

制  
冷  
装  
置  
及  
其  
自  
动  
化

高等学校试用教材

# 制冷装置及其自动化

邹根南 郑贤德 主编

GAO DENG XUE  
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

335912

高等学校试用教材

# 制冷装置及其自动化

邹根南 郑贤德 主编



机械工业出版社

本书阐述制冷装置的主要内容是：1) 类型、节能措施、冷却方式和制冷系统；2) 隔热、冷负荷、主要设备的选择计算和优化设计；3) 自动化的概念、基本调节回路、国内外的自控装置及其发展方向；4) 制冷系统的管路设计及制冷装置的安装调试等等。

本书是高等工业学校“制冷设备及低温技术”专业的教材，也可供制冷装置的设计、科研、制造、运行的科技人员参考与自学之用。

### 制冷装置及其自动化

邹根南 郑贤德 主编

\*

责任编辑：王存新

责任印制：郭 炜

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(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 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张15<sup>3</sup>/<sub>4</sub>·字数384千字

1987年11月北京第一版·1989年10月北京第三次印刷

印数 5,401—6,600·定价：3.20元

\*

ISBN 7-111-00877-4/TB·52 (课)

机  
械



社

## 前 言

本书是根据1984年5月在上海交通大学召开的流体动力机械教材分编审委员会第二次扩大会议制订的制冷设备及低温技术专业的教学计划及会议的有关文件编写的，它包括制冷装置及其自动化两方面的内容。

本书主要阐明制冷装置的类型、制冷系统与冷却方式、制冷装置的计算及优化设计、制冷装置的基本自动控制回路及典型的制冷装置调节系统等。由于考虑到不同读者的不同要求，本书还介绍了制冷装置的系统管路及安装调试方面的内容，各校在使用中可根据学时数进行删节。

本书是高等工业学校制冷设备及低温技术专业的教材，也可供有一定基础的技术人员自学或参考。

本书由上海交通大学邹根南和华中工学院郑贤德任主编。参加各章编写的分别为：

第一、三、九章：郑贤德（华中工学院）；

第二、六、八章：鬲雄才（上海交通大学）；

第四、五、七章：邹根南（上海交通大学）；

第十、十一、十二、十三章：陈芝久（上海交通大学）。

本书由上海机械学院蒋能照任主审。

本书在编写及审查过程中得到上海交通大学尉迟斌、华中工学院林秀诚、李文林以及上海机械学院缪道平等的协助，特此致谢。

本书内容涉及面较广，更限于编写人员的水平，错误和缺点在所难免，恳切欢迎读者批评指正。

编 者  
1986年10月

# 目 录

第一章 制冷装置概述 .....	1	第七章 制冷装置优化设计概述 .....	112
§ 1-1 制冷装置的含义及分类 .....	1	§ 7-1 制冷装置优化准则 .....	112
§ 1-2 制冷装置在国民经济中的应用 .....	1	§ 7-2 制冷装置优化的数学模型 .....	113
§ 1-3 制冷装置的节能 .....	4	§ 7-3 制冷装置优化对制冷设备的要求 .....	117
第二章 制冷装置的冷却方式和制冷系统 .....	8	第八章 制冷装置的安装和调试 .....	120
§ 2-1 制冷装置的冷却方式 .....	8	§ 8-1 制冷装置的安装 .....	120
§ 2-2 制冷系统的分类和概述 .....	11	§ 8-2 压缩机的试车 .....	123
§ 2-3 氨制冷系统的工作原理及其特点与应用 .....	11	§ 8-3 制冷装置的调试和效用试验 .....	126
§ 2-4 氟利昂制冷系统的工作原理及其特点与应用 .....	19	第九章 制冷装置 .....	132
§ 2-5 制冷装置的融霜系统 .....	24	§ 9-1 冷库 .....	132
第三章 制冷装置的隔热 .....	33	§ 9-2 空调用制冷装置 .....	143
§ 3-1 制冷装置隔热的目的 .....	33	§ 9-3 试验用制冷装置 .....	148
§ 3-2 常用隔热材料的特性 .....	33	§ 9-4 运输式冷藏装置 .....	150
§ 3-3 隔热结构 .....	37	§ 9-5 制冰及制干冰装置 .....	156
§ 3-4 隔热层的性能分析 .....	40	§ 9-6 真空冷冻干燥装置 .....	160
§ 3-5 隔热结构的计算 .....	43	§ 9-7 生活及商业用制冷装置 .....	162
第四章 冷负荷计算 .....	49	第十章 制冷装置自动化的基本概念 .....	167
§ 4-1 冷负荷计算方法 .....	49	§ 10-1 制冷装置自动化的任务、要求及发展动向 .....	167
§ 4-2 冷负荷计算期的确定 .....	56	§ 10-2 制冷装置的典型对象特性 .....	171
§ 4-3 冷却设备负荷和机械负荷的确定 .....	57	§ 10-3 制冷装置中常用的调节规律 .....	176
§ 4-4 围壁渗入热量的反应系数算法 .....	58	第十一章 制冷装置的基本调节回路 .....	189
§ 4-5 照明、人体及设备发热产生的冷负荷 .....	66	§ 11-1 蒸发器供液调节 .....	189
§ 4-6 冷藏空库降温时间的计算 .....	69	§ 11-2 蒸发器各参数的调节 .....	199
第五章 制冷装置主要设备的选择 .....	71	§ 11-3 冷凝器各参数的调节 .....	205
§ 5-1 制冷工况的确定 .....	71	§ 11-4 压缩机的能量调节 .....	209
§ 5-2 制冷压缩机的选择 .....	72	第十二章 制冷装置的保安系统及附件 .....	218
§ 5-3 冷凝器的选择 .....	77	§ 12-1 制冷装置的保安系统 .....	218
§ 5-4 蒸发器的选择 .....	81	§ 12-2 制冷装置自控系统的常用附件 .....	225
第六章 制冷装置管路设计 .....	84	第十三章 典型制冷装置的自控系统 .....	229
§ 6-1 管系的水力学阻力计算 .....	84	§ 13-1 直接蒸发式制冷装置的自控系统 .....	229
§ 6-2 管径的选择 .....	96	§ 13-2 氨制冷装置的自控系统 .....	235
§ 6-3 制冷管路系统的设计 .....	101	§ 13-3 计算机控制制冷装置的方法与存在的问题 .....	239
		参考文献 .....	245

