

溴化锂  
吸收式  
制冷机

戴永庆

郑玉清

编著

XIU HUA LI  
XI SHOU  
SHI  
ZHI  
LENG JI

国防工业出版社



# 溴化锂吸收式制冷机

戴永庆 郑玉清 编著

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是在总结我国十多年来发展溴化锂吸收式制冷机的主要经验并相应参考了国外有关资料的基础上编写而成。

本书共分十章，比较系统地介绍了溴化锂吸收式制冷机的理论基础、工作原理、设计计算、型式结构、性能变化、自动控制以及制造、安装、运行等各方面的知识。书中较详细地阐述了有关质交换过程的机理、传热系数的计算、变工况的特性和电子计算机在性能分析中的应用。此外，书中还介绍了蒸汽两效溴化锂吸收式制冷机、直燃式冷温水机组、利用低温热源的溴化锂吸收式制冷机以及吸收式制冷机与离心式制冷机的联合装置。

本书可供从事溴化锂吸收式制冷机的设计、制造、管理人员以及有关院校师生参考。

### 溴化锂吸收式制冷机

戴永庆 郑玉清 编著

\*  
国防工业出版社 出版

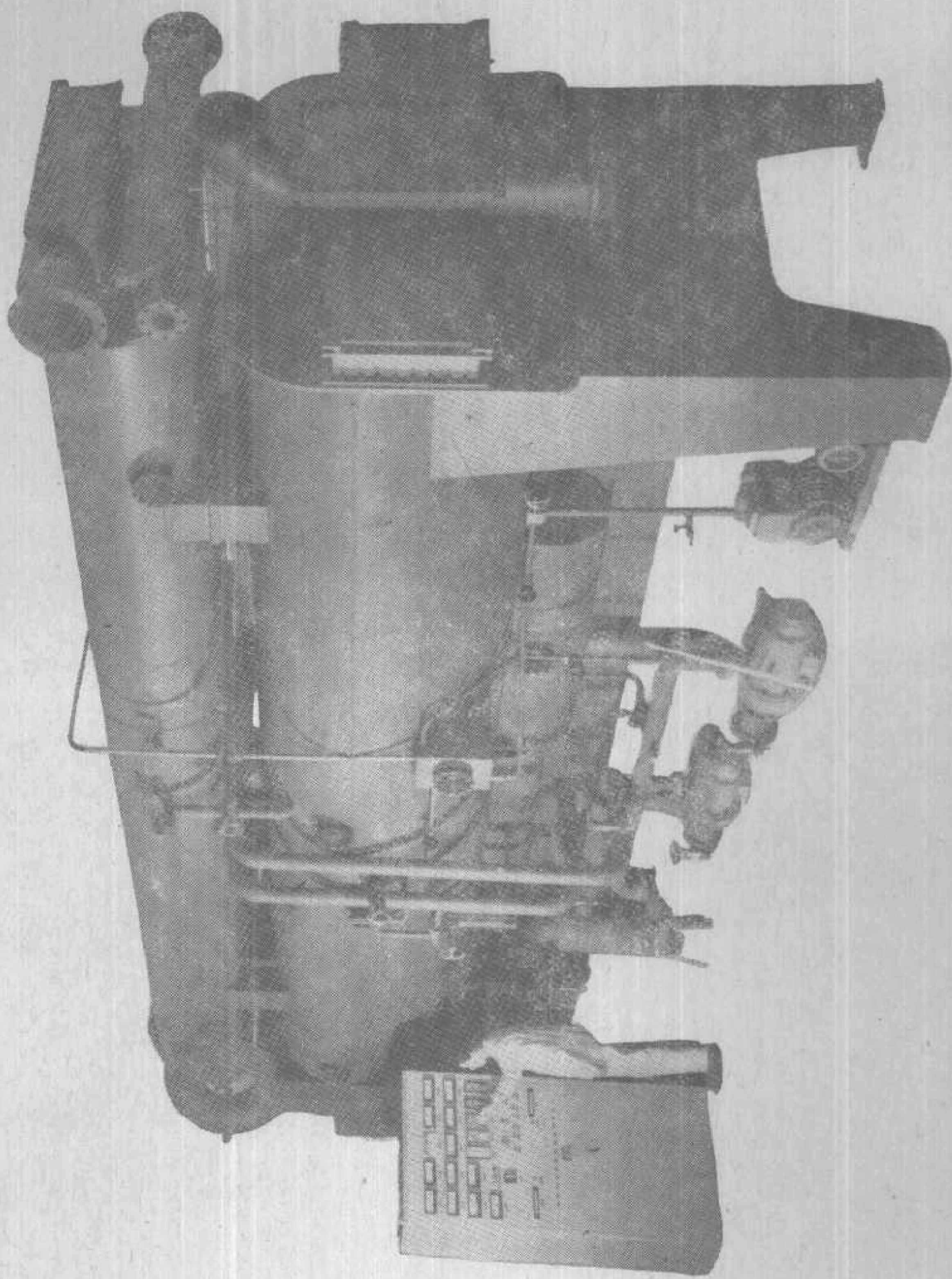
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*  
787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张17<sup>5</sup>/<sub>8</sub> 插图2 402千字

1980年6月第一版 1980年6月第一次印刷 印数：0,001-2,660册

统一书号：15034·1979 定价：2.00元



XS-3000型单效双筒型溴化锂吸收式制冷机



## 前 言

自 1966 年我国试制成功 100 万千卡/时溴化锂吸收式制冷机以来，溴化锂吸收式制冷机在我国得到了较快的发展，因此对研制和应用这种机型所需要的书刊、资料也日趋迫切。

