

涂料的老化及试验

杜君俐¹, 李华明²

(北方涂料工业研究设计院, 兰州 730020; 2. 西北永新化工股份有限公司, 兰州 730020)

摘要: 介绍了涂膜老化的机理、成因及评价方法。

关键词: 涂膜老化; 老化机理; 性能评价

中图分类号: TQ630.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9548(2008)04-0038-05

Causes of Coating Film Ageing and Methods for Evaluating Them

DU Jun-li, LI Hua-ming

Abstract: The mechanism, causes and evaluating methods of coating film ageing are introduced.

Key words: ageing of coating film, mechanism of ageing, evaluation methods

1 引言

涂料的老化是指在贮存和使用过程中, 由于受内外因素的作用, 其性能逐渐发生变化, 直至丧失使用价值的现象。

一般, 老化结果表现为涂膜外观发生各种破坏现象, 或者是涂料(涂膜)性能发生突出变化, 归纳起来包括4个方面: 外观变化、物化、机械性能变化和电性能变化。

值得注意的是, 上述变化和现象不可能在涂料的老化或老化试验过程中同时出现, 通常只是以其中某些主要指标的试验数据来判定涂料的老化结果或性能变化。总之, 各种老化破坏现象与涂料的品种、用途和环境条件密切相关。

研究涂料的老化性可以评价涂料的耐候性、确定其使用价值、延长其使用寿命。

2 涂料老化的影响因素及研究

涂料的老化是受内外因素综合作用而形成的。通常, 它是一种不可逆的变化, 主要与涂料的基本成膜物类型、配方组成、厚度、施工方法及外界环境条件等有关。

2.1 树脂性能的影响

2.1.1 成膜树脂化学结构的影响

涂料(涂膜)性能主要是由成膜树脂所决定的, 而成膜树脂的固有特性又决定于它的化学结构。

奥运“鸟巢”钢结构防腐氟碳面漆用固化剂中, N75和N3375 BA/SN存在结构差异, 且相对分子质量

不同, 则所制备的涂料和涂膜的性能也大不相同。N3375 BA/SN涂料的施工黏度较低, 施工固体含量较高, 一次成膜性好, 光泽、丰满度更高; 另外, 其硬度、耐酸性、耐盐雾指标也更好。

究其原因, N75的相对分子质量(255)大, 且其仲胺上的氢与酰胺基的氧容易形成分子间氢键, 致使涂料黏度增大; N3375 BA/SN具有菱形环状结构, 刚性好, 赋予涂膜高的硬度, 并进一步提高涂膜的抗擦伤性和耐沾污性; 叔胺键在“水解”和“光降解”中不容易断键, N3375 BA/SN与N75相比, “断键点”少, 降解的小分子产物少, 所以其耐酸性、耐盐雾性和耐光性更佳。

2.1.2 成膜树脂链结构的影响

一般来说, 树脂的稳定性随其相对分子质量的增大而提高。试验证明: 相对分子质量为90万的PMMA较相对分子质量为6万的降解速率慢数百倍。为了获得良好的耐老化性能和其它性能, 树脂的相对分子质量分布不宜过宽。

虽然, 树脂分子链的支化度越大, 链结构上的弱点就越多, 其稳定性也越差。但是, 高度支化聚合物(树枝状聚合物和超支化聚合物)^[6], 由于结构独特和性能优越, 已成为近年来高分子材料领域研究的一个热点。

另有研究认为^[7], 超支化聚合物的分子结构比较规整, 具有类似球形的紧凑结构, 支化度越高, 分子链缠结越少, 因此黏度随相对分子质量的增加变化较小, 并且分子带有许多端基官能团, 有利于固化反应, 可以缩短时间, 提高交联密度及涂膜性能。

