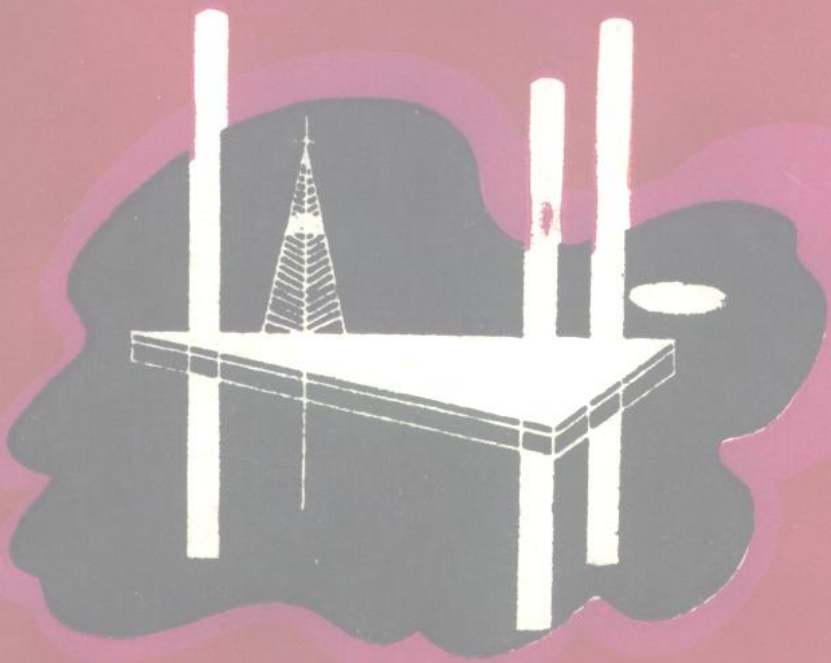


海洋出版社



近海移动式平台



海洋出版社

075106

海洋石油建筑工程丛书



近海移动式平台

马志良 罗德涛 主编



200770086



海洋出版社

1993年·北京

内 容 简 介

本书比较系统、全面地介绍了近海移动式平台的类型与发展、移动式平台的海洋环境、在海洋环境中的稳性、在波浪中的运动、结构物的定位系统、以及坐底式平台、自升式平台、半潜式平台的设计特点，还简要地介绍了钻井船的发展情况。

本书适合于海洋开发工程、船舶工程及其他有关专业从事各种近海移动式平台和海洋工程船舶的设计、研究、制造、使用和技术管理工作的工程技术人员和研究人员阅读与参考，可作为高等院校海洋工程专业、船舶工程专业以及石油勘探开发等有关专业的教材或教学参考书。

责任编辑 吴宜倜
责任校对 刘兴昌

(京)新登字087号

近海移动式平台

马志良 罗德涛 主编

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 昌平建华印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 15.75 字数: 423千字

1993年12月第一版 1993年12月第一次印刷

印数: 1—500

ISBN 7-5027-2472-9/TE·4 定价: 14.30元

前 言

海上移动式平台是勘探、开发海洋资源特别是海底石油和天然气的重要装备。本书概述了移动式平台的类型与发展；对移动式平台的海洋环境、稳性、在波浪中的运动、定位系统等基本问题和重要性能进行了广泛的和比较深入的讨论；根据坐底式平台、自升式平台、半潜式平台各自的特点分别编写了设计原理与方法。

在本书编写过程中，注意收集国内外的新资料，重视实践经验，从平台的使用和操作要求出发对设计中的实际问题 and 理论问题进行分析与讨论。所编写的内容中也反映了从1979年以来编者在教学和科学研究活动中积累的一些经验和成果。

编写分工如下：杨宗英、马志良（第一章），马志良（第二、三、四章），陈家鼎（第五章），范根发（第六章），马志良、罗德涛（第七、八章）。马志良统一修改、整理。在编写过程中，得到了黄祥鹿、刘应中，金德贤、李润培、曾恒一、吴思、吴启林等的支持和帮助；史同、许步文作了审阅；陈鸣芳、薛惠凤、张玲担负了绘图工作，特致深切的谢意。

