

果蔬真空预冷装置的技术发展前景

杜建通¹, 张荣玲²

(1. 天津商学院制冷工程系, 天津 300400;

2. 天津市第四半导体器件厂, 天津 300123)

(收稿日期 1999-04-26)

DEVELOPMENT AND ANALYSIS ON TECHNOLOGY OF VACUUM PRECOOLING PLANTS FOR FRUITS AND VEGETABLES

Du Jiantong¹, Zhang Rongling²

(1. Department of Refrigerating Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300400;

2. Tianjin 4th Semiconductor Factory, Tianjin 300122)

Abstract: The paper describes the recent technology and development in the vacuum precooling plants at home and abroad, especially discusses and analyses their energy saving technology. According to the actual conditions in our country, the key technologies for developing this advanced equipment and the measures for spreading them as soon as possible in the fruits and vegetables production have been given.

Key words: vacuum precooling plant, technology advance, energy saving technology

摘要: 论述了国内外真空预冷技术的现状和技术进展,着重分析和探讨了真空预冷设备的节能技术问题,并结合我国的具体情况,指出了开发真空预冷设备的技术关键和尽快推广这项技术的相应措施。

关键词: 真空预冷装置 技术进展 节能技术

中图分类号: TB66 TB657 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7086(1999)03-0175-06

1 概述

果蔬采摘后立即预冷,可有效降低其呼吸强度、抑制自身养分消耗,大大延长有效贮存期,对果蔬保鲜和提高人们的生活水平具有极为重要的意义。它的直接效果是:(1)使果蔬能进行长途运输;(2)减少销售地可食用部分的损失;(3)容易形成果蔬的相同性销售和质量标准化。预冷方法可分为强制通风预冷、压差预冷、真空预冷和冷水预冷4种方式。其中真空预冷是以上4种预冷方法中使果蔬干耗最小、预冷速度最快、能量利用系数最高的一种预冷方法。其基本原理是:水在真空状态下沸点较低,蒸发时将需要大量的热量,当把果蔬置于密闭容器时,降低容器内的压力,果蔬表面的水分蒸发旺盛,带走大量的热量而使果蔬本身温度迅速降低。由于在这种预冷方式中,果蔬是“自我冷却”,又由于果蔬个体之间容易形成均匀的压力分布,使真空预冷方法具有高效、快捷的特点,它是目前国外应用最为广泛的一种预冷技术。我国当前正处于真空预冷技术的起步阶段,了解当今世界真空预冷设备的技术进展情况,明确开发这种先进设备的关键技术,对我国真空预冷技术的开发和利用将具有重要的意义。

2 果蔬真空预冷技术的国内外现状

早在 60 年代初到 70 年代初,西方发达国家就进行了真空预冷技术的系统研究工作^[1~2],该技术和设备已达到了相当成熟的水平。日本从 1966 年开始真空预冷技术的研究^[3],到 1971 年,预冷白菜等叶类果蔬才打开了东京的果蔬消费市场,并使真空预冷设备在日本的全国果蔬生产基地得到应用。从此人们逐渐形成了吃新鲜的预冷果蔬的习惯,也使日本真空预冷技术及设备逐步趋向成熟。

我国从 80 年代中期才开始进行真空预冷技术和设备的研究工作^[4~10]。1990 年广州市科委为实施菜篮子工程,从日本引进了一台真空预冷设备,委托广州制冷设备研究所消化吸收,并设计出我国第一台真空预冷设备。但由于受国内市场条件所限,当时未能推广开来。上海食品研究所 1995 年从国外引进了一台真空预冷设备,并对许多果蔬品种进行了实验研究,积累了大量的实验数据。

在国内高校,已先后有合肥工业大学、东北大学、西南交通大学、中国农业大学、上海海运学院等对真空预冷技术或设备进行了研究。他们大多数研究的重点是设备的设计与开发问题,而对真空预冷机理和果蔬真空预冷过程传热传质的特性研究较少。

