

不同纸张干热老化性能研究



作者简介: 田周玲女士, 硕士, 副研究馆员; 主要从事文献保护研究工作。

田周玲 闫智培 任珊珊 易晓辉 龙堃 张铭
(国家图书馆, 古籍保护科技文化部重点实验室, 北京, 100034)

摘要: 为了研究不同纸张的预期寿命及其耐老化性能的差异性, 对竹纸、宣纸、新闻纸、字典纸和构皮纸等 5 种不同纸张进行了模拟干热老化实验。并对老化过程中纸张的白度和机械强度 (抗张强度、撕裂度、耐折度) 进行了分析检测, 通过检测纸张的化学性能 (黏度、铜价、pH 值) 分析了纸张老化的内在原因。结果表明, 不同纸张其白度和机械强度的大小及老化稳定性不同; 初始机械强度对纸张的耐用性影响很大; 纤维素的水解/氧化与纸张机械强度下降关系密切; 竹纸 pH 值稳定性较差, 长期保存时需防止其酸化加速文献老化。

关键词: 干热老化; 老化性能; 纸张

中图分类号: TS761.1 文献标识码: A DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2017.03.008

Research on the Dry Heat Aging Resistant Properties of Different Papers

TIAN Zhou-ling* YAN Zhi-pei REN Shan-shan YI Xiao-hui LONG Kun ZHANG Ming
(National Library of China, Key Lab of Ancient Book Preservation and Conservation, Ministry of Culture, Beijing, 100034)
(* E-mail: tianzhl@nlc.cn)

Abstract: In order to study the life-expectancy and difference in aging resistant properties of different papers, dry heat aging experiments of different paper samples (paper made from bamboo, Xuan paper, newsprint, dictionary paper and paper made from mulberry) were conducted. The brightness and mechanical strength (tensile strength, tearing resistance and folding endurance) of different papers during aging process were analyzed. Furthermore, the chemical properties (viscosity, copper number and pH) of paper were tested to search the immanent cause of paper ageing. Results indicated that ageing resistance stabilities of different kinds of paper were different. The aging resistant property of paper greatly depended on initial mechanical strength. The decrease of mechanical strength was closely related to the hydrolysis/oxidation of fiber. The pH value of the paper made from bamboo was not quite stable, it is necessary to prevent it from acidification then accelerating aging in long time storage.

Key words: dry heat aging; aging resistant properties; paper

纸质文献的保存和保护是图书馆、档案馆和博物馆等纸质文献收藏单位的一项重要工作^[1]。纸张素有纸寿千年之说, 但是仅目前来看, 国家图书馆现存最早有确切纪年的纸质文献是公元 417 年的《律藏初分》, 距今已有约 1600 年的历史, 纸张的寿命已远超 1000 年。但是也有很多珍贵文献随着保存时间的延长, 出现了纸张泛黄、易折断或裂为碎片等机械强度下降的现象。为了研究不同纸张寿命各异的原因, 需要采用模拟老化方法来对纸张的老化特性进行研究。目前常用的聚合物模拟老化方法有: 紫外光加速老化^[2-5]、热老化^[3, 6]、水解老化^[3, 7]等。目前, 纸质文献收藏单位为了延长文献寿命对珍贵文献已经实施了减少光老化和避免水解老化的措施, 为了更好地模拟在良好保存状态下纸张的老化情况, 本课题采用干

热老化的方式研究不同纸张的寿命及其在老化过程中光学、机械、化学性能的差异, 进行了一系列的纸张老化实验, 并对老化过程中纸张的白度和机械强度 (抗张强度、撕裂度、耐折度) 进行了检测和分析。为了进一步探究老化过程中纸张白度和机械性能变化的内在原因, 分析了不同老化时间纸张的化学性能 (冷抽提 pH 值 (冷水抽提液 pH 值)、黏度和铜价)。

1 研究方法

1.1 纸样及处理

实验采用 5 种类型的纸张, 详细信息见表 1。

收稿日期: 2016-11-02(修改稿)