2.1.3 成膜树脂物理结构的影响

聚合物的结晶度对树脂的模量、硬度、透气性、密度、熔点、热稳定性、氧化、水解及耐化学品性等有着极其显著的影响。

日本学者曾有粒子设计理论^[9]，近年来出现的复合高分子乳液就是此理论的产物。在相同物料组成的情况下，乳液的核壳结构可以显著提高聚合物乳液的耐磨、耐水、耐候、抗污、防辐射性能，提高抗张强度、抗冲击强度和黏结强度，改善透明性和加工性，降低最低成膜温度。氟碳涂料中含有氟链包覆主链的结构，起到了很好的屏蔽作用，使涂膜的耐候性较一般涂料大大提高^[11]；氟原子的电负性大，在整个分子外围形成静电保护层，排斥其它极性分子的接近，从而赋予氟碳涂层耐沾污性、自洁性、低摩擦性、憎水憎油、电气绝缘等特殊表面性能。

2.2 颜料的性质、结构及其用量的影响

目前，纳米涂料已是一种热点研究，关于纳米 SiO₂、Al₂O₃、CaCO₃ 以及滑石粉、硅酸铝、铁系颜料等的研究对进一步开发新型高性能涂料无疑是有帮助的。

利用纳米粒子的表面效应、体积效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等^[12]，可以改善涂料性能，增强其硬度和抗氧化性，使其具有光催化、抗菌、吸收电磁波、随角异色以及对水、油的亲疏等性能。例如：添加3%（质量分数）纳米 SiO₂ 胶体可以显著提高乳液涂膜的耐光、耐候、耐水、耐碱等性能^[11]。

无机纳米粒子能够改善涂料的性能是因为纳米粒子填充进入了高分子聚合物的缺陷内，使基体树脂的应力集中发生了改变，致使基体树脂裂纹扩展受阻和钝化，最终抑制裂纹，不至于发展成破坏性裂缝。无机纳米粒子通过分子间化学键或静电作用可以实现有机组分和无机组分的结合；通过对紫外线全吸收或全反射可以有效地保护树脂和有机颜料不受紫外线的侵蚀，使涂料的使用寿命大幅度延长。

无机磷酸盐富锌底漆应用在钢结构中的防腐蚀效果优异^[12]，主要因为它既有锌粉的阴极保护作用，又有磷酸锌，能和 Fe³⁺ 形成附着牢固的络合物 Fe³⁺ [(ZnPO₄)₃] 沉淀层而抑制阳极反应，并能与树脂中的羟基、羧基络合，使颜料-树脂-底材之间形成化学结合而提高涂层的附着力和抗渗性，其耐盐雾性能优于无机富锌漆。

防腐涂料中多用的云母氧化铁和玻璃鳞片均为薄片状结构，径厚比很大，由于片状粒子可以交叉排列，层层叠叠而形成独特的屏蔽结构，阻断了涂膜中的腐蚀介质通道，使其毛细管作用失效，从而具有极其优良的耐介质渗透性、耐酸性、耐碱性、耐热性和耐磨性等。

日本开发的一种新型防腐蚀涂料具有超强的防腐能力，是因为涂料中添加了包覆锌和铝的微米级玻璃片的缘故。其中，玻璃片能防止雨水和盐分的侵入；锌能防腐蚀；铝则能有效抑制紫外线对涂料的劣化。

2.3 颜料体积浓度(PVC)的影响^[3]

试验证明，涂膜的物理机械性能（密度、抗张强度和黏结强度等）、渗透性能（空隙率、耐腐蚀性、起泡性、耐擦洗性、耐沾污性、光泽维持性等）和光学性能（光散射系数、对比率、着色力、遮盖力、光泽、糙面光泽等）都与颜料的 PVC 有关。

一般涂料配方设计中要求 PVC 小于 CPVC，这样方可实现涂料/涂膜的最佳性能。

2.4 膜厚的影响^[6]

涂料的使用要求不同，涂膜的最佳控制厚度也不同，见表1。

表1 不同条件要求的膜厚

| 涂层用途 | 厚度要求/ μm |
|-------|---------------------|
| 一般涂层 | 80~100 |
| 装饰涂层 | 100~150 |
| 保护涂层 | 150~200 |
| 重防腐涂层 | 200~300 |
| 耐腐蚀涂层 | 250~300 |
| 耐磨损涂层 | 300~500 |
| 厚浆涂层 | 700~1000 |

