

化工算图集

(第二集)

傳 熱
燃 料 及 燃 燒

蘇 元 復 合 編
璩 定 一 校 閱
沈 濟 川

科 学 技 術 出 版 社

81.16
162
3.2

化 工 算 图 集

第 二 集

傳 熱
燃 料 及 燃 燒

蘇 元 復 合 編
璩 定 一
沈 濟 川 校 閱

2000.6

科 学 技 術 出 版 社

內 容 提 要

算圖的应用，可使繁复的計算变为十分簡捷，而不影响工程上需要的准确度，为現代工程設計中重要的工具。

本書系搜集散見于各处的化工算圖資料，經加訂正及整理，并逐圖添加說明及范例而成，共分三集出版。第一集：A. 流体流动及儲存；第二集：B. 傳热，C. 燃料及燃燒；第三集：D. 化工單元操作。

化 工 算 圖 集

第二集 傳热·燃料及燃燒

合編者 苏元復 璩定一

*

科学技術出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版業營業許可証出07)号

上海市印刷四厂印刷 新华书店上海发行所总經售

*

統一書号：13119·107

(原新亞版印2,000冊)

開本 787×1092 耗 1/23·印張 13 9/23·插頁 7·字數 253,000

1957年12月新1版

1958年6月第2次印刷·印數 801—1,800

定价：(10) 2.40 元

B. 傳熱之部

第一章	傳熱部分的物理常數·····	1
第二章	熱的傳導·····	39
第三章	氣體及蒸氣的傳熱膜係數·····	57
第四章	液體的傳熱膜係數·····	86
第五章	凝縮蒸氣及沸騰液體的傳熱膜係數·····	120
第六章	輻射傳熱·····	142
第七章	換熱器的一般問題·····	156
第八章	換熱器及冷凝器的設計(一)·····	173
第九章	換熱器及冷凝器的設計(二)·····	196
第十章	換熱器計算舉例·····	232

C. 燃料及燃燒之部

第一章	固體燃料·····	245
第二章	液體燃料·····	259
第三章	煙囪設計·····	268
第四章	燃燒控制·····	276
第五章	燃燒過程中的熱值損失·····	287
第六章	火焰溫度·····	299

第一章

傳熱部分的物理常數

圖 號	圖 名	頁數
B-I-1	氣體及蒸氣的比熱	2
B-I-2	液體的比熱	4
B-I-3	氯化鈣鹽水的比熱	6
B-I-4	氣體及蒸氣的導熱係數	7
B-I-5	由氣體的比熱及黏滯度數據以估計導熱係數	12
B-I-6	壓力及溫度對氣體導熱係數的影響	15
B-I-7	液體導熱係數的估計	20
B-I-8	液體的導熱係數	22
B-I-9	甲醇、乙醇及甘油的水溶液的導熱係數	23
B-I-10	固體的導熱係數	26
B-I-11	汽化潛熱數據	29
B-I-12	由臨界常數及正常沸點估計汽化潛熱	31
B-I-13	由正常沸點估計汽化潛熱	34
B-I-14	液體 Prandtl 數的計算	36
B-I-15	重要物質的比重、比熱、膨脹係數及導熱係數數據	38

本章中通用符號的釋義

c_p = 氣體的恆壓比熱	t = 溫度, °C. 或 °F.
c_v = 氣體的恆容比熱	γ = 流體的重度
M = 分子量	$\kappa = c_p / c_v$
p = 壓力	λ = 導熱係數
Pr = Prandtl 數	μ = 黏滯度
R = 氣體常數	η = 黏滯度, [厘泊]
r = 汽化潛熱	下標 B = 正常沸點的
T = 絕對溫度, °K. 或 °R.	下標 C = 臨界的
Tr = Trouton 常數 = 汽化熵	下標 R = 對比的

圖 B-I-1 氣體及蒸氣的比熱*

利用圖 B-I-1 以估計氣體及蒸氣在 1 [大氣壓] 時的比熱, 可以下列說明之:

例 甲烷在 149°C . 時的比熱為多少?

解 由表 B-I-1 知甲烷在圖中的指標為 5, 將溫度軸上之 149°C . 與點 5 用直線相連, 並延長之, 即得比熱為 0.63 [英熱單位/(磅)($^{\circ}\text{F}$.)] 或 [仟卡/(仟克)($^{\circ}\text{C}$.)].

表 B-I-1 圖 B-I-1 中的指標

指標	氣體名稱	溫度範圍, $^{\circ}\text{C}$.	指標	氣體名稱	溫度範圍, $^{\circ}\text{C}$.
26	一氧化碳	0 至 1400	29	氧	500 至 1400
3	乙烷	0 至 200	25	氧化氮	0 至 700
9	乙烷	200 至 600	28	氧化氮	700 至 1400
8	乙烷	600 至 1400	1	氫	0 至 600
4	乙烯	0 至 200	2	氫	600 至 1400
11	乙烯	200 至 600	32	氫	0 至 200
13	乙烯	600 至 1400	34	氫	200 至 1400
10	乙炔	0 至 200	30	氯化氫	0 至 1400
15	乙炔	200 至 400	26	氮	0 至 1400
16	乙炔	400 至 1400	33	硫	300 至 1400
22	二氧化硫	0 至 400	19	硫化氫	0 至 700
31	二氧化硫	400 至 1400	21	硫化氫	700 至 1400
18	二氧化碳	0 至 400	35	溴化氫	0 至 1400
24	二氧化碳	400 至 1400	36	碘化氫	0 至 1400
17	水	0 至 1400	17B	Freon-11 (CCl_3F)	0 至 150
5	甲烷	0 至 300	17C	Freon-21 (CHCl_2F)	0 至 150
6	甲烷	300 至 700	17A	Freon-22 (CHClF_2)	0 至 150
7	甲烷	700 至 1400	17D	Freon-113 ($\text{CCl}_2\text{F} \cdot \text{CClF}_2$)	0 至 150
27	空氣	0 至 1400			
20	氟化氫	0 至 1400			
12	氫	0 至 600			
14	氮	600 至 1400			
23	氧	0 至 500			

* McAdams, "Heat Transmission," 406 (1942). 以後徵引此書時, 簡稱 McAdams.

