材料智能型包装的分类及设计应用

柯胜海，庞传远
（湖南工业大学，株洲 412007）

摘要：目的 探索材料智能型包装的分类体系、应用领域与设计实现。**方法** 以现行材料智能型包装案例及文献为基础，对国内外相关的设计实践、专利及相关理论进行系统分析，并根据材料功能特性对其进行分类研究。**结果** 提出了更完善的材料智能型包装的概念、分类、应用领域与设计关键。根据材料本身及其应用在材料智能型包装上表现出来的功能特征，在包装的展示销售、保鲜提醒、商品防伪以及安全防护等方面具有良好的应用前景，重点阐述了功能特征表现较为明显的变色材料包装、发光材料包装、智能水凝胶材料包装、活性包装等，并提出材料在智能型包装设计过程中应着重把握材料选择的恰当性、信息传达的准确性以及图形表现的巧妙性 3 个方面。**结论** 对材料智能型包装的分类及设计应用进行了细化研究，为智能化包装的拓展研究提供了更多的方向，有利于推动包装产业的转型升级。

关键词：材料智能；智能包装；活性包装；包装设计
中图分类号：TB484; TB34 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2018)21-0006-05
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.002

Classification and Design Application for Intelligent Packaging Design of Materials

KE Sheng-hai, PANG Chuan-yuan
(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

ABSTRACT: The project aims to explore classification system, application areas, and design implementation for intelligent packaging of materials. Based on intelligent packaging case studies and literatures of current material utilizations, the related design practices, patents, and related theories at home and abroad were systematically analyzed and classified according to functional characteristics of the materials. A more complete concept of intelligent packaging for new era materials and classification system of intelligent packages for materials, application fields and key points in designing were proposed. According to functional characteristics of the material itself and its application in intelligent packaging of materials, and good application prospects in packaging display and sales, preservation and reminder, commodity anti-counterfeiting and safety protection, this articles mainly focused on packages of discolor materials, luminescent materials, smart hydrogel materials, active materials and other materials with obvious functional features, and proposed that material intelligent packaging design process should focus on the appropriateness of material selection, the accuracy of information transmission and the ingeniousness of graphic performance. The detailed research on the classification and design application of intelligent packaging of materials provides more directions for research and development of intelligent packaging, which is conducive to the transformation and upgrading of the packaging industry.
KEY WORDS: material intelligent; intelligent packaging; active packaging; packaging design

随着现代科学技术的进步，新材料不断涌现，大量的传统包装材料逐渐被新材料所替代。这些新材料在包装上的应用，增强了包装设计的功能性，拓展了包装的使用范围。智能材料、指示剂、功能材料的出现，为智能包装与新材料的结合提供了更多的可能性，可以切实地解决食品、药品等领域所出现的安全

收稿日期：2018-04-18
基金项目：国家哲学社科科学基金艺术学青年项目（14CG127）；湖南省哲学社会科学基金重点项目（17ZDB008）；湖南省教育厅重点项目（16A060）；湖南省研究生科研创新项目（CX2017B680）
作者简介：柯胜海（1981—），男，湖南工业大学副教授，主要研究方向为智能与创新包装设计。

问题，材料智能型包装得以快速发展。文中主要以材料智能型包装为研究对象，探索材料在包装功能和形式上的拓展应用以及材料智能型包装的概念、类型、原理、设计应用和实现的关键，旨在为材料智能型包装的设计实践提供理论依据。

