



高等院校石油天然气类规划教材

海洋油气集输工程

邓雄 刘音颂 李睿 © 主编

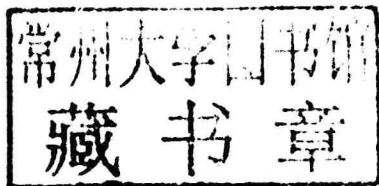


石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等院校石油天然气类规划教材

海洋油气集输工程

邓雄 刘音颂 李睿 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述海上油气采集、油气水处理、储存、外输、天然气液化、轻烃回收、注水、注气、浮式生产储油外输油轮、水下生产系统、流动保障、环境保护和溢油回收等各个环节的理论、工艺、技术与装备等内容,是为适应海洋油气工程专业人才培养目标而编写的,是海洋油气工程及油气储运工程等相关专业的主要教材之一。

本书除作为石油高等学校海洋油气工程专业的教材外,也可供从事油气储运、海洋石油工程技术的广大技术和管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋油气集输工程/邓雄,刘音颂,李睿主编.

北京:石油工业出版社,2016.8

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 978-7-5183-1416-4

I. 海…

II. ①邓…②刘…③李…

III. 海上油气田-油气集输工程-高等学校-教材

IV. TE83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 189898 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64250091 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:22

字数:563 千字

定价:45.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

海洋石油与天然气是我国石油工业的重要组成部分,更是今后我国的主要战略接替能源。加快海洋石油与天然气的开发既是我国国民经济高速发展的需要,也是国家能源安全及发展战略的需要。由于海水对海洋工程结构物及其水下设备的特殊载荷和环境条件,使得其水面装备、水下设备及其油气开采工艺与陆地油气开发存在显著区别。

本书概括了海上油气田油气集输领域必备的基础知识,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主要环节进行了较详尽的讲述。本书既可作为即将从事海洋石油开发和集输工程的本科生教材,也可供从事海洋油气集输的科研、设计、施工、生产、教学等各方面的技术和管理人员参考;考虑到海上油气集输工程所用的设备一般较先进,技术非常密集,自动化程度较高,本书还可供从事陆上油气集输的技术人员参考和借鉴。

本书由邓雄、刘音颂、李睿三位老师担任主编。具体编写分工为:西南石油大学邓雄编写第一章、第三章、第七章、第四章第二节和第三节,东北石油大学刘音颂、单五一编写第二章、第四章第一节和第八章,西安石油大学李睿编写第五章、第六章,邓雄对全书进行汇总和修改。本书由西南石油大学梁政,中国海洋石油总公司深圳分公司罗东红、孟凡棣等主审,并经西南石油大学海洋油气工程研究所审查。在本书的编写过程中,得到了西南石油大学、东北石油大学、西安石油大学以及中国海洋石油总公司许多领导和同行的关心与支持,引用了许多其他作者的资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于目前国内有关海洋油气集输的专著非常少,编者对国内外油气集输的现状也缺乏非常深入的调查和研究,因此,本书的编写困难颇多,加之编者的水平和经验有限,错误与不当之处在所难免,恳请读者予以批评指正,以便在再版时做相应的修改和完善。

编 者

2016年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 海洋油气集输工程概述	1
第二节 海洋油气集输方式及选择原则	4
第三节 海上油气田生产的典型设施	7
习题	8
第二章 原油处理与输送系统	9
第一节 原油物化性质	9
第二节 油气分离	28
第三节 原油脱水和脱盐	49
第四节 原油稳定	73
第五节 原油的存储与外输	82
习题	86
第三章 天然气处理与输送系统	87
第一节 概述	87
第二节 天然气基本性质	94
第三节 天然气脱水及水露点控制	103
第四节 酸性气体处理	113
第五节 脱除液烃及低温分离技术	119
第六节 其他杂质的脱除	123
第七节 天然气水合物的形成与抑制	124
第八节 天然气压缩与外输	131
第九节 天然气液化	144
第十节 气体放空火炬	155
习题	165
第四章 注水、注气和生产水处理	166
第一节 注水系统	166
第二节 注气系统	175
第三节 生产水处理	184
习题	196
第五章 油气水计量	197
第一节 油气水计量装置和仪表	197
第二节 油(液态烃)计量	210
第三节 气计量	218
第四节 水计量	221
习题	223

