

气调运输车厢渗风对氧气体积分数的影响

Researching of Effects on the oxygen volume fraction of air infiltration in the compartment with controlled atmosphere transportation

杨松夏¹ 朱立学¹ 王柳玲² 吕恩利³ 郭嘉明³

YANG Song-xia¹ ZHU Li-xue¹ WANG Liu-ling² LU En-li³ GUO Jia-ming³

(1. 仲恺农业工程学院机电工程学院, 广东 广州 510225; 2. 广州检验检测认证集团有限公司,

广东 广州 511447; 3. 华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642)

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. Guangzhou Inspection and Testing Certification Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511447, China; 3. South China Agricultural University, College of Engineering, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

摘要:在分析热压和风压作用下车厢渗风特性的基础上,研究了车厢渗风对车厢内氧气体积分数的影响,并进行了试验验证。研究表明:气调保鲜车厢的试验渗风量与理论渗风量基本相符,气调保鲜运输车厢渗风量模型具有一定的准确性;气调保鲜运输途中车厢渗风主要是由风压作用引起的,热压单独作用引起的渗风量较小,并且当车速越大时,热压作用对行驶过程中总渗风量的影响越小;气调保鲜车停车时车厢 O_2 体积分数上升较慢,运输中 O_2 体积分数上升较快,并且渗风量和车厢装载率越大 O_2 体积分数上升越快。

关键词:气调运输;车厢;渗风; O_2 体积分数

Abstract: In order to master the changing regulations of oxygen volume fraction in the controlled atmosphere transportation compartments, the air infiltration characteristics caused by the thermal pressure and wind pressure were analyzed, and then the influences of air infiltration to the oxygen volume fraction was researched, and the verification experiment was also carried out. The results shown that the theoretical value and experimental value of oxygen volume fraction in the compartment were basically identical, which indicated that the model of air infiltration model was accurate. Air infiltration was mainly caused by wind pressure, and the air infiltration volume was very small when thermal pressure functioned independently. When the

vehicle speed is bigger, the the influence of thermal pressure to the total air infiltration volume is smaller. The oxygen volume fraction was increased slowly when the vehicle was parked, and the oxygen volume fraction increased rapidly in the transport. What's more, the more the air infiltration and loading rate, the faster the oxygen volume fraction increasing. This research provided a reference for optimizing the equipments of controlled atmosphere transportation.

Keywords: controlled atmosphere transportation; compartment; air infiltration; oxygen volume fraction

气调保鲜车是先进的保鲜运输装备之一,其通过调节运输环境的温度、相对湿度以及气体成分达到保鲜的目的^[1-2]。在气调保鲜运输途中,由于车厢内外气体温差、车辆行驶速度的原因,车厢内部和外部环境之间通过车厢缝隙进行气体交换,使车厢内 O_2 体积分数逐渐上升,从而导致气调保鲜效果下降和气调成本增加,因此,有必要对气调保鲜运输车厢的 O_2 体积分数的变化特性进行研究。

目前,果蔬气调保鲜装备有关 O_2 体积分数变化的研究主要集中在气调贮藏和气调包装方面,而对气调保鲜车厢 O_2 体积分数变化的研究较少。在气调贮藏方面,文献[3-5]对气调保鲜库中果蔬呼吸作用引起 O_2 体积分数的规律进行了理论分析与试验验证。在气调包装方面,文献[6-8]对气调包装袋中果蔬呼吸作用和薄膜通透性引起 O_2 体积分数变化的规律进行了理论分析与试验验证。然而,研究^[9-10]发现,车厢渗风是气调运输中引起车厢内 O_2 体积分数变化的主要原因之一,因此,以上文献中研究方法不适用于果蔬气调保鲜车厢内 O_2 体

基金项目:国家重点研发计划子任务(编号:2018YFD0701002);广东省科技计划—公益研究与能力建设(编号:2015A020209177)

作者简介:杨松夏(1987—),男,仲恺农业工程学院讲师,博士。
E-mail: ysx8706@163.com

收稿日期:2018-09-30

积分分数变化的研究。在保鲜装备渗风研究方面,文献[11—13]对冷库门热压作用下的渗风特性进行了理论分析和验证,文献[14]分析了冷藏运输装备的渗风机制,建立了风压作用下的渗风模型并进行了试验研究。而气调保鲜车渗风是由风压和热压综合作用引起的,研究热压和风压综合作用下的渗风特性可更加精确掌握 O_2 体积分数变化规律。为此,本试验拟在车厢风压作用和热压作用下渗风特性的基础上,研究车厢渗风对车厢内 O_2 体积分数的影响,为优化气调保鲜运输装备性能提供参考。

