

EPP 多温区保温箱温控效果的特性研究

翟纪强¹, 宋海燕¹, 肖婕²

(1.天津科技大学, 天津 300222; 2.广州番禺职业技术学院 艺术设计学院, 广州 511483)

摘要: **目的** 开发一种多温区的保温箱, 并对其温控效果进行研究。**方法** 通过单因素实验, 研究蓄冷剂的摆放位置、外界环境、蓄冷剂与冷鲜产品的质量比等对保温箱温控效果的影响。**结果** 研究表明, 侧面摆放结合顶部摆放的方式是保温效果最佳的蓄冷剂摆放方式。在温度为 23 °C、相对湿度为 50% 的外界环境下, 厚度为 30 mm 的 EPP 多温区保温箱内, 蓄冷剂与冷鲜产品的质量比分别为 5:6 (冷藏区) 和 8:5 (冷冻区) 时, 保温时间达到 24 h 以上。保温箱各测试点的保温时间随蓄冷剂质量的增加而延长, 且冷藏区和冷冻区的保温时间最长可分别达到 44 和 28 h。建立了外界环境温度-蓄冷剂与冷鲜产品质量比-保温时间的数学模型。**结论** 该多温区保温箱能够满足冷鲜产品短途快递运输的温控要求。

关键词: EPP; 多温区保温箱; 蓄冷剂; 温控效果

中图分类号: TB485.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)01-0093-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.01.014

Characteristics of Temperature Control Effect of the EPP Multi-temperature Insulation Box

ZHAI Ji-qiang¹, SONG Hai-yan¹, XIAO Jie²

(1.Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China; 2.School of Art Design,
Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483, China)

ABSTRACT: The work aims to develop a multi-temperature insulation box and study its temperature control effects. The influences of the placement of coolant, the external environment and the mass ratio of coolant to cold fresh products on the temperature control effect of insulation box were studied by the single-factor experiment. The research results showed that, the combination of side placement and top placement was the best way to place the coolant with the best heat preservation effect. When the mass ratios of coolant to cold fresh product were 5:6 (cold storage area) and 8:5 (frozen area) in EPP multi-temperature insulation box with a thickness of 30 mm in the external environment (temperature: 23 °C, relative humidity: 50%), the holding time reached 24 h or more. The holding time of each test point of the insulation box prolonged with the increase of the coolant mass, and the holding time of the cold storage area and the frozen area could reach as long as 44 h and 28 h, respectively. The mathematical model of external environment temperature-mass ratio of coolant to cold fresh product-holding time was established. The multi-temperature insulation box can meet the temperature control requirements of short-distance express transportation of cold fresh products.

KEY WORDS: EPP; multi-temperature insulation box; coolant; temperature control effect

收稿日期: 2018-09-03

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划 (2015BAD16B05); 天津市自然科学基金 (17JCTPJC55800)

作者简介: 翟纪强 (1993—), 男, 天津科技大学硕士生, 主攻运输包装与包装结构设计。

通信作者: 宋海燕 (1977—), 女, 博士, 天津科技大学教授, 主要研究方向为运输包装与包装结构设计。

近年来,中国生鲜电商市场方兴未艾,随之而来的是对冷链物流和生鲜产品供应链的投资不断加大^[1]。目前,用于冷链环节上的冷链运输和包装设备有冷藏车、保温箱等^[2]。机械制冷是冷藏车最为常见的方式,该方式实现了制冷和加热2种功能,且可实现自动调节厢内温度,可适应不同冷藏货物的运输方式,但该方式会消耗大量能源,且面对多品种、小批量的需求时,冷藏车常常处于半仓状态,不能物尽其用,浪费资源,提升了运输成本,同时,“最后一公里”的冷链中断现象制约了冷藏车的发展^[3-4]。由此,便于运输、保温效果优良的保温箱正是冷链物流的所需。冷链物流保温箱常用的保温材料有EPS, XPS, EPP, PU等,其中EPP具有优良的耐热、耐油、耐化学腐蚀性能,并且质量轻、缓冲性能好、无毒、环保、使用寿命长、循环使用性好^[5],是高质量保温箱的理想材料。

