

赵 敏 等编译

孙桂初 审校
蔡梦贤

制冷原理与系统

——能量解析

西南交通大学出版社

制冷原理与系统

—— 能 量 解 析

编译 赵 敏等

审校 孙桂初 蔡梦贤

西南交通大学出版社

(川)新登字 018 号

内容简介

本书以美国 80 年代初制冷技术和设备为背景,全面论述制冷原理和实践经验,包括制冷原理、设备、系统。在各章节特别致力于探讨节能问题。内容深入浅出,分析详尽透彻,图文并茂,所引实际数据甚多,附图新颖,独具匠心。每章首列有学习目的,章末附有复习题和作业题。本书适合广大制冷研究和工程技术人员之用,亦可作为大专院校制冷专业的教学参考书,特别适合作为培训教材和自学参考书。

制冷原理与系统

——能量解析

*

编译 赵 敏等

审校 孙桂初 蔡梦贤

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都 九里堤)

新华书店经销

郫县印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:22

字数:537 千字 印数:1000

1991 年 10 月第一版 1991 年 10 月第一次印刷

ISBN7-81022-128-0/T·045

定价:15.00 元

前 言

这本书是一本基础教科书,包括制冷原理、设备和系统。它适用于工科院校学生的制冷课程,还可供销售和应用工程师、承包商、维修技师及操作人员自学参考。

全书在原理和应用部分都着重强调能量的利用和保存。这是由于编者认为研究能量是制冷技术教育的重要组成部分,也是学习过程中必不可少的环节。

书中在讨论制冷基本原理以前,首先复习了有关应用物理的基本知识。对蒸汽压缩机和吸收式系统都进行了详细叙述,重点放在应用压焓图($p-h$ 图)理解和分析系统性能及计算能量效果方面,同时还介绍了平衡图及其应用。

本书叙述了近代制冷设备的主要特征和结构,提供了相当多的生产厂家的额定数据资料,并附有现成的选择实例,还给出了各部件能力协调及应用的例子。

书中有大量的图表和关于制冷负荷计算、管道估算的详解例子,并用简要的阐述讨论和强调了一些管道设施实例。书中还重点讨论了油和制冷剂的流量问题,对低温系统的实施、融霜及热泵制冷等问题。

书中电气系统、电动机、控制设备等各章,对那些学习制冷但不单独学习电气课程的人来说,这些章节所介绍的内容是相当充分的。

书中含有大量例题、作业题和复习题,还附有一些制冷剂的特性表和压焓图,便于解题和自学。

参加本书编译的有孙桂初(目录、附录)、王川红(第1~4章)、姜彭国(第6~8章)、陈海旻(第5、9、10章)、赵敏(第11~14章、附录)、赵汝衡(第15、16章),孙桂初、刘东霞还参加了书中专业名词的编译工作。全书由孙桂初、蔡梦贤审校。

感谢教育界和企业界的同仁对本书提出了许多宝贵的意见,很多生产厂家也热情地提供了有益的资料。但由于该书内容丰富,对书中内容一定有不够深入或不妥的地方,欢迎广大读者、同行们批评指正。

编 者

1991年8月

目 录

1 导言:物理原理(一)

1.1 制冷的用途	(1)
1.2 制冷方法	(2)
1.3 制冷设备	(2)
1.4 单位及换算	(3)

物理原理

1.5 质量、力、重量、密度及比容	(4)
-------------------------	-------

密度和比容

比重

1.6 数据的精确度	(6)
1.7 压力	(6)
1.8 液柱的压力	(8)
1.9 功、功率和能量	(10)
1.10 热量和温度	(11)
1.11 焓	(13)
复习题	(13)
作业题	(14)

2 物理原理(二)