海洋开发在我国是一个新的发展领域，更由于编者的水平及时间所限，本书一定存在很多缺点和错误，恳望读者批评、指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 移动式平台与海洋工程.....	(1)
第二节 移动式钻井装置的类型及发展概况.....	(7)
第三节 动力定位钻井船.....	(18)
第四节 海上钻井的主要特点.....	(24)
参考文献.....	(26)
第二章 海洋环境	(28)
第一节 绪言.....	(28)
第二节 风.....	(31)
第三节 波浪.....	(36)
第四节 流.....	(41)
第五节 潮汐.....	(48)
第六节 波浪运动基本方程式.....	(57)
第七节 微幅波理论.....	(59)
第八节 有限振幅波理论和波浪理论的选择.....	(69)
第九节 斯托克斯波理论.....	(74)
第十节 椭圆余弦波理论.....	(81)
第十一节 孤立波理论.....	(86)
第十二节 破碎波.....	(88)
第十三节 波谱.....	(93)
参考文献.....	(100)
第三章 移动式平台的稳性	(102)
第一节 绪言.....	(102)
第二节 移动式平台的重大事故及对事故的调查 研究.....	(105)

第三节	各国有关移动式平台的规范与规则·····	(116)
第四节	移动式平台的稳性计算·····	(129)
第五节	有关移动式平台稳性研究的各种计划·····	(144)
第六节	移动式平台稳性衡准研究中的若干问题·····	(154)
第七节	坐底稳性与着底稳性·····	(160)
参考文献	·····	(161)
第四章	移动式平台在波浪中的运动·····	(166)
第一节	绪言·····	(166)
第二节	钻井及其他作业对半潜式平台运动性能的影响·····	(170)
第三节	半潜式平台在波浪中的运动响应·····	(182)
第四节	各种因素对半潜式平台波浪中运动性能的影响·····	(204)
第五节	模型水池试验和实物现场测试·····	(217)
第六节	自升式平台、坐底式平台在波浪中的运动·····	(226)
参考文献	·····	(237)
第五章	移动式平台的定位系统·····	(241)
第一节	锚泊定位概述·····	(241)
第二节	锚与锚泊线·····	(244)
第三节	锚泊系统静力分析·····	(257)
第四节	锚泊线动力分析·····	(280)
第五节	锚泊系统设计的有关问题·····	(287)
第六节	动力定位系统概述·····	(292)
第七节	位置测量系统·····	(294)
第八节	计算机控制系统·····	(316)
第九节	推力系统·····	(325)
参考文献	·····	(329)

第六章 坐底式平台	(332)
第一节 概述.....	(332)
第二节 设计的基本考虑.....	(335)
第三节 海床地基和坐底稳性.....	(340)
参考文献.....	(344)
第七章 自升式平台	(345)
第一节 结构型式.....	(345)
第二节 自升式平台的操作状况.....	(355)
第三节 自升式平台的设计特点.....	(361)
第四节 自升式平台的稳性.....	(379)
第五节 结构强度分析.....	(401)
第六节 当前的发展.....	(410)
参考文献.....	(417)
第八章 半潜式平台	(419)
第一节 绪言.....	(419)
第二节 半潜式平台的操作状况.....	(426)
第三节 主要要素的初步确定.....	(434)
第四节 重量与重心位置的估算.....	(445)
第五节 总布置设计.....	(464)
第六节 阻力与推进.....	(470)
第七节 半潜式平台的结构强度分析.....	(481)
参考文献.....	(492)

第一章 绪 论

第一节 移动式平台与海洋工程

现代的海洋开发是知识、技术和资金的密集型事业，没有先进的海洋工程技术，是不能进行或无法顺利地进行海洋开发的。海洋工程是一个庞大的科学研究、工程技术、生产的综合体，是现代社会中一个举足轻重的新兴产业，也是本世纪50年代以来出现的一门新兴的综合性的学科。海洋工程包括为进行海洋调查与科学研究、海洋资源的开发、海洋空间的利用等所需要的和涉及到的各种工程技术，关系到许多学科和技术领域。海洋开发事业和海洋工程技术的发展，必然会带动和促进有关产业和有关工程技术的发展，如船舶、钢铁、冶金、化学、机械、电子等工业和运输业等，都会因海洋开发的需要而有新的发展。根据我国具体情况，海洋工程在最近一个时期内急需发展的主要方面有：

