

中等专业学校教学用书

# 炼油工艺基础

赵杰民主编

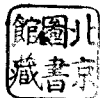


石油工业出版社

# 炼油工艺基础

赵杰民主编

石油工业出版社



A895698

## 内 容 提 要

本书根据一九七八年二月全国石油中等专业学校教材工作会议制定的“炼油工艺基础编写大纲”编写的。主要做为炼厂机械、炼厂仪表及自动化、油品分析等石油类非炼油专业的专业基础课试用教材。

全书共分三篇十四章。介绍了石油的组成、物理性质和主要石油产品的使用要求；石油加工的主要单元操作过程及设备；以及石油加工工艺生产过程；也对炼厂气和石油芳烃的化工利用做了扼要介绍。而对一些较特殊的加工过程和设备则在有关的工艺装置中做了必要的讨论和说明。

本书除做有关专业的教科书外，也可供在石油系统工作的有关干部和工程技术人员做技术参考书，以及供炼油厂操作工人做提高技术理论的学习用书。

## 炼 油 工 艺 基 础

赵杰民主编

石油工业部教材编审室编辑（北京902信箱）

石油工业出版社出版发行

（北京和平里七区十六号楼）

化学工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 20 $\frac{1}{2}$ 印张 插页1 千字496 印1—16000

1981年5月北京第1版 1981年5月北京第1次印刷

书号：15037·2259 定价：1.70元

限国内发行

## 编 者 的 话

本书系根据一九七八年二月全国石油中等专业学校教材工作会议制定的“炼油工艺基础编写大纲”编写的。主要做为炼厂机械、炼厂仪表及自动化、油品分析等石油类非炼油专业的专业基础课教材。

由于使用本书的专业较多，而各专业又自有特点和对主要学习内容的不同要求，因此为兼顾各方面的需要，使各专业在教学中基本上皆能按本专业的需要有所选择，因此本书涉及的学科较多，内容较广。在编写过程中，我们除尽力保持各部分内容的科学性和系统性之外，还注意了各学科在章节间的相互衔接和有机配合。同时，力求结合各专业教学的实际需要，坚持加强基本概念和基础理论；着重介绍我国石油炼制工业的现状和发展；争取做到删繁就简，重点突出，通俗易懂，便于自学。但由于我们水平不高，经验不足，书中难免出现谬误，敬请使用本书的同志和读者批评指正。

本书由吉林石油化工学校赵杰民主编，侯克伸、李国浩参加编写。初稿完成后，由广东石油化工学校张锡鹏、吴徽苏、朱耘青、李希俊、杜佩云，兰州石油学校李伯仁、王同春，锦州石油学校张洪福、刘元清，福建化工学校叶永晶等同志和编者组成审稿小组共同提出修改意见，并经华东石油学院张怀祖教授审查。

# 目 录

绪论	1
<b>第一篇 石油及石油产品</b>	<b>3</b>
第一章 石油的组成及物理性质	3
第一节 石油的一般性状及组成	3
第二节 石油及石油馏分的物理性质	6
第二章 石油产品的分类, 燃料油和石油沥青的使用要求	29
第一节 石油产品的分类和组成	29
第二节 燃料油品的使用要求	30
第三节 石油沥青的使用要求	40
第三章 原油评价及其加工方向	43
第一节 原油评价	43
第二节 石油产品的生产过程及石油炼制加工的主要方向	51
<b>第二篇 石油的加工过程及设备</b>	<b>59</b>
第四章 液体输送	59
第一节 稳定流动时的物料平衡	59
第二节 稳定流动时的能量平衡	61
第三节 流体流动时的阻力	65
第四节 流量的测量	73
第五节 泵	79
第六节 管子、管件和附件	86
第五章 换热设备	92
第一节 概述	92
第二节 导热和对流传热	93
第三节 换热器的传热计算	101
第四节 管壳式换热器	115
第五节 其它常用换热器	131
第六节 传热强化途径	135
第六章 管式加热炉	138
第一节 管式加热炉的一般结构及炉型	138
第二节 燃料燃烧及热平衡	145
第三节 辐射传热基本原理	152
第四节 辐射室传热计算	160
第五节 对流室传热计算	168
第六节 烟窗直径和高度的计算	170
第七章 蒸馏	172
第一节 汽-液相平衡	172
第二节 精馏的基本原理	179