2.5 施工和环境条件的影响^[1,2,16]

施工方法、预涂材料的表面处理、涂料的配套性等对涂层寿命都有影响，不同使用环境对涂料也有不同要求，见表2。

2.6 自然条件影响

2.6.1 太阳辐射的影响^[17]

太阳辐射光谱主要由紫外线、红外线和可见光组成，其中紫外线对涂膜的破坏影响最大，能导致涂膜中聚合物分子及分子链的降解、交联、链的移动、断裂、侧链的变化等现象单独或同时发生，引起涂膜的老化。老化后的涂膜即出现表面粉化、变色、起泡、裂纹、脱落等表现破坏现象和性能指标的降低。

2.6.2 水和相对湿度的影响

大气环境中水对高分子材料的作用表现为降水、潮湿（水气的侵蚀）、凝露等多种形式。

含有易水解基团（酰胺基、酯基、缩醛基等）的聚合物对降水和潮湿环境比较敏感，容易发生水解变性。含有亲水基团（如羟基、羧基等）的聚合物容易吸水受潮，并引起某些物理机械性能的下降。

大气中相对湿度对高分子材料的老化亦有一定的影响。值得注意的是：若相对湿度相同，温度越高，则

绝对湿度越大,水气扩散对分子热运动加强的涂膜的损害影响越大;绝对湿度相同,温度越低,则相对湿度越高,水分渗透和凝露对涂膜的破坏力增强。经试验证明:在40℃、RH为98%~100%的条件下的腐蚀速率是自然条件下的20~25倍;55℃、RH为98%~100%时为自然条件的60~75倍。

表2 配套涂料、底材前处理、膜厚与寿命

| 涂层系统 | 表面处理 | 涂层厚度/ μm | 涂层寿命/a | | | | | | | |
|------------------------|-------|---------------------|--------|----|----|---|---|----|----|-----|
| | | | 轻度 | 中等 | 严重 | 碱 | 酸 | 淡水 | 海水 | 溶剂油 |
| 环氧底漆+厚浆型环氧 | 2/3 | | 8 | 6 | 3 | 3 | 2 | N | N | 3 |
| | Sa2 | 152 | 9 | 7 | 4 | 5 | 4 | N | N | 4 |
| 厚浆型环氧底漆+厚浆型环氧+厚浆型环氧 | Sa2 | 203 | 10 | 8 | 5 | 7 | 6 | N | N | 5 |
| | Sa2.5 | | 11 | 9 | 6 | 8 | 7 | 5 | 4 | 6 |
| 环氧底漆+厚浆型环氧+厚浆型环氧 | Sa2 | 254 | 12 | 9 | 6 | 8 | 7 | N | N | 6 |
| | Sa2.5 | | 13 | 10 | 7 | 9 | 8 | 6 | 4 | 7 |
| 无机锌底漆+厚浆型环氧 | Sa2 | 178 | 10 | 8 | 5 | 4 | 3 | N | N | 5 |
| | Sa2.5 | | 11 | 9 | 6 | 4 | 3 | 5 | 4 | 6 |
| 无机锌底漆+厚浆型环氧+厚浆型环氧 | Sa2 | 280 | 13 | 10 | 7 | 7 | 6 | N | N | 7 |
| | Sa2.5 | | 14 | 11 | 8 | 7 | 6 | 9 | 7 | 8 |
| 环氧富锌底漆+厚浆型环氧 | Sa2 | 178 | 10 | 8 | 5 | 5 | 4 | N | N | 5 |
| | Sa2.5 | | 11 | 9 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 6 |
| 环氧富锌底漆+厚浆型环氧+厚浆型环氧 | Sa2 | 280 | 13 | 10 | 7 | 8 | 7 | N | N | 7 |
| | Sa2.5 | | 14 | 11 | 8 | 9 | 8 | 9 | 7 | 8 |
| 乙烯底漆+厚浆型乙烯漆 | Sa2 | 152 | 9 | 7 | 4 | 4 | 4 | N | N | N |
| | Sa2.5 | | 10 | 8 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | N |
| 乙烯底漆+厚浆型乙烯漆+厚浆型乙烯漆 | Sa2 | 254 | 12 | 9 | 6 | 6 | 6 | N | N | N |
| | Sa2.5 | | 13 | 10 | 7 | 7 | 7 | 6 | 5 | N |
| 无机锌厚浆型乙烯漆+厚浆型乙烯漆 | Sa2 | 280 | 13 | 10 | 7 | 5 | 5 | N | N | N |
| | Sa2.5 | | 14 | 11 | 8 | 5 | 5 | 7 | 6 | N |
| 氯化橡胶底漆+厚浆型氯化橡胶 | Sa2 | 152 | 9 | 7 | 4 | 4 | 4 | N | N | N |
| | Sa2.5 | | 10 | 8 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | N |
| 氯化橡胶底漆+厚浆型氯化橡胶+厚浆型氯化橡胶 | Sa2 | 254 | 10 | 9 | 6 | 6 | 6 | N | N | N |
| | Sa2.5 | | 13 | 10 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | N |

