

# 智能高分子材料在建筑工程中的应用

焦爱新

(黄冈职业技术学院,湖北黄冈 438002)

**摘要:** 综述了智能高分子材料在建筑工程中的应用。自修复型高分子材料可大大降低建筑工程的生产成本,同时提高建筑物的安全性和环保性;导电高分子材料可实现光能与电能、热能与电能的相互转化,为建筑物提供能源;环境敏感型高分子材料则会根据环境变化改变自身性能,从而起到美化建筑物、保护居民隐私和保温等作用。智能高分子材料应用于建筑工程中可以在很大程度上提高建筑物的智能化和人性化,改善居民的生活环境。

**关键词:** 智能高分子材料;自修复高分子材料;导电高分子材料;环境敏感型高分子材料;建筑工程

**中图分类号:** O63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)03-0126-04

## Application of Intelligent Polymer Materials in Construction Engineering

Jiao Aixin

(Huanggang Polytechnic College, Huanggang 438002, China)

**Abstract :** The application of intelligent polymer materials in construction engineering was summarized. The self-healing polymer materials were environmental friendly and could reduce the cost in construction and improve the safety. The conversion of light energy and electric energy, thermal energy and electrical energy could be realized by conductive polymer material. Environment sensitive polymer material could change its performance according to the change of the environment, and showed excellent properties on protection of privacy and improved heat preservation effect. When the intelligent polymer materials were used in building engineering, the intelligent and humane of buildings as well as the living environment could be improved greatly.

**Keywords :** intelligent polymer material ; self-healing polymer material ; conductive polymer material ; environment sensitive polymer material ; construction engineering

高分子材料结构多样,并且不同的分子链结构往往会赋予材料本身多重功能性<sup>[1-3]</sup>。而且,高分子材料可以与其它无机或有机填料很好地互容,进而制备出功能化的高分子复合材料<sup>[4-6]</sup>。常见的功能化高分子材料不仅具有较低的生产成本,而且还可以从力学性能、光学性能、介电性能、热学性能、安全性能等多方面满足建筑工程的施工要求,并从外形、色彩、材质、功能等角度改善人类的居住环境和建筑物的智能化程度<sup>[7-8]</sup>。例如导电高分子材料可以为建筑物提供所需能源;自修复高分子材料可以提高建筑施工的安全性,并降低生产成本;光致变色、热致发光等材料可根据环境变化为人类提供生活便利等<sup>[9-10]</sup>。

近年来,科技的进步也推进了人们对建筑物智能化和人性化的需求程度,将智能化的高分子材料应用于建筑工程是未来建筑行业发展的必经之路。笔者从自修复高分子材料、导电高分子材料和环境敏感型高分子材料等方面介绍了智能化高分子材料的发展现状,并论述其在建筑工程中的应用前景。

### 1 自修复型高分子材料

自修复型高分子材料是指材料在受到损伤后可以通过

材料自身的作用完成修复,自修复材料囊括了热固性树脂、热塑性树脂、弹性体、橡胶等各类高分子材料,可满足建筑工程多方面的应用。将自修复型高分子材料应用于建筑工程,不仅可以提高材料的使用寿命和建筑施工的成本,而且还大大提高了建筑材料的环境友好性和安全性。

最早报道自修复型高分子材料是微胶囊型自修复材料,2001年S. R. White等<sup>[11]</sup>制备了以环氧树脂为基体,在其中嵌入含有双环戊二烯的微胶囊材料,并在环氧树脂基体中掺杂了对水氧不敏感的Grubbs一代催化剂。当材料受到外力损伤后,微胶囊破裂,其中的环戊二烯释放到环氧树脂基体内并在Grubbs一代催化剂的作用下聚合交联,从而填补材料裂痕。当材料完成修复后,其力学性能可恢复到原有的67%。

上述微胶囊型自修复材料属于不可逆修复,也就是说当修复完成后,在同一位置再受到损伤,材料则无法提供环

联系人:焦爱新,本科,讲师、工程师,研究方向为建筑装饰工程技术

收稿日期:2016-12-13

戊二烯予以修复。为了提高高分子材料自修复的可逆性, P. Cordier 等<sup>[12]</sup>在2008年制备出了一种二元酸和三元酸的低聚物,而材料本体中氢键的存在赋予了其弹性体的特性。作者在本体中掺杂十二烷烃来降低其玻璃化转变温度,当十二烷烃质量分数为11%时,材料的断裂伸长率高达500%。这种热塑性弹性体在受到人为破坏后,由于氢键的相互作用室温下便可以较快实现自我修复,修复15 min后,断裂伸长率可达200%;而修复3 h后材料的力学性能基本可以恢复到原有水平。F. Herbst 等<sup>[13]</sup>于2012年也制备出了一种利用氢键作用实现自修复的高分子材料,作者在聚异丁烯的链末端引入官能团,当材料受到损伤后,官能团制件的氢键作用可使材料实现自修复。实验结果表明,当修复时间达到2 d以上时,被损伤材料的裂痕基本消失,力学性能恢复到原有水平。这种利用氢键作用进行自修复的过程是可逆的,也就是说当材料多次在同一部位受到损伤,依旧可以通过氢键作用进行自我修复。