第六章 浮式及水下生产系统.....	225
第一节 浮式生产储卸装置.....	225
第二节 单点系泊系统.....	240
第三节 水下生产系统.....	249
习题.....	266
第七章 海上油田油气管道与管缆.....	267
第一节 概述.....	267
第二节 液体管路.....	268
第三节 气体管路.....	291
第四节 油气混输管路.....	299
第五节 平台工艺管路.....	305
第六节 海底管道结构及断面设计.....	312
第七节 海底管缆.....	319
习题.....	328
第八章 漏油、溢油及应急处理	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.....	332
第三节 海上溢油清除与回收技术.....	334
习题.....	342
参考文献.....	343

第一章

绪论

第一节 海洋油气集输工程概述

从海底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、装船运输或经海底管道外输的过程,这一全套工艺过程通常是在海洋平台、浮式装置或水下完成,称为海洋油气集输工程。

一、海洋油气集输工程的任务

海洋油气集输工程的主要任务包括:

(1)采油采气。指从油气井采出原油、天然气(有时还包含水、酸性气体、机械杂质等),经采油(气)树及管汇送往处理装置。

(2)油气处理。包括油气计量;油气水三相分离;分离出来的原油进行脱水、稳定、计量后送往油罐或油轮暂时储存或外输;分离出的天然气经净化后(脱水、脱硫)液化外输或管道输送或部分供平台作燃料使用或送火炬燃烧等;分离后的生产水经过达标处理后排放或回注。

(3)油气储运。储存的油气经增压、计量后,原油通过管道或经穿梭油轮送往用户,天然气则通过液化(LNG 船)或管道输送上岸或到用户。

(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。海上油气田的注水、注气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,注气工艺包括气源获取、气体处理、储运及注入等。

油气集输工程是油气田开发的一个重要环节。海洋油气集输工程的基本流程和陆上相似,但海上油气田由于集输空间限制和海洋环境的影响,要求设备安装紧凑,安全和自动化技术要求更高,相应投资也大得多。

二、海上油气集输工艺流程

海上油气集输工艺流程是海上油气田油、气、水在油田内部流向的总说明。海上油气集输工艺流程是从海上油、气井的井口起,通过输送及若干处理工艺环节,直到成为合格油、气产品,暂时储存起来的全过程的说明。下面以某海上油田的油气集输流程(图 1-1)为例加以说明。

如图 1-1 所示,主要工艺过程为:(1)海上油井生产的油、气、水多相流体分别从三组井口平台(WPHB 与 WPHA 一组,WPHC 和 WPHD 一组,WPHE 及 WPHF 一组)两两串联混输

