

# 果蔬气调库的设计及优化研究

侯 幸 张文科 罗南春 张 鑫 高 翔

(山东建筑大学热能工程学院 济南 250101)

**摘 要** 本文对果蔬气调库的设计过程进行了逐步分析,通过对尺寸设定、负荷计算、设备选型等方面的研究,揭示了气调库设计过程中涉及到的理论参数,并探讨了影响气调库性能的各个因素。围绕气调库的制冷设备及气调装置,选择导热系数较低的保温材料、选配可进行能量调节的多台压缩机并联机组、对双速轴流风机调节风速、通过控制程序对入库和保温阶段采用不同蒸发温度、采用制氮制冷联合降氧新模式等,对系统进行了优化设计研究,所得到的分析结果有利于提高气调库在应用中的可靠性、节能性和经济性,从而可实现气调贮藏技术的可持续发展。

**关键词** 气调库; 制冷系统; 气调装置; 节能; 优化设计

## Design and Optimization of the Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables

Hou Xing Zhang Wenke Luo Nanchun Zhang Xin Gao Xiang

(Department of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, 250101, China)

**Abstract** The paper analyzes the design procedures of controlled atmosphere storage (CA) of fruits and vegetables. Through the study of size setting, load calculation, equipment selection and other aspects, the theoretical parameters mentioned during the design are revealed, and the factors that have influences on the performance of CA storage are discussed. Both refrigeration equipment and controlled atmosphere devices are employed as the basis for research, and some measures are taken for the optimal design of the system, such as choosing insulation materials with low thermal-conductivity, matching multiple compressor parallel units for energy regulation, adjusting the wind speed of two-speed axial fans, utilizing the control program to achieve different evaporating temperatures during both storage and insulation stages, adopting a new model of nitrogen reduction combined with oxygen reduction and so on. The analysis results are beneficial to improve the reliability, energy saving and economy of CA storage, and this is helpful to realize the sustainable development of air-controlled storage technology.

**Keywords** controlled atmosphere storage; refrigeration system; air-conditioning device; energy saving; optimization design

气调贮藏(英文为Controlled atmosphere storage, 简称CA)是同时利用人工制造低温环境和调节气体介质成分的方法,建立特定适宜的低温、氧含量、二氧化碳含量、乙烯含量和相对湿度的贮藏环境条件的技术手段;在维持果蔬正常生命活动的前提下,有效地抑制果蔬的呼吸作用、蒸发作用与微生物作用的技术途径,以达到延缓果蔬的生理代谢过程,推迟后熟衰老和防止腐败变质的目的。

气调库是气调贮藏的技术保证,气调库在国外已有几十年的发展史,然而我国的果蔬气调保鲜事业起步较晚,至今发展仍很缓慢。我国气调贮藏发展缓慢的主要原因是:气调贮藏工艺及设备技术

复杂,投资相对较大,虽然气调库贮藏保鲜效果好于一般冷藏库,但气调库的造价和运行成本也比一般的冷库高得多<sup>[1]</sup>。随着我国经济的发展,人们对水果、蔬菜的贮藏质量要求越来越高,气调贮藏日益受到关注。但我国现行的气调库大部分都是在原有的冷藏库制冷系统的基础上改造的,能源利用率低,所以开发高效节能的气调设备、气调及制冷系统的优化设计正成为气调库设计的重要方向。本文通过对气调库制冷与气调系统的设计计算,对果蔬气调库的气调系统、制冷系统提出相关优化设计<sup>[2]</sup>。

## 1 果蔬气调库制冷系统设计

### 1.1 设计参数

本次设计为1000吨气调冷藏库,选址为济南市郊区。其中果品种类和吨位分别为:苹果300吨、

作者简介:侯幸,女,硕士研究生,研究方向为气调库优化。

樱桃300吨、猕猴桃200吨、其他果蔬200吨。气调库室外气象参数和库内空气计算参数如表1、2所示。

表 1 室外气象计算参数

Tab. 1 Outdoor meteorological calculation parameters

名称	参数值
室外计算温度(取夏季空调日平均温度)/℃	31.2℃
冬季计算温度/℃	-3.6℃
室外计算干球温度/℃	28.4℃
室外计算湿球温度/℃	27.0℃
夏季最热月室外平均相对湿度/%	56%

