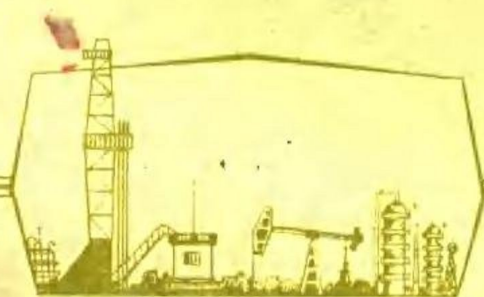


高等学校教学用书

石油炼制工程

上册

华东石油学院炼油工程教研室编



石油工业出版社

石油炼制工程

上册

华东石油学院炼油工程教研室 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书的主要内容是从石油的性质和对石油产品的要求出发, 阐述石油加工的方法、过程、设备及有关的理论。全书共分四篇, 分上下册出版, 每册各两篇。第一篇, 石油及其产品的组成和性质; 第二篇, 炼厂蒸馏过程; 第三篇, 燃料的生产; 第四篇, 润滑油的生产。本书注意了对于炼油工业有关技术基础理论的介绍, 同时也适当地介绍了在科研、生产方面最新技术的进展。

本书可供从事炼油工程技术人员阅读, 也可作为石油院校教材。

石 油 炼 制 工 程 上 册

华东石油学院炼油工程教研室 编

*

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$, 印张 26 $\frac{7}{16}$, 插页 1 字数 662 千字印数 1—8,570

1979 年 9 月北京第 1 版 1979 年 9 月北京第 1 次印刷

书号 15037·2071 定价 2.80 元

限 国 内 发 行

前 言

本书从石油的性质和对石油产品的要求出发，阐述石油加工的方法、过程、设备及有关理论。全书共分四篇，分上下册出版，每册各两篇。第一篇，石油及其产品的组成和性质；第二篇，炼厂蒸馏过程；第三篇，燃料的生产；第四篇，润滑油的生产。

在本书编写过程中，尽管我们注意了对炼油工业有关的技术基础理论的介绍，但鉴于石油是极其复杂的混合物，有关它的加工过程的问题和规律中有相当的一部分，目前尚不能从理论上完全解释清楚，在很大的程度上还依赖于实际经验的总结。因此，本书对生产和科研中所得的第一性数据和资料也作了一定的分析和介绍。在此基础上，同时也注意了介绍科研和生产上最新的进展。

本书由华东石油学院炼油工程教研室编写，并经大庆石油学院、上海化工学院、抚顺化工学院、河北工学院共同审定。参加本书编写工作的同志有阙国和、林依、周佩正、梁文杰、贾宽和、李奉孝、王廷芬、邓春森、李集田、林世雄等，由林世雄同志主编，张怀祖同志审校。

由于编者的水平所限，本书的编写中会有不少的缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编 者

一九七八年五月

目 录

第一篇 石油及其产品的组成和性质	1
第一章 石油的化学组成	2
第一节 石油化学组成概说	2
第二节 石油的烃类组成	4
第三节 石油中的非烃化合物	26
第二章 石油及油品的物理性质	36
第一节 蒸汽压、沸程及平均沸点	36
第二节 比重、密度、特性因数与分子量	48
第三节 油品的粘度	62
第四节 石油馏分的临界性质以及压缩因数和偏心因数	76
第五节 油品的热性质	88
第六节 油品的其它物理性质	97
第三章 燃料使用性能及其与组成的关系	109
第一节 汽油	109
第二节 喷气燃料(航空煤油)	123
第三节 柴油	137
第四节 重质燃料油、蜡、沥青和石油焦	147
第四章 原油性质及原油评价	155
第一节 原油的实沸点蒸馏曲线、性质曲线及产率曲线	156
第二节 原油的分类方法	160
第三节 大庆原油特性及其加工流程举例	164
第四节 胜利原油评价及其加工流程举例	172
第二篇 炼厂蒸馏过程	175
绪 论	175
第一节 蒸馏在炼油工业中的地位	175
第二节 炼油厂的各种蒸馏方式	176
第一章 汽-液平衡	181
第一节 基本概念	181
第二节 汽-液平衡相图	185
第三节 汽-液相平衡常数	191
第四节 相对挥发度	212
第五节 多元系汽-液平衡	214
第六节 复杂系汽-液平衡	225
第七节 油-水不互溶体系的汽-液平衡	252

