

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.02.001

海泡石/聚丙烯酸钠复合调湿涂料的制备及性能研究

王汉青¹, 杨荣郭¹, 王正祥², 康良麒¹, 周慧文¹

(1. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 以无机矿物海泡石和高吸水性树脂(SAP)聚丙烯酸钠为吸湿材料, 苯丙乳液为基料, TiO_2 为颜料, CaCO_3 为填料, 采用正交化试验设计, 制备了16组无机矿物高分子复合调湿涂料样品, 测试了涂料样品的吸放湿性能, 最后对比各个样品的调湿性能, 得到一种调湿涂料吸放湿性能最佳配方比。

关键词: 海泡石; 聚丙烯酸钠; 调湿涂料

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)02-0001-05

Preparation and Research of Sepiolite/PAANa Composite Humidity-Controlling Coatings

Wang Hanqing¹, Yang Rongguo¹, Wang Zhengxiang², Kang Liangqi¹, Zhou Huiwen¹

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: With PAANa and sepiolite as absorbent materials, styrene-acrylic emulsion as base material, TiO_2 as paint and CaCO_3 as filler, prepared sixteen samples of inorganic polymer composite humidity-controlling coatings through orthogonal experimental design and tested the samples' humidity-controlling performance, compared the humidity-controlling properties of the samples, and obtained the best formulation ratio of the humidity-controlling performance for the coatings.

Keywords: sepiolite; PAANa; humidity-controlling coatings

0 引言

随着社会的进步, 物质生活水平的提高, 人们对于室内空气品质、人居环境舒适度的要求逐渐提高, 希望获得一个舒适健康的人居环境。人的一生当中, 有90%的时间是在室内度过的^[1], 因此, 室内空气品质的好坏直接关系到人们的身体健康。尤其是对夏热冬冷地区室内外气候环境而言, 湿度的

控制调节与温度的控制调节处于同等地位^[2]。根据相关统计资料表明^[3], 空调系统中, 用于除湿所消耗的能源占到整个空调能耗的20%~40%。借助调湿材料的吸放湿特性实现空气湿度的调节, 是一种被动式生态环保性方法, 不需要消耗不可再生能源^[4]。研究开发与应用具有较好自动调节空气湿度的调湿涂料, 对提高人居环境舒适度、节约不可再生能源、促进生态环境的可持续发展等具有十分重要的意义^[5]。

收稿日期: 2013-02-17

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划基金资助项目(2011BAJ03B07), 湖南省研究生创新基金资助项目(CX2012B399)

作者简介: 王汉青(1963-), 男, 湖南益阳人, 湖南工业大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事室内空气品质计算机仿真, 建筑环境与设备节能技术研究, E-mail: hqwang2011@126.com

通信作者: 杨荣郭(1986-), 男, 江西南昌人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为空调与建筑节能技术,

E-mail: yangrongg@sina.com

本文根据建筑涂料的配方设计原则及涂料制备工艺,制备了16组无机高分子复合调湿涂料样品,对制得的样品进行涂刷,测试了涂料样品的调湿性能。

1 试验原料及仪器

1.1 原料及试剂

苯丙乳液购自衡阳冯氏黏合剂有限公司;海泡石购自湖南浏阳光大海泡石厂;TiO₂化学纯;CaCO₃化学纯;高吸水性树脂(supper absorbent polymer, SAP)聚丙烯酸钠购自湖南汉润材料发展有限公司;PE40NV和CP40分散剂购自浙江林安科达涂料化工研究所;PE100润湿剂;NS801,SD20消泡剂;AB718,PU40增稠剂。

1.2 试验仪器

JA2003型电子天平:上海舜宇恒平科学仪器有限公司;HH-WO型水浴锅:巩义市予华仪器有限公司;D971型电动搅拌器:郑州长城科工贸有限公司;101-1AB型鼓风干燥箱:天津市泰斯特仪器有限公司;DZF-6090型真空干燥箱:上海三发科学仪

