

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

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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℃～210℃。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。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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、地墁和地核三个部分。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，地墁介于地壳底面到约 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	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
老	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：寒武系一奥陶系一志留系一泥盆系一石炭系一二叠系（由老到新）

地质时期为：寒武纪一奥陶纪一志留纪一泥盆纪一石炭纪一二叠纪

中生界分为：三叠系一侏罗系一白垩系（由老到新）

地质时期为：三叠纪一侏罗纪一白垩纪

新生界分为：老第三系一新第三系一第四系（由老到新）

地质时期为：老第三纪一新第三纪一第四纪

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

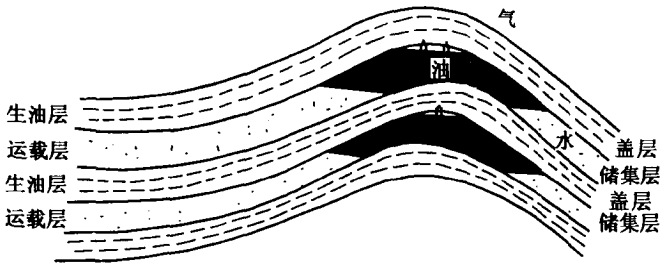

图 1－1　储集层与盖层关系示意图

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。它就好象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

为油、气、水的密度不同，在圈闭内分为三个层次，最轻的天然气在上面，较重的油在中间，最重的水在下面。

至此，石油从生成、运移到进入圈闭，完成了油气形成的全过程。

（二）石油企业安全生产主体

从寻找石油到利用石油，大致要经过四个主要环节，即寻找、开采、输送和加工。这四个环节一般又称为：石油勘探、油田开发、油气储运和石油炼制。本书涉及的主要是前三个环节，下面用图表的形式对石油企业的勘探开发流程加以说明。

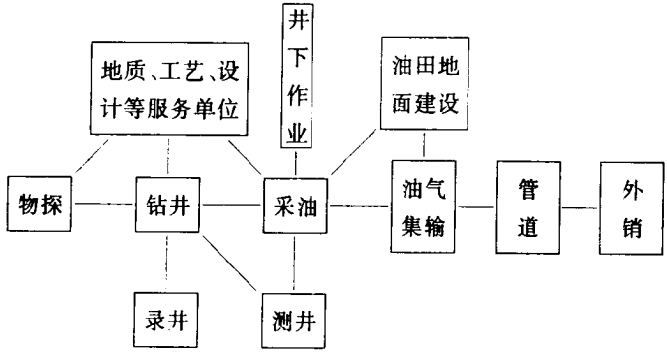

图 1－2　勘探开发流程图

1. 石油企业生产的危险在那里

石油工业是一个大的产业体系，由地质勘探、钻井、测

需要全本请访问 www.ertongbook.com

井、地质录井、试油、采油（气）、井下作业、油气集输与初步加工处理、储运和油田工程建设等环节组成，而且大部分工作是在野外分散进行，相对来说自然环境和工作条件都比较恶劣。依其生产方式而言，它与其他矿业工程有许多相似之处，从产品性质上看，它与石油化工则属于同一个产业体系，因此可以认为，石油工业是介乎于矿业工程与石油化工行业之间的一个产业体系，其安全生产上的特殊性大体上可以从下述几个方面反映出来。

生产方式的特殊性：石油工业中，地质勘探、钻井、测井、地质录井、试油、采油（气）、井下作业及油田工程建设等都是野外分散作业，劳动繁重，工作条件不好，而且自然环境条件一般也都比较差，经常会受到一些自然灾害的侵扰。因此，事故频率较高，而且往往由于救援不够及时致使伤亡扩大、灾害蔓延。

产品的特殊性：石油工业的产品主要是原油、天然气和少量的天然汽油。这些产品具有易燃、易爆、易蒸发和易于聚积静电等特点。这些液体产品的蒸气或气体产品与空气混合到一定的比例范围时，即形成可爆性气体，若遇明火（包括电火花、闪电和静电等）立即爆炸，从而造成极大的破坏。这些产品还带有一定的毒性，如果大量泄漏或不合理排放，将会造成人、畜及生物中毒，甚至形成公害。

