

石油高职高专规划教材

石油加工生产技术

付梅莉 于月明 刘振和 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职高专规划教材

石油加工生产技术

付梅莉 于月明 刘振和 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据高等职业教育的特点,紧密结合石油加工工业的生产实际,系统地介绍了石油及其产品的性质、原油的评价与原油蒸馏、燃料油的生产以及润滑油的生产。全书共分四篇十二章,内容全面,条理清晰,技术先进,科学性强。每章前都设有“学习目标”,每章后都附有“思考题及习题”,部分章还附有“技能训练项目”。

本书是石油高等职业技术学院相关专业的学生教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油加工生产技术/付梅莉,于月明,刘振和主编
北京:石油工业出版社,2009.2
石油高职高专规划教材
ISBN 978-7-5021-6931-2
I. 石…
II. ①付…②于…③刘…
III. 石油炼制—高等学校:技术学校—教材
IV. TE62
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 007089 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523585 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 中国石油报社 印刷厂

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15.25

字数: 386 千字

定价: 25.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

根据 2007 年 7 月石油工业出版社与石油高职高专院校教材协作组会议决定,按照关于编写石油高等职业技术学院规划教材的要求,由克拉玛依职业技术学院付梅莉、辽宁石化职业技术学院于月明、天津石油职业技术学院刘振和负责主编《石油加工生产技术》,本书可作为石油高职高专院校石油化工生产技术、炼油技术等专业学生学习石油加工知识的教学用书,也可供广大石化企业技术人员及操作人员学习、培训之用。

本书根据高等职业教育的特点,紧密结合石油加工工业的生产实际,系统地介绍了石油及其产品的组成和性质,石油产品的使用性能和规格指标,原油的评价及加工方案的确定,原油蒸馏、燃料油的生产、润滑油生产等典型工艺的基本原理、主要设备和主要操作技术,同时还对当前石油加工生产装置先进技术及发展趋势作了简要介绍。授课学时为 70~90 学时。

本书以职业活动过程为导向,以典型石油产品(燃料油、润滑油)生产为载体、以岗位操作工艺卡为任务驱动,将石油加工生产典型过程所依据的原理、生产操作方法,包括工艺流程、工艺参数调节、开停工操作、事故处理等环节编入教学内容。通过对本课程的学习,学员能对生产工艺系统进行操作;能判断与处理工艺运行过程中出现的异常现象;正确使用和维护设备仪表;读懂并能绘制工艺流程图;参与班组管理;具有化工生产安全和环保意识。

本书内容全面、条理清晰、技术先进、科学性强;每章前都设有“学习目标”,使学生明确学习本章的目的、应达到的知识和能力目标;每章后都附有“思考题及习题”,部分章附有“技能训练项目”,侧重学生综合能力的培养。

全书分四篇共十二章,其中绪论、第六章(第三、第四、第五、第六、第七节)、第七章、第十一章、第十二章(第一、第二、第三节)由付梅莉编写;第一章、第二章由刘振和编写;第三章、第四章由于月明编写;第五章、第六章(第一、第二节)由克拉玛依职业技术学院高荔编写;第八章由辽宁石化职业技术学院王红编写;第九章由天津工程职业技术学院赵春霞编写;第十章由大庆职业学院杨雪编写;第六章(技能训练项目)、第十二章(第四、第五节)由中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司张林杰编写。全书由克拉玛依职业技术学院付梅莉统稿,在编写过程中还得到了中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司及各合作院校的大力支持,在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此特向文献资料的作者一并表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有疏漏或错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2008 年 8 月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 石油及其产品的性质、分类和使用要求

第一章 石油及其产品的组成和性质	3
第一节 石油的一般性状及化学组成	3
第二节 石油及其产品的物理性质	8
思考题及习题	14
第二章 石油产品的分类和使用要求	15
第一节 石油产品的分类	15
第二节 石油燃料的使用要求	16
第三节 其他石油产品使用要求	26
技能训练项目	30
思考题及习题	38

