

制冷设备 维修手册

魏 龙 主 编 赵 强 副 主 编

ZHILENG SHEBEI
WEIXIU SHOUCHE



化学工业出版社

制冷设备 维修手册

魏 龙 主编 赵 强 副主编

ZHILENG SHEBEI
WEIXIU SHOUC



化学工业出版社

· 北 京 ·



前 言

随着社会的不断进步，国民经济的快速发展，人们生活水平的不断提高，制冷与空调技术显示出越来越重要的作用，已广泛应用于工业、农业、商业、国防、医药卫生、建筑工程、生物工程、宇宙开发及人们生活等各个领域。

我国制冷空调行业的发展起步于 20 世纪中叶，20 世纪 90 年代初期，我国制冷空调行业各类生产企业只有 217 家，工业年产值 65 亿元人民币；到 1999 年全行业有一定规模的企业有近 600 家，工业年产值 487.9 亿元人民币；到 2005 年全行业（包括家用、工商用等）的年产值已接近 2300 亿元人民币，出口额在 50 亿美元以上，已发展成为世界第二大制冷空调设备的消费市场和第一大生产国。截至 2008 年年底，全行业规模以上生产企业约为 1000 多家。2008 年，由美国次贷危机引发的全球金融危机由金融界向实体经济蔓延，这场危机导致全球市场需求严重萎缩。作为与经济景气度关联较大的行业，国内外制冷空调行业在这场百年不遇的危机中受到严重冲击。尽管如此，我国制冷空调全行业的工业总产值仍然达到约为 3070 亿元，出口产值约为 750 亿元人民币。2009 年，我国制冷空调全行业的工业总产值约为 3250 亿元人民币。2010 年，我国无论是家用制冷空调产品还是工商用制冷空调设备，无论是主机生产企业还是配套设备生产企业，均呈现出产销两旺的势头，全行业全年实现了较高的增长幅度，工业总产值约为 4200 亿元人民币。

我国制冷与空调行业的发展有两个显著特点：一是社会需求持续增长；二是新技术、新设备的应用和更新不断加快。这意味着对制冷设备维修专业技术人才的需求也日益增多，对从事制冷设备的运行、保养和维修提出了许多新要求。为满足社会需求，方便制冷设备维修人员了解各种设备的组成结构及工作特性，掌握操作维修的技能和方法，并在工作实践中正确应用各种基本知识和操作技能，我们编写了本手册。

本手册是重点介绍制冷设备维修技术的工具书，内容包括基础资料，制冷压缩机，制冷热交换设备、节流机构及辅助设备，小型制冷与空调装置，冷库，溴化锂吸收式制冷机组。

本手册以国家、行业颁布的最新规范、标准为准绳，密切联系生产实际、力求解决维修现场带有普遍性的问题。本手册以应用为主，主要介绍成熟可靠并通过实践检验的技术，同时也介绍一些指导性的科学理论和新技术，从而使制冷设备维修技术不断保持先进性。本手册内容丰富，图文表并茂，通俗易懂，简明扼要，充分体现针对性、实用性和先进性。

本手册适合于从事制冷设备维修的技术工人和工程技术人员使用，也可供大专院校、职业院校相关专业师生参考。

本手册由魏龙担任主编，赵强担任副主编。编写分工如下：第1章房桂芳，第2章赵强，第3~5章魏龙，第6章滕文锐。全书由曾焕平主审。本书在编写过程中，得到了戴路玲、张国东、蒋李斌、刘其和、冯飞、张蕾、涂中强、杜存臣、常新中、金良、王湘仁、李强、黄建等的大力帮助，在此一并表示感谢。

因编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请同行和读者予以批评指正。

编 者

制冷设备维修

目 录

第 1 章 基础资料

1.1 制冷常用法定计量单位及换算	1
1.1.1 制冷常用法定计量单位	1
1.1.2 制冷常用单位换算	2
1.2 制冷剂、载冷剂和冷冻机油	2
1.2.1 制冷剂	2
1.2.2 载冷剂	4
1.2.3 冷冻机油	5
1.3 制冷循环	7
1.3.1 蒸汽压缩式制冷循环	7
1.3.2 吸收式制冷循环	10
1.4 空气调节的基本知识	11
1.4.1 空气的性质及处理方法	11
1.4.2 空气调节的内容	12

第 2 章 制冷压缩机

2.1 活塞式制冷压缩机	15
2.1.1 活塞式制冷压缩机的工作原理、形式和基本参数	15
2.1.2 活塞式制冷压缩机的热力性能	18
2.1.3 活塞式制冷压缩机的典型结构	25
2.1.4 活塞式制冷压缩机的维护保养	28
2.1.5 活塞式制冷压缩机的常见故障与排除方法	30
2.1.6 开启活塞式制冷压缩机的检修	33
2.1.7 半封闭活塞式制冷压缩机的检修	60
2.2 螺杆式制冷压缩机	61
2.2.1 螺杆式制冷压缩机的基本结构和工作原理	61
2.2.2 螺杆式制冷压缩机的热力性能	62
2.2.3 螺杆式制冷压缩机的典型结构	65

