

制冷与空调专业教材

国内贸易部部编



中等专业学校教材

# 制冷原理

主编 姜守忠 匡奕珍

中国商业出版社

## 内 容 提 要

本书较全面地讲叙了人工制冷的方法、热力学原理。书中着重讲述了制冷剂、载冷剂特性及蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷工作原理和热力性能分析。书中还介绍了蒸汽喷射式、空气压缩式、热电式等制冷工作原理。

本书可供大、中专制冷空调专业学生作为专业课教材或参考书使用，也可供从事制冷空调工程的技术人员学习和参考。

## 前 言

随着国民经济的发展和人们生活水平的提高，制冷技术得到了广泛的应用。为了工程和教学需要，我们编写了《制冷原理》一书，供从事制冷空调技术的有关技术人员和大、中专学生学习和参考。

本书着重介绍了制冷剂、载冷剂特性；人工制冷热力学原理；蒸汽压缩式和吸收式制冷循环工作原理、热力学分析、影响循环性能的因素及提高循环效率的方法。本书还介绍了蒸汽喷射式制冷、空气压缩式制冷、混合制冷剂制冷与热电式制冷等工作原理和热力分析方法。

参加本书编写的有姜守忠、匡奕珍、邢振禧。主编姜守忠、匡奕珍。

作者在编写过程中虽尽了最大努力，但限于水平、书中缺点及不足之处在所难免，恳请专家和读者批评指正。

作者在编写过程中，参阅了国内外有关的专业书籍、文献和资料，谨在此表示谢意。

作 者

一九九五年六月

# 绪 论

## 一、人工制冷

人工制冷也称“人工致冷”，是指用人为的方法不断地从被冷却系统（物体或空间）排热至环境介质中去，从而使被冷却系统达到比环境介质更低的温度，并在必要长的时间内维持所必要的低温的一门工程技术。

根据人工制冷所能达到的低温，一般将人工制冷技术分为制冷、低温和超低温技术。通常称从低于环境温度至 119.8K ( $-153.35^{\circ}\text{C}$ ，氮 Kr 标准沸点) 为制冷技术；称从 119.8K 至 4.23K ( $-268.92^{\circ}\text{C}$ ，氦 He 标准沸点) 为低温技术；称从 4.23K 至接近绝对零度为超低温技术。在制冷技术领域内人们又习惯将应用于食品冷加工、空调制冷、某些生产工艺用冷等的制冷技术称为普通制冷或普通冷冻(简称普冷)；将应用于气体液化、分离等的制冷技术称为深度制冷或深度冷冻(简称深冷)。普冷与深冷一般不严格地按温度标准来划分，而根据制冷的原理、制冷剂及制冷机的种类和工程应用特点来大致划分。

本书只叙述普通制冷的工作原理和热力分析方法。文中所叙述的制冷除特殊说明外均指普通制冷技术。

## 二、人工制冷的的基本方法

人工制冷的的方法很多，大致可分为物理方法和化学方法两类。而绝大多数的人工制冷方法属于物理方法。在普通制冷技术领域内，应用最广泛的物理方法有相变制冷、气体膨胀制冷。其次是热电制冷、固体吸附制冷；以及研究中的涡流制冷等。

### (一) 相变制冷

相变制冷是利用某些物质在发生相变时的吸热效应进行制冷的的方法。因为物质在发生相变过程中当物质分子重新排列和分子运动速度改变时就需要吸收或放出热量，即相变潜热。在现代制冷技术中，主要是利用制冷剂液体在低压下的汽化过程来制取冷量。象蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷、蒸汽喷射式制冷等都属于相变制冷的范畴。

利用液体汽化相变制冷的能力大小与制冷剂的汽化潜热有很大关系，而汽化潜热直接受制冷剂性质的影响。即：(1) 制冷剂的分子量越小，其汽化潜热量越大；(2) 任何一种制冷剂的汽化潜热随汽化压力的提高而减少，当达到临界状态时，其汽化潜热为零。所以从制冷剂的临界温度至凝固温度是液体汽化相变制冷循环的极限工作温度范围。

固体的熔化和升华也能使物体或空间冷却，象干冰、水冰、溶液冰等。单纯利用干冰、水冰、溶液冰，一般能满足短时间的降温要求，这只是一个简单的冷却过程，而不能称为制冷。因为制冷过程是一个通过制冷循环使热量不断地从低温热源传到高温热源的连续过程，这一过程必须依靠制冷机来实现。

