

可折叠水产品运输保温包装箱结构设计

朱怡馨¹, 陈晨伟^{1,2}, 罗敏成¹, 谢晶^{1,2}, 杨福馨^{1,2}, 侯忱希¹, 童瑶¹

(1. 上海海洋大学, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要:目的 开发可折叠水产品运输保温包装箱。方法 借鉴纸包装结构设计中的可折叠设计思想,以塑料中空板为箱体材料,结合保温材料,得到可折叠水产品运输保温包装箱结构设计方案,将其与普通塑料泡沫箱进行物流成本对比分析,通过抗压试验测定分析不同类型水产品运输保温包装箱的抗压强度。结果 该包装箱实现了空箱储运时可折叠,降低了物流成本;箱子抗压强度好,优于市场上常用的水产品塑料泡沫箱,同时可通过调整外箱体材料及保温材料来优化包装箱的各方面性能;在采用该包装箱进行水产品包装时,需在包装中增加塑料袋来满足水产品物流运输过程中防水渗漏的要求。结论 该可折叠水产品运输保温包装箱的结构设计方案可行,力学性能好。

关键词: 可折叠; 水产品包装箱; 保温包装; 结构设计; 力学性能

中图分类号: TS206.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)15-0030-04

Structure Design of Foldable Insulation Packaging Container for Aquatic Products

ZHU Yi-xin¹, CHEN Chen-wei^{1,2}, LUO Min-cheng¹, XIE Jin¹, YANG Fu-xin^{1,2},
HOU Chen-xi¹, TONG Yao¹

(1. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The study aimed to develop a foldable insulation packaging container for aquatic products. A structure design solution of foldable insulation packaging container for aquatic product was obtained based on foldable design idea of paper packaging structure design, using plastic corrugated board and insulation material. Its logistic cost was analyzed compared with the foam box. The mechanical property was measured and analyzed through compression experiment. The results showed that application of this packaging container could significantly reduce the logistics cost when the empty container was in storage and transportation. Its compression strength was better than the common plastic foam box of aquatic product. The global performance could be optimized by adjusting materials of outer box and insulation materials. It was required to add a big plastic bag outside of the aquatic product to satisfy the requirement of avoiding water leakage during logistics when using this packaging container to pack the aquatic product. Taken together, the structure design solution of this foldable insulation packaging container for aquatic product was feasible and sturdy, which provided a basis for the subsequent study on structure optimization, thermal insulation experiment and its application for aquatic products packaging.

KEY WORDS: foldable; aquatic product packaging container; insulation packaging; structure design; mechanical property

收稿日期: 2015-06-01

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2013BAD19B06); 国家高技术研究发展(863计划)基金(2012AA092301); 上海市科委工程中心建设项目(11DZ2292800); 上海市大学生创新项目(A1-2035-14-0007-11-3)

作者简介: 朱怡馨(1994—),女,上海人,上海海洋大学本科,主攻食品包装技术。

通讯作者: 陈晨伟(1983—),男,浙江台州人,上海海洋大学讲师、博士研究生,主要研究方向为食品包装与保鲜技术。

我国的水产品总产量连续十二年居世界首位,水产品包装及保鲜技术在当今水产品业的发展中具有十分重要的地位。由于水产品是温度敏感性产品,其易腐败、变质等特性对冷链物流过程中的相应设备及温度控制等具有很高要求。根据易腐食品国际运输公约,除了冷冻产品外,鱼的温度需要尽可能地控制在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,但是在实际冷链物流过程中,温度变化仍会影响水产品的品质^[1],同时我国现阶段的冷链系统还不能解决产品的“最后1公里”问题,水产品也有可能由于这段时间内温度过高而出现变质,从而造成损耗^[2]。由此,水产品运输保温包装箱在对控制包装箱内温度变化、延缓水产品品质下降中起到了重要作用。

目前市场上常用的水产品运输保温包装箱是塑料泡沫箱,材质为发泡聚苯乙烯(EPS),具有良好的保温效果,但是箱体为整体式结构,不可折叠,在空箱的运输、仓储过程中只能逐个堆叠,需占用大量的仓储、运输空间,物流成本高。同时箱子为一次性包装,且外箱面容易磕碰受损,废弃后易给环境造成污染,不利于环保,因此开发一种可折叠的水产品运输保温包装箱,实现空箱储运时的可折叠,降低其物流成本,具有很好的实际应用价值和市场前景。