表 2 气调库内空气设计参数

Tab. 2 Air design parameters in controlled atmosphere storage

名称	温度/℃	相对湿度/%	O <sub>2</sub> 浓度/%	CO <sub>2</sub> 浓度/%	贮藏期/d
猕猴桃	0	85~90	2~10	<5	150~240
苹果	0	90~95	3	2~3	150
樱桃	2	90~95	1~3	10	28
其他果蔬	12	90	3~5	2~5	30~60

## 1.2 库体结构

本次设计库体结构选用国内外常用的装配式气调库<sup>[3]</sup>。与土建式气调库相比,装配式气调库施工周期短、气密性高、贮藏时间长。库体的保温性对气调库的能耗有着决定性作用,直接影响到制冷系统工作时间的长短,同时影响到果蔬质量的好坏。而保温性又是由库体结构和保温材料决定的。装配式气调库常用的保温材料有硬质聚氨酯、苯乙烯泡沫塑料板及膨胀珍珠岩,其中硬质聚氨酯和苯乙烯

短期内的保温性接近,但从长期的稳定性看聚氨酯板保温性能优势明显,能耗更低,同时占用的空间更小<sup>[4]</sup>。图1为聚氨酯和膨胀珍珠岩的围护结构负荷对比,同样厚度聚氨酯的价格比珍珠岩略高但保温性能优势较高。此次设计保温材料选取聚氨酯。

## 1.3 贮藏间面积计算

气调库建筑面积计算公式<sup>[5]</sup>为:

$$G = \frac{v \times \rho \times \eta}{1000} \quad (1)$$

式中:  $G$  为各气调库贮藏吨位,  $t$ ;  $v$  为各气调贮藏间或贮冰间的公称容积,  $m^3$ ;  $\eta$  为气调贮藏间或贮冰间的容积利用系数,一般取值0.6~0.85;  $\rho$  为食品的计算密度,  $kg/m^3$ , 水果一般为250  $kg/m^3$ ~350  $kg/m^3$ 。

由式(1)可计算出苹果、猕猴桃、樱桃、其他果蔬贮藏间的公称体积 $v$ 分别为1482.5  $m^3$ 、1050  $m^3$ 、1280.4  $m^3$ 、1333  $m^3$ 。

本设计气调库层高为4.5 m, 根据计算布置气调贮藏间共五间, 其中苹果、猕猴桃、樱桃各一间, 其他果蔬两间。苹果贮藏间长33 m宽10 m; 猕猴桃贮藏间长24 m宽10 m; 樱桃贮藏间长28 m宽10 m; 其他果蔬贮藏间长15 m宽10 m。

## 1.4 负荷计算

计算气调库的耗冷量时, 应区分单间贮藏间的耗冷量和气调库总耗冷量。前者是确定库内冷却设备的依据, 但应逐间计算; 后者是确定气调库制冷机及相关设备的依据, 是气调库的总负荷, 但不等于各个贮藏间耗冷量的总和<sup>[5]</sup>。

其贮藏间耗冷量计算公式<sup>[5]</sup>为:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2)$$

贮藏间冷却设备负荷计算公式<sup>[5]</sup>为:

$$Q_q = Q_1 + PQ_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (3)$$

库房机械负荷计算公式<sup>[5]</sup>为:

$$Q_j = R \times (n_{1k} Q_1 + n_{2k} Q_2 + n_{3k} Q_3 + n_{4k} Q_4 + n_{5k} Q_5) \quad (4)$$

式中:  $P$  为冷却或冻结加工负荷系数;  $Q_1$  为围护结构传热量,  $kW$ ;  $Q_2$  为货物放热量,  $kW$ ;  $Q_3$  为通风换气耗冷量,  $kW$ ; 此次设计通风换气耗冷量为0;  $Q_4$  为电机运转热当量,  $kW$ ;  $Q_5$  为操作管理耗冷量,  $kW$ ;  $R$  为制冷装置的管道和设备等冷量损耗补偿系数, 对直接冷却系统取;  $n_{1k}$  为围护结构传热量的季节修正系数, 应根据所在地区地理纬度和生产旺季出现的月份, 当全年无明显淡季区别时, 取值为1;  $n_{2k}$  为机械负荷折减系数, 与库房的性质以

