

海洋石油工程建设质量验收系列丛书

# 海底管道 工程质量验收

陈荣旗 主编



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

海洋石油工程建设质量验收系列丛书

# 海底管道工程质量验收

主编 陈荣旗

上海交通大学出版社

## 内容提要

本书是一部关于海底管道工程质量验收的指导性著作。包括海底管道工程建设各阶段的质量验收依据,规定了验收要点、验收程序、验收内容和验收标准。本书共分为6章,主要内容包括:海洋工程和海底管道的发展概况,海底管道工程质量验收概述,海底管道设计阶段的质量验收内容,海底管道陆地预制建造阶段的质量验收内容,海底管道的安装和质量验收内容以及具体工程案例的介绍和分析。

本书适用于中国海域内新建的海底管道的设计、建造、检验、安装和调试的质量检查和验收。

## 图书在版编目(CIP)数据

海底管道工程质量验收/陈荣旗主编. —上海:上海交通大学出版社, 2020

(海洋石油工程建设质量验收系列丛书)

ISBN 978-7-313-22926-7

I. ①海… II. ①陈… III. ①水下管道—海底铺管—管道工程—工程质量—工程验收 IV. ①P756.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第025112号

## 海底管道工程质量验收

HAI DI GUAN DAO GONG CHENG ZHI LIANG YAN SHOU

主 编: 陈荣旗

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

印 制: 苏州市越洋印刷有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

字 数: 225千字

版 次: 2020年4月第1版

书 号: ISBN 978-7-313-22926-7

定 价: 78.00元

地 址: 上海市番禺路951号

电 话: 021-6471208

经 销: 全国新华书店

印 张: 12.75

印 次: 2020年4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: 0512-68180638

# 《海底管道工程质量验收》

## 编委会

主 编 陈荣旗  
副主编 李淑民 李健民  
编 委 李相春 尹汉军 吕 屹 于长生 刘培林  
宋峥嵘 李怀亮 刘中民 杜文燕 叶 兵  
夏 芳 连 华 李 欣 程 涛 廖红琴  
祝晓丹

## 编写组

### 设计技术编写组

孙国民 熊海荣 李 庆 黄会娣 余直霞  
江 欣 李 妍 陈 思 付 方

### 焊接检验技术编写组

曹 军 许可望 孙有辉 刘永贞 王 伟  
栾陈杰 杨晓飞 马亚光 鲁振兴 陈 亮  
尤卫宏 吴 员 张天江

### 安装技术编写组

陈永訢 李建楠 刘 斌

# 序 言

从1957年在海南岛莺歌海海域追溯海面油苗算起，到2018年为止，中国海洋石油工业已经走过了61年的发展历程。在半个多世纪的发展过程中，中国海洋石油工业从无到有逐渐壮大，现已成为中国能源工业的重要组成部分。从自主设计的第一座固定式钢质导管架平台——1号钻井平台，到目前中国海域建成投产的近300座固定式平台和约6 700 km的海底管道，中国海洋石油经历了从自力更生和对外合作、引进吸收国外先进技术，到自主创新、形成具有国际竞争力的核心技术。固定平台和海底管道的设计、建造、安装等技术水平和管理水平也不断提高，已经接近或达到国际先进水平，在短短五六十年间取得了辉煌的业绩。这些业绩的取得与广大工程设计、建造、安装各类技术人员的努力和辛勤工作是分不开的，正是在他们不懈的坚持和奋进中，创造了一个又一个的工程奇迹，完成技术的不断积累和跨越，为中国海洋石油工业做出了巨大的贡献。

本书主要依据国外相关的技术标准和国家现行工程质量相关的法律、法规、管理标准以及海上石油行业相关的技术标准，同时结合40余年的海洋固定平台和海底管道在工程建设中形成的工程实践编制而成。本书聚焦于海洋石油工程建设各阶段的质量验收，内容来源于工程建设的第一线，有很强的针对性和实用性，对工程建设中的设计、建造、检验和安装各个阶段的质量验收工作都有十分重要的指导意义。本书是一部权威的关于海洋固定平台和海底管道工程质量验收的指导性著作，填补了国内工程质量验收领域的空白。本书的作者团队拥有丰富的海洋石油工程建设的工作经验，本书的出版凝聚了一大批平台和海底管道工程建设技术和管理专家及专业技术人员的心血，也是他们集体智慧的结晶。相信本书对于提高平台和海底管道工程建设质量将会起重要且不

