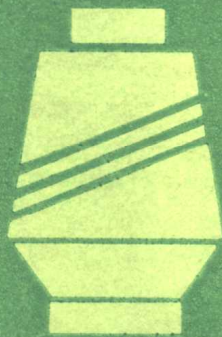
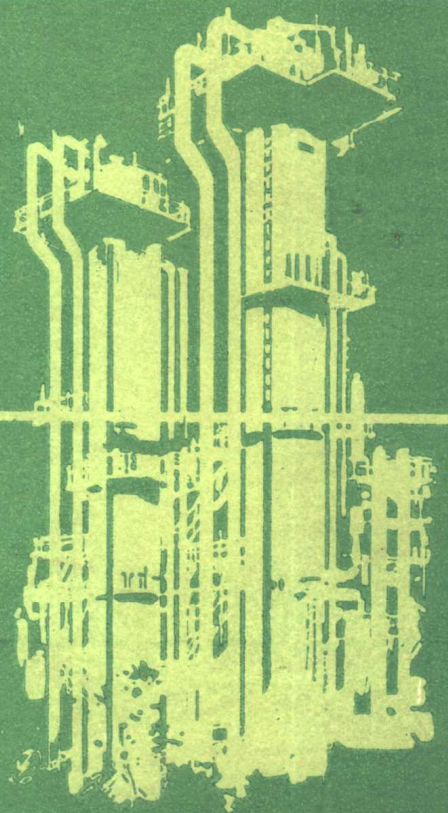
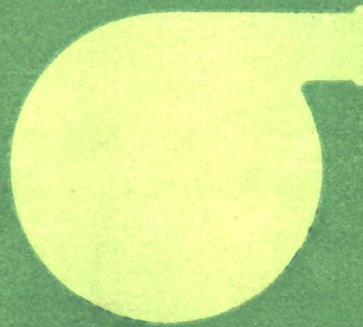


(美) L. F. 哈奇 等著

# 工业石油化学

▶▶▶ 从烃类到石油化学品 ●



烃加工出版社

# 工业石油化学

## ——从烃类到石油化学品

L. F. 哈奇等著

姜俊明 朱和等译

冷寅正 校

烃加工出版社

## 内 容 简 介

本书是一本普及性的工业石油化学读物，简要介绍了从原油、天然气炼制到石油化工加工生产一系列石油化工产品的全过程；以石油化工为重点系统介绍了甲烷、正构烷烃、乙烯、丙烯、苯、甲苯、二甲苯等及其衍生的石油化工产品的性质、工业生产和应用；同时对各种石油化工最终产品，如热塑性树脂、热固性树脂、工程塑料、合成纤维、合成橡胶等的性质、生产和应用市场、发展趋势也详细作了介绍。

本书可供从事石油化工专业的研究人员、工程技术人员和生产管理人员阅读，也可供大专院校有关专业的师生参考。

## From Hydrocarbons to Petrochemicals

Lewis F. Hatch Sami Matar

Gulf publishing Company, 1981年出版

\*

### 工业石油化学 一从烃类到石油化学品

L. F. 哈奇 等著

姜俊明 朱和等译

冷寅正 校

\*

烃加工出版社出版  
北京北方印刷厂排版  
北京北方印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787 × 1092毫米 16开本 20印张 512千字 印1—2,100  
1987年5月北京第1版 1987年7月北京第1次印刷  
书号：15391·30 定价：3.70元

## 译 者 的 话

本书译自美国1981年出版的《From Hydrocarbons to Petrochemicals》一书。全书共分十五章，简明扼要地介绍了石油化学工业从原油、天然气等原料到石油炼制产品、基本有机化工产品、中间体以及高分子合成材料等最终产品的生产全过程，是以石油化工为重点的工业石油化学普及读物。读者通过本书可以对石油化工的基本概况和全貌有一个大致的了解。

在翻译过程中我们参照该书1982年日文译本（《最新石油化学》），对英文版作了些校核。中文译本定名为《工业石油化学——从烃类到石油化学品》。

原著中列举了1980年前后美国主要石油化工生产方面的技术经济数据和预测数据等，有一定参考价值，但是随着时间的推移，原著中的部分数据，特别是预测性数据，可能有些会与实际情况有些出入，请读者在阅读时给予注意。

本书第一至九章由姜俊明同志翻译，第十、十一章由冷寅正同志翻译，第十二至十五章由朱和同志翻译。全书由冷寅正同志审校。本书可供从事石油化工科研、设计、生产和管理的同志阅读，亦可供大专院校师生参考。

