

蘇聯機器製造百科全書

第十二卷

第十三章 冷凍機的工作過程

第十四章 冷凍劑和傳熱劑

第十五章 冷凍機的各部分

第十六章 組合冷凍機

蘇聯機器製造百科全書編輯委員會編



機械工業出版社

目 次

第十三章 冷凍機的工作過程

〔魏依別爾格(В.С.Вейнберг), 巴寶里凱斯(И.С.Бадылькес)〕

人工製冷法的原理.....	1	吸收式冷凍機.....	10
壓縮式冷凍機.....	1	參考文獻.....	13
蒸汽抽氣式冷凍機.....	8		

第十四章 冷凍劑和傳熱劑

(魏依別爾格)

冷凍劑的一般性能.....	1	二氧化碳.....	19
阿摩尼亞.....	4	水.....	21
二氧化碲.....	8	傳熱劑.....	21
氦利昂.....	8	參考文獻.....	22
碳氫化合物.....	16		

第十五章 冷凍機的各部分

(魏依別爾格、巴寶里凱斯)

工業用活塞式壓縮機.....	1	吸收式冷凍機的各部分.....	巴寶里凱斯 43
工業用蒸發器.....	17	冷凍機的輔助設備.....	45
工業用凝結器.....	25	管子系統和管子配件.....	49
空氣冷却器.....	33	參考文獻.....	53
小型冷凍機.....	37		

第十六章 組合冷凍機

〔魏依別爾格、李哈烈娃(Н.В.Лихарева)〕

活塞式組合冷凍機.....	1	工業用低溫冷凍層及冷藏櫃.....	22
透平壓縮機式組合冷凍機.....	3	工廠所生產的冷凍器具.....	34
家用冷藏櫃.....	7	參考文獻.....	32
冷凍機的自動化.....	14	中俄名詞對照表.....	31

第十四章 冷凍劑和傳熱劑

冷凍劑的一般性能

凡是在冷凍機的蒸發器中汽化時能夠從冷凍物上吸取熱量，此後在凝結器中受到壓縮時又能將此項熱量傳給冷卻劑的物質，統叫做冷凍劑。

用作冷凍劑的物質，有 30 餘種，其中用途很廣的不過 10 種，表 1 中載列着許多最常用的冷凍劑以及它們的物理性能。在圖 1 上又轉載着這些冷凍劑在各種汽化溫度下的蒸汽壓力數值。

按照壓力的高低，冷凍劑可以分為三大類：低壓冷凍劑（凝結器中的壓力 $p_k \leq 2 \sim 3$ 公斤/公分²，正常汽化溫度 $t_{760} > 0^\circ\text{C}$ ）；中壓冷凍劑（ $p_k \leq 15 \sim 20$ 公斤/公分²， $t_{760} \leq 0^\circ\text{C}$ ）；高壓冷凍劑（ $t_{760} < -50^\circ\text{C}$ ）。

低壓冷凍劑（氟利昂-11，-21，-113，-114）的比容較大，在中等的汽化溫度下可以用於迴轉式壓縮機及透平式壓縮機。

中壓冷凍劑（阿摩尼亞，氟利昂-12，-22等）用於活塞式壓縮機（在中等的或不太低的汽化溫度下），也可以用於透平式壓縮機（在低的汽化溫度下）。

高壓冷凍劑（乙烷，乙烯，氟利昂-13，-23）用於低溫的冷凍設備中。

在選用冷凍劑時應該考慮到下述幾點。

凝結壓力和汽化壓力的壓力差 $p_k - p_0$ 決定活塞式壓縮機傳動機構內的作用力（在氟利昂-12上較之在阿摩尼亞上為小）；在壓縮終結時，這些壓力和溫度之比決定一級壓縮過程中所容許的壓縮比（氟利昂-12所容許的壓縮比比阿摩尼亞為大）。

單位體積製冷能力 q_v （仟卡/公尺³）的數值決定循環蒸汽的體積和壓縮機的活塞排氣體積（採用氟利昂-12時比採用氟利昂-22和阿摩尼亞時為大）；在製冷能力很小的活塞式冷凍機和透平式壓縮機上， q_v 值需要小一些，在低溫冷凍機上， q_v 值需要大一些。

表1 冷凍劑的物理性能

冷 凍 劑	化學符號	原子量	正常汽化溫度 t_{760} $^\circ\text{C}$	臨界溫度 t_{kp} $^\circ\text{C}$	臨界壓力 p_{kp} 公斤/公分 ²	臨界體積 v_{kp} 公升/公斤	凝固溫度 $t_{\text{凝固}}$ $^\circ\text{C}$	絕熱係數 $k = \frac{c_p}{c_v}$
阿摩尼亞	NH ₃	17.03	-33.4	+132.9	112.3	4.13	-77.7	1.30
二氧化硫	SO ₂	64.06	-10.0	+157.1	77.6	1.92	-75.2	1.26
二氧化碳	CO ₂	44.01	-78.9	+31.0	75.0	2.16	-56.6	1.30
氯化甲基	CH ₃ Cl	50.49	-23.8	+143.1	65.9	—	-97.6	1.20
雙氯化甲烷	CH ₂ Cl ₂	84.94	-39.8	+245.0	60.9	—	-96.7	1.18
氟利昂-11	CFCl ₃	137.39	+23.7	+198.0	44.6	1.80	-111.0	1.15
氟利昂-12	CF ₂ Cl ₂	120.92	-29.8	+111.5	39.6	1.80	-155.0	1.14
氟利昂-13	CF ₃ Cl	104.47	-81.5	+28.8	39.4	1.72	-180.0	—
氟利昂-21	CHFCl ₂	102.93	+8.9	+178.5	52.7	—	-135.0	1.16
氟利昂-22	CHF ₂ Cl	86.48	-40.8	+96.0	50.4	1.90	-160.0	1.20
氟利昂-23	CHF ₃	70.02	-82.2	—	—	—	-163.0	—
氟利昂-113	CF ₂ Cl·CFCI ₂	187.37	+47.6	+214.1	34.8	1.73	-35.0	1.09
氟利昂-114	C ₂ F ₄ Cl ₂	170.91	+4.1	—	—	—	—	—
氟利昂-143	CH ₃ ·CF ₃	84.04	-47.3	+71.4	42.0	—	-111.3	—
甲烷	CH ₄	16.04	-161.6	-82.0	47.3	6.17	-182.6	1.3
乙烷	C ₂ H ₆	28.05	-103.6	+9.4	51.4	4.63	-104.0	—
丙烷	C ₃ H ₈	30.06	-88.6	+32.1	50.3	4.70	-183.2	1.25
丙烷	C ₃ H ₈	42.08	-47.0	+91.46	45.4	—	—	—
丙烷	C ₃ H ₈	44.10	-42.2	+96.3	43.4	—	-187.1	1.13
水	H ₂ O	18.02	+100.0	+374.2	225.5	3.07	0.0	—