为了总结国内经验，促进这种机型在我国的应用和发展，1976 年上级正式下达编写“溴化锂吸收式制冷机”一书的任务。二年多来，在许多同志的热情支持和积极帮助下，根据我们的工作体会，参照国内外的有关资料，听取了许多专业人员的宝贵意见，经过多次审查修改，编成了本书。书中在阐述和分析溴化锂吸收式制冷机基本原理的基础上，对其设计计算和结构型式作了较为详细的介绍。同时，对机器的自动控制、制造安装、操作保养等也作了一定的说明。本书内容的取材以国内的经验 and 国产机器为主，并力求反映国外的先进经验和水平。全书共分十章。其中，绪论、第一、二、三、六、九章由郑玉清编写；第四、五、七、八、十章由戴永庆编写。在编写过程中，曾得到上级领导的积极支持和有关同志的大力协助。张祉佑、耿惠彬同志在百忙中承担了全书的审校工作；吴进发同志对书的内容和章节安排提了不少宝贵意见并审阅了部分章节。参加本书审阅工作的还有冯见知、尉迟斌、王启杰、陆廷玮、茅以惠、范康年、陈芝久、石家泰、曹渊明、陈厚秀、梁廷钰、王士华等同志。为使本书早日脱稿，薛佩芬、郭慧英、缪爱华等同志作了大量的制图、缮写工作。借此机会，谨表示衷心的感谢。

本书脱稿前虽经许多同志审阅，作了几次修改，但由于编者的思想水平和业务水平有限，加上时间比较仓促，书中谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

常用符号 .....	1	§2 传热计算 .....	65
绪论 .....	4	一、传热面积的计算 .....	66
第一章 基础理论 .....	7	二、关于传热系数 $K$ .....	67
引言 .....	7	§3 结构设计计算 .....	77
§1 溶液的热力学性质 .....	8	一、换热设备传热管数的计算 .....	77
一、几个基本概念 .....	8	二、流速计算 .....	78
二、溶液的分压与总压 .....	11	三、流动阻力损失计算 .....	79
三、相律 .....	13	四、温差热应力计算 .....	81
四、溶液的相平衡及状态变化过程 .....	14	五、管板的厚度 .....	82
§2 吸收式制冷机的工质 .....	17	六、壳体的稳定性计算 .....	84
§3 溴化锂溶液的性质 .....	18	七、溴化锂溶液量的估算 .....	87
一、物理性质 .....	20	§4 设计计算举例 .....	87
二、腐蚀性 .....	24	一、热力计算 .....	87
§4 溴化锂溶液的热力状态图 .....	28	二、传热面积计算 .....	92
一、 $P-t$ 图 .....	28	三、结构计算 .....	97
二、 $t-\xi$ 图 .....	29	第四章 型式与结构 .....	100
三、 $s-\xi$ 图 .....	32	引言 .....	100
§5 传热过程 .....	34	§1 溴化锂吸收式制冷机的型式 .....	100
一、传热方程式 .....	34	§2 主要部件的结构 .....	112
二、相似准则数及准则方程式 .....	36	一、发生器 .....	112
三、平均温差 .....	38	二、冷凝器 .....	119
四、近似特性方程式 .....	41	三、蒸发器 .....	120
§6 传质过程 .....	43	四、吸收器 .....	121
一、传质过程的发生 .....	43	五、溶液热交换器 .....	124
二、传质方程式 .....	44	六、抽气装置 .....	126
三、传质过程的增强 .....	46	七、混合阀 .....	128
第二章 工作原理 .....	49	§3 结构设计 .....	128
§1 基本原理 .....	49	一、管排布置 .....	128
§2 理论循环 .....	51	二、管板 .....	130
一、 $i-\xi$ 图上的理论循环 .....	51	三、封头箱 .....	130
二、各设备的热负荷 .....	53	四、挡液板 .....	132
三、热力系数及热力完善度 .....	56	五、喷淋装置 .....	133
§3 实际循环 .....	57	§4 主要附属设备 .....	138
第三章 设计计算 .....	60	一、屏蔽泵 .....	138
§1 热力计算 .....	60	二、真空泵 .....	142
一、设计参数的确定 .....	60	三、真空阀 .....	144
二、各换热设备热负荷的计算 .....	63	第五章 性能 .....	147
三、制冷机的热平衡 .....	64	§1 外界条件变化与机组的性能 .....	147
四、热力系数与热力完善度 .....	64	一、冷媒水出口温度与机组性能 .....	147
五、各工作介质的流量计算 .....	64	二、加热蒸汽压力与机组性能 .....	148
		三、冷却水进口温度与机组性能 .....	150
		四、冷却水量、冷媒水量与机组性能 .....	151

