

# 半光涂料颜色发暗的机理研究及解决方案

贾雪艳, 李彩虹, 王燕莉, 石宝萍, 王天祥, 陈敏, 张国伟  
(西北永新涂料有限公司, 兰州 730046)

**摘要:** 针对溶剂型半光涂料在生产过程中易出现颜色发暗的现象, 本研究通过填料体系与工艺参数的协同调控机制, 系统解析了填料种类及生产工艺参数优化对涂层显色特性的影响。结果表明, 滑石粉表面特性、杂质含量差异和研磨台时过长是导致颜色发暗的关键因素。通过优化填料选择(白度 $\geq 92\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量 $< 0.2\%$ 、 $\text{MnO}$ 含量 $< 0.05\%$ )及重点改进研磨工艺(分段研磨、规定研磨介质粒径和转速、控制漆浆温度, 确保研磨时间 $\leq 1.5$  h), 可使涂膜色差值  $\Delta E$  降低至 0.8 以下。本研究为提升半光涂料显色稳定性提供了理论依据和实践方案。

**关键词:** 半光涂料; 颜色稳定性; 滑石粉; 研磨工艺; 色差分析

中图分类号: TQ630 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)12-0025-04

## Mechanism Study and Solutions for Color Darkening in Semi-Gloss Coatings

JIA Xue-yan, LI Cai-hong, WANG Yan-li, SHI Bao-ping, WANG Tian-xiang, CHEN Min, ZHANG Guo-wei  
(Northwest Yongxin Paints & Coatings Co., Ltd., Lanzhou 730046, China)

**Abstract:** Regarding the phenomenon of color darkening in solvent-based semi-gloss coatings during production, this study systematically analyzed the influence of filler types and production process parameter optimization on the color development characteristics of coatings through the synergistic regulation mechanism of filler systems and process parameters. The results indicated that the surface characteristics of talc powder, differences in impurity content, and excessive grinding time were key factors causing color darkening. By optimizing filler selection (whiteness  $\geq 92\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content  $< 0.2\%$ ,  $\text{MnO}$  content  $< 0.05\%$ ) and significantly improving grinding processes (segmented grinding, specified grinding medium particle size and rotation speed, controlled paint slurry temperature, ensuring grinding time  $\leq 1.5$  hours), the color difference  $\Delta E$  of the coating film could be reduced below 0.8. This study provides theoretical basis and practical solutions for enhancing color stability in semi-gloss coatings.

**Key words:** semi-gloss coatings; color stability; talcum powder; grinding process; color difference analysis

## 0 引言

涂料作为现代工业中重要的功能性材料, 其光学性能直接影响终端产品的装饰效果与市场价值。按照漆膜光泽高低分类, 半光涂料是指漆膜光泽度 40%~60%(60°)的涂料。伴随生活水平的提升, 消费需求逐渐从实用型转向追求高颜值设计、艺术化呈现和沉浸

式体验。半光涂料呈现柔和亚光的质感, 耐磨抗污性好, 易于清洁, 触感细腻、耐候性佳, 兼顾实用和高级美感的特点, 适用空间广泛, 可用于墙面、木器、金属等多种基材, 以及商业建筑和住宅、机械设备、汽车零部件等领域。在半光涂料中, 填料不仅是调节性能的关键成分, 更是实现其独特光泽和综合功能的核心要素。目前半光涂料多使用能消光的填料如滑石粉等来降低光泽, 用量较大。在浅色系及高饱和度色系(如劳尔色卡 9010、1021)半光涂料生产中, 经常出现颜色发暗的问题, 导致产品合格率下降。

现有研究表明, 填料特性与工艺参数对涂层显色

收稿日期: 2025-04-21

作者简介: 贾雪艳(1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事水性涂料、丙烯酸聚氨酯涂料的研究工作。E-mail: jia\_xueyan@126.com。

