

海洋石油深水工程手册

Offshore Oil Deepwater Engineering Manual

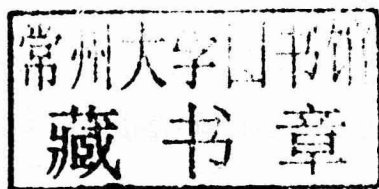
《海洋石油深水工程手册》编委会 编



石油工业出版社

海洋石油深水工程手册

《海洋石油深水工程手册》编委会 编



石油工业出版社

内容提要

本手册全面系统地介绍了海洋石油深水相关工程知识和技术,并结合中国海油工程建设人员在不同深水油气田项目中积累的经验和推荐做法,对于水下生产系统、海底管道、立管系统、脐带缆、水下控制系统等水下生产设施的设计、选型、安装、调试、测试等内容进行了详细论述,对于深水安装船、连接方法以及深水ROV和机具等施工安装和维修资源进行了全面介绍。

本书可作为海洋石油工程建设人员进行海上工程设计及现场施工的工具书,也可作为石油院校相关专业教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

海洋石油深水工程手册/《海洋石油深水工程手册》编委会编.
北京:石油工业出版社,2012.3
ISBN 978-7-5021-8455-1

- I. 海…
- II. 海…
- III. 海上油气田-石油工程-手册
- IV. TE5-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第087262号

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
发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店
印 刷:廊坊市佰利得彩印制版有限公司

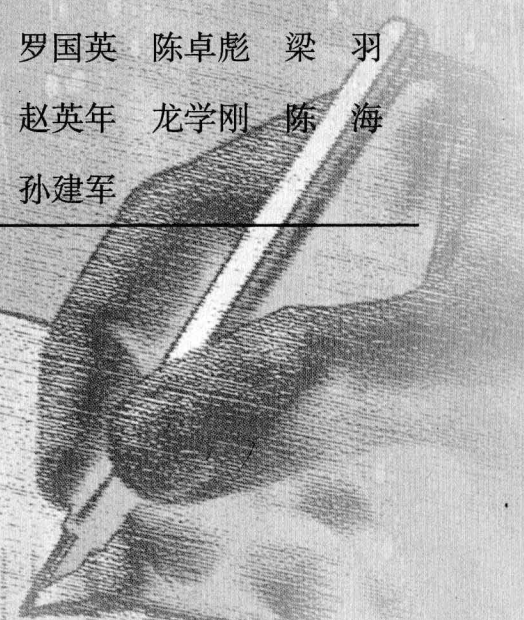
2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷
787×1092毫米 开本:1/16 印张:35.75
字数:914千字

定价:280.00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

《海洋石油深水工程手册》


编 委 会

-
- 高级顾问： 周守为 曾恒一
- 顾 问： 杨 华 刘 健 李凡荣 袁光宇 朱伟林
陈 璧 陈 伟 方 志 王中安 周洪波
林国海 姜 伟 丘宗杰 宋立崧 刘再生
谢玉洪 李文湘 周学仲 李 勇
- 主 任： 金晓剑
- 副 主 任： 李新仲 李志刚
- 汇编技术责任人： 谢 彬 胡茂宏
- 汇 编 协 调 人： 李健民 陈可钦 曹旭东
- 编 审： 杨晓刚 李清平 曹 静 俞曼丽 郭 宏
林瑶生 粟 京 刘义勇 蒋世全 许亮斌
- 资料及技术支持： 杨 云 柯吕雄 罗国英 陈卓彪 梁 羽
段天须 杨宏滨 赵英年 龙学刚 陈 海
肖 龙 陈荣旗 孙建军
-



开发深海油气
展现国家实力

2010年2月5日



迈向深水，
再创辉煌！

杨华

序

“工欲善其事必先利其器”，《海洋石油深水工程手册》就是广大海油工作者手中的利器！这部书的出版，凝结了编著工作者辛勤的汗水，是集体智慧的结晶。我向参加本书编著工作的各位同志表示衷心的感谢！

