新型胰岛素包装保温性能优化设计

高阳，王沙，明磊
（成都理工大学，成都 610059）

摘要：目的 糖尿病这一慢性代谢性疾病，在治疗方法上越来越倾向于早期胰岛素注射治疗，需要注射胰岛素的患者数量不断增多，且更趋于年轻化。针对日益增长的糖尿病人日常携带胰岛素长时间外出使用的需求，而市场上却严重缺乏高效且便携的胰岛素包装保温产品的现状，探索一种新的不仅可以有效提升胰岛素包装保温性能且十分便携可靠的优化设计思路和方法。**方法** 从糖尿病人对高效的保温性能需求出发，从保温和储能材料本身以及产品结构设计两方面入手，通过需求调研，储能与保温材料性能对比分析，以及构件和功能设计等方面进行胰岛素包装保温性能的优化设计。**结论** 得到了一种利用新保温材料与新储能结构设计相结合的全新的胰岛素包装保温性能优化方法，并设计出了一套具体的设计方案。

关键词：胰岛素保温；携带储存；优化设计
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2018)08-0206-05
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.08.040

Thermal Insulation Property of a New Package of Insulin

GAO Yang, WANG Sha, MING Lei
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

ABSTRACT: Diabetes is a kind of chronic metabolic disease, therapies of which are more and more preferred to early injection of insulin. The number of patients needed insulin is in escalation and the age of whom was getting smaller. So, aiming at their demands of carrying insulin out daily and in a long time, coupled with a serious lack of efficient and portable insulated insulin packaging products in the market, a new idea and method of optimizing the insulation performance of insulin packaging and promoting its portability is explored. Starting from the demand for efficient thermal insulation performance in patients with diabetes, the thermal insulation performance of insulin packaging from the material, structure and design is optimized. Based on this, a new method of optimizing thermal insulation properties using new materials combined with the new storage structure design is obtained, and a specific project of optimization is designed.

KEY WORDS: insulin thermal insulation; carry storage; optimal design

目前我国已成为世界第一糖尿病大国，患病人数超过 9240 万[1]。糖尿病是慢性渐进性疾病，疾病进展目前仍无法被彻底阻止，但却可以被有效控制[2]。多数患者在病情发展到一定阶段后就必须启动胰岛素治疗。胰岛素在糖尿病治疗中具有无可替代的作用和地位，是最有效的药物之一[3]。正确保存胰岛素有利于保证其发挥正常的治疗效果[4]。目前部分糖尿病患者对胰岛素保存尚不规范，所以在一定程度上影响了对糖尿病病情的控制。

1 糖尿病人对胰岛素包装保温产品的需求分析

影响保温产品保温性能的因素主要有 3 点：使用的材料、结构的设计以及环境温度。材料是保温产品保温性能的基础，可以为产品提供更加优良的使用性

收稿日期：2018-02-05
基金项目：2016 四川省大学生创新创业训练计划项目（201610616079）
作者简介：高阳（1982—），男，四川人，硕士，成都理工大学讲师，主要研究方向为工业设计。

能；合理的结构设计可以保证材料性能的最大发挥，在一定程度上也可以节约资源；环境温度作为产品所必须面临的使用背景，对材料的物理性能和化学性能的稳定具有一定的作用。

在人—药—产品三者组成的关系中，药品的安全储存和人（糖尿病患者）的个性化需求是产品应该着重考量的。决定药品安全性和人（糖尿病患者）的需求的因素主要来自于药品的化学属性、产品本身和使用环境。根据人（糖尿病患者）、药、环境存在的一些实际情况对胰岛素包装保温产品的人性化需求进行了梳理，见表 1。

表 1　人（糖尿病患者）、药、环境对胰岛素包装保温性能的需求分析

Tab.1 Analysis of the requirements of human (diabetics), medicine and environment on the insulation performance of insulin packaging

对象	客观情况	需求
人（糖尿病患者）	正常工作时间8 h，上下班乘坐交通工具约2 h，共计约为10 h。便于随身携带。	保温时长需在10 h左右体积不宜过大，要方便携带。
药（胰岛素）	开封后的胰岛素需存放在低于25 ℃的温度中，温度过冷或过热会导致药品失效。	要保证存储的温度适宜。温度波动较小更有利于药品药性的稳定。
环境（气温）	特殊天气：南方夏天温度高达40 ℃，而北方冬天温度低至-30 ℃	恶劣的环境温度不影响产品的性能。

