

上海市“085工程”资助出版精品教材

海洋工程结构设计

周 晖 编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

海洋工程结构设计

周 晖 编



上海交通大学出版社

内容提要

本书为学习海洋工程提供一本理论研究和结构形式的书籍,全书分为8章,对常见的海洋平台的结构组成、设计原则、结构特点等作了介绍。内容全面系统、条理清晰,并配有大量图片,可作教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

海洋工程结构设计/周晖编. —上海:上海交通大学出版社,2013

ISBN 978-7-313-10391-8

I. ①海… II. ①周… III. ①海洋工程—结构设计—教材

IV. ①P75

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第227023号

海洋工程结构设计

编者:周晖

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出版人:韩建民

印制:上海交大印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:211千字

版次:2013年12月第1版

书号:ISBN 978-7-313-10391-8/P

定价:35.00元

地址:上海市番禺路951号

电话:021-64071208

经销:全国新华书店

印张:9.25

印次:2013年12月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-54742979

前 言

人类的生命始于海洋,可以说,是海赋予了人类生命。海洋也是所有动物生命的起源,是生命的摇篮。随着人类社会的不断发展,人们向大海的索取也越来越多,技术手段越来越丰富。

中国具有漫长的海岸线和辽阔的海域,蕴藏着丰富的矿物、油气和生物资源。为了满足经济增长和能源安全的需求,我国自1970年开始,至今已建成较为完整的海洋石油工业体系。可以说,未来的中国,海洋工程人才将会大有作为。

随着海洋开发与海洋空间利用工程的进展,出现了多种形式的海洋结构物。海洋工程结构物的基本功能包括海洋开发和海洋利用。目前,海洋结构物的大部分用于海洋油气的勘探、开发、生产及储运。这些结构物包括固定式平台、移动式钻井平台、海底管道、油气浮式生产系统及近几年发展起来的深海平台等。本书意在为学习海洋工程的人士提供一本了解海洋工程结构形式和理论研究的书籍,同时通过软件学习,为实际的海洋工程应用打下一定的基础。

目 录

第 1 章 海洋工程结构设计绪论	001
1.1 海洋工程绪论	001
1.2 海洋工程结构设计的内容与原则	006
1.3 平台结构设计应遵循的规范和标准	008
1.4 平台结构设计的资料准备与交接	009
思考题	012
第 2 章 海洋平台的受力与结构特点	013
2.1 坐底式平台和半潜式平台的受力状态和结构特点	013
2.2 导管架平台受力和结构特点	021
2.3 自升式平台的受力状态和结构特点	027
2.4 潜器结构特点	032
2.5 海洋平台实例	034
思考题	046
第 3 章 海洋平台各系统和功能	047
3.1 海洋平台系统简介	047
3.2 海洋平台系统功能	047
第 4 章 浮式结构强度设计和分析	054
4.1 适用规范	054
4.2 结构设计	054
4.3 主体结构强度设计	056
4.4 局部强度设计	058
4.5 总强度设计	073
思考题	078
第 5 章 导管架平台结构设计和荷载模拟	079
5.1 导管架结构设计及荷载模拟	079



5.2	导管架结构荷载模拟	083
5.3	导管架建造安装阶段分析	091
5.4	平台上部结构总体确定	098
5.5	平台结构荷载模拟	100
	思考题	102
第6章	平台结构分析软件及有限元导论	103
6.1	结构分析程序	103
6.2	有限元概念	105
6.3	ANSYS 在平台中常用的模块	109
	练习题	109
第7章	ANSYS 对平台结构分析应用举例	111
7.1	工程实例基本数据	111
7.2	建模	112
7.3	结构整体静力分析	121
7.4	结构强度设计实例	128
第8章	平台检验	134
8.1	平台检验的目的与意义	134
8.2	平台检验的种类	135
8.3	平台检验依据规范	136
8.4	平台入级和证书	137
8.5	平台检验认证机构	138
	参考文献	140

第 1 章 海洋工程结构设计绪论

本章内容:

- 海洋工程结构设计的内容与原则
- 平台结构设计应遵循的规范和标准
- 平台结构设计的资料准备与交接

1.1 海洋工程绪论

一般认为海洋工程的主要内容可分资源开发技术与装备设施技术两大部分。资源开发技术主要包括:深海矿物勘探、开采、储运技术;海底石油、天然气钻探、开采、储运技术;海水资源与能源利用技术,包括淡化、提炼、潮汐、波能、温差等;海洋生物养殖、捕捞技术;海底地形地貌的研究等。装备设施技术主要包括:海洋探测装备技术,包括海洋各种科学数据的采集、结果分析,各种海况下的救助、潜水技术;海洋建设技术,包括港口、海洋平台、海岸及海底建筑;海洋运载器工程技术,包括水面(各种船舶)、半潜(半潜平台、半潜船)、潜水(潜器)、水下(水下工作站、采油装置、军用设施等)设备技术等。

海洋工程的分类(见图 1-1~图 1-9):

- (1) 海上堤坝工程,人工岛、跨海桥梁。
- (2) 海底隧道工程,海底管道、海底电缆工程。
- (3) 海洋矿产资源勘探开发。

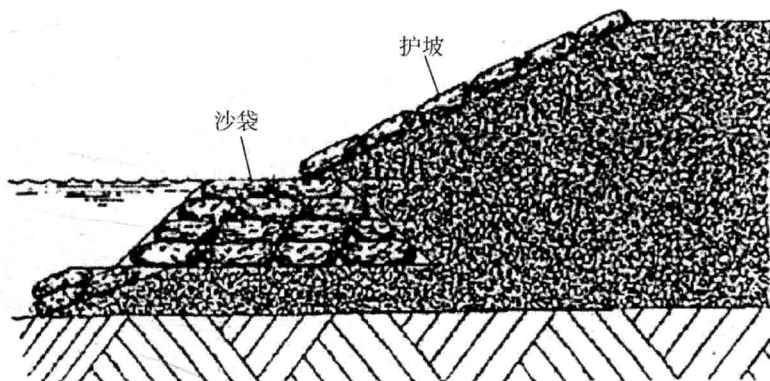


图 1-1 斜坡式人工岛

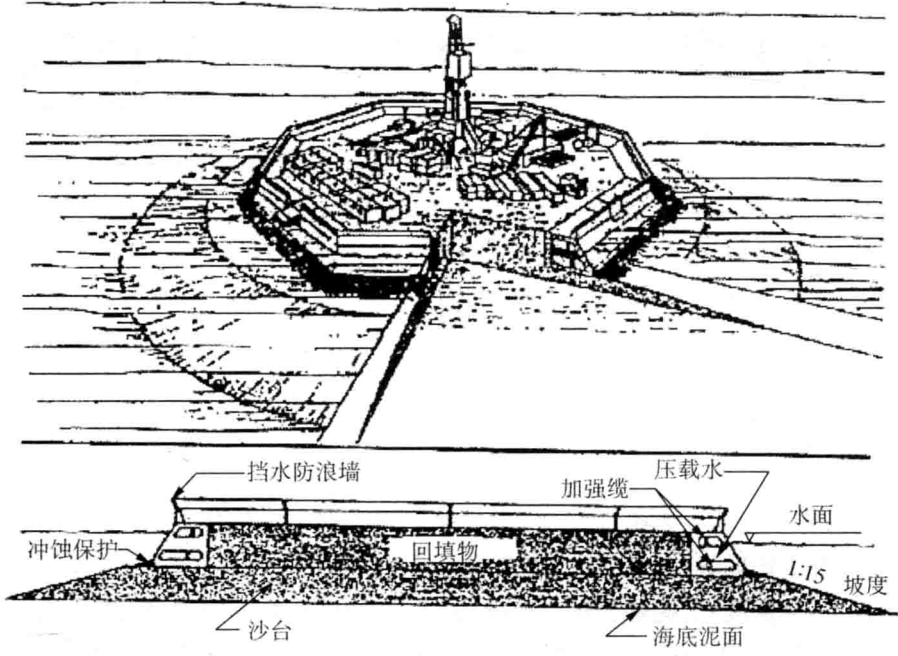


图 1-2 沉箱式人工岛

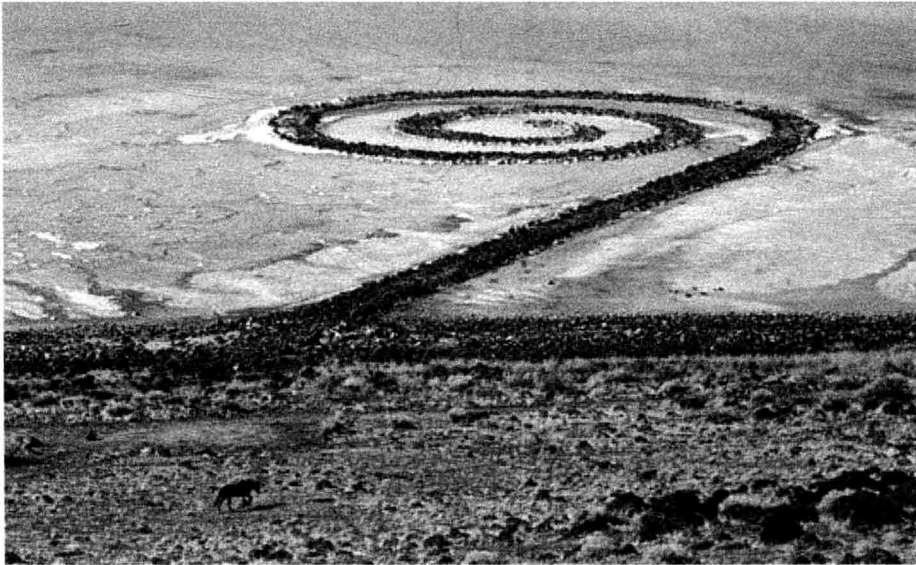


图 1-3 螺旋式堤坝 1



图 1-4 螺旋式堤坝 2

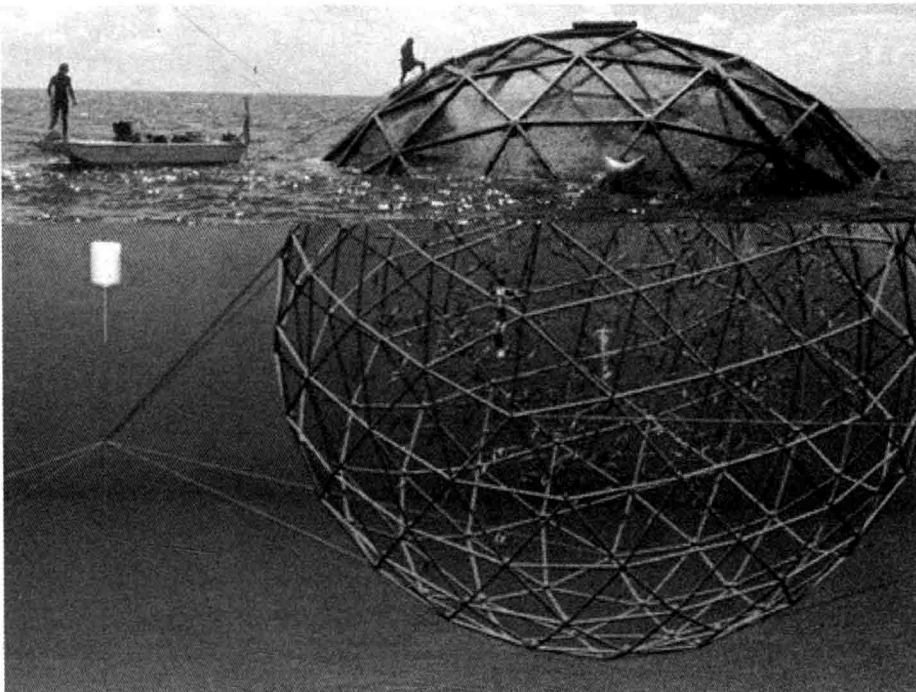


图 1-5 球型养殖箱



图 1-6 海上交通枢纽



图 1-7 人工岛(机场和码头)

