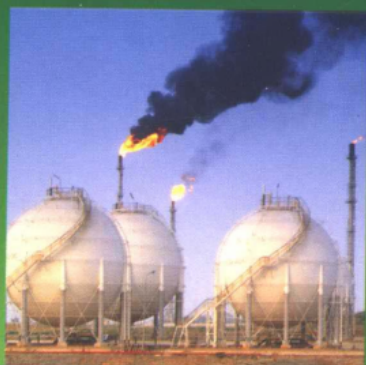




全国高职高专教育“十一五”规划教材



陈长生 主编

石油加工生产技术

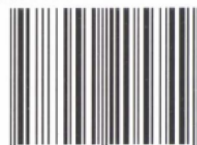


高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育国家级规划教材
高等职业教育技能型人才培养培训工程系列教材

□ 基础化学	高 琳	□ 基础化学	吴英锦
□ 化学实验技术	索陇宁	□ 化学实验技术	初玉霞
□ 无机及分析化学	叶芬霞	□ 化工原理	杨祖荣
□ 无机及分析化学实验	叶芬霞	□ 化工制图	陆 英
□ 化学分析	胡伟光	□ 化工单元操作技术	刘爱民 王壮坤
□ 化学分析实训	伍百奇	□ 反应过程与技术	周 波
□ 工业分析	王建梅 王桂芝	□ 化工生产技术	刘振河
□ 仪器分析	魏培海 曹国庆	□ 有机化工生产技术	王焕梅
□ 油品分析	王宝仁	■ 石油加工生产技术	陈长生
□ 精细有机单元反应	程忠玲 曲志涛	□ 高聚物生产技术	侯文顺
□ 精细化学品分析	牛桂玲 王英健	□ 化工设备使用与维护	马秉騫
□ 常用分析仪器使用与维护	陈 宏	□ 化工安全技术	关荐伊
□ 化工专业英语	侯 侠	□ 化工清洁生产技术概论	孙伟民

ISBN 978-7-04-020574-9



9 787040 205749 >

定价 20.30 元

全国高职高专教育“十一五”规划教材

石油加工生产技术

陈长生 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是根据最新高等职业教育化工技术类专业人才培养目标而编写的。

本书结合石油加工工业生产实际,系统地介绍了石油加工生产过程的基本知识和主要生产操作技术。主要包括: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,原油的一次加工、二次加工、三次加工的典型工艺的基本原理、工艺及主要设备和主要操作技术,并对当前石油加工生产装置先进技术及发展趋势做了简要介绍。

本书可作为高职高专院校、本科院校举办的职业技术学院化工技术类专业及相关专业教材,也可作为五年制高职、成人教育及相关专业的教材,也可供相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油加工生产技术/陈长生主编. —北京:高等教育出版社,2007.1

ISBN 978-7-04-020574-9

I. 石... II. 陈... 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(2006)第 163882 号

策划编辑 王 冰 责任编辑 袁 飞 封面设计 于 涛 责任绘图 宗小梅
版式设计 王艳红 责任校对 王 雨 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 16
字 数 390 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 1 月第 1 版
印 次 2007 年 1 月第 1 次印刷
定 价 20.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20574-00

高等职业教育化学化工类专业系列 教材编审委员会

主 任:曹克广 丁志平

副主任:李居参 张方明 杨宗伟 李奠础

委 员:(以姓氏笔画为序)

马秉骞	于乃臣	邓素萍	牛桂玲	王宝仁	王炳强
王建梅	王桂芝	王焕梅	田立忠	关荐伊	刘爱民
刘振河	刘登辉	曲志涛	孙伟民	伍百奇	许 宁
陈长生	陈 宏	初玉霞	冷士良	冷宝林	吴英绵
张正兢	张荣成	张淑新	陆 英	林 峰	周 波
胡久平	胡伟光	侯文顺	侯 侠	赵连俊	高 琳
耿佃国	索陇宁	徐瑞云	曹国庆	程忠玲	魏培海

前 言

本书是根据最新高等职业教育化工技术类专业人才培养目标,按照以必需、够用为度,重视动手能力、应用能力培养的原则而编写的。本书在编写过程中征求了来自企业专家和生产线工程技术人员意见,具有较强的实用性。

