# 液氮冻结应用于冰淇淋工业化生产

余保宁
（广东燕塘乳业有限公司，广东广州 510507）

**摘要：**论文阐述了传统冰淇淋生产中存在的问题和可用于冰淇淋工业化生产的液氮快速冻结设备。分析了液氮冻结技术及其设备结构，液氮冻结在冰淇淋生产中体现的优越性。通过开发液氮冻结设备和技术，使液氮应用于冰淇淋工业化生产成为现实，从而提高冰淇淋产品质量和生产效率，降低生产过程的能耗及成本，并有助于生态环保。

**关键词：**冰淇淋；液氮冻结；浸渍式液氮冻结设备；雾式液氮冻结设备
**文章篇号：**1673-9078(2011)1-96-100

# Industrial Application of Liquid Nitrogen Freezing Technology in Production of Ice Cream

**YU Bao-ning**
(Guangdong Yantang Dairy Co., Ltd, Guangzhou 510507, China)

**Abstract:** The paper discussed the problems in traditional manufacture and production of ice cream. Liquid nitrogen freezing technology was then introduced, including the equipments and the advantage of this technology in ice cream production. Developments in the technology and equipments of liquid nitrogen freezing make it possible to use liquid nitrogen in the industrial production of ice cream. It can improve the quality of ice cream products, enhance the productivity, reduce the productive energy consumption and benefit to environmental protection.

**Key words:** ice cream, liquid nitrogen freezing, liquid nitrogen immersion freezer, liquid nitrogen spraying freezer.

关于食品的冷冻工艺，从天然冰雪的利用到人工制冷技术的出现，是食品冷冻工艺史上的第一次革命；而为了提高冷冻食品的品质，由慢速冻结到快速冻结，堪称为食品冷冻工艺史上的第二次革命。而在诸多种食品速冻技术中，由于液氮速冻能实现低温深冷的超速冻，因而极大地提高了冷冻食品的品质，延长了食品的保鲜期限，在冷冻食品工业中显示出特有的生命力。在国外已有将活鱼用液氮冻结，而在解冻后的鱼又重现复活的实例，液氮冻结技术被国外誉为 20 世纪食品工业最杰出的成就之一，有“魔法冻结（Magic freeze）”的美誉，美国把这种冻结方式称为瞬间冻结（Flash freezing）。在西方国家液氮主要用在鱼类、水果、蔬菜等的冻结，在我国已有将液氮应用于水产品生产的报道，而把液氮技术应用于冰淇淋工业化生产，开创了国内乳制品行业的先河。

## 1 传统冰淇淋生产中存在的问题

在传统的冰淇淋生产工艺中，使用氟利昂或液氨压缩机制冷机组进行产品冻结存在以下问题：

（1）在制造火炬型冰淇淋时，由于冰淇淋产品脂肪含量较高，通常膨胀率达到 85%~100%，经凝冻机制造出来等待冻结的软冰淇淋温度仅为-5 ℃左右，软冰淇淋灌充在威化筒上，其拉花火炬形状因在普通冷冻隧道里温度仅有-35 ℃左右，容易塌陷变形，产品外观不好。

（2）火炬型冰淇淋在传统氟利昂（或液氨）压缩机冷冻隧道中冻结速度太慢，会产生粗糙的冰屑而在食用时产生沙状的口感。这是由于冰淇淋组织成分的每个细胞外溶液浓度较低，首先在细胞外产生了冰晶，此时细胞内的水分还以液相状态残留着，同温度下水的蒸汽压大于冰的蒸汽压，在蒸汽压差作用下，细胞内的水分向外部冰晶移动，形成较大的冰晶，并且这些冰结晶分布不均匀。

（3）按照传统的制造巧克力脆皮雪糕条工艺，先将雪糕条直接浸入 55 ℃的液体巧克力浆料中约 2~3 s，靠雪糕条本身的温度冻结粘在其表面的巧克力浆料涂层，经包装后通过传送带进入-25 ℃冷库保存。由于制造过程温度不够低、冷冻效果差，雪糕条外层巧克力脆皮容易熔融、裂开甚至脱落，影响了产品的

