

第1章

制冷原理与工作系统

所谓“制冷”就是采用人为的方法，不断地将冷却对象的热量排到周围环境介质（空气或水）中去。而使被冷却对象达到比周围环境介质更低的温度，而且要在长时间内维持所设定的温度的过程。要实现这个目的，可以有两种方法：一是利用自然界天然冷源——冰、雪或地下水。我国对天然冷源的应用有悠久的历史，直到目前，天然冰在食品冷藏和降温等方面仍有大量应用。近年来，开发地下水水资源用于工矿企业的制冷工程也较普遍。这种制冷方法的优点是简便、费用低，但它一般不能得到低于0℃的温度，且有不易控制和调节的特点。此外，还受到地区和季节的限制。因此，若要获得低于0℃的温度环境，就必须采用以消耗机械能或其他形式的能量作为代价的人工制冷。

制冷装置（用于冰库的制冷设备、用于空调的制冷机组等）就是以消耗电能作为代价的人工制冷设备。最常见的制冷方式是蒸汽压缩式制冷。

根据工作原理制冷机可分为：

(1) 压缩式制冷机。依靠压缩机的作用提高制冷剂的压力以实现制冷循环，按制冷剂种类又可分为蒸汽压缩式制冷机（以液态蒸发制冷为基础，制冷剂要发生周期性的气-液相变）和气体压缩式制冷机（以高压气体膨胀制冷为基础，制冷剂始终处于气体状态）两种。

(2) 吸收式制冷机。依靠吸收器-发生器组（热化学压缩器）的作用完成制冷循环，又可分为氨水吸收式、溴化锂吸收式和吸收扩散式三种。

(3) 蒸汽喷射式制冷机。依靠蒸汽喷射器（喷射式压缩器）的作用完成制冷循环。

(4) 半导体制冷器。利用半导体的热-电效应制取冷量。

制冷机的主要性能指标，有工作温度（对蒸汽压缩式制冷机为蒸发温度和冷凝温度，对气体压缩式制冷机和半导体制冷器为被冷物体的温度和冷却介质的温度），制冷量（制冷机单位时间内从被冷却物体移去的热量）、功率或耗热量、制冷系数（衡量压缩式制冷机经济性的指标，指消耗单位功所能得到的冷量）以及热力系数（衡量吸收式和蒸汽喷射式制冷机经济性的指标，指消耗单位热量所能得到的冷量）等。

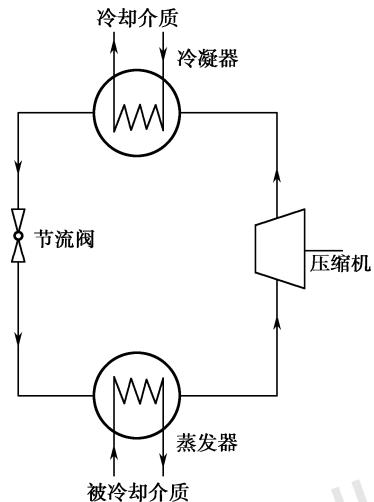
现代制冷机以蒸汽压缩式制冷机应用最广。在此我们仅介绍压缩式和吸收式制冷原理与装置。

1.1 制冷原理与制冷循环

1.1.1 蒸汽压缩制冷原理与制冷循环

1. 蒸汽压缩制冷工作原理

如图 1-1 所示, 为蒸汽压缩制冷系统的工作流程图, 它由压缩机、冷凝器、节流阀和蒸发器四个主要部件组成。



它们的作用分别是: 制冷压缩机是维持制冷剂在制冷系统内工作流动的设备, 也是制冷系统的“心脏”, 从蒸发器吸热流出的低压、低温的制冷剂蒸汽, 经过制冷压缩机的压缩后, 成为高压、高温的制冷剂气体, 然后进入冷凝器。

在冷凝器中, 与外部的冷却介质水(或空气)进行热交换, 放出其热量, 使制冷剂蒸汽发生相变, 由气态变为液态, 流出冷凝器。节流阀的作用是对流出冷凝器的高温、高压的液态制冷剂实施节流降压, 在降压的同时使制冷剂的温度降低。制冷剂在经过节流阀降压、降温的同时, 一部分液体就“闪发”成了气态。节流阀还起到控制制冷剂流量的作用, 以始终保持冷凝器中制冷剂的压力高于蒸发器中制冷剂的压力。

图 1-1 蒸汽压缩制冷系统流程图
蒸发器是输出冷量的设备。经节流后的制冷剂液体流入蒸发器后, 吸收蒸发器盘管内用于热交换介质水(或空气)的热量, 使制冷剂液体吸热汽化, 从而达到制冷的目的, 获得了降温的效果。制冷剂液体经蒸发器的吸热汽化, 又变成了低温、低压的制冷剂蒸汽, 再进入制冷压缩机压缩, 进行下一个循环, 如此循环实现连续制冷。

2. 蒸汽压缩制冷的实际循环

如图 1-2 所示, 曲线 $1 \sim 2 \sim 3 \sim 4 \sim 5 \sim 1$ 表示压缩式制冷的理论循环; 曲线 $1' \sim 2' \sim 3' \sim 4' \sim 5' \sim 1'$ 表示压缩式制冷的实际循环; 蒸汽压缩制冷的理论循环与实际循环的差别, 主要表现在以下几个方面:

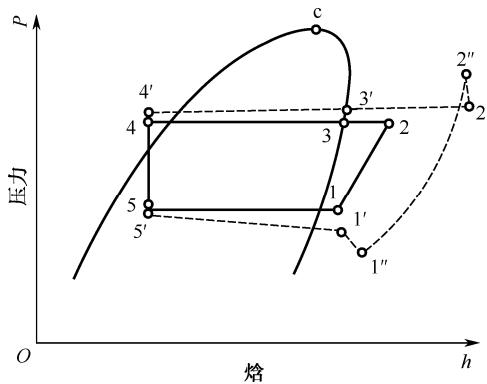


图 1-2 蒸汽压缩制冷的实际循环曲线图



(1) 在压缩机中的实际循环曲线上。实际制冷循环的压缩过程不是等熵的。 $1'$ 表示压缩机的吸气状态， $1' \sim 1''$ 表示压缩机吸入的制冷剂蒸汽流经压缩机的吸气阀时的压力降和受到加热。 $1'' \sim 2''$ 表示制冷剂蒸汽在汽缸内的压缩过程。由于压缩过程有热交换和其他不可逆的热量损失，实际的压缩过程是一个变指数的过程。 $2'' \sim 2'$ 表示制冷剂蒸汽流经排气阀时的压力降。

(2) 在热交换器中的实际循环。在热交换器中存在着温差和流动阻力的损失。在冷凝器内，制冷剂蒸汽的冷凝温度 T_K 高于冷却介质（水或空气）的温度；而在蒸发器中，制冷剂的蒸发温度 T_0 低于被冷却介质（水或空气）的温度。同时，由于流动的阻力，冷凝过程 $2' \sim 4'$ 压力降低，蒸发过程 $5' \sim 1'$ 压力降低，热交换器进口处压力高于出口处压力，压缩机的压力比增加。

