

国外油气勘探开发新进展丛书

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU



SUBSEA PIPELINE ENGINEERING (2nd Edition)

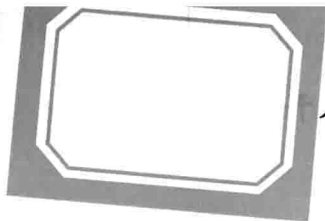
海底管道工程

(第二版)

〔英〕安德鲁 C. 帕尔默 罗杰 A. 金 著
梁永图 张妮 黎一鸣 等译



石油工业出版社



发新进展丛书 (十)

海底管道工程

(第二版)

[英] 安德鲁 C. 帕尔默 罗杰 A. 金 著

梁永图 张妮 黎一鸣 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书阐述了海底管道的选线和规划、设计、铺设、安装、材料及其腐蚀、检测、焊接、维修、风险评估、相关设计标准和规范等内容,并且对管道水力计算、强度、稳定性、断裂、向上和侧向弯曲以及管道退役等进行了详细论述。

本书可供从事海底管道工程设计、施工的技术人员和管理人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

海底管道工程:第2版/(英)帕尔默,(英)金著;梁永图等译.
北京:石油工业出版社,2013.8

(国外油气勘探开发新进展丛书;10)

书名原文:Subsea Pipeline Engineering

ISBN 978-7-5021-9576-2

I.海…

II.①帕…②金…③梁…

III.水下管道-海底铺管-工程技术

IV.P756.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第085840号

Translation from the English language edition:"Subsea Pipeline Engineering, 2nd Edition" by Andrew C. Palmer and Roger A. King.

Copyright © 2008 by PennWell Corporation, All Rights Reserved

本书经 PennWell Corporation 授权翻译出版,简体中文版权归石油工业出版社有限公司所有,侵权必究。

著作权合同登记号 图字:01-2010-3916

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523535 发行部:(010) 64523620

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

2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:22

字数:531千字

定价:96.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书（十）》

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）

于兴河 马 纪 刘德来 李保柱

张仲宏 陈建军 周家尧 郭 平

章卫兵 梁永图

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9辑50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生产管理、科技人员的欢迎，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的技术人员手中。同时中国石油总部也筛选了部分适合基层员工学习参考的图书，列入“石油图书进基层活动”书目，配发到中国石油所属的4万个基层队站。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，产生了很好的社会效益。

2012年在前9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《油气储层表征》、《深水沉积过程与相模式》、《碳酸盐岩油气藏开发新技术》、《天然气工程手册》、《天然气开采工程》、《海底管道工程》，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人员，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。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



译者前言

当今世界能源需求不断增加,经过多年的勘探开发,陆上油气资源逐渐匮乏。而海上油气资源的勘探资料表明,海底蕴藏着丰富的石油和天然气资源,海洋油气资源开发的前景十分广阔。随着海上油气田产出原油和天然气量的不断增长,需要借助更多更长的海底管道将采出的油气输送至陆地终端进行储存或加工处理。海底油气管道是海洋油气集输与储运生产系统中的一个重要组成部分,将海上油气田与陆上石油工业系统联系起来,因此,海底管道工程在现代石油工业中具有相当重要的地位。

译者长期致力于管道工程的科学研究和教学工作,近年来在教学和科研实践中,发现国内海底管道工程类书籍较为缺乏,经过长时间的文献调研,选择国外优秀的书籍进行翻译出版,以开拓该学科领域国内外相互交流和学习的渠道,扩展视野。

本书译自安德鲁 C. 帕尔默和罗杰 A. 金所著的《海底管道工程》(第二版),全书共 18 章,涵盖了海底管道工程相关各领域的内容,包含海底管道历史,管道路线和材料的选择,管道直径和壁厚的确定,管道内外腐蚀机理及防腐保护措施,焊接操作,管道水力计算,管道强度和稳定性设计,管道铺设方法,管道屈曲和悬空,管道检测,维修准则及相关案例介绍、管道退役、未来发展等。

本书的翻译工作由梁永图组织完成,其中第 1、第 2、第 9 至第 17 章由黎一鸣翻译,第 18 章由肖俏翻译,第 3 至第 8 章由张妮翻译,全书由梁永图统一校对。本书在翻译和出版过程中还得到了何国玺、杨桢、张雪琴、冯浩等的帮助,在此一并表示感谢。