由于时间仓促和限于译者水平，书中错误之处在所难免，敬希读者批评指正。

译 者

一九八四年十二月

# 目 录

<b>第一章 石油气体</b> .....	( 1 )
第一节 天然气.....	( 1 )
第二节 油田伴生气.....	( 7 )
第三节 天然气液体.....	( 8 )
第四节 液化石油气.....	( 8 )
第五节 热值.....	( 9 )
<b>第二章 石油的组成和分类</b> .....	( 11 )
第一节 石油中的烃类化合物.....	( 11 )
第二节 非烃类化合物.....	( 15 )
第三节 原油的分类.....	( 18 )
第四节 原油质量的化学和物理检验测试方法.....	( 19 )
第五节 原油储量.....	( 20 )
<b>第三章 石油炼制工艺</b> .....	( 23 )
第一节 物理方法.....	( 26 )
第二节 转化方法.....	( 28 )
第三节 其他炼制方法.....	( 47 )
第四节 未来20年的石油炼制技术.....	( 57 )
<b>第四章 石油炼制过程的非烃产品</b> .....	( 62 )
第一节 氢气.....	( 62 )
第二节 硫.....	( 62 )
第三节 工业碳素.....	( 65 )
第四节 甲酚.....	( 73 )
第五节 环烷酸.....	( 74 )
<b>第五章 甲烷衍生的石油化工产品</b> .....	( 78 )
第一节 合成气及合成气化学产品.....	( 79 )
第二节 甲醇及甲醇化学产品.....	( 82 )
第三节 甲烷氯化物.....	( 89 )
第四节 二硫化碳.....	( 91 )
第五节 氢氰酸.....	( 92 )
<b>第六章 正构烷烃衍生的石油化工产品</b> .....	( 96 )
第一节 乙烷及其衍生产品.....	( 97 )
第二节 丙烷及其衍生产品.....	( 98 )
第三节 正丁烷及其衍生产品.....	( 101 )
第四节 轻石脑油 (C <sub>5</sub> ~C <sub>7</sub> 烃类) 及其衍生产品.....	( 104 )
第五节 高分子量正构烷烃 (C <sub>8</sub> ~C <sub>30</sub> ) 及其衍生产品.....	( 105 )

<b>第七章 烯烃生产</b> .....	( 110 )
第一节 三种主要烯烃概况.....	( 110 )
第二节 烯烃原料与裂解工艺概述.....	( 112 )
第三节 气体原料生产烯烃.....	( 114 )
第四节 液体原料生产烯烃.....	( 117 )
第五节 烯烃的其他生产方法.....	( 126 )
第六节 乙烯的其他来源.....	( 132 )
第七节 八十年代烯烃展望.....	( 134 )
第八节 二烯烃.....	( 135 )
<b>第八章 乙烯衍生的石油化工产品</b> .....	( 143 )
第一节 环氧乙烷及其衍生产品.....	( 143 )
第二节 氯乙烯.....	( 150 )
第三节 乙苯和苯乙烯.....	( 152 )
第四节 乙醇.....	( 152 )
第五节 乙醛.....	( 153 )
第六节 醋酸乙烯.....	( 155 )
第七节 丙烯酸.....	( 157 )
第八节 丙醛.....	( 157 )
第九节 直链醇.....	( 158 )
<b>第九章 丙烯及其他烯烃衍生的石油化工产品</b> .....	( 162 )
第一节 丙烯及其衍生产品.....	( 162 )
第二节 正丁烯及其衍生产品.....	( 182 )
第三节 异丁烯及其衍生产品.....	( 190 )
第四节 丁二烯及其衍生产品.....	( 196 )
<b>第十章 苯、甲苯和二甲苯衍生的石油化工产品</b> .....	( 205 )
第一节 苯及其衍生产品.....	( 205 )
第二节 甲苯类概述.....	( 220 )
第三节 甲苯及其衍生产品.....	( 221 )
第四节 二甲苯及其衍生产品.....	( 231 )
<b>第十一章 聚合物化学概论</b> .....	( 243 )
第一节 聚合物的分类.....	( 243 )
第二节 聚合反应.....	( 245 )
第三节 聚合工艺技术.....	( 251 )
第四节 物理性质.....	( 253 )
<b>第十二章 热塑性树脂</b> .....	( 255 )
第一节 聚乙烯.....	( 258 )
第二节 聚丙烯.....	( 263 )
第三节 聚氯乙烯.....	( 266 )
第四节 聚苯乙烯和苯乙烯共聚物.....	( 269 )
<b>第十三章 热固性树脂和工程塑料</b> .....	( 274 )

第一节	热固性树脂	( 277 )
第二节	工程塑料	( 284 )
<b>第十四章</b>	<b>合成纤维</b>	( 291 )
第一节	聚酯纤维	( 292 )
第二节	聚酰胺纤维	( 296 )
第三节	丙烯腈系纤维	( 301 )
第四节	聚丙烯纤维	( 302 )
<b>第十五章</b>	<b>合成橡胶</b>	( 304 )
第一节	合成橡胶的生产	( 305 )
第二节	各种合成橡胶简介	( 306 )
附录	书中非法定单位与法定计量单位换算表	( 314 )

# 第一章 石油气体

石油化工产品是指从石油和天然气或从石油和天然气的衍生物得到的可投放于化工产品市场的任何化合物。石油化工由于有高纯度、低成本的丰富原料资源，因而在化学工业中占据优势地位。大部分石油化学反应能产生比起始原料化合物的分子量更大的产物，例如，将廉价的 $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{O}_2$ 加成到烯烃上。由于化合物反应是以摩尔数计，但化合物向市场销售则是以重量计的，因而化工生产可以获利。同时，很重要的一点是，石油化学的许多相类似的反应使得化工装备和技术具有广泛的适应性和互换性。

生产石油化工产品的三种主要的起始原料是：合成气、烯烃和芳烃（BTX，即苯、甲苯、二甲苯）。这些基础原料是许许多多石油化工中间产品和最终消费产品的原料。

合成气是一氧化碳和氢的混合物，可通过天然气蒸汽转化获得，亦可由天然气、石脑油或重质燃料油用部分氧化方法获得。事实上，从类似的有机原料采用相似的处理方法也可获得合成气。合成气是许多石油化工产品直接或间接的基础原料，从化肥到甲醇，到单细胞蛋白（SCP）等。