第二篇 原油的评价与原油蒸馏

第三章 原油的分类及评价	39
第一节 原油的分类	39
第二节 原油评价	41
第三节 原油及其馏分的蒸馏曲线	46
第四节 我国主要原油性质及加工方案	50
思考题及习题	53
第四章 原油蒸馏	54
第一节 原油预处理	54
第二节 原油蒸馏工艺	56
第三节 原油蒸馏设备的腐蚀与防腐	66
第四节 原油常减压蒸馏的操作	69
第五节 原油蒸馏装置的能耗与节能	78
第六节 原油分馏塔的工艺计算	81
技能训练项目	96
思考题及习题	98

第三篇 燃料油的生产

第五章 热破坏加工	100
第一节 热破坏加工过程的基本原理	100

第二节 减粘裂化·····	102
第三节 焦炭化过程·····	104
思考题及习题·····	109
第六章 催化裂化·····	110
第一节 概 述·····	110
第二节 催化裂化化学反应原理·····	111
第三节 催化裂化催化剂·····	114
第四节 催化裂化工艺流程及主要设备·····	117
第五节 催化裂化工艺主要操作条件分析·····	125
第六节 催化裂化新工艺·····	126
第七节 催化裂化过程主要操作技术及典型故障分析·····	127
技能训练项目·····	130
思考题及习题·····	135
第七章 催化加氢·····	137
第一节 概 述·····	137
第二节 催化加氢过程的化学反应·····	139
第三节 催化加氢工艺流程·····	144
第四节 催化加氢过程的操作条件分析·····	150
思考题及习题·····	151
第八章 催化重整·····	153
第一节 概述·····	153
第二节 催化重整的化学反应·····	156
第三节 重整催化剂·····	159
第四节 催化重整原料的选择·····	164
第五节 催化重整工艺过程·····	165
第六节 芳烃抽提与芳烃精馏·····	168
技能训练项目·····	170
思考题及习题·····	173
第九章 炼厂气的综合利用·····	174
第一节 炼厂气的处理·····	175
第二节 高辛烷值汽油组分的生产·····	179
思考题及习题·····	190
第十章 燃料油品的精制·····	191
第一节 概述·····	191
第二节 酸碱精制·····	192
第三节 轻质油品脱硫醇·····	197
思考题及习题·····	201

第四篇 润滑油的生产

第十一章 概述·····	202
---------------------	------------

第一节 摩擦与润滑·····	202
第二节 润滑油·····	203
第三节 润滑油基础油·····	206
思考题及习题·····	207
第十二章 润滑油基础油的生产过程·····	208
第一节 丙烷脱沥青·····	209
第二节 溶剂精制·····	215
第三节 溶剂脱蜡·····	221
第四节 白土补充精制·····	227
第五节 加氢处理·····	229
思考题及习题·····	234
参考文献·····	235

绪 论

【学习目标】

- (1) 了解石油加工工艺的发展概况。
- (2) 熟悉国内石油加工业的发展状况。
- (3) 了解本课程的学习内容和基本要求。

(1) 石油炼制工艺的发展。

我国北魏时所著的《水经注》成书年代大约是公元 512—518 年，书中介绍了从石油中提炼润滑油的情况。这说明我国早在公元 6 世纪就萌发了石油炼制工艺。英国科学家李约瑟在有关论文中指出：“在公元 10 世纪，中国就已经有石油而且大量使用。由此可见，在这以前中国人就对石油进行蒸馏加工了。”

北宋时期，我国还建立了世界上最早的炼油车间——“猛火油作”，并开始生产经过粗加工的石油产品——“猛火油”。“猛火油作”和“猛火油”的出现，是我国古代人民长期生产实践的结果，是认识和应用石油的一个飞跃。当时的“猛火油作”，是设在京城开封的中央军器监的十个作坊之一。科学家沈括曾兼管过这个中央军器监。当时，这个军器监的规模很大，上万人在作坊从事生产。