# 第一章 制冷装置概述

## § 1-1 制冷装置的含义及分类

制冷装置是将制冷设备与消耗冷量的设备组合在一起的装置。制冷装置中虽然可以用不同类型的制冷机械来供应冷量，但制冷装置的类型和特性主要还是取决于消耗冷量的用户。随着冷量使用方式的不同，制冷装置的类型亦有各种各样。目前使用比较广泛的，大致有这样几类：

1. 冷藏用制冷装置：主要用于食品的冷加工、冷藏及冷藏运输，但也有用于贮存其他物品，如药品、疫苗等，其目的是为了保持食品的原有质量，以防其因生化作用或霉菌腐蚀而腐败变质。

2. 空调及降温用制冷装置：空调装置有生产性的，如冶金、纺织、仪表装配、精密零件加工等车间用的空气调节，也有舒适性的，如会堂、宾馆的降温等，其目的分别是为了保证产品质量，改善劳动条件，提高工作效率以及增强人们的身心健康。

3. 试验用制冷装置：它是专门用来进行产品的性能试验及科学研究，以检查它们在低温条件下能否保证所规定的性能指标以及能否正常工作。

4. 工业生产用制冷装置：就是制冷设备用于某些生产工艺过程，它是随服务对象的工艺过程而定，而且往往是将蒸发器与生产设备合为一体，有时使用生产过程中的原料或产品作为制冷剂，并将制冷系统与生产工艺流程结合起来。

5. 生活及商业用制冷装置：包括冰箱、冷藏陈列柜等小型制冷装置，除了家用外，医院、食堂、商店、科研及试验单位等都需要。

6. 建筑及其他工程用制冷装置等。

## § 1-2 制冷装置在国民经济中的应用

### 一、制冷装置在国民经济中的应用

人工制冷技术的发展虽然只有一百多年的历史，但制冷装置却广泛地应用于国民经济各个部门，综合起来分述如下：

#### 1. 食品的冷加工、冷藏及冷藏运输

主要是对易腐食品，例如肉、鱼、禽蛋及水果蔬菜进行冷加工、冷藏及冷藏运输。随着世界人口的增长，对食品的消费量剧增，因而除大力发展农牧业与捕捞业外，尚需在流通环节中千方百计地保持易腐食品的质量，减少损耗。世界各国都十分重视食品冷藏链，它是表示易腐食品在从生产到消费各环节中，不断采用冷藏方法来保存食品、食品冷藏链的第一个环节是对易腐食品在采摘（捕捞或屠宰）后迅速进行预冷却，包括水果蔬菜产地的预冷站，鱼港的制冰厂及冷藏库，肉联厂的冻结间等，以保证肉胴体的冻结条件。冷藏链的第二个环节是冷藏运输工具，包括冷藏列车、冷藏汽车、冷藏船及冷藏集装箱等。冷藏运输能力必须

与易腐食品的生产能力以及城镇对易腐食品的需求量相适应。冷藏链的第三个环节要求有一定的冷藏容量来贮存易腐食品，其中包括贮藏水果蔬菜和蛋品的冷却物冷藏间(高温库)及贮藏肉、鱼的冻结物冷藏间(低温库)。冷藏链的第四个环节是从零售单位的小冷库和冷藏商品陈列柜到消费者的家用冰箱，这也是保证食品新鲜，防止食品在零售环节腐败变质的必要措施。这种易腐食品从采集、加工、冷冻、运输、贮藏、零售到消费者等各个环节构成了完整的食品冷藏链，它的各个环节均需要不同型式的制冷装置。

要进行食品的低温运输和贮藏，就得有一个相应的设备或建筑物，而且在其中需保持所要求的低温条件，“这样的设备或建筑物通常称为冷藏装置。现代冷藏装置，按容量大小、用途和特性，大体上可以分为冰箱、冷库及运输式冷藏装置等。冷藏用制冷装置的容量与其他工业生产的制冷装置相比不是很大，例如一个万吨级的冷库其制冷装置的容量大约在1000 kW左右(随冻结能力的大小而变)，需要的蒸发温度一般在 $0\sim-40^{\circ}\text{C}$ 之间。而运输式冷藏装置实际上就是可以高速移动的冷库，它是随制冷技术和交通运输的发展不断向现代化发展，以满足食品冷藏链的需要。此外与食品冷藏技术有关的是冷藏食品的包装化，即必须对肉类等采用分割加工工艺，然后进行冷却、冻结和冷藏，这样既能保证质量，又可节能10~15%，提高冷库容量30~40%，且有利于实现包装化和运输托盘化。

## 2. 空调用制冷装置

采用人工的方法，创造和保持满足一定要求的空气环境，这就是空气调节的任务。人、生产过程和科学实验所要求的空气环境，是指某一特定空间的空气温度、湿度、清洁度和空气流动速度能满足工艺和舒适的要求。在现代技术中，有时还对空气的压力、成分和气味等提出一定的要求。空气调节的应用很广泛，如在各种精密机械和仪器的生产过程中，由于加工产品的精度提高，装配及检验过程十分精密严格，因此需要把空气的温度和湿度控制在相当小的范围内。象某些计量室要求保持空气温度为 $20\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50\pm 5\%$ 的空气环境；而某些加工和装配车间除对空气湿度有一定要求外，还要求保持空气温度在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 等不同范围内波动。

棉纺织工业车间内空气的温湿度参数，以相对湿度为主，这是由于纯棉纤维具有吸湿性能，对湿度比较敏感；车间内的温度则以人的舒适为主；对于某些合成纤维生产车间，则要求维持 $20\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 等；个别生产过程则要求空气的相对湿度控制在 $\pm 2\sim 3\%$ 的高精度范围内。

在农业方面，大型温室、机械化畜类养殖场和生物生长室等均需要空气调节；对于种子库、粮食仓库等，则需要创造适合于粮食贮存的空气环境。此外，地下工程的通风去湿等亦离不开空调用制冷装置。

随着人民物质文化生活水平不断提高，不仅对宾馆、会堂、影剧院和体育馆等要求空调，而且一些图书馆、医院、学校、商店、旅馆等也在逐步设置保证人体舒适的空调，近年来家用空调器亦得到一定程度的发展。