(1) 海洋开发基础性工程技术：这是海洋开发前期工作所需要的工程技术。包括海洋环境资料的收集与处理（利用观测浮标、海洋调查船、人造卫星等对气象、水文进行观测与预报）、海洋工程地质的调查研究、材料和防腐蚀与防火技术、防海生物污损等；

(2) 离岸工程结构物的设计与制造：海洋开发尤其是海洋石油与天然气的勘探与开发需要在海上安装与使用大量的离岸工程结构物，包括各种类型的移动式平台、固定式平台和顺应式平台；各种类型的浮式生产系统；各种类型的单点系泊系统；各种类型的工程船舶；海底管道，等等。离岸工程结构物是海洋开发基地的支持结构，是开发海洋石油和天然气所必须解决的工程技术问题；

(3) 海岸工程结构物的设计与建造：包括海洋土木建筑和海港工程结构物的设计与建造，在发展我国的海洋航运业和建设沿海热电站及核电站的过程中，海岸工程技术将发挥巨大的作用；

(4) 建立人工渔礁，发展海水增养殖的工程技术；

(5) 钻采、动力、机电、电子、水下设备等的专业配套设备；

(6) 研究与生产各种海洋仪器。

在海洋工程中，海洋石油与天然气的勘探、开发工程占有突出的重要地位。从我国三种类型的海洋产业中亦可看到海洋石油工业的特殊地位。三类海洋产业如下：

(1) 传统的海洋产业：主要是海洋渔业、海洋运输业、海水制盐业等，是已经成熟的产业，但需要进行技术改造和进一步发展，才能满足日益增长的需求；

(2) 新兴的海洋产业：最重要的是海洋石油工业。对我国有重要意义的还有海水淡化、海洋化学资源的开发利用以及海洋旅游等。新兴的海洋产业是正在迅速发展的产业，对国民经济的发展和人民生活水平的提高有较大的影响；

(3) 未来的海洋产业：包括海洋能利用、深海海底锰结核勘探开发等。这些方面目前尚处于试验、研究或探索阶段，预计要到21世纪才能形成产业，但其重要性不容忽视。其中有一些方面，如潮汐电站的建设，对我国来说是在近期有可能做出较大成绩的项目。

1985年全世界的海洋石油产量为7.56亿吨，占全世界石油总产量的28.3%。这一年海洋石油产量最高的国家是英国，为1.28亿吨。我国的海洋石油生产在80年代有了新的发展，中日合作开发的渤海埕北油田于1985年部分投产，1987年全部投产；中法合作开发的北部湾涠10-3油田于1986年8月正式投产。由于新的海上油田的投产，我国1986年的海洋石油产量达37.5万吨。虽然这一数字还不及1986年我国石油总产量1.3亿吨的1%，但确实是一个良好

