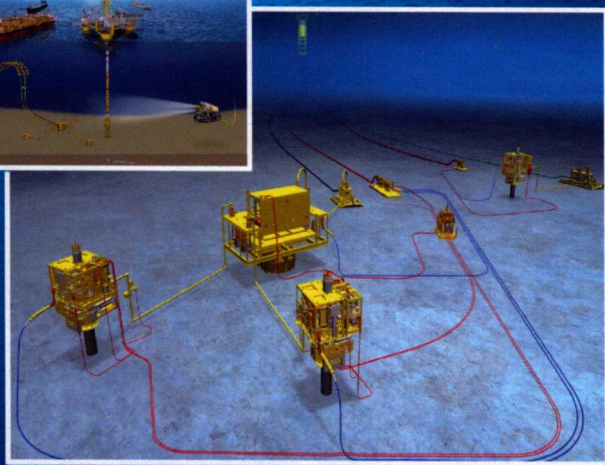


水下油气生产系统基础

李志刚 姜 璞 王立权 编著



科学出版社

水下油气生产系统基础

李志刚 姜 瑛 王立权 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书包括海洋油气田水下生产系统相关知识条目共 151 条,内容涵盖水下生产系统、水下生产设施、流动保障、水下工艺设备、水下连接设备、水下井口和采油树、水下控制系统和安装/修井控制系统、水下脐带缆、水下安装作业工机具等九大部分。每个部分均选择若干具有代表性的知识条目,力求简洁、全面,具有针对性。

本书主要面向海洋油气田水下生产系统开发及相关行业的研发、设计和工程技术人员,旨在介绍水下油气生产系统的相关基础知识,为海洋油气行业科研和技术人员了解水下油气生产系统、开发水下油气田提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

水下油气生产系统基础/李志刚,姜瑛,王立权编著. —北京:科学出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-03-059713-7

I. ①水… II. ①李… ②姜… ③王… III. ①海上油气田-油气田开发-水下技术 IV. ①TE5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 263299 号

责任编辑:裴 育 陈 捷 纪四穗 / 责任校对:张小霞

责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018 年 11 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:280 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

随着我国经济的高速增长,对石油和天然气的需求不断增加。目前,国内陆地石油和天然气的开发速度已经满足不了这一需要。根据国际权威机构的分析报告,未来全球油气可采储量中海洋油气资源占 63%,其中深水油气资源占 43%。海洋油气资源的开发已经成为石油和天然气行业的主要经济增长点。这就迫切需要我们加快向海洋、向深水迈进的步伐。

水下油气生产系统是深水油气田开发的主要模式之一。国外水下油气生产系统技术是在 20 世纪 60 年代发展起来的,目前已日趋成熟。它具有布置灵活、可靠性高、后期受自然灾害影响小、维护成本低等特点,利用水下采油树、水下管汇、脐带缆、海底管道等生产、控制设备将油气就近输送到附近的固定式平台、浮式设施进行处理和外输,或直接输送到陆上终端进行处理。目前,深水油气田大多数采用浮式设施和水下油气生产系统相结合的开发模式,如美国墨西哥湾 85% 的深水油气田采用的就是这种开发模式。

我国深水油气田的开发起步较晚,主要集中在南海。目前运营和在建的深水油气田的核心技术和设备大多是从国外引进的。我国已在水下油气生产系统技术领域投入了大量的人力、物力和财力,初步形成水下油气生产系统技术和装备的研发队伍,具有水下油气生产系统核心技术和装备的研发能力,并且研制出国产的水下采油树、水下管汇、水下分离器、水下连接器、水下分配单元、水下控制模块、跨接管及脐带缆等关键装备。

《水下油气生产系统基础》一书主要介绍了水下油气生产系统技术和装备的基础知识,内容涵盖水下油气生产系统核心装备,主要包括水下采油树、水下管汇、水下分离器、水下连接器、水下控制设备、跨接管、脐带缆等大部分内容。该书的出版将对我国海洋油气装备的国产化起到积极的促进作用,可以作为海洋勘探行业科研和技术人员、高等院校相关专业本科生和研究生了解水下油气生产系统的入门书籍。

曾恒一

中国工程院院士

前 言

近年来,深海油气资源的开发越来越受到关注,对深海开发知识了解的需求越来越多。作为深海油气资源开发的重要手段和技术,何谓水下油气生产系统?其应用前景如何?在海洋油气田开发,特别是深水油气田开发中有什么重要作用?为更好地让社会各界了解深海开发,了解水下油气生产系统以及其中的关键设备和技术,更好地推进该领域的技术进步和应用,我们撰写了《水下油气生产系统基础》一书。