注:N表示不推荐使用;轻度:中等,严重分别表示大气污染程度。

2.6.3 热和温度变化的影响

许多高分子材料的老化是热氧化,实际上也是高分子材料降解与交联的竞争反应过程,热能促进氧化反应的进行。此外,热的作用还会引起和促进某些聚合物的热分解。

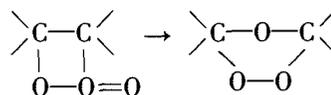
仅就大气气温单一因素而言,它对高分子材料的老化影响是不大的,但是,在大气环境中由于同时有光和氧等因素的存在,这样热因素对高分子材料的老化就起加速作用,气温越高,加速作用就越大。

环境中的温差变化而引起的冷热变化会引起涂膜内外应力的变化,导致涂膜变形,与底材的附着力变

差,以至脱落。

2.6.4 氧和臭氧的影响

大气环境中,氧或臭氧对高分子材料的作用,实际上是热氧化反应或光氧化反应的作用,它们或单独发生,或同时发生,是造成高分子材料老化的重要外因之一。臭氧可以使不饱和聚合物的涂膜产生臭氧龟裂,是因为大多数臭氧可以和双键结合,生成臭氧化物,这种臭氧化物很不稳定,重排为异臭氧化物,即:



在重排中,聚合物的分子链会发生断裂。

臭氧比氧的化学活性高得多,是因为臭氧的分解能比氧的小4.5倍,稳定性较差。分解生成的原子态氧的活性比氧要高得多,因而破坏性比氧更大。值得注意的是,光臭氧老化比纯臭氧老化更为强烈。

2.6.5 微生物的影响

在适宜的温度和湿度条件下,霉菌和细菌等微生物能使涂膜长霉,甚至发生聚合物的降解,从而导致涂膜的老化。

热带和亚热带地区使用的涂料发生霉现象的比较多。试验证明:聚氯乙烯、三聚氰胺树脂、聚氨酯、环氧树脂等涂料会发生轻微长霉现象,聚苯乙烯、聚乙烯树脂等涂料不容易长霉。

3 涂料的老化试验项目

涂料老化的试验方法很多^[4],总体上分为2类,一类是自然老化试验方法,其特点是利用自然环境条件或自然介质进行的试验,主要有:大气老化试验、仓库贮存试验、埋地试验、海水浸渍试验、水下埋藏试验等;另一类是人工加速试验方法。为在短期内获得试验结果,用人工的办法在室内或设备内模拟近似于大气环境条件或某种特定环境条件,并强化其某些因素的试验方法,主要有:人工气候试验、热老化试验(绝氧/空气/氧气)、湿热老化试验、臭氧化试验、盐雾腐蚀试验、二氧化硫气体腐蚀试验和抗霉试验等。