的开端。我国的海洋石油工业正在兴起，今后将不断会有新的海洋油田（中外合作开发的和自营开发的）投入生产。

从1955年到1985年止，全世界海洋石油的产量占全世界石油总产量的百分比如图1.1所示。相类似地，天然气的相应百分比如图1.2所示。

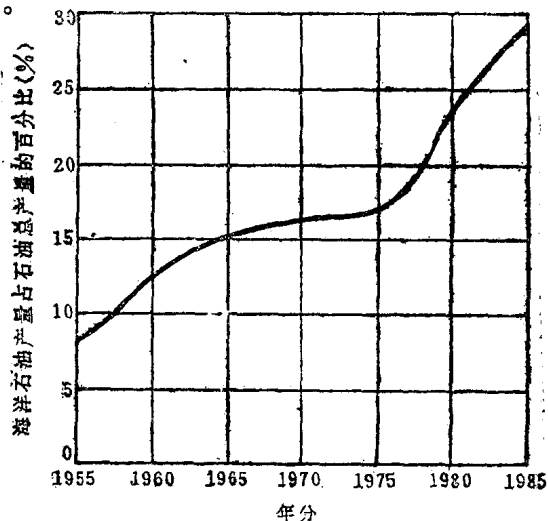


图 1.1 海洋石油产量占总产量的百分比

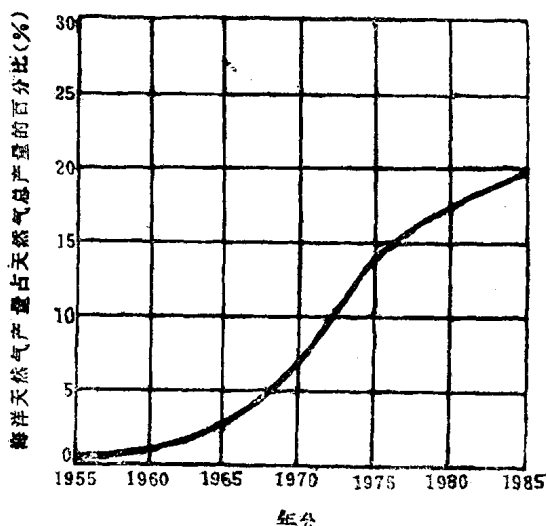


图 1.2 海洋天然气产量占总产量的百分比

图中曲线表明，海洋石油和天然气的开采在过去的几十年中获得了令人振奋的发展。图示的百分比曲线能否保持上升的势头继续增长，主要取决于海洋石油勘探中油气田的新发现。

海上油、气田勘探与开发的程序大致如下：首先由地球物理勘探船通过以地震勘探法为主的各种地球物理勘探方法对海底地质进行调查研究。如发现有希望的油气构造，则进一步采用移动式钻井平台按选好的井位钻井取芯，对地层作更详细更具体的调查，这就是钻探。移动式钻井平台也可称为移动式钻探平台。钻的探井可能是干井（无油、气发现），也可能有油、气发现，而当油、气数量达到一定的标准，就称这口井为发现井。为了对油气构造进行评价，还要由移动式钻井平台钻若干口评价井与探边井。评价工作是和大量的可行性研究工作结合进行的，工作的结果是要回答是否进行开发，并提出最佳的开采方案。于是转入开发阶段。开发过程包括钻生产井（视具体情况可以在固定式生产平台上钻生产井，也可以由移动式钻井平台钻生产井），采油（气）、集中、处理、储存及输送等环节。

从上面所述的勘探与开发程序，可以看到移动式钻井平台所起的重要作用。除了移动式钻井平台以外，还有其他用途的移动式平台，例如：生活平台（专作居住用）、生产平台、起重平台、铺管平台、维修供应平台、修井平台，等等。这些平台，有的是用钻井平台改建的，例如有不少生产平台是由旧的钻井平台改建而成，我国也曾经把自升式钻井平台改建为居住平台。但专门设计和新建的各类移动式平台也是常见的。英国Balmoral油田所配备的半潜式生产平台是世界上第一座专门设计与新建的半潜式生产平台（4立柱的GVA5000型），已于1986年建成。巴西也准备建造这种型式的半潜式生产平台，而过去巴西用的浮式生产平台都是用旧的半潜式钻井平台改建的。由于在移动式平台中钻井平台占有绝大多数，而且，从平台的设计、制造和使用等各方面看，钻井平台是有代表性的，因此，本书着重论述移动式钻井平台设计的有关问题，其他用途的移动式平台则提及较少。

不过，在设计原理与方法上，实际并无二致。

据《海洋工业》杂志1986年9月报道^[1]，这一年全世界共有移动式钻井装置769个，较1985年仅少4个。装置的数目并未受到油价下跌的影响，但利用率进一步下降。具体的统计数字如下：

