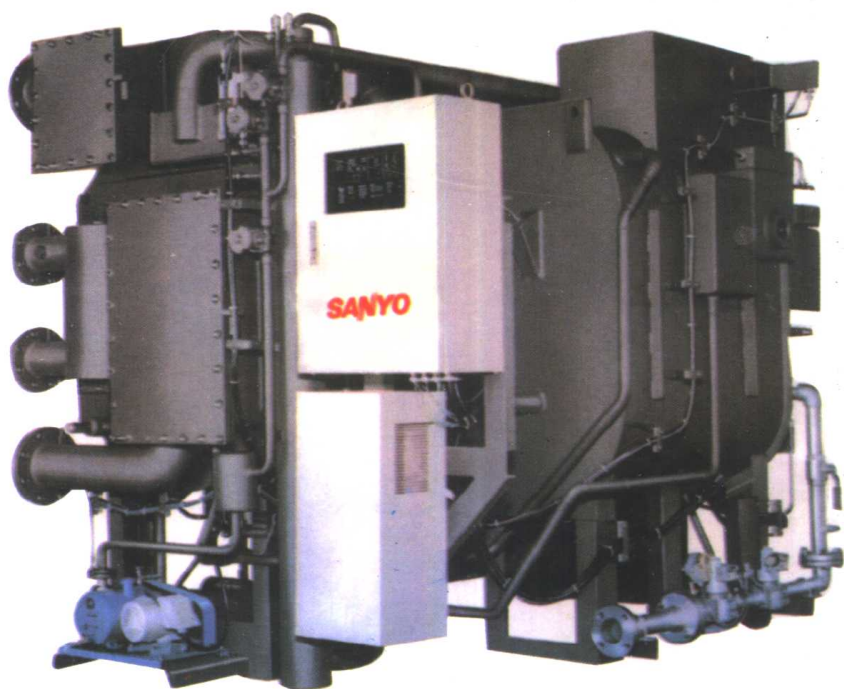


XHLZHLJSH

溴化锂吸收式 制冷技术及应用

主 编 戴永庆

副主编 耿惠彬 陆 震
姚国琦 王 禾



(北京)

机械工业出版社

溴化锂吸收式制冷技术及应用

主 编 戴永庆
副主编 耿惠彬 陆 震
姚国琦 王 禾

机械工业出版社

本书总结了我国 30 年来溴化锂吸收式制冷机设计制造、运行管理和维护检修的经验。全书共 13 章,分别介绍了吸收式制冷技术国内外发展概况、基础理论、溶液性质、制冷原理、循环计算、型式结构、机组性能、自动控制、管理保养、工程应用等内容。并为推广、应用和选型的需要,还介绍了国内外有关溴化锂吸收式制冷机的标准、国内外有关厂商及产品介绍以及典型工程应用实例。

本书不仅介绍了蒸汽型冷水机组,而且还介绍了近年来国内发展较快的直燃型冷、热水机组,介绍了直燃型发生器的设计计算及型式结构,还介绍了热泵机组的原理及系统。

本书的特点是将蒸汽型、直燃型及热泵型机组等内容分别在各章中加以介绍,这就增强了型式的对比性与系统性。这是一本实用性很强的专业技术书。适用于从事溴化锂吸收式制冷技术的设计、制造、管理及运行人员以及有关专业的大专院校师生。

图书在版编目 (CIP) 数据

溴化锂吸收式制冷技术及应用/戴永庆主编. —北京:机械工业出版社, 1996. 10
ISBN 7-111-05336-2

I. 溴… II. 戴… III. 吸收制冷, 溴化锂-制冷技术-概论 IV. TB66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 16039 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:范兴国 版式设计:李松山 责任校对:肖新民

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 3 月第 1 版第 6 次印刷

787mm × 1092mm $1/_{16}$ · 25 印张 · 619 千字

16 001—18 000 册

定价:34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677 - 2527

节约能源，保护环境，
大力开发溴化锂吸
收式制冷技术。

陆萑荪

一九九六年六月

编辑工作委员会

主任：宋国强

副主任：缪双大 姜克勤 肖永勤 张跃 任乔金 何永恒

尉迟斌 戴永庆 董天禄

秘书长：姚国琦 王禾

委员：马福林 曹渊明 何开旦 石光宇 糜华 林岚

许平 刘宏庆 王伟华 赵金民 任苗全 刘学松

钱子敏 包建刚 陈晓曙 林华根 陈国镰 忻国雄

何宏道 陆永生 赵荣新 傅正全 李森林 梁国强

姚永芳 林利雄 李启发 杨国良 土岐保雄

耿惠彬 陆震 周启瑾

主编：戴永庆

副主编：耿惠彬 陆震 姚国琦 王禾

主审：尉迟斌 董天禄

前 言

当前,世界各国制冷空调工业界正在积极寻求禁用CFC(含氟氯烃化合物的制冷剂)制冷剂的对策,以溴化锂水溶液为工质的吸收式机组,以它耗电少,运行平稳,噪声低、能量调节范围广,自动化程度高,安装、维护、操作简便,无环境污染,对大气臭氧层无破坏作用的特性,而成为举世公认的发展方向,广泛应用于纺织、医药、烟草、冶金、机械制造、仪器仪表、石油、化工、焦化、宾馆、医院、影剧场、体育馆、办公大楼等部门,具有广阔的市场和发展前景。为了适应世界范围内禁用CFC制冷剂的形势,落实国家计委有关精神,积极推广应用节电、低耗的制冷设备——溴化锂吸收式制冷机,促进其应用技术的普及和提高,由中国制冷空调工业协会组织有关专家、教授、工程师共同编写了这本书。