烯烃是通过对包括乙烷、石脑油、柴油甚至原油等各种原料蒸汽裂解而获得的。烯烃是较惰性的石油链烷烃与石油化工消费产品之间具有反应活性的中间基础原料。

苯、甲苯和二甲苯等芳烃是芳香族石油化工产品最有价值的基础原料，也是一些非芳香族石油化工产品的基础原料，如用于制取尼龙-6的己内酰胺和用于制取尼龙-66的己二酸等。原油中也含有芳烃，但芳烃的主要来源还是来自催化重整。芳烃除个别情况是由其他芳烃转化制取外（如甲苯脱烷基制苯），一般不采用合成方法。

评价建设石油化工联合企业的基础——天然气、油田伴生气和原油等原料问题，需要有关于它们的基本知识。而正如任何工作一样，要了解这个领域最好的办法是从其中最小的领域出发。因此，我们从天然气和油田伴生气出发进行讨论。

## 第一节 天然气

### 1. 天然气的分类

天然气一词是石油工业所用的术语，是以甲烷为主要成分的气态烃混合物。天然气中一般还含有少量的氮、二氧化碳和硫化氢等非烃气体。天然气或是与原油伴生储藏于多孔的构造中，称为油田伴生气；或是储藏于没有石油的气体构造中，称为非油田伴生气。天然气，特别是油田伴生气，作为能源和石油化学工业的基本原料都具有很大的重要性。

干性天然气是不含可凝缩性烃类的气体。如果天然气中的液态烃含量大于 $0.04\text{米}^3/\text{千米}^3$ （ $0.3\text{加仑}/\text{千英尺}^3$ ），这种天然气就称作湿性天然气。也有规定每 $1000\text{米}^3$ 天然气中含有 $0.27\text{米}^3$ （ $2\text{加仑}/\text{千英尺}^3$ ）以上可凝缩性烃类的天然气为湿气。从天然气中脱除可凝缩性烃类是经济可行的。在脱除非烃类气体后，典型的干天然气的甲烷含量应在 $85\sim 95\%$ 范围内。湿性天然气的甲烷含量则较低。酸性天然气是指含有相当数量硫化氢和二氧化碳的天然气。各种天然气的组成如表1-1所示。



表 1-1 各种天然气的组成

组 分 % (体)	美 国 盐 湖	美 国 得克萨斯州韦布 (Webb)	美 国 克利夫赛德 (Kliffside)	英 国 苏 塞 克 斯 (Sussex)	法 国 拉 克 (Lack)
甲 烷	95.0	89.4	65.8	93.2	70.0
乙 烷	0.8	6.0	3.8	2.9	3.0
丙 烷	0.2	2.2	1.7		1.4
丁 烷		1.0	0.8		0.6
戊烷和更重的烃类		0.7 <sup>①</sup>	0.5		
硫 化 氢				1.0 <sup>②</sup>	15.0
二 氧 化 碳	3.6	0.6		2.9	10.0
氮	0.4	0.1	25.6		
氢			1.8		

①异戊烷0.22%；正戊烷0.14%；己烷0.22%；庚烷0.13%；

②一氧化碳。

根据天然气中含有的化合物，决定所采用的处理天然气的不同方法。对于硫化氢含量低的干性天然气，如果不需要调节水分含量，只需稍加处理或不必进行处理即可。如果是干气又含有酸性气体，需要脱除硫化氢和二氧化碳。酸性的湿天然气则按后面介绍的工艺程序进行处理。

## 2. 酸性气体的脱除

天然气中的酸性气体是硫化氢和二氧化碳。天然气通过易再生的碱性溶液处理，能有效地脱除硫化氢和二氧化碳。通常采用的碱性溶液是一乙醇胺和二乙醇胺。酸性气体与胺溶液生成硫化物、碳酸盐和碳酸氢盐。乙醇胺溶液用蒸汽处理再生。由于二乙醇胺具有腐蚀性较低、胺损失较少、公用工程需要量较低以及溶液再生量小等特点，因此目前应用较为广泛<sup>(1)</sup>。而且，二乙醇胺与75%的氧硫化碳(COS)能形成可逆反应；而一乙醇胺与95%的氧硫化碳则发生不可逆反应生成降解产物，这种降解产物必须除去。

其他的脱硫工艺，有使用环丁砜(四亚甲基砜)和碳酸钾的方法。Sulfinol法使用环丁砜和烷基醇胺的混合物作溶剂<sup>(2)</sup>。Mercox Process使用含催化剂的苛性碱溶液将硫醇(RSH)转化为不为苛性碱溶解的二硫化物。Perco 法用浸渍了氯化铜的硅藻土将硫醇转化为二硫化物，用这种方法能处理硫醇最大含量达0.05%的天然气。

Econamine法使用二甘醇胺作溶剂，据报道，此法改进了酸性气体的脱除程度<sup>(3)</sup>，较其他乙醇胺方法具有更大的灵活性。二甘醇水溶液具有的低冰点，使其适合于在寒冷地区使用。它在高温下的处理能力又使其具有在热带地区使用的优点<sup>(4)</sup>。

Selextol法是聚乙二醇二甲醚溶剂吸收气体的精制过程<sup>(5)</sup>。能从天然气中脱除高达44%的大量二氧化碳及66ppm的硫化氢。此法是基于二氧化碳的物理吸收过程，而不是化学反应。当酸性气体浓度和操作压力高而温度低时，其吸收效果最好，且与酸性气体不形成化学键。表1-2表示了原料气体和送入管道的产品气体的分析数据<sup>(6)</sup>。