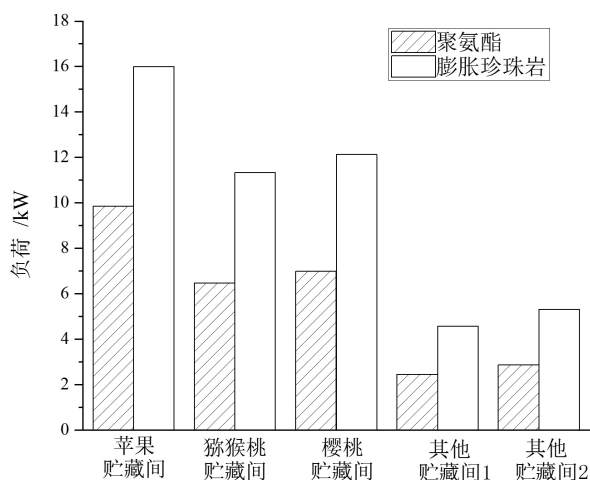


图 1 两种保温材料的围护结构负荷

Fig. 1 Envelope load of two kinds of thermal insulation materials

表 3 耗冷量计算表

Tab. 3 Calculation table of cooling consumption

	$Q_1/W$	$Q_2/W$	$Q_4/W$	$Q_5/W$	$Q/W$
苹果贮藏间	9843.9	11898.5	6669	2610.9	31022.3
猕猴桃贮藏间	6458.6	11948.9	6669	2248.2	27324.7
樱桃贮藏间	6984.4	17720	4297	2397.2	31398.6
其他贮藏间1	2453.0	8975.8	2227.5	1699.4	15355.7
其他贮藏间2	2860.4	8975.8	2227.5	1699.4	15763.1

表 4 冷却设备负荷计算表

Tab. 4 Cooling equipment load calculation table

	$Q_1/W$	$Q_2/W$	$Q_4/W$	$Q_5/W$	$Q/W$
苹果贮藏间	9843.9	11898.5	6669	2610.9	34591.8
猕猴桃贮藏间	6458.6	11948.9	6669	2248.2	30909.3
樱桃贮藏间	6984.4	17720	4297	2397.2	36714.6
其他贮藏间1	2453.0	8975.8	2227.5	1699.4	18048.4
其他贮藏间2	2860.4	8975.8	2227.5	1699.4	18455.8

表 5 机械负荷计算表

Tab. 5 Mechanical load calculation table

	$n_{1k}Q_1/W$	$n_{2k}Q_2/W$	$n_{4k}Q_4/W$	$n_{5k}Q_5/W$	$Q/W$
苹果贮藏间	9843.9	11898.5	2667.6	1044.3	25454.3
猕猴桃贮藏间	6458.6	11948.9	2667.6	899.2	21974.3
樱桃贮藏间	6984.4	17720	1718.8	958.8	27382.0
其他贮藏间1	2453.0	8975.8	891	679.7	12999.5
其他贮藏间2	2860.4	8975.8	891	679.7	13406.9

及同类库房的间数有关,冷却间和冻结间取 $n_2=1$ ;冷却物冷藏间宜取 $n_2=0.3\sim 0.6$ ;冻结物冷藏间宜取 $n_2=0.5\sim 0.8$ ;  $n_{4k}$ 为冷间电动设备同期运转系数,取0.4;  $n_{5k}$ 为冷间同期操作系数,与库房间数有关,取0.4<sup>[5]</sup>。

机械负荷是压缩机选型的依据,它不仅要能满足冷库生产高峰负荷的要求,还要考虑到经济性和合理性。在实际生产过程中,各种最不利情况出现概率很少。若以气调库总耗冷量作为机器负荷,势必造成浪费,故对其各种负荷根据不同情况加以修正。

## 1.5 制冷设备选型

本次气调库根据设计选用直接蒸发冷却系统,气调库设计采用整进整出的方式且选用氨制冷剂,压缩机并联、供液采用泵供液的运行方式。

### 1.5.1 压缩机选型

本设计采用活塞式单级压缩机。冷凝器选用

风冷式冷凝器,其制冷系统组成简单,也可缓解水源紧张。蒸发温度要与库温存在一定温差,蒸发器直接布置在库房时蒸发温度一般比库温低 $8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,本次设计选择蒸发温度为 $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。冷凝温度一般取决于建库地区室外计算温度,风冷式冷凝器考虑夏季室外计算干球温度和传热温差,可知冷凝温度为 $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[6]</sup>。