第三节	复杂系统蒸馏的特点	184
第四节	分馏塔的结构和塔板型式	187
第五节	分馏塔工艺尺寸确定	192
<b>第三编</b>	<b>石油的加工工艺</b>	<b>203</b>
第八章	原油的预处理及其初馏	203
第一节	原油的预处理	203
第二节	原油初馏的流程方案	205
第三节	原油蒸馏塔的工艺特点	207
第四节	常减压蒸馏工业装置	213
第九章	催化裂化	220
第一节	催化裂化的化学反应	220
第二节	催化裂化催化剂	225
第三节	固体流态化, 催化剂循环输送及旋风分离	228
第四节	流化催化裂化工业装置	235
第五节	流化催化裂化技术的新发展	248
第十章	加氢裂化	253
第一节	概述	253
第二节	加氢裂化的化学反应	254
第三节	加氢裂化工业装置	256
第十一章	催化重整	260
第一节	催化重整的化学反应	260
第二节	重整催化剂	262
第三节	催化重整工业装置	264
第十二章	延迟焦化	280
第一节	概述	280
第二节	焦化反应	281
第三节	延迟焦化工业装置	283
第十三章	润滑油生产	287
第一节	润滑油作用及润滑油的分类和质量要求	287
第二节	润滑油的化学组成及润滑油添加剂	294
第三节	润滑油的生产过程	296
第十四章	炼厂气和石油芳烃的化工利用	314
第一节	炼厂气及其化工利用	314
第二节	石油芳烃的化工利用	320
第三节	合成材料	321
<b>附录</b>	<b>工程单位与SI制单位换算</b>	<b>326</b>

# 绪 论

## 一、石油炼制工业在国民经济中的重要作用

石油炼制工业是把采集到地面的石油进行加工，取得各种石油产品的过程。它是重工业系统的重要部门之一。石油产品是工农业生产、交通运输、国防建设和发展现代科学技术必不可少的燃料和原料。以石油为能源的地位已经在国民经济中日益巩固和提高，并愈来愈发挥极为重要的作用。

石油与煤、油页岩和天然气一样，都是矿物燃料，即从地下矿层采掘出来的可燃性有机物。

通过石油炼制过程所得到的各种石油产品，为动力机械和交通运输业方便地提供了各种优质燃料，同时也提供了机械工业所必须的绝大部分润滑剂。汽车、拖拉机和飞机等交通运输工具和威力巨大的发电机组，以及各种精密仪器等机械，如果没有石油炼制工业提供大量品质优良的具有各种不同性能的燃料和润滑剂，那它们将是无法运转的。因此，为机械工业和交通运输业提供必须的燃料和润滑剂，成为石油炼制工业的主要任务之一。

随着我国农业机械化速度的迅速发展，不但农用拖拉机、排灌等各种机械所需要的柴油用量日益增加，而且所需要的化学肥料和杀虫除草剂等农药也都需要石油炼制工业提供原料。同时，随着现代石油化工技术的发展，已经能够大量的使用石油产品来代替动植物油脂生产脂肪酸，代替粮食生产丙酮、酒精、丁醇，以及生产合成橡胶和牲畜食用蛋白等。因而在很大程度上，由于石油炼制工业的发展有利地支援了农业生产，并极大地促进了农业机械化的高速度发展。

石油炼制工业还提供了大量的化工原料，从而改变了基本有机合成工业的原料路线，使化工生产的结构和生产能力发生了根本性的变革。

石油炼制工业还有效地促进了与高分子化学技术相结合的合成橡胶、合成纤维和合成塑料等新型材料工业的发展。生产多种特殊功能材料、结构材料和复合材料，用以代替各种合金钢材等，是开辟我国新的材料来源，解决许多新技术发展所需要的各种具有特殊性能新材料的必需。因此，石油炼制工业的发展也促进了材料科学的研究和发展。

现代化国防几乎绝大部分仍以石油产品为其动力来源。导弹、飞机、舰艇、坦克和装甲车辆等多种军用机械与各种现代化武器，多以石油产品作燃料、润滑剂及其制造的特殊材料。可以说，没有石油炼制工业就没有现代化的国防。

石油炼制工业的发展也直接或间接地促进了尖端科学技术的发展。

## 二、我国石油炼制工业发展概况

我国是石油资源比较丰富的国家，也是世界上最早发现和利用石油的国家之一。当欧洲和世界各地的拜火教徒们以“神火”“永恒之火”而虔诚朝拜石油和天然气的时候，我们的祖先就早已发现和利用了石油。

在公元223~206年间，班固所著“汉书”地理志上记载：“上郡高奴县，有潜水，可燃”。上郡高奴县是指今日陕西延安附近，潜水系指河名，可燃即可以点火燃烧。

距今八百年前，北宋时期的科学家沈括在其所著“梦溪笔谈”中记载：“鄜延境内有石油……生于水际，沙石与泉水相杂，惘惘而出……燃之如麻……试扫其煤以为墨，黑光如漆，松墨不及也，遂大为之”。第一次在我国使用了石油这个名词，并且预言“此后必大行于世”。