高分子材料基体中利用超分子作用进行自修复的过程也是一种可逆的修复过程, Chen Yulin 等<sup>[14]</sup>于2012年制备出了一种支化的聚丙烯酸酯,支链为带有酰胺基团的柔性侧链。由于柔性链段的作用,酰胺基团具有良好的动态性,而且在聚合物基体中存在着数以千计的酰胺基团,这些大量的动态氢键作用,可以在短时间内完成材料的自我修复。随后 J. Hentschel 等<sup>[15]</sup>又通过可逆加成-断裂链转移聚合方法制备了苯乙烯-丙烯酸丁酯嵌段共聚物,并在链末端引入了2-脲-4-(1-氢)嘧啶酮基团(UPy)。利用末端基团UPy的超分子作用,在45℃下受损材料修复后拉伸强度可恢复到原有的90%以上,断裂伸长率可恢复到原有的75%以上。配体-金属的配合物可逆自修复体系是从根本上利用超分子作用进行自修复的。M. Burnworth 等<sup>[16]</sup>于2011年在乙烯和丁烯低聚物的末端引入含有杂原子的配体,然后利用配体与金属离子的配位作用制备出超分子聚合物。当材料受到损伤后,先利用紫外线辐射使金属和配体解离,从而将超分子聚合物还原成低聚物,使材料的裂痕均一化,然后撤掉紫外线辐射后,金属和配体重新配位,形成新的超分子聚合物。这种金属-配体的自修复体系的修复过程非常快,几分钟内便可完成修复。另外一种典型的超分子作用是离子作用, D. Mozhdchi 等<sup>[17]</sup>制备了一种侧链含有咪唑基团的无规聚苯乙烯材料,并在材料本体中添加金属锌盐。当材料受到损伤后,动态的咪唑基团和锌离子之间的超分子作用可帮助材料实现自修复,并且整个修复过程在常温下便可完成,3 h内材料的力学性能可恢复到原有性能的100%。

## 2 导电高分子材料

在建筑工程中应用最广泛的智能高分子材料之一便是

导电高分子材料,这类材料能实现光能和电能、热能和电能的相互转化。其中,实现光能和电能相互转化的导电高分子材料常用于能源材料和发光材料,如聚合物发光二极管(PLED)和聚合物太阳能电池;能实现热能和电能的相互转化的材料则常用于室内或墙体的保温材料。

与常见无机发光二极管(LED)和有机小分子发光二极管(OLED)相比, PLED的成本较低、对环境污染较小,而且随着喷墨打印技术的发展, PLED的制备、加工变得更加容易。PLED是一种以高分子材料为基体的材料,具有较突出的耐化学腐蚀性和耐候性,并且借助高分子材料优异的柔性和加工性能,可以制备出形状各异、美观大方的发光家具、发光地板、发光墙体等。聚合物制备的PLED器件具有较高的发光效率<sup>[18-19]</sup>,且发光颜色和光强可以较容易地通过改变聚合物结构来进行调节,在建筑工程领域的应用前景较广泛。另外,可应用于制备PLED的聚合物材料种类繁多,如聚苯预聚体、聚苯胺、聚芴、聚噻吩等共轭高分子材料;以高分子骨架为配体的稀土金属配合物等。

聚合物太阳能电池不仅实现了光能向电能的转化,向建筑物提供动力和能量,而且该领域的研究还打破了人们对传统太阳能电池器件的固有看法。与传统的硅太阳能电池相比,聚合物太阳能电池具有更低的成本,且对环境的污染程度更低,尤其是建立在具有优异柔性和加工性能的高分子材料基础上,结合现在的印刷技术,使得聚合物太阳能电池在建筑工程中应用时,施工操作过程更为简便。另外,聚合物太阳能电池可以制备出满足人们需求的各种形状的器件,优化了人们的居住环境<sup>[20-23]</sup>。