对于糖尿病患者而言，其对胰岛素包装保温产品的理想功能诉求：保温时长 10 h 左右；药品存放的温度为 2～25 ℃；在特殊天气下性能稳定，不影响使用；另外产品体积不宜太大，要便于携带。

2　新型胰岛素包装保温性能优化设计思路

胰岛素包装的高效性主要体现在保温性能的提升和优异的用户体验两个方面，其中影响胰岛素包装保温性能的因素主要有材料选用和结构设计。本次优化设计的胰岛素包装样本不仅改变了传统的储能和保温方式，还利用产品的结构设计保证了包装保温性能优化的实现。

2.1　常用的储能材料和保温材料对比分析

在产品设计中，材料是产品设计的物质条件，是产品设计的基础和前提，并且以其自身的特性影响着产品设计[5]。在设计中如何正确、合理地选用材料是一个重要而又实际的问题[6]。新材料的运用可以为产品的设计提供更多的可能。根据糖尿病患者的人性化需求和胰岛素的化学特性，要求选用的材料需要具有优良的储能能力和保温性能，这样才能保证产品保温性能的高效性。

目前常见的胰岛素保温包装品牌有日本 Logos、美国冰峰、国产美库、国产阿波罗等。本文对常见的胰岛素保温产品常用材料及同性能的新材料进行对比研究。

2.1.1　储能材料

目前常见的胰岛素包装保温产品有冰袋、冷却袋、电子冷藏盒 3 种，主要使用的材料是冰、水凝胶、半导体。以下对冰、水凝胶、半导体和一种目前较为先进的新储能材料——新型有机相变储能材料进行测试，结果见图 1。

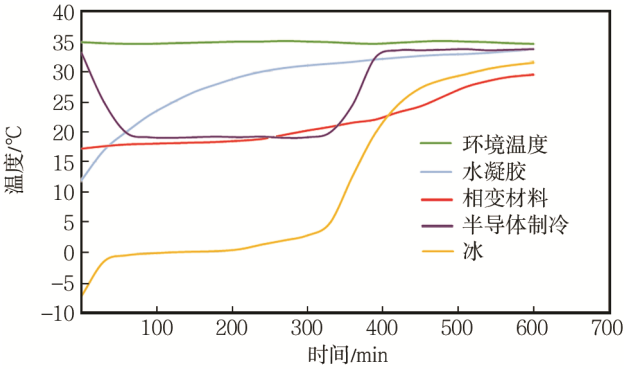

图 1　储能材料对比分析

Fig.1 Comparison with some energy storage materials

冰的起始温度低于 0 ℃，可能会使胰岛素结晶失效；水凝胶保温时长较短；半导体制冷和新型有机相变储能材料的保温时间较长且稳定性较好，没有温度过低的情况。半导体制冷的原理是以外界温度为基准的，受外界温度环境影响较大，当外界温度过高或者过低时，无法保证产品的内部温度保持在需要的温度范围内。新型有机相变储能材料保温性能较为稳定，保温时间也较长，优于其他 4 种。

胰岛素的化学特性要求其要存放在特定的温度下，所以为其提供温度条件的储能材料在设计方案中是非常重要的。新型有机相变储能材料的储能能力可以达到 180 kJ/kg，凝固时无过冷现象，且可以通过不同种类的相变材料的混合来调节相变温度。由于模块化的结构设计，使预冷速度大幅缩短，让储能时间低于 1 h，大大节省了时间。若在北方寒冷的冬季，传统的胰岛素包装保温产品无法正常使用，新设计的采用新型有机相变储能材料的胰岛素包装保温产品仍可维持其内部温度始终处于存放胰岛素的最佳温度范围内。

2.1.2　保温材料

保温材料的对比选用了膨胀珍珠岩、真空、玻璃

纤维棉、聚氨酯发泡板、气凝胶。

膨胀珍珠岩是一种天然酸性玻璃质火山熔岩非金属矿产[7]，常温导热系数为 0.048 W/(m·K)，常用作保温、保冷填充材料。膨胀珍珠岩吸水率极高，耐水性差，收缩变形大，易开裂[8]，作为胰岛素包装保温材料会存在产品质量增加、使用周期变短的问题。

真空保温是针对对流传热和接触传热的传热介质去掉，化为真空，来达到保温效果。如果真空保温层出现泄漏，会导致保温能力失效。目前较为成熟的真空保温方式都是以不锈钢保证壳体的强度，也会导致产品质量较大，不便于携带。

