

# 扩大乙烯装置原料来源的思考与实践

曹湘洪

(中国石化股份公司, 北京 100029)

**[摘要]** 从烃类原料裂解制乙烯的裂解性能和烃类馏份馏程及组成相关研究结果出发, 提出了与世界乙烯原料轻质化的大趋势不同的扩大乙烯原料来源的思路: 大庆原油的重馏份油即常三、减一线油和减二、减三线油酮苯脱蜡副产的蜡下油可以作乙烯原料。总结了该原料性能测试、模拟裂解炉评价及工业装置上应用的结果, 证明该原料裂解时有较高的乙烯收率, 也能保证裂解炉较长的运行周期, 有明显的经济效益。

**[关键词]** 乙烯; 原料; 来源

乙烯装置的原料选择对乙烯成本有重要影响, 而乙烯的原料选择又受到资源条件的限制。世界各乙烯生产商都十分重视从资源条件出发选择适当的原料, 降低乙烯的生产成本。燕化公司1976年建成投产的 $30 \times 10^4$  t/a乙烯装置, 按设计要求使用轻柴油作原料, 用量为 $114.79 \times 10^4$  t/a。1994年乙烯装置完成 $30 \times 10^4$  t/a到 $45 \times 10^4$  t/a的扩能改造后, 乙烯装置使用的原料有了一定的灵活性, 新建的3台 $6 \times 10^4$  t/a裂解炉既可以使用石脑油, 也可以使用轻柴油作原料。但是原有的裂解炉没有实施技术改造, 仍必须用轻柴油作原料, 而且由于乙烯产能的扩大, 炼油系统所能提供的石脑油资源不足, 轻柴油的用量还要增加。市场急需的优质柴油馏份大量用作乙烯原料, 柴汽比低的矛盾越来越突出。通过技术分析, 提出了将常三、减一线油和蜡下油作乙烯原料的构想。工业试验证明了这一构想是可行的。5年来, 共有 $290 \times 10^4$  t常三、减一线油和蜡下油作乙烯原料, 取得了明显的经济效益。

## 1 世界乙烯工业原料的变化趋势

原料成本占乙烯生产成本的60%~80%, 世界各乙烯生产厂商非常重视乙烯原料的选择。从表

1可见, 石脑油是裂解制乙烯的主要原料, 天然气中的乙烷及液化石油气在乙烯原料中也占很大的比例<sup>[1]</sup>。

表1 世界乙烯原料变化趋势

Table 1 The trend of the world ethylene feedstock

原料	w/%			
	1984年	1989年	1994年	1998年
乙烷	22	27	30	29
液化石油气	15	14	11	11
石脑油	54	48	46	53
柴油	8	10	12	6
其它	1	1	1	1
合计	100	100	100	100

具体分析世界各地乙烯生产厂商使用原料的状况: 北美洲以轻质烃为主, 1997年, 轻质烃占乙烯原料的57%; 拉丁美洲的乙烯装置一般都依赖石脑油; 欧洲、日本、苏联以石脑油为主, 在乙烯原料中的比例都在70%以上, 日本高达85%以上; 而我国乙烯装置设计的原料多以轻柴油为主。根据国外乙烯使用原料的状况, 我国许多业内人士提出我国的乙烯原料也应该轻质化、优质化, 转向以石脑油为主。

## 2 烃类馏分馏程、组成与裂解性能

根据世界乙烯原料的变化趋势,我们应该追求乙烯原料的轻质化,但从我国的实际情况看困难很大。尽管从20世纪90年代以来,我国的原油加工量始终保持在 $1.4 \times 10^8$  t/a以上,且每年有所增加,但由于基本上都是重质原油,原油中的石脑油含量低,很难满足迅速发展的乙烯工业的要求;国内一些炼厂也开始进口国外轻质原油,石脑油的产量呈增加趋势,但增加的石脑油还要满足提高重整生产能力,生产高辛烷值汽油和增产芳烃的需要;且通过大量进口石脑油来满足对乙烯原料需求存在较大的市场风险。因此,必须从我国的实际,从各炼化企业的实际情况出发,优化乙烯原料。

烃类裂解制乙烯反应原理和各族烃裂解反应规律研究的结果表明,烃类原料的裂解性能不仅和馏分的馏程有关,而且和其组成有关<sup>[2,3]</sup>。从表2可见,一般轻烃具有较好的裂解性能,是乙烯的好原

