



冰激凌 PLA 保温包装设计及其保温性能研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.02.006

肖 婕

广州番禺职业技术学院
艺术设计学院
广东 广州 511483

摘 要: 为了使冰激凌在“最后一公里”配送时始终处于合理的温度范围内,设计了一种基于 3D 打印技术的保温包装杯。分析了不同容器壁厚、不同外界温湿度对保温杯保温性能的影响,同时建立了关于外界温度-厚度-保温时间的三维曲面模型及曲面方程,并对 3 种不同温度和厚度的包装模型进行了验证。结果表明:30 mm 的容器壁厚足以使冰激凌的保温时间达到配送要求的 60 min;当外界温湿度为 23 °C /50%RH, 30 °C /85%RH 时,3 个测试点的保温时间均能满足最低配送要求,当外界温湿度为 40 °C /90%RH 时,只有中心点的保温时间达到配送要求;理论值与试验值的误差在 ±10%,该曲面方程具有一定的参考价值。

关键词: 冰激凌; 保温包装; 保温时间; 3D 打印技术

中图分类号: TS206.6 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2019)02-0037-08

引文格式: 肖 婕. 冰激凌 PLA 保温包装设计及其保温性能研究 [J]. 包装学报, 2019, 11(2): 37-44.

0 引言

近年来,冰激凌这一类冷冻饮品在国内食品行业的消费市场不断扩大。冰激凌是一种对温度非常敏感的产品,从生产到食用整个流通环节的温度变化都可能会引起质量的下降。为避免冰激凌融化、包装破损等问题,冷链物流的温度需控制在 -18 °C 以下^[1]。也就是说,保证冰激凌质量的关键是冷链物流服务^[2]。但是,从销售处(即物流末端)到消费者手中“最后一公里”^[3]的配送过程是没有冷链设备的,因而该环节过高的温度易引起冰激凌变质。因此,设计一种可以满足冰激凌多批次、小批量、精细化包装生产线要求,而且保温效果良好的包装方案至关重要。

国内外学者针对不同产品的保温包装进行了大

量的研究。D. Leducq 等^[4]设计了一种用于冰激凌运输和储存的相变材料(phase change material, PCM)包装,并在相变温度为 -21 °C 下进行保温实验,实验结果表明,与聚苯乙烯包装相比较,PCM 包装能使冰激凌的保质期更长。S. Singh 等^[5]研发了一种新型的保温包装,其创新点是使用微胶囊相变材料,该材料使产品在运输和储存中能保持在一定的温度范围内。高斯等^[6]基于热力学理论基础,分析了保温包装的结构和保温包装的影响因素,介绍了易腐水产品和易腐易变质产品两种包装模型,提出了今后研究的重点应放在保温因素的合理判断以及开发性价比高的蓄冷剂。郭晓娟等^[7]采用不同球壳模型描述保温箱,并利用 ANSYS 有限元软件对球壳模型进行数值

收稿日期: 2019-01-27

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划基金资助项目(2015BAD16B05),天津自然科学基金资助项目(2017JCTPJC55800),天津食品安全低碳环保制造协同创新中心基金资助项目

作者简介: 肖 婕(1985-),女,广东广州人,广州番禺职业技术学院实验师,主要研究方向为包装材料及包装技术,
E-mail: 372002358@qq.com

分析,结果表明与实际保温箱尺寸一样的球壳模型能真实反映保温箱的传热过程。徐艳秋等^[8]分析了不同环境下不同瓦楞纸箱的力学性能,并对低温瓦楞纸箱的结构进行了改进,结果表明低温瓦楞纸箱满足速冻食品包装运输要求。但是,目前将保温包装结构设计和数学模型相结合的研究较少。

聚乳酸 (polylactide, PLA) 主要由可再生的植物资源 (如玉米) 所提取的淀粉制成,是一种环境友好型塑料,可降解为活性堆肥。除了良好的生物可降解性,PLA 具有良好的相容性,可用于乳制品行业^[9-10]。因此,本课题组以冰激凌为保温对象,设计了一款可以放置两个冰激凌的保温杯,该保温杯采用 PLA,并通过熔融沉积成型 (fused deposition modeling, FDM) 3D 打印技术制作而成,最后通过试验验证模型的可靠性。