20世纪80年代初,美国密歇根州立大学Stavish^[3], Burgess^[4]等团队开始着手研究保温包装系统的阻热性能及数学模型的构建,开拓了这一领域的研究。目前国内外研究主要集中在保温包装系统的阻热性能及相关数学模型的构建^[2,5-8],近年来也有不同的保温材料、保温箱结构等对水产品保温保鲜效果影响的研究报道^[1,9-12],但有关可折叠水产品运输保温包装箱的研究未见报道。文中针对市场上常用的水产品运输保温包装箱不可折叠的缺点,以塑料中空板为箱体材料,结合不同保温材料,得到可折叠水产品运输保温包装箱结构设计方案,并对其物流成本及力学性能进行测试分析,为后续深入研究及其在水产品运输包装中的应用提供基础。

1 可折叠水产品运输保温包装箱结构设计

1.1 可折叠包装结构分析

包装结构是指包装设计产品的各个有形部分之间的互相联系、互相作用的技术方式,利用材料属性和结构设计,解决产品的使用方式和空间利用问题。塑料泡沫箱是采用浸有发泡剂的可发性聚苯乙烯珠粒,通

过红外线、蒸汽或热空气等办法加热预发泡后,在铝模内再次加热发泡后制备得到聚苯乙烯塑料泡沫箱,其模具尺寸大小决定了箱子的大小,该成形工艺决定了塑料泡沫箱为整体式结构。要实现包装箱的可折叠设计,需采用或增加新的材料,来改变包装容器的成形方式。只有符合产品自身特性的折叠包装结构,才能使有限的空间得到最大限度的合理利用。

在常见的包装容器或其他产品设计中,有许多可折叠的方案设计值得借鉴思考,图1列举了几种类型的包装容器和产品可折叠设计。最为常见的是纸包装结构设计,见图1a。图1b所示的《手风琴式杯面包装》^[13],包装时杯子处于折叠压缩状态,体积较小,便于物流运输,打开包装使用时可将折叠结构拉伸增加杯子的存储体积。图1c和图1d分别为塑料箱、木托盘围板箱,应用于产品的物流运输包装,通过可折叠设计,降低储运体积,方便回收循环使用。图1e为折叠小圆桌设计,通过可折叠设计,方便储藏携带。

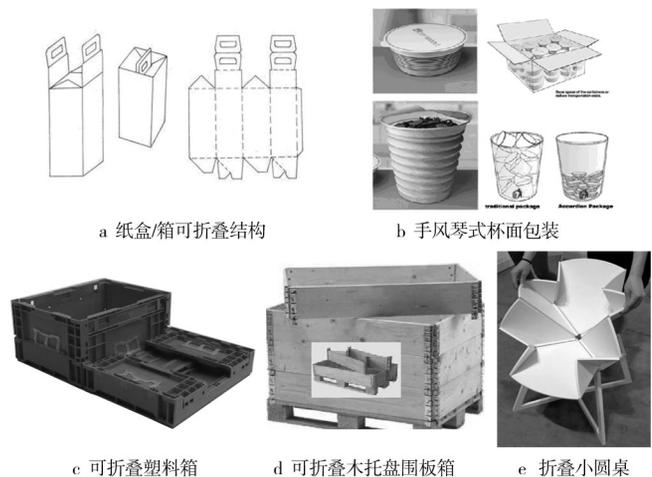


图1 几种类型包装容器和产品的可折叠设计

Fig.1 Several foldable designs of packaging containers and products

1.2 市场上常用的保温包装材料

目前市场上常用的保温包装材料主要有泡沫塑料、塑料中空板以及真空绝热板等。泡沫塑料品种主要包括聚苯乙烯、聚氨酯、聚乙烯等。由于泡沫塑料是通过将高分子聚合物浸入发泡剂中多次加热发泡得到的复合塑料,利用气体的热导率非常低的特点对塑料进行改性,使其具有质轻、隔热、减震的特点^[14],是目前市场上最常用的保温包装材料。塑料中空板,又叫塑料瓦楞板,结构与瓦楞纸板相似,是在聚乙烯树脂中加入填料和各种助剂后,经压延热

黏成的塑料双面单瓦楞板。真空绝热板采用真空绝热原理,由填充芯材与真空保护表层复合而成,导热系数低,被广泛应用于冷藏车、航天航空、冰箱等领域,具有替代聚苯乙烯泡沫板成为冷链物流行业制作保温包装的主要材料的潜力^[15]。聚乙烯泡沫塑料(EPE)、聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)、聚酯泡沫、酚醛泡沫塑料、塑料中空板制品、泡沫玻璃、空气、真空、真空绝热板、瓦楞纸板的导热系数分别为0.076,0.046,0.030,0.029~0.035,0.047~0.07,0.048,0.026,0,0.008~0.03,0.078 W/(m·℃)^[11,14]。

