

全国試用教材

燃料化学工艺学

第四分册

第六篇 低温焦油加工

1961年8月

267
432
24

目 录

第六篇 低温焦油的加工

第一章 低温焦油的组成、性质及加工概况	(1)
第一节 页岩油的组成及性质	(1)
一 碳氢化合物	(2)
二 含氧化合物	(3)
三 含氮化合物	(4)
四 含硫化合物	(5)
第二节 低温煤焦油的组成及性质	(5)
第三节 低温焦油的加工概况	(9)
第二章 低温焦油加工产品的分类及其特征	(12)
第一节 燃料	(12)
一 汽化器式发动机燃料 (汽油)	(12)
二 压燃式发动机燃料 (柴油)	(16)
三 喷气式发动机燃料 (航空煤油)	(19)
四 液体锅炉燃料 (燃料油)	(21)
五 灯用煤油	(22)
第二节 润滑油	(22)
一 工业润滑油	(22)
二 内燃机用润滑油	(24)
三 汽缸油	(25)
四 透平油	(25)
五 压缩机油	(25)
六 变压器油	(25)
第三节 化工产品	(26)
第三章 油品的蒸馏	(27)
第一节 生产计划的决定及加工方向	(27)
第二节 低温焦油蒸馏前的预处理	(30)
第三节 釜式蒸馏	(31)
一 单独釜间歇蒸馏	(31)
二 多釜连续蒸馏	(32)
第四节 管式蒸馏	(33)
一 管式蒸馏过程	(33)
二 管式蒸馏的分析	(37)

第四章 焦油馏分的热破坏加工	(43)
第一节 油品破坏加工概論	(43)
一 油品破坏加工的重要性	(43)
二 油品破坏加工的主要方法	(43)
第二节 热裂化	(45)
一 热裂化理論	(45)
二 影响热裂化的因素	(46)
三 提高热裂化深度的方法	(50)
四 双炉裂化的工业装置	(51)
第三节 焦化	(53)
一 焦化过程的基本原理	(54)
二 焦化原料	(54)
三 焦化装置	(54)
四 釜式焦化操作	(59)
第四节 催化裂化	(60)
一 催化裂化的基本特点	(60)
二 催化裂化的催化剂	(61)
三 影响催化裂化的因素	(62)
四 催化裂化的工业过程	(63)
第五节 气体烃的加工	(65)
一 烯烃叠合以获得叠合汽油	(65)
二 烃类的炔化	(67)
第五章 加工产物的分离、精制、重整与調和	(68)
第一节 煤焦油馏分中酚的分离	(68)
一 碱液抽酚	(68)
二 溶剂抽提	(69)
三 其他方法	(69)
第二节 重馏分油的脫脂	(69)
第三节 油品的精制	(70)
一 輕質油品的精制	(71)
二 潤滑油的精制	(73)
第四节 油品的重整与調和	(74)
一 汽油的催化重整	(74)
二 改善油品品質添加剂的应用	(76)
第六章 低溫焦油的加工途徑	(78)
第一节 概述	(78)
第二节 低溫煤焦油的加工途徑	(79)
第三节 低溫頁岩焦油的加工途徑	(84)

第六篇 低温焦油的加工

第一章 低温焦油的组成、性质及加工概况

第一节 頁岩油的组成及性质

油母頁岩焦油通常簡称为頁岩油，頁岩油一般呈暗褐色，有特殊臭味，在常温下为液体或半固体（含蜡多时），比重 d_4^{15} 在0.880—1.006之間。某些頁岩油的一般性质可見表6—1。

頁岩油基本上可分为两类，一类含蜡、含氮都很高，称为石蜡基頁岩油，而另一类含蜡少、含氮也低，称为瀝青基頁岩油。

我国撫順頁岩油，石蜡含量极多，凝固点高，富于不飽和份，氮化合物含量多，属石蜡基頁岩油。

爱沙尼亚頁岩油含蜡少，凝固点低，富于不飽和份，含氮化合物含量特別高，而含氮化合物很少，属瀝青基頁岩油。苏格兰頁岩油之石蜡含量及凝固点介乎上述二者之間，也富于不飽和份。

頁岩油为一极其复杂的有机化合物的混合物，基本上由烴類及非烴類有机化合物所組成。烴類化合物包括不飽和烴、烷烴、芳香烴及环烷烴，非烴類化合物則包括含氮化合物、含氮化合物及含硫化合物等。据粗略估計，撫順頁岩油約含50—60%的烴類，15—20%氮化合物，20—25%氮化合物和胶质，3—5%硫化合物。頁岩油与天然石油不同之点就是頁岩油中不飽和烴的含量极高，这是由于在干餾过程中，油母发生分解作用所致。另一不同之点，就是頁岩油中非烴類化合物之含量高，我国撫順頁岩油中含氮化合物的含量很高，而爱沙尼亚頁岩油中則含氮化合物的含量特別高。在天然石油中不含烯烴，含氮化合物含量也不高，而含氮化合物則更少，某些頁岩油中的含氮及含氮化合物在石油中根本未发现。由于頁岩油含有大量的不飽和烴以及某些活性的含氮及含氮化合物，因此与天然石油相比，頁岩油具有对氮及对热不稳定的特性。頁岩油在空气中容易氧化，儲存久后，顏色变深，同时产生大量胶质，使頁岩油的組成随时在改变。在精餾时，頁岩油就产生一系列的变化而改变其組成。

