



西安交通大学

研究生创新教育系列教材

现代制冷空调 理论与应用与新技术

主 编	袁秀玲	
副主编	鱼剑琳	黄 东
	陈蕴光	张兴群
主 审	金苏敏	史 敏



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学

研究生创新教育系列教材

现代制冷空调 理论与应用与新技术

主 编 袁秀玲
副主编 鱼剑琳 黄 东
陈蕴光 张兴群
主 审 金苏敏 史 敏

西安交通大学出版社
· 西 安 ·

内容简介

本书比较全面地介绍了制冷空调领域的新理论、新技术及目前研究的热点问题。主要内容包括:蓄能空调理论与应用、地源热泵技术、变容量空调技术、空气源热泵空调技术及应用、CO₂制冷、冷冻冷藏柜、制冷空调用冷凝器及蒸发器、离心式、螺杆式、涡旋式等压缩式冷水机组的最新技术;制冷剂及其替代物等。通风机是制冷空调装置中的重要部件,也作了简单介绍。本书内容中包括了作者近20年来积累的科研成果、国内外制冷空调领域的最新技术以及给研究生授课内容。

本书适用于高等院校制冷低温工程学科和暖通空调学科本科生和研究生的教学用书,也可供制冷空调领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代制冷空调理论应用与新技术/袁秀玲主编. —西安:
西安交通大学出版社,2009.6
(西安交通大学研究生创新教育系列教材)
ISBN 978-7-5605-2996-7

I. 现… II. 袁… III. 制冷-空气调节器-研究生-教材 IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 170791 号

书 名 现代制冷空调理论应用与新技术
主 编 袁秀玲
责任编辑 邹 林

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西向阳印务有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 28.5 字数 528千字
版次印次 2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-2996-7/TB·50
定 价 42.00元

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82664954
读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

《现代制冷空调理论应用与新技术》编辑委员会

主任委员:张朝晖(中国制冷空调工业协会秘书长、教授级高工)

副主任委员:史敏(合肥通用机械研究院副院长、教授级高工)

纪志坚(大连三洋冷链有限公司总经理)

夏鸿伟(擎宇国际股份有限公司总经理)

金培耕(TCL空调事业部商用空调中心总经理)

徐国富(杭州华源前线能源设备有限公司总经理)

田明力(美的中央空调事业部研发中心主任)

苏宇贵(广州中宇冷气科技发展有限公司董事长)

刘振声(康年高科技电设备有限公司总经理)

宋垚臻(茂名学院院长、教授)

周子成(广东西屋康达空调有限公司副总经理、教授)

李功振(广东银燕空调公司总经理、总工程师)

沙风歧(潍坊科灵空调设备有限公司总工程师)

龚毅(郑州轻工业学院副校长、教授)

金苏敏(南京工业大学能源学院副院长、教授)

刘金平(华南理工大学电力学院教授)

袁秀玲(西安交通大学教授、博士生导师)

(以上排名不分先后)

秘书长:鱼剑琳、黄东

委员:韩树衡、郭新生、吕金虎、曹小林、许修铭、袁剩勇、陈蕴光

张兴群、杨一帆、刘元璋、何茂刚

主 编:袁秀玲

副主编:鱼剑琳、黄东、陈蕴光、张兴群

主 审:金苏敏、史敏

总 序

创新是一个民族的灵魂,也是高层次人才水平的集中体现。因此,创新能力的培养应贯穿于研究生培养的各个环节,包括课程学习、文献阅读、课题研究等。文献阅读与课题研究无疑是培养研究生创新能力的重要手段,同样,课程学习也是培养研究生创新能力的重要环节。通过课程学习,使研究生在教师指导下,获取知识的同时理解知识创新过程与创新方法,对培养研究生创新能力具有极其重要的意义。

西安交通大学研究生院围绕研究生创新意识与创新能力改革研究生课程体系的同时,开设了一批研究型课程,支持编写了一批研究型课程的教材,目的是为了推动在课程教学环节加强研究生创新意识与创新能力的培养,进一步提高研究生培养质量。

