



P. S. 霍尔 编

石油工业出版社

海上开发钻井与采油

北京)

内 容 提 要

本书从考察平台入手,研究了各种类型海上开发井的钻井系统,并对海上完井系统(包括多井和卫星井系统)、海上采油控制系统和安全系统以及各种潜水作业做了详细的论述。

本书可供海上石油钻井和开发工程技术人员及管理人员使用。

R. S. Hall

Drilling and Producing Offshore
PennWell Publishing Company

Tulsa, Oklahoma, 1983

*

海上开发钻井与采油

R. S. 霍尔 编

李云青 译 项焕章 校

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京通县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米 32开本 6印张 158千字 印1—1,800

1988年3月北京第1版 1988年3月北京第1次印刷

书号: 15037·2937 定价1.25元

ISBN 7-3021-0085-7/TE·85

前 言

海上钻井和采油一直是一种技术要求很高的综合性作业。随着70年代后期和80年代初期海上作业的迅增，以及新设备、新技术的产生，对越来越多的、合格的、高级的专职人员来说，设计、实施各种方式的钻井和采油作业的要求就更高了。

但是，也正是因为这种专业性，任何人要对这类作业的全部过程，对新设备和新技术如何适应于各个环节有全面的了解却越来越困难了。

本书的目的是向读者在技术上详细介绍各种专用设备、目前的设计水平和工程技术，使读者能全面纵观各种海上钻井和采油作业。

对为本书付出艰辛劳动并贡献了专业知识的作者，我在此表示衷心的感谢。本书的出版是对他们献身于迎接海上石油工业挑战所表示的敬意。

对给予技术协助和提出宝贵意见的许多公司和个人的慷慨合作，也在此表示感谢。这些具有远见卓识、勤于思索的专家们始终乐于为发展海上能源工业的先进技术而同力协作。

R.S. 霍尔

目 录

前言

绪言	(1)
第一章 开发钻井平台	(3)
第二章 开发钻井系统	(25)
第一节 过腿柱钻井	(25)
第二节 浮式钻井	(37)
第三节 张力腿平台钻井	(69)
第四节 底盘的使用	(79)
第五节 泥线套管悬挂和套管支承系统	(85)
第三章 完井系统	(92)
第一节 平台完井	(92)
第二节 过腿柱完井	(99)
第三节 张力腿平台完井	(105)
第四节 多井水下完井	(116)
第五节 水下卫星井完井系统	(122)
第四章 采油控制	(140)
第一节 井口控制系统	(140)
第二节 水下采油控制系统	(146)
第五章 海上油田潜水作业和设备	(156)
第一节 商业潜水	(156)
第二节 潜水的历史	(157)
第三节 国际海上油田潜水	(160)
第四节 潜水生理学	(165)
第五节 潜水能力和设备	(169)
第六节 今后趋势	(182)
参考文献	(185)
本书中的非许用单位与许用单位换算表	(186)

绪 言

随着全世界石油需求量的持续上升,近几年来钻井和采油作业越来越多地集中到海上。海上油井已不再是什么新奇的事物,墨西哥湾的海上油井已是星罗棋布,随处可见了。墨西哥湾的海上钻井和采油开始于沼泽、河湾和海湾,以后随着新的发现及设备、技术的改进,扩展到了较深的水域。今天,墨西哥湾的井占世界海上总井数的一半以上。在那里发展起来的经验和技術为全世界海上油田的开发奠定了基础。

