



7

# 氣體工業及冷凍冷藏工業



商務印書館

# 目 次

第一篇 冷凍	1
第一章 緒論	1
第二章 低溫之生成	2
第一節 由固體物質之熔融及鹽類之溶解而生成低溫法	2
1. 固體之熔融	2
2. 鹽類之溶解	2
3. 冷劑	4
第二節 利用液體或固體之蒸發熱以生成低溫法	8
1. 由物質之具有常溫以上之沸點者	8
2. 由物質之具有常溫以下之沸點者	8
第三節 由熱之直接使用而生成低溫法	10
1. 吸收式	10
2. 水蒸氣吸收機	10
3. 氨吸收機	13
4. 矽氧凝膠吸附法	15
5. 阿多索爾吸附劑	16
第四節 耕機械的工作之冷凍法	18
1. 熱唧筒之理論	18
2. 空氣式冷凍機	25
3. 蒸氣壓縮法	27
第三章 冷凍劑之性質	37
第一節 氨	37
第二節 亞硫酸氣	38
第三節 氯甲烷	39
第四節 氯乙烷	41
第五節 碲酸氣	41
第六節 二氯二氟甲烷	42
第七節 二氯甲烷	44

第八節 鹹水	46
第四章 製冰	47
第一節 總說	47
第二節 製冰用水	47
第三節 製冰廠之圖樣	48
第四節 凍板式	50
第五節 凍罐式	50
第五章 固形碳酸	55
第一節 作冷劑之固形碳酸	55
第二節 二氧化碳之昇華及固形化	55
第三節 碳酸氣之發生	56
第四節 固態碳酸之生成	57
第六章 家庭用冷凍機	59
第一節 家庭冷藏庫與溫度	59
第二節 家庭用壓縮式冷凍機	60
第三節 家庭用吸收式冷凍機	61
第二篇 冷藏	63
第一章 緒論	63
第二章 熱之絕緣	64
第一節 絕緣材料必具之條件	64
第二節 絕緣材料	64
1. 軟木質板	65
2. 毛氈	65
3. 木料	65
4. 石棉	66
5. 厚紙板	66
6. Dry zero	66
7. 石膏	66
第三節 絕緣材料之性能	66
第三章 冷藏倉庫之構築	68
第四章 冷藏庫內之裝管法	70
第五章 速凍法	74

# 冷凍冷藏工業

## 第一篇 冷凍

### 第一章 緒論

吾人欲得冷物，或欲奪取正在發生之熱時，概行使用冷劑，以求達斯目的。冷劑或冷凍劑云者，此時所以降低可冷物之溫度者也。

施行冷凍作業之化學工廠，必行(1)氣體之液化，(2)液體之固體化，(3)自溶液析出鹽類之結晶，(4)混合物之分離，(5)反應速度之調節，(6)食料品之貯藏等項工程，殆與一切化學工業皆有關係。至於常溫，則空氣或水可謂工業上為用最廣之冷卻劑。

雖云使用此等天然之物，吾人殆能除去無限之熱量，然如斯價廉而又便利之冷卻劑，因其本身亦具較高溫度之故，若直用原物以供使用時，則應用之範圍自有限度。

然吾人論及低溫之生成時，即於水溫，普通亦不得不視為 $10^{\circ}\text{C}.$ ~ $15^{\circ}\text{C}.$ 以下。然則欲得較此更低之低溫，又有何等之方法否乎？茲就此敘述於次：

## 第二章 低溫之生成

以言低溫之生成法，計有(1)由固體物質之熔融及鹽類之溶解(吸熱)而生成低溫之法，(2)利用液體或固體之蒸發熱法，(3)由熱之直接使用而生成低溫之法，(4)藉機械的動作以生成低溫之法。

### 第一節 由固體物質之熔融及鹽類之溶解而生成低溫法

1. 固體之熔融 熔融固體或以較高速度溶解固體鹽類時之吸熱法，乃人工生成低溫法中最簡便易行之方法；而利用固體之熔融熱，以期冷卻室內氣溫或液體時，能被人規模利用之物，厥為冰塊。

1 仟克之冰熔融之際，所吸收之熱量，於 $0^{\circ}\text{C}$ . 及 1 氣壓之下，計為 79.9 仟卡(kcal.)。

茲列舉各種單質及化合物之熔點並熔融熱如次(見第 1 表)。

2. 鹽類之溶解 固體鹽類溶解於水之溶解熱概屬吸熱，因而其時所生溶液本身之溫度，則相當降落，此無他，蓋鹽類之溶解速度迅速，從而其溶解度雖遇低溫度亦復頗大，故溫度降落亦隨之而大也。此際宜將過剩之鹽類盡力研成粉末，從速與水混合為佳。

當硝石溶解之際，利用其溫度降落，以使水或其他液體冷卻之方法，自極古時代，夙為印度人所發明者也。又有羅馬之物理學家 Blasius Villafrance，於距今千五百五十餘年前，亦嘗使用此法。羅馬人因欲飲用冷葡萄酒，乃以葡萄酒瓶懸設於冷水中，且投硝石且攪拌之，結果如願以償。

此等鹽類溶液之冰點(即自其溶液有冰析出之溫度)皆較純水之

第 1 表

物 質	熔 點 °C.	熔 融 熱	
		cal./g.	kcal./g. 分子
氮 N <sub>2</sub>	-219.0	6.1	0.085
氫 H <sub>2</sub>	—	15.0	0.015
氧 O <sub>2</sub>	-219.0	3.3	0.053
氬 Ar	-190.0	6.71	0.268
氯 Cl <sub>2</sub>	-103.5	23.0	0.810
氨 NH <sub>3</sub>	- 75.0	108.1	1.84
碳酸氣 CO <sub>2</sub> (5.1 氣壓)	-56.29	43.8	1.93
一氧化碳 CO	-206.0	8.0	0.224
硝酸 HNO <sub>3</sub>	- 49.0	9.45	0.601
氧化氮 N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-10.14	32.2	2.96
冰	0	79.80	1.44
冰	- 5.9	76.6	1.38
冰	- 6.62	75.99	1.37
四氯化碳 CCl <sub>4</sub>	- 22.9	—	—
氯化苯 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	- 45.2	—	—
氯仿 CHCl <sub>3</sub>	- 63.5	—	—
乙酸乙酯 CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	- 83.6	—	—
甲苯 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	- 95.1	—	—
二硫化碳 CS <sub>2</sub>	-111.6	—	—
乙醚 C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	-116.3	—	—
甲基環己烷 C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>	-126.4	—	—
異戊烷 C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-159.6	—	—

冰點(°C./760 mm.) 猶低，而其鹽類之濃度愈大，則冰點亦愈降落，顯一方鹽類遇此等低溫度時之溶解度，普通卻以逐漸減少為常。又從嚴格言之，所謂熔融熱、溶解熱，皆隨溫度而略行變化者也。

茲揭載硝酸鉍溶解於水時溫度之降落與其性能於次：

第 2 表 由硝酸鉍與水而成之冷劑

對於鹽類 1 克	吸收熱量 cal.	最大降落 溫度 °C.	飽和 溫度 (d)°C.	當冷卻材料溫度如下時於(e)或(d) 之溫度含有 1 克鹽類之溶液所具冷 卻性能(cal.)			
				20°	15°	10°	5°
1.04 克之 水	53.3	38.3	-8	14.4	21.3	28.3	35.3
1.14 克之 水	54.5	36.4	-12	6.7	14.1	21.6	29.1
1.28 克之 水	55.7	34.6	-16		6.7	13.8	21.9
			凝固點 (c)°C.				
1.40 克之 水	57.6	31.5	-16	—	0.9	10.1	19.8
2.76 克之 水	66.0	22.1	-10	—	—	6.5	21.7
5.08 克之 水	73.3	14	-6	—	—	—	15.8

3. 冷劑 試以冰或雪，與如食鹽之鹽類少許，混合使勻，則冰雪即有一部分溶解而生食鹽之溶液，全體之溫度乃降至攝氏零度以下。若於過剩之冰雪內，另行增加食鹽之量，則溫度更行低降，及至溶液之濃度大致已達 24% 時，則於常壓之下，因冰雪與固體食鹽( $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )受其溶液之作用，而達最低溫度  $-23^\circ\text{C}$ . 之一定溫度而止。此溫度即於常壓之下，得自冰雪與食鹽之溫度也。

今若用之以冷凍他物，易言之，即與之以熱，則溫度仍一定不變，蓋所與之熱，悉為熔融冰雪，並於所生水中溶解食鹽，為所消費故也。故至冰雪或食鹽之一方，抑或二者同時消失為止，溫度不變。足見使用此法，理宜得保  $-23^\circ\text{C}$ . 之恆溫度也。通常稱此溫度為最低熔點 (eutectic point)，又稱此系為低熔冰鹽合晶 (cryohydrate)。若是之混合物概名之曰冷劑 (freezing mixture)。

使用冰或雪與食鹽之冷劑，據史冊所載，於公元一六〇七年時，納普拉斯(Naples)之 Latinus Tancredus 嘗用之。至於山特里用雪與食鹽以冷卻葡萄酒，則自一六二六年始。又據阿羅修士(Orosius)云，自公元前四百年以來，夙已用此方法，冷凍屍骸或液體，此說或非虛造。又嘗製造冰淇淋(ice cream)或冷卻汽水時，亦有使用食鹽以外之鹽類者，如硝酸銨與水亦可用以製冰。例如 Toselli machine，即其規模最大者。法於木製之容器內，盛滿冷水，以硝酸銨溶於此中，則溫度之降落竟達 $-22^{\circ}\text{C}$ ，另用狹口桶盛以淨水，浸入其中，即可結冰。又如使用氯化鈣，則溫度一次之降落約得 $-17^{\circ}\text{C}$ ，縱屬 $20^{\circ}\text{C}$ 之水，苟經數次反復冷卻，終能結冰。

藉冷劑以降低溫度，係與冰之熔融熱，鹽類之溶解熱及溶解度等，皆有關係，為用最普通者厥為鹼金屬之鹽類，及遇低溫度仍具頗大溶解度之其他鹽類。然實際為冷劑所用者，不限於一種，同時併用二種以上之例亦多。

第3表 由氯化鈣( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )與冰或雪合成之冷劑

對於1克之鹽類可混合之冰或雪量(克)	吸收熱量(cal.)	飽和溫度 $^{\circ}\text{C}$ . ( $t^{\circ}$ )	於( $t$ )或( $d$ )之溶液所具冷卻性能
0.43	58.2	-10.6	51.9
0.55	66.7	-28.7	45.5
0.70	77.0	-54.9	30.0
		凝固溫度( $d^{\circ}$ )	
0.74	81.1	-48.2	36.0
0.91	90.0	-36.5	52.6
1.03	103.2	-28.0	69.4
1.80	171.3	-12.4	145.0
2.72	237.3	- 8.1	213.1



第 4 表 由一種之鹽與冰或雪合成之冷劑

對 於 冰 或 雪 100 分			降 落 之 溫 度 °C.	
			自	至
食 鹽	NaCl	86 分	12.6	10.1
結晶硫酸鈉	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·100 H <sub>2</sub> O	20	12.5	5.7
硝 石	KNO <sub>3</sub>	16	13.2	3.0
氯化鉀	KCl	30	13.2	0.6
硫酸銨	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30	15.3	3.2
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	30	13.3	- 5.1
智利硝石	NaNO <sub>3</sub>	75	13.2	- 5.3
複合硫酸鈉(結晶)	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	119	10.7	- 8.0
氯化鈣(結晶)	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	200	10.8	-12.4
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	60	13.6	-13.6
硫氰化銨	NH <sub>4</sub> SCN	133	13.2	-18.0
以 下 用 雪				
氯化鉀	KCl	30	0	-10.9
氯化鉀	KCl	132	0	-16.1
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	25	0	-15.4
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	45	0	-16.7
硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	50	0	-17.7
食 鹽	NaCl	33	0	-21.3
氯化鈣	CaCl <sub>2</sub>	132	6.7	-44.4
氯化鈣	CaCl <sub>2</sub>	150	-26.1	-55.6
氯化鈣(結晶)	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	143	0	-50.0
氯化鈣(結晶)	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	200	-17.8	-54.4
氯化鈣(結晶)	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	150	-40.0	-58.3
稀硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	66	0	-30.5
稀硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100	-28.9	-51.1
稀硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1:20	-55.6	-68.3
稀硝酸	HNO <sub>3</sub> ·11H <sub>2</sub> O	54	0	-34.3
稀硝酸	HNO <sub>3</sub>	66	-17.8	-43.3
稀鹽酸	HCl·H <sub>2</sub> O	165	0	-32.8

第5表 由二種以上之鹽類與冰或雪合成之冷劑

對 於 冰 或 雪 100 分						降 落 之 溫 度 °C.	
						自	至
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	29分+硝石	KNO <sub>3</sub>	18分	15	-10.6	
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	27分+硝石	KNO <sub>3</sub>	15	5	-17.4	
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	30分+硝石	KNO <sub>3</sub>	30	10	-15.6	
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	22分+硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	51	15	-9.8	
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	29分+硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	46	5	-18.2	
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	30分+硝石	KNO <sub>3</sub> 30+硫酸鈉	48	10	-15.6	
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	72分+硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	60	15	-17.0	
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	56分+硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	56	5	-23.8	
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	100分+硝酸鈉	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	100	10	-21.7	
硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	78分+硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	59	15	-19.6	
硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	63分+硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	58	5	-26.2	
硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	75分+硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	48	15	-22.7	
硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	62分+硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	86	5	-28.9	
硫氰化鉀	KCNS	139分+硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	10	15	-22.4	
硫氰化鉀	KCNS	122分+硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	6	5	-29.0	
以 下 用 雪							
硝 石	KNO <sub>3</sub>	18.5分+氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	26		-17.8	
硝 石	KNO <sub>3</sub>	9.0分+硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	67		-28.2	
硝 石	KNO <sub>3</sub>	35+氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl 35+食鹽	70		-27.8	
硝酸鈉	NaNO <sub>3</sub>	54.5分+硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	39.5		-37.4	
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	32.0分+硫氰化銨	NH <sub>4</sub> CNS	59.0		-30.6	
硝酸銨	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	42.0分+食鹽	NaCl	42.0		-31.7	
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	20.0分+食鹽	NaCl	40.0		-24.4	
稀硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> aq.	60.0分+稀硝酸	HNO <sub>3</sub> aq.	50.0	-23.3	-48.9	

以上所述之冷劑，乃歷史上饒有興趣之物，時至今日，則此等方法

殆不過僅見用於實驗室而已。

## 第二節 利用液體或固體之蒸發熱以生成低溫法

1. 由物質之具有常溫以上之沸點者 液體或固體物質在蒸發(或氣化)之際,常吸收相當多量之熱。故若不從外部加熱而令盛行蒸發時,則因蒸發熱之故,液體本身之溫度即行降落。例如或行減壓,或用吸收劑,使驟然吸收蒸氣,抑或通入急激之空氣流,促令盛行蒸發,則從比較的易於常溫蒸發之液體,亦復可得相當之低溫。茲舉若干物質示其可得之溫度如次:

第 6 表

物	質	可 得 之 溫 度 °C.
水	(H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>	± 0
乙 醇	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	-11.0
汽 油	(C <sub>7</sub> H <sub>12+12</sub> )	-13.0
四 氯 化 碳	(CCl <sub>4</sub> )	-21.0
丙 酮	(CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> )	-26.0
乙 醚	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )	-47.0
二 硫 化 碳	(CS <sub>2</sub> )	-44.0
戊 烷	(C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	-50.0
亞 硝 酸 乙 酯	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> )	-55.0

2. 由物質之具有常溫以下之沸點者 其次於常溫即成氣體之物質,若預先施以人工的操作(壓縮冷卻等),以行液化,則遇常溫、常壓,即可盛行沸騰,因而吸收多量之蒸發熱,故各得冷卻至其沸點為止。

