



高等院校“十一五”规划教材

# 石油化工过程与设备概论

金有海 刘仁桓 编著

中国石化出版社  
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高等院校“十一五”规划教材

# 石油化工过程与设备概论

金有海 刘仁桓 编著

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书重点介绍石油化工常用设备(塔器、换热器、工业炉)和机器(离心泵、离心式压缩机、活塞式压缩机、螺杆压缩机、蒸汽轮机及分离机械等)的结构及其工作原理。此外,还介绍了石油产品、典型的石油化工工艺流程、压力容器制造工艺及无损探伤检验方法、阀门和管道、控制仪表以及石油化工设备的腐蚀与防护等。

本书可作为高等学校过程装备与控制工程专业本科生的实习教材和教学参考书,也可作为石油化工相关专业的教学参考书。同时,对从事相关专业的现场技术人员和设备管理人员也有一定的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油化工过程与设备概论/金有海,刘仁桓编著.  
—北京:中国石化出版社,2008  
ISBN 978-7-80229-727-2

I.石… II.①金…②刘… III.①石油化工-化工过程  
②石油化工-化工设备 IV.TE65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 140080 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)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

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

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化(北京)发展有限公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 477 千字

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

# 前 言

过程装备与控制工程专业前身为化工设备与机械专业，专业更名后，教学内容也进一步扩展，新加入部分控制内容。为满足过程装备与控制工程专业的教学要求，在《炼油工艺与设备概论》、《炼油化工工艺及设备概论》等书的基础上，结合专业的特点，编写过程装备与控制工程专业的实习教材，教材更名为《石油化工过程与设备概论》。

本书以介绍炼油化工常用机械设备的结构及其工作原理为主，并对石油产品、压力容器制造工艺及无损探伤检验方法、阀门和管道以及控制仪表等内容分别作了介绍。本教材作为实习教材，在内容上力求具有较强的实用性；同时考虑到教学时间有限，又力求重点突出，具有适宜的广度和深度。此外，为适应科学技术的新发展，书中尽可能采用最新的技术标准或技术规定，并适当介绍了新的技术成果。力求做到理论和实践的有机结合，内容简练易懂。

书中每章章末均附有思考题，可作为学习指导及检查学习效果用。

本书第一、二章由金有海编写；第三章由王振波(第一至三节)和王宗明(第四至七节)编写；第四章由王建军(第一、三、五、六节)和赵延灵(第二、四、七、八节)编写；第五章由刘仁桓编写；第六章由中国石油大学(北京)王娟编写；第七章由刘仁桓(第一至二节)和赵永瑞(第三至四节)编写；第八章由赵延灵编写；李国成、金有海、赵永瑞、刘国荣和张书贵等教师参与本书的审校工作；全书由金有海统一审订成稿。

此外，本书在编写过程中得到魏耀东、陈建义和过程装备与控制工程系全体教师的帮助指导，以及中国石油大学(华东)教务处的大力支持和中国石化出版社潘向阳的热情帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，诚请读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第一章 石油及石油产品</b> .....	( 1 )
第一节 石油的组成及其物理性质 .....	( 1 )
第二节 石油产品及其应用 .....	( 3 )
<b>第二章 典型石油化工装置工艺流程</b> .....	( 8 )
第一节 常减压蒸馏 .....	( 8 )
第二节 催化裂化 .....	( 10 )
第三节 催化重整 .....	( 13 )
第四节 加氢精制和加氢裂化 .....	( 15 )
第五节 延迟焦化 .....	( 18 )
第六节 合成氨和尿素 .....	( 20 )
第七节 石油烃裂解制烯烃 .....	( 22 )
第八节 合成橡胶 .....	( 25 )
第九节 氯碱 .....	( 27 )
<b>第三章 石油化工常用流体机械</b> .....	( 31 )
第一节 概述 .....	( 31 )
第二节 离心泵 .....	( 32 )
第三节 离心式压缩机 .....	( 51 )
第四节 活塞式压缩机 .....	( 61 )
第五节 螺杆压缩机 .....	( 92 )
第六节 蒸汽轮机 .....	( 99 )
第七节 分离机械 .....	( 109 )
<b>第四章 石油化工典型设备</b> .....	( 119 )
第一节 塔设备 .....	( 119 )
第二节 换热设备 .....	( 135 )
第三节 流化催化裂化的反应-再生设备 .....	( 151 )
第四节 加氢反应器 .....	( 159 )
第五节 管式加热炉 .....	( 163 )
第六节 蒸汽转化炉 .....	( 168 )
第七节 裂解用工业炉 .....	( 172 )
第八节 工艺设备常用零部件 .....	( 181 )
<b>第五章 压力容器制造</b> .....	( 196 )
第一节 中低压容器制造工艺 .....	( 196 )
第二节 高压容器制造工艺 .....	( 215 )
第三节 球罐制造工艺 .....	( 223 )

