

# 第一章 概论

石油化学工业是一门新兴工业，石油化工的发展，促进了国民经济的巨大进步。乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、乙炔、苯、甲苯、二甲苯等是石油化工最基本的原料，是生产各种重要的有机化工产品的基础。由于乙烯装置是石油化工生产有机原料的基础，是石油化学工业的龙头，所以它的生产规模、产量和技术标志着一个国家的石油化学工业的发展水平。

半个世纪以来，石油化学工业一直以高于国民经济生产总值的增长速度发展，许多国家还把它列为国家工业发展的重点。

1960年世界乙烯产量为2910kt，1970年为19760kt，1980年达到34020kt，1990年为56300kt。80年代末、90年代初，由于全球经济复苏，特别是亚洲发展中国家的经济迅速发展，对石化产品的需求大大增加，刺激了各国石油化工装置的增建和扩建。从1990年以来，一批新建和扩建的乙烯装置陆续投产，世界乙烯生产能力和产量均有较大的增长，到1992年世界乙烯生产能力已超过70000kt，1997年接近86900kt，产量达到78500kt。世界主要国家和地区近年乙烯生产能力和产量及其增长情况见表1-1，表1-2是世界十大乙烯公司生产能力，到2000年世界乙烯生产能力的增长和预测见表1-3。

表1-1 世界主要国家和地区的乙烯生产能力和产量

	1996年			1997年			1997/1996年	
	能力/Mt	产量/Mt	开工率/%	能力/Mt	产量/Mt	开工率/%	能力增加/Mt	产量增加/Mt
美国	23.7	22.7	94	24.4	23.2	95	0.7	0.9
加拿大	3.3	3.3	100	3.3	3.2	96	—	-0.1
墨西哥	1.4	1.3	96	1.4	1.4	98	—	0.1
北美计	28.4	26.9	95	29.1	27.8	95	0.7	0.9
巴西	2.3	1.9	83	2.4	2.0	83	0.1	0.1
其它	1.0	0.8	81	1.0	0.8	83	—	—
中南美计	3.3	2.7	82	3.4	2.8	83	0.1	0.1
西欧	19.7	17.8	90	20.2	18.2	90	0.5	0.4
东欧	6.3	3.4	55	6.3	3.6	57	—	0.2
日本	7.4	7.1	96	7.6	7.4	97	0.2	0.3
韩国	4.1	4.0	98	4.5	4.4	98	0.4	0.4
中国台湾	1.0	0.9	89	1.0	1.0	95	—	0.1
中国	3.7	3.0	90	3.9	3.6	92	0.2	0.6
东南亚	2.2	2.1	94	2.8	2.7	97	0.6	0.6
印度	0.6	0.5	95	1.2	1.1	95	0.6	0.6
亚洲计	18.6	17.6	95	21.0	20.2	96	2.4	2.6
中东	4.5	4.0	89	5.1	4.5	89	0.6	0.5
非洲	1.3	0.8	62	1.3	1.0	77	—	0.2
大洋洲	0.5	0.4	86	0.5	0.4	87	—	—
总计	83.0	73.6	89	86.9	78.5	90	3.9	4.9

资料来源(日)化学经济1998年3月临时增刊号。

表 1-2 世界十大乙烯生产公司生产能力

公 司	国 家	生产能力/ (kt)
Dow Chem	美国	4923
Roryl Dutch/Shell	荷兰、英国	3869
Exxon	美国	3641
EniChem Anic	意大利	2125
SABIC	沙特阿拉伯	2090
Novacor	加拿大	2087
UCC	美国	1676
Lyondell 石油化学	美国	1633
Occidental 石油化学	美国	1633
Phillips 石油化学	美国	1633
合计		25310

注：表中数据截至 1995 年 4 月。

表 1-3 世界乙烯生产能力的增长情况

地 区	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
北美	28200	29100	29500	29500	29500
南美	3100	3200	3300	3300	3300
西欧	19400	19400	19400	19400	19400
东欧	7000	7500	7700	8000	8000
非洲	1400	1400	1400	1400	1400
中东	4400	5500	6000	6600	7200
亚太地区	20100	22100	24300	26500	31300
合计	83600	88200	91600	94700	100100

据 1996 年 OGJ (油气杂志) 统计, 目前国外乙烯生产能力超过 2000kt/a 的国家有 12 个, 见表 1-4。

表 1-4 乙烯生产能力超过 2000kt/a 的国家

国 家	生产能力/ (kt/a)	国 家	生产能力/ (kt/a)
美国	22230	加拿大	3290
日本	6890	沙特阿拉伯	2940
俄罗斯	4720	荷兰	2230
德国	4500	意大利	2100
中国	3710	英国	2070
韩国	3630	巴西	2060
法国	3440		

乙烯生产能力超过 1000kt/a 的公司有 19 家, 其中美国公司占 50% 以上。而生产能力最大的公司是加拿大 Novacor 化学公司, 其乙烯生产能力为 2213kt/a。生产能力最大的乙烯工厂是美国 Phillips 石油公司的 Sweeny 工厂, 规模为 1633kt/a, 其次是加拿大 Novacor 化学公司的 Joffre 工厂, 为 1542kt/a。

我国自 60 年代建设乙烯装置以来, 特别是 70 年代先后从国外引进一批技术先进、规模较大的乙烯装置, 分别建成了燕山、大庆、齐鲁、扬子和上海等年产 300kt 的乙烯装置。近几年来, 全国乙烯行业有飞跃性的发展, 原有老装置通过配套平衡、技术改造, 生产能力进一步发挥, 使全国乙烯生产能力有了大幅度提高。到 1999 年我国乙烯生产能力将

达 4418kt。

1999 年全国主要乙烯装置设计生产能力见表 1-5a。1980 年至 1998 年全国乙烯生产情况见表 1-5b。

表 1-5a 我国乙烯装置设计生产能力

厂名	原料(设计)	设计能力/(kt/a)
燕山石化化工一厂	轻柴油	300 + 150
上海石化烯烃厂	常压和减压轻柴油	300 + 100
齐鲁石化烯烃厂	常压和减压轻柴油	300 + 150
扬子石化烯烃厂	常压和减压轻柴油	300 + 100
大庆石化一厂	轻烃	300 + 180
上海石化一厂	煤柴油	115 + 35
吉林有机合成厂	煤柴油	115 + 35
辽化化工一厂	轻柴油和石脑油	72.8 + 15.2
兰化 303 厂	轻柴油和石脑油	80 + 80 + 40
盘锦天然气化工厂	轻烃和石脑油	130 + 30
抚顺乙烯化工厂	轻烃和石脑油	120 + 20
独山子乙烯工程	轻烃和石脑油	140
中原石化总厂	轻烃和石脑油	140
北京东方化工厂	石脑油和轻柴油	140
天津联合化学公司	石脑油和轻柴油	140
广州石油化工公司	石脑油和轻柴油	150
茂名石油化工公司	石脑油和轻柴油	300 + 80
吉林化学工业公司	石脑油和轻柴油	300
共计		4458

“+”号后的数为改造后增加的设计能力；设计能力为 1999 年 12 月数据。

表 1-5b 1980~1998 年全国乙烯生产情况

	1980	1986	1988	1991	1994	1996	1997	1998
乙烯产量/kt	478.3	676.2	1210	1760.9	2124.2	3034.4	3579.2	3787
乙烯生产能力/(kt/a)	596	1012	1635		2328	3711	3977	4200
乙烯原料单耗/(t/t)	4.39	3.809		3.549	3.449	3.351	3.310	3.252

