

高等学校规划教材·安全科学与工程

PLANNING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



石油安全工程

汪跃龙 主编



西北工业大学出版社

TE687
14

高等学校规划教材·安全科学与工程

石油安全工程

主 编 汪跃龙
副主编 薛朝妹
编 者 汪跃龙 薛朝妹
赵晓姣 刘 灿

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书共 8 章,系统阐述了石油工业生产的安全问题,重点介绍了石油钻井、采油、油气集输、石油储运等石油生产过程的安全技术与安全管理方法。

本书内容全面丰富、系统性强、重点突出、注重应用,可作为高等学校安全工程专业的教材,也可作为油气储运、石油工程、石油化工等相关专业的辅修教材,还可供石油行业安全技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油安全工程/汪跃龙主编. —西安:西北工业大学出版社,2014.10

高等学校规划教材. 安全科学与工程

ISBN 978-7-5612-4180-6

I. ①石… II. ①汪… III. ①石油工业—安全工程—高等学校—教材 IV. ①TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 251321 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:19

字 数:463 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价:50.00 元

前 言

石油不仅是世界经济赖以发展的基础,现代工业“流动的血液”,还是现代国防和战争最重要的战略物资,关系着战争的胜负和国家的存亡,影响着世界格局的变化。“石油是人类文明的中枢神经。缺少它,构成文明的一切条件都不能存在”,石油及石油化工已成为国民经济中举足轻重的产业。

然而,要将埋藏在地层深处的石油“抽取”出来并加工出各种产品却并非易事,需要经过地质勘探、钻井、试油、采油(气)、井下作业、油气集输、油气储运及石油工程建设、石油化工等诸多生产环节,具有生产过程长、环节多、工艺复杂、地面和地下生产环境特殊等特点,生产的对象和产品又具有易燃易爆、有毒有害特性。因此,在其生产过程中极易发生一般伤害事故和火灾爆炸、井喷、中毒等重大事故。如何有效地预防和控制事故的发生,削减风险,保证生产安全,既是石油从业者的责任,也是其自身安全的本质要求。

石油安全工程这门课程是安全工程本科专业的核心专业课之一,课程侧重于使学生了解石油的生产过程,掌握其安全问题的分析方法、安全技术措施和安全管理方法。为组织好本科教学工作,我们编写了一套贯穿油气开采、储运、加工全过程的教学讲义,名为《石油安全工程》,以作为教学参考,初步形成了本书的基本框架。这套讲义经过 10 年的教学实践,广泛征集了学生和专家们的意见和建议,去粗取精,充实完善,归纳整理,内容不断得以丰富和精练,形成了本书。

本书共 8 章。其中,第 1,3,5 章由西安石油大学汪跃龙编写,第 6~8 章由西安石油大学薛朝妹编写,第 4 章由西安石油大学赵晓姣编写,第 2 章由西安石油大学刘灿编写。全书由汪跃龙统稿,由西安石油大学张乃录教授主审,并提出了许多宝贵的修改意见。

在编写过程中,张勇强、李影、权威等 10 多位学生先后就地球物理勘探、钻井与钻井设备、井喷与井控、固井与完井、机械抽汲采油、热力采油、油气田注水注气、测井与试油、油气集输、长输管道泄漏、天然气管网、油田地面工程建设、石油炼制、油品销售等油气生产过程的安全专题,收集和整理了大量材料;郭强、张智超、汪洋、杨飞等学生对这些资料作了归类整理。对他们的辛苦工作,深表感谢。

特别感谢川庆钻探公司的翟习佳、长庆油田公司的赵稚民、玉门油田老君庙采油厂的张进民、中油一建公司的常西斌、中石化洛阳分公司的肖春辉等多位专家,奉献了他们在钻井、采油、油田工程建设、石油炼化等方面多年的安全生产技术和实际管理经验,为本书增添了许多宝贵的实践素材。西安石油大学教材出版基金的资助促成了本书的出版,特表感谢。

在本书编写过程中,参考了国内多位专家的相关著作、文章以及研究报告和行业相关规范与标准,得到了西安石油大学的领导和同仁的大力支持,并提出了许多宝贵的意见,还得到了

西北工业大学出版社何格夫等编辑的指正与帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限,本书的内容又很宽泛,虽经过三年多的努力,但在内容的取舍和精练、广度和深度的把握、编排等方面难免有疏漏和欠妥之处,恳请各位专家和广大读者批评指正。

汪跃龙
2014年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 石油生产的基本过程	2
1.3 石油及其产品的特性	9
1.4 石油生产安全事故	22
1.5 石油生产安全管理	25
第 2 章 安全理论基础	32
2.1 安全观与安全认识论	32
2.2 事故致因理论	39
2.3 系统安全分析方法	50
2.4 事故预防与控制	60
第 3 章 石油钻井工程安全技术	75
3.1 概述	75
3.2 石油钻井系统	80
3.3 石油钻井作业安全技术	86
3.4 井喷失控事故分析及预防	105
3.5 石油钻井工程防硫技术	126
思考题	133
第 4 章 油气集输安全技术	134
4.1 概述	134
4.2 原油集输工艺	135
4.3 天然气集输工艺	141
4.4 油气站场工程地质灾害及其防治措施	143
4.5 油气站场工程的防火设计	148
4.6 油气站场的安全监控系统	154
4.7 油气站场防火防爆管理措施	158
4.8 油气站场工程建设安全技术	161
思考题	167

