

“晒不热”建筑涂料的节能实效

马一平, 朱蓓蓉, 李远珊, 于 贺

(同济大学 先进土木工程材料教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 采用价格低廉的低吸收率、高发射率碱土金属碳酸盐材料作为涂料填料, 制备了“晒不热”建筑涂料。于海南的试验结果表明, 彩钢瓦楞板屋顶涂刷该涂料后, 其日间曝晒下室内温度比未涂者可低 10 °C, 比涂市售同类涂料者可低 2 °C; 空调设置温度为 24 °C 时, 涂该涂料的房间 1 昼夜比未涂者可节电 1.72 kWh, 比涂市售同类涂料者可节电 0.81 kWh; 空调设置温度为 26 °C 及以上时, 涂该涂料的房间比未涂者节电率大于 40%, 比涂市售同类涂料者节电率高 15.6~20.8 个百分点。

关键词: “晒不热”建筑涂料; 建筑节能; 空调节电率

中图分类号: TU56

文献标识码: A

Energy Saving Effect of “Insulating-not-hot” Building Coating

MA Yiping, ZHU Beirong, LI Yuanshan, YU He

(Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Materials of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Insulating-not-hot coating is made out by using a cheap alkaline earth carbonates material with low solar absorptance and high emittance as filler of coating. The results of experiments in Hainan province indicate that the indoor temperature of the experimental house painted with the insulating-not-hot coating on the color steel corrugated sheet roof is 2 °C lower than that painted with a heat-reflecting coating from market on the same roof, and 10 °C lower than that painted with nothing on the same roof. When air conditioning temperatures of three experimental houses are all set to 24 °C, the 24 h electricity consumption of the house painted with the insulating-not-hot coating is 1.72 kWh lower than that painted with nothing, and 0.81 kWh lower than that painted with the heat-reflecting coating from market. When air conditioning temperatures of experimental houses are all set to not less than 26 °C, the electricity saving rates of the house painted with the insulating-not-hot coating are 40% higher than that painted with nothing, and higher than that

painted with the heat-reflecting coating from market by 15.6~20.8 percents.

Key words: “insulating-not-hot” building coating; building energy saving; electricity saving rate of air-conditioner

我国幅员辽阔, 各地区气候差异很大, 不同地区的建筑节能设计要求不同。在南方地区, 夏季炎热漫长, 冬季寒冷时间很短甚至几乎没有冬季, 长年气温高, 太阳辐射强烈。一般来说, 将温度降低 1 °C 所需能耗是将温度升高 1 °C 所需能耗的 4 倍^[1], 因此, 解决炎热地区建筑隔热问题对建筑节能具有重大意义。

人们通常采用增加保温层的措施来解决建筑节能问题。然而, 对于夏热冬暖地区, 简单采用增加保温层的方法并不能有效地降低能耗, 《公共建筑节能设计标准(GB 50189—2005)》的第 4.2.2 条明确指出了这点。在南方地区, 室内外温差传热在整个传热中占的比例较小, 太阳辐射产生的热效应是造成夏季室内过热的主要原因。有研究表明, 工业厂房、简易厂房或临时性建筑采用铁皮顶越来越多, 在夏季温度为 33 °C 时, 锌皮表面温度可高达 56 °C, 红色防锈铁皮表面温度可达 62 °C, 在面积为 200 m²、高为 5 m 的铁皮厂房内, 在距地面 1.5~2.0 m 处测得的温度分别为 32 °C 和 35 °C^[2]。在很多情况下, 无法采用空调制冷来降低室内温度, 实践表明, 通过降低物体表面温度的措施来降低室内环境温度是最行之有效的办法^[3]。外墙隔热涂料对太阳光中的可见光和近红外光具有较高的反射能力, 并且可以通过辐射的形式把建筑物吸收的热量以一定的波长发射到空气中, 降低建筑物表面的温度, 从而可降低室内得热, 有效减少空调制冷能耗, 相比于外墙保温措施, 更适用于炎热地区^[4]。