3 真空预冷装置的技术进展及分析

对真空预冷装置的基本要求与所有制冷装置一样,首先是要能够可靠地完成预冷过程,在此基础上要求具有高效节能的特点。

3.1 对预冷果蔬的适用性

前已述及,真空预冷是靠蒸发果蔬自身的水分而达到降低其温度的冷却方法。这对于单位质量表面积较大的叶菜类果蔬特别有效,而且冷却速度远大于其它预冷方法。然而,对单位质量表面积较小的果菜类和根菜类来说,冷却效果不太理想。一方面是由于果蔬表面由于水分蒸发降低温度后,果蔬内部热导系数较低,使其内部温度很难在较短的时间内降下来,而且,低压压力较难向食品内部渗透,果蔬内部不能象叶菜类果蔬那样得到迅速冷却。因此,这就涉及到果蔬预冷方法的选择原则问题,适宜的方法应是食品表面的传热速率与其内部传热速率相当。对于果菜类果蔬和根菜类果蔬来说,如果勉强用普通真空预冷方法冷却,必将造成冷却速度提高不大、干耗迅速增加、果蔬质量严重降低的后果。因为真空预冷是靠水分蒸发而冷却的,在相同的时间内,与其它预冷方法相比,真空预冷方法的干耗最大。

为了保持真空预冷冷却速度快的优点,又要克服其时间长、干耗大的弊端,在果蔬表面加水,让其代替果蔬水分蒸发,这就是真空加水预冷技术。它是通过真空室中的喷淋装置向果蔬喷水,抽真空时水分蒸发吸热对果蔬进行间接冷却的方法。加水过程又分抽真空前预加水和抽真空中加水两种方法。试验表明^[11],后一种加水方法的冷却效果高于前一种加水方法,特别是对番茄的冷却效果更为明显。在这种方法中,喷水时刻是在真空室压力约为 1.33 Pa 时,喷水多次,每次约 10 s。

3.2 真空预冷装置的节能技术

果蔬在真空预冷过程中,开始阶段真空室空气较多,且真空室内的压力还未达到果蔬的闪

发压力。为了缩短真空冷却时间，必须尽快抽除真空室内的空气。随着抽空时间的推移，真空室内的空气越来越少，压力达到果蔬的闪发压力，水蒸气大量产生，之后，水蒸气蒸发量大大减少。整个过程是一个非稳态过程。制冷机负荷与果蔬的蒸发量有关，而真空泵的负荷由

表 1 并列式真空预冷装置的运转程序

预冷阶段程序	真空室压力范围/kPa	时间/min
果蔬搬入真空室	101.3	5
三台真空泵抽空	101.3→2.66	15
果蔬水分蒸发、冷却 开始:1台真空泵工作	2.666→0.8	10
果蔬搬出真空室	101.3	5

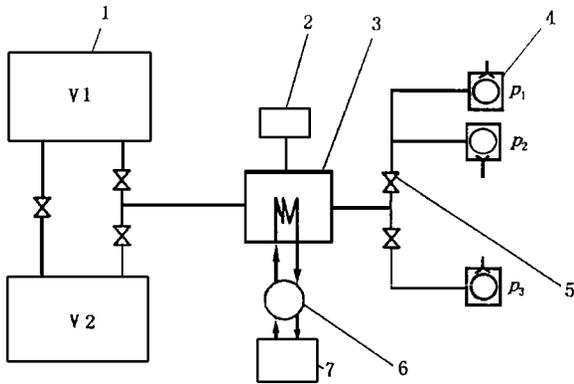


图 1 并列式真空预冷装置原理图

- 1—真空室;2—凝水接收器;3—凝水器;4—真空泵;
5—真空阀;6—盐水冷却器;7—制冷机组

真空室内所含空气的量以及果蔬的蒸发量来决定，如果制冷机组的制冷量和真空泵的抽空速率不随变化的负荷而变化，必将产生较大程度的“无效运转”，浪费电能。另外，果蔬预冷过程结束后，必须向真空室充气方能开门卸货，然后装货进行下一次的预冷加工。也就是说，每一次预冷过程结束后，真空室皆存在余压（真空度），如果能够得到利用，将减少真空泵的运行时间和功耗。而且，由于每次预冷过程结束后，果蔬都要进出真空室，使真空预冷设备的运行行为间断性的，设备频繁启动造成了功耗的增加。鉴于以上原因，开发出了 3 种真空预冷装置：并列式真空预冷装置、均压式真空

