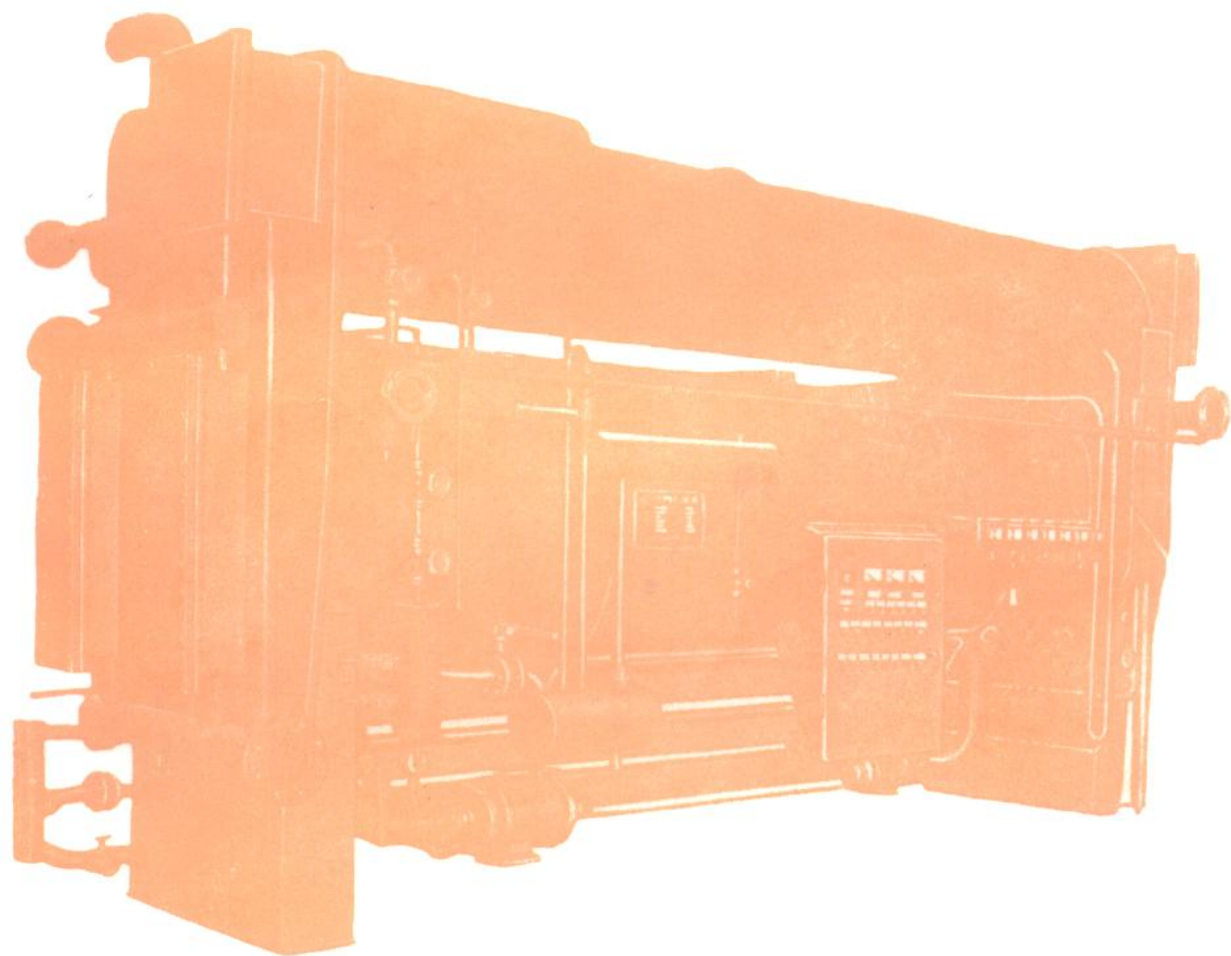


空调用 溴化锂吸收式制冷机

(结构 操作 维护)



何耀东 主编

KONGTIAOYONG

XIUHUALI XISHOUSHI ZHILENGJI

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

溴化锂吸收式制冷机是一种可利用工业余热、废热的节能型制冷设备，由于可制取 0°C 以上的低温水，特别适合于空调工程使用。为在国民经济建设中大力推广溴冷节能设备，就须尽快提高溴冷机管理、操作和维护人员的技术素质。

本书全面阐述了溴冷机的工作原理、结构特征、设计计算、安装调试、运行管理和故障维修以及国内外溴冷新技术和吸收式热泵等。其重点是设备结构、运行操作和维护检修，以实用技术为主。

本书可作为职工大学空调制冷专业的制冷课教材和高中级溴冷技工培训教材，更适合于在基层从事溴冷管理、操作和维修人员使用。

空调用溴化锂吸收式制冷机

(结构 操作 维护)

天津职工纺织学院机电暖通系 编
天津市制冷学会第五专业委员会

何耀东 主编

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义县燕华印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：16³/₄ 插页：1 字数：408 千字

1993年2月第一版 1993年2月第一次印刷

印数：1—8,300册 定价：9.80元

ISBN7-112-01764-5/TU·1341

(6796)

前 言

溴化锂吸收式制冷机目前在国内外都有较大发展，特别是用于空调的溴冷机，已从工厂扩展到宾馆、饭店、医院、影剧院、体育馆和办公大楼等部门。溴冷机之所以能快速发展，是由于它具有运行平稳、噪声低、能量调节范围广、维护操作简便等一系列优点；更为重要的是，除可利用蒸汽、热水等热能外，还可利用工业余热、废热、太阳能、地热等低品位能源为动力。在当前国际禁用氟里昂的条件下，以氟为制冷剂的制冷机的发展将受到限制，而无污染、无公害的溴冷机的发展前途将更为广阔。为适应这一形势的需要，我们组织编写了这本书。

