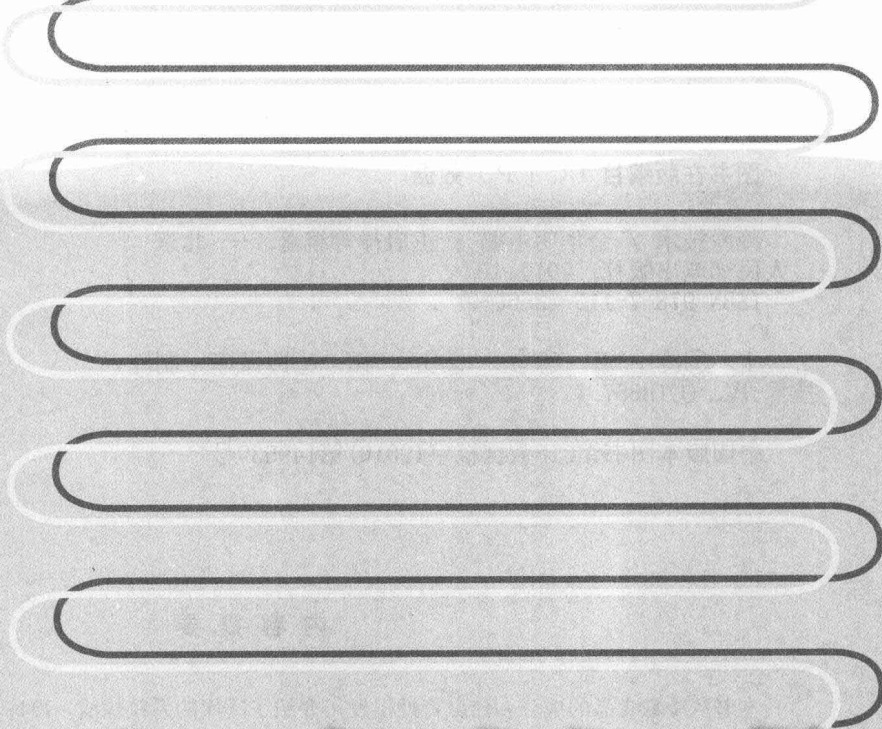


冷库技术

LENGKU JISHU

■ 余华明 主编
王启祥 刘超 杨伟兵 吴治将 编著



冷库技术

LENGKU JISHU

■ 余华明 主编
王启祥 刘超 杨佳兵 吴治将 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

冷库技术 / 余华明主编 ; 王启祥等编著. — 北京
人民邮电出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-115-23660-9

I. ①冷… II. ①余… ②王… III. ①冷藏库—制冷
技术 IV. ①TB657.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第149539号

内 容 提 要

本书从冷藏食品的成分和储藏特性出发,介绍了冷库的系统构成,冷库设备的安装、调试和运行,库房的管理等内容,重点介绍了冷库的设计过程和设计方法,并通过完整的设计案例完成对全书知识的综合及应用指导。通过本书的学习,读者可以对冷库的全貌有一个认识,并独立完成一个中小型冷库的设计工作,结合查阅冷库的相关标准和操作规范,读者也可以完成有关冷库设备操作和库房管理的职业培训。

本书可供大中专院校,特别是高职高专类院校的制冷与冷藏技术专业师生教学使用,也可供从事冷库和冷藏行业的技术人员参考。

冷 库 技 术

-
- ◆ 主 编 余华明
 - 编 著 王启祥 刘 超 杨伟兵 吴治将
 - 责任编辑 申 苹
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.5
字数: 336千字 2010年10月第1版
印数: 1—3 500册 2010年10月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-23660-9

定价: 28.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

冷库，特别是中小型冷库，正逐渐走进人们的生活，如食堂用的冷库，养鱼农户用的冻鱼库以及蔬菜、水果批发商用的菜果冷藏库。这些冷库往往是装配式的，安装灵活，用途广泛，与大型冷库相比具有无可比拟的优势，为我们的“菜篮子工程”做出了巨大的贡献。与之相适应的是相关的岗位需求也在急速增加，包括冷库的设计安装、冷库设备的操作与维护保养、食品的冷藏与运输人员的需求等。但受教育周期的限制，现有的从业人员技术水平良莠不齐，这是造成目前我国食品冷藏和冷库技术水平相比发达国家还有一定差距的主要原因。于是，开发一些适合于各个层次，并且既有理论又有实践总结和案例介绍的专业书籍就显得非常必要。

本书从制冷原理出发，详细介绍了冷库系统的构成原理和设备组成，并在此基础上介绍了冷库的设计计算方法和冷库系统的运行管理、维护保养等内容。冷库设计实例的详细介绍，可以帮助读者对上述技术知识内容有更好的理解和应用。参照本书设计案例，读者可以自行完成中小型冷库的设计；结合相关操作规范和国家标准，读者也可以完成冷库操作和库房管理工种的初级培训。

王启祥、刘超、杨伟兵和吴治将分别负责本书第2~5章内容的编写，余华明统筹并完成第1章和其他章节部分内容的编写。本书在编写过程中还得到了广东佛山长城冷气公司和南海冷冻厂的大力支持，在此一并表示感谢。本书既有对冷库知识经典理论的整理，也有从实践而来的经验总结，希望能对读者有所帮助。

