

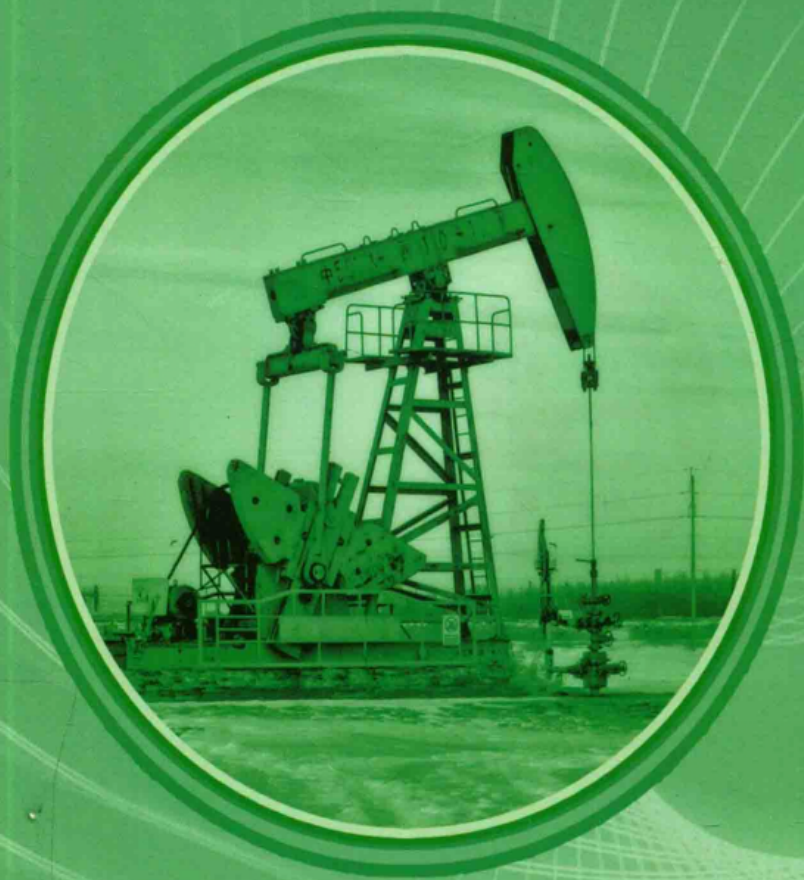


“十三五”职业教育部委级规划教材

石油化工工艺

SHIYOU HUAGONG
GONGYI

刘迪 主编 凌洁 副主编



国家一级出版社



中国纺织出版社

全国百佳图书出版单位



“十三五”职业教育部委级规划教材

石油化工工艺

刘迪 主编

凌洁 副主编

中国纺织出版社

内 容 提 要

本教材依据高等职业教育应用化工技术专业对石油化工工艺课程的要求,结合石油加工生产工种岗位职业资格和标准的要求,以该工种职业核心能力培养为目标,以原油一次加工、二次加工、三次加工为主线,将石油化工工艺知识分为十个学习情境,即认识石油化工工艺、石油及其产品的特性和石油化工工艺基础、原油蒸馏、催化裂化、石油烃类热裂解、催化重整、催化加氢、催化脱氢和氧化脱氢、燃料油品精制工艺及润滑油生产工艺。

本教材可作为高等职业院校应用化工技术、石油化工生产技术等相关专业的教学用书,也可作为石油化工生产工作者的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工工艺 / 刘迪主编. — 北京: 中国纺织出版社, 2017.6

“十三五”职业教育部省级规划教材

ISBN 978-7-5180-3120-7

I. ①石… II. ①刘… III. ①石油化工-工艺学-高等职业教育-教材 IV. ①TE65

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第287520号

责任编辑: 范雨昕 责任校对: 王花妮

责任设计: 何建 责任印制: 何建

中国纺织出版社出版发行

地址: 北京市朝阳区百子湾东里A407号楼 邮政编码: 100124

销售电话: 010-67004422 传真: 010-87155801

http: //www.c-textilep.com

E-mail: faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 http: //weibo.com/2119887771