可替代的作用。

希望广大工程建设人员，在工作中结合实际，加大推行本书的应用，在应用过程中积极反馈意见和建议，并且结合新技术的发展和实践对本书不断充实和完善。

曾恒一

中国工程院 院士

# 前 言

编写“海洋石油工程建设质量验收系列丛书”的目的是规范海洋工程设施建设的设计、建造、检验、安装和调试的质量验收内容和标准，加强工程建设的质量管理与控制。“海洋石油工程建设质量验收系列丛书”的出版是我国海洋石油工程建设几十年来的经验结晶，填补了国内海洋工程建设质量验收体系的空白，对海洋石油工程建设水平向国际化迈进具有重大意义。

该丛书的内容包括了海底管道工程建设各阶段的质量验收依据，规定了验收要点、验收程序、验收内容和验收标准。适用于中国海域内新建的海底管道的设计、建造、检验、安装和调试质量检查和验收。

本书阐述的海底管道设计阶段质量验收主要是对设计图纸、计算报告和设计料单的验收；建造阶段质量验收主要包括成果文件验收、建造过程验收和陆地完工验收；安装阶段质量验收主要包括成果文件验收、安装过程验收和安装完工验收；调试阶段质量验收主要包括成果文件验收、单机设备调试验收和设备系统调试验收。对设计阶段、建造阶段、安装阶段和调试阶段的质量验收内容、基本规定、规范和标准进行了详细介绍，选取各阶段的典型案例，对海洋石油工程建设过程中的经验教训进行了总结。规范了海洋工程建设各阶段的验收内容和验收标准，避免了验收因漏项或验收标准的降低而影响工程质量，同时能使各方尽早对验收项和验收标准达成一致，并逐项进行验收，提高验收效率。总之，本书的内容来源于海洋工程建设的第一线，有很强的针对性和实用性，对工程建设中的设计、建造、检验、安装和调试各个阶段的质量验收工作都具有十分重要的指导意义。

本书的出版立足于几十年海洋石油工程建设的经验，是设计、建造、检验、安装和调试各个板块技术的积累，离不开海洋石油工程设计、建造、检

验、安装和调试战线上各类技术人员的辛勤工作。

本书由海洋石油工程股份有限公司科技发展部组织，设计、建造、检验、安装和调试各个板块具有经验的技术人员参与了本书的编写，同时也得到了各级部门领导和专家的鼎力支持和帮助，在此向所有关心指导本书编写的同志们表示衷心的感谢！

编者

2019年10月

# 目 录

<b>1 概述</b> .....	001
1.1 海洋工程发展概况	001
1.1.1 深水立管系统	002
1.1.2 深水复杂环境及高温高压条件下的海管工程技术	003
1.2 海底管道发展概况	003
1.2.1 别样的海上“互联网”	003
1.2.2 技术“拓荒”与行业萌芽	004
1.2.3 跨过山腰，奔向山峰	005
1.2.4 迈过浅水，挺进深海	005
<b>2 海底管道工程质量验收概述</b> .....	007
2.1 海底管道工程概述	007
2.2 海底管道工程的实施	008
2.3 海底管道工程的质量验收	008
<b>3 海底管道设计阶段验收</b> .....	010
3.1 概述	010
3.2 基本规定、规范和标准	011
3.2.1 基本规定	011
3.2.2 规范和标准	012
3.3 地质资料和环境资料专项验收要求	012
3.3.1 简介	012

3.3.2	地质资料	012
3.3.3	环境资料	013
3.4	流动保障设计成果文件的质量验收	013
3.4.1	简介	013
3.4.2	流动保障设计报告	013
3.5	海底管道结构设计成果文件的质量验收	014
3.5.1	简介	014
3.5.2	海底管道结构设计图的质量验收	014
3.5.3	海底管道其他图纸的质量验收	020
3.5.4	海底管道计算报告的质量验收	021
3.5.5	海底管道其他计算分析报告的质量验收	032
3.5.6	海底管道设计料单的质量验收	033
3.6	海底管道防腐设计质量验收	034
3.6.1	海底管道防腐设计报告的质量验收	034
3.6.2	海底管道防腐设计图纸的质量验收	036
3.6.3	海底管道防腐设计料单的质量验收	037
<b>4</b>	<b>海底管道陆地预制建造阶段验收</b> .....	<b>040</b>
4.1	概述	040
4.1.1	简介	040
4.1.2	海底管道陆地预制建造施工流程	040
4.1.3	海底管道环焊缝无损检测技术分类	040
4.2	基本规定、规范和标准	080
4.2.1	基本规定	080
4.2.2	应遵循的规范和标准	080
4.3	海底管道陆地预制建造阶段成果文件质量验收	081
4.3.1	简介	081
4.3.2	程序文件	086
4.4	海底管道陆地预制建造过程质量验收	093
4.4.1	简介	093
4.4.2	材料验收	093