本书总结了我国30年来溴化锂吸收式制冷机设计制造、运行管理和维护检修的经验,从溴化锂吸收式制冷技术的基础理论、制冷原理、循环计算开始,详细叙述了溴化锂吸收式制冷机结构、操作、维护及应用,不仅介绍蒸汽型、热水型机组,而且还侧重介绍了近年来开发研制的直燃型溴化锂吸收式冷热水机组。为反映产品水平及推广、应用和选型的需要,还组织了国内外著名厂商介绍产品及性能规格,同时,还阐明机组的应用和介绍典型工程实例及国内外有关标准。本书由浅入深,是一本实用性很强的专业技术书籍,适用于从事溴化锂吸收式制冷技术工作的不同层次人员阅读与使用。书中采用我国法定计量单位,鉴于目前溴化锂制冷机行业的需要,在个别法定计量单位后面辅以工程单位制的单位,并又附上了单位换算对照表。为便于读者理解与复习,书中列有例题,各章尾列有思考题。

本书由上海七〇四研究所戴永庆教授级高级工程师任主编,负责制订编写大纲及各章节的统稿和审改。耿惠彬研究员、陆震副教授、姚国琦工程师、王禾工程师担任副主编,耿惠彬、陆震担任各章节的审改工作;姚国琦、王禾担任本书编写、策划、组织工作。尉迟斌教授(博士生导师)、董天禄教授级高级工程师任主审。何永恒高级工程师参与本书协调联络工作。参加部分章节审稿工作的还有上海七〇四研究所郑玉清高级工程师、上海电力学院王启杰教授(博士生导师)、江苏双良特灵溴化锂制冷机有限公司江荣方高级工程师、蔡小荣高级工程师等。参加本书编写大纲讨论和文稿整理工作的有沈志相高级工程师、李少治、顾华、蒋琦、徐永强工程师、徐阳硕士等。全书共13章,各章编写人员是:第1章戴永庆,第2章周启瑾,第3章李大庆、陆震,第4章陆震、李大庆,第5章王禾、俞武江,第6章王禾,第7章王文琪,第8章王禾,第9章何华斌,第10章姚国琦、朱彪,第11章唐良士、耿惠彬,第12章何华斌,第13章姚国琦,附录耿惠彬、姚国琦。

本书编辑过程中,得到了上海七〇四研究所、上海工程成套建设总公司、上海交通大学、华东工业大学等单位的通力合作,以及上海一冷开利空调设备有限公司、江苏双良特灵溴化锂制冷机有限公司、大连三洋制冷有限公司、长沙远大空调有限公司、上海浦东溴化锂制冷机厂大力支持;还有日本株式会社荏原制作所、日本三菱重工冷热系统公司、日本日立公司、韩国世纪重工等国外溴化锂制冷机著名厂商积极参与;此外,在本书编审工作中得到江苏双良特灵溴化锂制冷机有限公司热情帮助,在此一并致谢。

由于编著者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳切欢迎读者批评指正。

编者
1996年6月

物理量符号、名称用表(括号内为 曾用符号、名称、单位)

A	传热面积	m^2	Δn	漏风系数	
(F)	传热面积	m^2	P	功率	W
A_z	单位管长的传热面积	m^2/m	(N)	功率	W
(f)	单位管长的传热面积	m^2/m	Pr	普朗特准则数	
a	溶液循环倍率	量纲为 1	p	压力	Pa (kgf/cm^2)
a	烟气的黑度	量纲为 1	Δp	阻力	Pa [$kgf/cm^2, m$ (水柱)]
B	燃料消耗量	$kg/h; m^3/h$	Q	热量、热负荷	kW ($kcal/h$)
B_o	波尔兹曼准则数	量纲为 1	q	面积热流量	kW/m^2 [$kcal/(h \cdot m^2)$]
b	宽度	m	q	单位热负荷	kJ/kg ($kcal/kg$)
c	比热容 $kJ/(kg \cdot K)$ [$kcal/(kg \cdot C)$]		R	热阻	$m^2 \cdot K/W$ ($h \cdot m^2 \cdot C/kcal$)
C	燃料工质中碳的含量	$\%$	r	汽化潜热	kJ/kg ($kcal/kg$)
C	修正系数		r	组分的容积分额	
c_p	质量定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$	s	熵	kJ/K ($kcal/C$)
$[c_p]$	定压比热容	$kcal/(kg \cdot K)$	s	比熵	$kJ/(kg \cdot K)$ [$kcal/(kg \cdot C)$]
D	冷却水循环流量	kg/h	S	辐射层有效厚度	mm
d	当量直径	m	S	燃料工作介质中含硫量	$\%$
D/d	管子直径	m	T	热力学温度	K
f_s	吸收器再循环倍率		t	摄氏温度	C
f_o	蒸发器再循环倍率		Δt	温差	C
G	质量流量	kg/h	u	轴向速度	m/s
g	重力加速度	m/s^2	V	体积流量	m^3/h
H	焓	kJ	v	比体积	m^3/kg
(I)	焓	$kcal$	(v)	比容	m^3/kg
h	高度、泵扬程	m	W	功	kJ ($kgf \cdot m$)
h	比焓	kJ/kg	α	表面传热系数	$kW/(m^2 \cdot K)$
(i)	比焓	$kcal/kg$	$[\alpha]$	放热系数	$kcal/(h \cdot m^2 \cdot C)$
K	传热系数	$W/(m^2 \cdot K)$ [$kcal/(h \cdot m^2 \cdot C)$]	β	热力完善度	量纲为 1
L	长度	m	X	炉膛水冷度	
l	管子的长度	m	χ	摩尔分数	$\%$
M	摩尔质量	kg/mol	(χ)	摩尔浓度	$\%$
M	与火焰中心高度有关的系数		Γ	喷淋密度	$kg/(m \cdot s)$
m	流程数	量纲为 1	δ	厚度	m
m	与炉膛容积热负荷有关的系数		ϵ	制冷系数	量纲为 1
m	质流密度	$kg/(m^2 \cdot s)$	ϵ	污垢系数	$m^2 \cdot K/W$
n	管子数	量纲为 1	ϵ	修正系数	量纲为 1
n	过量空气系数		ζ	热力系数	量纲为 1
			ζ	局部阻力系数	量纲为 1