其中，扬子石化公司、上海石化烯烃厂经改扩建达到 400kt/a 乙烯规模，齐鲁经改扩建达到 450kt/a 乙烯规模，大庆正在改扩建为年产乙烯 480kt。而新开工的乙烯装置有茂名、吉化（年产乙烯 300kt）。

我国乙烯装置的能耗，于 80 年代以前投产的每吨乙烯在 33.5GJ 以上，于 90 年代初期投产的每吨乙烯在 33.5GJ 以下，以石脑油为原料的能耗是每吨乙烯 20.9GJ 左右。在国际上，近期投产的以石脑油为原料的装置，每吨乙烯能耗一般低于 20.9GJ，如表 1-6a 所示。

表 1-6a 乙烯装置设计吨乙烯能耗<sup>①</sup>

原料	1970 年	1980 年	1989~1994 年	1999 年
乙烷	26.8	21.4	12.6	12.6
丙烷	28.5	23.4	15.9	15.9
石脑油	39.4	26.0	19.3	19.3
轻柴油	44.4	33.1	25.1	23.9

①没有采用燃气轮机的能耗。

乙烯是石油化工最重要的基础原料之一，从乙烯出发可以得到一系列产品。乙烯装置主要裂解产品及副产品的用途见图 1-1 至图 1-4。

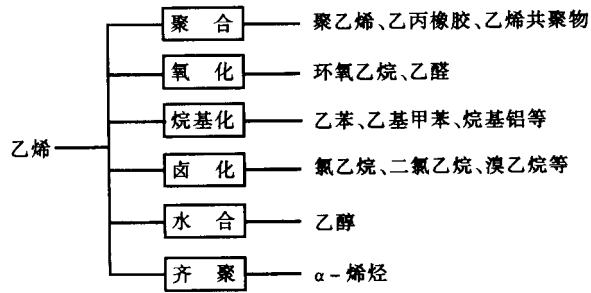


图 1-1 乙烯系列产品

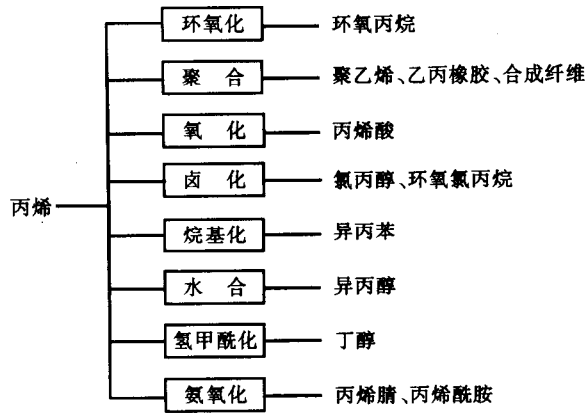


图 1-2 丙烯系列产品

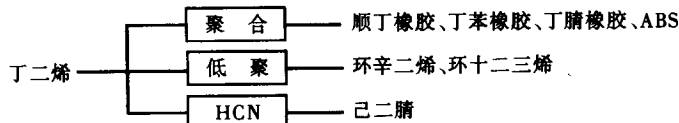


图 1-3 丁二烯系列产品

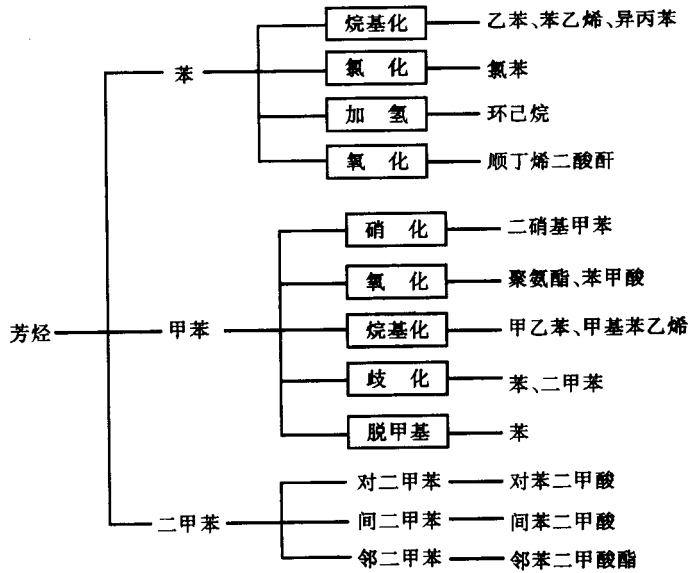


图 1-4 芳烃系列产品

1995年、1996年世界乙烯消费结构及2000年消费结构的预测，以及美国、西欧、日本的乙烯消费结构见表1-6b。

表 1-6b 乙烯消费结构

	美国			西欧			日本	全球	
	1996	2005	2010	1995	2005	2010	1996	1995	2000
LDPE	15.9	10.3	8.0	28.4	22.7	19.8	-	22	19
LLDPE	11.6	15.6	18.6	7.1	11.0	13.9	-	10	13
LDPE/EVA	-	-	-	-	-	-	-	10	13
HDPE	25.2	30.1	32.6	21.3	24.2	24.9	19.5	23	24
EO	12.2	11.5	10.6	10.0	10.4	10.4	11.1	12	11
VCM	2.0	2.3	2.2	0.9	1.0	1.1	-	7	7
$\alpha$ -烯烃	5.2	6.3	6.5	2.4	3.1	3.5	-	-	-
EDC	16.1	13.9	12.7	-	-	-	14.4	-	-
EDC/VCM	-	-	-	15.8	14.3	13.7	-	-	-
乙苯/苯乙烯	7.3	6.6	6.1	6.6	6.3	6.3	13.7	16	15
乙丙橡胶	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-
其它	4.4	3.4	2.9	7.6	6.8	6.7	9.8	10	11
总量/(kt)	22000	30000	37000	17600	22000	25000	7138	-	-

资料来源：PERP, Ethylene/Propylene. 1996/1997, 6; 1997, 3。

## 第一节 乙烯装置原料

### 一、乙烯原料来源和种类

裂解原料的来源主要有两个方面，一是天然气加工厂的轻烃，如乙烷、丙烷、丁烷、天然气油等，二是炼油厂的加工产品，如炼厂气、汽油、煤油、柴油、重油、渣油等，以及炼油厂二次加工油，如焦化加氢油、加氢裂化油等。

#### (一) 天然气

蕴藏在地层内的可燃性气体称为天然气，它的组成主要是甲烷，还含有乙烷、丙烷等低相对分子质量（以下简称分子量）烷烃，和少量  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等非烃成分。

依化学组成不同，天然气可分为干气和湿气两种，干气的主要成分是甲烷，含甲烷在90%（质）以上，我国三个气田的干气成分如表1-7。湿气含90%（质）以下的甲烷，其余的组分是乙烷、丙烷和丁烷等烷烃，之所以称为湿天然气，是因为  $\text{C}_2 \sim \text{C}_5$  这部分可以经压缩冷却得到液态的凝缩汽油。

表 1-7 我国天然气干气组成

相对密度	%(质)							
	甲烷	乙烷	丙烷	硫化氢	不饱和烃	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{N}_2$
0.6222	89.99	0.19	0.10	1.46	0.03	3.10	0.07	5.01
0.5783	97.55	0.54	0.15	0.50	-	1.0	0.04	1.33
0.5614	97.88	0.41	0.04	0.097	-	0.30	0.12	1.18

