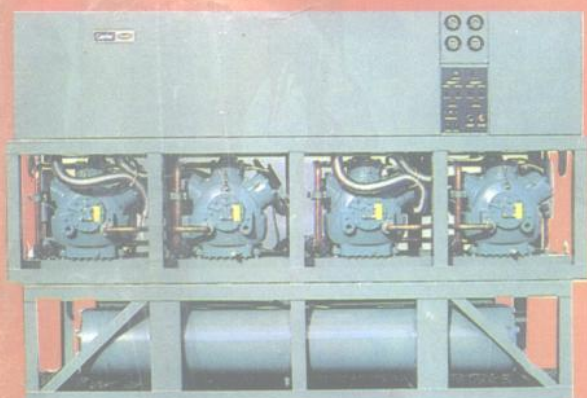
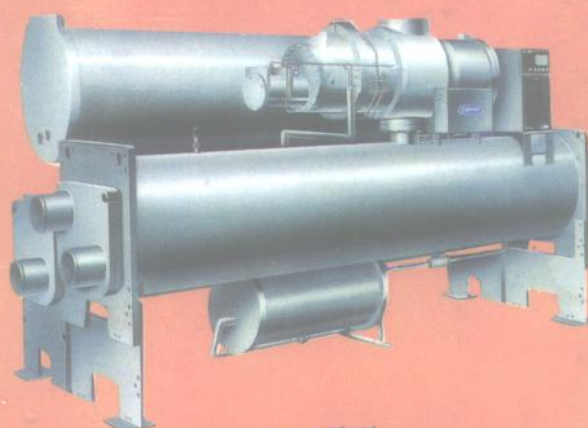


# 制冷空调原理与设备

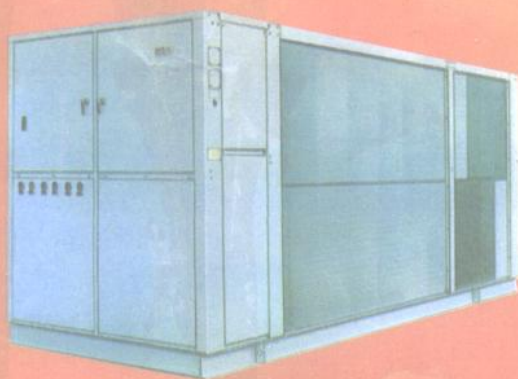
徐德胜 鄂振耀 主编



30HR 系列



23XL 系列



30GQ 系列



19XL 系列

Carrier®

用开利  
找英华

上海交通大学出版社

389260

# 制冷空调原理与设备

徐德胜 邬振耀 主编

编者

陆震 朱寅生 孙兆礼

邬振耀 邹根南 徐德胜



上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书根据制冷大专班和热能、机械等专业开设制冷空调课程的教学要求编写，内容比较全面和精练，可满足 100 学时左右的教学需要。本书特点是在详细叙述制冷热工基础、蒸汽压缩式制冷原理、活塞式制冷压缩机、制冷换热器及辅助设备、制冷装置自动调节、冷库负荷计算、电气控制系统、安装调试和故障分析、电冰箱原理和结构之后，又对吸收式制冷原理、吸收式制冷机热工计算、溴化锂吸收式制冷机的结构和运行维护等作了较为深入的阐述；最后对空调理论基础、空气热湿处理的方法、空调系统结构形式、空调系统的测试和操作进行了较为全面的介绍。

本书可作制冷大专班、本科非制冷专业开设制冷课程和高级技工培训班的教材，也可供工程技术人员和自学制冷与空调的广大读者参考。

DY 62/10

责任编辑 程锡林  
封面设计 曹美娟

(沪)新登字205号

### 制冷空调原理与设备

上海交通大学出版社·出版  
(上海市华山路 1954 号 邮政编码 200030)  
新华书店上海发行所·发行  
崇明永南印刷厂·印刷

开本：787×1092(毫米)1/16 印张：29.5 插页：7 字数：732000  
版次：1996年2月 第1版 印次：1996年2月 第1次

印数：1—10000

ISBN7-313-01509-7/TB·027 定价：31.00元

# 前 言

制冷和空调是一门在迅速发展和应用十分广泛的工程技术。现代化的工业、农业、商业、交通运输、建筑、旅游、医学和科学研究等部门都离不开它；电冰箱和空调器又以迅猛的发展之势进入城乡家庭，对减轻家务劳动、改善工作和生活条件起着重要的作用。为此，必须有一支人数众多的技术队伍为之服务。制冷大专班，以及机械、动力、能源等专业开设制冷空调课程需要一本合适的教材，为了满足各方面的需要，我们组织编写了本教材。除了用于教学之外，本书对于广大工程技术人员、制冷高级技工和自学者也是一本必备的参考书。

本书包括以下内容：第Ⅰ篇为制冷的热工基础，含热力学、传热学、流体力学基础3章；第Ⅱ篇为蒸气压缩式制冷，含制冷原理、制冷压缩机、制冷剂、自动调节、冷库热力计算、电气控制、制冷装置安装与调试、故障分析、装置检修、电冰箱原理与结构等10章；第Ⅲ篇为吸收式制冷，含制冷原理和机器结构、热工计算、溴化锂吸收式制冷机的运行与管理3章；第Ⅳ篇为空气调节基础，含湿空气性能、空气的热湿处理过程、空调系统、系统测试与运行管理4章。全书的教学时数为100小时左右，不同类型的班级可根据自己的需要对教材内容作适当删节。

