无水液相氧化镁脱酸法在纸质类革命文物中的运用
——以韶山毛泽东同志纪念馆为例

谭　征
（韶山毛泽东同志纪念馆）
DOI：10.65285/RWYSHKX.V2I7.013

摘　要：纸质类革命文物因为其制造工艺、保存环境等影响酸化情况日益严重，甚至有完全损毁的风险，脱酸保护迫在眉睫。本文通过无水液相氧化镁脱酸技术对机制纸张进行脱酸，对纸张的伸缩性、字迹溶解性进行测试，证明了其安全性。并分别完成 pH、颜色、抗张强度、耐折度、碱储量等检验项目，其结果显示纸张经无水液相氧化镁脱酸法脱酸后，其纸张呈现弱碱性，pH 保持在 7.0−10.0 范围内，且留存足够量的碱储量；经过老化试验后，纸张 pH 仍能保持 7.0 以上。充分验证了无水液相氧化镁脱酸法的有效性与安全性。为纸质类革命文物脱酸保护应用与推广打下基础。
关键词：革命文物；纸质；无水液相氧化镁脱酸；保护

The Application of the Anhydrous Liquid-Phase Magnesium Oxide Deacidification Method to Paper-Based Revolutionary Cultural Relics: Taking Mao Zedong Comrade Memorial Hall in Shaoshan as an Example

Zheng Tan
Mao Zedong Comrade Memorial Hall in Shaoshan

Abstract: Due to factors such as manufacturing processes and storage environments, paper-based revolutionary cultural relics suffer from increasingly severe acidification and even face the risk of complete damage, so deacidification and conservation are urgently needed. This paper adopts anhydrous liquid-phase magnesium oxide deacidification technology to treat machine-made paper. Tests on paper extensibility and ink solubility verify its safety. Inspection items including pH, color, tensile strength, fold resistance and alkali reserve are carried out. The results show that after deacidification by this method, the paper is weakly alkaline with pH ranging from 7.0–10.0 and sufficient alkali reserve retained. After aging tests, the pH of the paper remains above 7.0. This fully verifies the effectiveness and safety of the anhydrous liquid-phase magnesium oxide deacidification method and lays a foundation for its application and popularization in the deacidification and conservation of paper-based revolutionary cultural relics.
Keywords: revolutionary cultural relics; paper-based; anhydrous liquid-phase magnesium oxide deacidification; conservation

前言：

韶山毛泽东同志纪念馆馆藏的纸质文物数千件，涵盖了毛泽东生平和中国革命历程中的许多重要文献资料，其中二三级纸质类文物达 109 件 / 套。馆藏的纸质文物主要包括毛泽东的手稿、书信、文章、演讲稿、会议记录、指示以及与之相关的各类文献资料。这些文献记录了毛泽东的革命思想、战略决策和理论贡献，也反映了中国共产党领导下的革命和建设历程，是进行革命传统教育和爱国主义教育不可多得的生动教材，更是毛泽东生平和思想研究取之不尽的宝贵财富。

这类文献多形成于 19 世纪末至 20 世纪中叶，正值近代机器造纸大规模普及的阶段。机械木浆与酸性施胶工艺使纸张自诞生之日起就带有“内源酸性”，加之长期存放中的大气污染物侵蚀、微生物代谢和温湿度波动，酸化成为其劣化的主导因素。

根据 WH/T 22—2006《古籍特藏破损定级标准》中规定，对破损情况定级，结果如表 1 和图 1：

表 1 韶山毛泽东同志纪念馆 109 件馆藏纸质文物酸化检测情况统计（WH/T 22—2006《古籍特藏破损定级标准》）

pH 值	pH ＜ 4 一级破损	pH ＜ 5 二级破损	pH ＜ 5.5 三级破损	pH ⩾ 5.5	合计
抽样量	0	43	32	34	109
占比	0%	40%	29%	31%	100%

经调查发现，这批纸质文物出现了不同程度的酸化病害，且三级以上酸化病害高达 69%，根据文物目前的酸化程度，不仅信息载体损毁，附着其上的历史信息、笔迹、印章、版式等不可再生要素将同步消失，严重影响文物保管、陈列和研究。脱酸因此成为革命文物保护中最紧迫的基础性技术环节之一。

