

蔡春知 主编

# 油气储运工艺



石油工业出版社

登录号	228786
分类号	TE8-43
种次号	001

号 580 字登录 (京)

中等专业学校教学用书

# 油气储运工艺

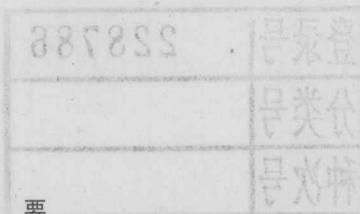
蔡春知 主编



石油大学 0225897

石油工业出版社

(京)新登字 082 号



内 容 提 要

本书系中等专业学校油气集输储运工程专业的专业课教材。其主要内容是根据原油和天然气的物性特点、流动特征，研究低粘低凝原油、高粘易凝原油和天然气的管道输送，以及采取的工艺技术措施。

本书也可供从事油气管道工程设计和生产管理的工程技术人员参考。

编 主 蔡春知



中等专业学校教学用书  
油 气 储 运 工 艺

蔡春知 主编

\*

中国石油天然气总公司教材编译室编辑

(北京 902 信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 26 印张 655 千字 印 1501—4500

1994 年 11 月北京第 1 版 1997 年 1 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5021-1033-X/TE·962 (课)

定价：20.50 元

# 前 言

《油气储运工艺》教材，是按照中国石油天然气总公司人事教育局（原石油工业部教育司）1986年制订的中等专业学校《油气储运工艺教学大纲》，由胜利石油学校油气集输储运工程教研室负责组织编写的。

在教材编写过程中，突出低粘低凝原油、高粘易凝原油加热和天然气的管输工艺，力求满足加强基础知识和结合生产实际的教学要求。主要内容分为：

上篇《原油的输送与储存》，包括原油的组成、物性及流变性质、低粘低凝原油的管道输送、高粘易凝原油的管道输送、输油管道的生产管理、原油装车外运、输油站及储油库、油品蒸发损耗及原油计量等；

下篇《天然气的管道输送》，包括天然气的物理化学性质、天然气的管道输送、输（压）气站和储气等。

其中，第二章由姜明军同志编写；第四、五章由王守波同志编写；七、八、九章由张拥军同志编写；第十二、十三章由王光然同志编写；第一、三、六章由崔玉华同志编写；第十、十一章由蔡春知编写。全书由蔡春知主编，石油大学储运教研室鲍冲教授主审。

本书可作为中等专业学校油气集输储运工程专业的教材，也可供有关方面工程技术人员参考。

(8)	.....	.....	章三第
(28)	.....	.....	章一第
(92)	.....	.....	章二第
(11)	.....	.....	章三第
(52)	.....	.....	章四第
(82)	.....	.....	章五第
(84)	.....	.....	章六第
(92)	.....	.....	章四第
(93)	.....	.....	章一第
(100)	.....	.....	章二第
(102)	.....	.....	章三第
(111)	.....	.....	章四第
(121)	.....	.....	章五第
(121)	.....	.....	章五第
(121)	.....	.....	章一第
(130)	.....	.....	章二第
(138)	.....	.....	章三第
(142)	.....	.....	章四第



# 目 录

绪论	( 1 )
<b>上篇 原油的输送与储存</b>	
第一章 原油的组成、物性及流变性质	( 4 )
第一节 原油的化学组成	( 4 )
第二节 原油(油品)的物理化学性质	( 8 )
第三节 原油的分类方法及国产原油的一般性质	( 16 )
第四节 原油的流变性质	( 21 )
第二章 低粘、低凝原油的管道输送	( 31 )
第一节 输油系统的能量供给与消耗	( 31 )
第二节 输油泵站-管道系统的联合工作	( 40 )
第三节 低粘、低凝原油管道输送的工艺计算	( 44 )
第四节 设计方案的经济比较和工艺计算步骤	( 54 )
第三章 高粘、易凝原油的管道输送	( 58 )
第一节 热油管道的特点	( 58 )
第二节 热力计算的基础参数	( 59 )
第三节 热油管道的热力计算	( 71 )
第四节 热油管道的水力计算	( 75 )
第五节 热油管道的保温	( 82 )
第六节 高粘、易凝原油的常温输送	( 84 )
第四章 输油管道的生产管理	( 93 )
第一节 热油管道的启动和停输	( 93 )
第二节 原油管道中的石蜡沉积	( 100 )
第三节 输油管道运行工况分析及调节	( 102 )
第四节 输油管道中的水击	( 112 )
第五节 提高输油管道输量的方法	( 121 )
第五章 原油装车外运	( 125 )
第一节 原油装车的主要设施和装车方法	( 125 )
第二节 原油泵送装车管道系统的水力计算	( 130 )
第三节 原油自流装车管道系统的水力计算	( 138 )
第四节 原油的自流灌装	( 142 )