预冷装置和连续式真空预冷装置。

并列式真空预冷装置的原理如图 1 所示。装置中使用了 3 台并列安装的真空泵，在果蔬预冷过程中分阶段运转，从而达到能调节的目的。其运转过程可用表 1 来说明。

均压式真空预冷装置的原理如图 2 所示。它采用了 3 台并列安装的真空泵以及 2 个真空室。真空泵的运行程序与并列式一样。当 1 号真空室预冷过程结束后，打开均压阀门，利用 1 号真空室的真空去降低 2 号真空室的压力，可以缩短 2 号真空室的抽空时间，节约能源，1 号和 2 号真空室交替使用。表 2 为这种设备运转的运转程序。

连续式真空预冷装置的原理如图 3 所示。由表 3 所示运转程序可知，在连续式真空预冷装置中，所有的真空泵均连续运转，而不象均压式设备那样，当 1 台运转时，另两台要停止 2 min。因此，这种装置要比前述两种装置性能优越。

值得注意的是，果蔬在真空冷却过程

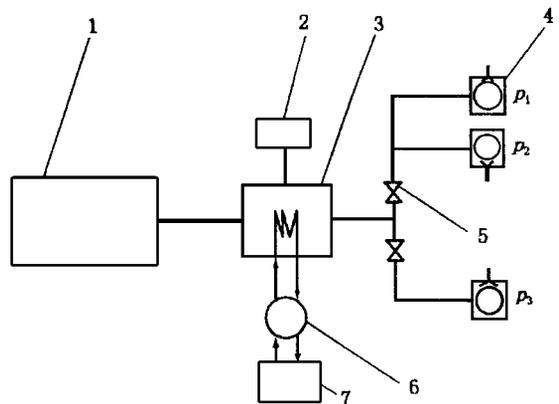


图 2 均压式真空预冷装置原理图

- 1—真空室;2—凝水接收器;3—凝水器;4—真空泵;
5—真空阀;6—盐水冷却器;7—制冷机组

表2 均压式真空预冷装置的运转程序

1号真空室	2号真空室	时间/min
3台真空泵抽空: 51.33 kPa→2.666 kPa	预冷结束:果蔬卸、装	10
1台真空泵抽空: 2.666 kPa→0.8 kPa	完成运转前的准备工作	10
预冷过程结束,打开均压阀	两真空室压力均为 51.33 kPa	2
果蔬卸、装	3台真空泵抽空:51.33 kPa→ 2.666 kPa	10
完成运转前的准备工作	1台真空泵抽空:2.666 kPa→0.8kPa	10
打开均压阀	两真空室压力均为 51.33 kPa	2

中,表面水分开始蒸发压力约为 2.4 kPa,在此压力附近,果蔬的蒸发很快,需要加大真空泵的抽空速率。为了缩短在此压力附近的时间,减小干耗,故在连续式真空预冷装置中,设置 4 台真空泵进行 4.0→2.4 kPa 这一阶段的抽空。

不难看出,连续式真空预冷装置与其它形式的预冷装置相比,对运转中各个阶段的时间要求较严,特别是对果蔬的搬入搬出阶段。由于存在人工装卸的因素,要求必须保证搬运的速度,才能确保整个装置的正常运转。

3.3 真空技术及凝水器的冷却方式

果蔬真空预冷装置中最重要的设备之一即真空设备,它的性能好坏直接影响预冷的效果及整个装置的性能。目前,在真空预冷装置中采用两种获得真空的方法:一种是

真空泵方式;另一种是蒸气喷射方式。真空泵方式中使用的真空泵有油封式真空泵和水封式真空泵。对于油封式真空泵,由于抽取水蒸气时,水分易于混入泵油中,影响其性能,并且容易造成真空泵损坏。水环式真空泵则克服了这一缺点,但是它的效率一般较低^[12]。因此,日本多采用油封式真空泵^[13]。

