

余热回收利用系统 实用手册

下 册

〔日〕一色 尚次 等著

724663

机械工业出版社

TK11
07
V2

724663

余热回收利用系统实用手册

下 册

〔日〕一色 尚次 等著

王世康 乔麟荣 译
卢济美 王其均
包文滌 审校

HK11/12



机械工业出版社



本书介绍日本近年来在余热回收利用技术方面的研究成果。系统地阐述有关节能的基础理论，以日本各产业实际应用的余热回收利用系统为例，介绍各种系统和节能设备的基本原理、结构与评价方法，并探讨了今后余热利用方向。图文并茂，内容丰富。译著分上、下两册。可供从事热能动力工作的科技人员、管理人员参考，也可供企业领导干部、高等学校有关专业师生参考。

余热回收利用システム実務便覧

一色 尚次 等著

株式会社
発行 会社 フジ・テクノシステム

発刊日： 昭和56年4月15日

余热回收利用システム实用手册

下册

〔日〕一色 尚次 等著

王世康 乔麟荣

卢济美 王其均 译

包文滢 审校

责任编辑：周性贤 责任校对：刘志文

封面设计：田淑文 版式设计：胡金瑛

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092¹/₁₆·印张28³/₄·字数699千字

1989年1月北京第一版·1989年1月北京第一次印刷

印数 0,001—8,050 定价13.00元

ISBN 7-111-00629-1/TK·25

单位换算表

物理量名称	书中采用单位的名称(符号)	法定计量单位 单位名称(符号)	单位换算
长度	公里(km) 英尺(ft) 英寸(in) 英里(mile)	米(m)	1km=10 ³ m 1ft=0.3048m 1in=0.0254m 1mile=1609.344m
面积	公顷(ha) 平方英尺(ft ²) 平方英寸(in ²)	平方米(m ²)	1ha=10 ⁴ m ² 1ft ² =0.0929030m ² 1in ² =6.4516×10 ⁻⁴ m ²
体积	立方英尺(ft ³) 立方英寸(in ³) 英加仑(UKgal) 美加仑(USgal) 升(L,l) 桶	立方米(m ³)	1ft ³ =0.0283168m ³ 1in ³ =1.63871×10 ⁻⁵ m ³ 1UKgal=4.54609dm ³ 1USgal=3.78541dm ³ 1L=1dm ³ 1桶=0.15899m ³
质量	磅(lb) 吨(t)	千克(公斤)(kg)	1lb=0.45359237kg 1t=10 ³ kg
热力学温度	摄氏温度(°C) 华氏温度(°F) 兰氏温度(°R)	开〔尔文〕(K)	K=°C+273.15 $K = \frac{5}{4} (°F + 459.67)$ $K = \frac{5}{9} °R$
旋转速度	转每秒(r/s) 转每分(rpm)	转每分(r/min)	1r/min=(1/60)s ⁻¹ 1rpm=1r/min
压力	巴(bar) 千克力每平方厘米(kgf/cm ²) 毫米水柱(mmH ₂ O) 毫米汞柱(mmHg) 工程大气压(at) 标准大气压(atm) 磅力每平方英尺(lbf/ft ²) 磅力每平方英寸(lbf/in ²)	帕〔斯卡〕(Pa)	1bar=10 ⁵ Pa 1kgf/cm ² =0.0980665MPa 1mmH ₂ O=9.80665Pa 1mmHg=133.322Pa 1at=98066.5Pa 1atm=101325Pa 1lbf/ft ² =47.8803Pa 1lbf/in ² =6894.76Pa
能量; 功, 热	千瓦小时(kw·h) 英马力小时(hp·h) 卡(cal) 马力小时 英热单位(Btu)	焦〔耳〕(J)	1kw·h=3.6MJ 1hp·h=2.68452MJ 1cal=4.1868J 1马力小时=2.64779MJ 1Btu=1055.06J
功率	马力, 米制马力(法ch, CV德PS) 英马力(hp) 千卡每小时(kcal/h) 每小时英热单位(Btu/h)	瓦〔特〕(W)	1ch=735.499W 1hp=745.700W 1kcal/h=1.163W 1Btu/h=0.293071W

(续)

物理量名称	书中采用单位的名称(符号)	法定计量单位 单位名称(符号)	单位换算
密度	磅每立方英尺(lb/ft ³) 磅每立方英寸(lb/in ³)	千克每立方米(kg/m ³)	1lb/ft ³ =16.0185kg/m ³ 1lb/in ³ =27680kg/m ³
比容	立方英尺每磅(ft ³ /lb) 立方英寸每磅(in ³ /lb)	立方米每千克(m ³ /kg)	1ft ³ /lb=0.0624280m ³ /kg 1in ³ /lb=3.61273×10 ⁻⁹ m ³ /kg
质量流率	磅每秒(lb/s) 磅每小时(lb/h)	千克每秒(kg/s)	1lb/s=0.453592kg/s 1lb/h=1.25998×10 ⁻⁴ kg/s
体积流率	立方英尺每秒(ft ³ /s) 立方英寸每小时(in ³ /h)	立方米每秒(m ³ /s)	1ft ³ /s=0.0283168m ³ /s 1in ³ /h=4.55196×10 ⁻⁹ m ³ /s
动力粘度	泊(P, Po) 千克力秒每平方米(kgf·s/m ²) 磅力秒每平方英尺(lbf·s/ft ²) 磅力秒每平方英寸(lbf·s/in ²)	帕斯卡秒(Pa·s)	1P=10 ⁻¹ Pa·s 1kgf·s/m ² =9.80665Pa·s 1lbf·s/ft ² =47.8803Pa·s 1lbf·s/in ² =6894.76Pa·s
制冷量	冷冻吨(RT) 美国冷冻吨(USRT)	千焦耳每小时(kJ/h)	1RT=3320kcal/h=13900.2kJ/h 1USRT=3024kcal/h=12661kJ/h
比能	千卡每千克(kcal/kg) 英热单位每磅(Btu/lb)	焦耳每千克(J/kg)	1kcal/kg=4186.8J/kg 1Btu/lb=2326J/kg
比热容, 比热	千卡每千克开尔文 {kcal/(kg·K)} 英热单位每磅华氏度 {Btu/(lb·°F)}	焦耳每千克开尔文 {J/(kg·K)}	1{kcal/(kg·K)}=4186.8J/(kg·K) 1{Btu/(lb·°F)}=4186.8J/(kg·K)
传热系数	千卡每平方米小时开尔文 {kcal/(m ² ·h·K)} 英热单位每平方英尺小时华氏度 {Btu/(ft ² ·h·°F)}	瓦特每平方米开尔文 {W/(m ² ·K)}	1{kcal/(m ² ·h·K)}=1.163W/(m ² ·K) 1{Btu/(ft ² ·h·°F)}=5.67826W/(m ² ·K)
导热系数	千卡每米小时开尔文 {kcal/(m·h·K)} 英热单位每英尺小时华氏度 {Btu/(ft·h·°F)}	瓦特每米开尔文 {W/(m·K)}	1{kcal/(m·h·K)}=1.163W/(m·K) 1{Btu/(ft·h·°F)}=1.73073W/(m·K)