1　材料智能型包装概念综述

材料智能型包装的出现，始于人们对智能材料在包装中的初步应用。20 世纪 80 年代有了智能材料的定义后[1]，智能材料便有了迅速的发展。1992 年，第 1 次智能包装国际会议在英国伦敦召开，该会议对智能包装进行了广泛的研讨，并对智能包装作出了阐释，提出智能化包装利用新型的包装材料、结构与形式对商品的质量和流通安全性进行积极干预与保障[2]。在此之后，开始有学者尝试对智能包装进行分类，功能材料型包装的概念开始出现，如韩锦平、陈新、马爽[3—5]、许文才[1]、胡兴军、廖雨瑶等[6—7]指出功能材料型包装应用新型包装材料对产品外包装进行包装设计，使得外包装对环境因素具有某种“识别”和“判断”的功能，这些包装材料通常采用光电、温敏、湿敏、气敏等功能材料与包装材料复合制成，可以智能识别和指示包装微空间内的温度、湿度、压力、密封程度、保存时间等重要参数。除“识别”和“判断”功能，周忠福、许文才等[8—9]认为其还能根据包装微空间内部“自适应器物本身的不同特质和突变或渐变的外部环境，又可相应地调整内部环境”，即控制功能。石岩认为功能材料型智能包装是基于具有光电、温敏、湿敏、气敏等功能的智能包装材料来设计的包装，这些智能包装材料既有智能主体包装材料，又有智能油墨、智能涂料、智能胶粘剂等辅助包装材料[10]。

上文中材料智能型包装的概念，多建立在当时特定的社会发展背景或材料（指示剂、功能材料、智能材料）、技术的基础之上，都有迹可循，并呈现出强烈的时代性。随着智能化包装的发展和更新，出现了大量的以材料为基础的新型智能化包装形式，基于此，立足现行的材料技术，探索其在材料智能型包装领域现在与未来可能出现的功能形式与设计应用，提出材料智能型包装的概念：材料智能型包装是指通过应用一种或多种具有某种特殊功能的新型智能包装材料，改善和增加包装的功能，以达到和完成某种特定目的的一类新型智能包装。这类包装建立在材料的特殊性与被包装物质量生命周期联动的基础之上，利用新型智能包装材料能够感应、识别和变化的特性，在科学合理的前提下，通过多步艺术表现形式，使消费者了解商品信息的同时萌生更多精神愉悦感，在包装的展示销售、保鲜提醒、商品防伪以及安全防护等方面，具有良好的应用前景。

2　材料智能型包装的分类、原理及设计应用

材料智能型包装作为一种以材料为基础的智能化包装形式，在长期的探索过程中，包装所应用的材料的种类也更加多样化。基于对材料本身及其应用在材料智能型包装上所表现出来的功能特征，归纳出与材料智能型包装联系较为密切的主要有变色材料、发光材料、智能水凝胶材料、活性材料、变形记忆材料、自修复材料等，并依据材料的原理和功能特征对材料智能型包装进行分类。

2.1　变色材料包装

变色材料包装是指在包装上应用变色材料，如光敏变色材料、温敏变色材料、电敏变色材料、气敏变色材料等，使包装在受到光、电、温度、压力、溶剂以及化学环境等特定外界激发源作用时，通过颜色的变化来作出反馈，可以实现包装的图案显示、信息记录、警示提醒、美化装饰、防伪安全、互动娱乐等功能。北京大学化学与分子工程学院严纯华、孙聆东教授课题组[11]合作发明了一款可指示易变质包装产品实时质量的“智能变色标签”，是一种属于智能温敏变色材料在包装的应用，适用于温度敏感的包装。一般情况下，标签呈红色代表产品新鲜度达 100%，呈黄色代表新鲜度已降为 50%，而绿色则代表产品已变质，这一过程能够反映由于食品超过保质期或因温度改变等造成的变质，并通过颜色直观地表现出来。俄罗斯的产品设计师 Neretin 也利用温敏变色涂料设计了一款名为“Naked”的系列化妆品包装，见图 1。该系列包装最大的亮点是包装表面涂有温敏变色涂料，在人手触碰下包装会变红，就像人在害羞时脸红的表现，人手如果离开包装，颜色就会恢复到原始的状态，无形中增加了人与包装之间的好感，也满足了消费者的猎奇心理。