本书立足于总结国内20多年溴冷机的加工制造、运行管理和维护检修的经验，并全面叙述了溴冷机的相关知识，是一本实用性很强的技术书籍。本书的编写原则是由浅入深、深入浅出，以便适合于从事溴冷工作的不同层次的人员阅读和使用。书中采用了国际单位制，但由于大多数溴冷技术图表目前仍未改为国际单位制，加之基层单位溴冷工作人员目前仍习惯于使用工程单位制，为此在国际单位制后面辅以工程单位制的单位。书中各章末尾列有思考题，书中列有例题，便于读者复习巩固。

本书由天津职工纺织学院机电暖通系和天津市制冷学会第五专业委员会组织编写，何耀东教授任主编、拟订“编写提纲”，并负责各章节的审改和统稿。全书共十四章，各章的编写人员是：第一、二章——何耀东，第三章——宋英俊、张德志，第四章——康虹，第五章——张荷品、李暹，第六章——张德林、刘生昌，第七章——何青、宋绛雄，第八章——齐杨、侯训鳌，第九章——陈家强、葛执中，第十章——王玉清、庞万钧，第十一章——刘金诚，第十二章——严继光、刘生昌，第十三章——何耀东、张永铨，第十四章——由世俊。

本书编写过程中，得到了天津职工纺织学院院长戴学咸、范道林和天津市制冷学会理事长张永铨的大力支持，天津市建筑设计院副总工程师黄文恬对部分章节进行了审改，天津职工纺织学院机电暖通系周德方、陈晓英、陈展云、杨洁等老师在校稿、整理等方面做了很多工作，在此一并致谢。由于编者水平有限，错漏之处在所难免，敬请诸位批评指正。

目 录

第一章 制冷与制冷设备	1
1.1 制冷的含义与应用范围	1
1.2 制冷设备的种类	1
1.3 压缩式制冷机	2
1.4 蒸汽喷射式制冷机	4
1.5 溴化锂吸收式制冷机	5
1.6 模块化制冷机	6
1.7 涡旋式制冷机	8
第二章 制冷技术基础	10
2.1 基本状态参数与状态方程	10
2.2 热量与冷量、焓与熵	13
2.3 蒸发与冷凝、溶解与结晶	15
2.4 热力学第一定律与第二定律	17
2.5 传热方式与传热方程	17
第三章 溴化锂二元溶液的特性及其热力状态图	21
3.1 溴化锂二元溶液的特性	21
3.2 溴化锂二元溶液的热力状态图	25
第四章 溴化锂吸收式制冷原理	29
4.1 单效溴化锂吸收式制冷机制冷原理	29
4.2 双效溴化锂吸收式制冷机制冷原理	37
第五章 溴化锂吸收式制冷机设计计算	42
5.1 热力计算	42
5.2 传热计算	57
5.3 结构计算	63
第六章 溴化锂吸收式制冷机的型式与结构	68
6.1 溴化锂吸收式制冷机的型式	68
6.2 溴化锂吸收式制冷机主机设备的结构	73
6.3 溴化锂吸收式制冷机附属设备的结构	78
6.4 溴化锂吸收式制冷机的安全装置	83
6.5 溴化锂吸收式制冷机的自动抽气装置	85
第七章 溴化锂吸收式制冷站的设计	88
7.1 溴化锂制冷站的设计原则、设计计算与设备选型	88
7.2 溴化锂制冷站的系统设计	97
7.3 制冷站管道的布置与保温防腐处理	103
7.4 制冷设备的减振与隔振	109
第八章 溴化锂制冷站设备的安装、调试与运行操作	113

8.1	溴化锂制冷站的设备安装	113
8.2	溴化锂制冷站的调试	114
8.3	溴化锂制冷站设备的运行操作	129
8.4	溴化锂制冷站设备的运行管理	134
第九章 溴化锂制冷站设备的维护保养与故障检修		140
9.1	制冷机组的停机保养与检修	140
9.2	辅助设备的保养与检修	152
9.3	常见故障与突发性故障的处理	161
9.4	溴化锂制冷机及辅助设备的管理制度	168
第十章 溴化锂吸收式制冷机的性能变化及提高真空防腐与水质稳定的措施		177
10.1	外界条件变化对溴化锂制冷机性能的影响	177
10.2	不凝性气体对机组性能的影响及提高机组真空度的具体措施	181
10.3	提高溴化锂制冷机性能的其他技术措施	185
10.4	设备防腐措施	186
10.5	水质稳定处理	187
第十一章 溴化锂溶液的性质及检测与再生		192
11.1	溴化锂溶液的性质	192
11.2	溴化锂溶液的化验与检测	193
11.3	溴化锂溶液的再生	199
第十二章 溴化锂制冷机的自动控制		202
12.1	双效溴化锂制冷机的自控系统	202
12.2	自动安全保护系统	208
12.3	程序运行系统	210
12.4	微机控制系统简介	215
第十三章 国内外溴化锂制冷机的发展动向与新技术新设备		217
13.1	我国溴冷机的发展动向与新技术新设备	217
13.2	外国溴冷机的发展动向与新技术新设备	225
第十四章 溴化锂吸收式热泵		231
14.1	吸收式热泵的理论基础	231
14.2	吸收式热泵循环	234
14.3	吸收式热泵的应用	244
附录		257
附表1	水的物理性质	257
附表2	空气的物理性质	257
附表3	水和水蒸汽在饱和状态下的热物理性质	258
附表4	功率的单位换算表	259
附表5	导热系数的单位换算表	259
附表6	运动粘度的单位换算表	259
附表7	动力粘度的单位换算表	259
附表8	比热容单位换算表	260
附表9	比焓单位换算表	260
附表10	长度单位换算表	260