1 试验

1.1 材料、仪器与设备

1) 材料

3D 打印级的 PLA 由东莞市德之健塑胶电子有限公司生产。PLA 的导热系数为 $0.146 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ ^[11],密度为 $1.25 \text{ g}/\text{cm}^3$; 线盘的直径、高、心圆孔直径分别为 200, 66, 56 mm。

某公司生产的迷你组合蛋筒冰淇淋 (10 支装) 如图 1 所示。包装盒的尺寸为 $20 \text{ cm} \times 11 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$, 质量为 200 g。单支冰激凌的质量为 20 g, 尺寸为直径 4 cm、高度 10 cm。



图 1 冰激凌
Fig. 1 Ice cream

2) 仪器与设备

多路温度测试仪, SH-48 路, 深圳深华轩科技有限公司生产; 恒温恒湿试验箱, ETH-408-40-CP-AR 型, 上海迈捷实验设备有限公司生产; 桌面型 FDM 3D 打印机, 创想三维 CR-2020 型, 创想三维科技有限公司生产; 图形工作站, 联想启天 M415, 联想集团生产; 医用低温冷藏箱, MDF-U339-C 型,

上海迈捷实验设备有限公司生产。

1.2 保温杯结构设计

对于温度敏感的产品, 温度是影响其质量的重要因素之一。保温包装是指采用阻热材料、优化结构设计、改进成型工艺等多种措施, 使温度敏感产品始终保持在可接受的温度范围内, 即从生产、运输、销售到消费者手中拆封产品的整个过程, 减慢产品因热袭而产生变质的速率, 从而保证产品质量的一种综合的、特殊的包装形式^[12-13]。

赵艳冰等^[14]提出将保温包装箱转化为圆柱体模型, 结果表明, 当保温包装箱和圆柱体模型的内体积和厚度相等时, 圆柱体模型能真实反映保温箱的传热过程。两种保温包装的结构图^[14]如图 2 所示。图中, 保温包装箱的尺寸为长 \times 宽 \times 高即 $L \times W \times H$ ($L < W < H$), 厚度为 Δx ; 圆柱体模型的外径为 γ_o , 内径为 γ_i , 且圆柱体模型与包装箱的 H 值相同。

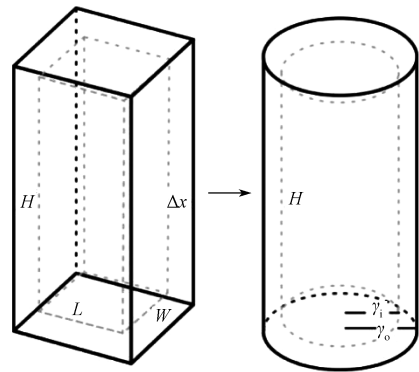


图 2 长方体温控包装箱转化为圆柱体模型示意图
Fig. 2 The actual cuboid temperature control box into a cylinder model diagram

根据保温包装箱和圆柱体模型的内体积和厚度相等可知:

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{LW}{\pi}}, \quad (1)$$

$$\gamma_o = \sqrt{\frac{LW}{\pi}} + \Delta x. \quad (2)$$

因此, 本课题组以上述圆柱体模型为原型, 设计了一种可以放置两个冰激凌的保温杯, 其结构图如图 3 所示。该保温杯采用双层结构, 杯体外层和杯体内层之间是中空层, 通过抽真空技术使其形成真空层。抽真空的目的是为了切断热传导介质, 阻断热力的传递, 使盛装在内部的冰激凌等冷冻食品延缓散热, 以达到保温的效果^[15]。真空度越高保温效果越好。模型的顶部有杯盖封片, 杯盖与杯口用螺纹密封。密

封性越好, 热量越难传递, 从而使保温杯的保温效果更好^[16]。

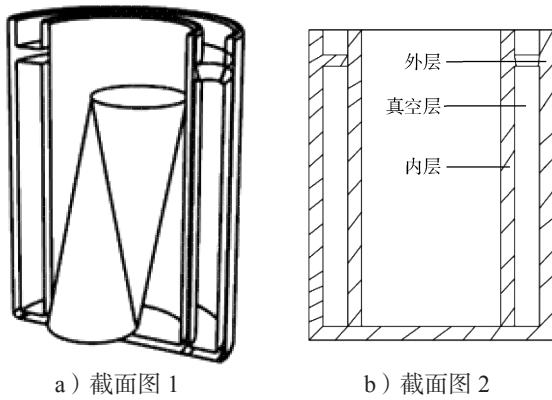


图 3 保温杯结构图

Fig. 3 Hollow cylinder model

1.3 试样制作

首先采用 3D MAX 三维软件建立保温杯的三维模型, 再使用 FDM 3D 打印机快速打印 PLA 保温杯 (如图 4 所示), 并进行模拟比对^[17], 以调整和修正保温杯的尺寸。依据冰激凌的尺寸、3D 打印特性与材料强度等特点, 设计了 4 种不同规格的螺旋盖真空密封型保温杯, 其参数如表 1 所示。



