

文章编号:1673-9981(2010)04-0705-06

隔热功能填料的研究进展

杨震, 卿宁

(五邑大学化学与环境工程学院, 广东 江门 529020)

摘要:简要介绍三种隔热功能填料的隔热机理及当前的应用现状. 对影响隔热功能填料隔热性能的因素进行了分析, 指出了隔热功能填料的选材以及用量和粒径分布, 最后对未来隔热填料的发展进行了展望.

关键词:隔热功能填料; 热阻隔; 太阳光反射; 红外辐射

中图分类号: TQ630

文献标识码: A

隔热涂料是近二三十年发展起来的一种新型的功能涂料, 它能在零耗能的情况下, 有效阻止太阳辐射所导致的涂层表面与基材内部环境温度的升高, 广泛应用于建筑外墙、汽车挡板玻璃、锅炉管道外壁等领域. 隔热涂料一般由起粘结作用的基料(通常是有机树脂)、起隔热作用的功能填料(功能粒子)、颜料和助剂等组成. 尽管制约涂膜隔热性能的因素很多, 如涂膜的厚度、颜料用量及分散状态等, 但功能填料是隔热涂料的“心脏”, 其性能的优劣以及在涂料中的配比对涂层的隔热效率影响较大. 按照隔热机理的不同, 隔热功能填料通常可分为阻隔型功能填料、太阳光反射型功能填料和辐射型功能填料.

1 热阻隔型功能填料

这类功能填料的代表是传统的保温轻骨料, 大量应用于建筑外墙外保温系统. 热传递有辐射、对流和传导三种方式. 由于热辐射的强度(发射率)与开尔文温度的四次方成正比, 若涂层所处的温度不高, 则热辐射的强度非常小. 另外, 大量的微孔使得涂层中热辐射的反射界面众多, 经这些反射界面无数次的反射后热辐射的强度便相当小了. 直径小于 4 mm 的泡孔里的气体不会发生自然对流^[1], 保温材料的微孔直径通常远小于这个值, 可近似为静止空

气, 涂层里的对流传热也很小. 因此, 保温材料主要通过热传导的阻抗来阻碍热量的传递. 导热系数越小的材料其隔热性能越好. 潘德江等人^[2]对影响保温涂料保温性能主要因素进行了分析研究, 结果表明, 要使保温材料的导热系数小, 就应尽量降低表观密度以达到最佳(临界)表观密度, 吸湿度越小越好以及粒径尺寸尽量小. 通常选用轻质、气孔率高、抗水能力强的材料, 保温轻骨料按照组成为有机高聚物泡沫材料和无机矿物材料两大类.

1.1 有机高聚物泡沫材料

有机高聚物泡沫材料是以有机合成树脂为原料, 加入发泡剂形成内部具有开孔或闭孔结构的泡沫塑料, 再经充分粉碎制成的颗粒状材料. 有机类保温材料具有吸湿性小、容重轻、导热系数低、价格便宜等优点, 缺点是不耐高温、亲和性较差、易燃等. 目前应用较多的是硬质聚氨酯泡沫塑料(PURF)、聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)和酚醛泡沫塑料.

硬质聚氨酯泡沫塑料的泡孔结构是由互相独立的微小闭孔所组成的, 闭孔率高达 92%, 因而具有优异的抗水渗透性^[3]. 而且导热系数只有 0.020~0.023 W/(m·K), 可用在建筑物的屋顶墙体上作为隔热防水层. 另外, 它还具有较高的机械强度和抗老化性, 其抗压强度为 0.2~0.3 MPa, 抗老化期为 60 年.

收稿日期: 2010-10-20

作者简介: 杨震(1984—), 男, 湖北仙桃人, 硕士研究生.

聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)是由聚苯乙烯(1.5%~2%)和空气(98%~98.5%)、戊烷作为推进气,经发泡制成^[4],其导热系数小于0.041 W/(m·K)。它具有密度范围宽、价格低、保温隔热性优良、吸水性小、水蒸气渗透性低、吸收冲击性好等优点,因而成为外墙绝热及饰面系统的首选绝热材料。把废弃的EPS应用于隔热涂料里,既节约了资源,又大大避免了因其自然降解和处理困难所带来的白色污染。

与PURF和EPS相比,酚醛泡沫塑料除了具有热导率低、力学性能好、尺寸稳定、吸水率低、电绝缘性优良、易成型加工等优点外,它最大的优势是优异的耐火阻燃性。它可以长期在130℃下工作,瞬时工作温度可达200~300℃,炭化后其使用温度超过1000℃,而聚苯乙烯发泡材料的最高使用温度仅为70~80℃。酚醛树脂与其他材料共混改性,可以制备出性能极其优良的复合保温材料。如以密度小于50 kg/m³的泡沫玻璃为填料的玻璃酚醛泡沫塑料的极限抗压强度为0.16 MPa,是难燃材料,使用年限超过25年^[5]。

1.2 无机矿物类材料

无机矿物类材料是一种以火山灰玻璃、白玉石、玄武石、海泡石、膨润土、珍珠岩等矿物材料和多种轻质非金属材料,运用静电原理和湿法工艺复合制成的憎水性硅酸盐材料^[6]。与有机高聚物泡沫材料相比,它具有耐高温、阻燃及抗压强度较大等优点,但它的吸湿性较强,膨胀率较大、耐候性较差。这类保温材料一般用于复合硅酸盐保温涂料中。根据无机矿物类材料的形态,可将它分为硬质微孔型和无机纤维型。

硬质微孔型无机矿物一般包括膨胀珍珠岩及其制品、膨胀蛭石、硅藻土、硅酸钙等,一般作为涂料的保温骨料,可降低涂层的干密度。硬质微孔型无机矿物填料的吸水率是自身重量的几倍,以其为主料制成的涂料具有导热系数大、收缩率大、抗裂性差等缺点。杨雪琴等人^[7]发明了一种以膨胀玻化微珠为主导填料的保温涂料,该涂料将复合硅酸盐涂料的应用温度上限提高到了1100℃。刘成楼^[8]以玻化微珠为保温骨料,配以弹性丙烯酸乳液,制备出了一种柔性无机外墙保温隔热涂料。

无机纤维型矿物由相互交错成网状的中空管束状纤维构成,分为天然纤维和人造纤维。天然纤维包括海泡石、坡缕石、石棉等,人造纤维包括岩棉、矿渣

棉、硅酸铝纤维和石英玻璃纤维等。在涂料起浆时,将保温骨料和填料通过纤维束连接成一个整体,增加浆体黏稠度、提高浆体和易性、消除泌水;在凝结硬化过程中起提高涂层抗开裂的作用;在涂层凝结硬化后起提高涂层保温性能的作用^[9]。近年来,纤维水镁石在建筑保温材料领域开始引起了人们的广泛关注。它具有良好的劈分性、亲水性和水分散性^[10],与无机纤维相比,在高速搅拌制浆过程中更易松散,纤维韧性好,不易断裂;生物安全性较好,属低毒非致癌矿物纤维。

导热系数是筛选保温填料的一个重要的指标,导热系数低于0.05 W/(m·K)的材料称为高效保温材料,常用的保温材料的导热系数列于表1。

表1 常见高效保温材料在常温下的导热系数

材料名称	导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
海泡石	0.041~0.060
膨胀珍珠岩	0.047~0.072
膨胀蛭石	0.034~0.058
坡缕石	0.043~0.063
硅酸钙	0.050~0.068
硅藻土	0.035~0.060
石棉	0.038~0.0465
矿渣棉	0.044~0.082

1.3 其它阻隔型功能填料

当泡孔直径小于50 nm时,孔内的空气分子大部分失去了自由流动的能力,附着在气孔壁上,这时材料处于近似于真空状态^[11],靠气体分子的碰撞所产生的气体热传导率趋于0,比静止的空气的导热系数0.023 W/(m·K)还要小。沈军等人^[12]以正硅酸四乙酯(TEOS)为硅源,通过溶胶-凝胶及超临界干燥法在常温下制备了纳米多孔结构的SiO₂气凝胶材料。

真空状态能使分子热传导的两种方式完全消失,因此,选用合适的工艺把密封真空泡孔引入材料内,便能获得导热系数更小的真空绝热保温材料。以这种保温材料为功能填料合成出的隔热涂料达到同样隔热效果所需的涂层很薄。如北京维纳公司推出的德国盾牌陶瓷隔热涂料的涂层厚度仅0.3 mm^[13]。

2 太阳热反射型功能填料

太阳能是以热辐射的形式输运到地球上的,其能量分布列于表2.