4.4.3	平管预制	102
4.4.4	立管和膨胀弯预制	104
4.4.5	耐蚀合金复合管预制	105
4.4.6	海底管道涂敷保温	107
4.5	陆地完工验收	108
4.5.1	简介	108
4.5.2	陆地完工检查	108
4.5.3	完工文件	109
5	海底管道安装与质量验收 .....	110
5.1	概述	110
5.1.1	简介	110
5.1.2	安装方法	111
5.1.3	铺管系统	112
5.1.4	海底管道施工案例	117
5.2	安装阶段基本规定、规范和标准	121
5.2.1	基本规定	121
5.2.2	规范和标准	123
5.3	安装设计文件验收	123
5.3.1	简介	123
5.3.2	预调查	124
5.3.3	施工程序	125
5.3.4	施工图	133
5.3.5	计算报告	139
5.4	安装过程验收	144
5.4.1	简介	144
5.4.2	装船运输过程	144
5.4.3	作业前期准备	145
5.4.4	海底管道铺设	146
5.4.5	海底管道登陆拖拉	147
5.4.6	海底管道水面对接	148

5.4.7	立管膨胀弯安装	149
5.4.8	挖沟	150
5.4.9	悬跨处理	151
5.4.10	预调试	152
5.4.11	后调查	153
5.5	安装完工验收	154
5.5.1	完工检验	154
5.5.2	完工文件	154
<b>6</b>	<b>工程案例</b>	<b>156</b>
6.1	海底管道设计案例	156
6.1.1	简介	156
6.1.2	海底管道保温层失效案例	156
6.1.3	输气管道—三通与阀门连法兰设计案例	159
6.1.4	海底管道涂层摩擦力案例	160
6.1.5	海底管道牺牲阳极脱落案例	160
6.2	海底管道建造案例	161
6.2.1	简介	161
6.2.2	经验教训案例	161
6.3	海底管道安装案例	178
6.3.1	简介	178
6.3.2	某铺管船托管架滚轮案例	178
6.3.3	海底管道铺设涂敷受损案例	179
6.3.4	水下机器人 (ROV) 钩子与托管架滚轮干涉案例	180
6.3.5	某项目海管铺设断管案例	180
	<b>参考文献</b>	<b>182</b>
	<b>附录 彩图</b>	<b>183</b>

# 概 述

## 1.1 海洋工程发展概况

从1957年在海南岛莺歌海海域追溯海面油苗算起，到2018年为止，中国海洋石油工业已经走过了61年的发展历程，在半个多世纪的发展过程中，中国海洋石油工业从无到有，从小到大，现在已成为中国能源工业的重要组成部分。

海底管道是海洋工程开发的关键结构，在国际上已有较长的发展历程。从1954年Kellogg Brown & Root海洋工程公司在美国的墨西哥湾铺设了第一条海底管道以来，世界各近海海域成功铺设了无数条各种类型、各种管径的海底管道。

我国海底管道的铺设，因海洋工程发展缓慢，装备与技术相对落后而起步较晚。1973年，我国首次在山东黄岛采用浮游法铺设了从系泊装置至岸上的三条500 m海底输油管道。1985年，渤海石油海上工程公司在埕北油田也采用浮游法成功地铺设了钻采平台之间的1.6 km海底输油管道。随着海洋石油对外开放的进一步深入和海上铺管技术、设备的进步，在最近的十几年里，我国依靠自行设计、自行施工，在渤海、东海和南海海域开发生产的油、气田中，采用铺管船法铺设了数条各种类型的海底管道，主要包括双重保温输油管道、单层输气管道、单层输水管道、单层油气混输管道，还有两条同时绑在一起铺设的“子母管道”等。

铺管技术随着海域水深的增加也相应得到了大发展。到目前为止，主要方式有浮游法、悬浮拖法、底拖法、离底拖法、铺管船法及深水区域的“J”形铺管法等。铺管设备已发展到箱体式铺管船、船型式铺管船、半潜式铺管船和动力定位式铺管船等。