本书的编排以从原料到产品,按照原油的一次加工、二次加工、三次加工为主线,在内容的选择上坚持“实践、实用”的基本原则,突出实用性。每个典型的石油加工单元按照基本原理、工艺流程和主要典型设备、主要操作技术及典型故障分析与处理等做系统介绍,同时适当补充了石油加工工艺的新发展、新技术,并增加了部分技能实训内容,以适应培养高等技术应用型人才的需要。

本书每章前都设有“知识、能力目标”使学生明确学习本章的目的、内容、重点、应达到的要求和学习方法;每章后面附有“本章小结”,便于学生复习并系统掌握、理解本章重点内容。章末附有自测练习、思考题及习题,侧重学生应用能力的培养。每章设有课外阅读的小资料以拓宽学生的知识面。

本书由南京化工职业技术学院陈长生主编,其中:绪论,第一章,第二章第一、二、三节,第三章,第七章由陈长生编写;第四章,第五章,第六章,第八章,第九章由兰州石化职业技术学院杨兴锴编写;第二章第四、五、六、七节由兰州石化职业技术学院王理编写。本书承蒙辽宁石化职业技术学院周波主审,提出了诸多宝贵修改意见;在编写过程中还得到了高等教育出版社、中国石油化工有限公司金陵分公司及各编者所在单位相关人员的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有疏漏或错误之处,敬请同仁及读者指正。

编者

2006年9月

目 录

绪论	1	第五节 原油常减压蒸馏装置的操作	65
第一章 石油及其产品的性质	5	一、主要操作因素分析	65
第一节 石油及其产品的组成和性质	5	二、主要调节方法	67
一、石油的一般性状及化学组成	5	三、装置开停工操作方案	68
二、石油及其产品的物理性质	11	四、常见事故及处理	73
第二节 石油产品分类和石油产品的使用要求	18	第六节 蒸馏装置的能耗及节能	75
一、石油产品的分类	18	一、用能和节能基本知识	75
二、石油燃料的使用要求	19	二、原油蒸馏装置的节能途径	77
三、其它石油产品使用要求	26	* 第七节 原油分馏塔的工艺计算	78
技能训练建议	31	一、原油分馏塔工艺计算所需的基础数据和设计计算步骤	78
本章小结	33	二、原油分馏塔的物料平衡和全塔热平衡	79
自测练习	34	三、原油分馏塔的主要工艺条件的确定	81
思考题及习题	35	技能训练建议	85
第二章 原油评价与原油蒸馏	36	本章小结	86
第一节 原油的分类与原油的评价	36	自测练习	87
一、原油的分类	36	思考题及习题	87
二、原油的评价	38	第三章 催化裂化	89
三、我国主要原油性质及加工方向简介	43	第一节 催化裂化化学反应原理	90
第二节 原油预处理	47	一、单体烃催化裂化的化学反应	90
一、原油预处理的目的是	47	二、烃类催化裂化反应机理	91
二、预处理的基本原理及工艺	47	三、石油馏分的催化裂化反应特点	92
三、影响脱盐、脱水的因素	48	第二节 催化裂化催化剂	94
第三节 石油及其馏分的气液平衡	49	一、裂化催化剂的种类、组成和结构	94
一、石油及其馏分蒸馏曲线	49	二、催化剂的使用性能	95
二、三种蒸馏曲线的比较与换算	50	三、裂化催化剂的失活与再生	97
三、油水不互溶体系的气液平衡	51	四、分子筛催化剂与无定形硅酸铝催化剂比较	98
第四节 原油常减压蒸馏工艺	54	第三节 催化裂化工艺流程及主要	
一、原油常减压蒸馏工艺流程	54		
二、原油常减压蒸馏装置的工艺特征	59		