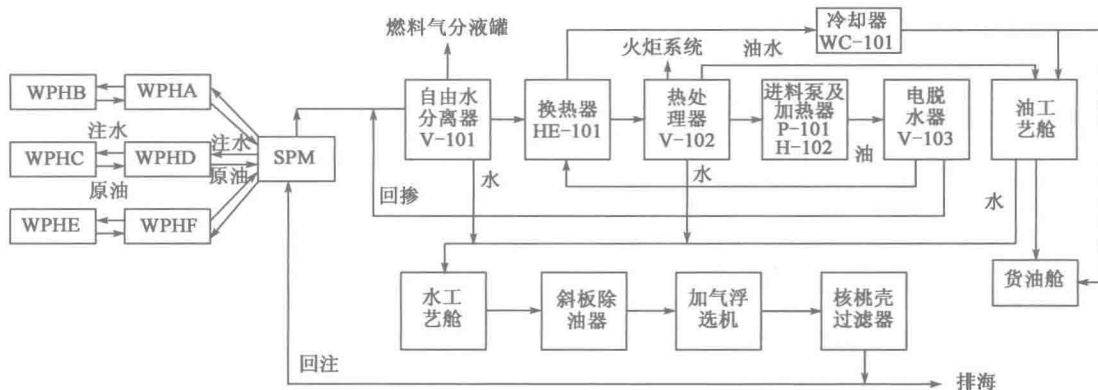


图 1-1 海上油气集输工艺流程

至单点系泊装置(SPM)。(2)通过软管将自 SPM 出来的多相流送入 FPSO 上的自由水分离器(V-101)、热处理器(V-102)进行处理,使原油中含水降至 30% 以下,再通过进料泵(P-101)送至电脱水器(V-103)进行电脱水处理。(3)电脱水后的原油与自由水分离出的含水原油在换热器(HE-101)中加热后,再通过海水冷却器(WC-101)冷却至 80℃ 左右。经电脱水后的原油若合格则原油直接进入货油舱,否则,则应先进入油工艺舱,经两级沉降分离,待原油达到合格标准后,再进入货油舱。(4)分离出的气相则是从分离器(V-101)分离出来后,送至燃料气分液罐,经分液及除去尘土颗粒后作为热介质炉的燃料,而热处理器(V-102)分离出来的气体,由于压力低,则直接进入火炬系统烧掉。(5)电脱水器(V-103)分离出来的生产水回掺到自由水分离器(V-101)中,用于提高自由水分离器的操作温度。(6)从分离器(V-101)和油工艺舱及热处理器(V-102)分离出来的生产水,首先要进入水工艺舱进行两级沉降分离,然后经斜板除油器、加气浮选机和核桃壳过滤器处理后,达到水中含油不超过 30mg/L,固体含量不大于 5mg/L,悬浮物颗粒直径不大于 4mm,能够满足注水和排入海中(不回注入井时)的要求后,即可经 SPM 再通过海底注水管线,输至各井口平台回注入井,不足时还可通过各井口平台的水源井补充。油田开发初期,油井先产油半年(又称先期排液)时不需要注水,生产出的水处理达标后即可排入海中。

需要指出的是:在这个示例的油气集输流程中,为了解决自井口平台至生产储油轮的短距离油、气、水混输问题,方案中采用了井口平台分成三组,每组两个平台相互串联输送(可缩短管输距离)的措施以及在井口平台上装设多路阀和多相流量计,实现对单井油气的自动切换计量等新技术,这些技术的实施对于选择这种油气集输方式及流程起着重要作用。

以上概略介绍了海上油气集输处理的主要流程,详细的工艺及原理、计算等将在其他章节中介绍。

三、海上油气集输工程的特点

海上油气田的集输工程是在海洋平台或其他海上生产设施上进行,因而海上油气的生产与集输,有其自身的特点。

(一)海上生产设施应适应恶劣的海况和海洋环境的要求

海上生产设施要经受各种恶劣气候和风浪流的袭击,经受海水的腐蚀,经受地震的危害。

为了确保海上油气生产设施的安全可靠,对其设计和建造提出了更严格的要求。

(二)满足安全生产的要求

由于海上采出的油气是易燃易爆的危险品,在集输、存储、增压等工艺中存在发生跑、冒、漏、滴等事故的可能性。同时,受平台空间的限制,油气处理设施、电气设施、人员住房可能集中在同一平台上,因此对平台的安全生产提出了极为严格的要求。要保证操作人员的安全,保证生产设备的正常运行和维护。安全系统包括火气探测与报警、紧急关断、消防、救生与逃生等系统。海上生产设施的安全系统以自动为主,手动为辅。

(三)满足海洋环境保护的要求

油气生产过程对海洋的污染:一是正常作业情况下,存在着油气田生产水以及其他污水;二是各种海洋石油生产作业事故造成的原油泄漏。因此,海上油气生产设施应设置污水处理设备,使之达标排放,还应备有原油泄漏时的应急处理装备。

(四)设备更紧凑、自动化程度更高

由于平台规模大小决定了投资的多少,因此要求平台上的设备尺寸要小,效率高,布局紧凑。对于某些浮式生产系统上的设备来说,还要考虑船体的摇摆对油气处理设备的影响。另外出于平台上操作人员少的考虑,因而要求设备的自动化程度高,一般都设置中央控制系统来对海上油气集输和公用设施运行进行集中监控。

(五)可靠、完善的生产生活供应系统

海上生产设施远离陆地,从几十千米到上百千米不等,因此必须建立一套完善的供应系统,以满足海上平台的生产和生活需求。

一般情况下,陆上要建立对海上设施的供应基地,供应基地的大小与海上生产设施的规模有关。供应方式一般有两种:一是供应船向海上平台提供供给;二是直升机向平台运送物资和人员。供应船向平台提供生产作业用物资、生产生活用水、燃料油、备品、备件以及操作人员等。直升机主要向平台运送人员以及少量急需的物资,并向平台人员提供紧急救助服务。