保持少量的循環液體和循環蒸汽，可以降低管路系統的價格，但是在小型冷凍機上，調節活門的構造將因而變得複雜了。

在透平式壓縮機內採用分子量較高的冷凍劑，可以使壓縮過程的級數少一些。

應該選用與潤滑油及機件零件不起化學變化的冷凍劑(例如氟利昂-12和其他氟利昂)。

冷凍劑對於油類的溶解能力可以影響蒸發器和其他器械的構造。

提高冷凍劑在低溫下對於水的溶解能力，可以使調節活門不致因為有潮氣侵入而發生結冰現象。

爲了提高傳熱係數，液態冷凍劑的比重，導熱性

能，含熱量和汽化熱都必須加大，同時冷凍劑的黏度必須減低，還需要高的臨界溫度和低的凝固溫度。

〔冷凍劑的熱力學效率〕 在裝用調節活門的冷凍機上，其比較理論循環的冷凍係數 ϵ (仟卡/仟卡)乃是冷凍機在經濟性方面的主要指標，因此，該冷凍機在採用某種冷凍劑時的 ϵ 值與卡諾循環的 $\epsilon_C = \frac{T_0}{T_K - T_0}$ 值作比例時，它的結果可以代表所用冷凍劑在熱力學方面接近理想的程度，各種冷凍劑(在汽化溫度 $T_0 = 260^\circ\text{K}$ ，凝結溫度 $T_K = 300^\circ\text{K}$ 時)接近理想的程度如下：雙氟化甲烷—0.876；氟利昂-11—0.866；氯化甲基—0.851；二氧化硫—0.844；阿摩尼亞—0.826；氟利昂-12—0.820；水—0.710。

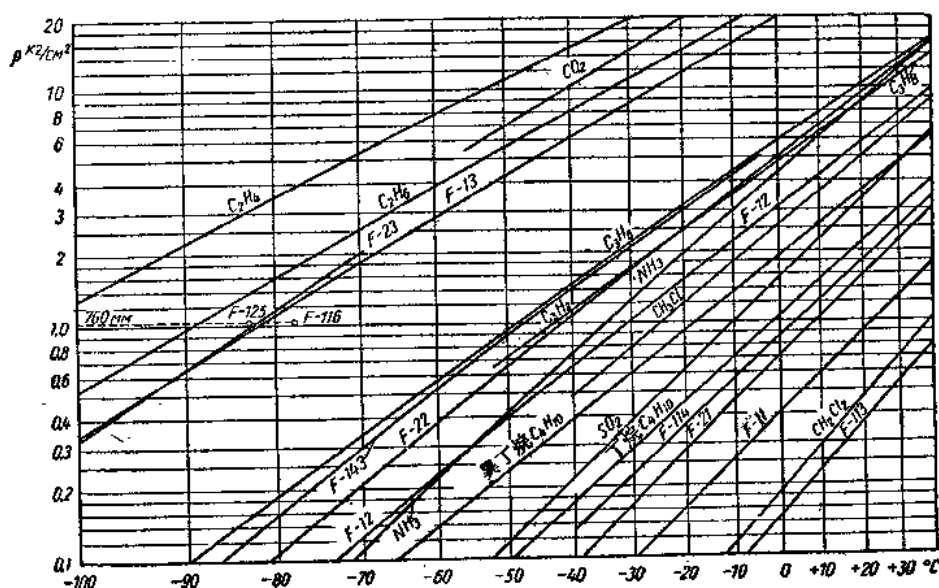


圖1 冷凍劑在各種汽化溫度下的蒸汽壓力。

kg/cm^2 —公斤/公分²； mm —公厘。

溫度差 $T_K - T_0$ 增加時， $\frac{\epsilon}{\epsilon_C}$ 的比值就會減小(在氟利昂-12上比在阿摩尼亞上要減小得快一些)，在過度冷卻過程中， $\frac{\epsilon}{\epsilon_C}$ 的比值稍見提高。

在現代的冷凍工業中，選擇合適的冷凍劑，不僅決定於冷凍劑在熱力學方面接近理想的程度，並且決定於冷凍劑在冷凍機內所發生的許多錯綜複雜的使用條件。

〔冷凍劑的危害性和危險性〕 有幾種冷凍劑被人呼吸進去時，可以中毒。表2所列是若干關於冷凍劑中毒作用的數字，按照人在有毒空氣內停留時的危險程度，分爲五大類[4,5]。

若干冷凍劑的蒸汽(NH_3 , SO_2 等)對於呼吸器官、

眼睛、皮膚等有相當強烈的刺激性，所以當空間的蒸汽達到有危險性的濃度以前，人就早已感到不舒服而離開該地了。空氣中人類感覺得到的最小的阿摩尼亞濃度按體積計算爲5.3:100000，空氣中阿摩尼亞的濃度按體積計算達到70:100000時，對於眼睛的刺激作用就很顯著了。根據OCT 90014-39的規定，工廠企業的空氣中容許含有 NH_3 —0.02克/公尺³或按體積計算爲2.6:100000； SO_2 —0.02克/公尺³或按體積計算爲0.7:100000。在冷凍工廠的壓縮機車間內阿摩尼亞的濃度有時容許達到30:100000[12]。

氟利昂-12是最沒有危害性的一種冷凍劑，無論它達到任何溫度，對於眼睛和呼吸器官都不會有刺激作用。這種氟利昂-12的氣味，只在空氣中的濃度以體

表 2 冷凍劑的中毒作用

危險程度的分類號碼	冷凍劑	中毒時間 (小時)	空氣中的危險濃度, %, 以體積計算	在 0°C 和 760 公厘水銀柱的壓力下, 冷凍劑重量和空氣重量之比
1	二氧化硫	0.08	0.7	2.07
2	阿摩尼亞	0.5	0.5~0.6	0.55
3	氯化甲基	2	2.0~2.5	1.63
3	雙氯化乙烯	2	2.0~2.5	3.13
3	氯化乙基	1	4.0	2.08
3	雙氯化甲烷	0.5	5.1~5.3	2.74
3	氟利昂-113	—	—	5.92
3	氟利昂-21	0.5	10.2	3.30
4	氟利昂-11	2	10.0	4.44
4	氟利昂-22	—	—	3.55
4	碳酸氣	0.5	29.0~30.0	1.42
5 ①	氟利昂-114	2	20.1~21.5	5.52
5	氟利昂-12	2	28.5~30.4	3.93

① 在第 5 類中由於氧氣不足而發生窒息現象。

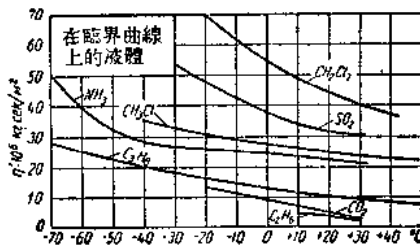


圖 2 液態冷凍劑的黏度值 η' 。
 $\text{公厘}^2/\text{秒} - \text{公斤秒}/\text{公尺}^2$ 。

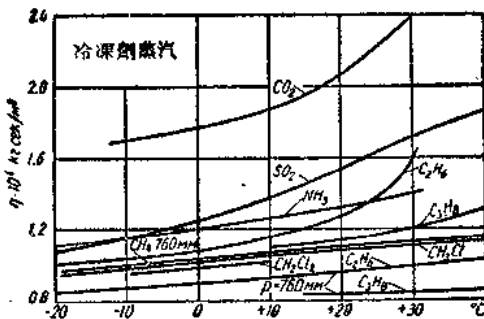


圖 3 各種冷凍劑蒸汽及甲烷、乙烷、丙烷的過熱蒸汽在 760 公厘水銀柱壓力下的黏度值 η 。
 $\text{公厘}^2/\text{秒} - \text{公斤秒}/\text{公尺}^2$; $\text{mm} - \text{公厘}$ 。