第四节	压力容器无损检测 .....	(226)
<b>第六章</b>	<b>管道与阀门 .....</b>	<b>(239)</b>
第一节	化工用管的种类 .....	(239)
第二节	管件 .....	(241)
第三节	阀门 .....	(242)
第四节	管道的连接 .....	(248)
第五节	管道的布置和安装 .....	(250)
<b>第七章</b>	<b>石油化工控制装置 .....</b>	<b>(253)</b>
第一节	检测仪表 .....	(253)
第二节	显示调节仪表 .....	(276)
第三节	执行器 .....	(278)
第四节	集散控制系统 .....	(285)
<b>第八章</b>	<b>石油化工设备的腐蚀与防护 .....</b>	<b>(291)</b>
第一节	石油加工系统的腐蚀环境 .....	(291)
第二节	石油化工设备常见腐蚀类型 .....	(294)
第三节	石油化工装置防腐蚀基本方法 .....	(298)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(303)</b>

# 第一章 石油及石油产品

## 第一节 石油的组成及其物理性质

### 一、石油的组成

原油是从地下开采出来的、未加工的石油，通常呈暗绿色至褐色。经过炼制，可以从原油中提取各种燃料油(汽油、柴油、煤油等)、润滑油、石蜡、沥青、石油焦等产品。原油的组成随油区不同而不同，但所含的主要化学元素都是碳和氢，其中碳占83%~87%，氢占11%~14%。此外，还有少量的硫、氧、氮和微量的钙、钠、钾、铁、镍、钒、砷等元素。

石油中碳和氢组成碳氢化合物，简称烃。硫、氧、氮等则与碳氢元素形成含硫化合物、含氧化合物、含氮化合物、胶质和沥青质等，简称非烃。

#### 1. 烃类化合物

石油以及石油产品中的烃类按其分子结构的不同可分为以下几类。

(1) 烷烃。石油中既有正构烷烃也有异构烷烃。在常温常压下，分子中含有1~4个碳原子的是气体，5~15个碳原子的是液体，16个碳原子以上的是蜡状固体。烷烃的化学性质不活泼，常温下不易和其他物质发生反应，但较大分子的烷烃可与发烟硫酸作用。此外，大分子烷烃加热到400℃以上时可以裂解出小分子烃。

(2) 环烷烃。石油中的环烷烃主要是环戊烷和环己烷，可以是单环、双环、三环或多元环。环烷烃在石油各馏分中的含量是不同的，它们的相对含量随馏分沸点的升高而增加。但在重的石油馏分中，因芳香烃的增加，环烷烃则逐渐减少。环烷烃的性质与烷烃相似但稍活泼。在一定条件下，环己烷可以从分子中脱掉氢原子而转化为苯。高温可使环烷烃的环状结构断裂，生成烷烃和烯烃。

(3) 芳烃(芳香烃)。芳烃是指分子中含有苯环的烃类，一般苯环上带有不同的烷基侧链。同一种原油随着沸点的升高，芳烃的含量增多。芳烃的化学性质较烷烃活泼，可与一些物质发生反应，但芳烃中的苯环很稳定，不易起加成反应。在一定条件下，芳烃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。

除上述三种烃类外，在极少数地区的石油中存在微量烯烃。石油经高温加工后会产生烯烃。烯烃是不饱和烃，化学性质活泼，可与多种物质发生反应。烯烃在一定条件下可进行加成、氧化和聚合等反应。在空气中烯烃易氧化成酸性物质和胶质，影响油品的安定性。

#### 2. 非烃化合物

石油和石油产品中的大多数非烃化合物是有害物质。

(1) 含硫化合物。石油中的含硫化合物有硫醇(RSH)、硫醚(RSR)、二硫化物(RSSR)和噻吩等。在石油的某些加工产物中还含有硫化氢。

含硫化合物对石油产品的性质影响较大，其主要危害是对金属设备及管线有强烈的腐蚀作用，并使产品的某些应用性能下降。含硫化合物还会污染大气，有害环境。

(2) 含氧化合物。含氧化合物主要是环烷酸、酚类。它们有刺激性臭味，具有腐蚀性。

(3) 含氮化合物。石油中含氮量很少，一般在万分之几到千分之几。石油中的氮化物可分为碱性(吡啶、喹啉等同系物)和中性(吡咯、吲哚等同系物)两类。油品中含有氮化物时，易使油品因氮化物的氧化而颜色变深，并发出臭味。

(4) 胶状物质。胶状物质是由碳、氢、氧、硫和氮等元素组成的多环复杂化合物。它们在高温时易转化为焦炭，含有大量胶状物质的渣油可用于生产沥青。

## 二、石油的物理性质

石油及其产品的物理性质是生产和科研中评定油品质量和控制加工过程的主要指标。这里仅介绍石油的几个常用的物理性质。

### 1. 馏分和馏程

石油的每一种成分各有其沸点。油品生产中把原油分为几个不同沸点范围的组分加以利用，如沸点范围在 40 ~ 200℃ 的组分作为车用汽油；200 ~ 300℃ 的组分作为煤油；250 ~ 350℃ 的组分作为柴油；350 ~ 520℃ 的组分作为润滑油；> 520℃ 的组分作为重质燃料油。

石油产品常用恩氏蒸馏装置测定馏程，将油品放入该装置中蒸馏，并在实验室测定各不同沸点范围的油品组成。蒸馏时，油品中的低沸点组分首先蒸发出来，蒸馏出第一滴油品时的气体温度叫初馏点。随着蒸馏温度的不断升高，高沸点组分相继蒸发，直至蒸发完气体达到的最高温度，称为干点或终馏点。在一定温度范围内蒸馏出的油品叫馏分。每个馏分的初馏点至干点叫做该油品的馏程。馏分与馏程或蒸馏温度与馏出量之间的关系叫作油品的馏分组成。