图 1　“Naked”系列化妆品变色包装
Fig.1 Discolor package of "Naked" series cosmetics

2.2　发光材料包装

发光材料包装是指在包装上应用发光材料，如光致发光材料、力致发光材料、化学发光材料、电致发

光材料等，能够以某种方式吸收能量，并以发光的形式表现出来，进而通过包装本体颜色以及与环境光的颜色进行叠加后的第三方色彩去实现包装视觉的传达，形成一种动态色彩的多样性表达[12]。在实际应用中，发光材料主要的应用形式有发光油墨、发光涂料、发光陶瓷、发光玻璃、发光塑料、发光纤维、发光薄膜等，使包装可以实现安全警示、多维展示、防伪以及互动娱乐等功能。由 Webb deVlam 为 Bombay Sapphire 设计的一款可发光的酒包装就是利用电致发光油墨实现的，见图 2，该包装由德国包装制造商 Karl Knauer 制造，通过电子印刷的方式将电致发光油墨印刷于包装上，拿起包装时，包装上的图案开始依次变亮，然后进入循环，每个循环的时间都是 18 s，非常容易吸引消费者的注意。一款利用荧光油墨进行防伪的香水包装设计，见图 3，该香水瓶的外包装运用了荧光油墨材料，在没有环境光、自然光等外部光源的时候，香水外包装呈原本的银色，但香水包装一旦接触到光线，颜色就会转换为枚红色，并显示出香水的 LOGO，既可达到防伪的效果，又充分展现了香水品牌独特的韵味和特性。

图 2　Bombay Sapphire 旅行零售包装
Fig.2 Bombay Sapphire travel retail pack

a　　b　　c

图 3　智能发光香水包装
Fig.3 Perfume packages by intelligent luminescent

2.3　水凝胶材料包装

智能水凝胶是一类由智能高分子通过物理或者化学交联方式形成三维网络结构的聚合物，它可以吸收大量的水并溶胀至平衡体积而仍保持其形状[13—14]，其对环境信息的微小变化具有响应功能，如温度、pH 值、葡萄糖浓度、光、电变化等，产生相应的体积变化或者其他物理化学性质的变化[15]，可应用于形状记忆[16]、自愈合聚合物[17]、组织工程[18]、药物输送[19]、智能涂层[20]、化学反应开关[21—22]和软机器人[23]等领域。因智能水凝胶材料在受到外部特定因素刺激时会发生突跃式的变化，可用于灵敏传感的装置，在包装领域有很大的应用前景，该类包装被称为智能水凝胶材料包装。2017 年，Mishra 等提出了一种用于 pH 值传感的水凝胶涂层 LPFG，可测量的 pH 值范围为 2~12[24]，可用于测量包装内部环境的 pH 值。Lu，Rivero，Pussak 等还报道了软质和弹性水凝胶在机械传感器中的应用[25—27]，因此水凝胶也有望用于包装领域。

2.4　活性包装

活性材料是指在材料中加入一些活性组分，并在特定的条件下，如环境的温度、pH 值、湿度等，可以有计划地吸收或释放特定的气体或物质，在包装中加以应用能够用于改变食品的包装环境（氧气与二氧化碳的浓度、温度、湿度和微生物等）以延长贮存期、改善食品安全性和感官特性，同时保持食品品质不变。这类应用活性材料的包装可以称为活性材料包装，也可称为活性包装[28]。活性包装分为吸收型系统和释放型系统，吸收型系统如氧气去除型、二氧化碳清除型、乙烯去除型、水分吸收型、异味清除型等，释放型系统如抗菌型、乙烯产生型、二氧化碳产生型、乙醇产生型等[29]。虽然活性包装与变色材料包装、发光材料包装、智能水凝胶材料包装和其他材料包装的功能略有差异，但其内核却是一样的，都是通过运用具有不同功能的材料，对商品流通过程中的某些方面进行管理、控制和改善。这与材料智能型包装概念中，通过应用具有某种特殊功能的新型智能包装材料，改善和增加包装的功能，以达到和完成某种特定目的相契合，因此，将活性包装作为材料智能型包装的其中一种类型进行阐释。目前已有活性包装应用于生鲜食品、果蔬、医药及日用品等领域，具有延长食品保质保鲜日期、为生鲜活物跨地运输提供保障，以及减少对人体带来的潜在性生物危害等功能。常见的活性包装有动物类和植物鲜花类的包装，如肉类包装、鲜鱼类包装、动物雏苗（鸡、鸭等）包装、菜苗包装、果（树）苗包装等[30]。