積計算高於 20%，或者 1 公尺³空氣中含有 1 公斤時，才會覺得出來。

有許多冷凍劑(CO_2 , SO_2 氟利昂-11, -12, -21, -113, -114 等)在任何情況下都不會燃燒起來，下列冷凍劑和空氣混合時(在一個狹小的濃度範圍內)就會發生燃燒，或者成為有爆炸性的混合物：

冷凍劑	在空氣中的爆炸濃度範圍(%)	冷凍劑	在空氣中的爆炸濃度範圍(%)
阿摩尼亞	16~25	乙烷	3.0~14.0
氯化甲基	8.1~17.2	丙烷	2.3~9.5
雙氯化乙烯	5.6~11.4	乙烯	3.0~33.5
氯化乙基	3.7~12	丙烯	2.0~11
甲烷	5.0~15.0		

在蘇聯由於冷凍劑的危險性和燃燒性，肉類和乳類工業部對於製造和使用冷凍機和冷凍設備，定有安全規章。

在圖 2 和圖 3 上轉載着液態冷凍劑(在臨界曲線上)和冷凍劑蒸汽的黏度值 η' 和 η 。在圖 4 和圖 5 上表示液態冷凍劑和它們的過熱蒸汽的導熱能力 λ' 和 λ [16]。

關於冷凍機系統內的腐蝕現象和化學變化可以參考[10]。

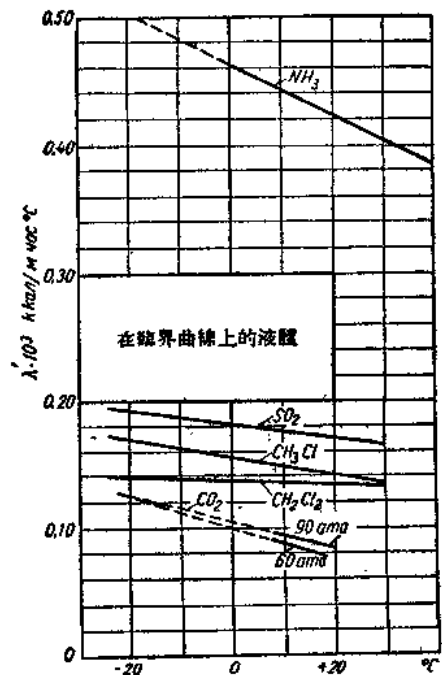


圖 4 液態冷凍劑的導熱能力 λ' 。
 $\text{公厘}^2/\text{秒} \cdot ^\circ\text{C} - \text{公厘}^2/\text{秒} \cdot ^\circ\text{C}$; $\text{atm} - \text{絕對大氣壓}$ 。

在密封式冷凍機內，電動機與冷凍劑的蒸汽相接

觸，這些蒸汽必須有高度的絕緣強度，下面是許多冷凍劑蒸汽的絕緣強度[12]：

冷凍劑	相對強度 ^①	冷凍劑	相對強度
氟利昂-11	3.0	雙氯化甲烷	1.1
氟利昂-114	2.8	氯化甲基	1.1
氟利昂-113	2.6	氯化乙基	1.0
氟利昂-12	2.4	甲烷	1.0
二氧化碳	1.9	二氧化碳	0.9
氟利昂-21	1.3	阿摩尼亞	0.8
乙炔	1.2		

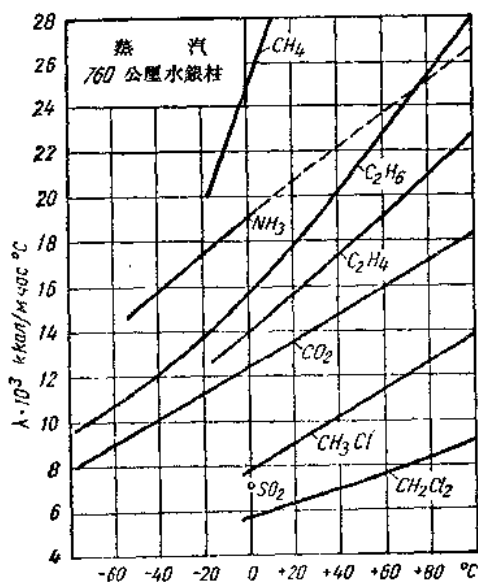


圖 5 冷凍劑過熱蒸汽的導熱能力值 λ 。

$\text{ккал/м} \cdot \text{час} - \text{°C}$ 仟卡/公尺小時。

阿摩尼亞 (NH_3)

阿摩尼亞是應用最廣的中壓冷凍劑， NH_3 的應用範圍是汽化溫度不低於 -70°C 的工業用冷凍機，採用活塞式壓縮機。在製冷能力高於 3000 仟卡/小時的小型非自動冷凍機內，只在沒有比較合適的冷凍劑（氟利昂）可用時，才使用 NH_3 。

【 NH_3 作為冷凍劑的優點】 壓力適中；正常汽化溫度相當低；有漏氣現象時容易發現；單位體積的製冷能力高，導熱係數高；在液體和氣體的管路系統內由於節流作用而產生的損耗很小；使用方便。

