

第 79 篇 制冷设备与空气分离设备

(试 用 本)

机械工程手册 编辑委员会
电机工程手册



机械工业出版社

TH-62

3

3:79

机械工程手册

第79篇 制冷设备与空气分离设备

(试 用 本)

机械工程手册

电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

本篇第1至5章为制冷设备部分,介绍各种制冷机的原理,制冷循环的热力计算,制冷剂和载冷剂的性能和选择,各类制冷压缩机和装置的结构、性能和设计计算,以及制冷系统的设计。

第6至17章为空气分离设备部分,介绍空气分离基本原理,空分设备流程,精流设备、低温换热器、净化设备、活塞式及透平膨胀机、低温液体泵等的结构和设计计算,以及稀有气体的提取,气、液贮存和运输,操作安全技术等。

机 械 工 程 手 册

第79篇 制冷设备与空气分离设备

(试 用 本)

第一机械工业部合肥通用机械研究所 主编
杭 州 制 氧 机 研 究 所

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $19^{3/4}$ ·字数 560 千字

1980年10月北京第一版·1980年10月北京第一次印刷

印数 00,001—17,600·定价1.45元

*

统一书号: 15033·4657

编辑说明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式、数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第79篇，包括制冷设备和空气分离设备两部分。制冷设备部分由第一机械工业部合肥通用机械研究所主编，参加编写的有西安交通大学、上海机械学院、华中工学院、上海交通大学、大连海运学院、上海第一冷冻机厂、武汉冷冻机厂、上海制冷设备厂。空气分离设备部分由杭州制氧机研究所主编，参加编写的有西安交通大学、开封空分设备厂、四川空分设备厂、杭州制氧机厂、第一机械工业部第一设计院。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

常用符号表

制 冷 设 备

Al ——单位压缩功热当量 kcal/kg	t_f ——凝固温度 $^{\circ}\text{C}$
a ——音速 m/s	t_g ——工作蒸汽温度 $^{\circ}\text{C}$
c ——比热 kcal/(kg $\cdot^{\circ}\text{C}$)	t_s ——沸点 $^{\circ}\text{C}$
c ——气流绝对速度 m/s	t_{s1} ——制冷水进口温度 $^{\circ}\text{C}$
D, d ——直径 m、mm	t_{s2} ——制冷水出口温度 $^{\circ}\text{C}$
F ——热交换面积 m^2	Δt ——温度差 $^{\circ}\text{C}$
F ——力 kgf	Δt_m ——对数平均温差 $^{\circ}\text{C}$
G ——质量流量 kg/h	u ——线速度 m/s
G_H ——高温级质量流量 kg/h	u ——单位内能 kcal/kg
G_L ——低温级质量流量 kg/h	V ——体积流量 m^3/h
g ——重力加速度 m/s^2	v ——比容 m^3/kg
H ——压头 m	w ——流速或相对流速 m/s
I ——惯性力 kgf	x ——蒸气的干度 kg/kg
h ——比焓 kcal/kg	y ——高、低温级质量流量比 kg/kg
k ——传热系数 kcal/($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	Z ——压缩性系数
K_e ——单位轴功率制冷量 kcal/(kW $\cdot\text{h}$)	α ——放热系数 kcal/($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
l ——单位功 kgf $\cdot\text{m}/\text{kg}$	γ ——重度 kgf/l (液)、kgf/ m^3 (气)
M ——分子量	δ ——壁厚 mm
M ——马赫数	ε ——制冷系数
m ——多变指数	ε ——压缩比 (透平机械的)
N ——功率 kW	ζ ——阻力系数
n ——转速 r/min	η ——效率
n ——管数或其他数目	η ——热力完善度
p ——绝对压力或表压力 kgf/ cm^2 , ata, atg	κ ——绝热指数
p_m ——中间压力 kgf/ cm^2	λ ——导热系数 kcal/(m $\cdot\text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
p ——比压 kgf/ cm^2	λ ——容积式压缩机吸气系数
Q ——热负荷 kcal/h	λ_v ——容积式压缩机的容积系数
q ——单位热负荷 kcal/kg	λ_p ——容积式压缩机的压力系数
q_a ——吸收器单位热负荷 kcal/kg	λ_t ——容积式压缩机的温度系数
q_F ——单位面积热负荷 kcal/($\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	λ_c ——容积式压缩机的泄漏系数
q_k ——发生器单位热负荷 kcal/kg	ρ ——密度 kg/ m^3
q_k ——冷凝器单位热负荷 kcal/kg	$[\sigma]$ ——许用应力 kgf/ cm^2
q_0 ——单位制冷量 kcal/kg	τ ——压缩比 (容积式压缩机)
q_v ——单位容积制冷量 kcal/ m^3	φ ——空气的相对湿度
R ——气体常数 kgf $\cdot\text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	ω ——角速度 rad/s
S ——活塞行程 m、mm	下角标
s ——比熵 kcal/(kg $\cdot\text{K}$)	ad ——绝热过程的
T ——绝对温度 K	c ——临界的
t ——温度 $^{\circ}\text{C}$	i ——指示的
	k ——冷凝侧的
	m ——平均的、中间的、机械的

