

医疗保温箱的包装结构设计和有限元分析

泮国荣,徐国峰,胡桂林,李国能

(浙江科技学院 轻工学院,杭州 310023)

摘 要: 针对疫苗药品等医药产品的保温箱进行了包装结构设计,综合考虑了保温材料、容器尺寸、包装结构和缓冲材料等因素对保温性能的影响。利用 Ansys Workbench 软件对设计的成形医疗保温箱模型进行了瞬态热分析,得到了保温箱内部温度随时间的变化规律,讨论了保温箱的保温时效。最后,将模拟结果与实验数据进行了比较,两者的一致性表明了模拟方法和计算结果的可靠性。

关键词: 保温箱;包装结构设计;瞬态热分析;保温时效

中图分类号: TB482.2;TH789

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)05-0335-05

Packaging structure design and finite element analysis of medical insulating box

PAN Guorong, XU Guofeng, HU Guilin, LI Guoneng

(School of Light Industry, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Packaging structure design is conducted for medical insulating box which can be used to protect vaccines, medicines and other medicinal products. The packaging structure designed is given comprehensive consideration to many factors as the insulation materials, container size, packaging structure and their effect on the insulation performance. Finite element analysis for the transient thermal load is carried out by ANSYS software, the change of temperature inside the incubator with time is obtained, and the time-temperature curve is obtained to study the insulation time of incubator. The simulation results are compared to the experimental data, and their consistency indicates that the simulation method and computed results are reliable.

Key words: insulating box; packaging structure design; transient thermal analysis; insulation time

医疗保温包装作为包装分支中的一员,因其包装对象的特殊性而扮演着不可忽视的角色。疫苗和药品在运输或储存过程中需要保持其应有的活性,要求医疗保温箱需要有良好的保温效果,特别是在高温环境下的运输或储存过程中要求能达到有效的低温效果,让被包装产品不至于由于温度太高而失效。保

收稿日期: 2013-05-20

作者简介: 泮国荣(1961—),男,浙江省杭州人,实验师,主要从事实验系统研究。

温包装在近年来随着快递业的发展有较大的发展,然而,由于中国地域广大,疫苗和药品在冷链运输中经常受到破坏^[1]。因此,保温包装的研究在减少损失和提高安全性等方面都具有非常积极的意义。Margeirsson等人^[2]通过实验和数值模拟的研究比较了波纹形塑料板材和发泡聚苯乙烯两种材料制作而成的鲜鱼批发箱的热性能;Moureh等人^[3]通过数值模拟研究了在运输过程中托盘包装冷冻食品的温度升高;王岭松等人^[4]使用三层类“三明治”夹心的真空绝热板包装,提高了保温包装性能。本研究拟通过模拟和实验相结合的方法来研究实际保温包装箱的温度变化过程和保温效果,可为实际的保温设计提供一定的参考。

1 医疗保温箱结构设计

基于市场购买的实际保温包装箱产品,本研究利用 Solidworks 软件对医疗保温箱各部分分别建模,设计了内部药盒的结构,得到了图 1 所示的医疗保温箱包装结构。保温箱由外盒(盒盖与箱体)(见图 1a 和 b)、中盒(药盒)(见图 1d)和冰盒(见图 1e)组成。各部分尺寸见表 1。外盒是医疗保温箱最外部的箱体和盒盖,直接与外部环境相接触,承受着运输及搬运卸载过程中的撞击。中盒内外两面分别与瓶装药剂和外盒接触,上下与冰盒相接触,是医疗保温箱一个非常重要的中间载体,既起到平稳安放瓶装药品,使药剂能在保温箱内固定的作用,又起到防震缓冲的作用,且有一定的隔热效果。冰盒是医疗保温箱功能单一但更高效的一部分,冰盒内部主要为蓄冷剂,在极端低温和极端高温的情况下,蓄冷剂都将首先通过自身的蓄热性能来中和外界环境热量,从而使内部环境温度变化缓慢,甚至稳定,达到最终的保温效果。