某些頁岩油的一般性質比較表

頁岩油名称 性質	撫順 ①	樺甸 ①	广东 ①	爱沙尼亚	苏 格 兰
比 重	$d_{4}^{20} 0.9088$	$d_{4}^{20} 0.8881$	$d_{4}^{20} 0.9097$	$d_{4}^{15} 1.006$	$d_{4}^{15} 0.882$
凝固点	34	27	26	<0	
恩氏蒸馏 初馏点	219	222	235		
10%	283	261	265		
20%	310	286	287		
30%	335	309	309		
40%	350	332	328		
50%	372	352			
馏出率:					
<200°C	—	—	—	—	—
<300°C	20.5	24.5	25	—	—
<400°C	55.5	58.5	56.7	—	—
殘 碳	17	—	—		
沥青质(重)(石油瀝 不溶物), %	0.79	0.9	1.03	6.3	0.35
含蜡(重), %	17.6	19	14.8	0.1	9.3
蜡熔点, °C	49.3	49.5			
硫酸法树脂, %	46	42	46		
焦油元素組成					
C	85.16	86.04	84.18	82.45	85.81
H	11.90	12.30	11.54	9.62	12.29
O	1.36	0.8	1.08	6.00	0.26
N	1.07	0.44	2.70	0.25	1.32
S	0.51	0.42	0.50	0.86	0.882
C/H	7.16	6.96	7.29	8.6	6.95

①用撫順內熱式炉干餾所得

一、碳氫化合物(烴類化合物):

各种頁岩油中碳氫化合物的含量是不相同的,我国撫順頁岩油中烴類含量約佔頁岩油重量的63.5%,而爱沙尼亚頁岩油中烴類含量則只佔焦油 $1/3$ 左右。

烴類化合物在焦油中的分布一般都随着焦油餾份沸点范围的升高而减少。如我国撫順頁岩焦油,在350°C以下的輕油中烴類佔71.9%,在350°—450°C餾份中烴類佔70.5%,而在450°C以上的殘油中烴類只佔36.1%,見表6—2。爱沙尼亚頁岩油中烴類分布如下:

馏份	烴類含量
<200°C 馏份	90% 左右
200°—300°C	45—50% 左右
>300°C	还没有肯定材料

从烴類的分布情况看来，可知頁岩油的低沸馏点分作为发动机燃料的原料较为合适。

撫順頁岩焦油的化学組成

表 6—2

族組成名称	350°C以下輕油		350—450°C 重油		450°C以上殘油		各种化合物 佔焦油 %
	佔馏分 %	佔焦油 %	佔馏分 %	佔焦油 %	佔馏分 %	佔焦油 %	
正构烷	20.4	8.0	29.7	11.5	24.5	5.4	46.4
异构烷—环烷	7.4	2.9	6.4	2.5			
直鏈烯	13.9	5.5	8.8	3.4			
异构烯—环烯	12.1	4.7	6.3	2.5	11.6	2.5	17.1
单环芳香烴	8.5	3.3	9.5	3.7			
双环芳香烴	9.6	3.8	5.6	2.2			
三环芳香烴			4.2	1.8			
烴類总和	71.9	28.2	70.5	27.4	36.1	7.9	63.5
非烴類总和	28.1	11.0	29.5	11.5	63.9	14.0	36.5
总计	100	39.2	100	38.9	100	21.9	100

二、含氧化合物：

頁岩油中的含氧化合物基本上可分成三類，即有机酸，酚類及中性含氧化合物。对前二類研究得比較清楚，某些有机酸及酚也已經从頁岩油中确实被分离出来而且已加以檢定，对后一類則研究得非常不夠。

有机酸——在油母頁岩中有机酸的含量是非常少的，象爱沙尼亚这样含氧化合物很多的頁岩油中，有机酸的含量也只达到2%，在其他含氧化合物少的頁岩油如撫順頁岩油中，其含量仅0.15%。頁岩油中有机酸含量的測定，一般都先用碳酸氫鈉溶液抽提，然后再加酸中和，使有机酸析出。用碳酸氫鈉溶液可避免将酚類抽出。

酚類——所謂頁岩油中的酚類，就是指頁岩油中能用碱溶液抽出来的那一部分化合物（有机酸除外），在这一部分化合物中，真正的酚，即芳香烴的羟基衍生物的含量並不多，而大部分为結構不清楚的酸性化合物。酚類在頁岩油中的含量比有机酸要多得多，如撫順頁岩油用10%氫氧化鈉溶液处理时可得2%左右的抽出液（即酚類），而爱沙尼亚頁岩油則含有6—9%的酚類。