max——最大的
 min——最小的
 o——蒸发侧的
 p——等压过程的
 pol——多变过程的
 t——等温的
 th——理论的

空气分离设备

A——表面积 m^2 ; 功热当量 $\text{kcal}/(\text{kgf}\cdot\text{m})$ (第7章)
 a——横截面积 m^2
 c——比热 $\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$; 气体绝对速度 m/s (第7~9章)
 c^* ——容积比热 $\text{kcal}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$
 c——公斤分子比热 $\text{kcal}/(\text{kmol}\cdot^\circ\text{C})$
 D——直径 m
 d——含湿量 g/kg ; 直径 (d_o ——外径; d_i ——内径; d_e ——当量直径)
 G——流体的质量流量 kg/h
 g——重力加速度 m/s^2
 g_c ——换算因数 $g_c = 9.81 \text{ kg}\cdot\text{m}/(\text{kgf}\cdot\text{s}^2)$
 H——高度 m
 h——比焓 (单位质量焓) kcal/kg
 h^* ——容积焓 kcal/Nm^3
 h——公斤分子焓 kcal/kmol
 k——传热系数 $\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
 L——液体流量 (第8~9章) m^3/h
 l——长度 m
 M——分子量
 m——质量 kg
 N——功率 kW ; 总理论平衡级数 (第9、15章)
 n——平衡级数 (第9、15章), 转速 r/min ; 多变指数 (第12、13章)
 p——压力 atm , ata , atg
 p——分压力 atm , ata
 Q——热量 kcal ; 热流量 kcal/h ; 流量 m^3/h
 q——单位质量热量 kcal/kg ;
 热流密度 $\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$
 R——气体常数 $\text{kgf}\cdot\text{m}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$
 r——汽化潜热 kcal/kg ; 半径 m
 s——比熵 (单位质量熵) $\text{kcal}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
 T——绝对温度 K
 t——摄氏温度 $^\circ\text{C}$
 u——圆周速度 m/s
 V——容积 m^3 ; 汽体流量 m^3/h

v——比容 m^3/kg
 W——膨胀功 $\text{kgf}\cdot\text{m}$
 w——单位质量膨胀功 $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}$; 流速 m/s
 w_m ——单位质量机械功 $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}$
 x——液体组成
 y——汽体组成
 Z_L ——液化系数
 z——压缩系数
 Δh ——焓差 kcal/kg
 Δh_T ——等温节流效应
 Δp ——压力差
 $\Delta T, \Delta t$ ——温差 K 或 $^\circ\text{C}$
 α ——放热系数 $\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
 α_h ——节流效应 $^\circ\text{C}/\text{atm}$
 α_s ——等熵效应 $^\circ\text{C}/\text{atm}$
 β ——氧提取率
 γ ——重度 (单位体积所受的重力) kgf/m^3
 ε ——制冷系数
 η ——效率
 η_s ——绝热效率
 κ ——绝热指数
 λ ——导热系数 $\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
 μ ——动力粘度 $\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
 ν ——运动粘度 m^2/s
 ρ ——密度 kg/m^3
 σ ——表面张力 kgf/m
 τ ——时间 s
 φ ——相对湿度

上角标

0——理想的
 '——液相的或不可逆过程的终态
 "——气相的

下角标

0——标准状态或低温侧
 1, 2, 3——制冷循环或流程上的位置或经过的时间
 c——临界状态
 e——当量的
 f——馏分
 h——等焓过程
 i——任一组分
 k——空气
 L——液相
 m——质量或机械的
 m——平均的
 p——压力或膨胀过程
 r——对比状态

79-XII 常用符号表

s —— 饱和状态或等熵过程
 t —— 温度或等温过程
 V —— 汽体
 v —— 定容的
 $\max$ —— 最大
 $\min$ —— 最小
 Ar —— 氩气
 O_2 —— 氧气
 N_2 —— 氮气

N'_2 —— 污氮
 H_2O —— 水蒸汽
 CO_2 —— 二氧化碳
 C_2H_2 —— 乙炔
 NH —— 氦氖 (NeHe)
 KX —— 氪氙 (KrXe)
 L_{O_2} —— 液氧
 L_{N_2} —— 液氮
 L_{K} —— 液空

目 录

编辑说明
常用符号表

制 冷 设 备

第 1 章 制冷机概述

第 2 章 蒸气压缩式制冷机

1 循环	79-2
1.1 单级循环	79-2
1.2 两级循环	79-9
1.3 复叠式循环	79-12
2 制冷剂、载冷剂和润滑油	79-13
2.1 制冷剂的种类	79-13
2.2 制冷剂的性质	79-16
2.3 载冷剂	79-25
2.4 润滑油	79-26
3 活塞式制冷压缩机	79-26
3.1 分类	79-26
3.2 热力过程	79-27
3.3 主要参数和总体结构	79-29
3.4 设计条件和基本参数	79-30
3.5 运动部件的结构	79-35
3.6 气阀和能量调节机构组	79-37
3.7 润滑	79-39
4 离心式制冷机	79-40
4.1 概述	79-40
4.2 结构	79-42
4.3 热力计算	79-48
4.4 特性和调节	79-55
5 螺杆式制冷机	79-57
5.1 概述	79-57
5.2 结构	79-58
5.3 设计计算	79-59
5.4 油路系统	79-65
5.5 典型产品特性	79-66

