

# 二氧化钛在油墨中的应用性能研究

于耀杰, 宋 悦, 董仕顺, 任秀莲, 魏琦峰\*

(哈尔滨工业大学(威海)海洋科学与技术学院, 山东 威海 264200)

**摘 要:**对二氧化钛在油墨中的应用性能进行了研究, 通过对二氧化钛粗品进行不同条件的研磨分散、无机包覆处理, 并进行颜料性能及油墨应用性能研究测试, 总结归纳出适宜油墨应用的高遮盖力二氧化钛制备方案。其最佳工艺为: 在浆料浓度为 500 g/L 条件下, 研磨分散 40 min, 并进行氧化硅和氧化铝无机包覆, 得到样品的二氧化钛含量达 90.23%,  $L$  值为 95.61,  $b$  值为 1.82, 油墨中的遮盖力达到最大值, 具备最佳的油墨应用效果。

**关键词:**二氧化钛; 油墨; 遮盖力; 研磨; 分散; 无机包覆

中图分类号: TF823

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2022)03-0065-06

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2022.03.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音  
与作者互动  
聊科研

## Research on application performance of titanium dioxide in ink

Yu Yaojie, Song Yue, Dong Shishun, Ren Xiulian, Wei Qifeng\*

(College of Marine Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Weihai 264200, Shandong, China)

**Abstract:** In this paper, the application performance of titanium dioxide in ink was studied. Through the process of grinding, dispersing and inorganic coating of titanium dioxide crude products under different conditions, the study of pigment performance and application performance of ink was carried out, the preparation method of high hiding power titanium dioxide suitable for ink application was also summarized. The optimum technological conditions were obtained as follows: when the slurry concentration is 500 g/L, 40 min is ground and dispersed, and  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  inorganic coating is carried out. The titanium dioxide content of the sample is 90.23%,  $L$  value is 95.61,  $b$  value is 1.82, the hiding power in the ink reaches the maximum, and has the best ink application effect.

**Key words:** titanium dioxide, ink, hiding power, grinding, dispersing, inorganic coating

## 0 引言

二氧化钛具有最佳的白度和极佳的遮盖力, 是已知的一种性能最好的白色颜料<sup>[1]</sup>, 广泛应用于涂料、塑料、造纸、油墨等行业<sup>[2-4]</sup>, 在未来的一段时间内二氧化钛还无法被替代<sup>[5]</sup>。颜料级二氧化钛的粒径分布范围通常为 0.2 ~ 0.35  $\mu\text{m}$ , 依据不同的测量方法, 该数据会有一定范围的波动, 但差异不大<sup>[6]</sup>。

油墨是继涂料、塑料、造纸之后的第四大钛白粉应用领域。截至 2021 年, 我国油墨的年产量均不低于 78 万 t, 预计未来油墨市场会进一步增长, 主要表现在凹版油墨、柔板油墨、网印油墨等领域<sup>[7-9]</sup>。二氧化钛作为油墨的核心原料, 不仅能提供基本的遮盖力和消色力, 还能对油墨的遮盖力、印刷性、色牢度等造成影响<sup>[10-14]</sup>。采用不同工艺制备的二氧化钛在油墨应用中有不同的特性, 性能相差较大<sup>[15-18]</sup>。

收稿日期: 2022-01-14

基金项目: 山东省重点研发计划 (2017CXGC1002)。

作者简介: 于耀杰(1988—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为分离科学与技术及资源综合利用, E-mail: 5134659@qq.com;

\*通讯作者: 魏琦峰, 教授, 博士生导师, 研究方向为分离科学与技术及资源综合利用, E-mail: weiqifeng163@163.com。

油墨用的钛白粉主要分两种,一种是表印油墨用钛白粉,要求钛白粉能够提供较好的分散性、光泽度。另一种是里印油墨用钛白粉,要求钛白粉能够提供较好的分散性、遮盖力。由于各厂家生产工艺不同,目前市售的钛白粉产品的最终性能差异较大。通过采用不同的研磨分散和无机包覆工艺,可以使钛白粉获得不同的分散性和油墨遮盖力。目前在里印油墨领域,钛白粉的分散性和油墨遮盖力无法做到兼顾。大部分的钛白粉分散性能够达到要求,但由于过度研磨等问题会导致遮盖力变差。小部分钛白粉能够提供比较好的遮盖力,但分散性和吸油量等指标又表现不佳。