示此等液體或固體，於常壓之下，沸騰(或汽化)之溫度與蒸發熱  
如次：

第 7 表

物 質	沸 點 °C.	蒸 發 熱		
		cal./g.	kcal./g.分了	
氯	Cl <sub>2</sub>	- 22.	67.4	2.39
氦	He	-269.	6.0	0.024
氮(氣 21%)	1 氣壓	44.0		
空(氣 22.5%)	1 氣壓	45.4		—
空(氣 50.9%)	1 氣壓	50.3		—
空(氣 90.0%)	1 氣壓	59.0		—
氧	O <sub>2</sub>	-188.	68.0	0.93
氮	O <sub>2</sub>	1 氣壓	61.0	0.821
氫	N <sub>2</sub>	1 氣壓	48.7	0.682
氫	N <sub>2</sub>	-200.	48.87	0.684
氫	H <sub>2</sub>	1 氣壓	114.0	0.115
氫	NH <sub>3</sub>	-33.4	341.0	5.81
化 氫	HBr	-69.9	48.7	3.94
化 氫	CO <sub>2</sub>	-78.0	142.4	6.26
化 氫(固體)	CO <sub>2</sub>	-56.24	81.6	3.79
一 化 氫	CO	1 氣壓	90.5	1.414
四 化 氫	CCl <sub>4</sub>	0	52.0	8.0
四 化 氫	CCl <sub>4</sub>	100.	44.15	6.80
四 化 氫	CCl <sub>4</sub>	200.	32.61	5.08
四 化 氫	CCl <sub>4</sub>	280.	10.43	1.61
亞 酸 硫 酸	SO <sub>2</sub>	-10.0	95.3	6.11
亞 酸 硫 酸	SO <sub>2</sub>	0	91.7	5.88
二 化 硫	CS <sub>2</sub>	0	89.6	6.81
二 化 硫	CS <sub>2</sub>	46.6	105.7	8.07
二 化 硫	H <sub>2</sub> S	-61.37	131.98	4.497
氮 化 亞 氮	N <sub>2</sub> O	-20.0	66.9	2.94
水	H <sub>2</sub> O	0	594.8	10.71
水	H <sub>2</sub> O	25.0	581.9	10.47
水	H <sub>2</sub> O	49.8	566.5	10.20
水	H <sub>2</sub> O	80.0	551.6	9.93
水	H <sub>2</sub> O	100.0	539.1	9.70
水	H <sub>2</sub> O	180.0	482.7	8.69
醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COCH <sub>3</sub>	0	140.5	8.16
醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	-3.7	94.4	6.99
醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	0	92.5	6.85
醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	34.8	84.8	6.28
乙 醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0	220.9	10.17
乙 醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	78.2	216.4	9.97
乙 醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	21.17	100.1	—
二 氯 乙 烷	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	0	85.4	8.45
正 已 烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0	89.2	7.68
甲 醇	CH <sub>3</sub> OH	0	239.2	9.26
甲 醇	CH <sub>3</sub> OH	64.5	267.5	8.57
二 氯 甲 烷	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0	96.9	4.89
二 氯 甲 烷	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	—	75.3	6.40

若在實驗室等處，則混合固體之  $\text{CO}_2$  與醚使成粥狀，可得  $-80^\circ\text{C}$ . 之低溫，又由固體  $\text{CO}_2$  與丙酮，可得近乎  $-110^\circ\text{C}$ . 之低溫，然欲使用上表之物質，作實際之冷卻用時，則其化學性質及價格與其目的，非經考慮不可。又液態空氣等，亦復漸經採用，以達冷凍、冷卻之目的，但以特別用途為限耳。

### 第三節 由熱之直接使用而生成低溫法

1. 吸收式 (absorption process) 此一方法乃將熱能直接應用於冷劑者，冷凍能則以利用媒質之汽化熱為本。此法根據如下所說明之理，亦可稱為吸收式。

至於此法，則須使用二種物質以作媒質。此二種媒質若處低溫狀態，則因雙方溶解、吸收、吸附等現象，而行簡單結合，然其結合物，卻又容易因熱處理而依術分離或分解為二物質者也。

此種因熱處理法而起之結合、分離，卻能彼此交互迭起者，換言之，即前節所述利用汽化熱之方法，略經機械的處理是也。蓋此等結合物，一經直接加熱，則一方即容易化為汽，而此汽則流入方為水所冷卻之冷凝器中，以冷凝熱，傳與冷卻之水。茲所冷凝之液體，若與原液相比，以其富於揮發性氣體之故，恆具較大之汽壓。次又將此濃厚溶液，使與吸收劑發生連結作用，俾再蒸發，則其蒸發所需之汽化熱，必從其四周所圍繞之物，抑即行將冷卻之物，吸收而來，故冷卻作用於焉而生。此際與吸收劑共存之汽，其壓力卻較濃厚溶液之汽壓為小，故液體之汽化速度亦復較大，是即生成低溫之理。

此式所用之機器，計有(a)水蒸氣吸收機與(b)氨吸收機等。

2. 水蒸氣吸收機 使水蒸發，以達冷凍之目的時，溫度愈行降低，則其汽壓亦愈減落，卒至非常之小。

第 8 表

溫 度 °C.	汽 壓 mm./Hg	溫 度 °C.	汽 壓 mm./Hg
30	31.55	8	8.00
28	28.10	5	6.58
25	23.60	0	4.00
20	17.39	-1	4.30
15	12.70	-2	3.96
10	9.17		

故凡欲使液體在低溫度仍能盛行蒸發者，必行減壓，而令吸收劑吸收之也。此際使用硫酸作吸收劑者，一名真空機 (vacuum machine)。

於減壓之下，使水蒸發，並用硫酸，藉以吸收其汽，若是之冷凍法，不自今始，大約於十七世紀之初，即經發明者也。

先用空氣唧筒，除去容器內部之空氣，再將此真空之容器與另一硫酸容器連結，則水蒸氣即能自由飛出。硫酸乃極易吸水之物，故水之汽化速度，較之處常壓下之汽化速度增進頗著。此際方在盛行汽化之汽，則自剩餘之水，吸收多量之汽化熱，及至一定時間之後，剩餘部分之水卒至凍結成冰。

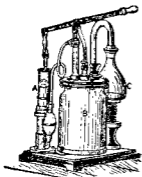
蓋此方法，乃以吸收法為主。何則，其作用之要點，端在藉硫酸吸收水蒸氣，至若為生減壓所用之唧筒，則屬於補助性質，非機構之主要部分故也。然實際上欲使水蒸氣自由與酸接觸，首先必須將內部之空氣及其後漏入之空氣除去，是以唧筒遂成必要之物。依尋常之推想，以為空氣既經一次排除之後，縱令唧筒停止抽動，似亦無妨，殊不知實際水中所曾溶解之空氣，連續的與水蒸氣同時逸出，故有繼續抽動唧筒之必要。設若接連施行此一方法，則吸收水蒸氣之硫酸變成稀薄，非取出濃縮之不可。

若是之機械，乃一八七八年，由尹德霍遜(Windhausen)所創造，曾經“Aylesbury Dairy Company”以較大規模使用，專為製冰而設。以言其製冰程序，首先蒸發製冰水之一部分，藉其汽化熱以促水之溫度降落，既行汽化之汽則令硫酸吸收，硫酸如變稀薄，則移入鄰接之濃縮器，加熱以行濃縮，再作吸收劑，使起作用。對此機械有宜注意者，即既經加熱濃縮之熱硫酸返回吸收器之途中，必使用換熱機也。此種機械具有一晝夜製冰十二噸之能力云。此機所用之製冰罐(butt)所具氣密性，適足以抗耐減壓唧筒之作用。若藉此種機械，則水既入罐而又達到罐底時，業經半凍。此則緣於恆由自身內部吸取蒸發熱之故，因而結冰時間極短，此誠製冰方面大堪注目之一端也。何則，凍結時間若長，則自外界浸入之熱必隨之而多故也。此點即此式之最大特長，故此機械較諸漏熱頗多之別種小型製冰機，誠便利多矣。熱之漏量，恆與時間成比例。故凍結時間之短促，乃能率上之重要事項。本機有小型者，以供家庭製冰之用，誠屬可貴。

由此製冰機所得之冰，因結冰較速之故，內部所含空氣之氣泡尚未盡行逸出，因而與結冰需時較久之別種製冰機所製透明冰相比，其色較白，而易變成海棉狀。

此外尚有使用手搖空氣唧筒，藉手搖之柄攪拌硫酸，俾硫酸時時現出新接觸面者，因其型小而簡便，亦宜供作家庭製冰之用。

第1圖乃小型之硫酸吸收機，A為空氣唧筒，C為生冰之壺。於此表面着手工作，只須經歷數分鐘，即有冰析出。B為硫



第 1 圖

酸之容器，此則時須更換，既變稀薄之硫酸即行加熱、濃縮，可使用至無數次也。

此機械之能率，易言之，為製冰故由水取去之熱量  $Q_2$  與濃縮稀硫酸所需熱量  $Q_1$  之比  $\frac{Q_2}{Q_1}$  卻小於 1，蓋  $Q_2$  大抵為水之蒸發熱， $Q_1$  則使同量之水自稀硫酸蒸發時所需之熱量也。因而使液體自其溶液蒸發時，所需之熱量，比其自純粹液體蒸發時所需之熱量更大。例如上述之情形，當硫酸吸收水蒸氣之際，頗有發熱現象隨之而起。故若使之分離時，則多餘需要與其熱量相當之熱。依人體之計算，則所用煤炭之發熱量約  $\frac{1}{6}$ ，即成冰矣。此與僅具普通效率之別種製冰機相較，猶為有效。

又有用水不用吸收劑，直行減壓，以促水之蒸發，而達冷凍之目的者。當此之時，務使空氣勿自外部滲入而後可。此種方法，迄今向未十分引人注目，但至最近，卻已盛行，凡公寓、醫院、劇場、大商店，及其他之特殊工廠，例如電影片工廠、人造絲工廠、製果工廠、食料品工廠等處，特別需要清潔空氣，而又必須調溫度及濕度者，皆用此法。

此時則應用離心力之高度真空唧筒，最為適宜，縱屬小型，亦復可得相當效果，故較之下述氨吸收機所佔地位面積為小，可裝設於較小之場所。

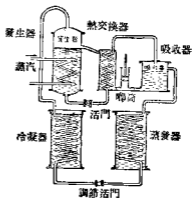
**3. 氨吸收機** 本機乃使用濃厚之氨水，而視水為吸收劑也。氨水之汽壓雖於常溫亦復頗大，故無如前節之硫酸法使用減壓之必要，反而通全循環皆在一氣壓以上。

本機為一八六〇年時卡列(F. Carré)氏所發明，由二容器而成，最初於 A 盛入濃氨水，B 則中空，但於其周圍以冷水冷卻之；首先若加熱於 A 之濃氨水，則由是所生內含約 90% 氨之氨汽，即趨集於 B 室，於是液化。其時即以凝縮熱傳入冷卻水中。最初之 A 器卻漸次變為稀薄，故至是暫停加熱，反以冷水冷卻之，於是 A 方之汽壓較 B 方為小，故 B



之氨即行蒸發，而被吸收於 A 器中。其時氨乃由 B 室周圍之水吸取蒸發熱，因而水被冷卻，卒至結冰而後已。蓋 B 室周圍之水在第一段則充冷凝器 (condenser)，在第二段則用作蒸發器 (evaporator) 者也。假使輪流行之，則併用 A, B 為冷凝器與蒸發器，亦無不可。

第 2 圖乃此種連續機械之略圖。氨發生器中之濃氨液首被蒸汽盤管加熱，既而富於氨之較輕之汽則流入冷凝器，至是即為冷水所冷卻凝縮。次復經由調節活門，入蒸發器再行蒸發，流入吸收器，即被吸收。此際即於蒸發機內，冷卻圍繞之鹹水，以達冷凍之目的。



第 2 圖

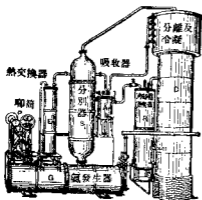
熱交換器 (換熱器) 之作用，乃預先能使來自發生器下層而  $\text{NH}_3$  較為稀薄之熱溶液所具之熱冷卻，

再送入吸收器，以防吸收器中之溫度，因吸收熱之故，偶行不當之上昇者也。

第 3 圖乃實際所用機械之外觀。

氨吸收機之吸收劑，亦有採用硝酸銨或硫氰化銨等物以代水者。此等物質如吸收氨氣，即成液體，而此際之吸收熱則為負 (-)。

如以上之吸收法，現今除特



第 3 圖

別用途而外，已有漸行廢棄之趨勢。良以如後所述之蒸汽壓縮法，較為便利之故。另一方面則藉矽氧凝膠(silicagel)及阿多索爾吸附劑(Adosor)等物之空氣冷房裝置，反而為用日盛。以下特就此等裝置略為紀述。

4. 矽氧凝膠吸附法(silicagel adsorption system) 現今常為吸附冷凍法所用之物中，有所謂矽氧凝膠者，乃形似硬玻璃之物質，顯有透明海砂(石英砂)之外觀，而又屬於極端多孔質(多表面性)，其孔極小，雖藉顯微鏡亦難一窺即能判別。而其全容積之41%，卻經發見為空隙云。

因其有此空隙，故能吸收比較的多量之水蒸氣。事實上若放置矽氧凝膠於飽和之水蒸氣中，則所吸收之水蒸氣竟與該物原有重量之25%相等。又如將此物加熱，則又因而變成本來之活性凝膠體，唯其如此，故此現象業經視為單屬物理上之吸附作用。

茲略示冷凍法應用此物之原理，如第4圖。

此裝置可分為三主要部分，即吸附器(此中盛有矽氧凝膠)、蒸發器及冷凝器是也。

此吸附式與後述之壓榨式相似。冷劑藉矽氧凝膠以行吸着，則與壓縮機內之吸引機(suction stroke)相當。矽氧凝膠之活性化則與放弛機(discharge stroke)相類。據第4圖，則吸附器中之活性矽氧凝膠吸收蒸發器所生冷劑之汽，因而降低蒸發器之溫度。冷劑之汽微有自冷卻器逸出者，則為F與A所阻。矽氧凝膠之吸附能力既變弱時，則用適當之加熱器加熱即可。如是，因加熱之故，冷劑之汽則由C通過，而於減壓之下，流至冷凝器，即行液化，再由活門通過，進而流入蒸發器。及至凝膠體之活性化告終，撤去熱源，即自動的隨冷卻而起冷凍作用。

當實際操作時，此加熱時間若與吸附時間相比，則可極短，又如分



第4圖

隔吸附器爲二段，輪流加熱，則冷凍操作可連續行之。至於此種冷凍劑，通常概用亞硫酸氣(二氧化硫)。第5圖乃示應用此種方法於鐵道之冷藏貨車者也。



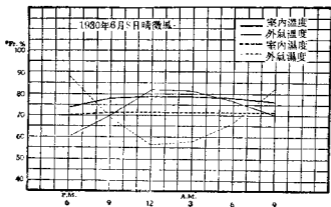
第 5 圖

5. 阿多索爾吸附劑 (Adosor) 日本理化研究所所發明之阿多索爾 (Adosor)，亦可用於同樣之冷房設備。然此物不特調節室溫，兼能調節濕度。

阿多索爾主由矽酸、氧化鋁及微量之有機物而成，即此等膠體狀物質既經固結之物也。實施此法時，首先以地下水(14~16°C.)將外氣及循環氣洗滌冷卻，使其溫度降落，並以一部分既經洗滌之空氣通入阿多索爾塔，使充分吸盡空氣中所含水分，以作乾燥空氣，然後仍與前之空氣混合，藉以調節溫度與濕度。洗滌之空氣中通過阿多索爾塔之風量比率，自須以室內所需關係濕度之高度為準，務使隨室內溫度上昇之度而自由變化。