注: 该换算表由译者编写。

译者的话

能源是我国四化建设的基础之一。为了实现“翻两番”的宏伟目标，必须认真解决能源问题。我国能源资源是丰富的，但能源生产远远不能适应国民经济发展的需要。解决能源紧张的最现实、最有效的途径是节约能源。

《余热回收利用系统实用手册》一书较系统地阐述有关节能的基础理论，以日本各产业实际应用的余热回收利用系统为例，介绍各种系统和节能设备的基本原理、结构与评价方法，并探讨了今后余热利用的方向。图文并茂，内容丰富。日本虽是一个能源十分缺乏的国家，但能源利用率相当高，他们的节能经验，值得借鉴。为此，我们将该书全文译出，供各行各业的领导干部、工程技术人员和广大读者参考。

本书共分九章，译著将分上、下两册出版。上册为1~4章，主要内容包括日本的节能政策、节能基础理论、各产业的余热回收利用系统及实际应用的余热发电系统等；下册为5~9章，主要内容包括工厂致冷、采暖系统，热管，余热锅炉，能量储存及各国余热利用动向等。由于各章节是由不同作者撰写的，而且涉及的范围较广，所以原书的单位、符号等很不统一。在翻译过程中，仅对图文不一致的单位、符号作了更正。由于我们水平有限，错误难免，敬请读者批评指正。

最后，向热情推荐本书的潘承孝教授表示深切感谢，并向在翻译与出版本译著过程中给予各种支持与帮助的马春霆副教授和天津市余热利用技术研究会等表示衷心的感谢。

译者 1985年5月

目 录

第五章 利用余热的工厂致冷供暖系统..... 1	4.3 低压蒸气双效用吸收式制冷机的生产..... 20
第一节 依靠吸收式制冷机以余热为热源的工厂致冷供暖系统——设计应考虑问题的研究——..... 1	5. 低温热水吸收式制冷机 21
1. 引言 1	5.1 为降低所需热源温度的技术开发..... 21
2. 吸收式制冷机的特性和应用 1	5.2 低温热水单效用吸收式制冷机的生产..... 22
2.1 吸收式制冷机的原理..... 1	6. 低温热源利用设备的应用 23
2.2 冷热水机的原理..... 2	7. 结束语 26
2.3 吸收液的特性..... 3	第三节 压缩式热泵热回收技术和以热排水为热源的热回收技术的开发及其应用..... 26
2.4 制冷循环的应用..... 6	1. 引言 26
3. 余热的利用方法 7	2. 热泵 27
3.1 余热源..... 7	3. 涡轮式热泵 29
3.2 在吸收式制冷机、冷热水机和热泵上利用余热的方法..... 8	4. 发动机驱动的热泵 36
3.3 余热回收的效果..... 10	4.1 事务所大楼的实例..... 38
4. 余热利用的问题和措施 12	4.2 运动场设施的应用实例 1 39
4.1 排气在冷热水机上的利用..... 12	4.3 运动场设施的应用实例 2 39
4.2 低温水在吸收式制冷机上的利用..... 13	4.4 关于大容量发动机驱动的涡轮式热泵的研究..... 40
4.3 特殊余热的利用..... 14	5. 结束语 41
5. 结束语 14	参考文献..... 41
第二节 借助吸收式制冷机采用低温热源的工厂致冷供暖系统..... 14	第四节 依靠溶剂气体回收装置和吸收式制冷机的组合进行余热回收利用..... 41
1. 引言 14	1. 引言 41
2. 作为低温热源利用方法的吸收式制冷机的优越性——热机的评价、探讨..... 15	2. 有机溶剂的回收 42
3. 节能吸收式设备的普及问题 17	2.1 溶剂回收过程..... 42
3.1 节能设备普及的问题..... 17	2.2 利用活性炭吸附的溶剂回收..... 42
3.2 电力供应余量不足与工厂节能的适应..... 18	2.3 溶剂回收的应用..... 45
4. 低压蒸气双效用吸收式制冷机的概要..... 18	3. 余热的回收系统 46
4.1 双效用吸收式制冷机的原理..... 19	3.1 余热源的状态和特性..... 46
4.2 低温热源利用的改进..... 19	3.2 利用余热的制冷机..... 50