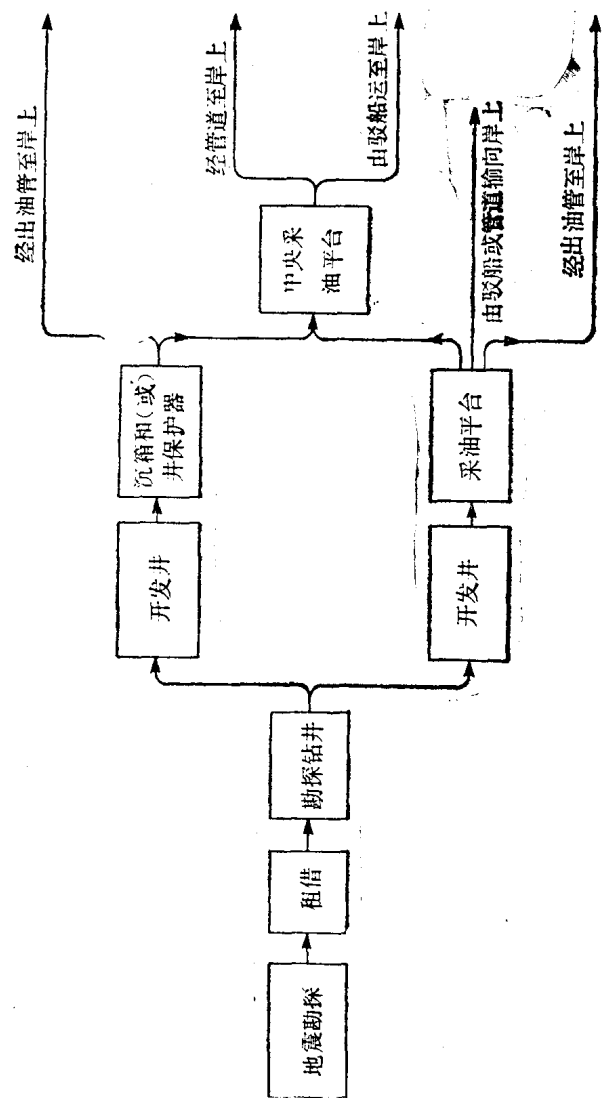
海上作业最基本的要求就是要有一个平台,在它上面可以进行作业并安装设备。早期的河湾作业用的是陆上作业所用的技术和设备及原始的木制平台。随着钻井移向较远的海域,由于经济、环境条件和技术上的原因,使作业技术和设备,也包括起支持作用的平台,变得更加复杂了,因而带来了一系列开拓性的变革。

在本书中,我们假定海上石油勘探开发一般程序中的前三个步骤已经完成(见图)。勘探阶段的目的是确定油藏的形狀、大小和估计可采油气储量。勘探钻井使用的可以是驳船、自升式平台、坐底式平台、半潜式平台、钻井船等等,取决于水深、气候条件、离岸距离及能得到什么样的平台。一般在需确定边界的油藏上打4至10口井,然后即转移到其它井位或区块,近至30公里,远至8000公里。

设计钻井设备力求具有高效率 and 运移性。绝大多数都由自升式或半潜式钻井平台组成,因为这两种钻井平台适应世界不同海况条件的能力较强。设计它们时并不要求留在井位开采油藏,而是执行确定油藏边界的重要任务,在此基础上确定一座钻采平台的设计标准。本书的姐妹篇——《海洋钻井和采油工艺》一书,对用于勘探钻井阶段的平台类型作了介绍和论述。

今后,海上石油的开发必然会带来许多采油技术的改进。为

了能采出占估计储量更大百分比的石油，设计者们必须对安装在平台上的设备作新的改革。据统计，我们目前对探明储量的平均采收率为40 %。随着新技术的发展，随着世界石油需求量的增多，今后十年内这一百分比必将大大提高。



油气藏勘探、开发、生产方法示意图

第一章 开发钻井平台

平台包括许多的种类，小的平台上仅有一口浅水单井，大的平台上可有几十口深水井。如果这种大的平台位于边远地区，那么它必须具备生活区、通讯设备和运输设施，比如直升飞机停机坪。它实质上象一个村庄，不过在这里空间非常宝贵，安全十分重要。平台是一种永久性的设施，在整个油井的生产期，它一直保持固定在某一个位置，它还必须能经受各种海况条件或可能发生的作业条件。

任何一种海上平台的设计——无论平台的类型如何，也是用于世界上什么水域——必须符合四个基本要求：（1）其大小必须满足预计作业的要求；（2）其结构必须能支承作业所需设备和各种辅助设备的载荷；（3）无论是预制还是安装，建造方法都必须切实可行；（4）费用必须适当。

70年代世界海上平台的数量明显上升，并开拓了好几种新的平台。1970年以前，在世界各地作业的所有平台实质上都是桩腿、钢导管架底盘结构型式（见图1-1）。虽然也有人致力于研究较为创新、式样迥异的平台，但几种新型平台的实际试验、试制和最终安装是在1970年之后进行的。尽管底盘式平台在数量、最大工作水深及生产能力上仍占主要地位，但新的平台已日益发展，在广受欢迎的平台中已占居一席之地。

