

第四部分 酸化、糟朽、成渣双面字档案纯棉网兼容性修复加固与脱酸

1 研究背景

我国和世界各地的档案馆、图书馆收藏 1850-1970 年间的报纸、期刊，使用“新闻纸”印刷，新闻纸含有木质素，耐久性差，发生了非常严重的酸化、糟朽病害，一触即碎或已成渣，亟待耐久加固与脱酸。

中国社会科学院王予曾用蚕丝织网加固出土糟朽丝绸；南京博物院奚三彩首创发明用蚕丝网加固纸质文献；随后江苏省档案局对蚕丝加固进行了改进，一根丝线改为两根丝，将其强度提高。脆弱纸张丝网加固技术，不但可以解决单面有字的脆弱纸质文物，而且可以解决不能用传统托裱修补的双面有字的脆弱纸质文物加固问题。目前的丝网加固方法是将涂有树脂粘结剂的蚕丝网通过热压使树脂熔化而粘附于纸张表面。这一技术存在三方面需要提升的空间，第一，酸化糟朽的纸张中纤维素本已经严重降解，熨斗的热压熨烫产生的高温会促使纸张中的水分迅速蒸发导致纸张发脆，对本已经严重脆弱的纸张带来负面影响，其风险不可小觑。第二，对于这种具有胶粘性能的高聚物树脂材料，其原聚合单体很难全部除尽，故该树脂中会残留一些醛类物质，而蚕丝蛋白质中的氨基对醛基又很敏感，在加热条件下二者会发生缩合反应，这样一来，不仅加重了蚕丝的老化变质，也会使树脂的性能劣化。此外，蚕丝是一种动物蛋白质纤维材料，是微生物赖以生存的场所，加固后不利于保存。蚕丝分子中既有硬脆的酰胺键和

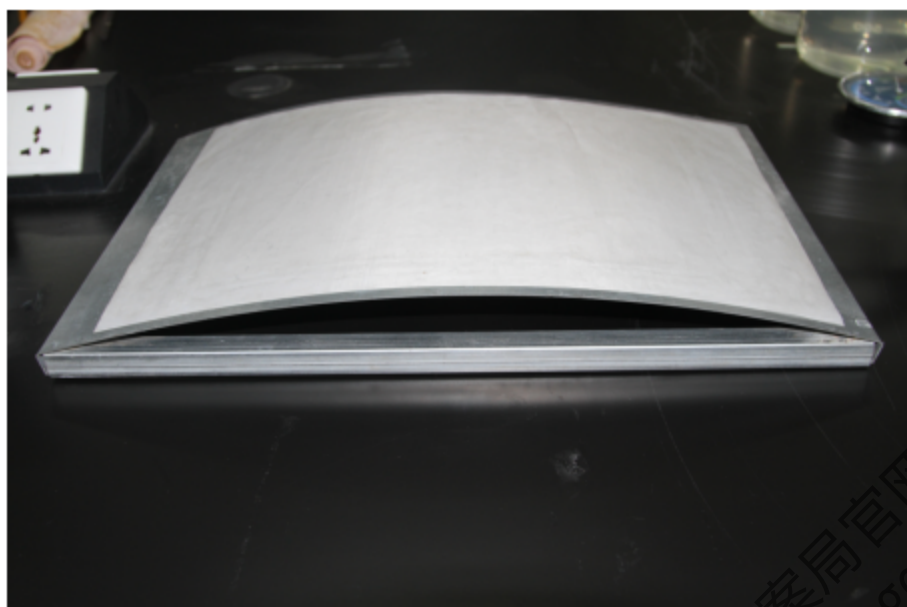
β -折叠结构，又有许多活性较高的化学基因。故蚕丝的纤维强度和理化性能远低于植物纤维素，是一种不耐久的天然材料。第三，对酸化糟朽的纸质档案与古文献而言，仅用蚕丝网进行物理加固并不能解决其本质问题，酸化因素还会使纸张纤维素继续降解，直至断裂酥粉。

基于上述原因，本项目重新设计了新的加固材料同时与脱酸相结合的工艺。第一，用直径为 $35\ \mu\text{m}$ 的纯棉纤维进行丝网加固。第二，在常温下使树脂处于半溶解分散状态与纸张粘附。第三，将脱酸有机结合于加固展平工艺之中。上述创新点形成了整体关键技术。

