

关于接触式平板冻结器性能的讨论

一、引言

随着食品冷冻事业的不断发展,块状食品的冻结设备日益需要,因为肉类、水产品和蔬菜冻成块状后,能提高冷库和运输的装载量,便于机械化装卸,在节约生产费用和保证产品卫生质量方面有一定的意义。这是食品冷冻技术发展的必然趋势。

接触式平板冻结器是冻结块状食品较好的设备,产品被夹紧在带有制冷剂通道的金属平板内,金属板有很好的导热能力,被制冷剂所冷却的金属平板将冻结物内热量吸走。因为金属板的传热系数大,所以冻结效率高,占地面积小,而且它不需要建有隔热材料的冻结室,因此建设速度快,投资省。

国外平板冻结器使用已有几十年的历史,用盐水作载冷剂的,卧式平板器在三十年代初就在冷冻拖网船上应用,五十年代又采用了立式平板器,七十年代开始研究平板器自动化,即在卧式或立式平板器的基础上,加上装卸传送及定时装置,使平板冻结器的进料和出料通过装卸传送带进行,从而实现其自动化。

我国平板冻结器的试制和生产是近几年的事,目前立式平板冻结器经过初步鉴定后已进行批量生产,各类型的卧式平板冻结器如北京食品研究所、黄桥肉联厂设计试制的7.5吨/4时机械进出料卧式平板冻结器、郑州肉联厂试制卧式铝合金平板冻结器、鄂城肉联厂试制WB-1卧式平板冻结器,信阳肉联厂试制库内大型平板冻结器都在试运转,这些都已专题资料介绍。这里仅从使用角度上对接触式平

板冻结器几个综合性技术问题进行讨论。

二、影响冻结时间的因素

冻结时间是衡量一种冻结装置性能的主要指标,因为目前对食品低温保鲜和保质的途径是快速冻结。快速冻结可避免因形成大的冰结晶而破坏细胞组织,通过冰结晶区愈快,冻结过程中细胞组织内的冰结晶愈小。而且,冻结过程短,细胞中汁液来不及渗出,因此可以避免在解冻后造成汁液损失。另外,从生产经济效益上亦要求提高冻结速度,这样能提高冻结能力,降低投资和生产费用。在相同的工况条件下,如冻结速度快,则单位产品所需耗电,耗冷量亦相应减少。

平板冻结器的冻结时间就是把产品温度降到冻结点以下某一规定值所需要的时间。而实际上冻结时间由三个热交换过程所组成,即:(1)把产品从进料温度降到冰点温度;(2)由冰点温度冻结 -4°C ,这里大部水发生冻结;(3)把产品降到最终温度。上述三个过程有时同时进行。

冻结时间的计算一般可用普朗克方程式,即:

$$\tau_{\text{冻}} = \frac{qr\delta}{t_{\text{食}} - t_{\text{板}}} \left(\frac{P}{a} + \frac{R\delta}{\lambda} \right) \quad (\text{时})$$

式中:

PR——均为常数,随被冻结食品的几何形状而变化。对于无限大的板状食品

$$P = \frac{1}{2} \quad R = \frac{1}{8}$$

$\tau_{\text{冻}}$ ——食品的冻结时间(时)

q ——食品冻结时发出的热量(千卡/公斤)
 r ——食品的容重(公斤/米³)
 δ ——食品的厚度(米)
 $t_{\text{食}}$ ——食品冻结前的温度(°C)
 $t_{\text{板}}$ ——板面温度(°C)
 α ——放热系数(千卡/米²时°C)
 λ ——被冻结食品的导热系数(千卡/米²时°C)

冻结时间受多种因素的影响,主要有1.制冷介质与被冻结物的温度;2.被冻物的吸热放热及其内部热量的传递方式;3.被冻物的包装情况;4.被冻物的大小,形状和热学性质。

下面进一步研究。影响平板冻结器冻结时间的几个因素:

1. 被冻食品厚度的影响

被冻物厚度愈大,冻结层的热阻力也愈大,因此冻结速度也愈弱。在冻结层厚度较小时,冻结速度随着传热系数的增大而显著加速。但当其厚度增加时,这一关系即趋变弱。

现应用普朗克方程式来计算平板冻结器的冻结时间,其条件是:用矩形管 $50 \times 20 \times 2$ 制的平板冻结器,分割猪肉初温 $+35^{\circ}\text{C}$,平板温度 -30°C ,冻品终温 -15°C , $r = 1000$ 公斤/米³, $\delta = 0.1$ 米, $q = 73$ 千卡/公斤, $\lambda = 0.9$ 千卡/米²时°C, $\alpha = 42$ 千卡/米²时°C。

$$C_{\text{冻}} = \frac{73 \times 1000 \times 0.1}{35 + 30} \left(\frac{1}{\alpha \times 42} + \frac{0.1}{8 \times 0.9} \right) = 2.9 (\text{时})$$

根据计算得出表 1

各种冻结条件下的冻结时间 表 1
(单位: 小时)