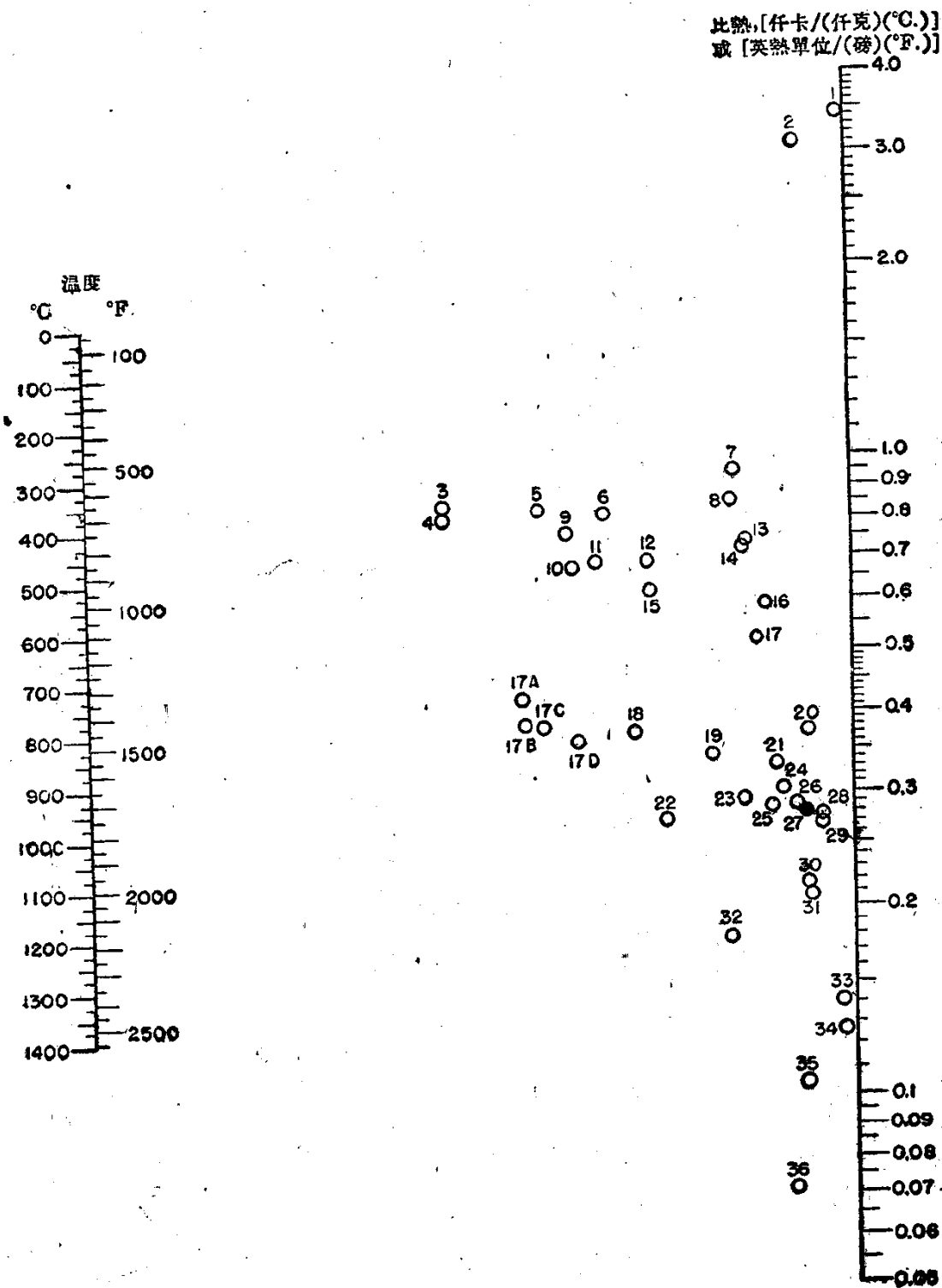


圖 B-I-1 氣體及蒸氣的比熱(1 [大氣壓])

圖 B-I-2 液體的比熱*

利用圖 B-I-2 以估計液體的比熱,可以下列說明之:

例 乙二醇在 150°C. 時的比熱爲多少?

解 由表 B-I-2 知乙二醇在圖 B-I-2 中的指標爲 39, 將溫度軸上之 150°C. 與點 39 用直線相連,並延長之,即得比熱爲 0.725 [英熱單位/(磅)(°F.)]或[仟卡/(仟克)(°C.)].

