

文章编号:1673-9981(2019)02-0128-05

新型气凝胶复合保温隔热涂料的研制*

吕文东¹, 栾焕光², 王 滢², 陈和锐², 罗智斌²

1. 广东省资源综合利用研究所, 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室, 广东省矿产资源开发与综合利用重点实验室, 广东 广州, 510650; 2. 中山科邦化工技术有限公司, 广东 中山, 528437



摘要:为提升保温隔热材料的性能,以改性有机硅丙烯酸成膜树脂 CPS-1800 为成膜材料,50~200 μm 改性气凝胶为功能填料,辅以适当的填料和助剂,制备了高性能的节能保温隔热涂料,并测试了其保温隔热性能。结果表明,8 mm 厚的该涂料涂覆在 250 $^{\circ}\text{C}$ 热源上,0.5 h 时涂料的表面温度为 85 $^{\circ}\text{C}$,且在 3.5 h 内,涂料的表面温度不超过 90 $^{\circ}\text{C}$ 。该涂料的导热系数为 0.038 W/(m·K),是其隔热保温性能良好的关键因素。

关键词:保温隔热涂料;CPS-1800;改性气凝胶;节能环保

中图分类号: TQ63

文献标识码: A

在能源匮乏和环境污染问题日益突出的今天,节能降耗、提高能源的有效利用率是当前社会发展的趋势^[1]。我国的能耗,包括建筑、石油化工、冶金、热电、汽车等领域因保温隔热材料的落后而损失的能量巨大^[2-3]。因此,研发高性能的节能保温隔热涂料具有较大的经济效益和社会效益。

自然界热量的传递主要有热传导、辐射和对流等方式^[4-6]。根据不同的隔热机理,可将保温隔热涂料分为阻隔型、辐射型和反射型。如今市场上常见的中低温区($<250^{\circ}\text{C}$)保温隔热涂料^[7-9],主要是复合硅酸盐隔热保温涂料^[10],此类材料保温效果、性能相对较差。以气凝胶为主的新型复合保温隔热材料^[11-12],因其优越的保温性能,正成为一种新型的保温涂料。针对以上问题,本研究以阻隔型隔热机理为主,结合其它保温隔热机理,以改性有机硅丙烯酸成膜树脂 CPS-1800 为成膜材料,改性气凝胶(50~200 μm)为功能填料,辅以适当的填料和助剂,旨在制备一种中低温区高性能的复合保温隔热涂料。

1 试验部分

1.1 试验原料及仪器

主要试验原料:甲基三氯硅烷、二甲基二氯硅烷和苯基三氯、其它有机硅单体、丙烯酸单体/树脂、聚酯单体/树脂、分散剂、去离子水、气凝胶、陶瓷微珠、玻璃纤维、水性有机硅改性丙烯酸树脂(自制)、纳米空隙气凝胶复合隔热填料(自制)、封闭剂、成膜助剂、消泡剂、脱脂剂和防霉剂等。

主要试验仪器:带有搅拌设备的配料反应釜、高速混合机、喷涂房、涂层测试仪、导热系数仪、模拟保温工况测试仪(自制)、小型玻璃反应釜(带温控和压力控制系统)、JJ-1 型电动搅拌器、HH-4 型数显恒温水浴锅、JM3202 型电子天平、101FA-00 型电热鼓风干燥箱、刮涂器、DZTW 型调温电热套、研磨分散多用机、NDJ 型旋转黏度计、刮板细度计、接触式探头测温仪等。

收稿日期:2019-01-23

* 基金项目:中山市-广东省科学院技术转移专项经费产业化项目(2016GIFC005)

作者简介:吕文东(1965-),男,教授高工,本科,主要研究方向为功能材料。

1.2 改性成膜树脂的制备

将适量的丙烯酸、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸丁酯、苯乙烯、丙烯酸异辛酯和 BPO 混合后在 90~120 °C 反应至体系透明,然后滴加一定量的有机硅中间体,降温至 40~50 °C 反应至分水器中无产物分出,调节 pH 至 7~8,冷却出料.利用分散设备制得的有机改性硅丙烯酸成膜树脂,命名为 CPS-1800.

