

石 油 工 业

石 油 开 采

【石油】 见第一卷中的“石油”。

【顿钻钻井】 又称冲击钻法。用钢丝绳把顿钻钻头送到井底，钻进时上提钢丝绳使钻头离开井底，然后放开，让钻头自由下落冲击井底，将井底岩石击碎。将岩屑打捞干净后下入套管，再下钻头钻进，这样循环往复直到把井打好。顿钻钻速慢，效率低，不能适应井深日益增加和复杂地层的钻探要求，逐渐被旋转钻代替。但它有设备简单，成本低，不污染油层等优点，可用于一些浅的低压油、气井。英国科学家李约瑟，在其所著的《中国科学技术史》一书中写道：“今天勘探油田时所用这种钻井或凿洞的技术，肯定是中国人发明的。”并说这种技术大约在 12 世纪以前传到西方各国。

【旋转钻井】 利用钻头旋转时产生的切削或研磨作用破碎岩石，是当前通用的钻井方法。用足够的压力把钻头压在井底岩石上，使钻头牙齿吃入岩石中，用钻杆带动钻头旋转破碎井底岩石，岩屑

随循环泥浆返至地面。加在钻头上的压力叫钻压，它是靠联接钻杆和钻头的钻柱重量产生的。旋转的动力如由地面上的转盘产生，则称之为转盘钻。使用转盘钻时，井有多深，钻柱就有多长。几十吨的钻柱在井里旋转不仅消耗很大的动力，还会引起钻柱的损坏，造成严重事故。把动力移至井底的要求使涡轮钻、螺杆钻和电动钻应运而生。前两者靠高压泥浆驱动，后一种用电驱动。这些井下动力钻的特点是钻进时钻柱不转动，磨损小，使用寿命长，特别适于打定向井。旋转钻井比顿钻钻速快，并能处理井塌、井喷等复杂情况。

【定向钻井】沿着预先设计的斜度和方向钻达目的层位的钻井方法。普通钻井系指钻直井，在遇到高山、森林、沼泽、城镇等地面限制时，或在地下地质条件要求时，或在处理井喷、失火等钻井事故时，往往需要打定向井。钻定向井须使井身连续地形成一定斜度。80年代后使用井下动力钻具加弯接头组成的造斜钻具来实现。用各种测斜仪来监测斜度和方位。如在一个位置和限定的井场上向不同方位钻数口至数十口定向井，分别达到不同的目的层位，则称为丛式钻井，它占地少，投资少，便于管理。随定向钻井技术的发展，建井周期和总成本已接近钻直井水平。

【固井】在钻出的井眼内下入套管柱，在套管柱和井壁之间部分或全部注上水泥浆，进行封固，是建井过程中的重要环节。下入井内的钢质套管会受到各种载荷的作用，需要有足够的强度，固井用的水泥多为硅酸盐类，能够较快凝固，有较高的早期强度，还能耐地下水的腐蚀等。固井的目标是封隔疏松的易塌、易漏地层；封隔油、气、水层，防止互相窜漏，形成油气通道；安装井口，控

制油气流，以利钻进和生产。固井质量的好坏不仅影响到该井能否继续钻进，而且会影响到开采期间能否顺利进行油、气生产。固井消耗大量的钢管、水泥等材料，费用较高，约占全井成本的10—25%。

【完井】油井完成主要包括钻开生产层，确定井底完成方法，安装井底、井口装置和试油等，是钻井工程的最后环节。可根据生产层的地质特点选择合理有效的完井方法。钻穿油层，将套管下至油层底部固井。然后用射孔器射穿套管和水泥环，并射入生产层一定深度，油气经射孔流入井内，称为射孔完井法，是目前采用最多的方法。钻穿油层，套管下到生产层顶部进行固井，生产层段裸露，油气直接和井底相通，称为裸眼完井法。把油层套管下至生产层顶部进行固井，然后钻开生产层，下入带孔眼的衬管，油气经孔眼流入井内，称为衬管完井法。此法与裸眼完井法均具有油气流入井内阻力小的特点，前者还有防砂作用。如在衬管和井壁之间充填一定尺寸和数量的砾石，称为砾石充填完井法，有防砂和保护生产层的作用。

【测井（石油）】完整连续地取得地下井层和流体的各种物理和地质数据的过程。利用电、磁、声、热、核等物理原理制造的各种测井仪器，由测井电缆下入井内，地面的电测仪沿井筒连续记录随深度变化的各种参数，由表示这类参数的曲线来识别地下岩层及油井的技术状况。钻井阶段，测井所获信息可指导定向钻井，提高钻井效率和质量；固井阶段，可检查固井质量；完井阶段，可划分油、气、水层；生产阶段，可了解井口流体流量，井下温度和压力等。

【采油】把油、气从油井底部举升到井口的整个过程。油气的上升若依靠地层的能量自喷，称为自喷采油法，它具有设备简单、采油成本低等优点。油井不能自喷，或虽能自喷但产量过低时，必须借助机械能量进行采油，称为人工举升采油法。其中使用抽油泵，把石油抽送到地面的方法称为泵抽采油法；将天然气从套管环隙或油管中注入井内，从而将油流导出井口的方法称为气举采油法。为保证采油顺利进行，需要经常对油层采取一些措施，以维护油层长久疏通，行之有效的增产措施有：利用液体传导的压力，将致密的油气层压开，形成多种裂缝，减少油层中油流阻力的水力压裂；利用各种酸液腐蚀油层的岩石，提高油渗透率的酸处理；能排除油井经常出现的结蜡、出水、出砂等故障的各种修井措施。

【油气集输】将油田各油井生产的原油和天然气进行收集处理，并送至集输油气站的过程。为满足油气贮存和外输的需要，一般包括以下环节：气、液混合物要进行分离；当油井产物不能靠自身压力继续输送时，需接转增压；要脱除原油中的游离水和乳化水，达到外输原油含水量不大于 0.5% 的标准；要脱除原油中溶解的甲烷、乙烷、丙烷等烃类气体组分，降低原油在贮运过程中的蒸发损失；天然气中的 H_2S 、 CO_2 等酸性气体组分需用化学吸收和物理吸收等方法基本去除。

【石油储量】分为地质储量和可采储量。前者指存在于油气藏中的原始油气量；后者指在当前技术和经济条件下可以开采出来的油气量。一个油气藏中可采储量与地质储量的比值称为采收率。在

初探、详探和开发的不同阶段，对油气田的勘探和认识程度不同，所计算出的储量也不同。中国将储量分为预测、控制和探明三级。预测储量是在钻预探井并获得工业油气流或油气显示后估算出的储量，可作为编制预探方案和部署评价性钻探方案的依据；控制储量是经过地震详查，并经几口探井钻探获得工业油气流，初步了解油气层的岩性、物性、流体性质和压力后计算出的储量，可作为编制中长期勘探开发规划的依据。探明储量是继发现井之后，经过评价钻探阶段而计算出的可靠工业储量，是油气田开发建设投资的依据。计算油气储量的方法很多，大体分为静态法和动态法两类。中国常用的容积法属前一类，物质平衡法和压力降落法属后一类。

【近海钻井】在临近海岸的海域进行钻井。80年代后已有100多个国家从事海上油、气勘探，每年近海钻井2000口以上。目前的技术设备已能在水深2000米处钻井。钻井装置已从单一的浅水座底式平台发展到自升式平台、钻井驳船、钻井浮船、半潜式平台、带驳船的自升式平台以及用于北极地区的钻井装置等七类。中国从1958年开始在南海钻井以来，已先后发现了渤海、黄海、东海、台湾浅滩、珠江口、莺歌海和北部湾等7个含油、气盆地。据认为中国近海的石油资源约与世界上最大的石油输出国沙特阿拉伯的石油储量相当。

【自升式钻井平台】一种活动式海上钻井装置。由平台、桩腿和升降机构组成，平台能沿桩腿升降，故称自升式。平台甲板上安装钻机、其他机械设备和生活设施。平台桩腿下部结构视海底承载能力的不同分沉垫和插入式两种。桩腿周围装升降系统，主要有

液压或电动齿轮齿条式。工作时桩腿下放并插入海底，平台升到海面以上不受波浪影响的安全工作高度。完井后，平台降到海面，拔出桩腿并全部提起，整个平台浮于海面，由拖船拖到新的井位。主要优点是：漂浮时像驳船可移性好；工作时像固定平台，稳定性好。如果水太深，则会因桩腿太长带来许多问题。

【半潜式钻井平台】一种活动式海上钻井装置。上部为工作甲板，下部为两个下船体，用大直径垂直浮筒连接。其特点是可用三种状态适用不同情况：拖航时，呈漂浮状态，减小航行阻力；钻井时，呈半潜状态，约有 20—30 米潜在水下，加大了平台的稳定性；浅海钻井时，呈座底状态，相当于一座沉浮式平台。用浮体中压载水量，调节工作状态，采用动力定位技术，定位精度可达 1—2% 水深的半径范围内，工作水深可达 1200 米以上。半潜式与自升式钻井平台相比，优点是工作水深大，移动灵活；缺点是投资大，维持费用高，要有一套复杂的水下器具，有效使用率低于自升式。