### (二) 气体膨胀制冷

气体膨胀制冷是基于压缩气体的绝热节流效应或压缩气体的绝热膨胀效应，从而获得低温气流来制取冷量的制冷技术。常用的有空气制冷循环等。

气体膨胀制冷根据使用的设备不同表现出气体膨胀时的不同特性。通过节流装置来实现的称为气体绝热节流效应。在制冷中利用的是绝热节流的冷效应。通过膨胀机实现的称为气体等熵膨胀效应。气体等熵膨胀效应总是冷效应。事实证明：等熵膨胀效应所能达到的低温及制冷能力都比绝热节流效应有效，并且等熵膨胀过程中可回收膨胀功，循环的效率较高。但绝热节流不采用结构复杂的膨胀机，只采用结构简单、便于调节、又可在两相区内工作的节流装置，因而绝热节流也有其明显的优越性。在实际工程中，气体的绝热节流效应和等熵膨胀效应都应用于制冷技术中。它们的选择，将依具体工程的实际情况而定。

### （三）热电制冷

热电制冷，亦称温差电效应制冷。它是利用珀尔帖效应的原理来达到制冷目的的一种制冷技术。珀尔帖效应是由两种不同金属组成的闭合回路，当直流电流通过这个回路时，就会出现这个回路的一个接点吸热，另一个接点放热的效应。由于半导体材料内部结构的特点，决定了它产生的温差电现象要比金属显著的多，所以当前热电制冷多采用某些特种半导体材料作为其热电堆，故亦称为半导体制冷。

半导体制冷器具有体积小、无噪音、无磨损、运行可靠、冷却速度快、易控制等优点，但半导体制冷的工作效率低，故使它的使用受到一定的限制。目前半导体制冷器只应用于一些特殊场合。在这种情况下只要能达到温度或冷量要求即可，而不太考虑其工作效率问题。

### （四）固体吸附式制冷

某些固体物质（例沸石等）在一定的温度及压力下能吸附某种工质的气体或水蒸汽；在另一温度及压力下又能将它释放出来。这种吸附与解析的过程将导致工质的压力变化，从而起到了“压缩机”的作用。固体吸附制冷就是利用了这一工作原理。固体吸附式制冷可通过利用太阳能等来实现。利用太阳能的固体吸附式制冷亦称为太阳能——固体吸附式制冷。

### （五）气体涡流制冷

气体涡流制冷是利用作为工质的压缩气体经过涡流管产生的涡流，使气流分离成冷、热两部分，其中的冷气流用来获得冷量的制冷方法。涡流管由喷嘴、涡流室、分离孔板及冷、热两端的管子等组成。涡流管制冷具有结构简单，维护调节方便和能达到较低温度的优点，但其效率低，经济性差，现在应用还不普遍。

上述简单地介绍了几种常用制冷方法，其他方法尚有很多。同时这里还需指出的是另一种逆向循环的应用，即热泵循环。热泵循环是以环境介质作为低温热源，并从中获取热量将其转移给高于环境温度的加热系统（高温热源）的逆向循环。热泵循环与制冷循环的形式、原理是相同的，并且有时使用的设备和工质也相近，只不过是循环工作区的温度不同及获得能量的目的不同而已。另外用同一台制冷机同时实现制冷循环和供热循环的，称为热化循环或联合机循环。这是一种有效地利用能源的方法。从热力学的角度来看，它们三者都属于逆向循环的范畴。

图 0-1 是制冷循环、热泵循环和热化循环的基本工作原理的示意图。图中  $Q_0$  表示逆向循环从低温热源获取的热量； $Q_k$  表示向高温热源放出的热量； $W$ （或  $Q$ ）表示完成

这一逆向循环所消耗的功或热。并且：

$$Q_k = Q_0 + W \quad (0-1)$$

或  $Q_k = Q_0 + Q \quad (0-2)$

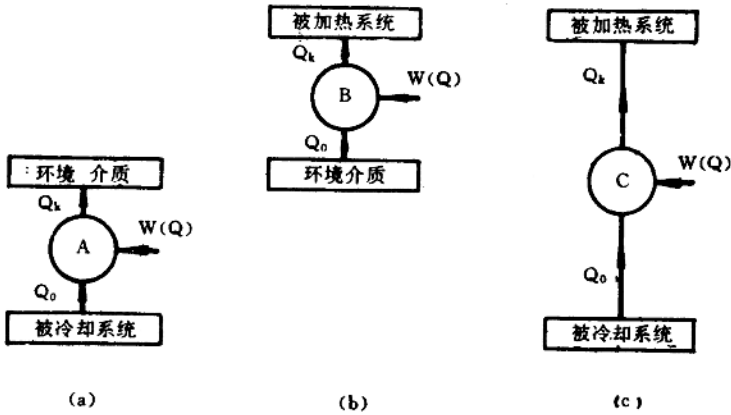


图 0-1 制冷循环、热泵循环和热化循环

(a) 制冷循环 (b) 热泵循环 (c) 热化循环

A—制冷机；B—热泵；C—热化机

### 三、制冷技术在国民经济中的应用

自 1834 年美国入玻耳金斯 (Perkins) 首次研制成功用人力转动的，以乙醚作为制冷剂的制冷机开始，一百多年来，随着科学技术的不断发展，制冷技术已广泛地被应用于工业生产过程、产品性能试验、建筑工程、空气调节、食品加工工业、农业生产、生物工程、医疗卫生、文化体育及日常生活等国民经济和人类生活的各个领域中。

