

国外油气勘探开发新进展丛书

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU



**OFFSHORE STRUCTURES
DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE**

**海洋结构物设计、
建造与维护**

[埃] Mohamed A.El-Reedy 著
贾旭 付殿福 贾鲁生 等译

石油工业出版社



国外油气勘探开发新进展丛书(十三)

海洋结构物设计、建造与维护

[埃] Mohamed A. El - Reedy 著

贾旭 付殿福 贾鲁生 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容涵盖了海洋结构物设计、建造及维护等方面的内容,系统而全面地阐述了海洋工程结构工程师在实际工作中经常遇到的各类问题,主要内容包括:海洋工程结构介绍、海洋结构载荷与强度、海洋平台结构设计、工程地质及桩基础设计、建造及安装、腐蚀防护、现有结构评估及维修、基于风险的检测技术等。同时,对固定式海洋平台结构设计、建造、检测和修复中的传统和先进技术进行了总体介绍,并给出了结构物加强及修复的准则及海洋平台维护计划的制订方法等具体实践的指导意见。

本书可作为在海洋工程设计、建造、修理和维护领域工程师的指导书籍,也可供相关专业高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋结构物设计、建造与维护/(埃及)埃尔里迪(El-Reedy, M. A.)著;贾旭等译.
北京:石油工业出版社,2016.9

(国外油气勘探开发新进展丛书;13)

书名原文:Offshore Structures Design, Construction and Maintenance

ISBN 978-7-5183-1167-5

I. 海…

II. ①埃… ②贾…

III. 海上平台-结构设计

IV. TE951

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第059360号

Offshore Structures Design, Construction and Maintenance

Mohamed A. El-Reedy, Ph. D.

ISBN:978-0-12-385475-9

Copyright © 2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2016 by Elsevier(Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

Published in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier(Singapore) Pte Ltd. 授予石油工业出版社有限公司在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2013-9049

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64523535 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:27.5

字数:626千字

定价:165.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书(十三)》

编 委 会

主 任：赵政璋

副主任：赵文智 张卫国

编 委：(按姓氏笔画排序)

刘德来 杨 帆 单彤文 周家尧

赵章明 侯玉芳 贾 旭 曹砚锋

章卫兵

《海洋结构物设计、建造与维护》

翻 译 组

组 长：贾 旭

成 员：付殿福 贾鲁生 倪侃侃 邵卫东

梁文洲 黄 佳 景海泳 王德军

卞雪航

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺,推动中国石油上游业务技术进步,本着先进、实用、有效的原则,中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量,对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进,并翻译和出版。

从2001年起,在跟踪国外油气勘探、开发最新理论新技术发展和最新出版动态基础上,从生产需求出发,通过优中选优已经翻译出版了12辑60多本专著。在这套系列丛书中,有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平,有些非常具有实用性,也是生产中所亟需。这些译著发行后,得到了企业和科研院校广大科研管理人员和师生的欢迎,并在实用中发挥了重要作用,达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。部分石油单位统一购买并配发到了相关技术人员的手中。同时中国石油天然气集团公司也筛选了部分适合基层员工学习参考的图书,列入“千万图书下基层,百万员工品书香”书目,配发到中国石油所属的4万余个基层队站。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可,三次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”,形成了规模品牌,获得了很好的社会效益。

2016年在前12辑出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出了国外最新出版的6本专著,即《油气藏勘探与评价》《石油工程手册——可持续生产》《完井设计》《海洋结构物设计、建造与维护》《液化天然气手册》《天然气脱硫与处理手册》,以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中,中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校工作,使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版,并和广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气集团公司副总经理

译者前言

随着世界范围内海洋石油工业的迅速发展,不同水深海域开采石油天然气的需求催生出了不同类型的海洋结构物。固定式海洋平台因其适用范围广泛以及其优异的可靠性和经济性,大量应用在近海油气开发工程中。