近代石油炼制起源于 19 世纪 20 年代。从 30 年代起，陆续建立了石油蒸馏工厂，产品主要是灯用煤油，而汽油没有用途便当废料抛弃。70 年代建造了润滑油厂，并开始把蒸馏得到的高沸点油做锅炉燃料。19 世纪末内燃机的问世使汽油和柴油的需求猛增，仅靠原油的蒸馏（原油的一次加工）不能满足需求，于是诞生了以增产汽油、柴油为目的，综合利用原油各种成分的原油二次加工工艺。如 1913 年实现了热裂化，1930 年实现了焦化和催化裂化，1940 年实现了催化重整等。此后加氢技术也迅速发展，这就形成了现代的石油炼制工业。20 世纪 50 年代以后，石油炼制为化工产品的发展提供了大量原料，形成了现代的石油化学工业。1958 年，在兰州建成了我国第一座现代化炼油厂；1960 年，大庆油田的开发，为我国炼油工业的发展奠定了基础；1963 年，实现了石油产品基本自给；20 世纪 60 年代初，我国开始能自行设计炼油生产装置，先后建成常减压蒸馏、催化裂化、催化重整等炼油生产装置，基本掌握了当时世界上的一些主要的炼油工艺技术。1978 年后，由于先进技术的引进，使我国的炼油工艺技术基本或接近世界炼油技术水平。

到 1998 年全国有大小炼油厂 194 座，年原油加工能力 $2.7 \times 10^8 \text{t}$ ，生产成品油超过 $1 \times 10^8 \text{t}$ ，主要油品基本满足需要。其中，处理能力大于 $250 \times 10^4 \text{t/a}$ 的，占近 90%；2001 年，原油加工量近 $2.1 \times 10^8 \text{t}$ ，名列世界第四。汽油产量 $4124 \times 10^4 \text{t}$ ，柴油产量 $7404 \times 10^4 \text{t}$ ，煤油产量 $789 \times 10^4 \text{t}$ ，液化气产量 $1065 \times 10^4 \text{t}$ 。我国炼油能力不仅能满足各领域对轻重燃料的需求，而且完全能承担化工轻油的生产供应，对保障国民经济健康安全稳定的发展发挥了巨大作用。2006 年我国原油加工量达到 $3.06506 \times 10^8 \text{t}$ ，石油化工累计实现利润 4345 亿元。

(2) 炼油工业的发展方向。

①技术的进步将推动全球炼油工业向大型化、基地化、一体化方向发展，产业集中度将

进一步提高；

- ②清洁燃料、深度加工和油化一体化技术成为世界炼油技术发展的主要方向；
- ③炼油生产过程向清洁化方向发展；
- ④应用信息技术加快炼油传统产品的升级；
- ⑤高新技术的应用推动炼油技术的进一步发展。

(3) 本课程的学习要求。

本课程是高职院校石油化工生产技术专业和炼油技术专业的一门核心课程。《石油加工生产技术》重点介绍石油及其产品的组成和性质，石油产品的使用性能，原油的评价和加工方案，石油加工生产典型过程所依据的原理、工艺过程、操作因素分析、工艺计算方法及特殊设备等。通过学习本课程，学生应初步掌握石油及其产品的组成及其物理性质的测定方法，熟练掌握石油及石油馏分的加工过程及原理，并结合现场实习和石油加工生产装置仿真软件模拟训练，掌握石油加工生产装置的开车、停车及事故处理等操作过程，培养分析问题和解决问题的能力。

第一篇 石油及其产品的性质、分类和使用要求

第一章 石油及其产品的组成和性质

【学习目标】

- (1) 熟悉石油的一般性状、石油的元素组成、石油的族组成。
- (2) 掌握石油及其产品物理性质的概念、定义、计算及查图方法、应用。
- (3) 能分析石油及其产品的物理性质。

第一节 石油的一般性状及化学组成

一、石油的一般性状

石油主要是碳氢化合物组成的复杂混合物，其一般性状主要表现在石油的颜色、密度、流动性、气味等方面。原油是从地下开采出来的、未经加工的石油。表 1-1 列出原油的一般性状。原油的性状因产地不同而异，加工后的产品品种、产率、性质等也不尽相同。

