

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.12.027

相变储热微胶囊的研究进展

李清璠¹, 洪卫¹, 潘圣阳¹, 王梁元²

(1. 华东理工大学材料学院, 上海 200237; 2. 华东理工大学化工学院, 上海 200237)

摘要: 综述了储热相变微胶囊制备方法的研究进展, 重点从原位聚合、悬浮聚合及界面聚合等方面进行了论述。同时介绍了储热相变微胶囊的应用领域以及目前存在的问题和应对方法。

关键词: 相变储热微胶囊; 制备方法; 应用

中图分类号: TB34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)12-0118-05

Research Development of Micro-encapsulated Phase Change Materials

Li Qingfan¹, Hong Wei¹, Pan Shengyang¹, Wang Liangyuan²

(1. School of Materials Science and Engineering of East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. School of Chemical Engineering of East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The research developments for preparation methods of micro-encapsulated phase change materials were reviewed, which was expounded mainly from the aspects of in-situ polymerization, suspension polymerization and interfacial polymerization. The applications, current existing problems and corresponding methods to overcome these problems of the micro-encapsulated phase change materials were also introduced.

Keywords: micro-encapsulated phase change material; preparation method; application

微胶囊是一种用成膜材料包覆固体或者小液滴的微小粒子, 粒径一般为 $1 \sim 300 \mu\text{m}$ 。将微胶囊技术应用于相变材料领域可制备能够储热放能的调温微胶囊, 称之为相变储热微胶囊。其结构共分为内外两部分, 内部为被成膜材料包覆的相变材料, 称为囊芯; 外部为成膜材料形成的包覆膜, 称为囊壁。用于囊芯的相变材料在吸收和释放过程中可以释放大量相变潜热。目前可在室温下 ($18 \sim 27^\circ\text{C}$) 使用的相变材料分为脂肪族烃类 (液态石蜡、正十六烷、正十八烷、正二十烷等)、醇类 (十二醇、十四醇、环己醇、叔丁醇等)、酯类 (硬脂酸丁酯、硬脂酸辛酯等)、脂肪酸类 (辛酸、癸酸、十二烷酸等)、无机水合盐类 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 等)。囊壁通常为聚合物材料, 可选用的囊壁有聚乙烯、聚苯乙烯、聚脲、聚酰胺、环氧树脂、脲醛树脂、三聚氰胺-甲醛树脂等。此外, 有些微胶囊相变材料中还含有成核剂等其它助剂, 用来改善相变材料的性能^[1]。囊芯材料一般具有较大的相变潜热, 性能稳定, 具有无毒、不与囊壁反应及互溶等特点。微胶囊的制备方法主要分为原位聚合法、界面聚合法、悬浮聚合法、乳液聚合法、喷雾干燥法等。笔者主要综述了目前相变储热微胶囊的制备方法、前景展望以及局限性克服。

1 相变储热微胶囊的制备方法

1.1 原位聚合

原位聚合方法是目前制备相变储热微胶囊使用较多的

方法。原位聚合法中合成囊壁的单体和催化剂全部位于囊芯的外部或内部, 而且要求单体可溶、生成的聚合物不可溶, 聚合物沉积在囊芯表面并包覆形成微胶囊。在发生聚合反应前, 囊芯材料必须被分散成细粒, 参与聚合囊壁的物质可以是水溶性或油溶性单体, 可以是几种单体的混合物, 也可以是水溶性低分子量聚合物或预聚物^[2]。关键是要合理的控制反应的各个影响因素, 例如加入单体的时间, 聚合温度控制, 搅拌速率, 乳化速度等。

Wang Xuebao 等^[3] 用原位聚合的方法制备了以丙烯腈和丙烯酸乙酯的共聚物为囊壁、异丁烷为囊芯的相变储热微胶囊, 其相变潜热较大。Song Xiaoqi 等^[4] 以十六烷为囊芯, 分别以脲醛树脂和三聚氰胺改性的脲醛树脂为囊壁, 以原位聚合的方式合成相变储热微胶囊, 经过检测对比, 以三聚氰胺改性的脲醛树脂为囊壁的微胶囊有较小的粒径和较低微胶囊化效率。Wang Kunchan 等^[5] 通过原位聚合和化学还原法制备了纳米银颗粒包裹囊芯的相变微胶囊, 其中三聚氰胺-甲醛树脂为囊壁, 相变石蜡为囊芯, 制备的微胶囊具有较好的热稳定性、抗菌性, 以及较低的红外线发射率。邢锋等^[6] 以硬脂酸丁酯为囊芯、三聚氰胺-甲醛树脂为囊壁合成相变储热微胶囊, 其与建筑材料可以形成良好界面, 在加