针对目前钛白粉在里印油墨应用中遮盖力和分散性不均衡的问题,我们设计了相关试验。在实验室条件下,参考钛白粉企业的常用无机包膜工艺设计包膜试验。通过对实验室砂磨机和工厂用砂磨机进行研磨效果换算后,分别采用 20、40、60 min 研磨时间模拟不同的砂磨强度,探究研磨强度对钛白粉分散性、粒度、油墨遮盖力的影响。在确定研磨时间后,采用不同的硅铝包覆量,探究不同的硅铝包覆量对钛白粉吸油量、油墨遮盖力的影响。最终通过对实验室制备的钛白粉进行颜料性能及油墨应用性能测试和分析,总结归纳出适宜里印油墨专用的高遮盖力二氧化钛制备方案。

## 1 试验设备及方法

### 1.1 试验原料

某厂生产的金红石二氧化钛落窑品、100 g/L 氢氧化钠溶液、100 g/L 硫酸铝溶液、100 g/L 偏铝酸钠溶液、100 g/L 稀硫酸溶液、100 g/L 硅酸钠溶液、超纯水、六偏磷酸钠溶液、三羟甲基乙烷(TME)、氧化锆珠(0.6~0.8 mm)等。

### 1.2 试验设备

试验过程中用到的主要设备见表 1。

### 1.3 试验方法

在实验室条件下,对钛白粗品进行粗粉碎后,采用实验室砂磨机进行 20、40、60 min 砂磨,砂磨前浓度为 500 g/L,砂磨后物料稀释到 300 g/L,再进行氧化硅、氧化铝包膜,获得包膜后钛白浆料。对钛白浆料进行水洗,干燥,气流粉碎的工艺处理,获得二氧化钛成品。

取金红石粗品,采用 nn-8000 粉碎机进行实验室破碎,破碎至颗粒小于 1 mm,触摸无明显颗粒感。

使用 760 g 粗品粉料与 1 250 mL 水,使用六偏磷酸钠溶液进行分散,配制到 500 g/L,采用砂磨机进行研磨。分别对砂磨后的浆料进行物料粘度、浓度测试。再将砂磨后的钛白浆料稀释到 300 g/L,采用 600 目筛网测试物料的通过速率和筛余物含量。用稀释后的钛白浆料进行不同条件的无机表面处理包覆,再通过实验室水洗、干燥、有机处理、气流粉碎,最终制成二氧化钛成品<sup>[19]</sup>。

表 1 试验参考设备清单  
Table 1 Experimental reference equipment list

| 设备名称        | 规格型号           | 生产厂家           |
|-------------|----------------|----------------|
| 实验室 pH 计    | 梅特勒-托利多 FE20   | 梅特勒-托利多仪器      |
| 实验室电导率仪     | 梅特勒-托利多 FE30   | 梅特勒-托利多仪器      |
| 分析天平        | AL204          | 梅特勒-托利多仪器      |
| RK 打样机      | KPP 印刷验证机      | RK 公司          |
| XRITE 分光光度计 | SP62           | 美国爱色丽公司        |
| 平磨仪         | PM240-2        | 广西梧州市润训宝石机械厂   |
| 扫描电镜        | JSM-5 600 LV   | 日本电子光学公司       |
| 325 目筛网     | 75 mm          | 顺兴化学试剂公司       |
| 600 目筛网     | 75 mm          | 顺兴化学试剂公司       |
| 光泽度计        | BGD516-3       | 广州标格达仪器有限公司    |
| 粘度杯         | 3 <sup>#</sup> | 日本东洋 rigosha   |
| 秒表          | RESEE          | RESEE 生产       |
| 数显粘度计       | NDJ-5S/8S      | 上海平轩科学仪器有限公司   |
| 粉碎机         | nn-8 000       | 上海比朗仪器有限公司     |
| 实验室砂磨机      | VSM            | 无锡新光粉体         |
| 粒度仪         | 马尔文 2000       | 英国马尔文          |
| 汽粉机         | YQ50           | 上海塞山粉体机械制造有限公司 |
| 色差仪         | Labscan XE     | Hunter         |
| XRF         | TIGER-S8       | 德国布鲁克          |

