见图 1-2-12 (f)。

第七步：在甲板上安装各种模块，见图 1-2-12 (g)。

第八步：排出压载水，使结构物上浮，用拖轮拖至预定地点，见图 1-2-12 (h)。

第九步：平台位置确定后，注入压载水，边下沉边调节，使之准确安装在海底，见图 1-2-12 (m)。

③重力式平台的优缺点：

(a) 优点：

●节省钢材。如两座挪威人建造的康迪普平台，耗钢量分别为 1.2 万 t 及 1.5 万 t，而同样条件的桩基钢平台耗钢达 2.0~4.0 万 t。

●经济效果好。采用廉价的混凝土材料。在北海，用混凝土重力式平台比钢导管架平台更为经济。估计总成本可节省 20%。而且，混凝土重力式平台的底座（沉箱）可以储油，因而经济效益十分显著。

●海上现场安装的工作量小。这主要是因为全部结构在干坞和岸边隐蔽的深水施工水域中已经建造完毕，因而避开了海况恶劣的深水现场安装工作。

●海上安装工艺比钢结构简单些。不需要在海底打桩。

●甲板负荷大，在立柱中钻井安全可靠。

●防海水腐蚀、防火、防爆性能都好。

●维修工作量小，费用低，使用寿命长。

(b) 缺点：

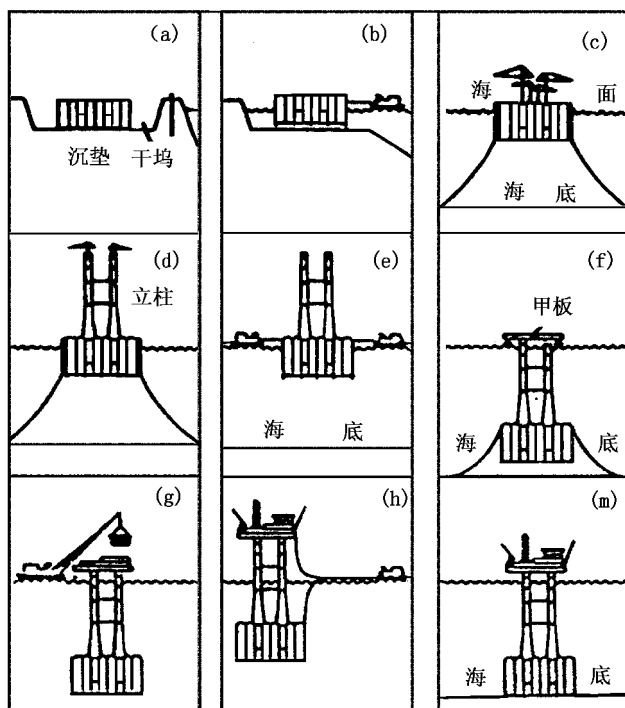
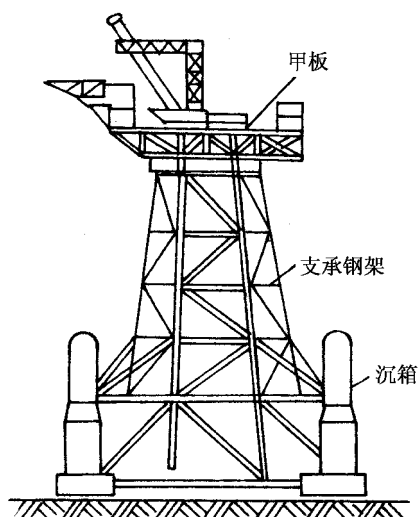


图 1-2-12 混凝土平台建造过程示意图

●对地基的要求高。混凝土平台对地基的要求较高，这是区别于桩基平台的显著特点之一。一座混凝土平台能否正常工作，除取决于它本身的结构强度外，另一个重要的因素就是看它能否稳坐在海底，由于受巨大风浪力和地震力等的影响，混凝土重力平台对地基的要求远比桩基平台高。因而，基础设计的好坏，常成为重力式平台成败的关键。



●结构分析比较复杂。

●制造工艺复杂。

●岸边需有较深的、隐蔽条件较好的施工场地和水域。

●拖航时阻力大。

●冰区工作性能差。

2) 钢质重力式平台

除混凝土重力式平台外，钢质重力式平台也是重力式平台的一个重要分支。如图 1-2-13 所示，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。

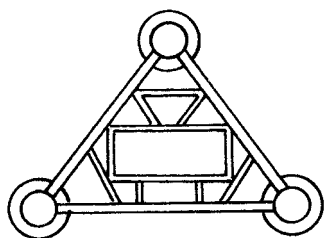


图 1-2-13 钢质重力式平台

和混凝土平台相比，钢质重力式平台的储油量虽小，但在对储量要求不大的情况下，钢质重力式平台反而有较高的经济效益。又由于它比混凝土平台轻得多，所以预制过程中不需要较深的施工水域，拖航时要求的拖航马力小，使用中对地基承载力的要求也不高。

钢质重力式平台避免了混凝土平台许多缺点，但在省钢材、耐腐蚀、储油量、隔热等方面，都不如混凝土平台，这又是它的缺点。

3) 人工岛

人工岛是在海上建造的人工陆域，人们在人工岛上可以设置钻机、油气处理设备、公用设施、储罐以及卸油码头。

人工岛按岸壁形式可分为护坡式人工岛和沉箱式人工岛。

护坡人工岛如图 1-2-14，由砾石筑成，砂袋或砌石护坡。先由底部开口的驳船向岛的四周抛填砾石，接着码放砂袋，稍高出水面形成水下围堤，然后填充岛体。

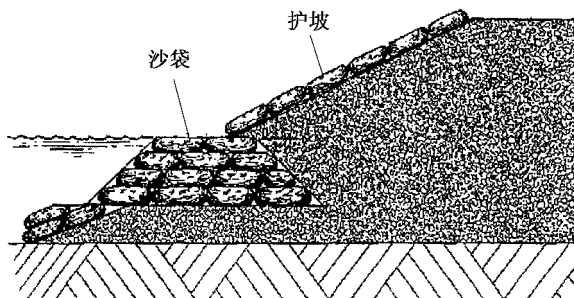


图 1-2-14 护坡式人工岛

沉箱式人工岛又可分为钢沉箱围闭式人工岛，钢筋混凝土沉箱围闭式人工岛和移动式极地沉箱人工岛。沉箱式人工岛的

特点是由一个整体沉箱或多个钢或钢筋混凝土沉箱围成，中间回填砂土。沉箱可在陆上预制，然后自浮拖至现场安装就位，通过调节水下砂基床的高度以使沉箱适用于不同的水深，人工岛不再使用时，可排除压载，起浮后拖到其它地点再用。

目前钢沉箱围闭式人工岛能成功地用于 26m 水深。如图 1-2-3 所示。

4) 顺应型平台

所谓顺应型平台是指在海洋环境载荷作用下，围绕支点可发生允许范围内某一角度摆动的深水采油平台。这种平台是一种细长的框架结构，沿高度方向的横截面一般不变。框架每隔一定的高度有重复的结构形式，井槽在平台的中部。有的顺应型平台在每个角各有数根桩支持，桩穿过导管打下后，桩顶部约高出泥线某一高度，套管约上至平台高度的一半，桩与导管之间灌注水泥浆，凝固后便组成一套管与桩的组合体，在这个组合体的顶部附接导管架。这样大的长度提供了足够的轴向弹性来产生柔性复原力，调整组合体的长度可得到系统适应不同环境的结构参数。有的顺应型平台或/和借助牵索（如绷绳塔平台）用一些浮筒（如浮塔式平台）来产生复原力，浮筒也可给平台提供向上的浮力，从而可减少结构的轴向压力。见图 1-2-15。

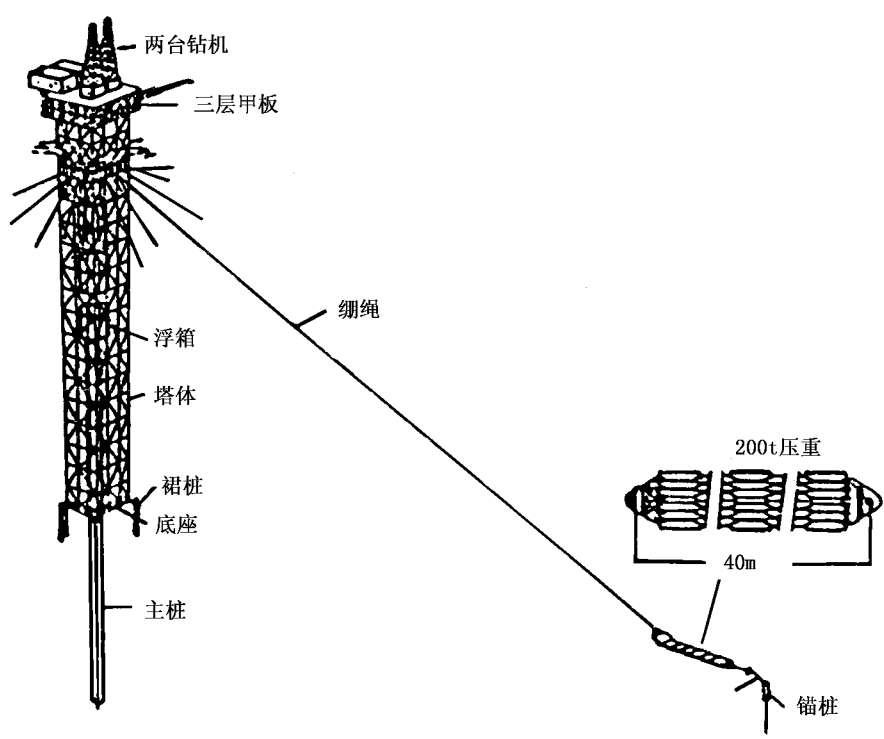


图 1-2-15 牵索塔式顺应型平台

顺应型平台的特点如下：

- ①自振周期大，刚性小，故随着波浪的作用而运动。而由组合体（由桩和套管组成）和导管架形成的阻尼器却使其运动幅度大大减小，具有很好的抗疲劳特性。
- ②可用铰接接头或大型浮筒和阻尼器，不需要因限制甲板运动而安装特别装置。
- ③建造简单。一般工程与建造时间少于 2 年。
- ④重复结构和定型构件很多；

- ⑤横截面积小，重量轻，起重安装容易；
- ⑥可按常规方法运输、下水和直立作业。
- ⑦由于重量轻，结构简单和安装方便，与常规钢导管架相比费用低。

2. 浮式生产系统

典型的浮式生产系统是指利用改装（或专建的）半潜式钻井平台、张力腿平台、自升式平台或油轮放置采油设备、生产和处理设备以及储油设施的生产系统。

浮式生产系统最大的特点就是可实现油田的全海式开发。由于其可重复使用，因此被广泛用于早期生产、延长测试和边际油田的开发过程中。目前，随着科技的发展，许多大型油田也都采用浮式生产系统。

我国大部分海上油田都采用浮式生产系统。

浮式生产系统分为：①以油轮为主体的浮式生产系统；②以半潜式钻井船为主体的浮式生产系统；③以自升式钻井船为主体的浮式生产系统；④以张力腿平台为主体的浮式生产系统。

（1）以油轮为主体的浮式生产系统

以油轮为主体的浮式生产系统分为浮式生产储油装置（FPSO）和浮式储油装置（FSO）两种。

FPSO是把生产分离设备、注水（气）设备、公用设备以及生活设施等安装在一艘具有储油和卸油功能的油轮上。油气通过海底管线输到单点后，经单点上的油气通道通过软管输到油轮（FPSO）上，FPSO上的油气处理设施将油、气、水进行分离处理。分离出的合格原油储存在FPSO上的油舱内，计量标定后用经穿梭油轮运走。

FSO也是具有储油和卸油功能的油轮，但它没有生产分离设备以及公用设备，通过海管汇集来的合格原油直接储存到FSO的油舱中，由于没有油气生产设备，可直接将旧油轮稍加改装就可以成为FSO，相对于FPSO来说，FSO建造工期短。

FPSO的形式见图1-2-4。

浮式生产储油装置采用新建和旧油轮改造两种方式。采用哪种方式取决于油田寿命和开发方式。在油田寿命较长的情况下，新建油轮优于旧油轮改造。这是因为新建油轮具有较长的使用期限，而改建油轮花费的结构改建费和维修费大大超过了已有船体的经济受益。然而，对于油田早期开发来说，由于改建油轮费时少，改建油轮更为合适。

