

制冷技术培训系列教材

冷藏与空气调节

张祉祐 主编

机械工业出版社

制冷技术培训系列教材

冷藏与空气调节

张祉祐 主编
陈和暑 张秉笃 宗凯 编著
吴祖舜 王炯



机械工业出版社

本书是“制冷技术培训系列教材”之三,内容包括冷库建筑基础知识,冷库制冷系统,食品冷藏工艺,气调贮藏和气调库,制冰,空气调节基础知识,集中式空调系统,空气调节机组,以及空调设备的运行管理等。这些都是在冷库(或气调库)和空调站工作的制冷技工和管理人员应当学习和了解的专业知识。本书可用作制冷技工和管理人员的培训教材,还可供在职工及大专院校学生自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

冷藏与空气调节/张祉祐主编。—北京:机械工业出版社,1995。9
制冷技术培训系列教材
ISBN 7-111-04749-4

I. 冷… I. ①张… ②陈… II. ①冷藏库-制冷技术-技术培训-教材②空气调节器-制冷-技术培训-教材 N. TB657.1

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第05418号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:蒋有彩 版式设计:王颖 责任校对:姚培新
封面设计:姚毅 责任印制:王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1997年2月第1版第2次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·12.75印张·304千字
4 001—6 000册
定价:16.00元

前 言

建国以来,随着国民经济的迅速发展和人民生活水平的不断提高,制冷设备的应用日益普遍。特别是近十多年来,随着党的改革开放政策的深入贯彻,我国制冷工业的发展更是一日千里、迅猛异常。现在,不但制冷设备的生产在机电产品中占相当大的比重,而且制冷设备的应用已深入到工业生产、人民生活、科学研究和国防设施的各个方面和部门。

制冷设备的大量应用,需要培养一大批管理人员和操作人员,他们必须具有制冷原理和制冷设备的基础知识、制冷设备管理和操作的技能。近几年来,许多单位和组织都在开办这类培训班,但苦于缺乏合适的教材,使培训工作难以收到预期的效果。为了改变这一状况,充分适应制冷技术培训工作的要求,我们组织编写了这一套“制冷技术培训系列教材”,既可用于制冷技工和管理人员的在职培训和上岗培训,也可供有一定实践经验的制冷技工和管理人员自学和参考。

本系列教材的使用对象主要是具有高中或中等专业学校文化水平的在职工人、干部和社会青年,以及具有初中或技工学校文化水平并在制冷设备的操作或维修方面有数年实践经验的青年工人。系列教材共三种:《制冷原理与制冷设备》、《制冷设备的安装与管理》和《冷藏与空气调节》。全部学习约需220课时(不包括实习时间),但在教学中可根据培训工种的不同对教材内容进行取舍。

本系列教材是由陕西省瑞科制冷空调工程公司发起并支持编写的,在编写过程中还得到了山东省莱芜市钢城瑞科制冷工程公司的赞助,在此一并致谢。

本书的编写分工如下:西安市食品公司陈和暑高级工程师撰写第1、2章,陕西省商业设计院宗凯工程师撰写第3章,陕西省苹果气调贮藏技术研究中心吴祖舜高级工程师撰写第4、5章,西北纺织工学院张秉笃教授撰写第6、7章,中国航空计算技术研究所王舸高级工程师撰写第8、9章;全书由主编张祉祐教授审阅并修改定稿。

由于作者的业务水平及实践经验所限,教材可能存在这样或那样的差错,恳请同行专家及广大读者给以批评指正。

作 者

1994年6月于西安

目 录

第一篇 冷藏及制冰

第1章 冷库建筑基础知识

1.1 冷库的类型和构成	1
1.1.1 冷库的分类	1
1.1.2 冷库的构成	2
1.2 冷库容量的验算	4
1.2.1 冷库公称容积及其计算方法	4
1.2.2 冷库贮藏吨位的换算	4
1.2.3 库内货垛与建筑物、设备间的 距离	4
1.3 冷库围护结构的隔热和防潮	5
1.3.1 冷库围护结构的隔热	6
1.3.2 冷库围护结构的隔汽防潮	8
1.4 冷库围护结构的一般做法	12
1.4.1 地面与墙体结构及做法	12
1.4.2 楼面与屋面结构及做法	16
1.4.3 冷藏门与空气幕	18
1.4.4 热桥及其处理	20
1.5 冷库建筑的使用管理和维护	23
1.5.1 冷库建筑使用管理中应注意的 问题	23
1.5.2 冷库建筑维护常识	24
1.5.3 冷库地面冻胀的处理方法	25

第2章 冷库制冷系统

2.1 蒸发系统和设备	27
2.1.1 对直接式蒸发系统的基本 要求	27
2.1.2 冷却排管蒸发系统	28
2.1.3 空气冷却器蒸发系统	29
2.1.4 均匀送风冷却装置	29
2.2 供液方式与供液系统	32
2.2.1 直接膨胀供液系统	32
2.2.2 重力供液系统	33

