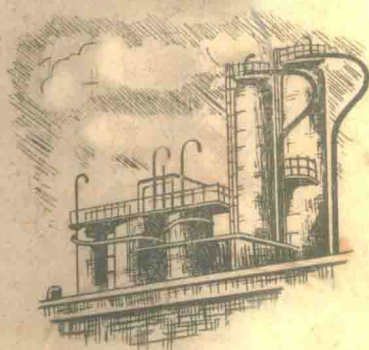


石油煉製過程及設備

蘇聯 格·格·魯賓諾維奇 合著
斯·伏·阿傑利松
周家驪翻譯 朱家和校訂



燃料工業出版社

石油煉製過程及設備

蘇聯 格·格·魯賓諾維奇 合著
斯·伏·阿傑利松
周家駒翻譯 朱家和校訂

★蘇聯石油工業部教育局審定作為中等石油技術學校教材★

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書從有關石油的物理、化學知識談起，然後結合實例全面地介紹了石油的煉製過程。此外對於煉油廠各主要設備的設計和安裝也作了較為詳細的敘述。

本書可供煉油廠從事實際工作的技術員和技工閱讀，同時又可作為中等石油技術學校的教材。

* *
*

石 油 煉 製 過 程 及 設 備

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社 (ГОСТОПТЕХИЗДАТ)
1949年列寧格勒俄文第一版翻譯

Г. Г. РАБИНОВИЧ 著
С. В. АДЕЛЬСОН 著

周家驊 翻譯 朱家和 校訂

燃 料 工 業 出 版 社 出 版

社址：北京東長安街總局工業部

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：李 英 校對：何 忠 郭益華

書號201·油23 * 31×43 $\frac{1}{2}$ 開本 * 266 頁 * 254 千字 * 定價16,200元

一九五四年六月北京第一版 (1—5,200冊)

版權所有★不許翻印

目 錄

緒 言	
第一章 量度單位	5
第二章 碳氫化合物及其混合物的主要物理化學性質	9
比 重	9
分子量與平均沸點	10
特性因素	12
黏 度	14
蒸汽壓	16
臨界常數	16
臨界對比溫度與臨界對比壓力	17
比熱、蒸發潛熱、熔解潛熱、熱含量	18
石油產品之傳熱係數	25
反應熱	25
燃料之發熱量	27
第三章 熱傳導的原理	29
傳導傳熱	29
對流傳熱	33
熱通過平面單層薄壁之傳送	40
熱通過圓柱形壁之傳送	43
鍋垢(積污)之阻力	44
平均溫度差	45
熱之輻射傳送	55
固體輻射能之發射和吸收	56
第四章 火燄加熱	60
概 論	60
火燄加熱器之主要類型	64
燃料的燃燒過程	75
熱量平衡	88
管式加熱爐之熱計算	95
管式加熱爐之水力學計算(或管式加熱爐之壓計算)	95
氣體阻力及通風	95

第五章 非火燄加熱、冷凝和冷却	107
預熱器(熱交換器)	107
冷凝器及冷却器	110
低溫冷却	116
第六章 蒸餾與精餾之原理	120
基本定律	120
平衡系統	129
複雜混合物之一次平衡汽化	140
不相混合液體之蒸餾	144
精餾原理	146
精餾塔之物質平衡	150
精餾塔之熱量平衡	156
精餾塔中理論塔盤層數之計算	157
複式精餾塔中的精餾	159
精餾塔內溫度之計算	161
精餾塔之分類及構造	162
精餾塔主要尺寸之計算	164
第七章 液體之處理	177
攪拌	177
沉降澄清	183
過濾	191
過濾之計算	199
離心分離	203
離心機之計算	207
第八章 氣體之處理	213
氣體之淨化	213
吸收	216
解吸	222
第九章 吸附	224
概論	224
吸附器之構造與計算	227
第十章 其他處理方法	229
固體物質之壓碎及選粒	229
固體物質之輸送	234
提取	236
固體物質之乾燥	242
反應設備	247

