

化工算图集

(第三集)

化 工 单 元 操 作

苏 元 复 合 編
璩 定 一 校 閱
沈 济 川 校 閱

科 技 卫 生 出 版 社

化工算图集

第三集

化工單元操作

蘇元復 編

璩
沈

江苏工业学院图书馆
藏书章

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

第三集 化工单元操作

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 · 108

(原新亞、科技版共印3,600册)

开本 787×1092 耗 1/23 · 印張 11 4/23 · 插頁 6 · 字數 257,000

1958年10月新1版

1958年10月第1次印刷 · 印數 1—1,500

定价：(10) 2.60 元

D. 化工單元操作

第一章	蒸餾——數據·····	1
第二章	蒸餾——計算·····	26
第三章	擴散、氣體溶解度及吸附數據·····	90
第四章	吸收計算·····	117
第五章	萃取·····	142
第六章	乾燥·····	156
第七章	凉水設備·····	173
第八章	蒸發與結晶·····	198
第九章	過濾及沉降·····	223
第十章	氣體通過粒狀固體床的壓力降·····	238
第十一章	混和及攪拌機所需動力的估計·····	249
第十二章	各種攪拌機所需動力的估計之二·····	284
第十三章	固體輸送·····	298
中文索引	·····	307
俄文索引	·····	317
西文索引	·····	318

第一章

蒸餾——數據

圖 號	圖 名	頁數
D-I-1	液體的表面張力	2
D-I-2	蒸氣壓數據	6
D-I-3	蒸氣壓的估計	10
D-I-4	碳氫化合物的汽化常數	13
D-I-5	氮的汽化常數	14
D-I-6	苯-甲苯-二甲苯系的泡點及露點	15
D-I-7	液體的沸點與壓力的關係	19
D-I-8	活度係數校正因數的求取	22

本章中通用符號的釋義

K = 常數; 汽化常數	σ = 液體的表面張力
n = 常數	σ_0 = 常數
P = 總壓力	下標: ,
p = 壓力	C = 臨界的
r = 汽化潛熱	D = 差數的
T = 絕對溫度	B = 苯的
t = 溫度	R = 對比的
Δt = 沸點校正數	T = 甲苯的
x = 液相組成	X = 二甲苯的
y = 氣相組成	G = 氣體的
Z = 活度係數的校正因數	i = 某組成物的
α = 相對揮發度; 溫度校正的函數	0 = 某參考情況下的
γ = 活度係數	$1, 2, \dots$ = 組成物 1, 2, ... 的
ϕ = 常數	

圖 D-I-1 液體的表面張力*

設計精餾泡罩塔的板間距離時，需用表面張力的數據†，圖 D-I-1 示液體的表面張力與溫度的關係。圖的右邊為刻度均勻的溫度軸，左邊表面張力軸上的刻度，則係以苯為參考物質而規定。即先確定苯在圖中方格的座標為： $X=30$ ， $Y=110$ ，然後根據苯的表面張力實驗數據，以規定左邊表面張力軸上的刻度。其他物質在圖中的座標值，則祇須知道該物質在兩個不同溫度下的表面張力數據即可。法以溫度及對應的表面張力數據，在二軸上各得二點，繪出兩條直線，可得一交點，即為該物質的座標值。為求更準確起見，普通常取三個不同溫度時的表面張力數據以求 X 及 Y 值。表 D-I-1 示按此法求得的各物質在圖中的座標值。

表 D-I-1 圖 D-I-1 中的 X 及 Y 值

號數	液 體 名 稱	X	Y	號數	液 體 名 稱	X	Y
1	乙二醇內醚(發氧乙烷)	42	83	17	二硫化碳	35.8	117.2
2	乙苯	22	118	18	丁酮	23.6	97
3	乙胺	11.2	83	19	丁醇	9.6	107.5
4	乙硫醇	35	81	20	丁醇, 異	5	103
5	乙醇	10	97	21	丁酸	14.5	115
6	乙醚	27.5	64	22	丁酸, 異	14.8	107.4
7	乙醛	33	78	23	丁酸乙酯	17.5	102
8	乙醛肟	23.5	127	24	丁(異)酸乙酯	20.9	92.7
9	乙酰胺	17	192.5	25	丁酸甲酯	25	88
10	乙酐醋酸乙酯	21	132	26	丁(異)酸甲酯	24	93.8
11	二乙醇縮乙醛	19	88	27	三乙胺	20.1	83.9
12	二甲苯, 間	20.5	118	28	三甲胺	21	57.6
13	二甲苯, 對	19	117	29	三甲苯-1,3,5	17	119.8
14	二甲胺	16	66	30	三苯甲烷	12.5	182.7
15	二甲醚	44	37	31	三氯乙醛	30	113
16	二氯(化)乙烯-1,2	32	120	32	三聚乙醛	22.3	103.8
				33	己烷	22.7	72.2

* Othmer, Josefowitz & Schmutzler, *Ind. Eng. Chem.*, 40, 536 (1948).† 參閱 Souders & Brown, *Ind. Eng. Chem.*, 26, 98 (1934); Brown *et al.*, "Unit Operations," 348 (1950); 及圖 D-II-17.