一、无水液相氧化镁脱酸的技术原理

（一）工艺构成

无水液相氧化镁脱酸以氧化镁为脱酸剂、以全氟烷烃类有机溶剂为载液。氧化镁在工业上常用作阻燃材料，全氟烷烃类物质在消防上常用作灭火剂，二者均具有较高的安全性。将亚微米级氧化镁颗粒（粒径约 100 纳米至 1.0 微米）均匀分散、悬浮于全氟庚烷等溶剂中，形成可长期保持无沉降、无絮凝的白色悬浮液。该悬浮液本身呈中性，不含水，因而从原理上规避了水对纸张纤维的溶胀作用。

（二）作用机理

当悬浮液以喷涂或浸泡方式接触纸张时，若氧化镁颗粒粒径小于纸张内部孔隙尺度，颗粒便可随载液渗入纸内孔洞，并在溶剂挥发后依靠静电力紧密吸附于纤维表面。随后，氧化镁在常温下逐渐与空气中的水分和二氧化碳反应生成碱性物质，通过酸碱中和实现脱酸，同时在纤维内部形成持久的碱性储备。由于全过程不使用水，处理后纸张不变形、不起皱，对字迹和装订材料基本无影响，这为整本、批量处理提供了可能。

二、实验

（一）样品选择

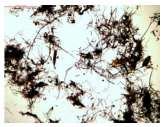
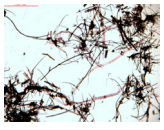
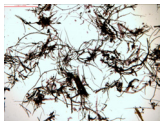
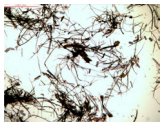
从本次待完成脱酸保护的文物中选取一件纸张类型为机制纸的纸质文物作为对照样品，以年代、纸张类型、病害类型、外观、写印色料等作为筛选条件初步筛选三件纸质文献作为待选试验纸样。

1. 纸张纤维分析

将 2.1 中四组机制纸样品，包括馆藏文物的残渣和三件待选试验纸样送至国家纸张质量检验检测中心检测其纤维组成。

检测方法：GB/T 4688–2020《纸、纸板和纸浆 纤维组成的分析》。检测结果如表 3。

表 2 机制纸纸张纤维组成检测结果

序号	纸样名称	纤维分析结果	纤维图片
1	1956 年 4 月毛泽东的食谱计划表	芦苇浆：100%	
2	中国共产党章程关于修改党的章程的报告 邓小平	针叶木化学浆：25% 芦苇浆：75%	
3	毛泽东选集 第四卷	针叶木化学浆：16% 阔叶木化学浆：4% 芦苇浆：80%	
4	工资改革的有关文件和工资等级标准	芦苇浆：100%	

综合以上结果，《工资改革的有关文件和工资等级标准》与馆藏文物《1956 年 4 月毛泽东的食谱计划表》的纤维组成一致，均为芦苇浆 100%。

2. 光谱分析

将馆藏文物《1956 年 4 月毛泽东的食谱计划表》的残渣和《工资改革的有关文件和工资等级标准》的纸样通过光谱分析纸张纤维的官能团结构，最终鉴定其纤维的种类，结果如图 1。

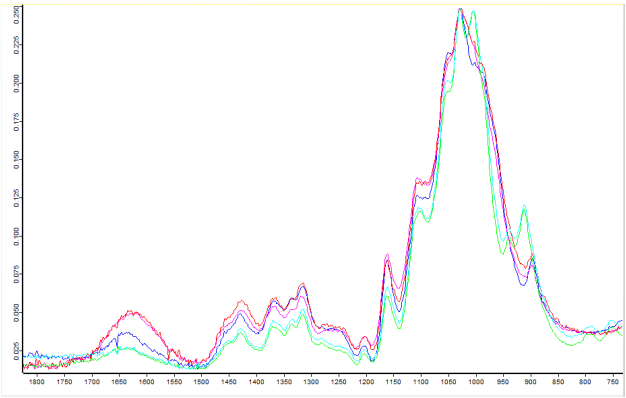


图 1 两样本的光谱分析图

图中，蓝色为芦苇浆纸样，红色、粉色为馆藏文物《1956 年 4 月毛泽东的食谱计划表》残渣的正反面，浅绿色和浅蓝色为《工资改革的有关文件和工资等级标准》纸样的正反面。观察 850 到 1200cm–1 波数范围内的特征峰位置，《工资改革的有关文件和工资等级标准》与馆藏文物《1956 年 4 月毛泽东的食谱计划表》均接近芦苇浆。最终选择《工资改革的有关文件和工资等级标准》作为本次技术验证的机制纸纸样。