2 丝网加固及脱酸工艺与方法

2.1 材料的准备

- (1) 丝网：用纯棉纤维织造，网格大小： $2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$ ，每根丝线为140支，大约为 $35\ \mu\text{m}$ ；
- (2) 展平固定工具：专用拱形固定工具



拱形展平工具

纯棉丝网常温加固与脱酸关键技术涉及纸张的展平技术。本项目

结合纸张的湿态至干态平整拉伸的力学原理、磁铁与拱形板吸附的特性及纯棉丝网的强度这三方面的因素，设计了纯棉丝网常温加固脱酸的专用拱形板、磁条等专用工具。

2.2 加固与脱酸工艺程序

第一步，织网

选取直径为 35 μm 的单根纯棉线在织网机上进行织网。

第二步，喷网

1) 向聚乙烯醇缩丁醛中加入无水乙醇（分析纯）并搅拌，形成具有均匀的絮状悬浮物的液体后，然后再加入适量的正丁醇后在密封状态下搅拌 24 小时形成澄清液体；

2) 将步骤 1) 中制成的澄清液体用无水乙醇进行稀释后形成喷网液，澄清液体与无水乙醇的体积比 1.5: 1，用喷枪将喷网液均匀喷涂第一步制得的丝网；

3) 将喷涂过的丝网在常温下晾干，然后在织网架上进行裁切，得到加固丝网。

第三步，加固

先在拱形展台上铺附一层漆布，将需要加固的纸张平铺在漆布上，在纸张上表面平铺第二步制得的丝网，将加固丝网边缘利用磁条与铁板的吸附作用固定在拱形展台上，然后在加固丝网上喷涂无水乙醇将加固丝网充分润湿，之后常温下晾干。

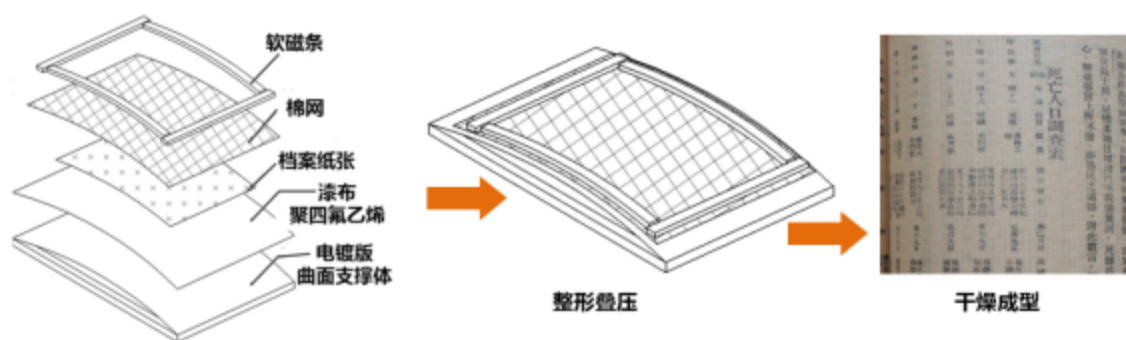
第四步，脱酸

对于酸化糟朽严重的纸质档案与古文献直接用水溶

液脱酸具有造成其损伤的可能性，本课题先用纯棉丝网加固，其强度为脱酸与展平创造了条件。对纸张进行脱酸处理时，先将加固好的纸质文件取下来并反转到未丝网加固的一面平放在拱形台上，用自制的 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 进行喷洒脱酸处理。如果纸张酸化轻微可喷洒一次脱酸液，如果纸张酸化比较严重连续喷洒两次脱酸液，等第一次微干之后再喷洒第二次，随后再用湿毛巾轻轻擀一遍。

第五步，展平

用磁条将擀后的文献或档案四周固定，磁条压在周边的丝网上距档案一毫米左右，等到脱酸液完全晾干后档案可以完全展平，达到上墙的效果。最后裁剪掉边缘多余的加固丝网后，即完成。



双面字档案棉网加固过程示意图

3 加固性能评价

3.1 加固与脱酸后加速老化系统评价

试验选用生宣、熟宣、毛边、新闻纸，通过人工加速老化模拟试验，使其各项物理与化学性能与实际纸质文物档案接近，然后用耐折度、抗张强度、撕裂度、耐破度等性能指标分别对这四种加固后的纸样进行耐久性评价，从而得出丝网加固后纸张优异的物理性能。