浮式生产储油装置具有以下优点：

- ①初始投资低。因可以低价购置当前过剩油轮，可大大降低投资成本。
- ②海上安装周期短。不必动用大型浮吊。由于油轮可在船厂建造，因而可降低海上安装费和减少海上安装周期。
- ③储油能力大。FPSO上船舱的储油能力可根据油田产能和穿梭油轮来船周期进行设计，因此不必建造储罐平台或输送到陆上储存。另外由于卸油和卖油可直接在海上进行，因此对穿梭油轮吨位选择的范围较大。
- ④甲板面积大。有利于油气处理设备的安装，油气水能很好地分离和处理。
- ⑤可重复使用。

浮式生产储油装置的缺点是：

- ⑥受海况的影响较大。恶劣的海况条件如台风、冰等对FPSO影响较大，因此在设计时要考虑FPSO对单点的解脱，以避免恶劣的海况。FPSO解脱后，油田要停产，因此要考虑

停产的损失，以及恢复生产的困难。另外穿梭油轮与 FPSO 的连接受海况的影响也比较大，因此靠船的方式要专门进行研究。

⑦稳定性差。由于 FPSO 漂浮在海上进行生产，受海浪、气候以及卸油的影响，船体的稳定性较固定平台差。因此甲板上的油气生产设备要考虑防止船体的摇摆。

⑧设备的布置要考虑周密。住房应靠近船艏部，以利于船员的安全。火炬的位置应布置的远离住房和直升机甲板。生产设施尽可能布置在船的重心附近，以减少船的摆动影响。

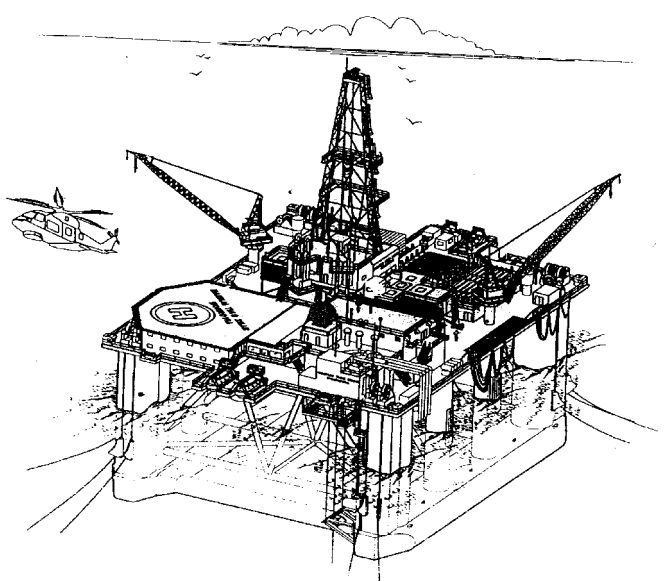


图 1-2-16 半潜式生产系统

(2) 以半潜式钻井船为主体的浮式生产系统

该种生产系统的主要特点是把采油设备（采油树等）、注水（气）设备和油气水处理等设备，安装在一艘经改装（或专建的）半潜式钻井船上。见图 1-2-16。

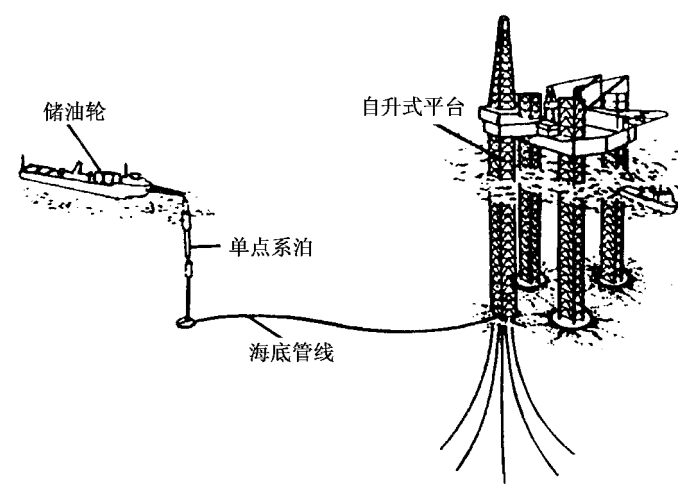


图 1-2-17 以自升式钻井船为主体的浮式生产系统

油气从海底井经采油立管（刚性或柔性管）上至半潜式钻井船（常用锚链系泊）的处理设施，分离处理合格后的原油经海底输油管线和单点系泊系统，再经穿梭油轮运走。这种生产系统的优点是：

- ①稳定性好，可适用于恶劣的海况条件；
- ②具有一定的储油能力；
- ③可利用船上的钻机进行打井、完井和修井作业。

缺点是：

- ①要另建系泊系统以便穿梭油轮卸油作业；

- ②改装时间长，成本高。
- ③如果储油能力不足，油田可能停产。

(3) 以自升式钻井船为主体的浮式生产系统

该种生产系统是利用自升式钻井船改装的（图 1-2-17）。其上可放置生产与处理设备，主要用于浅水海域，可以移动。自海底油井出来的油气上至自升式平台分离处理后，再经海底管线和系泊系统输至油轮运走。这种系统常用于油田延长测试及边际油田的开发。

(4) 以张力腿平台为主体的浮式生产系统

张力腿平台可以看做一个垂直锚系的半潜式平台（图 1-2-18）。虽然张力腿平台不储

油，不装油，但这种平台是开发深水油田的一个具有很大竞争力的形式。

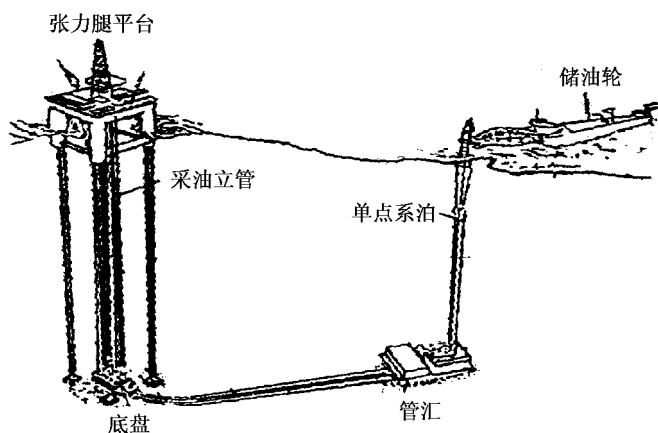


图 1-2-18 以张力腿平台为主体的浮式生产系统

海洋石油技术从海面发展到了水下，并从单井水下采油树发展到多井水下采油树，直至最近致力于研究的全部油气集输系统都放到水下的种种方案。

典型的水下生产系统由水下设备及水面控制设施组成。水下设备包括：水下采油树和 underwater 管汇中心，水上控制系统放置在浮式生产系统上，对水下设备进行控制及维修作业。

水下设备和水上控制设施构成了一套完整的水下生产系统，见图 1-2-7。

水下生产系统是将采油树放到海床上，水下采油树采出的井液通过水下管汇输到水下管汇中心，水下管汇中心完成对各井井液的单井计量、汇集、增压后通过海底管线输送到浮式生产系统上进行处理和储运。水上控制系统通过水下管汇中心对水下井口进行控制、关断、注水、注气、注化学药剂以及维护作业。

(1) 水下生产系统的主要设备

1) 水下采油树 (见图 1-2-19)

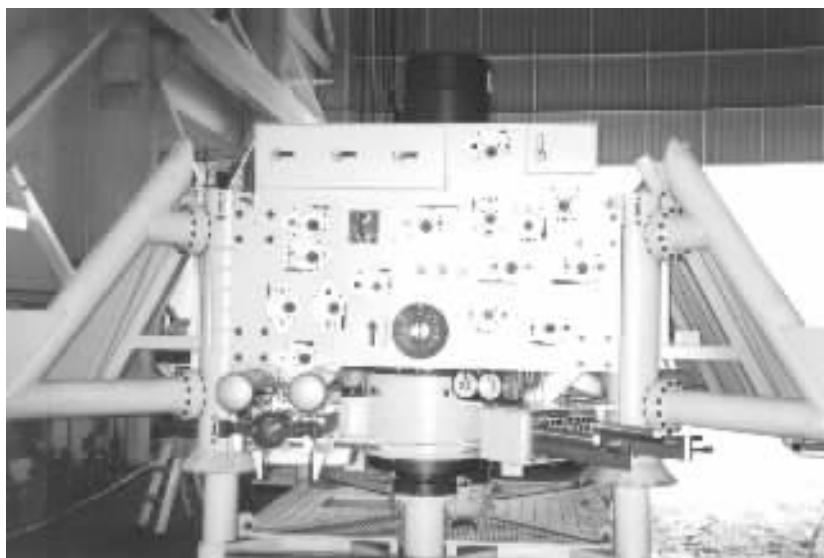


图 1-2-19 水下采油树

这种结构的外形减小了垂向波浪力的影响，因而也就减小了系泊系统的受力变化，上部结构设计成足以承受油田开发各个阶段的载重量，不论在拖航条件，还是在垂直系泊时都能保持稳定。这种形式的主要优点是：升沉、纵摇和横摇运动在很大程度上被控制，这就大大地简化了立管与浮动设备之间的输送系统。

3. 水下生产系统

随着海洋石油工业技术的发展，以及人们对降低成本的不断追求，

水下采油树分为干式、湿式、干/湿式和沉箱式四种形式。

①干式水下采油树：干式水下采油树就是把采油树置于一个封闭的常压、常温舱里，通常称之为水下井口舱，维修人员可以像在陆地上一样在舱内进行工作。水下井口舱通过上部的法兰与运送人员和设备的服务舱连接，然后打开法兰下面起密封作用的舱孔，通过这个舱孔操作人员和井口设备可以进入水下井口舱进行工作。一般水下井口舱的容积可以容纳二、三个人舒适地工作。

通常水下井口舱内在无人状态下是充满氮气的，需要操作人员进入时，必须排出氮气并充入空气。对于干式采油树这种操作形式，水下井口舱和服务舱应配有几套生命维护系统，包括供氧系统、连续监测系统、取样系统及独立的安全系统。

由于干式采油树对操作人员存在潜在的危险，而且结构复杂、设备仪器繁多，因此技术难度较大、成本高，逐渐为其它形式的采油树代替。

②干/湿式水下采油树：干/湿式水下采油树的特点是可以干/湿转换，当正常生产时，采油树呈湿式状态，当进行维修时，由一个服务舱与水下采油树连接，排空海水，使其变成常温常压的干式采油树。

干/湿式采油树主要由低压外壳、水下生产设备、输油管连接器和干/湿式转换接头组成。低压外壳是一个按照 ASME 规范设计的外压容器，其上部开孔，当要创造一个干式环境时，其配合环与干/湿式转换接头相接，形成封闭的容器；干/湿式转换接头的外型是一个锥型外壳，操作时，底部与低压外壳的配合环连接，顶部与潜水服务舱连接，以后的工作方式基本和干式采油树相同。

③沉箱式水下采油树：沉箱式采油树也称插入式水下采油树，是把整个采油树包括主阀、连接器和水下井口全部置于海床以下 9.1~15.2m 深的导管内，在海床上的部分很矮，一般高于海床 2.1~4.6m，而常规水下采油树高于海床 10.7m 左右，这样采油树受外界冲击造成损坏的机会就大大减少。

沉箱式水下采油树分为上下两部分，上部主要包括采油树下入系统、控制系统、永久导向基础、出油管线及阀门、采油树帽、输油管线连接器和采油树保护罩等。下部采油树包括主阀、连接器和水下井口等。

但是沉箱式水下采油树的最大缺点是价格高于一般的湿式采油树 40% 左右，并且不能显示出比常规湿式水下采油树更突出的特点及广泛的适用性，使其应用受到一定的限制。

④湿式水下采油树：我们现在最常用的水下采油树形式则是湿式采油树，即采油树完全暴露在海水中。因为金属材料防海水腐蚀的性能、遥控装置的发展以及水下作业的水平越来越先进，而这种形式又是几种不同类型的采油树中相对简单的，因此就逐渐为各油公司所选用，在本文中我们就主要介绍这种形式的水下采油树。

所有的湿式水下采油树的结构、基本部件及其功能都是相同的，这些部件主要有采油树体、水下井口、采油树与井口连接器、采油树与海底管线连接器、采油树阀件、永久导向基础、采油树内外帽、控制系统等。

20 世纪 60~80 年代期间，水下采油树主要采用立式结构（区别于后来的卧式结构），该名称缘于采油树油管空间的三个主要阀门（生产主阀、生产翼阀及井下安全阀）安置在一条垂直的线上。而 20 世纪 90 年代的最新技术是采用卧式采油树，其树体为整体加工的圆筒，生产主阀和生产翼阀均在树体外面，成水平排列，因而称为卧式。打开树帽，可以将油管及电潜泵直接提出油井，可以不挪动采油树，大量节省了时间，使修井变得简单易行。在使用