Mohamed A. El - Reedy 博士的专业背景是结构工程。他在多家不同的工程公司和跨国石油公司任专职顾问,并在美国石油学会等行业协会的资助下撰写了大量的关于海洋工程的专著。El - Reedy 博士多年的工作经验在本书中得到了集中体现。

本书内容全面,涵盖了海洋结构物设计、建造及维护等方面的内容,系统而全面地阐述了海洋工程结构工程师在实际工作中经常遇到的各类问题。本书主要内容包含了海洋结构物的上部载荷及环境条件分析,海洋平台设计方法、力学原理及相关规范解读,海上工程地质调查方法与实践、平台桩基设计方法,平台建造及安装过程中的各类注意事项及工程上的推荐做法,海洋结构物腐蚀防护系统设计方法,现有结构的评估及维护、基于风险的检测技术等。

该书提炼出了供设计者使用的简化设计工具,对固定式海洋平台结构设计、建造、检测和修复中的传统与先进技术进行了总体介绍,并给出了结构物加强与修复的准则以及海洋平台维护计划制定方法的具体指导意见。不仅对从事海洋平台结构设计、建造及安装工作的工程师具有直接的指导作用,而且对从事海洋平台维护以及检测评估和完整性管理的技术人员也具有重要的参考意义。

基于上述原因,译者将此海洋平台结构工程专著翻译成中文版,希望能为我国海洋工程发展及人才培养尽一份力。

由于译者水平有限,错误和不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

前 言

对于开始从事海洋结构物设计、制造及维护的结构工程师来说,海洋工程结构可能是一个“黑匣子”。大部分工程院系,尤其是在结构或土木工程专业,更关注于住宅、商业、医院及其他混凝土与钢结构建筑的设计,另一部分重点关注港口设计。

海洋平台的设计可以看成是钢结构设计方法与波浪、海流及其他载荷参数作用下的钢结构港口设计的综合体。另外,海洋平台设计的好坏也取决于工程技术公司自身的经验和和技术实践。

对于结构工程师来说,由于可以很直观地看到一栋陆上钢结构建筑的建造过程,因此对这一建造过程很熟悉。但除了项目的直接参与者,很少人能有机会接触到海洋平台的建造和安装,因为它的安装地点大多位于内海或大洋之中。目前世界范围内的海洋结构物远远少于陆上结构物,随着全球油气产业的快速发展,针对海洋结构物的设计指南等研究也在不断快速地进行。为了提高海洋结构物的设计可靠性进而提升石油开发项目的收益及公司的资产,主要的油气开发、生产公司大量资助于此方面的研究。

本书涵盖了海洋平台设计、建造及维护等方面的内容,并详细阐述了设计师在设计过程中经常遇到的关键问题。同时本书基于现行的规范(如 API 和 ISO)及其他技术标准和海洋工程结构设计中的推荐做法,提炼出了供设计者使用的简化设计工具。另外,对于大部分工程师在设计在校审环节中,设计的审查及质量控制方法是非常重要的,因此本书涵盖了海洋工程结构工程师工作的整个范围。

控制并保持海洋平台的防腐参数满足许用值而不至于影响结构物的整体性需花费大量的金钱,因此阴极保护系统的设计及选用,以及更高级的保护结构物免于腐蚀的方法对于结构工程师来说非常重要,此部分内容将在本书有深入阐述。

在油气工业领域,海洋平台是一笔可观的资产,因此本书另一个目标是协助结构工程师在工程研究阶段根据设计参数、业主所提出的限制条件等因素,确定影响方案判断、选择的设计因素。

对于海洋工程项目的业主、工程公司及承包商来说,项目整个生命周期的完整性是非常重要的。换言之,结构工程师应该从经济和工程两方面来看待结构物的系统及其功能。

大多数海洋平台建造于 1970—1980 年间的世界经济投资增长期,目前这些平台已经服役超过 40 年。因此,大量的老龄平台已经过修复,以保持结构的可靠性。最新定性与定量风险分析技术的完整性管理系统对基于风险的检测和维护是必要的,这种技术增强了平台在整个