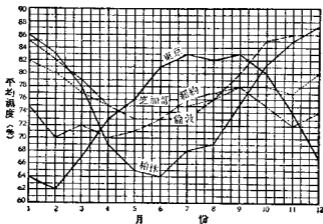
工廠中實際應用此種器具所得之結果，有如第6圖所示。由本圖觀之，溫度固無論已，即濕度亦復始終直線的保持72%焉。工廠室內空氣之濕度及溫度，皆有極大之影響及於工人之作業能率者也。

縱令溫度上昇，只須相等之濕度不大，則人體感度(即快感度)毫無變化，何則，輻射傳導及對流，雖足以減少由人體發散之熱量，然水分汗液等之蒸發，卻又增加發散之熱量，兩者適相抵消，故於人體毫無影



第 6 圖

響，此理固甚顯明，然亦吾人所當了解者也。所謂等感溫度 (effective temperature)，乃足令吾人處於相異之溫度及濕度，而感覺依然相等之溫度，假設  $90^{\circ}\text{F}$ . 50% 濕度之室內，與  $85^{\circ}\text{F}$ . 75% 濕度之室內，皆與吾人以相等之感覺，是則與居處濕度飽和  $81.5^{\circ}\text{F}$ . 室內同樣之感覺也。普通稱此  $81.5^{\circ}\text{F}$ . 為等感溫度。



第 7 圖

如第 7 圖中所見日本東京夏季之濕度，則與他國全相反對，故覺悶熱，故該地所有工廠、醫院、劇場等處，尤覺有設冷房調濕裝置之必要。

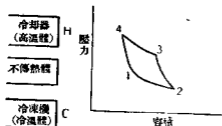
#### 第四節 藉機械之工作之冷凍法

1. 熱唧筒之理論 以上所述之冷凍法，漸有改為藉機械之工作之冷凍法者。故本項所述，謂為賅括各種冷凍工業及其他冷藏器所用冷凍機之泰半，亦非過言。

冷凍機者，熱唧筒(heat pump)也。視為自冷處運熱至高溫處之機械，可以思過半矣。如熱力學之第二定律所示，此種自冷處運熱至高溫體之移動，若由熱本身之力，固不可得，今則藉機械的工作，竟能促令行此移動矣。

蒸汽機或油機，若使逆行運轉，即可用作冷凍機，即熱唧筒矣。就熱空氣機之情形而論，依示功圖(indicator diagram)，於氣筒之上所得面積雖係表示熱已變為功(work)之大小，若以冷凍機之情形言，因係逆行運轉之故，卻表示所加之功已變為熱之大小。茲述之如次：

(a) 卡爾諾式循環(Carnot's cycle) 茲為說明機器之逆運轉計，



第 8 圖

姑以卡爾諾式循環為例，即如第 8 圖所示，用空氣作完全氣體之媒質者也。蓋此逆循環乃按 1→2→3→4 四數字所代表之順序進行。

若係熱機，則卡爾諾之循環依 1→4→3→2 之順序以行，其面積則表示所得功之量。故循環按 1→2→3→4 之順序進行時，則其示功圖之面積顯有負值，以 1→2 所表之行程乃恆溫之膨脹，

故無溫度之變化即行膨脹，即空氣與冷體  $C$  接觸，並由冷體吸收  $Q_2$  之熱量也。

$$Q_2 = wRT_2 \log_e \gamma (2.3 \times \log \text{ base } 10 = \log \text{ base } e)$$

此中  $w$  乃氣體之重量， $T_2$  乃行  $1 \rightarrow 2$  之膨脹時冷體之絕對溫度， $T_3$  則表示  $3 \rightarrow 4$  之行程上、恆溫壓縮下、高溫體之溫度， $\gamma$  則表示  $\frac{V_2}{V_1}$  之膨脹比， $R$  則視媒質氣體之種類以定一定數值之常數也。

若在  $3 \rightarrow 4$  之壓縮下，則空氣傳  $Q_1$  之熱於溫度高之物質  $H$ 。此  $Q_1$  則等於  $wRT_3 \log_e \gamma$ 。

至於  $2 \rightarrow 3$  及  $4 \rightarrow 1$  之絕熱變化，則無熱之移動。於是苟令此循環連續進行時，冷體  $C$  之熱則常被抽除，是以得較其周圍之物保持更低溫度。

於低溫度  $T_2$  由冷體  $C$  為空氣所奪之熱量  $Q_2$ ，乃  $wRT_2 \log_e \gamma$ ，於高溫度  $T_3$  空氣傳與高溫體  $H$  之熱量，則為  $wRT_3 \log_e \gamma$ ，也。故所費之功量，為  $(Q_1 - Q_2) = wRT_3 \log_e \gamma - wRT_2 \log_e \gamma$ 。

至於實際上所用應用空氣之冷凍機，其冷體  $C$  恆由管圈 (coil) 而成，常有鹹水循環於其中。而既經冷卻之空氣，則循管圈之外方以流行，藉以冷卻鹹水，其次則既經冷卻之鹹水保持  $0^\circ\text{C}$  以下之溫度，從製冰用之水奪熱。

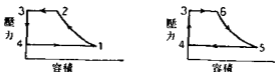
此處雖稱  $H$  為高溫體，此乃對於冷體  $C$  之比較之言詞，實則  $H$  為壓縮機之冷卻器 (cooler)，故使冷水循環，務令常保冷溫度。此循環水，乃於此系吸收由空氣所傳與  $H$  之熱。至於此逆旋轉卡爾諾循環，則效率一語乃誤會其意義之稱法。蓋冷凍機之目的，端在費「能」(energy) 以奪熱，故欲更合理的述此關係時，可以所費功量與所抽出熱量之比表明之。根據熱力學，可表明如次：

$$\frac{\text{被奪之熱量 } (Q_2)}{\text{所費之功量 } (Q_1 - Q_2)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \dots\dots\dots (a)$$

(b) 恆溫壓縮及恆溫膨脹 壓縮所用氣筒內所費之功量，依示功圖法，最能解釋，前已言之。試思若在熱之極良導體所成之氣筒內，極其緩慢以行空氣之壓縮情形，又當如何，則因加壓而發生之熱直向外部逸去，因而溫度毫不因壓縮而上升，自始常保恆溫。故稱此壓縮為恆溫壓縮。

今又假定此既經壓縮之空氣，流入如前所述由熱之極良導體所成膨脹氣筒中，而使徐徐為膨脹，則空氣自身之溫度，卻不因膨脹而行降落，是即恆溫膨脹也。

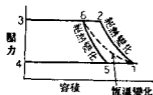
故若合併壓縮與膨脹二事，試行推想，假定於其全行程不遇機械之阻礙者，於是必無何等動力之損失可言矣。此種情形之兩示功圖，其大小相等，只其行程正相反對耳(參閱第9圖)。



第 9 圖

(c) 絕熱壓縮及絕熱膨脹 絕熱壓縮及絕熱膨脹，就大體言，乃於無冷卻作用之氣筒內，極急激以行壓縮或膨脹時，所起之現象。

當壓縮空氣時，苟無冷卻作用，但行壓縮，則壓縮空氣之溫度上升，至於膨脹時則溫度降落。



第 10 圖

第 10 圖之 1→2→3，乃理論上之絕熱壓縮，又其 3→6→5→4，則理論上之絕熱膨脹也。壓縮時之 1→2 及膨脹時之 6→5，均為絕熱線。至於壓縮機與膨

脹機之中間，壓縮空氣之冷卻作用結果，3→6 線則較 3→2 線為短。

試疊合壓縮機與膨脹機之略圖，並於 6 與 1 二點之間，畫一假想的恆溫線，若係絕熱壓縮，則如第 10 圖中所見，勢必損失與 6→2→1 面積相當之動力(功)。又於絕熱膨脹時亦然，顧其損失，如面積 5→1→6 之所示，則更大也。

(d) 壓縮所需之功 假設壓縮機內無餘隙 (clearance) (氣筒之底與活塞桿 (piston) 之頭，於衝程 (stroke) 之迴轉 (turn) 處，相接近時之間隙)，而又恆溫的執行其工作，則壓力與容積之略圖如第 9 圖之所示。然其壓縮所需之功量，如以  $W$  表之，則又可得次式：

$$W = P_1 V_1 - P_2 V_2 \log_e \frac{V_1}{V_2} = P_2 V_2$$

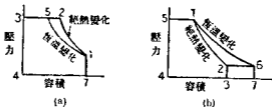
此式中  $P_1$  及  $P_2$  乃對於 1 cm.<sup>3</sup> 所呈最初及最後之壓力，以 kg. 表出者，又  $V_1$  及  $V_2$  則最初及最後之容積以 cm.<sup>3</sup> 表出者也。又

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

故 
$$W = -P_1 V_1 \log_e \frac{V_1}{V_2} = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1}$$

就實際之情形而論，則真正之恆溫壓縮卻不能行。試以略圖 (diagram) 畫出恆溫與絕熱之壓縮及膨脹，則如第 11 圖。

於第 11 圖，壓縮 (a) 時曲線 1—2—5 之面積，乃壓縮之際，因發熱所受功之損失，又膨脹 (b) 時之 1—6—7—3—2，則於膨脹之際，因溫



第 11 圖



度降落所受功之損失也。然恆溫壓縮膨脹之情形，如前節所述，二者全然相等。

故就實際之情形而論，為竭力預防壓縮機之溫度上升計，恆施冷卻器。依此氣筒之冷卻作用，其圖式乃有變化。

恆溫變化之情形…………… $PV = \text{常數}$

絕熱變化之情形…………… $PV^{1.4} = \text{常數}$

此常數顯由變化而來也。

至於完全絕熱狀況之下，則空氣之指數因為 1.4，實則壓縮氣筒常為水之外套(jacket)所冷卻。因而壓縮時之熱，有一部分卻從水中逸去，故較 1.4 為小。且實際因其條件不同，並非一律，大致約在 1.2 至 1.3 之間。

若從壓縮曲線  $PV^n = \text{常數}$

之法則時，第 9 圖內壓縮之功  $W$  則如次式：

$$W = P_1 V_1 - \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n-1} - P_2 V_2$$

$$= \frac{n}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) = \frac{n}{n-1} \times wR(T_1 - T_2)$$

此中  $W$  乃氣體或蒸氣之重量，以 kg. 表出者，試修正上式內因摩擦而起之損失，則如次式：

$$W = \frac{n}{n-1} wR(T_1 - T_2) \frac{1}{1-f}$$

此中  $f$  乃因摩擦而起之損失。

又熱力學的關係如次：

$$R = \frac{K-1}{K} C_v \quad \left( \text{此中 } K = \frac{C_p}{C_v} \right)$$

如換置之，

$$W = \left( \frac{K-1}{K} \right) \left( \frac{n}{n-1} \right) v C_v (T_2 - T_1) \left( \frac{1}{1-f} \right)$$

(e) 膨脹機內所得功之量 此功之量，若對於膨脹線之  $n$  值，與夫摩擦損失之修正項，既經明悉時，則可直由前節之式求出如次：

$$W = \left( \frac{K-1}{K} \right) \left( \frac{1}{n-1} \right) v C_p (T_6 - T_5) (1-f)$$

於是設以對於膨脹線之  $n$  值作 1.4，又  $K$  之值亦作 1.4 時，則如次式：

$$\left( \frac{K-1}{K} \right) \left( \frac{n}{n-1} \right) = 1$$

故此時因膨脹所得之功量如次：

$$W = v C_p (T_6 - T_5) (1-f)$$

(f) 實際所可消費之純功 (net work) 純功即可由原動機供給之能量 (energy)，乃空氣壓縮所需功量與因膨脹所得功量之差：

$$\text{純功} = v C_v \left[ \left( \frac{K-1}{K} \right) \left( \frac{n}{n-1} \right) \left( \frac{1}{1-f} \right) (T_2 - T_1) - (1-f) (T_6 - T_5) \right]$$

壓縮及膨脹線卻非恆溫的，故  $n$  之值大於 1 也。又測定因壓力變化而起之溫度變化一事，往往有此必要。蓋於絕熱變化時，溫度變化與壓力變化之關係，若基於熱力學之理論，可得次式：

$$\left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}}$$

茲舉一例以明之，今以二壓力為  $P_1, P_2$ ，如  $P_1$  時之溫度  $T_1$  為既知數，則欲算出  $T_2$ ，可計算如次：

(姑以  $K$  作 1.4)

於  $0^\circ\text{C}$ 。使 100 氣壓之空氣行絕熱膨脹，至 1 氣壓為止，即

$P_1$	100	$T_1$	$0^\circ\text{C} = 273^\circ(\text{T})$
$P_2$	1	$K$	1.4

$$\left(\frac{273}{T_2}\right)^{1.4} = \left(\frac{100}{1}\right)^{1.4-1}$$

$$\therefore T_2 = 73.2^\circ\text{C}. \quad 273 - 73.2 = 199.8 \quad -199.8^\circ\text{C}.$$

又如以  $0^\circ\text{C}$ . 之空氣 100 c.c. 絕熱的壓縮成 80 c.c., 則溫度上升, 至  $25.5^\circ\text{C}$ . 為止。

$$\frac{273}{T_2} = \left(\frac{80}{100}\right)^{1.4-1}$$

$$\therefore T_2 = 298.5 = 273 + 25.2$$

(g) 理想的完全冷凍機 於是所謂具備冷凍機理論上最大能率之機械, 究屬如何之物一事, 漸成根本問題。至於現今實際使用中之種種冷凍機, 應如何改良, 使其近乎理想之問題, 姑置勿論, 茲先就理想的完全冷凍機述之。

理想的完全冷凍機云者, 基於熱力學之原理, 而其效率最大者也。此效率乃計算上所能求得者, 至於實際之機械卻不可得。易言之, 實際之冷凍機皆不完全之冷凍機耳。故理想的完全的冷凍機, 直一標準器, 足以較量各種實際冷凍機所具熱力學上之能率者也。

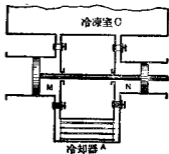
至若(a)式所示之理想的循環, 則其能率單只與其所作用之二溫度間發生關係。且  $(T_1 - T_2)$  二溫度之差愈大, 則理想的冷凍機之能率即愈小。故實際上最重要之事業, 厥為消費可許之最少動力(功), 務使冷凍能率依然有效, 因而竭力縮小溫度之差耳。易言以明之, 苟欲使用冷凍機, 自某溫度之物體, 除去其熱時, 在可能範圍內, 務使對於溫度相差極近之另一高溫度物體, 放出其熱。果能如此實行, 則所與一定量之功量, 必能獲得最大值之冷卻效果。

至於實際之冷凍機, 除使用空氣以作媒質 (working substance) 而外, 尚有使用氮、碳酸氣、亞硫酸氣及其他如後所述之種種媒質者。此則於循環之操作中, 時而液化, 時而汽化者也。前節所述使用水或氨水

之吸收法於循環操作中，固亦循由液化、汽化之程序，然此等氣體液化時，卻毫未使用動力以助壓縮。

至若此處所用之氮、碳酸等之汽壓，則於常溫亦達常壓之數倍，故其液化卻非藉壓縮機之力不可。實際現今之冷凍機，大部分已有改用此等媒質之趨向，故極重要。雖然，所謂空氣機 (air machine) 之冷凍機，即使用空氣以作媒質者，今猶存在，且從機械的冷凍機之發達史上觀之，決非可忽視之物，故先就空氣機述之如次：

2. 空氣式冷凍機 應用空氣機 (air machine) 之冷凍法，可分為二式：一則如第 12 圖，為開放循環式 (open-cycle system)；一則如後所述，為高壓密閉式 (dense closed air system)。