为了接收和储备生产物资与生活用品,海上生产设施要配备以下相关的设备和装置:起吊物资和人员用的吊机、供应船靠船件、供直升机起降用的停机坪、储备及输送燃料油和淡水的储罐与输送泵、储藏备品备件的库房等。

一般情况下,海上生产辅助设施应有7~10天的自持能力,以保证正常的生产运行和人员生活。

(六)独立的发电、配电系统

海上生活设施的电气系统不同于陆上油田所采用的电网供电方式,海上油田一般采用平台自发电集中供电的形式。

一般情况下,海上平台利用燃气透平驱动或通过原油、柴油机驱动发电机,并通过配电盘将电源送到各个用电场所,平台群中平台间的供电是通过海底电缆实现的。

发电机组应具有冗余设计和配备,以保证其中任何一台发电机损坏或停止工作时,仍能保持对生产作业和生活用的电气设备供电。除主发电机外,有些平台还设置应急发电机,以满足

连续生产的需要。

为确保生产和生活的安全,平台上设有独立的应急电源,应急电源包括蓄电池组和交流不间断电源(UPS)。

设置应急发电机的作用是当主发电机出现故障或发生应急关断时,满足消防、应急照明等设备的需求。应急发电机应在主电源失效的情况下,自动启动和供电。

(七)可靠的通信系统

通信系统对于海上安全生产是必不可少的,它的主要任务是在油田生产过程中,保证平台与平台之间、平台与外界及平台内部能够进行有效可靠地通信联系,使海上生产安全有效地运行。同时,为避免过往船只对平台的碰撞,平台上设置了雾笛导航系统,当海面上有雾时,雾笛鸣响;当夜晚降临时,航行灯向周围海域平射出光束,表示出平台的位置和大小。

第二节 海洋油气集输方式及选择原则

海上油气集输方式是按完成油气集输任务的可利用环境位置来区分的,一般分为全海式、半海半陆式和全陆式三种。由于方案的不同,对储运方式及工艺设备的布局带来较大影响。每一种基本类型中,又按其具体情况和条件再分成各种不同的方式。其本质的区别在于将油气处理加工的设备与装置、中转和储存的设备与设施等是放在附近的岸上,或是放在海上,或二者兼而有之。

纵观海洋石油工业发展的历史,海洋油气集输与储运生产系统的演变过程,是从全陆式转变为半海半陆式,再从半海半陆式发展到全海式的过程(图 1-2)。

一、全陆式油气集输方式

全陆式油气集输方式如图 1-2(c)所示,它是指原油从井口采出后,直接由海底管线将油、气、水三相流体混输至岸上,在陆地上进行油、气、水分离处理,达到质量合格标准后,储存并输送给用户。这种油气集输方式由于生产、处理、储存全在陆上,海上作业量少,因而投资省、建设快。但因集输管道是油气水三相混输,管内摩阻大,故离岸远的海上油气田不适用。

二、半海半陆式油气集输方式

半海半陆式油气集输方式如图 1-2(b)所示,是指油气集输系统的部分设施在海上,而另一部分设施在陆上。一般是采集、分离、计量、脱水等生产处理工艺在海上进行,原油和天然气用管道输送到陆上,在陆上进行稳定、储存和中转运输等。这种油气集输方式适应性较强,不论远海、近海均可采用,但因该方式需铺设海底油气管道,故对海底地形复杂,或原油性质不适应管道输送等情况,不宜采用此种油气集输方式。

三、全海式油气集输方式

全海式油气集输方式如图 1-2(a)所示,是指原油从采出直到外输的所有集输及生产处理过程全部都在海上进行。处理后合格的原油暂时存于生产储油轮上或储油罐内,由穿梭油

轮定期外运。这种方式适宜位于远海、深海的油田(近海当然也适用),由于该方式一般多采用浮式设施,工程建设总费用相应较低,因此一些离岸较远的低产油田、边际油田也常采用此种方式。