【 NH_3 的缺點】 對皮膚和呼吸器官有毒害和刺激作用；對鋼及其合金有腐蝕作用（當有水存在時）；與空氣混合後可能燃燒起來。

NH_3 與油類的相互溶解能力很小，在高溫之下

表3 阿摩尼亞飽和蒸汽的性能

溫度 ($^\circ\text{C}$)	壓力 p (公斤/公分 ²)	比容		含熱量	
		液體 v' (公升/公斤)	汽體 v'' (公升/公斤)	液體 i' (仟卡/公斤)	汽體 i'' (仟卡/公斤)
-70	0.1114	1.379	9.009	25.9	375.7
-68	0.1287	1.383	7.870	27.9	376.6
-66	0.1485	1.388	6.882	29.9	377.4
-64	0.1706	1.392	6.044	32.0	378.3
-62	0.1954	1.396	5.324	34.0	379.1
-60	0.2233	1.401	4.699	36.1	380.0
-58	0.2543	1.406	4.161	38.1	380.8
-56	0.2889	1.410	3.693	40.2	381.7
-54	0.3272	1.415	3.288	42.2	382.5
-52	0.3697	1.420	2.933	44.2	383.3
-50	0.4168	1.424	2.623	46.2	384.1
-48	0.4686	1.429	2.351	48.4	384.9
-46	0.5256	1.434	2.112	50.4	385.7
-44	0.5882	1.439	1.901	52.5	386.5
-42	0.6568	1.444	1.715	54.6	387.3
-40	0.7318	1.449	1.550	56.8	388.1
-38	0.8137	1.454	1.404	58.88	388.88
-36	0.9028	1.460	1.275	61.01	389.65
-35	0.9503	1.462	1.215	62.08	390.03
-34	0.9999	1.465	1.159	63.15	390.41
-32	1.105	1.470	1.056	65.28	391.17
-30	1.219	1.476	0.963	67.42	391.91
-28	1.342	1.481	0.880	69.56	392.54
-26	1.475	1.487	0.806	71.71	393.36
-24	1.619	1.492	0.739	73.86	394.07
-22	1.774	1.498	0.678	76.01	394.77
-20	1.940	1.504	0.624	78.17	395.46
-18	2.117	1.510	0.574	80.33	396.13
-16	2.309	1.516	0.530	82.50	396.79
-15	2.410	1.518	0.509	83.59	397.12
-14	2.514	1.522	0.489	84.68	397.44
-12	2.732	1.528	0.452	86.85	398.06
-10	2.966	1.534	0.418	89.03	398.67
-8	3.216	1.540	0.388	91.81	399.27
-6	3.481	1.546	0.360	93.40	399.85
-4	3.761	1.553	0.334	95.59	400.42
-2	4.060	1.559	0.311	97.79	400.98
0	4.379	1.566	0.290	100.00	401.52
+5	5.259	1.583	0.244	105.54	402.80
+10	6.271	1.601	0.206	111.11	403.95
+15	7.427	1.619	0.175	116.72	404.99
+20	8.741	1.639	0.150	122.38	405.93
+25	10.225	1.659	0.128	128.09	406.75
+26	10.544	1.663	0.124	129.24	406.89
+28	11.204	1.671	0.117	131.54	407.17
+30	11.895	1.680	0.111	133.84	407.43
+32	12.617	1.689	0.105	136.16	407.67
+34	13.374	1.698	0.099	138.48	407.88
+36	14.165	1.707	0.093	140.82	408.06
+38	14.990	1.716	0.088	143.16	408.23
+40	15.850	1.726	0.083	145.52	408.37
+45	18.165	1.750	0.073	151.43	408.61
+50	20.727	1.777	0.063	157.40	408.69

● 所有冷凍劑的蒸汽，除了氟利昂-113 和雙氯化甲烷之外，都是在室溫和 760 公厘水銀柱的壓力下做試驗的。氟利昂-113 和雙氯化甲烷是在 $+23^\circ\text{C}$ 的飽和狀態下與氮氣混合起來，在 760 公厘水銀柱的混合壓力下做試驗的。