附表11 容积单位换算表	260
附表12 质量单位换算表	260
附表13 我国溴化锂吸收式制冷机制造厂	260
附图1 溴化锂溶液 i - ξ 图	261
附图2 溴化锂溶液 s - ξ 图	261
参考文献	262

第一章 制冷与制冷设备

1.1 制冷的含义与应用范围

随着社会的发展、生产技术的进步和人们生活水平的提高，需要制冷设施的范围越来越广，需求量也越来越大，因而制冷技术也在突飞猛进的发展，制冷设备也与日俱增。

1. 制冷的含义

人们常说的“制冷”，是一个广义的说法。顾名思义是要在某一特定环境内制造出比周围环境温度低的“冷”环境。所谓“特定环境”，是泛指某一房间、某一车间、某一空间或某一物体；所谓“周围环境”是指环绕前述那个某一“特定环境”周围的环境而言（如室外空气环绕着某一房间的周围墙体，热交换器中管外介质包围着管内另一种介质）；所谓“冷”的环境，是要使“特定环境”中介质的温度低于“周围环境”介质的温度。

实现制冷的的方法很多，最原始的方法是使用天然冷源。天然冷源就是指天然资源中的天然冰和地下低温水等冷源。但由于天然资源有限，而且受到季节与地区的限制，难以满足各种制冷的需求，所以人工制冷就有了蓬勃的发展。人工制冷是用人工的方法，应用各种制冷设备把某一特定环境中的热量排到周围环境的介质中去，从而制造出“冷”环境的过程。

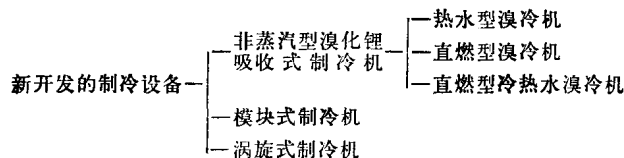
2. 制冷的应用范围

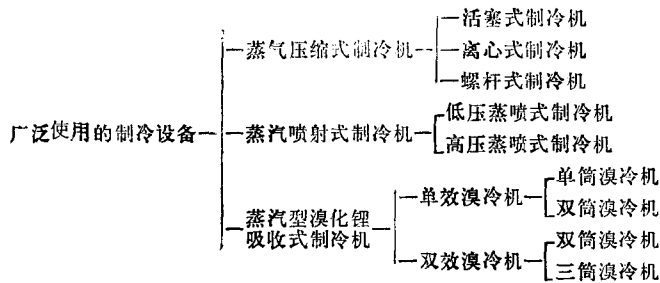
制冷主要用于空调、冷藏、空气分离、生产工艺和冷冻医疗等方面。用于生产环境、科学实验等方面的空调称为工艺性空调，而为了解决人体舒适感应用于宾馆、饭店、办公室和会议室等处的空调则为舒适性空调。本书论述的专题就是工艺性空调和舒适性空调用的溴化锂吸收式制冷机。

1.2 制冷设备的种类

人工制冷设备的种类繁多，形式各异。制冷所用的能源方式也各有不同，有以电能制冷的，如利用氨、氟及其他工质实现制冷循环的压缩式制冷机；有以蒸汽为能源制冷的，如蒸汽喷射式制冷机和蒸汽型溴化锂吸收式制冷机等；还有以其他热能为能源制冷的，如热水型溴化锂制冷机、直接燃烧煤气或天然气的溴化锂制冷机以及太阳能吸收式制冷机等。

我国目前新开发的设备和广泛使用的制冷设备有如下数种：





1.3 压缩式制冷机

空调工程常用的压缩式制冷机为冷水机组，无论是活塞式、离心式还是螺杆式冷水机组，其制冷原理相同，除所用制冷压缩机各不相同外，其他部件也基本相近。

1.3.1 压缩式冷水机组的部件与制冷原理

1. 压缩式冷水机组的部件

压缩式冷水机组由制冷压缩机、冷凝器、节流阀和蒸发器 4 大部件组成。4 大部件用管道连接形成一个封闭的系统。除这四大部件之外，还有一些辅助设备，如油分离器、贮液器、空气分离器和紧急泄氨器（氨系统）、干燥过滤器（氟系统）等。

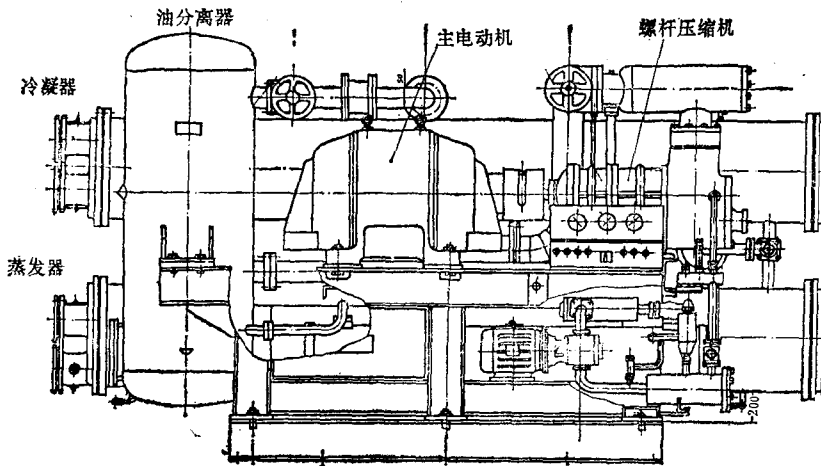


图 1-1 螺杆冷水机组构造图

图1-1所示为武汉冷冻机厂生产的螺杆式冷水机组构造图，活塞式冷水机组和离心式冷水机组除制冷压缩机外，其他部件的组成与螺杆式冷水机组基本相近。

2. 压缩式冷水机组的制冷原理

压缩式冷水机组的制冷原理是：制冷压缩机将蒸发器内的低压低温的制冷剂气体（氨或氟里昂）吸入压缩机体内，经过压缩机的压缩做功，使成为压力和温度都较高的气体排入冷凝器。在冷凝器内，高压高温的制冷剂气体与冷却水或与空气进行热交换，把热量传