ζ	污染系数	量纲为 1	g	发生器
η	效率	量纲为 1	g_1	高压发生器
λ	摩擦系数	量纲为 1	g_2	低压发生器
λ	热导率	$\text{kW}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [$\text{kcal}/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]	H_2O	水蒸气
μ	动力粘度	$\text{Pa} \cdot \text{s}$ ($\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)	h	热, 双效循环中高压
ν	运动粘度	m^2/s	i	内
ξ	质量分数	%	k	冷凝器
(ξ)	质量浓度	%)	l	较大
ξ	利用系数		m	混合溶液
ρ	密度	kg/m^3	o	蒸发器, 出口, 外
σ	表面张力	N/m	RO_2	三原子气体
ψ	炉膛热有效系数		r	浓溶液, 高压发生器压力
ϕ	保热系数		s	较小
上标			T	炉膛
'	液相, 饱和液体		t	溶液热交换器
"	气相, 饱和蒸汽		t_1	高温溶液热交换器
下标			t_2	低温溶液热交换器
1	高压、高温、进口		t_3	凝水热交换器
2	低压、低温、出口		w	冷却水
a	吸收器, 稀溶液		w_1	吸收器冷却水
b	大气		w_2	冷凝器冷却水
c	冷水		y	烟气
			z	单位

目 录

前言	
物理量符号、名称用表(括号内为曾用符号、名称、单位)	
第 1 章 概论	1
1.1 吸收式制冷技术	1
1.2 溴化锂吸收式技术的特点	2
1.3 我国溴化锂吸收式制冷技术的发展概述	4
1.4 国外溴化锂吸收式制冷技术的发展概述	6
第 2 章 基础理论	13
2.1 热力学基础	13
2.2 溶液热力学基础	16
2.3 传热与传质基础	19
2.4 流体动力学基础	26
2.5 直燃型溴化锂吸收式冷热水机组的燃料与燃烧	27
第 3 章 溴化锂水溶液的性质	39
3.1 溴化锂溶液的物理性质	39
3.2 溴化锂溶液的腐蚀性及其缓蚀剂	44
3.3 溴化锂溶液的热力图表	47
3.4 其它的工质对	50
第 4 章 溴化锂吸收式制冷原理	56
4.1 单效溴化锂吸收式制冷循环	56
4.2 双效溴化锂吸收式制冷循环	62
4.3 两级吸收溴化锂冷水机组的工作原理和循环流程	69
4.4 直燃型溴化锂吸收式冷热水机组	70
4.5 吸收式热泵	75
第 5 章 溴化锂吸收式机组计算	83
5.1 单效溴化锂吸收式冷水机组热负荷计算	84
5.2 双效溴化锂吸收式冷水机组热负荷计算	87
5.3 传热计算	92
5.4 热源、冷却水、冷水等介质流量计算	102
5.5 单效溴化锂吸收式制冷机热力计算和传热计算示例	103
5.6 结构计算	108
5.7 溴化锂吸收式机组的计算机辅助设计和计算	109
5.8 直燃型高压发生器的计算	110
第 6 章 型式与结构	121
6.1 溴化锂吸收式机组的型式分类	121
6.2 溴化锂吸收式机组的结构	127
第 7 章 溴化锂吸收式机组的性能	150
7.1 冷水出口温度对制冷量的影响	150
7.2 冷却水进口温度对制冷量的影响	153
7.3 冷却水量、冷水量对制冷量的影响	155
7.4 热源温度对制冷量的影响	155
7.5 污垢系数对制冷量的影响	158
7.6 溶液循环量对制冷量的影响	158
7.7 不凝性气体的影响	159
7.8 表面活性剂的影响	160
7.9 冷剂水污染对制冷量的影响	161
7.10 性能变化汇总	162
第 8 章 溴化锂吸收式机组的控制	164
8.1 溴化锂吸收式机组的安全保护系统	164
8.2 溴化锂吸收式机组的能量调节系统	172
8.3 溴化锂吸收式机组的运转	177
8.4 计算机控制系统在溴化锂机组中的应用	183
第 9 章 溴化锂吸收式机组的调试与管理保养	187
9.1 溴化锂吸收式机组的调试	187