生产工艺的特殊性：石油工业的生产工艺是多种多样的，而且有些生产工艺具有不同程度的危险性。例如，地震勘探和射孔要用炸药和雷管；测井要使用放射性元素；钻井

过程中可能产生较严重的机械事故、发生井喷；采油作业中可能发生油、气泄漏和机械事故，修井时也可能发生井喷；油气集输与初步加工处理不仅是在密闭状态下连续进行的，而且还有天然气压缩、高压储存、低温深冷分离、脱硫及原油电化学处理等工艺过程，技术难度较大，同时也具有较大危险性；长输管道的生产工艺虽然较简单，但由于输送量大、连续性强、管线长、站点多，而且输送的又是易燃易爆的原油或天然气，其危险性也是很大的；油库由于油、气产品和设备高度集中，所以也是一个危险性大的作业场所，而且一旦发生事故，其后果多数是严重的；在工程施工中，多采用多工种立体交叉作业，加之使用的重型机械较多，所以人身伤亡事故的发生机率是较高的；石油企业的交通运输，由于车多路窄，加之各种特种车辆的车体大而笨重，操作不易，也易于发生交通事故。此外，石油工业生产中使用的机器、设备、车辆及原材料，数量大、品种杂，这也给安全使用、管理及保存带来了一定的困难。

2. 石油企业容易发生事故的原因和防范方法

机械性事故

机械性事故是指由于机械性外力的作用而造成的事故。一般表现为人身伤亡或机器损坏。石油工业生产中使用的机器或设备，多数是重型的或大容量的，而且是在重载、高速、高压、高温或低温等条件下运行，机械化及自动化程度也都比较高。这些机器与设备需要使用大量的各种规格、不同性质的金属材料来制造，并由多种零部件及辅助装置、控

制元件等组装而成，一个不易检查出来的、极微小的内在缺陷，或制造装配过程中未能消除的附加应力，都将成为重大事故的隐患。因此，在石油工业生产中常会发生飞车、断轴、烧瓦、开裂、重物脱落等机械事故。石油工业生产中使用了大量的管道及各种阀件，出于同样的原因，泄漏、断裂等事故也时有发生。机械事故极易引发人身伤亡事故。另一个不可忽视的问题，是在机器与设备中被加工、储存或输送的主要是易燃易爆的油气，因此，机械事故发生后所产生的后果严重。其中常见的有：

机器外露的运动部分在运行中引起的绞、辗伤害，或因运动部件断脱、飞出而造成的人身伤亡及机器损坏事故。为此，要求机器的外露部分应加装防护罩，开车前要进行“盘车”检查，按时补充润滑剂，定期进行保养及维修。对于一些事故发生频率高、危险性大的机器，如砂轮机、木工电刨及冲床等，则要求隔离使用，或加装自动保护装置。

手持工具如锤、钳、斧、镐等易造成的碰、砸、割等人身伤害。工人在操作时注意安全，并必须穿着劳保服装。

重物坠落或空中运移时造成的打击事故。这类事经常发生于吊装、土方工程中。加装必要的防护设施，以及现场工作人员必须戴安全帽，非工作人员远离现场则是一项十分重要的安全要求。

活动机械碰、撞、辗压或倾覆所造成的事故。这类事故时常发生于工程施工中，因此要求现场道路要平整、并有足够的拐弯半径、道路上不许乱放物品；交叉作业时机动安全

人员要进现场指挥调度，在操作之前要对机械进行检查等。

高处坠落造成的伤亡事故，如从井架上、电杆上、房顶上坠落下来，或从平地跌入坑内或池中等。对此要求登高必须用安全带，高空施工加装安全网，平台及梯子应设置扶手及护栏，地坑及水池要加盖或加护栏等。

