

〔美〕 W. J 戈雷夫 著

海上固定式平台的设计制造和安装

机械工业出版社



250325

海上固定式平台的设计制造和安装

[美] W. J. 戈雷夫 著

寇炳国 译

黄孟南 校



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是研究开发海上石油所应用的钢质导管架平台及混凝土重力平台的设计、制造、安装问题的专著。主要内容包括海上平台的作业及环境标准,结构设计及计算,制造工艺与安装程序;桩基础以及海洋环境中特有的材料腐蚀与疲劳等方面的应用问题。通过一些主要产油海域平台建造的典型实例,说明各类参数的拟定依据、设计特点、载荷分析、尺寸规格及考虑经济性、安全性诸因素的原则,附有大量图表、照片资料,有较大的实用价值。适合从事海上平台工程方面的专业人员阅读,也可作为有关高等院校师、生的教学参考书。

2201/05
Introduction to offshore structures

Design, Fabrication, Installation

W. J. Graft

Gulf Publishing Company 1981

* * *
海上固定式平台的设计制造和安装

[美] W. J. 戈雷夫 著

寇炳国 译

黄孟南 校

*
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本850×1168 1/32 ·印张11 1/8 ·字数201千字

1986年11月重庆第一版·1988年11月重庆第一次印刷

印数 001—670 ·定价3.25元

*
统一书号: 15033 6453

译 者 的 话

近几年来,从我国辽阔的海疆——南海、渤海、东海、黄海不断传出发现工业油、气流的消息。这预示着一个大规模开发海洋石油的时代即将到来。发现石油以后所面临的油田开发钻井作业以及采油作业需要大量的固定式海上平台,而建造平台是一项代价高昂、耗费时间且有一定风险的投资活动。大多数情况下,一个海上油、气田的开发其初期投资规模与从发现到开始投产的时间成反比。因此用有限的资金得到最大的经济效益是高速发展我国海洋石油工业的关键。在这方面,美国墨西哥湾、加利福尼亚沿海及英国北海油田开发的许多方面都值得我们借鉴。尤其是北海自然条件异常恶劣、风急浪险、海啸频繁、潮差很大,最大风速为 200km/h ,最高波浪为 30m ,一年中的好天气平均只有40天。然而正是在这种不利条件下,使得北海在勘探、开采、贮运及深水平台的设计、建造、安装方面都达到了世界第一流技术水平。本书对北海及墨西哥湾的开发活动、平台设计标准及建造技术规范有较详尽的介绍,无疑这些有益的经验势必在今后我国海洋的开发活动中产生积极的影响。这就是翻译介绍本书的目的。

书中主要技术术语均按我国石油工业及其它专业通用的名词翻译,除一部分插图略有删节外,全部遵照原著译出。

由于译者水平所限,错误难免,恳请读者批评指正。

译 者

1985年9月

前 言

本书将讨论海上固定式钻井、采油平台的设计、制造和安装的有关问题。它对于在该领域从事局部专业工作且有实践经验的工程师以及有机会跨入海洋工业的青年技术人员和学生是一本得以了解全貌的书籍。本书还有助于制订企业内部的培训计划，对那些经常涉及有关海上工程结构、加工过程的管理经营人员也有一定参考价值。

从海底钻取石油，在最近25年内有惊人的发展。第二次世界大战后不久，人们沿用陆地上钻井的方法在浅水海域内围水打井，但这显然不是好的办法。于是便导致了这一新兴工业应运而生，它和与其有关的许多服务工业一起，已成为当今世界上人力、资金和技术最为集中的场所之一。

我所以从事编写有关海洋工业的书籍是由于结构工程专业的毕业生要求有一本能使他们熟悉即将投身的这个广阔新领域的教材(在同一时候，有两件事促成这本书的萌芽，虽然那时我并未考虑要写书：一件是我受雇于Brown-Root公司，在其海洋工程部工作；另一件是在加利福尼亚大学担任为期一周的海上工程结构课程的短期教学工作)。学生们到处打听并积极支持适用的教材问世，于是我带着与这些学生同样的热情，开始了这一“热门”教材的编写。这本教材编成后，很快被采用了，后来正式定了稿，并在以后几年中试用了几次。每使用一次这本教材，无论对学生还是对我都是一次有所收获的实践。

1970年1月，我应邀成为美国焊接协会管节点委员会的一名会员。我欣然接受这一邀请，主要是因为当时只有在海洋导管架平台上才用到这种管节点。其后几年里，我在海洋工程结构设计方面的活动和兴趣迅速增长。几家从事海洋活动的公司委托我所

