

包装技术与工艺

蓄冷剂质量对挤塑聚苯乙烯保温箱温控效果的影响研究

宋海燕¹, 田萌萌², 伍亚云¹

(1. 天津科技大学, 天津 300222; 2. 天津市汇源印刷有限公司, 天津 300308)

摘要:目的 研究蓄冷剂质量对挤塑聚苯乙烯保温箱温控效果的影响。方法 在3种不同的外界温湿度环境条件下,向保温箱内部加入不同质量的蓄冷剂,研究蓄冷剂质量对挤塑聚苯乙烯保温箱温控效果的影响。结果 加入不同蓄冷剂质量时,保温箱内各点的保温时间不同,但均遵循着一个规律,即保温箱底层测点的保温时间>中层测点的保温时间>上层测点的保温时间。在温度为23℃和相对湿度为50%的外界环境下,30 mm厚的XPS保温箱内蓄冷剂与药品质量比为4:1时,能够有效保存药品在2~8℃,保温时间达到24 h以上。建立了挤塑聚苯乙烯保温箱中心点处的外界温度-蓄冷剂与药品质量比-保温时间的三维模型。结论 蓄冷剂结合聚苯乙烯保温箱内部温度可控制在2~8℃,满足冷藏药品短途快递运输的温控要求。

关键词: 挤塑聚苯乙烯;蓄冷剂;保温箱;温控效果

中图分类号: TB485.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)07-0056-05

Influences of the Coolant Amount on Temperature Control Effect of Extruded Polystyrene Insulation Box

SONG Hai-yan¹, TIAN Meng-meng², WU Ya-yun¹

(1. Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;

2. Tianjin Huiyuan Printing Co., Ltd., Tianjin 300308, China)

ABSTRACT: This work aimed to study the effect of the coolant amount on the temperature control of extruded polystyrene insulation box. Different amount of coolant was added into the box at three different external temperature and humidity conditions. Influences of the coolant amount on temperature control effect of extruded polystyrene insulation box were studied. When different amount of coolant was added, the temperature holding time at different sites in the insulation box was different, but a common law was obeyed. The temperature distributing law inside the extruded polystyrene insulation box was that the holding time of the bottom test point was longer than the middle than the top. When the mass ratio of coolant and refrigerated drugs was 4:1, the holding time of the box could reach 24 hours at 23℃ and 50% RH. And the 3D model of central point about the external temperature and mass ratio of coolant and refrigerated drugs and holding time was built. The temperature inside the insulation box could be controlled at 2~8℃ by combining the extruded polystyrene box and coolant, which could meet the requirement of temperature control for short-distance transportation of refrigerated drugs.

KEY WORDS: extruded polystyrene; coolant; insulation container; temperature control effect

挤塑聚苯乙烯XPS泡沫塑料是用聚苯乙烯树脂为基础原料并混合加入其他辅助物和助剂等材料,进行加热处理,而后挤塑压制成形而制造出的具有闭孔结构的硬质泡沫塑料板^[1]。XPS板材具有优异的隔热

收稿日期: 2015-07-20

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2015BAD16B05); 天津市科技攻关计划(06YFGPNC03400)

作者简介: 宋海燕(1977—),女,辽宁人,博士,天津科技大学副教授,主要研究方向为物流运输包装技术。

保温性能,其热导率远远低于模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS板)^[2]。经过国家有关部门检测发现挤塑聚苯乙烯泡沫板的化学性能稳定,不挥发有害物质,对人体无化学伤害,并且制作XPS板的生产原料均为环保型材料,因此在保温包装、冷库等领域的应用也在逐年增加^[3]。

2007年国家食品药品监督管理局发布执行的《药品流通监督管理办法》第十九条规定:药品说明书要求低温、冷藏储存的药品,药品生产、经营企业应当按照有关规定,使用低温、冷藏设施设备运输和贮存。目前用于运输冷藏药品的冷藏箱多为聚酯类塑料箱,成本相对较高,采用XPS保温箱可以在保护冷藏药品特性的基础上降低运输成本,维护商家和消费者的利益^[4-6]。