李时珍所著“本草纲目”中记载石油可作药用治疮癣。

唐朝曹昭所著“格古要论”中记载，在延安附近“土人以革挹煎过率用点灯”。可见当时已能用简便的方法蒸取灯油了。这是我国最早石油加工并利用石油产品的记载。

大量的历史记载，说明了勤劳的中华民族早已发现并利用了石油及天然气，在世界科学史上，为人类的进步和文明写下了光辉的一页。

但是，在半封建半殖民地的旧中国，由于帝国主义、封建主义、官僚资本主义的重重压迫和残酷统治，我国的石油工业却和其它工业一样，处于满目疮痍、奄奄一息的境地。当时，我国的石油工业绝大部分属于外国资本，很小规模的石油企业也只是外国石油产品的贮运经销部，少有的几个加工装置仅能生产十种石油产品。

解放后，我国的石油工业在党的领导下得到了迅速地恢复和很大地发展。

在1949~1952年的国民经济恢复时期，对从旧中国接收过来的石油企业进行了民主改革和生产改革，大力开发了西北玉门石油资源，迅速恢复了东北抚顺人造石油工业，使原油年产量在1952年就超过了解放前的最高水平。

在第一个五年计划期间，我国第一个天然石油基地——玉门油矿担负了天然石油的主要生产任务，同时开始了克拉玛依油矿、兰州炼油厂和茂名页岩联合企业的建设，成功地试制了多种新产品。到1958年，我国的原油产量和石油产品的质量及数量已有了很大提高。

六十年代初期，我国开发和建设了大庆油田，实现了石油产品基本自给，使我国使用“洋油”的时代从此一去不复返。随着大庆、胜利、大港等油田的相继开发，许多现代化炼油厂也在全国各地迅速建成并投产，其中包括流化催化裂化、铂重整、延迟焦化、尿素脱蜡和催化剂制造五大生产装置。

七十年代，我国石油炼制工业有了新的发展，加氢裂化、分子筛脱蜡、分子筛提升管催化裂化、双金属和多金属重整等新工艺新技术相继研究成功并投入工业生产；炼油厂自动控制技术也有了很大的提高；随着石油加工的催化剂和各种添加剂的制备和研究的进展，石油产品的品种更加齐全，质量进一步提高。

现在，我国广大石油炼制工作者正在为使炼油工业赶上和超过世界先进水平而勤奋学习、努力工作，为实现把我国建设成伟大的社会主义强国而努力奋斗。



# 第一篇 石油及石油产品

将原油加工成具有不同性能的石油产品是石油炼制工业的重要任务。若将原油进行合理的加工以生产国民经济各部门所需要的产品，首先必须对原油及其产品的组成和性质有所了解，然后才能根据原油的组成和性质以及所要求的产品质量，在加工不同类型原油的时候确定最佳加工方案。

## 第一章 石油的组成及物理性质

在科学研究和生产过程中，产品质量一般都是通过其物理及物理化学性质表现出来的。而每种物质所具有的特殊本质，即各种石油产品的质量取决于它们的化学组成，取决于所含烃类的物理性质和化学本性。所以只有掌握了石油及其产品的组成和基本性质才能指导生产，控制产品质量。

### 第一节 石油的一般性状及组成

#### 一、石油的一般性状

从油井里采掘出来的石油叫天然石油，又叫原油，从煤或油页岩中提炼出来的石油叫人造石油。

石油是一种淡黄色到黑色的粘稠可燃性液体，比重一般都小于1。有些石油在较低温度下可凝固成为半固体。我国大庆油田出产的石油呈黑褐色，比重为0.86左右，在24℃以下就凝固成为半固体。玉门石油是一种黑褐色的粘稠液体，比重约为0.85，其凝固点也较高，约为15℃。还有一些石油，如四川天然气田中出产的凝缩油，是无色透明的，比重很小，很容易挥发。

石油颜色的深浅取决于石油的组成。由于石油是一个极其复杂的由多种烃类组成的混合物，而且各矿所采石油的组成不同，所以它们的物理性质也随之不同。石油中含胶质和沥青质愈多，则颜色也愈深，反之颜色愈浅。我国石油一般含沥青质不多，含胶质却较多。