2.5　其他材料包装

除了以上所阐释的以变色材料、发光材料、智能水凝胶材料、活性材料为基础的材料智能型包装外，还有一些其他的智能材料在包装领域具有很好的应用前景，如变形记忆材料[31]、自修复智能材料[32]等。由于目前这些材料的实际应用较少，很多材料在性能上还存在一定的缺陷，这里不进行展开介绍。

3　材料智能型包装设计实现的关键

相对于传统包装而言，材料智能型包装通过应用

不同功能的材料，使包装在功能和形式上得到了拓展，具备一定的优势，但在其具体设计应用时，还要根据实际的需求，以用户为中心，对用户的群体、使用习惯以及包装的使用环境、使用方式等因素进行严谨的考量，应着重把握以下 3 个方面。

1）恰当的材料选择。由于材料智能型包装中所包含的材料种类较多，即使在同一类别的材料中，原理、性能、功能等方面也可能具有较大的差异，因此，在材料的选择上，除了满足包装功能的需求外，还要综合考虑材料应用于包装的工艺流程与包装在成本、安全、环保以及人性化等方面的要求。如变色材料包装中材料的选择要考虑其在包装上所要表达的功能，如何应用，制作工艺或印刷工艺，应用成本，触发条件，对特定因素的敏感程度，性能与稳定性，颜色变化的效率、范围、美观性、是否可逆、识别程度与受众接受度，与内包装物是否适应，对人体或环境是否有害，以及废弃和回收问题等。

2）准确的信息传达。信息的有效传达是包装的基础功能之一，材料智能型包装可以通过材料感应、识别、变化的特点行使信息传达的功能，其主要可应用于商品质量安全、防伪安全以及增强用户娱乐体验等方面。在具体设计时，应利用其特点实现在传达信息的实时性、准确性和易识别性等方面的表现形式。例如通过清晰易懂的文字表现，让消费者能够依据这些文字在短时间内产生正确的判断；或者利用对比性强烈的变色材料，避免使用同类色，以带给消费者感官享受的同时更能方便提醒、警示包装产品的质量安全。

3）巧妙的图形表现。材料是包装设计的载体，除其本身所具有的美学特征之外，对于包装合理性的构建也具有不可或缺的作用，只有巧妙地把材料融入设计中去，才能充分发挥材料的独特魅力[33]。好的包装不仅要满足功能性应用，还应具有良好的视觉体验，这对促进销售、提高包装亲和力有很好的效果。材料智能型包装自身所具备的“变化”特点，恰恰为这种图形设计与表现提供了更多的创作形式，可以从以下 3 点进行把握：对产品本身有详细的了解，寻找与产品契合的视觉符号，并利用设计学原理对这种初级的设计形式进行改造；考虑材料在包装中承担的角色，将动态的变化过程融入图形之中，增强用户的视觉体验，如绿叶变成落叶、笑脸变成哭脸等；结合人的心理需求，从包装的趣味性、美观性、艺术性等方面进行综合考虑，设计出符合消费者审美需求的图形符号。

4　结语

我国对材料智能型包装方面的研究相对于发达国家起步较晚，但近年来发展迅速，在食品、药品、日化用品等领域得到了很好的应用。国家对于新型材料发展的支持力度较大，相继出台了一系列国家层面的战略规划，以加快新材料的发展，为新材料在材料智能型包装上的应用不断提供新鲜血液。另外，智能包装技术、纳米技术、印刷电子技术的成熟，极大程度地降低了材料智能型包装实现的难度，对材料智能型包装的研发和普及起到了很好的推动作用。在未来包装发展中，随着新材料技术的日新月异，包装行业的转型升级会不断推进，材料智能型包装将会在食品、药品、日化用品等领域发挥越来越重要的作用。

参考文献：

[1] 许文才，李东立. 智能包装技术的发展与应用[J]. 印刷工业, 2009(4): 11—14.
XU Wen-cai, LI Dong-li. Development and Application of Intelligent Packaging Technology[J]. Printing Industry, 2009(4): 11—14.