2.2.4	螺杆式制冷机组的维护保养	67
2.2.5	螺杆式制冷压缩机的常见故障与排除方法	68
2.2.6	螺杆式制冷压缩机的检修	69
2.3	离心式制冷压缩机	74
2.3.1	离心式制冷压缩机的基本结构与工作原理	74
2.3.2	离心式制冷压缩机的典型结构	75
2.3.3	离心式制冷机组的维护保养	75
2.3.4	离心式制冷机组的常见故障与排除方法	82
2.3.5	离心式制冷压缩机的检修	90

第3章 制冷热交换设备、节流机构及辅助设备

3.1	制冷热交换设备	96
3.1.1	冷凝器	96
3.1.2	蒸发器	99
3.1.3	其他热交换设备	102
3.2	节流机构与辅助设备	103
3.2.1	节流机构	103
3.2.2	制冷系统辅助设备	105
3.2.3	其他设备	112
3.3	制冷设备的维护保养	113
3.3.1	冷凝器、蒸发器的维护保养	113
3.3.2	制冷系统中阀件的使用与维护	117
3.3.3	水泵的维护保养	117
3.3.4	冷却塔的维护保养	118
3.4	制冷设备的检修	119
3.4.1	制冷设备检修的时间与内容	119
3.4.2	制冷设备检修前对制冷剂的处理	120
3.4.3	冷凝器、蒸发器的检修	123
3.4.4	其他设备和管道的检修	124
3.4.5	制冷系统中阀件的检修	125
3.4.6	泵与风机的检修	127

第4章 小型制冷与空调装置

4.1	电冰箱	131
4.1.1	电冰箱的分类、规格型号及结构	131
4.1.2	电冰箱的制冷系统与控制电路	132
4.1.3	电冰箱维修操作工艺	135
4.1.4	电冰箱的故障分析与排除	160
4.1.5	R134a、R600a 电冰箱维修技术	168
4.2	商业用冷柜	171
4.2.1	商业用冷柜的分类、型号及结构	171

4.2.2	商用冷柜的制冷系统与电气控制系统	173
4.2.3	冷藏、冷冻柜常见故障的分析与排除	177
4.2.4	冷藏、冷冻柜的调试	183
4.2.5	陈列柜的常见故障及排除方法	183
4.3	房间空调器	184
4.3.1	房间空调器的分类、型号及结构	184
4.3.2	房间空调器的制冷系统与电气控制系统	186
4.3.3	房间空调器的维修操作工艺	192
4.3.4	房间空调器的故障检查和分析方法	200
4.3.5	电气控制系统故障分析与排除	201
4.3.6	制冷系统故障分析与排除	213
4.3.7	通风系统故障分析与排除	220
4.3.8	空调器维修后的检查	222
4.3.9	空调器故障分析速查表	223
4.3.10	空调器的自诊断和故障显示	227
4.3.11	变频空调器常见故障分析与排除	229
4.4	家用中央空调	230
4.4.1	家用中央空调系统类型	230
4.4.2	风管式空调系统常见故障分析与排除	233
4.4.3	冷热水空调系统常见故障分析与排除	235
4.4.4	制冷剂空调系统常见故障分析与排除	240
4.4.5	家用中央空调检修后的性能检测	244

第5章 冷库

5.1	冷库的分类与构成	246
5.1.1	冷库的分类	246
5.1.2	土建冷库	247
5.1.3	组合式冷库	249
5.2	制冷系统的运行操作与调整	251
5.2.1	制冷压缩机的运行操作	251
5.2.2	其他制冷设备的运行操作	259
5.2.3	制冷系统紧急停机处理	271
5.2.4	制冷系统放空气、融霜操作及冷冻机油的更换	274
5.2.5	制冷系统运行参数分析与调整	284
5.2.6	制冷系统的运行管理与交接班	289
5.3	冷库故障分析与排除	298
5.3.1	制冷系统正常运行标志	298
5.3.2	制冷系统故障判断方法与处理程序	299
5.3.3	制冷系统常见故障的分析与排除方法	303
5.3.4	控制部分常见故障的分析与排除	309
5.3.5	冷却水系统常见故障的分析与排除	311
5.4	冷库制冷系统的调试	312