五、水侧污垢系数与机组性能 .....	151	四、电气线路 .....	211
六、外界条件变化时制冷机性能汇总表 .....	152	五、绝热 .....	211
§2 影响性能的其他因素 .....	152	<b>第八章 操作运转与维护保养</b> .....	212
一、溶液浓度与机组性能 .....	152	§1 正常运转 .....	212
二、溶液循环量与机组性能 .....	153	一、运转前的准备 .....	212
三、不凝性气体的存在与机组性能 .....	154	二、启动 .....	214
四、能量增强剂与机组性能 .....	155	三、正常运转中的操作 .....	215
五、冷剂水中溴化锂含量与机组性能 .....	157	四、停机 .....	217
§3 利用电子计算机进行性能计算的初步		§2 故障情况分析 & 处理 .....	218
探讨 .....	157	一、机组常见故障及排除方法 .....	218
一、发生器 .....	158	二、排除故障时的一些主要操作方法 .....	220
二、冷凝器 .....	158	§3 维护保养 .....	222
三、蒸发器 .....	159	一、短期停机的保养 .....	222
四、吸收器 .....	159	二、长期停机的保养 .....	222
五、溶液热交换器 .....	159	三、定期检查 .....	222
<b>第六章 自动控制</b> .....	163	四、溴化锂溶液的再生 .....	223
§1 冷量自动调节方法 .....	163	五、水质管理与管子清洗 .....	224
一、加热蒸汽量调节法 .....	164	六、机器的清洗与酸洗 .....	226
二、加热蒸汽凝结水量调节法 .....	164	<b>第九章 两效溴化锂吸收式制冷机</b> .....	228
三、冷却水量调节法 .....	165	§1 两效制冷循环 .....	228
四、溶液循环量调节法 .....	165	§2 设计计算与应用举例 .....	232
五、组合式调节法 .....	166	一、几个设计参数的确定 .....	233
§2 冷量自动调节设备 .....	168	二、热力计算方法 .....	234
一、调节器的类型 .....	168	§3 结构设计中的 - 些问题 .....	239
二、调节器的特性 .....	168	一、机组的结构型式 .....	239
三、调节阀 .....	173	二、高压发生器 .....	239
§3 安全保护装置 .....	178	三、节流装置 .....	240
一、安全保护装置的种类 .....	178	四、高压发生器泵 .....	241
二、几种常用的保护装置 .....	181	五、低压发生器 .....	241
§4 程序启动和程序停车 .....	185	六、系统中的阻力问题 .....	241
一、程序启动 .....	185	七、关于缓蚀剂的问题 .....	241
二、程序停车 .....	185	八、加热蒸汽凝结水热量的利用问题 .....	241
三、自动控制原理线路图举例 .....	186	<b>第十章 其它型溴化锂吸收式制冷机</b>	
<b>第七章 制造、试验与安装</b> .....	190	及其联合装置 .....	242
§1 制造 .....	190	§1 直燃式溴化锂吸收式冷温水机组 .....	242
一、材料选用 .....	190	一、前言 .....	242
二、制造技术要求 .....	191	二、直燃式冷温水机组 .....	242
三、制造工艺 .....	192	三、无电动循环泵的冷温水机组 .....	247
四、机组的检验 .....	195	§2 利用低势热源的吸收式制冷机 .....	250
§2 性能试验 .....	199	一、两级吸收循环 .....	250
一、试验装置与测试仪表 .....	199	二、单级吸收循环 .....	255
二、设计工况下机组性能的测试 .....	200	§3 吸收式与离心式制冷机的联合装置 .....	257
三、变工况下机组性能的测试 .....	204	一、概述 .....	257
四、自动控制试验 .....	204	二、主要设备 .....	258
五、阻力测定 .....	205	三、冷量控制 .....	259
§3 安装 .....	205	四、流程 .....	260
一、机房布置 .....	205	五、运行 .....	261
二、机器安装 .....	206	六、经济比较 .....	262
三、供汽、水系统 .....	206		

参考文献 .....262

## 附 录

附表一、饱和水蒸汽表	264
附表二、力单位换算表	267
附表三、压力单位换算表	268
附表四、功、能和热量单位换算表	268
附表五、功率单位换算表	268
附表六、导热系数单位换算表	269
附表七、运动粘度单位换算表	269

附表八、动力粘度单位换算表	269
附表九、制冷量换算表	269
附表十、传热系数单位换算表	270
附表十一、比热单位换算表	270
附表十二、焓单位换算表	270
附表十三、温度换算表	270
附表十四、散热率单位换算表	270
附表十五、空气的物理性质	271
附表十六、水的物理性质	271
附图一、溴化锂溶液焓( $i$ )-浓度( $\xi$ )图	273
附图二、溴化锂溶液熵( $s$ )-浓度( $\xi$ )图	274



## 常用符号

- $a$  —— 溶液循环倍率；
- $a_1$  —— 高压发生器循环倍率；
- $a_2$  —— 低压发生器循环倍率；
- $a_t$  —— 管子材料的横截面积 米<sup>2</sup>；
- $a_{s,h}$  —— 壳体材料的横截面积 米<sup>2</sup>；
- $A$  —— 管子通道截面积 米<sup>2</sup>；
- $B$  —— 大气压力；
- $c$  —— 比热 千卡/公斤<sup>o</sup>C；或壁厚附加量 厘米；
- $c_e$  —— 当量比热 千卡/公斤<sup>o</sup>C；
- $c_p$  —— 等压比热 千卡/公斤<sup>o</sup>C；
- $C_1$  —— 钢板负偏差附加量 厘米；
- $C_2$  —— 腐蚀裕量 厘米；
- $d$  —— 管子直径；
- $d_e$  —— 管子当量直径；
- $D$  —— 冷剂水循环量 公斤/时；管板直径 厘米；
- $D_{s,h}$  —— 壳体内径；
- $D_0$  —— 壳体外径；
- $f$  —— 管子单位长度的面积 米<sup>2</sup>/米；
- $f_a$  —— 吸收器再循环倍数；
- $f_0$  —— 蒸发器再循环倍数；
- $F$  —— 热交换设备的传热面积 米<sup>2</sup>；
- $F_M$  —— 圆管内外面的平均面积 米<sup>2</sup>；
- $F_d$  —— 挡液板通道截面积 米<sup>2</sup>；
- $F_M$  —— 传质面积；
- $g$  —— 溶液的喷淋密度 公斤/米<sup>2</sup>秒；或重力加速度 米/秒<sup>2</sup>；
- $G$  —— 重量流量 公斤/时；喷淋液体量 公斤/时；
- $G_a$  —— 发生器的稀溶液流量 公斤/时；
- $H$  —— 阻力压头损失 毫米汞柱；
- $h_f$  —— 管道摩擦损失 毫米汞柱；
- $h_c$  —— 局部阻力损失 毫米汞柱；
- $K$  —— 传热系数 千卡/米<sup>2</sup>时<sup>o</sup>C；或管壁的绝对粗糙度 米；
- $K_M$  —— 传质系数；
- $l$  —— 热交换设备每根管子长度 米；