### 2. 密度与相对密度

我国国家标准规定 20℃ 时的密度为石油和液体石油产品的标准密度，以  $\rho_{20}$  表示。油品的密度与规定温度下水的密度之比称为油品的相对密度，常以 4℃ 的水为比较标准。我国常用的相对密度为  $d_4^{20}$  (即 20℃ 时油品的密度与 4℃ 时水的密度之比)，欧美各国常用的是  $d_{15.6}^{15.6}$  (即 15.6℃ 时油品的密度与 15.6℃ 时水的密度之比)。

由于胶质和沥青的密度与相对密度较大，所以石油中胶状物质的含量越多，密度就越大。对不同原油的同一沸点范围的馏分油，含芳烃越多，密度越大；含烷烃越多，密度越小。

### 3. 低温性能

油品在低温下由于黏度增大或析出固体蜡而失去流动性。油品低温流动性能包括浊点、冰点、结晶点、倾点、凝点和冷滤点等，它们都是使用特定仪器，在规定条件下测定的。

浊点是在规定条件下，清晰的液体油品由于出现蜡的微晶粒而呈雾状或浑浊时的最高温度。若油品继续冷却，直到油中出现肉眼能看得到的晶体，此时的温度就是结晶点。油品中出现结晶后，若再使其升温，使原来形成的烃类结晶刚好消失时的最低温度称为冰点。

倾点是在标准条件下，被冷却的油品能流动的最低温度。冷滤点是表示柴油在低温下堵塞滤网可能性的指标，是在规定条件下测得的油品不能通过滤网时的最高温度。

油品的低温流动性与其化学组成有密切关系。油品的沸点愈高，含蜡量愈多，其倾点或凝点就愈高，低温流动性愈差。

我国已逐渐采用倾点代替凝点、冷滤点代替柴油凝点作为油品低温性能的指标。



#### 4. 闪点、燃点、自燃点

石油受热会蒸发，蒸发出来的油气和空气相混合后，遇上点火，会发出短促的闪火现象，此时的温度叫闪点。继续升高温度，点火不但有闪火现象，而且使油持续燃烧，这时的温度叫燃点。如果再继续加热到足够的温度，油品因剧烈的氧化而产生火焰自行燃烧，称为油品的自燃。发生自燃的最低温度称为油品的自燃点。

石油中成分的沸点低，其闪点也低。但馏分的沸点低，其自燃点却高。从化学组成来看，碳原子数相同的各类烃中，烷烃的自燃点最低，环烷烃次之，芳烃最高。

#### 5. 含硫量

如前所述，石油中的硫化物对石油产品的性质影响较大。石油含硫多，加工中易引起设备腐蚀并污染环境。为得到不含硫的石油产品，须采用较复杂的加工工艺。我国大部分油田如大庆、新疆等都生产低硫原油，但胜利油田的原油含硫量很高。

## 第二节 石油产品及其应用

石油产品根据产品特征和用途可分为六大类：燃料(F)、溶剂和化工原料(S)、润滑油和有关产品(L)、蜡(W)、沥青(B)和石油焦(C)。其中，燃料占石油产品的80%左右甚至更多，是各类炼油厂产品的必然组成部分。因此，本节简要介绍几种燃料油的质量要求及其应用。

### 一、汽油

汽油主要用于点燃式活塞发动机，是汽车和飞机的燃料，并由此分为车用汽油和航空汽油。

#### 1. 车用汽油

车用汽油有90、93、95、97等几个牌号。对车用汽油的质量要求主要有以下几个方面。

##### (1) 良好的抗爆性

抗爆性代表汽油在汽缸内的燃烧性能。抗爆性差的汽油在压缩比高的发动机中燃烧，会出现汽缸壁温度急剧升高，发出金属敲击声，排出大量黑烟，发动机功率下降，油耗增加，发生所谓爆震燃烧。因此，抗爆性是衡量汽油质量的重要指标。

汽油的抗爆性用“辛烷值”表示。汽油的辛烷值越高，其抗爆性越好。辛烷值分马达法和研究法两种。马达法辛烷值(MON)表示重负荷、高转速时汽油的抗爆性；研究法辛烷值(ROK)表示低转速时汽油的抗爆性。同一汽油的MON低于ROK。我国车用汽油的商品牌号是以研究法辛烷值划分为90、93、95、97号等汽油。

在测定车用汽油的辛烷值时，人为选择了两种烃做标准物：一种是异辛烷(2, 2, 4-三甲基戊烷)，它的抗爆性好，规定其辛烷值为100；另一种是正庚烷，它的抗爆性差，规定其辛烷值为0。在相同的发动机工作条件下，如果某汽油的抗爆性与含80%异辛烷和20%正庚烷的混合物的抗爆性相同，此汽油的辛烷值即为80。

汽油的抗爆性与其化学组成和馏分组成有关。在各类烃中，正构烷烃的辛烷值最低，环烷、烯烃次之，高度分支的异构烷烃和芳香烃的辛烷值最高。各族烃类的辛烷值随相对分子质量增大、沸点升高而减小。