美国、日本等发达国家都非常重视冷藏运输储存链的最后一个环节,开展了很多保温包装方面的研究。2003年,Net M等监测了用于移植的人类眼角膜冷藏运输中的冷链,研究了冰袋数量和冷冻温度、包装系统的空气量、角膜位置以及容器壁等变量对角膜保温效果的影响^[7]。2007年,Kazuhisa Matsunaga等对置于周期性变化的温度环境下的保温包装,提供了所需蓄冷剂用量的两种计算方法^[8]。Theo Wirkas等发现疫苗在冷链运输过程中存在冻结的现象,这是因为疫苗的包装瓶太过于接近冰袋,没有做好足够的防护措施^[9]。2008年,Gary Burgess等对各种保温材料、相变材料进行了介绍,同时还研究了不同包装结构下的保温效果^[10]。2008年,O. Laguerre等研究了在不同位置装有蓄冷剂来维持运输温度的物流链保温容器的温度预测方法,开发了一种模型来预测暴露于恒定或可变环境温度下的产品温度^[11]。

在国内,2003年,王益光等采用聚苯乙烯泡沫箱内部加冰的方法来运输杨梅,经验证,如果运输的时间需要48 h,那么冰和杨梅的质量比不能小于2:3,如果运输24 h内就可以到达目的地,那么冰和杨梅的质量比可以为1:2^[12]。2005年,潘松年以一篇《低温包装与器官移植》将保温包装引入医疗领域,还给出了在一定保温要求条件下,所需冰块用量的计算方法^[13]。2010年,汤黎明等运用半导体致冷器件作为致冷手段,采用相变储能材料作为储冷的方法,设计制作了一套低温医用冷藏运输箱,适用于野外环境,有效地延长了生物制品的保冷时间^[14]。2012年,阎海燕等探究了医用药品冷藏箱内部的温度均匀性,研究结果发现冷藏箱内部的实际温度与显示屏所显示温度有明显的差别,同时发现冷藏箱内部温度的分布是不

均匀的^[15]。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 挤塑聚苯乙烯保温箱

在环境温度为25℃,相对湿度为50%的条件下,以密度为34 kg/cm³、导热系数为0.027 W/(m·K)的挤塑聚苯乙烯(XPS)泡沫板制作厚度为30 mm覆铝箔XPS保温箱,箱体内尺寸为480 mm×250 mm×360 mm,外尺寸540 mm×310 mm×420 mm。

1.1.2 蓄冷剂

采用北京优冷冷链科技有限公司生产的(300±10)g凝胶型胶体冰袋,蓄冷剂在箱内采用顶面、端面和侧面上部的摆放方式。

1.1.3 内装物

采用内蒙古双奇药业股份有限公司生产的双歧杆菌乳杆菌三联活菌片,24片装,10盒为一中包装,外尺寸实际值为185 mm×112 mm×73 mm,保温箱共计使用18盒中包装的药品,总质量为1200 g。由于药品要求在2~8℃避光处保存,在研究过程中,将药品放入冰箱的保鲜层中储存,平均温度为4℃。

1.1.4 蓄冷剂与产品的质量比

为了探究蓄冷剂用量对保温包装保温性能的影响,根据保温箱的内尺寸,在保温箱内容积允许的条件下,采用蓄冷剂与药品的5种质量比,分别为3:1,7:2,4:1,9:2,5:1。

1.1.5 外界环境温湿度及测试点的确定

根据GB/T 4857.2—2005中规定的温湿度条件选择3种不同的温湿度来模拟外界运输的环境温度,分别为23℃和相对湿度50%,30℃和相对湿度90%,40℃和相对湿度85%,在改变外界温度的条件下测量不同蓄冷剂与药品模拟物质量比对保温箱保温效果的影响,选取的测试点为温度相对平衡的、具有代表性的保温箱内部中心点。