将四种样品分别进行加速人工老化，老化方法分别是：在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$

下，干热老化 72 h；在 80 ℃、RH 为 60 %的条件下，湿热老化 72 h；在试验温度：25.0 ℃，紫外灯功率 60W，垂直照射距离 5cm，紫外老化 72h。分别测定四种样品老化前后的耐折度、抗张强度、撕裂度、耐破度等性能。

(1) 湿热老化试验

水汽对高分子材料具有一定的渗透能力，尤其是在热的作用下，这种渗透能力增强，能够渗透到材料体系内部并积累起来。同时，水的渗入导致高分子材料的物理机械性能发生变化。在一定的相对湿度条件下，温度越高，周围空间的水蒸气压力越大，水汽向材料体系内部的扩散能力也加大，从而加速材料的受潮速度。同时，温度越高，高分子链的热运动加剧，分子间的作用力减弱，加速形成了分子间的空隙，这也有利于水分的进入。湿热老化试验是用于鉴定或研究高分子材料在高温高湿环境下耐老化性能的试验方法。实验结果如下表：

表一 湿热老化各种纸各种物理性能的测试

强度		熟宣				生宣			
		未加固		加固		未加固		加固	
		纵	横	纵	横	纵	横	纵	横
耐折度	老化前	1.0	—	107	71	1.0	—	156	113
	老化后	—	—	85	43	—	—	109	61
	保持率%	—	—	79.4	60.6	—	—	69.9	54.0
抗张强度	老化前	11.6	6.1	24.5	10.0	16.2	10.8	27.3	18.9
	老化后	6.8	3.0	17.7	7.0	7.2	4.9	20.0	12.7
	保持率%	58.6	49.2	72.2	70.0	44.4	45.4	33.3	67.2
撕裂度	老化前	150.3	130.5	1171	1164	256.5	209.0	1771	1468
	老化后	112.6	103.0	1042	1016	198.2	159.4	1382	1342

	保持率%	74.9	78.9	89.0	87.3	77.3	76.3	78.0	91.4
耐破度	老化前	35		65		44		66	
	老化后	20		54		28		57	
	保持率%	57.1		83.1		63.6		86.4	
白度	老化前	64.4		62.0		62.5		50.4	
	老化后	48.7		51.9		50.6		49.5	
	保持率%	75.6		83.7		81.0		98.2	

注：实验数据均为 10 次有效测试平均值

表二 湿热老化毛边和新闻报纸各种物理性能的测试

强度		毛边				新闻报纸			
		未加固		加固		未加固		加固	
		纵	横	纵	横	纵	横	纵	横
耐折度	老化前	3	—	122	69	8	4	24	8
	老化后	1	—	82	41	3	1	13	4
	保持率%	33.3	—	67.2	59.4	37.5	25.0	54.2	50.0
抗张强度	老化前	13.0	7.2	20.6	18.3	51.2	13.0	57.9	18.6
	老化后	4.0	2.5	14.1	10.9	35.6	8.4	47.2	16.3
	保持率%	30.8	34.7	68.4	59.6	69.5	64.6	81.5	87.6
撕裂度	老化前	209.1	150.3	1336	1259	334.5	312.4	2273	2117
	老化后	122.7	91.1	1276	1176	226.8	202.3	1899	1644
	保持率%	58.7	60.6	95.5	93.4	67.8	64.8	83.5	77.7
耐破度	老化前	57.1		51.2		94		115	
	老化后	30.8		46.3		56		113	
	保持率%	53.9		90.4		59.6		98.3	
白度	老化前	40.1		36.1		39.5		29.5	
	老化后	37.5		35.3		28.0		28.7	
	保持率%	93.5		97.8		70.9		93.9	

注：实验数据均为 10 次有效测试平均值

(2) 光热老化试验

高分子受光激发后在有氧存在的大气环境中所发生的一系列氧化反应过程即高分子的光氧老化。根据目前对多种高分子的光氧老化过程进行研究的结果,认为它是无规降解过程,在降解进行中表现出分子量降低很快,单体量析出很少,量子产率很低(量子产率指每吸收一个光量子最终形成或分解的分子数目它是光化学反应效率的一个重要参数)。

高分子光氧降解过程是非自由基过程和自由基过程的结合。首先表现在高分子链中含氧量增加,然后发生一系列由氧化引起的主链断裂。实验证实,在链断裂形成的氢过氧化物(ROOH)和羰基($>\text{C}=\text{O}$)是高分子链的吸光基团或称为生色团,这两个基团在吸收紫外光后能进一步诱发光氧化反应,是引起进一步光氧降解反应的主要基团。实验结果如下表:

表三 光热老化熟宣和生宣各种物理性能的测试

强度		熟宣				生宣			
		未加固		加固		未加固		加固	
		纵	横	纵	横	纵	横	纵	横
耐折度	老化前	3	2	168	97	4	2	201	175
	老化后	1	—	119	66	1	—	119	83
	保持率%	33.3	—	70.8	68.0	25.0	—	59.2	47.4
抗张强度	老化前	9.4	6.8	32.4	16.7	14.8	7.3	26.4	16.6
	老化后	5.0	2.3	18.6	12.3	6.2	3.4	24.5	12.8
	保持率%	53.2	33.8	57.4	73.7	41.9	46.6	92.8	77.1
撕裂度	老化前	176.9	157.5	1421	1398	243.2	210.3	1454	1010
	老化后	121.2	—	1242	1108	189.6	162.1	1095	991

	保持率%	68.5	—	87.4	79.3	77.7	77.1	94.9	98.1
耐破度	老化前	22		48		88		187	
	老化后	15		41		31		142	
	保持率%	68.2		85.4		35.2		75.9	
白度	老化前	57.5		55.6		47.4		46.3	
	老化后	50.6		54.1		42.7		44.8	
	保持率%	88.0		97.3		90.1		96.8	

注：实验数据均为 10 次有效测试平均值

表四 光热老化毛边和新闻报纸各种物理性能的测试

强度		毛边				新闻报纸			
		未加固		加固		未加固		加固	
		纵	横	纵	横	纵	横	纵	横
耐折度	老化前	3	1	181	149	6	1	60	22
	老化后	1	—	114	69	2	—	31	14
	保持率%	33.3	—	63.0	46.3	33.3	—	51.7	63.6
抗张强度	老化前	12.8	8.1	20.9	17.3	42.5	8.2	54.5	19.9
	老化后	6.1	4.2	17.8	14.2	29.7	5.3	50.4	16.6
	保持率%	47.7	51.9	85.2	82.1	69.9	64.6	92.5	83.4
撕裂度	老化前	211.0	153.2	1537	1424	286.3	232.1	2029	1434
	老化后	147.7	98.0	1253	1180	221.7	198.0	1765	1228
	保持率%	70.0	64.0	81.5	82.9	77.4	85.3	87.0	85.6
耐破度	老化前	70		82		92		120	
	老化后	33		36		69		109	
	保持率%	47.1		43.9		75.0		90.8	
白度	老化前	35.1		37.8		23.2		24.9	
	老化后	32.3		36.7		20.4		24.1	
	保持率%	92.0		97.1		87.9		96.8	

注：实验数据均为 10 次有效测试平均值

(3) 干热老化试验

热和光一样是一种能量，使老化产生和加速。除开低温老化（低于室温或零度）和高温老化（例如热解）以外，热老化的普遍形式在于室温至 200℃ 范围产生的老化过程，它包括绝氧（真空和惰性气体）以及各种腐蚀性介质中的老化，而烘箱老化是 Geer 炉老化最基本的一种热老化形式，它以空气（氧）为介质产生热活化氧化，又叫热空气老化。

热氧老化反应是按自由基反应机理进行的。氢过氧化物（ROOH）是热氧化的初期产物。氢过氧化物在适当的条件下分解为自由基，能引发分子链的连锁反应，最后导致降解和交联。降解反应的结果，使高聚物分子量下降，抗张强度下降；交联使高聚物变脆。实验结果如下表所示：

表五 干热老化熟宣和生宣各种物理性能的测试

强度		熟宣				生宣			
		未加固		加固		未加固		加固	
		纵	横	纵	横	纵	横	纵	横
耐折度	老化前	1	—	86	44	1	—	222	153
	老化后	—	—	22	14	—	—	45	30
	保持率%	—	—	25.6	31.8	—	—	20.3	19.6
抗张强度	老化前	8.9	6.8	25.0	13.9	10.1	5.4	19.7	12.3
	老化后	4.0	3.1	15.1	11.1	4.8	2.1	14.2	7.7
	保持率%	44.9	45.6	60.4	79.9	47.5	38.9	72.1	62.6
撕裂度	老化前	130.7	101	1618	1466	—	—	1423	1097
	老化后	—	—	1479	1324	—	—	1222	745