【钻井船】又称船式平台。一种活动式海上钻井装置。钻井时，既不像沉浮式平台“座底”，又不像自升式平台“生根”，总是漂浮在水面上作业，适应深水，稳定性差。为提高稳定性，改“舷外钻井”为“浮心钻井”，即在船体的中央钻井。目前大多采用动力定位系统，它主要由声纳发生器、接收器、电脑及纵、横向推进器组成。其成本较高，但成本与水深的关系不大，而抛锚定位的成本却随水深增加而增加，当水深超过 300 米后，动力定位显得更便宜。目前采用动力定位的钻井船可在水深 3000—6000 米的海域钻井，在风力为八级和流速为二节的情况下，仍能保持稳定的船位。

【固定平台】固定在海上有钻井、采油、储油、输油等功能的长久性结构物，是海上油田生产的独立单元。有两种类型：钢质桩基式和混凝土重力式。前者用打桩固定导管架，在导管架顶部安装平台和其他设备；后者靠钢筋混凝土结构的自重固定在海底，上部为甲板和其他设备。钢平台在结构上合理，对水深的适应性强，但用钢量太大。20 米水深的一座平台要耗用钢材千吨以上，随水深的增加钢材用量迅速上升，且海水对钢材腐蚀大。混凝土重力式平台，在防止海水腐蚀、节省钢材等方面有很大的优越性。目前已在水深 312 米处建成了总高达 368 米的世界上最大钢质固定平台。

原油及制品的 运输加工

【人造石油】油页岩和煤等固体燃料加工制成的类似天然石油的产品。主要成分为各种烃类，并含有氧、氮、硫等有机化合物。制备方法有油页岩和煤的低温干馏，还有煤的液化。人造原油的性质与天然原油相近，故其进一步加工利用也与天然原油相似。由于天然原油的大量开采，价格低廉，所以人造石油工业仅在南非、中国、爱沙尼亚、俄罗斯等地较为发达。

【页岩油】油页岩经低温干馏得到的褐色粘稠状液体，是一种重要的人造石油。油页岩又称油母页岩，是一种含可燃性有机质的粘

土岩或泥灰岩，色淡褐到暗褐，能按层分裂成薄片。页岩油的生产可分为油页岩的处理、油页岩的干馏和油气冷凝回收三部分。页岩油经进一步加工，可制得多种轻质油品，是目前人造石油制取液体燃料的方法中成本最低的一种，页岩油的生产几经波折，至今仅中国、爱沙尼亚、俄罗斯仍拥有页岩油工业。中国的抚顺、茂名是页岩油的产地，年产 300 万吨左右。

【油罐】存储原油及其产品的容器，是石油运输、加工和产品销售过程中最重要的构筑物。单座油罐容量一般为 $5000—20000\text{m}^3$ 。按构成材料分为金属油罐和非金属油罐。金属油罐一般为钢质，按其形状分为立式圆柱形、卧式圆柱形和特殊形（如球形、水滴形等）三种；立式圆柱罐储存数量较大的原油、轻质油和润滑油；卧式罐储存小量油品；高压卧式罐和球形罐储存液化石油气。金属油罐按其罐顶的结构又可分为拱顶罐和浮顶罐。浮顶罐具有一种飘浮在油层之上，随油位在罐壁内升降的顶，可有效地降低因蒸发而造成的严重损耗。非金属罐按其建筑材料主要有砖砌油罐和钢筋混凝土油罐。一般用来储存原油和重油。按油罐的位置可分为地上罐、地下罐和半地下罐。为减少热损失，油罐外壁设有保温包覆层；易凝油罐中设加热器，以保持罐内温度；罐顶装有泡沫发生器和防火器等消防设施及呼吸阀、避雷针等安全设施。

【油罐车】载运石油及其液态产品的车辆。将钢质卧式圆柱形或椭圆柱形油罐安装在机动车辆上而得。车辆运输具有两大重要优点：基本投资可通过运输工具来控制；其次是使用这些工具具有很大的灵活性。按车辆的性质可分为铁路油罐车和公路油罐车。

【油轮】载运石油及其液态产品的船，用纵向和横向舱壁将船分隔成多个油舱，机舱设在船尾，以柴油机和蒸汽机为动力。由于使用较大的油轮可获得较低的单位运输成本，一般油轮长度超过 300 米，载油量超过 25 万吨，最大载油量已达 50 万吨左右。油轮均有严密的防火措施和可靠的消防设施，防止出现事故和石油对海洋的污染。大型油轮吃水深，对泊稳条件要求不高，装卸工艺简单，系泊设施逐渐向深水、风浪较大的外海发展，用栈桥联接油轮和陆地码头。目前，世界石油总产量的 60% 是经由海上运输的。

【石油管道】输运石油及其液态产品的管道系统。管道是一个密闭、固定和连续输送系统，具有能耗小、损耗小、对环境的污染小、安全可靠、便于实现自动化管理等优点，与其他输油方式比较，投资费用高，作业费用低，且一旦铺设完成，难以改变目的地，只宜用在长期需要并已形成发展规模的地方。一般为钢质螺旋式焊接管，管径最大可达 1200 毫米，外用沥青或塑料涂层防止腐蚀，并用牺牲阳极法防止电化学腐蚀。设置泵站提供传输动力，对高凝油品还需设加热站。整个管道系统可由电子计算机程序控制，用微波无线电通讯联络。石油管道按用途可分为原油管道和成品油管道；按位置可分为地面管道和地下管道、水下管道。陆地管道大多埋在地下 1 米处；水下管道在其外层要涂覆钢筋混凝土，安装费用高，维修困难，是发展近海石油所不可缺少的。

【原油评价】在实验室条件下对新开采的原油进行一系列的分析、试验，是石油炼制工业的基础研究工作之一。不同油田生产的原油，因组成不同性质也不同；同一油田采油层位不同原油性质也

可能出现差异。为使不同性质的原油得到合理利用，要采取不同的加工方法，炼制前必须对原油进行评价。常规的原油评价包括：原油性质分析、原油实沸点蒸馏、馏分油及渣油的性质分析。分析的主要内容有密度、粘度、凝点、蜡含量、硫含量、馏程，含盐量、水分、辛烷值、十六烷值、酸值等。更详细评价还包括馏分油及渣油的烃类组成， C_6 或 C_7 以前的单体烃组成，润滑油原料的评价等。炼油厂的要求不同，原油评价的内容及深度有所差别。依据原油性质可进行原油分类，其中以美国石油学会制定的 API 度作为指标，将原油分为九类最简便常用。按上法对中国原油进行分类时，补充了硫含量的说明，原油硫含量小于 0.5%（质量）称为低硫；等于或大于 0.5% 称为含硫。中国原油的特点是含蜡多、凝点高、硫含量低。

【API 度】表示石油及其产品密度的一种量度，由美国石油学会（简称 API）所制定，其计算公式为：

$$\text{API 度 (15.6℃)} = \frac{141.5}{\text{相对密度 (15.6℃)}} - 131.5$$

其中相对密度指石油及其产品在 15.6℃ 时的密度与同温度下水密度的比值。API 度越大，相对密度越小。国际上把 API 度作为原油的计价标准之一，其数值越大价格越高。美国和中国等国家还以 API 度做为原油分类的基准。

【粘度（原油）】流体内部阻碍其相对流动的一种特性，是原油重要的性质指标，液态石油产品（润滑油、柴油、喷气燃料和重油）最主要的使用指标。粘度对润滑油的分类、质量鉴别和确定用途等有决定性的意义。内燃机用润滑油，若粘度过高，则低温冷启动困难，功率损失增加；若粘度过低，则运动部件得不到良

好的润滑而产生磨损。不同使用目的均有一个适宜的粘度范围。中国用运动粘度表示油品的粘度，它表示液体在重力作用下流动时内部的阻力。

【凝点（石油制品）】石油及其产品在规定条件下，冷却到液体不移动时的最高温度。是评价油品低温性能的指标，决定贮运条件及低温使用性能。油品含蜡量越多，凝点越高。在寒冷地区使用的油品，其凝点应低于该地区所能达到的最低温度。如果以在规定条件下，被冷却的石油开始流动的最低温度来表示低温流动性，则此温度称为倾点。一般倾点要比凝点高 3—5℃。

【馏程（石油制品）】石油及其产品在一定温度范围内蒸馏出来的油品数量和温度的标示，是石油及其产品主要的理化指标之一。如中国规定 90 号车用汽油馏出量（体积%）为 10、50、90 和终馏点各点的最高温度为 70°、120°、190°、205℃。如 10%馏出温度过低，则易产生气阻；过高，则冷车不易启动。50%馏出温度低，则平均蒸发性好，发动机的加速性好。90%馏出温度和终馏点过高，则表示不易挥发的重质油组分多，汽油不能完全蒸发和燃烧，增加汽油消耗量，稀释润滑油，增加机件磨损。

