

热、电、冷学术交流会议

论文汇编

中国电机工程学会热电专业委员会

一九九四年十月

交流参考资料目录

1. 溴化锂吸收制冷的发展和应用 (1)
2. 大力推广吸收式制冷机,发展热电冷联合生产(11)
3. 推行溴化锂吸收制冷充分发挥热电机组效益(17)
4. 利用电气设备废热的供热、供冷系统(23)
5. MS6001燃气轮机的电热冷联供(28)
6. 热电冷联产及溴化锂制冷在纺织厂的应用(34)
7. 谈我厂热电冷联产经济运行的体会(40)
8. 不利条件下工业余热制冷的实现(46)
9. 溴化锂制冷技术在天津工业及民用空调系统中的应用(50)
10. 双效溴化锂制冷机在我省纺织空调中的应用(52)
11. 国内外溴化锂吸收式制冷机的发展动向与新技术新设备(55)

溴化锂吸收制冷的发展和应用

西安交通大学
机电部规划研究院

张祉
吴进发

吸收制冷是依靠吸收器——发生器组（也称热化学压缩机）的作用来实现一种制冷方法。它以热能为推动力，用二元溶液作为工质。其中低沸点组分用作制冷剂，即利用它的蒸发和冷凝来实现热量转换；高沸点组分用作吸收剂，即利用它对制冷剂的吸收和解吸作用来完成工作循环。利用这种方法可以组成吸收式制冷机、吸收式热泵和吸收式热变换器等，其中发展得较为完备的是吸收式制冷机，特别是溴化锂吸收式制冷机。本文拟简单地回顾一下溴化锂吸收式制冷机的发展，概要地介绍各种溴化锂吸收式机组的类型、特点及应用，并对溴化锂吸收制冷应用中的几个问题谈一些粗浅的看法。

一、溴化锂吸收式制冷机的发展概况

19世纪初，在英国就有人摸索吸收制冷的办法，到50年代，法国卡雷兄弟先后研制成功以硫酸和水及氨和水为工质的连续工作的吸收式制冷机。其中氨水吸收式制冷机取得了美国的专利，并得到了进一步的发展。1874年以后，随着氨蒸气压缩式制冷机的问世和发展，特别是1930年以后随着氟利昂工质的出现，在大半个世纪中，蒸气压缩式制冷机几乎占据了制冷技术领域的各个方面，除家用吸收扩散式冰箱及特殊条件下利用余热的氨吸收制冷机外，吸收制冷并不引人注目，只是制冷技术工作者还没有完全忘却。第二次世界大战结束之后，美国开利（Carrier）公司研制大型空调用吸收式冷水机组，并于1945年试制成功了第一台溴化锂吸收式制冷机，制冷量为520KW($45 \times 10^6 \text{kcal/h}$)。这一种新型制冷机的出现，不但挽救了吸收式制冷机的命运，而且丰富了制冷技术的内容，同时也为利用低温位热能制冷开创了途径。历史和现实事实说明，这种制冷机具有很强的生命力和发展前途，在不到半个世纪的时间内，溴化锂吸收式制冷机在类型、结构、性能、产量和应用等方面，都有很大的发展；而且生产国也从美国扩展到日本、原苏联、中国和其它一些国家。

在溴化锂吸收式制冷机的技术开发方面，美国一直处于领先地位。美国1945年最早研制了单效溴化锂吸收式制冷机，并于1961年由斯太特哈姆(Statham)公司试制了两效溴化锂吸收式制冷机，而且最早把溴化锂吸收式制冷机应用于舰艇和核潜艇。为了满足用户的需求，在美国还开发了以煤气（或煤油）为燃料的直燃型溴化锂吸收式制冷机及家用无泵的小型直燃（煤气）溴化锂吸收式制冷机。自80年代以来，在美国还进行利用太阳能和低温位余热的吸收式制冷机、家用吸收式制冷机、高效直燃型吸收式冷温水机组及空冷型吸收式热泵的开发研究，及电子计算机在吸收式制冷机上的应用研究。但美国溴化锂吸收式制冷机的产量一直不大。例如开利公司在1945年以后的20年中总共只生产了3000台制冷机；70年代前期全美最高年产溴化锂吸收式制冷机1000台，占冷水机组总年产量的6.0%左右；而1975年之后逐年下降，1983年只生产溴化锂吸收式制冷机150台，占冷水机组总年产量的1.4%。出现这种情况的主要原因是美国的电力供应充沛，电费比较便宜，而天然气和石油的价格上涨率相对较高。这是由美国的条件所决定的。

日本的吸收式制冷机技术最初是从美国引进的，起步比美国晚十多年，但发展速度比美国快；在技术开发方面几乎与美国同步，而产品的产量大大超过美国。日本在1959年试制出第一台容量为700KW($60 \times 10^6 \text{kcal/h}$)的单效吸收式制冷机，紧接着于1961年（与美国同年）研制成

功以蒸汽为热源的两效溴化锂吸收式制冷机；随后于70年代发展了直燃型两效溴化锂吸收式冷水机组、高效率两效溴化锂吸收式制冷机、用高温水的溴化锂吸收式制冷机以及利用太阳能和其它低温位热能的溴化锂吸收式制冷机。日本在60年代末，溴化锂吸收式制冷机的年产量达173台，占大型冷水机组年产量的16.3%。进入70年代后，适应世界石油危机引起的能源结构的变化，日本的溴化锂吸收式制冷机的生产迅速增加。1979年共生产991台，占大型冷水机组年产量的81.6%；1986年共生产1200台，约占大型冷水机组年产量的75%。70年代中期以后，直燃型吸收式冷水机组产量不断增加，1986年达到年产1000台，占吸收式冷水机组年产量的83.3%，在这一时期中还特别注意节能，并取得显著效果，例如高效率两效溴化锂吸收式制冷机的单位能耗大约只有单效机的一半。此外还特别注意发展利用低压蒸汽(0.3~0.4MPa)的两效溴化锂吸收式制冷机。

原苏联溴化锂吸收式制冷机的发展较日本约晚一个年代，到1965年才研制成第一台容量为2900kW(250×10^4 kcal/h)的工业性样机。生产情况不详，估计在30多年中约生产数千台。值得特别提出的原苏联在发展溴化锂吸收式制冷机方面非常重视制冷机工作过程的理论分析和样机的试验研究，包括在样机上对各个部件的性能进行在线试验研究，从而取得了比较丰富的理论和试验依据。在此基础上，原苏联的制冷机技术工作者对溴化锂吸收式制冷机的设计提出了许多有益的建议和措施，例如：采用喷淋式发生器（特别是当应用低温位热源时），以减轻溶液静液柱对发生过程的影响；在设计中应考虑吸收过程和发生过程的不完善性，并根据试验结果对不同结构型式的发生器和吸收器推荐了发生不足和吸收不足的大致变化范围；对蒸发器采用低阻力的挡液板，以降低制冷剂蒸汽的流动阻力；对热、质交换过程分开进行的发生器和吸收器的特性进行了研究，并在机组中进行试用；研究配制了专门的缓蚀剂，并建议停用时机内充氮，以减轻腐蚀。原苏联在溴化锂吸收式制冷机方面进行的研究工作是卓有成效的，有些技术已被各国引用；但所生产制冷机的品种较少。