在食品加工业中，制冷技术是最早被应用的。在食品加工业中，制冷技术不仅作为加工手段，使食品在低温下能获得更好的质量，例冷饮制品、饮料、酿酒生产等；更重要的是作为贮藏手段。为了使食品从生产、运输、贮藏至销售、消费全过程中都保持在所要求的低温条件的冷藏链下，就需要采用冷库、冷藏船、冷藏列车、冷藏汽车、冷藏销售柜以及冷藏箱等一系列的制冷装置。食品加工业中的制冷技术应用，使食品生产不受到季节性和地区性的限制，达到保证质量，调剂淡旺季，保障供应，促进贸易的目的。目前冷藏库和冷藏运输工具的应用还扩大到保存贵重皮毛、服装、药材和图书、绘画作品、文物等范围。

空气调节工程中的冷却降温和调湿过程也是制冷技术应用的一个主要内容。为了满足人们的身心健康和提高工作效率的要求，在宾馆、会堂、剧场、医院、体育馆、机场候机厅、地下铁道候车室和车间、实验室、办公楼甚至列车、客轮、飞机等交通工具上及家庭居室都需要利用人工制冷来降温调湿，以达到舒适性空气调节的要求。在生产上为了满足某些工艺过程的要求，如冶金、纺织、印刷、精密仪器仪表、电子工业等工厂和精密计量室、计算机房等，也必须采用制冷技术来达到恒温恒湿的生产性空气调节的

要求。

在工业生产方面制冷技术的应用也很广泛。在石油化工、有机合成（橡胶、塑料、化纤、药物、染织等）、基本化工（酸、碱）等工业中的分离、精炼、结晶、浓缩、液化、控制反应速度等单元操作工段都需应用制冷技术。在钢铁生产、机械工业的冶炼、液压、电子计算机、现代通讯、雷达等电子设备的可靠运行也需应用制冷技术。许多航天航空仪表，以及航空发动机、高寒地带使用的车辆、武器、机械产品也都需要在人工气候低温模拟室中进行性能实验。这些实验室都需要依靠制冷技术来达到低温。在核工业中制冷技术被用来控制核反应速度，吸收核反应过程中放出的热量等。

在建筑工业中，用冻土法来挖掘矿井、隧道、建造堤坝、码头和桥梁基础，可提高施工效率，保障施工安全。在水电站大坝等大型混凝土建筑中，应用冷风冷却和碎冰冷却使混凝土能均匀冷却，消除大型建筑构件的热应力，保证浇筑质量。

在农业方面应用制冷技术来进行种子的低温处理和低温保存。在医药卫生方面使用冻结干燥法来生产药物，利用低温来保藏血浆、疫苗、菌种、脏器 and 药物，以及低温麻醉、人工冬眠、低温冷冻外科手术等都是制冷技术应用的实例。

在许多近代尖端科学技术部门中，高速电子计算机、卫星通讯、激光技术、获得高真空、红外技术等都需要应用制冷技术。

在文化体育事业中象摄影棚中人工雪景布置、人工冰场和滑雪道人工降雪也都是制冷技术的应用实例。

制冷技术包括低温和超低温技术的应用是非常广泛的，并随着国民经济的发展、科学技术的进步和人们生活水平的提高，制冷技术的应用将展示出无限广阔的前景。

#### **四、《制冷原理》研究对象和主要内容**

《制冷原理》是以热力学定律为理论基础，来研究制冷循环的原理、效率和热力分析、计算方法。

《制冷原理》研究的主要内容包括：

1. 以热力学为理论基础，提出理想制冷循环、理论制冷循环等理想模型，作为制冷原理分析的基础和提高制冷循环效率的目标。
2. 各种实际制冷循环的热力性能和影响循环效率因素的分析、研究和热力循环计算是制冷原理研究的主要内容。
3. 各种制冷工质的热物理特性以及在制冷循环中的热力性质变化是制冷原理研究的另一个主要内容。