第 5 章 采油生产安全技术	168
5.1 概述	168
5.2 机械采油安全	169
5.3 高压注水采油安全	175
5.4 热力采油安全	179
5.5 井下作业安全	188
5.6 压裂酸化作业安全	194
思考题.....	200
第 6 章 油气长输管道安全技术	202
6.1 概述	202
6.2 油气长输管道的腐蚀与防护	206
6.3 油气长输管道的泄漏与防护	218
6.4 油气长输管道维修作业安全	223
6.5 油气长输管道安全管理	229
思考题.....	230
第 7 章 油库安全技术	232
7.1 概述	232
7.2 油库火灾爆炸事故分析	238
7.3 油库防雷技术	241
7.4 油库防静电技术	247
7.5 油库作业安全	253
7.6 油库火灾、爆炸事故的应急救援.....	258
思考题.....	267
第 8 章 石油化工企业安全管理	268
8.1 概述	268
8.2 石油化工企业 HSE 管理体系	273
8.3 石油化工企业重大危险源安全管理	278
8.4 石油化工生产装置检修安全	283
思考题.....	294
参考文献	295

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 石油与石油工业

石油是从地层深处开采出来的黄褐色乃至黑色的可燃性黏稠液体矿物,常与天然气并存。英语中的“石油”一词来源于拉丁语,有岩油之意,泛指形成于岩石之中的含油物质。在我国,石油这一名称最早是北宋沈括赋予的。

根据 1983 年第 11 届世界石油大会对石油、原油和天然气的定义,石油(Petroleum)是指地下储集层中以气相、液相和固相天然存在的,通常以烃类为主并含有非烃类的混合物。原油(Crude Oil,简称 Oil)是指地下储集层中以液相天然存在的,并在常温常压下仍为液相的那部分石油。天然气(Natural Gas,简称 Gas)则指地下储集层中以气相天然存在的,并且在常温常压下仍为气相(或有若干凝液析出),或在地下储集层中溶解在原油内,在常温常压下从原油中分离出来时又呈气相的那部分石油。因此,石油是原油和天然气的总称。我国习惯上将原油称为石油,故国内也常采用“石油天然气”这样的提法来指原油和天然气,但在国际贸易中则必须将石油、原油、天然气三者的含义严格区分开来。原油和天然气有时亦被笼统称为“油气”。

石油工业则指从事石油勘探、石油开采和石油加工的能源和基础原材料生产的行业(部门)。因此,石油工业是一个大的行业体系,包括天然石油和油页岩的勘探、开采、炼制、储运等生产单位,一般将石油的勘探、开采、储运、销售等称为石油工业(上游);将天然气的勘探、开采、提纯、储运、销售等称为天然气工业;而将炼油、石油化工产品的生产等称为石油化学工业(下游)。

1.1.2 石油安全工程的研究对象与目的

石油的主要成分是烃类化合物,易燃易爆,其生产过程具有危险性。安全科学是研究事物的安全与危险矛盾运动规律的科学。石油安全工程以安全科学作为理论基础,着重从工业安全技术角度,研究石油工业生产过程中的安全技术问题。

石油安全工程通过对石油生产工艺、生产设备和生产过程的分析,探究石油生产过程中危险或事故的发生时间、场合和部位,揭示造成危险的主客观因素及事故发生、发展的本质规律,研究预测、清除或控制危险的安全技术,着重研究火灾爆炸、井喷失控、中毒窒息等重大恶性事故及多次重复发生事故的预防及控制技术。简而言之,石油安全工程的研究对象是石油工业生产过程中的安全技术问题。

石油安全工程研究的目的是认真贯彻执行国家的有关方针、政策、法律、法规和行业技术标准,分析研究石油生产过程中存在的各种不安全因素,采取有效的控制和消除各种潜在的不

安全因素的技术措施或管理办法,防止事故的发生,保证生产安全。因此,在研究中必须坚持“安全第一,预防为主”的基本原则。

所谓“安全第一”,就是要求石油工业企业在考虑经营决策、设计施工、计划措施安排、生产作业组织,以及科技成果应用、技术改造、新建、改建、扩建项目等生产活动中,必须把安全作为一个重要的前提条件,落实安全生产的各项措施,保证生产长期、安全地进行,保证生产对环境不良影响的程度降到较低水平,保障职工的人身安全与健康。

所谓“预防为主”,就是应当把安全工作的重点放在事故的预测预防上,运用安全科学的基本原理,探究事故发生和发展的规律,对各种事故或潜在的危险性进行科学的预测和评价,以便采取有效的预防措施,防止事故发生和扩大,最大限度地减少事故造成的损失。