联系人: 李清璠, 本科, 主要研究方向为高分子聚合物的合成

收稿日期: 2014-10-08

入水泥、涂料后仍分布均匀,不破碎。施云舟等^[7]采用原位聚合法,结合超声乳化工艺,制备了以薄荷脑为囊芯的相变储热微胶囊。具体制备方法为:将三聚氰胺和甲醛溶液按质量比1:2配制成一定浓度的混合液,并用碳酸钠溶液调节pH值至8~9,水浴加热,得无色澄清预聚物,再将一定量的薄荷脑超声乳化,进行一系列的条件控制得到微胶囊。单其艳等^[8]采用原位聚合方法制备了以脲醛树脂为囊壁、石蜡为囊芯的微胶囊,其粒径为40 μm ,相变潜热为29.45 J/g,可用于储能功能纺织品和储能建筑材料中。包艳华^[9]以密胺树脂为囊壁,廉价易得的十二酸相变材料为囊芯,OP-10为乳化剂,采用将囊壁分两步升温固化的方法合成了芯壁质量比为1:1的微胶囊。汪海平等^[10]以甲基丙烯酸丁酯为囊芯,密胺树脂为囊壁,制备了自修复的微胶囊,微胶囊的平均粒径和包封率可以通过选择不同的工艺控制,平均粒径是40~80 μm ,包封率最高约80%。徐哲等^[11]用原位聚合法制备以液体石蜡为囊芯、密胺树脂为囊壁的相变微胶囊,考察了乳化工艺、预聚时间、囊壁含量和聚合反应时间对微胶囊质量的影响,优化了制备工艺。

1.2 悬浮聚合

悬浮聚合法是将单体、囊芯、引发剂等相互溶解在一起作为油相,再将油相缓慢倒入含有分散剂、乳化剂等的水相中,之后加热,引发单体聚合为微胶囊。

张艳辉等^[12]采用悬浮聚合的方法,以过氧化二苯甲酰(BPO)和*N,N*-二甲基苯胺(DMA)为引发剂,在室温下制备了以乙二醇二硬脂酸酯为囊芯、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)为囊壁的相变储热微胶囊。当BPO质量分数为1%,DMA质量分数为0.2%时,微胶囊呈均匀球形,相变潜热最大达85.34 J/g,热稳定性较好。胡剑青等^[13]用悬浮聚合法制得[聚(丙烯酸 AN)-甲基丙烯酸甲酯(MMA)-丙烯酸丁酯]为囊壁,对甲苯磺酰肼(TSH)为囊芯的热胀性微胶囊,发现加入质量分数2%的此微胶囊的涂层热失重起始温度提高20℃以上。周长原等^[14]以MAA,丙烯酸(AA)和石蜡为原料用悬浮聚合法制备了石蜡为囊芯、P(MMA-co-AA)为囊壁的相变储热微胶囊。该微胶囊呈球形,相变温度27.21℃,相变潜热为81.58 J/g,囊芯质量分数为72.32%,囊壁中AA含量过高不易形成微胶囊。范斌等^[15]以AN、二乙烯苯(DVB)和MMA为囊壁,TSH为囊芯制备了相变储热微胶囊。当AN/MMA/丙烯酸异辛酯/DVB质量比为70/20/9/1时,制备的微胶囊在150℃具有良好的热膨胀性和热稳定性。由明^[16]将悬浮剂聚乙烯醇(PVA),聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶解在蒸馏水中制成水相,将一定量苯乙烯(St),DVB,偶氮二异丁腈及正十八烷互溶制成油相,采用两相悬浮聚合制备了以St-DVB为囊壁的正十八烷微胶囊,并将其