(3) 在制冷系统管路中的实际循环。制冷剂在流经管路和阀门时有压力损失和热交换。制冷剂高压蒸汽从压缩机的出口到冷凝器的入口，从冷凝器的出口到节流阀，从节流阀到蒸发器的入口，以及从蒸发器的出口到压缩机的入口的管道内流动时要克服流动的阻力而产生压力降，同时又与外部的介质进行热交换。另外，制冷剂流经阀门时也存在压力降和热交换。 $4' \sim 4$ 表示冷凝器出口到节流阀之间液体管内的压降， $5 \sim 5'$ 表示节流阀出口至蒸发器段管内的压降。

换热器内的传热温差和制冷管路系统内的压力损失，使蒸发温度降低，冷凝温度升高，压缩机的压缩比增加，从而导致制冷循环的经济性能降低，蒸发温度和冷凝温度的变化对制冷循环的影响，将在以后的制冷装置的调试中对照介绍，这里不叙。

制冷剂在制冷系统低温低压侧的管路内的热交换使制冷量降低。例如，低温制冷剂液体流经节流阀和蒸发器之间的管路时，从环境介质吸热在进入蒸发器前已经有部分液体汽化，使得有效制冷量降低。当低温制冷剂蒸汽在蒸发器出口到压缩机进口的管路内从环境介质吸热时，不仅影响到压缩机的吸入状态，而且还会产生有害的过热，使制冷循环的性能降低。

1.1.2 吸收式制冷原理与制冷循环

1. 基本原理

在溴化锂吸收式制冷机中，制冷效应是这样产生的，先来看一个简单的试验装置。设有 A 和 D 两个容器，如图 1-3 所示，用一条玻璃管 C 连接组成一个密闭系统。向容器 D 中充以溴化锂溶液，就可以用来产生制冷效应了，其操作过程如下。

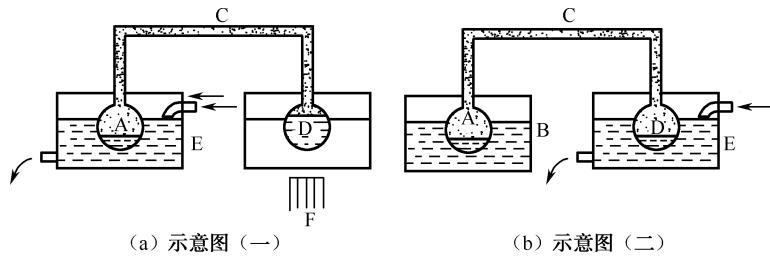


图 1-3 溴化锂吸收制冷基本原理示意图

首先，把 D 放在电加热器 F 上加热，并把 A 放在水槽 E 中冷却，如图 1-3 (a) 所示。D 内的溶液温度升高后，水分不断蒸发出来，经过 C 进入 A 内进行冷凝。于是使 D 内的液面降

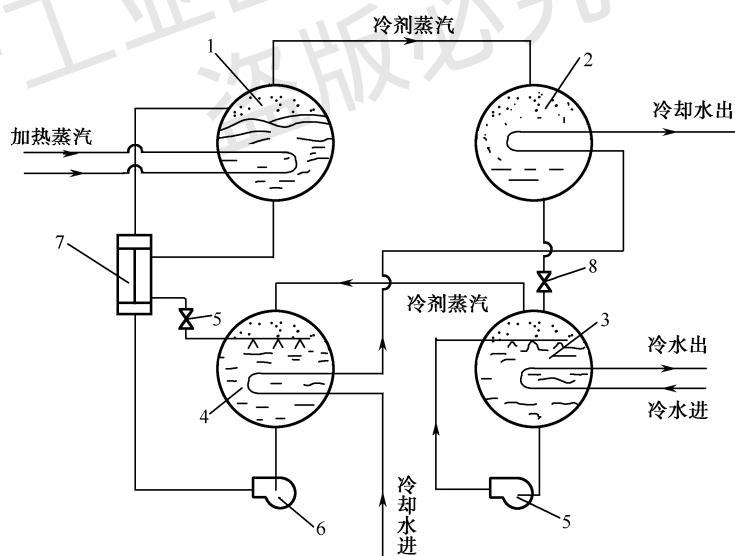


低，而 A 中出现了凝结水，液面逐渐升高。当 D 中溴化锂溶液的浓度达到与 A 内的冷凝压力相对应的平衡浓度时，停止加热，并把 D 移入 E，把 A 移入水槽 B 中，如图 1-3 (b) 所示。由于 D 被冷却，其中溴化锂溶液吸收水蒸气的能力增强，于是 D 中的水蒸气被浓度较高的溴化锂溶液吸收，压力下降，A 中的水蒸发，而把水槽 B 中的热量带走，产生制冷效应，使水的温度降低。但当 D 中的溴化锂溶液达到与其温度相对应的饱和浓度时，这一过程又停止了。反复进行上述操作，就能把水槽 B 中的热量带走，达到制冷的目的。

由上述可知，为了实现吸收制冷效应，需先从溴化锂溶液中释放出冷剂水蒸气，并将它冷凝成制冷剂水，然后使其在低压下蒸发，用以产生制冷效应。为了使制冷过程能连续进行，需再用溴化锂溶液来吸收蒸发过程中产生的冷剂水蒸气，以维持所需的真空。因此，“吸收制冷”必须包括发生、冷凝、蒸发和吸收这样四个过程。这也就是溴化锂吸收式制冷机的基本原理。在如图 1-3 所示的装置中，容器 D 是为了实现发生-吸收过程，故可称为发生-吸收器，容器 A 是为了进行冷凝-蒸发过程，故称为冷凝-蒸发器。因图中的操作过程是交替进行的，故不能连续获得制冷量。

2. 溴化锂吸收式冷水机组的工作系统

实际应用中的溴化锂吸收式冷水机组的工作系统，如图 1-4 所示，这个工作系统是连续工作的。为了实现上述四个过程，工作系统中设有四大主要部件，发生器、冷凝器、蒸发器和吸收器。为了提高机组的热力系数，还设有溶液热交换器。此外，为了使装置能连续工作，使工质在各大部件中进行循环，因而还装有屏蔽泵（发生器泵、吸收器泵和蒸发器泵）及相应的连接管道、阀门等。