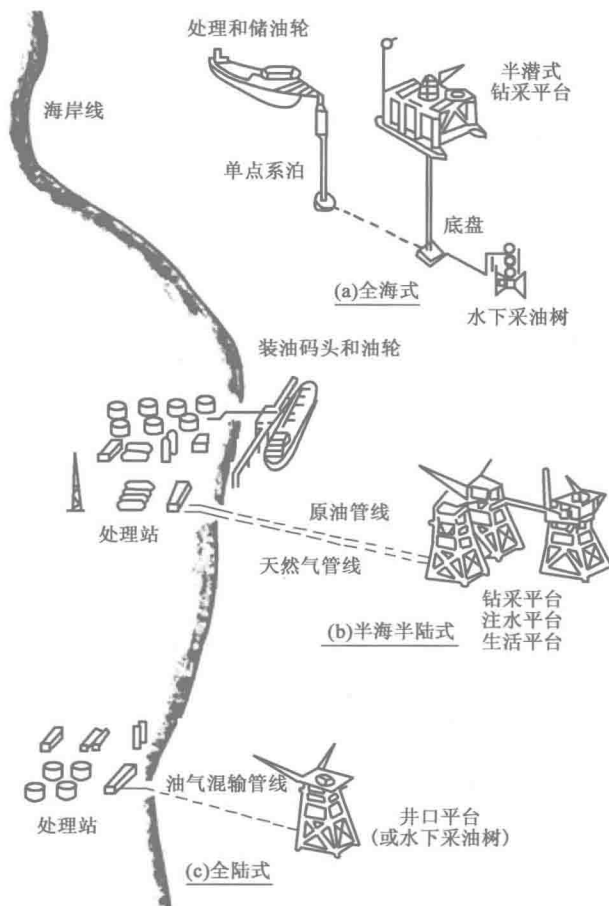


图 1-2 海上油气集输的三种方式

四、海洋油气集输方式的选择原则

(一) 集输方式选择的影响因素

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的基础上进行综合经济分析比较,才能得到合理的方案。海洋油气集输方式的主要影响因素包括如下六点:

(1) 油气藏情况,主要指油田面积、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,主要指离岸距离、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,主要指油田水深、海底地形、海水和土壤性质、气象、海况、地震等资料。

(4) 油气销售方向,主要指原油是内销还是出口,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,包括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)其他条件,主要指原油价格、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。

(二)集输方式选择前应掌握的资料

在研究确定油气田的总体开发方案(ODP)后,究竟采用哪一种类型的集输与储运生产系统,需掌握以下主要资料。

1. 与油气藏有关的资料

- (1)油气田面积及油气层状况;
- (2)地质储量和可采储量;
- (3)开采方式、增产措施、平均日产量和估计开采年限(寿命);
- (4)油气的组分及其物理化学性质。

2. 与各主要用户有关的资料

- (1)与各主要用户之间的距离;
- (2)到各主要用户拟采用的油气运输方式。

3. 与环境有关的资料

- (1)油气田距岸的距离或距可作中转站(库)的岛屿之间的距离;
- (2)油气田所在位置的水深、海底土质和海水性质;
- (3)沿岸地质、地形和地貌资料;
- (4)海底土壤性质和海底地形及障碍物;
- (5)所在海域的风、浪、流等因素影响,在一年中不能进行海上安装作业或油轮不能停靠和装油的天数;
- (6)附近有无现成的装油码头或有无可建深水港口的海湾或海岸线;
- (7)承制海洋工程结构物场地的设备和技术条件以及距该油气田的距离等。

除了这些因素外,还有关于设计、制造和安装方面可能遇到的有利或不利条件等都应考虑,如材料供应与价格、施工期限和各种临时设施等。

(三)海洋油气集输方式选择的指导原则

海洋油气集输方式选择的指导原则如下:

(1)技术上可行。它是指所选择的油气集输方式,无论在工程施工过程所应用的技术,还是所需装备在设计、制造、使用、维修等各个环节所采用的技术,均是可实行的。若采用高新技术,则应该是通过试验验证的。

(2)经济上相对效益高。它是指与选择其他方式相比,经济效益较高,经济效益是制订油田开发方案、选择油气集输方式的主要着眼点。经济效益是受多种因素制约的综合结果,从油气集输方式选择的客观上来看,影响最大的是产量和油气价格两大因素。从与油气集输方式选择直接有关的影响因素来看,主要包括涉及油藏的可采储量、油气性质、油气井生产能力、开采方法等;与油田地理位置有关的离岸距离远近;关系到工程投资费用和建设周期的海洋工程环境与施工条件等因素,以及其他如操作费用、设备重复利用率等有关经济因素,这些因素均