国内外对保温箱都进行了大量的研究,主要从保温材料、包装结构、蓄冷剂的种类及用量、模型的建立及分析等方面进行^[6-11]。Burgess等^[12]为了研究置于周期性温度环境下的包装保温性能,运用2种不同的数学方法计算蓄冷剂用量。宋海燕等^[13]分别在3种不同的外界温湿度环境和不同的蓄冷剂与内装物质量比的条件下,研究了挤塑聚苯乙烯保温箱保温特性。Singh等^[14]对不同形式的保温箱、保温包装盒、包装袋及蓄冷剂在单包裹运输中的保温表现进行了对比。

多温运输概念的提出得到制冷行业研究者的重视。赵鑫鑫^[4]基于计算流体力学的理论基础,利用风导轨对多温区箱体内部温度的影响进行了试验验证,探索了箱体内部温度场分布均匀性的规律。赵秀红等^[15]通过数据分析自行设计了一种多温区新型箱体,对此进行均温性的试验研究,模拟不同加热器时箱体温度场的分布情况,并建立了三维稳态数值模型。为满足消费者对生鲜产品多品种、小批量的需求,这里以多温运输理念为理论基础,拟开发一种适合多品类产品运输的多温区保温包装箱。

1 实验

1.1 材料

1.1.1 多温区发泡聚丙烯保温箱

外界温度为23℃、相对湿度为50%,发泡聚丙烯泡沫板的厚度为30mm,密度为31kg/m³,导热系数为0.042W/(m·K)。箱体外尺寸510mm×310mm×240mm,内部分为冷冻区(0℃以下)和冷藏区(0~8℃),每个区的尺寸为210mm×250mm×180mm。

1.1.2 蓄冷剂

选用300g的冰盒作为文中实验的蓄冷剂,相比

于普通相变蓄冷剂,该蓄冷剂冻结前后不易变形,且蓄冷量大,安全可靠,卫生无毒,可以反复使用。保鲜冰盒相变温度为0℃,主要适用于野餐露营、食品外卖、蔬果保鲜等;微冻冰盒相变温度为-18℃,主要适用于速冻水饺、汤圆、生鲜等冷冻产品的运输。

1.1.3 内装物

选择“速冻水饺”和“茂谷柑”为冷冻区和冷藏区的实验模拟物,速冻水饺和茂谷柑的质量分别为1500和1800g,共计3300g。

1.2 设备

实验所用主要设备:锯骨机,BSM-400,天津芝华机械电子有限公司;恒温恒湿箱,ETH-408-40-CP-AR,巨孚仪器(北京)有限公司;电子天平,LQ-C20002,瑞安市安特称重设备有限公司;温度记录仪,SH-48,深圳市深华轩科技有限公司;医用低温型,MDF-U339-C,三洋电机(中国)有限公司;美的冰箱,BC-45M(E),合肥美的电冰箱有限公司。

1.3 方法

1.3.1 蓄冷剂摆放位置

选择同样的4盒蓄冷剂在保温箱中摆放4种可行的位置,见图1,摆放方式分别为侧面摆放、双面摆放、边缘摆放和顶底摆放。

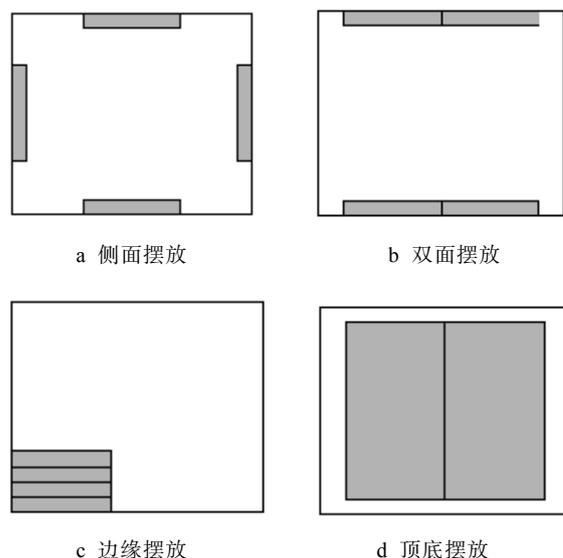


图1 保温箱的4种摆放位置
Fig.1 Four kinds of placement positions of insulation box

在外界温度为23℃,相对湿度为50%的条件下,研究不同的蓄冷剂摆放位置引起保温箱温控效果变化的规律。实验的具体步骤如下所述。

1) 预冷。将速冻水饺和蓄冷剂放置在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下至少24 h, 茂谷柑放置在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下至少24 h。

