

油酸改性纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 用于纸张脱酸



作者简介: 王冉冉女士, 在读硕士研究生; 主要研究方向: 制浆化学、古籍脱酸与修复。

王冉冉 李兵云* 樊慧明

(华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室, 广东广州, 510640)

摘要: 利用油酸对纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 粒子进行改性, 使其均匀分散在六甲基二硅醚中, 制备成稳定的脱酸液; 并将该脱酸液喷涂在老旧纸张上进行纸张脱酸。结果表明, 采用 0.1 g 油酸、1 g 纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、100 mL 六甲基二硅醚, 在反应温度 50℃、反应时间 1 h 的条件下获得的改性纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 在六甲基二硅醚中具有良好的分散性, 可作为脱酸液用于纸张的脱酸。当脱酸液涂布量为 2.7 g/m² 时, 相对于未脱酸纸, 脱酸纸的表面 pH 值得到了明显提高 (从 4.00 提高到 7.92), 纸张抗张指数和撕裂指数基本没有变化; 经加速老化处理后, 脱酸纸表面 pH 值为 7.60 左右, 抗张指数和撕裂指数稍有下降, 但远低于未脱酸纸; 加速老化后, 脱酸纸的色差为 0.64, 符合纸张文物“修旧如旧”的原则。

关键词: 纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 油酸改性; 纸张脱酸

中图分类号: TS761 文献标识码: A DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2019.09.006

Deacidification of Papers by Using Oleic Acidmodified $\text{Mg}(\text{OH})_2$ Nanoparticles

WANG Ranran LI Bingyun* FAN Huiming

(State Key Lab of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong Province, 510640)

(*E-mail: byli@scut.edu.cn)

Abstract: The nanoparticles of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ modified by oleic acid were uniformly dispersed in hexamethyldisiloxane to form a stable deacidification liquid, which was sprayed on the aged paper to realize deacidification of the paper. It was observed that the modified $\text{Mg}(\text{OH})_2$ was prepared when 0.1 g of oleic acid treated with 1g of nanometer $\text{Mg}(\text{OH})_2$ at 50°C for 1 h, the modified $\text{Mg}(\text{OH})_2$ could well dispersed and could be used for deacidification of paper. 1 g of oleic acid-modified $\text{Mg}(\text{OH})_2$ nanoparticles dispersed in 1L of hexamethyldisiloxane was used as deacidification liquid. When the deacidification liquid spraying amount was 2.7 g/m², the pH value of the paper surface significantly improved (from 4.00 to about 7.92). The heat aging test indicated that the papers after deacidification showed a good stability of pH value (about 7.60) the tensile index and tear index declined slightly but far later than that of undeacidified ones and the chromatic aberration was 0.64. The appearances of the paper before and after deacidification had little difference.

Key words: nanoparticles of $\text{Mg}(\text{OH})_2$; oleic acid-modified; paper deacidification

珍贵的纸质材料承载着一个国家的历史, 是了解一个国家的重要窗口, 是文化遗产的重要组成部分, 但是在长期的储存过程中, 纸质文物正在遭受一系列的侵蚀, 如酸化、氧化、光降解和空气污染^[1-2]。酸化是导致纤维素降解的主要因素。据报道, 酸性催化可以加快纤维素的水解速率^[3]。空气中的水和纸张中的水也可以通过提供 H⁺ 来加速纤维素的水解^[4-5]。纤维素的解聚也在降低纸张机械性能和表面颜色变化中发挥主导作用^[6]。脱酸是纸张储存与修复的重要环节, 目前已经有多种用于纸质文物脱酸的方法, 碱性纳米

粒子在水或有机溶剂中的分散已广泛用于中和纸张中的酸性物质, 纳米碱土金属氢氧化物 (氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或氢氧化镁 $\text{Mg}(\text{OH})_2$), 近年来在纸张的脱酸中引起大量的关注; 其优点如下: ①在非水体系中胶体型的纳米碱土金属氢氧化物释放氢氧根离子是缓慢的过

收稿日期: 2019-06-19(修改稿)