● 取氮氣的相對強度為 1。

原
书
缺
页

原
书
缺
页

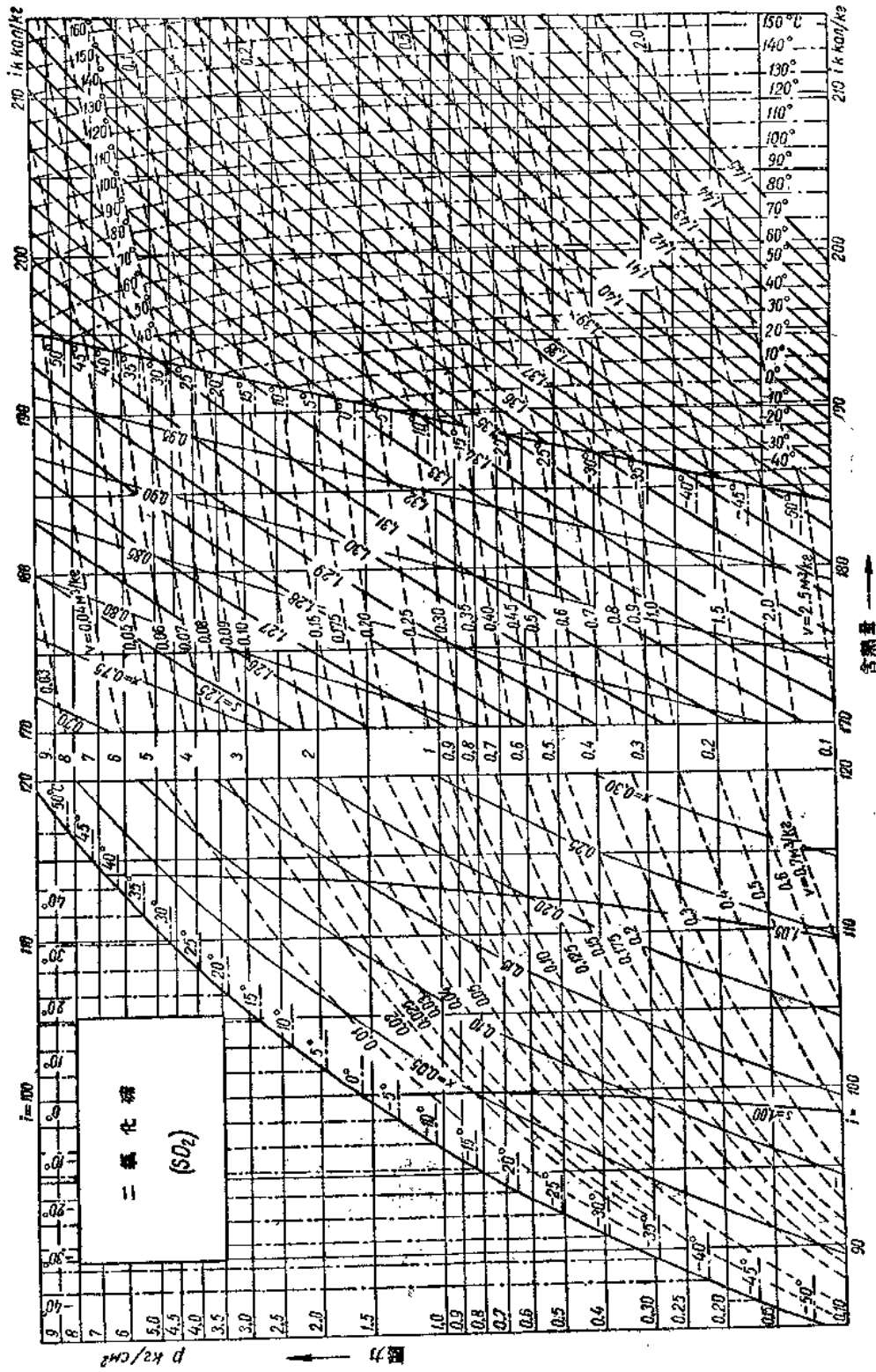


圖 8 二氧化硫的 i - lgP -圖表。
 m^3/kg —公尺³/公斤; kg/cm^2 —公斤/公分²; $kgal/kg$ —千卡/公斤。

NH_3 有部分分解的現象。 NH_3 的熱力學性能見表 3 和圖 6。

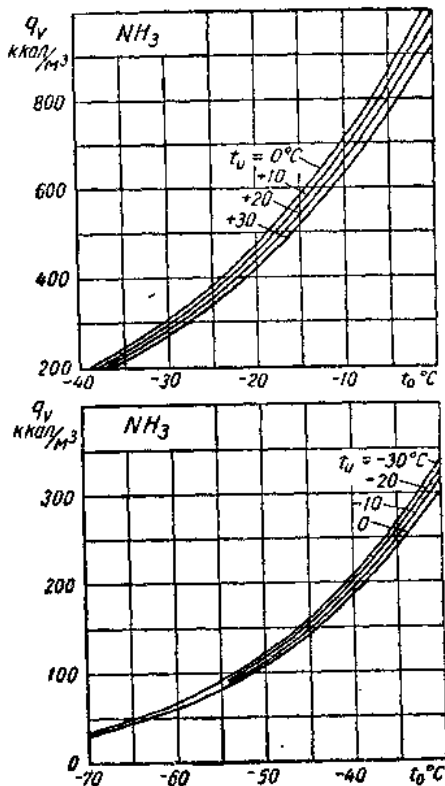


圖 7 阿摩尼亞的單位體積製冷能力 q_v 與汽化溫度 t_0 和過冷溫度 t_u 的關係。

kcal/m^3 —仟卡/公尺³。

阿摩尼亞的單位體積製冷能力 q_v 可以根據圖 7 的數字來確定，上面一張圖表用於單級冷凍機；下面一張圖表用於計算多級冷凍機的低壓級。

二 氧 化 硫 (SO_2)

SO_2 的應用範圍是商業和家用的小型自動冷凍機。

〔 SO_2 的優點〕 壓力適中；不會燃燒；可以使用銅和銅的合金；比重大，與滑油相互溶解的能力很小，因此滑油容易循環和冷凍劑容易從蒸發器回到壓縮機；氣味很刺鼻，有漏氣現象時容易發覺。因之，在空氣中當 SO_2 尚未達到有危險性的濃度時，人就非離開工作地點不可。

〔 SO_2 的缺點〕 對呼吸器官有毒害和刺激作用；對鋼件有腐蝕作用；在系統內有少量的水分存在時，對滑油會引起化學變化。

在用於冷凍機內的液態二氧化硫中，其含水量以重量計算時，不能高於 0.002%。

用二氧化硫作為冷凍劑時，只能用於封閉式冷凍機內。

在表 4 和圖 8 中分別載列着二氧化硫飽和蒸汽的性能數值，以及它的 i -lgp-圖表。

表 4 二氧化硫飽和蒸汽的性能

溫度 t (°C)	壓力 p (公斤/公分 ²)	比 容		含 熱 量	
		液體 v' (公升/公斤)	氣體 v'' (公升/公斤)	液體 i' (仟卡/公斤)	氣體 i'' (仟卡/公斤)
-50	0.118	0.642	2.491	83.69	184.91
-40	0.220	0.652	1.387	87.00	186.21
-30	0.388	0.663	0.818	90.27	187.47
-20	0.648	0.674	0.507	93.53	188.70
-10	1.034	0.686	0.328	96.76	189.89
0	1.585	0.697	0.220	100.00	191.02
+10	2.347	0.710	0.152	103.23	192.09
+20	3.370	0.723	0.108	106.45	193.10
+30	4.710	0.738	0.079	109.65	194.04
+40	6.427	0.754	0.059	112.83	194.92
+50	8.583	0.772	0.045	116.01	195.72

氟 利 昂

氟利昂的一般性能

凡是用氟氯化物做成的飽和碳氫化合物，就叫氟利昂。用作冷凍劑的，是氟氯化甲烷和氟氯化乙烷。

氟利昂工作時的蒸汽壓力各有不同；使用時可按照所用冷凍機的種類選用最適的一種氟利昂。

氟利昂的正常汽化溫度隨着分子的複雜程度、氯原子代替氫原子的多少、氟原子代替氯原子的多少而增加，在圖 9 和圖 10 中轉載着氟氯化甲烷和氟氯化乙烷的正常汽化溫度圖表。在臨界溫度和正常汽化溫度之間，氟利昂與其他物質一樣，也存在着 $T_{kp} \approx 1.6 T_{160}$ 的關係。

分子中所含氫原子愈少，氟利昂的燃燒性也愈小，不含氫氣的氟利昂就完全不會燃燒；分子中所含氯原子愈多，氟利昂對於人的無害性和化學惰性也愈大。

〔氟利昂的優點〕 分子量大，因此可以用於透平式壓縮機中；絕熱指數 k 的數值很小，壓縮終結時的溫度也低；凝固溫度低，因此可以用於低溫設備內；對於

金屬的潤滑性能很好，因此汽化過程很好。

〔氟利昂的缺點〕 每公斤冷凍劑的製冷能力很小；冷凍劑的循環量很大；比重大，因節流作用而引起的損耗也大；導熱係數低；價格高；與明火接觸時易於分解，成為（有水存在時）氯化氫和氟化氫，也生成少許光氣（ COCl_2 ）；有漏氣現象時不易發覺^⑤。

氟利昂在液態下有良好的溶解性能，能够與滑油按任何比例互相溶解，所以器械的傳熱表面上不會沾有油膩。

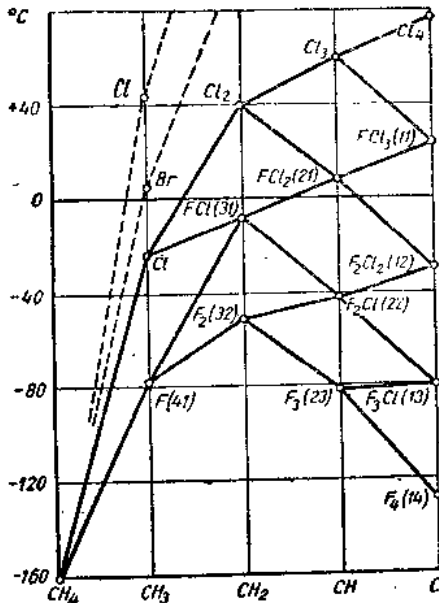


圖9 氟氯化甲烷的正常（在760公厘水銀柱的壓力下）汽化溫度。

氟利昂冷凍機的內部密封材料應該是金屬的，或者採用不會溶解於氟利昂中的物質（氯丁二烯人造橡膠等）膠合起來的纖維壓製品，橡皮（天然橡膠）會溶解於液態氟利昂內，絕不可用作密封材料。

在圖11~16上轉載着若干氟利昂的導熱能力 λ 和 λ' ，比熱 c_p 和 c 以及黏度 η 和 η' 〔6, 7〕。

表5中所示數字是水分溶解於液態氟利昂內的能力〔12〕。

就溶解水分的能力來說，氟利昂-114與氟利昂-12很相近。

氟利昂-11 (CF_3Cl)

氟利昂-11的應用範圍乃是中溫透平壓縮機式冷凍機，主要用在室溫調節方面。

在表6中轉載着氟利昂-11的飽和蒸汽性能，而圖17乃是這種冷凍劑的*i*-lg *p*-圖表。

表5 水份溶解於液態氟利昂中的能力（%按重量計）

冷 凍 劑	溫 度 °C			
	-70	-20	0	+39
氟利昂-11	—	0.003	0.006	—
氟利昂-21	—	0.027	0.035	0.180
氟利昂-12	0.001	0.003	0.006	—
氟利昂-113	—	0.003	0.004	—

