

近海工程结构导论

〔美〕 W. J. 格拉夫 著

李培昌 译 孙复中 校

国防工业出版社

近海工程结构导论

〔美〕 W.J. 格拉夫 著

李培昌 译

孙复中 校

国防工业出版社

1161/05
内 容 简 介

本书为大学生和工程技术人员提供实践知识,是一本有关近海平台设计、建造和安装实践以及工程概念的简明的、最新的参考书。它包括用于海洋石油钻探和生产的钢质导管架平台和混凝土重力式平台两个部分。

主要内容包括近海石油作业、平台的类型(包括辅助部分,诸如过桥、直升机场和火炬塔)、工程程序、设计载荷和力的分析、基础、结构设计和疲劳分析、腐蚀防护、建筑材料以及安装等。书中有大量的照片和详实的说明,为了说明实际应用,本书也包括八腿导管架的详细设计程序和世界上最高的近海平台——“科纳克”号的介绍。

《近海工程结构导论》介绍了所有结构工程和海洋工程的原则及作业,为更详尽的技术研究提供了坚实的基础。

Introduction to Offshore Structures

W. J. Graff

Gulf Publishing Company 1981

近海工程结构导论

〔美〕W. J. 格拉夫 著

李增昌 译

孙真中 校

国防工业出版社、发行

(北京市丰公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张11 286千字

1989年11月第一版 1989年11月第一次印刷 印数:0,001—2,000册

ISBN 7-118-00453-7/U·42 定价:6.75元

译者的话

我国海域辽阔, 海岸线长达 18000 多公里, 大陆架面积 130 多万平方公里。我国近海石油勘探是从 50 年代末期开始的。物探普查发现了渤海、南黄海、东海、珠江口、莺歌海、北部湾六个大型含油、气的地质盆地。

自 1979 年我国实行同国外合作, 共同开发我国的近海石油资源, 从而加速了我国近海石油开发的步伐。中国海洋石油总公司已同 12 个国家的 32 家石油公司签订了 23 个区块的开发合同。至 1985 年 7 月, 已完成 20 多万平方公里的物探工作, 并打探井 100 多口。物探和钻探表明我国近海石油资源丰富、储层发育、油藏类型多。渤海埕北油田已投入生产; 北部湾涠 10-3 油田即将投入生产。莺歌海盆地崖城 13-1 天然气田、渤海 BZ28-1 油田即将工程招标。与此同时, 我国东海的物探和钻探工作正在积极开展。这一切表明, 我国近海石油开发有着广阔的前景。

近海结构——固定式平台作为海上采油设备, 常年固定在海域之中, 经受狂风、恶浪、湍流、地震、冰块冲击等各种外力的作用。因此, 固定式采油平台的设计、建造和安装是一个涉及多学科、技术密集的新兴领域。固定式采油平台主要有两种, 即钢质导管架平台和混凝土重力式平台。二十年来, 我国在钢质导管架的设计、建造和安装方面已经有了一些经验, 有了一个良好的开端。但同世界先进水平相比还有一定的差距。混凝土重力式平台是 1973 年才开始发展起来的新型结构, 我国尚处于酝酿论证之中。在近海工程结构这个新兴领域, 借鉴国外的经验是必要的。译者从几年来的工作中体会到, 《近海工程结构导论》一书对于从事这一工作的工程技术人员以及有关人员是有参考价值的。愿它为我国近海工程的发展起到一点作用。

限于译者水平, 译文难免有缺点、错误, 请读者指正。

1986 年 1 月 24 日于北京

前 言

本书介绍用于海洋石油钻探和生产的固定式近海平台的设计、建造与安装。该书是为在特种领域中工作的有关工程师以及开始从事近海工程的年轻工程师和大学生所写的综合介绍。该书对于公司内部培训课程以及经常接触近海结构有关设备、加工和费用的管理和业务人员也是有用的。