给冷却水（水冷方式）或空气（风冷方式），而使制冷剂气体凝结为液体。高压液体再经节流阀降压后进入蒸发器。在蒸发器内，低压制冷剂液体立即汽化，而汽化时必须吸取周围介质（如冷媒水）的热量，从而使冷媒水因失热而降低了温度，这就是所需制取的低温冷水。蒸发器中汽化形成的低压低温制冷剂气体又被制冷压缩机吸入压缩，这样周而复始，不断循环，便能连续制出冷水。

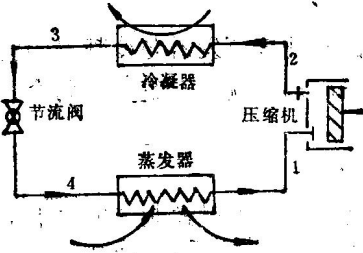


图 1-2 压缩制冷原理图

图 1-2 为压缩式冷水机组的制冷原理图。

1.3.2 制冷压缩机压缩部件的构造

1. 活塞式制冷压缩机压缩部件

活塞式制冷压缩机是用活塞在汽缸中的往复运动来压缩制冷剂气体的。制冷剂一般多用氨（ NH_3 ）、氟里昂12（R-12）和氟里昂22（R-22）。活塞式制冷机的制冷量较小（ $<100\text{kW}$ ），而且部件易磨损，阀片寿命较低。图1-3为活塞式压缩机结构原理图。

2. 离心式制冷压缩机压缩部件

离心式制冷压缩机是借助叶轮旋转运动产生的离心力来压缩制冷剂气体的。制冷剂一般多用氟里昂11（R-11），由于是连续运转，就可通过提高转速增大对制冷剂气体的压缩，所以制冷量较大（ $>100\text{kW}$ 的机组多用离心式机组）。离心式制冷压缩机的叶轮构造见图1-4。

3. 螺杆式制冷压缩机压缩部件

螺杆式制冷压缩机是依靠两个螺杆——阴阳转子的旋转运动来压缩制冷剂气体的。螺杆式制冷机体积小，易损件少，但噪声较大。螺杆式制冷压缩机阴阳转子的构造见图1-5。

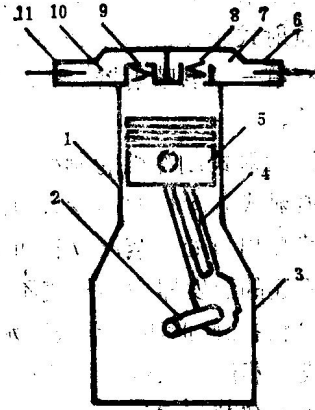


图 1-3 活塞式压缩机结构原理图

1—汽缸；2—曲轴；3—曲轴箱；4—连杆；
5—活塞；6—排气管；7—排气腔；8—排气
阀；9—吸气阀；10—吸气腔；11—吸气管

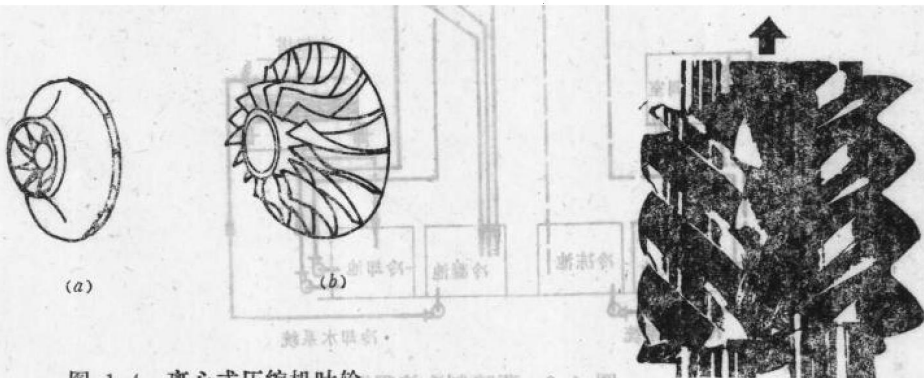


图 1-4 离心式压缩机叶轮

(a)封闭式；(b)半开式



图 1-5 螺杆式压缩机转子

1.4 蒸汽喷射式制冷机

1.4.1 蒸汽喷射式制冷机的部件与制冷原理

1. 蒸汽喷射式制冷机的部件

蒸汽喷射式制冷机的主要部件有蒸发器、冷凝器和连接蒸发器与冷凝器的主喷射器。辅助部件有第一辅助喷射器、第二辅助喷射器和第一辅助冷凝器、第二辅助冷凝器以及蒸汽分汽包等。

