

石油加工  
工艺学  
(上册)

石油化工大专院校统编教材

# 石油加工工艺学

(上册)

李淑培 主编

中国石化出版社

## 内 容 介 绍

《石油加工工艺学》是石油加工专业(大学专科)的主要专业课教材。书中着重论述了原料性质、主要工艺原理、流程、操作因素、工艺计算及特殊设备。全书分上、中、下三册,本书为上册,主要介绍石油及其产品的性质、原油评价及原油蒸馏。

本书供石油加工专业的大专院校做教材,也可供有关的技术人员参考。

石油化工大专院校统编教材

石油加工工艺学

上册

李淑培 主编

\*

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米16开本13印张1插页323千字印1—4000

1991年4月北京第1版 1991年4月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-178-9/TE·026 定价:3.50元

## 前 言

《石油加工工艺学》是按大学专科的教学大纲170学时编写的。全书共分四篇,分上、中、下三册出版。上册:第一篇石油及其产品的性质,第二篇原油评价及原油蒸馏。中册:第三篇燃料的生产。下册:第四篇润滑油、脂、沥青及蜡的生产。根据教学大纲的要求,突出了各篇的重点章节,避免平均使用学时。

大学专科的培养目标是造就创造性的再现型人材,能够承上启下,指挥生产的基层技术工作者。所以在专业教材的组织上既区别于大学本科教材,舍去了那些理论性较强、用比较少的篇幅又难于讲述透彻的内容,如:热力学及动力学分析、数学模型、电算程序等(有关这方面的知识很重要,建议开设专门课程);又不同于中专教材,减少了那些具体的操作部分如生产的调节方法,事故处理等。而是着重讲清楚基本理论、基本概念以及必要的设计计算方法。

本书尽管在编写过程中注意了新技术、新工艺的介绍,但由于石油加工工艺的发展非常迅速,书的出版周期又较长,因此当书与读者见面时可能已不能适应新技术发展的需要,故希望教师在讲授中不断补充或更新某些内容。

这门课程是石油加工专业的主要专业课之一,讲授中应特别注意与物理化学及化工原理等基础技术课的配合与衔接,避免脱节和重复。

该书经石化总公司确定由广东石油化工专科学校、北京石油化工专科学校、抚顺石油职工大学与抚顺石油学院四个单位合作编写,由李淑培同志担任主编。参加编写工作的有抚顺石油学院的朱万玲(第一篇第一、二章;第三篇第十章)、胡宝铭(第二篇第三、四章)、李淑培(第三篇第六、九章)、邱建国(第三篇第七章)、抚顺石油职工大学的郭一民(第三篇第五章)、北京石化专科学校的唐瑞昆(第三篇第八章)、广东石化专科学校的张锡鹏(第四篇第十一、十二、十三、十八章)、朱耘青(第四篇第十四、十五、十六、十七章),参加编写的还有石化总公司教育处的贾永田同志(第四篇第十九章)。由石油大学的梁文杰、林世雄两位教授审阅。

由于编者的水平所限,书中定有不少错误及不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

一九九〇年一月

## 绪 论

《石油加工工艺学》是石油加工专业的主要专业课之一。本教材着重介绍石油加工典型过程所依据的原理、工艺流程、操作因素分析、工艺计算方法及特殊设备。例如常减压蒸馏、催化裂化、重整、加氢、润滑油精制等都是典型的工艺过程。

通常所说的石油加工是指将原油经过分离和反应，生产燃料（如汽油、航空煤油、柴油、燃料油、液化燃料气、油焦）、润滑油、化工原料（如苯、甲苯、二甲苯等）及其它石油产品（如沥青、石蜡等）的过程。石油燃料是许多重要运输工具的动力；润滑油则是一切转动机器必不可少的润滑剂，所以人们把石油称为：“工业的血液”。石油原料进一步加工生产的三烯、三苯和乙炔、萘等是合成树脂、合成橡胶和合成纤维的基本原料，是化学工业的和轻纺工业发展的基础。通常习惯上把原油的常减压蒸馏称为一次加工，把以一次加工得到的半成品为原料的催化裂化、加氢裂化、焦化等破坏加工过程称为二次加工，把许多以二次加工产物为原料的化工过程称为三次加工。

石油加工产品不仅作为能源与国防、交通运输、农业、电力、航天、内燃机制造等部门息息相关，而且作为化工原料直接涉及到国民经济的各个领域，深入到人民的衣、食、住、行的各个环节之中。因此石油加工工业被认为是国民经济的基础工业之一。

我国是最早发现和使用石油的国家之一，早在3000多年以前的西周时期已经发现石油，在《易经》中留有“泽中有火”的记载。《汉书·地理志》和北魏郦道元所著的《水经注》中都曾描述过秦时高奴县（今延长一带）涓水（延河支流）产石油的情况，说：“高奴县有涓水，肥可燃，水上有肥，可接取用之”。这里所说的“肥”即指石油。甘肃的酒泉延寿县、四川的双流、新疆的库车、精河等地区都早在1000多年以前就有发现和使用石油的文字记载。

宋朝的科学家沈括在他任鄜延经略使期间，曾对该地的石油作过详细的考查，他在《梦溪笔谈》中写道：“鄜延境内有石油，旧说高奴县出脂水即此也，生于水际沙石与泉水相杂，惘惘而出……”。沈括第一次提出“石油”这个名词代替过去的树脂水、石漆、石脑油、火油、猛火油、雄黄油等等不同的叫法，他还作出“此物后必大行于世”的科学预见。

虽然我国发现和应用石油最早，但近代石油工业却起步较晚，大量进口石油产品。1949年全国解放时，我国仅延长、玉门、独山子等地有小型炼厂，加工当地产的天然原油。东北地区的大连，锦西建有150kt/a处理进口天燃油的装置，在抚顺等地建有部分人造石油装置。到1948年为止全国累计只生产原油3.08Mt，1943年是产量最高的一年，为321kt，1949年则只有70kt。中国历史上的长期封建统治和鸦片战争以后，近百年来帝国主义和买办资产阶级的控制掠夺是造成这种悲惨落后局面的根本原因。