2) 设置参数。设置恒温恒湿箱的温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为50%; 温度记录仪的第1组警告温度下限设为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 上限设为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 第2组上限设为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 采用优盘存储的方式记录数据, 记录时间间隔为5 min。

3) 将蓄冷剂以侧面摆放的方式放入保温箱内, 温度记录仪的探头分别固定在速冻水饺和茂谷柑的中心位置, 待保温箱内温度稳定, 放入速冻水饺和茂谷柑, 迅速封箱放入恒温恒湿箱中。

4) 打开温度记录仪开始记录数据, 当第1组温度超过 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 第2组温度超过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 结束实验, 拷贝数据并导出。

5) 更换蓄冷剂在保温箱内的摆放方式, 重复以上实验步骤, 进行不同蓄冷剂摆放位置的实验。

1.3.2 蓄冷剂的质量

为了研究蓄冷剂的质量对保温箱的保温时间和箱内温度分布的影响, 在外界温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为50%的条件下, 分别测试不同质量的蓄冷剂下保温箱内部各点的保温时间。由于保温箱和内装物的对称性, 这里选取保温箱内的7个测试点, 分别为底面、右上角、中心点、端面、侧面、左上角和顶面, 测试点分布见图2, 其中各测试点的温度均为测试的实验模拟物的温度。对7种不同的蓄冷剂与内装物的质量比进行试验研究, 见表1。具体步骤按照1.3.1节中所述步骤进行, 其中温度记录仪的探头分别固定在图2显示的7个点上, 然后改变蓄冷剂的质量, 进行不同质量比的实验。

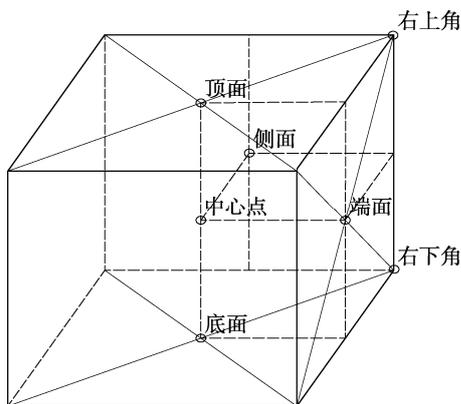


图2 保温箱内测试点分布
Fig.2 Distribution of test points in insulation box

1.3.3 外界温湿度

根据 GB/T 4857.2—2005^[16]设定不同的恒定温湿度环境, 温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为50%, 温度为

表1 蓄冷剂与内装物的质量比
Tab.1 Mass ratio of the coolant and contents

蓄冷剂质量/kg	蓄冷剂与内装物质量比	
	冷藏区	冷冻区
1.2	2 : 3	4 : 5
1.5	5 : 6	1 : 1
1.8	1 : 1	6 : 5
2.1	7 : 6	7 : 5
2.4	4 : 3	8 : 5
2.7	3 : 2	9 : 5
3.0	5 : 3	2 : 1

$30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为85%, 温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为90%, 改变外界温度和蓄冷剂与实验模拟物的质量比, 研究两者对保温箱温控效果的影响, 并得出保温箱中心点的保温时间和外界温度、蓄冷剂与内装物质量比的关系。

2 结果与讨论

2.1 蓄冷剂的摆放位置对保温箱保温时间的影响

在外界温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为50%的条件下, 4盒蓄冷剂在4种摆放方式下对保温箱保温时间的影响见图3。可以看出, 使用蓄冷剂不同摆放位置时, 测点的起始温度完全不同, 这是因为蓄冷剂放置在不同的位置导致蓄冷剂释放的冷量对同一个点的冷藏效果不同, 势必导致同一位置测点的温度不同。对保温时间而言, 4种摆放方式中, 侧面摆放的保温时间最长, 边缘摆放最短。此外, 结合实际情况, 由于箱体顶部受保温箱密封性的影响, 导致顶部温度上升较快, 所以在运输过程中采用侧面摆放结合顶部摆放的方式效果最佳。冷藏区和冷冻区的保温时间变化曲线有所差异, 冷藏区在保温时间段内温度变化比较平稳, 而冷冻区在起始和结束阶段温度上升较快, 一方面由2种蓄冷剂不同的属性造成, 另一方面是冷冻产品对温度的要求更加敏感。