緒 言

石油煉製過程的理論和煉製過程所用主要設備的計算方法，是蘇聯許多學者的勞動所創造和發展的。

古爾維奇教授第一個總結了石油煉製方法的科學資料，並指出了發展的前途。他所著「石油煉製科學原理」是煉油方面的經典作品。特別是他第一個研究了用水蒸汽蒸餾石油產品的理論，並說明了吸附過程的許多特徵。

從以後的蘇聯作者們許多著作中我們將提到一些主要的著作。

關於碳氫化合物熱力常數的系統化和統一化，確定碳氫化合物的蒸發潛熱，以及關於一次平衡汽化溫度的求定方法等，見於 С. Н. 奧布良德奇可夫的著作中。在他的倡議下，曾於 1934 年召開了一次石油煉廠設備技術設計統一化會議。А. М. 特列古波夫教授所著「直餾和精餾理論」教程要算是煉油方面的基本著作，這本書從 1932 年到現在已出版過三次。在研究石油工業中所用精餾塔的計算方法方面，С. Н. 奧布良德奇可夫教授作了很多的工作。由於 В. В. 加米聶爾和其他等人的努力，發明了在不同壓力下換算一次平衡汽化溫度的方法。在研究石油煉製工業中常用的多程換熱設備傳熱問題方面，根據 Н. И. 別羅康教授和 В. С. 楊布良斯基教授的作品證明蘇聯學者的優越地位。對於蒸餾（汽提）設備的研究方面見於希申珂教授和 Н. И. 蓋律賓琳教授的名著中。

在煉油的技術方面 В. Г. 舒霍夫有很大的貢獻。他研究了微分蒸餾的系統和加壓裂化的第一個過程。

作為石油煉製過程和設備的教本，除了 А. И. 斯可布洛的「工藝計算的主要部分」之外，我們還沒有統一的指南。

這本教材是根據批准的中等技術學校「石油煉製過程及設備」教程提綱編寫的。由於設備、裝置的設計和機械的計算成為另一個學科和因篇幅限制，本書描述設備構件方面佔的比重不大。

本書向讀者介紹石油產品在計算時所用的主要物理性質，指導煉製操作的主要定律，這些過程的原理和在計算時這些原理的應用。

第一、五、七、八、九章和第十章的前四節是由格格魯賓諾維奇寫的，第二、三、六章是由魯賓諾維奇與斯·伏·阿傑利松合寫的，第四章和第十章〔反應設備〕一節是由阿傑利松寫的，第五章由阿傑利松作過補充。

第一章 量度單位

在研究「生產過程及設備」一書之前，應先熟悉本書中所用之各種量度單位。

重量單位 1 噸 = 1000 公斤，1 公斤 = 1000 克 (g)。

體積單位 1 立方公尺 = 1000 公升，1 公升 = 1000 立方公分。

比重 石油產品每單位體積所有之重量，或石油產品之重量與其體積之比例稱為比重。

$$\text{比重} = \frac{\text{重量}}{\text{體積}}, \text{即 } d = \frac{G}{V}, \quad (1)$$

由於重量 G 與體積 V 所用單位時有變化，因而比重亦有各種不同之單位，如公斤/立方公尺，克/立方公分，公斤/公升等等。

尅分子 物質重量之尅數如與其分子量相等則稱其為該物質之量為一尅分子。

18 尅水即為水之一尅分子。

平均分子量 石油產品之平均分子量為表示石油產品特徵之物理常數之一。石油產品之平均分子量約為：汽油 100—120，煤油 180，潤滑油 300—400。

設石油產品之重量為 G ，分子量為 M ，則其分子數（尅分子數）為：

$$N = \frac{G}{M}, \quad (2)$$

$$M = \frac{G}{N}. \quad (2a)$$

當兩種或多種物質相互混合，而組成此混合物之各物質之比重及分子量均為已知時，則混合物之比重及分子量即可求得。

混合物之比重

$$d_{cm} = \frac{G}{V} = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{\frac{G_1}{d_1} + \frac{G_2}{d_2} + \frac{G_3}{d_3}}, \quad (3)$$