我国溴化锂吸收式制冷机的生产和应用稍迟于原苏联，于1966年在上海试制成功容量为1160kW(1000×10^4 kcal/h)全钢结构的单效制冷机。为了试生产这种制冷机，曾对溴化锂溶液的物理性质、传热特性及其对金属材料的腐蚀特性做过必要的研究性试验，并预制二台小容量的样机进行性能试验和船用条件试验。从那时起到70年代末的十多年中，由制冷机制造厂和使用单位分头制造的单效机大约有50台。由于受生产技术和经验的限制，这一时期生产的制冷机多数未能达到设计要求，性能指标低、寿命短、个别机组甚至无法正常使用。1979年上海第一冷冻机厂在引进日本技术的基础上设计制造的1160kW(100×10^4 kcal/h)单效机和1982年开封通用机械厂等单位研制的1740kW(150×10^4 kcal/h)两效机的问世，对我国溴化锂吸收式制冷机的生产是一个转机。进入80年代以来，溴化锂吸收式制冷机的生产明显加快，现在生产厂约有十家，每年生产制冷机300台左右（折合为每台1160kW）。除此之外，近年来还研制了0.25MPa和0.4MPa的低压蒸汽两效溴化锂吸收式制冷机。总的来说，我国的溴化锂吸收式制冷机产量不算高，类型也比较少，同我国的国情似乎不大相称。

二、溴化锂吸收制冷技术的开发和应用

经过几十年的发展，溴化锂吸收制冷技术在制冷机的基础上得到了进一步的开发，出现了溴化锂吸收式热泵、溴化锂吸收式联产装置、利用低温位热能的溴化锂吸收式机组等。应用这些装置可以达到不同的要求。下面对溴化锂吸收式制冷机及各种装置的类型、特性及应用作一简要介绍。

1. 溴化锂吸收式制冷机

制冷机是用来从低温物体吸取热量（即制冷）交将其转移到环境介质中去其功用是使物

体降温或保持一个比环境介质温度低的低温空间。溴化锂吸收式制冷机一般都做成冷水机组，对外提供低温的冷媒水，用于空气调节或生产工艺过程，并通过冷媒水的循环流动完成冷量的输送和分配。只有小型机组可以做成直接用来冷却空气，制冷量由几千瓦到几十千瓦，而且一般都设计成无泵型。目前无论从容量和年产量来看，冷水机组型是溴化锂吸收式制冷机的主要型式。

溴化锂吸收式制冷机按其加热热源的特性可分为蒸汽型、直燃型和热水型。水蒸汽做热源的特点是利用凝结过程的潜热，因而加热温度恒定；温位的高低取决于加热蒸汽的压力。直燃型加热温度较高，且在加热过程中温度变化较大。热水型若用常压热水，加热温度较低，在 100°C 以下，能用高压（高温）热水，加热温度可高达 200°C 。用热水作热源时，加热过程温度也不断降低。此外还可应用排放的废气作为加热热源，其温度一般均较高，可以有两种利用方式：一种是应用直燃型制冷机；一种是通过废气锅炉产生水蒸汽或高温热水，直接应用蒸汽型或热水型制冷机。

溴化锂吸收式制冷机按其工作过程（完成循环的方式）可分为单级发生制冷机（即通常所说的单效机）、两级发生制冷机（即通常所说的两效机）和两级吸收制冷机。单级发生制冷机一般用表压为 0.1MPa 的低压蒸汽或温度为 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的热水为加热热源，当蒸发温度在 5°C 左右时热力系数为 0.7 。两级发生制冷机一般用 $0.6\sim 1\text{MPa}$ 的蒸汽或 $160\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的热水为加热热源，它是充分利用高温热源的一种有效方法，其热力系数比单效机约高出 60% 。直燃型制冷机可以设计成两级发生，也可设计成单级发生，自然前者的热力系数比后者要高得多。因此，直燃型制冷机理应用两级发生循环，但对于小型机组，为简化设备，多采用单级发生循环。两级吸收制冷机是一种能有效地利用低温位热能（例如温度为 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 的热水）的机型，它包括两个发生器和两个吸收器。在这种制冷机中，蒸发器中产生的蒸汽在低压吸收器（其工作压力取决于蒸发温度）被吸收后形成的稀溶液，流经第二溶液换热器被加热后进入低压发生器（其工作压力介于蒸发压力与冷凝压力之间），被热水加热并蒸发出一定量的水蒸汽，所余留的浓溶液返回低压吸收器而发生的蒸汽进入高压吸收器被另一部分浓溶液吸收，在高压吸收器中形成的稀溶液被泵入高压发生器（其工作压力取决于冷凝温度），被另一路热水加热而蒸发，余留的浓溶液返回高压吸收器，而发生的蒸汽在冷凝器中冷凝后进入蒸发器中蒸发制冷。这种制冷机包括两个逆向循环，两者的温度水平大致相当，而低压循环中溶液浓度在 60% 左右变动，高压循环中溶液浓度在 50% 左右变动。这种制冷机的热力系数约在 0.4 左右。由以上的说明可行，在设计和选用溴化锂吸收式制冷机时，采用哪种机型，主要是决定于加热热源的种类和特性。当然也应考虑用户的具体条件，但主要应考虑加热热源的有效利用。

2. 溴化锂吸收式热泵

热泵也是用来从低温物体（包括环境介质）吸收热量并其转移到较高温度的物体中去，其目的是为了供热，例如提供热水，用于采暖、生活或生产工艺过程。热泵和制冷机虽然都是按逆向循环工作，但目的不同，在流程组织和实现循环的方式方面存在有差异。溴化锂吸收式制冷机需要有低温、中温和高温三个热源，即通常所用的冷媒水、冷却水和加热介质（包括蒸汽、热水和燃气等），它是利用高温热源同中温热源间的位势差将低温热源的热量转移到中温热源中去。实现吸收式热泵循环也需要有不同温度的三个热源，但由于目的不同，可以有不同的流程组织，从而出现了第一种吸收式热泵和第二种吸收式热泵。

第一种溴化锂吸收式热泵是利用高温热源与中温热源间的位势差将低温热源的热量提高中温热源温度。即以高温热源的热能为推动力，在中间温度下对外供热。这种热泵也有单级发生与两级发生之分，它们分别与单效制冷机及两效制冷机完全相似，只是吸收器和冷凝器的工

作温度较高,用来对外输出热量。这种吸收式热泵的工况系数(供热量同耗热量之比)恒大于1,但受工作条件的限制,供热温度不宜过高。单级发生的吸收式热泵适用中等的热源温度,两级发生的吸收式热泵适用于较高的热源温度。此外有人提出了两级吸收的溴化锂吸收式热泵,

(1) 它的工作过程同两级吸收的溴化锂吸收式制冷机不同,按其特性仍属第一种吸收式热泵,但供热温度较前两种为高。

第二种吸收式热泵是以中温热源的热能(例如工业余热、地热等)为推动力,在较高温度下对外供热(即利用中温热源与低温热源的位势差将低温热源的热量转移到高温热源)。这种吸收式热泵的工况系数恒小于1,但供热温度却比较高(可供 100°C 或更高温度的热水)。第二种吸收式热泵也是由发生器、吸收器、冷凝器、蒸发器和溶液热交换器组成,但其工作过程同单效制冷机不同,用中温热源对蒸发器和发生器加热,用吸收器对外供热;因而吸收器和蒸发器在较高压力下工作,发生器和冷凝器在较低压力下工作($P_o > P_k$)。它要求较低的冷却水温度,故应用受到限制。

3. 溴化锂吸收式联产装置

应用溴化锂吸收式制冷原理和特点,可以设计几种联产装置(或称联合装置),用以进行几种形式能量的联合生产。

一个单位装设几台锅炉,冬季用于采暖,夏季通过溴化锂吸收式制冷用于空调,并常年供应生活用热水,这是一种联合生产热量和冷量的方式。利用热电厂的汽轮机抽汽或背压式汽轮机的排汽向生产单位或居民点供热,并再通过溴化锂吸收式制冷机提供冷量,这是一种电、热、冷的联产方式。广义地讲,这些都是联产的形式;但在这些形式的联产中,并不涉及溴化锂吸收式制冷机系统及性能的改变,故不在本文的讨论范围之内。