表 D-I-1 圖 D-I-1 中的 X 及 Y 值 (續)

號數	液 體 名 稱	X	Y	號數	液 體 名 稱	X	Y
34	六氫吡啶	24.7	120	68	氮	56.2	63.5
35	甲苯	24	113	69	氧化亞氮	62.5	0.5
36	甲胺	42	58	70	草酸二乙酯	20.5	130.8
37	甲酚, 間	13	161.2	71	氯	45.5	59.2
38	甲酚, 對	11.5	160.5	72	氯仿	32	101.3
39	甲酚, 鄰	20	161	73	氯甲苯, 對	18.7	134
40	甲醇	17	93	74	氯甲烷	45.8	53.2
41	甲酸甲酯	38.5	88	75	氯苯	23.5	132.5
42	甲酸乙酯	30.5	88.8	76	氯溴苯, 對	14	162
43	甲酸丙酯	24	97	77	氮雜苯(吡啶)	34	138.2
44	丙胺	25.5	87.2	78	氰化乙烷(丙腈)	23	108.6
45	丙(異)基甲苯, 對	12.8	121.2	79	氰化丙烷(丁腈)	20.3	113
46	丙酮	28	91	80	氰化甲烷(乙腈)	33.5	111
47	丙烯-[2]-醇-[1]	12	111.5	81	氰化苯(苯腈)	19.5	159
48	丙醇	8.2	105.2	82	氰化氫	30.6	66
49	丙酸	17	112	83	硫酸二乙酯	19.5	139.5
50	丙酸乙酯	22.6	97	84	硫酸二甲酯	23.5	158
51	丙酸甲酯	29	95	85	硝基乙烷	25.4	126.1
52	戊醇-[3]	20	101	86	硝基甲烷	30	139
53	戊醇, 異	6	106.8	87	萘	22.5	165
54	四氯化碳	26	104.5	88	溴乙烷	31.6	90.2
55	辛烷	17.7	90	89	溴苯	23.5	145.5
56	亞砷酸氯	38.5	93	90	碘乙烷	28	113.2
57	苯	30	110	91	[對甲氧基苯]丙烷	13	158.1
58	苯乙酮	18	163	92	醋酸	17.1	116.5
59	苯乙醚	20	134.2	93	醋酸甲酯	34	90
60	苯二乙胺	17	142.6	94	醋酸乙酯	27.5	92.4
61	苯二甲胺	20	149	95	醋酸丙酯	23	97
62	苯甲醚	24.4	138.9	96	醋酸異丁酯	16	97.2
63	苯甲酸乙酯	14.8	151	97	醋酸異戊酯	16.4	103.1
64	苯胺	22.9	171.8	98	醋酸酐	25	129
65	苯(基)甲胺	25	156	99	噁吩	35	121
66	苯酚	20	168	100	環己烷	42	86.7
67	苯腈吡啶(氮雜萘)	19.5	183	101	磷酸氯	26	125.2

製作本圖的理論基礎，係根據表面張力的理論：

$$\sigma = \sigma_0 (1 - T/T_c)^n \quad (1)^*$$

式中 σ = 液體在溫度 $T^\circ\text{K}$. 時的表面張力。

σ_0 及 n = 每一液體的特有常數。

T_c = 液體的臨界溫度， $^\circ\text{K}$

將式(1)取對數：

$$n \log T_c + \log \sigma = \log \sigma_0 + n \log (T_c - T) \quad (2)$$

$$\text{或} \quad \log \sigma = n \log T_D + K \quad (3)$$

式中 $K = \log \sigma_0 - n \log T_c$ ，對一定的物質，其值一定。

$$T_D = T_c - T.$$

根據式(3)，倘將 T_D 及 σ 的數值在對數座標紙上標繪，應得一直線。倘 T_D 之值一定，則二不同物質的表面張力在對數紙上的標繪，亦應為直線關係，惟直線的斜度及截距，則視物質而異，故在圖 D-I-1 中，不同的物質具有不同的 X 及 Y 值。惟圖中的溫度軸已經校正，可直接讀為 $^\circ\text{C}$., 以代 T_D , $^\circ\text{K}$ 。

本圖的用法，係將溫度點($^\circ\text{C}$.)，與表中查得的某物質的座標點(X 及 Y)，用直線相連，並延長至左軸，即可讀得該物質的表面張力，[達因/厘米]。

例 試求乙醇在 60°C . 時的表面張力。

解 先自表 D-I-1 中查得乙醇的 $X = 10$, $Y = 97$ ，即可在圖中得一點，由此點引一直線通過溫度軸上的 60，並由另一端延長至左軸，即得乙醇的表面張力為 19 [達因/厘米]。

* 參閱 Ferguson, *Trans. Faraday Soc.*, 19, 408 (1923).