图 4 实物图

Fig. 4 Physical object

表 1 保温杯的规格尺寸

Table 1 Insulation cup size

厚度/mm	密度/(g·m ⁻³)	γ ₁ /mm	γ ₂ /mm	H/mm
20	1.30	60	70	112
25	1.30	60	80	112
30	1.30	60	90	112
40	1.30	60	110	112

1.4 不同厚度保温杯的中心点保温时间测试

先在冰激凌上粘贴 4 个测试点, 并进行预处理, 将冰激凌和保温杯储存在温度为 -18℃ 的医用低温冷藏箱中至少 24 h, 即试验的初始温度为 -18℃; 其次, 恒温恒湿箱的温湿度设置为 23℃/50%RH (RH 为相

对湿度), SH-48 路温度测试仪的数据记录时间间隔为 2 min, 警示温度上限为 0℃; 然后, 将预处理好的冰激凌快速放入保温杯中, 并迅速封箱, 进行测试, 如图 5 所示; 最后, 当 4 个测试点的温度都超过上限温度 0℃ 时, 试验结束, 导出数据。按照以上步骤进行不同厚度的保温杯测试试验, 从初始温度到上限 0℃ 的保温时间每组厚度平行测试 3 次, 取平均值。



图 5 在恒温恒湿箱中测试 PLA 保温杯图

Fig. 5 PLA thermos cups tested in a constant temperature and humidity chamber

1.5 不同湿度条件下保温杯的保温性能测试

通过查阅相关文献, 并结合冰激凌的尺寸、体积和对称性, 本课题组确定了保温杯体内的 3 个测试点, 分别为保温杯的几何中心点、顶面中心点、底面中心点。测试点分布情况如图 6 所示。

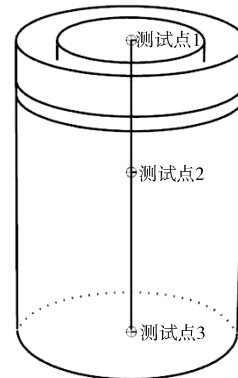


图 6 内装物测试点位置图

Fig. 6 The distribution of test points

根据 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》, 本试验选取了 3 种不同的恒定温湿度条件下测试保温杯的保温时间。3 种不同恒定温湿度分别为 23℃/50%RH, 30℃/85%RH, 40℃/90%RH, 基本上覆盖了国内包装件在流通中的温湿度环境。

试验步骤与 1.4 节一样, 不同之处是在冰激凌上

粘贴测试点的位置和数量不同,本次试验只有3个测试点。

1.6 实验数据分析手段

用 Excel 软件处理试验数据,进行平均值统计和方差分析;同时用 Matlab 软件分析试验数据,建立三维模型。

表 2 不同厚度的保温杯几何中心点的温升速度

Table 2 The temperature rise rate of the geometric center of the insulation cup with different thickness

厚度/mm	初始温度/°C			保温时间/min			温升速度/(°C·min ⁻¹)			温升速度均值/(°C·min ⁻¹)
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
20	-15.0	-14.8	-13.2	98	96	92	0.1530	0.1541	0.1434	0.1502
25	-14.5	-15.2	-13.7	98	101	95	0.1479	0.1504	0.1442	0.1475
30	-15.1	-14.3	-13.4	106	102	98	0.1424	0.1401	0.1367	0.1397
40	-14.9	-12.6	-13.8	108	98	102	0.1379	0.1298	0.1352	0.1339