2.2.3 加压供液系统	33
2.3 压缩冷凝系统	35
2.3.1 单级压缩冷凝系统	35
2.3.2 双级压缩冷凝系统	37
2.3.3 混合式压缩冷凝系统	38
2.3.4 压缩机吸、排气管的连接	39
2.4 中间冷却系统及供液的再 冷却	40
2.4.1 氨中间冷却系统及供液的 再冷却	40
2.4.2 氟利昂中间冷却系统及供液的 再冷却	41
2.5 制冷系统空气排除及润滑油的 回流与排放	43
2.5.1 氨制冷系统空气的排除	43
2.5.2 氨制冷系统润滑油的回流及 排放	44
2.5.3 氟利昂制冷系统润滑油的 回流	45
2.6 冻结设备	47
2.6.1 搁架式排管冻结设备	47
2.6.2 平板冻结器	49
2.6.3 螺旋式冻结设备	50
2.6.4 流态化冻结设备	51
2.6.5 沉浸式冻结设备	54
2.7 冷库制冷系统举例	55
2.7.1 集中式制冷系统	55
2.7.2 分散式制冷系统	57
2.7.3 蒸发器的除霜	57

第3章 食品冷藏工艺基础知识

3.1 食品的种类及组成	59
3.1.1 食品的种类	59
3.1.2 食品的组成成分	59

3.2 食品低温保鲜原理	61	4.1.1 果蔬的主要成分	87
3.2.1 食品变质的原因	61	4.1.2 果蔬的采后生理	90
3.2.2 食品冷加工及冷藏保鲜机理	62	4.1.3 影响果蔬采后生理变化的环境 因素	92
3.2.3 低温对微生物的影响	62	4.2 气调贮藏	95
3.2.4 低温对果蔬呼吸作用的影响	63	4.2.1 气调贮藏的原理	95
3.3 食品的冷加工和冷藏方法	65	4.2.2 气调贮藏的特点	96
3.3.1 食品的预冷、冷却和冻结	65	4.2.3 气调贮藏的方式	97
3.3.2 食品的冷藏	66	4.3 气调库	98
3.3.3 食品的升温和解冻	68	4.3.1 气调库的特点和类型	98
3.3.4 食品在冷加工和冷藏过程中的 干耗	70	4.3.2 气调库的构造	99
3.4 肉类的冷加工和冷藏工艺	71	4.3.3 气调库的制冷系统	101
3.4.1 肉类的成熟与腐败	71	4.3.4 气调库的气调系统	102
3.4.2 肉类的冷却和冻结	72	4.4 气调库的运行管理	105
3.4.3 肉类的冷藏	74	4.4.1 气调库的运行和安全管理	105
3.4.4 分割肉的冷加工	75	4.4.2 气调库的生产管理	107
3.4.5 肉类的解冻	76	4.4.3 气调库的设备管理	109
3.5 鱼类的冷加工和冷藏工艺	76		
3.5.1 鱼类死后的品质变化	76		
3.5.2 鱼类的冷却和冻结	77		
3.5.3 鱼类的冷藏	78		
3.5.4 鱼类的解冻	79		
3.6 果蔬的冷加工和冷藏工艺	79		
3.6.1 果蔬的冷却和冷藏	79		
3.6.2 果蔬的速冻和解冻	82		
3.7 果汁、菜汁的冷冻浓缩及冷冻浓 缩装置	84		
3.7.1 果汁、菜汁冷冻浓缩原理	84		
3.7.2 冷冻浓缩装置	85		

第4章 气调贮藏和气调库

4.1 果蔬的采后生理	87
-------------------	----

第二篇 空气调节

第6章 空气调节基础知识

6.1 空气调节的任务和作用	123	6.3.3 湿空气的状态变化过程	131
6.2 空调系统的组成	124	6.3.4 湿球温度和露点温度	133
6.3 湿空气的热力学性质	125	6.4 用喷水室处理空气	136
6.3.1 湿空气的组成及物理性质	125	6.4.1 水和空气的热湿交换	136
6.3.2 湿空气的焓湿图及其应用	129	6.4.2 喷水室的构造和类型	137
		6.4.3 组成喷水室的主要部件	138
		6.4.4 喷水室的水系统	142

第5章 制 冰

5.1 人造冰的性质和应用	111
5.1.1 人造冰的种类	111
5.1.2 人造冰的性质	112
5.1.3 人造冰的应用	113
5.2 制冰方法及装置	114
5.2.1 盐水制冰装置	114
5.2.2 快速制冰装置	118
5.2.3 其它型式的制冰装置	120
5.3 人造冰的贮藏	122

6.4.5 喷水室的水气比和热交换效率	143
6.4.6 影响喷水室热交换的因素	144
6.5 用表面式换热器处理空气	144
6.5.1 表面式换热器处理空气的基本过程	144
6.5.2 表面式换热器的构造和安装	145
6.6 空气的净化	147
6.6.1 空气净化的要求	147
6.6.2 常用空气过滤器	147
6.7 空调系统的消声和减振	149
6.7.1 噪声的消除	149
6.7.2 空调系统的减振	151
第7章 集中式空调系统	
7.1 空调系统的分类	153
7.1.1 集中式系统	153
7.1.2 半集中式系统	153
7.1.3 分散式系统	153
7.2 单风道空调系统	154
7.2.1 一次回风系统	154
7.2.2 一、二次回风系统	156
7.2.3 全新风系统	158
7.2.4 全循环系统	159
7.2.5 单风道系统的调节	159
7.3 风机盘管空调系统	162
7.3.1 系统原理及组成	162
7.3.2 新风供给方式	163
7.3.3 风机盘管系统的调节	164
7.4 变风量空调系统	165
7.4.1 节流式变风量系统	165
7.4.2 旁通式变风量系统	166
7.4.3 变风量系统的调节	167