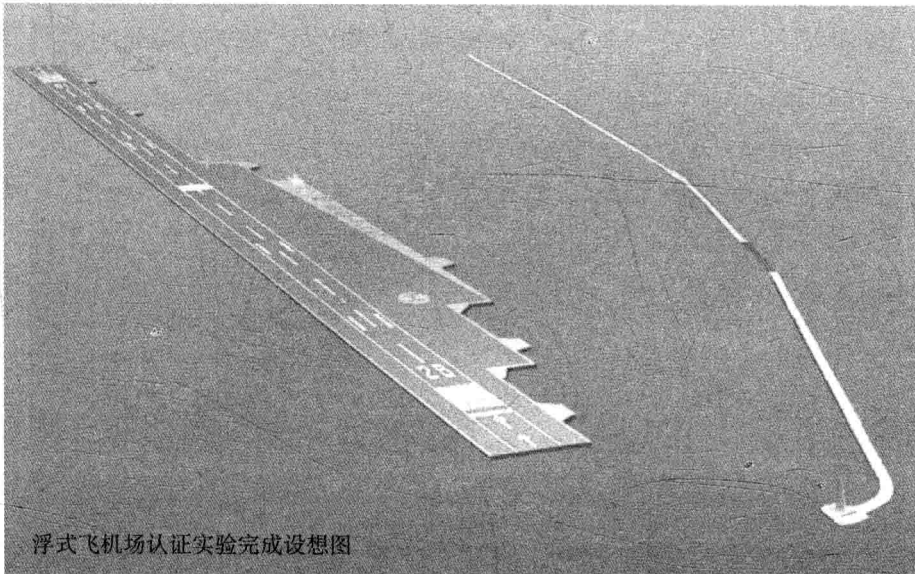


图 1-8 浮式机场

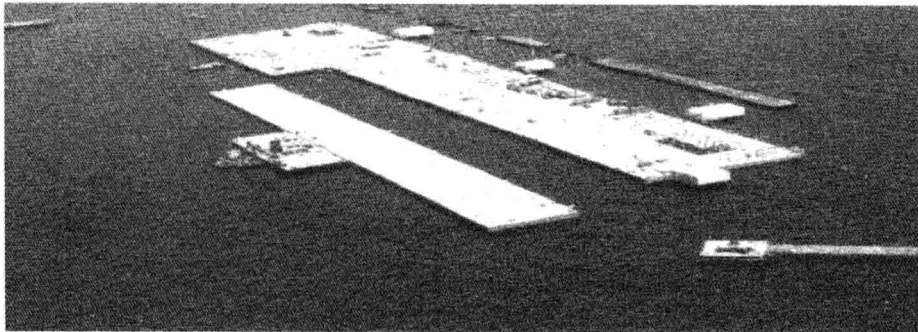


图 1-9 浮式机场的建造过程

- (4) 海上潮汐电站、波浪电站、温差电站等海洋能源开发利用工程。
- (5) 大型海水养殖场。
- (6) 海水淡化等海水综合利用工程。
- (7) 海上娱乐及运动、景观开发工程等其他海洋工程。

随着海运、海防、海洋开发事业的发展,各类海洋工程设施应运而生。主要的海洋平台的种类如下(见图 1-10):

- (1) 固定式平台(Fixed Platforms)。
- (2) 顺应式平台(Compliant Towers)。
- (3) 半潜式平台(Semi-submersible Platforms)。
- (4) 自升式平台(Jack-up Platforms)。
- (5) 钻井船(Drill Ships)。

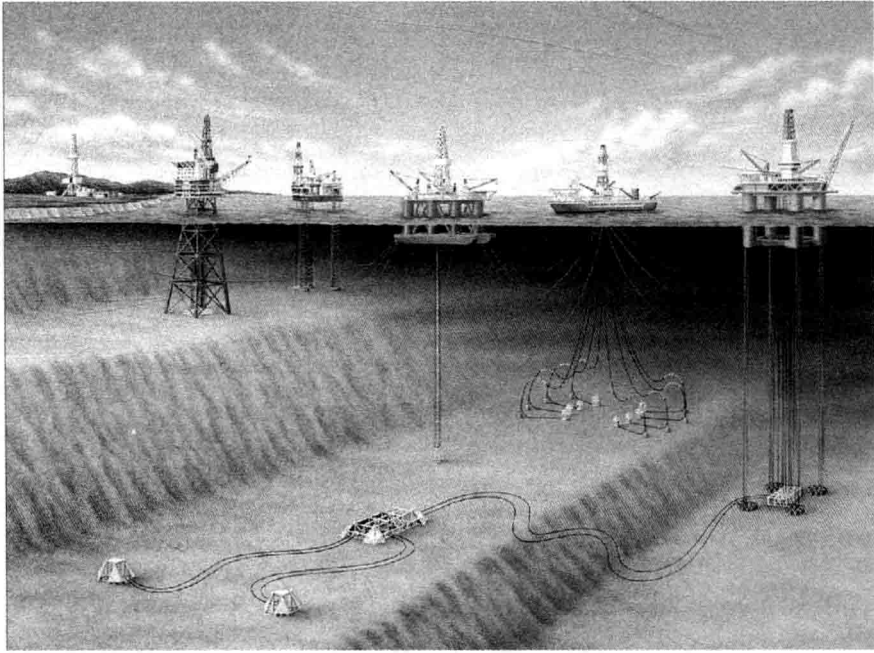


图 1-10 各式海洋平台

- (6) 浮式生产储油卸油船(Floating Production Systems, FPSO, FPU, FPO…)
- (7) 张力腿平台(Tension-leg Platforms, TLP)。
- (8) 圆筒形平台(SPAR Platforms)。
- (9) 其他(Normally unmanned installations)。