我国地域辽阔,分属6种气候,根据各地不同的自然气候条件,国内可以进行涂料老化试验的站点有:拉萨、江津、万宁、漠河、敦煌、青岛、重庆等。

依照行业惯例,现将涂料常用老化试验项目分别叙述。

3.1 耐水性

指涂膜对水的耐受能力,主要考察试验后涂膜的变白、失光、起皱、起泡甚至脱落等外观现象。

水是最常见的一种腐蚀介质,它能使成膜树脂发生水解,致使涂膜丧失防腐能力,同时,水的渗透压

高,能透过涂膜溶解其中的可溶性颜料和某些杂质,从而造成渗透压的不平衡,在压力平衡中涂膜容易起泡或产生微细裂缝,这样各种腐蚀介质二次进入,造成严重腐蚀,所以耐水性是考查涂膜耐腐蚀性的重要指标。

耐水性试验,根据不同的使用要求,水质不同,分蒸馏水、盐水和海水;水温也不同,分热水和冷水。

3.2 耐热(高温)性

通过耐热性测定,可以控制绝缘设备、电热设备、烟囱、内燃机、汽车排气管、飞机发动机、火炮等用涂膜的使用性能和质量安全。如果涂膜不耐热,就会出现软化、发黏、起泡、破裂、剥落、炭化等现象。

3.3 耐寒性

耐寒性考查的是涂膜受冷冻作用时的稳定性,其表现破坏现象是龟裂。该性能受黏结剂、颜料、涂膜的层间配套和涂膜厚度等因素的影响,是寒带地区或低温下使用的涂料的重要控制指标。

3.4 耐温变性

耐温变性考查的是涂膜在骤冷骤热作用下的稳定性,其表现破坏现象是脆裂和脱落。

首先是航空航天涂料的重要控制指标,其次是在昼夜温差很大的环境条件下使用的涂料的要求;最后,也是考核全球性出口机械产品涂膜性能,能否经受运输过程中的冷热气候变化的重要技术指标。

3.5 耐光性

耐光性指涂膜对光(主要是紫外光)作用的稳定性,其表现破坏现象是粉化、褪色、黄变、泛白、起泡、裂纹、脱落等。

值得注意的是,不同分子结构的高聚物对于紫外线的吸收是有选择性的,即聚合物的“光敏性”。涂膜的耐光性与树脂品种的选择大有关系;因为光化学反应一般是在涂料的表层发生,所以涂层受光辐射面积的大小和单位面积上所接受的光辐射强度的大小对老化速度都有很大影响。

3.6 耐候性

耐候性指涂膜对气候自然变化和腐蚀气体侵蚀的稳定性,其表现破坏现象为失光、变色、粉化、泛金、斑点、沾污、裂纹、起泡、长霉、脱落、生锈等。分6级判定,以0~5表示,破坏程度依升序加大,性能依升序降低。

人工加速耐候试验根据使用的光源不同,主要有4种类型:氙灯、金属卤素灯(MHG)、紫外荧光灯和碳弧灯。其中氙灯、金属卤素灯的光谱能量与太阳光的模拟性好,氙灯是目前最通用的人工加速耐候试验。产品鉴定检验和质量仲裁多采用氙灯法;金属卤素灯多用于大型设备(汽车和电工电子产品)的整机加速耐候试验,紫外荧光灯的加速性好,测试周期短,适合产品研

究的定型试验;碳弧灯对太阳光的模拟性差,目前已很少采用。

根据样品的试验目的和要求,可采用各种降雨周期。对于试验中降雨周期的规定,美国标准为每120 min内降雨18 min,日本标准为每60 min降雨12 min,我国标准为18 min/120 min,9 min/30 min和2 min/60 min等。试验24 h为1个周期。

3.7 耐湿热性

耐湿热性是对湿热带地区使用的涂料的重要考核指标,与耐盐雾和耐霉菌并称为涂料的“三防”性能。

根据不同的试验条件和要求,湿热试验分为3种类型,见表3,其中常用方法为恒温恒湿型。

表3 湿热试验类型及条件

| 试验类型 | 温度/℃ | 相对湿度(RH)/% | 时间/h |
|------------------------------|-----------|------------|------|
| 高温高湿型(1个周期为24 h,连续试验7 d) | 55 ± 2 | 94 ~ 98 | 16 |
| | ≤ 37 ± 2 | 94 ~ 100 | 8 |
| 恒温恒湿型(1个周期为24 h,连续试验到样板破坏为止) | 47 ± 1 | 94 ~ 98 | |
| | 25 加热到 40 | 95 ~ 98 | 0.5 |
| 温湿交变型(1个周期为24 h,连续试验21 d) | 40 ± 2 | | 16 |
| | 40 降温到 25 | ≥ 90 | 2.5 |
| | 25 ± 2 | 95 ~ 100 | ≥ 5 |