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA05Z208); “十一五”国家科技支撑计划(2006BAJ02B02-03)

第一作者: 马一平(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为土木工程材料。E-mail: yypma@citiz.net

自 20 世纪 70 年代以来,美、英、日等国家开始研究反射太阳热量隔热涂料,因其经济、方便和效果好等特点受到人们的青睐,前景光明^[5-6]. 但我国近年来的研究大多关注涂料本身的组成,如基料、颜填料等对涂料隔热性能的影响^[7-9],其中对于隔热性能的研究,采取的方法绝大多数是用热源照射试验箱或试板,以试验箱内部空间或试板背面(或空间)的温度(温度差)来对比不同涂料的隔热性能^[10]. 部分研究将试验箱置于室外,测试太阳照射条件下涂料的降温效果^[11-13],但尚需对实际建筑的温度变化情况进行测试,才能获得隔热涂料的真实降温效果,已有少数研究给出了实际的应用降温效果^[14-16]. 然而,仅有降温数据仍然无法得知可以节约多少能源,而这恰恰是用户最关心的问题. 现有报道中,只有安邦等^[16]的研究给出了空调用电量减少的实测数据.

前期已探索出适用于炎热地区建筑外表面的“晒不热”材料,实验室研究表明:该材料白天的晒不热效果明显,曝晒最大升温比普通热反射涂料低 2~3 °C,且该材料价格低廉,适宜用作隔热涂料的填料^[17]. 本文在前述研究基础上,在海南岛建造了简易试验房,对其在实际建筑物上的降温效果与节电情况进行了实验研究,以期为该涂料在炎热地区建筑中应用提供实际节能数据.

1 试验内容

1.1 试验原材料

“晒不热”材料主要成分为碱土金属碳酸盐. 丙烯酸乳液,固体质量分数为 49%;自来水;分散剂、消泡剂、增稠剂等助剂. 对比反射隔热涂料为市售某厂家生产的反射隔热涂料,涂料呈油性,价格较高,属市面上同类材料中反射隔热效果声誉较好的涂料.

1.2 材料吸收率和法向发射率测定

将“晒不热”材料充分研磨后与丙烯酸乳液、助剂和水按适当比例混合研磨制成实验用“晒不热”涂料. 将其涂覆在长、宽都为 40 mm、厚为 1 mm 的铝板基材上,涂层厚度 1 mm 左右,晾干,所制成样品简称涂层 A. 采用同样方法将对比反射隔热涂料涂于铝板上,所制成的样品简称涂层 B. 为与前期探索工作衔接,采用前期探索研究期间的“晒不热”材料样品制备、测试方法,将研磨好的“晒不热”材料与少量丙烯酸乳液和水拌和后涂于铝板上^[17],制成“晒不热”材料样品,简称材料 A. 采用同济大学与北京南奇星有限公司共同研制的 FXL-1 型吸收率和法向

发射率测量装置进行吸收率、法向发射率的测量.

1.3 日间曝晒模拟试验

按上述涂覆方法将材料 A、涂层 A 与涂层 B 所用涂料涂覆在长、宽都为 300 mm、厚度为 1 mm 的铝板上,涂覆后置于无尘、阴凉处 1 昼夜,晾干. 将铝板试样覆盖于曝晒模拟试验装置(图 1)上方,并用硅胶粘接密封.

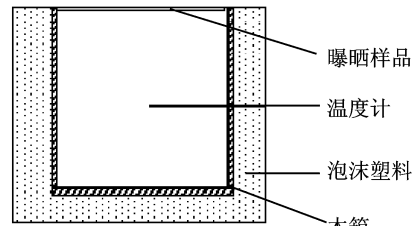


图 1 日间曝晒模拟试验装置

Fig. 1 Simulation experimental device used for daytime insolation

试验前先将所有日间曝晒模拟试验装置置于室内 1 昼夜,使其与环境达到热平衡. 试验时,将曝晒装置置于晴朗无风或微风天气室外日光下,每隔 0.5 h 测量各装置内的温度及环境温度. 测试数据经校正后,以曝晒箱内温度与环境温度的最大差值计算出与环境最大温差 ΔT_{\max} .