1.2 仪器与设备

仪器与设备:SH045A恒定湿热试验箱,上海实验仪器总厂;T301PDF温度记录仪,百沃科技上海蔚景实业公司;ETHV-1000-70-3H恒温恒湿试验箱,巨孚仪器工业股份有限公司;MDF-U339-C低温箱,三洋电机(中国)有限公司;STP-2000天平,上海花潮有限公司。

1.3 方法

在23℃和相对湿度50%的外界温湿度环境下,对装有不同蓄冷剂与药品模拟物质量比的保温箱进行温度测试,使用温度记录仪记录保温箱内部6个测试点的温度变化情况,步骤如下:(1)在电脑上对温度记录仪进行配置,设置记录仪的参数,记录时间间隔为5 min,警告温度的下限设置为2℃,上限设置为8℃;(2)将冰袋放入保温箱内放置大约2 h,待箱内温度稳定后放入已经预处理24 h的药品;(3)将温度记录仪的探头固定在相对应的6个测试点并且密封保温箱,测试点位置见图1;(4)将密封好的保温箱放入设定好温湿度并且内部温湿度已达到稳定的恒温恒湿箱中,打开温度记录仪;(5)当温度记录仪的温度超过上限8℃时,关闭温度记录仪和恒温恒湿箱,结束实验并导出数据;(6)改变蓄冷剂质量并且按照以上步骤进行不同质量比的实验。改变外界环境温湿度,并重复上述实验^[6]。

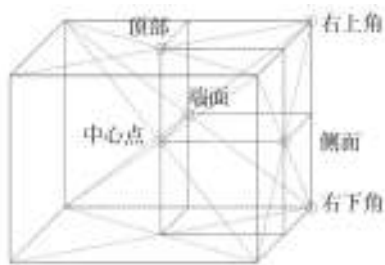


图1 温度测试点位置

Fig.1 The distribution of temperature test points in the box

2 结果与讨论

2.1 不同蓄冷剂质量对保温时间的影响

由于蓄冷剂与药品质量比的不同,XPS保温箱内各测试点受蓄冷剂影响,其保温时间也是不相同的。外界环境为23℃和相对湿度50%时,不同蓄冷剂质量对XPS保温箱内各测试点保温时间的影响见图2。可以看出,在23℃和相对湿度为50%的条件下,上层测试点处的保温时间最短,中层和下层的保温时间相对较持久,充分说明箱体密封性和外界环境对保温性能有很大的影响,蓄冷剂对延长保温箱保温时间起到显著的作用。当质量比为3:1时,6个测试点中只有中心测试点和右下角测试点达到了24 h,端面、侧面、顶部、右上角测试点均未能达到24 h保温时间,原因是因为蓄冷剂质量太小,蓄冷量低,不足以维持24 h的2~

8℃的时间。增加蓄冷剂的质量,当质量比达到7:2时,端面和侧面测试点也达到了24 h的冷藏要求,顶面和右上角两测试点处仍未达到,主要原因是上层测试点处的模拟物受到外界温度环境影响严重,测试点距离箱子密封处很近,箱子的密封性相对较差,空气中分子的热运动较其他位置更剧烈,热对流现象严重,蓄冷剂吸收了较多的外界的热量,不能够保证对药品模拟物的冷量,导致模拟物温度上升较快,上层蓄冷剂蓄冷时间变短。再次增加蓄冷剂的质量,当质量比达到4:1时,所有6个测试点已均可满足24 h的2~8℃的冷藏时间。继续增加蓄冷剂质量,当质量比达到9:2和5:1时发现端面测试点处在2~8℃的时间没有增加反而缩短了,而在0~2℃之间的时间变长了,主要是因为蓄冷剂的质量太大,蓄冷剂与药品模拟物之间的阻隔不够,虽然已经使用瓦楞纸板进行阻隔,但冷量仍然过大,模拟物还是受到了影响,同时固态蓄冷剂的发生相变释冷时温度处于2℃之下,而当温度缓慢上升处于2~8℃之间时蓄冷剂早已成为凝胶状,此阶段的凝胶状蓄冷剂并不能保证保温箱内的24 h的冷藏温度。