9.2 溴化锂吸收式机组的管理与保养·····	194	有限公司·····	298
9.3 故障及其排除·····	210	13.3 大连三洋制冷有限公司·····	301
第10章 溴化锂吸收式机组的应用·····	214	13.4 长沙远大空调有限公司·····	311
10.1 溴化锂吸收式机组系统的设计·····	214	13.5 开封通用机械厂·····	314
10.2 溴化锂吸收式机组空调系统中主要 设备的选型·····	224	13.6 上海塔库玛冷热设备有限公司·····	317
10.3 溴化锂吸收式机组系统中的保温、 防腐及隔振·····	229	13.7 上海浦东溴化锂制冷机厂·····	322
10.4 联合运转·····	231	13.8 浙江联丰集团制冷机厂·····	325
10.5 典型工程应用实例·····	236	13.9 青岛同和空调设备股份有限公司·····	327
第11章 国内外溴化锂吸收式机组 标准·····	242	13.10 上海华源前进制冷空调公司·····	330
11.1 概述·····	242	13.11 昆山市溴化锂制冷机厂·····	333
11.2 型式与基本参数规定·····	243	13.12 广东莱孚空调机有限公司·····	336
11.3 性能指标和工况规定·····	244	13.13 广东顺德市广容空调实业有限 公司·····	339
11.4 机组的强度和气密性·····	251	13.14 杭州溴化锂制冷机厂·····	340
11.5 燃烧设备的性能·····	251	13.15 杭州溴冷机有限公司·····	342
11.6 机组的安全保护规定·····	252	13.16 长沙华明空调工业有限公司·····	343
11.7 质量检验·····	255	13.17 永升集团泰兴溴化锂制冷机厂·····	345
11.8 强度和气密性试验·····	255	13.18 中国水利水电第十二工程局溴化 锂制冷机厂·····	346
11.9 控制调节、安全保护元件的试验·····	258	13.19 重庆通用机器厂·····	347
11.10 噪声测定·····	259	13.20 山东日照华冷制冷设备有限 公司·····	350
11.11 阻力测定·····	259	13.21 山东水龙王集团空调设备有限 公司·····	353
11.12 燃烧设备试验·····	259	13.22 常能集团常州溴化锂制冷机厂·····	355
11.13 烟气黑度测定·····	260	13.23 日本株式会社荏原制作所·····	356
11.14 制冷量、供热量测定·····	260	13.24 日本日立公司·····	359
第12章 配套设备·····	267	13.25 韩国世纪重工·····	361
12.1 屏蔽泵·····	267	13.26 日本三菱重工冷热系统公司·····	365
12.2 真空泵·····	271	附录A 国内外有关生产溴化锂吸收 式制冷机厂商简介·····	368
12.3 真空阀门·····	274	附录B 国内部分溴化锂吸收式机组 相关配套设备厂商名录·····	375
12.4 燃烧器·····	278	附录C 常用气体、液体物性图表·····	376
第13章 国内外溴化锂吸收式制冷机 主要生产厂商产品简介·····	287	参考文献·····	386
13.1 上海一冷开利空调设备有限公司·····	287		
13.2 江苏双良特灵溴化锂制冷机			

第1章 概 论

1.1 吸收式制冷技术

1.1.1 制冷与制热

本书所介绍的吸收式制冷技术也包含吸收式制热采暖技术。冷和热的概念是相对的，是与周围环境介质(空气或水)温度相比较而言的，冷是指某物体或某空间的温度低于周围环境介质温度的状态；热则是指某物体或某空间的温度高于周围环境介质温度的状态。

经验告诉我们，热量总是自发地由高温物体(或空间)流向低温物体(或空间)，制冷的意义是使某一物体或某一空间的温度低于周围环境的温度，这就要有一冷源吸收该空间的热量。冷源的制取有两种方法：一种是利用天然冷源，如天然冰和地下水(冬灌夏用的深井水)；另一种方法是通过制冷的的方法制取人工冷源。制热的意义是使某一物体或某一空间的温度高于周围环境的温度，这就要有一热源对该空间放出流向周围环境的热量。热源的利用也有两种方法：常见的是将燃料燃烧产生的高温烟气等直接用作热源，或通过锅炉产生蒸汽、热水等作为间接的热源；另一种方法是利用热泵将废弃的热量、自然界的热量转变为热源，如同水泵将低位的水转变至高位一样。无疑，后者具有明显的节能效果。

1.1.2 吸收式制冷、制热技术

1. 吸收式制冷技术

实现机械制冷的的主要方法有：液体蒸发法、气体膨胀法等。常见的液体蒸发法就是利用低沸点的液体吸收环境介质的热量而蒸发，达到使环境介质降温的目的。这种低沸点的液体被称为“制冷剂”。例如日常生活中我们都有这样的常识：炎热的天气，把水洒在地上会有凉爽的感觉。这是因为洒在地上的水，蒸发时吸取周围热量的缘故。为使制冷过程不断地进行，就必须使制冷剂在一个封闭的体系内循环。完成制冷剂在封闭体系内循环的方式，可以是“电能”或“机械能”驱动的压缩式制冷方式(活塞式、离心式、螺杆式、涡旋式压缩机及热电制冷等)，也可以是热能驱动的吸收式或蒸汽喷射式制冷方式。

图 1-1 表示了吸收式制冷的工作原理。吸收式制冷由发生器 2、冷凝器 1、蒸发器 6、吸收器 5、溶液泵 3、及节流阀 4 等部件组成。工作介质除制取冷量的制冷剂外，还有吸收、解吸制冷剂的吸收剂，二者组成工质对。在发生器中工质对被加热介质加热，解吸出制冷剂蒸汽，制冷剂蒸汽在冷凝器中被冷却凝结成液体，然后经节流阀降压，进入蒸发器吸热蒸发，产生制冷效应。蒸发产生的制冷剂蒸汽进入吸收器，被来自发生器的工质对吸收，再由溶液泵加压送入发生器。如此循环不息制取冷量。由于它是利用吸收剂的质量分数变化，完成制冷剂的循环，因而被称为吸收式制冷。目前常用的吸

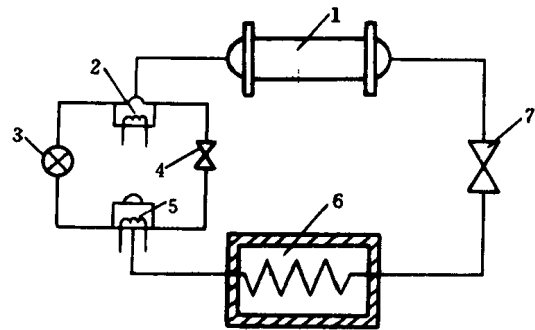


图 1-1 吸收式制冷原理图

1—冷凝器 2—发生器 3—溶液泵 4—溶液节流阀
5—吸收器 6—蒸发器 7—节流阀

收式制冷有氨水吸收式与溴化锂水吸收式两种。氨水吸收式以氨为制冷剂，水为吸收剂，可用来制取 0℃ 以下的低温，但因氨有刺激性臭味，且热效率低、质量较重、体积庞大，除工业工艺过程外，一般很少应用。目前应用最广泛的是以水为制冷剂、溴化锂溶液为吸收剂，以制取冷水为目的的溴化锂吸收式冷水机组。