应用溴化锂吸收式制冷设计冷、热联产装置是比较便当而且经济的,本来,应用一般的单效及两效制冷机,只要提高冷凝压力(同时提高低压发生器的工作压力),就可实现冷、热联产。但因受制机特性的限制,只能提供 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ 的温水(即冷却水),应用价值不大;而如果要求提高温水温度,蒸发温度就会随之提高,失去制冷的意义。故这种联产方式实际上是不可取的。现在发展起来的是直燃型两效吸收式冷温水机组,它已有三十多年的历史。这机组还可设计成小型(几千瓦至几十千瓦),用于家庭及小的企事业单位。

现在发展起来的直燃型溴化锂吸收式冷温水机有两种类型。一类是交替制冷和供热的,它就是普通的两效制冷机,夏季用于空调时按制冷循环工作,对外提供冷量;冬季用于采暖时,通过管路的转换使蒸发器停止工作,吸收器只对温水起加热作用(不发挥吸收作用),温水依次在吸收器和冷凝器中被加热到较高的温度,可满足采暖的要求。这类冷温水机组在管路连接方面虽然可以有不同的方式,但其工作方式是相同的。另一类是可以同时制冷和供热的冷温水机组,它是在直燃式两效机中加一个热水器,用高压发生器中产生的蒸汽来加热,在不停止制冷的情况下同时对外供热。热水器有两种接入方式:一种方式是同高压发生器并联,加热蒸汽的凝水仍回流入高压发生器中,称为普通型;另一种方式是同低压发生器并联,加热蒸汽的凝水流入冷凝器中,称为经济型。很显然,在经济型接入方式中,凝水将流入蒸发器中蒸发制冷,故在制冷量不锐减的情况下可以节约能耗。(2) 由以上的介绍和分析可知,当前已开发的溴化锂冷温水机组,仅是在原有制冷机的基础上增添了对外供热的功能,所供热量是全由高温热源通过高压发生器提供的,还没有同吸收式热泵原理结合起来。同热泵原理相结合可以设计出新的冷、热联产的装置。实现这样的装置需要有一定的条件(有可资利用的低温余热),但其热力系数将会大幅度提高。

溴化锂吸收式制冷机同汽轮机驱动的离心式制冷机的联合运行,也可算一种联产装置,它

可以提供不同温度下的冷量（但已开发的装置均系提供空调用冷量）。这种装置的氟利昂制冷压缩机是用背压式汽轮机驱动，而汽轮机的排汽（约0.1MPa表压）作为单效溴化锂吸收式制冷机的加热热源。这种装置适于应用高压水蒸汽，如果蒸汽压力在1MPa以下，则其单位汽耗不一定比两效制冷机低，而装置却比较复杂。（2）但对于高压蒸汽，如果用吸收制冷，则需用三级发生的溴化锂吸收式制冷机。

4. 应用低温位热能的溴化锂吸收式制冷机

溴化锂吸收式制冷机的发展使利用低温位热能制冷成为可能。低温位热能一般包括工业废热、地热和太阳热，它们通常以水为载体，温度在100℃以下。故利用低温位热能制冷，实即利用常压热水进行制冷。利用这些热源制冷，无疑将丰富吸收制冷技术的内容，增多吸收制冷机的品种。

对于温度在85℃以上的工业废热水，应用单效机即可有效地进行制冷。在这种热水型制冷机中，热水的进出口温差一般为5~10℃，热力系数可达0.55~0.65。这种废热水一般情况下温度和流量较稳定，使用中没有什么特殊问题需要考虑。对于温度为70~80℃左右的热水制汽机正研制中。

利用太阳热制冷时，集热器的费用较大，且随热水温度的提高急剧增大，故存在最适宜的集热温度，一般为85~90℃。因受集热面积及太阳能密度的限制，太阳热溴化溴锂吸收式制冷机一般多为小型（按无泵循环或有泵循环工作）。因受气温高低、天气阴晴及昼夜交替的影响，太阳能集热器所能提供的热量和热水温度变化很大。为此常采取这样的补救措施：在系统中设置蓄热器或蓄冷器；或者在系统中设置辅助热源，用来加热水。此外，还可以增设一个用外热源加热（如燃烧加热）的高压发生器，这样便构成单效两效复合型溴化锂吸收式制冷机。

三、对几个问题的探讨

1. 吸收式制冷机的工况系数

现在对于吸收式制冷机的工况特性是用热力系数 ζ 表示，对于单效制冷机它是定义为制冷量 Q_0 与加热量 Q_g 之比：

$$\zeta = Q_0 / Q_g \quad (1)$$

这一定义仅是从能量的数量关系考虑的，没有考虑加热热量的品质，即没有考虑加热介质温度高低的影响。根据这一定义，两台制冷机，只要 Q_0 与 Q_g 分别相等，尽管加热介质的温度不同，但却认为它们具有相同的工况特性。这显然是不合理的。这种情况对于两效制冷机（及其它类型的吸收式制冷机）同样存在。而且如文献（1）提到的，对于两效机热力系数可以有两种定义：

$$\zeta = \frac{Q_0}{Q_{g1}} \quad \text{或} \quad \zeta = \frac{Q_0}{Q_{g1} + Q_{g3}} \quad (2)$$

其中 Q_{g3} 是凝水换热器的加热量。这就更容易引起混乱。

为了考虑加热热源温度的影响，热学工作者提出了吸收式制冷机有效效率（效率）的概念，可表示为

$$\eta_e = \zeta \times \frac{T_a - T_0}{T_0} \times \frac{T_k}{T_k - T_a} \quad (3)$$

其中 T_0 是蒸发温度， T_a 是环境介质温度、 T_k 是加热热源的热力学平均温度。这种表示方法虽含义确切，学理性强，但直观性差，不能量用于能量的直接换算；而且对于同一加热热源因制冷机工作参数选取不同而有不同的 T_k 值，因而部分地失去了客观性。

作者建议定义一个新的热力系数

$$\zeta = Q_0/Q_k \quad (4)$$

来表示溴化锂吸收式制冷机的工况特性,并建议取名为“约定热力系数”。上述定义式中 Q 是加热介质最大限度能提供的热量

$$Q_k = G_k(h_1 - h_a) \quad (5)$$

其中 G_k 是加热介质每小时的流量, h_1 是加热介质进入制冷机时的焓值, h_a 是加热介质被冷却到环境介质温度 T_a 时的焓值,而 T_a 可取为冷凝温度或冷却水平均温度。由式(1)、(4)可知

$$\zeta_{aPP} = \zeta \times \frac{Q_a}{Q_k} = \zeta \times \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_a} = \zeta / (1 + \frac{h_1 - h_a}{h_1 - h_2}) \quad (6)$$

其中 h_2 是加热介质离开制冷机时的焓值。当加热介质为气体或热水时,如果忽略比热随温度的变化,则

$$\zeta_{aPP} = \zeta \times \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_a} = \zeta / (1 + \frac{t_2 - t_a}{t_1 - t_2}) \quad (6a)$$

很显然,总是 $\zeta_{aPP} < \zeta$, 在极限情况下(当 $t_2 = t_1$ 时) $\zeta_{aPP} = \zeta$ 。

采用“约定热力系数”这一概念,比较直观,能用于能量转换的计算,而且在使用中不会招致混乱。可能有人会提出这样的问题:热量

$$\Delta Q_k = Q_k - Q_g = G_k(h_2 - h_1) \quad (7)$$

制冷机没有利用,不应记入加热量中。事实上 ΔQ_k 是可以利用的,例如设置溶液预热器及两效机中的凝水换热器,只是由于某种原因制冷机没有利用或没有完全利用罢了。故将 ΔQ_k 记入加热量中是合理的。