1 气调保鲜运输车 O_2 体积分数变化模型构建

1.1 车厢渗风量

气调保鲜运输中,车厢内外温差以及风速差导致车厢内外存在热压和风压,从而引起车厢渗风。因此,车厢渗风量包括热压渗风量和风压渗风量。

1.1.1 热压渗风量 气调保鲜运输车厢内外空气的温度差造成了空气密度的不同。低温空气密度大,高温空气密度小。在进行气调保鲜运输过程中,外界环境空气从车厢上部的缝隙渗入,内部空气从车厢下部的缝隙渗出。参照建筑渗风理论^[15]的热压计算方法,车厢热压渗风量为:

$$q_r = 3\ 600A (\Delta P_r)^b, \quad (1)$$

式中:

q_r ——热压作用下保温车厢渗风量, m^3/h ;

A ——当量渗风面积, $m^2/(s \cdot Pa^b)$;

ΔP_r ——热压差, Pa ;

b ——渗风特性指数。

在对建筑物外窗热压单独作用渗风量计算时,假设建筑物中间存在一中和面^[16],在夏季时,环境空气由中和面以上的窗户渗入建筑物内,然后由中和面以下的窗户渗出建筑物。因此,假设在车厢开门高度的 $1/2$ 处存在一中和面,并且为了简化建模过程,将车厢中和面以上的缝隙假设为一个位于车厢顶部和中和面之间中间位置的外窗,中和面以下的缝隙假设为一个位于车厢底部和中和面之间中间位置的外窗。热压差按式(2)计算^[17]:

$$\Delta P_r = (\rho_w - \rho_n) g (h_a - h_0) = 3\ 462 (h_0 - h_a) \left(\frac{1}{t_w + 273} - \frac{1}{t_n + 273} \right), \quad (2)$$

式中:

ρ_w, ρ_n ——分别为外界环境空气密度、车厢空气密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

h_0 ——中和面高度,高度值为车厢开门高度的 $1/2$, m ;

h_a ——上部外窗高度,高度值为中和面与车厢顶部之间高度的 $1/2$, m ;

t_w, t_n ——分别为外界环境温度、车厢内部温度, $^{\circ}C$ 。

所以,联立式(1)、(2)即为热压渗风量模型。

1.1.2 风压渗风量 气调保鲜车为典型的钝体结构,由于行驶中车体表面流场发生气流分离、再附着和旋涡脱落等复杂的流动现象,在车辆的迎风面产生正压区,在车辆的顶面、侧面和背面产生负压区^[18]。外界环境空气正压使得空气通过保温厢体缝隙渗入厢体内部,厢体内一部分空气从背风面和侧面渗出。参照建筑渗风理论^[15]的风压计算方法,车厢风压渗风量为:

$$q_f = 3\ 600A (\Delta P_f)^b, \quad (3)$$

式中:

q_f ——风压作用下保温车厢渗风量, m^3/h ;

ΔP_f ——风压差, Pa 。

当气调保鲜车处于行驶状态时,随着行驶速度的增加,车厢内外的压差也随之增大。在运输过程中,车厢风压差主要与风速、空气密度有关,风压差为^[19]:

$$\Delta P_f = C_f \left(\frac{\rho_w}{2} \right) v^2, \quad (4)$$

式中:

ρ_w ——外界环境空气密度, kg/m^3 ;

v ——迎风面风速, m/s ;

C_f ——风压差系数,对于保温厢体迎风面,风垂直作用于保温厢体前壁板,风压差系数 C_f 的最大平均值可取 0.7。

1.1.3 热压和风压综合作用下车厢渗风量 根据热压和风压共同作用的意义和缝隙法的含义,热压和风压综合作用下的渗风量为^[20]:

$$q_A = q_f \left(n^{\frac{1}{b}} + \frac{\Delta P_r}{\Delta P_f} \right)^b, \quad (5)$$