钻井装置类型	数 目
自升式平台	445
半潜式平台	198
坐底式平台	39
钻井船与钻井驳	87
总 计	769

这一年平台的利用率仅为54%，1986年比上一年又下降了28%。对于上面表中的名词，需要专门解释一下：自升式钻井平台、半潜式钻井平台、坐底式钻井平台、钻井船与钻井驳等的统称是移动式钻井装置（Mobile Drilling Rigs, Mobile Drilling Units）。这里的钻井装置并非只是钻机，而是包括结构物在内的整体。本书着重讨论三种移动式平台，每一种平台的具有个性的设计问题还专门编写一章进行讨论。至于钻井船与钻井驳，则有两个特点：一是钻井船（驳）是船舶，是一种特殊用途的工程船舶，其复杂性在于船上众多的钻探设备、器材、供应品，以及钻探作业对船舶设计提出的要求；另一特点是钻井船（驳）属于移动式钻井装置，具有移动式钻井装置的共同特点。因此，钻井船（驳）的设计原理及方法属于船舶设计的范畴。不过，关于钻井船（驳）的发展概况和主要特点将在本章第二节及第三节中加以介绍。

从1955年至1985年全世界海洋移动式钻井装置的总数随时间逐年增长的情况如图1.3的曲线所示。图中，总数（顶上一条曲线）又被分为工作（包括在途中）数及闲置数（底下两条曲线）。移动式钻井装置中各类平台（船）所占百分比随时间逐年

变化的情况如图1.4所示。

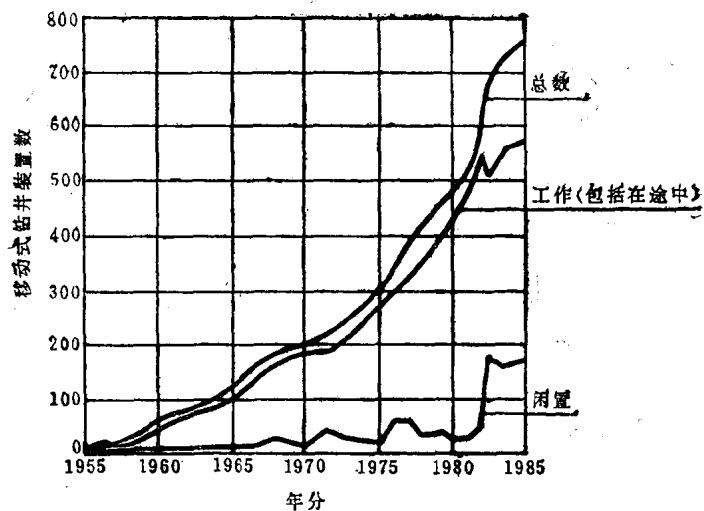


图 1.3 全世界移动式钻井装置逐年增长曲线图

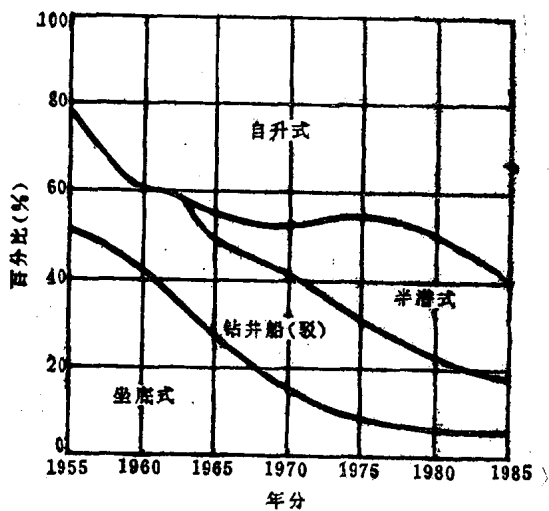


图 1.4 全世界移动式钻井装置中各类平台或所占的百分比

关于几十年来海上移动式钻井装置、采油平台、海上支援装备的发展，也就是海上钻井和采油技术的发展，文献[2]作了比较全面的叙述。到1985年为止，海上钻井的累计数已达到64 000口，并正以每年约3 500口左右的速度发展。几十年来，海上钻井装置的作业水深不断地创造出了新的记录，如图1.5所示。现在，除了超深水海域或有冰的深水海域以外，已可在任何海域钻探。目前，海洋石油工业正在征服剩下的几个尖端问题：超深水海域以及深水冰覆盖海域。

