



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系系列精品教材
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车运行材料

第③版

Automobile Operating Material

主 编 ◎ 戴汝泉

副主编 ◎ 郝晨声



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车运行材料

第3版

主 编 戴汝泉
副主编 郝晨声
参 编 臧发业 赵长利 郁大同
刁立福 骆 勇



机械工业出版社

本书为“十三五”国家重点出版物出版规划项目。

本书主要针对汽车运行材料的主要使用性能、评价指标或方法、特点、规格、质量标准、选用技术、新的质量和性能发展趋势，以及其合理使用对车辆性能的影响等进行论述，共 11 章，主要内容包括车用汽油、车用轻柴油、车用替代燃料、发动机润滑油、车辆齿轮油、汽车液力传动油、车用润滑脂、汽车制动液、液压系统用油、车用其他工作液、汽车轮胎等。

本书可作为高等学校相关专业教材，也可供从事汽车行业的管理人员、工程技术人员和汽车使用者参考。

本书配有 PPT 课件，免费赠送给采用本书作为教材的教师，可登录 www.cmpedu.com 注册下载，或联系编辑索取（tian.lee.9913@163.com）。

图书在版编目（CIP）数据

汽车运行材料/戴汝泉主编. —3 版. —北京：机械工业出版社，2018.5
“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

ISBN 978-7-111-59613-4

I. ①汽… II. ①戴… III. ①汽车—运行材料—高等学校—教材
IV. ①U473

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 067164 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：宋学敏 责任编辑：宋学敏 段晓雅

责任校对：刘 岚 封面设计：张 静

责任印制：张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 6 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.25 印张·443 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-59613-4

定价：48.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

第3版前言

本书自2005年8月第1版出版以来,受到不少院校师生及校外读者的欢迎,累计印刷多次,并于2008年被评为山东省高等学校优秀教材。近年来,汽车技术快速发展,有关材料不断更新,相关标准变化较大,因此按照热心读者对本书提出的改进意见和建议,以及编者在使用本书过程中的亲身感受,对本书进行了再次修订。

由于第2版的章节安排清晰、合理,得到了读者的肯定和认可,所以第3版仍然按照第2版的章节顺序,主要变化在于内容修改、调整和补充方面。修订后的教材对比第2版主要做了以下变化:

1) 所有涉及运行材料的标准,都按新标准进行讲述,并且删除了部分新旧标准对比的内容。

2) 参考汽车新结构出现以及技术改进提高对运行材料提出的新要求,对内容进行了部分修改和适当增补。

本书由山东交通学院戴汝泉主编并统稿。编写工作最终完成情况为:戴汝泉编写绪论和第一章,黑龙江工程学院郝晨声编写第四章,山东交通学院臧发业编写第九章,山东交通学院赵长利编写第二章、第三章和第十一章,淮阴工学院郁大同编写第五章、第八章和第十章;山东交通学院刁立福和西华大学骆勇编写第六章和第七章。

本书的出版得到了机械工业出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢,并对本书编写过程中参阅资料的作者表示最诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中若有错误或不当之处,望读者予以指正,以便及时补充修正,不胜感谢。

编 者

第2版前言

本书自2005年8月第1版出版以来,受到不少院校师生及校外读者的欢迎,到目前已累计印刷多次,并于2008年被评为山东省高等学校优秀教材。按照热心读者对本书提出的改进意见和建议,以及编者在使用本教材过程中的亲身感受,对第1版教材进行了修订。

由于第1版的章节安排清晰、合理,得到了读者的肯定和认可,所以第2版仍然按照第1版的章节顺序,主要变化在于内容和讲述方式方面。修订后的教材对比第1版教材主要有以下变化:

1) 每章增加了学习提示,明确应该学习和掌握的主要内容,更有利于读者理清思路,掌握要点。

2) 所有涉及运行材料的标准,都按新标准进行了讲述。

3) 参考汽车新结构出现以及技术改进提高对运行材料提出的新要求,对内容进行了部分增删。

本书由山东交通学院戴汝泉主编并统稿。编写工作最终完成情况为:戴汝泉编写绪论和第一章,黑龙江工程学院郝晨声编写第四章,山东交通学院臧发业编写第九章,山东交通学院赵长利编写第二章、第三章和第十一章,淮阴工学院郁大同编写第五章、第八章和第十章,山东交通学院宿林林和西华大学骆勇编写第六章和第七章。

本书的出版得到了机械工业出版社的大力支持,在此表示最衷心的感谢,并对本书编写过程中参阅资料的作者表示最诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中若有错误或不当之处,望读者予以指正,以便及时补充修整,不胜感谢。