第二章 精馏原理	260
第一节 传质概论	260
第二节 精馏过程的实质	263
第三节 精馏塔的构成	266
第四节 回流方式及设备	269
第五节 接触级	272
第六节 回流比与理论塔板数	274
第七节 塔板效率	276
第八节 关键组分与分离精确度	278
第九节 精馏过程设计计算的任务及内容	280
第十节 操作压力的确定	282
第三章 多元系精馏	284
第一节 多元系精馏的原理流程	284
第二节 多元精馏塔产品组成与收率的确定	286
第三节 绝热闪蒸	293
第四节 多元精馏计算	295
第五节 多元精馏塔的计算机计算	311
第四章 石油(复杂系)精馏	322
第一节 典型的常减压蒸馏流程	322
第二节 石油精馏塔的工艺特征	323
第三节 石油精馏塔的汽、液相负荷分布规律	326
第四节 回流方式与塔板数	331
第五节 产品质量与分馏精确度	336
第六节 产品收率的确定	340
第七节 操作条件的确定	341
第八节 石油精馏塔的工艺计算	346
第九节 减压精馏塔的工艺特征	357
第十节 催化裂化分馏塔	363
第十一节 蒸馏-催化裂化联合分馏塔	367
第十二节 板式精馏塔的工艺结构	368
第十三节 原油蒸馏流程	379
第十四节 常减压蒸馏的换热方案	383
第十五节 常减压蒸馏设备防腐蚀	396
第十六节 产生真空的方法与设备	401
第五章 原油的预处理	417
第一节 原油脱盐脱水原理	418
第二节 原油脱盐脱水工艺	420
第三节 原油电脱盐设备	423

第一篇

石油及其产品的组成和性质

研究石油及其产品的组成和性质，对于原油加工、产品的使用以及石油的综合利用等都具有非常重要的意义。

本篇内容共分四章，大都属于炼油的基础知识。学习本篇的主要目的是：了解石油及其产品的化学组成；了解油品物理性质的一般规律，初步掌握有关石油炼制及石油化工计算中一些主要图表的使用方法；了解汽油、航空煤油、柴油的主要使用性能，初步掌握油品组成与油品使用性能之间的关系；了解原油的一般性质及其评价方法以及加工方案制定的依据。

第一章 石油的化学组成

第一节 石油化学组成概说

一、石油的外观性质和元素组成

天然石油通常是淡黄色到黑色的、流动或半流动的粘稠液体，比重一般都小于1。但世界各地所产石油在性质上都有不同程度的差异。从颜色看，绝大多数石油都是黑色的，但也有暗黑、暗绿、暗褐的不同；更有一些石油是呈赤褐、浅黄，乃至无色的。以比重论，绝大多数石油的比重介于0.8~0.98之间，但也有个别例外，如伊朗某石油比重高达1.016，美国加利福尼亚州石油比重有低到0.707的。表 I-1-1 为我国一部分油田原油的比重、凝点及某些性质。

表 I-1-1 我国部分油田原油的某些性质

原油性质	大庆混合原油	胜利混合原油	大港混合原油	玉门原油	新疆克拉玛依原油	孤岛混合原油 ^①
比重, d_{4}^{20}	0.8552	0.9070	0.8896	0.8698	0.8679	0.9492
粘度, 50°C 厘沱	22.15	121.38	20.64	15.9	19.23	243.5
凝点, °C	24	20	20	8	-50	-4
残炭, %	2.7	6.60	3.5	5.1	3.7	7.81
含盐, 毫克 NaCl/升		140	74	1480	9	19.92
水分, %	0.21	0.8	1.4	6.5		1.2
酸值, 毫克 KOH/克		0.56		0.4	0.78	1.7
灰分, %	0.016	0.02	0.018		0.005	
机械杂质, %		0.045				

① 孤岛混合原油为孤岛原油与垦利原油以 7:1 混合。

石油在一定试验条件下开始失去流动性的温度称为凝点。各种原油的凝点差异很大，见表 I-1-1。我国有的原油凝点高达 36°C，而新疆克拉玛依原油凝点则低到 -50°C。

许多石油都有浓烈的气味，这是由于在它里面含有一些有臭味的硫化合物的缘故。

表 I-1-2 某些石油的元素组成

石油产地	C	H	S	N	O
大庆混合原油	85.74	13.31	0.11	0.15	
大港混合原油	85.67	13.40	0.12	0.23	
胜利	86.26	12.20	0.80	0.41	
克拉玛依	86.1	13.3	0.04	0.25	0.28
孤岛原油	84.24	11.74	2.20	0.47	
苏联杜依玛兹	83.9	12.3	2.67	0.33	0.74
墨西哥	84.2	11.4	3.6		0.80
美国宾夕法尼亚	84.9	13.7	0.5		0.9
伊朗	85.4	12.8	1.06		0.74

