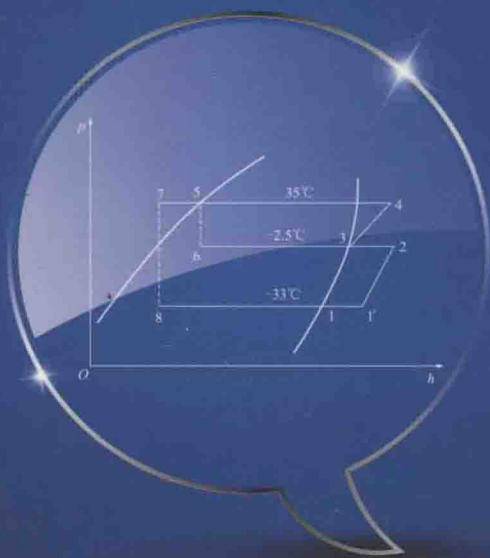


冷库设计 及实例

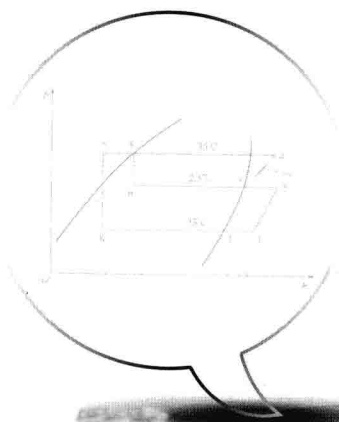
张国东 主编



化学工业出版社

冷库设计 及实例

张国东 主编



化学工业出版社

·北京·

全书共7章,涵盖了冷库设计相关的全部内容。重点介绍了冷库基本知识、隔热与防潮、制冷系统的设计(包括负荷计算、机器设备选型计算与布置、机房和库房设计、管道设计等)、气调冷库、制冰与储冰设计、冷库给排水等相关内容,并介绍了以氨和氟里昂为制冷剂的冷库设计工程实例。本书在强化理论的基础上,更注重实践应用能力的提高。

本书可作为教育、劳动社会保障系统,以及其他培训机构或社会力量办学和企业所举办的职业技能培训教学,也可作为职业技术学院的技能实训教材,还可供从事冷库技术工作人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

冷库设计及实例/张国东主编. —北京:化学工业出版社, 2012.12
ISBN 978-7-122-15526-9

I. ①冷… II. ①张… III. ①冷藏库-设计 IV. ①TB657.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第237681号

责任编辑:辛田
责任校对:陈静

文字编辑:冯国庆
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张14 字数344千字 2013年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00元

版权所有 违者必究

Preface 前言

随着我国经济的高速发展与人们生活水平的提高,生鲜与速冻食品具有巨大的发展潜力,为了保障生鲜与速冻食品在流通中的安全与质量,核心是不断改造与新建不同类型的冷藏冷冻仓库。为了满足社会需要,提高人们对冷库的设计水平,编者根据2010年国家标准《冷库设计规范》,并在引入了本领域的新技术、新工艺和新设备的前提下编写了本书。

本书以冷库制冷工艺设计过程为主线,重点介绍了冷库基本知识、冷库的隔热与防潮、冷库制冷系统的设计(包括制冷负荷计算、制冷机器设备选型计算与布置、机房和库房设计、制冷系统管道设计等),还有针对性地介绍了气调冷藏库工艺设计、冷库制冰与储冰设计、冷库给排水等相关内容,并介绍了以氨和氟里昂为制冷剂的冷库设计工程实例。在本书组织上,基本理论力求深入浅出、通俗易懂,强调实际和实用,突出能力培养,使本书既具有行业特色,又有较宽的覆盖面,是一本适应性、实用性较强的专业教材。

本书除适用于高职、中职制冷专业作为实训教学教材外,还可用于劳动社会保障系统、社会力量办学以及其他培训机构所举办的培训教学,也适用于各级各类职业技术学校举办的中短期培训教学以及企业内部的培训教学。

本书由张国东负责大纲的起草及全书的主要编写和统稿工作。本书在编写和出版过程中得到了魏龙教授的关心和支持,张桂娥协助进行文字和插图的校对工作,同时还得到陶洁、蒋李斌、冯飞、张蕾等的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

第 1 章 冷库基本知识	1
1.1 冷库在食品冷藏链中的地位和作用	1
1.1.1 食品冷藏链	1
1.1.2 国内外冷库发展现状及趋势	2
1.2 冷库的组成与分类	3
1.2.1 冷库的组成	3
1.2.2 冷库的分类	4
1.3 冷库制冷技术基础	7
1.3.1 单级蒸气压缩式制冷	7
1.3.2 双级蒸气压缩式制冷	12
1.3.3 复叠式压缩式制冷	15
1.4 冷库制冷工艺设计流程	17
1.4.1 食品冷加工的机理和食品在冷加工过程中的变化	17
1.4.2 冷库制冷工艺设计的原则	21
1.4.3 冷库设计的基本程序	21
1.5 冷库的布置	23
1.5.1 冷库布置的要求	23
1.5.2 冷库的平面布置	24
1.5.3 冷库的竖向设计	27
第 2 章 冷库的隔热与防潮	28
2.1 冷库的隔热设计	28
2.1.1 隔热材料的技术要求	28
2.1.2 常用的隔热材料	28
2.1.3 隔热层厚度的计算	30
2.2 冷库的防潮设计	36
2.2.1 水蒸气的凝结和渗透	36
2.2.2 常用的防潮材料	37
2.2.3 防潮层的计算	37
2.3 冷库围护结构的作法	39
2.3.1 土建冷库围护结构法	40
2.3.2 装配式冷库围护结构做法	45
第 3 章 冷库制冷系统的设计	47