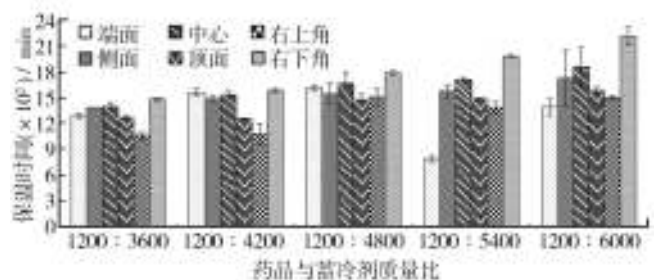


图2 不同质量比各温度测试点的保温时间

Fig.2 The temperature holding time of different test points at different mass ratio

2.2 XPS保温箱内部温度分布

外界环境为23℃和相对湿度50%时,蓄冷剂与药品的质量比为4:1时,XPS保温箱内部温度分布曲线见图3,可以看出,保温箱内部的温度分布是不均匀的,箱子内部的上层药品升温速度最快,中层次之,底层最慢。右上角和顶面测试点两处的保温时间相对很短暂,这是由于保温箱箱盖和箱体之间有温度记录仪传感线的存在,当盖体组合在一起时并不能达到完全的密封,因而外界热空气容易通过孔隙进入箱子之中,上层药品吸收了外界的热量温度上升更容易,另外箱子密封之后内部空气存在着热对流现象,在冷热空气的中和作用下,温度也会逐渐上升,而且顶面和

右上角测试点两处主要靠蓄冷剂的热传导来维持药品的温度,受外界影响的范围较大,因此温度普遍较高且升温速度相比其他点较快。端面测试点较侧面普遍偏低是因为端面部位是蓄冷剂集中放置的部位,药品与蓄冷剂的阻隔不足,导致测试点距离蓄冷剂太近,受蓄冷剂热辐射的影响较大,因此端面部位的药品保温时间普遍较长,而侧面部分只有在靠近药品模拟物上层的部位放置少量蓄冷剂来进一步保证上层药品的温度,因此侧面冷量主要靠该处蓄冷剂的热辐射,别处蓄冷剂和药品之间的热辐射、热传导,以及药品自身的热传导还有气体的热对流来保证的。右下角部位测试点测得的蓄冷时间最长,除了靠蓄冷剂的热辐射作用和蓄冷剂与药品之间的热传导作用影响外,还受到箱体内部空气的对流影响,右下角处位于保温箱的最底层,当箱内空气热对流发生时,冷空气下沉会使箱子底层的温度较中上层偏低,因此蓄冷时间也比中上层的其他测试点要长。中心测试点位于箱子的几何中心位置,几乎不会受到空气热对流和盖板与箱体之间密封性的影响,也不会出现因为距离内部蓄冷剂过近受到蓄冷剂热辐射,导致温度长时间停留在2℃以下的问题,中心测试点处温度的保持主要靠蓄冷剂和药品之间的热辐射、热传导以及药品与药品之间的热传导,是温度相对最稳定的地方,较能反映出箱子内部的平均温度。

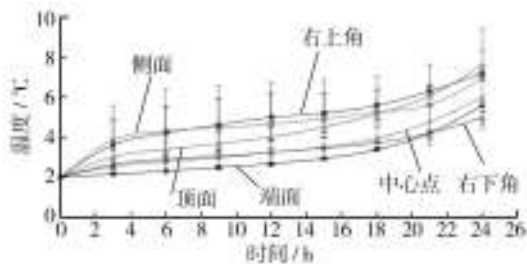


图3 XPS保温箱内部温度分布

Fig.3 The interior temperature distribution of XPS insulation box

2.3 外界温度-蓄冷剂与药品质量比-保温时间的关系

在3种不同的温湿度的外界环境下(温度和相对湿度分别为23℃和50%,30℃和90%,40℃和85%),保温箱中心测试点处在不同质量比下的保温时间见表1。采用Matlab软件进行分析处理,建立了三维模型,见图4。