- $m$ ——热交换设备的流程数;  
 $n$ ——热交换设备的管子数;  
 $P$ ——压力 公斤/厘米<sup>2</sup>;  
 $P_r$ ——高压发生器中的压力 公斤/厘米<sup>2</sup>;  
 $P_v$ ——机组内的真空度 毫米汞柱;  
 $P_{A_1}$ ——边界层前冷剂蒸汽分压;  
 $P_{A_2}$ ——吸收液膜内蒸汽压;  
 $q$ ——单位热负荷 千卡/公斤;  
 $Q$ ——热负荷 千卡/公斤;  
 $Q_0$ ——制冷机制冷量 千卡/时;  
 $Q'_0$ ——空调或工艺所需的冷量 千卡/时;  
 $r$ ——污垢系数 米<sup>2</sup>时°C/千卡; 或蒸发潜热 千卡/公斤;  
 $S$ ——润湿周长 米;  
 $t$ ——温度 °C; 或管子间距 厘米;  
 $t_m$ ——平均温度 °C;  
 $V$ ——工作介质的体积流量 米<sup>3</sup>/时;  
 $V_a$ ——吸收器喷淋液泵的流量 米<sup>3</sup>/时;  
 $V_r$ ——浓溶液流量 米<sup>3</sup>/时;  
 $V_{w_1}$ ——吸收器冷却水流量 米<sup>3</sup>/时;  
 $V_{w_2}$ ——冷凝器冷却水流量 米<sup>3</sup>/时;  
 $v''$ ——冷剂蒸汽的比容 米<sup>3</sup>/公斤;  
 $V_g$ ——稀溶液循环量(发生器泵流量) 米<sup>3</sup>/时;  
 $V_p$ ——吸收器喷淋溶液量(吸收器泵流量) 米<sup>3</sup>/时;  
 $w$ ——蒸汽、水、溶液等介质的流速 米/秒;  
 $w_d$ ——挡板截面通道中流体的流速 米/秒;  
 $w_p$ ——配管通道中流体的流速 米/秒;  
 $w_t$ ——热交换设备内的介质流速 米/秒;  
 $X$ ——浓度 % (克分子);  
 $\alpha$ ——放热系数 千卡/米<sup>2</sup>时°C; 或热膨胀系数;  
 $\gamma$ ——比重 公斤/米<sup>3</sup>;  
 $\gamma_a$ ——稀溶液比重 公斤/米<sup>3</sup>;  
 $\gamma_r$ ——浓溶液比重 公斤/米<sup>3</sup>;  
 $\gamma''$ ——干饱和蒸汽的比重 公斤/米<sup>3</sup>;  
 $\delta$ ——壳体和管板的厚度 厘米;  
 $\delta_i$ ——传热管各层壁的厚度 厘米;  
 $\delta_t$ ——流体在换热设备中的温度变化 °C;  
 $\Delta$ ——加热与被加热流体间的最大温差 °C;  
 $\Delta t$ ——热交换设备两介质的温度差 °C;

- $\Delta t_{w_1}$ ——吸收器冷却水进出口温差  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta t_{w_2}$ ——冷凝器冷却水进出口温差  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta t_1$ ——较大温差端的温差  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta t_2$ ——较小温差端的温差  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\varepsilon$ ——热膨胀伸长量; 或压缩系数;  
 $\zeta$ ——局部阻力系数;  
 $\xi$ ——溴化锂吸收式制冷机的热力系数;  
 $\eta$ ——溴化锂吸收式制冷机的热力完善度;  
 $\Theta$ ——平均温差;  
 $\Theta_a$ ——算术平均温差;  
 $\Theta_l$ ——对数平均温差;  
 $\lambda$ ——导热系数 千卡/米时 $^{\circ}\text{C}$  或摩擦系数;  
 $\nu$ ——流体运动粘度 米<sup>2</sup>/秒;  
 $\xi$ ——溶液浓度 % (重量);  
 $\xi_a$ ——稀溶液浓度 % (重量);  
 $\xi_m$ ——溶液平均浓度 % (重量);  
 $\xi_r$ ——浓溶液浓度 % (重量);  
 $\xi_r - \xi_a$ ——放汽范围 % (重量);  
 $\sigma$ ——表面张力系数 公斤/米。

上角注:

- '——进口;  
 "——出口。

下角注:

- $a$ ——吸收器;  
 $a_1$ ——高压吸收器;  
 $a_2$ ——低压吸收器;  
 $c$ ——冷媒水;  
 $d$ ——挡液板;  
 $e$ ——当量;  
 $g$ ——发生器;  
 $g_1$ ——高压发生器;  
 $g_2$ ——低压发生器;  
 $h$ ——热源 (蒸汽、热水);  
 $i$ ——“内”;  
 $k$ ——冷凝器;  
 $l$ ——溶液; 或“大”;  
 $m$ ——平均;  
 $o$ ——蒸发器; 或冷剂水; 或“外”;  
 $s$ ——“小”;  
 $t$ ——溶液热交换器;  
 $t_1$ ——第一热交换器;  
 $t_2$ ——第二热交换器。

## 绪 论

随着现代工业和科学技术的蓬勃发展，制冷、空调技术得到了广泛的应用。它不仅与国民经济的各个部门密切相关，而且与人们的日常生活紧密相连。

溽暑盛夏，会堂、旅馆、医院、剧场、办公大楼等公共场所以及住宅，很需要有一个舒适的环境，单靠通风，远不能满足人们的要求，还必须运用制冷的技术降温、除湿，以创造并维持某一定舒适环境的温度和湿度。

在舰船上，尤其是航行于水下的潜艇，舱室狭小，人员集中，各种设备运行时所产生的热量又很难排除出去，假如不应用制冷技术来降温，舱室温度可高达 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，在此高温下要进行艇上的正常工作是不堪设想的；纺织部门生产车间的机器，在运转过程中会发出大量的热，如果不及时排除出去，不仅操作人员受不了，而且影响产品的质量，甚至使生产无法进行；某些精密机床、仪器仪表的生产和使用，要求在恒温（如 $20^{\circ}\text{C}$ ）条件下进行，这也与制冷、空调技术分不开；许多工业部门，例如：石油、化工、冶金、机械以及电子、原子能等工业也都需要制冷与空调。