玻璃棉是将熔融玻璃纤维化形成的棉状材料，具有成型好、体积密度小、热导率低、保温绝热、化学性能稳定的优点。若表面包裹材料破损释放到空气中的人造纤维会对人体皮肤造成损伤，因此更适用于与人不易接触的地方。

聚氨酯发泡板导热系数约为 0.025 W/（m·K），保温性能好，能有效地防止水、湿气以及其它多种腐蚀性液体、气体的浸透，但在 10 ℃以下时发泡率降低，受到季节制约较大。

气凝胶是一种固体物质形态。作为世界上最轻的固体，气凝胶中一般 80%以上是空气，有十分好的隔热效果，在常规使用环境下具有良好的化学稳定性，寿命极长。气凝胶作为一种保温材料，可收集多余热量，适时平稳释放，有效降低损耗量[9]。

经过对比，气凝胶各方面特性都较为符合，更适合选用为胰岛素包装保温材料。

2.2 结构优化设计

2.2.1 组成构件优化

目前主流的包装保温产品在结构上进行保温的主要方法有两种方式：（1）组合式制冷，即将冰袋与胰岛素隔离开，使胰岛素与冰块不能直接接触，防止冰块温度过低使胰岛素结晶；（2）半导体制冷，即盒装形式，可接电源使用，但体积较大，较重不方便携带。

新型胰岛素包装保温方案主要由 A、B 两部分组成，见图 2，A 部分为一体化设计包括感温提示光环、盖子、储能层、置药层，B 部分为保温层。

A 部分可以使用户在使用时将事先进行储能的 A 部分和药品一同从冰箱里取出，然后直接与 B 部分合上，立刻进行保温，即先储能再保温。这种方式不仅符合使用习惯，简化了操作步骤，而且不用像冰袋一样需要先静置一段时间，可以缩短糖尿病患者的前期准备时间，同时也最大限度减少热损耗，为后续的保温提供更多的效能。

2.2.2 开合方式设计

高效、简单、快捷的操作方式更符合用户的意愿。该设计采用硅胶密封方式，可以防止温度外漏，拨杆锁闭方式使产品只有一个供用户操作的拨动式开关，见图 3，只需简单的左右拨动即可实现产品的打开与锁闭，相较于普通保温包装袋等采用的拉链式开合方式更加省时和简单。

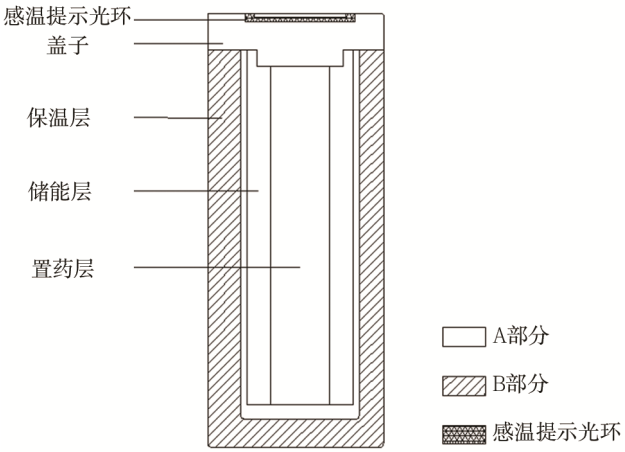

图 2 结构图

Fig.2 Structural drawing

图 3 拨动式开关

Fig.3 Toggle switch

2.2.3 材料厚度优化

产品的使用功能是首要的，它决定着产品造型的基本形式[10]。在要求基本的储能能力及保温性能的同时，也应兼顾产品的其它方面，在进行综合考量后，做出最优的选择。

据圆柱壁的径向热流量方程：

$$2\lambda\frac{(T_2-T_1)t}{C\rho}=\ln\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)\left(r_1^2-r_0^2\right) \tag{1}$$

式中：λ 为保温材料导热系数，W/（m·k）；T_2 为外界环境温度，K；T_1 为内部恒温时的温度，K；t 为维持恒温时间，s；C 为储能材料潜热，J/g；ρ 为储能材料密度，g/m³；r_0 为内径参数，m。

