

文章编号:1005-1538(2019)03-0009-07

电解法纸张脱酸研究

黄桥, 秦颖, 杨成达

(中国科学技术大学科技史与科技考古系, 安徽合肥 230026)

摘要:酸化是导致纸质档案、文物、图书等自毁的主要原因,现有脱酸方法实用性不强,需进行创新与突破。传统水溶液法,是一种常见的脱酸方法,具有对纸张安全、环境友好、操作简便、经济实惠、脱酸效果好的优点,也具有纸张浸泡处理时间长、脱酸速度慢的缺点。若能够克服其缺点,水溶液脱酸法会具有非常广泛的应用前景。本研究在传统水溶液法脱酸的基础上,利用酸化纸张湿润状态下与外加直流电源构成电解池的工作原理,采用电解法将纸张中的酸根离子移出,实现纸张快速脱酸。通过对比电解法与传统水溶液法对自然酸化纸张脱酸前后的外观与性能,探讨电解法的脱酸效果。结果表明,电解法可以有效地去除纸张中的酸根离子,降低纸张的酸度,既保留了传统水溶液脱酸简便可靠、绿色安全、成本低的优点,又克服了纸张长时间湿态导致的变形、膨胀的不足及工作效率低的缺点。

关键词: 纸张;脱酸;电解;酸根离子;pH值

中图分类号: K876.6 **文献标识码:** A

0 引言

纸张的主要构成组分是纤维素,纤维素在酸性条件下易发生水解,造成纸张酸化降解。纸张酸化的实质是纸张中含有了一定的酸性成分。纸张中只要含有酸性物质,即使保存状态良好,也不能保证纸张不会继续被酸化。自19世纪人们发现酸是造成纸张发生自毁的现象以来,各国科学家一直在研究纸张脱酸的保护方法和设备^[1-5]。然而,随着科技的发展与社会的进步,文物保护要求的条件也逐步提高。近年来,纸张脱酸再次成为研究的热点。一方面是大量的纸质档案、文物、图书等酸化严重,亟待处理;另一方面是方法本身的缺陷及潜在的严重安全、环境问题,原先的一些技术和设备逐渐被淘汰,虽然有新的探索^[2-3,7-9],但实用性的成果没有突破。纸张脱酸技术的发展与研究似乎遇到了瓶颈,国内外的相关研究较为传统,技术相对滞后。中国传统的碱水洗书法,将书页浸泡在配制的碱性溶液中,碱性物质(如氢氧化钙等)与纸张中的酸发生中和反应,可以有效地达到脱酸的目的。水溶液脱酸法具有对纸张安全、对环境友好、便于操作、经济、脱酸效果好的优点,也具有纸张浸泡处理时间长、脱酸速度慢以及不能同时处理多页纸张的缺点。若能

够缩短浸泡时间和加快干燥速度,减少纸张的皱缩变形和膨胀,同时能解决整本书的脱酸难题,水溶液脱酸法将会具有非常广泛的应用前景^[10-12]。

纸张脱酸处理后,不但纸张寿命得以延长,其机械性能也会得到改善。目前世界上通用的纸张脱酸方法,主要有气相脱酸法、有机溶剂脱酸法和水溶液脱酸法。

1) 水溶液脱酸法。将书页浸泡在配制的碱性溶液中,碱性物质(如氢氧化钙等)与纸张中的酸发生中和反应,从而达到脱酸的目的。水溶液脱酸法具有对环境安全、便于操作、经济、脱酸效果好的优点。目前这种处理方法暴露出的缺点是:其一,处理的时间周期长,让水溶液浸透纸张并发生中和反应及后续潮湿纸张的干燥都需要较长的时间,在较长时间的湿态下,纸张容易受到损害,干燥时会有膨胀,变皱等现象。若缩短浸泡时间,碱性脱酸剂往往只能沉淀在纸张表面,尤其为了改善表面强度、抗水性、平滑度、印刷适性等,许多纸张中会添加施胶剂或类似斥水性添加剂,使得浸透时间变长^[13]。其二,也是主要的,就是每次处理量都太小。因为整册浸泡纸页之间会沾粘,只能单张处理,再装订,效率低。其三,对纸张上的印章、油墨痕有一定影响,需要前处理等。后来发展的无水的有机溶剂和气态脱

收稿日期:2018-04-01;修回日期:2019-03-31

作者简介:黄桥(1991—),男,中国科学技术大学科技史与科技考古系在读硕士,研究方向为文化遗产保护,E-mail:ustc2016@mail.ustc.edu.cn.