式中:

q_A ——热压和风压综合作用下的渗风量, m^3/h ;

b ——渗风特性指数,无实测值时取 0.67;

n ——朝向修正系数,渗透冷空气量最大的方向为主导风向时朝向修正系数 n 取 1,其他方向则取 $n < 1$ 的数值^[21]。

将式(4)代入式(5),整理可得:

$$q_A = 3\ 600A (\Delta P_r + \Delta P_f)^b. \quad (6)$$

在研究建筑渗风时,通过大量的试验和统计给出了建筑物不同材料、不同结构条件下的渗风特性系数,而对车厢渗风特性系数的研究资料和可供参考的数据较少。因此,采用当量渗风面积对不同尺寸、规格的保温厢体的渗风情况进行研究,根据车厢的漏气倍数进行反推求解当量面积^[14]。反推过程如下:

$$L = \frac{q_0}{V_0}, \quad (7)$$

$$A = \frac{q_0}{3\ 600 \Delta P_0^b}, \quad (8)$$

式中:

L ——漏气倍数, h^{-1} ;

q_0 ——标准状态下的漏气量, m^3/h ;

V_0 ——车厢容积, m^3 ;

ΔP_0 ——测试压差, 按规定为 $(100 \pm 10) \text{ Pa}$ 。

把式(7)、(8)带入式(6)可得热压和风压综合作用下车厢渗风量为:

$$q_A = \frac{LV_0}{\Delta P_0^b} (\Delta P_r + \Delta P_f)^b \quad (9)$$

1.2 O_2 体积分数变化模型

为获得 O_2 体积分数随时间的变化规律, 参考文献[22]中对 O_2 体积分数变化模型的建模方法, 建立行驶中车厢内 O_2 体积分数随时间变化的计算公式:

$$0.21q_A dt - xq_A dt = V_S dx, \quad (10)$$

式中:

t ——运输时间, s ;

x ——车厢内 O_2 体积分数, %;

V_S ——气调厢需要气调部分的容积, m^3 。

整理式(10)得到行驶中车厢内 O_2 体积分数变化模型为:

$$x = 0.21 - (0.21 - x_0)e^{-\frac{q_A t}{V_S}} \quad (11)$$

2 模型验证

2.1 试验设备与方法

2.1.1 试验设备 试验设备为课题组研制的液氮充注式气调保鲜运输车。液氮充注式气调保鲜车由汽车底盘、保温车厢、传感器系统、执行机构和集中控制系统等组成。集中控制系统根据传感器系统采集的车厢环境信息, 控制执行机构的开启与关闭, 调节保温车厢内的温度、相对湿度、 O_2 体积分数在所需要的范围内^[23]。其中, 保温车厢(内尺寸长×宽×高为 $4.20 \text{ m} \times 1.75 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$)为压差式结构, 保温车厢厢龄为 6 个月, 通过加装硅胶发泡密封条、粘贴三元乙丙发泡密封条和中性硅酮结构胶涂膜接缝等措施改善车厢的气密性(漏气倍数约为 0.16 h^{-1}); 传感器系统包括温度传感器、相对湿度传感器、 O_2 传感器。执行机构包括制冷机组、冷风机、超声波雾化加湿器、液氮罐、进排气阀。液氮充注式气调保鲜运输车结构图和样车如图 1 所示。

2.1.2 试验方法 试验共分 3 组, 分别为驻车试验组和跑车试验组。每组试验车厢均为空载, 车厢初始的 O_2 体积分数均为 3% 左右, 其它试验参数设定如表 1 所示。将车厢环境调节至每组试验所需的试验条件后进行试验, 记录车厢内 O_2 体积分数在 120 min 时间内的变化情况。

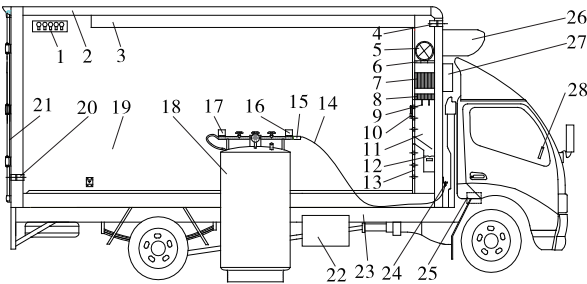
2.1.3 试验数据和处理方法 3 组试验的车厢 O_2 体积分数随时间的变化如图 2 所示。

数据处理方法:

表 1 试验参数

Table 1 Parameters of experiments

组别	车厢内温度/ ℃	环境温度/ ℃	车速/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
A	3~5	28~30	0
B	3~5	30~32	30~35
C	3~5	28~30	40~45