全书主要介绍海洋油气田开发的水下生产系统总体、水下生产设施、流动保障、水下工艺设备、水下连接设备、水下井口和采油树、水下控制系统和安装/修井控制系统、水下脐带缆、水下安装作业工机具等方面的知识。对于每个知识条目,我们都力求既体现科学性、专业性,又体现知识性、通俗性,用通俗易懂的文字、生动形象的配图来阐述。书中所讲解的 151 个知识条目,具有很强的针对性、实用性和可操作性。

本书由李志刚、姜瑛、王立权、张飞、王向宇、王宇臣、曹为、付剑波、曹永、王道明、贾鹏撰写。撰写期间,我们查阅了大量的文献资料,也得到了很多同志的帮助,在此表示感谢。

由于水平有限,书中难免有疏忽或不妥之处,敬请广大读者批评指正。同时,衷心希望本书对社会各界了解海洋油气资源开发这一领域有所帮助,希望社会各界对我国海洋油气资源开发事业的发展给予更多的关注和支持,为开发蓝色国土做出积极贡献。

作 者

2018 年 5 月

目 录

序 前言

第 1 部分 水下生产系统

1 水下生产系统的定义及组成	1
2 “深水”等级的定义	2
3 水下生产系统的开发模式	2
4 常用的水下生产系统总体布置方案	5
5 油气田水下生产系统总体布置的影响因素	10
6 深水水下生产系统设计时的注意事项	11
7 水下生产系统的可靠性	12
8 水下设备基于风险的检验技术	17
9 深水油气田水下生产项目开发成本的组成及比例	18
10 深水油气田开发面临的挑战	19

第 2 部分 水下生产设施

11 常用的水下生产设施	21
12 海管终端设施、海管终端管汇、在线三通	21
13 水下管汇的功能和组成	27
14 水下管汇管道设计的常用规范	31
15 水下设施的基础形式	32
16 海底管道的“屈曲”“压溃”“扩展屈曲”的概念及区别	35
17 水下隔离阀系统	37
18 水下阀门与陆上阀门的主要区别	39
19 水下设施的安装方式	41
20 水下管汇在海底运行期间需要进行的操作	46

第 3 部分 流动保障

21 深水油气流动保障的定义及其分析的主要目的	48
22 深水油气流动保障的主要挑战	48
23 深水油气流动保障的主要工作	49
24 深水油气流动保障的主要设计流程	49

25	深水油气流动保障需考虑的主要因素	51
26	深水油气流动保障分析的主要工具软件	51
27	深水油气流动保障与水下生产系统之间的联系	55
28	水合物的形成机理和条件	57
29	预防水合物堵塞主要采用的方法	58
30	水下注入化学药剂的种类和作用	60
31	热力学抑制剂的作用机理	60
32	水合物抑制剂甲醇和乙二醇的对比	61
33	动力学抑制剂的作用机理	61
34	防聚剂的作用机理	62
35	气田开发中的焦耳-汤姆孙效应	62
36	管道中的结蜡	63
37	结垢的主要原因及影响因素	65
38	结垢的主要机理	66
39	油气田结垢的主要类型和影响因素	67
40	防垢的主要方法	68
41	出砂及其危害	69
42	出砂的主要影响因素	70
43	水下生产系统中防砂及除砂的方法	71
44	水下砂检测器的主要类型	73
45	水下生产系统的清管方式及需要考虑的主要因素	74
46	防腐剂的作用机理	77
47	段塞的定义	78
48	水下生产系统中形成的气液段塞的主要类型	78
49	立管段塞的形成过程	79
50	水下人工举升的方式	80

第 4 部分 水下工艺设备

51	水下增压设备	82
52	电驱水下增压泵的应用类型和组成	84
53	水下湿气压缩机的适用范围	86
54	水下段塞流捕集器的定义及主要特点	87
55	水下分离器的定义及其优势	90
56	水下分离器的主要类型及工作原理	90

第 5 部分 水下连接设备

57	海底管道的种类及与水下设备的连接方式	93
58	与海底管道连接相关的专用连接设备	96
59	水下跨接管的定义和类型	96
60	跨接管的连接方式及其优缺点	98
61	刚性跨接管与柔性跨接管的区别	99
62	跨接管设计阶段必需的计算分析	100
63	跨接管设计阶段需要考虑的影响因素	100
64	跨接管的海上安装程序	101
65	用于连接水下设备的遥控式水下机器人工具的分类	101
66	水下连接器的定义及类型	103
67	当前水下生产系统应用最广泛的专用连接器	105
68	卡爪式连接器与卡箍式连接器的对比	107
69	水下连接器海上安装的精度	107
70	影响水下连接作业时间的主要因素	107