尽管译者付出了艰辛的劳动,并力求反映作者的原意,但由于水平所限,翻译不当之处在所难免,望读者批评指正。

译者

2012 年 11 月

前言

海底管道工程是石油天然气工业的重要分支，尽管在视觉上没有海上平台和浮式生产系统壮观，但在工程实践中非常重要，并且人们对此充满了激情和兴趣。该领域内的技术取得了巨大的进步，20年前还停留在梦想阶段的工程如今已经成为现实。

一个很偶然的机会让我接触到了这一行业。1965年，我在布朗大学完成博士学位，之后在剑桥授课，1970年我受邀回到了布朗大学并在那里度过了整个夏天。当时阿拉斯加输气管道正在建设中，以前工程学院的同事记得我曾经研究过冻土，并且他们在环境岩土力学领域内有一定的科研资金，于是他们询问我是否对此有兴趣并提供资助。我对该问题非常感兴趣，后来我通过剑桥的同事联系到了英国石油公司（BP）在伦敦研究该问题的工作人员。我向他们表达了我并不是为了钱而是渴望能有一个好的研究题目的意愿。于是他们将解冻冻土的不均匀沉降问题交给了我，我对此进行了研究并与休斯敦的管道项目组取得了联系。

一年后，BP再次联系我并告知计划中的北海福蒂斯油田的第一条大口径海底管道出现了一些问题，这条管道位于水深125m处，这在当时被认为是深海。

“这听起来很有意思，”我说，“但我对海底管道一无所知。”

“我们认为这正是优势，”他们回复道，“你可以带来全新的想法，加入我们吧！”

这个电话改变了我的人生。在此后的数年中，我在铺管机理、屈曲传播、管道与沙波间的相互作用和表面牵引等领域进行了许多研究。从那以后，我的大部分研究都是关于管道的。1975年我开始为海底管道工程领域内的顶尖顾问R.J. 布朗事务所工作，业务遍及北海、加拿大北极圈和中东。在那段时间我认识了本书的合作者罗杰 A. 金，随后我们一起在曼彻斯特理工大学（UMIST）工作。10年后，我开设了自己的咨询公司安德鲁·帕尔默事务所并研究那些遍布各大洲的令人激动的项目。

每一本书都有其存在的价值。尽管当时已经有很多关于陆地管道和河口管道的优秀书籍了，但本书是唯一涵盖海底管道工程的书籍，我们相信这一点，而更重要的是很多人也向我们证实了这一点，这也是我们编写本书的原因。已经有很多技术论文发表了，但大部分都是会议论文并且不能随意获取。我和罗杰认为，将它们整理在一起供非专业人员阅读，同时对那些我们没有详细介绍的方面也提供了参考。本书主要考虑的是在相对高压下并且有时在极深的水中运行的输气管道，但其中涉及的很多方法对输水管线和排污管线同样适用。

毫无疑问书中会出现错误，我们希望读者能指出这些错误。

笔者在第二版中更新了数据资料，更正了错误并指出了新的发展方向，衷心希望读者能为此书提出宝贵建议使其日臻完善。

于新加坡和曼彻斯特

2007年7月26日

鸣 谢

我非常感谢这些年来帮助过我的人们，尤其是鲍勃·布朗和杰克·埃尔斯。杰克·埃尔斯是英国石油管道领域的专家，是他让我这个从未听过铺管船的应用力学学者在海底管道领域有所建树。他对于可实现的事物和可能存在的困难有着敏锐的洞察力。5年后，我开始为鲍勃工作。他愿意接受我这个从未在大学校园以外工作过的人，并且在很多方面给予我指导。他富有创造力，魅力超凡，充满活力并且有很多新的想法，他的很多创意都在海底管道实践中起到关键作用。

我曾工作过的剑桥大学、布朗大学、利物浦大学、曼彻斯特科技大学、哈佛大学、R.J. 布朗事务所、安德鲁·帕尔默事务所、科学应用国际公司 (SAIC)，以及很多客户公司和我参加过的专业课程都使我获益良多，同事们给予我的友谊和建议使我受益匪浅。我在剑桥大学的科研工作得到了面向剑桥大学和丘吉尔学院的贾法尔基金的慷慨资助，在此我对哈米德·贾法尔先生的支持和鼓励表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中提供过帮助的人非常多，除了杰克·埃尔斯、鲍勃·布朗和哈米德·贾法尔外，我还要特别感谢杰克·阿普加、史蒂夫·布思、戴维·布鲁顿、克里斯·卡勒丁、马尔·科姆卡尔、菲尔·科比什利、奈杰尔·柯森、丹·德鲁克、肖恩·福克斯-威廉、帕特·方丹、加里·哈里森、威洛特·希尔德 (Willot Heerde)、雅克·海曼，以及乔治·欣克尔、戴维·凯、约翰·肯尼、易卜拉欣·科努克、卡尔·兰纳、B J·洛、艾伦·尼多罗达 (Alan Niedoroda)、马林科·奥弗沃特 (Marinke Overwater)、阿曼达·派亚特、艾伦·里斯、吉姆·赖斯、安德鲁·斯科菲尔德，另外，还有特德·舒尔茨、西蒙·肖、劳伦斯·特博思 (Lawrence Tebboth)，以及斯图·托兰 (Stu Tholan)、约翰·寺津 (John Tiratsoo)、戴维·沃克和罗恩·沃特金斯。