表 B-I-2 圖 B-I-2 中的指標

指標	液體名稱	溫度範圍, °C.	指標	液體名稱	溫度範圍, °C.
39	乙二醇	-40 至 200	27	苯甲醇	-20 至 30
25	乙苯	0 至 100	30	苯胺	0 至 130
50	乙醇, 50%	20 至 80	10	苯氯甲烷	-30 至 30
46	乙醇, 95%	20 至 80	21	癸烷	-80 至 25
42	乙醇, 100%	30 至 80	52	氨	-70 至 50
36	乙醚	-100 至 25	13	氯乙烷	-30 至 40
19	二甲苯, 鄰	0 至 100	4	氯仿	0 至 50
18	二甲苯, 間	0 至 100	13A	氯甲烷	-80 至 20
17	二甲苯, 對	0 至 100	8	氯苯	0 至 100
16	二苯醚	0 至 200	12	硝基苯	0 至 100
22	二苯甲烷	30 至 100	9	硫酸, 98%	10 至 45
2	二硫化碳	-100 至 25	14	苯	90 至 200
11	二氧化硫	-20 至 100	1	溴乙烷	5 至 25
5	二氯甲烷	-40 至 50	7	碘乙烷	0 至 100
6A	二氯乙烷	-30 至 60	29	醋酸, 100%	0 至 80
44	丁醇	0 至 100	24	醋酸乙酯	-50 至 25
43	丁醇, 異	0 至 100	26	醋酸戊酯	0 至 100
35	己烷	-80 至 20	15	聯苯	80 至 120
34	壬烷	-50 至 25	49	鹽水, CaCl ₂ , 25%	-40 至 20
53	水	10 至 200	51	鹽水, NaCl, 25%	-40 至 20
32	丙酮	20 至 50	48	鹽酸, 30%	20 至 100
45	丙醇	-20 至 100	16	Dowtherm	0 至 200
47	丙醇, 異	-20 至 50		(C ₆ H ₅ ·C ₆ H ₅ , (C ₆ H ₅) ₂ O)	
31	丙醚, 異	-80 至 20	2A	Freon-11	-20 至 70
37	戊醇	-50 至 25		(CCl ₃ F)	
41	戊醇, 異	10 至 100	6	Freon-12	-40 至 15
23	甲苯	0 至 60		(CCl ₂ F ₂)	
40	甲醇	-40 至 20	4A	Freon-21	-20 至 70
38	甘油	-40 至 20		(CHCl ₂ F)	
3	四氯化碳	10 至 60	7A	Freon-22	-20 至 60
20	吡啶	-50 至 25		(CHClF ₂)	
33	辛烷	-50 至 25	3A	Freon-113	-20 至 70
28	庚烷	0 至 60		(CCl ₃ F·CClF ₂)	
23	苯	10 至 80			

* McAdams, 401.

