

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 校 閱

科技卫生出版社

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 图 集

第二集 傳热·燃料及燃燒

合編者 苏元复 豫定一

科技卫生出版社出版

(上海南京西路 2004 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所总經售

統一書号: 13 · 107

(原新亞、科技版共印 3,800 册)

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

1958 年 10 月新 1 版

1958 年 10 月第 1 次印刷 · 印數 1—1,500

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	$k = c_p / c_v$
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)(°F.)] 或 [仟卡/(仟克)(°C.)].

表 B-I-1 圖 B-I-1 中的指標

指標	氣體名稱	溫度範圍, °C.	指標	氣體名稱	溫度範圍, °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	乙烷	0 至 200	2	氫	600 至 1400
11	乙烷	200 至 600	32	氯	0 至 200
13	乙烷	600 至 1400	34	氯	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 ₃ F)	0 至 150
5	甲烷	0 至 300	17C	Freon-21 (CHCl ₂ F)	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 (CCl ₂ F·CClF ₂)	0 至 150
27	空氣	0 至 1400			
20	氟化氫	0 至 1400			
12	氮	0 至 600			
14	氫	600 至 1400			
23	氧	0 至 500			

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

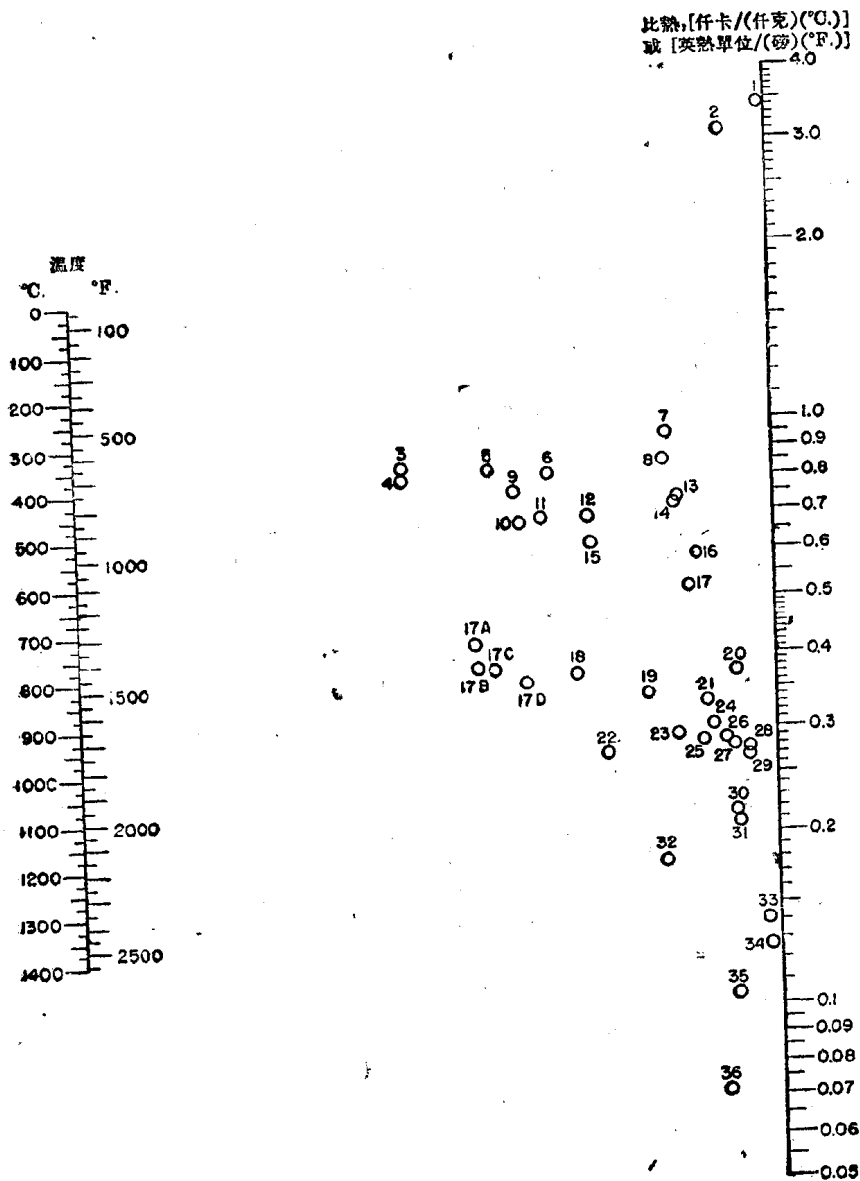


圖 B-I-1 氣體及蒸氣的比熱(1 [大氣壓])

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	氯	-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	二氯化硫	-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	8A	Freon-113	-20 至 70
28	庚烷	0 至 60		(CCl ₂ F·CClF ₂)	
23	苯	10 至 80			

* McAdams, 401.

