

一种典型潜热型控温包装的有限元分析

菅宗昌¹, 潘瞭¹, 卢立新^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究保温材料厚度、保温材料导热系数、对流系数、温差对一种典型潜热性控温包装保温效果的影响。**方法** 对该种典型控温包装系统进行计算机建模, 将建好的模型导入 Ansys 中, 通过分别改变模型中的保温材料厚度、保温材料导热系数、对流系数、温差等参数, 以模拟物最先达到临界温度所经历的时间作为保温有效时间, 并研究其影响。**结果** 厚度对保温时间影响明显, 成正比例关系, 在较低的对流系数, 较低的温差以及较小的导热系数下它们的变化对保温时间影响明显。**结论** 此种典型控温包装系统在蓄冷剂量一定时, 保温容器厚度对其影响明显, 温差、对流系数、导热系数在很小的范围内对其影响明显。

关键词: 控温包装; 热分析; Ansys

中图分类号: TS206

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)09-0014-04

Analysis of a Typical Latent Heat Type Temperature-Control Package

JIAN Zong-chang¹, PAN Liao¹, LU Li-xin^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the effects of the thickness and thermal conductivity of insulation material, the convection coefficient and the temperature on the holding time of a typical latent-heat insulation package. **Methods** A model was built for the typical latent-heat insulation package system by computer, and was then imported into Ansys. The thickness and thermal conductivity of the insulation material, the convection coefficient and the temperature were changed in the model, and the time required by the mimic to first reach the critical temperature was set as the holding effective time. The effects were studied. **Results** The holding time was obviously influenced by the thickness, and there was a positive correlation. At lower values, the changes of the convection coefficient, the thermal conductivity and the temperature had obvious impacts on the holding time. **Conclusion** At a certain amount of coolant, the typical packaging system was significantly influenced by the thickness of the insulated container, and the convection coefficient, thermal conductivity and temperature exerted obvious effects in a small range.

KEY WORDS: temperature-control package; thermal analysis; Ansys

潜热型控温包装是指利用蓄冷剂自身储备的能量来抵消包装产品在储存、运输、销售等各个环节所吸收的热量, 使包装产品内部环境始终在允许温度范

围之内, 以便保护温度敏感性产品免受热冲击, 以保証热敏感性产品的品质和安全的一种有效包装手段^[1]。

收稿日期: 2013-12-29

基金项目: 江苏省高校科研成果产业化推进工程项目(JHB2012-25)

作者简介: 菅宗昌(1987—), 男, 山东邹平人, 江南大学硕士生, 主攻运输包装。

通讯作者: 卢立新(1966—), 男, 江苏江阴人, 博士, 江南大学教授、博士生导师, 主要研究方向为食品包装技术与安全、运输包装等。

潜热型控温包装的保温效果会受到相变材料的用量及导热系数,保温材料的厚度及导热系数,环境温度,表面空气对流系数以及相变材料的摆放位置等的影响^[2-3],因此得到各条件对保温时间的影响程度,对潜热性保温包装设计具有非常重要的意义。由于实验条件的限制^[4-6],以及材料^[7]的局限性,有的无法进行实验研究,需要借助其他方法进行研究^[8]。Ansys 是一种大型通用的有限元分析软件,可以处理传导、对流和辐射等 3 种热传递过程,并能进行稳态和瞬态、线性和非线性分析以及材料的相变分析过程^[4-5]。由此,利用 Ansys^[9-11]对最常见的一种潜热性控温包装进行有限元分析,能够为以后的潜热性控温包装设计和改进提供依据。

1 典型潜热型控温包装有限元模型的建立

1.1 分析模型

潜热性控温包装以隔热性包装材料制成包装容器,利用相变材料储存的能量,致使包装内部环境在某一个温度范围内能够保持一定时间^[12]。考虑到重力的影响,蓄冷剂与蓄冷剂在包装上面不接触,从而形成空气腔,因此常见的一种潜热性控温包装模型见图 1,其有限元模型^[13]见图 2,其尺寸见表 1。

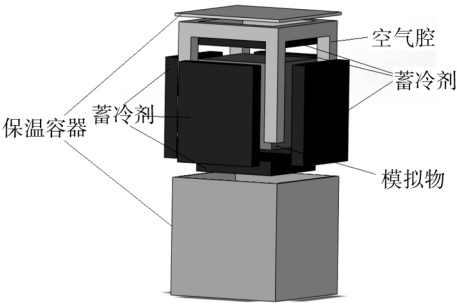


图 1 典型潜热性控温包装

Fig. 1 Typical latent heat type temperature-control package

表 1 有限元模型形状参数

Tab. 1 FE model of shape parameters

名称	尺寸/mm
箱体	400×400×400(内尺寸)
瓦楞纸箱	300×300×300(厚度为 4 mm)
PCM	350×350×50(侧壁) 300×300×50(上、下)
模拟物	300×300×300