石油是维持当前世界现有生产、生活方式的关键物质基础，也是我国经济保持高速发展不可或缺的重要基础能源。充足的石油供给能为我国高速的经济发展注入新鲜的血液，与确保国家不断发展、人民生活水平不断提高、国家的战略安全乃至中华民族伟大复兴计划的顺利实现息息相关。

实现我国石油独立供给的伟大而艰巨的任务，就落在了我们广大石油人的肩上，而对于我们海油人来说这项任务更加艰巨和突出。石油工业发展至今，随着世界范围内陆地资源的日趋衰竭，从陆地走向海洋的能源战略是大势所趋，海洋石油特别是深水区域已经成为全球油气资源储量接替的主要领域。据统计，全球2000年以后的全部油气发现中，深水区块占了近50%。而我国海洋油气资源丰富，海洋石油资源量为 $246 \times 10^8 \text{t}$ ，占全国石油资源总量的23%；海洋天然气资源量为 $16 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，占全国天然气资源总量的30%。我国海洋石油探明程度为12%，海洋天然气探明程度为11%，远低于世界平均水平。而在向海洋战略转向的思维中，素有“第二个波斯湾”之称的南中国海被列为国家十大油气战略选区之一，具有丰富的油气资源和重要的战略位置。

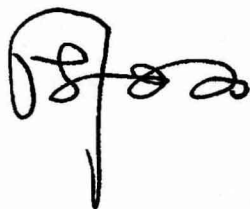
深海油气田开发在中国海域是崭新的领域，更具挑战性。为此，2003年，中国海油确定了“从浅海到深海的跨越”的战略目标，采取“自营与合作并举”，先后与美国的丹文能源公司、科麦奇新田公司、加拿大哈斯基能源公司签署了在南海北部珠江口海域不同区块的深水油气开发协议。在海外的澳大利亚、菲律宾、赤道几内亚、尼日利亚等地区，中国海油也在进行深水勘探，其中，中国海油拥有45%权益的尼日利亚OML130项目AKPO油田已在2009年投产。深水钻井船、深水铺管船等一批自主创新研发的深水工程重大装备正在加紧建造。随着中国南海荔湾3-1气田的开发取得实质性进展以及

流花34-2天然气田的发现，揭开了中国海域大规模深水勘探开发的序幕，中国南海的深水领域即将成为中国新的能源产地。从现在到2020年，中国海油将逐步建立起1500~3000m水深的勘探开发队伍、装备和能力，在南海深水区建成年产 5000×10^4 t油当量能力（不含海外 3000×10^4 t），深水油气田勘探开发技术达到世界先进水平。

总体来讲，目前我国海洋石油工业深水技术与世界先进水平相比尚有较大差距。但应该指出，我国在深水领域的研究开发力度正在逐步加大，而且已经取得了许多可喜的成果。我们通过开展与国家石油公司的合作、与船级社的工业联合项目研究以及国家863项目、国家科技重大专项和总公司各类科研项目，特别是2009年参与荔湾3-1项目FEED设计，努力缩小与国际先进水平之间的差距，通过学习各种经验知识后努力实践，为使我们自己的“深水海军”走向世界前列，海油人正在不懈努力着。

深水工程是中国海油走向深水的技术层面的重要组成部分，深水工程的发展直接影响着我们海油人的进军速度，影响着中国海油的发展大计。因此，《海洋石油深水工程手册》的问世，对我们海油的工程技术人员来说，具有非比寻常的意义。重任已经落在了我们的肩上，希望大家通过深入系统的学习，结合目前开展的深水工程项目实践，尽快提高海油深水工程技术水平。

祝贺《海洋石油深水工程手册》问世！祝愿中国海洋石油事业更大更强！祝中国的深水工程技术早日屹立于世界深水工程之林！

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, flowing characters that appear to be '王' (Wang) followed by a series of loops and a vertical stroke.