北京玺诚印务有限公司印刷 各地新华书店经销

2017年6月第1版第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.25

字数: 334千字 定价: 62.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前言

“石油化工工艺”是应用化工技术专业、石油化工生产技术及相关专业的核心课程之一，也是应用化工技术专业、石油化工生产技术及相关专业的职业技术核心课程之一。

本教材是在我院应用化工技术专业确定为中央财政支持高等职业院校提升专业服务产业发展能力建设项目的背景下编写而成的，是针对化工技术类、石化类及相关企业对石油加工生产岗位高技能型人才的需求，结合“全国职业院校石油化工生产技术技能竞赛”要求，按照石油加工生产岗位职业标准编写的任务驱动型教材。

教材内容包括认识石油化工工艺、石油及其产品的特性和石油化工工艺基础、原油蒸馏、催化裂化、石油烃类热裂解、催化重整、催化加氢、催化脱氢和氧化脱氢、燃料油品精制工艺及润滑油生产工艺等十个学习情境，本教材具有以下特点：

一是，情境设计，任务驱动。本教材根据岗位特点设置不同学习情境，每个情境下分解设计不同的工作任务，要求在学习理论内容之前教师对学生下达“任务书”，通过工作任务的完成，使学生明确完成该任务需具备的操作能力和知识能力，以此激发学生学习的主动性和求知欲，将任务驱动教学法体现在教材中。

二是，教、学、做一体化。通过完成典型工作任务，将知识与能力融为一体，避免理论知识与操作技能脱节的现象，每个任务可操作性强，实现理论实践一体化教学模式，较好地体现教、学、做三者合一。

三是，注重应用，突出技能训练。充分体现高职教育教学特色，本着理论知识“必须”“够用”为度的原则，突出职业能力的培养，树立理论知识学习旨在获取职业能力的理念，紧紧围绕工作任务的完成，以理论知识为指导，加强技能训练，增强学习的针对性。

四是，项目导向，循序渐进，逐步提升。以学习项目为导向，无论是理论知识还是操作技能训练，均由浅入深、由简单到复杂，便于学生理解并掌握。每个学习情境后均配有“能力测评与提升”训练项目，学生可通过自我测评，完成能力的检测与提升。

本教材由陕西工业职业技术学院刘迪任主编，陕西能源职业技术学院凌洁任副主编，陕西工业职业技术学院李婧参编，具体分工如下：刘迪编写学习情境一至七；凌洁编写学习情境九；李婧编写学习情境八、十及所有情境中“能力测评与提升”的内容。全书由刘迪负责拟定编写提纲，并做最后的统稿和修改定稿工作。

本教材在编写过程中，陕西工业职业技术学院尚华教授在百忙之中进行了认真的审阅，提出了许多宝贵意见，为本书增色不少，也使作者受益匪浅。在此，表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请使用本书的读者批评斧正，谨此致谢！

编者

2016年10月

目录

学习情境一 认识石油化工工艺	001
【任务一】石油化工工艺的研究范畴	001
【任务二】认识石油化工工业的特点、地位和发展	002
学习情境二 石油及其产品的特性和石油化工工艺基础	006
【任务一】认识石油及其产品	006
【任务二】车用汽油馏程的测定	013
【任务三】认识石油化工工艺基础知识	025
学习情境三 原油蒸馏	036
【任务一】原油预处理工艺操作	036
【任务二】原油蒸馏工艺操作	042
学习情境四 催化裂化	058
【任务一】认识催化裂化化学反应原理	058
【任务二】认识催化裂化催化剂	062
【任务三】反应—再生系统工艺操作	068
【任务四】催化裂化工艺主要操作条件分析	079
学习情境五 石油烃类热裂解	084
【任务一】认识热裂解过程的化学反应	084
【任务二】裂解过程的工艺参数和控制指标	088
【任务三】解读裂解工艺流程	096
【任务四】认识裂解气酸性气体脱除工艺流程	107
【任务五】解读裂解气深冷分离流程	118

学习情境六 催化重整	132
【任务一】认识催化重整	132
【任务二】认识催化重整化学反应	134
【任务三】认识催化重整催化剂	138
【任务四】解读催化重整原料预处理工艺流程	148
【任务五】催化重整工艺操作	152
【任务六】解读芳烃抽提和芳烃精馏工艺流程	160
学习情境七 催化加氢	168
【任务一】认识催化加氢	168
【任务二】认识催化加氢反应	170
【任务三】加氢精制工艺操作	176
【任务四】催化加氢过程的操作条件分析	186
学习情境八 催化脱氢和氧化脱氢	191
【任务一】认识催化脱氢和氧化脱氢	191
【任务二】认识催化脱氢反应的特点	193
【任务三】解读乙苯催化脱氢生产苯乙烯工艺流程	195
【任务四】解读正丁烯氧化脱氢生产丁二烯工艺流程	203
学习情境九 燃料油品精制工艺	211
【任务一】解读酸碱精制工艺流程	211
【任务二】解读脱硫精制工艺流程	217
学习情境十 润滑油生产工艺	224
【任务一】认识润滑油	224
【任务二】解读脱沥青工艺流程	230
【任务三】解读精制工艺流程	237
【任务四】解读脱蜡工艺流程	243
【任务五】解读补充精制工艺流程	249
参考文献	254

