

石油石化安全生产科普读物

石油勘探开发

安全 知识

曲爱国 郝宗平 编



中国石化出版社

石油石化安全生产科普读物

石油勘探开发安全知识

曲爱国 郝宗平 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书从石油、天然气形成的历史开始,在向人们讲述寻找、开采和集输石油与天然气过程的同时,围绕企业和个人关心的安全话题,全面、细致地介绍了石油、天然气勘探开发各环节的安全要求、防范重点、防范措施和事故处理方法等知识,通过生动的事故案例,进一步剖析了事故发生的原因及后果的严重性,进一步说明了提高安全生产意识的重要性。

本书语言通俗易懂,在生动形象的比喻、描述中,传递专业安全知识。本书适合石油企业各级管理人员和工人以及初接触上游石油工业的新人阅读,可作为石油企业员工安全知识培训教材和大中专石油院校学生的安全辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

石油勘探开发安全知识/曲爱国编.
—北京:中国石化出版社,2001
(石油化工安全生产科普读物)
ISBN 7-80164-120-5

I. 石… II. 曲… III. ①油气勘探-安全技术
②油田开发-安全技术 IV. TE38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 056123 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271859

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 5.5 印张 124 千字 印 1—5000

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

定价:12.00 元

前言

进入 21 世纪，人们对安全生产及安全与健康的高度重视程度更加提高，从广泛的社会角度来关心安全生产问题。

石油和石油化工安全生产所涉及的行业和职业范围广，生产环境条件苛刻，过程连续性强，原料及产品多为易燃易爆、有毒有害有腐蚀的物质，再加上生产技术复杂，设备种类繁多，稍有不慎，就容易发生事故。事故发生后，受到损失和影响的不仅是企业和劳动者，社会及家属也不同程度地受到伤害，这种伤害不仅表现在经济上和肉体上，更表现在心理上。因此，作为劳动者，要具备安全基本素质。只有在保障自身安全，不侵害他人安全，同时也不被他人伤害的前提下，才能创造效益，才谈得上自身的进步和企业的发展。企业劳动者必须学习和掌握安全知识，这是成为当今社会合格劳动者的前提条件。

安全生产是企业永恒的主题，是企业的生命线，是企业赖以生存和发展的基础和保障，任何

企业与劳动者都必须把安全生产作为头等大事。石油化工企业的每个职工的每项工作都同安全生产有着直接或间接的关系，虽然处在不同的工作岗位，职责不同，但任何岗位和个人都有预防事故、防止伤害的问题。谁不认识或忽视这一点，就会犯大的错误，扮演害人、害己、害企业的悲剧角色。因此，强化每个人的安全意识，接受职业安全知识与技能培训就显得格外重要，只有通过教育培训和学习，才能获得相关工厂企业及工种岗位的安全生产技能和知识，辨别什么是正确的，什么是错误的，怎样做是危险的，怎样做是安全的。

《石油化工安全生产科普读物》的出版为石油和石油化工企业职工安全教育创造了条件，为推动石油和石油化工安全知识的普及奠定了基础，将会对企业的安全生产、人身安全发挥重要作用。

由于安全知识涉及面广，技术性强，加之时间仓促，水平有限，不妥之处在所难免。敬请广大读者提出宝贵意见。

目 录

1	一、黑色的金子、工业的血液——石油
2	(一) 油气追溯
11	(二) 石油企业安全生产主体
23	二、寻找油气宝藏——石油勘探
25	(一) 地震勘探作业中的安全知识
41	(二) 物探使用的爆炸物品的安全知识
48	三、油气藏的确定——钻井地质
49	(一) 建设油气通道——钻井
74	(二) 地质录井
85	(三) 井眼中的勘探——地球物理测井
99	(四) 中途测试与试油作业
107	四、油气的开采
108	(一) 一、二次采油技术
117	(二) 油田注水(气)
121	(三) 三次采油
125	(四) 油层的改造
128	(五) 油井的管理和防护方法
131	五、油气集输
135	(一) 油气处理

139	(二) 天然气净化处理
147	(三) 油气储存
156	(四) 油气管输



黑色 的 金子、工业的 血液 ——— 石油

缺乏石油，即使交通再发达，汽车仍不能奔驰，飞机也不能在天空翱翔。

石油更是重要的化工原料，目前以石油为原料生产的化工产品有 3000 多种，遍及工业、农业、国防以及广泛的生活领域。例如：种种色彩艳丽的工业塑料是电器、医疗、机械、建筑等行业的必用材料，有的塑料还具有硬度高、耐酸碱特性，是制造化工设备和特殊器械的理想材料；又如人造橡胶，在工农业和国防上的用量很大，火箭、导弹、宇宙飞船等都需要大量不同性能的特种橡胶，普通橡胶更是广泛用于制造各种胶管、密封垫等物品；在农用的氮、磷、钾三大肥料中，氮肥总