2. 溴化锂吸收式制冷与节能

过去人们有一个模糊的概念,即应用溴化锂吸收式制冷可以节能。这一概念主要是从它可以利用废汽(绝对压力为 $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 的水蒸汽)、废热(100°C 以下的热水)来制冷这一事实得出的。但从热力学过程考虑,溴化锂吸收式制冷是否节能,即是否具有较高的能量转换效率,则缺乏明确的、共同的认识,因而一些人持怀疑或否定的意见。

的确,单效溴化锂吸收式制冷机的单位汽耗是比较大的,例如,当应用 0.1 MPa (表压)的水蒸汽及蒸发温度为 5°C 时,每 1000 kcal 冷量的汽耗约为 $2.5 \sim 2.8 \text{ kg}$ (实测),这一数值远高于用现代化热力发电厂产生的电力去驱动制冷压缩机进行制冷所折合的单位汽耗,甚至于比用 0.1 MPa (表压)的蒸汽通过凝汽式汽轮机发电(效率低、故实际上是不用的)所折合的单位汽耗计算值还要大。因之单效溴化锂吸收式制冷机的能量转换效率是比较低的,或者说其热力学完善度是比较差的。但是随着蒸汽压力的提高,当应用多级发生的溴化锂吸收式制冷机(两效机、三效机)时,情况则有所不同。根据计算(参见附表),对于 $0.7 \sim 1 \text{ MPa}$ 的低压水蒸汽,当应用两效机(且 $t_0 = 5^\circ\text{C}$,下同)制冷时,单位汽耗虽然仍高于现代化热力发电所折合的单位汽耗,但已同用低压蒸汽发电所折合的单位汽耗可以相比,而对于 $3.5 \sim 4 \text{ MPa}$ 的中压蒸汽,当应用三效机制冷时,单位汽耗不但低于用中压蒸汽发电所折合的单位汽耗,甚至略低于现代化热力发电(用 9 MPa 的水蒸汽)所折合的单位汽耗。这一结论,1970年就有人提出,文献(3)(第11页)并已作过报导。这就说明,多级溴化锂吸收式制冷机的热力学完善度是较高的。随着溴化锂吸收式制冷机性能的不断改进,这一优越性可能更会显著。

对于上述情况,我们也可通过热力学计算予以说明。由式(3)可知,当吸收式制冷机的有效能效率时热力系数达到理论上的最大值

$$\zeta_{\max} = \frac{T_0}{T_a - T_0} \times \frac{T_k - T_a}{T_k} \quad (8)$$

而实际的热力系数为 ζ ，从而可计算出热力学完善度

$$\eta_T = \zeta / \zeta_{\max} \quad (9)$$

例如对于 $t_0 = 5^\circ\text{C}$ ($T_0 = 278\text{K}$)、 $t_a = 40^\circ\text{C}$ ($T_a = 313\text{K}$)的制冷工况，对于单效、双效及三效制冷机，当分别取 $t_k 120^\circ\text{C}$ 、 170°C 及 250°C 时 其热力学完善如下

	Tk, K	$\zeta_{\max}$	ζ	η_T
单效机	393	1.617	0.68	0.421
双效机	443	2.331	1.15	0.493
三效机	523	3.189	1.75[3]	0.549

由计算结果可以看出两点：(1)确实是单效机的热力学完善度低于多效机；(2)无论是单效机或多效机，其热力学完善度都不算高，都有很多值得改进之处。这些改进应包括工作过程、传热及结构等方面的内容。故在溴化锂吸收制冷方面，研究和开发的任务仍然是很重的。

3. 溴化锂吸收制冷在我国应用的展望

溴化锂吸收式制冷机在我国已有25年的历史，但到现在每年只生产300台左右；社会拥有量估计不超过2000台，总容量不超过 $2 \times 10^6 \text{kcal/h}$ 。这一情况显然是同我国的国情不相称。这样提法不仅是考虑到我们国家大、人口多。而主要是考虑到：(1)我们有一大片国土处于亚热带及热带地区，发展空调降温设备的需要应该说是很大的；(2)在我国的能源结构中，电力的供应是相对较弱的，在空调用制冷设备的发展中应优先考虑发展溴化锂吸收制冷；(3)我国已初步建成一个完整的工业生产体系，其中基础工业（包括冶金、化工、石油、发电等）占一定的比例，这些工业在生产过程中排放出大量的余热，可用来发展溴化锂吸收制冷。

因此，在我国发展溴化锂吸收制冷的客观需要是存在的，发展的条件也是具备的。国务院1987年(25)号文件也明确指示对大面积空调应采用溴化锂制冷。下面对我国溴化锂吸收制冷的发展提几点粗浅的想法，供有关方面参考。①应以发展蒸汽型及热水型制冷机为主，并优先发展两效机。我国一次能源中煤占主要地位，石油相对较少，煤气所占比例更少。为了不同其它工业部门争油，不同居民生活争煤气，直燃型溴化锂制冷机似乎不应作为发展的重点。为了利用废汽和余热，应发展蒸汽型及热水型单效制冷机。而对于应用燃料的制冷机，无论是蒸汽型或直燃型，都应优先发展两效机，以提高能源的利用率。②对工业生产与生活同样重视。应该认识到空调不仅是保证产品质量的必要措施，同时也是提高工作和学习效率、增进身体健康的手段。故应该破除过去那种“先生产、后生活”的观念，而应对生产和生活同样重视。同时还应看到，随着生产的发展和水平的提高，人们对空调降温的欲望也在与日俱增。溴化锂吸收制冷若能进入车间、机关、学校，甚至进入寻常百姓家中其发展前途将是无量的。③产品应多样化。不仅应发展吸收式制冷机，还应发展吸收式热泵、吸收式冷温水机组及其它形式的吸收式联产装置。制冷机在大、中型为主的前提下，是否也应发展小型机组，以满足各方面的不同要求。此外，还应考虑一些用户的特殊条件及特殊要求，产品应能做变型设计，或者对个别用户进行单件设计。④应结合生产的需要开展系统性的科学研究工作。25年来我国的溴化锂制冷基本上是在摸索中发展起来的，设计人员的经验在设计工作中起着很大的作用。引进一些技术，产品便可长进一步。也进行一定的科研工作，但多系自发的，且系统性显得不够，尚不能作为进行生产的支柱。因此希望有专门的机构，能组织系统的科研工作，以增多产品种类和提高产品性能为主要目标，使我国的溴化锂吸收制冷技术能长足进步，接近并赶上世界先进水平。

不当之处，请批评指正。

参考文献

- (1)郑玉清、吴进发、耿惠彬编著：两效溴化锂吸收式制冷机及应用,机械工业出版社,1990。
- (2)(日)高田秋一著,耿惠彬、戴永庆、郑玉清译：吸收式制冷机,机械工业出版社,1987。
- (3)(德)S.Nowotny等著,田长城、王业运、晏家济译：制冷中的节能,湖北及武汉市制冷学会,1984。
- (4)马建隆、宋之平等编：实用热工手册,水利电力出版社,1988。