许多石油都有很浓的臭味，这是由于石油中含有一些味臭的硫化物的缘故。我国石油一般含硫量都较低，只有胜利原油稍高。

不同的石油有不同的凝固点，而凝固点的高低决定于它们当中含蜡量的多少，含蜡高的石油凝固点就高，含蜡低的石油凝固点就低。

石油的粘度决定于石油中含有润滑油馏分和胶质的多少，凡汽油含量多而润滑油含量少的石油，其粘度都较低，反之，粘度就较高。

石油的比重决定于石油中含有重质馏分、胶质、沥青质的多少，含量多则比重大，含量小则比重小。

## 二、石油的化学组成

### 1. 元素组成

根据元素分析,石油主要由碳和氢两种元素组成,它们在石油中占96%~99%,其中碳约占83%~87%,氢约占11%~14%。碳氢比(C/H)较高的石油,其比重通常是较高的,天然石油的碳氢比一般在7.0以下。除碳、氢外,还含有氧、硫、氮等元素,在石油灰分中,还发现有氯、碘、磷、硅、钾、钠、钙、铁、镍、钒等元素。表1-1为几种石油的元素组成。

表 1-1 几种石油的元素组成

石油产地	比重 $d_4^{20}$	元素组成, %					
		C	H	S	N	O	C/H
大庆	0.8615	85.75	13.31	0.11	—	—	6.45
伊期	0.8390	85.40	12.80	1.06	—	0.74	6.67
墨西哥	0.9260	84.20	11.40	3.6	—	0.80	7.4

大部分石油的氧、硫、氮元素的总含量在1%以下,但个别石油的硫含量很高,如苏联邱家夫石油含硫达5.4%,我国胜利石油含硫达0.92%。石油中的硫化物多是硫醇、硫醚、噻吩等。石油中的氢、氧元素甚少,一般存在于胶质、沥青质和环烷酸中。

石油中含有硫化物不但会腐蚀设备,还使产品性质变坏,污染环境。氢、氧等化合物存在常给产品带来不良影响,使其颜色和其它品质变坏。石油中以化合物存在的微量铁、镍、钒等金属元素,在催化裂化生产过程中会使催化剂的活性降低。

### 2. 烃组成

石油是组成十分复杂的混合物,而且馏分愈重分子量愈高,异构数目也愈多,则对其所含各种单体化合物的分析鉴定也就愈困难。目前,汽油以前的馏分可测至单体烃,柴油以后的馏分只能测出部分烷烃和个别的芳香烃,基本上还是只能测定其粗略组成。

各种石油都属于碳氢化合物的混合物,碳氢化合物简称为“烃”。石油中含有烷烃、环烷烃、芳香烃和少许不饱和烃等。

(1) 烷烃 烷烃几乎是组成各种原油的主要成分。各种天然气的组成几乎全是烷烃,其中尤以甲烷量为最多。大部分原油炼制出的汽油和煤油也主要是由该族的液体部分所组成。

在室温及常压下 $C_1\sim C_4$ 的烷烃为气体, $C_5\sim C_{15}$ 的烷烃为液体, $C_{16}$ 以上的烷烃单独存在时为固体,但在石油中一般多以溶解状态存在,当温度降低时便以固体结晶析出,称为“蜡”。蜡又分为石蜡和地蜡,石蜡主要由正构烷烃组成,地蜡主要由异构烷烃组成,石蜡为板状或带状结晶,而地蜡则为针状结晶。含蜡多的石油在温度 $0^\circ\text{C}$ 或 $0^\circ\text{C}$ 以上即行凝固,我国大庆石油含蜡高达25%以上,为世界上少见的高含蜡原油,其凝固点在 $24^\circ\text{C}$ 左右,因而在炼制和贮运过程中必须要注意。

从化学观点来看,烷烃较为稳定,异构烷烃具有较高的抗爆性。

(2) 环烷烃 环烷烃为原油主要成分中的第二种烃类,原油中所含的环烷烃主要是环戊烷、环己烷及其衍生物。

由于环烷烃具有很好的抗爆性，以及低凝固点和优良的润滑性能，故做为汽油、煤油和润滑油的组分很是适宜。

在一定的条件下，由于 $C_6 \sim C_{10}$ 环烷烃的脱氢芳构化反应容易进行，所以它们也是以生产芳香烃为主要目的产品的催化重整过程原料中的理想组分。



(3) 芳香烃 芳香烃在原油中含量较低，但它具有高抗爆性，故做为汽油组分甚为适宜。但在某些场合下芳香烃无用甚至有害，如其存在于灯用煤油中，燃烧时会产生灯烟和灯花，存在于润滑油中，高温时易被空气中的氧所氧化而变质，所以在类似上述情况下都需将某些芳香烃用精制法除去。