与经济效益的评价有关。

(3)实施上风险程度低。风险是指对特定危险事件的发生概率及损失程度的综合描述,风险程度是指发生风险的概率大小,海洋油气集输系统存在着许多需要预测和评估的风险。选择油气集输方式时,考虑风险程度主要来自三个方面的不确定性,即预测油藏基本情况的不确定性、预测工程建设周期的不确定性以及所进行的经济评价的不确定性,如油田可采储量、油气井生产能力的预测,施工期间海况、气象的预测,评价经济效益时油气价格的不确定性等。选择油气集输方式时应充分运用概率分析方法,对各个主要不确定性因素进行风险分析,优选出风险程度较低的方案。

第三节 海上油气田生产的典型设施

一、主要生产设施

海上油气田生产设施是指建立在海上用于油气生产的建筑物。由于海上设施是用于海底石油开发及采油工作,加上海上油气田所处区域的水深及海况差异、油藏面积不同、开采年限不一,因此海上生产设施类型众多,基本上可分为固定式生产设施、浮式生产设施及水下生产系统三大类,在此三大类中又可进一步细分,如图 1-3 所示。



图 1-3 海上生产设施的分类

固定式生产设施是用桩基、座底式基础或其他方法固定在海底,并具有一定稳定性和承载能力的海上结构物。海上固定式生产设施按其结构形式可分为桩基式平台、重力式平台和人工岛以及顺应型平台;按其用途可分为井口平台、生产处理平台、储油平台、生活动力平台以及集钻井、井口、生产处理、生活设施于一体的综合平台。

浮式生产设施包括利用改装(或新建的)半潜式钻井平台、张力腿平台、自升式平台或油轮放置采油设备、生产和处理设备以及储油设施等。浮式生产设施最大的特点就是可实现油田的全海式开发,可重复使用,因此被广泛用于早期生产、延长测试和边际油田的开发过程中。

水下生产系统是将采油树放到海床上,水下采油树采出的流体通过水下管汇输到水下管汇中心,水下管汇中心完成对各井流体的单井计量、汇集、增压后通过海底管线输送到 FPSO 上进行处理和储运。水上控制设施对水下井口关断、注水、注气、化学药剂注入等进行控制。水下设备包括水下采油树和水下管汇中心,水上控制设施放置在浮式生产设施上,对水下设备进行控制及维修作业,水下设备和水上控制设施构成了一套完整的水下生产系统。

二、典型生产设施组合

由于油气田特征、地理位置和海洋环境的不同,往往要用不同的生产设施的组合形式来满足油气田开发的需要。在生产实践中,经常采用以下几种生产设施的组合:

(1)井口平台+浮式生产储油外输油轮(FPSO)。这类生产系统由一座或几座不同功能的井口平台和具有油气处理、原油储存及外输的浮式油轮组成。我国大部分海上油田都采用这种组合方式。井流从油气井采出后,在井口平台经过简单的计量后,经海底管线通过单点输送到浮式生产储油外输油轮(FPSO),原油经处理合格后到储油舱储存,再用穿梭油轮将原油运走。

(2)井口平台+中心处理平台+储油平台及输油码头。这类生产系统由一座或几座不同功能的井口平台和具有油气处理能力的中心平台,以及若干个原油储罐组成的储油平台及输油码头组成。渤海湾的埕北油田就是这种组合方式,井口平台来液进行分离处理合格后的原油输送到储油平台储存,穿梭油轮在油码头系泊后,将储罐中的原油输送到穿梭油轮并运走。

(3)水下井口+FPSO。这类生产系统由若干个水下井口和具有油气处理、原油储存及外输的浮式油轮组成,我国南海 LF22-1 油田就是采用这种组合方式,由水下采油树、水下管汇组成的水下生产系统将原油通过海底管线输送至 FPSO 上进行油气分离处理,合格的原油储存在 FPSO 上的油舱中,并由穿梭油轮将原油运走。

(4)海上固定平台+陆上终端。这类型生产系统由海上若干座固定平台(井口平台和中心处理平台)和具有一定处理能力的陆上终端组成。这类生产系统主要适用于海上气田或凝析油田以及距岸较近的油田。海上气田的天然气在固定平台上进行脱水和增压后,通过海底管线输送到陆上终端进行处理,使之成为符合商业标准产品。