### 1.4 样品测试项目

对实验室制备的二氧化钛成品进行白度、黑浆消色力、搅拌分散性、吸油量等颜料指标进行测试;再将实验室制备的二氧化钛进一步制备成聚氨酯体系油墨,并测试最终油墨制成品的遮盖力和分散性<sup>[20]</sup>。其中,对二氧化钛组分采用 XRF 荧光分析仪进行测试。

二氧化钛颜料性能测试方法具体为:称取 2.000 0 g(精确至 0.000 1 g)试样置于研磨机下层板中间,用针筒吸取 1 mL 精制亚麻仁油放在试样中间,用调刀将其调匀,将浆料状物在下层板上分成距板底中心约 50 mm 直径的圆,合上玻璃板,开动研磨机,以 50 转为一遍,研磨四遍,研磨完毕后即制成试样的浆料。再用 HUNTLAB 色差仪进行测试。

砂磨后浆料浓度测试方法具体为:使用校准后的 250 mL 容量瓶进行测试,先获得浆料比重,浆料比重=浆料重量/浆料体积,再查物料浓度表,获得相应的浓度。

使用旋转粘度计,对砂磨后浆料粘度进行测试;使用马尔文 2000 激光粒度仪对砂磨后浆料的粒径进行测试。

取 250 mL 砂磨后浆料,用内径为 75 mm 的 325 目筛网 (45  $\mu\text{m}$ ) 测试筛余。

聚氨酯油墨遮盖力测试方法具体为:按照比例,加入 40 g 凡立水 A, 30 g 二氧化钛, 40 g 玻璃珠,配好后用快手研磨分散 40 min, 用稀释液 B 稀释至 15 s (日本杯 3<sup>#</sup>杯)之后用 RK 打样机速度调为 10 进行打板制样,制样完成后,使用对比率仪测试样品的遮盖力。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 砂磨时间对粗品颜料指标的影响

取 760 g 二氧化钛粗品粉料与 1 250 mL 水,添加 3% 六偏磷酸钠分散剂,配制成 500 g/L 的浆料。使用砂磨机对制备的钛白浆料进行研磨,砂磨时间分别为 20、40、60 min,砂磨后取 100 mL 浆料进行烘干。最后使用“二氧化钛颜料性能测试方法”测量样品的  $L$  (亮度)、 $b$  (黄蓝色相)、TCS (消色力)、SCX (着色底相) 指标,得到图 1 和图 2。

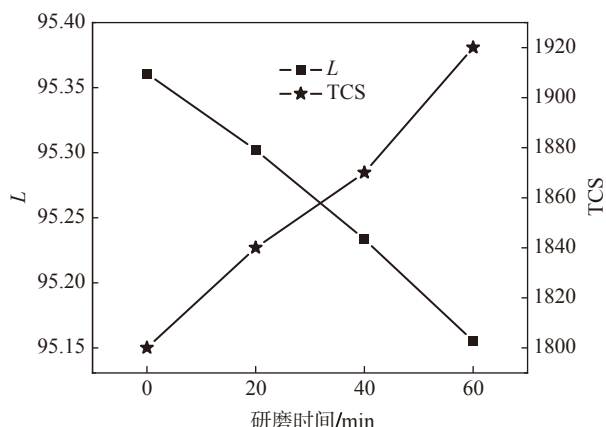


图 1  $L$  值、TCS 值随研磨时间变化曲线

Fig. 1  $L$  value and TCS value change curves with grinding time

从图 1、2 可以看出,当二氧化钛粗品的研磨时间由 0 min 增加至 60 min 时, $L$  值由初始值 95.36 下降至 95.15, $b$  值由初始值 1.81 下降至 1.65,呈逐渐降低的趋势。TCS 值由初始值 1 800 上升至 1920,SCX 值由初始值 2.24 上升至 2.87,呈逐渐升