立式采油树的水下生产系统中，如果修井就必须将水下采油树移开，露出井口才可以进行修井，操作比较困难且需较长时间的停产。两相比较，新的卧式采油树得到了广泛的应用。

2) 水下管汇中心 (UMC)

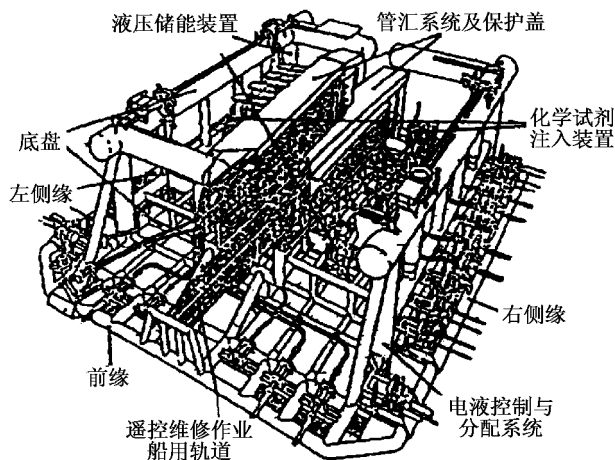


图 1-2-20 水下管汇中心

水下管汇中心 (见图 1-2-20) 也是水下生产系统的一种主要设备，其功能与一座固定平台相似，可在恶劣海区和深海区安全可靠地进行油气田开发，也可与浮式生产系统配合开发边际油田，及对远离中心平台的卫星油田进行开发。

水下管汇中心主要具有以下功能：可通过底盘钻海底丛式井和连接卫星井；汇集和控制底盘井和卫星井产出的井液，通过海底管线输往附近的平台进行油气处理；将来自附近平台经过处理的海水注入注水井中，保持地层压力；输送来自

水面的气体至各井口，实现气举；从上部设施通过 UMC 向各井泵送 TFL (Through Flow Line) 工具；向各井注入化学药剂；通过管汇对单井的产液特性进行测试和计量；实现从平台进行的遥控操作等。

水下管汇中心主要由以下部分组成：

①底盘：底盘一般主要由大管径制成的结构框架组成，一方面为 UMC 下入海底提供浮力，另一方面也是钻井导向和设备支撑基座及其保护架。

②管汇系统和保护盖：从底盘井和卫星井产出的井液，在管汇集后通过海底管线输往平台，平台上经过处理的海水经管汇分配至各注水井，除此之外，管汇系统还具备油水井测试、压井、化学药剂注入、修井时的通道及管线清洗等功能。

管汇根据油田不同的生产要求配置一定数量的管线，分别负责井液的测试和计量、注水分配、化学药剂注入及修井等。控制各系统通往各单井的阀门组沿相应的管线布置。

③电液控制与分配系统：控制系统设备是永久性地安装在水下管汇中心的结构上的，易损坏的控制系统电液元件安装于可取式控制模块中，该控制模块可以是一个阀门组，控制模块的安装位置使 ROV (水下机器人) 可以很方便的进行维修和操作。由于电液分配系统的不可替代和不易维修，一般都会留出较大的余量。

④液压储能装置：液压储能装置与供液设备和回路管线相连接，以提供液压储能防止回压的过分波动，且当平台上的液压泵出现问题时，储能器至少在 24 小时 (或一定时间内) 可维持足够的液体压力使管汇正常工作。

⑤化学药剂注入装置。

⑥ROV 轨道：为便于维修，可以用 ROV 拆卸水下管汇中心和控制系统的所有组件，因此在各阀门组和控制系统模块旁设置了 ROV 作业轨道 (沿轨道两边布置)，轨道置于水下管汇中心的中部，ROV 将从作业船释放下来并沿此轨道到达工作位置。

⑦连接卫星井输油管线和控制管线用的“侧缘”：卫星井到管汇中心的输油管线和控制管线用的连接设备，沿着底盘结构的每一侧分布。在入口端，输油管线与安装在四边的相配连接件相连，控制管线和液压管线也连接在相应的四边上。

通往管汇中心的输油管线和控制管线在钻井船上用遥控操作工具拉入或连接，操作工具一般用钻杆下入，采用液压驱动方式完成拉入和锁定动作。

⑧前缘：水下管汇中心的前缘用来把输油管线、控制管线、液压管线和化学药剂注入管线与平台连接起来。前缘上还包括其余的供电管线、通讯电缆、液压管线、化学药剂注入软管束、TFL 服务管线等。

（2）水下设备的控制系统

水下设备的控制系统一般安装在附近水面的设施上，如半潜式钻井船、FPSO 等浮式生产系统，并通过海底管缆对水下设备进行遥控操作。

控制系统的主要功能是：①对水下设备的各种阀门进行遥控操作；②对水下设备的各种传输数据进行监测。

水下控制系统的控制方式为：①直接液压控制；②导向液压控制；③程序液压控制；④电动液压控制；⑤复合控制。

选择不同的控制系统的因素很多，如距离、水深、井数和控制功能等。但关键因素是简单可靠、灵活和安全。

（3）水下生产系统的主要优点

①使用水下采油方法，有利于实现早期开发。这样，在发现油田之后一至二年内，便能开始实际生产，从而大大缩短了常规的发现油田到投产之间的时间。

②可充分地利用已钻探井和评价井来采油，使其不致于白白放弃，即便有些探边井打到油区之外，也可以用它们来注水。

③油层深度较浅的油田，在平台控制范围以外地区，可以用水下采油树开采并回接到平台上。

④水下采油系统由于花费较少，尤其是在井数较少和深水地区，投资相对其它系统节省显著。因此能使一些效益不好的边际油田得以开发。

⑤有些水下采油系统可从海底直接采油、采气而不需建采油平台。这种情况下不仅节约资金，对采油设施避免水面狂风恶浪和冰的影响也有一定意义。

⑥开发后期，当平台井位已满情况下，为了提高采收率而补打的加密井，可用水下采油树开采，并回接到平台上。

⑦开采结束后，水下装置可以轻易而且经济地打捞上来，一则节省了平台拆除所需的大量金钱，二则有些设备还可重复使用。

⑧在一些极端条件下，如水深超过 900m，以及北冰洋的酷寒条件等情况下，水下采油一般都能获得成功。

目前，水下技术日趋成熟，并已在全世界得到普遍应用。

4. 海上其它新型生产设施

为降低成本，各国对海上生产设施进行了优化和简化，比较典型的是海上轻型平台和筒形基础平台。

（1）海上轻型平台

轻型平台是国外在油价长期低迷、整装海上油田多进入中后期、而边际油田日益增多等

海域中得到成功应用。

轻型平台有单腿、两腿和三腿结构型式。

单腿轻型平台有别于传统导管架平台的最大特点，在于它多采用单腿柱型式并辅以水下的斜撑，从而大大减少了平台腿柱和桩的用钢量和海上施工量，相应地使平台造价为之降低。

单腿柱的平台结构有两种基本类型：

一类是以钻井的隔水导管作为腿柱，再在水下加设斜撑而构成平台的下部结构，斜撑的方式可据具体情况和应用的经验而有多种，如 2 撑、3 撑、4 撑，与腿柱采用机械连接、与腿柱采用焊接，与腿柱的结点在水上以及与腿柱的结点在水下等，斜撑用桩固定于海床。此类平台配有单层至三层的上部甲板，作为单井平台或配以计量分离器、井控、化学药剂注入等设备可支持 4~6 口井的生产。他们多与已有的中心平台配合使用，或者依托近岸的陆上生产设施进行生产。



图 1-2-21 简易井口平台

另一类此种平台不采用隔水导管作腿柱，而是采用更大直径（如 3m）的单腿柱环套其外作为平台的支撑。腿柱的下端位于泥面以上，腿柱用 3 根或 4 根斜撑支持并辅以必要的横撑，用桩固定于海床。

北部湾 W11-4C 平台是国内海上第一座轻型井口平台，其结构型式为三桩两腿单层井口平台，见图 1-2-21。

(2) 筒型基础平台

严格地说，筒型基础平台是简易平台的一种，在滩海导管架平台中，桩的用钢量约占平台结构用钢量的一半，平台的海上打桩和安装费用约占造价的一半，所以，改革传统桩基对降低平台造价具有重要意义。

随着海洋石油向深海发展，不仅使平台打桩和安装费用剧增，而且使打桩的技术难度增加。加上海洋边际油田开发增多，要求降低平台造价。这些因素促进了导管架平台筒形基础的发展。

筒型基础是在压差式沉入桩的长期应用基础上发展而来的，其完全不同于传统的打入式或钻入式桩基，筒形基础免除了惯用的长桩，而采用连接于导管架腿桩底端的倒置的钢质筒型结构。筒的顶板与平台腿桩固接，顶板下具有筒形裙板，底端敞开。

当平台沉放于海床就位时，先靠其自重将筒裙的底端压入泥中一定深度并形成底端密封，然后，用泵抽汲使筒体内产生压力差，将筒压入泥中直到预定深度。完成沉放就位

后，筒中的压力差会随水在土体中的渗透而逐渐消失。

在依靠泵的适度抽汲产生压力差使筒基沉入时，由于水力梯度和渗流的存在，会使筒裙底端处砂层的有效正应力和剪切强度大幅度下降，从而大大减少了沉贯中的裙端阻力，形成极为有利的沉贯条件，此为筒型基础技术的一个突出特点。

就位后的筒型基础依靠其顶板和其下的海床承受重力，如通常的重力式平台。当平台在环境及外力作用下产生倾覆力矩（上拔力）时，即会在筒的顶面和相连土体中产生吸附力。依靠于一定时间内存在的这一吸附力，并与平台重力、土塞重量以及筒裙的侧壁摩擦阻力等一起，共同平衡上拔载荷，保持平台稳定。这就是筒型基础技术有别于传统桩基技术的又一特点。

作为一项全新的导管架平台基础工程技术，筒型基础的沉放和承受工作载荷时土力学参数的变化有非常密切的关系，其中最为关键的是相关土体中孔隙水压的变化，而这一变化又与相关土体的工程地质特性、载荷特性、筒体的几何结构性等密切相关。此外，任何对相关土体的工程地质特性构成影响的因素，如沉放中的水力动力扰动等，也会对其构成影响。由于这些因素诸多而且内在联系比较复杂，因此，筒型基础的应用只有根据具体环境和平台条件进行必要的试验和研究，才能为其成功应用提供必需的基础。渤海湾 JZ9-3 油田的穿梭油轮系统缆墩就是筒型基础结构形式。见图 1-2-22。

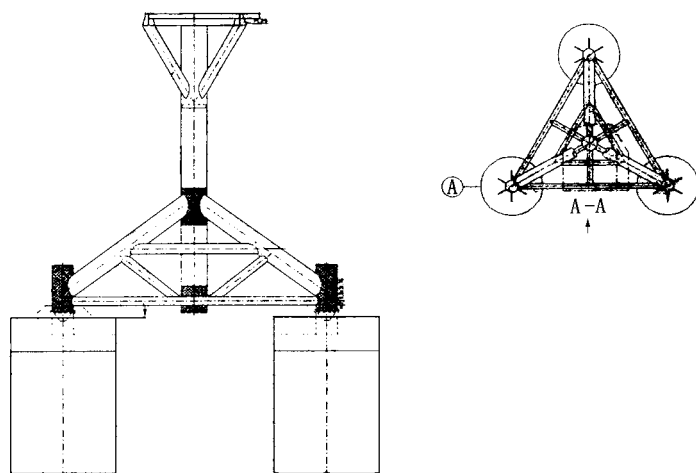


图 1-2-22 锦州 9-3 油田筒型基础系统缆墩

二、海上生产设施的选择

1. 海上油气田生产设施选择的原则

海上生产设施各有其特点和适用条件，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，最后选择一种较为合理的方案。

在选用时，应考虑的主要因素有：

(1) 水深

水深对选择方案有重大影响，从经济角度出发，在浅水（小于 200m），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 200m），由于固定平台费用急剧上升，多考虑水下生产系统和浮式生产系统的组合方案。