全国解放以后石油工业得到了飞速的发展，特别是1960年大庆油田的发现，使我国结束了使用洋油的时代。以后随着胜利、大港、辽河、华北、中原等油田的陆续开发，到1988年我国原油产量已达到137Mt，跃居世界第四位，除自己加工92.7Mt外，还可以出口一部分。表1.2列举了1987年世界各主要产油国的原油产量和历年来我国原油开采量和加工量的数据。

表 1 1987年世界各主要产油国原油产量, Mt/a

国 别	苏 联	美 国	沙 特	中 国	英 国	墨 西 哥
原油产量	626	446	242	134	126	124

表 2 中国历年原油产量及加工量, kt/a

年 份	原油产量	原油加工量	年 份	原油产量	原油加工量
1943	321	—	1973	50000	—
1949	70	116	1978	104000	70691
1952	435	533	1985	124800	84502
1957	1458	1736	1987	134000	—
1965	11315	10831	1988	137000	92700

我国的石油加工技术一直到50年代还是比较落后的,尤其在催化加工方面,几乎是空白,仅兰州炼油厂有一套200kt/a处理能力的移动床催化裂化装置,且工艺技术也算不上先进。60年代大庆原油加工工艺的开发,炼油工业的流化床催化裂化、微球硅酸铝催化剂、铂重整、延迟焦化、尿素脱蜡等装置相继开发投产,使炼油技术产生了一次飞跃。此后,提升管催化裂化、多金属重整催化剂的研制和径向反应器设计、分子筛脱蜡等技术方面也有突破。

改革开放以来,石油加工技术进入了一个崭新的发展阶段,干式减压蒸馏、催化裂化催化剂的高效再生、高辛烷值催化剂的研制、重油深度加工、气体综合利用、甲基叔丁基醚工艺等相继开发应用,使我国石油加工技术,基本达到80年代初期的世界水平,在个别领域已形成自己的特色,开始向国外输出。

石油工业,特别是石油加工工业的迅速发展,要求培养大批石油炼制和石油化工方面的专业人才。《石油加工工艺学》是石油加工专业的一门专业性、综合性和实践性都很强的应用科学。必须在化工单元过程及设备(化工原理)课程的基础上讲授,然而作为石油炼制过程又有自己的特殊性,例如原油的精馏过程属于复杂系,有它独特的处理方法,对催化裂化、重整、加氢等反应过程也有类似的特点,在工程计算中采用了大量经验或半经验的公式及图表。

在学习和讲授本课时需要综合应用以前所学过的各种知识,尤其是有机化学、物理化学和化工原理的知识。要多接触生产实际,熟悉典型的石油加工过程。在分析工程问题时要善于综合归纳,从复杂的关系中抽出最本质、最关键的东西。学会全面地、辩证地分析和处理问题使理论和生产实际密切结合,为石油加工工业不断输送更多、更好的专业人才。

# 目 录

## 绪 论

### 第一篇 石油及其产品的性质

第一章 石油及其产品的组成和性质.....	1
第一节 石油的一般性状及化学组成.....	1
第二节 石油及其产品的物理性质.....	17
第二章 石油产品分类和石油燃料的使用要求.....	74
第一节 石油产品分类.....	74
第二节 石油燃料的使用要求.....	75

### 第二篇 原油评价及原油蒸馏

第三章 原油分类与原油评价.....	109
第一节 原油的分类.....	110
第二节 原油评价.....	112
第三节 我国主要原油性质及加工方向简介.....	122
第四章 原油预处理和原油蒸馏.....	126
第一节 原油的预处理.....	126
第二节 蒸馏与精馏原理.....	132
第三节 原油常减压蒸馏.....	155
第四节 蒸馏装置的能耗及节能.....	176
第五节 原油分馏塔的工艺计算.....	183

# 第一篇 石油及其产品的性质

## 第一章 石油及其产品的组成和性质

### 第一节 石油的一般性状及化学组成

#### 一、石油的一般性状

石油主要是由碳氢化合物组成的复杂混合物，大部分是暗色的，呈暗绿，深褐以至深黑色，还有一些石油则呈赤褐、浅黄色。如：我国四川盆地开采出来的原油是黄绿色的，玉门原油是黑褐色的，大庆原油则是黑色的。

许多石油都有浓烈的气味。这是由于它含有一些有臭味的硫化物。我国原油一般含硫量都较低，只有胜利原油含硫量稍高。

在常温下，多数石油是流动或半流动的粘稠液体。相对密度一般小于1，绝大多数石油的相对密度在0.8~0.98之间，但也有个别例外，如伊朗某石油相对密度高达1.016，美国加利福尼亚州的石油相对密度低到0.707。表1-1为我国一部分油田原油的相对密度，凝点及其它一些性质。

表 1-1 我国部分油田原油的某些性质

原油		大庆原油	胜利原油	任丘原油	辽河原油	新疆4号原油	克拉玛依3号 低凝油
性质							
相对密度 $d_4^{20}$		0.8554	0.9005	0.8837	0.8662	0.773	0.8839
运动粘度(50℃), $\text{mm}^2/\text{s}$		20.19	83.36	57.1	9.05	—	33.02
凝点, ℃		30	28	36	17	0	-54
含蜡量, %	吸附法	26.2	14.6	22.8	—	5.8	1.05
	蒸馏法	—	—	—	13.5	—	—
沥青质, %		0	5.1	2.5	0.17	—	0.53
硅胶胶质, %		8.9*	23.2	23.2	14.4	0.9	13.3
残炭(电炉法), %		2.9	6.4	6.7	3.59	—	5.3

