

海上油田 油气集输工程

肖祖骥 罗建勋 等 编著



石油工业出版社

海上油田油气集输工程

肖祖骐 罗建勋 等 编著

石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书介绍了海上油田油气集输工程的特点和必要的基础知识,详细地阐述了海上油气集输过程各主要环节——油气采集、油气水的处理、储存、外输等方面的内容。同时介绍了实际使用的计算公式和设计方法,以及国内外比较关心的采油平台、浮式生产系统、油田可行性研究和环境保护、溢油回收技术。

本书读者对象主要是从事海洋石油工程的设计、科研、施工、生产等方面的技术人员和管理人员,也可供高校海洋工程和石油工程专业师生参考。

海上油田油气集输工程

肖祖骐 罗建勳 等 编著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 32 开本 $11\frac{3}{4}$ 印张 258 千字 印 1-800

1994 年 8 月北京第 1 版 1994 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0968-4/TE·903

定价: 8.00 元

前 言

我国海洋石油工业始于本世纪 60 年代。80 年代以来，随着对外开放的深入，海洋石油工业得到飞速的进步。对海洋石油工程各环节的技术发展，也提出了更高的要求。在这种形势下，受上海交通大学之约，肖祖骐于 1984 年开始编写，并于 1986 年完成了本书的初稿，自 1987 年起，该初稿即作为上海交大船舶与海洋工程系的专业必修课教材使用。

本书初稿完成后，受到各方面的关注与支持。考虑到海洋石油技术的不断更新，同时考虑到设计、施工、生产、管理各方面对海上油气田油气集输技术的需要，受石油工业出版社之约，对初稿进行了全面系统的修改与增补，该修改与增补工作，第一章至第三章仍由肖祖骐完成，第四章至第十章由海洋石油工程设计公司罗建勋完成，其中第九章第四节由章文蔚编写。考虑到海上油田对污染控制的特殊要求，新增第十一章，委托东海石油公司姜德祥撰写。全书仍由肖祖骐统稿，并委托海洋石油工程设计公司章文蔚对全书主审。

本书概括了油、气集输领域必备的理论知识，尽可能引用了国际、国内油气集输方面最新的资料和规范，对海上油气田油气集输工程的各主要环节进行了较详尽的阐述与分析，可供从事海洋油气集输的科研、设计、施工、生产、教学等各方面技术和管理干部参考。

本书虽专为海上工程而著，但考虑到海上油（气）田所用的设备一般较先进，亦可供从事陆上油气田油气集输工作的同仁借鉴。

本书编写过程中，得到许多领导和同行的关心和支持，

本书也曾引用了一些非正规出版的资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于国内目前尚无有关海洋油气集输的任何专著，而且经对 1990 年以前美、英石油出版界的调查，也未发现有与之对应的任何公开出版的著作可供直接借鉴。因此，本书的编写自然困难颇多，再加上著者的水平和经验有限，本书从体系至内容各方面，错误与不当之处在所难免，恳请读者予以批评指正。

编者

1991 年 6 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 海洋油气集输工程的任务和流程	(1)
第二节 海洋油气集输方式	(6)
第三节 海洋油气集输工程发展简史	(8)
第四节 我国海洋石油开发概况	(12)
第二章 油、气和油气藏	(20)
第一节 油气藏概念	(20)
第二节 原油的一般物理性质	(22)
第三节 天然气的主要性质	(34)
第三章 采油井生产过程和设备	(42)
第一节 自喷井	(42)
第二节 机械采油	(54)
第三节 水下采油工艺	(68)
第四章 原油处理	(95)
第一节 油气分离	(95)
第二节 原油脱水和脱盐	(123)
第三节 原油稳定	(143)
第四节 油气计量	(151)
第五章 天然气处理	(160)
第一节 天然气脱水	(160)
第二节 气体放空火炬	(177)
第六章 注水和污水处理	(198)
第一节 注水系统	(198)
第二节 含油污水处理	(207)

