

载冷剂及其热物理性质

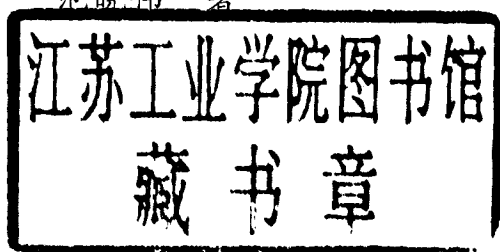
ZAILENGJI
JIQI
REWULIXINGZHI

范晓伟 著

郑州大学出版社

载冷剂及其热物理性质

范晓伟 著



郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

载冷剂及其热物理性质/范晓伟著. —郑州:郑州大学出版社,2003.9

ISBN 7-81048-824-4

I. 载… II. 范… III. 载冷剂-热物理性质 IV. TB61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 080685 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

邮政编码:450052

出版人:谷振清

发行部电话:0371-6966070

全国新华书店经销

郑州文华印刷厂印制

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:7

字数:172 千字

版次:2003 年 9 月第 1 版

印次:2003 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-81048-824-4/T·18 定价:21.00 元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换

内 容 提 要

载冷剂作为间接制冷和热泵系统中传递冷量的中间换热流体,其应用日益广泛。

本书介绍了常用载冷剂的基本物理、化学性质和选用原则,提供了热物理性质参数的数据、曲线和计算公式。全书共有4章,数据可靠,图表实用。该书对制冷与低温技术、暖通空调等专业的科技工作者从事间接蒸发式制冷或热泵系统的设计和研究开发具有重要的参考价值,也可作为高等学校有关专业的辅导教材。

前言

在间接式制冷和热泵系统中,通常采用载冷剂把蒸发器中制冷剂释放的冷量移走。近年来,为了寻找和使用对环境无害的制冷剂的需要,已经发现了间接制冷系统在低温制冷下的许多新的应用。

间接蒸发制冷系统与直接蒸发系统相比有以下优点:可以将制冷机组设计得更加紧凑,系统中需要充灌的制冷剂量较少,厂家在生产制冷或热泵机组时可以不考虑具体的应用场合,可采用整体组装,避免了就地安装制冷剂管线,使安装工作更简单。然而,带载冷剂回路的间接蒸发系统也有其不足之处,如需要增设泵、换热器等附加设备,增加额外的投资;另外,附加的传热温差损失也将导致系统总能耗要比直接系统略高些,这也是一个值得考虑的因素。

对制冷或热泵机组而言,首要的问题是选择合适的换热流体。在冷凝器和蒸发器中,与制冷剂进行换热的流体几乎总是用水或者空气。当最低工作温度高于 0°C 时,水是适用于空调和其他制冷装置的一种最理想的载冷剂。然而,当工作温度低于 0°C 时,用何种流体就成了问题,对于冷冻设备而言这个问题就更加突出。任何载冷剂首先必须拥有良好的热物理特性,故必需满足以下3点基本要求。

1. 在小的体积流量和小温差变化下能够传输较大的制冷量。
2. 流体有较高的换热系数,使换热器可以采用小温差换热。
3. 流体在系统中的流动阻力产生的压降要小,以便使用小功率泵。

另外,还要求流体对设备和管道不会造成任何腐蚀,必须是无

毒,无环境污染,不可燃,使用安全,而且价格合理。

为了合理选择载冷剂,迫切需要考察和评价载冷剂的热物理性质和其他特性。本书中涉及的载冷剂分成水溶液类和非水液体两大类。其中水溶液类主要包括不含其他添加物的乙烯乙二醇水溶液、丙烯乙二醇水溶液、乙醇水溶液、甲醇水溶液、丙三醇水溶液、氨水溶液、碳酸钾水溶液、氯化钙水溶液、氯化镁水溶液、氯化钠水溶液以及醋酸钾水溶液等等;而非水液体主要有低温下低黏度的二乙基苯混合物、碳氢混合物、氟代烃、聚二甲基硅氧烷、萘烯、液体二氧化碳等等。这些载冷剂各有优缺点,书中对此进行了评述。