（2）油田地理位置及规模

如果油田离岸较近，可考虑管输上岸，在陆上建油气处理厂，进行油气分离、储运或采用人工岛方案。

如果油田离岸较远，且为产量较少的边际油田，可考虑选用浮式生产系统，充分利用浮式生产系统可重复利用的特点。

如果油田产量较大，水深较浅（小于 10m），可考虑采用人工岛方案。

（3）海底地形

对于海底地形平坦，土质坚硬的海域可考虑采用混凝土式重力式平台；对于土质松软，海底不平坦的海域，则考虑用固定平台或其它形式的设施。

2. 几种典型的海上油气生产设施的组合

由于油田特征、地理位置和海洋环境的不同，往往要用不同的生产设施的组合形式来满足油气田开发的需要。在生产实践中，经常采用以下几种生产设施的组合：

（1）井口平台 + 浮式生产储油轮（FPSO）

这种类型的生产系统由一座或几座不同功能的井口平台和具有油气处理、原油储存及外输的浮式油轮组成。我国大部分海上油田都采用这种组合方式，如 W10-3、SZ36-1 实验区、BZ34 等。井液从油井流出后，在井口平台经过简单的计量后，经海底管线通过单点输送到浮式生产储油轮，浮式生产储油轮上安装有油气处理系统，原油经处理合格后到储油舱储存，再用穿梭油轮将原油运走。

（2）井口平台 + 中心处理平台 + 储油平台及输油码头

这种类型的生产系统由一座或几座不同功能的井口平台和具有油气处理能力的中心平台加上若干个原油储罐组成的储油平台及输油码头组成。渤海湾的埕北油田就是这种组合方式，井口平台来液进行分离处理合格后的原油输送到储油平台储存，穿梭油轮在油码头系泊后，将储罐中的原油输送到穿梭油轮并运走。

（3）水下井口 + 浮式生产系统（FPSO）

这种类型的生产系统由若干个水下井口和具有油气处理、原油储存及外输的浮式油轮组成，我国南海流花 11-1 油田就是采用这种组合方式，由水下采油树、水下管汇组成的水下生产系统将原油通过海底管线输送至 FPSO 上进行油气分离处理，合格的原油储存在 FPSO 上的油舱中，并由穿梭油轮将原油送走。

（4）海上固定平台 + 陆上终端

这种类型的生产系统由海上若干座固定平台（井口平台和中心处理平台）和具有一定处理能力的陆上终端组成。这类生产系统主要适用于海上气田或凝析油田以及距岸较近的油田，如 JZ20-2 凝析油田、平湖油气田和崖 13-1 气田等。海上气田的天然气在固定平台上进行脱水和增压后通过海底管线输送到陆上终端进行处理，并得到符合要求的产品。

（5）固定平台 + 人工岛

这种类型的生产系统由若干座固定平台（井口平台或中心平台）和具有生产处理、原油储存及外输功能的人工岛组成，这种类型的生产系统在我国海域还没有采用。

（6）混凝土平台

混凝土平台除具有原油处理、原油储存和外输设施外，还可在平台上安置钻机以进行钻

井和修井作业。这种类型的生产系统在我国海域也还没有。

第三节 国内海上油气田生产设施简介

国内已建海上油气田生产设施如下：

1	埕北油田工程设施图	图 1-3-1
2	渤中 34-2/4 油田工程设施图	图 1-3-2
3	渤中 28-1 油田工程设施图	图 1-3-3
4	锦州 20-2 凝析油气田工程设施图	图 1-3-4
5	锦州 9-3 油田开发工程设施图	图 1-3-5
6	绥中 36-1 油田一期开发工程设施图	图 1-3-6
7	绥中 36-1 油田二期开发期工程设施图	图 1-3-7
8	曹妃甸 1-6 油田工程设施图	图 1-3-8
9	渤西油田群工程设施图	图 1-3-9
10	秦皇岛 32-6 油田开发工程设施图	图 1-3-10
11	涠 10-3 油田工程设施图	图 1-3-11
12	涠 11-4 油田工程设施图	图 1-3-12
13	北部湾海域涠西南油田群总体开发工程设施图	图 1-3-13
14	涠 12-1 油田开发工程设施图	图 1-3-14
15	涯 13-1 气田工程设施图	图 1-3-15
16	惠州油田群工程设施图	图 1-3-16
17	陆丰 13-1 油田工程设施图	图 1-3-17
18	陆丰 22-1 油田开发工程设施图	图 1-3-18
19	西江油田工程设施图	图 1-3-19
20	流花 11-1 油田工程设施图	图 1-3-20
21	文昌 13-1/13-2 油田开发工程设施图	图 1-3-21
22	平湖油气田开发工程设施图	图 1-3-22

埕北钻井及生产平台A

导管架：腿数：16

重量：1552t

桩：16×OD1100

入泥深度：55m

重量：1218t

导管架帽：637t

隔水管：1222t

合计：4524t

甲板面积：3888m²

结构重量：966t

设备重量：584t

油井数：23口

注水井数：3口

计量分离器：1

生产分离器：2

注水系统：1

污水处理系统：1

钻井生产平台

公用/居住平台

A区

1.6km

储油平台

埕北储油及装油平台

导管架：腿数：24

重量：1687t

桩：24×OD1219

入泥深度：50m

重量：2030t

帽：980t

甲板：面积：70×46=3220m²

结构重量：800t

上部荷载：12750t

原油储量：12000m³

钻井生产平台

B区

钻井及生产平台B

导管架：腿数：16

重量：1552t

桩：16×OD1100

入泥深度：50m

重量：1112t

导管架帽重量：637t 甲板：面积：1104m²

隔水管重量：1222t 结构重量：526t

合计：4524t 设备重量：668t

甲板：面积：3888m²

结构重量：966t

设备重量：584t

油井数：24口

注水井数：2口

计量分离器：1

生产分离器：2

电脱水器：2

注水系统：1

污水处理系统：1

埕北公用及住房平台B

导管架：腿数：9

重量：1276t

主桩：9×1100

重量：674t

入泥深度：50m

空压机：2台

供热系统：1

发电系统：3×900

+1×600kVA

生活模块：63人

直升机坪：1

LQ：结构重量：600t

设备重量：568t

储油工作平台

工作平台

导管架：腿数：8

重量：1200t

桩：8×OD1100

入泥深度：50m

结构重量：1515t

甲板面积：16.2×50m²

重量：315t

系泊平台

导管架：腿数：5

主桩：3×OD1500

入泥深度：50m

次桩：2×OD1100

入泥深度：50m

结构重量：1038t

甲板面积：21m²

图 1-3-1 埕北油田工程设施图

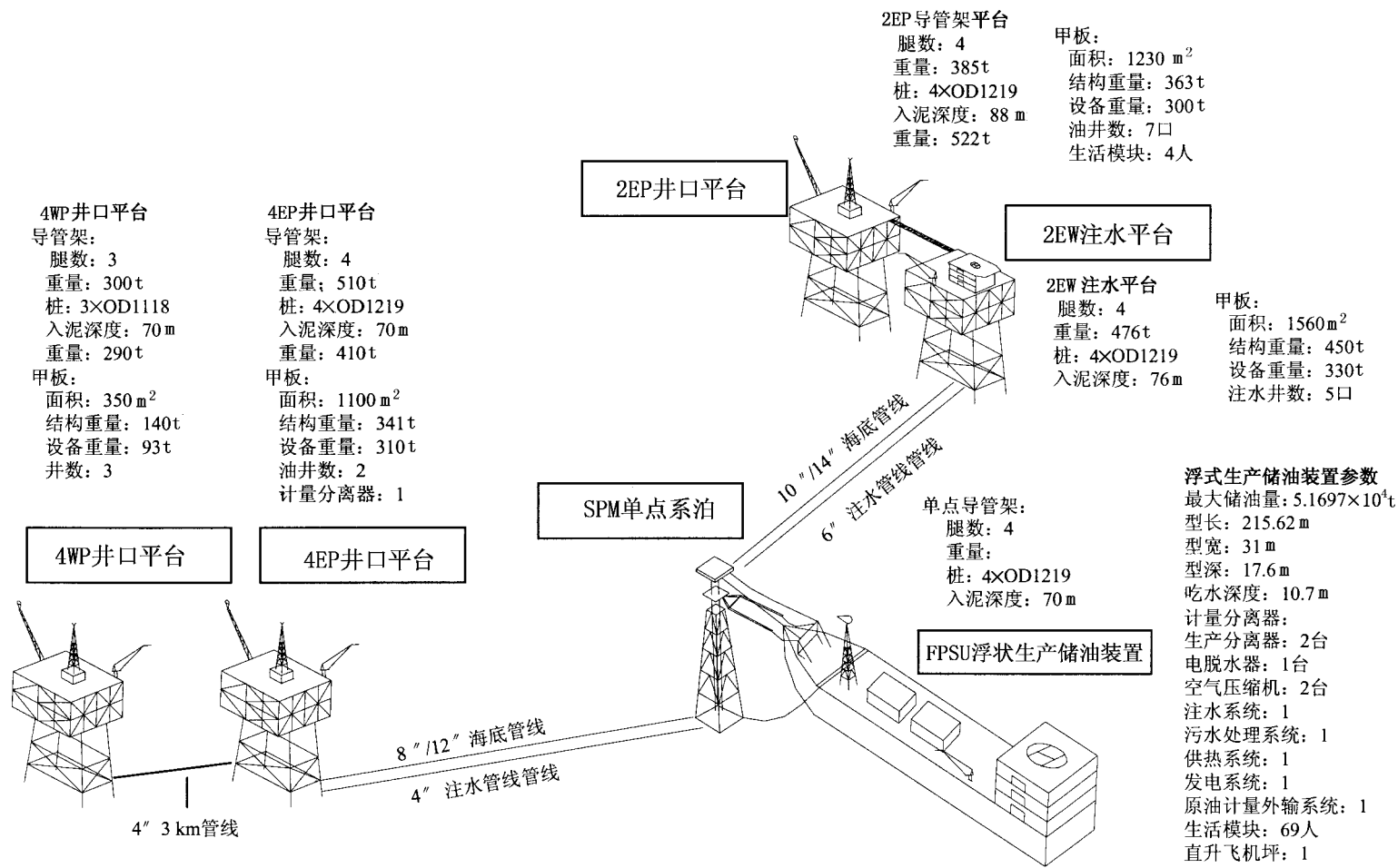
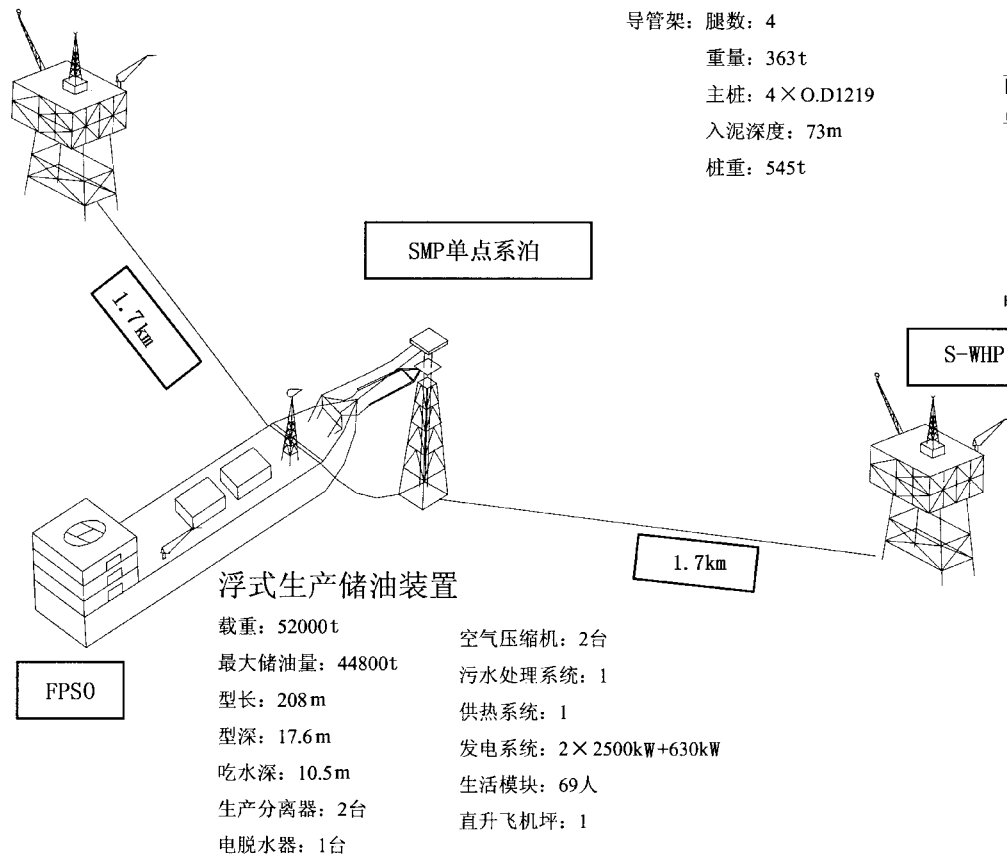