当今深海是世界油气勘探开发的热点，随着“981”钻井平台、“蛟龙号”深

潜器等一批我国自主研发的深海工程装备的投入使用，中国在深水油气开发行业中逐渐占据一席之地。在海底管道领域，中国也正在攻关深水立管系统、复杂地质条件下海管工程技术等前沿技术，加快追赶国际先进技术的步伐。

### 1.1.1 深水立管系统

国外深水开发模式主要有“浮式钻采平台+水下井口+海底管网”“半潜式平台+水下井口+浮式贮存卸油装置”和“浮式贮存卸油装置+水下生产系统”三种模式，国内南海深水模式为“浮式钻采平台+水下设施+浮式贮存卸油装置”，如图1.1所示。

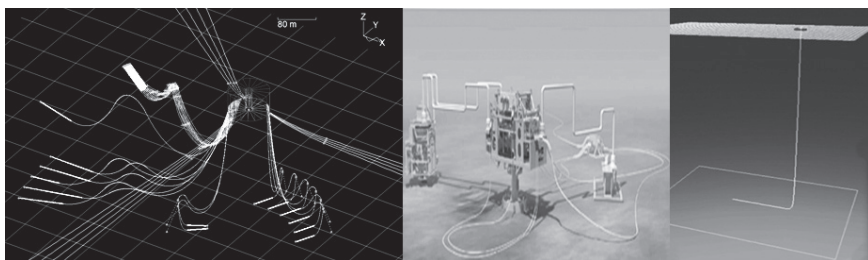


图 1.1 海底管道的设计

无论何种深海开发模式，深水立管系统都属于关键路径上的核心技术，承担生产和回注，输出、输入流体介质，钻完井及修井等重要功能。深水立管系统具有大静水外压、高内压、特殊强度及刚度要求、复杂波浪力载荷、强海流作用、六维度上部浮体运动影响等特点，技术难度极高。当前，仅有美国、巴西、挪威、英国等少数几个国家掌握了深水立管系统工程技术。

深水立管系统主要包括钢悬链线立管、顶张紧式立管、挠性立管、混合立管四种类型。钢悬链线立管适用于深水湿式采油树，具有成本低、无须顶张力补偿、对浮体运动的容度大、适用于高温高压介质环境、占平台空间小、水下施工难度小等优点。顶张紧式立管适用于深水干式采油树，具有可进行完井操作，不需使用单独的钻井平台等优点。挠性立管适用于深水水下及水上环境，具有弯曲刚度低、便于预制及储存、施工方便、成本低、对浮体运动的容度大等优点。混合立管是刚性立管与柔性立管的结合，适用于复杂深水环境，具有水下布置条理性高等优点。

### 1.1.2 深水复杂环境及高温高压条件下的海管工程技术

随着海底管道逐渐遍布世界的各个海域，海沟、陆坡、礁石、极不平坦海床、波流冲刷等深水复杂环境及高温高压条件下的海底管道成为国际研究的热点和难点。

深水复杂环境下的海底管道工程，不仅要求在理论知识上取得突破，而且对于海管保护措施、现场施工方法等学科交叉新领域的要求也大为提升。海沟和陆坡地形易造成海底管道悬跨、管道侧向移位、管道发生局部屈曲，其他诸如沙波沙脊、礁石、地震、断层地质、波流冲刷等复杂环境，可能引发管道总体屈曲、管道裸露和海管失稳等各类问题，对于海底管道工程的实施及安全是巨大的挑战。

高温高压是当前深水海底管道工程的另一个焦点。高温高压介质易带来管道强度降低及疲劳问题、引发管道总体屈曲和管道行走，对管道防腐、流动安全保障产生不利影响。

我国在深水复杂环境下海底管道工程技术方面取得了一定突破。开发了海管跨越支撑设计及冲刷评估分析技术，并得到了国际权威技术机构的认证，开发了地震危险区域的抗震设计分析技术，形成了海底管道三维数字化海床模拟技术。这些核心技术的攻克将为海底管道行业技术创新突破和引领示范奠定坚实基础，为我国南海开发战略的全面实施吹响号角。

## 1.2 海底管道发展概况

从我国海底管道的设计和施工能力上看，通过不断的探索研究和实践，发展壮大了一支专业化的海底管道设计和施工队伍。

海底管道作为海上油气资源传导输送的重要设备，被业界称为“海上生命线”。中国从无到有、从浅海走向深海的一步历程，都离不开海底管道设计和施工技术的发展。

### 1.2.1 别样的海上“互联网”

国内的互联网行业高速发展，“互联网+”成了网络热词，并对国内实体经济带来了巨大冲击。

在海洋工程中，也有一张“互联网”，它就是纵横交错的坐落在海床上，被誉为海上“大动脉”的海底管道系统，其布置如图1.2所示。它将海底的油气资源输送到全国各地，为工业用油、生活用气提供便利。目前，国内已经建成的海底管道总长约6 000 km。