图1-1示出了脱除二氧化碳的Selextol法装置流程。该装置设计的加工能力为  $2.83 \times 10^6$  米<sup>3</sup>/天(100百万英尺<sup>3</sup>/天)入口天然气，压力为6205~7585千帕(900~1100磅/英寸<sup>2</sup>) [表

表 1-2 原料天然气和送入输气管道的产品天然气的典型分析数据<sup>[6]</sup>

组 分 (摩尔%)	原 料 天 然 气	管 道 天 然 气
N <sub>2</sub>	0.45	0.62
CO <sub>2</sub>	27.85	3.50
H <sub>2</sub> S	0.0013	—
C <sub>1</sub>	70.35	94.85
C <sub>2</sub>	0.83	0.99
C <sub>3</sub>	0.22	0.003
C <sub>4</sub>	0.13	0.004
C <sub>5</sub>	0.06	0.004
C <sub>6</sub> 以上	0.11	0.014

压),温度为18~49℃。二氧化碳和硫化氢在两个逆流的吸收塔中进行脱除。原料气于4.4℃和6895千帕(1000磅/英寸<sup>2</sup>)〔表压〕下与Selexol溶剂接触。设计的溶剂循环量是酸性气体分压、接触温度、吸收塔塔板数和送入吸收塔的Selexol溶液含酸性气体程度的函数。

Sepasol MPE是低乙二醇的甲基异丙基醚的一种专门的混合物,其平均分子量为316。因为它是一种物理吸收溶剂,所以其基本的吸收能力特性不同于那些化学溶剂,特别是当硫化氢的分压大于10<sup>5</sup>帕(1巴)时,据称,物理吸收溶剂较化学吸收溶剂具有显著的优点<sup>[21]</sup>。气体的溶解量实际上随压力的升高而直线增加。

物理吸收方法越来越多地用于脱除天然气和煤气化产品中的酸性化合物以及合成气的精制。

硫醇及低浓度的硫化氢和二氧化碳可采用碱洗方法脱除,碱液浓度为5~15%(重)。对高浓度酸性气体,化学吸收方法的成本较高。图1-2示出炼厂典型气体处理装置的概略流程<sup>[2]</sup>。

分子筛(沸石)用于吸附水、硫化氢、硫醇和氧硫化碳。二氧化碳的分离用气体吸收分离方法更为有效。一般采用两个吸附床系统的装置进行连续操作,当一个系统使用时,另一个系统进行再生。再生的方法是用纯净的加热到204~316℃的干燃料气通过沸石床层,然后用处理过的气体产品冷却沸石。当气体的硫化氢和二氧化硫含量低时,采用沸石的方法是具有竞争性的。

### 3. 水分含量的调节

必须调节天然气的水分含量,以防止生成水合物。水合物是白色的固体化合物,是由于烃类气体和水在天然气管道的压力和温度下发生物理和化学反应而生成的。采用各种醇和甘醇对气体进行处理,以脱除水,如乙二醇(EG)、二甘醇(DEG)和三甘醇(TEG)等。水能溶解于这些甘醇中,而烃类则不溶解。气相乙烷脱水是通过与乙二醇逆流接触进行的。由于乙二醇成本低和具有良好的物理性能,可在过程中注入乙二醇进行脱水。三甘醇由于蒸汽压低和溶剂损失量小,可用于气相过程中。脱除水分还可采用固体吸附方法,如使用硅胶和分子筛等。丁二醇和乙醇胺的混合物可用于脱除天然气中的酸性气体和水分。

采用乙二醇溶液脱水,是由于乙二醇具有操作可靠、设备简单以及化工和公用工程费用低等特点。乙二醇溶液的操作问题已由格罗索(Grosso)和皮尔斯(Pearce)作过详细的

报道〔20〕。

#### 4. 可凝缩性烃类的脱除

用液态丙烷在热交换器中将天然气冷却到低温，可脱除其中的可凝缩的烃类。然后用冷的液态烷洗涤冷却天然气，将可凝缩的烃类溶解于液态烃中。未凝缩的气体主要是甲烷和少量的乙烷，凝缩的烃类是天然气液体（NGL）。将天然气液体从溶剂中汽提出来，从而分为两股物流。一股物流主要是丙烷和少量丁烷，将其液化为液化石油气（LPG或LP-gas），美国约80%的液化石油气来自天然气〔7〕；第二股物流主要含C<sub>5</sub>和更重的烃类，将其加入到重整汽油中，可以提高重整汽油的蒸汽压力。