注:试验评级:1级表示良好,2级表示合格,3级表示不合格。

3.8 耐盐雾性

耐盐雾性指涂膜抵抗模拟海洋大气含盐水雾腐蚀的能力,是海上或近海设施用涂膜的基本要求,也是底漆、防锈漆防锈性能的考核指标。有中性盐雾试验(pH为6.5~7.2)和(铜加速)醋酸盐雾试验(pH为3.1~3.3)之分,试验中对盐水浓度、喷雾压力、温度、盐雾沉降量、喷雾周期等均有要求和规定。我国现行有效的标准规定的试验条件见表4。

表4 盐雾试验条件

| 标准号 | 温度/℃ | 试验周期/d | | 试液 pH (25℃) | 试液浓度 /g·L ⁻¹ | 喷雾量 (80 cm ²) /mL·h ⁻¹ | 喷雾压力/kPa |
|-----------|--------|--------|------|-------------|-------------------------|---|----------|
| | | 连续 | 间歇 | | | | |
| GB/T 1771 | 35 ± 2 | ≤ 21 | ≥ 21 | 6.5 ~ 7.2 | 50 ± 10 | 1.0 ~ 2.0 | 70 ~ 170 |

注:试验结果按“级”评定,1级表示良好,2级合格,3级不合格。

盐雾试验是最传统、最常用的人工加速腐蚀试验,结果表现为起泡、生锈、附着力降低、由划痕处腐蚀及蔓延等。

3.9 耐化学腐蚀性

耐化学腐蚀性指涂膜耐酸(碱、溶剂、溶剂油、油脂、化学药品)的能力,是防腐蚀涂料的主要检测指标。

3.10 耐霉菌性

霉菌对涂料的破坏作用表现在涂膜表面起斑、起

泡,进而因腐蚀(有机酸引起的颜料溶解和黏结剂水解)导致涂膜失去保护作用。主要试验方法和条件见表5。

表5 霉菌试验方法及条件

| 方法 | 温度/℃ | 湿度(RH)/% | 周期/d |
|------|-------|----------|-------|
| 悬挂法 | 28~30 | 96~100 | ≥28 |
| 培养皿法 | 28~30 | | 21或14 |

注:试验评级:0~4级,0级最好,依次降低。

3.11 耐污气性

耐污气性指涂膜对二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、硫化氢、氨等工业大气污染的抵抗能力。

破坏性表现为漆膜出现丝纹、皱纹、网纹、失光、起雾等。

3.12 直流电学性能

通过高分子材料内部的电流,由随时间衰减的吸收电流和不随时间变化的传导电流来评定直流电学性能。传导电流分为通过材料内部和表面2种情况,分别用体积电阻率(ρ_v)和表面电阻率(ρ_s)表示。

高分子材料多由共价键组成,它的传导电流基本取决于材料内部的杂质、分子热运动、掺入的其它组分、受潮和表面清洁度等。

高分子材料老化过程所出现的分子链断裂或交联,链结构或侧基的改变,超分子结构及组成变化等,都将产生荷电质点或程度不同地影响电荷的传输。因此,测量高分子材料老化过程中的电流-时间关系或电阻率-温度关系的变化,可以间接判断其老化程度。