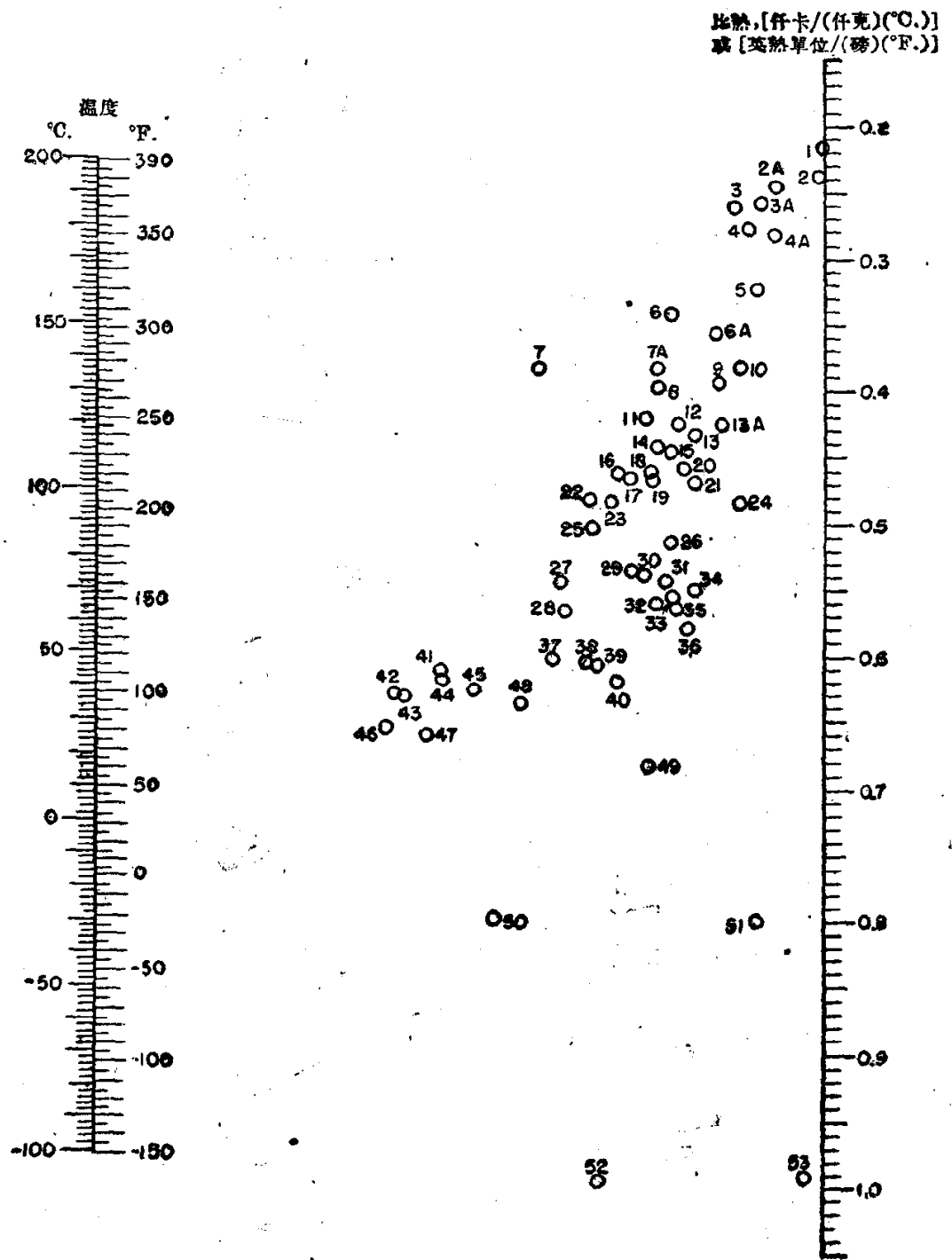


圖 B-I-2 液體的比熱

圖 B-I-3 氯化鈣鹽水的比熱*

氯化鈣鹽水，廣用於致冷工作中，在傳熱計算時，其比熱數據，極為重要。圖 B-I-3 示氯化鈣鹽水的比熱與其比重及溫度的關係。

例如，某氯化鈣鹽水，在 -20°C . 時的比重為 1.218，則在同溫度時的比熱為 0.681 [英熱單位/(磅)($^{\circ}\text{F}$.)] 或 [仟卡/(仟克)($^{\circ}\text{C}$.)]。

關於氯化鈣鹽水在不同溫度及濃度時的比重及冰點，見本書第一集圖 A-I-6，黏滯度見圖 A-I-11。

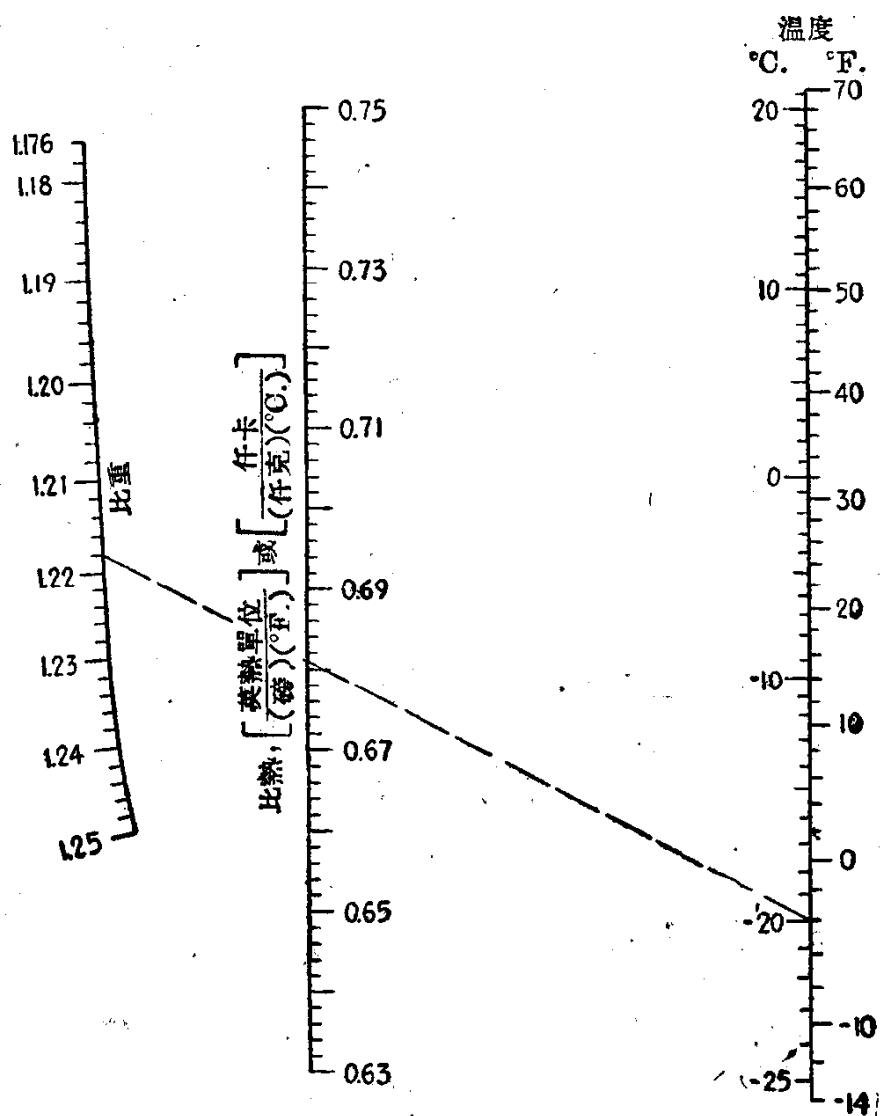


圖 B-I-3 氯化鈣鹽水的比熱

* Davis, Ind. Eng. Chem., 34, 1532 (1942).

圖 B-I-4 氣體及蒸氣的導熱係數*

氣體及蒸氣在 1 [大氣壓] 時的導熱係數 λ , [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)(°F.)] 與溫度 t , °F. 的關係, 可分成三種類型, 以下列三式表示之:

第一類:
$$\lambda = \lambda_{32} + a(t - 32) \quad (1)$$

第二類:
$$\lambda = \lambda_{32} \left(\frac{492 + C}{t + 460 + C} \right) \left(\frac{t + 460}{492} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (2)$$

第三類:
$$\lambda = m \left(\frac{t + 600}{632} \right)^n \quad (3)$$

式中 λ_{32} = 氣體在 32°F. 時的導熱係數

a, C, m , 及 n 均為常數, 隨氣體的性質而異

各種重要氣體的常數, 見表 B-I-4-a.

