

第 1 章

冷链装备与设施概述

【本章导航】

本章介绍冷链的定义、作用和意义；归纳了冷链装备与设施体系，并对冷链各环节典型冷链装备与设施进行了简述；最后介绍了国内外冷链装备与设施技术现状与发展方向。

1.1 冷链的定义、作用和意义

1.1.1 冷链的定义与组成

1. 冷链的定义

根据国家标准《制冷术语》(GB/T 18517—2012)的定义,冷链(该标准中又称冷藏链)是以制冷技术为手段,使易腐食品或货物在原料、生产、加工、运输、贮藏、销售等各个环节中始终保持适宜温度的系统。冷链主要是指易腐食品从生产到消费的各个环节中,连续不断采用冷藏的方法来保存食品的一个系统。随着食品供应模式从小规模就地产销的手工业方式到大规模生产加工和异地产销的现代工业模式的转变,冷链成为现代食品工程决定食品安全、优质与低耗的最终环节。冷链系统的基础是创造低温环境的制冷设备,是食品物理保质保鲜最可靠的手段。

2. 冷链的组成

冷链是由冷加工、冷冻冷藏、冷藏运输、销售末端 4 个环节组成,要求在各个环节下始终处于规定的低温环境下,以保证食品质量和减少食品损耗的一项系统工程,涉及交通运输工程、管理科学与工程、工业工程、计算机技术、机械工程、环境工程、食品科学与工程、制冷技术、建筑与土木工程等众多学科和领域。由于冷链物流是以保证易腐食品品质为目的、以保持低温环境为核心要求的供应链系统,所以它比一般常温物流系统的要求更高、更复杂。

冷链物流的适用范围包括:①易腐食品:蔬菜、水果、肉、禽、水产品、蛋、奶及其制品等;②其他货物:药品、生物制品、血液、花卉等。本书主要介绍易腐食品冷链,而不同种类易腐食品的全程冷链物流流程不同,下面对典型的果蔬、肉禽类和水产品全程冷链进行介绍。

1) 果蔬全程冷链

果蔬是浆果类、瓜果类、柑橘属、坚果类、核果类等水果和根茎类、瓜果类、叶菜类、花菜类、鲜豆类等蔬菜的简称,是人们不可或缺的重要副食品,提供人体营养的重要来源,特

别是微量元素、必需的维生素及矿物营养、纤维素以及多种生物活性物质。果蔬采后仍为活体,过强的呼吸作用会造成放出的热量增加,使温度升高,微生物侵袭增强,使果蔬变质和腐烂。

果蔬全程冷链指果蔬采收以后从田间到餐桌,即果蔬采后商品化分级处理、预冷、冷藏、冷藏运输、冷藏销售(批发和零售)、冷藏消费(消费者的家庭冷藏保鲜),其整个链条的各个环节始终处于适宜的低温环境下,最大限度地保证果蔬新鲜品质和营养,降低损耗,如图 1-1 所示。

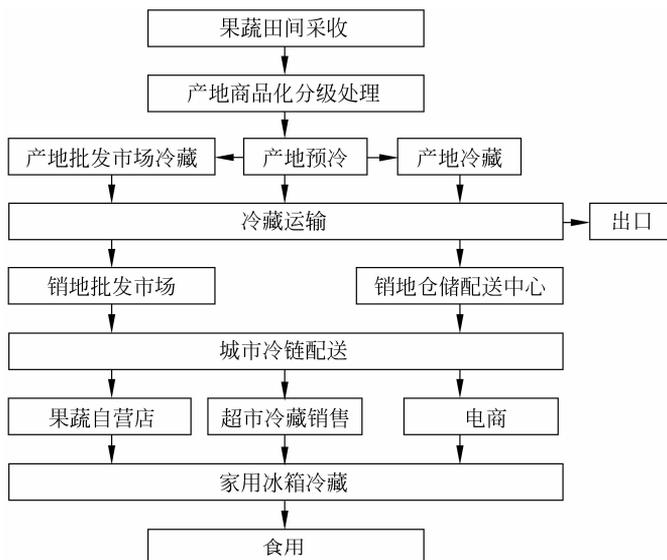


图 1-1 果蔬全程冷链

果蔬田间采收后进行产地商品化分级处理,立即产地预冷后即进入冷藏运输环节,直接冷藏运输或产地冷藏或在产地批发市场冷藏后冷藏运输,运输路径有 3 条,即运往销地批发市场或销地仓储配送中心,也可以出口到国外;在销地批发市场和仓储配送中心通过城市冷链配送至果蔬自营店或超市进入冷藏销售环节,消费者从自营店或超市购买果蔬后置于家用冰箱冷藏,电商则从销地配送中心直接冷链配送到家,以供消费者食用。

2) 肉禽类全程冷链

肉禽是猪牛等哺乳动物和鸡鸭等禽类动物屠宰后胴体的统称,是人类食品中蛋白质、脂类、维生素和矿物质的重要来源,是迄今为止人类社会赖以生存的物质基础之一。但是猪牛等哺乳动物和鸡鸭等禽类动物屠宰后其体内的生命循环会立刻停止,从而使其肌体丧失了抵抗外界微生物侵袭、控制自身酶催化反应等功能,将导致腐败与变质,不仅丧失了其作为食品所具有的营养和风味,而且会严重影响食用者的健康甚至生命的安全,因此防止肉禽在消费前腐败与变质是实现其价值的首要前提。

肉禽在不改变其商品属性的前提下,降低温度不仅能够抑制外界微生物侵袭,而且能够减弱自身酶的催化反应,是防止其在贮存和运输过程中腐败与变质的最佳方法。随着消费的不断升级、个性化需求的不断深入,现代肉禽加工业不再仅仅是简单的宰杀,而且

是在进行越来越精细的分割与深加工,这些生产过程都需要时间,因此在生产阶段也需要通过降低温度保持肉禽品质,上述所有生产过程构成了肉禽全程冷链,如图 1-2 所示。肉禽冷链是工业化和城市化国家及地区整合畜牧生产与餐饮消费的主要生产方式,肉禽全程冷链是保障食品安全与品质的基本条件。