提高汽油辛烷值的途径有以下几种：

① 改变汽油的化学组成, 增加异构烷烃和芳香烃的含量。这是提高汽油辛烷值的根本方法, 可以采用催化裂化、催化重整、异构化等加工过程来实现。

② 加入少量提高辛烷值的添加剂, 即抗爆剂。过去常用的抗爆剂是四乙基铅  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ , 但发动机排出的铅化物(氯化铅、溴化铅)对空气会造成污染, 现已被各类辛烷值助剂所取代。

③ 调入其他的高辛烷值组分, 如含氧有机化合物醚类及醇类等。其中甲基叔丁基醚(MTBE)在我国广泛使用。MTBE 不仅单独使用时具有很高的辛烷值( RON 为 117, MON 为 101), 在掺入其他汽油中可使其辛烷值大大提高, 而且在不改变汽油基本性能的前提下, 改善汽油的某些性质。

#### (2) 良好的蒸发性

汽油必须有良好的蒸发性, 以保证汽油在进入汽缸之前, 在汽化器中能充分汽化而同空气形成混合物, 进汽缸后完全燃烧。馏程和蒸汽压是评价汽油蒸发性能的指标。

国家标准中对汽油的馏程和蒸汽压都有明确规定。车用汽油的馏程为  $40 \sim 200^\circ\text{C}$ 。对汽油的初馏点、10%、50%、90% 和干点规定了最高值, 使汽油能在各种条件下完全汽化, 以保证发动机的启动、加速和正常运转的需要。规定汽油蒸汽压的最高值, 是为了避免汽油过于汽化而在输油管路中形成气阻, 致使供油中断, 造成停车。

#### (3) 抗氧化安定性

汽油的安定性表明汽油在储存中抵抗氧化的能力, 这与其化学组成有关。如果汽油中含大量不饱和烃, 在储存期间, 这些不饱和烃易氧化形成胶状物质并造成结焦, 沉积于油箱、管路, 影响发动机的正常运转。改善汽油安定性的方法通常是在适当精制的基础上添加一些抗氧化添加剂。

#### (4) 无腐蚀性

汽油的腐蚀性表明汽油对金属的腐蚀能力。汽油中的硫化物、酸性物等杂质是引起腐蚀的根源, 汽油质量标准中对这些杂质都作了相应的规定。

### 2. 航空汽油

航空汽油是螺旋桨式飞机的燃料, 其对质量的要求与车用汽油相似, 但因飞机在高空飞行, 工作条件苛刻, 所以对航空汽油的质量要求比车用汽油更高。

航空汽油的抗爆性用辛烷值和品度值两个指标表示。辛烷值表示在贫混合气下, 即飞机巡航飞行时汽油的抗爆性; 品度值表示在富混合气下, 即飞机起飞时汽油的抗爆性。

国产航空汽油是用“辛烷值/品度值”作为商品牌号的, 牌号有 RH-95/130、RH-100/130 和 RH-75, 其中“R”代表燃料类, “H”代表航空汽油。

航空汽油也要求有适当的蒸发性、良好的安定性和抗腐蚀性; 同时, 还要求具有高的发热值以保证飞机飞行时间长、续航里程远。

### 二、柴油

柴油主要用于内燃式发动机(柴油机)。柴油可分为轻柴油和重柴油, 前者用于  $1000 \text{ r/min}$  以上的高速柴油机, 后者用于  $1000 \text{ r/min}$  以下的低速柴油机。

对普通轻柴油按其凝点不同分为 10、5、0、-10、-20、-35、-50 等 7 个牌号, 重柴油按其凝点可分为 10、20、30 等 3 个牌号。轻柴油使用牌号根据地区和季节的气温选用; 重柴油使用牌号根据转速确定。

由于使用条件的不同,对轻重柴油制定了不同的标准,现以轻柴油为例说明其质量指标。

### 1. 良好的燃烧性能

柴油喷入发动机汽缸后,如不能迅速发火自燃,则汽缸内将积存大量柴油同时燃烧,使汽缸内的压力和温度急剧升高,造成发动机运转不平稳,功率下降,机件损伤,即发生类似于汽油机的爆震现象。

柴油的燃烧性能常以十六烷值表示。十六烷值越高,柴油的发火性能越好,燃烧性能越好;十六烷值越低,则发火性越差,爆震现象就严重。发火性的好坏和抗爆性的好坏是一致的。烷烃自燃点最低,环烷烃次之,芳烃最高,所以含烷烃多芳烃少的柴油发火性好。作为比较,选择了两种烃作为标准:一种是正十六烷,它的抗爆性好,将其十六烷值定为100;另一种是 $\alpha$ -甲基萘,它的抗爆性差,将其十六烷值定为0。在相同的发动机工作条件下,如果某柴油的抗爆性与含45%正十六烷和55% $\alpha$ -甲基萘的混合物相同,此柴油的十六烷值就是45。

十六烷值并非越高越好。十六烷值达到50以上,再继续增大,效果不明显,且当十六烷值大于60~75后,反而会因裂化形成大量游离碳。游离碳若来不及烧尽,将排出黑烟,增大油耗,降低功率。因此应当根据柴油机转速的不同,选用具有适宜的十六烷值的柴油。转速高时,选用柴油的十六烷值应相应提高。

柴油的燃烧性能还与其馏分有关。馏分轻则易蒸发,可加速燃烧,缩短启动时间。但过轻时又会因自燃点过高不易发火而引起爆震。通常柴油的馏程为250~350℃。

### 2. 良好的低温性能

柴油馏分中含有大量高分子烷烃。其含量越高,凝点也越高,因而在低温下易析出结晶蜡而失去流动性,从而影响发动机的正常运转。所用柴油的凝点应比使用地区当时的最低温度低5℃以上,以保证发动机正常工作。