料,但裂解性能还和烃类组成有关。同是 $C_4$ 、 $C_5$ 烷烃因其化学结构不同,其裂解性能就不同,裂解转化率和产品收率也不同。表3表示了同样条件下正、异丁烷和正、异戊烷裂解的典型产品收率。表4、5、6表示了不同原油生产的石脑油、轻柴油、减压柴油的裂解产品产率。表示烃类族组成的PONA值是一个比较简便的表征原料裂解反应特征参数。表7表示了具有不同PONA值的三种石脑油的裂解性能。也可用氢含量来表征裂解性能,表8与图1表示了原料氢含量与裂解产物产率的关系。石脑油中环烷烃(N)与芳烃(A)大部分是单环的,而柴油中的N、A有相当部分是双环、多环的,这在PONA值中反映不出来,而用由密度与沸点组合起来的参数——关联指数(BMCI)则可以更好地表征其裂解性能。图2、3分别表示了原料关联指数BMCI与氢含量的关系,柴油BMCI与其裂解制乙烯最大产率的关系。

表2 不同原料裂解典型产品收率<sup>①</sup>

Table 2 The typical product yield with different cracking feedstock

w/%

原料	产 品				
	乙烯	丙烯	丁二烯	芳烃(苯、甲苯、二甲苯)	其它
乙烷	84.0	1.4	1.4	0.4	12.8
丙烷	44.0	15.6	3.4	2.8	34.2
正丁烷	44.0	17.3	4.0	3.4	30.9
轻石脑油	40.3	15.8	4.9	4.8	34.2
全馏分石脑油	31.7	13.0	4.7	13.7	36.9
重整抽余油	32.9	15.5	5.3	11.0	35.3
轻柴油	28.3	13.5	4.8	10.9	42.5
重柴油	25.0	12.4	4.8	11.2	46.6

① 包括乙烷循环

表3 丁烷和戊烷裂解的典型产品收率\*

Table 3 The typical yield from butane and pentane cracking

原料	正丁烷		异丁烷		正戊烷		异戊烷
转化率, x/%	90	97	86.8	95.4	97.3	99.5	89.06
收 率	34.41	39.56	9.30	14.85	40.09	41.61	17.30
w/%	20.68	15.60	22.65	20.98	18.80	17.06	19.27
	3.47	4.24	1.85	2.63	4.18	4.34	4.78
	1.11	2.62	2.79	3.86	1.99	2.71	1.86
	0.27	0.58	1.29	1.68	0.67	0.75	1.05
	0.11	0.22	0.29	0.43	0.11	0.12	0.24

\* 稀释蒸汽比0.35, 炉出口压力0.172 MPa, 停留时间0.2 s

表4 不同原油生产的石脑油裂解性能

Table 4 The cracking performance of naphtha from different crudes

项 目	大庆	胜利	鲁宁管输	盘锦
原料性质				
相对密度, $d_{15.6^\circ\text{C}}$	0.7217	0.7613	0.7386	0.7941
相对平均分子量	134	143	112	148
氢质量分数, $w(\text{H})/\%$	15.53	15.02	14.98	13.84
BMCI	6.50	21.13	18.16	25.80
芳烃质量分数, $w_{\text{芳}}/\%$	5.80	7.40	11.20	15.90
产品收率				
$w_{\text{乙烯}}/\%$	30.73	23.60	22.81	18.10
$w_{\text{丙烯}}/\%$	12.24	12.54	13.39	12.98
$w_{\text{丁二烯}}/\%$	3.24	4.52	4.38	4.34
炉出口温度/ $^\circ\text{C}$	840	840	840	820

表5 不同原油生产的轻柴油裂解性能

Table 5 The cracking performance of light diesel from different crudes

项 目	大庆	任丘	胜利	鲁宁管输	盘锦
原料性质					
相对密度, $d_{15.6^\circ\text{C}}$	0.8070	0.8080	0.8217	0.8259	0.8418
相对平均分子量	203	209	251	206	233
氢质量分数, $w(\text{H})/\%$	14.31	14.22	14.20	13.56	13.39
BMCI	17.95	15.20	18.00	25.67	32.80
芳烃质量分数, $w_{\text{芳}}/\%$	15.76	11.49	15.80	16.60	26.86
产品收率					
$w_{\text{乙烯}}/\%$	26.73	25.16	23.98	23.11	17.20
$w_{\text{丙烯}}/\%$	16.05	16.71	16.36	15.26	10.42
$w_{\text{丁二烯}}/\%$	6.14	5.29	5.19	4.83	4.46
炉出口温度/ $^\circ\text{C}$	800	800	800	800	790