\* 为氧化铝吸附色谱的分析数据。

#### 二、石油的元素组成

不同油区所产的石油在组成和性质上差别很大，即使在同一油区不同油层和油井的石油

在组成和性质上也可能有很大差别。

石油的外表特征与石油的化学组成有密切的关系，为了较深刻地认识石油，必须研究其化学组成。而化学组成的基础是元素组成，所以首先应考察石油的元素组成。

组成石油的元素主要有碳、氢、氧、氮和硫5种。表1-2是某些石油的元素组成。

从表1-2可以看出，组成石油的最主要元素是碳和氢，它们约占95%~99%，其中碳为83%~87%，氢为11~14%。大部分石油中硫、氧、氮总量不超过1~5%，但也有少数石油中的硫、氮、氧含量较高，如墨西哥原油含硫3.6~5.3%，委内瑞拉石油含硫高达5.5%。大多数石油含氮甚少，约千分之几到万分之几，但个别石油如阿尔及利亚石油及美国加利福尼亚石油含氮量达1.4~2.2%。

表 1-2 某些石油的元素组成

元素组成, % (重)	C	H	O*	S	N
原油名称					
大庆原油	85.74	13.31	—	0.11	0.15
胜利原油	86.26	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	—
印度尼西亚沙拉巴克原油	85.5	12.4	0.68	0.35	0.13

\* 氧含量一般用减差法求得，不准确，仅供参考。

除上述5种主要元素外，在石油中还发现许多微量元素。

微量金属元素主要是钒(V)、镍(Ni)、铁(Fe)、铜(Cu)、铅(Pb)，此外还有钙(Ca)、钛(Ti)、镁(Mg)、钠(Na)、钴(Co)、锌(Zn)等。微量非金属元素主要是氯(Cl)、硅(Si)、磷(P)、砷(As)等。

### 三、石油及石油馏分的烃组成

石油是复杂的有机化合物的混合物。它包括由碳、氢两种元素组成的烃类和碳、氢与其它元素组成的非烃类。这些烃类和非烃类的结构和含量决定了石油及其产品的性质。

#### 1. 石油的烃类组成

石油中有各种不同的烃类，按其结构可分为烷烃、环烷烃、芳香烃。一般天然石油中不含有烯烃，而二次加工产物中常含有数量不等的烯烃。石油可以按烃类分子的大小、沸点的高低、相对密度的不同分割成轻重不同的馏分。其中最轻的部分是常温下为气态的天然气及油田气。液态石油可按沸点不同依次分成：<200℃的汽油馏分或称低沸点馏分，200~350℃的煤、柴油馏分或称中间馏分，350~500℃左右的润滑油馏分或称高沸点馏分。剩下最重的为近于黑色的残渣油。

##### (1) 烷烃

烷烃是组成石油的基本组分之一。石油中的烷烃总含量一般约为40%~50%(体)。在某些石油中烷烃含量则达到50~70%，然而也有一些石油的烷烃含量却只有10~15%。我国石



油的烷烃含量一般较高,随着馏分变重,烷烃含量减少。在200~300℃的中间馏分中,烷烃含量通常不超过55~61%,当馏出温度接近500℃时,烷烃含量降到19~5%或更低。

烷烃以气态、液态、固态三种状态存在于石油中。

$C_1\sim C_4$ 的气态烷烃主要存在于石油气体中。从纯气田开采的天然气主要是甲烷,其含量大约为93~99%,还含有少量的乙烷、丙烷以及氮气、硫化氢和二氧化碳等。从油气田得到的油田气除了含有气态烃类外,还含有少量低沸点的液体烃类。石油加工过程中产生的炼厂气因加工条件不同可以有很大的差别。这类气体的特点是除了含有气态烷烃外,还含有烯烃、氢气、硫化氢等。

$C_5\sim C_{11}$ 的烷烃存在于汽油馏分中, $C_{11}\sim C_{20}$ 的烷烃存在于煤、柴油馏分中, $C_{20}\sim C_{30}$ 的烷烃存在于润滑油馏分中。 $C_{16}$ 以上的正构烷烃一般多以溶解状态存在于石油中,当温度降低时,即以固态结晶析出,称为蜡。蜡又分为石蜡和地蜡。

石蜡主要分布在柴油和轻质润滑油馏分中,其分子量为300~500,分子中碳原子数为19~35,熔点在30~70℃。地蜡主要分布在重质润滑油馏分及渣油中,其分子量为500~700,分子中碳原子数为35~55,熔点在60~90℃。从结晶形态来看,石蜡是互相交织的片状或带状结晶,结晶容易;而地蜡则是细小针状结晶,结晶较困难。从化学性质看,石蜡与氯磺酸不起反应,在常温或100℃条件下,石蜡与发烟硫酸不起作用;地蜡的化学性质比较活泼,与氯磺酸反应放出HCl气体,与发烟硫酸一起作用时,经加热反应剧烈,同时发生泡沫并生成焦炭。

石蜡与地蜡的化学结构不同导致了其性质之间的显著差别。根据研究结果来看,石蜡主要由正构烷烃组成。除正构烷烃外,石蜡中还含有少量异构烷烃、环烷烃以及少量的芳香烃;地蜡则以环状烃为主体,正、异构烷烃的含量都不高。

存在于石油及石油馏分中的蜡,严重影响油的低温流动性,对石油的输送和加工及产品质量都有影响。但从另一方面看,蜡又是很重要的石油产品,可以广泛应用于电气工业、化学工业、医药和日用品等工业。

## (2) 环烷烃

环烷烃是石油中第二种主要烃类,石油中所含的环烷烃主要是环戊烷和环己烷的同系物。此外在石油中还发现有各种五元环与六元环的稠环烃类,其中常常含有芳香环,称为混合环状烃。

环烷烃在石油馏分中含量不同,它们的相对含量随馏分沸点的升高而增多,只是在沸点较高的润滑油馏分中,由于芳香烃的含量增加,环烷烃则逐渐减少。

石油低沸点馏分主要含单环环烷烃,随着馏分沸点的升高,还出现了双环和三环环烷烃等。研究表明:分子中含 $C_5\sim C_8$ 的单环环烷烃主要集中在初馏点~125℃的馏分中。石油高沸点馏分中的环烷烃包括从单环直至六元环甚至高于六元环的环烷烃,其结构以稠合型为主。