2.1 能量方程式(热力学第一定律)	(16)
2.2 液体、蒸汽和相变	(17)
2.3 汽化温度对压力的依赖关系	(19)
2.4 液体和气体的分子(运动)理论	(21)
2.5 饱和、过冷和过热状态	(22)
2.6 显热和潜热	(23)
2.7 饱和特性表	(23)
2.8 蒸发制冷	(23)
2.9 加入和移走热量的确定	(24)
2.10 比热:显热公式	(25)
2.11 融化潜热和升华潜热	(26)
2.12 理想气体定律	(26)
2.13 能量的利用(热力学第二定律)	(27)
2.14 传热	(28)
复习题	(29)

作业题	(29)
-----------	--------

3 蒸汽压缩制冷系统:压—焓图

3.1 液体蒸发制冷.....	(31)
3.2 制冷剂的复原.....	(32)
3.3 蒸汽压缩制冷系统.....	(32)
3.4 高压区和低压区.....	(34)
3.5 连接管道和贮液器.....	(34)
3.6 压—焓(莫里尔)图.....	(35)
3.7 压—焓图上的特性曲线.....	(36)
3.8 压—焓图上的相变.....	(37)
3.9 实际压—焓图的构造.....	(37)
3.10 在压—焓图上确定状态	(38)
3.11 在压—焓图上确定饱和状态	(39)
3.12 液体和蒸汽的混合物:蒸汽干度.....	(39)
3.13 汽化潜热或凝结潜热	(40)
3.14 过热	(41)
3.15 压—焓图上的过程	(41)
复习题	(42)
作业题	(42)

4 蒸汽压缩制冷循环中的热力学

4.1 系统性能与制冷热力循环.....	(43)
4.2 理想饱和蒸汽压缩制冷循环.....	(43)
4.3 流量控制装置中的过程(等焓).....	(44)
4.4 蒸发器中的过程(等压).....	(45)
4.5 单位质量制冷量.....	(46)
4.6 制冷剂质量流量.....	(46)
4.7 压缩机中的过程(等熵).....	(47)
4.8 压缩热和压缩功.....	(47)
4.9 压缩机所需的理论功率.....	(48)
4.10 压缩机所需的理论排量	(49)
4.11 冷凝器中的过程(等压)	(49)
排热量	
4.12 能量方程式和制冷循环	(50)
4.13 完整的理想循环性能分析	(51)
4.14 制冷系数	(51)
4.15 蒸发温度的变化	(52)
4.16 冷凝温度的变化	(53)

4.17	蒸发器内的过热	(54)
4.18	吸气管内的过热	(55)
4.19	制冷剂的过冷	(56)
4.20	回热器	(57)
4.21	管道中的压降	(58)
4.22	能量保存	(59)
4.23	能效比(EER)	(60)
4.24	最大制冷系数	(60)
	复习题	(61)
	作业题	(61)
5	活塞式、回转式及螺杆式压缩机	
5.1	压缩机的作用	(63)
5.2	压缩机的类型	(63)
	活塞式压缩机	
5.3	工作过程与结构	(64)
5.4	开启式压缩机	(64)
5.5	封闭式压缩机	(65)
5.6	压缩机的密封	(67)
5.7	阀件	(67)
5.8	润滑系统	(68)
5.9	液体制冷剂—油的问题	(68)
5.10	辅助设备	(70)
5.11	能量调节	(70)
5.12	安全保护措施及其装置	(74)
5.13	压缩机排量与容积效率	(74)
5.14	排量与压缩机规格	(76)
5.15	压缩机额定性能参数及其选择	(76)
5.16	影响压缩机性能的因素	(79)
	回转式压缩机	
5.17	工作原理和结构	(80)
	螺旋形回转(螺杆)式压缩机	
5.18	工作原理与结构	(82)
5.19	节能与压缩机	(83)
	复习题	(84)
	作业题	(84)
6	制冷中的传热,蒸发器	
6.1	制冷中的传热	(86)

