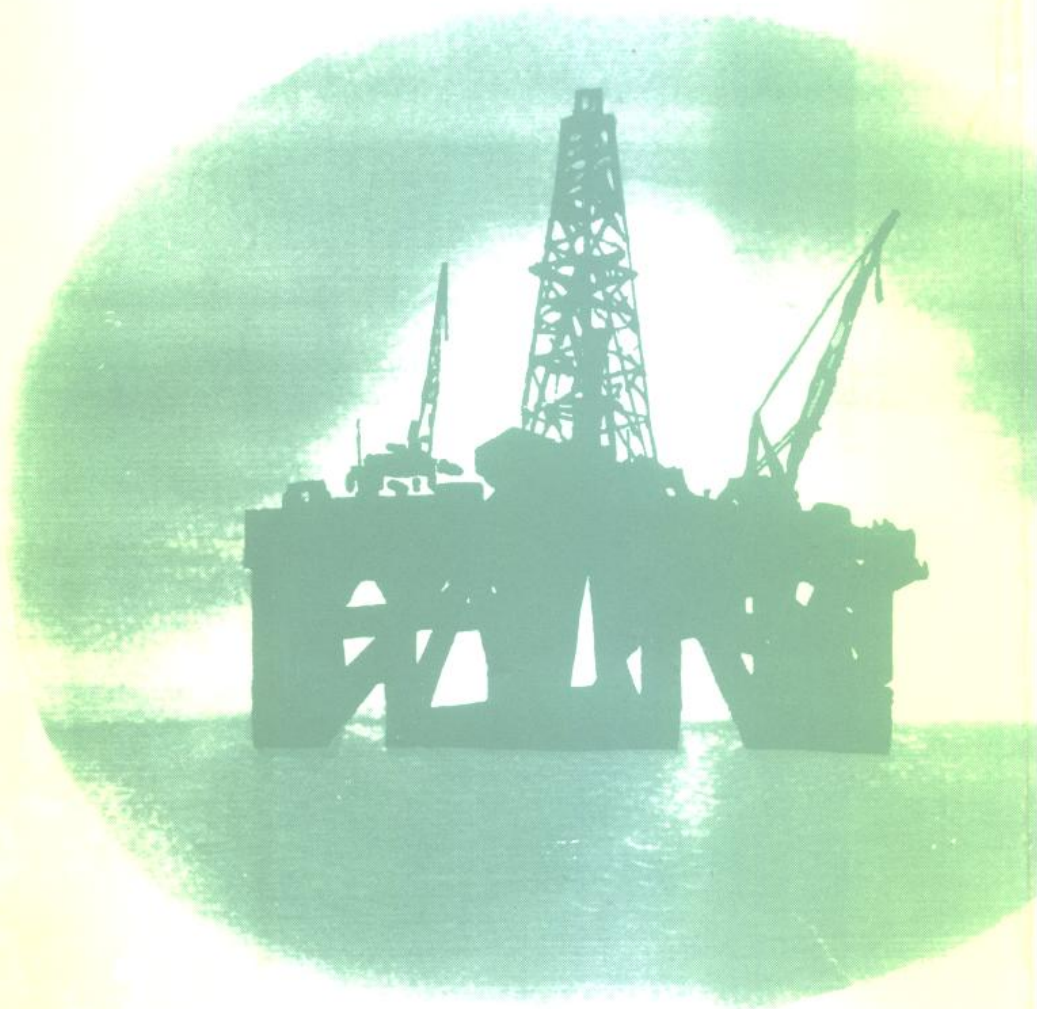


# 海洋工程 钢结构 设计



*HAIYANG GONGCHENG GANGJIEGOU SHEJI*

# 设计

武 孙丽萍 李治彬 曾志强 编

哈尔滨工程大学出版社

# 海洋工程钢结构设计

聂 武 孙丽萍 编  
李治彬 曾志强

哈尔滨工程大学出版社

(黑)新登字第9号

### 内 容 简 介

本书主要论述了海洋工程钢结构在各种载荷(包括爆炸、火灾与碰撞)作用下的设计工况,介绍了载荷效应分析方法。针对材料与加工工艺因素,详细阐述了各类平台中钢构件的承载能力。最后介绍了当前海洋工程钢结构的设计基本原理。书中还介绍了挪威、美国等海洋工程先进国家的设计方法与准则。结合我国海洋平台入级与建造规范,给出了工程设计计算实例,并附有大量图表,可供读者使用、参考。

本书经审定作为船舶与海洋工程专业本科生指导性教材,同时也可作为从事海洋工程结构设计、研究人员的参考书。

### 海洋工程钢结构设计

袁 武 等编

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新华书店经销

哈尔滨毕升电脑排版有限公司排版

哈尔滨工程大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10· 字数 234 千字  
1994年12月 第1版 1994年12月 第1次印刷  
印数:1—1000册

ISBN 7-81007-503-9  
TU·6 定价:8.50元

# 前 言

本书以海洋工程各类海洋平台的钢结构为对象,介绍其设计准则,论述作用于海洋工程结构物上的载荷及其效应分析与计算方法,以及结构承载能力的确定。给出设计校核与控制原理。