本书编著者的分工如下：上海交通大学徐德胜教授编写绪论，第1、2、3、14章及附表附图，并负责全书的统稿；上海交通大学能源系主任邬振耀教授制定编写大纲，并编写第4、18、19、20、21章；苏州大学朱寅生副教授编写第8、10章；上海交通大学邹根南副教授编写第5、6、7、9章；上海交通大学陆震副教授编写第15、16、17章；上海工程技术大学孙兆礼副教授编写第11、12、13章。本书在编写过程中曾参考了上海交通大学制冷与低温工程专业编写的教材和国内外同行的著作，在书末参考文献中一一列举，在此向他们一并致谢！

限于编者的水平，本书的涉及面又广，书中难免有缺点和错误，恳请广大读者批评指正，来信请寄上海交通大学（邮编200030）能源系主任邬振耀收，以便在本书修订时采纳大家的宝贵意见。

编著者

1995年春于上海交通大学

# 目 录

<b>第0章 绪论</b> .....	( 1 )
§ 0.1 制冷与空调技术概况 .....	( 1 )
§ 0.2 食品知识与冷藏原理 .....	( 2 )
§ 0.3 人体舒适与空气调节 .....	( 9 )
§ 0.4 制冷技术的应用.....	(10)

## 第 I 篇 制冷的热工基础

<b>第1章 热力学基础</b> .....	(15)
§ 1.1 制冷方法与基本原理.....	(15)
§ 1.2 状态参数与状态变化.....	(17)
§ 1.3 热力学第一定律及焓.....	(20)
§ 1.4 热力学第二定律及熵.....	(21)
<b>第2章 传热学基础</b> .....	(25)
§ 2.1 导热.....	(25)
§ 2.2 对流换热 .....	(26)
§ 2.3 辐射换热.....	(26)
§ 2.4 传热基本方程 .....	(27)
§ 2.5 隔热和隔热材料.....	(30)
<b>第3章 流体力学基础</b> .....	(33)
§ 3.1 流体内的压力与帕斯卡定律.....	(33)
§ 3.2 流体的连续性方程.....	(33)
§ 3.3 伯努利方程及其应用.....	(35)
§ 3.4 稳定流动能量方程式 .....	(36)

## 第 II 篇 蒸气压缩式制冷

<b>第4章 蒸气压缩式制冷原理</b> .....	(41)
§ 4.1 卡诺循环与逆卡诺循环 .....	(41)
§ 4.2 蒸气压缩式制冷的理论循环.....	(43)
§ 4.3 制冷剂的压焓图( $\lg p-i$ 图)及其应用 .....	(44)
§ 4.4 蒸气压缩式制冷理论循环的热力计算.....	(45)
§ 4.5 制冷剂过冷、过热及回热循环.....	(47)
§ 4.6 理论制冷量、消耗功率与工作温度的关系.....	(50)

§ 4.7	单级活塞式制冷压缩机的工作过程	(53)
§ 4.8	单级活塞式制冷压缩机功率及实际制冷量的计算	(56)
§ 4.9	两级压缩制冷循环	(60)
§ 4.10	覆盖式制冷循环	(64)
<b>第5章</b>	<b>制冷压缩机</b>	(67)
§ 5.1	活塞式制冷压缩机	(67)
§ 5.2	全封闭式制冷压缩机	(94)
§ 5.3	滚动转子式制冷压缩机	(97)
§ 5.4	离心式制冷压缩机	(98)
§ 5.5	螺杆式制冷压缩机	(101)
<b>第6章</b>	<b>制冷剂、载冷剂和润滑油</b>	(104)
§ 6.1	制冷剂	(104)
§ 6.2	常用制冷剂	(106)
§ 6.3	制冷剂的检漏和使用注意事项	(111)
§ 6.4	载冷剂(冷媒)	(112)
§ 6.5	润滑油	(116)
<b>第7章</b>	<b>换热器和辅助设备</b>	(119)
§ 7.1	冷凝器	(119)
§ 7.2	蒸发器	(125)
§ 7.3	制冷装置的辅助设备	(132)
<b>第8章</b>	<b>制冷装置的自动调节及其设备</b>	(138)
§ 8.1	制冷装置自动调节系统的组成	(138)
§ 8.2	制冷剂流量的调节	(139)
§ 8.3	冷库温度的调节	(150)
§ 8.4	压缩机能量调节	(157)
§ 8.5	蒸发压力调节	(161)
§ 8.6	冷凝压力调节	(166)
§ 8.7	其他自控附件介绍	(168)
§ 8.8	制冷装置的安全保护系统	(170)
§ 8.9	制冷装置自动调节系统介绍	(173)
<b>第9章</b>	<b>冷藏库的冷负荷计算及设备选择</b>	(176)
§ 9.1	冷藏库常用的制冷系统形式	(176)
§ 9.2	冷负荷计算	(182)
§ 9.3	冷却设备负荷和机械负荷的确定	(186)
<b>第10章</b>	<b>制冷设备的常用电器及控制电路</b>	(190)
§ 10.1	常用电器	(190)
§ 10.2	基本控制环节	(200)
§ 10.3	制冷系统控制电路举例	(205)
<b>第11章</b>	<b>制冷装置的安装、调试和管理</b>	(211)

