

文章编号: 1005-8737(2000)01-0091-04

两段冷冻工艺的工业应用实验

张建一, 刘年生

(集美大学水产学院, 福建 厦门 361021)

摘 要: 根据以往的计算机模拟结果, 对两段冻结新工艺进行了工业规模的对照实验。该工业冻结装置采用单机双级压缩机, 在1997年3月~1998年1月期间进行了45次实验。结果表明, 两段冻结新工艺可以直接用于工业食品冻结装置, 同常规冻结过程比较, 每吨冻鱼平均可省电耗10.3%, 并且冻结时间平均减少2%, 冻品质量有所提高。

关键词: 食品冷冻; 两段冻结; 节能; 工业应用

中图分类号: S983.160.23

文献标识码: A

食品低温加工和贮藏法被世界各国广泛应用于易腐食品的贮运, 而食品冻结过程中的节能和提高冻品质量问题已成为国内外食品科技工作者研究的焦点^[1-3]。两段冻结是作者提出的一种食品冻结新工艺。它将一个常规的冻结过程分为2个阶段, 在冻结过程的第1阶段采用一个较高的蒸发温度(T_e), 这样在第1阶段制冷循环的制冷系数(COP)可以提高。这种新工艺的计算机模拟结果已发表^[4], 证实新工艺对食品冻结具有明显的节能效果, 且冻结时间缩短。根据计算机模拟结果, 本研究对新工艺进行了一系列工业规模的对照实验, 旨在为找出在工业装置中新工艺的操作方法和确定新工艺与常规工艺比较的实际节能效果, 对计算机模拟的结果进行检验。由于全部实验在典型的工业装置中进行, 实验总结的操作方法可直接用于同类的工业装置中。

1 实验设备与方法

1.1 设备

1.1.1 主要设备

实验装置采用一套典型工业冻

结装置(厦门), 制冷剂为R717, 活塞式压缩机, 隧道式和搁架式冻结装置, 总冻结能力54 t/24 h。冻结回路采用独立的压缩机。实验所选用的主要设备列于表1。

表1 实验用设备

Table 1 Main components in the experiment			
设备 Component	型号 Model	容量 Capacity	数量 Numbers
压缩机 Compressor	S8-12.5	97 kW	2
冷凝器 Condenser	WN-110-8	110 m ²	4
搁架冻结器 Shelf freezer	250 m ²	6 t	2
隧道冻结间 Air blast freezer	240 m ²	12 t	1

1.1.2 测试热力参数的仪表 实验选用的温度计和安装位置列于表2, 符合GB10876-89标准。用半导体数字式测温仪来测量冻品中心温度, 采用远距离电阻式测温仪测量冻结装置中空气温度, 符合SC/T3005-1988标准。

1.1.3 电器仪表 能耗是测量的主要参数之一, 采用三相电度表法。选用的电气仪表列于表3, 电度表使用前均由专门的检验中心校核, 精度满足实验要求。

1.2 方法

收稿日期: 1999-06-02

基金项目: 农业部资助项目(85-93-青-08)

作者简介: 张建一(1953-), 男, 福建泉州人, 集美大学副教授, 爱尔兰工学硕士, 从事制冷节能研究。

采用对照实验方法以确定新冻结工艺在工业装置中的节能情况。设常规冻结过程作为对照组,新工艺为实验组。2 组工作条件相同。

表 2 实验用的温度仪表

Table 2 The thermometers selected and the positions installed

测试点 Test point	测试范围/℃ Test range	型号 Model	刻度 Graduations	介质 Media
I, II	-55~55		1	水银 Mercury
III, IV	-10~210		2	水银 Mercury
冻品中心 Product center	-50~+100	WSC-411P	0.1	半导体 Semiconductor

注: I 和 II 分别为低压级和高压级的吸入处, III 和 IV 为排出处。

I and II are suction inlets of low - pressure and high - pressure compressors, respectively; III and IV are their outlets.

表 3 实验用电气仪表

Table 3 Electrical meters used in the experiment

仪表 Meter	型号 Model	电流范围/A Test range	数量 Numbers	精度/% Accurate
三相电度表 Watt - hour meter	DT862 - 2		2	1.5
电流互感器 Current transformer	LMZJ - 0.5		6	0.5
电流表 Galvanometer	6L2	0~200	2	1.5

为减小实验误差,两组采用同一冻结装置,用同一套仪表测试。这种方法的缺陷是常规工艺和新工艺不能同时进行。因此工作条件不会绝对相同,实验结果须经修正后才能进行对照比较。

制冷循环的流程见图 1。这是一个使用盘管式中间冷却的两级压缩系统,它的蒸发温度 $T_e = -33^\circ\text{C}$,液态氨的过冷温度 $T_g = T_m + 5^\circ\text{C}$ 。图 2 是主流程图相应的 P-H 图。