器有限公司;HT402型恒温恒湿箱:无锡伯乐达试验设备有限公司;SDF400型分散研磨机:常州市腾蛟机械厂;玻璃片规格为114 mm × 133 mm。

2 试验方法与检测步骤

2.1 复合调湿涂料样品的制取方案

本文采用正交化试验方案设计原则制备涂料样品^[6],将涂料组成成分作为影响涂料性能的因素,每个因素选择4个水平,因素水平设计如表1所示。根据5因素4水平选择正交设计表格,最后选择正交表L16(4⁵),制取16组样品,试验配方比例见表2。

表1 复合调湿涂料配方水平表

Table 1 Formulation levels for composite humidity-controlling coatings

水平	苯丙乳液 质量/g	SAP 质量/g	海泡石 质量/g	TiO ₂ 质量/g	碳酸钙 质量/g
1	120	1.0	20	40	60
2	60	1.5	80	80	80
3	80	0.5	60	60	40
4	100	2.0	40	20	20

表2 复合调湿涂料配方试验正交表

Table 2 Formulation test orthogonal table of composite humidity-controlling coatings

试验编号	苯丙乳液		SAP		海泡石		TiO ₂		碳酸钙	
	水平数	质量/g	水平数	质量/g	水平数	质量/g	水平数	质量/g	水平数	质量/g
1	1	120	1	1.0	1	20	1	40	1	60
2	1	120	2	1.5	2	80	2	80	2	80
3	1	120	3	0.5	3	60	3	60	3	40
4	1	120	4	2.0	4	40	4	20	4	20
5	2	60	1	1.0	2	80	3	60	4	20
6	2	60	2	1.5	1	20	4	20	3	40
7	2	60	3	0.5	4	40	1	40	2	80
8	2	60	4	2.0	3	60	2	80	1	60
9	3	80	1	1.0	3	60	4	20	2	80
10	3	80	2	1.5	4	40	3	60	1	60
11	3	80	3	0.5	1	20	2	80	4	20
12	3	80	4	2.0	2	80	1	40	3	40
13	4	100	1	1.0	4	40	2	80	3	40
14	4	100	2	1.5	3	60	1	40	4	20
15	4	100	3	0.5	2	80	4	20	1	60
16	4	100	4	2.0	1	20	3	60	2	80

2.2 复合调湿涂料样品制取步骤

以试验编号1为例,说明复合调湿涂料样品制取的试验步骤,其它试验样品制取步骤一样。1号试验配方为:120 g 苯丙乳液+1 g SAP+20 g 海泡石+40 g TiO₂+60 g CaCO₃+助剂,试验步骤如下。

1) 分散颜填料和海泡石

用天平称取20 g 海泡石、40 g TiO₂、60 g CaCO₃,混合倒入700 mL的烧杯中,加适量蒸馏水,在分散研磨机上研磨,转速为800 r/min,分散10 min,期间

用滴液管滴加2 g CP40分散剂、2 g PE40NV分散剂和2 g PE100润湿剂

2) 加入高吸水性树脂聚丙烯酸钠

用精密天平称取1 g SAP聚丙烯酸钠,将其加入到100 mL 80 °C的蒸馏水中,搅拌溶解后加入上述分散研磨的颜填料中,提高转速至2 500 r/min,高速分散15~20 min,期间加入2 g NS801和SD20消泡剂。

3) 调漆

待颜填料分散均匀,细度达到要求后,降低分散

研磨机转速至500 r/min,用天平称取120 g苯丙乳液,加入低速分散的颜填料中,低速搅拌5 min。根据涂料的黏稠度,加入适量的AB718增稠剂和微量的NS801,SD20消泡剂,将涂料调节至适当黏稠度并消除涂料中的泡沫。最终得到涂料成品,用广口试剂瓶盛放,样品编号命名为1号。