高的趋势。分析认为,随着研磨时间的逐渐增加,氧化锆珠对砂磨机磨腔内壁的摩擦会向体系中引入杂质,这可能是导致二氧化钛粗品的  $L$  值和  $b$  值出现降低的主要因素。而 TCS 值和 SCX 值会随着研磨时间的增加呈明显升高趋势,说明二氧化钛团聚体随着研磨时间逐渐延长,逐渐解聚完全,团聚粒子变小,故单位质量的二氧化钛颜料 TCS 值升高、SCX 值升高。

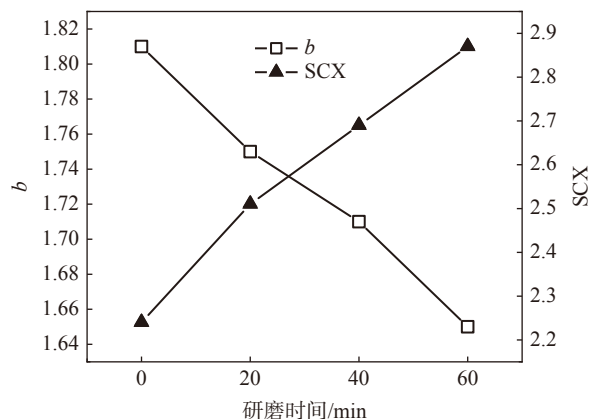


图 2  $b$  值、SCX 值随研磨时间变化曲线

Fig. 2  $b$  value and SCX value change curves with grinding time

综上所述,实际生产中需根据最终样品的颜料指标来设计最佳研磨时间,从而获得较好解聚效果及更大的  $L$  值和  $b$  值,因此选择最适宜的研磨时间为 40 min。

### 2.2 砂磨时间对浆料粘度、筛余物的影响

取不同研磨时间制备的二氧化钛浆料,将其冷却到室温后,测试浆料的粘度和 325 目 (45  $\mu\text{m}$ ) 筛余物,探究砂磨时间对浆料粘度、筛余物的影响,结果如图 3 所示。

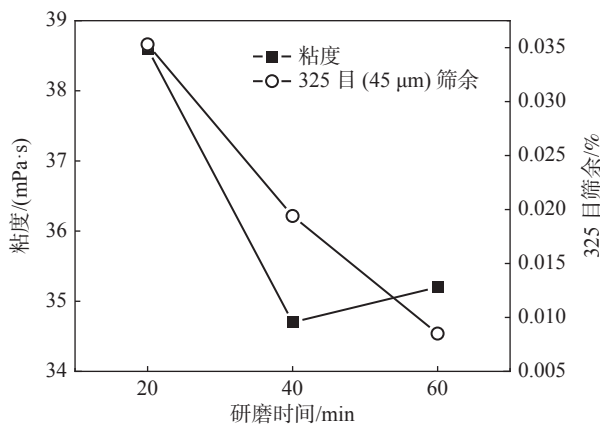


图 3 不同砂磨时间浆料粘度和筛余物的变化

Fig. 3 Change of slurry viscosity and sieve residue at different grinding time

从图3可以看出,当二氧化钛粗品的研磨时间由20 min增加至60 min时,325目(45  $\mu\text{m}$ )筛余物含量从0.035 3%降至0.008 5%。分析原因可能是由于砂磨时间的延长,导致二氧化钛团聚体与锆珠的碰撞频次增加,从而使得团聚体被挤压破碎,之后再经过分散剂和溶剂的共同作用,使得二氧化钛颗粒在水溶液中均匀分散,其中大颗粒团聚物减少,因此325目(45  $\mu\text{m}$ )筛余物含量减少。同时,浆料粘度从38 mPa·s降低至35 mPa·s左右,变化不明显。分析其原因,认为是经过20~40 min研磨后,二氧化钛团聚体已经基本解聚,二氧化钛颗粒被分散剂包裹,在水中呈分散状态,导致溶液的粘度略微降低,当研磨时间继续增加时,解聚效率升高缓慢,同时物料的整体粘度偏低,因此变化不大。