是占据首位，它也是来源于石油；还有人们须臾不离的衣帽鞋袜、盆罐瓶杯、盒袋笔等诸多的用具和装饰品，大部分也都来源于石油。石油确实是现代化建设中不可缺少的重要能源和原料。

所以，人们将石油称为“黑色的金子”、“工业的血液”，可见石油在国民经济中的地位和作用是多么的重要。

近年来，天然气在能源中所占的比例越来越大，天然气除了可以作为化工原料外，这种热值高、价格低的清洁能源正成为城市的首选燃料。

（一）油气追溯

1. 什么是石油和天然气

对石油这个名字，大家都熟悉，但究竟什么是石油？回答恐怕就不那么确切了。对于这个问题，这里不妨用一句话来表达，那就是，石油是在地下岩石中生成的、液态的、以碳氢化合物为主要成分的可燃性矿产。

顾名思义，石油形成于地下，有多深？几百以至几千米。它经历了数百万年甚至几亿年的演化过程，不同年代的石油生成的地质环境不同，生成石油的物理性质也不同。不同油田所产石油的密度、粘度、熔点、初馏点都不相同。

原油的物理性质最直观的就是丰富多彩的颜色，由浅至深有白色、褐色、黑绿色和黑色。我们常见的石油一般都是黑色的，颜色的深浅与其中含有的非烃类物质的多少有关，含量愈高则颜色愈深。

石油是一种复杂的天然有机物，主要成分是碳(C)和氢(H)，碳含量一般为 80% ~ 88%，氢为 10% ~ 14%，同时含有少量的氧(O)、硫(S)、氮(N)等元素。由这些元素组成的化合物称烃类化合物。天然气也是以碳氢化合物为主要成分，以气体状态从地下岩石中来到地面的。与石油一样，天然气所含烃类主要是烷烃(饱和烃)。一般含 1 ~ 4 个碳的烷烃呈气体状态被称为天然气；含 5 ~ 10 个碳的烷烃为液体状态，就是石油；含 17 个以上碳的烷烃为固体状态，如石蜡、沥青等。

2. 石油、天然气的来源

对石油、天然气(以下称油气)生成的来源，科学家主要有两种观点：一种认为是生物死亡后转变成的，即有机生成学说。另一种是无机生成学说，认为石油天然气来源于无机物的合成。有机生成学说观点的依据是：几乎所有的油田都是在沉积岩中发现的，而沉积岩中可以见到丰富的生物遗迹(如化石等)；通过实验，生物体中三大组成部分的蛋白质、碳水化合物、脂肪在一定条件下可以形成与石油中碳氢化合物相类似的物质；在石油中发现的血红素和叶绿素等有机物质，前者是来自动物的血液，后者则来自植物的叶绿素。石油是生物死亡后转变而成的观点所提出的理由是如此之多，并且比较充分，使有机生成学说得到大多数人的认同，现在油气生成的研究方法和内容都是建立在这种观点的基础上的。

虽然有机学说占了绝对优势，但在有机成油的大前提

下，还存在着是海洋生物生成石油，还是陆上河流、湖泊中生物生成石油的争论。现实中，中东地区的沙特、科威特等国家的大油田都是海相地层生油，而我们国家的大多数油田则是陆相地层生油。

早在10多亿年前，地球上就出现了生物，随着历史的发展，生物的数量和种类越来越多，生物大量地繁殖和死亡，其中一个藻类植物在适宜的条件下，8天内就可以繁殖到 10^{36} 个后代，重量可以达到 1.4×10^{17} 吨。大量的生物，主要是海洋和湖泊中的浮游生物，在它们死后一部分有机质被氧化变成二氧化碳逸散掉了，一部分则随着泥沙沉积下来，成为生成油气的物质来源。

3. 石油的生成条件

生成石油的基础条件是沉积物中存在大量的有机物，水是有机物运移的动力，泥沙和有机物在水的携带下，从高处往低处流动，寻找一个“沉积地”，就是寻找一个低洼地带。这种低洼地带，根据它的规模大小，分别被称为盆地、坳陷、凹陷等，但这种低洼地形不是固定不变的，在各个地质历史时期中随着地壳的运动继续下沉或上升。若能继续下沉，则保持低洼的地形，可以继续接受沉积物，使地层厚度不断增大；若随着地壳运动上升，则低洼幅度就逐渐变小，接受沉积物就少；如果继续上升至水面以上，则有机质就不再沉积，早先沉积的有机质也暴露在氧气中，会被风化剥蚀掉。