(5)固定平台+人工岛。这类生产系统由若干座固定平台(井口平台或中心平台)和具有生产处理、原油储存及外输功能的人工岛组成。

(6)混凝土平台。混凝土平台除具有原油处理、原油储存和外输设施外,还可在平台上安置钻机进行钻井和修井作业。

习 题

1. 简述海洋油气集输工程的主要任务。
2. 结合海洋油气集输工艺,简述海上油气集输工程的特点。
3. 简述海上油气田的主要集输方式、特点及选择原则。
4. 简述海上油气田典型生产设施组合及适用范围。
5. 查阅资料,对比分析海上油气集输工程与陆上油气集输工程的差异。

第二章

原油处理与输送系统

第一节 原油物化性质

从油井中生产出来的原油,是由各种烃组成的液态或半固态物质,是重要的能源之一,也是石油化工工业的原料。原油主要发现于地下,可加工为天然气、汽油、石脑油、煤油、燃料油、润滑油、原油蜡及原油沥青等多种原油产品。

一、原油的基本组成

原油组成的研究是在 20 世纪 30 年代初开始的,美国石油学会(API)等组织曾专门成立研究小组对原油中轻质馏分的组成、硫氮化合物的组成、重油的组成等进行研究。原油中各种组分十分复杂,因此可以从以下两个方面对原油的组成进行阐述。

(一)原油的元素组成

原油主要由烃类化合物组成,因此碳元素含量很高,一般在 83%~87%之间,氢含量为 11%~14%。硫为仅次于碳、氢的重要元素,一般占原油的 0~6%,个别原油可达 10%。氮比硫少,有的原油中氮仅是硫的 1/2 到 1/10,90%的原油含氮均小于 0.2%;平均氮含量为 0.094%。氧含量也很小,一般不超过 1%~1.5%。硫、氮、氧三种元素总含量一般占原油的 0.3%~7%,其他元素多数小于 1%。表 2-1 和表 2-2 分别给出了原油中重要元素含量范围及国内外原油的元素含量。

表 2-1 原油中元素含量

元素名称	范围,%	平均值,%
碳	83~87	84.77
氢	11~14	12.86
硫	0~6	0.65
氧	0.2~1.6	0.73
氮	0~0.7	0.094

表 2-2 国内外油田原油中的元素组成

石油产地	元素组成(质量分数),%				
	碳(C)	氢(H)	硫(S)	氮(N)	氧(O)
大庆油田(混合油)	85.74	13.31	0.11	0.15	0.69
胜利油田(混合油)	86.26	13.20	0.80	0.41	—
大港油田(混合油)	85.67	13.40	0.12	0.23	—
江汉油田(混合油)	83.00	12.81	2.09	0.47	1.63
克拉玛依油田	86.13	13.30	0.04	0.25	0.28
孤岛	84.24	11.74	2.20	0.47	—
柴达木盆地	83~87	11~14	—	—	—
罗马尼亚(布拉舍内里)	86.30	13.32	0.18	—	—
美国(宾夕法尼亚)	85.80	14.00	—	0.06	—
加拿大(斯普灵)	83.60	13.40	0.60	0.18	—
日本(客川)	84.86	13.83	0.32	0.55	0.20
伊朗(麦丹—依—纳天)	85.40	12.80	1.00	0.76	
前苏联格罗兹尼	85.59	13.00	0.14	0.07	0.74
前苏联杜依玛兹	83.90	12.30	2.67	0.33	0.74
美国文图拉盆地	85.00	12.30	0.40	1.70	1.20
墨西哥	84.20	11.40	3.60	—	0.80

(二)原油的化学组成

1. 原油的烃类化合物

由碳、氢两种元素组成的化合物称为烃类化合物,碳、氢两种元素与其他元素组成的化合物称为非烃类化合物。

原油中的烃类主要含有烷烃、环烷烃和芳香烃,一般不含有烯烃,在原油产品中会含有一定量烯烃。不同原油中,各族烃类含量相差较大,即使同一种原油,各族烃类在各个馏分中的分布也有很大的差异。

1) 烷烃

烷烃是原油的主要组分,其分子结构特点是碳原子间以单键相连成链状,其余价键为氢原子所饱和,碳链呈直链的称为正构烷烃,带侧链或支链的烷烃称为异构烷烃。碳原子数大于 3 的烷烃,存在组成相同而结构不同的同分异构体,随着碳原子数增多,同分异构体数量迅速增加。正构烷烃和异构烷烃的元素组成相同,但结构不同,因而它们性质既有相似之处,也有一定差别。