基金项目: 古籍脱酸增强修复关键技术与设备研发(项目编号: GZDD201808)。

*通信作者: 李兵云, 博士, 讲师; 主要从事制浆化学和生物化学研究的工作。

程,可减少短期内在纸张中形成过量的氢氧根离子而引起纤维的碱分解。②纳米颗粒具有更小的尺寸和更大的比表面积,因而具有更大的与质子反应的活性,同时也更容易扩散至纸张纤维的内部进行全方位脱酸。例如,有报道^[7-11]指出,在水或短链醇中使用碱性纳米粒子(如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$)的分散液被认为是中和纸质文物的有效方法。然而,这些方法的主要缺点是它们可能不适用于对水或极性溶剂敏感的油墨、染料和颜料。作为新的液态分散剂,有机溶剂正在逐步替代水。有机溶剂可以清洗掉纸张中的部分杂质,不会引起纸张纤维溶胀变形,且本身沸点较低,处理后的纸张在常温下干燥后就可以恢复原状。其中,六甲基二硅醚具有惰性和较低的表面张力,对纸张的润湿性也很好^[12]。更为重要的是,它对纸张纤维的溶胀能力很弱,不会影响纸张纤维原有的空间分布,因此处理后可以很好地保留纸张的平整性。

纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 粒子具有反应活性高、副作用小、经济效益突出等优点,可用于纸张脱酸^[7]。然而,许多研究表明纳米粒子很容易在非极性溶剂中聚集,因为它们的表面积大,并且纳米粒子的亲水表面与疏水性非极性溶剂之间的相容性差。因此,纳米粒子的应用受到严重限制。为了提高它们在非极性溶剂中的分散能力并获得稳定的脱酸液,纳米粒子的表面应该使用表面改性剂使其从亲水性变为疏水性。这些表面改性剂应具有疏水性长烷基链,其在非极性溶剂中提供空间稳定作用,并且具有与纳米颗粒表面反应的亲水性官能团^[13]。顺式-9-十八碳烯酸(油酸)已广泛用于无机纳米粒子的表面改性,因为油酸的羧基与纳米粒子表面相互作用且长烷基链充当分散剂从而形成空间位阻。据报道^[14-16], ZnO 、 CuO 、 SiO_2 已经制备了用油酸改性的纳米颗粒以增强它们在非极性有机溶剂中的分散稳定性。因此,本课题采用油酸对纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 粒子进行改性,并用于纸张的脱酸。

1 实验

1.1 原料

纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 颗粒(分析纯),杭州万景新材料有限公司;油酸(分析纯),阿拉丁试剂有限公司;六甲基二硅醚(分析纯),阿拉丁试剂有限公司。

实验纸样:取自1934年出版的《物理与政理》中的纸张。

1.2 油酸改性纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的制备与表征

首先,在250 mL的烧瓶中加入0.1 g油酸和100 mL六甲基二硅醚,再加入1 g纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 颗粒制成

混合物。然后在剧烈搅拌下、在50℃油浴中将混合物加热1 h。再经真空过滤后得到白色粉末,将白色粉末在50℃下真空干燥24 h,即获得油酸改性的纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 颗粒。

使用傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)分析改性前后 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的结构;采用X射线衍射仪(XRD)分析改性前后 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 晶体结构的变化;运用激光粒度仪测定改性前后 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 在六甲基二硅醚分散液中的粒径及分布。

1.3 纸张脱酸实验

(1) 制备两种浓度的脱酸液:①将0.5 g油酸改性纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 溶解在1 L的六甲基二硅醚中,并超声10 min,制得稳定的、浓度为0.5 g/L的脱酸液。②将1 g油酸改性纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 溶解在1 L的六甲基二硅醚中,并超声10 min,制得稳定的、浓度为1 g/L的脱酸液。

(2) 根据GB/T 450—2002从老化的书籍中取样,纸张定量为52.5 g/m²;纸样裁剪为6 cm×6 cm和18 cm×1.5 cm两种规格。将裁剪好的纸样在50℃、真空条件下脱气24 h。

(3) 把纸样分为5组:未经脱酸处理的纸张记为纸样0。经脱酸处理的纸张:第1组在纸张的单面喷涂0.5 g/L的脱酸液,记为纸样1;第2组先在纸张的单面喷涂0.5 g/L的脱酸液,自然晾干后,在纸张的背面再次喷涂0.5 g/L的脱酸液,记为纸样2;第3组在纸张的单面喷涂1 g/L的脱酸液,记为纸样3;第4组先在纸张的单面喷涂1 g/L的脱酸液,自然晾干后,在纸张的背面再次喷涂1 g/L的脱酸液,记为纸样4。