5.4.1 活塞式压缩制冷系统的调试 313

5.4.2 螺杆式压缩制冷系统的调试 327

5.4.3 冷库降温试生产 329

第6章 溴化锂吸收式制冷机组

6.1 溴化锂吸收式制冷机组的分类、形式与构造 331

6.1.1 溴化锂吸收式制冷机组的分类 331

6.1.2 溴化锂吸收式制冷机组的形式和基本参数 332

6.1.3 溴化锂吸收式制冷机组的构造 332

6.2 溴化锂吸收式制冷机组的运行操作 335

6.2.1 机组的气密性检验、清洗与溶液充灌 335

6.2.2 溴化锂吸收式制冷机组的运行操作 341

6.3 溴化锂吸收式制冷机组的维修 346

6.3.1 溴化锂吸收式制冷机组的维护保养 346

6.3.2 溴化锂吸收式制冷机组的故障分析与排除 350

6.3.3 溴化锂吸收式制冷机组的检修 353

参考文献



第1章 基础资料

1.1 制冷常用法定计量单位及换算

1.1.1 制冷常用法定计量单位

制冷常用法定计量单位见表 1-1。

表 1-1 制冷常用法定计量单位

物理量名称	量的符号	单位名称	单位符号	常用进制
长度	l	米	m	$1\text{m}=100\text{cm}=1000\text{mm}$
面积	A	平方米	m^2	
体积	V	立方米	m^3	$1\text{m}^3=10^3\text{L}=10^6\text{cm}^3$
质量	m	千克	kg	
时间	t	[小]时	h	
		分	min	
		秒	s	
速度	v	米每秒	m/s	
转速	n	转每分	r/min	
力	F	牛[顿]	N	
压力	p	帕[斯卡]	Pa	$1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$
[动力]黏度	μ	帕[斯卡]秒	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	
运动黏度	ν	平方米每秒	m^2/s	
热力学温度	T	开[尔文]	K	$T=t+273.15$
摄氏温度	t	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}=273.15\text{K}$
能量	E	焦[耳]	J	$1\text{kW}\cdot\text{h}=3.6\times10^6\text{J}$
热量	Φ	焦[耳]	J	$1\text{kJ}=1000\text{J}$
功	W	焦[耳]	J	$1\text{kJ}=1000\text{J}$
功率	P	瓦[特]	W	$1\text{kW}=1000\text{W}$
电压	U	伏[特]	V	
电流	I	安[培]	A	$1\text{A}=1000\text{mA}$
电阻	R	欧[姆]	Ω	$1\text{M}\Omega=10^3\text{k}\Omega=10^6\Omega$
电容	C	法[拉]	F	$1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$
电感	L	亨[利]	H	$1\text{H}=1000\text{mH}$
频率	f	赫[兹]	Hz	

1.1.2 制冷常用单位换算

(1) 压力 压力单位换算见表 1-2。

表 1-2 压力单位换算

帕 (Pa)	巴 (bar)	标准大气压(atm)	工程大气压(at) 千克力/米 ² (kgf/cm ²)	毫米汞柱(mmHg)	毫米水柱(mmH ₂ O)
1	1×10 ⁻⁵	9.86923×10 ⁻⁶	1.01972×10 ⁻⁵	7.50062×10 ⁻³	1.01972×10 ⁻¹
1×10 ⁵	1	9.86923×10 ⁻¹	1.01972	7.50062×10 ²	1.01972×10 ⁴
1.01325×10 ⁵	1.01325	1	1.03323	760	1.03323×10 ⁴
9.80665×10 ⁴	9.80665×10 ⁻¹	9.67841×10 ⁻¹	1	735.559	1×10 ⁴
133.322	133.322×10 ⁻⁵	1.31579×10 ⁻³	1.35951×10 ⁻³	1	13.5951
9.80665	9.80665×10 ⁻⁵	9.67841×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁴	735.559×10 ⁻⁴	1

(2) 制冷量 制冷量单位换算见表 1-3。

表 1-3 制冷量单位换算

千瓦 (kW)	千卡/小时 (kcal/h)	英热单位/小时 (Btu/h)	冷冻吨		
			美国冷冻吨	日本冷冻吨	英国冷冻吨
1	859.8	3412	0.2835	0.259	0.2549
1.163×10 ⁻³	1	3.968	3.297×10 ⁻⁴	3.012×10 ⁻⁴	2.965×10 ⁻⁴
2.931×10 ⁻⁴	0.252	1	8.308×10 ⁻⁵	7.591×10 ⁻⁵	7.472×10 ⁻⁵
3.517	3024	12000	1	0.9108	0.9864
3.861	3320	13174	1.098	1	0.9841
3.923	3373	13384	1.112	1.016	1

(3) 功率 功率单位换算见表 1-4。

表 1-4 功率单位换算

瓦(W)	米制马力(PS)	英制马力(HP)	公斤力米每秒(kgf·m/s)
1	0.00136	0.00134	0.102
735.5	1	0.9863	75
745.7	1.04	1	76.04
9.807	0.0133	0.01315	1

1.2 制冷剂、载冷剂和冷冻机油

1.2.1 制冷剂

1.2.1.1 常用制冷剂的安全性和对环境的友好性

常用制冷剂对人类的危害大致分为以下两个方面：首先是对人身和设备的直接危害；其次是对环境的破坏和污染间接地危害人类。直接危害表现在制冷剂的毒性、可燃烧和可爆炸性。对环境的污染表现在对材料的腐蚀性和对大气层的破坏作用。