第一章概要介绍了各类海洋平台结构系统传递载荷的各类钢构件及其连接型式,结构设计过程,安全与经济性要求。第二章详细阐述了静载荷、爆炸载荷、火灾载荷、碰撞载荷、环境载荷的计算方法及有关规范的规定。第三章用结构力学理论对平台上各类钢结构与结构系统在上述载荷作用下的效应进行分析,介绍了求解动态响应过程的各种工程上常用的方法。其中较为详细地介绍了有关规范对爆炸载荷效应、火灾载荷效应计算规则与方法。第四章以构件材料性能、几何尺寸、边界条件为依据,用结构强度与稳定理论分析了各类简单与复杂钢构件的承载能力,叙述了管节点疲劳强度分析的方法。第五章阐述了目前海洋工程结构设计的原理。本书各章结合海洋工程先进国家挪威与美国的 DnV、API 海洋平台规范,我国海洋平台规范(CCS,1992),引用了较为丰富的设计计算用图、表,并给出了一些计算实例。

本书由聂武、孙丽萍、李治彬、曾志强合作编写。第一、五章由聂武编写,第二章由孙丽萍编写,第三章由曾志强编写,第四章由李治彬、孙丽萍、聂武编写。全书由聂武主编,大连理工大学王全增教授为本书的主审。

近二十年来,我国海洋工程发展迅速,而海洋工程中的钢结构设计涉及海洋工程、流体力学、海洋环境力学、结构力学、断裂力学诸多学科领域。本书力求将钢结构的基本理论与海洋工程结构设计结合起来,系统阐述海洋工程钢结构设计的原理与方法。由于编者水平有限,其中不当乃至错误之处在所难免,恳切希望读者指正。

在本书编写过程中王全增教授给予了认真热情的关心与指导,也得到挪威特隆汉姆大学海洋工程系主任 T. Moan 教授的无私帮助,在此表示由衷的感谢。

编 者

1994年6月

# 目 录

第一章 结构设计的一般准则	1
§ 1.1 绪论	1
§ 1.2 平台结构系统	1
§ 1.3 结构构件与联接	9
§ 1.4 设计过程	11
§ 1.5 安全要求	14
§ 1.6 建造	14
§ 1.7 拖航、装配与转移	16
§ 1.8 经济性	16
第二章 载 荷	17
§ 2.1 载荷分类	17
§ 2.2 定常工作载荷	17
§ 2.3 意外工作载荷	18
§ 2.4 环境载荷	25
§ 2.5 载荷状态	38
第三章 载荷效应分析及响应过程	39
§ 3.1 概述	39
§ 3.2 定常工作载荷效应	40
§ 3.3 爆炸载荷效应	45
§ 3.4 火灾载荷效应	49
§ 3.5 碰撞载荷效应	52
§ 3.6 环境载荷效应	55
第四章 钢结构构件的承载能力	83
§ 4.1 概述	83
§ 4.2 材料与加工	88
§ 4.3 构件	100
§ 4.4 焊接	117
第五章 设计基本原理	141
§ 5.1 许用应力法尺度校核	141
§ 5.2 概率法尺度控制	142

§ 5.3 半概率性尺度控制 .....	146
§ 5.4 现行规范中的半概率公式 .....	147
§ 5.5 DnV 与 API 规范对固定式钢结构要求之比较 .....	149
§ 5.6 总误差 .....	150
附录 5.1 .....	151
参考文献 .....	153

# 第一章 结构设计的一般准则

## § 1.1 绪 论

结构设计的目的是设计出一个安全经济的结构以满足一定的基本要求。为达到此目的,设计者必须具备载荷的时空特性、材料性质、焊接技术、结构力学、结构承载机理与布置的相互关系方面的知识。此外,设计者应须熟悉加工与装配过程。

结构设计在很大程度上是设计者的创造性、抽象思维与经验的结晶,公众应从中得到最大的经济效益,这就需要发展新的结构形式,新的建造技术,并用科学的解决方法去支持,因此工程力学与经济分析必须以创造出更好船舶、平台等为目标,广义上说“设计”包括了创造艺术与科学分析。

结构力学理论与实验依据对结构设计来说是有效的工具,但是,它们对于建立一个完整的科学设计过程是不充分的。首先,为使一个理论分析成为可能,结构的特性被基本的工程假设大大地理想化了,以至于计算的内力与位移仅代表了结构中真实内力与位移的近似值。结构抵抗外载荷与变形的能力仅能近似确定。其次,实际结构常常处于受载状态而且载荷工况不能精确确定,因此实验与判据在结构设计实践中总是起重要作用,但它们必须以对结构理论与结构力学的全面理解与科学分析为指导。