称量脱酸液处理前后纸张的质量,计算出脱酸液的涂布量。

1.4 加速老化实验

本实验中使用恒定湿热箱对纸样进行湿热老化处理。加速老化实验按照GB/T 22894—2008中的要求,在温度80℃和相对湿度65%条件下处理72 h,以模拟自然条件下纸张老化25年后的状况。

1.5 性能表征

根据GB/T 12914—2008,使用抗张强度仪(型号L&W CE062,瑞典)测定纸张的抗张强度,每组测试8个以上有效数据,取平均值;根据GB/T 455—2002,使用撕裂度仪(型号L&W 009,瑞典)测定纸张的撕裂度,每组测试10个以上有效数据,取平均值。

根据ISO 10716标准,采用反滴定法测定纸张的碱残留量;根据ISO 6588标准规定,在5 g的纸样中

加入 250 mL 冷蒸馏水, 放置 3 h 左右待纸样完全浸渍后, 用 pH 计测出水的 pH 值。

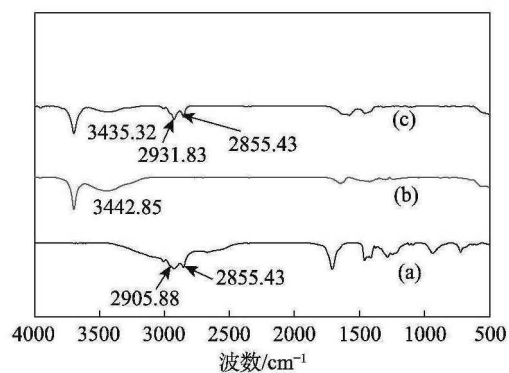
采用白度仪 (型号 Elrepho 070, 瑞典) 表征纸张色度变化, 根据 $\Delta E^{*2} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})$ 计算色差; 使用扫描电子显微镜 (型号 ZEISS Merlin, 德国 Zeiss 公司) 观察脱酸前后纸张的表面形态。

2 结果与讨论

2.1 油酸改性纳米 $Mg(OH)_2$ 的表征

2.1.1 改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 的 FT-IR 分析

图 1 为油酸和改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 的 FT-IR 图。从图 1 中可以看出, 在曲线 (a) 中位于 2905.88 cm^{-1} 、 2855.43 cm^{-1} 处有一对非对称峰, 这是由于衍生的 ($-CH_2$) 和对称的 ($-CH_2$) 伸缩振动引起的, 在曲线 (b) 中位于 3442.85 cm^{-1} 有一个明显的宽峰, 这是由于羟基 ($-OH$) 伸缩振动引起。在曲线 (c) 中位于 2931.83 cm^{-1} 、 2855.43 cm^{-1} 处有明显的吸收峰, 而曲线 (b) 中并没有该峰, 这就说明了油酸的烷基链接到了纳米 $Mg(OH)_2$ 上。在 3435.32 cm^{-1} 处有一个宽峰, 说明改性后纳米 $Mg(OH)_2$ 结构没有发生变化。因此可以得出: 油酸的长烷基链被化学吸附在纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒的表面。

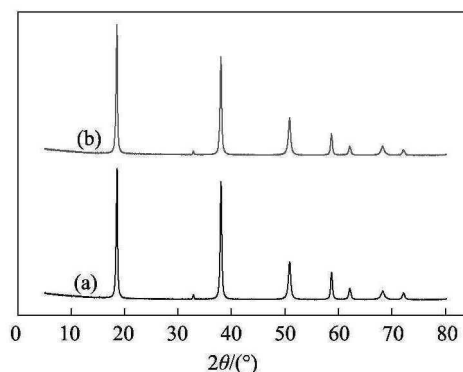


(a) 油酸; (b) 改性前纳米 $Mg(OH)_2$; (c) 改性后纳米 $Mg(OH)_2$

图 1 油酸和改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 的 FT-IR 图

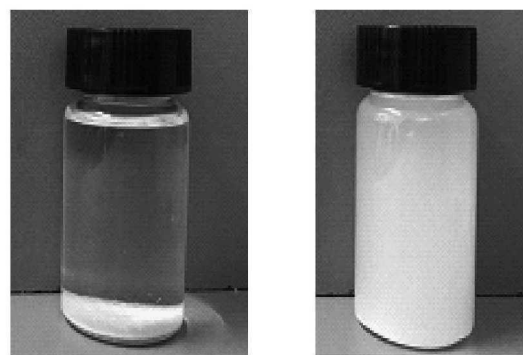
2.1.2 改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 的 XRD 分析