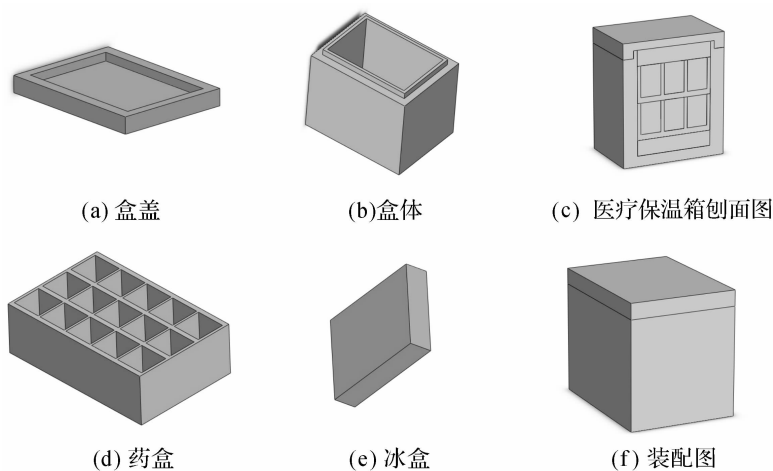


图 1 医疗保温箱结构

Fig. 1 Structure of medical insulating box

瓶装药剂为 50 mL 瓶子,药剂 50 mL 放在中盒中放置,上下共 2 个中盒,每层 5 盒 \times 3 盒,共 30 盒。冰盒则在底部和顶部放置,上下各放置 2 个。各部分材料见表 2。

表 1 医疗保温箱各部分尺寸

Table 1 Dimensions of medical insulating box

零件	外尺寸/mm	内尺寸/mm
外盒	362 \times 273 \times 295	296 \times 198 \times 268
中盒(药盒)	296 \times 198 \times 94	
冰盒	148 \times 198 \times 40	
瓶装药剂	54 \times 54 \times 86	

表 2 医疗保温箱各部分使用材料

Table 2 Materials of medical insulating box

零件	材料
外盒	PET 为面层,中间夹层为 EPS
中盒(药盒)	EPS
冰盒	高分子蓄冷剂

PET 和 EPS 是良好的保温材料,且价格都相对便宜,同时 PET 相对于 EPS 有较好的外观性,外盒选择 PET 与 EPS 以“三明治夹层”的形式组合。中盒要求具有一定的缓冲作用,所以选择 EPS,其缓冲

性能较好,且价格实惠,易成形,并且其表面的粗糙程度有利于增大药剂和中盒之间的摩擦,达到更好的固定效果;另外,其蜂窝状结构则提供了良好的缓冲效果。

2 医疗保温箱的瞬态热分析

2.1 实验条件

为对保温效果进行热分析,本研究采用 ANSYS 软件对上述结构医疗保温箱进行有限元分析。为了简化模型,进行如下假设:忽略被包装产品及其热物性对模型的影响,保温箱内充满产品;产品与保温箱各部分之间全局接触;保温材料及包装材料的物性参数各向同性;在温度变化过程中,材料的各项物理参数不发生变化;忽略各部分装配之间空隙空气的对流;忽略材料之间的辐射热传递。

进行了保温箱的瞬态热分析,分析在一定时间内医疗保温箱内各部分的温度变化,重点监测医药体的温度变化情况。在 Workbench 的 Engineering Data 中进行材料编辑,包括比热容、导热系数及密度,各部分材料热参数见表 3。

材料赋值后进入程序定义界面,需要建立几何模型,虽然 ANSYS 软件有自带的画图系统,但为了建模方便,使用 Solidworks 软件进行几何建模,导入 ANSYS 软件进行处理。先进行稳态热分析,对药剂和冰盒分别赋初始温度 -18°C 和 -20°C 。然后在稳态基础上进行瞬态热分析,稳态的结果将赋瞬态初始温度值,设置结束时间为 162 000 s,时间步长为 60 s。假设保温箱外表面与自然环境的对流传热,箱内的各单元间热传通过接触热阻定义耦合传热。