由于编者水平有限，书中难免存在欠妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 冷库及食品冷藏知识基础	1
1.1 食品冷加工技术基础	1
1.1.1 食品的成分	1
1.1.2 食品冷藏保鲜原理	2
1.1.3 食品在冷加工过程中的变化	3
1.1.4 食品冷加工技术	8
1.2 食品冷藏链	17
1.2.1 食品冷藏链的概念	17
1.2.2 食品冷藏运输和销售需要注意的事项	19
第 2 章 冷库系统组成	20
2.1 冷库的分类和组成	20
2.1.1 冷库的分类	20
2.1.2 冷库的组成	21
2.1.3 冷库的建筑结构	23
2.2 冷库蒸气压缩式制冷原理	27
2.2.1 单级蒸气压缩式制冷	28
2.2.2 双级压缩及复叠式制冷	29
2.3 冷库制冷系统组成	32
2.3.1 制冷剂、载冷剂和润滑油	32
2.3.2 压缩机	37
2.3.3 冷凝器	40
2.3.4 蒸发器	46
2.3.5 节流装置	51
2.3.6 其他辅助设备	51
2.4 冷库自动控制系统	60
2.4.1 自动调节及控制基础知识	60
2.4.2 蒸发器流量调节及控制元件	62
2.4.3 蒸发压力调节及其控制元件	67
2.4.4 冷凝压力调节及其控制元件	72
2.4.5 温度调节及其控制元件	74
2.4.6 液位调节及其控制元件	77
2.4.7 电磁阀及其他自控元件	80
2.4.8 制冷系统安全保护及其控制元件	83
2.4.9 典型冷库制冷装置的自动控制分析	89

第3章 冷库制冷设备的安装、调试和运行维护	95
3.1 冷库制冷设备的安装	95
3.1.1 冷库制冷系统的特点和特殊性	95
3.1.2 安装前的准备工作	95
3.1.3 安装的一般原则	96
3.1.4 冷库制冷设备的安装	96
3.1.5 制冷管道及阀件的安装	99
3.1.6 阀门及测量仪表的安装	101
3.2 制冷系统的吹污和气密性试验	102
3.2.1 吹污	102
3.2.2 气密性试验	102
3.3 制冷剂的充注和取出	104
3.3.1 制冷剂的充注	104
3.3.2 制冷剂的取出	106
3.4 冷库制冷装置的试运转	108
3.4.1 压缩机启动前的准备和检查工作	108
3.4.2 制冷装置的试运转	108
3.4.3 制冷装置的调试	109
3.5 活塞式制冷压缩机的操作	111
3.5.1 单级氨压缩机操作	111
3.5.2 双级氨压缩机组的操作	112
3.5.3 单机双级氨压缩机的操作	112
3.5.4 氟利昂压缩机的操作	113
3.5.5 制冷装置的停车	113
3.6 制冷系统放油、放空气操作	114
3.6.1 润滑油的添加	114
3.6.2 润滑油的排放	115
3.6.3 制冷系统放空气操作	117
3.7 螺杆式制冷压缩机的操作	118
3.7.1 螺杆式制冷压缩机开机前的准备	118
3.7.2 螺杆式制冷压缩机的开机操作	119
3.7.3 螺杆式制冷压缩机正常运行状态参数	119
3.7.4 螺杆式制冷压缩机的停机操作	119
3.8 制冷装置的故障分析和处理	120
3.8.1 检查故障的方法和正常运行的标志	120
3.8.2 制冷系统常见故障的分析和排除方法	121
第4章 冷库库房管理	127
4.1 库房操作管理	127
4.1.1 入库前的准备	127
4.1.2 库房管理	128

4.2 库房卫生管理	129
4.2.1 冷库的卫生和消毒	129
4.2.2 食品冷加工过程中的卫生管理	131
4.3 冷库节能	131
4.3.1 采用新工艺、新技术、新设备的设计方案	131
4.3.2 及时进行冷藏食品的结构改革	132
4.3.3 加强科学管理	133
4.3.4 冷库节能改造案例——深井泵加装数字变频控制系统	136
4.4 制冷系统安全运行管理	137
4.4.1 安全装置	138
4.4.2 安全操作	139
4.4.3 制冷剂钢瓶的使用和管理	139
4.4.4 人身安全及救护	140
第5章 冷库设计	143
5.1 冷库建筑的平面设计	143
5.2 冷库围护结构的隔热及防潮设计	145
5.2.1 围护结构的隔热计算	145
5.2.2 围护结构的热惰性指标 D 的计算	146
5.2.3 隔热材料厚度的计算	146
5.2.4 隔气防潮计算	149
5.3 冷库冷负荷计算	151
5.3.1 库房容积计算	151
5.3.2 库内外计算温度的确定	152
5.3.3 库房耗冷量计算	153
5.3.4 制冷设备负荷和机械负荷的确定	159
5.4 制冷设备的选型设计	159
5.4.1 压缩机的选取	159
5.4.2 冷凝器的选型	165
5.4.3 蒸发器的选型	170
5.4.4 膨胀阀的选型	172
5.4.5 其他制冷设备的选型	174
5.5 制冷系统的设计和布置的一般原则	179
5.6 中小型氨制冷系统设计实例	182
5.6.1 设计依据	182
5.6.2 设计计算	183
5.6.3 制冷系统的原理图及系统图	196
5.6.4 材料明细表	197
5.7 小型氟冷库设计案例	197
附录	203
参考文献	209