2.2 不同蓄冷剂质量对保温时间的影响

保温箱内各测试点保温时间的不同必定受蓄冷剂与内装物质量比不同的影响。外界温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为50%时, 保温箱内测试点保温时间随蓄冷剂质量改变的变化规律见图4。由图4可以看出, 相同质量比条件下, 右上角的保温时间相对较短, 主要受箱盖密封处热对流的影响, 中心点的保温时间始终在其他测试点保温时间之间, 因此该保温时间能反映箱体整体的保温时间。由于中心点的位置特殊, 与其他6个测试点相比, 中心点受蓄冷剂的影响较小。

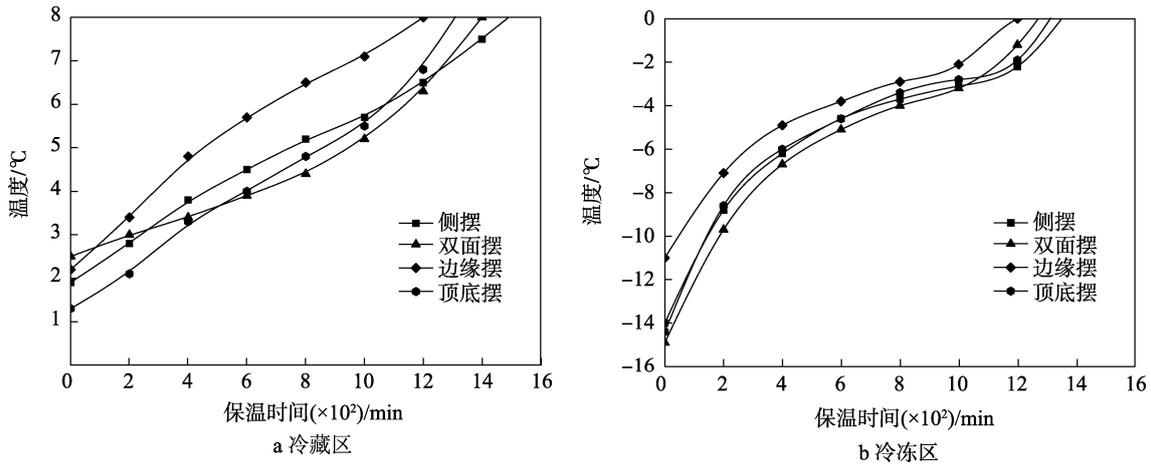


图3 保温时间变化曲线
Fig.3 Change curve of holding time

随着质量比的增加，保温箱的保温时间呈增大趋势。保温箱的主要功能是阻隔箱内冷量的散失，而箱内的冷量由蓄冷剂缓慢释放，蓄冷剂越多，箱内冷源就越多，因此保温箱的保温时间越长。与冷藏区相比，冷冻区内上层和下层各测试点的保温时间与中层测试点的保温时间差距较大，说明箱体的密封性对冷冻区的影响更大，因为冷冻产品对外界环境更敏感，对低温环境的要求更高。由图4可以看出，外界环境温度为23℃、相对湿度为50%时，EPP保温箱冷藏区和冷冻区满足12h保温要求的质量比分别为2:3, 1:1; 当质量比分别为5:6和8:5时，冷藏区和冷冻区各测试点均满足24h的保温时间; 继续增加蓄冷剂的质量，在箱体的容积范围内，冷藏区和冷冻区的保温时间最长可分别达到44和28h。

2.3 EPP多温区保温箱内部温度分布

在外界环境为23℃、相对湿度为50%的条件下，冷藏区和冷冻区的蓄冷剂和内装物质量比分别为5:

6和2:1时，EPP保温箱内部温度分布曲线见图5。可以看出，各测试点的温度均随着时间的推移而升高，总体上，升温速度最快的测试点在保温箱上层，中层略慢，底层最慢。保温时间相对较短的测试点反而在保温箱的顶面和右上角，而底面和右下角的保温时间最长。这是因为保温箱的底部放有蓄冷剂，蓄冷剂释放的冷量可维持内装物的温度，另外，底面和右下角处于保温箱的最底层，箱内冷量下沉，使底面测试点的温度上升较慢，因此蓄冷时间也比中上层的其他测试点要长。

2.4 外界温度-蓄冷剂与内装物质量比-保温时间的关系

在3种不同的外界温度(23, 30, 40℃)和7种不同蓄冷剂与内装物质量比的条件下，保温箱中心点的保温时间见表2。采用Matlab软件进行数据分析与处理，建立了温度-质量比-保温时间的三维模型，见图6。

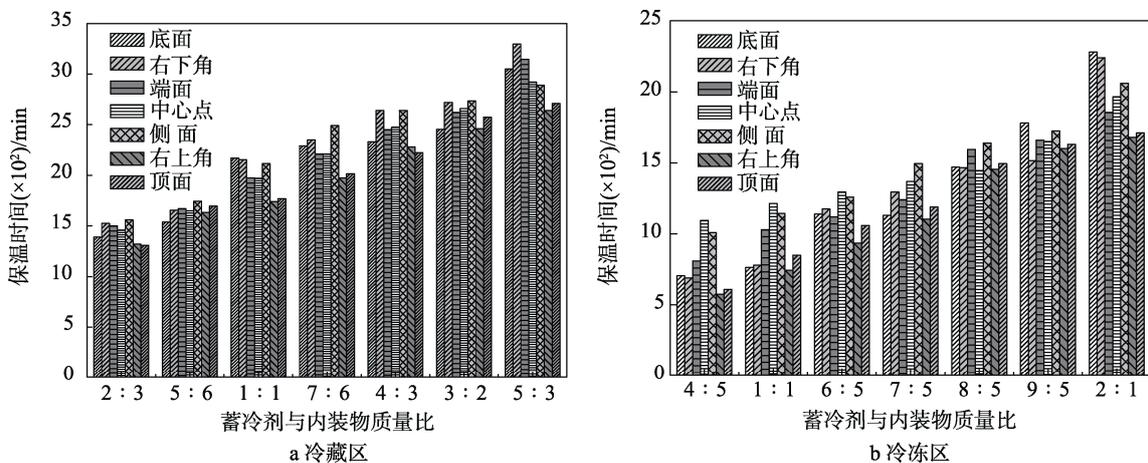


图4 各测试点在不同质量比条件下的保温时间
Fig.4 Holding time of each test point under different mass ratios

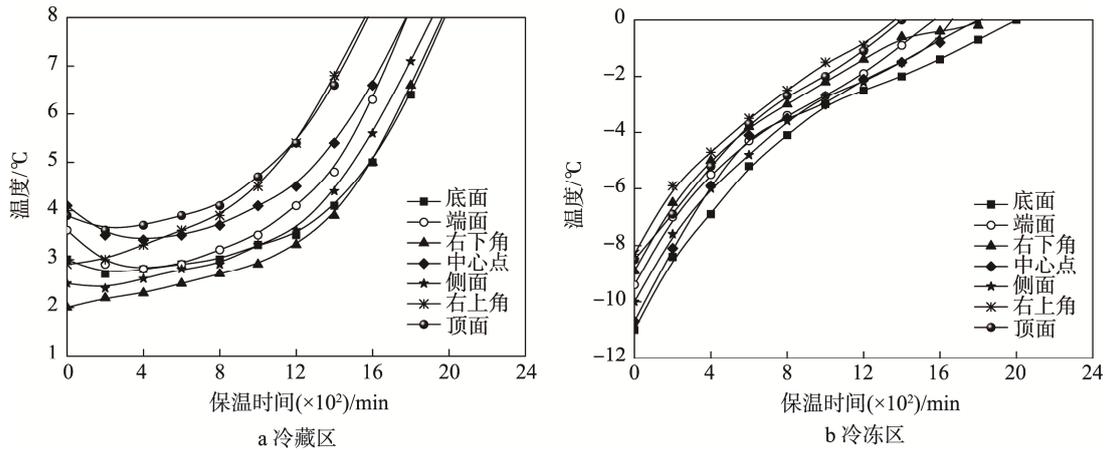


图 5 多温区保温箱内部的温度分布
Fig.5 Temperature distribution in the multi-temperature insulation box