第8章 空气调节机组

8.1 恒温恒湿空调机组	170
--------------	-----

8.1.1 恒温恒湿空调机组的结构及性能特点	170
8.1.2 恒温恒湿空调机组的应用	172
8.1.3 几种常用的恒温恒湿空调机组	173
8.2 水冷式空调机组	174
8.2.1 水冷柜式冷风机组	174
8.2.2 水冷柜式冷热风机	176
8.3 风冷式空调机组	178
8.3.1 整体式风冷空调机组	178
8.3.2 分置式空调机组	178
8.3.3 专用空调机组	178
8.4 冷冻除湿机	181
8.4.1 冷冻除湿机的工作原理	181
8.4.2 冷冻除湿机的构造	182
8.4.3 几种常用的冷冻除湿机	182
第9章 空调设备的运行管理	
9.1 空调房间的气流组织	185
9.1.1 气流组织的方式及其适用情况	185
9.1.2 气流组织的测定	188
9.2 室内温度分布及风口布置	188
9.2.1 室内空气分布与温度分布	188
9.2.2 送、回风口的合理布置	189
9.3 空调室内负荷变化时的运行调节	191
9.3.1 室内余热量变化时的调节	191
9.3.2 室内余热、余湿量同时变化时的运行调节	192
9.4 空调设备的操作与维修	192
9.4.1 空调设备的正常操作	192
9.4.2 空调设备常见故障的分析	193
9.4.3 空调设备季节性停机的保养维修	194
参考文献	195

第一篇 冷藏及制冰

第1章 冷库建筑基础知识

1.1 冷库的类型和构成

冷库是用人工制冷的方法对易腐食品进行加工和贮藏,以保持食品食用价值的建筑物。

1.1.1 冷库的分类

(1) 按冷库容量规模分 衡量冷库容量规模的标准,目前有两种表示方法:国际上和我国《冷库设计规范》GB J72—84是以公称容积(m^3)表示;我国行政部门下达的项目文件是以吨表示。为了与审批文件表示规模相一致,故常用吨作为冷库容量规模的计算标准。

目前,冷库容量规模划分也未统一,一般分为大、中、小型。大型冷库的冷藏容量在10000t以上;中型冷库的冷藏容量在1000~10000t;小型冷库的冷藏容量在1000t以下。

建标〔1992〕435号文批准发布的《果品库建设标准》,将果品冷库规模分为四类:一类为3001~5000t;二类为2001~3000t;三类为1001~2000t;四类为500~1000t。

(2) 按冷藏设计温度分 分为高温和低温两类冷库。一般高温冷库的冷藏设计温度在 -2°C 以上;低温冷库的冷藏设计温度在 -15°C 以下。

(3) 按结构类别分

1) 土建冷库 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) 组合板式冷库 这种冷库为单层形式,库体为钢框架轻质预制隔热板装配结构,其承重构件多采用薄壁型钢材制作。库板的内、外面板均用彩色钢板(基材为镀锌钢板),库板的芯材为发泡硬质聚氨酯或粘贴聚苯乙烯泡沫板。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,在工地现场组装,所以施工进度快,建设周期短。

3) 覆土冷库 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,洞体的基础应座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。

4) 山洞冷库 一般建造在石质较为坚硬、整体性好的岩层内,洞体内侧一般作衬砌或喷锚处理,洞体的岩层覆盖厚度一般不小于20m。这类冷库连续使用时间愈长,其隔热效果愈佳,热稳定性能愈好。

此外, 还可按冷库的使用性质, 分为生产性冷库、分配性冷库和零售性冷库; 按冷库的层数, 分为多层冷库和单层冷库等。

1.1.2 冷库的构成

冷库由主体建筑和附属建筑两大部分构成。按照构成建筑物的用途不同, 可分为冷加工间及冷藏间、生产辅助用房、生活辅助用房和生产附属用房四大部分。

(1) 冷加工间及冷藏间

1) 冷却间 用于对进库冷藏或需先经预冷后冻结 (指采用二次冻结工艺) 的常温食品, 进行冷却或预冷。加工周期一般为12~24h, 产品预冷后温度一般为4℃。

2) 冻结间 是用来将需要冻结的食品, 由常温或冷却状态快速降至-15℃或-18℃, 加工周期一般为24h。

3) 冷却物冷藏间 (或称高温冷藏间) 主要用于贮藏鲜蛋、水果、蔬菜等食品。

4) 冻结物冷藏间 (或称低温冷藏间) 主要贮藏经冻结加工过的食品, 如冻肉、冻果蔬、冻鱼等。

5) 冰库 (或称贮冰间) 用以贮存人造冰、解决需冰旺季和制冰能力不足的矛盾。

冷间的温度和相对湿度, 应根据各类食品冷加工或冷藏工艺要求确定, 一般可按表1-1选用。

表1-1 冷间的使用温度和相对湿度

冷间名称	室温 (℃)	相对湿度 (%)	适用食品范围
冷却间	0		肉、蛋等
冻结间	-18~-23		肉、禽、兔、冰蛋、蔬菜、冰淇淋等
	-23~-30		鱼、虾等
冷却物冷藏间	0	85~90	冷却后的肉、禽
	-2~0	80~85	鲜蛋
	-1~1	90~95	冰鲜鱼、大白菜、蒜苔、葱头、胡萝卜、甘蓝等
	0~2	85~90	苹果、梨等
	2~4	85~90	土豆、桔子、荔枝等
	1~8	85~95	柿子椒、菜豆、黄瓜、蕃茄、菠萝、柑等
	11~12	85~90	香蕉等
冻结物冷藏间	-15~-20	85~90	冻肉、禽、兔、冰蛋、冻果蔬、冰淇淋等
	-18~-23	90~95	冻鱼、虾等
贮冰间	-4~-10		块冰