【硫含量（石油制品）】石油及其产品中硫及其衍生物（硫化氢、二氧化硫、硫醇等）的含量。硫化物腐蚀设备，使催化剂中毒，降低汽油添加四乙基铅的有效性，缩短发动机的使用寿命，并污染环境，所以各国都严加限制硫含量，国际贸易中还以硫含量做为原油计价的指标。

【酸值（石油制品）】用规定的方法中和 1 克原油及其产品所需氢氧化钾的毫克数，表示原油、润滑油和汽、柴油中所含有机酸的总量。酸值大的油品易腐蚀贮运容器和用油设备，且易变质。此项指标也有用酸度表示的，即在规定的条件下，中和 100 毫升油品所需氢氧化钾的毫克数。同一油品的酸度比酸值大 70—100 倍。

【闪点】又称闪火点。在规定条件下，原油及其产品经加热逸出的蒸气和空气组成的混合物与火焰接触发生瞬间闪火时的最低温度。有两种测定法：测定轻质油品多用闭口杯法，测定重质油品多用开口杯法。一般按闪点将易燃液体分为四级：闪点 $<28^{\circ}\text{C}$ 、 28°C — 45°C 、 46°C — 120°C 、 $>120^{\circ}\text{C}$ 。一、二级称为易燃液体；三、四级称为可燃液体。按此标准，汽油为一级，煤油为二级，柴油为三级，润滑油为四级。在贮运和使用中，禁止将油品加热到其闪点，加热的最高温度一般应低于闪点 20 — 30°C 。

【辛烷值】表示汽油在发动机内不发生爆震燃烧能力的数字指标，其值高表示抗爆性好，是汽油最重要的性能指标之一。将抗爆性好的异辛烷的辛烷值定为 100，抗爆性差的正庚烷定为 0；将汽油试样与异辛烷和正庚烷配成的混合液在标准试验汽油机中进行比较，抗爆性与样品相等的混合液中所含异辛烷的体积百分数，即为样品的辛烷值。一定压缩比的汽油机必须燃用一定辛烷值的汽油，才能获得最大的发动机功率。依据测定条件不同，主要有以下两种辛烷值：马达法和研究法。车用汽油的牌号是按辛烷值大小区分的，例如 70 号汽油的辛烷值不低于 70（马达法）。中国的汽油牌号正由马达法向研究法过渡，两者可用下式换算：马达法辛烷值 = 研究法辛烷值 $\times 0.8 + 10$ 。

【十六烷值】表示柴油在发动机中着火性能的数字指标，是柴油最主要的质量指标之一。将着火性能好的正十六烷的十六烷值定为 100，着火性能差的 α -甲基萘的十六烷值定为 0，将两者配成混合液与柴油样品在标准试验柴油机中进行比较，着火性能与样品相等的混合液中所含正十六烷的体积百分数，即样品的十六烷值。十六烷值高，着火滞后时间短。柴油的十六烷值过低，则产生不正常燃烧，出现爆震降低发动机功率；过高，则不能完全燃烧，冒黑烟，耗油量增大。一般控制在 40—60 之间。

【针入度】又称锥入度。表示润滑脂和沥青硬稠度的重要使用指标。标准圆锥体在 5 秒种内沉入温度为 25℃ 的润滑脂试样中的深度，以 1/10 毫米为单位表示，即为润滑脂的针入度。沥青针入度的测定，使用载重为 100 克的标准尖针，测定条件与润滑脂相同。针入度越小，表示润滑脂或沥青愈硬，稠度越大。中国按针入度划分润滑脂和沥青的牌号。

【软化点】沥青受热从固态转变为粘滞性较低有一定流动能力时的温度，是沥青的主要质量指标之一。软化点高，则耐热性好。软化点主要与沥青中沥青质的含量有关。中国规定采用环球法测定软化点。

【台架试验】用固定在室内的实用或专门设计的发动机、机械等设备，在与实际相近（或稍苛刻）的条件下评定油品使用性能的方法。通常在满负荷和强化条件下运转，短期内取得结果。其试验结果与使用性能的对应关系较好。台架试验结果在一些石油产品

的评价中已作为反映石油产品使用性能的指标。台架试验有多种，如汽油抗爆性测定、工业液压油的抗磨性测定等。油品的更进一步试验是使用试验，指在实际机器设备上，按实际操作条件进行的实际运行试验。

【石油炼制】原油或人造石油加工为各种石油产品和化工原料的复杂综合过程。通常按其加工过程的性质分为四种类别：分离、转化、重排和精制。分离，将原油分成不同的部分以得到所需产品。原油可含高达4—5%的盐及数量不等的水，在石油炼制前需用电法或化学法对原油进行预处理，脱盐脱水。主要的分离过程包括将原油分离成粗汽油、粗煤油、粗柴油、重柴油、各种润滑油馏分、裂化原料油及渣油（又称残油）的蒸馏分离和将各种润滑油提纯所使用的溶剂分离。转化，或指大分子量的原油馏分变为低分子量馏分，即使分子中的碳原子数减少；或指改变分子中的碳氢比的加工过程。前者如热裂化、催化裂化、加氢裂化；后者如石油焦化。重排，系指改变分子结构，使其具有优良使用性能的加工过程，包括重整、异构化和烷基化。精制，即各种产品的纯化，除去有害杂质的过程。包括加氢精制、酸碱洗涤，白土精制等过程。石油炼制也可按加工次序分为一次加工、二次加工、三次加工三类过程。一次加工包括原油预处理和蒸馏；二次加工是对一次加工产物的再加工，如裂化、石油焦化、重整、精制；三次加工主要指对二次加工产生的各种气体进一步加工，如烷基化、烯烃叠合、异构化等。石油炼制的主要产品为汽油、煤油、柴油、燃料油、各种润滑油、润滑脂、蜡、沥青、石油焦等产品；同时还提供大量的化工原料，如石油气、苯类产品、正构烷烃等。

【蒸馏分离】用蒸馏的方法将原油分离成不同沸点范围油品（简称馏分）的过程，是最基本的石油炼制过程。原油蒸馏是利用原油中各组分沸点的差异而实现各馏分的分离的。原油基本上是复杂的烃类混合物，各种烃的沸点从低到高几乎是连续分布的。利用简单蒸馏方法不可能将原油分离成纯的化合物，只能根据产品要求将原油分离成为一些具有较窄沸点范围的混合物。原油经脱盐、脱水，并经加热炉加热至 340°C — 380°C ，在接近常压下进入蒸馏塔分离，得到汽油、煤油、柴油等直馏馏分，残油称为常压渣油（即重油），此过程称为常压蒸馏。原油中重馏分的沸点约 370°C — 535°C ，在常压下要蒸馏出这些馏分需加热到 420°C 以上，在此温度下，重馏分会发生一定程度的裂化，生成焦炭堵塞设备。利用压力降低，沸点也相应降低的原理，在 $2\text{—}8\text{kp}_a$ 的绝对压力下，将常压渣油加热到 390°C — 410°C ，在不发生明显裂化的情况下蒸馏出重组分，可增加中间馏分油的产量及生产润滑油基础油和燃料油等产品，残油为减压渣油，此过程称为减压蒸馏。采取在塔顶打入较轻的馏分作为回流，使油的蒸汽中重的馏分将热传给回流液，而自身冷却变成液体，可使馏分的分割更清楚些；使用蒸汽进行汽提，可将较轻的馏分携带出来。如常压、减压蒸馏联用，称为常减压蒸馏。蒸馏的产率取决于原油的性质。中国大庆原油的汽油馏分（ 130°C 前）产率约为 4.2% ，煤油馏分（ 130°C — 240°C ）约为 9.9% ，轻柴油馏分（ 240°C — 350°C ）约为 14.5% ，重质油馏分（ 350°C — 500°C ）约为 29.7% ，其余为减压渣油，约 41.7% 。

【溶剂分离】根据溶剂对杂质、非理想组分和产品溶解能力不同，而将其分离开来的过程。在组分沸点相差不多或沸点相当高等不能或不宜采用蒸馏分离时，大多采用此法。此类过程可分为三大

类：溶剂精制，溶剂脱蜡和溶剂脱沥青。溶剂精制用于润滑油馏分的精制。各种来源的润滑油馏分通常含有多环芳烃、硫、氮、氧化合物以及胶质、沥青质等杂质和非理想组分，这些物质的存在会影响润滑油的性能。在润滑油的精制过程中所选用的溶剂对润滑油中的杂质和非理想组分的溶解度很大，而对润滑油中的理想组分的溶解度则很小，通过液相萃取将非理想组分分离、除去。在溶剂萃取法开发之前，仅有几种原油是好的润滑油原料，使用此法后，几乎所有原油均可生产出好的润滑油。溶剂萃取分离现已被广泛应用于汽油、煤油、柴油等的精制。如裂化柴油中的重芳烃组分，也可用溶剂萃取出来，以改善柴油质量，同时获得芳烃组分的化工原料。溶剂脱蜡所萃取分离的是润滑油料，萃余的是蜡。溶剂脱沥青所萃取的是润滑油料，而萃余的是沥青。可采用的溶剂种类很多，需根据溶剂本身的性质，萃取操作对象，以及溶剂是否容易得到，价格是否经济等因素进行选择。用于润滑油精制的溶剂有糠醛、苯酚等，生产流程一般是在萃取塔由塔顶部和底部分别进入溶剂和原料油，在塔中充分接触进行萃取，由塔顶出萃余液，塔底出萃取液。萃余液进入汽提塔回收溶剂后得到萃余油；萃取液进塔回收溶剂后得到萃取油，回收溶剂循环使用。大都采用转盘式萃取塔以提高萃取效率。