式中 G_1, G_2, G_3 ——各組成物質之重量;

d_1, d_2, d_3 ——各組成物質之比重。

混合物之分子量

$$M_{\text{см}} = \frac{G}{N} = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \frac{G_3}{M_3}}, \quad (4)$$

式中 M_1, M_2, M_3 ——各組成物質之分子量;

G_1, G_2, G_3 ——各組成物質之重量。

混合物之成份通常以重量百分數來表示，此時各組成物之含量以 100 公斤混合物中所含該物質之公斤數表示之。混合物之成份同樣可用體積百分數與分子百分數表示，即是 100 立方公尺混合物中所含各組成物之立方公尺數或 100 尅分子混合物中所含各組成物之尅分子數。重量、體積及分子百分數的相互換算方法可由下列各例說明。

例 1 汽油與溶劑油 (Лигроин) 之混合物含汽油之重量為 60%，含溶劑油為 40%。試求此混合物中汽油與溶劑油之體積百分數 (見表 1)。

汽油與溶劑油之混合物

表 1

組 成 物	重量百分比, %	比 重, 公斤/公升	分 子 量
汽 油	60	0.730	100
溶 劑 油	40	0.800	150
	100	—	—

$$\text{汽油之體積 } V_1 = \frac{G_1}{d_1} = \frac{60}{0.730} = 82.2 \text{ 公升};$$

$$\text{溶劑油之體積 } V_2 = \frac{G_2}{d_2} = \frac{40}{0.800} = 50 \text{ 公升};$$

$$\text{總體積 } 82.2 + 50 = 132.2 \text{ 公升}.$$

$$\text{汽油之體積百分數 } 100 \times \frac{82.2}{132.2} = 62.2\%;$$

$$\text{溶劑油之體積百分數 } 100 \times \frac{50}{132.2} = 37.8\%;$$

$$\text{汽油之尅分子數 } N_1 = \frac{G_1}{M_1} = \frac{60}{100} = 0.60;$$

$$\text{溶劑油之羰分子數 } N_2 = \frac{G_2}{M_2} = \frac{40}{150} = 0.267;$$

$$\text{總羰分子數 } 0.60 + 0.267 = 0.867.$$

$$\text{汽油之分子百分數 } 100 \times \frac{0.60}{0.867} = 69.2\%;$$

$$\text{溶劑油之分子百分數 } 100 \times \frac{0.267}{0.867} = 30.8\%.$$

例 2 兩種機油之混合物計含此兩種機油之分子百分數各為 50%，試計算此混合物組成之重量百分比與體積百分比。已知機油之分子量及比重如表 2：

兩種機油之混合物

表 2

組 成 物	分子百分數，%	比 重	分 子 量
輕 機 油	50	0.900	250
重 機 油	50	0.940	400
	100	—	—

$$\text{輕機油之重量 } G_1 = M_1 \times N_1 = 250 \times 50 = 12\,500 \text{ 公斤};$$

$$\text{重機油之重量 } G_2 = M_2 \times N_2 = 400 \times 50 = 20\,000 \text{ 公斤};$$

$$\text{總重量 } 12\,500 + 20\,000 = 32\,500 \text{ 公斤}.$$

$$\text{輕機油之重量百分數 } 100 \times \frac{12\,500}{32\,500} = 38.5\%;$$

$$\text{重機油之重量百分數 } 100 \times \frac{20\,000}{32\,500} = 61.5\%.$$

$$\text{輕機油之體積 } V_1 = \frac{G_1}{d_1} = \frac{12\,500}{0.900} = 13\,900 \text{ 公升};$$