表6 不同原油生产的减压柴油裂解性能

Table 6 The cracking performance of vacuum diesel from different crudes

项 目	任 丘	胜 利	鲁宁管输	科威特
原料性质				
相对密度, $d$	0.8690	0.8661	0.8742	0.9040
相对平均分子量	369	345	321	339
氢质量分数, $w(\text{H})/\%$	13.70	13.30	13.20	12.40
BMCI	26.00	29.40	33.24	
芳烃质量分数, $w_{\text{芳}}/\%$	11.5	20.0	27.9	46.0
产品收率, $w/\%$				
乙烯	22.72	21.36	20.24	16.60
丙烯	17.25	15.64	14.06	13.30
丁二烯	4.97	5.00	4.23	4.10
炉出口温度/ $^\circ\text{C}$	760	780	780	780

表7 不同 PONA 值石脑油裂解产品组成

Table 7 The composition of cracking product from naphtha with different PONA value

石脑油	1	2	3	4
原料性质				
相对密度, d	0.67	0.712	0.69	0.673
馏程/℃	42~49	51~176	43~159	45~99
P w <sub>P</sub> /%	87.6	69.5	76.0	81.9
O w <sub>O</sub> /%	-	-	-	-
N w <sub>N</sub> /%	10.9	23.5	19.9	15.0
A w <sub>A</sub> /%	1.5	6.5	4.1	3.0
产品组成, w/%				
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.0	22.8	26.1	32.2
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	17.6	17.4	16.0	14.6
ΣC <sub>4</sub>	9.8	12.2	12.4	7.65
C <sub>5</sub>	23.15	28.0	25.6	19.0
炉出口温度/℃	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8 裂解产物与原料烃氢含量关系

Table 8 The relationship between hydrogen content of feedstock and products yield

裂解原料	乙烷	丙烷	石脑油	粗柴油	原油
相对分子质量	30	44	97	200	310
氢质量分数, w(H)/%	20.0	18.2	15.5	13.6	13.2
产物收率, w <sub>收率</sub> /%					
乙烯	77.0	43.0	31.4	21.0	22.0
干气 (CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , CO)	14.8	30.0	20.4	12.6	13.6
C <sub>3</sub> 馏份	2.9	16.0	12.4	12.5	14.8
C <sub>4</sub> 馏份	2.6	3.0	5.7	10.2	6.2
C <sub>5</sub> 馏份	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