§ 11.1	制冷设备的安装	(211)
§ 11.2	制冷管道的安装	(214)
§ 11.3	制冷系统的吹污和气密性试验	(224)
§ 11.4	制冷剂的充注和取出	(230)
§ 11.5	制冷装置的试运转	(235)
§ 11.6	制冷设备及管道隔热	(238)
§ 11.7	压缩机的操作与管理	(241)
§ 11.8	润滑油添加和排放	(244)
§ 11.9	制冷系统放空气操作	(247)
§ 11.10	热冲霜操作	(249)
§ 11.11	制冷设备的安全技术	(250)
§ 11.12	空调冷冻设备的管理	(252)
<b>第12章</b>	<b>制冷装置的故障分析和处理</b>	(254)
§ 12.1	检查故障的方法和正常运行的标志	(254)
§ 12.2	制冷压缩机的故障分析	(255)
§ 12.3	制冷装置的故障分析	(262)
§ 12.4	封闭式压缩机制冷系统的故障检查	(274)
§ 12.5	故障分析实例	(276)
<b>第13章</b>	<b>制冷装置的检修</b>	(281)
§ 13.1	制冷压缩机的检修	(281)
§ 13.2	制冷设备的检修	(288)
§ 13.3	封闭式制冷压缩机的修理	(297)
<b>第14章</b>	<b>电冰箱的原理与结构</b>	(300)
§ 14.1	电冰箱的分类及组成	(300)
§ 14.2	电冰箱的制冷系统和布置	(307)
§ 14.3	电冰箱的主要部件	(312)
§ 14.4	电冰箱电气及控制系统零部件	(318)
§ 14.5	电冰箱的除霜方法与装置	(323)
§ 14.6	电冰箱的故障诊断	(327)

### 第Ⅲ篇 吸收式制冷

<b>第15章</b>	<b>吸收式制冷原理</b>	(335)
§ 15.1	吸收式制冷机的发展	(335)
§ 15.2	吸收式制冷循环	(336)
§ 15.3	吸收式制冷工质对	(341)
§ 15.4	吸收式制冷机的分类和结构	(359)
<b>第16章</b>	<b>吸收式制冷机的热工计算</b>	(374)
§ 16.1	单效溴化锂冷水机组的循环流程和热工计算	(375)

§ 16.2 二效溴化锂冷水机组的循环流程和热工计算 .....	(383)
<b>第17章 溴化锂吸收式冷水机组的运行和维护</b> .....	(389)
§ 17.1 溴化锂冷水机组的变工况特性 .....	(389)
§ 17.2 制冷量调节和自动控制 .....	(394)
§ 17.3 维护保养 .....	(401)

## 第IV篇 空气调节基础

<b>第18章 空气调节与湿空气</b> .....	(407)
§ 18.1 空调的应用 .....	(407)
§ 18.2 空气的组成及其主要状态参数 .....	(408)
§ 18.3 空气的焓湿图( $i-d$ 图) .....	(414)
§ 18.4 $i-d$ 图的应用 .....	(415)
<b>第19章 送风量的确定及空气处理方法</b> .....	(420)
§ 19.1 送风参数及送风量的确定 .....	(420)
§ 19.2 表面式换热器处理空气及其在 $i-d$ 图上表示 .....	(427)
§ 19.3 用喷水室处理空气 .....	(428)
§ 19.4 空气的加湿处理 .....	(431)
§ 19.5 空气的减湿处理 .....	(432)
<b>第20章 空气调节系统</b> .....	(436)
§ 20.1 空调系统的分类 .....	(436)
§ 20.2 集中式空调系统 .....	(437)
§ 20.3 末端再热(或再冷)式空调系统 .....	(441)
§ 20.4 风机盘管式空调系统 .....	(442)
§ 20.5 局部式空调系统 .....	(444)
§ 20.6 空调系统的运行调节 .....	(445)
<b>第21章 空调系统的测定与一般操作</b> .....	(447)
§ 21.1 空调系统各主要参数的测定 .....	(447)
§ 21.2 空调系统的一般操作 .....	(451)
<b>附录 制冷剂特性表和 <math>\lg p-i</math> 图</b> .....	(453)
<b>参考文献</b> .....	(461)



# 第 0 章 绪 论

## § 0.1 制冷与空调技术概况

制冷技术是一门研究人工制冷原理、方法、设备及应用的科学技术。在工业生产和科学研究上，常把制冷分为“普冷”和“深冷”（又称低温技术）两个体系，前者的制冷温度高于 $-120^{\circ}\text{C}$ ，而后者低于 $-120^{\circ}\text{C}$ ，但它们的划分界限不是绝对的。

很早以前，人类利用天然冷源（冬季贮藏起来的冰雪）来保存新鲜食品，在夏季也用温度较低的地下水来防暑降温，这些方法还沿用至今。但是随着生活和生产的需要，天然冷源已不能满足实际的要求，迫使人们去实现人工制冷。

在科学实验中，人们发现了冰（雪）和盐混合时有制冷效应，并利用它来冷却饮料或短期保存新鲜食品。这种方法一般称为化学制冷。自从1834年英国人波尔金斯制成第一台用乙醚作制冷剂的制冷机以来，制冷技术不断发展和完善，生产了建立在不同原理上工作的各种制冷机，其中有1844年美国人高斯发明的空气压缩式制冷机；1862年法国人卡尔里制成的吸收式制冷机；1874年瑞士人皮克首先制造了以二氧化硫作制冷剂的制冷机；同年德国人林杰发明了氨制冷机，它成了公认的制冷机始祖，对制冷技术的实用化起了重大作用。以后又出现了以二氧化碳为制冷剂的制冷机（1881年），蒸气喷射式制冷机（1890年），以氟利昂为制冷剂的制冷机（1930年），它给制冷机的发展开辟了新的道路。到了本世纪60年代，半导体制冷（又称热电或温差电制冷）又独树一帜，成为制冷技术的新秀，对微型制冷器的发展起了推动作用。

在制冷技术的发展道路上，蒸气压缩式制冷始终处于主导地位。从本世纪初开始，随着科学技术的进步，制冷机出现了多种类型，机器转速提高使设备紧凑，制冷剂性能逐步优化有利得到更低的温度，系统逐步完善并实现自动控制。这些进步，都促使制冷技术发展成为一个成熟的工程领域，在国民经济中占有一定的地位。