1.3 可折叠水产品运输保温包装箱结构设计方案

综合上述分析,结合水产品包装箱防水、防潮的要求,外箱体宜采用塑料,而塑料中空板与瓦楞纸板结构相似,可以经过分切、压线、开槽等操作后,完成箱体的可折叠设计。可折叠水产品运输保温包装箱箱体和箱盖的展开结构见图2,箱型设计参考盘式折叠纸盒的特点,利用旋转、折叠性完成箱子的成形。图2中带“^”标记区域粘合保温材料,通过箱体成形可使顶面、底面、侧面均有保温材料层,保温材料被夹于2张塑料中空板中间,可以更好地起到蓄冷隔热的保温作用。该结构设计可以使用不同的保温材料层来满足不同的保温需求,可实现其他保温材料在水产品保温包装箱中的应用,打破塑料泡沫箱独占市场的局面。可折叠水产品运输保温包装箱的样品折叠成形过程简单易操作,见图3。在采用该包装箱进行水产品包装时,若水产品直接放入箱内(无塑料袋包装),由于箱体的旋转、折叠成形特点,该箱体结构设计不能满足水产品物流运输中防水渗漏的要求,需在内包装中增加塑料袋以防止水的渗漏。

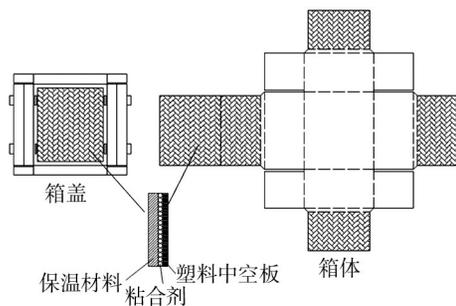


图2 可折叠水产品运输保温包装箱结构

Fig.2 Structure diagram of the foldable insulation packaging container for aquatic products

1.4 物流成本对比分析

以市场上某一普通塑料泡沫箱(外尺寸为520

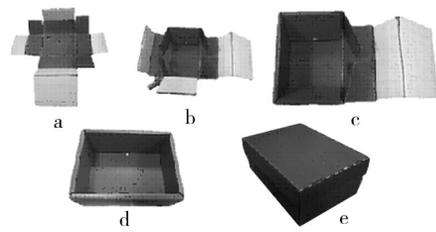


图3 可折叠水产品运输保温包装箱折叠成形过程

Fig.3 Folding forming process of the foldable insulation packaging container for aquatic products

mm×360 mm×220 mm)为参照,按照图纸制作与其内尺寸(460 mm×335 mm×180 mm)相同的可折叠水产品运输保温包装箱,其内部保温材料厚度与塑料泡沫箱壁厚相同。2种箱子的外尺寸有细微差别,可折叠水产品箱的外尺寸为534 mm×374 mm×210 mm,略大于普通塑料泡沫箱,主要是由于内部保温材料的厚度与塑料泡沫箱壁厚相同,但可折叠水产品箱需加上外箱体塑料中空板厚度。可折叠水产品箱折叠后的体积为0.014 m³,约为未折叠前的三分之一。空箱运输及仓储成本与体积成正比例关系,因此使用可折叠水产品箱可大幅度降低其物流成本。

2 可折叠水产品运输保温包装箱力学性能分析

2.1 材料与方法

普通塑料泡沫箱(EPS材质),箱子外尺寸为520 mm×360 mm×220 mm,内尺寸为460 mm×335 mm×180 mm,不同密度的塑料泡沫板(EPS和EPE材质),购买自浙江省金华银波泡沫厂。

可折叠水产品运输保温包装箱的外箱体和箱盖,由宁波陆辰包装科技有限公司按照图纸加工生产,采用塑料中空板(700 g/m²)。外箱体、箱盖加工完成后,再根据图纸设计要求将不同保温材料通过粘合剂粘合到塑料中空板上,最后折叠成形,完成箱子制作,箱子外尺寸为534 mm×374 mm×210 mm,内尺寸与普通塑料泡沫箱相同。试验用箱子样品的外箱体材料相同,内保温材料不同,并进行编号:0#为普通泡沫塑料箱,其中EPS板密度为11.9 kg/m³;1#为可折叠箱,箱体未粘贴保温材料;2#—4#为可折叠箱,保温材料为EPS,EPS板的密度分别为6.5,11.9,14.6 kg/m³;5#—6#为可折叠箱,保温材料为EPE,EPE板的密度分别为18.0,23.0 kg/m³。