第 12 圖

(a) 開放循環式 C 為將行冷卻之室內，例如欲使此室之溫度恆在  $8^{\circ}\text{C}$ . 左右。

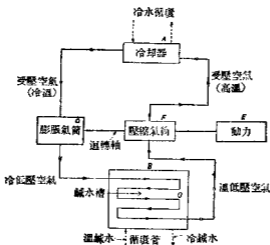
始則空氣送入 M 之壓縮氣筒，經過壓縮，由一氣壓至四氣壓，仍被移至 A 處，至是即為冷水所冷卻。觀第 12 圖，似乎空氣乃由管中通過，實際乃由管之外方通過，常有冷水經由其中所有無數管中，川流不息者也。

既經壓縮之空氣溫度，大致必增高至相當之度數者，至若使用此種機械時，雖增至  $130^{\circ}\text{C}$ .，亦不為奇，此高溫之空氣移至 A 內即被冷卻至  $15^{\circ}\text{C}$ . 左右，此既經冷卻之高壓空氣行至膨脹氣筒，於是在活塞衝程之途中，入口即為所閉，旋於其中膨脹至常壓為止，因而空氣自身即成低溫，此冷空氣遂入 C 室。此冷氣之溫度常低至  $-62$  至  $-73^{\circ}\text{C}$ .，又有時

為  $-85^{\circ}\text{C}$ . 者。

此開放循環式之缺點，即有水分進入壓縮氣筒中，既而轉入膨脹氣筒中，即行結冰。次之高壓密閉式，則已除去此項缺點之冷凍機也。

(b) 高壓密閉式 此冷凍機使用預先除去水分之空氣，以作媒質。其概略如第 13 圖所示。



第 13 圖

圖中機器  $B$ ，乃推動壓縮氣筒  $F$  之動力。空氣既經壓縮氣筒  $F$  壓縮，因而變成高溫度之高壓空氣，流至冷卻器  $A$ ，於是為冷水所冷卻，此冷而高壓之空氣仍向前進，流入膨脹氣筒  $G$ 。此膨脹氣筒則機械的，藉一旋轉軸，以與壓縮氣筒及機器  $B$  連結。空氣於膨脹氣筒中行絕熱膨脹，因而變為溫度較前更低之低壓空氣，乃先到  $B$  槽，由冷卻曲管中之鹹水奪熱，以行所期之冷卻作用，然後流歸壓縮氣筒  $F$ ，至是空氣循環 (air cycle) 已畢。

以上所述空氣機 (air machine) 之效率 (coefficient of performance)

爲  $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ ，實則僅比  $\frac{1}{2}$  稍大。良以此機與理想的完全冷凍機之情形相較，其溫度之差過大也。即如前述開放循環式之例，欲保室內溫度爲  $8^{\circ}\text{C}$ . 時(冷卻水爲  $15^{\circ}\text{C}$ .)，於其壓縮機內溫度竟達  $130^{\circ}\text{C}$ . 之高，至於膨脹氣筒內之溫度卻又低至  $-62^{\circ}\text{C}$ .，然此空氣循環竟運行於有如斯大差之二溫度間，宜其效率不及理想的完全冷凍機之大也。

不寧唯是，空氣機必備壓縮氣筒與膨脹氣筒二個，至於以下所述之氮壓縮機、碳酸氣壓縮機等，則只須壓縮氣筒一個已足，故論其價格，前者約昂於後者二倍。且高壓方面之可動部分(moving parts)，一機之內備有二處，實際上亦屬有損無益之事，然此空氣機械卻不無若干優點。何則，用作冷凍劑之空氣，既無價格可言，又於衛生無害，且其性質亦非化學上活性過甚之物故也。

3. 蒸氣壓縮法(vapour compression process) 以上所述種種冷凍法之用途，恆爲種種關係所限制，皆屬不甚合乎經濟之物，但於冷凍法之發達史上，自科學方面言之，卻又應予特別注意也。然茲所欲紀述之蒸氣壓縮法，則竟有其能率在熱力學上近乎完全者。故現今所行冷凍事業之大部分，悉依此式，是亦不足異也。

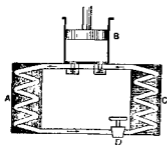
(a) 蒸氣壓縮法所用媒質之種類 任何液體，凡能時而液化時而汽化者，皆得用之以作蒸氣(汽)壓縮法之媒質。

此種媒質，可列舉如次：

- |                     |   |                    |                                   |
|---------------------|---|--------------------|-----------------------------------|
| 1. 碳酸氣              | $\text{CO}_2$                                 | 2. 亞硫酸氣            | $\text{SO}_2$                     |
| 3. 四氯化碳             | $\text{CCl}_4$                                | 4. 氮化亞氮            | $\text{N}_2\text{O}$              |
| 5. 二氯二氟甲烷           | $\text{CCl}_2\text{F}_2$ (一名 "F-12" 或 "K-12") |                    |                                   |
| 6. 二氯甲烷             | $\text{CH}_2\text{Cl}_2$                      | 7. 氨               | $\text{NH}_3$                     |
| 8. 丁烷               | $\text{C}_4\text{H}_{10}$                     | 9. 二硫化碳            | $\text{CS}_2$                     |
| 10. 異丁烷             | $\text{C}_4\text{H}_{10}$                     | 11. 氯甲烷            | $\text{CH}_3\text{Cl}$            |
| 12. 氯乙烷             | $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$               | 13. 丙烷             | $\text{C}_3\text{H}_8$            |
| 14. 乙烷              | $\text{C}_2\text{H}_6$                        | 15. 氯仿             | $\text{CHCl}_3$                   |
| 16. 醚               | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$   | 17. 二氯化乙烯(dieline) | $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$ |
| 18. 三氯化乙烯(trieline) | $\text{C}_2\text{HCl}_3$                      | 19. 水              | $(\text{H}_2\text{O})$            |

此等液體中，實際得使用於壓縮冷凍機之媒質，必考慮如次之條件：即(1)熱力學的條件，(2)實用上之諸種系數等等，始能決定者也。請就此等條件，說明如次：

(b) 媒質之熱力學的條件 熱力學的理想媒質可如何得之？吾人若返觀前述之卡爾諾氏循環(Carnot's cycle)，則知其能率非關所用之物質，單只隨其所行二溫度間之差以為轉移也。然實際之情形，決難比及理想的完全機械。即如卡爾諾氏循環所行之絕熱膨脹，若在實際之蒸氣壓縮冷凍機，卻不能行，而係使用調節器或節氣活門(throttle valve)



第 14 圖

以代其作用，俾既經液化之液體得由該處流出，以入膨脹氣筒內者。故其構造亦異，有如第 14 圖之所示也。圖中  $C$  為冷卻器，既經蒸發於  $C$  器之汽乃入壓縮氣筒  $B$ ，於是即被壓縮而入冷

凝器  $A$ ，至是遂行液化。此時於自  $A$  往  $C$  之途中，則有調節節氣活門  $D$  以代膨脹氣筒。通過  $D$  之液體有一部分汽化，而入  $C$  時，因為液體與汽之混合物，但液體仍佔一大部分。入  $C$  後復行汽化，而此際即自周圍之物（鹹水）吸收蒸發熱，以達冷凍之目的。故不能如空氣機收回膨脹氣筒中所發生之功量。

出自此壓縮機之溫度較高液體，卻須流入溫度較低之蒸發器，故以其溫度之差，乘其液體之比熱，所得熱量，即液體所吸收者也。至於蒸發器中，則其液體因行氣化而採蒸發熱。故因不具膨脹氣筒所受之損失，全視媒質比熱與蒸發熱之比率，以為轉移。

今以  $r$  代蒸發熱，以  $q_1$  及  $q_2$  代冷凝器內之溫度  $T_1$  及蒸發器或冷凍室之溫度  $T_2$  時液體所保持之熱量，則自  $r$  減去  $q_1 - q_2$  後之量〔即

$r - (q_1 - q_2)$  即為實際所得之冷凍效果，而  $(q_1 - q_2)$  即  $(T_1 - T_2) \times$  液體之比熱之積也。

例如假定  $T_1$  為  $15^\circ\text{C}$ ，而  $T_2$  為  $0^\circ\text{C}$ ，則就種種物質(煤質)，可得如次之結果：

第 9 表

	對於 1 克之蒸 發熱, $r$	$q_1 - q_2$	$r - (q_1 - q_2)$	損失之比率 $\frac{q_1 - q_2}{r}$ (%)
水	537	15	522.0	2.79
氨	327	13.5	313.5	4.13
碳酸氣( $\text{CO}_2$ )	142	8.1	133.9	5.70
亞硫酸氣( $\text{SO}_2$ )	96.7	4.8	90.9	5.02

此等煤質之比熱(比熱則隨溫度而略有變動者)大致如次：

水	1.00
$\text{FO}_2$	0.22
$\text{NH}_3$	0.90
$\text{CO}_2$	0.54

又如溫度之差大，例如  $T_1 = 20^\circ\text{C}$ ， $T_2 = -10^\circ\text{C}$ ，而依同前方法計算，則  $\frac{q_1 - q_2}{r}$  之損失如次：

$\text{NH}_3$	8.26%	由是得知水為熱力學上最
$\text{SO}_2$	10.03%	優良之冷凍劑，其次為氨。
$\text{CO}_2$	11.41%	至若碳酸氣，則損失較大
水	5.59%	也。

(c) 煤質在實用上之諸種條件 於前節所得結論，雖曰冷凍劑中以水最為有效，顯水之汽壓，如前所述，卻又極小，已覺美中不足。殊不知水尚有一缺點，即水於  $0^\circ\text{C}$  必凍結是也。為防此缺陷，固經想及改用鹹水等以代純水之方法；然此等溶液，若於等溫度，則汽壓較純水更小。且溶液變為黏稠，活塞桿之阻礙益大，因而機械之容積增大，發生機械



上不利之點。

就上述之缺點而論，水亦殆成問題，不足採用矣。不寧唯是，再從經濟方面觀之，水 1 仟克既成  $0^{\circ}\text{C}$ . 之水蒸汽時，所佔之容積為  $214.9\text{m}^3$ ，而其汽化之潛熱為  $537 \times 1,000\text{cal}$ 。故於使用  $0^{\circ}\text{C}$ . 水蒸汽之冷凍機，對於  $1,000\text{cal}$ . 之冷卻能，而氣筒非滑走至  $0.4\text{m}^3$  以上不可也。

然  $0^{\circ}\text{C}$ . 之氨汽，則每 1 仟克佔  $0.302\text{m}^3$ ，而其汽化潛熱則  $327 \times 1,000\text{cal}$  也。故氣筒之滑走，對於  $1,000\text{cal}$ . 只須在  $\frac{1}{1000}\text{m}^3$  以下足矣。

同樣，若使用亞硫酸氣時，則滑走  $\frac{3}{1000}\text{m}^3$ ，使用碳酸酐時滑走  $\frac{1}{10000}\text{m}^3$  以下足矣。

茲請表示此關係如下：

第 10 表

	汽壓 atms./ $0^{\circ}\text{C}$ .	1000 g. 所佔之容積 ( $\text{m}^3$ )	冷凍效果 1000 單位所需容積比 (大略)
水	4.9 (mm.)	214.900	5000.
$\text{SO}_2$	1.52 (atm.)	0.214	28
$\text{NH}_3$	4.17 (atm.)	0.302	11.5
$\text{CO}_2$	36.13 (atm.)	0.011	1

所當考慮之另一問題，厥為冷凍機內兩處之汽壓力，即高壓方面及低壓方面之壓力也。此只須測定冷凝器內及冷凍機內之溫度，即可推知。

當選擇冷凍機所宜使用之媒質時，有一條件，即須檢查於所規定此二溫度汽壓之大小，是否充足。

一時亦曾使用硫酸醚 ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}_5$ )，此則於  $0^{\circ}\text{C}$ . 不過 182 mm. 之壓力，雖於  $30^{\circ}\text{C}$ . 亦在 1 氣壓以下。要之，此法所得之壓力則較外氣尤為低，故由外部易有空氣侵入，使其效果變為惡劣，且此醚與空氣混合而成之氣體，又有危險。至於實際之冷凍機，則較外壓略高幾許，然又不

可過高，如過高則漏失等問題勢必難於應付。現今所使用之媒質如次：

	一氣壓下之沸點
1. 氮	-33.35°C.
2. 亞硫酸氨	-10.0°C.
3. 氯甲烷	-24.09°C.
4. 氯乙烷	-13.1°C.
5. 碳酸酐(四體)	-78.52°C.
6. 二氯二氟甲烷	-30.0°C.
7. 丁烷	+ 0.6°C.
8. 乙烷	-88.3°C.
9. 丙烷	-44.5°C.

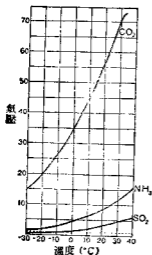
(d) 實際冷凍機運用之適溫度 在實際之冷凍機，其蒸發器內之溫度以約  $-20^{\circ}\text{C}$ . 為最低，而冷凝器內可耐受之最高溫度則為  $29^{\circ}\text{C}$ .，遇此二溫度時冷凍劑所具之壓力，則如次表：

第 11 表

名 稱	在 $-20^{\circ}\text{C}$ . 之 壓力 atm.	在 $29^{\circ}\text{C}$ . 之 壓力 atm.
氮	1.42	11.68
亞硫酸	0.60	4.47
碳酸 $\text{CO}_2$	19.55	70.40
氯甲烷	1.150	6.47
氯乙烷	0.165	1.60
乙 烷	13.53	45.39
二氯二氟甲烷	1.48	7.81
丁 烷	0.983	3.32

冷凍劑既經一度注入後，理論上固屬經久性質，不復有所增損，然實際上卻有從接縫等處漏失者，故非隨時添補之不可。唯其如此，故其價格亦當考慮。

(e) 壓縮機理論上之大小(displacement)算定法 苟欲算定某冷



第 15 圖

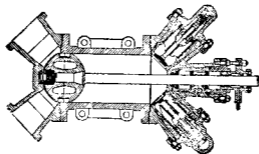
凍機所備壓縮機氣筒理論上之大小時，必先得知每一分鐘循環蒸發器內冷卻曲管中之冷凍劑量（以仟克計），與一仟克冷凍劑處於壓縮機吸引方面溫度時之容積（以立方米  $m^3$  計），然後用其容積以乘其量，即可算出。

例如對於 1 噸之冷凍（即每小時除去 12,000 B. T. U. 之熱），假定 1 分鐘循環之氨量為 0.18 kg.，又於壓縮機吸引口遇溫度  $-15^{\circ}C$ . 時，氨蒸氣 0.45 kg. 之容積，假定為  $0.23 m^3$ ，則理論上之大小如次：

$$0.23 \times 0.18 = 0.0414 m^3/\text{分鐘}$$

是即於所要求之溫度狀況，為求得 1 噸之冷凍計，一分鐘內，自蒸發器內冷卻曲管，進入壓縮機吸引管之氨汽所具理論容積。然實際所設計者，卻較此理論上者稍大。

(f) 壓縮機之種類 冷凍機內所使用之壓縮機，如圖所示，計有



第 16 圖 林德之氨壓縮機

多種，即：

(甲)往返活塞式(reciprocating piston)；

(乙)轉動壓縮式(rotary comp)；

(丙)吉爾(Gear)壓縮式；

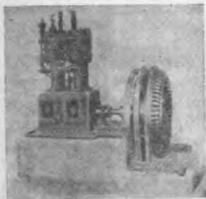
(丁)離心機式(centrifugal)

等是。

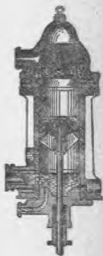
(甲)往返活塞式 此式多被使用為氮或碳酸氣等之壓縮機。第 18



第 17 圖



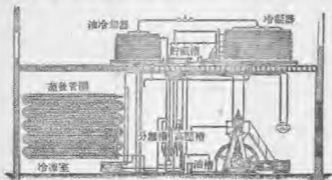
第 18 圖



第 19 圖 氮壓縮機

(De la Vergne System)