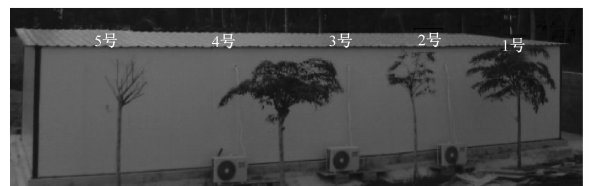
本文中所有温度测试数据都已修正,修正方法见文献[18].

1.4 简易房试验

为测试“晒不热”涂料在炎热地区实际建筑中的隔热效果,在海南岛博鳌搭建了 5 间简易房(图 2),自东向西分别编号为 1~5 号,屋顶皆为蓝色的彩钢瓦楞板,所有房间墙壁均为相同的彩钢夹芯板,简易



a 简易房正面



b 简易房背面

图 2 海南省博鳌市的简易试验房

Fig. 2 Simple test house in Bo'ao, Hainan Province of China

试验房均无窗户,门规格统一、开于北墙;测试涂料隔热效果时为避免东晒、西晒影响,采用中间的 2~4 号房间进行试验,屋面、地面构造及室内设备完全相同,且 3 个房间中安装了相同的奥克斯(AUX)KFR-25GW/SD-1 的 1 匹分体挂壁空调机,每部空调均接相同的电表分别进行耗电计量。

于 2010 年 6~9 月选取晴朗天气(最高气温均超过 30 °C)进行试验. 每次测试前夜将所有房屋门打开,使其与环境温度达到热平衡. 试验时,将每个房间门关闭,读取温度时人进入后立即关门. 采用已校正过的温度计悬挂于每个房间正中央,试验期间每 0.5 h 测一次房间温度,采用自制简易百叶箱测试环境温度. 试验过程中每种试验均进行 2 次以上,试验结果表明同种试验多次试验规律基本一致,本文中仅选取每种试验中的 1 组数据进行描述. 所进行试验包括以下 2 种.

(1) 曝晒对比试验:目的是分别考察未开启空调时涂与不涂“晒不热”涂料以及涂“晒不热”涂料与涂市售隔热涂料的隔热效果. 并于涂涂料前先进行了中间 3 间房间的空白曝晒试验,结果表明:3 间房间室内温度与环境温度最大温差相互间差异小于 0.5 °C,故可将 3 间房间视为基本无差异. 将 2 号房间屋顶涂刷涂层 A,4 号房间屋顶涂刷对比涂层 B,3 号房间屋顶不涂刷涂料.

(2) 空调对比试验:目的是分别考察开启空调下涂与不涂“晒不热”涂料以及涂“晒不热”涂料与涂市售隔热涂料的节电效果. 并于未涂涂料时先进行了 3 间房间开空调时的空白耗能试验(空调设置温度为 26 °C,试验时间为 9:00~17:00),结果表明 3 间房间的耗能分别为 5.80,5.60,5.70 kWh,基本可认为无差异. 在此基础上,屋顶涂涂料方式与曝晒对比试验相同,试验开始时 3 个房间同时开启空调,将空调设置成相同的温度,测试 3 个房间试验过程中的耗电量,每隔 0.5 h 读一次电表. 试验时间段分为 2 种,日间试验为 9:00 至 17:00,24 h 循环试验为 9:00 至次日 9:00.

为考察“晒不热”涂料 1 昼夜的耗电情况,考虑到天气和工作量因素,于 2010 年 9 月 17 日 9:00 至 9 月 18 日 9:00 进行了有代表性的空调设置温度为 24 °C 时的 24 h 空调耗能对比试验. 各房间的累计耗电量以 2010 年 9 月 17 日 9:00 开启空调时电表数据为基准,以后每 0.5 h 读数减去前述基准数据得到. 在 2010 年 9 月 17 日试验过程中 18:30 太阳落山、19:00 天色变黑.