在空调技术中，降温是重要环节。这就需要应用制冷技术，即采用制冷装置把热量不断地从某一空间排除出去，以维持所需的温度。可用于空调的制冷装置有活塞式、离心式、螺杆式、蒸汽喷射式等各种制冷机。但是，除了蒸汽喷射式制冷机外，其余几种制冷机一般都要耗费电能，而且对于需要大制冷量的空调场合，所耗费的电能也较大（如一台50万千瓦/时的离心制冷机，约需150千瓦），因此运转费用高。蒸汽喷射式制冷机虽然不需要大量的电能，但需要压力较高（ $7\text{公斤/厘米}^2$ 以上）的蒸汽，且机器的效率较低。溴化锂吸收式制冷机的问世，为解决工业生产部门以及会堂、旅馆、剧场、医院、住宅等场所所需的空调（或其它生产工艺）冷源提供了新的制冷机型；同时，由于它能利用各种废汽、废热来制冷，这就为热能，尤其是废热的综合利用开辟了新的途径。

溴化锂吸收式制冷机是一种以热能为动力，以水为制冷剂，以溴化锂溶液为吸收剂，用来制取高于 $0^{\circ}\text{C}$ 的冷量（一般制取 $7^{\circ}\text{C}$ 或 $13^{\circ}\text{C}$ 的冷水）的制冷设备。与其它类型的制冷机相比，它的显著优点是：

1. 以热能为动力，毋需耗用大量的电能，而且对热能的要求不高，能利用各种低势热源和废汽、废热，如：高于 $0.2\text{公斤/厘米}^2$ （表）的饱和蒸汽， $75^{\circ}\text{C}$ 以上的热水以及地下热，太阳能等，有利于热源的综合利用，因此，运转费用低。若利用废汽、废热来制冷，则几乎不需要花费什么运转费用就能获得大量的冷量，经济性高。

2. 整个制冷机组除屏蔽泵外，没有别的运动部件，振动、噪音小，运行安静，特别适用于医院、会堂、办公室、舰艇等场合。

3. 以溴化锂水溶液为工质，制冷机在真空状态下运行，无臭、无毒、无爆炸危险，安全可靠。

4. 负荷变化时性能稳定，可在 $10\sim 100\%$ 的范围内进行冷量的无级调节，而且调节



时机组的热力系数几乎不下降，能很好地适应负荷变化的要求。

5. 结构简单，制造方便。机组中除屏蔽泵、真空泵和真空阀门等附属设备外，几乎都是一般的热交换设备，加工制造容易。

6. 对机组安装的要求低。因为运行时振动极小，故不需要特殊的机座。可安装在中间楼层或屋顶上，也可安装在室外。安装时只需要一般地校正水平，接上所需的汽、水管道和电源即可。

7. 操作简单，维护保养方便。机组中只要适当地配置一些自动控制元件，就可达到自动化操作的要求；机组的保养工作，主要在于维持所需的真空度，也是比较方便的。

溴化锂吸收式制冷机的主要缺点是：

1. 在有空气的情况下，溴化锂溶液对普通碳钢具有较强的腐蚀性。这不仅影响机组的寿命，而且直接地影响机组的性能和正常运行。

2. 制冷机在真空状态下运行，空气容易泄入。实践证明：即使泄入极微量的空气，也会严重地影响机组的工作性能。为此，整个制冷装置要求严格的密封，这就给机组的制造和安装增添了困难。

3. 由于以热能为动力，兼之溴化锂溶液吸收冷剂蒸汽是一放热过程。冷剂蒸汽的冷凝和吸收过程都需要冷却，因此冷却负荷较大。

自从1945年美国凯利亚公司试制成功第一台制冷量为45万千卡/时的溴化锂吸收式制冷机以来，经过不断地改进和提高，现在已有好些国家系列化地生产这种机型，广泛地应用于空调或其它生产工艺过程。

两级吸收溴化锂制冷机的出现，使温度较低的热源应用于溴化锂吸收式制冷机上仍能取得较好的效果成为可能，即为地下热（如75℃以上温泉水）、太阳能、柴油机的冷却水等低势热能在空调或其它生产工艺过程中的应用创造了条件。

燃气、燃油两效溴化锂吸收式冷温水机的研制成功，可以不用锅炉而直接将燃料用于制冷机，从而简化了设备并大大地提高了燃料的利用效率，为在国民经济的各个部门和人们的舒适空调中提供了新的制冷与取暖设备，使溴化锂吸收式制冷机的应用范围更为广泛。

溴化锂吸收式制冷机因其本身的特点，正受到日益广泛的重视，并获得了迅速的发展。

在美国，从事于溴化锂吸收式制冷机的有凯利亚、特冷、华新顿、约克等公司。生产的产品除了单筒和双筒型外，还有用于舰船的三筒型。近年来又增加了蒸汽两效、直燃两效、无泵型冷温水机以及利用太阳能作为热源等型式的产品。目前，美国生产和应用的溴化锂吸收式制冷机的数量急剧上升，达到了与离心式制冷机“并驾齐驱”的地步。

日本在二次世界大战后，大量引进美国技术，继1956年研制成小型空调用溴化锂吸收式制冷机后，又于1959年生产了制冷量为60万千卡/时的溴化锂吸收式制冷机，特别是最近十多年来，溴化锂吸收式制冷机的生产有了大幅度的增长。据日本冷冻空调工业会的调查，从1968到1974的六年中，离心式制冷机的销售量几乎不变，而溴化锂吸收式制冷机则增加了6.5倍，接近于离心式制冷机的销售量。目前，日本生产的溴化锂吸收式制冷机除了采用蒸汽作为热源外，还采用燃气、燃油作为热源。大量生产的燃气、燃油两效冷温水机已广泛应用于工厂、大楼、医院、学校、旅馆、宿舍等场合。溴化锂吸收式制冷机的产量已超过离心式制冷机。