第六章 输油站与储油库 .....	(147)
第一节 站、库类型 .....	(147)
第二节 站、库的分区及设施 .....	(148)
第三节 站、库容量的确定 .....	(150)
第四节 站、库的工艺流程 .....	(153)
第五节 站、库的总体布置 .....	(162)

第七章 油品的蒸发损耗 .....	(168)
第一节 蒸发损耗的发生过程 .....	(168)
第二节 油品静止储存时蒸发损耗的计算 .....	(172)
第三节 收发油操作时油品蒸发损耗的计算 .....	(189)
第四节 降低油品蒸发损耗的措施 .....	(195)
第五节 油品蒸发损耗的测量 .....	(199)

第八章 原油计量 .....	(201)
第一节 原油的计量方法 .....	(201)
第二节 立式圆柱形油罐容积表的编制 .....	(209)

第九章 站、库安全防火技术 .....	(217)
第一节 防毒 .....	(217)
第二节 防火防爆 .....	(219)
第三节 防雷电 .....	(221)
第四节 防静电 .....	(227)
第五节 站、库消防技术 .....	(234)

**下篇 天然气的管道输送**

第十章 天然气的物理化学性质 .....	(257)
第一节 天然气的组成 .....	(257)
第二节 气体状态方程式 .....	(262)
第三节 天然气的分子量、密度、重度和粘度 .....	(273)
第四节 天然气的比热、绝热指数和焦耳-汤姆逊效应 .....	(280)
第五节 天然气的湿度 .....	(289)

第十一章 天然气的管道输送 .....	(293)
第一节 输气管道系统 .....	(293)
第二节 常用计算摩阻系数的简化公式 .....	(302)
第三节 输气管道常用的简化流量计算公式 .....	(305)
第四节 输气管道的气体压力分布及平均压力 .....	(309)
第五节 复杂输气管道 .....	(312)
第六节 输气管道中气体温度的变化 .....	(341)

(74)	第七节 配气管道 .....	章六第	(350)
(74)	第八节 输气管道-压缩机站的联合工作特性 .....	章一第	(352)
(78)	第九节 压缩机站的布置 .....	章二第	(362)
(72)	第十二章 输(压)气站与配气站 .....	章四第	(364)
(76)	第一节 输(压)气站与配气站的主要设备 .....	章一第	(364)
(78)	第二节 输(压)气站的工艺流程 .....	章二第	(378)
(78)	第三节 压气站的生产管理 .....	章一第	(381)
(75)	第十三章 储气 .....	章二第	(386)
(78)	第一节 输气管道末段储气 .....	章三第	(386)
(72)	第二节 气罐储气 .....	章四第	(400)
(79)	第三节 地下储气 .....	章五第	(404)

(70)	.....	章八第	
(70)	.....	章一第	
(70)	.....	章二第	
(71)	.....	章三第	
(71)	.....	章四第	
(71)	.....	章五第	

天然气生产与输送

(72)	.....	章十第	
(72)	.....	章一第	
(70)	.....	章二第	
(73)	.....	章三第	
(70)	.....	章四第	
(78)	.....	章五第	
(70)	.....	章一十第	
(70)	.....	章一第	
(70)	.....	章二第	
(70)	.....	章三第	
(70)	.....	章四第	
(71)	.....	章五第	
(74)	.....	章六第	

# 绪 论

## 一、管道运输概况

管道运输是国民经济综合运输的重要组成部分之一，也是衡量一个国家的能源与运输业是否发达的特征之一。管径大、距离长、备有各种配套设施的管道工程，已成为独立的运营管理企业。

管道运输多用来输送流体燃料（货物），如原油、成品油、液态烃、天然气及固体煤浆等。它与其它运输方式（铁路、公路、海运、河运）相比，主要区别在于驱动流体燃料的输送工具是静止不动的泵机组、压缩机组和管道。泵机组和压缩机组给流体燃料以压能，使其沿管道连续不断地向前流动，直至输到指定地点。

管道运输具有以下优点：

- 1、运输量大，一条直径 500mm 的管道，可以年输原油  $2000 \times 10^4 \text{t}$  以上，约相当于一条铁路的运量；
- 2、能耗少，运费低，每 t/km 原油的管道能耗只相当于铁路的  $1/12 \sim 1/7$ ；
- 3、易于全面实现自动化输油和输气；
- 4、管道多埋于地下，占地少，受地形、地物限制小，宜选取短捷路径，缩短运输距离；
- 5、安全密闭，基本上不受恶劣气候条件的影响，能够长期、稳定、安全运行；
- 6、管道运行过程中，基本上不产生废渣废液，管道本身不会对环境造成污染。

石油工业所用的管道多为原油输送管道和天然气输送管道。油气储运工艺，主要是根据所输原油和天然气的物性特点及流动特性，研究原油和天然气在管道中的流动规律及采取的输送工艺技术措施。