2.3 无机矿物高分子复合调湿涂料吸湿性能检测

1) 样品预处理

涂料样品放置48 h后,即可进行涂覆。将16块尺寸为114 mm × 133 mm的玻璃片擦拭干净,在干燥箱烘干,用精度为0.001 g的精密电子天平称取各块玻璃片的净重 m_{0i} ($i=1, 2, \dots, 16$)。将16个样品分别涂覆在16块玻璃片上,自然环境下干燥成膜,再置于真空干燥箱中充分干燥后,用电子天平称取各样品的初始质量 m_{1i} ($i=1, 2, \dots, 16$)。

2) 吸湿性能测试

将16个样品先后置于相对湿度为40%, 60%, 70%, 90%, 温度为25 °C的恒温恒湿箱中进行吸湿,选取若干个时间点称取样品的质量 m_{2i} ($i=1, 2, \dots, 16$),算出各个样品的吸湿量 $m_{2i}-m_{1i}$ 。40%湿度环境中的时间点为0, 2, 5, 18 h; 60%湿度环境中的时间点为0, 5, 8, 18 h; 70%湿度环境中的时间点为0, 10, 25 h; 90%湿度环境中的时间点为0, 8, 26, 47, 51 h。在各湿度环境中,最后的吸湿时间点的样品质量 m_{2i} 变化不大,说明样品达到吸湿饱和,在90%湿度环境中吸湿51 h后,样品的质量趋于稳定,表示样品吸湿达到饱和。此时,称取样品吸湿饱和后的质量 m'_{3i} 。

根据玻璃片净重 m_{0i} 和样品干燥后玻璃片质量 m_{1i} ,算出各样品试样中涂料干燥后的质量 $m_{2i}-m_{0i}$;根

据涂料样品在不同湿度环境下各时间点记录的样品质量 m_{2i} ,算出各样品的吸湿量 $m_{2i}-m_{1i}$,并算出其相应的吸湿率 ε_{ij} ,即

$$\varepsilon_{ij} = \left(\frac{m_{2i} - m_{1i}}{m_{1i} - m_{0i}} \right) \times 100\%,$$

$$i = 1, 2, \dots, 16, j = 1, 2, 3 \text{ 或 } 4。 \quad (1)$$

3) 放湿性能测试

样品在90%湿度环境下吸湿饱和后,将样品先后置于相对湿度为50%, 45%, 35%,温度为25 °C的恒温恒湿箱进行放湿,选取若干个时间点称取样品质量 m_{4i} ,算出其放湿量 $m_{3i}-m_{4i}$ 。50%湿度环境下时间点为0, 20, 24 h; 45%湿度环境下时间点为0, 20 h; 35%湿度环境下时间点为0, 3, 22, 32 h。

根据样品吸湿饱和后总质量 m'_{3i} 和玻璃片净质量 m_{0i} ,算出饱和涂料总重 $M_{\text{总}}=m'_{3i}-m_{0i}$;根据涂料样品在不同湿度环境下各个时间点记录的样品质量 m_{4i} ,算出各样品的放湿量 $m'_{3i}-m_{4i}$,并算出各个样品的放湿率 η_{ij} ,即

$$\eta_{ij} = \left(\frac{m'_{3i} - m_{4i}}{M_{\text{总}}} \right) \times 100\%,$$