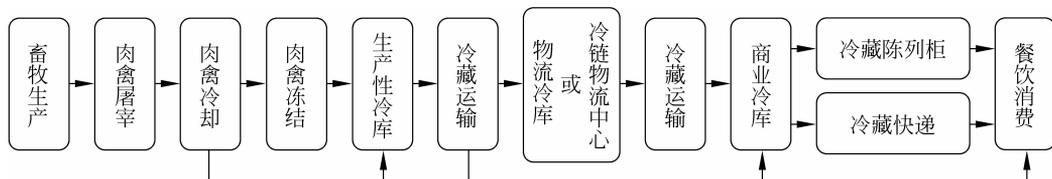


图 1-2 肉禽全程冷链

肉禽全程冷链涵盖猪牛等哺乳动物和鸡鸭等禽类动物屠宰后到餐饮消费前的所有生产与流通环节,包括在肉类联合加工厂的冷却、冻结加工,生产性冷库内的冷藏贮存,通过冷藏车、冷藏集装箱等交通工具的冷藏运输,物流冷库内的冷藏贮存,商业冷库、冷柜及冰箱内的冷藏贮存,冷藏陈列柜内的冷藏展示,通过冷藏或保温箱的配送。肉禽全程冷链大体分为加工环节、贮存环节、运输环节和销售环节,加工环节主要包括在肉类联合加工厂的冷却和冻结加工,贮存环节包括在生产性冷库、物流冷库内的冷藏贮存,运输环节主要包括从生产性冷库到物流冷库、从物流冷库到商业冷库、从物流冷库或商业冷库直接到消费终端的冷藏运输或配送,销售环节包括商业冷库、冷柜及冰箱暂存和(或)冷藏陈列柜内的展示。由于任何一个环节或上下两个环节之间的失控都有可能对肉禽品质降低甚至腐败,并且这种变化不可逆,因此所有环节都有特定的温度和时间要求,各环节之间要求“无缝连接”,整个过程都不允许温度超出控制范围,否则就是“断链”,导致整个冷链失去价值。

肉禽全程冷链的加工环节由肉类联合加工厂实现,现代肉类联合加工厂能够完成从活体畜禽到商品肉禽的所有加工过程,一般包括屠宰、放血、去除毛(羽)、去除及处理头蹄(爪)和内脏、胴体冷却、低温分割及去骨、分割肉和副产品冻结、低温包装、入库冷藏等工序,胴体冷却是肉禽全程冷链的开始,加工环节是连接畜牧生产与肉禽冷链的唯一节点。肉禽全程冷链的贮存环节由冷库实现,存储时间一般几天到几个月,贮存环节不仅需要承担平衡肉禽生产与消费的功能,而且需要发挥物流枢纽的作用;物流冷库是其中最核心的节点,甚至具备汇聚人流、信息流和资金流的批发销售功能;现代物流冷库一般设立在城市或港口附近,汇集各地甚至海外生产的肉禽商品,再配送至商超、企业和个人消费者。肉禽全程冷链的运输环节由各类冷藏运输工具实现,远洋运输绝大多数采用海运冷藏集装箱,可以和其他货物同船运输,非常灵活,因此专业的冷藏船越来越少;陆地运输多采用冷藏车或保温车,对于长途干线运输,保温车很难满足冷链的要求,则需要采用冷藏车;由于成本高昂,除个别特殊需要,肉禽冷藏运输基本不采用航空方式。肉禽全程冷链的销售环节主要由传统的商超体系实现,通过商超内的商业冷库、冷柜及冰箱暂存,配合冷藏陈列柜展示,从而完成冷链的最后一个环节;销售环节近几年变化较大的是生鲜电商的崛起,电商通过互联网获取肉禽商品销售订单,使用保温箱或保温盒直接给客户配送,目前

的总体状况很难符合冷链要求,因此如何做到既能满足冷链标准确保商品品质,又能满足客户对时效、便利、价格等要求是电商与传统商超及各电商之间竞争的焦点;生鲜电商对传统销售体系产生了巨大冲击,目前还处于初步发展阶段,最终格局有待进一步观察。

对于不同种类的肉禽,其冷链的贮存、运输和销售环节基本相同,除非特殊要求(例如清真食品与非清真食品),往往可以共用设施及装备,但其在生产环节的冷却、冻结加工差别较大,主要原因是不同种类的动物在屠宰后其肌体的物理和生物化学变化过程参数不尽相同,消费要求、生产成本等也不一样。冷却加工环节的差别主要体现在工艺和装备方面,猪牛羊等肉类胴体比较大,导致排酸时间比较长,为防止排酸期间外界微生物过度繁殖,一般在低温空气环境中冷却一至几天,多用配置冷风机的冷却间;鸡鸭等禽类胴体比较小,导致排酸时间比较短,需要快速冷却,另外还需要考虑消费习惯等因素,因此多用冰水在螺旋槽内冷却,冷却时间仅几十分钟。对于需要长期冷藏贮存的肉禽,冷却后还需要冻结,冻结方式的选择主要由商品品质要求和生产成本决定,冻结加工的商品品质主要取决于冻结速度,生产成本的构成比较复杂,包括设施和装备投资、设施和装备维护费用、能源、人工和耗材等。与冻结间相比,速冻机的投资、维护费用、能源消耗都比较高,但是其冻结速度快,不仅商品品质好,而且人工成本低,因此随着消费升级和装备技术的进步,速冻机在肉禽冻结加工中应用比例会越来越高。

3) 水产品全程冷链

水产品是海洋和淡水渔业生产的水产动植物产品及其加工产品的总称。水产品捕捞致死,由于体内各种酶及外部细菌作用,会发生一系列物理、化学及生理上的变化,僵直、解僵、自溶直至腐败。水产品冷链是指水产品从捕捞起水后,在海上或陆地贮存、运输到销售等各个环节,都保持在规定的低温下流通,以保持其鲜度和质量的低温流通体系。根据对水产品不同质量要求和相应的允许货架期,中国水产品冷链主要有两类:水产品保持在 $0\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰鲜冷链和保持在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温冷链。