为了满足制冷、热泵系统有关技术计算的需要,作者查阅了大量文献资料,以求获得最可靠的载冷剂热物性数据。当文献中的数据不完整或不可靠时,又进行了实验测量予以补充。

本书共分4章。第一章详细介绍了常用载冷剂的种类、基本物理化学性质和选用原则;第二章提供了载冷剂的主要热物理性质参数的数据和曲线;第三章主要介绍载冷剂热物理性质参数的计算公式和相关的系数;第四章针对流动阻力和换热系数计算的需要,专门构造了一些热物性复合因子,并且给出了这些因子的有关数据和曲线。

本书对从事制冷与低温工程、暖通空调等专业的科研和技术人员进行间接蒸发式制冷和热泵系统的设计和研究开发具有重要的参考价值。由于作者的水平有限,书中尚有许多不足之处,恳望读者批评指正。

本书的出版得到了国家教育部归国留学人员科研启动基金的资助,谨在此表示感谢。

著者

2003年5月

目 录

第一章 概述	1
第一节 载冷剂定义及其作用	1
第二节 载冷剂的种类	2
第三节 常用载冷剂的基本物理化学性质	3
一、无机物水溶液类	3
二、有机物水溶液类	5
三、非水液体类	6
四、各种载冷剂凝固点温度的比较	6
第四节 载冷剂选择原则	8
第二章 载冷剂的热物理特性	11
第一节 热物理特性参数	11
第二节 主要热物性数据表	13
一、水溶液类的热物性数据	13
二、非水液体类的热物性数据	61
第三节 热物性参数曲线	69
一、主要的热物性参数曲线	69
二、水溶液类的凝固点、沸点温度及表面张力曲线	100
第三章 热物性参数计算公式	103
第一节 计算公式	103
第二节 计算公式中的系数与计算误差	106

第四章 热物性复合因子	131
第一节 热物性复合因子简介	131
一、容积热容	131
二、雷诺因子	131
三、换热因子	132
四、流动阻力因子	133
第二节 复合因子数据表	134
一、水溶液类的复合因子数据	134
二、非水液体类的复合因子数据	181
第三节 复合因子曲线	189
第四节 应用举例	204
附 1 常用载冷剂的中英文名称对照	210
附 2 符号表	211

第一章 概 述

第一节 载冷剂定义及其作用

载冷剂是在间接制冷系统中用来传递冷量的中间媒介,制冷装置的制冷量通过载冷剂的循环流动不断地传递给被冷却对象。

图 1-1 和图 1-2 分别表示了间接式热泵或制冷系统及其载冷剂回路中的温度分布。载冷剂通过泵在蒸发器和温度较低的冷源或被冷却对象间构成流动回路,连续不断地将冷源侧的热量移出,并且在蒸发器中把由冷源侧移出的热量传递给制冷剂;然后,制冷剂经压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器组成的制冷剂回路实现将热量从低温热源向高温热源的转移。制冷剂仅在图 1-1 中所表示的框内的制冷或热泵机组内部进行循环流动,这使得机组的设计和制造可以更加紧凑,实现整体组装,制冷剂的充注量也较少。由图 1-2 可以看出,载冷剂的蒸发温度和冷源侧(或被冷却对象)温度间的温差会由于载冷剂回路的存在而有所增加。从热力学角度讲,额外的温差使制冷系统的循环性能系数(COP)值必然会有所降低,不过这可以通过选择合适的载冷剂实现小温差传热把温差不可逆损失减少到最低限度。