在过去的二十五年中，海洋石油的钻探已有了极大的发展。第二次世界大战后不久，用岸上的方法在有保护的浅水区开始钻井，尽管这些方法是不适当的。然而这些不适当的方法却促成了一个完全崭新的工业，连同许多相应的服务工业的发展，迄今已成为世界上劳动力、资本和技术最高度密集领域之一。

由于结构工程的研究生要求有一门课程能使他们熟悉这个广阔的新领域，我投身到近海工业之中（同时，有两件事促成了本书的出版，虽然那个时候我并没有写书的打算：夏天我在布朗·路特公司海洋工程分部工作，并出席了为期一周的在加利福尼亚伯克利大学举办的近海工程结构讲座）。怀着与那些经常询问此事并促进某些活动的学生们同样的激情，我开始教授这一“时新的课程”。这个课程收到了良好的效果，随后又加以完善，在以后的几年里我几次承担了这门课程的教学。每一次重复教学，对于教师和学生都是一次经验总结。

1970年，我应邀成为美国焊接学会管节点委员会的成员。我欣然接受的主要原因是管节点基本上只在近海导管架中应用。在以后的几年中，我对近海结构设计的活动和兴趣与日俱增。由于参加了几家从事近海工作公司的工程任务，扩大了我的视野，并增长了我的能力和信心。

我作为丹麦大学的访问教授度过了1977~1978学年。由于

组织有关近海工程结构的周会和每周一天会议的机会，使我结识了许多参加北海近海活动的技术人员。丹麦政府当时正起草一个关于近海石油和天然气勘探的综合性文件，以鼓励更多的丹麦公司投入到这个领域。我应邀为这个文件写了关于钢质导管架平台设计的一个章节。因此本书动笔了；本书的许多部分在我过去的讲课笔记、撰写的文章和各种报告中已有叙述。然而将这些材料全部重写汇集成册仍有许多工作要做。

满足功能要求的近海工程结构的整体设计是基于合理的和经验的设计数据；整个设计主要是从经济角度加以全面分析。当然，总的来说经济问题在本书中不是重点。经济性是一切工程设计的一个主要考虑点，而其效果通常是在技术问题已作出透彻的研究之后才能加以论证评价。因为本书的写作是基于实际的观点，即实际上做些什么，所以在内容中总有不到之处；对某些问题为什么要这样做的理由未加说明；也许对整个工作的某些方法我也不很明了。

本书的内容绝无照抄原始资料。从许多渠道搜集资料，有些资料相互是抵触的。这些资料来源是分散的，有时细节是不完善的。在如此之新的领域中这是可以理解的；每一篇已出版的文章都强调其特定的专题。我的贡献在于消化、组织、浓缩，并作出统一的处理。

书中包括广泛的说明性资料，尽量减少数学上的计算。这种作法与哲学的观点是一致的，在学下象棋前，应先学会识别这些棋子。广泛的说明性资料扩大了对所介绍内容的了解。每章末尾的参考文献力图向读者提供对不同专题更深度研究的线索。我希望本书作为一本参考书奉献给读者，并达到向读者介绍近海平台这一崭新的和有趣的学科的目的。

有经验的设计者可能注意到，本书对某些专项的介绍也许并没有直接触及该专项可能达到的深度。在这些方面，我乐于收到使这些提法更为明确的意见，以便对本书进一步修订。当然，我愿意知道不当之处，以便再版时作出更正。

近海结构这一学科如此广阔，资料的删节直到书稿结束时才算完成。我欣慰地得知读者相信在介绍的原文中会有更妥善的处理。

本书分成两个部分：第一篇，第一～第十二章，介绍钢质导管架平台。这种平台的发展较第二篇介绍的混凝土重力式平台的设计和建造早得多。对于水深大为超过现有混凝土平台深度的情况，混凝土重力式平台的设计可能不如钢质导管架平台的设计那样有生命力，这种现象在某些方面有时有所表示。第一篇的第六、七、八和十一章对于时间有限的读者是会特别感兴趣的。这些读者在第二篇中应选读第十七、十八、二十和二十一章。本书不止一处提及一些相同内容的例子，这种重复加强了重点。对于有选择阅读本书的读者，这样的重复也是有利的。