基金项目: 国家文化科技提升计划项目资助, 项目编号: 2015-实 01。

根据老化箱的横截面面积，将纸张裁成约 30 cm × 25 cm 的长方形，裁纸的过程中保持纸张的正反面和纵横向一致，并进行标记。将上述 5 种纸样分别平均分为 11 份，用长尾夹夹好，并做好标记。

表 1 纸样基本性质

名称	竹纸	构皮纸	宣纸	新闻纸	字典纸
分类	手工纸	手工纸	手工纸	机制纸	机制纸
生产厂家	浙江	贵州丹寨	王六吉	华泰	凤生
原料	竹子	构树皮	青檀皮和沙田稻草	木材	木材
制浆方法	碱法	碱法	碱法	机械法	化学法
漂白	未漂白	未漂白	日光漂白	未漂白	化学漂白
填料	有	有	有	有	有
增强剂	无	无	无	有	不确定
白度/%	38.8	38.7	79.7	57.5	74.2
定量/ $g \cdot m^{-2}$	14.7	21.8	41.2	47.4	42.0

1.2 仪器

仪器设备：老化箱，美国 Mast 公司；Elrepho 分光光度仪，美国 Datacolor 公司；Elmendorf 撕裂度仪，美国 TMI 公司；卧式拉力机，美国 TMI 公司；耐折度仪，美国 TMI 公司；Sartorius AG pH 计，美国赛得利斯公司；NDJ 旋转黏度计，上海平轩科学仪器有限公司。

1.3 加速老化方法

从上述 5 种纸样中各取 10 份，按照纸张种类分别放置于 105℃ 老化箱的不同隔板层进行老化实验。为保证老化效果的均匀性，每周调整 2 次纸样的放置位置，调整时，将不同的纸样和同种纸样的不同份按照由上往下的顺序依次进行调整。在不同的老化时间点将 5 种纸样分别取出 1 份，每次均取最上面的 1 份。根据 GB/T 464—2008 纸和纸板的干热加速老化的标准，在温度为 (105 ± 2) ℃ 的环境中连续老化。老化时间以 72 h 为 1 个单元，纸样老化时间分别为 1、4、10、20、40、60、70、80、90、100 个老化单元。同时，保存 1 份未老化的平行样，于避光处保存。

1.4 老化时间对纸张性能的影响

分别检测不同老化时间纸样的白度、抗张强度、撕裂度、耐折度、冷抽提 pH 值、黏度和铜价。检测方法分别依据国标 GB/T 7974—2013、GB/T 12914—2008、GB/T 455—2002、GB/T 457—2008、GB/T 1545—2008、GB/T 1548—2004 和 GB/T 5400—1998。

2 结果与讨论

2.1 白度

纸张老化的宏观表现是颜色变黄（返黄），随着老化程度的加深，颜色可能逐渐加深^[8]。因此，返黄是一项表征纸张老化程度的直观指标。纸张返黄的程度可用返黄值（PC 值）表示。纸张的 PC 值可以通过测定纸张的白度来进行计算^[9]。

$$PC \text{ 值} = \left\{ \left[\frac{(1 - R_{\infty})}{2R_{\infty}} \right]_{\text{老化后}} - \left[\frac{(1 - R_{\infty})}{2R_{\infty}} \right]_{\text{老化前}} \right\} \times 100\%$$