6.2 传热的形式	(86)
6.3 热阻	(87)
6.4 热传导和导热系数	(88)
6.5 液体膜层或气体膜层的热传导	(88)
6.6 总热阻和总热传导	(89)
6.7 传热公式	(89)
6.8 平均有效温差	(90)
6.9 逆流和顺流	(92)
6.10 蒸发器的功能	(93)
6.11 干式蒸发器和满液式蒸发器	(94)
6.12 蒸发器表面的类型	(95)
6.13 直接膨胀式盘管	(96)
6.14 冷风机	(97)
6.15 液体冷却器	(98)
6.16 壳管式冷却器	(98)
6.17 壳盘管式、二重管式、Baudelot 式和箱形冷却器	(100)
6.18 液体冷却器的标定和选择	(101)
6.19 能量利用和蒸发器	(103)
复习题	(103)
作业题	(104)

7 冷凝器和冷却塔

7.1 冷凝器的功能和操作	(105)
7.2 冷凝器的类型	(106)
7.3 水冷式冷凝器	(106)
7.4 二重管式冷凝器	(106)
7.5 壳蛇管式冷凝器	(107)
7.6 卧式壳管式冷凝器	(108)
7.7 立式壳管式冷凝器	(108)
7.8 放空气	(108)
7.9 空气冷却式冷凝器	(109)
7.10 蒸发式冷凝器	(110)
7.11 冷凝器压力的控制	(112)
7.12 空气冷却式冷凝器的冷凝压力控制	(113)
7.13 蒸发式冷凝器的冷凝压力控制	(114)
7.14 水冷式冷凝器的冷凝压力控制	(114)
7.15 冷凝器的性能	(115)
7.16 水冷式冷凝器的参数标定和选择	(115)
7.17 空气冷却式冷凝器的参数标定和选择	(118)
7.18 冷凝机组	(119)

7.19 空气冷却式冷凝机组的参数标定和选择	(120)
冷却塔	
7.20 蒸发作用产生的水冷却	(121)
7.21 冷却池和喷水池	(121)
7.22 冷却塔的类型	(122)
7.23 非机械和机械通风冷却塔	(122)
7.24 空气流和水流的安排	(123)
7.25 结构材料	(124)
7.26 能力控制	(124)
7.27 冬季运行	(124)
7.28 水的损失	(124)
7.29 水处理	(125)
7.30 湿球温度	(125)
7.31 冷却塔的标定和选择	(126)
7.32 冷凝器和冷却塔中的能量利用	(127)
7.33 冷凝器热量回收	(128)
复习题	(130)
作业题	(131)

8 制冷剂流量控制(膨胀)设备

8.1 流量控制设备的作用	(132)
8.2 流量控制设备的类型	(133)
8.3 手动膨胀阀	(133)
热力膨胀阀	
8.4 结构	(133)
8.5 热力膨胀阀是怎样工作的	(135)
8.6 压降对热力膨胀阀性能的影响	(137)
8.7 外平衡管热力膨胀阀	(138)
8.8 限压阀	(139)
8.9 充注气体的热力膨胀阀	(140)
8.10 机械限压阀	(140)
8.11 系统和阀门振荡	(140)
8.12 异工质充注热力膨胀阀	(141)
8.13 感温包的热滞后	(141)
8.14 压力平衡装置	(141)
8.15 导阀操作阀	(142)
8.16 热力膨胀阀的安装位置和安装方法	(142)
8.17 热电膨胀阀	(143)
8.18 浮球阀	(143)
8.19 恒压膨胀阀	(144)