$$i = 1, 2, \dots, 16, j = 1, 2 \text{ 或 } 3 \text{ 或 } 4。 \quad (2)$$

3 试验结果与分析

3.1 样品的吸湿/放湿曲线

在此仅列出各样品在不同湿度环境下的饱和吸湿率和饱和放湿率,所得结果见表3,相应的等温吸湿率曲线如图1所示,等温放湿率曲线如图2所示。

表3 样品饱和吸湿率/放湿率数据

Table 3 Moisture absorption/desorption rate of samples

样品编号	吸湿率				放湿率		
	40%, 18 h	60%, 18 h	70%, 25 h	90%, 51 h	50%, 24 h	45%, 20 h	35%, 32 h
1	0.283	1.198	2.114	5.116	3.356	3.676	4.188
2	0.543	1.422	2.093	4.522	2.217	2.568	3.226
3	0.452	1.246	1.445	3.666	1.707	2.317	2.700
4	0.719	2.899	4.807	14.941	10.347	11.058	12.222
5	0.316	1.121	1.610	4.230	2.468	2.983	3.468
6	0.424	1.538	2.453	5.864	3.075	4.002	4.507
7	0.362	0.938	1.232	2.840	1.211	1.641	2.019
8	0.762	1.524	2.050	4.126	1.893	2.397	2.814
9	0.590	1.624	2.113	4.182	2.402	2.787	3.171
10	0.325	1.611	2.084	4.124	2.030	2.583	2.839
11	0.434	1.663	2.473	5.162	2.956	3.451	3.905
12	0.599	2.253	2.852	5.392	2.319	2.956	3.547
13	0.573	2.076	2.756	5.458	2.834	3.530	4.056
14	0.718	2.513	3.471	6.822	3.249	4.118	4.874
15	0.965	2.301	3.069	5.543	1.946	2.790	3.470
16	0.656	2.690	3.040	5.840	2.397	3.430	4.030

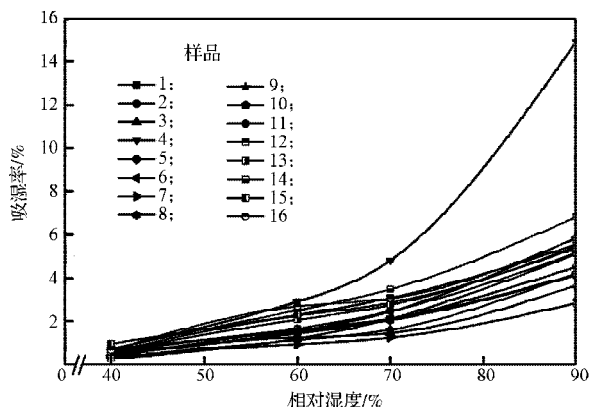


图1 样品的等温吸湿曲线

Fig. 1 Isothermal moisture curve of samples

由表3和图1可知,16个样品的吸湿率随着相对湿度的增大而提高,且湿度为90%环境中,最后时间点51h时,涂料样品的质量趋于稳定,表示样品达到吸湿饱和;当空气的相对湿度低于60%时,涂料样品的吸湿能力较低,样品吸湿率介于1%~3%之间;当空气的相对湿度达到70%以上,涂料的吸湿能力明显提高,并且随着湿度的增大,涂料吸湿能力越强;4号样品的吸湿率在90%湿度环境中达到了14.941%;吸湿效果较好的样品编号依次为4,14,6,吸湿效果较差的样品编号依次为7,3,8。

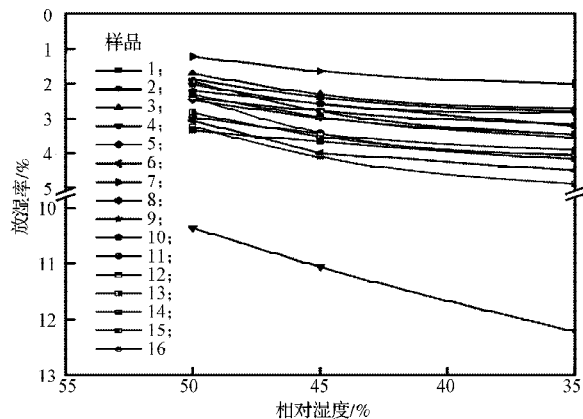


图2 样品的等温放湿曲线

Fig. 2 Isothermal desorption curve of samples

由表3和图2可得知,涂料样品的放湿率随着相对湿度的降低而升高,且在各湿度环境下,最后时间点的样品质量趋于稳定,表明此时样品放湿达到饱和,在35%湿度环境下放湿32h后,涂料样品质量趋于稳定,说明样品放湿达到稳定;在50%湿度环境中,除了样品4外,样品放湿率介于1%~4%;而在35%湿度环境中,涂料样品的放湿率明显提高,介于2%~5%,样品4的放湿率更是达到了12.222%,样品4的放湿能力明显优于其它样品,为其它样品的3~4倍,在50%湿度环境中就已经达到10.347%,为其它样品的4~5倍;样品中,放湿能力较强的依次为