虽然低洼地带不断下降对有机质的沉积有利，但也不是

绝对的，如果地壳下沉速度大于沉积物沉积速度，就会使洼地内水的深度相对增大，使有机质下沉到水底的距离变长，沉积物受水中氧作用时间也就增长了，有机质被氧化的机会增多了。

有了丰富的有机质沉积，还是不能生成石油，还必须具备缺氧环境、温度、压力、时间、催化剂等因素。

缺氧环境就是没有氧气或者氧气少的环境，如果有氧气存在，有机物就会被氧化生成二氧化碳和水。

温度也是有机质向石油转化的重要条件，达到一定温度，有机质才能大量向石油转化，一般最适宜有机质转化的温度范围为 $60^{\circ}\text{C} \sim 210^{\circ}\text{C}$ 。有机质生成石油的速度很慢，所需的时间以百万年计，一般来说，温度越高，有机质转化成石油所需的时间越短。

地层的温度与地层深度有关系，地层越深则离地核越近，温度越高，利于有机质在一定的温度下生油，这也可以说是在一定的深度下利于生油。

地层的深度越深，不光温度升高，而且压力增大，对生成石油也有利。

细菌和粘土岩中的粘土矿物是加速有机质生成石油的催化剂，含有这种粘土矿物的地层也有利于石油的生成。

4. 天然气的生成

天然气虽然在组成上与石油一样，都是以碳氢化合物为主要成分，但它的生成条件要比石油更为多样化。石油要达到一定深度才能大量生成，而天然气从浅到深都能生成。

天然气根据其生成条件，大致可以分为以下几种类型：

生物气——现代沉积淤泥中，有机质在细菌作用下，生成以甲烷为主的天然气。例如在一些河沟中生成的沼气。

油型气——有机质进入生成石油深度以后，除大量地生成石油外，同时伴随着生成天然气。随着埋藏深度的不断增加，石油受高压、高温影响，强烈分解，生成天然气。

煤型气——含有煤层的沉积岩层叫做煤系地层，煤型气是指煤系地层在时间和温度的作用下生成的天然气，其主要成分也是甲烷。

无机成因气——在岩浆和岩石变质作用下生成的气体，如二氧化碳、甲烷。

5. 什么是沉积岩

地球是一个近似椭圆的球形体，半径约为 6300 千米。地球由表及里分为地壳、地幔和地核三个部分。它们的分界面在不同地区深度不同，地壳厚度为 5 千米 ~ 65 千米，地幔介于地壳底面到约 2900 千米深度之间，从 2900 千米直到地心称地核。地壳是由三大类岩石(通常叫石头)组成的，即岩浆岩、变质岩和沉积岩，其中沉积岩覆盖地表面积 60% 以上，我们通常见到的泥土或砂砾，就是岩石风化形成的表层风化壳，或者是新沉积的松散物质。

石油分布于沉积盆地中，沉积盆地在一定的地质时期，接受沉积物的沉降形成较厚的沉积岩。

6. 地层的档案——地质年代划分

在 40 多亿年前，地壳就形成了，此后每个时期都有沉

积岩形成。如果没有强烈的构造运动影响，一个地区先沉积的地层在下面，后沉积的地层在上面。

不同地质时期形成的沉积岩，其生物化石和构造特征不同，放射性同位素年龄也不同。据此，将组成地壳的岩石划分为不同单元，每个单元对应一定的地质时期。地层划分是以“界”为单位，按由老到新的顺序分为五个界：

	地层单元	对应的地质时期	地质年龄
新 ↑ 老	新生界	新生代	65 百万年以内
	中生界	中生代	230 ~ 65 百万年
	古生界	古生代	570 ~ 230 百万年
	元古界	元古代	2500 ~ 570 百万年
	太古界	太古代	4600 ~ 2500 百万年

“界”是较大的地层单位，其对应的地质时期称为“代”，一个界又分为几个系，其对应的地质时期为“纪”。例如：

古生界分为：寒武系—奥陶系—志留系—泥盆系—石炭系—二叠系（由老到新）

地质时期为：寒武纪—奥陶纪—志留纪—泥盆纪—石炭纪—二叠纪

中生界分为：三叠系—侏罗系—白垩系（由老到新）

地质时期为：三叠纪—侏罗纪—白垩纪

新生界分为：老第三系—新第三系—第四系(由老到新)