(4) 不饱和烃 原油中几乎不含不饱和烃，但在裂化及高温热解等加工产品中却含量较大。

不饱和烃是一种不稳定物质，在空气中容易胶化，故在许多情况下被视为有害的组分，如存在于汽油、灯油、润滑油中的不饱和烃都要设法除去，但欲将其除尽却很困难，所以一般都以除去最不稳定的二烯烃为主。

### 3. 非烃组成

天然石油中的非烃化合物主要指含硫、含氧、含氮的化合物而言。虽然硫、氧、氮在石油中的总含量甚少，但按硫、氧、氮化合物的含量来说，却有高达10~20%者。这些非烃化合物对于石油产品的质量有很大影响，是油品精制的对象。

(1) 含硫化合物 石油中的硫主要以各种含硫的有机化合物形态存在，如硫醇(RSH)、硫醚(RSR)、二硫化物(RSSR)、硫酚()、噻吩()等，少量以硫化氮和" data-bbox="125 490 905 539"/>

元素硫的形态存在。在上述含硫化合物中，硫醇和硫化氢对金属有强腐蚀性，称为活性硫化物；其它硫化物和二硫化物多存在于石油的重质部分中，在一般的贮存或使用条件下，对金属不腐蚀，称为中性硫化物或非活性硫化物。两种硫化物在不同条件下可以互相转化，如硫化氢被空气氧化可以生成元素硫，硫与石油烃作用(150℃)可以生成硫化氢和其它含硫化合物，二硫化物受热分解成为硫醚、硫醇、硫化氮等。在高温燃烧时，以上含硫化合物均可变成对金属有腐蚀作用的二氧化硫。

硫化物除对金属有腐蚀作用外，还会恶化油品使用性能。它易使汽油的感铅性降低，恶化汽油的抗爆性；易使贮存和使用中的油品氧化变质，生成粘稠状沉淀，进而影响发动机或机器的正常工作。目前认为，喷气燃料的氧化安定性首先决定于非烃化合物的含量，而含硫化合物在非烃化合物中起主要作用。

由于含硫化合物有以上害处，故炼厂常采用精制法将其除去，一些炼油厂还建立了硫磺回收装置，用炼厂气中的硫化氢来生产硫磺，变废为利。

随着我国新油田的不断发现，开采、贮运、加工和使用含硫石油的问题已提到日程上来，因此已加强了对含硫石油所带来的一系列加工技术和设备等方面的工作，并取得了较好效果。

(2) 含氧化合物 石油中含量较多的含氧化合物是环烷酸，也有少量的酚等酸性物质，通常总称为石油酸。

环烷酸( $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{COOH}$ )在石油馏分中的分布较特殊,多存在于中沸点(250~

300°C)馏分中,而在低沸点及高沸点馏分中较少。环烷酸呈弱酸性,也对设备有腐蚀,故需用碱洗法将其在石油馏分中除去,从所得的酸渣中可回收环烷酸。



有强烈的气味,亦呈弱酸性,也可用碱洗法被除去。因酚能溶于水,故炼厂污水中常有酚,若对污水不加处理,则会毒害庄稼和水生物。

(3) 含氮化合物 石油中的含氮化合物主要有吡啶( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ )、吡咯( $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}$ )及其衍

生物等,其含量一般很少,主要集中在石油的重质馏分中。在石油加工时形成的含氮化合物能进入轻质石油产品中,贮存时遇空气易氧化,使油品颜色逐渐变深,最后生成树脂状物而影响产品质量。根据研究证明,使焦化汽油变色的主要成分就是含氮化合物。

(4) 胶质沥青状物质 胶质沥青状物质为仅次于烃类之原油主要成分。它们都是复杂的高分子物质,除含碳、氢外,还含有硫、氧、氮等,因其结构至今不明,且所含杂原子非止一种,故按其外观形状被称为胶质沥青状物质。

胶质是高粘度、半液态、比水重的深黑色物质,具有很强的染色力,大约有0.005%的胶质存在就足以使汽油染成草黄色。胶质能溶于石油醚及石油的各馏分中。

沥青质是一种深褐色或黑色的比水重的非结晶状固态物质,分散存在于石油中,能溶于苯。石油中的沥青质几乎全集中在渣油中,从渣油中脱出的沥青可经氧化生产建筑用沥青,而剩下的烃类则可用于制造高粘度润滑油。

如果在一定的试验条件下,将石油成其它石油产品在几乎隔绝空气的条件下受热分解,在完全分解后会遗留一种黑色的固体物质,其外形有如焦炭,这种物质占被测石油样品的重量百分数称为残炭值。残炭值与石油中的胶质和沥青质的含量有很大关系,胶质和沥青质的含量越高,其残炭值越高。