2. 蒸汽喷射式制冷机的制冷原理

蒸汽喷射式制冷机的制冷原理是：将工作蒸汽通向蒸汽喷射式制冷机中主喷射器的喷嘴时，在喷嘴出口处的蒸汽流速可高达1000m/s左右，由于高速蒸汽流的引射作用，将与主喷射器相连的蒸发器内的空气不断抽吸出来，使蒸发器内的压力不断降低，从而形成了一定的真空状态。此时再将空调回水送到蒸发器内喷淋。部分回水在蒸发器内的低压条件下蒸发汽化成水蒸汽，而汽化必然要吸收热量（即汽化潜热）。由于蒸发器外表做了保温处理，可看做是绝热设备，因此所需的这部分汽化热量，只能从其余未蒸发汽化的那一部分回水中吸取，从而使未蒸发的那部分回水的温度下降后从蒸发器下部排出，这就是空调工程所需的冷冻水。另一方面，蒸发器内产生的制冷剂水蒸汽被主喷射器抽走，并在与工作蒸汽混合、扩压后，进入冷凝器中，被冷却水冷凝成液体后，再从冷凝器下部排到冷却水池中。如此周而复始的不断循环，就可连续获得低温的冷冻水。

1.4.2 蒸汽喷射式制冷机的流程

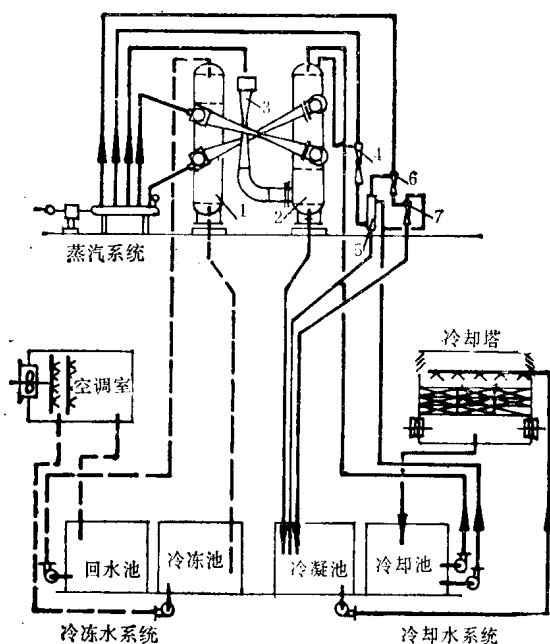


图 1-6 蒸喷制冷流程图

1—蒸发器；2—主冷凝器；3—主喷射器；4—一辅喷射器；5—一辅冷凝器；6—二辅喷射器；7—二辅冷凝器

蒸汽喷射式制冷系统的工艺流程由三个系统组成,即蒸汽系统、冷冻水系统和冷却水系统。蒸汽系统由分汽包、主喷射器、辅助喷射器和相连接的管道组成;冷冻水系统由蒸发器、冷冻水池、供水泵、空调室和回水池组成;冷却水系统则由冷凝器、冷凝水池、冷却水泵、冷却塔和冷却水池组成。

1.5 溴化锂吸收式制冷机

1.5.1 溴化锂吸收式制冷机的发展过程

溴化锂吸收式制冷机自1945年问世以来,历经半个世纪,在机组结构、性能和型式各方面都有了很大的变化和发展,而生产数量和应用范围更有突飞猛进的扩展。

1.5.1.1 国外溴冷机的发展过程

美国是溴冷机的创始国,目前日本、前苏联等国的溴冷机也都有较大的发展。

1.美国溴冷机的发展 美国开利公司于1945年试制出第一台制冷量为 523kW ($45 \times 10^4\text{kcal/h}$)的单效溴冷机,开创了利用溴化锂水溶液为工质对做为吸收剂的吸收式制冷新领域。目前生产溴冷机的公司除开利外,还有约克、川恩和阿克拉等公司。美国不仅创造了单效溴冷机,而且在世界上又率先研制出了双效溴冷机。现已研制直燃型、热水型和太阳能型等新型溴冷机。与此同时,还研制了冷温水机组和吸收式热泵等新机组。

2.日本溴冷机的发展 日本一家汽车公司于1959年研制出制冷量为 698kW ($60 \times 10^4\text{kcal/h}$)的单效溴冷机,1962年在原制造所又研制出双效溴冷机。目前生产溴冷机的厂家有三菱、三洋、川崎、日立和荏原等公司。日本溴冷机无论在生产数量、性能指标、应用范围和新技术、新产品研制等方面,均超过了美国,成为世界上溴冷机研究与生产领先的国家。特别是燃气两效冷温水机组的产量很大,约占生产总台数的 $2/3$;第一种吸收式热泵和第二种吸收式热泵已有产品,目前又致力于第三种吸收式热泵和溴化锂热电并供机组的研制工作。

3.前苏联溴冷机的发展 前苏联奔萨化工机械厂于1965年研制出 2908kW ($250 \times 10^4\text{kcal/h}$)溴冷机。目前溴冷机的应用范围已从化纤厂扩展到其他纺织厂、橡胶厂、酿酒厂、化工厂、冶金厂和核电站。总产量已逾3000台。

1.5.1.2 中国溴冷机的发展过程

我国研制溴冷机起步于60年代初期,至今已经历了三十多年,其发展过程大体分为四个阶段:

第一阶段——研制阶段(60年代)

60年代初船舶总公司704研究所(原六机部704所)、一机部通用机械研究所与高等院校及设备制造厂通力合作,试制了两台样机。1966年上海第一冷冻机厂试制出了制冷量 1160kW ($100 \times 10^4\text{kcal/h}$)全钢结构的单效溴冷机,安装于上海国棉十二厂。60年代末期,许多单位都着手研制单效溴冷机,这一研制工作持续到了70年代初期。

第二阶段——单效机生产应用阶段(70年代)