综上所述，空调装置对国民经济的发展和人民物质文化生活水平的提高起着重要作用。用途不同，对制冷装置的类型、容量等均有不同要求。在降温及空气调节中，所用的制冷装置其蒸发温度不要求很低，一般在 $0^{\circ}\text{C}$ 以上，除了可用蒸气压缩式制冷装置之外，尚可采用溴化锂吸收式制冷机等，而飞机座舱的空气调节则可采用空气制冷机。

## 3. 低温性能及环境试验装置

它是专门用来进行产品的性能试验及科学研究试验，以创造低温及其它环境，检查下述设备在低温条件下能否保证所规定的性能指标，能否正常工作：飞机中使用的仪器、仪表、电气设备及电子装置，飞机发动机或它的某些部件，在高寒地区行驶的汽车及拖拉机的发动机以及某些常规武器等。在产品定型的过程中要对产品进行低温性能试验，以检查它们在低温条件下能否保证所规定的性能指标。为此就需要建造各种型式的低温试验装置，其所要求的蒸发温度一般比较低，大约在 $-40\sim-80^{\circ}\text{C}$ 范围。

在现代工业和科学技术的许多部门中，由于需要对产品的高可靠性和稳定性进行检验，另一些科学实验要求建立人工气候室以模拟高温、高湿、低温、低湿及高空环境。这类宇宙空间特殊环境的创造和控制，对军事与宇航事业的发展具有重要的作用。

#### 4. 工业生产用制冷装置

化学工业、石油化学工业、炼油及天然气工业以及制药工业等，其中有些生产工艺过程需要在低温条件下进行，才能保证正常生产和产品质量。如在化学工业中用于合成氨、苯胺等生产过程及溶液的浓缩等；石油化学工业中，用于合成塑料、合成纤维、合成橡胶等；炼油及天然气工业中用于石油脱蜡，油品精炼、石油气的液化及分离等；医药工业中利用真空冷冻干燥法在制取各种疫苗等时冻干生物制品、酶制剂等，冻干药品及食品等，这些生产工艺过程需要在低温条件下进行。工业生产用制冷装置的特点是容量比较大，一个工厂往往需要几千至几万千瓦的制冷量，所需的蒸发温度范围亦大，有的生产过程只需要零度以上，有的需要 $-40^{\circ}\text{C}$ 以下，而天然气液化时蒸发温度低达 $-150^{\circ}\text{C}$ 以下。

#### 5. 制冰及制干冰装置

人造冰广泛地用于冷藏运输、远洋捕捞、人民生活及商业等各个领域。干冰即固态二氧化碳，它在大气压力下能直接升华成气体，升华温度为 $-78.5^{\circ}\text{C}$ ，故可以保持低温。干冰可用于某些贵重物品贮藏、科研以及局部地区的人工降雨。

#### 6. 科学研究用低温装置

钢铁材料低温性能研究或其零件的冷处理；适应于高寒地区农作物的培育以及航天技术中的研究工作，气象科学中所需的云雾室也需要制冷装置。在这些领域有时亦需要低温，如钢制零件的低温处理需要保持 $-80\sim-120^{\circ}\text{C}$ 的低温。

#### 7. 建筑工程及其他工程用制冷装置

在浇制巨型混凝土大坝时，可用人工制冷方法来排除混凝土在凝固过程中析出的热量，以防坝体裂缝，并可提高混凝土的强度；在流沙地区开掘矿井或隧道时，可先将其四周土壤冻结，然后在冻土中进行施工，此时需要的冷量大，温度低；此外尚可以用人工制冷方法建造人工冰球场及溜冰场等。

总之，制冷装置在国民经济中的应用是相当广泛的，随着国民经济和科学技术的发展以及人民生活水平的提高，对各种类型制冷装置的需要量将更大，性能要求亦将更高。

### 二、我国制冷事业的发展

我国在天然冷源的利用方面具有悠久的历史，但长期的封建统治，阻碍了我国科学技术的进一步发展。因而在解放前，我国的人工制冷事业基本上是一个空白点，没有自己的制冷装置制造业。当时所用的一些制冷设备都是从国外引进的，各地冷库的总容量还不到三万吨，人造冰的生产及冷藏运输能力都很薄弱，工厂中没有空调设备，更谈不上产品的低温试验及有关制冷技术的科学研究。



解放后,随着国民经济的发展,人民生活水平的逐步提高,制冷的应用范围亦日益广泛,到50年代中期,我国已拥有十多个专业的制冷机制造厂,已能生产三十多种制冷压缩机及辅助设备和制冷装置。从1958年开始进入自行设计阶段,并开展了相应的试验研究工作,先后制订了各种类型制冷机的系列和有关技术文件。现在全国已有几百家制冷机生产厂,其中有五十多家中、大型制冷机专业生产厂,已能生产各种类型的活塞式制冷机及成套设备(包括冰箱、空调机组、冷水机组、快速制冰机、热泵等)以及十多种型号的螺杆式制冷机及成套设备,连万吨级冷库的制冷装置亦可选用国产的螺杆制冷机来配套。离心式制冷机亦随着我国石油化工工业的发展和大型空调装置的需要而发展起来。低温离心式制冷机的产品已基本能满足年产500万吨炼油厂、年产30万吨乙烯厂、年产30万吨合成氨厂的需要,其中最大单机容量达18600kW,用于我国自行设计制造的年产30万吨化肥厂。此外还能生产蒸气喷射式和溴化锂吸收式制冷机等,这些产品不但基本上能满足国内的需要,而且还可以出口。我国还陆续建立了一些制冷技术研究机构,拥有一定的科研能力,并在十多所高等院校设置了制冷空调专业。

我国冷库的建设是从1953年开始的,到1980年,冷库的总容量为180万吨,不但总容量是解放初期的10倍,而且冷库的型式,如气调冷库、组合式冷库、自动化冷库等也逐渐增多;平板冻结器等各类冻结设备亦得到迅速发展;还建造了以R22为制冷剂的大、中型冷库,自行设计和制造了冷库自动化仪表,这将促使冷库建设朝自动化方向发展。在新建的冷库中,大多具有制冰设备,以满足冷藏运输及其他方面的需要。自从设计制造了快速制冰机及片冰机之后,制冰技术得到进一步的发展,冷藏运输设备亦得到进一步的发展,自行设计了各种冷藏船、冷藏列车、冷藏汽车。由于冷藏技术的不断发展,我国在气调贮藏与气调运输的基础上,正在探索减压贮藏与减压运输的新途径,冷藏运输中还采用了冷冻板冷藏车,并且已逐步采用了冷藏集装箱。