1.1.3 石油安全工程的研究内容

石油安全工程的研究内容,从横向来看,应该包括对石油工业领域的人、物、环境等对象采取的安全技术措施;从纵向来看,又涉及设计、施工、验收、操作、维修以及经营管理等诸多环节中的安全技术问题。

石油工业是一个大的行业体系。石油安全工程的研究内容,既包括石油的勘探、开采、储运、销售等石油工业(上游)的生产安全技术问题;也包括以石油为生产原料的炼油、石油化工产品生产等石油工业(下游)的生产安全技术问题。因此,石油安全工程是一门综合性的学科,它的研究内容涵盖了油田生产安全技术、油气储运安全技术、油库安全技术、石油化工安全技术、加油站安全技术等内容。

石油安全工程的研究特点是以石油生产过程(生产链)为轴线,以火灾爆炸、井喷失控、中毒窒息等重大恶性事故及多次重复发生的事故为研究重点,分析导致事故发生、发展的主客观因素,探索实现生产过程中人一机一环境系统本质安全化的途径,研究生产过程中的事故预防及控制技术。

1.2 石油生产的基本过程

石油生产过程包括油气勘探、油气开采与油田开发、油气集输与储运、原油炼制与石油化工等。对安全工作者而言,了解石油生产过程,熟悉其生产工艺和生产设备,对于分析和掌握可能导致事故发生的根本原因,准确定位可能发生事故的作业工序和部位,及时查找和排除危险危害因素,从而降低事故的发生率和事故伤亡率,搞好安全工作非常重要。

1.2.1 石油的生成

关于石油的成因,学术界有油气无机成因说、油气有机成因说和油气成因二元论等3种观点。

无机成因说认为油气是由与生命活动无关的无机物生成的,是宇宙天体中简单的碳、氢化合物或地下深处岩浆中所含的碳、氢以无机方式合成的。

有机成因说认为生物体是生成油气的原始物质,油气是由生物体在死亡之后转变而成的。尽管有机成因说被大多数人所接受,但在目前已经开发的油田中,确实找到了无机成因的原油和天然气,于是便有了油气生成的二元论。二元论认为油气既可以是由有机物转变而来的,也

可以是由无机物转变而来的。

有机成因说认为生物体中的有机质先要转化成一种特殊的有机质——干酪根。干酪根主要存在于生油层中,其主要成分是碳、氢两种元素,一般认为它是在成岩作用晚期经过热解而生成的。有机质先转化成干酪根再降解成烃,大量的烃经过运移,在合适的地质条件下聚集储存起来形成油气藏。因此,油气藏的生成除了要有丰富的有机质以外,还必须要有一定的外界条件。这些外界条件可以分为地质条件和物理化学条件等两个方面。

影响油气生成的地质条件有大地构造条件、古地理环境、古气候条件等。

大地构造条件是指能够使沉积盆地形成很厚的沉积岩,形成富含有机质、适合油气生成的岩层,同时形成具有较高的地温梯度以及适合有机质向油气转化的大地构造。古沉积盆地在其地质历史时期稳定下沉,使有机质不断堆积埋藏下来而形成丰富的有机质,造成沉积厚度大、埋藏深度深、地温梯度高等有利于有机质迅速向油气转化的优越地质构造环境。

古地理环境是指有利于生物大量繁殖的自然环境。如果水体中营养丰富,阳光充足,温度适宜,这样的古地理环境有利于形成丰富的有机质堆积埋藏。

古气候条件直接影响生物的发育。年平均温度高,日照时间长,空气湿度大都可以显著增强生物的繁殖能力。

影响油气生成的物理化学条件有细菌、温度与时间、催化剂和放射性等因素。

细菌可使有机物中的氧、硫、氮、磷等元素分离出来,使碳、氢,特别是氢富集起来。

一般认为,只有在一定的压力、温度条件下,有机质才能向油气转化。有机质开始转化为石油的温度称为有机质的成熟温度,又称为门限温度。温度与时间将影响有机质向油气转化的过程,当温度高于门限温度时,高温短时作用与低温长时作用可产生几乎相同的作用效果。

黏土中的矿物和有机酵母两类物质是加速有机质向石油转化的催化剂。催化剂的存在有助于干酪根加速分解产生低分子液态和气态烃,并且可以降低成熟门限温度,促进油气生成。现在认为,在黏土岩中富集大量的放射性物质,沉积物所含水分子在射线的轰击下可以产生大量的游离氢,所以铀(U)、钍(Th)等放射性物质的存在是促使有机质向油气转化的能源之一。

在有机质向油气转化的过程中,上述各种条件的作用因其时空变化的不同而不同。细菌和催化剂都是在特定阶段才能显著地加速有机质降解而生成油、生成气,放射性作用则可以不断提供游离氢的来源,只有温度与时间在油气生成的全过程中都起着重要作用。因此,有机质转化成干酪根再降解成烃的转化是在适宜的地质环境中多种因素综合作用的结果。