国产柴油的低温性能主要以凝点来评定,并以此作为柴油的商品牌号。例如0、-10号轻柴油,分别表示其凝点不高于0℃、-10℃。

### 3. 适宜的黏度

柴油的黏度对柴油在柴油机中供油量和雾化效果有着密切的关系,黏度过大或过小都会对柴油机的工作造成不良影响,因此要求柴油有适宜的黏度。

除上述要求外,轻柴油还应具有良好的蒸发性、安定性和无腐蚀性。

柴油中除了轻、重柴油外,还有质量要求较低的农用柴油(如拖拉机和排灌机械用柴油)和凝点要求很低(如-35℃、-50℃以下)的专用柴油(如军用柴油)等。

## 三、喷气燃料

喷气燃料(又称航空煤油,简称航煤)是喷气式发动机的燃料。喷气燃料具有热效率高、耗油少、燃料成本低及来源广泛等特点,能够满足喷气式飞机飞行速度快及飞行高度高的要求。

国产喷气燃料有5种,代号分别为RP-1、RP-2、RP-3、RP-4和RP-5,其中“R”代表燃料类,“P”代表喷气燃料。RP-1、RP-2、RP-3是较重煤油型燃料,馏程约为140~260℃,用于高速大型飞机,其中RP-3主要用于国际民航和外贸出口。RP-4是宽馏分型燃料,馏程约为60~280℃,主要用于亚音速飞机。RP-5是重煤油型(或大密度

型)、高闪点喷气燃料,专供舰载飞机用。

喷气式飞机以高速长途飞行于高空,为确保安全,对燃料性能要求比较严格。现简要说明其燃烧性能和低温性能。

### 1. 高发热量

发热量是指单位质量燃料燃烧时发出的热值。对于喷气式飞机,由于飞行高度高,速度快,航程长,所以要求燃料具有较高的发热量,同时又要求具有较高的相对密度(或密度),以便减小油箱的体积和重量。

发热量与相对密度(或密度)和燃料的化学组成有关。在各种烃类中,烷烃发热值最高,环烷烃次之,芳烃最低。相对密度则以芳烃最大,其次为环烷烃,烷烃最小。同一种烃类中,如果异构程度增加,发热量一般保持不变,但相对密度增大。从发热量和相对密度两项指标综合考虑,喷气燃料的最理想的组合为带支链的环烷烃。

### 2. 低积炭生成倾向

积炭生成倾向称作生炭性。喷气燃料在燃烧过程中会产生炭质微粒,积聚于喷嘴及火焰筒壁上形成积炭。积炭会恶化燃烧过程,并使机件因局部过热而变形,甚至损伤机件,使发动机不能启动。

喷气燃料的积炭性能用烟点(无烟火焰高度)和辉光值表示。烟点是在规定条件下,油品在标准灯中燃烧时,不冒烟时火焰的最大高度,单位是毫米。辉光值表示燃料燃烧时火焰的辐射强度。辉光值愈高,火焰辐射强度愈小,燃烧愈完全。国家标准规定喷气燃料的辉光值不得小于45。

影响积炭的最主要因素是燃料的组成。组分的碳氢比越大,生炭倾向越严重。芳烃生炭的倾向最大,烷烃最小。因此,含芳烃过多对喷气燃料极为不利。

### 3. 适宜的馏分和黏度

黏度是喷气燃料的一项重要指标,它直接关系到雾化质量,从而对燃烧好坏起到很大影响。馏分关系到燃料的挥发性,从而影响其燃烧完全的程度。所以对黏度与馏分都要提出一定的要求,例如对喷气燃料的终馏点都限制在300℃以下。

### 4. 良好的低温性能

喷气飞机大多在万米以上的空中飞行,气温低至-50℃以下,因此要求喷气燃料具有较低的结晶点(或冰点)。否则,结晶的析出会堵塞滤清器和油路,影响正常供油。

燃料的低温性能或结晶点与其化学组成和含水量有关。各类烃中,正构烷烃和芳香烃的结晶点较高,环烷烃和烯烃的较低。同族烃中,随沸点升高,结晶点增高。如燃料中溶解有水,低温时水结成冰,也会使燃料的低温性能变坏。芳香烃特别是苯对水的溶解度最大,环烷烃次之,烷烃最小。所以从降低结晶点的角度,也需要限制喷气燃料中芳香烃的含量。

对喷气燃料的安定性、腐蚀性、洁净度、润滑性等也都有较高的要求,此处不再赘述。

## 四、燃料油

燃料油(又称重油)主要用作加热炉、锅炉的燃料等,一般是由直馏渣油和裂化残油等制成的。所以燃料油组分含有大量的非烃化合物,含胶质、沥青质多,而且黏度大。

燃料油的主要质量指标有黏度、闪点、凝点、硫含量等,其中黏度是燃料油最重要的质量指标,它直接影响着油泵、喷油嘴的工作效率和燃料消耗量。不同类型的喷嘴使用不同黏度的燃料油。国产燃料油按SH/T 0356—1996《燃料油》分为1号、2号、4号轻、4号、5号