3.1 制冷系统方案设计内容	47
3.1.1 制冷剂的选择	47
3.1.2 压缩级数和制冷机组型式的确定	48
3.1.3 冷凝器型式的选择	48
3.1.4 供液方式的确定	49
3.1.5 蒸发回路的确定	51
3.1.6 冷却方式的确定	52
3.1.7 确定融霜的确定	52
3.1.8 制冷系统的安全保护方案	53
3.2 冷库冷负荷的计算	54
3.2.1 冷库设计基础资料	55
3.2.2 冷库生产能力和库容量的计算	56
3.2.3 冷库热负荷的计算	58
3.2.4 冷却设备负荷和机械负荷的计算	65
3.2.5 制冷负荷的估算	67
3.3 制冷压缩机及设备的选型计算	69
3.3.1 制冷压缩机的选型计算	69
3.3.2 冷凝器的选型计算	80
3.3.3 冷却设备的选型计算	83
3.3.4 辅助设备的选型计算	87
3.3.5 节流机构的选型计算	94
3.4 机房设计	97
3.4.1 机房设计一般要求	97
3.4.2 压缩机的布置	99
3.4.3 冷凝器和冷却水塔的布置	100
3.4.4 辅助设备的布置	102
3.4.5 机房机器、设备布置示例	105
3.5 库房设计	106
3.5.1 冷却间设计	106
3.5.2 冻结间设计	109
3.5.3 冷却物冷藏间设计	116
3.5.4 冻结物冷藏间设计	119
3.6 制冷系统管道设计	121
3.6.1 制冷管道的管径确定	121
3.6.2 系统管道的布置	128
3.6.3 管道的隔热	139

第 4 章 气调冷库

4.1 气调冷库概述	144
4.1.1 气调储藏工艺	145
4.1.2 气调方式	146
4.1.3 气调设备	148
4.2 气调冷库建筑特点	156

4.2.1	库体的密封	156
4.2.2	其他的要求	157
第 5 章	制冰与储冰设计	159
5.1	制冰间设计	159
5.1.1	盐水制冰	159
5.1.2	快速制冰	167
5.2	储冰间的设计	169
5.2.1	储冰间设计原则	169
5.2.2	储冰间的设计	170
5.2.3	储冰间的设计要求	170
第 6 章	冷库给排水	172
6.1	一般要求	172
6.1.1	水源的选择	172
6.1.2	水质要求	172
6.1.3	水温要求	174
6.1.4	水压要求	174
6.1.5	水量计算	174
6.2	冷库给排水设计	175
6.2.1	冷却水给水方式	175
6.2.2	冲霜给水	175
6.2.3	排水设计	176
第 7 章	设计实例	178
7.1	氨制冷系统设计简介	178
7.1.1	设计条件	178
7.1.2	设计计算	178
7.1.3	制冷系统的原理图	188
7.2	氟制冷系统设计简介	190
7.2.1	冷库的组成及平面布置	190
7.2.2	压缩机和冷分配设备的配备	190
7.2.3	制冷系统	191
附录		192
参考文献		215

第1章 冷库基本知识

冷库是指通过人工制冷保持库内一定的温度和湿度条件，主要用于食品的冷冻加工和冷藏；对于气调库还需要控制氧和二氧化碳气体成分的比例，以便更好地保证食品储藏的质量。冷库主要包括制冷机房、库房、变配电间等。

1.1 冷库在食品冷藏链中的地位和作用

1.1.1 食品冷藏链

食品冷藏链是建立在食品冷冻工艺学的基础上，以制冷技术为手段，使易腐农产品从生产者到消费者之间的所有环节，即从原料（采摘、捕、收购等环节）、生产、加工、运输、储藏、销售流通的整个过程中，始终保持合适的低温条件，以保证食品的质量，减少损耗。这种建立在食品冷冻工艺学上的连续低温环节称为食品冷藏链（Cold Chain），如图 1-1 所示。

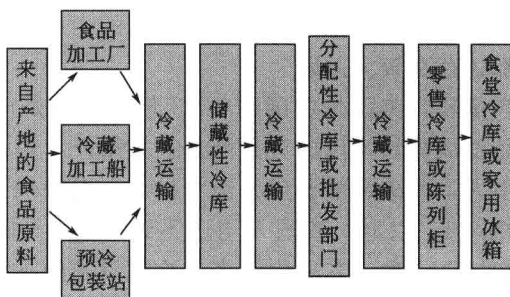


图 1-1 食品冷藏链组成图

(1) 冷冻加工 包括肉类、鱼类的冷却与冻结；果蔬的预冷与各种速冻食品的加工等。主要涉及冷却与冻结库或装置。

(2) 冷冻储藏 包括食品的冷藏和冻藏，也包括果蔬的气调储藏。主要涉及各类冷藏库、冷藏柜、冻结柜及家用冰箱等。

(3) 冷藏运输 包括食品的中、长途运输及短途送货等。主要涉及铁路冷藏车、冷藏汽

车、冷藏船、冷藏集装箱等低温运输工具。

在冷藏运输过程中,温度的波动是引起食品质量下降的主要原因之一,因此,运输工具必须具有良好的性能,不但要保持规定的低温,更切忌大的温度波动,长距离运输尤其如此。

(4) 冷冻销售 包括冷冻食品的批发及零售等,由生产厂家、批发商和零售商共同完成。早期,冷冻食品的销售主要由零售商的零售车及零售商店承担,近年来,城市中超级市场的大量涌现,已使其成为冷冻食品的主要销售渠道。超市中的冷藏陈列柜,兼有冷藏和销售的功能,是食品冷藏链的主要组成部分之一。