6 冷凝器和蒸发器	79-66
6.1 冷凝器	79-66
6.2 蒸发器	79-71
6.3 冷凝器和蒸发器的概算	79-76
7 辅助设备	79-80
7.1 节流机构	79-80
7.2 贮液器	79-80
7.3 油分离器	79-81
7.4 集油器	79-81
7.5 氨液分离器	79-81
7.6 低压循环贮液器和低压贮液器	79-81
7.7 中间冷却器	79-82
7.8 回热器	79-82
7.9 空气分离器	79-82
7.10 过滤器	79-82
7.11 干燥器	79-83
7.12 紧急泄氨器	79-83
7.13 阀	79-83
7.14 容器强度设计	79-84
8 自动控制元件	79-86
8.1 流量控制阀	79-86
8.2 温度控制器	79-92
8.3 压力控制器	79-93
8.4 浮球液位控制器	79-94
8.5 其他控制元件	79-95
9 制冷系统与管路	79-96
9.1 制冷系统	79-96
9.2 制冷管路设计	79-100

第 3 章 吸收式制冷机

1 溴化锂吸收式制冷机	79-106
1.1 工作原理	79-106

1.2 结构型式	79-111
1.3 运行特性与能量调节	79-112
1.4 防腐	79-113
1.5 提高热力系数的途径	79-113
1.6 溴化锂吸收式制冷机的特殊型式	79-114
2 氨-水吸收式制冷机	79-115

第4章 蒸汽喷射式制冷机

1 工作原理	79-117
2 主喷射器	79-118
2.1 喷嘴	79-119
2.2 扩压器	79-119

3 辅助喷射器	79-120
4 蒸发器	79-122
5 冷凝器	79-124
5.1 蒸发式冷凝器	79-124
5.2 表面式冷凝器	79-124
5.3 混合式冷凝器	79-124
6 工作特性	79-124
6.1 冷凝压力的影响	79-124
6.2 工作蒸汽参数的影响	79-125
6.3 蒸发温度的影响	79-125

第5章 半导体制冷

空气分离设备

第6章 空分设备概述

1 空气的组成	79-127
2 空分设备的特点及其分类	79-127
2.1 空分设备的主要特点	79-127
2.2 空分设备主要分类	79-128
2.3 空分设备参数系列	79-128
3 空分设备的基本过程及其配套	79-129
3.1 基本过程	79-129
3.2 空分设备系统的构成	79-129
3.3 主要配套机组	79-129
4 发展趋向	79-130

第7章 空气分离的基本原理

1 实际气体在低温时的热力性质	79-130
1.1 实际气体在低温时的基本热力性质	79-130
1.2 获得低温的方法	79-132
1.3 冷量计算方法	79-133
1.4 实际气体在低温时的物性图表	79-134
2 精馏的溶液热力学基础	79-146
2.1 溶液热力学基本关系	79-146
2.2 精馏原理	79-147
2.3 有关汽-液平衡的相平衡图	79-148
3 深冷循环	79-155
3.1 气体分离的最小功	79-155
3.2 气体液化最小功	79-155

3.3 利用节流效应为基础的循环	79-156
3.4 以等熵膨胀为基础的循环	79-158
3.5 气体制冷循环	79-160

第8章 空分设备流程

1 流程选择	79-161
1.1 原理流程	79-161
1.2 流程组织中有关问题分析	79-163
2 流程计算程序与参数选择	79-164
2.1 物料衡算	79-164
2.2 热量衡算	79-165
2.3 计算程序	79-166
3 典型空分设备	79-168
3.1 生产气体产品的空分设备流程	79-168
3.2 生产液体产品的空分设备流程	79-170
4 低温管道设计	79-171
4.1 低温管道	79-171
4.2 低温管道的温度补偿	79-171
4.3 低温管道配置	79-172

第9章 精馏设备

1 氧-氮二元混合物精馏计算	79-173
1.1 物料衡算及操作线方程式	79-173
1.2 下塔图解计算	79-173
1.3 上塔图解计算	79-174
1.4 回流比及塔板数极限	79-175

1.5 塔效率	79-175
2 氧-氩-氮三元混合物精馏计算	79-175
2.1 氩组分的假设值	79-176
2.2 计算起点的选择	79-176
2.3 液体节流后汽液相浓度的变化	79-176
2.4 液空进口位置	79-177
2.5 膨胀空气进口位置	79-177
2.6 计算过程中可能发生的问题	79-177
3 塔设备结构	79-177
3.1 筛板塔	79-178
3.2 泡罩塔	79-179
3.3 填料塔	79-179
4 流体力学计算	79-180
4.1 筛孔塔板流体力学状况	79-180
4.2 精馏塔水力学计算	79-181