## § 1.2 平台结构系统

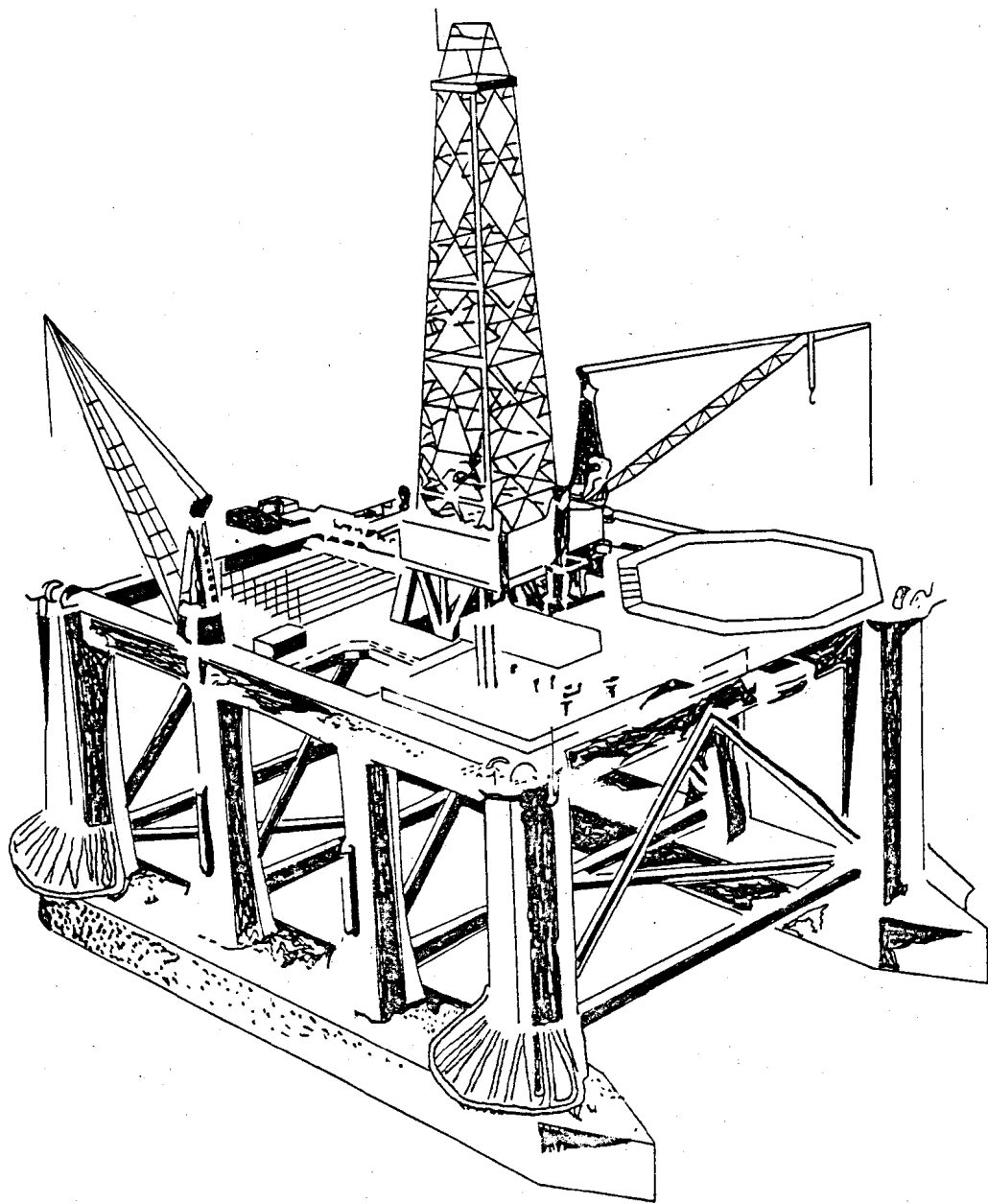
用于海上油气开发生产的平台主要形式是半潜式平台、自升式平台与导管架平台,此外,亦有少数张力腿平台、铰支塔。见图 1.1。

半潜式平台或称立柱稳定式平台从外观上与传统的船舶有很大区别,它们有一个三角形或矩形的平台,该平台由连接于大型水下排水壳体或安装于大型垂直沉箱的立柱支持,这样设计的目的是使浮体位于波面以下以减少主要浮体的波浪力。立柱提供足够的稳性,其工作排水量是 15000~30000t,最小排水量与最大排水量之比是  $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 。

浮动平台通常要经历三种浮态,即移位状态、钻井状态与生存状态。平台由传统的散射式锚泊系统,张紧锚泊系统或动力定位系统保持在固定位置。目前多采用 6 至 12 根端部系锚的散射式锚泊系统。张力腿平台亦是一类半潜式平台,其浮力超过重力,故而应用预张力的垂直或倾斜的缆索保持其平衡位置。

自升式平台带有 3~4 个可插入海底的作为支持的桩腿,在钻井期间主甲板可在工作地点升高水平面,主甲板是水密的且具有浮力。在大洋或油田间转移期间,桩腿升起时亦具有足够稳性,桩腿由带插销孔钢管或带齿条结构的桁架结构组成。