$$\text{重機油之體積 } V_2 = \frac{G_2}{d_2} = \frac{20\,000}{0.940} = 21\,250 \text{ 公升};$$

$$\text{總體積 } 13\,900 + 21\,250 = 35\,150 \text{ 公升}.$$

$$\text{輕機油之體積百分數 } 100 \times \frac{13\,900}{35\,150} = 39.5\%;$$

$$\text{重機油之體積百分數 } 100 \times \frac{21\,250}{35\,150} = 60.5\%.$$

例 3 試求例一中之汽油溶劑油混合物之比重及分子量。

混合物之比重為：

$$\frac{G_1 + G_2}{\frac{G_1}{d_1} + \frac{G_2}{d_2}} = \frac{60 + 40}{52.2 + 50} = \frac{100}{132.2} = 0.755.$$

混合物之分子量爲：

$$\frac{G_1+G_2}{\frac{G_1}{M_1}+\frac{G_2}{M_2}} = \frac{60+40}{0.60+0.267} = \frac{100}{0.867} = 115.$$

例 4 試求例二中之機油混合物之比重及分子量。

混合物之比重爲：

$$\frac{\frac{G_1+G_2}{d_1} + \frac{G_2}{d_2}}{\frac{38.5}{0.900} + \frac{61.5}{0.940}} = \frac{\frac{100}{42.9+65.5}}{\frac{100}{108.4}} = 0.924.$$

混合物之分子量

$$\frac{G_1+G_2}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2}} = \frac{100}{\frac{58.5}{250} + \frac{61.5}{400}} = \frac{100}{0.154+0.154} = \frac{100}{0.308} = 325.$$

某一物理常數之單位因次或因次 (размерность) 係一假設因式 (условное обозначение)，此因式表示該物理常數之單位與基本衡量單位之關係。

基本衡量單位計有：長度單位、重量單位及時間單位。

因次通常書於方括弧內。

除上面所述三個基本衡量單位外，尚有熱量及溫度的衡量單位。

長度之因次：

一般之形式爲 $[L]$ ，在工業用單位中則爲 [公尺]。

面積之因次：

一般之形式爲 $[L^2]$ ，在工業用單位中爲 [平方公尺]。

體積之因次：

一般之形式爲 $[L^3]$ ，在工業用單位中則爲 [立方公尺]。

速度之因次：

一般之形式爲 $[\frac{L}{T}]$ 或 $[LT^{-1}]$ ，在工業用單位中則爲 [公尺/小時] 和 [公尺/秒]。

加速度之因次：

一般的形式爲 $[\frac{L}{T^2}]$ 或 $[LT^{-2}]$ ，在工業用單位中則爲 [公尺/小時²] 或 [公尺/秒²]。

上面 L ——長度單位；

T ——時間單位。

第二章 碳氫化合物及其混合物的 主要物理化學性質

比 重

前面已經講過物體之比重乃該物體單位體積之重量。但對於石油產品則以用相對比重為合宜。石油產品於 20°C 時之重量與 4°C 之同體積水的重量之比稱為相對比重，並以符號 d_4^{20} 表示之。由於 4°C 時水之比重為 1，故石油製品之相對比重與其絕對比重之數值相合。