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,空调技术水平亦不断提高,我国现在已能设计、制造各种空调机组及系统,如高精度的恒温恒湿装置,热泵型空调器、装配式洁净空调装置以及人工气候室的制冷空调装置、地下除湿装置和高层建筑的空调系统等。在空调节能和能量回收、设备性能提高、系统能量综合利用方面进行了不少研究工作。

此外,制冷技术在其他方面的发展也很快,低温试验装置现已在一些工厂及科研单位普遍使用,其他如矿井开掘的冻结装置,大坝混凝土预冷用的片冰机,医药工业用的真空冷冻干燥装置等都得到迅速发展。总之,在我国实现四个现代化的进程中,制冷装置将在更大范围内发挥重要作用,也将在更多的需求下得到发展和提高。学习并掌握制冷装置及其自动化这门课程,就要求我们理论联系实际,在生产实践和科学实验中,不断丰富它的内容,提高它的水平。

### § 1-3 制冷装置的节能

随着国民经济的发展以及人们生活水平的提高,制冷空调装置的应用越来越广泛,其能耗亦因而剧增。所以必须注意能源的合理利用和新能源的开发。制冷装置的节能应作为制冷技术的主要研究课题,在制冷装置的设计、制造和运行中都必须予以重视。

## 一、制冷压缩机的节能

压缩机是制冷装置的心脏，亦是主要耗能设备，因而如何实现制冷压缩机的节能已引起人们普遍的重视。压缩机的种类很多，构造型式亦不相同，其能耗亦是随工况不同而变化，压缩机效率的提高，能直接降低能耗。对于小型全封闭式和半封闭式压缩机，除加强压缩机部件的优化设计之外，尚需考虑内置式电动机的优化，这样可指望节约输入功率28%；在开启式压缩机中，自动阀的功率消耗一般为指示功率的10~20%，对于节能和可靠性研究来说，必须进行计算机模拟优化设计；从机器结构参数选择来看，对中等转速和高压比率的机器，需要长行程，而对于高转速和低压比，则采用短行程有利于节能。活塞式制冷压缩机性能提高的重点为减少余隙容积，改进阀结构，深入研究制冷剂与气缸及吸、排气腔、吸排气阀之间的不稳定导热，控制进气过热，减少机械摩擦损失，提高电动机效率，提高使用可靠性等。对于中小型活塞式制冷压缩机尚需制订新系列，使结构参数、制冷量范围、性能指标等符合新的要求，以供不同制冷装置的配套选择。

对于螺杆式制冷压缩机，不管转速如何，都可得到所需的压力比，因而控制转速就可在更大范围内进行容量控制，以实现节能。制冷系统方面可采用经济器，以单级压缩、两次节流来实现节能。螺杆式制冷压缩机内外压力比不一致引起的功耗相当大，若实现内容积比可调，则基本上可消除这种现象，且这种内容积比可调装置应由机械式向单片机自动控制发展，使得运行中自动调节内外压力比一致，以实现节能。此外，螺杆式制冷压缩机可以喷射制冷剂液体来代替或部分代替喷油，以达到取消油冷却器，缩小油分离器容积，且实现节能。

以上这些技术措施，在设计和选择制冷装置压缩机节能产品时，必须认真分析考虑。

## 二、冷库设计和运行中的节能

冷库设计应在装置投资、节能、运行质量之间进行协调，即冷库的节能不仅与冷库的初步设计有关，而且与冷库的运转方式密切相关。加厚围护结构中的隔热层或使用具有低热导率的隔热材料以减少冷负荷，是冷库设计和运行中节能的重要措施。这就要求采用合理的方式确定隔热层的厚度和计算热平衡。冷库隔热结构亦应采用最小的冷桥，其最重要的选择标准之一是使获得冷量的成本最低。

目前冷库采用单层建筑的很多，因而冷库平面设计布置时，亦要在保证装卸的前提下尽可能紧凑，且要根据装载方式和叉车码垛特性来确定库的净高。在食品联合加工企业中，最好把各种车间配置在制冷装置的周围，以免制冷设备和冷藏间分散。至于冻结设备常会发生与整个冷藏间分开的情况，只有当冻结设备是生产环节不可缺少的组成部分时，这样做才可以，例如蔬菜流床式冻结设备就装于蔬菜挑选、清洗、烫漂和贮存包装间之间。与此相反，传统式的冻结隧道或传送带式冻结设备，就应包括在冷间整体之中，以减少围护结构的冷负荷。

冷库制冷装置运行时的节能措施，主要是要求经常认真地维修制冷装置和冷藏间，如保证制冷系统有足够的制冷剂，保证压缩机的回油、清洗及更换干燥过滤器，尤其是膨胀阀的过滤网、清洗冷凝器等水回路设备，检查自动装置的运行情况，特别是控制回气温度、蒸发温度和冷凝温度等。对于冷藏间与制冷剂之间的温差要尽可能地减少，并达到食品贮存良好的条件；对于蒸发器除霜，特别是低温间蒸发器的除霜，应定时进行，若间隔长，蒸发器就可能被霜层堵住，而且融霜也困难，此外在冷风机上面有较厚的霜层时，风机的效率也会降低，而除霜太频繁，其能耗又要增加。实际运行中，当蒸发器效率明显降低，如下降20~

25%时,对于重力或液泵供液系统均需进行融霜。

冷库运行中冷藏间的换气亦是影响热平衡的重要因素。对流换热可通过围护结构不严密处或开门时进行。除冷库结构设计时对冷间作防漏气处理之外,尚需注意及时修理门框接缝和地板面层磨损或裂缝,否则亦会引起漏气。对于冻结物冷藏间的门框接缝处,尚需配备加热装置,否则门就会很快地被冰霜冻住。低温间门的开启直接关系到换气量,不适时的开门可使制冷装置的能耗成倍增长,而且还影响到冷藏库的使用寿命。对于库容量来说,一年之内可能是变化的,但库存吨位越少,其能耗和运行费用就相对增高,因而冷藏间容积利用系数不应低于冷库设计规范的规定值。