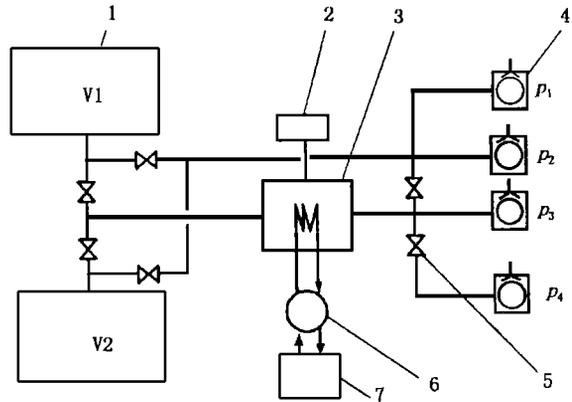


图3 连续式真空预冷装置原理图

1—真空室;2—凝水接收器;3—凝水器;4—真空泵;
5—真空阀;6—盐水冷却器;7—制冷机组

表3 连续式真空预冷装置运转程序

1号真空室				2号真空室			
进程	压力/kPa	真空泵运转台数	时间/min	进程	压力/kPa	真空泵运转台数	时间/min
果蔬搬入搬出	101.3	0	7.5	抽真空	0	4.0→2.4	7.5
抽真空	101.3→4.0	2	12.5	果蔬冷却	2	2.4→0.8	12.5
抽真空	4.0→2.4	4	7.5	果蔬搬入搬出	0	101.3	7.5
果蔬冷却	2.4→0.8	2	12.5	抽真空	2	101.3→4.0	12.5

蒸气喷射方式是利用蒸汽锅炉产生高压蒸气,并使之通过一排喷嘴,从而在喷嘴附近形成负压(真空),再通过相连的管子抽取真空室内的空气和果蔬所产生的水蒸气。凝水器位于喷嘴与真空室之间,其冷量可由一冷却塔提供^[4],也可由制冷机组供给。在使用制冷机组供冷时,可采用直接膨胀冷却和二次冷媒冷却(或称间接冷却)两种方式。后者虽然需要配备盐水冷却器、盐水泵等设备,费用也比前者高,但由于它具有传热均匀、故障少、易保养及能仕应负荷变化等优点,因此,目前国内外真空预冷装置中普遍采用这种冷却方式。

4 对发展我国真空预冷技术和设备推广的建议

果蔬在真空状态下靠内部水分蒸发吸热使自身冷却,这是真空预冷的基本机理。然而,果蔬内部的传热传质过程的规律才是设计高效节能真空预冷设备的基础。应该用数学方法,通过建立能量转换、质量传递方程,揭示果蔬内部温度随时间的变化关系、水的蒸发速率随时间的变化关系,因为它是为真空预冷装置选择机组和真空设备的先决条件,也是对装置实施节能控制的基础。

真空预冷设备由于其自身的特点不能进行连续生产,生产效率较低,造成能效比偏大。而且,生产过程中无论是制冷负荷还是抽空负荷变化较大。因此,应考虑引入恰当的能量调节方法,比如变频能量调节技术,使制冷设备和真空设备的负荷适应负荷的变化要求,实现设备的节能并减少设备的配置数量,简化操作程序。优化设备的配置,实施合理可靠地程序控制,使设备接近连续生产方式,提高生产效率。

我国是一个农业大国,现在每年的果蔬产量达2亿多吨,推广真空预冷设备应该说没有问题。但是预冷果蔬对广大城乡居民来说还是一个新鲜事物,必须加强科技宣传力度,使人们真正认识预冷果蔬的优点,这是打开预冷设备销售市场的前提,因为销售市场的繁荣也是促进设备本身技术发展的一个强大动力。另外,由于真空预冷设备价格较高,对于我国这样的发展中国家,应借鉴日本的经验,采取国家、当地政府、果蔬生产基地三方投资的方式,以缓解资金的困难,形成良性循环。我国幅员辽阔,各地季节差异较大,优先发展移动式的真空预冷装置,可提高装置的利用率,尽快收回投资。