如果没有近海工程技术会议的论文集，本书的准备将不能完成。我衷心感激近海技术会议的职员在提供说明资料方面的合作。

因为多年来学生们需要近海工程结构设计课程，他们对本书所涉及的内容有重要的贡献。作者非常感谢他们在促成本书编写中所起的作用。

在原稿准备的初期阶段，某些个人的协助也是重要的。我感谢给予支持的许多人，特别感谢布朗·路特公司的 J. B. 韦德勒博士和壳牌石油公司的 P. W. 马歇尔先生对早期的初稿资料提出了意见；感谢挪威船级社的 O. 弗内斯先生、挪威技术大学的 T. 莫恩博士和阿尔博格大学中心的 P. T. 克里斯坦森博士，提供了来自欧洲的会议和出版物的许多已发表的论文和报告的复印件。

感谢休斯敦大学土木工程系和卡伦工程教育学院推广中心为本书准备了许多插图。土木工程系的两位前主席 G. 平卡斯博士和 A. 惠特博士给我以极大的鼓励。对休斯敦大学土木工程系的另两位成员 M. O. 尼尔博士和 O. 格扎里博士的帮助，也一并致谢。

最后，我要特别感谢我的妻子鲁比为我打印手稿。她的热情帮助、持续的鼓励和初稿的及时打印加快了本书的进程。

真诚地希望本书在阅读时能如写作时一样感兴趣。我确信近
海工程有着惊人的未来。

W. J. 格拉夫

1981 年 3 月于德克萨斯州休斯敦

目 录

第一篇 钢导管架结构

第一章	近海石油作业	1
	勘探, 勘探钻井, 开发钻井, 生产和产品运输, 工人运送	
第二章	早期平台的历史	5
	起始, 波士沃的繁荣, 加里福尼亚州圣巴巴拉海峡, 英国石油公司, 墨西哥湾的事故报告, 参考文献	
第三章	平台、过桥和直升机场	22
	钻井/井口保护平台, 供给平台, 自给式导管架平台, 塔式导管架平台, 生产或处理/注入平台, 生活平台, 火炬导管架和火炬塔, 辅助平台, 过桥, 直升机和直升机场的设计	
第四章	工程程序概述	44
	作业原则, 环境衡准, 基础设计, 结构设计, 建造和安装, 资料	
第五章	世界上最高的平台——“科纳克”号	49
	宣布, 简介, 甲板结构, 海洋学衡准, 结构设计, 建造, 安装, 费用, 参考文献	
第六章	设计载荷和力	66
	风力, 波浪力, 流力, 固定载荷, 活动载荷, 冲击, 其他力, 甲板载荷, 参考文献	
第七章	桩基	79
	轴向载荷, 安全因素, 安装无法打入的桩, 侧向载荷桩分析, 桩倾斜, 群桩, 参考文献	
第八章	八腿导管架设计	90
	概述, 环境条件, 设计, 材料, 起层和层状撕裂, 可焊性, 参考文献	

第九章	静力和动力分析的计算机方法	126
	静力分析步骤, 典型的静力/弹性分析程序, 动力分析, 典型海洋结构动力分析程序, 参考文献	
第十章	管节点设计和疲劳分析	141
	管节点, 节点的类型, 多平面连接, 管节点简史, 平面 管节点参数, 弹性应力分布, 冲剪应力, 搭接撑杆, 应 力集中, 弦管破坏和环状加强筋间距, 带加强筋的管, 管节点的疲劳, 参考文献	
第十一章	建造和安装	189
	导管架建造, 甲板基础结构, 桩, 导管架上驳和安装, 桩和井口导管, 甲板基础结构的安装, 参考文献	
第十二章	腐蚀	226
	腐蚀机理, 电化腐蚀, 钢的大气腐蚀, 阴极保护原 理, 近海结构腐蚀区, 生物腐蚀, 应力腐蚀, 腐 蚀 疲 劳, 参考文献	
第二篇 混凝土重力式结构		
第十三章	重力式平台	246
	一般特征, 参考文献	
第十四章	环境载荷	255
	波浪载荷, 莫里森公式的重要性, 风载, 流力, 参考 文献	
第十五章	土工设计	290
	概况, 基础稳性, 裙, 基础破坏形式, 参考文献	
第十六章	结构设计	269
	极限状态设计, 预应力, 参考文献	
第十七章	集中管柱平台	289
	概述, 参考文献	
第十八章	塔式平台	301
	概述, 混凝土的导管浇注法, 安多克型平台, 参考文献	
第十九章	材料、腐蚀和疲劳	316