3. 脱酸处理

脱酸处理步骤参照标准：GB/T 42468.3–2023《纸质档案抢救与修复规范 第 3 部分：修复质量要求》和 GB/T 21712–2008《古籍修复技术规范与质量要求》的相关标准。

将试验样品《工资改革的有关文件和工资等级标准》拆装，并分成两份，其中一份纸样使用无水液相氧化镁脱酸技术对试验样品进行喷涂脱酸处理。

喷涂脱酸使用喷涂式脱酸设备完成单张双面喷涂，喷涂速度为 250mm/s，喷涂流量为 0.3L/min，喷涂完成后进行密封保存。

最终取得一份未脱酸纸样和一份已脱酸纸样。

4. 密封老化处理

将脱酸处理后得到的未脱酸纸样和已脱酸纸样再各自平均分成两份，并依据 GB/T40167–2021《纸和纸板 加速老化（100℃）》完成纸张 100℃，72 小时密封老化试验。

至此，一共取得 4 组纸样分别为：未脱酸未老化，未脱酸已老化，已脱酸未老化，已脱酸已老化。

表 3 送检纸样老化处理

序号	样品名称	试验内容
1	未脱酸未老化	原纸样
2	未脱酸已老化	原纸样完成 100℃条件下密封老化 72 小时
3	已脱酸未老化	原纸样通过无水液相氧化镁脱酸技术完成脱酸处理
4	已脱酸已老化	原纸样通过无水液相氧化镁脱酸技术完成脱酸处理后，继续完成 100℃条件下密封老化 72 小时

通过纸样在 100℃条件下密封老化 72h，模拟纸张在自然条件下老化 25 年的状态。

（二）安全性及有效性检测

通过写印色料安全性检测和 4 组纸样的 pH 值、颜色、耐折度、抗张强度检测，已脱酸两组的碱储量检测，检验无水液相氧化镁脱酸技术对机制纸的有效性和安全性。

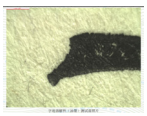
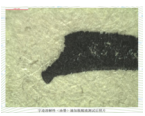
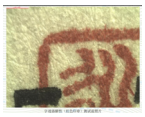
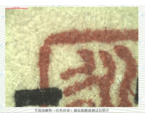
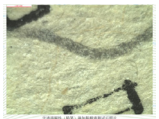
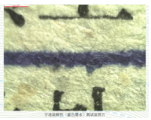
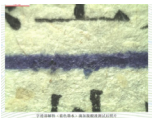
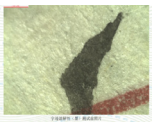
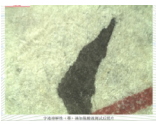
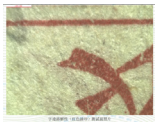
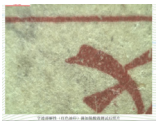
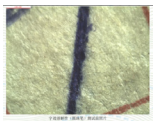
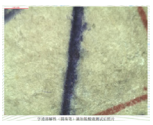
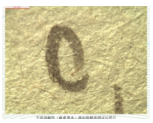
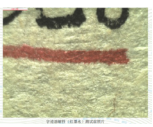
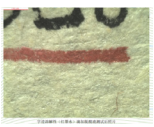
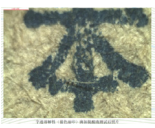
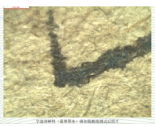
1. 写印色料安全性检测

为确保写印色料的完全，在脱酸前，根据相关标准严谨地做写印色料的安全性验证，同时，在脱酸处理前后对同一件文献进行影像记录，

检验方法：GB/Z 42468.4–2023《纸质档案抢救与修复规范 第 4 部分 修复操作指南》5.3.3。使用无水液相氧化镁脱酸液进行字迹溶解性测试，滴一滴脱酸液在字迹上，观察其是否有晕染。