式中， R_{∞} 为纸张的白度。

在老化过程中纸张 PC 值的变化如图 1 所示。

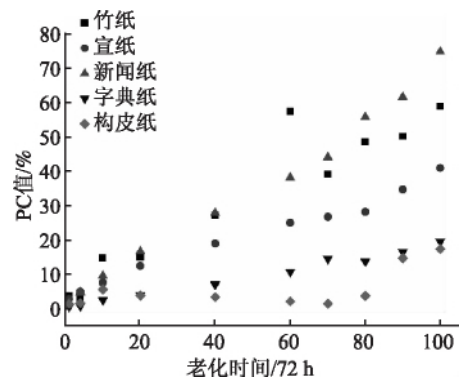


图 1 干热老化时间对纸张 PC 值的影响

从图 1 可以看出，随着老化时间的延长，5 种纸张的 PC 值都不断上升。其中，竹纸和新闻纸的 PC 值较高，经过 40 个老化单元时，PC 值已达 27%，经过 70 个老化单元，PC 值分别达 39.1% 和 44.2%。宣纸返黄值呈中等上升幅度，70 个老化单元后，PC 值上升 26.8%。构皮纸和字典纸白度稳定性较好，字典纸经过 40 个老化单元后，PC 值仅为 6.99%；构皮纸经过 80 个老化单元，PC 值仅有 3.69% 的下降率，90 个老化单元后才开始明显返黄（PC 值为 14.7%）。

纸张的返黄与木素含量和结构、初始白度及制浆漂白方式均有密切关系。纸张返黄的最主要原因是纸张内木素含有的羰基或者羧基及其共轭双键结构的生色基团及助色基团的变化^[10]。因此，木素含量高的纸张返黄较严重。新闻纸为机械木浆纸，木素的含量高，竹纸由整根竹子制成，相比仅以韧皮纤维为原料的构皮纸和宣纸木素含量高，因此，这两种纸张老化过程中返黄速度较快^[5]。

宣纸和字典纸的初始白度都较高（见表 1），但是字典纸老化后 PC 值很低，而宣纸较高。这是因为宣纸是由青檀皮纤维和沙田稻草经过传统的碱法蒸煮

和长期的日光漂白制成，日光漂白是利用空气中的臭氧^[11]对木素产生氧化作用——主要是改变纸浆中残留的木素和色素的结构，使原有生色基团变为无色基团进行氧化降解破坏发色基团，所以宣纸中残余的木素含量与经过现代化制浆漂白处理的字典纸比仍然较高，同时臭氧漂白会在纸浆中产生引起返黄的羰基^[12]。此外，为了实现薄而不透明的目标，字典纸生产过程中要添加白度较高、光散射系数较大的钛白粉（二氧化钛）和优质碳酸钙作为填料，这两种物质白度高、在老化条件下稳定。所以宣纸返黄值呈中等的上升速度而字典纸白度较稳定。

构皮纸由构树皮纤维制成，没有经过漂白，所以初始白度低；但是纤维素含量高，木素含量低，因此老化过程中返黄不明显。

2.2 机械强度

纸张老化后，不仅会返黄，而且其机械强度也会下降^[13]，随着下降程度的加深可能直接导致纸质文献碎片化、破损乃至毁灭。因此本实验选用体现纸张抗拉能力的抗张强度、反映纸张抵抗反复折叠能力的耐折度和代表纸张韧性的撕裂度来表征经过老化后纸张的机械强度变化。

2.2.1 抗张强度

抗张强度是表征纸张物理强度的一个重要指标，也可以作为表征纸张老化程度的一个重要因素。由于实验所用不同种类纸张的定量差异较大，因此用抗张指数来对比不同纸张抗张性能的差异，见图2。从图2可以看出，不同纸张初始抗张指数的大小顺序为：竹纸 > 构皮纸 > 新闻纸 > 字典纸 > 宣纸。

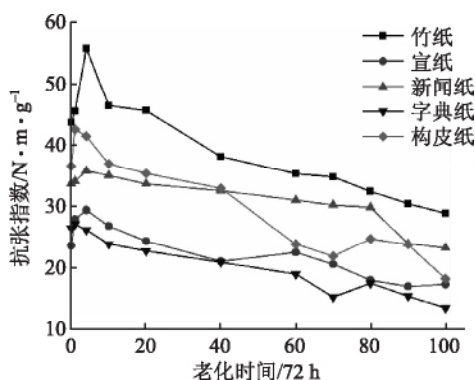


图2 干热老化时间对纸张抗张指数的影响

从图2还可以看出老化过程中纸张的抗张指数变化规律为：在老化的初期阶段（4个老化单位以内），上述5种纸张的抗张指数均略有增加，而后随老化时间的延长抗张指数均呈下降趋势；在90个老化单元后，5种纸张的抗张指数均趋于稳定。这可能是因为