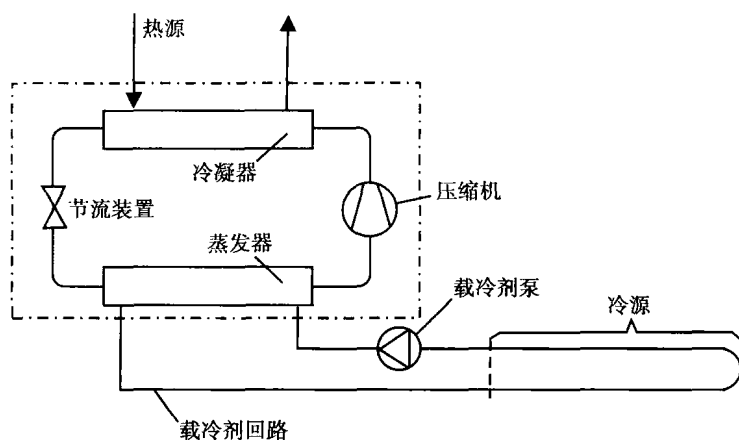


图 1 - 1 间接式制冷或热泵系统

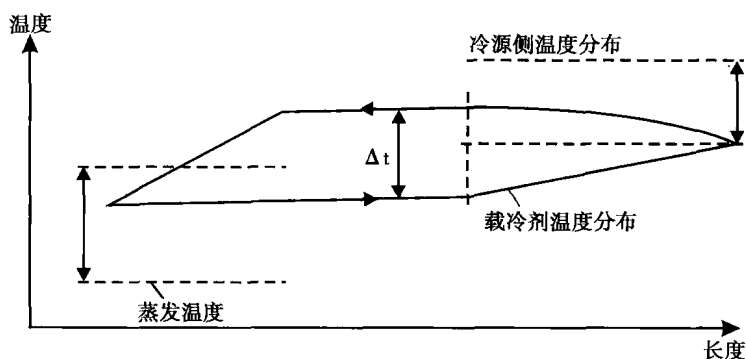


图 1 - 2 载冷剂回路的温度分布曲线

第二节 载冷剂的种类

对蒸发温度高于 0°C 时的空调和制冷装置来讲,水是一种最

理想的载冷剂。它的比热值高,密度小,化学性能稳定,而且价格低。大型中央集中式空调制冷系统使用的冷水机组就是用水作载冷剂。然而,对于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的制冷和空调系统用何种流体作载冷剂就成了问题,尤其对冷冻设备这个问题就更加突出。考虑到有关水的热物理性质(简称热物性)数据比较齐全,这里不再对其进行专门叙述。

目前应用的载冷剂多种多样,一般可以根据是否含有水分把它们分成水溶液类和非水液体两大类。

水溶液类载冷剂又可以按照溶质的不同进一步分成无机物水溶液类和有机物水溶液类。常见的无机物水溶液类载冷剂主要有:氯化钠水溶液、氯化钙水溶液、氯化镁水溶液、碳酸钾水溶液、醋酸钾水溶液和氨水溶液等等;而有机物水溶液类中较常见的有:乙烯乙二醇水溶液、丙烯乙二醇水溶液、乙醇水溶液、甲醇水溶液、丙三醇水溶液等等。

非水液体由于价格相对较高,使用量不如水溶液类载冷剂多,市场上出现的这类载冷剂主要有:二乙基苯混合物、聚二甲基硅氧烷、氟代烃、碳氢混合物、液体二氧化碳和萘烯等等。

第三节 常用载冷剂的基本物理化学性质

一、无机物水溶液类

1. 氯化钠水溶液

溶质氯化钠(NaCl) 相对分子质量为 58.44,其外观呈白色结晶性固体,味咸,是最重要的盐化工原材料,氯化钠具有一定的吸湿性,常用于食品和盐化工产品。

氯化钠水溶液的共晶点温度和质量浓度分别为 $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 23.1%。

2. 氯化钙水溶液

溶质氯化钙(CaCl_2) 相对分子质量为 110.99, 外观呈白色坚硬碎块或颗粒, 无味, 味微苦, 具有强吸湿性, 易溶于水、醇, 不溶于醚, 水溶液呈中性或微碱性, 有腐蚀性, 常用作干燥剂, 食品凝固剂等。

氯化钙水溶液的共晶点温度和质量浓度分别为 $-55.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 29.9%。

3. 氯化镁水溶液

溶质氯化镁(MgCl_2) 相对分子质量为 95.21, 其性质与氯化钙相似。

氯化镁水溶液的共晶点温度和质量浓度分别为 $-33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 23.4%。

4. 碳酸钾水溶液

溶质碳酸钾(K_2CO_3) 相对分子质量为 138.20, 其外观呈白色粉末或结晶性细粒。它溶于水, 但不溶于乙醚、乙醇; 水溶液呈强碱性, 吸湿性极强, 吸湿后结硬块, 常用作吸湿剂、发泡剂等。

碳酸钾水溶液的共晶点温度和质量浓度分别为 $-37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 40%。

5. 醋酸钾水溶液

溶质醋酸钾($\text{CH}_3\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OK} \end{array}$) 相对分子质量为 98.12, 外观呈无

色透明或白色结晶性颗粒状, 溶于水, 微溶于乙醇。水溶液呈碱性, 具有一定的潮解性, 常用于高分子材料的添加剂。醋酸钾又称乙酸钾。白色晶体粉末, 有咸味, 易潮解, 溶于水、甲醇、乙醇、氨水, 不溶于乙醚、丙酮。溶于石蕊, 呈碱性。低毒, 可燃。