有机成因生油理论是指导石油勘探实践的最基本理论。

1.2.2 石油勘探

石油勘探就是利用各种手段了解地下的地质情况,查找油气资源,勘察油气的生成、运移、聚集、保存等信息,综合评价含油气的远景,以确定油气生成聚集的有利地区,找到埋藏油气的圈闭,并探明油气田的面积,搞清楚油气层的情况和油田的产出能力的过程。因此,石油的勘探过程实质上就是寻找油气田的过程。

1. 石油勘探的程序

油气藏的形成遵从“从源岩到圈闭”的规律,油气的生成、运移、聚集是油气藏形成的3个阶段,油气田的勘探工作只有遵循这一规律才能取得事半功倍的效果。搞清楚盆地(凹陷)的油气生成条件,确定是否具有充足的油气来源,这项工作是油气勘探初期必须首先要搞清楚

的,也是确定一个盆地是否值得继续勘探的依据。在确定盆地具有较好的油气生成前景之后,第二个要解决的问题就是油气运移的指向区域是哪里,是否具有可供油气大规模聚集的地质圈闭条件。然后才能确定勘探的具体区域,在选定的有利地带重点查明油气圈闭的数量、分布以及规模大小和各个圈闭的油气聚集条件,从而选准突破口,尽早找出油气田的具体位置。石油勘探的一般顺序如图 1-1 所示。



图 1-1 油气勘探的一般顺序

总的来说,石油勘探可以大体分为区域普查、区带详查、圈闭预探、油气藏评价等 4 个阶段。

区域普查是在一个盆地或一个较大的区域内进行石油勘探的第一个阶段。区域普查的任务是搞清油气盆地区域的构造单元,收集资料,进行盆地凹陷的类比,分析油气生成有利圈闭,为进一步的油气勘探工作做好准备。

区带详查是对有利的生油凹陷及其临近的区域进行地震普查或用其他的方法进行详查,查明区带的基本特征和油气系统的范围,重点研究区域的温度场及重力场、构造发育史、沉积相、成烃史、成藏史、烃类运移的方向及运移的方式、运移期次等。搞清这些地质情况以后就要对油气系统进行详细的分析,通过数值模拟计算出区域油气资源的储量。简而言之,区带详查阶段的主要任务是查明油气的主要区域,确定油气藏的主要位置。

圈闭预探是在区域详查的基础之上,查明区域地质概况和石油地质概况,在选出有利于油气积聚的区带上,通过进一步的区带地震详探和圈闭的描述,对该区域的含油情况进行评价,优选出比较好的圈闭,然后钻预探井来揭示该圈闭的含油气性。钻井发现油气藏之后,应取得油气藏有关的产量、压力、油气层性质等初步资料,并推断油气藏类型。

油气藏评价的任务是在已经发现存在工业油气藏的基础之上,查明含油气边界,确定含油气面积、含油地层沉积厚度和油气储量,对油气层各分层的岩性、分布及连通情况进行分析,查清岩石的物性及产能,为油气田投入开发做好准备并提交油气探明储量报告。

2. 石油勘探的方法

石油勘探的技术手段主要有地震勘探、重力勘探、放射性勘探等方法。

(1) 地震勘探

地震波是既有横波又有纵波的复杂类型的机械波。地震波的传播速度与波的性质和传播介质有关,在不同岩石中,它们的传播速度是很不相同的。当遇到不同岩层界面时,还会产生反射波或折射波,返回地面。

利用地震波在不同地层的速度不同及遇到不同地层反射的这两个性质,对接收到的地震波加以研究和判别,就可以了解地质构造。这就是地震勘探的基本原理。

地震勘探是利用人工放炮的方法引起地壳震动,测量并记录地震回波,然后研究和判别地质构造的勘探方法。其一般作法是,在地面一条或多条测线上的某些点打几米深的井、放炮,于是产生的地震波就向地下传播;安置在地面的检波器把来自各个地层分界面的反射波记录下来,然后根据地震波从地面向下传播的时刻和反射波到达地面的时刻,得出地震波从地面向下传播到达地层分界面又反射回到地面的总时间 t ,再利用已知的地层测定出地震波在不同岩

层中的传播速度 v , 就可以判别和计算出岩层的类型和地层分界面的深度 H , $H = tv/2$ 。目前常用的二维地震法和三维地震法是勘探油气的主要技术方法。

海洋地震勘探的原理与陆地相同, 海洋上没有障碍物、特殊的地形和其他限制因素, 使得海洋上的地震勘探工作可以保持连续施工和测线的均匀分布。其作法是, 由空气枪产生的振动波到达不同地层再反射回来, 由在海平面水平漂浮的等浮电缆接收采集, 并用搭载在船舱中的检波系统记录, 然后分析解释, 确定地质构造。

(2) 重力勘探

重力勘探是在重力测量基础上发展起来的勘探技术。在地球的不同位置, 重力加速度并不总是常量, 即我们所熟知的 $g = 9.780 \text{ m/s}^2$ (赤道附近)。测点的纬度、高度、地形、地球潮汐, 以及地球内的各种岩石的密度差异等五大要素将影响地面的重力加速度。