学习情境一 认识石油加工工艺

【任务一】石油加工工艺的研究范畴

1. 能力目标

能够认识石油加工工艺的范畴；能够理解石油化工行业包括的生产过程。

2. 知识目标

了解化工行业的分类；掌握石油化工行业涵盖的范畴；掌握石油化工行业三大生产过程。

3. 教、学、做说明

学生通过图书馆和网络资源的查找，并结合本任务的【相关知识】，分组讨论总结石油加工工艺的研究范畴，然后由教师引领，小组代表发言，并在教师指导下完成石油加工工艺研究范畴的汇总。

4. 工作准备

学生分组：按照班级人数分组，并指派组长；资料查阅：布置工作任务，学生可通过图书馆或互联网等途径查阅相关资料。

5. 工作过程

小组讨论；组长指派代表发言；教师引领，完成石油加工工艺研究范畴的总结。

【相关知识】

一、化学工业的分类

化学工业是指利用化学反应改变物质结构、成分、形态而生产化学品的制造业。

化学工业按产品的元素构成大体可分为两大类：无机化学工业和有机化学工业，简称无机化工和有机化工。无机化工主要有酸、碱、盐、硅酸盐、稀有元素、电化学工业等，广义上也包括无机非金属材料 and 精细无机化学品的生产；有机化工主要有合成纤维、塑料、合成橡胶、化肥、农药等工业，按照原料的来源和加工特点又可分为石油化工、煤化工、天然气化工、生物化工等。随着化学工业的发展，跨类的部门层出不穷，逐步形成酸、碱、化肥、农药、有机原料、塑料、合成橡胶、合成纤维、染料、涂料、医药、感光材料、合成洗涤剂、炸药、橡胶等门类繁多的化学工业。化学工业中，虽然组成有机化合物的元素并不多，但是有机化工产品的数量和品种在整个化学工业中占有重要地位。

在化学工业各部门之间，由于原料与产品的关系而存在着相互依存和相互交叉的关系。

例如,合成气是燃料化工的产品,又是无机化工(如合成氨)和有机化工(如甲醇)的原料;二氧化钴既是无机盐工业的产品,又是颜料工业的产品;聚丙烯酰胺既是高分子化工的产品,又属于精细化学品等。这说明化学工业各部门的划分不是绝对的,它依划分的角度而异,也随着生产的发展阶段和各国情况的不同而有所变化。

二、石油化工工业的范畴

有机化学工业中,按石油的加工过程与产品用途划分为两大分支:一是经过炼制生产各种燃料油、润滑油、石蜡、沥青、焦炭等石油产品;二是把经蒸馏得到的馏分油进行热裂解,分离出基本原料,再合成生产各种石油化学制品。前一分支是石油炼制工业体系,后一分支是石油化学工业体系。通常把以石油、天然气为基础的有机合成工业称为石油化学工业,简称石油化工。

石油化工包括以下三大生产过程:基本有机化工生产过程、有机化工生产过程及高分子化工生产过程。

1. 基本有机化工生产过程 是以石油和天然气为起始原料、经过炼制加工制得三烯(乙烯、丙烯、丁二烯)、三苯(苯、甲苯、二甲苯)、乙炔和萘等基本有机原料。
2. 有机化工生产过程 是在“三烯、三苯、乙炔、萘”的基础上,通过各种合成步骤制得醇、醛、酮、酸、酯、醚、腈类等有机原料。
3. 高分子化工生产过程 是在有机原料的基础上,经过各种聚合、缩合工艺制得合成纤维、合成塑料、合成橡胶等最终产品。