收稿日期：2010-09-09

作者简介：余保宁(1962-)，男，高级工程师，研究方向：食品工程，乳制品加工工程

感官质量。

（4）巧克力脆皮雪糕条中的巧克力浆料涂层脂肪含量达到50%以上，其油脂容易因氧化作用而产生油腥味。

（5）传统压缩机制冷设备占地面积大，设备一次性投资费用大，日常维护费用高；而且电能消耗大、冷冻效率低。

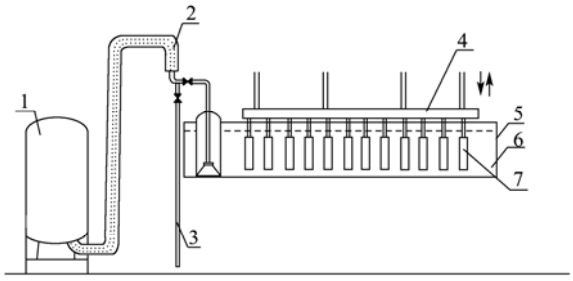
（6）冰淇淋产品需在包装前完成冻结，而传统制冷吹风冻结装置冻结的产品，因冻结时间长，汁液流失严重，其干耗率达到4%~6%，冰淇淋组织因水分蒸发而直接影响了产品质量。

（7）传统制冷设备大量使用氟利昂或液氨等冷媒破坏大气臭氧层，对地球生态环境造成危害。

## 2 液氮快速冻结设备应用于冰淇淋工业化生产

冰淇淋属于乳制品加工行业，为了解决冰淇淋生产中的质量、能耗、成本、环保等问题，将应用于水产品速冻的液氮冻结技术运用在冰淇淋生产中，革新了传统冰淇淋生产的工艺技术和设备装置。

### 2.1 液氮浸渍式巧克力脆皮雪糕条冻结设备



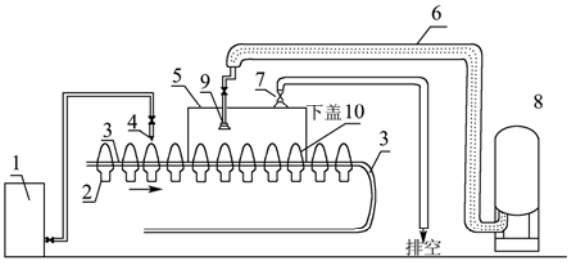

1.液氮罐 2.聚氨酯保温管 3.溢流排空管 4.机械夹取装置
5.液氮槽 6.液氮 7.冰淇淋

图1 液氮浸渍冻结设备

**Fig.1 Liquid nitrogen immersion freezer**

经凝冻机灌装出来的软雪糕，通过生产线上的加料斗定量灌注在不锈钢模具上成形，装有雪糕浆料的棒状模具被置于-35 ℃的氯化钙冰盐水中冻结，模具中的雪糕被冻结硬化后插上木签，再经过脱模工序，机械夹取装置将带木扦的雪糕条从模具中拔出，经输送带移到装有巧克力浆料的不锈钢槽上方，雪糕条被浸入至55 ℃左右的巧克力浆料中约2 s，机械手立即提升，浆液滴漏片刻后平行移动到高强度不锈钢制成的液氮槽上方，涂有巧克力浆的雪糕条被迅速浸入沸腾中的液体氮停留2~3 s后立即提升，即完成了巧克力涂层表面的快速冻结操作，成品被移送入包装段，经枕形镀铝膜包装机包装后移至-25 ℃冷库贮存。