置于聚氨酯发泡体系中,经检测,体系中两者相容性良好,微胶囊在升、降温过程中有吸放热现象,使体系具有储能放能的功能。黄全国等^[17]以聚苯乙烯为囊壁、相变石蜡为囊芯,采用悬浮聚合的方法制备了相变储热微胶囊,当石蜡质量分数为20%~50%时,囊壁对囊芯的保护效果良好,相变潜热为92.4 J/g,具有良好的储能效果

1.3 界面聚合

界面聚合是将两种带有不同活性基团的单体或聚合物分别溶于两种互不相溶的溶剂中。当一种溶液分散到另一种溶液中时,这两种不相溶的液相在界面处或接近界面处进行聚合反应^[18]。它是制备疏水性固体囊芯微胶囊的主要制备方法。

邵捷等^[19]用 CoCl_2 为囊芯,PVA为囊壁,用界面聚合的方法制备了可逆热敏示温微胶囊,结果表明当乳化剂司盘80和吐温80的总质量分数为5%、水相和油相体积比为0.2、搅拌速度为1200 r/min、内乳液采用逐步滴入的方式加入外水相时,制备的微胶囊粒径均一,平均粒径为12 μm ,分散性良好。赫丽娜等^[20]以十六烷为囊芯,PVA为乳化剂,异佛尔酮二异氰酸酯和水直接反应生成的聚脲为囊壁,用界面聚合的方法制备了微胶囊,其表面光滑,形貌规整,且粒径分布较窄。聚脲的包覆对微胶囊的相变行为影响较小,微胶囊具有稳定的热性能,囊芯材料的质量分数可以达到70%。尚建丽等^[21]用相变石蜡作为囊芯,聚脲和聚氨酯为囊壁,采用界面聚合的方法制备了单层和双层囊壁微胶囊相变材料,发现双层囊壁微胶囊在合成过程中反应充分,产率较高,相变温度为19.02℃,且保持了较高的相变潜热(79.9 J/g),较适用于建筑领域。王静等^[22]以硬脂酸丁酯为囊芯,吐温80,司盘80为乳化分散剂,以单体2,4-甲苯二异氰酸酯(TDI)和1,6-己二胺反应的聚合物为囊壁,采用界面聚合法制备微胶囊,根据设计的 L_93^4 正交试验以包封率为优化目标得到了最佳工艺条件。制备的微胶囊的相变温度为20.1℃,相变潜热为70.5 J/g。于海飞等^[23]以TDI和哌嗪为单体,以界面聚合方法制备石蜡为囊芯的微胶囊。结果表明在水相中油酸及氢氧化钠质量分数分别为1%和0.5%,皂化时间为5 s,搅拌速率为1000 r/min的条件下制备的微胶囊粒径为4.1 μm ,具有良好的蓄热调温功能,并且采用瞬间乳化的制备方法制备的微胶囊在粒径分布和平均粒径方面优于采用普通乳化方法制备的微胶囊。周艳思等^[24]以相变石蜡为囊芯,St-马来酸酐共聚物(SMA)为乳化剂,用界面聚合的方法制备双层蓄热保温微胶囊。其外壳层为TDI和二乙烯三胺反应生成的聚氨酯,内壳层为TDI和聚乙二醇1000反应生成的聚脲,制备的微胶囊相变温度为31.16℃,相变潜热为82.6683 J/g,且热稳定性较优。

1.4 其它聚合方法

除了以上3种常见的聚合方法以外,还有乳液聚合法和喷雾干燥聚合法等。单晓辉等^[25]以相变物质正十八烷为囊芯,St-甲基丙烯酸共聚物为囊壁,十二烷基硫酸钠作乳化剂,用乳液聚合的方法制备了相变微胶囊。制备的微胶囊相变焓为137.5 J/g,其表面光滑,粒径为6 μm 左右,使用温度在180℃以下。郝聪林^[26]以有机相变材料石蜡为囊芯,用喷雾干燥工艺,研究了明胶、大豆分离蛋白及非天然材料聚丙烯酸树酯为主要体系的两类囊壁对石蜡的包封效果。结果表明,以明胶为主要体系的囊壁对石蜡的包封效果要好于大豆蛋白体系,明胶包覆石蜡体系的最优制备条件为:明胶和麦芽糊精质量比为1:3、芯壁质量比为1:2、固形物质量分数为25%,由此制备的微胶囊包埋率和包埋度分别达70%和20%以上。聚丙烯酸树酯包覆石蜡体系的最优芯壁质量比为1:2,制得的微胶囊包埋率和包埋度分别为60%和13%左右,且外观良好。