性能具有显著影响。赵彤彤等<sup>[1]</sup>指出滑石粉在矿产品检测中最重要的物理性能指标就是白度,白度值的高低表征滑石粉的质量好坏;王红光<sup>[2]</sup>等发现砂磨机的转速、研磨介质、冷却水温度、研磨介质粒径大小等参数影响制备的颜料分散液的性能。然而,现有研究多聚焦于单一因素分析,缺乏对填料-工艺协同作用的系统研究,且对颜色发暗的微观机理阐释不足。本文通过建立“原料筛选-工艺优化-性能表征”的全链条研究体系,为解决半光涂料颜色稳定性问题提供科学方案。

## 1 试验部分

### 1.1 原材料、仪器及检测方法

#### 1.1.1 主要原料

树脂:丙烯酸树脂(固含量(60±2)%,酸值12 mgKOH/g,玻璃化转变温度45℃,自制);颜料:钛白粉(金红石型,平均粒径0.3 μm,遮盖力1 200 g/m<sup>2</sup>,无锡);填料:滑石粉(1 250目,辽宁产:白度91.2%;郑州产:白度89.7%);重钙(2 500目,白度92.5%,CaCO<sub>3</sub>

含量≥98%);硫酸钡(800目,白度93.8%,BaSO<sub>4</sub>含量≥99%);助剂:BYK-163高分子分散剂(胺值10 mg KOH/g)、BYK-066有机硅消泡剂(破泡聚合物和聚硅氧烷溶液)、435流平剂(改性聚硅氧烷)。

#### 1.1.2 仪器设备

LS-5蓝式砂磨机;CM-2600d;分光色差仪(标格达,测量孔径8 mm, D<sub>65</sub>光源)。

#### 1.1.3 检测方法

光泽检测按照GB/T 9754—2007的要求进行,色差使用色差仪检测。

### 1.2 配方设计

设计4组对照配方,考察填料对颜色的影响,分别是白色半光漆和高光漆、黄色半光漆和高光漆,具体如表1所列,其中助剂为分散剂:消泡剂:流平剂=8:1:1,下同。设计6组对照配方,考察填料种类对显色性能的影响,将滑石粉、硫酸钡、重钙作为填料单独加入半光白色漆和黄色漆中,具体如表2所列。

表1 填料对颜色影响的配方设计

%

体系	树脂	钛白粉	柠檬粉	滑石粉	硫酸钡	重钙	助剂	消光粉	溶剂
半光白漆	40	20		18	8		1		13
高光白漆	60	25					1	2	12
半光黄漆	40		23	15		6	7		13
高光黄漆	60		23				1	2	12

表2 填料种类对颜色影响的配方设计

%

体系	树脂	钛白粉	中黄粉	滑石粉	硫酸钡	重钙	助剂	溶剂
半光白漆 1 <sup>#</sup>	40	20		26			1	13
半光白漆 2 <sup>#</sup>	40	20			26		1	13
半光白漆 3 <sup>#</sup>	40	20				26	1	13
半光黄漆 1 <sup>#</sup>	40		23	21			1	13
半光黄漆 2 <sup>#</sup>	40		23		21		1	14
半光黄漆 3 <sup>#</sup>	40		23			21	1	14

