

# 小型制冷机

〔苏〕B.Б.雅柯勃松 著

机械工业出版社

153602

# 小型制冷机

[苏] B. B. 雅柯勃松 著

王士华等 译



机械工业出版社

DV82/19

本书较系统、全面地阐述了小型制冷机的理论、结构、试验方法及试验结果、自动化和操作运转问题；提供了开启式和封闭式制冷机热力循环的分析；详细地研究了苏联及其他国家活塞式、回转式、全封闭、半封闭、屏蔽式和开启式压缩机及机组的结构、研究结果及计算方法；介绍了小型制冷机的质量指标和经济效果指标评价等问题。对换热设备及其结构、计算方法和最佳化问题也给予了很大的重视，并研究了各种自动调节和自动保护问题及各类机型的流程。

本书可供从事制冷工作的科研、设计、教学人员参考。

## МАЛЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

В. В. ЯКОВСОН

МОСКВА·ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ·1977

### 小型制冷机

[苏] В. В. 雅柯勃松 著

王士华等 译

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）  
（北京市书刊出版业营业登记证出字第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·新华书店经营

开本 787×1092 1/32·印张 16 7/8·字数 374 千字  
1982年10月北京第一版·1982年10月北京第一次印刷  
印数 00,001—10,000·定价 1.70 元

统一书号：15033·5244

## 译者的话

制冷机应用于国民经济的各个部门，与科研、生产、日常生活有极为密切的关系。随着科学技术、国民经济的发展，其作用更为明显。制冷机的技术水平、普及情况甚至成为标志一个国家经济发展及生活水平的指标之一。而小型制冷机在制冷机中，量大面广、占制冷机总产量的绝大部分，是制冷机研究的一个重要方面。

《小型制冷机》一书的作者 B. B. 雅柯勃松是苏联制冷学界的知名人士，他侧重于小型制冷机方面的研究，发表过一系列关于小型制冷机的论文和研究报告，本书就是他多年来的研究总结。书中较系统、全面、详细地阐述和研究了小型制冷机各方面的问题，内容丰富，在一定程度上兼有工具书的性质，是小型制冷机研究、设计、教学人员的一本重要参考书。

在我国小型制冷机的研制工作中，需要这方面的参考资料。为此，由第一机械工业部合肥通用机械研究所组织了华中工学院、上海机械学院、西安交通大学的有关人员进行了本书的译校工作。

参加本书翻译工作的人员及分工如下：

王士华(概论、第四章)、李文林(第一、二章)、郑贤德(第三章)、吴进发(第五章)、王德魁(第六章)、彭伯彦(第七章)、周启瑾(第八、九章)、蒋能照(第十、十一章)、韩宝琦(第十二、十三、十四章)。王士华同志对全书进行了校订。

