

近海工程 数值方法

[英] O.C. 津基威兹
R.W. 路易斯 编著
K.G. 斯塔格

海洋出版社

近海工程数值方法

O. C. 津基威兹

[英] R. W. 路易斯 编著

K. G. 斯塔格

大连工学院水利系 译
海洋工程研究所

海洋出版社

1984年·北京

内 容 提 要

随着近代电子计算机的发展和运用,工程数值方法日益得到广泛采用。《近海工程数值方法》一书,正是向读者介绍海洋工程中所应用的各种数值方法的。本书共十七章,第一章首先对数值方法在海洋工程中的应用作了全面评述;第二章到第五章介绍有关流体荷载问题的数值方法;第六章到第十一章是动力反应计算的各种数值方法;最后,第十二章到第十七章是地基基础问题的数值方法。书中在介绍各种数值方法的同时,还利用大量图表,对计算值与实验值进行了比较。每章后面并附有大量参考文献,以资查阅。

本书可供海洋工程科研人员、设计研究人员以及有关高等院校教师参考,并可作为海洋工程研究生的教材。

Numerical Methods in Offshore Engineering

O. C. Zionkiewicz

R. W. Lewis

K. G. Stagg

近海工程数值方法

[英] O. C. 津基威兹 K. W. 路易斯 K. G. 斯塔格 编著
大连工学院水利系海洋工程研究所 译

海洋出版社出版

(北京复兴门外海贸大楼)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1984年8月第1版 1984年8月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 24

字数: 600,000 印数: 1—2000

统一书号: 13193·0183 定价: 3.65元

本书作者简介

- K. H. 安徒生** 挪威奥斯陆挪威土工技术研究所工程师。
- K. 贝尔教授** 挪威特隆黑姆挪威工学院。
- P. 贝特斯博士** 英国斯温西大学土木工程讲师。
- P. M. 伯恩教授** 加拿大温哥华8区不列颠哥伦比亚大学土木工程系。
- C. T. 张** 英国斯温西大学土木工程副研究员。
- D. J. 克龙尼恩** 英国伦敦卡克斯顿大街(12)阿莱恩斯大厦赫尔西洛-威彭克石油与海洋工程公司工程师。
- R. 邓盖博士** 英国布里斯托尔大学土木工程讲师。
- W. D. L. 芬恩教授** 加拿大温哥华8区不列颠哥伦比亚大学土木工程系。
- C. J. 加里森教授** 美国加利福尼亚蒙特雷海军研究生院机械工程副教授。
- P. J. 乔治格** 英国伦敦芬丘奇大街(71)劳埃德船级社海洋服务公司。
- P. S. 戈德弗雷博士** 英国伦敦卡克斯顿大街(12)阿莱恩斯大厦赫尔西洛-威彭克石油与海洋工程公司工程师。
- O. E. 汉斯廷** 挪威奥斯陆挪威土工技术研究所工程师。
- E. 欣顿博士** 英国斯温西大学土木工程讲师。
- R. 霍布斯** 英国伦敦芬丘奇大街(71)劳埃德船级社海洋服务公司。
- K. 霍格博士** 挪威奥斯陆挪威土工技术研究所博士。
- I. 霍兰德教授** 挪威特隆黑姆挪威工学院。
- P. 霍姆斯教授** 英国利物浦大学土木系。
- P. M. 霍克** 英国伦敦卡克斯顿大街(12)阿莱恩斯大厦赫尔西洛-威彭克石油与海洋工程公司工程师。
- D. W. 凯利博士** 英国斯温西大学土木工程讲师。
- K. W. 李** 加拿大温哥华8区不列颠哥伦比亚大学土木工程系副研究员。
- P. W. 路易斯博士** 英国斯温西大学土木工程讲师。
- G. R. 马丁** 新西兰奥克兰大学土木工程高级讲师。
- C. G. W. 默斯托依** 英国伦敦芬丘奇大街(71)劳埃德船级社海洋服务公司。
- D. J. 奈勒博士** 英国斯温西大学土木工程讲师。
- R. 尼尔森博士** 英国伦敦肯辛顿高街老库尔特弗拉赞(17)管道技术(海洋)有限公司。
- V. A. 诺里斯** 英国斯温西大学土木工程高级助理研究员。
- J. W. 彭德里德博士** 英国伦敦肯辛顿高街老库尔特弗拉赞(17)管道技术(海洋)有限公司。
- J. 彭兹恩教授** 美国伯克利加利福尼亚大学土木工程系。
- J. H. 普海弗斯特博士** 挪威奥斯陆挪威土工技术研究所工程师。
- R. 西格皮杰尔森** 挪威特隆黑姆挪威技术研究院教授。
- I. M. 史密斯博士** 英国曼彻斯特大学土木工程讲师、工程实验室主任。
- R. G. 蒂克尔** 英国利物浦大学土木工程讲师。
- W. S. 郑** 美国伯克利加利福尼亚大学副研究员。