图4中的三维模型为线性曲面模型,其中x轴为外界温度,y轴是蓄冷剂与药品模拟物的质量比,z轴是相对应的各点的保温时间。曲面方程如下所示:

表1 不同外界温度不同质量比下XPS保温箱保温时间
Tab.1 The temperature holding time of XPS box with different external temperature and mass ratios

蓄冷剂与药品 质量比	保温时间/min		
	23℃	30℃	40℃
3:1	1392	770	100
7:2	1532	1125	597
4:1	1669	1285	774
9:2	1705	1295	793
5:1	1853	1485	1101

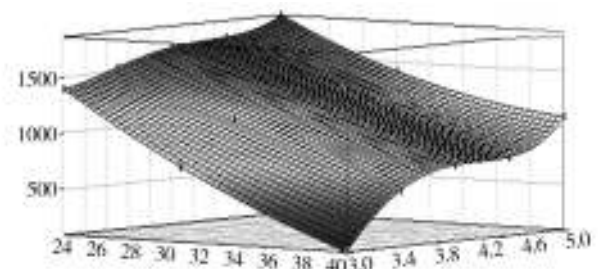


图4 三维模型

Fig.4 The three-dimensional model

$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 + p_{03}y^3 + p_{22}x^2y^2 + p_{13}xy^3 + p_{04}y^4$$

式中: $p_{00} \in (64\ 950, 113\ 500)$,取值为89 200; $p_{10} \in (-3477, -2297)$,取值为-2887; $p_{01} \in (-94\ 120, -47\ 550)$,取值为-70 830; $p_{20} \in (15.58, 31.73)$,取值为23.65; $p_{11} \in (1398, 2090)$,取值为1744; $p_{02} \in (13\ 220, 30\ 380)$,取值为21 800; $p_{21} \in (-16.19, -7.93)$,取值为-12.06; $p_{12} \in (-402.4, -270.4)$,取值为-336.4; $p_{03} \in (-4459, -1621)$,取值为-3040; $p_{22} \in (1.024, 2.054)$,取值为1.539; $p_{13} \in (14.55, 24.1)$,取值为19.32; $p_{04} \in (79.15, 255.5)$,取值为167.3;相关系数为0.9999。

随机选择3种不同的实验条件,分别是27℃,蓄冷剂与药品的质量比为3:1;35℃,蓄冷剂与药品的质量比为3:1;35℃,蓄冷剂与药品的质量比为4:1,再进行实验验证,结果见表2。误差均小于10%,具备一定的参考价值。

表2 验证实验数据

Tab.2 Data of verification test

环境温 度/℃	蓄冷剂与产 品质量比	保温时间 计算值/min	保温时间实 验值/min	误差/ %
27	3:1	998	1005	+0.7
35	3:1	335	366	-8.5
35	4:1	998	1080	+8.2