非常感谢本书的合著者罗杰 A. 金，他是一个富有幽默感和耐心的人。在一次雅加达到新加坡的飞机上，罗杰和我想到要出本书，这本书陪伴我们经历了很多。此书是在哈佛大学休假的一年内完成的，哈佛有着平静但又能鼓舞人心的气氛，我很感谢坎布里奇允许我请假去那里写书。

第 12 章中的图片由 Heerema 公司、Allseas 公司、德希尼布-科弗莱西普 (Technip-Coflexip) 公司、Saipem 公司和环球工业公司提供，在此我和罗杰 A. 金表示衷心的感谢。封面图片由 Saipem 公司提供。

感谢 PennWell 公司员工的大力支持，尤其是马拉·帕滕森和休·罗兹·多德，他们为本书出谋划策，并纠正了很多晦涩难懂和表达不当之处。

感谢我的妻子简和女儿埃米莉对我一直以来的理解和支持。

最后，感谢新加坡国立大学校长施春风，院长锡然教授，陈恩颂 (Chan Eng Soon) 教授，周耀桑 (Choo Yoo Sang) 教授，周巧本 (Choo Chiau Beng) 和查尔斯·富为我提供在新加坡国立大学工作的机会；感谢珍妮·科博斯基 (Korbosky) 为第 2 章绘制的地图；

感谢 CE5712 组的学生，PennWell 公司的特雷莎·巴伦茨菲尔德（Barensfeld）和托尼·奎，感谢所有对本书提出宝贵意见和为我们指出错误的人。

安德鲁 C. 帕尔默

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 目的	1
1.2 本书是如何组织的	2
1.3 历史背景	3
第 2 章 选线	5
2.1 概述	5
2.2 物理因素	6
2.3 与其他海床使用者之间的关系	7
2.4 环境和政治因素	8
2.5 案例研究	9
第 3 章 碳锰钢	13
3.1 概述	13
3.2 管道采购	13
3.3 材料性能	16
3.4 管道生产	29
3.5 制管	35
3.6 管道参数	41
3.7 规格清单	42
第 4 章 提高耐腐蚀性能	44
4.1 概述	44
4.2 提高耐腐蚀性的方法	46
4.3 适用的耐腐蚀合金	51
4.4 耐腐蚀合金管道制造	56
4.5 内复合管的焊接	62
4.6 耐腐蚀性评估	62
4.7 外保护层	63
4.8 造价对比	63
第 5 章 焊接	67
5.1 概述	67
5.2 焊接工艺	67
5.3 焊接作业准备	70
5.4 焊接次序	72
5.5 人工、半自动和自动焊接	73

5.6	焊缝组成	74
5.7	焊接强化机理	75
5.8	热影响区	75
5.9	焊缝缺陷	76
5.10	管钢的可焊性	79
5.11	焊接材料组成和涂层	80
5.12	双相不锈钢的焊接	81
5.13	复合管的焊接	82
5.14	焊接检验	82
5.15	焊缝优先腐蚀	84
5.16	下游焊缝腐蚀	84
5.17	不完全穿透	85
5.18	未来可用的焊接技术	85
5.19	水下焊接	87
5.20	服役中管道的焊接	90
5.21	堆焊	91
第 6 章	柔性和复合管线	93
6.1	概述	93
6.2	制造	94
6.3	内腐蚀	100
6.4	酸性服役	101
6.5	外部腐蚀	101
6.6	柔性管的失效模式	102
6.7	柔性管的检测	102
6.8	复合管线	103
第 7 章	内腐蚀与防腐	105
7.1	概述	105
7.2	腐蚀机理	107
7.3	甜性腐蚀	109
7.4	输油管线中的腐蚀	114
7.5	输油管线中流动对腐蚀的影响	115
7.6	输油管线中的固体	117
7.7	输气管线中的腐蚀	118
7.8	输气管线中流动的影响	120
7.9	酸性腐蚀	122
7.10	注水管道	130
7.11	腐蚀抑制	131
7.12	微生物腐蚀	133
第 8 章	外腐蚀、防腐层、阴极保护以及混凝土防护层	139