【热裂化】单纯靠热的作用，使常压重油、减压馏分油、焦化馏出油等重质油发生裂化反应，转变为裂化气、汽油、柴油和燃料油等的过程。工业装置有双炉热裂化和减粘热裂化两种类型。前者简而易行，轻质油收率高（ $>45\%$ ），目的为制取汽油、柴油，但汽油辛烷值不高，安定性不好，不利贮存和使用，已不再发展；后者是将渣油加热到一定温度的轻度裂化，目的是降低减压渣油的

粘度和凝固点，以提高燃料油质量。

【催化裂化】在热(450°C — 500°C)和催化剂的共同作用下,重质油转变为裂化气、汽油、柴油等的过程。是重油轻质化最重要的加工过程。反应温度和压力均比热裂化低,重油组分转化为轻油组分的收率更高,产品质量更好,所得裂化气含丙烯、丁烯、异构烃多,更宜用作化工原料,比热裂化具有更高的经济价值。催化裂化使用固定床、移动床和流化床反应器,目前主要采用流化床。所用催化剂的主要成份为硅酸铝,现主要使用含稀土元素的 X 型分子筛微球催化剂和超隐 Y 型分子筛微球催化剂。随催化剂活性的提高,裂化反应改在管式反应器中进行,称为提升管催化裂化,它具有处理能力大,产品分布得到改善,操作弹性好,生产灵活性大等特点。

【加氢裂化】在热(370°C — 440°C)、高氢压(9.8 — 10MPa)和催化剂存在的条件下,重质油和渣油发生裂化和加氢反应,转化为气体、汽油、喷气燃料、柴油等的过程。实质上是催化裂化和加氢两种反应的综合。所用催化剂具有双功能性,载体无定性硅酸铝,分子筛等具有裂化和异构化作用;金属组分如钨、镍等具有加氢作用。产品有液化气、高辛烷值汽油、低凝点喷气燃料、低凝点柴油等,油品收率高,质量好。用不同原料,采用不同催化剂和操作方案,可以有选择地生产各种优质油品,生产灵活性大,但设备费用和加工费用高。

【加氢精制】催化剂存在下向油品中加入氢,以改善油品性质的方法,是石油产品最重要的精制方法之一。它能有效地减少原料油中的硫、氮、氧等的含量,使烯烃、芳烃选择加氢饱和,并能脱

除金属和沥青质，具有处理原料范围广，液体收率高，产品质量好等优点，已代替或部分代替酸碱洗涤、白土精制或溶剂萃取精制等旧工艺。所用催化剂主要是钼—钴，钼—镍等硫化物，以 γ —氧化铝或加少量氧化硅的 γ —氧化铝为载体，形状一般为小条或小球。三叶形、四叶形等异形催化剂的使用是加氢精制的重大技术进步。操作条件较加氢裂化缓和，温度为 300°C — 420°C ，压力为 $2\text{—}10\text{MPa}$ 。

【催化重整】以轻汽油馏分为原料，在加热、加压和催化剂作用下，烃分子发生重新排列，环烷烃和烷烃转化为芳烃或异构烷烃，同时产生氢气的过程。重整催化剂是一种双功能催化剂，既有金属功能，进行脱氢和环化等反应；又有酸性功能，进行异构化和加氢裂化反应。目前使用最多的是铂—铈催化剂，其次是铂—锡催化剂，均以含氯 γ —氧化铝为载体。用直馏汽油作原料时，重整油的收率可达 $93\text{—}95\%$ 。其中苯约 2% ，甲苯约 25% ，二甲苯约 23% ，氢气产量约为 $100\text{—}200\text{m}^3/\text{吨进料}$ ，重整油的辛烷值可达 80 以上。使用连续重整技术，芳烃含量可达 75% 左右，重整油也可经芳烃抽提制取苯、甲苯、二甲苯。催化重整是提高汽油质量和生产石油化工原料的重要手段，是现代石油炼厂和石油化工联合企业中最常见的装置之一。

【芳烃抽提】用液液萃取的方法从烃类混合物中分离出芳烃的过程。轻质芳烃与相近碳原子数的非芳烃沸点相近或有共沸现象，用精馏的方法很难使它们分开，为获得所需纯度的芳烃，需采用液液抽提的方法。常用的溶剂有二乙二醇醚、三乙二醇醚、二甲基砜、环丁砜等，它们对芳烃的溶解能力大，对非芳烃溶解能力小。

芳烃抽提主要用于从催化重整和烃类裂解汽油中回收混合芳烃，然后经精馏生产苯、甲苯、混合二甲苯等石油化工产品。抽提后非芳烃剩余物称抽余油，可用作溶剂油，或汽油组分，也可作裂解制乙烯的原料。

【异构化】改变有机化合物的结构而不改变其组成和分子量的化学反应。常用于将炼厂气中的正丁烷转化为异丁烷—石油烃烷基化原料，也可用于正戊烷、正己烷的异构化以提高直馏汽油的辛烷值。直馏汽油经一次异构化反应，辛烷值可增加 10—12 个单位。新开发的全异构化工艺，可使辛烷值增加 20—22 个单位。采用铂—氧化铝或铂—分子筛等为催化剂。以丁烷异构化为例，反应压力约为 2.1—2.8MPa，温度为 145—205℃，异丁烷产率可达 90% 以上。60 年代以来又将烃类的异构化过程应用于芳烃的转换，进行二甲苯异构化等。

【石油烃烷基化】化合物分子中引入烷基（如甲基、乙基等）的反应称为烷基化。炼厂气中的异丁烷和烯烃在酸催化剂的作用下生成异构烷烃的混合物称为石油烃烷基化，简称烷基化。依据催化剂的不同，可分为氢氟酸法和硫酸法两种，反应温度一般为 10°—40℃，压力为 0.3—0.8MPa。烷基化生产的汽油辛烷值可达 95（马达法），且敏感性好，蒸气压低，感铅性好，是航空汽油和高标号车用汽油理想调合组分。烷基化工艺具有充分利用炼厂气体资源的优点，是炼油厂中应用最广，最受重视的一种气体加工过程，也是利用轻质烃类生产高辛烷值汽油组分的主要方法。

【烯烃叠合】又称烯烃齐聚。是两个或两个以上的低分子烯烃催化

合成一个较大的烯烃分子的过程，是炼油厂广泛采用的气体加工手段之一。随原料组成和目的产品的不同可分为选择性叠合和非选择性叠合。前者以组成比较单一的丙烯或丁烯为原料，目的产物为丙烯四聚体（洗涤剂原料）或高辛烷值汽油等；后者以未经分离的 C_3-C_4 液化气为原料，目的是生产高辛烷值汽油的调合组分。当用磷酸硅藻土为催化剂时，温度为 $175^{\circ}-245^{\circ}C$ ，压力约为 6MPa。叠合工艺的流程简单，原料易得，产品辛烷值高，是石油催化加工较早应用的工艺之一。近年来开发的异丁烯选择性叠合的新工艺，与烷基化工艺相结合，形成了生产高辛烷值汽油独具特色的工艺路线。

【微生物脱蜡】利用某些微生物能以石油中正构烷烃作为碳源而生长繁殖的特性，进行油品脱蜡的过程。将需要脱蜡的油品加到培养液中，选择适当的菌种，在一定条件下进行发酵，微生物便不断地消耗油品中的正构烷烃（蜡），使油品的凝固点下降。发酵过程中产生的大量菌体，含有较高的蛋白质，经过精制可作为石油蛋白。此法的特点是设备简单、效果好，不需高温、高压。如用甲丝酵母脱蜡，能使油的凝固点从 $9^{\circ}C$ 降到 $-40^{\circ}C$ ，并得到酵母蛋白作饲料用。近来利用微生物脱除石油中的氮化物、硫化物的研究也取得了积极的成果，微生物炼油正开拓一个崭新的领域。

【分子筛脱蜡】石油轻质馏分脱蜡方法之一。5A 分子筛的孔径约为 5.2 埃，能吸附直径约为 4.9 埃的正构烷烃分子，其他烃类分子的直径大于 5 埃，不被吸附。利用 5 埃分子筛这一性能，可对某些石油产品进行精制，同时获取高纯度的正构烷烃。从汽油中脱除正构烷烃可提高汽油的辛烷值；从喷气燃料中脱除正构烷烃