	混凝土, 腐蚀, 疲劳特性, 参考文献	
第二十章	甲板结构	323
	概述, 设计载荷, 整体与模块化的甲板设计比较, 过渡构件, 钢种, 参考文献	
第二十一章	建造和安装	332
	建造, 拖航, 安装, 测量仪表, 参考文献	

第一篇 钢导管架结构

第一章 近海石油作业

二十多年来发展了两种主要类型的固定式平台：即在墨西哥湾最早使用的钢质导管架型和为北海首先发展的钢筋混凝土重力型。第三种固定式平台——张力腿平台也已开始发展。张力腿平台依靠许多绷紧的锚索支撑其漂浮的结构来定位。

今天，全世界海湾和海洋中用的近海平台接近 10000 座。基于这些活动的经历，对近海石油作业作一简单介绍。从地质学家和地球物理学家探查蕴藏在海底的石油贮层开始，至石油从近海的现场向岸上指定地点的运输为止，其领域是非常广阔的。

近海石油作业可以分成五个主要阶段：勘探、勘探钻井、开发钻井、生产作业和运输。

一、勘 探

该阶段系试探海底石油贮层的位置。地质学家和地球物理学家对此活动肩负重任。地质学是一门岩石的科学。地质学家关心、研究地球表面的构成，并钻采出说明地球断层和地层几何形状的岩芯试样。地球物理学家用搜集诸如地震勘探和重力场遥测数据的方法来说明石油贮层的可能位置。在指定海区之内，地球物理学家从装有专用装备的小船上实施地震勘探，系统地描绘水下的地层结构。当发现有利于贮油的区域时，即从岩芯钻井船上钻探岩芯。这些专用的船舶可以在指定的地方动力定位，并在 30ft (9m) 波浪和接近 4000ft (1200m) 水深的情况下钻井。

二、勘探钻井

一旦确定某区域可能含有石油贮层，就必须钻探探井，以证实或否定烃类的存在。烃类可能是石油或天然气，或者二者兼有之。探井由移动式钻井平台——一种装在船上，或某种形式的移动平台进行钻井。本书中讨论的巨大的自给式固定平台一般不用作勘探钻井。自升式移动平台可用于 50~250ft (15~76m) 水深。在非常浅的区域，50ft(15m) 以内时，可采用坐底式平台。钻探时，坐底式平台被拖到指定的地方，注水下沉后固定在海底。自升式钻井平台连同高竖在空中的桩腿浮动到指定的地方。到位后，桩腿伸入水中，再插进海底的泥土中，类似驳船的钻井甲板 and 井架逐渐升出水面。

对于 250ft(76m) 以上深度的水域探井的钻井，采用浮动式钻井平台。浮动式钻井平台分成半潜式平台和船式结构。半潜式具有宽阔的框架构架，较易通过波浪。到达指定地点以后，半潜式平台注水下沉至相当深的吃水，因此虽然它是漂浮的，却构成了非常稳定的钻井平台。船式结构从一个钻井地点拖到另一个钻井地点较半潜式容易得多，但是在较大波浪中船舶横摇和纵摇引起的停工时间较半潜式的要多。

三、开发钻井

开发钻井是向已知石油聚集处钻孔的过程，使之勘测到最丰富的石油贮藏。一般开发钻井在自给式平台上进行。平台要有足够的尺寸，以便容纳必要的设备和物资。有效的开发钻井要求利用定向钻井，在同一表层位置上钻出许多油井来。这种钻井方式有着很多的优点，即很多井的油流汇聚于一个表层位置，便于运岸前的处理和贮藏。早期的自给式平台可钻 8~10 口井，现在设计的一个平台可钻 32~40 口井。象本书第五章将要介绍的“科纳克”号 (Cognac) 平台可钻 62 口井。