1. 传感器盒 2. 厢体 3. 回风道 4. 进气阀 5. 风机 6. 风机安装板 7. 蒸发器 8. 汽化盘管 9. 出气横管 10. 出风口温度传感器 11. 压力室 12. 超声波加湿装置 13. 开孔隔板 14. 连接软管 15. 限流阀 16. 出液电磁阀 17. 增压电磁阀 18. 液氮罐 19. 保鲜室 20. 排气电磁阀 21. 后门 22. 备电厢 23. 汽车底盘 24. 汽化盘管接头 25. 车载制冷机组压缩机 26. 冷凝器 27. 继电器盒 28. 集中控制系统

图 1 果蔬液氮充注气调保鲜车

Figure 1 Fruits and vegetables fresh-keeping transportation vehicle with controlled atmosphere by liquid nitrogen injection

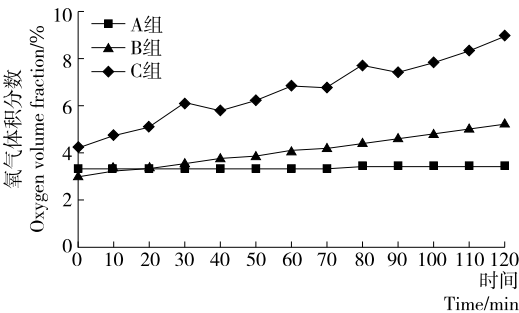


图 2 车厢内 O_2 体积分数变化图

Figure 2 Changes of O_2 volume fraction in compartment

(1) 首先根据渗风量模型[式(1)~(9)]计算出渗风量理论值, 然后将 O_2 体积分数变化试验数据带入 O_2 体积分数随时间变化的计算式[式(10)]进行换算得到渗风量试验值。

(2) 将验证试验中车厢容积、 O_2 初始体积分数、 O_2 体积分数上升时间以及渗风量理论值代入 O_2 体积分数变化模型[式(11)]中可计算出某一时刻 O_2 体积分数理论值并绘制出 O_2 体积分数随时间变化的曲线, 其中 O_2 体积

分数上升时间按照 2 min 间隔进行计算,理论计算值取至小数点后 3 位。

2.2 结果与分析

2.2.1 渗风量分析 渗风量试验值和理论值对比结果如表 2 所示。由表 2 可以得出:3 组试验的渗风量试验值与理论值基本相符,A、B、C 3 组的相对误差分别为13.79%,13.01%,17.06%。车厢渗风主要是由风压作用引起的,热压单独作用引起的渗风量较小,B 组试验中热压单独作用渗风量试验值占热压和风压综合作用渗风量试验值的比例约为 7.31%,C 组试验中热压单独作用渗风量试验值占热压和风压综合作用渗风量试验值的比例约为 5.37%,由此可见,当车速越大,热压作用对行驶过程中总渗风量的影响越小。C 组试验误差产生的主要原因可能为:在维持车厢内外温差过程中,发动机振动,可能导致车厢当量渗风面积暂时增大;在维持车厢内外温差过程中,车厢内循环风机运转导致局部产生正压或负压,增加了渗风量。跑车试验组误差产生的主要原因可能为:车厢与驾驶室之间的缝隙较大,车辆迎风面的一部分气流沿缝隙流向车底,在缝隙处形成一个低速、负压区域^[24]。

表 2 渗风量验证结果[†]

Table 2 Results of the verification of air infiltration volume

组别	渗风量试验值/ (m ³ · h ⁻¹)	渗风量理论值/ (m ³ · h ⁻¹)	相对误差/ %
A	0.066	0.058	13.79
B	0.903	1.038	13.01
C	1.230	1.483	17.06

[†] 相对误差=|渗风量试验值-渗风量理论值|÷渗风量理论值×100%。

2.2.2 O₂体积分数分析 由 O₂体积分数模型可知,O₂体积分数成指数形式逐渐上升,并且渗风量和车厢装载率越大则 O₂体积分数上升越快。对于驻车试验组,由于渗风量很小,在 120 min 内 O₂体积分数没有发生明显上升,试验值和理论值基本保持一致。由表 3 可知,在 120 min 的试验中,O₂体积分数试验值与理论值基本相符,O₂体积分数的理论数值略高于试验数值。因此,车厢 O₂体积分数变化模型有一定的可信度。

3 结论

(1) 3 组试验气调保鲜车厢试验渗风量与理论渗风量相对误差分别为 13.79%,13.01%,17.06%,气调保鲜车厢试验渗风量与理论渗风量基本相符,该模型具有一定的准确性。

(2) 气调保鲜车行驶过程中,车厢渗风主要是由风压作用引起的,热压单独作用引起的车厢渗风量相对较小。

表 3 3 组试验 O₂体积分数试验值与理论值

Table 3 Experimental and theoretical value of oxygen volume fraction in three experiments %