2 相变储热微胶囊的应用

2.1 在建筑领域的应用

目前,相变储热微胶囊的研究在国外较为领先,随着微胶囊的深入研究以及快速发展,其在建筑领域的应用拥有巨大前景。德国弗赖堡夫琅费太阳能系统研究所的研究人员将相变石蜡封装在直径为20 μm 的小塑料球内,制成内墙用灰泥,用于夏季调控温度、冬季储能,用这种灰泥制成的内墙厚度为3 cm时可达到厚度为40 cm的水泥墙的储热效果,节省物料的同时节约能源^[27]。

目前国内的经济型住房大多采用轻质建筑材料,主要缺点之一就是室内温度范围波动较大,同时较易造成能量的散失,而将相变储热微胶囊注入墙体可以进行有效的太阳能存储。德国RUBITHERM公司利用相变储热微胶囊开发设计了一种用于家庭的相变储热系统,包括房顶和墙体的热接受,冰箱的应用,地板的加热等^[28]。张苗^[29]以三聚氰胺-甲醛树脂为囊壁、相变点在14~18℃的相变材料为囊芯制成相变储热微胶囊,并将其和助剂加入到热塑性树脂/木质纤维复合材料中,制备新型的相变储热板材。结果表明制备的板材对外界温度变化的响应具有一定延迟性,具有储能调温的功能。

2.2 在传热流体领域的应用

传统的传热流体在温度较低时会凝结粘附于储运管道内壁,影响运输效率缩短管道使用寿命。将相变储热微胶囊分散于传热流体之中可以有效地减少流体凝固现象,其是储热流体也是传热媒介。加入微胶囊的传热流体为潜热型热功能流体,其质量流率小于普通冷热流体,因此可以减少运输管道尺寸,同时在其相变温度范围内大大提高传热流体和

传热管壁的热交换效率。因此其在热交换领域,包括换热器,采暖,空调方面具有良好的应用前景。

2.3 在调温控温领域的应用

将相变储热微胶囊和普通纤维进行混纺可以制得与人体舒适度相接近的调温服饰,早在20世纪70年代末,美国国家航空和航天管理局已经将相变储热微胶囊和织物纤维共混制成宇航服,保护航天员免受因太空环境急剧的温度变化而带来的不利影响。美国OUTLAST公司研制的OUTLAST纤维就是因应用相变储热微胶囊的调温控温功能而被广泛应用于防寒服,智能调温空调纤维,工业和军事防护服领域。但目前,相变储热微胶囊应用于纤维织物还处于起步和新兴发展阶段。

2.4 在军事领域的应用

相变储热微胶囊可以用于飞行保暖手套,军用冷或热气候作战靴,军用防火服,潜水服等隔热,防寒的防护领域。2001年美国海军研制出了由加入相变储热微胶囊的蓄热调温纤维和3M公司Thinsulate纤维组合而成的干式潜水服,其可以保证潜水员潜水3 h的体温不变,远优于普通的潜水服1 h的保暖效果^[30]。

军事目标一般会具有显著的热特征,容易显示在热像仪中而暴露。若采用相变储热微胶囊技术,可通过微胶囊的自我相变尽可能多的吸收军事目标的热辐射,使其在热像仪上生成的图像出现混乱或无法被探测,从而达到红外隐身的效果。马永强^[31]以制得的相变储热微胶囊作为相变控温材料,配以空心玻璃微珠作为隔热材料,羟基丙烯酸树脂作为粘合剂,并建立一维热传递平板模型,采用非接触式红外线测温仪和放射率检测器进行检测,结果表明制备的迷彩涂料显著地降低了热辐射性能,降低率达59%及以上。王执乾等^[32]研究了微胶囊在红外示假上的应用,即将相变储热微胶囊加入可控加热的金属板,采用热红外成像仪进行显示。结果表明,加入微胶囊的金属板表面红外图亮度明显低于不加微胶囊的金属板,因此具有降温 and 示假的功效。