2. 吸收式制热(采暖)技术

鉴于吸收式制冷的能源是热能，在同一机组中实现制冷与制热(采暖)的双重目的就更易实现。目前广为应用的溴化锂吸收式制热技术有两种，一是以直接利用燃料的燃烧热为目的的溴化锂吸收式冷热水机组，二是溴化锂吸收式热泵机组。

(1) 溴化锂吸收式冷热水机组 通常以燃油、燃气为能源，此时机组中的发生器相当于一个溴化锂溶液锅炉，通过发生器中产生的高温制冷剂加热，制得 60℃ 左右的采暖用热水。这种机组夏天可用于制冷，冬天可用于采暖。

(2) 溴化锂吸收式热泵机组 溴化锂吸收式热泵机组有两种型式：第一类吸收式热泵，亦称增热型吸收式热泵；第二类吸收式热泵，亦称升温型吸收式热泵或热变换器。

1) 第一类吸收式热泵 工作循环如图 1-2a) 所示，可见与吸收式制冷循环相同，在蒸发器中输入低温热源，发生器中输入驱动热源，而从吸收器和冷凝器中输出中温热水。因以增加热量为目的，故又称增热型吸收式热泵。

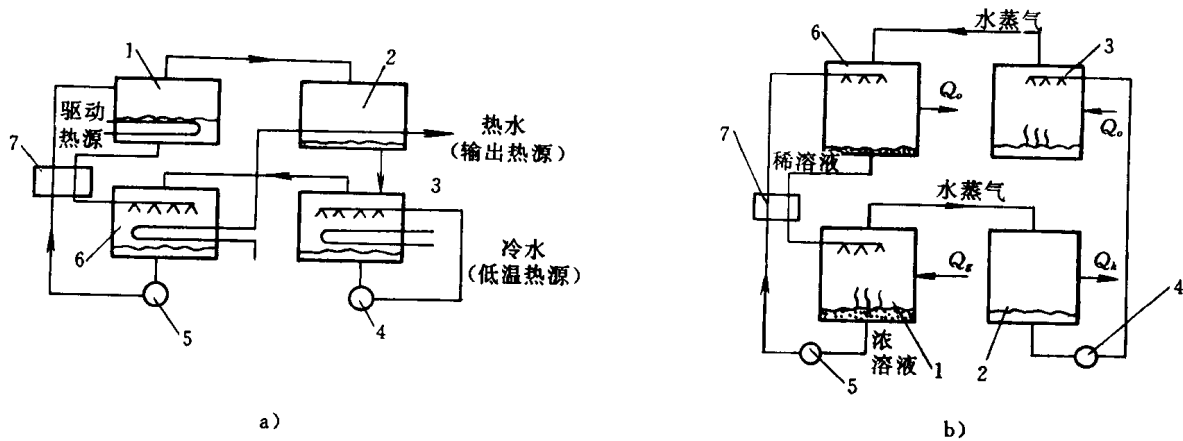


图 1-2 溴化锂吸收式热泵机组原理图

a) 第一类吸收式热泵 b) 第二类吸收式热泵

1—发生器 2—冷凝器 3—蒸发器 4—制冷剂泵 5—溶液泵 6—吸收器 7—溶液热交换器

2) 第二类吸收式热泵 工作循环如图 1-2b) 所示，与吸收式制冷循环相反，发生器、冷凝器处于低压区，而吸收器、蒸发器处于高压区。热源介质并联进入发生器和蒸发器。在吸收器中利用溶液的吸收作用，使流经管内的热水升温。单级吸收式热泵能使热水温度提高 30℃ 左右，若要获得更高的温升，则可采用二级、多级吸收式热泵或吸收压缩式热泵。这种热泵以升温为目的故又称为热变换器。

1.2 溴化锂吸收式技术的特点

1.2.1 溴化锂吸收式制冷机的特点

1. 主要优点

① 利用热能为动力，不但能源利用范围广，而且具有两个重要特点：a. 能利用低势热

能(余热、废热、排热),使溴化锂吸收式技术可以大量节约能耗;b.以热能为动力,溴化锂吸收式制冷机比利用电能为动力的压缩式制冷机可以明显节约电耗。以一台 3500kW(300 万 kcal/h)的制冷机组为例,压缩式制冷机耗电约 900kW,而溴化锂吸收式制冷机仅耗电 10 多 kW。在当前我国电力比较紧缺的条件下,使用这种机型更有现实意义。

但是不能笼统地讲溴化锂吸收式制冷机是节能产品。若以一次能源(煤)的消耗率来作比较,制取 11.6kW(1 万 kcal/h)冷量,标煤的耗量是:电动压缩式为 1.42kg;双效溴化锂吸收式为 2kg;单效溴化锂吸收式是为 4kg。压缩式的标煤耗量低于吸收式,但如吸收式制冷机的加热源是余热、废热、排热,则从总体考虑其节能特性优于压缩式,因此,应尽量利用低势热源,做到物尽其用。

② 整个机组除功率较小的屏蔽泵外,无其他运动部件,运转安静,噪声值仅 75~80dB(A)。

③ 以溴化锂水溶液为工质,无臭、无毒,有利于满足环保要求,特别是蒙特利尔协议书签订后,国际上禁用氟氯烃化合物,迫切要求寻找代用工质。除对新工质的开发研究外,对不含氟氯烃化合物的溴化锂吸收式制冷机的发展更为重视。