开始于60年代末期的单效机研制工作,到了70年代初期才普遍开花结果。先后有上海、青岛、天津、北京和长沙等地的棉纺厂为适应生产的需要,各自设计与制造了单效溴

冷机。继而更多地区的更多单位也都自行设计制造单效溴冷机,尤以上海、天津两地更为突出。以天津为例,70年代初至80年代初,制造出3480kW(300×10^4 kcal/h)大型溴冷机七台,总制冷能力达到24360kW(2100×10^4 kcal/h)。这对当时的生产发展起到了促进作用。这一时期和80年代初期制造的单效溴冷机组还有348kW(30×10^4 kcal/h)、580kW(50×10^4 kcal/h)、1160kW(100×10^4 kcal/h)、1740kW(150×10^4 kcal/h)等机组。虽然单效溴冷机在这一时期有了较大发展,但仍有许多问题尚待解决,如严重的腐蚀、冷量的衰减和机器的寿命等,这些问题限制了溴冷机的进一步发展。

第三阶段——双效机生产应用阶段(80年代)

80年代初期开始研制双效溴冷机,并于1982年由开封通用机器厂生产出1744kW(150 kcal/h)双效溴冷机组。双效机组的热力系数可提高到1.1以上,而单效机组的热力系数一般为0.6~0.7,双效机的蒸汽单耗比单效机减少约1/2,冷却水量减少约1/3,是值得提倡的节能型制冷机组。

从70年代中期至80年代末期,已有很多溴冷机专业生产厂加工制造单效溴冷机和双效溴冷机,改变了由用户自行设计制造溴冷机的状况。

第四阶段——多种新型溴冷机研制开发阶段(90年代)

80年代末期国家计委提出,凡有蒸汽等热源的地区要发展溴冷机;而90年代初期(1991年)我国在世界禁用氟里昂(CFC)生产与使用的“蒙特利尔议定书”上签了字,这对进一步发展溴冷机创造了良好条件。大专院校、科研院所和制造厂共同协力,一方面在加紧改进与提高双效溴冷机的加工技术和性能水平,另一方面也竞相研制新型的多种溴冷机。现已推出的和正在研制的有热水型双效溴冷机、直燃型冷温水机组、低压蒸汽(如0.25MPa)型溴冷机、降膜式溴冷机和吸收式热泵等。

1.5.2 溴化锂吸收式制冷机的技术要点

溴化锂吸收式制冷机是以流体基本状态参数的变化和物质的传热过程理论为基础,利用溴化锂二元溶液的特性及其热力状态变化规律进行制冷循环的。溴冷机的技术要点是:

1. 制冷原理与设计计算;
2. 溴冷机的型式与结构;
3. 溴化锂制冷站的设计、安装、调试与运行操作;
4. 溴冷机的维护检修与提高真空、防腐的技术措施;
5. 溴化锂溶液的性质及其检测与再生;
6. 溴冷机的自控;
7. 溴冷机新型设备与吸收式热泵。

本书是溴化锂吸收式制冷机的专论著作,上述技术要点都能在本书中找到详细答案。

1.6 模块化制冷机

模块化制冷机是近年问世的一种以R-22为制冷剂的、以不锈钢板式热交换器取代管壳式热交换器的、单台外形为直线六边形的、可拼装的模块化了的往复蒸汽压缩式新型冷水机组。

自第一台模块化制冷机于1986年9月在澳大利亚墨尔本启用以来，目前已遍及世界许多国家，并在40多国申请了专利。

每个模块单机制冷量为 $65\text{kW} \times 2 = 130\text{kW}$ ($11.2 \times 10^4 \text{kcal/h}$)，装有两台全封闭制冷压缩机，功率为 $14.7\text{kW} \times 2 = 29.4\text{kW}$ 。模块单元机组的尺寸为宽 \times 高 \times 厚 $= 1250 \times 1622 \times 460\text{mm}$ ，模块单机重量为 510kg 。由广东捷丰公司进口散件组装的模块机组见图1-7。

模块化冷水机组已在天津等地安装使用，其优点是：

1. 组装灵活方便 可将制冷量为 130kW 、尺寸为 $1250 \times 1622 \times 460\text{mm}$ 做为单机模数，拼装成所需制冷量的冷水机组。在冷水机组宽 \times 高 $= 1250 \times 1622\text{mm}$ 保持不变的情况下，每增加一个模块单机就增大制冷量 130kW ，外形增厚 460mm 。如需制冷量为 390kW 的一台冷水机组，就可以三个模块单机组装而成，其制冷量为 $130\text{kW} \times 3 = 390\text{kW}$ ，功率为 $29.4\text{kW} \times 3 = 88.2\text{kW}$ ，外形尺寸为宽 \times 高 \times 厚 $= 1250 \times 1622 \times 1440\text{mm}$ ；如需制冷量为 650kW 的一台冷水机组，就可以五个模块单机组装而成，其制冷量为 $130\text{kW} \times 5 = 650\text{kW}$ ，功率为 $29.4\text{kW} \times 5 = 147\text{kW}$ ，外形尺寸为宽 \times 高 \times 厚 $= 1250 \times 1622 \times 2360\text{mm}$ ；依此类推。目前已有产品的最大制冷量为 1690kW ($145 \times 10^4 \text{kcal/h}$)，是由13个模块单机组装而成，所需功率为 $29.4\text{kW} \times 13 = 382.2\text{kW}$ ，外形尺寸为宽 \times 高 \times 厚 $= 1250 \times 1622 \times 6040\text{mm}$ 。