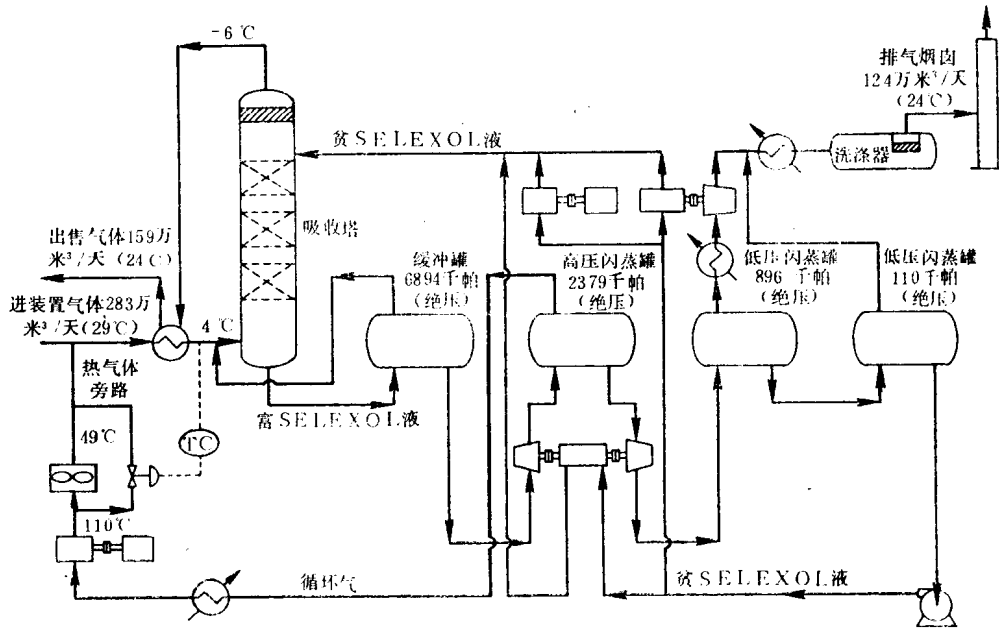


图 1-1 派克斯·皮克 (Pikes Peak) 二氧化碳脱除装置〔5〕

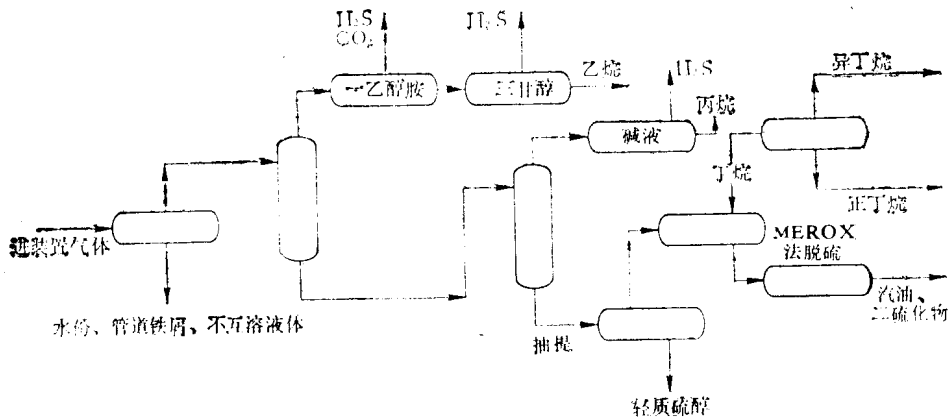


图 1-2 典型的气体处理装置示意流程图〔2〕

#### 5. 物理性质

经脱除水分、可凝缩性烃类以及硫化氢和二氧化碳（如果需要）后的天然气，因为其主要成分是甲烷，因此物理性质很近似于甲烷。表 1-3 示出天然气通常含有的各种烃类组分的物理性质。

表 1-3 天然气组分的物理性质

烃		比 重	沸 点 ℃	热 值 千焦耳/米 <sup>3</sup> (英热单位/英尺 <sup>3</sup> )	碳-氢比 重 量 比	临界温度 ℃	临界压力 大气压
名 称	分 子 式						
甲 烷	CH <sub>4</sub>	0.554 <sup>①</sup>	-161.5	40984 (1100)	3.0	-82.3	46.5
乙 烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.049 <sup>①</sup>	-88.6	67066 (1800)	4.0	32.2	48.3
丙 烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.562 <sup>①</sup>	-42.1	85695 (2300)	4.5	96.8	42.1
异丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.557	-11.1	109541 (2940)	4.8	13.5	36.5
正丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.579	-0.5			152.3	37.0
异戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.6211	27.9	5.0	187.8	32.9	
正戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.626	36.1		197	33.1	
正己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.659	68.7	5.1	234.5	29.9	
正庚烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.684	98.4	5.25	267	26.9	

①空气=1,000.

### 6. 天然气的化学性质及其利用

由于95%的天然气被用作燃料(见图1-3),因此,天然气的热值甚为重要。热值决定于天然气中烃类的组成。天然气的热值范围为3726~4098万焦耳/米<sup>3</sup>(1000~1100英热单位/标准英尺<sup>3</sup>),通常以10.6亿焦耳(1百万英热单位)来确定天然气的销售价格,28米<sup>3</sup>(1000英尺<sup>3</sup>)天然气的热值约相当于10.6亿焦耳(1百万英热单位)。

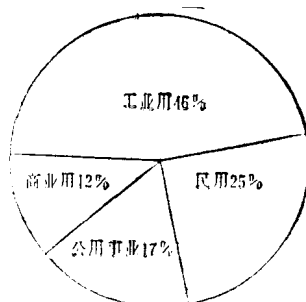


图 1-3 用作燃料的天然气的消费构成

甲烷(天然气)的主要化学利用是通过合成气加工成化工产品。甲烷的直接化学利用则受其化学稳定性和一个碳原子的甲烷分子(CH<sub>4</sub>)的简单性所限制。其直接化学加工的产品主要有氢氰酸(HCN)、二硫化碳(CS<sub>2</sub>)、甲烷氯化物和单细胞蛋白等。