当储能材料和保温材料厚度分别达到 10 mm 时，见图 4，可满足产品在 10 h 内稳定温度在安全范围内，且此厚度值可以缩小产品的体积，更加方便用户携带。

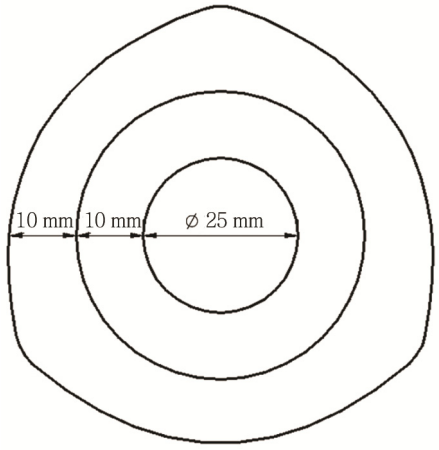

图 4　顶部截面图
Fig.4 Cross-section view

3　新型胰岛素包装保温性能使用体验优化设计方案

3.1　功能与人机关系设计

3.1.1　外观设计

产品的外观采用一种近似于圆柱形的三棱柱形状，见图 5，这种没有强烈对比的柔和大曲面的设计不仅便于携带，比圆柱形节约材料，也可以防止滚动，最重要的是能使产品的壁厚均匀，让内置药品受能均衡，保证药品的安全。

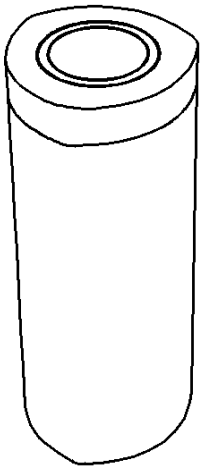

图 5　产品外观
Fig.5 Product appearance

3.1.2　界面设计

产品设计不仅要注重用户的体验效果，还应考虑一些细节。普通胰岛素冷藏袋的温度计一般在冷藏袋内部与药品紧挨在一起，需要打开才能看见，这样不仅查看不便，而且在打开冷藏袋查看的过程中空气的对流会损耗一定的能量。优化方法则是利用内部传感器感温，然后通过位于 A 部分顶部的双色感温提示光环，让用户随时了解温度状况，以便判断内存药品安全与否，见图 6。

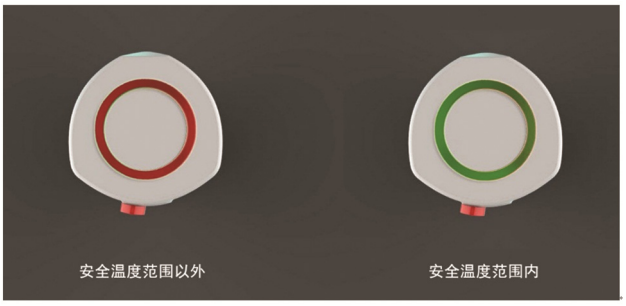

图 6　感温提示光环
Fig.6 Temperature warning ring

3.2　新型胰岛素包装保温产品设计方案的使用步骤解析

糖尿病患者需要使用该产品时，提前将 A 部分放入冰箱进行储能，然后将储能好的 A 部分从冰箱取出，接着把胰岛素或者胰岛素注射笔放入 A 部分的置药层，拧合 A 和 B。当需要使用内置的药品时，只需拧开即可，见图 7。