对于冻结或速冻食品,近年来趋向于低温保存,但能耗明显增加,因而必须合理地选择贮藏温度;对于冷却产品,若能采取与大气压力不同的气调贮存,就可以为节能提供有利的方式,同时可保证良好的贮存条件并减少干耗。

### 三、空调装置的节能

对于空调装置的排风、冷凝器的排热及空调系统的总体设计,人们为了寻求空调装置节能及热回收措施作了不少研究。从总体设计来说,空调房间应尽量集中布置,且符合以下要求:非空调房内包围空调房间;温度基数与精度要求低的房间包围要求高的房间;建筑平面与体型应尽量简单方正,尽量减小保温墙长度;设置必要的非空调生活间和辅助间,以减小空调面积。

空调房间的围护结构,应考虑防潮隔气措施,并应注意排除施工时在材料内残留的水分。空调房间围护结构的传热系数,应根据技术经济分析确定,要充分考虑节能因素。在满足生产要求和人体健康的条件下,室内温度基数,夏季尽量提高,冬季尽量降低。若空调温度基数,夏季由 $20^{\circ}\text{C}$ 提高到 $23^{\circ}\text{C}$ ,可以减少冷负荷30%左右,相当于室温每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ,约减少冷负荷10%,冬季室温每降低 $1^{\circ}\text{C}$ ,约减少热负荷12%。生产工艺对相对湿度无特殊要求时,相对湿度基数可按夏季为70%,冬季为35%,露点温度尽量控制在较高值,夏季由 $10^{\circ}\text{C}$ 提高到 $12^{\circ}\text{C}$ ,可减少冷量约17%。有条件时,尽量采用变露点控制,夏季可由二次回风来加热空气,尽量减少冷热抵消现象。对于新风量,要根据人体健康、合理地补偿局部排风和保持室内正压条件来确定。

对于空调房间布置分散、运行时间不同及温湿度基数不同的场合,宜采用整体式空调机组。对于集中式空调系统,有条件时宜采用变风量系统。变风量系统的风机,应选择全压曲线较平缓,即当风量变化时,压力变化较小,风机效率较高的风机。对于电子计算机房气流组织宜选用下送上回的空调机组,在保证人体卫生条件的基础上,有条件时一般空调房间亦可采用这种方式。

空调系统应尽量装设自动控制装置,特别是集中式空调系统应尽量采用多工况节能的空调自控方案,防止过冷或过热,合理地采用自控可望节能25~35%。

空调装置应尽量采用冷、热回收装置,对需要设置再热器的空调系统,则可以采取将部分或全部高温制冷剂气体先经过再热器放热,然后经水冷或风冷冷凝器冷凝。

### 四、制冷装置热泵化

若制冷装置以消耗少量的功由低温热源取热,向需热对象供应更多的热量为目的,则称为热泵装置。热泵作为节能的机器之一,在能源的有效利用方面,正在进一步为人们所认识。当然作为热泵的主要目的是用于供热,同时用于制冷。但是制冷装置热泵化亦包括了其

主要目的用于制冷的设备，运行时将冷凝器的排热加以利用，即成为按热泵运行的机器。

最简单的热泵是具有四通阀切换流程的空调器，夏季作为简单的冷风机，冬季按热泵运行，即是最简单的空气-空气热泵，与电加热相比，运行效率提高两倍。对于冷热同时应用的场合，可将制冷机按热泵运行。如冷库制冷装置，从冷间吸取的热量与驱动压缩机所消耗的能量之和，由冷凝器传给空气或水，这部分热量是 $35^{\circ}\text{C}$ 以上的低温余热，可以用来供热或维持地坪下隔热层的防冻加热；超级市场中大量冷藏商品陈列柜等用制冷装置的排热，亦应回收作为大楼的供热水的热源；体育馆中兴建溜冰场应与游泳池设计综合考虑，用制冷装置冷凝器的排热来加热游泳池水温；大型牛奶工厂中，牛奶需要冷冻处理，而同时清洗直接与牛奶生产有关设备的热水需要大量的耗热，若设计成热泵型，利用冷凝器排热量可节约能耗。

### 五、制冷装置自动化

随着国民经济的发展，要求提高制冷装置的自动化程度。制冷装置的自动化主要包括最佳运行工况调节，蒸发器供液量调节，冷间温度及蒸发温度调节，蒸发器自动除霜，冷凝压力自动调节，制冷压缩机的自动启停及能量调节，制冷辅助设备的自动控制等，这些都直接关系到制冷装置的节能。

压缩式制冷机中压缩机的电动机是主要耗能设备，但是冷凝器和蒸发器等设备上用的泵和风机的动力亦占全部动力的 $10\sim 20\%$ ，因而对制冷设备的节能亦必须加以重视。如利用压力控制器按冷凝压力值自动调节冷却水泵的开启台数；冷风机上的风机采用双速电动机，当冷负荷较小时，自动转入低速运行，以降低电耗；为提高蒸发器的传热效率，需对蒸发器的霜层厚度进行控制，在霜层厚度达到调定值时，自动除霜。此外，设计自动放油回路可提高热交换设备的效率，设计自动放空气回路，以防止冷凝压力过高。

制冷装置自动化应朝着利用单片机或微机控制的方向发展，控制室中应有显示运行过程的模拟板或以工业电视监视的方式运行。当然要实现制冷装置的自动化，在工艺流程上会增加一系列的温度、压力、压差、液位及油位控制器以及自动阀门等，电器方面亦增加一系列自控元件及控制线路，但是实现自动化对于装置节能的意义很大。

### 六、联合运行的制冷装置

为了综合利用能源，可发展各种机器的联合装置，以发挥各类机器的特点，研制新制冷装置时必须加以重视。除常用的汽轮机、离心式制冷机组与溴化锂吸收式制冷机联合运行方案之外，在制冷装置（如冷库的冻结与冷藏装置）中，尚可发展氨水吸收式制冷机与压缩式制冷装置的联合运行。此外尚可用喷射器作低压级，配合压缩式制冷装置进行两级压缩的装置，即使在冻结间亦可不配备两级压缩系统，以节约投资。对于新型的压缩式喷射式制冷机，利用R502作为制冷剂，在单级压缩制冷系统中可得到 $-50\sim -80^{\circ}\text{C}$ 的低温，整个系统中只需增加喷射器，为了节能，可在喷射器的扩压段装有冷却套，此外该系统尚可实现双温循环。