3 相变储热微胶囊存在的问题及应对方法

3.1 相变潜热减小

原位聚合是制备相变储热微胶囊最常用的制备方法,在制备过程中会向囊芯材料加入一定含量的囊壁,由此产生的问题是囊壁混合进入囊芯导致相变潜热减小。如李志广等^[33]在十四醇-月桂酸二元体系构成的相变储热微胶囊中发现微胶囊整体的相变温度和十四醇-月桂酸体系的相变温度接近,但是相变焓却在囊化后由原来的196.9 kJ/mol降低为56.7 kJ/mol。

相变焓的减少是制约相变储热微胶囊性能发挥的一大障碍。目前的研究成果已经对其进行了部分解决。刘先之

等^[34]采用复乳交联法制备了以相变石蜡为囊芯,壳聚糖为囊壁的新型相变储热微胶囊,其具有较高的相变潜热,达到110 J/g,并且具有很好的热稳定性和溶剂稳定性。Li Wei等^[35]通过原位聚合的方法制备出相变潜热为144 J/g的微胶囊,其以正十八烷为囊芯,三聚氰胺-甲醛树脂为囊壁。具体制备方法是:将正十八烷在SMA的钠盐水溶液中乳化,在70℃及8000 r/min的搅拌速度下,加入乙酸调节pH至4~5,得到稳定的乳化液;再加入三聚氰胺-甲醛树脂预聚体并以600 r/min速度进行搅拌,聚合90 min后,最后加入乙醇胺调节至pH值为9结束反应。得到的微胶囊粒径2.2 μm,且相变潜热较大。同时在囊壁含量一定的前提下,随着囊芯的包容量提高,相变焓也随之增加,当其达到一定值之后由于囊壁不足以包裹囊芯,相变焓不再变化。聚合时囊壁与囊芯质量比为1.5:1时效果最佳。

3.2 相变温度狭小

目前相变储热微胶囊应用领域较为狭窄的一个原因是相变温度较为狭小。相变材料分为固-汽相变,液-汽相变,固-固相变,固-液相变4类,前两类涉及气体,体积变化大且不适用于室内建筑材料。因此有实际应用的是后两类相变材料。固-液相变材料相较于固-固相变材料具有原料易得、低廉、温度范围广、热焓较高等优点,因此一般首选为室内用控温调温材料。但一般的固-液相变储热微胶囊的相变温度在25℃或30℃左右,并且控温范围仅为5℃左右,具有较大的局限性。因此为了解决这个问题,一般选用石蜡类相变材料,其具有较高的相变焓,为200~300 kJ/kg。同时也可以制备复合型囊芯来解决这个问题^[36]。例如,可以选用价格比较低廉,原料易得的相变石蜡(相变温度范围30~35℃,相变点33.46℃,相变焓161.14 J/g)和硬脂酸正丁酯(相变温度范围20~25℃,相变点23.18℃,相变焓104.93 J/g)作为复合型囊芯,制备的复合型囊芯可以将不同相变材料的相变温度范围集合为更宽的温度变化范围。

3.3 囊壁强度限制

由于微胶囊是由囊壁和囊芯构成,因此,除了囊芯发挥重要的相变调温作用以外,其包覆囊芯的囊壁也需保证固-液相变材料的稳定并避免其流动。但是随着多次相变以及囊芯体积的变化,微胶囊易出现破损,且使用寿命下降,而囊壁料的强度在能否避免或延缓这些问题上起到了至关重要的作用。

M. N. A. Hawlader^[37]采用凝聚法和喷干法将石蜡包覆于白明胶和阿拉伯树胶中,得到了囊壁强度较高的微胶囊。该微胶囊具有高的储热和放热性能。用凝聚法包覆的石蜡具有大的吸放热能力,为56~58 J/g,且在经受1000次的热循环后保持良好的吸放热能力,同时化学性质和结构轮廓

不变。M. E. Holman用溶胶-凝胶法制备相变储热微胶囊,发现在相变储热微胶囊表面包覆金属氧化物或非金属氧化物的凝胶可提高该类微胶囊的强度和阻燃性^[1]。