图 1-3-2 渤中 34-2/4 油田工程设施图

北井口平台：
 导管架：腿数：4
 重量：468t
 主桩：4×O.D1219
 入泥深度：64m
 重量：420t
 甲板：面积：1200m²
 结构重量：420t
 设备重量：240t
 油井数：4口
 计量分离器：1
 空气压缩机：2台
 发电系统：2×350kW
 生活模块：8人
 直升飞机坪：1



SPM单点系泊
 最大系泊力：470t
 是否解脱：否
 导管架：腿数：4
 重量：363t
 主桩：4×O.D1219
 入泥深度：73m
 桩重：545t

南井口平台
 导管架：腿数：4
 重量：430t
 主桩：4×O.D1118
 入泥深度：64m
 重量：340t
 甲板：面积：1200m²
 结构重量：400t
 设备重量：250t
 油井数：4口
 计量分离器：1
 空气压缩机：2台
 供热系统：1
 发电系统：2×350kW
 生活模块：8人
 直升飞机坪：1

图 1-3-3 渤中 28-1 油田工程设施图

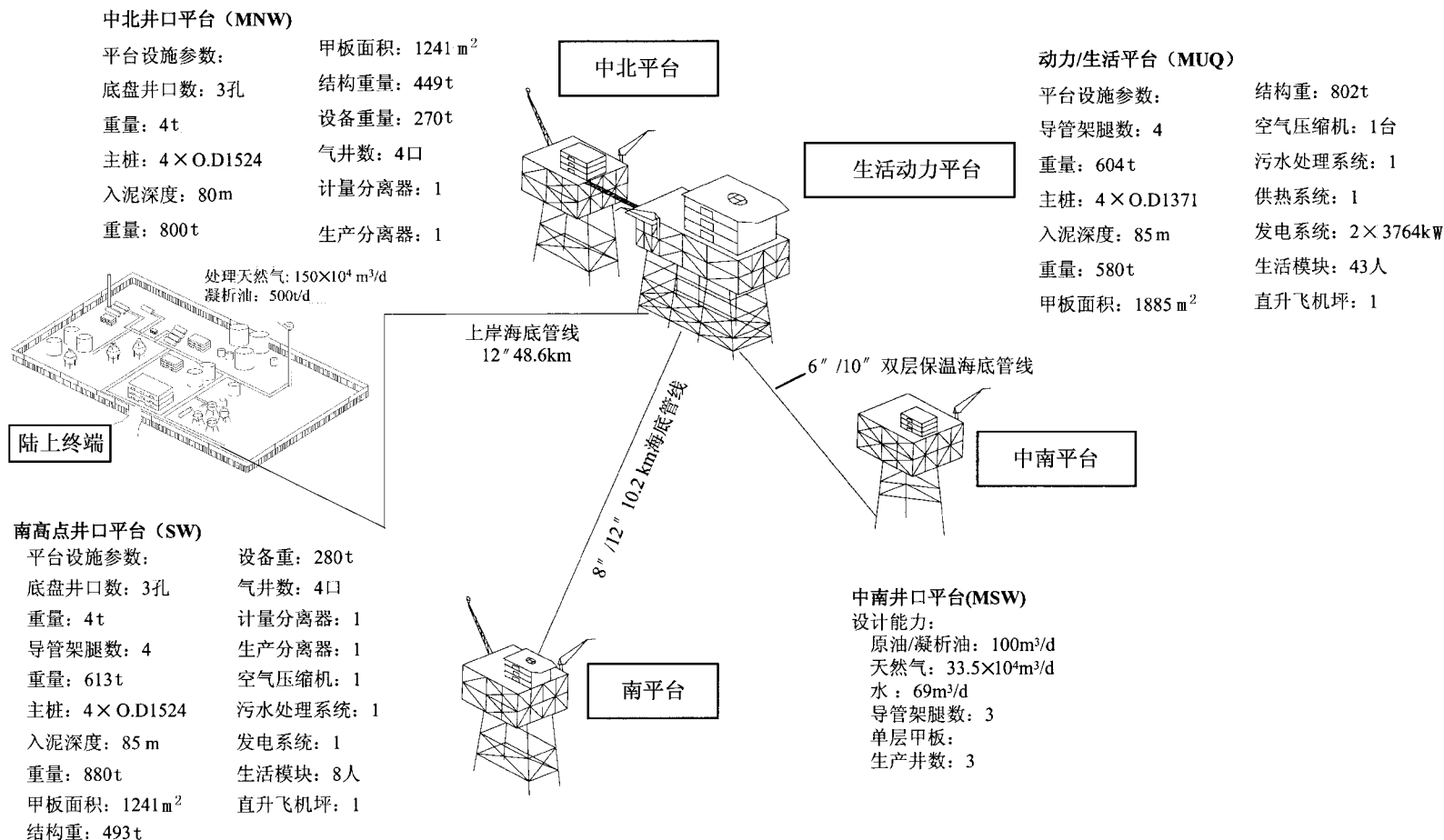


图 1-3-4 锦州 20-2 凝析油气田工程设施图

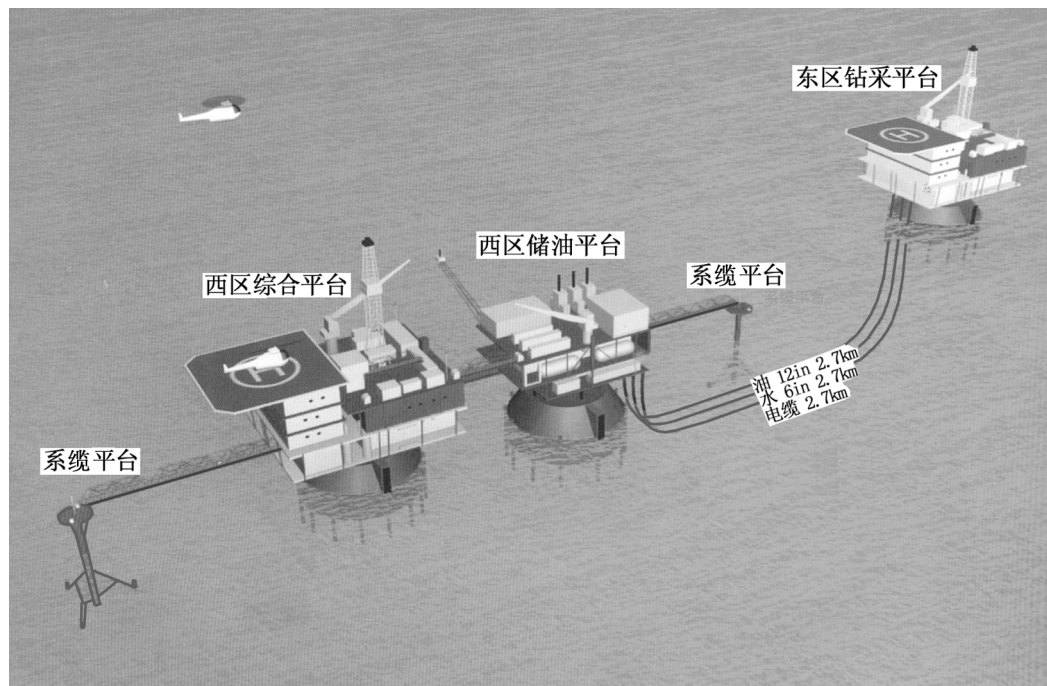


图 1-3-5 锦州 9-3 油田开发工程设施图

西区综合平台
桩基式沉箱结构基础
上层甲板 EL+23000
下层甲板 EL+18000
钻井甲板 EL+17000
工作甲板 EL+10000
开排甲板 EL+7000
沉箱顶面直径 28m
沉箱底面直径 38m
沉箱高 13.8m

西区储油平台
桩基式沉箱结构基础
储油能力 1400m³
上层甲板 EL23000
中层甲板 EL17000
下层甲板 EL8700
中、下层甲板间夹层 EL16000
沉箱顶面直径 34m
沉箱底面直径 44m
沉箱高 14.6m

东区钻采平台
桩基式沉箱结构基础
上层甲板 EL17500
下层甲板 EL10500
开排甲板 EL6800
沉箱顶面直径 28m
沉箱底面直径 38m
沉箱高 13.8m

设施处理能力

原油： $107 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$
伴生气： $13.3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$
污水处理能力： $9600 \text{m}^3/\text{d}$

液体： $241.6 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$
气井气： $20 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$
注水能力： $7280 \text{m}^3/\text{d}$

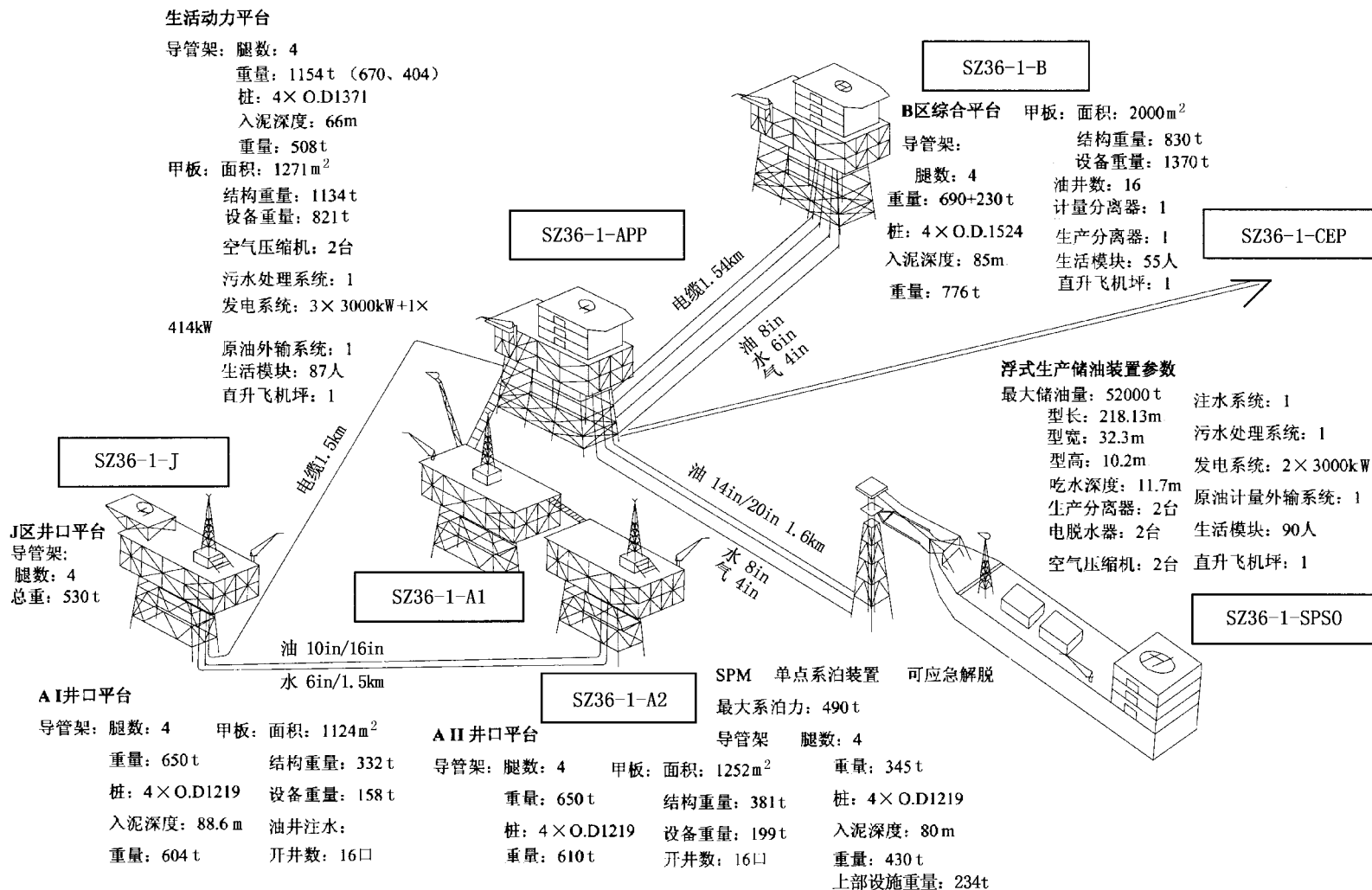


图 1-3-6 绥中 36-1 油田一期开发工程设施图

浮式生产储油装置由渤中28-1装置迁移使用
(参数见BZ28-1FPSO)