1—发生器；2—冷凝器；3—蒸发器；4—吸收器；5—冷剂泵；
6—溶液泵；7—热交换器；8—节流阀；9—减压阀

图 1-4 溴化锂吸收式冷水机组工作系统图

溴化锂吸收式冷水机组工作时，发生器与冷凝器的压力较高，通常密封在一个筒体内，称



为高压筒；蒸发器和吸收器的压力较低，密封在另一个筒体内，称为低压筒。高压筒和低压筒通过 U 形管及溶液管道连接。

在发生器中，浓度较低的溴化锂溶液被加热介质加热，温度升高，并在一定的压力下沸腾，使水分离出来，成为冷剂蒸汽，溶液则被浓缩。此过程称为发生过程，它是一种热质交换过程，其强烈程度与传热和传质的许多因素有关。

发生器中产生的冷剂蒸汽进入冷凝器，被冷凝器中的冷却水冷却而凝结成冷剂水。此过程称为冷凝过程。并且在其中冷剂蒸汽的压力与冷却水温度等条件有关。冷却水的温度则取决于周围环境介质的温度。

冷剂水经 U 形管（或其他节流装置）节流，进入蒸发器的水盘。由于蒸发器的压力很低，冷剂水在吸取了蒸发器管内冷媒水的热量后立即蒸发，形成冷剂蒸汽，使冷媒水的温度降低（即制冷）。为了使蒸发过程得以加强，冷剂水是利用蒸发器泵送往蒸发器的喷淋装置，均匀地喷淋在蒸发器的管簇上。

为使蒸发器中冷剂水的蒸发过程不断地进行，必须将产生的冷剂蒸汽带走，这就是吸收过程。从发生器回流出来的浓度较高的溶液，经节流装置进入吸收器内被冷却水冷却，温度降低而具有吸收冷剂蒸汽的能力。吸收过程也是一种热质交换的过程，并且在其进行时的剧烈程度同样跟传热和传质的许多因素有关。为了强化热质交换，通常将来自于发生器的浓溶液与吸收器中的稀溶液相混合，用吸收器泵送往吸收器的喷淋装置，并喷淋在吸收器的管簇上。吸收过程中产生的热量则由冷却水带走。因此，过程终止时溶液的浓度和温度都降低。

吸收器中的稀溶液，再由发生器泵送往发生器，这样，便完成了一个制冷循环，而实际的工作过程就是如此连续循环不已，蒸发器中连续地产生冷效应，达到制冷的目的。

机组中溶液热交换器的作用在于回收热量，减少热损失。因为从发生器出来的溴化锂浓溶液温度较高，为了吸收冷剂蒸汽，必须将其温度降低（由冷却水带走热量）。另外，从吸收器出来的稀溶液温度较低，把它送往发生器产生冷剂蒸汽，又需要外界热源来加热。因此，把浓溶液和稀溶液在溶液热交换器中进行热交换，不仅可以减少吸收器中冷却水带走的热量，而且可以减少外界加入发生器的热量，使机组的热效率提高。

由于溴化锂吸收式制冷机是在高真空下工作，为了抽除非凝性气体，机组中还必须设置有抽气装置。这种抽气装置可以是机械真空泵，也可以是其他形式的自动抽气装置。

综上所述，溴化锂吸收式制冷机组的工作过程包括两个部分：一部分是发生器中产生的冷剂蒸汽在冷凝器中凝结成冷剂水，经节流后进入蒸发器，在低压下吸热蒸发，产生冷效应；另一部分是从发生器出来的浓度较高的溴化锂溶液，经节流和冷却，在吸收器中吸收产生冷效应后的冷剂蒸汽，使制冷过程不断进行。溴化锂溶液吸收冷剂蒸汽后，浓度降低，由溶液泵输送，重新进入发生器。溶液工作部分的作用就相当于压缩式制冷机组中的压缩机。