1.1.2 国内外冷库发展现状及趋势

改革开放以来,我国冷冻冷藏食品产业快速发展,低温仓储业取得重大进步。据空调制冷大市场调查数据获悉,我国各类生鲜品年总产量约7亿吨,冷冻食品的年产量在2500万吨以上,总产值在520亿元以上;年营业额在500万元(含500万元)以上的食品冷冻、冷藏企业约2万家(包括加工企业内的冷库车间及冷藏库),就业人员250万人,全国冷库容量达900万吨左右。与改革开放初期相比,不仅冷库总容量增加了一倍半,冷库的建设技术也得到了明显进步。

一方面,以当年的上海吴泾冷库、现在的锦江国际低温物流公司为代表的传统土建冷库,根据市场需要与物流的要求得到改造,冷藏的温度带得到拓宽,改建了封闭式低温站台;另一方面,以大连海洋渔业公司、中外运上海冷链物流公司、杭州肉联厂、山东银座圣洋、青岛港怡之航、宁波远东、烟台中鲁等企业为代表,按照冷链物流中心的要求建造了一大批新型的现代冷库,不仅温控幅度宽,最低库温已达 -55°C ,单体冷库容量已达3.5万吨以上,最大冷库群的容量达到10万吨以上,有的冷库的自动化程度已达到国际先进水平,封闭式站台、升降式装卸平台、低温理货区、形式多样的货架和托盘的配置已被这些现代冷库所普遍采用;冷库的标准化工作也提上日程,上海市《食品冷链物流技术与管理规范》地方标准已经颁布实施,对封闭式站台的温度、理货间的温度、进库货物温度的上限以及冷藏车货物的装载时间等均已有了具体的规定,这为全国范围内的冷库标准化工作开了个好头。

不过相比发达国家的先进水平,无论是冷冻冷藏食品的生产,还是冷藏库的数量、技术水平及其运营方式,我国都还存在较大差距。

从人均占有冷藏库的容量看,美国是中国的10.3倍,日本是中国的15.73倍。我国的肉类水产、果蔬等生鲜食品发展很快,肉的产量已是世界第一,但由于冷藏设施跟不上,在流通过程中的损失与损耗很大;速冻食品已成为当今世界上发展最快的食品之一,发达国家人均年消费速冻食品一般在20kg以上,我国人均还不到6kg,美国、日本等国家速冻食品的品种有几千种,我国不超过600种,其原因很多,冷藏设施的不足也是其中之一。

从冷库的质量及其运营方式看,我国冷库的80%以上是20世纪90年代以前的多层土建冷库,新型的装配式立体化冷库不到20%。多层土建冷库技术含量低,温控区间小,相关设施不配套,有的已经陈旧老化,从体制与适用范围上分属于肉类、水产、果蔬企业,企业自运营冷库的效益不高,专业化、社会化的第三方综合冷藏物流企业较少,不能适应我国生鲜与速冻食品发展的需要。

空调制冷大市场的专家分析认为,业界应充分认识生鲜和速冻食品发展的潜力与趋势,通过建立健全先进、科学的冷链物流系统,以适应与促进我国食品工业又快又好地发展。

随着我国经济的高速发展与人们生活水平的提高,生鲜和速冻食品具有巨大的发展潜力,为了保障生鲜和速冻食品在流通中的安全与质量,一方面要不断改造与新建不同类型的冷藏冷冻仓库,这是基础及核心;另一方面,还要强化预冷环节,健全冷藏运输系统,加强食品流通全过程的温度控制,只有建立健全以冷库为核心的冷链物流系统,才能最终保障食品的安全与质量。冷链物流是一个社会化的系统工程,单一企业是难以实现的,企业的冷藏设施应该社会化,冷库的服务功能应该向上下延伸,应该倡导与促进第三方综合冷链物流企业的发展,应该倡导和促进冷库与冷藏运输企业之间的合作。

1.2

冷库的组成与分类

12.1 冷库的组成

冷库,特别是大中型冷库是一个以主库为中心的建筑群,主要由建筑主体(主库)、其他生产设施和附属建筑组成。

1.2.1.1 主库

主库是冷库的主体建筑,主要有冷却间、冻结间、冷却物冷藏间、冻结物冷藏间、冰库等,具体组合由储藏品种和加工工艺决定,储藏品种不同,工艺不同,主体建筑的组合也不一样。

(1) 冷却间 冷却间是用来对食品进行冷冻加工或冷藏前,预先冷却的库房。水果、蔬菜在进行冷藏前,为除去田间热,防止某些生理病害,应及时、逐步降温冷却。鲜蛋在冷藏前也应进行冷却,以免骤然遇冷时,内容物收缩,蛋内压力降低,空气中微生物随空气从蛋壳气孔进入蛋内而使鲜蛋变坏。肉类在冷却间短期储存(中心温度 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$)称为冷却肉,其肉味较冻结肉鲜美。当果蔬、鲜蛋的一次进货量小于冷藏间容量的5%时,也可不经冷却直接进入冷藏间。

(2) 冻结间 冻结间是食品进行冷冻加工的库房,要求温度较低。需要长期储存的食品必须先经过冻结加工,然后才能进行冷藏。目前,肉、禽类多采用一次冻结,即入库的货物不经冷却直接进入冻结间冻结。这种加工方法可减少能耗,缩短加工时间,节省一次搬运劳动和进出库的时间,但冻结间因货物进出和冻结设备冲霜频繁,温度波动较大,建筑结构因冻融循环而易损坏。为了便于冻结间的维修和保证冷库的正常使用,冻结间可单独建造。

(3) 再冻间 再冻间设于分配性冷库中,供外地调入冻结食品中品温超过 -8°C 的部分在入库前再冻之用。再冻间冷却设备的选用与冻结间相同。

(4) 冷却物冷藏间 主要用于储藏经过冷却过的食品,如鲜蛋和果蔬,又称高温冷藏间。由于果蔬和鲜蛋仍有呼吸作用,所以除了要保持库内温度和湿度外,还需引进适量的新鲜空气。如储藏冷却肉,储藏时间不宜超过20天。