《制冷原理》是制冷空调技术的重要专业理论基础，其前接《工程热力学》、《传热学》、《流体力学》等专业基础理论，后接《制冷机》、《制冷设备》、《制冷工艺设计》、《制冷装置操作安装维修》等专业知识，是联系专业基础理论和专业知识的桥梁和纽带，所以每一学习和从事制冷空调技术的人有必要牢固地掌握这一专业理论知识。

本书中采用法定单位制。

# 目 录

前言	1
绪论	1
第一章 制冷剂与载冷剂	1
第一节 制冷剂的分类与命名	1
第二节 对制冷剂的选择要求	6
第三节 常用制冷剂的性质	15
第四节 氯氟烃对全球环境的影响及对策	25
第五节 载冷剂	30
第二章 单级蒸汽压缩式制冷理论循环	45
第一节 逆向卡诺循环、热力完善度	45
第二节 单级蒸汽压缩式制冷理论循环	58
第三节 理想制冷循环与理论制冷循环的比较与讨论	65
第三章 单级蒸汽压缩式制冷实际循环	70
第一节 单级蒸汽压缩式制冷实际循环	70
第二节 实际工况及制冷剂的变化对制冷循环的影响	83
第三节 单级蒸汽压缩式制冷实际循环的热力计算	106
第四节 单级离心压缩式制冷循环	119
第四章 多级蒸汽压缩式与复叠式制冷循环	125
第一节 采用多级蒸汽压缩式制冷循环的原因	125
第二节 两级蒸汽压缩式制冷循环	128
第三节 两级蒸汽压缩式制冷循环热力计算	142
第四节 三级蒸汽压缩式制冷循环	161
第五节 复叠式制冷循环	169
第五章 吸收式制冷循环	180
第一节 吸收式制冷循环的基本工作原理	180
第二节 吸收式制冷循环工质与工质对	191
第三节 溴化锂吸收式制冷循环	203
第四节 溴化锂吸收式制冷循环热力计算	226
第五节 氨水吸收式制冷循环	236
第六节 吸收——扩散式制冷循环	245
第六章 蒸汽喷射式制冷循环	247
第一节 蒸汽喷射式制冷理论循环	247
第二节 蒸汽喷射式制冷实际循环	252
第七章 空气压缩式制冷循环	257
第一节 空气压缩式制冷理论循环	258



第二节	空气压缩式制冷实际循环·····	263
第三节	回热式空气压缩制冷循环·····	271
<b>第八章</b>	<b>混合制冷剂制冷循环·····</b>	<b>275</b>
第一节	混合制冷剂制冷循环工作原理·····	275
第二节	单级压缩分凝式混合制冷剂制冷循环·····	281
第三节	两级压缩分凝式混合制冷剂制冷循环·····	289
<b>第九章</b>	<b>热电制冷·····</b>	<b>295</b>
第一节	半导体制冷工作原理·····	295
第二节	半导体制冷的热力分析·····	304
<b>主要参考书目与文献·····</b>		<b>317</b>
<b>附录·····</b>		<b>318</b>
<b>附图·····</b>		<b>368</b>

# 第一章 制冷剂与载冷剂

## 第一节 制冷剂的分类与命名

制冷剂是制冷系统中完成制冷循环所必需的工作介质。制冷剂的热力状态在制冷循环中是不断发生变化的。制冷机借助于制冷剂的热力状态变化将被冷却系统的热量连续不断地传递给高温热源，以完成制冷循环。

目前，作为制冷剂的物质已有近百种，并且新的制冷剂仍在不断发现和研制中。在已发现的制冷剂中，绝大多数是用于化工工程和其它特殊场合的制冷技术中。用于冷藏、空调制冷等普冷技术中的仅有十多种。

制冷剂的种类较多，并在历史上各个国家、各制冷剂生产厂家对制冷剂的命名较为混杂。目前世界上多数国家均采用美国供暖制冷空调工程师协会标准（ASHRAE standard 34-78）的规定来命名制冷剂。这一标准的命名方法是用英文单词“制冷剂”（Refrigerant）的首写字母“R”或用“Refrigerant”作为制冷剂的代号，在R或Refrigerant后用规定的数字及字母来表示制冷剂的种类和化学构成等。例R12或Refrigerant12等。

按ASHRAE标准分类有：

### 一、卤化碳类制冷剂

又称卤碳化合物类制冷剂，是饱和碳氢化合物的卤素（主要是氟、氯、溴）衍生物的总称。即我们日常所说的氟利昂（Freon）。氟利昂最初只是美国杜邦公司（E·I·Du Pont de Nemours and Company）有机化学分厂生产的卤化碳类物质的商业名称。但目前“氟利昂”一词已被公认为这类制冷剂的正式名称。