表6 氟利昂-11的飽和蒸汽性能

溫度 <i>t</i> (°C)	壓力 <i>p</i> (公斤/公分 ²)	比 容		含 熱 量	
		液態 <i>v'</i> (公分 ³ /公斤)	汽態 <i>v''</i> (公尺 ³ /公斤)	液態 <i>i'</i> (仟卡/公斤)	汽態 <i>i''</i> (仟卡/公斤)
-40	0.0570	0.617	2.760	92.08	140.68
-30	0.0935	0.625	1.592	94.04	141.86
-20	0.160	0.634	0.966	96.01	143.06
-10	0.262	0.643	0.612	97.99	144.27
0	0.410	0.652	0.405	100.00	145.48
+10	0.619	0.662	0.275	102.03	146.69
+20	0.905	0.672	0.194	104.07	147.89
+30	1.285	0.683	0.140	106.14	149.09
+40	1.780	0.695	0.103	108.23	150.27
+50	2.412	0.707	0.078	110.36	151.43

氟利昂-12 (CF_2Cl_2)

氟利昂-12乃是各種大小的活塞式壓縮機（在中、等汽化溫度下）所使用的主要冷凍劑之一，主要用於調節室溫的設備上。氟利昂-12可以很完善地用於活塞式壓縮機內，能達到-70°C的汽化溫度，也可以用於透平式壓縮機內（能達到比較低的溫度）。

〔氟利昂-12應有的優點如下〕 冷凍系統內的壓力適中，使壓縮機和各種器械的構造簡單化；*p*=*f*(*t*)曲線的斜度很大，同時壓縮終結時的溫度低小，因此可以減少低溫設備內壓縮機壓縮過程的級數；在各種器械的加溫表面上沒有油層存在；不會起化學變化。

氟利昂-12的飽和蒸汽的性能載於表7內，在圖18和19上又載着*i*-lg *p*-圖表〔16〕和 CF_2Cl_2 的單位體積製冷能力與汽化溫度 t_0 和過度冷卻溫度 t_u 的關係曲線圖，上面一張圖表用於單級冷凍機，下面一張用於

⑤ 氟利昂的漏氣現象可以用一隻特殊的酒精燈去尋找，將一塊紅銅燒紅，放在火焰裏，假如火焰顏色呈綠色，就表示有漏氣現象。

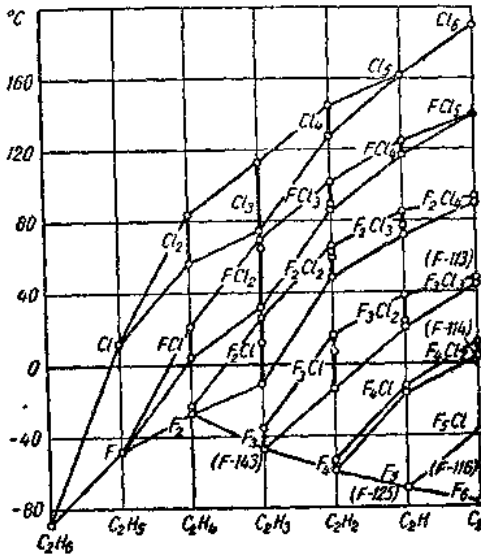


圖10 氯乙烷的正常 (在 760 公厘水銀柱的壓力下) 汽化溫度。

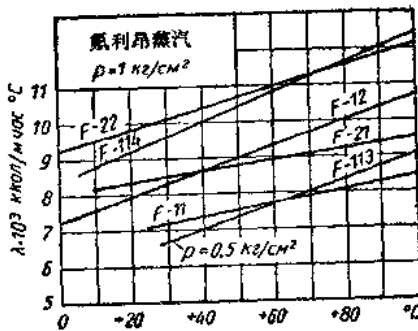


圖11 氟利昂的過熱蒸汽的導熱能力 λ 。
 $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ —仟卡/公尺小時; kg/cm^2 —公斤/公分²。

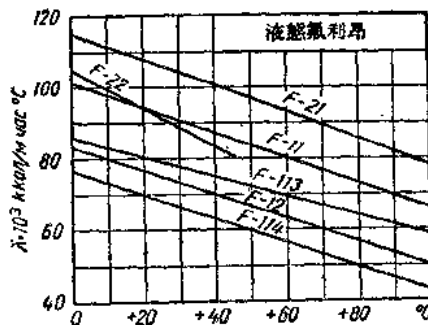


圖12 液態氟利昂的導熱能力 λ' 。
 $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ —仟卡/公尺小時。

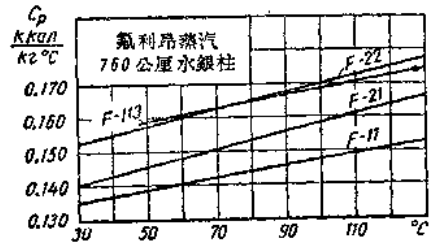


圖13 氟利昂過熱蒸汽的比熱 c_p 。
 $\text{kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ —仟卡/公斤。

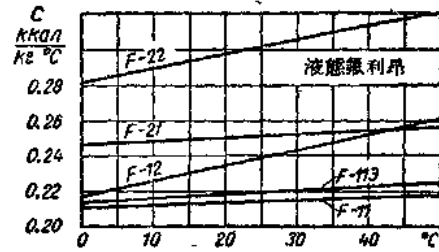


圖14 液態氟利昂的比熱。
 $\text{kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ —仟卡/公斤。

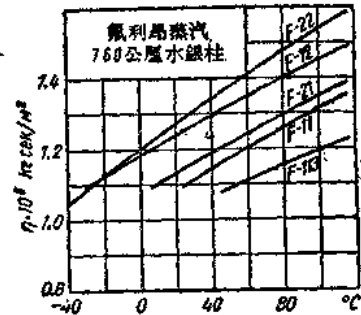


圖15 氟利昂的過熱蒸汽在 760 公厘水銀柱壓力下的黏度 η 。

$\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ —公斤秒/公尺²。

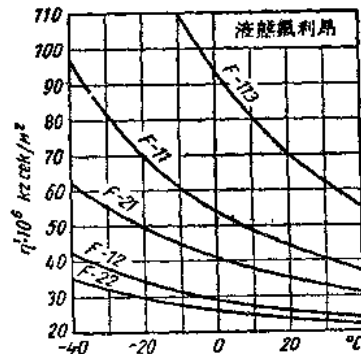


圖16 液態氟利昂的黏度 η' 。
 $\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ —公斤秒/公尺²。