编 者

第1版前言

随着汽车结构的改进、使用技术的发展,对汽车运行材料的性能和适应性的要求也越来越高。如何开发、选用适合相应车辆需用的运行材料,以及合理使用这些运行材料,在过去、现在乃至将来,都是汽车合理使用的重要组成部分。这不仅关系到资源的合理利用和用车的经济效益,还关系到汽车运行性能的发挥,以及对环境的影响。正因为如此,鉴于汽车运行材料具有标准化强的特点,而且随着新技术、新工艺的利用,不断出现新的材料,促使其标准在不断地更新变化。

本书的内容主要包括车用汽油、车用轻柴油、车用替代燃料、发动机润滑油、车辆齿轮油、汽车液力传动油、车用润滑脂、汽车制动液、液压系统用油、车用其他工作液、汽车轮胎等,着重就汽车运行材料的主要使用性能、评价指标或方法、特点、规格、质量标准、选用技术、质量和性能发展趋势,以及合理使用对车辆性能的影响等进行论述。

本书由山东交通学院戴汝泉教授主编并统稿。编写工作最终完成情况为:戴汝泉编写绪论和第一章;黑龙江工程学院郝晨声教授编写第四章;山东交通学院臧发业教授编写第九章;山东交通学院赵长利副教授编写第二章、第三章和第十一章;淮阴工学院郁大同副教授编写第五章、第八章和第十章;臧发业和西华大学骆勇副教授编写第六章;赵长利和骆勇编写第七章。

本书由吉林大学刘玉梅副教授审阅,并得到机械工业出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢,并对本书在编写过程中参阅过的资料的作者表示最诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中若有错误或不当之处,望读者不吝赐教,以便再版时补充修整,不胜感谢。

编 者

目 录

第3版前言

第2版前言

第1版前言

绪论..... 1

第一章 车用汽油 29

第一节 汽油的蒸发性 30

第二节 汽油的抗爆性 36

第三节 汽油的氧化安定性 42

第四节 汽油的腐蚀性 46

第五节 汽油的其他性能 51

第六节 汽油的质量标准 52

第七节 汽油的选用 57

第八节 汽油的改良 60

第九节 汽油清净剂 63

第二章 车用轻柴油 68

第一节 轻柴油的低温流动性 69

第二节 轻柴油的雾化和蒸发性 72

第三节 轻柴油的燃烧性 76

第四节 轻柴油的安定性及其他特性 79

第五节 轻柴油的质量标准及其选用 81

第六节 柴油添加剂 87

第三章 车用替代燃料 90

第一节 醇类燃料 91

第二节 乳化燃料 98

第三节 天然气 99

第四节 液化石油气 102

第五节 氢气 105

第四章 发动机润滑油 109

第一节 发动机润滑油的使用性能 109

第二节 发动机润滑油使用性能的评定 试验 113

第三节 发动机润滑油的分类与规格 117

第四节 发动机润滑油的选择 143

第五节 发动机润滑油的质量与更换 147

第五章 车辆齿轮油 151

第一节 车辆齿轮油的使用性能 151

第二节 车辆齿轮油使用性能的评定 试验 153

第三节 车辆齿轮油的分类与规格 156

第四节 车辆齿轮油的选择 160

第五节 在用车辆齿轮油的质量与 更换 162

第六章 汽车液力传动油 164

第一节 液力传动油的特性与性能 指标 164

第二节 液力传动油的分类与规格 167

第三节 液力传动油的选择与使用 169

第七章 车用润滑脂 173

第一节 润滑脂的组成、分类和使用 特点 173

第二节 润滑脂的使用性能指标 177

第三节 常用润滑脂的使用性能和 特点 181

第四节 润滑脂的选择与使用 190

第八章 汽车制动液 192

第一节 制动液的使用性能要求 192

第二节 制动液的使用性能评定 194

第三节 制动液的质量标准 197

第四节 制动液的选择与使用 200



第九章 液压系统用油	202
第一节 液压油的使用性能要求	202
第二节 液压油的使用性能评定	203
第三节 液压油的质量标准	207
第四节 液压油的选择与使用	220
第十章 车用其他工作液	223
第一节 车用发动机冷却液	223
第二节 尿素水溶液	234
第三节 车用空调制冷剂	237

第四节 汽车风窗玻璃清洗液	244
第十一章 汽车轮胎	246
第一节 车用轮胎的作用与构造	246
第二节 轮胎的分类	249
第三节 轮胎规格与表示方法	255
第四节 轮胎系列	263
第五节 轮胎的选择与使用	269
参考文献	284



绪 论



学习提示:

通过绪论学习,应该明确

- 运行材料的概念和特点、车用主要运行材料
- 石油的性质、组成,各成分的物理、化学性质
- 石油的分类、炼制及其产品的精制方法
- 石油产品添加剂的分类、命名和代号
- 润滑油添加剂和燃料添加剂的作用
- 运行材料对汽车性能的影响
- 运行材料的发展趋势
- 运行材料的回收与再利用

世界范围内有 13 亿多辆的汽车保有量,在给经济带来繁荣、交通带来便利的同时,也消耗着大量的资源,并对环境造成极大的影响。目前,我国的汽车保有量也已达到 2.2 亿辆,每年仅消耗的燃油已超过 2.6 亿 t,消耗的润滑油、传动液、润滑脂、制动液、液压油、橡胶轮胎等材料也多得惊人。汽车在运行过程中消耗着这些材料,并对环境产生着不利的影响。如何合理使用这些运行材料,便成了汽车使用的重要一环。另外,汽车本身的性能也受这些材料的影响。研究和认识这些运行材料及其使用性能,对充分发挥汽车性能也有至关重要的意义。

汽车运行材料,是指在车辆运行过程中,使用周期较短,消耗费用较大,对车辆使用性能有较大影响的一些非金属材料。按其对于汽车运行的作用和消耗方式的不同可分为四大类:

(1) 车用燃料 车用燃料主要包括车用汽油、车用柴油、车用替代燃料(如甲醇、乙醇、乳化燃料、天然气、石油气、氢气)等。

车用燃料的使用性能对汽车的动力性、排放性有直接影响。车用燃料的消耗费用占汽车运行成本的 1/3 左右,直接影响汽车使用的经济性。

(2) 车用润滑油料 车用润滑油料主要包括发动机润滑油(也称发动机机油)、车辆齿轮油、车用润滑脂等。



车用润滑油料的润滑性能、低温流动性能直接影响汽车运动件的有效润滑，其运动黏度直接影响汽车的效率传递，如选用不当，会使汽车起步困难，并缩短汽车的使用寿命。

(3) 车用工作液 车用工作液主要包括液力传动油、汽车制动液、液压系统用油、车用发动机冷却液、尿素水溶液、车用空调制冷剂、汽车风窗玻璃清洗液等。

车用工作液的消耗费用和其他运行材料相比，虽然不是太多，但其对汽车性能，如行驶安全性、行驶舒适性等，有显著的影响。其选用的合理与否，对节约车用燃料和车用润滑油料，发挥车辆动力性，延长汽车使用寿命等有直接关系。

(4) 汽车轮胎 轮胎是汽车行驶系统的主要组成部分之一。其使用的合理与否，直接关系到汽车的行驶安全性和使用经济性。

以上所述的这些运行材料与石油有着密切的关系，有的直接来源于石油，有的是以石油为原材料加工而成的，所以认识和了解石油对研究运行材料有着重要的作用。

一、石油的基本知识

石油是从地层深处开采出来的一种黏稠液体。未经任何炼制的石油称为原油，它是古代动物、植物和水中生物的遗体由于地壳的运动被压在地层深处，在缺氧、高温和高压的条件下，经过复杂的化学变化逐渐演变而形成的一种物质。

石油是重要的能源之一，也是工业、农业、交通运输业和国防事业等使用的各种设备所必不可少的润滑剂和有机化学工业所必需的原料来源，在国民经济中占有极其重要的地位。

1. 石油的物理性质

在常温下，石油大都呈液体或半液体状态，颜色多为黑色或深棕色，有特殊气味，密度多在 $0.80 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ 之间，一般不大于 1 g/cm^3 ，凝点的差异较大，有的高达 30°C 以上，有的却低于 -50°C 。表 0-1 为我国部分石油产地的原油的物理性质。

表 0-1 我国部分石油产地的原油的物理性质

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	克拉玛依原油	孤岛混合原油
相对密度 $\rho_4^{20\text{①}}$	0.8552	0.9070	0.8696	0.8698	0.8678	0.9492
运动黏度 (50°C)/ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	22.15	121.38	20.64	15.9	19.23	243.5
凝点/ $^\circ\text{C}$	24	20	20	8	-50	-4
含盐量 (NaCl)/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	140	74	1480	9	19.92
酸值/ $\text{mgKOH} \cdot \text{g}^{-1}$	—	0.56	—	0.40	0.78	1.70

① 指地面标准条件 (20°C 、 0.1 MPa) 下原油密度与 4°C 纯水密度的比值。

2. 石油的元素组成

石油主要由碳、氢、硫、氧、氮五种元素组成，它们在石油中的含量因产地不同而略有差别，其质量分数的范围大体如下：

$w_{\text{C}} = 83.0\% \sim 87.0\%$ ， $w_{\text{H}} = 10.0\% \sim 14.0\%$ ， $w_{\text{S}} = 0.05\% \sim 8.00\%$ ， $w_{\text{O}} = 0.05\% \sim 2.00\%$ ， $w_{\text{N}} = 0.02\% \sim 2.00\%$ 。