第七章 平台工艺管路	(215)
第一节 液体管路的水力计算	(215)
第二节 气体管路的水力计算	(222)
第三节 油气混输管路	(225)
第四节 采油井井口温度计算	(227)
第五节 平台管路的设计考虑	(234)
第八章 原油储存与运输	(241)
第一节 原油储存	(241)
第二节 原油装载	(247)
第三节 海底输油(气)管道	(255)
第九章 海上生产平台和水下生产系统	(265)
第一节 海上生产平台的类型	(265)
第二节 平台选择因素	(273)
第三节 浮式生产系统运动对工艺设备设计的影响	(275)
第四节 水下生产系统	(282)
第十章 海上油(气)田工程设计	(293)
第一节 可行性研究	(294)
第二节 工程设计	(317)
第十一章 海洋环境保护与溢油回收技术	(330)
第一节 保护海洋环境的意义	(330)
第二节 溢油对海洋环境的污染损害	(336)
第三节 海上溢油清除与回收技术	(340)
附录	(358)
参考文献	(365)

第一章 绪 论

第一节 海洋油气集输工程的任务和流程

从海底下开采出来的原油和天然气，经过采集、初步加工处理、短期储存，再经单点系泊等设施装船外运或经海底管道外输的这一全套工艺过程通常是在海洋平台上完成的，我们称之为海洋油气集输工程。

一、海洋油气集输工程的任务

海洋油气集输工程主要任务有：

- 1.采油采气 从油井采出原油、天然气（有时还有水），经采油树及管汇送往处理装置。
- 2.油气处理 在平台上进行油井计量；油、气及游离水三相分离；分离出的原油进行脱水、稳定、计量后送往油罐或油轮暂时储存；分离出的天然气经脱水后部分供平台作燃料使用，其余或外输或送火炬燃烧；分离后的污水一般经处理后排放。
- 3.原油储运 储存的原油经加压、计量后，或通过管道，或经运输油轮送往用户。
- 4.二次采油工艺 二次采油的目的是提高原油采收率，主要方法有注水、注气等。海洋油田的注水工艺往往与油气集输工艺一起设计、施工。注水工艺主要有取水、水质处理、注水等。

油气集输工程是油（气）田开发的一个重要环节。

我国陆上油田，如大庆、胜利等，经过二十多年的生产

实践，已初步形成了一套与油田生产相适应的油气集输工艺技术，每年采出、处理和外输 1 亿多吨原油。

海洋油气集输工程的基本工艺流程和陆上相似。但海上由于平台空间限制，要求设备安装更紧凑，安全和自动化技术要求更高，相应投资也大得多。

二、油气集输流程

平台上油气集输处理工艺比较集中，仪表自控系统比较复杂。如果你跨上一座采油平台，满眼都是管道、阀门、容器、泵和仪表，让人眼花缭乱甚至感到神秘莫测。不过对内行来说，只要顺着流程分析，所有环节就一清二楚了。

图 1-1 是英国北海某油田实际使用的流程图。因该图比较典型，此处用其作一系统分析。

井口来的油、气、水混合物由阀组进行切换，切换方式可手动或自动（遥控）。

在使用水下采油树或井口平台等情况下，由于井口到生产管汇距离较远，管输温度也较低，因此往往要使用清管器接收装置，来接收油井井口发送过来的，用以清除管道结蜡的清管器。

每口单井来的油、气、水混合流体，按规定的时间间隔要求，轮流经测试管汇输往计量分离器进行计量测试。在计量分离器中，气、液二相分离，液相中的油和水也部分分离。在分离器出口管道中装有计量仪表，分别对油、气、水三相进行计量。因为油中还含有部分乳化水，所以管道中还应用含水分析仪检测油中含水量，将其积算到水量中去。三相计量通常由控制盘控制并由电脑自动积算和打印报表。

