

Research on Multifunctional Nano-Composite Solar Heat Reflection Temperature-Reducing Coatings for Metal Oil Tank

Yi-wei Fei, Xiao-yu Ma, Li-ping Tong, Hong-wei Yang, Shi-an Sun

Department of Aviation Oil and Materials, Xuzhou Airforce College, Xuzhou, China, 221000

Email: Yiweifei@hotmail.com

Abstract: This paper researches the preparation of high performance solar heat reflection temperature-reducing coatings for metal oil tank, which reflects visible light wave 89.6%, near infrared wave 83.6%, and gives the emissivity 0.928 in atmospheric window by the way of nano-composite. In middle coatings, this paper also studies the formulation and property for the insulating coatings with the glass and ceramic microspheres for functional pigments, and gives much better results with the good weather assistance, the coating appearance and lower cost.

Keywords: solar heat reflection coating; nano-pigment; temperature-reducing technology; optical reflecting; infrared emission

多功能纳米复合金属油罐太阳热反射降温涂料研制

费逸伟, 马晓宇, 佟丽萍, 杨宏伟, 孙世安

徐州空军学院航空油料物资系, 徐州, 中国, 221000

Email: Yiweifei@hotmail.com

摘要: 本文报道了高性能金属油罐太阳热反射隔热降温涂料的制备。通过纳米颜料的复配, 设计了具有高反射和高辐射特性的降温面漆, 对可见光波段的反射率为 89.6%, 对近红外波段的反射率为 83.6%, 对大气窗口的辐射率为 0.928。运用隔热降温机理, 对隔热中涂的配方和使用性能进行了研究。通过暴晒条件试验, 自制涂料的隔热降温效果明显, 并具有耐候性和经济性好、外观优异等特点。

关键词: 太阳热反射涂料; 纳米颜料; 降温技术; 光学反射; 红外辐射

1 引言

随着发展模式转型和科学发展观的树立, 节能降耗工作已经越来越引起人们的重视。我国的仓储业、建筑业、运输业的快速发展, 对新型隔热降温涂料的需求也日趋增加。目前, 市售的隔热降温涂料价格普遍较高, 选择范围较窄, 性能与欧美产品相比有一定的差距。国内也有一些研究机构设计了配方, 由于大量添加高成本颜料, 致使成本上升, 难以为市场所接受^[1]。我们立足机场油库金属油罐隔热降温技术的实际需求^[2], 研发了新型纳米复合太阳热反射隔热降温涂料, 在有效控制成本的前提下, 提高了降温的效果与性能。

2 纳米颜料配方技术研究

经过单因素实验, 初步筛选出两种降温效果较好的纳米颜料, 分别是纳米氧化锆和纳米氧化硅。为准确选择添加量, 拟定如下几个配方进行对比实验。根据 2007 年 ASTM 发布的日光紫外可见光、近红外波段能量分布统计, 可知在紫外波段太阳光能量占 4.45%, 可见光波段能量占 46.30%, 近红外波段能量占 49.25%^[3-4]。因此, 要增强降温能力, 必须具备对可见光和近红外波段光谱较强的反射率, 采用光谱法考察添加纳米粒子后对反射率的影响, 委托广州光机电技术研究院, 用岛津 UV3101PC 分光光度计测定, 反射率的标定按照 ASTM E424-71-2007 的日光 350nm-2100nm 范围能量分布进行权值累加统计。同时, 大气窗口位于 3-5 μm 和 8-14 μm , 其中 3-5 μm 波段的辐射仅在温度高于某一阈值时才发生^[5], 而 8-14 μm 的辐射

基金项目: 高等学校骨干教师资助计划项目 (国家教育部科教司 2000 (63) 号文件)。

不仅辐射量大，而且基本不受外界温度影响，为主要的辐射降温波段，因此采用 IR-2 型双波段发射率测量

仪评定在 8-14 μm 的辐射降温能力（详细结果可参见下表 1 所示）。

Table 1. Nano-pigment composite's effect on coating temperature-reducing property

表 1. 纳米颜料复配对涂料降温性能的影响

纳米氧化锆质量份 (%)	纳米氧化硅质量份 (%)	可见光波段反射率	近红外波段反射率	红外发射率	降温性能排序
1	0	82.3%	66.1%	0.770	5
3	0	84.7%	68.5%	0.864	4
2	1	88.3%	75.8%	0.908	2
1	3	89.6%	83.6%	0.928	1
0	5	86.8%	74.9%	0.885	3