8.1	外腐蚀	139
8.2	外涂层	141
8.3	阴极保护 (CP)	149
8.4	混凝土配重层	166
8.5	隔热	169
第 9 章	管道水力学	174
9.1	概述	174
9.2	牛顿流体的单相流动	174
9.3	计算示例	179
9.4	热传递和流体温度	181
9.5	水合物	182
9.6	多相流	183
第 10 章	强度	187
10.1	概述	187
10.2	抗内压设计	187
10.3	抗外压设计	191
10.4	纵向应力	194
10.5	弯曲	197
10.6	凹痕	202
10.7	冲击	203
第 11 章	稳定性	206
11.1	概述	206
11.2	设计海流	206
11.3	设计波浪	207
11.4	流体动力	210
11.5	横向阻力	216
11.6	稳定性设计	217
11.7	与海底不稳定性的相互作用	220
第 12 章	海底管道铺设	225
12.1	概述	225
12.2	前导铺管船法	225
12.3	卷筒铺管船法	232
12.4	牵引	234
12.5	沟渠铺设	237
第 13 章	管道接岸	243
13.1	概述	243
13.2	海岸环境	243
13.3	现场勘查	245
13.4	海滩穿越	245

13.5	水平钻	249
13.6	岩石海岸	250
13.7	隧道	250
13.8	潮滩	250
第 14 章	上浮屈曲、侧向屈曲及悬空	253
14.1	概述	253
14.2	上浮屈曲	253
14.3	上浮屈曲和侧向屈曲的驱动力	254
14.4	上浮运动分析	256
14.5	可用于防止屈曲的措施	258
14.6	屈曲发生后的改进方法	259
14.7	侧向屈曲	259
14.8	悬空形成	260
14.9	涡流产生的振动	261
14.10	过应力	264
14.11	管道钩挂	265
14.12	悬空修正	266
第 15 章	内部检测和腐蚀监测	271
15.1	概述	271
15.2	接入	272
15.3	检测技术	273
15.4	清管器	275
15.5	腐蚀监测：侵入技术	278
15.6	腐蚀监测：非侵入技术	284
15.7	流体样品	285
第 16 章	风险、事故及维修	287
16.1	概述	287
16.2	失效事故	287
16.3	可靠性理论	291
16.4	风险最小化：完整性管理	294
16.5	维修	295
第 17 章	退役	298
17.1	概述	298
17.2	法律和政治背景	298
17.3	其他方法	299
第 18 章	未来发展	302
18.1	概述	302
18.2	设计	302
18.3	材料	303

18.4	连接	304
18.5	铺设	306
18.6	维修保养	306
附录 A	词汇表	309
附录 B	规范和标准	321
B.1	背景	321
B.2	可用规范的基本原理	322
B.3	极限状态概念的影响	323
B.4	风险	324
B.5	二级结构可靠性分析的影响	326
附录 C	单位	328
C.1	简介	328
C.2	长度	328
C.3	体积	329
C.4	力	329
C.5	压力	329
C.6	密度	329

第1章 绪论

1.1 目的

人们常常需要将流体从一个地方输送到另一个地方。有时需要长距离、大量地输送水、原油、天然气和二氧化碳等流体；而其他流体，如蒸汽、乙烯、血液、牛奶、酒、氨、水银、硝酸甘油和石化制品则常常采用少量或较短距离的输送方式。

目前有3种有效的流体输送方式。第一种是将液体倒入罐中，然后将装满液体的罐运送到需要液体的地方后将罐中液体全部卸出。这种方法基本包括可移动的罐体及装卸的方式。第二种方法是在流体的所在地和需求地之间建设一条管道，然后通过管道泵送流体。第三种方法，有时是与前两种方法结合起来使用，即把流体转换成固体或另一种更容易输送的流体。