(2) 生产辅助用房

1) 装卸站台 供装卸货物用, 分公路站台和铁路站台两种。公路站台高出回车场地面1.0~1.2m, 铁路站台高出钢轨面1.1m。

2) 穿堂 是运输作业和库房间联系的通道, 一般分低温穿堂和常温穿堂。

3) 楼梯、电梯间 对于多层冷库均设有楼梯、电梯间。楼梯是生产工作人员上下的通道, 电梯是冷库内垂直运输货物的设施。

4) 过磅间 是专供货物进出库时工作人员司磅记数 (量) 使用的房间。

(3) 生活辅助用房 主要有生产管理人员的办公室或管理室, 生产人员的工间休息室和

更衣室，以及卫生间等。

(4) 生产附属用房 主要是指与冷库主体建筑有着密切联系的生产用房。

1) 制冷机房 用于安装制冷机设备的机房，一般要设两个或两个以上的出入口，并且门是外开式。

2) 变配电间 包括变压器间和高、低压配电间。

3) 水泵房 为了节约用水，冷库多采用循环冷却水。冲霜用水也予以回收利用。故一般专设水泵房，用来安装冷却水水泵和冲霜水水泵。

4) 制冰间 用来安装制冰设备并进行生产冰的操作。

5) 挑选整理包装间 主要用于食品在进、出库前的挑选、分级、整理、过磅、装箱(盘)或包装等。

冷库的构成随生产性质、建设规模、所贮藏的食品品种及对生产加工工艺的要求不同而有所区别。图1-1为肉类食品冷库的平面组成，图1-2为果品冷库的平面组成。

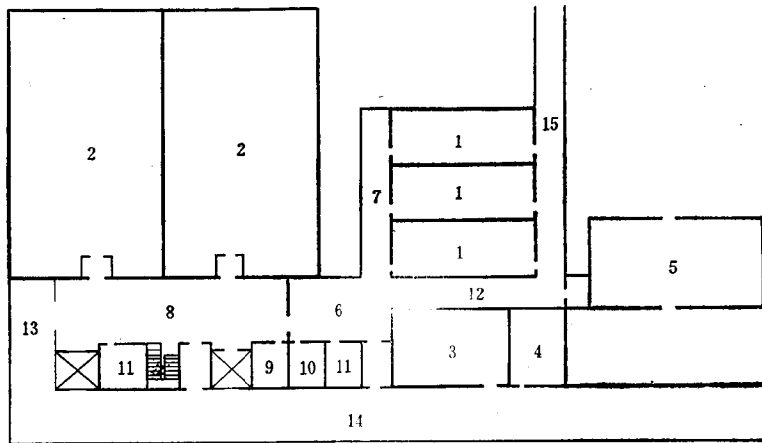


图1-1 肉类食品冷库的平面组成

1—冻结间 2—冻结物冷藏间 3—贮冰间 4—制冰间 5—机房 6—常温脱盘、脱钩间 7—常温穿堂 8—穿堂 9—贮藏室 10—管理室 11—工人休息室 12—走廊 13—公路站台 14—铁路站台 15—联系廊

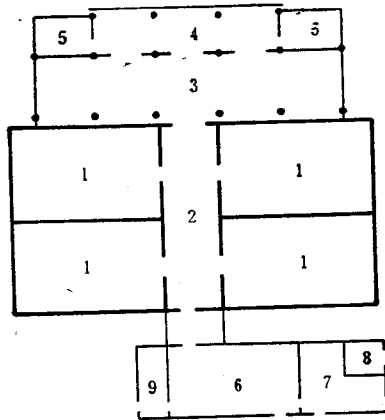


图1-2 果品冷库平面组成

1—冷藏间 2—穿堂 3—挑选整理、包装间 4—公路站台
5—管理室 6—制冷机房 7—配电间 8—变压器间 9—水泵房

1.2 冷库容量的验算

冷库容量是指冷库内的冷却物冷藏间、冻结物冷藏间的容量总和，有的也包括贮冰间的容量。容量单位常用公称容积 (m^3) 或吨 (t) 表示。

推行和采用公称容积作为衡量冷库容量规模的计算标准，既可促使设计人员充分利用冷藏空间，提高容积利用系数，作出更为经济实用的设计，又可促进使用单位通过改革工艺、改进包装堆码技术，挖掘冷库贮藏的潜力。