为进一步研究油酸与纳米 $Mg(OH)_2$ 粒子表面之间的反应对纳米 $Mg(OH)_2$ 粒子晶体结构的影响, 对油酸改性前后的纳米 $Mg(OH)_2$ 做了 XRD 分析, 结果如图 2 所示。从图 2 可以看出, 改性前纳米 $Mg(OH)_2$ 与改性后纳米 $Mg(OH)_2$ 中所有特征峰的位置和强度几乎完全相同, 由此可以得出: 油酸仅仅改变了纳米 $Mg(OH)_2$ 的表面性质, 并不影响纳米 $Mg(OH)_2$ 粒子的内部晶体结构。



(a) 改性前纳米 $Mg(OH)_2$; (b) 改性后纳米 $Mg(OH)_2$

图 2 改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 的 XRD 图



(a) 改性前纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒 (b) 改性后纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒

图 3 改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒在六甲基二硅醚溶液中的分散情况

2.1.3 改性前后 $Mg(OH)_2$ 纳米粒子的分散能力

图 3 为改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒在六甲基二硅醚溶液中的分散情况。图 3(a) 显示, 在六甲基二硅醚溶液中, 改性前的纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒经过充分搅拌后, 大概 15 s 的时间就完全沉降, 不能制成稳定的脱酸液。图 3(b) 显示, 改性后的纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒经过充分搅拌后, 能够在六甲基二硅醚中稳定分散, 放置 30 min 后悬浮液状态仍然稳定, 没有观察到明显的沉淀。上述实验现象表明, 由于在改性后的纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒表面上存在长烷基链, 改性后纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒已经从亲水性转变为亲脂性, 并且改性后纳米 $Mg(OH)_2$ 颗粒表面上的疏水性长烷基链可以改善纳米颗粒在非极性溶剂中的相容性和分散性。

2.1.4 改性前后纳米 $Mg(OH)_2$ 在分散液中的粒径及分布

实验中发现, 未经油酸改性的纳米 $Mg(OH)_2$ 加入到六甲基二硅醚中后马上沉降, 经超声处理后仍不能很好地分散在溶剂中, 不能形成稳定的脱酸液, 也就不能用于纸张的脱酸。而改性后纳米 $Mg(OH)_2$ 在六甲

基二硅醚溶液中可以很好地分散,再经过超声波处理后,可以制备成稳定的脱酸液。改性后纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 在六甲基二硅醚中的粒径分布如图4所示。从图4可以看出,大多数纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的粒径分布在55~70 nm之间,少部分在100~115 nm之间。粒径小的纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 有益于在纸张中的渗透,更容易进入到纤维内部,从而达到较好的脱酸效果^[7]。

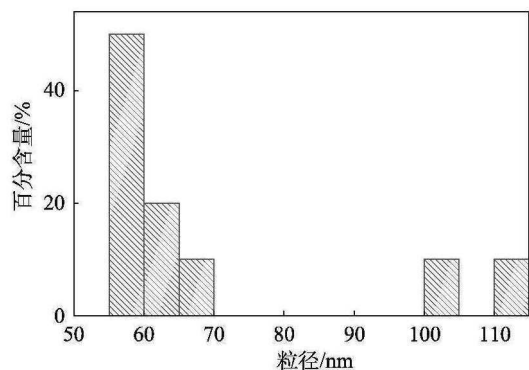


图4 改性后纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 在六甲基二硅醚中的粒径分布

2.2 老化纸张的脱酸与保护

2.2.1 纸张表面pH值变化

表1为加速老化前后脱酸纸张表面pH值和碱残留量的变化。由表1可以看出,经过脱酸处理后,纸张表面pH值有了显著提高,再经加速老化处理后,纸样的pH值有所降低,未经脱酸处理的纸张表面pH值下降了16.5%,而脱酸纸张的表面pH值下降率在5%~8%,显然经过脱酸处理后,纸张表面pH值下降的幅度较小,这可能是因为脱酸液中经油酸改性的纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 能够转化成 MgCO_3 从而中和纸张中的酸,该中和反应可有效抑制纸张中纤维素的酸水解,并且形成一定量的碱残留。

由表1还可以看出,老化处理前纸样1(涂布量 2.7 g/m^2)和纸样2(涂布量 3.3 g/m^2)的表面pH值分别为7.92、8.25,碱残留量分别为 0.493 mol/kg 和