罐车输送方法十分灵活且投资成本较低，但其运行成本较高。该方法适用于小批量、高价值流体（如水银、酒、血液和氨）的输送。罐装可以保护流体免受外界污染。而输送的液体可能有泄露和损害环境的风险，这取决于储罐的完整性。由于该方法的灵活性，它被广泛应用于海路运输石油和液化天然气。同样的巨型油轮（VLCC）可以在一次航程中将原油从中东运输到日本，而在另一次航程中将原油从阿拉斯加运输到加利福尼亚。在航运过程中可以出售和转售货物，货物的输送目的地可以更改，还可以将部分货物卸载到另一个地方。在没有管道的地方可以通过铁路槽车来实现原油的长距离输送。产于俄罗斯中部的原油即是通过铁路输送至俄罗斯远东地区的；在油田的产量增加到适合建设一条管道的水平之前，英格兰南部威奇法姆油田的原油都是通过铁路运输出口的。

相比之下，管道输送的方法就显得不那么灵活了。管道是一种需要大量资本成本的固定资产。但是，一旦铺设完成，管道的运行和维护成本相对较少，其运行周期可达40年或更久。一条陆地管道很容易受到战争或恐怖袭击的损害，并且管道途经的某个国家的政治干扰还可能造成管道运行中断。正是这一原因阻碍了中东到欧洲的原油管道建设。目前为止，从尼日利亚到欧洲的天然气管道的建设仍处于搁置状态（该方案最近已获得了新的关注）。管道运输的能耗很少，与使天然气液化、运输液化天然气（LNG）和再汽化的能耗相比，它所消耗的能量确实要小得多。

现在，有越来越多的原油和天然气都产自海上油气田，这些产物往往需要借助管道运至海岸。在油田内部，将原油和天然气从采油树和汇管运输到平台上或是从一个汇管输到另一个汇管，这些都是通过管道实现的。有时需要将一个油田生产的天然气运输到另一个油田注入地层以维持油藏压力。也可以将处理过的海水注入油藏中以驱替原油。有时会将二氧化碳从天然气中分离出来并再次注入，北海的史利普纳（Sleipner）油田和印度尼西亚海域的纳土纳（Natuna）油田就采用了该工艺。

很多管道的主体在陆地上，但仍有部分管段不得不穿过海域、岛与岛之间的海峡和河

口湾地区。第2章中描述了两个例子,第一个例子是一条到加拿大西部温哥华岛的管道,第二个例子是一条从阿尔及利亚到西班牙的管道。目前一些大型的长距离管道工程中就包括此类穿越,例如从俄罗斯到德国以及从卡塔尔到印度和巴基斯坦的管道。

这些管道主要是输送天然气和原油,但水的运输同样也很重要。人们认为,随着世界人口的增长,水会成为一种比能源更重要的资源,将会成为冲突的主要源头。一些项目都是针对长距离输水管道的,为了满足应用需求,输水管道必然是大型管道。

现在人们越来越关注燃烧化石燃料后释放到大气中的二氧化碳,以及由此对全球气候所产生的影响。一种缓冲的方法是在产生大量二氧化碳的大型发电厂和水泥厂捕集二氧化碳,然后将其储存在深海中或海底下的地层中。如果这些方法能通过,为了改善二氧化碳对气候的巨大影响则需要处理大量的二氧化碳,因为现在每年的释放量为 $70 \times 10^6 \text{t}$ 。任何涉及海洋的存储方案都对管道有大量的额外需求。

水也必须要处理。排污管将处理过的污水和雨水排放到海洋或河流中。沿海发电站从入口处吸入冷却水并通过排水管排出温度较高的水。排水管还被用于排放尾矿和原污水等。由于在环境和法律上对这些处理方法的反对呼声很高,因此,与过去相比,这些方法用得很少了。

第1.2节对本书的结构进行了陈述。第1.3节对管道历史进行了简要介绍。

1.2 本书是如何组织的

书中各章的主题涉及的领域与管道工程师所需要的知识十分吻合。

管道系统设计者的首要任务是选择管道路线。有时这一任务很简单:如果海底平坦且没有什么显著特征,两端点间的直线是最短也是最经济的管道路线。但往往会有各种各样的障碍和干扰使得设计者不得不选择一条更复杂的路线。涉及的因素可能是物理的、环境的、政治的或其他涉及海底的人类活动。

然后设计者要考虑材料。很多管道是由低合金碳钢制成的,这是一种坚固、经济的材料。但管道中的流体对碳钢的腐蚀速率太快以至于不能采用该材料。因此,设计者不得不考虑耐腐蚀合金、柔性材料或复合材料。每一种选择都比低合金碳钢要贵得多,还会出现如连接困难等其他问题,但从整体方案来看比低合金碳钢经济。关于材料的组成和规格的具体决策涉及很多因素,如耐蚀性、可焊性、强度、断裂韧性和成本等。管道必须要连接起来,因此如果采用焊接方式连接管道,那么需要慎重地考虑选材。