- B. J. 瓦特博士** 美国得克萨斯休斯顿勃朗-瓦特联合公司经理。
- E. L. 威尔逊教授** 美国伯克利加利福尼亚大学土木工程系。
- L. A. 温尼西基博士** 英国斯温西大学土木工程波兰科学院访问高级助理研究员。
- T. A. 怀埃特博士** 英国伦敦帝国学院土木工程讲师。
- O. C. 津基威兹教授** 英国斯温西大学土木工程系。

译 者 序

《近海工程数值方法》(Numerical Methods in Offshore Engineering)是一本内容极为丰富并具有实用价值的书。正如本书原编著者在序言中所述：由于近海油气资源开发及其它海洋工程方面的实际需要，提出了大量的技术问题，以确保海洋工程建设的安全性和经济性。数值方法就是解决当前海洋工程中很多复杂问题的一种十分有效的方法。

这本系统的近海工程数值方法专著，是由目前分散在各国大学、研究所和工程公司中有关这方面的专家组织起来专门组成编委会，最后由英国、挪威、美国、加拿大和新西兰等国的数十位世界知名学者通力合作编辑出版的。因此，有充分的理由可以说本书所包含的内容扼要地反映了七十年代北海油气田开发以来，这一科学领域中当代世界的技术水平。特别是对海上重力式结构物的数值计算方法作了较多的介绍，并在每章的后面列出了大量的参考文献，可供查阅。

当前，举国上下正在为早日实现“四化”目标而努力，开发海洋资源，解决海洋工程中一系列技术课题，同样地摆在我国海洋工程技术人员的面前。我们本着“学习世界上一切先进的科学技术，并将它用于我国社会主义建设中来”的目的翻译了这本书，希望它能对我国广大海洋科学工作者有所裨益。

参加本书翻译的有下列同志：马良（序言，第一、十七章）、孙绍述（第二章）、王惟诚（第三章）、钟炳盛（第四、五章）、王全增（第六章）、魏世杰（第七章）、王立业（第八章）、李林普（第九章）、章守恭（第十、十一章）、范煦（第十二章）、王中正（第十三章）、郑传平（第十四章）、杨九宏（第十五章）、李玉蓉（第十六章），最后统一由王惟诚（序言、第一至五章、第十七章）、陆文发（第六至九章）、章守恭（第十至十六章）同志负责总审校。另外，在本书译校过程中承蒙李士豪、林皋、申振亚、陈守煜、何广纳、孙焕纯、林少培、赵金城、曲乃泗等同志分别对有关章节帮助校阅，提出宝贵意见，特此表示感谢。使我们感到特别荣幸的是原书主编O. C. 津基威兹教授专为本书的翻译出版写了序言。

由于水平和时间有限，问题和错误实难避免。恳切希望广大读者给予批评指正。

译 者

一九八一年五月十五日

548 13.11


中 译 本 序 言

“近海工程”仅是最近才增加到科学词典中的一门学科。当石油、天然气或其它矿物等丰富的自然资源，在恶劣的海洋环境中，能为一个国家所利用时，就产生了对这门学科的需要。原书是由正在对这些资源进行开发的英国、挪威和美国的工程师们参加编写的。目前，中国也正在加入开发海洋的队伍，中国的领海预示可能会获得丰富的石油。显然，这就产生了对本书翻译的需要，使数值分析法某些有用的技术，能为从事于这个领域中的很多工程师所用。

但是近海工程的很多问题还没有完全解决，许多有意义的和实际上重要的问题仍待解答。我们希望本书将在中国的同行中促进积极的研究并因此而提供对资料的反馈。

通过林少培副教授，我们向大连工学院海洋工程研究所参加翻译的人员致以最好的祝愿。

津基威兹教授



本书原序

为了在海洋的“近海”范围内开发石油和天然气资源的需要，曾经提出许多技术问题，而这些问题所涉及的知识面大大超越了现在陆上或海岸建筑所需要的范围。为了确保设计的安全和经济性，工程界必须采用现有最好的预测方法。当然，基于数学方法的计算机为此提供了一种唯一而重要的工具。

虽然论述数值方法以及它们在工程中应用的教科书和论文集已经很多，并对大量的背景材料作了较好的概括，可是每个工程部门有其适用的专门技术，往往需要有新的方法。本书试图对近海结构物存在的问题和研究方法给予全面的介绍。然而这些方法并不仅限于石油工业建设，尽管其主要动机是出于这项活动，其中很多方法同样适用于所有的海洋结构物，包括海港和海岸设施在内。

由于本学科的专门知识广泛地分散在各大大学、研究所和工业部门，看来“科学发展水平”的全面概况最好由有组织的集体来编写。怀着这一想法，编者征集了一批稿件，这些稿件在（一九七七年一月）斯温西（Swansea）举行的讨论会上首先用口头提出，随后的讨论和接着各章节的修改，使本书有可能提出了一个有条理连贯的框图。