可降低其凝点。 $C_9—C_{16}$ 正构烷烃可作为易被生物降解的合成洗涤剂——直链烷基苯磺酸钠的原料。分子筛脱蜡有多种形式，按吸附质的物相状态可分为液相法和气相法；按吸附剂的床层状态可分为固定床、模拟移动床。吸附后，用水蒸汽脱附，操作方便，但需处理污水；后来采用氢、轻质烷烃等作为脱附剂，避免了废水污染。

【溶剂脱蜡】用降温的方法使油品中蜡结晶析出时，为便于蜡的结晶和过滤，加入溶剂稀释油品的脱蜡过程。是用溶剂稀释的冷冻过滤法。蜡的沸点与润滑油馏分相近，不能用蒸馏的方法进行分离，但蜡的凝固点较高，降低温度可从润滑油中结晶出来，通过真空过滤或离心分离可将蜡与油分离。但重质润滑油低温粘度大，影响石蜡结晶的生成，并造成油和石蜡分离困难，需加入一些在低温时只溶解润滑油，不溶解蜡的有机溶剂进行稀释。此类溶剂为丙酮—苯、甲乙酮—甲苯、丙烷、甲基正丙基酮等。溶剂脱蜡主要用于处理润滑油馏分，最终产品为润滑油和蜡。

【溶剂脱沥青】用溶剂萃取的方法，从原油蒸馏所得的减压渣油中除去沥青和胶质，用以生产精制高粘度润滑油和道路沥青的方法。原油中一些宝贵的高粘度润滑油组分，由于沸点很高不能气化而残留在减压渣油中，利用它们与胶质和沥青在溶剂中溶解度的差异，通过控制温度和溶剂与渣油的比例，可进行分离。最早使用的溶剂是丙烷，又称丙烷脱沥青。目前大多以甲基乙基酮为溶剂。溶剂脱沥青现已在某种程度上取代减压蒸馏。也可直接对常压渣油进行处理，分离沥青质，直接获取润滑油。

【石油焦化】以石油的减压渣油为原料，在常压和 500°C 左右加热，使其深度热裂化为气体，轻、中质馏分油和石油焦的加工过程，是炼油厂提高轻质油回收率和生产石油焦的重要手段。早期使用釜式焦化和氧化焦化技术，其后发展为延迟焦化、流化焦化和灵活焦化。延迟焦化指原料油高速通过管式加热炉，在短时间内加热到焦化温度，使成焦反应延迟到特定的焦化塔内进行的过程，采用水力除焦设备去除塔内焦炭。延迟焦化是目前世界上渣油深度加工的主要方法，占石油焦化总处理能力的 $3/4$ 。80 年代中国各炼油厂均采用延迟焦化技术。流化焦化是使原料在流化状态的高温焦碳粉粒上发生焦化反应，生成的焦炭附着在焦粒上。灵活焦化是在流化焦化的基础上组合一套焦炭气化设备，将流化焦化产生的焦炭转化为燃料气的过程。

石 油 产 品

【液化石油气】简称 LPG。在常温下，稍加压就容易液化的天然石油气或石油炼制过程中产生的石油气的统称。为无色具挥发性的液体。由天然气所得液化石油气主要由丙烷、丁烷等组成，基本上不含烯烃；由炼厂气所得液化石油气主要成分为丙烷、丙烯、丁烷、丁烯，还含有少量戊烷、戊烯和微量硫化物。在与化工生产联合的炼油厂生产的液化气中不含丙烯、丁烯。液化石油气对空气的比重约 $1.5—2.0$ ，发热量约 $48900—50000\text{KJ/Kg}$ ，不饱和成分多时则发热量较低。液化气完全燃烧需 25 倍的空气，煤气只

需 5 倍的空气,因此两者的燃烧器不能混用。完全燃烧时生成 CO_2 及水,火焰呈青白色,火焰发红时表示未完全燃烧。空气中液化气的爆炸下限为 2.5%,为防止泄露引起爆炸,加入少量具有恶臭气味的物质,如乙基硫醇等。世界液化石油气主要用作石油化工原料,用于烃类裂解制乙烯或蒸气转化制合成气,可作为工业、民用和内燃机燃料。其主要质量控制指标为蒸发残余物和硫含量等,有时也控制烯烃含量。

【汽油】原油经蒸馏或石油重质馏分经裂化得到的一大类轻质石油产品,为复杂烃类(碳原子数约 4—12)的混合物,是发动机的一种重要燃料。无色至黄色易流动的液体,沸点范围 30—205℃,相对密度 0.70—0.78,空气中含量为 74—123g/m³ 时遇火爆炸。影响汽油使用的主要性能是蒸发性和抗爆性。蒸发性良好,则发动机在冬季易于起动,在夏季不产生气阻,并能完全燃烧。抗爆性指汽油在各种使用条件下抗爆震燃烧的能力,用辛烷值表示。辛烷值高则抗爆性好,发动机运转正常,不发生爆震,充分发挥功率。一般异构烷烃及芳烃的辛烷值较高,正烷烃最低,烯烃居中。提高汽油辛烷值主要靠增加高辛烷值汽油组分,也可通过添加四乙基铅等抗爆剂实现。汽油按其制造过程可分为直馏汽油、裂化汽油等;按其用途可分为航空汽油、车用汽油和溶剂汽油等类。

【直馏汽油】又称石脑油。原油经直接蒸馏得到的汽油。不饱和烃类少,化学稳定性高,辛烷值较低。不可单独用作汽油机的燃料,需与二次加工所得汽油等掺合使用;也可作为工业溶剂油或洗涤油。直馏汽油也是催化重整生产芳烃的原料,裂解生产烯烃的原料。

【裂化汽油】石油重质馏分裂化而得到的汽油。含有烯烃、芳香烃和少量的二烯烃。经热裂化得到的汽油，辛烷值约为 60—75，化学稳定性差，胶质含量大，均需精制。催化裂化所得汽油的辛烷值高，胶质含量少，安定性好，经碱洗后即可作车用汽油。裂化汽油加铅效果一般较差，可与直馏汽油等调合使用，也可将多种裂化汽油相互掺合成航空汽油使用。

【聚合汽油】又称叠合汽油。由裂化气体中的烯烃（丙烯和丁烯）经聚合（烯烃叠合）而成的汽油。聚合汽油的辛烷值较高，波动范围小，约为 82—84（马达法），但加铅效果差。具有很好的调合性能，与其他组分调合，辛烷值增值明显，聚合汽油含不饱和烃类，稳定性较差，胶质含量较多，一般多经加氢饱和作为高级车用汽油的组分。

【含铅汽油】含有少量四乙基铅液的汽油。汽油中加入少量四乙基铅液可显著提高其辛烷值。四乙基铅液由四乙基铅、有机卤化物和油溶性染料配成。四乙基铅是最有效且较经济的抗爆剂；有机卤化物可使四乙基铅燃烧后形成的铅和氧化铅转化为易于挥发的卤化铅，从气缸中排出，此外有机卤化物还对四乙铅起稳定作用；所用染料将四乙基铅液染成鲜红色、蓝色或桔红色，以引起使用者的注意，防止铅中毒。四乙铅自 1923 年投入使用以来，由于未找到其他更合适的抗爆剂，一直沿用至今。70 年代以来，为减少铅污染，各国对汽油中含铅量加以限制，同时开发和使用无铅汽油。

【车用汽油】用于机动车汽油机的燃料。中国按马达法辛烷值分为 70 和 85 两种牌号；按研究法辛烷值分为 90、93、97 三种牌号。马达法 85 号和研究法 93 号是同一种汽油。根据发动机压缩比选用汽油，压缩比较高的，选用较高牌号的汽油。为防止腐蚀和对大气的污染，其硫含量不许超过 0.1%；中国规定 1 公斤车用汽油加入四乙基铅量不许超过 0.1 克。

【航空汽油】航空用活塞式汽油机的燃料。沸点范围 40—180℃，四乙基铅量不大于 3.3 克/公斤。按马达法辛烷值分为 75、95、100 三个牌号。由于活塞式航空发动机不再发展和车用汽油需求逐年增加，航空汽油在汽油产量中的比例逐年下降，在中国仅占汽油产量的 0.2—0.3%。

【喷气燃料】用于航空喷气式发动机的燃料油。主要由原油蒸馏所得煤油经精制加工制得，也可由重质馏分油经加氢裂化生产。中国喷气燃料分为五个牌号：RP-1、RP-2、RP-3、RP-4、RP-5，馏程大多为 150—315℃，所以喷气燃料也称航空煤油。喷气燃料的主要质量指标为：（1）燃烧性，为使燃料在发动机内完全燃烧，对其所含芳烃、萘含量均有规定；（2）低温性能，为保证燃料泵正常运转，要求有适宜的粘度和冰点；（3）体积发热量，指单位体积燃料完全燃烧时释放的净热量；（4）燃料要洁净，腐蚀性低，稳定性、安全性要好。喷气燃料常加入各种添加剂以改进其性能。