在老化过程中纤维素不断降解，纤维素链变短。纤维素链变短，一方面会引起纤维自身的强度变差，纸张的抗张指数下降；另一方面还可能会因为纤维变短引起纤维之间的交织加强，纸张的抗张指数上升^[14]。因此，在老化初期，纤维素降解程度较低时，纤维结合加强引起的抗张指数上升幅度超过纤维断裂引起的下降幅度，所以表现为纸张的抗张指数上升。之后，纤维素降解程度加大，断链引起的抗张指数下降的作用占据了主导地位，所以表现为纸张的抗张指数下降。

此外，虽然随老化时间的延长，5种纸张的抗张指数都在下降，但是仍然与初始抗张指数有密切的关系，表现为初始抗张指数较高的纸张，老化后的抗张指数仍然较高。但是不同纸张的抗张指数随老化时间延长的稳定性也存在少许差异。不同纸张抗张指数的稳定性（以指数数值下降百分比计）顺序为：新闻纸 > 宣纸 > 竹纸 > 构皮纸 > 字典纸。

2.2.2 撕裂度

撕裂度为将预先切口的纸（或纸板），撕至一定长度所需力的平均值。在国家标准 GB/T 24423—2009 信息与文献文献用纸耐久性要求和 GB/T 24422—2009 信息与文献档案纸耐久性和耐用性要求中，都将撕裂度列为纸张物理强度的表征指标。老化过程中纸张的撕裂指数变化如图3所示。

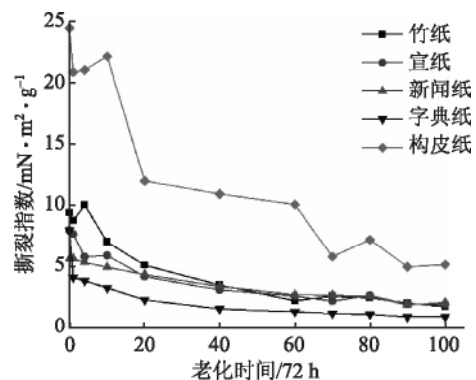


图3 干热老化时间对纸张撕裂指数的影响

从图3可以看出，构皮纸的撕裂指数远高于其他几种纸，老化后虽大幅下降但仍远胜其他纸种；字典纸、竹纸和宣纸的初始撕裂指数比较接近，但是字典纸的撕裂指数经过老化后迅速下降，竹纸和宣纸老化后撕裂指数的下降趋势类似；新闻纸初始撕裂指数较低，但是稳定性较好，老化后撕裂指数与竹纸和宣纸维持在同一水平。

2.2.3 耐折度

耐折度是在标准张力条件下，试样断裂时的双折

叠次数的对数（以 10 为底）。耐折度经常被用于表征纸张的寿命，但是在实际工作中，由于有些纸张，特别是薄的手工纸的耐折次数很低，很难检测，因此，其应用受到很大制约。本课题中，为能够尽可能多地检测出各种纸张之间耐折性能的差别，弹簧的张力采用 2.94 N。老化过程中纸张的耐折度变化如图 4 所示。