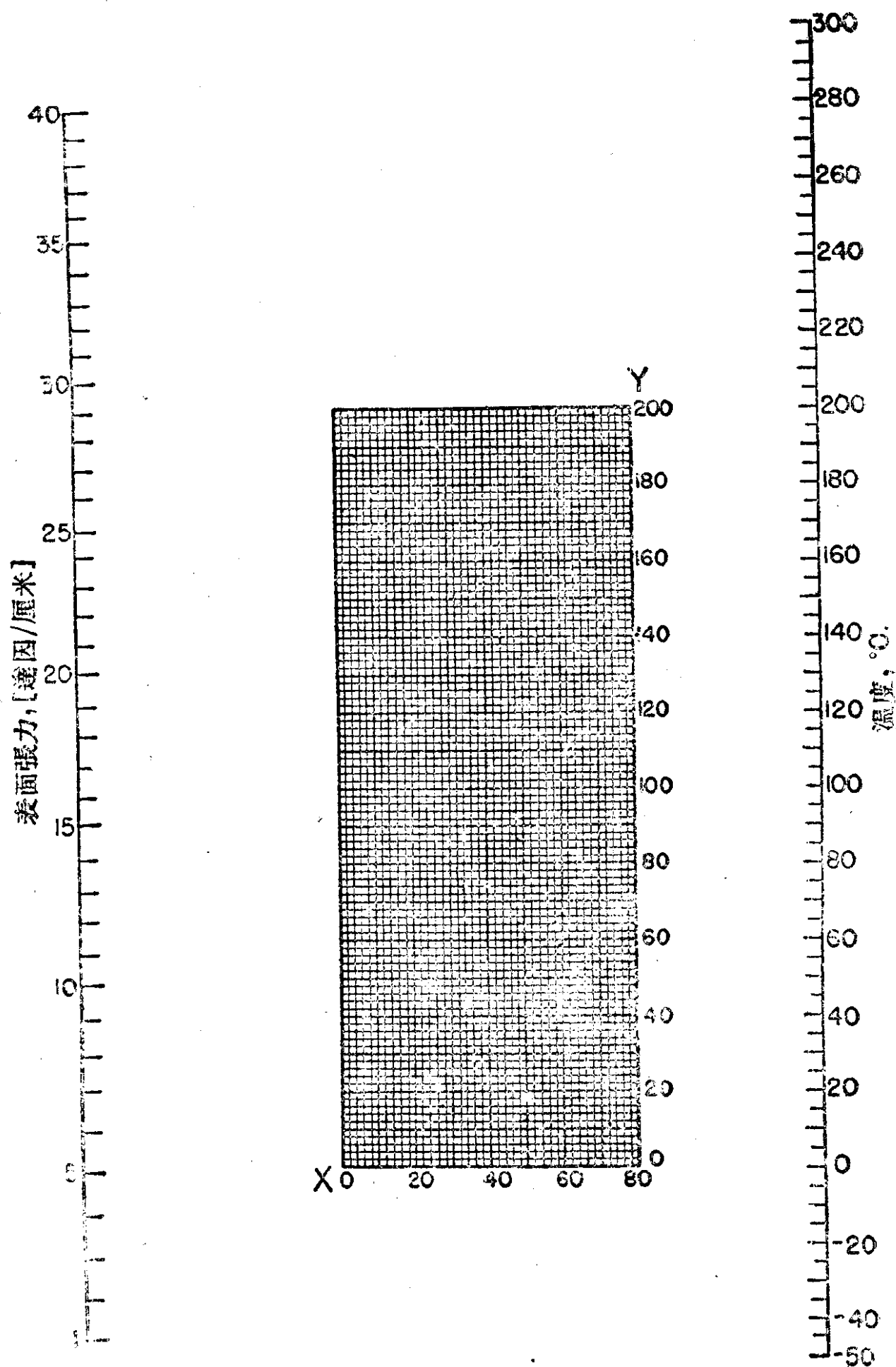


圖 D-I-1 液體的表面張力

圖 D-I-2 蒸氣壓數據*

多種物質的蒸氣壓數據,可自圖 D-I-2-a, -b 及 -c 三圖中查得。

圖中所未曾包括的物質,如知其在二個以上溫度時的蒸氣壓數據,即可在圖上得一點,法將各對應的溫度及蒸氣壓數據,分別連以直線,兩線的交點,即為該物質在圖中的地位。

應注意:圖 D-I-2 雖適用於一般的純粹液體,但不一定適用於液體的混合物及固體。液體之能發生重合作用的,例如 H_2F_2 , NO_2 等,亦不適用。

本圖的作法,與圖 D-I-1 中的表面張力相似,惟系以水為參考物質。右邊蒸氣壓軸為對數標尺,於確定水在圖中的某一點後,即可利用水的蒸氣壓數據,定出左邊的溫度軸[†],然後根據溫度及蒸氣壓二軸上的標尺刻度,連同某物質在兩個以上的不同溫度時的蒸氣壓數據,以確定該物質在圖中的地位。

例 試求二硫化碳,乙醇,及正辛烷三物質在 20°C . 時的蒸氣壓。

解 在 20°C . 時的蒸氣壓:

CS_2 : 280 [毫米,汞柱] (圖 D-I-2-a);

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: 38 [毫米,汞柱] (圖 D-I-2-b);

C_8H_{18} : 12 [毫米,汞柱] (圖 D-I-2-c)。

* Clarke, "Manual for Process Engineering Calculations," 120-122 (1947). 以後徵引此書,簡稱 Clarke.