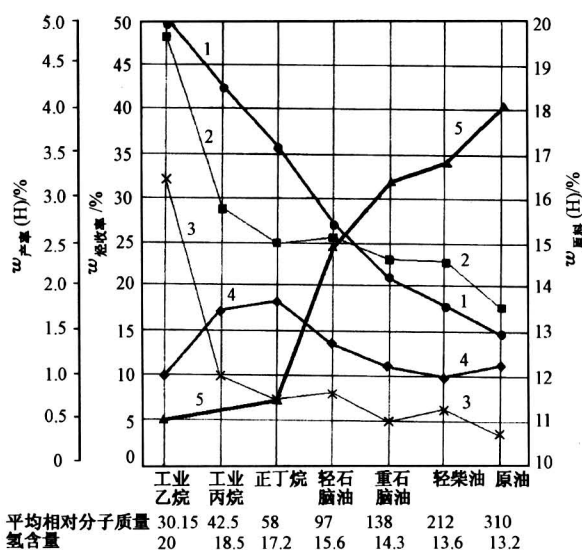


图1 原料氢含量对裂解产物产率的影响

Fig.1 Influence of hydrogen content in feedstock to the yield of cracking

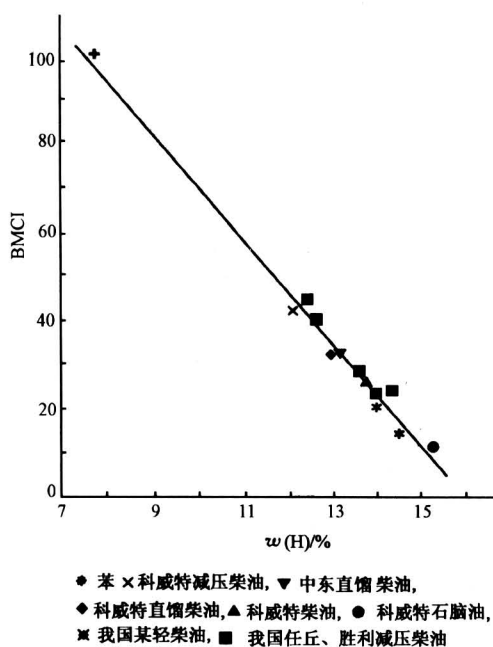


图2 原料关联指数 BMCI 值与氢含量的关系

Fig.2 Relationship between BMCI value and hydrogen content of feedstock

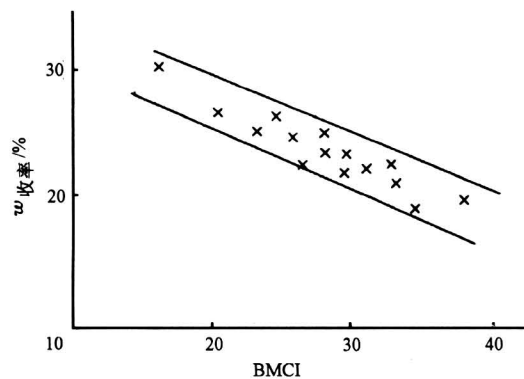


图3 柴油的 BMCI 值与乙烯产率的关系

Fig.3 Relationship between BMCI value of diesel and ethylene yield

### 3 用常三、减一线油作乙烯原料

燕化炼油系统加工的都是大庆原油, 属石蜡基原油, 表9是其200~500℃馏份的烃族组成数据<sup>[3]</sup>。常三、减一线油主要为沸点范围350~400℃的馏份, 其烃族组成为: w<sub>烷烃</sub> = 63.1%, w<sub>环烷烃</sub> = 24.8%, w<sub>芳烃</sub> = 11.8%, 对比国外曾经在工业装置上正式用作裂解原料的加氢裂化尾油的烃族组成数据(见表10)<sup>[4]</sup>, 大庆常三、减一线

油用作裂解原料是完全可能的。

为了认识大庆原油常三、减一线油的裂解性能，对其性质进行了测定，并在模拟裂解炉上进行了裂解性能的评价，结果如表 11、12 所示。表 13 是轻柴油的主要馏份常二线油在同一评价装置上进行裂解性质评价的结果。

对比表 12 与 13，在炉出口温度同为 820 ℃，常二线的乙烯收率比常三减一线高 0.71%，但丙烯及丁二烯收率分别低 1.34% 及 1.31%，三烯总收率低 1.93%。在炉出口温度同为 810 ℃，三烯总收率常二线比常三、减一线高 0.52%。

表 9 大庆 200~500℃ 馏份的烃族组成

Table 9 The hydrocarbon composition of 200~500 ℃ distillates derived from Daqing crude w/%

实沸点范围/℃	200~250	250~300	300~350	350~400	400~450	450~500
烷烃	55.7	62.0	64.5	63.1	52.8	44.7
正烷烃	32.6	40.2	45.1	41.1	23.7	15.7
异烷烃	23.1	21.8	19.4	22.0	29.1	29.0
环烷烃	36.6	27.6	25.6	24.8	33.2	39.0
一环环烷	25.6	18.2	17.1	11.8	13.6	17.4
二环环烷	9.7	6.9	5.7	6.8	8.4	10.6
三环环烷	1.3	2.5	2.8	2.6	5.3	7.3
四环环烷	0	0	—	2.9	3.3	3.1
五环环烷	0	0	0	0.7	1.8	0.6
六环环烷	0	0	0	0	0.8	—
芳烃	7.7	10.4	9.9	11.8	13.8	15.9
单环芳烃	5.2	6.6	6.8	6.5	7.8	9.0
二环芳烃	2.5	3.6	2.5	3.2	3.3	3.8
三环芳烃	0	0.2	0.6	1.5	1.4	1.6
四环芳烃	0	0	0	0.5	0.8	0.8
五环芳烃	0	0	0	0	0.1	0.3
未鉴定	0	0	0	0.1	0.4	0.4
噻吩类	0	0	0	0.3	0.2	0.4

表 10 国外在工业装置上使用过的加氢裂化尾油 (HVGO) 的性质与烃族组成

Table 10 The properties and hydrocarbon composition of HVGO used in foreign industrial units