研究型课程是指以激发研究生批判性思维、创新意识为主要目标,由具有高学术水平的教授作为任课教师参与指导,以本学科领域最新研究和前沿知识为内容,以探索式的教学方式为主导,适合于师生互动,使学生有更大的思维空间的课程。研究型教材应使学生在学习过程中可以掌握最新的科学知识,了解最新的前沿动态,激发研究生科学研究的兴趣,掌握基本的科学方法,把教师为中心的教学模式转变为以学生为中心教师为主导的教学模式,把学生被动接受知识转变为在探索研究与自主学习中掌握知识和培养能力。

出版研究型课程系列教材,是一项探索性的工作,有许多艰苦的工作。虽然已出版的教材凝聚了作者的大量心血,但毕竟是一项在实践中不断完善的工作。我们深信,通过研究型系列教材的出版与完善,必定能够促进研究生创新能力的培养。

西安交通大学研究生院

前 言

近年来,随着国内外制冷空调行业的迅速发展,新型制冷空调装置、新技术、新流程、新的设计方法及新的 CFCs 替代工质不断涌现。为适应这一新的发展趋势,使高等院校制冷空调专业的研究生、大学生以及从事该领域各层次的技术人员能有一本内容新颖、实用性较强的教材和参考书,在西安交通大学研究生院及出版社的大力支持下,特编写《现代制冷空调理论应用与新技术》一书。

本书由西安交通大学袁秀玲任主编,负责策划、制定编写大纲、审稿和统稿工作;西安交通大学鱼剑琳、黄东、陈蕴光、张兴群任副主编,参与策划、编写部分章节及有关章节的审改工作;参与编写的人员有:龚毅(第1章)、刘金平(第2章)、周子成(第3章3.1~3.2)、韩树衡(第3章3.3.2~3.3.5)、袁剩勇(第3章3.3.1)、黄东(第4章)、曹小林(第5章)、苏宇贵(第5章的5.5)、张兴群(第6章)、吕金虎、宋焱臻(第7章)、鱼剑琳(第8章)、陈蕴光(第9章)、郭新生(第10章);南京工业大学金苏敏和合肥通用机械研究院史敏担任主审。

本书的编辑工作得到西安交通大学、大连三洋冷链制冷有限公司、擎宇国际股份有限公司、美的中央空调事业部研发中心、杭州华源前线能源设备有限公司、广州中宇冷气科技发展有限公司、广州康年高科机电设备有限公司等单位的大力支持。此外,李功振、金培耕、刘元璋、宋焱臻、韩树衡、姜增辉校友也给母校制冷与低温工程专业和本书编写提供了大力支持,在此一并致谢。

西安交通大学何茂刚教授对本书进行了审阅,提出了宝贵的修订意见,编著者在此表示衷心的感谢。

由于编写时间有限,参加编写人员较多,错误和不妥之处在所难免,敬请同行和读者批评指正。

编著者

2009年元月于西安交通大学

目 录

第 1 章 制冷剂及其替代	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 对制冷剂的要求	(2)
1.1.2 制冷剂的类别及命名	(3)
1.1.3 混合制冷剂	(6)
1.2 制冷剂的性质	(9)
1.2.1 制冷剂的热力学性质及其计算方法	(9)
1.2.2 制冷剂的物理化学性质	(14)
1.3 替代制冷剂及其应用	(16)
1.3.1 两个重要的环境影响因素	(16)
1.3.2 制冷剂的环境评价指标及评价方法	(17)
1.3.3 CFCs 制冷剂的替代	(20)
1.3.4 HCFCs 制冷剂的替代	(21)
1.3.5 天然制冷剂的使用	(22)
1.3.6 替代制冷剂的实际应用	(23)
1.3.7 制冷剂与润滑油的互溶性	(28)
第 2 章 制冷空调用冷凝器、蒸发器	(31)
2.1 常用冷凝器结构	(31)
2.1.1 风冷冷凝器的结构和特点	(31)
2.1.2 水冷冷凝器的结构和特点	(37)
2.1.3 蒸发式冷凝器的结构和特点	(47)
2.2 冷凝器的仿真计算	(49)
2.2.1 基本模型	(50)
2.2.2 算法设计	(53)
2.2.3 仿真实例	(54)
2.3 冷凝器传热强化	(56)
2.3.1 冷凝器空气侧的传热	(58)
2.3.2 冷却水侧的污垢热阻	(58)
2.3.3 制冷剂侧冷凝传热的强化	(61)