醋酸钾水溶液的共晶点温度和质量浓度分别为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和

45%。

6. 氨水溶液

氨水溶液中氨(NH_3)的相对分子质量为 17.03,是一种无色有刺激性恶臭的气体,高浓度的氨可造成组织溶解坏死,液氨可致皮肤灼伤,常用作制冷剂和制取铵盐氮肥。氨水溶液呈弱碱性。

氨水溶液的共晶点温度和质量浓度分别为 $-100\text{ }^\circ\text{C}$ 和 33%。

二、有机物水溶液类

1. 乙烯乙二醇水溶液

乙烯乙二醇($\text{CH}_2=\text{CH}-\overset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\overset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_2$)相对分子质量 87.04,是无色、无味的有机化合物,无腐蚀性,易溶于水和许多有机化合物。

2. 丙烯乙二醇水溶液

丙烯乙二醇($\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\overset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\overset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_2$)相对分子质量

101.06,丙烯乙二醇的物理化学性质与乙烯乙二醇基本相同。

3. 乙醇水溶液

乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)相对分子质量为 46.07,是一种无色液体,有酒香,可与水混溶。乙醇易燃,闪点为 $12\text{ }^\circ\text{C}$,引燃温度 $363\text{ }^\circ\text{C}$,爆炸浓度上限:19.0%,爆炸下限:3.3%。乙醇的化学性质较为活泼,可发生氧化反应、还原反应等,它是化学工业的基本原料,常用于制药、酒精工业等。

4. 甲醇水溶液

甲醇(CH_3OH)相对分子质量:32.04,其熔点为 $-97.8\text{ }^\circ\text{C}$,沸点为 $64.7\text{ }^\circ\text{C}$,是一种无色澄清液体,有刺激性气味,可与水混溶。它易燃,闪点为 $11\text{ }^\circ\text{C}$,引燃温度:385 $^\circ\text{C}$,爆炸浓度上限 44%,爆炸

下限 5.5%。甲醇的化学性质活泼,有剧毒,对中枢神经有麻醉作用,对人的视网膜有特殊的选择作用,其他与乙醇相似。主要用于制造甲醛、香料、染料、制药、火药等。

5. 丙三醇水溶液

丙三醇($\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\ | \quad | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$) 相对分子质量 92.10, 是一种无

色透明、糖浆状液体,无味,有甜味,可与水混溶。它的沸点 290 °C, 熔点 17.8 °C, 不溶于乙醚、氯仿、油脂等非极性有机溶剂。水溶液呈中性,与强氧化剂接触爆炸;具有吸湿性,易吸收空气中的水分。常用于食品增稠剂、甜味剂、吸湿剂、食品保鲜剂等。

三、非水液体类

非水液体类的二乙基苯混合物、聚二甲基硅氧烷、氟代烃、碳氢混合物、液体二氧化碳和萘烯等一般在载冷剂回路工作温度较低的情况下才予以考虑,除二氧化碳外其他均为高分子聚合物。无论从热物性方面,还是价格方面,非水液体类均比水溶液类缺乏竞争性。当确有必要选择使用非水溶液类时,有关厂家将提供必要的物理化学性质数据。

四、各种载冷剂凝固点温度的比较

凝固点温度 t_n 是指流体在没有过冷条件下,在平衡状态下开始出现冰晶体的温度。凝固点温度通常应低于载冷剂的工作温度,从而确保载冷剂没有任何困难地通过泵输送到系统的各个地方。不过对于某些制冷或热泵系统中,短时间内出现少量的冰晶体也是可以接受的。

表 1-1 和 1-2 列出了不同载冷剂凝固点数据。它们包括一些有机和无机水溶液以及某些在低温时黏度很低的非水液体。对水

第一章 概述

溶液来说,给出凝固点温度为 -15°C 、 -30°C 和 -40°C 时的质量浓度数据。一般情况下,凝固点温度越低,溶液的质量浓度越高。对于非水液体,只提供了纯液体的凝固点温度。