内 容	工业装置 1	工业装置 2
投产日期	1988 年	1998 年
炉型	SRT-III 型	林德 L <sub>sc</sub> 型
加氢尾油 (HVGO) 性质		
密度, ρ <sub>15℃</sub> /g·cm <sup>-3</sup>	0.836	0.8461
BMCi 值	12.00	16.20
残碳, w <sub>残碳</sub> /%	<0.01	<0.01
氢, w (H) /%	14.23	14.15
硫, w (S) /μg·g <sup>-1</sup>	0.01	0.01
氮, w (N) /μg·g <sup>-1</sup>	<100	<100
馏程范围/℃	239-541	320-449
族组成, φ/%		
链烷烃	42.68	35.80
环烷烃	32.61	35.95
一环/二环	16.59/9.57	15.23/13.96
三环/四环	3.77/1.9	4.61/1.07
五环/六环	0.78/0.00	1.36/<0.01
芳烃	24.71	28.25
一环/二环	28.58/4.64	15.78/9.76
三环/四环	0.81/0.10	2.79/0.45
五环/噻吩芳环	0.00/0.58	0.04/0.44
工业运行情况	正常, TLE 运转	正常, TLE 运转
	40d 以上	40d 以上

表 11 大庆常三、减一线油的分析结果

Table 11 Composition and properties of Daqing distillate from No.3 line of atmospheric tower and No.1 line of vacuum tower

油品名称	大庆常三减一线油
密度, ρ <sub>20℃</sub> /g·cm <sup>-3</sup>	0.8349
折光指数	1.4698
运动粘度, ν <sub>50℃</sub> /mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	5.61
BMCL 值	18.7
氢, w (H) /%	13.83
碳, w (C) /%	86.05
硫, w (S) /μg·g <sup>-1</sup>	548
氮, w (N) /μg·g <sup>-1</sup>	154
馏程/℃	
初馏点	241
10%	294
30%	341
50%	361
70%	369
90%	392
95%	415
组成分析, w/%	
链烷烃	41.6
环烷烃	44.8
芳烃	13.6
单环/二环	6.2/5.0
三环/多环	1.8/0.6

表 12 大庆常三减一线油裂解性能评价试验结果

Table 12 Evaluation result of cracking properties of Daqing distillate from No. 3 line of atmospheric tower and No. 1 line of vacuum tower

试验序号	1	2	3	4	5
工艺条件					
炉出口温度/℃	780	790	800	810	820
炉出口压力, $p/kPa$	189	189	189	189	189
停留时间/s	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
水油比	0.74	0.74	0.76	0.75	0.78
三烯 乙烯	23.60	24.76	25.76	26.61	27.37
收率 丙烯	14.30	14.81	15.16	15.37	15.46
$w/\%$ 丁二烯	4.98	5.40	5.70	6.43	6.53
三烯合计	42.88	44.97	46.62	48.41	49.36
三苯 苯	3.08	3.05	3.31	4.02	4.04
收率 甲苯	2.36	2.35	2.49	2.72	2.76
$w/\%$ 二甲苯	0.51	0.51	0.52	0.52	0.48
三苯合计	5.95	5.91	6.32	7.26	7.19

表 13 大庆常二线油裂解性能评价试验结果

Table 13 Evaluation result of cracking properties of Daqing distillate from No. 2 line of atmospheric tower

试验序号	1	2	3	4	5
工艺条件					
炉出口温度/℃	780	790	800	810	820
炉出口压力, $p/kPa$	189	189	189	189	189
停留时间/s	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33
水油比	0.75	0.75	0.75	0.75	0.76
三烯 乙烯	23.87	25.73	26.48	27.62	28.08
收率 丙烯	14.33	14.99	15.00	15.18	14.12
$w/\%$ 丁二烯	5.53	5.76	5.78	6.13	5.22
三烯合计	43.55	46.48	47.26	48.93	47.42
三苯 苯	3.34	3.40	3.84	3.85	4.98
收率 甲苯	3.08	2.42	2.69	2.92	3.19
$w/\%$ 二甲苯	0.56	0.57	0.62	0.60	0.67
三苯合计	6.98	6.39	7.15	7.37	8.84

综上所述,大庆油的常三减一线油尽管馏份较重,因其族组成及结构性能上的特点,作乙烯原料在技术上是可行的,但毕竟组份较重并含有在裂解过程中易造成炉管和废热锅炉结焦的多环芳烃等有害组份,为确保裂解炉的运行周期,必须调整裂解工艺条件。

#### 4 用蜡下油作乙烯原料

燕化炼油厂润滑油生产系统的酮苯脱蜡装置用减二、减三线油作原料,每小时可副产近 11 t 蜡下油。多年来蜡下油主要通过热裂解生产烷基苯的原料  $\alpha$ -烯烃。1996 年起国内烷基苯市场开始出现供大于求的情况,烷基苯价格下跌,用蜡下油生产  $\alpha$ -烯烃再生产烷基苯,经济上明显不合理。蜡下