4,14,6;放湿能力较弱的依次为7,3,8。

对比涂料样品的等温吸湿曲线和等温放湿曲线可知:涂料样品的吸湿率高于放湿率,说明涂料样品的吸湿性能优于涂料样品的放湿性能;吸湿性能和放湿性能最好的是4号样品,具有较好吸放湿性能的还有14,6号样品。4号样品配方为:120g苯丙+2gSAP+40g海泡石+20gTiO₂+20gCaCO₃。

3.2 样品的吸湿/放湿速度曲线

16个样品吸湿速度曲线如图3所示。

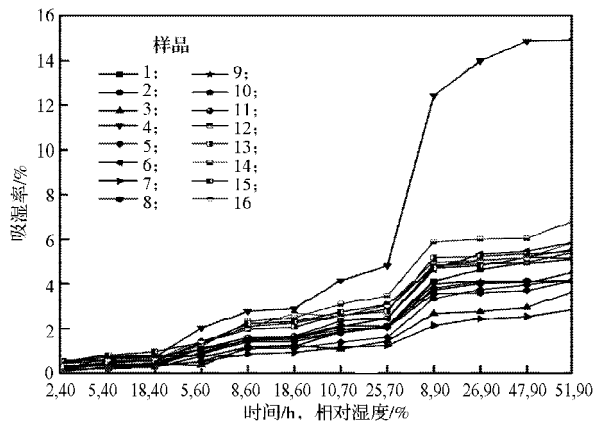


图3 样品的吸湿速度曲线

Fig. 3 Absorbent velocity curve of samples

从图3可以看出:在整个湿度环境中,多数样品(除了4号样品)的吸湿速度变化不明显;湿度为60%和70%的环境下,涂料吸湿速度较40%环境下有所提高;湿度为90%的环境下,各样品的吸湿速度有较大提高;所有样品中,4号样品的吸湿速度增长最快,湿度为70%的环境下吸湿25h后,吸湿率为4.807%,湿度为90%环境下吸湿51h后,吸湿率更是高达14.941%,且4号样品的吸湿速度一直优于其它样品;整个湿度环境中,吸湿速度较快的样品依次为4,14,6;吸湿速度较慢的样品为7,3,8。

16个样品放湿速度曲线如图4所示。由图可知,在整个放湿湿度环境中,多数样品(除了4号样品)的放湿速度变化不明显;所有样品中,4号样品的放湿速度最快,该样品在湿度为50%的环境下放湿24h后,放湿率为10.347%,35%湿度环境下放湿32h后,放湿率为12.222%;所有样品中,4号样品的放湿速度增长最快,并且4号样品的放湿速度一直优于其它样品。在相对湿度由45%转变为35%后的一段时间内,各样品的放湿率出现增加现象,随后又随着时间增长放湿率逐渐降低。分析其原因:可能是由于试验过程中,在时间点为44h时,将样品取出恒温恒湿箱,置于实验室空气中称量时,样品的放置时间过长,导致样品吸收空气中的水分,致使各样品在初期的放湿率出现不减反而增加的现象。