苏联在发展溴化锂吸收式制冷机方面，是从样机的研制着手，同时进行了大量的试验研究和理论探讨工作，提出了采用低势热源（如75~80℃的热水）而机组效率仍保持较高的措施；把探索采用废热源、采用风冷、利用电站余热以及机组的防腐、提高换热设备的效率、强化机组中热质交换过程等课题作为今后的研究方向，并制订了相应的发展规划。预计到1990年，由溴化锂吸收式制冷机供应的冷量，约需250万千卡/时制冷量的机组3000台。

在我国，自1966年上海第一冷冻机厂等单位试制成功制冷量为100万千卡/时的溴化锂吸收式制冷机以来，在短短的十多年中，通过样机的研制和对溴化锂水溶液的物性、腐蚀和传热等基础性试验研究，使溴化锂吸收式制冷机性能大大改进，从而获得了较快的发展。目前，除了上海市生产和使用这类制冷机外，在全国各地，例如：北京、天津、青岛、洛阳、郑州、西安、武汉等地也都相继进行制造并投入使用。据不完全统计，现已投入运转的机组有50多台，制冷量达5000万千卡/时以上。

为了更好地利用热能，提高机组的热力系数，1973年我国有关单位曾制订“溴化锂吸收式制冷机型式与基本参数”，单机制冷量为20~300万千卡/时。1974年武汉国棉六厂曾试制300万千卡/时蒸汽两效溴化锂吸收式制冷机。目前又有好几家工厂试制这种机型。预计两效溴化锂吸收式制冷机将在我国得到更多的重视和更加广泛的发展。

我国是一个幅员辽阔，资源丰富的社会主义国家，有各种各样的废热可资利用。近十多年来，溴化锂吸收式制冷机虽然有了较快的发展，但与国际先进水平相比，还有较大的差距。目前我国应用的溴化锂吸收式制冷机，大部分是由使用单位自行制造的，产品的标准不一，通用性差，不成系列，影响了机组的大量发展和使用；另一方面，有关溴化锂吸收式制冷机的试验研究工作也做得不够，机组的主要技术经济指标，如原材料的消耗、造价、屏蔽泵的功率消耗等均较大，规格品种也不多，影响了它的推广和应用。

以英明领袖华主席为首的党中央一举粉碎了“四人帮”，我国的社会主义革命和生产发生了根本的变化。在党中央一系列方针政策的指引下，我国人民正为早日实现四个现代化而奋斗。可以预计，随着我国农业、工业、国防和科学技术现代化的进展，溴化锂吸收式制冷机将得到更加广泛的应用，为四个现代化的实现，发挥更大的作用。

# 第一章 基础理论

## 引言

冷和热的概念是相对的，在人类生活中是将某物体的温度与人体温度相互比较而得的结果。在一般的制冷技术中，所谓冷是指低于周围环境介质（空气或水）温度的状态。

“制冷”的意义，就是使某一物体或某一空间的温度低于周围环境的温度。为了实现这个目的，可以有两种方法。一种方法是利用天然“冷源”，如天然冰或地下水。天然冰可在冬季取得，将它保存起来，待夏季使用；在夏季，地下水（包括冬天灌入深井中的水）的温度要比空气的温度低得多，也可用作某些场合的降温。但是，天然冰和地下水都受到地区、自然条件等的限制，具有很大的局限性，远不能满足空调或生产工艺的要求。因此，在生产性和舒适性空调中，还必须采用另外一种方法，人为地把热量不断地从某一物体或某一空间排除到周围环境中去，以维持所需的低温。这就是机械制冷的办法。

根据热力学第二定律，热量由低温物体（或空间）向高温物体（或空间）转移是一个非自发的过程。实现这一过程，必须消耗一定的能量，即必须同时实现一个消耗能量的补偿过程。用作补偿过程的能量，可以是电能、机械能，也可以是热能。通常，压缩式制冷机（活塞式、离心式、螺杆式等）是以消耗电能作为补偿过程的，而吸收式、蒸汽喷射式制冷机，则以消耗热能作为补偿过程。

图 1-1 和图 1-2 分别表示压缩式和吸收式制冷机的原理方框图。图中  $O$  为蒸发器，它的作用是从制冷对象中吸取热量； $K$  为冷凝器，它将热量传给周围的环境介质； $V$  代表节流阀，因为冷凝器中的压力比蒸发器高，工质由冷凝器进入蒸发器时，需经节流阀节流，以降低压力。 $E$  表示能量的补偿部分，是实现制冷过程的关键部分。对于压缩式制冷机，就是压缩机和带动它的原动机。