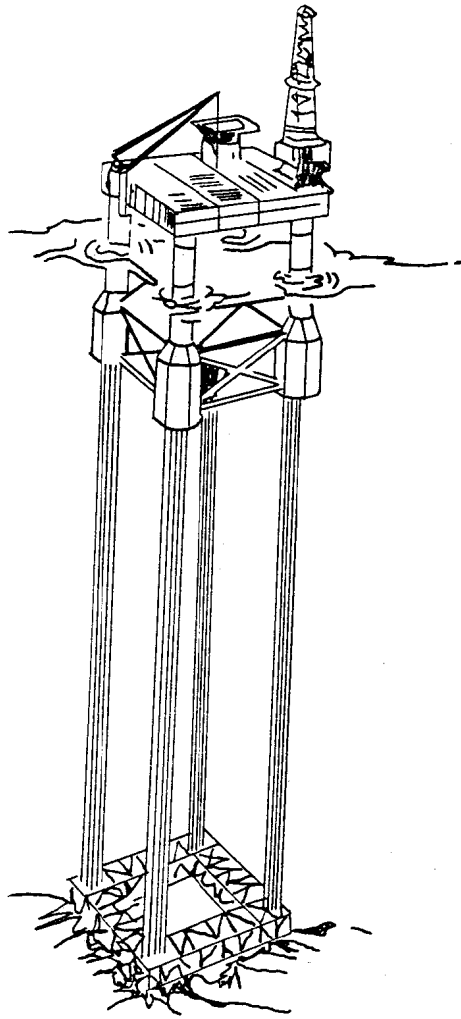
铰支塔平台由甲板、浮力舱与一个承载桁架结构铰支于海底。



a) 半潜式平台

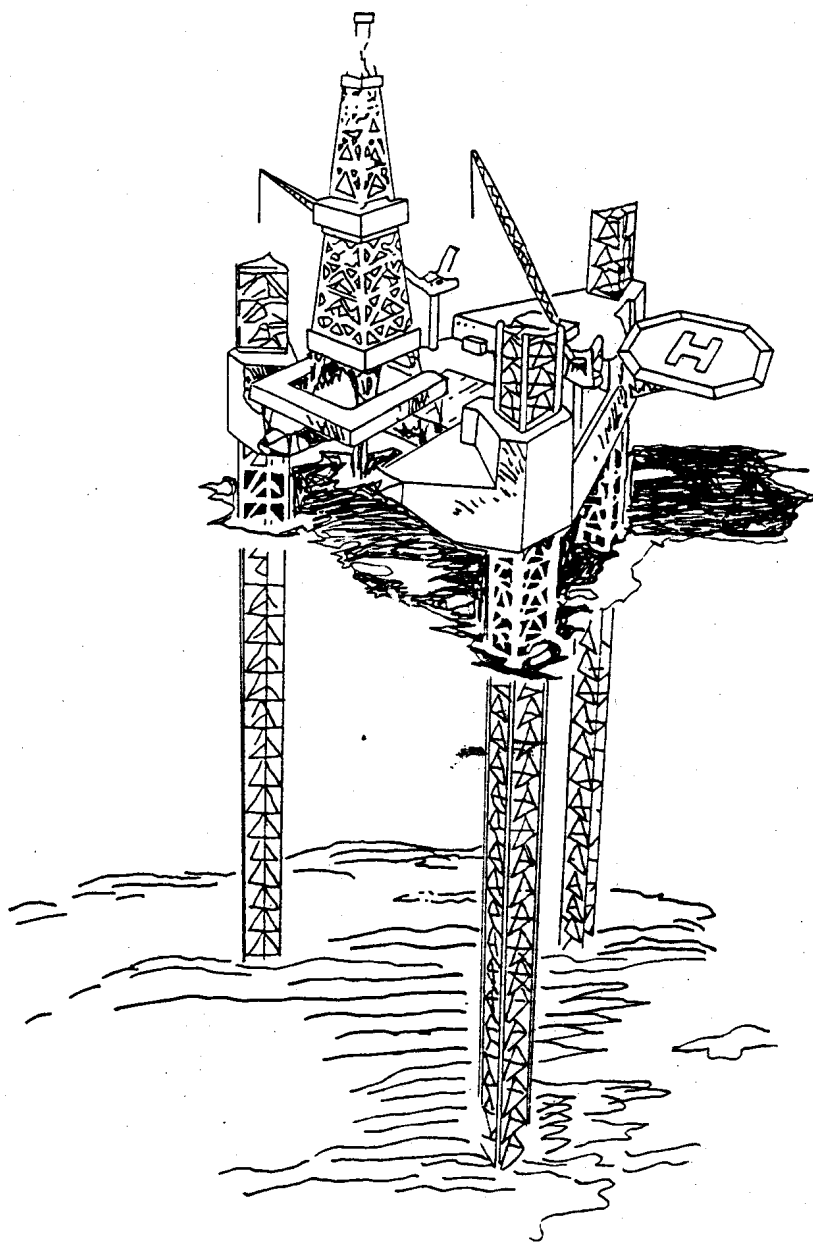
图 1.1 几种典型的海洋平台





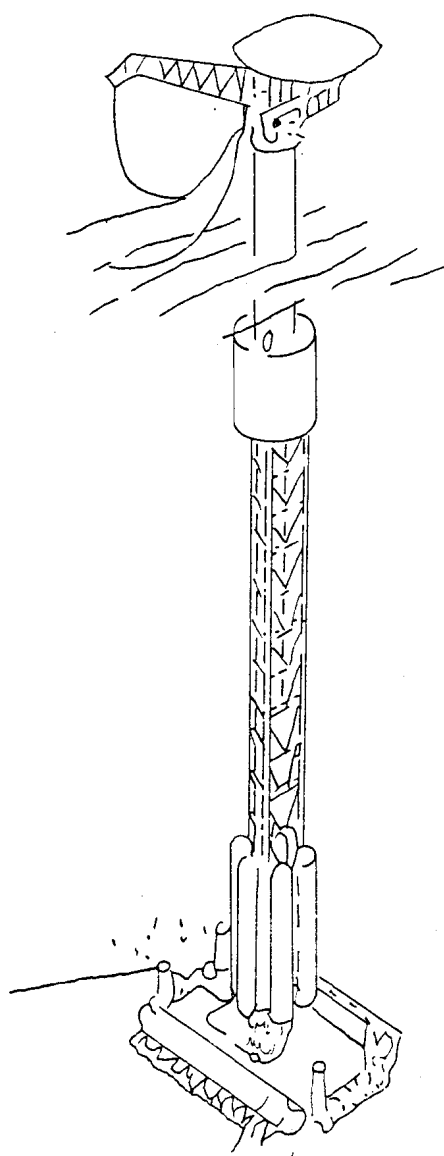
b) 张力腿平台

图 1.1 几种典型的海洋平台