第10章 低温换热器

1 盘管式换热器	79-183
1.1 结构概述	79-183
1.2 设计计算	79-183
1.3 结构设计	79-185
2 板式换热器	79-185
2.1 结构特性	79-185
2.2 设计计算	79-187
3 可逆式换热器	79-188
3.1 设计计算	79-188
3.2 自清除和切换时间	79-189
3.3 单元组合方法	79-190
4 石头填料蓄冷器	79-190
4.1 结构概述	79-190
4.2 填料	79-191
4.3 设计计算	79-191
5 冷凝蒸发器	79-193
5.1 长管式冷凝蒸发器设计计算	79-193
5.2 短管式冷凝蒸发器设计计算	79-195
5.3 板式冷凝蒸发器	79-195

第11章 净化设备

1 空气过滤器	79-196
1.1 常温过滤器	79-196
1.2 低温过滤器	79-197

2 吸附干燥器	79-197
2.1 干燥方法	79-197
2.2 吸附剂及其性能	79-199
2.3 常温分子筛的共吸附	79-199
2.4 吸附干燥器设计计算	79-200
3 低温吸附器	79-201
3.1 低温二氧化碳吸附器	79-201
3.2 低温乙炔吸附器	79-202

第12章 活塞式膨胀机

1 活塞式膨胀机工作过程和制冷量	79-203
1.1 工作过程	79-203
1.2 制冷量	79-204
2 活塞式膨胀机热力计算	79-205
2.1 热力计算	79-205
2.2 冷量损失	79-206
3 活塞式膨胀机结构	79-209
3.1 总体结构	79-209
3.2 主要部件结构	79-209
3.3 安全机构	79-214
4 活塞式膨胀机制冷量调节	79-216

第13章 透平膨胀机

1 透平膨胀机分类及膨胀过程	79-217
1.1 透平膨胀机分类	79-217
1.2 通流部分及膨胀过程	79-217
2 通流部分热力-气动设计基础	79-218
2.1 通流部分各元件的流动特征	79-218
2.2 透平膨胀机效率和制冷量	79-222
3 通流部分热力-气动设计	79-223
3.1 基本参数选择	79-223
3.2 热力-气动设计	79-224
3.3 透平膨胀机选型	79-225
4 透平膨胀机结构设计	79-226
4.1 工作特点	79-226
4.2 总体结构型式	79-226
4.3 主要零部件结构设计	79-228
4.4 中高压透平膨胀机	79-232
5 透平膨胀机特性和调节	79-232
5.1 透平膨胀机特性	79-232
5.2 冷量调节方法	79-233

第14章 低温液体泵

- 1 离心式低温液体泵计算79-235
 - 1.1 泵转速确定79-235
 - 1.2 泵比转数确定79-236
 - 1.3 螺旋式诱导轮计算79-236
- 2 往复式低温液体泵计算79-238
 - 2.1 流量79-238
 - 2.2 轴功率79-238
- 3 低温液体泵结构设计79-238
 - 3.1 结构设计79-238
 - 3.2 低温泵主要零部件常用材料79-243

第15章 稀有气体的提取

- 1 氩的提取79-244
 - 1.1 粗氩的提取79-244
 - 1.2 粗氩除氧79-246
 - 1.3 工艺氩除氮79-247
 - 1.4 吸附法制取纯氩79-247
- 2 氦氮的提取79-248
 - 2.1 粗氦氮气的提取79-248
 - 2.2 粗氦氮气除氮79-248
 - 2.3 纯氦氮气的分离79-249
- 3 氖氙的提取79-249
 - 3.1 粗氖氙气的提取79-249
 - 3.2 氖氙分离79-250

- 3.3 氙的纯化79-251

第16章 贮存和运输

- 1 钢 瓶79-252
- 2 贮气器79-252
- 3 贮液器79-254
- 4 汽化器79-256
- 5 输液管道79-257

第17章 安全技术

- 1 空分设备的防爆79-261
 - 1.1 空分塔的爆炸及其原因79-261
 - 1.2 大气中可能存在的爆炸危险杂质及其性质79-261
 - 1.3 爆炸危险杂质在空分条件下的相对危险性79-264
 - 1.4 爆炸危险杂质许可含量的控制79-265
 - 1.5 爆炸危险杂质净化方法79-265
 - 1.6 爆炸危险杂质分析79-265
- 2 一般性安全技术79-267
 - 2.1 在空分工作条件下主要安全注意事项79-267
 - 2.2 防止静电积聚79-267
 - 2.3 与氧接触设备和氧气压缩、充装、储运中的安全措施79-267

附 录

- 附录 1 HN₃的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-269
- 附录 2 R11 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-271
- 附录 3 R12 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-272
- 附录 4 R13 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-275
- 附录 5 R14 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-276
- 附录 6 R22 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-278
- 附录 7 R113 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-280