读者可以看到，全书共十七章，分成三部分，继第一章基本评述后为本书的第一部分（第二章至第五章）是讨论流体的荷载问题；第二部分（第六章至第十一章）是关于动力反应计算的一般方法；最后第三部分（第十二章至第十七章）是基础和海底基床问题。

尽管目前在许多领域内还进行着认真的研究活动（例如基土的循环反应问题），但已足以很好地建立起一个范围，使本书能成为从事这方面工作的工程师的一本基本参考书。这个职业上的重担同样落在作者和编者的肩上，我们希望这个目的将会达到。

O.C. 津基威兹

R.W. 路易斯

K.G. 斯塔格

目 录

第一章 对基本结构体系设计和分析要求的评述	B. J. 瓦特 (1)
第二章 对流体荷载: 随机的和确定性的分析方法	R. G. 蒂克尔 P. 霍姆斯 (27)
第三章 巨型近海结构物上的水动力荷载: 三维源分布法	C. J. 加里森 (55)
第四章 确定刚性结构物上流体荷载有限单元法的二维和三维公式	O. C. 津基威兹 P. 贝特斯 D. W. 凯利 (88)
第五章 流体-结构物相互作用的动力学耦合问题的数值模拟	O. C. 津基威兹 P. 贝特斯 (119)
第六章 动力分析的数值方法	E. L. 威尔逊 (125)
第七章 固定式近海平台的三维动力分析	J. 彭兹恩 S. 郑 (143)
第八章 波浪对框架和重力式结构物的动力反应	R. 西格皮杰尔森 K. 贝尔 I. 霍兰德 (158)
第九章 近海结构物的谱疲劳分析	D. J. 克龙尼恩 P. S. 戈德弗雷 P. M. 霍克 T. A. 怀埃特 (183)
第十章 基础放射阻尼对重力式平台反应的影响	R. 邓盖 (207)
第十一章 结构物-流体-基础体系对地震激发的非线性反应	C. T. 张 E. 欣顿 O. C. 津基威兹 (221)
第十二章 近海地基土力学问题的统一方法	O. C. 津基威兹 V. A. 诺里斯 L. A. 温尼西基 D. J. 奈勒 R. W. 路易斯 (235)
第十三章 近海结构物上循环荷载引起的土变形	K. H. 安徒森 O. E. 汉斯廷 K. 霍格 J. H. 普海弗斯 (271)
第十四章 数值方法对近海重力式结构物基础的某些应用	R. 霍布斯 P. J. 乔治 C. G. W. 默斯托依 (294)
第十五章 近海基础的瞬时现象	I. M. 史密斯 (313)
第十六章 地震和波浪激发力对饱和砂的反应	W. D. L 芬恩 W. 李 P. M. 伯恩 G. R. 马丁 (333)
第十七章 海洋管线分析的一些状况	R. 尼尔逊 J. W. 彭德里德 (355)
附录 (一) 中外文人名对照表	(364)
附录 (二) 中英文名词、术语对照表	(371)

第一章

对基本结构体系设计和分析要求的评述

B. J. 瓦特

1.1 引言

在过去十年，偶然参加一次数值方法方面工程讨论会的观察家，也许会留下这样的印象：所有使人关心的边界条件和初始值问题，似乎已经解决或至少也非常接近于解决了，数值分析方法的功能及通用性很容易使人们相信这一点。对有限单元法来说，大部分已完成的各种公式化的主要进展虽然都可能是正确的，但这些体系的研制者，在将其全部程序移交给“普通用户”之前，还有很多的工作需要做。应用它们于近海工程时，自然也是这种情况。

引言这一节的用意，是想指出一些基本设计方面的问题，这将有助于对后述的专题分析作更详尽的讨论。

近海有许多不同的活动范围和要求，因此就需采用各种不同的结构。后面所要讨论的将只限于所谓“固定式”结构物，它是指在设计使用年限内安装在某一固定位置上正常使用的结构物。这里不打算广泛地论述近海工程中所有的问题，只想提供一个范围，以便更细致地分析后面各章节。

1.2 海洋环境

1.2.1 海洋物理

在近海工程的著作中，规定若干有关环境的词语是适当的。海洋的概念在不同的时间和地点，变化可以是非常广泛的，为了了解它的特性，参照瓦因^[1]在物理海洋学和气象学中提出的模拟法是有帮助的。包括把复杂的短期变化叠加上显著的季节周期性变化，就转变为长期气候变化的影响。海水本身的物理及化学特性也是非常不同，因此不管那一个问题在宏观或微观上都是值得注意的。海洋环境的一个显著特性就是它的可变性。

1.2.2 “近海”的含意

最通常的用法，“近海”这个术语一般是用来表示泥线低于最低天文潮（L. A. T.）面的那部分海洋。常常把它假定限制在大陆架范围或水深200米以内的区域。这个词限定的范围大约包括地球总表面积的5%，几乎相当于整个大陆表面积的20%。