1.3 气凝胶的改性

在密闭的容器中,加入适量的水、分散剂和助剂,搅拌均匀后,慢慢加入选定的 50~200 μm 气凝胶粉末,并缓慢搅拌.在搅拌的过程中当气凝胶粉末与水形成均匀分散的浆料时,对容器进行抽真空,并持续搅拌,直至气凝胶粉末与水的质量比为 25:75,即制得改性后的气凝胶粉末浆料.

1.4 隔热保温涂料的制备

将改性气凝胶浆料、改性成膜树脂、颜填料以及成膜助剂等按照一定比例先后加入反应釜中,低速搅拌均匀之后,再经过高速分散磨机分散研磨、过滤,即得到保温隔热涂料,通过改变试验条件得到不同细度的涂料.

1.5 测试方法

参照 GB/T3399-1982《塑料导热系数试验方法防护热板法》自制了隔热性能测试仪,对所制备的涂料进行阻隔隔热性能测试.图 1 为自制隔热性能测试仪的原理图.测试时,设定恒温热源温度,待散热面温度恒定时,测量样品所隔温差,结合厚度与面积评估隔热材料的保温隔热效果.

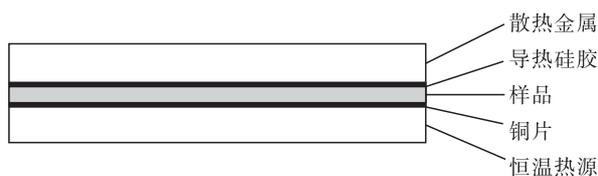


图 1 隔热性能测试仪的测试原理图

Fig. 1 Schematic diagram of thermal insulation tester

2 结果与讨论

2.1 改性气凝胶对涂料的隔热保温性能评价

由于气凝胶特有的物理性能,其粒径大小及在涂料中的分布状态,直接影响保温涂料的整体隔热

效果.为此,需要对气凝胶进行改性,不仅增加在水中的分散相容性,同时还要保留气凝胶一定的疏水性,进而保持气凝胶粉末在涂料中的优异保温隔热性能.

在其它配料及其用量相同的条件下,按表 1 列出的气凝胶及其用量制备不同保温涂料.

表 1 不同配方中的气凝胶及其用量

Table 1 Aerogel and dosage in different formulations

配方	气凝胶	质量/g	比例/%
1	改性气凝胶(<50μm)	60	36
2	改性气凝胶(50~200μm)	60	36
3	商用 1 号	60	36
4	商用 2 号	60	36

将不同粒径改性气凝胶制备的 4 种保温涂料制成厚 8 mm 的隔热材料,放到恒温加热仪器上,用加热器来调节实际热面测试的温度为 250 °C,然后用接触式探头测试涂层的表面温度.所制备的 4 种保温涂料表面温度随时间变化的情况如图 2 所示.

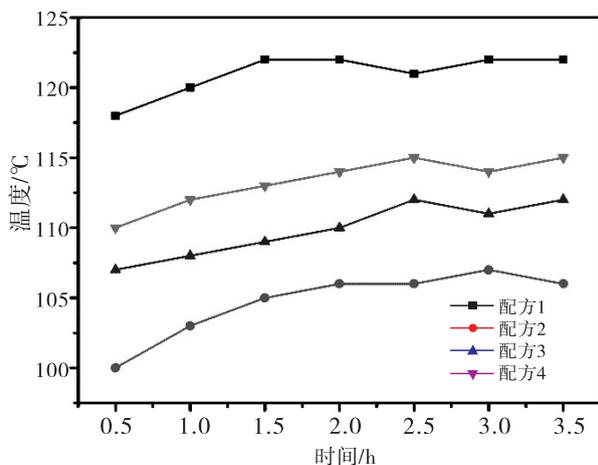


图 2 不同气凝胶配方的涂料表面温度随时间的变化

Fig. 2 The surface temperature of different aerogel formulations varied with time

由图 2 可知,气凝胶对涂料的隔热保温性能影响较大.对比分析自制的不同粒径改性气凝胶隔热保温性能发现,用粒径<50 μm 改性气凝胶制备的 1 号涂料的保温性能最差,用粒径 50~200 μm 改性气凝胶制备的 2 号涂料的隔热保温性能最好.经过