第 1 章 冷库及食品冷藏知识基础

1.1 食品冷加工技术基础

冷库的储存对象是食品，从常识中我们可以知道不同的食品有其适当的储存温度和湿度，因此，要做好食品的冷藏工作，首先要对食品的组成和特性有所了解。

1.1.1 食品的成分

食品的成分可分为有机和无机，属于有机有蛋白质、糖、脂肪、维生素等，属于无机的有水和矿物质等。

(1) 蛋白质。蛋白质是一类复杂的有机化合物，是高分子的含氮物质。它是一切生命活动的基础，是构成生物体细胞的主要原料。

蛋白质由多种氨基酸组合而成。蛋白质在动物性食品中含量较多，植物性食品中含量一般较少，如牛肉含 20.1%，猪肉含 16.9%，鸡蛋含 14.8%，鲤鱼含 18.1%，苹果含 0.2%，番茄含 0.6%。但大豆等植物性质食品所含的蛋白质较多。

由于微生物的作用，蛋白质能分解而产生氨、硫化氢等各种有毒的物质，这种现象称为腐败。

(2) 糖类。糖是由碳、氢、氧三种元素组合而成的有机物质，其中氢和氧的比例对绝大多数糖来说，是与水中的氢和氧的比例一样的。因此，糖又称为碳水化合物。糖是供给人体热量的最主要和最经济的原料。在动物性食品中，糖的含量不多，约占 2%；在植物性食品中含有大量糖，约占 80%。

水果、蔬菜中的糖，在保管和运输过程中，由于呼吸作用被空气中的氧氧化成二氧化碳和水并放出热量；在缺氧呼吸时，则生成酒精和二氧化碳。

(3) 脂类。脂类可分为脂肪与类脂两类。

脂肪是由各种不同的脂肪酸和甘油结合而成的三脂肪酸甘油酯。

构成脂肪的脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。

类脂是一些类似脂肪的物质，其理化性质与脂肪相似，但其化学组成中，除含有脂肪酸、甘油等外，还含有磷、胺基、糖等成分。

脂肪的氧化分解过程与温度有关。温度高时，氧化作用进行得快些。所以，降低温度能保证脂肪的质量。

(4) 维生素。维生素是低分子的有机化合物，它在食品中含量很少，但对人体的新陈代谢起着重要作用。

维生素分为脂溶性维生素和水溶性维生素两大类，脂溶性维生素包括维生素 A、D、E、K，水溶性维生素包括维生素 B₁、B₂、B₆、B₁₂、C、P、PP 及生物素等。

(5) 酶。酶是生物细胞中所产生的一种特殊蛋白质。酶在食品中的含量很少,起着生物催化剂的作用,它能加速生物化学反应,但本身不起变化,也不参加到反应后的生成物中去。

酶的性质与蛋白质相似。酶的作用强弱与温度有关。酶不耐热,一般在 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 时活性最强,而低于 0°C 时或高于 70°C 时,酶的活性即变弱终止。每一种酶都有其最适宜的温度。

各种酶有不同的最适宜的酸碱值(pH值)。一般在中性或弱酸、弱碱的介质中,酶具有最大的活性。

(6) 水。一切食品中均含有水分,但含量多少不同。有的食品含水量较多,如水果、蔬菜中约含95%,肉含50%,鱼含70%~80%;有的食品含水量较少,如乳粉含3%~4%,食糖含1.5%~3%。

食品中的水分以游离水和胶体结合水两种形式存在。游离水含于食品的汁液和细胞液中,是良好的溶剂。胶体结合水是位于胶体空间以及胶粒周围水膜中的水。胶体结合水与游离水的性质不同,它失去了普通水的流动性,比热容较游离水小些。其冻结点较游离水低得多,一般在 -25°C 以下。

食品中由于含有大量水分,形成了微生物生长繁殖的良好条件,容易引起食品发生质量变化。

(7) 矿物质。矿物质是构成生物组织细胞所不可缺少的成分,它直接参加机体的新陈代谢过程,维持渗透压以及血液、淋巴等生物体液的酸碱值。

各种食品中都含有少量的矿物质,一般占其总质量的0.3%~1.5%。

食品中所含的矿物质如钠、钾、钙、镁、铁、磷、碘等,是以可溶性盐类和有机化合物的形态存在的。在鱼、肉和蛋品中多半是酸式盐,在乳品、水果、蔬菜中主要是碱式盐。

1.1.2 食品冷藏保鲜原理

新鲜食品在常温下储存,由于食品中微生物和酶的作用,以及呼吸作用和化学作用,都会消耗食品的有益成分,发生腐败变质。微生物的生命活动和酶的催化作用,都需要在一定的温度和水分条件下进行。如果降低储藏温度,微生物的生长、繁殖就会减慢,酶的活性也会减弱,就可以延长食品的储藏期。此外,低温下微生物的新陈代谢过程会被破坏,其细胞内积累的有毒物质及其他过氧化物能导致微生物死亡。当食品的温度降至 -18°C 以下时,食品中90%以上的水分都会变成冰,所形成的冰晶还可以以机械的方式破坏微生物细胞,使其或失去养料或部分原生质凝固、脱水等,造成微生物死亡。因此,冻结食品可以更长期地保持食品原有的品质。