石油中除了上述以互溶状态存在的各种化合物以外,还时常带有机械杂质和水分。所谓机械杂质是指石油所夹带的悬浮物如泥沙、泥土、尘埃、铁屑和结晶性岩盐等固体物质。石油中所含的水分大多是从地底下带上来的,有的是在贮运过程中混入的。机械杂质和水分虽然和石油没有什么有机联系,但对于石油加工却有很大影响,因此也是必须加以除去的。

## 第二节 石油及石油馏分的物理性质

石油及石油馏分的物理性质是科学研究和生产实践中评定油品质量和控制加工条件的重要指标;同时,油品的物理性质如比重、分子量、热性质等也是石油加工各生产装置工艺设计的必要数据。

油品的物理性质与其化学组成有着密切的关系,油品的物理性质在很大程度上取决于其中所含烃类的物理性质和化学性质。油品是各种烃类和非烃类组成的复杂混合物,它的理化性质是各种化合物性质的宏观综合表现。它们之中,有的性质有可加性,有的则没有。

与纯化合物的性质有所不同，油品的物理性质往往是条件性的，离开了固定的测定方法，这些性质就没有意义。

### 一、蒸汽压

在某一温度下，液体与其液面上的蒸汽呈平衡状态时，此蒸汽所产生的压力称为饱和蒸汽压。蒸汽压的高低表明了液体中的分子逸出液体即汽化或蒸发的倾向，因此即使在不平衡状态下，也时常应用蒸汽压的概念。蒸汽压愈高，说明液体愈容易汽化。

纯碳氢化合物和其它纯液体一样，其蒸汽压随液体的温度及克分子汽化热的不同而不同。液体的温度愈高，克分子汽化热愈小，则其蒸汽压愈高。当液体的克分子体积和蒸汽的克分子体积相比较可以忽略不计，而且蒸汽符合理想气体规律时，则纯烃类化合物的蒸汽压与温度的关系可用克劳修斯—克萊普朗方程式表示：

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H}{T \cdot \Delta V} \quad (1-1)$$

如果温度变化范围不大，分子汽化潜热可视为定值时，将此方程积分后得到蒸汽压与温度的关系式为

$$\log \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H}{2.3R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (1-2)$$

式中  $T_1$ 、 $T_2$ ——温度，°K；

$P_1$ 、 $P_2$ ——烃类在温度为 $T_1$ 、 $T_2$ 时的蒸汽压，大气压（绝）；

$\Delta H$ ——汽化潜热，千卡/公斤分子；

$R$ ——气体常数，1.987千卡/公斤分子·°K。

在科学研究和工程设计中，为了方便起见常利用查图的方法求出石油烃类的蒸汽压，这种石油烃类的蒸汽压图称为考克斯图，可在有关参考书中查得。

石油是烃类和非烃组成的复杂混合物，在同一温度下，不同组成的石油其汽化率不同。因此，其蒸汽压不仅因温度不同而异，而且在温度一定时，又随其组成不同而异。

### 二、馏程和平均沸点

#### 1. 馏程

对于纯化合物，在一定的外压下其沸点是固定的，例如在一个大气压下，水的沸点为100°C，乙醇的沸点为78.4°C，苯的沸点为80.1°C。但因油品是非单一组成的复杂混合物，所以其沸点只有一个温度范围，而没有固定的数值。

在炼油工业中，为了检查油品质量或对原油进行评价，常在实验室用统一的仪器来比较。测定油品沸点范围最简单的方法为恩氏蒸馏。恩氏蒸馏装置如图1-1所示，它是把100毫升油品放在蒸馏瓶内加热，蒸出的气体经冷凝器冷凝，使油气变成液体流入100毫升的量筒内。当油品受热蒸馏后，流出第一滴油时的汽相温度称为初馏点；蒸馏到终了时的最高汽相温度称为终馏点（或干点）。从初馏点到终馏点这一温度范围称为该油品的馏程。在某一温度范围内蒸出的馏出物称为馏分。如常减压装置蒸出的汽油馏分的馏程约为40~200°C，灯油馏分的馏程约为200~300°C，航空煤油馏分的馏程约为130~250°C，轻柴油馏分的馏程约为200~350°C等。