表 1-1 原油的一般性状

性状	常规原油	特殊原油	我国原油
颜色	大部分是暗色的，从褐色至深黑色	显赤褐色、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	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	流动或半流动状的粘稠液体	个别是固体或半固体	蜡含量和凝固点偏高，流动性差
气味	有程度不同的臭味		含硫相对较少，气味偏淡

表 1-2 为我国几种原油的主要物理性质，表 1-3 为国外几种原油的主要物理性质。

表 1-2 我国几种原油的主要物理性质

原油	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
密度 (20℃), g/cm ³	0.8554	0.9005	0.9495	0.9204	0.8837	0.8466	0.8197
运动粘度 (50℃), mm ² /s	20.19	83.36	333.7	109.0	57.1	10.32	2.72
凝点,℃	30	28	2	17 (倾点)	36	33	16.5
蜡含量, % (质量分数)	26.2	14.6	4.9	9.5	22.8	19.7	18.6

续表

原 油	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
庚烷沥青质,% (质量分数)	0	<1	2.9	0	<0.1	0	0
残炭,% (质量分数)	2.9	6.4	7.4	6.8	6.7	3.8	0.90
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
氮含量,% (质量分数)	0.16	0.41	0.43	0.40	0.38	0.17	0.05
镍含量, $\mu\text{g/g}$	3.1	26.0	21.1	32.5	15.0	3.3	0.50
钒含量, $\mu\text{g/g}$	0.04	1.6	2.0	0.6	0.7	2.4	0.03

表 1-3 国外几种原油的主要物理性质

原 油	沙特阿拉伯 原油 (轻质)	沙特阿拉伯 原油 (中质)	沙特阿拉伯 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℃), g/cm^3	0.8578	0.8680	0.8716	0.8531	0.8650	0.8239	0.8559	0.8456
运动粘度 (50℃), mm^2/s	5.88	9.04	9.17	4.91	7.31	2.55	6.50 (37.8℃)	13.4
凝点,℃	-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	0.36	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、石油的元素组成

石油主要由碳、氢两种元素和硫、氮、氧以及一些微量金属、非金属元素组成。表 1-4 列出国内外部分原油的主要元素组成。

表 1-4 国内外部分原油的主要元素组成 % (质量分数)

原 油	C	H	O	S	N
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
前苏联杜依玛兹原油	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：氧含量一般用差减法求得，数值仅供参考。

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，必须予以充分的重视。

三、石油的族组成

石油的族组成包括由碳和氢两种元素组成的烃类以及碳氢和其他元素组成的非烃类。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

石油主要是由各种不同的烃类组成。石油中究竟有多少种烃，至今尚无法说明。但已确定石油中的烃类主要是由烷烃、环烷烃和芳香烃（芳烃）三种烃类构成。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数量的烯烃。

石油及其馏分中所含有的烃类类型及其分布规律，列于表 1-5。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 1-5 石油及其馏分中烃类类型及其分布规律

烃 类	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	1. C ₁ ~C ₄ 是天然气和炼厂气的主要成分； 2. C ₅ ~C ₁₀ 存在于汽油馏分（200℃）中； 3. C ₁₁ ~ C ₁₅ 存在于煤油馏分（200 ~ 300℃）中； 4. 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 (只有五员环、六员环)	环戊烷系（五员环）	单环、双环、三环及多环，并以并联方式为主	1. 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）； 2. 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； 3. 高沸点馏分中则包括了单环、双环、三环及多于三环的环烷烃
	环己烷系（六员环）		
芳香烃	单环芳烃	烷基芳烃	1. 汽油馏分中主要含有单环芳烃； 2. 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； 3. 高沸馏分及残渣油中，除含有单环芳烃、双环芳烃外，主要含有三环芳烃及多环芳烃
	双环芳烃	并联多（萘系）、串联少	
	三环稠合芳烃	非系多于蒽系	
	四环稠合芳烃	蒽系等	

2. 石油的非烃组成

石油中的非烃化合物主要指含氧、硫、氮的化合物。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的使用性能影响很大，石油加工中绝大多数精制过程的目的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，如从石油气中脱硫的同时，又可回收硫黄。