食品的冷藏工艺指的是食品的冷却、冷冻、冷藏和解冻,即利用低温保藏和加工食品的方法。

冷却是将食品的温度快速降低到指定的温度,但应高于食品汁液的冻结点。一般冷却食品的温度为 $\pm 4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 。在这样的温度下,既能延长食品的保藏期限,又能最大限度地保持食品的新鲜状态。但由于在这样的温度下,部分微生物仍能生长、繁殖,因此,经过冷却的鱼类食品只能作短期保藏。

冻结是将食品中所含的水分大部分冻结成冰,也就是将食品的温度快速降低到低于食品汁液的冻结点,并达到某一指定温度。食品冻结后,由于低温和缺水,部分微生物被杀死,其余微生物活动极弱。因此,经过冻结的食品可以作较长时期的保藏。冻结依其速度的快慢

分为速冻、快速冻结和一般冻结，其中速冻和快速冻结更能保证食品的质量并使食品具有更大的可逆性。

冷藏是在维持食品冷加工最终温度的条件下，将食品进行不同期限的保藏。根据冷加工最终温度不同，食品的冷藏可分为冷却物冷藏（高温冷藏）和冻结物冷藏（低温冷藏）两种。

解冻是将冻结食品中的冰晶融化为水，恢复到冻结前的新鲜状态。解冻也是冻结的逆过程，对于作为加工原料的冻结品，一般只需升温至半解冻状态即可。

1.1.3 食品在冷加工过程中的变化

食品在冷加工即冷冻保鲜过程中会发生一系列的变化，这些变化有些是食品在储存中的共性变化，有些和食品储存的低温环境有关。了解哪些是由于低温使食品发生了变化，将有助于我们确定正确的冷加工工艺，提高食品冷冻加工和保存的保鲜效果。

1. 食品在冷却及冷却储藏中的变化

1) 水分蒸发

食品在冷却时，不仅食品的温度下降，食品中汁液的浓度也会有所增加，食品表面水分蒸发，出现干燥现象。当食品中的水分减少后，不但造成质量损失（俗称干耗），而且使植物性食品失去新鲜饱满的外观，当减重达到 5% 时，水果、蔬菜会出现明显的凋萎现象。肉类食品在冷却储藏中也会因水分蒸发而发生干耗，同时肉的表面收缩、硬化，形成干燥皮膜，肉色也有变化。鸡蛋在冷却储藏中，因水分蒸发而造成气室增大，使蛋内组织挤压在一起而造成质量下降。

2) 寒冷收缩

宰后的牛肉在短时间内快速冷却，肌肉会发生显著收缩现象，以后即使经过成熟过程，肉质也不会十分软化，这种现象叫寒冷收缩。一般来说，宰后 10h 内，肉温降低到 8℃ 以下，容易发生寒冷收缩现象。但此温度与时间并不固定，成牛与小牛，或者同一头牛的不同部位的肉都有差异。例如，成牛肉温低于 8℃，而小牛则肉温低于 4℃ 即发生寒冷收缩。按照过去的想法，肉类宰杀后要迅速冷却，但近年来由于冷却肉的销售量不断扩大，为了避免寒冷收缩的发生，国际上正研究不引起寒冷收缩的冷却方法。

3) 冷害

在冷却储藏过程中，当储藏温度低于某一界限温度时，有些果蔬正常的生理机能遇到障碍，将失去平衡，这称为冷害。冷害症状随品种的不同而各不相同，最明显的症状是表皮出现软化斑点和核周围肉质变色，像西瓜表面凹斑、鸭梨的黑心病、马铃薯的发甜等。表 1-1 列举了一些水果、蔬菜发生冷害的界限温度与症状。

另有一些水果、蔬菜，在外观上看不出冷害的症状，但冷藏后再放到常温中，就丧失了正常的促进成熟作用的能力，这也是冷害的一种。例如香蕉，如放入低于 11.7℃ 的冷藏室内一段时间，拿出冷藏室后表皮会变黑成腐烂状，俗称“见风黑”，而生香蕉的成熟作用能力则已完全失去。一般来讲，产地在热带、亚热带的果蔬容易发生冷害。应当强调指出，需要在低于界限温度的环境中放置一段时间冷害才能显现，症状出现最早的品种是香蕉，像黄瓜、茄子一般则需要 10~14d 的时间。

4) 微生物的繁殖

食品中的微生物若按它们的适应温度划分可分为低温细菌、中温细菌和高温细菌。在冷却、冷藏状态下，微生物特别是低温微生物，其繁殖和分解作用并没有被充分抑制，只是速

度变得缓慢了一些，其总量还是增加的，如时间较长，就会使食品发生腐败。低温细菌的繁殖在 0°C 以下变得缓慢，但如果要它们停止繁殖，一般来说温度要降到 -10°C 以下。对于个别低温细菌，在 -40°C 低温下仍有繁殖现象。

表 1-1 果蔬发生冷害的界限温度与症状

果 蔬 种 类	界限温度/ $^{\circ}\text{C}$	症 状
香蕉	11.7~13.8	果皮变黑，催熟不良
西瓜	4.4	凹斑，风味异常
黄瓜	7.2	凹斑，水浸状斑点，腐败
茄子	7.2	表皮变色，腐败
马铃薯	4.4	发甜，褐变
番茄（熟）	7.2~10	软化，腐烂
番茄（生）	12.3~13.9	催熟果颜色不好，腐烂