1.2 海洋工程结构设计的内容与原则

1. 海洋平台结构设计的内容

海洋平台(Offshore Platform)是为在海上进行钻井、采油、集运、观测、导航、施工等活动提供生产和生活设施的构筑物。为了保证平台能很好地完成上述任务,平台应具备在复杂多变的海洋环境中作业和生存的能力。

平台要有一定的强度,是指平台结构在正常的作业和其他使用过程中,在一定的使用年限中具备不破坏或是不发生过大变形的能力,保证平台能够正常作业和其他使用。由于平台在作业期间是固定的,不会因为外部环境的剧烈变化而将平台脱离作业海域,因此作业时的平台结构强度是必须要保证的。

平台在海上作业、施工时,海洋环境变化很大,海风、海浪和海流是任何平台都需要承受的外部环境变量,要在风暴等大风大浪条件下也能生存(即自存)。平台长时间浸泡在海水中,需经受住海水的腐蚀。除此之外,局部地区海域的平台还会受到海冰和海底地震的影响。这都必须使平台强度能够保证适应恶劣的海况和海洋环境要求、满足安全生产的需要和满足海洋环境保护的要求。



同时,移动式平台有能够自航等特性,从而处于漂浮于水面的状态,类似船舶在海洋中航行,因此会有类似船舶在水中的“中拱状态(hogging condition)”[见图 1-11(a)]和“中垂状态(sagging condition)”[见图 1-11(b)]。

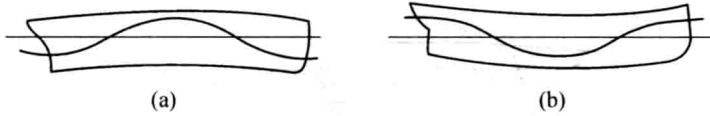


图 1-11 移动式平台的状态

(a) 中拱状态 (b) 中垂状态

与船舶一样,平台既要保证其主体结构强度,同时也要防止局部区域出现由于因荷载过重、应力集中等问题导致结构出现变形甚至破坏,即局部强度问题。例如直升机平台、系泊支架等如何固定在平台主体上。

总体而言,平台结构设计的最终成果包含下述内容。

- 1) 目录图纸文件的目录
- 2) 规格书
 - (1) 结构设计规格书;
 - (2) 结构材料规格书;
 - (3) 制造规格书(包括焊接检验要求);
 - (4) 安装规格书。
- 3) 设计报告
 - (1) 在位分析。
 - (2) 施工分析,按实际情况可能包括:
 - ① 吊装分析(包括吊点分析);
 - ② 拖航分析;
 - ③ 打桩分析;
 - ④ 装船分析;
 - ⑤ 下水分析。
 - (3) 局部分析。
 - (4) 附属构件分析。
 - ① 防沉板计算;
 - ② 靠船件计算。
 - (5) 重量控制报告。
 - (6) 其他分析计算和报告。
- 4) 材料表

另外,平台结构又分为许多部分。从大的方面来分,可以分为上部结构和下部结构,为了叙述的方便,我们分为如下几个方面:

- (1) 主体结构设计。



- (2) 浮式系统模块及火炬塔结构设计。
- (3) 栈桥设计。
- (4) 桩结构设计。
- (5) 生活楼和工作间设计。
- (6) 其他结构设计。

需要指出的是,以上所叙述的平台结构设计范围,仅对一般情况而言。对于某些特殊情况,需要对设计范围进行必要的调整与补充。本书是以主体结构设计为主要内容。

2. 海洋平台结构设计的原则

平台结构设计总的原则是:先进、合理、安全、经济、满足规范要求,且方便采办、制造、安装、检验和维护等。

结构总体布置的基本原则是:总体布局合理,传力路径短,构件综合利用性好,材料利用率高,满足其他专业对结构形式的要求。

结构材料选取的基本原则是:结构材料的选取既要考虑强度要求,又要考虑结构工作场所的环境条件,在结构中的部位和可能使用的加工方法等。

结构总体布置,结构构件选取,结构材料选取等方面的一般考虑将在后面章节中介绍。为了具体实施平台结构设计的原则,设计人员应当不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