冰鲜冷链中的鱼类流通期短,就近供应大、中城市,流通环节少,通常由图 1-3 所示的各个环节组成。

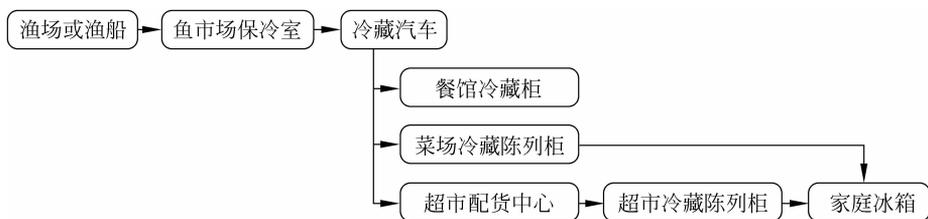


图 1-3 水产品冰鲜全程冷链

冰鲜鱼如在船上捕获时直接加冰放入保温鱼箱,则之后的运输、销售等环节可一箱到底。

低温冷链中流通的冷冻水产品,其品温必须保持在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,整个流通期较长。以冷冻水产品冷链为例,其全程冷链如图 1-4 所示。

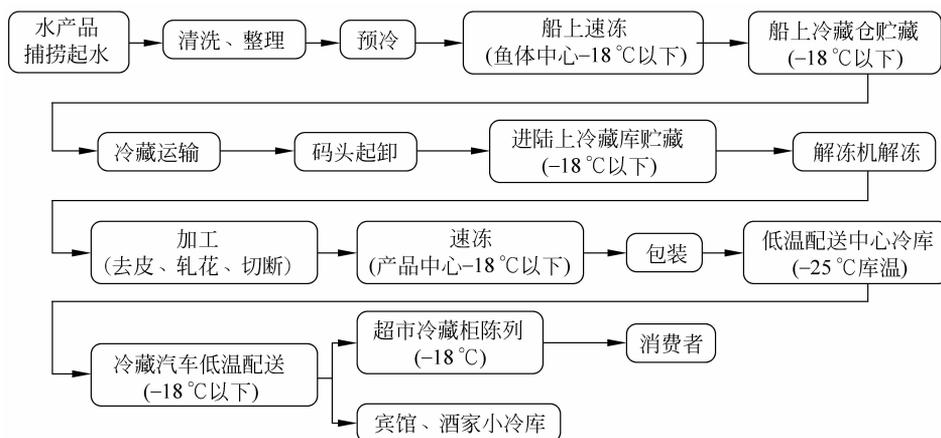


图 1-4 冷冻水产品全程冷链

1.1.2 冷链的作用和意义

1. 减少易腐食品损失与保障食品安全

1) 冷链物流是易腐食品流通的重要手段

首先,我国的易腐食品产量和消费量都非常巨大。根据国家统计局发布的 2015—2019 年数据,我国各类易腐食品的总产量巨大且总体上呈现逐年递增的趋势(表 1-1)。这些易腐食品中绝大部分需要采用冷链物流方式进行流通,以确保其品质并降低流通腐损率。其次,我国的易腐食品产供销具有地域性、季节性和习惯性特征,这使得易腐食品产业发展在多样化、流通效率以及产品增值等方面受到不同程度的限制。在地域性方面,以水产品为例,靠近产地的水产品价格普遍偏低,产品增值的空间相对较小,同时远离产地的地区水产品价格较高,品质较产地略差,品种也较少。在季节性方面,以蔬菜为例,季节性蔬菜主要是区域内供应,在大方向上不流通,这在一定程度上造成了蔬菜价格的波动,影响了人们的生活质量。在习惯性方面,以肉类为例,由于我国居民传统的饮食习惯,热鲜肉仍然占据肉类消费的主导,而营养价值和风味更佳的冷鲜肉则占比较小。冷链物流能够为上述问题提供很好的解决方案,甚至改善传统的易腐食品产供销格局,能为消费者提供种类更加丰富的食品。

表 1-1 2015—2019 年我国主要易腐食品总产量

万 t

年份	水果	蔬菜	肉类	水产品	禽蛋	牛奶
2015	24 525	66 425	8 750	6 211	3 046	3 180
2016	24 405	67 434	8 628	6 379	3 161	3 064
2017	25 242	69 193	8 654	6 445	3 096	3 039
2018	25 688	70 347	8 625	6 458	3 128	3 075
2019	27 401	72 103	7 759	6 480	3 309	3 201

2) 冷链物流是降低易腐食品流通腐损率的重要途径

长期以来我国易腐食品在流通环节中损失严重。以果蔬、肉类和水产品为例,2010年前后的流通腐损率分别达到20%~30%、12%、15%;虽然近10年冷链产业快速发展,水果流通腐损率降为11%左右,蔬菜流通腐损率降为20%以上,肉类流通腐损率降为8%,水产流通腐损率降为10%,但是损失依然严重。大量易腐食品在产销过程中的损耗和变质造成了社会资源的巨大浪费,国际上对此提出了“不高于原则”(the never warmer than rule),即保证易腐食品在流通过程中始终处于规定的温度环境下。要降低流通过程中的腐损率就必须对易腐食品的生产、加工、贮运和销售环节的温度进行控制。所以冷链物流已成为降低易腐食品流通损耗率的一个重要途径。

3) 冷链物流对保障食品质量和食品安全具有重要意义

易腐食品在流通过程中所处的环境温度没有达到规定要求和环境温度频繁波动,都会在一定程度上影响易腐食品的品质,甚至导致食品的腐败变质,进而给民众带来食品安全隐患。特别需要注意的是温度波动对冻品品质的影响,这主要是因为波动的温度会使冷冻食品中的微生物、酶恢活性,加速分解食品中的营养成分,同时冷冻食品在反复的冻结、解冻过程中,组织细胞会遭到破坏,使细胞汁液外流,加速细菌的繁殖过程。但是通常厂家所定义的货架期是在恒定适宜的贮藏条件下测定的,并没有考虑温度波动对货架期的影响,因此不能准确反映食品的真实品质,这在一定程度上加重了食品的安全隐患问题。冷链物流能够实现食品信息的全程可追溯以及食品流通过程中环境温度的精确控制,因此对于保障食品品质以及降低食品安全隐患至关重要。

