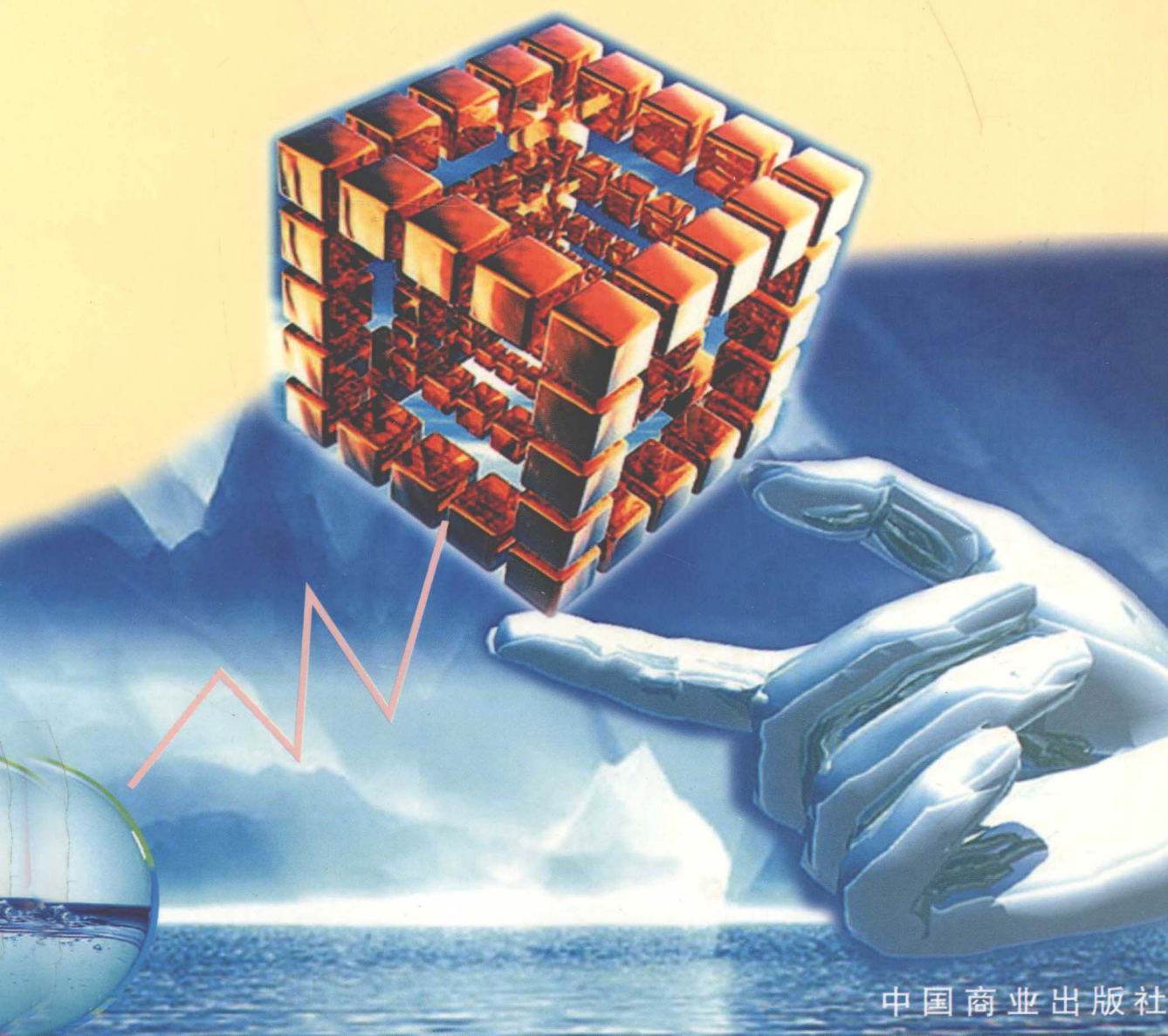


高等职业技术教育教材

制冷原理

主编 姜守忠 匡奕珍



中国商业出版社

高等职业技术教育教材

制 冷 原 理

姜守忠 匡奕珍 主编

中国商业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷原理/姜守忠, 匡奕珍主编. - 北京: 中国商业出版社, 2001.7
ISBN 7 - 5044 - 4221 - 6