【煤油】石油经蒸馏或裂化得到的一类轻质石油产品，为碳原子数 9—16 的复杂烃类混合物。是石油炼制工业初期的主要产品，目前

已居次要地位。根据用途可分为灯用煤油、炉用煤油、信号灯煤油及拖拉机煤油等。灯用煤油的馏程以 $150^{\circ}\text{—}290^{\circ}\text{C}$ 为最好, 芳烃含量宜在 8—10%, 以使灯光有必须的亮度而又不冒黑烟。为使用安全, 要控制闪点不低于 40°C 。供家庭炊事和取暖用的炉用煤油, 其性能大体与灯用煤油相同, 唯要求硫含量在 0.1% 以下。拖拉机煤油馏程为 $100^{\circ}\text{—}300^{\circ}\text{C}$, 50% 的馏出温度不高于 200°C , 辛烷值应在 40—45。

【柴油】石油经分馏、裂化、焦化等方法制得的压燃式发动机(柴油机)燃料, 为碳原子数 15—23 的复杂烃类混合物。沸点范围在 $160^{\circ}\text{—}370^{\circ}\text{C}$ 称轻柴油; 沸点范围在 $230^{\circ}\text{—}430^{\circ}\text{C}$ 称重柴油。轻柴油用于高速柴油机; 重柴油用于中低速柴油机, 并可作为锅炉燃料。由于高速柴油机燃料耗量低于汽油机, 使用柴油机的大型运载工具日益增多, 目前世界柴油耗量的增长速度大于汽油, 柴油机燃料已是中国消耗量最多的发动机燃料。对柴油性能要求中最重要的是着火性和流动性。以十六烷值评价柴油着火性, 十六烷值高则着火性好, 重柴油的十六烷值在 35—45, 轻柴油不低于 45。用凝点评定柴油流动性, 它表示燃料不经加热而能输送的最低温度。选用柴油要求其凝点低于环境温度 3— 5°C 。中国柴油照按凝点分级, 轻柴油有 10、0、-10、-20、-35 和 -50 六个牌号, 重柴油有 10、20、30 三个牌号。

【石油溶剂】用作溶剂的石油轻质油馏分。经原油直接蒸馏得到, 由烷烃、环烷烃和少量芳烃组成。石油溶剂按其 98% 馏出温度或干点分为 70、90、120、180、190、200 等牌号。70 号溶剂油又称香花溶剂油, 沸程为 $60^{\circ}\text{—}70^{\circ}\text{C}$, 正己烷含量在 95% 以上的饱和烃

类，主要用于香料的萃取；90 号又称石油醚，沸程 60°C — 90°C ，主要由六碳烃和少量五碳烃组成，用作工业溶剂和化学试剂；120 号又称橡胶溶剂油，沸程 80°C — 120°C ；180 号又称航空洗涤油，沸程 40°C — 180°C ，精制程度较深；190 号又称工业汽油，沸程 40°C — 190°C ，硫含量低，没有腐蚀性，主要用于清洗各种机械零件；200 号又称油漆溶剂油，俗称松香水，用作油漆的稀释剂。

【润滑油】又称机油。不挥发的油状液体，主要用于润滑、冷却及密封机械的摩擦部分。润滑油由基础油和各种添加剂调合而成，基础油按其来源分为动植物油、石油润滑油和合成润滑油。经减压蒸馏的石油重质馏分脱蜡精制后的石油润滑油占全部润滑油的 97% 以上，因此润滑油通常均指石油润滑油。其全部用量只有石油燃料消耗量的 2—3%，却是石油产品中品种最多的一类产品。润滑油最主要的性能指标是粘度、氧化安定性和润滑性。粘度反映润滑油的流动性，重负荷和低转速的机械要选用高粘度润滑油。氧化安定性表示油品在使用环境中所表现的抗氧化能力。润滑性表示润滑油的减磨性能。中国将润滑油分为 15 组，其中最主要的是内燃机油、齿轮油、液压油、汽轮机油和电器用油等几大类产品。

【内燃机油】又称发动机油、曲轴箱油。以石油润滑油为基础油，加入洁净分散剂和抗氧抗腐蚀添加剂调制而成的一种润滑油。添加剂量一般为 2—3%。用于汽油机和柴油机摩擦部位，起减磨、防锈、冷却、密封、清洗等作用。内燃机油的质量，对发动机的润滑状态、功率、安全运行、使用寿命及燃料消耗均有较大的影响。内燃机油按性能可分为汽油机油、柴油机油和船用柴油机油三大类；按粘

度可分为单级油和多级油。单级油的使用受地区和季节的限制；多级油适用地域宽，不受季节限制。合理使用内燃机油的关键是选择合理的换油期。

【汽轮机油】又称汽缸油、透平油。以深度精制的石油馏分为基础油，加入适量的抗氧化剂、防锈油性剂和抗泡沫剂调制而成的一种润滑油。主要用于蒸汽轮机、船舶舵机、汽轮压缩机等的汽缸中。抗氧化性能是汽轮机油的代表性指标，其次是粘度和闪点等。可按粘度分为 20、30、40、45 及 55 等五个牌号。汽轮机油可连续使用数年之久，而质量变化不大，平均每年补充量约为油柜容量的 3—5%。

【齿轮油】以石油馏分油为基础油，加入极压抗磨剂和油性剂等调制而成的一种重要的润滑油。用于各种齿轮传动装置，以延长其使用寿命，减少功率损失。齿轮油具有良好的抗震、耐负荷性能及合适的粘度。可分为车辆齿轮油和工业齿轮油两大类。车辆齿轮油用于各种车轮的传动箱、变速箱、减速器和差速器等齿轮的润滑。中国按粘度将其分为六类。工业齿轮油用于润滑冶金、煤炭、化工等各种工业齿轮装置。中国按粘度将其分为七类。工业齿轮油又可进一步分为闭式齿轮油、开式齿轮油和涡轮蜗杆油。

【液压油】以深度精制的石油馏分油为基础油，加入抗磨、抗氧化剂等调制而成的一种润滑油。用作液压传动系统中的能量传递介质，兼具润滑、冷却和防锈作用。液压油具有良好的润滑性、水解安定性、热安定性、抗磨性、密封性、分水性、排气性及介质相容性等性能。中国按粘度将其分为八个牌号；按用途分为矿油型和

合成烃型、耐燃型、制动液、航空液压油、舰船液压油和液力传动油等 6 类。

【电器绝缘油】以深度精制的石油馏分油为基础油，加入抗氧剂调制而成的一种润滑油。主要用作电器设备的电绝缘介质。绝缘油具有良好的电气性能，适当的粘度、良好的热氧化安定性和析气性。环烷烃是绝缘油的理想组分，因此环烷烃基原油是生产绝缘油的首选原料。按用途可分为变压器油、电容器油、电缆油、断路器油和其他电器用油。

【切削油】以低粘度润滑油为基础油，加入部分动植物油脂及抗氧剂、抗磨剂、油性剂等调制而成的特种润滑油。在金属切削和磨削加工中用于润滑、冷却、清洗加工工具和部件。可分为水溶性、非水溶性和膏状切削油等三种。水溶性切削油含水 80—95%，具乳化能力，又称为切削液；非水溶性切削油分为活性和不活性两种，要求加工表面好的用前者，希望延长加工刀具寿命的用后者。膏状切削油为半固体的切削剂，一般多在切削速度较低时使用。

【合成润滑油】以石油组分为主要原料，经有机合成制备的液体润滑剂。与石油润滑油不同点是其基础油分子中，除含碳、氢元素外，还分别含有氧、硅、磷、氟、氯等元素。按其组成可分为酯类油、聚醚、聚硅氧烷、含氟油、磷酸酯和聚 α -烯烃等几大类。每类均有其独特的化学结构、特殊的性能和使用范围。合成润滑油成本较高。在大多数情况下，都是在普通石油润滑油的性能不能满足要求时使用，如需耐高低温、耐燃耐热、耐射线、耐化学药品、耐高压等。在航空喷气机、原子能发电站、高活性化学物

品处理机械、高低温作业机械等方面应用广泛。合成润滑油也需加入适当的添加剂改善某些性能。普通润滑油的基础油为非极性的，合成润滑油为极性的，两者所用的添加剂不完全相同。

【润滑脂】又称黄油。将稠化剂分散于润滑油内制成的一类半固体或半流体状的润滑剂。润滑脂组分中，75—95%为润滑油基础油。润滑脂的润滑性能主要取决于基础油的特性，而其结构和特性则取决于稠化剂的类型和分散程度。为改善其某些使用性能，需加入抗氧剂、防锈剂、极压抗磨剂和增粘剂等各种添加剂。润滑脂广泛应用于润滑传动及滑动的机械磨擦部位，还兼有防护和密封的作用。每种润滑脂都具有几种使用性能，以某种主要使用性能为依据，可将其分为四类：减摩润滑脂、防护润滑脂、密封润滑脂和增摩润滑脂。按稠化剂分类有皂基脂和非皂基脂两大类。高级脂肪酸的金属皂类做稠化剂时，称为皂基润滑脂，据金属种类不同分别称为锂基、钠基、钙基等润滑脂。皂基润滑脂在品种和产量上均占润滑脂总数的大部分。非皂基润滑脂以石蜡、地蜡为稠化剂时称为烃基润滑脂；以膨润土、硅脱、炭黑等为稠化剂时称为无机润滑脂；以酞菁铜等有机物为稠化剂时称为有机润滑脂。