石油外观性质的差异是其化学组成不同的一种反映。对石油这样复杂混合物的化学组成的研究，首先是从分析其元素组成入手。表 I-1-2 是某些石油的元素组成。

由表 I-1-2 看出，组成石油的元素主要是碳、氢、硫、氮、氧。其中碳的含量占 83~87%，氢含量占 11~14%，两者合计达 96~99%，其余的硫、氮、氧及微量元素总共不过 1~4%。但是，这也就一般而言，有的石油例如墨西哥石油仅硫元素含量就高达 3.6~5.3%。大多数石油含氮量甚少，约千分之几到万分之几，但也有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可达 1.4~2.2% 左右。

除上述五种主要元素外，在石油中还发现微量的金属元素与其它非金属元素。

在金属元素中最重要的是钒(V)、镍(Ni)、铁(Fe)、铜(Cu)、铅(Pb)，此外还发现有钙(Ca)、钛(Ti)、镁(Mg)、钠(Na)、钴(Co)、锌(Zn)等。

在非金属元素中主要有氯(Cl)、硅(Si)、磷(P)、砷(As)等，它们的含量都很少。

从元素组成可以看出，组成石油的化合物主要是烃类。现已确定，石油中的烃类主要是烷、环烷、芳香这三族烃类。至于不饱和烃，在天然石油中一般是不存在的。硫、氮、氧这些元素则以各种含硫、含氧、含氮化合物以及兼含有硫、氮、氧的胶状和沥青状物质的形态存在于石油中，它们统称为非烃类。

二、石油和石油馏分

在研究石油化学组成之前首先要搞清楚有关石油馏分的一些基本概念。

在炼厂里，石油加工的第一步是初馏——初步的分馏。石油是一个多组分的复杂混合物，每个组分有其各自不同的沸点。分馏就是按照组分沸点的差别，使混合物得以分离的方法。在炼厂中通常没有必要把石油分成单个组分而是把整个石油“切割”成几个“馏分”，例如分成 < 200℃ 的馏分、200~300℃ 的馏分等等。“馏分”意即馏出的部分，它还是一个混合物，只不过包含的组分数目比原油少多了。

馏分常冠以汽油、煤油、柴油、润滑油等石油产品的名称。但必须区别，馏分并不就是石油产品，石油产品要满足油品规格的要求，因此还必须将馏分进行进一步加工，才能得到产品。同一沸点范围的馏分也可以因目的不同而加工成不同产品。例如航空煤油(150~280℃)、灯用煤油(200~300℃)，以及轻柴油(200~350℃)都包含着一段 200~280℃ 的共同馏分范围。减压塔馏出的馏分既可加工成润滑油产品，也可作为催化裂化原料油。为了统一称呼，在本篇里称 < 200℃ 为汽油馏分或低沸馏分，200~350℃ 为煤柴油馏分或称中间馏分，350℃ 至 500℃ 左右的为润滑油馏分或称高沸点馏分。

由于人们使用石油一般是将其分成馏分，然后再加工成各种产品。因此研究石油的化学组成，自然也不是把整个石油当作浑然一体，而是具体地以石油馏分作为研究对象。

在研究石油的化学组成时，我们不仅希望知道各种物质在石油中的总含量，更重要是希望知道它在各个馏分中的含量，从而掌握它的分布规律。因此采用了馏分组成(各馏分的%)与化学组成(各族化合物的%)相结合的办法来研究石油的组成。在研究中往往从不同角度来认识石油。例如，从元素组成角度了解石油中究竟存在哪些元素，其含量关系如何；从化学组成及馏分组成角度来认识石油，看看它究竟含有哪些化合物或哪些族化合物，这些化合物随馏分变化的分布情况如何；有时又从物态来分，看看其含有哪些气态、液态、固态的化合物等等。这些都是从不同侧面来观察、研究石油的组成。

为了进行更仔细的研究,有时还要在实验室的分馏设备中切割成沸点范围较窄的馏分,例如在研究汽油馏分组成时,有时又将其分为 $<60^{\circ}\text{C}$ 、 $60\sim 95^{\circ}\text{C}$ 、 $95\sim 122^{\circ}\text{C}$ 、 $122\sim 150^{\circ}\text{C}$ 以及 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 几个窄馏分。窄馏分的沸点范围取决于工作需要。

从原油直接分馏得到的馏分,称为直馏馏分,其产品为直馏产品。它们基本上保留着石油化学组成的本来面目,例如基本上不含有不饱和烃。石油直馏馏分经过二次加工(如催化裂化等)后所得的馏分与相应直馏馏分的组成就不同,例如催化裂化产物的组成中就含有不饱和烃(并非一切二次加工产物都含有不饱和烃)。