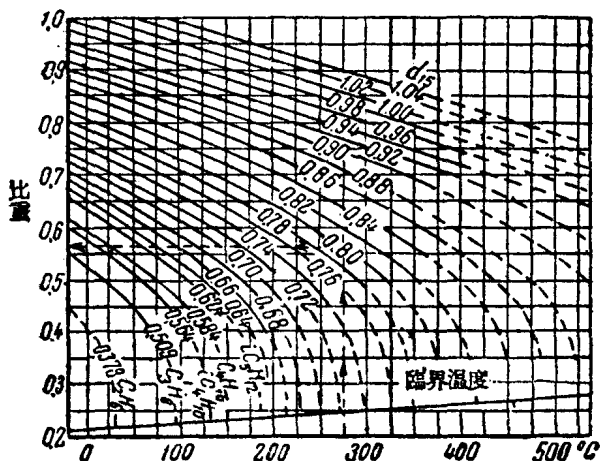


圖 1 石油產品之比重與溫度的關係

石油產品之比重與溫度之關係可由孟德力也夫之公式表示之：

$$d_t = d_{20} - \alpha(t - 20), \quad (5)$$

式中 d_t ——溫度 t °C 時之比重；

d_{20} ——20°C 時之比重；

t ——溫度，°C；

α ——體積膨脹係數，其數值因石油產品之比重與溫度而變異。

由上式可見當溫度升高時，石油產品之比重減小。

在工業之計算中常常需要各種不同溫度下石油產品之比重，此種問題可利用圖 1 以解決之。

例 5 煤油與溶劑油混合物之比重 $d_{15} = 0.800$ ，試求 275°C 時該混合物之比重。

由表示溫度之橫軸上之 275°C 處向上作一垂線與比重為 0.800 之曲線相交，由此交點引一平行於橫軸之直線與縱軸相交，由此交點即可讀出答案

$$d_{275} = 0.565.$$

分子量與平均沸點

石油產品之平均沸點為一不固定之物理常數。平均沸點有各種不同之計算方法。

[平均重量] 沸點

$$t_{\text{cp.pec}} = \frac{G_1 t_1 + G_2 t_2 + \dots}{G_1 + G_2 + \dots} \quad (6)$$

平均體積沸點

$$t_{\text{cp.ob}} = \frac{V_1 t_1 + V_2 t_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots} \quad (7)$$

平均分子沸點

$$t_{\text{cp.mol}} = \frac{N_1 t_1 + N_2 t_2 + \dots}{N_1 + N_2} = \frac{\frac{G_1}{M_1} t_1 + \frac{G_2}{M_2} t_2 + \dots}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \dots} \quad (8)$$

式中 G_1, G_2 ——各組成物之重量（或重量百分比）；

V_1, V_2 ——各組成物之體積（或體積百分比）；

N_1, N_2 ——各組成物之烴分子數（或分子百分比）；

t_1, t_2 ——各組成物沸點溫度之數學平均數（例如 $100-140^{\circ}\text{C}$ 時之石油餾出物其平均沸點 $t = 120^{\circ}\text{C}$ ）。

由於蒸餾時比重小的餾分先被蒸去，故平均體積沸點必低於平均重量沸點溫度。

由於蒸餾時分子量小的餾分先被蒸去，同時當沸點升高時各個餾分分子量之變化遠較比重之變化為大，故平均分子沸點溫度較平均重

量及平均體積沸點溫度為低。

某餾分 (фракция) 之沸點愈高，則該餾分之平均分子量亦愈大。

石臘族烴及以石臘族烴為基本之石油產品之平均分子量可按伏依諾夫氏之公式計算之：

$$M = 60 + 0.3t + 0.001t^2, \quad (9)$$

式中 t —— 平均沸點溫度 (攝氏)。

例 6 試按表 3 所列石油分餾時所得之數值求石油之平均沸點溫度。

石油分餾表

表 3

餾分 序號	溫 度 攝氏	餾出體積 V 立方公厘	餾分之比重	餾出重量 G 克	餾分之分子量 M	克 分 子 數 $N = \frac{G}{M}$
1	60—80	40	0.680	27.2	90	0.302
2	80—100	50	0.710	35.5	100	0.355
3	100—120	60	0.750	45.0	110	0.410
4	120—140	70	0.770	53.9	115	0.468
5	140—160	80	0.795	63.6	120	0.530
6	160—180	80	0.810	64.8	132	0.490
7	180—200	80	0.820	65.6	140	0.469
8	200—220	90	0.855	75.1	150	0.500
9	220—240	100	0.850	85.0	160	0.530
10	240—260	110	0.860	94.6	175	0.540
11	260—280	120	0.865	105.8	190	0.546
12	280—300	120	0.870	104.4	205	0.510
總 計		1000	—	818.5	—	5.650