时间/ min	A 组		B 组		C 组	
	试验值	理论值	试验值	理论值	试验值	理论值
0	3.3	3.3	3.0	3.0	4.2	4.2
10	3.3	3.3	3.2	3.2	4.7	4.7
20	3.3	3.3	3.3	3.4	5.1	5.2
30	3.3	3.3	3.5	3.6	6.1	5.6
40	3.3	3.4	3.7	3.8	5.8	6.1
50	3.3	3.4	3.8	4.0	6.2	6.5
60	3.3	3.4	4.1	4.2	6.8	7.0
70	3.3	3.4	4.2	4.4	6.7	7.4
80	3.4	3.4	4.4	4.6	7.7	7.8
90	3.4	3.4	4.6	4.7	7.4	8.2
100	3.4	3.4	4.8	4.9	7.8	8.5
110	3.4	3.5	5.0	5.1	8.3	8.9
120	3.4	3.5	5.2	5.3	8.9	9.2

并且,当车速越大,热压作用对行驶过程中总渗风量的影响越小。

(3) 气调保鲜车驻车时车厢 O₂体积分数上升较慢,跑车时 O₂体积分数上升较快,并且 O₂体积分数成指数形式逐渐上升,渗风量和车厢装载率越大,O₂体积分数上升越快。

此外,气调保鲜运输车车厢内 O₂体积分数变化以及车厢渗风量还可能受到车厢内循环风机运转、车厢外流场的较大影响,该部分还需要做进一步的探讨以提高模型的精确性。

参考文献

[1] 吕恩利, 陆华忠, 杨洲, 等. 果蔬气调保鲜运输技术发展研究[J]. 农机化研究, 2010(6): 225-228.

[2] SINGH A K, GOSWAMI T K. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2006, 43(1): 1-7.

[3] 付赢正, 赵兰萍, 娄锦培, 等. 水果呼吸作用引起气调贮藏环境变化的模型分析[J]. 科技通报, 2008, 24(2): 188-191.

[4] 栾明川, 王世清, 孙振华. 气调库内氮、氧气体含量的预测[J]. 农业机械学报, 2001(5): 123-124.

[5] 胡浩, 袁秀玲, 孙大伟, 等. 水果气调贮藏中温度、氧组分浓度变化过程的三维动态模拟及实验研究[J]. 制冷学报, 1998 (1): 29-34.

[6] JAIME G, ANA F, ROSA O, et al. Determination of O₂ and CO₂ transmission rates through micro perforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85: 194-201.

(下转第 158 页)