对于压缩式制冷装置，可由发动机直接驱动，以节省传动能耗，对于柴油机驱动的压缩式制冷装置，其柴油机的排气余热尚可综合利用，亦可采用斯透林发动机驱动制冷压缩机，以提高制冷循环的效率。汽车空调及冷藏汽车的制冷装置，大多是由发动机直接驱动的。

除上述节能措施之外，若在制冷机中应用非共沸制冷剂亦可实现节能，在新型制冷装置的设计中亦应加以考虑。

## 第二章 制冷装置的冷却方式和制冷系统

上章已述，制冷装置是制冷设备与消耗冷量的设备组合在一起的装置，其分类主要取决于冷量使用方式。因此，尽管制冷装置类型繁多，其冷却方式和制冷系统仍存在许多共同特点，可以找出许多规律性的东西。认识并掌握这些规律，可以更好地结合冷量用户的实际情况正确、合理地设计制冷装置。这就是本章讨论所要达到的目的。

### § 2-1 制冷装置的冷却方式

制冷装置在工作过程中，必然会有周围环境的热量通过围护结构传入用冷场合，而且在用冷场合也会因各种原因产生一定的热量，这两部分热量之和就是制冷装置为维持所需低温而必须由制冷剂带走的冷却设备负荷。因此，在压缩式制冷装置设计时除了要注意选用在要求工况下具有足够制冷量的制冷压缩机及与之匹配的冷凝器、节流机构以外，更应注意在其中安装足够的冷却设备，制冷装置才能真正提供足够的制冷量来平衡这部分冷却设备负荷，从而维持所需的低温。这就是说要注意制冷装置的匹配特性问题。选择何种冷却设备较为合理呢？这牵涉到制冷装置的冷却方式问题。

从制冷机与用冷设施的结合部所使用的冷却介质来看，不论哪种类型的制冷装置，其冷却方式不外乎是制冷剂直接蒸发冷却和载冷剂间接冷却两种。由于用冷场合（如冷库的冷藏间、冰箱的冻结室或冷藏室）的被冷却物质（即制冷的工作对象）大多是通过空气的对流换热取出其热量的，因而，根据空气在用冷场合的运动情况，这两种冷却方式又都可继续分成自然对流冷却和强制对流冷却两种类型。这就形成了如下四种冷却方式。

#### 一、自然对流制冷剂直接蒸发冷却

制冷机的蒸发器安装在用冷场合内，利用制冷剂的蒸发来直接冷却用冷场合的空气，通过空气再去冷却被冷却物质。而整个用冷场合的空气流动是由于蒸发器周围的空气被冷却以致温度降低、密度变大后才引起的。

这种冷却方式的特点是：制冷剂与被冷却物质间总的传热温差比较小。为获得相同的低温，制冷剂的蒸发温度可以比较高。在冷凝温度一定的条件下，制冷机消耗功率较小，制冷量较大。又因不需设置风机，风机的耗能及这部分能耗转化为热能所消耗的冷量可以节省。因而制冷装置的经济性较好，冷却速度较快，系统也比较简单。

由于这个特点，这种冷却方式应用得很普遍。如直冷式家用电冰箱、大多数的小型冷藏箱及冷藏库的冷藏间等，都采用这一冷却方式。图2-1所示即为单门直冷式家用电冰箱应用这种冷却方式的实例。

#### 二、强制对流制冷剂直接蒸发冷却

这种冷却方式与第一种不同之处在于，用冷场合的空气通过风机的作用强制流过制冷机的蒸发器，并在用冷场合内循环流动。因此，它除具有总的传热温差小所带来的优点外，还具有制冷机蒸发器的传热系数高、金属消耗量小、蒸发器内制冷剂充注量较少、用冷场合温

度场比较均匀、冷却速度更快等一系列特点。因而该冷却方式应用得也很普遍，如同冷式家用电冰箱、无霜厨房冰箱、冷藏汽车、铁路冷藏车、冷藏船及陆用冷库的冷却间和冻结间等制冷装置都采用该方式。由于该方式空气流动速度大，容易引起被冷却物品（如冷库内的食品）的干缩损耗，同时风机消耗的能量在用冷场合转化成热量后又增大了冷却设备的负荷，在选用时应注意冷量用户对这方面的要求。图2-2所示即为双门双温家用电冰箱采用这种方式的实例。

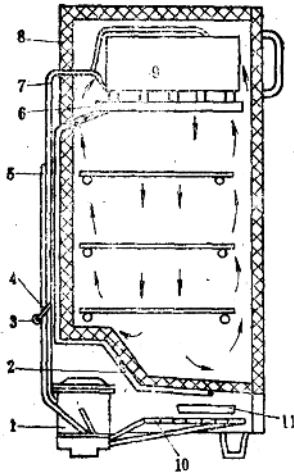


图2-1 单门直冷式家用电冰箱的冷却方式

1—压缩机 2—排水管 3—过滤干燥器 4—毛细管  
5—冷凝器 6—滴水盘 7—回气管 8—隔热层  
9—蒸发器 10—副冷凝器 11—蒸发盘

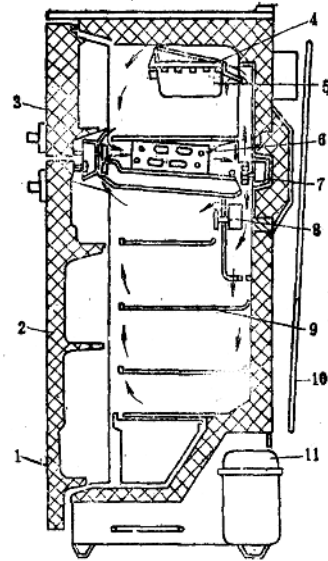


图2-2 双门双温家用电冰箱冷却方式

1—下层门 2—隔热层 3—上层门 4—制冰块盘  
5—盛冰块盘 6—蒸发器 7—风机 8—温控开关  
9—搁板架 10—冷凝器 11—压缩机

在制冷系统规模比较庞大、用冷场合比较分散的情况下，采用前述两种冷却方式时，必然会出现这样两种情况：一是制冷剂循环管路很长，制冷剂外泄的可能性增大，二是制冷剂在循环系统中的充注量增加。这对制冷装置的经济性及人身的安全和用冷场合被冷却物品的质量都不利。在这种情况下，较多的是采用载冷剂间接冷却的方式，让制冷剂限定在一个比较小的范围内循环流动，既使其外泄机会减少，又可节省其充注量。各用冷场合则由载冷剂来传递冷量。象制冷剂直接蒸发冷却方式一样，载冷剂间接冷却方式也有自然对流和强制对流两种情况。