## (3) 芳香烃

芳香烃在石油中的含量通常比烷烃和环烷烃的含量少。这类烃在不同石油中总含量的变化范围相当大,平均为10~20% (重)。

芳香烃的代表物是苯及其同系物,以及双环和多环化合物的衍生物。在石油低沸点馏分中只含有单环芳香烃,且含量较少。随着馏分沸点的升高,芳香烃含量增多,且芳香烃环数、侧链数目及侧链长度均增加。在石油高沸点馏分中甚至有四环及多于四环的芳香烃。此外在石油中还有为数不等、多至5~6个环的环烷烃-芳香烃混合烃,它们也主要呈稠合型。

## 2. 石油馏分烃类组成表示法

为了进一步认识石油馏分中的烃类组成，为了满足生产和科研上对烃类组成的要求，可用以下3种方法表示石油馏分的烃类组成。

### (1) 单体烃组成表示法

单体烃组成要求提供石油馏分中每一种烃（单体化合物）含量的数据。由于石油馏分的组成十分复杂，随着馏分变重，则化合物的种类和数目也就愈多，分离和鉴定出各种单体化合物也就愈困难。所以目前单体烃组成的表示法一般只用于说明汽油馏分。

### (2) 族组成表示法

族组成表示法是以石油馏分中各族烃相对含量的组成数据来表示。这种方法简单而实用。至于分为哪些族则取决于分析方法以及分析上的要求。一般对汽油馏分的分析就以烷烃、环烷烃、芳香烃这三族烃的含量表示。如果是裂化汽油再加上一项不饱和烃。煤油、柴油以上馏分，族组成通常是以饱和烃（烷烃+环烷烃），轻芳烃（单环芳烃）、中芳烃（双环芳烃）、重芳烃（多环芳烃）等项目来表示。

### (3) 结构族组成表示法

高沸点石油馏分组成和分子结构十分复杂，往往在一个分子中同时含有芳香环、环烷环及相当长的烷基侧链，若按上述族组成表示法就很难准确说明它究竟属于哪一类烃。此时就用结构族组成来表示它们的化学组成。

这种方法是把整个石油馏分看成是由某种“平均分子”所组成。这一“平均分子”则是由某些结构单位（芳香环、环烷环及烷基侧链）所组成。馏分结构族组成情况，用“平均分子”上的环数（芳香环和环烷环）或碳原子在某一结构单位上的百分数来表示。常用符号如下：

$R_A$ ——分子中的芳香环数；

$R_N$ ——分子中的环烷环数；

$R_T$ ——分子中的总环数， $R_T = R_A + R_N$ ；

$C_A\%$ ——分子中芳香环上碳原子数占总碳原子数的百分数；

$C_N\%$ ——分子中环烷环上碳原子数占总碳原子数的百分数；

$C_R\%$ ——分子中总环上碳原子数占总碳原子数的百分数， $C_R\% = C_A\% + C_N\%$ ；

$C_P\%$ ——分子中烷基侧链上的碳原子数占总碳原子数的百分数。

为了说明这种方法，举例如下：某一复杂混合物统计意义的“平均分子”结构为：



$C_{10}H_{21}$ ，该“平均分子”中有20个碳原子，6个在芳香环上，4个在环烷环上，10

个在烷基侧链上，则：

$$C_A\% = \frac{6}{20} \times 100 = 30$$

$$C_N\% = \frac{4}{20} \times 100 = 20$$

$$C_R\% = 20 + 30 = 50$$

$$C_P\% = \frac{10}{20} \times 100 = 50$$

$$R_A=1$$

$$R_N=1$$

$$R_T=2$$

以这几个项目，就可以大致描述该分子的结构了。

石油馏分的某些物理常数（相对密度、折射率等）是与其族组成有关。在各类烃中芳香烃的相对密度和折射率最大，烷烃的相对密度和折射率最小，环烷烃介于二者之间。因此提出一种利用物理常数来测定石油馏分结构族组成的方法，其中最常用的是 $n-d-M$ 法（ $n$ 是折射率， $d$ 是相对密度， $M$ 是分子量）和 $n-d-v$ 法（ $v$ 是粘度）。

经过反复实践，人们找到了石油馏分的结构族组成与 $n$ 、 $d$ 、 $M$ 这三个物理常数之间的关系，根据这些关系作出各种列线图。因而实用上只要测得石油馏分的 $n_D^{20}$ 〔温度为 $20^\circ\text{C}$ ，钠的D线（波长 $5890\text{\AA}$ ）的折射率〕、 $d_4^{20}$ （ $20^\circ\text{C}$ 的油与 $4^\circ\text{C}$ 水密度之比）、 $M$ （平均分子量），其结构族组成查图即得。

现以求 $C_A$ 的列线图为例（用图1-1a）对其用法加以说明。图上有5条直线。根据馏分的 $d_4^{20}$ 和 $n_D^{20}$ ，在左边两条线上找到相应的两点，将其连成直线并延长与第三条线 $100V$ 相交于