1.2.3 风、波浪和海流

海浪运动是由于许多干扰力叠加的结果。已经建立了数学的方法解释这些运动。但由于它们的复杂性，尽管作了最大努力，这样的模拟要求非常相似，仍很少能完全符合实际^[2]。近海风的问题，可能对结构物某一部分是严重的，尤其是涉及到浮体的稳定性就更重要。然

而，对大多数深水固定式结构物，风荷载对某些局部地区可能是严重的，但支配设计者思想的通常仍是波浪荷载。象地震和浮冰等因素可能会完全改变这一点，但在本书中集中在波浪方面是恰当的，因为对目前设计的大多数近海装置来说，波浪荷载在环境荷载中是主要的。

由风引起的波浪，其确切的作用过程还没有完全搞清楚。尽管如此，为了预测风成波、波剖面及有关水质点运动的数学根据是存在的。各种理论的相对有效性已由迪安^[3]作了评述。然而，这并不需要作许多的海浪观察就可以认为其表面不是用椭圆余弦波、爱利波、斯托克斯五阶波或其它规则的长峰波来表征的。一般的说，它们这种颇为混乱的特性，最好是用“海况”这个术语说明。而且开始越来越被大家认识到实际处理工程问题需要用某些随机分析的方式。

1.2.4 海底地质

土壤沉积的地质特性是一个与来源、沉积、气候和加载过程有关的复杂函数。很明显，在海洋环境中地貌形成过程与陆上是不同的。必须牢记，我们涉及到的大部分大陆架，在最近的地质年代已经上升到海平面以上，受到冰与沉积物的加载以及地表的风化作用。诸如覆盖的河谷、泥炭沉积、冲刷水道和冰碛的地形以及其它特有的海洋地貌，如沙脊和波纹引起的塌方^[4]都必须鉴别、确定或避开。可能最重要的因素是大陆架绝大部分面积被海洋粘土和淤泥质粉砂的近代沉积物所覆盖。这些有代表性的欠固结或正常固结表层土的抗剪强度约为4千牛/米²，出现沉积厚度达到几百英尺。总之，覆盖着复杂的土壤沉积，在近海基础工程的范围内，无论是强度与变形的幅度都要比陆上的大。因而，土工问题的各种数值模型至少同陆上的一样复杂。

1.2.5 地震

强烈地震的震源，位于组成地壳的板块之间的构造中断位置。这些断层的大多数是出现在近海以及某些伴生有大量碳氢化合物的沉积中，例如，加利福尼亚的外海大陆架和阿拉斯加湾。海洋工程师面临的是一般陆地上根据地震预测结构物和基础的反应问题，以及一些令人讨厌的海啸和海底塌坡等特殊现象。

1.2.6 浮冰

十多年来，对矿物沉积的勘探，已经活跃地在两极地区进行。虽然，在真正的极海地区规模比较小，也算是已经开始迈出了第一步，并正在计划建造对付浮冰问题的近海结构物。从可采用的资料新近的观察，在浮动海冰的成因、地貌、物理特性和破坏过程方面指出^[5]；在固定式结构物上冰荷载的预测还只是刚刚开始，为了给予海洋工程师可靠的计算答案，大量的研究工作还是必需的。

1.2.7 海洋环境和设计约束

前面的描述是简单和肤浅的，但却可作为介绍近海设计问题特性的一些关键，它们是：

- (a) 由几种来源产生的环境荷载；
- (b) 它们一般较陆上的大，更具有动力特性和更高的可变性；
- (c) 海底条件，覆盖的土壤类型为一很广的范围，从非常软的欠固结土壤直到岩石。

再附加一个第四因素，即水下作业的困难。很明显，设计的可靠性方面，在海洋环境中

将呈现一个崭新的远景。

1.3 结构型式的选择

1.3.1 历史背景

最早设计的近海结构物，通常是用作导航或军事目的的。可是，近海工程实践的主要部分是与碳氢化合物沉积的开发相关连的。后面讨论的也就必然以典型油气装置的要求占主要地位。但其工程含意是与其它方面对海洋的利用相符的。通过石油工业前景来看这个问题，完全是适当的。因为，在相当长时期内石油工业将继续在海上占主要地位。

1.3.2 基础的约束

结构物方案的选取是由海洋工程师决定的，而对基础的考虑很大程度上是个决定性的条件。图1.1所示，是设想的一个高度简化的近海结构物。水流现象引起很大的水平荷载，并在基底面（泥面）上产生很大的力矩。如图1.1(a)所示的两点支承体系，为使力矩平衡需要一个竖向反力的推挽式体系。要提供基础向上的反力，有时可能是困难的，如图1.1(b)那