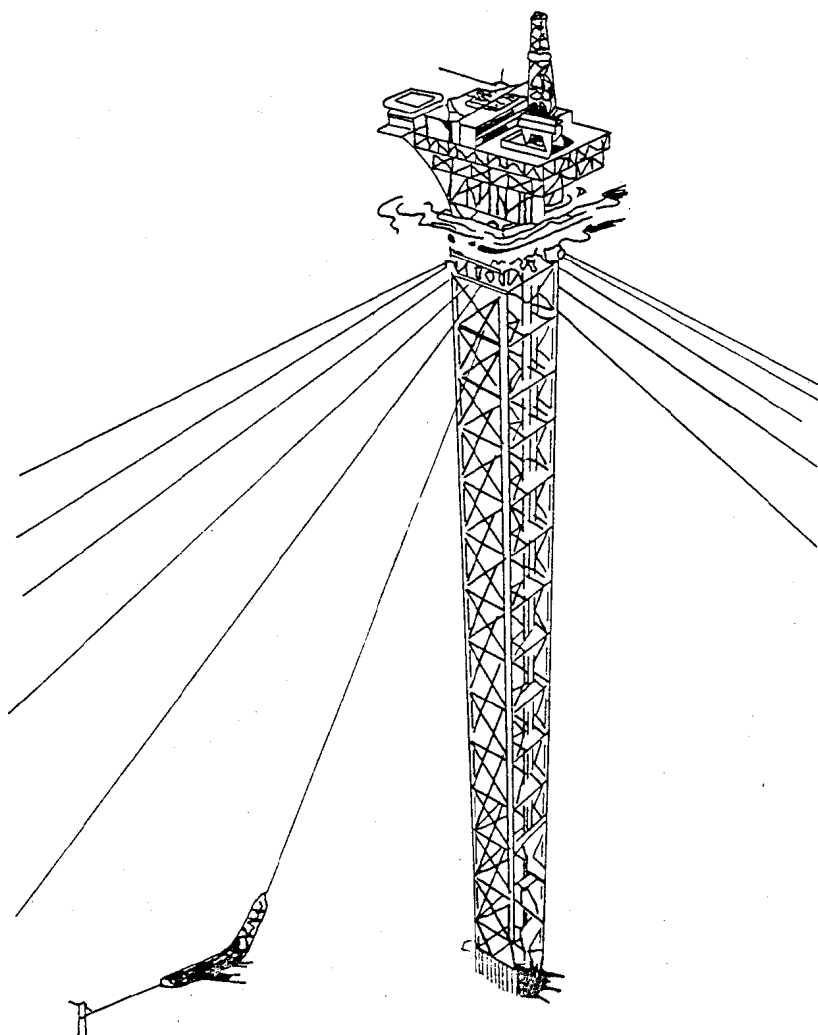
c) 自升式平台

图 1.1 几种典型的海洋平台



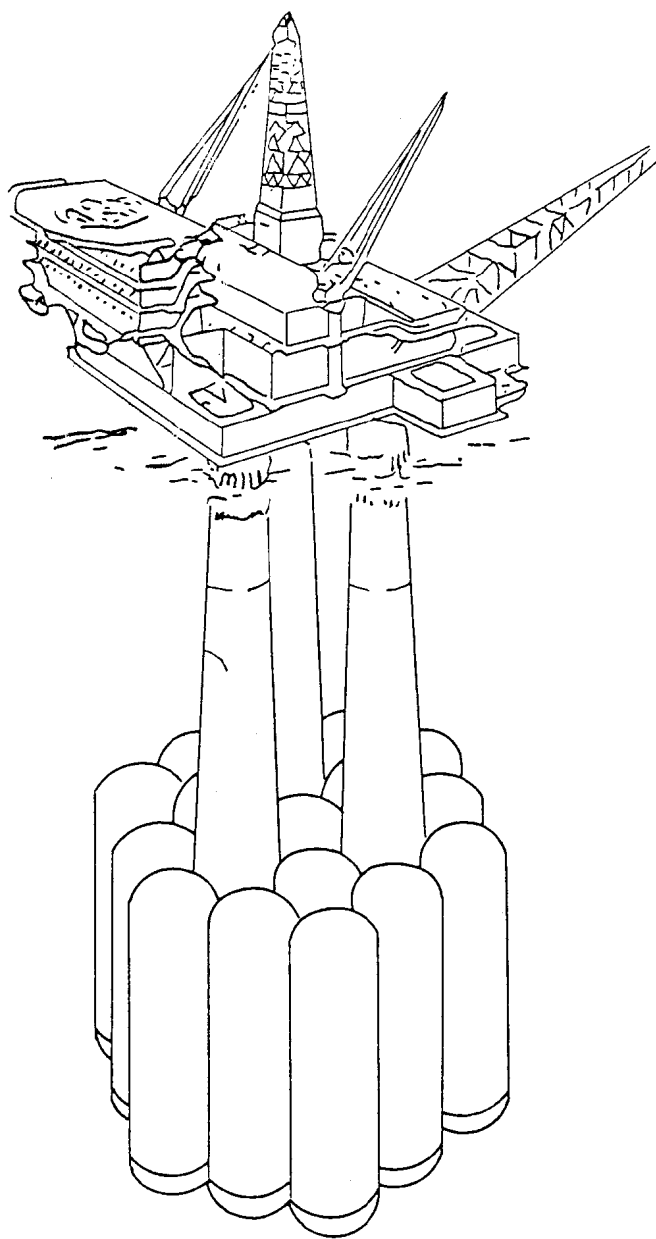
d) 铰支塔平台

图 1.1 几种典型的海洋平台



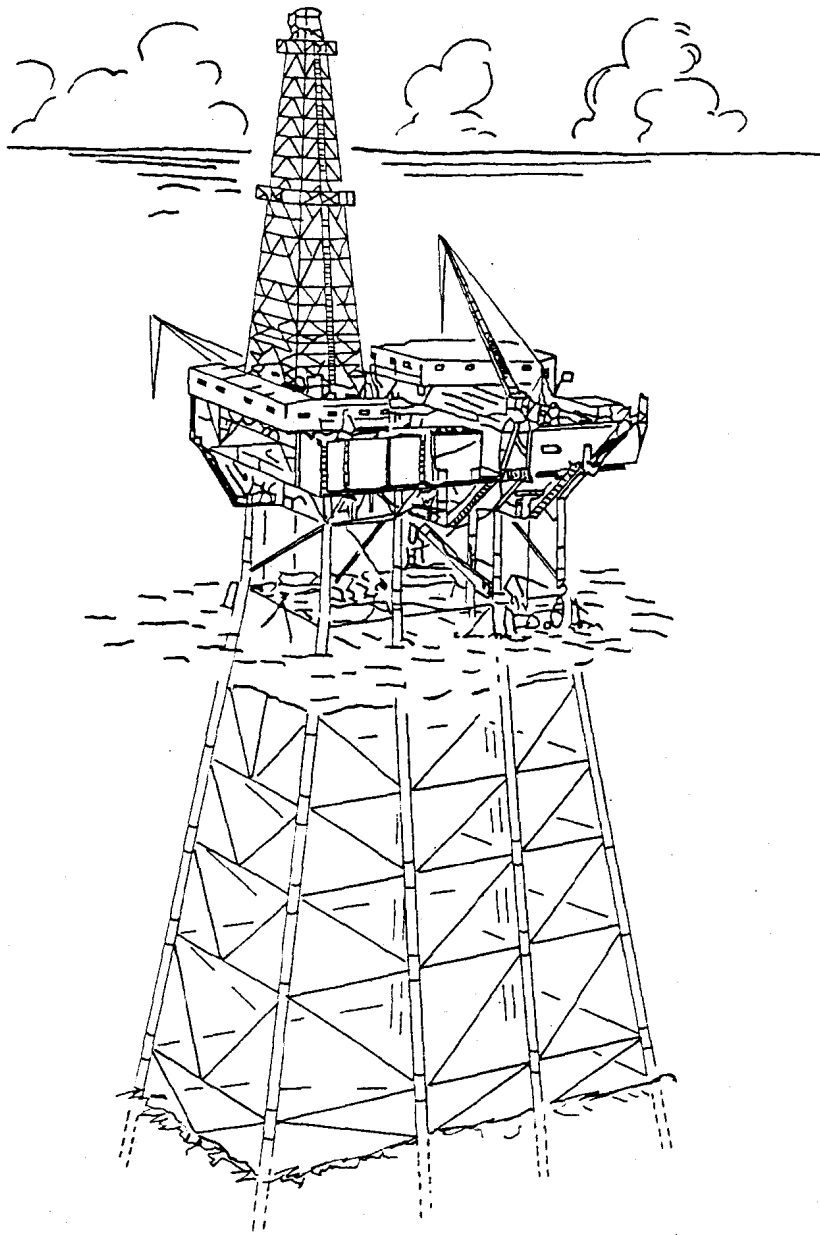
e) 顺应式平台

图 1.1 几种典型的海洋平台



f) 重力式平台

图 1.1 几种典型的海洋平台



g) 导管架平台

图 1.1 几种典型的海洋平台

顺应式平台由一个支承于桩靴上的桁架塔式结构构成,由 20 至 24 根预张紧缆索锚固。

导管架式平台由上部和下部结构组成。上部结构主要包括各层甲板 and 连接各层甲板的支承系统,下部结构则由导管架和桩基系统构成。导管架一般是由圆钢管焊接成空间框架结构。海上施工安装时在其腿柱中或腿柱周围打入钢桩,使之与海底连接,用以支承甲板和环境载荷。多数导管架平台安装在 5~100m 水深的海域。较小的导管架装在驳船上