设备	99	一、原料的选择	137
一、反应-再生系统	99	二、重整原料的预处理	139
二、分馏系统	101	第五节 催化重整工艺过程	141
三、吸收稳定系统	101	一、工艺流程	141
四、催化裂化装置主要设备	103	二、重整反应的主要操作参数	144
五、渣油的催化裂化反应特征	107	三、重整反应器	147
六、催化裂化新工艺简介	108	第六节 芳烃抽提和芳烃精馏	149
第四节 催化裂化工艺主要操作		一、重整芳烃的抽提过程	149
条件分析	109	二、芳烃精馏	152
一、催化裂化反应操作的影响因素	110	本章小结	155
二、催化裂化反应-再生系统的三大		自测练习	155
平衡	111	思考题及习题	155
第五节 催化裂化过程主要操作			
技术及典型故障分析	112	第五章 催化加氢	157
一、反应-再生系统主要操作技术	113	第一节 概述	157
二、典型故障分析	115	一、催化加氢在炼油工业中的地位和	
第六节 反应-再生系统主要工艺		作用	157
计算简介	116	二、加氢技术发展的趋势	158
技能训练建议	120	第二节 催化加氢反应	159
本章小结	121	一、加氢处理反应	159
自测练习	121	二、烃类加氢反应	161
思考题及习题	122	第三节 催化加氢工艺流程	163
		一、加氢处理工艺流程	163
第四章 催化重整	123	二、加氢裂化工艺流程	168
第一节 概述	123	第四节 催化加氢过程的操作条件	
一、催化重整在石油加工中的地位	123	分析	172
二、催化重整发展简介	124	一、原料的组成和性质	172
三、催化重整原理流程	124	二、催化剂性能	172
第二节 催化重整的化学反应	125	三、工艺操作条件	175
一、重整化学反应	125	本章小结	176
二、重整反应的热力学和动力学特征		自测练习	176
及影响因素	127	思考题及习题	177
第三节 重整催化剂	128		
一、重整催化剂的组成	128	第六章 热破坏加工	178
二、重整催化剂评价	131	第一节 概述	178
三、重整催化剂使用方法及操作技术	132	一、热破坏加工过程	178
第四节 催化重整原料的选择和预		二、热破坏加工化学反应	179
处理	137	第二节 减黏裂化	180

一、原料和产品	180	一、酸碱精制的原理	204
二、减黏裂化工艺流程	181	二、酸碱精制工艺流程	206
三、影响减黏裂化的因素	182	三、酸碱精制操作条件的选择	206
第三节 焦炭化	183	第二节 轻质油品脱硫醇	207
一、原料和产品	183	一、脱硫醇的方法	207
二、延迟焦化工艺流程	184	二、催化氧化脱硫醇法	208
三、影响延迟焦化的主要因素	185	本章小结	209
本章小结	187	自测练习	209
自测练习	187	思考题及习题	210
思考题及习题	188		
第七章 石油气体加工	189	* 第九章 润滑油的生产	211
第一节 气体精制	189	第一节 概述	211
一、干气脱硫	189	一、摩擦和润滑的基本概念	211
二、液化气脱硫醇	190	二、润滑油的基本特性	212
第二节 气体分馏	191	三、润滑油分类和规格	213
一、气体分馏的基本原理	191	第二节 溶剂脱沥青	218
二、气体分馏的工艺流程	192	一、溶剂脱沥青的原理	218
第三节 烷基化	192	二、溶剂脱沥青的工艺流程及影响 因素	220
一、烷基化反应原理	193	第三节 润滑油的溶剂精制	225
二、烷基化催化剂	193	一、溶剂精制原理	225
三、烷基化工艺流程及操作条件	194	二、溶剂精制工艺流程及影响因素	226
第四节 叠合	195	第四节 润滑油溶剂脱蜡	231
一、叠合过程的反应	195	一、溶剂脱蜡原理	231
二、叠合催化剂	196	二、溶剂脱蜡工艺流程及影响因素	232
三、叠合工艺流程及操作条件	196	第五节 润滑油的补充精制	237
第五节 甲基叔丁基醚工艺	198	一、白土精制	237
一、合成 MTBE 的基本原理	198	二、加氢精制	239
二、合成 MTBE 的工艺流程	198	本章小结	241
三、MTBE 生产新技术	199	自测练习	243
本章小结	201	思考题及习题	243
自测练习	201		
思考题及习题	202	附录 石油加工生产技术课程参考 教学大纲	244
第八章 燃料油品的精制	203	参考文献	247
第一节 酸碱精制	204		