1) 含氧化合物

石油中的氧含量一般都很少，约千分之几，个别石油中氧含量高达 2%~3%。石油中的含氧化合物大部分集中在胶质、沥青质中。因此，胶质、沥青质含量高的重质石油馏分，其含氧量一般比较高。本章讨论的是胶质、沥青质以外的含氧化合物。

石油中的氧均以有机物形式存在。这些含氧化合物分为酸性氧化物和中性氧化物两类。酸性氧化物中有环烷酸、脂肪酸和酚类，总称石油酸。中性氧化物有醛、酮和酯类，它们在石油中含量极少。含氧化合物中以环烷酸和酚类最重要，特别是环烷酸，约占石油酸总量的 90%，而且在石油中的分布也很特殊，主要集中在中间馏分中（沸程为 250~350℃），而在低沸馏分或高沸馏分中含量都比较低。

纯的环烷酸是一种油状液体，有特殊的臭味，具有腐蚀性，对油品使用性能有不良影响。但是环烷酸却是非常有用的化工产品或化工原料，常用做防腐剂、杀虫杀菌剂、农用助长剂、洗涤剂、颜料添加剂等，还是合成纤维、医药、染料、炸药等的原料。油品中的含氧化合物也是通过精制手段除去。

2) 含硫化合物

硫是石油中常见的组成元素之一，不同的石油含硫量相差很大，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。由于硫对于石油加工影响极大，所以含硫量常作为评价石油的一项重要指标。

通常将含硫量高于 2% 的原油称高含硫原油，低于 0.5% 称为低硫原油（如大庆原油），介于 0.5%~2.0% 之间的称为含硫原油，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。

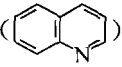
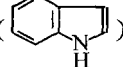
含硫化合物的主要危害：

- (1) 对设备管线有腐蚀作用；
- (2) 可使油品某些使用性能（汽油的、燃烧性、储存安定性等）变坏；
- (3) 污染环境，含硫油品燃烧后生成二氧化硫、三氧化硫等，造成大气污染，对人有害；
- (4) 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。

3) 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，大部分氮化物以胶状、沥青状物质存在于渣油中。

石油中的氮化物大多数是氮原子在环状结构中的杂环化合物，主要有吡啶（）、喹啉（）等的同系物（统称为碱性氮化物）及吡咯（）、吲哚（）等的同

系物（统称为非碱性氮化物）。石油中另一类重要的非碱性氮化物是金属卟啉化合物，分子中有四个吡咯环，重金属原子与卟啉中的氮原子呈络合状态存在。

石油中氮含量虽少，但对石油加工、油品储存和使用的影响却很大。当油品中含有氮化物时，储存日期稍久，就会使油品颜色变深、气味发臭，这是因为不稳定的氮化物长期与空气接触氧化生成了胶质。氮化物也是某些二次加工催化剂的毒物。所以，油品中的氮化物应在精制过程中除去。

4) 胶状沥青状物质

石油中的非烃化合物，大部分以胶状沥青状物质（胶质和沥青质）存在，都是由碳、氢、硫、氮、氧以及一些金属元素组成的多环复杂化合物。它们在石油中的含量相当可观，从百分之几到百分之几十，绝大部分存在于石油的减压渣油中。

胶质和沥青质的组成和分子结构很复杂，两者有差别，但并没有严格的界限。胶质一般能溶于石油醚（低沸点烷烃）及苯，也能溶于一切石油馏分。胶质有很强的着色力，油品的颜色主要来自胶质。胶质受热或在常温下氧化可以转化为沥青质。沥青质是暗褐色或深黑色脆性的非晶体固体粉末，不溶于石油醚而溶于苯。胶质和沥青质在高温时易转化为焦炭。

油品中的胶质必须除去，而含有大量胶质和沥青质的渣油可用于生产沥青，包括道路沥青、建筑沥青等。沥青是主要的石油产品之一。

四、石油的馏分组成

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。石油加工的第一步是蒸馏（或分馏），就是根据各组分沸点的不同，用蒸馏的方法把石油“分割”成几个部分，每一部分称为馏分。从原油直接分馏得到的馏分称为直馏馏分，其产品称为直馏产品。