[†] 參閱 Cox, *Ind. Eng. Chem.*, 15, 592 (1923).

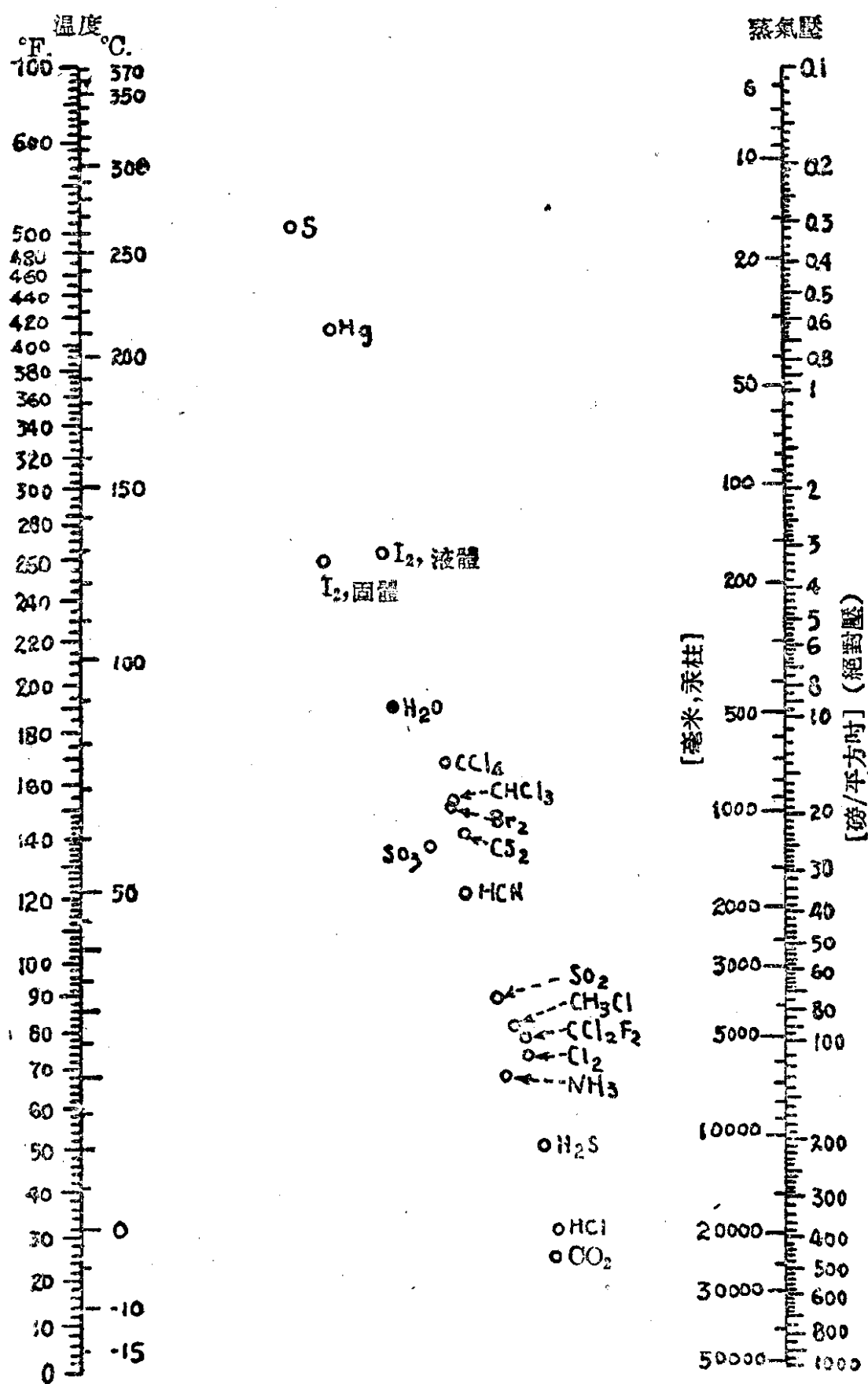


圖 D-I-2-a 無機化合物的蒸氣壓數據

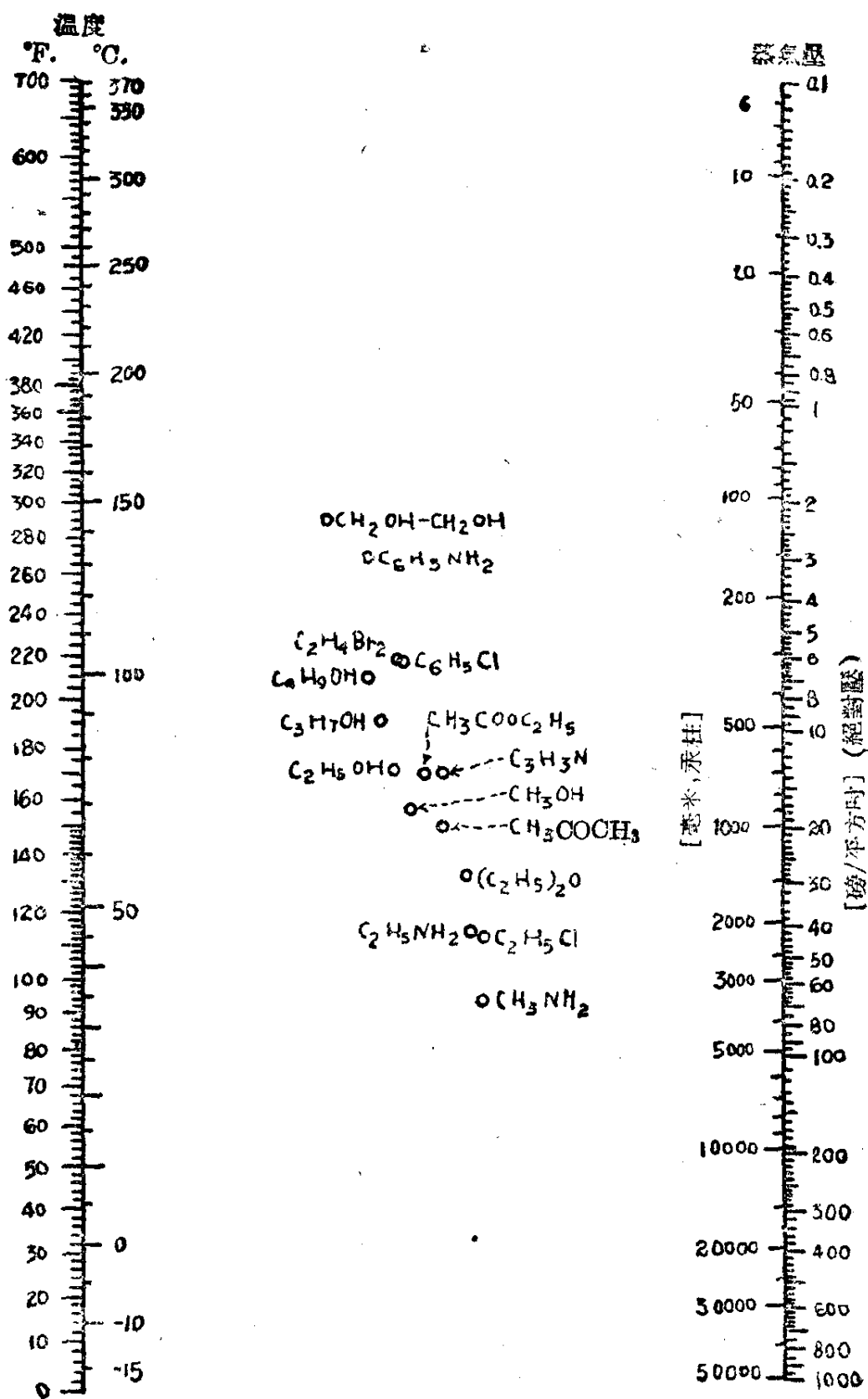


圖 D-I-2-b. 有機化合物的蒸氣壓數據

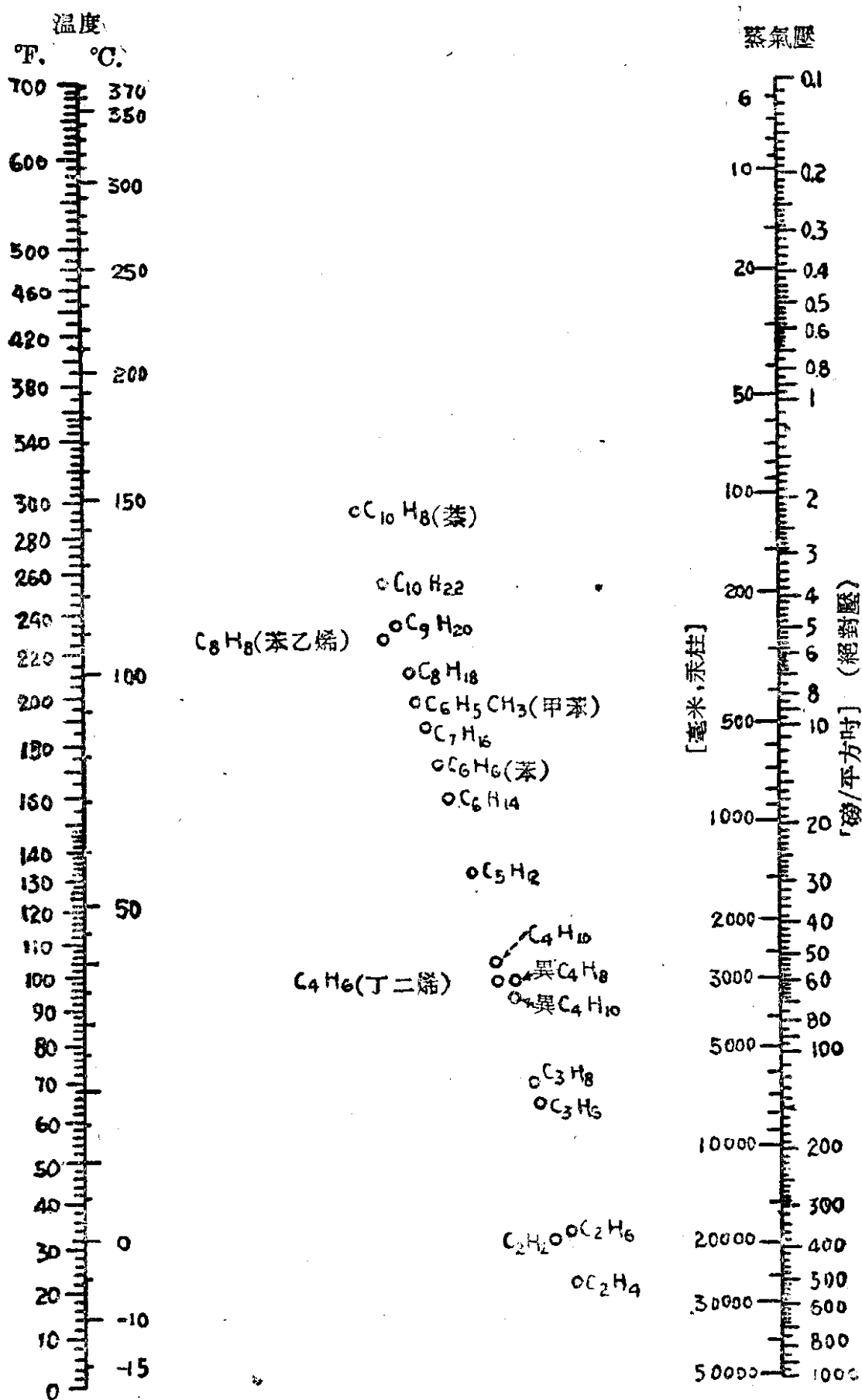


圖 D-I-2-c 碳氫化合物的蒸氣壓數據

圖 D-I-3 蒸氣壓的估計*

倘蒸氣壓值不高,蒸氣遵循理想氣體定律,液體比容遠較蒸氣比容爲小,且溫度變化範圍不大,汽化潛熱不因溫度而變,則可適用下列的 Clausius-Claypeyron 積分式:

$$\log \frac{p}{p_0} = \frac{r}{(2.303)(1.99)} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right).$$

應用此式,可自某一物質在 $T_0^\circ\text{K}$. 時的蒸氣壓 p_0 , 及其汽化潛熱 r . [卡/克分子], 以計算此物質在 $T^\circ\text{K}$. 時的蒸氣壓 p . 汽化潛熱的估計, 可參閱本書第二集圖 B-I-12 及圖 B-I-13, 汽化潛熱的實驗數據則見圖 B-I-11.

圖 D-I-3 即係上式的圖解,其用法可以下例說明之:

例 乙醚在 0°C . 時的蒸氣壓爲 185 [毫米, 汞柱], 其汽化潛熱爲 6850 [卡/克分子], 試求在 20°C . 時乙醚的蒸氣壓.

解 $\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{293} \right) \times 10^5 = 3663 - 3413 = 250$ (見附表).

依圖 D-I-3 中虛線所示, 先連接 $\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$ 軸上的 250 與汽化潛熱軸上的 $6850 \times 10^{-1} = 685$, 相交導軸 R_1 於 0.37, 將交點 0.37 移在導軸 R_2 上, 與 $p_0 = 185$ 相連, 並延長之, 即得在 293°K . 時的 p 爲 440 [毫米, 汞柱]. 實驗數據爲 442 [毫米, 汞柱].

應用附表, 可從絕對溫度 T 求取 $10^5 \times \frac{1}{T}$ 之值 (包括自 200 至 599 的範圍) 以節省計算的時間.

附表 絕對溫度 T 的倒數 $\times 10^5$

T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$
200	5000	215	4651	230	4348	245	4082	260	3846	275	3636
01	4975	16	4630	31	4329	46	4065	61	3831	76	3623
02	4950	17	4608	32	4310	47	4049	62	3817	77	3610
03	4926	18	4587	33	4292	48	4032	63	3802	78	3597
04	4902	19	4566	34	4274	49	4016	64	3788	79	3584
205	4878	220	4545	235	4255	250	4000	265	3774	280	3571
06	4854	21	4525	36	4237	51	3984	66	3759	81	3559
07	4831	22	4505	37	4219	52	3968	67	3745	82	3546
08	4808	23	4484	38	4202	53	3953	68	3731	83	3534
09	4785	24	4464	39	4184	54	3937	69	3717	84	3521
210	4762	225	4444	240	4167	255	3922	270	3704	285	3509
11	4739	26	4425	41	4149	56	3906	71	3690	86	3497
12	4717	27	4405	42	4132	57	3891	72	3676	87	3484
13	4695	28	4386	43	4115	58	3876	73	3663	88	3472
14	4673	29	4367	44	4098	59	3861	74	3650	89	3460

* Hooks, Chem. Eng., 54 (1), 134 (1947).