绪论

石油又称原油,是从地下深处开采的棕黑色可燃黏稠液体。最早提出“石油”一词的是公元977年中国北宋编著的《太平广记》。正式命名为“石油”是根据中国北宋杰出科学家沈括(1031—1095年)在所著《梦溪笔谈》中所描写的这种油“生于水际砂石,与泉水相杂,惘惘而出”而命名的。在“石油”一词出现之前,国外称石油为“魔鬼的汗珠”、“发光的水”等,中国称“石脂水”、“猛火油”、“石漆”等。

我们平时的日常生活中到处都可以见到石油或其附属品的身影,比如汽油、柴油、煤油、润滑油、沥青、塑料、纤维等还有很多,这些都是从石油中提炼出来的。日常生活中所用的天然气是从专门的气田中产出的,通过输气管道和气站再到各家各户。

目前就石油的成因有两种说法:①无机论,即石油是由水和二氧化碳与金属氧化物发生地球化学反应而生成的;②有机论,即各种有机物如动物、植物,特别是低等的动植物像藻类、细菌、蚌壳、鱼类等死后埋藏在不断下沉缺氧的海湾、泻湖、三角洲、湖泊等地经过许多物理化学作用,最后逐渐形成石油。

从寻找石油到利用石油,大致要经过四个主要环节,即寻找、开采、输送和加工,这四个环节一般又分别称为“石油勘探”、“油田开发”、“油气集输”和“石油炼制”。

“石油勘探”有许多方法,但地下是否有油,最终要靠钻井来证实。一个国家在钻井技术上的进步程度,往往反映了这个国家石油工业的发展状况,因此,有的国家竞相宣布本国钻了世界上第一口油井,以表示他们在石油工业发展上迈出了最早的一步。

“油田开发”指的是用钻井的办法证实了油气的分布范围,并投入规模化的生产。从这个意义上说,1821年四川富顺县自流井气田的开发是世界上最早的天然气田。

“油气集输”技术也随着油气的开发应运而生,公元1875年左右,自流井气田采用当地盛产的竹子为原料,去节打通,外用麻布缠绕涂以桐油,连接成我们现在所称的“输气管道”,总长二、三百里,在当时的自流井地区,绵延交织的管线翻越丘陵,穿过沟涧,形成输气网络,使天然气的应用从井的附近延伸到远距离的盐灶,推动了气田的开发。

至于“石油炼制”,起始的年代还要更早一些,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。英国科学家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,说明早在公元6世纪我国就萌发了石油炼制工艺。

一、石油炼制工业在国民经济中的地位

石油炼制工业是国民经济最重要的支柱产业之一,是提供能源,尤其是交通运输燃料和有机化工原料的最重要的工业。据统计,目前全世界总能源需求的40%依赖于石油产品,汽车、飞

机、轮船等交通运输器械使用的燃料几乎全部是石油产品;有机化工原料,如三烯(乙烯、丙烯、丁烯)、三苯(苯、甲苯、二甲苯)、一炔(乙炔)等基础有机原料,主要也是来源于石油炼制工业,世界石油总产量的10%左右用于生产有机化工原料;同时,石油也是提取润滑油的主要原料,各种机械设备需要用润滑材料来防止机械磨损和节省动力消耗,量大、面广的各种润滑油、脂,都是从石油中提取的,目前世界石油总产量的2%左右用于生产润滑油。

从石油加工的石油产品种类繁多,市场上各种牌号的石油产品多达1 000种以上,大体上可以分为以下几类:

- (1) 燃料:如各种牌号的汽油、航空煤油、柴油、重质燃料油等。
- (2) 润滑油:如各种牌号的内燃机油、机械油、仪表用油等。
- (3) 有机化工原料:如生产乙烯的裂解原料、各种芳烃和烯烃等。
- (4) 工艺用油:如变压器油、电缆油、液压油等。
- (5) 沥青:如各种牌号的道路沥青、建筑沥青、防腐沥青、特殊用途沥青等。
- (6) 蜡:如各种食用、药用、化妆品用、包装用的石蜡和地蜡。
- (7) 石油焦炭:如电极用焦、冶炼用焦、燃料焦等。