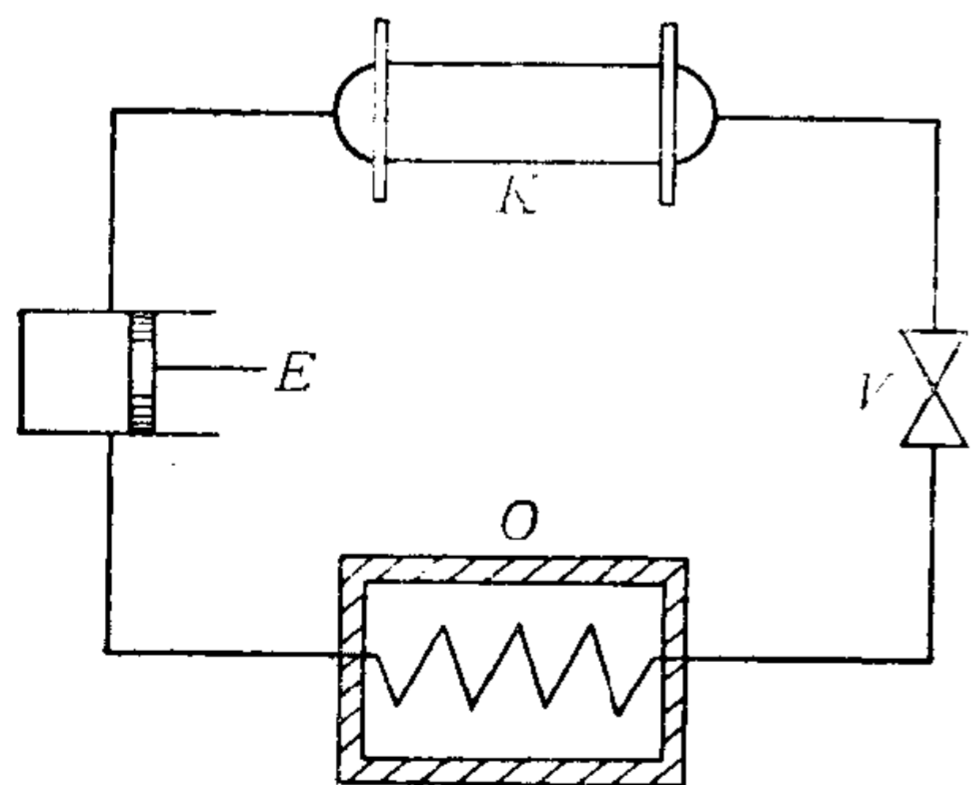


图1-1 压缩式制冷机原理方框图

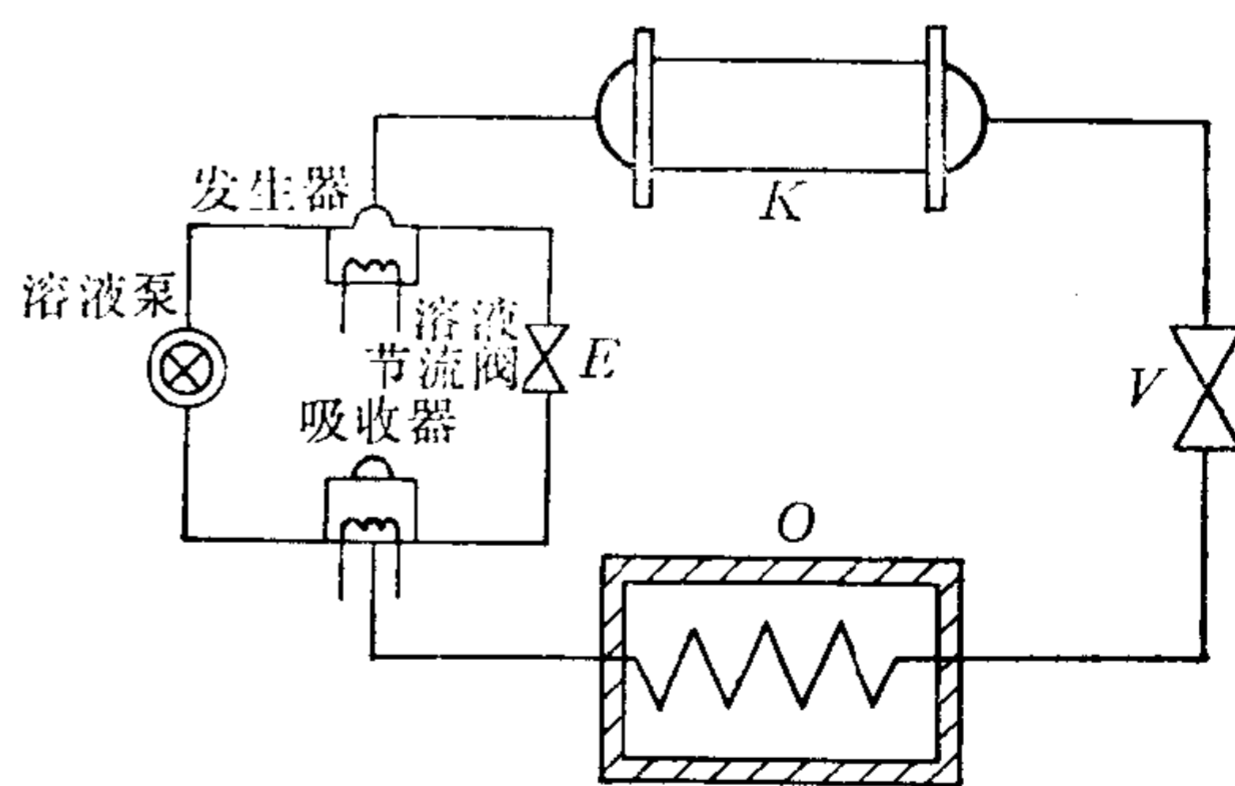


图1-2 吸收式制冷机原理方框图

压缩式制冷机的工作过程是：汽态工质在压缩机中被压缩（能量补偿过程）后，进入冷凝器，凝结成液体，然后经节流阀进入蒸发器，吸热蒸发，产生冷效应，又从液态变为汽态，再进入压缩机，如此循环不息。



吸收式制冷机中，冷凝器、蒸发器、节流阀的作用与压缩式制冷机相同，只是能量补偿部分的设备改变了。在吸收式制冷机中，能量补偿部分的设备包括发生器、吸收器、溶液节流阀和溶液泵。工质在发生器中被加热，分离出冷剂蒸汽，在冷凝器中凝结成液体，经节流后进入蒸发器吸热蒸发，进行制冷。冷剂蒸汽在吸收器中被来自发生器的另一部分工质——吸收剂所吸收，然后由溶液泵输送，重新进入发生器。如果在压缩式制冷机中把能量的补偿部分称为“机械式”压缩机的话，那么在吸收式制冷机中，能量的补偿部分就可称为“热化学”压缩机。因为它的制冷工质是利用溶液的热力性能来实现“化学”压缩的。