4.1 三菱-鲁尔吉溶剂气体处理装置.....	55	2.1 换热器的选定.....	118
4.2 三菱约克吸收式制冷机.....	58	2.2 热管式空气预热器.....	119
4.3 余热回收利用系统.....	61	2.3 在锅炉上的应用.....	121
5. 结束语.....	64	2.4 应用热管式空气预热器的锅炉的试验结果.....	127
参考文献.....	64	3. 液-气换热器.....	128
第五节 节能型的工厂制冷供暖系统.....	65	3.1 选定换热器.....	128
1. 引言.....	65	3.2 液-气换热器的利用.....	128
2. 余热回收式致冷供暖系统.....	65	3.3 在锅炉上的应用.....	129
2.1 关于能源的有效利用.....	65	参考文献.....	132
2.2 余热回收式致冷供暖机的种类.....	66	第四节 应用热管的余热回收装置.....	132
2.3 系统化技术.....	67	1. 热盘管的结构.....	132
2.4 余热回收致冷供暖的实例.....	77	1.1 基本构造.....	132
3. 局部致冷供暖系统.....	79	1.2 热盘管的型式和形状.....	133
3.1 局部空调器及其利用技术.....	79	1.3 热盘管的标准尺寸和重量.....	134
3.2 局部致冷供暖的应用.....	83	2. 热盘管的特点.....	137
3.3 低温辐射管供暖装置及其利用技术.....	85	2.1 热盘管的特点.....	137
4. 结束语.....	89	2.2 热盘管与其它型式换热器的比较.....	138
第六章 利用热管热回收的实际系统.....	90	3. 热盘管的应用.....	138
第一节 热管.....	90	3.1 一般经济性.....	138
1. 引言.....	90	3.2 在已有锅炉上的应用.....	141
2. 热管的工作原理.....	92	3.3 烧煤气的蒸气锅炉.....	142
3. 热管的传热极限.....	98	3.4 有色金属系的各种热处理炉的余热回收.....	145
4. 蒸发段和冷凝段的传热量.....	99	3.5 回收各种干燥机的余热以节减蒸气量.....	145
5. 热管的传热.....	101	3.6 回收能源的同时进行物质回收.....	146
参考文献.....	103	3.7 脱臭装置等较高温排气的直接利用.....	147
第二节 应用热管回收利用中低温余热.....	104	3.8 建筑物空调换气损失的回收.....	148
1. 引言.....	104	第五节 利用热管的余热回收技术.....	150
2. 中低温换热器所用热管的传热特性.....	105	1. 利用热管换热器回收余热的历史背景.....	150
2.1 小型热管.....	105	2. 热管换热器的基础.....	150
2.2 大型热管.....	107	2.1 构造.....	150
3. 中低温热管换热器的传热性能.....	111	2.2 换热器所用热管的种类.....	152
4. 热管换热器的基本设计程序.....	113	2.3 热力设计的方法.....	153
5. 中低温热管换热器.....	116	3. 热管式换热器的特点.....	155
6. 结束语.....	117	4. 热管式换热器的应用.....	156
参考文献.....	117	4.1 锅炉.....	156
第三节 热管换热器的锅炉热回收设备和应用.....	117	4.2 工业炉余热的回收和应用.....	156
1. 引言.....	117		
2. 气-气换热器.....	118		