2.4	常用蒸发器的结构	(62)
2.4.1	干式蒸发器的结构特点	(62)
2.4.2	满液式蒸发器的结构特点	(69)
2.4.3	降膜蒸发器	(73)
2.5	蒸发器的仿真计算	(75)
2.6	蒸发器传热强化	(80)
2.6.1	蒸发器空气侧的传热强化	(81)
2.6.2	冷冻水侧的传热强化	(82)
2.6.3	制冷剂侧蒸发传热的强化	(83)
2.7	热泵型机组冷凝器与蒸发器的协调优化	(84)
第3章	蒸气压缩式冷水机组	(90)
3.1	涡旋压缩机冷水机组	(90)
3.1.1	涡旋压缩机的工作原理	(90)
3.1.2	涡旋压缩机冷水机组	(100)
3.2	螺杆压缩机冷水机组	(119)
3.2.1	螺杆压缩机的工作原理	(119)
3.2.2	输气量调节和内容积比调节	(124)
3.2.3	润滑系统	(127)
3.2.4	螺杆制冷机的经济器系统	(128)
3.2.5	螺杆压缩机的结构	(133)
3.2.6	螺杆压缩冷水机组	(137)
3.3	离心式压缩机冷水机组	(151)
3.3.1	离心式冷水机组的结构	(152)
3.3.2	离心式冷水机组制冷系统	(169)
3.3.3	离心式冷水机组的负荷调节	(184)
3.3.4	变频驱动离心式冷水机组	(185)
3.3.5	磁悬浮离心式冷水机组	(189)
第4章	空气源热泵空调技术及应用	(192)
4.1	空气源热泵空调的现状与展望	(192)
4.1.1	空气源热泵空调概述	(192)
4.1.2	空气源热泵空调组成概述	(193)
4.1.3	空气源热泵空调系统存在的问题及对策	(194)
4.1.4	空气源热泵空调的展望	(196)

4.2	空气源热泵空调换热器设计与优化	(197)
4.2.1	支路数对热泵空调冷凝与蒸发两用换热器性能的影响	(198)
4.2.2	流路布置对热泵空调冷凝与蒸发两用换热器性能影响	(207)
4.2.3	热泵空调冷凝与蒸发两用换热器的优化概述	(213)
4.3	空气源热泵空调的结霜动态特性	(213)
4.3.1	空气源热泵空调的结霜的影响因素	(214)
4.3.2	空气源热泵空调结霜动态特性研究	(214)
4.4	空气源热泵空调的除霜动态特性	(221)
4.4.1	空气源除霜方法简介	(221)
4.4.2	空气源热泵空调逆循环除霜和热气旁通除霜的比较	(222)
第5章	地源热泵技术	(232)
5.1	地源热泵系统概述	(232)
5.1.1	地源热泵系统的基本知识	(232)
5.1.2	地源热泵系统的发展概况	(238)
5.1.3	水源热泵机组	(241)
5.2	地源热泵的低位热源	(246)
5.2.1	土壤	(246)
5.2.2	地下水	(248)
5.2.3	地表水	(249)
5.2.4	城市污水	(250)
5.3	土壤热交换器系统	(251)
5.3.1	土壤热交换器的构造和埋管布置方式	(251)
5.3.2	地埋管换热器的传热分析	(253)
5.3.3	土壤热交换器的安装	(255)
5.4	地表水换热系统	(259)
5.4.1	地表水换热系统的形式	(259)
5.4.2	换热器的设计	(260)
5.5	地下水换热系统	(263)
5.5.1	热源井的设计	(263)
5.5.2	地下水回灌技术	(268)
5.6	水环路热泵系统	(269)
5.6.1	水环路热泵系统的组成及工作原理	(269)
5.6.2	水环路热泵系统的结构特点	(273)
5.6.3	水环热泵空调系统运行节能探讨	(275)