参考GBT 4857.4—2008《包装运输包装件基本试

验第4部分:采用压力试验机进行的抗压和堆码试验方法》,采用GBN2000压力试验机测试包装箱的抗压强度,每种类型箱子样品测试3次,取平均值。

2.2 结果与讨论

由图4可知,普通泡沫塑料箱的抗压强度为2732 N,可折叠水产品运输保温包装箱的抗压强度为8036~8784 N,约为普通泡沫塑料箱的3倍。在6种可折叠水产品运输保温包装箱之间,抗压强度差异性不大。内部含保温材料层的可折叠水产品运输保温包装箱的抗压强度略高于不含保温材料层的箱子,而内部含EPS保温材料层的可折叠水产品运输保温包装箱的抗压强度略高于内部含EPE保温材料层的箱子。结果表明,内部保温材料层对可折叠水产品运输保温包装箱的抗压强度影响不大,其承压性能主要依靠外箱体塑料中空板,但是对整个箱体的承压性能略有增强作用。EPS保温材料层对箱子抗压强度的增强效果优于EPE保温材料层,因为EPS较EPE硬,机械强度稍好。同时也表明通过改变外箱体塑料中空板强度可以调整包装箱的抗压强度来满足不同强度的需求。若选用较好的箱体材料,包装箱可以回收循环使用,绿色环保。

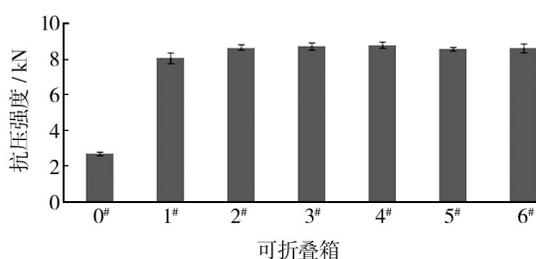


图4 不同类型的水产品运输保温包装箱抗压强度对比

Fig.4 The compressive strength comparison of different types of insulation packaging container for aquatic products

3 结语

针对市场上常用的水产品运输保温包装箱不可折叠的缺点,借鉴纸包装结构设计中的可折叠设计思想,以塑料中空板为箱体材料,结合保温材料,得到可折叠水产品运输保温包装箱结构设计方案,可实现空箱储运时可折叠,极大地降低了物流成本。箱子抗压强度较好,优于市场上常用的水产品塑料泡沫箱,同时可通过调整外箱体材料及保温材料来优化包装箱的各方面性能,可以实现其他保温材料在水产品保温

包装箱中的应用,打破塑料泡沫箱独占市场的局面。在采用该包装箱进行水产品包装时,需在内包装中增加塑料袋包装来满足水产品物流运输过程中防水渗漏的要求,为后续箱体结构优化、保温试验研究及其在水产品运输包装中的应用提供基础。

参考文献

- [1] BJÖRN M, HELENE L L, HALLDO' R P, et al. Temperature Fluctuations and Quality Deterioration of Chilled Cod (Gadus Morhua) Fillets Packaged in Different Boxes Stored on Pallets under Dynamic Temperature Conditions[J]. International Journal of Refrigeration, 2012, 35: 187—201.
- [2] 赵艳冰. 基于圆柱体模型的温控包装数模建立及应用[D]. 无锡:江南大学, 2013.
ZHAO Yan-bin. The Development of Cylinder Model on Insulating Package and Its Application[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [3] STAVISH L J. Designing Insulated Packaging for Perishable in Vivo Diagnostics[J]. Medical Device and Diagnostic Industry, 1984, 6(18): 105—108.
- [4] BURGESS G. Practical Thermal Resistance and Ice Requirement Calculations for Insulating Packages[J]. Packaging Technology and Science, 1990, 12: 75—80.
- [5] 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 Xiao-juan, QIAN Jing. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 43—48.
- [6] 潘嘹, 卢立新, 王军. 控温包装控温时间预测模型研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 27—30.
PAN Liao, LU Li-xin, WANG Jun. Prediction Model for the Shelf Life of Insulating Package[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 27—30.
- [7] 吴国金, 许钟, 杨宪时, 等. 冰鲜鱼贮运过程中耗冰量估算模型的建立与验证[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1334—1339.
WU Guo-jin, XU Zhong, YANG Xian-shi, et al. Construction and Verification of a Model Used for Estimating Ice Consumption during Iced Fresh Fish Distribution[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(6): 1334—1339.
- [8] KAZUHISA M, GARY B, HUGH L. Two Methods for Calculating the Amount of Refrigerant Required for Cyclic Temperature Testing of Insulated Packages[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20: 113—123.
- [9] BJÖRN M, HALLDO' R P, VIKTOR P, et al. Numerical Modelling of Temperature Fluctuations in Superchilled Fish Loins