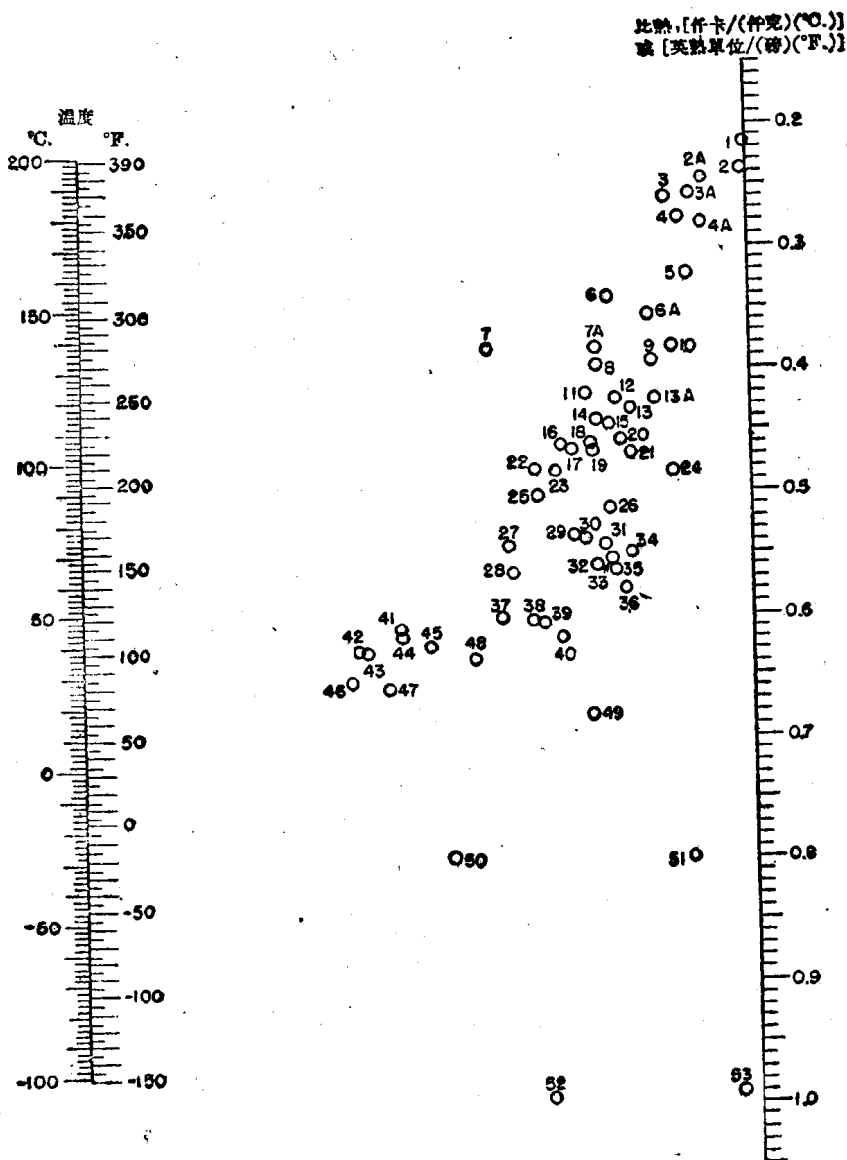


圖 B-I-2 液體的比熱

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。

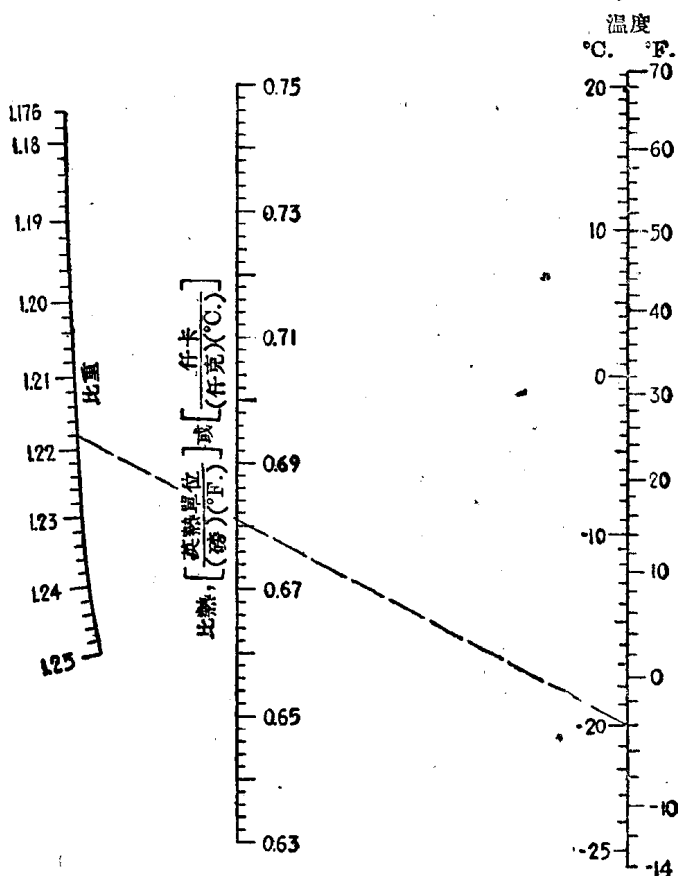


圖 B-I-3 氯化鈣鹽水的比熱

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:

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

$$\text{第二類:} \quad \lambda = \lambda_{32} \left(\frac{492 + C}{t + 460 + C} \right) \left(\frac{t + 460}{492} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