从矿藏不同分类，天然气可分为气井气、凝析井气、油田气三种。

1. 气井气 开采时只出气不出油的井称为气井，开采出来的气体称为气井气，其中甲烷含量较高，乙烷、丙烷含量较少。

2. 凝析井气 在开采气田凝析油的同时采出凝析井气。凝析油的组成相当于轻石脑油或全沸程石脑油和粗柴油的混合物。

3. 油田气 油田气是伴随开采石油从油井中开采出来的气体，是与石油伴生的天然气，故又称为油田伴生气。油田气除了含有相当数量甲烷外，尚含有一定量的乙烷、丙烷、丁烷

等，经压缩分离出气体，得到的液体部分称之为液化石油气（LPG）。在开采油田中，油田气的数量很大，我国天然气量有45%左右为油田伴生气，气油比（米<sup>3</sup>气/吨原油）一般在20~500范围内。我国大庆、胜利油田的气油比约为40~60，大港约为150~200。油田气采出，其组成和气油比因地区和季节等条件而异，通常新油田的气油比较大，气体中低级烃含量较高，开采到后期气量显著减少，组成中高级烃含量增多。表1-4列出了不同地区的伴生气组成。

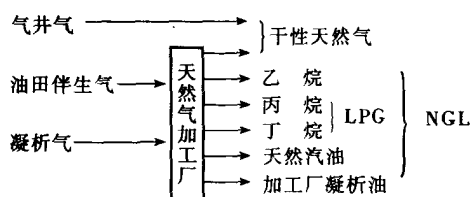


图 1-5 天然气分离加工示意图

天然气经分离加工装置分出的乙烷、LPG、天然汽油、加工厂凝析油，总称为天然气凝析液（NGL）。天然气的分离加工如图1-5。

表 1-8 不同地区的伴生气组成

国家和地区	组成/% (体)							
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub> <sup>①</sup>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>
中国 (1)	79.75	1.90	7.60	5.62	3.31	0	0	0
(2)	76.29	11.00	6.00	4.00	0.71	1.36	0	0.64
(3)	81.50	8.50	5.00	3.00	1.00	0	0	1.00
(4)	76.83	9.69	5.70	3.84	2.95	0.34	0	0.65
利比亚	66.80	19.40	9.10	3.50	1.20	0	0	0
沙特阿拉伯	62.24	15.07	6.64	2.40	1.12	9.20	2.80	0
伊朗	74.90	13.00	7.20	3.10	1.50	0.30	0	0
北欧	85.90	8.10	2.70	0.90	0.30	1.60	0	0.50
委内瑞拉	85.00	8.00	4.40	2.00	0	0.40	0.20	0
尼日利亚	83.60	6.80	4.50	2.60	1.40	0.10	1.00	0

系指 ≥ C<sub>5</sub> 的组分，下同。

世界各主要产区天然气组成列于表1-9。天然气经分离加工，分离得到乙烷、丙烷、丁烷和它们的各种混和物，称为气体原料。其蒸汽裂解产品分布数据列于表1-10。

表 1-9 世界各主要产区天然气组成

产地		组成/% (体)								
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub> <sup>+</sup>	CO	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>
美国	Louisiana	92.18	3.33	1.48	0.79	0.25	0.05	0.90	—	1.02
	Kuffalde	65.80	3.80	1.70	0.80	0.50		—	—	25.60
加拿大	Alberta	87.02	9.15	2.78	0.35	—	—	0.24	—	0.46
委内瑞拉	Son Joaqui	76.70	9.79	6.69	3.26	0.94	0.72	1.90	—	—
荷兰	Goningen	81.40	2.90	0.37	0.14	0.04	0.05	0.80	—	14.26
法国	Leaq	69.50	3.10	1.00	0.50	0.30	0.50	10.00	15.10	—
英国 (北海)	Leman Bank (气井气)	95.00	2.76	0.49	0.20	0.06	0.15	0.04	—	1.30
	伴生气	83.70	8.70	4.20	1.30	0.30	0.10	1.00	—	0.70
伊朗	波斯湾	76.12	11.11	6.11	2.16	0.73	0.39	3.10	0.28	—
阿尔及利亚		83.44	7.00	2.10	0.87	0.24	0.12	0.21	—	5.83
印度尼西亚	Jana 海上油田伴生气	52.25	11.00	19.80	9.25	3.14	2.15	1.02	—	1.39
沙特阿拉伯		51.50	18.50	11.50	4.40	1.20	0.90	9.70	2.20	0.50
科威特		78.20	12.60	5.10	0.60	0.60	0.20	1.60	0.10	—
原苏联	秋明伴生气	86.90	2.60	3.50	2.70	1.20		0.80	—	—
	含别林斯克凝析气	93.60	4.00	0.60	0.70	0.40		0.10	—	0.60
	巴什基利亚伴生气	41.00	19.70	17.00	7.30	3.20		0.20	—	11.60

表 1-10 气体原料蒸汽裂解单程产品收率

%(体)

原料	乙烷		丙烷		正丁烷		异丁烷	
单程转化率/%	60		92		96		51	
膨胀率	1.53		1.91		2.20		1.54	
组成	进 料	出 料	进 料	出 料	进 料	出 料	进 料	出 料
H <sub>2</sub>		32.7		13.8		9.0		13.1
CH <sub>4</sub>		6.3		36.3		37.2		21.6
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		0.2		0.3		0.5		—
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2.0	33.8		30.0		28.5		2.7
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	95.2	24.9	0.4	5.0		6.2		1.5
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2.2	1.0	—	7.6		10.8		12.8
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.6	0.2	98.2	4.2		0.5		3.0
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		}0.4	—	}1.2	0.9	—	95.0	30.2
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>			1.4		97.0	1.8	0.7	
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>						1.1	14.0	
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>						0.8	—	
C <sub>5</sub>		0.5		1.6		3.6		0.4

## (二) 炼油装置的裂解原料

1. 炼厂气 炼厂气是炼厂在石油加工过程中所得到的气体的总称。它主要包括催化裂化气、加氢裂化气、焦化气、重整气。这些气体经汽油吸收后可得干气、气态烃、液态烃。气态烃主要含有氢、甲烷、碳二等难凝气体，液态烃主要是碳三、碳四馏分，结果列于表 1-11、1-12。

表 1-11 炼厂主要装置的气体产率

%(质)

装 置	气态烃	液态烃	气液烃总产率
催化裂化	2~4.5	8~11.5	10~16
热裂化	6.5	2.5	9
延迟焦化	5~7	1.5~2	6.5~9
减粘裂化	1.3	—	1.3
铂重整	含氢气体 3	—	3

表 1-12 典型炼厂气组成

%(质)

项 目	常压蒸馏	催化裂化	催化重整	加氢裂化	加氢精制	延迟焦化	减粘裂化
H <sub>2</sub>	—	0.6	1.5	1.4	3.0	0.6	0.3
CH <sub>4</sub>	8.5	7.9	6.0	21.8	24.0	23.3	8.1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	15.4	11.5	17.5	4.4	70.0	15.8	6.8
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	—	3.6	—	—	—	2.7	1.5
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	30.2	14.0	31.5	15.3	3.0	18.1	8.6
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	—	16.4	—	—	—	6.9	4.8
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	45.9	21.3	43.5	}57.1	—	18.8	36.4
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	—	24.2	—		—	13.8	33.5
合计	100	100	100	100	100	100	100