2010年2月8日

前言

在中国海洋石油工业发展的三十年中，中国海油通过引进、消化、吸收国外先进技术和自主创新，掌握了一批海洋石油勘探开发的核心技术，同时也培养了一批海洋石油人才，在200m水深领域的海洋油气田勘探开发技术总体上达到了世界先进水平。

然而，进入21世纪以来，深水区域已经成为全球油气资源储量接替的主要领域，世界海洋石油工业总的趋势是走向深水。法、美等发达国家从20世纪中后期就开始重视深水勘探开发，在深水油气资源开发方面已经具备了厚重的积累。我国的深水资源特别是南中国海是我们走向深水和开发最具丰富资源的潜力区，我国海洋石油工业深水勘探开发技术与世界先进水平相比尚有较大差距。

根据总公司领导“从浅海到深海的跨越”的战略部署，中国海油近年来在国内外深水勘探、开发方面已经开展了一系列实质性动作。通过开展与国内各相关单位、国外石油公司的合作，以及国家863项目、国家科技重大专项和总公司各类科研项目，中国海油深水工程技术领域的研究力度正在逐步加大。同时一批深水装备开始建造，并派遣了一批专业技术人员参加了尼日利亚OML130 AKPO项目和荔湾3-1项目FEED设计。我们深知：要跨越深水，硬件非常重要，实战非常重要，但有准备、有理论和有知识的人员和管理更重要。在由浅水走向深水的过程中，我们需要充分吸纳世界范围内深水工程领域的成熟技术和知识，善于学习国际石油公司深水油气田开发的成功经验，同时也要善于总结他们失败的教训。

为此，中国海洋石油总公司工程建设部组织编著了《海洋石油深水工程手册》，该手册全面系统地介绍了深水工程知识和技术，并结合中国海油工程建设人员在不同深水油气田项目中积累的经验和推荐做法，对于水下生产系统、海底管道、立管系统、脐带缆、水下控制系统等水下生产设施的设计、选型、安装、调试、测试等内容进行了详细论述，对于深水安装船、深水ROV和机具等施工安装和维修资源进行了全面介绍。从系统性和规范性来讲，本手册列出了深水工程方面的最新规范、标准，以及行业内普遍认可的专

业词汇（中英文对照）。总体来讲，本手册图文并茂，内容丰富、全面、系统、规范，符合当今深水工程建造技术的发展趋势和总体水平。

本手册的出版正值南海深水天然气开发进入实施阶段，为我们全面走向深水提供了重要的技术支持和参考，是广大工程人员不可或缺的良好良师益友。本手册的问世，将促进中国海油深水工程建设整体水平的提高，引领广大工程人员向世界先进水平迈进！

《海洋石油深水工程手册》的编著工作得到了海总工程界相关人员的大力支持，在此衷心感谢国际事务部胡茂宏主管，研究总院深水工程重点实验室谢彬副主任、李清平首席、曹静首席、俞曼丽首席、蒋世全首席、郭宏资深工程师、许亮斌博士，海油工程杨晓刚副总工程师，深水钻井船林瑶生总经理、栗京副总经理，深圳分工司工程建设部刘义勇经理，中国海洋石油总公司工程建设部深水工程管理岗李健民、陈可钦等专家在手册校审过程中的辛苦工作和经验贡献，感谢中海油服技术中心翻译室曹旭东，工程建设部深水工程管理岗李健民、陈可钦，南海深水油气勘探开发示范工程实施管理办公室在相关资料的翻译、编辑、编审过程中的辛苦努力。

由于经验和其他因素，本书中出现缺点和疏漏是不可避免的，我们诚恳地希望广大读者能够不吝赐教，批评指正，以使本手册更加完善！

A handwritten signature in black ink, consisting of three stylized Chinese characters: 陈可钦.