- 附录 8 R142 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-280
- 附录 9 R502 的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-281
- 附录 10 乙烷的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-283
- 附录 11 丙烷的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-284
- 附录 12 乙烯的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-285
- 附录 13 丙烯的饱和液体和饱和蒸气热力性质表79-286
- 附录 14 NH₃ 压焓图79-287
- 附录 15 R11 压焓图79-288

附录16	R12 压焓图·····	79-289	附录23	甲烷压焓图·····	79-296
附录17	R13 压焓图·····	79-290	附录24	乙烷压焓图·····	79-297
附录18	R14 压焓图·····	79-291	附录25	丙烷压焓图·····	79-298
附录19	R22 压焓图·····	79-292	附录26	乙烯压焓图·····	79-299
附录20	R113 压焓图·····	79-293	附录27	丙烯压焓图·····	79-300
附录21	R142 压焓图·····	79-294	参考文献	·····	79-301
附录22	R502 压焓图·····	79-295			

制 冷 设 备

第1章 制冷机概述

从低于环境温度的物体中吸取热量，并将其转移给环境介质的过程，称为制冷。单位时间内从低温物体吸取的热量称为制冷量。

热力学第二定律指出：热量不能自发地从低温物体传给高温物体。因此，实现制冷需要消耗能量，如电能、热能、机械能等。制冷设备是指完成制冷循环所必需的各种设备的总称，习惯上简称制

冷机。在制冷机内，参与热力过程变化的工质称为制冷剂。依靠制冷剂状态的变化，实现能量转换和热量转移。

制冷机广泛应用于国民经济各部门。表79·1-1和图79·1-1列出各类制冷机的特点、适用的冷量和温度范围。

表79·1-1 制冷机的种类及各类制冷机的特点

制 冷 机 种 类		常用制冷剂	适用温度℃	单机制冷量 10 ⁴ kcal/h	主 要 用 途	
压 缩 式 制 冷 机	蒸 气 压 缩 式	活 塞 式	NH ₃ 、R12、R22、 R13、R14、R502	-120以上	全封闭 0.01~5	农业、医药卫生用的小型制冷设备、 冰箱和空调器
					高速多缸型 0.5~44	机械、化工、电子、建筑、商业中 用的冷却、冷藏和空调设备
					对称平衡型 35~150	石油、化工工艺用冷却设备
		离 心 式	R11、R12、R113、 R114、NH ₃ 、C ₃ H ₈ 、 C ₃ H ₆ 、CH ₄	-160以上	15~3000	石油、化工、纺织工业中工艺用冷 却设备，大型建筑空调设备
		螺 杆 式	NH ₃ 、R12、R22、 R502	-80以上	2~500	石油、化工、商业、交通运输中用 的冷却、冷藏和空调设备
		滑 片 式 滚动转子式	R12、R22、R502、 NH ₃	-30以上	大型：1.5~58	商业、交通运输中的冷却和冷藏设 备
	小型：0.01~1.5				商业中的小型制冷设备，冰箱和空 调器	
	气 体 压 缩 式	空气制冷机	空 气	-150以上	0.5~100	航空、电子仪表工业中的环境模拟 和空调设备
		气体回热式	H ₂ 、He	-100~-253	0.000043~2.15	液氮、液氦设备，红外技术、超导 技术中的超低温设备
吸 收 式 制 冷 机	氨水吸收式	NH ₃ -H ₂ O	-65以上	0.9~600	化工工艺用的冷却设备	
	溴化锂吸收式	LiBr-H ₂ O	0 以上	1.1~600	各种工业用空调和大型民用空调或 工艺用低温水设备	
	吸收扩散式	NH ₃ -H ₂ O-H ₂	-20以上	0.001~0.01	小型冰箱	
蒸汽喷射式制冷机		H ₂ O	0 以上	3~300	冶金、纺织、化工中的空调和工艺 用低温水设备	
半 导 体 制 冷			-120以上	0.001~3	医用和仪器用小型制冷设备，舰艇 中的冷却和空调	