(058.20..毛细管.....	(145)
8.21 孔口	(146)
(158.22..能量利用和流量控制设备.....	(146)
(15复习题.....	(147)
(55作业题.....	(147)
(551)	
9 制冷剂、盐水、油和杂质	
(1519.1 制冷剂的选用.....	(149)
(1519.2 影响系统性能的制冷剂性质.....	(149)
(1519.3 各种制冷剂性能比较.....	(150)
(1519.4 安全特性.....	(151)
(5519.5 运用或维修特性.....	(152)
(5519.6 检漏.....	(152)
(0519.7 制冷剂的化学组成.....	(153)
(7519.8 载冷剂(盐水).....	(155)
(851)	
冷冻油	
(0519.9 冷冻油的作用.....	(156)
(1519.10 冷冻油的成分	(156)
9.11 冷冻油的性质	(156)
9.12 油与制冷剂的互溶性	(158)
(551)	
杂质	
(5519.13 空气	(158)
(5519.14 水(潮气)	(159)
9.15 外来粉粒	(159)
(5519.16 石蜡、沉积物和酸性物.....	(159)
(5519.17 镀铜	(160)
(751)	
复习题	(160)
(851)	
(051)	
10 离心式压缩机及其系统	
(05110.1..离心式压缩机的构造及原理.....	(162)
(05110.2..吐轮的分级.....	(163)
(1110.3..热力循环及系统.....	(164)
(1110.4..离心式压缩机的性能特性——窒息流量和喘振	(165)
(1110.5..能量调节.....	(166)
(5110.6..离心式制冷机.....	(167)
(5110.7..润滑.....	(169)
(8110.8..制冷剂.....	(170)
(8110.9..系统净化.....	(170)
(1110.10..控制装置.....	(170)

10.11 标定和选择	(171)
10.12 节能	(173)
10.13 天然冷却	(173)
复习题	(174)
作业题	(174)

11 制冷剂管道系统

11.1 管道系统的功能	(175)
11.2 热气管道	(176)
11.3 吸气管道	(178)
11.4 液体管道	(181)

制冷剂管道尺寸的确定

11.5 制冷剂管道的设计条件	(183)
11.6 压降	(183)
11.7 管道尺寸计算图	(184)
11.8 管道等效长度	(189)
11.9 立管为了回油需要的尺寸	(190)
11.10 液体管尺寸的确定	(193)
11.11 冷凝器液体管尺寸的确定	(194)
11.12 能量利用	(195)

制冷系统辅助设备和阀件

11.13 干燥过滤器	(195)
11.14 窥视镜	(195)
11.15 油分离器	(196)
11.16 排气消音器	(196)
11.17 贮液器	(197)
11.18 回热器	(197)
11.19 吸入端液体收集器	(197)
11.20 电磁阀	(198)
11.21 吸气压力调节阀	(198)
11.22 蒸发压力调节阀	(199)
11.23 手动截止阀	(199)
11.24 施雷德阀	(200)
11.25 止回阀	(201)
11.26 泄放阀	(201)
11.27 换向阀	(202)
11.28 制冷剂管道材质	(203)
11.29 隔振	(204)
复习题	(204)

作业题	(205)
-----------	---------

12 低温制冷, 熔霜方法, 热泵

12.1 低温制冷中的问题	(207)
12.2 多级压缩	(208)
12.3 多级压缩系统	(208)
12.4 降低过热温度	(209)
12.5 液体过冷	(209)
12.6 典型的双级制冷系统及其部件	(211)
12.7 多温度系统	(212)
12.8 两种温度的多级系统	(213)
12.9 复迭式制冷系统	(214)

熔霜方法

12.10 熔霜的必要性	(214)
12.11 空气(停机)熔霜	(215)
12.12 加热空气熔霜	(215)
12.13 喷液熔霜	(215)
12.14 热盐水熔霜	(216)
12.15 电热熔霜	(216)
12.16 热气熔霜	(216)
12.17 熔霜水排放	(220)
12.18 熔霜控制	(220)

热泵

12.19 原理	(221)
12.20 用途和优点	(221)
12.21 热泵的类型	(222)
12.22 空气—空气热泵	(222)
12.23 换向阀	(223)
12.24 流量控制设备	(224)
12.25 空气切换	(225)
12.26 热泵设备的特性	(226)
12.27 热泵的实际应用	(226)
12.28 补充加热	(227)
12.29 热泵熔霜	(227)
复习题	(228)