附表：单位汽耗率计算

	项目	计算结果						
工作蒸汽	初压力 p_1 ata	2	2	10	10	40	40	90
	初温度 t_1 °C	119.6	240	179	320	249.2	435	535
	初焓 h_1 kcal/kg	645.8	704.4	663	738.3	669	786.5	829.8
凝汽发电驱动压缩机制冷	凝汽温度 t_k °C	40	40	40	40	40	40	40
	膨胀后焓值 h_2 kcal/kg		571.2		536.7		512.6	504.1
	等熵焓降 Δh_2 kcal/kg		133.2		201.6		273.9	325.3
	理论汽耗率 d , kg/(kw·h)		6.46		4.27		3.14	2.64
	相对电效率 η_e^*		0.71		0.725		0.78	0.825
	实际汽耗率 d_a , kg/(kw·h)		9.09		5.88		4.03	3.21
	单位制冷量 k_e , kcal/(kw·h)		3500		3500		3500	3500
	制冷单位汽耗率 g_r , kg/1000kcal		2.60		1.68		1.15	0.29
溴化锂吸收制冷	凝水排出焓值 h_3 , kcal/kg	120	120	80	80	80	80	
	单位加热量 q_h , kcal/kg	525.8	584.4	583	658.3	589	706.5	
	热力系数 ζ	0.68	0.68	1.15	1.15	1.75	1.75	
	制冷单位汽耗率 g_r , kg/1000kcal	2.80	2.52	1.49	1.32	0.97	0.81	
联合装置(2)	背压力 P_b ata			1.8		1.8		
	制冷单位汽耗率 g_r , kg/1000kcal			1.61		1.26		

*根据(4)所引数据推算

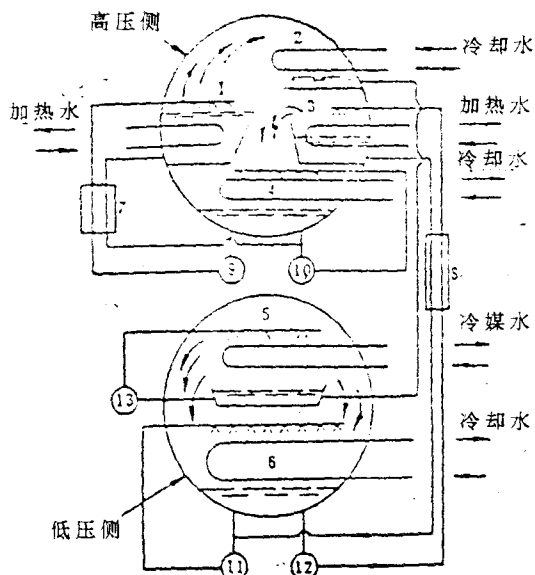


图1 两级吸收式制冷机系统图

- 1—高压发生器；2—冷凝器；3—低压发生器；4—高压吸收器；5—蒸发器；6—低压吸收器；
7—第一溶液热交换器；8—第二溶液热交换器；9—第一发生器泵；10—第一吸收器泵；
11—第二吸收器泵；12—第二发生器泵；13—蒸发器泵。

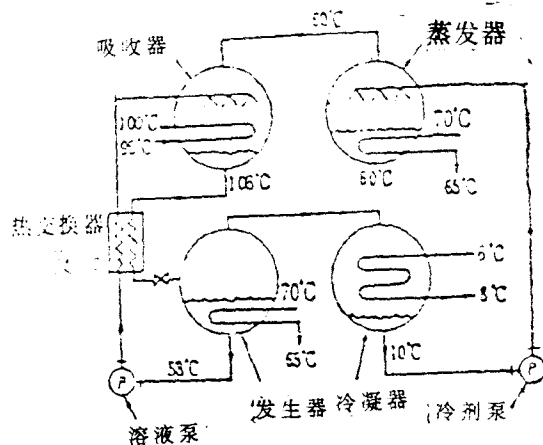
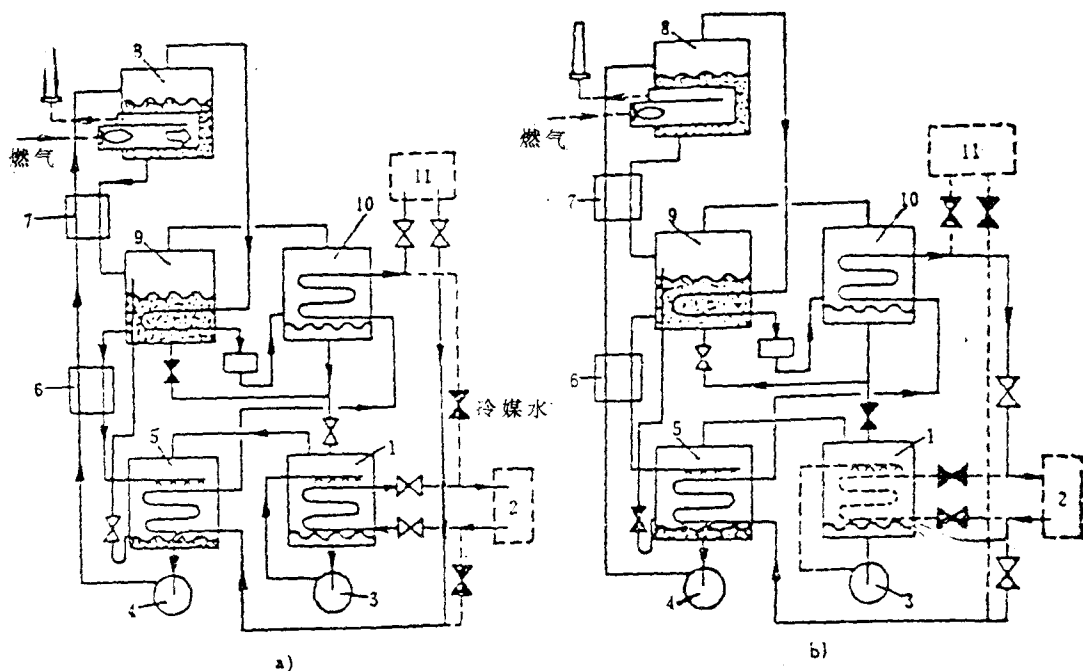


图2 第二种热泵系统图



图三 直燃两效吸收式制冷温水机循环

a) 制冷循环 b) 采暖循环

▶◀— 阀门 ◀▶— 阀门

- 1—蒸发器 2—空调器 3—冷剂泵 4—溶液泵 5—吸收器 6—低温热交换器 7—高温热交换器
8—高压发生器 9—低压发生器 10—冷凝器 11—冷却塔

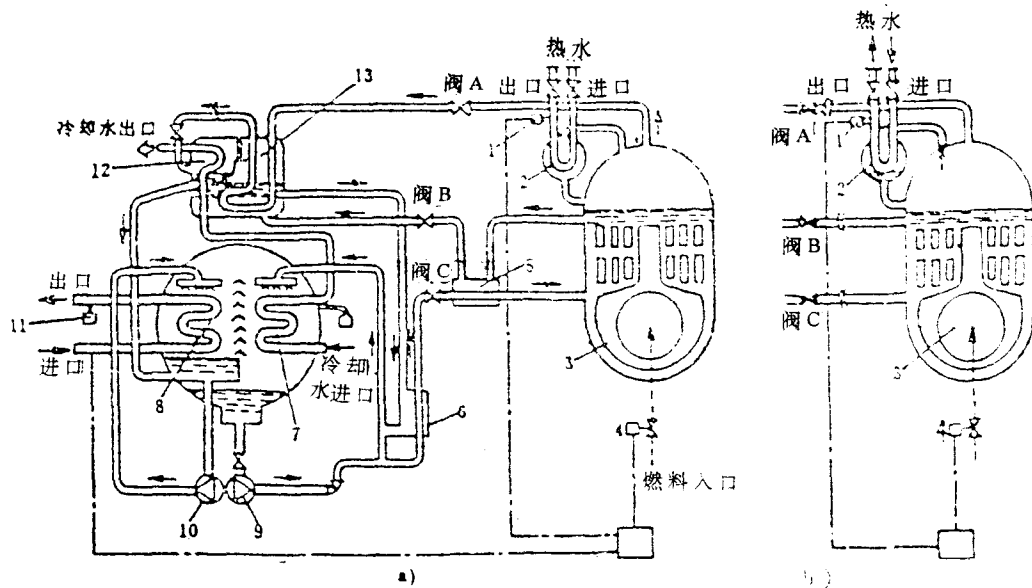


图4 另外设置热水器的机型

a) 制冷循环 b) 采暖循环

1-热水恒温控制器 2-热水器 3-高压发生器 4-燃料控制阀 5-高温热交换器 6-低温热交换器
7-吸收器 8-蒸发器 9-溶液泵 10-冷剂泵 11-冷媒水恒温控制器 12-冷凝器 13-低压发生器