第 6 部分 水下井口和采油树

71	采油树的分类	109
72	不同类型采油树的优缺点	113
73	水下立式采油树和水下卧式采油树各自的特点及适用范围	114
74	油管悬挂器及其下入工具的功能和构造	115
75	采油树的连接设备	116
76	采油树的主要阀门	117
77	采油树保护帽的主要功能和构造	118
78	采油树的液压/电气控制接口	119
79	采油树下入工具的设计要求	119
80	采油树测试程序	119
81	采油树安装方法及过程	120
82	水下井口的定义及设计目的	121
83	水下井口系统组件	123
84	水下井口系统的操作要求	126
85	套管悬挂器的结构、功能及特征	126
86	井口导向盘及永久导向基座的基本要求	127
87	典型的水下井口安装程序	127
88	井口和采油树性能验证试验的要求	128

89	井口和采油树的性能要求	130
90	井口和采油树的工作条件	131
91	井口和采油树的材料要求	134

第7部分 水下控制系统和安装/修井控制系统

92	水下控制系统的定义	135
93	水下控制系统典型的控制部件和监视参数	136
94	水下控制系统的类型	137
95	直接液压控制系统	137
96	先导液压控制系统	139
97	顺序液压控制系统	140
98	直接电液控制系统	142
99	复合电液控制系统	143
100	全电控制系统	145
101	水下自治控制系统	147
102	集成浮漂控制系统	148
103	影响水下控制系统选择的因素	149
104	水下控制系统设计与分析	151
105	主控站	153
106	主控站的控制对象	154
107	水下控制系统的通信方式	154
108	电力单元	156
109	液压动力单元	157
110	水下控制系统蓄能器的主要作用	158
111	上部、水下脐带缆终端总成和水下分配单元	159
112	水下控制模块	160
113	水下控制模块安装基座	163
114	水下控制模块内外压差的平衡方法	163
115	水下控制模块的对接、锁紧及解脱功能	164
116	水下控制模块引导对接的技术难点	165
117	水下控制模块的锁紧方式分类	165
118	水下控制模块下放工具	167
119	多模式下放工具的工作原理	167
120	水下控制模块与水下设备的对接安装方法	168
121	水下控制模块下放工具的选择	169
122	多接头快速连接器的定义	169

123	多接头快速连接器的组成	170
124	水下电飞头和液飞头	172
125	安装/修井控制系统简介	173
126	安装/修井控制系统的功能	174
127	安装/修井控制系统的组成	174
128	完井/修井立管系统的组成及其他功能要求	177
129	安装/修井控制系统的供应商	178
130	安装/修井控制系统国内应用情况	179
131	安装/修井控制系统的工作过程	179

第 8 部分 水下脐带缆

132	水下脐带缆的定义和功能	181
133	脐带缆的类型	182
134	脐带缆的主要附属部件	185
135	主要的脐带缆供应商	187
136	应用水下生产系统中的水下输配电模式	187
137	水下生产系统中的长距离输电方式	189

第 9 部分 水下安装作业工机具

138	水下安装作业工机具简介	190
139	遥控式水下机器人的定义及分类	191
140	遥控式水下机器人系统的组成	192
141	遥控式水下机器人固定方式的要求	193
142	遥控式水下机器人的接口形式	194
143	遥控式水下机器人操作面板的要求	196
144	典型的遥控式水下机器人的干预任务	197
145	水下安装作业对安装船舶的资源要求	201
146	遥控式水下机器人操纵连接系统	201
147	下放和回收系统	201
148	工具释放装置	202
149	遥控式水下机器人接口布置的具体形式	202
150	遥控式水下机器人进入通道的基本要求	203
151	水下检查、安装、维护和维修的作业内容及作业工具	204
	参考文献	206

第 1 部分 水下生产系统

1 水下生产系统的定义及组成

狭义的水下生产系统是指水下采油树及其下游、立管上游的水下生产设施构成的水下系统,主要包括水下井口系统、水下采油树、水下管汇、跨接管、水下连接系统、水下增压系统、水下分离系统等;广义的水下生产系统是指采用水下井口进行油气田开发时的水下生产设施及辅助系统、支持水下设施的水上部分构成的系统,主要包括水下井口系统、水下采油树、水下管汇、水下连接系统、水下增压系统、水下分离系统、回注系统、遥控式水下机器人(ROV)及其工具、脐带缆(umbilical)、水下控制系统、海管和立管系统、水下钻/修井系统^[1]。水下生产系统示意图如图 1-1 所示。