通常把沸点小于 200℃的馏分称为汽油馏分或低沸馏分，沸点为 200～350℃的馏分称为煤油馏分、柴油馏分或中间馏分，沸点为 350～500℃的馏分称为减压馏分或高沸馏分，沸点大于 500℃的馏分称为渣油馏分。

必须注意，石油馏分不是石油产品。石油产品必须满足油品规格的要求。通常馏分油要经过进一步的加工才能变成石油产品。此外，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（喷气燃料）的馏分范围是 150～280℃，灯用煤油是 200～300℃，轻柴油是 200～350℃。减压馏分油既可以加工成润滑油产品，也可作为裂化的原料。国内外部分原油直馏馏分和减压渣油的含量列于表 1-6。

表 1-6 国内外部分原油直馏馏分和减压渣油的含量

原 油	相对密度 (d_{40}^{20})	汽油馏分 ($<200^{\circ}\text{C}$) % (质量分数)	煤油馏分、柴油馏分 ($200\sim350^{\circ}\text{C}$) % (质量分数)	减压馏分 ($350\sim500^{\circ}\text{C}$) % (质量分数)	渣油 ($>500^{\circ}\text{C}$) % (质量分数)
大庆原油	0.8635	10.78	24.02 (200～360℃)	23.95 (360～500℃)	41.25
胜利原油	0.8898	8.71	19.21	27.25	44.83
大港原油	0.8942	9.55	19.7 (200～360℃)	29.8 (360～500℃)	40.95
伊朗原油	0.8551	24.92	25.74	24.61	24.73
印度尼西亚 米纳斯原油	0.8456	13.2	26.3	27.8 (350～480℃)	32.7 ($>480^{\circ}\text{C}$)
阿曼原油	0.8488	20.08	34.4	8.45	37.07

从表 1-6 可以看出：与国外原油相比，我国一些主要油田原油中汽油馏分少（一般低于 10%），渣油含量高，这是我国原油的主要特点之一。

第二节 石油及其产品的物理性质

石油及其产品（油品）的物理性质与其化学组成密切相关。由于石油和油品都是复杂的混合物，所以它们的物理性质是所含各种成分的综合表现。与纯化合物的性质有所不同，石油和油品的物理性质往往是条件性的，离开了一定的测定方法、仪器和条件，这些性质也就失去了意义。

石油和油品性质测定方法都规定了不同级别的统一标准，其中有国际标准（ISO），国家标准（GB）、行业标准（SH）等。

一、油品的蒸发性能

石油及其产品的蒸发性能是反映其汽化、蒸发难易的重要性质，可用蒸气压、馏程和平均沸点来描述。

1. 蒸气压

在一定温度下，液体与其液面上方蒸气呈平衡状态时，该蒸气所产生的压力称为饱和蒸气压，简称蒸气压。蒸气压越高，说明液体越容易汽化。

纯烃和其他纯的液体一样，其蒸气压只随液体温度而变化，温度升高，蒸气压增大。

石油及石油馏分的蒸气压与纯物质有所不同，它不仅与温度有关，而且与汽化率（或液相组成）有关，在温度一定时，汽化量变化会引起蒸气压的变化。

油品的蒸气压通常有两种表示方法：一种是油品质量标准中的雷德（Reid）蒸气压，是在规定条件（38℃、气相体积与液相体积之比为 4 : 1）下测定的；另一种是真实蒸气压，指汽化率为零时的蒸气压。