2. 原油各馏分油 原油经过炼油装置得到的各种油品可作为乙烯的原料。图 1-6 为炼油厂流程示意图。

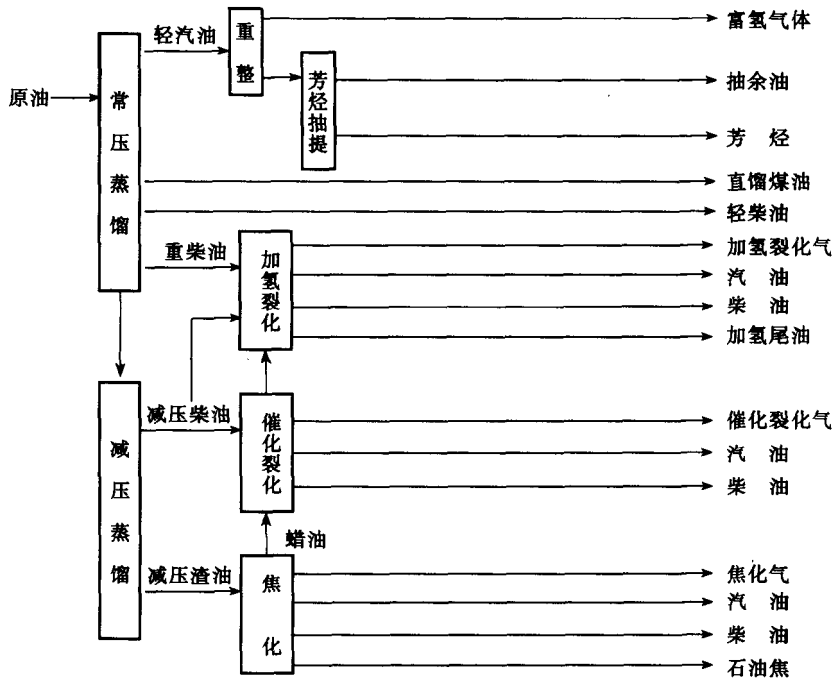


图 1-6 炼油厂流程示意图

(1) 轻油 轻油包括直馏汽油、抽余油、重整拔头油等含烷烃较多的低沸点馏分油，沸点范围从初馏点至 130 或初馏点至 200 的汽油馏分。

拔头油 将初馏点至 130℃的直馏汽油馏分进行拔顶，拔出初馏点至 60℃的轻馏分，这就是拔头油，主要是 C<sub>3</sub>~C<sub>6</sub> 的烃，其收率约为原油处理量的 0.4%~0.6%。

抽余油 经过拔顶后的直馏汽油 60~130℃馏分进行重整，经过芳烃抽提，抽出芳烃以后剩下的馏分称之为抽余油，主要成分是 C<sub>6</sub>~C<sub>8</sub> 烷烃和环烷烃，组成见表 1-13。

表 1-13 重整汽油抽余油组成 % (质)

组 分	含 量
烷烃	61.6
环烷烃	36.8
芳烃	1.6

直馏汽油 又称为石脑油，原油经常压蒸馏馏分出初馏点至 200 的馏分油称为全流程石脑油，如果切取初馏点至 130 或以前馏分称为轻石脑油。

(2) 煤油、轻柴油 煤油是 130~300 之间的直馏馏分油，200~300 的直馏馏分油为常压柴油 (AGO)。柴油可分为两种，200~350 的馏分为轻柴油，250~400 馏分为重柴油，现在将 145~360 馏分油称为轻柴油。

(3) 减压柴油 经减压蒸馏得到的 350~500 馏分称为减压柴油 (VGO)。

## 二、中国原油性质

原油是由分子量不同的各种烷烃、环烷烃和芳烃所组成的复杂混合物，还有含氮、含硫和含氧的有机化合物 (噻吩、硫醇、硫醚)，以及微量的无机盐和水分。

根据石油中各种烃族的相对含量的不同，可以将石油分为三大类，一类是石蜡基石油，其中烷烃含量较高，芳烃含量较低；一类是环烷基石油，其中环烷烃和芳烃含量较高，烷烃

含量较低；还有一类是混合基石油，其中各族烃的含量介于上两类之间。我国目前所产原油大多数属于石蜡基，如大庆、任丘。表 1-14 列出了中国原油的性质，表 1-15 列出了原油中各种非碳氢元素的含量。表 1-16 列出了各地直馏馏分含量。

表 1-14 中国主要原油性质

项 目	大庆	任丘	大港	辽河	胜利	中原	玉门	克拉玛依
相对密度( $d_4^{20}$ )	0.8601	0.8821	0.8826	0.8793	0.9005	0.8466	0.8700	
粘度(50℃)/cSt <sup>①</sup>	23.85	43.38	17.37	21.90	83.36	10.32	32.7(30℃)	46.3(30℃)
胶质/%(质)	17.96	24.74	13.10	15.50	23.20	9.50		
沥青质/%(质)	0.12	4.78			5.10		0.14	0.01
残炭/%(质)	2.99	6.00	3.20	3.90	6.40	3.80	5.10	3.70
硫/%(质)	0.10	0.29	0.12	0.18	0.80	0.52	0.11	0.04
氮/%(质)	0.16	0.28	0.23	0.20	0.41	0.17		
特性因数 K	12.5	12.2	12.1	12.1	12.1	12.5		
原油分类	低硫 石蜡基	低硫 石蜡基	低硫 环烷中 间基	低硫 中间石 蜡基	含硫 中间基	含硫 石蜡基		

①cSt =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s。

表 1-15 中国原油中各种非碳氢元素的含量

原 油	硫/%(质)	氮/%(质)	钒/ $10^{-6}$	镍/ $10^{-6}$	铁/ $10^{-6}$	铜/ $10^{-6}$	砷/ $10^{-9}$
大庆	0.12	0.13	<0.08	2.3	0.7	0.25	2800
胜利 101 油库	0.80	0.41	1	26			
孤岛	1.8~2.0	0.5	0.8	14~21	16	0.4	
滨南	0.3	0.24					
大港	0.12	0.23	<1	18.5		0.8	
任丘	0.3	0.38	0.7	15	1.8		0.220
玉门	0.1	0.3	<0.02	18.8	6.8	0.46	
克拉玛依	0.1	0.23	<0.4	13.8	8	0.7	
霸县混合油	0.1		<0.1	1.3	0.4	0.3	
陕甘一号	0.05	0.067	<1	~2			

表 1-16 中国各地油田原油相对密度和直馏馏分 % (质)

油田名称	相对密度 ( $d_4^{20}$ )	%			
		汽油 初馏至 180℃	轻柴油 180~350℃	减压柴油 350~500℃	渣油 >500℃
大庆(萨尔图)	0.8615	8.0	20.8	27.1	44.1
大庆(喇嘛甸子)	0.8666	8.7	18.7	28.7	43.9
扶余	0.8565	7.7	20.6	31.9	39.8
胜利(混合)	0.9005	6.1	19.0	27.5	47.5
胜利(滨南)	0.9024	7.3	23.3	24.0 (350~480℃)	45.4 (>480℃)
胜利(孤岛)	0.9640	1.9	14.0	28.9	55.2
华北(任丘)	0.8837	4.9	21.1	39.9	39.1
华北(雁翎)	0.8902	1.5	21.3	33.9	43.3
华北(霸县)	0.8386	11.3	36.5	36.3	15.9
大港	0.8826	7.8	27.1	36.4	28.7
克拉玛依	0.8708	12.2	28.0	27.4 (350~480℃)	32.4 (>480℃)
南疆柯参 1*	0.7727	34.9	49.2	8.4 (350~420℃)	7.5 (>420℃)
玉门(老君庙)	0.8662	12.3	29.2	25.2	33.2
陕甘一号	0.8456	16.5	30.9	30.7	21.9
南阳	0.8618	3.5	21.5	25.8 (350~480℃)	50.2 (>480℃)
河南一号	0.8310	17.5	30.1	28.5	23.9
辽河	0.8793	10.4	26.2	29.9	33.5
中原	0.8466	17.2	27.3	23.2	32.3