	保持率%	—	—	91.4	90.3	—	—	85.9	67.9
耐破度	老化前	22		42		30		79	
	老化后	15		33		14		63	
	保持率%	68.2		78.6		46.7		79.7	
白度	老化前	50.4		46.4		47.3		46.3	
	老化后	30.0		30.3		33.1		33.8	
	保持率%	59.5		65.3		70.0		73.0	

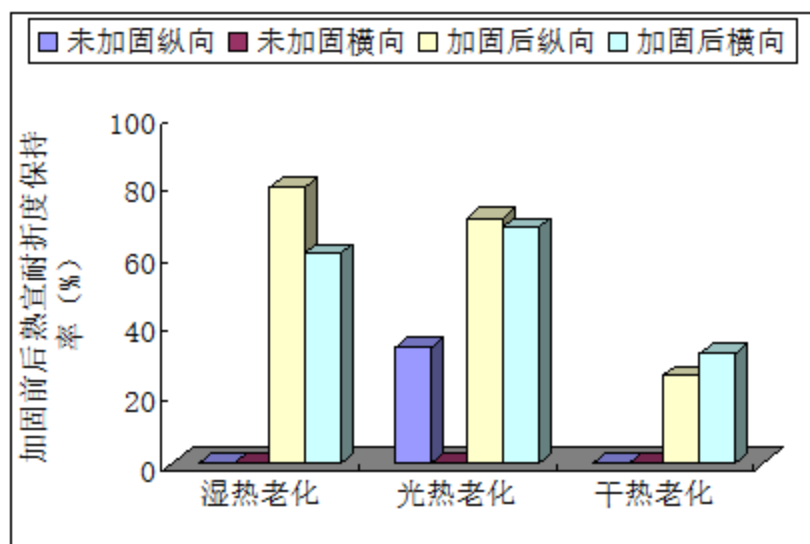
注：实验数据均为 10 次有效测试平均值

表六 干热老化毛边和新闻报纸各种物理性能的测试

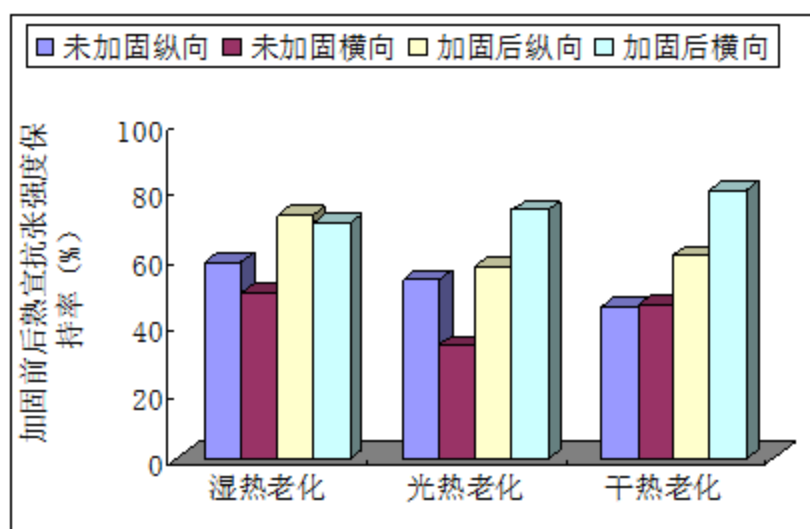
强度		毛边				新闻报纸			
		未加固		加固		未加固		加固	
		纵	横	纵	横	纵	横	纵	横
耐折度	老化前	—	—	129	97	10	2	22	7
	老化后	—	—	34	22	4	—	11	5
	保持率%	—	—	26.4	22.7	40.0	—	50.0	71.4
抗张强度	老化前	14.7	7.2	21.9	12.1	44.0	11.0	55.9	19.9
	老化后	5.6	3.0	19.4	10.0	28.1	5.2	51.1	17.5
	保持率%	38.1	41.7	88.6	82.6	63.9	47.3	91.4	87.9
撕裂度	老化前	138.5	101.5	1738	1171	297.7	246.8	1510	1071
	老化后	—	—	1381	977	87.6	85.3	1250	915
	保持率%	—	—	79.5	83.4	29.4	34.6	82.8	85.4
耐破度	老化前	51		66		80		152	
	老化后	16		44		21		146	
	保持率%	31.4		66.7		26.3		96.7	
白度	老化前	39.9		32.9		41.3		38.5	
	老化后	26.3		27.1		30.4		32.3	
	保持率%	65.9		82.4		73.6		83.9	