除底盘式平台外，本章还要介绍一些新的平台类型，包括混凝土重力平台、张力腿平台、过腿柱钻井平台和绷绳塔式平台。

每一种设计形式除了都有其独特而开创性的特点之外，又以不同的方式体现了对海上平台的基本要求：提供安全、经济、高效的钻采平台去开采世界上丰富的海洋油气资源。

要设计并建造能应付任何意外事故和任何海况条件的极端可

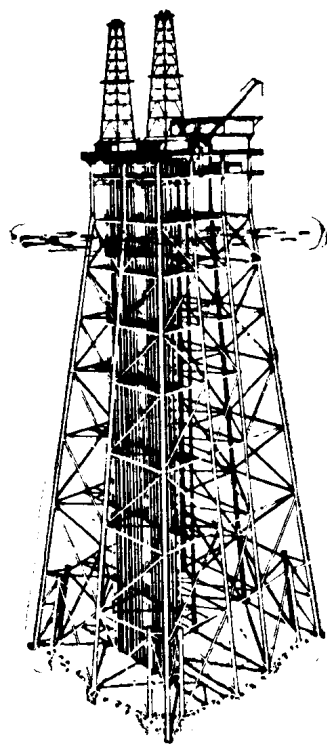


图 1 - 1 双钻机作业的钻采平台
平台数据概要

导管	48		
海况数据		吨位	
水深	122米	甲板	1250~1600吨
浪高	18米	导管架	4800~5200吨
风(一分钟平均)	267公里/小时	桩脚	3200~3500吨
海况负荷			
浪	6100~6500千磅	费用(百万美元)	
风	1200~1500千磅	设计	0.15~0.20
钻井负荷	1200~15000千磅	预制和材料	12.20~13.60
预计时间		安装	2.50~3.00
设计	5个月	总计	14.85~16.80
预制	12个月		
安装	1/2个月		

靠的平台是不现实的。我们所要求设计的平台，是要在某一特定地点能经得起各种已知的危险条件，并在油藏寿命结束之前一直能承受各种作业。

在世界大多数地区，油藏一旦开发完毕就必须将平台拆除。

就象没有两口油井或气井完全相同那样，任何两个平台都不会是一模一样的(见图 1-2)。宽度或高度相差几英尺意味着基本设计的许多变化。为了保证平台不但能为初期的作业而且也能将来的作业需要提供足够的面积，就必须有周密的规划。在油藏开采期间的各生产阶段，产油层可能发生许多变化，因而甲板设备和总重量必然也会变化。对一切可以预计到、规划到的变更作好调整，可大大节省建造成本。

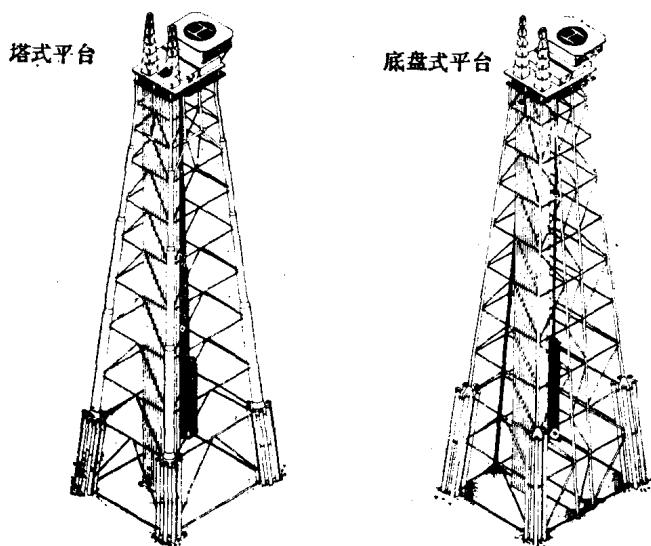


图 1-2 海上平台的类型

平台设计者必须在考察过这几条标准之后才能选出一种合适的平台。考虑的因素包括：水深、气候条件、海床情况、油藏的大小和预计生产水平、建造和安装的方法以及总费用。

随着开采移向较深的水域，水深已成为一条越来越重要的设

计标准了。在海洋石油工业发展过程中，“深水”这一概念已发生了变化，习惯上认为超过现有最深平台所能达到的深度者为“深水”。深水平台的设计虽然与浅水平台有些联系，然而它所考虑的重要因素在浅水平台就没有那么重要。在深水海域，由波浪运动造成的应力以及安装的困难都大得多，疲劳损伤也是个较大的问题。深水平台重量的剧增使普通安装技术无法满足需要，必须创造新的方法。为了更充分地利用深水平台的巨大投资，每个平台的井数往往也有所增加。