### 7. 储量与资源

1979年1月1日估计的美国天然气储量是5672×10<sup>9</sup>米<sup>3</sup>(200302×10<sup>9</sup>英尺<sup>3</sup>)<sup>(8)</sup>。在1977~1979年美国天然气产量基本保持稳定,为54.9~54.6百亿米<sup>3</sup>(19.4~19.3万亿英尺<sup>3</sup>)<sup>(9)</sup>。世界天然气储量主要集中在苏联(36.4%)和伊朗(20.0%)<sup>(8)</sup>,美国居第三位(8%),其后是阿尔及利亚(4.2%)和沙特阿拉伯(3.2%)。

根据各种假设和有科学分析的测算表明,美国的天然气资源目前最大的储量数字是28.85万亿米<sup>3</sup>(1019万亿英尺<sup>3</sup>)<sup>(10)</sup>。如果把这个数字作为探明储量,按目前的消耗速度,美国的天然气尚可供五十年使用。美国到2000年前燃料气体可能的供应来源摘列于表1-4。

表 1-4 1980~2000年美国燃料气体的可能供应来源

来 源	1978实际	1980	1985	1990	1995	2000
	百亿米 <sup>3</sup>					
美国常规天然气供应 (本土)	54.1	51~54	45~51	42~48	38.2~43.9	34~40
其他来源						
加拿大天然气	2.5	4.0	4.0	3.1	2.8	2.3
合成天然气(SNG)	0.8	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
进口液化天然气	0.3	1.1	4.5	5.7	7.1	8.5
墨西哥天然气		0.6	1.4	2.8	2.8	2.8
阿拉斯加天然气						
南 部			0.3	0.6	0.8	1.7
北 部			2.0	4.0	6.2	8.5
煤 气 化			0.3	1.7	5.1	9.3
新 技 术			2.5	5.1	9.1	14.2
小 计	3.6	7.1	16.4	24.4	35.3	48.7
总计	57.7	58.1~61.1	61.4~67.4	66.4~72.4	73.5~79.2	82.7~88.7

### 8. 液化天然气

天然气在进行液化之前需要脱除水蒸气、二氧化碳和硫化氢，将水蒸气含量降低到10 ppm,二氧化碳降低到100ppm,硫化氢降低到50ppm。可采用固体吸附剂进行这些预处理。

有两种液化天然气的方法：膨胀机循环法和机械冷冻循环法。在膨胀机循环法中，一部分气体从管道输送的较高压力膨胀到较低的压力，使气体温度降低。冷的气体经热交换器冷却进入的温度较高的气体，这些进入的气体再以同样方式通过热交换器使更多的进入的气体被冷却，这样循环冷却，直至达到甲烷的液化温度，产生液化天然气。

机械冷冻循环法在液化天然气过程中使用得更为广泛。这种方法分别采用丙烷、乙烷和甲烷三种液体冷剂进行复叠制冷循环。进入装置的天然气将热量传递给这些冷剂，冷剂被蒸发，而使天然气液化。气体冷剂再重新进行压缩、冷却循环，成为液体冷剂。

表1-5列出了液化天然气的主要性质。图1-4是阿拉斯加天然气的一套液化和输送装置的示意流程<sup>(12)</sup>。

表 1-5 典型的液化天然气混合物的性质

密 度	克/厘米 <sup>3</sup>	0.4325 (27.00磅/英尺 <sup>3</sup> )
沸 点	℃	-158
热 值	千焦/公斤	49311 (21200英热单位/磅)
比 容	厘米 <sup>3</sup> /克	2.3 (0.037英尺 <sup>3</sup> /磅)
临界 温度	℃ <sup>①</sup>	-82.3
临界 压力	千帕 <sup>①</sup>	4640(673磅/英寸 <sup>2</sup> )

①纯液态甲烷的温度和压力。

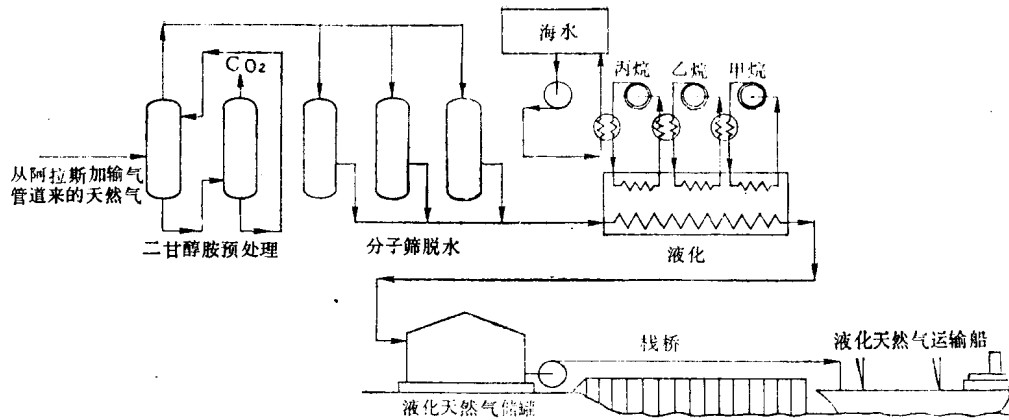


图 1-4 阿拉斯加天然气液化和输送的典型装置示意图(12)

## 第二节 油田伴生气

大部分产油构造的石油中都溶解有不同数量的链烷烃气体。伴生气就是在常压下能溶解于石油中的气体的过量部分的气体。中东生产的绝大部分石油都有伴生气。表1-6列出了中东和北海油田的几种伴生气及一种典型的伴生气的分析数据<sup>(13)</sup>。大部分伴生气的重要特点是含有较高浓度的乙烷，这是乙烯生产的重要原料。象非伴生的天然气一样，采用吸收方法回收乙烷等可凝缩性的烃类。