聚对苯乙炔是一种导电高分子材料,在聚合物太阳能电池中是一种性能良好的电子给体,该材料的发现及其光电性能的研究是聚合物太阳能电池发展史上里程碑式的科研成果<sup>[24]</sup>。经过近30年的研究,在以富勒烯为电子受体时,可组装出光电转化效率高达4%~5%的聚合物太阳能电池器件<sup>[25]</sup>。但是,与传统硅太阳能电池相比,聚合物太阳能电池的光电转化效率依然较低,为了进一步优化聚合物太阳能电池的性能,实验室和工业通常从两个方面进行研究。其一,是寻找性能更为优异的导电聚合物。低能带间隙的导电高分子材料通常是应用潜力比较大的电子给体材料,这类材料主要有聚噻吩、聚芴、吡咯-吡啶共聚物以及这些聚合物的衍生物。电子受体材料一般为共轭导电高分子材料,一方面要求受体材料和给体材料有一定的相容性,另一方面又需要两者之间存在一定的相分离,从而产生有利于提高光电性能的异质结构。常见的电子受体材料含有对苯撑结构的杂环共聚物以及如苯并咪唑-苯并菲咯啉共聚物的梯形共聚物,这些聚合物的平面结构使电子受体材料具有较好的导电

性能和电子传导率,进而提高聚合物太阳能电池光电转化效率。另外,对器件的结构优化也是提高聚合物太阳能电池光电转化率的又一有效途径。2009年,美国 Solarme 能源公司通过优化器件结构制备出了光电转化率高达 7.9% 的聚合物太阳能电池器件,并且生产成本仅为传统硅太阳能电池的 80% 左右<sup>[25]</sup>。同年, Dou Letian 等<sup>[26]</sup>在实验室中将可吸收不同波段光能的聚合物太阳能电池器件进行串联,又一次提高了聚合物太阳能电池的光电转化率(8.62%)。2010年,日本的 Sumitomo Chemical 公司将可吸收红外光波段的导电聚合物材料集成这种串联型的器件,制备出了光电转化率达 10.6% 的聚合物太阳能电池。而只要太阳能电池的光电转化率高于 7.0% 便可应用于日常生活和生产中,这说明聚合物太阳能电池已足够为建筑工程领域提供动力支持。

### 3 环境敏感型高分子材料

环境敏感型高分子材料也是一种智能高分子材料,它们可以通过对环境改变的“感应”,来完成自身性能的变化。聚丙烯酰胺类材料是一种热致变色材料,这类材料具有两种不同的相结构,分别是高密度范德华力和高密度氢键结构。随着温度变化,这两种相结构会发生互相转换。材料会在较高的温度下呈现浅色,而较低的温度下呈深色。将这种材料应用于建筑外墙或制作窗户,在夏季或温度较高的白天则可以减少建筑物对热量的吸收,在冬季或温度较低的夜晚则提高建筑对热量的吸收程度,从而达到建筑物本身对热量和温度的智能调节的目的<sup>[27]</sup>。聚 *N*-异丙基丙烯酰胺便是一种热致变色的环境敏感型高分子材料,其相转变温度在人类较为舒适的体感温度范围内,约为 31.5℃。当温度低于 31.5℃ 时,其聚合物链内部氢键作用密度大,这时材料外观为黑色;当温度高于 31.5℃ 时,聚合物内部氢键作用减小,大部分转变为范德华力,这时材料外观为白色。当将这种材料用于建筑外墙涂料时,在较低温度下显黑色,加速热量吸收,提高建筑内部温度(2℃左右);而在较高温度下显白色,反射热量来降低建筑内部温度(1℃左右),大大缓解了建筑供暖和制冷的能耗<sup>[27]</sup>。另外,含有偶氮基团、二芳基乙烯基团、丙烯酰胺基团和螺环结构的高分子材料可根据光强来改变自身的颜色,也是一种环境敏感的智能高分子材料<sup>[28-30]</sup>。例如,聚二苯基乙烯对紫外光的强度比较敏感,该材料可以通过改变自身的颜色来检测紫外光强度并对其进行防护,可用于建筑玻璃表层涂膜,从而实现对紫外线的防护;聚 *N*-异丙基丙烯酰胺根据可见光的强度来改变自身的颜色,将其用于玻璃涂膜时可作为智能窗帘。另外,将光致变色高分子材料用于建筑外墙,可以实现建筑外墙的图案在一天之内变化,提高建筑物的美观和改善居民的居住环境。其它常见的环境敏感型高分子结构还有对酸碱性、湿度或某些特定物质的浓