由于空调设置成不同温度时房间的耗电量存在一定的差别,因此进行了 5 种不同空调设置温度的日间空调耗能对比试验. 于 2010 年 8~9 月中选取多个晴朗天气进行了空调设置温度分别为 22,24,26,28,30 °C 情况下的日间空调耗能对比试验.

2 试验结果及讨论

2.1 日间曝晒模拟试验结果

采用日间曝晒模拟试验箱进行了材料 A、涂层 A、涂层 B 日间曝晒试验,结果如图 3,表 1 列出了材料 A、涂层 A、涂层 B 的吸收率、发射率、吸收发射比及与环境最大温差 ΔT_{\max} , °C.

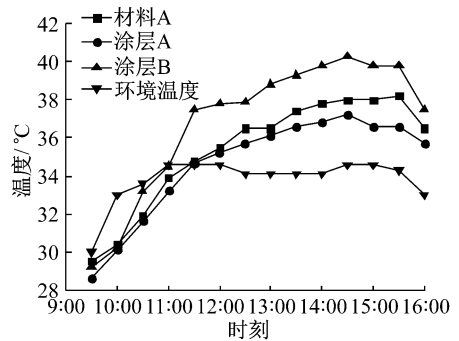


图 3 几种材料的日间曝晒模拟试验

Fig. 3 Thermal effects of daytime insolation of several materials

表 1 几种材料的性能

Tab. 1 Properties of several materials

试样	太阳吸收率 α	发射率 ϵ	α/ϵ	$\Delta T_{\max}/^{\circ}\text{C}$
材料 A	0.62	0.92	0.67	4.0
涂层 A	0.62	0.92	0.67	2.7
涂层 B	0.65	0.91	0.71	5.7

由图 3 可以看出,3 个试验箱的初始温度相差 1 °C 左右,可认为已接近热平衡状态. 曝晒过程中环境温度总体变化平缓,3 个试验箱内温度不断上升,在 14:30 时箱内温度与环境的温差达到最大值. 涂层 A 升温曲线在最下方,升温速率最小,与环境最大温差最低,仅为 2.7 °C. 涂层 B 的升温曲线在最上方,升温速率最大,与环境温差达 5.7 °C,明显高于涂层 A. 由表 1 可见涂层 A 的吸收率、发射率与其填料材料 A 相同,涂层 B 的吸收率相对较高、发射率较低,可能主要是由于涂层 A 吸收率较低造成以上试验结果.

以上试验结果表明,涂层 A 的“晒不热”效果优于市售隔热涂层 B,是一种较好的炎热地区用“晒不热”涂料,有必要对其进行实际房屋中隔热效果的研

究.

2.2 简易房试验结果

2.2.1 降温效果对比

于 2010 年 8 月 18 日对涂层 A 和涂层 B 进行了曝晒对比试验,结果如图 4.

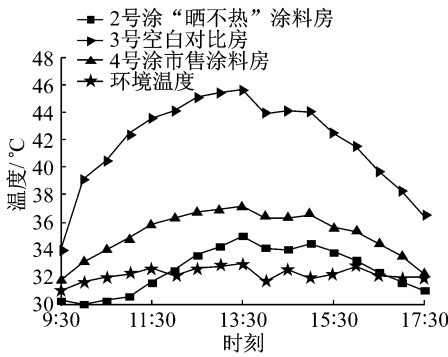


图 4 曝晒对比试验中简易房的温度

Fig.4 Temperature -time graphs of daytime insolation comparative test of the experimental houses