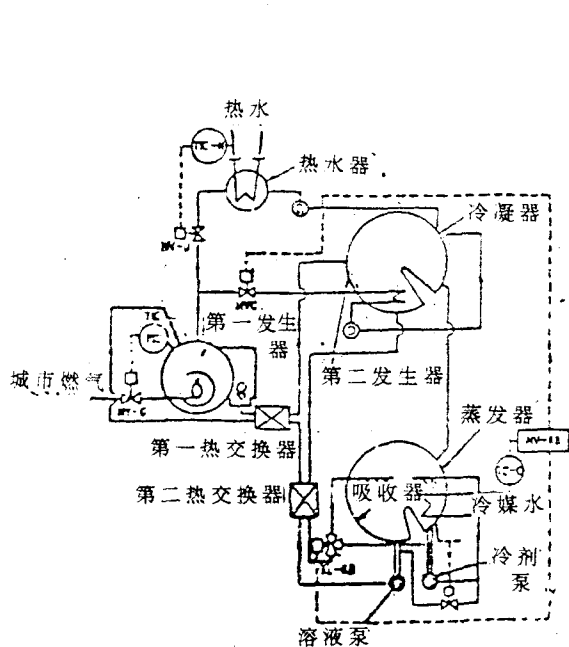


图5 经济型燃气冷温水机工作循环图

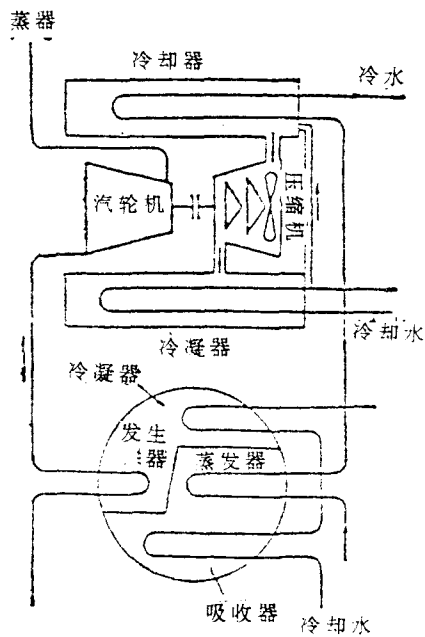


图6 汽轮机驱动的离心式制冷机与吸收式制冷机联合运行

大力推广吸收式制冷机, 发展热电冷联合生产

东南大学

杨思文

一、蓬勃发展的制冷空调市场

随着改革开放的不断扩大和深入, 我国国民经济生产总值增长迅速, 人民生活水平也有着大幅度提高, 过去主要只用于食品冷库冷藏、化工、制药、纺织等领域的制冷行业近些年来得到了特别迅猛的发展, 除了电冰箱在极短的几年中已早普及成为城市人民家家户户不可缺少的“大件”之一外, 食品冷藏链的其它各个环节和空调器的应用和发展也突飞猛进。尤其是空调装置, 已成现代化的标志之一, 它对保证产品质量、提高工作效率、发展旅游事业、提高人民生活水平等都起着重要的作用, 已日益广泛地应用于电子、轻纺、卷烟、机械制造、冶金焦化、金融、电讯、计算机房、医院、宾馆、餐厅、商场、影剧院、体育馆以及其它公共建筑物中, 同时也迅速成为城市人民改善生活的追求目标, 成为新的消费热点。全国制冷空调所耗电能已占全国年发电量的相当份额。目前国家年发电装机容量虽以 $800 \sim 1000\text{kW}$ 的速度增加, 却仍然改变不了电力供应紧张的局面, 使制冷空调与发电的矛盾日益突出起来。所以前几年不少城市曾制订了限制空调装置发展的若干规定, 但在要求第三产业加速发展和人民生活水平迅速迈向小康甚至小部分已达富裕的情况下, 发展吸收式制冷机, 利用生产余热或热电冷联合生产, 来减缓装置耗电量的增长速度, 并使国家能源得以充分合理的利用。

二、吸收式制冷机的特点

吸收式制冷机的工作原理早在19世纪20年就被英国科学家法拉第提出来了, 1850年世界上出现了第一台以氨水为工质的吸收式制冷机, 到1945年美国开利公司又制出了第一台以溴化锂水溶液为工质的吸收式制冷机。近一个半世纪以来, 人们还不断地研究适用于吸收式制冷机的其它工质对, 但直到现在, 真正实用的仍然只限于以氨水和以溴化锂水溶液为工质的两种。前者适用于制取 0°C 左右直至 -60°C 的低温, 后者适于制取 5°C 以上的冷媒水供空调或工艺过程冷却之用。两者的工作原理相同, 与压缩式制冷机相比, 它们有着许多优点, 尤其是溴化锂吸收式制冷机在空调温度的领域内, 性能系数较以氨水为工质的机器为高, 设备也较紧凑, 所以近30年来得到了飞速的发展。它的主要优点有:

1. 节能——可以利用低位热能, 约 80°C 以上的热源就可以利用, 因而可以利用工业余热或汽轮机的抽汽或背压蒸汽, 也即可实现热电冷联实现热电冷联合生产, 获得很高的当量热力系数(见后), 使能源得到充分合理利用, 为国家节约大量能源。

2. 节电——以一台制冷量为 1150kW (100万kcal/h)的制冷机为例, 离心式压缩式制冷机在蒸发温度为 8°C 及冷凝温度为 40°C 的情况下, 须用 300kW 的电动机来驱动, 而同容量的溴化锂吸收式制冷机用于拖动屏蔽泵的功率仅需 3kW 左右。即使将因我耗冷却水所需的电力算进去, 也将较压缩式节电90%以上, 所以如果大力发展, 就可减轻电网的负荷。

3. 无公害——大功率离心式压缩机所采用的制冷剂为R11, 对臭氧层的破坏严重, 已被列为最短时期内要被替代的工质, 而溴化锂吸收式制冷机的制冷剂为水, 所以有利于环境保护。

4. 运行平稳可靠、操作简单、便于调节——吸收式制冷机可以在各种负荷条件下运转, 当冷负荷在 $10 \sim 100\%$ 的范围内变动时, 设备的性能指标都能保持平稳, 变化不大, 即操作弹性大, 可以实现无级调节。长期在低负荷下运转也不会象离心式压缩机那样发生喘振。