3 结语

在 23 ℃ 和相对湿度 50% 的外界环境下, 30 mm 厚的 XPS 保温箱内蓄冷剂与药品质量比为 4:1 时, 能够有效保存药品在 2~8 ℃, 保温时间达到 24 h 以上。不同蓄冷剂质量时, 保温箱内各点的保温时间不同, 但均遵循着一个规律, 即保温箱底层测点的保温时间比中层测点的保温时间更长, 上层测点的保温时间最短。可建立外界环境温度-蓄冷剂与产品质量比-保温时间的数学模型, 经验证误差在 10% 之内, 具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 姜艳, 彭浩. 节能保温材料(EPS, XPS)参数检测的要点[J]. 上海计量测试, 2012(3): 61—63.
JIANG Yan, PENG Hao. Energy-saving Insulation Materials (EPS, XPS) Key Parameter Detection[J]. Shanghai Measurement and Testing, 2012(3): 61—63.
- [2] 王勇, 王向东, 王莹. 挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)的主要性能及应用领域分析[J]. 中国塑料, 2011(8): 75—80.
WANG Yong, WANG Xiang-dong, WANG Ying. Research on Properties and Applications of XPS Boards[J]. China Plastic, 2011(8): 75—80.
- [3] 王勇. 中国挤塑聚苯乙烯(XPS)泡沫塑料行业现状与发展趋势[J]. 中国塑料, 2010(4): 12—16.
WANG Yong. Developing Situation and Trend of China XPS Foam Sector[J]. China Plastic, 2010(4): 12—16.
- [4] 中国物流与采购联合会冷链物流专业委员会. 中国冷链物流发展报告(2012)[M]. 北京: 中国财富出版社, 2012.
China Cold-chain Logistics Association. China Cold-chain Logistics Development Report (2012)[M]. Beijing: China Fortune Press, 2012.
- [5] 商务部市场秩序司. 2012年药品流通行业运行统计分析报告[EB/OL]. (2013-05-30) [2015-04-11]. <http://sczxs.mofcom.gov.cn/article/dyplwz/bh/201305/20130500145831.shtml>
Ministry of Commerce of the People's Republic of China Department of Market Supervision. Statistical Analysis Report of Medicine Circulation Industry in 2012 [EB/OL]. (2013-5-30) [2015-04-11]. <http://sczxs.mofcom.gov.cn/article/dyplwz/bh/201305/20130500145831.shtml>
- [6] 中国医药报. 2012年全球生物制药业前景光明[EB/OL]. (2012-03-28) [2015-04-11]. <http://www.chinadaily.com.cn/zy/zyzx/ypdt/244046.html>.
China Medicine. Global Biological Pharmaceutical Industry Has A Bright Future in 2012[EB/OL]. (2012-3-28)[2015-04-11]. <http://www.chinadaily.com.cn/zy/zyzx/ypdt/244046.html>.
- [7] NET M, TRIAS E, NAVARRO A, et al. Cold Chain Monitoring During Cold Transportation of Human Corneas for Transplantation[J]. Transplantation Proceedings, 2003, 35 (5) : 2036—2038.
- [8] 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, 2007, 20(20) : 113—123.
- [9] WIRKAS T, TOIKILIK S, MILLER N, et al. A Vaccine Cold Chain Freezing Study in PNG Highlights Technology Needs for Hot Climate Countries[J]. Vaccine, 2007, 25 (4) : 691—697.
- [10] 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.
- [11] LAGUERRE O, BEN M F, FLICK D. Methodology of Temperature Prediction in an Insulated Container Equipped with PCM [J]. International Journal of Refrigeration, 2008, 31 (6) : 1063—1072.
- [12] 王益光, 林美士, 杨小平, 等. 不同冰块与果实数量对杨梅运输贮藏的保鲜效果[J]. 中国南方果树, 2003, 32(2) : 38.
WANG Yi-guang, LIN Mei-shi, YANG Xiao-ping, et al. Effect of Different Ice Cubes and Fruit Number on the Storage of Chinese Red Fruits[J]. China Southern Fruit Tree, 2003, 32 (2) : 38.
- [13] 潘松年. 低温包装与器官移植[J]. 中国包装工业, 2005(6) : 30—33.
PAN Song-nian. Refrigerated Packaging & Organ Transplantation[J]. China Packaging Industry, 2005(6) : 30—33.
- [14] 汤黎明, 刘铁兵, 朱兴喜. 医用冷藏运输箱的设计与制作[J]. 中国医疗器械杂志, 2010, 34(2) : 109—111.
TANG Li-ming, LIU Tie-bing, ZHU Xing-xi. Design and Manufacture of Medical Shipping Refrigerated Box[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2010, 34(2) : 109—111.
- [15] 阎海燕, 买合苏旦·沙迪克, 热西丹·买买提, 等. 医用药品冷藏箱内温度均匀性考察[J]. 中国药房, 2012(37) : 3545—3546.
YAN Hai-yan, MEHESUDAN S, REXIDAN M, et al. Temperature Uniformity Test of Medical Deepfreeze Case[J]. Chinese Pharmacy, 2012(37) : 3545—3546.
- [16] 田萌萌. 冷藏药品保温包装研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2014.
TIAN Meng-meng. Study on Insulation Packaging of Cold Storage Medicine[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2014.