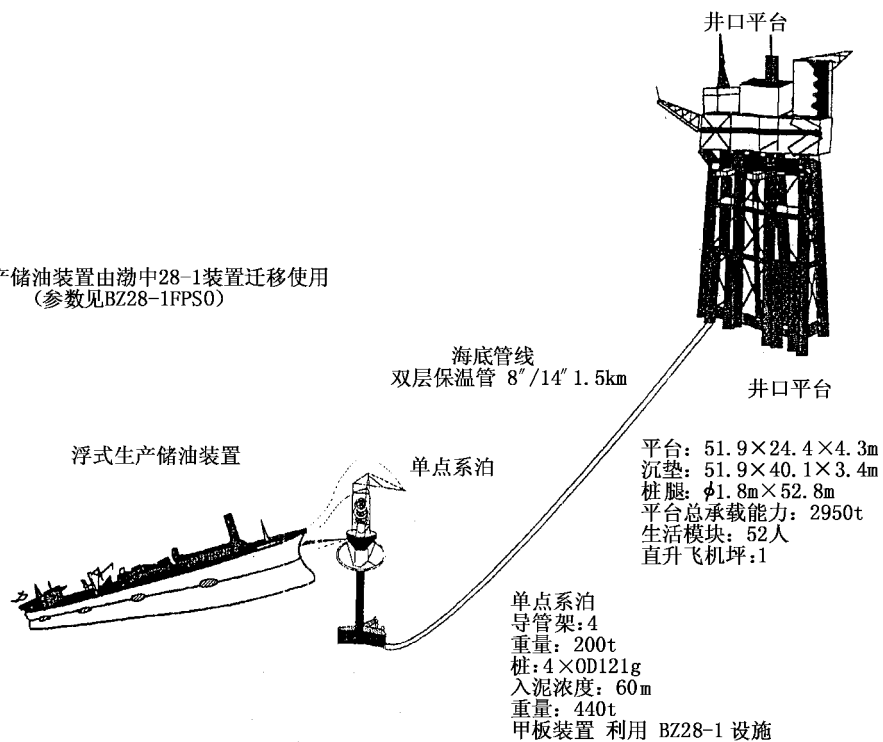


图 1-3-8 曹妃甸 1-6 油田工程设施图

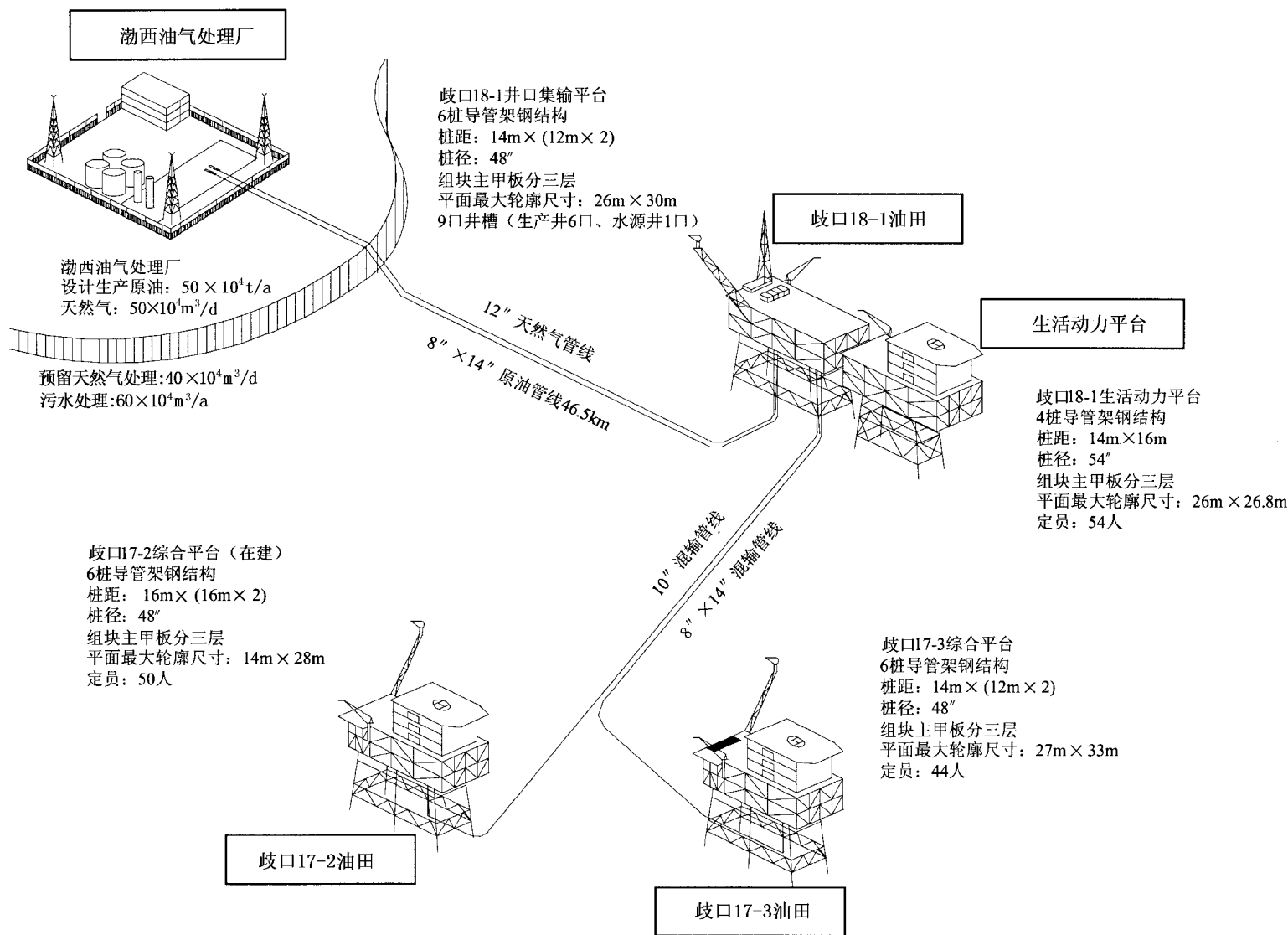


图 1-3-9 渤西油田群工程设施图

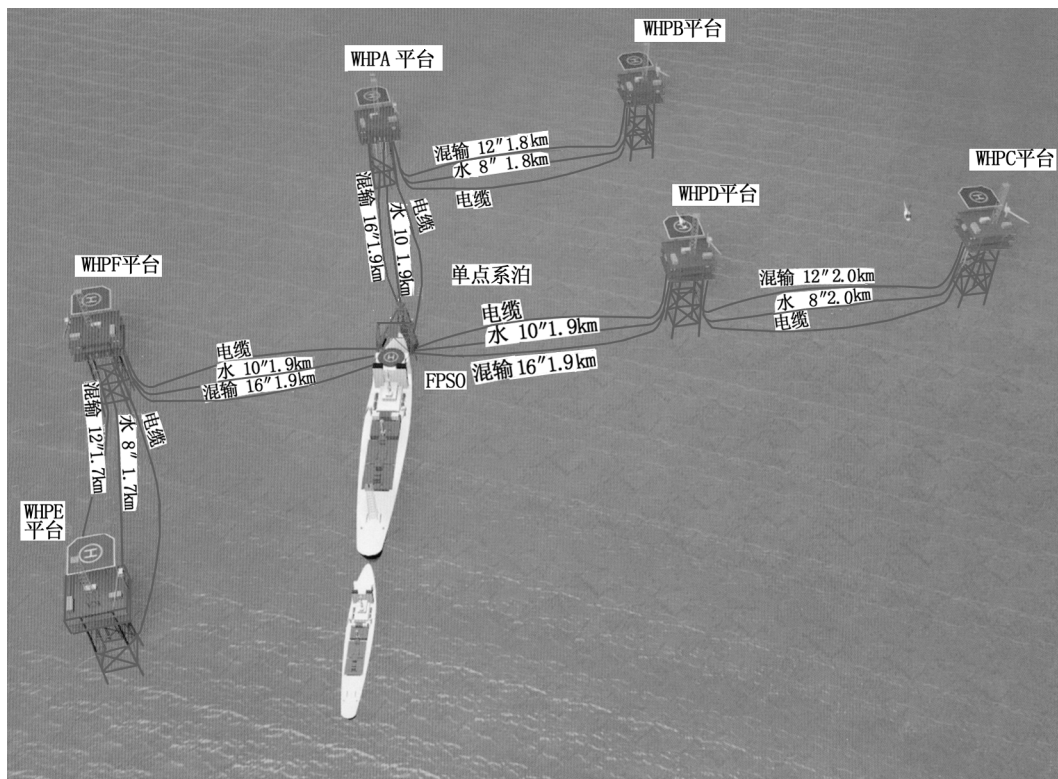


图 1-3-10 秦皇岛 32-6 油田开发工程设施图

涠10-3A (井口平台)

导管架: 4腿, 重805.5t

主桩: $4 \times \phi 48''$, 重710t, 入泥深度67m

裙桩: $4 \times \phi 48''$, 重504t, 入泥深度67m

甲板: 面积890m², 结构重量486t, 设备重量121.6t

油井6口 气井2口 注水井4口

测试分离器: 液795m³/d, 气13.20 $\times 10^4$ m³/d

涠10-3A (井口平台)

涠10-3SPM (单点系泊)

涠10-3SPM (单点系泊)

最大系泊力: 410t

可解脱, 圆柱筒体固定塔式

主桩: $6 \times \phi 48''$, 长68m, 入泥深度51m

涠10-3AP (处理平台)

沉垫自升式平台

沉垫尺寸: 59.588m \times 49.990m \times 3.048m

船体尺寸: 58.218m \times 40.234m \times 4.877m

腿柱: 3根, 外径3.05m

一级生产分离器: 油800m³/d, 气17 $\times 10^4$ m³/d, 水520m³/d

二级生产分离器: 油1220m³/d, 气1 $\times 10^4$ m³/d, 水530m³/d

注水系统3000m³/d

污水处理系统1300m³/d

生活模块定员60人

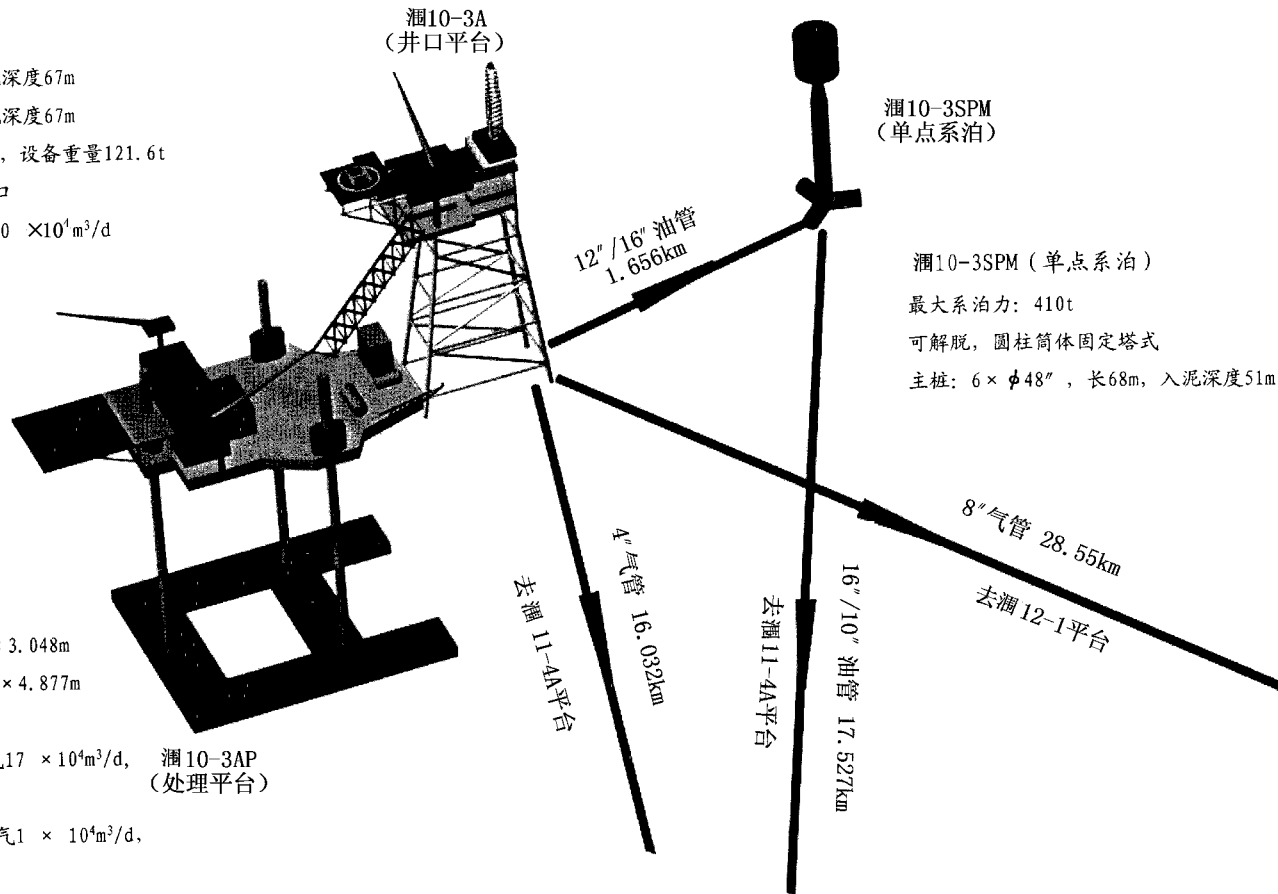


图 1-3-11 涠 10-3 油田工程设施图

涪11-4A(中心平台)