油与轻柴油相比烷烃含量高,芳烃含量低。表 14 对比了蜡下油与轻柴油的物性分析数据,从族组成分析看,蜡下油应是较好的乙烯原料,但蜡下油干点高达 500℃左右,尤其还含有一定量的三环芳烃和胶质,在裂解炉对流段、辐射段、废热锅炉的结焦会比较柴油严重,并有可能使裂解炉无法长周期运转。为了确认蜡下油作乙烯原料的技术可行性,在模拟裂解炉(SRT-IV型)上对比了蜡下油与轻柴油的裂解性能和结焦情况,结果如表 15、16、17 所示。在相同的工艺条件下,蜡下油为原料的乙烯、丙烯、丁二烯的收率分别为 31.6%、17.12%、7.03%,而轻柴油为原料的乙烯、丙烯、丁二烯收率分别为 28.7%、14.26%、4.95%。使用蜡下油为原料时对流段、辐射段与废热锅炉的结焦量分别为使用轻柴油时的 3.18、1.35、1.45 倍。即使如此,对流段的结焦量比扬子用轻柴油为原料时还低 50%。根据上述结果,决定根据蜡下油的特性,调整裂解炉的工艺条件,在  $6 \times 10^4$  t/a 的 SRT-IV 裂解炉上直接试用蜡下油,表 18 是蜡下油作乙烯原料工业试验的标定结果,由于工艺条件选择恰当,裂解炉对流段、辐射段及废热锅炉的结焦速率得到了有效控制,运行周期仍可超过 30 天,工业试验取得了成功。

表 14 燕化蜡下油与轻柴油物性数据比较

Table 14 Comparison of properties between sweat oil and light diesel of BYPC

原料名称	蜡下油	轻柴油
相对密度, $d_{15.6}$	0.8367	0.8068
平均相对分子质量	417.2	208.8
氢, $w(H)/\%$	14.33	14.13
芳烃指数, BMCI	7.52	16.99
特性因数 Kuop	12.99	12.19
初馏点	362	176.0
馏 10%	410	201.0
30%	431	231.5
50%	444	260.0
程 70%	454	285.0
℃ 90%	473	312.0
终馏点	501	333.0
烷烃	92.17	88.65
族 芳烃	7.83	11.35
组 其中; 单环	5.69	
成 双环	0.46	
$w/\%$ 三环+胶质	1.68	

**表 15 燕化蜡下油与轻柴油模拟炉裂解产品收率比较**

Table 15 Comparison of cracking yield between sweat oil and light diesel of BYPC by simulated furnace

试验编号	M9608V-204	M9132A-203
裂解原料	蜡下油	轻柴油
模拟炉型	SRT-IV型炉	
工 出口温度/℃	810	810
艺 出口压力 (A) /MPa	0.203	0.203
条 停留时间/s	0.38	0.37
件 水油比	0.80	0.75
气相产 乙烯	31.60	28.70
品收率 丙烯	17.12	14.26
w/% 丁二烯	7.03	4.95
裂解汽油	21.16	21.00
液相 其中：苯	4.30	4.73
产品 甲苯	1.92	2.42
收率 二甲苯	0.32	1.10
w/% 裂解柴油	1.70	5.02
裂解燃料油	2.75	6.27

**表 16 蜡下油与轻柴油对流段模拟结焦试验结果**

Table 16 Result of simulated coking test of sweat oil and light diesel in convection section

原料名称	燕化 轻柴油	扬子 轻柴油	燕化蜡下 油 (96.9)
原料油混合前温度/℃	160	172	370
试 蒸汽温度/℃	140	195	140
验 混合处炉膛温度/℃	/	550 (管壁)	500
工 出口温度/℃	635	640	600
艺 投油量/kg·h <sup>-1</sup>	3.00	3.00	3.00
条 稀释蒸汽量/kg·h <sup>-1</sup>	2.25	2.25	2.40
件 水油比	0.75	0.75	0.80
汽化段压力 (A) /MPa	0.294	0.294	0.294
试验时间/h	84.4	96.0	72.0
结 总生焦量/g	0.866	5.4048	2.0695
果 生焦量与原料油比/10 <sup>-6</sup>	3.01	18.77	9.581

**表 17 蜡下油与轻柴油辐射段与废锅段结焦试验结果**

Table 17 Result of coking test of sweat oil and light diesel in radiation section and waste heat boiler