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

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	II			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	
銀	I	1160	220			
氧	II	1340				259
氧化氮	II	1200				351
氧化亞氮	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。

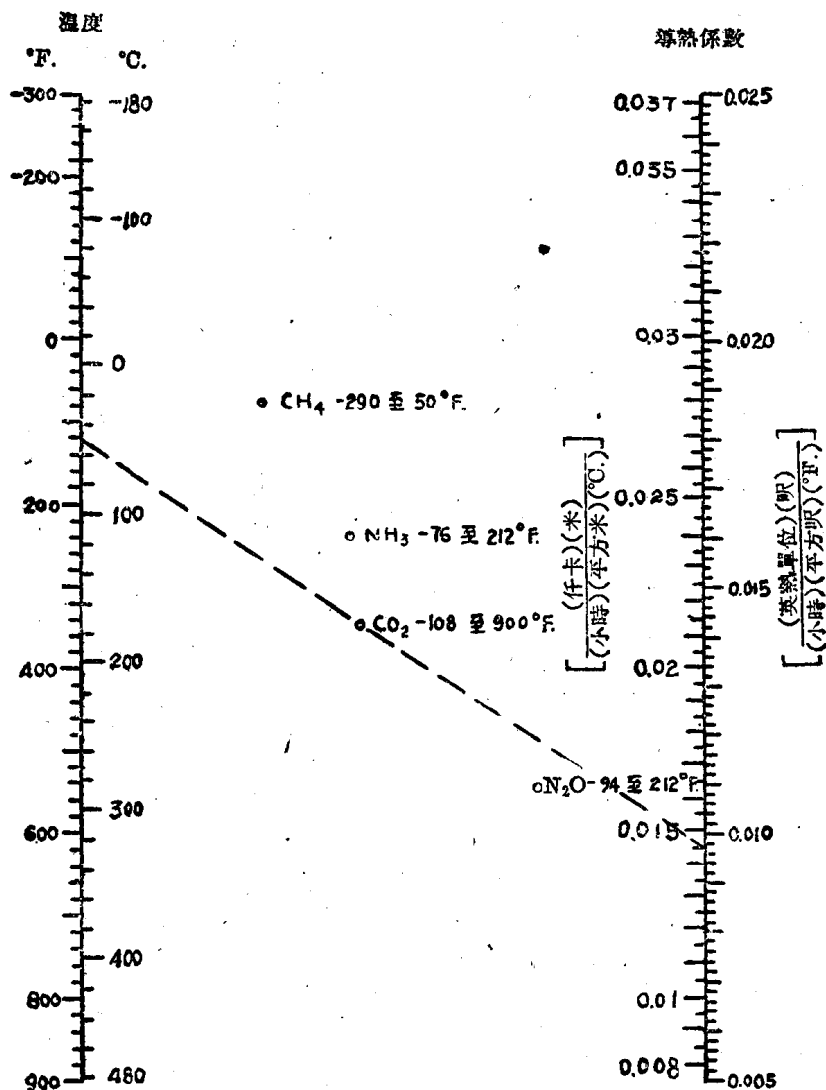


圖 B-I-4-a 第一類氣體的導熱係數 (1 [大氣壓])