在常温常压下, $C_1 \sim C_4$ (即分子中含 1~4 个碳原子)的烷烃为气态, $C_5 \sim C_{15}$ 的烷烃为液态,是液体燃料的主要组分,其沸点随着分子量的增加而上升。蒸馏原油时, $C_5 \sim C_{10}$ 的烷烃多

进入汽油馏分(200℃以下),而 C₁₁~C₁₅的烷烃则进入煤油馏分(200~300℃)。C₁₆以上的烷烃为固态,一般多以溶解状态存在于原油中,当温度降低时,就有结晶析出,工业上称这种固体烃类为蜡。通常在 300℃以上的馏分中,即从柴油馏分开始才含有蜡。含蜡量的多少,对油品的凝点高低有较大影响。

蜡按其结晶形状不同,可分为两种,一种是结晶较大,呈板状结晶的称为石蜡;石蜡主要分布在柴油和轻质润滑油馏分中,相对分子质量一般为 300~500,分子中碳原子数为 20~35,熔点在 30~70℃。石蜡的主要成分是正构烷烃,也含有少量的异构烷烃、环烷烃及少量的芳香烃。另一种是呈细微结晶的微晶形蜡称为地蜡,地蜡主要分布在重质润滑油馏分、重油和渣油中,相对分子质量一般为 500~700,分子中碳原子数为 35~55,熔点 60~90℃。地蜡的组成较为复杂,各类烃都有,但以环状烃为主体,正、异构烷烃的含量都不高。

2) 环烷烃

环烷烃是饱和的环状化合物,即碳原子以单键相连成环状,其余价键为氢原子所饱和的化合物,按环数多少环烷烃分为单环、双环和多环三类,大都带有 1~2 个烷基侧链,原油中所含的环烷烃主要是环戊烷和环己烷及其衍生物。

环烷烃的沸点、溶点和密度比相同碳数的烷烃高,但相对密度小于 1,环戊烷在常温常压下为液体,相对分子质量大的环烷烃为固体。由于环烷烃是饱和烃,与烷烃相似,在常温常压下比较稳定,在储存过程中不易氧化变质。

环烷烃在原油各馏分中的含量是不同的,它们的相对含量随馏分沸点的升高而增加,一般来说,汽油馏分中的环烷烃主要是单环环烷烃,重汽油馏分中开始出现少量双环环烷烃;在煤油、柴油馏分中存在单环、双环和少量三环环烷烃;在润滑油馏分中包含着单环、双环、三环及三环以上的环烷烃,上述各种环烷烃均可能存在数量不同、长短不一的烷基侧链。

环烷烃含量对油品黏度影响较大,一般含环烷烃多,油品黏度就大,是润滑油的主要组分,其中少环长侧链的环烷烃则是润滑油的理想组分。

3) 芳香烃

分子中具有苯环结构的烃为芳香烃,一般苯环上带有不同的烷基侧链,根据苯环的多少和结合形式的差别,芳香烃分为单环、多环和稠环芳香烃三类,芳香烃在常温下呈液态或固态,苯及其同系物具有强烈的芳香气味,其蒸气对人体有毒害作用。芳香烃的相对密度在 0.86~0.9 之间,比相同碳数的其他烃类密度大。

芳香烃在轻汽油(小于 120℃)中含量较少,而在较高沸点(120~300℃)馏分中含量较多。一般在汽油馏分中主要含有单环芳香烃;煤油、柴油及润滑油馏分中不但含有单环芳香烃,还含有双环及三环芳香烃;三环及多环芳香烃主要存在于高沸点馏分及残油中。多环芳香烃具有荧光,这是原油能发出荧光的原因。

芳香烃的抗爆性很高,是汽油的良好组分,常用做提高汽油质量的掺合剂;灯用煤油中含芳香烃多,点燃时会冒黑烟和使灯芯易结焦,是有害组分;润滑油馏分中含有多环短侧链的芳香烃,它将使润滑油的黏温特性变坏,高温时易氧化而生胶,因此,润滑油精制时要设法除去芳香烃。芳香烃用途很广泛,可制作炸药、染料、医药、合成橡胶等,是重要的化工原料之一。

表 2-3 列出了我国几个主要油田原油的烃类分布情况。从表中可以看出不同类型的原油组成差别较大,即使是同一类型的原油性质差别也较大。