从上面的数字可以看出，碳、氢两种元素含量占石油元素组成的绝大部分，二者合计



占 96% ~ 99%，且二者含量的比值 (C/H) 在 6 ~ 7.5 之间。国内部分油田的原油中碳、氢元素的质量分数及二者的比值见表 0-2。

表 0-2 国内部分油田的原油中碳、氢元素的质量分数及二者的比值

石油产地	w_C (%)	w_H (%)	w_C/w_H
大庆	85.87	13.73	6.25
胜利	86.26	12.20	7.07
孤岛	85.12	11.61	7.33
辽河	85.86	12.65	6.79
新疆	86.13	13.30	6.48
大港	85.67	13.40	6.39

注： w_C 是指 C 的质量分数， w_H 是指 H 的质量分数。

此外，石油中还含有多种金属元素和非金属元素。金属元素有镍、钒、铁、钾、钠、钙、镁、铜、铝、钛、钴、锌等，非金属元素有氯、碘、磷、砷、硅等。它们在石油中的质量分数极小，一般都在 0.003% 以下。

3. 石油的烃类组成

烃即由碳和氢两种元素组成的碳氢化合物。石油的烃类组成主要包括烷烃、环烷烃和芳香烃三类，少数石油中还含有烯烃。

(1) 烷烃 烷烃是开链饱和烃，分子式通式为 C_nH_{2n+2} ，分子结构特点是碳原子间以单键相连成链状，其余价键为氢原子所饱和。

烷烃的命名是按分子中含碳原子的数目为序的，1 ~ 10 的分别用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸表示；10 以上的则直接以数字表示。例如：分子中含有 1 个碳原子的称为甲烷，含有 7 个碳原子的称为庚烷，含有 16 个碳原子的称为十六烷等。

烷烃分子中少一个氢原子的原子团称为烷基，如甲烷 (CH_4) 分子中少一个氢原子 ($-CH_3$) 称为甲基。

在烷烃同系物中，由于碳原子数的不同，它们的性质也有所差别。常温常压下，烷烃中碳原子数从 1 ~ 4 的是气体；碳原子数从 5 ~ 16 的是液体，是汽油和煤油的主要组分；碳原子数为 17 及以上的是固体，大都存在于柴油和润滑油馏分中。固态烷烃在柴油中呈溶解状态存在。

烷烃有正构烷烃和异构烷烃之分。碳链呈直链的为正构烷烃，带侧链或支链的为异构烷烃。

正构烷烃和异构烷烃虽然分子式相同，但由于分子的结构不同，所以它们的物理性质除有相似之处外，也存在一定差别。表 0-3 所列为几种烷烃的物理性质。表中数据表明，烷烃密度均小于 $1g/cm^3$ ，正构烷烃的密度、相对分子质量、沸点和熔点随碳原子数增多而升高；异构烷烃受分子中侧链影响，沸点和熔点比相同碳原子数的正构烷烃低。同时，由于异构烷烃存在同分异构现象，其同分异构体之间的性质也稍有不同。

烷烃在常温常压下，化学性质稳定，不易被空气氧化而变质。但随着温度的升高，烷烃的化学活性增强。正构烷烃由于碳链直线排列，因此不安定，易被空气氧化生成过氧化物，发火性能好，是压燃式发动机燃料的良好成分；异构烷烃和正构烷烃相比，则结



构紧凑,性质相对安定,不易被空气氧化生成过氧化物,发火性能差,不易发生爆燃,是点燃式发动机燃料的良好成分。

表 0-3 几种烷烃的物理性质

	名 称	分 子 式	密度 (20℃)/g·cm ⁻³	相对分子质量	沸点/℃	熔点/℃
正 构 烷 烃	丁烷	C ₄ H ₁₀	0.5788	58.124	-0.50	-138.25
	戊烷	C ₅ H ₁₂	0.6262	72.151	36.06	-129.73
	己烷	C ₆ H ₁₄	0.6594	86.178	68.73	-95.32
	庚烷	C ₇ H ₁₆	0.6837	100.205	98.43	-90.58
	辛烷	C ₈ H ₁₈	0.7025	114.232	125.68	-56.76
异 构 烷 烃	异丁烷	C ₄ H ₁₀	0.5572	58.120	-11.27	-159.60
	2-甲基丁烷	C ₅ H ₁₂	0.6197	72.151	27.84	-159.91
	2,2-二甲基丙烷	C ₅ H ₁₂	0.5910	72.151	9.50	-16.57
	2-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	0.6786	100.205	90.05	-118.27
	2-甲基庚烷	C ₈ H ₁₈	0.6779	114.232	117.65	-108.99
	2,2,4-三甲基戊烷	C ₈ H ₁₈	0.6919	114.232	99.24	-107.37