由图 4 可见,在开始试验时 3 间房间初始温度相差 3~4 °C,这是由于此时太阳已升起并斜照房顶约 3 h 造成的,但试验发现黎明前 3 间房间的室内温度相差仅为 1 °C 左右,可认为已基本达到热平衡,鉴于本试验以与环境最大温差作为考察指标且考虑到工作方便,大量试验均选择在太阳升起不久进行,这样不会对试验结果产生大的影响. 试验中,环境温度变化比较平缓,3 个房间内的温度先上升,至 13:30 时 3 个房间内温度均达到最大值,此后室内温度开始下降. 未涂刷涂料的 3 号房间内温度上升速率最大,与环境温差最大,达 12.6 °C;4 号房间与 2 号房间由于屋顶涂料的反射隔热效果,室内温度上升幅度较为平缓,2 号房间的温度始终低于 4 号房间的温度,4 号房间的 ΔT_{\max} 为 4.2 °C,2 号房间的 ΔT_{\max} 仅为 2.2 °C,比 4 号房间低 2 °C.

上述曝晒对比试验结果表明,屋顶涂刷“晒不热”涂料比不涂者室内温度低 10 °C 左右;涂“晒不热”涂料比涂市售隔热涂料的降温效果更好,其曝晒最大升温可低 2 °C. 经测试发现彩钢板的太阳吸收率约为 0.85,发射率约为 0.84,结合表 2 可知,屋顶涂刷“晒不热”涂料室内温度明显低于不涂者的原因在于“晒不热”涂料的太阳吸收率明显低于彩钢板的太阳吸收率,而发射率高于彩钢板的发射率;涂“晒不热”涂料比涂市售隔热涂料的降温效果更好一些的原因在于其太阳吸收率略低于后者,而发射率略高于后者.

2.2.2 空调设置为 24 °C 时 24 h 空调耗电量及节电率对比

考虑到天气和工作量因素,选择具有一定代表性的 24 °C 空调设置温度进行了 24 h 空调耗能对比试验,图 5 为各房间累计耗电量曲线.

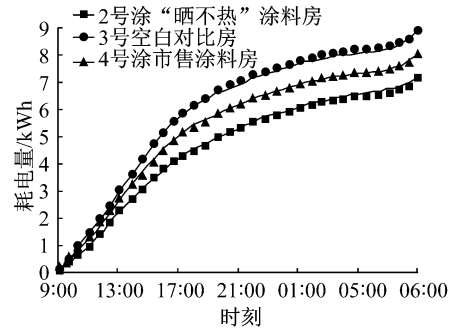


图 5 空调温度为 24 °C 时简易试验房 24 h 循环试验各房间累计耗电量

Fig.5 Cumulative electricity consumptions of the houses in 24 h experiment when air conditioning temperatures of three houses are all at 24 °C

由图 5 可见,在 9:00~19:00 时,由于日间太阳照射作用,3 个房间的耗电量几乎线性上升. 3 个试验房间相比较,3 号房间耗电量上升速率最大,2 号房间最小,4 号房间居于中间,至当日 19:00 天黑,2~4 号房间累计耗电量分别为 4.80,6.42,5.67 kWh. 可见日间太阳照射下屋顶涂刷隔热涂料后耗电量明显下降,并且屋顶涂刷“晒不热”涂料的房间比涂刷市售隔热涂料的房间耗电量更小.

当日 19:00 天黑至次日 5:00 日出 3 个房间的累计耗电量都仍逐渐上升,上升速率变小,由图 5 可见 3 个房间的耗电量差值变化很小,该段时间内 2~4 号房间内耗电量分别为 1.77,1.68,1.66 kWh. 3 号、4 号房间的耗电量基本相同,2 号房间与 4 号房间耗电量相差 0.11 kWh,相差很小. 由此可见,3 个房间的夜间的散热作用基本相同,夜间耗电量差别不大. 由此可见,3 个房间的空调耗电量差异主要受屋顶涂刷材料对日间太阳光的反射作用不同造成. 鉴于此,且考虑到工作量因素,其后的空调耗能试验主要是日间空调耗能试验.