表 B-I-4-a 導熱係數公式中的常數

氣體名稱	類 型	$10^5 \lambda_{32}$	$10^7 a$	$10^5 m$	n	C
一氧化碳	II	1240				281
乙烷	III			1040	2.300	
乙烯	III			947	1.885	
乙炔	III			1000	1.875	
乙醚	III			700	2.115	
二氧化碳	I	790	204			
己烷	III			595	1.573	
己烯	III			556	2.343	
水	III			864	1.506	
甲烷	I	1700	399			
甲醇	III			763	1.741	
戊烷	III			670	1.890	
戊烷, 異	III			665	2.270	
四氯化碳	III			310	1.570	
丙酮	III			524	2.195	
空氣	II	1290				225
苯	III			476	2.600	
氮	I	1160	220			
氧	II	1340				259
氧化氮	II	1200				351
氧化氫	I	796	59			
氫	II	9170				169
氯乙烷	III			504	2.140	
氯仿	III			352	1.670	
氯化甲烷	III			355	1.900	
氯甲烷	III			490	2.120	
氮	II	1310				205
溴甲烷	III			332	2.112	
碘甲烷	III			250	1.950	
醋酸乙酯	III			480	2.375	
醋酸甲酯	III			543	2.367	

* Davis, Ind. Eng. Chem., 33, 675 (1941).

第一類氣體的導熱係數，見圖 B-I-4-a；第二類的，見圖 B-I-4-b；第三類的，見圖 B-I-4-c。

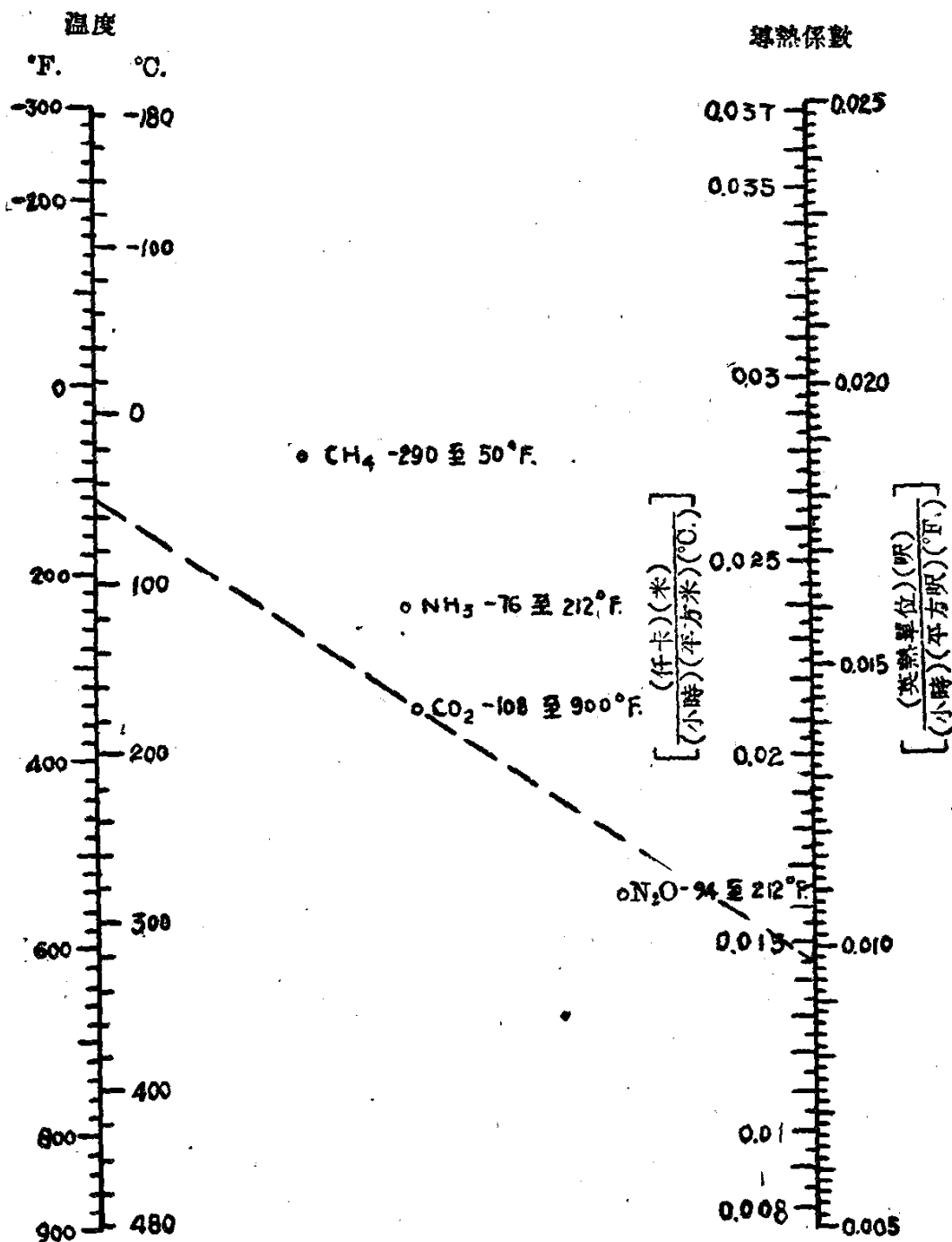


圖 B-I-4-a 第一類氣體的導熱係數 (1 [大氣壓])

例 1 二氧化碳在 50°C. 時的導熱係數為多少？

解 由表 B-I-4-a 可知，二氧化碳屬於第一類。故如圖 B-I-4-a 中虛線所示，二氧化碳在 50°C. 時的導熱係數為 0.0097 [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)(°F.)]，或 0.0145 [(仟卡)(米)/(小時)(平方米)(°C.)]。