我国原油和天然气管道的建设均开始较晚。第一条克拉玛依至独山子输油管道建于 1958 年，管径 159mm，长度 147.2km。第一条四川省黄瓜山到永川化工厂的输气管道也建于 1958 年，管径也是 159mm，长度为 12.6km。我国大量的管道建设集中于 70 年代。到 1991 年底，我国已建成的原油管道总长约为 7800km，陆上天然气管道约 6300km。原油管道分布在全国 15 个省市自治区，但主要集中于东部地区。天然气管道总长的 70% 分布在四川省境内，其余的 30% 为全国各油田的天然气外输管道。天然气基本上是靠其自身的压力沿管道输送。

各油田所产原油的 80% 均由管道外输。根据原油物性和流动特点的不同，可采用不同的输油工艺。但是，由于我国生产的原油多具有粘度高、含蜡量高和凝点高等特性，故目前普遍采用加热输送工艺，即除在首站加热外，在管道沿线的中间站还需再次加热，使原油在沿管道流动过程中降粘和保持不凝，以降低输油动力消耗，保证管道安全运行。

天然气管道承担着全国各油（气）田 100% 的天然气运输量。

目前，我国的管道还处于输送能力低、技术水平不高和管网建设不够健全的发展阶段。随着我国四化建设的进行，石油工业的管道建设必将有一个较大的发展。特别是我国西部地区和近海石油与天然气的勘探开发，装备有数据监控及采集自动化系统（简称 SCADA）的



大型油气干线的建设已进入规划设计和准备实施阶段，油气管道的建设都将在一个较高的水平上起步。不久的将来，我国的油气管道在数量、自动化控制系统及工艺水平等方面，都将达到一个新的水平。

## 二、管道工程的组成

输送原油和天然气的管道工程是由管道线路工程、管道站库工程和管道附属工程三部分组成。

### 1、线路工程

管道的线路工程是管道工程的主体，约占管道工程总投资的  $2/3$ 。

管道线路工程主要包括管道的本体工程、防腐工程和穿跨越工程等。管道本体工程是由钢管及管阀件组焊连接而成的。防腐工程包括外防腐绝缘层、阴极保护站及沿线测试装置等。穿跨越工程包括穿越铁路或公路工程、穿跨越河流或峡谷工程、穿山隧道工程以及穿越不良地质地段工程等。此外，线路阀室和清管站等设施也属线路工程之列。

### 2、站、库工程

按照管道站、库位置的不同，分为起点站（首站）、中间站和终点站（末站）。按照所输介质的不同，又可分为输油站和输气站。输油站包括增压站（泵站）、加热站、热泵站、减压站和分输站；输气站包括压气站、调压计量站和分输站等。

站、库工程内，包含以下几类系统工程：工艺系统工程、自控系统工程、通信系统工程、动力系统工程以及给排水、供热、维修、道路、办公室及生活建筑等设施。

### 3、附属工程

管道附属工程主要包括管道沿线修建的通信线路工程、供电线路工程和道路工程。此外，还有管理机构、维修机构及生活基地等设施。

## 三、管道运输与其它运输方式的关系

管道输送原油，与其它运输方式相比，虽然具有上述一系列优点，但是，也有其局限性。事实上，管道运输并不是在所有条件下都是最经济的。

国内许多油田在开发初期，原油产量较低，就不能无视客观条件盲目建设外输管道。而利用汽车油罐车外运原油，然后再与铁路油罐车运输相衔接，已成为油田开发初期过渡性运输的正常做法。

汽车油罐车其年运油能力一般只有  $30 \sim 50 \times 10^4 \text{t}$  以下，适用于中、短距离运输，多数情况下是经济的，而且具有较大的灵活性。如建设一条不适宜的管道，就很难再变，可能造成不合理、不经济的后果。就是经济发达的国家，目前也仍保留有一定数量的汽车运油量。铁路油罐车的运油能力虽然较大，但当油田产油量达到一定规模后，将使铁路运力负担过重，严重影响国民经济其它各部门的运量。

所以，当油田发展到一定规模，视其产量、发展前景和其它客观条件，进行全面分析研究，多方案比较论证后，敷设输油管道确比其它运输方式经济合理时，才着手建设相应的输油管道，由铁路运输过渡到管道运输。

## 四、本课程学习方法

本课程特点是以生产体系组织教学内容，是工程性、实用性、综合性应用课，实践性强。要正确处理讲课、实验、作业、辅导、课程设计、毕业设计、生产实习和毕业实习等各个教学环节间的相互关系。讲课是各个环节的中心，在学习本课程时必须抓住这个中心环节，学好基本理论。同时，要善于利用其它教学环节的特点来加深、巩固和扩大课堂所讲授

的基本内容，尤其生产实习是学好本课程的必备条件。只有这样，才能使具备站、库生产管理的基本技能和专业知识，并将所学的各种知识密切联系实际，灵活地运用到生产中去，更好地为四化建设服务。