第 6 章 变容量空调技术	(283)
6.1 变容量空调的特点与现状	(283)
6.1.1 变频压缩机变容量空调系统	(283)
6.1.2 涡旋压缩机变容量空调系统	(285)
6.1.3 其它变容量空调系统	(286)
6.2 变频技术的原理与特点	(288)
6.2.1 变频控制器原理	(288)
6.2.2 变频空调器的运行特性	(290)
6.2.3 变频空调器季节能效比的实验和计算方法	(294)
6.3 涡旋变容量空调系统的原理与特点	(298)
6.3.1 涡旋变容量空调系统的工作原理	(298)
6.3.2 涡旋变容量空调系统与常规涡旋式压缩机空调系统的比较	(300)
6.3.3 涡旋变容量空调系统与变频空调系统的比较	(302)
6.4 变容量空调的典型流程	(304)
6.4.1 变频空调系统的典型流程	(304)
6.4.2 涡旋变容量空调系统的典型流程简介	(307)
第 7 章 蓄能空调理论与应用	(310)
7.1 概述	(310)
7.1.1 蓄冷空调应用背景	(310)
7.1.2 蓄冷技术的发展历史	(311)
7.1.3 蓄冷技术的发展趋势	(313)
7.2 蓄冷与蓄热材料	(314)
7.2.1 对蓄冷与蓄热材料的要求	(314)
7.2.2 蓄冷材料	(315)
7.2.3 蓄热材料	(316)
7.3 蓄冷与蓄热空调系统	(318)
7.3.1 蓄冷空调系统的运行策略	(318)
7.3.2 蓄冷空调系统	(321)
7.3.3 蓄热空调系统	(325)
7.4 蓄冷设备	(326)
7.4.1 盘管式蓄冷装置	(326)
7.4.2 封装式蓄冷装置	(330)
7.4.3 冰片滑落式蓄冷装置	(331)

7.4.4	冰晶式蓄冷装置	(332)
7.5	蓄冷空调系统设计与经济性分析	(333)
7.5.1	蓄冷空调系统设计	(333)
7.5.2	经济性分析	(335)
第 8 章	CO₂ 制冷	(340)
8.1	CO ₂ 制冷概述	(340)
8.1.1	CO ₂ 制冷剂发展历史	(340)
8.1.2	CO ₂ 的性质	(342)
8.2	CO ₂ 制冷循环	(345)
8.2.1	CO ₂ 近临界循环和跨临界循环	(345)
8.2.2	跨临界循环分析	(346)
8.3	CO ₂ 制冷循环的应用	(351)
8.3.1	跨临界 CO ₂ 汽车空调	(351)
8.3.2	跨临界 CO ₂ 热泵热水器	(358)
第 9 章	冷冻冷藏陈列柜	(367)
9.1	概述	(367)
9.2	冷冻冷藏陈列柜分类及特点	(367)
9.2.1	分类	(367)
9.2.2	特点	(368)
9.3	技术发展与研究现状	(369)
9.3.1	冷冻冷藏陈列柜性能和热负荷的研究	(369)
9.3.2	冷风幕流动特性的研究	(371)
9.4	冷风幕流动和热负荷分析	(376)
9.4.1	射流理论分析	(376)
9.4.2	冷风幕流动特性分析	(378)
9.4.3	影响冷风幕性能的因素	(380)
9.4.4	陈列柜热负荷构成	(382)
9.4.5	影响陈列柜热负荷的因素	(383)
9.5	换热器的性能与优化设计	(384)
9.5.1	与常规系统换热器的区别	(384)
9.5.2	优化设计方法	(385)
9.6	除霜方法讨论	(386)
9.6.1	自然融霜	(387)