在撫順頁岩焦油中酚類分布情况如下：

• 190°—210°C	2.1%
210°—230°C	16.2%
230°—250°C	20.4%

250°—300°C

15.5%

300°以上

45.8%

在撫順粗輕油中低級酚的組成如表 6—3。

撫順粗輕油中低級酚的組成

表 6—3

	佔260°C前酚的重量 %	佔粗輕油的重量 %	佔低級酚的重量 %
苯酚	6.17	0.265	9.07
邻-甲酚	5.34	0.230	1.85
間-甲酚	6.84	0.284	10.08
对-甲酚	8.76	0.377	12.90
2,6-二甲酚	1.02	0.044	1.50
2,4-二甲酚	7.14	0.307	10.50
2,5-二甲酚	1.74	0.075	2.56
邻乙酚	2.83	0.123	4.17
2,3-二甲酚	2.34	0.101	3.44
間-乙酚	5.15	0.222	7.89
对-乙酚	5.55	0.238	8.17
3,5-二甲酚	2.03	0.088	2.97
2,4,6-三甲酚	7.10	0.306	10.46
3,4-二甲酚	0.96	0.041	1.41
总计	62.97	2.701	92.68

中性含氧化合物——用碱洗滌頁岩焦油和其餾分，以除去酸性化合物(羧酸和酚類)后，还含有中性含氧化合物，这一点可用元素組成方面的数据或者直接測定含氧化合物中的某些原子团来証明。

撫順頁岩焦油里的中性含氧化合物还没有研究，虽然它只佔次要的地位，但无疑地一定是含有的。爱沙尼亚頁岩油中含氧化合物很多，而其中极大部分是中性含氧化合物，如醚、酮、酯等。

三、含氮化合物：

大家知道，在撫順油母頁岩中，油母中含氮量为2.79%，这是一个相当大的数字，所以撫順頁岩焦油中富于含氮化合物。頁岩焦油中的含氮化合物計有：碱性的，弱碱性的及中性的。

碱性的含氮化合物有吡啶及喹啉的衍生物，弱碱性的有吡咯的衍生物，而中性的則是脒的衍生物。

撫順頁岩油餾分中各類氮含量与分布如表 6—4 所示。

撫順頁岩油各餾分中各類氮含量及分布表

表 6—4

餾 分 °C	平均分子量	总 氮 N _{0.6m2} %	碱性氮 N _B %	可皂化氮 N _s %	其他氮 N _p %
<200°C	138	0.73	0.39	0.27	0.07
200—250°C	161	0.93	0.59	0.26	0.08
250—300°C	198	1.09	0.63	0.19	0.27
300—330°C	231	1.18	0.57	0.18	0.43
330—440°C		1.16	0.55	0.16	0.45
粗 輕 油		1.02	0.53	0.20	0.29

其中可皂化氮即指胺及其衍生物,而其他氮N_p即指弱碱性含氮化合物(即吡咯類)。从表可見,撫順頁岩油的氮含量随餾分升高而增加,其中碱性氮含量一般在0.5—0.6%,可皂化氮随餾分升高而略有减少,一般在0.16—0.27%,其他氮則随餾分升高而增加,一般在0.7—0.45%。

在撫順頁岩干餾所得的蒸汽—氣體混合物中亦发现有吡啶碱,其餾分組成如表 6—5 所示。

表 6—5

溫 度	120°C 以前	120—140°C	140—160°C	160—180°C	180°C—190°C	190°C 以前
餾出%	2.8	7.3	23.9	18.0	19.5	71.5

四、含硫化合物:

頁岩油的含硫量一般为0.5—1%,約相当于含硫較高之天然石油。我国撫順頁岩油的含硫量为0.51%。在325°C以下餾分中,噻吩乃是主要的含硫化合物,二硫化物(CS₂, RSSR)也有不少,其他还有硫醚、硫醇、元素硫和极微量的硫化氢,我們不希望在頁岩油或其餾分中有含硫化合物,因为它是发动机燃料的有害物質。

第二节 低溫煤焦油的組成及性質

作为低溫干餾的原料,褐煤和年青的烟煤佔有很重要的地位,也是目前綜合利用的主要方面,因此下面我們討論一下低溫煤焦油的化學組成和性質。但是应当指出,这方面的工作,做得很不夠。