【任务二】认识石油化工工业的特点、地位和发展

1. 能力目标

能够认识石油化工的特点、地位和发展。

2. 知识目标

掌握石油化工的特点;了解石油化工工业的地位、作用和发展。

3. 教、学、做说明

学生通过图书馆和网络资源的查找,并结合本任务的【相关知识】,分组讨论总结石油化工工业的特点、地位和发展,然后由教师引领,小组代表发言,并在教师指导下完成汇总。

4. 工作准备

学生分组:按照班级人数分组,并指派组长;资料查阅:布置工作任务,学生可通过图书馆或互联网等途径查阅相关资料。

5. 工作过程

小组讨论;组长指派代表发言;教师引领,完成石油化工工业特点、地位和发展的总结。

【相关知识】

一、石油化工的特点

(一) 原料、生产方法和产品的多样性与复杂性

用同一种原料可以生产多种不同的化工产品；同一种产品可采用不同原料或不同方法和工艺路线来生产，同一个产品可以有不同的用途，而不同产品可能会有相同用途。由于这种多样性，石油化工能够为人类提供越来越多的新物质、新材料和新能源。同时，多数化工产品的生产过程是多步骤的，有的步骤很复杂，其影响因素也是复杂的。

(二) 向大型化、综合化、精细化方向发展

装置规模增大，其单位容积单位时间的产出率随之显著增大。例如，近 50 年来氨合成反应器的规格增大了 3 倍，其产出率却增大了 9 倍以上。而且设备增大并不需要增加太多的投资，更不需要增加生产人员和管理人员，故单位产品成本明显降低。

生产的综合化可以使资源及能源得到充分、合理的利用，可以就地利用副产物和“废料”，将它们转化成有用的产品，做到没有废物排放或排放最少。

精细化不仅指生产小批量的化工产品，更主要是指生产技术含量高、附加产值高的具有优异性能或功能的产品，并且为适应变化快的市场需求，不断改变产品的品种和型号。化学工艺也更精细化，深入分子内部的原子水平上进行化学品的合成，使产品的生产更加高效、节能、节约资源。

(三) 多学科合作、技术密集

石油化工是高度自动化和机械化的生产，并进一步向智能化发展。当今化学工业的持续发展越来越多地依靠采用高新技术迅速将科研成果转化为生产力，如生物与化学工程、微电子与化学、材料与化工等不同学科的相互结合，可创造出更多优良的新物质和新材料；计算机技术的高水平发展，已经使化工生产实现了远程自动控制，也将给化学品的合成提供强有力的智能化工具；将组合化学、计算化学与计算机相结合，可以准确地进行新分子、新材料的设计与合成，节省大量实验时间和人力成本。因此石油化工需要高水平、有创造性和开拓能力的多种学科不同专业的技术专家以及受过良好教育及训练的、熟悉生产技术的操作和管理人员。

(四) 重视能量合理利用，积极采用节能工艺和方法

化工生产是由原料物质主要以化学变化转化为产品物质的过程，同时伴随着能量的传递和转换，必须消耗能量。化工生产部门是耗能大户，因此，合理用能和节能显得极为重要，许多生产过程的先进性体现在采用了低能耗工艺或节能工艺。那些耗能大的生产方法或工艺已经或即将遭到淘汰，如电石法生产乙炔。一些具有提高生产效率和节约能源前景的新方法、新过程的开发和应用受到高度重视，例如膜分离、膜反应、等离子体化学、生物催化、光催化和电化学合成等。

(五) 安全与环境保护问题日益突出

石油化工生产过程易燃、易爆、有毒，安全与环境保护问题日益突出。创建清洁生产环境，大力发展绿色化工，采用无毒无害的方法和过程，生产环境友好型产品，这是化学工业

赖以持续发展的关键之一。

二、石油化工工业的地位和作用

石油化工作为一个新兴工业，是 20 世纪 20 年代随石油炼制工业的发展而形成，于第二次世界大战期间成长起来的。战后，石油化工的高速发展，使大量化学品的生产从传统的以煤及农林产品为原料，转移到以石油及天然气为原料的基础上来。石油化工已成为化学工业中的骨干工业，在国民经济中占有极其重要的地位。

（一）石油化工是近代发达国家的重要基于工业

从石油和天然气出发，生产出一系列中间体、塑料、合成纤维、合成橡胶、合成洗涤剂、溶剂、涂料、农药、染料、医药等与国计民生密切相关的重要产品。80 年代，在工业发达国家中，化学工业的产值一般占国民生产总值 6% ~ 7%，占工业总产值 7% ~ 10%；而石油化工产品销售额约占全部化工产品的 45%，其比例是很大的。