4.3 干燥机.....156

4.4 空调用换热器.....159

4.5 防止公害装置的热回收.....159

5. 热管换热器的现状和问题161

6. 新型热管换热器的开发164

参考文献.....165

第六节 依靠热管利用自然热源及余热
进行道路等的融雪、防冻
系统.....165

1. 前言165

2. 利用地热融雪、除冰的系统166

2.1 依靠热管利用地热融雪的原
理和方法.....166

2.2 设计.....167

2.3 地热的容量.....169

2.4 热负荷.....170

2.5 试验.....171

2.6 在美国西弗吉尼亚州Oak Hill
公路上的应用.....175

2.7 在日本的应用.....177

2.8 典型埋设形式的设计.....178

3. 利用水热源的融雪、除冰系统179

4. 经济性和问题180

4.1 费用.....180

4.2 问题.....181

5. 结论182

参考文献.....183

第七节 钠热管及其换热器.....183

1. 引言183

2. 热管184

3. 钠热管198

4. 钠热管的制造及其性能评价208

5. 钠热管的寿命试验211

6. 在换热器上的应用216

7. 结束语224

参考文献.....225

第七章 余热锅炉的实际状况及公害

治理设备的余热回收227

第一节 余热锅炉的种类及选择.....227

1. 热源与锅炉的型式227

1.1 锅炉型式的分类.....227

1.2 热源的种类与锅炉的型式.....228

2. 蒸气参数的选定234

3. 从维护保养方面考虑锅炉结构236

3.1 有关粉尘的对策.....236

3.2 防腐蚀的措施.....238

4. 热源设备的种类与锅炉的结构238

4.1 热源的温度.....238

4.2 排气再循环.....239

4.3 除尘装置与热回收装置.....239

4.4 热回收与防腐蚀对策.....240

5. 经济性评价240

5.1 出口气温与所需传热面积.....240

5.2 漏入空气量与所需传热面积.....241

5.3 通风阻力损失与所需传热
面积.....242

第二节 余热回收系统及其腐蚀故障和

防蚀对策.....243

1. 余热源, 回收方法及经济性243

1.1 公用事业中的余热回收.....243

1.2 民间企业的余热回收.....247

2. 余热利用方式的优点及问题249

2.1 还原给本身工艺过程的余热
利用.....249

2.2 采用电力回收方式.....249

2.3 用作致冷供暖的热源.....249

3. 蒸气及热水余热锅炉250

3.1 以蒸气方式进行热回收.....250

3.2 以热水方式进行热回收.....253

4. 排气腐蚀机理及对策254

4.1 高温腐蚀.....254

4.2 低温腐蚀.....256

5. 其它事故及其对策261

5.1 粉尘引起的故障及对策.....261

5.2 水侧的腐蚀及防止方法.....264

参考文献.....265

第三节 回收锅炉余热的实际状况.....265

1. 锅炉排烟热回收的现状265

2. 锅炉辅助受热面及其选择268

2.1 空气预热器.....269

2.2 省煤器.....270

3. 锅炉排烟热回收的问题271

3.1 烟气侧的腐蚀.....271

3.2 水侧的腐蚀.....272

4. 锅炉排烟热回收的新技术274

4.1 真空余热回收器.....274

4.2 利用热管进行热回收.....	278	4. 结束语	313
参考文献.....	280	参考文献.....	313
第四节 利用排烟直接加热的吸收式冷 热水机作为工厂的致冷供暖 设备.....	280	第八章 余热回收中能量储存和今后 的利用形式	314
1. 排烟直接加热的吸收式冷热水机 原理.....	280	第一节 余热回收中能量储存问题的 研究.....	314
2. 致冷供暖能力的控制方式	282	1. 余热回收系统中能量储存辅助系统 的基本设想.....	314
3. 辅机连锁装置及安全装置	282	2. 蓄热的诸形态和有效性	317
4. 管道及排烟烟道等的施工	283	2.1 根据储存的能量形态进行 分类.....	317
5. 排烟吸收式冷热水机的设计校核 要点.....	285	2.2 根据蓄热温度范围进行分类.....	319
6. 排烟吸收式冷热水机的应用	285	2.3 根据回收余热的变动周期进 行分类.....	321
7. 在某印刷厂中设置的冷热水机	288	第二节 利用潜热蓄热的材料种类和 特性.....	322
第五节 利用污泥消化气体的发电、动力 及余热回收系统..... ³	29 ³	1. 前言	322
1. 前言	293	2. 蓄热材料的特性和蓄热装置性能 之间的关系.....	322
2. 消化气体	293	3. 潜热和蓄热密度	323
2.1 气体发生装置及气体设备.....	293	3.1 混合盐的熔解热.....	324
2.2 消化气体的性质.....	294	4. 根据潜热和价格探讨蓄热材料	326
3. 发动机设备	294	4.1 单成分系材料的探讨.....	326
3.1 发动机概况.....	295	4.2 多成分系材料的探讨.....	328
3.2 发动机的运行.....	297	5. 传热特性	328
3.3 其它.....	297	5.1 潜热蓄热装置中的传热.....	328
4. 动力利用与余热回收	297	5.2 蓄热材料的导热系数.....	334
4.1 动力利用.....	297	6. 腐蚀性	335
4.2 余热回收.....	299	6.1 熔融盐腐蚀的一般论点.....	335
5. 燃气发电设备的设计	299	6.2 各种蓄热材料和容器材料的 相容性.....	337
6. 结束语	304	7. 蓄热材料的实验评价	340
参考文献.....	304	参考文献.....	345
第六节 消化气体发电系统的经济性与 适用性的课题.....	304	第三节 作为潜热蓄热材料的水合物.....	347
1. 前言	304	1. 前言	347
2. 消化气体发电系统及经济性	305	2. 利用熔解热的蓄热材料所要求的 特性.....	348
2.1 系统.....	305	3. 盐水合物	348
2.2 经济性.....	306	3.1 一般性质.....	349
2.3 适用规模.....	309	3.2 材料和热化学的特性.....	349
3. 今后的课题与对策	309	3.3 应用上的问题和对策.....	353
3.1 污泥基质的改善.....	309	3.4 应用实例.....	354
3.2 提高污泥浓度.....	311	4. 包结水合物	357
3.3 厌氧性污泥消化法.....	311		
3.4 燃气发动机及余热回收装置 型式的选择.....	312		