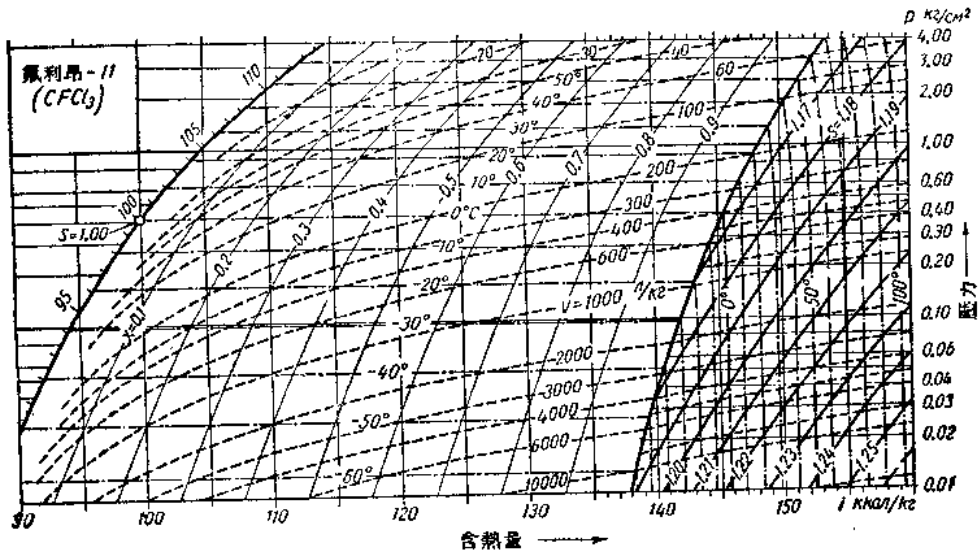


圖17 氟利昂-11的 i - $\lg p$ -圖表。

kg/cm^2 —公斤/公分²; kcal/kg —仟卡/公斤; l/kg —公升/公斤。

兩級冷凍機的低壓級。

氟利昂-13(CF_3Cl)

氟利昂-13的應用範圍是汽化溫度在 -70 到 -100°C 之間的低溫複疊式冷凍機。氟利昂-13用於複疊裝置的下面一組內。氟利昂-13的顯著優點，乃是蒸汽體積在低溫下很小；顯著缺點是臨界溫度低小；在中等的溫度下壓力就很高。

表7 氟利昂-12的飽和蒸汽的性能

溫度 t ($^\circ\text{C}$)	壓力 p (公斤/公分 ²)	比容		含熱量	
		液態 v' (公升/公斤)	汽態 v'' (公升/公斤)	液態 i' (仟卡/公斤)	汽態 i'' (仟卡/公斤)
-80	0.0635	0.615	2.124	83.41	127.61
-78	0.0733	0.617	1.859	83.81	127.84
-76	0.0842	0.619	1.632	84.22	128.08
-74	0.0966	0.621	1.438	84.62	128.32
-72	0.110	0.623	1.270	85.03	128.56
-70	0.125	0.625	1.125	85.42	128.79
-68	0.142	0.628	1.000	85.83	129.03
-66	0.162	0.630	0.890	86.23	129.27
-64	0.182	0.632	0.795	86.64	129.51
-62	0.205	0.634	0.712	87.05	129.75
-60	0.231	0.636	0.639	87.45	129.99
-58	0.259	0.639	0.575	87.86	130.23
-56	0.290	0.641	0.519	88.26	130.46

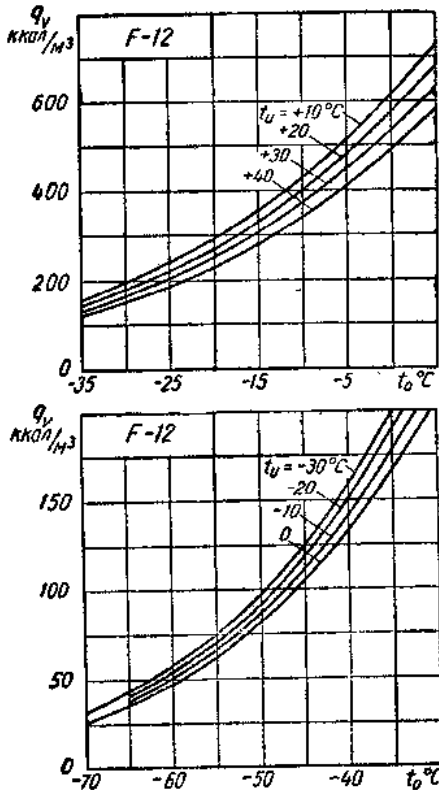


圖19 氟利昂-12的單位體積製冷能力與汽化溫度 t_0 和過度冷卻溫度 t_u 的關係。

kcal/m^3 —仟卡/公尺³。

(續)

溫度 t (°C)	壓力 p (公斤/公分 ²)	比 容		含 熱 量	
		液體 v' (公升/公斤)	汽體 v'' (公尺 ³ /公斤)	液體 i' (仟卡/公斤)	汽體 i'' (仟卡/公斤)
-54	0.323	0.643	0.469	88.66	130.70
-52	0.360	0.646	0.424	89.07	130.94
-50	0.399	0.648	0.385	89.48	131.18
-48	0.445	0.650	0.348	89.89	131.42
-46	0.490	0.653	0.319	90.30	131.66
-44	0.549	0.655	0.291	90.71	131.90
-42	0.596	0.658	0.266	91.12	132.14
-40	0.655	0.660	0.244	91.55	132.38
-38	0.719	0.662	0.224	91.95	132.62
-36	0.788	0.665	0.206	92.36	132.86
-35	0.824	0.666	0.197	92.56	132.98
-34	0.861	0.667	0.189	92.77	133.10
-32	0.940	0.670	0.175	93.18	133.34
-30	1.025	0.673	0.163	93.58	133.57
-28	1.115	0.675	0.149	93.99	133.80
-26	1.212	0.678	0.138	94.41	134.04
-24	1.315	0.681	0.128	94.82	134.28
-22	1.424	0.684	0.119	95.24	134.51
-20	1.540	0.686	0.111	95.67	134.74
-18	1.664	0.689	0.103	96.09	134.97
-16	1.795	0.692	0.096	96.51	135.20
-15	1.863	0.694	0.0927	96.72	135.32
-14	1.934	0.695	0.0895	96.94	135.43
-12	2.081	0.698	0.0836	97.37	135.66
-10	2.236	0.701	0.0781	97.81	135.89
-8	2.400	0.704	0.0731	98.24	136.12
-6	2.573	0.708	0.0684	98.68	136.34
-4	2.755	0.711	0.0642	99.11	136.57
-2	2.947	0.714	0.0602	99.55	136.79
0	3.149	0.717	0.0565	100.00	137.01
+2	3.361	0.721	0.0533	100.45	137.23
+4	3.583	0.724	0.0501	100.90	137.45
+5	3.699	0.726	0.0486	101.12	137.56
+10	4.318	0.735	0.0420	102.26	138.09
+15	5.012	0.744	0.0365	103.40	138.62
+20	5.785	0.753	0.0317	104.56	139.12
+25	6.644	0.764	0.0277	105.75	139.61
+26	6.826	0.766	0.0270	105.99	139.71
+28	7.202	0.770	0.0256	106.47	139.90
+30	7.592	0.774	0.0243	106.95	140.09
+32	7.999	0.779	0.0231	107.44	140.27
+34	8.420	0.783	0.0219	107.93	140.45
+36	8.858	0.788	0.0208	108.42	140.63

(續)