做的工程项目，有助于我开阔眼界，增强信心和提高能力。

1977~1978年，我作为访问教授在丹麦的一所大学中渡过了一年，使我有机会每周能组织有关海上工程结构的研究班和为一天的讨论会。这样便结识了一些在北海从事海洋开发活动并且在这方面很有知识的人。其时，丹麦政府正在准备一篇关于勘探海洋石油、天然气的综合性专题论文，以动员和鼓励更多的公司进入这个领域。当时要我为这篇论文写一章“钢质导管架平台的设计”，于是便引出编著这本书。当时我手头已掌握了写这本书的很多材料，有课堂笔记，有发表过的文章以及各类报告。但当时对于把这些材料编写成书的工作量估计不足，而实际上要做的工作却是很多的。

海上石油平台通常是某种特殊用途并依据合理而可靠的设计资料设计的。整个工程设计的优劣主要根据经济性来判断。尽管在这本书中并未谈及经济问题，但在任何一项工程设计中经济性都是一个主要考虑的问题。不过，当对技术问题进行了全面研究以后，经济效果的问题也就十分清楚了。虽然本书想从实用角度根据实际所得的资料来编写，但就现在这本书来说无疑离这一要求还存在一些差距，原因是从事这方面工作的人们根本没有公布关于他们对某些事为什么那样做的理由，或者我还没有意识到对于整个工作的某些合理性和必要性。

书中材料并非是原始资料，而是从很多方面搜集得到的，因此有时会出现前后说法不一的情况。这些资料来源分散，内容庞杂，对于一些细节问题往往叙述不全。在这样一门新兴学科中，发生这种情况是可以理解的，因为发表的每篇论文只是强调它所要阐述的专题。我的贡献是兼容并蓄，组织裁剪，使它们一致起来。

本书采用了大量的图解材料，而把数学演绎的内容减至最少。正如下棋之前，必须首先学会识别对手一样，本书的编辑安排也是按这样的原则考虑的。大量的图解材料便于读者对文字内容的理解，每章末附有参考资料目录。目的是向读者提供有关各

专业更详细的文献。希望本书在达到向读者介绍海上平台这门有趣的新学科目的之外，还能作为一本参考书使用。

有经验的设计者会注意到书中对某些专题的讨论未达到应有的深度。如果这本书今后还值得修订再版，那么我希望能得到对于这些专题详尽讨论的意见，从而使这本书变得更为完善。无疑我也极愿知道书中存在的错误，以便再版时更正。

海上石油平台这门学科专业范围涉猎甚广，论述颇丰，编写时不得不删除或节略一些内容。因此，我很想知道那些被读者确认，并作为一本教科书应当采纳的更为恰当的具体处理意见。

这本书分两大部分：第一部分从1~12章，讨论钢质导管架平台；第二部分从13~21章，讨论混凝土重力式平台。在设计和建造混凝土重力式平台之前，钢质导管架平台这门技术已发展多年。有时人们有这样一种看法：当水深远超过混凝土平台现有工作深度时，混凝土重力式平台的设计可能不像钢质导管架平台设计那样富有生命力。

对于时间有限的读者，建议选择第一部分的6、7、8、11等章，第二部分的17、18、20、21等章作为阅读重点。书中有为数不多的例子有重复出现的情况，这不仅是为了强调，而且还为不想阅读全书的读者提供方便。