2. 支撑新经济增长点

1) 增加农产品附加值

在我国,农产品中的易腐食品的冷链物流所占比重较低,较低的冷链物流普及率给农民造成了巨大的经济损失;同时,由于保鲜、贮运能力较差,农民增产不增收的现象时有发生,而冷链物流可以为易腐食品增值提供支撑。一方面,随着我国居民收入水平逐步提高,对果蔬的新鲜度、营养性、安全性等提出了更高要求,易腐食品冷链物流可以为消费者提供多样化的农产品,保证生鲜农产品品质和安全,减少营养成分的损失,提高农产品的附加值;另一方面,生鲜农产品流通出现了大规模、长距离、反季节等新趋势,这种流通特点本身就需求易腐食品冷链流通体系的服务规模和效率有所提高,与传统的产地自销模式相比,经过冷链物流的农产品也就更具价值;另外,发展冷链物流可以提高我国农产品出口的竞争力,冷链技术的应用可以提升农产品质量和突破贸易壁垒,能够显著提高农产品的附加值。

2) 支撑生鲜电商发展

近10年来,我国电子商务行业进入快速发展阶段。从2016年以后电商行业迎来洗牌期,每年保持着50%左右的增长率。根据商务部《中国电子商务报告》数据,2017年全国电子商务交易额达29.16万亿元,同比增长11.7%;线上零售额为7.18万亿元,同比增长32.2%。生鲜电商属于电子商务中极其重要的一部分,据资料显示,2017年中国生鲜电商市场交易规模约为1391.3亿元,同比增长59.7%,2018年中国生鲜电商市场交易规模达到2103.2亿元,同比增长51.16%。生鲜电商、跨境生鲜电商的市场规模和用

户接受度都在不断扩大。

由于食品安全问题频发,消费者对食品安全的意识越来越强,在网上购买易腐食品时愈加重视产品质量。而全程冷链物流是保持易腐食品从产地到消费者整个过程产品品质的重要手段,是生鲜电商快速发展的重要支撑和条件保障。

3. 支撑国家发展战略

1) 南菜北运

南菜北运是将南方种植的蔬菜运到北方,它也是与南水北调、西气东输齐名的国内供需大流通,是为了缓解全国冬春淡季果蔬供需矛盾、丰富果蔬品类、稳定生鲜果蔬市场供应、保障北方人民群众日常生活的重要举措。北方冬季作物易受低气温影响,冬春季节,我国北方地区气候寒冷,农作物生长缓慢,但是北方人口较多,对于果蔬需求量大,存在着严重的供需矛盾。而在南方地区,纬度低,冬季气温高,有利于果蔬的成长。针对这种情况,商务部、农业农村部、广西、海南、云南各级政府积极支持南菜北运发展,开通并运行了铁路冷链专列,为平衡北方冬季蔬菜水果供需矛盾和推动产区人民脱贫致富作出了重要贡献。而冷链物流是保证南菜北运长距离输配过程中蔬菜品质的重要手段,是我国南菜北运发展战略的重要保障。

2) 西果东送

我国西部基于天然的自然条件和广阔的区域,是优质农产品生产基地,尤其盛产特色水果。为了长效解决西部地区农产品“卖难”和东部地区“买贵”的问题,在我国形成了典型的“西果东送”的现代农产品流通格局,国家也通过相应政策来引导和鼓励这一特别农产品网络体系建设,其中商务部办公厅、财政部办公厅共同发布的《关于2012年开展西果东送农产品现代流通综合试点有关问题的通知》(财办建〔2012〕108号)的文件中就提出,要特别引导符合条件的各西部地区加快对“西果东送”农产品现代流通综合试点的推进,而冷链物流建设是重要内容。

3) “一带一路”倡议

当前,随着“一带一路”倡议的实施,上海、广东、天津、福建等自贸区的建成,中澳、中韩等贸易协定的签署,中国与相关国家的进出口贸易更加密切,物流需求快速增长,其中易腐食品占有相当大的比重,冷链物流技术和装备是跨境易腐食品贸易的重要保障。

中欧班列(郑州)是全国第一家开发冷链运输的班列,每个集装箱的实时温度都可以被监测和控制。依托中欧班列(郑州)和卫星定位系统云服务信息平台,能实现郑州到欧洲1万公里以外的国际冷链物流,为推进“一带一路”倡议作出了积极贡献。

“农业合作”居中国与东盟各国合作领域之首,双方农产品贸易发展大有空间,但其前提条件就是如何进一步提升双方的冷链技术水平。具体来看,东盟成员国越南、老挝、缅甸、柬埔寨及泰国,都是农业国家,又是中国近邻,双方农产品贸易有一定基础。在“一带一路”倡议推行的背景下,中国与这些国家未来贸易农业仍将占据重要地位,同时,进出口农产品、食品、药品量也将越来越大。另外,鉴于国家支持跨境电子商务发展,以及“公转铁、公转水”国家政策的不断贯彻,除了公路冷藏运输,航空、海运冷链及临港、临空冷链都将作为与东盟易腐食品贸易的设备设施保障。

南向通道是在中新(重庆)战略性互联互通示范项目框架下,以重庆为运营中心,以广

西北部湾港为重要出海口,以沿线相关省区物流枢纽为关键节点,旨在联动“一带一路”,促进中国西部省区与新加坡等东盟国家经贸合作的国际陆海新通道。这条通道以其“陆海统筹,内外联动”的鲜明特点,蕴含着“一带一路”倡议的深刻内涵,西部地区的冷链企业将率先享受到这得天独厚的地理条件并为“南向通道”提供冷链物流支撑。

1.2 冷链装备与设施体系

冷链装备与设施是冷链物流体系的核心组成部分,是冷链物流的基础设备和设施,在易腐食品加工、保鲜、储运、销售、信息可追溯、食品安全等领域发挥着重要作用,这些装备的使用直接影响到环境、能源、食品价格、食品品质,是冷链物流绿色可持续发展的关键。

广义上讲,冷链装备与设施是指包括冷加工、冷藏、冷藏运输、销售消费等冷链全程各环节应用的各种装备和设施,而其中的储存设备、搬运设备、输送设备、拣选设备、分拣设备和包装设备等这类物流仓储装备可应用于所有物流体系,不属于冷链物流专用,所以未列入本书。在本书中,冷链装备与设施只涉及冷链全程各环节直接应用的制冷装备和设施,一些未直接参与食品冷加工和贮运的装备和设施,比如为铁路冷藏车、冷藏汽车服务的制冰站、集装箱站也不在本书讨论之列。