低溫煤焦油从外觀上看为暗褐色的液体,比重接近于1,粘度大,具有不愉快的气味。

我国某些煤低温焦油的一般性质比较表

表 6—6

焦油来源 性质	撫 順 烟 煤	大 同 烟 煤	江 西 烟 煤	雲 南 褐 煤	山 西 藻 煤
比重, d_4^{20}	1.008	1.0289	1.042	0.9822	0.9163
粘度, E50	3.68	4.22	5.32	—	—
厚泊	26	30.2	—	—	7.9
凝固点, °C	32	22	—3	29	(60°C时) 19.5
恩氏蒸馏 (°C)初馏点		201	78.5	144	86
10%	250	236	185	204	178
20%	286	270	237	224	230
30%	312	300	286	248	268
40%	337	330	331	279	308
50%	—	—	—	312	325
馏出率	8.4%353°C	48%350°C	水份2.65 闪点63.5°C 3.3%70°C 12.5%200°C 27.3%270°C 37%315°C 50%350°C	21.8%300°C 67%350°C	56.5% 350°C
殘碳值	—	—	—	中性油57.9 汽油不溶物	—
瀝青質(石油醚 不溶物)	3.15	5.94	9.18	7.0	3.087
蜡 份	9.25	5.5	0.42	9.7	—
苯不溶物	—	0.61	0.8	3.4	0.2
酸性份	<300°C 32.3	40.6	—	4.0	—
碱性份	4.2	2.5	—	6.1	—
酚 類	36.5	—	34.25	—	6.88
吡啶碱	—	—	—	—	6.94
焦油元素組成 C	84.4	84.35	83.06	80.84	—
H	10.36	8.85	8.53	9.86	—
O	4.32	6.00	6.03	7.75	—
N	0.61	0.48	0.82	0.91	—
S	0.31	0.32	1.56	0.64	—
C/H	8.15	9.53	9.72	8.20	—

在蒸餾時在350°C以前約可蒸出50%左右，初餾點高，幾乎不含輕質餾分。表6—6為我國若干低溫煤焦油的組成和性質。

從表可見，不同的原料所得的焦油的性質如比重、餾分組成、含蜡、酸性份、鹼性份、焦油元素組成也都不一樣，這是由於煤低溫焦油的組成和原料煤的組成有着密切的聯繫。三種烟煤焦油之間性質比較接近，而蘆煤焦油和頁岩油很相象。（下面所指低溫煤焦油系指烟煤、褐煤焦油）

低溫煤焦油亦為一極複雜的有機化合物的混合物，基本上由烴類和非烴類有機化合物所組成。煤焦油和頁岩油的不同點，首先是非烴類化合物的含量更高，特別是酸性份（酚類），含量有高達40%左右，而在撫順頁岩油中僅含2%左右。低溫煤焦油中酸性份和鹼性份加起來佔了焦油50%以上。其次不同的是烴類中芳香烴特別多，佔烴類的50%以上，而烯烴比頁岩油中少。煤焦油和頁岩油相同的是也含有烷烴和環烷烴。

由於低溫煤焦油中非烴類含量如此之高，而且象酚類等化合物對氧對熱極不穩定，因此對煤焦油化學組成的研究比研究頁岩油更複雜。大同煤和撫順煤低溫焦油的化學組成分析結果如表6—7，6—8，6—9所示。

大同煤低溫焦油化學組成的初步分析

表6—7

餾分	-170°C	170°—230°C	230°—270°C	270°—300°C	>300°C
收率（重%）	0.7	12.4	10.7	8.3	67.6
酸性份（容%）		53.4	37.8	27.1	
鹼性份（容%）		2.1	2.6	3.5	
經酸鹼處理後的中性油的組成（容%）		6.91	9.77	6.59	
烴類及環烷烴		43.94	53.94	52.09	
		49.15	36.29	41.32	

撫順煤低溫焦油的低級酚中鑑定出11種单体酚，它們是：苯酚，鄰、間及對甲酚，對乙酚，2,3-，2,4-，2,5-，3,4-和3,5-二甲酚及2,4,6-三甲基酚。

從上述化學組成看來，用低溫煤焦油去煉制發動機燃料要比頁岩油差（非烴類化合物含量高，C/H比亦大），在酸鹼精制時損失很大，因此最好通過加氫精制的途徑，以制取發動機燃料。由於低溫煤焦油中含有大量的酚類（30%以上），因此研究酚類的組成及利用，當然有很大的意義。低級酚的用途是很廣泛的，苯酚是製造塑料和人造纖維的原料。苯酚與濃硝酸作用，生成三硝基苯酚即苦味酸，是一種著名的烈性炸藥，也是重要的化工原料。酚類與重氮化合物作用，生成酸性氨基偶氮染料，應用極為普通。酚類又是基本的制藥原料，也是常用的消毒劑和殺菌劑。二元酚和三元酚有很強的還原性，可以用作照象上的顯影劑。有機合成用酚，往往要求純度較高，但是低溫焦油中高級酚的含量較多，提純相當困難。而高級酚的用途遠不及低級酚為廣。因之酚之提純以及將高級酚轉化成低級酚，乃是解決低溫焦油綜

撫順煤低溫焦油的化學組成 (<400° 餾分)

表 6—8

餾分 化學組成	—200°C	200°—325°C	325°—400°C	全 餾 分
中性油 (以无水焦油為基準)	4.99	16.0	13.8	34.8
酸性油	3.07	11.0	5.2	19.3
碱性油	0.26	1.02	0.8	2.1
總 計	8.32	28.02	19.8	56.2
中性油組成:				
烷	49.5	34.9	36.7	43.5
烯	29.5	20.5		
芳香 (單環)	20	14.4		
(多環)	42.3	24.1	13.0	
非 烴		52.9		
總 計	8.2	28.8	30.5	
	100	100	100	