如果没有海洋技术会议出版的论文集，本书是不可能完成的。为此我对海洋技术讨论会提供图表材料的工作人员的配合表示衷心地感谢。

海上石油平台设计这门课程，学生们已进修多年，他们对本书内容提供了不少有益的帮助，作者十分赞赏他们为本书的改进提高方面所作的努力。

我真诚地希望，本书能像当初渴望它问世时那样使读者感兴趣。我坚信：具有广阔前景的未来属于“海洋”。

W · J · Graff

1981. 3

Houston, Texas

英制与法定单位换算

$$1\text{in}=25.4\text{mm}$$

$$1\text{ft}=0.3048\text{m}$$

$$1\text{yd}=0.9144\text{m}$$

$$1\text{mile}=1.609\text{km}$$

$$1\text{n mile}=1852\text{m}$$

$$1\text{ft}^2=0.0929\text{m}^2$$

$$1\text{acre}=4047\text{m}^2$$

$$1\text{gal}=3.785\text{dm}^3$$

$$1\text{yd}^3=0.7646\text{m}^3$$

$$1\text{bbl}=158.987\text{dm}^3$$

$$1\text{ft/s}=0.305\text{m/s}$$

$$1\text{mile/h}=0.447\text{m/s}$$

$$1\text{lbf}=4.448\text{N}$$

$$1\text{sh ton}=0.9072\text{t}$$

$$1\text{lbf}\cdot\text{ft}=1.356\text{N}\cdot\text{m}$$

$$1\text{psi}=6895\text{Pa}$$

$$1\text{ppm}=1/10^6$$

$$1\text{hp}=745.7\text{W}$$

$$1\text{lb}=0.454\text{kg}$$

$$1\text{ton}=1016.05\text{kg}$$

$$1\text{lbf/ft}^2(\text{psf})=47.88\text{Pa}$$

目 录

前 言

第一部分 钢质导管架结构

第一章 海上采油作业.....	1
勘探。勘探钻井。开发钻井。采油和产品运输。人员接送。	
第二章 早期的海上平台	5
开端。战后的迅速发展。加利福尼亚 Santa Barbara 海峡。 英国石油公司。墨西哥湾的事故报告。	
第三章 平台、栈桥和直升飞机机场.....	19
钻井及井口保护平台。守护式平台。自持式导管架平台。塔 式导管架平台。采油或加工、回注平台。生活平台。火炬导管 架及火炬塔。辅助平台。栈桥。直升飞机和直升飞机机场设 计。	
第四章 平台工程总论	40
作业标准。环境标准。基础设计。结构设计。建造和安装。	
第五章 世界上最深的平台——Cognac平台.....	45
概述。甲板结构。海洋学标准。结构设计。制造。安装。费 用。	
第六章 设计载荷及作用力	61
风力。波浪作用力。海流作用力。固定载荷。活动载荷。冲 击载荷。其它作用力。甲板载荷。	
第七章 桩柱基座	74
轴向载荷。安全系数。不用锤击方法安装的桩柱。桩柱横向 载荷分析。桩柱的斜度。桩柱组。	
第八章 八桩腿导管架的设计	87
概述。环境条件。设计。材料。层状及片状撕裂。可焊接性。	
第九章 静态和动态分析的计算机法.....	125
静态分析步骤。典型的静态弹性分析程序。动态分析。典型	

的海上平台结构动态分析程序。

第十章 管结点的设计和疲劳分析..... 142

管结点。结点型式、多平面结点。管结点的发展简史。同一平面内的管结点参数。弹性应力分布。穿孔剪切应力。搭接的拉筋。应力集中。弦杆的损坏和加强环的设置间隔。经加强的管件。管结点的疲劳。

第十一章 制造和安装..... 191

导管架制造。甲板构架。桩柱。导管架的装运和安装。桩柱和井口导管。甲板构架安装。

第十二章 腐蚀..... 228

腐蚀机理。电流腐蚀。钢的大气腐蚀。阴极保护法原理。海上结构的腐蚀区域。生物腐蚀。应力腐蚀。腐蚀疲劳。

第二部分 混凝土重力式平台结构

第十三章 重力式平台..... 248

一般特征。

第十四章 环境载荷..... 258

波浪载荷。Morison方程的重要性。风载荷。海流作用力。

第十五章 地质构造设计..... 263

概述。基础稳定性。塔裙。基础的损坏型式。

第十六章 结构设计..... 273

· 极限状态设计。预应力。

第十七章 组合式平台..... 293

概述。基础底板设计。无开孔垂直壁设计。开孔垂直壁设计。

Petrobras重力式平台。

第十八章 塔式平台..... 304

概述。导管法浇注混凝土。Andoc平台。

第十九章 材料、腐蚀和疲劳..... 320

混凝土。腐蚀。疲劳性能。

第二十章 甲板结构..... 328

概述。设计载荷。整体式与模块式设计的比较。过渡接头。

钢材级别。

第二十一章 建造与安装337

建造。拖航。安装。检测仪器。

第一部分 钢质导管架结构

第一章 海上采油作业

近二十多年来，发展了两种主要类型的固定式平台：一类是最先出现于墨西哥湾油田的导管架平台；另一类是最初为北海油田制造的混凝土重力式平台。目前正在发展第三种类型的固定式平台，称之为张力腿型平台。它依靠许多张紧的固定钢缆，将漂浮于海面的平台固定在一定位置上。

现在遍布于世界各大洋及海湾内的近海平台大约有10000座。下面将简要介绍海上采油过程，以便对整个活动的背景情况有一个总的了解。这个题目的内容相当广泛，它包括从地质学家和地球物理学家在大洋底部寻找潜在的含油层开始直至原油从海上运输到岸的整个过程。