2010年2月8日

目 录

第一部分 水下生产系统

1	概述	2
1.1	范围	2
1.2	条例、规范和标准	2
1.3	定义和缩略语	4
2	水下生产设备	8
2.1	说明	8
2.2	水下井口	8
2.3	水下采油树	19
3	水下生产管汇和基盘	40
3.1	水下生产管汇和基盘功能说明	40
3.2	典型水下生产管汇或基盘的特征	42
3.3	设计要素	42
3.4	辅助设备	47
4	水下系统界面要求	51
4.1	生产控制系统	51
4.2	输送管道连接	66
4.3	安装和修井隔水管系统	69
4.4	系统试产和投产	87
5	油田水下布置模式	89
5.1	油田水下布置模式要素	89
5.2	油井分组	89
5.3	钻井和修井考虑要素	92
5.4	油田内输送管道	92
5.5	未来开发和扩建	94
6	风险评估和管理	96
6.1	潜在风险领域	96
6.2	风险管理	97
6.3	吸取的教训	98

第二部分 海底管道

1	概述	102
1.1	范围	102

1.2	规定、规范、标准与说明	102
1.3	定义与缩略语	103
2	深水管道设计	105
2.1	说明	105
2.2	材料选择	106
2.3	管道设计方法	106
2.4	基于局部屈曲标准的设计和基于扩展屈曲标准的设计的比较	110
2.5	深水管道铺设的基本备用方法	111
3	界面要求	112
3.1	说明	112
3.2	管道终端装置	112
3.3	水下生产系统	112
3.4	安装船	115
4	海底管道技术综述	117
4.1	说明	117
4.2	碳锰钢管——刚性管道	117
4.3	挠性管	120
4.4	不锈钢	123
4.5	复合管道系统	124
4.6	湿式保温刚性管道	125
4.7	双钢管保温管道系统	126
4.8	集束管道系统	128
5	保温技术与供应商	129
5.1	双钢管保温管道系统	129
5.2	集成拖曳输送集束管道系统	130
5.3	湿式保温管道系统	130
5.4	挠性管	131
6	加热技术	132
6.1	说明	132
6.2	电加热系统	133
6.3	热流体循环加热系统	136
7	埋设技术	138
7.1	说明	138
7.2	开沟犁技术	138
7.3	喷射技术	140
7.4	机械切割机技术	142
7.5	回填/抛石	144
8	安装技术	147
8.1	说明	147
8.2	S形铺管法	147

8.3	J形铺管法	148
8.4	卷管式铺管法	150
8.5	拖曳式铺管法	150
8.6	挠性管道铺设法	151
9	内部腐蚀监控	153
9.1	说明	153
9.2	原理	153
9.3	感应针的布设	153
9.4	监控系统	154
10	应用与局限性	156
10.1	海底管道技术	156
10.2	安装技术	157
11	优点与缺点	159
11.1	碳锰钢管	159
11.2	挠性管	159
11.3	双相不锈钢管	160
11.4	复合钢管	160
11.5	集束管道系统	160
11.6	双钢管保温管道系统	161
11.7	13% Cr 管道	161
11.8	优点与缺点汇总表	162

第三部分 立管系统

1	概述	164
1.1	范围	164
1.2	规则、准则、标准和规范	165
1.3	定义与缩略语	165
2	深水立管工艺设计	166
2.1	说明	166
2.2	钢质立管系统	166
2.3	挠性立管	168
2.4	立管系统设计软件	170
3	界面要求	171
3.1	说明	171
3.2	关于浮式生产系统	171
3.3	在海底	172
4	立管系统综述	175
4.1	说明	175
4.2	挠性立管系统	175
4.3	刚性立管系统	180

5	保温技术	190
5.1	说明	190
5.2	保温材料选择	190
5.3	钢质立管和复合塔式立管的保温材料	190
5.4	针对挠性立管的保温材料	191
6	加热技术	192
6.1	说明	192
6.2	电加热	192
6.3	热水循环加热	193
7	涡激振动	195
7.1	说明	195
7.2	VIV 预测	195
7.3	消涡装置	196
8	人工举升要求	197
8.1	说明	197
8.2	气举方法	198
9	安装技术	203
9.1	说明	203
9.2	挠性立管的安装	203
9.3	金属立管的安装	209
10	应用与局限性	214
10.1	说明	214
10.2	挠性立管	214
10.3	钢质立管	214
11	优点与缺点	217