一般情况下, 地下岩石密度的不均匀性往往和某些地质构造或某些矿产的分布有关, 所以, 利用地下岩石密度的不均匀性所引起的重力加速度的变化, 可以作为研究地下地质构造或寻找某些有用矿产的地球物理信息。

根据重力勘探资料, 一是可以研究地壳深部构造, 包括康式面(地壳内硅铝与硅镁层分界面)和莫霍面(地壳与地幔的分界面)的起伏; 二是划分盆地区域构造的单元, 诸如凹陷、凸起、斜坡、大的火成岩侵入体; 三是确定区域性的深大断裂; 四是研究油气聚集的构造圈闭。

(3) 磁力勘探

组成地壳的岩石有不同的磁性, 可以产生不同的磁场, 使得地球磁场在不同的区域产生磁力异常。利用这一点, 用磁力探测器测定这些磁力异常, 就可以根据磁力异常特征做出关于地质情况及矿产分布的估计, 这就是磁力探测的基本原理。

地层中的岩石具有不同程度的磁场, 自然界中, 火成岩的磁性最强, 某些变质岩有磁性, 沉积岩一般磁性很弱, 而绝大部分石油来源于沉积岩。因此, 利用磁力探测方法可探查沉积岩的分布区域, 从而探明可能的藏油区域。

(4) 电法勘探

电法勘探的实质是利用岩石和矿物的电阻率的不同, 从地面测量地下不同深度地层的介质电性差异, 用以研究地下大的地质构造的方法。该方法对高电阻率的岩石效果非常明显。电法勘探的种类比较多, 我国一般用直流电测深、大地电磁测深、可控声频大地电磁测深等方法。

(5) 地球化学勘探

地球化学勘探是利用化学、物理化学和生物化学等相关技术来研究与油气藏有关的气体成分、烃类含量、稀有金属、细菌种属等的异常情况的方法。主要的方法有气体测量法、发光沥青法、水化学法和细菌法等。利用大多数油气藏都存在着烃类扩散的特点, 用化学方法可以发现这类异常区域, 从而找到油气藏。

(6) 放射性勘探

放射性勘探是利用专门仪器(如辐射仪、射气仪等), 通过测量放射性元素的射线强度异常或射气浓度异常来揭示地质构造、寻找油气藏的一种物探方法。

在油气的勘探过程中, 需要综合应用各种勘探方法, 以达到准确地揭示地质构造、探究清楚油气储集运移规律、找到有工业开发价值油气藏的目的。

3. 石油勘探的安全问题

石油勘探工作系野外作业, 要克服恶劣天气和陌生作业环境所带来的不利影响, 且工作难

度大,作业人员常常要承担比较大的设备或工具等负荷,劳动强度高,在地震勘探中存在爆炸物,在放射性勘探中存在有放射源,存在特殊危险危害介质的使用和保管等安全问题,危险危害因素较一般作业环境要多;而且交通、通信不便,事故救援难度大。因此,油气勘探作业过程需要针对特殊的作业环境、特定的作业方法和特别的作业机具设备,制定和落实安全技术措施,管好火工品,看好放射源,以确保作业安全。

1.2.3 石油开采与油田的开发

通过地质勘探发现有工业价值的油田以后,就可以进入油田开发阶段了。任何一个矿藏的开发,都要讲究其经济有效性,以实现投入少、产出多、最终采收率高的目标。

1. 油田的开发方式

由于各个油田的地质情况、油层天然能量的大小,以及原油性质的不同,因而对不同油田应采取什么样的开发方式,如何合理布置生产井的位置,油田的年产量多少为宜等等,都是在油田投入开发之前就必须认真研究和确定的问题。

油气藏类型是决定油田开发方式的基础和依据。按含油气藏的形态可以将油气藏的类型划分为层状油气藏、块状油气藏和不规则状油气藏等;按圈闭成因又可将油气藏分为构造油气藏、非构造油气藏及复合油气藏,部分典型油气藏类型如图 1-2 所示。