实际生产时,为了提升设备的工作效率,砂磨浆料浓度及分散剂剂量会有一定程度调整,最终砂磨后的浆料粘度越低,其流动性会越好,从而更有利于研磨效率的提升。

### 2.3 砂磨时间对粒径的影响

取不同研磨时间制备的二氧化钛浆料,将其冷却到室温后,进行粒径测试,探究砂磨时间对粒径大小的影响,结果如图4所示。

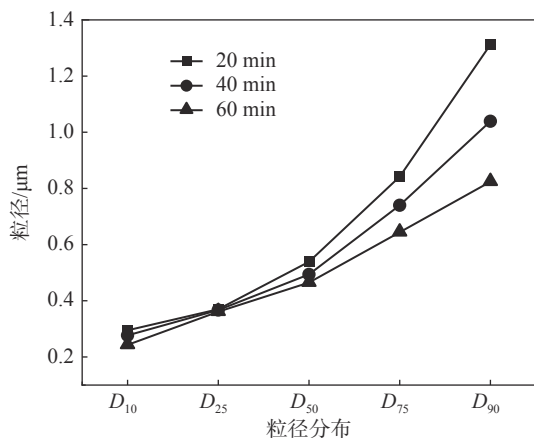


图4 不同砂磨时间浆料的粒径分布

Fig. 4 Particle size distribution of slurry at different grinding time

从图4可以看出,当二氧化钛粗品的研磨时间由20 min增加至60 min时, $D_{10}$ 由0.295  $\mu\text{m}$ 降至0.243  $\mu\text{m}$ ,呈轻微下降趋势; $D_{50}$ 由0.539  $\mu\text{m}$ 降低至0.465  $\mu\text{m}$ ,降低明显; $D_{90}$ 由1.312  $\mu\text{m}$ 降低至0.824  $\mu\text{m}$ ,呈大幅下降趋势。分析认为,随着研磨时间的延长,二氧化钛团聚体与氧化锆珠的碰撞频次增加,导致二氧化钛团聚体被进一步碰撞破碎, $D_{90}$ 的粒径偏大,破碎明显。而 $D_{10}$ 由于粒径偏小,在研磨破碎

的过程中,受氧化锆珠挤压破碎的几率相对减少,破碎不明显。 $D_{50}$ 为平均粒径,是代表粒度大小的典型值。为了使得二氧化钛团聚体能够均匀解聚,同时考虑 $L$ 值和 $b$ 值的变化及生产效率,这里也选取40 min作为最佳研磨时间,此时 $D_{50}$ 为0.494  $\mu\text{m}$ 。

### 2.4 氧化硅和氧化铝包覆量对吸油量的影响

取760 g二氧化钛粗品粉料与1 250 mL水,配置成500 g/L的浆料,添加3%六偏磷酸钠分散剂,使用砂磨机砂磨分散40 min,并对其进行不同含量的氧化硅和氧化铝包覆。对获得的样品进行组分含量及吸油量测试,所得数据如表2所示。为了使结果更加直观,对样品按总钛含量逐渐降低的顺序重新排列,获得图5,可以看出其吸油量与总钛的关系更加明显。随着总钛含量降低,吸油量逐渐升高。氧化硅、氧化铝含量升高,吸油量也呈现出略微升高或降低的趋势,但变化幅度不一。这是由于不同样品的氧化硅和氧化铝含量差异较大,在进行无机包覆的过程中,会形成疏松的无机包覆层,该类包覆层具有类似的絮状结构,会导致吸油量升高。

表2 无机包覆后组分含量及吸油量

Table 2 Content and oil absorption after inorganic coating

| 序号             | w/%                     |                |                        |                | 吸油量(100 g)/g |
|----------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|--------------|
|                | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{TiO}_2$ |              |
| 1 <sup>#</sup> | 1.190 3                 | 0.261 9        | 0.182 5                | 98.036 6       | 16.2         |
| 2 <sup>#</sup> | 3.084 6                 | 0.463 7        | 0.197 3                | 95.789 7       | 18.5         |
| 3 <sup>#</sup> | 2.110 5                 | 0.352 8        | 0.174 6                | 96.983 1       | 17.6         |
| 4 <sup>#</sup> | 3.816 6                 | 1.857 7        | 0.191 5                | 93.538 8       | 20.1         |
| 5 <sup>#</sup> | 3.452 3                 | 0.287 1        | 0.185 6                | 95.397 4       | 19.3         |
| 6 <sup>#</sup> | 3.659 2                 | 5.361 9        | 0.194 4                | 90.232 7       | 21.3         |
| 7 <sup>#</sup> | 2.768 4                 | 2.841 7        | 0.155 5                | 93.683 4       | 20.8         |