0.520 mol/kg ,经过加速老化处理后,纸张的表面pH值分别为7.53、7.67,碱残留量分别为 0.480 mol/kg 和 0.500 mol/kg ,老化前后的pH值均在纸张储存的最适pH值内,且碱保留能力比较强,可以达到纸张脱酸的效果。另外,纸样3(涂布量 4.0 g/m^2)和纸样4(涂布量 4.5 g/m^2)老化前的表面pH值均大于9,经过老化后纸张的表面pH值也接近9,超出了纸张保存的最佳pH值范围,因此,当涂布量高于 4.0 g/m^2 时,可能不利于纸张的长期保存。

2.2.2 纸张强度的变化

表2为加速老化前后脱酸纸张强度的变化。从表2可以看出,未脱酸处理的纸样0的抗张指数为 $24.5 \text{ N}\cdot\text{m/g}$,撕裂指数为 $1.22 \text{ mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$,经过加速老化后,抗张指数和撕裂指数分别下降了21.8%、21.3%。经脱酸处理后,纸样1(涂布量 2.7 g/m^2)和纸样2(涂布量 3.3 g/m^2)的抗张指数和撕裂指数相比基本没有变化,经过加速老化处理之后,抗张指数和撕裂指数下降率都在3%~9%,远低于未脱酸处理的纸样,这是由于纤维素在弱碱条件下比较稳定以及 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的存在,从而减少了抗张强度下降的可能性。另外由表2可以看出,纸样3(涂布量 4.0 g/m^2)和纸样4(涂布量 4.5 g/m^2)的抗张指数和撕裂指数在老化前后均低于纸样1(涂布量 2.7 g/m^2)和纸样2(涂布量 3.3 g/m^2),说明涂布量过高引起纤维素的降解,纤维内部发生断裂,纸张强度下降。

表2 加速老化前后脱酸纸张强度的变化

纸样 编号	涂布量 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	加速老化前		加速老化后	
		抗张指数 $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$	撕裂指数 $\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$	抗张指数 $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$	撕裂指数 $\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$
纸样0	0	24.5	1.22	19.1	0.96
纸样1	2.7	24.2	1.20	23.4	1.17
纸样2	3.3	24.2	1.20	23.5	1.16
纸样3	4.0	23.8	1.19	22.3	1.05
纸样4	4.5	23.9	1.17	21.9	1.02

2.2.3 纸张的表面形态

图5为加速老化前后纸张的SEM图。从图5(a)中可以看出,未经脱酸液处理的纸张,内部纤维断裂严重。从图5(b)、图5(b1),图5(c)、图5(c1),图5(d)、图5(d1)中可以看出,经过脱酸处理后,纸张纤维层间和缝隙中被纳米级的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 充分填充包覆,有效避免了酸对纸张纤维素造成酸化,且经过加速老化处理后,仍然保持良好的纤维形态,没有出现明显断裂的情况。从图5(e)、图5(e1)中可以看出,当脱酸液涂

表1 加速老化前后脱酸纸张表面pH值和碱残留量的变化

纸样 编号	涂布量 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	加速老化前		加速老化后	
		表面 pH值	碱残留量 $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	表面 pH值	碱残留量 $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$
纸样0	0	4.00		3.34	
纸样1	2.7	7.92	0.493	7.53	0.480
纸样2	3.3	8.25	0.520	7.67	0.500
纸样3	4.0	9.16	0.534	8.89	0.512
纸样4	4.5	9.54	0.557	8.97	0.531