圖乃與同步電動機 (synchronous motor) 直相連結之立體式高速度壓縮機, 有使用氨作媒質者, 某冰淇淋 (ice cream) 工廠已採用之。



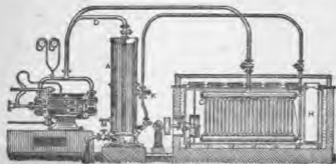
第 20 圖 使用前圖之概況



第 21 圖

(乙)轉動壓縮式 此種轉動壓縮機, 自昔對於 5.4~6 氣壓之蒸氣常使用之。此機構造如第 21 圖所示, 中央有一扁心轉動部, 蓋與普通轉動唧筒 (rotary pump) 相類之物也。

第 22 圖乃皮克特 (Pictet) 之亞硫酸氣壓縮機, 因亞硫酸氣之汽壓較小之故, 此壓縮機



第 22 圖

若與氨或碳酸氣所用之機械相較，則其細微處所多有相異之部分。圖中之 *A* 爲冷凝器，*D* 爲壓縮空氣之通管，*L* 爲冷卻用水之入口，*M* 爲其出口，*K* 爲液狀亞硫酸通路之調節活門，*C* 爲蒸發器（鹹水槽中有多數之管），*G* 爲螺旋唧筒（screw pump），用以促令既經冷卻之鹹水循環至 *H* 冷凍室者，*H* 則冷凍室也。

皮克特所使用之亞硫酸氣，乃混有容積佔 3% 之碳酸氣（ $\text{CO}_2$ ）者。

（丙）吉爾式壓縮機 此機乃二十餘年前由伊斯可（Isko）公司首先設計製成，以便小規模家庭用冷凍機使用者也。其容量能率則大於活瓣式云。

（丁）離心機式壓縮機 此機則與吉爾式或轉動式等異趣，蓋其效果以根據離心力爲主，而其機械效率則在百分之七十至八十之間。

此機之根本設計，固與離心力唧筒相同，但壓縮機方面，其表面速度更大。此機因內部無摩擦面之故，有一特長，即毋庸於壓縮機內部使用摩擦劑是也。又於另一方面，尚有種種優點，如可從冷凍劑之汽量而使用其適度之速度，又如對於一定容量之面積狹小等，乃其優點中之最著大者。



第 23 圖

第 24 圖爲此機代表者之內部狀況。1 爲蒸氣之入口，6 爲既經壓縮之蒸氣出口。首先自 1 之吸引口，吸入可被壓縮之蒸氣，俟其由旋轉軸左近之入口，通入最大之轉動器（rotar）中時，則依轉動而起離心力因而變成較前更屬高壓之蒸氣，自轉動器之表面放出而入 2 中。於是又與前同樣，進入其次之轉動器，既而由 2 而 3 而 4 而 5，依次進行，蒸氣乃隨之而增其高壓之度焉。圖中所示者，乃 5 階段之離心力壓縮機也。



第 24 圖

次表係示轉動器在安全轉動時，各種冷凍劑之最小容量。

冷 凍 劑	冷 凍 劑 之 最 小 容 量 (噸)
碳酸氣	1,000
氮	480
氮 甲 烷	200
亞硫酸氣	12%
丁 烷	100
氯 乙 烷	80
Carrone (二氮甲烷)	35

又據某專門家之研究，使用碳酸氣為冷凍劑時，只須經一段之轉動壓縮者，若用別種冷凍劑，則所需之階段數各不相同，茲一併列表於次：

冷 凍 劑	所 需 轉 動 壓 縮 之 階 段 數
碳 酸 氣	1.0
氯 乙 烷	1.25
亞硫酸氣	1.26
氮 甲 烷	1.80
氮	4.80

### 第三章 冷凍劑之性質

冷凍劑之中，有對某金屬顯具腐蝕性者。例如氨則侵蝕鋅與銅之合金，尤以黃銅、礮銅，絕對不堪使用。又有純粹時毫不對金屬起何作用，然若與油、油狀黏液、或水一類之物混合，作成乳劑時，則漸呈相當之腐蝕性。

冷凍劑在冷凍機中，必重覆蒸發、壓縮、冷凝、吸收等行程至無數次。故就壓縮式而論，則壓縮氣筒中之溫度有相當上昇者。關於如此情形之高溫高壓氣相，則又不得不考慮及於熱解離也。

以下就主要之冷凍劑，分別舉述其性質。

#### 第一節 氨( $\text{NH}_3$ )

氨乃現今所用之冷凍機中最通用之冷凍劑。此物用於小規模之冷凍機，卻不適宜。蓋此物具有惡臭，能刺激黏膜，尤能刺激人眼。人體處於含有 30% 氨之空氣中，經一小時之久，雖不呈何等異狀，然其含量超過 30% 以上時，則人體異狀立現。

氨之普通狀態為氣體，臨界溫度為  $132.9^{\circ}\text{C}$ ，臨界壓力則 112.3 氣壓。既行液化之氨，在 1 氣壓下，溫度零下  $33.35^{\circ}\text{C}$ ，即行沸騰。遇水極易溶解，在常溫時，1 容之水可溶 900 容氨也。

在壓縮式冷凍機，由後述之理由，恆用乾燥之氨 ( $\text{NH}_3$ )。至若液體氨，則有溶解種種有機、無機物質之性質。又凡使用此物之冷凍機，若壓縮氣筒內之溫度昇至  $150^{\circ}\text{C}$  以上，即起熱解離作用，若至  $896^{\circ}\text{C}$ ，則



完全分解為氮與氫。如在空氣中試行點火，即可燃燒而舉盞黃色之焰，又空氣含有此物 13~27% 者，具有爆炸性。縱令絕無空氣（例如在既經熱至過度之壓縮氣筒中時），如有減摩油等之蒸氣流入，因而生出  $\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{N}_2$  一類之混合氣體時，即行爆炸。實際上工廠因此失慎者頗多。故必須留意，勿令氨氣之通路，接觸既經加熱之金屬或火焰等物。氨能侵蝕銅、鋅等金屬，前已言之，然其全然不含水分者，卻又無須顧慮。至若吸收水分而生之  $\text{NH}_4\text{OH}$ ，則有腐蝕性。惟鐵與鋼安全，不患氨之腐蝕，又壓縮機之活塞卻有用銅者，但此處溫度甚高，縱有  $\text{NH}_4\text{OH}$ ，至是亦必解離為  $\text{NH}_3$  與  $\text{H}_2\text{O}$ ，故無妨礙。

檢查有無氨氣漏出之法，或嗅其臭，或用濃鹽酸、硫黃燭 (sulphur candle) 等試之，視其有無白煙發生，即可知之。但硫黃燭不可接近壓縮機，否則有危險也。氨雖與減摩油接觸，苟無水分，大致不易造成乳劑。

## 第二節 亞硫酸氣 ( $\text{SO}_2$ )

亞硫酸氣即二氧化硫氣，極富於刺激性，雖以微量，亦復極易使人感覺，故其漏失以及因此而起之意外災害，皆易預知預防者也。此物之化學性頗安定，尤難行熱解離，且屬不燃性，故亦不虞爆炸，以小規模使用於家庭冷凍機，最為穩妥。若在一氣壓之下，則於零下  $10^\circ\text{C}$ 。即行沸騰。其臨界溫度為  $155.5^\circ\text{C}$ 。臨界壓力為 78 氣壓。純粹之亞硫酸氣原不侵蝕銅、銅合金、鋅、鐵、鋼等，然若含有水分時，因變為亞硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ，遂能侵蝕金屬矣。檢查此物漏失時，可用氨水。

本來  $\text{SO}_2$  自身具有減摩性，但有吸收普通所用減摩油（如石油）之缺點。淡黃色減摩油，則比暗黑色者，少為  $\text{SO}_2$  所吸收也。

$\text{SO}_2$  冷凍機內所用之減摩油，以不含水為第一要諦。

第 12 表

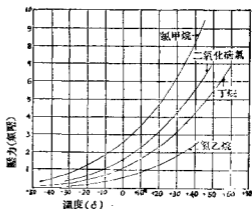
亞硫酸氣 ( $\text{SO}_2$ ) 之性質

熔點	-75.2°C.
沸點	-10.0°C.
臨界溫度	155.5°C.
臨界壓力	78 氣壓
分子熱 $C_p$ (16°C. ~ 84°C.)	0.1514
比 $C_p/C_v$	1.256
液體之比熱 (10°C.)	0.36
汽化熱 (1 氣壓下) kcal./kg.	92.777
液體之比重 (水=1)	
-40°C.	1.5831
-10°C.	1.4601
+10°C.	1.1095
氣體 1 升之重量	2.9267
氣體之比重 (空氣=1)	2.2638

第三節 氯甲烷 ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ )

此物乃無色而有愉快香氣之氣體，使鹽酸氣作用於甲醇所得之物也。以容積計，含有此物 10% 以上之空氣，恆有麻醉性，如吸入此物之汽多量時，即足窒息。故此物入冷凍機時，尤宜注意，非使機械內容乾燥不可。良以常溫常壓之下，1 容之水卻能吸收 3 容之氯甲烷，此水即於膨脹活門處結冰，而有閉塞活門之虞故也。

此物若遇家庭用冷凍機之溫度，則化學性



第 25 圖

可稱安全，故以此項用途為主。其在 1 氣壓下之沸點為  $-23.7^{\circ}\text{C}$ ，臨界溫度為  $142.8^{\circ}\text{C}$ ，臨界壓力為 65.5 氣壓（參看第 25 圖）。

氯甲烷不甚易於燃燒，但於空氣中存在時，遇火星或白熱，即起爆炸。引火點為零下  $23.3^{\circ}\text{C}$ 。其汽及液體能溶解橡膠類，故填料（packing）、活門等，不用橡膠類而用精製石棉或鉛等物，至若銅、銅合金、鐵等，卻不為所侵蝕。

此物漏失時，即有類似氯仿之臭，故易判斷，但其漏失之最少時，若以酒精燈焙，就近試之，即呈綠色而燃。近時恆混合微量極臭之物如丙烯醛（ $\text{CH}_2=\text{CHCHO}$ ）者，以便使用。因此之故，微量之漏失亦立時即可檢出。但丙烯醛為極有毒之氣體。又有另一方法，先浸綿於  $\alpha$ -萘胺與硫酸之混合液，再以所浸之綿貼於漏失處所，約三分鐘即呈紅色。

此物能溶於種種油類，故此物之減摩劑宜用甘油或特別白色礦油。惟甘油屬吸濕性，故對之有預防之必要。含水甘油有於冷凝器或蒸發器內結冰者。又普通之氯甲烷亦含有約 10% 之水分，故非除去不可。此種冷凍機較之氨冷凍機效率微劣。

第 13 表

氯甲烷( $\text{CH}_3\text{Cl}$ )之物理的及熱力學的常數

分子量	50.474
色	蒸氣與液體皆無色透明
臭	有甘藍仿之臭刺激眼與黏膜
熔點	$-97.6^{\circ}\text{C}$
沸點	$-23.7^{\circ}\text{C}$
比重 ( $-23.7^{\circ}\text{C}$ )	1.00
臨界溫度	$142.8^{\circ}\text{C}$
臨界壓力	65.5 氣壓
氣體比重 (空氣 = 1)	1.78
分子熱	$C_p = 0.24, C_v = 0.20$
比 $C_p/C_v$	1.20
$21.1^{\circ}\text{C}$ 1 氣壓下氣體所佔容積 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	0.47
溶解度	於常溫常壓之下 1 容之水可溶 3~4 容之氯甲烷

#### 第四節 氯乙烷( $C_2H_5Cl$ )

此物宜用於家庭或船舶之冷凍機。有縫臭，如空氣中含有 10% 以上，固於人體有害，然比亞硫酸氣為安全。若加以微量之溴甲烷，即成不燃性，而其爆炸之危險亦復可免。於 1 氣壓下之沸點為  $13.1^{\circ}C.$ ，不侵蝕銅、銅合金，及鐵等金屬。

蒸發器(冷凍室)內之氣壓在 760 mm. 以下，故有空氣進入之虞，其他則與氯甲烷之性質相類。臨界溫度為  $182.8^{\circ}C.$ ，臨界壓力為 53.3 氣壓。

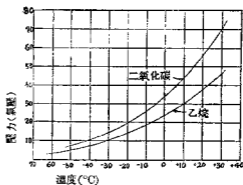
此物比重較亞硫酸氣或氨為小，故用此物之冷凍機有一缺點，即非成大型不可。至其壓縮機之大，則為用亞硫酸氣者之二倍，又為用氨者之七倍。

#### 第五節 碳酸氣( $CO_2$ )

碳酸氣即二氧化碳，乃無毒不燃性之安全氣體，故用於家庭，殊屬穩妥，對油狀黏液及金屬等亦復安全。如減壓至 33.8 氣壓以下，則固化而成雪狀。此物漏失，頗難檢出。比重大於氨，故用此物時之壓縮氣筒，僅有氨機之  $\frac{1}{5}$  足矣。

此物溫度與汽壓之關係曲線，則如第 26 圖。

使用此碳酸氣時，則壓縮機與蒸發器之壓力，約有 55~15 氣壓與 65~



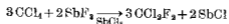
第 26 圖

20 氣壓。

由是得知此冷凍機乃高壓者，故配管接續等項製作，皆非細心為之不可。

### 第六節 二氯二氟甲烷( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ )

此於冷凍劑之中，殆屬合乎理想之物。以言其製法，則取不純之氟化銻，昇華之後，以所得之純粹乾燥氟化銻( $\text{SbF}_3$ )，於微量之五氯化銻存在之下，使與四氯化碳接觸。



所生之  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  既經以 2F 取代 2Cl，故其沸點亦降落  $70^\circ\text{C}$ 。且實際所用之冷凍劑中，缺點之少，未有如此物者。

蓋此物乃不燃性，又無麻醉性，試將此物於空氣中混合 20%，以行動物試驗，雖使動物久處其中，亦無異狀可見。此物於 1 氣壓之下：

沸點	$-30^\circ\text{C}$ .
凝固點(M. P.)	$-165^\circ\text{C}$ .
1 氣壓下之蒸發熱	40 cal./g.

此物遇水時，殆不溶解，且因其特具不燃性之故，縱令於此物內混合 30% 丁烷，仍不燃燒，又熱至  $535^\circ\text{C}$ 。亦不分解，必於氧及水蒸氣之存在下熱之，始漸分解，而生鹽酸、氟化氫、碳酸氣、二氯化碳醯(phosgen)等。

以  $113^\circ\text{C}$ 。於鋁、鑄鐵、鋼等所製器械內使用此物，至五月之久，亦不發生作用，銅、黃銅、鉛等皆不腐蝕，不過表面微變黑色而已。此物放入玻璃管中，加熱至  $565^\circ\text{C}$ 。則略微分解，至  $760^\circ\text{C}$ 。始完全分解。此外使與種種之金屬相接而加熱時，則開始分解之溫度如次：

白鐵	$205^\circ\text{C}$ .	銅	$416^\circ\text{C}$ .
錫	$233^\circ\text{C}$ .	銻	$875^\circ\text{C}$ .
鎳	$326^\circ\text{C}$ .		