9.6.2	热气融霜	(387)
9.6.3	电加热融霜	(387)
9.6.4	暖液融霜	(388)
9.6.5	饱和蒸气除霜	(389)
9.7	特种低温冷冻柜	(390)
9.7.1	种类及特殊要求	(390)
9.7.2	典型流程与分析	(391)
第 10 章	制冷空调通风机	(397)
10.1	通风机的性能参数和制冷空调通风机的分类	(397)
10.1.1	通风机的主要性能参数	(397)
10.1.2	通风机的无因次参数	(402)
10.1.3	离心式通风机	(405)
10.1.4	轴流式通风机	(405)
10.1.5	横流式通风机	(407)
10.1.6	混流式通风机	(415)
10.2	离心式通风机	(417)
10.2.1	离心式通风机的工作原理	(417)
10.2.2	离心风机叶轮的工作原理	(418)
10.2.3	叶片型式对气流速度及叶轮压力升的影响	(420)
10.2.4	离心叶轮中气体的实际流动	(421)
10.2.5	离心通风机的性能曲线	(423)
10.2.6	叶轮结构与设计	(425)
10.3	轴流式通风机	(428)
10.3.1	轴流式通风机原理和特点	(428)
10.3.2	叶栅的几何参数及其空气动力学特性	(432)
10.3.3	轴流式通风机的特性	(435)
10.4	制冷空调通风机在管网中的工作及调节	(436)
10.4.1	管网的性能曲线	(436)
10.4.2	通风机与管网的联合工作	(438)
10.4.3	通风机的调节	(439)
10.4.4	喘振	(442)

第1章 制冷剂及其替代



1.1 概述

制冷技术是使某一空间或物体的温度降低到低于环境温度,并保持在规定的低温状态的一门科学技术。制冷空调行业是我国改革开放以来发展最快,对人民生活影响最大的行业之一,我国现在已经成为制冷空调设备的生产大国和消费大国。随着制冷空调及其相关技术的研究不断深入,在新能源新材料利用、资源节约、环境友好和全球气候变暖控制等方面都对制冷空调领域的基础理论和应用开发研究提出了越来越高的要求,其中制冷剂及其替代就是一个重要的任务,这里涉及到对原有及现在使用在制冷空调系统中的对环境有较大负面影响的工质实施替代的基础研究;新的环保型的替代工质的寻找;热物性及其热力特性的研究;在工业、商业和家用制冷空调领域中推广新工质的工程应用开发工作。为了全球人类生存环境的需要,制冷空调新工质的发展方向应该是绿色环保、高效节能、减少排放和加强回收。

制冷剂是制冷系统中的工作介质,又称制冷工质,它是制冷系统中赖以进行能量转换与传递的物质。制冷的方法比较多,最重要的一类是利用物质相变制冷,其中大多数是采取液体气化制冷循环,制冷装置主要是蒸气压缩式制冷装置和吸收式制冷装置。制冷剂在制冷装置中的蒸发器内的低温下气化,吸收被冷却物的热量而制冷,再在冷凝器内的高温条件下凝结,把热量放给周围介质,重新成为液态制冷剂,不断进行制冷循环。所以,只有在工作温度范围内能够气化和凝结的物质才有可能作为制冷剂使用,利用制冷剂在制冷系统中循环流动,通过其自身热力状态的变化与外界发生能量交换,从而实现制冷的目的。