0.5 h, 2号涂料其表面温度仅为 100 °C, 远低于市面上商用 1号、商用 2号配方的 106 °C、110 °C; 在 3.5 h 内, 该涂料表面的温度仍远低于市面上商用 1号、商用 2号配方涂料的表面温度, 说明该自制的改性气凝胶的隔热保温性能良好, 故选用自制的粒径 50 ~ 200 μm 改性气凝胶进一步试验。

2.2 成膜材料对涂料的隔热保温性能评价

成膜材料性能决定涂料的整体保温性能, 常规成膜树脂由于其物理性能不高, 不能满足高性能保温涂料要求, 本研究选用自行设计开发的水性有机硅改性丙烯酸杂化树脂作为成膜材料, 该材料具有优异的耐热性、阻燃性, 而且其导热系数低, 能够实现常温固化。

在其它配料及其用量相同的条件下, 按表 2 列出的不同成膜材料及其用量制备了 4 种保温涂料。

表 2 不同配方中的成膜材料及其用量

Table 2 Film forming materials and dosage in different formulations

配方	成膜材料	质量/g	百分含量/%
5	水性丙烯酸(652)	100	77
6	水性有机硅(德国瓦克 MP50E)	100	77
7	丙烯酸: 有机硅(652: MP50E)质量比 1: 1	100	77
8	CPS-1800	100	77

所制备的涂料做成厚 8 mm 的隔热材料, 放到恒温加热仪器上, 用加热器调节实际热面测试的温度为 250 °C, 然后用接触式探头测试涂层的表面温度。制备的 4 种保温涂料表面温度随时间变化的情况如图 3 所示。

由图 3 可知, 成膜材料对涂料保温性能的影响较大。所有涂料表面温度均呈现出随时间延长而升高的趋势。其中配方 6 的保温性能最差, 0.5 h 时涂料表面温度就达到 125 °C, 且随时间延长而升高, 3.5 h 达到 130 °C。用 CPS-1800 制备的配方 8 涂料在 0.5 h 时涂料表面温度仅为 121 °C, 在 3.5 h 测试时间内涂料表面温度未超过 125 °C, 保温性能良好, 故选用自制的 CPS-1800 成膜树脂进一步试验。

2.3 CPS-1800 用量对涂料隔热保温性能的影响

将不同 CPS-1800 用量配方的涂料做成 8 mm

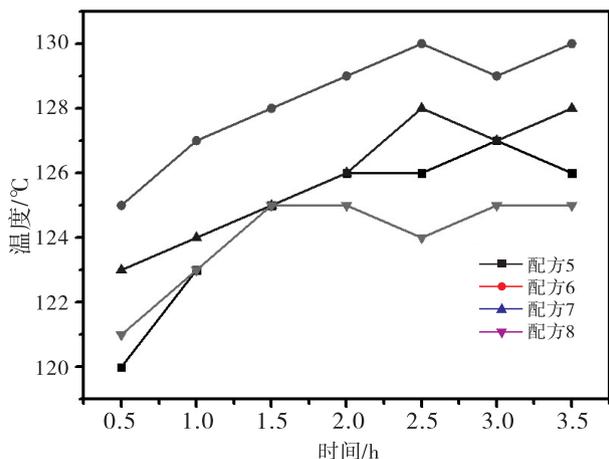


图 3 不同成膜材料配方涂料表面温度随时间变化的趋势
Fig. 3 The surface temperature of coatings with different film-forming material formulations changes with time

厚的隔热材料, 放到恒温加热仪器上, 用加热器来调节实际热面测试的温度为 250 °C, 然后用接触式探头测试涂层表面温度。

在其它配料及其用量相同的条件下, 按表 3 列出的 CPS-1800 不同用量, 制备了 4 种保温涂料, 其表面温度随时间变化的情况如图 4 所示。

表 3 不同配方中 CPS-1800 的用量

Table 3 Dosage and proportion of CPS-1800 in different formulations

配方	CPS-1800	
	质量/g	质量分数/%
9	85	50
10	90	51.4
11	95	53
12	105	55.3

由图 4 可知, CPS-1800 用量对涂料保温性能的影响较大。在一定范围内, 涂料的保温性能随 CPS-1800 用量增加而下降。当 CPS-1800 用量为 85 g 时, 涂料的保温性能最好, 但试验结果显示, 其强度较差、易开裂, 无实际应用价值。当 CPS-1800 用量增加到 95 g 时, 涂料的保温性能较好, 且涂层强度高、不开裂。继续增加 CPS-1800 用量至 105 g 时, 涂料的隔热保温性能急剧下降, 0.5 h 时涂料表面温度即达到 103 °C。故 CPS-1800 的最佳用量为 95 g。