空调是空气调节的简称，它是通过对空气的处理使室内温度、湿度、气流速度和洁净度（简称“四度”）达到一定要求工程技术。夏季空调离不开制冷所提供的冷源，因此制冷与空调是两门密切相关的应用技术。空调技术的诞生，有效地完善了工业生产中需要不同温湿度的工艺过程，也创造了舒适的人工气候环境，为人们的居住、旅游和娱乐提供了良好的条件。

19世纪后半叶，纺织工业的迅速发展使空调技术接受了巨大的挑战，解决纺织厂车间的“四度”成了当务之急，美国工程师克勒默负责设计和安装了美国南部三分之一纺织厂的空调系统，申请了60项专利，并于1906年为空调(ariconditioning)正式定名。被美国人称为“空调之父”的开利尔于1901年创建了第一个暖通空调实验室，1911年12月他得出了空气干球温度、湿球温度和露点温度的关系，以及空气显热、潜热和焓值计算公式，绘出了空气的焓湿图，成了空调理论的奠基人。1922年开利尔又发明了离心式制冷机，推进了空调技术的发展。

1937年他又发明了节省大部分风管的空气-水诱导系统，到60年代，这种模式又发展为风机盘管系统，更加具有生命力，在世界各国一直盛行至今。

舒适空调的发展远远迟于工业空调，本世纪20年代，美国才在几百家影剧院设置空调系统。与此同时，整体式空调机组，也就是平时所说的空调器(机)，也得到了发展，成为家庭和办公室的设备用品。60多年来空调器技术发展迅速，窗式、分体挂壁式、分体柜式多种类型满足了用户需要，近10年来生产的微电脑控制空调器实现了制冷、制热、除湿、通风、睡眠工况的自动控制，使舒适空调成为人们工作、休息和娱乐中的一种享受，家用空调已开始普及到城乡人民的千家万户。

在我国，制冷技术的迅速发展还是近30年来的事，由于社会主义现代化建设事业蓬勃发展和人民生活水平的提高，促使制冷技术加快发展步伐，向世界先进水平靠近。目前，我国的制冷工业已建立了完整体系，已能生产各种类型多规格的制冷机。特别是电冰箱和空调器的生产值得一提，在短短的近10年内，我国电冰箱和空调器工业经历了试制、引进、开拓的道路，一举成为电冰箱和空调器的生产大国，其产品质量可以与日本、美国、意大利等国媲美，并已走向世界市场。

## § 0.2 食品知识与冷藏原理

### 0.2.1 食品的主要成分

食品是人类赖以生存的基本物质，按其来源可分成两大类：植物性食品和动物性食品。前者包括粮食、蔬菜、水果和植物油等；后者包括肉、鱼、禽、蛋、乳品和动物油等。

食品虽然多种多样，但它们的化学成分都不外乎包括水分、脂肪、蛋白质、糖类、维生素、矿物质和酶等。这些成分及其性质不仅决定着食品的品质和营养价值，而且决定着食品在运输、加工和贮藏过程中的一系列变化。例如，蔬菜和水果在加工过程中维生素含量的损失，蛋白质在冻结时的变性，动物组织在解冻过程中的汁液流失等，还有一些食品放置时间一久，就会发生变质和腐败，以致完全不能食用。

#### 1. 水分

水是一切新鲜食品的主要成分之一，如水果的含水量为73%~90%，蔬菜为65%~96%，鱼为70%~80%，肉为50%。有些食品的含水量较少，谷物为12%~14%，食糖为1.5%~3%。食品中水的存在形式有自由水和结合水两种。前者存在于食品的汁液和细胞液中，冻结食品解冻后它能重新被食品组织所吸收，后者是构成蛋白质或胶体的主要成分，冻结点比自由水低，而且在解冻时不能完全被食品组织所吸收。

食品中的水也是微生物繁殖的必要条件，降低食品中的含水量或使之冻结成冰，就可以阻止微生物的繁殖，延长食品的保存时间。电冰箱中的冻结食品可以保存较长的时间，其原因就是水结成冰后抑制了微生物的繁殖。

#### 2. 脂肪

脂肪在动物性食品和植物的种子中含量较多，如肥猪肉含29.2%，鸡蛋含11.6%，牛奶含3.5%，花生含39.2%，而在一般蔬菜和水果中含量较少。脂肪按其来源可分为植物脂肪和动物脂肪两大类，在常温下植物脂肪一般呈液体状态，习惯称为油，如豆油、花生油、菜籽

油等。动物脂肪在常温下为固体，称为脂，如猪油、牛油、羊油等。

脂肪在食品中占有比较重要的地位，它对人体提供热能，其发热量比同等重量的糖类和蛋白质大1倍多。人体又借脂肪来保持必须的体温，保护神经、肌肉及体内器官。脂肪又是维生素A、D、E、K及胡萝卜素的良好溶剂，使它们随脂肪的吸收同时被吸收，起到调节生理机能的作用。

### 3. 蛋白质

蛋白质是一类复杂高分子含氮化合物，它是构成细胞核和原生质的主要成分，是动植物维持生命活动所不可缺少的物质。各种蛋白质的化学元素组成均很相似，主是由碳、氢、氧、氮、硫和磷组成，少数蛋白质还含有铁、铜和锌等元素。一般情况下，蛋白质中氮的含量为16%左右。

自然界中的蛋白质，有液态的，如乳汁、血液，也有半液态的，如蛋白、肌肉，以及不同致密程度的固态，如毛发和角等。

蛋白质在酸、碱、酶的作用下会发生水解作用，水解时只分解成氨基酸的称为单纯蛋白质，水解时除生成氨基酸外还有其他物质的称为结合蛋白质。在食品中存在的主要单纯蛋白质有清蛋白类、球蛋白类、醇溶蛋白类、谷蛋白类和硬蛋白类。在食品中的结合蛋白质有核蛋白类、色蛋白类、磷蛋白类、糖蛋白类和脂蛋白类等。