临时性设施及堆放物品的倒塌、土石方的塌陷等造成的事故，除了应按有关的技术要求进行设置或堆放外，还应设立安全标志。

爆炸、火灾事故

石油企业常见的爆炸事故有锅炉及压力容器的爆炸，炸药及雷管在运输、储存或使用准备过程中的爆炸，切割或修补储存油气容器或管道时引起的爆炸，以及油气泄漏后引起的爆炸等。其中，发生较多的是锅炉、加热炉及压力容器的爆炸和油气泄漏后引起的爆炸。石油产品在储存、转输等作业过程中，石油蒸气不断地向空气中逸散的现象，称为“蒸发”或“挥发”石油产品生产过程中的“跑、冒、滴、漏”现象，则统称为“泄漏”。这两种现象不仅直接造成经济损失，而且还会导致火灾及爆炸事故。

爆炸事故防范和处理的基本要求是：防止爆炸性混合气体的形成；在有爆炸危险的场所，严格控制火源的进入；一旦燃爆发生就及时泄出压力，使之转化为单纯的燃烧，以减轻其危害；切断爆炸传播途径等。

防火是石油工业生产中一项十分重要的安全措施。防火的基本措施是设法防止燃烧必要条件的产生，而灭火则是消

除已产生或形成的燃烧必要条件。

火灾事故防范和处理的基本要求是：在危险场所应严格控制火源；配备相应的消防器材；在危险场所应设置防火安全装置、自动报警系统及通风设备；采用与生产性质相适应的耐火建筑等级；严防生产设备的“跑、冒、滴、漏”等。

石油工业生产中的腐蚀性介质主要是硫化物。腐蚀现象分均匀腐蚀和局部腐蚀。统计表明，造成设备及管道突然性事故的大部分是局部腐蚀。严重的腐蚀会损坏设备和管线，不但影响正常生产，而且造成“跑、冒、滴、漏”，成为事故隐患，严重者还导致设备管线爆炸，酿成中毒、爆炸火灾事故。

为防止因腐蚀产生的事故，应做到：无论是设备和管线的制造、安装或检修，都应当按规范中有关规定和要求进行设计、选材、制造、安装、检查和验收；严格执行操作规程，不得超压运行。

静电事故

石油产品的电阻率很高，电阻率越高，积累电荷的能力越强，因此，石油产品在泵送、灌装、装卸、运输等作业过程中，流动、喷射、冲击、过滤都会产生静电。此外，人员行走、穿脱衣服等活动会产生静电，物体之间摩擦也会产生静电。静电聚集的危害主要是静电放电，如果静电放电产生的电火花能量达到或超过油品蒸气的最小点火能量时就会引起燃烧或爆炸。

根据静电事故的发生过程及影响静电聚积的因素，防止

静电危害的基本原则是：减少静电的产生与聚积；及时导走或消散聚集的静电，严防静电放电现象，尤其是火花放电的产生。防止静电积聚的主要方法是安装防静电接地装置。

电气事故

电气事故主要表现为人体接触或接近带电物体时造成的电击或电伤，电弧或电火花引发的爆炸事故，以及由电气设备异常发热而造成的烧毁设备、甚至引起火灾等事故。石油工业生产中，原料及产品的特殊性决定了在油、气可能泄漏、聚积的场所，包括电动机、变压器、供电线路、各种调整控制设备、电器仪表、照明灯具及其他电气设备等电气设施，在运行及启、停过程中绝不允许有电火花及电弧产生，要达到整体防爆要求。

预防电气事故大体上有以下安全要求：电气设备的选择与安装应符合安全原则，这是保证用电安全的先决条件；采用各种防护措施，其中包括防止接触电气设备中带电部件的防护措施、防止电气设备漏电伤人的防护措施、防止因高压电窜到低压线路上而引起触电事故的防护措施，以及在使用电气设备时应使用各种防护用品等；建立严格的安全用电制度，对工人进行安全用电知识教育，并定期或按季节对电气设备进行安全检查。

中毒事故

石油产品及其蒸气具有一定的毒性，当石油蒸气及石油气从口、鼻进入人的呼吸系统，能使人体器官受害而产生急性或慢性中毒。当空气中油气含量为 0.28% 时，人在该环

需要全本请访问 www.ertongbook.com