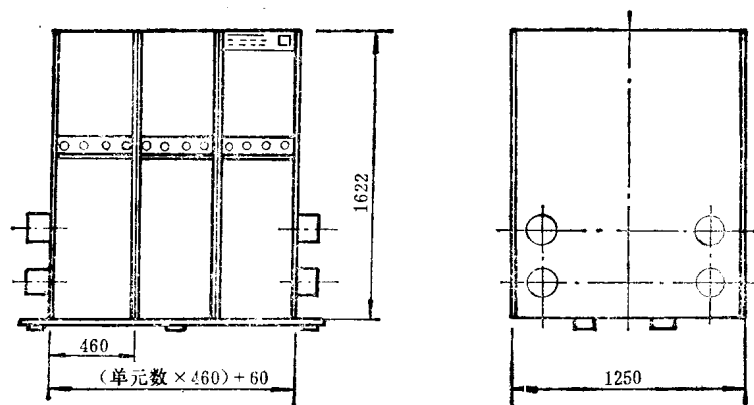


图 1-7 390kW 冷量的模块冷水机组

由于按模块单元机组拼装，安装时无须用吊车吊装，机房无须特意加大门窗尺寸，普通门窗尺寸即可运进模块单机。

2. 体积小、重量轻、效率高 用304号不锈钢加工而成的高效板式热交换器的尺寸比同等能力的管壳式热交换器的尺寸小 $2/3$ ，重量减轻 $1/3$ ，而由于在板式热交换器中制冷剂R-22与液体介质以逆流方式流动，传热效果好，传热系数约为同等能力管壳式热交换器的3倍。正由于逆流方式的紊流度高于管壳式热交换器，使污垢系数降低很多，仅为 $0.044 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{kW}$ 。

3. 节省占地、节约电耗 模块式冷水机组的机房面积仅为常规冷水机组的 $1/2$ ，甚至不建机房也可安装于露天或屋顶上。由于可按模块单机分先后启动，这就减小了启动电流的冲击，还可按所需冷量大小决定停开几个模块单机，使运行电能和空载电流减小。如制冷

量小于300kW (26×10⁴kcal/h)的小负荷冷水机组,则所需的输入功率小于常规活塞式冷水机组和离心式冷水机组。

4.噪声低 由于模块的面板装有隔声材料,使噪声值大大低于常规冷水机组,模块冷水机组的噪声额定值为NR75。

1.7 涡旋式制冷机

涡旋式制冷压缩机是一项高新技术,与活塞压缩式制冷机相比,具有降低能耗、节约金属材料、减少环境污染等优点。

1. 涡旋式制冷机的发展过程

早在1905年法国人LEON CREAX发明了涡旋式制冷压缩机,并在美国注册了专利(专利号为801182)。1974年由美国A.D.L公司研制出氨气涡旋式压缩机,紧接着日本日立公司、三电公司在汽车空调机、飞机空调机、立柜式空调机和热泵中推广应用。现以每年300多万台的产品投放国际市场。涡旋式制冷压缩机将逐步取代能耗高、结构复杂的往复式、滚动活塞式及其他结构的回旋式制冷压缩机。

2. 涡旋式制冷机的技术特点

涡旋式制冷压缩机与往复式制冷压缩机相比,具有效率高5~6%、噪声低3~5dB(A)、零部件少80%、重量轻40%、体积小49%、节约能耗5~6%、振动小等特点。其主要性能指标均优于往复活塞式和滚动活塞式,见表1-1。

涡旋式、活塞式制冷压缩机性能指标比较

表 1-1

主要性能指标	涡旋式	滚动活塞式	往复活塞式
能效比(EER)	2.9	2.4~2.6	2.2~2.6
容积效率比	0.99	0.94	0.7
绝热效率比	0.98	0.93	0.88
压缩机零部件比	1	3	7
重量比	0.8	0.8	1.0
加工精度: 0.001mm	1~3	3	10~30
适用范围(输出功率kW)	1.5~4.0	0.4~1.0	1.0~10.0

3. 涡旋式制冷机的技术指标

由天津市天山制冷设备公司和西安交通大学共同研究开发的空调用涡旋式制冷压缩机的规格有:

(1) 空调用11.6kW (1×10⁴kcal/h) 涡旋式制冷压缩机,工质为R22,全封闭式,功率为4kW;

(2) 空调用17.4kW (1.5×10⁴kcal/h) 涡旋式制冷压缩机,工质为R22,全封闭式,功率为5kW;

(3) 汽车与房间空调用3.5kW (3000kcal/h) 涡旋式制冷压缩机,功率为1.1kW。

涡旋式制冷机的技术参数如下(以SC-3000型涡旋式压缩机为基础);

蒸发温度: 5°C

冷凝温度: 40°C

吸气温度: 16.74°C

吸气压力: 0.4849MPa (表)

排气温度: 75.22°C

排气压力: 1.421MPa (表)

输入功率: 1140W

压缩机转速: 2875r/min

制冷量: 3.2kW (2794.77kcal/h)

Ke值: 2.85

工质: R22

综上所述, 涡旋式制冷压缩机以节能、节材、体积小、可靠性强、噪声低、振动小、无污染等优点, 在中、小型制冷压缩机的国际用户中取得了信誉, 涡旋式制冷压缩机逐步取代其他结构的制冷压缩机而独占市场的局面, 为期不远了。

思考题

1. 什么是制冷? 什么是人工制冷?
2. 目前广泛应用的制冷设备有哪几种? 新开发应用的又有哪几种?
3. 说明不同型式的几种制冷压缩机压缩元件的名称与构造。
4. 蒸喷制冷机的流程包括哪几个系统?
5. 说明美、日、前苏联等国溴化锂吸收式制冷机的发展过程。
6. 说明我国溴化锂吸收式制冷机的发展过程。

第二章 制冷技术基础

溴化锂吸收式制冷机所依据的理论基础是流体的性质参数和热力学原理。为了更好地掌握制冷理论和以制冷理论指导制冷设备的高效节能运行，就必须首先掌握有关制冷的技术基础知识。