表 1-2 列出了冷链全程各环节主要冷链装备与设施,其中冷链装备是指贯穿于冷链全程的制冷设备;而冷链设施是指应用于冷链全程的冷冻冷藏建筑,如冷却间、冻结间、冷库、冷链物流中心等。

表 1-2 冷链全程各环节主要冷链装备与设施

冷链环节	装备与设施	
冷加工	果蔬预冷装备	压差预冷装备、冷水预冷装备、真空预冷装备、冰预冷装备
	动物性食品冷却装备与设施	肉禽冷却装备与设施、水产品冷却装备与设施、奶及其制品冷却装备与设施
	食品冷冻装备与设施	鼓风式冷冻装备与设施(冻结间、隧道式冷冻装备、螺旋式冷冻装备、流态化冷冻装备)、间接接触式冷冻装备、直接接触式冷冻装备
冷藏	冷库	土建式冷库、装配式冷库、气调库、自动化立体冷库、冰温库
	冷链物流中心	市场型冷链物流中心、仓储型冷链物流中心、综合型冷链物流中心
冷藏运输	冷藏汽车	机械式冷藏汽车、机械式冷藏挂车、蓄冷板式冷藏车、液氮/干冰冷藏车、保温车
	铁路冷藏车	机械冷藏车、蓄冷保温车、铁路隔热车
	冷藏船	渔业冷藏船、商用冷藏船
	航空冷藏运输装备	主动式航空冷藏箱、被动式航空冷藏箱
销售消费	冷藏集装箱	耗用冷剂式冷藏集装箱、机械式冷藏集装箱、制冷/加热集装箱、隔热集装箱、气调冷藏集装箱
	冷藏销售装备	制冷陈列柜、厨房冰箱、饮料冷藏陈列柜、葡萄酒储藏柜、自动售卖机、自助生鲜便利店、生鲜配送柜
	冷藏消费装备	冰箱、冷柜、小型冷库

1.2.1 冷加工装备与设施

1. 果蔬预冷装备

果蔬预冷装备是指将果蔬从采后初始温度迅速降至所需要冷藏温度的设备,其目的是迅速排除田间热,抑制其呼吸作用,保持果蔬的鲜度,延长贮藏期。常用的果蔬预冷装备有压差预冷装备、冷水预冷装备、真空预冷装备和冰预冷装备。

2. 动物性食品冷却装备与设施

动物性食品是动物来源的食物,包括畜禽肉、蛋类、水产品、奶及其制品等。动物性食品冷却装备与设施是将这些食品从初温降低到冰点以上未冻结状态的设备和设施,按照动物性食品种类可分为肉禽冷却装备与设施、水产品冷却装备与设施、奶及其制品冷却装备与设施等。

3. 食品冷冻装备与设施

食品冷冻装备与设施是在规定时间内将食品中的液体水冻结成固态的装备和设施,主要有鼓风式冷冻装备与设施(冻结间、隧道式冷冻装备、螺旋式冷冻装备、流态化冷冻装备)、间接接触式冷冻装备和直接接触式冷冻装备。

1.2.2 冷藏装备与设施

1. 冷库

冷库是采用人工制冷降温并具有保冷功能的仓储建筑,包括库房、制冷机房、变配电间等,常用的冷库有土建式冷库、装配式冷库、气调库、自动化立体冷库、冰温库等。

2. 冷链物流中心

冷链物流中心是以物流冷库为核心,配套交易(批发和拍卖)、加工与配送、检验检疫、信息发布、质押融资等单项或多项服务功能的从事冷链物流活动的场所,按照不同功能主要有市场型冷链物流中心、仓储型冷链物流中心和综合型冷链物流中心。

1.2.3 冷藏运输装备

冷藏运输装备主要包括冷藏汽车、铁路冷藏车、冷藏船、航空冷藏运输装备和冷藏集装箱。

1. 冷藏汽车

公路冷藏运输由于具有机动灵活、方便快捷等优点,是应用最广泛的冷藏运输方式。冷藏汽车主要包括机械式冷藏汽车、机械式冷藏挂车、蓄冷板式冷藏车、液氮/干冰冷藏车和保温车。保温车由于只有车厢内采用隔热层,没有制冷装置,只适用于短途运输;蓄冷板式冷藏车存在蓄冷板占用空间和适时蓄冷问题,而液氮/干冰冷藏车需要定时充注液氮/干冰,因此机械式冷藏车为主流。

2. 铁路冷藏车

铁路冷藏运输具有运输量大和速度快等优点,适用于远距离和大运量冷藏运输。铁路冷藏车主要包括机械冷藏车、蓄冷保温车、铁路隔热车,其中机械冷藏车应用最广。

3. 冷藏船

水路冷藏运输具有运量大和长距离运输经济性高等优点,且是远洋渔业必不可少的运输方式。冷藏船主要有渔业冷藏船和商用冷藏船。

4. 航空冷藏运输装备

航空冷藏运输是所有运输方式中最快的一种,但是运量小、运价高,适用于附加值高且品质下降快的易腐食品的冷藏运输。目前航空冷藏运输装备主要有主动式航空冷藏箱和被动式航空冷藏箱。

5. 冷藏集装箱

冷藏集装箱是具有良好的隔热性和气密性,且能维持箱内低温要求,适用于易腐食品贮运的特殊集装箱。按照不同制冷方式和功能,冷藏集装箱主要分为耗用冷剂式冷藏集装箱、机械式冷藏集装箱、制冷/加热集装箱、隔热集装箱、气调冷藏集装箱;按照不同运输方式,冷藏集装箱可分为公路冷藏集装箱、铁路冷藏集装箱、水路冷藏集装箱、航空冷藏集装箱。为了确保国际范围内良好的互换性,以及实现公路、铁路、水路、航空之间的多式联运,冷藏集装箱尺寸和重量应该标准化。

1.2.4 冷藏销售和消费装备

1. 冷藏销售装备

冷藏销售装备是指应用于冷链末端销售环节的易腐食品冷藏设备,主要有制冷陈列柜、厨房冰箱、饮料冷藏陈列柜、葡萄酒储藏柜、自动售卖机、自助生鲜便利店及生鲜配送柜,其中自助生鲜便利店和生鲜配送柜是为满足近年来生鲜电商发展需求而开发的新型冷藏销售装备。