### 三、自然对流传载冷剂间接冷却

这种冷却方式曾在冷藏货船上广泛应用过（其原理如图2-3所示），这主要是它具有下列优点：

1. 节省制冷剂，安全可靠。冷藏货船上船、舰都分隔有货舱。用自然对流冷却

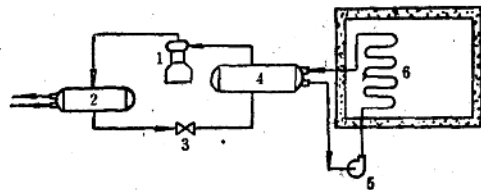


图2-3 自然对流传载冷剂间接冷却原理图

1—压缩机 2—冷凝器 3—膨胀阀 4—盐水冷却器  
5—盐水泵 6—冷却盘管

时,冷却盘管布置在各舱壁和舱顶,十分分散,加之船体受振动和冲击时,常有可能使管路破裂或接头松脱。采用载冷剂间接冷却后,循环于各冷却盘管中是载冷剂而不是制冷剂,这就使制冷剂管路集中于制冷机舱的较小范围内,管路大为缩短。与制冷剂直接蒸发冷却方式相比,这既减少了制冷剂的充注量,又减少了制冷剂在较长管路上泄漏的机会,亦即增加了制冷机运行的可靠性。货物质量易保证,货运较为安全。

2. 具有较大的蓄冷能力。因为在冷藏舱的盘管和整个系统中充满了大量的低温盐水,当制冷机停车后它还能吸收大量的热量,使冷藏舱温度回升比较缓慢,可以避免机组启动过于频繁。

3. 温度调节方便。当冷藏舱冷负荷下降时可通过节流(二通阀)或旁通(三通阀)的方法,减少进入冷却盘管的盐水流量直至完全停止。

4. 安装冷却盘管的舱壁和舱顶正是冷藏舱周围热量渗入处,因而冷却盘管的吸热效果良好。

5. 冷藏舱装货时,制冷机不必停车,其舱温可以维持或者降温时间可以缩短。

但是,这种冷却方式也有下列缺点:

1. 系统复杂,设备增加,盐水的腐蚀性使与之接触的管路、设备易损坏。

2. 在相同的舱温和冷却水温的条件下,载冷剂间接冷却方式的蒸发温度一般低于制冷剂直接蒸发冷却方式。因而载冷剂间接冷却方式舱内空气与制冷剂的总传热温差较大。这样所需制冷压缩机的功率增大,还增加了盐水泵的动力消耗以及由此产生的动力热。

3. 盘管遍布全舱,其积霜只能在卸货之后清除。在贮运途中为了维持一定的舱温,随着管外霜层的增厚,蒸发温度就会越来越低,使运行工况恶化。

4. 由于自然对流冷却,对于能产生呼吸热的水果、蔬菜等货物,容易引起局部升温,而且不能调节舱内湿度,通风换气也较困难。

5. 在冷藏舱舱口下面难以安装盘管,该处容易形成局部高温。

前两点是载冷剂间接冷却方式均存在的缺点,后三点则是自然对流冷却方式带来的缺点,由于存在这些缺点,目前该种冷却方式多被强制对流的载冷剂间接冷却方式所代替。

#### 四、强制对流载冷剂间接冷却

这种冷却方式应用于大型陆用冷库和冷藏运输船上,其原理示于图2-4中,它有下列优点:

1. 节省制冷剂,减少其泄漏的可能性。

2. 一台机组能为几个温度不同的冷间(库房)工作,而且调节温度较为方便。

3. 强制对流提高了冷却盘管的传热性能,节省了金属材料。

4. 用于低温工况时,盘管外的霜层可随时融化,避免霜层对盘管传热的影响,充分发挥设备的效能。因为此时冷却盘管集中安装在强制流动的风道中,并不是分散安装在各墙面或平顶上,融霜过程对冷藏货物的质量不产生影响。

5. 高速的气流使冷间内温度场分布比较均匀,货物冷藏质量较好,特别是有利于水果、蔬菜等鲜货的冷藏。

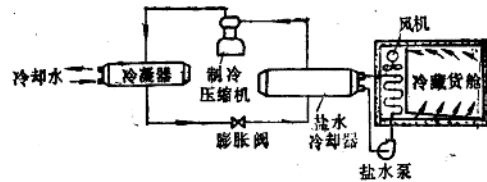


图2-4 强制对流的载冷剂间接冷却系统原理图

由此可知,这种冷却方式克服了自然对流冷却引起的缺点,却存在货物易于缩损及装货时不能启动风机,盘管不能发挥作用,库温要回升的缺点。而载冷剂间接冷却带来的缺点也依然存在。因此在应用时,要注意到这些情况。

## § 2-2 制冷系统的分类和概述

所谓制冷系统,系指由实现制冷循环压缩、冷凝、膨胀、蒸发四个过程的设备、配件和管道等互相连接而组成的一个整体。

上节讨论了制冷装置中选用什么冷却设备,采用什么方式将冷却设备负荷传递给制冷剂的问题。或者说,是如何将制冷量提供给用冷场合的问题。至于制冷量如何生产与分配,则牵涉到制冷装置采用哪种型式的制冷机械及其管道系统,也就是选择什么样的制冷系统的问题。现代制冷装置,为满足冷量用户的要求,除要正确设计和合理选用制冷系统外,还要正确设计和选用其保安系统和自动调节系统。为讨论方便,这里先讨论制冷装置的制冷系统问题,后者留待第十章以后进行讨论。