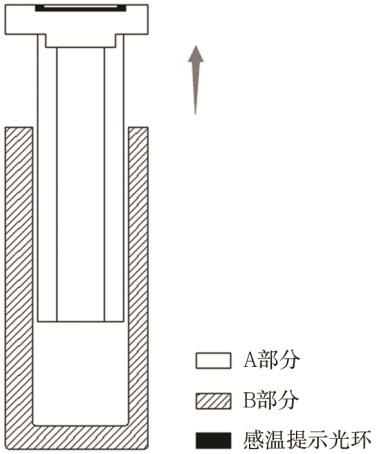

图 7　使用示意图
Fig.7 Use schematic

4　设计方案的保温性能测试

基于以上思路的指导，对优化后的样机的保温性能进行了测试，测试结果表明，新型胰岛素包装保温性能优良，能在 10 h 内稳定温度在 2～25 ℃，且受

环境温度的影响较小，见图 8。由于材料的质量轻，所以产品轻便、易于携带，符合糖尿病患者对胰岛素包装保温产品的理想功能诉求。

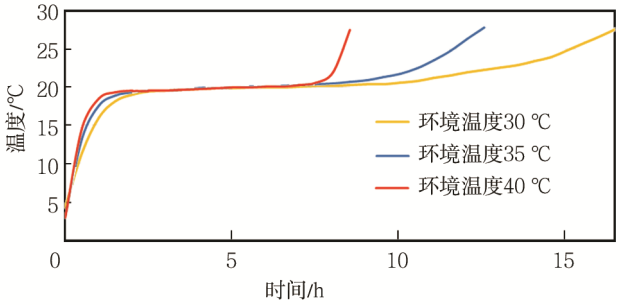

图 8 优化设计方案保温性能测试

Fig.8 Optimized design scheme for thermal insulation performance testing

5 结语

本研究体现了人性关怀，针对目前市场胰岛素包装保温产品较多，但缺乏运用新材料所带来的高效保温性能的现实，提出了胰岛素包装保温产品优化设计指导，旨在突破传统胰岛素包装保温产品的局限，对研究一种独立于传统胰岛素包装保温产品及高端电子保温盒之外的全新产品提供了一种可能。该产品具有优良的保温性能，小巧便携，操作简单，较为符合糖尿病患者对低成本、高性能胰岛素包装保温产品的需求，适应广大糖尿病患者日常外出携带胰岛素的需求，具有一定的市场价值和前景。

参考文献：

[1] 露西. 中国糖尿病医疗改革势在必行[J]. 糖尿病天地, 2012(5): 198—199.
LUCY. China's Diabetes Health Reform is Imperative[J]. Diabetes World, 2012(5): 198—199.

[2] 乌日图. 展望蒙西医结合治疗糖尿病的前景[J]. 中央民族大学学报, 2014(1): 65—68.
WU Ri-tu. The Combination of Mongolian and Western Medicine Outlook for Diabetes Treat[J]. Journal of Minzu University of China, 2014(1): 65—68.

[3] 计成，葛卫红. 糖尿病的胰岛素治疗[J]. 药学与临床研究, 2015(4): 427—432.
JI Cheng, GE Wei-hong. Diabetes Insulin Treatment[J]. Pharmaceutical and Clinical Research, 2015(4): 427—432.

[4] 牛林艳，黄金. 糖尿病患者胰岛素使用的问题及教育管理现状[J]. 中华护理杂志, 2013(2): 179—181.
NIU Lin-yan, HUANG Jin. The Problem of Insulin Use in Patients with Diabetes and the Current Situation of Educational Management[M]. Chinese Journal of Nursing, 2013(2): 179—181.

[5] 江湘芸，李俊翔. 产品设计中材料的创新实验[J]. 工业设计, 2015(6): 69—70.
JIANG Xiang-yun, LI Jun-xiang. Materials Innovative Experiments in Products Design[J]. Industrial Design, 2015(6): 69—70.

[6] 范正妍. 造物“选”材·“适”之为良——产品设计与塑料选材的相适性研究[D]. 武汉：武汉理工大学, 2007.
FAN Zheng-yan. Fitness is Premium Fitness-Research of Products Design and Plastic Materials[D]. WuHan: Wuhan University of Technology, 2007.

[7] 李成. 膨胀珍珠岩及陶粒节能保温混凝土板的研制[D]. 合肥：安徽理工大学, 2014.
LI Cheng. Research and Application of Energy-saving and Thermal-insulating Concrete Plates with Expanded Pearlite and Ceramsite[D]. Hefei: Anhui University of Science and Technology, 2014.

[8] 陈明凤，瞿金东，彭家惠. EPS 保温砂浆的耐候性、抗裂性及其机理[J]. 建筑技术开发, 2002(3): 41—42.
CHEN Ming-feng, ZHAI Jin-dong, PENG Jia-hui. Climate Resistance and Crack Resistance of EPS Thermal Insulation Mortar and Its Mechanism[J]. Building Technique Development, 2002(3): 41—42.

[9] 陈秀新. 浅述 FTC 相变保温材料在装饰工程中的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2014(4): 216.
CHEN Xiu-xin. Brief Talk about Application of FTC Phase Change Thermal Insulation Material in Decoration[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2014(4): 216.

[10] 郑建启，何丽华. 概论产品设计与材料科学技术互动发展之关系[J]. 武汉工业大学学报, 2000(4): 85—87.
ZHENG Jian-qi, HE Li-hua. General Talk about the Relationship Between Products Design and Material Science[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2000(4): 85—87.