### 三、中东原油性质

中东地区为世界原油的主要产地，世界上许多地区的乙烯原料尤其是石脑油均来自中东。国内炼油厂目前炼制较多的进口原油为沙特阿拉伯、科威特以及阿曼等国的原油。下面对其分别进行介绍。

1. 沙特阿拉伯原油 沙特阿拉伯原油贮量为 353.21 亿吨，占世界原油贮量的 1/4，现有油田 50 个，其中海上油田 16 个。Ghawar 油田是世界上很大的陆上油田，所产 °API 33~34 原油是轻阿拉伯原油的代表。Safaniya 油田是世界上名列前茅的海上大油田，所产 °API 为 27~28 原油，是目前仅有的重阿拉伯原油。°API 29~32 原油是阿拉伯中质原油，主要产自 Khursanyanh、Abu 等油田。Berri 油田的 °API 37~38 原油是阿拉伯超轻原油的代表。这些原油的一般性质见表 1-17。

表 1-17 沙特阿拉伯原油一般性质比较

性质	超轻		轻				中		重			
	Berri		Ghawar				Khursanyanh		Safaniya			
°API	37.8	38.5	33.4	33.8	33.37	34.5	30.8	30.4	27.26	27.9	28.03	28.1
密度 20°C/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8314	0.8280	0.8539	0.8518	0.8542	0.8482	0.8677	0.8699	0.8372	0.8835	0.8830	0.8825
硫含量/%	1.19	1.1	1.7	1.81	1.87	1.7	2.4	2.59	3.09	2.85	2.79	3.0
氮含量/10 <sup>-6</sup>	—	2.0	—	44	897	900	—	58	900	—	110	1600
酸值/(mgKOH/g)	—	—	—	—	0.1	—	—	—	0.17	—	—	—
倾点(凝点)/°C	-31/7	-17.8	-34.4	-15	(< -30)	-26	-15	-12.2	(< -32)	-28.9	-23.3	-29
粘度/(mm <sup>2</sup> /s)												
21.1°C	5.8	—	10.2	—	—	—	16.2	—	—	37.0	—	—
37.8°C	3.86	4.4	6.25	6.7	—	—	9.41	12.1	—	19.0	23	—
40°C	—	—	—	—	6.39	—	—	—	—	—	—	—
50°C	—	—	—	—	4.95	—	—	—	15.06	—	—	—
80°C	—	—	—	—	2.71	—	—	—	6.83	—	—	—
残炭/%	—	2.0	—	3.58	4.0	—	—	5.87	7.93	—	5.79	—
钒/10 <sup>-6</sup>	—	2.2	—	15.5	14.8	—	—	27.9	70	—	6.75	—
镍/10 <sup>-6</sup>	—	0.6	—	3.2	4.5	—	—	8.4	22	—	16.7	—
蜡含量/(%) (质)	—	—	—	—	3.4	—	—	—	4.16	—	—	—
收率/(%) (质)												
< 150°C	15.88	—	14.3	—	15.1	16.5	13.49	—	10.4	11.5	—	14.0
< 200°C (< 235°C)	(33.48)	—	(29.4)	—	23.7	—	(26.59)	—	16.99	(22.5)	—	20.0
< 343°C (< 370°C)	54.78	(62)	48.7	(56.6)	48.0	51.9	44.09	(50.9)	40.0	38.3	(45.3)	42.0
< 500°C (< 520°C)	—	—	—	—	74(77.49)	—	—	—	64.13	—	—	—
< 535°C (< 565°C)	(87.58)	58.6	80.5	79.8	—	80	(76.7)	74	—	(70.3)	66.8	64
原油基属	—	—	—	—	含硫 中间基	—	—	—	含硫 中间基	—	—	—

由表 1-17 可见 4 类原油的共同特点是含硫高 (1.1%~3.1%)，倾点或凝点低 (-12 至低于 -30°C)，粘度小 (21 运动粘度 5.8~37mm<sup>2</sup>/s)，氮含量不高 (0.002%~0.16%)，酸值低 (0.1~0.17mgKOH/g)，蜡含量不高 (3.4%~4.16%)。残炭和重金属随原油由轻到重而增加，残炭从 2% 到 7.93% (在我国原油范围之内) 但重金属钒由 2.2×10<sup>-6</sup> 到 7×10<sup>-5</sup>，镍由 6×10<sup>-7</sup> 到 2.2×10<sup>-5</sup>，远高于我国原油含量。

馏分油的收率、随原油由轻到重而逐渐减少，收率 (%) 如下：

沸点	超轻	轻	中	重
< 343℃	55	48 ~ 52	44	38 ~ 42
< 535℃	84	80	74	64 ~ 67

但仍较我国大宗原油为高。4类原油虽有轻、重之别，但同属含硫中间基原油。

沙特阿拉伯原油直馏产品汽油和石脑油、常压柴油、减压柴油性质见表 1-18、1-19、1-20。

表 1-18 阿拉伯原油汽油和石脑油馏分性质

原油类别	超轻 Berri		轻					中		重			
	20 ~ 100	100 ~ 150	20 ~ 100	100 ~ 150	65 ~ 160	65 ~ 170	< 180	20 ~ 100	100 ~ 150	20 ~ 100	100 ~ 150	< 200	< 130
沸点范围/℃	20 ~ 100	100 ~ 150	20 ~ 100	100 ~ 150	65 ~ 160	65 ~ 170	< 180	20 ~ 100	100 ~ 150	20 ~ 100	100 ~ 150	< 200	< 130
收率/(质)	8.13	7.75	7.0	7.3	12.54	14.26	20.33	6.9	6.59	6.8	6.9	16.99	8.08
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.669	0.7404	0.6690	0.7367	0.7305	0.7365	0.7177	0.6713	0.7424	0.6649	0.7332	0.7273	0.6895
硫含量/%	0.071	0.053	0.024	0.027	0.032	0.037	0.027	0.043	0.05	0.0069	0.024	0.04	0.008
辛烷值(净)													
RON(MON)	50	—	55	—			(50.5)	54.5		58.6	—	(38)	
组成/(体)													
链烷烃	87.4	65.5	86.88	68.3	64.08	63.28		85.3	68.5	89.3	69.3	—	81.5
环烷烃	11.2	20.4	10.7	19.0	25.17	24.91		12.3	18.8	9.6	20.2	—	15.4
芳烃	1.4	14.3	2.5	12.7	10.74	11.78		2.4	12.7	1.1	10.5	—	3.1
酸度/(mgKOH/100mL)	—	—	—	—	0.46	0.52	0.31	—	—	—	—	1.14	—
芳潜/%	12.1 <sup>①</sup>	33.8 <sup>①</sup>	12.7 <sup>①</sup>	30.9 <sup>①</sup>	34.5	35.2	—	14.2 <sup>*</sup>	30.7	10.3 <sup>*</sup>	29.8 <sup>*</sup>	—	16.9
腐蚀	—	—	—	—	—	—	2a	—	—	—	—	2号	—
BMI	—	—	—	—	13.8	15.4	8.7	—	—	—	—	10.14	6.6