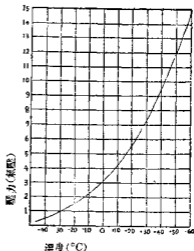
所宜特別注意者，即預防水分之浸入，若有水分浸入，必於浮動式針活門(float needle valve)處凝結，足以妨礙作業。

此物之漏失，可用銅絲插入酒精燈燒紅，以點驗之，如出藍綠色之焰，即其漏失之明證也。然有一便利之點，蓋此物縱令漏出，仍於漏出部位之周圍成滴，或留存該處，或往下滴落，故其散失不甚急速。

此物能與種種油類混合，故於蒸發器內，不能如別種機械使用分油機，或裝置使毛絨沒油之物。

二氯二氟甲烷所適用之冷凍機，其活塞之大小，與氨冷凍機相比為 1.69 倍，又為亞硫酸氣冷凍機活塞之 0.626 倍，氯甲烷機之 0.85 倍。

溫度與汽壓之曲線，則如第 27 圖所示。



第 27 圖

第 14 表

二氯二氟甲烷 ( $\text{CO}_2\text{F}_2$ ) 於  $-15^\circ\text{C}$ . 及  $+30^\circ\text{C}$ . 之諸常數

	$-15^\circ\text{C}$ .	$+30^\circ\text{C}$ .
汽壓(kg./cm. <sup>2</sup> )	1.861	7.586
液體容積 l./kg.)	0.698	0.774
液體比重(kg./l.)	1.442	1.292
液體之熱力學函數即熵(entropy)(kcal./kg.°C.)	0.02097	0.05708
蒸發之熱力學函數(entropy)(kcal./kg.°C.)	0.14955	0.010932
蒸汽之熱力學函數(entropy)(kcal./kg.°C.)	0.17052	0.16640
液體比熱	0.214	0.248
恆壓比熱 $C_p$	0.1372	0.1476

恆容比熱 $C_v$	0.1190	0.1297
比 $C_p/C_v$	1.138(25°C.)	
液體比重(水=1)	1.442	1.292
汽比重(空氣=1)	1.26	
臨界壓力(kg./cm. <sup>2</sup> )	40.778	
臨界容積(l./kg.)	1.804	
臨界溫度(°C.)	111.7	
汽化熱(kcal./kg.)	38.594	33.138
熔點(°C.)	-155	
沸點(760 mm. °C.)	-29.8	
分子量	120.9	

### 第七節 二氯甲烷(Carrence)CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

此物為 Carrier Engineering Corporation 使用於離心式壓縮機者。在常壓之下乃與水頗相類似之液體，具有愉快之香氣。

此物與空氣相混合之氣體無爆炸性，縱令與純粹之氧或空氣中之氧共被加熱至 110°C.，亦不分解。然若熱至更高溫度，卻分解為氯、二氯化碳醜、鹽酸氣等物。僅遇微量之水分時，若在 100°C. 以下，固無何等影響，然多量而又達到更高溫度，則略有幾分分解。

第 15 表

二氯化乙烷與二氯甲烷之物理的及熱力學的常數

	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
分子量	96.9	84.9
沸點(1 氣壓)	+50.°C.	+40°C.
熔點	-56.6°C.	-95.°C.
臨界溫度	+213.3°C.	+216.1°C.
臨界壓力	54 氣壓	100 氣壓
液體比重(水=1)	1.27	1.33
氣體比重(空氣=1)	3.36	8.0
恆壓比熱( $C_p$ )	0.162	0.154

體容比熱( $C_p$ )	0.142	0.128
比 $C_p/C_w$	1.14	1.20
汽壓 $-15^\circ\text{C. (Hg)}$	1.7	2.39
汽壓 $+30^\circ\text{C. (Hg)}$	14.0	20.5
於 $-15^\circ\text{C.}$ 蒸氣所佔之容積 $\text{m.}^3/\text{kg.}$	3.96	3.15
潛熱 $-15^\circ\text{C. cal./kg.}$	75.550	90.000
液體汽化之動力損失	10.45	10.8
過熱時之動力損失	1.27	6.6
動力之損失合計	11.72	17.4
性能係數(performance coefficient)	5.14	4.9
H. P. (動力)	0.918	0.965
效率(%)	89.4	85.3

此外與此類似之二氟化乙烯及三氟化乙烯(trifluorethylene)等，皆得用於離心式壓縮機。

三氯化乙烷( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ )

沸點(1氣壓)	$86.6^\circ\text{C.}$
結冰點	$-87.8^\circ\text{C.}$
潛熱	$58 \text{ cal./g.}$

### 第八節 鹹水

冷凍機之蒸發器，雖有直接裝置於冷卻目的物內者，然普通恆裝置鹹水內，先將鹹水冷卻，以行間接式之冷凍。

鹹水係用食鹽、氯化鈣、氯化鎂等，單用一種或混合數種而成。

氯化鈣溶液，較食鹽溶液結冰點為低，已於第二章第一節述之，此物對於流通管之腐蝕性亦較食鹽為小。但加鉻酸鈉，可防食鹽之腐蝕性。

鹹水之濃厚液，比熱小而比重大，其循環所需之功較多，又有因冷卻之故，在管內析出結晶者，故濃厚至必要程度以上者，非力避不可。

第16表乃表示此等關係者也。



第16表 鹹水之性質(NaCl aq.)

食 量	比 重	結 冰 點 °C.	比		熱	
			-10°C.	0°C.	+10°C.	20°C.
5	1.036	- 2.70	—	0.938	0.938	0.940
6	1.044	- 3.50	—	0.921	0.927	0.929
7	1.051	- 4.50	—	0.913	0.916	0.919
8	1.058	- 5.00	—	0.902	0.908	0.909
9	1.066	- 5.80	—	0.892	0.896	0.900
10	1.073	- 6.50	—	0.882	0.887	0.890
11	1.081	- 7.30	—	0.873	0.878	0.882
12	1.088	- 8.10	—	0.865	0.869	0.873
13	1.096	- 9.00	—	0.856	0.861	0.865
14	1.104	-10.00	—	0.848	0.853	0.857
15	1.112	-10.90	0.835	0.841	0.846	0.849
16	1.119	-11.90	0.827	0.834	0.839	0.842
17	1.127	-13.00	0.821	0.827	0.832	0.835
18	1.135	-14.10	0.815	0.821	0.825	0.828
19	1.143	-15.30	0.809	0.815	0.819	0.822
20	1.151	-16.40	0.804	0.809	0.813	0.815
21	1.159	-17.75	0.798	0.803	0.807	0.809
22	1.167	-19.10	0.794	0.798	0.801	0.803
23	1.176	-20.70	0.789	0.793	0.796	0.798
24	1.184	-16.90	0.784	0.788	0.791	0.792
25	1.192	-10.15	0.779	0.783	0.786	0.787

## 第四章 製冰

### 第一節 總說

現今所謂冷凍機者，其用途除製冰而外，固已漸為冷藏庫、製糖果工廠、炸藥工業、船舶用、製造麥酒、及其他一切方面所利用，然其發達之始，則起自人造冰之需要，而獨以製冰用冷凍機為主，時至今日，作冷藏用時，仍有用冰作冷凍劑之需要，更無待乎說明。

製冰用，則以氨壓縮式為主者居多，而蒸發器內使用鹹水，即所謂間接冷凍法也。製冰時卻有二式，即凍罐式（can system）與凍板式（cell or plate system）是也。

此二方法相異之點，要在冷凍媒質與須製為冰之水，配置場所不同耳。

在凍罐式，係將盛有製冰用水之罐，浸於始終繞其周圍循環不已之冷鹹水大槽中。此際水則自罐之外部凍起，漸及於中央。

至於凍板式，則有若干枚冷卻用之大金屬板，嵌有瀰滿冷鹹水或氨之曲管者，使結冰用水循環於此等金屬板之間。

### 第二節 製冰用水

製冰用之水，如屬天然水時，則自空中或地下含有碳酸氣、空氣、氮、硝酸、亞硝酸、鹽、或鎂、鈣、氧化鋁、矽酸、硫酸鹽、及其他有機物等之固體浮游物等，因而由是製成之冰有欠透明者。由凍罐式所造成之冰塊，中央現有乳濁，乃空氣之泡沫所致，此雖別無妨害，但若是者質脆而易融解。其他之不純物有時足以害及衛生，自不待論。是以製冰用水，必

行如次之試驗。

(1)浮游物之%，(2)全溶解性固形物之分析及確認，(3)渾濁之程度，(4)色，(5)臭，(6)硬度，(7) pH (鹼度或酸度)。

依此等試驗之結果，酌量情形，以行種種之精製。例如明礬法、Claret 法、氯化鈣處理、濾過、煮沸、蒸餾等等，此中最優者厥為蒸餾法。



第 28 圖

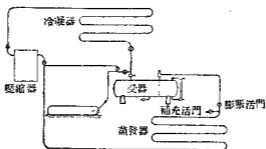
第 28 圖中，*A* 為圓筒(內有砂、木炭、石灰粉等層，交相重疊)；*C* 為手孔(hand hole)，以備取出沈澱物者；*F* 為須濾過之水入口(有壓力表)；*J* 為濾過水之出口(有壓力計)。如 *F* 之度數(gauge)與 *J* 之度數相差稍大時，即水通過內部時之阻力增大之證，故此時非洗滌填塞物不可。*M* 為洗滌用之旋塞(cock)，*G* 為洗滌用水入口，*D* 為洗滌用水出口。

### 第三節 製冰廠之圖樣

不論採用何種冷凍劑，又不論採用何種壓縮機，凡施行前述二種方法之製冰廠，皆依照如次之圖樣行之。現今之製冰廠以使用氨壓縮機與鹹水( $\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2$ )者為最多。

首先在壓縮機內被壓縮至 10~14 氣壓之氨，即以高溫度之氣體狀態進入冷凝器中。冷凝器普通為冷水管，其中有氨通過。冷卻水如使用普通井水，則大抵在  $13^{\circ}\text{C}$ . 至  $15^{\circ}\text{C}$ . 之間。水之循環方向與氨之循環方向，適相反對。於是氨乃液化，而入受器。冷卻水如在井水不足之處，則

有將既經使用一次之水，使從高處落於柵上，一面使觸空氣，一面冷卻，以行使用多次者。此時之水，一部分因觸空氣，另一部分則因蒸發，故較前更冷。冷卻水之溫度，亦為製冰能率上之一大係數。

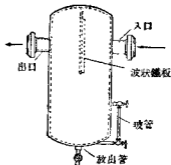


第 29 圖

受器(receiver)內之液體氨，則為鹹水溫度、冷凍時間等所調節，由膨脹活門之開閉而入蒸發器。蒸發器即鹹水槽中所浸漬之管，並於此處將鹹水冷卻。至若鹹水之溫度，普通約在零下 $8^{\circ}\text{C}$ . 至零下 $10^{\circ}\text{C}$ . 之間。既行汽化之氨，則變成 $1 \sim 1.5$  氣壓之壓力，而歸壓縮機。然出自液體氨受器之液體氨，有一部分位於貯冰庫內即行蒸發，旋即經由冰用水之預冷槽，而歸壓縮機。

壓縮機之減摩油，則因高溫之故，有一部分汽化，而為氨所運輸，行至冷凝器內即附着於氨管之內壁，因而妨礙熱之傳導，足以減殺冷卻作用，故入冷凝器之前，必入油分離機(oil separator)。

此乃如第 80 圖所示之構造，以高速度衝入此內之蒸氣，因與波狀



第 80 圖

鐵板之障壁衝突，成急激之氣流轉向作用，至是油分乃附着於此鐵板上，或容器壁之內面，遂行降落而蓄於底部。時時放出之，再行使用於壓縮機。至於油與氨之分離機內溫度，則以  $18^{\circ}\text{C}.$  ~  $20^{\circ}\text{C}.$  為適當。既出受器之液體氨，則入蒸發器內，而起製冰作用者也。

#### 第四節 凍板式

此為機械製冰初期所用之主要方法，於滿盛製冰用水之槽中，以中空鐵板數枚，豎行插入，再傾入鹹水，或藉氨管以冷卻之，或使既經冷卻



第 31 圖

之鹹水循環流行。每一次之結冰時間則需五日或七日之久，結冰完竣時，即通溫鹹水於鐵板中，俾冰塊離開鐵板，再用起重機，自槽內取出。每一冰塊厚 25 ~ 30 釐米 (cm.)，而其重量則有達三噸或五噸者。

由此式所得之冰質甚優良，惟厚薄不齊，且屬大

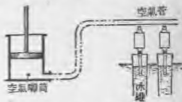
塊，除需用大型冰塊之情形而外，若供給普通需要，非切斷不可，頗多不便，加以所費資本比凍罐式為多，故現今甚少用之。

#### 第五節 凍罐式

由此式以製冰塊之歷史，亦復頗古。其製冰上宜注意之點，厥為除去既經溶解於水之空氣一事。蓋若含有空氣時，則如前述，冰即呈現大理石樣之白色，冰塊則脆而易融解。故宜使用種種攪拌器，於結冰時常

行攪拌，或將製冰用水貯於水槽，施以化學的處理，及濾過之後再於減壓之下熱至  $65^{\circ}\text{C}$ . 左右，以除空氣，

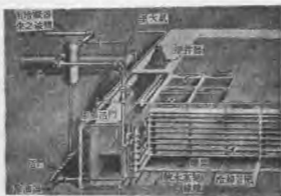
至結冰時，則藉如圖之裝置（第 32 圖），利用空氣唧筒，使水動搖。罐中所插入之空氣管尖端，即隨活塞之運動，將罐中之水吸入空氣管中，旋又押下之，至水準為止。或用機



第 32 圖

械，或用壓縮空氣行之皆可。至若空氣攪拌法，則用來自空氣壓縮機之壓縮空氣（1.2 氣壓者），以玻璃管連結橡皮管，通至罐之底部，使空氣之泡盛行放出。

此空氣之溫度亦須低冷，務必使用既經冷卻之空氣為妥。經過適當時間之後，須將空氣管抽出，以免玻璃管固着於水中，自茲以後，則停止攪拌，即行結冰，故於冰塊中央，生一白色部分。



第 33 圖

至於預冷槽內，如前所述，盤曲管中常有氨通過，藉以冷卻製冰用水，繼而此水則被浸入鹹水槽（brine tank），而注入罐（第 36 圖）中。

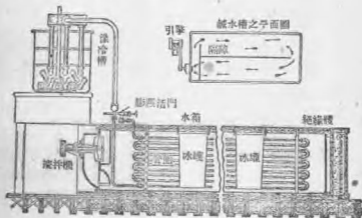


第 34 圖

鹹水槽乃如圖（第 34, 35 兩圖）所示之物，備有螺旋器，故能循環。

罐中注入冷水後之水面，務使較低於鹹水之水面，則冷凍作用更有效果。

鹹水之比重宜在波美 22 度前後，而其溫度則以  $-10^{\circ}\text{C}$ . 至  $-11^{\circ}\text{C}$ . 為最佳妙。



第 35 圖



第 36 圖

冷凝器之冷卻水約達  $15.5^{\circ}\text{C}.$  ~  $18^{\circ}\text{C}.$  時，鹹水即達  $-10^{\circ}\text{C}.$  至  $-11^{\circ}\text{C}.$ ，如認爲普通型，則約經 48 小時，即可完全結冰。

結冰時間之長短，於冰之厚薄、鹹水之溫度、罐形、水溫（製冰用水）、鹹水之循環、攪拌所用空氣之溫度等，皆有關係，若用一定之罐，則可用次之實驗式：

$$\text{結冰時間(時單位)} = tf = 0.6222 \times \frac{t^2}{t_h}, \text{此處:}$$

$$\text{冰之厚(cm.)} = t, \quad \text{鹹水溫度(零下}^{\circ}\text{C.)} = t_h.$$

[例] 假設欲得 135 仟克之冰塊，則其結冰時間如次：

可得 135 仟克冰塊之罐，其大小為  $30\text{ cm.} \times 60\text{ cm.} \times 75\text{ cm.}$ ，故以平均厚作 28 釐米，以鹹水溫度作  $-10^{\circ}\text{C}.$  時，則依上式：

$$tf = \frac{0.6222 \times 28^2}{10(^{\circ}\text{C.})} \approx 48 \text{ 小時}$$

而實際對於 1 日製冰能率 25 噸之動力，恆需

$$(200 \text{ 安倍 } 110 \text{ 伏特}) \times 24$$

結冰完全告終，則使用起重機，由輪中提上，移至卸冰機 (can dump) (第 37 圖) 之上，或暫行放置，或潑以溫水使其表面溶解傾斜，以便將冰推出，運至貯藏庫內，存儲備用。