酸剂主要就是为了解决这些缺点,而又尽可能保留其优点所做的改进方法。

2) 气相脱酸法。利用气化或挥发的碱性气体进行脱酸的方法。此法在真空配合下,使气体充分渗入到书本、文献中,可以进行大批量的规模脱酸。气相脱酸法使用的是碱性气体,如胺类物质氨气、环己胺和二乙基锌等。气相脱酸法与液相脱酸法相比,能够进行较大批量的处理,上世纪七、八十年代在国外有较广泛的使用。但是由于采用的脱酸介质是气相,所以工艺条件要求很高,不仅投资成本大,而且也不容易处理均匀。此外,也存在严重的安全隐患,目前该方法已基本被淘汰^[14-15]。

3) 有机溶剂液相脱酸法。是目前流行的一种脱酸方法,由于是采用无水的有机溶剂作为脱酸剂,可以克服因较长时间水的浸泡而造成的纸张褶皱、变形、字迹发散等问题。同时,由于其溶剂的挥发性,可以大大减少了干燥方面的费用,也缩短了处理时间。可单页,也可整本书进行脱酸处理,具有脱酸后纸张干燥迅速、不易起皱的优点^[16-20]。但有机溶剂易燃,有的溶剂毒性很强,现有的国外技术和设备普遍存在耗资大,技术难,环境及人身安全隐患大的问题,难以推广应用^[21]。

加速纸张自毁的主要原因是由造纸工艺、造纸原料以及保存环境等因素带入纸张中的各种无机酸。清除纸张中的酸性物质和(或)增加其中的碱金属、碱土金属离子都可以达到纸张脱酸的目的。含水状态下纸张中的这些无机酸根(如 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 等)呈离子状态,并被纸张纤维吸附着。在外加直流电场的驱动下,这些酸根离子会与纸张脱离,向阳极方向运动(电泳)。同时,电解质溶液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等碱土金属离子也会在电场的驱动下穿入纸张向阴极移动,部分被纸张吸附,与酸进行中和,或作为一种碱残留。在外加电场的作用下,离子的移动与电解会使得纸张中的离子脱离,而碱性电解质溶液中的离子可以填补,有效地“置换”了纸张中的有害酸根离子及其他被电解的离子。因此,电解法去除纸张酸性的原理可以用来研究设计成为对纸质档案及文物脱酸的一种技术,其原理示意图见图 1。

1 实验材料及方法

1.1 样品与材料

纸张不同的保存环境、保存时间等因素会影响纸张的酸化程度,本研究经过大量寻找选取了 3 本自然酸化老化的书本作为实验样品。1957 年新知

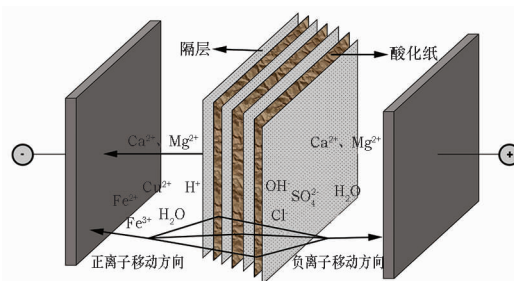


图 1 电解法纸张脱酸原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of paper deacidification by electrolysis

识出版社印制的《修辞概要》,32 K,凸版印刷纸,书页呈淡黄色,纸张 pH 值在 5.12 ~ 5.85,平均 5.55;1978 年商务印书馆印制的《英语九百句·汉译注释》,32 K,凸版印刷纸,书页呈淡黄褐色,纸张 pH 值在 4.54 ~ 5.07,平均 4.91;1978 年地质出版社印制的《结晶学与矿物学》,16 K,凸版印刷纸,书页呈淡褐色,纸张 pH 值在 4.61 ~ 5.52,平均 5.03。选择浓度为 0.12% 的氢氧化钙溶液作为本次实验的脱酸剂。选择无纺布作为本次实验的垫层,垫层起到了湿润纸张、防止纸张沾粘、增加电解质浓度、提高电解除酸速度、补充和增加纸张中有益离子(比如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})以及在脱酸过程中保持湿润状态使处理装置形成闭合回路的作用。简言之起隔离、润湿、保湿纸张以及导电的作用。