表 3 医疗保温箱各部分使用材料热参数

Table 3 Material thermal parameters of medical insulating box

材料	比热容/ [J · (kg · K) ⁻¹]	导热系数/ [W · (m · K) ⁻¹]	密度/ (g · cm ⁻³)
聚酯	2 000	0.023	1.36
EPS	1 300	0.046	0.03
水	4 200	0.54	1
蓄冷剂	1 100	0.6	147
冰	2 100	2.22	0.92

2.2 结果分析

图 2 为医药体在极端外界环境温度 40°C 下 162 000 s 时间结束后的温度分布。从图中可以看出温度分布均匀、对称,符合理论预测结果。为了排除单一性,加入药盒的温度场分布(图 3),可见药盒的温度场分布与医药体一致,论证了温度场的合理性。医药体温度从里到外越来越高,并且其中间温度仍旧保持在较低的温度,可见对中间医药体的保温效果仍然存在,而最外部医药体温度则已经上升至 2.5°C (假设医药体在 0°C 以下温度保存),此时保温箱的保温效果已然失效。四条棱的温度上升最快,可见在棱部是主要散热部位,此处是需要重点保温的对象。

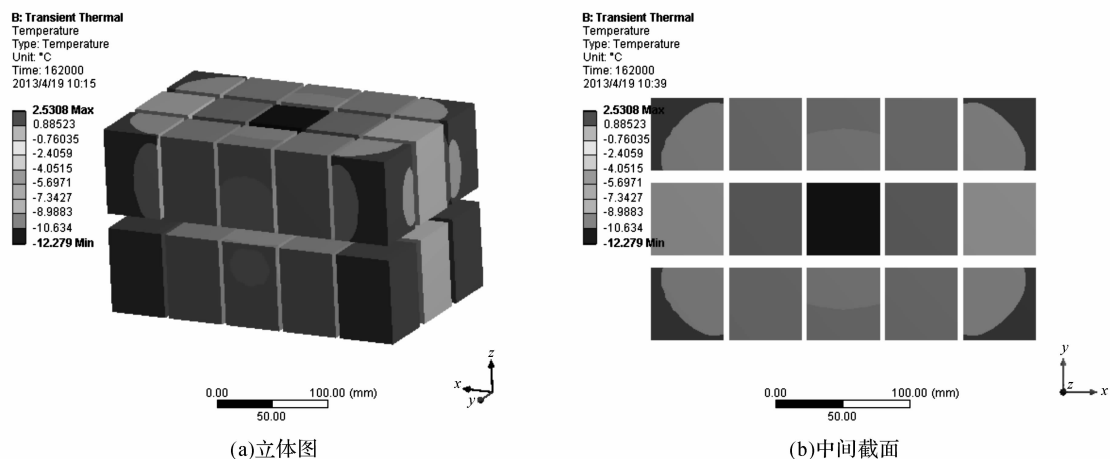


图 2 医药体温度场分布

Fig. 2 Distribution of temperature field for medical products

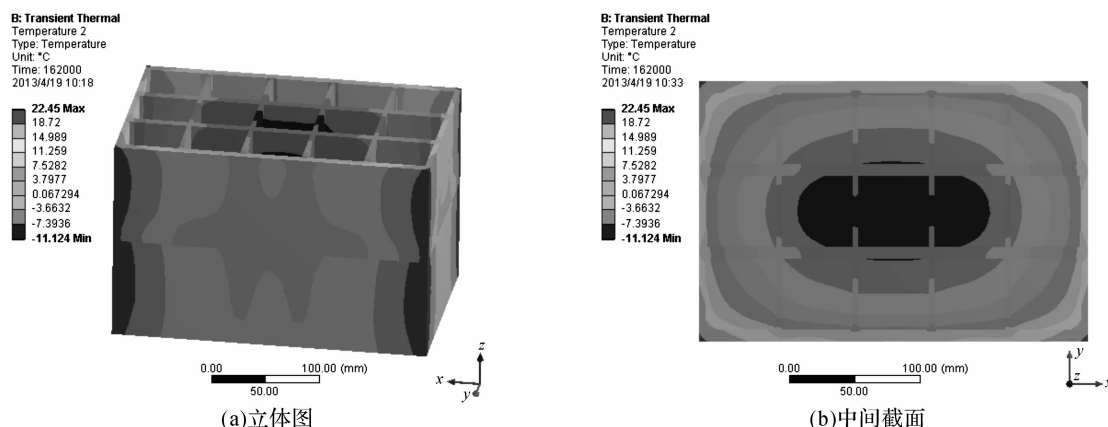
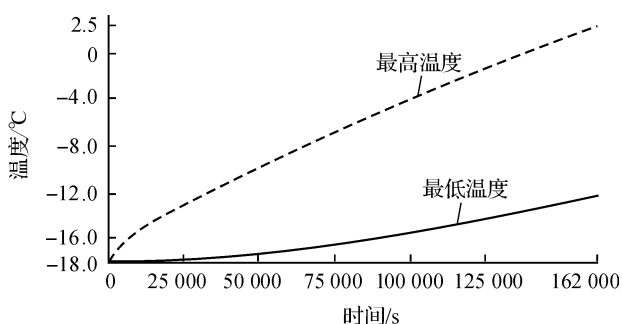
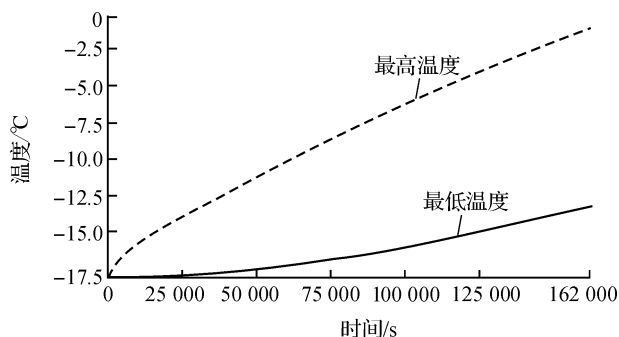


图 3 药盒温度场分布

Fig. 3 Distribution of temperature field for medical box

图 4 为外界温度 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下医药体的温度随时间的变化曲线。从图中可以看出,最高温度变化在刚开始有一个突变,这是由于最初的医药体温度 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高于冰盒温度 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而最低温度的变化曲线相对平缓,这也证明在保温箱最中间部分的保温效果明显。