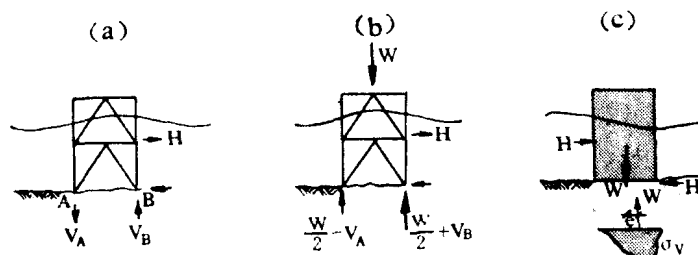


图1.1 桩基和重力式基础

样，要求能用附加的竖向力来抵消。这就是所谓重力式结构的概念，即依靠结构物自身的重量抵抗上举力。最经常的是采用具有连续基础的整体结构物质量来达到，如图1.1(c)。具有分离式基础的框架重力式结构，虽然一般要比整体式的数量少，但如图1.1(b)那样的结构物已被建立了。

从图1.1中可以明显地看出：

体系(a)意味着是一个深置基础（桩）来抵抗上举力。

体系(b)能用于深置基础或浅置基础，但向下推力要比(a)的大。

体系(c)意味着有非常大的水平荷载，而且表层土要求坚硬。

1.3.3 一般的结构体系

1.3.3.1 导管架——样板型

以所谓的“导管架”即样板型平台开始讨论结构的体系是恰当的，因为这种型式一经提出，到目前为止已有大量的近海平台被建立起来了。这种平台在墨西哥湾和马拉开波湖被发展来适应近海钻井和采油作业的需要。上述两个地区的特点，都是具有很巨厚的松软的近代海洋沉积物，同时不得不动用泥面以下一定深度的土来支承基础。为了减小流体荷载和较明显的基础位移，用一空间框架的刚性结构配上长桩是一种常见的解决办法。

近海结构与陆上结构物间的一个主要区别，是增加了海上施工的困难。“样板型”即“导管架”结构设计成一个简单的空间框架，很容易地免除在开始打桩时期所需的临时支承，其原理如图1.2所示。导管架即样板被安置就位后，桩是通过样板的导管插入的，并用支承在船甲板上的打桩设备把桩打入土中。打桩达到设计的贯入深度后，齐导管上端切平，

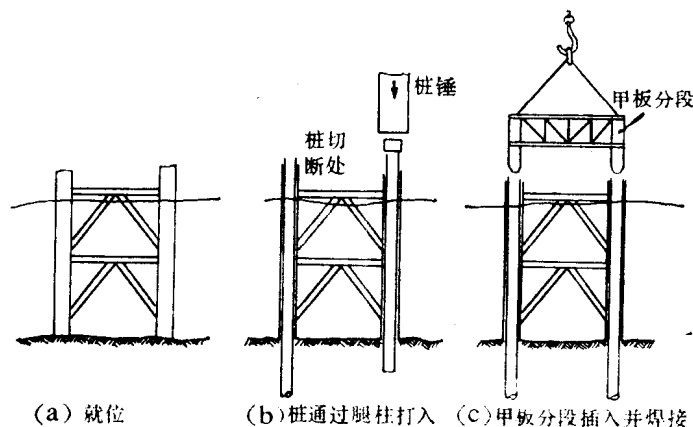


图1.2 导管架即样板型的原理

再把预制的甲板分块插入桩内并在现场焊接连结。甲板的重量是直接由桩来支承的。一座典型的八桩导管架平台如图1.3所示^[6]。小型导管架的建造方法是十分简单的，结构在岸边制造场内预制，运送到甲板驳船上并把它拖运到设置地点，用起重船吊起就位。仅考虑了与起吊作业相伴出现的恶劣的施工荷载。

远海的勘探和生产过程，随着设置位置的水深增加开始产生两个问题。第一是使安装问题变得更加困难，因为超过了海上起重船的能力。因此，就必须使较大型的导管架从驳船上下水，利用其浮力和压载的办法使导管架能大致竖直并下沉，有时需用起重船配合。第二个问题是基础荷载加大，单靠通过导管打桩就不再可能了，还需要在导管架别的部位打入周边桩并开始在主导管周围打入簇桩。

1.3.3.2 塔型

塔型是导管架向深水的一个发展。其特点不仅是用簇桩和周边桩，而且目前甲板也设计成由塔架结构本身支承的。由于它的尺度大，通常塔身是把几个腿桩扩大做成自浮式的，或是为了同一目的做成浮箱。譬如框架型，有时被称为“混合型”，如图1.4所示并已安装在北海布伦特和锡斯托油田。福特斯油田的塔型结构则采用补充浮筒的方法，其优点是最终使结构物上的波浪荷载减小，但却给安装作业带来更大的困难。

在北海已经完成的塔型平台，安装水深已达160米，包括甲板和桩在内每个平台用钢量约4万吨。可是，这还不能说是最大的框架型近海结构物，最近埃克松公司已在加利福尼亚南部设置一座260米的平台，目前壳牌石油公司在路易斯安那近海的巩纳克油田安装的巨型塔型结构的水深已超过300米。