平均重量沸點

$$t_{\text{ср.вс}} = \frac{1}{818.5} (27.2 \times 70 + 35.5 \times 90 + 45 \times 110 + 53.9 \times 130 + 63.6 \times 150 + 64.8 \times 170 + 65.6 \times 190 + 75.1 \times 210 + 85 \times 230 + 94.6 \times 250 + 105.8 \times 270 + 104.4 \times 290) = 204^\circ \text{C}.$$

平均體積沸點

$$t_{\text{ср.об}} = \frac{1}{1000} (40 \times 70 + 50 \times 90 + 60 \times 110 + 70 \times 130 + 80 \times 150 + 80 \times 170 + 80 \times 190 + 90 \times 210 + 100 \times 230 + 110 \times 250 + 120 \times 270 + 120 \times 290) = 200^\circ \text{C}.$$

平均分子沸點

$$t_{cp, mol} = \frac{1}{5.650} (0.302 \times 70 + 0.355 \times 90 + 0.410 \times 110 + 0.463 \times 130 + 0.530 \times 150 + 0.490 \times 170 + 0.469 \times 190 + 0.500 \times 210 + 0.53 \times 230 + 0.54 \times 250 + 0.546 \times 270 + 0.510 \times 290) = 190^\circ\text{C}$$

石油產品之各種物理常數之計算皆與其平均分子沸點溫度有關。在工業的計算中可按恩氏分餾曲線以求之。

先求得平均體積沸點，即蒸餾時蒸去 10% 至 90% 時各餾分之溫度之數學平均數值。

$$t_{cp} = \frac{t_{10} + t_{20} + t_{30} + \dots + t_{90}}{9}, \quad (10)$$

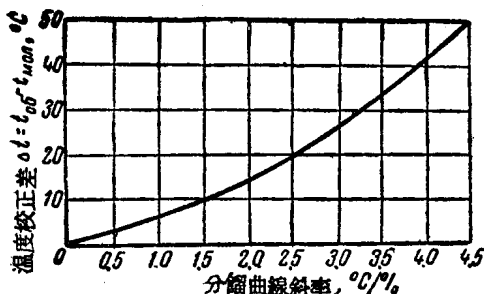


圖 2 平均分子沸點溫度之溫度校正差

式中 t_{10}, t_{20}, \dots ——按恩氏分餾蒸出 10%, 20% ... 時之溫度 $^\circ\text{C}$ 。

然後由圖 2 求出溫度校正差 Δt ，再由平均體積沸點溫度中減去此求得的溫度校正差，即得出平均分子沸點溫度。溫度校正差 Δt 之求法與按恩氏法得出之分餾曲線之斜率有關。