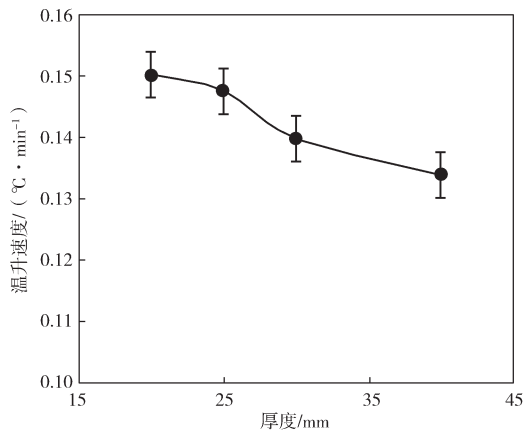


图 7 保温杯几何中心点的温升速度与厚度关系曲线

Fig. 7 Relationship between temperature rise speed and thickness ratio of test point in the geometry center of insulating cup

从表 2 和图 7 可以看出:保温杯越厚,保温时间越长,温升速度越小。保温杯的传热方式主要是热辐射和热对流。当保温杯厚度小于 25 mm 时,杯体厚度对保温杯的保温作用影响较小。因此,杯体厚度从 20 mm 增至 25 mm 时,温升速度的变化不显著,变化量仅为 0.0027 °C/min。当保温杯杯体厚度大于 25 mm 时,厚杯体能有效减少热辐射、热对流损失。因此,当杯体厚度从 25 mm 增至 40 mm 时,温升速度的变化明显,变化量达到 0.0136 °C/min,约是厚度从 20 mm 增至 25 mm 时的温升速度变量的 5 倍。为了削弱运输过程中热对流效应对保冷性能的影响,建议保温杯的厚度大于 25 mm。结合表 2 可知,30 mm 厚的保温杯的最长保温时间也在 100 min 左右,保温效果较好。

2 结果与讨论

2.1 杯厚对保温杯的保温性能的影响

表 2 为在 23 °C /50%RH 的温湿度条件下不同厚度的保温杯几何中心点的测试数据。图 7 为保温杯几何中心点的温升速度与保温杯的厚度关系曲线图。

2.2 不同温湿度条件下保温杯的保温性能分析

分别在 23 °C /50%RH, 30 °C /85%RH, 40 °C /90 %RH 的温湿度环境下,测试了杯体厚为 30 mm 的保温杯的保温情况。为了更好地观察和分析试验数据,从试验开始 5 min 后采集数据。通过分析 PLA 保温杯内 3 个测试点的保温时间,确定了保温杯在不同环境下的最长保温时间。

2.2.1 温湿度为 23 °C /50%RH

图 8 为温湿度 23 °C /50%RH 下保温杯内底面中心点、顶面中心点、几何中心点的温度分布曲线图。

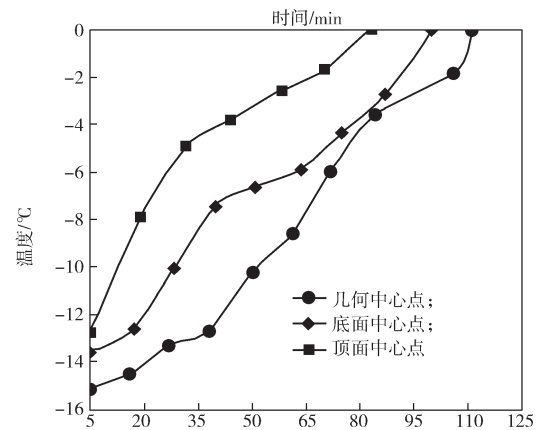


图 8 温湿度 23 °C /50%RH 下测试点的温度分布曲线图

Fig. 8 The temperature distribution curves of test points under 23 °C /50%RH

从图 8 可以看出:在温湿度为 23 °C /50%RH 的条件下,开始时,顶面中心点温度上升较快,几何中心点温度上升较慢。从 35 min 开始,底面中心点呈缓慢上升状态,这是由于冷冻的冰激凌从固态变成液态,相变过程时需要吸收一定程度的潜热;63 min

时, 固态的冰激凌逐渐转为冰晶状态, 此时温度开始快速上升; 当 100 min 时, 底面中心点的温度超过 0 °C, 此时保温杯失去保温效果。可知保温时间由短到长依次为顶面中心点、底面中心点、几何中心点, 可推导出有效保温时间为 83min。

图 9 为在温湿度为 23 °C /50%RH 的环境下各测试点的保温时间图。从图 9 可以看出: 顶面中心点的保温时间较短, 只有 78 min, 比底面中心点少 17 min, 比几何中心点少 28 min, 其原因是热量从杯体外表面转移到内部的热传导过程需要一定时间。结合图 8 可知, 在温湿度为 23 °C /50% 的环境下, 保温杯内温度低于 -2°C 时保温时间可满足 60 min 的短途配送。