④ 制冷机在真空状态下运行,无高压爆炸危险,安全可靠。

⑤ 制冷量调节范围广,在 20%~100%的负荷内可进行冷量的无级调节,并且随着负荷的变化调节溶液循环量,有着优良的调节特性。

⑥ 对外界条件变化的适应性强,可在加热蒸汽压力 0.2~0.8MPa(表),冷却水温度 20~35℃,冷媒水出水温度 5~15℃的范围内稳定运转。

⑦ 对安装基础的要求低,无需特殊的机座,可安装在室内、室外,甚至地下室、屋顶上。

2. 主要缺点

① 腐蚀性强。溴化锂水溶液对普通碳钢有较强的腐蚀性,不仅影响到机组的性能与正常运行,而且影响到机组的寿命。

② 气密性要求高。实践证明,即使漏入微量的空气也会影响机器的性能。这就对制造有严格的要求,国外以制造原子能工业中的技术,用于这种机器的制造工艺,对其气密性的严格要求是可想而知的。

1.2.2 溴化锂吸收式冷热水机组的特点

溴化锂吸收式冷热水机组除具有上述溴化锂吸收式制冷机的特点外,还具有下列特点:

① 燃烧效率高,对大气环境污染小。燃气与燃油在高压发生器中直接燃烧,燃烧完全,传热损失小,燃烧产物中所含的 SO_x 和 NO_x 低,允许在闹市区对环保有严格要求的场合使用。

② 一机多能。可供夏季空调、冬季采暖,兼顾提供生活热水之用,使用方便。

③ 体积小,用地省。与蒸汽型冷水机组相比,可省去锅炉房,机房体积小,减少了基建费用。

④ 可实现能源消耗的季节平衡。夏天空调用电紧缺而煤气消耗降低,采用燃气型冷热水机组,可减少夏季的电耗,增加煤气耗量,弥补季节能耗的不平衡。以上海市为例,1995 年夏季上海用电负荷为 770 万 kW 左右,基本达到发电设备的满负荷,出现严重的电力紧张状况。可是夏季的煤气耗量尚不到常年耗量的 50%,为减少城市煤气的峰谷差,使用燃气型冷热水机组显然是最理想的方案。

1.2.3 吸收式热泵的主要特点

① 可以利用各种热能，特别是可以用低品位热能驱动。第一类吸收式热泵以蒸汽、热水和燃料燃烧产生的烟气为驱动热源，以各种低品位热源，如废热、废气、废水、太阳能、地下热能、大气和河湖水等，为低温热源。第二类热泵中，各种低品位热能既可用作驱动热能又可用作低温热源。

② 经济性好，能源利用率高。对于第一类热泵，热力系数可达 1.7 左右，用于采暖供热，与传统使用的锅炉相比，显然具有热效率高，节能效果好等优点。第二类热泵热力系数值较低，但利用低品位废热驱动，能源利用率高。

③ 维护管理简便。运转部件少，振动和噪声低，结构简单，维修方便。

④ 有助于能耗的季节平衡。在能耗高的季节，热泵所能利用的低品位热能也增多，有助于减少能源的消耗。

1.3 我国溴化锂吸收式制冷技术的发展概述

1966 年底由上海第一冷冻机厂，中国船舶工业总公司上海七〇四研究所(以下简称上海七〇四研究所)，合肥通用机械研究所与上海国棉十二厂联合试制成功了国内第一台单效蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组。使用在国棉十二厂，制冷量 1163kW(100 万 kcal/h)，全钢结构，使用了 10 多年后更换铜传热管，又继续使用了数年，于 1984 年左右报废，使用寿命在 15 年以上。

与此同时，上海国棉二十一厂与上海纺织设计院等单位亦试制成功了制冷量 698kW(60 万 kcal/h)全钢结构的机组。

由上海七〇四研究所，合肥通用机械研究所与上海第一冷冻机厂组成的联合设计小组提出任务，委托高校进行了三项基础性试验研究：a. 溴化锂水溶液物性参数的测定，编制了国产溴化锂水溶液的各类物性及热力性能曲线，由上海复旦大学完成；b. 溴化锂水溶液对金属材料的腐蚀及防腐蚀研究，确定了铬酸锂用作缓蚀剂的缓蚀效果，由上海复旦大学完成；c. 溴化锂水溶液的传热试验，对溴化锂水溶液在发生器与吸收器中的传热性能进行了试验，由西安交通大学完成。

由上述联合设计小组研究设计、上海第一冷冻机厂于 1968 年、1971 年先后制成两台船用溴化锂制冷机组，采用不锈钢壳体，铜镍合金传热管，并配有冷量调节与水量调节装置。

1978 年上海第一冷冻机厂在试验、分析、消化、吸收国外样机技术的基础上，试制成功了 1744kW(150 万 kcal/h)单效溴化锂吸收式冷水机组，并于 1984 年引进了美国特灵公司“溴化锂吸收式制冷机技术”，对提高生产加工工艺水平、改善检测手段，起了一定的作用，产品的清洁度和制造质量明显提高。

1982 年我国第一台正式鉴定的蒸汽双效机组，由上海七〇四研究所、合肥通用机械研究所联合设计，开封通用机械厂试制成功。

1984 年由上海七〇四研究所、开封通用机器厂和无锡第四织布厂联合试制了双效型第一类吸收式热泵。

1989 年上海第一冷冻机厂首次进行了 350kW(30 万 kcal/h)，驱动热源水温度 90℃，热水型溴化锂吸收式冷水机组的鉴定。

1990 年上海交通大学、上海第一冷冻机厂、上海溶剂厂联合研制了 350kW(30 万 kcal/

h)第二类吸收式热泵并通过鉴定。

1990年北京亚运村大面积制冷空调系统首次采用以蒸汽为能源的双效溴化锂吸收式冷水机组,空调制冷总负荷为33721kW(2900万kcal/h),共安装了开封通用机械厂等厂家生产的29台蒸汽双效机组,对国内溴化锂制冷机的应用起了推动作用。