本章着重研究直馏馏分的化学组成。

第二节 石油的烃类组成

从化学组成来看,石油馏分可分为两大类,即烃类和非烃类。烃类和非烃类存在于石油的各个馏分中,但因石油的产地不同,其相互含量的差别也很大。有的石油(轻质石油),烃类含量可达90%以上,但有的石油(重质石油)烃类含量甚至低到50%左右。在同一原油中,随着沸程增高,烃类含量降低而非烃类含量逐渐增加。在最轻的汽油馏分中,非烃类含量很少,烃类占绝大部分,即使从含硫原油得到的汽油馏分,烃类含量也可达98~99%。反之,在高沸点的石油馏分及残油中,烃类含量就要少得多。下面先讨论石油(包括天然气)中的烃类。

一、石油气态烃的化学组成

石油气体主要由气态烃组成。石油气体因其来源不同,可分为天然气和石油炼厂气两大类。

天然气既可以形成纯粹的气田,也可以伴随着石油而部分地溶于石油中,形成油气田。当石油开采出来时压力下降后,这部分气体即从石油中逸出,称之为伴生气。

天然气主要是由甲烷及其低分子同系物组成的,因组成不同可分为干气(贫气)及湿气(富气)。在干气中,含有大量的甲烷和少量的乙烷、丙烷等气体。而在湿气中,除含有较多的甲烷、乙烷以外,还含有少量易挥发的液态烃如戊烷,己烷直至辛烷的蒸汽,还可能有少量的芳香烃及环烷烃存在。显然,纯气田的天然气,主要为干气。从油气田得到的天然气,因与石油分离时条件不同,既可以是干气也可以是湿气。干气和湿气之间并无严格的界限,通常以天然气中丁烷以上的液态烃(称为气体汽油)的含量来区分。若在每立方米天然气中含有低于100克气体汽油时,称为贫气。在富气中,一般含有100克以上的气体汽油,有些甚至达到700~800克。

在天然气中还经常杂有非烃气体,其中最主要的是二氧化碳。它的含量可以从千分之几到百分之几,在个别的天然气中, CO_2 的含量高达40%(体)。除二氧化碳外,氮气也是天然气的经常组成部分。在含氮的天然气中,有时也有氦的存在。氦是很有价值的惰性气体,工业上需要的氦主要来源就是天然气。在含硫石油产地的天然气中,常有硫化氢的存在,硫化氢的含量有时可达百分之一到百分之几,个别产地的天然气中硫化氢含量达百分之十几。天然气中一般不含氧,也不含氮、一氧化碳及不饱和烃。某些天然气中氧的存在是由于混入了空气的缘故。表I-1-3为我国某些气田的天然气组成。

应当注意,同一产地的天然气,它的组成并不是固定不变的,尤其是油气田的天然气,

表 I-1-3 我国某些天然气的组成, %(体)

地 区	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	CO ₂	H ₂ S
四 川							
隆昌 23 井	95.5	0.8	0.2	—	0.8	0.9	—
巴县 23 井	97.9	0.3	—	—	1.1	0.2	—
自流井	87.8	←	7.15	→	2.3	0.6	0.5
柴达木							
盐 湖	95.5	0.2	0.3	—	3.5	—	—
油砂山	70.1	9.2	5.8	4.2	9.0	—	—
玉 门	82.7	8.5	2.7	1.0	4.7	—	—
延 长	82.4	5.2	4.0	2.6	3.3	—	—
上 海							
江 湾	84.6	—	—	—	10.8	2.8	—

表 I-1-4 不同取气条件下的天然气组成, %(体)

气 体 组 成	取 自 油 气 分 离 器	取 自 井 口
甲烷(CH ₄)	81.6	64.04
乙烷(C ₂ H ₆)	8.23	7.32
丙烷(C ₃ H ₈)	4.88	5.90
异丁烷(异 C ₄ H ₁₀)	1.63	3.06
正丁烷(C ₄ H ₁₀)	1.20	3.62
正戊烷(C ₅ H ₁₂)	0.59	3.07
碳 6 组分(C ₆)	0.34	13.01
二氧化碳(CO ₂)	0.68	0.45
氮气(N ₂)	0.80	0.53

它与取气时的条件有很大的关系。表 I-1-4 表示不同取气条件下天然气的组成。

石油炼厂气的组成, 因加工条件的不同, 可以有很大区别。在石油的热裂化及催化裂化加工的气体中, 含有大量的热分解产物。这类气体的特点是除含有烷烃外, 还含有烯烃、氢气、硫化氢以及二氧化碳、一氧化碳。加工过程的温度愈高, 压力愈低, 则气体的产率愈高, 同时气体中的氢、甲烷及烯烃的含量也越多。在催化裂化的气体中则有较多的丙烷、异丁烷及正丁烷。催化重整及加氢裂化的气体中主要部分是氢气, 它的含量可达 90% 以上。