$$\text{斜率} = \frac{t_{90} - t_{10}}{80} \text{ } ^\circ\text{C}/\%$$

式中 t_{90} ——按恩氏分餾蒸去 90% 時之溫度， $^\circ\text{C}$ ；

t_{10} ——按恩氏分餾蒸去 10% 時之溫度， $^\circ\text{C}$ 。

平均分子沸點

$$t_{cp, mol} = t_{cp} - \Delta t.$$

若分餾曲線之斜率大於 2 時，則須將求得之溫度校正差減小至 1.1 至 1.5 分之一倍（如斜率愈大則減小倍數愈近於 1.5）。

特 性 因 素

石油產品之分子量及其他物理常數不僅與平均分子沸點溫度有

關，同時亦與石油產品之化學性質有關。表示石油產品的化學性質的常數稱特性因素

$$K = \frac{1.216 \sqrt[3]{T'_{cp.M}}}{d}, \quad (11)$$

式中 K ——特性因素；

$T'_{cp.M}$ ——石油產品之平均分子沸點溫度（絕對溫度，°K）

$$T'_{cp.M} = 273 + t_{cp.M};$$

d ——石油產品之比重。

石油產品之特性因素為 10 至 13，芳香族石油產品之特性因素最小，石臘族石油產品之特性因素最大。

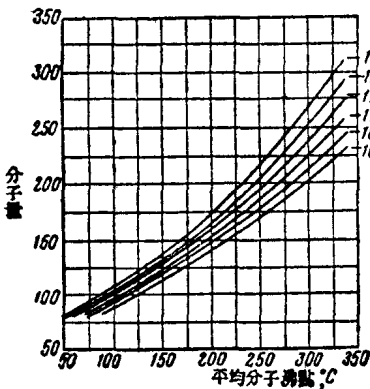
伏衣諾夫還得出一根據石油產品之化學性質而求其分子量之經驗式

$$M = (7K - 21.5) + (0.76 - 0.04K)t + (0.0003K - 0.00245)t^2, \quad (9a)$$

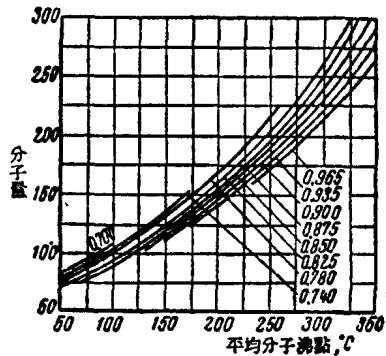
式中 K ——特性因素；

t ——平均分子沸點。

圖 3a 及圖 3b 表示分子量，平均分子沸點及特性因素（圖 3a）或比重（圖 3b）間之關係。若石油產品之此等常數之任何二個為已知時，則第三個即可求得。



a



b

圖 3 特性因素

例 7 試求汽油之平均分子沸點、特性因素及分子量。設已知其比重 $d_4^{20}=0.720$,

按恩氏分餾所得結果如下:

初沸點.....	40°C	60%.....	99°C
10%.....	62°	70%.....	106°
20%.....	71°	80%.....	113°
30%.....	80°	90%.....	127°
40%.....	86°	終沸點.....	150°
50%.....	92°		

平均體積沸點

$$t_{cp} = \frac{t_{10} + t_{20} + \dots + t_{90}}{9} = \frac{62 + 71 + 80 + 86 + 92 + 99 + 106 + 113 + 127}{9} = 93^{\circ}\text{C}.$$

分餾曲線之斜率

$$\text{斜率} = \frac{t_{90} - t_{10}}{80} = \frac{127 - 62}{80} = 0.81.$$

按圖 2 求得溫度差 $\Delta t = 4^{\circ}\text{C}$.

平均分子沸點

$$t_{cp-M} = t_{cp} - \Delta t = 93 - 4 = 89^{\circ}\text{C}.$$

特性因素

$$K = \frac{1.216^3 \sqrt{T_{cp-M}}}{d} = \frac{1.216^3 \sqrt{273 + 89}}{0.720} = 12.$$

由公式(9a)求得其分子量

$$\begin{aligned} M &= (7K - 21.5) + (0.76 - 0.04K)t + (0.0003K - 0.00245)t^2 \\ &= (7 \times 12 - 21.5) + (0.76 - 0.04 \times 12)89 + (0.0003 \times 12 - 0.00245)89^2 \\ &= 97.3. \end{aligned}$$

黏 度

黏度之單位有絕對黏度與動黏度，和 [度] 或 [秒]。

絕對黏度的單位係以面積各為 1 平方公厘相距 1 公厘並速度為 1 公厘/秒之二層液體相對移動時所需之力表示之。

於物理單位制中絕對黏度以克/公厘·秒為單位並以符號 μ 表示之。此絕對黏度單位稱泊 (пуаз)。

$$1 \text{ 泊} = 1 \text{ 克/公厘} \cdot \text{秒}$$

動黏度係絕對黏度除以該溫度時該液體之密度 (плотность)，並以符號 ν 表示之。因此動黏度之計算為