13 吸收式制冷

13.1 吸收式系统与蒸汽压缩式系统	(229)
13.2 吸收过程	(230)

13.3 吸收器和蒸发器	(230)
13.4 制冷剂的复原	(232)
13.5 发生器和冷凝器	(232)
13.6 热交换器和冷却水循环	(233)
13.7 吸收剂和制冷剂的特性:结晶.....	(234)
13.8 大型溴化锂吸收式制冷机	(234)
13.9 能量调节	(237)
13.10 减载性能及能量需求量.....	(237)
13.11 平衡图.....	(238)
13.12 结晶问题.....	(239)
13.13 放空气.....	(240)
13.14 性能及运用.....	(240)
13.15 双级吸收式制冷机.....	(241)
13.16 直接燃烧式双级吸收式制冷机.....	(242)
13.17 小能力溴化锂吸收式冷却器.....	(243)
13.18 水—氨吸收式制冷系统.....	(244)
13.19 节能.....	(245)
复习题	(245)

14 制冷负荷:各部件平衡

14.1 制冷负荷	(247)
14.2 热传递	(247)
14.3 空气渗入	(253)
14.4 食品降温负荷	(254)
14.5 呼吸热	(258)
14.6 人员进入、灯光照明和电机负荷.....	(260)
14.7 确定负荷的简化方法	(260)
14.8 制冷设备的选择	(262)
14.9 蒸发器温度差与库房湿度	(263)

各部件平衡

14.10 系统内部件平衡.....	(264)
14.11 个别部件的性能.....	(265)
14.12 进行部件平衡的步骤.....	(267)
14.13 部件不平衡与库内条件.....	(268)
复习题	(270)
作业题	(270)

15 电气系统·电动机

15.1 电压,电流,电阻	(272)
---------------------	---------

15.2 直流电流和交流电流	(272)
15.3 交流电流的特性	(273)
15.4 电感和电容	(274)
15.5 电学系统内的相互关系	(274)
15.6 变压器	(276)
15.7 供电的特性参数	(276)
15.8 电路保护	(279)
15.9 熔断器	(279)
15.10 断路器	(281)

电动机

15.11 电动机的种类	(282)
15.12 电动机的特性	(282)
15.13 运行原理	(283)
15.14 单相电动机	(284)
15.15 裂相电动机	(285)
15.16 单相电动机中的电容器	(285)
15.17 常接电容器的裂相(PSC)电动机	(286)
15.18 电容器起动(CS)电动机	(286)
15.19 电容器起动运行(CSR)电动机	(287)
15.20 起动继电器	(287)
15.21 蔽极电动机	(288)
15.22 三相电动机	(289)
15.23 高效率电动机	(289)
复习题	(290)

16 电机控制设备和电机保护,制冷控制系统

电动机的控制

16.1 电动机控制器	(291)
16.2 小型单相电动机的控制设备	(291)
16.3 接触器和起动器	(292)
16.4 磁力起动器	(295)
16.5 电动机过载保护	(296)
16.6 电动机过载保护器件	(296)
16.7 热过载继电器	(298)
16.8 内部和外部线电流式过载保护器	(298)
16.9 电动机恒温保护器	(299)

制冷控制设备

16.10 制冷控制设备的目的	(299)
16.11 控制系统的类型	(300)
16.12 控制器件(控制器)的操作	(300)