4.1 一般特征..... 357

4.2 材料及其特性..... 360

4.3 应用实例..... 360

5. 结束语 361

参考文献..... 362

第四节 利用化学能的热储存和热输送..... 363

1. 前言 363

2. 利用化学能的蓄热方法 364

3. 可逆热化学反应的利用系统 365

3.1 化学热泵..... 365

3.2 化学热管..... 369

3.3 储能利用系统..... 371

4. 结束语 375

参考文献..... 376

第五节 利用浓度差能系统的余热动力化和储存..... 377

1. 绪言 377

2. 浓度差能和其原理 377

2.1 浓度差能转变成动力..... 377

2.2 水溶液拥有的能量..... 379

3. 浓度差能发动机 381

3.1 简单的浓度差能发动机及其工作原理..... 381

3.2 小型和大型浓度差能发动机样机..... 382

3.3 浓度差能发动机样机的性能..... 385

4. 浓度差能系统在余热回收上的应用..... 388

4.1 概述..... 388

4.2 基本浓度差能系统..... 388

4.3 多级兰肯循环和焓效率..... 390

4.4 多级浓度差能系统..... 392

5. 分离工质的浓度差能系统 400

5.1 概述..... 400

5.2 分离工质的基本浓度差能系统..... 400

5.3 2级浓度差-氟龙系统 401

5.4 吸收和凝结氟龙锅炉的性能实验..... 402

5.5 回收排气的浓度差-氟龙系统的评价..... 405

6. 结束语 407

参考文献..... 408

第九章 各国余热利用技术的动向 409

第一节 日本余热利用技术开发的现状与动向..... 409

前言..... 409

1. 余热源与转换利用技术 410

1.1 余热源的选择..... 410

1.2 转换技术..... 411

2. 回收利用高温固体显热的技术 411

2.1 回收赤热焦炭的热量..... 411

2.2 工业炉的热回收..... 411

3. 中低温余热回收技术 413

3.1 中低温气体的热回收..... 413

3.2 热排水的热回收..... 413

4. 热输送及热储存技术 415

4.1 利用化学能等的热输送、热储存技术..... 415

4.2 利用热虹吸的热输送技术..... 416

5. 综合系统 416

5.1 各种余热源的现状..... 417

5.2 利用系统的种类与条件..... 419

5.3 供热中心..... 420

6. 余热利用技术问题与展望 421

6.1 能源的有效利用..... 421

6.2 余热利用技术的普及..... 421

第二节 欧美各国余热回收和节能状况..... 422

1. 前言 422

1.1 开场白..... 422

1.2 美国热衷于新能源的开发..... 422

2. 氟龙兰肯循环的开发 422

2.1 氟龙兰肯循环开发的概况..... 422

2.2 利用氟龙兰肯循环进行余热动力回收..... 423

3. 膨胀机的开发 427

4. 加热炉等的热回收 429

4.1 余热回收的各种类型..... 429

4.2 采用蒸气余热锅炉进行热回收..... 429

4.3 利用高温热介质的余热锅炉..... 430

4.4 陶瓷换热器的利用..... 430

4.5 特殊受热面和换热器的开发..... 433

4.6 炉窑的后置式循环..... 433

4.7 提倡在工厂内设置前置式发

电循环.....	434	6.1 最彻底的节能.....	441
5. 能量的储存	436	6.2 节能效果三次方法则.....	444
5.1 能量储存的分类.....	436	6.3 日本节能工作的加强.....	444
5.2 太阳热水池.....	436	6.4 从节能到大自然能.....	445
5.3 飞轮的利用.....	438	6.5 结束语.....	446
5.4 热化学反应的利用.....	438	参考文献.....	447
6. 将来的展望, 尤其是日本节能工作 的加强.....	441	索引(略)	

第五章 利用余热的工厂致冷供暖系统

第一节 依靠吸收式制冷机以余热为热源的工厂致冷供暖系统 ——设计应考虑问题的研究——

1. 引言

直接加热吸收式冷热水机[⊖]自1969年实际应用以来，大都作为大型建筑物等的空调热源使用。它是在高效率的双效用吸收式制冷机内设置燃烧装置，而成为既可供给致冷用冷水又可供给供暖用热水的设备。制冷机（冷热水机）的内部压力具有比大气压力低的特点，所以不需要专门的操作人员。由于具有操作简单、运行时的噪声和振动小等各种优点，因而迅速地得到普及。

另外，随着冷热水机节能技术的进步，具有可利用较低温度热源的优点。并能将低温热源转变成比余热源温度还高的高温热源来利用，即可当作所谓热泵来加以利用。因此，吸收式制冷机的技术迅速地应用于余热利用领域。

本节以致冷供暖为主要对象，叙述有关吸收式制冷机的应用技术。

2. 吸收式制冷机的特性和应用

2.1 吸收式制冷机的原理

现在所谓的吸收式制冷机，基本上是指水-溴化锂吸收式制冷机，以水为制冷剂，以溴

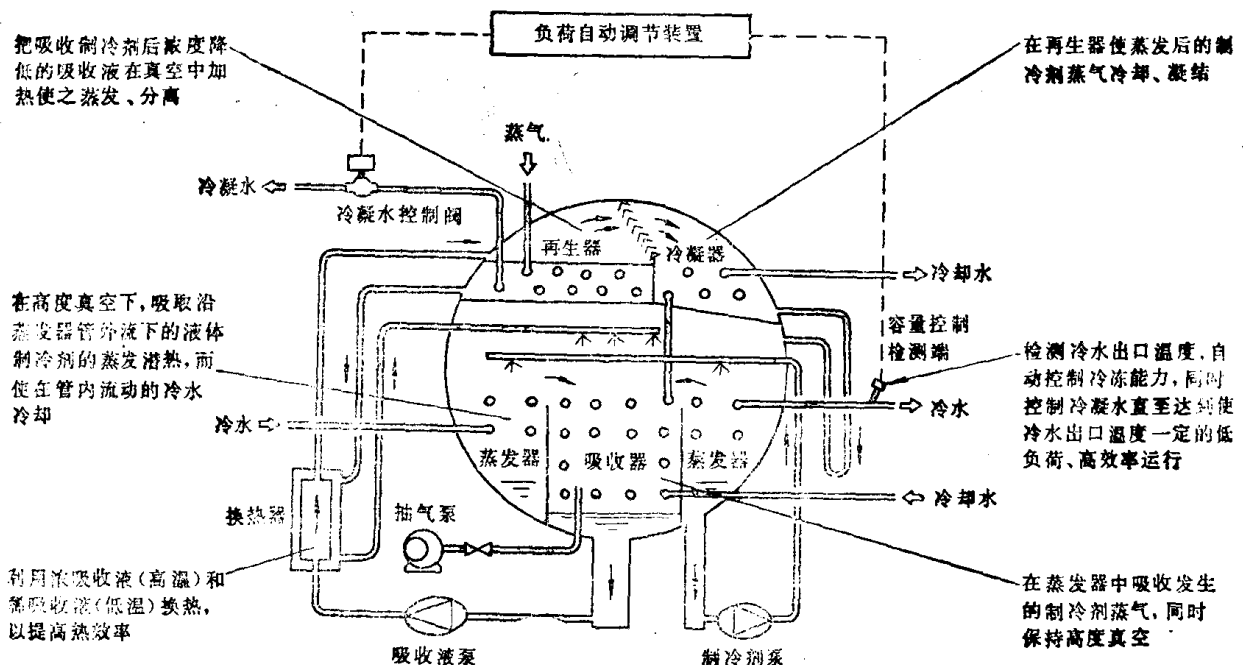


图5-1-1 单效用吸收式制冷机的结构

⊖ 也称为直燃式吸收冷热水机。——译者注

化锂水溶液为吸收液。其基本结构，如图5-1-1所示。

致冷用的冷水依靠蒸发器中作为制冷剂的水蒸发而被冷却，由于用水作为制冷剂，所以制冷剂的蒸发压力相当低。

水的蒸气压力线图，如图5-1-2所示。通常在供给7℃冷水情况下，制冷剂蒸发温度为3~4℃，其压力为6mmHg左右。

在这样低的压力下，促使蒸发器中的制冷剂蒸发，而产生的蒸气在毗邻的吸收器中，被高浓度溴化锂水溶液吸收。

由于溴化锂水溶液的溴化锂浓度越高、溶液的温度越低，对制冷剂蒸气的吸收能力越大，所以这种吸收式制冷机和冷热水机的构造为：往传热管内通入冷却水，而在传热管外侧喷洒吸收液使其边进行冷却、边吸收。