附表 絕對溫度 T 的倒數 $\times 10^5$ (續)

T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$	T	$1/T$
290	3448	345	2899	400	2500	455	2198	510	1961	565	1770
91	3436	46	2890	01	2494	56	2193	11	1957	66	1767
92	3425	47	2882	02	2488	57	2188	12	1953	67	1764
93	3413	48	2874	03	2481	58	2183	13	1949	68	1761
94	3401	49	2865	04	2475	59	2179	14	1946	69	1757
295	3390	350	2857	405	2469	460	2174	515	1942	570	1754
96	3378	51	2849	06	2463	61	2169	16	1938	71	1751
97	3367	52	2841	07	2457	62	2165	17	1934	72	1748
98	3356	53	2833	08	2451	63	2160	18	1931	73	1745
99	3344	54	2825	09	2445	64	2155	19	1927	74	1742
300	3333	355	2817	410	2439	465	2151	520	1923	575	1739
01	3322	56	2809	11	2433	66	2146	21	1919	76	1736
02	3311	57	2801	12	2427	67	2141	22	1916	77	1733
03	3300	58	2793	13	2421	68	2137	23	1912	78	1730
04	3289	59	2786	14	2415	69	2132	24	1908	79	1727
305	3279	360	2778	415	2410	470	2128	525	1905	580	1724
06	3268	61	2770	16	2404	71	2123	26	1901	81	1721
07	3257	62	2762	17	2398	72	2119	27	1898	82	1718
08	3247	63	2755	18	2392	73	2114	28	1894	83	1715
09	3236	64	2747	19	2387	74	2110	29	1890	84	1712
310	3226	365	2740	420	2381	475	2105	530	1887	585	1709
11	3215	66	2732	21	2375	76	2101	31	1883	86	1706
12	3205	67	2725	22	2370	77	2096	32	1880	87	1704
13	3195	68	2717	23	2364	78	2092	33	1876	88	1701
14	3185	69	2710	24	2358	79	2088	34	1873	89	1698
315	3175	370	2703	425	2353	480	2083	535	1869	590	1695
16	3165	71	2695	26	2347	81	2079	36	1866	91	1692
17	3155	72	2688	27	2342	82	2075	37	1862	92	1689
18	3145	73	2681	28	2336	83	2070	38	1859	93	1686
19	3135	74	2674	29	2331	84	2066	39	1855	94	1684
320	3125	375	2667	430	2326	485	2062	540	1852	595	1681
21	3115	76	2660	31	2320	86	2058	41	1848	96	1678
22	3106	77	2653	32	2315	87	2053	42	1845	97	1675
23	3096	78	2646	33	2309	88	2049	43	1842	98	1672
24	3086	79	2639	34	2304	89	2045	44	1838	99	1669
325	3077	380	2632	435	2299	490	2041	545	1835		
26	3067	81	2625	36	2294	91	2037	46	1832		
27	3058	82	2618	37	2288	92	2033	47	1828		
28	3049	83	2611	38	2283	93	2028	48	1825		
29	3040	84	2604	39	2278	94	2024	49	1821		
330	3030	385	2597	440	2273	495	2020	550	1818		
31	3021	86	2591	41	2268	96	2016	51	1815		
32	3012	87	2584	42	2262	97	2012	52	1812		
33	3003	88	2577	43	2257	98	2008	53	1808		
34	2994	89	2571	44	2252	99	2004	54	1805		
335	2985	390	2564	445	2247	500	2000	555	1802		
36	2976	91	2558	46	2242	01	1996	56	1799		
37	2967	92	2551	47	2237	02	1992	57	1795		
38	2959	93	2545	48	2232	03	1988	58	1792		
39	2950	94	2538	49	2227	04	1984	59	1789		
340	2941	395	2532	450	2222	505	1980	560	1786		
41	2933	96	2525	51	2217	06	1976	61	1783		
42	2924	97	2519	52	2212	07	1972	62	1779		
43	2915	98	2513	53	2208	08	1969	63	1776		
44	2907	99	2506	54	2203	09	1965	64	1773		