蛋白质对于人体来说是至关重要的，它既是机体的组成材料，又是补充、修复和维持机体的材料。由于蛋白质不能由别的物质代替，人们必须每天从食品中摄取，一般成年人每天的需要量为80g至100g。

### 4. 糖类

糖类是自然界中广泛存在的有机质，也是一切生物体的重要成分之一，在人的生命活动过程中其地位仅次于蛋白质。糖类由碳、氢、氧三种元素组成，绝大多数糖类中的氢、氧含量和水中的氢、氧比例一样，因此又称它为碳水化合物。

糖类是动物能量的主要来源，也是人体热量最经济最主要的来源。植物性食品中含有大量糖类，大多是淀粉和纤维素，约占80%；而在动物性食品中，糖类的含量不多，包括极少量的葡萄糖在内约占2%。糖类中除了粗纤维不能被人体消化和吸收外，大部分糖类都能被人体所吸收。

糖类又分为单糖、二糖和多糖三种。单糖不能水解，如葡萄糖、果糖和半乳糖等。单糖存在于鲜果和鲜菜中，在呼吸酶的作用下能发生呼吸作用，吸收氧气，放出二氧化碳和热量，其结果不仅消耗了糖类，而且产生的热量还能促进果蔬的其他生化变化，并为微生物繁殖创造条件。因此，针对果蔬的这种特点，必须采用冷藏法来控制它们的呼吸作用，才能延长贮藏期。

一分子二糖水解后可生成两分子单糖。二糖有蔗糖、麦芽糖和乳糖等，它们都不能被人体吸收，只有水解后才能吸收。微生物也不能直接使二糖发酵。

一分子多糖完全水解后可生成多分子单糖。多糖有淀粉、纤维素和糖元等。淀粉在米、面中含量较多，纤维素在果、蔬和谷物皮中含量较多。纤维素不能被人体吸收，但有利于肠壁蠕动，帮助消化。

### 5. 维生素

维生素是维持人体正常生命过程所必须的一类有机质，虽然对它的需要量很少，但都起

着极其重要的作用，如调节新陈代谢，缺乏维生素会引起各种疾病。人体所需的维生素主要从动物性食品和植物性食品中摄取。

有许多维生素在人体内充当辅助酶，是机体代谢的生物催化剂，可是过多地使用某种维生素，反而对人体有害无益。了解维生素的种类、性质、生理功能及存在于哪些食物中，对研究食品的营养价值很有用处。

根据溶解度，维生素可分为两大类：脂溶性维生素和水溶性维生素。前者有维生素 A、D、E、K 各小类，它们不溶于水而溶于脂肪和脂肪溶剂；后者有维生素 B、C 各小类，有的小类中又包含几种维生素，如维生素 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>6</sub>、B<sub>12</sub> 等。

#### 6. 矿物质

矿物质又称无机盐，是人体所有细胞和组织必须的原料，并能调节机体新陈代谢，维持正常的生理功能。它和蛋白质共存，维持各种组织的渗透压力，并同蛋白质组成一个缓冲体系，以维持体内的酸碱平衡。因此，人们必须从各种食品中吸取一定的矿物质。

动物性食品各部分的矿物质成分相差甚大，如骨骼的矿物质为 83%，其主要成分是磷酸钙、磷酸镁、碳酸钙和碳酸镁。血液中含有较多的氯化钠和铁的化合物。肝脏含有碱金属和碱土金属的磷酸盐和氯化物，也含有铁。筋肉中主要含磷酸盐，其次是镁和钠。

植物性食品的矿物质成分主要有钾、钠、钙、镁、铁、磷酸盐、硫酸盐、硅酸盐和氯化物。植物的种子、块茎、根等含有较多的钾、磷、镁，枝杆部分含钙较多，叶子部分含镁较多。

人体需要多种矿物质，因此不能偏食。矿物质的存在，使食品汁液的冻结点低于 0℃。

#### 7. 酶

酶是活细胞产生的一种具有特殊催化作用的蛋白质，又称生物催化剂。它脱离活细胞后仍然具有活性。各种食品中都含有少量的酶，它参与并加速食品中物质代谢的各种化学反应，其本身不发生变化。如果对酶不加以控制，食品就会在酶的催化下腐败而变质。

酶的分子量和蛋白质的分子量相近，具有胶体性质。冷冻、振荡、加热等都能引起蛋白质的变性，同样也能引起酶的变性，使它丧失活性。

按照酶的催化反应的性质，把酶分成以下五类：

(1) 水解酶类：能水解一种化合物使其生成小分子的酶，如蛋白质水解酶、淀粉水解酶、脂肪水解酶等；

(2) 氧化还原酶类：能促进电子或氢转移的酶，如乳酸脱氢酶、细胞色素氧化酶等；

(3) 分裂酶类：能分裂一种化合物为两种或两种以上的化合物的酶；

(4) 移换酶类：能把某一基团由一个化合物移到另一个化合物的酶，如氨基酸移换酶、磷酸移换酶、甲基移换酶等。

(5) 同分异构酶类：能促进同分异构体的互变或将某一基团位置移换而生成同分异构体的酶，如磷酸甘油酸移位酶等。

酶对温度非常敏感，在某一温度下，酶的活性最大，这个温度称为酶的最适宜温度。大多数酶的最适宜温度在 40~50℃ 之间。温度上升，酶的活性下降；温度下降，酶的活性也下降；到 0℃ 时其催化作用变得非常缓慢。食品的冷藏或冷冻是利用低温使酶停止或完全丧失活性，从而使食品长久保存而不变质。