1.3.3.3 沉箱型

并不是所有的近海设施都是巨型的，很多油气田是十分小的，而且甲板荷载要求也小。另外，经常有些生产不稳定的油井、火炬和其它装置要求有个小而适当稳固的平台伸出海面，一种传统的且相对较便宜的设计即所谓沉箱，它是由一个锥形的桩柱构成，沉入泥面以

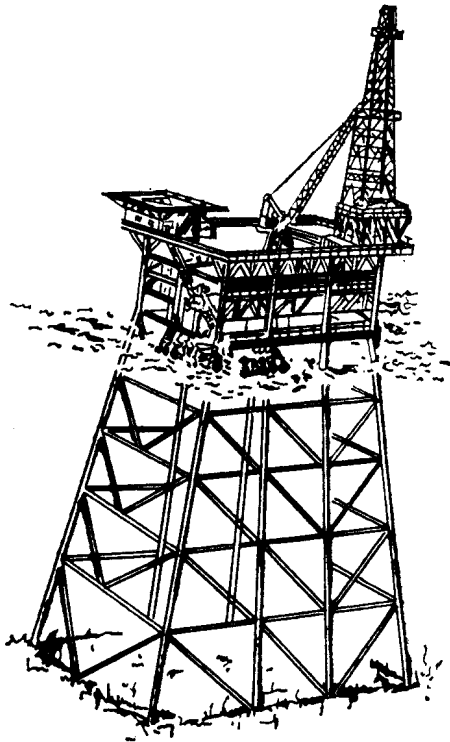


图1.3 8桩导管架即样板型平台

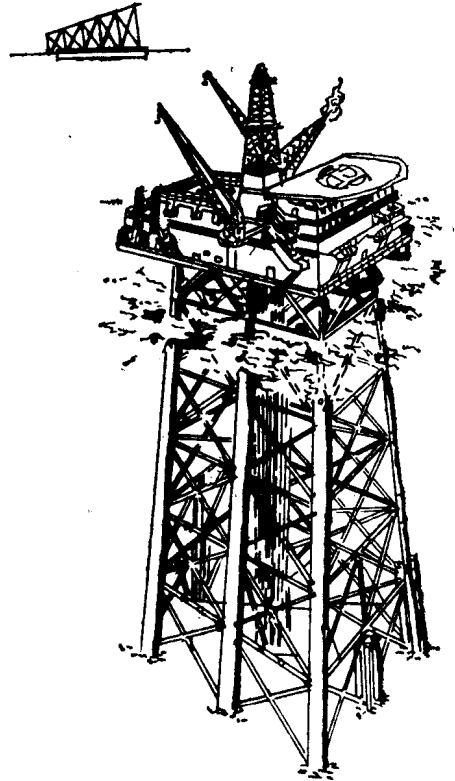


图1.4 内部安装浮力舱的混合型塔型结构

下足够的深度以改善其悬臂的功能。这种结构型式已被用到60米的水深^[7]。

1.3.3.4 混凝土重力式平台

北海冰河期冰川作用形成的地区，靠近泥面有坚实的超固结土壤，这些土壤表面能承受较大的荷载，因此适于用作重力式基础。对许多因素作综合考虑比较适合采用混凝土重力式结构，而且已经安装了几座。直到目前为止，已经设计建造的平台不尽相同，而最普通的型式是由一个大的格状基础及3—4根混凝土塔柱组成，这些塔柱上再支承一个钢甲板。这种型式如图1.5(a)所示，而1.5(b)所示的是另一种更巨大的整体建筑物型式，因此具有更大的刚性。

1.3.3.5 钢质重力式平台和混合型重力式平台

重力式结构的注意点无疑地已被混凝土平台所占领。钢质重力式平台已在尼古拉近海的朗加油田安装，该处靠近泥面是岩石，使用拉力桩是不可能的（见图1.6）。其它被积极推销的钢质重力式结构方案，如所谓“混凝土-钢的混合型平台”。它是由钢质的空间框架和支承它的一个巨大混凝土重力式基础组成。据作者所知，后一种类型的平台还没有人订购。

1.3.3.6 其它类型的固定式结构

有许多用于近海的其它固定式结构，诸如在路易斯安那沼泽地带压载下沉的混凝土驳船，卡赞近海的迪拜桩基贮油罐^[8]和埃科菲斯克的贮油罐^[9]。也许还可能包括加利福尼亚南部和加拿大大西洋海岸的那种人工岛，使人最感兴趣的一种结构物是阿拉斯加库克湾的那