所有平台的设计都要考虑到最坏的气候条件，通常将百年一遇的风暴（即每年只有 $1/100$ 发生的可能）也考虑在内。平台与船只不同，船只可以驶进一个安全的港湾躲过恶劣的气候，而钻采平台在大自然肆意施展其怒威时必须首当其冲。墨西哥湾的飓风、东南亚的台风和北海的强烈风暴都是十分严峻的海况条件，必须纳入平台的主要设计标准中去。结构强度、平台基础的支撑以及平台甲板超出平均水位的高度均与预计的最坏气候条件直接有关。

在设计将平台固定于海床的基础系统时，也必须考虑海底情况。坚硬、平整、稳定的海床适合重力平台；而在松软、不稳定的海底可能需要充分利用锚桩，把它们打入泥线以下150米深处。在近河口的三角洲地区，比如密西西比河口，则采用泥撬。在这些地区，海底的变化可以给平台基底造成超负荷的应力。某些地区的地震或在北极水域的冰冻也是必须考虑的海况条件，在平台设计中必须采取相应的措施保证工作人员的安全。

在确定了油藏边界之后，其规模和油气生产水平将决定平台的设计。根据油藏规模，确定是否需要一个大型多井平台？单井平台是否够用？生产的油气是输到油轮上去，还是用管道输向陆上设施，或是储存于本台本身？

由于平台的制造是在陆上进行的，而安装则是在海上进行的，因此它的建造方法也必须考虑在设计中。下水方法和安装载荷诸因素在平台设计中可能成为最关键的内容。

最后，整个平台的经济效益如何？由于地点和条件不同，建造成本也有很大的差别。由于各国的劳务和材料费用不一，加上当局对设计的控制，类似的平台其成本可以有两倍或三倍之差。一座用于北海的平台和一座用于墨西哥湾的平台——尽管外表看来差不多，其费用可相差三倍之多。租用权和实际钻采费用也必须考虑在平台的成本之内，特别是大型深水平台，其最终回收（使产量收入与平台总投资费用相等）也许要几年的时间。在某些情况下，也可能直到油藏开采完毕还不能收回投资。需要用超级平台开发的某些油藏，其开发总费用已经超出20亿美元，问题是要根据世界对油气的需求情况，确定利润是否足够进一步开发这些油藏。

考虑了各种设计标准之后，必须选择出一种平台。在海上石油工业的历史中，绝大多数都选用了桩支承底盘式平台。这些平台经历过许多工程革新，也经受了世界各海域的不同海况条件。根据当今的技术水平可以预见，将来它们无疑仍会是使用最普遍的一种平台。

今天的桩支承底盘式平台一般采用钢导管架结构，导管架的基座靠桩脚固定于海床。根据海底条件和预计的环境负荷，将桩脚打入泥线以下几百英尺。这些桩脚或通过导管架腿柱本身打入海底并灌注水泥加以固定，或通过连接在平台基座上的套筒打入海底（图1-3）。最普通的方法是用起重船上的气锤将桩脚打入海底。水下打桩设备的运用也很成功，但仅限于特殊的深水条件。

钢制腿柱从海底竖起伸出海面支承甲板系统。所用腿柱的大小和数量以及用横梁或拉筋的结构加固均取决于前面提到的那些设计标准。甲板系统由一系列桁条、构架或大梁支撑的甲板组成，它通过导管架将作业的负荷分布到下部结构的腿柱上。