2.4 隔热保温涂料的研制

在保温隔热涂料的设计过程中应考虑传热的三种路径:传导、辐射和对流,本研究中通过加入气凝胶可以大大提高涂料中的微孔率以及延长热传导路径,进而改善涂料的保温隔热性能;此外,还应引入可以反射辐射热的材料来阻隔辐射导热的传播路径.相变储能材料作为一种热能的高效存储物质,其在保温隔热涂料中的引入能有效提高保温隔热涂料整体性能.经过大量试验得到隔热保温性能优良的最佳配方,如表 4 所示.其隔热保温性能及与其它同

类产品主要指标的对比如图 5 所示.

由图 5 可知,自制的隔热保温涂料,在 0.5 h 时,其表面温度仅为 85 °C,明显低于市面上常见的涂料,并且在较长时间内隔热效果良好,其温度无明显升高.表明其具有优异保温隔热性能.

表 5 为该自制涂料与市面上涂料的各项性能指标对比.由表 5 可知,自制涂料 25 °C 导热系数仅为 0.038 W/m·K,较小的导热系数是该涂料的隔热保温性能优于其它涂料的主要因素.此外,该自制涂料的强度高,厚涂不开裂,且价格相对低廉.

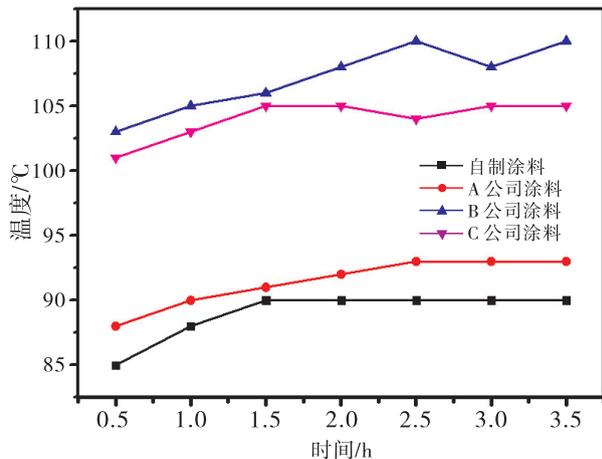
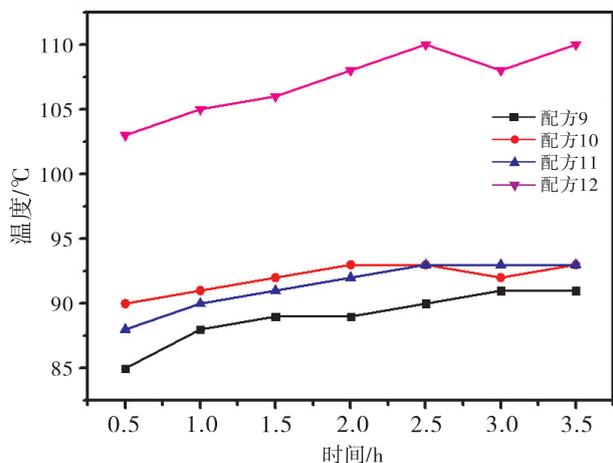


图 4 成膜树脂用量不同时表面温度随时间的变化

Fig. 4 The surface temperature of coating varied with different dosage of film-forming resin

图 5 不同涂料的涂层表面温度随时间的变化

Fig. 5 The surface temperature of different coatings varied with time

表 4 涂料的最佳配方

Table 4 The best formula for coatings

原料	CPS-1800	改性气凝胶 (50~200 μm)	漂珠	热反射材料	相变材料	助剂
质量/g	95	60	20	5	5	5
比例/%	50	31.6	10.5	2.6	2.6	2.6

表 5 不同保温隔热涂料性能对比

Table 5 Comparison of different thermal insulation coatings for performance

	价格 /(元·kg)	25 °C 导热系数 /W(m·K)	抗压强度 /MPa	粘结强度 /MPa	固化后密度 /(g·cm ⁻¹)	耐温上 限/°C	24 h 透水性 /mm
本文涂料	130	0.038	10.376	6.580	0.46	250	2
A 公司涂料	150	0.078	3.840	6.240	0.48	155	6
B 公司涂料	185	0.040	3.575	2.111	0.49	170	4
C 公司涂料	85	0.186	4.568	8.354	1.15	150	15
D 公司涂料	75	0.244	6.566	10.238	1.34	250	4