### 五、关于计量单位制

全书将全部采用中华人民共和国法定计量单位，其中包括：国际单位制的基本单位、辅助单位和导出单位；国家选定的非国际单位制单位以及由以上单位构成的组合形式的单位。但考虑到油田目前许多以工程单位制标定的设备还在使用，而且工程技术人员及工人还在延续使用石油工业习惯的技术术语和单位，为了便于过渡，将书中经常遇到的一些常用法定单位与工程单位制的换算关系列表如下，以便对照。

常用非法定计量单位与法定计量单位的换算关系

量的名称	非法定计量单位		法定计量单位			换算关系
	名称	符号	名称	符号	其它表示 式例	
力	千克力	kgf	牛顿	N	$\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$	$1 \text{kgf} = 9.80665 \text{N}$
力矩	千克力米	$\text{kgf} \cdot \text{m}$	牛顿米	$\text{N} \cdot \text{m}$		$1 \text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665 \text{N} \cdot \text{m}$
压强	千克力每 平方米	$\text{kgf} / \text{m}^2$				$1 \text{kgf} / \text{m}^2 = 9.80665 \text{Pa}$
	工程大气压	at				$1 \text{at} = 9.80665 \times 10^4 \text{Pa}$
	标准大气压	atm	帕斯卡	Pa	$\text{N} / \text{m}^2$	$1 \text{atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$
	巴	bar				$1 \text{bar} = 10^5 \text{Pa}$
	毫米水柱	$\text{mmH}_2\text{O}$				$1 \text{mmH}_2\text{O} = 9.80665 \text{Pa}$
	毫米汞柱	$\text{mmHg}$				$1 \text{mmHg} = 133.322 \text{Pa}$
应力、强度	千克力每 平方厘米	$\text{kgf} / \text{cm}^2$	帕斯卡	Pa	$\text{N} / \text{m}^2$	$1 \text{kgf} / \text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^4 \text{Pa}$
动力粘度	泊	P				$1 \text{P} = 0.1 \text{Pa} \cdot \text{s}$
	千克力秒 每平方米	$\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2$	帕斯卡秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$	$1 \text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 9.80665 \text{Pa} \cdot \text{s}$
能量、功 热、热量	千克力米	$\text{kgf} \cdot \text{m}$	焦耳	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$1 \text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665 \text{J}$
	千瓦小时	kWh				$1 \text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$
	卡	cal	焦耳	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$1 \text{cal} = 4.1868 \text{J}$
	千卡(大卡)	kcal				$1 \text{kcal} = 4186.8 \text{J}$
功率	千克力米每秒	$\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$	瓦特	W	$\text{J} / \text{s}$	$1 \text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s} = 9.80665 \text{W}$
	马力					$1 \text{马力} = 735.499 \text{W}$
导热率	千卡每米 小时开尔文	$\text{kcal} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$	瓦特每米 开尔文	$\text{W} /$ $(\text{m} \cdot \text{K})$		$1 \text{kcal} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}) = 1.163 \text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
传热系数	千卡每平方米 小时开尔文	$\text{kcal} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$	瓦特每平方 米开尔文	$\text{W} /$ $(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		$1 \text{kcal} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}) =$ $1.163 \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

注：常用非法定计量单位与法定计量单位相同者，本表未列出。

# 上篇 原油的输送与储存

## 第一章 原油的组成、物性及流变性质

### 第一节 原油的化学组成

石油是埋藏在地下的天然矿物。未经炼制的石油称为原油。

不同油田所产的原油在性质上有较大的差别。从颜色看，绝大多数原油是黑色或深棕色，少数为暗绿、暗褐，甚至呈赤褐或黄色。绝大多数原油的相对密度小于 1.00，介于 0.8~0.98 之间，个别也有大于 1.00 和低于 0.71 的。原油的流动性差别也很大，有的原油 50℃ 时的运行粘度为  $1.46 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ，有的却高达  $2.0392 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ ；凝点有的高达 51℃，有的却低至 -50℃。上述原油外观和性质上的差异，是由于其组成不同所致。

#### 一、原油的元素组成

原油的组成极为复杂，但其元素组成却较为简单，表 1-1 为我国部分油田原油的元素组成。由表 1-1 看出，原油主要由碳 (C) 和 (H) 两种元素组成，其含量 (质量组成) 在原油中占 96~99%，其中，碳含量为 83~87%，氢含量为 11~14%；其它还有硫 (S)、氮 (N) 和氧 (O) 等元素，这三种元素总含量一般为 1~3%。此外，在原油中还含有微量金属元素 (铁 Fe、镍 Ni、钒 V、铜 Cu 和铅 Pb 等) 和非金属元素 (氯 Cl、硅 Si 和磷 P 等)。

表 1-1 原油的元素组成

原油产地	元素组成 (质量组成, %)				
	C	H	S	N	O
大庆	85.74	13.31	0.11	0.15	0.69
胜利	86.26	12.20	0.80	0.41	微量
玉门	83.85	12.87	0.11	0.45	微量
江汉	83.00	12.81	2.09	0.47	1.63
新疆	86.10	13.30	0.04	0.25	0.28
大港	85.67	13.40	0.12	0.23	微量