### 1.3 制备工艺

面漆生产一般采用研磨法工艺,流程如下所述。

1)预分散阶段:将丙烯酸树脂加入不锈钢盆中,调节转速至300~500 r/min,加入BYK-163分散剂后继续搅拌5 min。

2)分散阶段:依次加入颜料和填料,提速至600~800 r/min分散15 min,充分混合均匀,至盆内漆浆均匀无干粉后停止。

3)研磨阶段:采用蓝式砂磨机进行研磨(锆珠填充量70%),锆珠粒径1.8~2.0 mm,提升转速至1 200 r/

min,过程中通入冷却水,控制温度<60℃;研磨至细度≤30 μm下磨。

4)调漆阶段:加入BYK-066消泡剂和435流平剂,采用T-4杯调节黏度至80~100 s((23±2)℃),用120目丝绢过滤后包装。

## 2 结果与讨论

### 2.1 填料对颜色的影响

为降低光泽对色差的影响,表1中的高光白漆和高光黄漆中均加入了2%的消光粉进行消光,使其光泽与加入填料的半光漆接近。将制备的4个漆样喷涂

到试板上,厚度均为 $(23\pm 2)\mu\text{m}$ ,以高光白漆和高光黄漆为标准,检测色差对比颜色,结果如表3所列。

表3 填料对涂层颜色的影响

体系	$\Delta E$	光泽度( $60^\circ$ )/%
半光白漆	1.2	50±2
高光白漆		55±2
半光黄漆	2.0	52±2
高光黄漆		56±2

白色和黄色半光漆均比相应的高光漆颜色暗,色差仪显示色差大,说明填料对颜色影响较大。

填料作为填充物出现在涂料中,主要作用是降低材料成本、提供特种功能。随着对填料各种性能的研究,涂料技术人员逐渐认识到填料对涂料物理、化学性能的改变有一定帮助。不同种类和数量的填料,能有效改善涂料的贮存性能和施工性能,提高涂膜的机械强度、耐磨性、耐水性、抗紫外线性、隔热性和抗龟裂性等。因此填料虽然不是涂料的必要组成部分,但它在涂料中的地位也逐渐提高<sup>[1]</sup>。

在半光涂料中,填料对颜色的影响是多维度的,既能通过物理光学效应直接改变颜色表现,又能通过调节涂膜结构和性能间接影响颜色的呈现。比如填料的加入稀释了涂料内的颜料浓度,降低了色彩饱和度,使饱和度高的颜色纯净度、鲜艳度降低。填料的吸油量和粒径分布也会影响涂料的流动性和成膜后的表面结构,间接影响颜色的均匀性和最终视觉效果,粗颗粒填料的加入增加漫反射的同时导致颜色发雾或发灰,李焕等<sup>[4]</sup>在研究矿物颜料与色彩关系中证明两者之间有着重大关系。

## 2.2 填料种类对性能的影响

填料种类对涂层性能的影响如表4所列。

表4 填料种类对涂层性能的影响

填料类型	白漆 $\Delta E$	黄漆 $\Delta E$	光泽度( $60^\circ$ )/%
滑石粉	1.4	2.5	50±3
重钙	0.7	0.8	62±2
硫酸钡	0.5	0.6	68±1

上述色差检测的标准板均为表1制得的白色高光漆和黄色高光漆,加入2%消光粉后制备的试板。

试验发现:在半光产品中使用滑石粉、重钙和硫酸钡,硫酸钡对颜色影响最小,而滑石粉对颜色稳定性影响最大。滑石粉、重钙、硫酸钡白度接近,但使用滑石粉制漆后颜色变暗比较明显,这是因为看到的白度是干

白度,和填料底色的白度并不一致。滑石粉的主要成分有二氧化硅和氧化镁,二氧化硅提供硬度和化学稳定性,增强涂层耐磨性并改善涂料悬浮性,防止颜料沉降;氧化镁赋予涂层润滑性和抗碱性,延长涂料使用寿命,高温下能形成致密结构,提升防火性能。同时滑石粉也存在一些关键杂质,比如氧化铁、氧化锰等。其作用机制包括以下几方面:

### 1) 颗粒细化与光散射特性变化

热重分析表明,滑石粉在 $60^\circ\text{C}$ 下失重1.2%,主要源于吸附水的脱除( $25\sim 80^\circ\text{C}$ )及有机物分解( $80\sim 200^\circ\text{C}$ )。水分蒸发导致填料表面形成微孔结构,比表面积增大,增加了光散射路径,降低反射率。