1.2 实用制冷工作系统

1.2.1 冷库制冷系统

大容量的冷库制冷系统所用设备包括：制冷压缩机组、蒸发器、冷凝器、油分离器、贮液器、排液筒、集油器、空气分离器、液体分离器、空气冷却器、总调节站、气体调节站、各管



路阀门、自动控制系统、指示仪表、动力电源等。可将库温控制在-15~0℃可调范围内。

如图 1-5 所示, 为典型冷库的制冷系统图。

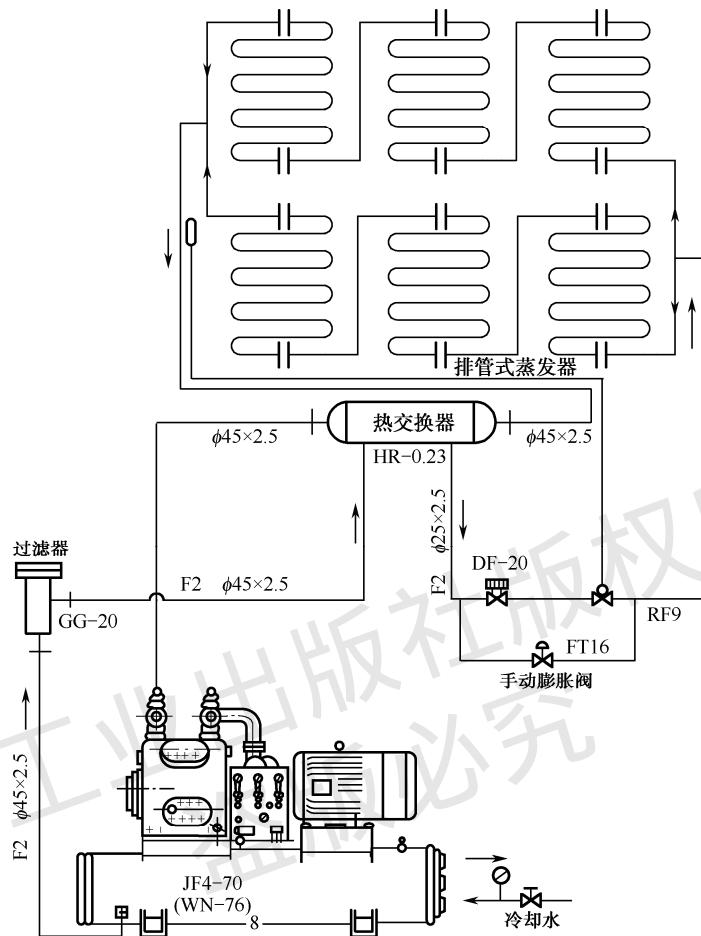


图 1-5 典型冷库制冷系统图

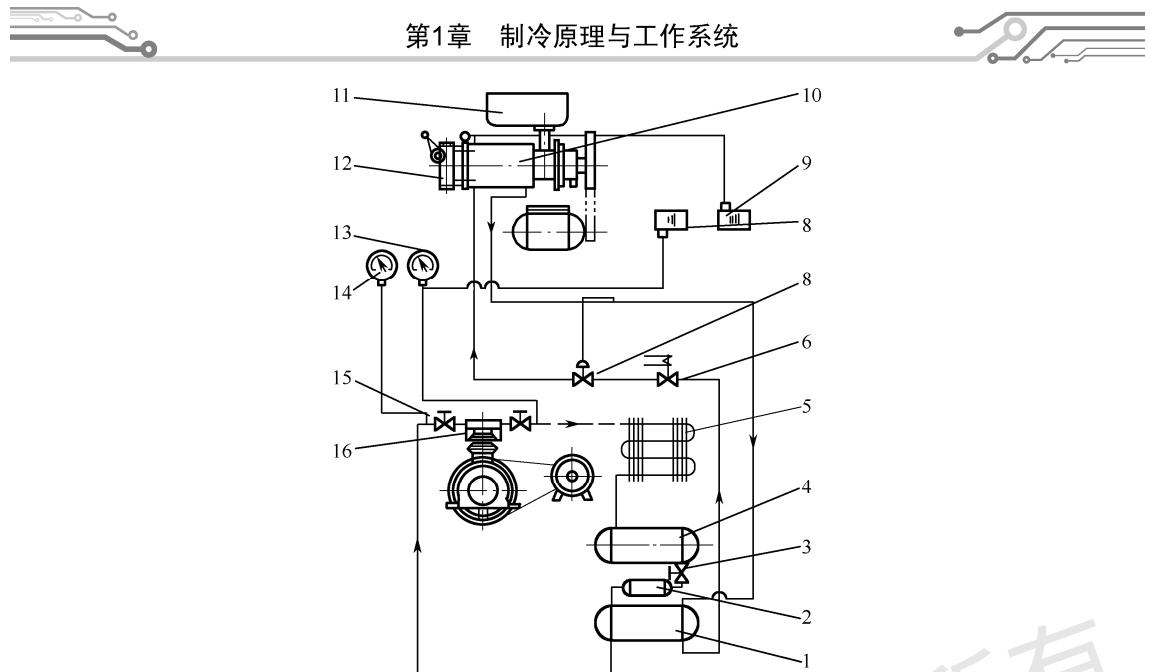
1.2.2 冰淇淋机制冷系统

冰淇淋机是利用机械制冷的方法, 制取冰淇淋的小型制冷装置。它由冰淇淋搅拌筒、硬化箱和制冷系统组成。

冰淇淋搅拌筒的内外壁之间有冷却盘管(蒸发器), 筒内有搅拌器。硬化箱内也设有冷却盘管(蒸发器), 其作用是硬化从搅拌筒内放出的软冰淇淋。有的冰淇淋机无硬化箱, 应另设硬化箱。

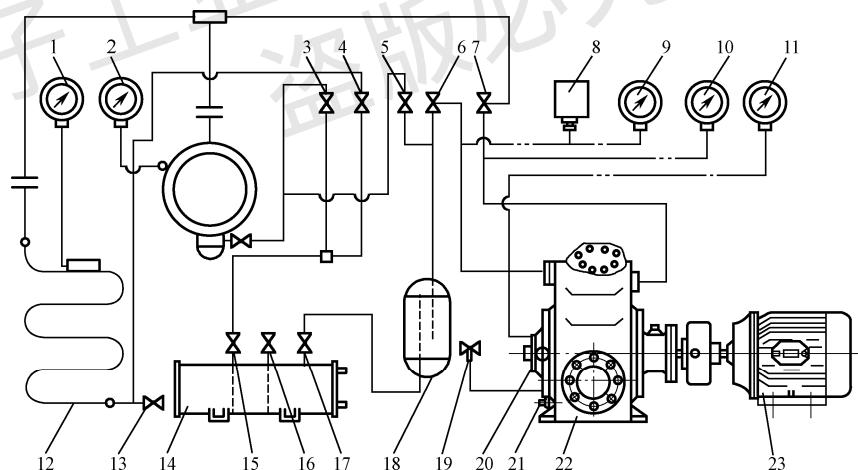
如图 1-6 所示, 为无硬化箱冰淇淋机的典型制冷系统;

如图 1-7 所示, 为有硬化箱冰淇淋机的典型制冷系统;



1—气液交换器；2—干燥过滤器；3—液体截止阀；4—贮液器；5—冷凝器；
6—电磁阀；7—膨胀阀；8—压力控制器；9—温度控制器；10—蒸发器；
11—料斗；12—导冰阀；13—排气压力表；14—吸气压力表；
15—吸气截止阀；16—排气截止阀

图 1-6 无硬化箱冰淇淋机的典型制冷系统图



1—硬化箱温度表；2—搅拌器温度表；3—搅拌机节流阀；4—硬化箱节流阀；
5—冲霜阀；6—排气总阀；7—吸气总阀；8—压力继电器；9—高压表；10—低压表；
11—油压表；12—蒸发器；13—放油冲液阀；14—贮液器；15—放油阀；16—氨液截止阀；
17—Dg20 截止阀；18—氨油分离器；19—回油阀；20—油压调节阀；21—加、放油阀；
22—制冷压缩机；23—电动机

图 1-7 有硬化箱冰淇淋机的典型制冷系统图

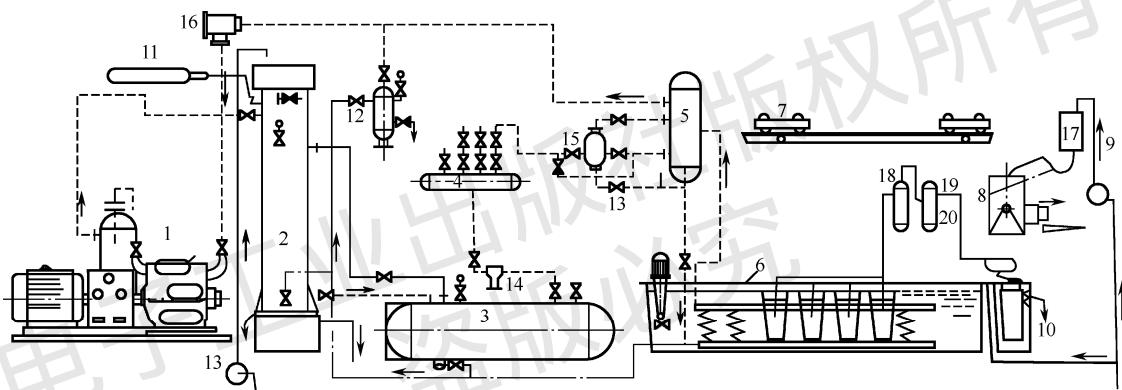
1.2.3 制冰机制冷系统

制冰机是利用机械制冷的方法，制取人造冰。

制冰机的制冷系统和其他组成设备包括：制冷压缩机组、冷凝器、蒸发器、膨胀阀、制冰池、冰筒、融冰槽、翻板、滑冰道、注水箱、桥式起重机、搅拌机等。

制冷系统的工作过程是，制冷压缩机由蒸发器吸出冷剂蒸汽，压缩升温升压后进入冷凝器，由冷凝器中流动的冷却水冷却成液态制冷剂。高压的液态制冷剂经热力膨胀阀降压降温后，有一定过冷度的制冷剂液体进入蒸发器吸热汽化，不断地发生冷效应，使制冰池中的盐水冷却。盐水被蒸发器冷却到-10℃以下。冰筒内充满淡水，浸在制冰池的盐水中，经盐水吸热使冰筒内的淡水冻结成冰。融冰槽用于融化冰筒的表面，使冰能迅速地脱离冰筒。翻板的作用是使冰筒翻到脱冰。冰滑道呈斜坡状，便于冰块滑出冰筒后顺利地溜入冰库。桥式起重机用来将冰筒从制冰池内提起，送至融冰槽融冰。脱冰后，再把空冰筒注水吊入制冰池。搅拌机的作用是搅动制冰池内的盐水，加速盐水的循环，提高热交换的效率。