运至现场而后由起重船起吊定位安装。较重的导管架则靠自身浮力拖航,并由重力—浮力系统定位。导管架平台的安装很受天气限制,需几周的时间才能使其安全地固连于海底。

混凝土重力式平台基本上由支撑于大型多舱沉箱的3至4个塔柱组成,其上部有甲板,上层建筑的上部通常采用钢质板架结构,其主要目的是减少拖航重量,使得在拖航前可装配更多的设备,减少海底安装时间。重力式平台的基本概念是以其自身重力而不靠特殊的锚系获得永久条件下的稳定性。

结构亦可按其结构承载性能划分,主要分为浮式与固定式平台。浮式与固定式平台的主要承载系统是大体积的钢质板壳、刚架或桁架结构。

在壳体结构中,甲板系统除了作为主要承载结构外,尚有提供浮力提供水密的工作空间的功能。为达到此目的,甲板由梁系加强,该梁系可承受或不承受主要载荷,因为提供浮力需要大体积,或为在周围压力下提供一工作环境,壳还被用来作为浮体(如船或大的浮体)。在一些透浪型结构系统中不采用外壳板而采用钢质杆件(角钢或圆管)装配成刚架或桁架结构用以传递载荷。而在一些钢结构中,主要杆件被用于别的目的而不是传递载荷。

### § 1.3 结构构件与联接

传统的刚架结构由连接装配在一起的构件组成,构件可以是轧制型钢,可以是焊接型材,也可以铆接型材,如图 1.2,构件可传递 4 种载荷,分别为:

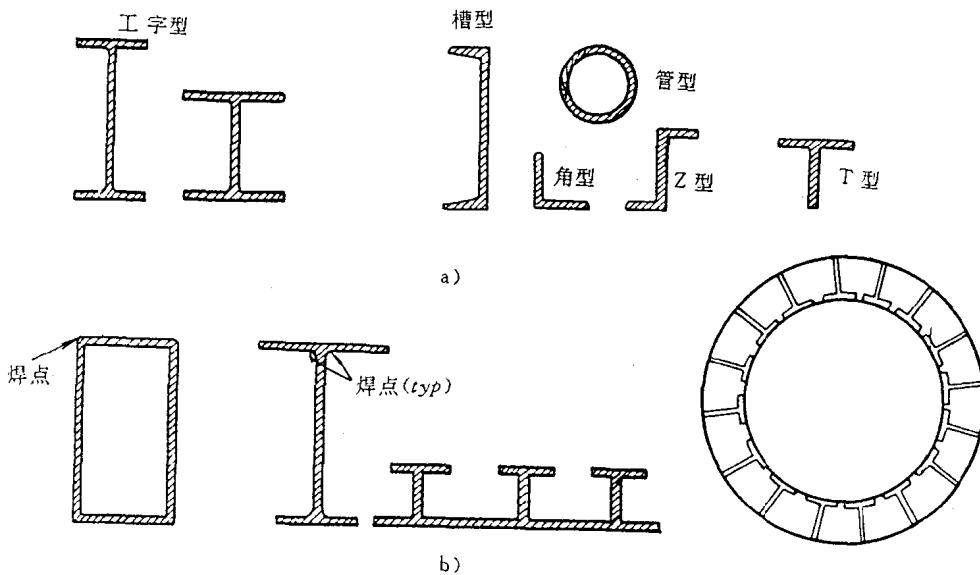


图 1.2 型钢  
a) 轧制型材; b) 组合型材

- a. 缆索,传递张力载荷;
- b. 柱,主要传递压力载荷,有时也传递拉力载荷;
- c. 梁或板架,传递横向载荷;

d. 轴, 传递扭转载荷。

实际上一个构件很少仅传递一种载荷。即使是在拉伸时, 一个铰接的水平或对角构件, 由于其自身的重量、浮力、波浪力或其它载荷的作用, 它也要受到很小的弯矩作用, 因此大多数构件传递弯曲、扭转与轴向拉压载荷的某种组合载荷。对于海洋工程结构来说, 一个构件很少被设计成主要是抵抗扭转, 而被设计为抵抗其它类型载荷的构件也抵抗某些扭转。通常当一个构件承受多种联合载荷作用时, 其中一种载荷是最重要的且支配此构件的设计, 因此, 按构件的主要载荷对其分类和研究。

在海洋工程结构中电弧焊是主要的连接手段, 如图 1.3。铆接可用于海面以上部分的某些构件, 但现已很少采用。对每一位设计师来说, 设计结构构件尺寸与连接是一经常性