表2 太阳辐射各波段分布图

光区	波长/ μm	所占能量分数/%
紫外线区	0.2~0.4	5
可见光区	0.4~0.72	45
近红外区	0.72~2.5	50

由2表可知,太阳能量主要集中在可见光区和近红外区.屏蔽0.4~2.5 μm 波段的太阳光就能有效降低温度.对于涂膜而言,太阳光入射到其表面,

会发生反射和吸收.太阳热反射型功能填料具有对可见光和近红外线高反射率和低吸收率的性质.根据能带理论,入射光子的能量若恰好能使功能粒子中的电子从价带(充满电子的成键轨道)跃迁到导带(反键轨道),则会发生光吸收.由公式 $hc/\lambda = E_g$, (E_g 为禁带宽度,即价带与导带能差),代入可见光近红外光波长 $\lambda = 0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 和普朗克常量 $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, 计算出 $E_g = 0.5 \sim 3.1 \text{ eV}$ ^[14]. 因此,要避免填料对可见近红外光的吸收,就必须使功能填料的 $E_g > 3.1 \text{ eV}$ 或 $E_g < 0.5 \text{ eV}$. 另一方面,由菲涅尔光反射理论知,当入射角相同时,折光系数越大的材料,其反射率越大.一般说来,应选择折光系数大的白色或无色材料,因为白色或无色物质在可见光区无吸收或吸收微弱,在近红外区无吸收.常见填料的折光系数列于表3.

表3 常见填料的折光系数

颜填料	TiO ₂ (R)	TiO ₂ (A)	ZnO	Al ₂ O ₃	滑石粉	Fe ₂ O ₃	ZnS	BaSO ₄	立德粉
折光系数	2.76	2.52	2.20	1.76	1.59	2.30	2.37	1.64	1.84

涂层的隔热性能除与功能填料的种类有关外,功能填料的粒径和用量对隔热性能也起着很重要的作用.填料的最佳粒径 d 与入射光波长 λ 存在这样的关系^[15]:

$$d/\lambda = \frac{0.9(m^2 + 1)}{n_p \pi(m^2 - 1)}$$

式中, n_p 为有机树脂的折光系数, m 为填料的折光系数与有机树脂的折光系数之比,涂料中的合成树脂 n_p 一般为 1.45~1.50. 当 d/λ 为 0.1~10 时,表现为菲涅尔型反射,对温控有利;当 $d/\lambda < 0.1$ 时,表现为瑞利散射,对温控无效^[16]. 由此可计算出填料的最小粒径应不小于 0.02 μm ^[17]. 一般而言,普通填料在涂料中存在着一个极限体积浓度(cPVC),即基料恰好能将填料之间空隙填满的值.而对于隔热涂料来说,反射粒子的添加量也存在一个最佳隔热效果的体积浓度,当填料的用量小于这个值时,隔热性能随着用量的增加而提高;当超过这个值时,反射粒子的聚集使散射比表面积减小,反射率下降,隔热性能变差.最佳隔热效果的体积浓度的值是不确定的,不同的实验条件所测出的值也不同.蔡会武等人^[18]在空心玻璃珠、海泡石和硅酸铝质量分数分别

为 25%, 8% 和 5%, 丙烯酸乳液质量分数为 22.5% 的条件下,仅改变 TiO₂ 的用量,考察 TiO₂ 用量对 100 μm 涂膜反射率的影响.结果表明,随 TiO₂ 用量的增加,白色涂层的反射率上升,当 TiO₂ 用量为 15% 时,反射率达到最大值,之后随 TiO₂ 用量的增加反射率下降.

目前,反射率高、隔热性能较好的功能填料有金红石型 TiO₂、铝粉和中空微珠等.

2.1 金红石型 TiO₂

金红石型 TiO₂ 亦称作金红石钛白粉,它具有遮盖力高,着色力强,明度值大,耐候性好等一系列优点,是最常用的白色颜料.它的折光系数是目前所用填料中最大的,因而它的反射率很高,是隔热功能填料的首选.用日本岛津公司的紫外-可见-红外分光光度计 UV3100-PC 测试它的太阳光反射光谱发现,在可见光区的反射率接近 100%,在近红外可见光区的发射率达 85% 以上,在 200~400 nm 的近紫外区的吸收率达到了 85% 以上^[19],这说明它不仅对太阳光有着很好的阻隔作用,还对紫外线有很好的吸收作用,这样可大大屏蔽紫外线带来的涂膜的光热分解,提高了涂层的耐久性.