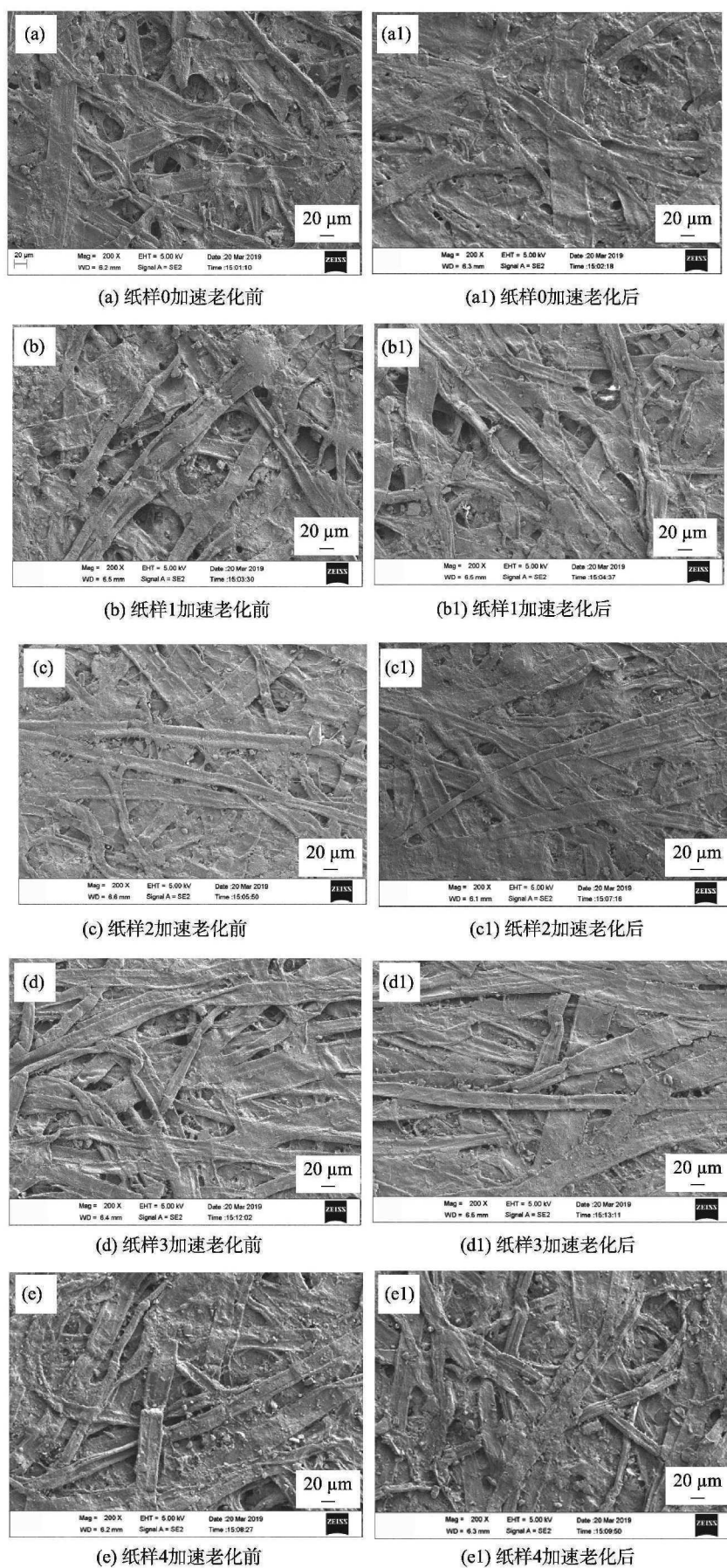


图5 加速老化前后纸张的SEM图

布量过大时,纤维内部发生断裂,再经加速老化后,纤维断裂严重。

2.2.4 纸张色度的变化

表3为加速老化前后脱酸纸张色度的变化。从表3可以看出,加速老化后,未脱酸纸张变黄,色差为2.27;经脱酸处理后,纸样1的色差变化最小为0.64,符合文物纸张“修旧如旧”的原则。而纸样2、纸样3、纸样4的色差变化均相对较大,分别为2.61、2.71、3.12,并且随着涂布量的增加,纸张色差越大。纸样1的色差变化只有0.64,这是因为在弱碱性条件下,纤维素水解和氧化被抑制,发色基团减少。

表3 加速老化前后脱酸纸张色度的变化

纸样	涂布量 /g·m ⁻²	加速老化前			加速老化后			ΔE*
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	
纸样0	0	75.29	2.36	16.66	72.25	4.24	19.18	2.27
纸样1	2.7	72.67	3.59	18.86	71.79	4.29	19.53	0.64
纸样2	3.3	75.61	2.62	16.65	72.29	3.95	19.04	2.61
纸样3	4.0	75.25	3.01	17.34	71.94	4.09	19.21	2.71
纸样4	4.5	75.67	2.67	16.14	71.62	4.17	19.32	3.12

3 结 论

本研究采用油酸对纳米Mg(OH)₂粒子进行改性,制备稳定的脱酸剂并用于纸张脱酸。

3.1 采用0.1 g油酸、1 g纳米Mg(OH)₂,在反应温度50℃、反应时间1 h的条件下,制备的改性纳米Mg(OH)₂在六甲基二硅醚中具有良好的分散性,作为脱酸液可以用于纸张脱酸。