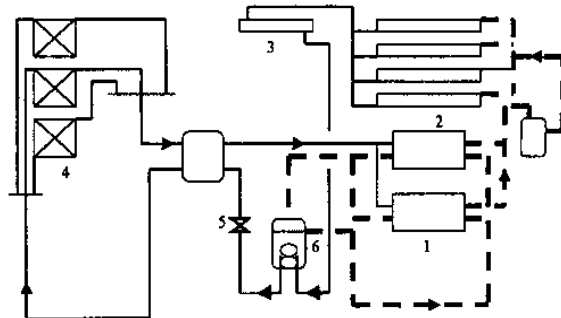
冻结新工艺的关键是在冻结过程第 1 阶段采用一个较高的 T_e ,最简单的方法是调节压缩机的容积流量。对于 1 台活塞式压缩机,其容积流量可用气缸卸载或变频调速来调节。当有多台压缩机,可用多投入或关停部分压缩机来调节容积流量。根据计算机模拟结果,新工艺第 1 阶段的 T_e 应控制在 $-20^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$ 。

2 数据处理

2.1 原则

作为工业规模的实验,其特点是容量大,研究基金无法支付实验材料的费用。因此,实验只能根据

实际生产条件来进行。所以采用以下原则来处理实验数据:(1)选用条件尽可能相同或相近的 2 组实验进行比较;(2)对条件相近的实验,其结果经过相应的修正后再进行比较;(3)当对照组和实验组中某个参数差别很大时,则放弃比较。



1. 压缩机 Compressor 2. 冷凝器 Condenser 3. 贮液器 Receiver
4. 蒸发器 Evaporator 5. 节流阀 Throttle 6. 中冷器 Intercooler

图 1 实验装置制冷循环的流程示意图

Fig.1 Scheme of refrigerating cycle of experimental plant

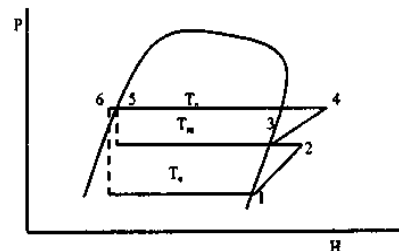


图 2 两级压缩制冷循环的 P-H 图

Fig.2 P-H diagram of two stage compression refrigerating cycle

2.2 对环境温度的修正

由于实验前后长达 10 个月,各实验的环境温度可能差别很大,这意味着制冷循环的冷凝温度 T_c 不同。当 T_e 为常数时,制冷循环的 COP 将随着 T_c 的不同而变化。因此,环境温度 T_{en} 影响应加以考虑和修正,然后才能对 2 组数据进行比较。

在本研究中, T_{en} 采用气象预报的平均气温。制冷循环的冷凝压力 P_c (或冷凝温度 T_c) 每小时记录 1 次,另外,在每次 7~8 h 的实验过程中, T_e 采用其算术平均值。借助计算机模拟计算,对循环的功耗与 T_c 的关系进行了分析,结果表明,对于图 2 所示的两级氨制冷循环,当 $T_e = -30^\circ\text{C}$, T_c 在 $25 \sim 40^\circ\text{C}$ 范围时,循环功耗平均变化为 1.8%。因此,当 1 组对照实验中 T_c 不同时,其能耗的增量 ΔN 可用下

式修正: $\Delta N = 1.8 \times \Delta T_c \%$

式中 ΔT_c 是对照组和实验组之间的 T_c 差值。

2.3 冻结过程中产品温度的修正

实验中产品初温 T_i 和终温 T_{out} 的差异会使 2 组实验的热负荷不同, 导致 2 组的功耗不同。因此, 产品初温、终温不同对功耗的影响必须进行修正, 然后 2 组实验才可比较。

根据实验数据, 产品初温为 $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$, 终温为 $(-15 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。将 $+15^\circ\text{C}$ 到 -15°C 范围取作标准冻结过程, 根据多脂鱼的焓值变化特性, 可计算出鱼体温度在 15°C 时每上升(或下降) 1°C , 热负荷相应增

大(或减小)17%; 在 -15°C 时每上升(或下降) 1°C , 热负荷减小(或增大)2%。由于产品之间温差很小, 制冷循环 COP 不受其影响。且 COP 为制冷量 Q_0 与能耗 N 之比, 即 $\text{COP} = Q_0/N$, 因此当 COP 为常数时, 热负荷(即制冷量)的增量等于能耗的增量。2 组实验中 T_i 和 T_{out} 的差别可以用此方法修正。