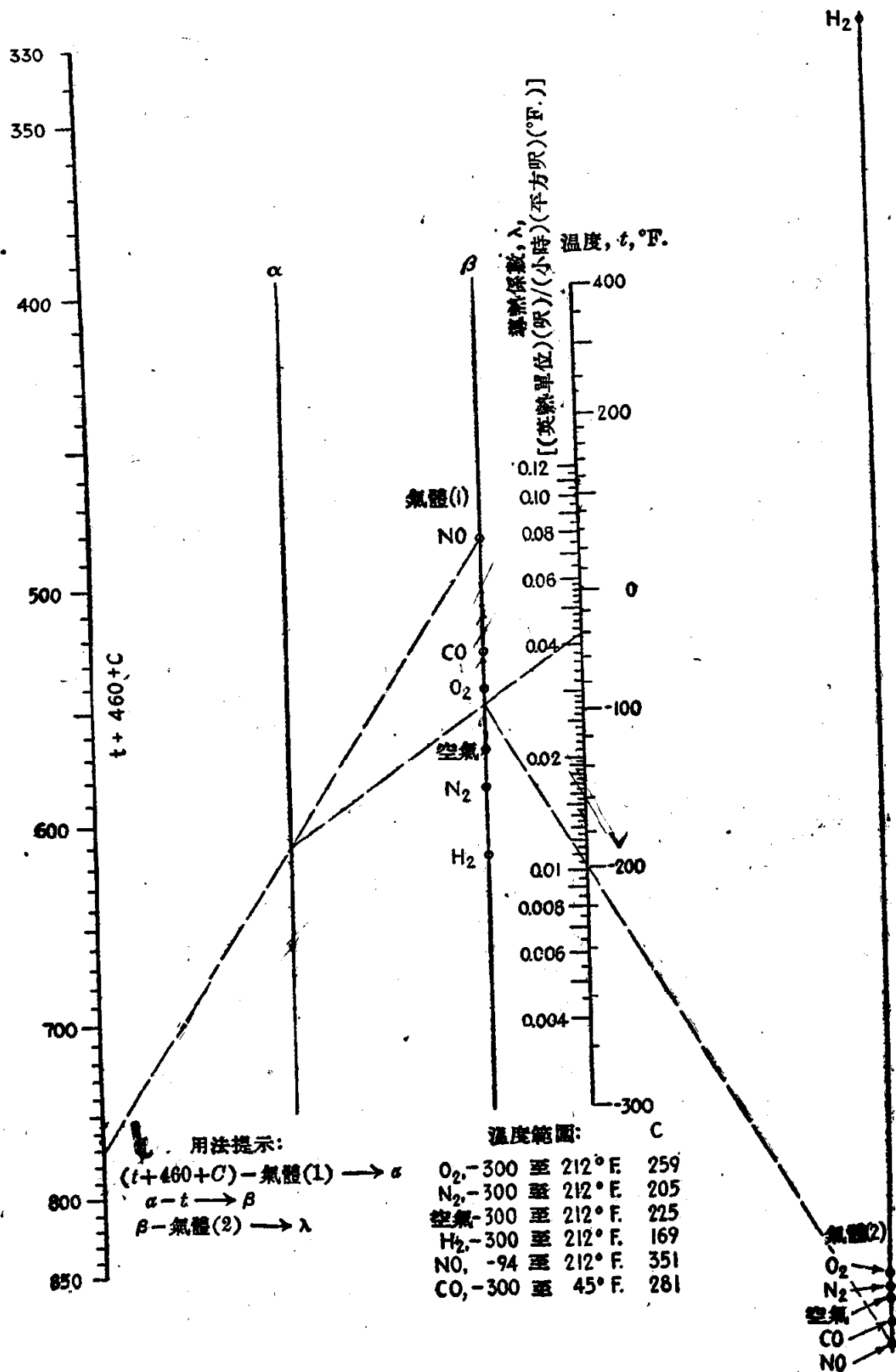


圖 B-I-4-b 第二類氣體的導熱係數(1 [大氣壓])

例 2 氧化氮在 -40°F . 時的導熱係數為多少?

解 由表 B-I-4-a 知氧化氮屬於第二類, 且其 C 值為 351. $\therefore t+460+C=771$.

利用圖 B-I-4-b, 如虛線所示, 將 $(t+460+C)$ 軸上的 771 與氣體(1)軸上的 NO 點, 用直線相連, 相交 α 軸於某一點, 再將此交點與右邊溫度軸上的 -40°F ., 用直線相連, 相交 β 軸於某一點, 再將 β 軸上的交點與氣體(2)軸上的 NO 點, 用直線相連, 相交 λ 軸於 0.0103, 所以 NO 在 -40°F . 時的導熱係數為 0.0103 [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)($^{\circ}\text{F}$.)].

表 B-I-4-b 示二十一種化合物在圖 B-I-4-c 中的指標及適用的溫度範圍.

表 B-I-4-b 圖 B-I-4-c 中的指標

指標	氣體名稱	溫度範圍		指標	氣體名稱	溫度範圍	
		$^{\circ}\text{F}$.	$^{\circ}\text{C}$.			$^{\circ}\text{F}$.	$^{\circ}\text{C}$.
6	乙烷	-94 至 212	-70 至 100	1	丙酮	32 至 363	0 至 184
9	乙烯	-96 至 212	-71 至 100	3	苯	32 至 414	0 至 212
2	乙炔	-103 至 212	-75 至 100	8	氯乙烷	32 至 416	0 至 213
10	乙醚	32 至 414	0 至 212	5	氯仿	32 至 363	0 至 184
11	己烷	32 至 68	0 至 20	17	氯化甲烷	32 至 416	0 至 213
12	己烯	32 至 212	0 至 100	16	氯甲烷	32 至 416	0 至 213
21	水	115 至 212	46 至 100	15	溴甲烷	32 至 212	0 至 100
14	甲醇	32 至 212	0 至 100	18	碘甲烷	32 至 212	0 至 100
19	戊烷	32 至 68	0 至 20	7	醋酸乙酯	115 至 363	46 至 184
20	戊烷, 異	32 至 115	0 至 46	13	醋酸甲酯	32 至 68	0 至 20
4	四氯化碳	115 至 363	46 至 184				

例 3 氯仿在 5°C . 時的導熱係數為多少?