### 0.2.2 食品变质的原因

新鲜食品在常温下(20℃左右)存放,由于附着在食品表面的微生物和食品内所含酶的作用,使食品的色、香、味、外观形状和营养价值发生从量到质的一系列变化,如果久放,食品会腐败或变质,以致完全不能食用。这种变化称为食品变质。

引起食品变质的原因主要有微生物作用、酶作用和非酶作用。

#### 1. 微生物作用

微生物很小,肉眼一般看不见,要用显微镜才能看见。在自然界里,几乎到处都有微生物的存在,食品在常温下放置,很快就会受到微生物的污染和侵袭,从而产生一系列变化,直至腐败变质。引起食品变质的微生物有细菌、酵母菌和霉菌等,它们在生长和繁殖过程中会产生各种酶类物质,破坏细胞壁而进入细胞内部,使食品中的营养物质分解,质量降低,进而发生变质和腐烂。

微生物对食品的破坏作用,与食品种类、成分和贮藏环境等因素有关。动物性食品中肉类、鱼类和蛋类,植物性食品中的水果和蔬菜等,由于含水分多,营养丰富,容易为微生物的繁殖提供良好的条件,在合适的温度下很快会腐败变质。为了很好地保存食品,必须了解微生物的生长条件,从而采取措施抑制它们的生长和繁殖,延长食品的存放时间。

水分是微生物生命活动所必须的,也是组成它本身的基本成分。微生物借水分进行新陈代谢。因此,食品中的水分越多,微生物越容易繁殖。通常认为食品含水50%以上有利于细菌繁殖,食品含水在30%以下时,细菌繁殖受到抑制,当含水在12%以下时,细菌繁殖困难。因此,各种干制食品容易保存。

冷冻保存食品,使食品内部的水分冻结成冰,其结果与干制品相仿,可以抑制微生物的繁殖和生长。

温度是微生物繁殖和生长的另一个重要条件。各种微生物都有其生长所需的一定范围的温度,超过范围,会停止生长或终止生命。对某种微生物而言,此范围又可分为最低、最适和最高温度,在最适温度下微生物繁殖最快。根据温度范围,微生物又可分为嗜冷性微生物、嗜温性微生物和嗜热性微生物。大多数腐败菌属于嗜温性微生物。

从表0-1可以看到,如果环境温度超过微生物的最适宜温度,对它有明显的致死作用,一般细菌在100℃会迅速死亡。微生物对低温的耐力也较差,通常在0℃左右可以阻止微生物的繁殖,但嗜冷性微生物例外。

表 0-1 微生物对温度的适应性

温度范围 微生物类别	最低温度(°C)	最适温度(°C)	最高温度(°C)
	嗜冷性	-5~5	20~30
嗜温性	10~15	35~40	40~50
嗜热性	20~40	55~60	65~75

微生物和其他生物一样,也要进行新陈代谢。食品中的乳糖、葡萄糖和盐类等简单物质,可直接穿透细胞膜而进入微生物内部,而淀粉、蛋白质和维生素等有机物,首先要分解

成简单物质，然后才能进入微生物体内。各种微生物对营养物质的吸收有选择性，如腐败菌需要蛋白质，酵母菌喜欢糖类。因此，含蛋白质丰富的食品也特别容易腐败变质。

## 2. 酶作用

酶作用是指食品本身在酶类作用下使营养成分分解变质的一种现象。无论是植物性食品还是动物性食品，本身都含有少量的酶，在适宜的条件下，酶能促使食品中的蛋白质、脂肪和糖类等分解，产生硫化氢、氨等难闻气体和有毒物质，使食品变质而不能食用。

鱼、肉、蛋、乳等食品富含蛋白质，保存不当，就会腐败变质。蔬菜和水果等虽然含蛋白质少，但在氧化酶的作用下促进自身的呼吸作用，变得枯黄而失去风味，而且由于呼吸热使食品温度升高，加速它们的腐烂变质。

另外，霉菌、酵母菌和细菌等微生物对食品的腐败作用，也是由于它们在生活过程中产生各种酶的缘故。

酶的活性与温度有关，在一定的温度范围内(0~40℃)，酶的活性随着温度的升高而增强，而在低温下酶的活性就很小。但是，酶本身也是一种蛋白质，随着温度的升高而变性，最后也丧失活性。当温度达到80℃时，所有的酶都会被破坏。

酶和微生物一样，也有最适宜的温度，在这个温度下活性最强，例如在30~50℃时酶对蛋白质的分解最剧烈。低温可以抑制酶作用所引起的食品变质。根据酶的种类和食品的不同，低温贮藏有不同的温度要求，一般要求在-20℃下贮藏，有些食品(如某些鱼类)含有不饱和脂肪酸，则要求在-25~-30℃下贮藏，才能有效抑制酶作用。

## 3. 非酶作用

非酶引起食品变质包括氧化作用、呼吸作用和机械损伤。例如油脂的酸败，就是油脂与空气接触后发生氧化作用，生成醛、酮、醇、酸等，油脂本身变粘，比重增加，并出现难闻的气味；维生素C、天然色素(如番茄色素)等也会发生氧化，使食品质量下降或变质。

水果、蔬菜和蛋类等是有生命的活体，在脱离植株或母体之后，仍进行着呼吸作用，逐渐消耗自身的营养成分，导致食品质量下降或变质，放出的呼吸热又使食品发热而加速恶化。缺氧呼吸时，水果和蔬菜为了维持生理活性就要消耗更多的有机质，而且呼吸产物的积聚产生毒害作用，加速食品的变质。因此，水果和蔬菜贮藏除了维持适宜的温度外，还要定时通风换气，防止缺氧呼吸。