海上采油过程可分为五个主要步骤：勘探、勘探钻井、开发钻井、采油及运输。

勘 探

勘探是为了探明海底地质构造内油层的位置，这项工作由地质学家和地球物理学家负责。地质学是研究岩石的科学。地质学家需对地表构造的形成过程和钻取的岩心样品进行观察和研究，作出地壳断层和地层构造的图形。地球物理学家通过遥测手段收集资料，诸如通过爆炸形成的地震波，然后用仪器测量重力场等，对存在地下油层的可能性做出解释。在指定海域内，地球物理学家从专门装备的船上进行地震测量，系统地绘制出海底的地层构造图。当发现有希望含油的区域时，则利用专门的取芯钻井船站

取岩芯，这些从事专门作业的船只可用动力定位保持在作业位置上，它们能在波高30ft(9m)，水深约4000ft(1200m)的海洋环境中进行钻探。

勘 探 钻 井

当有可能含油的地层区域确定以后，必须钻勘探井以证实或否定碳氢化合物的存在。得出的地层构造可能只含有天然气而不含石油，或者是两者兼有。钻勘探井一般用移动式钻机，钻机装在船上或装在某些可移动的平台。本书讨论的大型自持式固定平台不作为钻勘探井用。水深为50~250ft(15~76m)的水域采用自升式移动钻探船。在水深50ft(15m)以内的浅水区钻井，一般用可潜式钻探船。可潜式钻探船由拖轮拖至预定位置后，注入压载水使其沉底，整个钻井过程便始终座落在海底。自升式钻井平台在拖航至井位的过程中，其桩腿高高升入半空中，到达井位时，再把桩腿压入水下，直到桩腿伸入海底淤泥后，形状像驳船的钻井甲板连同井架一起才缓慢地升出水面。

在水深超过250ft(76m)的水域钻勘探井采用浮式钻探平台。它有两种不同型式，即半潜式和船形式。半潜式钻井平台具有一个可让波浪顺利通过的开式框架，当到达作业位置后，注入压载水，让半潜式钻井平台下沉到很深的吃水处，这时它虽然还浮于水面，却形成了一个相当稳定的钻探平台。船形式钻探平台比半潜式平台能方便地移动井位，但其船体在中等海况下就会产生纵摇及横摇，因此停机时间较半潜式更多。

开 发 钻 井

开发钻井是在已知的油气积聚区钻井的过程，以便将储藏在海底的石油以最有利的方式开采出来。一般在自持式平台上进行开发钻井作业。这种平台具有适当的规模，可容纳必需的全部设备和供应品。高效率的开发钻井需要在同一水面位置上利用定向钻井设备钻许多口井。这种钻井方式有很大优点，它能够将多口井

的油汇流到同一位置进行处理和贮存，然后再运输到岸上。早期的自持式平台能在一个位置上钻8~10口井，现在设计的自持式平台可钻32~40口井。第五章中所提及的Cognac平台能钻62口井。

尽管各类自持式平台的甲板数量及安放设备的位置有所不同，但最底层甲板通常多用来安装灌注水泥的设备及钻井泥浆贮罐，中间甲板安装电源、泵系统及主要加工设备；上甲板安装钻机，布置通信设备及供人员居住。

开发钻井并不都采用自持式平台。水深在50ft(15m)以内可用移动式钻井平台，并且在井口主管外设置一个具有良好保护作用的管套，使主管免受环境力的影响。此管套还可供采油时敷设引油管道用。

另一种开发钻井的方式是用一座守护式平台和一艘守护船。此类平台的规模只够安装钻机井架及附属动力设备，而工作人员的宿舍、钻井泥浆设备及其它钻井供应品等均布置在锚泊于平台旁边的守护船上。

采油和产品运输

开发钻井阶段结束以后，油井便开始生产。对于深水油井，其采油及加工设施安装在供开发钻井使用的同一自持式平台上。对于浅水油井，钻井平台一般较小。开始采油时，可将它改造为带有井口保护管套的采油平台。然后在该平台附近另建一座独立平台，以供安装加工及处理设备用。

海洋石油开采作业中，主要的问题是油的贮存。在全部钻井工作完成以后，钻井平台（如果足够大）往往就变成具有井口保护装置的采油平台和贮存平台。在平台上设有容量从10000bbl到30000bbl的大型贮油罐。如果平台处于浅水区，则石油可用输油驳船或者用输油管运输到岸。如果海水较深，则常在加工平台附近锚泊一艘油船，它既作运输月也作储油用，或者可将该油船上的油转驳到另一艘油船上运输到岸，以节省起锚时间。