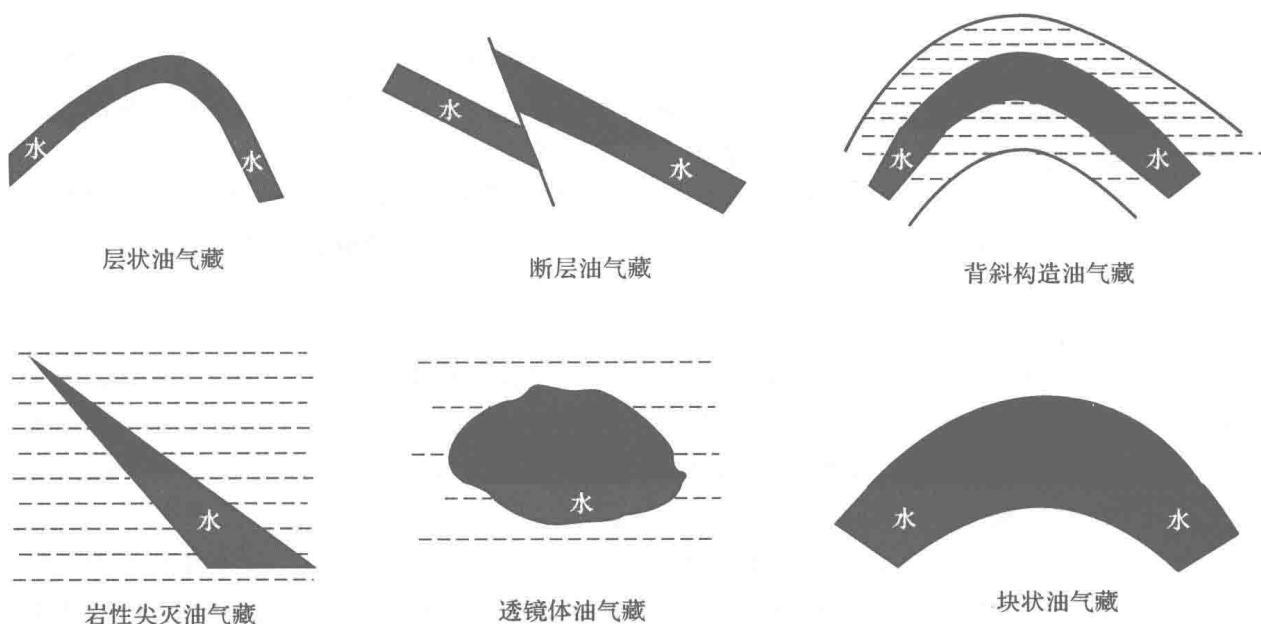


图 1-2 部分典型油气藏类型示意图

油田开发工程一般是以油气藏为单元来考虑的,单个油气藏可以独立开发,几个埋藏深度相近、地质条件相似的油气藏,也可以采用相同的开采方式和井网一并开采。而如果同一个油田内的若干个油气藏的地质条件、原油性质相差悬殊,则对不同油气藏需要区别对待,采用不同的开采方式和开发井网。

2. 油气藏开采的动态特性

由于油气藏的多样性,决定了油田开发方式的多样性。通过长期实践和科学探索,目前对油田实行有效开发的方式、方法很多,归纳起来大体有保持和改善油层驱油条件的开发方式、

优化井网有效应用采油技术的开发方式、特殊油气藏的特殊开发方式、提高采收率的强化开发方式等4类。并且,开发方式不仅要适应油气藏的不同特点,而且要随着开发进程的变化而调整。

油田埋藏地下,是个隐藏的实体,在开采过程中,其内部油、气、水是不断流动着、变化着的,这种流变性是其他固体矿藏所不具有的特点。因此,要有效地开发油田,就得在开发过程中不断调整各项措施,以适应变化的情况;同时,还要不断地改造油层,使它能朝着人们预定的、有利于开发的方向变化和发展,这是在油田开发过程中需要不断研究和解决的问题。总的来说,油田开发的过程是一个不断认识、不断调整的过程,需要人们具有先进的认识方法和改造技术,这样才能实现对它的有效开发。

3. 油田开发的安全问题

在石油的开采与油田的开发过程中,涉及钻井、采油、采气、注水、注蒸汽、井下作业等许多的油田开发作业过程,需要使用钻井机械系统、采油设备、井下作业设备等诸多机具设备,不仅作业类型多、设备种类多,而且野外作业多、体力劳动强度大,危险危害因素多,易发生机械伤害、起重伤害、高处坠落、中毒窒息等伤害事故;又由于油气藏的流变特性和油气的易燃易爆特性,易发生井喷失控、火灾爆炸等重大恶性事故。因此,了解油田的油气藏特性、熟悉油气开发生产过程和生产工艺,是系统分析生产过程中的危险危害因素、制定安全对策措施、强化安全管理、确保安全生产的重要方面。

1.2.4 油气集输工程

油气集输是指油田矿场原油和天然气的收集、处理和运输。这一过程从油气井井口开始,把分散的各个井产出的油气水等混合物集中起来,经过一定的处理,使之成为符合国家标准原油、天然气、轻烃等产品和符合地层回注水质量指标或外排水质量标准的含油污水,并将原油和天然气分别输往输油管道的首站(或矿场油库)和输气管道的首站,将污水送往油田注水站或外排。