轻、5号重、6号和7号等8个牌号。

燃料油的质量要求主要有：含硫量低，腐蚀性小；黏度适宜，雾化良好，燃烧完全；挥发性较小，闪点较高，以保证储存和运输中的安全。

### 思考题

1. 石油主要含有哪些烃类化合物？含有哪些非烃类化合物？非烃类化合物会产生什么影响？
2. 什么叫油品的初馏点？什么叫油品的干点(终馏点)？
3. 什么叫馏分？什么叫馏程？两者之间有什么关系？
4. 石油的相对密度为  $d_4^{20}$ 、 $d_{15.6}^{15.6}$  和密度  $\rho_{20}$  各表示什么含义？石油的相对密度和密度大小和它的组成有什么关系？
5. 油品低温流动性能包括哪些指标？各有什么含义？
6. 什么叫油品的闪点、燃点和自燃点？它们的高低受哪些因素影响？
7. 石油产品主要分为哪几类？
8. 车用汽油有哪几个牌号？牌号表示什么意思？
9. 对车用汽油的主要质量要求是什么？
10. 评定汽油抗爆性的指标是什么？说明其具体含义。
11. 提高汽油抗爆性的方法有哪些？
12. 国产航空汽油用什么表示其牌号？举例说明其牌号含义。
13. 轻柴油与重柴油分别用于何种发动机？它们的牌号有哪些？代表什么含义？
14. 对轻柴油的主要质量要求有哪些？
15. 评价轻柴油燃烧性能的指标是什么？该指标是如何确定的？
16. 为什么要求柴油要有良好的低温性能？
17. 国产喷气燃料哪几个牌号？对喷气燃料(航空煤油)的主要性能要求是什么？
18. 国产燃料油有哪几个牌号？燃料油的主要质量指标有哪些？

## 第二章 典型石油化工装置工艺流程

石油化学工业是以石油和天然气为原料，生产石油和石油化学产品的工业，包含石油炼制和石油化工两个分支。炼油和化工二者互相依存相互联系，构成一个庞大而复杂的工业部门，其产品有数千种之多。本章主要介绍几种常见的石油化工装置的工艺流程。

### 第一节 常减压蒸馏

常减压蒸馏，也称为原油的一次加工，是原油进入炼油厂后必须经过的第一道工序，在炼油厂占有重要地位，被称为炼油厂的龙头。借助于蒸馏过程，可以将原油分割成相应的汽油、煤油、柴油等燃料，还可以得到供其他炼油装置加工的原料。常减压蒸馏得到的成品和半成品叫做直馏产品。

#### 一、化学原理

蒸馏是通过加热、汽化、分馏、冷凝和冷却等过程，将液体混合物分离成一定纯度组分的方法，是按液体混合物中所含组分的沸点或蒸汽压不同而实现分离的一种加工手段。加热时液体混合物中低沸点组分优先于高沸点组分而大量汽化。因此，蒸汽中含有较多的低沸点组分，而剩余的混合液中含有较多的高沸点组分。原油通常经加热炉和分馏塔进行多次部分汽化和部分冷凝，汽、液两相进行充分的热量交换和质量交换，使沸点不同的组分得以充分的分离。这个过程即称为精馏。通过精馏将原油按沸点范围分成几个馏分的生产过程叫原油蒸馏。

常压蒸馏是指原油在常压下进行的蒸馏过程，即蒸馏的压力和大气压相同。在常压条件下主要可以分离出沸点较低的馏分，如汽油、煤油和柴油等。常压蒸馏剩下的重油组分相对分子质量大、沸点高，且在高温下易分解，使馏出的油品变质并生成焦炭，破坏正常生产。

因此，为了提取更多的轻质组分，往往通过降低蒸馏压力，使被蒸馏的原料油沸点范围降低。在减压下进行的蒸馏过程叫减压蒸馏。

为了促使原油中的重质油在较低的温度下沸腾、汽化，除采用减压蒸馏外，还可以在蒸馏过程中，向待蒸馏油中通入高温水蒸气，这叫做汽提。汽提实际上是降低了油气的分压，所以它和减压蒸馏的作用相同，而且它的操作更简便，因此在原油蒸馏工艺中得到了广泛的应用。但汽提要消耗大量蒸汽，且增加了冷却水的用量，所以当蒸馏重质油品时汽提常和减压蒸馏配合使用，效果更好。

#### 二、工艺流程

图 2-1 所示即为一常减压蒸馏的工艺流程。流程说明如下：

##### 1. 原油脱盐脱水

原油中都含有水，水中又溶解有  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$  等盐类。原油中含水过多会造成蒸馏塔操作不稳定，增加热能消耗，严重时会造成冲塔事故。而原油中的盐类会水解生成强腐蚀性的  $\text{HCl}$ ，同时盐类还会在管壁上沉积形成盐垢，这不仅会降低热效率，增大流动阻力，