5. 占地省, 可以露天安装——设备紧凑, 占地少, 除操作室外都可露天安装, 从而节省了

厂房投资。

6. 易于维修——除2~3台输送溶液的屏蔽泵以外, 没有其它运动部件, 所以易损件少, 维修简易, 维修费用低。

7. 噪声小——由于运动部件少, 系统内也没有高速气流, 所以运行时振动和噪音都较小, 有益于操作人员的身心健康和环境保护。

8. 单台机组的制冷量大——国外目前单台溴化锂吸收式制冷机的制冷量可达5800kW(500万kcal/h), 国内已知最大机组为3500kW(300万kcal/h), 并也在向更大机组发展, 这是压缩式制冷机所不及的。单台机组的制冷量大, 就可降低单位制冷量的投资费用, 例如目前国内上述3500kW机组售价仅为1150kW(100万kcal/h)机组的2.1倍, 而前者的制冷量则为后者的3倍。此外, 大型机组也便于发展集中供冷。

三、能量指标的分析与比较

对于制冷装置来说, 能量指标是指在耗用单位能量时可产生多少制冷量的指标, 是衡量制冷机经济性能的最主要标志之一。能量指标可以有三种, 即

1. 制冷系数和热力系数

这是评价制冷机性能最常用的指标, 有时也统称为性能系数(C.O.P.)。对于压缩式制冷机常称为制冷系数, 对于吸收式制冷机则为热力系数, 它们的定义分别为

$$\text{制冷系数 } \varepsilon = \frac{\text{循环制冷量}}{\text{循环中的耗功量}} = \frac{Q_0}{W}$$

$$\text{热力系数 } \zeta = \frac{\text{循环制冷量}}{\text{循环中的耗能量}} = \frac{Q_0}{Q_h + W_p} \approx \frac{Q_0}{Q_h}$$

式中 Q_0 、 Q_h 、 W 和 W_1 分别为制冷量、耗热量、耗功量和溶液泵的耗功量。

以FLZ——1000型离心式压缩式制冷机为例, 在空调工况下的制冷量 Q_0 为1150kW(100×104kcal/h), 耗功率 N_e 为300kW(1), 这时的制冷系数为

$$\varepsilon = \frac{100 \times 10^4}{300 \times 860} = 3.876$$

而制冷量相同的SXZ-115Z型双效溴化锂吸收式制冷机的热力系数(热源为0.4MPa(表)饱和蒸汽)则为(2)

$$\zeta = \frac{100 \times 10^4 \times 4.1816}{1560 \times 2109.7} = 1.272$$

乍一看来, 压缩式制冷机的制冷系数将为溴化锂吸收式制冷机的热力系数的3倍。但这样的比较显然是不恰当的, 因为前者所消耗的是高品位的电能或机械能, 而后者所消耗的则是低品位的热能。两者的价值不同, 所以近年来许多学者采用另一种能量指标来比较其性能, 即

2. 效率

对制冷系统来说, 效率的定义为

$$\eta_{Ex} = \frac{\text{系统中收益的}}{\text{系统中消耗的}} = \frac{Ex_g}{Ex_p}$$

如果仍以上述两种型号的制冷机为例进行计算, 则FLZ-1000型压缩式制冷机的效率为

$$\eta_{Exc} = \frac{Ex_{Q_0}}{Ex_w} = \frac{(\frac{T_w}{T_0} - 1)Q_0}{W} = \frac{(\frac{313}{278} - 1) \times 100 \times 10^4}{300 \times 860} = 0.488$$

SXZ-115Z型双效溴化锂吸收式制冷机的效率(0.4MPa(表)的饱和水蒸汽的相应饱和温度为151.1℃)为两者的比值

$$\eta_{\text{EXa}} = \frac{Ex_{Q_0}}{Ex_{Q_k}} = \frac{\left(\frac{313}{278} - 1\right) \times 100 \times 104 \times 4.1868}{\left(1 - \frac{278}{424}\right) \times 1560 \times 2109.7} = 0.465$$

两者的比值

$$\eta_{\text{EXc}} / \eta_{\text{EXa}} = 0.465 / 0.488 = 1.05$$

可见它们的效率近乎相等了。

3. 当量热力系数

对吸收式制冷机来说, 热力系数这个指标仅仅表明了为生产一定的冷量时需要消耗多少热量, 它并没有反映出这些热量是怎样来的, 产生这些热量的过程的效率怎样。效率则考虑了所耗电量的品位, 因而可以用来判断系统或设备内有效能利用的程度和不可逆性的程度, 但也没有反映出所耗热量的来源和经历及其已经利用的程度。所以用作评价不同种类的制冷机的经济指标都存在着缺陷, 没有从根本上来公平合理地进行比较。实际上, 目前我国利用的热能都来源于燃料, 电能的绝大部分也都由火力发电厂产生, 也由燃料燃烧得来, 因此在生产一定的冷量时研究它最终究竟消耗了多少燃料才是一种最为合理的评价方法。或者说以消耗一定量的燃料热能后能够产生多少冷量来作为能量指标, 这个指标可称为当量热力系数或折合热力系数, 以 ζ 表示, 它是消耗每1kJ燃料热能所能得到的制冷量kJ数(kJ冷量/kJ燃料热能)。

对于压缩式制冷机,

$$\zeta_{\text{ec}} = \frac{Q_0}{W} = \frac{Q_0 \eta_e \eta_n \eta_m}{W}$$

式中 η_e 、 η_n 和 η_m 分别为发电厂效率, 电网效率及拖动压缩机的电动机的总效率。设现代高压电厂的 $\eta_e = 0.34$, $\eta_n = 0.9$ 及 $\eta_m = 0.9$, 则上述 FLZ-1000 型压缩式制冷机的当量热力系数可算得为

$$\zeta_{\text{ec}} = \frac{100 \times 10^4 \times 0.34 \times 0.9 \times 0.9}{300 \times 860} = 1.067$$

对于溴化锂吸收制冷机, 在采用不同的热源时将有不同的结果。如果直接采用锅炉出来的蒸汽作为热源, 并取锅炉效率 $\eta_b = 0.7$, 管道输送效率 $\eta_p = 0.95$, 则上述 SXZ4-115Z 型双效吸收式制冷机的当量热力系数为

$$\zeta_{\text{ea}} = \frac{Q_0}{Q_k / \eta_b \eta_p} = \frac{Q_0 \eta_b \eta_p}{Q_k} = \zeta \eta_b \eta_p = 1.272 \times 0.7 \times 0.95 = 0.846$$

如果采用热电厂的汽轮机抽汽或背压蒸汽为热源, 则情况就大不相同了, 因为由燃料燃烧产生的热能已经在汽轮机中作了功。设由汽轮机抽汽口得到的1kJ热能所耗燃料热能本应为TkJ, 由于蒸汽因抽汽口前已作功 ω kWh, 而每1kWh在凝汽式机组所耗热能为vkj, 故由抽汽得到的每1kJ热能真正耗用燃料热能的kj数为

$$T - \omega v \quad \text{kJ燃料热/kJ抽汽热}$$

$$\text{或其倒数 } u = \frac{1}{T - \omega v} \quad \text{kJ抽汽热/kJ燃料的热}$$

u 表示每1kJ燃料燃烧产生的高位热相当于抽汽口处低位热的kj数, 因而这时吸收式制冷机的当量热力系数就可表成示为

$$\zeta_{\text{ea}} = \frac{Q_0}{Q_k / u} \eta_p = \zeta u \eta_p$$

u 的数值大于1, 它将视热力发电厂汽轮机入口和抽汽口或背压处的蒸汽参数及锅炉效率等

因素而定,据马突尔克斯等[3]的计算,当抽汽压力不超过0.6MPa (绝压)的情况下,高压汽轮发电机组的U值可达2.65。这样,上述SX4-115Z型溴化锂吸收式制冷机的 ζ_{ea} 值将为

$$\zeta_{ea}=1.272 \times 2.65 \times 0.95=3.202$$

这就大大超过FLZ-1000型压缩式制冷机了,这时溴化锂的当量热力系数为压缩式的3倍。

如果汽轮机蒸汽的初参数降低,则U值和相应的 ζ_{ea} 值也将相应变小,下表列出了不同初参数值时 ζ_{ea} 的相对值

进入汽轮机的初参数	当量热力系数的相对值%	SXZ-115Z型双效溴化锂吸收式制冷机的 ζ_{ea}	FLZ-1000型压缩式机的 ζ_{ce}
t=565℃ P=13.73MPa(140ata)	100	3.202	
t=480℃ P=8.826MPa(90ata)	89	2.850	1.067
t=400℃ P=2.844MPa(29ata)	70	2.241	