（二）石油化工是能源的主要供应者

石油炼制生产的汽油、煤油、柴油、重油以及天然气是当前主要能源的供应者。1995 年我国生产燃料油 8000 万吨。目前，全世界石油和天然气消费量约占总能耗量的 60%。石油化工提供的能源主要用作汽车、拖拉机、飞机、轮船、锅炉的燃料，少量用作民用燃料。能源是制约我国国民经济发展的一个因素，石油化工约消耗总能源的 8.5%，应不断降低能源消耗量。

（三）石油化工是材料工业的支柱之一

金属、无机非金属材料和高分子合成材料，被称为三大材料。全世界石油化工提供的高分子合成材料目前产量约 1.45 亿吨，1996 年，我国已超过 800 万吨。除合成材料外，石油化工还提供了绝大多数的有机化工原料，在属于化工领域的范畴内，除化学矿物提供的化工产品外，石油化工生产的原料，有机化工原料在各个部门大显身手。

（四）石油化工促进了农业的发展

农业是我国国民经济的基础产业。石化工业提供的氮肥占化肥总量的 80%，农用塑料薄膜的推广使用，加上农药的合理使用以及大量农业机械所需各类燃料，形成了石化工业支持农业的主力军。

（五）石油化工可创造较高的经济效益

以美国为例，以 50 亿美元的石油、天然气原料，可生产 100 亿美元的烯烃、苯等基础石油化学品，进一步加工得 240 亿美元的有机中间产品（包括聚合物），最后转化为 400 亿美元的最终产品。当然，原料加工深度越深，产品越精细，一般来说成本也相应增加。

三、石油化工工业的发展

为了充分利用石油资源，石油化工不断向原料重质化的方向发展。20 世纪 40 年代的石油化工主要是利用炼厂气，50 年代使用了乙烷和丙烷，60 年代发展了石脑油的裂解，70 年代轻柴油裂解技术得到发展，80 年代是发展原油和重柴油裂解技术的年代，而 90 年代后则是大力发展重油裂解技术的年代。

石油化工的加工深度越高，经济效果越显著。根据国内几个行业的统计，如果以用原油作燃料发电的经济收益（利润与税收之和）为 100，则炼制为油品的收益为 140 ~ 220，加工

成基本化工原料的收益为 380 ~ 430, 如果再进一步加工成合成材料, 则经济收益可以提高到 1030 ~ 1560。因此, 石油的深度化学加工已成为石油化工发展的重要趋势。

石油化工技术的另一重要发展方向是节约原料和能量消耗。采用直接合成工艺, 可以降低原料消耗。例如, 20 世纪 50 年代用乙烯制乙二醇, 需要先制成氯乙醇, 再制成环氧乙烷, 最后制成乙二醇。60 年代改为乙烯直接氧化制环氧乙烷, 不再使用氯气作辅助原料。

70 年代更进一步成功研制出乙烯一步合成乙二醇, 使产品收率大大提高。发展催化技术也可以减少能量消耗。例如蒙埃环球油品公司采用新催化剂, 改进丙烯氨氧化法制丙烯腈的生产技术, 使总的能量消耗降低 30% ~ 40%。

保护环境和控制污染, 也是石油化工技术发展中的重要课题, 即大力发展绿色化工, 包括采用无毒、无害的原料、溶剂和催化剂; 应用反应选择性高的工艺和催化剂, 将副产物或废物转化为有用的物质; 采用源自经济性反应, 提高原料中原子的利用率, 实现零排放; 淘汰污染环境和破坏生态平衡的产品, 开发和生产环境友好型产品等。

【能力测评与提升】

1. 化学工业应如何分类?
2. 石油化工包括哪些生产过程?
3. 简述石油化工的发展过程。
4. 石油化工在国民经济中的作用是什么? 试举例说明。
5. 石油化工有哪些生产特点?