表 1 - 1 水溶液的凝固点数据和所用的代号

溶液类	代号	各凝固点温度下的质量浓度 %		
		-15°C	-30°C	-40°C
乙烯乙二醇水溶液	EG	30.5	45.4	52.8
丙烯乙二醇水溶液	PG	33	48	54
乙醇水溶液	EA	24.5	40.9	53.1
甲醇水溶液	MA	20.0	33.6	41
丙三醇水溶液	Glyc	39.5	56	63
氨水溶液	NH_3	10.8	17.7	21.1
碳酸钾水溶液	K_2CO_3	27	36.6	—
氯化钙水溶液	CaCl_2	17.9	25.4	28.3
氯化镁水溶液	MgCl_2	14.0	20.5	—
氯化钠水溶液	NaCl	18.8	—	—
醋酸钾水溶液	KAc	24	34	39

表 1 - 2 一些非水液体的凝固点数据和所用的代号

液体类型	生产厂家	代号	凝固点 温度($^{\circ}\text{C}$)
二乙基苯混合物	Dowtherm J (DOW Chemicals)	DEB	< -73
碳氢混合物	Gilotherm D12 (Rhone - Poulenc)	HCM	-70
氟代烃	HFE - 7100 (3M Co.)	HFE	< -43

续表 1 - 2

液体类型	生产厂家	代号	凝固点 温度(℃)
聚二甲基硅氧烷 I	Baysilon KT3 (Bayer)	PMS ₁	< - 100
聚二甲基硅氧烷 II	Syltherm XLT (DOW Corning)	PMS ₂	- 93
萜烯	d - Limonene (Florida Chem. Co.)	TCO	- 97
液体二氧化碳		CO ₂	- 56.7 *

* : 三相点温度

第四节 载冷剂选择原则

当决定将载冷剂用于特定的制冷或热泵装置时,必须首先考虑其热物理特性。载冷剂的热物理性质非常重要,一般要求其凝固点温度必须低于载冷剂的工作温度,在工作温度范围内黏度不能太高,希望有较高的比热和导热系数值等等;其次对热物性以外的其他一些重要性能,如:腐蚀性、毒性、可燃性、使用安全性、环境污染状况和价格等等也应重视。

选择载冷剂的原则有以下 7 点。

(1) 在进行热量传递过程中,载冷剂不应发生凝固或气化。

(2) 载冷剂的比热值应较大,这样一来,在传递一定的冷量时,其流量就小,进而减少了循环泵的功率,降低功耗。

(3) 载冷剂的密度要小,黏性也要小,从而在循环流动过程中的阻力就小,泵的耗功也少。

(4) 载冷剂的导热系数要高,有利于提高换热系数,减少换热器的传热面积,降低初投资。

(5) 载冷剂的化学稳定性要好,与大气接触不分解,不改变其

物理化学性能。

(6) 不腐蚀设备、管路和附件。

(7) 价格较低。

事实上,没有一种载冷剂是理想的适合于所有的间接制冷或热泵系统,因此,对每一个特定的装置或系统必须寻找最合适的载冷剂。为此,应该首先找到对所考虑的装置或系统中哪些参数最重要,然后,努力去选择出对这一特定情况最合适的载冷剂。

所有的载冷剂都有一个或多个负面作用,现将主要的方面罗列如下,供选择载冷剂时参考。

水 —— 凝固点为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 当有氧气时会出现腐蚀,需要采取合适和有效的防腐措施,下面所列的水溶液多数也有此问题。

氯化钠水溶液 —— 当氧气存在时具有高腐蚀性,采用铬酸盐类防腐剂时可能产生危险(特别在与防腐剂混合过程中)。

氯化钙水溶液 —— 与氯化钠水溶液相同。

氯化镁水溶液 —— 与氯化钠水溶液相同。

碳酸钾水溶液 —— 高 pH 值,接触中对眼睛有害。

醋酸钾水溶液 —— 长期影响尚不清楚,相当高的 pH 值。

氨水溶液 —— 可燃,沸点较低,有刺激性气味。

乙烯乙二醇水溶液 —— 污染环境,对健康有害(高毒性)。

丙烯乙二醇水溶液 —— 对环境有污染,低温条件下有高黏性。

乙醇水溶液 —— 易燃、低沸点,在特殊条件下可能会引起中毒。

甲醇水溶液 —— 与乙醇相同,对健康有害(在特定条件下可致盲)。

丙三醇水溶液 —— 低温下高黏性。

最近,市场上也推出了一些溶质为混合物的水溶液类载冷剂,如氯化钙和氯化镁混合物的水溶液,醋酸钾和甲酸钾混合物水溶