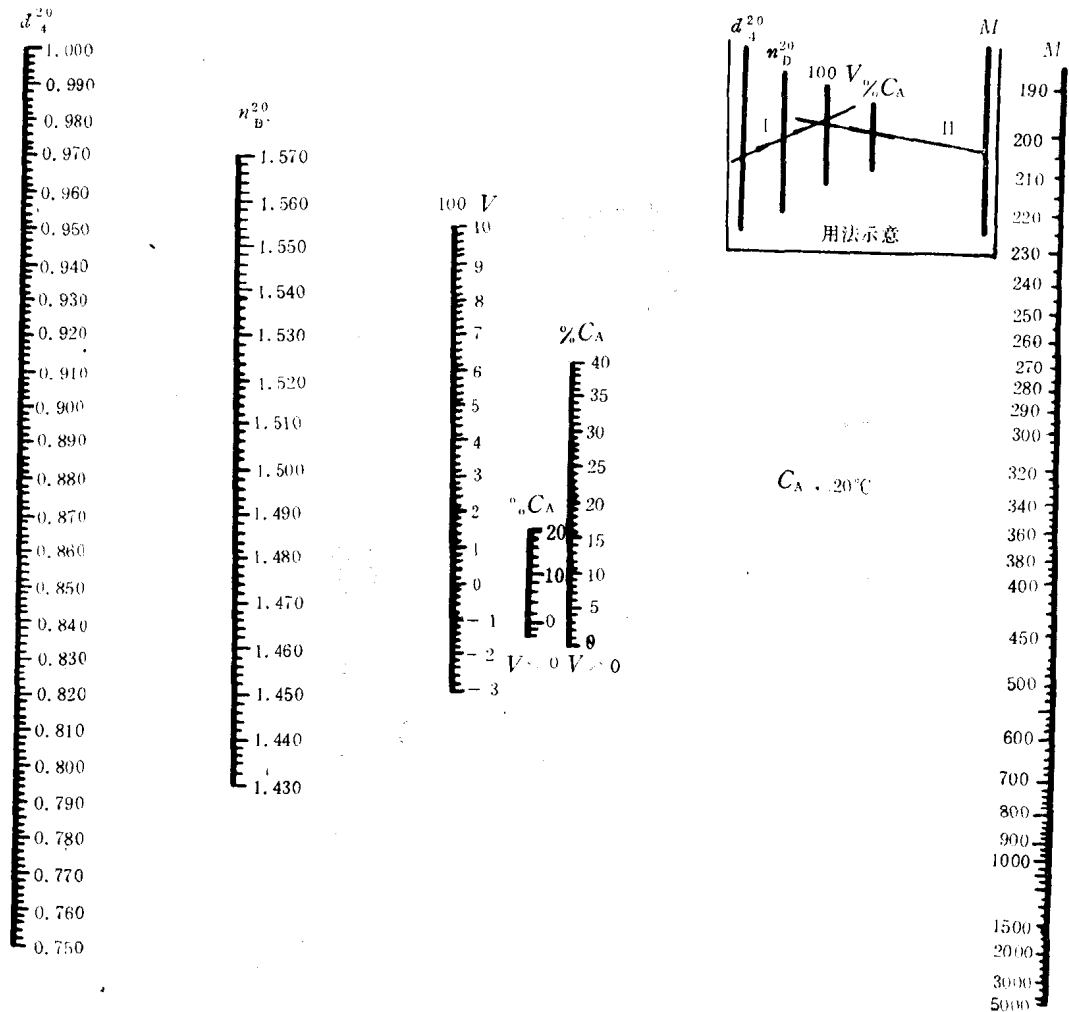


图 1-1a  $n-d-M$  法

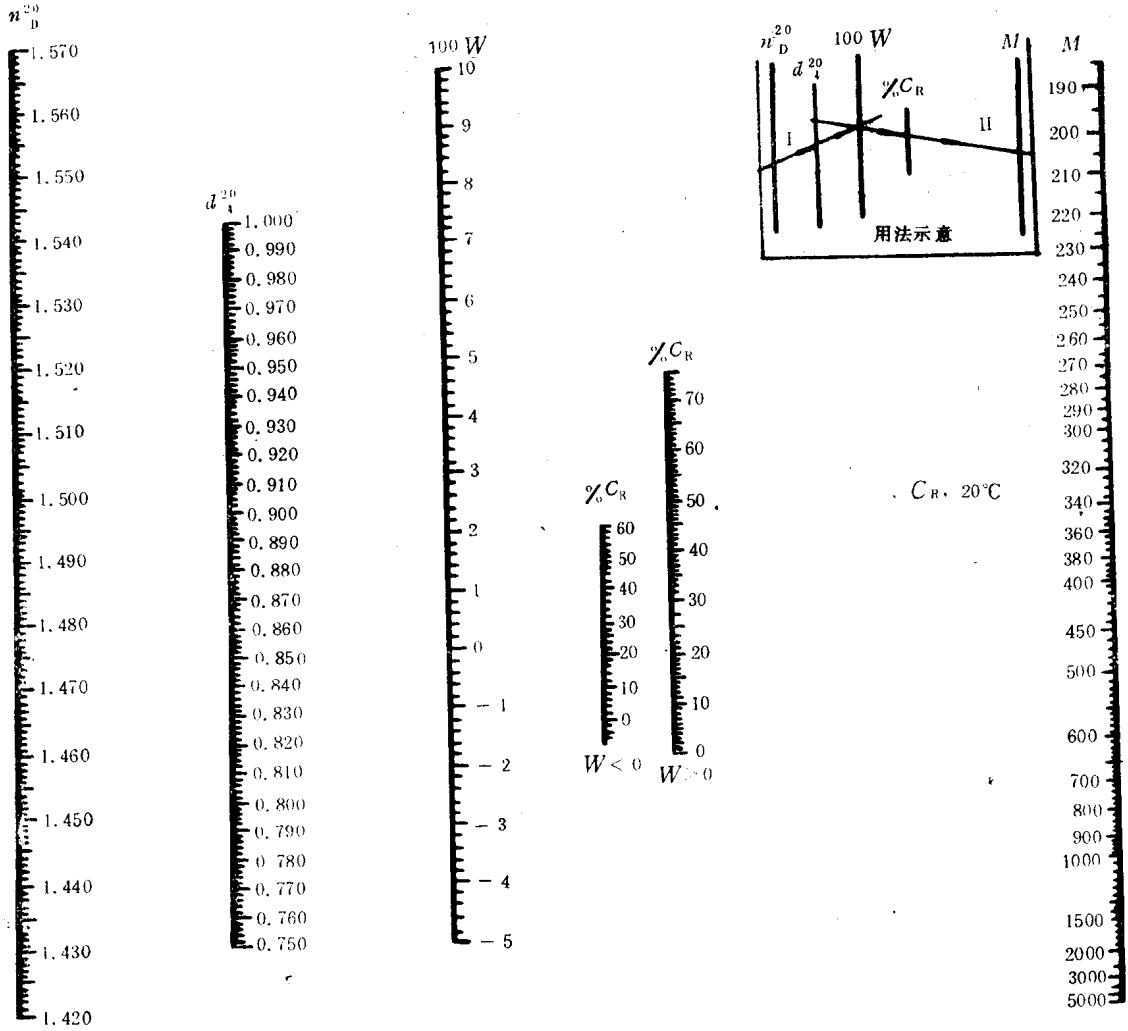


图 1-1b  $n-d-M$ 法

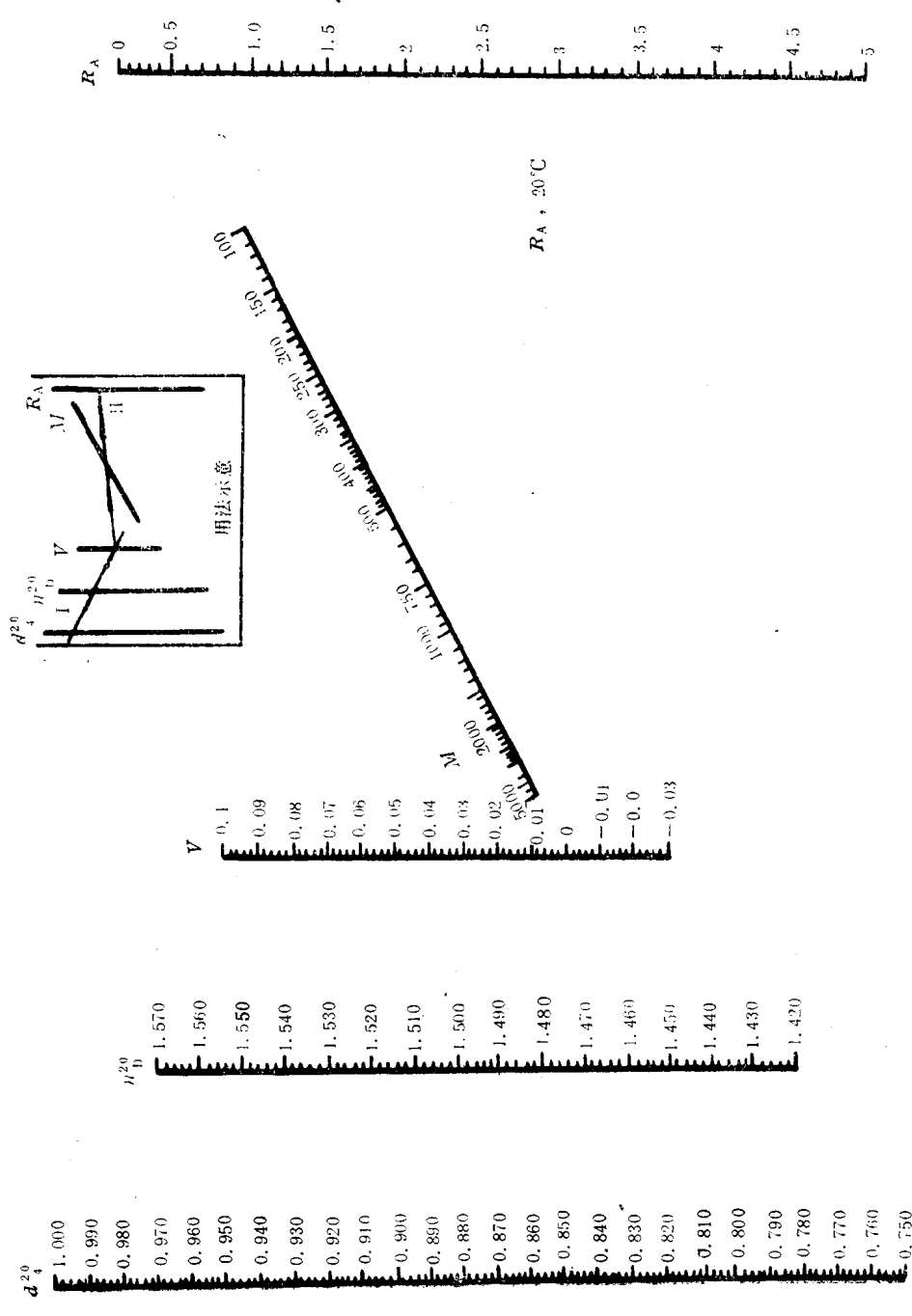


图 1-1c n-d-M法

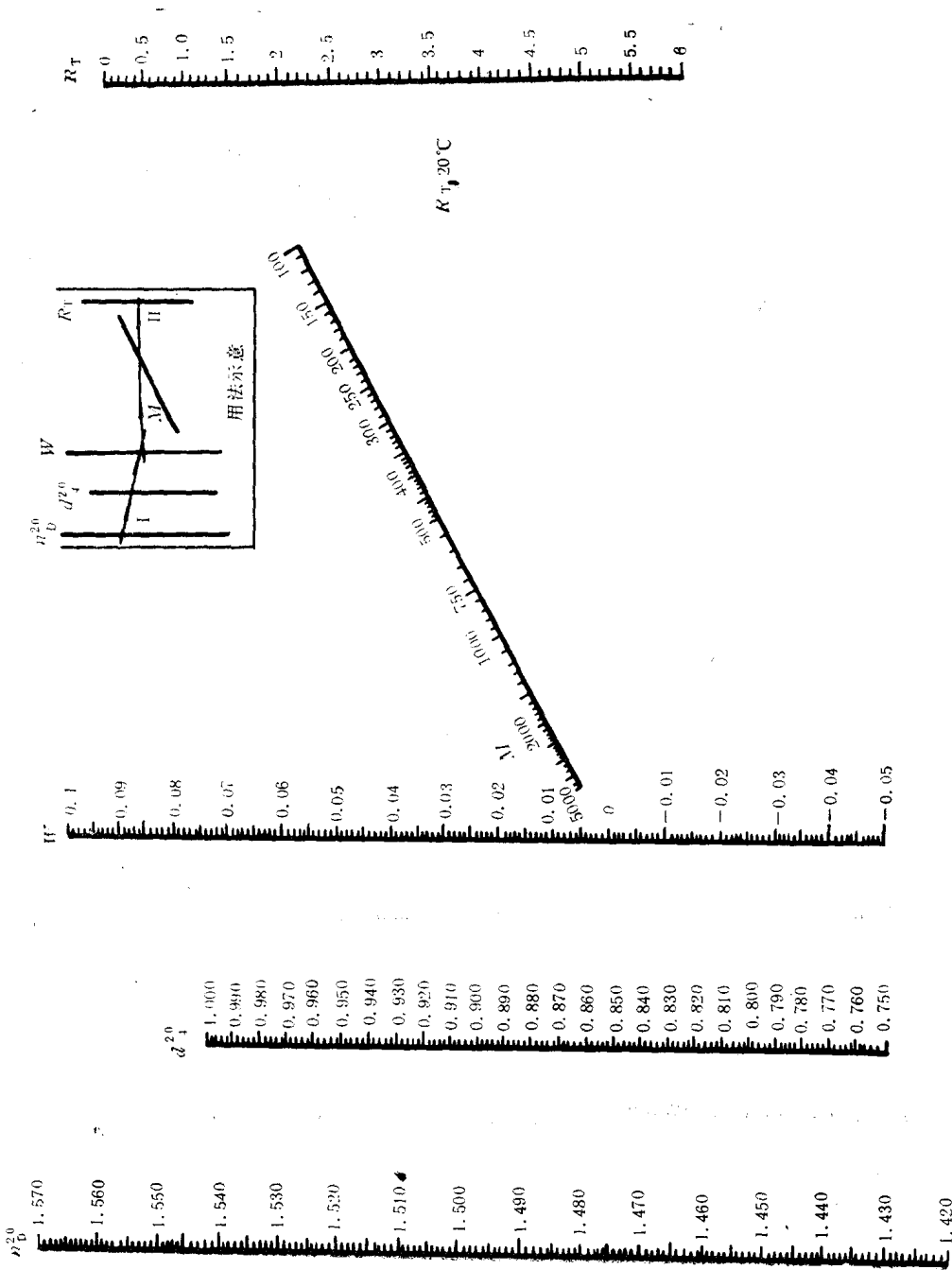


图 1-1d  $n-d-M$  法

一点 $V$ 。在最右边的线上找到代表馏分平均分子量的 $M$ 点，连接 $V$ 与 $M$ 的直线与 $C_A\%$ 的直线之交点即为该馏分的 $C_A\%$ 。

$n-d-M$ 法在实用上比较方便，此法的准确性也较高，可以适用于不同种类的石油。但是必须注意到此法的适用范围只限于具有下列条件的石油馏分：(1)  $M > 200$ ，不含不饱和烃；(2)  $R_T > 4$ ， $R_A > 2$ 或者 $C_R > 75\%$ ；(3)  $C_A/C_N > 1.5$ ；(4) 含 $S > 2\%$ ，含 $N > 0.5\%$ ，含 $O > 0.5\%$ 。这些规定是由于作为原始数据来源的石油馏分的范围而定的。目前我国各油田的直馏馏分基本上均能适用。

当馏分的凝点高于 $20^\circ\text{C}$ 时应采用另一组列线图，可参考有关工艺计算图表。