学习情境二 石油及其产品的特性和石油化工工艺基础

【任务一】认识石油及其产品

1. 能力目标

能够认识石油原料的一般性状、组成和物理性能；能够根据石油产品的分类理解不同石油产品的物理性能。

2. 知识目标

掌握石油的一般性状、化学组成及其产品的物理性质。

3. 教、学、做说明

学生通过图书馆和网络资源的查找，并结合本任务的【相关知识】，分组讨论总结石油及其产品的组成、性质和特点，然后由教师引领，小组代表发言，并在教师指导下完成石油及其产品组成和性质的汇总。

4. 工作准备

学生分组：按照班级人数分组，并指派组长；资料查阅：布置工作任务，学生可通过图书馆或互联网等途径查阅相关资料。

5. 工作过程

小组讨论；组长指派代表发言；教师引领，完成石油及其产品组成和性质的总结。

【相关知识】

原油是从地下开采出来的未经加工的石油。原油经炼制加工后得到各种燃料油、润滑油、蜡、沥青、石油焦等石油产品。了解石油及其产品的化学组成和物理性质，对于原油加工、产品使用以及石油的综合利用等有重要意义。

一、石油的一般性状及化学组成

（一）石油的外观性质

石油是碳氢化合物的复杂混合物，其外观性质主要表现在石油的颜色、密度、流动性、气味上，表2-1列出了各类原油的主要外观性质。由于世界各地所产的石油在化学组成上存

在差异,因而其外观性质上也存在不同程度的差别。

表 2-2 为我国几种原油的主要物理性质,表 2-3 为国外几种原油的主要物理性质。

表2-1 各类原油的主要外观性质

外观性质	影响因素	常规原油	特殊原油	我国原油
颜色	胶质和沥青含量越多,石油的颜色越深	大部分石油是黑色,也有暗绿或暗褐色	显赤褐、浅黄色,甚至无色	四川盆地:黄绿色 玉门:黑褐色 大庆:黑色
相对密度	胶质、沥青质含量多,石油的相对密度就大	一般在0.80~0.98之间	个别高达1.02或低到0.71	一般在0.85~0.95之间,属于偏重的常规原油
流动性	常温下石油中含蜡量少,其流动性好	一般是流动或半流动状的黏稠液体	个别是固体或半固体	蜡含量和凝固点偏高,流动性差
气味	含硫量高,臭味较浓	有程度不同的臭味		含硫相对较少,气味偏淡

表2-2 我国几种原油的主要物理性质

原油名称	大庆原油	胜利原油	孤岛原油	辽河原油	华北原油	中原原油	新疆吐哈原油	鲁宁管输原油
密度(20℃)/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.8554	0.9005	0.9495	0.9204	0.8837	0.8466	0.8197	0.8937
运动黏度(50℃)/ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	20.19	23.36	333.7	109.0	57.1	10.32	2.72	37.8
凝固点/℃	30	28	2	17 (倾点)	36	33	16.6	26.0
蜡含量(质量分数)/%	26.2	14.2	4.9	9.5	22.8	19.7	18.6	15.3
庚烷沥青质(质量分数)/%	0	<1	2.9	0	<0.1	0	0	0
残炭(质量分数)/%	2.9	6.4	7.4	6.8	6.7	3.8	0.90	5.5
灰分(质量分数)/%	0.0027	0.02	0.096	0.01	0.0097	—	0.014	—
硫含量(质量分数)/%	0.10	0.80	2.09	0.24	0.31	0.52	0.03	0.80
氮含量(质量分数)/%	0.16	0.41	0.43	0.40	0.38	0.17	0.05	0.29
镍含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	3.1	26.0	21.1	32.5	15.0	3.3	0.50	12.3
钒含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.04	1.6	2.0	0.6	0.7	2.4	0.03	1.5

表2-3 国外几种原油的主要物理性质

原油名称	沙特原油 (轻质)	沙特原油 (中质)	沙特原油 (轻重混)	伊朗原油 (轻质)	科威特 原油	阿联酋原 油(穆尔 班)	伊拉克 原油	印度尼西亚 原油(米纳 斯)
密度(20℃) / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.8578	0.8680	0.8716	0.8531	0.8650	0.8239	0.8559	0.8456
运动黏度(50℃) / $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	5.88	9.04	9.17	4.91	7.31	2.55	6.50 (37.8℃)	13.4
凝固点/℃	-24	-7	-25	-11	-20	-7	-15 (倾点)	34 (倾点)
蜡含量(质量分 数) /%	3.36	3.10	4.24		2.73	5.16	—	—
庚烷沥青质(质量 分数) /%	1.48	1.84	3.15	0.64	1.97	0.35	1.10	0.28
残炭(质量分数) /%	4.45	5.67	5.82	4.28	5.69	1.96	4.2	2.8
硫含量(质量分 数) /%	1.19	2.42	2.55	1.40	2.30	0.86	1.95	0.10
氮含量(质量分 数) /%	0.09	0.12	0.09	0.12	0.14		0.10	0.10