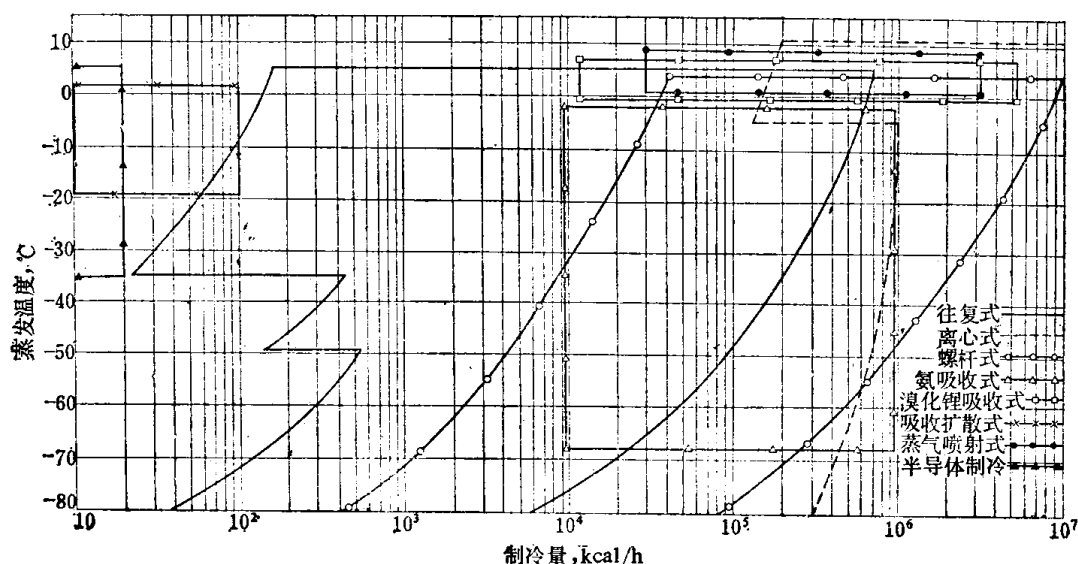


图79·1-1 各类制冷机常用的温度和制冷量范围

注：活塞式中不包括对称平衡型。

第2章 蒸气压缩式制冷机

1 循环

1.1 单级循环

1.1.1 无回热循环

a. 理论循环 满足下列三个简化条件的循环称为理论循环：1) 压缩过程是按等熵进行的；2) 不考虑制冷剂在流动时的摩擦损失；3) 制冷系统中除冷凝器、蒸发器和热交换器外，其余部分和外界没有热量交换。

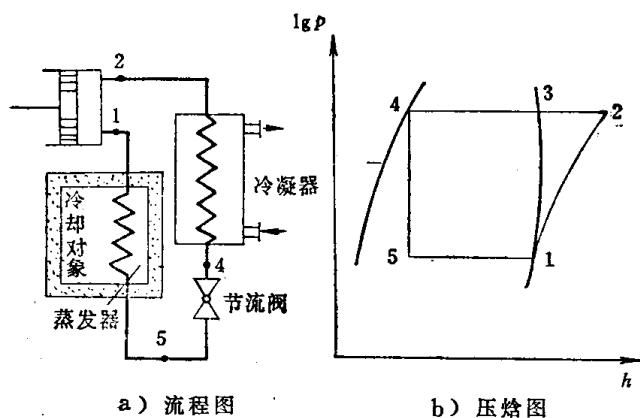


图79·2-1 单级无回热理论循环

图79·2-1为单级无回热理论循环的流程图和压焓图。循环由等熵压缩(1—2)、等压冷却及冷凝(2—3—4)、等焓节流(4—5)和等压蒸发(5—1)四个过程组成。

循环的特性指标：

单位质量制冷量 节流后1公斤制冷剂在蒸发系统中吸取的热量，简称为单位制冷量。

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad \text{kcal/kg} \quad (79\cdot2-1)$$

式中 h_1 ——吸气状态时制冷剂的焓值 kcal/kg

h_4 ——节流阀前制冷剂的焓值 kcal/kg

单位容积制冷量 相当于吸气状态下1 m³的制冷剂在流经蒸发系统时所吸取的热量。

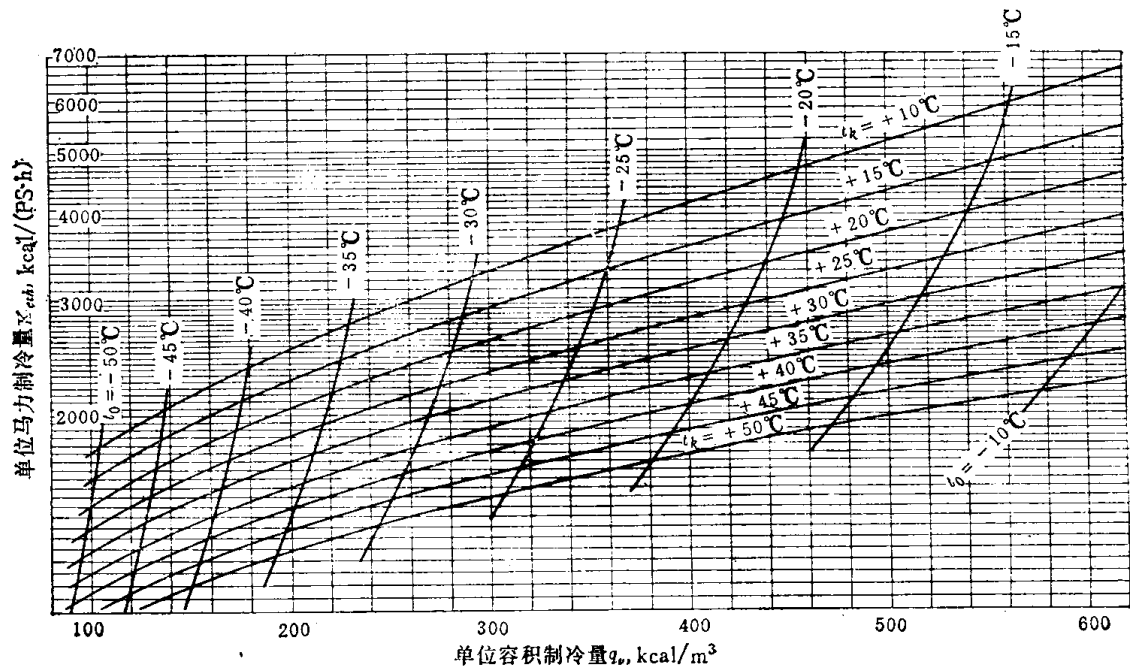
$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{h_1 - h_4}{v_1} \quad \text{kcal/m}^3 \quad (79\cdot2-2)$$