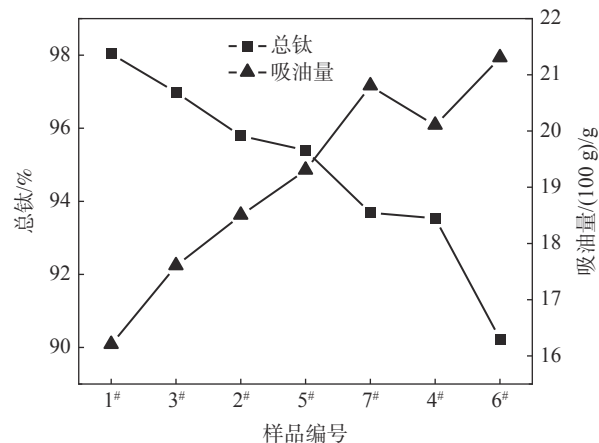


图5 二氧化钛含量与吸油量对比

Fig. 5 Comparison of titanium dioxide content and oil absorption figure

2.5 颜料指标与聚氨酯油墨遮盖力的关系

对上述制备的七种二氧化钛样品进行颜料指标及油墨遮盖力测试, 结果如表 3 和图 6 所示。通过图 6 可以发现, 在本试验中, 遮盖力随着总钛的升高而降低。对样品进行电镜分析, 如图 7 所示。从图 7 可见, 6<sup>#</sup>样品的无机包覆量较多, 样品表层有较

为明显的絮状包覆。这种絮状无机包覆在制成油墨涂层后, 能够提高涂膜中的孔隙率, 进而提高油墨涂层的干遮盖力<sup>[21]</sup>。为了保证二氧化钛在油墨中表现出更好的遮盖力, 选择无机包覆量最高的 6<sup>#</sup>样品作为最佳无机包覆方案。

表 3 颜料和聚氨酯油墨遮盖力指标  
Table 3 Index of pigment and polyurethane ink covering power

| 序号             | <i>L</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | TCS   | 遮盖力/% | 总钛/%     |
|----------------|----------|----------|----------|-------|-------|----------|
| 1 <sup>#</sup> | 95.14    | -1.11    | 1.85     | 2 030 | 57.3  | 98.036 6 |
| 2 <sup>#</sup> | 95.60    | -1.14    | 1.75     | 2 057 | 58.5  | 95.789 7 |
| 3 <sup>#</sup> | 95.4     | -1.08    | 1.81     | 2 045 | 57.9  | 96.983 1 |
| 4 <sup>#</sup> | 95.59    | -1.12    | 1.79     | 2 058 | 58.9  | 93.538 8 |
| 5 <sup>#</sup> | 95.63    | -1.08    | 1.74     | 2 006 | 58.2  | 95.397 4 |
| 6 <sup>#</sup> | 95.61    | -1.11    | 1.82     | 2 023 | 59.7  | 90.232 7 |
| 7 <sup>#</sup> | 95.61    | -1.10    | 1.77     | 2 003 | 58.4  | 93.683 4 |