(二) 石油组成

1. 石油的元素组成 对于石油这样复杂的混合物的组成研究,首先是从分析其元素组成入手,表2-4是国内外某些原油中一些主要元素的含量,从表中可以看出,石油主要由碳、氢两种元素以及硫、氮、氧以及一些微量金属、非金属元素组成。表2-5列出它们元素组成的质量分数。

表2-4 国内外部分原油的主要元素组成

原油名称	元素组成	C的质量 分数/%	H的质量 分数/%	O的质量 分数/%	S的质量 分数/%	N的质量 分数/%
大庆原油		85.74	13.31	—	0.11	0.15
胜利原油		86.28	12.20	—	0.80	0.41
克拉玛依原油		86.1	13.3	0.28	0.04	0.25
孤岛原油		84.24	11.74	—	2.20	0.47
苏联杜依玛兹原油		83.9	12.3	0.74	2.67	0.33
墨西哥原油		84.2	11.4	0.80	3.6	—
伊朗原油		85.4	12.8	0.74	1.06	—
印度尼西亚原油		85.5	12.4	0.68	0.35	0.13

注 氧含量一般是用差减法求得的近似值,仅供参考。

表2-5 原油中元素组成的质量分数

原油元素组成	常规原油中元素含量	特殊原油	我国原油
主要元素 (C、H)	C: 83% ~ 87% H: 11% ~ 14% 合计: 96% ~ 99%	—	H/C原子比高, 油品轻收率高
少量元素 (S、N、O)	S: 0.06% ~ 0.8% N: 0.02% ~ 1.7% O: 0.08% ~ 1.82% 合计: 1% ~ 4%	委内瑞拉(博斯坎)原油含硫量高达5.7%; 阿尔及利亚原油含氮量高达2.2%	含S量偏低, 多数<1% 含N量偏高, 多数>0.3%
微量金属、非金属元素(30余种)	金属元素和非金属元素含量甚微, 在 10^{-9} ~ 10^{-6} 级		大多数原油Ni多, V少

注 表中元素含量均为质量分数。

虽然非碳氢元素在石油中的含量较少, 但是这些非碳氢元素都是以碳氢化合物的衍生物形态存在于石油中, 因而含有这些元素的化合物所占的比例就大得多。这些非碳氢元素的存在(尤其是微量金属元素中Ni、V), 对于石油的性质、石油加工过程以及石油的催化加工中的催化剂有很大的影响, 必须予以重视。

2. 石油的烃类组成 石油主要是由各种不同的烃类组成的。石油中究竟有多少种烃, 至今尚无法确定。但已确定石油中的烃类主要是由烷烃、环烷烃和芳烃这三类烃类构成。天然石油中一般不含烯烃、炔烃等不饱和烃, 只有在石油的二次加工产物中和利用油页岩制得的页岩油中含有不同量的烯烃。

(1) 烃类类型及分布规律。石油及其馏分中所含有的烃类类型及其分布规律见表2-6, 一般随着石油馏分的沸程升高, 正构烷烃、异构烷烃含量下降, 单环环烷烃含量下降, 单环芳烃变化不大, 只是侧链变长, 多环环烷烃、多环芳烃含量上升。

表2-6 石油及其馏分中烃类类型及其分布规律

烃类类型	结构	特征	分布规律
烷烃	正构烷烃(含量高)	C ₁ ~ C ₄ : 气态 C ₅ ~ C ₁₅ : 液态 C ₁₆ 以上为固态	C ₁ ~ C ₄ 是天然气和炼厂气的主要成分; C ₅ ~ C ₁₀ 存在于汽油馏分(200℃)中; C ₁₁ ~ C ₁₅ 存在于煤油馏分(200 ~ 300℃)中; C ₁₆ 以上的多以溶解状态存在于石油中, 当温度降低, 有结晶析出, 这种固体烃类为蜡
	异构烷烃(含量低, 且带有两个或三个甲基的多)		
环烷烃(只有五元、六元环)	环戊烷系(五碳环)	单环、双环、三环及多环, 并以并联方式为主	汽油馏分中主要是单环环烷烃(重汽油馏分中有少量的双环环烷烃); 煤油、柴油馏分中含有单环、双环及三环环烷烃, 且单环环烷烃具有更长的侧链或更多的侧链数目
	环己烷系(六碳环)		
芳烃	单环芳烃	烷基芳烃	汽油馏分中主要含有单环芳烃; 煤油、柴油及润滑油馏分中不仅含有单环芳烃, 还含有双环及三环芳烃; 高沸馏分及残渣油中, 除含有单环、双环芳烃外, 主要含有三环及多环芳烃
	双环芳烃	并联(萘系)、串联少	
	三环偶合芳烃	菲系多于蒽系	
	四环偶合芳烃	蒾系等	