4 结语

相变储热微胶囊在研究领域已经日趋成熟,相关的性能检测手段也日趋完善,但是在相变潜热,相变温度范围以及囊壁强度控制方面仍有待研究与改进。相变储热微胶囊目前已经在建筑、传热、调温控温和军事方面得到了良好的应用,而且其在导电相变材料、形状记忆相变材料、防水相变材料以及与其它性能优良的材料进行功能性复合方面将会成为今后的研究热点,并且随着纳米技术的进一步应用,微胶囊的性能以及稳定性会得到进一步的提升。

参考文献

- [1] 毛华军,等. 功能材料,2006,37(7):1022-1026.
Mao Huajun, et al. Journal of Functional Materials, 2006, 37(7):1022-1026.
- [2] 梁治齐. 微胶囊技术及其应用[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1999.
Liang Zhiqi. Technology and applications of microcapsule[M]. Beijing:China Light Industry Press, 1999.
- [3] Wang Xuebao, et al. Functional Materials and Nanotechnology, 2012,496:130-133.
- [4] Song Xiaoqi, et al. Advanced Materials Research, 2013,815:367-370.
- [5] Wang Kunchan, et al. Materials for Renewable Energy and Environment (ICMREE), 2013, 2:508-512.
- [6] 邢锋,等. 深圳大学学报理工版:自然科学版,2009,26(2):151-157.
Xing Feng, et al. Journal of Shenzhen University: Science & Engineering, 2009,26(2):151-157.
- [7] 施云舟,等. 东华大学学报:自然科学版,2013,39(1):6-12.
Shi Yunzhou, et al. Journal of Donghua University:Natural Science, 2013,39(1):6-12.
- [8] 单其艳,等. 上海纺织科技,2012,40(7):13-15.
Shan Qiyan, et al. Shanghai Textile Science & Technology, 2012, 40(7):13-15.
- [9] 包艳华. 脂肪酸相变材料的研究与应用[D]. 南京:南京工业大学, 2011.
Bao Yanghua. Research and application of fatty acid phase change materials[D]. Nanjing:Nanjing University of Technology, 2011.
- [10] 汪海平,等. 江汉大学学报,2011,39(3):45-48.
Wang Haiping, et al. Journal of Jiangnan University, 2011, 39(3):45-48.
- [11] 徐哲,等. 过程工程学报,2012,12(2):294-300.
Xu Zhe, et al. The Chinese Journal of Process Engineering, 2012, 12(2):294-300.
- [12] 张艳辉,等. 化工进展,2012,31(3):580-585.