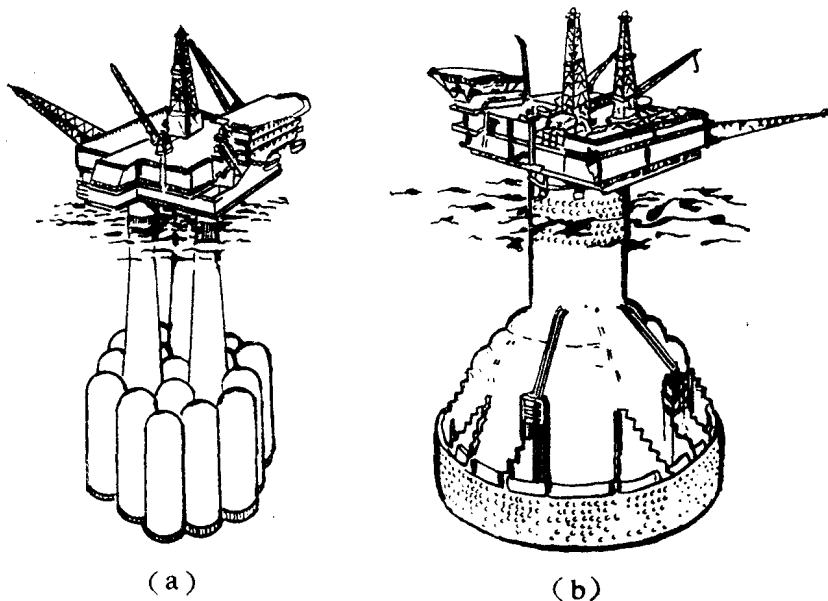


图1.5 混凝土重力式平台

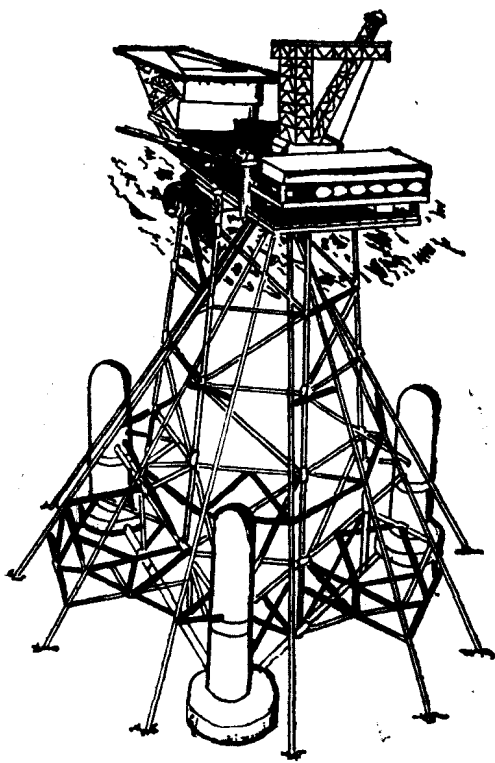


图1.6 钢质重力式平台

基本投资；
现金支付要求；

种型式，那里的潮汐大，有很大的潮流速及浮冰。如图 1.7 提出了所采用的解决办法，以适应海湾中巨大水平冰荷载。

1.3.3.7 柔性结构

所有的结构在荷载作用下都会产生变形，柔性结构正象它的名称所包含的意思，被设计成可动的，这样可以减少环境荷载的效应。象一艘船在暴风时抛锚的情况，当锚链的活动范围减小，锚系系统的刚度则增大。它是靠锚抓力的增加来减小船舶移动的。柔性结构的交替变位在偏移振幅与约束力之间调节。最初北海的原油，就是由一座柔性“平台”开采的，这是一座经过改造的半潜式钻井装置，被永久地系泊设置在奥坎油田^[10]。各种类型的拉索式或张力腿结构正在研究并被用作烽火台、单点系泊，以及钻采平台。一些例子如图1.8所示。