为估计值，芳潜 = 95.8%环烷烃 + 芳烃。

表 1-19 阿拉伯原油柴油馏分性质

原油类别	超轻 Berri		轻		中	重	
	235 ~ 343	235 ~ 343	220 ~ 370	235 ~ 343	235 ~ 343	200 ~ 320	200 ~ 350
沸点范围/℃	235 ~ 343	235 ~ 343	220 ~ 370	235 ~ 343	235 ~ 343	200 ~ 320	200 ~ 350
收率/(质)	21.3	19.3	26.16	17.5	15.8	19.23	23.83
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8339	0.8380	0.8462	0.8405	0.8444	0.8287	0.8377
硫含量/%	0.72	1.03	1.26	1.24	1.3	1.20	1.32
倾点(凝点)/℃	-12.2	-15	(-16)	-9.4	-15	-25	-21
苯胺点/℃	71.7	70.0	—	69.4	67.8	—	—
粘度/(mm <sup>2</sup> /s)							
20℃	—	—	6.2	—	—	3.975	4.92
37.8℃	3.4	3.35	—	3.53	3.45	—	—
98.9℃	1.28	1.3	—	1.32	1.21	—	—
酸度/(mgKOH/100mL)	—	—	2.0	—	—	7.10	9.70
BMI	—	—	32.2	—	—	28.7	30.6
实际胶质/(mg/100mL)	—	—	60	—	—	10.4	18.4

表 1-20 阿拉伯原油减压柴油(VGO)的性质

原油类别	超轻 Berri		轻				中		重		
	343 ~ 565	370 ~ 535	343 ~ 565	370 ~ 535	370 ~ 520	450 ~ 520	343 ~ 565	370 ~ 535	343 ~ 565	370 ~ 535	350 ~ 500
沸点范围/℃	343 ~ 565	370 ~ 535	343 ~ 565	370 ~ 535	370 ~ 520	450 ~ 520	343 ~ 565	370 ~ 535	343 ~ 565	370 ~ 535	350 ~ 500
收率/(质)	32.8	23.6	31.8	23.3	24.3	11.0	32.7	23.1	32.0	21.5	23.31
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8996	0.9060	0.9126	0.9195	0.9141	0.9306	0.9186	0.9250	0.9247	0.9250	0.9170

续表

原油类别	超轻 Berri		轻				中		重		
硫含量/%	1.83	2.07	2.41	2.48	2.61	2.72	2.91	2.72	2.92	2.91	2.91
粘度(98℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	6.25	5.4	6.89	5.9	6.93	42.0	6.4	6.5	8.46	6.9	6.872
倾点(凝点)/℃	35	27	35	27	(34)	—	37.8	29	35	35	(30)
苯胺点/℃	88.9	91	82.2	85	—	—	80	79	78.3	80	—
折光指数 67℃	—	1.48647	—	1.49203	—	—	—	1.49584	—	1.50236	—
70℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.4960
20℃	—	—	—	—	1.5138	1.524	—	—	—	—	—
残炭/%	—	0.05	—	0.10	0.12	0.24	—	0.12	—	0.15	0.15
氮含量/(%) (质)	—	0.032	—	0.058	0.0778	0.1031	0.07	0.065	—	0.078	0.07
氧含量/(%) (质)	—	0.51	—	0.57	—	—	—	0.65	—	0.67	—
碳含量/(%) (质)	—	85.00	—	84.97	85.56	85.66	—	85.05	—	85.02	—
氢含量/(%) (质)	—	12.33	—	11.92	11.69	11.29	—	11.47	—	11.33	—
分子量	—	360	—	371	378	439	—	399	—	429	383
饱和烃/%	—	55.5	—	51.0	65.8	56.7	—	42.6	—	40.7	—
芳烃/%	—	40.8	—	44.5	31.6	39.7	—	52.3 <sup>①</sup>	—	54.0	—
胶质/%	—	3.7	—	4.5	2.6	3.6	—	5.1 <sup>①</sup>	—	5.3 <sup>①</sup>	—
镍/钒	—	—	—	—	—	—	0.02/0.08	—	—	—	0.52/0.07

差值。

从表 1-18、1-19、1-20 可看出轻、重阿拉伯原油石脑油的 *BMCI* 值和芳烃含量均不高，是较好的裂解原料。柴油的 *BMCI* 值则很高，不合作裂解原料。而减压柴油的饱和烃含量为 50% 左右，需加氢才可作为裂解原料。

2. 科威特原油 科威特石油和天然气蕴藏量丰富，目前已探明石油贮量为 128.77 亿吨，天然气贮量为 1.48 万亿米<sup>3</sup>，世界排名分别为第 4 和第 17 位。科威特原油一般性质见表 1-21、馏分油性性质见表 1-22、1-23。

表 1-21 科威特原油一般性质

项 目	结 果	项 目	结 果
°API	31.4	沥青质/%	1.97
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8650	蜡含量/%	2.73
粘度/(mm <sup>2</sup> /s)		金属含量/10 <sup>-6</sup>	
40℃	9.39	铁	0.2
50℃	7.31	镍	9.4
凝点/℃	-20	铜	<0.1
硫含量/%	2.3	矾	39.4
氮含量/%	0.14	铅	<0.1
残炭/%	5.69	轻烃含量/(%) (质)	
水分/%	痕迹	< C <sub>2</sub>	0.05
盐含量/(mgNaCl/L)	8.03	< C <sub>3</sub>	0.58
酸值/(mgKOH/g)	0.066	< C <sub>4</sub>	2.08
胶质/%	7.74		

从表 1-21、1-22、1-23 可看出科威特原油属含硫环烷烃中间基。科威特原油的石脑油和柴油馏分是蒸汽裂解制乙烯的理想原料。

表 1-22 科威特原油石脑油的性质

沸点范围/℃	15 ~ 145	15 ~ 180	15 ~ 200
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.6956	0.7152	0.7242
硫含量/%	—	—	0.123
辛烷值, 马达法	—	61.3	60
研究法	—	65.0	63.2
馏程/℃			
初馏点	34	45	51
10%	48	66	73
30%	79	97	145
50%	97	117	126
70%	111	136	151
90%	123	156	174
干点	153	182	197
族组成/(% (体))			
链烷烃	77.39	72.69	
环烷烃	15.88	16.34	
芳烃	6.73	10.97	

表 1-23 科威特原油柴油馏分性质

沸点范围/℃	180 ~ 300	200 ~ 320	200 ~ 350
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8093	0.8213	0.8283
粘度(20℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	2.57	3.42	4.39
凝点/℃	-37	-28	-21
苯胺点/℃	65.2	68.4	70.1
柴油指数	63.4	61.9	60.8
十六烷值指数	51	52.7	53.5
<i>BMCI</i>	32.3	25.39	26.41
硫含量/%	—	—	0.881
馏程 <sup>①</sup> /℃			
初馏点	191	214	217
10%	204	226	231
30%	220	241	253
50%	233	255	271
70%	250	271	293
90%	267	288	316
干点	282	304	335

①GC模拟蒸馏法分析。

3. 阿曼原油 阿曼原油及其主要直馏产品的性质见表 1-24、1-25。

表 1-24 阿曼原油一般性质

项 目	数 据
°API	36.3
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8392
硫含量/%	0.79
雷氏蒸气压/kPa	28.96
倾点/℃	-26.1
粘度(15.6℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	12.3
≤45℃收率/(% (体))	3.63