我国国家标准 GB/T 7778—2008《制冷剂编号方法和安全性分类》中把制冷剂分为 9 种安全分组类型，如图 1-1 所示。

制冷剂对环境的友好性是指综合考虑制冷剂的 ODP、GWP、大气寿命，评估其排放到大气层后对环境的影响符合国际认可的条件。其中，ODP 为消耗臭氧层潜值，指排放的气体相对于 CFC-11 (R11) 排放所产生的臭氧层消耗的比较指标；GWP 为全球变暖潜值，指排放的气体相对于等量二氧化碳排放所产生的气候影响的比较指标；大气寿命是指任何物质排放到大气层被分解一半（数量）时所需的时间（年）。

常用制冷剂的安全性及环境友好性评估见表 1-5。

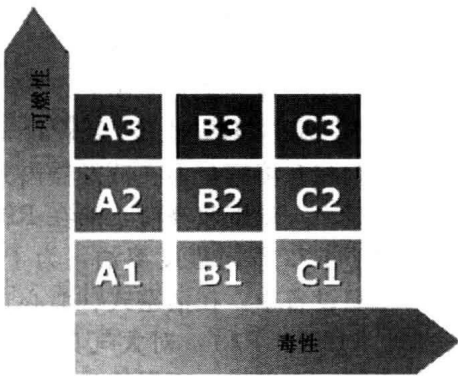


图 1-1 制冷剂安全性分类

表 1-5 常用制冷剂的安全性及环境友好性评估

制冷剂编号	化学名称	化学分子式	分子量	标准沸点 /℃	安全性分类	环境友好性 (是/否)
R22	氯二氟甲烷	CHClF ₂	86.5	−41	A1	否
R123	2,2-二氯-1,1,1-三氟乙烷	CHCl ₂ CF ₃	153.0	27	B1	是
R134a	1,1,1,2-四氟乙烷	CH ₂ FCF ₃	102.0	−26	A1	是
R290	丙烷	CH ₃ CH ₂ CH ₃	44.0	−42	A3	是
R600a	2-甲基丙烷(异丁烷)	CH(CH ₃) ₃	58.1	−12	A3	是
R717	氨	NH ₃	17.0	−33	B2	是
R744	二氧化碳	CO ₂	44.0	−78	A1	是
制冷剂编号	组成质量/%	平均分子量	泡点/℃	露点/℃	安全性分类	环境友好性(是/否)
R407C	R32/125/134a(23/25/52)	86.2	−43.8	−36.7	A1/A1	否
R410A	R32/125(50/50)	72.6	−51.6	−51.5	A1/A1	否

1.2.1.2 常用制冷剂的特性

(1) R717 (氨) 氨是使用历史最长的制冷剂。它具有良好的热力性能，循环过程中高、低压适中，且具有极大的单位容积制冷量和较高的制冷系数，流动阻力小，热导率大，价格低廉，对大气臭氧层无破坏作用，故目前仍被广泛采用。氨的主要缺点是毒性较大、可燃、可爆、有强烈的刺激性臭味、等熵指数较大，若系统中含有较多空气时，遇火会引起爆炸，因此氨制冷系统中应设有空气分离器，及时排除系统内的空气及其他不凝性气体。

氨在润滑油中的溶解度很小，油进入系统后，会在换热器的传热表面上形成油膜，影响传热效果，因此在氨制冷系统中往往设有油分离器。氨液的密度比润滑油小，运行中油会逐渐积存在储液器、蒸发器等容器的底部，可以较方便地从容器底部定期放出。

氨对钢铁不起腐蚀作用，但对锌、铜及铜合金（磷青铜除外）有腐蚀作用，因此在氨制冷系统中，不允许使用铜及铜合金材料，只有连杆衬套、密封环等零件允许使用高锡磷青铜。目前氨用于蒸发温度在−65℃以上的大、中型单、双级制冷机中。

(2) R22 R22 对大气臭氧层有轻微破坏作用，并产生温室效应。它是第二批被列入限

用与禁用的制冷剂之一。我国最迟将在 2030 年禁止生产和使用。R22 无色、气味很弱、不燃烧、不爆炸，属安全性制冷剂。

当用水作冷却介质时，其冷凝压力一般应不超过 1.53MPa；当用空气作冷却介质时，其冷凝压力一般应不超过 2.16MPa。R22 能部分地与矿物性润滑油互溶，在压缩机壳体内和冷凝器内相互溶解，而在蒸发器内分离，其溶解度随着温度的变化而变化。温度下降时，其溶解度减小；温度较高时，油在 R22 液体中的溶解度较大，两者互相溶解，组成均匀的溶液。由于 R22 不同程度溶油，为了顺利回油，系统应装油分离器。R22 广泛用于冷藏、空调、低温设备中。在活塞式、离心式、压缩机系统中均有采用。

(3) R134a R134a 对大气臭氧层无破坏作用，但仍有一定的温室效应。R134a 无色、无味、无毒、不燃烧、不爆炸。在温度较高时，能完全溶解于多元烷基醇类和多元醇酯类合成润滑油；在温度较低时，只能溶解于多元醇酯类合成润滑油。R134a 的渗透性强，容易泄漏。R134a 制造原料贵、工艺复杂，还要消耗大量的催化剂，价格高。R134a 广泛地运用于电冰箱、汽车空调、螺杆式和离心式制冷机中。