虽然自给式平台上的甲板层数和甲板上设备的位置因平台而

异，但最低一层通常安放固井设备和供钻井泥浆用的贮备物资。中间甲板装有动力装置、泵系和主要的处理设备，而上甲板则支撑着生活舱室、钻井装置和通讯设施。

不是所有开发钻井都采用自给式平台的。在 50ft(15m) 左右的水深，移动式钻井平台也可用于开发钻井，此时在油井立管的周围安置一保护油井的导管架，以保护它承受环境力的作用。油井导管架也可用作操纵输油管的场所。

另一种开发钻井的方法是采用供应船和供应型平台。供应型平台的大小只要能支撑钻井井架和配套的动力设备即可，而钻井工作人员的住房、钻井泥浆和其他钻井物资等等，都安装在平台附近系泊的供应船上。

四、生产和产品运输

开发钻井一旦完成，油井生产即开始。在深水中，生产和处理设备置于用作开发钻井的同一个自给式平台上。在浅水中，钻井平台通常相当小，而在生产开始时则改装为油井保护平台。在邻近油井保护平台处，再建造一座单独平台作为操作或处理设备应用。

石油的藏量是近海开发主要关心所在。经常是，在所有钻井完成之后，钻井平台（如果足够大）即成为油井保护平台和贮油平台。容积为 10000 至 30000 桶的大型石油贮油罐置于其上。如果是浅水平台，用驳船或管线把石油运到岸上。在深水，通常有一艘油船锚泊在处理平台旁，为贮存和运输服务，或者将石油转移到第二艘油船运往岸上，以省去起锚工序。

五、工人运送

工人运送是同近海开发相关联的最基本的问题之一。运送是由小艇或直升机来完成的。当时间允许和距离小于 50mi(80km) 时，用高速交通艇运送工作人员。在长距离或时间是重要的时候，由直升机运送工作人员或其他人员。近海钻井设备的运输靠

工作船完成。这些船通常大约 30ft(9m) 宽和 140ft(43m) 长，是多用途的、高功率的，对于近海开发是必不可少的。为使用工作船和交通艇，所有平台均装备抛锚系缆桩、碰垫、起重机和扶梯等。

第二章 早期平台的历史

一、起 始

近海石油工业是 19 世纪 90 年代后期从加利福尼亚州海岸开始的。H. L. 威廉斯 购买了 海底有丰富石油资源的 加利福尼亚州海岸这份财产。1887 年他在接近海滨的岸边完成了第一口井。海滨的气体藏量使威廉斯相信近海贮藏石油的可能性。陆地作业借助码头向水中延伸,并于 1887 年在水上钻了第一口井。到 1900 年,建成了十一座码头,并在距海岸线 500ft(150m) 的水中进行钻井^[1]。图 2-1 表示了 1903 年在圣巴巴拉 (Santa Barbara County) 的萨默兰特 (Summerland) 看到的第一个海上油田的情景。