(2) 环烷烃 环烷烃是闭链饱和烃,分子式通式为 C_nH_{2n},其分子结构特点是碳原子以单键连接成环状,其他键为氢原子所饱和。

环烷烃的物理性质,如密度、沸点和熔点等,比相同碳原子数的烷烃高,但密度仍小于 1g/cm³,且其密度随环烷烃分子量的增大或多环环烷烃环数的增多而增大,其沸点随环烷烃分子量的增大或多环环烷烃环数的增多而升高。在常温常压下,相对分子质量小的环烷烃,如环戊烷,呈液体状态,而相对分子质量大的环烷烃则呈固体状态。由于燃油中的环烷烃大都是单环的五碳环化合物和六碳环化合物,所以它们均以液体状态存在于燃油中。

环烷烃与烷烃相比,同为饱和烃,化学性质相似。在常温常压下性质安定,不易被氧化变质,一般在 400℃ 以上时才能自燃。环烷烃在高温下的发火性介于正构烷烃和异构烷烃之间,热值略小,凝点低,润滑性好,是汽油和润滑油的良好成分。

(3) 芳香烃 芳香烃是指分子中具有苯环结构的烃。其分子式具有多种不同的通式,如 C_nH_{2n-6}、C_nH_{2n-12}、C_nH_{2n-18} 等。

根据苯环的多少和结合形式的差别,芳香烃分为单环、多环和稠环芳香烃三类。分子中含有一个苯环的芳香烃称为单环芳香烃;分子中含有两个或两个以上独立苯环的芳香烃称为多环芳香烃;分子中含有两个或两个以上苯环,且苯环彼此间通过共用两个相邻碳原子稠合而成的芳香烃称为稠环芳香烃。

芳香烃在常温下呈液态或固态,具有强烈的芳香气味,密度一般为 0.86~0.9g/cm³,比相同碳原子数的其他烃类密度大。

由于苯环的存在,芳香烃的化学性质很稳定,是所述几类烃中性质比较稳定的一种,尤其是没有侧链的芳香烃,其性质最稳定。但在一定条件下,带侧链的芳香烃的侧链易被氧化成有机酸,带侧链的多环芳香烃和稠环芳香烃较易被氧化成胶状物。



由于芳香烃化学性质稳定，自燃点高，不易被氧化，使得其抗爆性较好，而发火性较差，因此，芳香烃是压燃式内燃机燃料的不良成分，是点燃式内燃机燃料的良好成分。但经研究表明，芳香烃作为点燃式内燃机燃料的组分时，会增大排放废气中多环芳香烃、酚类、芳香醛等有害物质的含量。且由于其燃烧温度较高，使得燃烧产物中的氮氧化物(NO_x)的排放浓度也有所增加，这对环境保护十分不利。所以，为了满足汽车排放要求，在点燃式内燃机的燃料中也要控制芳香烃的含量不要过大。

(4) 烯烃 烯烃是分子结构中含有碳碳双键的烃。烯烃为不饱和烃，其分子式具有多种不同的通式，如 C_nH_{2n} 、 $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ 等。

根据双键的位置、数量等结构特点，烯烃分为单烯烃（一般简称为烯烃）、二烯烃和环烯烃等。

在常温常压下，含有少于 5 个碳原子的烯烃呈气体状态，含有 5 个碳原子及以上的烯烃呈液体状态，含碳原子个数多的烯烃呈固体状态。与烷烃相似，烯烃的密度和沸点随分子中碳原子个数的增多而增大，但密度都小于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

不是所有的石油中都含有烯烃，只是个别石油中才含有。但石油在加工过程中，大分子烷烃和环烷烃因受热分解，易生成烯烃，因此，在石油产品中一般都含有一定数量的烯烃。

烯烃的双键不稳定，很容易进行加成、氧化和聚合等反应。分子中具有两个双键的二烯烃更不稳定，更易发生上述反应。所以，油品中如含有烯烃或二烯烃等不饱和烃，在储存或使用过程中易发生变质。

另外，由于烯烃的辛烷值高、凝点低，使得它在汽油和柴油中都有一定含量，利用它可改善汽油的抗爆性和柴油的低温流动性。但烯烃对汽车排放有不利影响，烯烃等有机挥发物是生成臭氧和毒性物质的重要来源。所以，在汽车燃料中应严格控制烯烃的含量。