【防锈油脂】以石油润滑油为基础油，加入各种防锈剂制得的润滑油或润滑脂。涂敷在金属部件表面上，起防护作用。防锈油中防锈剂分子的一端和金属表面紧密吸附，而另一端则和基础油分子相吸附，形成比较坚固的吸附膜，可以起隔绝水分、氧及其他锈蚀性物质的作用，即达到防锈的目的。防锈油脂可分成油型、脂型、溶剂稀释型、乳化型（或水型）以及防锈—润滑型等。其中溶剂稀释型由于干燥快，膜薄而透明，防锈性可靠，使用较多。

【石油蜡】石蜡、地蜡、石油脂及特殊蜡的统称。由含蜡馏分油或渣油经加工精制而得。主要由正构烷烃组成，还含有不同数量的异构烷烃及环状化合物。石蜡呈白色或淡黄色，常温下为固态。烷烃的碳链长度为 $C_{16}—C_{45}$ 。主要用于制造高级脂肪酸、化妆品、食品、日用品等。地蜡又称微晶蜡，是黄白色或黄褐色的均匀细腻的物质，碳链长度为 $C_{35}—C_{80}$ ，主要用作润滑脂稠化剂组分，优质的日用化工原料（软膏、润面膏、发蜡等）和特种蜡基本材料。石油脂是含 20—30% 重质润滑油馏分的地蜡，为膏状半固体，经精制后称为凡士林。医用凡士林用于配制药膏，工业凡士林用于金属防锈或作润滑脂。特种蜡是以石蜡和地蜡为基本原料，经特殊加工或添加组分调合而成，用以满足航天、电子、橡胶等工业的特殊需要。

【燃料油】由减压渣油和裂化残油加入适量裂化轻油制成的重质石油燃料。燃料油性能要求有：粘度，反映输送性能和雾化性能；闪点，反应贮存、运输和使用时的安全性能；含硫量，反映油品对设备的腐蚀性能；灰分，反映沉积物及机械杂质的数量。中国燃油按粘度分为五种。按用途分为船用燃料油、锅炉燃料油和内燃机燃料油。船用燃料油用于军舰等专用蒸气锅炉；锅炉燃料油用于发电厂锅炉和其他工业窑炉；内燃机燃料油用于大型低速船用柴油机主机。

【石油沥青】由分子量为 1000—5000 的烃类和少量非烃类构成的复杂混合物。呈黑色固状，是由饱和烃、芳烃、胶质和沥青质以不同比例形成的稳定胶体体系。或以原油经蒸馏直接制取，或以

减压渣油为原料经氧化制取，或以溶剂脱出的沥青为组分调合而成。其主要质量指标有针入度，反映沥青稠度；软化点，反映沥青热塑性；伸长度，反映沥青的粘结性、抗张性和胶体均匀性。石油沥青具有粘弹性、防水防腐性，用于道路建设、建筑及水利工程等方面。中国有道路沥青、建筑沥青、专用沥青和乳化沥青四个系列产品。乳化沥青是把软质石油沥青用高速搅拌磨破碎成微粒子，借助于乳化剂作用分散在水中成为乳液。乳化沥青对石料的浸润性能好，施工方便。

【石油焦】石油残渣油、沥青或重油经高温焦化得到的黑色有金属光泽的坚硬固体，是由微小的石墨结晶形成的粒状、柱状或针状物构成的炭体物。石油焦含碳 90—99%，含氢 1.5—8%，也含少量的氮、氯、硫及金属化合物。按硫含量可分为高硫焦（硫含量大于 4%）、中硫焦（2—4%）、低硫焦（小于 2%）。由于其硫含量低，灰分小，热膨胀系数小，是制造高级碳素材料的优质原料，可用于制造电极，也可用作特殊冶金燃料。按加工方法可分为生焦和熟焦，生焦经锻烧后称为熟焦。按显微结构可分为海绵焦和针状焦，前者多孔如海绵状，又称普通焦，后者致密如纤维状，又称优质焦。主要的质量指标有纯度，反映焦中硫及灰分的含量；结晶度，反映焦的结构；抗热震性，反映受热冲击时的抗破裂性能。

【石油添加剂】能显著改善和提高石油产品的一种或多种性能的物质。绝大多数是人工合成的，能溶于油品中的有机物。按应用场合分成润滑油添加剂、燃料添加剂、复合添加剂和其他添加剂四类。每类添加剂按作用不同又分为若干个组，共有 37 个组别。中

国现阶段生产和使用的石油添加剂主要有以下 12 组：清洁剂和分散剂；抗氧抗腐剂；极压抗磨剂；油性剂和摩擦改进剂；抗氧剂和金属减活剂；粘度指数改进剂；防锈剂；降凝剂；抗泡沫剂；抗爆剂；金属纯化剂；流动改性剂。各种添加剂的加入量一般为千分之几到万分之几。石油产品中使用添加剂最多的是润滑油，其次是汽油、煤油及柴油等轻质油品，石油蜡与石油沥青中也用到一些添加剂。

天然气化工

【天然气】蕴藏在地层内的碳氢化合物和非烃气体的混合物，为可燃性气体。主要成分是甲烷，其次为乙烷、丙烷、丁烷及其他气态烃类，并含有少量的氮、氢、二氧化碳、硫化氢及氦等非烃类气体。在标准状况下，单位体积天然气与同体积空气质量之比为 0.50—0.80。一般认为是由有机物质经生物化学作用分解而成，石油在地层深部埋藏期间逐渐变化，最终变为低级烷烃，即天然气。或与石油伴生，称为油田伴生气或油田气；或是储藏于没有石油的气体构造中，称为气田气。含相当数量硫化氢和二氧化碳的天然气称为酸性天然气。天然气中液态烃含量大于 $0.04\text{m}^3/\text{km}^3$ 时，称为湿性天然气，简称为湿气，反之则称为干性天然气，干气。干气的甲烷含量高，在脱除非烃类气体后，典型干气的甲烷含量应在 85—95%；湿性天然气的甲烷含量则较低。湿气中含有较多的重要化工基本原料，又称为富气；与此相应，干气又称为贫气。广

义的天然气，除包括上述油、气田气以外，还有煤系地层气、泥火山气和生物生成气等。天然气由钻井开采而得，用管道输送到使用地点。天然气是一种重要能源，广泛用作城市煤气和工业燃料，世界能源的消耗中，天然气约占18—20%。天然气也是一种重要的石油化工基本原料，含氮较多的天然气还可用于提取氮气。世界天然气田主要分布在独联体、中东、北非、美国、西欧。中国的天然气田主要分布在四川、辽宁、黑龙江、山东、台湾及沿海一带大陆架。

【天然气液体】 又称天然气凝析液。天然气中凝析出来的由乙烷、丙烷、丁烷和戊烷组成的轻质烃类混合物。其中 C_4 和 C_5 以上高挥发性烃类混合物构成天然汽油，加入车用汽油中可提高其蒸气压，使汽车在寒冷的条件下易于启动。天然汽油也是重要的化工原料，如由丁烷生产丁二烯，由异戊烷生产异戊二烯等。乙烷和丙烷也可经裂解生产乙烯、丙烯等化工原料。早期主要采用吸附法和油吸收法，现在采用深冷法，从天然气中将其分离出来。

【天然气脱水】 除去天然气所含水的净化加工过程。水汽存在影响贮存和运输，加速设备腐蚀，降低热值，天然气必须进行脱水处理。常用的脱水方法有：（1）溶剂吸收法，用甘醇化合物和金属氯化物溶液作为脱水吸收剂；（2）固体吸附法，用活性铝土矿、活性氧化铝、硅胶、分子筛等作为脱水剂，其中分子筛脱水效果最好，且同时可进行天然气脱硫，但价格贵，再生时能耗高；（3）直接冷却法，直接将天然气冷却或加压下冷却，使水蒸气凝析出来。

【天然气脱硫】 从天然气中除去硫化氢、二氧化硫及硫醇等有机硫

化物的净化加工过程。上述化合物腐蚀金属材料，使化学加工过程中的催化剂中毒，影响产品质量且造成环境污染。脱硫方法一般分为干法和湿法两大类。干法以海绵铁或分子筛为吸附剂，适于含硫较低的天然气，净化度高，操作简便。湿法按溶液的吸收和再生方式，又分为化学吸收法、物理吸收法和直接氧化法。化学吸收法以弱碱性溶液为吸收剂。物理吸附法以有机化合物，如多乙二醇等做为吸收溶剂。直接氧化法利用悬浮或溶解于脱硫溶液中的氧化剂，使碱性溶液吸收的 H_2S 直接氧化为元素硫。