生命周期内的可靠性。因此,本书介绍了符合经济要求的海洋钢结构平台的水上与水下部分检测、评估技术以及实施维护和修理计划的制定方法。

平台维修和加强的案例以及平台弃置方法等研究也非常重要。

本书可作为在海洋工程设计、建造、修复和维护领域工程师的指导书。

本书对固定式海洋平台结构设计、建造、检测和修复中的传统和先进技术进行了总体介绍,并给出了结构物加强与修复的准则及海洋平台维护计划的制订方法等。

作者简介



Mohamed A. El-Reedy 博士的专业背景是结构工程。他的主要研究领域为钢筋混凝土结构物的可靠性。他在多家不同的工程公司、埃及石油和天然气行业及埃及国际石油公司 (IEOC)、英国石油公司 (BP) 等跨国公司任专职顾问。此外,他为住宅建筑、仓库、通信塔和埃及沃利帕森的电气项目提供不同的钢筋混凝土结构设计包。他与国际工程公司一道参与了液化天然气 (LNG) 和天然气凝析液 (NGL) 项目。目前,El-Reedy 博士负责陆上混凝土结构物和海洋钢结构平台的可靠性、检测和维护策略等工作。他完成了红海苏伊士湾内数百座结构物的此类工作。

El-Reedy 博士为阿美石油公司 (ARAMCO)、英国石油公司、阿帕奇公司、阿布扎比海事作业公司 (ADMA)、阿布扎比国家石油公司、沙特阿拉伯王国内政部、卡塔尔电信、埃及综合石油公司、沙特阿拉伯基础工业公司 (SABIC)、科威特石油公司、卡塔尔石油化学公司等多个组织机构提供咨询和培训。他讲授关于混凝土结构物加强后的修理和维护,以及世界范围特别是中东区域混凝土行业的先进材料等技术课程。

El-Reedy 博士在美国土木工程师协会、美国机械工程师协会、美国混凝土协会、美国材料与试验协会、美国石油学会的资助下撰写了大量的专著,并在国际国内会议上发表了多篇论文。他在国际技术期刊上发表了大量的研究论文并出版了关于全面质量管理、质量管理和保障、工程项目经济管理、混凝土结构物的维修及保护方面的四部著作。他在 1990 年获得开罗大学学士学位,1995 年获得硕士学位,并于 2000 年获得开罗大学博士学位。

目 录

| | |
|------------------------|-------|
| 第1章 海洋结构物介绍 | (1) |
| 1.1 简介 | (1) |
| 1.2 海洋结构物发展历史 | (1) |
| 1.3 油田开发概述 | (2) |
| 1.4 FEED 阶段要求 | (6) |
| 1.5 海洋平台的种类 | (7) |
| 1.6 不同类型的海洋工程结构物 | (10) |
| 1.7 小型海洋平台 | (12) |
| 1.8 本书概述 | (13) |
| 参考文献 | (14) |
| 第2章 海洋结构物载荷与强度 | (15) |
| 2.1 简介 | (15) |
| 2.2 重力载荷 | (15) |
| 2.3 风载荷 | (27) |
| 2.4 楼梯设计 | (30) |
| 2.5 海洋环境载荷 | (31) |
| 2.6 极限承载设计 | (44) |
| 2.7 碰撞工况 | (49) |
| 2.8 火灾和爆炸 | (50) |
| 2.9 材料强度 | (51) |
| 参考文献 | (60) |
| 第3章 海洋平台结构设计 | (61) |
| 3.1 简介 | (61) |
| 3.2 基础参数 | (63) |
| 3.3 撑杆结构 | (66) |
| 3.4 导管架设计 | (67) |
| 3.5 结构分析 | (69) |
| 3.6 圆柱杆件强度 | (80) |
| 3.7 管节点的设计 | (95) |
| 3.8 上部组块设计 | (119) |
| 3.9 登船平台的设计 | (122) |