氟利昂制冷剂是根据其化学分子结构来命名的。用于生产氟利昂制冷剂的饱和碳氢化合物主要是甲烷（ $\text{CH}_4$ ）、乙烷（ $\text{CH}_3\text{CH}_3$ ）以及丙烷（ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ）。饱和碳氢化合物的分子通式是： $\text{C}_m\text{H}_{2m+2}$ 。当被氟（F）、氯（Cl）和溴（Br）部分或全部取代后所得的衍生物——氟利昂的分子通式是： $\text{C}_m\text{H}_n\text{F}_p\text{Cl}_q\text{Br}_r$ 。其中m、n、p、q、r分别表示了构成该种氟利昂制冷剂的C、H、F、Cl、Br元素的原子个数。显然有 $2m+2=n+p+q+r$ 。

氟利昂的代号是用字母“R”和跟随的数字（m-1）（n+1）（p）B（r）组成。

需要说明的是：

1) 如果 $r=0$ ，则B可省略。

2) 对于同分异构体，每一种都具有相同的编号，而最对称的一种只用编号而后面不带任何字母来表示。随着同分异构体变得越来越不对称时，附加“a”、“b”、“c”……以示区别。例二氯四氟乙烷： $\text{CClF}_2\text{CClF}_2$ ，命名为R114； $\text{CCl}_2\text{FCF}_3$ ，命名为R114a。

3) 对于甲烷类衍生物，习惯上省略R后面的第一个数“0”，而写成二个数字。例：氯二氟甲烷： $\text{CHClF}_2$ ， $m-1=0$ ， $n+1=2$ ， $p=2$ ， $r=0$ ，按规则写成R022，命名时写

成 R22。

氟利昂的命名详见表 1—1。

表 1—1

氟利昂制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R10	四氯化碳	$\text{CCl}_4$
R11	三氯氟甲烷	$\text{CCl}_3\text{F}$
R12	二氯二氟甲烷	$\text{CCl}_2\text{F}_2$
R12B1	溴氯二氟甲烷	$\text{CBrClF}_2$
R12B2	二溴二氟甲烷	$\text{CBr}_2\text{F}_2$
R13	氯三氟甲烷	$\text{CClF}_3$
R13B1	溴三氟甲烷	$\text{CBrF}_3$
R14	四氟化碳	$\text{CF}_4$
R20	三氯甲烷	$\text{CHCl}_3$
R21	二氯氟甲烷	$\text{CHCl}_2\text{F}$
R22	氯二氟甲烷	$\text{CHClF}_2$
R23	三氟甲烷	$\text{CHF}_3$
R30	二氯甲烷	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$
R31	氯氟甲烷	$\text{CH}_2\text{ClF}$
R32	二氟甲烷	$\text{CH}_2\text{F}_2$
R40	氯甲烷	$\text{CH}_3\text{Cl}$
R41	氟甲烷	$\text{CH}_3\text{F}$
R110	六氯乙烷	$\text{CCl}_3\text{CCl}_3$
R111	五氯氟乙烷	$\text{CCl}_3\text{CCl}_2\text{F}$
R112	1, 1, 2, 2—四氯二氟乙烷	$\text{CCl}_2\text{FCCl}_2\text{F}$
R112a	1, 1, 1, 2—四氯二氟乙烷	$\text{CCl}_3\text{CClF}_2$
R113	1, 1, 2—三氯三氟乙烷	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
R113a	1, 1, 1—三氯三氟乙烷	$\text{CCl}_3\text{CF}_3$
R114	1, 2—二氯四氟乙烷	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$
R114a	1, 1—二氯四氟乙烷	$\text{CCl}_2\text{FCF}_3$
R114B2	1, 2—二溴四氟乙烷	$\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$
R115	氯五氟乙烷	$\text{CClF}_2\text{CF}_3$
R116	六氟乙烷	$\text{CF}_3\text{CF}_3$
R120	五氯乙烷	$\text{CHCl}_2\text{CCl}_3$
R123	2, 2—二氯—1, 1, 1—三氟乙烷	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$

续表

制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R124	2-氯-1, 1, 1, 2-四氟乙烷	CHClFCF <sub>3</sub>
R124a	1-氯-1, 1, 2, 2, -四氟乙烷	CHF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>
R125	五氟乙烷	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
R133a	2-氯-1, 1, 1-三氟乙烷	CH <sub>2</sub> ClCF <sub>3</sub>
R134a	1, 1, 1, 2-四氟乙烷	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>
R140a	1, 1, 1-三氯乙烷	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>
R142b	1-氯-1, 1-二氟乙烷	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>
R143a	1, 1, 1-三氟乙烷	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>
R150a	1, 1-二氯乙烷	CH <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>
R152a	1, 1-二氟乙烷	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>
R160	氯乙烷	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl
R218	八氟丙烷	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>