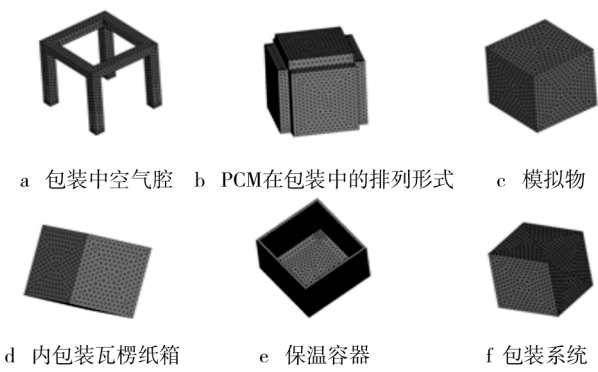


图 2 潜热性控温包装系统的有限元模型

Fig. 2 FE model of latent heat temperature-control packaging system

1.2 单元选择和材料特性

在进行包装系统有限元热分析时,分析的温度范围内热辐射强度非常小,在有限空间内热对流也微乎其微,与热传导传递的热量相比不在一个数量级,因此在包装内只考虑热传导,此外物体之间接触是理想的,没有热量滞留在接触面间^[13]。由此可采用 Ansys 中的 Solid70 三维热实体单元,其具有 8 个节点,每个节点一个自由度。根据需求用到的材料属性见表 2—3。

表 2 PCM 相变焓

Tab. 2 Enthalpy of PCM

温度/℃	焓/(J·m ⁻³)
0	0
0.46	1.84×10 ⁶
9	3.36×10 ⁸
30	4.2×10 ⁸

表 3 有限元模型中所用材料参数

Tab. 3 Material parameters used in the FE model

材料	密度 /(kg·m ⁻³)	导热系数 /(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	比热 C /(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
EPS	12.77	0.031	1100
瓦楞纸	67.90	0.085	1600
PCM	1000	0.6	4000
空气	1.21	0.026	1005
水	1000	0.58	4180

1.3 初始条件及边界条件

包装系统的初始条件:模拟物和内包装初始温度

为 5°C , 其他所有初始温度设为 0°C 。由于此类包装在实际中都是在集装箱内运输, 不考虑辐射影响^[14-15], 此类边界条件属于第3类边界条件, 因此只需要设置外界温度和环境对流系数即可。

2 有限元分析

对建立的典型控温包装模型, 改变保温材料厚度、保温材料导热系数、对流系数、温差进行有限元热分析, 以模拟物中温度最高点达到临界温度所经历的时间作为包装的有效时间, 进行比较分析。

2.1 保温容器厚度对模型控温时间的影响

在 Ansys 中, 设置环境温度为 35°C , 对流系数为 $12\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, 考虑到可比性, 容器内尺寸不变, 改变保温容器的厚度, 模拟厚度为 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 mm 下所能保温的时间, 结果显示保温容器厚度对保温时间影响比较显著, 成正比关系。

2.2 对流系数对模型控温时间影响

设置外界环境温度为 35°C , 保温容器壁厚分别为 20, 40, 60 mm, 调节对流系数分别为 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 和 20, 见图 3。结果表明, 随着对流系数的增大保温时间逐渐减小, 当对流系数很小时, 对流系数变化对保温时间影响很大; 当对流系数很大时, 对流系数变化对保温时间影响甚微。

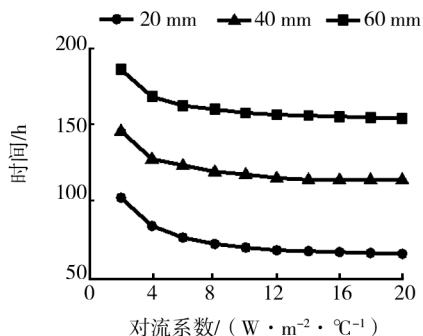


图3 对流系数对模型控温时间的影响

Fig. 3 Influence of the convection coefficient on holding time

2.3 环境温度对模型控温时间的影响

设置空气对流系数为 $12\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, 在外界环

境温度分别从 15°C 变到 60°C 时, 对保温容器壁厚为 20, 40, 60 mm 进行热分析, 结果见图 4。保温时间随外界环境温度升高而减小, 当温度较高时再增加温度, 则保温时间变化很小。

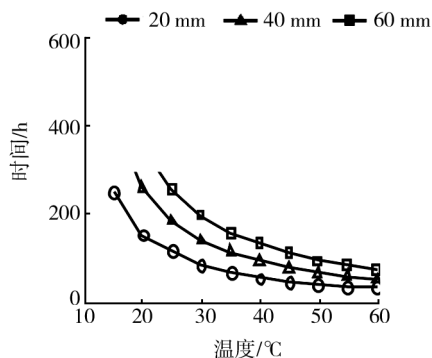


图4 环境温度对模型控温时间的影响

Fig. 4 Influence of the environmental temperature on holding time

2.4 包装材料导热系数对模型控温时间的影响

设置外界环境温度为 35°C , 对流系数为 $12\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, 因常用保温材料的导热系数都在 $0.1\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 以下, 故文中模拟了 $0.01 \sim 0.1\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的导热系数, 模拟结果见图 5。当对流系数小于 $0.04\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 时, 对保温时间影响比较大; 当大于 $0.8\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 时, 则对保温效果影响甚微。