如图 1-8 所示，为典型制冰机制冷系统及组成设备图。



1—氨压缩机组；2—冷凝器；3—贮氨器；4—调节站；5—氨液分离器；
6—制冰池；7—电动葫芦；8—倒冰器；9—水泵；10—融冰槽；11—空气分离器；
12—集油器；13—水泵；14—氨液过滤器；15—浮球阀；16—氨过滤器；
17—加水器；18—空气缸；19—空气冷却器；20—转子鼓风机

图 1-8 典型制冰机制冷系统及组成设备图

1.2.4 活塞压缩式冷水机组制冷系统

1. 活塞压缩式冷水机组的基本组成

冷水机组中以活塞式压缩机为主机的称为活塞式冷水机组。它是将活塞式压缩机、蒸发器、冷凝器和节流机构、电控柜等设备组装在一个基座上，其内部连接管已在制造厂完成装配，用户只需在现场连接电气线路和外接水管即可投入运行。制冷剂一般采用氟里昂，目前常用的多为 R22。如图 1-9 所示，为典型活塞压缩式冷水机组外形。



图 1-9 典型活塞压缩式冷水机组外形

2. 活塞式冷水机组的分类

(1) 按冷凝器的冷却介质分。活塞式冷水机组分为水冷式和风冷式两种。目前，国产活塞式冷水机组多为水冷式。水冷机组按总体结构形式分为普通型和模块型两种。制冷循环均为单级压缩制冷。

(2) 按压缩机的结构形式分。活塞式水冷机组分为开启式活塞压缩机、半封闭式活塞压缩机和全封闭式活塞压缩机。

(3) 按机组的功能分。活塞式冷水机组分为单冷型、热泵型和热回收型。

3. 活塞式冷水机组的工作原理

活塞式冷水机组主机有开启式、半封闭式和全封闭式，主机由单台压缩机组成，也有由多台压缩机组成的，多台压缩机组成的机组多采用两个独立的制冷回路，当一组发生故障或保护装置跳机时，另一组仍能继续运行。冷凝器为水冷卧式壳管式，冷却管多采用低肋滚压螺纹管。冷却水在管内流动，制冷剂蒸汽在管外凝结。冷凝器筒体冷却水进、出管接口为下进上出。冷凝器筒体上装有高压“安全阀”，当冷凝压力超过设定压力时，安全阀跳起，使冷凝器压力下降，从而保证机组安全运行。

蒸发器为干式壳管式，传热管采用内外带翅片的高效传热管。制冷剂 R22 在管内汽化，冷媒水在管外被冷却。为保证压缩机的干压行程，在压缩机的进口设有气液热交换器，低压（制冷剂蒸汽）进入压缩机，经压缩后进入冷凝器，制冷剂蒸汽在冷凝器中与冷却水产生热交换，制冷剂蒸汽被冷凝成液体，进入气液热交换器，被来自蒸发器的低压的制冷剂蒸汽进一步过冷，过冷后的液态制冷剂 R22，经干燥过滤器、电磁阀，并在热力膨胀阀内节流到蒸发压力后进入蒸发器，R22 液体在蒸发器内汽化，吸收冷媒水的热量蒸发后经气液热交换器，被来自冷凝器的高温液态 R22 加热，重新进入压缩机，如此不断地循环。

如图 1-10 所示，为活塞压缩式冷水机组制冷循环系统。冷水机组上一般装有电控柜和微电脑，设有安全、自动保护和自动调节装置，对冷水水温可进行调控，机组故障可显示、可自动诊断，对多机头机组，压缩机可自动轮流起动，机组参数和运行时间可进行显示和自动存储。安全保护装置有冷却水断水、油压、冷水低温防冻、缺相、欠电压、过载保护。压缩机内有温度保护等。

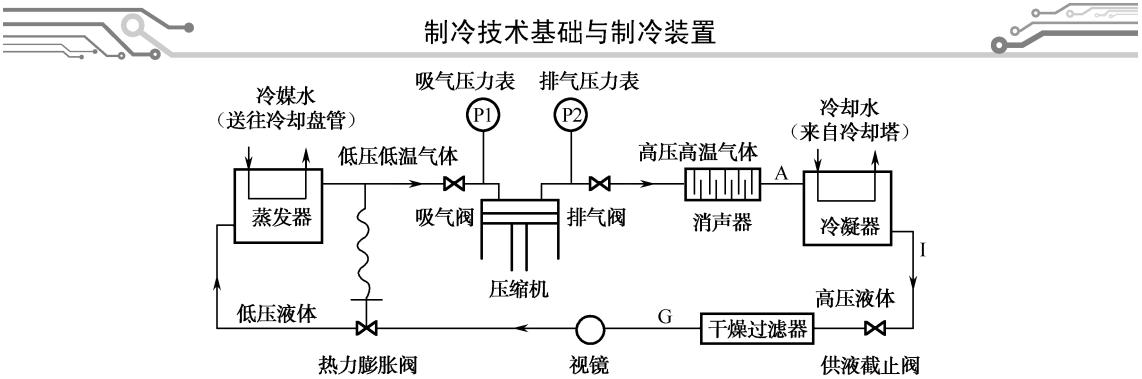


图 1-10 活塞压缩式冷水机组制冷循环系统

1.2.5 螺杆压缩式冷水机组制冷系统

螺杆压缩式机组由螺杆式制冷压缩机、冷凝器、蒸发器等组成制冷系统。使用氯化钙、氯化钠、乙醇（酒精）、乙二醇、水等水溶液作载冷剂（冷媒水），以提供冷源，它广泛应用于轻工、化工、制药等低温场所。

制冷压缩机为喷油螺杆式压缩机，转子采用单边非对称摆线—原弧型线。具有较高的容积效率。螺杆转子经辉光离子氮化处理，使用寿命增长。机组设有可控滑阀装置，能使压缩机在减载的工况下起动，及在运行中实施制冷量的无级调节，调节范围为 15%~100%。