#### 二、原油的化学组成

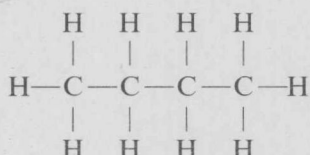
上述元素都以化合物的形式存在于原油中。其中，碳和氢按照一定的数量关系，结合成多种不同性质的碳氢化合物，简称为烃；碳和氢两种元素与硫、氮、氧形成的含硫化合物、含氮化合物、含氧化合物以及胶质沥青质等，简称为非烃。

##### 1. 原油中的烃类化合物

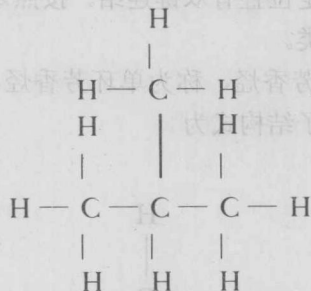
原油中的烃类化合物，按其分子结构的不同，主要分为烷烃、环烷烃和芳香烃三类。

1) 烷烃 凡是分子结构中碳原子之间均以一价互相结合成链状，而其余的碳价都为氢原子所饱和的碳氢化合物称为烷烃，也称为饱和烃。它是原油中的主要组分。烷烃的分子式为  $C_nH_{2n+2}$ 。

按其结构的不同，烷烃又可分为正构烷烃和异构烷烃。正构烷烃是指在结构中，碳没有分支链的直链烷烃，例如正丁烷



异构烷烃是指在结构中，碳有分支链（侧链）的烷烃，例如异丁烷



烷烃分子中，失去一个氢原子的剩余部分称为烷基。例如，甲烷 ( $CH_4$ ) 分子失去一个氢原子，其剩余部分  $-CH_3$  称为甲基；乙烷 ( $C_2H_6$ ) 分子失去一个氢原子，其剩余部分  $-C_2H_5$  称为乙基，其余依此类推。

正构烷烃和异构烷烃从元素组成上虽然相同，但由于分子结构不同，因而它们的性质相近而不相同。

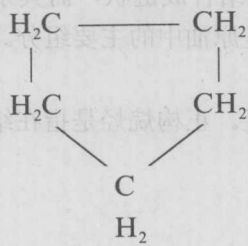
各种烷烃的分子量、密度、凝点和沸点随分子中碳原子数的增加而升高；正构烷烃的凝点和沸点比相同碳原子数的异构烷烃高。

常温常压下， $C_1 \sim C_4$  的烷烃（甲烷~丁烷）为气体； $C_5 \sim C_{16}$  的正构烷烃（戊烷~十六烷）为液体，是液体燃料的主要组分； $C_{17}$  以上的正构烷烃为固体，大都存在于较重的柴油和润滑油馏分中。除甲烷和乙烷是无色无味气体外，其它低分子烷烃具有汽油味，碳原子数多的高分子烷烃无气味，挥发性很小。烷烃是非极性化合物，几乎不溶于水，但易溶于有机溶剂。

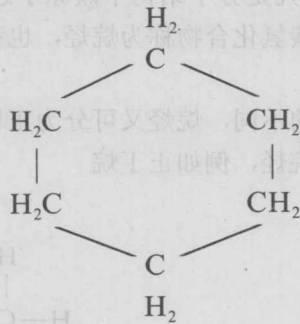
2) 环烷烃 环烷烃是饱和的环状化合物，即分子中碳原子之间都以一价互相连成环状，其余碳价为氢原子所饱和。

环烷烃的分子结构有单环、双环和多环三类，并且大多带有 1~2 个烷基侧链。单环环烷烃的通式为  $C_nH_{2n}$ ；多环环烷烃的通式为  $C_nH_{2n-2}$  和  $C_nH_{2n-4}$  等。在单环环烷烃中，以五员环（环戊烷）和六员环（环己烷）的类型最多，是原油中环烷烃的主要化合物，例如四员





环戊烷

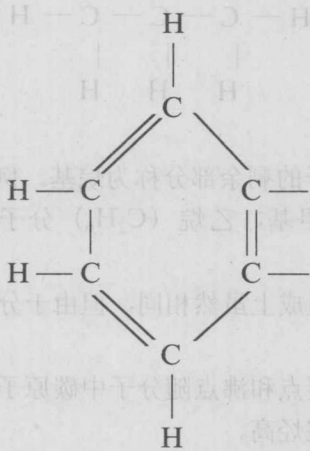


环己烷

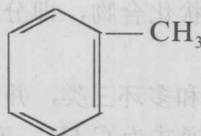
环以下和七员环以上的环烷烃很少。

3) 芳香烃 分子中具有苯环结构的烃类，称为芳香烃。原油中芳香烃的含量一般比烷烃和环烷烃少，在常温下呈液态或固态。芳香烃的分子结构类似于环烷烃，均为环状结构；所不同的是碳原子间在一定位置有双键连结。按照苯环的多少和结合形式的不同，芳香烃可分为单环、多环和稠环三类。