本书在翻译过程中，得到了各有关方面领导的关怀与支

持,以及其他同志的大力帮助,在此深致谢意。由于我们水平有限,译文中错误之处在所难免,请广大读者批评指正。

译者

1980年8月

# 目 录

译者的话

概论 .....1

第一章 使用开启式和全封闭式压缩机的蒸汽制冷机和

热泵的理论循环 .....6

一、热力学基础 .....6

二、使用开启式压缩机的制冷机理论循环 .....11

三、使用全封闭压缩机的制冷机理论循环 .....19

四、使用屏蔽式压缩机的制冷机理论循环 .....25

五、有回热器的制冷机理论循环 .....25

六、全封闭压缩机以湿行程工作的制冷机理论循环 .....28

七、热泵的理论循环 .....31

第二章 小型制冷压缩机的工作过程 .....37

一、表征压缩机输气量的容积损失及系数 .....37

二、能量损失及效率 .....58

三、容积损失及能量损失之间的关系 .....76

四、压缩机的热平衡 .....77

五、压缩机与周围空气的热交换 .....78

六、吸气过热对实际制冷压缩机工作的影响 .....83

七、小型制冷机的热计算及综合特性 .....87

第三章 小型制冷压缩机 .....91

一、主要型式 .....91

二、压缩机结构型式的发展 .....93

三、制冷剂 .....104

四、名义工况 .....	107
五、活塞式压缩机 .....	109
六、回转式压缩机 .....	170
<b>第四章 压缩机的基本结构参数、组件和零件</b> .....	<b>185</b>
一、制定结构系列的原则 .....	186
二、基本几何参数 .....	188
三、压缩机的布置形式 .....	191
四、通用化 .....	193
五、计算条件 .....	193
六、运动机构的组件和零件 .....	195
七、润滑系统 .....	201
八、气阀 .....	206
九、消音器和减振器 .....	212
十、机体、壳体、接线柱 .....	217
十一、气缸体和曲轴箱、轴封 .....	219
十二、内装式电动机 .....	220
十三、冷却方法 .....	228
十四、结构上与压缩机结合在一起的自动保护装置 .....	231
<b>第五章 确定小型制冷压缩机的技术水平和产品的更新效果</b> .....	<b>234</b>
一、确定压缩机的 <b>技术水平</b> .....	234
二、确定采用新型压缩机的 <b>经济效果</b> .....	255
<b>第六章 换热设备的效率指标和技术特性</b> .....	<b>259</b>
一、换热器内的温差对制冷机效率的影响 .....	260
二、冷凝器和蒸发器的效率指标 .....	265
三、肋片表面的技术特性 .....	271
四、换热器的最佳化 .....	275
<b>第七章 冷凝器</b> .....	<b>277</b>
一、热负荷 .....	277

二、空冷冷凝器 .....	280
三、水冷冷凝器 .....	313
<b>第八章 蒸发器与回热器 .....</b>	<b>323</b>
一、蒸发器 .....	323
二、回热器 .....	353
<b>第九章 制冷机组 .....</b>	<b>365</b>
一、全封闭制冷机组 .....	366
二、半封闭制冷机组 .....	389
三、开启式制冷机组 .....	393
<b>第十章 自动化仪表和毛细管 .....</b>	<b>397</b>
一、自动化仪表 .....	397
二、毛细管 .....	412
<b>第十一章 小型制冷机的自动化 .....</b>	<b>419</b>
一、自动调节 .....	419
二、自动化制冷机在变工况下工作的分析 .....	422
三、自动保护 .....	430
<b>第十二章 小型制冷机的系统 .....</b>	<b>436</b>
一、生活用冰箱、使用毛细管的机器系统特点 .....	436
二、商用设备的机器系统 .....	441
三、单元式空调器 .....	445
四、除湿机 .....	447
五、冷藏集装箱的机器 .....	448
六、供给几个冷藏室用的多温机器 .....	451
<b>第十三章 压缩机和机组的试验方法 .....</b>	<b>455</b>
一、测量误差 .....	456
二、压缩机的试验 .....	458
三、小型制冷机组的热力试验 .....	487
四、压缩机和机组的声学试验 .....	491



第十四章 小型制冷机的运行和可靠性 .....	493
一、小型制冷机的运行 .....	493
二、小型制冷机的可靠性 .....	508
三、安全技术 .....	524
参考文献 .....	526

## 概 论

近几十年来,一个新的机器类别——小型制冷机,占据了制冷技术中的主导地位。

创制小型制冷装置是机器制造史中最鲜明的成就之一。这样一个由一整套机器和设备组成的能量系统,能在10至20年间无需监视而运转,真正可以认为是科学技术上的一个杰作。这样的装置,单就生活用冰箱而言,苏联已经拥有数千万台。

小型制冷机在生活中(冰箱、冻结器、空调器),在商业和公共饮食部门中(冷藏柜、冷库、冷藏柜台、冷藏橱窗、有冷却的自动售货机),在运输和食品工业部门中,都获得了极为广泛的普及。它们在其它工业部门,如农业、建筑、医学、国防科技方面也获得了广泛的应用。

表明苏联小型制冷机生产增长速度的有下列数字:1960年生活用冰箱的产量为50万台,而1972年达到500万台。商业和公共饮食企业中小型制冷装置的拥有量超过了150万台。