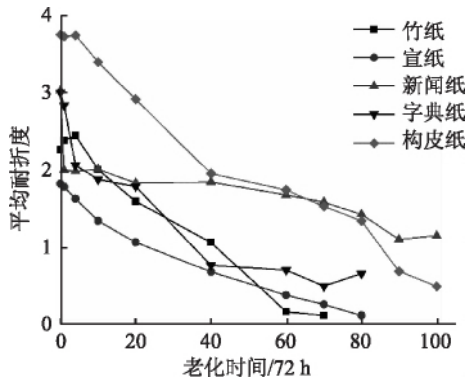


图 4 干热老化时间对纸张耐折度的影响

从图 4 可以看出，不同纸张的耐折度大小顺序为：构皮纸 > 新闻纸 ≈ 字典纸 > 竹纸 > 宣纸。在初始老化阶段（4 个老化单元），构皮纸、竹纸和宣纸的耐折度变化很小，而新闻纸和字典纸的耐折度急速下降；之后，新闻纸的耐折度缓慢下降，其他 4 种纸的下降速度较快。而竹纸在经过 70 个老化单元老化之后、宣纸在经过 80 个老化单元老化之后、字典纸经过 80 个老化单元老化之后，其耐折度在 2.94 N 的弹簧张力下也没有测到数值。由此可见经过上述老化时间老化后对应纸种的耐折性已经非常差。纸张的耐折能力主要受纤维自身强度、柔韧性、纤维长度及纤维结合力的影响，与抗张强度相比，耐折度受纤维长度的影响更大，纸张的柔韧性对耐折度的影响也很大。

综上所述，构皮纸具有最好的耐撕裂和耐折性能，且具有较好的耐老化性；竹纸的抗张性能很好，耐撕裂和耐折性能中等，耐老化性能较差；宣纸耐撕裂性能中等，抗张和耐折性能差，耐老化性较好；新闻纸的机械强度中等，但是稳定性最高；字典纸机械性能稳定性较差。4 个老化单元以内，各种纸张的机械性能均变化不大，之后开始大幅下降，初始机械强度对纸张的耐用性影响很大。

2.3 化学性能

不同纸张之所以具有不同的白度和机械性能稳定性与构成纸张的纤维素状态密切相关，在纸张的老化过程中，纤维素发生水解会引起纤维素链变

短，纤维素长链的断裂会引起纸张的机械强度下降。纤维素随着老化时间的延长，也可能逐步缓慢的氧化而失去原来的白度和韧性^[15]。因此，本部分通过检测纸张的聚合度和铜价分别表征了不同老化时间纸张中纤维素的链长和还原性末端基数量，结果见图 5 和图 6。

聚合度是指纸张中组成纤维素的葡萄糖基的数量。因此，聚合度可表征纸张纤维长度，是纸张老化程度的重要指标^[16]。因新闻纸为机械浆纸，其木素含量过高使得聚合度测试结果无法真实反映纤维素的聚合度，该部分不讨论新闻纸的聚合度变化情况。老化过程中其他 4 种纸张的聚合度变化如图 5 所示。

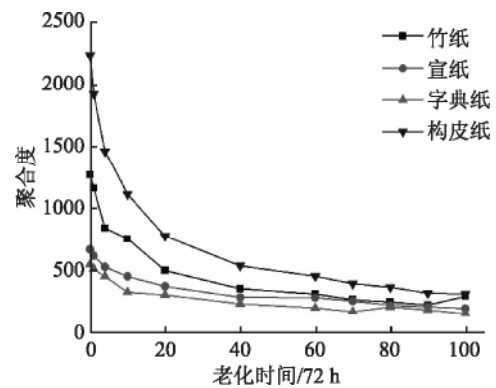


图 5 干热老化时间对纸张聚合度的影响

从图 5 可以看出，4 种纸的聚合度大小顺序为：构皮纸 > 竹纸 > 宣纸 > 字典纸，构皮纸的原始聚合度在 2200 左右，在前 40 个老化单元内，聚合度迅速降低到 500，随后缓慢下降至 400 左右。竹纸的原始聚合度在 1300 左右，在前 40 个老化单元内，聚合度迅速降低到 350，随后缓慢下降到 300 左右。宣纸和字典纸的聚合度下降比较缓慢，80 个老化单元老化后变化更小，最低值在 150 ~ 200 之间，此时纸张已严重脆化^[17]。这表明在老化过程中构成纸张的纤维素不断发生水解，链长逐渐变短；并且初始纤维素链越长的纸种纤维素水解速度越快，40 个老化单元后所有纸张的纤维素链长均已较短，之后缓慢水解。构皮纸的纤维素聚合度最高，这与其最高的撕裂指数和耐折度一致。