涂膜的体积电阻率(ρ_v)和表面电阻率(ρ_s)不但是表征涂料是否导电或绝缘的物理量,而且是涂膜老化性好坏的特性参数。

3.13 交流电学性能

介电常数(ϵ)是表征绝缘材料在交流电场下介质极化程度的参数;介电损耗角正切值($\text{tg}\sigma$)是表征绝缘材料在交流电场下能量损耗的参数。

高分子材料老化过程中偶极的生成或改变、分子间及分子内作用力的变化、热运动特性的改变等,都将影响偶极极化过程,具体表现为 ϵ 和 $\text{tg}\sigma$ 随温度(或频率)的变化。因此测定材料的 $\epsilon/\text{tg}\sigma$ 随温度/频率的分布变化,可以非常灵敏地确定高分子材料中由于结构变化而产生极性基(羰基、羟基、羧基等)的微量(0.001%)变化,从而用以评定涂料的老化。

3.14 强电场下电学性能

高分子材料的击穿形式可分为热击穿和纯电击穿。前者是由电导损耗或介电损耗引起高分子材料局部发热所造成的;后者是由高分子材料的结构直接遭

受电场力的破坏所致。

表示击穿现象的典型物理量有击穿电压强度(E)和伏-安特性曲线。

高分子材料的击穿电压强度受填料分布、气泡、相对分子质量大小、超分子结构及定向拉伸程度等因素影响。

总之,涂料根据不同用途和使用环境,它的试验要求也各不相同,且各有侧重。这种试验贯穿于涂料研究、配方筛选及成品质量控制等全过程。

参考文献:

- [1] 王泳厚,等. 涂料防腐技术300问[M]. 北京:金盾出版社,1995.
- [2] 原化工部合成材料老化研究所. 高分子材料老化与防老化[M]. 北京:化学工业出版社,1979.
- [3] 童身毅,等. 涂料树脂合成与配方原理[M]. 华中理工大学出版社,1990.
- [4] 黄艳. 高度支化聚有机硅烷的研究进展[J]. 现代涂料与涂装,2006(12):19.
- [5] 王黎,等. 超支化聚氨酯水分散体的合成及其涂膜性能[J]. 现代涂料与涂装,2007(4):14.
- [6] 王军,等. 奥运“鸟巢”钢结构防腐氟碳面漆的研制[J]. 现代涂料与涂装,2007(5):9.
- [7] 杨超,等. MPF 2007 No7 P44 核壳结构含氟乳液研究进展[J],2007(7):42-43.
- [8] 高敬民. 水性氟微乳液的合成及研究[J]. 现代涂料与涂装,2006(9):9.
- [9] 杨超,等. 核壳结构含氟乳液研究进展[J]. 现代涂料与涂装,2007(7):42-43.
- [10] 苏海燕,等. 改性耐磨涂料的研究进展[J]. 现代涂料与涂装,2007(7):40.
- [11] 赵金榜. 从几类涂料的变化看防腐蚀涂料的发展[J]. 现代涂料与涂装,2007(9):3.
- [12] 戚蓉. 氯化钛白粉的粒径与粒径分布[J]. 现代涂料与涂装,2007(5):45.
- [13] 丁卫国. TL-615D型建筑外墙涂料的研究与开发[J]. 现代涂料与涂装,2006(9):21.
- [14] 曾凡辉,等. 复合钛铁粉改性环氧富锌重防腐涂料的研究[J]. 现代涂料与涂装,2006(9):131.
- [15] 王玲,等. 汽车铝车轮涂膜耐久性评价技术进展[J]. 现代涂料与涂装,2007(3):441.
- [16] 肖瑞厚. 钢结构重防腐氟碳配套涂层体系的研究[J]. 现代涂料与涂装,2007(2):32.

收稿日期:2007-12-20

论文降重、修改、代写请加微信（还有海量Kindle电子书哦）



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [涂料的耐老化性及其试验方法](#)
2. [混凝土表面防护涂料的试验研究](#)
3. [RTV涂料长期运行后性能分析及复涂方法的研究](#)
4. [涂料的加速老化试验](#)
5. [运行多年RTV涂料绝缘子表面涂层老化分析研究](#)
6. [聚氨酯涂料人工加速老化行为的研究](#)
7. [有机硅树脂涂料在高温环境下的老化](#)
8. [建筑涂料的耐候性试验天然大气老化](#)
9. [军用涂料老化试验与评价方法](#)
10. [涂料抗老化技术研究](#)