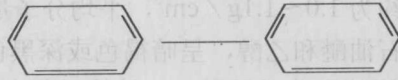
分子结构中只含一个苯环的芳香烃，称为单环芳香烃，其分子通式为  $C_nH_{2n-6}$ 。最简单的化合物是单环芳香烃苯，其分子结构式为



如果用甲基 ( $CH_3-$ ) 或者乙基 ( $C_2H_5-$ ) 取代苯环上的氢原子，就会成为另一种新的化合物，通常称它们为带有侧链的芳香烃。例如，一个甲基取代苯上的一个氢原子，就成为甲苯，其分子结构式为



分子结构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。如两个独立苯环连在一起，称为联苯，其结构式为



分子结构中含有两个或两个以上苯环，并且彼此间共用两个相邻碳原子稠合而成的芳香烃称为稠环芳香烃。例如，两个苯环连在一起的称为萘，其结构式为：



芳香烃在常温下主要以液体状态存在，如苯、乙苯及 $\alpha$ -甲基萘等。在常温下也有以固体存在的芳香烃。

原油中的烃类在常温下呈固体状态的叫做蜡。蜡有两种：含碳原子数 15~30 的称石蜡，其组成主要是正构烷烃；含碳原子数 30~50 以上的称为地蜡，其组成主要是环烷烃、异构烷烃及芳香烃。

## 2. 原油中的非烃类化合物

原油中的硫、氮和氧元素多以非烃化合物的形式存在，这些元素的含量虽然仅有 1~3%，但非烃化合物的含量却相当高，主要包括含硫、含氮和含氧化合物及胶质、沥青质等。

1) 含硫化合物 任何产地的原油，都或多或少地含有硫，但含量多少却相差较大。一般说来，含烷烃和环烷烃多的原油，其硫的含量都相对较低；含芳香烃和胶质较多的原油，硫的含量都相对较高。

硫在原油中少量的以元素硫 (S) 和硫化氢 ( $H_2S$ ) 的形式存在；而大多数却以有机硫化物存在，如硫醇、硫醚和噻吩等。根据对金属腐蚀性的不同，它们又可分为活性硫化物和非活性硫化物。活性硫化物具有强烈的腐蚀性，对原油的储存、输送、加工和使用危害极大。

2) 含氮化合物 原油中氮的含量很少，一般为千分之几到万分之几，所以，含氮化合物的数量也不多。在含氮化合物中，大都是一些杂环化合物，具有臭味，氧化安定性差，易生成胶质物质。

3) 含氧化合物 原油中的含氧化合物主要是环烷酸，约占含氧化合物的 90% 左右；其次，是酚类、脂肪酸以及醛和酮等。

原油中均含有环烷酸，含量一般在 1% 以下。环烷酸易溶于油，不溶于水，对金属有腐蚀作用。

4) 胶质和沥青质 原油中的硫、氮和氧除少数以含硫、含氮和含氧化合物的形式存在外，其余 50% 以上的硫、80% 以上的氮和 90% 以上的氧都集中在胶质和沥青质中。胶质和

沥青都是含有碳、氢、硫、氮和氧的复杂化合物。分子量大，化学结构十分复杂，至今尚未完全清楚。我国生产的原油中，都含有百分之几到百分之四十几不等的胶质和沥青质。

胶质一般是指能溶于石油醚、苯，而不溶于乙醇，呈红褐色到暗褐色，具有延性的粘稠液态或半固态的物质。其密度约为  $1.0 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$ ，平均分子量为  $600 \sim 1000$ 。

沥青质能溶于苯，不溶于石油醚和乙醇，呈暗褐色或深黑色，并具有脆性的非晶形固体粉末。其密度稍大于胶质，是原油中分子量最大、结构最复杂的组分。沥青质挥发性很差，但其化学性质较活泼。

## 第二节 原油（油品）的物理化学性质

原油（油品）的物理化学性质是评定原油（油品）质量、控制原油（油品）输送的重要指标，也是输油管道和站库设计的重要依据。

原油（油品）的物理化学性质和它们的化学组成及结构有密切的关系。由于原油（油品）是复杂的混合物，所以，其物理化学性质是组成它们的各种烃类和非烃类化合物性质的综合表现。它们的性质有的有可加性，有的则没有。为了便于比较和对照，原油（油品）的物理化学性质常常采用一些条件性的试验方法来测定，也就是使用规定的仪器，在规定的试验条件、方法和步骤下进行试验。如果改变试验条件，将会得到不同的结果。原油（油品）性质测定方法的标准主要有：国际标准（简称 ISO）、国家标准（简称 GB）、中国石油天然气总公司和石化总公司标准（简称 SY）等。