式中 v_1 ——制冷剂在吸气状态时的比容 m³/kg

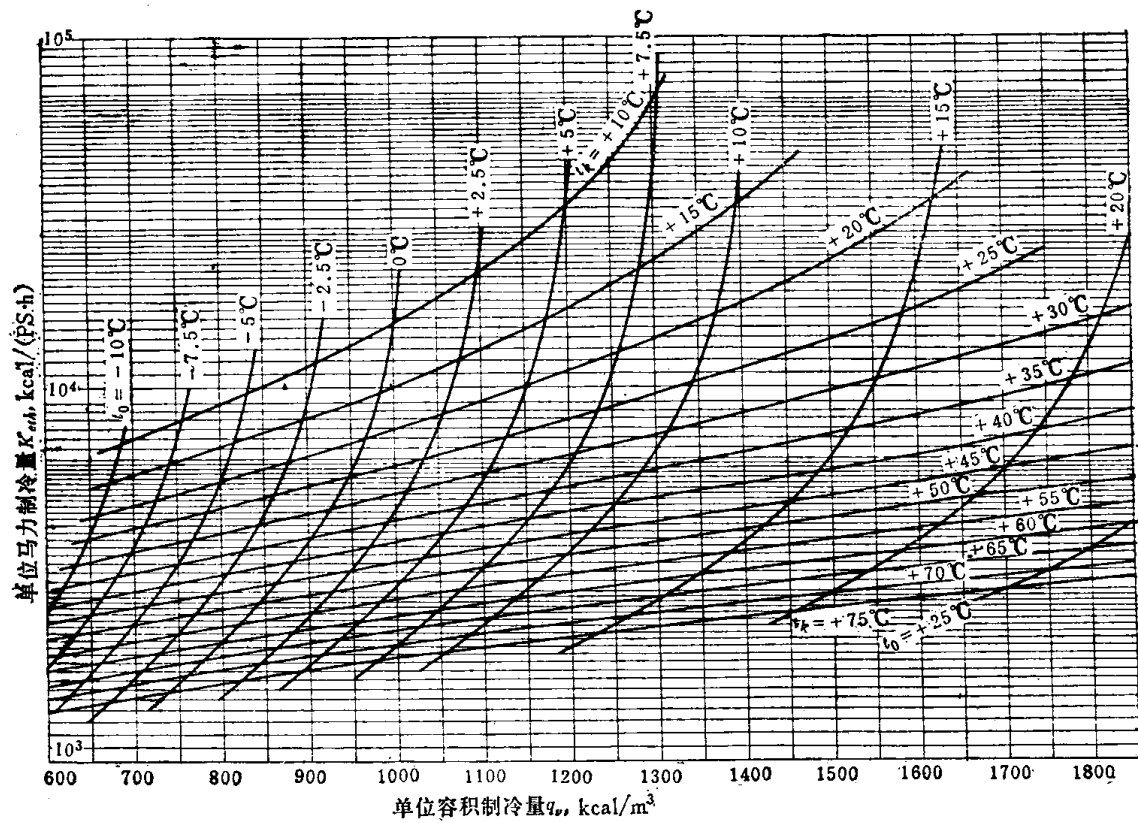
单位理论功 制冷剂循环量为1公斤时，消耗于理论循环的功。一般以热量 Al_{th} 表示，因为制冷机在节流过程中不作外功，故 Al_{th} 等于压缩过程中所消耗的功。

$$Al_{th} = h_2 - h_1 \quad \text{kcal/kg} \quad (79\cdot2-3)$$

式中 h_2 ——压缩终了时制冷剂的焓值 kcal/kg



a) 高温



b) 低温

图79-2-2 NH₃制冷机理论循环的 K_{eth} 和 q_v

单位冷凝热量 1公斤压缩后的制冷剂在冷凝器中被冷却和冷凝时所放出的热量。

$$q_k = h_2 - h_4 \quad \text{kcal/kg} \quad (79.2-4)$$

制冷系数 单位制冷量和单位功的热当量之比。在相同的温度条件下，制冷系数越大，循环的经济性越好。

$$\varepsilon_{th} = \frac{q_0}{Al_{th}} \quad (79.2-5)$$

热力完善度 在相同的温度条件下，制冷循环的制冷系数和逆卡诺循环的制冷系数之比。它表示循环接近逆卡诺循环的程度。热力完善度的数值越接近1，表示循环的经济性越好。

$$\eta_{th} = \frac{\varepsilon_{th}}{\varepsilon_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_2} \quad (79.2-6)$$