二、石油液态烃的化学组成

1. 石油馏分烃类组成的表示法

前面已谈到过石油的元素组成。对于石油馏分的烃类, 如果以元素组成来表示, 那只有 C% 以及 H%。这种烃类组成表示法似乎太简单, 远不能满足生产和科研上对烃类组成的要求。为了进一步认识石油中的烃类组成, 则另有如下三种组成表示法。

(1) 单体烃组成

它要求说明石油馏分中每一种烃(单体化合物)的含量。由于目前的分析和分离手段所限, 同时由于石油高沸点馏分中单体烃类的数目极为繁多, 而且性质也很相近, 所以目前单体烃组成的表示法一般还只限于阐述石油气及石油低沸点馏分的组成时采用。

(2) 族组成表示法

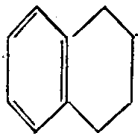
元素组成表示法太简单,而单体烃组成表示法又过于细繁,介乎这两者之间的烃类组成表示法即为族组成。族组成表示法简单而实用。至于分为若干族则取决于分析方法。一般对汽油馏分的分析就以烷、环烷、芳香烃这三族烃的含量表示。如果是裂化汽油,再加上一项不饱和烃。如果对汽油馏分要求分析更细致些,则将烷烃再分成正构和异构,环烷烃分为环己烷系和环戊烷系等。

煤油、柴油以上馏分,由于所用分析方法不同,族组成通常是以饱和烃(烷+环烷),轻芳香烃(单环芳烃),中芳香烃(双环芳烃)、重芳香烃(多环芳烃)等项目来表示。

(3) 结构族组成表示法

除了上述方法外,还有一种很有实际意义的烃类组成表示方法,称为结构族组成。

我们知道,高沸点馏分由于分子量加大、分子结构复杂,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。若再按上述族组成表示法,则准确性就值得怀疑。例如,



$C_{10}H_{21}$ 这个化合物,就很难用族组成的概念,准确地说明它究竟是属于烷族、环

烷族还是芳香族。若以结构族组成概念,我们可以认为此烃分子是由芳香环、环烷环、烷基侧链这三种结构单位组成的。这三种结构单位在分子中所占的分量,可以用芳香环上的C原子占分子总C原子数的%(C_A);环烷环上C原子占分子总C原子数的%(C_N)和烷基侧链上C原子占分子总C原子数的%(C_P)来表示。在上例中:

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

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

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

除了C原子分布百分数以外,再加上:

分子中总环数 $R_T = 2$

分子中芳香环数 $R_A = 1$

分子中环烷环数 $R_N = 1$

上述这几个项目,就可以较好地描述此分子结构了。

石油馏分中的烃类组成也可以用这种方法表示,只是在这里要把整个馏分(各种烃分子的混合物)当作一个平均分子看待,此时 C_A 、 C_N 、 C_P 、 R_T 、 R_A 、 R_N 的定义都是对平均分子而言。

2. 石油馏分中各族烃类的分布规律^(2,4,5)

各种结构不同的烃类在石油馏分中是如何分布的呢?大体上说,在汽油馏分中(低于200°C的馏分)含有 $C_5 \sim C_{11}$ 的正构烷烃;煤油、柴油馏分中(200~350°C)含有 $C_{11} \sim C_{20}$ 的正构烷烃;润滑油馏分中(350~500°C左右)含有 $C_{20} \sim C_{36}$ 左右的正构烷烃。这些是对正构烷烃而言,至于异构烷烃的沸点一般比同碳数的正构烷烃低些。对环烷烃而言,汽油馏分主要是包含单环环烷烃(但到重汽油馏分已出现少量双环环烷烃);在煤油、柴油馏分中除含有单环环烷烃外(它较汽油馏分中的单环环烷烃具有更长的侧链或更多的侧链数目),还出现了双环及三环环烷烃(在煤油、柴油重组分中已出现三环以上环烷烃);而在高沸点馏分中则包括了单、双、