(4) R123 R123 是一种高温制冷剂，适用于离心式制冷压缩机。R123 在常温常压下是一种无色无味的气体，在水中的溶解度很小，而且温度越低，溶解度越小。R123 对天然橡胶、塑料有一定的侵蚀作用，与矿物性润滑油能互溶。

(5) R600a R600a 对大气臭氧层无破坏作用，无温室效应。无毒，但可燃、可爆，在空气中爆炸的体积分数为 1.8%~8.4%，故在有 R600a 存在的制冷管路，不允许采用气焊或电焊。它能与矿物油互溶。汽化潜热大，故系统充注量少。热导率高，压缩比小，对提高压缩机的容积效率及压缩机效率有重要作用。等熵指数小，排气温度低。工作压力低，低温下蒸发压力低于大气压力，因而增加了吸入空气的可能性。价格便宜。

(6) R290 R290 与目前广泛使用的矿物油、金属材料相溶。对干燥剂、密封材料无特殊要求。汽化潜热大，热导率高，故可减少系统充灌量。流动阻力小，压缩机排气温度低。但它易燃易爆，空气中可燃极限为 2%~10%（体积分数），故对电子元件和电气部件均应采用防爆措施。如果在 R290 中混入少量阻燃剂（例如 R22），则可有效地提高空气中的可燃极限。R290 化学性质很不活泼，难溶于水。

(7) R407C R407C 对大气臭氧层无破坏作用，但会产生温室效应。为 R22 的替代物。在空调工况下，其单位体积制冷量和制冷系数均比 R22 低 5%。R407C 的传热性能较差，为达到与 R22 同样的制冷量，冷凝器和蒸发器的面积需有较大的增加。R407C 不能与矿物性润滑油互溶，但能溶解于聚酯类合成润滑油。对干燥有较高要求。

(8) R410A R410A 对大气臭氧层无破坏作用，但会产生温室效应。虽然其工作压力比 R22 要高些，但其他性能比 R407C 要优越，能效比也较高。尤其是在低温工况下，其单位体积制冷量可比 R22 提高约 60%，制冷系数也比其大 5% 左右。R410A 有良好的传热和流动特性，传热性优于 R407C。R410A 不能与矿物性润滑油互溶，但能溶解于聚酯类合成润滑油。其价格及配套的润滑油较昂贵，还要用专门的制冷压缩机，所以目前的使用成本偏高。

1.2.2 载冷剂

载冷剂（也称为冷媒）是在间接制冷系统中，用来传递冷量的中间介质。制冷装置的制冷量，通过载冷剂的循环流动传递给被冷却对象。

(1) 水 当工作温度在 0℃ 以上时，可用水作为载冷剂。水的比热容大、密度小、化学性能稳定，而且价格极低。在一般的空调制冷系统中，水是一种理想的载冷剂。目前中央空

调大量使用的冷水机组，就是用水作为载冷剂，在制冷剂和空气之间传递冷量。

(2) 盐水 当工作温度在 0℃ 以下时，可用盐水作为载冷剂。常用的盐水是由氯化钙 (CaCl₂)、氯化钠 (NaCl) 和氯化镁 (MgCl₂) 配制成的盐水溶液。

盐水的性质取决于溶液中盐的浓度，如图 1-2 所示。
常用的三种盐水的冰盐共晶点温度和浓度见表 1-6。

(3) 乙二醇水溶液 近几年，在冰蓄冷空调系统中，常以乙二醇作为载冷剂使用。乙二醇有乙烯乙二醇和丙烯乙二醇两种。这两种制冷剂均为无色、无味的有机化合物。在低温时，乙烯乙二醇比丙烯乙二醇具有更良好的性能，但在与人接触或对毒性要求严格的场合，使用丙烯乙二醇则更安全。

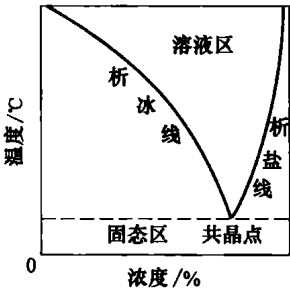


图 1-2 盐水溶液的温度-浓度图

表 1-6 常用的三种盐水的冰盐共晶点温度和浓度

项目		盐 水 名 称		
		CaCl ₂ 盐水	NaCl 盐水	MgCl ₂ 盐水
冰盐共晶点	温度/℃	-55	-21.2	-33.6
	浓度/%	42.7	29	25.9
适用于蒸发温度范围/℃		>-50	>-16	>-27