## 二、环状有机化合物类制冷剂

环状有机化合物类制冷剂的命名是在R后面先加一个字母C, 然后按氟利昂的编号规则书写。见表1-2。

表1-2 环状有机化合物类制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式
RC316	1, 2-二氯六氟环丁烷	C <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>6</sub>
RC317	氯七氟环丁烷	C <sub>4</sub> ClF <sub>7</sub>
RC318	八氟环丁烷	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>

## 三、共沸溶液类制冷剂

共沸溶液类制冷剂是由两种或两种以上互溶的单组分制冷剂在常温下按一定的质量比或容积比相互混合而成的制冷剂。它与单组分制冷剂一样, 在一定的压力下具有恒定的蒸发温度和饱和状态下汽液两相相同组分的特征。但共沸溶液制冷剂的热力性质则与组成它原来单组分的制冷剂的热力性质不同, 从而达到改善和提高制冷循环性能的目的。

已经商品化的共沸溶液制冷剂的命名是R后在500序号中按开发的顺序规定其识别编号。如表1-3。

此外, 还有一些共沸溶液制冷剂尚未列入编号中, 它们有R114/R21 (74.6/25.4)、R290/R115 (31.6/68.4)、R131B1/R22 (80.5/19.5)、R40/R12 (22/78)、R22/R290 (68/32)、R218/R22 (34/66)、R227/R12 (13.5/86.5)、R152/R115 (16/84) 等。

表 1—3

共沸溶液类制冷剂

制冷剂代号	组 分	混合质量百分比
R500	R12/R152a	73.8/26.2
R501	R22/R12	75/25
R502	R22/R115	48.8/51.2
R503	R23/R13	40.1/59.9
R504	R32/R115	48.2/51.8
R505	R12/R31	78.0/22.0
R506	R31/R114	55.1/44.9
R507	R125/R143a	50/50

#### 四、饱和碳氢化合物类制冷剂

饱和碳氢化合物类制冷剂的命名也按氟利昂的编写规则书写，但丁烷写成 R600，见表 1—4。

表 1—4

饱和碳氢化合物类制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R50	甲 烷	$\text{CH}_4$
R170	乙 烷	$\text{CH}_3\text{CH}_3$
R290	丙 烷	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$
R600	丁 烷	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
R600a	异丁烷	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$

#### 五、有机化合物类制冷剂

有机化合物类制冷剂主要是有机氧化物、有机硫化物、有机氮化物。有机氧化物类制冷剂有乙醚、甲酸甲脂等。有机氮化物类制冷剂有甲胺、乙胺等。有机化合物类制冷剂的命名是 R 后在 600 序号中编写，6 后 1 代表氧化物、2 代表硫化物、3 代表氮化物（表 1—5）。

表 1—5

有机氧化物和有机氮化物类制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R610	乙 醚	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$
R611	甲酸甲脂	$\text{HCOOCH}_3$
R630	甲 胺	$\text{CH}_3\text{NH}_2$
R631	乙 胺	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$

## 六、无机化合物类制冷剂

无机化合物类制冷剂是较早被采用的一类制冷剂，主要有氨、空气、水、二氧化碳等。无机化合物类制冷剂的代号由字母R和700序号组成。700序号中的后两个数字表示该化合物分子量的整数部分或近似整数部分。当有两种或两种以上的制冷剂分子量整数部分或近似整数部分相同时，可在其余的制冷剂编号后加“A”、“B”……以示区别（表1—6）。

表1—6

无机化合物类制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式	分子量
R702	氢	H <sub>2</sub>	2.0159
R704	氦	He	4.0026
R717	氨	NH <sub>3</sub>	17.03
R718	水	H <sub>2</sub> O	18.02
R720	氖	Ne	20.183
R728	氮	N <sub>2</sub>	28.013
R729	空气	.21O <sub>2</sub> , .78N <sub>2</sub> , .01A	28.97
R732	氧	O <sub>2</sub>	31.998
R740	氩	A	39.948
R744	二氧化碳	CO <sub>2</sub>	44.01
R744A	氧化亚氮	N <sub>2</sub> O	44.02
R764	二氧化硫	SO <sub>2</sub>	64.07