- Zhang Yanhui, et al. Chemical Industry and Engineering Process, 2012, 31(3):580-585.
- [13] 胡剑青,等. 功能材料, 2010, 41(7):1 201-1 204.
Hu Jianqing, et al. Journal of Functional Materials, 2010, 41(7):1 201-1 204.
- [14] 周长原,等. 广东化工, 2014, 41(3):12-13.
Zhou Changyuan, et al. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(3):12-13.
- [15] 范斌,等. 消防技术与产品信息, 2011(11):50-53.
Fan Bin, et al. Fire Technique and Products Information, 2011(11):50-53.
- [16] 由明. 相变材料微胶囊的制备及其在聚氨酯泡沫中的应用 [D]. 天津: 天津工业大学, 2011.
You Ming. The production of micro-encapsulated phase change materials and its application in polyurethane[D]. Tianjin:Tianjin Polytechnic University, 2011.
- [17] 黄全国,等. 功能材料, 2014, 45(13):13 131-13 134.
Huang Quanguo, et al. Journal of Functional Materials, 2014, 45(13):13 131-13 134.
- [18] 杨春晓,等. 化工进展, 2012, 31(9):1 998-2 005.
Yang Chunxiao, et al. Chemical Industry and Engineering Process, 2012, 31(9):1 998-2 005.
- [19] 郜捷,等. 过程工程学报, 2010, 10(5):993-997.
Gao Jie, et al. The Chinese Journal of Process Engineering, 2010, 10(5):993-997.
- [20] 赫丽娜,等. 塑料, 2013, 42(5):87-90, 102.
He Lina, et al. Plastics, 2013, 42(5):87-90, 102.
- [21] 尚建丽,等. 材料导报, 2010, 24(3):92-94
Shang Jianli, et al. Materials Review, 2010, 24(3):92-94.
- [22] 王静,等. 中国科技纵横, 2014(13):296.
Wang Jing, et al. China Science and Technology, 2014(13):296.
- [23] 于海飞,等. 精细石油化工, 2011, 28(3):61-65.
Yu Haifei, et al. Speciality Petrochemicals, 2011, 28(3):61-65.
- [24] 周艳思,等. 印染助剂, 2013, 30(2):17-19.
Zhou Yansi, et al. Textile Auxiliaries, 2013, 30(2):17-19.
- [25] 单晓辉,等. 天津纺织科技, 2011(1):25-27.
Shan Xiaohui, et al. Tianjin Textile Science Technology, 2011(1):25-27.
- [26] 郝聪林. 喷雾干燥法制备石蜡微胶囊的研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2009.
- Hao Conglin. Preparation of paraffin microcapsules by spray-drying method[D]. Beijing:China University of Petroleum, 2009.
- [27] 尚红波,等. 材料导报, 2005, 19(12):42-45.
Shang Hongbo, et al. Materials Review, 2005, 19(12):42-45.
- [28] Nurmawati M H, et al. Thin Solid Films, 2004, 462-463:481-486.
- [29] 张苗. 相变微胶囊及板材的制备与在电加热地板辐射采暖系统中的应用研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
Zhang Miao. Preparation and application of a novel from-stable phase change materials as the thermal storage layer of an electrical floor heating system[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2010.
- [30] 何天白,等. 功能高分子与新技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001:256.
He Tianbai, et al. Functional polymers and engineering[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2001:256.
- [31] 马永强. 微胶囊相变材料的制备及其在热红外隐身中的应用 [D]. 兰州: 兰州工业大学, 2012.
Ma Yongqiang. The preparation of microencapsulated phase change materials and application in thermal infrared stealth[D]. Lanzhou:Lanzhou University of Technology, 2012.
- [32] 王执乾,等. 山西化工, 2013, 33(5):47-50.
Wang Zhiqian, et al. Shanxi Chemical Industry, 2013, 33(5):47-50.
- [33] 李志广,等. 常温微胶囊材料的制备及其热力学性能的研究 [C]. 重庆: 功能材料期刊社, 2010:405-406.
Li Zhiguang, et al. The preparation of normal temperature microcapsule phase change material and study of its thermodynamic property[C]. Chongqing:Journal of Functional Materials, 2010:405-406.
- [34] 刘先之,等. 应用化学, 2012, 29(1):9-13.
Liu Xianzhi, et al. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2012, 29(1):9-13.
- [35] Li Wei, et al. Materials Chemistry and Physics, 2007, 2(3):437-442.
- [36] 樊鹏飞. 复合囊芯相变储能微胶囊的制备及性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010:1-69.
Fan Pengfei. Preparation and characterization of micro-capsuled phase change materials containing binary core materials[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology, 2010:1-69.
- [37] Hawlader M N A, et al. Applied Energy, 2003, 74:195-202.

新型塑料经光照可分解

近日,有研究人员宣布已经设计出一种新型塑料,一经光照就能分解。这种塑料由小分子的循环长链组成。研究人员采用了一种来源于果糖(这种塑料的基本成分)的分子溶液和可吸光分子,两者形成了这种塑料的长链。

这种塑料是一种浅褐色固体。当暴露于 350 nm 波长的紫外线中后,其分子链上的吸光分子就会从链上断裂下来,从而触发塑料的降解。在一个概念验证实验中,这种新

塑料在暴露于紫外线 3 h 后,就会溶化成透明溶液。这表明它们完全变成可溶的结构单元分子。而这些结构单元分子可以用来制造新的塑料,从而减少原材料的消耗和废弃物的产生。

相关研究成果近日在线发表于《应用化学》杂志。但研究人员指出,在改良版本被研发出来及进行商业转化之前,还需进一步研究光吸收成分的使用如何影响塑料的特性,例如强度和持久性等。

(中新网)