通过每个导管进行钻井，导管用于保护表层套管免受环境压力。

底盘式平台是在陆上建造的。大多数用于建造海上平台的大

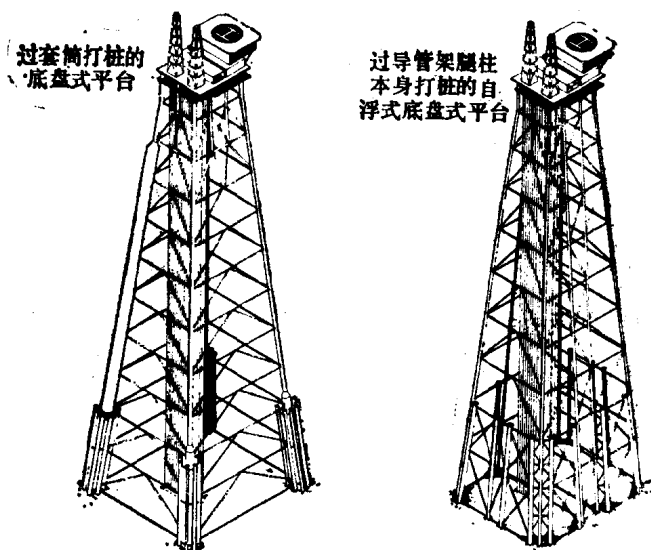


图 1-8 过套筒打桩的底盘式平台(a)和过导管架腿柱本身打桩的自浮式底盘式平台(b)

型设备，均具有提升构成底盘式平台用的各种导管架组件的能力。只有两种平台明显例外——Hondo和Cognac平台，它们的导管架是组装成一个整体的，这一点在后面将要谈到。

组装好的导管架通常由驳船运到安装地点，然后提吊并下入水中。在深水导管架重量超过驳船承载能力或不具备下水设备的情况下，可以采用自浮式导管架。这种导管架必须增加浮体，因而要用更多的钢材，加工更为复杂，制造费用也更高。

下水或拖航作业是平台设计中最关键的标准之一。利用海上石油工业现有的驳船，整件下水导管架的水深限度约为290米。

在下水并拖航就位以后，必须将横浮的导管架转为竖立，并安置于海底。在浅水海域，这一步通常由提吊和灌水相结合的方法完成。而在深水海域，由于起重驳船和导管架对水力的反应不同，必须单独进行可控制的灌水，这使设计和建造更加复杂了。

将底座调平、打桩、连接甲板系统，并安装导管和甲板设备，

至此安装即告完成。

底盘式平台的历史是令人难忘的。1947年在路易斯安那水深6米的海域建起了一座钢质平台。同一年，于水深15米处建起了另一座结构类似的平台。1955年平台安装水深达到30米。到1965年，一些平台已坐落在深达69米的海域。到1970年，创记录的水深为113米。

1976年平台安装水深已达259米，而到1978年创造了313米水深迄今为止的最高记录。

早期的平台用许多细桩群支承，以后采用直径较大的腿柱，减少了支承用桩的数量，在一个平台上作业的井数也增加到96口之多。

到1982年，世界上已有3400座固定式平台；98%以上为桩支承钢导管架底盘式的。这个数字令人惊叹，同时也说明，要把各种类型的底盘式平台都作一番详细的介绍是不容易的。为了将一座底盘式平台作一较详细的介绍，让我们看一下这类平台中最大的一座——壳牌公司Cognac平台(图1-4)。

尽管Cognac平台的某些设计比其它平台更具有自己的特点，但是它的设计和安装规模之壮观也许可使我们对平台技术的进展和海上平台设计的远景略知一二。

1976年，Exxon公司在加利福尼亚沿海259米深的海域安装了当时海上平台中最深的一座Hondo平台。它的总高度有288米，并采用了特殊的建造和组装技术，因而这个平台是值得一提的。由于导管架很大，用平常的方法难以摆布，所以采用了分段安装的方法。先将导管架整件建成，然后分成两部分。将这两部分分别下水后，在横浮状态下重新组合。重新组合时采用了液压锁紧法兰和腿柱全强度焊接技术。

与此同时，壳牌公司的Cognac平台也正在建造过程中。由于平台要安装在313米深的水域，故也必须采用导管架分段安装的方法。这一次要分为三段进行，分别建造、分别叠置安装。也就是先将底部下水、调平并打好套筒式桩脚，然后再将另外两段分