(2) 烃类的性质及用途。

①在一般条件下, 烷烃的化学性质很不活泼, 不易与其他物质发生反应, 但在特殊条件下, 烷烃也会发生氧化、卤化、硝化及热分解等反应。我国大庆原油含蜡量高(大分子烷烃多), 蜡的质量好, 是生产石蜡的优质原料。

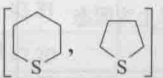

②环烷烃的化学性质与烷烃相近, 但稍活泼, 在一定条件下可发生氧化、卤化、硝化、热分解等反应, 环烷烃在一定条件下还能脱氢生成芳烃。环烷烃的抗屈性较好、凝固点低、有较好的润滑性能和黏温性, 是汽油、喷气燃料及润滑油的良好组分。特别是少环长侧链的环烷烃更是润滑油的理想组分。

③芳烃的化学性质较烷烃稍活泼, 可与一些物质发生反应, 但芳烃中的苯环很稳定, 强氧化剂也不能使其氧化, 也不易起加成反应。在一定条件下, 芳烃上的侧链会被氧化成有机酸, 这是油品氧化变质的重要原因之一。芳烃在一定条件下还能进行加氢反应。芳烃抗爆性很高, 是汽油的良好组分, 常作为提高汽油质量的调合剂; 灯用煤油中含芳烃多, 点燃时会冒黑烟和使灯芯结焦, 是有害组分; 润滑油馏分中含有多环短侧链的芳烃, 它将使润滑油的黏温特性变坏, 高温时易氧化生胶, 因此, 润滑油精制时要设法除去。

芳烃用途很广泛, 可作为炸药、染料、医药、合成橡胶等原料, 是重要化工原料之一。

3. 石油的非烃组成 石油中的非烃化合物主要指含硫、氮、氧的化合物。这些元素的含量虽仅约 1% ~ 4%, 但非烃化合物的含量都相当高, 可高达 20% 以上。非烃化合物在石油馏分中的分布是不均匀的, 大部分集中在重质馏分和残渣油中。非烃化合物的存在对石油加工和石油产品使用性能影响很大, 石油加工中绝大多数精制过程都是为了除去这类非烃化合物。如果处理适当, 综合利用, 可变害为利, 生产一些重要的化工产品。例如, 从石油气中脱硫的同时, 又可回收硫黄。

(1) 含硫化合物。硫是石油中常见的组成元素之一, 不同的石油含流量相差很大, 从万分之几到百分之几。硫在石油馏分中的含量随其沸点范围的升高而增加, 大部分硫化物集中在重馏分和渣油中。由于硫对石油加工影响极大, 所以含硫量常作为评价原油及其产品的一项重要指标, 如含硫量高于 2% 的原油称为高含硫原油, 低于 0.5% 称低硫原油(如大庆原油)、介于 0.5% ~ 2.0% 的称为含硫原油(如胜利原油)。

硫在石油中少量以元素硫(S)和硫化氢(H₂S)形式存在, 大多数以有机硫化物形式存在, 如硫醇(RSH), 硫醚(RSR'), 环硫醚 , 二硫化物(RSSR'), 噻吩  及其同系物等。

含硫化合物的主要危害是: 对设备管线有腐蚀作用; 可使油品某些使用性能(汽油的感铅性、燃烧性、储存稳定性等)变坏; 污染环境, 含硫油品燃烧后生成二氧化硫、三氧化硫等, 污染大气, 对人有害; 在二次加工过程中, 使某些催化剂中毒, 丧失催化活性。

通常采用酸碱洗涤、催化加氢、催化氧化等方法除去油品中的硫化物。

(2) 含氮化合物。石油中含氮量一般在万分之几至千分之几。密度大, 胶质多, 含硫量高的石油, 一般其含氮量也高。石油馏分中氮化物的含量随其沸点范围的升高而增加, 大部