当极端温度降为常态温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,计算得到的温度时间变化如图 5 所示,得出结果与图 4 有相似的变化规律,主要区别在于外环境温度的降低,总体保温效果更好。

图 4 医药体 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 外环境温度下的温度时间曲线Fig. 4 Temperature variation with time under environmental temperature $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 图 5 医药体 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 外环境温度下的温度时间曲线Fig. 5 Temperature variation with time under environmental temperature $30\text{ }^{\circ}\text{C}$

3 实验验证

为验证模拟结果和方法的合理性和可靠性,进行了简单的实验比较。实验内容:使用 4# EPS 盒子,外尺寸为 $340\text{ mm}\times 220\text{ mm}\times 180\text{ mm}$,内尺寸为 $300\text{ mm}\times 180\text{ mm}\times 140\text{ mm}$ 。实验方法为将冰块在冰箱冷冻层冰冻至 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后将冰块取出充满整个 EPS 盒子,在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度下,利用温度记录仪记录 EPS 盒子内冰块的温度变化。同时根据 EPS 盒子简单建模,在 ANSYS 软件中使用与本文前述方法来模拟盒子内冰块的温度变化。对实验结果和模拟结果进行处理比较。温度记录仪的结果数据利用 Origin 画图软件处理曲线,如图 6 所示,而相应的 ANSYS 软件模拟温度曲线如图 7 所示。