从上述石油产品品种之多和用途之广,也可以看到石油炼制工业在国民经济和国防中的重要地位。

二、石油炼制工业的发展概况

石油的发现、开采和直接利用由来已久,加工利用并逐渐形成石油炼制工业始于19世纪30年代,到20世纪40~50年代形成的现代炼油工业,是最大的加工工业之一。19世纪30年代起,陆续建立了石油蒸馏工厂,如1823年,俄国杜比宁三兄弟建立了第一座釜式蒸馏炼油厂。1860年,美国B. Siliman建立了原油分馏装置,这些可以看作是炼油工业的雏形,产品主要是灯用煤油,汽油没有用途当废料抛弃。19世纪70年代建造了润滑油厂,并开始把蒸馏得到的高沸点油作锅炉燃料。19世纪末内燃机和汽车的问世,使汽油和柴油的需求猛增,仅靠原油的蒸馏(即原油的一次加工)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。例如,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,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。20世纪60年代,以分子筛催化剂为代表的催化新材料得到应用。70年代以后,计算机应用技术、过程系统优化技术在炼油工业中也得到广泛的应用。据1998年统计,全世界的石油加工能力为38亿吨,世界炼油厂共有671个,平均规模为533万吨/年。在美国千万吨级的炼油厂有25个,占美国原油总加工能力7.7亿吨/年的41.7%。世界上扩建的最大的炼油厂处理能力为3 848万吨/年(韩国石油公司的蔚山炼厂)。

中国的炼油工业起步较迟,虽然在1907年就建立了陕西延长石油官矿局炼油房,采用卧式蒸馏釜,每釜加工原油3 600 kg,每天得到灯油450 kg;1909年新疆独山子开采出原油,在乌鲁木齐进行釜式炼油;1941年成立甘肃油矿局,下设炼油厂,建起了常减压蒸馏及热裂化炼油装置。但是直到1949年,全国仅有几个小规模炼油厂,原油加工能力只有17万吨/年,当年加工原油11.6万吨,生产12种石油产品。新中国成立以后,1949—1959年为我国炼油工业的恢复

和初步发展时期,以西部为主,建立了上海、克拉玛依、冷湖和兰州炼油厂,1958年在兰州建立了我国第一座现代化的处理量为100万吨/年的燃料-润滑油综合型炼油厂,到1959年,我国原油加工能力达到579万吨/年,实际加工395.6万吨,石油产品种数达到309个,石油产品的自给率达到40%。1960—1965年我国炼油工业为发展调整阶段,新建了大庆、南京等大型炼油厂,改造扩建了部分小型炼油厂,并将过去生产和加工人造石油的炼油厂改造为加工天然石油。1965—1978年我国炼油工业为大发展阶段,建立了催化裂化、延迟焦化、催化重整、尿素脱蜡等装置。到1978年,我国原油加工能力增加到9291万吨/年,实际加工能力达7069万吨/年,产品种类达656种。1978年以后我国炼油工业进入了改革、改组、发展阶段,到2005年,我国炼油总加工能力达到了2.8亿吨/年,位居世界第二位,催化裂化加工能力约占总加工量的36%,仅次于美国,位于世界第二位,炼油技术水平也已进入世界先进行列。21世纪,我国将选择市场潜力大和地缘条件好的区域,通过改造或新建,建设具有国际规模、国际水平的大型炼油基地群,如茂名、镇海、齐鲁、福建、南京等,在2010年前形成1000~2000万吨/年能力的五大炼油基地。到21世纪中叶,我国将至少需要建设10个2000~5000万吨/年加工能力的特大型炼油基地。这些炼油基地不仅是含硫原油加工重点基地,也是向化工企业辐射的大型化工原料基地。

综观炼油技术发展的历史,促进炼油技术发展的最基本的动力是如何从具有一定的性质、组成的原油生产出能满足不断发展的质量要求和数量要求的石油产品。科学技术的发展和社会进步对促进炼油技术发展起了重要的作用,近十余年,炼油技术发展中有几个重要的趋势值得重视:

(1) 重质油轻质化技术日益受到重视。其背景是世界石油市场的原油品质在近十余年明显变重,原油中的轻质馏分含量减少。国产原油多数偏重,多数原油含 $>500^{\circ}\text{C}$ 的减压渣油达40%~50%,而且国产原油在数量上也日益不能满足高速发展的国民经济的需要。