解 由表 B-I-4-a 知氯仿屬於第三類, 故利用圖 B-I-4-c; 由表 B-I-4-b 知氯仿的指標為 5, 在圖中, 連結點 5 及溫度軸上的 5°C ., 並延長之, 在 λ 軸上得交點為 0.00360. 故氯仿在 5°C . 時的導熱係數為 0.00360 [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)($^{\circ}\text{F}$.)], 或 0.00535 [(仟卡)(米)/(小時)(平方米)($^{\circ}\text{C}$.)].

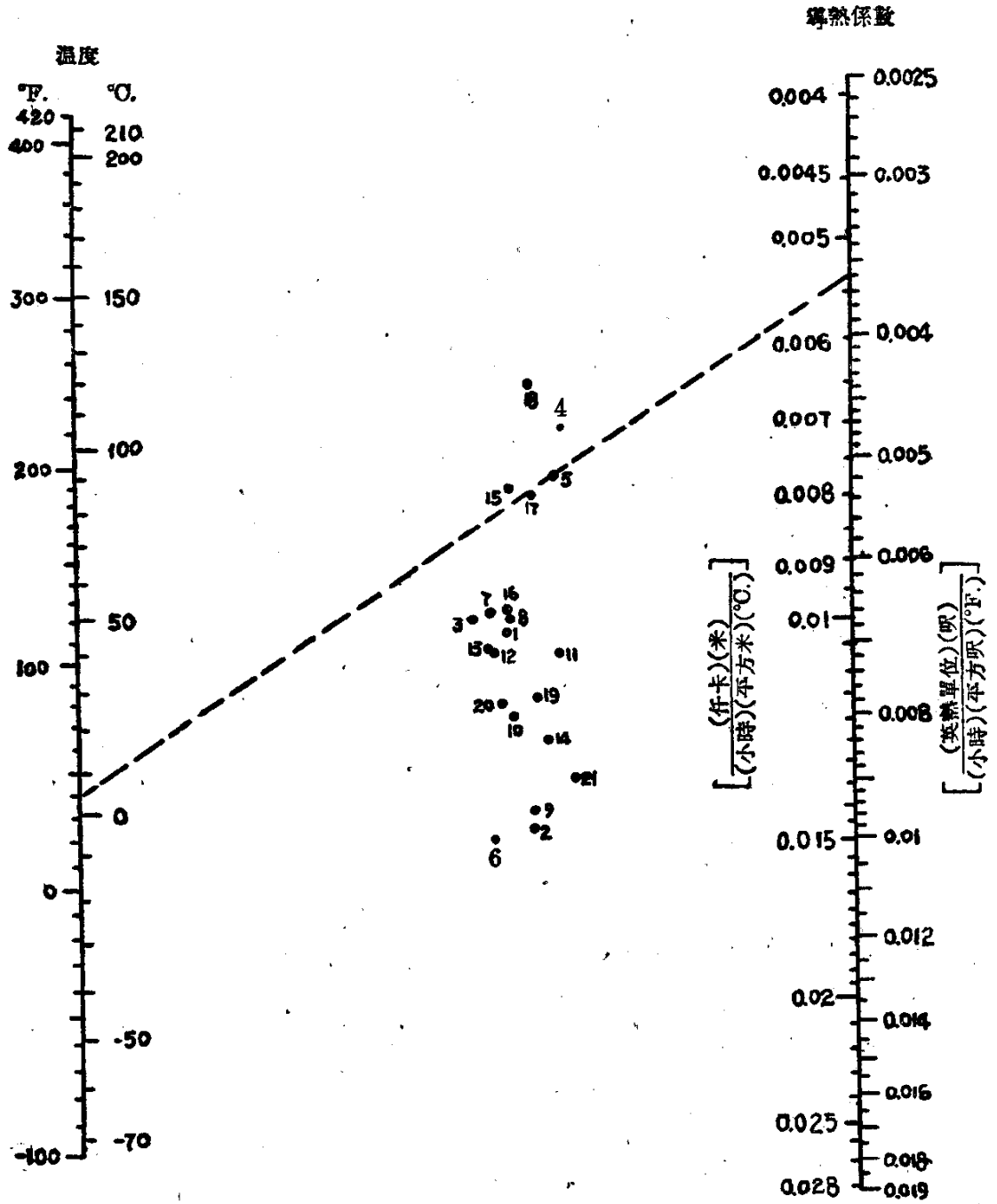


圖 B-I-5 由氣體的比熱及黏滯度數據以估計導熱係數*

文獻中有關氣體及蒸氣的導熱係數數據甚少，對蒸氣的數據又往往不甚準確。本圖可由已知的比熱及黏滯度數據以估計氣體或蒸氣的導熱係數，因比熱及黏滯度數據比較可靠而易於查得，故本圖殊為有用。