一个多世纪以来,制冷剂经历了一个不断发展的过程。到目前为止,制冷剂的发展一般认为经历了三个阶段。第一个阶段:20世纪30年代以前的早期制冷剂,如乙醚、二甲基乙醚、二氧化碳、氨、二氧化硫、橡胶硫化物、二氯乙烷异构体等,这些制冷剂通常都比较容易获得,但是几乎所有的早期制冷剂都是可燃的或者有毒的,甚至两者兼而有之,而且有些还有很强的反应性;第二个阶段:20世纪30年代到90年代,发展出目前应用最广泛的烷烃的氯、氟完全衍生物氯氟烃类(CFCs)和

不完全衍生物含氢氯氟烃类(HCFCs)制冷剂,如 CFC11、CFC12、HCFC22 等,这些制冷剂逐渐替代了已使用 100 年之久的那些早期制冷剂(除氨以外)。但是由于环境的日益恶化,以及 1974 年罗兰德(Rowland)和莫里纳(Molina)指出 CFCs 物质对臭氧层的破坏作用之后,CFC 和 HCFC 类制冷剂对环境的负面影响(臭氧层消耗问题和温室效应问题)引起了人们的关注,CFC 和 HCFC 类制冷剂的替代问题从而成为热点问题;第三个阶段:20 世纪 90 年代以后研究出的具有环保特性的烷烃的氟不完全衍生物氢氟烃类(HFCs)制冷剂和天然制冷剂等,如 HFC134a, HC600a 等。随着人类经济活动的日益扩大以及对环境问题的日益关注,制冷剂的替代问题成为当前制冷领域内的热点问题。

多数制冷工质在大气压力和环境温度下呈气态,制冷机的结构、工作参数、运行经济性与可靠性在很大程度上与制冷剂的性质有关,所以制冷剂在制冷装置中起着极其重要的作用。从制冷的发展历史来看,往往新的制冷剂的发现及其开发是制冷空调中取得突破性进步的动力,同时经过一段时间又需要重新面对制冷剂方面出现的新问题,而制冷系统中选用不同的制冷剂,制冷装置的运行性能也不同。应该明确的是面对制冷空调领域,不是简单的替换制冷剂的问题,还涉及到制冷空调装置的管线和辅机、制冷压缩机整体替代系统工程(包括零部件、配套件、制冷用润滑油和维修体系)和被替代工质的回收与再利用。

1.1.1 对制冷剂的要求

制冷剂的选用主要依据安全、可靠、经济、易得和环保的原则。作为制冷剂应该符合以下几个方面的共同要求。

1. 热力学性质方面的要求

(1) 制冷剂的临界温度要高,便于使用在常温情况下的冷却介质进行冷凝或在普通制冷温度范围内实现液化;同时其凝固温度要低,以便于获得较低的蒸发温度。

(2) 制冷剂在其工作温度范围内有合适的蒸发压力、冷凝压力和压力比。蒸发压力不低于大气压力,以避免负压造成空气渗入系统;冷凝温度不宜过高,以减少设备尺寸,降低对装置强度及密封的要求,避免压缩终了温度过高以及往复活塞式制冷压缩机的输气系数过低。

(3) 较大的单位制冷量 q_0 和单位容积制冷量 q_v 。在总的制冷量一定的前提下,前者大可以减少制冷剂的循环量,后者大则可以减少制冷压缩机的输气量,进而减少其尺寸。离心式制冷压缩机由于小型或微型机的制造工艺的原因,可采用 q_0 和 q_v 稍小的制冷剂。