表 2 保温箱分别在不同外界温度和不同质量比下的保温时间

Tab.2 Holding time of the insulation box at different external temperatures and different mass ratios

区域	蓄冷剂与内装物质量比	保温时间/min		
		23 °C	30 °C	40 °C
冷藏区	2 : 3	1460	1035	670
	5 : 6	1650	1245	835
	1 : 1	1970	1450	985
	7 : 6	2210	1685	1130
	4 : 3	2475	1860	1240
	3 : 2	2660	2230	1395
	5 : 3	2920	2575	1585
冷冻区	4 : 5	1095	1015	790
	1 : 1	1215	1135	945
	6 : 5	1295	1215	1105
	7 : 5	1370	1305	1215
	8 : 5	1445	1390	1305
	9 : 5	1650	1545	1425
	2 : 1	1965	1855	1635

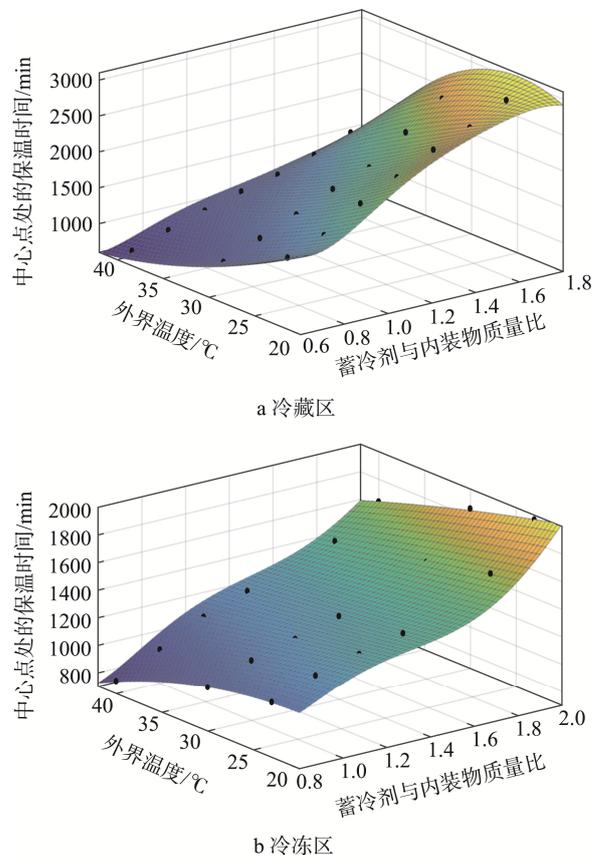


图 6 EPP 多温区保温箱的三维模型
Fig.6 Three-dimensional model of EPP multi-temperature insulation box

图 6 中三维模型的特征为线性曲面，以 x, y, z 轴代表外界温度、蓄冷剂与内装物质量比、中心点处的保温时间，则图 6a 的曲面方程为：

$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 + p_{40}x^4 + p_{31}x^3y + p_{22}x^2y^2 + p_{50}x^5 + p_{41}x^4y + p_{32}x^3y^2$$

多项式中各参数取值范围及取值：

$p_{00}=1603(1557, 1649)$; $p_{10}=407.7(297.8, 517.6)$;
 $p_{01}=-475.2(-507.4, -443)$; $p_{20}=33.62(-49.93, 117.2)$;
 $p_{11}=-107.9(-153.7, -62.19)$; $p_{02}=70.67(34.21, 107.1)$;
 $p_{30}=101.2(-60.03, 262.5)$; $p_{21}=44.13(-36.92, 125.2)$;
 $p_{12}=-26.73(-93.05, 39.58)$;
 $p_{40}=16.93(-16.71, 50.57)$; $p_{31}=18.91(-6.612,$

$44.43)$; $p_{22}=-55.07(-84.01, -26.14)$; $p_{50}=-22.85(-78.85, 33.16)$;
 $p_{41}=-12.71(-47.18, 21.76)$;
 $p_{32}=-23.77(-60.75, 13.21)$; 相关系数为 0.9996。