## 七、不饱和碳氢化合物及其卤族元素衍生物类制冷剂

不饱和碳氢化合物及其卤族元素衍生物类制冷剂的命名编写是在R后面先写一个“1”，然后按氟利昂命名规则编写（表1—7）。

表1—7

不饱和碳氢化合物及其卤族元素衍生物类制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R1112a	1, 1—二氯二氟乙烯	CCl <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>
R1113	氯三氟乙烯	CClF=CF <sub>2</sub>
R1114	四氟乙烯	CF <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>
R1120	三氯乙烯	CHCl=CCl <sub>2</sub>
R1130	1, 2—二氯乙烯	CHCl=CHCl
R1132a	二氟乙烯	CH <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>
R1140	氯乙烯	CH <sub>2</sub> =CHCl
R1141	氟乙烯	CH <sub>2</sub> =CHF
R1150	乙烯	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>
R1270	丙烯	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>

## 八、非共沸溶液类制冷剂

非共沸溶液类制冷剂是由两种或两种以上相互不形成共沸溶液的单组分制冷剂混合而成的制冷剂。当溶液被加热时，在一定的蒸发压力下易挥发的组分蒸汽的比例大，难

挥发的组分蒸汽的比例小，形成汽、液相的组分不相同，并且制冷剂在整个蒸发过程中温度是变化的。在冷凝过程中，也具有相同的特性。

已经商品化的非共沸溶液类制冷剂是 R 后在 400 序号中顺序规定识别编号（表 1—8）。

表 1—8 非共沸溶液类制冷剂

制冷剂代号	组 分	混合质量百分比
R401A	R22/R152a/R124	53/13/34
R401B	R22/R152a/R124	61/11/28
R401C	R22/R152a/R124	33/15/52
R402A	R125/R290/R22	60/2/38
R402B	R125/R290/R22	38/2/60
R404A	R125/R143a/R134a	44/52/4
R407A	R32/R125/R134a	20/40/40
R407B	R32/R125/R134a	10/70/20

吸收式制冷循环中所使用的制冷剂将在后面章节中叙述。

以上的分类方法是按制冷剂的化学种类来划分的。在蒸汽压缩式制冷循环中所应用的制冷剂按标准沸点  $t_s$  和  $30^\circ\text{C}$  下的冷凝压力  $p_k$  习惯上又分为高温低压、中温中压、低温高压制冷剂（表 1—9）。

表 1—9 制冷剂按  $t_s$  和  $p_k$  分类

类 别	标准沸点 $t_s$ ( $^\circ\text{C}$ ) (1 atm)	$30^\circ\text{C}$ 时冷 凝压力 $p_k$ (kPa)	制冷剂 举 例	应用举例
高温低压制冷剂	$>0$	$<300$	R11、R21 R114	空调、热泵
中温中压制冷剂	$-60\sim 0$	$300\sim 2000$	R717、R12 R22、R502	制冰、冷藏
低温高压制冷剂	$<-60$	$>2000$	R13、R14 R503	复叠循环 低温部分

## 第二节 对制冷剂的选择要求

制冷剂的性质将直接影响制冷机的种类、构造、尺寸和运转特性，同时也会影响到制冷循环的形式、设备结构及经济技术性能。因此，合理地选择制冷剂是一个很重要的问题。通常对制冷剂的性能要求从热力学方面、物理化学方面、安全性方面、全球环境影响方面和经济性方面等加以考虑。

### 一、热力学方面的要求

(一) 沸点要求低，这是一个必要的条件，这样可以获得较低的蒸发温度。

(二) 临界温度要高、凝固温度要低，以保证制冷剂在较广的温度范围内安全工作。临界温度高制冷剂在常温条件下能够液化，即可用普通冷却介质使制冷剂冷凝，同时能

使制冷剂在远离临界点下节流而减少损失，提高循环的性能。凝固点低，可使制冷系统安全地制取较低的蒸发温度，使制冷剂在工作温度范围内不发生凝固现象。

### (三) 要求制冷剂具有适宜的工作压力

要求蒸发压力接近或略高于大气压力，以避免制冷机回汽压力出现真空而增大空气渗入制冷系统的机会，以提高制冷机的工作效率，减少相应的无效耗功。

要求冷凝压力不能过高。冷凝压力低可降低对制冷机器、设备、管道的强度要求和施工要求，减少制冷系统的建设投资和制冷剂向外泄漏的可能性。

要求冷凝压力与蒸发压力的压力比 ( $p_k/p_0$ ) 和压力差 ( $p_k - p_0$ ) 小。压力比和压力差小，可降低制冷机的排汽温度和压缩耗功，可提高制冷机的输汽性能，可减少制冷系统的压缩级数，也可使制冷机运行机构受力得到改善，从而使制冷机在设计上结构紧凑、简化；运行上轻便、平稳、安全。