| | | |
|------------|------------------------|--------------|
| 3.10 | 立管保护 | (131) |
| 3.11 | 坐底稳性分析 | (131) |
| 3.12 | 栈桥 | (133) |
| 3.13 | 吊机载荷 | (134) |
| 3.14 | 吊装载荷 | (134) |
| 3.15 | 涡激振动 | (135) |
| 3.16 | 直升机甲板设计 | (136) |
| 3.17 | 结构分析和设计质量控制 | (140) |
| | 参考文献 | (143) |
| 第4章 | 工程地质及桩基设计 | (145) |
| 4.1 | 简介 | (145) |
| 4.2 | 调查步骤 | (145) |
| 4.3 | 土体测试 | (148) |
| 4.4 | 原位试验 | (150) |
| 4.5 | 土壤属性 | (157) |
| 4.6 | 桩基 | (161) |
| 4.7 | 冲刷 | (182) |
| 4.8 | 桩壁厚 | (184) |
| 4.9 | 打桩过程分析 | (189) |
| 4.10 | 土壤调查报告 | (193) |
| | 参考文献 | (195) |
| 第5章 | 建造与安装 | (201) |
| 5.1 | 简介 | (201) |
| 5.2 | 建造过程 | (201) |
| 5.3 | 工程执行 | (202) |
| 5.4 | 建造 | (202) |
| 5.5 | 导管架装配 | (215) |
| 5.6 | 重量控制 | (222) |
| 5.7 | 拖航、下水和吊装过程中的载荷 | (226) |
| 5.8 | 吊装过程及计算 | (227) |
| 5.9 | 装船过程 | (238) |
| 5.10 | 拖航过程 | (241) |
| 5.11 | 拖航载荷 | (249) |
| 5.12 | 下水和扶正 | (251) |
| 5.13 | 安装和打桩 | (253) |
| | 参考文献 | (256) |

| | |
|---------------------------|-------|
| 第 6 章 腐蚀防护 | (257) |
| 6.1 简介 | (257) |
| 6.2 钢结构涂层和腐蚀防护 | (265) |
| 6.3 大气、水和土壤作用下的腐蚀应力 | (268) |
| 6.4 阴极保护系统设计要素 | (270) |
| 6.5 设计案例 | (289) |
| 6.6 总体设计原则 | (289) |
| 6.7 阳极制造 | (290) |
| 6.8 阳极安装 | (290) |
| 6.9 阳极尺寸公差 | (292) |
| 参考文献 | (293) |
| 第 7 章 现有结构评估及维修 | (294) |
| 7.1 简介 | (294) |
| 7.2 API RP 2A 历史背景 | (294) |
| 7.3 固定式海洋工程设计的 DEN/HSE 指南 | (300) |
| 7.4 环境载荷设计实践的历史评估 | (303) |
| 7.5 API RP 2A 结构抗力公式的发展 | (305) |
| 7.6 圆柱形构件的许用应力 | (305) |
| 7.7 火灾失效 | (314) |
| 7.8 案例研究——平台失效 | (324) |
| 7.9 平台评估 | (331) |
| 7.10 案例研究——平台弃置 | (343) |
| 7.11 冲刷问题 | (345) |
| 7.12 海上平台修复 | (346) |
| 参考文献 | (367) |
| 第 8 章 基于风险的检测技术 | (370) |
| 8.1 简介 | (370) |
| 8.2 SIM 方法 | (371) |
| 8.3 结构定性风险评估 | (371) |
| 8.4 水下检测计划 | (396) |
| 8.5 阳极改进维修计划 | (405) |
| 8.6 评估流程 | (407) |
| 8.7 缓解措施和风险降低 | (410) |
| 8.8 时间推移引起的构件失效 | (413) |
| 参考文献 | (413) |
| 附录 单位换算表 | (415) |

第1章 海洋结构物介绍

1.1 简介

海洋结构物具有其特定的经济性和技术性特征。经济性——海洋结构物的建造受石油和天然气产量的影响,油气产量同时与国际投资直接相关,并且受国际油价周期性波动影响。例如,受2008年国际原油价格升高影响,此阶段启动了大量海洋结构工程项目。技术性——海洋结构物的设计和建造是钢结构设计与港口设计建造的综合体。