第四部分 脐带缆

1	概述	222
1.1	范围	222
1.2	规定、规范、标准与说明	222
1.3	定义与缩略语	223
2	界面要求	224
2.1	说明	224
2.2	浮式生产系统	224
2.3	中间连接	225
2.4	水下生产系统	225
2.5	罩帽	227
2.6	铺管船和铺管设备	228
3	脐带缆技术及制造商概况	230
3.1	说明	230

3.2	热塑软管脐带缆	232
3.3	钢质脐带缆	233
3.4	动力和控制脐带缆	235
3.5	综合功能脐带缆	237
3.6	水下端子接口	239
3.7	水下限弯器	240
3.8	上部防弯器	241
3.9	上部端子系统	241
3.10	外部腐蚀防护	241
4	测试要求	243
4.1	说明	243
4.2	材料资质测试	243
4.3	脐带缆设计合格性测试	243
4.4	验收测试	244
4.5	冲刷、压力测试、清洗和维护的范围	245
5	安装技术	246
5.1	说明	246
5.2	铺设设备	247
5.3	铺设方法和程序	248
6	应用与局限性	253
6.1	热塑软管脐带缆	253
6.2	钢质脐带缆	256
7	优点与缺点	259
7.1	热塑脐带缆	259
7.2	钢质脐带缆	259
7.3	综合功能脐带缆	260

第五部分 水下控制系统

1	概述	262
2	术语表	263
3	规范、标准及法规	265
4	控制系统的类型	266
4.1	直接液压控制系统	266
4.2	先导液压控制系统	267
4.3	(先导)顺序液压控制系统	268
5	可靠性和冗余	271
5.1	可靠性	271
5.2	冗余	272
6	开式/闭式液压控制系统	274
7	系统结构	276

7.1	说明	276
7.2	水下设备	276
7.3	液压/电力分配	276
7.4	SCM 功能数量	277
7.5	液压分配	277
7.6	电力分配	277
7.7	接地	277
8	系统概要	278
8.1	说明	278
8.2	上部设施	278
8.3	脐带缆	278
8.4	水下设备	278
9	主控站	280
9.1	说明	280
9.2	部件	280
9.3	接口	282
9.4	应急关断系统	286
9.5	软件/操作系统/显示	288
9.6	维护	291
9.7	系统功能	291
10	电力单元	297
10.1	说明	297
10.2	部件	298
10.3	测试	299
10.4	可维护性	300
11	不间断电源	301
11.1	说明	301
11.2	部件	301
11.3	测试	302
12	液压动力单元	303
12.1	说明	303
12.2	液压控制系统示意图	304
12.3	设备说明	304
13	上部脐带缆终端装置	308
13.1	说明	308
13.2	原理	308
13.3	化学药剂软管终端装置	309
14	脐带缆	310
15	水下脐带缆终端装置	311
16	弱连接	312

17	水下分配装置	313
17.1	说明	313
17.2	结构	313
17.3	脐带缆接口	313
17.4	SCM 接口	313
17.5	电力分配	313
17.6	液压和化学药剂分配	314
17.7	ROV 连接	314
18	水下蓄能器模块	316
18.1	说明	316
18.2	原理	316
18.3	部件	317
19	内部连接	318
19.1	说明	318
19.2	固定插板	318
19.3	ROV 插板	318
19.4	卡箍	319
19.5	电气跨接管	319
19.6	液压接头	320
19.7	光纤跨接管	321
19.8	跨接管布置	322
19.9	跨接管回收	322
20	水下控制模块安装基座	323
20.1	说明	323
20.2	结构	323
20.3	SCM 接口	323
20.4	修井系统接口	323
20.5	连接采油树阀和传感器	324
20.6	停放调准	324
20.7	锁紧机构	324
21	水下控制模块	325
21.1	说明	325
21.2	外壳	325
21.3	安装基座	326
21.4	接口	326
21.5	连接	326
21.6	液压控制系统	326
21.7	系统设计	327
21.8	电子装置	327
21.9	构造	327