2. 馏程与平均沸点

纯物质在一定外压下，当加热到某一温度时，其饱和蒸气压等于外界压力，此液体就会沸腾，此温度称为沸点。在外压一定时，纯化合物的沸点是一个定值。

石油及其馏分或产品都是复杂的混合物，所含各组分的沸点不同，所以在一定外压下，油品的沸点不是一个温度点，而是一个温度范围。

将一定量的油品放入仪器中进行蒸馏，经过加热、汽化、冷凝等过程，油品中低沸点组分易蒸发出来，随着蒸馏温度的不断提高，较多的高沸点组分也相继蒸出。蒸馏时流出一滴冷凝液时的气相温度叫初点（或初馏点），馏出物的体积依次达到 10%、20%、30%、…、90% 时的气相温度分别称为 10% 点（或 10% 馏出温度）、20% 点、30% 点、……、90% 点，蒸馏到最后达到的气体的最高温度叫干点（或终馏点）。从初点到干点这一温度范围称为馏程，在此温度范围内蒸馏出的部分叫馏分。馏分与馏程或蒸馏温度与馏出量之间的关系叫原油或油品的馏分组成。

在生产和科研中常用的馏程测定方法有实沸点蒸馏和恩氏蒸馏。它们不同的是：前者蒸馏设备较精密，馏出时的气相温度较接近馏出物的沸点，温度与馏出的质量分数呈对应关系；而后者蒸馏设备较简便，蒸馏方法简单，馏程数据容易得到，但馏程并不能代表油品的

真实沸点范围。所以，实沸点蒸馏适用于原油评价及制定产品的切割方案，而恩氏蒸馏馏程常用于生产控制、产品质量标准及工艺计算，例如工业上常把馏程作为汽油、喷气燃料、柴油、灯用煤油、溶剂油等的重要质量指标。

馏程在油品评价和质量标准上用处很大，但无法直接用于工程计算，为此提出平均沸点的概念，用于设计计算及其他物性常数的求定。平均沸点有五种表示方法，分别是体积平均沸点、质量平均沸点、立方平均沸点、实分子平均沸点和中平均沸点，其计算方法和用途各不相同，但都可以通过恩氏蒸馏馏程及平均沸点温度校正图求取。

二、密度、特性因数、平均相对分子质量

1. 密度

在规定温度下，单位体积内所含物质的质量称为密度，单位是 g/cm^3 或 kg/cm^3 。密度是评价石油质量的主要指标，通过密度和其他性质可以判断原油的化学组成。

我国国家标准 GB/T 1884—2000《原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）》规定， 20°C 时密度为石油和液体石油产品的标准密度，以 ρ_{20} 表示。其他温度下测得的密度用 ρ_t 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，用 d 表示。由于 4°C 时纯水的密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，常以 4°C 的水为比较标准。我国常用的相对密度为 d_4^{20} （ 20°C 时油品的密度与 4°C 时水的密度之比）；欧美各国常用的为 $d_{15.6}^{15.6}$ ，即 15.6°C （或 60°F ）时油品的密度与 15.6°C 时水的密度之比，并常用比重指数表示液体的相对密度，也称 API 度，表示为 $^\circ\text{API}$ ，它与 $d_{15.6}^{15.6}$ 的关系为：

$$^\circ\text{API} = 141.5/d_{15.6}^{15.6} - 131.5$$

与通常密度的观念相反， $^\circ\text{API}$ 数值越大，表示密度越小。油品的密度与其组成有关。同一原油的不同馏分油，随沸点范围升高密度增大。当沸点范围相同时，含芳香烃越多，密度越大；含烷烃越多，密度越小。

2. 特性因数

特性因数（ K ）是反映石油或石油馏分化学组成特性的一种特性数据，对原油的分类、确定原油加工方案等是十分有用的。

特性因数的定义为： $K = 1.216T^{1/3}/d_{15.6}^{15.6}$

式中 T ——烃类的沸点、石油或石油馏分的立方平均沸点或中平均沸点， K 。

不同烃类的特性因数是不同的。烷烃的最高，环烷烃的次之，芳香烃的最低。由于石油及其馏分是以烃类为主的复杂混合物，所以也可以用特性因数表示它们的化学组成特性。含烷烃多的石油馏分的特性因数较大，为 $12.5\sim 13.0$ ；含芳香烃多的石油馏分的较小，为 $10\sim 11$ ；一般石油的特性因数在 $9.7\sim 13$ 之间。大庆原油 K 值为 12.5 ，胜利原油 K 值为 12.1 。