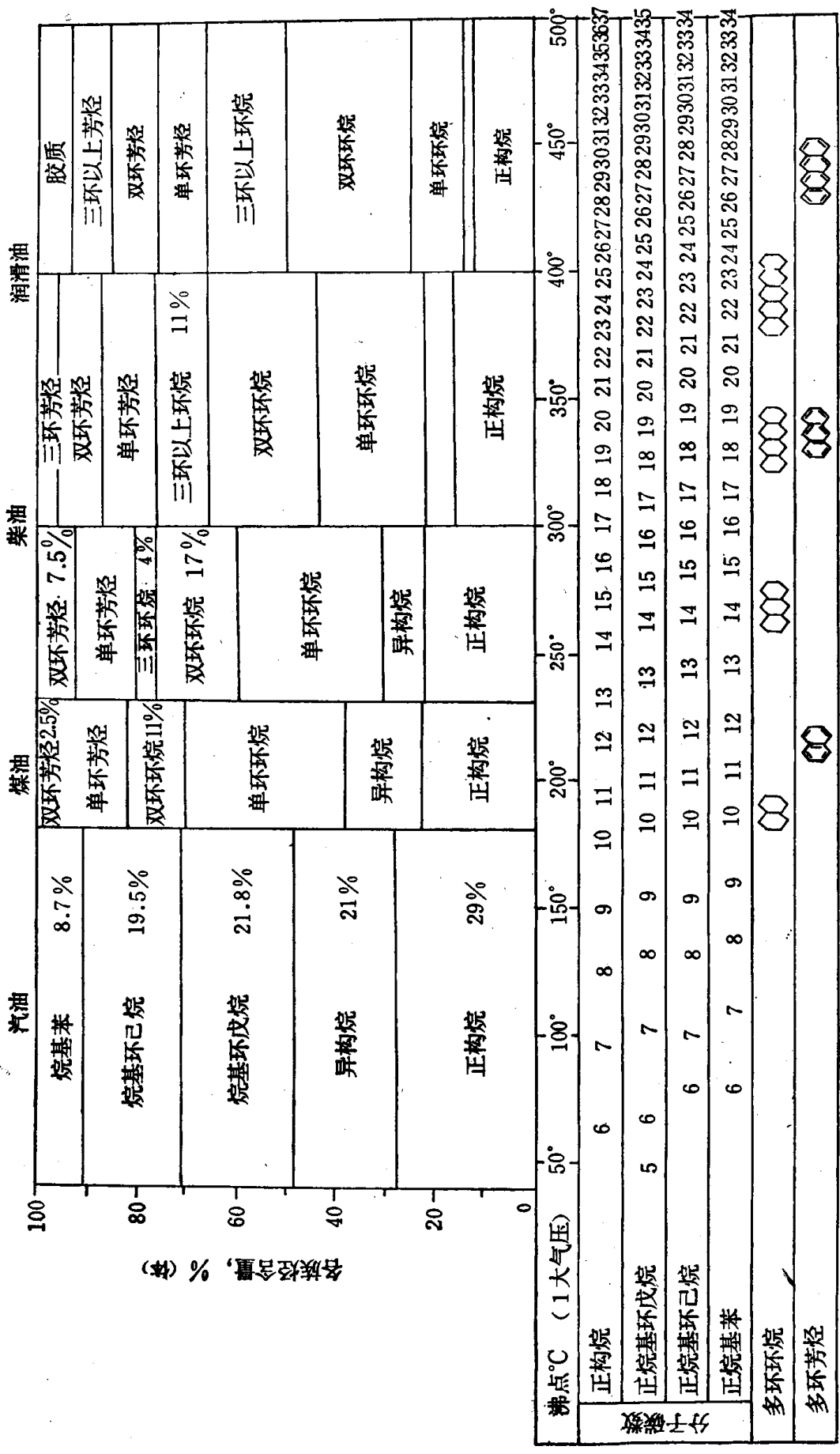


图 I-1-1 一种代表性原油各馏分中各族烃的相对含量

此种原油汽、煤、柴油各馏分油中含非烃类少，在图中未标出，自煤油至润滑油馏分都含有环烷芳烃，在图中将环烷芳烃归入各类芳烃中，未单独标出

三环及三环以上的环烷烃。就芳香烃而论，汽油馏分中主要含有单环芳烃(苯系)，但煤油、柴油乃至润滑油馏分都含有单环芳烃，只是随沸点增高其侧链增长或侧链数目增多；双环及三环芳香烃存在于煤油、柴油及更高沸点的馏分中；三环及多环芳烃主要存在于高沸馏分及残油中。总之，随着馏分沸点的增加，其分子量，C原子数以及所出现的环数均增加。图 I-1-1 是某代表性原油各馏分中各族烃的相对含量。由图 I-1-1 即可看出随馏分沸程的增加各族烃含量的上述分布规律。

3. 石油汽油馏分的烃类组成

(1) 直馏汽油馏分的单体烃组成

近 30~40 年来，由于运用了最新的物理分离及分析方法，如精密分馏、各种色谱、光谱及质谱分析等，从而对石油馏分，特别是对汽油馏分的单体烃研究取得了很大进展。我国近十几年来也对玉门、克拉玛依、大庆以及胜利等地原油的轻馏分单体烃组成作了较详细的研究，这些研究结果可以对直馏汽油馏分单体烃组成作出初步总结。^(6,7,9)

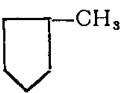
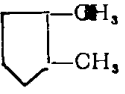