上述 24 h 循环试验 2~4 号房间累计耗电量分别为 7.20,8.92,8.01 kWh. 以 3 号房间为对照间计算节电率,2 号房间的节电率为 19.3%,4 号房间的节电率为 10.2%.

2.2.3 不同空调设置温度时耗电量及节电率对比

不同空调设置温度日间耗电量对比试验结果示于图 6. 表 2 为不同空调设置温度下所测得各房间

平均温度。

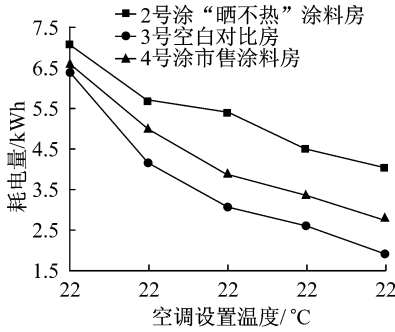


图 6 不同空调设置温度下简易试验房的日间耗电量

Fig.6 Electricity consumptions of the experimental houses at different temperatures set by air-conditioner

表 2 不同空调设置温度下简易房室内平均温度

Tab.2 Average temperatures of the experimental houses at different temperatures set by air-conditioner

	°C				
房间	22	24	26	28	30
2号	22.4	24.1	25.6	27.0	28.9
3号	25.7	26.4	27.0	28.6	30.4
4号	23.0	24.3	25.8	27.6	29.4

由图 6 结合表 2 可见,当空调设置温度较低时,由于房间内外温差较大,热传递总量也大,空调耗电量也随之增大.空调设置为 22 °C 和 24 °C 时,内外温差大,空调功率有限,几个房间内的实际温度均高于设置温度;3 号房间由于屋顶为彩钢瓦楞板,表面温度最高,导致屋面温度与室内温差最大,空调功率有限,持续作用仍不足以使房间温度降低至设置温度,其温度比设置温度高 3~4 °C;涂刷隔热涂料的 2 号、4 号房间由于涂料对太阳的反射作用,屋面温度较彩钢瓦楞板屋顶低,房间内外温差相对较小,在空调制冷作用下房间温度较 3 号低;此外,由表 2 可发现 2 号房间的温度略低于 4 号房间温度,且空调耗电量更低,可见,“晒不热”涂料比市售隔热涂料对太阳光的反射作用更强,隔热效果更好.由于空调功率有限,空调设置为 22 °C 和 24 °C 时 3 个房间的空调持续作用时间较长,并且房间温度存在较大差异,测得的耗电量差值较小,预计若使用功率足够大的空调进行制冷使各房间温度均达到设置温度则 3 个房间的耗电量差异将更加明显.

当空调设置温度较高时,室内外温差相对较小,热传递总量随之减小,因此 3 个房间的空调耗电量也有所减少.当空调温度设置为 26, 28, 30 °C 时,由于隔热涂料对太阳光的反射作用,屋顶表面与屋内温差减小,空调的制冷功率足以使房间内温度降低

至设置范围.由表 2 可见,此时 2 号、4 号房间的实际温度均低于设置温度,而 3 号房间由于内外温差较大,其房间内实际温度仍略高于设置温度,这说明图 6 所测得的节电率偏低,若换大功率空调测试,则节电率还可进一步提高.

由图 6 可见,在不同空调设置温度下,2 号房间的总耗电量始终最低,3 号房间总耗电量始终最高,4 号房间居于两者中间.以未涂刷涂料的 3 号房间为对照间,当空调温度设置为 22 °C 时,2 号房间可节电 0.68 kWh,4 号房间可节电 0.47 kWh,2 号房间可比 4 号房间多省电 0.21 kWh;而当空调温度设置为 30 °C 时,2 号房间可节电 2.13 kWh,4 号房间可节电 1.28 kWh,2 号房间比 4 号房间多省电 0.85 kWh.