果蔬在入库之前冷量需求量为100%,而入库之后随着果蔬逐渐冷却所需的冷量也随之减少。为了经济有效的运行以及减少库房温度波动,可采用多台压缩机并联便于集中控制,可根据冷负荷的变化实现多级能量调节,大幅度地减少制冷机组的配置,降低设备运行费用、节能高效。

压缩机理论输气量:

$$v_p = \frac{Gv_1}{\lambda} \quad (5)$$

式中:  $G$ 为制冷剂重量流量,0.089 kg/s;  $v_1$ 为吸入气体的比容,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $\lambda$ 为压缩机输气系数,取值0.76。

计算得:苹果贮藏间 $v_p$ 为 $27.09\text{ m}^3/\text{h}$ ;猕猴桃贮藏间 $v_p$ 为 $23.4\text{ m}^3/\text{h}$ ;樱桃贮藏间 $v_p$ 为 $39.4\text{ m}^3/\text{h}$ ;其他贮藏间 $v_p$ 为 $19.7\text{ m}^3/\text{h}$ ;

根据理论输气量选择压缩机,选用谷轮公司生产的CA半封闭型压缩机,苹果贮藏间选用CA-1000型;猕猴桃及两间其他果蔬贮藏间选用三台CA-800型;樱桃贮藏间选用CA-1500型。

### 1.5.2 冷却设备选型

冷却设备的选型应根据食品贮藏的要求确定,原则上要有利于贮藏间的温度场均匀,尽可能使传热系数大,因气调库属于高温库宜采用冷风机作为冷却设备。本次设计选用落地式冷风机。

冷却设备的面积为:

$$F = \frac{Q_q}{k\Delta t} \quad (6)$$

式中:  $k$ 为冷却设备传热系数,  $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ;  $Q_q$ 为单间设备冷却负荷,  $\text{W}$ ;  $\Delta t$ 为冷却设备的计算温度差,  $^{\circ}\text{C}$ 。

计算面积及选型见表6。

表 6 面积计算及设备选型表

Tab. 6 Area calculation and equipment selection

库名	Q /W	F /m <sup>2</sup>	冷风机型号	台数
苹果贮藏间	34591	148.6	ULLS-160	1
猕猴桃贮藏间	30909	132.8	ULLS-160	1
樱桃贮藏间	36714	157.8	ULLS-160	1
其他贮藏间1	18048	77.5	ULDS-120	1
其他贮藏间2	18455	79.3	ULDS-120	1

该冷风机为双速轴流风机。气调库在入库和贮藏阶段的热负荷相差较大,采用速轴流风机即通过改变风速的方法调节设备的换热能力,以满足负荷变化的要求。在开始冷却时,为排走较大的热量,采用高风速;当负荷降低时,可降低风机的风速减少风量,以达到节约能耗的目的。若库内总保持一定的风速在负荷降低时会造成不必要的能耗。

制冷过程设计中,可通过程序控制,对气调库果蔬入库阶段和保温贮藏阶段采取不同蒸发温度。影响压缩机制冷量的重要因素就是蒸发温度,在冷凝温度不变的条件下,提高制冷系统蒸发温度可以提高压缩机制冷量和减少耗功量。在入库阶段,由于热负荷较大,应使系统的蒸发温度保持降低,从而提高蒸发器的传热性能,在保温阶段提高蒸发温度从而降低传热温差,蒸发器产冷量降低但能满足要求,而压缩机功耗降低,负荷波动减少达到节能的目的<sup>[7]</sup>。

## 2 果蔬库的气调系统设计

气调系统是为了建立和保持库内规定的气调工况所必需的气调设备、检测仪器、控制仪器、控制系统、供、回气总管以及取样总管的总称,是果蔬气调库的重要组成部分<sup>[8]</sup>。气调设备主要包括制氮设备、二氧化碳脱除设备、乙烯脱除设备,其中制氮设备利用率最高。

### 2.1 制氮机的选择

制氮机的选择制氮机目的是降氧,根据制氮机的产氮量  $Q_{N_2}$  (等于降氧量,用氮气置换氧气)贮藏品种以及气调参数选型。

$$Q_{N_2} = \frac{V_e}{t} \ln \frac{C_{O_2}^1 - C_{O_2}^0}{C_{O_2}^r - C_{O_2}^0} \quad (7)$$