第 37 圖



第 17 表

對於  $-9^{\circ}\text{C}$ . 與  $-14.5^{\circ}\text{C}$ . 時作業所需生產費之成數比較

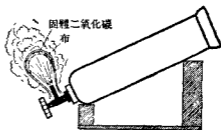
項 目	$-9^{\circ}\text{C}$ .	$-14.5^{\circ}\text{C}$ .
凝 水( $^{\circ}\text{C}$ .)		
凍 結 時 間(小時)	48	24
生 產 能 力(1日)	125(tons)	250(tons)
1年之生產額	25,000	50,000
	生產費	生產費
雜 項 支 出	60 %	29.7 %
動 力 廠 工 資	4.5 %	2.2 %
槽 室 工 資	4.5 %	4.5 %
貯 藏 床 工 資	3.2 %	1.6 %
氮 壓 縮 機 35 K. W. hour/ton	11.3 %	—
氮 補 助 20 K. W. hour/ton	6.5 %	—
氮 48 K. W. hour/ton	—	13.8 %
氮 補 助 20 K. W. hour/ton	—	6.4 %
水	1.6 %	1.6 %
薪 金	2.9 %	1.3 %
冬 期 貯 藏 庫 工 資(貯 10,000 ton)	5.2 %	2.6 %
冬 期 貯 藏 中 之 冷 凍 作 業 費	3.9 %	1.9 %
維 持 費	4.8 %	2.6 %
	100.00%	69.8 %

## 第五章 固形碳酸

### 第一節 作冷劑之固形碳酸

今日雖一般家庭，亦復爭先購用冷凍劑之時髦品稱為乾冰(dry ice)者矣。此在若干年前猶不過單為特殊目的，用於實驗室耳。

於高壓之下，先使碳酸氣( $\text{CO}_2$ )液化，裝入一唧筒，再如第 38 圖，以布袋罩其出口，開啓活門，即有碳酸氣噴出，遂成如雪之粉，積於布上。是謂之雪狀碳酸，即固體二氧化碳。此乃液體碳酸急



第 38 圖

激汽化(於 1 氣壓之下)，因汽化熱之故，自身變為低溫，達三重點(triple point of  $\text{CO}_2$ )以下，而生固體者也。

碳酸氣可取自燃料之廢氣中，固無論矣，而成爲酒精工業及其他化學工業之副產物，所得又頗多也。得自酒精工廠者，純度固極優良，祇因所含極微量不純物之故，不無惡臭，故有用洗滌器(scubber)或別種脫臭器，除此惡臭之必要。脫臭器則用活性碳。

碳酸鈣至  $315^\circ\text{C}$ ，即有碳酸氣放出，至若普通石灰石則必需更高溫度，此外出自工廠煙肉之廢氣體內雖含碳酸氣不少，然不純物亦多，故爲收回碳酸氣計，非使用含有碳量較多之燃料不可也。

### 第二節 二氧化碳之昇華及固形化

欲製固態碳酸時，首先非使純粹而經冷卻之碳酸氣液化不可。液體

碳酸於 1 氣壓之空氣中行汽化膨脹時，即有液體碳酸之一部分硬化。既硬化之碳酸即所謂乾冰一物，於 1 氣壓之空中即行汽化，決不變為液體。

碳酸之三重點，即固態碳酸與液態碳酸及氣態之  $\text{CO}_2$  三者共存時之壓力及溫度，依相律而一定之點，乃 5.07 氣壓，溫度  $-56.65^\circ\text{C}$ 。也。此與冰、水及水蒸汽，共存溫度於常壓下為  $0^\circ\text{C}$ 。之情形，正相類似。故碳酸氣至  $-56.65^\circ\text{C}$ 。以下，即不復能成液體一事，亦與水至  $0^\circ\text{C}$ 。以下不能成為液體之情形相似也。然固態碳酸之汽壓，雖在  $56.65^\circ\text{C}$ 。仍有 5.07 氣壓，故固態碳酸若於空氣中常壓之下，即可不經液化而直行氣化。以言固體碳酸之汽化壓與 760 mm. 相當時之溫度，卻為  $-78.5^\circ\text{C}$ 。故使用乾冰，於常壓下以助冷卻時，得以常保  $-78.5^\circ\text{C}$ 。之冷溫。其汽化潛熱，據伯恩(Bohn)之說，為 142.5 cal./g.，最近普蘭克及克普利阿諾夫(Plank and Kuprianoff)卻又定為 136.9 cal./g. 云。又固態碳酸之比熱為 0.38。

氣體碳酸乃熱之不導體，且化學性安定而無毒，又能防冷藏物之氧化腐敗，並又易於形成固體而不液化，溫度亦復極低，因其具有此等特點，故作冷劑用，頗稱有利。

製造固態碳酸時，分為碳酸氣發生作業與壓縮作業二部，茲分別敘述於次：

### 第三節 碳酸氣之發生

使用良質焦煤作蒸汽鍋爐之燃料，取其燃燒生成氣體，使用送風機送入洗滌器。此氣體乃由塵埃、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、水蒸汽等而成。

洗滌器乃內裝石灰石或焦煤，由上部澆水，而使氣體自下方上昇，即所謂逆流 (counter current) 是也。 $\text{SO}_2$  及塵埃等物，即於此中悉被洗去。其出自洗滌器之氣體，內含量積佔 28% 之  $\text{CO}_2$ ，以之送入其次之

吸收塔。

吸收塔構造大致仍與洗滌器相似，由上方傾入碳酸鉀或碳酸鈉之溶液(10%)，使與昇自下方之氣體接觸，則  $\text{CO}_2$  即與碳酸鉀反應，而成碳酸氫鉀。吸收塔普通恆有三座並列，氣體則由第一塔而第二、第三塔， $\text{K}_2\text{CO}_3$  之溶液則由第三塔，依次向第二、第一塔進行。始則富於  $\text{CO}_2$  之氣體於第一塔，即為第二、第三塔所用較稀薄之  $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液所吸收，經第二塔而至第三塔。至若缺乏  $\text{CO}_2$  之氣體，至是與新來之  $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液相接，即儘量為所吸收。凡不與  $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液反應之氣體( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ )，則被最後之吸收塔放出，散入空中。

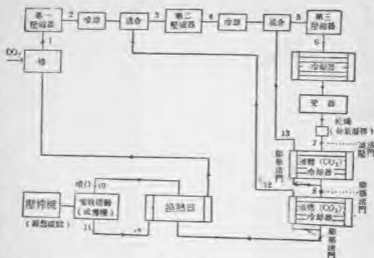
吸收  $\text{CO}_2$  而成  $\text{KHCO}_3$  之溶液，則加之以熱，放出  $\text{CO}_2$ ，復成  $\text{K}_2\text{CO}_3$  之溶液，仍如前法使用於吸收塔。一方既經放出之碳酸氣(99.7%)，則貯入氣體貯藏器中，以供下次壓縮作業之用(加熱器名為 *lyeboiler*)。

#### 第四節 固態碳酸之生成

碳酸之壓縮法，則循如次之階段施行，最後所生之雪狀碳酸，則用第 40 圖所示之壓榨器壓成塊形。

來自氣體貯藏器之純粹  $\text{CO}_2$ ，則經由三座壓縮機，二座冷卻器，二座混合機，遂入冷凝器。必經三階段之壓縮後，至冷凝器， $\text{CO}_2$  始變為液體，繼而經由受器入矽氧凝膠(*silicagel*)之乾燥器中，使脫水分，然後導入第一液體冷卻器。通過此液體冷卻器之液體，有一部分通過膨脹活門，使行蒸發，藉以冷卻其餘部分之液體。既行蒸發之氣體則通過管 13，而入混和機 5。同樣於第二液體冷卻器，則氣體歸入混和機 3。次藉換熱器以行最後之冷卻，經噴口(*nozzle*) 10，即成雪狀碳酸。換熱器之冷卻作用，則以由成雪機(*snow machine*)蒸發而來之  $-78^\circ\text{C}$ . 氣體為之。此氣體則向第一壓縮機循環。換熱器所出液體，則為  $-45^\circ\text{C}$ .

於此循環，出自噴口 10 之液體，僅有  $\frac{1}{2}$  成為雪狀碳酸，若以其他



第 39 圖

液體冷卻器等處變為氣體者合而計之，則變成固態碳酸者僅佔全體碳

酸  $\frac{1}{3}$ ，至其餘  $\frac{2}{3}$  恆入次一循環，故每 1 循環由氣體貯藏器所供給之碳酸氣各佔全體之  $\frac{1}{3}$  耳。

欲使雪狀碳酸成塊時，則使用雪框填成適當之型，再用如第 40 圖之壓榨機 (press) 壓榨之。每平方釐米 (cm.<sup>2</sup>) 須使用 120 氣壓之水壓，而製造 1 塊必壓榨二次。良以僅經壓榨一次者，塊之上下部分密度不一，故行兩次壓榨，以除此弊。由是所成之固態碳酸，視比重 (apparent specific gravity) 為 1.5 內外。

製成之固態碳酸塊，可裝入紙匣，以便運輸，若在夏季裝入紙匣運往遠處，則每一夜之汽化損失，在 20% 內外云。



第 40 圖

## 第六章 家庭用冷凍機

### 第一節 家庭冷藏庫與溫度

家庭用之冷藏庫專用冰塊者，歷史上乃頗古之事，前已言之。自一九一〇年以來，自動的機械冰凍機，於家庭方面亦經採用，至於今日，則家庭貯藏食物，亦復盛行應用此新式冷凍機也。

今就種種食物研究之結果，為防細菌之生長計，則有保持溫度至 $10^{\circ}\text{C}$ . 以下之必要，顯此條件，若使用普通之冰，則所得不甚完全。此所以需要機械冷凍機之原因也。

第 18 表

名	稱	冷凍前之比熱	潛熱 cal.	冷凍後之比熱	貯藏中之最適溫度 $^{\circ}\text{C}$ .
蘋果	果	0.92	68	—	-1.1
蘆筍	筍	—	75	—	+1.1
牛肉	肉	—	17	—	1.1~0
牛香	燕	0.68	57	0.38	0.55~1.65
牛	酪	0.64	8.3	0.37	-17.75~-9.5
胡蘿蔔	薯	0.87	69	0.45	-1.1~+2.2
乾酪	酪(cheese)	0.64	26	0.37	-2.2~+1.1
乳	酪(cream)	0.68	46.6	0.38	+1.1
雞蛋	蛋	0.76	61	0.40	-0.55~+0.55
魚	肉	0.82	61	0.43	-6.65
冰淇淋	(ice cream)	0.78	50~60	0.45	-23.3~-15.
櫻桃	—	—	69	—	0~+1.65
梨	—	—	70	—	-1.1
梨	—	—	67	—	-1.1~0
豬	肉	0.51	37	0.30	+4.4
牛奶	—	—	72	—	+0.55~+4.4
牛奶	乳	0.90	69	0.47	+1.1

食物及其他物品一經運至冷藏庫，首先其溫度即行低落。至其可被除去之熱量，則可由食物之比熱與所期望之最適溫度計算之。又某種食物，有於冷藏庫內保持凍結狀態者。設遇此種情形，則該食物之熔融熱，亦非知悉不可。食物因其大部分由水分而成之故，大概之食物皆至  $-2^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$  時即行凍結。

如所期望之溫度較此猶低時，則食物凍結前後之比熱亦須知悉。今就種種食物，列舉其熱的性質，如第 18 表。

家庭用冷凍機，除冰冷藏庫不計外，大別之有次之二種：

1. 壓縮式 使用電動力者。
2. 吸收式 以電熱、煤氣燈(gas burner)作熱源者。

## 第二節 家庭用壓縮式冷凍機

壓縮式之優點，在於壓力不至過高，又可使用空氣以作冷凍媒質 (medium) 而行凝縮冷卻；但有嘈雜之音，隨軸承或皮帶之旋轉而起，是其缺點。另一方面，就利用電熱及煤氣燈之吸收式冷凍機而言，則無旋轉部，因而不發嘈雜之音，但於此式，普通恆用氮作冷凍媒質，故壓力較高。且作冷卻用時，概以水為必需之物，故於小型冷凍機之中，此式費用較昂。

用作家庭冷凍機之冷凍媒質者，厥為  $\text{SO}_2$  (亞硫酸氣)、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$  (氯乙烷)、 $\text{CH}_3\text{Cl}$  (氯甲烷)、 $\text{NH}_3$  (氨)、 $\text{CO}_2$  (碳酸氣)、丁烷、異丁烷、二氯二氟甲烷等，其中如碳酸氣、亞硫酸氣、二氯二氟甲烷，乃不燃性物，其餘則於適當條件之下為可燃性物。

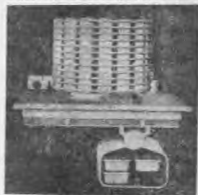
第 41 圖乃家庭用冷凍機之代表的型式，使用電為動力，採用亞硫酸氣為冷凍劑，旋轉部則全部藏而不露，且其所佔容積極小，蓋製作時頗費匠心之成績也。此機乃由五主要部分而成者，即(1)壓縮機(1英

寸之活塞就發動機軸之偏心輪為 0.7 英寸之衝程)，(2)浮式活門(float valve)，(3)蒸發器，(4)自動溫度調節機，(5)冷凝器，是也。



第 41 圖

自動溫度調節器乃如第 42 圖之物，以亞硫酸氣封入銅管之中者也。蓋冷房之溫度上升，則其壓力亦



第 42 圖

必增大，因而能連結發動機所用之開閉器 (switch)；反是溫度如下降，則開閉器即斷。

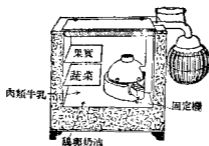
此外尚有與此相似之物，即使用二氯二氟甲烷之壓縮式冷凍機，使用亞硫酸氣 ( $\text{SO}_2$ ) 之 Kelvinator Servel 式及 Copeland system 式，使用氯甲烷、氯乙烷等之轉動型等壓縮式冷凍機，任人選購。

### 第三節 家庭用吸收式冷凍機

吸收法 (absorption system) 之冷凍機，有移動式者。此則以管連結熱球 (hot ball) 與冷球 (cold ball) 而成也。熱球則與吸收法冷凍機項內所述之發生器相當，此中盛有如氨之溶液，用煤氣、石油、酒精等加熱後，使其所生之汽凝結於冷球。此冷球則浸在冷卻容器之中。如停止加



熱，則出自冷球之汽即一面爲熱球之溶劑所吸收，一面蒸發，故能使冷球之容器冷卻(參閱第 43 圖)。



第 43 圖

又有用水爲冷劑者。即於一方，使發生水蒸氣，而以其壓力作吸引機 (injector)，藉以促令蒸發器之水減壓，而行蒸發者也。水之蒸發熱大，且係無價取得之物，凡此皆爲水之特色。

採用此種機械，使 500 仟克之水，自  $30^{\circ}\text{C}$ . 冷卻至  $3^{\circ}\text{C}$ ., 所需之水蒸氣爲 3.6 仟克云。

## 第二篇 冷藏

### 第一章 緒論

冷藏云者，自某物奪取其熱，務使該冷凍物，勿為外界之熱所溫之方法也。

雖屬極其巧妙之冷藏庫，然欲完全與外界斷絕熱之交接，則限於熱由高溫自然傳至低溫之原則，實際上不可能也。唯其如此，故冷藏工作殊屬困難。良以外界之熱陸續不斷流入冷藏庫內之故，冷藏庫內非隨時利用冷劑或冷凍機，繼續不斷以行冷卻作業不可。