纸浆的铜价是指 100 g 绝干纸浆纤维，在碱性介质中，于 100℃ 时将硫酸铜还原为氧化亚铜的克数。对于漂白浆和精制浆（宣纸和字典纸），铜价可以确定水解纤维素或氧化纤维素还原某些金属离子到低价状态的能力，所以纸浆铜价可以用来检查纤维素的降解程度、变质程度以及估算还原基的量。对于机械浆

(新闻纸) 和未漂浆 (竹纸和构皮纸), 虽然其中木素等杂质较多, 铜价无法准确反映纤维素的还原能力, 但是可以评估纸浆中具有还原性的物质 (氧化纤维素、水解纤维素、木素和糖等) 的量。同时, 纸张耐久性研究尚不够系统深入, 没有合适的测定方法来检测机械浆和未漂浆中纤维素在老化过程中被氧化和水解的程度。因此, 新闻纸、竹纸和构皮纸也采用铜价来评估老化过程中还原性物质的数量变化来观察其大致趋势。老化过程中 5 种纸张的铜价变化如图 6 所示。

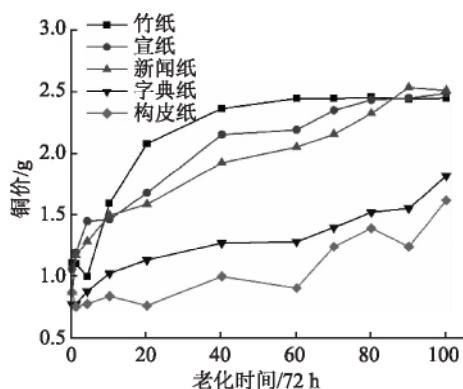


图 6 干热老化时间对纸张铜价的影响

从图 6 可以看出, 铜价的大小顺序为: 竹纸 > 宣纸 > 新闻纸 > 字典纸 > 构皮纸。在老化的过程中, 5 种纸张的铜价均呈上升趋势, 在 0~4 个老化单元内, 上升较为缓慢, 这表明在 4 个老化单元以内, 纤维素的水解和氧化速率较慢, 这与该阶段内较慢的机械强度下降水平一致; 在 4~40 个老化单元内, 铜价迅速升高, 这表明在该阶段纤维素迅速水解和氧化导致纤维素长链断裂、纸张的机械强度快速下降; 然后上升速度变缓, 到 90 个老化单元之后, 基本平稳, 此时纤维素的水解/氧化程度很高, 纸张的白度和机械强度均已处于较低水平。

综上所述, 纸张的种类对其白度和机械性能存在决定性的影响, 珍贵纸质文献优先要采用耐老化的纸张制作; 对于同种纸张, 纤维素的水解和氧化对于其机械强度的下降起到了至关重要的作用。因此, 在纸质文献的保存保护过程中, 如果要延长纸张的寿命, 必须减缓纤维素的水解和氧化速率。由于纤维素在中性和弱碱性条件下比较稳定, 而在酸性条件下较易被水解, 所以纸张酸化是加速纤维素水解、纸张老化的一个重要因素。因此, 本部分检测了不同纸张的 pH 值随老化时间的变化, 结果见图 7。