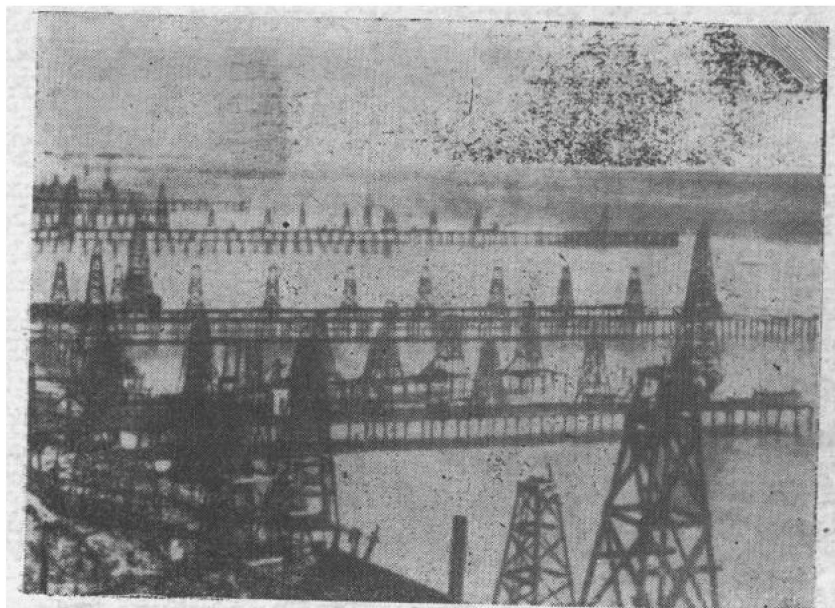


图2-1 1903年加利福尼亚州萨默兰特油田——美国开发的第一个海洋油田

早在 1909 年（或 1910 年），在路易斯安那州卡多·帕里希（Caddo Parish）的弗立（Ferry）湖上开始钻探油井。木质井架在柏树桩上建造的木质平台上竖立起来^[2]。

1922 年，在委内瑞拉马拉开波（Maracaibo）湖的水下发现石油。钻井是在这个内陆湖泊浅水中竖起的木质平台上进行的。到 1930 年，该湖如图 2-2 表示的那样，出现了稠密的钻井装置和生产平台群。水下运输线（管线）用于运送原油至湖岸。在马拉开波湖及其周围石油生产急剧发展，估计现今湖内拥有 6000 多座平台。

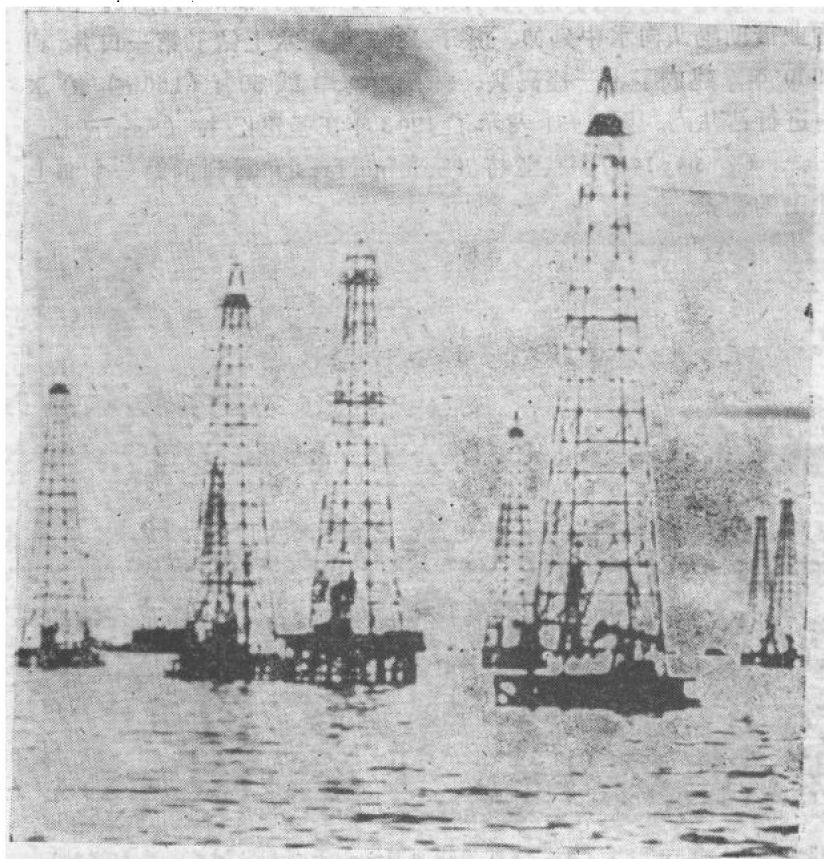


图2-2 1930年马拉开波湖油田概貌