I. 制… II. ①姜… ②匡… III. 制冷 - 理论 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TB61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 042920 号

责任编辑: 刘树林

中国商业出版社出版发行
(100053 北京广安门内报国寺1号)
新华书店总店北京发行所经销。
北京市书林印刷厂印刷

787×1092毫米 16开 16印张 365千字
2001年7月第1版 2001年7月第1次印刷
定价: 24.00元

* * * *

(如有印装质量问题可更换)

编审委员会名单

主任：匡奕珍

副主任：张 萍 朱 立 崔建宁

委员：邹汉贞 谢一风 李丰桐 李 军

叶学群 姜献忠 邢振禧 邹新生

吕美进 韦伯琳 伊佩奇 周秋淑

李建华 涂 河 林巧婷

编 审 说 明

为适应我国高等职业技术教育的发展,根据《制冷与空调》专业教学计划和教学大纲的要求,结合我国制冷和空调行业的发展情况,我们组织全国有关职业技术学院的部分专业教师编写了《制冷原理》一书。本书是高等职业技术教育必用教材,也可供职工大学、电视大学和高等专科学校使用,或作为本科院校的参考教材。

本书着重介绍了制冷剂、载冷剂特性;人工制冷热力学原理;蒸汽压缩式制冷循环和溴化锂吸收式制冷循环的工作原理及热力学分析方法。在分析工作原理时,较详细地讨论了影响各种循环性能的因素,以便读者理解和掌握提高制冷循环效率的方法。本书还介绍了蒸汽喷射式制冷循环、空气压缩式制冷循环、混合制冷剂制冷循环与半导体制冷等工作原理和热力分析方法。各校在组织教学时,可根据当地情况选学或指导学生自学这部分章节。

参加本书编写的有浙江工程学院姜守忠、山东商业职业技术学院匡奕珍、邢振禧。主编姜守忠、匡奕珍。

在本书编写过程中,有关设计、施工、管理单位和兄弟院校的专家、教师们提出了很多宝贵意见,提供了不少资料,在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中如有疏漏之处,敬请广大读者不吝赐教,以便于修订,使之日臻完善。

制冷与空调专业教材编审委员会

2001年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 制冷剂与载冷剂	(5)
第一节 制冷剂的分类与命名	(5)
第二节 对制冷剂的选择要求	(8)
第三节 常用制冷剂的性质	(15)
第四节 氯氟烃 (CFCs) 对全球环境的影响及对策	(23)
第五节 载冷剂	(26)
第二章 单级蒸汽压缩式制冷理论循环	(34)
第一节 逆向卡诺循环、热力完善度	(34)
第二节 单级蒸汽压缩式制冷理论循环	(42)
第三节 理想制冷循环与理论制冷循环的比较与讨论	(48)
第三章 单级蒸汽压缩式制冷实际循环	(52)
第一节 单级蒸汽压缩式制冷实际循环	(52)
第二节 实际工况及制冷剂的变化对制冷循环的影响	(64)
第三节 单级蒸汽压缩式制冷实际循环的热力计算	(84)
第四节 单级离心压缩式制冷循环	(96)
第四章 多级蒸汽压缩式与复叠式制冷循环	(101)
第一节 采用多级蒸汽压缩式制冷循环的原因	(101)
第二节 多级蒸汽压缩式制冷循环	(104)
第三节 两级蒸汽压缩式制冷循环热力计算	(121)
第四节 复叠式制冷循环	(138)
第五章 溴化锂吸收式制冷循环	(147)
第一节 吸收式制冷循环的基本工作原理及工质对	(147)
第二节 溴化锂吸收式制冷循环	(155)
第三节 影响溴化锂吸收式制冷循环性能的主要因素	(162)
第四节 溴化锂吸收式制冷循环热力计算	(169)
第六章 混合制冷剂制冷循环	(183)
第一节 混合制冷剂蒸汽压缩式制冷基本循环	(183)
第二节 单级蒸汽压缩分凝式混合制冷剂制冷循环	(185)
第三节 两级蒸汽压缩分凝式混合制冷剂制冷循环	(191)
第七章 其它方式的制冷循环	(196)
第一节 蒸汽喷射式制冷循环	(196)
第二节 空气压缩式制冷循环	(201)