其余各井的混合流体，包括单井计量之后又混合的流体，通过生产管汇先后进入高压、中压、低压生产分离器进

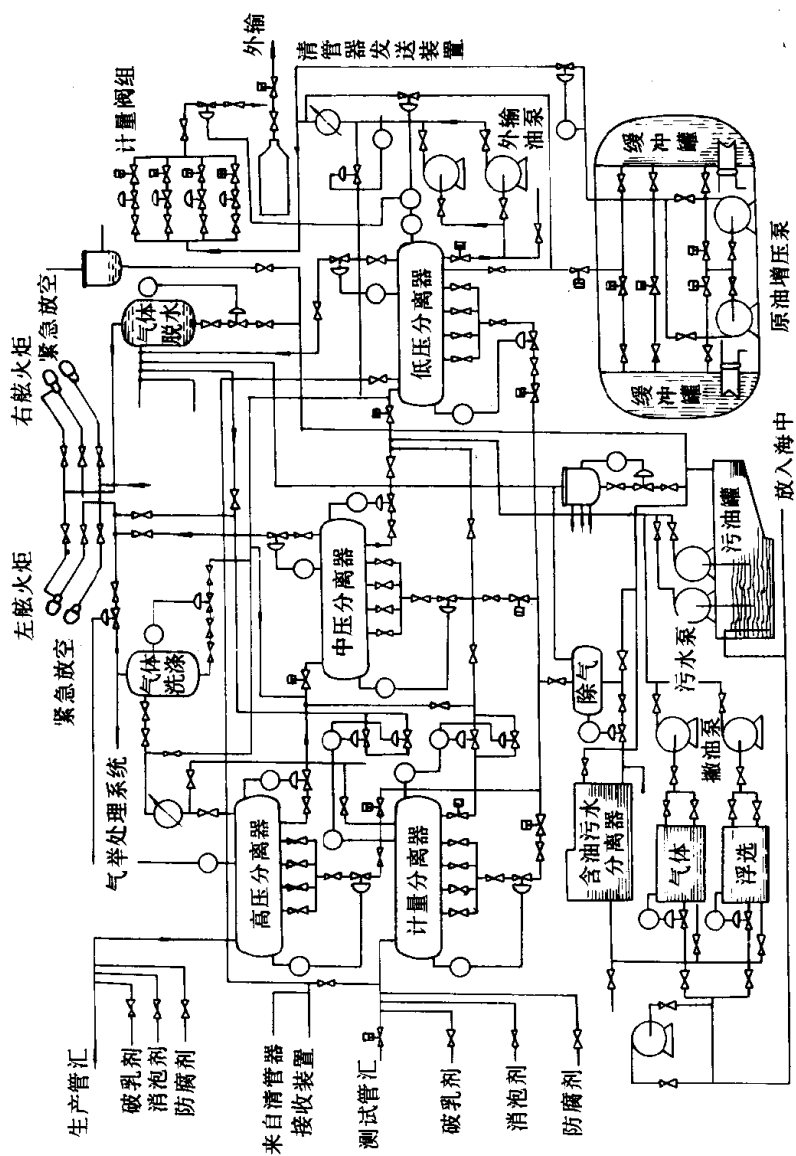


图 1-1 油气集输处理流程图

行三级油气分离。采用三级分离的目的是提高分离效果，并起到稳定原油的作用。

分离出来的原油因还含有乳化水，往往需再进入脱水器进一步破乳、脱水（本图没有此流程），才能使处理后原油达到合格外输的要求，原油还需经缓冲罐或油罐暂时储存，缓冲罐比油罐容积小得多，因此在平台上仅占不大的空间，经济上较为合理。但容积小缓冲量就小，如果外输采用通过管道将油泵送至岸上的方法，因管道工作稳定，对储存量无严格要求，则可使用缓冲罐。但若是采用油轮来外输原油，因受气候等因素干扰，油轮很可能不能按计划到达和开航，为了保证不至于频繁关井和保持正常生产，必须有7~15天的安全储存容积，就是说，在海上必须有储存用油轮或油罐。

输到岸上的长距离输油管线应当使用清管器，它不仅能起到清除积蜡效果，还能清除施工期间留下的脏物、管道低凹处的积水管。对输气管线来说，使用清管器清除积液也是十分重要的。