从图 7 可以看出, 5 种纸张的初始 pH 值均高于 7, 随着老化时间的延长, 所有纸张的 pH 值均呈下

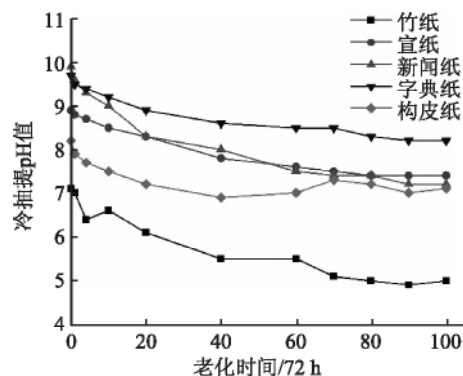


图 7 干热老化时间对纸张冷抽提 pH 值的影响

降趋势, 但是下降速率不一: 字典纸的冷抽提 pH 值均在 8.0 以上, 新闻纸的冷抽提 pH 值一直在 7.0 以上, 这与目前的制浆造纸工艺有关, 字典纸和新闻纸均采用碱法制浆, 并使用碳酸钙等物质作为填料^[18-19], 使得纸张具有较高的碱保留量, 并且字典纸可能还采用了碱性施胶工艺^[20], 所以它们都具有较高的 pH 值, 且稳定性较好; 宣纸的冷抽提 pH 值呈缓慢下降趋势, 且最低值约在 7.4 左右, 这主要得益于宣纸的碱法制浆工艺; 构皮纸的初始冷抽提 pH 值在 8.2 左右, 老化过程中, 冷抽提 pH 值下降缓慢, 老化后的最低数值基本在 7.0 左右, 说明构皮纸的抗老化性能良好; 竹纸冷抽提 pH 值较低, 老化过程中的下降也非常明显, 20 个老化单元后, pH 值降至 6 左右, 这将会加速纸张的老化, 这可能与较高的木素含量有关。

3 结 论

对竹纸、宣纸、新闻纸、字典纸和构皮纸 5 种不同纸张进行了模拟干热老化实验。

3.1 构皮纸具有最好的耐撕裂和耐折性能, 且具有较好的耐老化性; 竹纸的抗张性能很好, 耐撕裂和耐折性能中等, 耐老化性能较差; 宣纸耐撕裂性能中等, 抗张和耐折性能差, 耐老化性较好; 新闻纸的机械强度中等, 但是稳定性最高; 字典纸机械性能稳定性较差。