(4) 消耗单位功 w 和单位容积功 w_v 比较小,循环效率较高。

(5) 较小的绝热指数,使得压缩过程的功耗减少和压缩终了温度不会过高,以

免造成制冷压缩机的润滑条件恶化以及制冷剂在高温条件下分解。

2. 传输性质方面的要求

(1)为减少制冷剂在系统中的流动阻力以及制冷剂的充注量,其黏度、密度应该尽量小。

(2)导热系数应较大,以提高制冷系统中各个换热器的传热系数,实现换热器结构更紧凑、传热面积及金属耗量更少的目标。

3. 物理化学性质方面的要求

(1)化学稳定性和热稳定性好。

(2)在制冷循环过程中不分解、不变质,不与润滑油发生化学反应,对机器设备构件材料无腐蚀。

(3)与制冷润滑油有一定程度的合适的互溶性,既满足机体运动部件润滑,又能避免在换热面上形成较大的热阻。

4. 安全性及其它方面的要求

(1)对于人身健康无损害、无毒性、无刺激作用;燃烧性、爆炸性小,使用安全。

(2)对大气臭氧层无破坏性和对温室效应的影响小。

(3)原料来源比较充足,制造工艺简单,价格相对便宜。

可以肯定,完全满足上述所有要求的制冷剂是不存在的,实际应用中和正在开发的制冷剂必定是优缺点兼而有之。在选用制冷剂时,应根据机器容量、应用场合和使用条件,侧重于选择满足以上主要方面要求的制冷剂。实际上,不同类型的制冷机及在不同的工作温度区间选用的制冷剂也是有差异性的。制冷剂选定后由于其自身的特性,对制冷系统在流程布置、结构设计和运行操作方面又会提出具体的要求,需要在全面、充分掌握制冷剂性质的基础上恰当合理地设计和采用。

1.1.2 制冷剂的类别及命名

当前能用作制冷剂的物质有 80 多种,但在工业、商业上常用的不过 10 多种,其中最常用的有氨、氟利昂类以及水和少数的碳氢化合物。一般说来,按制冷剂的化学组成,主要分为无机化合物、有机化合物中的氟利昂类(卤代烃)及碳氢化合物三大类。按其成分说,可以划分为单一物质(即纯质)、混合物。按物质种类说,氟利昂类属于人工合成制冷剂,其余均为自然制冷剂;如果按照制冷剂在标准大气压力条件下的沸腾温度 t_s ,可以分为高温(低压)、中温(中压)及低温(高压)制冷剂。

1. 制冷剂种类

自然制冷剂的一种为无机物,如氨(NH_3);二氧化碳(CO_2);二氧化硫(SO_2)及

水(H₂O)等。

另一种自然制冷剂的是碳氢化合物(HCs),属烷烃、烯烃类的有甲烷;乙烷;丙烷;异丁烷;乙烯;丙烯等。

氟利昂是指饱和碳氢化合物的卤族衍生物类的合成物质,一般是甲烷或乙烷的卤代物。分别为烷烃的氯、氟完全衍生物即氯氟烃类(CFCs)及不完全衍生物即含氢氯氟烃类(HCFCs);烷烃的氟不完全衍生物即氢氟烃类(HFCs)及完全衍生物全氟烃类(FCs)。

2. 制冷剂的命名

为了书写和表达简便,根据 ISO817 制冷工质编号规定,对制冷剂采用国际统一规定的符号,运用制冷剂的英语单词 Refrigerant 的首位字母及后面的一组数字或字母组成(我国以前曾经采用过用 F 加数字来表示氟利昂制冷剂)。制冷剂命名的编写具有一定的规则。

(1)无机化合物的符号为 R7(),括号内是填入该无机物的相对取整分子量。如有不同制冷剂取整分子量相同时,则在编号后加上 a 或 b 以示区分。例如氨、水、二氧化碳、二氧化硫和氧化亚氮分子质量的整数部分分别为 17,18,44,64 和 44,表示的符号分别为 R717, R718, R744, R764, R744a(因为二氧化碳和氧化亚氮的分子量的整数部分相同,为区别起见,编号后加 a)。

(2)氟利昂和烷烃类的简写符号规定为 R(m-1)(n+1)(x)B(z),每一个括号是一个数字,当该值为零时省去不写。对应于氟利昂的化学分子通式为 C_mH_nF_xCl_yBr_z (n+x+y+z=2m+2);烷烃类化合物的化学分子通式为 C_mH_{2m+2}。属于同分异构体的在最后加小写英文字母,例如 R134a, R152a。另外正丁烷和异丁烷属于例外,因为 600 系列被指定用于一些有机制冷工质而不用以上命名规则,分别用 R600 和 R600a 表示。