3 结果与分析

本研究共进行了 45 次实验。修正后的结果列于表 4, 所冻结的产品鱼均为带鱼或沙丁鱼。

表 4 实验结果汇总

Table 4 Results of the experiment

对照组 Control(A)			实验组 Experiment(B)			(A-B)/A	
实验日期 Test date	能耗/(kW·h·t ⁻¹) Total power consumption	冻结时间/h Freezing time	实验日期 Test date	能耗/(kW·h·t ⁻¹) Total power consumption	冻结时间/h Freezing time	总能耗比/% Total power consumption rate	冻结时间比/% Freezing time rate
04-19	105.2	18.00	04-03	98.0	16.80	6.8	6.7
05-01	132.7	16.30	05-07	93.1	15.00	29.8	8.1
03-06	103.6	9.00	05-09	101.9	11.50	1.6	-27.8
03-08	118.0	7.35	04-29	107.1	6.67	9.2	9.3
11-13	113.4	23.50	01-04	98.2	18.50	14.9	21.3
12-01	83.5	11.00	05-07	87.7	15.00	-5.1	-36.4
03-06	103.6	9.00	04-08	92.1	8.30	11.1	7.8
03-08	118.0	7.35	05-09	99.2	11.50	15.9	-56.5
03-30	91.2	12.00	04-08	92.1	8.30	-1.0	30.8
05-01	132.7	16.33	04-29	104.3	6.67	21.4	59.2
11-17	168.7	11.83	06-30	127.8	9.00	24.2	23.9
11-27	123.5	16.66	10-17	115.9	11.50	6.2	30.7
03-08	118.0	7.35	07-31	113.9	8.00	3.5	-8.8
03-06	103.6	9.00	05-16	80.7	11.33	22.1	-25.9
04-19	105.2	18.00	12-28	106.1	19.50	-0.9	-8.3
11-22	112.5	9.25	05-09	108.1	11.30	39.0	-243.0
11-30	115.4	23.50	04-03	96.4	16.80	16.5	28.5
12-01	83.2	11.00	05-16	79.4	11.33	4.6	-37.0

由表 4 可见, 新冻结工艺每吨冻鱼的能耗平均减少 10.3%。并发现, 如果实验中冷却水系统及时调节, 节能效率可能大于 10.3%。与常规工艺比较, 新工艺的冻结时间平均减少 2%, 同时, 如果认真调节新工艺的实验过程, 冻结时间可能进一步减少。

在第 1 段冻结实验中, 新工艺的运行参数均处于正常范围内。压缩机电机的最大电流为额定电流的 81.7%。在计算机模拟中发现的几个有害现象, 例如电机过载等, 在实验中均未观察到。并且在大多数情况下, 实验中的冻结负荷明显小于制冷装置的设计全负荷。实际上, 本研究的平均冻结负荷均小于全负荷的 50%。因此, 实验中冷凝器、管道等都

处于过大状态。这也是计算机模拟与实际情况不能完全吻合的原因。

4 结论

(1) 新工艺对工业隧道式和搁架式冻结装置完全适用, 其节能效果是明显的, 同时由于新工艺冻结时间比常规工艺稍短, 冻结的质量将不变或略高。

(2) 新工艺可用于两级制冷装置, 压缩机既可以是单机双级机, 也可以是单级机。新工艺第 1 阶段控制参数可用 $T_c(P_c)$ 。第 1 阶段最佳 T_c 应控制在 $-20^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$ 。可通过调节压缩机的输气量获得适当的 T_c 。

(3)第1阶段的运行时间取决于冻结热负荷。实验发现,第1阶段通常只能运行2~5 h。

(4)新工艺可以直接用于现有冻结装置,不需要增加任何投资。但新工艺需要有经验的操作者,对制冷装置进行认真调节。

(5)当冻结装置处于全负荷,同时环境温度相当高时,不可使用新工艺。因为这将使冷凝压力 P_c 过高,导致危险。

(6)如果新工艺使用单机双级压缩机,在第1阶段中电机存在过载的可能性。此时,需特别注意。当两级系统由单级机组成时,使用新工艺更为安全。

(7)如果冻结装置按以上原理设计,主要部件根据2个 T_c 来选择,其节能潜力将更大。其最佳设计有待进一步研究。

(8)集中式制冷装置广泛用于食品冻结装置。隧道式和搁架式冻结在食品工业中广泛应用。一般而言,冻结装置全负荷和极高环境温度极少同时发生。冻结装置经常在部分负荷下运行。因此,在大多数情况下两段冻结新工艺均可应用。

参考文献:

- [1] 孙宝田,等.谈谈食品冷库的节能问题[J].冷藏技术,1984,(2):14.
- [2] 冯志哲.水产品冷冻工艺学[M].北京:中国农业出版社,1997. 48-61.
- [3] 刘年生,等.紫贻贝速冻保鲜的研究[J].中国水产科学,1996,3(4):93-98.
- [4] 张建一,刘年生.食品的两段冻结技术[J].中国水产科学,1998,5(3):76-81.

The experiment of two - period freezing technique in industrial application

ZHANG Jian-yi, LIU Nian-sheng

(Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract:Based on the results obtained from a computer simulation program and a previous published paper, industrial experiments for the new two - period freezing technique were conducted in a food freezing plant using two - stage integral compressors. A total of 45 experiments were conducted from March 1997 to January 1998. The experimental results show that the new technique is feasible for industrial food freezing plants; the energy consumption of fish freezing can be reduced by 10.3% per ton of frozen fish and the freezing time may be reduced by 2% on an average compared with common freezing processes so that food quality will be improved.

Key words:food freezing; two - period freezing; energy savings; industrial application