[2] 许文才. 智能包装与智能标签[J]. 标签技术, 2017(1): 59—61.
XU Wen-cai. Smart Packaging and Smart Labels[J]. Label Technology, 2017(1): 59—61.

[3] 韩锦平. 复合软包装的发展新动向[J]. 中国包装工业, 2002(8): 4—6.
HAN Jin-ping. New Development Trend of Flexible Composite Packaging[J]. China Packaging Industry, 2002(8): 4—6.

[4] 陈新. 智能包装技术特点研究[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 40—42.
CHEN Xin. Study of the Characteristics of Intelligent Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 40—42.

[5] 马爽. 交互式包装技术的特点及应用[J]. 包装世界, 2005(3): 82—83.
MA Shuang. The Characteristics and Application of Interactive Packaging Technology[J]. Packaging World, 2005(3): 82—83.

[6] 胡兴军，林燕. 智能包装的分类应用及前景[J]. 塑料包装, 2010, 20(2): 55—59.
HU Xing-jun, LIN Yan. The Classifications, Applications and Prospect of the Intelligent Packaging[J]. Printing Industry, 2010, 20(2): 55—59.

[7] 廖雨瑶，陈丹青，李伟，等. 智能包装研究及应用进展[J]. 绿色包装, 2016(2): 39—46.
LIAO Yu-yao, CHEN Dan-qing, LI Wei, et al. Intelligent Packaging Research and Application Progress[J]. Green Packaging, 2016(2): 39—46.

[8] 许文才，李东立，付亚波，等. 智能释放保鲜包装复合膜的研发与应用[J]. 中国印刷与包装研究, 2010(2): 417—421.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo, et al. Development and Application of Intelligent Release Fresh-keeping Composite Packaging Films[J]. China Printing and Packaging Study, 2010(2): 417—421.

[9] 周忠福. 纳米技术与文物保护[C]// 中国文物保护技术协会首届学术年会, 2001.
ZHOU Zhong-fu. Nanotechnology and Cultural Relics Protection[C]// The First Academic Annual Meeting of China Cultural Relics Protection Technology Association, 2001.

[10] 石岩. 药品包装上的防伪识别标志及智能防伪技术[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 1—5.
SHI Yan. Anti-counterfeiting Identification Mark and Intelligent Anti-counterfeiting Technology on Drug Package[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 1—5.

[11] ZHANG C, YIN A X, JIANG R, et al. Time-temperature Indicator for Perishable Products Based on Kinetically Programmable Ag Overgrowth on Au Nanorods[J]. ACS Nano, 2013, 7(5): 4561—4568.

[12] 柯胜海. 智能发光包装设计研究[J]. 装饰, 2016(9): 76—77.
KE Sheng-hai. Research of the Intelligent Light-emitting Packaging Design[J]. Zhuangshi, 2016(9): 76—77.

[13] JEON S J, HAUSER A W, HAYWARD R C. Shape-morphing Materials from Stimuli-responsive Hydrogel Hybrids[J]. Accounts of Chemical Research, 2017, 50(2): 161—169.

[14] ZHUANG J, GORDON M R, VENTURA J, et al. Multi-stimuli Responsive Macromolecules and Their Assemblies[J]. Chemical Society Reviews, 2013, 42(17): 7421—7435.

[15] DAHLAN N A, PUSHPAMALAR J, VEERAMACHINENI A K, et al. Smart Hydrogel of Carboxymethyl Cellulose Grafted Carboxymethyl Polyvinyl Alcohol and Properties Studied for Future Material Applications[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2018, 26(5): 2061—2071.