### 2) 光散射差异

观察表明,原始滑石粉呈完整的片状结构,经研磨后片层发生剥离断裂,形成不规则颗粒。破坏的片层结构降低定向反射能力,导致漫反射率下降。

### 3) 微量金属催化

对滑石粉的化学成分进行分析如表5所列,辽宁产滑石粉含 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.08%、 $\text{MnO}$  0.04%,郑州产样品中 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量0.11%、 $\text{MnO}$  0.12%。氧化铁中铁离子是主要着色源,含量过高易使涂层泛黄或者变暗,氧化锰可引发颜色偏移,显现灰黑色。生产中发现郑州产滑石粉制备的白色漆浆和涂层出现发暗现象、黄色漆浆和涂层颜色变成土黄绿相,颜色由白色、黄色逐渐变灰,滑石粉化学成分分析显示郑州产滑石粉中 $\text{MnO}$ 含量较高,会导致涂层出现灰黑色,分析结果和实际生产结果一致,可以断定颜色发暗的主要原因之一是滑石粉中氧化锰过量。

表5 滑石粉化学成分分析 %

产地	$\text{SiO}_2$	$\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$
辽宁	58.30	30.10	0.08	0.32	0.04
郑州	53.70	28.90	0.11	0.42	0.12

## 2.3 工艺参数优化

### 2.3.1 研磨时间的影响

试验发现研磨时间越长,颜色稳定性越差,涂料颜色越暗。这是因为研磨时间过长时,细小颗粒表面能增加,容易重新团聚形成软聚集体,导致颜料粒径分布变宽。周铭等<sup>[5]</sup>指出同样的颜料因分散后粒径不同而导致色相发生改变。

### 2.3.2 温度控制策略

试验发现研磨后期当温度 $>55^\circ\text{C}$ 时,颜色变化明显。研磨初期,适当升温可降低漆浆黏度,增强树脂对颜料的润湿性,提高分散效率,但温度过高会使分散剂

分解失去稳定作用,引发颜料絮凝,进而导致颜色发灰发暗。生产中通过夹套中通入冷却的循环水来控制研磨漆浆温度,一般控制在 45 ℃ 以下时颜料、树脂和分散剂更稳定。

### 3 解决方案

#### 3.1 原料优选标准

鉴于滑石粉对涂料显色性的显著影响,建议制定滑石粉采购技术规范,明确规定相应指标并严格进行入厂检验。规定白度值 $\geq 92$ ;杂质控制: $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.2\%$ 、 $\text{MnO} < 0.05\%$ ;吸油量 $\leq 22 \text{ g}/100 \text{ g}$ ;水分含量 $\leq 0.5\%$ 。

#### 3.2 工艺改进措施

生产过程中观察到,含有滑石粉的半光涂料研磨时间越长,颜色越暗,研磨时长在 2 h 内颜色基本无变化。因此对研磨阶段生产工艺进行改进,通过调整砂磨机转速、研磨介质(一般指锆珠)的粒径和用量、通入冷却水控制研磨温度等方面提高研磨效率、缩短研磨时长至 2 h 以内。砂磨机都设定有临界转速,临界转速指研磨介质产生的离心力等于其自身重力,导致介质紧贴研磨篮壁随筒体旋转而不下落时的转速。临界转速和研磨篮筒体直径有关,直径越小,临界转速越高。多次工艺调整得出,砂磨机转速为 1 800 r/min 时研磨效果最好。根据介质动能与碰撞频率理论,研磨介质的动能与其运动速度的平方成正比。转速越高,介质被加速到更高速度碰撞时的动能就越大,对物料的剪切、冲击和摩擦作用更强,但当转速超过一定阈值即临界转速时,离心力会使介质紧贴研磨篮壁,失去自由运动能力,导致研磨效率下降。1 500 r/min 的转速能够使介质在单位时间内发生足够高频的撞击,高效破碎颜料等颗粒,且其略低于临界转速的范围内,既能保证介质充分流动,又避免离心化。实际生产中,需要根据涂料黏度、锆珠粒径和研磨篮尺寸微调转速,1 000~1 800 r/min 是较为广泛使用的转速范围。