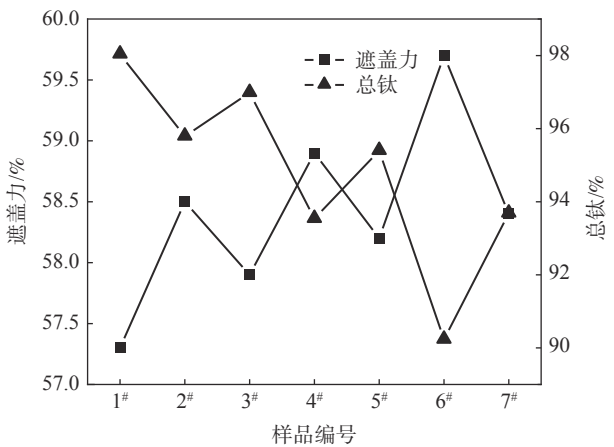


图 6 遮盖力与总钛关系  
Fig. 6 Relationship between covering power and total titanium

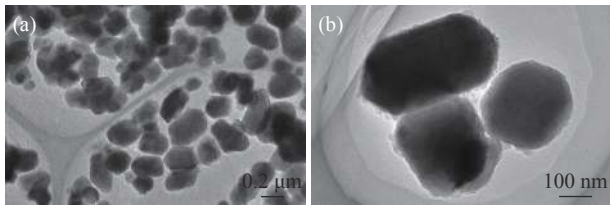


图 7 6<sup>#</sup>样品 TEM 形貌  
Fig. 7 TEM of sample 6<sup>#</sup>

后期, 我们会进一步研究二氧化钛对油墨的印刷性、储存稳定性及耐色牢度的影响, 再结合实际客户使用需求, 从而得到更加完善的油墨用二氧化钛制备工艺。

3 结论

针对目前钛白粉在油墨中应用性能差异较大, 部分二氧化钛产品油墨应用性较差的情况, 对二氧化钛的研磨、无机包覆及应用性能进行了探索, 得到了具有较高遮盖力和分散性的油墨用二氧化钛的制备工艺。

1)通过对二氧化钛粗品进行适当时间的研磨后, 可使其具备较好的 *L* 值、*b* 值、粒径分布和粘度, 其最佳工艺条件为: 取 760 g 二氧化钛粗品粉料与 1 250 mL 水, 配置到 500 g/L 的浆料, 添加 3‰六偏磷酸钠分散剂, 使用砂磨机砂磨分散 40 min, 并进行氧化硅和氧化铝无机包覆。

2)在最佳工艺条件下, 样品的二氧化钛含量可达 90.23%, *L* 值为 95.61, *b* 值为 1.82, 油墨中的遮盖力为 59.7%, 具备最佳的油墨应用效果。

参考文献

[ 1 ] Lou Xiaojie. Production and application of titanium dioxide[J]. *Chemical Enterprise Management*, 2020, 28: 111–112. ( 娄晓杰. 钛白粉的生产及应用现状[J]. *化工管理*, 2020, 28: 111–112. )  
[ 2 ] Zhang Xiuzhen, Jiang Wenchuan, Lu Wei, et al. Development of preparation technology of rutile titanium dioxide with low oil absorption[J]. *Chemical Engineering Design Communications*, 2020, 46(6): 167–168,176.