原料名称	轻柴油	蜡下油
工艺条件		
辐 炉入口温度/℃	540	540
射 炉出口温度/℃	820	800
段 炉出口压力 (A) /MPa	0.196	0.196
停留时间/s	0.385	0.389
水油比	0.743	0.795
辐射段炉管结焦量 (对原料) /10 <sup>-6</sup>	0.0088	0.0119
结焦相对速率/%	100	135
废 工艺条件		
锅 废锅出口温度/℃	650	650
段 废锅出口压力 (A) /MPa	0.196	0.196
废锅段炉管结焦量 (对原料) /10 <sup>-6</sup>	0.0011	0.0016
结焦相对速率/%	100	145

**表 18 蜡下油裂解试验现场标定结果**

Table 18 Result of in site standardization of sweat oil cracking

裂解温度/℃	770	780	790	800
乙烯	28.99	30.20	31.16	31.75
主要 丙烯	17.79	17.48	17.18	16.72
产品 丁二烯	7.31	7.27	7.21	7.15
收率 裂解汽油	20.60	19.03	18.20	17.99
w/% 裂解柴油	1.99	1.94	2.00	1.94
裂解燃料油	2.64	3.26	3.44	3.59

### 5 常三、减一线油和蜡下油作裂解原料的工业运行结果

1995 年以前燕化乙烯主要使用以常一、二线油为主掺入少量常三线油的轻柴油作原料，并确保轻柴油的干点不超过 365℃。在认真进行技术分析的基础上，从 1995 年开始，逐步提高轻柴油的干点，将常三、减一线油更多的调入 AGO 和蜡下油中作乙烯原料，并根据乙烯装置运行的实际情况，逐步加大 AGO 中常三减一线油的比例，1997 年起又开始将蜡下油作乙烯原料。表 19 是 1994~1999 年燕化乙烯装置原料使用情况及乙烯、丙烯、丁二烯收率情况的统计数据。表 20 是 AGO 中掺入常

三、减一线油及使用蜡下油后裂解炉运行周期的统计数据。表 20 表明, 使用掺入常三、减一线油的 AGO 和蜡下油的裂解炉的平均运行周期有所缩短, 但从表 19 可见, 从 1994 年起常三、减一油在裂解料中的比例从 14.86% 上升到 1999 年的 47.48%, 蜡下油在乙烯原料中的比例 1997、1998 年分别为 5.6%, 1.52%, 年累计的乙烯、丙烯、丁二烯收

率基本保持不变, 说明这一裂解原料结构的调整是成功的。5 年累计有  $280 \times 10^4$  t 常三、减一线油和  $12 \times 10^4$  t 蜡下油作为裂解原料顶替直馏柴油。按照燕化炼油系统的装置构成, 常三、减一线油, 蜡下油要进催化裂化轻质化后才能作为产品出厂, 只考虑每吨催化进料的加工费用, 累计的效益就有 2 亿多元。

表 19 1994~1999 年燕化乙烯原料组成与三烯收率统计表

Table 19 Data on feedstock composition and yield of ethylene, propylene and butadiene in BYPC

项 目		1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	
总用量, $m_{\text{总}}/t$		996 745	1 593 779	1 518 929	1 697 628	1 623 570	1 760 791	
石脑油	用量, $m_1/t$	120 094	429 233	388 911	296 679	406 274	481 577	
	比例/%	12.05	26.93	25.60	17.48	25.02	27.35	
乙 烯	用量, $m_2/t$	728 535	909 194	697 277	738 111	444 431	443 173	
	比例/%	73.09	57.05	45.91	43.48	27.37	25.17	
原 料	常三减一线油	用量, $m_3/t$	148 116	255 352	432 741	554 700	730 754	836 041
	比例/%	14.86	16.02	28.49	32.68	27.37	47.48	
组 成	蜡下油	用量, $m_4/t$	0	0	0	95 315	24 800*	0*
	比例/%	0	0	0	5.6	1.52	0	
其 他	用量, $m_5/t$	0	0	0	12 823	17 311	0	
	比例/%	0	0	0	0.76	1.07	0	
三 烯	乙烯收率, $w_{\text{乙烯}}/\%$	28.19	29.66	30.49	30.36	30.13	30.14	
收 率	丙烯收率, $w_{\text{丙烯}}/\%$	15.08	14.93	14.63	14.88	14.78	14.77	
	丁二烯收率, $w_{\text{丁二烯}}/\%$	5.14	4.69	4.67	5.10	5.16	5.03	
	三烯收率合计, $w_{\text{总烯}}/\%$	48.41	49.28	49.79	50.34	50.07	49.94	
	乙烯产量, $m_{\text{乙烯}}/t$	281 002	472 736	463 174	515 416	491 402	530 703	