表 1-25 阿曼原油直馏产品

直馏产品	轻石脑油	重石脑油	轻柴油
沸点范围/°C	45~104.4	104.4~198.9	232.2~343.3
°API	70.4	55.3	37.5
密度(20°C)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.6961	0.753	0.8332
硫含量/%	0	0.03	0.42
氮含量/10 <sup>-6</sup>	—	—	31
倾点/°C	—	—	-9.4
苯胺点/°C	—	—	75.7
族组成/(%) (体)			
链烷烃	77.0	68.6	—
环烷烃	18.2	21.3	—
芳烃	4.8	10.1	—

从表 1-25 中可看出阿曼石脑油是很好的乙烯裂解原料。

4. 中东其它地区原油 中东地区主要原油性质及其产品性质比较见表 1-26、表 1-27。

表 1-26 中东地区主要原油典型性质

品 种	沙特阿拉伯		伊朗		伊拉克		阿联酋		科威特 出口原油
	轻质原油	重质原油	轻质原油	重质原油	轻质原油	重质原油	乌姆谢夫	迪拜 (Fateh)	
°API	33.4	27.9	33.2	30.9	33.7	24.7	37.4	31.1	31.4
密度(20°C)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8575	0.8871	0.8554	0.8707	0.8559	0.9052	0.8372	0.8699	0.8680
主要馏分组成/%									
C <sub>5</sub> ~190°C	21.58	16.66	21.78	20.88	21.92	17.0	26.76	20.83	19.49
190~360°C	27.44	21.91	26.46	24.87	25.94	23.55	28.25	26.83	24.02
360~565°C	32.09	32.17	31.43	30.09	33.62	31.23	29.83	34.89	32.01
>565°C	17.70	27.65	18.44	22.69	17.04	27.63	13.35	16.18	22.54
粘度/(mm <sup>2</sup> /s)									
21°C	10.2	37.0	10.5	16.8	10.6	50	4.7	12.34	15.7
37.8°C	6.25	19.0	6.41	9.4	6.5	24	3.6	7.48	9.7
硫含量/%	1.79	2.85	1.35	1.73	1.95	3.5	1.51	2.0	2.52
氮含量/%	0.098	0.168	0.17	0.23	0.095	—	0.061	0.17	0.12
倾点/°C	-34.4	-28.9	-28.9	-15	-15	-30	-30	-8.9	-15
残炭/%	3.58	7.9	3.5	5.25	4.18	9.73	2.2	4.62	5.3
镍含量/10 <sup>-6</sup>	4.4	18.0	13.0	30.5	5.0	11	0.8	14.0	8.0
钒含量/10 <sup>-6</sup>	20.5	57.0	35.0	115.0	18.0	90	3	42.0	30.0

从表 1-26、1-27 可看出中东原油及其产品在性质上有的相似，有的则相差较大。现分以下两点进行比较：

表 1-27 中东原油常压馏分性质

原油品种	沙特阿拉伯		伊朗		伊拉克		阿联酋		科威特 出口原油
	轻质 原油	重质 原油	轻质 原油	重质 原油	轻质 原油	重质 原油	乌姆 谢夫	迪拜 (Fateh)	
轻石脑油	20~100°C		C <sub>5</sub> ~65°C		C <sub>5</sub> ~65°C		C <sub>5</sub> ~80°C		<60°C
收率/%	7.0	5.9	3.0	2.6	3.7	2.6	6.4		2.8
密度(20°C)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.6690	0.6642	0.6512	0.6420	0.6410	0.6431	0.6547		0.6362
硫含量/%	0.024	0.0059					0.103		0.04
辛烷值, RON	55.0	58	72.4	73.0	83	83	65		71.8
族组成/(%) (体)									
链烷烃	86.8	88.2	94.4	93.5					

续表

原油品种	沙特阿拉伯		伊朗		伊拉克		阿联酋		科威特 出口原油
	轻质 原油	重质 原油	轻质 原油	重质 原油	轻质 原油	重质 原油	乌姆 迪拜	迪拜 谢夫 (Fateh)	
环烷烃	10.7	10.2	4.8	5.7					
芳 烃	2.5	1.2	0.8	0.8					
重石脑油	100~150℃		65~149℃		65~175℃		80~150℃	15~145℃	80~154℃
收率/%	7.3	5.6	12.2	12.3	16.2	12.2	12.1	12.9	11.7
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.7367	0.7321	0.7341	0.7346	0.7328	0.7359	0.7369	0.6805	0.7263
硫含量/%	0.027	0.016	0.04	0.088			0.052	0.0193	0.03
辛烷值, RON	—	—	—	—	54	55	—	55.6	—
族组成/%(体)					(+0.4gPb/L) (+0.4gPb/L)				
链烷烃	68.3	70.8	57.5	53.4	73	69.6	—	68.4	70.1
环烷烃	19.0	19.5	31.1	33.1	17	21.0	—	23.1	20.8
芳 烃	12.7	9.7	11.4	13.5	10	9.5		8.5	9.1
煤油	150~235℃		149~262℃		175~225℃		150~230℃	145~230℃	154~271.1℃
收率/%	15.1	11.0	19.2	16.8	8.2	6.9	14.9	15.0	16.9
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.7837	0.7819	0.7986	0.7999	0.7913	0.7953	0.7862		0.7933
硫含量/%	0.084	0.16	0.198	0.289	0.10	0.38	0.095	0.25	0.39
结晶点/℃	-57.2	-55	-49	-50.0	—	—	-53		-42.8
烟点/℃	23	26	24	23	—	—	23	22	26
粘度(37.8℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	1.13	1.14	—	—	—	—	—		—
芳 烃/%(体)	20.6	18.9	18.0	17.8	—	—	21.0	19.2	—
轻柴油	235~343.3℃		262~352℃		225~360℃		230~375℃	145~350℃	271.1~360℃
收率/%	19.3	15.8	15.4	14.6	22.9	21.6	26.3	35.0	14.8
密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	0.8380	0.8444	0.8559		0.8396	0.8678	0.8484	0.8278	0.8568
硫含量/%	1.03	1.30	1.05	1.22	1.20	1.95	1.18	1.04	1.98
粘度/(mm <sup>2</sup> /s)									
37.8℃	3.35	3.45	—	—	—	—	—	1.99	5.25
98.9℃	1.3	1.3	—	—	1.35	1.42	—	—	—
倾点/℃	-15	-15	-4.4	-4	-12	-16	-12	—	-6.7
十六烷值	—	—	53	52	—	—	51.2	51.0	54.3

(1) 原油一般性质 上述 5 个国家除科威特外, 原油均可划分为轻质、中质和重质 3 类。从<sup>o</sup>API 和密度来看, 比我国胜利和辽河原油轻得多, 胜利原油相当于中东 5 国最重的重质原油。大庆原油<sup>o</sup>API 和密度虽然介于中东轻质与中质原油之间, 但由于大庆原油是典型的石蜡基原油, 其相同沸点馏分的密度明显低于中间基或环烷基原油, 因此, 从馏分组成看, 中东原油轻组分收率和蜡油收率一般均比我国原油高, 这是中东原油最明显的优势。中东原油的粘度和倾点比我国原油低得多, 倾点全部为负值, 易于贮存和输送。硫含量都比较高, 轻质原油硫含量一般在 1.5%~2.0%, 中质和重质原油硫含量均在 2.0% 以上, 有的重质原油硫含量高达 3.5% 以上, 这是中东原油特点之一。除此之外, 中东原油重金属含量非常高, 尤其是钒含量远远高于镍含量, 这为深度加工, 特别是重油加工带来了新的问题。