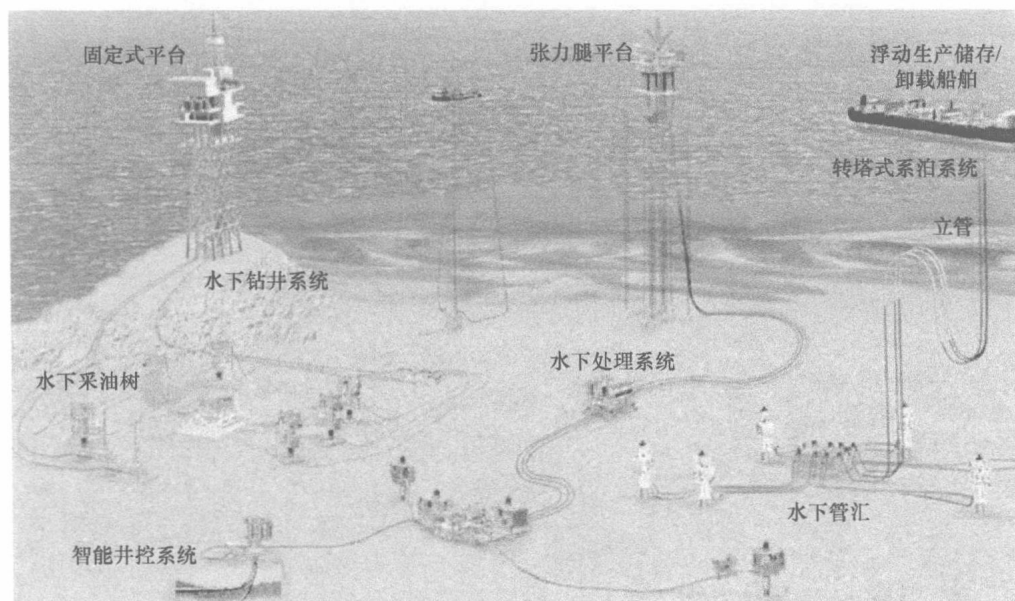


图 1-1 水下生产系统示意图

2 “深水”等级的定义

一般来说,水深小于 500m 为浅水,水深大于 500m 为深水,水深在 1500m 以上为超深水(对此划分意见并不一致,有的国家把 200m 作为浅水、深水的界限)。ISO 13628-1-2005 规范中^[1],水深在 610m(2000ft)以下定义为浅水,在 610~1830m(6000ft)定义为深水,超过 1830m 定义为超深水。

3 水下生产系统的开发模式

水下生产系统的开发模式应根据具体油气田水深、环境条件以及油藏规模等综合考虑,水下生产系统开发模式主要如下。

1) 水下生产系统(SPS)结合浮式生产系统(FPS)和浮式生产储油装置(FPSO)的开发模式(SPS+FPS+FPSO)

FPS 可以和 FPSO 结合完成钻井、生产、处理、存储、外输的任务,钻井设施和动力系统安装在 FPS 上,火炬、储油和处理系统放在 FPSO 上。我国南海的流花11-1就是采用这种开发模式,如图3-1所示。SPS+FPS+FPSO模式具有如下