由于海洋结构工程项目与房屋厂房等常规钢结构工程项目相比数量有限,所以仅有少量的工程类院校专注于固定式、浮式或其他形式平台等海洋工程结构;另外,海洋工程结构物的建造需要世界范围持续而广泛的研究。

所有石油天然气行业的跨国公司均对海洋结构物有兴趣,这些公司对该领域科研和发展的持续资助将增强其旗下工程公司及建造承包商的技术能力,以达到支持其自身业务发展的需要。

1.2 海洋结构物发展历史

早在1909—1910年,一口在美国路易斯安那州开钻的油井,在木质桩基础上建成的木质平台上安装了木质井架。

过去的40年间,发展出了两种主要形式的固定式平台:钢结构固定平台,最早应用于墨西哥湾(GoM);混凝土重力式平台,最早应用于北海。近年来,张力腿式平台被应用于深水钻井及天然气开发项目。1976年,埃克森美孚(EXXON)在美国加利福尼亚州圣巴巴拉湾水深259m处安装了一座平台。1950年,在墨西哥湾和圣巴巴拉湾油田正在开发时,英国石油公司(BP)在波斯湾的阿布扎比海域也在从事类似的勘探工作。波斯湾水深在30m以内,油田开发一直在稳步进行。

海上固定平台的3个基本设计要求如下:

- (1) 承受建造、运输和安装期间所有载荷的能力;
- (2) 承受极端风暴工况和地震工况下载荷的能力;
- (3) 具备安全钻井、生产和居住的功能。

20世纪60年代,当飓风对墨西哥湾的平台造成了极大破坏后,上述第二条要求被人们重视起来,开始重新评估平台的设计标准。1964年,飓风“希尔达”带着13m高的巨浪、89m/s的风速,摧毁了13座平台。次年,飓风“贝琪”对许多平台造成了损坏,并摧毁了3座平台。由于飓风“希尔达”和“贝琪”是100年一遇的飓风,设计者们放弃使用25年一遇和50年一遇的设计标准,改用100年一遇的标准来设计。

1.3 油田开发概述

基于地质和地球物理学研究,以及截至1996年1月的石油天然气发现,显示全球石油储量的53%在政治敏感的中东地区。60%的储量由欧佩克(OPEC)组织控制。很明显,欧佩克组织和中东对当前世界的能源供给是至关重要的。

大部分研究人员相信,主要的陆地油气储量均已被发现,主要的潜在发现将处于北极和其他难以到达的海洋区域。

地质学研究阐述了为什么北美、西北欧、西非沿岸和南美洲具有类似的潜在深水油气产物。早期地质历史阶段,沉积物被存储于流通受限的盆地,而后转化为在这些地区海岸区域的超源岩。这些地质形式的出现是油气存在的早期征兆,但在确认可行的油气生产方案和选择最好的生产计划之前,明确储层特性的勘探工作必须完成。地质学家和地球物理学家首先要评估该区块的地质形式并确定是否具有潜在的油气储量。

在地质学家和地球物理学家确定该区块的经济可行性之后,可以准备进行投资、工程进度、收益率估算等进一步的开发行动。接着选取最具效益的开发生产计划方案。

在此阶段,由于缺少详细的储层特性、未来市场条件以及油田开发方案等信息,专家们需基于自身的经验、以往项目的投资以及开发生产方案来进行判断。优秀的油气公司获益于优秀的专家,因此,大部分公司均有此类专家人员,且相互之间竞争以招聘更好的专家。经验数据不足时,由专家和管理层人员开展头脑风暴,此类行动极大地影响着公司的文化及经验。

油藏管理方案受油藏流动特性、油藏规模、地形、地区政治、公司与合作者的文化以及整个油田开发的经济性等因素影响。井身结构设计和完井设计也受到相同的因素影响,并且影响着油藏管理方案。平台、生产处理设施、储运系统同样受上述所有因素影响。