检验结果：对比显示，文献中的写印色料的颜色、图案形状均无显著变化，且文字、图案痕迹边界清晰，本次待脱酸纸质文物涵盖油墨、红色印章、铅笔、蓝色墨水、墨、红色油印、圆珠笔，碳素墨水、红墨水、蓝色油印、蓝黑墨水等 11 种写印色料，本次测试这 11 种写印色料，均未发生晕染现象。充分证明使用的脱酸保护技术脱酸处理后不会对文字、图案以及纸张纤维产生不良影响，安全可靠。

表 4 写印色料字迹溶解性对比

序号	写印色料种类	测试前	测试后
1	油墨		
2	红色印章		
3	铅笔		
4	蓝色墨水		
5	墨		
6	红色油印		
7	圆珠笔		
8	碳素墨水		
9	红墨水		
10	蓝色油墨		
11	蓝黑墨水		

小结：使用无水液相氧化镁脱酸液对纸张进行脱酸保护，对各类写印色料安全。

2. 纸张伸缩性验证

纸张伸缩性是纸张重要的物理机械指标之一，指纸张在接触到液体后尺寸的变化，通过测量脱酸前后纸张尺寸的变化来评价脱酸工艺对纸张的影响，即尺寸变化越小，脱酸工艺对纸张尺寸的影响越小。

检验方法：GB/T 459–2002《纸和纸板伸缩性的测定》。使用无水液相氧化镁脱酸液浸泡纸张 15min，测量浸泡前后纸张横纵向长度。

表 5 纸张形变的检测结果

检验项目		单位	标准值	实测值	判定	检验方法
伸缩性[Bookkeeper 无水液相脱酸液浸泡 15min]	纵向	%	----	0.0	----	GB/T 459–2002
	横向		----	0.0		

检验结果：浸泡前后，机制纸试验纸样的纸张横纵向长度变化率均为 0%。

小结：使用无水液相氧化镁脱酸液对纸张进行脱酸保护不会对机制纸纸张纤维产生形变。

3.pH 值验证

纸张的酸碱度变化是评价脱酸工艺的重要指标，可通过纸张水提取液 pH 值（冷抽提法）等方法进行检测，通过对比未脱酸未老化，未脱酸已老化，已脱酸未老化，已脱酸已老化 4 组纸样 pH 值的变化，来评价脱酸工艺的有效性和抗老化性。

检验方法：GB/T 1545–2008《纸、纸板和纸浆 水抽提液酸度或碱度的测定》中方法 B。

表 6 纸张 PH 值的检测结果

检验项目	单位	标准值	实测值	判定	检验方法
未脱酸未老化					
pH[冷抽提]	----	----	5.6	----	GB/T 1545–2008 中方法 B
未脱酸未老化					
pH[冷抽提]	----	----	4.6	----	GB/T 1545–2008 中方法 B
已脱酸老化后					
pH[冷抽提]	----	----	9.8	----	GB/T 1545–2008 中方法 B
已脱酸老化后					
pH[冷抽提]	----	----	8.9	----	GB/T 1545–2008 中方法 B

检验结果：未经处理的原纸样 pH 为 5.6；经过 72 小时密封老化，pH 下降至 4.6。原纸样经过脱酸处理后，其 pH 值上升至 9.8；经过 72 小时密封老化，pH 下降至 8.9，仍处于弱碱性。