[16] LÖWENBERG C, BALK M, WISCHKE C, et al. Shape-memory Hydrogels: Evolution of Structural Principles to Enable Shape Switching of Hydrophilic Polymer Networks[J]. Accounts of Chemical Research, 2017, 50(4): 723—732.

[17] TAYLOR D L. Self‐healing Hydrogels[J]. Advanced Materials, 2016, 28(41): 9060—9093.

[18] MONTGOMERY M, AHADIAN S, HUYER L D, et al. Flexible Shape-memory Scaffold for Minimally Invasive Delivery of Functional Tissues[J]. Nature Materials, 2017, 16(10): 1038.

[19] QIU M, WANG D, LIANG W, et al. Novel Concept of the Smart NIR-light-controlled Drug Release of Black Phosphorus Nanostructure for Cancer Therapy[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(3): 501—506.

[20] LI L, BAI Y, LI L, et al. A Superhydrophobic Smart Coating for Flexible and Wearable Sensing Electronics[J]. Advanced Materials, 2017, 29(43): 517.

[21] HE X, AIZENBERG M, KUKSENOK O, et al. Synthetic Homeostatic Materials with Chemo-mechano-chemical Self-regulation[J]. Nature, 2012, 487(6): 214.

[22] KUMACHEVA E. Hydrogels: The Catalytic Curtsey[J]. Nature Materials, 2012, 11(8): 665.

[23] WHITESIDES G M. Soft Robotics[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2018, 57(16): 4258—4273.

[24] MISHRA S K, ZOU B, CHIANG K S. Wide-range pH Sensor Based on a Smart-hydrogel-coated Long-period Fiber Grating[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2017, 23(2): 284—288.

[25] LU W, LI H, HUO B, et al. Full-color Mechanical Sensor Based on Elastic Nanocomposite Hydrogels Encapsulated Three-dimensional Colloidal Arrays[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2016, 234: 527—533.

[26] RIVERO R E, MOLINA M A, RIVAROLA C R, et al. Pressure and Microwave Sensors/Actuators Based on Smart Hydrogel/Conductive Polymer Nanocomposite[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2014, 190: 270—278.

[27] PUSSAK D, PONADER D, MOSCA S, et al. Mechanical Carbohydrate Sensors Based on Soft Hydrogel Particles[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2013, 52(23): 6084—6087.

[28] PASCALL M A, HAN J H. Packaging for Nonthermal Processing of Food[M]. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, 2018.

[29] YILDIRIM S, RÖCKER B, PETTERSEN M K, et al. Active Packaging Applications for Food[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(1): 165—199.

[30] 姜尚洁, 黄俊彦. 现代食品包装新技术——活性包装[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 150—154.
JIANG Shang-jie, HUANG Jun-yan. New Technology of Modern Food Packaging, Active Packaging[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 150—154.

[31] 陈花玲, 罗斌, 朱子才, 等. 4D 打印: 智能材料与结构增材制造技术研究进展[J]. 西安交通大学学报, 2018, 52(2): 1—12.
CHEN Hua-ling, LUO Bin, ZHU Zi-cai, et al. 4D Printing: Progress of Smart in Additive Manufacturing Technology Materials and Structure[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2018, 52(2): 1—12.

[32] 许飞, 凌晓飞, 许海燕, 等. 自修复智能涂料研究进展: 概念、作用机理及应用[J]. 中国涂料, 2014, 29(8): 55—58.
XU Fei, LING Xiao-fei, XU Hai-yan, et al. Review of Self-healing Smart Coatings: Definition, Self-healing Mechanism and Application[J]. China Coatings, 2014, 29(8): 55—58.

[33] 朱和平. 现代包装设计理论及应用研究[M]. 北京: 人民出版社, 2008.
ZHU He-ping. Theory and Application of Modern Packaging Design[M]. Beijing: People's Press, 2008.