(5) 冻结物冷藏间 主要储存冻结加工过的食品,又称低温冷藏间,用于较长期地储存冻结食品。在国外有的冻结物冷藏间温度有降至 $-28\sim -30^{\circ}\text{C}$ 的趋势,日本对冻金枪鱼还采用了 $-45\sim -50^{\circ}\text{C}$ 所谓超低温的冷藏间。

(6) 制冰间和冰库 冰在食品保鲜中用途很多,例如从海中或养殖场内捕捞鱼虾后运输到加工间需要冰,鲜货长途运输需要冰,医疗、科研、生活服务等部门也需要冰。所以大、

中型冷库中常附设制冰间，制冰方式有盐水制冰、桶式快速制冰等。

制冰间的位置宜靠近设备间，水产冷库常把它设于多层冷库的顶层，以便于冰块的输出。制冰间宜有较好的采光和通风条件，要考虑到冰块入库或输出的方便，室内高度要考虑到提冰设备运行的方便，并要求排水畅通，以免室内积水和过分潮湿。

冰库是用以储存冰的房间，以解决需冰旺季和制冰能力不足的矛盾。储存盐水制冰的冰库，其库温一般为 -4°C ；储存快速制冰的冰库，其库温为 -10°C 。

(7) 穿堂 为冷却间、冻结间、冷藏间进出货物的通道，其室温分常温或某一特定温度。

穿堂是食品进出的通道，并起到沟通各冷间、便于装卸周转的作用。库内穿堂有低温穿堂和中温穿堂两种，分属高、低温库房使用。目前冷库中较多采用库外常温穿堂，常温穿堂的温度经常保持在接近或略低于外界大气温度，在建筑构造上无需进行隔热处理，只要求有一般自然通风条件。低温穿堂的温度一般低于 0°C 以下，其围护结构必须设置隔热层，同时为了迅速而有效地吸收外界空气和“热货”带入的热量，穿堂内必须布置制冷设备。

(8) 气调保鲜间 气调保鲜主要是针对水果蔬菜的储藏而言，即在果蔬储藏环境中适当降低氧的含量和提高二氧化碳的浓度，来抑制果蔬的呼吸强度，延缓成熟，达到延长储藏的目的。控制气体成分有自然降氧法和机械降氧法。自然降氧法是用配有硅橡胶薄膜的塑料薄膜袋盛装物品，靠果蔬本身的呼吸作用降低氧和提高二氧化碳的浓度，并利用薄膜对气体的透性，透出过多的二氧化碳，补入消耗的氧气，起到自发气调的作用。机械降氧法是利用降氧机、二氧化碳脱降机或制氮机来改变室内空气成分，达到气调的作用。

(9) 其他 如电梯间、挑选间、包装间、分发间、副产品冷藏间、次品冷藏间、楼梯间等。

1.2.1.2 生产设施间

(1) 制冷压缩机房 制冷压缩机房是冷库主要的动力车间，安装有制冷压缩机及其配套设备。目前国内大多将制冷压缩机房设置在主库邻近单独建造，一般采用单层建筑。国外的大型冷库常把制冷压缩机房布置在楼层，以提高底层利用率。对于单层冷库，也有在每个库外分设制冷机组，采用分散供液方法，而不设置集中供冷的压缩机房。

(2) 设备间 设备间与机房相连，与设备间以墙分隔，主要安装有卧式壳管式冷凝器、储氨器、气液分离器、低压循环储液桶、氨泵等制冷设备。小型冷库为了操作方便，也可将两者合二为一。

(3) 变配电间 包括变压器间、高低压配电间和电容器间（大型冷库），一般设在机房的一端，室内要有良好的通风条件，炎热地区必须设通风装置，为了减少太阳辐射热的影响，变配电间不宜朝西布置。

1.2.1.3 附属建筑

主要指主体建筑以外，和主体建筑有密切关系的其他建筑，包括肉类屠宰间、包装整理间等。鱼类、蛋类、水果、蔬菜等食品在进库前，须先在包装整理间内进行挑选、分级、整理、过磅、装盘或包装，以保证食品质量和库内卫生，包装整理间要有良好的采光和通风条件，每小时要有1~3次的通风换气，地面要便于冲洗，排水要通畅。

1.2.2 冷库的分类

冷库分类的方法很多，不同的分类方法可以从不同的角度反映出冷库的特性。目前，国

内的分类方法主要如下。

1.2.2.1 按规模分类

冷库的设计规模以冷藏间或冰库的公称容积为计算标准,一般分为大、中、小型。公称容积大于 20000m^3 为大型冷库; $20000\sim 5000\text{m}^3$ 为中型冷库; 小于 5000m^3 为小型冷库。

1.2.2.2 按使用库温要求分类

(1) 冷却库 又称高温库, 库温一般控制在不低于食品汁液的冻结温度, 用于果蔬之类食品的储藏。冷却库或冷却间的保持温度通常在 0°C 左右, 并以冷风机进行吹风冷却。

(2) 冻结库 又称低温冷库, 库温一般在 $-20\sim -30^{\circ}\text{C}$, 通过冷风机或专用冻结装置来实现对肉类食品的冻结。

(3) 冷藏库 即冷却或冻结后食品的储藏库。它把不同温度的冷却食品和冻结食品在不同温度的冷藏间和冻结间内作短期或长期的储存。通常冷却食品的冷藏间保持库温为 $4\sim 2^{\circ}\text{C}$, 主要用于储存果蔬和乳蛋等食品; 冻结食品的冷藏间的保持库温为 $-18\sim -25^{\circ}\text{C}$, 用于储存肉、鱼等。