值得注意的是，当乙烯乙二醇水溶液的质量分数增至 75% 时，其起始凝固温度将升高；丙烯乙二醇水溶液的质量分数增至 60% 时，无凝固点，水溶液呈玻璃状。

1.2.3 冷冻机油

(1) 冷冻机油的性能要求 冷冻机油用于润滑制冷压缩机的各摩擦副，它是压缩机能够长期、高速、有效运行的关键。在工作时，有一部分冷冻机油通过制冷压缩机的汽缸随制冷剂一道进入冷凝器、膨胀阀和蒸发器，这就要求冷冻机油不仅具备一般润滑剂的特性，而且还应适应制冷系统的特殊要求，对制冷系统不应产生不良影响。表 1-7 为制冷系统各部件对冷冻机油的性能要求。

表 1-7 制冷系统各部件对冷冻机油的性能要求

制冷系统部件	对冷冻机油的性能要求	制冷系统部件	对冷冻机油的性能要求
压缩机	①与制冷剂共存时具有优良的化学稳定性 ②有良好的润滑性 ③有极好的与制冷剂的互溶性 ④对绝缘材料和密封材料具有优良的适应性 ⑤不含机械杂质 ⑥有良好的抗泡沫性	蒸发器	①有优良的低温流动性 ②无蜡状物絮状分离 ③不含水 ④有极好的与制冷剂的互溶性
冷凝器	有优良的与制冷剂的相溶性	膨胀阀	①无蜡状物絮状分离 ②不含水 ③不含机械杂质

(2) 冷冻机油的品种与规格 目前制冷压缩机中所使用的冷冻机油主要包括矿物油、合成烃油、脂类油和聚醚油。

① 矿物油或合成烃型冷冻机油 我国国家标准 GB/T 16630—1996《冷冻机油》规定的冷冻机油均为矿物油或合成烃油，主要使用于氨、CFC 和 HCFC 为制冷剂的压缩机。按 GB/T 16630—1996 的规定，这类冷冻机油产品的每个品种按质量确定等级。L-DRA/A 和 L-DRA/B 定为一等品，L-DRB/A 和 L-DRB/B 定为优等品，我国冷冻机油各品种的应用范围见表 1-8。

表 1-8 我国冷冻机油各品种的应用

GB/T 16630—1996 规定的品种	ISO VG 黏度分类	主要组成	蒸发器操作温度	制冷剂类型	典型应用
L-DRA/A	N22、N46、N68	深度精制矿物油（环烷基油、石蜡基油或白油）、合成烃油	高于-40℃	氨、CO ₂	开启式。普通制冷压缩机
L-DRA/B	N32、N46			氨、CFC、HCFC 及其为主的混合物	半封闭。普通制冷机；冷冻、冷藏设备；空调
L-DRB/A	N32	深度精制矿物油、合成烃油	低于-40℃	CFC、HCFC、以 HCFC 为主的混合物	全封闭。冷冻、冷藏设备；电冰箱
L-DRB/B	N15、N32、N46、N56	合成烃油			

注：全封闭式的空调压缩机和热泵可用 ISO-L-DRC 油（我国尚未标准化）。

② 聚醚油和脂类油 随着新型制冷剂的替代和发展，由于矿物油和无氯卤代烃类制冷剂无法相溶，近年来开发出了许多新型合成冷冻机油，其中聚醚油和脂类油已得到较多的使用。聚醚油以环氧乙烷-环氧丙烷共聚醚（PAG）的综合性能较合适，不仅适用于 R134a 系统，也适用于 R22 系统。它有很好的润滑性，低流动点，良好的低温流动性，以及与多数橡胶有良好的兼容性。缺点是吸水性强，与矿物油不相溶，以及需要添加抗氧化剂来改善其化学和热力稳定性。多元醇脂类油（POE）是继 PAG 而推出的适用于 HFC 制冷剂的一种脂类合成油，它与 HFC 制冷剂能相溶，耐磨性好，吸水性比 PAG 弱，两相分离温度高。POE 油虽有较好的热稳定性，但在热和氧的作用下，氧化变质的温度下降很多，氧化物大部分是小分子的酸性物质。表 1-9 给出部分脂类合成油的主要性能。

表 1-9 部分脂类合成油的主要性能

型 号	运动黏度/(mm ² /s)		闪点/℃	凝固点/℃	不同温度(℃)与 R134a 的溶解度
	40℃	100℃			
ACD-22AW	20.5	4.4	240	-63	-65(70%)
ACD-32AW	32.1	5.8	252	-55	-64(70%)
RL-22H	18.9	4.2	—	-52	-44~80(10%)
RL-32H	33.7	5.9	—	-46	-42~80(10%)
RL-22S	20.9	4.5	—	-53	-17~80(10%)
RL-32S	32.0	5.6	—	-46	-8~80(10%)

(3) 冷冻机油的选择 压缩机的形式、运行条件、压缩的工质对冷冻机油的选用都有影响。开启式制冷压缩机所用润滑油的工作条件较为缓和，加之可以经常换油，所以一般使用质量等级较低的 L-DRA/A 级冷冻机油；半封闭制冷压缩机一般使用 L-DRA/B 级冷冻机油；润滑油在全封闭制冷压缩机内工作条件苛刻，一般选用质量等级较高的 L-DRB 油。