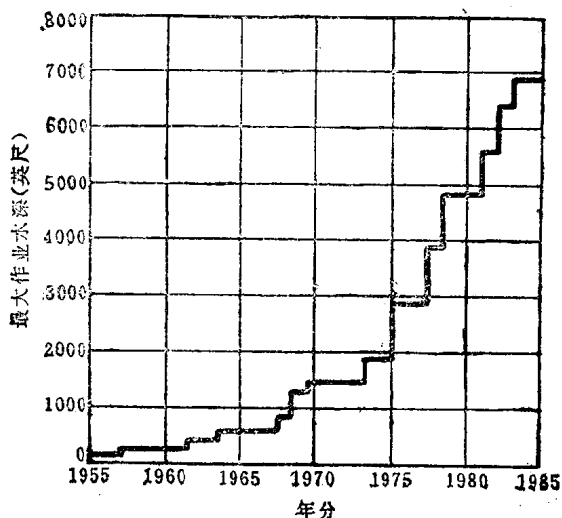


图 1.5 钻探作业水深的世界记录

第二节 移动式钻井装置的类型 及发展概况^[3, 4, 2]

海上钻井的历史可以追溯到更早的年代，但对大陆架的开发可说是本世纪50年代才开始的。60年代的海上钻井还限于浅水海域。60年代末北海发现了大型油田，海洋钻井装置获得了迅速发展，并于1974年到1975年间出现了建造移动式钻井装置的第一个

高峰，主要是建造适合于北海条件的半潜式钻井平台。第二个高峰出现于1980年和1981年，这一时期建造的主要是适合于墨西哥湾等海域较浅水域钻探用的自升式平台。这些发展趋势从图1.3及图1.4中也可以看出来。

除了在数量上有很大的发展以外，移动式钻井装置的各种性能指标和各种参数也有很大的发展，如作业水深（参见图1.5）、环境条件设计标准、排水量及甲板可变载荷、电站功率等。在设备方面，如海洋钻井设备（运动补偿器、隔水管系统、海底防喷器及其控制系统、海底井口等）、钻机系统（钻机、动力设备、钻台机械设备、仪表和控制设备等）等均有明显的提高和改善。

一、坐底式平台

坐底式平台是世界上最早的一种移动式钻井平台。1949年美国环球钻井公司建造了“环球40号”坐底式钻井平台，如图1.6所示。该平台可在水深6.1米处工作，钻井深度4572米，平台的工作面积为48.8米×16.5米。

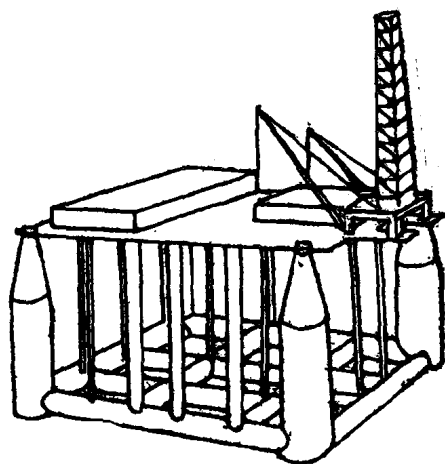


图 1.6 “环球40号”坐底式钻井平台

在50年代建造了近30座坐底式平台，其中的几种结构型式如图1.7所示，包括平底船式、干船坞式及立柱稳定式（立柱稳定式当时称为“瓶式”设计）。它们采用了各种形式可移动的和固定