式中:  $V_e$  为气调库内气体自由体积, m<sup>3</sup>;  $t$  为允许降氧时间, h;  $C_{O_2}^1$  为库内空气中氧气的初始浓度, % (取 21%);  $C_{O_2}^0$  为制氮设备出口气体处的氧浓度,一般近似取 0.6%;  $C_{O_2}^r$  为库内要求的氧浓

度, %。

则制氮设备产气量  $Q$  为 94.91 m<sup>3</sup>/h。

与碳分子筛制氮机相比,中空纤维膜制氮机的结构更简单,使用寿命更长。而且随着我国膜工业的进一步发展,膜价格的降低,两种制氮机的价格日趋一致,中空纤维膜制氮机的前景会更乐观。选用天津森罗公司生产的 CA-45CP 型两台。

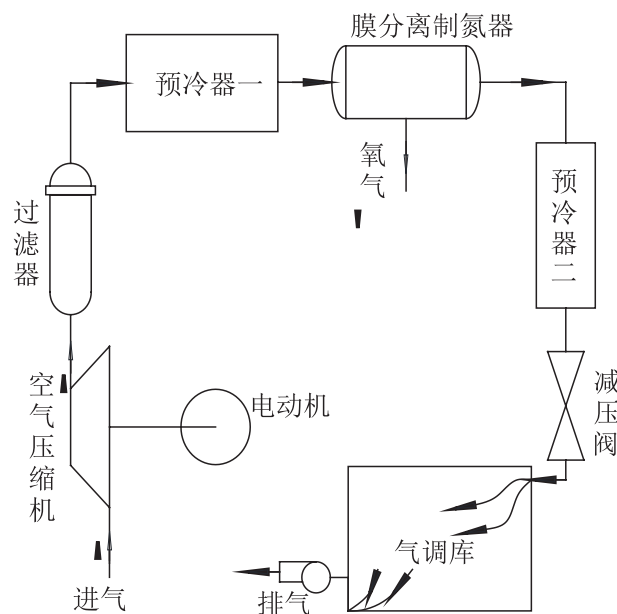


图 2 纤维膜制氮原理图

Fig. 2 Schematic diagram of fiber membrane nitrogen production

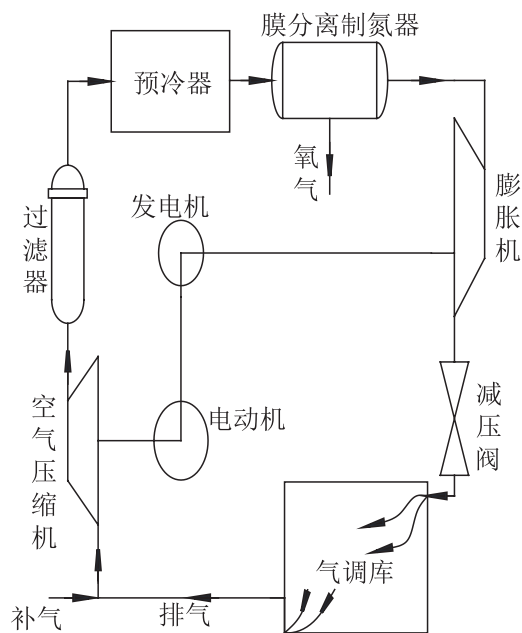


图 3 制氮制冷联合循环原理图

Fig. 3 Schematic diagram of nitrogen-making refrigeration combined cycle

中空纤维膜制氮系统是目前气调库设计中常用的降氧方法,可对现有的膜分离系统进行局部改进,结合气体制冷技术,提出制氮制冷联合循环系统新模式<sup>[9]</sup>。由图2和图3可知,和膜分离制氮系统相比,制氮制冷联合循环系统省却了入库前的预冷器和排风风机,增设了膨胀机和制动发电机,由空气压缩机把排气吸入回收利用以循环制。这种新模式可以在制氮过程中同时制冷,以消除氮气入库前的热负荷,并通过膨胀机回收膨胀功去补偿压缩机功耗,省却了排风风机功耗,减少了预冷器负荷,有一定的节能效果。据估算<sup>[9]</sup>,制氮制冷联合系统总能耗比原制氮系统降低15%左右。

