

康景隆 编著

食品流态 化冻结技术

5.7
中国商业出版社

食品流态化冻结技术

康景隆 编著

中国商业出版社

登记证号：（京）073 号

食品流态化冻结技术

康景隆 编著

•

中国商业出版社出版发行

（北京复兴门内大街 45 号）

新华书店总店科技发行所经销

广益印刷厂印刷

•

787×1092 毫米 32 开 4.625 印张 99 千字

1991 年 9 月第 1 版 1991 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—2100 册 定价 3.50 元

ISBN 7-5044-1040-3/TS·140

内 容 介 绍

本书较系统地介绍了食品流态化冻结技术。其中包括快速冻结原理，食品流态化方法，食品流态化冻结装置设计与计算、安装、操作和维护检修，果蔬类食品流态化冻结工艺等。理论联系实际，深入浅出，可做为食品加工单位、研究单位、设计部门技术人员、大专院校师生的参考用书。

EAD 67/09

编者的话

一百多年前，工业制冷已被用于冻结肉类食品。随着冷藏技术的发展，食品的快速冻结，越来越受到人们的重视。由于速冻食品基本保持了原来食品的色、香、味，具有较高的食用价值，因此，国内外速冻食品的销售量逐年增加。为了满足肉类、水产类、禽类、果蔬类食品快速冻结的需要，各种快速冻结方法和冻结装置的研究工作十分活跃，发展相当迅速。

目前，我国食品工业正处在发展阶段，肉类、禽类、水产类、果蔬类等生鲜食品的贮藏，除了少部分采取保鲜贮藏外，主要手段是低温冷藏，而作为低温冷藏前的冻结加工，多年来则采用冻结间冻结方法。这种冻结方法工艺落后，时间长，效率低，产品质量欠佳，已远远落后于国外的发展水平。随着人民生活水平的提高，食品结构正逐渐发生变化，人们对食品的种类、鲜度、色、香、味以及包装的要求越来越高。近几年来，小包装食品、冷冻方便食品以及速冻蔬菜、水果产品颇受消费者的欢迎，逐步成为人们日常生活中的必需品。尤其是速冻果蔬产品在我国北方地区已出现大量需求的势头。而普通冻结间冻结的方法已不能满足要求。因此，国内研究单位正抓紧研制结构紧凑的各种类型的冻结装置。自我国第一台流态化单体快速冻结装置，由辽宁省商业科学技术研究所研制成功后，到目前为止已推广应用100多台。我们相信，我国的食品快速冻结技术必将有一个较大的发

展。完全依赖于进口的局面很快就会结束。

但是，据了解有关这方面的专业书籍还不多，尚不能满足广大制冷工作者的实际需要。为此，编写了《食品流态化冻结技术》一书。

本书对目前国内外广泛采用的流态化（IQF）冻结技术作了较系统的介绍。

本书由中国制冷学会副秘书长、高级工程师曹德胜审定。在编写过程中，得到了辽宁省制冷学会的大力支持，在此，表示衷心感谢。

由于本人水平所限，书中不足之处，恳望广大读者指正。

编 者

1991年元月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 快速冻结原理.....	(1)
第二节 影响快速冻结食品质量的因素.....	(5)
一、原料的性质.....	(5)
二、冻结前的加工处理.....	(5)
三、快速冻结过程的各种因素.....	(6)
四、冷藏、运输、销售及家庭储存等 环节的影响.....	(9)
第三节 快速冻结的优点.....	(10)
第二章 食品流态化冻结方法	(11)
第一节 气固两相流体的运动形式.....	(11)
第二节 流化床流体力学原理.....	(12)
一、食品流态化冻结原理.....	(12)
二、临界流化速度与操作速度.....	(14)
三、流化床压降.....	(16)
四、不良流化现象.....	(18)
五、半流态化与全流态化.....	(22)
第三节 流化床中的传热.....	(24)
一、流化床中的传热.....	(25)
二、快速冷却、表层冻结及深温冻结.....	(31)
第三章 食品流态化冻结装置	(36)