為節省冷藏費用計，捨竭力預防熱自外界流入而外，別無良法。

## 第二章 熱之絕緣 (heat insulation)

### 第一節 絕緣材料必具之條件

熱之絕對的絕緣物固不可得，但有若干物質，則充作熱之絕緣材料，確有相當效果。熱之絕緣既以節省冷凍機之運轉費用為目的，然則絕緣體之價格，亦非考慮不可。

縱令以冷凍機法為主，苟絕緣設備不周時，則冷藏庫內之中央部分既經冷凍，而漏熱之近傍處所，常有未經充分冷凍者。

優良之絕緣材料，必具備次之條件：

1. 熱之絕緣力大；
2. 比重小；
3. 不吸藏水分；  
內含水分之物，不特因其熱之傳導較乾燥之物為大，抑且易致材料之腐朽。用耐水性物質以處理絕緣物之方法，亦往往有行之者。
4. 堅牢而不至崩壞；
5. 不自燃發火；
6. 不致腐臭；
7. 不至被鼠鑽孔或蟻巢穴者；
8. 合乎衛生。

### 第二節 絕緣材料

由以上之見地，今日實際所常使用之材料，厥為鋸屑、木炭、飽屑、石棉、麥桿、糠殼、切莖、毛氈、棉絮、木板、軟木質 (cork) 及厚紙板 (celotex) 等物，又有因空氣之導熱性較少之故，將冷藏室壁作成複壁，而設空氣室於其間者。然此複壁往往吸收外部之熱，因對流作用，以致有熱通過內壁，流入冷藏庫中，故於複壁之間，必填塞鋸屑，以阻此種對

流，方有效果。此時之填塞物，卻以不壓榨過密為佳。

1. 軟木質板 以粒狀軟木質用膠劑 (cementing material) 壓榨成板，此一粒一粒之軟木質甚疏鬆，其中含有空氣，故可如上述，視為空氣室，普通為用最之物也。此物殆為近乎理想之材料，蓋有如下之特徵故。

1. 熱之絕緣大；
2. 不吸收水分；
3. 耐久力大；
4. 無臭而無害於衛生；
5. 燃燒速度小，而有耐火性；
6. 質輕而易於操作；
7. 價格亦較廉軟。

隨華氏溫度計 1 度之差，在 24 小時內所傳導之熱量，每增厚軟木質板 1 英寸，其發生之差異如次：

軟木質板之厚(以英寸計)	熱量
1	10.0
2	5.0
3	3.5
4	3.0
5	2.5

又對於種種溫度，能經濟使用軟木質板之厚薄如次：

溫度 °F.	軟木質板之厚薄(以英寸計)
-20 ~ -5	8
-5 ~ +5	6
5 ~ 20	5
20 ~ 35	4
35 ~ 45	3
45 ~ 以上	2

2. 毛氈 (hairfelt) 取牛或其他家畜之毛，以肥皂洗滌之，編成氈席者，不吸收水分，又為熱之非導體，此外用以構築貯藏庫時亦易於操

作，凡此皆其特點。

3. 木料 乾燥木料亦係優良之絕緣體，但此物發放臭氣，又吸收水分，而易腐朽，故用此物時，非脫除樹脂、臭氣等不可。

4. 石棉 石棉類之無機物，其缺點厥在質脆，故此物亦有製成板狀之必要。

5. 厚紙板 (celotex) 此乃甘蔗之梓粕，於纖維之微隙含有空氣，且非常強韌，富於耐久性，價亦較廉。

6. Dry zero 此種絕緣體，亦由某種植物 (ceiba) 之莖所製成之筒狀纖維也。

7. 鋸屑 如成乾燥狀態之鋸屑，亦屬優良絕緣體，但濕者卻不宜用。此物易作鼠巢，亦其缺點之一也。

### 第三節 絕緣材料之性能

第19表 種種絕緣體之重量及比熱

材 料	導熱係數 cal. 1 m. <sup>2</sup> 1 英寸 (2.54 cm.) 1 小時 1 (°F.) 之差	1 m. <sup>2</sup> 之重量 (任克)	備 要
1. 空 氣	440	0.36	—
2. 空氣層 $\frac{1}{8}$ 英寸	1,145	39.6	石棉布及空氣
3. 空氣層 1 英寸	1,250	39.6	石棉布及空氣
4. 石 棉	2,100	274.5	既經壓榨者
5. 石 棉	9,290	359.0	石棉及水泥
6. callax	550	18.00	粉狀礦物質
7. 軟 木 質	840	23.85	粒狀 ( $\frac{1}{8} \sim \frac{3}{8}$ 英寸)
8. 軟 木 質	825	45.00	粒狀 ( $\frac{1}{16} \sim \frac{1}{8}$ 英寸)
9. 軟 木 質 板	700	31.05	—
10. 綿 絲	750	—	填充疏鬆
11. 綫 維 氈	820	50.85	使用植物質纖維
12. 毛 氈	615	49.50	—
13. 紙 粕 板	1,145	—	—
14. 毛層 (slagwool)	1,875	49.50	—

又建築材料之導熱係數如次：

材 料	係 數
1. 紅 磚	5.0
2. 混 凝 土	5.3(平均)
3. 木 料 (7/8 英寸厚)	1.0
4. 石 棉 (紙或板)	0.3~0.5
5. 玻 璃 (0.085 英寸厚)	24.8
6. 聚 脲 (1/2 英寸空氣層)	1.10
7. 紙 筋 灰 泥 (mortar)	8.0

### 第三章 冷藏倉庫之構築

冷藏倉庫因不能純以絕緣力大之物構築，故完全之冷藏倉庫終不可得。良以使用優等絕緣體固屬要圖，同時建築物本身亦復同樣具有重要關係之故。不寧唯是，絕緣能力與其物之耐久性，又非同時兼顧不可。尤以塞入壁中之物，日後更換時，頗費手續。

建築物之窗與門，愈小愈妙。門則得以相當絕緣的造成，惟窗則普通概行使用玻璃。此乃冷藏庫之材料中最易傳熱之良導體，故甚期望得以適當之透明體代之。否則不必開窗，而用電燈，亦無不可。電燈雖亦傳熱，卻較由窗傳入者為小，如用電燈，則不需光線時又能滅熄，但熱之由窗傳入者，則不能如此完全防禦之也。

冷藏庫之構築上應行考慮之點，厥為照明器，其他之機械，以及為

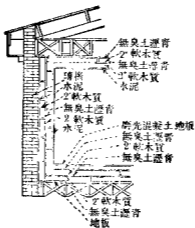


圖 44 圖

工作人員等所發生之熱量。

電燈所需電能之過半卻成熱能之形，50 瓦特之電能每小時與 426,250 cal. 之熱量相當。

此外自送風機、攪拌機等物，亦可發熱。至若因工作人員發熱而生之熱量，則視工作種類而異，大致普通工人每一小時所發之熱量，在 75,000 cal. 至 100,000 cal. 之間。此外有熱源人之部厥為牆壁，故牆壁之總面積愈小愈妙，與其成長方形，寧作正方形。

例如 28.3 立方米之正六面體，各邊之長各為 3.05 米，故總表面積則  $3.05^2 \times 6 = 55.82$  平方米也。然長 7.625 米、寬 12.2 米、高 3.05 米之容積，雖亦同為 28.3 平方米，顯其總表面積，則 73 平方米也。



## 第四章 冷藏庫內之裝管法 (piping)

使用冰塊之冷藏庫，有種種缺點，前已言之。即濕度不能不常處飽和狀態，以與水分之影響，冷藏庫內之溫度相應，又冰之熔點以下之溫度亦不可得。就其最有能率者而論，實際冷藏庫內之溫度亦在 $2.0^{\circ}\text{C}$ . 至 $3^{\circ}\text{C}$ . 之間，此則過高至 $4.5^{\circ}\text{C}$ . 矣。

既與冰接觸而被冷卻之空氣，亦有用氯化鈣等，使變乾燥之器具，然施行此法時，則空氣之循環不靈，因而冷藏溫度亦不適當。水分並易引起冷藏物之腐壞，使庫內帶有臭氣，且令絕緣體易朽。

於冷藏庫內應用別種機械的冷凍法時，亦以所用空氣之濕度為重要問題。雖在外氣中具有 $60\sim 70\%$  濕度之空氣，若遇冷藏庫內之溫度，亦必立時飽和，而有一大部分化為露水或白雪，固着於冷卻管之外壁上，故於冷藏庫內，非竭力以避濕度不可。然冷藏物亦有內含水分者，若將此等內含水分之物貯入過分乾燥之冷藏庫內，即自然蒸發水分，因而變質者，亦復有之。

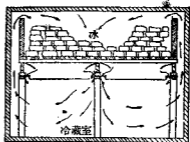
例如雞蛋，乃由 $70\%$  水分與 $30\%$  固形物而成，則屬於多孔性，因而時有水分透出蒸發，故貯置六閱月後，普通必減去重量 $5\sim 7\%$ 。若是之情形，卻以適當之溫度為必要。雞蛋之凍結溫度為零下 $2^{\circ}\text{C}$ .，如遇過冷，則皮殼有生裂紋者。若依理想，則以冷藏物裝成罐頭，再行貯入冷藏庫內，最為妥適。

常使冷氣循環得宜一事，亦復關係重要。為求達此目的，有兩種方法：一為自然循環，此即由於冷氣之比重，隨溫度之差而生差異，所使然者；其他一法，則使用機械之力(送風機)，以促冷氣循環也。

凡冷藏之藉機械冷凍法者，或則於冷藏庫內所裝設之管中，有冷凍劑蒸發膨脹，或則以冷卻鹹水循環於冷藏庫中。

裝管之方法，計有次之三種：

1. 使露出於冷藏庫內；
2. 劃出冷藏庫內之一部，裝管於其中；
3. 裝管於冷藏庫內之上部。



第 45 圖

此中宜採用孰一方法，則依次之條件以決定之。即：(1)冷藏物之種類，(2)冷藏季節，(3)欲令速行冷卻，抑緩行冷卻？(4)冷藏室之容積，(5)絕緣體之種類及厚薄，(6)可調節之冷藏庫內溫度，(7)熱向冷藏庫內侵入之情形，(8)門之開閉次數，(9)適當之濕度，(10)冷藏時期之長短是也。

溫度問題，則較為簡單。例如  $-51^{\circ}\text{C}.$  ~  $62^{\circ}\text{C}.$ ，則使用氨冷凍機，即易於求得，至於更低之溫度，則用乙烷等物，亦能如願以償。室溫則加減曲管中途之活門，即能有所調節。管之溫度與冷藏室內之溫度所差愈大，則空氣之循環愈易也。

若遇冷藏庫內空氣循環不得其當，因而室內溫度不能望其均等時，則近管部分之冷藏物，必因過冷而行凍結，地板中央之冷藏物則冷卻猶嫌不足。應付如此情形之法，或設空氣擴散機，或將冷藏物放入板間之隔，以免熱之由冷藏物直接向管輻射。

至於空氣之自然循環，則冷氣恆向下方降落，而較溫之空氣恆向上昇，故須設法，務使此等空氣，勿於昇降途中互相衝突。有於冷藏庫內天花板之一面，整齊裝設盤曲管者(如第 46 圖)，此種裝配之法實屬誤謬。

第 47 圖至第 49 圖所宜注意者，即內壁下端與地板之距離，且依冷



第 46 圖



第 47 圖

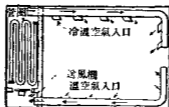


第 48 圖



第 49 圖

藏室之大小，形式，有於中央部位生成不循環之氣源(air pocket)者；但此等缺點，若藉自然循環法，卻多少可以補救。故大規模之冷藏庫，現今漸有採用送風機法之趨勢，第 50 圖即其一例也。



第 50 圖

為驅除冷藏庫內所發生之黴菌及其他分解生成氣體等不純物計，亦有通風之必要。

至於冷藏庫內，因溫度、濕度、空氣之純度等殊足左右冷藏效果之故，通風問題決非簡單之問題。所新補入之空氣，至少必與冷藏室內之

空氣同其溫度、濕度，且其純度必須較優。因門之啓閉，固可略收通風之效，但此種通風既不完全，又多缺點。尤以夏季為最甚，蓋其時外氣之溫度與濕度兩皆較高故也。

適當之通風，首宜使用送風機、冷卻管、氯化鈣等，精滌空氣，再以既經精滌之空氣，陸續不斷通入冷藏室中，至若通風之速率，大致以冷藏庫內之空氣約於一星期之間，得全部更換為度。

## 第五章 速凍法

近時貯藏易於腐敗之食物，盛行所謂速凍法 (quick freezing) 者。此法於若干年前，不過獨為魚肉之貯藏所採用而已。

速凍法云者，以  $-40^{\circ}\text{C}.$  ~  $-45^{\circ}\text{C}.$  之溫度，驟然冷卻食物，而使凍結之法也。如再使之熔融，則不論外觀或味覺均可恢復原狀，與新鮮者無異，應用此法之目的端在乎此。宜於應用斯法之物首推魚肉，其次則為牛肉、豬肉、雞肉、蔬菜、果實及果汁之類。

動物質不論為魚肉抑為鳥獸肉，其組織恆為小彈性皮膜所包，至此皮膜中，則含膠質 (jelly) 狀之液體，而此液體內所含有者，計為食鹽、氯化鈣、及其他種種化學的鹽類，故此膠質狀液體一經冷卻，適與冷劑由水溶液內有冰析出之情形相同，其餘部分之液，則逐漸析出冰塊之餘，且被濃縮，及至  $-54^{\circ}\text{C}.$ ，即完全凍結矣。

一方動物質中之水分，約佔四分之三，則至  $-4^{\circ}\text{C}.$  為止即成結晶性冰者也。此析出時間若長，則冰之結晶大，又時間若短，則結晶小。至於速凍法，則冰之結晶較小，自不待言。然溫度在  $0^{\circ}\text{C}.$  至  $-6.6^{\circ}\text{C}.$  之間時，獸肉中之水分殆行凍結，故欲縮小冰之結晶，非儘量速行降低溫度不可也。

至若應用速凍法以外之方法所使凍結之食物，則各個組織悉被大塊結晶之冰穿破，故成破裂之狀 (如第 51 圖)，不復能保新鮮食物之本來面目矣。

第 51 圖中，(b) 乃新鮮鮮肉之組織，(a) 乃既經普通方法冷凍者，(c) 則既經速凍法冷凍者也。



第 51 圖

即就此例觀之，(a)於溶解後，外觀必呈異狀，固無論矣，味覺亦因之而生變化，循至食物之價格且不得不隨之而減落也。

速凍法以外之方法，其缺點如重量之減耗，容積之縮小，以及血液因組織破壞而被氧化卒至變色等等。

第 52 圖中，(a)為普通方法凍成之冷凍鱈肉，(b)則為速凍法所凍成者，不特實際上未經收縮，且其外觀與味覺等皆與新鮮鱈肉相去不遠。



第 52 圖

施行速凍時，或使冷氣急速循環，或用冷液體，或用冷蒸氣，或以預經冷卻之金屬板緊挾冷凍物。

用金屬板法，則兩面同時均被凍結，時間亦復較速，惟冷氣循環法則因空氣為熱之非導體，故必使循環極速，或使用更屬冷溫之物而後可。

蔬菜類之組織，卻與動物之組織大不相同，故其凍結之結果亦異。

動物組織既為彈性皮膜所包，故於凍結途中，皮膜易因膨脹而破，若用速凍法，則較和緩。

然蔬菜類之組織，則為無彈力之皮所包，縱令由速凍法使生較小結晶之冰粒，亦易立時破壞其組織。

又有多種之果子、蔬菜類，所含水分之量，較肉類為多，故果子、蔬菜類之既經冷凍者，欲令恢復新鮮物之外觀及味覺，終屬困難。然又別無較冷凍保存法更優之貯藏法。

以速凍法應用於蔬菜，雖不及肉類等之有利，然與普通方法所凍結者相較，結晶微細，故廢棄部分亦少。尤以施諾易行腐敗之果子、蔬菜類，更有效果。

由是得知冷藏中，足以減低肉類、蔬菜類，所具品質之原因有五，即：(1)水分之過剩蒸發，(2)氧化，(3)發酵，(4)染污，(5)揮發性香氣之消失等是也。