3.2 4 个老化单元以内, 各种纸张的机械性能均变化不大, 之后开始大幅下降, 初始机械强度对纸张的耐用性影响很大。珍贵纸质文献优先要采用耐老化的纸张制作。

3.3 纤维素的水解/氧化与纸张机械强度下降关系密切。

3.4 竹纸 pH 值稳定性较差, 长期保存时需要防止其酸化加速纸质文献老化。

参 考 文 献

- [1] TIAN Zhou-Ling, LUN Kun, YI Xiao-Hui, et al. A study on influence of storage environment on paper properties [J]. China Pulp & Paper Industry, 2016, 37(14): 31.
田周玲, 龙堃, 易晓辉, 等. 保存环境对纸张性能的影响研究[J]. 中华纸业, 2016, 37(14): 31.
- [2] SHEN Wen-Wei, SONG Wei, WANG Guo-Li, et al. Influence of Corona Discharge on Aging Characteristics of HTV Silicone Rubber Material [J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(2): 1.
申文伟, 宋伟, 王国利, 等. 复合绝缘子 HTV 硅橡胶材料老化特性的研究[J]. 高压电器, 2013, 49(2): 1.
- [3] YUAN Si-Xun, ZHANG Xiao-Mei. Research on the Silk Aging with X-Ray Diffraction Spectra [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(1): 262.
原思训, 张晓梅. 利用 X 射线衍射光谱研究丝织品的老化[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(1): 262.
- [4] TAN Yi-Qiu, WANG Jia-Ni, FENG Zhong-Liang, et al. Ultraviolet Aging Mechanism of Asphalt Binder [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 19.
谭忆秋, 王佳妮, 冯中良, 等. 沥青结合料紫外老化机理[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 19.
- [5] YIN Hui-Dao, WANG Yi-Cui, CAO Jiang-Shan, et al. Correlation analysis of accelerate light aging to and whiteness [J]. Archives Science Bulletin, 2005(1): 63.
尹慧道, 王义翠, 操江山, 等. 纸张加速光老化与白度值相关性分析[J]. 档案学通讯, 2005(1): 63.
- [6] QU Yao-Liang. Thermal aging test of Chinese writing pad [J]. China Pulp & Paper, 1984, 3(5): 59.
瞿耀良. 国产书写纸的热老化试验[J]. 中国造纸, 1984, 3(5): 59.
- [7] DONG Yang, XIE Peng, GUO Ying-Min. Research on the Artificial Aging of Paper by Liquid Immersion [J]. Chinese Journal of Forensic Sciences, 2013, 66(1): 76.
董杨, 谢朋, 郭英民. 纸张被溶液浸泡老化的变化规律研究[J]. 中国司法鉴定, 2013, 66(1): 76.
- [8] LIU Jia-Zhen. Conservation methods and principles for ancient chinese books [M]. Beijing: National Library Press, 2015.
刘家真. 古籍保护原理与方法 [M]. 北京: 国家图书馆出版社, 2015.
- [9] SHI Shu-Lan, HE Wang-Fu, ZHANG Zeng, et al. Analysis and detection of Pulp and paper [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2002.
石淑兰, 何望福, 张曾, 等. 制浆造纸分析与检测 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002.
- [10] WANG Xin-Qin. Analyze of the Reason for Paper Aging [J]. Archives and Construction, 1997(9): 33.
王心琴. 浅析纸张老化的原因 [J]. 档案与建设, 1997(9): 33.
- [11] LIU Ren-Qing. Xuan Paper—National Treasure of China [M]. Beijing: China railway Press, 2009.
刘仁庆. 国宝宣纸 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [12] DOU Zheng-Yuan. Ozone bleaching can reduce whiteness of reversion [J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2006(4): 57.
窦正远. 臭氧漂白能减轻白度的返黄 [J]. 黑龙江造纸, 2006(4): 57.
- [13] ZHANG Qing-zhi. The natural aging of literature paper and its study [J]. Archives Science Study, 1998(2): 61.
张清志. 文献纸张的自然老化及其研究 [J]. 档案学研究, 1998(2): 61.
- [14] LI Yuan-hua, LIU Huan-bin, TAO Jin-song, et al. Research Progress of Paper Tensile Strength Models [J]. China Pulp & Paper, 2014, 33(1): 65.
李远华, 刘焕彬, 陶劲松, 等. 纸张抗张强度模型的研究进展 [J]. 中国造纸, 2014, 33(1): 65.
- [15] LIU Quan-Xiao, ZHAN Huai-Yu, ZHANG Chang-Biao, et al. Influencing Factors of Alkaline Paper Aging [J]. Paper and Paper Making, 2003(1): 21.
刘全校, 詹怀宇, 张长彪, 等. 影响碱性纸张老化的因素 [J]. 纸和造纸, 2003(1): 21.
- [16] ZHANG Hui, CHEN Bu-rong, ZHU Qing-gui. Effect of Oxidative Decontamination Techniques on Cellulose Polymerization Degree [J]. China Pulp & Paper, 2014, 33(2): 30.
张慧, 陈步荣, 朱庆贵. 传统氧化去污材料对纸张纤维纤维素聚合度的影响 [J]. 中国造纸, 2014, 33(2): 30.
- [17] SUN Li-Chun, WANG Jing-Han. Paper aging and inspection [J]. Journal of Jiangsu Police Officer College, 2005, 20(2): 171.
孙礼春, 王景翰. 纸张的老化及检验 [J]. 江苏警官学院学报, 2005, 20(2): 171.
- [18] KUANG Shi-jun. Loading of Newsprint [J]. China Pulp & Paper, 2003, 22(11): 48.
邝仕均. 关于新闻纸加填 [J]. 中国造纸, 2003, 22(11): 48.
- [19] YANG Gui-Hua, ZHANG Zheng-Lin, CHEN Jia-Chuan. Ordinary Defects in Bible Paper and the Solving Measure [J]. Paper Science & Technology, 2005(1): 42.
杨桂花, 章正林, 陈嘉川. 字典纸常见纸病及解决措施 [J]. 造纸科学与技术, 2005(1): 42.
- [20] HAN Jian-Chun. The development of the neutral paper dictionary [J]. North Paper Making, 1995(2): 37.
韩建春. 中性字典纸的研制 [J]. 北方造纸, 1995(2): 37.

CPP

(责任编辑: 马忻)

植树造林 爱护环境