第一节	食品流态化冻结装置的分类	(36)
第二节	带式流态化冻结装置	(37)
一、	一段带式流态化冻结装置	(37)
二、	两段带式流态化冻结装置	(40)
第三节	振动流态化冻结装置	(44)
一、	往复式振动流态化冻结装置	(44)
二、	直线振动流态化冻结装置	(47)
第四节	斜槽式流态化冻结装置	(50)
第五节	空气冲霜	(52)
一、	空气冲霜的意义	(52)
二、	空气冲霜工作原理	(53)
三、	空气冲霜工艺流程	(55)
四、	空气冲霜系统设计与计算	(55)
第四章	食品流态化冻结装置的设计与计算	(59)
(第1节)	设计原则	(59)
(11)	一、确定冻结食品品种	(59)
(11)	二、确定主要技术参数	(60)
(21)	三、确定装置的结构形式	(61)
(31)	四、设计计算	(61)
(41)	五、设计资料	(62)
(第2节)	食品流态化冻结装置的设计计算	(62)
(51)	一、流化床传热计算	(62)
(52)	二、冻结时间计算	(62)
(62)	三、传送装置有关参数的计算	(62)
(72)	四、确定装置的主体尺寸	(64)
	五、流化床有关参数的计算	(64)
	六、耗冷量计算	(66)

七、冷却面积计算.....	(69)
八、流体流量计算.....	(70)
九、压力降计算.....	(70)
十、风机选择.....	(71)
第三节 食品流态化冻结装置的设计计算实例.....	(72)
一、设计条件.....	(72)
二、装置结构形式.....	(73)
三、设计计算.....	(74)
第五章 食品流态化冻结装置的安装、	
操作及维护检修.....	(83)
第一节 流态化冻结装置的安装.....	(83)
一、安装前的准备工作.....	(83)
二、安装.....	(84)
第二节 流态化冻结装置的操作.....	(87)
一、空载试运转.....	(87)
二、负载运行操作.....	(89)
第三节 流态化冻结装置的维护及检修.....	(91)
一、装置的维护保养.....	(91)
二、设备检修方法及注意事项.....	(92)
第六章 蔬菜、水果流态化冻结工艺.....	(95)
第一节 蔬菜流态化冻结生产操作工艺.....	(95)
一、蔬菜流态化冻结工序.....	(95)
二、常见蔬菜流态化冻结生产操作工艺.....	(101)
第二节 水果流态化冻结生产操作工艺.....	(110)
一、水果流态化冻结工序.....	(110)
二、几种水果流态化冻结生产操作工艺.....	(111)

附录一	GB 8863—88	速冻食品技术规程	(117)
附录二	GB 8864—88	速冻菜豆	(124)
附录三	GB 8865—88	速冻豌豆	(128)
参考文献			(132)

第一章 概 述

第一节 快速冻结原理

所谓快速冻结，是指食品迅速通过其最大冰结晶区域，当平均温度达到 -18°C 时而迅速冻结的方法。食品在冻结过程中会发生各种各样的变化，如物理变化（体积、导热性、比热、干耗变化等），化学变化（蛋白质变性、色变等），细胞组织变化以及生物和微生物的变化等。快速冻结食品的特点是最大限度地保持了食品原有的营养价值和色香味。也就是说，在冻结过程中必须保证使食品所发生的上述各种变化达到最大可逆性。

动植物食品的构成，从物理状态分析，主要由固体、液体和气体组成。固体成分中还有一部分能够溶于水的物质。这部分物质溶于食品的水分中组成水溶液。微量的气体大部分溶解在水溶液中。食品中所含有的水分有两种：一种是自由水（也叫游离水），即食品的汁液和细胞中含有的水分。这些水分子能够自由地在液相区域内移动，其冻结点在冰点温度下。另一种是胶体结合水，即构成胶粒周围水膜的水。这部分水分子被像蛋白质、碳水化合物那样巨大的分子规整地吸附着，其冰点比自由水低得多。

研究表明，冻结过程中生成冰结晶的数量和大小对于冻结过程的可逆性程度具有很大的意义。冻结速度越快，形成

的冰结晶就越细小、均匀，而不致于刺伤细胞造成机械损伤。因为有机体内的液汁都是非饱和的有机溶液，在低于冰点时，首先是自由水冻结；随着温度的下降，非饱和的有机溶液继续浓缩；最后，剩余的部分以低共熔混合物的形式均匀冻结。因为食品细胞组织未被破坏，所以具有保持原有食品的营养价值和色香味等优点。相反，缓慢冻结形成的较大冰结晶会刺伤细胞，破坏组织结构，解冻后汁液流失严重，以致不能食用。

在冻结过程中，食品的表层首先结冰，随着环境温度的不断下降，食品内部开始结冰。当大部分水分结冰时，整个食品被冻硬。这种在冻结过程中食品内部水分的结冰百分比我们叫做结冰率，其近似计算式为：

$$\psi = \left(1 - \frac{t_{\text{冰}}}{t}\right) \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 ψ ——结冰率（%）；