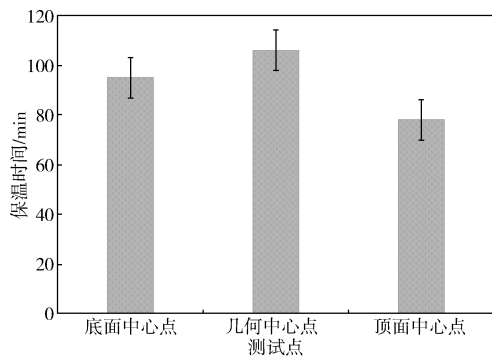


图 9 温湿度 23 °C /50%RH 下不同测试点的保温时间

Fig. 9 Insulation time at different test points under temperature and humidity 23 °C /50%RH

2.2.2 温湿度为 30 °C /85%RH

图 10 为在 30 °C /85%RH 的温湿度环境下各测试点的温度分布曲线图。

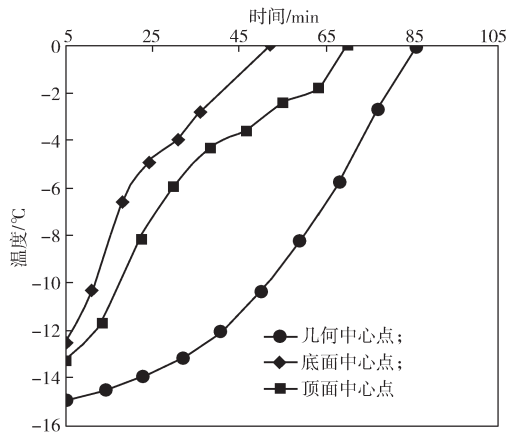


图 10 温湿度 30 °C /85%RH 下测试点的温度分布曲线

Fig. 10 The temperature distribution curves of test points under 30 °C /85%RH

从图 10 可以看出: 在温湿度为 30 °C /85%RH 的

环境条件下, 杯体内的温度随着时间增加而逐渐升高, 变化趋势呈正相关性。顶部中心点的温度变化最快, 底部中心点的温度变化稍慢, 几何中心点的温度变化最缓慢。可知, 保温杯体内同一位置不同高度的测试点温度变化由慢到快依次为几何中心点、底层、顶层。

图 11 为在温湿度为 30 °C /85%RH 的环境下, 保温杯内不同测试点的保温时间。从图可以看出: 杯体内各测试点的保温时间差异性较大, 保温时间最短的是顶面中心点, 为 47 min, 未达到 60 min, 其原因主要是保温杯外部环境温湿度 (30 °C /85%) 较大, 杯体与杯盖之间的密封处热对流较大。而几何中心点的保温时间较长, 其原因是冰激凌体积小, 又占据了整个保温杯的空间, 这阻止了部分热对流对它的影响。底部中心点的保温时间为 65 min, 基本达到运输所要求的 60 min。

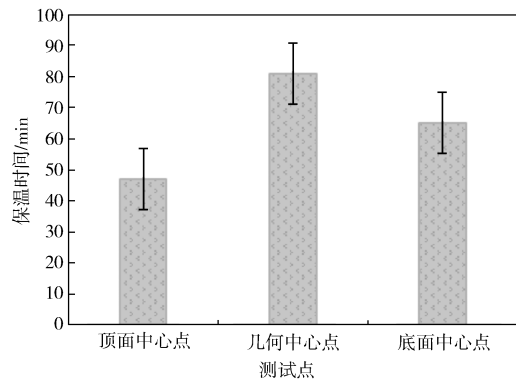


图 11 温湿度 30 °C /85%RH 下三个测试点的保温时间

Fig. 11 Temperature and humidity 30 °C /85%RH holding time for three test points

2.2.3 温湿度为 40 °C /90%RH

图 12 为在温湿度为 40 °C /90%RH 的环境下保温杯内底面中心点、顶面中心点、几何中心点的温度分布曲线图。从图 12 可以看出: 底面和顶部测试点在 -9°C 以下温升速度吻合度较高, 这说明在外界高温高湿度的条件下, 热传导的作用较大, 在一定程度上阻止了杯体内冰激凌冷量的下沉, 因此底面测试点的温升速度也在加快。同时, 顶面测试点的保温时间变化较大, 这充分说明杯体内顶层的温度较高, 因此在包装容器结构设计时应考虑杯体与杯盖的密封性, 以减少热对流的影响, 提高容器的保温性能。相比较顶面和底面测试点, 几何中心点的温升速度比较均匀。