国内的海底管道行业起步于20世纪80年代，比国际行业晚了约30年。先后经历了从无到有的创业起步孕育期、逐步发展成长的青春期和目前风华正茂的青年期。经过几十年的发展，这些海底管道已经遍布渤海、南海等各个海域。

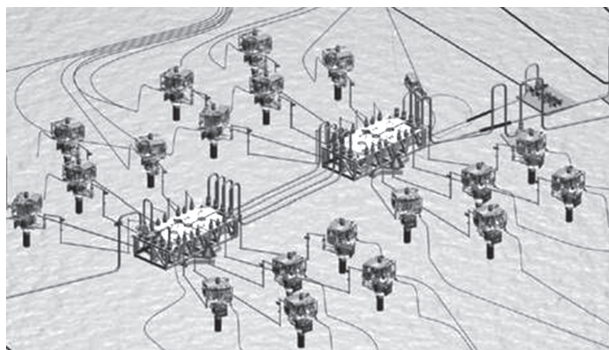


图1.2 海底管道布置

### 1.2.2 技术“拓荒”与行业萌芽

1985年，中国最早的海上油田——埕北油田投产，当时国内没有海底管道工程技术人才，只能是“外国人干，我们看”，海底管道技术亟待“拓荒”。

中国海底管道工程技术人员通过国外公司技术培训，有了一定的技术支持，国内海底管道工程行业也在此时开始萌芽。在1987年独立成功完成了国内第一个海底管道工程设计项目。到了20世纪90年代，完成了当时最长的双层保温管道工程和我国首例海底液化石油输送管道工程。

随着其他大型整装油田项目的自主完成，以及工程临界状态评估设计方法、海管注水铺设方法、电阻焊海管等多项创新技术在国内首次应用，完成了海底管道领域从无到有的技术突破。

### 1.2.3 跨过山腰，奔向山峰

如今，国内常规水深海底管道设计、建造、安装、维保技术已较为成熟，形成了包括海底管道工艺设计、强度设计、稳性设计、防腐设计、建造及施工技术以及维抢修技术等内容的常规水深海管技术体系。这些技术已在国内350 m水深范围内的近300条海底管道工程中得到成功应用与实施。

以重点项目为依托，我国成功开发并应用了带在线三通的海管膨胀分析、较深水复杂条件下海管疲劳悬跨分析和高效能双金属复合海管技术等创新内容，夯实了海管技术体系基础。

近年来，为了掌握顶张紧式立管、钢悬链线立管等深水立管关键技术，海管及立管技术研究团队一方面加大国际高端深水海管人才引进，加强技术引领；另一方面通过科研攻关，对内联合高校“搭平台”，对外学习“请洋老师”，以加大自主研发力度。

### 1.2.4 迈过浅水，挺进深海

海底管道铺设设备从铺管方式上，主要分为“S”形、“J”形以及卷筒式铺管船。海底管道铺设技术的发展通过浅水走向了深海，开发了一套高效、安全的海底管道安装工程技术，解决了南海大陆坡复杂地形及恶劣海况作用下的海管高精度铺设难题，覆盖了从浅滩至1500 m水深的海底管道铺设施工和保护。构建了适用于我国全海域的海底管道应急维抢修技术。解决了海底管道带压开孔、在役改线、缺陷检测及查找修复等服役期海管维抢修技术难题，形成了一套海管临时及永久修复工程技术。

海底管道焊接技术也经历了跨越式的发展。从手工电弧焊发展到半自动气体保护焊，再发展到全自动焊。随着海底管道从浅水逐步发展向深水、各种海管类型的出现、越来越多的大壁厚和高强度的钢材的不断应用以及施工条件恶劣，在海底管道铺设过程中开始向自动化、系统化方向发展。

海底管道的无损检测主要指的是在海底管道安装阶段，对于海底管道对接焊缝的无损检测。21世纪以前，海底管道对接环焊缝无损检测主要采用射线检测（radiographic testing, RT）技术和手动超声波检测（manual ultrasonic testing, MUT）技术。近年来，铺管船舶作业能力和效率都有大幅提升，自动焊的采用让焊接速度提高数倍，这对无损检测技术的精度和速度提出了更高的标准，海底管