度做出自身性能改变的材料,如聚丁二炔在不同湿度下可发生凝聚态和分散态的转化,这两种聚集态对光的吸收波段不同,可发生显色和隐形之间的转变。这种材料也可以作为建筑外墙涂料或室内涂料,当空气湿度发生变化时,预先设计好的图案便会在显现<sup>[31]</sup>。

### 4 其它高分子材料

除了上述介绍的高分子材料外,还有其它很多智能高分子材料可应用于建筑工程中,如水凝胶、气凝胶、液晶材料、相变材料等<sup>[32-35]</sup>。例如,石蜡与聚烯烃材料共混所制备的相变材料,可通过温度的变化来实现自身相转变过程,从而起到保温的作用。周柱武<sup>[34]</sup>制备了聚丙烯纤维/石蜡复合材料,当聚丙烯基体中含有质量分数为 58.7% 的石蜡时,材料的热导率降低至 0.068 W/(m·K),相变储能高达 3.12 W/kg。苏磊静<sup>[35]</sup>分别在聚乙烯、乙烯-辛烯共聚物、乙烯-乙酸乙烯酯基体中添加了石蜡材料,所制备的相变材料的相变温度为 20~60℃,相变储能高达 116~145 J/g。

### 5 结论

智能高分子材料种类繁多,包括自修复高分子材料、导电高分子材料、环境敏感型高分子材料等。其中,自修复高分子材料在受到损伤后实现自我修复,提高建筑工程施工的安全性和环保性,延长使用寿命,降低生产成本;导电高分子材料可以实现电能与光能、热能的相互转换,为建筑物提供能源、热量或照明;环境敏感型高分子材料则会根据环境改变自身性能,以满足居民对建筑物的多功能性要求。智能高分子材料不仅可以提高建筑物的智能化和人性化,还可以改善建筑的美观程度,改善居民的物质和生活环境,具有较为广泛的应用前景。

### 参考文献

- [1] 郭晓飞. 大科技, 2016(3):294.  
Guo Xiaofei. Super Science, 2016(3):294.
- [2] 武帅,等. 化工设计通讯, 2016, 42(4):82.  
Wu Shuai, et al. Chemical Engineering Design Communications, 2016, 42(4):82.
- [3] 王市伟. 化工管理, 2016, 25:123.  
Wang Shiwei. Chemical Engineering Management, 2016, 25:123.
- [4] 赵帅国,等. 现代塑料加工应用, 2016, 28(1):60-63.  
Zhao Shuaiguo, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2016, 28(1):60-63.
- [5] 李洋,等. 合成橡胶工业, 2016, 39(2):125-128.  
Li Yang, et al. China Synthetic Rubber Industry, 2016, 39(2):125-128.
- [6] 赵浩然,等. 高分子材料科学与工程, 2016(3):184-190.  
Zhao Haoran, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2016(3):184-190.
- [7] 曹志菲. 科技尚品, 2016(7):40.  
Cao Zhifei. Premiere, 2016(7):40.