α (千卡/米 ² 时°C)	冻结厚度 (米)				
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3
12	2.63	6.05	10.10	15.04	27.29
25	1.51	3.81	6.73	10.55	20.55
40	1.09	2.91	5.61	9.04	18.02
50	0.95	2.69	5.05	8.31	17.18
100	0.67	2.13	4.21	7.18	15.49
150	0.56	1.90	3.87	6.73	14.82

(注: 计算条件同前。平板器中分割肉和平板间的 $\alpha = 40$ 千卡/米²时°C。吹风冻结间白条肉表面放热系数 $\alpha = 6.3 + 3.6 W$, 当 $W = 1.75$ 米/秒, 则 $\alpha \cong 12$ 千卡/米²时°C)

从表一数列来看, 平板冻结器中冻结物厚度最好在 $50 \sim 100$ 毫米左右为宜, 如超过 150 毫米时, 则没有其优越性了。

2. 包装物料和平板与被冻食品的影响

从热力学角度来看, 无包装冻结最有利, 而被冻食品与平板接触紧密, 内部没有空气间隙最为理想。因为被冻物与制冷剂之间的传热系数 K :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

式中:

α_1 ——被冻物与金属板表面的放热系数。
 α_2 ——制冷剂与金属板面的放热系数。
 δ ——金属板的厚度。
 λ ——金属板的导热系数。

在上式中, 是根据食品与金属板间的接触好坏有很大的差别。

食品的全部冷却面积与金属板不完全贴密时, α_1 值就比较小。而 $\frac{1}{\alpha_2}$ 和 $\frac{\delta}{\lambda}$ 值都比 $\frac{1}{\alpha_1}$ 小, 所以 K 值主要是根据 α_1 的值来定的。

空气层对冻结速度的影响 表 2

空隙距离 (毫米)	冻结速度比	空隙距离 (毫米)	冻结速度比
0	1.0	5.0	0.405
1.0	0.6	7.5	0.385
2.5	0.485	10.0	0.360

食品装在包装材料中冻结, 因为包装物导热系数低, 而且有空气层, 则会加长冻结时间。经计算如厚 100 毫米 $+35^{\circ}\text{C}$ 分割肉直接放在铁制平板器冻结, 当板面温度 -30°C , 而肉中心温度拟达 -15°C 时, 冻结时间约为 2.91 小时。而用 4 毫米厚, 导热系数是 0.05 千卡/米时°C包装材料时, 冻结时间要延长 0.47 小时。

由于以上情况，所以平板器在装料时，要求紧密，不要有空隙；另外，平板两面都应有压力，要求接触压力为 $0.07 \sim 0.3$ 公斤/cm² 在立式平板内冻结产品，出现空隙时，可加水排出空气，这样，缩短了冻结时间，但冷冻机的负荷有所增加。

3. 制冷剂供液情况的影响

首先要求在各块平板中供液均匀，根据资料分析，用氨泵强制循环供液最为有利，板面温度仅比蒸发温度高 $2 \sim 4$ °C 如用氨液分离器满液式供液时，板面温度比蒸发温度高 $3 \sim 6$ °C。而直接膨胀供液最为不利，板面温度比蒸发温度高 $9 \sim 14$ °C。另外，在供液，回气管道要考虑分配管连接、或用板孔控制供液，避免短路，力求供液均匀，氨泵供液量应需有其蒸发量 $10 \sim 12$ 倍才能达到理想的效果。

4. 平板材质的影响

铝制平板要比铁制平板的传热系数高 $10 \sim 45\%$ ，如表 3，因此用铝盒金属材料做平板是比较理想的。

铝和铁制平板表面放热系数 表 3
千卡/米²时°C)

	氨液分离器供液	氨泵强制循环供液
铝 纤 平 板	66.7	96.7
铁 制 平 板	36.4	40.4

三、耗冷量和冷冻机的配组

1. 任何冻结装置进行冻结食品时总要消耗一部分冷量，一般有四个方面，计 Q_1 —围护结构传热而引起耗冷量； Q_2 —食品含热的耗冷量； Q_3 —库内通风，换气耗冷量； Q_4 —经营操作的耗冷量。平板冻结器与一般库内强烈吹风冻结间相比，其中 Q_2 相同， Q_3 都不计算，而主要在 Q_1 和 Q_4 来比较。

从 Q_1 来分析，吹风冻结间的围护结构面积比平板器大，因而耗冷量亦大些，当然立式

平板器由于有部分围护结构没有隔热层，耗冷量稍大一些。从 Q_4 来分析，由于吹风冻结间内有鼓风机动力、阀门、人体等耗冷量，而平板器不需此项耗冷量。

通过几种平板冻结器的实测和吹风冻结间单位产品耗冷量的比较见表 4。

每公斤食品的耗冷量 表 4

冻结装置	每公斤食品的耗冷量 (千卡/公斤)	工 况 条 件
立式平板	92.4 (98.6)	分割羊肉进料 23°C ，出料 -15°C ，冻结时间 4 小时
大 型 卧式平板	80 (84)	内销分割肉进料 32°C ，出料 -10°C ，冻结时间 4 小时
吹风冻结间 (20吨/日)	119	猪白条肉进库 $+35^{\circ}\text{C}$ 出库 -15°C ，氨蒸发温度 -33°C ，冻结时间 20 小时