(下转第82页)

- [12] AVALLE M, BELINGARDI G, IBBA A. Mechanical Models of Cellular Solids: Parameters Identification from Experimental Tests[J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2007, 34(1):3—27.
- [13] 刘乘, 吴莎. 测试缓冲材料性能的方法及其分析[J]. *包装工程*, 2011, 32(13):25—27.
LIU Cheng, WU Sha. Cushioning Material Properties Testing Methods and Analysis[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(13):25—27.
- [14] 张沙, 钱怡. 电磁炉包装件的振动特性仿真分析[J]. *包装工程*, 2012, 33(23):56—60.
ZHANG Sha, QIAN Yi. Simulation Analysis of Vibration Characteristics of Induction Cooker Package[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(23):56—60.
- [15] 陈满儒, 马卫静, 李强. 太阳能电池板的运输包装设计[J]. *包装工程*, 2010, 31(19):46—49.
CHEN Man-ru, MA Wei-jing, Li Qiang. Transport Packaging Design for Solar Panels[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(19):46—49.
- [16] 陈锡辉. 基于LabVIEW8.20程序设计从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
CHEN Xi-hui. Based on LabVIEW8.20 Programming from Entry to the Master[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [17] 李扬, 谢晖, 陈侃. 基于LabVIEW的PID控制系统设计与实现[J]. *中国测试技术*, 2008, 34(3):74—76.
LI Yang, XIE Hui, CHEN Kan. PID Control System Design and Implementation Based on LabVIEW[J]. *China Measurement & Testing Technology*, 2008, 34(3):74—76.
- [18] JEONG K Y, CHON S S, MUNSHI M B. A Constitutive Model for Polyurethane Foam with Strain Rate Sensitivity[J]. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2012, 26(7):2033—2038.
- [19] 卢富德, 张绍云, 杜启祥. 发泡聚乙烯隔振性能研究[J]. *包装工程*, 2011, 32(11):1—4.
LU Fu-de, ZHANG Shao-yun, DU Qi-xiang. Study of Vibration Isolation Performance of EPE[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(11):1—4.
- [20] 刘乘, 任亚东. 几种常用缓冲材料的性能研究[J]. *包装工程*, 2010, 31(7):117—119.
LIU Cheng, REN Ya-dong. Research on Properties of Several Cushion Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(7):117—119.
- [21] 奚德昌, 高德. 缓冲包装材料的本构建模研究进展[J]. *包装工程*, 2011, 32(1):1—4.
XI De-chang, GAO De. The Review on Constitutive Modeling of Cushion Packaging Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(1):1—4.

=====

(上接第33页)

- Packaged in Expanded Polystyrene and Stored at Dynamic Temperature Conditions[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2012, 35:1318—1326.
- [10] BJÖRN M, RADOVAN G, HALLDO' R P, et al. Experimental and Numerical Modelling Comparison of Thermal Performance of Expanded Polystyrene and Corrugated Plastic Packaging for Fresh Fish[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2011, 34:573—585.
- [11] 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.
- [12] 汤元睿, 谢晶, 徐慧文, 等. 相变蓄冷工艺在金枪鱼冷链物流中的应用研究[J]. *现代食品科技*, 2015(1):173—178.
TANG Yuan-ru, XIE Jing, XU Hui-wen, et al. Application of Cold Storage Phase-change Technology in Cold Chain Logistics of Tuna (*Thunnus Obesus*) [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015(1):173—178.
- [13] 杨梅. 折叠结构在产品中的应用研究[J]. *包装工程*, 2013, 34(8):49—51.
YANG Mei. Application Study of Folding Structure in Product Design[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(8):49—51.
- [14] 朱吕民. 聚氨酯泡沫塑料[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
ZHU Lv-min. Polyurethane Foam[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [15] 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.
WANG Ling-song, WANG Dong-ai, KANG Kai. Structure of Environment-friendly Vacuum Insulation Board for Packing Case[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(23):50—52.