吸收制冷剂蒸气后的低浓度溴化锂溶液（稀液）贮存在吸收管群的下部，借助于吸收液泵经换热器送至再生器，进行吸收液的再生。

再生器与吸收器相反，依靠从外部接受热量使吸收的水分蒸发，分别再生成纯净的制冷剂蒸气和浓溴化锂溶液。

蒸发后的制冷剂蒸气在冷凝器中用冷却水冷却、凝结成制冷剂液后，再返回蒸发器蒸发、冷却致冷水。而浓液经换热器返回吸收器进行吸收作用。

由于从再生器返回吸收器的浓液温度高，而从吸收器送回再生器的稀液温度低，所以依靠在换热器中进行热交换，使再生器的加热量减少，从而提高效率。

以上是吸收式制冷机最基本的结构。图5-1-3所示为分别增设再生器（高温再生器）和换热器（高温换热器）各一台，以使效率进一步提高的双效用吸收式制冷机结构。

在双效用吸收式制冷机中，吸收液的循环途径有各种方式。现以图5-1-3为例加以说明。蒸发器、吸收器的功能与图5-1-1所示的情况相同，从吸收器经低温换热器后送入低温再生器的稀液，依靠在高温再生器中蒸发的制冷剂蒸气加热进行再生。在低温再生器中再生的中间浓度的溴化锂水溶液，利用泵经高温换热器再送入高温再生器。利用外热源进行加热使之蒸发，分离出纯净制冷剂蒸气。该制冷剂蒸气在低温再生器中，可作为加热用热源。

在低温再生器中，为了利用来自高温再生器的制冷剂蒸气加热，所以在高温再生器中发生的制冷剂蒸气压力，必须高于低温再生器中液温相应的饱和蒸气压力。相反，为了使该饱和蒸气压力达到大气压力以下，必须使低温再生器内的液温低于100℃。一般为90~95℃（在图5-1-1的情况下，由于加热源从外部供给，所以与液温没有直接关系）。

高温再生器中蒸发的制冷剂蒸气，在低温再生器中凝结后，经注流孔等进入冷凝器进一步用冷却水冷却。在低温再生器中制冷剂被蒸发后返回蒸发器。另外，在高温再生器中被浓缩的浓液，经高温换热器和低温换热器后返回吸收器。高温换热器对改善热效率起重要作用。

2.2 冷热水机的原理

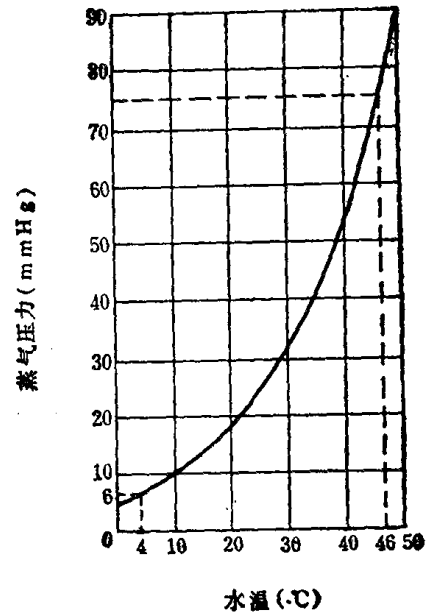


图5-1-2 水的蒸气压力线图

用在高温再生器中分离、蒸发后的制冷剂蒸气的潜热，加热、浓缩稀浓度的（浓度变低的）吸收液，使制冷剂分离、蒸发。

在蒸发器中，使吸收液吸收所发生的制冷剂蒸气，同时使壳体内保持高度真空

在高真空下，吸取沿蒸发器管流下的制冷剂的蒸发潜热，而使在管内流动的冷水冷却

液体换热（为了提高热效率）

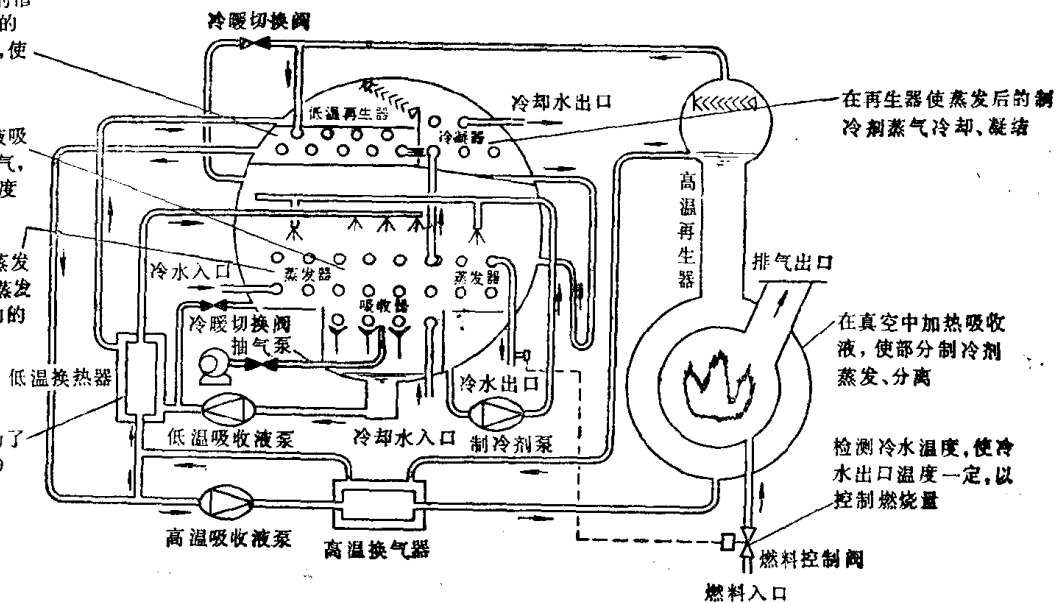


图5-1-3 双效用吸收式制冷机的结构

冷热水机是利用燃烧煤气加热吸收液。关于制冷的原理与图5-1-1、图5-1-3完全相同。但是，由于使用了燃烧装置而可以供给供暖用热水。

供给供暖用热水的示例，如图5-1-4所示，就是把图5-1-3中的高温再生器中蒸发的制冷剂蒸气，通过切换阀（致冷供暖切换阀）直接流入蒸发器，而把蒸发器的传热管作为热水加热器利用。