所有分离器中都有液位控制装置及测温测压仪表。

视油温和油品凝固点、粘度情况，系统中有时需增设加热设备。系统中压力不够之处，还需设增压泵。为了消泡、破乳、防腐蚀和防止石蜡沉积等需要，系统中往往需注入不同的化学药剂。

高、中压分离器分出的天然气经脱水后，一部分可供平台上燃气轮机和加热炉等作燃料，另一部分经三级加压后可供注气或气举使用。注气是一种提高原油采收率的方法，气举是一种采油手段。多余的天然气送往平台左右两舷伸出的火炬燃烧臂烧掉。低压分离器分出的气体因压力不够，往往

只能作密封用气或直接送火炬烧掉。火炬燃烧臂处有时还有2个紧急放空头，以备突然停止用气时，天然气因无出路而造成系统压力升高引起危险。

如果油田产气量较大，又不打算用注气方法回注到油层，还可以考虑另铺设一条管线将气送往岸上（本流程中没有）。这样，为输送天然气需设有处理装置，例如采用三甘醇脱水等法来降低露点，以防管道中产生水化物而堵塞管道。

分离器和脱水器分出的含油污水，除气后进行二级污水处理。第一级靠重力进行分离，第二级用气体浮选的办法。二级分离后的污水如果含油量减少到合乎国家规定的排放标准，则可排放到海中。如果达不到标准则需重复处理。在水质条件较差或要求较高的场合，往往还需进行过滤处理（本流程图没有），过滤后的水可外排，也可重新回注到油层之中。注水和注气一样，也是提高原油采收率的一种方法。二级污水处理时浮上的污油，自流或用泵打到污油罐，进一步沉降后，面上的浮油用泵打到低压分离器重新处理。污水处理过程中，往往需加入絮凝剂、浮选剂等化学药品。

准备注水的油田，虽可用处理后的污水回注，但从经济角度考虑，实际生产中大量使用的方法还是直接抽取海水，经过滤、脱氧、杀菌等处理后，用高压注水泵注进油层。

以上概略介绍了通常海上采油平台油气集输处理的主要流程情况。详细工艺及原理、计算等将在其它章节中逐一介绍。

第二节 海洋油气集输方式

一、三种海上油气集输方式

海上油气集输方式是按完成油气集输工程任务的可利用环境位置而区分的。一般可以分为全海式、半海半陆式和全陆式。由于方案不同，对储运方式及工艺设备布局带来较大的影响。图 1-2 反映了海上三种不同集输方式。

1. 全陆式集输方式

全陆式是指原油从井口采出后直接由海底管线送到陆上，油气分离、处理、储存全在陆上进行，这种集输方式只能用于离岸很近的油田。由于海上作业工程量少，因而投资省、投产快。但这种集输方式因受井口压力的限制对离岸远的油田不适用，而且因集输管线是油气水三相混输，管内摩阻大，要求管径也相应增大。

2. 半海半陆式集输方式

半海半陆式指集输系统的部分工艺设施在海上，部分在陆上。一般是采集、分离、计量、脱水等在海上。原油经海底管线运送到陆上进行稳定、储存、中转等。该集输方式适应性较强，不论远海、近海都可采用。但该方式必须铺设海底管线，对海底地形复杂，或原油性质不适宜管输的情况，不宜采用这种方式。

3. 全海式集输方式

全海式指原油从采出直到外输的所有集输过程全在海上进行。它适宜位于远海、深海的油田。由于该方式多数采用浮式设施，费用相应较低，因此一些离岸较远的低产油田、边际油田也往往采用这种方式。