小结：对机制纸纸张使用无水液相氧化镁脱酸液进行脱酸保护，其 pH 能达到 7.0–10.0，纸张呈弱碱性，且具有一定的抗老化性。

4. 颜色验证

纸张颜色作为纸张外观的重要指标，通过对比未脱酸和已脱酸 2 组纸样颜色变化，验证脱酸工艺对纸张外观的变化，颜色变化越小，脱酸工艺对纸张外观的影响越小。

检验方法：GB/T 7975–2005《纸和纸板颜色的测定（漫反射法）》

检验结果：

原纸样经过脱酸处理前后，纸张正面的色差为 1.50，反面的色差为 2.11。

参考公式为 $\Delta E=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{0.5}$

表 7 颜色验证的检测结果

检验项目			单位	标准值	实测值	判定	检验方法
未脱酸未老化							
颜色	正面	L*	-----	-----	87.3	-----	GB/T 7975–2005
		a*		-----	1.88		
		b*		-----	16.5		
	反面	L*		-----	87.2		
		a*		-----	1.96		
		b*		-----	16.9		
已脱酸未老化							
颜色	正面	L*	-----	-----	88.0	-----	GB/T 7975–2005
		a*		-----	1.32		
		b*		-----	15.3		
	反面	L*		-----	87.9		
		a*		-----	1.12		
		b*		-----	15.1		
未脱酸老化后							
颜色	正面	L★	-----	-----	75.1	-----	GB/T 7975–2005
		a★		-----	5.04		
		b★		-----	20.7		
	反面	L★		-----	75.6		
		a★		-----	5.11		
		b★		-----	20.7		
已脱酸老化后							
颜色	正面	L★	-----	-----	76.0	-----	GB/T 7975–2005
		a★		-----	4.99		
		b★		-----	21.0		
	反面	L★		-----	77.1		
		a★		-----	4.54		
		b★		-----	19.4		

小结：使用无水液相氧化镁脱酸技术对机制纸纸张进行脱酸处理后，纸张的颜色变化较小。

5. 耐折度验证

耐折度是纸张的基本机械性能之一，用来表示纸张抵抗往复折叠的能力。使用纸张耐折度仪进行数据采集，通过对比未脱酸未老化，未脱酸已老化，已脱酸未老化，已脱酸已老化 4 组纸样的耐折度差异，来评价脱酸工艺对纸张耐折度的影响，即耐折度变化越小，脱酸工艺对纸张耐折度的影响越小。

检验方法：GB/T 457–2008《纸和纸板耐折度的测试》中肖伯尔法。

检验结果：

未经处理的原纸样耐折度：纵向为 4 次，横向为 1 次；经过 72 小时密封老化，耐折度纵横向均下降至 0 次。

原纸样经过脱酸处理后，耐折度：纵向为 5 次，横向为 1 次，经过 72 小时密封老化，耐折度：纵向下降为 1 次，横向为 0 次。

表 8 耐折度的检测结果

检验项目		单位	标准值	实测值	判定	检验方法
未脱酸未老化						
耐折度	纵向	次	----	4	----	GB/T 457–2008 中肖伯尔法
	横向		----	1		
已脱酸未老化						
耐折度	纵向	次	----	5	----	GB/T 457–2008 中肖伯尔法
	横向		----	1		
未脱酸老化后						
耐折度	纵向	次	----	0	----	GB/T 457–2008 中肖伯尔法
	横向		----	0		
已脱酸老化后						
耐折度	纵向	次	----	1	----	GB/T 457–2008 中肖伯尔法
	横向		----	0		

小结: 机制纸纸样经过脱酸处理后，其耐折度变化不大。同样经过老化处理，脱酸纸样的耐折度略优于未经脱酸的纸样。脱酸处理能抵御一部分老化对纸张耐折度的影响。

6. 抗张强度验证

纸张抗张强度是纸张重要的机械性能之一，指单位宽度的纸或纸板断裂前所能承受的最大张力。

使用纸张抗张强度仪进行数据采集，通过对比未脱酸未老化，未脱酸已老化，已脱酸未老化，已脱酸已老化 4 组纸样抗张强度的差异，来评价脱酸工艺对纸张抗张强度的影响，即抗张强度变化越小，脱酸工艺对纸张抗张强度的影响越小。

检验方法：GB/T 12914–2018《纸和纸板 抗张强度的测定 恒速拉伸法（20mm/min）》。

检验结果：

未经处理的原纸样抗张强度：纵向为 2.23kN/m，横向为 0.729N/m；经过 72 小时密封老化，纸样抗张强度：纵向下降至 1.69kN/m，横向下降至 0.595kN/m。

原纸样经过脱酸处理后，抗张强度：纵向为 2.26kN/m，横向为 0.776N/m，经过 72 小时密封老化，纸样抗张强度：纵向下降至 1.90kN/m，横向下降至 0.709kN/m。

表 9 抗张强度的检测结果

检验项目		单位	标准值	实测值	判定	检验方法
未脱酸未老化						
抗张强度	纵向	kN/m	----	2.23	----	GB/T 12914–2018
	横向		----	0.729		
已脱酸未老化						
抗张强度	纵向	kN/m	----	2.26	----	GB/T 12914–2018
	横向		----	0.776		
未脱酸老化后						
抗张强度	纵向	kN/m	----	1.69	----	GB/T 12914–2018
	横向		----	0.595		
已脱酸老化后						
抗张强度	纵向	kN/m	----	1.90	----	GB/T 12914–2018
	横向		----	0.709		