比较图 6 和图 7 所示的温度变化曲线,考虑到实际实验过程中要从冰箱拿出放到 EPS 盒子中,在此过程中温度变化较为复杂,因此,本次实验截取 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这个过程的变化情况。从图 6 可以看出,温度从 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$,从 15 时到第二天 5 时共 14 h 左右,而模拟结果曲线图显示从 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 共经历 54 000 s,计 15 h,相对误差为 7%,尚在可接受范围之内。因此可以认为,上述模拟方法有一定的合理性和可靠性。

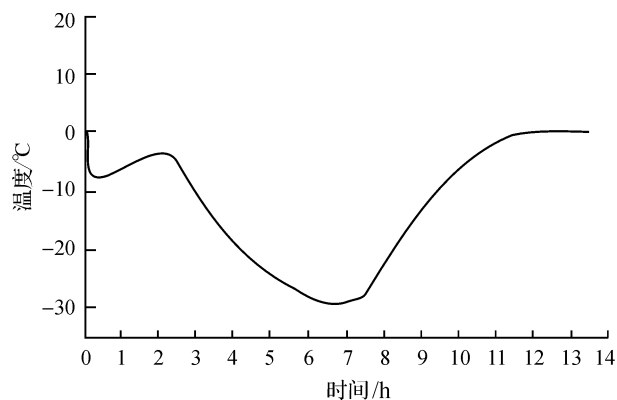


图6 实验温度变化曲线图

Fig. 6 Experimental temperature variation with time

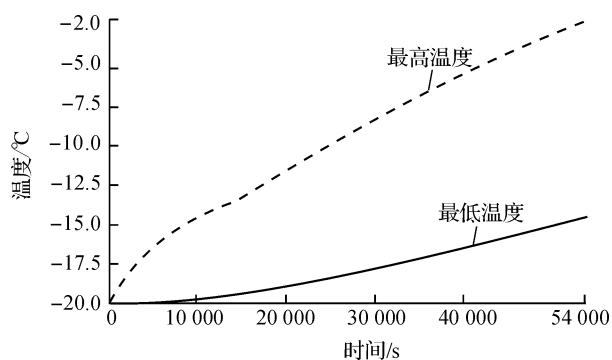


图7 ANSYS模拟温度变化曲线图

Fig. 7 Simulated temperature variation with time by ANSYS

4 结 语

本研究建立了保温包装箱的几何结构,并用有限元分析软件进行了模拟分析,得出医疗保温箱的温度分布场,分析得出在医疗保温箱四条棱边的位置是保温箱主要散热点,应加强保温。模拟结果表明,该医疗保温箱在 162 000 s 内保持了良好的低温环境,有较好的保温效果。通过实验和模拟比较研究了简单结构的保温效果,两者较好的一致性说明模型和计算方法的合理性。本研究可以为医疗保温箱的设计提供一定的理论参考,但蓄冷剂的相变潜热和盒盖与箱体间的连接对传热的影响应加强考虑。

参考文献:

- [1] 郭晓娟. 基于 ANSYS 的保温包装温度场数值模拟[D]. 无锡:江南大学,2011.
- [2] Margeisson B, Gospavic R, Palsson H, et al. Experimental and numerical modeling comparison of thermal performance of expanded polystyrene and corrugated plastic packaging for fresh fish[J]. International Journal of Refrigeration, 2011, 34(2): 573-585.
- [3] Moureh J, Derens E. Numerical modeling of the temperature increase in frozen food packaged in pallets in the distribution chain[J]. International Journal of Refrigeration, 2000, 23(7): 540-552.
- [4] 王岭松,王东爱,康恺. 包装箱用环保真空绝热板的结构[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 50-52.
- [5] 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.
- [6] 刘翠娜,张双喜,周恒勤,等. 便携式蓄冷保温箱结构优化[J]. 吉林化工学院学报, 2011, 28(1): 29-33.