(3)混合制冷剂中共沸混合物的简写符号为 R5(),非共沸混合物的简写符号为 R4(),括号内的数字以命名先后的顺序表示,从 00 开始。例如最早命名的共沸制冷剂和非共沸制冷剂分别写作为 R500 和 R400。其中构成非共沸混合制冷剂的纯物质种类相同,但成分不同,则分别在最后加上大写英文字母以示区别,例如 R404A, R407A, R407B, R407C, R410A 等。

(4)除了以上三类制冷剂外,其它三类制冷剂的命名方法是:链烯烃及其卤代物以 R1 开头,例如乙烯(C₂H₄)写为 R1250;环烷烃及其卤代物以字母 RC 开头,八氟环丁烷(C₄F₈)的符号为 RC318,其他规则同氟利昂和烷烃类符号;有机氧化物采用 R6 开头,例如乙醚为 R610,甲酸甲酯为 R611,、脂肪族胺也采用 R6 开头,甲胺为 R630,乙胺为 R631,这两类制冷剂后面的数字为任选。

表 1.1 为一些制冷剂的符号举例。在制冷专业书籍和手册中,对制冷剂的标准符号表示中通常按氟利昂(卤代烃)、共沸混合制冷剂、非共沸混合制冷剂、碳氢化合物、有机氧化物、脂肪族胺、无机物、环状有机物、不饱和有机化合物来分类,由于历史的原因,对于甲烷、乙烷和丙烷按序号放在氟利昂类,其实它们属于碳氢化合物,而放在碳氢化合物类的乙烯和丙烯则实际上归属于不饱和有机化合物。

表 1.1 制冷剂的符号举例

化合物名称	分子式	m, n, x, z 的值	简写符号	分类
一氟三氯甲烷	CFCl_3	1, 0, 1, 0	R11	CFC
二氟二氯甲烷	CF_2Cl_2	1, 0, 2, 0	R12	CFC
三氟一溴甲烷	CF_3Br	1, 0, 3, 1	R13B1	CFC
二氟一氯甲烷	CHF_2Cl	1, 1, 2, 0	R22	HCFC
二氟甲烷	CH_2F_2	1, 2, 2, 0	R32	HCFC
甲烷	CH_4	1, 4, 0, 0	R50	HC
三氟二氯甲烷	$\text{C}_2\text{HF}_3\text{Cl}_2$	2, 1, 3, 0	R123	HCFC
五氟乙烷	C_2HF_5	2, 1, 5, 0	R125	HCFC
四氟乙烷	$\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$	2, 2, 4, 0	R134a	HFC
乙烷	C_2H_6	2, 6, 0, 0	R170	HC
丙烷	C_3H_8	3, 8, 0, 0	R290	HC

下面还要详细研究的是关于部分制冷剂对环境造成重要影响的两个基本问题,即大气臭氧层消耗问题和温室气体及温室效应对应的全球变暖问题。自上世纪 70 年代科学家发现氯氟烃对臭氧层产生破坏作用以来,在学术文献和出版物上开始用制冷剂中的主要组分 C、F、H、Cl 表明其组合的方法代表氟利昂,可以较为简单地定性判别制冷剂对大气臭氧层的破坏能力。不含氢的氯氟烃类物质代号可表示为 CFC,含氢的氢氯氟烃类可为 HCFC,不含氯的氢氟烃类用 HFC 表示,碳氢化合物为 HC 等等,数字编号不变。较典型的制冷剂有 CFC12(二氟二氯甲烷),HCFC22(二氟一氯甲烷),HFC134a(四氟乙烷的同分异构物)和 HC290(丙烷)。表 1.2 给出了对应于物质种类区分的组合符号方法的主要制冷剂一览表。