由表可见,即使中压参数,其当量热力系数仍将较压缩式的高得多,前者为后者的2.1倍,我国现有发电厂蒸汽参数可能与上表中数据不尽相同,但仍大致相近,所以可以参考。

四、国内吸收式制冷机热源利用的现状

由上面的分析可知,热源的选用对吸收式制冷机能量指标的影响十分重要,首选的应是工厂中稳定的余热,对于那些本来排放的或难以利用的废气、废汽、废液废水等携带的热能可回收利用。特别是那些温度在100—200℃之间的余热正是吸收式制冷机所需的热源。其次应该选用热电厂的抽汽或背压蒸汽来作热源,如上所述,这时当量热力系数要较压缩式制冷机高得多,就以表1所列数字为例来计算,一台115Z型(制冷量为1150KW或100万kcal/h)的溴化锂吸收式制冷机较用压缩式机组每小时可节省标煤89.3kg,每年如以6-9月运行四个月计,就可节约标煤261.4t。假设国内现有1000台制冷量相当于115Z型的机组(今后的发展远远不止此数),则每个空调季节就可节省标煤261400t,与此同时,还可节电约8-10亿KWh,相当于一台30万kW发电机组在同期内的发电量,所以对缓解夏季电网负荷起着相当的作用。

在这方面做得较好可举上海第十九棉纺织厂为例。该厂地处军工路,全厂共需制冷量13950kW(1200万kcal/h),有多种型式的制冷机。现采用上海杨树浦发电厂汽轮机压力为1.3MPa的二级抽汽,进入本厂7550kW的背压机组发电,排汽参数为0.45MPa及200℃,仍为过热蒸汽,通过加湿减温,使之成为饱和蒸汽,蒸汽量达12-14t/h,供4台溴化锂吸收式制冷机应用,其中制冷量为1750kW(150万kcal)和1150kW(100万kcal/h)的各2台。加热蒸汽最终的凝结水作为蒸馏水售给制药厂,因而不仅能源利用合理,而且经济效益也很好。

由于溴化锂吸收式制冷机有着前述许多优点,特别是节能节电的优点,所以前几年国家计经委将它列为重点节能产品在全国范围推广,使溴化锂吸收式制冷机的制造厂已达三十多家,年产各种制冷量的机组数百台(估计1991年约为300台),且在继续增长中,近年来又开始注意了鼓励推广和利用热电厂抽汽或背压汽作为热源,例如今年初江苏省计经委在核定节能低息贷款时,规定必须是利用热电联产出来的蒸汽为热源的才能获得制冷机组的贷款,笔者认为这样的政策是正确的,但是由于经费有限,最终获得此项贷款的为数还不多。

由上面的分析也可看到,在直接采用当地锅炉出来的新蒸汽作为吸收式制冷的热源时,当

量热力系数将小于压缩式制冷机。如与采用热电联产的蒸汽为热源的机组相比,相差更多。仍以1000台115Z型机组计算,则每个空调季节将多耗标煤363000t。因而从充分利用国家能源的角度来看是不恰当的。但是目前国内绝大多数溴化锂吸收式制冷机却正是直接采用锅炉蒸汽为热源的。以南京地区为例,据不完全统计,全市现共有30台左右各种容量的机组,其中除一台为利用余热的水机型机组外,其余全部采用本单位锅炉新汽作为热源。

在城市中采用锅炉新蒸汽热源的主要原因在于我国城市中缺少热电联产发电机组和集中供热的管网。尤其是在长江流域及其以南地区,由于过去规定冬季为非供暖区,更是没有相应的设备,但随着改革开放的深入,城市对制冷空调的需求与日俱增;同时长江流域冬季的气温也很低,对供暖的要求也已提上了议事日程,近年来在这些地区的商店中如雨后春笋般地出现的各种电热取暖器就是明证。预计近期内冬季利用电力供暖与电力供应紧缺的新矛盾又将出现。此外,小型锅炉的增加不可避免地将导致城市环境进一步污染,是环保所不容许的。因此,热电冷联合生产与城市集中供热已成为迫切需要解决的问题。

上面的分析都是从最大限度地合理利用国家能源的角度出发的。但热电冷联产与城市集中供热的问题毕竟不是在短期内所能解决的,在当前电力供应十分紧张的情况下,有些地区燃料资源丰富或价格低廉,有些企业自备锅炉蒸汽有富余,或者冬季需供暖,夏季热负荷很低,为平衡全年热负荷起见,直接采用锅炉新蒸汽作为溴化锂吸收式制冷机的热源也是可行的,因为,它不仅能为缓解电力供应情况发挥相当的作用,而且与压缩式制冷机相比,还具有有利于环境保护和人类健康等许多优点。

顺便指出,上面的分析虽然是针对溴化锂吸收式制冷机的,但同样也适用于氨水吸收式制冷机。当所需制冷温度接近或低于 0°C 时,目前吸收式制冷机还只能以氨水为工质对,在相同的温度范围内工作的氨水机组当量热力系数虽低于溴化锂机组,但仍远高于压缩式制冷机。它也同样能利用余热,例如东南大学为金陵石化公司南京炼油厂设计的一套360kW (30万kcal/h) 具有两个蒸发温度(分别为 -33°C 和 -20°C)的装置,利用0.15MPa(表)的余热蒸汽为热源,自198年投产以来已连续运行五年,一直正常前后共为工厂节约电约0450万kW·h。

五、对发展溴化锂吸收式制冷机的几点建议

自1945第一台制冷量为45万kcal/h的溴化锂吸收式制冷机在美国问世以来,迄今还不足50年,然而它的发展却是迅速的,日本引进美国专利生产出第一台机组的时间是在50年代末期,但后来居上,发展速度远远高于美国。到1976年,产量已超过离心压缩式而位居大型制冷机组首位,并不断增长,部分产品销往国外据不完全了解,到80年代末,先后进入我国的已达300台以上。我国第一台溴化锂吸收式机组是于60年代中期在上海开始研制的,曾得到上海、天津、青岛、武汉各地纺织业的采用,但由于初期用的是钢管,设备腐蚀问题比较突出,制冷量衰减迅速,使发展暂时受挫,到80年代初,技术逐渐被掌握,传热面积都改用了铜管,解决了腐蚀与制冷量衰减问题,从而在用户中恢复了信誉,开始重新发展起来。近几年来,在国家计经委的推动下,更是突飞猛进,不仅在数量上年产已达数百台,而且在主要性能指标方面已接近或达到了国际同类产品水平,且已开始出口国外。目前与外国先进产品相比,主要在重量与体积以及自动控制方面还有差距。结合前面的分析笔者提建议如下:

- 1、应大力推广采用溴化锂吸收式制冷机,发展热电冷联合生产,以实现能源的综合合理利用。

- 2、用户应认真注意选用热源,其顺序已见前面阐述。除利用余热外,应尽可能选用热电厂高压汽轮机组的抽汽或背压蒸汽,上海第十九棉纺织厂的做法可供参考。在本单位有中压、次中压或低压锅炉时,蒸汽应先发电后再行利用。