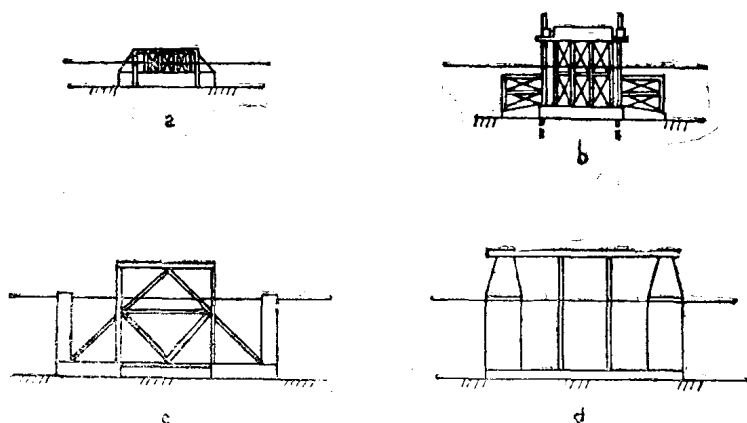


图 1.7 坐底式钻井平台

a, b——平底船式 c——干船坞式 d——立柱稳定式

的稳性器件、流线型船体、桩以及缆索等，使平台在移动和钻井时的总体性能有了改善。一个有重大意义的设计特征就是“瓶式”设计，它用大直径的圆柱形立柱（布置在平台的四角）提供拖航和就位时的稳性。这些立柱向顶部逐渐变细以减少波浪力的作用。由于立柱的形状如瓶，故称为“瓶式”设计（见图1.7d）。这种设计使平台可以水平地就位而不需要平台的一端先下沉或者使用可移动的浮筒保证平台的稳性。可以说，“瓶式”平台是60年代初出现的半潜平台的前身。50年代末，坐底式平台的工作水深已达到27.43米（90英尺）。

一座大型坐底式平台于1963年交付使用，最大工作水深达175英尺（53.34米）。此后10年中，坐底式平台没有什么发展。直到1973—1974年间，由于原油价格暴涨，人们对适合于水深小于30.5米的浅水区工作的坐底式平台的需求再一次表现出来，前提是钻井深度必须在6000米以上。于是，在70年代后半期又建造了一些坐底式平台。此后又趋冷落。今后坐底式的工作水深能

力将保持在61米（200英尺）以下。

80年代初期注意力向北极区的转移使人们对设计冰区坐底式平台感到兴趣。第一座坐底式沉箱于1981年在波福海就位。1982年将一艘大型原油运输船改装成坐底驳，它的长度大于193米。1984年有一座300英尺见方的钢筋混凝土钻井装置在Prudhoe湾北部就位，水深15.24米，漂浮时的排水量64 000吨，钻井时90 000吨。另一座于1984年建成的移动式北极沉箱装置为一八角形的坐底式结构，如图1.8所示，上部尺寸为86.6米×86.6米，工作水深21米，总重量约33 000吨。可坐在简单的基础上，完钻后可以浮起并移至另一井位。类似的沉箱式平台还有若干个。

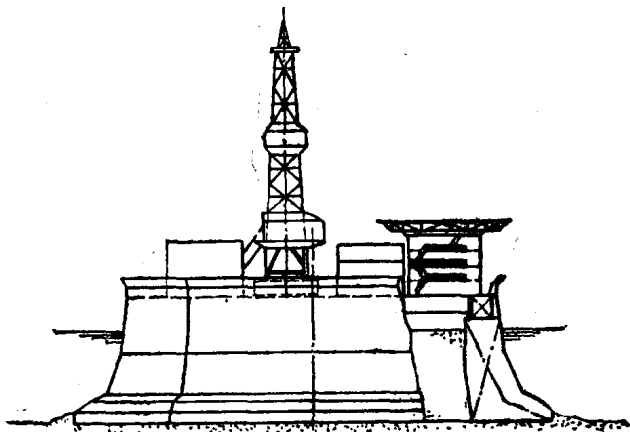


图 1.8 北极移动式沉箱钻井平台

我国有大片的浅水及海滩地区需要勘探开发，在所采用的钻探装备中，坐底式平台占有重要的地位。1979年建成并投入使用的“胜利一号”坐底式平台是我国设计、制造的第一座坐底式平台。它的作业水深范围为2—5米。类似的平台还在建造中。“胜利一号”的详细情况可参阅本书第六章。

二、自升式平台

第一座自升式平台建于1954年，是用美国海军在二次大战中