第三节 半导体制冷	(210)
主要参考书目与文献	(220)
附 录	
附录一 R11 饱和热力性质表	(222)
附录二 R12 饱和热力性质表	(223)
附录三 R13 饱和热力性质表	(226)
附录四 R14 饱和热力性质表	(229)
附录五 R22 饱和热力性质表	(230)
附录六 R123 饱和热力性质表	(234)
附录七 R134a 饱和热力性质表	(235)
附录八 R502 饱和热力性质表	(235)
附录九 R717 饱和热力性质表	(237)
附录十 氯化钠 (NaCl) 水溶液的热物理性质	(239)
附录十一 氯化钙 (CaCl ₂) 水溶液的热物理性质	(240)
附录十二 乙二醇水溶液的热物理性质	(242)
附录十三 二氯甲烷饱和液体的热物理性质	(243)
附 图 (附图 10 幅见插页)	

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°C ，氮 Kr 标准沸点) 为制冷技术；称从 119.8K 至 4.23K (-268.92°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，像干冰、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（Peltier Effect）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环路，当直流电流通过这个环路时，就会出现这个环路的一个接点吸热，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，即兰克——赫尔胥效应（Renque - Hilsoh Effect）。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，其它方法尚有很多。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间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：

$$Q_K = Q_0 + W \tag{0-1}$$

或

$$Q_K = Q_0 + Q \tag{0-2}$$

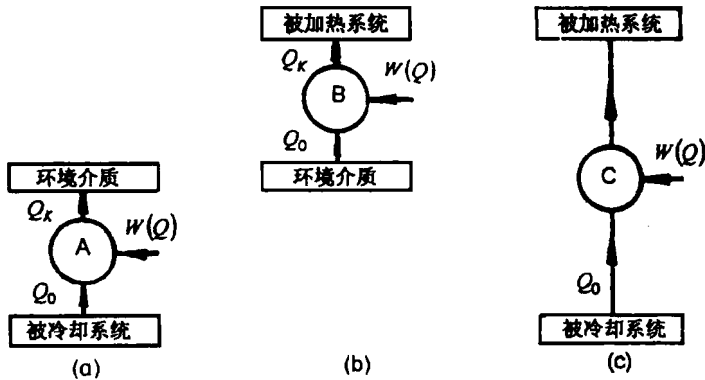


图 0-1 制冷循环、热泵循环和热化循环
 (a) 制冷循环 (b) 热泵循环 (c) 热化循环
 A-制冷机 B-热泵 C-热化机

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; 更普遍的是作为贮藏手段。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, 使食品生产不再受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，保证浇铸质量。

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、器官和药物，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。

在文化体育事业中像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、本课程的研究对象和主要内容

本课程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。本课程研究的主要内容包括：

1. 理想制冷循环、理论制冷循环等理想模型的热力分析。
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、研究及热力循环计算。
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分析。

本课程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》等专业基础理论课，后连《制冷机》、《制冷与空调设备》、《制冷工艺设计》、《制冷装置操作、安装与维修》、《空气调节技术》等专业知识课，是联系专业基础理论和专业知识的桥梁和纽带，所以每一个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。

第一章 制冷剂与载冷剂

制冷剂与载冷剂都是制冷系统中的工作介质，其中制冷剂是制冷系统中完成制冷循环所必需的工作介质；载冷剂是在间接冷却制冷系统中的传热介质。

第一节 制冷剂的分类与命名

中国国家标准 (GB7778-87) 等效采用国际标准 ISO817-74 《有机制冷剂——数字符号》，并参考美国 ANSI/ASHRAE34-78 来规定制冷剂的分类和命名。这类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。例“R12”或“Refrigerant12”。