5) 淀粉老化

普通淀粉大致由 20% 的直链淀粉和 80% 的支链淀粉构成，这两种成分形成微小的结晶，这种结晶的淀粉叫 β -淀粉。淀粉在适当温度下，在水中溶胀分裂形成均匀的糊状溶液，这种作用叫糊化作用。糊化作用实质上是把淀粉分子间的氢键断开，水分子与淀粉形成氢键，形成胶体溶液。糊化的淀粉又称为 α -淀粉。食品中的淀粉是以 α -淀粉的形式存在的，但是在接近 0°C 的低温范围内，糊化了的 α -淀粉分子又自动排列成序，形成致密的高度晶化的不溶性淀粉分子，迅速出现了淀粉的 β 化，这就是淀粉的老化。老化的淀粉不易为淀粉酶作用，所以也不易被人体消化吸收。水分含量在 30%~60% 的淀粉最易老化，含水量在 10% 以下的干燥状态及在大量水中的淀粉都不易老化。淀粉老化作用的最适宜温度是 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。例如，面包在冷却储藏时淀粉迅速老化，味道就变得很不好。又如，土豆放在冷藏陈列柜中储存时，也会有淀粉老化的现象发生。当储存温度低于 -20°C 或高于 60°C 时，均不会发生淀粉老化现象。因为低于 -20°C 时，淀粉分子间的水分急速冻结，形成了冰结晶，阻碍了淀粉分子间的相互靠近，从而不能形成氢键，所以不会发生淀粉老化的现象。

6) 脂类的变化

冷却储藏过程中，食品中所含的油脂会发生水解、脂肪酸的氧化、聚合等复杂的变化，其反应生成的低级醛、酮类物质会使食品的味道变差，使食品出现变色、酸败、发黏等现象。这种变化非常严重时，则称为“油烧”。

2. 食品在冻结与冻藏中的变化

食品进行冷却的过程中并没有发生结构实质上的变化，但在冻结过程中，由于食品中的水将大部分冻结成冰，这种变化将对食品的结构以至质量产生很大的影响。

1) 食品冻结过程中的冰结晶

食品的冻结，是将食品中所含的水分大部分转变成冰的过程。因此，结晶表现了冻结过程最基本的实质。当食品中液态水分结成固态冰晶时，即有大量热量从食品中传出，同时食品的温度也随之降低。

(1) 食品中溶液的冻结。溶液的冻结与纯水不同，它的冻结点较水的冰点低些。溶液的冻结点、溶液的浓度、溶质的离解程度和溶剂的性质有关。

食品冻结时，溶液浓度的变化过程较普通溶液复杂得多，因为食品所含的水中溶有多种矿物质和有机物质。因此，在冻结过程中，随着汁液中的水分析出而形成冰结晶，使尚未冻结

的汁液的浓度增大, 冻结点降低。食品中剩余的汁液越少, 其浓度越大, 汁液冻结点也就越低。这样, 食品的继续冻结就需要在温度大大降低的条件下进行。

大多数食品的冻结点在 $-1\sim-2^{\circ}\text{C}$ 。含有大量溶质(糖、盐、酸)的食品, 其冻结点较低, 为 $-3.5\sim-5^{\circ}\text{C}$ 。一般食品温度在 -20°C 时, 有90%左右的水分冻结成冰。

食品的冻结最终温度越低, 被冻结的水量就越多, 因而也就有利于食品的长期保藏。一般要求食品冻结的最终温度(中心温度)为 $-12\sim-5^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 食品冻结的温度曲线和最大冰结晶生成带。食品冻结时的温度曲线是根据冻结速度而变化的, 但不论是快速冻结或慢速冻结, 在冻结过程中温度的下降可分三个阶段, 如图 1-1 所示。

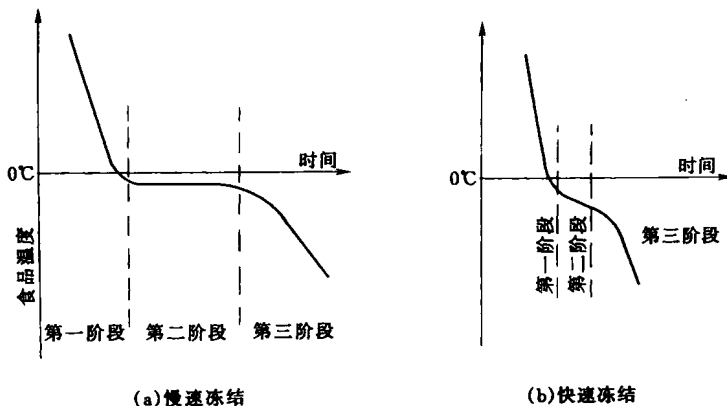


图 1-1 食品在冻结时的温度下降情况

在第一阶段, 食品的温度迅速下降, 直到降低至结晶温度为止。第二阶段即冰晶形成阶段, 以近于水平线段表示。这一阶段在 $0\sim-5^{\circ}\text{C}$, 这时食品内部80%以上的水分都已冻结, 这种大量形成冰结晶的温度范围, 称为冰结晶的最大生成带。冰结晶形成时放出的潜热相当大, 因此, 通过最大冰结晶生成带时热负荷最大, 相对需要较长的时间。当慢速冻结时, 食品内冰晶以较慢速度由表面向中心推移形成, 而食品中心温度在很长时间内处于停滞阶段, 水平线段较长。当快速冻结时, 由于强烈的热传导, 冰晶的形成很快地从食品表面层推移到食品中心, 因此水平线段很短。最后, 进入第三阶段, 此线段表明冻结后的食品继续冻结到规定的最终温度的降温过程。