### 2.2 液氮喷雾式火炬型冰淇淋冻结设备




1.凝冻机 2.威化筒 3.输送带 4.充填嘴 5.不锈钢箱体
6.聚氨酯保温管 7.抽风机 8.液氮贮罐 9.液氮喷嘴 10.冰淇淋

图2 液氮喷雾冻结设备

**Fig.2 Liquid nitrogen spraying freezer**

它由不锈钢隧道箱体、喷雾装置、不锈钢输送带、传动装置、抽风机等组成。10 $m^3$ 液氮贮罐放置于室外，液态氮被引入不锈钢箱体内对火炬型冰淇淋进行喷雾冻结。经凝冻机灌装出来的软冰淇淋，通过充填嘴被灌注在预先放置于下部输送带托盘上的威化筒里，制成拉花火炬形状的冰淇淋，此时冰淇淋半成品温度只有-5 ℃左右，冰淇淋内部因有大量空气而整个组织较软。火炬型冰淇淋通过输送带被移入不锈钢隧道式箱体中，箱体上方连接着液氮喷嘴，-195.8 ℃的液氮通过喷嘴直接喷淋在火炬型冰淇淋上，冰淇淋立刻被冻结，软冰淇淋的火炬形状被瞬间凝固。随着不锈钢输送带的不断前移，冻结后的冰淇淋被移至另一端的不锈钢箱体外，盖上透明塑料盖后转入-35℃的传统冷冻隧道中冷冻1 h左右，储于-25 ℃的成品冷库。

## 3 液氮冻结技术及其设备结构

液氮喷雾式冻结设备由隔热隧道形式的组合箱体、储液罐喷淋管系、不锈钢传送带、无级变速器、轴流风机、电磁阀、电控箱等主要部件组成。为了减少因温差大而产生应力引起变形，整个箱体由几段相通的SUS304不锈钢隔热箱组成，不锈钢箱体之间用耐低温的硅橡胶密封条和黏结剂加以密封。隔热箱内外护板为不锈钢板制成，其间填充75 mm厚的聚氨基甲酸乙酯硬质泡沫作隔热层，箱体出入口端分别设有硅橡胶软帘以阻挡氮气外流；在箱体中的传送带其运动速度可通过无级变速传动机构调整，并有螺旋拉紧装置调整链条松紧度，防止传送带链条因温度变化发生卡住或冷脆等故障；电磁阀和调压阀等自控阀用于液氮流量控制，通过温度传感器、温控器、调压阀来调节阀门的开启大小和液氮储罐内压，控制喷嘴液氮流量；不锈钢箱体上方设置有抽气风机和风管，将气化后的氮气及时排除室外，避免氮气在车间内聚集。抽气风机上设有T型蝶阀，当排气温度过低时，可打

开蝶阀，吸入部分空气，以防止风机叶轮结冰影响正常运转。

浸渍式液氮冻结设备的液氮槽要选用高强度不锈钢材料制成，否则在极低温下，普通不锈钢材料会产生冷脆而导致设备损坏；由于浸渍式液氮冻结过程的强烈热交换作用，液氮槽中的液态氮始终保持着强烈沸腾，这有利于单个雪糕条彼此间的分离；液氮在大气压下温度为-195.8 ℃，人体皮肤接触后会引起严重冻伤，为避免在液氮流入浸渍式液氮冻结装置的敞开式液氮槽时，液氮喷溅到槽外伤人，设置了电磁阀和防液氮飞溅装置;产品传送带的调速采用变频调速，可以根据雪糕产品不同的形状和净含量而调整运行速度。

置于室外的液氮储罐是专业工厂加工的标准化产品，结构为不锈钢内槽和碳素钢外槽相连，其间充填高真空粉末-珠光砂，并抽真空到 1.33 KPa，外层有聚氨酯隔热材料形成双重保温；为避免罐内液氮压力过高会影响安全生产，因此设置了安全阀；罐内液氮数量可由液面指示计显示，用完后由供应商的液氮槽车通过加液阀向罐内填充液氮。

氮气无色无味，如果生产车间环境空气中的氧气含量低于 20%，可造成窒息环境而引起人体昏迷。为避免因空气过滤换气系统故障而造成车间内空气的氧含量不足，设置了液氮供应自锁安全装置，确保生产工人的安全。