$t_{\text{冰}}$ ——食品的冰点（°C）；（见表 1-1）

t ——食品的终了温度（°C）。

示例：已知青豌豆的冰点温度为 -1.1°C ，冻结到 -22°C ，求其结冰率 ψ

$$\psi = 1 - \frac{t_{\text{冰}}}{t} = 1 - \frac{-1.1}{-22} = 1 - 0.05 = 0.95 = 95\%$$

即在 -22°C 时青豌豆内全部水分的 95% 已冻结。

结冰率与冻结终止温度有关，与冻结速度无关。但是，为了保证食品的冻结质量，应以最快的冻结速度通过最大冰结晶生成区。

表 1-1 各种食品的冰点

名 称	含水量%	冻结点°C	名 称	含水量%	冻结点°C
牛 肉	72	-1.7~-2.2	椰 子	83	-2.8
猪 肉	35~72	-1.7~-2.2	柠 檬	89	-2.1
羊 肉	60~70	-1.7	桔 子	90	-2.2
家 禽	74	-1.7	青刀豆	83.9	-1.3
鲜 鱼	73	-1~-2	龙须菜	94	-2
对 虾	76	-2.0	甜 菜	72	-2
牛 奶	87	-2.8	卷心菜	91	-0.5
蛋	70	-2.2	胡萝卜	83	-1.7
兔 肉	60	-1.7	芹 菜	94	-1.2
苹 果	85	-2	黄 瓜	96.4	-0.8
杏	85.4	-2	韭 菜	88.2	-1.4
香 蕉	75	-1.7	洋 葱	87.5	-1
櫻 桃	82	-4.5	青豌豆	74	-1.1
葡 萄	82	-4	土 豆	77.8	-1.8
柑 桔	86	-2.2	南 瓜	90.5	-1
桃 子	86.9	-1.5	萝 卜	93.6	-2.2
梨	83	-2	菠 菜	92.7	-0.9
菠 萝	85.3	-1.2	西红柿	94	-0.9
李 子	86	-2.2	芦 笋	93	-2.2
杨 梅	90	-1.3	茄 子	92.7	-0.9~-1.6
西 瓜	92.1	-1.6	蘑 菇	91.1	-1.3
甜 瓜	92.7	-1.7	青 椒	92.4	-1.1~-1.9
草 莓	90.0	-1.17	甜玉米	73.9	-1.1~-1.7

根据试验，对于含水量为76%的肉类，其结冰率为：
 -10°C时84%，-20°C时90%，-30°C时92%，-40°C
 时100%，全部水量冻结，即达到低共熔冰晶点。

表 1-2 各种食品的结冰率 %

食品名称	温 度 (°C)										
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-12.5
肉类、家禽类	0~25	52~60	67~73	72~77	75~80	77~82	79~84	80~85	81~88	82~87	85~89
鱼类	0~45	0~68	32~77	45~82	84	85	87	89	90	91	92
蛋、菜类	60	78	84.5	81	89	90.5	91.5	92	93	94	94.5
乳	45	68	77	82	84	85.5	87	88.5	89.5	90.5	92
西红柿	30	60	70	76	80	82	84	85.5	87	88	89
苹果、梨、土豆	0	0	32	45	53	58	62	65	68	70	74
大豆、萝卜	0	28	50	58	64.5	68	71	73	75	77	80.5
橙子、柠檬、葡萄	0	0	20	32	41	48	54	58.5	62.5	69	72
葱、豌豆	10	50	65	71	75	77	79	80.5	82	83.5	86
櫻桃	0	0	0	20	32	40	47	52	55.5	58	63

第二节 影响快速冻结食品 质量的因素

快速冻结食品的质量是否良好，与冷加工过程的各个环节有直接关系，其主要影响因素有：

一、原料的性质

1. 初始质量及冻结的可能性

具备冻结加工条件的食品，初始质量好坏直接影响速冻食品的质量。一般认为，初始质量越好或新鲜度越高，其冻结加工质量也就越好。对于果蔬类食品，采摘期、采摘方式、虫害、农药以及成熟度等是影响初始质量的主要因素。收获时间过早或过晚、虫害和农药污染严重，以及采摘时造成机械损伤等都不利于冻结加工。对于肉类食品，屠宰前家禽的安静休息、冲洗干净，宰杀放血干净卫生，胴体污染限制到最小程度以及对胴体进行适当冷却等，都是保证冻结质量的重要措施。为了保证鱼类及其他水产品的新鲜度，应在捕捞后迅速冻结。