\* 1998 年下半年起国内烷基苯市场好转, 蜡下油又用于裂解制  $\alpha$ -烯烃, 生产烷基苯。

表 20 1994~1999 年裂解炉使用掺入常三、减一线油的 AGO 原料及蜡下油的年运行周期统计表

Table 20 Operation cycle of the cracking furnace using sweat oil and AGO mixed with distillates from No. 3 line of atmospheric tower and No. 1 line of vacuum tower  $t/d$

炉型	SRT - II										SRT - IV		平均
	炉号	BA-101	BA-102	BA-103	BA-104	BA-105	BA-106	BA-107	BA-108	BA-109	BA-110	BA-100	
1994 年	35.52	37.82	39.62	37.02	37.82	37.0	34.8	40.3	35.0	36.0	31.5	36.57	
1995 年	35.5	35.1	35	34.0	35.3	34.8	34.9	36	35.0	33.9	33.8	34.85	
1996 年	33.3	33.8	34.8	33	33.5	33.5	33.3	30.5	31.3	31.3	29.0	32.48	
1997 年	31.1	32.7	32.7	34.7	34.3	34.6	31.7	31.1	30.3	31	34	32.56	
1998 年	32.4	33.4	35.8	32	33	33.9	32.6	32.1	33.7	33	29.3	32.83	
1999 年	30.3	32.4	30.9	32.5	26.6	31.5	32	32	29.5	30.7	26	30.40	

## 6 结论

1) 原油中烃类馏分作乙烯原料时的裂解性能

不仅和馏分的轻重有关, 而且和馏分的族组成有关。轻质化是世界乙烯原料变化的大趋势, 族组成合适的重质馏分油裂解时也有较高的乙烯收率, 可



以作为乙烯原料。

2) 大庆原油的常三、减一线油馏分重, 减二、减三线油酮苯脱蜡时副产的蜡下油馏分更重, 但其烷烃、环烷烃含量高, 芳烃含量低, BMCI 值低, 裂解时不仅有较高的乙烯、丙烯、丁二烯收率, 选择合适的工艺条件裂解炉的运行周期也能保持较好水平。

3) 燕化公司从 1995 年到 1999 年乙烯原料中累计使用常三、减一线油及蜡下油 290 多  $10^4$  t, 取得了明显的经济效益。

#### 参考文献

- [1] 王松汉, 何细藕. 乙烯工艺与技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000. 21~24
- [2] 邹仁铨. 石油化工裂解原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1982. 19~64
- [3] 王松汉. 乙烯装置技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1994. 55~93
- [4] 侯祥麟. 中国炼油技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1991. 41~43
- [5] 瞿国华. 论重质石油馏份作乙烯裂解原料的技术开发[J]. 石油炼制与化工, 1994, 25(2): 27~33

## Cerebration and Practice of Expanded feedstock sources for Ethylene units

Cao Xianghong

(China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100029, China)

[Abstract] This article starts with the research results that the performance of the ethylene production from hydrocarbons cracking is linked not only to the distillation range of the hydrocarbon distillate, but also its components. It raises a new concept of expanding feedstock sources different from the global trend of using lighter feedstock. The heavy distillates of Daqing crude, such as the third cut of the atmosphere tower, the first cut of the vacuum tower and the sweat distillate which is the by-product of the de-waxing of the vacuum second and third cuts, can be used as feedstock for ethylene units. This article summarizes the performance tests of the feedstock, the evaluation in a simulated cracker and the application results on industrial units. It proves that the feedstock ensures high ethylene yield and longer service life of cracker, thus is of obvious economic benefits.

[Key words] ethylene; feedstock; sources

(Cont. from p. 34)

## Equal Stress Should Be Laid on Bridge and Tunnel in the Trans-Yangtze Traffic Project

Qian Qihu, He Yishou

(Chinese Academy of Engineering, Beijing 100038, China)

[Abstract] The trans-Yangtze traffic project plays an important role in the steady development of China's economy in the 21st Century. In making choice of the transriver project scheme it is not wise to take bridge scheme as the only way out. Instead, equal stress should be laid on bridge and tunnel, so that both bridge and submerged tunnel can give full play to their own strong points in light of local condition.

[Key words] trans-yangtze traffic passage; project; bridge; submerged tunnel