螺杆式冷水机因其压缩机采用螺杆式故名螺杆式冷水机，机组由蒸发器吸热蒸发出状态为气态的制冷剂蒸汽，经压缩机绝热压缩变成高温高压状态。被压缩后的高温高压的制冷剂蒸汽，在冷凝器中等压冷却冷凝后变化成液态冷剂，再经节流阀膨胀到低压，变成气液混合物。其中低温低压下的液态制冷剂，在蒸发器中吸收被冷却物质的热量，重新蒸发变成气态的制冷剂蒸汽。气态制冷剂蒸汽经管道重新进入压缩机压缩，开始新的循环。这就是制冷工作循环的四个过程。

如图 1-11 所示，为典型螺杆压缩式冷水机组外形。

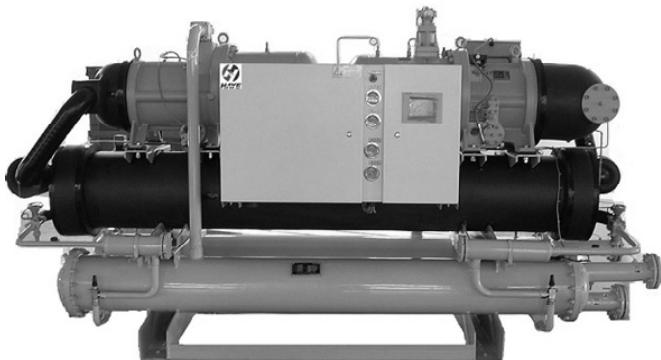


图 1-11 典型螺杆压缩式冷水机组外形

螺杆式冷水机组的功率较大，主要应用于中央空调系统或大型工业制冷方面。

如图 1-12 所示，为典型螺杆压缩式冷水机组制冷循环系统图；

如图 1-13 所示，为典型螺杆压缩式盐水机组制冷循环系统图；

如图 1-14 所示，为典型螺杆压缩式乙醇机组制冷循环系统图。

1. 双螺杆制冷压缩机

双螺杆制冷压缩机是一种能量可调式喷油压缩机。它的吸气、压缩、排气三个连续过程是靠机体内的一对相互啮合的阴阳转子旋转时产生周期性的容积变化来实现的。一般阳转子为主动转子，阴转子为从动转子。