人 员 接 送

接送人员是海上采油作业最主要的问题之一，可以用船也可用直升飞机接送。当距离小于50mile(80km),时间允许的情况下，可用高速船只接送平台上的人员。距离较远，时间紧迫时则可用直升飞机接送。向平台运送设备多用工作船。这种工作船一般长约140ft(43m)宽约30ft(9m)，用途广，动力装置容量大，对海上采油作业十分重要。所以各类平台都应配备系泊用的系统桩、防撞器、起重机、梯子等供工作船及人员接送船使用。

第二章 早期的海上平台

开 端

海洋石油工业开始于十九世纪九十年代后期美国加利福尼亚州的海岸外海域。当时，H·L Williams买下了有明显油气显示的加利福尼亚海滩的产权。1887年他在临近海岸的陆地上完成了第一口探井，海滩上显现出的油气穴使他确信在近海海域可以找到石油。于是他利用码头把陆地作业扩展到水上，并在同年钻出水上第一口井。而后又相继建造了11个用作海上作业的码头。到1900年时，打算在距离海岸线500ft(150m)的水域钻井^[1]。1903年在Summerland建立了第一个海上油田。

早在1909年或1910年即在路易斯安那州卡多教区的Ferry湖上进行钻井。其时，一些木质井架竖立于草率建造的以树干做桩柱的木质平台上^[2]。

1922年在委内瑞拉Maracaibo湖底发现了石油，于是在这个内陆湖的浅水区建造起木质平台开始钻井。到1930年，湖内已经密集排列了许多钻井平台和采油平台。原油通过水下运输管线输送到湖岸。现在Maracaibo湖内及其周围的石油开发业已变得十分兴旺，估计该湖内已有平台6000座以上。

加州海洋开发业的开创者是Signal油气公司。1930年前后这家公司已在加州Elwood的潮汐地带钻井，1938年又在Long Beach港的掉头区内开始钻井。

墨西哥湾的海上钻探活动开始于三十年代，井位设置在路易斯安那的湿地及沼泽区内。采用的是木质平台，并且挖掘了运河以便使供应驳船能够到达钻井现场。墨西哥湾的第一次钻井尝试是1933年，在路易斯安那州Cameron Parish的Creole外海区，木质平台建于离海岸3000ft(915m)、水深12ft(3.5m)的水域上。

三十年代由于无法进入产油区域，开发活动受到了很大的限制。但是不久，湿地卡车及新的道路建造技术为地球物理学家进行地球物理勘测需要的设备运输开辟了途径。

1937年在Creole城以西发现了地下油层构造并证实该构造一直延伸到海湾。Superior石油公司和Pure石油公司租得了这个区域的产权，其占地面积陆上为7000acre，海上为33000acre，并委托Brown Root公司设计了一座离岸1 mile(1.6km)供水深14ft(4.3m)水域中使用的平台。平台设计着重于使其具有抵御高海浪和飓风的能力，它是该海湾第一座建造于远离海岸的平台。平台用木桩建造，底座系适用于陆上的传统钻井形式，尺寸为100×300ft(30×90m)。1938年春该油井开始采油，促成了Creole油田的开发。

1938年初，在德克萨斯州McFaddin海岸外约1mile(1.6km)、水深为10~15ft(3~4.5m)的海区建造了一座50×90ft(15×27m)的木质平台，其桩柱和作为护架的桩组均未经过加工。

从1937年到1942年，利用墨西哥湾海岸外海区的桩柱基础，钻了25口井^[8]。这些实际的海上作业出现了许多困难，如果要想继续在海岸线以外进行有效的钻探活动，这些困难是必须设法予以克服的。但当时并没有哪家石油公司或服务公司来为这种海上作业作准备。Creole油田的第一次作业，其最近的供应基地相距路易斯安那喀麦隆有13mile(21km)。鉴于当时没有无线电设备，所有设备订单必须由去岸上的船发送，所有重型设备必须租用龙蝦船，并由它拖带平底驳船运到井位上。每次换班的钻井人员需用圆底龙蝦船接送。碰到有雾的天气，只得将船上的发动机关闭，凭耳朵听钻机打钻的声音才能确定平台所在的位置。此外，还有由于海啸和飓风造成损坏而带来的问题。

战后的迅速发展

第二次世界大战使海洋开发活动暂时处于停滞状态。但是战争推动了技术发展，使海洋工业有了兴旺发达的前景。