2.1 基本状态参数与状态方程

2.1.1 基本状态参数

流体的基本状态参数是：压力（大气压力、真空度）、温度、密度、比容、容重、比热、焓、熵等。

1. 压力

压力是由流体（包括气体和液体）中的分子运动对容器或管壁产生的碰撞力。通常，压力是以作用于单位面积上力的大小来表示的。

压力的单位为帕（Pa），即作用于每米²（m²）上的力为1牛顿（N）的压力为1 Pa。

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2 \quad (2-1)$$

（1）大气压力

大气压力是地球表面的空气层在地面的单位面积上所形成的压力。大气压力用符号 B 表示，单位为巴（bar）或毫巴（mbar）。

标准大气压力是指在纬度45°的海平面上大气的常年平均压力，其值为1013mbar（760mmHg）。

（2）表压力和绝对压力

在制冷工程中用压力仪表测出的压力为表压力（用符号 P_b 表示），而压力表本身也受到周围大气压力的作用，所以流体所受到的真正压力为表压力与大气压力之和，称为绝对压力（用符号 P 表示）：

$$P = P_b + B \quad \text{Pa} \quad (2-2)$$

在工程上曾用过的单位尚有：公斤力/米²（kgf/m²）、毫米汞柱（mmHg）、工程大气压力（at）即公斤力/厘米²（kgf/cm²）、标准大气压力（atm）、毫米水柱（mmH₂O）和磅/英寸²（lbs/in²）。各种压力单位的换算见表2-1。

（3）真空度

如容器的器壁所受到的绝对压力低于大气压力时，表压力为负值，即呈负压状态。取负值的绝对值，即为真空度。真空度用符号 P_z 表示，单位为Pa。

$$P_z = B - P \quad \text{Pa} \quad (2-3)$$

或

$$P = B - P_z \text{ Pa} \quad (2-4)$$

各种压力单位的换算表

表 2-1

序号	帕 (Pa)	巴 (bar)	毫 巴 (mbar)	公斤力/米 ² (kgf/m ²) 毫米水柱 (mmH ₂ O)	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²) 工程大气压 (at)	标准大气压 (atm)	毫米汞柱 (mmHg)	磅/英寸 ² (lbs/in ²)
1	1	1×10^{-6}	1×10^{-2}	1.02×10^{-1}	1.02×10^{-6}	9.87×10^{-6}	7.5×10^{-3}	1.45×10^{-4}
2	1×10^6	1	1×10^5	1.02×10^4	1.02	9.87×10^{-1}	7.5×10^2	14.5
3	1×10^3	1×10^{-3}	1	10.2	1.02×10^{-3}	9.87×10^{-4}	7.5×10^{-1}	1.45×10^{-2}
4	9.81	9.81×10^{-5}	9.81×10^{-2}	1	1×10^{-4}	9.68×10^{-6}	7.356×10^{-2}	1.42×10^{-3}
5	9.81×10^4	0.981	9.81×10^2	1×10^4	1	0.968	7.356×10^2	14.2
6	1.01325×10^5	1.01325	1.01325×10^3	1.033×10^4	1.033	1	7.6×10^2	14.7
7	1.33×10^2	1.33×10^{-3}	1.33	13.6	1.36×10^{-3}	1.316×10^{-3}	1	1.93×10^{-2}
8	6.89×10^5	6.89×10^{-2}	68.9	7.03×10^2	7.03×10^{-2}	6.8×10^{-2}	51.7	1

注：在工程计算的误差允许范围内，可取： $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.981 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar} \approx 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$ ，
 $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ Pa} \approx 10 \text{ Pa}$ ， $1 \text{ mmHg} \approx 133 \text{ Pa} = 1.33 \text{ mbar}$ 。

【例 2-1】 已知当地大气压力 $B = 1.013 \times 10^3 \text{ mbar}$ ，测得溴冷机中低压筒的压力比大气压力小 40 kPa ，试求真空度与绝对压力。

【解】 ① 大气压力 $B = 1.013 \times 10^3 \text{ mbar} = 101.3 \text{ kPa}$

② 真空度 $P_z = 40 \text{ kPa}$ (根据题意)

③ 绝对压力 $P = B - P_z = 101.3 - 40 = 61.3 \text{ kPa}$

2. 温度

温度是度量物体冷热程度的一个物理量。温度是物体分子运动的结果。温度的高低用温标表示。

(1) 温标 常用的温标有 3 种：

1) 摄氏温标 在标准大气压下，以水的结冰温度作为 0°C ，沸腾温度作为 100°C ，中间分成 100 等分，每一等分即为一度。摄氏温度的符号为 $^\circ\text{C}$ ，用 t 表示其读数。

2) 绝对温标 把水的结冰点做为 273 度，水的沸点做为 373 度，把物质中的分子完全停止运动之点做为 0 度的温度标准，称为绝对温标。绝对温标的符号为 K ，用 T 表示其读数。

3) 华氏温标 在标准大气压下，以水的结冰温度作为 32°C ，沸腾温度作为 212°C ，中间分成 180 等分，每一等分即为一度。华氏温度的符号为 $^\circ\text{F}$ ，用 t_{H} 表示其读数。欧美国家习惯用华氏温标，工程上常用摄氏温标，而在工程计算中多用绝对温标。

(2) 温度的换算

1) 摄氏温度与华氏温度的换算关系式

$$t = \frac{5}{9}(t_{\text{H}} - 32) \quad ^\circ\text{C} \quad (2-5)$$

$$t_{\text{H}} = \frac{9}{5}t + 32 \quad ^\circ\text{F} \quad (2-5a)$$

2) 摄氏温度与绝对温度的换算关系式

$$t = T - 273 \quad ^\circ\text{C} \quad (2-6)$$

$$T = t + 273 \quad \text{K} \quad (2-6a)$$