大同及撫順煤低溫焦油中酚的組成及含量

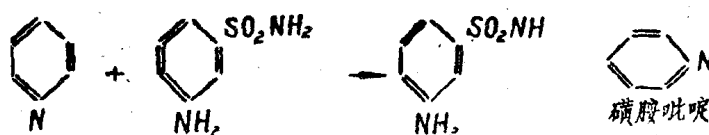
表 6—9

焦 油 來 源	撫順焦油 <295°C 餾分 (抽酚油)			大同焦油 <270°C 餾分 (抽酚油)		
<295°C 餾分中含酚量, %	24.90			36.7		
抽酚油佔原焦油, %	26.02			23.8		
抽酚油中酚佔原焦油, %	6.48			8.7		
酚 的 組 成	對无水原料	對抽酚油	對原焦油	對无水原料	對抽酚油	對原焦油
苯 酚	4.58	1.14	0.30	6.23	2.28	0.54
鄰 位 甲 酚	4.17	1.04	0.27	7.00	2.57	0.60
間-對位甲酚	15.0	3.74	0.97	19.43	7.08	1.68
二 甲 酚	31.2	7.78	2.02	33.23	12.11	2.87
高 級 酚	42	10.44	2.72	28.92	10.60	2.52
總 計	100	24.14	6.28	100	34.64	8.21

合利用的主要研究問題之一。含有多量酚類的重焦油可以作为木材的防腐油。

在某些低溫焦油中含蜡量相当高，如石蜡基的頁岩油和褐煤焦油中含蜡量达焦油的10—20%，可以經過冷冻、过滤或抽提等方法分出石蜡。石蜡亦是一种主要的化工原料。石蜡氧化，可以得到各种脂肪酸及酸類。脂肪酸可以代替植物油或动物油料，用来制造肥皂，滑潤脂等，而酸類則可以制作洗滌剂。石蜡氯化的后的氯化石蜡，在三氯化鋁等催化剂的作用下，可聚合而制得高級滑潤油。石蜡本身可供制造蜡紙，蜡燭，电气絕緣用蜡以及制造各种防潮包装用紙等。

低溫焦油中的碱性油，即用硫酸处理时的酸渣，可以代替硫酸处理金属表面，它具有緩蚀作用。如果将其中吡啶碱取出，則其經濟价值更大。吡啶是制造磺胺吡啶及其他磺酰類葯物的一种原料：



吡啶，甲基吡啶等可用于制造各种葯物維生素及不透水的織物，生橡胶加硫促进剂等。所以說，回收吡啶碱具有重大的工业意义，特别是我国的頁岩油中吡啶碱的含量是相当高的。

中性含氮化合物、腈及其衍生物水解后，可得脂肪酸，还原后有可能得胺 ROH_2NH_2 。烷基胺的銨盐或重銨酸盐是火箭原料的重要添加剂。因此，需要我們在这方面很好加以研究。

低溫焦油某些馏分中含有較多液态烯烴，其中合适的馏分可以用来制取合成的潤滑油。另外，也可以从低溫焦油中利用某一馏分进行磺化以制取洗滌剂。

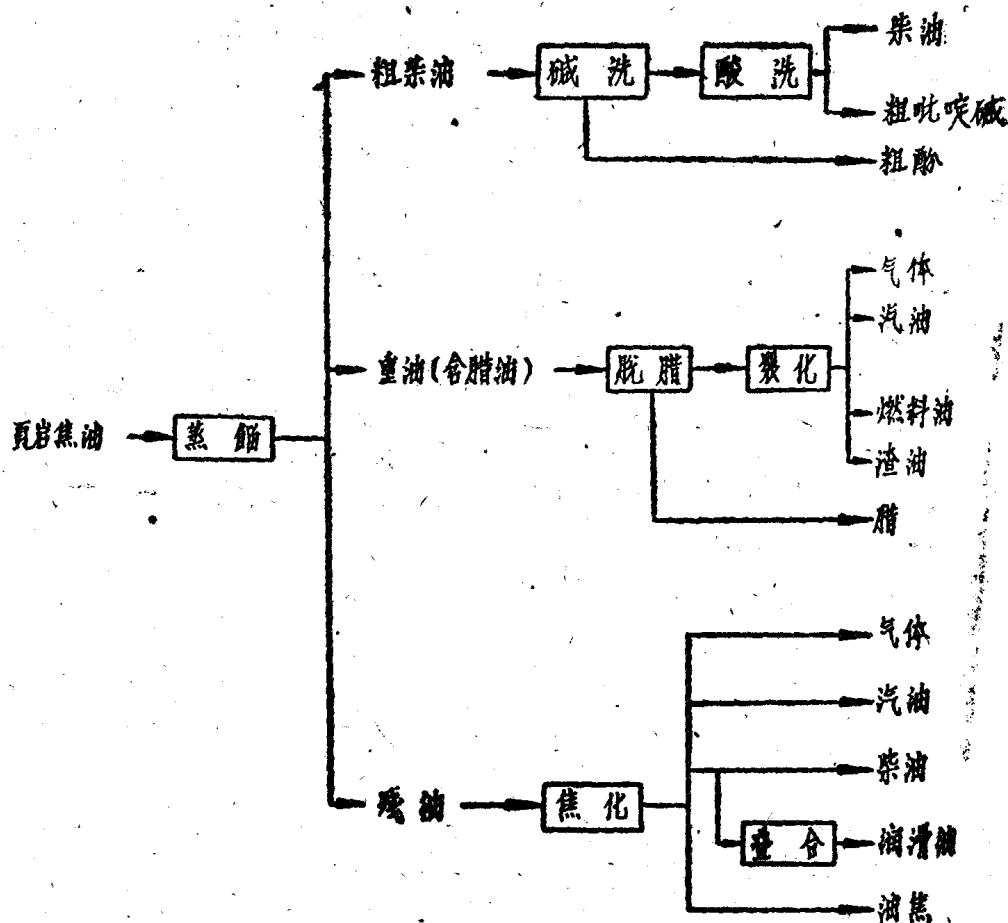
低溫焦油的重質馏分經氧化后可以制成鋪路的瀝青，亦可以經焦化而得輕重柴油和电极焦，而焦化时生成的气体中烯烴含量很高，是貴重的合成原料。