(3) 冻结速度与冻结晶的分布。食品中的水分分布大致可分为两部分: 细胞内的水分和细胞间隙中的水分。在食品的细胞间隙内, 水蒸气张力比细胞内小, 盐的浓度也小些, 冻结点则高些。当食品冻结时, 细胞间隙内水分首先结成冰晶。由于冰的饱和蒸汽压比水低, 因此, 在食品冻结初期, 当细胞外的水分已冻成冰, 而细胞内的水分因冰点较低仍处在液体状态时, 由于两者饱和蒸汽压的不同, 致使细胞中的水分以蒸汽状态透过细胞膜而扩散至细胞间隙中。如果是慢速冻结, 就使大部分水冻结于细胞间隙内, 并形成较大的冰结晶。水在转变成冰时, 体积增大 $9\%\sim10\%$, 结果使细胞因受压挤而变形, 甚至造成细胞膜破裂。于是当食品解冻时, 冰晶融化成水, 食品汁液流失。

如果采用快速冻结, 由于冰结晶形成的速度大于水蒸气的扩散速度, 因而冰结晶可均匀地分布在食品细胞内与细胞间隙中, 并形成小的结晶体, 这样就不会使细胞变形和破裂。

食品在快速和慢速冻结时, 其组织内冰结晶的分布如图 1-2 所示。

2) 食品在冻结与冻藏中的变化

(1) 体积膨胀产生内压。水在 4°C 时体积最小, 因而密度最大, 为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。 0°C 时水结成冰, 体积约增加 9%, 在食品中体积约增加 6%。冰的温度每下降 1°C , 其体积收缩 $0.005\%\sim 0.01\%$ 。二者相比, 膨胀比收缩大得多, 所以含水分多的食品冻结时体积会膨胀。

食品冻结时, 首先是表面水分结冰, 然后冰层逐渐向内部延伸。当内部的水分因冻结而体积膨胀时, 会受到外部冻结层的阻碍产生内压, 称为冻结膨胀压, 纯理论计算其数值可高达 8.7MPa 。

(2) 干耗。食品的水分散失, 从而造成质量减小、品质下降的现象叫“干耗”。干耗在冷冻和冻藏的过程中都是存在的。

冻结过程中干耗发生的原因是冻结室内的空气未达到水蒸气的饱和状态, 其蒸汽压小于饱和水蒸气压, 而鱼、肉等含水量较高, 其表面层接近饱和水蒸气压, 在蒸汽压差的作用下食品表面水分向空气中蒸发, 表面层水分蒸发后内层水分在扩散作用下向表面层移动。由于冻结室内的空气连续不断地经过蒸发器, 空气中的水蒸气凝结在蒸发器表面, 减湿后常处于不饱和状态, 所以冻结过程中的干耗在不断进行着。

冻藏过程中干耗产生的原因类似于冻结过程, 区别在于冻藏过程中水分是以冰晶升华的形式散失的。干耗开始时仅仅在冻结食品的表面层发生冰晶升华, 即出现所谓的脱水多孔层, 长时间后逐渐向里推进, 达到深层内部冰晶升华, 脱水多孔层向内扩散, 从而使内部的脱水多孔层不断加深。这不仅使冻结食品脱水减重, 造成质量损失, 而且由于在冰晶升华的地方成为细微空穴, 大大增加了速冻食品与空气的接触面积, 脱水多孔层极易吸收外界向内扩散的空气及冻藏库内的各种异味, 容易引起强烈的氧化反应。在氧的作用下, 动物性食品脂肪氧化酸败, 表面变黄、变褐, 食品的外观受到损害, 滋味、营养价值都变差, 这种现象称为冻结烧 (freezer burn)。食品冻结烧部位的含水率非常低, 为 $2\%\sim 3\%$, 此时蛋白质也脱水变性, 食品的品质严重下降。

(3) 变色。食品在冻结与冻藏过程中都会出现变色现象。除了因制冷剂泄漏造成的食品变色以外 (如氨泄漏时, 胡萝卜的红色会变成蓝色; 洋葱、卷心菜、莲子的白色会变成黄色), 其他凡是在常温下所发生的变色现象, 在长期的冻藏过程中都会发生, 只是变化速度显得十分缓慢。

冻结过程中发生的变色主要是冷冻水产品的变色, 从外观上看通常有褐变、黑变、褪色等现象。水产品变色的原因包括自然色泽的分解和产生新的变色物质两方面。自然色泽被破坏, 如红色鱼皮的褪色、冷冻金枪鱼的变色等, 产生新的变色物质如虾类的黑变、鳕鱼肉的褐变等。变色不但使水产品的外观变差, 有时还会产生异味, 影响冻品的质量。

(4) 蛋白质冻结变性。鱼、肉等动物性食品中, 构成肌肉的主要蛋白质是肌原纤维蛋白质。在冻结过程中, 肌原纤维蛋白质会发生冷冻变性, 表现为盐溶性降低、ATP 酶活性减小、盐溶液的黏度降低、蛋白质分子产生凝集使空间立体结构发生变化等。蛋白质变性后的肌肉组织持水力降低, 质地变硬, 口感变差, 作为食品加工原料时, 加工适宜性下降。如用蛋白质冷冻变性的鱼肉作为加工鱼糜制品的原料, 其产品会缺乏弹性。