- (张修臻, 姜文川, 鲁伟, 等. 低吸油量金红石钛白粉制备技术的研发[J]. *化工设计通讯*, 2020, 46(6): 167-168, 176.)
- [3] Bi Sheng. Status of titanium dioxide industry in China and the development prospect[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2021, 42(5): 99-108.  
(毕胜. 近年中国钛白粉行业基本状况及发展展望[J]. *钢铁钒钛*, 2021, 42(5): 99-108.)
- [4] Zhang Wensheng, Zhu Zhaowu, Cheng Chuyong. A literature review of titanium metallurgical processes[J]. *Hydrometallurgy*, 2011, 108(3-4): 177-188.
- [5] Wang Yongshan. Research on the role of titanium dioxide in ink formulation[J]. *Chemical Engineering Design Communications*, 2021, 47(2): 67-68.  
(王永珊. 钛白粉在油墨配方中的作用[J]. *化工设计通讯*, 2021, 47(2): 67-68.)
- [6] Deng Jie, Wu Lifeng. Titanium dioxide application manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.  
(邓捷, 吴立峰. 钛白粉应用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.)
- [7] Liu Y, Zhang Y, Ge C, *et al.* Evolution mechanism of alumina coating layer on rutile  $\text{TiO}_2$  powders and the pigmentary properties[J]. *Applied Surface Science*, 2009, 255(16): 7427-7433.
- [8] Sun Zheyu, Xia Yuan, Zhou Lei, *et al.* Current status and development of China's titanium dioxide industry in 2020[J]. *Coating and Protection*, 2021, 42(9): 56-62.  
(孙哲宇, 夏渊, 周磊, 等. 2020年中国钛白粉行业发展现状分析[J]. *涂层与防护*, 2021, 42(9): 56-62.)
- [9] Shang Yumei. Brief development status of ink industry in China[J]. *Printing Technology*, 2019, (6): 50-51.  
(尚玉梅. 简述我国油墨行业发展现状[J]. *印刷技术*, 2019, (6): 50-51.)
- [10] Zhang Xiuzhen, Zhu Shizhong, Ma Zhengcheng, *et al.* Application of titanium dioxide in ink formulation[J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2019, 39(20): 159-161.  
(张修臻, 朱士中, 马征程, 等. 钛白粉在油墨配方中的作用[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2019, 39(20): 159-161.)
- [11] Zhang Benfa. Application of hydrophilic titanium dioxide in water based ink[J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2016, 23(11): 30-33.  
(张本发. 亲水型钛白粉在水性油墨中的应用[J]. *石化技术*, 2016, 23(11): 30-33.)
- [12] Chen Xiaoying. Present situation and development trend of gravure plastic ink[J]. *Guangdong Print*, 2020 (5): 49-51.  
(陈晓英. 凹版塑料油墨的现状与发展趋势[J]. *广东印刷*, 2020 (5): 49-51.)
- [13] Yang Sen. Talk about the application of environmental protection ink in green cigarette packs[J]. *Technology Wind*, 2016, (2): 97-97.  
(杨森. 浅谈环保油墨在绿色烟包中的应用[J]. *科技风*, 2016, (2): 97-97.)
- [14] Shi Jing. Study on properties of white ink for gravure printing[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018.  
(石晶. 凹版印刷白色油墨性能研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.)
- [15] Xu Q, Zhao J, Xu H, *et al.* Dispersion of  $\text{TiO}_2$  particles and preparation of  $\text{SiO}_2$  coating layers on the surfaces of  $\text{TiO}_2$ [J]. *Materials Research Innovations*, 2015, 19(S5): 142-145.
- [16] Dong Xiongbo, Zhang Xiangwei, Liu Xiaorui, *et al.* Progress and development trend of inorganic coated titanium powder[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2020, 52(10): 30-36.  
(董雄波, 张祥伟, 刘晓瑞, 等. 无机包覆钛白粉研究进展及发展趋势[J]. *无机盐工业*, 2020, 52(10): 30-36.)
- [17] Li Qin, Hu Hongfei, Hou Shengdong, *et al.* Research on quality of coating compact  $\text{SiO}_2$  film on the surface of  $\text{TiO}_2$ [J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2008, 29(1): 48-53.  
(李琴, 胡鸿飞, 侯盛东, 等.  $\text{TiO}_2$ 表面包覆致密 $\text{SiO}_2$ 包膜量的研究[J]. *钢铁钒钛*, 2008, 29(1): 48-53.)
- [18] Zhang Ruhui, Zhou Dali, Jiang Fengzhou, *et al.* Structure characteristics of hydrated alumina coated on titanium dioxide and its effect on water dispersibility of titanium dioxide[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2016, 37(3): 35-40, 47.  
(张茹慧, 周大莉, 蒋凤舟, 等. 钛白粉铝包膜的结构特性及对水分散性的影响[J]. *钢铁钒钛*, 2016, 37(3): 35-40, 47.)
- [19] Yu Yaojie. Abrasive properties of titanium dioxide crude on finished products performance impact[J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2020, 40(22): 21-23.  
(于耀杰. 钛白粉粗品的可研磨性能对成品性能的影响[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2020, 40(22): 21-23.)
- [20] GB/T1706-2006. Titanium dioxide pigment[S].  
(GB/T1706—2006. 二氧化钛颜料[S].)
- [21] Hu Zhongyuan, Zou Peng, Luo Xianping, *et al.* Design thoughts of low-grade interior wall latex coatings[J]. *China Coatings*, 2010, 25(11): 43-45.  
(胡中源, 邹鹏, 罗先平, 等. 低档内墙乳胶漆配方设计思路[J]. *中国涂料*, 2010, 25(11): 43-45.)