二、选择集输方式的原则

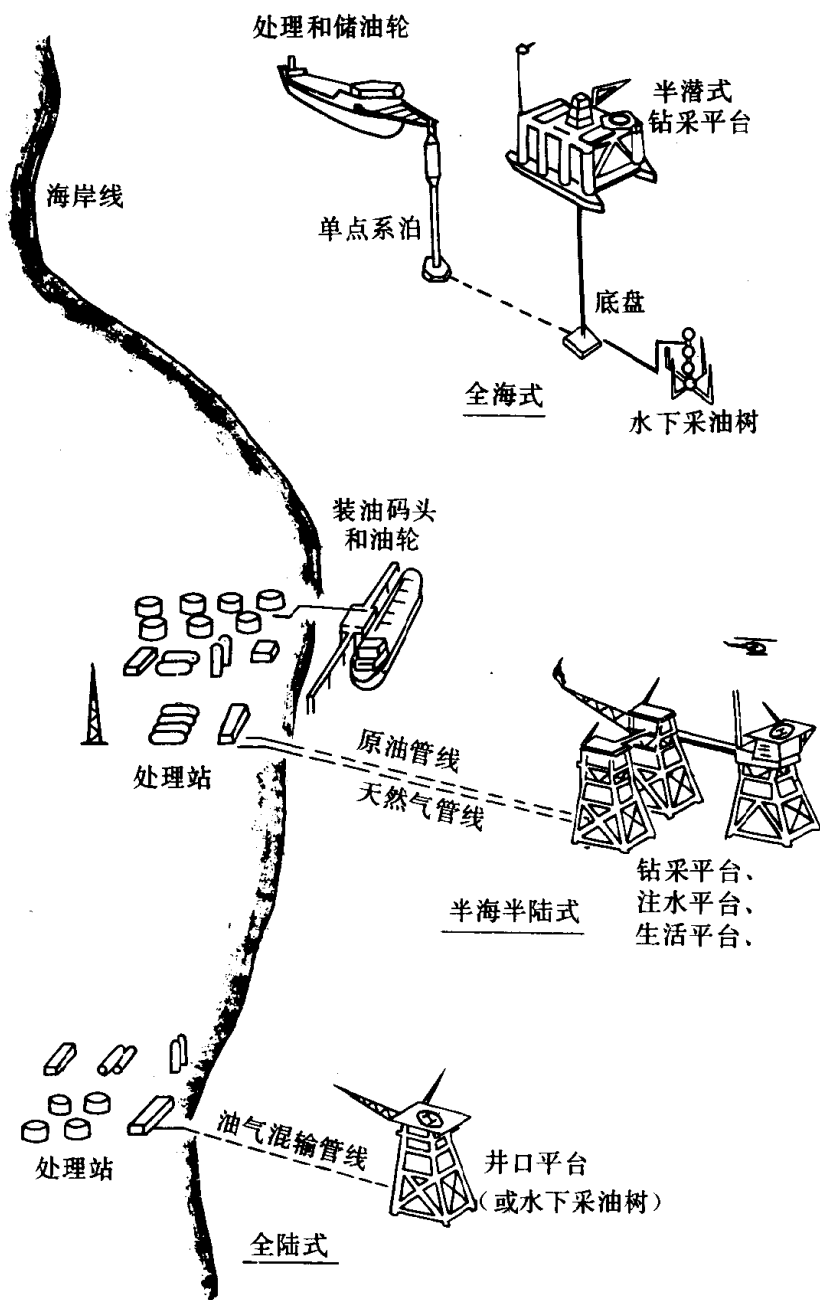


图 1-2 三种集输方式示意图

选择集输方式是海上油田开发研究的第一步，影响选择的因素很多。必须在掌握大量资料基础上进行综合技术经济分析比较，才能得到合理的方案。主要影响因素如下：

1. 油气藏情况

包括油田面积、可采储量、开采方法、油气井生产能力、开采年限、油气性质等。

2. 油田位置

油田离岸距离、岸上码头情况或建港条件、油田附近有无岛屿等。

3. 环境条件

油田水深、海底地形、海水和土壤性质、气象、海况、地震资料等。

4. 油气销售方向

原油内销还是出口，到消费中心距离、输送路线是水路还是陆路等。

5. 海上施工技术

承制海上结构的工厂及海上施工、运输、铺管等技术水平和设备条件等。

6. 其它条件

如原油价格、材料价格、临时设备重复利用的可能性、投资、操作费用、经济评价后的盈利情况等。

第三节 海洋油气集输工程发展简史

海上油气集输方式是从全陆式转变为半海半陆式，再从半海半陆式发展出全海式。从海洋石油工业发展的历史可以回顾出这个演变过程。

1907 年在美国加利福尼亚的 Summerland 钻出了历史

上第一口海上油井。之后十年钻了几十口海上油井，这些井离岸很近，最远的不过 150m。钻井在木桩栈桥上进行，栈桥加宽的地点就是钻井平台，钻机移走后就是采油平台。一共建了 11 条栈桥，长度从 90m 到 150m 不等，每条栈桥上钻 6 到 8 口井。栈桥上铺设管线。这些油井都是自喷井，原油靠地层压力输到岸上，进行处理和储存。这是最早的海上油气集输系统，是全陆式。

1938 年墨西哥湾近海发现了石油，但这个石油资源丰富的大陆架从五十年代起才大规模开发。70 年代末该处约有 1900 个采油（气）平台，其中部分为多井平台，最多的一个平台上有 32 口井。

墨西哥湾油田的集输，最初是将油井出油管通到拴在平台上或抛锚停泊在平台附近的驳船上，驳船装满后由拖轮拖往岸上，油井停产，等候驳船回来；有的用两条驳船轮流接运；有的在平台上安装一个油罐作暂时储存，再由驳船运输；也有的用管线把原油送至岸上。这些都是全陆式。