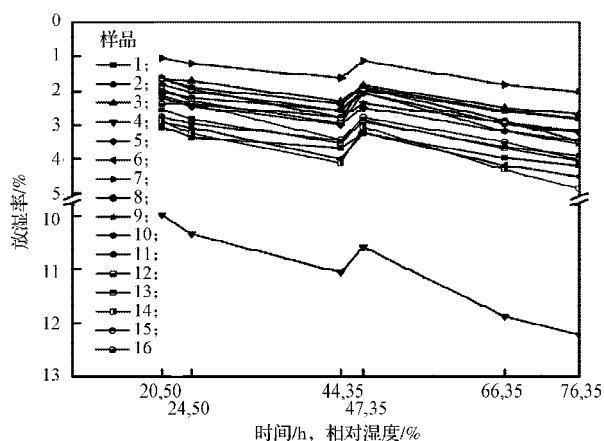


图4 样品的放湿速度曲线

Fig. 4 Desorption velocity curve of samples

4 结论

本文以高吸水性树脂(SAP)聚丙烯酸钠和海泡石为吸湿材料,添加 TiO_2 、 CaCO_3 助剂,采用正交化试验设计方案,制得16组复合调湿涂料样品,测试了样品的调湿性能,得到如下结论:

1) 涂料样品的吸湿率随着相对湿度的升高而升高。当空气的相对湿度低于60%时,涂料样品的吸湿能力较低,样品吸湿率介于1%~3%之间;当空气的相对湿度达到70%以上后,涂料的吸湿能力明显提高,并且随着湿度的增大,涂料吸湿能力越强;4号样品的吸湿率在90%环境中达到了14.941%。

2) 涂料样品的放湿率随着相对湿度的降低而升高。多数样品的放湿率均低于5%,而样品4的放湿率却达到了12.222%。

3) 对比各样品的最大吸湿率与最大放湿率可知,样品的吸湿率高于放湿率,说明涂料样品的吸湿性能优于涂料样品的放湿性能。

4) 在整个湿度环境中,多数样品(除了4号样品)的吸湿/放湿速度变化不明显。所有样品中,4号样品的吸湿/放湿速度增长最快,在70%湿度环境下吸湿25h后吸湿率为4.807%,90%湿度环境下吸湿51h后吸湿率更是高达14.941%,而50%湿度环境下放湿24h后放湿率为10.347%,35%湿度环境下放湿

32h后放湿率为12.222%,而且4号样品的吸湿/放湿速度一直优于其它样品。4号样品的吸放湿性能明显优于其它样品,故4号样品为最佳样品。样品配方为:120g苯丙+2gSAP+40g海泡石+20g TiO_2 +20g CaCO_3 。此外,吸放湿性能较好的样品为14,6;吸放湿性能较差的样品为7,3,8。

参考文献:

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook Fundamentals[M]. State of California: Atlanta, 1993: 43-48
- [2] 李俊鸽, 杨柳, 刘加平. 夏热冬冷地区人体热舒适气候适应模型研究[J]. 暖通空调, 2008, 38(7): 20-24.
Li Junge, Yang Liu, Liu Jiaping. Adaptive Thermal Comfort Model for Hot Summer and Cold Winter Zone[J]. HV & AC, 2008, 38(7): 20-24.
- [3] 张涛, 刘晓华, 赵康, 等. 温湿度独立控制空调系统应用性能分析[J]. 建筑科学, 2010, 26(10): 146-150.
Zhang Tao, Liu Xiaohua, Zhao Kang, et al. Analysis on Application Performance of Independent Temperature and Humidity Control Air-Conditioning System[J]. Building Science, 2010, 26(10): 146-150.
- [4] 康玉梨. 调湿涂料的研制与实验研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2007.
Kang Yuli. The Development and Experimental Study on the Humidity Control Coating[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.
- [5] 侯国艳, 冀志江, 王静, 等. 室内湿度对生活质量的影 响[J]. 中国建材科技, 2006(03): 74-76.
Hou Guoyan, Ji Zhijiang, Wang Jing, et al. Effect of Room Temperature on Quality of People's Life[J]. China Building Materials Science & Technology, 2006(3): 74-76.
- [6] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2008: 124-125.
Li Yunyan, Hu Chuanrong. Experimental Design and Data Processing[M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 124-125.

(责任编辑: 邓彬)