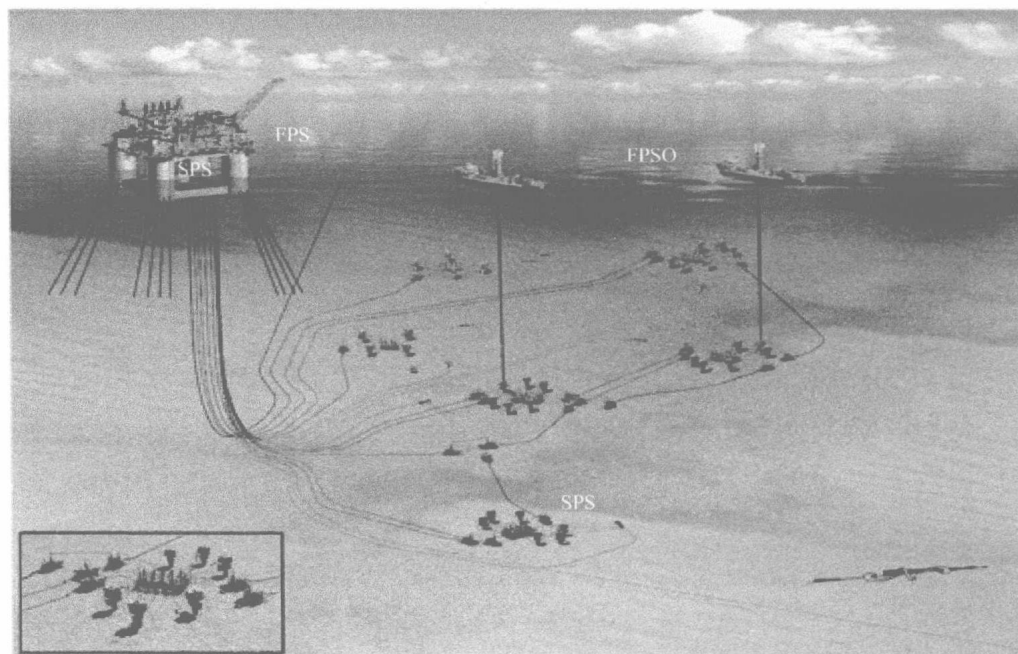


图 3-1 SPS+FPS+FPSO 开发模式

特点:

- (1) 采用湿式采油树。
- (2) 既可采用柔性立管,也可采用顺应式立管(SCR)。
- (3) 平台有效载荷大,可支持较多的水下井口回接。
- (4) 钻/修井既可通过钻井船来完成,也可通过平台钻/修机完成。
- (5) FPSO 进行原油处理和储存。
- (6) 穿梭油轮外运原油。
- (7) 建设周期适中。

2) 水下生产系统(SPS)结合浮式生产储油装置(FPSO)的开发模式(SPS+FPSO)

该模式为水下采油树或井口采出的原油通过立管回接到 FPSO,原油在 FPSO 上处理,经过处理后的原油储存在 FPSO 内,之后由穿梭油轮运走,如图 3-2 所示。

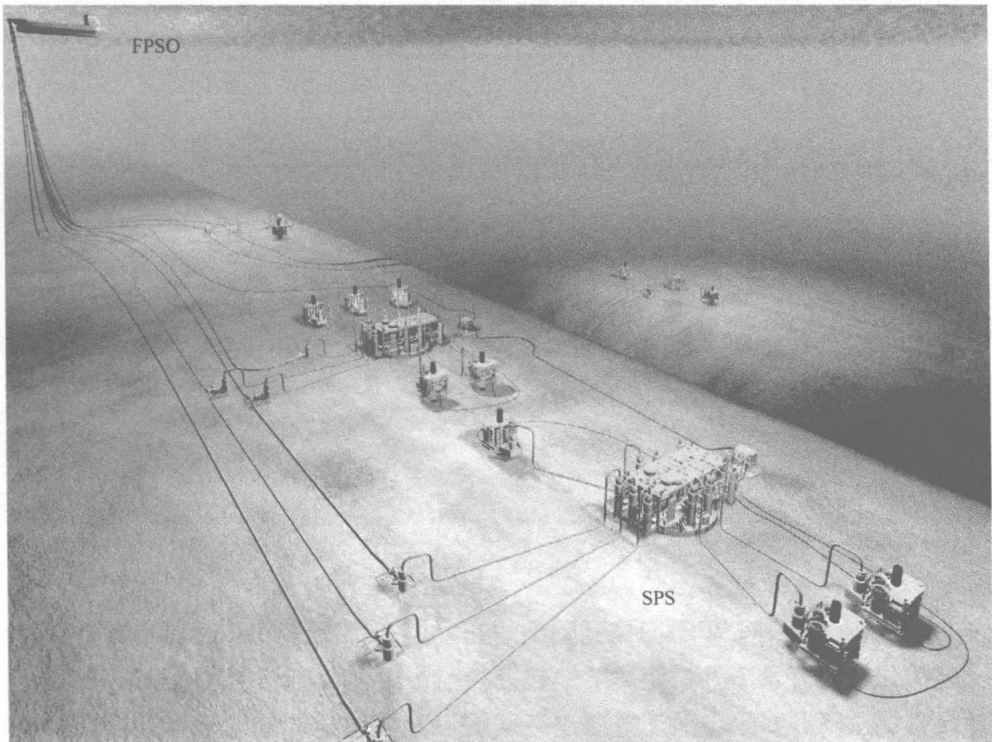


图 3-2 SPS+FPSO 开发模式

SPS+FPSO 开发模式具有如下特点:

- (1) 井口为预钻井。

- (2) 采用湿式采油树。
- (3) 一般采用柔性立管。
- (4) 平台有效载荷大。
- (5) 钻/修井通过钻井船来完成。
- (6) 穿梭油轮外运原油。
- (7) 建设周期短。

3) 水下生产系统(SPS)结合浮式生产系统(FPS)的开发模式(SPS+FPS)