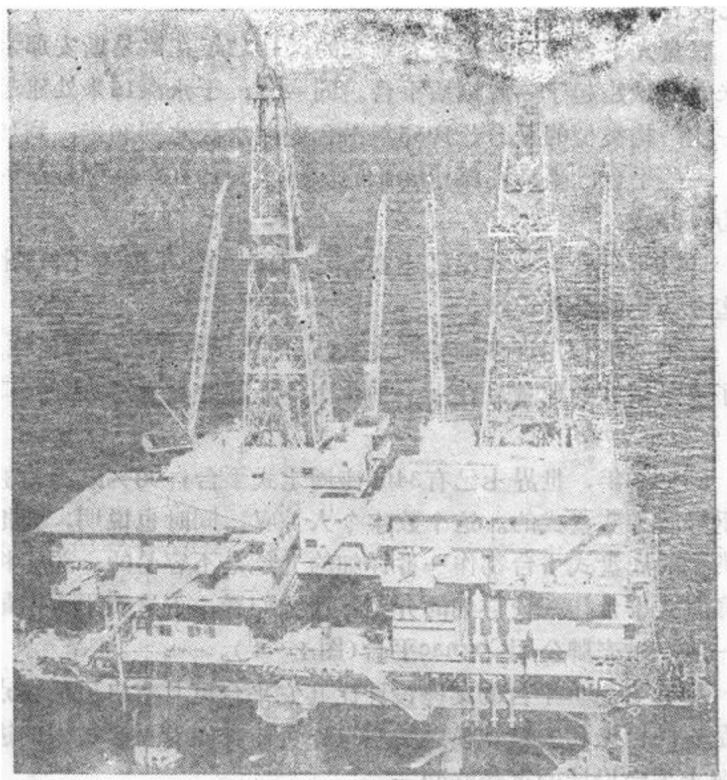


图 1 - 4 壳牌公司的Cognac平台

别下水安装。在段与段之间插入直径72英寸的管状连接销，段长183~244米，并在腿柱内灌浆加固，增加强度和稳定性。

仅下段本身重量就达14000吨，用水下打桩机将24根直径84英寸的桩脚打入海底大约153米处来固定它。所用的桩锤第一次用于这类工程，长12.2米，宽3米。

导管架中段长96米，重8000吨。上段长162米，重11000吨。这两段按先后次序分别靠起重船用钢缆吊装于下段之上。连同带八条腿的2000吨甲板 and 两台钻机，整个平台从泥线至井架顶部高达335米，包括桩脚和连接销在内，共用去钢材59000吨。Cognac平台有60个直井导管和两个斜井导管。这一巨型平台的安装完成于

1978年。

Cognac平台在今天代表底盘式深水平平台的顶峰，将来技术的发展也许会创造更高的水深记录，尽管其局限性更可能来自经济方面的原因而不是技术的限制。那时，底盘式平台将仍然是海上平台中的主要类型。它们的可靠程度已得到证实，它们是安全、稳定和有效的钻采平台的典范。

一、混凝土重力平台

虽然在平台发展的早期，于委内瑞拉湾也建过一些非常小型的混凝土重力平台，但对混凝土重力平台的重视是始于70年代北海大力开展海上活动的时候，自从1973年在北海安装了第一座大型混凝土重力平台以后，到目前为止世界上已有20座这种平台了，其大部分仍用于北海，其余的则用在世界其它的海域，比如在巴西、刚果和路易斯安那。目前有些地区正在对新的、独特的混凝土或钢质重力平台的设计进行研究，如西伯利亚到阿拉斯加的北极浅水海域以及加拿大沿海的一些深水地区。

混凝土重力平台与底盘式平台在几个大的方面有所不同，也许最根本的不同点(除了建筑材料不同之外)在于平台在海床上的固定方式。底盘式平台是用桩脚固定于海床，也就是将桩脚深深地打入海床，使导管架的腿柱永久性地固定于海床。甚至于张力腿和绷绳塔式平台也用某种形式的锚定系统，例如桩脚、锚定绷绳或锚定的拉张钢缆。所有这些固定系统均要求大规模的、复杂和极昂贵的海底安装。而混凝土重力平台则仅靠它自身宽大的底部和巨大的重量以纵向力稳定地坐于海底。