## 4 液氮冻结在冰淇淋生产中体现的优越性

液氮是无色、无味、低黏度的透明液体，化学性质稳定，与任何物质不起化合作用，在常压下的沸点是-195.8 ℃，液氮气化时体积膨胀 647 倍，从它的沸点到-25 ℃冻结终温所挥发的制冷量为 383.1 KJ/kg，是一种理想的载冷剂，是近年全世界食品速冻应用技术的开发热点。

（1）液氮冻结速度快，生产效率高。液氮的沸点比氨（-33 ℃）和氟利昂（-30~-40 ℃）的沸点低得多，由于液氮与冰淇淋直接接触时，以将近 200 ℃的温差进行剧烈的热交换，液氮冻结与传统的冻结设备相比较，换热强度增加了 30~40 倍。生产实践证明，液氮浸渍冻结巧克力脆皮雪糕条的时间仅为 2~3 s，液氮喷雾冻结火炬型冰淇淋时间仅为 1~2 min，而传统制冷机组将上述产品冻结到-25 ℃需要 30 min 以上的时间，单位时间内液氮设备所能冻结的产品量显著增加。

（2）减少冰淇淋产品因大颗冰晶体引起的沙状口感。冰淇淋组织成分里含有乳蛋白质、乳脂肪、乳糖、蔗糖等有机物质，这些有机物来源于动植物，动植物原料由大量细胞构成，冰淇淋的冻结点（Freezing point）低于纯水冰点。由于传统制冷设备冻结时间长，冰淇淋组织内部所形成的冰晶粒度大、分布极不均匀。而液氮冷冻速度（Freezing Rate）极快，可使食品迅速通过-1 ℃~-5 ℃的最大冰结晶生成带（Zone of maximum ice crystal formation），冰淇淋组织内结冰层推进速度大于水分移动的速度，产生冰结晶的分布接近于组织中原有液态水的分布状态，冰淇淋组织细胞内的胶体结合水及游离水和细胞间隙中的游离水同时冻结成无数细微均匀的冰晶体。由于产品快速到达冻结终温，使组织内大部分的水分在冻结过程中来不及移动，而在原位置变成微细均匀的冰晶（见表 1），消除了食用时冰淇淋的沙状感。

表 1 冰淇淋的冻结速度对冰晶体形状、大小的影响

**Table 1 Effect of freezing rate on the shape and size of ice crystal in production of ice cream**

| 冻结速度 | 冻结介质 | 冰晶体 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 位置 | 形状 | 厚/μm | 宽/μm | 长/μm | 数量 |
| 超速冻 | 液氮 | 细胞内 | 针状 | 0.5~5 | 0.5~5 | 5~15 | 无数 |
| 速冻 | 盐水 | 细胞内 | 杆状 | 9.1 | 12.8 | 29.7 | 多数 |
| 慢冻 | 空气 | 细胞外 | 块粒状 | 324.4 | 544.0 | 920.0 | 少数 |

（3）保持冰淇淋的新鲜度、色香味和营养成分。液氮无毒，对食品成分呈惰性，使脂肪含量较高的巧克力脆皮雪糕等冰淇淋产品减少与空气的接触，几乎不发生氧化变色和脂肪的酸败，消除因氧化造成的油腥味；快速降低的温度能减缓冰淇淋的生化反应，降低由酶引起的一系列变质现象；液氮对细菌和其他微生物还有窒息和抑制作用，更好地保持了冰淇淋原有的新鲜度、色香味及其营养价值，延长了产品的货架期。

（4）改善冰淇淋产品外观质量。实践证明，即使在生产脂肪含量高、膨胀率达到 100%的拉花火炬型冰淇淋时，液氮冻结也能确保产品外观坚挺，不容易出现塌陷变形现象；经液氮浸渍生产的巧克力脆皮雪糕条，由于表层巧克力浆与液氮的直接接触时间极短，巧克力涂层温度在瞬间远低于内层雪糕的温度，热胀冷缩作用下巧克力脆皮紧紧裹住内层雪糕组织，使涂层不容易剥落。同时，由于液氮冻结的极低温，巧克力脆皮的硬度较高，脆皮涂层外表十分平整和光滑，不会产生熔融、粘结和表面龟裂、脱落等现象，实现单体快速冻结（Individual quick frozen）的脆皮雪糕产品，其感官质量指标明显优于常规制冷设备冻结