### 3. 汽油馏分的烃类组成

汽油是沸点低于 $200^\circ\text{C}$ 的馏分，分子量约为 $80\sim 140$ 。天然石油直接蒸馏所得到的汽油称为直馏汽油。

#### (1) 直馏汽油馏分的单体烃组成

表1-3所列为4种原油的直馏汽油中主要单体烃。

表 1-3 4种原油直馏汽油中主要单体烃

烃 族	单体烃名称	大 庆 60~145℃	大 港 60~153℃	胜 利 初馏~130℃	任 丘 初馏~130℃
正构烷烃	正戊烷	0.09	0.39	2.89	5.58
	正己烷	6.33	2.04	6.37	8.91
	正庚烷	13.93	4.42	8.77	8.34
	正辛烷	15.39	8.69	5.40	5.66
	正壬烷	2.17	4.78	—	1.39
异构烷烃	2-甲基戊烷	1.32 <sup>①</sup>	0.77	3.67	5.08
	3-甲基戊烷	0.76	0.67	2.68	3.13
	2-甲基己烷	1.40	1.09	2.73	2.57
	3-甲基己烷	1.83	1.25	3.06	2.60
	2-甲基庚烷	2.75	2.38	3.04	3.58
环烷烃	甲基环戊烷	2.72 <sup>②</sup>	2.08	6.21 <sup>②</sup>	4.26
	环己烷	4.75	2.57	4.35	2.60
	甲基环己烷	11.43 <sup>③</sup>	9.18	9.12 <sup>③</sup>	5.72