1.2.2.3 按冷库制冷设备选用制冷剂分类

(1) 氨冷库 此类冷库制冷系统使用氨作为制冷剂。

(2) 氟里昂冷库 此类冷库制冷系统使用氟里昂作为制冷剂。

1.2.2.4 按结构形式分类

(1) 土建式冷库 这是目前建造较多的一种冷库, 可建成单层或多层。建筑物的主体一般为钢筋混凝土框架结构或者砖混结构。土建冷库的围护结构属重体性结构, 热惰性较大, 室外空气温度的昼夜波动和围护结构外表面受太阳辐射引起的昼夜温度波动, 在围护结构中衰减较大, 故围护结构内表面温度波动就较小, 库温也就易于稳定。

(2) 装配式冷库 这类冷库的主体结构(柱、梁、屋顶)采用轻钢结构, 其围护结构的墙体使用预制的复合隔热板。隔热材料为硬质聚氨酯泡塑料和硬质聚苯乙烯泡沫塑料等。由于除地面外, 所有构件均是按统一标准在专业工厂成套预制, 可在工地现场组装, 所以施工进度快, 建设周期短。

(3) 夹套式冷库 这类冷库是在常规冷库的围护结构内增加一个内夹套结构, 夹套内装设冷却设备, 冷风在夹套内循环制冷, 将外围护结构传入的热量带走, 防止热量传入库内, 所以库内温度稳定均匀, 食品干耗小, 外界环境对库内干扰小, 夹套内空气流动阻力小, 气流组织均匀, 但造价较高。

(4) 覆土式冷库 它又称土窑洞冷库, 洞体多为拱形结构, 有单洞体式, 也有连续拱形式。一般为砖石砌体, 并以一定厚度的黄土覆盖层作为隔热层。用作低温的覆土冷库, 洞体的基础应处在不易冻胀的砂石层或者基岩上。由于它具有因地制宜、就地取材、施工简单、造价较低、坚固耐用等优点, 在我国西北地区得到较大的发展。

(5) 气调式冷库 这类冷库主要用于新鲜果蔬、农作物种子和花卉等活体的长期储存。气调式冷库除了要控制库内的温度和湿度外, 还有通过技术措施形成特定的库内气体环境, 以抑制活体的呼吸和新陈代谢, 达到长期储存的目的。

1.2.2.5 按使用性质分类

(1) 生产性冷库 主要建在食品产地附近、货源较集中的地区和渔业基地, 通常是作为鱼类、肉类、禽蛋、蔬菜和各类食品加工厂等企业的一个重要组成部分。这类冷库配有相应

的屠宰车间、理鱼间、整理间，具有较大的冷却、冻结能力和一定的冷藏容量，食品在此进行冷加工后经过短期储存即运往销售地区、直接出口或运至分配性冷藏库作长期储藏。生产性冷库平面图如图 1-2 所示。

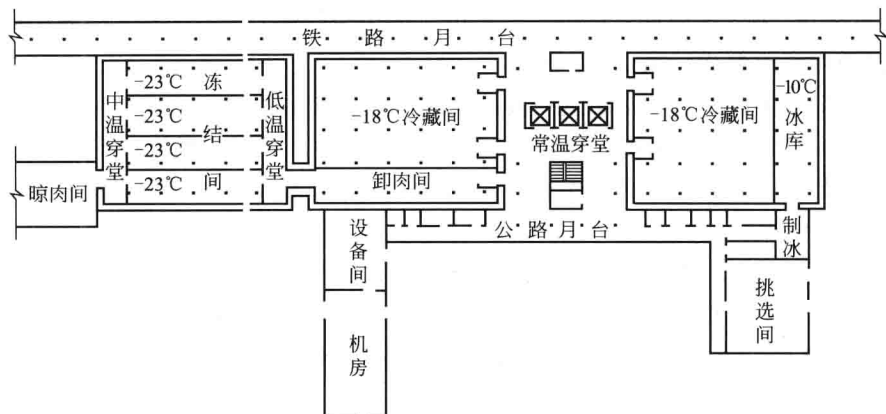


图 1-2 生产性冷库平面图

(2) 分配性冷库 主要建在大中城市、人口较多的工矿区和水陆交通枢纽一带，专门储藏经过冷加工的食品，以供调节淡旺季、保证市场供应、提供外贸出口和作长期储备之用。它的特点是冷藏容量大并考虑多品种食品的储藏，其冻结能力较小，仅用于长距离调入冻结食品在运输过程中软化部分的再冻及当地小批量生鲜食品的冻结。分配性冷库平面图如图 1-3 所示。

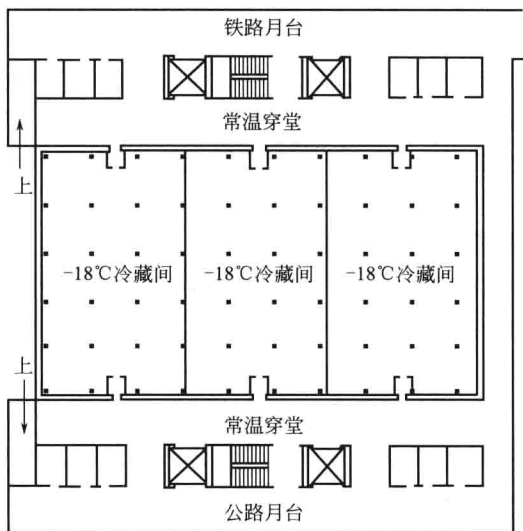


图 1-3 分配性冷库平面图

(3) 零售性冷库 一般建在工矿企业或城市大型副食品店和超市内，供临时储存零售食品之用。这类冷库的库容量小，食品储存期短，可以根据使用要求调节库温。在库体结构上，大多采用装配式冷库。