(2) 常压馏分油性性质 中东原油一般含有较高收率的轻石脑油, 这些轻石脑油是制氢或蒸汽裂解制乙烯的好原料。

重石脑油有两类, 一类含有较多的链烷烃, 适合做乙烯原料, 如沙特阿拉伯、伊拉克、科威特出口原油等; 另一类环烷烃和芳烃组分比例较高, 适合做催化重整原料, 如伊朗原油和部分阿联酋原油。

煤油馏分产率较高, 一般都在 10% 以上, 经过精制 (主要是脱硫), 可以生产喷气燃料

和灯用煤油。

柴油馏分 (LGO) 馏分倾点较低, 十六烷值都在 50 以上, 硫含量均在 1.0% ~ 2.0% 之间, 需要较深加氢精制才能做为 0 号或 -10 号柴油组分。

#### 四、油品性质与产品收率

石油烃的热裂解反应, 是自由基的链式反应, 即使是纯烃裂解, 反应也十分复杂。因此, 复杂烃混合物石油馏分, 其裂解过程更加千变万化, 裂解产率分布除与操作参数有关外, 还与原料特性指标有关, 原料特性指标有原料氢含量, 特性因数 (K), 芳烃关联指数 (BMCI), 烃族组成 (PONA) 或结构族组成等。

##### (一) 油品性质指标

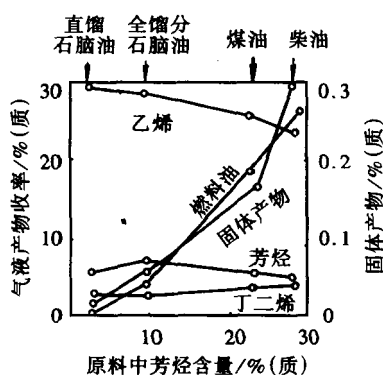


图 1-7 原料中芳烃含量对裂解产物收率的影响

1. 原料烃族组成 原料油中有烷烃、烯烃、环烷烃、芳烃。从多产乙烯、丙烯和不易生焦来衡量, 原料优劣为烷烃 > 环烷烃 > 单环芳烃 > 多环芳烃。裂解原料的 PONA 值, 对乙烯收率影响较大, 表征了裂解原料反应性能。表 1-28 列出了 PONA 值不同的石脑油裂解产品组成。表 1-29 列出了芳烃含量不同的裂解原料。图 1-7 为芳烃含量对裂解产物的影响。

2. 原料氢含量 原料氢含量是衡量该原料裂解性能和乙烯潜在含量的重要特性。一般低沸点物料比重质原料有较高氢含量, 从乙烷到柴油, 分子量越来越大, 氢含量依次降低, 乙烯收率愈来愈小。在裂解时, 当液体组分的

氢含量低于 7% ~ 8% (质) 时, 生成的焦炭和沥青使裂解炉的炉管和急冷器很容易结焦, 从而使设备停止运转。因此, 原料含氢量较小时就会较早地达到结焦极限量。

表 1-28 不同 PONA 值石脑油裂解产品组成

原料性质	0.67	0.712	0.69	0.673
相对密度	0.67	0.712	0.69	0.673
馏程/°C	42 ~ 49	51 ~ 176	43 ~ 159	45 ~ 99
烃族组成/%(质)				
P	87.6	69.5	76.0	81.9
O	—	—	—	—
N	10.9	23.5	19.9	15.0
A	1.5	6.5	4.1	3.0
产品组成/%(质)				
H <sub>2</sub>	0.8	0.7	0.8	1.05
CO	—	0.1	0.1	—
CH <sub>4</sub>	14.5	13.0	13.7	19.2
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.25	0.2	0.3	0.6
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.0	22.8	26.1	32.2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.2	5.0	4.0	4.7
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	0.3	—	0.5	0.6
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	17.6	17.4	16.0	14.6
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.4	0.6	0.5	0.4
ΣC <sub>4</sub>	9.8	12.2	12.4	7.65
C <sub>5</sub> <sup>+</sup>	23.15	28.0	25.6	19.0
出口温度/°C	800	800	820	870
稀释蒸汽比	0.6	0.6	0.6	0.6
出口压力/MPa	0.135	0.135	0.1	0.1

表 1-29 芳烃含量不同的裂解原料

原料名称	直馏石脑油	全馏分石脑油	煤油	
馏程/℃	40~166	44~188	180~240	
族组成/%(质)				
P	79	71	55	47
N	18	20	22	25
A	3	9	23	28

烷烃含氢量最高，环烷烃次之，芳烃较低。环愈多，氢含量愈低，多环烃比单环烃裂解性能更差。氢含量愈低的原料裂解性能愈差，对于烷烃或带有烷基的环烷烃和芳烃，则氢含量随碳原子数的增大而减小。

计算含氢量不同的原料产气率公式如下。

$$w_{H,f} = \frac{Z_g}{100} w_{H,g} + \frac{100 - Z_g}{100} w_{H,l}$$

式中  $w_{H,f}$ ——原料含氢量，%(质)；  
 $w_{H,g}$ ——气态产物含氢量，%(质)；  
 $w_{H,l}$ ——液态产物含氢量，%(质)；  
 $Z_g$ ——产气率，%(质)。

当  $w_{H,g}$  为 18%、 $w_{H,l}$  为 8%，可得表 1-30 数据。含氢量越大的原料，产气率和乙烯产率越高，如表 1-31、图 1-8 所示。

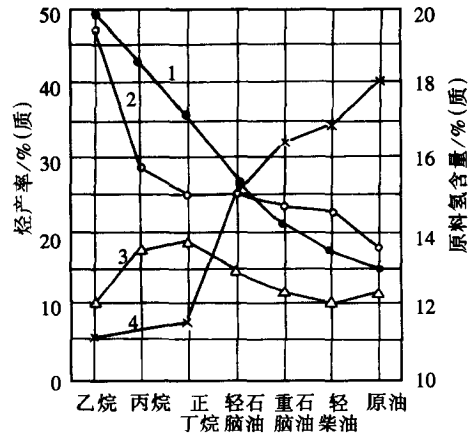


图 1-8 原料氢含量对裂解产物产率的影响  
 1—原料氢含量；2—乙烯产率；3—甲烷产率；  
 4—C<sub>5</sub>产物产率

表 1-30 含氢量不同的原料裂解产气率 % (质)

$w_{H,f}$	$Z_g$	$w_{H,f}$	$Z_g$
18.0	100	14.0	60
17.0	90	13.5	55
16.5	85	13.0	50
16.0	80	12.5	45
15.5	75	12.0	40
15.0	70	11.5	35
14.5	65	11.0	30

表 1-31 裂解产物与原料烃分子量和氢含量关系

裂解原料	乙烷	丙烷	石脑油	粗柴油	原油
分子量	30	44	97	200	310
原料含氢/%(质)	20.0	18.2	15.5	13.6	13.2
产物收率/%(质)					
乙烯	77.0	43.0	31.4	21.0	22.0
废气 (CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , CO)	14.8	30.0	20.4	12.6	13.6
C <sub>3</sub> 馏分	2.9	16.0	12.4	12.5	14.8
C <sub>4</sub> 馏分	2.6	3.0	5.7	10.2	6.2
C <sub>5</sub> 以上馏分	2.7	8.0	30.1	43.7	43.4
除乙烯以外的副产	23.0	57.0	68.6	79.0	78.0

(二) 不同原料性质

石脑油性质列于表 1-32，不同产地柴油特性列于表 1-33，我国主要直馏汽油、柴油性质列于表 1-34，减压柴油性质列于表 1-35。