	1-顺-3-二甲基环己烷	} 3.66	} 4.62	} 2.88 <sup>④</sup>	2.69
	1-反-4-二甲基环己烷				—
芳香烃	苯	0.16	0.80	0.80	0.46
	甲苯	1.05	4.17 <sup>⑤</sup>	4.98	1.66
	对二甲苯	0.28	1.57	0.96	0.22
	间二甲苯	0.92 <sup>⑥</sup>	5.21 <sup>⑥</sup>	0.31	—
	邻二甲苯	0.47 <sup>⑦</sup>	0.86 <sup>⑦</sup>	0.38	—
单体烃个数		24	22	21	17
占汽油馏分，%(重)		71.41	57.56	68.60	64.53

①包括2,3-二甲基丁烷。

②包括2,2-二甲基戊烷。

③包括2,2,3,3-四甲基丁烷。

④包括1,1-二甲基环己烷。

⑤包括3,3-二甲基己烷。

⑥包括3,3,4-三甲基己烷。

⑦包括2,2,4,5-四甲基己烷。

虽然组成汽油馏分的单体烃数目繁多，但其含量确彼此相差悬殊，从表1-3中所列数据

可以看出, 仅这几种主要单体烃的含量就占该馏分总量的一半以上。如大庆60~145℃直馏汽油馏分中, 只有24种主要单体烃其含量就占该馏分总重量的71.41%; 任丘原油初馏点~130℃汽油馏分中仅有17种主要单体烃其含量也已占该馏分的64.53%。通过大量研究发现, 在绝大多数石油的汽油馏分中, 都存在类似情况。这样一个重要事实在某种程度上将会大大方便我们的研究工作, 在实用上也具有重要的意义。