(5) 组织变化。由于植物组织在冻结时受到的损伤要比动物组织大, 所以蔬菜、水果类

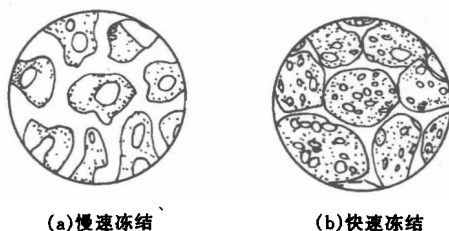


图 1-2 食品组织内冰结晶的分布情况

解冻后失去弹性。

要防止冻藏过程中因冰晶成长给冷冻食品带来的不良影响,可以从以下两方面加以防止:①采用深温速冻方式,使食品中 90% 的水分在冻结过程中来不及移动,就在原位变成极微细的冰晶,这样形成的冰晶的大小及分布比较均匀。同时由于是深温速冻,冻结食品的终温比较低,食品的冻结率提高了,残留的液相少,也可降低冻藏中此类冰晶的成长。②冻藏温度应尽量低,并且少变动,特别要避免 -18°C 以上温度的变动。

3. 食品在解冻过程中的变化

冻结食品在解冻过程中同样存在污染、干耗等问题,但问题最大的是体液流失。

食品经过解冻后,内部冰晶融化成水,如不能被组织、细胞吸收恢复到原来的状态,这部分水分就分离出来成为流失液。流失液不仅是水,还包括溶于水的成分,如蛋白质、盐类、维生素类等。体液流失使食品的质量减少,营养成分、风味亦受损失。因此,流失液的产生率成为评定冻品质量的指标之一。

解冻时水分不能被组织吸收,是因为食品中的蛋白质、淀粉等成分的持水能力,因冻结和冻藏中的不可逆变化而丧失,由保水性变成脱水性所致。体液的流出是由于肉质组织在冻结过程中产生冰结晶受到的机械损伤所造成的。损伤严重时,肉质间的空隙大,内部冰晶融化的水通过这些空隙向外流出;机械损伤轻微时,内部冰晶融化的水因毛细管作用被保留在肉质中,加压时才向外流失。冻结时食品内物理变化越大,解冻时体液流失就越多。

一般来说,如果食品原料新鲜,冻结速度快,冻藏温度低且波动小,冷藏期短,则解冻时流失液少。若水分含量多,流失液亦多。如鱼和肉比,鱼的含水量高故流失液亦多。叶菜类和豆类相比,叶菜类流失液多。经冻结前处理如加盐、糖、磷酸盐后流失液少。食品原料切得越细小,流失液亦越多。

1.1.4 食品冷加工技术

1. 食品的冷却

食品的冷却方法常用的有以下几种:冷风冷却、真空冷却、冷水冷却、碎冰冷却。

按食品的种类和冷却要求的不同,使用不同的冷却方法,一般方法如表 1-2 所示。

表 1-2 冷却方法与适用食品

冷却方法	肉	禽	蛋	鱼	水果	蔬菜	烹调食品
冷风冷却	○	○	○		○	○	○
冷水冷却		○		○	○	○	
真空冷却						○	
碎冰冷却		○		○	○	○	

注:○表示可以选择该种方式。

冷风冷却:指用制冷机通过换热使得空气的温度降低并送入冷库对食品进行冷却降温,此种方法温度范围广,对食品种类没有选择性,但由于空气的低比热容使得食品降温速度慢。

冷水冷却:冷水冷却是通过冷水把食品冷却到指定的温度,水温一般在 $0\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。水和空气相比比热容大,因此冷却速度快,而且没有干耗。若能利用温度比较低的地下水冷却,可以大量节省能源。冷水冷却的最大问题是易引起食品的腐败。产生的原因主要是冷却食品带有较多的细菌,冷却水反复使用,水中细菌越来越多。这些细菌大多数为低温性细菌,它们

在土壤、空气中都能见到，即使在 -10°C 下也会生长和繁殖。

真空冷却：利用真空降低水的沸点，促进食品中的水分蒸发，食品中水分蒸发所需的潜热来自食品本身，从而使食品降低温度而冷却。真空冷却不仅对蔬菜、水果等植物性生鲜食品具有良好的冷却效果和保鲜作用，而且对动物性生鲜食品如肉、鱼、禽等也同样有效。因为肉、鱼、禽等生鲜食品含有足够的水分，在一定的真空条件下，也能通过其部分水分的迅速蒸发而快速降温。真空冷却的食品温度均匀，内外不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。这对抑制微生物和酶的作用十分重要，有利于保质期的延长。这种方法的主要缺点为干耗较大，比冷风冷却高 $1\%\sim 2\%$ 。

2. 食品的冻结

目前使用的食品冷冻方法很多，按冷却介质与食品接触的状况可将食品速冻分为空气冻结法、直接接触冻结法和间接接触冻结法三大类，每一类冻结方法又包含多种形式的冻结装置，如空气冻结法包括静态空气冻结与连续输送空气冻结。在直接接触冻结方法中，有浸渍冻结、超低温制冷剂（如液氮、液态二氧化碳、特种氟利昂）喷淋冻结等。在间接接触冻结方法中，主要有金属板接触式冻结。下面分别介绍三种冻结方法及装置。