图 6b 的曲面方程为：

$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 + p_{40}x^4 + p_{31}x^3y + p_{22}x^2y^2 + p_{50}x^5 + p_{41}x^4y + p_{32}x^3y^2$$

多项式中各参数取值范围及取值：

$p_{00}=1350(1329, 1371)$; $p_{10}=308.6(259.9, 357.2)$;

$p_{01}=-63.49(-79.42, -47.56)$; $p_{20}=324.6(273, 376.1)$; $p_{11}=-30.45(-50.42, -10.48)$; $p_{02}=2.09(-13.07, 17.25)$; $p_{30}=341.8(239.3, 444.3)$; $p_{21}=-122.6(-172.7, -72.49)$; $p_{12}=-7.428(-34.11, 19.26)$; $p_{40}=-90.19(-118.6, -61.75)$; $p_{31}=3.094(-15.54, 21.73)$; $p_{22}=-18.36(-35.61, -1.118)$; $p_{50}=-135.9(-173.2, -98.59)$; $p_{41}=41.24(20.14, 62.35)$; $p_{32}=11.57(-3.243, 26.38)$; 相关系数为 0.9995。

随机选择 3 种不同的实验条件, 进行验证实验, 实验结果见表 3。实验结果表明, 实验值与理论值的误差最小为 5%, 最大为 9.7%, 均小于 10%, 因此该模型对于生产实践具有一定的指导意义。

表 3 EPP 多温区保温箱的验证实验
Tab.3 Verification experiment of EPP multi-temperature insulation box

区域	不同环境 温度/℃	蓄冷剂与 内装物 质量比	保温时间 实验值/ min	保温时间 计算值/ min	误差/%
冷藏区	26	2:3	1240	1136	-9.2
	35	2:3	835	782	-6.8
	35	4:3	1530	1645	+7.0
冷冻区	26	4:5	1055	975	-8.2
	35	4:5	905	1003	+9.7
	35	8:5	1355	1427	+5.0

3 结语

1) 蓄冷剂的摆放位置是影响保温箱保温效果的因素之一, 实验表明, 保温效果最佳的蓄冷剂摆放方式是侧面摆放结合顶面摆放。

2) 在外界环境温度为 23℃、相对湿度为 50%的条件下, 厚度为 30 mm 的 EPP 多温区保温箱内蓄冷剂与内装物的质量比分别为 5:6(冷藏区)和 8:5(冷冻区)时, 能够有效保存内装物在 0~8℃和 0℃以下, 保温时间达到 24 h 以上, 可以基本满足短途快递运输中的温控要求。

3) 不同外界环境和不同蓄冷剂与内装物质量比对多温区保温箱的保温特性均有影响, 并建立了外界环境温度-蓄冷剂与内装物质量比-保温时间的三维数学模型, 经验证实验误差在 10%之内, 提供了具有实际意义的参考价值。

4) 文中冷冻区设置的上限温度为 0℃, 实际运输温度会低于该温度, 因此在实际运输过程中, 保温箱冷冻区的保温时间与实验中的保温时间相比会短一些。在满足各区保温时间的情况下, 蓄冷剂与内装物质量比越低越好, 因此为了提高保温箱使用的经济性, 开发保温隔热性能更好的保温材料以及导热效率

高、蓄冷量大的蓄冷剂是未来的研究方向。

参考文献:

- [1] 艾瑞咨询系列研究报告. 中国生鲜电商行业消费洞察报 2018 年[R]. 上海: 上海艾瑞市场咨询有限公司, 2018.
Ai Rui Consulting Series Research Report. China Fresh Electronic Commerce Industry Consumer Insight Report 2018[R]. Shanghai: Shanghai Ai Rui Market Consulting Company Ltd, 2018.
- [2] 陈镜羽, 黄辉. 我国生鲜农产品电子商务冷链物流现状与发展研究[J]. 科技管理研究, 2015, 35(6): 179—183.
CHEN Jing-yu, HUANG Hui. Study on Current Status and Countermeasures of Cold Chain for Fresh Agricultural Products Based on E-commerce[J]. Technology Management Research, 2015, 35(6): 179—183.
- [3] 贺廉云. 冷藏车制冷方式分析与研究[J]. 时代农机, 2017, 44(1): 79—80.
HE Lian-yun. Research of the Refrigeration Method for Refrigerator Trucks[J]. Times Agricultural Machinery, 2017, 44(1): 79—80.
- [4] 赵鑫鑫. 冷藏车多温区分布优化及温度精准调控[D]. 济南: 山东大学, 2014.
ZHAO Xin-xin. Multi-temperature Distribution Optimization and Precise Temperature Regulation of Refrigerated Truck[D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [5] 黄少云, 李东立, 许文才. 发泡聚丙烯研究进展及应用展望[J]. 包装工程, 2009, 30(5): 86—89.
HUANG Shao-yun, LI Dong-li, XU Wen-cai. Research Progress and Application Prospects of EPP[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5): 86—89.
- [6] 朱怡馨, 陈晨伟, 罗敏成, 等. 可折叠水产品运输保温包装箱结构设计[J]. 包装工程, 2015, 36(15): 30—33.
ZHU Yi-xin, CHEN Chen-wei, LUO Min-cheng, et al. Structure Design of Foldable Insulation Packaging Container for Aquatic Products[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(15): 30—33.
- [7] 胡宇鹏, 罗群生, 尹霞, 等. BWBZX-1 保温包装箱设计与验证[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 33—38.
HU Yu-peng, LUO Qun-sheng, YIN Xia, et al. Design and Verification of BWBZX-1 Insulated Packaging Container[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 33—38.
- [8] 郭晓娟, 钱静. 基于 Ansys 保温包装球壳模型的建立[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 43—48.
GUO Xiao-juan, QIAN Jing. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 43—48.
- [9] LI Y C M, CHEN Y H A. Assessing the Thermal Performance of Three Cold Energy Storage Materials with Low Eutectic Temperature for Food Cold Chain[J]. Energy, 2016, 115: 238—256.

- [10] QIAN J, ZHAO Y. Insulating Packaging Solution Based on Cylinder Model[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013(8): 1—5.
- [11] 洋国荣, 徐国峰, 胡桂林, 等. 医疗保温箱的包装结构设计和有限元分析[J]. *浙江科技学院学报*, 2013, 25(5): 335—339.
PAN Guo-rong, XU Guo-feng, HU Gui-lin, et al. Packaging Structure Design and Finite Element Analysis of Medical Insulating Box[J]. *Journal of Zhejiang University of Science and Technology*, 2013, 25(5): 335—339.
- [12] MATSUNAGA K, BURGESS G, LOCKHART H. Two Methods for Calculating the Amount of Refrigerant Required for Cyclic Temperature Testing of Insulated Packages[J]. *Packaging Technology & Science*, 2010, 20(2): 113—123.
- [13] 宋海燕, 田萌萌, 伍亚云. 蓄冷剂质量对挤塑聚苯乙烯保温箱温控效果的影响研究[J]. *包装工程*, 2016, 37(7): 56—60.
SONG Hai-yan, TIAN Meng-meng, WU Ya-yun. Influences of the Coolant Amount on Temperature Control Effect of Extruded Polystyrene Insulation Box[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(7): 56—60.
- [14] SINGH S P, BURGESS G, SINGH J. Performance Comparison of Thermal Insulated Packaging Boxes, Bags and Refrigerants for Single-parcel Shipments[J]. *Packaging Technology & Science*, 2008, 21(1): 25—35.
- [15] 赵秀红, 刘宝林. 一种新型多温区恒温箱均温性的数值模拟与实验验证[J]. *制冷学报*, 2015(2): 27—33.
ZHAO Xiu-hong, LIU Bao-lin. Numerical Simulation and Experimental Verification of Temperature Uniformity in a Novel Multi-temperature Thermostat[J]. *Journal of Refrigeration*, 2015(2): 27—33.
- [16] GB/T 4857.2—2005, 包装运输包装件基本试验 第2部分: 温湿度调节处理[S].
GB/T 4857.2—2005, Packaging-basic Tests for Transport Packages-Part 2: Temperature and Humidity Conditioning[S].