(2) 环境保护的要求逐渐成为推动炼油技术发展的一个新的、重要的动力。我国经济持续高速增长、人口基数庞大、自然资源大量消耗、区域发展不平衡等,均对21世纪的环境与发展造成巨大的压力,也对未来炼油工业的发展提出了严峻挑战。从世界范围来看,环境保护将会对炼油技术提出越来越高的要求。

(3) 石油化学工业的发展将会在原料的品种和数量上对炼油工业提出更多的要求。从炼油厂本身来说,为了充分利用原油资源和提高经济效益,也需更多地与石油化工相结合,对炼油厂的产品和副产品进行化工综合利用。

(4) 计算机技术的应用对提高炼油技术水平的作用日益重要。

三、石油加工生产技术课程的内容体系和学习方法

石油加工是指将原油经过分离和反应,生产燃料油(如汽油、航空煤油、柴油、燃料油、液化石油气等)、润滑油、化工原料(如苯、甲苯、二甲苯等)及其它石油产品的过程。《石油加工生产技术》重点介绍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。它是石油化工专业和炼油技术专业的主要课程之一,是在现代基础化学、化工原理、物理化学等课程的基础上开设的,是一门理论指导实践、实践依赖于理论的课程。

本门课主要内容分为两大部分,第一部分介绍石油及其产品的化学组成以及油品的质量指标与产品规格;第二部分介绍石油加工的主要工艺过程,包括原油的评价及蒸馏、催化裂化、催化

重整、催化加氢、热加工等主要工艺原理、工艺过程、操作条件及操作技术、主要设备及简单工艺计算等。教材中同时也对部分三次加工过程(如石油气体加工)及润滑油的生产做了简要介绍,供不同学制、不同专业的学生选学。

石油加工工艺是一门应用性、实践性较强的工艺技术,且新工艺、新技术发展较快,因此学习中必须做到理论联系实际,既要重视实践经验的总结,更要重视应用所学的理论分析生产中的现象、处理生产中出现的各种问题,用理论指导生产实践。

第一章 石油及其产品的性质

知识目标:

- 了解石油一般性状、元素组成、烃类组成、馏分组成和非烃类组成;
- 了解石油产品的分类;润滑油、沥青、石蜡、石油焦等石油产品的规格指标以及它们与产品组成之间的关系;
- 了解各类型发动机的工作原理;
- 熟悉石油及其产品的一般物理性质;
- 初步掌握我国原油主要特点;
- 掌握汽油、柴油、航空煤油等石油燃料的性能指标,使用要求,产品质量标准等。

能力目标:

- 能根据各类原油及产品评价的物性数据,分析归纳出其各自的特点并确定其加工方案;
- 能分析原油及其产品中各种元素、烃类或非烃类化合物的存在,对其产品质量或加工过程的影响;
- 能根据石油燃料产品的质量分析相应发动机工作状况。

原油是从地下开采出来的、未经加工的石油。原油经炼制加工后得到各种燃料油、润滑蜡、沥青、石油焦等石油产品。了解石油及其产品的化学组成和物理性质,对于原油加工、产品使用以及石油的综合利用等具有重要意义。

第一节 石油及其产品的组成和性质

一、石油的一般性状及化学组成

(一) 石油的外观性质

石油是碳氢化合物的复杂混合物,其外观性质主要表现在石油的颜色、密度、流动性、气味上,表 1-1 列出了各类原油的主要外观性质。由于世界各地所产的石油在化学组成上存在差异,因而其外观性质上也存在不同程度的差别。

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。

(二) 石油的元素组成

对于石油这样复杂的混合物的组成研究,首先是从分析其元素组成入手,表 1-4 是国内外某些原油中一些主要元素的含量,从表中可以看出,石油主要由碳、氢两种元素以及硫、氮、氧以及一些微量金属、非金属元素组成。表 1-5 列出它们的元素组成的质量分数。