1) 空气冻结法

空气冻结法又称鼓风法，是利用冷空气作流动介质进行冻结的方法，在冻结过程中，冷空气以自然对流或强制对流的方式与食品换热。由于空气的导热性能差，与食品间的传热系数小，故该法中食品在空气中冻结的时间较长。但是由于空气资源丰富，无任何毒副作用，空气的热力学性质早已为人们所熟悉，而且该冻结方法适用的冻结原料的种类和尺寸规格范围较宽，所以空气冻结法仍是目前食品行业中应用最广泛的一种冻结方法。

图 1-3 所示为一种隧道式空气冻结装置，其基本工作过程是：冷空气在隧道中循环，食品通过隧道时被冻结。根据食品通过隧道的方式不同，又可将隧道式冻结分为传送带式、吊篮式、推盘式等几种。

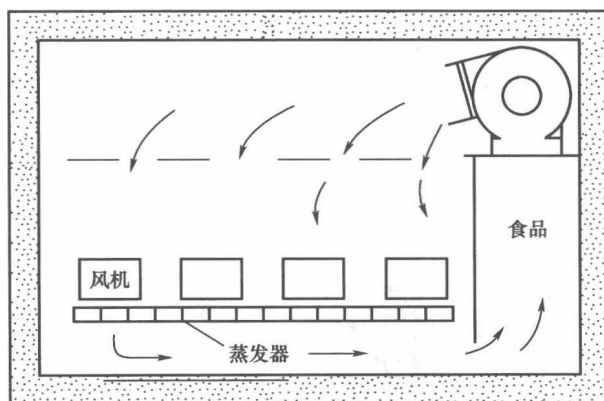


图 1-3 隧道式空气冻结装置结构

2) 直接接触冻结法

散状或包装食品在与低温介质或超低温制冷剂直接接触情况下进行冻结的方法称为直接接触冻结法，简称直接冻结。

直接接触冻结法中常用的制冷介质称为不冻液。由于直接接触冻结法中食品与不冻液直接接触，所以要求不冻液必须具备一定的条件，如无毒、纯净、无异味、不染色、不易燃、

不易爆等。另外，不冻液与食品接触后，不应该与食品发生化学反应，即不能改变食品原有的成分或性质。常用的不冻液有盐水、糖溶液、丙三醇、液氮、液态二氧化碳、液态氟利昂等。

图 1-4 所示为法国 20 世纪 70 年代初研制的盐水浸渍冻结沙丁鱼的装置。装置中与盐水接触的容器用玻璃钢制成，有压力的盐水管用不锈钢材料，其他盐水管用塑料，从而解决了盐水的腐蚀问题。

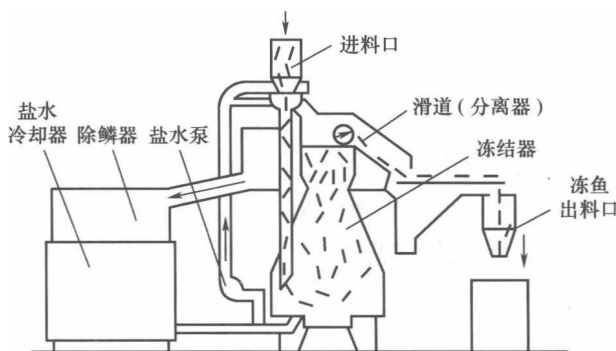


图 1-4 连续式盐水浸渍冻结装置

鱼在进料口与冷盐水混合后进入进料管，在进料管内随盐水涡流下旋，到达冻结器的底部。冻结后，鱼体密度减小，慢慢浮至液面，由出料机构送到滑道，在此处鱼与盐水分离，鱼进入出料口，冻结完毕。在冻结器内，盐水与鱼换热后被升温，密度减小，所以冻结器内的盐水具有一定温度梯度，上部温度高，下部温度低。在冻结器上部，盐水溢出并与鱼分离，然后盐水进入除鳞器，除去鳞片等杂物，重新返回盐水箱，与盐水冷却器直接换热后降温，完成一次循环。

3) 间接接触冻结法

间接接触冻结法是把食品放在由制冷剂（或载冷剂）冷却的板、盘带或其他冷壁上进行冻结的一种方法。该法中食品与冷壁直接接触，而与制冷剂（或载冷剂）间接接触。对于固态食品，可将食品加工成为具有平坦表面的形状，使冷壁与食品的平面接触。对于液态食品，则用泵送方法使食品通过冷壁进行热交换，冻成半融状态。

图 1-5 所示为一种接触式卧式平板冻结装置。

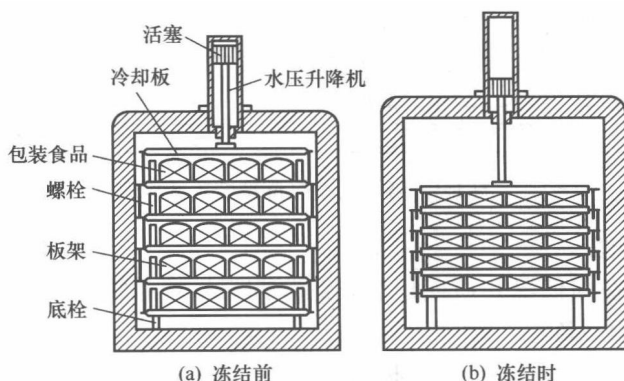


图 1-5 卧式平板冻结装置