综上所述，石油中各烃类对石油产品性质的影响见表 0-4。

表 0-4 石油中各烃类对石油产品性质的影响

烃	类	密度	自燃点	辛烷值	十六烷值	化学安定性	黏 度	黏温性	低温性
烷 烃	正 构	小	低	低	高	好	小	最好	差 (高分子)
	异 构		高	高	低	差(分支多)			好
环 烷 烃	少 环	中	中	中	中	好	大	好	好
	多 环					差(多侧链)		差	
芳 香 烃	少 环	大	高	高	低	好	大	好	中
	多 环					差(长链)		差	
烯 烃		稍大于 烷烃	高	高	低	差	—	—	好



4. 石油的非烃类组成

石油中除烃类化合物外,还有一些非烃类化合物。石油中的非烃类化合物主要包括含硫化合物、含氧化合物、含氮化合物、胶质和沥青质、矿物质等。它们在石油中的含量因产地不同而不同,最高可达百分之十几。它们在石油馏分中的分布也是不均匀的,大部分集中在重质组分特别是渣油中。它们对石油的加工、石油产品的使用性能影响很大,是石油加工中多数精制过程的去除对象。

(1) 含硫化合物 不同的石油,硫含量差别很大,从万分之几到百分之几,甚至是百分之十几。如我国克拉玛依石油中,硫的质量分数为0.04%,委内瑞拉石油中,硫的质量分数为5.48%,而我国华北有些石油中,硫的质量分数竟高达9.5%~11.3%。

硫在石油中的含量随馏分沸点升高而增加,大部分集中在渣油(重油)中。从表0-5中可明显地看出这一规律。

表 0-5 硫在石油馏分中的质量分数分布

(%)

原油来源	原油中	<200℃馏分中	200~350℃馏分中	350~500℃馏分中	>500℃馏分中
胜利混合原油	0.80	0.15	0.32	0.47	1.26
大庆混合原油	0.10	0.02	0.045	0.055	0.17

硫在石油中除少量以元素硫(S)形式存在外,大多数以硫化物的形式存在,石油中的硫化物包括硫化氢(H_2S)、硫醇(RSH)、硫醚(RSR')、环硫醚、二硫化物(RSSR')、噻吩及其同系物等。

石油中的元素硫和硫化氢大多是其他含硫化合物的分解产物,同时两者又可相互转变。硫化氢被空气氧化可以生成元素硫,而元素硫与石油烃类在200~250℃以上作用时又可生成硫化氢等硫化物。

硫醇在石油中的含量不多,其沸点较相应的醇类要低得多,多存在于低沸点馏分(如汽油馏分)中。硫醇分子式中的R基可以是烷基、环烷基或芳香基。硫醇不溶于水,低分子硫醇如甲硫醇(CH_3SH)、乙硫醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$)具有强烈的特殊臭味,其浓度达到 $2.2 \times 10^{-12} \text{mg/m}^3$ 时,人就可以通过嗅觉感觉到,因而可用它作臭味剂,加在民用天然气中,当天然气有泄漏时,人们就会及时闻到,避免发生事故。