伴生气是原油生产的联产品，应对伴生气进行加工。它可以点燃火炬或重新注入地下储油构造，也可以作为化工生产的原料。这种情况在天然气生产中并不存在，天然气生产并不伴随原油生产。在中东和北非的大型油田曾经长时期地把原油稳定所脱除的伴生气当作废物。

在石油输出国组织国家中，60%以上的伴生气因送火炬烧掉而白白消耗掉。沙特阿拉伯日产伴生气1亿米<sup>3</sup>，而仅利用了其中的17%。从当今世界的能源状况和工业高度发达地区的石油和天然气化工原料日渐短缺的情况来看，伴生气对于化工原料和能源均具有很大的潜在价值。

表 1-6 中东和北海油田的不同地区的伴生气成分

组 分 % (体)	利 比 亚	沙特阿拉伯 阿卜凯克 (Abqaiq)	伊 朗	北 海	典型成分 <sup>(13)</sup>
甲 烷	56.8	62.24	74.9	85.9	51.06
乙 烷	19.4	15.07	13.0	8.1	18.52
丙 烷	9.1	6.64	7.2	7.2	11.53
丁 烷	3.5	2.40	3.1	0.9	4.37
戊烷和更重的烃类	1.2	1.12	1.5	0.3	2.14
硫 化 氢		2.80			2.20
二 氧 化 碳		9.20	0.3	1.6	9.68
氮				0.5	0.50

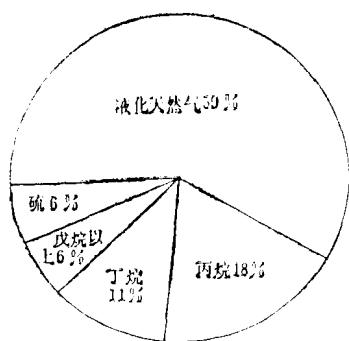


图 1-5 达斯岛伴生气液化工厂的产品构成<sup>(14)</sup> 和液化石油气等副产品。图 1-5 表明了预计日产量为 12136 吨的产品构成情况。各种产品的数量取决于被加工的伴生气，硫来源于伴生气中的硫化氢。

伴生气作为能源和化工原料最好在产地进行直接利用。但是也在研究将它们以气体或液体形态输往工业发达地区进行利用。

### 第三节 天然气液体

天然气液体是由从天然气和伴生气中凝析出的由乙烷到戊烷的烷烃组成的(参见图1-6)。丙烷和丁烷通常是指液化石油气，它们的数据常常是分别报道的。

美国1977年5.26亿桶天然气液体的用途构成情况如图 1-7 所示<sup>(15)</sup>。该图的数据中未包括炼油厂操作过程使用的2.34亿桶天然气液体。在非炼厂用途的天然气液体中，约45%用于生产化工产品。截至1979年1月1日，美国的天然气液体储量为59亿桶。除美国外的三个主要天然气液体生产国是委内瑞拉(32%)、加拿大(27%)和沙特阿拉伯(27%)。随着集气装置的建成，沙特阿拉伯可资利用的天然气液体产量将显著增长。

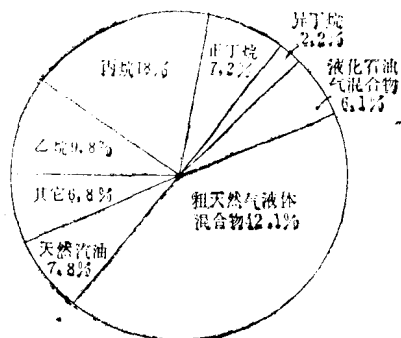


图 1-6 天然气液体的典型产品构成情况

天然汽油是天然气液体的组成部分，它是 $C_4$ 和 $C_5$ 以上高挥发性烃类的混合物。通常将天然汽油加入车用汽油中，以提高其蒸汽压力和使马达在寒冷气候下易于启动。天然汽油也用作化工原料，生产的异辛烷和异戊烷用于烷基化过程。美国天然汽油的平均日产量为81.7万桶。

### 第四节 液化石油气

液化石油气可以由天然气加工过程生产，也可以由石油炼制过程中生产。美国1980年液化石油气产量约为4.77亿桶，需求量为5.33亿桶<sup>(16)</sup>。供需不平衡部分主要从中东和加拿大进口补充。世界的液化石油气有1600万吨过剩量。

图 1-8 示出美国1970~1985年液化石油气的供需情况<sup>(17)</sup>。天然气加工厂的液化石油气

量每年将下降 3 ~ 4 %；而炼油厂生产的液化石油气产量将增长。零售的液化石油气（主要是丙烷）的需求量每年将增长约 2.5%。1985 年之前正丁烷产量将过剩。

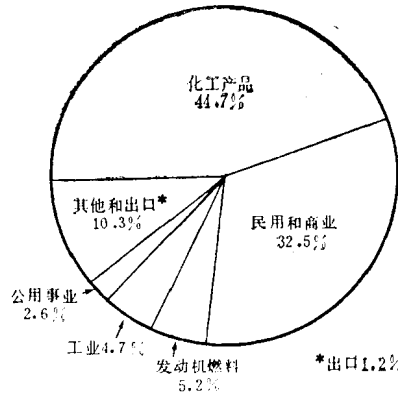


图 1-7 美国 1977 年 5.26 亿桶天然气液体的使用分布情况<sup>(16)</sup>  
(不包括炼厂用的 2.34 亿桶)