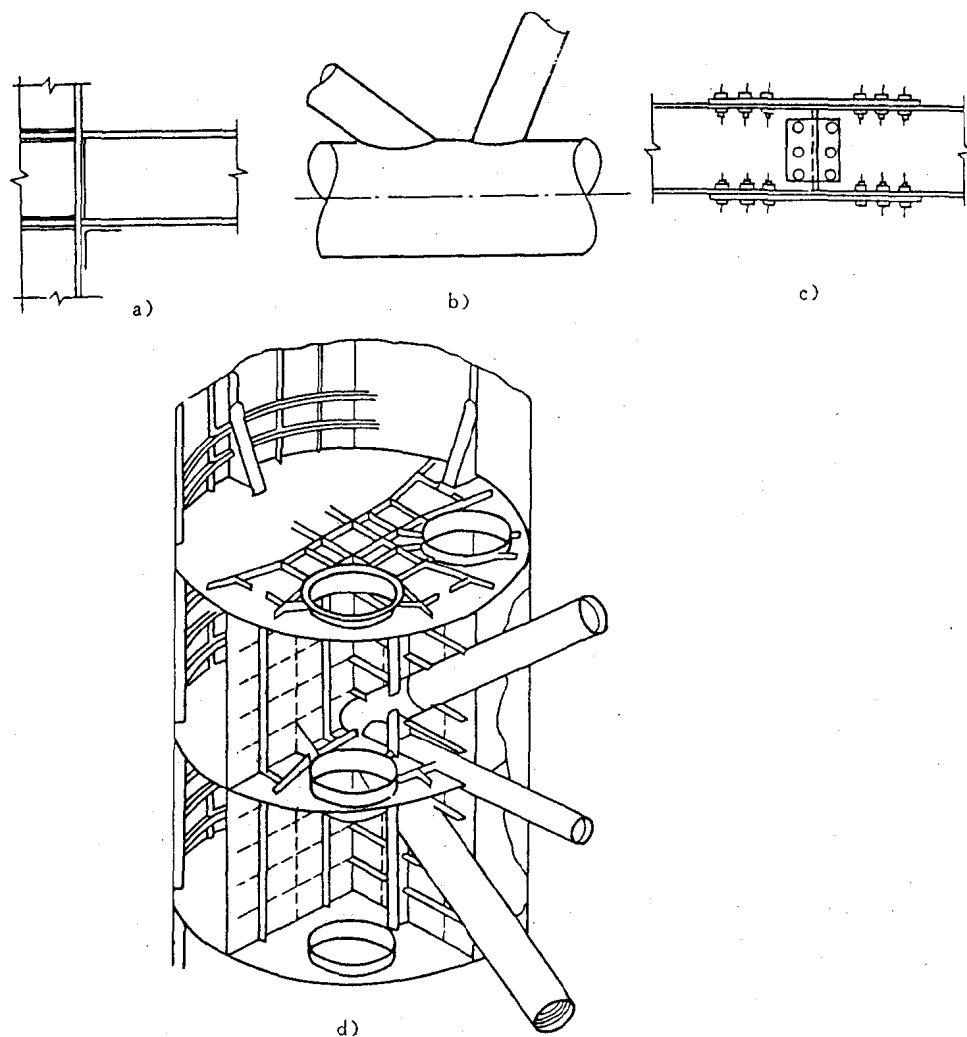


图 1.3 典型结构连接

a) 角焊; b) 简单管节点; c) 螺栓连接; d) 舱隔与撑杆的连接



的工作,为此,对于结构元件的作用及其连接方式的掌握至关重要。

合理分配使用结构构件及其连接,整体结构设计研究才能得益,整个结构的设计与布置比其各部分的设计与确定要难得多,况且需要多年的经验,本书给出了海洋工程所遇到的典型结构设计中的一些基本考虑。

## § 1.4 设计过程

结构设计过程有三个基本阶段:

- a. 结构型式选择;
- b. 局部强度设计;
- c. 最后协调。

### 一、结构型式选择

结构型式选择取决于其作用、安全、作业、建造及维修费用及可能的美观需要,其它诸如业主要求、设计师的倾向或已形成的惯例都可能影响结构型式的选择。通常需要研究若干个布置方案,只有在详细地比较了各个方案之后才能做出决定。

选择结构型式中会遇到下列问题:

由结构传递的力的性质、量值、分布、频率是什么?对于选定的结构,如果分析表明结构的某些构件应力过大怎么办?改变构件的比例或改变它们的布置或改变整个结构就可得到最好的补救吗?给定结构的最佳建造方法是什么?对于选定的结构装配方法能带来何种影响?若回答这些问题,结构工程师必须认识到自己的创造作用,包括他的同事、厂家、甲方等。值得注意的是与偶然载荷相联系的安全性越来越强调于结构系统型式选定以后,关于这一点将在后面叙述。

设计过程的不断探索可由半潜式平台 Aker 系列的设计来说明,起初该设计考虑了从 A—H 的 8 个方案,最后选定了 H 方案中的结构修改 3 型。

### 二、结构局部设计

虽然局部设计在作用与安全需要之间是折衷的,通常结构的安全需要居首位。

设计校验的基本原则是查出结构或其构件有没有达到任何一种极限状态(破坏模式),目前各规范中采用的实际极限状态如表 1.1。

表 1.1 海洋工程结构设计极限状态(DnV 1977 年版)

状 态	主 要 特 征
极限状态(ULS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 极限承载能力</li><li>• 断面破裂或屈曲</li><li>• 结构或单个构件的压溃或失稳</li><li>• 形成机构</li><li>• 失去平衡等</li></ul>
逐步破坏极限状态(PLS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 单个构件的事故损失或超载而使结构或其主要部分进入可发生累积破坏状态</li></ul>