硫醚是中性液体,热稳定性较高,与金属不发生作用,是石油中含量较多的硫化物之一。硫醚中的R基可以是烷基或环烷基。当R基为环烷基时,也称为环硫醚。

二硫化物(RSSR')在石油中含量较少,且多集中于高沸点馏分中,它也呈中性,不与金属作用,但热稳定性不好,受热易分解,生成硫醚、硫醇或硫化氢等。

噻吩及其同系物是一种芳香烃的杂环化合物,物理化学性质与苯系芳香烃很接近,是石油中的一种主要含硫化合物。

石油中的硫化物对石油产品的使用性能都有影响,且会对金属等造成腐蚀。按它们对金属的腐蚀能力,石油中的硫化物可分为活性硫化物和非活性硫化物。

活性硫化物是指能直接和金属起反应,对金属造成腐蚀的硫化物,如元素硫、硫化氢和低分子硫醇等。

非活性硫化物是指不能直接和金属起反应,但在燃烧后生成的二氧化硫和三氧化硫等



酸性氧化物能和金属起反应，对金属造成间接腐蚀的硫化物，如硫醚（RSR'）、环硫醚、二硫化物（RSSR'）以及噻吩及其同系物等。

无论是活性硫化物还是非活性硫化物，都是石油加工应清除的对象。

(2) 含氧化合物 石油中的氧含量一般都很低，约为千分之几，个别地区石油中的氧的质量分数较高，可达2%~3%。它们在石油中均以含氧化合物的状态存在。

石油中的含氧化合物分酸性氧化物和中性氧化物两类。酸性氧化物有环烷酸、脂肪酸和酚类，统称为石油酸。中性氧化物有醛、酮等，它们在石油中含量极少。

石油酸中最主要的是环烷酸，约占石油酸的90%。所有的石油中均含有环烷酸，质量分数一般在1%以下。

环烷酸的物理性质随相对分子质量的不同而不同。相对分子质量较小的环烷酸呈液体状，黏度不太高，有特殊气味，颜色较浅。相对分子质量较大的环烷酸呈黏稠状，一般为暗褐色。

环烷酸的化学性质和脂肪酸相似，它易溶于油，不溶于水。环烷酸能与铁、铜、锡等金属作用生成相应的盐类，造成对金属的腐蚀，所以，在石油炼制时应将其除去。

(3) 含氮化合物 石油中的氮的质量分数较小，一般为万分之几到千分之几。

石油中的含氮化合物分为碱性氮化物和碱性氮化物两类。碱性氮化物有吡啶、喹啉、异喹啉和吡啶的同系物等，非碱性氮化物有吡咯、吡啶及它们的同系物等。

含氮化合物的性质很不安定，易氧化生成有色胶质，使油品质量下降。另外，当燃烧氮化物含量高的燃油时，会有臭味产生。所以，含氮化合物也是石油产品精制的清除对象。

(4) 胶质和沥青质 胶质和沥青质是石油中结构最复杂、相对分子质量最大的物质，由碳、氢、硫、氧、氮等元素组成。

胶质和沥青质占石油中非烃类化合物的绝大部分。胶质是淡黄色到黑褐色的黏稠液体或半固体物质，可随石油烃类一起挥发，密度为 $1.0 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$ ，平均相对分子质量为500~1000。随着石油馏分沸点升高，胶质含量增大，胶质的相对分子质量也会增加。其中，15%的胶质含在石油馏分中，85%的胶质含在渣油中。

沥青质是暗褐色到黑色的非晶形固体粉末，不随烃类挥发，密度稍大于胶质，平均相对分子质量为3000~5000，是石油中相对分子质量最大、结构最复杂的组分。沥青质全部集中在渣油中。

石油中的胶质和沥青质，可使石油产品的颜色加深，抗氧化能力降低，黏温性变差，燃烧后在燃烧室、活塞等处易形成积炭，增大发动机的磨损。所以，胶质和沥青质也是石油产品精制的清除对象。

(5) 矿物质 矿物质在石油中的含量极微，一般是万分之几，甚至十万分之几。

石油中的矿物质主要由微量元素组成，燃烧后会形成灰分。若石油中的矿物质含量多，则会影响石油产品的质量，所以，在石油产品精制过程中也应尽量将其清除干净。

5. 石油的馏分组成

馏分就是石油在分馏过程中所得到的蒸馏物。

石油是种多组分的复杂混合物，在研究石油的组成时，通常没有必要把石油分馏成单



个组分,而是把它按沸点高低切割成几个馏分。把这些馏分作为研究对象,了解馏分中的各类化合物的含量和分布规律,以便了解各馏分所对应的石油产品的性能,为石油产品在生产实际中的使用提供指导。

按分馏过程,石油的馏分组成通常分为汽油馏分、煤油馏分、柴油馏分和润滑油馏分等。但这里的汽油馏分、煤油馏分、柴油馏分和润滑油馏分不等同于汽油、煤油、柴油和润滑油等石油产品,要想得到各馏分所对应的石油产品,必须对相应的馏分进行再加工。

(1) 汽油馏分 汽油馏分为在分馏塔上部得到的轻质馏分,蒸发温度一般为 $35 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。汽油馏分中含的正构烷烃碳原子数多为 $5 \sim 11$,异构烷烃碳原子数稍多,环烷烃和芳香烃多为单环。其中烷烃的质量分数最大,约占 50% 。

(2) 煤油馏分与柴油馏分 煤油馏分与柴油馏分为在分馏塔中部得到的中质馏分,蒸发温度一般为 $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 。馏分中含的正构烷烃碳原子数多为 $11 \sim 20$,异构烷烃碳原子数稍多,环烷烃和芳香烃环数增多,除单环外,还有双环和三环的。其中烷烃的质量分数也比较大,约占 40% 。

(3) 润滑油馏分 润滑油馏分为在分馏塔下部得到的重质馏分,蒸发温度一般为 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。馏分中含的正构烷烃碳原子数多为 $20 \sim 36$,异构烷烃碳原子数稍多,环烷烃和芳香烃环数多为三环以上。其中环烷烃的质量分数较大,约占 40% 。