### 一、蒸气压

在某一温度下，液体与在它液面上的蒸气呈平衡状态时，蒸气所产生的压力称为饱和蒸气压，简称蒸气压。蒸气压的高低表明了液体中分子汽化或蒸发的能力，在同一温度下，蒸气压越高，说明液体越容易汽化。

纯烃和其它纯的液体一样，蒸气压随液体温度的升高而增大。实际应用中，常采用一些经验、半经验公式或图表求取纯烃的蒸气压。

对于已知组成的烃类混合物，若系统的压力不高，气相接近于理想气体，液相近似于理想溶液，则混合物总蒸气压可用道尔顿和拉乌尔定律求得

$$p = \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad (1-1)$$

式中  $p$ ——混合物的蒸气压；

$p_i$ ——纯  $i$  组分的蒸气压；

$x_i$ ——平衡液相中  $i$  组分的摩尔分数；

$n$ ——组分数。

烃类混合物与纯烃不同，其液相组成不是固定不变的，它随汽化率不同而变化。因此，由上式算出的蒸气压只是在某个平衡条件下的蒸气压。烃类混合物的蒸气压不仅与测定的温度有关，而且还与汽化率有关。

原油（油品）的组成十分复杂，很难确定各种单烃的含量，因而无法用式（1-1）计算蒸气压，但其蒸气压所遵循的规律性与烃类混合物相同，在某一温度下也随汽化率的不同而

变化。原油（油品）的蒸气压通常有两种表示方法：一种是雷特蒸气压，它是在 38℃、气相体积与液相体积之比为 4 : 1 时测定的条件性指标；另一种是工艺计算中常用的汽化率为零时的蒸气压，也叫作真实蒸气压或泡点蒸气压。为了估算原油（油品）在储存温度下的真实蒸气压，可根据测得的雷特蒸气压，由美国石油学会推荐的诺谟图（图 1-1、图 1-2）求得。其中，图 1-1 用于原油，图 1-2 用于汽油。图 1-2 中  $S$  为 10% 点处 ASTM 蒸馏曲线的斜率， $S = \frac{15\% \text{点的温度} (^\circ\text{F}) - 5\% \text{点的温度} (^\circ\text{F})}{10}$ 。如果没有蒸馏资料， $S$  值可按下列数值选取：车用汽油， $S=3$ ；航空汽油， $S=2$ ；轻石脑油， $S=3.5$ ；石脑油， $S=2.5$ 。