导管架:8腿,重2018.2t
主桩:8× $\phi 48''$,重1396t,入泥深度86m
甲板:面积3310m²,结构重量2242t,设备重量1499t
油井17口 预留井1口
测试分离器:液363m³/d,气274m³/d
生产分离器:液8000m³/d,气6840m³/d
污水处理系统:7200m³/d
注水系统:4152m³/d
生活模块定员:66人

涪11-4B(井口平台)

导管架:4腿,重1086t
主桩:4× $\phi 48''$,重643.8t,入泥深度70m
裙桩:4× $\phi 48''$,重441.8t,入泥深度70m
甲板:面积1172m²,结构重量549.5t,设备重量604.5t
油井12口 预留井3口

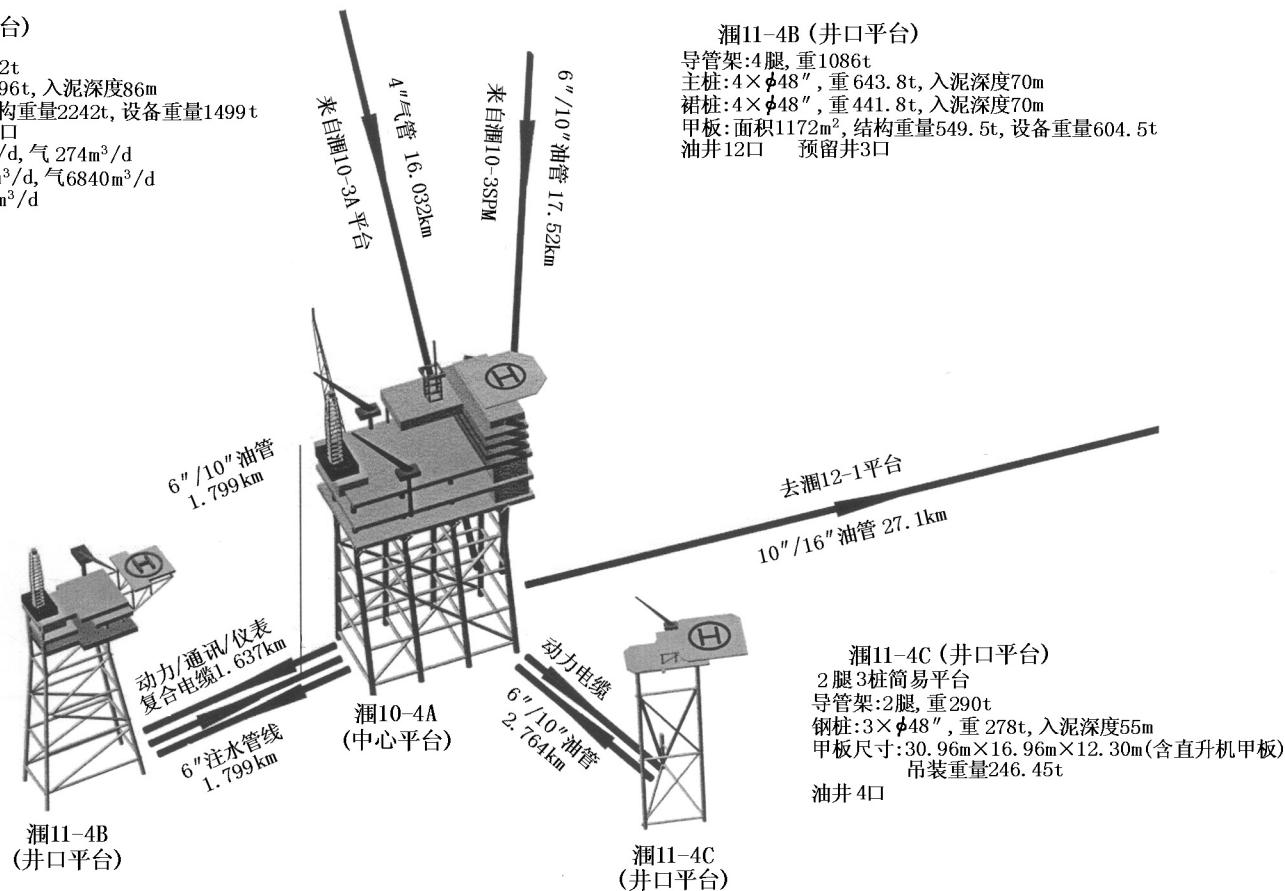


图 1-3-12 涪 11-4 油田工程设施图

南山终端

功能：接收处理Y13-1来的凝析油与供海南岛的天然气

供气量：50MM80FD；
最大为60MM80FD

流程：天然气经TEG脱水和烃露点控制，管输至用户；凝析油稳定后进储罐，码头外输

主要工艺设施：段塞流捕集器；烃露点控制；凝析油稳定；凝析油储罐；气体和凝析油计量

钻井/生产平台

导管架：4腿，15孔

重量：3067.5t

裙桩：8×84"；

入泥300ft；重量：2200t

甲板面积：1069m²

结构重量：2300t

设备重量：190t

主要设施：钻机；测试分离器

处理能力：气120MMSFD；
凝析油1440 bbl/d；水
3600 bbl/d

南山终端

香港接受站

香港接受站

功能：将海上来气加热和计量后输给用户

主要工艺设施：段塞流捕集器；降压站；天然气加热炉；计量系统

工艺/生活平台

导管架：8腿；重量：3000t

主桩：8×60"；入泥395ft

甲板面积：2126m²；结构重量：2190t；设备重量：2230t

主要设施：生产分离器；甘醇接触塔；低温分离器；干气压缩机；透平发电机；应急采油机

处理能力：气400MMSCFD；凝析油5158bbl/d；水
12000bbl/d

生活模块：36人

图 1-3-15 崖 13-1 气田工程设施图

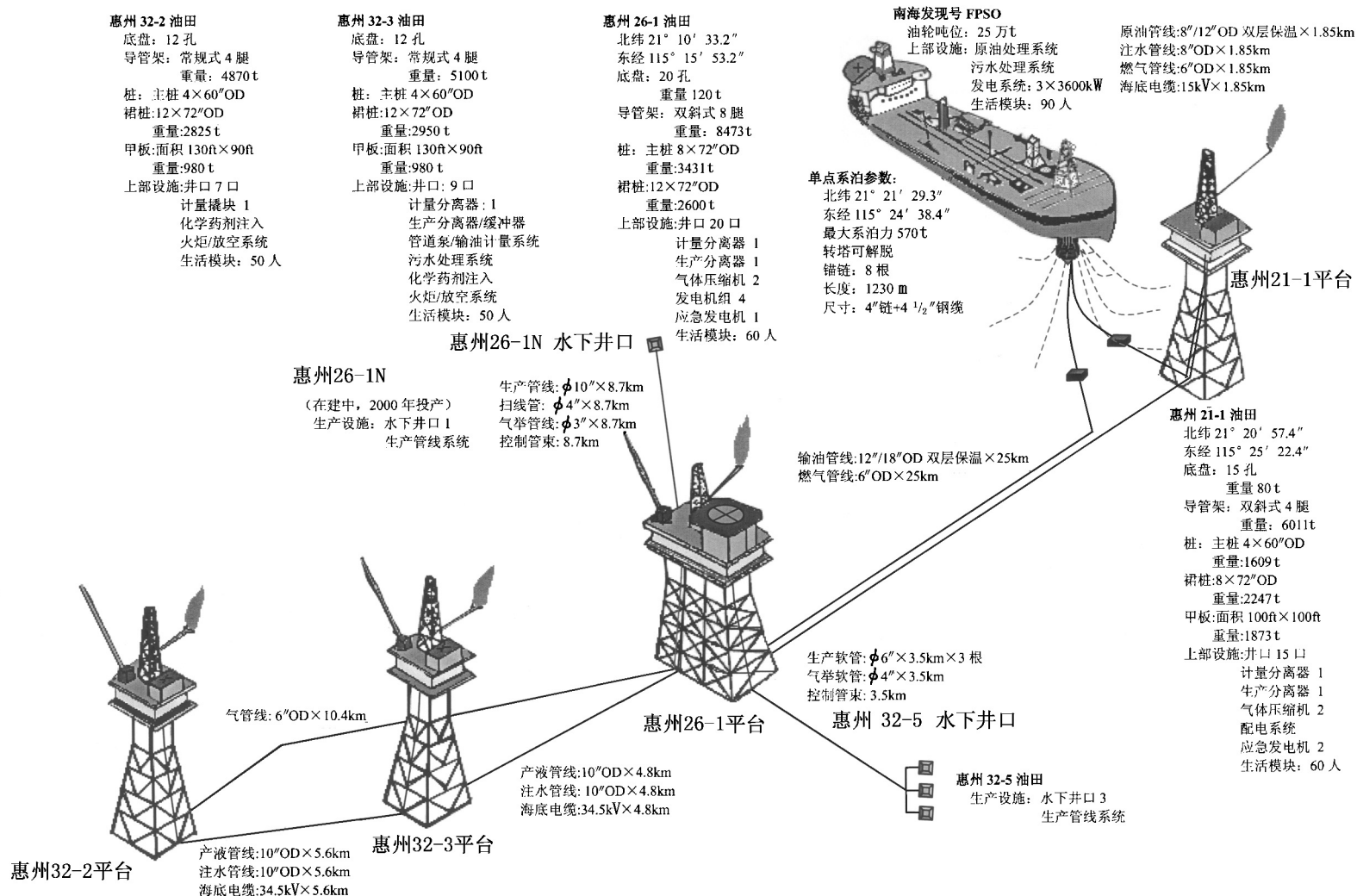


图 1-3-16 惠州油田群工程设施图

南海盛开号 FSOU

油轮吨位: $12.1 \times 10^4 \text{ t}$

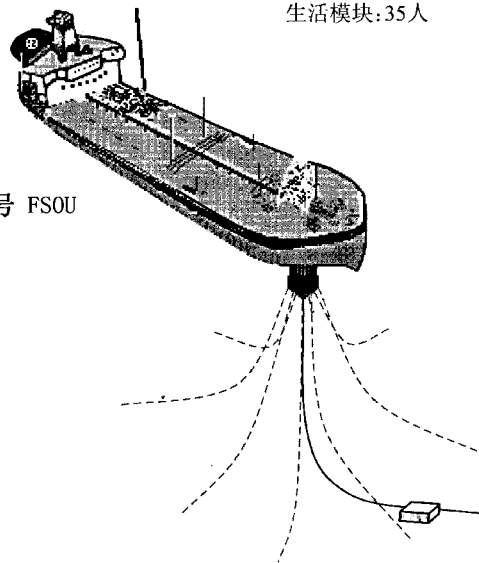
上部设施: 原油计量系统

卸油系统

直升机甲板

生活模块: 35人

南海盛开号 FSOU



单点系泊

最大系泊力: 560 t

是否解脱: 可解脱

通道数量: 1

锚链数量: 8 根 (4"钢丝绳+4"链)

长度: 1234 m

生产平台

导管架 腿数: 8

重量: 15600 t

裙桩: $16 \times \phi 72'' \text{ OD}$

入泥深度: 118 m

重量: 5628 t

甲板面积: $61 \text{ m} \times 58.5 \text{ m}$

结构重量: 12098 t

上部设施:

油井 10 口

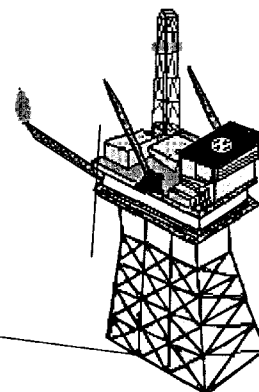
计量分离器 1 台

生产分离器 1 台

电脱水器 1 台

发电系统: 3628 kW \times 5 台 (2 台备用)