1.2 操作与处理

将酸化的纸张夹在已被含有脱酸剂溶液浸泡过的吸水性的垫层之间,并平铺在板状的石墨电极板上,若是处理多层纸或整册文本,则要将电解质浸泡的垫层将待去酸的纸张叠置起来。然后将另一块平板电极压上,并将两块极板夹紧,再将两块极板通上直流电源(电压:3.0 ~ 10.0 V,电流:0.2 ~ 1.0 A,处理纸张张数增多可在安全范围内适当调高电压),形成闭合回路,即意味着除酸过程开始。实验结束后切断电源,拿掉垫层,纸张自然晾干或其他方法干燥处理,本实验采用室温条件下自然干燥 24 h。本次试验中多页纸张的脱酸处理分别是一次处理一张纸、二张纸和五张纸,脱酸时间分别是 3 min、5 min 和 8 min(视纸张的厚度、张数,酸化程度及脱酸要求进行调节)。

1.3 检测方法

处理前后酸化纸张表面 pH 值用科霖仪器(Clean Instruments)公司生产的 PH30 酸碱度测试计(PH 量程为 -2.00 ~ +16.00,PH 分辨率为 0.01 pH,PH

精确度为 ± 0.01 pH) 测试。实验处理后的纸张和未处理的纸张样品剪碎,烘干后随机各称取 2 g,放入锥形瓶中,按照中国国家标准 GB/T 1545—2008《纸、纸板和纸浆 水抽提液酸度或碱度的测定》的方法,加入蒸馏水,盖上磨口玻璃塞,在室温 24 °C 环境中放置 1 h,在此期间期间采用振荡器震荡至少一次以上(本实验每隔 20 min 震荡 1 次,共 3 次,每次震荡 1 min),然后将抽提液倒入试管中待测。每组样品平行测定数次,记录 pH30 酸碱度测试计的读数范围,并取其平均值,以减小 pH 值误差。

纸张耐折度在中国国家标准 GB/T 457—2008《纸和纸板 耐折度的测定》规定的条件下测定得到,每组样品平行测定数次,取其平均值。

采用 NH310 电脑色差仪(广东深圳三恩驰科技有限公司)分析脱酸前后实验样品的颜色变化情况。

Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 离子浓度检测在中国科学技术大学理化试验中心的离子色谱仪上进

行,仪器为 Dionex Corporation(USA)的 ICS-3000,直接进样,常见阴离子的检出限小于 10 $\mu\text{g/L}$,提取液同 pH 抽提液。

2 实验结果及讨论

2.1 对不同保存条件下酸化纸张的脱酸处理

电解脱酸方法本质上是水溶液法脱酸的改进,本研究所采用的电解质溶液(脱酸剂:0.12% 氢氧化钙溶液)是传统的脱酸剂,常规方法通过浸泡就可以达到对酸化纸张进行脱酸的目的。因此,电解法似乎于此是多此一举,其实不然。为验证电解法脱酸的原理与效果有异于传统的氢氧化钙法,本研究选取了不同保存条件下已自然酸化的 3 本书的书页的作为批量化纸张脱酸的实验样品,分别使用了这两种方法进行了脱酸处理。传统的氢氧化钙法浸泡 15 min,电解法脱酸 3~5 min。酸化纸张脱酸前后,其 pH 值、耐折度的结果如表 1 所示。

表 1 不同批次酸化纸张脱酸前后的 pH 值与耐折度

Table 1 pH values and folding resistance of different batches of acidified paper before and after deacidification

样品编号	处理方式	pH 值		纸张耐折度/次	
		处理前	处理后	处理前	处理后
1#	浸泡		8.43		2.30
	电解	5.55	8.14	2.00	2.15
2#	浸泡		8.40		2.29
	电解	4.91	8.01	1.88	2.22
3#	浸泡		8.36		3.17
	电解	5.03	7.97	2.75	3.25

从表 1 中可以看出,两种不同处理方式的脱酸方法对酸化纸张脱酸后,纸张的 pH 值与耐折次数均较处理前有所提升。酸化纸张经过脱酸后,纸张的 pH 值在 8.0 左右,符合纸张脱酸的标准。并且电解法较氢氧化钙法只用了其 1/5~1/3 的时间,便可达到与其相似的效果,大大舒缓了纸张在水溶液中浸润的时间,克服纸张因较长时间被水浸润而造成褶皱、变形等问题。