注：1. 吹风冻结时耗冷量是根据设计任务书计算；平板冻结器耗冷量是根据冷冻机实测计算数（一般冷冻机实际产冷量比计算大 $5 \sim 10\%$ 左右）。

2. 为了便于比较，现把平板器中都换算为猪分割肉进料 35°C ，出料 -15°C 热含量的工况条件，标明在括号内。

根据表 4。可知大卧式平板和立式冻结器每公斤食品的耗冷量比吹风冻结间各节约 30% 和 18% 。

关于冷冻机配置和热负荷问题。首先由于平板器冻结时间短，在单位时间内热负荷大。另外，在设备运转过程中开始降温时热负荷需多，在终了时将相应减少，所以不能靠平均热负荷来配机，否则将发生热负荷失调情况，会延长冻结时间，并降低生产能力。因此，平板冻结器所需冷冻机的配机热负荷计算建议采用以下公式：

$$Q = \frac{q \times G}{n} \times 1.2$$

式中：

Q ——冷冻机产冷量千卡/时

q ——每冻 1 公斤食品的耗冷量千卡/公斤

n ——冻结时间小时

G ——冻结物重量公斤

1.2——负荷系数。

如一台每块进料一吨的立式平板冻结器，需配冷冻机负荷为：

$$Q = \frac{98.6 \times 1000}{4} \times 1.2 = 29580 \text{ 千卡/时}$$

必须指出，如用单独制冷系统来承担平板冻结器的负荷时，应提高冻结器的利用率（如平板器连续工作20小时，即日冻5次），这样方能充分发挥冷冻机能力。另外，如利用冷库原有制冷系统来连接，（接-28℃或-33℃系统），则因热负荷可调剂使用，比较灵活，配机能力可大为减少。一台立式平板冻结器只需24650千卡/时（不必增加1.2负荷系数）。

总之，由于平板冻结器冻结每吨冻肉的耗冷量比风吹冻结间为少，因此，如这两种冻结装置都充分利用其设备能力的条件下（如每天都连续工作20小时的情况），平板器的配备冷冻机可比风吹冻结间少些。

四、关于耗电量问题

由于平板冻结器在工作时，平板与被冻物直接接触，故在相同的冻结温度下，平板器中制冷剂的蒸发温度相对的比吹风冻结装置可提高5-8℃，这样可使冷冻机更经济地工作，耗电量下降。而在吹风冻结装置中，由于被冻物周围要求较高的风速，因而配置风机的动力也较大，耗电量增多。

根据实际测定，各种冻结装置的耗电量见表5。

各种冻结装置的耗电量 表5

冻结装置	每吨肉耗电量 (度/吨)	工 况 条 件
立式平板冻结器	59 (50.5)	剔骨羊肉，进料23℃，出料-15℃， 冷凝温度15℃，蒸发温度-30℃
大型卧式平板冻结器	33 (43.5)	内销分割肉进料32℃，出料-10℃， 冷凝温度25℃，蒸发温度-33℃
吹风冻结间 (20小时)	80 (81.2)	猪白条肉，进库35℃，出库-15℃， 冷凝温度28℃，蒸发温度-33℃

注：括号内数以标准工资计算数。

由此可见，如工况条件相同的情况下，平板冻结器的耗电量最少可比风吹冻结间少三分

之一左右。

五、关于冻块平面规格问题

考虑经平板冻结器生产出来的冻块平面规格应附合放在托板上用电并叉车运输的方便和适合库内柱网模数要求。目前冷库大部份采用6000×6000毫米柱网，柱子尺寸一般为600×600毫米，柱与柱净空距离为5400毫米。现考虑采用1000×1200托板（托板重心在叉车的力矩内）。每个托板间距为50毫米，离柱300毫米间距，这样每两个柱网间可放四个托盘。如柱子尺寸不同，可在间距中调整。这样，在1000×1200托板中每一层可放6个600×400毫米规格冻品（横放二个，竖放二个，每层交叉堆放）。这样冻品规格采用600×400毫米为合适。也便于人工搬运。

六、结 束 语

目前看来，平板冻结器是冻结块状食品的一种较好的设备，它比吹风冻结装置具有占地省，投资少，建设速度快、省劳力、冻品干耗少、耗冷少、节约电能等优点。但另一方面亦有缺点，如不能象吹风冻结间能适用多种产品的生产，不适用于怕挤压的食品。而且，平时维护量较大（软管每二、三年要更换，平板每年需排污油工作量）等问题。

平板冻结器的用途不一，立式平板主要用在冻结牲畜付产品，塑料袋装的流体食品和散装小杂鱼等商品。可以不用冻盘，但商品不能整形。卧式平板冻结器主要用在冻结分割肉和需整形包装的水产品等商品。

由于铝合金平板具有放热系数大，不易生锈，有利于食品的卫生等优点，是今后发展的方向。但为何提高耐磨性和降低造价问题亦需要解决。

另外，目前在平板冻结器的设计和制造上，还有一些技术问题，如氨液分配和装、卸料方面，需要研究改进，使工作更为理想。

（收稿日期80.5）

汪镇苏