2.2 铝粉

电导率较大的金属单质铝在可见近红外区的反射率达90%以上,尤其是在近红外区反射率甚至接近100%。由于铝粉能在涂膜中形成光滑的反光层,以沥青为粘结剂的铝基反光隔热涂料,早期建筑隔热反射型涂料。用于填料的单质铝颗粒有着严格的要求,若颗粒太小,容易被氧化,呈现出黑色,其反射率大大降低。作为填料的铝粉末应为具有金属光泽的鳞片状,厚度 $2\sim 5\ \mu\text{m}$,直径 $30\sim 50\ \mu\text{m}$ ^[20]。为了防止氧化,在配置时要用新鲜的铝粉,并且尽量缩短铝粉在空气中暴露的时间,尽快使铝粉和其他物质混合。由于金属铝片不能单独在水体系中稳定存在,因而最初的铝基涂料是油性的,不符合环保,低VOC排放的要求。张敏^[21]采用鳞片状铝粉为填料制得了一种综合性能优良的水性反光隔热罩面涂料,经实际测定,当气温为 $35\sim 37\ ^\circ\text{C}$ 时,涂层内部的温度可降低 $11\sim 13\ ^\circ\text{C}$ 。

2.3 中空微珠

中空微珠是内含空腔、外壁成分为铝铁钙等金属氧化物的硅酸盐的球体。由于球形具有最小的比表面积,球形间易滑动,因而可减小基料的用量,降低涂料的粘度,改善涂膜的流平性和平滑性^[22]。中空的结构大大降低了它的导热系数。外壁材料的折光系数较高,具有高的光反射率,同时还具有隔音,耐酸碱等优点,是一种兼顾反射型和隔热型的功能填料。常用的中空微珠有玻璃微珠、陶瓷微珠和漂珠。玻璃微珠价格低廉,制作工艺简单,反射率高,因而成为应用最多的一类反射型中空微珠。陶瓷微珠空腔内密封导热系数较空气小的 N_2 和 CO_2 等气体,其外壁材料是耐高温、耐腐蚀、热膨胀系数小的绝热材料。但陶瓷微珠制备工艺十分复杂、成本高、价格昂贵、贮存稳定性较差,极大地限制了它在涂料填料中的应用。漂珠是火电厂的粉煤灰渣在空气中冷却过程中产生的一种空心结构的微珠,它的价格比人造玻璃微珠和陶瓷微珠都要低,在很多情况下可代替这两种中空微珠。

3 辐射型功能填料

辐射型隔热方式是把吸收的热量以 $8\sim 13.5\ \mu\text{m}$ 的远红外线发射出去从而达到降温目的的一类主动隔热方式。与阻隔型隔热和反射型隔热相比,辐

射型隔热的效率更高。辐射型隔热涂料是最近十年才开始研制的,在我国处于起步阶段。在 $8\sim 13.5\ \mu\text{m}$ 波段具有高发射率,在 $0.4\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 波段具有低吸收率的红外辐射材料的开发是研发辐射型隔热涂料的难点。采用陶瓷技术是制备高发射率红外辐射材料的最主要方式,目前应用较多的红外辐射填料主要是红外辐射陶瓷粉。