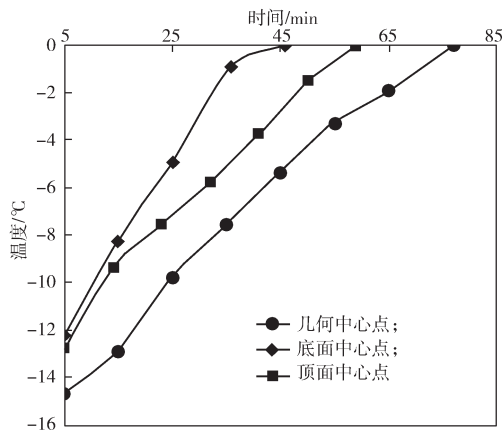


图 12 温湿度 40 °C /90%RH 下的测试点温度分布曲线

Fig. 12 The temperature distribution curves of test points under 40 °C /90%RH

图 13 为在温湿度为 40 °C /90%RH 的环境下，保温杯不同测试点的保温时间。从图 13 可以看出：保温时间从长到短依次为几何中心点、底面、顶面。其中，顶面的保温时间为 41 min，底面的保温时间为 54 min，均未达到运输所要求的 60 min。几何中心点的保温时间最长，为 72 min。因此，在高温高湿条件下，保温杯整体的保冷阻热性能较弱。

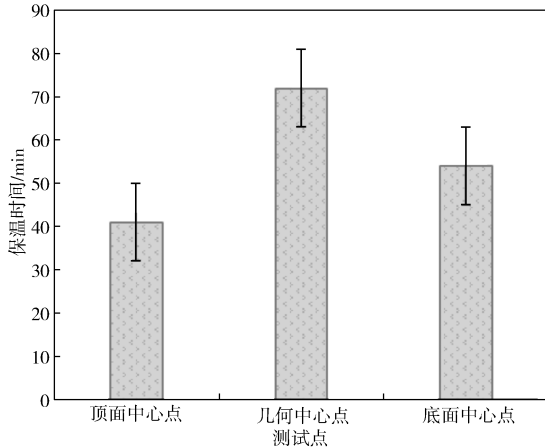


图 13 温湿度 40 °C /90%RH 下三个不同测试点的保温时间

Fig. 13 Temperature and humidity 40 °C /90%RH holding time at three different test points

2.3 三维模型曲面方程建立

外界环境是影响保温杯的保温性能的重要因素。因此，本课题组分别测试了在温湿度为 23 °C /50 %RH, 30 °C /85%RH, 40 °C /90%RH 环境下不同厚度对杯内冰激凌保温时间的影响，测试结果如表 3 所示。通过 Matlab 软件对试验数据进行分析，并建立了关于外界温度 - 厚度 - 保温时间的三维模型曲面方程，三维模型图如图 14 所示。

表 3 不同温度下不同厚度保温杯的保温时间

Table 3 The holding time of cup with different thickness at different temperature

温湿度	厚度 /mm			
	20	25	30	40
23 °C /50%RH	95.33	98.25	101.65	105.39
30 °C /85%RH	70.69	76.64	81.73	96.07
40 °C /90%RH	62.87	67.42	72.54	80.31

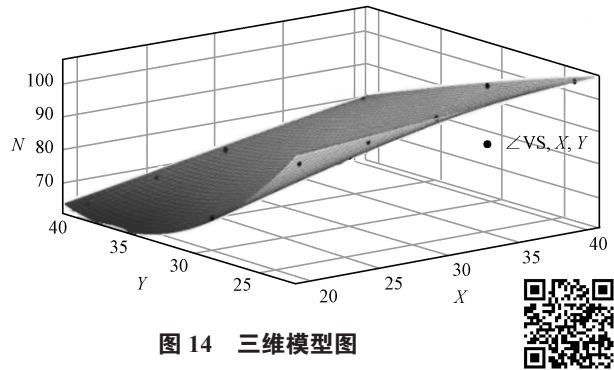


图 14 三维模型图

Fig. 14 The picture of three-dimensional model

保温时间的三维模型曲面方程为

$$T(t_1, \Delta x) = A\Delta x^2 + B\Delta x t_1 + C t_1^2 + D\Delta x + E t_1 + F, \quad (1)$$