后来，为了提高运输效率，原油改在海上处理，把分离出来的气体在海上烧掉，沉淀出来的污水则倾入海中，后因美国外陆架管理局禁止这样做，勒令石油公司把污水运回岸上处理，以免污染海水，于是才不再在海上脱水，而把脱气后的所谓“湿油”运到岸上脱水，直到海上污水处理设备试验成功后，才重新在海上脱水。所有这些都是半海半陆式。

1951 年墨西哥湾开采了第一个气田。天然气在平台上脱水并分离出凝析油，然后再把凝析油与天然气混输到岸上，进行最后处理。墨西哥湾的许多气田至今还沿用此法。这也是半海半陆式。

同年在波斯湾发现了 Safaniya 大油田，离岸约 5km，

水深约 6m。波斯湾开采的海上油田大多数在海上分离气体，就地烧掉，原油则送到岸上。1969 年在 Safaniya 油田北部安装的一套生产系统由三个平台组成，即分离与泵平台，动力平台和生活平台。气体在海上烽火台上烧掉，原油用海底管线送到岸上中转库。这也是半海半陆式。

1955 年在墨西哥湾安装了一套大型海上原油集输系统，名为“尤金岛油田生产集输系统”。油田水深 12m，离岸 64km，用 75km 长的 300mm 直径海底管线把油和气分别输送到岸上。这也是半海半陆式。

此后，墨西哥湾油田普遍推广海底管线集输技术。不过，离岸较远的孤立小油田还是用驳船接运。此外，新发现的油田，在通往岸上的海底管线铺设之前，也有用驳船接运的。离岸太远、铺设海底管线不经济的油田也用驳船运油。

1960 年墨西哥湾在离岸 96km、水深 30.5m 处的一个油田，平均日产量约 360t，采用三个平台开采，一个生产平台，装有 1000t 储罐；一个储罐平台，容量 1200t；一个生活平台，装有 450t 储罐。三个平台之间有栈桥相通。油罐内的油用驳船运往炼厂，形成了全海式集输系统。当时，在这样的产量、水深和离岸远近的条件下，这种平台储存加驳船运输的做法比用海底管线输油经济，但 1964 年 10 月的一次百年一遇的巨风把这些装有储罐的平台摧毁。后来用系泊在浮筒上的储驳代替，只化了 3 个月的时间就恢复了油田的生产。

1960 年墨西哥湾第一次采用了利用油水置换原理的海底储罐，容量约为 4100t。油水交界面上并未发生乳化现象。

1960 年（一说 1958 年）出现单点系泊系统。