GB7778-87 对制冷剂的分类和命名为：

一、卤代烃类制冷剂

卤代烃类制冷剂是饱和碳氢化合物的卤素（氟、氯、溴）衍生物的总称，即氟利昂 (Freon)。用于生产氟利昂制冷剂的饱和碳氢化合物主要是甲烷 (CH₄)、乙烷 (CH₃CH₃) 以及丙烷 (CH₃CH₂CH₃)。饱和碳氢化合物的分子通式是：C_mH_{2m+2}。被氟 (F)、氯 (Cl)、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：C_mH_nF_pCl_qBr_r。其中 m、n、p、q、r 分别表示构成该种氟利昂制冷剂的 C、H、F、Cl、Br 元素的原子个数。显然有关系式：2m+2=n+p+q+r。氟利昂代号是用字母“R”和跟随的数字 (m-1)(n+1)(p)B(r) 组成 (表 1-1)。在代号中：

1. 如果 r=0，则 B(r) 可省略。

2. 对于同分异构体，每一种都具有相同的编号，而最对称的一种编号后不带任何字母，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：CClF₂CClF₂，命名为 R114；CCl₂FCF₃，命名为 R114a。

3. 对于甲烷类衍生物，R 后面用二个数字表示。例：氯二氟甲烷：CHClF₂，m-1=0，n+1=2，p=2，r=0，按规则写成 R022，命名时写成 R22。

表 1-1 氟利昂制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式	制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R10	四氯化碳	CCl ₄	R112a	四氯二氟乙烷	CCl ₃ CClF ₂
R11	三氯氟甲烷	CCl ₃ F	R113	三氯三氟乙烷	CCl ₂ FCClF ₂
R12	二氯二氟甲烷	CCl ₂ F ₂	R113a	三氯三氟乙烷	CCl ₃ CF ₃
R12B1	溴氯二氟甲烷	CBrClF ₂	R114	二氯四氟乙烷	CClF ₂ CClF ₂
R12B2	二溴二氟甲烷	CBr ₂ F ₂	R114a	二氯四氟乙烷	CCl ₂ FCF ₃

制冷剂代号	化学名称	化学分子式	制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R13	氯三氟甲烷	CClF_3	R114B2	二溴四氟乙烷	$\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$
R13B1	溴三氟甲烷	CBrF_3	R115	氯五氟乙烷	CClF_2CF_3
R14	四氟化碳	CF_4	R116	六氟乙烷	CF_3CF_3
R20	三氯甲烷	CHCl_3	R120	五氯乙烷	$\text{CHCl}_2\text{CCl}_3$
R21	二氯氟甲烷	CHCl_2F	R123	二氯三氟乙烷	CHCl_2CF_3
R22	氯二氟甲烷	CHClF_2	R124	氯四氟乙烷	$\text{CHClF}_2\text{CF}_3$
R23	三氟甲烷	CHF_3	R124a	氯四氟乙烷	$\text{CHF}_2\text{CClF}_2$
R30	二氯甲烷	CH_2Cl_2	R125	五氟乙烷	CHF_2CF_3
R31	氯氟甲烷	CH_2ClF	R133a	氯三氟乙烷	CH_2ClCF_3
R32	二氟甲烷	CH_2F_2	R134a	四氟乙烷	CH_2FCF_3
R40	氯甲烷	CH_3Cl	R140a	三氯乙烷	CH_3CCl_3
R41	氟甲烷	CH_3F	R142b	氯二氟乙烷	CH_3CClF_2
R110	六氯乙烷	CCl_3CCl_3	R143a	三氟乙烷	CH_3CF_3
R111	五氯氟乙烷	$\text{CCl}_3\text{CCl}_2\text{F}$	R150a	二氯乙烷	CH_3CHCl_2
R112	四氯二氟乙烷	$\text{CCl}_2\text{FCCl}_2\text{F}$	R152a	二氟乙烷	CH_3CHF_2
			R160	氯乙烷	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$
			R218	八氟丙烷	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CF}_3$

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（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	二氯六氟环丁烷	$\text{C}_4\text{Cl}_2\text{F}_6$
RC317	氯七氟环丁烷	C_4ClF_7
RC318	八氟环丁烷	C_4F_8