3.2 当脱酸液涂布量为2.7 g/m²时,纸张表面的pH值由4.00提高到了7.92,碱残留量达到0.493 mol/kg,加速老化后,纸张表面的pH值为7.53,碱残留量为0.480 mol/kg,能对老化纸张起到良好的保护作用。加速老化后,脱酸纸的抗张指数仍然保持在23.4 N·m/g,纸张的色差为0.64,复合文物纸张“修旧如旧”的原则。

参 考 文 献

[1] Zervos S, Moropoulou A. Methodology and Criteria for the Evaluation of Paper Conservation Interventions: A Literature Review [J]. Restaurator, 2006, 27(4): 219.

[2] Wang Yanjuan, Fang Yanxiong, Tan Wei, et al. Preservation of aged paper using borax in alcohols and the supercritical carbon dioxide system[J]. Journal of Cultural Heritage, 2013, 14(1): 16.

[3] Li Qinglian, Xi Sancai, Zhang Xiwen. Deacidification of paper

relics by plasma technology[J]. Journal of Cultural Heritage, 2014, 15(2): 159.

[4] Baty J W, Maitland C L, Minter W, et al. Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review [J]. BioResources, 2010, 5(3): 1955.

[5] ZHENG Dongqing, ZHANG Jinping, HE Zichen, et al. Study on the Paper Used for the Ancient Paper Cultural Relics Restoration [J]. China Pulp & Paper, 2013, 32(7): 71.

郑冬青, 张金萍, 何子晨, 等. 古代纸质文物修复用纸的研究 [J]. 中国造纸, 2013, 32(7): 71.

[6] Carter H A. The Chemistry of Paper Preservation: Part 2. The Yellowing of Paper and Conservation Bleaching [J]. Journal of Chemical Education, 1996, 73(11): 1068

[7] WANG Heyun, LU Gang, ZHANG Jinping, et al. Deacidification of Paper Based Cultural Relics Using Nano-Mg(OH)₂[J]. China Pulp & Paper, 2012, 31(3): 36.

王鹤云, 鲁 钢, 张金萍, 等. 纳米氢氧化镁应用于纸质文物的脱酸[J]. 中国造纸, 2012, 31(3): 36.

[8] Giorgi R, Bozzi C, Dei L, et al. Nanoparticles of Mg(OH)₂: synthesis and application to paper conservation [J]. Langmuir the Acs Journal of Surfaces & Colloids, 2005, 21(18): 8495. .

[9] Poggi G, Toccafondi N, Melita L N, et al. Calcium hydroxide nanoparticles for the conservation of cultural heritage: new formulations for the deacidification of cellulose-based artifacts [J]. Applied Physics A, 2014, 114(3): 685.

[10] Sequeira S, Casanova C, Cabrita E J. Deacidification of paper using dispersions of Ca(OH)₂ nanoparticles in isopropanol. Study of efficiency[J]. Journal of Cultural Heritage, 2006, 7(4): 264.

[11] Stefanis E, Panayiotou C. Protection of Lignocellulosic and Cellulosic Paper by Deacidification with Dispersions of Micro- and Nano-particles of Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂ in Alcohols[J]. Restaurator, 2007, 28(3): 185.

[12] YAN Yueer, YU Hui, YANG Ganghui, et al. Paper Deacidification: Multifunctional and Integrated Deacidification Method [J]. Chemical World, 2016(12): 806.

闫玥儿, 余 辉, 杨光辉, 等. 纸质文献脱酸方法研究进展: 多功能一体化脱酸剂[J]. 化学世界, 2016(12): 806.

[13] Yan H, Zhang X H, Wei L Q, et al. Hydrophobic magnesium hydroxide nanoparticles via oleic acid and poly (methyl methacrylate)-grafting surface modification [J]. Powder Technology, 2009, 193(2): 125.

[14] Li Z, Zhu Y. Surface-modification of SiO₂ nanoparticles with oleic acid[J]. Applied Surface Science, 2003, 211(1): 315.

[15] Hong R, Pan T, Qian J, et al. Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles [J]. Speciality Petrochemicals, 2005, 119 (2): 71.

[16] Li C C, Chang M H. Colloidal stability of CuO nanoparticles in alkanes via oleate modifications [J]. Materials Letters, 2004, 58 (30): 3903. [CPP]

(责任编辑: 常 青)