(4) 中转性冷库 中转性冷库有两种：一种建在水陆交通枢纽，批量接收来自生产性冷库的食品，具有少量的再冻能力，食品经过短期储存后，整批运往分配性冷库或外运出口；

另一种建在渔业基地,能进行大批量的冷加工,关能在冷藏船、车的配合下,起中间转运的作用。食品的流通特点是整进整出。因此,为适应进出货集中的要求,中转性冷库的站台较大,装卸能力较强。

(5) 综合性冷库 这类冷库容量大、功能齐全,集生产性和分配性功能于一身,如图 1-4 所示。

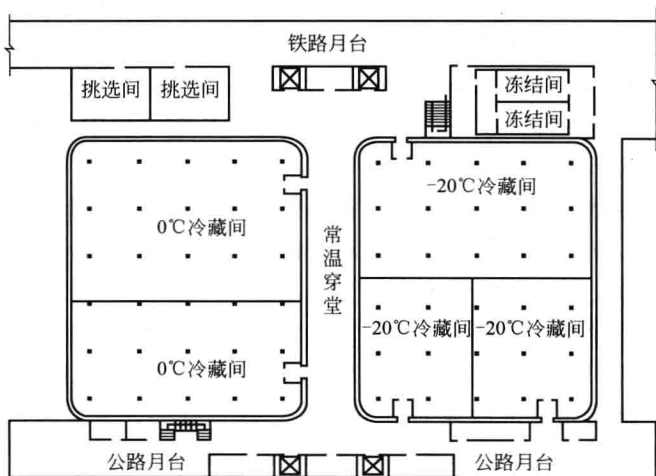


图 1-4 综合性冷库平面图

1.3 冷库制冷技术基础

1.3.1 单级蒸汽压缩式制冷

1.3.1.1 单级蒸汽压缩式制冷主要设备

所谓单级蒸汽压缩式制冷循环,是指制冷剂在一次循环中只经过一次压缩。单级蒸汽压缩式制冷,其最低蒸发温度可达 $-30 \sim -40^{\circ}\text{C}$ 。

单级蒸汽压缩式制冷循环基本构成包括制冷压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器(俗称制冷四大件)。用管道依次将其连接,形成一个完全封闭的系统,如图 1-5 所示为由四大主件构成的最简单的蒸汽压缩式制冷装置。制冷剂在这个封闭的制冷系统中以流体状态循环,通过相变,连续不断地从蒸发器中吸取热量和在冷凝器中放出热量,从而实现制冷目的。

单级蒸汽压缩式制冷循环的工作过程:蒸发器内,制冷剂在一定的蒸发温度下气化,从被冷却对象中吸取热量 Q_0 ,实现制冷。气化后的低温低压的制冷剂蒸气被压缩机及时抽出,并压缩至冷凝压力,送入冷凝器,压缩过程中压缩机消耗功率 P_0 。高温高压制冷剂蒸气在冷凝器内把热量 Q_k 传递给环境冷却介质,首先被冷却,然后被冷凝为高压常温的制冷剂液体。

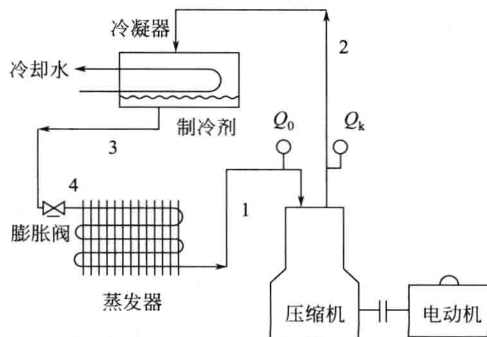


图 1-5 蒸汽压缩式制冷装置

该液体通过节流降压装置, 降压降温为湿蒸气进入蒸发器, 准备再次吸热气化, 从而完成一个单级蒸气压缩式制冷循环。

(1) 蒸发器 蒸发器是热交换设备, 其作用是将蒸发器外被冷却对象的热量传递给蒸发器内制冷剂, 液态制冷剂气化吸热而使被冷却对象的温度降低, 从而达到制冷的目的。

(2) 制冷压缩机 制冷压缩机的作用之一是不不断地将完成了吸热过程而气化的制冷剂蒸气从蒸发器中抽吸出来, 使蒸发器维持低压状态, 便于蒸发吸热过程能继续不断地进行下去; 其作用之二是通过压缩作用提高制冷剂蒸气的压力和温度, 创造将制冷剂蒸气的热量向外界环境介质 (空气或水) 转移的条件。即将低温低压制冷剂蒸气压缩至高温高压状态, 以便能用常温的空气或水作冷却介质来进行冷凝。在整个压缩过程中, 压缩机将消耗一定的外功。常用制冷压缩机的形式有活塞式、螺杆式、离心式和回转式。

(3) 冷凝器 冷凝器也是一个热交换设备, 作用是利用环境冷却介质空气或水, 将来自制冷压缩机的高温高压制冷剂蒸气的热量带走并使制冷剂蒸气冷却、冷凝为液体。在制冷剂蒸气冷凝过程中, 压力是不变的, 仍为高压。

(4) 节流装置 冷凝器冷凝得到的高压常温的制冷剂液体不能直接送入低温低压的蒸发器。利用饱和压力与饱和温度一一对应的原理, 降低制冷剂液体的压力, 从而降低制冷剂液体的温度。将高压常温的制冷剂液体通过节流装置 (膨胀阀、节流阀、毛细管等), 膨胀、降压后得到低温低压制冷剂, 再送入蒸发器吸热蒸发, 从而完成了一个制冷循环。