本圖所依據的公式，即氣體恆壓比熱及恆容比熱之比率與 Prandtl 數間的關係：†

$$Pr = \frac{c_p \mu g}{\lambda} = \frac{4}{9 - 5/\kappa} \quad (1)$$

式中 c_p = 氣體的恆壓比熱，[一致單位]。

μg = 氣體的黏滯度，[一致單位]。

λ = 氣體的導熱係數，[一致單位]。

$\kappa = c_p/c_v$, c_v = 恆容比熱。

Pr = Prandtl 數。

將式(1)重行排列：

$$\lambda = \frac{(9 - 5/\kappa) c_p \mu g}{4} \quad (2)$$

式中的 κ 值，僅與氣體分子中的原子數有關，如 κ 為一定值，則將 λ 對 $c_p \eta$ (η = 以[厘泊]計的黏滯度)標繪，可得一直線。現可根據 κ 值，將氣體分為三種不同的類型如下：

1. A 類：化合物分子中的原子數小於 4, $\lambda = 3.45 c_p \eta$. (3)

2. B 類：化合物分子中的原子數大於 4, $\lambda = 2.86 c_p \eta$. (4)

3. C 類： H_2S 及 H_2O , $\lambda = 2.56 c_p \eta$. (5)

式(3), (4) 及 (5) 中的 λ , 均為英制單位。

圖中 A, B, C 三線即分別代表式(3), (4) 及 (5)。

同樣，函數 $\lambda(Pr)^{\frac{1}{4}}$ 亦可自式(2)計算如下：(取 B 類為例)：

$$\lambda(Pr)^{\frac{1}{4}} = 2.86 \left(\frac{c_p \eta \times 2.42}{2.86 c_p \eta} \right)^{\frac{1}{4}} c_p \eta = 2.705 c_p \eta. \quad (6)$$

* Johnson & Huang, *Chem. Eng.*, 61 (2), 204 (1954)

† McAdams, 21.

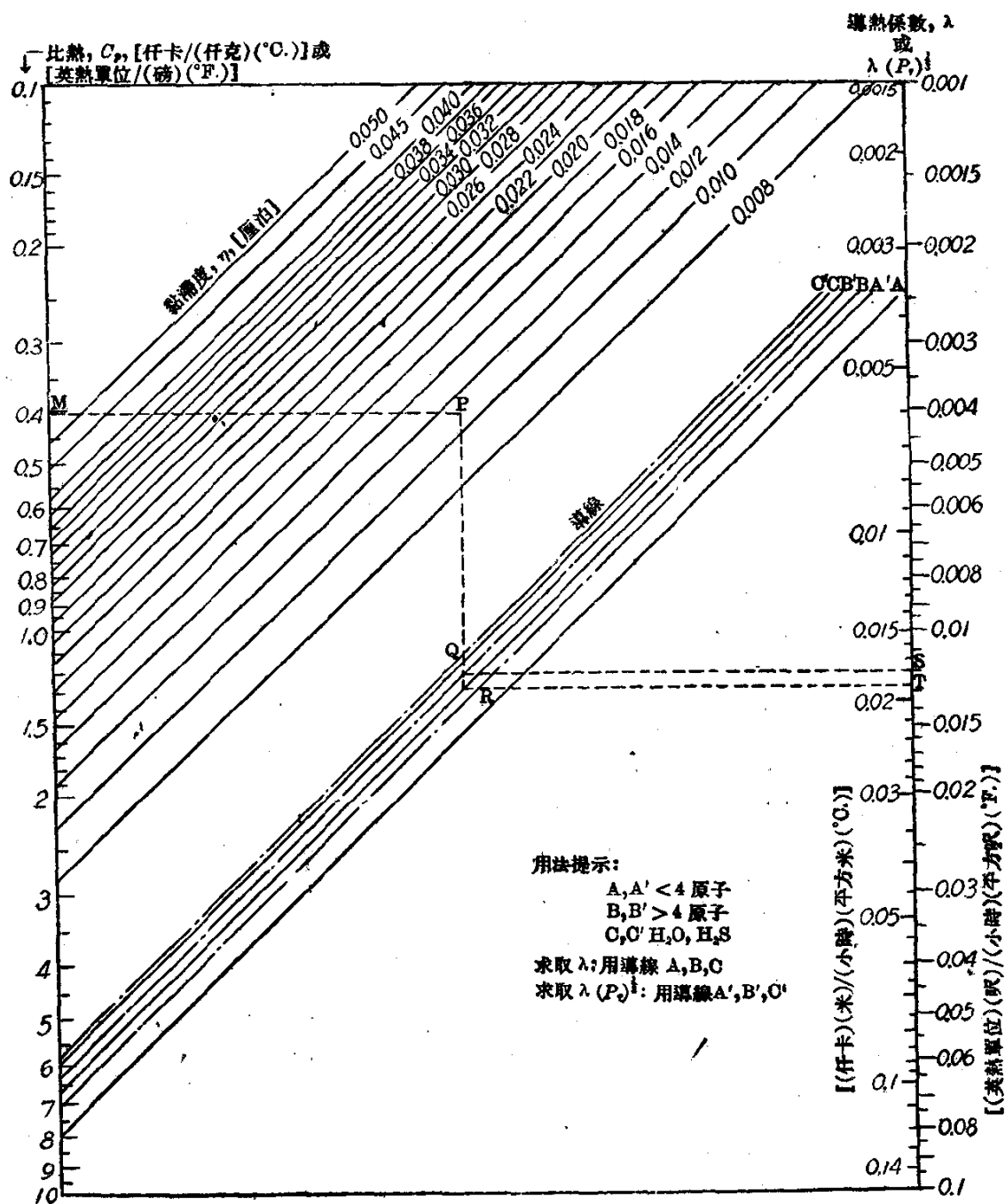


圖 B-I-5 由氣體的比熱及黏滯度以估計導熱係數