食品在收采、运输、贮藏等环节中常出现刀伤、擦伤和破损等现象，称为机械损伤。损伤会加速食品的氧化，而使它变色、变味和变质。这主要是因为伤口暴露在空气中，食品的某些成分会与氧化合，加速食品的变质和腐烂。例如苹果和马铃薯在受伤破损后，内部的单宁物质(与食品的风味、色泽有密切关系)与空气接触后产生氧化，生成黑色物质(俗称生锈)并开始变色、变味，时间再长一点就会腐烂，以致不能食用。所以这类食品在收采时应保持完整，运输时应轻装轻放，做到文明装卸，贮藏时也要小心入库，减少食品的机械损伤。

细菌、酵母菌、霉菌或酶引起食品变质以及非酶作用引起的腐烂，都是客观存在的实际，但是人们可以用科学方法来延缓或减弱它，冷冻和冷藏就可以实现这一目的。在低温条件下，食品的变质过程非常缓慢，温度越低，其作用愈明显。但不能完全阻止其作用，即使在冻结点以下，食品长时间贮藏后，质量仍会有所降低。因此，各种食品在不同的温度下都有规定的贮藏期限。

### 0.2.3 食品冷藏原理

食品变质的原因,主要是由外部的微生物和内部的酶引起的,低温能抑制微生物的繁殖和降低酶的活性。在一定的范围内,温度愈低,这种有利的效果就愈明显。处在低温下的食品能保存较长时间而不致变质,这就是食品冷藏的基本原理。图0.1充分说明了由于温度降低,使食品延长了贮藏期。本书中食品冷藏这一概念包括冷却和冻结。冷却,即食品温度的降低没有引起食品中水分的结冰;冻结,即食品温度降低使食品中的水分大部分结成冰。

对于植物性食品,腐烂的主要原因是呼吸作用的影响,例如果实和蔬菜在采收后贮藏时,虽然不再继续生长,但它们仍然是有生命的机体,具有呼吸作用,而呼吸作用能抵抗微生物的入侵。如呼吸过程中的氧化作用,能把微生物分泌的水解酶氧化成无害物质,使果实和蔬菜的细胞不受其害,从而阻止微生物的入侵。因此呼吸作用能控制机体内酶的作用,防止外界微生物的入侵而引起食品的发酵和腐败。但是,呼吸作用要消耗体内物质,使活体逐渐衰老和干枯。因此,要长期贮藏植物性食品,必须维持它们的活体状态,又要减弱呼吸作用。低温能减弱水果和蔬菜类食品的呼吸作用,延长贮藏期限;但温度过低,会使它们冻死,这就要求有合适的冷藏温度。

鱼、肉、禽等动物性食品在贮藏时是无生命的,构成物体的细胞都已死亡,所以不能控制引起食品变质的酶的作用,也不能抵抗引起食品腐败的微生物作用。低温可以抑制酶的作用,也能阻止微生物的繁殖和生长,使食品内部的化学变化变慢,在较长的时间内能维持新鲜状态。因此,动物性食品的贮藏温度越低,保存的时间就越长。但是在冻结温度以上是不能取得明显效果的,因此必须在冻结点以下贮藏才有效。

综上所述,对于植物性食品来说,保持适当的低温以控制呼吸作用,一般放置在电冰箱冷藏室下部(此处温度在 $0^{\circ}\text{C}$ 以上);对于动物性食品来说,保持足够低的温度( $-6\sim-18^{\circ}\text{C}$ )以抑制微生物和酶的作用,放置在电冰箱的冷冻室中可保存较长时间,短时间贮藏可放置在电冰箱冷藏室的上部。各种食品的贮藏期与温度的关系见图0-1。

### 0.2.4 低温的抑菌作用

细菌、酵母菌和霉菌等微生物的繁殖生长,会使食品变质和腐败。微生物要对食品成分进行分解,以获得生长和繁殖所必需的营养物质。这个过程乃是微生物所分泌的酶的作用,伴随着食品成分的分解,食品的风味变坏,品质恶化,同时由于微生物代谢中形成的中毒成分,导致食品的腐败。

在微生物中与食品中毒和腐败关系最大的是细菌。一般说来,细菌的发育和繁殖速度与温度直接有关,在某个温度范围它们繁殖得快,而离开这个范围则变得缓慢起来。这种温度范围视细菌种类而异。

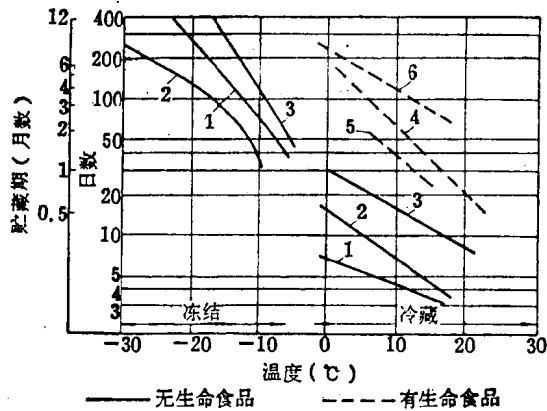


图 0-1 冷冻食品贮藏期与温度的关系  
1-生鸡; 2-瘦鱼片; 3-牛肉; 4-长期贮藏的各种苹果; 5-柑桔; 6-带壳鸡蛋

与食品腐败有关的许多细菌和病原菌是嗜温性细菌，它们是导致食品在常温下变质的主要原因。这种细菌的发育大体在10℃以下变慢，4.5℃以下时停止生长。而嗜冷性细菌在0℃以下时发育变慢，-10℃以下时停止生长。图0-2是上述两种细菌繁殖的温度区域。