由此可见，为了更好地了解吸收式制冷机，除了必须了解有关的热工与传热问题外，还必须了解有关溶液的问题。就溴化锂吸收式制冷机而言，就是要了解溴化锂水溶液的性质。

## §1 溶液的热力学性质

在“普通化学”的书籍中，都有关于溶液问题的论述，这里着重阐述它的热力学性质。大家知道，溶液是由溶质和溶剂所组成的均匀体系。溶质可以是固体（如食盐、溴化锂等），也可以是液体（如酒精等）或者是气体（如二氧化碳、氨等）。溶剂一般是液体，最常用的是水，通常不指明溶剂的溶液就是水溶液。

两种液体彼此溶解成溶液时，则溶质和溶剂是相对的。例如酒精与水互溶时，可以把酒精看成溶质，水看成溶剂；也可以把水看成溶质，酒精看成溶剂。它们之间并没有截然的界限。

在吸收式制冷机中，具有重要意义的是由固体溶质溴化锂和水组成的溴化锂水溶液，以及气体溶质氨和水组成的氨水溶液。

### 一、几个基本概念

在阐述溶液的热力学性质之前，先简单地说明几个基本概念。

#### 1. 体系和平衡状态

我们把被某些边界包围着的、一个或几个物体所构成的、彼此能进行热量和质量交换的系统称为热力学体系，简称体系。所谓边界可能是实际的，也可能是假想的；可以是固定的，也可以是能胀缩的或运动着的。譬如就盛放于容器中的溴化锂溶液来说，我们可以把溴化锂溶液看作一个热力学体系，而容器就是这个体系的边界。

体系以外的一切物体总称为外界。体系与外界之间可能有质量和能量的交换。能量的交换有两种方式：传热和作功。

不与外界发生任何作用，即不传热、不传质、不对外作功的体系，叫做孤立体系。

体系的所有物理性质和化学性质的总和，就是体系状态的特性。体系特性（哪怕是部分特性）的改变就意味着状态的改变，体系的状态可以用表示体系特性的参数——状态参数来描写。温度、压力、质量、体积等都是表示体系状态的参数。

当体系的状态不随时间而变化时，这个体系就处于平衡状态，简称平衡。应当指出的是，体系处于平衡状态时，不仅体系中任意一点的状态参数保持恒定，而且体系中所有点的状态参数都应该是一样的。



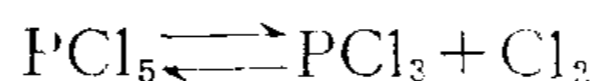
从动力学的观点来看，体系的平衡并不意味着静止，而是体系中在进行着两个方向相反，其结果相互抵消的过程。例如：当外界传给体系的热量与体系传给外界的热量相等时，体系的温度不发生变化，而处于热平衡状态。又如溶解与结晶过程，当两者的速度相等时，溶液的浓度不发生变化，也是一种动平衡。因此，在实际过程中，应把体系的平衡状态看成是动平衡状态。

## 2. 相、组分和自由度

体系中性质完全均匀的部分称为“相”。相与相之间有明显的界面，越过此界面，其性质将发生根本的变化。譬如冰与水共存时，虽然它们的成分都是 $H_2O$ ，但因彼此的物理性质完全不同，所以是两个不同的相：固相和液相。而空气虽然是由几种不同成分（ $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CO_2$ 等）所组成的混合物，但因相互掺合在一起，内部已达到完全均匀，故只是一个相。因此，均匀体系的相数等于一。

体系中相的数目用符号 $\Phi$ 表示。

组分是体系中能独立存在的物质。组分的数目称为组分数，用 $K$ 表示。例如，冰和水的两相平衡体系中只含有一种独立物质 $H_2O$ ，故其组分数 $K=1$ 。食盐和水构成的体系，因为有两种独立的物质 $NaCl$ 和 $H_2O$ ，所以组分数为2。应当指出的是，体系中的组分数和体系中的物种数是两个不同的概念。体系中有几种物质，则物种数就是几种，而组分数则不一定和物种数相同。例如由五氯化磷（即 $PCl_5$ ），三氯化磷（ $PCl_3$ ）和氯气（ $Cl_2$ ）所构成的体系，因为可能进行如下的反应：



这三个物种中只有二个可看成是独立的，因而体系的组分数为2。可见只有不发生化学反应的体系，组分数才等于物种数。

关于自由度的概念：在不改变体系原有平衡相数的条件下，确定体系平衡状态所需的独立参数的数目，称为该体系的自由度，用符号 $f$ 表示。例如冰和水所构成的二相平衡体系，要保持原来的相数不变，只能有一个状态参数可任意改变，因此只有一个自由度，即 $f=1$ 。这就是说，在这一体系中，只要有一个状态参数（温度或压力）确定后，其余的状态参数也就跟着确定了。

## 3. 溶解和结晶

当把固体溶质（如溴化锂）放到水（溶剂）中时，溶质表面的一些粒子（分子或离子）由于本身的振动和受水分子的吸引，就离开了溶质表面而进入水中，并均匀地扩散到水的各个部分而形成溶液。这个过程叫做溶解。在溶解过程中，往往伴随有热量的放出或吸收，称为溶解热。产生溶解热的原因，是由于物质溶解于水中时，同时发生两个过程：一个是溶质粒子在水中扩散时的吸热过程，这是一个物理过程；另一个是溶质分子和水分子之间相互结合成水合物的放热过程，这是一个化学过程。如果前一过程所吸收的热量大于后一过程所放出的热量，则溶解过程为吸热过程，体系的温度降低；反之，则为放热过程，体系的温度升高。

众所周知，固体溶质在水中并不是可以无限地溶解的。在一定的温度下，如果把固体溶质不断地加入到一定量的水中，那就会发现随着溶解过程的进行，溶液中溶质的量不断增加。当增加到某一定量时，加入的溶质就不再继续溶解了，此时的溶液称为饱和溶液。