提取率,后续如能对提取的玉米须多酚进一步分离纯化,将会提高其抗氧化活性。

参考文献

- [1] 王元清,严建业,陈志文,等.均匀设计优选玉米须中总黄酮和多糖的水提工艺[J].食品与机械,2010,26(2):104-106.
- [2] 洪秋菊,任远.玉米须的化学成分与药理研究[J].甘肃中医学院学报,2010,4(6):74-77.
- [3] 陈耀章,马琴国.玉米须降糖、降压、降脂、保肝作用研究[J].中医研究,2014,27(3):78.
- [4] 柏桦,海春旭,梁欣,等.玉米须提取物清除自由基和抑制脂质过氧化作用[J].癌变·畸变·突变,2007,20(1):36-40.
- [5] 吴亚楠,鲁晓翔,连喜军.玉米须黄酮清除自由基活性的研究[J].食品研究与开发,2009,30(1):5-8.
- [6] 邵芳芳,尹卫平,梁菊.重要的植物多酚及其抗氧化性能的研究概况[J].西北药学杂志,2010,25(1):66-68.
- [7] 李健,杨昌鹏,李群梅,等.植物多酚的应用研究进展[J].广西轻工业,2008(12):1-3.
- [8] 伍鹤,王远亮,赵琳,等.蓝莓多酚提取方法及功能活性研究进展[J].食品与机械,2015,31(2):257-261.
- [9] 冯丽,宋曙辉,赵霖,等.植物多酚及其提取方法的研究进展[J].中国食物与营养,2007(10):39-41.
- [10] 石峰,陈雨,张亚琴,等.泽泻总三萜超声辅助提取工艺研究[J].食品与机械,2018,34(3):170-174.
- [11] WU Zhen, LI Hong, YANG Yong, et al. Ultrasonic extraction optimization of *L. macranthoides* polysaccharides and its physicochemical properties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 74: 224-231.
- [12] 赵丽,顾燕雯,赵忆菲,等.3种叶菜多酚提取条件的研究[J].上海交通大学学报:农业科学版,2017,35(5):89-94.
- [13] 张素霞.不同方法提取茶多酚比较研究[J].粮食与油脂,2009(7):42-44.
- [14] 林枫雨,马永强,王鑫,等.不同方法提取甜玉米芯多酚对比研究[J].食品研究与开发,2016,37(24):58-63.
- [15] 蒋丽,王雪梅,全学军,等.不同提取方法对茶多酚理化性质的影响[J].食品科学,2010,31(14):136-139.
- [16] 邓义书,包海蓉,齐知耕.桑葚果渣中总多酚的不同提取方法比较研究[J].湖南农业科学,2010(15):106-108.
- [17] 侯敏娜,侯少平.响应面法优化超声辅助提取玉米须多酚工艺研究[J].食品研究与开发,2017,38(16):46-50.
- [18] XIE Xing, TU Zong-cai, ZHANG Lu, et al. Antioxidant activity, α -glucosidase inhibition, and phytochemical fingerprints of *Anoectochilus roxburghii* formula tea residues with HPLC-QTOF-MS/MS[J]. J Food Biochem, 2017, 41(6): e12402.
- [19] 王羚佳,舒晓梦,辛文,等.雅津蛋白桑多糖的分离纯化及生物活性研究[J].食品与机械,2018,34(3):175-179.
- [20] ZENG Di, ZHU Si-ming. Purification, characterization, antioxidant and anticancer activities of novel polysaccharides extracted from *Bachu* mushroom[J]. Int J Biol Macromol, 2018, 107(Pt A): 1 086-1 092.
- [21] 王红.燕麦麸皮多酚类物质的提取、抗氧化性及稳定性研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2013:20.

(上接第 152 页)

- [7] NUTAKOM T, YOSHILO H. Development of a mathematical model for simulating gas and water vapor exchanges in modified atmosphere packaging with macroscopic perforations[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(1): 94-104.
- [8] 张长峰,徐步前,吴光旭.更接近于气调包装条件下薄膜透气系数的测算方法[J].农业工程学报,2006,22(1):15-18.
- [9] 周晓龙,吕恩利,陆华忠,等.基于Linux的车载气调保鲜运输控制系统[J].农业机械学报,2013,44(增刊2):155-160.
- [10] 吕恩利,陆华忠,罗锡文,等.果蔬气调保鲜运输车的设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(19):9-16.
- [11] 何媛,南晓红.三维CFD模型预测热压作用下冷库门的冷风渗透率[J].农业工程学报,2008,24(6):26-30.
- [12] 杨松夏,吕恩利,陆华忠,等.液氮充注气调厢开门时O₂体积分数预测模型研究[J].农业机械学报,2015(3):223-227.
- [13] FOSTER A M, SWAIN M J, BARRETT R, et al. Effectiveness and optimum jet velocity for a plane jet air curtain used to restrict cold room infiltration[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29(5): 692-699.
- [14] 刘广海,谢如鹤,屈睿玲.冷链运输装备渗风模型构建与实验研究[J].制冷学报,2013,34(4):30-34.
- [15] 高甫生,崔宇捷.用于建筑渗风动态能耗分析的气象模型研究[J].暖通空调,2003,33(3):17-20.
- [16] 梁志滔,张小英.自然通风条件下轻钢活动板房热环境计算研究[J].新型建筑材料,2009(9):44-47.
- [17] 贺平.供热工程[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2009:29-30.
- [18] 杨帆,胡阳洋,王建华.重型卡车风阻优化[J].交通运输工程学报,2013,13(6):54-56.
- [19] 董重成,李春刚,张思思.塑钢窗冷风渗透耗热量计算[J].暖通空调,2009,39(9):104-107.
- [20] 丁力行,高甫生.空气渗透计算中风压与热压的叠加问题[J].暖通空调,2001,31(1):25-26.
- [21] 建设部. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003:168.
- [22] 韩谓,吕恩利,陆华忠,等.液氮充注气调保鲜环境数学模型[J].广东农业科学,2012,39(17):178-180.
- [23] 吕恩利,陆华忠,罗锡文,等.果蔬气调保鲜运输车的设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(19):9-16.
- [24] 王靖宇,胡兴军,田华,等.导流罩对轻型厢式货车气动特性影响的数值模拟[J].吉林大学学报:工学版,2008,38(1):12-16.