在其它国家,如东德、捷克斯洛伐克、保加利亚和一系列资本主义国家,如美国、法国、日本等,小型制冷装置的生产增长也很快。

这种机器的主要型式是蒸汽压缩制冷机,占全部小型制冷机的95%以上。在最小尺寸的冷却对象中,例如不大的生活用冰箱中,除采用蒸汽压缩式以外,还采用吸收、热电、空气

涡流管、开式空气制冷机<sup>[82, 126, 187]</sup>, 对这些方面的介绍不在本书的范围之内。

在蒸汽压缩式制冷机(图 1a)中, 液体制冷剂在低温下在蒸发器 4 中沸腾, 把热量从冷却对象中导出。形成的蒸汽由压缩机 1 压缩, 同时其温度上升。在冷凝器 2 中, 蒸汽把热量传给周围的空气或水, 并重新转换成液体。液体制冷剂在节流阀 3 中节流, 或在小直径的管子(毛细管)中节流, 并回到蒸发器。这时, 液体中的一小部分蒸发, 把其它部分液体冷却到蒸发温度。

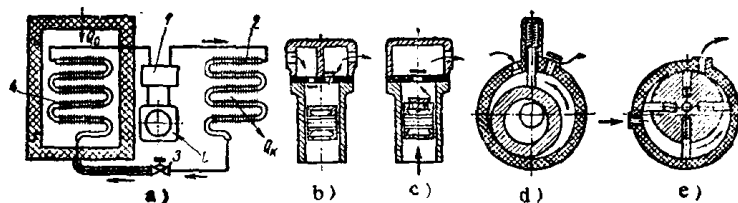


图 1 蒸汽压缩式制冷机

a) 流程图 b)、c) 活塞式压缩机 d)、e) 回转式制冷机

在小型制冷机中, 活塞式逆流压缩机(图 1b) 占优势。顺流式压缩机(图 1c), 因为制造复杂, 所以只是在振动式电驱动机器中保留了下来。一般也采用摆动转子式回转压缩机(图 1d), 还有用得少一些的滑片式压缩机(图 1e)。在飞机空调器中还利用小型螺杆压缩机。

一般认为名义产冷量在 12000~18000 瓦(10000~15000 千卡/时)以下的单级制冷机为小型制冷机。小型蒸汽制冷机可以分为下列几类。

第一类是最普及的一类, 属于名义产冷量大约 350 瓦(约 300 千卡/时)以下的机器。其主要元件有: 全封闭压缩机(使

用内装式电动机,壳体完全焊死)、空气自由运动的冷凝器、代替节流阀的毛细管(节流管)及空气自由运动的蒸发器。

第二类包括产冷量由 350 到 1200 瓦(300~1000 千卡/时)的制冷机。这类机器的主要元件有:全封闭压缩机、空气受迫运动的冷凝器、毛细管或热力膨胀阀,空气自由运动或空气受迫运动的蒸发器。

第三类属于产冷量大于 12000 瓦,在制造厂装配的制冷机。其主要元件有:全封闭或半封闭压缩机(半封闭压缩机使用内装式电动机,壳体可拆开,气缸盖可拆下),空气受迫运动的冷凝器、毛细管或热力膨胀阀、空气受迫运动的蒸发器。在这一类的汽车装置中,也广泛采用开启式(轴封式)压缩机,由汽车发动机直接驱动。

第四类包括产冷量在 12000 瓦以上,在运转单位按装的制冷机。其中利用半封闭或开启式压缩机,空气受迫运动的冷凝器、热力膨胀阀、空气自由运动或受迫运动的蒸发器。

在第一类中一般采用氟利昂-12 做制冷剂,在其它各类中采用氟利昂-12、22 和 502。

应当指出,上述分类的界限,在某种程度上是假定的,而且除了主要分类之外,各类还有很多方案。例如,在第一类机器中,还可采用空气受迫运动的蒸发器。在第二类机器中,还可采用半封闭式压缩机。使用开启式压缩机的商业设备用的机器很普及。从前这类机器是主要机型,但现在它正被更先进的全封闭和半封闭机器所取代。