甚至会堵塞管路，造成停工事故。所以，原油在加工前都要先进行脱盐脱水。

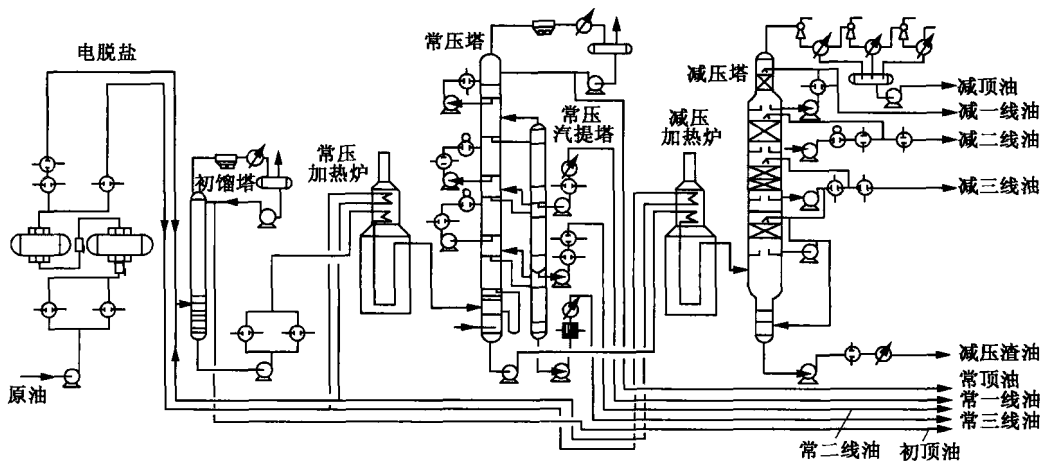


图 2-1 常减压蒸馏工艺流程

通常，含水原油是油包水型乳状液。为实现油水分离，必须破坏这种乳化状态。现代炼油厂几乎都采用电脱盐脱水方法，即利用高压电场使乳状液破坏并促使水滴聚集，然后根据油水密度不同，通过自由沉降得以分离。为了增强破乳效果，可在原油中加入适当的破乳剂。因此，电脱盐脱水过程实质是综合运用高压电场和破乳剂，在适当温度下使原油破乳、水滴产生聚集并沉降分离的过程。

原油中的盐大部分溶于所含的水中，所以脱盐脱水是同时进行的。为了能脱除悬浮于原油中的细盐粒，往往在脱盐脱水前向原油中加入一定量的水，使之溶解于水中，然后和水一起脱除。

脱盐脱水是在电脱盐罐中完成的。换热后的原油进入电脱盐罐，在高压电场和加入的化学物质联合作用下进行脱盐脱水。电脱盐罐可用交流电或直流电，电压一般为 15 ~ 35 kV。

## 2. 初馏

脱盐脱水后的原油进一步换热，升温至 210 ~ 250℃ 后进入初馏塔。在此塔中将残余的少量水分、腐蚀性气体以及部分轻汽油分出。这样既可减少常压炉、常压塔的负荷，保证常压塔的稳定操作，又可减轻腐蚀性气体对常压塔的腐蚀。初馏塔对于平稳操作，确保产品质量和收率，能起到很好的作用。

## 3. 常压蒸馏

从初馏塔底得到的油叫拔顶油。用泵将其送入常压炉，加热到 350 ~ 370℃ 后进入常压塔。塔顶分出的油气、经换热、冷凝，冷却至 40℃ 左右，其中一部分作塔顶回流，一部分作汽油产品；侧线则馏出煤油、柴油等；常底馏出的重油称为常渣。

## 4. 减压蒸馏

常压塔底重油温度约 350℃，用热油泵将其抽出送到减压炉加热，温度达 390 ~ 400℃ 进入减压塔。减压塔顶用蒸汽喷射器或机械真空泵抽真空，塔顶的压力一般是 1 ~ 5kPa (绝压)。减压塔顶一般不出产品或出少量产品(减顶油)，直接与抽真空设备连接，采用顶循环回流方式。侧线各馏分油经换热、冷却后出装置，作为二次加工的原料。各侧线之间设 1 ~ 2 个中段循环回流。塔底减压渣油经换热、冷却后出装置，也可稍经换热直接送至下道工序

(如焦化、溶剂脱沥青等)作为热进料。

以上介绍的采用初馏塔、常压塔和减压塔的装置叫三段汽化常减压蒸馏装置。根据所处理原油或所生产产品的不同,上述流程可稍有所改变。例如,处理含轻馏分少、水分、硫和盐含量低的原油,可以不要初馏塔而采用两段汽化的常减压蒸馏,即流程只有常压塔和减压塔。

## 第二节 催化裂化

催化裂化是指高分子烃类在高温和催化剂条件下裂解的化学反应。催化裂化装置的原料通常是减压馏分油、焦化柴油和蜡油等重质馏分油或渣油。通过催化裂化,这些重质油裂解为轻质油品。

催化裂化的特点是轻质油收率高(可达70%~80%,其中汽油产率为30%~50%,柴油产率不超过40%);催化汽油的辛烷值高(可达85)、安定性好;催化柴油的十六烷值较直馏柴油的低;焦炭产率约5%~7%,由于焦炭沉积在催化剂的表面,只能采用烧焦方式去除而不能作为产品分出;副产气约10%~20%,主要是 $C_3$ 、 $C_4$ ,其中烯烃含量达50%左右。

从以上产品分布可见,催化裂化的主要作用是将重质油品转化成较高质量的汽油。

### 一、化学原理

催化裂化工艺的特点,例如对原料油的要求、产品性能特点及工艺流程等,主要由催化裂化反应所决定。其主要反应如下:

(1) 异构化反应。如正构烷烃变成异构烷烃、带侧链的环戊烷变成环己烷等。异构化反应使产品中异构烃含量增加。

(2) 芳构化反应。如环己烷脱氢生成芳烃,烯烃转化为芳烃。芳构化反应使产品中芳烃的含量增加。

(3) 氢转移反应。一方面,烃类在反应中放出氢,氢与烯烃结合使烯烃饱和;另一方面,给出氢的烃类则逐渐转化成芳烃或缩合程度更高的分子,直到缩合为焦炭。氢转移反应是造成催化裂化汽油饱和度较高的主要原因。

(4) 裂解反应。即大分子烃类裂解为小分子烃类的反应。裂解有一定限度,裂解产物中有较多的丙烷、丙烯或丁烷、丁烯。

由于催化产物中含异构烷烃和芳烃较多,所以其汽油的辛烷值较高,而且比较稳定,同时也使其柴油的十六烷值偏低。

### 二、流化催化裂化与催化剂

原料油在催化剂上进行反应时,一方面发生裂解反应生成气体、汽油等小分子产物;另一方面又同时发生缩合反应生成焦炭。这些焦炭沉积在催化剂表面,使催化剂活性下降。所以,经过一段反应时间后,必须燃去催化剂上的积炭以恢复催化剂的活性。这种用空气烧去催化剂上积炭的反应叫“再生”。所以,催化裂化装置的核心是其反应-再生系统。目前工业上广泛使用的是流化催化裂化技术。

#### 1. 流化原理

由气固两相流动理论可知,当气体垂直向上通过由细小固体颗粒堆积而成的床层时,若



气速很低,则气体不能将固体颗粒带起,床层内的颗粒基本固定不动,这种床层称为固定床。当气速增大到一定值后,床层内固体颗粒会被气流带动,并能像液体一样自由流动,即产生“流化”。若气流只是使固体颗粒活动加剧,固体颗粒始终悬浮于气流中,这种床层称为流化床。流化床内的固体颗粒像开水的水一样上下翻腾,所以流化床也叫沸腾床。当气速继续增大至某一值后,固体颗粒就会被气流带走。气速越大,被带走的颗粒越多,甚至可将颗粒全部带走,这种状态称为稀相输送。目前,催化裂化反应器和再生器中的催化剂就是处在流化床中或稀相输送状态。

目前催化裂化广泛使用的是提升管催化裂化工艺,这是为了适应分子筛催化剂的特点而开发的。提升管催化裂化反应器是一根直立管,叫提升管,见图 2-2。由于分子筛催化剂活性高,所以必须严格控制反应时间并确保反应后目的产物能与催化剂迅速分离。因此采用稀相输送方式,使油气和催化剂高速通过提升管,油气和催化剂充分接触完成裂化反应,使得反应时间能加以精确控制。另外,在提升管出口设有快分装置,确保了反应物和催化剂的及时分离。

## 2. 催化剂

催化剂在催化裂化中起着十分重要的作用。20 世纪 60 年代发展的分子筛催化剂是一种新型催化剂,它是一种具有晶格结构的硅铝酸盐。这种催化剂不仅是一种多孔颗粒,具有很大的比表面积,而且这种孔穴排列规则,大小均匀,好像一个规定的筛子一样,只允许大小相当的分子进入而不允许更大的分子进入,所以称作分子筛。由于分子筛催化剂活性太高,实际工作中使用的催化剂一般只含 10%~35% 的分子筛,其余组分是担体(也称基体)。担体一般是由低铝硅酸铝和高铝硅酸铝组成。它除了具有稀释作用外,还可使分子筛分散得更好,使之发挥更大的作用。同时,它是一个宏大的热载体,起到传热的作用。另外,分子筛价格昂贵,使用担体则可降低催化剂的生产成本。

## 三、工艺流程

图 2-2 是高低并列式提升管催化裂化的工艺流程,流程说明如下。

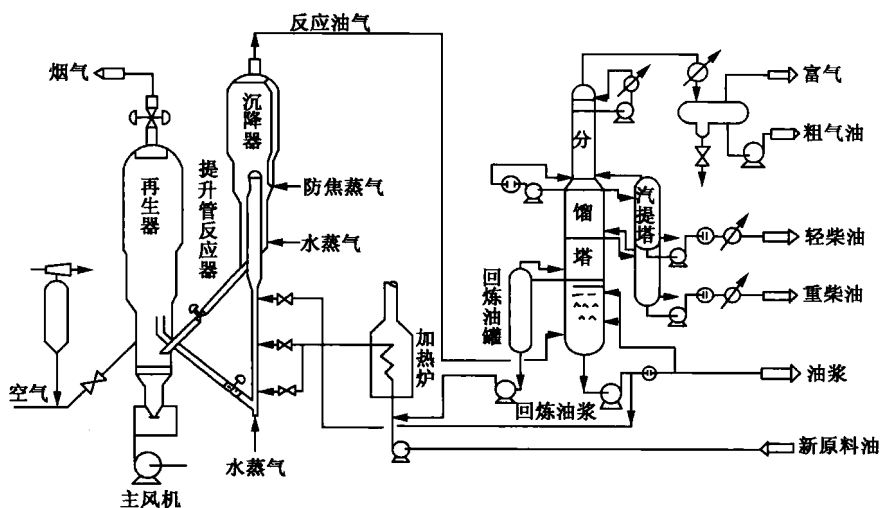


图 2-2 提升管催化裂化工艺流程