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.)]。

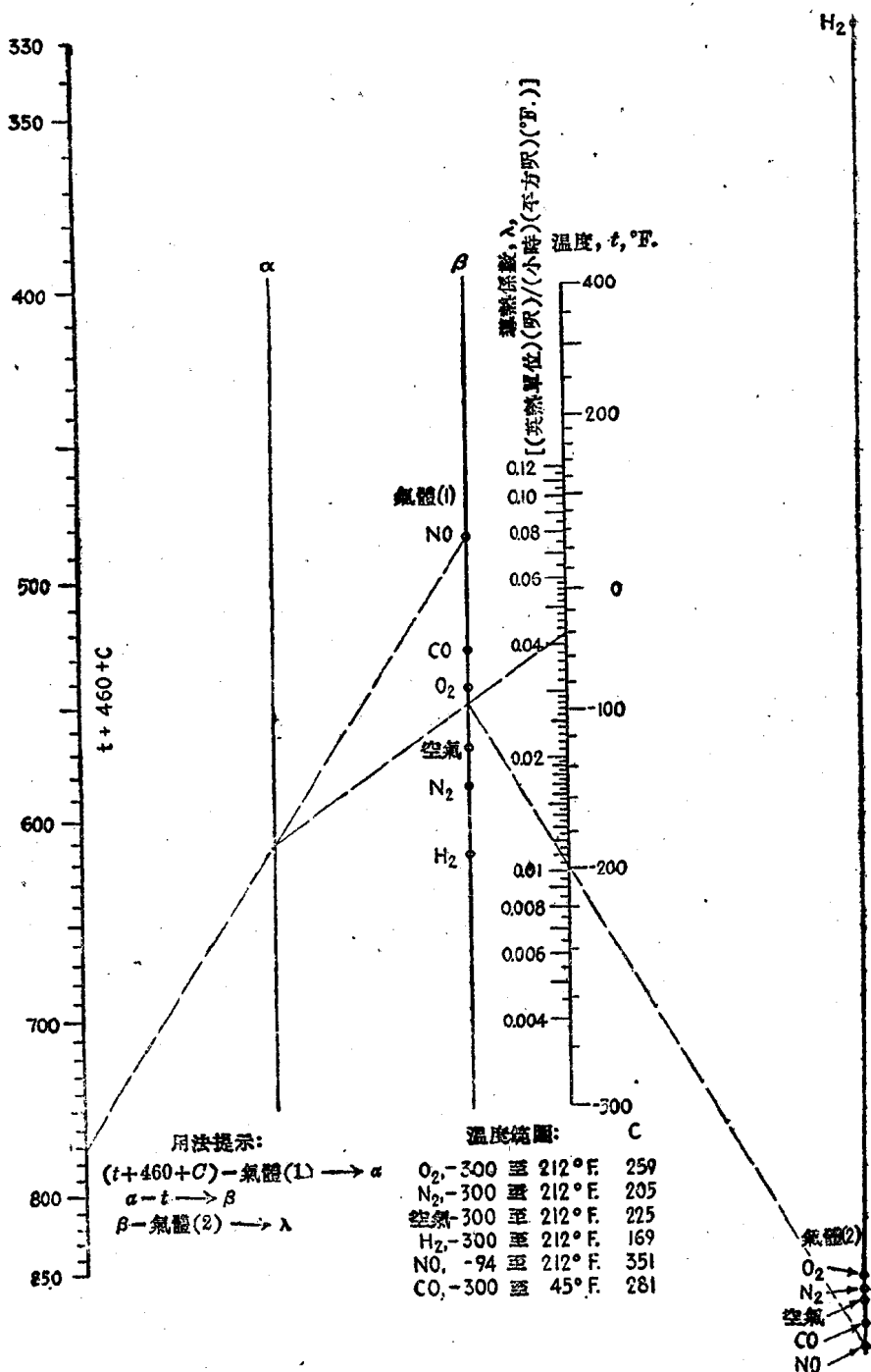


圖 B-I-4-b 第二類氣體的導熱係數(1 [大氣壓])

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)($^{\circ}\text{C}$.)].