#### 2. 平均沸点

用恩氏蒸馏实验所测得的馏程和馏分在油品的评价上虽有很大用途，但在工艺计算上

却不能直接应用，因此又提出了平均沸点的概念，它在设计计算及其它物理常数的求定上有很多用途。

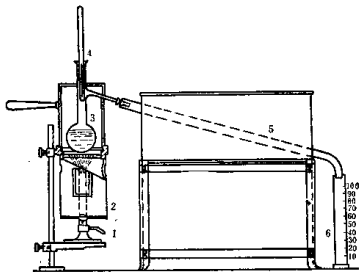


图 1-1 恩氏蒸馏装置

1—喷灯；2—挡风板；3—蒸馏瓶；4—温度计；5—冷凝器；6—接受器

平均沸点有多种表示方法，它们的求法和用途也不一样。

(1) 体积平均沸点 体积平均沸点是油品恩氏蒸馏的10%、30%、50%、70%、90%五个馏出温度的平均值。其计算式如下

$$t_{\text{体}} = \frac{t_{10} + t_{30} + t_{50} + t_{70} + t_{90}}{5} \quad (1-3)$$

式中  $t_{\text{体}}$ ——体积平均沸点，℃；

$t_{10}, t_{30} \dots t_{90}$ ——恩氏蒸馏10%、30%…90%的馏出温度，℃。

体积平均沸点可用来取定其它难以直接测得的平均沸点。

(2) 立方平均沸点、中平均沸点及其它平均沸点 除体积平均沸点可直接用恩氏蒸馏数据求得外，其它平均沸点都难以直接测得，它们通常都是由体积平均沸点查图 1-2 平均沸点校正图求得。

例1-1. 某汽油馏分，其恩氏蒸馏数据如下表，试求其体积平均沸点、立方平均沸点、重量平均沸点。

馏出% (体)	初馏点	10	30	50	70	90	终馏点
馏出温度, ℃	45	70	95	105	145	185	200

解 
$$t_{\text{体}} = \frac{70 + 95 + 105 + 145 + 185}{5} = 120^\circ\text{C}$$

恩氏蒸馏曲线10%~90%的斜率为

$$\frac{185 - 70}{90 - 10} = 1.44^\circ\text{C}/\%$$

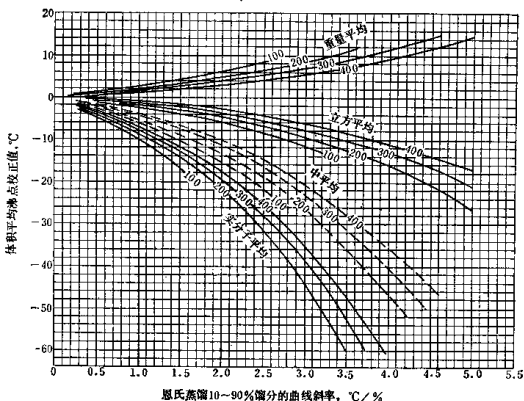


图 1-2 平均沸点温度校正图

由体积平均沸点  $120^{\circ}\text{C}$  和恩氏蒸馏曲线  $10\sim 90\%$  的斜率  $1.44$ ，查平均沸点温度校正图 (图 1-2) 得出各个温度校正后，便可计算出其它各平均沸点。

如求立方平均沸点，可由该图查出校正值为  $-3.5^{\circ}\text{C}$ ，则

$$\text{立方平均沸点 } t_{\text{立}} = 120^{\circ}\text{C} - 3.5^{\circ}\text{C} = 116.5^{\circ}\text{C}$$

同样方法可求得

$$\text{中平均沸点 } t_{\text{中}} = 120^{\circ}\text{C} - 9.5^{\circ}\text{C} = 110.5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{重量平均沸点 } t_{\text{重}} = 120^{\circ}\text{C} + 3.8^{\circ}\text{C} = 123.8^{\circ}\text{C}$$

$$\text{实分子平均沸点 } t_{\text{实}} = 120^{\circ}\text{C} - 15.5^{\circ}\text{C} = 104.5^{\circ}\text{C}$$

各平均沸点有不同的应用范围。

(3) 石油馏分的沸点与压力的关系 工业上蒸馏过程都是在一定的压力下进行的，由于过程的压力不同，油品的沸点也不同，压力大则沸点高，在真空条件下沸点降低。

石油馏分在常压与减压下沸点的换算可用图 1-3 查出。

### 三、比重

油品的比重在生产和贮存过程中有很重要的意义，如在产品计量、炼油装量的工艺设计、标定计算等处经常用到。在某些产品规格中，为了严格控制原料来源及馏分性质，有时对比重也要有一定的要求。由于比重与原油或产品的物理、化学性质有关，所以根据比重便可大致估计出原油的类型，如含烷烃多的原油的比重较含环烷烃及芳香烃多的原油低，含硫、氧、氮愈多，含胶质沥青质愈多的原油比重愈高。