最后必須指出，虽然如上所述，低溫焦油既是发动机燃料的原料，而其中又有很多宝貴的化工原料，但在加工过程中有許多問題尚未得到很好解决。如在制取发动机燃料时，油的損失很大，而且輕質油的产率很低，在制取化工原料时，提純問題也有待于进一步的研究。

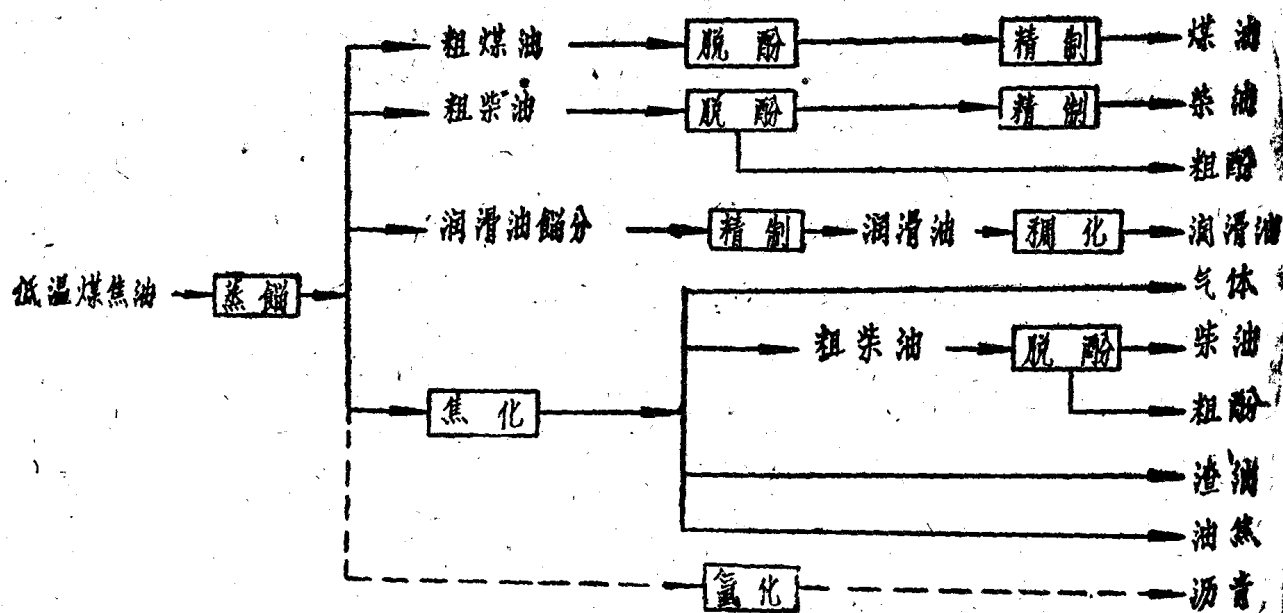
第三节 低溫焦油的加工概說

焦油的加工方向主要應該根据焦油的性質和技术可能性，但是要密切結合国家需要及經濟核算要求。

由前述頁岩油性質可知，对一般含蜡頁岩油而言，由于含瀝青少，含酚少，所以以加工为燃料油品及石蜡为宜，也可以兼得酚類等。



煤焦油因含酚及瀝青較多，用加氫的方法可以較徹底地解決問題。但是一般都用蒸餾——焦化——脫酚的方法來兼得油品及化學產品。



采用加氢的办法可以把焦油进行深度加工，多收油品及化学产品。也可以把加氢和热加工及催化裂化相结合起来，更有效的发挥各部分的作用。

由上可见，焦油加工的产品有燃料油品，如汽油、柴油、燃料油等，以及润滑油和润滑脂。还有化学产品，如酚、吡啶、石蜡、沥青及油焦等。这些产品都要合乎石油产品规格的要求。