从测定结果来看，发现单纯添加纳米氧化锆与纳米氧化硅在可见光波段的反射率差别不大，而对近红外的反射率，纳米氧化硅优于纳米氧化锆。而将两者进行复配后，其反射率和发射率均有非常明显的提高，复配后的反射率和发射率均优于单独添加的效果，可见纳米氧化锆和氧化硅具有很好的协同效应。当纳米氧化锆和纳米氧化硅的质量比为 1: 3 时，对可见光波段的反射率为 89.6%，对近红外波段的反射率为 83.6%，对大气窗口的辐射率为 0.928，具有很好的降温效果，降温效率显著优于市售涂料。而这一质量配

比不仅降温效果最好，还有效地控制了成本，纳米氧化硅目前的成本相对较低，属于纳米颜料中应用较广的一种颜料，而纳米氧化锆的应用还非常少见，价格也远高于纳米氧化硅，而 1: 3 的配比把纳米氧化锆的添加量控制在一个很低的范围，使得涂料的性价比优势也非常突出。

3 降温填料配方技术研究

在明确了钛白粉和纳米颜料的添加量后，我们还对填料的降温性能进行了研究，结果见表 2。

Table 2. Nano-pigment's effect on coating temperature-reducing property

表 2. 纳米填料对涂料降温性能的影响

纳米氧化锆质量份 (%)	纳米氧化硅质量份 (%)	填料质量份 (%)	可见光波段反射率	近红外波段反射率	红外发射率	降温性能排序
1	3	0	86.6%	72%	0.878	2
3	9	0	83.9%	69.1%	0.837	4
1	3	10 碳酸钙	85.9%	71.4%	0.858	3
1	3	10 陶瓷微珠	87.4%	74.0%	0.854	1

通过实验，我们发现，与添加 12%质量份的硫酸钡相比较，不添加任何填料会导致反射率和发射率的下降，其中近红外波段的反射率下降尤其明显。因此硫酸钡在降温涂料中是一种很好的填料，对于提高反射率和发射率有比较明显的效果，这一结果改变了之前对填料的认知。传统观念认为填料只是起替代颜料以降低成本的作用，而测试结果表明填料也可以起很明显的提高涂料性能的作用。就降温性能而言，硫酸钡最佳，而陶瓷微珠又略优于碳酸钙。鉴于硫酸钡的密度较大，可以占用较少的 PVC，而商业化生产的涂料又以质量出售，因此可以认为在保证物理性能符合质量要求的前提下，应固定硫酸钡在配方中的质量份，以确保降温性能的充分发挥和成本的有效控制。

近年来，许多涂料都添加了陶瓷微珠、玻璃微珠等大热惯量材料，或对其进行包覆改性后添加等。实

验表明，陶瓷微珠并不能提高反射和辐射的降温能力。作为面漆，应主要考虑反射和辐射降温，而中涂层则是发挥隔热降温能力的最佳场所。因此，我们不推荐在面漆中大比例添加陶瓷微珠，若为改善流平性，可以少量添加，但也必须控制添加量。

另外，我们在保持与最佳配方 PVC 相似的前提下，不添加填料，提高纳米颜料质量，保持最佳反射和辐射性能的材料配比，并进行了测试，结果表明添加过多的纳米颜料反而导致反射率和辐射率的下降。这是因为纳米颜料高表面能的作用，导致光线在涂料中发生了严重的散射，因此导致降温性能的下降。由此可见，纳米颜料的添加也不是越多越好，对于其性能和使用规律的认识仍有待于更进一步研究。

4 中涂层隔热降温性能研究

在保证降温效果的前提下,为尽可能降低使用成本,我们设计了中间层涂料,中间层涂料因为不与太阳光直接接触,因此主要的降温方式应以隔热降温为主。为此,我们选用了大热惯量的玻璃微珠和陶瓷微珠进行添加。选用线棒涂布器进行涂布,厚度保持在 $200\mu\text{m}$,同时选用 Check-Line DC-900 型测厚仪进行检测,确保涂布误差控制在 $5\mu\text{m}$ 以内。干燥后,将试样放在日光下进行暴晒,30 分钟后,用红外测温仪测定试板背面温度,试验结果参见表 3 和表 4。

实验表明,当添加陶瓷微珠量为 20%—25%左右时,降温效果最好。以 20%添加量继续实验,涂布不同厚度,以确定中间层的最佳厚度,结果如表 5。

Table 3. Glass microsphere's effect on coating temperature-reducing property

表 3. 玻璃微珠对降温效果的影响

玻璃微珠质量份 (%)	温度 (°C)
5	45.2
10	43.0
15	41.6
20	39.6
25	39.7
30	40.1
35	40.2
40	40.5