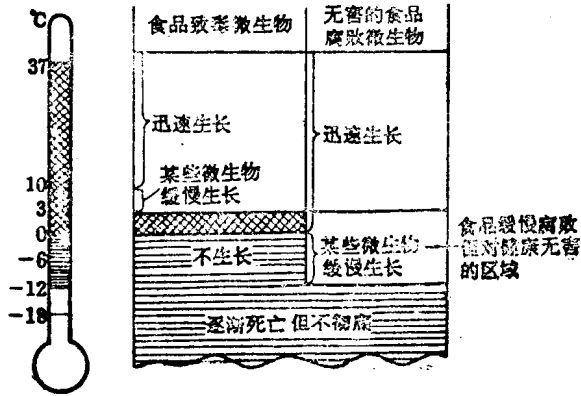


图 0-2 食品致毒和食品腐败微生物生长的温度范围

状态下，原先附着在食品上的微生物是逐渐减少的，但这个过程非常缓慢，因此低温达不到杀菌目的。当温度降低到-10℃以下时，多数细菌都不能发育，但是在食品解冻后，由于表面附着水蒸气，会助长细菌的生长繁殖，所以解冻后的食品应马上食用。

### 0.2.5 食品的冷藏条件

食品的冷藏包括冷却食品和冻结食品的冷藏，前者简称为冷藏，后者称为冻藏。其目的都是抑制食品中的各种变化。冷藏的库温高于0℃，即稍高于食品冻结点的温度，主要用于水果、蔬菜、蛋、奶类食品，也适用于鱼、肉、禽等食品的短期贮藏。冻藏的库温通常在-18℃以下，相对湿度为96%~100%。在这样低的温度下，食品中脂肪的氧化，蛋白质的

表 0-2 水果和蔬菜的最佳冷藏条件

水果名称	冻结点(°C)	贮藏温度(°C)	贮藏湿度(%)	贮藏期(天)
甜瓜	-1.2	2.2~4.4	85~90	10~15
西瓜	-1.6	2~4	75~85	14~21
苹果	-2	-1~1	85~90	60~210
梨	-2	0.5~1.5	85~90	30~180
桃子	-1.5	-0.5~1	80~85	14~28
李子	-2.2	-1~0	80~90	21~56
杏	-2	0.5~1.6	78~85	7~14
樱桃	-4.5	0.5~1	80	7~21
葡萄	-4	-1~3	85~90	30~120
香蕉	-1.7	12~14	85	7~14
番瓜	-0.5	7~10	85~90	4~7
番茄	-0.5	7~10	85~90	10~14
茄子	-0.8	7~10	90	7
青椒	-0.7	7~10	90~95	14~21
萝卜	-1.4	0	90~95	120~150
南瓜	-0.8	10~13	70~75	60~90
南豆(春)	-0.6	10	90	60~90
土豆(秋)	-0.6	3~4	90	150~240
扁豆	-0.7	4~7	90~95	7~10
青豌豆	-0.6	0	90~95	7~21
花椰菜	-0.8	0	90~95	8~30
花椰菜	-0.6	0	90~95	10~14
白菜	-0.5	0	90~95	30~60
卷心菜	-0.5	0	90~95	30~90



分解和变性，酶和微生物的作用都变得非常缓慢，因此冻藏的期限较长。各类食品的冷藏条件见表 0-2 至表 0-4。

表 0-3 肉、鱼、蛋、奶冷藏条件

名 称	贮藏温度(°C)	贮藏期限(天)	冻结点(°C)
猪 肉	0~+1.2	3~10	-2.0~1.7
鲜 牛 肉	0~+1	1~42	-5~-1.7
鲜 羊 肉	0~+1	5~12	-2.2~1.7
鲜 家 禽	0	7	-1.7
鲜 鱼	-0.5~+4	7~11	-1~-2
鲜 蛋	-1~+0.5	240	-2.2
牛 奶	0~+2	7	-2.8

表 0-4 肉类的冻结冷藏条件

名 称	冷藏温度(°C)	相对湿度(%)	贮藏期(月)
猪 肉	-15~-18	95~100	7~10
家 禽	-15~-18	95~100	6~8
兔 肉	-15~-18	95~100	6~8
牛 肉	-15~-18	95~100	6~8
羊 肉	-15~-18	95~100	5~7
副 产 品	-15~-18	95~100	5~7
猪 油	-15~-18	95~100	6~8

## § 0.3 人体舒适与空气调节

### 0.3.1 人体热平衡和舒适感

民用建筑或公共建筑的空调统称为舒适性空调，它主要从人体的舒适感出发，确定室内空气的基本参数，并不要求较高的调节精度。

人体靠食物的化学能来补充机体活动所消耗的能量，并把多余的能量以热量的形式排出体外，以保持人体的热平衡，体温恒定(36.5°C)。人体热平衡用下式表示：

$$q_M - q_W = q_a + q_r + q_{ch}$$

式中： $q_M$  为人体新陈代谢产生的热量，与活动量有关，kJ/h； $q_W$  为用于作功而消耗的热量，kJ/h； $q_a$  为人体对流散热，放热为正值，吸热为负值；kJ/h； $q_r$  为汗水和呼出水蒸气带走的热量，kJ/h； $q_{ch}$  为人体与周围物体表面之间的热辐射，可正值，也可负值 kJ/h； $q_{ch}$  为人体内积蓄的热量，kJ/h。

在正常的热平衡条件下， $q_{ch}$  应为零，这时人体因保持热平衡而感到舒适。如果周围环境温度提高，人体的对流和辐射放热减少，为了保持热平衡，通过自身调节来加强汗水分泌，以带走热量。这种情况下虽然保持了热平衡，但由于出汗而感到并不舒适。当环境温度高于体表温度时，体内热量散不出去，会积蓄起来而导致体温上升，更会破坏舒适感和有害