式中： t_1 为外界温度； A, B, C, D, E, F 为系数。

式 (1) 为二元二次非线性方程，置信系数为 95%，回归系数 A, B, C, D, E, F 为 $(-0.0017, 0.0176, 0.0968, 0.4364, -8.3355, 217.9139)$ 。

为了验证曲面方程的正确性，将 25 °C /25 mm, 25 °C /30 mm, 32 °C /30 mm 分别代入式 (1) 中，计算结果如表 4 所示。

表 4 曲面方程任意点保温时间的验证

Table 4 Verification of surface equation at random point about the insulation time

温度 / 厚度	理论值 /min	试验值 /min	误差
25 °C / 25 mm	90.87	86.32	-5.2%
25 °C / 30 mm	94.78	89.67	-5.6%
32 °C / 30 mm	78.75	74.63	-5.5%

由表 4 可以看出：当环境温度为 25 °C，厚度为 25 mm 时，通过三维模型曲面方程得到的理论保温时间为 90.87 min，试验测得的保温时间为 86.32 min，误差约为 -5.2%；当环境温度为 25 °C，厚度为 30 mm 时，通过三维模型曲面方程得到的理论保温时间为 94.78 min，试验测得的保温时间为 89.67 min，误差约为 -5.6%；当环境温度为 32 °C，厚度 30 mm 时，通过三维模型曲面方程得到的理论保温时间为 78.75 min，试验测得的保温时间为 74.63 min，误差

约为 -5.5%。可见, 保温时间的理论值和试验值的误差在 $\pm 10\%$, 因此本曲面方程具有一定的理论参考价值。

3 结论

1) 包装容器的壁厚是影响保温杯保温效果的因素之一。试验结果表明, 壁厚为 30 mm 的保温杯的保温时间能达到配送要求的 60 min, 保温效果较好, 同时打印成本较低。

2) 外界环境条件也是影响保温杯保温效果的因素之一。当外界温湿度为 23 °C /50%RH, 30 °C /85%RH 时, 保温杯基本能满足冰激凌的运输时间 60 min 的要求。当外界温湿度为 40 °C /90%RH 时, 保温杯的保温性能较差, 只有几何中心点的保温时间满足配送要求。

3) 通过 Matlab 软件分析试验数据, 建立了关于外界温度 - 厚度 - 保温时间的三维模型曲面方程。并比对了通过三维模型曲面方程得到的理论值与试验测试值, 其误差在 $\pm 10\%$, 该方程能提供一定的理论意义与参考价值。

本试验是基于恒温恒湿环境, 但是在实际环境中温湿度是变化的, 甚至有时变化很快。因此为了解决由差异化的温湿度引起冷链成本增加的问题, 设计容积率大的容器结构及开发经济性的保温隔热性能更好的 3D 打印材料将是未来的研究方向。

参考文献:

- [1] 中国商业联合会. GB/T 31114—2014: 冷冻饮品冰激凌[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 2.
China General Chamber of Commerce. GB/T 31114—2014: Frozen Drink-Ice Cream[S]. Beijing: China Standards Press, 2014: 2.
- [2] 颜 静. 冰激凌冷链运输测试[J]. 货运车辆, 2010(4): 91-93.
YAN Jing. Ice Cream Cold Chain Transport Test[J]. Truck & Logistics, 2010(4): 91-93.
- [3] 杨浩军. 城市冷链物流“最后一公里”的障碍研究[J]. 商业经济研究, 2016(17): 93-94.
YANG Haojun. Research on the Obstacles of the "Last Mile" of Urban Cold Chain Logistics[J]. Journal of Commercial Economics, 2016(17): 93-94.
- [4] LEDUCQ D, NDOYE F T, ALVAREZ G. Phase Change Material for the Thermal Protection of Ice Cream During Storage and Transportation[J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 52: 133-139.
- [5] SINGH S, GAIKWAD K K, LEE M, et al. Thermally Buffered Corrugated Packaging for Preserving the Postharvest Freshness of Mushrooms (*Agaricus Bisporus*) [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 216: 11-19.
- [6] 高 斯, 钱 静. 保温包装整体设计及结构分析[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 51-53, 65.
GAO Si, QIAN Jing. Overall Design of Insulation Packaging and Structural Analysis[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 51-53, 65.
- [7] 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 Xiaojuan, QIAN Jing. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 43-48.
- [8] 徐艳秋, 冯 波, 李 红, 等. 速冻食品低温包装研究[J]. 包装世界, 2012(3): 22-23.
XU Yanqiu, FENG Bo, LI Hong, et al. Study on Low Temperature Packaging of Quick Frozen Foods[J]. Packaging World, 2012(3): 22-23.
- [9] 吕艳娜, 王一宁, 谢宜彤. 聚乳酸/茶多酚抗氧化膜的制备及其性能研究[J]. 包装学报, 2018, 10(6): 11-17.
LÜ Yanna, WANG Yining, XIE Yitong. Study on the Preparation and Performance of Poly lactide Matrix Antioxidant Blend Films Based on Polyphenol[J]. Packaging Journal, 2018, 10(6): 11-17.
- [10] 刘文勇, 刘圣恭, 王志杰, 等. PLA/PBAT/ 纳米 SiO₂ 复合材料的力学性能、热性能和流变性能研究[J]. 包装学报, 2018, 10(3): 34-41.
LIU Wenyong, LIU Shengcong, WANG Zhijie, et al. Study on Mechanical, Thermal and Rheological Properties of PLA/PBAT/Nano-SiO₂ Composites[J]. Packaging Journal, 2018, 10(3): 34-41.
- [11] 郑彩平. 国内外产聚乳酸(3D打印级)热学性能比对研究[J]. 科技风, 2016(17): 225-226.
ZHENG Caiping. Comparative Study on Thermal Performance of Polylactic Acid Produced at Home and Abroad (3D Printing Grade) [J]. Technology Wind, 2016(17): 225-226.
- [12] 王家凯, 时 宇, 王志民. 低温容器的隔热结构设计[J]. 低温与特气, 2010, 28(4): 4-6.
WANG Jiakai, SHI Yu, WANG Zhimin. Design of the Heat Insulation Structure of Cryogenic Vessel[J]. Low Temperature and Specialty Gases, 2010, 28(4): 4-6.
- [13] 周志方. 如何选择低温冷冻产品包装[J]. 印刷技术, 2007(21): 40.

- ZHOU Zhifang. How to Choose Low Temperature Frozen Product Packaging[J]. Printing Technology, 2007(21): 40.
- [14] 赵艳冰, 钱静. 基于 ANSYS 的温控包装圆柱体模型的建立 [J]. 包装工程, 2012, 33(9): 18-22.
- ZHAO Yanbing, QIAN Jing. Establishment of Cylinder Models for Temperature Control Packages Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 18-22.
- [15] 王志伟. 食品包装技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 2.
- WANG Zhiwei. Food Packaging Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 2.
- [16] WANG Jiakai, SHI Yu, WANG Zhimin. Thermal insulation structure design of cryogenic vessels[J]. Low temperature and special gas, 2010, 28(04): 4-6.
- [17] 孙聚杰. 3D 打印材料及研究热点 [J]. 丝网印刷, 2013(12): 34-39.
- SUN Jujie. 3D Printed Materials and Research Hotspots[J]. Screen Printing, 2013(12): 34-39.

(责任编辑: 邓彬)

Structural Design and Thermal Insulation Performance of Ice Cream PLA Insulation Packaging

XIAO Jie

(Art Design College, Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483)

Abstract: In order to keep the ice cream within a reasonable temperature range in the distribution of the “last mile”, a thermal insulation packaging based on 3D printing technology was developed. The effects of container wall thickness, external temperature and humidity conditions on the thermal insulation performance were analyzed, and the 3D surface model and equation of external temperature, thickness and thermal insulation time were also established, with the verification on three packaging models of different temperature and thickness. The results showed that 30 mm thickness could meet the requirement of 60 min delivery time for ice cream. With the external temperature and humidity being 23 °C /50%RH, 30 °C /85%RH, the overall insulation time of the three test points could be satisfied. At 40°C /90% RH, only the center point could meet the delivery requirement of insulation time. The error between theoretical and experimental value was within 10%, and the surface equation had certain reference value.

Keywords: ice cream; insulation packaging; insulation time; 3D printing technology