至于加工的方法一般有蒸馏、热裂化、焦化、脱酚、脱蜡等。除上述基本加工方案外，亦有因地制宜，利用溶剂抽提，或用甲醛直接溶合等方案。一方面提取液体燃料，又可制备化工产品。也可以应用较特殊的方法，如加氢、催化裂化、催化重整等。

为了了解加工的目的，下面先介绍产品分类及其特征（即规格要求），再分别讨论加工过程，最后进行加工途径的综合分析。

第二章 低溫焦油加工产品的分类及其特征

低溫焦油經過加工所得的产品基本上是按照石油产品的分類情况和使用时对质量的要求来分類的。基本上分为燃料、潤滑油及化学产品三大類。每大類又分成許多小類，各个小類由于具体用途不同都有一定的规格要求。把焦油加工成为合乎规格的产品，这就是焦油加工的任务。因此有必要在討論具体加工方法之前，深入了解这些要求，这样就更加明确加工的目的方向。

第一节 燃 料

一、汽化器式发动机燃料

(一) 发动机工作过程

汽化器式发动机广泛地应用在飞机、汽車和拖拉机等上面。简单地說来，工作过程主要有几部分。首先，空气通过汽化器，同时燃料也噴入汽化器。在汽化器中，燃料进行汽化並与空气組成混合气，这种混合气經輸气管进入发动机的汽缸。一般汽缸的工作包括：(1) 新的混合气充入汽缸，(2) 活塞将混合气压縮，(3) 混合气在汽缸內燃燒(膨脹)，(4) 从汽缸里排出燃燒后的廢汽等四个步骤，連續循环地进行下去。当混合气在汽缸內燃燒膨脹，推动活塞时，一部分燃燒生成的热能就轉变成机械能，傳遞給发动机的曲軸。曲軸的旋轉，就可以利用各种装置使車輪或螺旋槳等轉动起来。燃燒是靠电火栓打火引起的。

(二) 对燃料的主要要求

对于汽化器式发动机燃料(包括航空汽油，車用汽油等)的要求，主要从保証发动机能順利地運轉的角度提出的。对于不同用途的汽油，国家都規定了具体而严格的产品规格，这也正是对产品的主要要求。我們在这里只討論几个最重要的性能，即燃料的汽化性能，抗爆性能，化学安定性和腐蝕性能。

1. 汽化性能 燃料进入汽化器后能否汽化完全，在其他各种条件相同时(如汽化器的构造，空气速度，溫度等)是和燃料的汽化性能直接有关的。如果所用燃料的汽化性能不好，难于汽化时，就会使空气——燃料混合气中帶有悬浮状的燃料液滴。混合气中有燃料液滴时会帶來許多缺点。首先，会破坏发动机工作的均匀性和稳定性。当混合气由汽化器进入发动机的各个汽缸时，經過进气管，混合气中所含液滴会沉積在进气管的壁上，因而进入各汽缸的混合气会有不同的成分，成分不均匀，就影响发动机工作的均匀性，甚至难于起动。其次，混合气中所帶的液滴进入汽缸后，会使燃燒不完全。結果沒有燃燒的液滴会将汽缸壁上的潤滑油冲洗掉，会經過活塞环的縫隙流入曲軸箱內，使箱內潤滑油稀釋。这样，汽缸的磨損会增加，压縮能力下降，影响发动机的工作质量。

燃料不能很好汽化时，自然就影响工作效率。会多耗燃料，降低工作的经济性。因之，对汽化器式发动机燃料的要求中，良好的汽化性能是重要的一项。但另一方面，燃料也不宜太容易汽化。当燃料太容易汽化时，会在进入汽化器之前，就在汽油管中发生汽化，因而产生所谓气阻现象。发生气阻时，就会阻滞汽油进入汽化器，甚至使之完全中断。迫使发动机停止工作。这个问题对航空汽油特别重要。飞机起飞时，升入高空，气压减小，更容易生成气阻。当发动机被迫停止工作时，飞机就可能失事。

通常，采用恩氏蒸馏（恩氏蒸馏简单易作，故常作为规格指标及性质指标）的几点温度和蒸汽压来规定对燃料汽化性能的要求。对不同用途的燃料，有不同的规定。下面就谈几个最重要的指标。

恩氏蒸馏10%点温度和燃料的起动性能以及形成气阻的可能性有关，因为它表示轻质最易汽化的成分的含量。通常以该点控制起动性能，而气阻形成的问题由初馏点和蒸汽压指标来控制。10%点温度高时，起动就比较困难，延续时间长，消耗汽油量大，大气温度低时甚至不能起动。