2.2 离子浓度的对比

电解法对酸化纸张的脱酸效果可以达到使用传统碱水溶液脱酸的效果,但从脱酸原理来看,碱水溶液脱酸利用的是化学的中和反应,而电解法脱酸除会发生中和反应外,还会发生电解反应。如果酸化纸张仅发生中和反应,酸化纸张中原本呈酸性的离子只是暂时地被所加入的碱性离子所中和,并未完全地从酸化纸张中去除,这也就为什么近些年来各

种脱酸方法会出现纸张“返酸”的原因。然而,电解反应的实质是电流通过电解质溶液,溶液中的带电粒子会在电场力的作用下向两极移动。这时纸张中的带电粒子或按照化学活泼的程度移动到阴阳两极,从而使纸张中的呈酸性的离子脱离纸张,移动到两极,或被垫层吸附或移动到电极两端发生氧化还原反应,达到脱酸的目的。脱酸前后纸张中的离子浓度的变化情况如图 2 所示。

从图 2 可以看出, Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 并没有出现富集的情况,相反,纸张经电解法处理后,离子的浓度呈现一定的下降趋势。酸根离子降幅明显,在本实验条件下,纸张中的 Cl^- 几乎完全可以电离清除,而 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 也降低了 75% 以上。电解法脱酸能够从本质上去除纸张酸化后的离子,被紧压在一起的垫层和已被湿润的纸张组成了一个电解池,在外加直流电场的驱动下,离子会发生电化学反应。游离

的酸根离子从纸张中向阳极移动,或在阳极逐步失去电子(如 $2\text{Cl}^- - 2\text{e} = \text{Cl}_2 \uparrow$),或在阳极聚集,被极板和靠近阳极侧的垫层吸附。同时,随着电解作用的进行,溶液的 pH 增加,电解质溶液中 Ca^{2+} 的“补给”使得纸张中存留的 Ca^{2+} 浓度增加,这些向阴极移动的碱金属离子部分可以与纸张中尚存的酸进行中和,或作为一种碱残留沉淀在纸张中,起到延缓纸张再酸化的作用。

2.3 脱酸处理后纸张的外观性能

水溶液法脱酸经常具有对纸张清洗的功能,对纸张的外观会有一些影响。电解法脱酸是否会对纸张造成较大的改观,本研究对实验前后纸张的色度进行了测量,结果见表 2 与图 3。

表 2 不同批次酸化纸张脱酸前后色度的变化情况

Table 2 Chromaticity before and after deacidification of acidified paper

组别	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	ΔE	白度(Hunter)	白度(ISO R457)	黄度(YI)
空白组	61.61	7.41	13.60	—	58.60	25.19	53.95
电解组	62.85	7.85	14.11	1.41	59.49	25.92	53.07
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 组	63.19	6.74	13.11	1.78	60.35	27.31	50.26



图 3 处理前后纸张外观对比

Fig. 3 Comparison of paper appearance before and after the experiment

纸张脱酸可以利用色度计测其 *L*、*a*、*b* 值,通过 *L*、*a*、*b* 值计算色度差 ΔE 来判断纸张色度的变化情况,色度差 ΔE 的数值越小,说明纸张前后变化越小^[9]。一般认为,色度差 $\Delta E < 1.5$ 时,色度的变化为微变;色度差 $\Delta E < 1.0$ 时,色度变化很低,只有受过长期专业训练的人才能勉强发现^[22]。从表 2 知,电解组的色度差为 1.41, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 组的色度差为 1.78,电解组纸张前后色度的变化要小于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 组,更适合文物保护中“不改变文物原状”的原则。同时,电解组的色度差值 1.41,正好介于 1.0 ~ 1.5 之间,为微变,又满足文物保护的另一“远看一致,