既然制冷装置是为不同的制冷工艺、不同温度需要服务的,其制冷系统的组成及效能就必须依不同工艺和不同温度的需要以及不同的制冷剂种类来确定。这就产生了不同的制冷系统分类方法。

按制冷剂性质不同,制冷系统通常可分为氨制冷系统、氟利昂制冷系统、空气压缩制冷系统和其它工质制冷系统。

按制冷原理,制冷系统可分为:压缩式制冷系统、吸收式制冷系统、蒸气喷射式制冷系统、热电制冷系统及吸附式制冷系统等。其中,压缩式制冷系统又可分为单级压缩制冷系统和双级压缩制冷系统,而复叠式制冷系统则用两种或两种以上不同的制冷剂,可以由两个或两个以上的单级压缩制冷系统复叠而成,也可以由单级压缩制冷系统与双级压缩制冷系统复叠而成,还可用压缩式制冷系统与吸收式或其它型式的制冷系统复叠而成。

按蒸发器供液的方式,制冷系统可分为:直接膨胀供液制冷系统(又称直流供液制冷系统)、重力供液制冷系统和液泵供液制冷系统。无论是单级或双级压缩,都可用这三种制冷系统。

由于有关吸收式制冷系统、蒸气喷射制冷系统、热电制冷系统、吸附式制冷系统及空气制冷系统的内容,在有关课程中都已作了介绍,同时为了叙述方便及节省篇幅,本章将以氨压缩制冷系统和氟利昂压缩制冷系统为主进行介绍,并结合它们的特点分别介绍单级压缩和双级压缩制冷系统。复叠式制冷系统则在氟利昂制冷系统部分加以介绍。而按蒸发器供液方式所分的三种制冷系统,则归到氨制冷系统部分介绍。以后几节就重点介绍这些系统的工作原理、特点及一般应用场合,以便在制冷装置设计时能正确、合理地选用制冷系统。

## § 2-3 氨制冷系统的工作原理及其特点与应用

单级压缩、双级压缩氨制冷系统与制冷原理中讨论过的内容类似,为避免重复,本章从略。直接膨胀供液制冷系统的工作过程与重力供液制冷系统相似,在氨制冷系统中很少应用,本节亦不作介绍。



### 一、重力供液制冷系统

在制冷系统中，由高压贮液器（或直接从冷凝器）来的高压制冷剂液体经调节阀（膨胀阀）节流后进入气液分离器，节流时所产生的蒸气在其中分离后被制冷压缩机吸走，而积存在气液分离器下部的制冷剂液体则借助其液柱的重力经液体调节站向蒸发器（蒸发盘管或冷风机）供液。从蒸发器回来的制冷剂湿蒸气再经过气液分离器，将制冷剂蒸气所携带的液滴分离出来，蒸气由上部被压缩机吸走（这样可以防止液击事故发生，保证压缩机的安全运转）。采用这种供液方式的制冷系统就称为重力供液制冷系统。

单级压缩重力供液氨制冷系统的组成如图2-5所示。

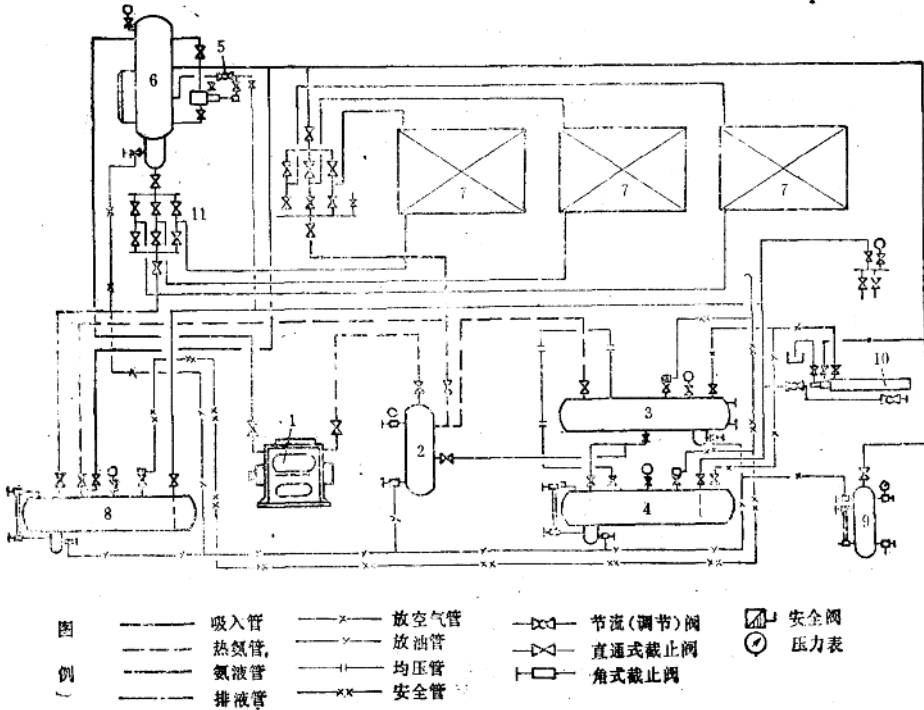


图2-5 单级压缩重力供液氨制冷系统

1—压缩机 2—油分离器 3—冷凝器 4—高压贮液器 5—节流阀 6—气液分离器  
7—蒸发器 8—排液桶 9—集油器 10—空气分离器 11—液体调节站

在低温系统中，为了对蒸发器进行热氨融霜，除了设有高压贮液器外还设有排液桶8。排液桶的构造和高压贮液器的构造相似，只是管路和管接头较多，它的作用是在对蒸发器进行热氨融霜时，将蒸发器中的氨液收集贮存起来。

重力供液所需要的液位差，由供液管、截止阀门、蒸发器及气液分离器前面的回气管等几部分流动阻力的的大小来定。液位差过小，不足以克服低压制冷剂循环过程中的总流动阻力，则进入蒸发器的液体量较少，其蒸发面积不能很好利用；若液位差过大，则液柱高度产生的静压力使蒸发器中制冷剂的蒸发温度升高，传热温差减小，因而传热面积也不能很好利用。在工程设计中，气液分离器的液面，应高于冷藏间蒸发器最高点（一般系指顶接管）0.5~