航空汽油10%点温度应为75—78°，车用汽油为70—79°。具体指标参看固定石油产品规格。

恩氏蒸馏50%点的温度表示汽油的平均汽化性能。它和发动机从起动转为正常工作的性能有关。这个过程需要使发动机热起来。热得越快，则燃料无益的消耗，发动机的磨损和润滑油的稀释等现象都会减少。50%点温度低时，发动机就热得快。运行试验也证明，汽车发动机的加热时间和 t_{50} 的关系很大，例如：

汽油 t_{50} °C	加热时间，分钟
104	10
127	15
148	>28

按规定，航空汽油 t_{50} 不应超过105°C，车用汽油 t_{50} 不应超过105°C—145°C。

馏出90%点和终馏点（或97%，97.5%点）都表示汽油中重质高沸点馏分的含量。如果它们的温度过高，表示含有较多的高沸点难汽化的馏分，使用时，就容易引起发动机的磨损，燃料的消耗，和润滑油的稀释。同时，其他条件相同时，这种汽油所产生的功率比较低。航空汽油的90%点不得超过145°C，终馏点不超过175—180°，车用汽油90%点应该不超过175°—195°，终馏点不超过180—205°。

蒸汽压（雷德法）指标主要用来控制气阻的危险性。蒸汽压越大。气阻的可能性也越大。同时，蒸汽压较大的汽油也表示去除气体烃不够，因之，在储运和使用过程中，会造成较大的损失。

航空汽油的蒸汽压规定不得超过360毫米水银柱，车用汽油的蒸汽压不超过500毫米水银

柱。

2. 抗爆性 汽化器式发动机操作不正常时，汽缸里会发生敲击声，称为爆击现象。

在正常操作条件下，内燃机里的工作混合气逐渐燃烧，火焰以20—30米/秒的速度传播，使活塞均匀地运动。但在某些情况下，燃烧火焰以2000—3000米/秒的速度传播，活塞冲击地运动，便发生所谓爆击。发生爆击时使发动机另件受磨损，活塞被破坏，同时燃料耗量增加，发动机功率也降低。

发生爆击的原因是多方面的，爆击是一个复杂的物理化学现象。从化学反应的角度来看一般都认为爆击的产生是由于烃类在高温的空气中会生成过氧化物的缘故。如果在燃料混合气中在出现火焰之前就积聚了大量的过氧化物，则由于这些过氧化物进一步的猛烈分解，就引起整个汽缸中燃料混合气的瞬间燃烧而产生爆击。

工作混合气在压缩前与压缩后的体积之比称为压缩比。发动机的压缩比愈高，则它能发出的功率愈大，燃料消耗量愈低。例如压缩比由5:1增至7:1时，发动机的功率由114马力增至135马力，而燃料消耗量则由240克/马力小时减至200克/马力小时。但压缩比愈高则愈易引起爆击。所以就要求燃料有愈好的抗爆性。

组成燃料的各种烃类抗爆性很不一样。正构烷烃最容易氧化，因而也最容易引起爆击。高度分支的异构烷烃和芳香烃最不容易引起爆击，而环烷烃和烯烃介乎它们之间。

燃料的抗爆性能通常是用辛烷值大小来表示的。而所谓燃料的辛烷值，它的意义如下：

将试料（要测定辛烷值的燃料）放在特制的辛烷值测定机器（一种标准的单汽缸内燃机）上进行试验，根据仪表记录该试料的爆击状况。然后，用各种不同比例的异辛烷和正庚烷所组成的标准燃料进行试验，找出爆击状况和上述试料相同的那种标准燃料。如果该种标准燃料中含有56%的异辛烷和44%的正庚烷，则该试料的辛烷值就是56——也就是异辛烷的百分数。

显然可以看出，这种方法是以前辛烷的抗爆性能作为100，而以正庚烷的抗爆性能作为0为比较基准的。

用可变压缩比的单汽缸发动机来测定汽油抗爆性的方法很多。苏联ГОСТ规定了三种方法：马达法，1—C法及3—C法。不同方法的发动机工作条件都不一样。

马达法主要用于测定辛烷值为100以下的，用于燃烧贫混合气的引擎的汽油的抗爆性。（贫混合气指 $\alpha=0.85-1.1$ ；富混合气时 $\alpha=0.6-0.85$ ）该法所用发动机的工作条件和汽车等的工作条件比较接近，和航空发动机的工作情况，特别是和航空发动机用加压送气，并燃烧富混合气的工作情况差别很大。因之，马达法的结果不能充分说明航空燃料的抗爆性。航空发动机在巡航时在贫混合气条件下工作，在起飞或战斗时，为获得最大功率，是在富混合气条件下工作的。

1—C法（也称温度法）发动机工作条件比马达法苛刻些。此法用来测定高辛烷值航空汽油在燃烧贫混合气的发动机中的抗爆性。试油抗爆性比异辛烷还强时，用加有乙基液的异辛烷作用比较标准再进行换算。

3—C法所用的发动机没有汽化器。燃料直接喷入汽缸中，并用火花点火。发动机有加压送气装置。3—C法用在测定航空汽油的抗爆性，主要是测定用富混合气工作时，该汽油所能产