红外辐射陶瓷就是将20多种无机金属及非金属氧化物及微量金属或特定的天然矿石以不同的比例混合磨碎,再在 $1200\sim 1600\ ^\circ\text{C}$ 的高温下煅烧,使其成为能辐射出特定波长远红外线的一类材料。目前,作为红外辐射陶瓷粉的原料有氧化物、氮化物、碳化物、硼化物、硅化物和天然矿物(如堇青石、莫来石)。按使用温度可分为中高温应用型和常温应用型。中高温应用型红外陶瓷粉体主要是含Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Cr及其氧化物、SiC等黑色陶瓷粉体,其代表是高温红外辐射涂料,应用 $800\sim 1200\ ^\circ\text{C}$ 下的工业锅炉上。英国的ET-4型红外辐射涂料,其主要组成是 ZrO_2 , SiO_2 和 Al_2O_3 ;美国的C-10A和SBE涂料的粉料组成与英国的ET-4型类似;日本的CRC1000, CRC1500等产品,其红外辐射材料的主要成分是 CoO , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO_2 , SiO_2 和 Al_2O_3 等^[23]。中高温应用型红外辐射陶瓷的研究与应用已有20多年,已基本成熟。近十年来,国外多致力于常温白色红外辐射陶瓷粉的研究与应用。常温红外陶瓷粉体是 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ 系的白色陶瓷粉体,在室温附近($20\sim 50\ ^\circ\text{C}$)能辐射出 $3\sim 15\ \mu\text{m}$ 波长的远红外线。徐庆等人^[24]以化学纯 Fe_2O_3 , MnO_2 , CO_2O_3 和 CuO 为原料,按照 $6:2:1:1$ 质量比配合称量,配合料经湿法球磨16h后,以20MPa的压力压制成直径20mm,厚 $2\sim 3\ \text{mm}$ 的圆片,然后在空气中烧灼2h,烧灼温度为 $1150\ ^\circ\text{C}$,制得了 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MnO}_2\text{-CO}_2\text{O}_3\text{-CuO}$ 系过渡金属氧化物红外辐射陶瓷材料,该陶瓷材料的常温红外辐射率达0.930。

4 隔热功能填料的发展方向

4.1 纳米化

纳米材料在隔热涂料中可分为普通填料和隔热功能填料。普通填料的纳米粒子旨在改性隔热涂料,它不仅能提高涂膜的抗冲击力和附着力等力学性

能,增强涂膜的抗老化、抗腐蚀耐侯性抗辐射等性能,而且还能改善涂料的隔热性能.隔热功能填料的纳米粒子具有很高的光谱选择性,因而它们能通过强反射吸收等方式将太阳光致热降到最低,可单独作为隔热功能填料.

目前,使用最多的是纳米掺铟二氧化锡(ATO)、掺锡氧化铟(ITO),这些n型半导体材料具有很高光谱选择性,能够很好地屏蔽红外线和透过可见光,把它们添加到有机树脂中可制成允许可见光透过、反射吸收近红外光,达到隔热目的的涂膜,这类涂料就是近几年在我国发展起来的纳米透明隔热涂料.陈飞霞等人^[25]采用在水中分散好的氧化铟锡(ITO)水浆,以及有机硅树脂成膜剂,通过加入共溶剂并调整体系的pH,所制的涂层可见光透过率达80%.在碘钨灯的照射下,透明隔热玻璃和空白玻璃之间的底板温差可以达10℃以上.目前,这类涂料广泛应用于汽车和建筑物的玻璃门上.

由于纳米粒子的表面能很高,极易团聚,目前,通常采用对纳米粒子进行物理化学表面改性来提高其亲油性,增强它在树脂中的稳定性.尽管如此,防止纳米粒子的团聚仍是开发纳米复合隔热涂料亟待解决的难题.

4.2 复合型

单一的隔热方式的隔热效果是有限的,复合型隔热功能填料可以达到满意的隔热效果.兼顾两种隔热方式的填料已有较多应用.空心玻璃微珠就是一种很好的反射阻隔型隔热功能填料,国内有学者采用在其外包覆高反射率隔热材料的方法大大提高了它的隔热效果.中南大学的马承银等人^[26]以 $Ti(SO_4)_2$ 为原料采用化学沉积方式在空心玻璃微珠外壁包覆了一层厚度为0.5 μm的锐钛矿型 TiO_2 ,所得隔热填料对可见光和近红外的反射率分别为86%和81%.河北大学的杨景发等人^[27]比较分析了包覆 TiO_2 的玻璃微珠和 TiO_2 玻璃微珠相混合这两种不同组合方式的隔热填料的隔热性能,发现包覆 TiO_2 的玻璃微珠的涂层的温度较 TiO_2 玻璃微珠相混合的涂层在室外太阳光照射下温度要低0.8℃.

5 结 语

隔热功能填料的发展历程大致呈现出阻隔型—

反射型—辐射型的走势,今后,它将向纳米化、综合多种隔热方式的复合型方向发展.隔热填料的发展不仅随着隔热涂料的发展而发展,而且将引领新型隔热涂料的发展.