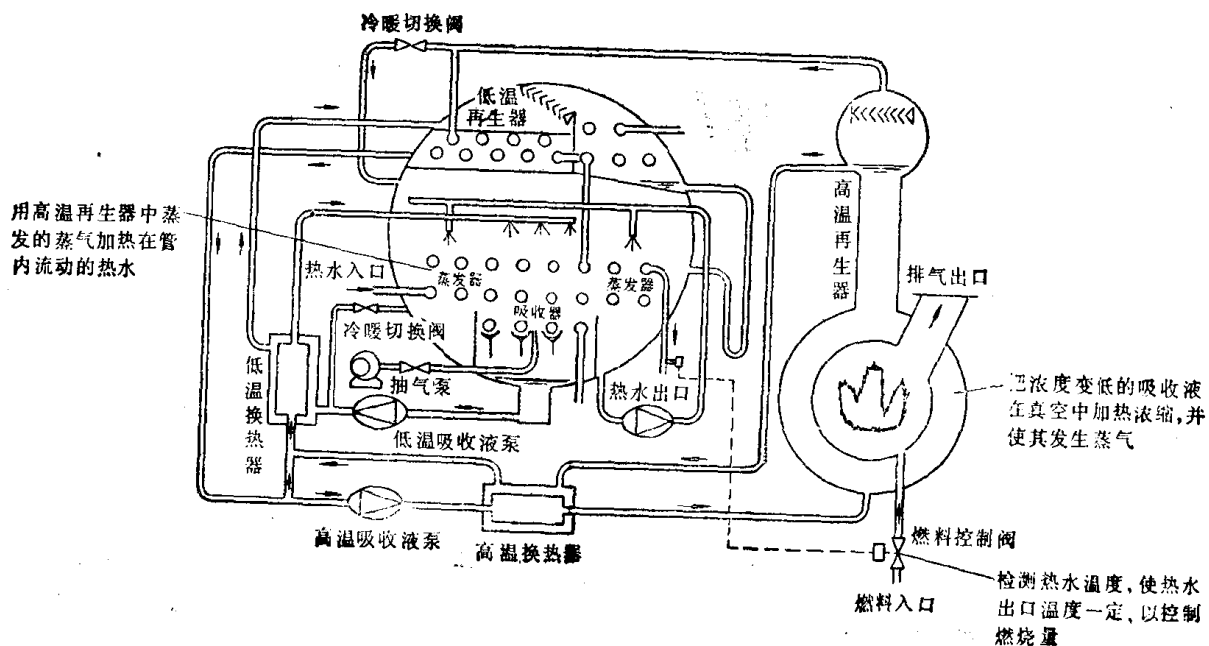


图5-1-4 冷热水机的结构（供暖设备）

如果把蒸发器用作热水加热时，就不需要切换冷水和热水，这对于设备方面是有利的。作为热水的加热方式有使用蒸发器的方法，以及使用吸收器、冷凝器的方法，或者停止吸收液的循环而另设热水器的方法。

2.3 吸收液的特性

〈1〉物性参数

作为吸收液使用的溴化锂水溶液是非常稳定的物质，虽然有许多方面与食盐水 (NaCl 水溶液) 近似，但也存在着很大差异，如对水蒸气的吸收性很大、易与水混合等。

溴化锂的部分物性参数，如表5-1-1所示。虽然溴化锂水溶液本身无毒，可是在使用中通常添加防腐剂，因此操作时必须充分注意。

由于溴化锂水溶液在低温下发生结晶，所以在设计、运行、操作时选择不发生结晶的条件是重要的。其结晶条件如图5-1-5所示。

表5-1-1 溴化锂的物性参数

化学式	LiBr
分子质量	86.856
成分	Li7.99%, Br92.01%
相对密度	3.464 (25℃时)
熔点	549℃
沸点	1265℃

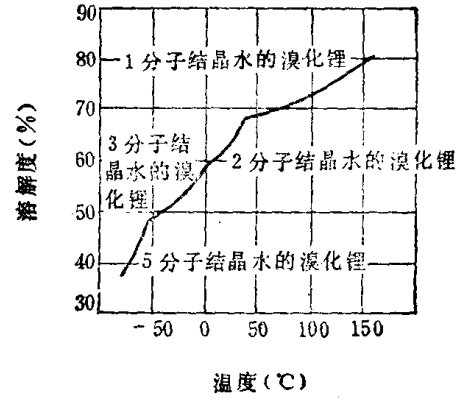


图5-1-5 溴化锂对水的溶解度

〈2〉德林线图

溴化锂水溶液的水蒸气压力，如图5-1-6所示，该图称为德林线图。表示温度、压力、浓度的关系有各种形式，而图5-1-6分别以等刻度横坐标表示制冷剂饱和蒸气压下的温度；纵坐标表示溴化锂水溶液的温度；而用等浓度线作为参变量。取横坐标表示水的饱和温度，在余热利用中特别方便。浓度可用下式表示：

$$\zeta = \frac{\text{水溶液中溴化锂的重量}}{\text{水溶液的重量}} 100\%$$

浓度为0%时是纯水。

图5-1-6中所示的A→B→C→D过程，即为德林线图上表示的单效用吸收式制冷机特性。A→B表示吸收过程，一边用冷却水冷却，一边吸收制冷剂而浓度降低。B→C为稀液经换热器后浓度保持不变，一边温度上升，一边通向再生器的过程。C→D表示在加热器中加热、浓缩的过程。D→A表示浓液经换热器后温度下降并返回吸收器的过程。虽然浓液和稀液在换热器的出口温度与A、C点不同，但是为了提高效率，通常是相当接近的。