式中 η_{th} ——热力完善度

T_1 ——环境介质的绝对温度 K

T_2 ——被冷却物体的绝对温度 K

制冷机的性能指标：

制冷机的制冷量

$$Q_0 = Gq_0 \quad \text{kcal/h} \quad (79.2-7)$$

式中 G ——制冷剂的循环量 kg/h

冷凝器的热负荷

$$Q_k = Gq_k \quad \text{kcal/h} \quad (79.2-8)$$

压缩机的理论功率

$$N_{th} = \frac{GAl_{th}}{860} \quad \text{kW} \quad (79.2-9)$$

压缩机的输气量

$$V_{hth} = \frac{Q_0}{q_v} = Gv_1 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (79.2-10)$$

单位功率制冷量 循环中每消耗一千瓦功率所获得的制冷量。是评价循环经济性的一个指标。

$$K_{eth} = \frac{Q_0}{N_{th}} = 860\varepsilon_{th} \quad \text{kcal}/(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (79.2-11)$$

制冷机的热平衡关系式：

$$q_k = q_0 + Al_{th} \quad \text{kcal/kg} \quad (79.2-12)$$

图 79.2-2~4 给出了理论循环时 NH_3 、 R22 和 R12 的 q_v 值和 K_{eth} 值。

b. 实际循环 在实际循环中，考虑了理论循环里被忽略的一些实际因素，此外，高温热源（冷却介质）及低温热源（被冷却物体）与制冷剂进行热交换时必然存在着温差。图 79.2-5 示出由下列各实际过程组成的循环：蒸气流过吸气阀时的过程 1— a ；蒸气在压缩前受到气缸壁加热的过程 a — b ；压缩时的实际过程 b — c ；蒸气流过排气阀时的过程 c —2；有压力损失和传热温差的冷却、冷凝和过冷过程 2— e ；在节流阀中的实际过程 e — f ；有压力损失和传热温差的蒸发过程 f — g ；由蒸发器出口流至吸气阀前的过程 g —1。

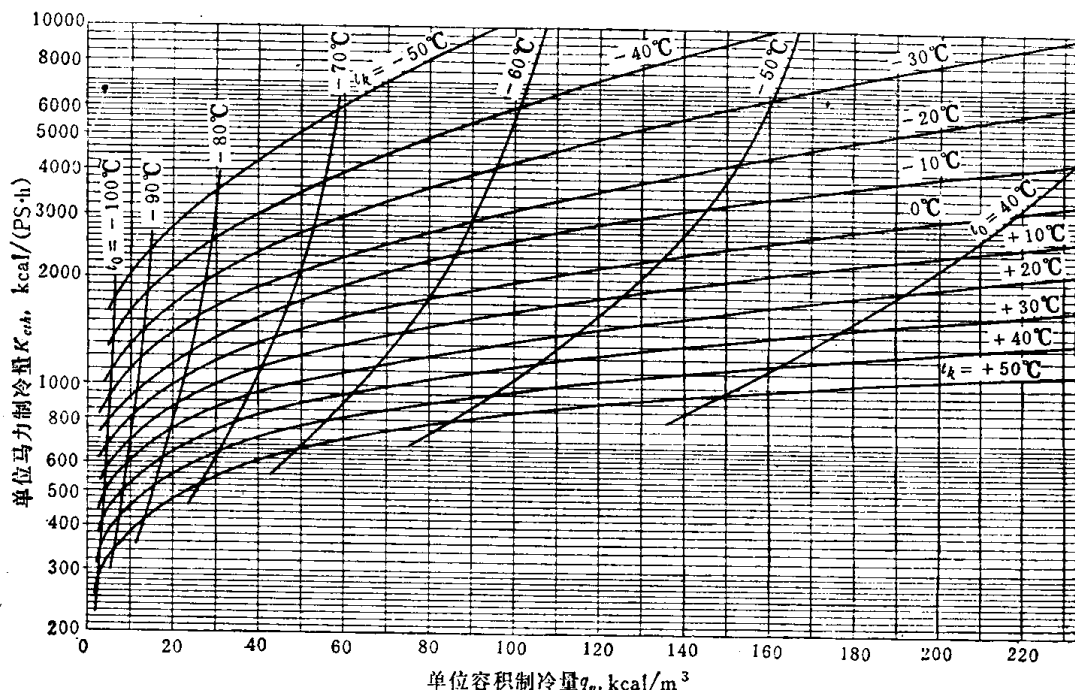


图79.2-3 R22制冷机理论循环的 K_{eth} 和 q_v