不同的制冷剂对油的作用不同。氨与矿物油的互溶性很差，而大部分卤代烃制冷剂与矿物油互溶性很好，溶油后黏度会下降，所以卤代烃制冷机用油的黏度比氨制冷机用油的黏度

高。HFC 类制冷剂与矿物油不相溶，与 PAG 润滑油有限溶解，与 POE 润滑油完全互溶。CFC、HCFC、HC 类制冷剂大多选用矿物油，HFC 类制冷剂大多选用合成油，如 POE 和 PAG 润滑油。

对于冷冻机油的黏度选择可参照表 1-10 进行，大、中型的多缸、高速（活塞平均线速度在 3m/s 以上）、负荷较大的制冷压缩机应选较高黏度油；小型、微型或低速（活塞平均线速度在 2m/s 以下）的制冷压缩机应选低黏度油。

表 1-10 冷冻机油的黏度选择

蒸发温度/℃	制冷剂	用油部位	ISO 黏度等级
>-18	氨	汽缸、轴承	N46
>-18	氟里昂	汽缸、轴承	N46
-40~-18	氨	汽缸、轴承	N22、N32
-40~-18	氟里昂	汽缸、轴承	N22、N32、N46
-80~-40	氟里昂	汽缸、轴承	N22、N32
<-80	氟里昂	汽缸、轴承	N15

1.3 制冷循环

1.3.1 蒸气压缩式制冷循环

蒸气压缩式制冷循环，根据实际应用有单级、多级、复叠式等循环之分。

1.3.1.1 单级蒸气压缩式制冷循环

在各种蒸气压缩式制冷机中，单级压缩制冷机应用最广，且是构成其他蒸气压缩式制冷机的基础，据不完全统计，全世界单级蒸气压缩式制冷机的数量占制冷机总数的 75% 以上。

单级蒸气压缩式制冷循环，是指制冷剂在一次循环中只经过一次压缩，最低蒸发温度可达 $-40\sim-30^{\circ}\text{C}$ 。单级蒸气压缩式制冷循环系统如图 1-3 所示，主要由四大部件组成，即压缩机、冷凝器、节流元件和蒸发器，用不同直径的管道把它们串接成一个封闭的循环回路，在系统回路中装入制冷剂，就形成一个能使制冷剂循环流动的封闭系统。

在实际的制冷装置中，为提高设备运行的经济性和安全可靠，除四个基本部件外，还增加了许多辅助设备，如气液分离器、油分离器、储液器、集油器、空气分离器、中间冷却器等，还有压力表、温度计、截止阀、安全阀、液位计和自动控制仪器、仪表等。这些设备和仪器、仪表的有机组合，就构成了完整的、实际的制冷系统。

综合考虑各种因素的影响，可得到单级蒸气压缩实际制冷循环的压焓图，如图 1-4 所示。图中， $4'-1$ 表示制冷剂在蒸发器气化和压降过程； $1-1'$ 表示制冷剂蒸气的过热（有益或有害）和压降过程； $1'-2'_s$ 表示制冷剂蒸气在制冷压缩机内实际的非等熵压缩过程； $2'_s-2_s$ 表示制冷压缩机压缩后的制冷剂蒸气经过排气阀的压降过程； 2_s-3 表示制冷剂蒸气经排气管进入冷凝器的冷却、冷凝和压

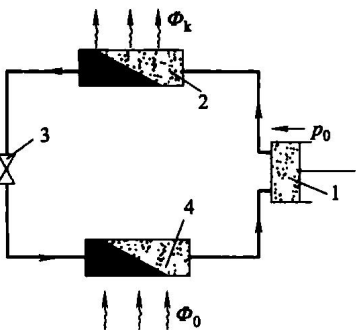


图 1-3 单级蒸气压缩式制冷循环系统

1—制冷压缩机；2—冷凝器；
3—节流元件；4—蒸发器

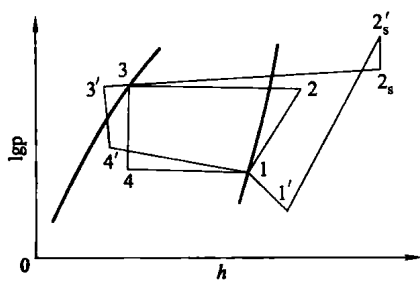


图 1-4 单级蒸气压缩实际制冷循环的压焓图

降过程；3-3'表示制冷剂液体的过冷和压降过程；3'-4'表示制冷剂液体的非绝热节流过程。图中 1-2-3-4-1 为单级蒸气压缩理论制冷循环过程。

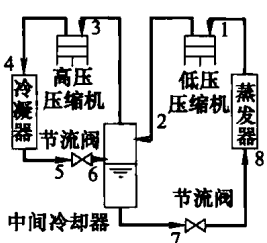
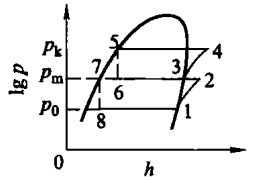
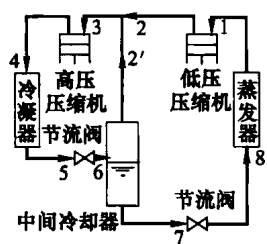
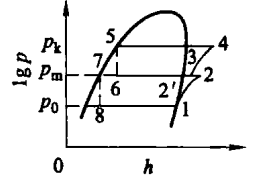
1.3.1.2 双级蒸气压缩与复叠式制冷循环