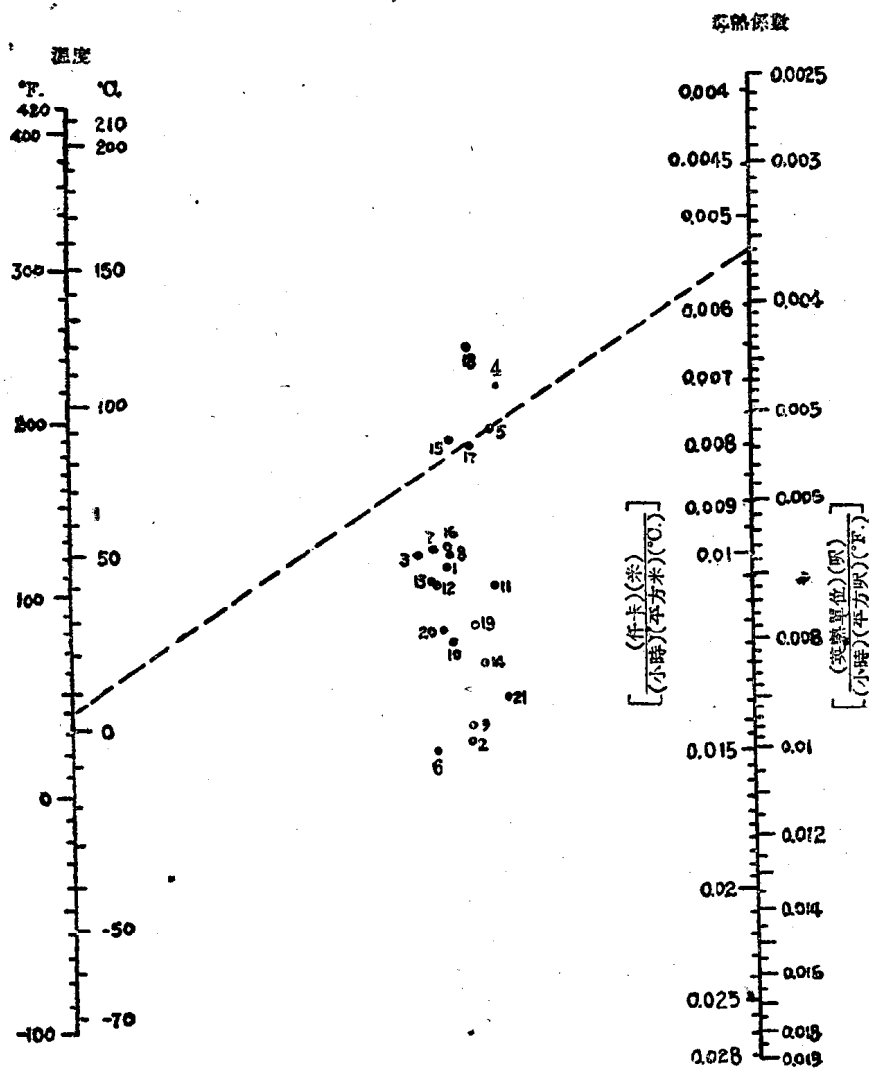


圖 B-I-4-c 第三類氣體的導熱係數(1 [大氣壓])