小结：机制纸纸样经过脱酸处理后，其抗张强度变化不大。同样经过老化处理，脱酸纸样的抗张强度略优于未经脱酸的纸样。脱酸处理能抵御一部分老化对纸张抗张强度的影响。

7. 碱储量

碱储量是纸和纸板中的一类碱性化合物的量，如碳酸钙，该类化合物能中和由于自然老化或受到大气污染所生成的酸。通过对比已脱酸未老化，已脱酸已老化两组纸样的碱储量，验证脱酸工艺的抗劣化性能。

检验标准：GB/T 24998–2010《纸和纸板 碱储量的测定》

表 10 碱储量的检测结果

检验项目	单位	标准值	实测值	判定	检验方法
未脱酸未老化					
碱储量	mol/kg	----	0.19	----	GB/T 24998–2010
已脱酸老化后					
碱储量	mol/kg	----	0.16	----	GB/T 24998–2010

小结：使用无水液相氧化镁脱酸技术对机制纸纸张进行脱酸处理后，留存的碱储量为 0.19mol/kg，符合 ISO/TS18344:2016《纸张脱酸工艺有效性》和 GB/Z 42964–2023《图书馆纸质文献脱酸工艺有效性评价方法》中对碱储量要求：测得的碱储量不小于 0.12mol/kg（质量百分比不低于 0.5%）。

结语：

无水液相氧化镁脱酸法以不含水的有机载液和亚微米氧化镁颗粒，解决了水溶液脱酸“变形、伤字、无碱储量”三大痛点，使整本、批量、可逆性较好的脱酸处理成为现实，为革命文物这类数量大、价值高、材质敏感的纸质藏品提

供了可行的抢救性技术路径。但其成效取决于精细的对象筛选、严格的用量控制与长期的效果追踪。技术只是手段，革命文物保护的根本目标，是让承载历史记忆的纸张尽可能长久地保存下去，并在妥善保存的基础上实现研究、展示与教育价值的充分释放。

参考文献

[1] 刘家真 . 纸，酸化与对策⑨：什么是脱酸？ [EB/OL]. 中国古籍保护网 ,2020-01-23.https://www.nlc.cn/pcab/zx/xw/20200414_191073.shtml.

[2] 国家图书馆 . 国家图书馆引入社会化合作，让面临酸化的古籍重获新生 [EB/OL]. 澎湃新闻 ,2023-05-09. https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_23009785.

[3] 刘家真 . 去酸技术和去酸方式的评价及选择 [J]. 档案学通讯 ,2020(2).

[4] 卢晓枫 . 锐立文保：为国家开机，为国宝延寿 [EB/OL]. 祖 国 网 ,2025-04-15.https://www.zgzzs.com.cn/index.php/article/detail/id/128694.html.

[5] 钱杰生 . 江苏省档案馆馆藏 1.7 万页民国纸质档案脱酸工作顺利完成 [EB/OL]. 东南大学档案馆 ,2017-07-12. https://archives.seu.edu.cn/2017/0712/c818a192871/page.htm.

[6] 佚名 . 予文献以延寿使文明得传承——文献批量整本脱酸技术助力纸质文献保护与传承 [EB/OL]. 福建省文物局 ,2024-02-28.http://wwj.wlt.fujian.gov.cn/xwzx/mtgz/202402/t20240228_6407048.htm.

[7] 南京工业大学 , 南京博物院 . 纳米氢氧化镁应用于纸质文物的脱酸 [J/OL].https://m.scholarmate.com/S/m9am8G.

[8] 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(S1):85-94.

作者简介：谭征（1986 年 11 月 -）、男、汉族、湖南湘潭人、硕士毕业于中国科学技术大学文物与博物馆专业、副研究馆员、研究方向：革命文物保护与修复。

基金项目：本文系韶山毛泽东同志纪念馆・湘潭大学国家革命文物协同研究中心一般项目“毛泽东纸质文物脱酸技术研究”成果（24GWYB09）。