在单级蒸气压缩式制冷机中, 除了上述四大部件外, 为了保证制冷装置的经济性和运行安全, 还增加了其他许多辅助设备, 如过滤器、油分离器、储液器等。

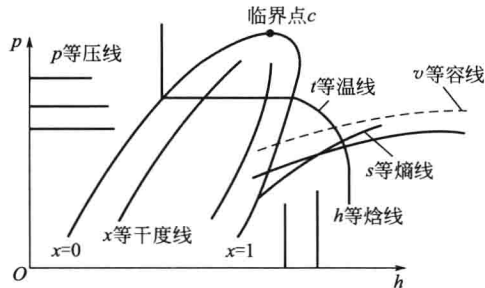


图 1-6 压-焓图 ($p-h$ 图)

1.3.1.2 压-焓图 ($p-h$ 图)

如图 1-6 所示为压-焓图 ($p-h$ 图)。借助它可以分析、计算制冷循环。 $p-h$ 图以绝对压力 p 为纵坐标, 焓值 h 为横坐标。图中包含以下内容。

一点: 临界点 c 。

三区: 液相区、两相区 (湿蒸气区)、气相区。

五态: 过冷液状态、饱和液状态、湿蒸气状态、饱和蒸气状态、过热蒸气状态。

八线: 等压线 p , 等焓线 h , 饱和液线 $x=0$, 饱和蒸气线 $x=1$, 无数条等干度线 x , 等熵线 s , 等比体积线 v , 等温线 t 。

为了缩小图面尺寸, 纵坐标是用压力的对数值 $\lg p$ 来绘制的, 有时还将湿蒸气区中间的、在实际计算中用不到的部分去掉, 使图形更为紧凑。

在温度 t 、压力 p 、比体积 v 、比焓 h 、比熵 s 、干度 x 等参数中, 只要知道其中任何两个状态参数, 就可以在 $p-h$ 图上确定过热蒸气或过冷液体的状态点, 从而在图中读出该状态下的其他参数。对于饱和状态的蒸气和液体, 则只需知道一个状态参数, 就可根据其干度 $x=1$ 或 $x=0$ 的特点, 在图中确定其状态点。

本书附录中给出了一些常用制冷剂的饱和液体及蒸气的热力性质表和相应的 $p-h$ 图。饱和状态的制冷剂热力性质可直接查表获得。

应用 $p-h$ 图时还应掌握各参数在 $p-h$ 图上的变化趋势, 尤其应该注意: 等熵线是一组不

平行线,越靠图右侧,等熵线走势越平坦,即数值变化越大;等温线在液相区、两相区和气相区三个区域里走势是变化的。

1.3.1.3 单级蒸汽压缩式理论制冷循环在压-焓图 (lgp-h 图) 上的表示

熟悉蒸汽压缩式制冷循环和制冷剂的 lgp-h 图后,理论制冷循环在该图上的表示则十分容易。

在理论制冷循环中,制冷压缩机吸入干饱和蒸气,制冷剂状态点为 1 (图 1-7),吸入压力为 p_0 (即蒸发压力)、温度为 t_0 (压力 p_0 下的饱和温度) 的蒸气,吸入蒸气经压缩机绝热压缩 (沿等熵线 s 进行) 后压力升至冷凝压力 p_k ,由于气体压缩过程在过热区进行,压缩机排出气体状态为过热蒸气点 2,理论排气温度为 t_2 。当过热蒸气进入冷凝器后,受到冷却水或空气的冷却,制冷剂将逐渐放出热量,温度开始降低。

当温度由 t_2 降至 t_k (压力 p_k 下的饱和温度) 时,制冷剂将开始冷凝、液化,整个冷凝过程在等压 p_k 和等温 t_k 下进行,直至制冷剂放出全部潜热,冷凝为饱和液体结束 (状态点 3)。当液体流经膨胀阀时,将产生绝热节流过程,压力由 p_k 降至 p_0 。由于制冷剂在绝热节流前后的焓值不变,因此该过程可假设为沿等焓线进行,膨胀阀出口的制冷剂状态为点 4 (压力 p_0 , 温度 t_0)。虽然该状态的制冷剂处于湿蒸气区,说明制冷剂在节流过程中已有部分气化,成为气液两相的共存的湿蒸气状态,当这些湿蒸气进入蒸发器后,其中的液态制冷剂便在蒸发器中等压 p_0 下蒸发、吸热,从而达到了制冷目的。当蒸发器中的液态制冷剂全部蒸发结束,又回复到干饱和蒸气状态点 1 时,再次被压缩机吸入而进行循环。根据以上介绍可以知道,蒸汽压缩式理论制冷循环实际上由四个过程组成:即绝热压缩过程 1-2 (压缩机);等压冷凝过程 2-3 (冷凝器);绝热节流过程 3-4 (膨胀阀) 和等压蒸发过程 4-1 (蒸发器)。这四个过程依靠制冷装置中的四大主件完成。

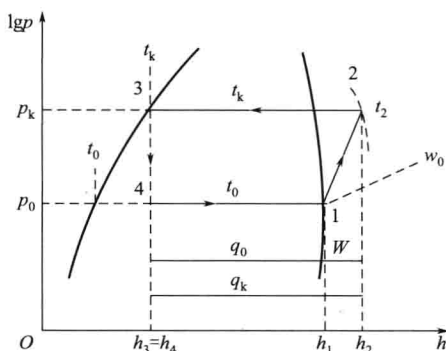


图 1-7 理论制冷循环在 lgp-h 图上的表示

当温度由 t_2 降至 t_k (压力 p_k 下的饱和温度) 时,制冷剂将开始冷凝、液化,整个冷凝过程在等压 p_k 和等温 t_k 下进行,直至制冷剂放出全部潜热,冷凝为饱和液体结束 (状态点 3)。当液体流经膨胀阀时,将产生绝热节流过程,压力由 p_k 降至 p_0 。由于制冷剂在绝热节流前后的焓值不变,因此该过程可假设为沿等焓线进行,膨胀阀出口的制冷剂状态为点 4 (压力 p_0 , 温度 t_0)。虽然该状态的制冷剂处于湿蒸气区,说明制冷剂在节流过程中已有部分气化,成为气液两相的共存的湿蒸气状态,当这些湿蒸气进入蒸发器后,其中的液态制冷剂便在蒸发器中等压 p_0 下蒸发、吸热,从而达到了制冷目的。当蒸发器中的液态制冷剂全部蒸发结束,又回复到干饱和蒸气状态点 1 时,再次被压缩机吸入而进行循环。根据以上介绍可以知道,蒸汽压缩式理论制冷循环实际上由四个过程组成:即绝热压缩过程 1-2 (压缩机);等压冷凝过程 2-3 (冷凝器);绝热节流过程 3-4 (膨胀阀) 和等压蒸发过程 4-1 (蒸发器)。这四个过程依靠制冷装置中的四大主件完成。