油田开发计划应考虑以下因素:

- (1)油藏特性;
- (2)油品组分(油、气、水、硫化氢等);
- (3)油藏不确定性;
- (4)环境(水深等);
- (5)区域发展状态;
- (6)当地技术可行性;
- (7)政治;
- (8)合作者;
- (9)企业文化;
- (10)开发进度;
- (11)设备;
- (12)建造厂商;
- (13)市场;
- (14)经济性。

在可行性研究阶段,如果初步经济评估具有收益,随后地球物理学家进行地震评估。这些数据包含有用的油藏特性,如油藏深度、范围、断层、构造以及预估可采储量等。

如果地震分析结果是有利的,并决定进行下一步开发,则开始打探井。基于水深、环境等信息确定适当的开发计划表。自升式平台适用于浅水区域,船形或半潜式钻井装置适合于水深超过 120m 的区域。对于水深超过 300m 区域,浮式钻井装置需特殊的锚链系统或动力定位系统。浮式半潜钻井平台的适用作业水深为 900 ~ 1200m。

探井工作完成之后是打开发井阶段,此阶段需要在预定油藏点位钻 3 ~ 6 口井。石油和天然气的测试工作将给出可靠的油藏规模、深度、断层、防渗层,以及可采储量、黏度(API 等级)、流体特性(含油率、含水率等)、含硫及其他关键组分等。

根据这些油藏信息,地质学家和地球物理学家可以估算油田开发的井数和井位,以及油、气、水的产量。并通过这些信息选定生产设备设施、外输系统等。

很明显,准确的油藏数据对油田开发具有重要的影响。对于边际油藏和复杂油藏,可靠的油藏数据和多样性的生产设施是非常重要的。

1.3.1 油田开发投资

对于一个新项目或已有设施的油田开发要分多步进行。第一步,油藏数据和环境数据等输入参数的收集,钻井和井口等主系统、设施与解脱系统等组件选择与设计、经济性等评定标准的确定。第二步,评估满足各项输入参数的不同油田开发方案,建立符合决策标准的相对价值。这个设计流程中,应将油田开发系统及其他每一个系统考虑在内。

下阶段,开始对一个选定的系统进行初步设计。在此阶段,主要针对系统组件和详细单元进行选择。经过此阶段,开始对设计进行筛选,直到工程中的所有单元和操作规则在技术层面上满足要求。应规划好所有的系统组件和项目施工工作。一旦完成本阶段设计,尽量不对该系统及其部件进行变更,以避免造成工期拖延和预算超支。

作业阶段包含日常维护、生产、修复和再评估、运输等。可行的油田开发方案被不断地更新和完善,最适合方案的选择与油田的勘探、评价同时进行。所有项目的基本设计阶段开始前的进程叫做 FEED(前端工程设计)阶段。FEED 是油田开发时间轴上的最重要阶段之一。一个理想的油田开发进度表应在基本设计开始前给所有 FEED 工作留有充足的时间。

FEED 阶段,在设置好甲板上所需设施后,进一步确定平台的几何形状。使用结构分析软件进行初步的结构分析,以确保构件与载荷相匹配,恰当的甲板尺寸及几何形状需满足甲板设施的要求,并在此阶段根据水深,选定平台水面以下部分(导管架)的结构系统及其建造方法。对新项目的项目管理,这称为选择阶段。

经验表明,FEED 阶段将确定可行的方案,发展、评估并选择相应的设计理念,并完成概念设计。FEED 阶段通常需花费油田开发建设总费用(TIC)的 2% ~ 3%,对投资、工期、工程质量及工程的成功具有巨大的影响。如果未进行 FEED 阶段的设计,常会出现主投资超支的现象。通过再分析发现,如果有一个令人满意的 FEED 阶段,将能实现 50% TIC 的投资节省。