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。

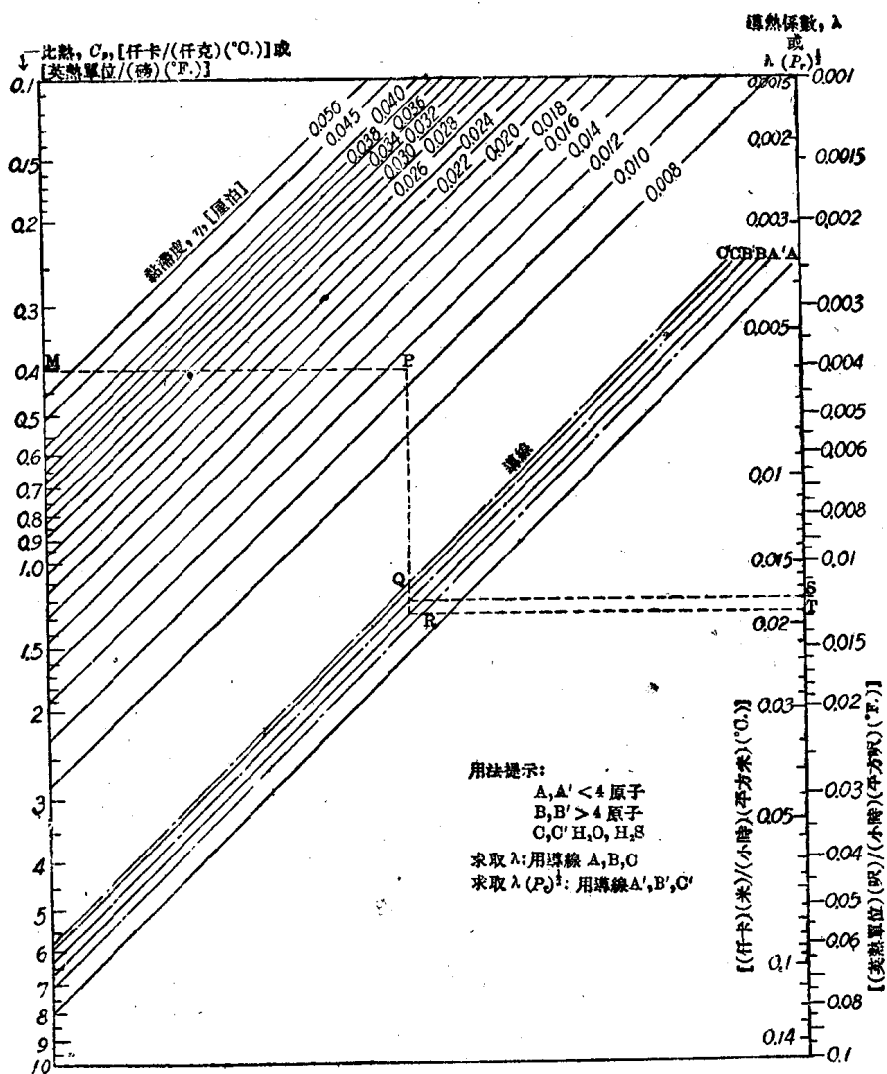
圖中 A, B, C 三線即分別代表式(3)，(4)及(5)。

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.



故亦可得 A', B', C' 三導線, 其式如下:

1. A' 類: 化合物分子中的原子數小於 4, $\lambda(Pr)^{\frac{1}{2}} = 3.066 c_p \eta$. (7)

2. B' 類: 化合物分子中的原子數大於 4, $\lambda(Pr)^{\frac{1}{2}} = 2.705 c_p \eta$. (8)

3. C' 類: H_2S 及 H_2O , $\lambda(Pr)^{\frac{1}{2}} = 2.513 c_p \eta$. (9)

圖 B-I-5 中的左軸爲比熱 c_p , 右軸爲導熱係數 λ , 或函數 $(\lambda)(Pr)^{\frac{1}{2}}$, 該函數在傳熱計算中常須應用, 故亦列入本圖中。圖中斜線表示黏滯度 η 及各類化合物的導線。本圖的用法, 可根據圖中的用法提示及下例說明之:

例 試求乙烯(氣態)在 $50^\circ C$. 及 1 [大氣壓] 時的導熱係數 λ 及函數 $(\lambda)(Pr)^{\frac{1}{2}}$.

解 (1) 導熱係數 λ :

先由圖 B-I-1 中查得乙烯在 $50^\circ C$. 時的比熱爲 0.405, 並在本書第一集圖 A-I-7 中查得乙烯在同溫度時的黏滯度爲 0.0109 [厘泊].

因乙烯分子含有四個以上的原子, 故應利用導線 B 以求 λ , 循圖中虛線 MPRT, 即先自氣體的比熱爲 0.405 處開始 (M 點), 橫指黏滯度爲 0.0109 [厘泊] (P 點), 下指 B 導線 (R 點), 再橫指圖中右軸 (T 點), 即得 $\lambda = 0.0128$ [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)($^\circ F$.)], 或 0.019 [(仟卡)(米)/(小時)(平方米)($^\circ C$.)].

(2) 函數 $(\lambda)(Pr)^{\frac{1}{2}}$:

循圖中虛線 MPQS, 得 $(\lambda)(Pr)^{\frac{1}{2}} = 0.0120$ [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)($^\circ F$.)] 或 0.018 [(仟卡)(米)/(小時)(平方米)($^\circ C$.)].

由實驗測定的數據如下:

$$\lambda = 0.0131 [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)($^\circ F$.)]$$

$$(\lambda)(Pr)^{\frac{1}{2}} = 0.0122 [(英熱單位)(呎)/(小時)(平方呎)($^\circ F$.)].$$

利用圖 B-I-5 以估計導熱係數, 甚爲簡便, 倘比熱及黏滯度數據可靠, 則其最大誤差不致超過 10%, 但溫度範圍宜在 -15 至 $300^\circ C$. 之間, 壓力亦不宜太高。