油气集输系统主要包括气液分离、原油脱水、原油稳定、天然气净化、轻烃回收、污水处理和油气水的矿场输送等环节。

油气集输的工艺过程:油井产出的多相混合物经单井管线(或经分队计量后的混输管线)混输至集中处理站(集中处理站也称为油气集输联合站),在联合站内首先进行气液的分离,然后对分离后得到的液相进一步进行油水分离,通常称为原油脱水;脱水后的原油在站内再进行稳定处理,稳定后的原油输至矿场油库暂存或直接输至长输管道的首站;在稳定过程中得到的石油气送至轻烃回收装置进一步处理;从油水混合物中脱出的含油污水及泥沙等,进入联合站内的污水处理站进行除油、脱杂质、脱氧、防腐等一系列处理,使之达到油田地层回注或环境保护要求的质量标准,再根据要求回注地层或外排;对从气液分离过程中得到的天然气(通常称为油田伴生气或油田气),进行干燥、脱硫等净化处理后,再进行轻烃回收处理,将其分割为甲烷含量90%以上的干气和液化石油气、轻质油等轻烃产品,其中干气输至输气管道的首站,液化石油气和轻质油等轻烃产品可直接外销。

1.2.5 原油炼制与石油化工

油田生产的原油要经过炼制才能生产出各种石油产品。原油炼制生产包括蒸馏、催化裂

解、催化重整、醚化、烷基化和甲乙酮等工艺,其主要任务是生产各种燃料油。其基本过程如下:原油经一次加工,即常压蒸馏过程,分离成不同的馏分。根据各馏分的性质,通过二次加工,包括催化裂化、催化重整、加氢裂化、焦化等工艺,可以得到更多轻质油品。为了满足产品的各项性能指标,还要进行三次加工,包括加氢精制、酸碱精制、溶剂精制等,最终得到合格的燃料油产品。原油中的特殊组分,如蜡、渣油等,可以用来生产各种蜡产品、润滑油和石油沥青等产品。

以石油或天然气为原料生产化工产品的工业,称作石油化学工业,简称石油化工。石油化工是以石油和天然气为原料通过裂解、分离等工艺生产出乙烯、丙烯、丁烯(丁二烯)、苯、甲苯、二甲苯,乙炔和萘等基本有机原料,它们可以称为“三烯三苯一炔一萘”。在此基础上进一步加工,得到各种有机化工产品和合成塑料、合成纤维、合成橡胶等合成材料。

我国的石油化工兴起于 20 世纪 60 年代,形成了石油炼制、乙烯、化肥、化纤、合成橡胶和塑料等几个细分行业。

石油化工生产具有生产大型化、生产工序多、生产过程复杂、生产自动化、生产系统和辅助系统庞大复杂、生产过程危险性大等显著特点。

(1) 生产大型化

石油化工一般都采用大型装置,这样就可以明显降低单位产品的建设投资和生产成本,提高劳动生产能力,降低能耗。因此,世界各国都积极发展大型化生产装置。中国近年来不断增大石油化工生产的规模,连续新建、整合了多家炼油及乙烯生产企业,出现了千万吨炼油、百万吨乙烯的超大型生产企业。大型化会带来严重的潜在危险性,一旦发生事故将释放巨大的能量,给人民生命财产带来巨大的损失。

(2) 生产工序多,过程复杂

社会对石化产品品种数量需求与日俱增,迫使企业向着大型化、现代化联合体方向发展,以提高加工深度,综合利用资源,进一步扩大经济效益。其生产具有高度连续性,不分昼夜,不分节假日,生产工序多,存在高温、高压、低温、真空低压等极端生产工艺要求,大量采用罐、塔等压力容器、大型压缩机组、加热炉等设备,生产过程复杂,形成一个组织严密、互相依存、高度统一,不可分割的有机整体,任何一处发生事故都会影响到全局。

(3) 生产自动化

石油工业生产由过去的敞开式发展为密闭式,由室内转向室外,由分散向集中发展,由手动变为自动。石油化工的生产方式已全部实现自动化,正逐渐向智能化方向发展。

(4) 生产系统和辅助系统庞大复杂

石化工业从原料到产品,一般要经过好多道生产工序和复杂的加工单元,经过多次的反应分离才能完成,而且好多反应都需要在高温、高压下进行,生产系统和辅助系统庞大、复杂。

(5) 生产过程危险性大

生产过程中存在气态、液态等易泄漏、易挥发的物质,它们大都具有易燃易爆的特性,而有些物料需要采用明火加热,在装置检修的时候需要动火,这些因素如果管控不好,就很容易发生火灾爆炸事故。

生产所用原料,中间产物及产品中的氧化物、硫化物、氮氧化物及烃类等工艺介质,都有不同程度的毒性,有些还是高度甚至是剧毒物质,存在中毒、窒息危险。生产工艺过程中,需要使用硫酸、硝酸、盐酸、烧碱等腐蚀性物质,有些原料本身就具有强烈的腐蚀性,在生产过程中还

可能通过化学反应生成腐蚀性物质,如硫化氢、氯化氢、氮氧化物等。

总之,石油化工工艺复杂多样,许多介质都具有强烈的腐蚀性,易燃易爆性;在温度应力、交变应力和腐蚀应力等的作用下受压力容器常因此而遭破坏;有些工艺要求苛刻,像丙烯和空气直接氧化生产丙烯酸的反应,各种物料比就处于爆炸范围的附近且反应温度超过中间产物丙烯醛的自燃点,控制稍有偏差就会发生爆炸。因此,石油化工是安全风险极高的行业。