2. 冷藏消费装备

冷藏消费装备是指应用于冷链终端用户的易腐食品冷藏设备,主要包括冰箱、冷柜、小型冷库等。

1.3 国内外技术现状与发展方向

1.3.1 国内外技术现状

1. 冷加工装备

1) 果蔬预冷装备

预冷的概念是 Powell 及其合作者在 1904 年提出的,美国从 20 世纪 40 年代开始对预冷技术进行研究,70—80 年代,预冷技术在实践中得以广泛应用。20 世纪 60 年代,日本开始进行果蔬预冷技术的研究,现在 90% 以上的进入冷链的蔬菜都要预冷。压差预冷装备、真空预冷装备、冷水预冷装备等果蔬预冷装备在美国、日本、欧洲等发达国家和地区已十分成熟并得到广泛应用。

我国果蔬预冷技术研究始于 20 世纪 80 年代中期。在果蔬压差预冷装备方面,1988 年引进日本集装箱式压差预冷装备,1998 年至 2007 年处于消化吸收阶段,2008 年至

2019年在消化吸收的基础上进入集成创新阶段,例如增加喷雾加湿系统和预冷风机风量调控,研制出高效率蔬高湿压差预冷装备。针对现有压差预冷装备存在造价高、使用率低等问题,开发了撬装式压差预冷技术,装备可移动,解决了原有压差预冷装备移动性差的问题,提高了设备使用率。在果蔬冷水预冷装备方面,研制出接触式冷水预冷装备和喷淋式冷水预冷装备,代替传统冰水池冷水预冷,预冷效率高,节能效果显著。研制了果蔬流态冰预冷装备,利用流态冰预冷具有比热容大、流动性好等优点,既可以直接对果蔬预冷又可以制取低温高湿空气对果蔬预冷,还可以与冰水预冷、压差预冷和真空预冷进行结合,形成不同组合预冷方式,降低设备和运行成本。

2) 食品速冻装备

速冻是指食品迅速通过最大冰结晶生成带并使得其中心温度达到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的快速冻结方法,速冻装备是食品冷冻装备中十分重要的组成。20世纪20年代世界上第一台快速冷冻机在美国试制成功,速冻加工品随即问世,但是发展十分缓慢,直到第二次世界大战后,速冻食品才迅速发展起来。目前美国速冻食品人均消费量达到 60 kg/年 ,欧洲达到 35 kg/年 ,日本也达到了 20 kg/年 ,速冻食品的品种美、欧、日均保持在2500种以上。在速冻装备方面,隧道式速冻机、螺旋式速冻机、流化床式速冻机、平板式速冻机在国外发达国家已比较成熟,并在近年研制生产了自堆积螺旋式速冻机和冲击式速冻机。

我国速冻食品工业起步较晚,20世纪80年代,我国开始引进隧道式、螺旋式、流态化等速冻技术。近年来我国速冻行业正处于成长期,发展空间巨大,截至2018年,国内速冻食品制造行业规模以上企业达到了461家,2018年我国速冻食品行业产量达1035万t,同比增长8.72%。国内速冻机生产厂家为适应中国市场需要,已研制出多种形式的速冻机,并占据了90%以上的市场份额。但与国外先进技术相比,国产速冻机在制造水平和设计水平上还存在很大差距,主要反映在制造工艺、可靠性、自动控制、清洗系统等方面,并存在多品种适应性差、自动化程度低、能耗大等问题,速冻设备的耗电量约占冷冻食品加工厂总耗电量的30%~50%。

近年来,国内企业在消化吸收国外技术基础上,研制开发了全自动堆积式螺旋速冻机和冲击式速冻机。全自动堆积式螺旋速冻机由输送带、螺旋自堆积传动系统、链条驱动系统、换热系统、空气除霜系统、冷气流对流系统、制冷系统、CIP(clean in place,原位清洗)系统、检测监控系统、控制系统等组成。在链条驱动系统及螺旋线导轨系统的共同作用下,输送带实现自堆积螺旋线运动,并根据不同冻品要求可以无级调速,具有产能高、自动化程度高和占地面积小等特点。冲击式速冻机相比于传统的鼓风式速冻机,由于采用高速冷气流冲击食品方式,具有冻结迅速、冻品品质高、冻结能耗低等优势,适用于诸如鸡肉片、牛肉饼、鱼肉片、扇贝等扁平、小颗粒的食品速冻。

超低温速冻技术主要是利用低温工质[如液氮、液体 CO_2 、LNG(liquefied natural gas,液化天然气)等]对食品进行速冻处理,目前国内在对典型易腐食品速冻工艺研究基础上,将速冻工艺包植入控制系统,已开发出智能化隧道式和螺旋式速冻机,并应用于如金枪鱼、虾、蟹等高经济价值水产品速冻。

3) 物理场辅助冻结装备

物理场辅助冻结是近年来出现的新技术,主要有电场辅助冻结、磁场辅助冻结、微波

辅助冻结、射频辅助冻结、超声波辅助冻结、压力辅助冻结(高压辅助冻结和压力转换辅助冻结)等。这些技术需要进一步系统研究其对冻品品质的影响,探索其作用机理,除了电场辅助冻结装备、磁场辅助冻结装备、压力辅助冻结装备有少量应用外,目前大部分技术仍处于实验室研究阶段。

2. 冷冻冷藏装备与设施

北美、欧洲、日本等发达国家和地区冷库行业起步早、技术先进、成熟规范。美国和加拿大由于地广人稀,单层冷库较多;这些单层冷库均采用钢结构固定式货架,托盘采用叉车装卸;除了早期建造的冷库,均采用封闭月台;库内冷却设备采用冷风机。美国和加拿大80%以上的冷库采用氨作为制冷剂,其中少部分采用R22、R502、R507、R404A制冷剂。冷库中的制冷系统广泛采用了自动控制。一些果蔬冷库采用气调库,提高果蔬贮藏品质和延长货架期。一些项目在冷库屋顶安装太阳能光伏电池板,进行可再生能源在冷库应用的尝试。2018年美国冷库总容量达1.31亿 m^3 ,位居全球第二,人均冷库容积达到0.49 m^3 。