下一个任务是确定管道的直径。如果直径太小,则管道两端之间的压降会非常大;但如果直径太大,则成本会不必要地大幅增加。管道中的两相流也可能出现不符合要求的流动模式。

另一个要选择的是管道壁厚。这主要是一个结构工程的问题,设计师要确保管道有足够的强度来承受多种载荷,包括内压、外压、管道建设期发生的弯曲和疲劳、集中载荷以及冲击。

几乎所有的水下管道都有外涂层来防止腐蚀损害,还配有阴极保护系统以防止在涂层损坏情况下的外部腐蚀。很多管道上都有附加的混凝土加重层,使管道在波浪和海流中能保持稳定并防止防腐涂层受到机械破坏。一些管道上有一层或多层绝热层以保证流体一直处于高温下。还有一些管道有内涂层作为防腐保护或提供光滑的内表面以减少流动阻力。

管道必须是可施工建造的。设计者需要知道可用的建设系统的限制条件,并且必须将管道设计成能在安全和经济的条件下建设的。很多管道采用挖沟铺设或埋入铺设以防止管道受到水动力作用和机械损害,或为管道提供热隔离以及防止管道的上浮屈曲。

管道并不总是与海底接触,在剖面图上的低点处有可能出现管道悬空跨越。悬空管段会导致各种结构问题,因此可能需要修正。不平整的海底剖面也会导致垂向屈曲,此时管道在海底上方呈拱形。对该点处的管段也必须采取保护措施,如果有必要的话要进行修正。管道也可能发生横向屈曲。

运行中的管道可能会受到化学和微生物的腐蚀损害。设计者要知道如何能尽量抑制腐蚀以及在壁厚选择时给出腐蚀裕量。运营商还要知道如何运营管道可能使腐蚀最小化以及如何监控管道的腐蚀情况。

管道存在被损害的危险,因此维修就变得十分必要。在第16章“风险、事故及维修”中对维修所采用的一般原则进行了论述,并介绍了一些需要介入的事故案例以及在每个案例中所采用的维修技术。最终,当管道的运行寿命结束或不再需要时必须报废。报废是一个在不断变化的主题,但它也越来越多地受到运营商、监管机构和社会的广泛关注。它涉及各种各样的因素,包括国家和国际法律、环境保护、其他海底使用者的安全以及工程。

最终的设计和建设都不会是一种成熟或固定的技术,因为不断会有新的想法出现。新的理解可能会推翻已建立的概念,而新的技术可以使管道的建设更经济、更快速、更安全。虽然预测未来是很困难的,但第18章还是论述了一些具有前景的想法。

文中的参考文献列举在每章的最后。

1.3 历史背景

最古老的海底管道是排水管,早在19世纪人们就意识到简单地将污水倒入河中和海滩上会产生有害的和令人厌恶的污染,因此开始使用排水管。最早的海底原油管道是很短的装油和卸油管线,它们大都是在岸上造好然后通过绞车拖入海中。这仍然是在海岸和海上装载点之间以及河流和河口湾处穿越的常规管道建造方法。另一种方法是牵引技术,先将管道在岸上装好,然后采用各种牵引技术将管道拖至铺设位置。

相对而言,海上石油工业的历史要短一些。第一口海上油井是1947年在墨西哥湾的科尔-麦吉希普浅滩区块32完钻的,离海岸17m,水深为6m。最早的原油管道则要追溯到1947年之前,安装在马拉开波海湾和阿塞拜疆附近的里海浅水域里的管道。在第二次世界大战期间,盟军意识到他们不得不进入欧洲大陆并且在登陆作战时会破坏港口,盟军也知道军队需要大量的汽油。军事当局邀请并向英国-伊朗石油公司咨询,即现在的英国石油公司的前身,是否能穿越英吉利海峡铺设一条从英国到法国的管道。设计人员针对该工程设计了两种类型的管道,称为海底输油管线(PLUTO)。一种就像空心的海底电缆,在铅管外包裹了带钢和塑料的防护层。另一种是没有防腐涂层的焊接钢管。

常规的小型海底电缆船可用于铺设电缆似的管道。很长的钢管卷在浮筒上。拖船牵引滚筒穿过海峡,随着拖船的前进展开管道。可以在10小时内铺设一条从怀特岛(Isle of Wight)到科唐坦半岛(Cotentin Peninsula)的管道。PLUTO的价值是有争议的。