1.2.1 冷库公称容积及其计算方法

冷库公称容积为各冷藏间或贮冰间的净面积（不扣除柱、门斗和制冷设备所占的面积），乘以房间净高的总和。其计算公式：

$$V = \sum V_i = \sum F_i H_i \quad (1-1)$$

式中 V ——冷库公称容积 (m^3)；

V_i ——冷藏间、贮冰间的公称容积 (m^3)；

F_i ——冷藏间、贮冰间的净面积 (m^2)；

H_i ——冷藏间、贮冰间的净高度 (m)。

1.2.2 冷库贮藏吨位的换算

随着贮藏食品的计算密度和所采用的包装物的不同，同等公称容积冷库的贮藏吨位也不一样。冷库贮藏吨位可用下面的简便公式进行换算。

$$G = \frac{\sum V_i \rho_i \eta}{1000} = \frac{V \rho \eta}{1000} \quad (1-2)$$

式中 G ——冷库贮藏吨位 (t)；

ρ ——食品的计算密度 (kg/m^3)；

η ——容积利用系数。

食品的计算密度和容积利用系数可分别采用表1-2、表1-3及表1-4的规定。

表1-2 食品的计算密度

食 品 名 称	计算密度 (kg/m^3)	食 品 名 称	计算密度 (kg/m^3)
冻猪白条肉	400	纸箱冻蛇	450
冻牛白条肉	330	纸箱冻兔（带骨）	500
冻羊腔	250	纸箱冻兔（去骨）	650
块装冻剔骨肉或副产品	600	木箱鲜鸡蛋	300
冻猪油（冻动物油）	650	筐装新鲜水果	220(200~230)
罐冰蛋	600	箱装新鲜水果	300(270~330)
纸箱冻家禽	550	托板式活动货架存蔬菜	250
盘冻鸡	350	木杆搭固定货架存蔬菜(不包括架间距离)	220
盘冻鸭	450	篓装蔬菜	250(170~340)
盘冻蛇	700	机制冰	750
块装冻鱼	470	篓装鲜鸡蛋	230
块装冻冰蛋	630	篓装鸭蛋	250

1.2.3 库内货垛与建筑物、设备间的距离

容积利用系数综合反映了冷间堆货容积所占冷间公称容积的份额。容积利用系数高，贮

藏的吨位就相应增大。在使用中,如果无限制地塞满整个冷藏空间,那是不科学的。正确的使用应在货垛与货垛之间、货垛与建筑物、设备之间留有合理的距离,以改善冷风循环,充分发挥冷却设备的换热能力,保持较为均匀的冷间温度,确保商品的贮藏质量;并减少和避免因碰撞而损坏建筑物和设备,也便于进行操作管理。因此,应按表1-5规定的距离尺寸合理堆码商品。

表1-3 冷藏间容积利用系数 η

公称容积(m^3)	容称利用系数 η
500~1000	0.40
1001~2000	0.50
2001~10000	0.55
10001~15000	0.60
>15000	0.62

注:蔬菜冷库的容积利用系数 η 应乘以0.8的修正系数。

表1-4 贮冰间容积利用系数 η

贮冰间净高(m)	容积利用系数 η
≤ 4.2	0.40
4.21~5.00	0.50
5.01~6.00	0.60
>6.00	0.65

表1-5 冷间内货垛距建筑物、设备尺寸

项 目	距 离 (m)
货垛与下列建筑物表面及设备之间的距离:	
距冻结物冷藏间平顶	0.20
距冷却物冷藏间平顶	0.30
距顶排管下侧	0.30
距顶排管横侧	0.20
距无墙排管的墙面	0.20
距墙排管外侧	0.40
距风管喷风口中心(下侧)	0.30
距冷风机周围	1.50
顶排管、墙排管与下列建筑物的距离:	
翅片式顶排管与平顶或梁底表面	0.30~0.40
翅片式墙排管与墙表面	0.20
光滑顶排管与平顶或梁底表面	0.25~0.40
光滑墙排管与墙表面	0.15
货垛如需按批次堆存时,垛间距离:	
鲜蛋类(箱装者可取“距离”中较小的数值)	0.30~0.40
鲜果类(箱装者可取“距离”中较小的数值)	0.30~0.40
其它	0.10~0.15
冷间内走道宽度:	
人工搬运的	1.20~1.50
机械搬运的	1.80~2.20

1.3 冷库围护结构的隔热和防潮

冷库的生产辅助建筑、生活辅助建筑和生产附属建筑,虽然各自使用功能不同,但其建筑结构的形式、围护结构构造、材料选用等,与一般工业和民用建筑没有多大差别。冷间建筑则不同,由于它身负食品冷加工和冷藏的用途,又是处在低温高湿环境的作业条件下,库门开启时,热湿交换比较强烈,预冷间和冻结间的室温还周期升降交替变化频繁,等等。因此,

冷间建筑物除了具有一般建筑结构的特点外,还有独自的特点。依据冷间建筑特点,采取相应的技术措施,这是本章冷库建筑基础知识重点介绍的内容。下面各节凡提到冷库建筑,主要是指冷间建筑部分。

冷库建筑的主要特点是:围护结构需要隔热保温,隔热层需要隔汽防潮,建筑结构要防止发生“热桥”现象,要防止融冻循环和地面下土壤冻结引起的破坏作用。

1.3.1 冷库围护结构的隔热

冷库是依据所贮存食品的冷加工工艺要求对食品进行冷却、冻结和贮藏的,需在库房内造成适宜的低温环境。为尽量减少室外气温变化对库内温度的影响,隔热保温是冷库建筑中一项十分重要的措施。因此,冷库的外墙、屋面、地面等外围护结构,以及有温差存在的相邻库房的隔墙、楼面等,都要作隔热处理。

(1) 冷库建筑隔热的意义 冷库围护结构设置隔热层的目的是,为了减少通过外围护结构的热量传递及有温差存在的相邻库房的传热,以减少制冷机设备的冷量负荷和能量的消耗,并满足食品冷加工和贮藏工艺的要求。