参考文献:

- [1] SKOCHDOPOLE R. E. The thermal conductivity of foam plastics[J]. Eng Prog, 1961, 57: 55.
- [2] 潘德江, 陈建明. 对影响保温涂料保温性能主要因素的分析研究[J]. 安徽工学院学报, 1997, 16(2): 76-81.
- [3] 马秀宝. 泡沫聚合物保温材料的研究进展及其应用[J]. 环境技术, 2004, 14(4): 15.
- [4] 伍林, 杨贺, 易德莲. 保温材料的技术现状和发展趋势[J]. 山西建筑, 2005, 31(9): 2.
- [5] 毛津淑等. 酚醛泡沫塑料综述[J]. 化学工业与工程, 1998, 15(3): 41.
- [6] 王忠滨. 复合硅酸盐保温材料的技术和应用[J]. 黑龙江石油化工, 2002, 13(1): 24-26.
- [7] 杨雪琴, 陆福林, 戴武. 膨胀玻化微珠保温涂料及其生产方法[P]. CN101220232A, 2008.
- [8] 刘成楼. 柔性无机材料外墙保温隔热涂料的研制[J]. 中国涂料, 2007, 22(9): 41-43.
- [9] 章岩, 何廷树, 曹万智, 等. 纤维水镁石在复合节能保温涂料中的应用研究[J]. 新型建筑材料, 2007(8): 81.
- [10] 刘开平, 周敬恩. 纤维水镁石/水泥基复合材料的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2003, 6(3): 32-35.
- [11] MARLIERE C, WOIGNIER T, DIEUDONNE P. Two fractal structure in aerogels[J]. Journals of Noncrystalline solid, 2001, 285: 175-185.
- [12] 沈军, 周斌. 纳米孔超级绝热材料气凝胶的制备与热学特性[J]. 过程工程学报, 2002, 2(4): 341-345.
- [13] 李东光. 功能性涂料生产与应用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2006: 629.
- [14] 王科林, 徐娜. 太阳热反射隔热涂层及其发展趋势[J]. 现代涂料与涂装, 2009, 12(2): 19.
- [15] 路国忠. 建筑反射隔热保温涂料的研制[J]. 中国涂料, 2007, 22(9): 37-40.
- [16] 王金台, 路国忠. 太阳热反射隔热涂料[J]. 涂料工业, 2004, 34(10): 17-19.
- [17] 徐永祥, 李运德, 师华, 等. 太阳热反射隔热涂料研究进展[J]. 涂料工业, 2010, 40(1): 72.
- [18] 蔡会武, 王瑾璐, 江照洋, 等. 颜填料对隔热涂料反射性能的影响研究[J]. 涂料工业, 2008, 38(4): 30.
- [19] 王德民. 高红外反射率隔热涂料的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
- [20] 马承银, 李延升. 反射近红外辐射涂料的研究[J]. 材料

- 导报,2004,18(4):28.
- [21] 张敏. 水性反光隔热罩面涂料[J]. 中国建筑防水,1997(2):19-20.
- [22] CARLOZZO B J. Use of spherical extenders in VOC compliant coatings[J]. Journal of coatings technology, 1987,870(16):71-84.
- [23] 任晓辉,张旭东,何文,等. 红外辐射材料的研究进展及应用[J]. 现代陶瓷技术,2007(2):26.
- [24] 徐庆. 过渡金属氧化物体系红外辐射陶瓷的研制[J]. 陶瓷学报,2000,21(1):18-22.
- [25] 陈飞霞,赵石林. 纳米氧化铟锡透明隔热涂料的制备及性能表征[J]. 涂料工业,2004,34(2):48-51.
- [26] 马承银,李延升,段远琼. 二氧化钛包覆中空玻璃微珠制备近红外反射材料[J]. 中南大学学报,2004,35(5):806-809.
- [27] 杨景发,张玮,申文增,等. 光谱选择性隔热功能涂料的研究[J]. 河北大学学报:自然科学版,2010,30(1):29.

The progress of thermal insulation functional filler

YANG Zhen, QING Ning

(School of Chemical and Environmental Engineering, Wuyi University, Jiangmen 529020, China)

Abstract: In this paper, three mechanisms of thermal insulation functional fillers were introduced briefly, and the current situation of their application was also involved. Then the author analyzed some factors with respect to the efficiency of thermal insulation, and thus pointed the choosing, the amount and size of fillers. Finally, the author looked forward to the future development of thermal insulation functional filler.

Key words: thermal insulation functional filler; thermal barrier; sunlight reflection; infrared radiation