该模式依托 FPS,利用水下井口开采平台周边的油气藏,FPS 除具备生产处理能力外,还可回接水下井口,因而这种开发模式适合于既有集中井进行干式开采,又有分散水下卫星井进行湿式回接的大型油气田的开发,水下井口采出的油气通过海底管道输送到 FPS 进行处理,然后利用管线并入管网后外输,如图 3-3 所示。

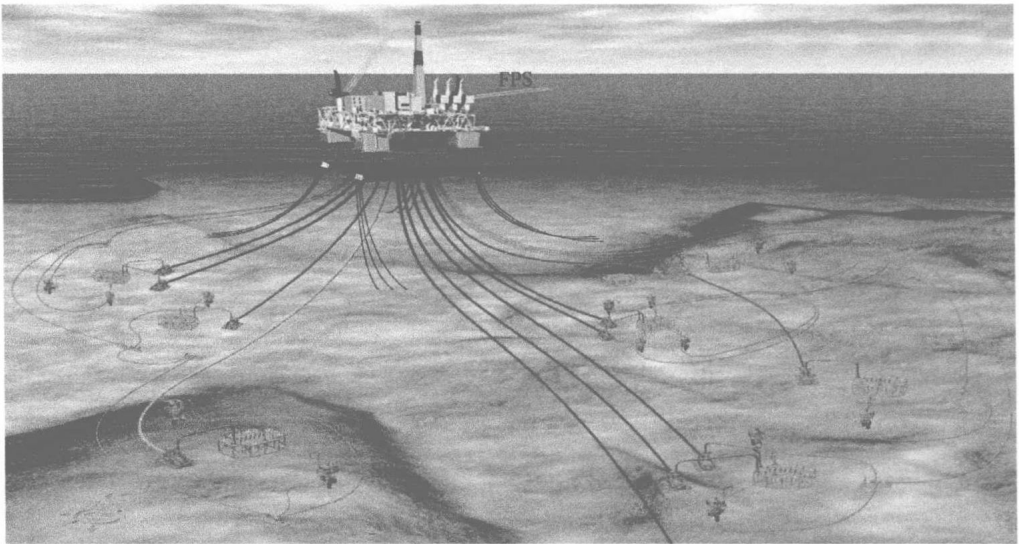


图 3-3 SPS+FPS 开发模式

4) 水下生产系统(SPS)回接到陆地的开发模式(SPS+ONLAND)

该模式适用于水下井口距离陆地较近的油气田,与 SPS+FPS 相比,其依托于陆地设备。水下井口采出的油气通过海底管道直接输送到陆地进行处理、存储及外输,如图 3-4 所示。

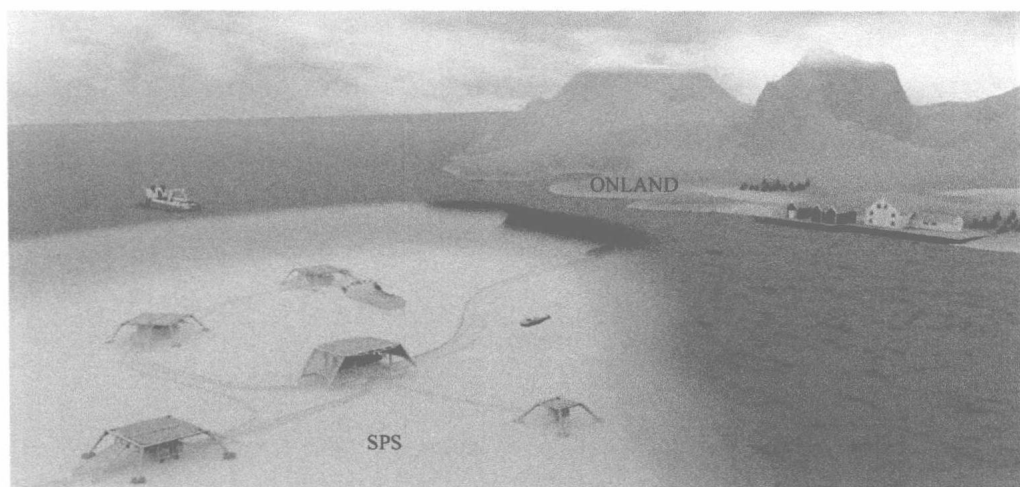


图 3-4 SPS+ONLAND 开发模式

4 常用的水下生产系统总体布置方案

根据具体油气田地质油藏特点和开发策略,常用的水下生产系统总体布置方案如下^[2-5]。

1) 单个卫星井回接到附近水下或水面处理设施

该模式的主要特点是将单个卫星井通过海底管道直接回接到附近的水下或水面处理设施。这种模式通常将生产管道和脐带缆的一端与所依托的平台连接,另一端与卫星井的井口相连,有时也将生产管线和脐带缆直接连接到采油树上,在较浅的海域应用十分经济。卫星井布置方案如图 4-1 所示。