图 1.1 给出了项目在不同阶段 TIC 实际估算值的变化。通常,对油田开发系统经济性和其他特性的了解将促进我们沿着正确的油田开发时间轴前行。在 FEED 的开始阶段,有大量的可行方案选项及良好油田开发概念的选择,将深刻地影响项目的成功与否。在 FEED 的概念设计阶段,如井口系统、平台、上部设施、运输和其子部件、船体、系泊系统、系泊链、生活楼、工艺系统、公用系统、海管、储藏室和立管等均需确定,并需准备好投资概算及工期的估计。系

统组件及子部件的确定和选择对投资和(或)工期也有较大影响。在此阶段, TIC 估算的精度为 $\pm 15\% \sim \pm 25\%$ 。

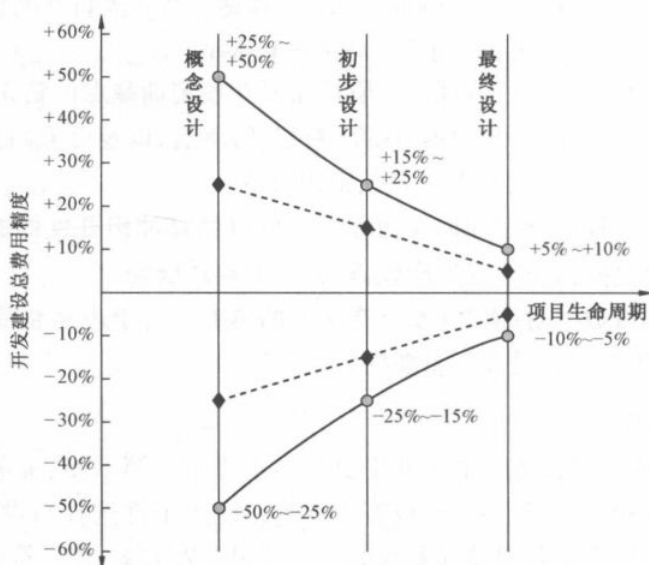


图 1.1 项目在不同阶段油田开发建设总费用(TIC)
实际估算值的精度

经验表明,一个采用常规组件的标准项目的可操作性风险较低。Karsan(2000)的海洋工程项目调查发现,90%的具备实质性创新的项目均存在可操作性问题,因此在油田开发系统中使用新点子新组件时需格外谨慎,避免引出不必要的麻烦。

初步设计和基本设计阶段包括工艺流程图(PFDs)和油田准备、设备布置,配管和仪控系统流程图(P&IDs)、平台总体图纸、材料和设备清单、数据表,规格书和最终工程设计、采办和建造(EPC)投资及工期估算等。基本设计阶段允许一些子组件及规格书层面的系统优化。在此阶段 TIC 估算的精度为 $\pm 15\% \sim \pm 25\%$ 。

随着油田开发时间的推进,设计对投资的影响逐渐减小。在概念开发阶段,正确的概念设计对 TIC 有主要的影响。详细设计和建造阶段,建设总费用的节省通常源自于良好的项目控制与执行。这个阶段由工程承包商提供详细的工程分析和设计、批准的施工(AFC)图纸、运输、安装、预调试、装置连接、调试等方案。在项目计划执行过程中,有效的项目管理,投资、进度和质量控制,检验,质量和安全保障,采购和文件管理等对 TIC 均有影响,但不如 FEED 阶段影响深刻。过去的经验表明,在建设开始阶段 TIC 估算的精度为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。

大多数情况下业主要集中关注早期的生产阶段。例如,在钻井完成后要完成 18 口井的井口保护辅助器,生产平台安装完成后直接达到 $10 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ 的产油量。生产平台安装一年后 36 口井全部完成,并达到 $20 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ 的产油量。

另一个例子,在北海海域,一座单体自给塔式平台安装完成,3 个月之后产油量达到 6000 bbl/d ,平台安装两年半后要求钻完 26 口井,达到 $20 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ 产油量。

对于综合平台,第 3 年第 2 季度(也就是开始有原油产出时)出现了最高的负现金流。随后,产出石油正现金流的出现开始抵消前期投资和操作成本的负现金流。累积现金流为零的