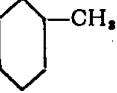
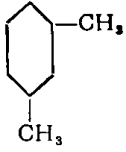
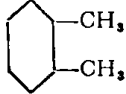
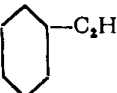
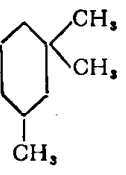
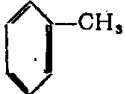
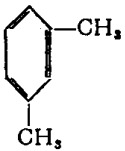
组成汽油馏分的单体烃的数目是十分繁多的，例如我国某原油的初馏点~130°C 的馏分中就已分离并鉴定出 103 个单体烃，随着馏分变重，实际所含的单体烃数目还远远超过此数。

虽然组成汽油馏分的单体烃数目繁多，但从对汽油的分析结果来看，各化合物之间的含

表 I-1-5 四种原油直馏汽油主要单体烃分析^(1,3)

烃族	单体烃名称及结构式	分子式	沸点 °C	单体烃占 <150°C 汽油馏分, % (重)			
				大庆	玉门 <155°C	克拉玛依	胜利 <130°C
正构烷烃	正己烷 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_6H_{14}	68.74	8.9	4.7	4.7	6.37
	正庚烷 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_7H_{16}	98.47	11.6	7.9	5.6	8.77
	正辛烷 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_8H_{18}	125.6	9.0	7.7	5.2	5.40
	正壬烷 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_9H_{20}	150.8		7.6		
异构烷烃	2-甲基戊烷 $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_6H_{14}	60.27	3.8	2.6	4.9	3.67
	2-甲基己烷 $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_7H_{16}	90.05	2.6		6.0	2.73
	2-甲基庚烷 $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	C_8H_{18}	117.6	2.6	4.8		3.04
	2,4-二甲基, 3-乙基戊烷 $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{C}_2\text{H}_5}{\text{CH}}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	C_9H_{20}			2.3		
	2,6-二甲基庚烷 $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	C_9H_{20}				4.4	

续表

烃族	单体烃名称及结构式	分子式	沸点 °C	单体烃占 <150°C 汽油馏分, % (重)			
				大庆	玉门 <155°C	克拉玛依	胜利 <130°C
烷基环戊烷	甲基环戊烷 	C_6H_{12}	71.8			1.4	6.21(包括2,2-二甲基戊烷)
	反 1,2-二甲基环戊烷 	C_7H_{14}	99.5		2.5		
烷基环己烷	环己烷 	C_6H_{12}	80.74	6.3	3.7	3.1	4.35
	甲基环己烷 	C_7H_{14}	100.9	8.4	10.7	5.2	9.16 (包括2,2,3,3-四甲基丁烷)
	1,3-二甲基环己烷 	C_8H_{16}	124.4	2.2		2.5	
	1,2-二甲基环己烷 	C_8H_{16}		2.3			
	乙基环己烷 	C_8H_{16}	131.7	2.3			
	1,1,3-三甲基环己烷 	C_9H_{18}	136.6	2.0	5.3	7.4	
烷基苯	甲苯 	C_7H_8	110.6		3.1	1.3	4.98
	间二甲苯 	C_8H_{10}	139.1		3.3	1.8	
主要单体烃个数占汽油, % (重) 占原油, % (重) 已鉴定单体烃个数				12	13	13	12
				62	66.2	53.5	54.64
				4.02			
					53	71	50

量相差很悬殊。在绝大多数石油的汽油馏分中, 仅仅十多个单体烃的含量就占全部所分析馏分的 50% 以上。表 I-1-5 是我国四种原油直馏汽油馏分 (150°C 或 130° 以前馏分) 中所含的

主要单体烃的数据。

由表中数据可以看出，大庆直馏汽油中仅 12 个单体烃其含量就占该汽油馏分(<150℃)重量的 62%；而玉门、克拉玛依以及胜利等相近似范围的直馏汽油馏分中，也只有 12~13 个单体烃其含量就分别占各自汽油馏分总量的 50% 以上。这个重要事实，在某种程度上无疑将大大方便了我们研究工作而且在实用上也具有意义。

由表 I-1-5 及表 I-1-6 的数据中还可以看出：在烷烃中含量较高的是正构烷烃及分枝较少的异构烷烃(如一甲基、二甲基的异构烷)，至于高度分枝的异构烷烃含量很少；汽油馏分中的环烷烃主要是六员环(环己烷系)和五员环(环戊烷系)的环烷烃，其它类型的环烷烃含量很少；在汽油馏分中的芳香烃含量一般都较少，在苯的同系物中，苯的含量都不高，而甲苯和二甲苯的量一般比苯多^(1,4)。