6. 石油的分类

石油的组成极为复杂,对石油进行确切分类也十分困难。一般按下列依据对石油进行分类。

(1) 按原油的密度分类 按原油的密度分为轻质原油、中质原油和重质原油。轻质原油的密度小于 $0.878\text{g}/\text{cm}^3$;中质原油的密度介于 $0.878 \sim 0.884\text{g}/\text{cm}^3$ 之间;重质原油的密度大于 $0.884\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(2) 按硫含量分类 按硫含量分为低硫原油、含硫原油和高硫原油。低硫原油中硫的质量分数低于 0.5% ;含硫原油中硫的质量分数介于 $0.5\% \sim 2.0\%$ 之间;高硫原油中硫的质量分数大于 2.0% 。

我国原油多为低硫原油。

(3) 按蜡含量分类 按蜡含量分为低蜡原油、含蜡原油和多蜡原油。低蜡原油的凝点低于 -16°C ;含蜡原油的凝点介于 $-15 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间;多蜡原油的凝点高于 21°C 。

凝点的测定是从石油中取出某一馏分,其黏度 (50°C) 为 $53\text{mm}^2/\text{s}$,然后测其凝点。

(4) 按胶含量分类 按胶含量分为低胶原油、含胶原油和多胶原油。低胶原油的胶的质量分数小于 17% ;含胶原油的胶的质量分数介于 $18\% \sim 35\%$ 之间;多胶原油的胶的质量分数大于 35% 。

(5) 按特性因数分类 特性因数为

$$K = \frac{1.26 \sqrt[3]{T}}{\rho_{15.6}^{15.6}}$$

式中, K 为特性因数; T 为原油馏分的平均沸点,单位为 K ; $\rho_{15.6}^{15.6}$ 为原油馏分的相对密度。

原油按特性因数大小分为石蜡基原油、中间基原油和环烷基原油。



石蜡基原油的特性因数 $K = 12.1 \sim 12.9$ ，其特点是含蜡量较高，凝点较高，密度较小，直馏汽油的辛烷值较低，直馏柴油的十六烷值较高，制得的润滑油黏温性能较好。

中间基原油的特性因数 $K = 11.5 \sim 12.1$ ，其特点是含有一定数量的烷烃、环烷烃和芳香烃，性质介于石蜡基原油和环烷基原油之间。

环烷基原油的特性因数 $K = 10.5 \sim 11.5$ ，其特点是含有较多的环烷烃，凝点较低，密度较大，直馏汽油的辛烷值较高，直馏柴油的十六烷值较低，制得的润滑油黏温性能较差。

(6) 按关键馏分特性分类 按关键馏分特性可把原油分为七类：即石蜡基原油、石蜡-中间基原油、中间-石蜡基原油、中间基原油、中间-环烷基原油、环烷-中间基原油和环烷基原油。

分类方法是：用特定仪器，把石油在常压和减压下蒸馏出两个馏分。在常压下馏程为 $250 \sim 275^{\circ}\text{C}$ 的馏分为第一关键馏分；再将所剩残油在 5.33kPa 的压力下，进行减压蒸馏取得 $275 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 的馏分为第二关键馏分。测定两个关键馏分的密度，然后对照表 0-6 所列馏分的密度或特性因数 K 值来确定两个关键馏分是属于哪一个基，再按表 0-7 确定该原油的类别。

表 0-6 关键馏分的分类指标

关键馏分	指 标	石 蜡 基	中 间 基	环 烷 基
第一关键馏分	密度 (20°C)/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	< 0.8207	$0.8207 \sim 0.8560$	> 0.8560
	特性因数 K	> 11.94	$11.45 \sim 11.94$	< 11.45
第二关键馏分	密度 (20°C)/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	< 0.8721	$0.8721 \sim 0.9302$	> 0.9302
	特性因数 K	> 12.2	$11.45 \sim 12.2$	< 11.45

表 0-7 关键馏分的特性分类

编 号	第一馏分类别	第二馏分类别	原油的类别
1	石蜡基	石蜡基	石蜡基
2	石蜡基	中间基	石蜡-中间基
3	中间基	石蜡基	中间-石蜡基
4	中间基	中间基	中间基
5	中间基	环烷基	中间-环烷基
6	环烷基	中间基	环烷-中间基
7	环烷基	环烷基	环烷基

7. 石油的炼制方法

石油是十分复杂的混合物，不能直接使用，需送到炼油厂进行炼制，生产出符合质量要求的石油产品，才能满足各方面的使用需要。

常用的石油炼制方法有：常压蒸馏、减压蒸馏、热裂化、催化裂化、加氢裂化、催化重整、烷基化和延迟焦化等。

(1) 常压蒸馏 常压蒸馏是根据组成石油的各类烃分子的沸点不同，利用加热、蒸