的产品。

（5）液氮冻结设备占地面积小、结构简单、操作方便、维护容易。与传统机械冻结设备的比较，液氮冻结设备有不少优点（表 2）。液氮冻结设备只需配置一个储罐，该装置可向液氮供应商租用，整套设备运动部件只有传送带和轴流风机的运动机构。系统工作压力低，不像普通制冷系统的大型压缩机结构复杂、机械运动部件多，而且系统中有高压设备，需要专业人士进行维护，设备发生故障的机会较多；液氮冻结设备属于传送带化、直线连续作业方式，操作者只需在液氮喷雾装置箱体外操作按钮和在进出口端接送产品，自动化连续生产的效率高，有效改善工人低温下的操作条件和劳动强度。

（6）液氮冻结能耗较低。设备依靠液氮相变制冷及内能的转变来达到冻结产品的目的，不像传统冷冻系统在冻结产品时需要消耗大量的电能来运行制冷压缩机机组，从制冷原理上液氮冻结基本属于不直接消耗电能的。

表 2 液氮深冷冻结设备与传统机械冻结设备的比较

**Table 2 The comparison result of liquid nitrogen freezer and traditional mechanical freezer**

| 序号 | 传统压缩机冻结设备 | 液氮深冷冻结设备 |
|---|---|---|
| 1 | 就相同的冻结量而言，机械冻结设备所占用的土地面积是液氮冻结的 6 倍 | 深冷冻结装置所占用的土地面积很小 |
| 2 | 需要一个机房安装压缩机组、辅机设备 | 不需要机房，只需在室外固定放置（立式）液氮贮罐 |
| 3 | 需要专业人士进行压缩机及冻结设备的操作和维护 | 不需要专业人士进行操作和维护，操作工数量减少 2/5 |
| 4 | 设备(包括压缩机组、辅机、冷却塔、管道等)的一次性投入大（是深冷冻结装置的两倍） | 相同冻结能力条件下，液氮冻结设备只占机械冻结装置资金投入的 1/2 |
| 5 | 使用非环保冷媒 | 液氮是广泛存在于空气中的惰性气体 |
| 6 | 所需的电功率大，耗电量为液氮冻结的 10 倍以上（往往需要用户增容变压器） | 所需电功率小，一般不超过 10kw |
| 7 | 冻品干耗大，脱水多，在冻结高附加值的冻品时，这个因素十分重要。 | 冻品的干耗小，适合冻结高附加值的冻品（如高档冰淇淋） |
| 8 | 因设备机组庞大，内部结构复杂，冲霜、清洗用水量大 | 便于清洗，所需时间和用水量少 |
| 9 | 最大冻结能力受限制、不能随意加大 | 箱体采用模块结构，可以根据生产需要，随意加长设备，加大冻结能力 |
| 10 | 库体降温慢，启动时间长，关闭受限制 | 库体降温快、可快速启动、随时关闭 |
| 11 | 建设周期长 | 建设周期短、可快速投产 |
| 12 | 冰淇淋冻品成型不好，冰晶颗粒大、数量多，口感差 | 冰淇淋产品外形坚固，冰晶体细小均匀，没有沙状感觉，感官质量好。 |
| 13 | 高脂肪巧克力脆皮涂层易氧化、熔融、开裂和脱落 | 巧克力涂层平整光滑坚硬，产品新鲜度和色香味俱佳 |

（7）液氮冻结成本低。根据最新的国外资料数据，冻结能力在 3000 kg/h 的液氮喷淋设备其基本投资为 7.5 万美元，而普通压缩机冷冻机组要投资 16.5 万美元。在冻结能力相同情况下，经实际生产统计计算，液氮冻结设备投资成本仅为机械制冷设备成本的 1/2，安装面积仅需 1/6，动力消耗只有 1/10，用工人数节省 2/5，每年可以节省一大笔土地和厂房的租金。生产统计数据说明，每冻结 1 kg 冰淇淋的液氮耗用量在 0.2~0.6 kg 之间，以目前液氮市场价 0.8 元 / kg 计算，浸渍法冻结生产一支巧克力脆皮雪糕条（85 g/支），成本约为 0．015 元/支；喷雾法生产一个火炬型冰淇淋（100 g/个），成本约为 0.045 元/个，低于传统机械制冷在产生同样冻结效果时所用电费成本。