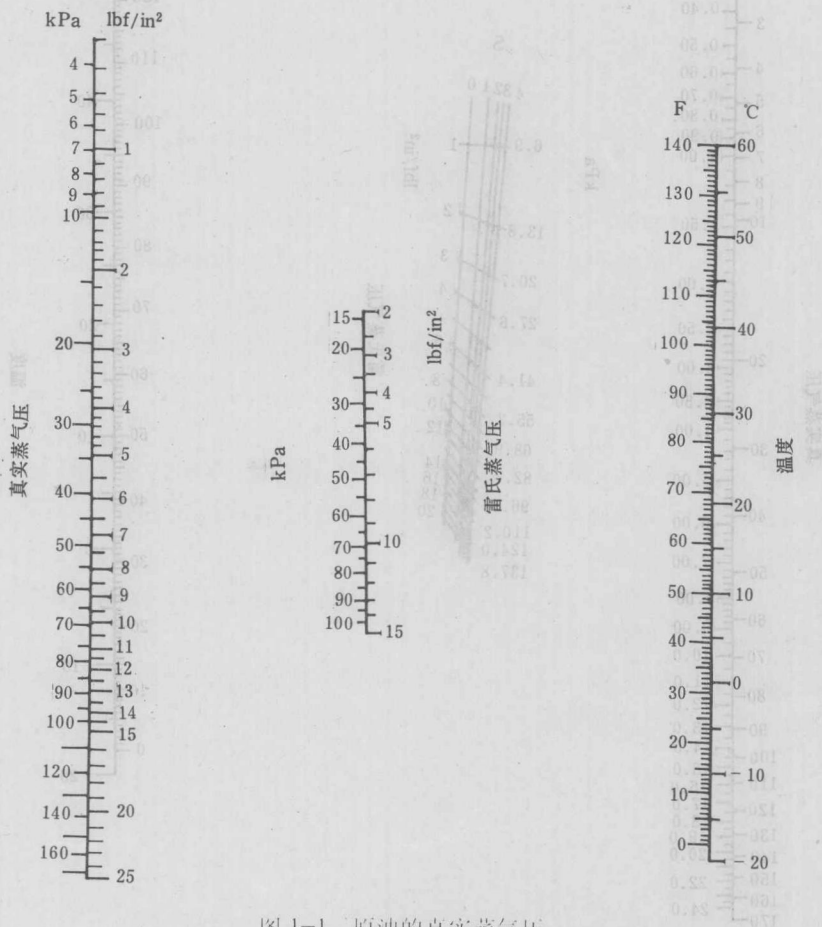


图 1-1 原油的真实蒸气压

**例题 1-1** 已知车用汽油的雷特蒸气压为  $P_R=48.3\text{kPa}$ ，求汽油  $25^\circ\text{C}$  的真实蒸气压。

**解** 取车用汽油  $S=3$ 。在图 1-2 中，通过  $S=3$  与  $P_R=48.3\text{kPa}$  的交点和温度为  $25^\circ\text{C}$  点作一直线。延长该直线与真实蒸气压相交于一点，此点示值即为  $25^\circ\text{C}$  时汽油的真实蒸气压。由图中查得  $P_y=34.0\text{kPa}$ 。

## 二、馏程

对于液态纯化合物，在一定外压下，加热到某一温度时，其饱和蒸气压与外界压力相等，汽化现象将在气液界面及液体内部同时进行，这一温度称为沸点。外压一定时，沸点是



一个恒定值。

原油（油品）与纯化合物不同，它的蒸气压随汽化率不同而变化。外压一定时，沸点随汽化率增加而不断升高。因此，原油（油品）的沸点不是一个定值温度，而是一个温度范围，这个温度范围称为馏程（或沸程）。

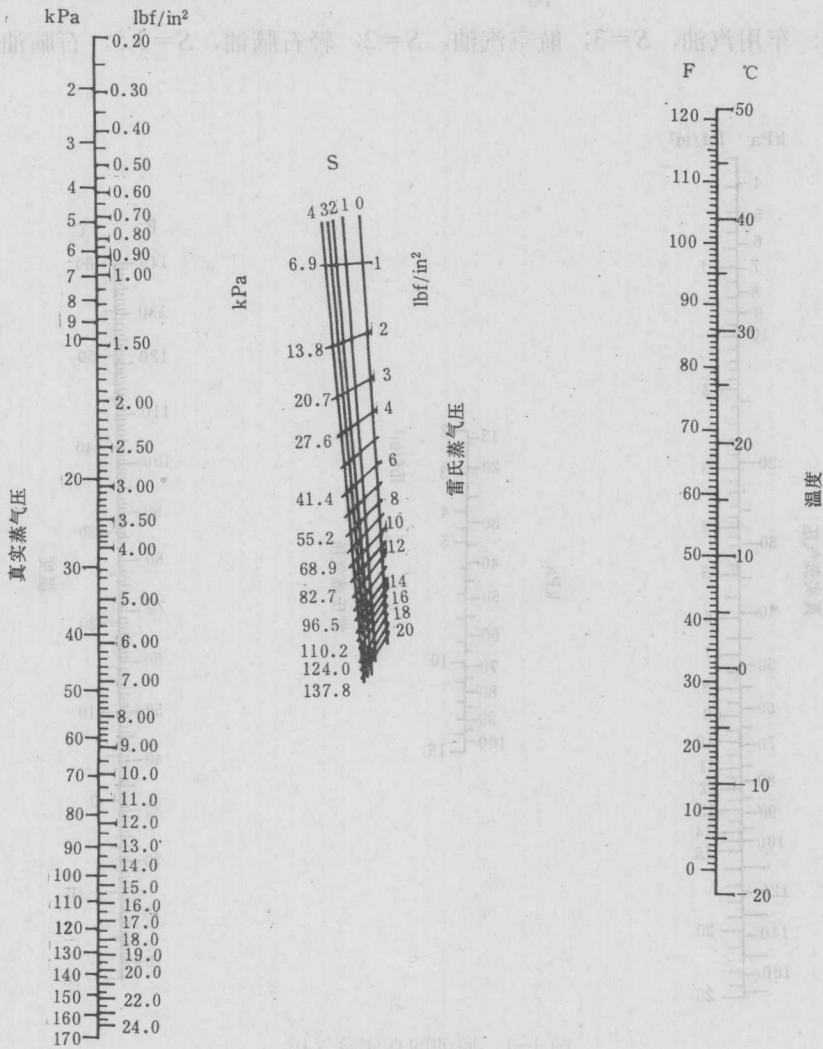


图 1-2 汽油的真实蒸气压

原油（油品）的馏程，因所用的测定仪器不同其数值也有差别。在原油（油品）质量标准及储运过程的质量控制指标中，常用恩氏蒸馏设备测定。把 100ml 试油在恩氏蒸馏设备中进行加热蒸馏，最先汽化蒸馏出来的是一些沸点低的烃类分子。流出第一滴冷凝液时的气相温度称为初馏点。烃类分子按其沸点的高低依次逐渐蒸出，气相温度也逐渐升高，馏出物的体积为 10%、20%……90% 时的气相温度，分别为 10% 点、20% 点……90% 点，蒸馏到最后，达到的最高气相温度称为终馏点或干点。初馏点到终馏点这一温度范围就称为馏程或