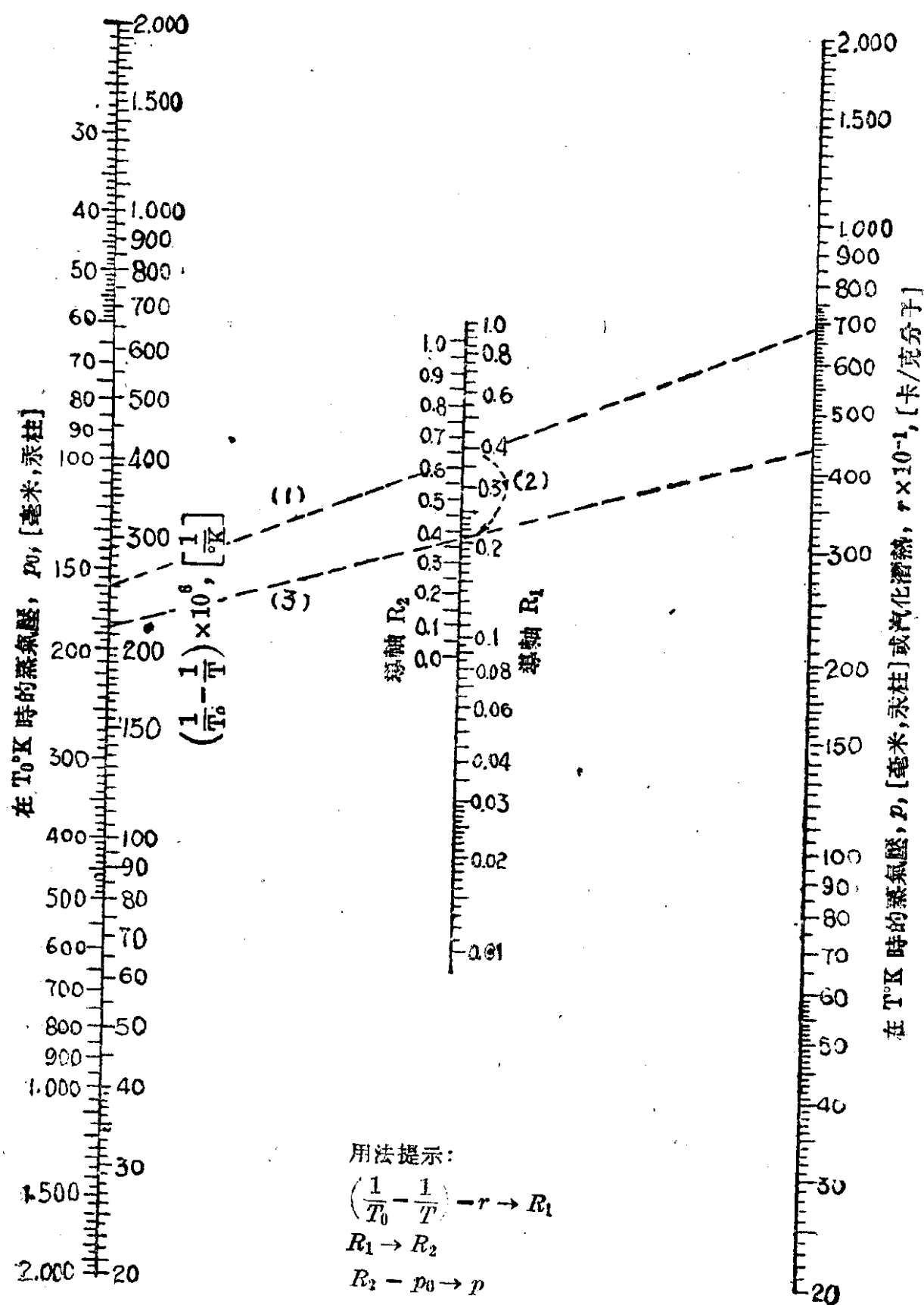


圖 D-I-3 蒸氣壓的估計

圖 D-I-4 碳氫化合物的汽化常數*

處理碳氫化合物的多元蒸餾系時，其平衡數據常以汽化常數表示之：

$$K_1 = y_1/x_1$$

式中 K_1 = 組成物 1 在一定溫度及總壓力下的汽化常數。

y_1 及 x_1 = 平衡時組成物 1，在氣相及液相中的衡分子分率。

K 的數值隨溫度及總壓力而變，圖 D-I-4 即用以求取若干主要碳氫化合物在各種溫度及總壓力下的 K 值。

用此法表示氣液平衡關係，係假定該系在任何溫度及總壓下均能適用亨利氏定律。

其他組成物的濃度，對 K 值自亦發生影響，但一般可以略而不計。

本圖的用法，係以直線連接溫度及壓力軸上的數值，即可在各該碳氫化合物軸上讀得 K 值。所得結果與實驗數字相較，誤差約 2%，此項誤差並不大於實驗數據的實際誤差。若壓力大於 20 [仟克/(厘米)²]，或小於 0.7 [仟克/(厘米)²]，則由圖中讀得的 K 值，其誤差可能達 10% 或以上。故最好應用於溫度在 150°C. 以下，壓力在 0.7-20 [仟克/厘米)²] 之間。

例 在 80°C. 及 1 [大氣壓] 時正戊烷的 K 值為 3.3。

* Scheibel & Jenny, *Ind. Eng. Chem.*, **37**, 80 (1945).