- [8] 吕洋,等. 科技视界,2013,32:198.  
Lyu Yang, et al. Science & Technology Vision,2013,32:198.
- [9] 汪华莉. 合成树脂及塑料,2016,33(3):89-92.  
Wang Huali. China Synthetic Resin and Plastics,2016,33(3):89-92.
- [10] 杨勇. 江西建材,2016,19:6-7.  
Yang Yong. Jiangxi Building Materials,2016,19:6-7.
- [11] White S R, et al. Nature,2001,409:794-797.
- [12] Cordier P, et al. Nature,2008,451:977-980.
- [13] Herbst F, et al. Polym Chem,2012,3:3 084-3 092.
- [14] Chen Yulin. Nat Chem,2012,4:467-472.
- [15] Hentschel J, et al. Angew Chem Int Ed,2012,51:10 561-10 565.
- [16] Burnworth M, et al. Nature,2011,472:334-337.
- [17] Mozhdghi D, et al. J Am Chem Soc,2014,136:16 128-16 131.
- [18] Grimsdale A C, et al. Chem Rev,2009,109 (3):897-1 091.
- [19] 丁然. 有机晶体电致发光器件制备与特性分析 [D]. 长春: 吉林大学,2015.  
Ding Ran. Fabrication and characteristics of organic light-emitting devices based on organic semiconductor crystals[D]. Changchun:Jilin University,2015.
- [20] Zhang Hao, et al. Polym Int,2015,64:957-962.
- [21] 曾望东,等. 广州化工,2010,38(7):43-46.  
Zeng Wangdong, et al. Guangzhou Chemical Industry,2010,38(7):43-46.
- [22] 李永玺,等. 功能高分子学报,2014,27(4):432-452.  
Li Yongxi, et al. Journal of Functional Polymers,2014,27(4):432-452.
- [23] 李永舫. 高分子通报,2011(10):33-49.  
Li Yongfang. Polymer Bulletin,2011(10):33-49.
- [24] Burroughes J H, et al. Nature,1990,347:539-541.
- [25] 杨正龙,等. 化学进展,2011(12):2 607-2 616.  
Yang Zhenglong, et al. Progress in Chemistry,2011(12):2 607-2 616.
- [26] Dou Letian, et al. Nature Photonics,2012,6:180-185.
- [27] 马一平,等. 建筑材料学报,2001,4(3):211-218.  
Ma Yiping, et al. Chinese Journal of Building Materials,2001,4(3):211-218.
- [28] 陈振,等. 高分子通报,2011(4):156-163.  
Chen Zhen, et al. Chinese Polymer Bulletin,2011(4):156-163.
- [29] 韩晶,等. 材料导报,2009,23(15):44-48.  
Han Jing, et al. Materials Review,2009,23(15):44-48.
- [30] 彭雪峰,等. 广州化工,2016(4):4-6.  
Peng Xuefeng, et al. Guangzhou Chemical Industry,2016(4):4-6.
- [31] Lee J, et al. Nature Communication,2014,5(4):3 736.
- [32] 王市伟. 化工管理,2016,25:123.  
Wang Shiwei. Chemical Engineering Management,2016,25:123.
- [33] 罗超云,等. 化工新型材料,2010,38(7):100-102.  
Luo Chaoyun, et al. New Chemical Materials,2010,38(7):100-102.
- [34] 周柱武. 新型相变保温材料的研制与性能 [D]. 合肥: 合肥工业大学,2014.  
Zhou Zhuwu. Preparation and properties of new phase change thermal insulation material[D]. Hefei:Hefei University of Technology,2014.
- [35] 苏磊静. 石蜡复合定形相变储能材料的结构性能研究 [D]. 北京: 北京化工大学,2013.  
Su Leijing. Research on structure and performance of paraffin composite shape-stabilized phase change energy storage materials [D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology,2013.

#### (上接 101 页)

- Qiao Kun, Zhu Bo, Gao Xueping. Influence of artificial accelerating UV aging on carbon fiber reinforced epoxy composite[J]. Functional materials,2012,43(21):47-51.
- [6] Karbhar V M, Zhang S. E-glass / vinylester composites in aqueous environments-I:experimental results[J]. Applied Composite Materials,2003,10(1):19-48.
- [7] Tsai Y I, Bosze E J, Barjasteh E, et al. Influence of hygrothermal environment on thermal and mechanical properties of carbon fiber / fiberglass hybrid composites[J]. Composites Science and Technology,2009,69(3-4):432-437.
- [8] Mercier J, Bunsell A, Castaing P, et al. Characterisation and modeling of aging of composites[J]. Composites Part A:Applied Science and Manufacturing,2008,39(2):428-438.
- [9] Visco A M, Campo N, Cianciafara P. Comparison of seawater absorption properties of thermoset resins based composites[J]. Composites Part A:Applied Science and Manufacturing,2011,42(2):123-130.
- [10] Wang Yunying, Meng Jiangyan, Zhao Qing, et al. Accelerated aging tests for evaluations of durability performance of glass-fiber reinforcement polyester composites[J]. Journal of Materials Science and Technology,2010,26(6):572-576.
- [11] Blian W. The effect of long-term ultraviolet irradiation on polymer matrix composites[J]. Polymer Composites,1998,19(4):440-445.
- [12] Ricky S C W, Zhu Honggang, Christopher K Y L, et al. Environmental degradation of epoxy-organoclay nano composites due to UV exposure:Part II residual mechanical properties[J]. Composites Science and Technology,2008,68(9):2 149-2 155.
- [13] Ricky S C W, Chen Yanghai, Zhu Honggang, et al. Environmental degradation of epoxy-organoclay nano composites due to UV exposure:photo-degradation[J]. Composites Science and Technology,2007,67(15-16):3 448-3 456.
- [14] Awaja F, Nguyen M T, Zhang S, et al. The investigation of inner structural damage of UV and heat degraded polymer composites using X-ray micro CT[J]. Composites:A,2011,42(4):408-418.
- [15] Awaja F, Pigram P J. Surface molecular characterization of different epoxy resin composites subjected to UV accelerated degradation using XPS and ToF-SIMS[J]. Polymer Degradation and Stability,2009,94(4):651-658.