单位体积油品的重量称为重度。其单位是克 (重量)/厘米<sup>3</sup>。单位体积油品的质量称为密度，其单位是克 (质量)/厘米<sup>3</sup>。

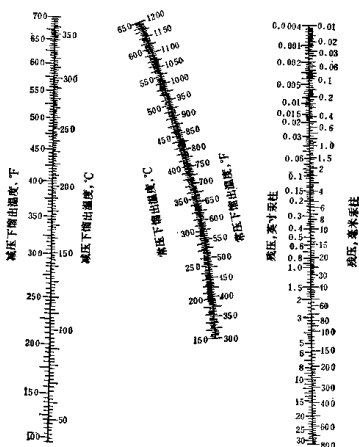


图 1-3 常减压沸点换算图

单位体积油品的重量（或质量）与在标准温度下同体积水的重量（或质量）之比，称为油品的比重。因为水在4℃时的密度等于1克/厘米<sup>3</sup>（重量为1000公斤/米<sup>3</sup>），所以通常以4℃时的水为基准，将温度为t℃的油品密度对4℃时的水的密度之比称为比重，常写为“d<sub>4</sub><sup>t</sup>”。它在数值上等于油品在t℃时的密度，因此可以说液体油品的比重与密度在数值上相等，只是比重为一无因次值，而密度为一有因次值。比重也常以“γ<sub>4</sub><sup>t</sup>”或“ρ<sub>4</sub><sup>t</sup>”表示。

为了便于比较，一般油品的比重常采用某规定温度下的比重来表示，我国常用的比重为20℃的油品对4℃的水的密度比，即d<sub>4</sub><sup>20</sup>。因此，在任何温度下测得的油品比重，必须换算成为20℃下的比重，采用下面换算式

$$d_4^{20} = d_4^t + \gamma(t - 20) \quad (1-4)$$

式中  $\gamma$ ——温度校正值，即温度变化1℃时比重的变化值，可由表1-2查得。

例1-2. 在28℃下测得的某油品比重为0.8591，换算到20℃时的比重为多少？

解 从表1-3查得在0.8591的比重范围内的校正值为0.000699，代入公式（1-4）

$$d_4^{20} = 0.8591 + 0.000699 \times (28 - 20) = 0.8647$$

以上温度校正值只适用于与20℃相差不大的温度时，若温度变化范围较大，为满足工业计算，还可从图1-4查得比重。

在美国，比重常用一种条件性单位°API表示，称之为比重指数。它和比重的关系可用下列实验式进行换算



表 1-2 温度校正值

比重 $d_4^{20}$	1℃ 的温度校正值, $r$	比重 $d_4^{20}$	1℃ 的温度校正值, $r$
0.700~0.710	0.000897	0.850~0.860	0.000699
0.710~0.720	0.000884	0.860~0.870	0.000686
0.720~0.730	0.000870	0.870~0.880	0.000673
0.730~0.740	0.000857	0.880~0.890	0.000660
0.740~0.750	0.000844	0.890~0.900	0.000647
0.750~0.760	0.000831	0.900~0.910	0.000633
0.760~0.770	0.000813	0.910~0.920	0.000620
0.770~0.780	0.000805	0.920~0.930	0.000607
0.780~0.790	0.000792	0.930~0.940	0.000594
0.790~0.800	0.000778	0.940~0.950	0.000581
0.800~0.810	0.000765	0.950~0.960	0.000568
0.810~0.820	0.000752	0.960~0.970	0.000555
0.820~0.830	0.000738	0.970~0.980	0.000542
0.830~0.840	0.000725	0.980~0.990	0.000529
0.840~0.850	0.000712	0.990~1.000	0.000518

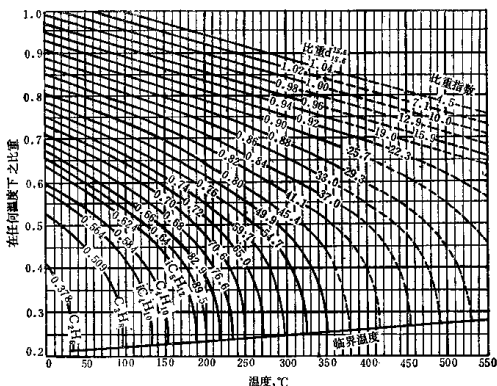


图 1-4 石油馏分在任何温度下的比重

$$d_{15.6}^{15.6} = \frac{141.5}{^{\circ}\text{API} + 131.5} \quad (1-5)$$

上式只适用于  $d_{15.6}^{15.6} < 1$  的情况。式中,  $d_{15.6}^{15.6}$  表示油品和水都在 15.6℃ (60°F) 时的单位体积重量之比。

$d_4^{20}$  与  $d_{15.6}^{15.6}$  之间的换算可用下式

$$d_4^{20} = d_{15.6}^{15.6} - \Delta d \quad (1-6)$$