### (四) 要求制冷剂的汽化潜热大

在一定的饱和压力下，制冷剂的汽化潜热大，可得到较大的单位制冷量。为得到相同的产冷量  $Q_0$ ，可减少制冷剂的循环量。在建设时，可减少制冷机、设备的投资；运行时可降低能耗，提高制冷效率。表 1—10 列举了部分制冷剂在标准沸点时的汽化潜热 (kJ/kmol)。

表 1—10 制冷剂汽化潜热 (1 atm、kJ/kmol)

制冷剂代号	标准沸点 C	汽化潜热 kJ/kmol	制冷剂代号	标准沸点 C	汽化潜热 kJ/kmol
R630	-5.0	25914	R11	23.8	24768
R717	-33.3	23343	R505	-29.9	20319
R764	-10.2	24900	R500	-33.5	19975
R631	20.0	27086	R290	-42.1	18669
R611	37.8	28131	R14	-127.9	11969
R504	-57.2	19264	R600	-0.5	22425
R23	-82.1	17039	R13B1	-57.8	17695
R21	8.8	24556	R12	-29.8	19982
R30	48.9	26511	R142b	-9.8	21624
RC318	-5.8	23298	R115	-39.1	19178
R22	-40.8	20207	R503	-87.8	15080
R40	-23.8	21644	R1270	-47.7	18448
R506	-12.3	22431	R600a	-11.7	21174
R113	47.6	27513	R13	-81.4	15515
R152a	-25.0	21039	R1150	-103.7	13475
R502	-45.5	19258	R170	-88.8	14645
R114	3.8	23273	R50	-161.5	8191
R216	35.7	25943			

(五) 对于大型制冷系统，要求制冷剂的单位容积制冷量  $q_v$  尽可能的大。在产冷量  $Q_0$  一定时，可减少制冷剂的循环量，从而缩小制冷机的尺寸和管道的直径。但对于小型



制冷系统，要求单位容积制冷量  $q_v$  小些，这样可不致于让制冷剂所通过的流道截面太窄而增加制冷剂的流动阻力、降低制冷机效率和增加制造加工的难度。

(六) 要求制冷剂的绝热指数小些，可使压缩过程耗功减少，压缩终了时的排汽温度不过高，从而改善运行性能和简化机器设计。

(七) 对于离心式制冷压缩机应采用分子量大的制冷剂，因为分子量大其蒸汽密度也就大，在同样的旋转速度时可产生较大的离心力，因而每一级所产生的压力比也就大，所以采用分子量大的制冷剂，当制冷系统的压力比  $p_k/p_0$  一定时，所需要的离心式制冷压缩机的级数就少。

## 二、物理化学方面的要求

(一) 要求制冷剂的粘度尽可能小。粘度小可以减少制冷剂在制冷系统中的流动阻力损失，并可缩小制冷系统管道直径，降低金属消耗量。粘度小也可增加制冷剂的传热性能。

(二) 导热系数要求高，可提高换热设备的传热系数，减少换热设备的换热面积。

(三) 要求制冷剂的纯度高。所选用的制冷剂应无不溶性杂质、无污物、无不凝性气体、无水，并要求制冷剂具有一定的吸水性，当制冷剂中渗进极少的水分时，虽会导致蒸发温度升高，但不致在低温下产生冰塞而影响制冷系统的正常工作。

(四) 制冷剂的热化学稳定性要求好，高温下不易分解。制冷剂与油、水相混合时对金属材料不应有明显的腐蚀作用（制冷剂与金属材料接触时发生分解作用的强弱程度次序为银、锌、青铜、铝、紫铜、镍、不锈钢、铬镍铁耐热合金）。对制冷机的密封材料的膨润作用要尽可能小，表 1—11，表 1—12 列举了室温条件下，部分制冷剂液体对密封材料的线性溶胀率。

表 1—11 室温下液态制冷剂中的弹性密封件线性溶胀率

制冷剂	线性溶胀率 (%)							
	丁腈橡胶	丁苯橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚氯丁橡胶	聚硫橡胶	氟化橡胶	硅橡胶
R11	6	21	41	23	17	2	6	38
R12	2	3	6	6	0	1	9	—
R13	1	1	0	1	0	0	4	—
R13B1	1	1	2	1	2	—	7	—
R21	48	49	24	34	28	28	22	—
R22	26	4	1	6	2	4	20	20
R30	52	26	23	34	37	59	—	—
R40	35	20	16	26	22	11	—	—
R113	1	9	21	17	3	1	7	34
R114	0	2	2	0	2	0	9	—
R502	7	3	—	4	1	—	—	—
R600	1	8	20	16	3	0	—	—