欧洲大型食品冷库也以单层冷库居多,主要采用钢货架做结构支撑,用金属面聚氨酯夹芯板做保温墙体。其越来越多采用自动化立体冷库,货物存放采用高架自动堆码形式,库内操作完全采用机械化,基本没有人员进入;一些自动化冷库采用了注氮控氧技术,库内氧含量始终控制在小于16%,满足可燃物不致燃烧状态,冷库内不再采用喷水灭火系统。果蔬贮藏采用气调技术,像法国、意大利一些国家气调贮藏苹果已达到冷藏苹果总量的一半以上。在丹麦的屠宰工厂,将制冷系统的冷凝热利用热泵技术制取热水,用于生产工艺用热,实现了废热再利用。荷兰依托发达的交通网络,建立了大型物流中心,如坐落于荷兰东南部芬洛的Venlo物流园,作为荷兰政府指定的5个生鲜物流集群之一,致力于新鲜食品的冷链,在水果、蔬菜、鱼及肉类加工销售方面具有特色优势。

日本是目前世界上自动化立体仓库应用最广泛的国家之一。日本建造的立体化仓库能够实现存取货物的自动化,高程度的自动化节约了大量人工成本。日本是一个地震多发国家,为了防止不可抗拒自然灾害引起的危及生命事件发生,在采用 NH_3 制冷剂的冷库的最高层或屋顶露天层必须配备一套 NH_3 泄漏自动排放装置。日本开发了 NH_3 制冷剂/ CO_2 载冷剂制冷系统,实现节能和环保目标,为了金枪鱼速冻和低温贮藏,近年来利用空气制冷原理研制出基于开放式空气制冷的超低温制冷机组系列,并已有近百套投入使用。

1949年中华人民共和国成立时,全国冷藏库约23座,总容量仅为3.3万t左右。经过计划经济发展时期(1949—1978年)、改革开放发展30年(1979—2009年),尤其是高速发展时期(2010年之后),冷库容量得到极大增长。2014—2018年,我国冷库总容量保持10%以上增速平稳增长,截至2018年底,全国冷库总量达到5238万t,是1949年的1587倍。并且随着社会和行业发展需求,大型冷链物流中心在各地迅速发展。为了实现安全、节能、环保的目标,国内近年来开发了 NH_3 / CO_2 载冷剂制冷系统和复叠系统,即把氨作为高温级制冷剂对载冷剂或低温循环制冷剂进行冷却,再通过冷却后的载冷剂或低温循环对库内进行降温。该系统可以有效减少氨的使用量,而且还能做到将用氨区域和库内区域分离,使得人员操作更加安全。近年来国内开始建造冰温冷库,主要采用变频压缩机

无级容量调节、均匀分布顶排管、库内均匀送风等技术,提高了果蔬品质,延长了货架期。自动化立体冷库具有货物装卸和堆垛自动智能化、节省人力、货物装卸和堆垛迅速、管理效率高等优点,在国内应用也呈现逐步增加的趋势。为了实现节能目的,国内开发了宽温区冷热联供集成系统,主要是回收利用制冷系统的冷凝热,集成低温制冷、高温制热、谷电蓄热、微压蒸气及蒸气增压等系统于一体,目前该系统可提供 50~180 ℃ 的热水, 2~8 bar 的蒸气,实现节能目的。

3. 冷藏运输装备

作为冷藏运输的载体——冷藏运输装备而言,已有百余年的历史。20 世纪初,已开始生产冷藏运输工具;第二次世界大战前铁路运输在易腐货物运输中占主要地位;50 年代和 60 年代冷藏保温汽车和冷藏船舶发展较快;20 世纪 70 年代以来,冷藏集装箱发展迅速。欧、美、日等发达国家和地区的冷藏运输率为 80%~90%,发展中国家一般只有 10%~20%。近年来,公路冷藏运输的运量占冷藏运输总运量的比率不断上升:欧洲和日本达 60%~80%,美国为 80%~90%。欧洲铁路冷藏运输公司的铁路冷藏运输装备主要有加冰冷藏车、机械冷藏车、隔热车,还有少量液氮冷藏车。日本通常将冷藏保温汽车分为保冷汽车、冷藏汽车、冷冻汽车;欧美各国习惯于分为保温(隔热)汽车、冷藏汽车和机械冷藏汽车三大类。冷藏集装箱在海运和多式联运方面具有明显优势,得到越来越广泛的应用。欧、美、日等发达国家和地区的冷藏运输装备在箱体结构、隔热保温、制冷机组、冷藏运输信息化等方面具有技术优势。

我国在新中国成立初期,铁路运输已开始使用加冰冷藏车运输易腐食品。在 20 世纪 90 年代初期,铁路冷链运量达到高峰 1 669 万 t,占全国冷链总运量的 70%,为物资流通发挥了积极的作用。但是铁路冷链物流在运价、时效性、灵活性方面的竞争力明显下降,铁路冷链运输总量逐年下滑。为改变铁路冷链物流低迷的局势,2016 年 2 月《铁路冷链物流网络布局“十三五”发展规划》正式向社会公布,标志着铁路冷链运输发展进入新的时代。截至 2017 年底,铁路货物发送量超 100 万 t。为积极响应“一带一路”倡议,中欧班列开发冷链运输的班列,能实现到欧洲 1 万公里以外的国际冷链物流。铁路集装箱和多式联运的实践,实现了农副产品从田间到市场的冷链集装化运输,开启了冷链物流的公铁联运模式。目前我国铁路冷藏运输装备主要包括机械冷藏车、铁路冷藏集装箱、加冰冷藏车、保温车,其中机械冷藏车应用最广,而铁路冷藏集装箱发展前景广阔。

公路冷藏运输方面,20 世纪 50 年代起,我国开始采用保温车运送易腐货物,60—70 年代从苏联和东欧等地采购了少量冷藏车用于国内运输。从 80 年代起,随着国内汽车工业的迅速发展,冷藏车制造业也逐步发展起来。在 20 世纪 80 年代初,我国拥有的各类冷藏车制造厂家不超过 10 家,而到 20 世纪末激增到 70 余家,但随着竞争的日渐激烈和市场的逐步开放,部分规模小、质量差的小型冷藏车制造厂逐渐被兼并、收购或淘汰出市场,到 21 世纪初,有 40 余家。在品种上,公路冷藏运输车以卡车、拖车为主,制冷方式多样,包括冰、干冰、蓄冷板、低温制冷剂系统、机械制冷等。其中机械制冷已经成为公路冷藏运输的主要制冷方式。在陆路运输方面,冷藏车在数量上已占据主导地位。统计数据显示,2011—2018 年我国公路冷藏及保温车保有量由 32 100 台增至 180 000 台,年均增速超 28%,远超同期公路营运载货汽车拥有量增速。由于公路冷藏及保温车保有量快速增长,