3 结论

以自制的有机硅改性丙烯酸树脂 CPS-1800 作为成膜材料,将改性气凝胶(50~200 μm)作填充材料,成功制备出了性能优良的隔热保温涂料.该自制涂料的最佳配方(质量分数)为:CPS-1800 50%、改性气凝胶(50~200 μm)31.5%、玻璃微珠 10.5%、热反射材料 2.6%、相变材料 2.6%、助剂 2.6%.在此配方下涂层接触的高温面 250 $^{\circ}\text{C}$ 降至低温面的 85 $^{\circ}\text{C}$ (膜厚 8 mm),保温涂料的导热系数为 0.038 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$,较小的导热系数是该涂料隔热保温优异的关键因素.相比于市面上其它隔热保温材料,该自制隔热保温材料还具有性价比高、强度大、耐水性好等优点,可替代传统的隔热保温材料,用于对保温隔热有较高要求使用场景.不仅节约能源,还具有重大的社会效益,有着十分广阔的市场前景.

参考文献:

- [1] 姚梦佳,李春福,河俊波,等.隔热保温材料的研究发展及应用[J].表面技术,2015,44(7):61-67.
 [2] 杜红波,张琳萍,毛志平,等.新型环保隔热涂料的研究

- [J].涂料工业,2010,40(3):53-56.
 [3] 方媛.隔热保温涂料的制备与性能研究[D].沈阳:沈阳理工大学,2014.
 [4] 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.
 [5] 汪世平.建筑隔热保温材料及其研究进展[J].上海涂料,2005,43(3):13-15.
 [6] 吴国坚,金骏,蔡玉斌.隔热涂料的研究现状及发展趋势[J].建筑节能,2011,39(4):56-58.
 [7] 夏正斌,涂伟萍,杨卓如,等.建筑隔热涂料的研究进展[J].精细化工,2001,18(10):599-602
 [8] 靳涛,刘立强.颜填料研究现状及其在隔热涂料中的应用[J].材料导报,2008,22(5):26-30.
 [9] 裘肖光,江国华,王小红等.碳纳米管/环氧树脂复合粉末涂料的制备及其性能研究[J].浙江理工大学学报,2013,30(6):838-843.
 [10] 李建涛,韩兵正.硅气凝胶/空心玻璃微珠保温涂料的研制[J].涂料工业,2013,43(7):24-28.
 [11] 李小兵,周顺清,余桂英,等.多功能水性纳米复合建筑隔热涂料的制备[J].化工新型材料,2015,43(1):55-57.
 [12] 殷武,孔志元,蔡青青,等.新型薄层保温隔热涂料的研制[J].涂料工业,2010,40(2):27-29.

Development of a new aerogel composite thermal insulation coating

LV Wendong¹, LUAN Huanguang², WAN Gan², CHEN Herui², LUO Zhibin²

1. Guangdong Institute of Resources Comprehensive utilization, State Key Laboratory of Rare Metal Separation and Comprehensive Utilization, Guangdong Provincial Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Guangzhou 510650, China; 2. Zhongshan Chempons Chemicals & Technology Co. Ltd., Zhongshan 548237, China

Abstract: In order to improve the performance of thermal insulation material, the modified silicone acrylic film-forming resin CPS-1800 is used as film-forming material, and modified aerogel (50-200 μm) is used as the functional filler, supplemented by appropriate fillers and additives, a high-performance energy-saving heat-insulating coating was prepared and its heat-insulating performance was tested. The results show that the 8 mm thick coating is applied to a heat source of 250 $^{\circ}\text{C}$. The surface temperature of the coating is 85 $^{\circ}\text{C}$ at 0.5 h, and the surface temperature of the coating does not exceed 90 $^{\circ}\text{C}$ within 3.5 h. The coating has a thermal conductivity of 0.038 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$, which is a key factor in its thermal insulation performance.

Key words: thermal insulation coating; CPS-1800; modified aerogel; energy conservation and environmental protection