Table 4. Ceramic microsphere's effect on coating temperature-reducing property

表 4. 陶瓷微珠对降温效果的影响

陶瓷微珠质量份 (%)	温度 (°C)
5	43.9
10	41.5
15	40.2
20	38.5
25	38.6
30	39.0
35	39.7
40	40.3

Table 5. Coating thickness' effect on middle coating temperature-reducing property

表 5. 涂布厚度对中涂层降温效果的影响

涂布厚度 (μm)	温度 (°C)
100	43.2
120	42.1
140	41.0
160	40.3
180	39.4
200	38.1
220	38.0
250	38.0
300	37.8

实验表明,厚度在 $200\mu\text{m}$ 以内,厚度越厚,降温效果越明显,当厚度超过 $200\mu\text{m}$ — $220\mu\text{m}$ 后,厚度对降温效果的影响已经不大,因此中间层的厚度以 $200\mu\text{m}$ 至 $220\mu\text{m}$ 为宜。

得出最佳涂布厚度后,我们选择将自制涂料与银粉漆、市售某品牌的降温涂料进行了实际金属油罐户外暴晒对比实验。结果如表 6:

Table 6. Comparison among different coatings for temperature-reducing property

表 6. 自制涂料的降温效果对比

涂料品种	自制涂料	银粉漆	市售降温涂料
外壁温度 (°C)	37.3	47.5	39.1
罐内温度 (°C)	36.5	43.9	37.2

实验表明,我们研制的涂料在隔热降温效果方面优于目前的银粉漆市售降温涂料。目前,市售涂料的售价约为 40 元/千克(已掺合稀料的情况),我们所研制的涂料面漆在仅计算树脂和固含量的情况下,成本约为 32 元/千克,且未掺合稀料,而中涂漆的成本更低,因此在使用成本上远远低于市售涂料,具有很好的经济性。且选用的双组分树脂在耐候性方面拥有很强的优势,由于大比例添加进口钛白粉,在丰满度和外观上也明显优于市售降温涂料。

5 结论

经过大量对比实验,准确测定了纳米颜料和降温填料等组分对金属油罐太阳热反射降温面漆性能的影响,得出了最优配方,并对中涂层的隔热降温效果进行了研究。所研制的太阳热反射降温隔热涂料,对可见光波段的反射率为 89.6%,对近红外波段的反射率为 83.6%,对大气窗口的辐射率为 0.928,具有很好的降温效果,各项指标均符合行业标准,且具备很好的耐候性。使用成本仅为市售涂料的一半左右,具有很强的市场竞争力,特别适用于露天场所,如户外油罐、仓库、储运工具的涂装。

References (参考文献)

- [1] Yi Weifei, Xiaoyu Ma, et al. Research on Temperature-reducing Coating for Oil Tanks[J]. *Journal of Petrochemical Industry Technology*, 2009, 16(4): 13-16 (Ch).
费逸伟, 马晓宇等. 油罐降温涂料研究[J]. 石化技术, 2009, 16(4): 13-16.

- [2] Hongwei Yang, Yiwei Fei, et al. Evaporation Loss Calculation on Big and Small Breathing of Floating Roof Tanks and Restraining Measures[J]. *Journal of Oil & Gas Storage and Transportation*, 2010, 29(4): 317-319 (Ch).
杨宏伟, 费逸伟等. 浮顶罐呼吸蒸发损耗计算与抑制措施[J]. 油气储运, 2010, 29(4): 317-319
- [3] ASTM E424-71-2007, Standard test method for solar energy transmittance and reflectance of sheet materials[S]
- [4] Xiaoyu Ma, Yuan Li, Yi Weifei, et al. Study on Temperature Distribution and Variation of Oil Vapor in Fixed Roof Oil Tank[J]. *Journal of Oil & Gas Storage and Transportation*, 2009, 28(3): 13-16 (Ch).
马晓宇, 李源, 费逸伟等. 固定顶油罐油气空间温度分布及变化研究[J]. 油气储运, 2009, 28(3): 13-16.
- [5] Yuanbao Sun, Xianyong Wei, Yi Weifei, et al. Research on the Theory of Infrared and Temperature-controlled Camouflage Coat[J]. *Journal of Infrared Technology*, 2003, 25(4): 81-83 (Ch).
孙元宝, 魏贤勇, 费逸伟等. 红外伪装降温涂料原理研究[J]. 红外技术, 2003, 25(4): 81-83.