由于这一方法的独特性，当确定一座混凝土重力平台在某一地点是否可行时，最关键的考虑因素就是海床条件。为保证平台的稳定性，海床应该实质上是平的、高抗穿透性的和非常稳定的。因此，混凝土重力平台并非在所有海区所有情况下均适用。与底盘式平台的使用和布设的灵活性相比，适应性差这一固有的特点，使它虽然有价值但无疑只能占各类平台中的一小部分。

混凝土重力平台的建造一般分为两个步骤，先期建造是在一

个干船坞状的人造盆地中进行的，以后的建造阶段是在附近的人造小海湾完成的。在拖往安装地点之前完成甲板连接。然后，将几乎100%结构完整的平台压载、拖航，最后用有控制的压载的方法使它下沉并坐落于海床上。这后半部分作业已发展到如此娴熟的程度，一座300000吨级的平台控制下沉速度低至每分钟5厘米，安装位置的误差在1.8米之内。

在六十年代后期发现北海丰富的产油潜力之后，对利用混凝土重力平台钻井和采油进行了可行性研究。研究结果表明，北海的海床条件及水深条件均较合适，并提出了新型平台的几种优点。

除了平台的重量可以提供所需的稳定性因而不需打桩、不需耗时耗资在海上建置以外，其它优点还有：

(1)混凝土是价格比较低廉的材料，而且世界上绝大部分地区都能提供；

(2)它有很强的抗火、抗爆能力；

(3)建造技术比较简单，也为人们所熟悉；

(4)平台的运移并不过分复杂；

(5)配比适当的混凝土具有高抗腐蚀性；

(6)严酷的北海风浪作用产生的交变应力，对混凝土平台所造成的疲劳，不象对钢结构平台那样大；

(7)维修工作量降到最低限度；

(8)为能浮水拖航而设计的中空的底座有很大的存油能力。

起先担心的沉没入水时可能遇到的困难，以后在安装中已得到了解决，最后沉没入水的作业非常准确、灵活。

混凝土重力平台今天已用于各种深度的海域，浅的如在墨西哥湾3.7米深的水域，深的如在北海大于153米深的海域。平台的重量已达到了惊人的程度，如Ninian Central平台重600000吨，而北海的Stratfjord B平台则更重，达825000吨。尽管一般认为Stratfjord B平台的重量可能已达这种平台的极限，但目前对这种平台作业深度和重量的限度还没有严格的规定。任何深水设计均可能采用一些创造性的做法，比如采用铰接式锚定装置、增加

钢质的百分比以及调整压载-储存舱的位置。

在有些重力平台的设计中，主要是在腿柱和甲板支承结构中已广泛采用了钢结构，而在压载-储存舱以及底部各段使用混凝土。

如底盘式平台设计已分为几种明显的类型一样，混凝土重力平台也设计出了各种结构和大小。但是设计的基本组成部分在本质上仍是相同的(图1-5)。

平台的底部一般均装有抗冲刷部件，这些部件穿入海床到一定深度。根据海床的平整程度或沉陷的可能性，采用一块连续底板或几块底板，或者采用沉箱。在这些底部各段之上有一些舱室组成了平台的下段。

这些舱室及腿柱内的舱室有双重功用。在拖航的时候，通过它们可得到所需的浮力，在到达安装位置后，通过它们的可控制的压载可使平台沉入海底。在作业过程中，这些舱室又可用作储油库。

由于这些舱室不能始终处于被油充满的状态，因而就必须将海水泵入或泵出以提供为保持稳定性所需恒定压载量。较大平台的储油能力可达一百万桶。建造这些舱室可采用预浇注、预应力混凝土，而更常用的是滑模浇注法。

腿柱从底部向上一直升出水面，使甲板与水面保持一段间距。重力平台用一条、二条、三条或更多的混凝土或钢质腿柱不等，其决定因素是：预计甲板承载能力、甲板总面积以及控制系统、泥浆泵送设备或储存设备所需的附加承载能力。这些腿柱也可在安装井的设备时作为导管，这样就具有一些过腿柱钻井平台的特点了。

经验证明，在水深相同的情况下，在北海用混凝土重力平台比底盘式平台更为经济，估计总成本可节省20%，但是并非所有的设计者或制造者都一致认为重力平台可以代替底盘式平台。以目前的工艺水平看来，混凝土平台的潜力是有限的。尽管七十年代后期有人认为将来会有一个混凝土平台的热潮，但是海上石油