3. 平均相对分子质量

石油是多种化合物的复杂混合物，石油馏分的相对分子质量是其中各组分相对分子质量的平均值，此称为平均相对分子质量（以下简称相对分子质量）。

石油馏分的平均相对分子质量随馏分沸程的升高而增大。汽油的平均相对分子质量为 $100\sim 120$ ，煤油平均相对分子质量为 $180\sim 200$ ，轻柴油平均相对分子质量为 $210\sim 240$ ，低粘度润滑油平均相对分子质量为 $300\sim 360$ ，高粘度润滑油平均相对分子质量为 $370\sim 500$ 。

石油馏分的平均相对分子质量可以从《炼油工艺计算图表集》中查取，平均相对分子质量常用来计算油品的汽化热、石油蒸气的体积、分压及石油馏分的某些化学性质等。

三、油品的流动性能

石油和油品在处于牛顿流体状态时，其流动性可用粘度来描述；当处于低温状态时，则用多种条件性指标来评定其低温流动性。

1. 粘度

粘度是评价原油及其产品流动性能的指标，是喷气燃料、柴油、重油和润滑油的重要质量标准之一，特别是对各种润滑油的分级、质量鉴别和用途具有决定意义。粘度对油品流动和输送时的流量和压力降也有重要影响。

粘度是表示液体流动时分子间摩擦而产生阻力的大小。粘稠的液体比稀薄的液体流动得慢，因为粘稠的液体在流动时产生的分子间的摩擦力较大。粘度的大小随液体组成、温度和压力不同而异。

粘度的表示方法有动力粘度、运动粘度及恩氏粘度等。国际标准化组织（ISO）规定统一采用运动粘度。

动力粘度是表示液体在一定剪切应力下流动时内摩擦力的量度，其值为所加于流动液体的剪切应力和剪切速率之比。在我国法定单位制中以帕秒（ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ）表示，习惯上用厘泊（cP）、泊（P）为单位。 $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 1000\text{cP}$ 。

运动粘度表示液体在重力作用下流动时内摩擦力的量度，其值为相同温度下液体的动力粘度与其密度之比。在法定单位制中以 m^2/s 表示。在物理单位制中运动粘度单位为 cm^2/s （斯托克斯，St），常用单位是 mm^2/s （厘斯，cSt）。 $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{cm}^2/\text{s} (\text{St}) = 10^6\text{mm}^2/\text{s} (\text{cSt})$ 。

恩氏粘度是条件性粘度，常用于表示油品的粘度。恩氏粘度是在规定条件下，从仪器中流出 200mL 油品的时间（s）与 20℃ 时流出 200mL 蒸馏水所需时间（s）的比值，以 °E 来表示。

石油及其馏分或产品的粘度随其组成不同而异。含烷烃多（特性因数大）的石油馏分粘度较小，含环状烃多（特性因数小）的粘度较大。一般地，石油馏分越重、沸点越高，粘度越大。温度对油品粘度影响很大，温度升高，液体油品的粘度减小，而油品蒸气的粘度增大。

油品粘度随温度变化的性质称为粘温性质。粘温性质好的油品，其粘度随温度变化的幅度较小。粘温性是润滑油的重要指标之一，为了使润滑油在温度变化的条件下能保证润滑作用，要求润滑油具有良好的粘温性质。油品粘温性质的表示方法常用的有两种，即粘度比和粘度指数（VI）。

粘度比最常用的是 50℃ 与 100℃ 运动粘度的比值，也有用 -20℃ 与 50℃ 运动粘度的比值，分别表示为 $\nu_{50^\circ\text{C}}/\nu_{100^\circ\text{C}}$ 和 $\nu_{-20^\circ\text{C}}/\nu_{50^\circ\text{C}}$ 。粘度比越小，粘温性越好。

粘度指数是世界各国表示润滑油粘温性质的通用指标，也是 ISO 标准。粘度指数越高，粘温性质越好。

油品的粘温性质是由其化学组成所决定的。烃类中以正构烷烃的粘温性最好，环烷烃次之，芳香烃的最差。烃类分子中环状结构越多，粘温性越差，侧链越长则粘温性越好。