1.3 平台结构设计应遵循的规范和标准

平台结构设计应遵循的规范和标准,除特殊情况(如业主要求)指明外,所用标准、规范和法规均应为最新版本。

1. 平台结构设计应遵循的主要规范和标准

1) 行业标准

SY/T10002—2000 结构钢管制造规范;

SY/T10004—1996 海上平台管节点用碳锰钢板规范;

SY/T10008—2000 海上固定式钢质石油生产平台的腐蚀控制;

SY/T10009—2002 海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法——荷载和抗力系数设计法(增补1);

SY/T10011—1997 海上油田总体开发方案编制指南;

SY/T10028—2002 海洋石油工程制图规范;

SY/T10030—2002 海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法——工作应力设计法(增补1);

SY/T10031—2000 寒冷条件下结构和海管规划、设计和建造的推荐作法;

SY/T10036—2000 海洋石油工程设计文件编制规程;

SY/T10038—2002 海上固定平台直升机场规划、设计和建造的推荐作法;

SY/T10039—×××× 海上钢结构焊接规范;



SY/T10040—2002 浮式结构物定位系统设计与分析的推荐作法；
SY/T10049—×××× 海上钢结构疲劳强度分析的推荐作法；
SY/T10050—×××× 环境条件和环境荷载；
SY/T10051—×××× 用于海上结构的锰碳钢轧钢板的规范；
SY/T10052—×××× 浮式生产系统规划、设计及建造的推荐作法；
SY/T4805—92 海上结构物上生产设施的推荐作法。

2) 企业标准

Q/HS3000—2002 中国海海冰条件及应用规定；
Q/HS3003—2002 渤海海域钢质固定平台结构设计规定；
Q/HS3005—2003 海上钢结构疲劳强度分析的推荐作法；
Q/HS3007—2003 环境条件和环境荷载指南；
Q/HS4010—2003 易燃易爆危险场所安全管理规定；
Q/HS7002—93 海洋石油工程设计文件编制规程；
Q/HS7003—93 海洋石油工程制图标准。

2. 规范和标准的应用中应注意的问题

进行平台结构设计时,应特别注意强制性标准和推荐性标准的区别。

1) 强制性标准

分为全文强制和条文强制两种。

(1) 全文强制:当标准的全部技术内容需要强制时,为全文强制形式。

对于全文强制形式的标准在“前言”的第一段以黑体字写明:“本标准的全部技术内容为强制性。”

(2) 条文强制:当标准中部分技术内容需要强制时,为条文强制形式。

对于条文强制形式的标准,根据具体情况,在标准“前言”的第一段及有关部分以黑体字写明强制的章、条及有关内容。

2) 可以直接利用的标准

目前可以直接利用的标准及有关文件:

(1) 《平台标准化设计规定》:该文件主要涉及平台标准化设计,这里不拟详细叙述。

(2) 《渤海钢质固定平台设计规定》:本标准目前仅适用于渤海海域钢质固定式平台,对在其他海域的应用,应做适当的调整和补充。

1.4 平台结构设计的资料准备与交接

对于海上平台的设计和建造,首先需要掌握足够的基础资料,然后按照一定的设计条件和标准进行。在着手进行平台结构设计之前,要对各种基础资料和设计条件进行全面的调查与研究,以便选择合适的结构形式。其次是根据设计条件和一定的设计标准(规范)对平台作出周密的规划与布置,以便确定设计荷载,对结构进行强度、刚度、稳定性分析。一个好的设计应该是既经济又能安全可靠地工作,同时满足所要求的各种功能。



1. 平台结构设计资料准备

由于平台结构的资料种类繁多,以下只能概要地论述部分资料,资料主要分为设计条件和基础资料。

1) 主要设计条件

海上平台结构设计应该明确和掌握的主要设计条件包括使用要求、环境条件和地质条件。

(1) 使用要求。

平台的使用要求主要包括平台的用途和工艺要求。

平台设计和建造之前,应由平台使用部门明确平台的用途,如钻井、采油、储油、居住或其他用途,或同时具备其中几项用途。根据用途决定使用条件。

平台设计一般应明确下列使用要求:

① 使用年限。

② 平台设置的位置及该位置的水深。

③ 平台是否有人居住,若有人居住,居住人数、人员上下平台方法及紧急状态的撤离方法。

④ 平台工艺布置要求及处理方法。

⑤ 供应船的尺度、停靠方式;直升机的型号及直升机停泊的布置;起重设备能力及数量。

⑥ 油(气)井的数目、间距。

⑦ 对于保证工作人员的设备的安全、防止污染、减少振动及防火的措施。

(2) 环境条件。

海上平台在安装使用期间始终是处在海洋环境之中,有产生荷载作用的风、波浪、潮汐、海流、海冰、地震、海啸等,有影响工作条件的雨、雪、雾、霜、温度、湿度等,有关荷载计算涉及平台使用寿命的地基土壤、海水腐蚀、海生物附着、含盐度等。

在平台设计中,确定设计环境条件时,常将环境条件分为下列两种情况:

① 工作环境条件:是指平台在施工和使用期间经常出现的环境条件,以保证平台能正常施工和生产作业为标准。

② 极端环境条件:是指平台在使用年限内,极少出现的恶劣环境条件,作为保证平台生存的标准。其选用各种荷载重现期均应大于平台使用年限,我国的规范规定不小于 50 年。

对不同的设计环境条件其荷载资料取值及处理也是不同的。

应当尽量收集和充分掌握环境资料,才能对环境条件作出适当的、较切实际的分析。这些资料多来自水文、气象站和地震台。如果有条件可根据需要在有拟建平台的海域中增设相应台站,对已建成的海上平台,同时增设水文、气象观测站也是可行的,以不断扩大资料的收集和积累。

(3) 地质条件。

在平台设计之前,对平台位置海域进行地质调查,收集现场海底地貌情况,浅地层剖面及地球物理测量结果,以及周围土层的分类、时代、成因类型、状态、分布规律,软硬岩土层的接触关系及接触面的坡度、坡向,了解本海域不良工程地质现象,如海沟、古河道、断层及海底冲刷情况。根据以上资料,分析该场地工程地质条件,判定不良地层现象对平台安装的影响,推荐



适宜建筑地基的持力层。

2) 基础资料

与上述设计条件相关的平台结构设计基础资料主要包括下述内容:

(1) 环境条件资料。

① 地理位置:

地理位置包括油田及平台所处海域,离岸距离,经纬度数据等。

② 水深及水位水深及水位包括以下内容:

油田的海图水深,单位为米(m)。

极端高水位,单位为米(m)。

极端低水位,单位为米(m)。

根据极端高水位可以确定操作条件下的设计高水位。

根据极端低水位可以确定操作条件下的设计低水位。

③ 风、浪、流资料:

风、浪、流资料包括如下有关资料:强风向,强浪向,强流向。

重现期分别为1年、10年、25年、50年、100年的有效波高、最大波高,单位为米(m);有效波周期,平均跨零周期,波谱峰值周期,单位为秒(s)。

重现期分别为1年、10年、25年、50年、100年的1h平均风速、10min平均风速、1min平均风速、3s阵风风速,单位为米/秒(m/s)。

重现期分别为1年、10年、25年、50年、100年的表层流速、中层流速、底层流速,单位为米/秒(m/s)。

除此以外,应要求业主提供考虑方向的波浪、风和流3个参数的联合概率值。

④ 海冰资料:

包括:最大冰期,最小冰期,平均冰期,单位为日(D)。

重现期分别为1年、10年、25年、50年、100年的单层冰厚,单位为厘米(cm),及其抗压强度,单位为MPa;重叠冰厚,单位为厘米(cm),及其抗压强度,单位为MPa。

⑤ 海生物资料。

⑥ 地震资料:

地震资料包括地震烈度及地震加速度和地震反应谱等。

⑦ 地基资料。

地基资料包括钻孔资料和冲刷深度等。

(2) 荷载。

荷载参考各平台规范对环境荷载的计算方法。

2. 平台结构设计的资料交接

与平台结构设计相关的主要是结构专业与各专业的资料交接。至于这些资料在哪些阶段交接,需要按照设计项目组的规定执行,或者根据设计深度和内容来确定。

1) 结构专业与各专业的资料交接

结构专业与总体专业的资料交接:由总体专业按设计项目组规定的内容向结构专业提供