1990年江阴溴化锂制冷机厂开发了采用浓溶液直接喷淋、冷却水并联进水、吸收器排列在蒸发器两侧、淋板喷淋新结构的溴化锂冷水机组。

1990年上海市通用机械技术研究所首次进行了第二类吸收式热泵的模拟试验,并通过鉴定。

1990年江阴溴化锂制冷机厂在国内首先鉴定了“溴化锂吸收式制冷机全性能试验台”。

1991年江阴溴化锂制冷机厂试制成功了国内最大型制冷量5814kW(500万kcal/h)蒸汽单效型溴化锂制冷机。并于1992年试制成功了国内最大型制冷量5814kW蒸汽双效型溴化锂制冷机。

1992年上海第一冷冻机厂开发了采用高效传热管,以PC机控制的新型溴化锂吸收式制冷机。

1992年由开封通用机械厂、上海七〇四研究所、开封锅炉厂在吸收国外技术的基础上进行了350kW(30万kcal/h)燃气双效溴化锂冷热水机的研制,并通过鉴定。

1992年大连冷冻机厂与日本三洋电机公司、日商岩井株式会社三家合资兴办的大连三洋制冷有限公司,推出了新型溴化锂吸收式制冷机,成为国内第一家生产溴化锂吸收式制冷机的合资企业。

1992年由上海交通大学设计,山东潍坊制冷空调设备厂生产了国内第一台单双效合一、蒸汽与热水并用、制冷量为2093kW(180万kcal/h)余热型溴化锂吸收式制冷机。

1993年由长沙远大空调有限公司进行了350kW(30万kcal/h)燃油型吸收式冷热水机组的鉴定。

1993年上海七〇四研究所与青岛同和空调设备厂进行了两级吸收式冷水机组的开发,驱动热源水温度65~68℃,冷水出水温度13℃,用于首都钢铁厂废热回收。

1995年上海华源前进制冷空调公司试制了制冷量105kW(9万kcal/h)小型燃气型吸收式冷热水机组。

总的来说,国内研制生产溴化锂机组的历史不短,发展不快,但近几年来在改革开放的形势下,溴化锂机组得到了迅速的发展。就机组的品种而言,除蒸汽单、双效型外,还发展了热水型,燃油与燃气直燃型溴化锂吸收式冷热水机组,曾试制了第一类、第二类吸收式热泵机组,但未形成产品。特别是直燃型冷热水机组,近两年来发展更为迅猛,1995年全国生产台数约在2500台左右,其中直燃式约占30%。生产工厂已近百家,但具有一定生产能力的只有一半左右,主要生产厂家有江苏双良特灵溴化锂制冷机有限公司、上海一冷-开利空调设备有限公司、大连三洋制冷有限公司以及长沙远大空调有限公司等,其中生产量最大的是江苏双良特灵公司。不少工厂产品的主要技术指标在热源单耗方面已接近国际先进水平;在自控方面可编程序控制器的应用,使机组的自控水平有了很大的提高。高效传热管的应用使机组的外形尺寸大为降低。但国内机组就机型品种、总体水平和总体质量而论,与国外机组相比仍有一定的差距。

1.4 国外溴化锂吸收式制冷技术的发展概述

1.4.1 主要生产国家的发展简介

1. 美国

美国是最早生产溴化锂吸收式制冷机的国家,1930年美国阿克拉公司生产了小型单效燃气空调机在市场出售。1945年由美国开利公司生产了世界上第一台523kW(45万kcal/h)制冷量、双筒体的溴化锂吸收式制冷机。1961年斯太哈姆公司制成了第一台双效溴化锂吸收式制冷机。由于全美的天然气管网遍布,为了满足用户的需要,也研制了燃气直燃型吸收式制冷机。生产的厂家主要有开利、特灵、约克等公司。美国虽然在溴化锂制冷机的研制方面起步早,但发展不快,主要原因是:①美国电费便宜;②吸收式制冷机需要锅炉,运转管理复杂,因而生产量不多。美国生产溴化锂吸收式制冷机的台数1974年为最高峰达1000台,其后年年下降,到1987,1988年仅年产130台。但是自蒙特利尔协定书签订以来,由于氯氟烃制冷剂的限制使用,吸收式制冷机又有了新的发展,近几年来产量年年上升,到1992年已达年产量390台。特灵公司采用日本川崎的技术,开利公司采用荏原制作所的技术,约克公司采用东芝的技术,大力加快了美国溴化锂制冷机的发展。特别是燃气政策法(N.G.P.A)实施以来,燃气供应得到改善,电费上升,对发展燃气冷热水机提供了有利条件。吸收式制冷机的研究主要集中在如下方面:①太阳能吸收式制冷机;②双效吸收制冷循环的研究分析;③高效燃气吸收式冷热水机;④利用低温热源的吸收式制冷机;⑤氨水吸收式制冷系统热力系数的改善;⑥利用废热的吸收式热泵。开发了制冷量为2.3kW(2000kcal/h)左右以氨水作工质的高效燃气吸收式冷热水机,供家用空调。