16.13	温度控制装置	(300)
16.14	压力控制装置	(301)
16.15	油压不足控制装置	(302)
16.16	控制回差	(303)
16.17	比例控制装置和分级控制装置	(304)
16.18	线路图	(304)
16.19	控制电路符号	(304)
16.20	电动机控制电路	(306)
16.21	基本的制冷压缩机控制	(306)
16.22	抽空控制	(307)
16.23	直接膨胀式系统的控制	(308)
16.24	半导体控制器	(309)
16.25	半导体控制逻辑	(309)
16.26	半导体器件	(310)
16.27	半导体逻辑电路	(310)
	复习题	(312)
附录 1	缩略语和符号	(314)
附录 2	单位换算表	(315)
附录 3	水的液体和饱和蒸汽性质(美制)表	(316)
附录 4	R-11 的液体和饱和蒸汽性质(美制)表	(317)
附录 5	R-12 的液体和饱和蒸汽性质(美制)表	(319)
附录 6	R-502 的液体和饱和蒸汽性质(美制)表	(321)
附录 7	R-717(氨)的液体和饱和蒸汽性质(美制)表	(323)
附录 8	R-12 的液体和饱和蒸汽性质(国际单位制)表	(326)
附录 9	R-22 的液体和饱和蒸汽性质(国际单位制)表	(327)
附录 10	R-717(氨)的液体和饱和蒸汽性质(国际单位制)表	(328)
附录 11	图 A.1 R-11 的压—焓图(美制)	(329)
附录 12	图 A.2 R-12 的压—焓图(美制)	(330)
附录 13	图 A.3 R-22 的压—焓图(美制)	(331)
附录 14	图 A.4 R-502 的压—焓图(美制)	(332)
附录 15	图 A.5 R-12 的压—焓图(国际单位制)	(333)
附录 16	图 A.6 R-22 的压—焓图(国际单位制)	(324)
附录 17	图 A.7 氨的压—焓图(国际单位制)	(335)

1 引言:物理原理(一)

古代文明社会利用天然可得到的冷源制冷。罗马统治者驱使奴隶从高山上运下冰和雪,用来在热天保存食物和生产冷饮。像这样天然的冷源当然会在地域、温度和范围上受到很大的限制。用机器生产冷源的办法叫做机械制冷。机械制冷于 19 世纪 50 年代开始发展。今天,制冷工业已成为任何技术社会庞大而重要的组成部分。仅美国每年售出的制冷设备价值总额就达几十亿美元。

本章的学习目的

1. 明确制冷的含义和制冷的的方法。
2. 明确制冷的用途,分清制冷和空调的区别。
3. 掌握单位制间的换算和数值进整的正确方法。
4. 学会计算密度、比容和比重。
5. 能够说明压力和水头、绝对压力、表压力及真空压力间的关系。
6. 能够区分能量和功率、势能和动能,并描述能量的各种形式。
7. 搞清温度和热量的差异,明确各种温标之间的关系。