1.3.1.4 单级蒸汽压缩式理论制冷循环的热力计算

理论制冷循环是在一定假设条件下进行的,并不涉及制冷系统的大小和复杂性。因此,理论循环的性能指标包括:单位制冷量 q_0 、单位理论功 w_0 、单位冷凝器负荷 q_k 、理论循环制冷系数 ϵ_0 等。理论制冷循环的热力计算就是对这些性能指标的分析 and 计算,为后面的实际循环的热力计算打基础。

理论制冷循环中,制冷剂的流动过程可认为是稳定流动过程。根据热力学第一定律,稳定流动过程的能量方程可表示为:

$$Q + P = q_m (h_{\text{out}} - h_{\text{in}}) \quad (1-1)$$

式中 Q ——单位时间内外界加给系统的热量, kW;

P ——单位时间内外界加给系统的功率, kW;

q_m ——质量流量,表示单位时间内循环的制冷剂质量, kg/s;

$h_{\text{out}}, h_{\text{in}}$ ——1kg 制冷剂在系统出、进口处的比焓, kJ/kg。

式(1-1)所示的能量方程既可用于整个系统,也可单独用于制冷系统中的每一个设备。因此,根据式(1-1)、理论制冷循环的假设条件以及图 1-7,对理论制冷循环进行热力计算

如下。

(1) 蒸发器 蒸发过程等压吸热, 从外界吸收热量 Q_o , 与外界没有功量交换, $P=0$ 。因此可得

$$Q_o = q_m (h_1 - h_4) = q_m q_o \quad (1-2)$$

式中 Q_o ——制冷量, 表示单位时间内, 循环的制冷剂在蒸发器中从被冷却对象吸取的热量, kW;

q_o ——单位质量制冷量, 表示 1kg 制冷剂在蒸发器中的制冷量 (kJ/kg)。

$$q_o = h_1 - h_4 \quad (1-3)$$

(2) 压缩机 压缩过程等熵, 与外界无热量交换, $Q=0$, 因此可得:

$$P_o = q_m (h_2 - h_1) = q_m w_o \quad (1-4)$$

式中 P_o ——理论功率, 表示单位时间内, 压缩机按等熵过程压缩循环中的制冷剂蒸气所消耗的功, kW;

w_o ——理论比功, 表示压缩机每压缩输送 1kg 制冷剂蒸气所消耗的功, kJ/kg。

$$w_o = h_2 - h_1 \quad (1-5)$$

(3) 冷凝器 冷凝过程等压放热, 向外界放出热量 Q_k , 与外界没有功量交换, $P=0$, 因此可得:

$$Q_k = q_m (h_3 - h_2) = q_m q_k \quad (1-6)$$

式中 Q_k ——冷凝热负荷, 单位时间内循环的制冷剂在冷凝器中放出的热量, kW;

q_k ——单位冷凝器负荷, 表示 1kg 制冷剂蒸气在冷凝器中的放出的热量, kJ/kg。

$$q_k = h_3 - h_2 \quad (1-7)$$

(4) 节流装置 节流过程绝热等焓, 与外界没有热交换, 也不做功, 因此:

$$P=0$$

$$Q=0$$

$$h_3 = h_4 \quad (\text{节流前后焓值不变})$$

(5) 理论制冷循环的能量转换 根据热力学第一定律有:

$$Q_o + P_o = Q_k \quad (1-8)$$

(6) 理论循环制冷系数 ϵ_o 理论制冷循环中, 制取的冷量与所消耗的功率之比称为制冷系数, 用 ϵ_o 表示, 即理论制冷循环的效果和代价之比。

$$\epsilon_o = \frac{Q_o}{P_o} = \frac{q_m q_o}{q_m w_o} = \frac{q_o}{w_o} \quad (1-9)$$

制冷系数 ϵ_o 是分析理论制冷循环的一个重要性能指标。制冷系数越大, 制冷循环经济性越好, 投入少, 产出多; 反之则投入多, 产出少。

【例 1-1】 一单级蒸气压缩式制冷的理论循环, 工作条件如下: 蒸发温度 t_o 为 -10°C , 冷凝温度 t_k 为 35°C , 制冷剂为 R22, 循环的制冷量 Q_o 为 55kW, 试对该循环进行热力计算。

解: 首先根据制冷循环的工作温度, 在工质 R22 的 $p-h$ 图上找出理论制冷循环的各状态点, 从而绘出整个循环过程, 如图 1-8 所示。

在 $p-h$ 图上, 根据蒸发温度 $t_o = -10^\circ\text{C}$, 冷凝温度 $t_k = 35^\circ\text{C}$, 作等压等温线分别交 $x=1$ 饱和蒸气线和 $x=0$ 饱和液线于点 1 和点 3。点 1 为压缩机吸气点, 点 3 为冷凝器冷凝后的饱和液点。由点 1 作等熵线交等压线 p_k 于点 2, 由点 3 作等焓线交等压线 p_o 于点 4。1-2-3-