参 考 文 献

- [1] ASHRAE·Guide and Data Book Application(1966—1969).ASHRAE Publication, New York, 1969:245~266
- [2] Dewey D H, Herner R C·Precooling in the Great Lakes region·ASHRAE Symposium on Precooling Fruit and Vegetables, San Franscico, CA, January, 1970
- [3] 杜建通·日本果蔬预冷技术的发展和现状·制冷, 1999(1):25~28
- [4] 张翔·果蔬真空预冷装置的设计·制冷, 1991(3):9~13
- [5] 周永安,陈长琦·真空预冷装置的研究·真空与低温, 1996(4):196~198
- [6] 周永安,王云芳,郭有胜·真空预冷装置的设计方法·制冷, 1996(3):36~40
- [7] 韩厚德·真空保鲜技术研究·制冷, 1997(1):26~32
- [8] 徐成海·真空预冷却·真空与低温, 1997(2):104~107

要求:保证食品已干部分温度在整个冻干过程中不超过最高允许温度,保持稳定的工作真空度以使冻结部分温度不超过规定的升华温度。

综上所述,对某种食品制定其冻干工艺,首先应对该食品进行营养成分进行分析,对其物理化学特性进行研究,确定食品在冻干过程中最高允许温度和预冻结温度(按照一定的水分冻结率要求,可参照表 1);之后以食品冻结温度通过查表 2,确定仓内真空度;冷阱温度根据仓内真空度的要求一般比预冻结温度低 $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$,生产中在保证仓内真空度稳定条件下确定。加热板温度应保证仓内真空度稳定和已干食品温度不超过最高允许温度。

4 结 语

叙述了食品冻干原理及工艺过程,分析了冻干过程中主要工艺参数:食品的最高允许温度、食品的升华温度、工作真空度、冷阱温度、加热功率(或温度)及其之间的关系,给出了确定冻干工艺参数的工程方法。弄清楚这些参数之间的关系,有助于在设计食品真空冷冻干燥设备过程中的选择技术参数。

参 考 文 献

- [1] 高福成编·现代食品工程高新技术·北京:中国轻工业出版社,1997
- [2] 天津轻工业学院,无锡轻工业学院合编·食品工艺学·北京:轻工业出版社,1984

第一作者简介:张颜民,男,1968年4月出生。清华大学核能技术设计研究院副教授。1986年毕业于北京农业工程大学农机工程系,1989年至1993年在苏联基辅工业大学留学并获得博士学位。1994年至1996年在清华大学工程力学系做博士后。主要从事的工作有:农业机械工程,机械动力学,食品真空冷冻干燥技术。

(上接第 179 页)

- [9] 王善广,冯双庆,赵玉梅·真空预冷及综合保鲜措施在果蔬采后的应用效果·果蔬经济,1997(3):12
- [10] 韩厚德·真空预冷机理·制冷技术,1997(3):29~33
- [11] 安生三雄·真空冷却方式·冷冻,59卷677号,MAR·1984
- [12] 天津大学化工原理教研室·化工原理·天津:天津科学技术出版社,1987:34~36
- [13] 日本食品流通协会·食品流通技术指南·中日食品开发委员会译·北京:中国商业出版社,1992:232~237
- [14] 瑞尔·李普敦(美国)·果蔬的处理、运输与贮藏·王析译·台湾:徐氏基金出版社,1979.78~82页

第一作者简介:杜建通,男,36岁。1988年毕业于西安交通大学动力机械工程系低温技术专业,获硕士学位,现工作于天津商学院制冷工程系。曾承担内贸部三项重点科技攻关项目,其中二项获内贸部科技进步三等奖;并完成一项天津市 21 世纪青年科技基金项目;获国家专利一项;在国内外刊物上发表论文 10 篇。