由上述结果可见,涂刷“晒不热”涂料的房间耗电量最低,节省的电量最多.随着空调设置温度提高,3 个房间总耗电量均下降,涂“晒不热”涂料和市售涂料房间节电量均提高,涂“晒不热”涂料的房间节省的电量提高的速率比涂市售隔热涂料的大.以 3 号房间为对照间,涂涂料房间节电率示于图 7.

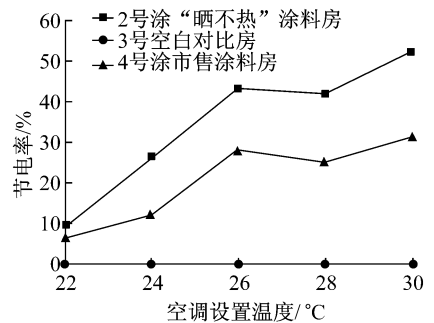


图 7 不同空调温度下简易试验房的节电率

Fig.7 Electricity saving rates of the experimental houses at different temperatures set by air-conditioner

由图 7 可见,在不同空调设置温度下涂“晒不热”涂料的 2 号房间节电率始终高于涂市售涂料的 4 号房间.空调温度设置越高,2 号、4 号房间的节电率呈升高趋势.空调温度设置为 26 °C 及以上时,涂“晒不热”涂料的 2 号房间的节电率都高于 40%,并且比涂市售涂料的 4 号房间节电率高 15.6~20.8 个百分点.

上述试验研究表明,“晒不热”建筑涂料在炎热地区实际建筑上具有显著的空调节能效果,其空调节能效果明显优于市售反射隔热涂料,考虑到其原材料价格低廉、来源广泛,可望为我国炎热地区建筑节能发挥巨大作用.

3 结论

(1) 在本试验条件下,屋顶涂“晒不热”建筑涂料房间温度比未涂者低 10 °C,比涂市售反射隔热涂料者低 2 °C。

(2) 在本试验条件下,空调设置温度为 24 °C 时,涂“晒不热”建筑涂料房间 24 h 耗电量比未涂者少 1.72 kWh,比涂市售反射隔热涂料者少 0.85 kWh;其节电率为 19.3%,明显高于涂市售反射隔热涂料者。

(3) 在本试验条件下,屋顶涂反射隔热涂料的空调耗电量随着空调设置温度的升高而降低,节电率随空调设置温度的升高而升高;空调设置温度为 26 °C 及以上时,涂“晒不热”建筑涂料房间的节电率大于 40%,比涂市售反射隔热涂料者高 15.6~20.8 个百分点。

参考文献:

- [1] Sebastian von Wolff, 张庆风. 中国建筑节能手册[M]. 北京: [s. n.], 2007.
Sebastian von Wolff, Zhang Qingfeng. Handbook of building energy saving of China[M]. Beijing: [s. n.], 2007.
- [2] 刘先春. 太阳反射热涂料; 中国, 1204672A[P]. 1999-01-13.
LIU Xianchun. Solar heat reflecting coatings; CN, 1204672A [P]. 1999-01-13.
- [3] 彭红. 高效外墙隔热涂料的配制和性能研究[D]. 重庆: 重庆大学材料科学与工程学院, 2007.
PENG Hong. Research on preparation and properties of high efficient exterior-wall reflecting coating [D]. Chongqing: School of Material Science and Engineering of Chongqing University, 2007.
- [4] 谭亮. 外墙隔热涂料和玻璃隔热涂料的节能分析[J]. 建筑涂料与涂装, 2010, 25(11): 35.
TAN Liang. Analysis of energy saving for exterior-wall reflecting coatings and glass reflecting coatings[J]. Building Coatings and Technology, 2010, 25(11): 35.
- [5] 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.
XIA Zhengbin, TU Weiping, YANG Zhuoru, et al. Research progress of building heat reflecting coatings[J]. Fine Chemical Industry, 2001, 18(10): 599.
- [6] 陈立军, 陈丽琼, 张欣宇. 建筑节能用保温隔热涂料及其发展[J]. 新型建筑材料, 2007(6): 38.
CHEN Lijun, CHEN Liqiong, ZHANG Xinyu. Progress of energy saving building heat reflecting coatings [J]. New Building Materials, 2007(6): 38.
- [7] 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.
LU Guozhong. Preparation of building heat-reflecting coating [J]. Coatings of China, 2007, 22(9): 37.
- [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.
JIN Tao, LIU Liqiang. Research state of pigment and filler and their usage in heat-reflecting coatings[J]. Materials Review, 2008, 22(5): 26.
- [9] 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, 28(4): 29.
CHAI Huiwu, WANG Jinlu, JIANG Zhaoyang, et al. Research of the effects of pigments and fillers on reflecting properties of heat-reflecting coatings[J]. Coatings Industry, 2008, 28(4): 29.
- [10] 王静, 曹延鑫, 冀志江, 等. 水性建筑反射隔热涂料的研制[J]. 化工新型材料, 2010, 38(S1): 140.
WANG Jing, CAO Yanxin, JI Zhijiang, et al. Preparation of water-soluble heat-reflecting building coating [J]. New Chemical Materials, 2010, 38(S1): 140.
- [11] 彭红, 陈明凤. 反射型外墙隔热涂料的研制[J]. 化学建材, 2007, 23(6): 24.
PENG Hong, CHEN Mingfeng. Preparation of exterior-wall heat-reflecting coating[J]. Chemical Building Materials, 2007, 23(6): 24.
- [12] 冯春霞, 陈建华, 张烨, 等. 新型建筑隔热涂料的室外降温效果[J]. 化工新型材料, 2009, 37(4): 35.
FENG Chunxia, CHEN Jianhua, ZHANG Ye, et al. Outdoor temperature reducing effect of new-type heat-reflecting building coating[J]. New Chemical Materials, 2009, 37(4): 35.
- [13] 李靖, 彭志辉. 纳米 ATO 透光隔热涂料的制备与改性[J]. 绿色建筑, 2010(1): 48.
LI Jing, PENG Zhihui. Preparation and improving of nano ATO transparent heat-reflecting coating[J]. Green Buildings, 2010(1): 48.
- [14] 郭卫琳, 卢国豪, 何超. 夏季热反射隔热涂料对建筑墙体的节能实效研究[J]. 施工技术, 2010, 39(7): 80.
GUO Weilin, LU Guochao, HE Chao. Research on energy saving effect of heat-reflecting coating to building wall in summer[J]. Construction Technology, 2010, 39(7): 80.
- [15] 沈辉, 谭洪卫. 太阳热反射涂料在夏热冬暖地区厂房屋顶的使用效果研究[J]. 建筑科学, 2009, 25(3): 49.
SHEN Hui, TAN Hongwei. Application effect research of solar-heat reflecting coating used on factory building roof in hot-summer and cold-winter area [J]. Building Science, 2009, 25(3): 49.
- [16] 安邦, 陆峥. 隔热涂料应用[J]. 上海节能, 2009(10): 35.
AN Bang, LU Zheng. Applications of heat-reflecting coatings [J]. Shanghai Energy Saving, 2009(10): 35.
- [17] 马一平, 张崑, 李远珊. 炎热地区“晒不热”材料的探索研究[J]. 材料导报, 2010, 24(3): 64.
MA Yiping, ZHANG Kun, LI Yuanshan. Research on “insulating-not-hot” materials in hot climatic regions [J]. Materials Review, 2010, 24(3): 64.
- [18] 马一平, 赵彪, 李远珊. 建筑材料日间暴晒和夜间辐射致冷效果的研究[J]. 材料导报, 2009(4): 58.
MA Yiping, ZHAO Biao, LI Yuanshan. Investigation for the thermal effect of daytime insolation and night radiation cooling of construction materials[J]. Materials Review, 2009(4): 58.