对于单级压缩制冷循环，其压力比不宜过大，对于氨压缩机，压力比应 ≤ 8 ；氟里昂压缩机，压力比应 ≤ 10 。为了达到更低的蒸发温度，或者提高制冷系统的工作效率，就需要采用多级压缩制冷循环或复叠式制冷循环。

(1) 双级蒸气压缩式制冷循环基本类型 双级蒸气压缩制冷循环是将从蒸发器来的压力为 p_0 的制冷剂蒸气先用低压压缩机（或压缩机的低压级）压缩到中间压力 p_m ，再用高压压缩机（或压缩机的高压级）压缩到冷凝压力 p_k 。双级压缩间大多采用中间冷却，冷却的程度有完全冷却和不完全冷却两种。所谓完全冷却是指将低压压缩机的排气冷却到干饱和蒸气状态；不完全冷却指没有冷却到干饱和蒸气状态，只是一定程度地降低了低压压缩机排气的过热度。而节流过程有一级节流和二级节流两种，双级蒸气压缩制冷循环的不同流程图及其特点见表 1-11。

表 1-11 双级蒸气压缩式制冷循环的不同流程图及其特点

流程形式	流程图	lg p-h 图	特 点
一级节流 中间完全 冷却			便于调节控制、远距离供液,适用于无机物制冷剂
一级节流 中间不完 全冷却			便于调节控制、远距离供液,适用于有机物制冷剂
一级节流 中间不 冷却			系统简单,但压缩机排气温度较高,适用于采用有机物制冷剂的小型装置

流程形式	流程图	$\lg p-h$ 图	特 点
二级节流 中间完全冷却			制冷效率较高,但调节控制难度较大, 适用于无机物制冷剂
二级节流 中间不完全冷却			制冷效率较高,但调节控制难度较大, 适用于有机物制冷剂

双级蒸气压缩可以由两台压缩机完成,组成的系统称为两机双级系统(又称配组式双级系统),其中一台为低压级压缩机,另一台为高压级压缩机;也可以由一台压缩机完成,组成的系统称为单机双级系统,其中部分汽缸作为高压缸,其余汽缸作为低压缸。

(2) 复叠式制冷循环 当需要 -70°C 、 -80°C 以下的蒸发温度时,往往采用中温制冷剂的双级或多级蒸气压缩式制冷循环也不能满足要求。这时就需采用复叠式制冷循环。

复叠式制冷循环是由两种或两种以上不同的制冷剂,采用两个或两个以上的单级(也可以是双级)制冷系统组合而成,如图1-5所示。

在这两个制冷系统中使用两种热力性质不同的制冷剂,即在高温系统中通常使用中温制冷剂如R22等,在低温系统中一般用低温制冷剂如R13、R14等。高温部分和低温部分都是一个完整的使用单一制冷剂的单级或双级蒸气压缩式制冷循环,高温系统的蒸发器就是低温系统的冷凝器,高温系统和低温系统就是通过它联系起来的,一般称它为冷凝蒸发器。只有低温系统的蒸发器才制取冷量,即吸收被冷却物质的热量,高温系统中制冷剂再将热量传给环境介质(空气或水)。

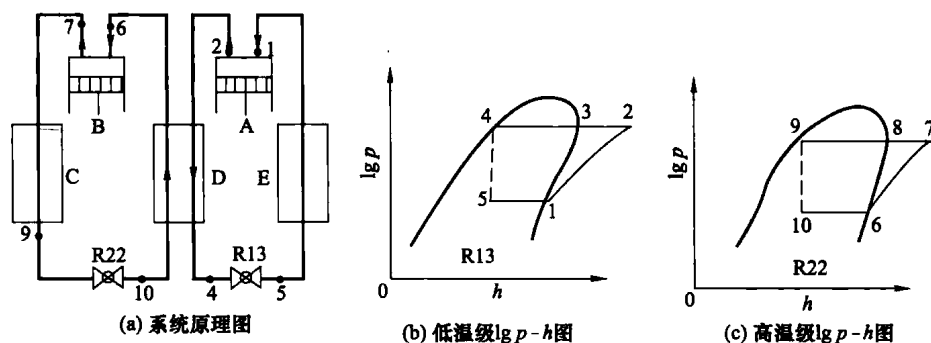


图 1-5 复叠式制冷循环

A—低温部分压缩机; B—高温部分压缩机; C—冷凝器; D—冷凝蒸发器; E—蒸发器

复叠式制冷循环不仅可以采用不同的制冷剂,还可以用不同的制冷方法,例如低温部分用蒸气压缩式制冷循环,而高温部分用吸收式制冷循环。