在蒸汽压缩式制冷机之中,除主要元件(压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器)之外,还包括附属的、改善机器特性和减轻其运转条件的其它元件。

回热器靠压缩机的吸入蒸汽过热来保证节流装置前的液

体过冷。这可改善机器的特性并提高其可靠性。贮液器是贮备氟利昂用的。过滤器和干燥器用来净化制冷剂和油,使其不受机械和化学杂质和水汽的污染,从而消除被腐蚀的危险。水份指示器可显示系统中有水份存在。这些附属元件都是为提高机器的可靠性和耐久性服务的。自动化仪表可调节机器的运转,并保证机器不发生事故。

小型制冷机的工作条件与大型机器的工作条件有本质上的不同,其热力循环具有重要的特点。这首先是因为采用内装式电动机的缘故。从根本上说,小型制冷机的结构型式、工作过程、生产工艺和相应的设计基础都与大型的不同。

对小型制冷机,常提出特殊要求。这种机器的可靠性应当是很高的。小型制冷机可工作多年而无需固定监视。噪音水平应当是低的,因为一般是按装在住房、售货厅和办公室内。所以在制冷技术中,首先在小型制冷机标准中规定了无故障、耐久性、噪音和振动的标准指标,这不是偶然的。

小型制冷压缩机和机组的试验方法,也与大型压缩机和机组的试验方法不同,这是由于制冷剂的小流量测量和使用内装式电动机的压缩机的试验特点造成的。

小型制冷机在制冷机的技术进步中处于领先地位。正是在这一领域内,首先采用了机器和装置的完全自动化、在生产厂组装并以机组出厂、采用无毒和无爆炸危险的制冷剂氟利昂、使压缩机完全密封、压缩机的转速提高到 50 转/秒(3000 转/分)。

这与目前在中型和大型制冷机领域中表示技术进步特点的那些问题几乎是完全一致的。直到目前为止,在中型和大型制冷机中主要还是进行研究的问题。

首先阐述小型制冷机的书<sup>[213]</sup>表明了其结构型式极其丰

富。苏联进行科学研究工作的首批成果在著作[54]中做了介绍,而著作[49、50]是手册资料。

关于小型制冷机的资料综合整理、小型制冷机的研究和标准材料的分析与拟定,在苏联 25 年前就开始了。那时按照 III. H. 科布拉什维利的倡议,在全苏制冷工业科学研究所建立了小型制冷机试验室。现在这一工作是在全苏商业机械科学研究和结构试验研究所(商机所)的制冷技术部领导下进行。该项工作是在小型制冷机的生产厂、设计部门和制冷设备公司的紧密配合下进行的。

最近在苏联和国外的杂志中出现了很多介绍小型制冷机的设计和研究问题的文章。苏联这一方面的研究工作由全苏商业机械科学研究和结构试验研究所和一系列其它组织进行。

本书反映了这一广泛的研究工作的结果,对这一研究工作的所有参加者,作者表示衷心的感谢。

# 第一章 使用开启式和全封闭式压缩机的 蒸汽制冷机和热泵的理论循环

## 一、热力学基础

**制冷机：**制冷机的用途是从被冷却对象(低温物体)吸取热量，并把它传给高温的周围介质(环境空气或冷却水)。制冷机的工作原理，是由热力学的一些基本定律来决定的<sup>[189]</sup>。

蒸汽制冷机为了从较冷的物体温度  $T_{x,n}$  的低温热源，转移热量  $Q_0$ (图 2a)到周围介质(温度  $T_{o,c}$ )，需要耗功  $L$ 。制冷机的工质(制冷剂)完成每一个封闭循环，都周期性地恢复到原始状态。在这种逆向循环过程中， $Q_x$  的热量传给了周围介质。