主要部件：双转子、机体、主轴承、轴封、平衡活塞及能量调节装置。

容量 15%~100%无级调节或二、三段式调节，采取油压活塞增减载方式。

常规采用：径向和轴向均为滚动轴承；开启式设有油分离器、储油箱和油泵；封闭式为差压供油进行润滑、喷油、冷却和驱动滑阀容量调节之活塞移动。

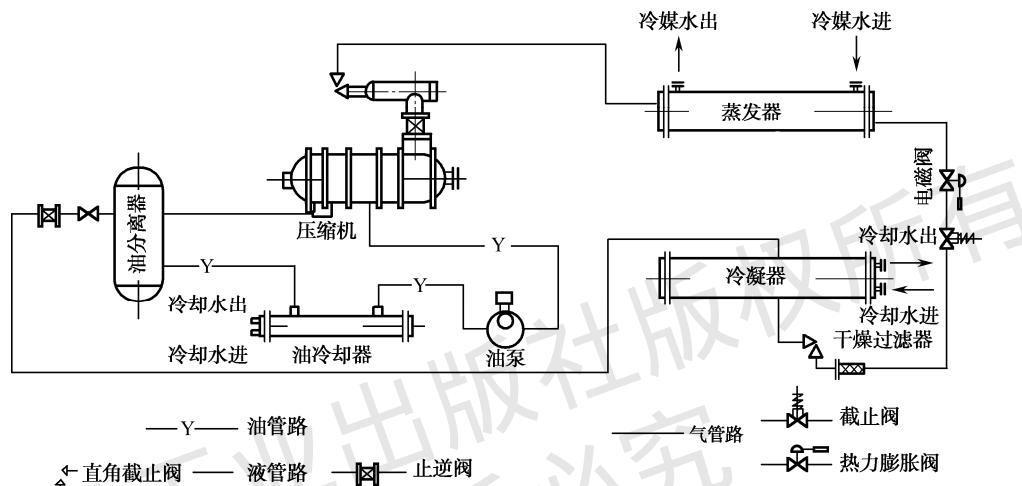


图 1-12 典型螺杆压缩式冷水机组制冷循环系统

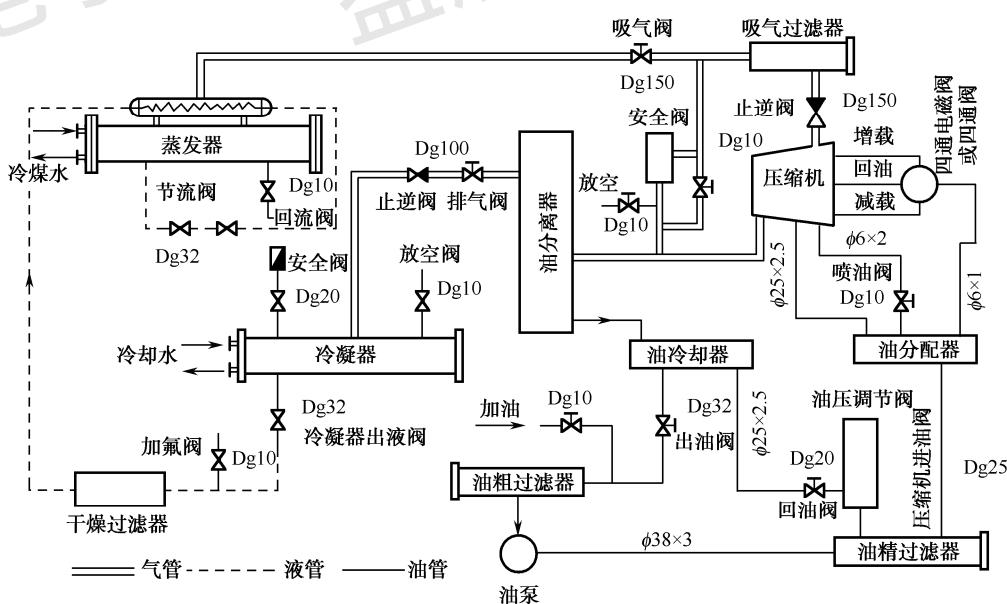


图 1-13 螺杆压缩式盐水机组制冷循环系统

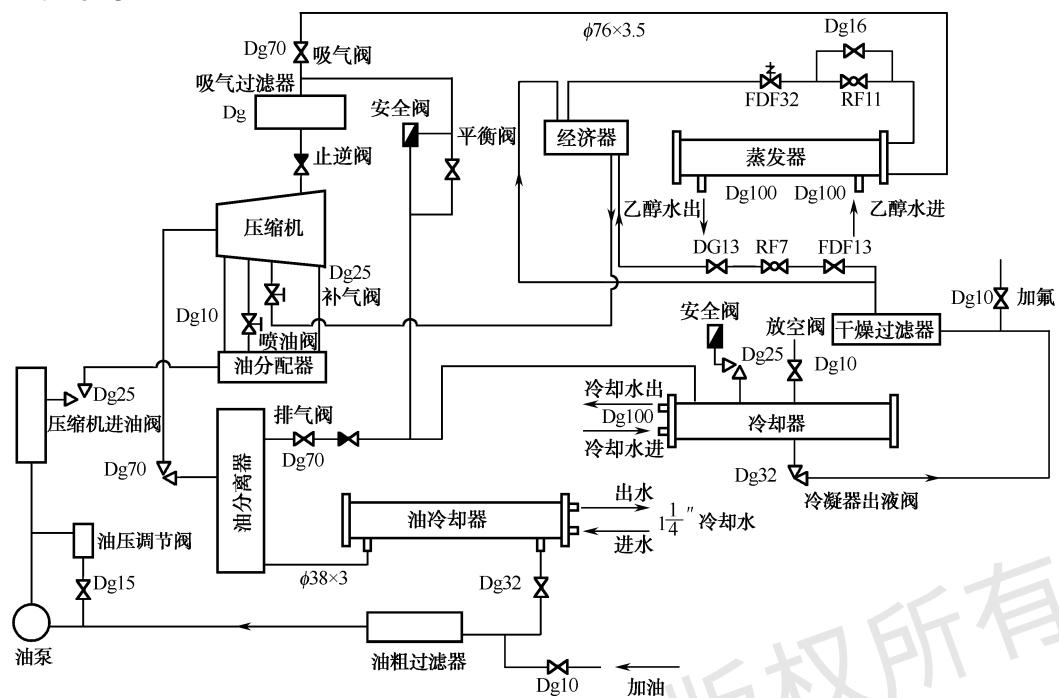


图 1-14 螺杆压缩式乙醇机组制冷循环系统

工作过程：

- (1) 吸气。气体经吸气口分别进入阴阳转子的齿间容积。
- (2) 压缩。转子旋转时，阴阳转子齿间容积连通（V形空间），由于齿的互相啮合，容积逐步缩小，气体得到压缩。
- (3) 排气。压缩气体移到排风口，完成一个工作循环。

2. 单螺杆制冷压缩机

利用一个主动转子和两个星轮的啮合产生压缩。它的吸气、压缩、排气三个连续过程是靠转子、星轮旋转时产生周期性的容积变化来实现的。

转子齿数为六，星轮为十一齿。

主要部件为一个转子、两个星轮、机体、主轴承、能量调节装置。

容量可以从 10%~100% 无级调节及三或四段式调节。

工作过程：

- (1) 吸气。气体通过吸气口进入转子齿槽。随着转子的旋转，星轮依次进入与转子齿槽啮合的状态，气体进入压缩腔（转子齿槽曲面、机壳内腔和星轮齿面所形成的密闭空间）。
- (2) 压缩。随着转子旋转，压缩腔容积不断减小，气体随压缩直至压缩腔前沿转至排风口。
- (3) 排气。压缩腔前沿转至排风口后开始排气，便完成一个工作循环。由于星轮对称布置，循环在每旋转一周时便发生两次压缩，排气量相应是上述一周循环排气量的两倍。

1.2.6 离心式冷水机组制冷系统

离心式冷水机组属于大型冷水机组，如图 1-15 所示，为典型离心式冷水机组外形。



1. 离心式冷水机组主要优点

- (1) 压缩机输气量大，单机制冷量大，结构紧凑，重量轻，单位制冷量重量小，与相同制冷量下比活塞式机组轻 80%以上，占地面积小；
- (2) 性能系数高；
- (3) 叶轮做旋转运动，运转平稳，振动小，噪声较低；
- (4) 调节方便，在较大的冷量范围内能较经济地实现无级调节
- (5) 无气阀、填料、活塞环等易损件，工作比较可靠。

2. 离心式冷水机组的主要缺点

- (1) 由于转速高，对材料强度、加工精度和制造质量要求严格；
- (2) 单级压缩机在低负荷时易发生喘振；
- (3) 当运行工况偏离设计工况时，效率下降较快；
- (4) 制冷量随蒸发温度降低而减少的幅度比活塞式快，制冷量随转数降低而急剧下降。



图 1-15 典型离心式冷水机组外形

3. 离心式冷水机组制冷原理

同活塞式冷水机组类似，构成离心式冷水机组的循环，如图 1-16 所示。其循环原理仍然为蒸发、压缩、冷凝和节流四个热力过程，所组成的单级和双级蒸汽压缩式制冷循环。其工作系统仍然是由蒸发器、离心式压缩机（单级和双级）、冷凝器和节流机构（装置）四大部件所组成的封闭式工作系统。在卧式壳管蒸发器中，制冷剂液体在较低的饱和温度（2~5℃）状态下吸收进入蒸发器传热管内冷媒水的热量（汽化潜热）而沸腾汽化（液态→气态），相对地使管内冷媒水出水温度下降为 7℃（标准工况），提供给中央空调系统中的气-水热交换器（空气调节系统中的表冷器和风机盘管）冷却送风，通过管道输送给空调对象，使其内部气温维持在规定的 26℃±2℃（标准空调工况）人体舒适感的温度范围之内，或其他空调区域所要求的非标准空调工况范围，达到中央空调的制冷目的。

在离心式冷水机组中无论采用高压（R22）制冷剂、中压（R134a）制冷剂和低压（R123）制冷剂，制冷剂在工作循环的全过程中，存在气态、液态、气 / 液混合态三种物理状态。制冷剂的气液相变主要发生在冷凝器（气→液）和蒸发器（液→气）之中。在压缩机中制冷剂呈过热蒸汽状态，在减压膨胀阀或线性浮球阀室中呈液态（少量“闪发”气态）。

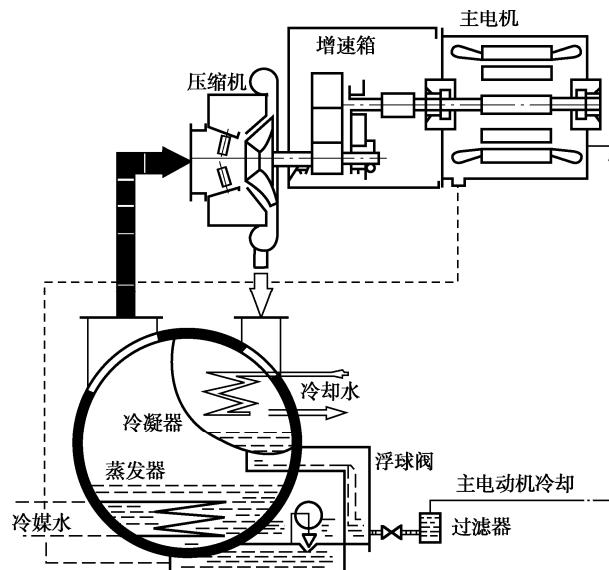


图 1-16 离心式冷水机组的循环系统

1.2.7 溴化锂吸收式冷水机组制冷系统

溴化锂吸收式冷水机组是用溴化锂水溶液为工质，其中水为制冷剂，溴化锂为吸收剂。溴化锂属盐类，为白色结晶，易溶于水和醇，无毒，化学性质稳定，不会变质。溴化锂水溶液中有空气存在时对钢铁有较强的腐蚀性。溴化锂吸收式冷水机组因用水为制冷剂，蒸发温度在0℃以上，仅可用于空气调节设备和制备生产过程用的冷媒水。这种冷水机组可用低压水蒸气或75℃以上的热水作为热源，因而对废气、废热、太阳能和低温位热能的利用具有重要的作用。