表 1-1 各类原油的主要外观性质

性状	影 响 因 素	常 规 原 油	特 殊 原 油	我 国 原 油
颜色	胶质和沥青质含量越多,石油的颜色越深	大部分石油是黑色,也有暗绿或暗褐色	显赤褐、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	胶质、沥青质含量多,石油的相对密度就大	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	常温下石油中含蜡量少,其流动性好	一般是流动或半流动状的黏稠液体	个别是固体或半固体	蜡含量和凝固点偏高,流动性差
气味	含硫量高,臭味较浓	有程度不同的臭味		含硫相对较少,气味偏淡

表 1-2 我国几种原油的主要物理性质

原 油 名 称	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	鲁宁管输原油
密度(20℃) $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.855 4	0.900 5	0.949 5	0.920 4	0.883 7	0.846 6	0.819 7	0.893 7
运动黏度(50℃) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	20.19	83.36	333.7	109.0	57.1	10.32	2.72	37.8
凝固点/℃	30	28	2	17(倾点)	36	33	16.5	26.0
蜡含量(质量分数)/%	26.2	14.6	4.9	9.5	22.8	19.7	18.6	15.3
庚烷沥青质(质量分数)/%	0	<1	2.9	0	<0.1	0	0	0
残炭(质量分数)/%	2.9	6.4	7.4	6.8	6.7	3.8	0.90	5.5
灰分(质量分数)/%	0.002 7	0.02	0.096	0.01	0.009 7	—	0.014	—
硫含量(质量分数)/%	0.10	0.80	2.09	0.24	0.31	0.52	0.03	0.80
氮含量(质量分数)/%	0.16	0.41	0.43	0.40	0.38	0.17	0.05	0.29
镍含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	3.1	26.0	21.1	32.5	15.0	3.3	0.50	12.3
钒含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.04	1.6	2.0	0.6	0.7	2.4	0.03	1.5

表 1-3 国外几种原油的主要物理性质

原油名称	沙特原油 (轻质)	沙特原油 (中质)	沙特原油 (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	印尼原油 (米纳斯)
密度(20℃) $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.857 8	0.868 0	0.871 6	0.853 1	0.865 0	0.823 9	0.855 9	0.845 6
运动黏度(50℃) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	5.88	9.04	9.17	4.91	7.31	2.55	6.50 (37.8℃)	13.4
凝固点/℃	-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

表 1-4 国内外部分原油的主要元素组成

元素组成 原油名称	C 的质量 分数/%	H 的质量 分数/%	O 的质量 分数/% *	S 的质量 分数/%	N 的质量 分数/%
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

* 氧含量一般用差减法求得的近似值,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,必须充分予以重视。

表 1-5 原油中元素组成的质量分数

原油元素组成	常规原油中元素含量 *	特殊原油	我国原油
主要元素(C、H)	C:83%~87% H:11%~14% 合计:96%~99%		H/C 原子比高,油品轻 油收率高
少量元素(S、N、O)	S:0.06%~0.8% N:0.02%~1.7% O:0.08%~1.82% 合计:1%~4%	委内瑞拉(博斯坎)原油含硫量高达 5.7%;阿尔及利亚原油含氮量高达 2.2%	含 S 量偏低,多数 <1% 含 N 量偏高,多数 >0.3%
微量金属、非金属元素 (30 余种)	金属元素和非金属元素 含量甚微,大约在 10^{-6} ~ 10^{-9} 级		大多数原油 Ni 多, V 少

* 含量均为质量分数。

(三) 石油的烃类组成

石油主要是由各种不同的烃类组成的。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、环烷烃和芳烃这三种烃类构成。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。

1. 烃类类型及分布规律

石油及其馏分中所含有的烃类类型及其分布规律,列于表 1-6 中,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 1-6 石油及其馏分中烃类类型及其分布规律

烃类类型	结 构	特 征	分 布 规 律
烷 烃	正构烷烃(含量高)	$C_1 \sim C_4$: 气态	1. $C_1 \sim C_4$ 是天然气和炼厂气的主要成分; 2. $C_5 \sim C_{10}$ 存在于汽油馏分(200℃)中; 3. $C_{11} \sim C_{15}$ 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,且带有二个或三个甲基的多)	$C_5 \sim C_{15}$: 液态 C_{16} 以上为固态	
环 烷 烃 (只有五元、六元环)	环戊烷系(五碳环)	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(六碳环)		