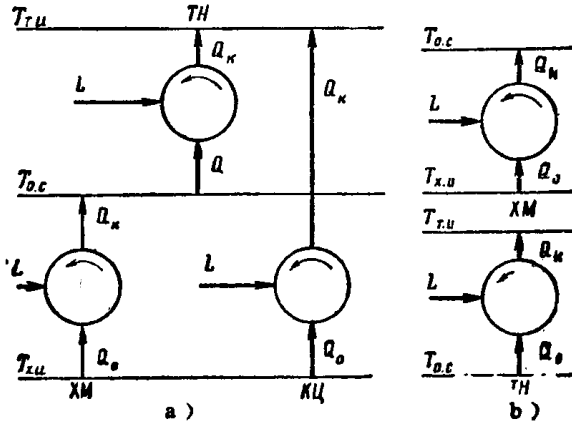


图2 各循环的温度界限

a) 制冷机热泵和联合循环机 b) 在夏冬季工况的全年空调器

蒸汽制冷机的热平衡方程式(根据热力学第一定律)为:

$$Q_0 + L = Q_K \quad (1-1)$$

表示制冷机在能量上的完善程度的主要指标是制冷系数  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} \quad (1-2)$$

当其他条件相同时,  $\varepsilon$  越大制冷机越完善。

热泵: 热泵的用途是从周围介质吸取热量, 并把它传递给被加热的对象(温度较高的物体)。热泵(TH)与制冷机(XM)的区别, 只是工作温度范围不同(见图 2b)。

全年空调器在冷天用于采暖, 而热天用于降温, 制冷机循环的温度界限比热泵的高(图 2b)。

在热泵循环中, 为了向被加热对象供热  $Q_K$ , 要耗功  $L$  (这时由周围介质吸取热量  $Q_0$ )。

热泵的主要能量完善程度指标是转换系数  $\mu$ :

$$\mu = \frac{Q_K}{L} \quad (1-3)$$

考虑到式(1-1)

$$\mu = \frac{Q_0}{L} + 1 \quad (1-4)$$

制冷机与热泵运转于相同的温度界限(通常为一年的不同时期)是可能的。此时

$$\mu = \varepsilon + 1 \quad (1-5)$$

联合循环机: 同时兼有制冷机与热泵功用的热动力机称为联合循环机(KII)(见图 2a)。这类机器是同时制冷和供热, 即冷却一个物体的同时又加热另一个物体。以联合循环工作的制冷机, 能够获得最高的能量效果。因为耗功  $L$  既有效地利用了冷量  $Q_0$ , 又有效地利用了热量  $Q_K$ 。



联合循环机的能量完善度系数为:

$$\psi = \frac{Q_0 + Q_{\kappa}}{L} \quad (1-6)$$

系数  $\varepsilon$  与  $\psi$  之间的单值关系是不能确定的, 因为制冷机与联合循环机总是工作于不同的温度界限。

制冷机和热泵的最小功: 制冷机的最小功可以根据热力学第二定律确定。

当低温热源(被冷却物体)的温度  $T_{x,u}$  恒定时, 如果工质吸热的温度无限接近于  $T_{x,u}$ , 则过程才是完全可逆的。同样, 工质应在与周围介质温度一致的等温下放热。工质吸热后温度升高, 以及放热后温度降低的过程, 应该是等熵绝热的。制冷机的典型循环(该循环中整个系统的熵保持不变而耗功最小), 是由两个等温过程和两个绝热过程组成的逆向卡诺循环。

在蒸汽制冷机里, 逆向卡诺循环理论上可由以下主要设备实现:

无损失的压缩机绝热压缩湿蒸汽(图 3a 中, 过程 1-2), 液滴在压缩过程中蒸发, 到点 2 时形成干饱和蒸汽;

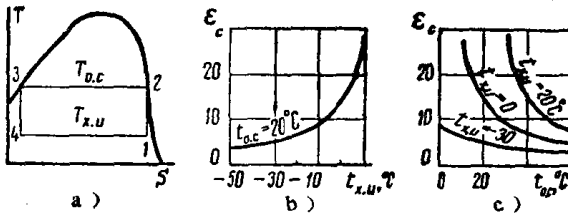


图 3 逆向卡诺循环

a) 在热力图上的表示 b)、c) 制冷系数

无穷大表面积的冷凝器, 在这一冷凝器中, 蒸汽在周围介

楚