单个卫星井回接到附近水下或水面处理设施的布局形式主要适用于井口高度分散、数量较少、井口产量相对不高的小型深水油气田的开发。在一个大型油气田的开发中,当少量卫星井距离丛式管汇或浮式结构物较远,且单独建造管汇中心不经济时,这时将单个卫星井回接作为一种特殊的情况处理。通常,通过 1 根或者 2 根流动管线,将单独的卫星井回接到已有的丛式管汇或者生产平台进行油气生产。此种布局形式可借助已有的设施条件进行单个卫星井生产,能够大大降低开发前期的投资成本,但因为不能形成清管回路,所以需要专门的接收球、发射球和支持船对单井清管,费用较高,且分支管线的铺设难度大,同时需考虑流动保障问题。

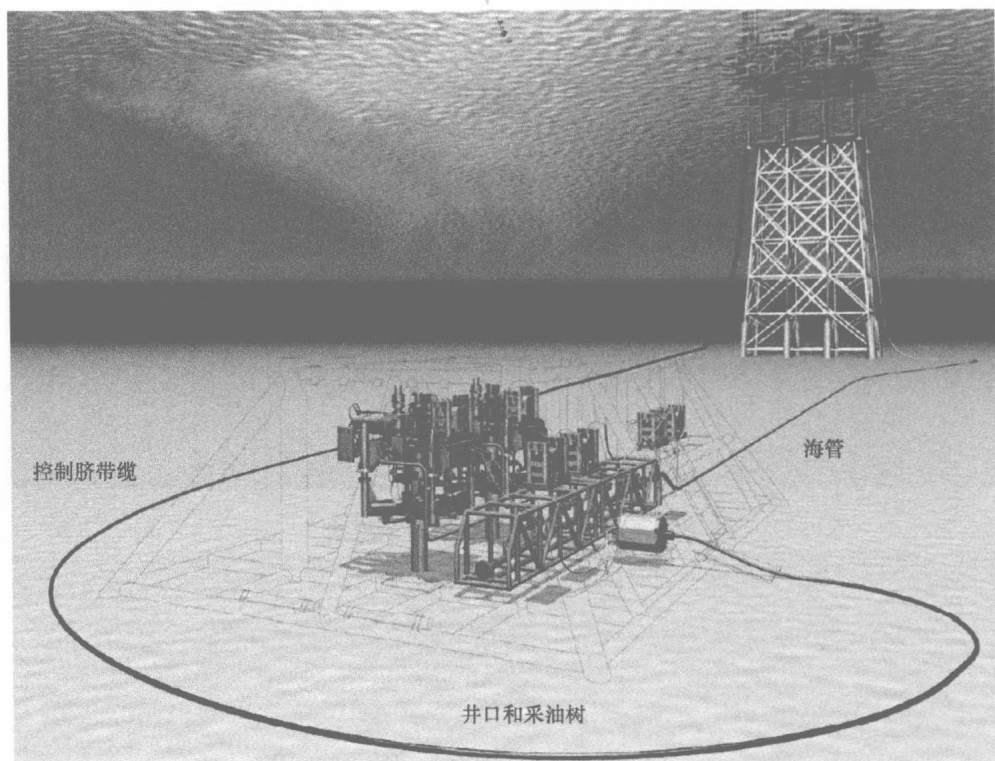


图 4-1 卫星井布置方案

2) 管汇+丛式卫星井:分散的单个卫星井或多个卫星井分别回接到水下管汇

这种模式的主要特点是单个卫星井或多个卫星井分别回接到海底中心管汇,中心管汇再通过一条或多条海底管缆回接到已有的基础设施,这时通常设计有两条同等规格的生产管线、作业管线和控制管缆,其优点在于具有两种不同压力体系的生产井可以同时生产,也便于进行清管作业。当需要同时进行钻井和生产作业时,这种开发模式机动灵活,不仅可以节省钻井时间,也可以优化生产井布置。图 4-2 为一个典型的管汇+丛式卫星井的水下生产系统开发模式图。

丛式管汇是水下生产系统的一种中枢管汇系统,主要为油井产出物以及注水、注气、注化学药剂等提供聚集点和分配点,可分为生产管汇、注入管汇(分配管汇)和混合管汇。在生产中,各个水下井口的产出物借助连接设施汇集到丛式管汇上,直接或经水下分离、增压后,泵送到浮式平台进行处理。同时,来自上部平台的注水、注气、注化学药剂的管线经丛式管汇后,将水、气、化学药剂分配到各个水下井口上,进行注水、注气、注化学药剂操作。此种管汇能够极大地优化海底生产设施的布局、减少管线的使用数量,从而有效地降低投资成本,提高深水油气田的开发