地质时期为：老第三纪—新第三纪—第四纪

一个系又细分为下统、中统和上统，对应的地质时期为早世、中世和晚世。

“界、系、统”是国际通用地层单位。在某些地区，一个统的厚度很大，为了研究方便，根据沉积相和岩性的变化又划分出多个组。

7. 流动的油气——石油、天然气的运移

石油和天然气是一种流体矿床，他们与一般矿床的区别在于：它具有流动性，它现今存在的位置与其生成位置有时相距很远。

生成的油气从生成的位置向有孔隙、裂缝的地层(储集层)流动，储集层将分散的星星点点的油气初步集中起来，就好象涓涓溪流汇入大河一样。

这种流动的动力来自于地层的压力，也可以说来自于沉积物本身的重量，地层在沉积过程中逐渐加厚，重量也逐渐加大，因此产生的压力也越来越大，已生成的油气，就随同水一起，被挤出去。

到达“大河”后，油气并没有停下来，而是继续流动，这种流动的主要动力则来自油气本身的浮力。因为油、气密度比水小，当油气进入含水的地层后，油气在浮力的作用下向着高处流去。

因为油气不易溶于水，在水中大部分都是以“油滴”和“气泡”的形式在含水的地层中流动的。它们走着曲曲弯弯的

道路，克服许多阻力，艰难地前进着，运移的速度相当缓慢。

8. 油气在地下的流动空间——储集层

我们经常听到“油湖”和“油海”的说法，容易使人联想到石油就象湖泊和海洋一样在地下分布着，甚至有人担心，生怕我国边境油田的石油会流到外国去。其实，情况并不是这样。

那么油气在地下怎么存在的呢？

石油生成后，储存在有孔隙、洞穴和裂缝的岩石之中，这种既可以储存液体又可让其从中流动的岩石，叫做储集层。

油层(含油储集层)是一种带孔隙的岩层，人的肉眼看不见孔隙，但可以在显微镜下看到，也可通过实验方法测得孔隙体积，一般油层孔隙体积可占岩石体积的 10% ~ 35%。专业人员主要用孔隙度和渗透率两个因素来衡量储集层的优劣，孔隙度的数值大，表明储藏油的空间大，可以容纳更多的石油。渗透率的数值高，表示孔隙、缝洞之间的连通性好，石油容易流动，容易开采。

9. 油气在地下的保护层——盖层

油气如果无限制地向上移动，一旦到了地表就会逸散掉。为了使储集层中的油气不逸散掉，在储集层的上方需要有一层致密的、不渗透的地层将储集层中的油气盖起来，这种岩层就叫做盖层。

适合做盖层的岩石有页岩、泥岩等，致密的泥灰岩和石

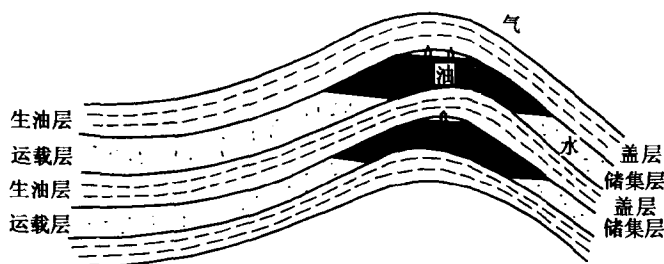


图 1-1 储集层与盖层关系示意图

灰岩有时也可以充作盖层。盖层要有一定的厚度，太薄了就承受不住油气对它的压力，不能阻止油气逸散，起不到“盖”的作用。盖层的分布要稳定，即厚度的变化不能太悬殊，更不能有的地方有盖层，有的地方没有盖层，否则，就会在储集层的上方出现“漏洞”，油气从“漏洞”处逸散出去。盖层还要求未受地壳运动的破坏，如果一个完整的盖层被地壳运动破坏得支离破碎，也就失去了盖层的作用。

10. 石油在地下的仓库——圈闭

在地下，凡是能阻止油气流动并将分散的“油滴”、“气泡”储集起来的地质构造就叫地质圈闭，简称圈闭。它就好像是一个地下的储油仓库，能把油气储藏起来。因此，圈闭就是油气运移的终点站，是油气藏的所在地，当然也是石油工作者要寻找的目标。

圈闭是储集岩与盖层的统一体，储集岩被盖层遮挡起来，油气就储存在储集岩的孔隙中。油气进入圈闭以后，因