石油工业从上游的勘探、钻井、采油到中下游的油气集输、储运、炼化,油气的集中程度越来越高,危险性越来越大,生产的自动化程度越来越高、规模越来越大,生产过程环环相扣,一旦发生事故,将造成巨大的生命财产损失和恶劣的社会影响。这就要求我们的安全工作必须要把工作做在细处,落到实处,始终把事故预防放在第一位,始终把以人为本、人命关天放在第一位,强化安全技术措施,减少和消除危险危害因素,预防乃至杜绝事故。通过建立健全安全管理体系与管理制度,加强全员的安全意识培养和安全技术培训,形成良好的安全文化环境,开创安全生产的良好局面。

1.3 石油及其产品的特性

1.3.1 石油和石油产品的分类

石油是烃类复杂混合物,其组分主要是烃类,也含有非烃类。我国的油气田产品除原油、天然气外,还有少量的油田液化石油气及天然汽油,可根据它们的组成、主要性质和质量来分类分级。了解石油和石油产品的分类有助于增强石油安全工程基础知识。

1. 原油分类

根据石油资源条件和油气田的实际情况,我国原油按其关键组分划分为凝析油、石蜡基油、混合基油和环烷基油等4类,密度小于0.82g/cm³的原油均归入凝析油类,其他3类再各按其密度大小分为2个等级,故原油共分4类、7个编号。

原油的分级是按照国际惯例,以硫含量作为分级指标的,4类7个编号的原油一律分为3级,原油分类方法见表1-1。

表 1-1 原油分类方法

项 目		质量标准						
		凝析油	石蜡基		混合基		环烷基	
		0	I	II	III	IV	V	VI
密度(20℃)/(g·cm ⁻³)		<0.82	≤0.86	>0.86	≤0.89	>0.89	≤0.93	>0.93
硫含量/(%)	低硫	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	含硫	0.5~2.0	0.5~2.0	0.5~2.0	0.5~2.0	0.5~2.0	0.5~2.0	0.5~2.0
	高硫	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0
水含量/(%)	优质	—	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<1.0	<1.0
	合格	<0.5	<1.0	<1.0	<1.5	<1.5	<2.0	<2.0

2. 天然气分类

按照生产来源不同,天然气可分为纯气田天然气、凝析气田天然气和油田原油伴生天然气 3 类。天然气分级的主要指标是热值、H₂S 含量、总硫含量、以及凝液含量。天然气中的 H₂S 对人体有毒害,而其中的硫含量在燃烧后会形成 SO₂,对人体和环境也有危害,故按 H₂S 含量和总硫含量的高低可分为 3 类。天然气分级标准见表 1-2。

表 1-2 天然气分级标准(GB17820—2012)

项 目	一 类	二 类	三 类
高位发热量 ^a /(MJ·m ⁻³)	≥36.0	≥31.4	≥31.4
总硫(以硫计) ^a /(mg·m ⁻³)	≤60	≤200	≤350
硫化氢 ^a /(mg·m ⁻³)	≤6	≤20	≤350
二氧化碳 y/(%)	≤2.0	≤3.0	—
水露点 ^{b,c} /℃	在交接点压力下,水露点应比输送条件下最低环境温度低 5℃		

a. 本标准中气体体积的参比条件是 101.325 kPa,20℃
b. 在输送条件下,当管道管顶埋地温度为 0℃时,水露点应不高于-5℃
c. 进入输气管道的天然气,水露点的压力应是最高输送压力

3. 石油产品分类

石油产品种类繁多、用途各异。我国的 GB498—1987 标准,将石油产品分为燃料、溶剂和化工原料、润滑剂、蜡、沥青、焦等 6 大类,见表 1-3。

燃料油又分为汽油、煤油、柴油等三大类。其中,柴油产品分为轻柴油和重柴油。轻柴油按凝点划分为 10 号、5 号、0 号、-10 号、-20 号、-35 号和-50 号等 7 个牌号。重柴油则按其 50℃运动黏度(mm²/s)划分为 10 号、20 号、30 号等 3 个牌号。

汽油按照辛烷值(把给定汽油与异辛烷和正庚烷组成的混合物用标准实验方法进行比较,如果他们的压缩比等条件相同时,有相同的爆震程度,则混合物中异辛烷的体积百分比就是这种汽油的辛烷值)的大小来划分,国家标准(GB17930—2011)分为 90 号、93 号及 97 号汽油。

另外,按照 GB50183 的定义,将原油、石油产品(汽油、煤油、柴油、石脑油等)、稳定轻烃和稳定凝析油等统称为油品(oil)。

表 1-3 石油产品总分类

GB498—1987 标准			ISO8681—1986 标准	
序号	类别	各类别含义	Class	Designation
1	F	燃料	F	Fuels
2	S	溶剂和化工原料	S	Solvents and raw materials for the chemical industry
3	L	润滑剂	L	Lubricants industry oil and related products
4	W	蜡	W	Waxes
5	B	沥青	B	Bitumen
6	C	焦	C	(Cokes)