冷库围护结构隔热性能的好坏,直接影响冷库的使用管理及冷库的使用寿命。冷库建筑的隔热性能良好,可以确保食品冷加工和贮藏工艺的温湿度条件,降低食品的干缩损耗,提高食品的冷加工贮藏质量。如果冷库的围护结构的隔热性能差,不仅传入的热量多,影响正常使用,而且一旦围护结构外侧的表面温度达到空气的露点温度时,空气中的水蒸气就会在围护结构表面上凝结成水或冻结成冰,损坏围护结构;同时还会造成由室外通过围护结构向室内扩散渗透的水蒸气在隔热层内积聚凝结,导致隔热层潮湿而失效。

冷库建筑的隔热层厚度,对冷库的基建投资与经营费用有着密切的关系。一方面,冷库建筑的基建投资是随着隔热层厚度的增加而增加;另一方面,隔热层厚度的增加,冷量消耗就少,制冷机设备容量就小,相应的设备费用及运行管理费用就可以降低,增大的土建投资往往可在短期内从减少食品干耗和节约的经营费用中得到补偿。所以,必须进行综合分析,选择经济耐用的隔热材料和合理的隔热层厚度。

可见,冷库设置厚度合适的隔热层,并采用隔热性能较好的隔热材料,既是确保库房温湿度的措施,以满足食品工艺的要求,保证贮藏食品的质量;而且对冷库的基建投资、经营费用,以及使用管理和冷库建筑的使用寿命均有很密切的关系。

(2) 冷库建筑常用的隔热材料 冷库所用的隔热材料,一般应符合下列要求:

- 1) 热导率小,这样所需要隔热层厚度可以减薄,能节省隔热材料的用量。
- 2) 密度小,这样隔热结构就轻,而且一般的隔热材料密度小时热导率也小。
- 3) 吸湿性小,一般要求隔热材料的吸湿不大于5%,并不应因吸湿而降低隔热性能。
- 4) 耐火性能好,应不燃或难燃。
- 5) 抗冻性能好,隔热材料在吸湿受冻后,应不降低其机械强度,在周期性的冻融循环条件下,应不失去其主要的物理性能。
- 6) 机械强度高,应有一定的抗压强度,尺寸稳定性要好,沉陷性和体积冷收缩率要小。
- 7) 无毒无异味,以免污染所贮藏的食品。
- 8) 经久耐用,其性能应不随时间而变,并不生霉菌,不易腐烂。
- 9) 易于切割加工和施工简便。

实际上,完全符合上述技术要求的隔热材料是很少的,选用时应根据使用要求、围护结

构的构造、材料的技术性能及其来源和价格等具体情况进行全面的分析比较后作出抉择。

用于冷库建筑的隔热材料品种很多,尤其是各种高分子化学合成隔热材料的出现,促进了冷库建筑技术的发展。我国冷库常用的几种隔热材料的性能见表1-6。

表1-6 冷库常用隔热材料特性表

材料名称	容重 γ (kg/m ³)	热导率 λ (W/(m·K))	比热容 c (KJ/(kg·K))	蒸气渗透系数 μ (g/(m·h·Pa))	防火性能	吸湿率 (重量%)	抗压强度 (Pa)	设计计算中采用的热导率 λ (W/(m·K))
聚苯乙烯泡沫塑料	20~50	0.029~0.046	1.465	0.00006	易燃耐热70℃	0.1~0.15kg/m ³	17.64×10 ⁴	0.0465
聚氯乙烯泡沫塑料	45	0.043			离火即灭,耐热80℃	0.2kg/m ³	17.64×10 ⁴	0.0465
聚氨酯泡沫塑料	40~50	0.023~0.029			离火即灭,耐热140℃	0.118kg/m ³	14.7~1.96×10 ⁴	0.029~0.035
沥青矿渣棉毡	<120	0.044~0.047	0.754	0.00049	可燃	<1.07		0.081
矿渣棉(一级)	100	0.044	0.754	0.00049	可燃			0.081
矿渣棉(二级)	150	0.047	0.754	0.00049	可燃			0.081
膨胀珍珠岩	<80	0.047			不燃	<0.2		0.081
	81~150	0.047~0.058			不燃	<0.2		0.081~0.099
	151~250	0.058~0.075	0.837		不燃	<0.2		0.099~0.128
沥青膨胀珍珠岩块	300	0.081	0.879	0.00008	难燃	<0.2	1.96×10 ⁴	0.093
沥青膨胀珍珠岩现场辅压	160	0.058			难燃		4.9×10 ⁴	0.070
泡沫混凝土	<400	0.151	0.837	0.0002	不燃	4.8		0.244
加气混凝土	400	0.093	0.837	0.00023	不燃		147×10 ⁴	0.163
软木板	150~250	0.052~0.070	2.093	0.000038	可燃		39.2×10 ⁴	0.064~0.081
稻壳	135~160	0.081~0.093	1.876		易燃	2.5		0.151
炉渣	<800	0.175~0.233	0.837	0.00015	不燃	19.2		0.326

注:聚苯乙烯泡沫塑料,聚氯乙烯泡沫塑料和聚氨酯泡沫塑料的吸湿率是在表面防水膜不损坏时的吸湿率。

(3) 隔热层厚度的验算 依据围护结构的结构层作法及所采用的隔热材料,隔热层厚度可按下式验算:

$$\delta = \lambda \left[R_0 - \left(\frac{1}{a_w} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{a_n} \right) \right] \quad (1-3)$$