（8）降低冰淇淋产品干耗。由于传统制冷设备冻结冰淇淋的时间过长，冰淇淋表面的水分被蒸发造成重量减轻，所丢失的水分占冰淇淋原重量的 4%~6%，而液氮冻结时间极短，冰淇淋表面温度急剧下降至冰点以下，冰淇淋的汁液被封在产品内部，液氮冻结冰淇淋干耗率仅为 0.3%~0.5%，远远低于慢速冻结的干耗值。冰淇淋表面有一层很薄的冻膜，冰淇淋的机械强度高，冻品表面色泽好、失水率低。

（9）质量改善使销售单价提高，经济效益显著。液氮浸渍冻结设备和喷雾冻结设备投产以来，经过几年时间的生产实践和不断的技术改造，现已形成了规模化的冰淇淋生产线，产品质量得到根本性改善，产品美誉度的提高使销售单价和销售量均同步提升。

（10）液氮冻结技术对环境保护贡献尤为突出。在 21 世纪的今天，发展液氮冻结技术具有明显的社会效益和生态效益。传统冰淇淋生产所用的大型制冷设备需要耗用大量的氟利昂或液氨，这些冷媒对大气臭氧层造成严重危害，当前国际上正在限制和禁止使用氟利昂，我国目前对环保事业空前重视，减少 CFC、HCFC 等制冷剂的使用功在千秋、势在必行。液氮在空气中的含量约为 78%，是无色无味的惰性介质，是地球大气中取之不尽的资源，液态氮复温气化后排放到大气中，对环境没有增加任何有害物质排放；其次，液氮冻结比传统制冷设备消耗电能少得多，属于真正的低碳环保技术；再者，相对于噪音极大的传统压缩机制冷设备，液氮设备向外排放的噪音非常小。可见液氮冻结是当今世界最环保的新兴技术，应该得到大力推广和发展；此外，对食品进行大规模流化态液氮喷雾速冻处理，能加快农业产业化和集约化的进程，对促进农副产品的深加工具有重要的社会意义。

## 5 结论

通过冰淇淋生产中应用液氮冻结技术几年来的实践，充分证明了液氮冻结是最环保的冷冻技术，所制造的冰淇淋产品质量好，冻结速度快，生产效率高，生产能耗低，设备结构简单，操作维护方便，安全实用，生产成本低，经济效益显著，值得在国内外食品与乳制品行业广泛推广。

近年来我国制氧工业的规模正不断扩大，但制氧工业中的氮气放空量大，由此而造成的能源和经济损失大，若将我国每年制氧所排放的氮气充分利用起来，每年的液氮产值可达几十亿元。目前在美、日等发达国家已制造出利用液氮制冷的冷藏车，如果我们能进一步推进对液氮技术的深入研究，加强液氮设备的技术更新及推广，随着人们对食品结构及营养和安全性的更高追求，相信液氮在我国食品工业将有更为广阔的发展前景。

## 参考文献

[1] 林婉玲,曾庆孝,朱志伟.直接浸渍冷冻在食品加工中的应用现状与前景[J].食品工业科技,2008,29(7):256-260

[2] 郭旭峰,陶乐仁,华泽钊.液氮喷雾式食品流态化速冻装置的研制[J].食品工业,2003(2):48-49

[3] 陈绍桥.液氮在食品速冻中的应用[J].肉类工业,2002,10:28-29

[4] Agnelli M E, Mascheroni R H. Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52 (3): 257-263

[5] Zorrilla S E, Rubiolo A C. Mathematical modeling for immersion chilling and freezing of foods. Part I: Model development [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(3): 329-338

[6] Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 292-299

现代食品科技