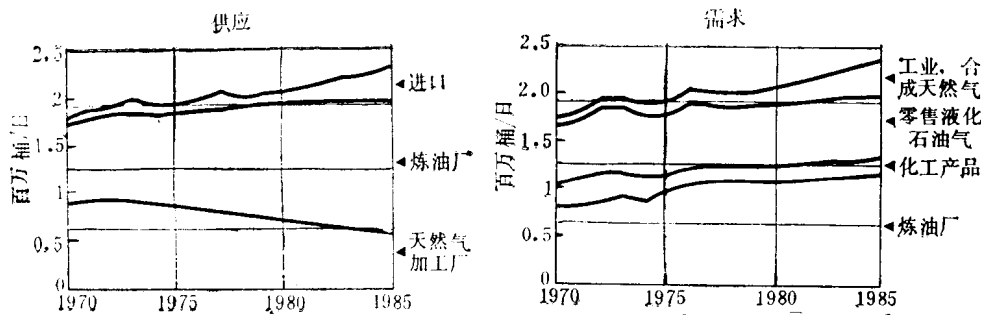


图 1-8 美国 1970 ~ 1985 年液化石油气的供需情况<sup>(17)</sup>

## 第五节 热 值

天然气或伴生气的化学组成和热值决定于对其中的可凝缩性烃类的处理程度。表 1-7

表 1-7 两种液化天然气和一种典型的美国天然气的组成和热值

	阿 尔 及 利 亚 液 化 天 然 气	印 度 尼 西 亚 液 化 天 然 气	美 国 Rochester 天 然 气
组成, %			
甲 烷	87.55	90.75	95.93
乙 烷	8.14	4.94	2.46
丙 烷	2.30	2.92	0.31
丁 烷	1.14	1.31	0.11
戊 烷	0.02	0.07	0.03
氮	0.85	0.01	0.42
总热值, 万英尺 <sup>3</sup> /米 <sup>3</sup>	4199(1127英热单位/英尺 <sup>3</sup> )	4180(1122英热单位/英尺 <sup>3</sup> )	3845(1032英热单位/英尺 <sup>3</sup> )
比 重	0.631	—	0.583



将阿尔及利亚气田和印度尼西亚巴达气田的液化天然气的组成和热值与美国的典型天然气的组成和热值作了比较<sup>(18,19)</sup>。阿尔及利亚的液化天然气中,由于较重的烃类组分含量较高,所以其热值较高。世界上一些国家依靠进口液化天然气进行汽化利用来补充天然气的不足,因而燃烧的互换性甚为重要。

可以用沃贝指数(Wobbe index)作为参数将天然气按相似热值和工艺特性加以分类。该指数的计算是由气体的热值除以比重的平方根而得出。由两种气体组成的混合物的沃贝指数,如其结果相互下降在10%以内,则表明两种气体是可互换的。再蒸发的阿尔及利亚天然气,其热值为43071千焦/米<sup>3</sup>(1156英热单位/英尺<sup>3</sup>),比重为0.648,沃贝指数为1436。美国的Rochester天然气的沃贝指数为1352。

#### 参 考 文 献

1. Tuttle R. and K. Allen. The Oil and Gas Journal, Aug. 9, 1976, pp. 78-82.
2. Hydrocarbon Processing and Petroleum Refiner, Vol. 43, No. 3, 1954, p. 150.
3. Freireich, E. and R.N. Tennyson. The Oil and Gas Journal, Aug. 23, 1976, pp. 131-132.
4. The Oil and Gas Journal, July 17, 1978, p. 73.
5. Raney, D.R., Hydrocarbon Processing, Vol. 55, No. 4, 1976, pp. 73-75.
6. Hydrocarbon Processing, Vol. 57, No. 4, 1978, p. 122.
7. Hydrocarbon Processing, Vol. 53, No. 5, 1974, p. 85.
8. Seaton, Earl. The Oil and Gas Journal, June 25, 1979, pp. 65-69.
9. The Oil and Gas Journal, June 11, 1979, p. 38
10. The Oil and Gas Journal, Apr. 9, 1979, pp. 82-83.
11. Gas Making and Natural Gas, New York: Ben Johnson & Co. Ltd., 1972.
12. Wall, J.D. Hydrocarbon Processing, Vol. 54, No. 4, 1975, pp. 141-144.
13. Aalund, L.R. The Oil and Gas Journal, July 19, 1976, pp. 98-100.
14. Magurie, D.R. Second Arab Conference on Petrochemicals, United Arab Emirates, Abu Dhabi, March 15-22, 1976.
15. Cannon, R.E. The Oil and Gas Journal, July 19, 1976, pp. 98-100.
16. The Oil and Gas Journal, Mar. 22, 1977, pp. 74-75.
17. The Oil and Gas Journal, Mar. 12, 1979, pp. 32-33.
18. The Oil and Gas Journal, April 11, 1977, pp. 62-64.
19. Kennedy, T.L. The Oil and Gas Journal, May 29, 1978, pp. 51-56.
20. Grosso, Silvano and R.L. Pearce. The Oil and Gas Journal, Sept. 24, 1979, pp. 176, 178, 180, 183, 186, 188; The Oil and Gas Journal, Oct. 1, 1979, pp. 86, 89-90, 92, 94.
21. Wolfer, W., E. Schwartz, W. Vodrazka and K. Volkamer, The Oil and Gas Journal, Jan. 21, 1980, pp. 66-70.