式中 δ ——隔热层厚度 (m);

λ ——隔热材料的热导率[W/(m·K)];

R_0 ——围护结构的热阻 (m²·K/W), $R_0 = \frac{1}{K}$;

K ——围护结构的传热系数[W/(m²·K)];

a_w 、 a_n ——围护结构内、外表面的换热系数[W/(m²·K)];

δ_1 、 δ_2 ——围护结构除隔热层以外的各结构层的厚度 (m);

λ_1 、 λ_2 ——围护结构除隔热层以外的各结构层材料的热导率[W/(m·K)];

R_0 、 K 、 a_w 、 a_n 选用值参见表1-7至表1-14。

表1-7 外墙、无阁楼屋面、有阁楼的顶棚的总热阻 R_0

室内外温差 (℃)	单位面积传入热量(W/m^2)				
	8.1	9.3	10.5	11.6	12.8
	总热阻 R_0 ($m^2 \cdot K/W$)				
70	8.60	7.83	6.62	6.15	5.38
60	7.18	6.62	5.72	5.07	4.77
50	6.15	5.38	4.77	4.30	3.91
40	4.77	4.30	3.74	3.44	3.05
30	3.74	3.18	2.88	2.58	2.32
20	2.45	2.15	1.89	1.72	1.55

表1-8 隔墙的总热阻 R_0 ($m^2 \cdot K/W$)

隔墙两侧冷间名称及计算室温	单位面积传入热量(W/m^2)	
	10.5	12.8
冻结间-23℃-冷却间0℃	3.61	2.97
冻结间-23℃-冻结间-23℃	2.67	2.19
冻结间-23℃-穿堂4℃	2.58	2.11
冻结间-23℃-穿堂-10℃	2.11	1.55
低温冷藏间-18~-20℃-高温冷藏间0℃	3.14	2.58
低温冷藏间-18~-20℃-贮冰间-4℃	2.67	2.19
低温冷藏间-18~-20℃-穿堂4℃	2.67	2.19
高温冷藏间0℃-高温冷藏间0℃	2.11	1.55

表1-9 楼面的总热阻 R_0

楼板上下冷间的计算温差(℃)	$R_0(m^2 \cdot K/W)$	楼板上下冷间的计算温差(℃)	$R_0(m^2 \cdot K/W)$
35	4.77	8~12	2.58
23~28	4.09	5	1.89
15~20	3.31		

表1-10 直接铺设在土壤上的冷间地面总热阻 R_0

冷间计算温度(℃)	$R_0(m^2 \cdot K/W)$	冷间计算温度(℃)	$R_0(m^2 \cdot K/W)$
0~-2	1.72	-23~-28	3.91
-5~-10	2.54	-35	4.77
-15~-20	3.18		

表1-11 铺设在架空层上的地面总热阻 R_0

冷间的计算温度(℃)	$R_0(m^2 \cdot K/W)$	冷间的计算温度(℃)	$R_0(m^2 \cdot K/W)$
0~-2	2.15	-23~-28	4.09
-5~-10	2.71	-35	4.77
-15~-20	3.44		

1.3.2 冷库围护结构的隔汽防潮

由于冷库的室内外存在温度差和空气中的水蒸气的分压力差, 高温侧空气中的水蒸气便通过围护结构向低温侧扩散; 当围护结构的某一结构层内的温度到达水蒸气在该层内部的分

压力所对应的露点温度时,就会产生凝结。在大多数情况下,冷库的室外温度高于室内温度,室外空气中的水蒸气分压力,大于室内空气的水蒸气分压力。因此,通过围护结构的水蒸气的扩散,一般是由外侧向内侧方向进行,水蒸气在围护结构内的凝结积聚,多发生在围护结构的内侧。如果发生在隔热层内,将使隔热层受潮,造成隔热性能降低,甚至失效,导致围护结构的损坏。此外,扩散进冷库内的水蒸气还会给冷间带进湿热负荷,并增大冷却设备的结霜量。所以,在冷库围护结构中设置蒸气渗透阻高的材料作为隔汽防潮层是很有必要的。

表1-12 屋顶、外墙的传热系数 K

室内外温差 (℃)	单位面积传入热量(W/m²)					室内外温差 (℃)	单位面积传入热量(W/m²)				
	8.1	9.3	10.5	11.6	12.8		8.1	9.3	10.5	11.6	12.8
	传热系数K(W/m²·K):						传热系数K(W/(m²·K)):				
70	0.12	0.13	0.15	0.16	0.19	40	0.21	0.23	0.27	0.29	0.33
60	0.14	0.15	0.17	0.20	0.21	30	0.27	0.31	0.35	0.39	0.43
50	0.16	0.19	0.21	0.23	0.26	20	0.41	0.47	0.53	0.58	0.65

表1-13 隔墙的传热系数 K [$W/(m^2 \cdot K)$]

隔墙两侧冷间名称及计算温度	单位面积传入热量 (W/m^2)		隔墙两侧冷间名称及计算温度	单位面积传入热量 (W/m^2)	
	10.5	12.8		10.5	12.8
冻结间-23℃-冷却间0℃	0.28	0.34	低温冷藏间-18~-20℃-高温冷藏间0℃	0.32	0.39
冻结间-23℃-冻结间-23℃	0.37	0.46	低温冷藏间-18~-20℃-贮冰间-4℃	0.37	0.46
冻结间-23℃-穿堂4℃	0.39	0.47	低温冷藏间-18~-20℃-穿堂4℃	0.37	0.46
冻结间-23℃-穿堂-10℃	0.47	0.65	高温冷藏间0℃-高温冷藏间0℃	0.47	0.65