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。它在一定的压力下具有恒定的蒸发温度，在饱和状态下汽液两相组分相同。已商品化的共沸溶液制冷剂的命名是 R 后依应用先后在 500 序号中依次编写（表 1-3）。

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	制冷剂代号	组分	混合质量百分比
R500	R12/R152a	73.8/26.2	R504	R32/R115	48.2/51.8
R501	R22/R12	75/25	R505	R12/R31	78/22
R502	R22/R115	48.8/51.2	R506	R31/R114	55.1/44.9
R503	R23/R13	40.1/59.9	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同氟利昂，但丁烷写成 R600（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	制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R50	甲烷	CH ₄	R600	丁烷	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
R170	乙烷	CH ₃ CH ₃	R600a	异丁烷	CH(CH ₃) ₃
R290	丙烷	CH ₃ CH ₂ CH 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，第三位编号任选（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	制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R610	乙醚	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	R630	甲胺	CH ₃ NH ₂
R611	甲酸甲酯	HCOOCH ₃	R631	乙胺	C ₂ H ₅ 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。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	制冷剂代号	化学名称	化学分子式	分子量
R702	氢	H ₂	2.0159	R729	空气	.21O ₂ .78N ₂ .01A	28.97
R704	氦	He	4.0026	R732	氧	O ₂	31.998
R717	氨	NH ₃	17.03	R740	氩	A	39.948
R718	水	H ₂ O	18.02	R744	二氧化碳	CO ₂	44.01
R720	氖	Ne	20.183	R744A	氧化亚氮	N ₂ O	44.02
R728	氮	N ₂	28.013	R764	二氧化硫	SO ₂	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	制冷剂代号	化学名称	化学分子式
R1112a	二氯二氟乙烯	CCl ₂ =CF ₂	R1132a	二氟乙烯	CH ₂ =CF ₂
R1113	氯三氟乙烯	CClF=CF ₂	R1140	氯乙烯	CH ₂ =CHCl
R1114	四氟乙烯	CF ₂ =CF ₂	R1141	氟乙烯	CH ₂ =CHF
R1120	三氯乙烯	CHCl=CCl ₂	R1150	乙烯	CH ₂ =CH ₂
R1130	二氯乙烯	CHCl=CHCl	R1270	丙烯	CH ₃ CH=CH ₂

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。已商品化的非共沸溶液类制冷剂的命名是 R 后依应用先后在 400 序号中

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

以上的分类方法是按制冷剂的化学种类来划分的。在工程中，按标准沸点和 30℃ 下的冷凝压力可分为高温低压、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 (°C, 1 atm)	冷凝压力 p_k (kPa, 30°C 时)	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 ~ 0	300 ~ 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

1. 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。同时，沸点低的制冷剂具有较高的蒸汽压力。

2. 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。临界温度高的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。

3. 要求制冷剂具有适宜的工作压力。在工作时，制冷剂的蒸发压力接近或略高于大气压力，以避免制冷系统低压部位出现真空而增大空气渗入制冷系统的机会。要求冷凝压力不能过高。冷凝压力低可降低制冷机器、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。这样，不仅可降低制冷机的排汽温度，减少压缩功耗，同时也可提高制冷机的输汽性能，减少制冷系统的压缩级数，改善制冷机运行机构的受力，从而使制冷机器设备结构紧凑、简化；运行平稳、安全。

4. 要求制冷剂的汽化潜热大，在得到相同的产冷量 Q_0 时，可减少制冷剂的循环量。同时也可减少制冷机、设备的投资；降低运行能耗，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/℃	汽化潜热 (kJ/kmol)	制冷剂代号	标准沸点/℃	汽化潜热 (kJ/kmol)
R630	-50	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
R506	-12.3	22431	R1270	-47.7	18448
R113	47.6	27513	R600a	-11.7	21174
R152a	-25.0	21039	R13	-81.4	15515
R502	-45.5	19258	R1150	-103.7	13475
R114	3.8	23273	R170	-88.8	14645
R216	35.7	25943	R50	-161.5	8191