## 2.2 二氧化碳脱除机的选择

贮藏间每小时需要除去的二氧化碳量  $G$  可由公式8计算。经计算  $G$  为  $84.21 \text{ kg}/24\text{h}$ 。系统选用四台 CT-100SY(P)型二氧化碳脱除机,且通过自动控制系统对各贮藏间进行二氧化碳的脱除。

$$G = \frac{V_e(C_{O_2}^l - C_{O_2}^r)}{t_w} + gC \quad (8)$$

式中:  $t_w$  为脱除机的工作时间, h;  $g$  为果蔬贮藏量, kg;  $C$  为每公斤果蔬每小时排除二氧化碳的量。

## 2.3 乙烯脱除机的选择

采收之后的鲜果在贮藏期间会产生乙烯,通常果蔬对乙烯非常的敏感,即使有微量乙烯存在,也会严重影响贮藏效果<sup>[8]</sup>。因此,必须对库内的乙烯进行脱除。设备选用美国原装乙烯吸附剂,具有吸收效率高、安全、经济等特点。选取型号 CY-200 乙烯脱除机。且不同种类的水果对乙烯的敏感差异很大,如苹果就不敏感,即使达到3000 ppm也无须排除,但猕猴桃对乙烯则十分敏感,浓度超过0.02 ppm就能很快催熟,因此必须区别对待<sup>[5]</sup>。

根据设计要求,将库房内的乙烯浓度保持在下列范围:

表 7 不同贮藏间应保持的乙烯浓度

Tab. 7 Ethylene concentration to be maintained in different storage rooms

	乙烯浓度 /ppm
苹果贮藏间	1.0~5.0
柑橘、梨贮藏间	0.1~0.5
猕猴桃贮藏间	<0.02

## 3 其他方面的节能优化

以上两个系统的工艺设计、设备选型解决了气调库设计的主要参数及问题,但在建设气调库的过程中考虑到节能、经济性要求,在气调库设计过程中也可从以下几点进行优化:

(1) 增加预冷间设计,选择合理预冷方式。预冷间可以把采摘后的果蔬进行快速降温,散去田间热,缩短贮藏间的冷却时间,降低贮藏间的机械负荷。实验证明<sup>[10]</sup>,如果苹果采摘后晚入库1天,将会缩短贮运期10~30天。另外,未经预冷的果品直接进入库内贮藏保鲜,也会加大制冷机组的热负荷量,影响制冷机组使用寿命。果蔬预冷的方法有很多,如自然降温冷却法、水冷法、风冷法、真空预冷法,我国常用的预冷方式是利用直接预冷,实际上是省略了预冷环节,带着田间热的产品直接进入贮藏间不但降温缓慢,而且会提升库内温度,影响先进入产品的保鲜效果,并且造成风机“小马拉大车”。结合自然降温预冷和强制通风预冷,在利用昼夜温差自然预冷的基础上进行通风预冷,降低成本减少能源消耗。

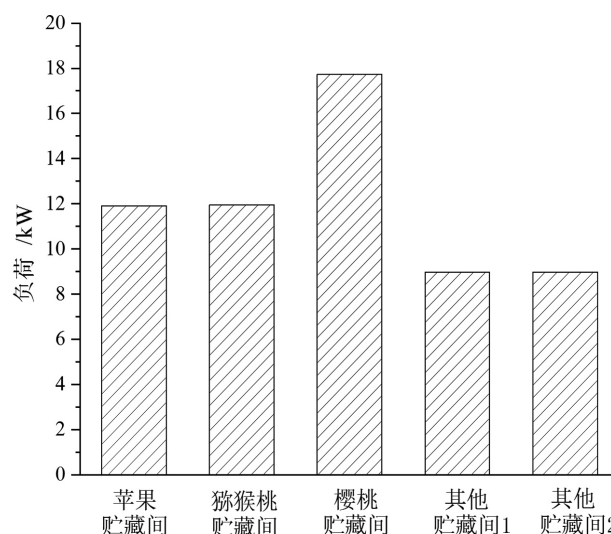


图 4 不同果蔬的放热量

Fig. 4 Heat release of different fruits and vegetables

(2) 在建设气调库时应根据果蔬市场的营销需求确定好气调贮藏的果蔬品种。在耗冷量计算过程中,货物放热量  $Q_2$  占很大比值,货物放热量一般均以果蔬在贮藏前后的焓差前后的焓差、温度差或果蔬呼吸热平均值作为计算基础。图4为本次设计负荷计算中的货物放热量对比图。可看出来不同果蔬的货物放热量差别较大,计算制冷负荷的目的,是为了正确地选择制冷机器、设备提供可靠依据,