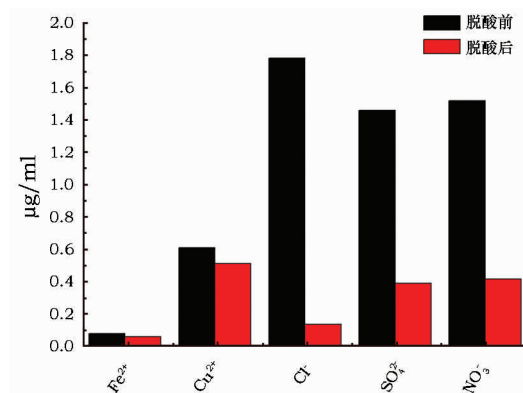


图 2 纸张脱酸前后部分离子浓度的变化情况

Fig. 2 Ion concentrations before and after deacidification of acidified paper

近看有别”的原则。而且,电解法脱酸因为处理过程中,被两块石墨电极板紧压着,脱酸后纸张非常平整,能够把原有的细微折痕给压平,如图 3 所示。纸张的白度值增高,黄度值减小,纸张脱酸后看起来“更健康”了。

2.4 同时处理多层纸张的效果

批量化脱酸一直是纸张脱酸研究的一个热点,本研究探索电解法脱酸在不拆卸书本的情况下处理数页书页纸张。将湿润的垫层夹入酸化的书页之间,不仅可以润湿酸化的书页,而且可以隔离相邻的书页防止其粘连。将垫层与酸化的书纸层层叠置完

好后,放入惰性石墨电极板之间,闭合回路,保持电流在0.02~0.1 A间,电压随书页页数的增

多适当的控制在3~10 V,进行脱酸处理。结果见表3。

表3 脱酸实验前后纸张外观及分析指标对比

Table 3 Comparison of paper appearance and analysis indexes before and after deacidification experiment

实验组		外观特征	表面 pH 值	纸张耐折度	
				纵向	横向
单页	脱酸前	纸张淡褐色,性脆	5.12~5.25	平均2.75	平均1.25
	脱酸后	纸张颜色变淡,柔软度增加,表面平整,无变形、无褶皱、无膨胀,油墨字迹无褪色和渗透,字迹更清晰。	7.80~8.11	平均3.25	平均2.00
二页	脱酸前	淡褐色,性脆	5.20~5.56		
	脱酸后	淡褐色,颜色有点变淡,柔软度增加,表面平整,无变形、无褶皱,油墨字迹无褪色和渗透,无沾粘。	7.56~8.27		
五页	脱酸前	淡褐色,性脆	平均5.3		
	脱酸后	颜色无明显变化,柔软度增加,表面平整,无变形、无褶皱,油墨字迹无褪色和渗透,纸页之间无沾粘。	平均7.5~7.8		

表3可以看出,不同页数的酸化纸张经快速电解处理后,纸张的pH值已由原来的酸性变成中性或中性偏碱性。纸张处理后未出现膨胀,变皱等现象,表面变得更为干净(图3)。同时,随着纸张页数的增多,纸张的pH值与耐折度次数会有所波动但均有所提高。

2.5 脱酸处理后纸张酸碱度的持久性

为探究电解法去除纸张中的有害离子是否可以达到让纸张不会“返酸”的效果,设计两组对照组,一组空白组,分别同一批次相邻书页进行电解法脱酸、0.12%氢氧化钙浸泡脱酸及自然条件下不做任何处理,三份纸张样品置于自封袋密闭保存,仅测pH值时取出,实验结果如图4所示。