研磨介质粒径对分散效率的影响涉及动能传递、接触面积、流动状态、物料性质等多个方面。研磨介质粒径的选择直接影响颜料分散效率、产品质量和生产成本。不同颜料、不同黏度的漆浆需要不同粒径的研磨介质,比如易分散的颜料、高黏度漆浆需要粒径较大的介质,为 1.2~2.0 mm,而难分散的颜料、低黏度漆浆则需要粒径较小的介质,粒径为 0.5~1.0 mm。对于本文讨论的半光涂料,为提高研磨效率、缩短研磨时长,可采取研磨介质(本文指锆珠)分阶段粒径优化的方式进行,将研磨阶段分为粗磨和精磨两个过程,粗磨使用 1.2~1.8 mm 的锆珠,快速破碎颜料团聚体。至细度 40  $\mu\text{m}$  时选用 0.6~1.0 mm 的锆珠继续研磨,消除软团聚。根据生产经验,锆珠的填充量在 60%~70%时效率

最佳,指锆珠体积占研磨篮有效容积的比例。足量的锆珠可以增加与物料的接触面积,提升研磨效率,保留 30%~40% 的空间可以使锆珠在运行时充分流动、碰撞,避免因过度填充导致能量损耗或设备发热。

因此实施“三阶段”研磨法进行漆浆研磨。

1) 预分散:漆浆在高速分散剂上以 800 r/min 的转速搅拌 10 min,初步破碎团聚体。

2) 粗磨:砂磨机转速调整至 1 200 r/min 研磨 40 min,锆珠粒径 1.5~1.8 mm 进行初次研磨。

3) 精磨:更换填充研磨介质粒径较小的砂磨机,调节转速至 1 500 r/min 继续研磨 20 min,锆珠粒径 0.8~1.0 mm,确保漆浆细度至 30  $\mu\text{m}$ 。

整个研磨过程中通入冷却水,确保漆浆温度 $< 45 \text{ }^\circ\text{C}$ ,总研磨时间 1.5 h 以内。

#### 3.3 配方体系优化

若采购的滑石粉达不到上述标准规定且“三阶段”研磨法不宜实施,在不影响产品耐化学品性、耐候性及机械性能的情况下,采用 3 种替代滑石粉的方案应对颜色发暗问题,具体如表 6 所列。

表 6 填料替代方案对比

方案	$\Delta E$ 降低率/%	光泽度(60°)/%
单使用硫酸钡	48	68 $\pm$ 1
复配重钙/硫酸钡	42	63 $\pm$ 2
单使用消光粉	67	52 $\pm$ 3

硫酸钡白度稳定性高,白度一般 $\geq 92\%$ ,长期使用不易黄变,耐酸碱性能优异适用于高耐候性要求的户外涂料中,但硫酸钡密度大,一般在 4.3~4.5  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,容易沉淀,同时硫酸钡颗粒表面光滑度低,影响漆膜表面的滑爽性和细腻感。使用消光粉能很好地解决颜色发暗的问题,并改善涂膜的手感,增加滑爽性,而且消光粉是有机处理的沉淀法二氧化硅,具备良好的悬浮性,能长时间保持稳定状态,但加入大量消光粉存在光泽不稳定的隐患<sup>[6]</sup>。采用复合填料体系重钙和硫酸钡替代滑石粉消光,通过不同比例填料制漆对比,最终选择重钙:硫酸钡=3:1 的方案进行替代生产,虽然涂膜表面细腻滑爽性不及使用滑石粉的涂膜,但性能接近且能实现  $\Delta E \leq 0.8$ 。

### 4 结语

滑石粉的表面吸附特性、金属杂质含量及结构破坏是导致半光涂料颜色发暗的主因;其次研磨效率低,颜料稳定性差也在一定程度上影响半光涂料的颜色。

制定滑石粉采购技术规范,明确规定入厂检验指标(白度 $\geq 92\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量 $< 0.2\%$ 、 $\text{MnO}$ (下转第 32 页))