2. 日本

在溴化锂吸收式技术领域,发展最快的国家首推日本,日本的溴化锂吸收式技术,最初由美国引进,但现在反过来向美国输出,日本在1959年由汽车制造株式会社(现川崎重工)生产出第一台大容量的吸收式制冷机。1964年川崎重工生产蒸汽双效溴化锂吸收式制冷机。1968年川崎重工生产燃气直燃吸收式冷热水机。1971年荏原制作所制造了日本第一台吸收式热泵机组。1978年日立制作所制造出使用低压蒸汽200~500kPa(表)的双效机组。1979年荏原制作所制造中等冷量140~261kW(12万~23万kcal/h)的燃气直燃吸收式冷热水机。1980年矢崎与三洋电机公司制造70~116kW(6~10万kcal/h)的燃气直燃式冷热水机。并有矢崎总业,东京燃气株式会社等家生产制冷量范围26~174kW(2.2~15万kcal/h)的小型直燃式冷热水机。1987年东京三洋电机及荏原制造所制造智能型的吸收式冷热水机。1987年日本东京燃气株式会社试制成功了空冷溴化锂机组。荏原制作所、川崎重工、三洋电机、矢崎总业、日立制作所等5家近期开发了GASPAC燃气总装吸收式冷热水机组。这种机组将吸收式冷热水机与冷却塔置于一体,制冷量范围为70~350kW(6~30万kcal/h),使用对象为面积400~3000m²的中小规模建筑。

据1995年日本冷冻空调协会公布的资料表明,日本溴化锂吸收式机组的产量稳定在6000台/年左右,详细数据见表1-1。

其中年出口量约在300~350台。日本的生产厂家主要有三洋电机、三菱重工、日立制作所、荏原制作所、川崎重工以及生产小型机组的矢崎总业、东京煤气、田熊公司等。单机制冷量最小26kW(2.2万kcal/h),最大10465kW(900万kcal/h)。仅三洋电机公司的生产能力

表 1-1

年份	总台数	175kW		年份	总台数	175kW	
		(15万 kcal/h)以下	(15万 kcal/h)以上			(15万 kcal/h)以下	(15万 kcal/h)以上
1985	5922	4059	1863	1990	6414	3422	2992
1986	5892	3878	2014	1991	6796	3204	3592
1987	5979	3971	2008	1992	6696	3139	3557
1988	6541	4132	2409	1993	6311	2804	3507
1989	6349	3707	2642	1994	6517	2609	3908

已达到年产 1600 台。在溴化锂吸收式机组中直燃溴化锂吸收式冷热水机组约占总产量的 80%，溴化锂吸收式热泵在日本的年需求量不到百台。第一类单效型吸收式热泵已商品化，双效型尚处于研究开发阶段；第二类吸收式热泵不及第一类吸收式热泵使用得多，主要原因是使用的局限性，因为只有当用户的条件和要求与热泵的功能相符合时才能收到较好的节能效果。

经过不断的改进提高，日本直燃式冷热水机的热力系数已由开发初期的 0.75 提高到 1.26，机组质量由 100% 降低到 51%，体积由 100% 降到 47%，如图 1-3 所示。

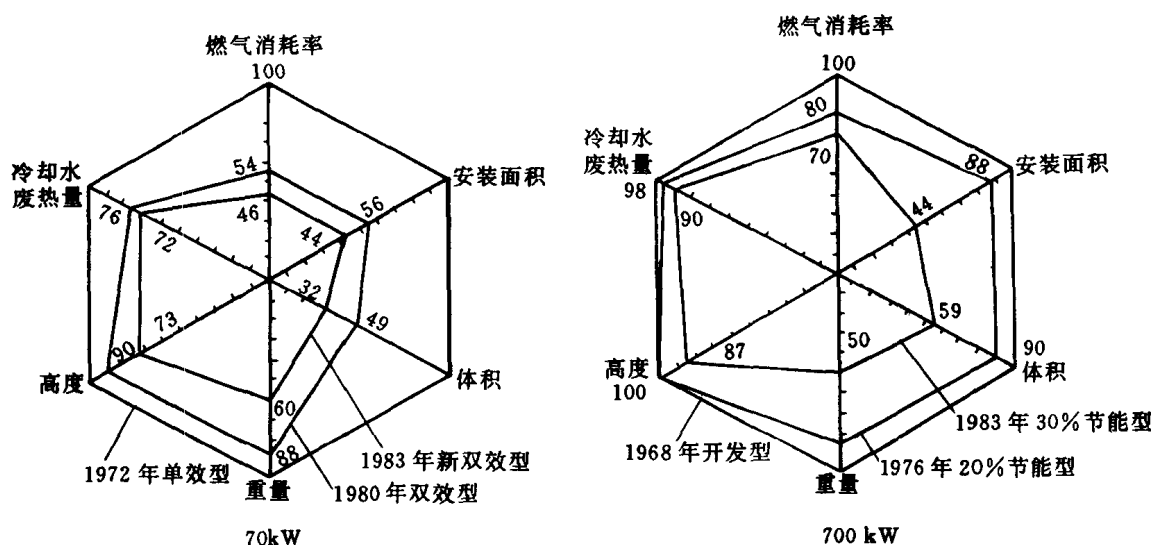


图 1-3 燃气直燃式冷热水机组的技术发展

在直燃式中日本以燃气直燃式为主，这是由于日本燃气价低廉，同时政府制定了以燃气制冷的能源政策，要求从 1980 年起，制冷耗能的 1/3 要实现燃气化，并实施促进燃气化的优惠办法，例如节约投资费用（银行借贷款优惠和减税），降低运转费用（减免税和实行季节降价）。

日本的发展经历了如下阶段：60 年代前后日本的吸收式制冷机处于开发初期，这一时期研究工作的重点在于追求结构紧凑化，部件的标准化。70 年代研究工作的重点是：降低能耗，提高机组的可靠性，操作维护方便。接下来第三步的工作是高效传热管的应用，电子计算机的应用（智能化），低品位热能的利用，新的制冷剂与吸收剂的开发，空冷型、热泵型机组的研究，以及总能系统、发动机的余热利用与吸收式制冷机的联合运行等。

3. 俄罗斯

俄罗斯溴化锂制冷机的最高年生产量为 150~200 台左右。60 年代采用钢管、钢管结构，但腐蚀严重，寿命短，平均寿命 15 年左右。70 年代改用铜管，主要生产厂是莫斯科压缩机厂、