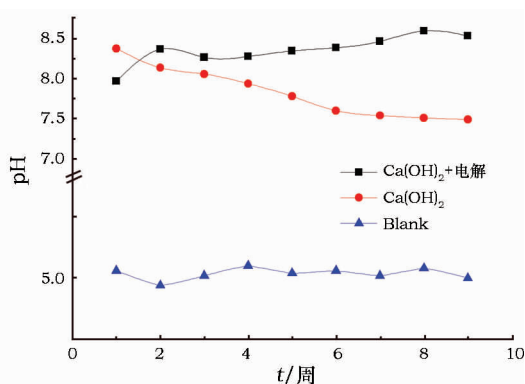


图4 不同酸化纸张 pH 值随时间变化

Fig.4 Variation of pH values with time for acidified paper

从图4中可知,在所测的9周时间内,电解法对纸张脱酸可以使纸张的pH值维持在8.0左右,并且经过脱酸处理后纸张的pH值相对而言有小幅的

提升,氢氧化钙法对纸张脱酸后呈现了一定的下降趋势。这说明,电解法从长远的角度来看,更能维持纸张酸碱的平衡,更有利于纸张的保存,纸张“返酸”的现象不明显。

3 结论

在电解的作用下,酸化纸张中游离出的酸根离子(如 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 等),一方面与碱水溶液的碱金属离子结合,一方面脱离纸张向阳极移动,彻底从纸张中去除。纸张所需要的碱金属离子可以通过调节碱水溶液的类型进行补充,提升纸张的碱度与机械性能。同时,向阴极移动的碱金属离子部分可以与纸张中尚存的酸(未游离出)进行中和,作为一种碱残留沉淀在纸张中,起到延缓纸张再酸化的作用。实验结果表明,电解法脱酸相对于传统碱水溶液浸泡脱酸对纸张无论是从外观、pH值、耐折度,还是从处理时间、效果稳定性上优势明显。电解法脱酸既能保留传统碱水溶液浸泡脱酸简便可靠、绿色安全、经济实惠的优点,又能够缩短处理时间来克服纸张长时间浸润的负面缺点。同时,还可以在不拆卸文本的情况下,按需求一次性处理单页、多页以及整册文本,提高处理效率。另外,由于酸根离子的大幅去除,纸张处理后不会因为纸张中残留的碱流失或形成的盐分解,酸根离子再次形成酸,造成纸张出现“返酸”的现象。

由于首次将电解法应用到纸张脱酸的初步研究中,本研究所做的研究只是冰山一角。根据文物保护专家评审的中肯意见,纸质文物非单一由纸张构成,还包括颜料、染料、油墨等,电解处理纸张会发生

何种变化有待明确,对纸质文献处理后的存在的安全性问题还需持续实验与研究,此方法离实际应用仍有相当距离。文物是不可再生资源,是人类智慧的结晶,本着对文物的敬畏之心与责任之心,文物保护工作者担负保护与修复文物的重任,应把文物的安全性放在首位。电解法作为一种新的脱酸方法提出来供大家讨论与研究,在未得到行业广泛认可之前,切勿贸然投入使用,以免对纸质文物造成不可预测的损害。

参考文献:

- [1] ARNOLD R B. The preservation of paper: How long will the page you are reading last? [J]. *Serials Review*, 1997, **23**(4): 15 - 26.
- [2] AREA M C, CHERADAME H. Paper aging and degradation: recent findings and research methods [J]. *Bioresources*, 2011, **6**(4): 5307 - 5337.
- [3] 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 - 2023.
- [4] WHITMORE P M, BOGAARD J. Determination of the cellulose scission route in the hydrolytic and oxidative degradation of paper [J]. *Restaurator*, 1994, **15**(1): 26 - 45.
- [5] BANSA H. Aqueous deacidification - with calcium or with magnesium [J]. *Restaurator*, 1998, **19**(1): 1 - 40.
- [6] CHERADAME H, IPERT S, ROUSSET E. Mass deacidification of paper and books, I: Study limitations gas phase process [J]. *Restaurator*, 2003, **24**(4): 227 - 229.
- [7] 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 and Colloids*, 2005, **21**(18): 8495 - 8501.
- [8] WANG Y, FANG Y, TAN W, *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 - 22.
- [9] 李青莲, 贺宇红, 李贤慧, 等. 等离子技术在近现代纸质文物脱酸保护中的应用研究 [J]. *文物保护与考古科学*, 2014, **26**(1): 76 - 80.
LI Qinglian, HE Yuhong, LI Xianhui, *et al.* Application of plasma technology in deacidification of modern and contemporary paper relics [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2014, **26**(1): 76 - 80.
- [10] CLARK R J H, GIBBS P J, JARIJS R A. An investigation into the deacidification of paper by ethoxymagnesium ethylcarbonate [J]. *Journal of Materials Chemistry*, 1998, **8**(12): 2685 - 2690.
- [11] 詹艳平, 李超, 余跃进, 等. 酸化纸质文物水溶液真空脱酸和冷冻干燥试验研究 [J]. *真空*, 2014, **51**(1): 73 - 76.
ZHAN Yanping, LI Chao, YU Yuejin, *et al.* Experimental study on vacuum deacidification and freeze - drying for acid - processed paper relics [J]. *Vacuum*, 2014, **51**(1): 73 - 76.
- [12] 郑冬青, 张金萍, 陈潇俐, 等. 整本图书水溶液法脱酸研究 [J]. *中国造纸*, 2009, **28**(10): 34 - 37.
ZHENG Dongqing, ZHANG Jinping, CHEN Xiaoli, *et al.* Deacidification of a whole book without debinding by immersion [J]. *China Pulp & Paper*, 2009, **28**(10): 34 - 37.
- [13] 张玉芝, 张金萍, 云悦, 等. 几种脱酸润湿剂对纸张性能影响的研究 [J]. *中国造纸*, 2016, **35**(5): 35 - 38.
ZHANG Yuzhi, ZHANG Jinping, YUN Yue, *et al.* Effects of wetting agents on deacidified paper properties [J]. *China Pulp and Paper*, 2016, **35**(5): 35 - 38.
- [14] 奚三彩. 纸质文物脱酸与加固方法的综述 [J]. *文物保护与考古科学*, 2008, **20**(增刊): 85 - 94.
XI Sancan. The summary of deacidification and consolidation of paper cultural relics [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2008, **20**(Suppl): 85 - 94.
- [15] CARTER H A. The chemistry of paper preservation: Part 1. the aging of paper and conservation techniques [J]. *Journal of Chemical Education*, 1996, **73**(5): 417 - 420.
- [16] Bukovsky V. Yellowing of newspaper after deacidification with methyl magnesium carbonate [J]. *Restaurator*, 1997, **18**(1): 25 - 38.
- [17] ROUSSET E, IPERT S, CHERADAME H. Mass Deacidification of Paper and Books, II: Deacidification in the Liquid Phase Using Aminosilanes [J]. *Restaurator*, 2004, **25**(2): 104 - 118.
- [18] IPERT S, ROUSSET E, CHERADAME H. Mass deacidification of papers and books III: Study of a paper strengthening and deacidification process with amino alkyl alkoxy silanes [J]. *Restaurator*, 2005, **26**(4): 250 - 264.
- [19] IPERT S, DUPONT A L, LAVÉDRINE B, *et al.* Mass deacidification of papers and books. IV - A study of papers treated with aminoalkylalkoxysilanes and their resistance to ageing [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, **91**(12): 3448 - 3455.
- [20] 梁义, 卿梅. 丙酸钙水酒精溶液对纸质文物脱酸效果的影响 [J]. *文物保护与考古科学*, 2009, **21**(2): 44 - 47.
LIANG Yi, QING Mei. Influence of calcium propionate - water - ethanol mixed solution on deacidification effect on paper - cultural relics [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2009, **21**(2): 44 - 47.
- [21] 周耀林. 档案纸张去酸技术 [J]. *中国档案*, 1998(12): 28 - 29.
Zhou Yaolin. Deacidification technology for archival paper [J]. *Chinese Archives*, 1998(12): 28 - 29.
- [22] EMIL G I, DORINA R, SIMONA D, *et al.* High - frequency plasma in heritage photo decontamination [J]. *Annals of Microbiology*, 2010, **60**(2): 355 - 361.

Research on deacidification of paper by electrolysis

HUANG Qiao, QIN Ying, YANG Chengda

(Department of History of Science and Scientific Archaeology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Acidification is the main cause of self – destruction of paper files, cultural relics and books, etc. Since the existing deacidification methods are not that practical, innovation and breakthroughs are required. The traditional aqueous solution method not only does well in deacidification, but is safe to paper, environmentally friendly, easy to do and economical as well. Therefore, if its shortcomings could be overcome, this deacidification method may have broader prospects of application. In light of this, in our study we supplemented the traditional aqueous solution method of paper deacidification with electrolysis. The working principle is that acidified paper in a wet state and an external DC power source forms an electrolytic cell which quickly removes charged particles (e.g., protons) from the paper, achieving quick deacidification. After using the traditional aqueous solution method and the innovative electrolysis method to treat naturally acidified paper, we analyzed the appearances and properties of the paper before and after deacidification. The results show that the electrolysis method can effectively remove protons from the paper and reduce its acidity. The innovation not only is simple and reliable, green, safe and of lower cost than the traditional method, but also overcomes the problems including deformation, expansion and low work efficiency associated with the long – term wet state of paper.

Key words: Paper; Deacidification; Electrolysis; Acidic ion; pH value

(责任编辑 谢 燕)