表1-14 冷间围护结构外表面和内表面换热系数 α_w 、 α_n ($W/m^2 \cdot K$)

围护结构部位及环境条件	α_w	α_n
无防风设施的屋面、外墙的外表面	23	
顶棚上为阁楼或有房屋、外墙外部紧邻其它建筑物的外表面	12	
外墙和顶棚的内表面、内墙和楼面的表面、地面的上表面: 冻结间、冷却间设有强力鼓风装置时		29
冷却物冷藏间设有强力鼓风装置时		18
冻结物冷藏间设有鼓风的冷却设备时		12
冷间无机鼓风装置时		8
地面下为通风架空层	8	

(1) 冷库常用的隔汽防潮材料 在冷库建筑中,常用的隔汽防潮材料有石油沥青及其制品、沥青塑料防水材料、聚乙烯塑料薄膜、聚氨酯防水涂料等。

1) 沥青 沥青具有很好的防水性能和粘结力。常用的沥青有石油沥青和焦油沥青两种。

石油沥青是天然石油蒸馏出轻油、重油后剩余的胶状物质或胶状物质的氧化物。天然石油蒸馏后的胶状物质叫软沥青。软沥青经氧化后变硬叫硬沥青,也叫建筑沥青。冷库建筑中常用建筑沥青做防潮材料。

煤焦油沥青是用烟煤炼制焦炭或制取煤气时,在煤焦油中提炼出各种油质之后所得的残

渣,又称柏油。它具有高度抗水性和抗微生物性,但它遇冷易脆裂,遇热易于软化流淌,故宜用于地下防水工程,不宜用作冷库建筑中的防潮材料。

石油沥青的主要技术性能见表1-15。

表1-15 石油沥青主要技术性能指标

新 牌 号	140	100	60	30	10
旧 牌 号	I	II	III	IV	V
针入度(25℃时100g)($\frac{1}{10}$ mm)	121~160	81~120	41~80	21~40	5~20
环球法软化点(℃)	25	40	45	70	90
延伸度(cm)(25℃)不小于	100	60	40	3	1

用于冷库内低温部分的沥青,针入度要大,软化点要低,使其在低温下不易脆裂;用于库外屋面、外墙的防水隔汽层的沥青,则要求针入度小,软化点高,以避免因外界温度高时发生流淌。

2) 冷底子油 冷底子油是一种把沥青溶于挥发性溶剂中的液状物。粘贴油毡之前,在混凝土及水泥砂浆基层面上,先喷涂一层冷底子油,当溶剂挥发后,剩下一层沥青膜,可使油毡与基层更紧密地结合在一起。因为多用在防潮层的底层,又是冷施工,故称冷底子油。

冷库建筑中常用的冷底子油是用30%~40%的石油沥青及70%~60%的有机溶剂(柴油或汽油)配制而成。

3) 油毡 油毡是用低软化点沥青浸渍原纸,然后用高软化点沥青涂盖油纸的两面再撒以撒布材料而制成的一种防水材料。油毡的标号是根据原纸每平方米的重量(克数)来标定的。油毡按其所浸的沥青材料,可分为石油沥青油毡和煤焦油沥青油毡。石油沥青油毡又分为粉状撒布材料面油毡和片状撒布材料面油毡两类。冷库建筑中,宜采用有粉状撒布物的不低于350号的石油沥青油毡。煤焦油沥青油毡适用于地下防水。

4) 沥青塑料防水材料 它是用焦油沥青、聚氯乙烯、滑石粉、苯二甲酸二丁酯原料经混合压制而成。这种卷材具有高度的不透水性,有足够的强度、延展性大,耐热度达150℃,在-15~-20℃的温度下不脆裂,且有较高的耐腐蚀性。

沥青塑料防水材料已向油膏型和乳(胶)液型方向发展。如聚氯乙烯防水油膏和PVC防水乳液,在冷库建筑隔汽防潮中已得到应用。尤其是PVC防水乳液,是一种冷施工、单组分、弹塑性厚质防水涂料,其性能优越,在材质上保留了热施工聚氯乙烯防水油膏的防水性、弹塑性、耐热性、耐低温性、粘结性、耐老化性等优点,并在使用上消除了热施工带来的不便,在-20~80℃条件下能保持良好的性能。

5) 聚乙烯塑料薄膜 它的蒸气渗透阻较高,在常温及低温条件下其强度也适合于冷库的使用要求,无毒,透气性及吸水性很低,柔软性、耐冲击性都良好。

6) 聚氨酯防水涂料 它是以异氰酸酯和羟基化合物反应而成的高分子化合物,是一种双组分液态涂料。施工时将两组分按规定比例混合,搅拌均匀,即可涂刷或喷涂于防水基层上,经数小时后即可固化,形成一种富有弹性的、无接缝的橡胶防水层。可现场冷施工,固化后的涂膜无毒。这种防水涂料强度高,与基层粘结性能好,延伸率大,弹性好,形成的防水层对基层有较好的适应性;耐候性好,120℃不流淌,-35℃不脆裂;具有耐酸,耐碱,耐老化