2. 收获、屠宰或捕捞与冻结加工之间的时间间隔

实践证明，时间间隔越短，冻结加工后的食品质量越好。对于果蔬类食品，如青刀豆，收获 24 小时后再冻结加工会出现严重的脱水、变色等现象，即使采用先进的流态化冻结方法冻结，其产品质量，尤其是颜色、口感等都大大下降。

二、冻结前的加工处理

1. 果蔬类食品冻结前的加工处理

果蔬类食品冻结前的加工处理包括原料的挑选及整理、

清洗、切分、漂烫、冷却等环节。对每一环节必须认真操作，任何操作不当都会影响冻结质量。例如，在挑选、整理原料时，不能食用的部分是否摘除，大小是否均匀，清洗是否符合卫生标准，切分是否整齐，漂烫时间、温度是否达到要求，冷却温度的高低及冻结前需要包装的食品其包装是否严密等。

酶的数量及作用对于果蔬类食品冻结质量的影响尤为重要。酶是一种在有机体内促进化学转化的生物，对热十分敏感，在 -40°C 以下或 $70\sim 100^{\circ}\text{C}$ 丧失活性，因而某一品种应控制一定的漂烫时间及温度。不经过漂烫直接进行冷冻不可能完全消除其活性。个别品种因工艺要求也可不经漂烫而直接冻结。

2. 肉类食品冻结前的加工处理

为保持肉类食品鲜嫩度，冻结加工前需要有一个成熟过程，也就是在 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 的冷间内预冷却或在温度 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 的状态下高温成熟。在此过程中，应该选择最佳冷却条件和冷却方式。一般认为低温冷却的空气温度 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $86\sim 92\%$ 、流速 $0.15\sim 0.5$ 米/秒为宜。目前，国外采用了一种两段式快速冷却方法，第一段空气温度为 $-5\sim -10^{\circ}\text{C}$ ，第二段空气温度为 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。这种新工艺的优点是冷却肉质量好，即外观鲜艳、肉味鲜、干耗小。

三、快速冻结过程的各种因素

如前所述，影响速冻食品质量的关键因素是冻结速度。与冻结速度有关的各种条件都是影响速冻食品质量的具体因素。主要有以下一些：

1. 冷却介质温度的影响

在相同条件下，冷却介质温度越低冻结速度越快。国际

制冷学会推荐的冻结时间计算公式为：

$$Z = \frac{\Delta t_r}{\Delta t} \left(\frac{Px}{\alpha} + \frac{Rx^2}{\lambda} \right) \quad \text{h} \quad (1-2)$$

式中 Δt —— $t_{\text{冰}} - t_{\text{介}}$ ；

$t_{\text{冰}}$ ——食品的冰点温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

$t_{\text{介}}$ ——冷却介质的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

根据公式可知，冷却介质温度 $t_{\text{介}}$ 越低，温差 Δt 值越大， Z 值越小，即冻结时间越短。但是需要指出的是：冷却介质温度越低，制冷装置的能量消耗越大，食品干耗也增大。因此，出于经济上的原因，应选择合理的冷却介质温度。根据我国的具体情况，采用氨做制冷剂，蒸发温度一般选择在 $-35 \sim -45^{\circ}\text{C}$ 之间。如果采用强制通风连续式冻结装置，那么冷却介质温度还与蒸发器结霜速度有关。当蒸发器霜层达到一定厚度时，由于传热效果降低，冷却介质温度即相应升高，此时应及时融霜，以保证一定的冷却介质温度和冻结时间。

2. 放热系数 α 值的影响

由傅立叶公式

$$Q = F \alpha \Delta t \quad \text{W} \quad (1-3)$$

可知，在快速冻结过程中，增大放热系数 α 值是提高冻结速度的重要手段，但是实际上确定放热系数 α 值相当困难。实验表明，采用流态化冻结方法，空气流速、食品形状等是影响放热系数 α 值的主要因素。因此，对某一食品而言，适当提高空气流速可以提高冻结速度。例如将青刀豆置于 -30°C 的静止空气中冻结，冻结时间大约需要 2 小时；在同一温度下，空气流速增加到 $4.5 \sim 5$ 米/秒，则冻结时间只有 10 分钟。