1.3.4 影响型式选择的因素

在选择最适合的近海设施时，有许多因素是必须考虑的。将由“陆上”有经验的工程师预先考虑决定，最明显因素有：

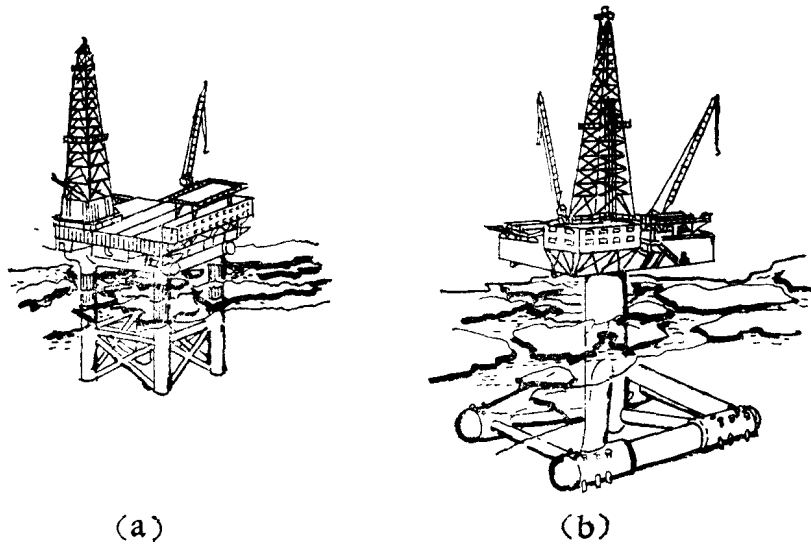


图1.7 阿拉斯加库克湾的抗冰结构物

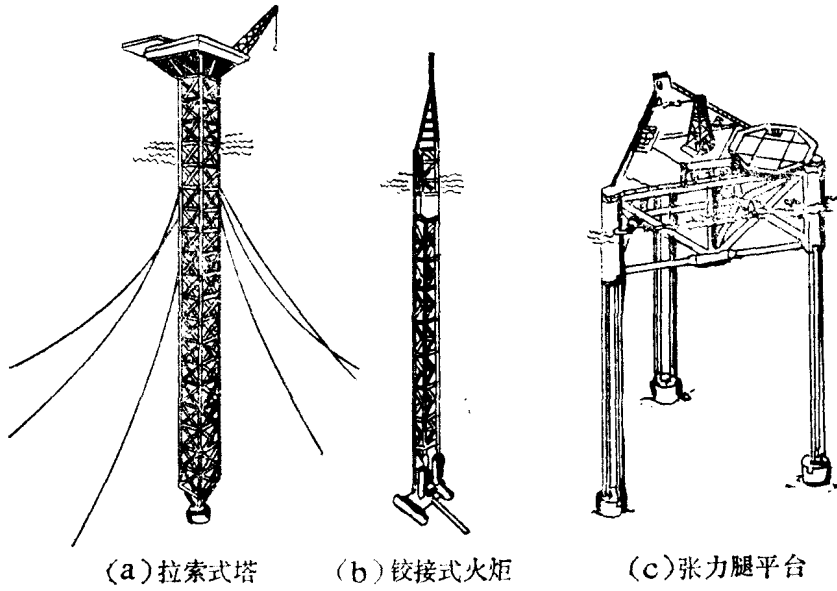


图1.8 柔性结构

维修费用；
 供应能力；
 极端的环境荷载；
 基础条件；
 可用于施工的永久性基地和劳动力；
 材料利用率。
 此外，海洋工程师应密切注意的有：
 辅助设施（包括海上和空中）；

海上施工的天气变化；
气象预报的特点；
海上设备（起重船）的利用率；
可靠性。

其中最主要的因素是最后一条——可靠性。巨大的近海设施为什么要考虑人为的、财政的和环境条件等方面引起的破坏后果，这是不难理解的。

1.4 设计和分析

1.4.1 设计标准的选取

为了研究平台的设计标准，比埃^[11、12]曾对某一体系作了说明，并指出已经在阿拉斯加湾内是如何地采用了一个既受地震又受波浪作用的装置。该体系凭借多年的实践经验，最初用的是在墨西哥湾的一种结构型式，即框架、桩式的钢质塔架型或导管架型。如果这一研究结果被普遍采用，那将是很合乎需要的。但由比埃所叙述的那种经严格选择分析的标准，只被少数几个公司使用。

由于对使用的性能缺乏统计，这种方法用于新的结构型式是困难的。然而，它提出了正确的工程实践必须遵循的方向。研究的一个主要麻烦是所谓的“设计波”，它不是一个与给定的年超过数概率或该处的重现期相关的自然事件。更确切地说，平台的设计标准不仅是海浪的函数，而且还与典型的平台抗力有关。因此，分析者在使用“设计波”的概念时必须进行判别，并说明其所得的结果。

1.4.2① 法定要求

这些要求各国是不相同的，但在职业国际协会之间，在基本原则方面已有了大体一致的结果。在英国，公众关心的是维护1974年规定的“近海设施（建造和测量）规则”，它强调了近海设施执照的要求。这仅是法定要求和可靠地技术性质法令规定的一小部分。谘询的资料则包括在英国能源部颁发的备忘录中^[13]。这些要求目前正在修订，并给出选取环境标准、设计实践等方面的意见。其它的团体，诸如美国石油学会、法国石油学会和签证局、劳氏船级社、挪威船级社、挪威船舶检验局、美国船舶检验局都已经出版了各种设计规程或指南，这些规程中的某些部分对所分析问题的种类已作出了合理的明确规定，但还有相当的自由去选取实际的分析方法。

1.4.3① 分析输入到设计决定

结构物按决定的结果来建造，而不引入分析的结果。分析的作用在于决定一个可靠性的适当标准。设计是一个不断变更的过程，分析的细致程度，从最初的可行性研究阶段一直到最终的设计校核阶段，有着显著的变化。后述各章节中所讨论的方法，一般多用于更高的设计阶段。为了编制一个合理的说明书，首先要在两种主要结构类别讨论分析，这两种结构就是桩基框架的塔型结构和混凝土重力式结构。然后讨论冰荷载和抗震设计的问题，以及疲劳和柔性系统的分析。

① 原序号印误现已改正。——译注