其占公路营运载货汽车拥有量的比重已经由 2011 年的 0.25% 上升至 2018 年的 1.32%。

近年来我国在公路冷藏车的主要技术发展包括:厢体隔热材料与隔热厢体制作技术,减少厢体的漏热损失;冷藏运输用压缩/喷射制冷系统,降低制冷系统能耗;多温区和多空间冷藏车,实现多种货物同一批次的运输,降低运输成本;气调冷藏车,通过气调来控制车厢内的气体成分,抑制果蔬的呼吸作用,延长果蔬储存寿命;蓄冷式冷藏车,蓄冷效率高,减少车用燃油;小型电动冷藏车,可满足城市冷链配送的“最后一公里”需求。

4. 冷藏销售和消费装备

1910 年,世界上第一台压缩式制冷的家用冰箱在美国问世。1925 年,瑞典丽都公司开发制造了家用吸收式冰箱。1927 年,美国通用电气公司研制成功全封闭式冰箱。随之以后,冰箱、冷柜、冷藏陈列柜得到迅速发展和广泛应用。近年来,随着生鲜电商的发展,自提冷冻冷藏柜(生鲜配送柜)在欧洲、日本、新加坡等国家和地区得到较为广泛的应用。欧洲的超市冷柜制冷系统十分重视采用 CO₂ 天然工质制冷剂,为了解决 CO₂ 制冷系统在炎热地区高室外温度制冷性能不佳的问题,近年来发展了喷射器辅助压缩制冷系统。当喷射器全部开启时,在保持超市冷柜温度不变的情况下中温压缩制冷系统的蒸发温度可由 -8℃ 提高到 -2℃,喷射器和并联压缩机系统比常规系统节能可达 18% 以上。

我国为了改变商用冷冻冷藏设备落后的面貌,商业系统在“七五”期间组织所属企业进行了技术改造、技术设备引进、产品升级换代。1985 年,商业部洛阳制冷机械厂从美国泰勒公司引进了中国第一条食品陈列柜生产线。“八五”期间,商业系统有关企业开始引进外资进行冷藏陈列柜、软冰淇淋机等商用冷冻冷藏设备的合资生产。随着我国超级市场的发展,国内外的一些制冷设备制造企业开始进行合资或独资生产冷藏陈列柜系列产品。至 20 世纪末,随着我国冷冻冷藏用半封闭和全封闭制冷压缩机制造水平的提高,我国用于餐饮业的非零售用的食品冷藏柜以及以超市应用为主的冷藏陈列柜产品制造基本上达到发达国家的同等水平,一些合资企业的冷藏陈列柜产品已开始出口返销。2018 年我国冷藏陈列柜市场增长较快,销售量达 12.1 万台,增速 15% 左右。国内主要生鲜电商近年来开始在社区、学校、线下门店布设生鲜配送柜,实现了冷链物流“最后一公里”的无缝衔接。国内制冷企业为了满足生鲜电商的需求,已开发出具有冷藏、冷冻功能的生鲜智能配送柜。

近年来我国在冷藏销售和消费装备的主要技术发展包括:① 制冷系统优化,如对系统部件优化以降低末端设备能耗,采用高效的两级压缩制冷循环、喷射器增效的压缩制冷循环等;② 绝热提高技术,如优化发泡策略、VIP(vacuum insulation panel,真空隔热板)、新型门封的应用等;③ 制冷剂替代技术,如 R290(碳氢化合物制冷剂丙烷)的推广使用;④ 换热增强技术,如换热器翅片结构的优化、表面涂层的应用。

1.3.2 发展方向

1. 高效节能

发展低温环境强化换热技术、低温环境下蒸发器抑霜除霜技术、物理场辅助冻结技术、变容量制冷技术、冷热一体化、可再生能源和自然冷能利用等技术,开发全程冷链各环节高效冷链装备系列,并开展冷链装备与设施能效评价标准制定和能效评价工作。

2. 安全环保

开展零 ODP(ozone depletion potential,消耗臭氧层潜值)、低 GWP(global warming potential,全球变暖潜值)环境友好型制冷剂的制冷系统和冷链装备研究工作。对于可燃制冷剂(如碳氢类)和可燃有毒制冷剂(如氨),开展制冷剂充注减量技术、制冷剂泄漏检测及应急处置技术;深入研究和完善 CO₂ 制冷系统,包括跨临界、亚临界、压缩—喷射等的制冷系统。

3. 精准环控

研究储运环境参数及其波动对易腐食品品质的影响,综合制冷系统容量调节、均匀供冷末端设备、气流组织优化等技术,发展储运环境参数精准控制的冷链装备和设施。

4. 信息化与智慧化

发展食品品质感知技术、环境参数感知技术、产品位置感知技术、食品安全溯源技术,应用于冷链装备与设施中,建立冷链物流数据中心,实现冷链流通体系信息化;发展大数据智能、群体智能、跨媒体智能、数字孪生技术、区块链溯源技术等智慧冷链物流技术,并应用于冷链装备与设施中,实现冷链流通体系的智慧化。

【扩展阅读】



国内外生鲜电商运营模式

【参考文献】

- [1] 周远, 田绅, 邵双全, 等. 发展冷链装备技术, 推动冷链物流业成为新的经济增长点 [J]. 冷藏技术, 2017, 40(1): 1-4.
- [2] 田长青. 中国战略性新兴产业研究与发展·冷链物流[M]. 北京:机械工业出版社, 2020.

【思考题】

1. 何谓冷链? 冷链由哪些主要环节组成?
2. 冷链与常温供应链的主要区别是什么? 冷链为什么要做到全程“无缝连接”?
3. 何谓冷链装备? 何谓冷链设施?
4. 冷库和冷链物流中心的区别是什么?
5. 冷藏运输装备主要有哪些种类?
6. 冷链装备和设施的发展方向是什么?