从表1-3中数据还可以看出: 直馏汽油中含量最多的是C<sub>5</sub>~C<sub>10</sub>的正构烷烃及分支较少的异构烷烃; 环烷烃中环己烷类含量高于环戊烷类; 汽油馏分中芳香烃含量较少, 芳香烃中甲苯和二甲苯的含量比苯多。

### (2) 直馏汽油馏分的族组成

我国几种原油汽油馏分的族组成见表1-4。

表 1-4 我国几种原油汽油馏分的族组成

沸点范围, °C	大 庆			胜 利			大 港			孤 岛*		
	烷烃 % (重)	环烷烃 % (重)	芳香烃 % (重)	烷 烃 % (重)	环烷烃 % (重)	芳香烃 % (重)	烷 烃 % (重)	环烷烃 % (重)	芳香烃 % (重)	烷 烃 % (重)	环烷烃 % (重)	芳香烃 % (重)
60~95	56.8	41.1	2.1	52.9	44.6	2.5	51.5	42.3	6.2	47.5	51.4	1.1
95~122	56.2	39.0	4.8	45.9	49.8	4.3	42.2	47.6	10.2	36.3	59.6	4.1
122~150	60.5	32.6	6.9	44.8	43.6	11.6	44.8	36.7	18.5	27.2	64.1	8.7
150~200	65.0	25.3	9.7	52.0	35.5	12.5	44.9	34.6	20.5	13.3	72.4	14.3

\* 孤岛原油第一个馏分的沸点范围为初馏点~95℃。

从表1-4中可以看出, 在汽油馏分中, 烷烃和环烷烃占馏分的绝大多数, 而芳香烃含量一般不超过20%。就其分布规律来看, 随着沸点的升高, 芳香烃含量逐渐增多。我国各原油的直馏汽油族组成与国外几种汽油族组成分析的比较见表1-5。

表 1-5 各汽油馏分的烃族组成分析比较

原油名称及馏分沸点	烷 烃 % (重)	环 烷 烃 % (重)	芳 香 烃 % (重)
大 庆 初馏~200℃	57	39	4
胜 利 60~180℃	49	42	9
任 丘 初馏~145℃	56.1	41.6	2.3
大 港 初馏~145℃	41.1	46.9	12.0
克拉玛依 初馏~200℃	58	33	9
玉 门 初馏~200℃	61.7	29.4	8.9
科威特 40~200℃	70	21	9
米 纳 斯 16~204℃	59	40	1
美国加州惠明顿 50~210℃	35	54	11
美国宾夕法尼亚 40~200℃	70	22	8
伊 朗 45~200℃	70	21	9

从表1-5中可以看出, 我国原油中汽油的组成不但烷烃含量高, 而且环烷烃含量一般都在40%左右; 国外相当一部分原油中的汽油仅含20~22%的环烷烃。

上述均为直馏汽油馏分的烃族组成, 对于二次加工所得汽油, 其烃族组成与直馏汽油有很大差异。例如, 催化裂化汽油含有大量的异构烷烃, 正构烷烃含量比直馏汽油少得多, 芳



香烃的含量比直馏汽油有显著增加，此外还含有一定量的烯烃。

#### 4. 煤油、柴油馏分的烃类组成

煤油一般为200~300℃馏分，柴油一般为200~350℃馏分。它们中的烃类分子量约为200~300左右，烃类分子中的碳原子数比汽油高，可达20个左右。

在煤、柴油馏分中，烃类的碳原子数增多，表现在烃类的分子结构更加复杂。除了烷烃只是链上的碳原子数增多外，随着沸点的增加，环烷烃和芳香烃的环数、侧链数也会增多或是侧链增长。中间馏分的族组成分析，见表1-6。

表 1-6 中间馏分油族组成分析(色谱法)

原 油	沸点范围 ℃	族 组 成, % (重)				
		烷烃+环烷烃	轻芳烃	中芳烃	重芳烃	非 烃
孤 岛	180~300	71.21		28.44		0.35
	300~350	57.69	11.28	14.48	13.21	3.25
胜 利	328~373	71.66	10.89	7.34	8.49	1.61
大 庆	210~220	93.5	5.4	1.1	—	—
	290~300	84.8	9.9	5.3	—	—
	340~350	87.6	6.0	6.2	—	—

从表1-6中可以看出，大庆、胜利、孤岛原油的中间馏分油中，大庆油350℃以前馏分重芳烃（三环以上）含量极少；而孤岛油300~350℃馏分的重芳烃含量已相当可观（13.21%），孤岛油的特点有中、重芳烃和非烃含量均较高。

表1-7为我国大庆、大港原油的中间馏分结构族组成数据。由表中可以看出，在中间馏分中随着沸点的增加其芳香环的环数在逐渐增加，同时侧链上碳原子百分数（ $C_P\%$ ）也逐渐增加，这说明在中间馏分中，随着沸点升高，侧链上碳原子数的增加比环上碳原子数增加得还要多。

表 1-7 大庆、大港油中间馏分的结构族组成

原 油	馏分范围 ℃	结 构 族 组 成					
		$R_A$	$R_N$	$R_T$	$C_P\%$	$C_A\%$	$C_N\%$
大港原油	200~250	0.3	1.0	1.3	38.6	17.2	44.2
	250~300	0.4	1.1	1.5	50.0	17.9	32.1
	300~330	0.5	1.1	1.6	56.0	16.0	28.0
	330~360	0.16	1.0	1.6	57.6	16.8	25.6
大庆原油	200~250	0.15	0.43	0.58	68.5	6.0	25.5
	250~300	0.22	0.60	0.82	74.0	8.0	18.0
	300~350	0.28	0.58	0.86	74.5	9.0	16.5

#### 5. 高沸点馏分油的烃类组成

石油中的高沸点馏分沸点约为350~500℃，平均分子量约300以上。

表1-8为我国几种原油高沸点馏分族组成及结构族组成分析数据。在这些原油高沸点馏