【深冷分离】利用天然气所含各组分沸点的差别，在约 -100°C 以下的低温分离回收其中某些组分的过程。工业上通常将 -100°C 以下的低温冷冻，称为深度冷冻，简称为深冷。有两种基本制冷工艺：阶式循环和膨胀机循环。世界上广泛采用前者。深冷分离时 C_2 以上的烃首先液化，得到天然气凝析液；继续冷却，天然气的主要组分甲烷液化。深冷分离也可用于富氮天然气的脱氮以提高热值，以及从富氮天然气中分离回收氮。

【液化天然气】天然气经深冷法完全液化所得产品。天然气液化的目的有：在某些情况下，方便贮运；可将低负荷时多余的天然气储存起来，在高峰负荷时，再使其气化，达到调节城市燃料气供需的目的。

【天然气贮运】天然气的贮存和输运过程。以气态形式贮运，采用天然气管道和贮气库；以液态形式贮运，采用运输液化天然气的专用轮船和槽车，以及液化天然气罐。管线输送和液化后船运适用于大规模、长距离输送天然气。陆上输送天然气主要敷设输气

管线；跨越海洋时，以液化后船运经济。对于陆上数量不大的液化天然气输送，可采用铁路槽车和公路槽车。

【天然气管道】输送天然气的管道系统。以大排量、大功率的离心式压缩机提供气体传输的动力，建设贮气库保证输气管道以其最大的输送能力稳定、连续运转。贮气库一般建在地下，单库容量可达数十亿立方米，配有除尘器、分水器、清管设备等。可由计算机程序控制，进行自动化管理。长距离输气干线的直径，一般在 1 米以上，最大的达 1.4 米；输气压力一般在 5MPa，最大已达到 9MPa。

【天然气化工】以天然气为原料生产化学产品的工业，是石油化工的一个重要组成部分。富氮天然气可用低温冷凝法或薄膜法提取氮气，是目前氮气的主要来源。以天然气为原料生产的产品主要有合成氨、甲醇、甲醛、尿素、醋酸、乙烯、丙烯和丁二烯等。其中合成氨占世界总产量的 80% 以上，甲醇占世界总产量的 70% 以上，在烯烃生产中，扩大了天然气液体和液化石油气的使用量，提高了世界烯烃生产中天然气做原料的比重。 C_1 化学研究工作的迅速开展，也将促进天然气化工的进一步发展。中国天然气化工始于 60 年代，现已初具规模，主要分布在四川、黑龙江、辽宁、山东、台湾等地。主要生产氮肥，其次是甲醇、甲醛、乙炔、二氯甲烷、二硫化碳等。

石油化学品

【合成气系列】以氢气、一氧化碳为主要组分供化学合成用的原料气称为合成气。二次世界大战前主要以煤为原料；战后转移到主要以天然气和石油渣油等为原料。生产合成气的方法有两种：蒸气转化法和部分氧化法。由合成气获得纯氢气，可生产一系列化学品，其中最主要的是氨及其产品，如尿素、硝酸、乌洛托品等重要化工原料，其次是甲醇及其产品，如甲醛、醋酸等。从合成气制得一氧化碳可制取丁醇、辛醇、丁醛等。以上产品统称为合成气系列石油化学品。

【乙烯系列】以石油和天然气为原料获取乙烯，经进一步加工所得一系列有机化工产品的总称。20 世纪初，乙烯的生产由以发酵法生产的酒精脱水制取转向以天然气、炼厂气、石脑油、柴油等高温裂解生产。经分离提纯，可得纯度为 99.95% 的乙烯。以乙烯为原料通过多种合成途径可以得到一系列重要的石油化工中间产品和最终产品。其中高、低密度的聚乙烯约占乙烯耗量的 45%；其次，环氧乙烷、二氯乙烷、氯乙烯和乙二醇也在乙烯耗量中占相当比例；此外，乙烯烃化制苯乙烯、乙烯氧化制乙醛、乙烯合成酒精、乙烯催化氧化生产高级醇等都是乙烯的重要产品。进一步还可制备合成橡胶、合成纤维、表面活性剂等。乙烯产量可作为衡量一个国家石油化工生产水平的标志。

【丙烯系列】以石油天然气为原料获取丙烯，经进一步加工所得一系列有机化工产品的总称。在石油化工发展初期，丙烯主要从炼油厂催化裂化装置副产的液化气中回收，随乙烯生产逐步转向以石脑油和较重质烃类为原料，联产的丙烯量相应增加，在西欧、日本等地 90% 的丙烯来自乙烯装置。聚丙烯约占丙烯耗量的 30% 左右，丙烯腈、环氧丙烷、异丙醇、异丙苯、丁醛等，各占丙烯耗量的 10% 左右，此外，由丙烯还可生产苯酚、丙酮、丙烯酸及其酯类，高级醇、合成甘油、丙烯醛、烷基苯等。近年来，随无铅、高辛烷值汽油需求量增加，由丙烯生产汽油调和成分也有很大发展。

【丁烯系列】以石油和天然气为原料获取丁烯、丁二烯等，经进一步加工所得一系列有机化工产品的总称。丁烯的主要来源是炼油厂的液化气和乙烯装置副产的 C_4 馏分，少量丁烯由丁烷脱氢而来。丁烯主要用于丁二烯的生产，其余用于生产顺丁烯二酸酐、仲丁醇、庚烯、聚丁烯、乙酸酐等。丁二烯是合成橡胶和合成树脂的重要单体。由丁二烯可生产顺丁橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶，也可生产聚丁二烯和 ABS、BS 等树脂，此外尚可生产丁二醇、尼龙—66 的单体己二胺等。合成橡胶约占其消耗量的 70% 以上，合成树脂及合成纤维各占 10% 左右。

【芳烃系列】以石油为原料获取芳烃（主要是苯、二甲苯、甲苯）经进一步加工所得一系列有机化工产品的总称。40 年代前芳烃主要从煤干馏过程中获取，此后，芳烃的主要来源转向石油。石脑油催化重整可制取芳烃，乙烯装置副产芳烃。随乙烯生产的发展，

后者的比重正在上升。苯作为生产苯乙烯单体的原料，约占苯消耗量的 50%；其次是生产环己烷和苯酚，分别占苯消耗量的 15% 和 18%；此外，可生产苯胺、烷基苯、顺丁烯二酸酐等，进一步可得合成纤维、塑料、染料、医药、合成洗涤剂、炸药等。甲苯大量用于溶剂和涂料的生产，在染料、医药、香料、防腐剂等方面也消耗大量的甲苯。二甲苯主要用于生产多种合成纤维和塑料，约占其消耗量的 85%，其他则主要用于生产涂料、溶剂、农药等的中间体。

石油污染及防治

【石油污染】在石油开采、贮运、炼制和使用过程中原油及其制品进入环境而造成的污染。当前主要是石油对海洋的污染。近年来，每年排入海洋的石油约 1000 万吨，其中一半来自河流及沿海工业城市；其次是船舶在航运作业期间的排油、漏油及事故溢油以及海底油田的泄漏和井喷事故。战争，如海湾战争人为地把大量石油排入海洋。海洋石油污染的影响范围广，危害程度大，威胁着海洋生物的生存，危及人类的健康，妨碍海事活动，恶化海滨环境。处理海面油污染常用的方法有两种：物理清洁法和化学清洁法。陆地开采和石油炼制过程中“三废”的处理已收到很大的成效。

【物理清洁法】用物理的手段对海面油污染进行处理。在海上发生

溢油事故时，先用由裙体、浮体、坠重和连接等部件组成的围油栏将浮油围拢起来，防止浮油继续扩散，或将已扩散的浮油用围油栏集中成较厚的油层，然后或用水泵把海面浮油和海水一起吸入船舱，再用油水分离器把油分离回收；或用装有特制滚筒的浮油回收船，借用滚筒的吸油材料吸取浮油，吸油后将油挤出，继续使用；或用化学试剂将浮油变成泡沫状固体，再加以回收利用。有时也利用珍珠岩、蛭石、麦杆、锯屑、泡沫状聚苯乙烯等作吸油剂，吸取海面浮油。

【化学清洁法】利用各种化学试剂对海面油污进行处理。主要是利用分散剂、界面活性剂等使浮油在海水中乳化、分散、分解或沉降，最终为生物降解。本法处理海洋油污染有其不足之处。首先是分散或沉降的石油仍然留在海洋环境中，依然会对海洋生物产生危害；其次，有些试剂对生物的毒性甚至比石油更强；第三，残留的化学试剂可能影响海水水质。有些国家做了特别规定，如当石油流出有发生火灾危险时才能使用化学试剂，且只准使用对海洋生物毒性较小的化学物质。

【废油再生】废油提纯为可重新使用的润滑油的过程。再生工艺可分为净化和精炼两种。净化以除去废油中水份及固体杂质为目的，采用的技术手段为沉降、离心、凝聚、过滤等，此法设备简单，处理方便，但再生油的质量低于新油。精炼采用蒸馏、吸附、硫酸白土精制，溶剂精制，加氢精制，化学脱金属等方法中之两种或数种联用，组成一个精炼流程。将废油提炼成基础油，再调入油品添加剂，获得与新油质量基本相同的润滑油。