2190 kW \times 1 台



陆丰 13-1 生产平台

输油软管: $6'' \times 1.85 \text{ km}$

图 1-3-17 陆丰 13-1 油田工程设施图

睦宁号 FPSO

由多功能穿梭油轮改造而成

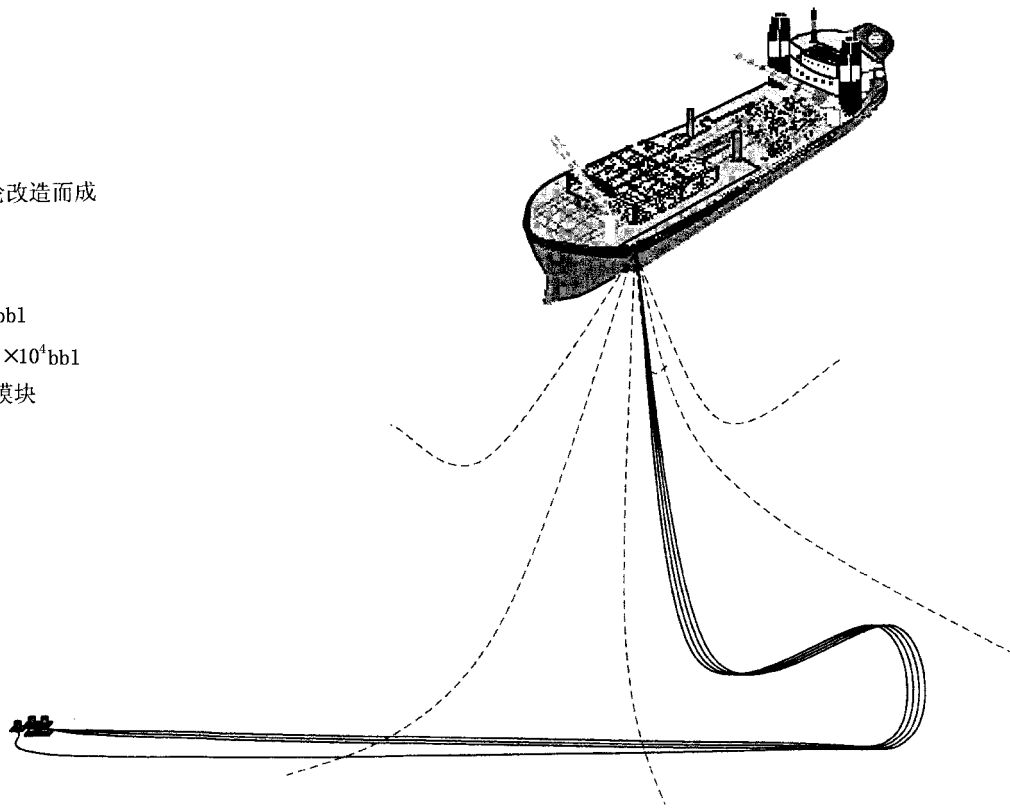
动力定位装置

总载重量为 10.3t

可储原油 $64 \times 10^4 \text{ bbl}$

原油日处理能力 $6 \times 10^4 \text{ bbl}$

86 张床位的生活模块



水下系统

生产井：5 口水平井

生产方式：水下增压泵

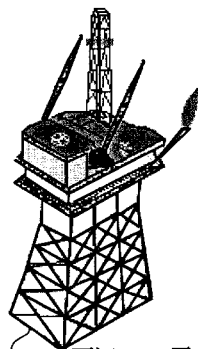
管线系统

生产管线：两根 7"

控制管束：一根 7"

动力管束：一根 7"

图 1-3-18 陆丰 22-1 油田开发工程设施图



西江 24-3 平台

输油管线：双层管保温 16"/10"×9.2 km

西江 24-3 油田

导管架：双斜式 8 腿

重量：5700t

桩：主桩 4×60"OD+4×72"OD

裙桩 4×84"OD

重量 3948t

甲板：面积 190×85 ft

重量 2400t

生产方式：电潜泵

上部设施：井口 21

管汇

计量分离器

生产分离器

发电系统：5×4400kW

应急发电机：1×1100kW

平台吊机：2×50 t

生活模块：90 人

南海开拓号 FPSO

油轮吨位：15×10⁴t

型长：285 m

型宽：48.7 m

型高：26.7 m

吃水深：8~16 m

上部设施：原油处理设施 2 套

污水处理系统

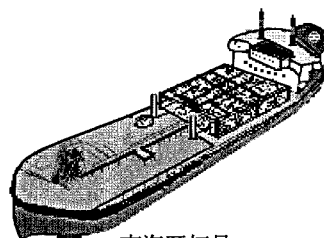
发电系统：1×2400kW（透平）

备用发电机：1×700kW（透平）

1×840kW（柴油）

应急发电机：1×265kW（柴油）

生活模块：60 人



南海开拓号 FPSO

输油管线：双层管保温 16"/10"×4.5 km

西江 30-2 油田

导管架：双斜式 8 腿

重量：5700t

桩：主桩 4×60"OD+4×72"OD

裙桩 4×84"OD

重量 4072t

甲板：面积 190 ×85ft

重量 2400t

生产方式：电潜泵

上部设施：井口 22

管汇

计量分离器

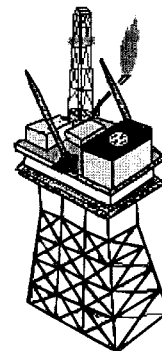
生产分离器

发电系统：5×4150kW

应急发电机：1×1100kW

平台吊机：2×50 t

生活模块：90 人



西江30-2平台

单点系泊参数

最大系泊力：900 t

是否解脱：可解脱

通道数量：2

锚链数量：8 根

锚链长度：1299 m

锚链尺寸：4¹/₄"

图 1-3-19 西江油田工程设施图

南海挑战号 FPS:

功能:

- 钻井、完井、钻井
- 发电、电潜泵供配电
- 水下设备安装维修
- 2 台 ROV 支持作业
- 生活模块: 130 人

南海挑战号 FPS

南海胜利号 FPSO:

油轮吨位: $14.4 \times 10^4 \text{ t}$

型长: 280 m

型宽: 44 m

型高: 23 m

吃水深度: 17 m

上部设施: 计量分离器 1

生产分离器 2

电脱水脱盐器 2

卸油装置

85 人的生活模块

南海胜利号 FPSO

计量软管: 1 根 ID $6'' \times 2.24 \text{ km}$

输液软管: 2 根 ID $13 \frac{1}{2}'' \times 2.24 \text{ km}$

单点系泊参数:

最大系泊力: 600 t

是否解脱: 永久不解脱

通道数量: 3

锚链数量: 10 根

长度: 1955 m

尺寸: $4 \frac{1}{2}''$

水下电缆: 20 根

水下井口: 20 口

图 1-3-20 流花 11-1 油田工程设施图

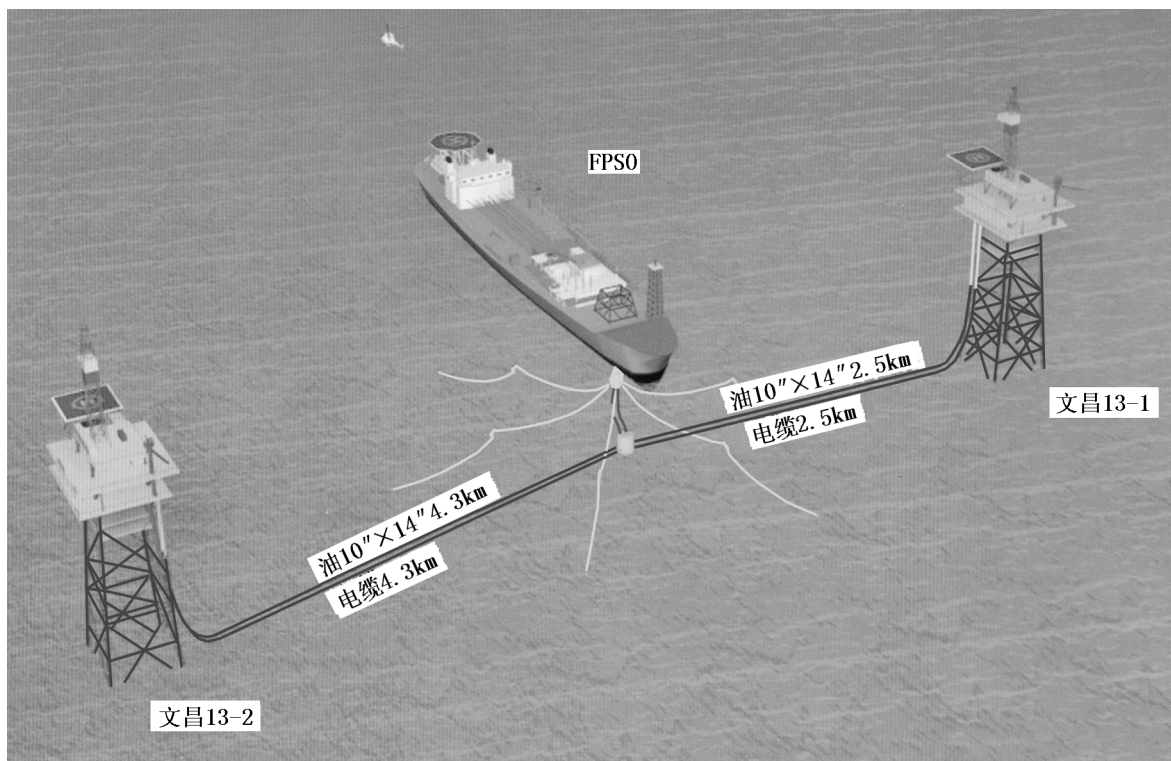
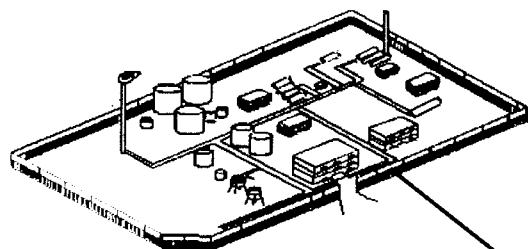


图 1-3-21 文昌 13-1/13-2 油田开发工程设施图

图 1-3-22 平湖油气田开发工程设施图



上海南汇天然气处理厂

处理能力: $160 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$

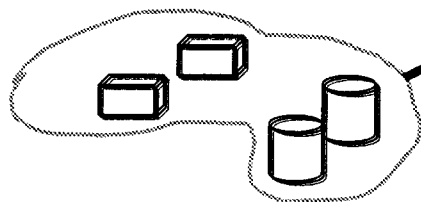
主要工艺流程: 膨胀制冷、丙烷辅助制冷

产品种类: 干气、LPG、戊烷和轻油

LPG球罐: 2000 m^3 3座

戊烷储罐: 170 m^3 5座

稳定轻烃储罐: 600 m^3 2座、 170 m^3 5座



岱山岛原油中转站

原油码头: 2万吨级泊位1个(可停靠1~3万吨油轮)

工作船码头: 2千吨级泊位1个, 引桥长95m

综合平台

功能: 油气水处理、生活、动力、外输

水深: 89m

导管架: 4腿, 4530 t

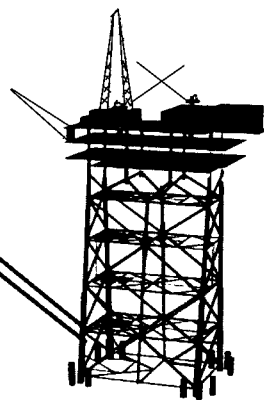
甲板: 4层

井槽数: 20

井数: 气井7口; 油井7口

设计能力: 油 $3100 \text{ m}^3/\text{d}$; 天然气 $160 \text{ m}^3/\text{d}$;
水 $3400 \text{ m}^3/\text{d}$

14" 气管线386km
10" 油管线306km



参 考 文 献

- [1] 曾宪锦编. 海上油气田生产系统. 北京: 石油工业出版社, 1993.10
- [2] 肖祖骐, 罗建勋等编著. 海上油田油气集输工程. 北京: 石油工业出版社, 1994.8
- [3] 方华灿编著. 海洋石油钻采设备与结构. 北京: 石油工业出版社, 1990.11
- [4] 孔祥鼎, 夏炳仁编. 海洋平台建造工艺. 北京: 人民交通出版社, 1993.11
- [5] Drilling and Production Offshore. Penn Well Publishing Company, 1983
- [6] W. J. Graff. Introduction to Offshore Structures. Gulf publishing Company, 1981

参 考 资 料

- [1] 中国海洋石油总公司. 桶油操作成本指标阶段研究报告, 1999.6