溴化锂吸收式制冷机的发生器、冷凝器、蒸发器和吸收器可布置在一个筒体内（称单筒式），也可布置在两个筒体内（称双筒式）。如图1-17所示，为典型直燃溴化锂吸收式冷水机组外形。

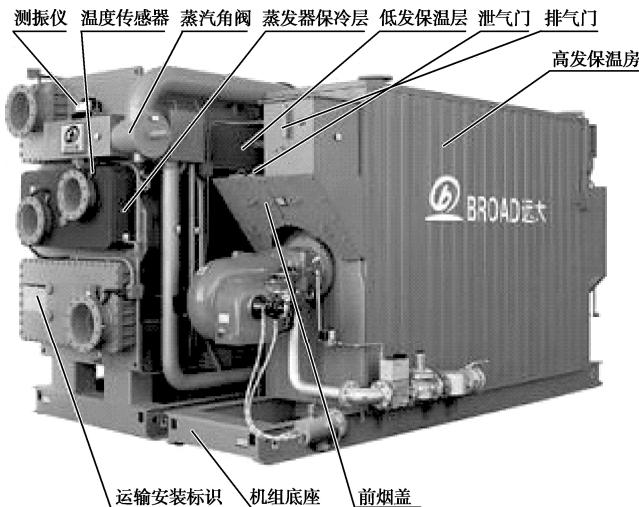


图 1-17 典型直燃溴化锂吸收式冷水机组外形

1. 工作原理

双筒溴化锂吸收式冷水机组的工作原理与单筒吸收式制冷机的工作原理相同，而差别在于，一使用蒸发器泵和吸收器泵，它们的作用是使冷剂水（制冷剂）和吸收液分别在蒸发器和吸收器中循环流动，以强化与冷媒水（载冷剂）和冷却水的换热；二在冷凝器至蒸发器的冷剂水管路和发生器至吸收器的吸收液管路上均无节流阀，这是因为溴化锂吸收式制冷机高压部分与低压部分的压差很小，利用U形管中的水封和吸收液管路中的流动阻力即可将高低压力分开。在单筒式机组中，冷凝器与蒸发器之间甚至可以不用U形管，而用一个短管或几个喷嘴代替。如图1-18所示，为溴化锂吸收式冷水机组工作循环系统。

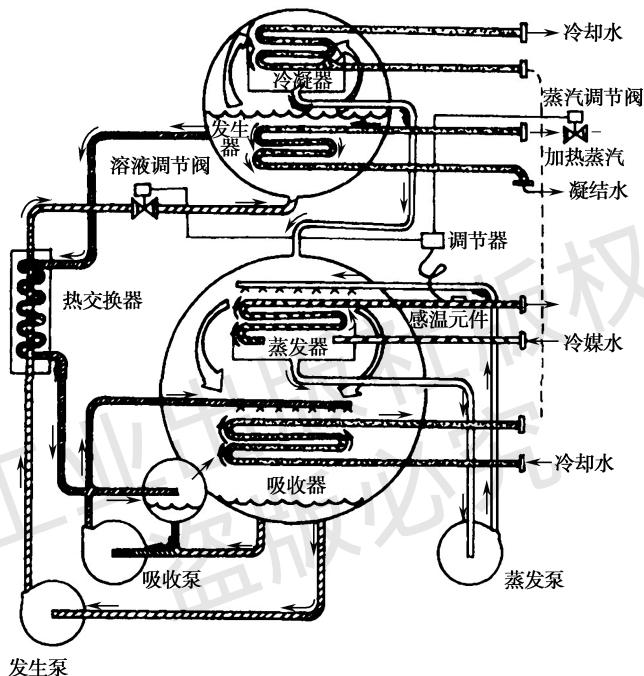


图1-18 溴化锂吸收式冷水机组工作循环系统图

2. 机组类型

溴化锂吸收式制冷机组有多种类型，如两级发生的溴化锂吸收式制冷机组，它可有效地利用高压加热蒸汽；两级吸收的溴化锂吸收式制冷机组，它可有效地利用低温位热能；直燃式溴化锂吸收式制冷机组，可利用燃油或燃气的燃烧直接加热等。

溴化锂吸收式制冷机组还可与背压式汽轮机组成联合装置，利用汽轮机的排汽作为溴化锂吸收式制冷机组的加热蒸汽，这样不但可提高水蒸气的利用率，且同时可以满足几种要求，例如制冷和发电。

目前，已经制造出溴化锂吸收式制冷机与离心式氟利昂制冷机联合工作的制冷机机组。它用背压式汽轮机直接驱动离心压缩机，并利用其排汽向溴化锂吸收式制冷机加热。这种机组可产生较大的冷量，也可在不同的蒸发温度下产生冷量。这种机组不但经济性好（汽耗率低），而且低负荷特性好，即在部分负荷时仍能保持较高的经济性。



习 题

1. 填空题

- (1) 所谓“制冷”就是指用_____的方法，不断地将_____的热量排到周围环境介质(空气或水)中去。而使被_____达到比_____更低的温度，而且在长时间内维持所设定的温度的过程。
- (2) 如果通过人工制冷而获得低于_____的温度环境，就必须采用以_____或其他形式的能量作为代价。
- (3) 制冷装置就是以消耗_____作为代价的_____设备。
- (4) 根据工作原理而分，制冷机可以分为：_____、_____、_____、_____ 制冷机四种。
- (5) 为了实现吸收制冷效应，需先从溴化锂溶液中_____冷剂水蒸气，并将它_____成制冷剂水，然后使其在_____下蒸发，用以产生制冷效应。

2. 简述

- (1) 参照蒸汽压缩制冷系统的工作流程图，简述蒸汽压缩制冷系统各部件的基本作用和工作流程。
- (2) 参照溴化锂吸收式冷水机组的工作系统流程图，简述机组的发生、冷凝、蒸发和吸收四个基本工作过程。

3. 实践

- (1) 对照实验教具或教学模型，使学生了解制冷系统的组成、系统设备的外形特征。
- (2) 由于制冰、冰库、冷水机组是大型设备，在有条件的学校，可以组织学生实地参观，并在基本制冷工作系统图的对照和在老师指导下，使学生形象地了解整个制冷系统的组成。