溫度 t (°C)	壓力 p (公斤/公分 ²)	比 容		含 熱 量	
		液體 v' (公升/公斤)	汽體 v'' (公尺 ³ /公斤)	液體 i' (仟卡/公斤)	汽體 i'' (仟卡/公斤)
+38	9.313	0.793	0.0198	108.92	140.80
+40	9.784	0.798	0.0188	109.41	140.97
+45	11.038	0.810	0.0166	110.66	141.36
+50	12.405	0.824	0.0146	111.92	141.71

表8 氟利昂-13 的飽和蒸汽的性能

溫度 t (°C)	壓力 p (公斤/公分 ²)	比 容		汽化熱 r (仟卡/公斤)
		液體 v' (公升/公斤)	汽體 v'' (公尺 ³ /公斤)	
-140	0.0087	0.576	12.38	41.4
-130	0.0271	0.587	4.27	40.6
-120	0.0714	0.599	1.73	39.8
-110	0.164	0.612	0.798	38.8
-100	0.339	0.626	0.407	37.8
-90	0.640	0.642	0.225	36.8
-80	1.12	0.658	0.134	35.6
-70	1.84	0.675	0.0844	34.4
-60	2.87	0.695	0.0855	33.1
-50	4.29	0.717	0.0379	31.7
-40	6.17	0.741	0.0264	30.0
-30	8.59	0.769	0.0189	28.2
-20	11.66	0.802	0.0137	26.2
-10	15.45	0.842	0.0101	25.9
0	20.1	0.894	0.00749	21.5
+10	25.7	0.962	0.00547	18.4
+20	32.4	1.08	0.00383	13.8
+25	36.2	1.19	0.00802	10.2
+28.8	39.4	1.72	0.00172	0.0
臨界溫度				

氟利昂-13 的飽和蒸汽的性能見表8 所示[13]。

在低溫設備中,除了用氟利昂-13 之外,也可以考慮採用氟利昂-23 (ClF_3 , 氟篤羅芳) 它的分子量和比重比較小,它的正常汽化溫度與氟利昂-13 的很相近。也可採用氟利昂-14 (CF_4), 它的汽化溫度是相當低小的。氟篤羅芳的汽化熱在 760 公厘水銀柱的壓力下等於 61.5 仟卡/公斤。

原
书
缺
页

原
书
缺
页

氟利昂-22(CHF₂Cl)

這種冷凍劑的應用範圍是採用活塞式和透平式壓縮機的低溫多級(非複疊式)冷凍機。氟利昂-22也可以用於中等溫度下。在-40°到-70°C的溫度範圍內時採用氟利昂-22比採用氟利昂-12良好。

氟利昂-22的顯著優點：正常汽化溫度很低(-40.8°C)；壓力曲線斜度很大(在-70°C時汽化壓力比氟利昂-12和阿摩尼亞高70~85%。在40°C時氟利昂-22的壓力跟阿摩尼亞很相近)；在低溫之下，液態氟利昂-22溶解水分的能力比氟利昂-12大8倍；在每小時的製冷能力相同時，氟利昂-22的循環體積比氟利昂-12為小；在氟利昂-22內含水量不應高於0.0025%。

表9為氟利昂-22的飽和蒸汽性能[9]。在圖20上轉載着氟利昂-22的汽化熱 r 和溫度的關係。

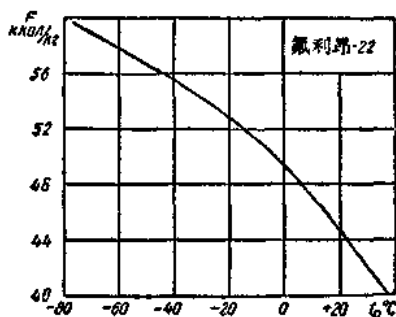


圖20 氟利昂-22的汽化熱與溫度的關係。
Kcal/Kg—仟卡/公斤。

在760公厘水銀柱的壓力， $r=54.5$ 仟卡/公斤， $\gamma'=1.17$ 公斤/公升的情況下，氟利昂-143(CH₃CF₃)與氟利昂-22很相似[14]。

氟利昂-113, CF₂Cl·CFCl₂(C₂F₃Cl₃)

氟利昂-113的應用範圍是高溫(室溫調節)的透平壓縮機式冷凍設備。

【氟利昂-113的顯著優點】分子量很大(187.37)，易於保存和運輸(在鐵桶內)。

【氟利昂-113的顯著缺點】冷凍機的系统內為真空，空氣容易漏進去；排除空氣的手續很複雜(為了要把空氣壓力提高到空氣分離器內的大氣壓力，必須特別裝備—專用壓縮機)。

氟利昂-113在過熱蒸汽範圍內的狀況公式為[13]：

$$v = 4.525 \frac{T}{P} - \frac{0.1057}{\left(\frac{T}{100}\right)^{2.5}} \text{公尺}^3/\text{公斤}$$

表9 氟利昂-22的飽和蒸汽性能

溫度 t (°C)	壓力 P (公斤/公分 ²)	比容		含熱量	
		液態 v' (公尺 ³ /公斤)	汽態 v'' (公尺 ³ /公斤)	液態 i' (仟卡/公斤)	汽態 i'' (仟卡/公斤)
-100	0.0205	0.643	8.33	74.17	137.93
-90	0.0489	0.651	3.63	76.64	139.10
-80	0.106	0.661	1.79	79.14	140.28
-70	0.209	0.671	0.941	81.64	141.48
-60	0.382	0.682	0.534	84.15	142.69
-50	0.660	0.695	0.323	86.68	143.89
-40	1.076	0.709	0.205	89.27	145.08
-30	1.68	0.724	0.135	91.91	146.24
-20	2.51	0.740	0.093	94.57	147.37
-10	3.63	0.759	0.065	97.24	148.43
0	5.10	0.779	0.0471	100.00	149.45
+10	6.99	0.800	0.0346	103.01	150.37
+20	9.35	0.824	0.0258	106.13	151.13
+30	12.27	0.851	0.0194	109.42	151.75
+40	15.79	0.883	0.0148	112.78	152.13
+50	19.99	0.922	0.0113	116.24	152.37

式中 P 是壓力(公斤/公分²)。

在表10中轉載着氟利昂-113的飽和蒸汽性能。

表10 氟利昂-113的飽和蒸汽性能

溫度 t (°C)	壓力 P (公斤/公分 ²)	比容		含熱量	
		液態 v' (公尺 ³ /公斤)	汽態 v'' (公尺 ³ /公斤)	液態 i' (仟卡/公斤)	汽態 i'' (仟卡/公斤)
-30	0.028	0.594	3.910	93.93	134.04
-20	0.052	0.601	2.204	95.93	135.46
-10	0.090	0.609	1.309	97.96	136.89
0	0.151	0.617	0.813	100.00	138.33
+10	0.241	0.626	0.526	102.08	139.79
+20	0.371	0.634	0.362	104.20	141.25
+30	0.552	0.644	0.243	106.36	142.72
+40	0.798	0.654	0.172	108.56	144.20
+50	1.122	0.665	0.125	110.80	145.68
+60	1.542	0.676	0.0931	113.09	147.15
+70	2.073	0.688	0.0704	115.43	148.62
+80	2.738	0.701	0.0543	117.02	150.07
+90	3.545	0.715	0.0423	120.26	151.51
+100	4.514	0.730	0.0334	122.58	152.94