设必需的冷水温度从12℃冷却到7℃、冷却水在吸收器入口的温度为32℃，出口温度为36.5℃，冷凝器出口的冷却水温度为40℃，如果蒸发器中的制冷剂蒸发温度为3.5℃、稀液的浓度为60%，则B点处于横坐标为3.5℃、而浓度为60%的线上，即稀液的温度为43℃。

设在冷凝器中制冷剂凝结换热的温差约为5℃，制冷剂凝结温度为45℃，则C点处于横坐标为45℃、浓度为60%的线上。此时的再生温度为90℃。再生器中的稀吸收液的浓缩度(浓度的变化)设为5%时，则D点处于横坐标为45℃、浓度为65%的线上，而A点则处于横坐标为3.5℃、浓度为65%的线上。

此时，在D点吸收液达到的最高温度为101℃，所以再生器中加热源的温度必须在101℃

余

以上。由此可知，加热源能够利用的温度应在C点以上。

增高冷水出口温度（7℃）和制冷剂的蒸发温度（3.5℃）的差值，或提高浓度、增加冷凝器的冷却水出口温度（40℃）和冷凝温度（45℃）的差值时，则D点的再生温度增高，反之则降低。另外，提高冷水出口温度和降低冷却水温度时，由于浓度降低，D点的液温也可以降低。这样，由于改变设计条件，加热时所需的温度就会改变，所以在余热利用时，必须根据余热的条件逐个地研究设计条件。

图 5-1-7 是把双效用吸收式制冷机的特性表示在德林线图上的示例。该例示出，冷水温度为12℃→7℃、冷却水在吸收器入口的温度为32℃、冷凝器的出口温度为37.5℃时的情况。

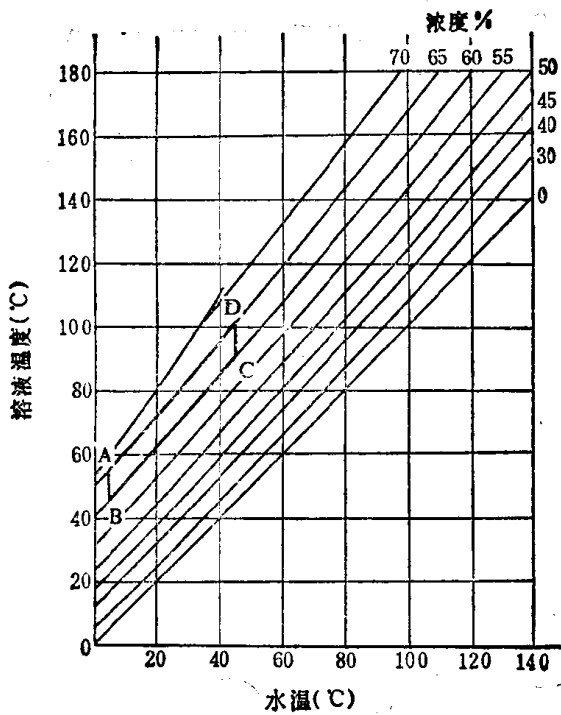


图5-1-6 单效用吸收式制冷机的特性

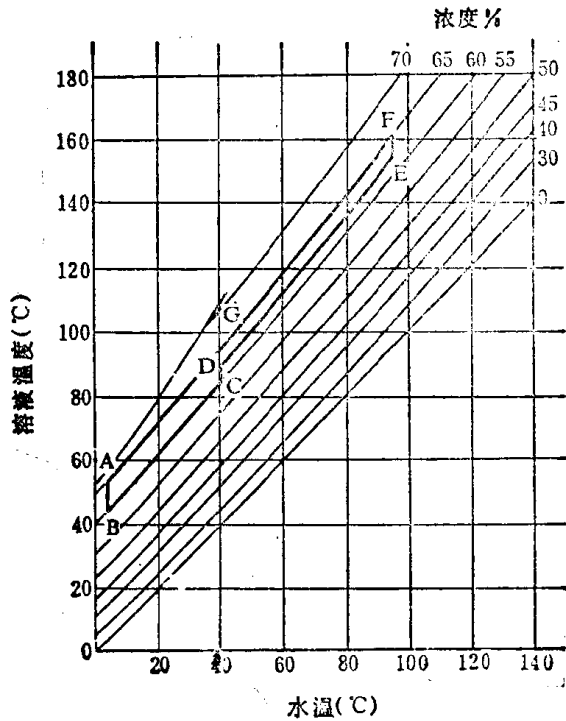


图5-1-7 双效用吸收式制冷机的特性

A→B表示吸收过程，B→C表示经过稀液低温换热器的升温过程，C→D表示低温再生器的浓缩过程，D→E表示在中间浓度液的高温换热器中的升温过程，E→F表示在高温再生器中的浓缩过程，F→G→A分别表示在浓液的高温、低温换热器中温度降低后返回吸收器的过程。在双效用吸收式制冷机中，E、F点的横坐标的温度不能超过100℃，但要求高于D点纵坐标的溴化锂水溶液温度。与单效用机的情况相同，加热源的温度必须高于F点的温度，而随着设计条件的变更，F点的温度变化很大。

〈3〉热计算

蒸发器的冷却能力和再生器（高温再生器）中的加热量之比表示循环效率。该比值也称为性能系数。在供暖的情况下，加热量和热水的输出热量几乎相等（仅差放热损失）；而在致冷的情况下，依采用单效用还是双效用制冷机，则有大幅度的变化，并且随着设计条件不同也会发生相当大的变化。制冷循环的加热源的温度、加热量的大致标准，如表5-1-2所示。

通常，在制冷循环中下列热平衡式成立：

余热一