表 I-1-6 单体烃的结构比较⁽¹⁾

烃 族	玉		门		克 拉 玛 依			
	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
正构烷烃	4.7	7.9	7.7	7.6	4.7	5.5	5.2	0.4
异构烷烃								
一甲基	2.9	0.7	5.9		5.7	3.1	6.0	1.8
二甲基		0.5	1.2	1.4	0.9	1.9	1.3	6.1
三甲基				0.2				0.3
其它				2.3		0.4	1.7	0.5
环戊烷烃								
一甲基	0.7				1.4			
二甲基		4.6				2.5		
三甲基			3.2				1.4	
其它		0.5		0.9		0.5		0.8
环己烷烃								
环己烷	3.7				3.1			
一甲基		10.7				5.2		
二甲基			3.7				5.7	
三甲基				6.3				8.8
其它			0.1	0.4			1.0	
芳香烃								
苯	0.3				0.2			
甲 苯		3.1				1.3		
二甲苯			3.9				3.1	
其它								

(2) 直馏汽油馏分的族组成

在工业生产和科学研究工作中，需要简便而快速地分析汽油的组成。族组成分析法比单体烃分析简便得多，因此在一般情况下可采用族组成分析。汽油馏分的烃族组成分析最常用的是吸附法。它是利用汽油馏分中烷烃、环烷烃、芳香烃在硅胶吸附剂上吸附能力的不同而得以分离，分离后测定各族烃的含量即可。在测定汽油馏分的族组成时，可以取整个汽油馏分，也可以将其分割成<60℃、60~95℃(苯馏分)、95~122℃(甲苯馏分)、122~150℃(二甲苯馏分)以及 150~200℃ 这五个馏分。各馏分(除了<60℃ 的馏分以外)用硅胶吸附分离除

去芳香烃(芳香烃对硅胶吸附力比烷及环烷烃强),测定除去芳香烃前后试样的苯胺点,则根据有关公式和图表即可求出上述馏分中烷、环烷及芳香烃的含量。表 I-1-7 即为用此法所得的我国部分原油汽油馏分烃族组成数据。

表 I-1-7 我国几种石油汽油馏分的烃族组成⁽¹⁾

沸 点 范 围 °C	大 庆			胜 利			大 港			孤 岛 ^①		
	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

① 孤岛汽油这个馏分的沸点范围为初馏点~95°C。

从表 I-1-7 可以看出,在汽油馏分中,烷烃和环烷烃占馏分的绝大部分,而芳香烃含量一般不超过 20%。就其分布规律来看,随着沸点的增高,芳香烃的含量逐渐增加。芳香烃含量的这种分布规律,目前对绝大多数原油的汽油馏分都具有普遍意义。

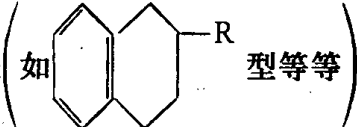
上面所谈均为直馏汽油的烃族组成。对于催化裂化、重整、焦化等二次加工产物其烃族组成与直馏产品有很大差异。对于热破坏加工所得汽油馏分(如催化裂化、热裂化、焦化等汽油馏分)大多数均含有程度不同的烯烃。此外,因各加工工艺的不同,其各族烃类含量也有差异。例如,催化裂化汽油含有较多的异构烷烃而正构烷含量比直馏汽油要少得多,芳香烃含量比直馏汽油有显著增加。而在铂重整汽油中其芳香烃含量远比直馏汽油高得多。

近年来由于色谱分析方法的广泛使用,对于 <180°C 的汽油馏分,在多数情况下都可以直接用气液色谱进行分析,做到按碳原子数目分族,而且速度快、结果准确。因此,吸附法的应用已不那么广泛。

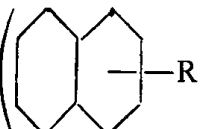
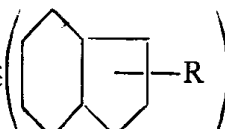
4. 石油中间馏分(煤、柴油馏分)的烃类组成

(1) 中间馏分油的烃类类型

石油中间馏分的烃类中,除了含有烷烃、单环环烷烃和单环芳香烃外,还含有双环及三环的环烷烃及双环芳烃(三环芳烃在柴油的重馏分中可能含有)。除了上述烃类外,在中间馏

分中还存在着环烷-芳香的混合烃(如  型等等)。

中间馏分中所含的烷烃、单环环烷烃及单环芳香烃与汽油馏分中这类烃的结构相似。其烷烃也包括正构及异构,单环环烷烃主要也是环己烷及环戊烷型的衍生物,单环芳烃也是苯的同系物(除烷基苯外,还包括环烷基苯型),与汽油馏分所不同点就在于烷烃的碳原子数增多,环烷和芳烃的侧链数目增多或链增长。

中间馏分中的双环环烷烃主要是十氢萘型  和茚满类  的衍