设备型号及台数对气调贮藏的设备费用、运行费用及气调库的正常生产有重大作用。因此在建设气调库时应根据果蔬市场的营销需求确定好气调贮藏的果蔬品种。

(3) 融霜方式。一般的融霜方式有水冲霜、制冷剂蒸汽融霜及电融霜,无论是水冲霜还是热蒸汽冲霜都会引起库温波动。据调查,除霜后需1 h左右才能恢复库房原来的工况,从能量角度来考虑,水冲霜所耗的冷量相当可观,每平方米蒸发面积耗冷量可达250 kJ~420 kJ,水融霜比制冷剂热融霜的效果好,且时间短、操作简单、便于管理。但是用这种方法只能清除蒸发器外表面的霜层,蒸发器管道内的油污无法排除,且水量消耗较大;而热蒸汽融霜是利用部分冷量把制冷剂蒸汽冷凝为液体,同时可排去管内的积油,能量利用是合理的,但这种方法融霜效果好、时间短、劳动强度低,但系统复杂,特别是多库房的大型冷库,系统尤其复杂,操作也比较繁琐,而且库温的变化也较大。本次设计可选用水冲霜和热蒸汽融霜相结合的方法,集中两者的优势,可以快速、高效地清除蒸发器表面霜层,还能排除蒸发器内部的积油。其电耗量不及电融霜10%,极大减少了气调库的耗电量。

(4) 降氧方式。在降氧时,不必直接将贮藏间内氧气浓度降至规定指标值,待氧气浓度降至比规定值高2~3个百分点时,即可停止降氧。高出规定的氧浓度可由果蔬的呼吸来消耗。这样可以在短时间内将库内的氧和二氧化碳同时调节到规定的浓度值范围,并减少降氧的时间和节省降氧的动力消耗。

## 4 结语

本文从工艺设计、设备选型及系统改进三方面考虑对气调库进行优化,以降低系统能耗。多台压缩机并联机组可实现多级能量调节,大幅度地减少

制冷机组的配置,降低功耗;双速轴流风机可调节设备的换热能力,以满足负荷变化的要求从而节约能耗;对入库和保温阶段采用不同蒸发温度,调节蒸发器产冷量,降低压缩机功耗,减少负荷波动达到节能的目的;制氮制冷联合降氧新模式可以在制氮过程中同时制冷,以消除氮气入库前的热负荷,并通过膨胀机回收膨胀功去补偿压缩机功耗,有一定的节能效果。除了上述系统设计节能优势外也从其他几个方面:预冷间设计、确定果蔬类型、降氧浓度控制及融霜方式进行了优化,整体节能效果显著。随着气调库被广泛应用于果蔬行业,保证果蔬的质量及降低气调贮藏的能耗将成为受关注的重点,本文的内容可为气调库的应用提供理论依据,实现保质节能的气调效果,促进气调库技术的发展。

## 参考文献

- [1] 王素荣. 气调冷藏库的优化设计[J]. 包装与食品机械, 1999(2): 8-11.
- [2] 高红岩, 张紫健, 高兴, 等. 果蔬气调库制冷系统节能设计[J]. 节能, 2010(4): 25-28.
- [3] 刘向群, 徐勤华. 气调库的建筑结构与制冷系统综述[C]. 山东省第五届制冷空调学术年会论文集. 济南: 山东制冷学会, 2004: 45-48.
- [4] 刘信, 周小强. 果蔬气调库的设计[J]. 低温与特气, 2004, 22(2): 28-31.
- [5] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册(上册)(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 庄友明. 制冷装置设计[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2006.
- [7] 邢振禧. 应用变蒸发温度设计果蔬气调库的调试及节能运行[J]. 山东商业职业技术学院学报, 2009, 9(6): 101-102, 107.
- [8] 孙志威. 我国气调贮藏技术的研究现状及展望[J]. 农产品加工·学刊, 2012(2): 97-99, 105.
- [9] 李敏华. 气调库制氮系统的改进设计及其气流组织的数值模拟[D]. 广州: 华南理工大学, 2004.
- [10] 王文生. 预冷是果蔬贮藏保鲜中最重要的环节之一[J]. 保鲜与加工, 2011(2): 7.