5. 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。

6. 要求制冷剂的绝热指数 k 小些, 可使压缩耗功减少, 降低排汽温度, 从而改善运行性能和简化系统设计。

7. 对于离心式制冷压缩机应采用分子量适中的制冷剂。因为分子量大, 可增大每一级的升压比, 在系统的压力比 (p_k/p_0) 一定时, 可减少压缩级数。另外, 大多数物质在沸点下汽化时, 其摩尔熵增 (特鲁顿常数) 相似 $\Delta \bar{S} = \frac{M r_s}{T_s} \approx 76 \sim 88$ (特鲁顿定律), 因此标准沸点相近的制冷剂, 分子量大时, 汽化潜热就小。

8. 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。

二、物理化学方面的要求

1. 要求制冷剂的粘度尽可能小, 以减少制冷剂在制冷系统中的流阻损失, 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。

2. 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。

3. 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。对制冷机的密封材料的膨润作用也要尽可能小。

4. 制冷剂的溶油性表现为完全溶解、微溶解和完全不溶解。当制冷剂与润滑油完全溶解时,能使机件润滑创造良好条件,在冷凝器等换热器的换热面上不易形成油膜,传热效果较好。但会使制冷剂的蒸发温度提高,低温下的润滑油粘度降低,还会使制冷剂沸腾时泡沫增多,蒸发器中的液面不稳定及在运行时使制冷机的耗油增大,系统回油不易。当制冷剂与润滑油完全不溶时,制冷系统的蒸发温度比较稳定,在制冷设备中制冷剂与润滑油的分离,在热交换器换热表面易形成油膜而影响换热。微溶解于油的制冷剂的优缺点间于两者之间。

理解制冷剂与润滑油的互溶性,有利于掌握制冷系统的运行特性。一般可认为R717、R13、R14等是不溶于油的制冷剂;R22、R114等是微溶于油的;R11、R12、R21、R113等是完全溶于油的。氟利昂制冷剂在润滑油中的溶解性随氟原子、溴原子个数的减少而增加。同时,制冷剂与润滑油的互溶性,除了与制冷剂的种类有关外,还与温度、压力、润滑油的成分有关。

5. 在半封闭和全封闭式制冷机中,电机线圈与制冷剂、润滑油直接接触,不仅要求制冷剂应具有良好的电绝缘性,同时也要求制冷剂对线圈绝热材料的作用应尽可能的小。制冷剂的电绝缘性可用电击穿强度、介电常数、导电系数三项指标表示。其中电击穿强度的大小对全封闭和半封闭式制冷机的影响最大。表1-11表示了部分制冷剂蒸汽和液体的电击穿强度。同时还应注意的,即使介电常数高的制冷剂,若含有微量杂质和灰尘时,都会使其绝缘电阻明显下降,使半封闭、全封闭式制冷机的漏电性增加。

表 1-11 制冷剂蒸汽和液体的电击穿强度 (kV/cm)

制冷剂	电击穿强度 (kV/cm)		制冷剂	电击穿强度 (kV/cm)	
	蒸汽 (1 atm, 0℃)	液体		蒸汽 (1 atm, 0℃)	液体
R717	31		R22	1701 ~ 80	120
R11	108	111	R30	226	
R12	148	148	R113	170 ~ 180	126
R13	53		R114		126
R14	38		R170	26.2	
R21		122	R290	170 ~ 180	

三、安全性方面的要求

1. 要求制冷剂在工作温度范围内不燃烧、不爆炸。必须使用某些易燃、易爆制冷剂时,一定要有防火防爆安全措施。一些易燃制冷剂的爆炸特性见表1-12。

表 1-12 易燃制冷剂的爆炸特性

制冷剂		在空气中的爆炸极限 (容积%)	在空气中的爆炸极限 (g/m ³)	最大爆炸压力 (MPa)	达到最大压力所需时间 (s)
R717	氨	16 ~ 28	-	0.35	0.175
R170	乙烷	3.1 ~ 15.5	39 ~ 156	-	-
R1150	乙烯	2.7 ~ 3.4	35 ~ 398	-	-
R290	丙烷	2.1 ~ 9.5	42 ~ 174	-	-
R600	正丁烷	1.5 ~ 8.5	-	0.74	0.027