1.1 制冷的用途

制冷的用途可以方便地分为以下几类:家用、商用、工业用和空气调节用(图 1.1)。有时运

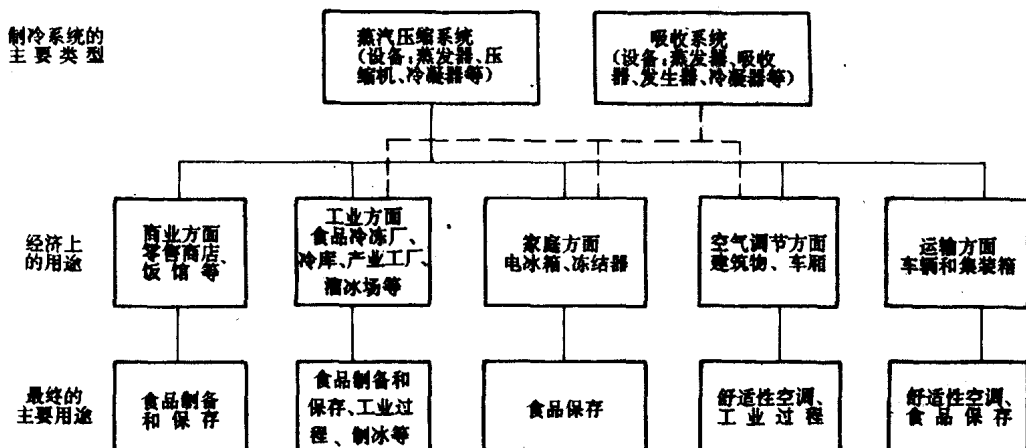


图 1.1 制冷系统的主要类型及其用途

输被列为单独的一类。家庭制冷用于食品制备和保存及家中制冰和冷饮。商业制冷用于零售商店、饭馆及公共机关,其用途和家用是相同的。工业制冷是食品工业中,如加工、制备和大规模保存所必需的。这包括用于食品冷却和冻结厂、冷库、啤酒厂和牛奶厂等,不胜枚举。其它许多工厂,像制冰厂、石油提炼厂、制药厂等也用到制冷。当然,室内溜冰场也需要制冷。

制冷还广泛用于舒适性空调和工业空调。工业空调用来调节生产过程所需的空气的温度、湿度和清洁度。计算机就需要放在可控的环境里。

1.2 制 冷 方 法

制冷通常被说成是冷却过程,但确切的定义应为从物质内移走热量使其温度降低或保持在低于环境温度的低温状态的过程。应用最广的机械制冷方法叫做蒸汽压缩式制冷系统。在这个系统里,易挥发的液体制冷剂在蒸发器内蒸发,此过程导致被冷却物质内的热量转移(冷却)。压缩机和冷凝器是维持蒸发过程和使制冷剂复原并重复利用所必需的。

另一种广泛应用的方法叫做吸收式制冷系统。在这个过程里,制冷剂也被蒸发(和蒸汽压缩式制冷系统一样),但是蒸发是靠另一种液体把制冷剂吸收掉来维持的。以后我们将解释蒸汽压缩式和吸收式制冷系统是如何运行的。

其它制冷方法还有热电制冷、蒸汽喷射制冷和空气循环制冷等。这些方法只用在某些特殊场合,它们的功能在此不再赘述。热电制冷造价仍很昂贵,某些家用桌面小电冰箱用这种方法制冷。蒸汽喷射制冷效率不高,过去常用在船舶上,目前大部分被蒸汽压缩系统所取代。空气循环制冷有时用于飞行器驾驶舱的空气调节。 $-200^{\circ}\text{F}(-130^{\circ}\text{C})$ 以下的极低温度制冷属于低温学范畴。达到这样的温度必须使用特殊的系统。制冷技术在超低温的一个应用就是将氧和氮从空气中分离出来并使其液化。

1.3 制 冷 设 备

蒸汽压缩制冷系统的设备主要是大家熟悉的蒸发器、压缩机和冷凝器。设备可能是单个的,也可能是整体配套的。整套设备是在工厂装配的。家用电冰箱即是成套设备的一个例子。显而易见,成套设备的优点是结构紧凑,若批量很大则生产成本较低。

商业制冷设备种类繁多,各有其特殊的功能。冷藏柜、小冷库和零售陈列柜广泛应用于食品服务行业。此外,无数常见的设备还有自动制冰机、冷饮机和制冷自动售货机等。

关于专用设备除非它们涉及综合性实际问题,否则我们将不探讨其细节。关于商业制冷设备的情况,读者可在ASHRAE手册1983应用卷和1982设备卷中找到满意的论述。

制冷与空调是不同的。本书的重点是制冷,而不是空调。因为类似的制冷设备可用于冷却空气以达到舒适性空调或其它目的,我们开始学习制冷基础时并不加以区别。实际情况和设备不同,包括温度和用途的不同随着讲解的深化将逐一指出。

空调包括内部环境空气的加热、冷却、加湿、减湿和净化(过滤)。当涉及制冷和空调两个主题的交界处时,偶然提到空调的某些方面是不可避免的,但我们将不作进一步的阐述。然而,学习与空调有关的基础知识和设备,即使对那些仅对制冷感兴趣的人来说也是有重要价值的。