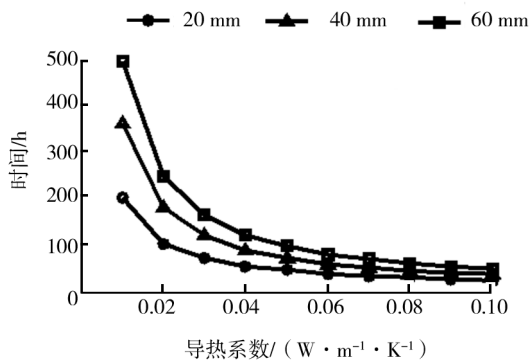


图5 保温材料导热系数对模型控温时间的影响

Fig. 5 Influence of the thermal conductivity of material on holding time

3 结语

利用 Ansys 通过改变包装容器的厚度、空气对流系数、环境温度及保温材料导热系数, 对该典型潜热性控温包装进行热分析。模拟结果表明, 包装容器的厚度对保温时间影响明显, 成正比例关系; 在较低的

对流系数,较低的温度以及较小的导热系数下,这些因素变化对保温效果影响明显,但在其处于较大值时,其变化对保温时间影响甚微。

参考文献:

- [1] JING Qian. Mathematical Models for Insulating Packages and Insulating Packaging Solutions[D]. Memphis: University of Memphis, 2009.
- [2] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社, 2008.
YANG Shi-ming, TAO Wen-shuan. Heat Transfer[M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.
- [3] 辛文彤,李志尊,胡仁喜. ANSYS 13.0 热力学有限元分析[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
XIN Wen-tong, LI Zhi-zun, HU Ren-xi. ANSYS 13.0 Finite Element Analysis Thermodynamics[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2011.
- [4] 刘恋,卢立新. 光伏组件运输包装的设计和有限元分析[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 130—134.
LIU Lian, LU Li-xin. Transport Package Design and FEA of Module[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 130—134.
- [5] 郭晓娟. 基于 ANSYS 保温包装球壳模型的建立[J]. 包装工程, 2011, 32(6): 43—48.
GUO Xiao-juan. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(6): 43—48.
- [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.
GAO Si, QIAN Jing. Overall Design of Insulation Packaging and Structural Analysis[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 51—53.
- [7] 张芸,钱静. 可降解凝胶蓄冷剂的制备及性能分析[J]. 包装工程, 2012, 33(23): 40—44.
ZHANG Yun, QIAN Jing. Preparation and Performance Analysis of Biodegradable Gelatinous Refrigerant[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23): 40—44.
- [8] 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 Yan-bing, QIAN Jing. Establishment of Cylinder Models for Temperature Control Packages Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 18—22.
- [9] 郭志强,吴文健,满亚辉,等. 基于 ANSYS 有限元方法对相变材料相变过程的分析[J]. 新技术新工艺, 2007(11): 87—89.
GUO Zhi-qiang, WU Wen-jian, MAN Ya-hui, et al. Phase Change Analysis of PCM by ANSYS Finite Element Method[J]. New Technology & New Process, 2007(11): 87—89.
- [10] 张建峰,王翠玲,吴玉萍,等. ANSYS 有限元分析软件在热分析中的应用[J]. 冶金能源, 2004, 23(5): 9—12.
ZHANG Jian-feng, WANG Cui-ling, WU Yu-ping, et al. Application of ANSYS in Heat-analysis[J]. Energy for Metallurgical Industry, 2004, 23(5): 9—12.
- [11] 周晓琴,李华强,刘杰,等. ANSYS 三维热分析及应用[J]. 武汉交通科技大学学报, 1999, 23(1): 9—13.
ZHOU Xiao-qin, LI Hua-qiang, LIU Jie, et al. ANSYS Three-dimensional Thermal Analysis and Its Application[J]. Journal of Wuhan Transportation University, 1999, 23(1): 9—13.
- [12] CHOI S J, BURGEE G. Practical Mathematical Model to Predict the Performance of Insulating Packages[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20(6): 369—380.
- [13] WANG Yong, GAO Yun-xin, SONG Jim, et al. Assessment of Technical and Environmental Performances of Wheat-based Foams in Thermal Packaging Applications[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(7): 363—382.
- [14] CHOI S J, BURGESS G. Preparation and Performance Analysis of Biodegradable Gelatinous Refrigerant[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23): 40—44.
- [15] YANG S M, ZHANG Z Z. An Experimental Study of Natural Convection Heat Transfer from a Horizontal Cylinder in High Rayleigh Number Laminar and Turbulent Region[C]//Hewitt G F. Proceedings of the 10th International Heat Transfer Conference. Brighton, 1994: 185—189.