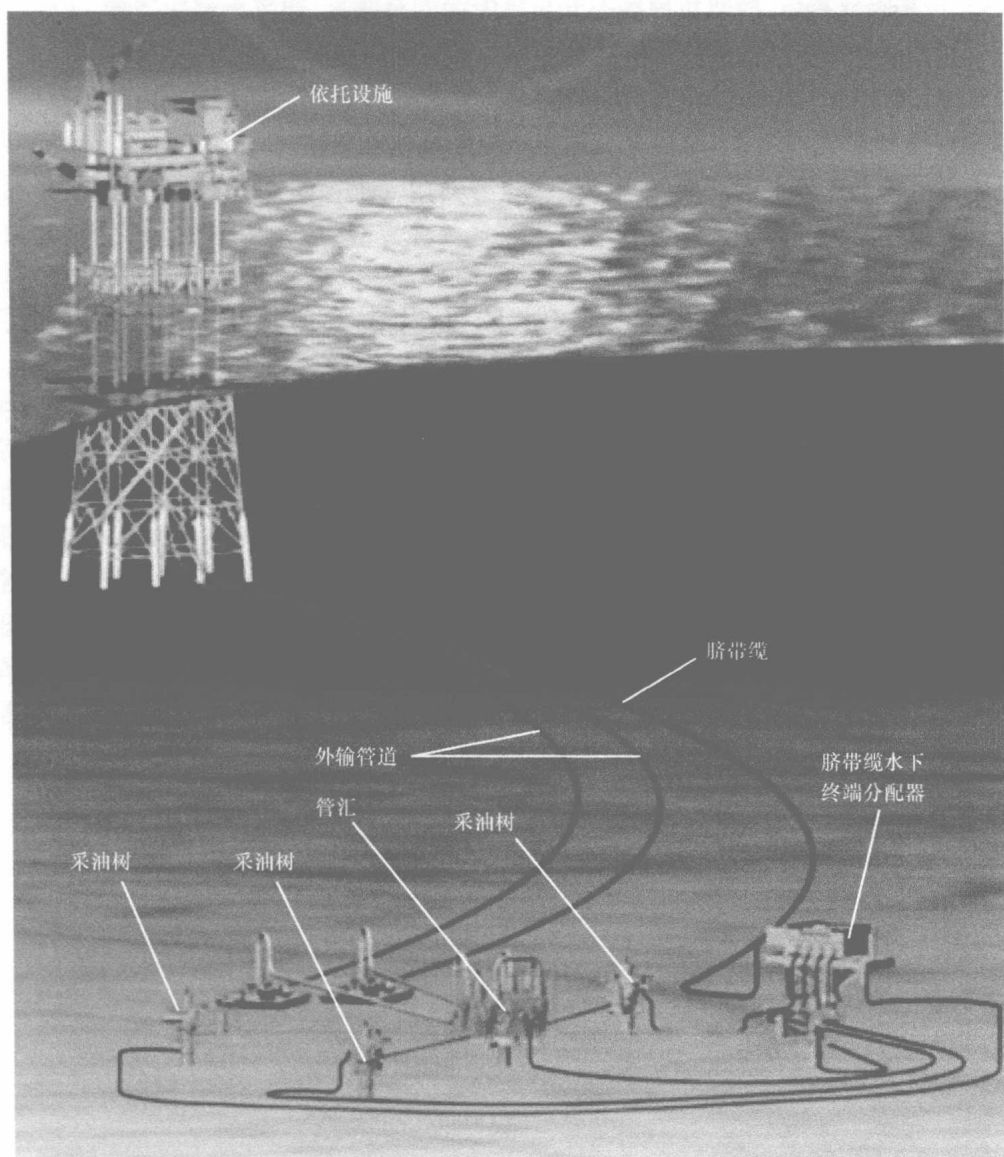


图 4-2 管汇+丛式卫星井的水下生产系统开发模式图

效率,已经成为深水水下生产系统布局中的主要形式。一个典型的丛式管汇布局形式是多个独立的较分散的卫星井口围绕在管汇周围。

管汇+丛式卫星井布局形式的主要特点如下:

- (1) 适用于井口(采油树)相对集中的油气田。
- (2) 钻井船一次就位可以钻多口井。
- (3) 井口头、采油树及管汇可以分批到货,井口头供货周期短,钻井可以先期