注：实验数据均为 10 次有效测试平均值

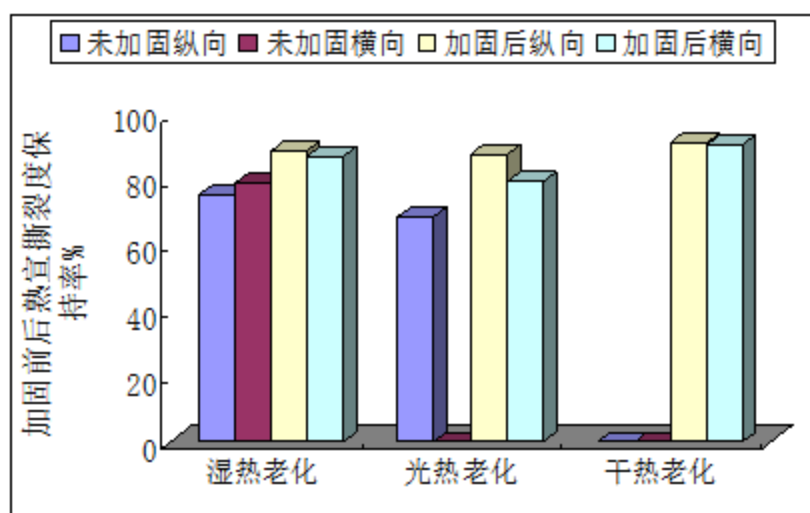
1) 熟宣各项物理性能保持率的比较:



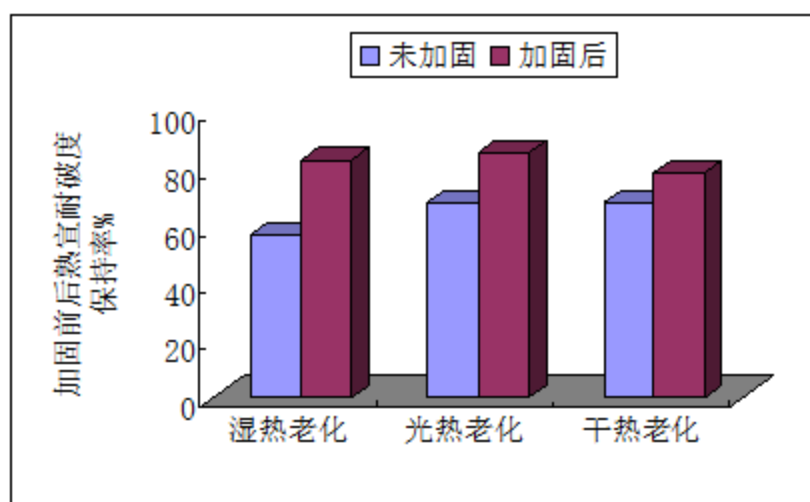
图一 熟宣棉丝网加固前后耐折度保持率



图二 熟宣棉丝网加固前后抗张强度保持率

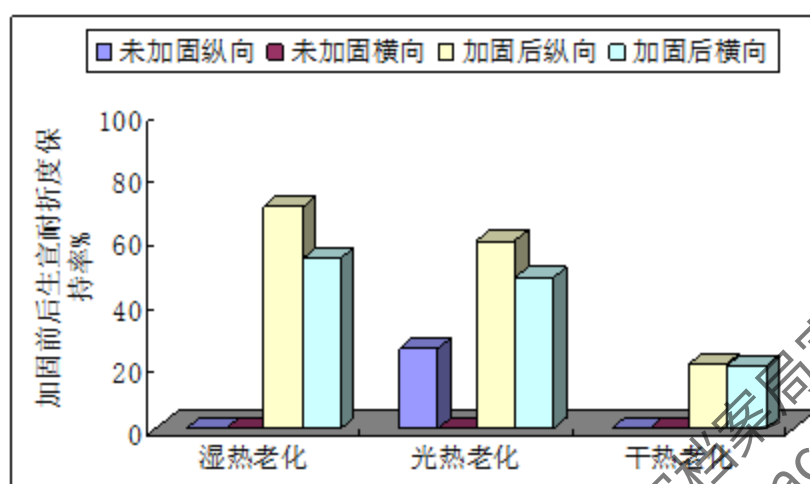


图三 熟宣棉丝网加固前后撕裂度保持率

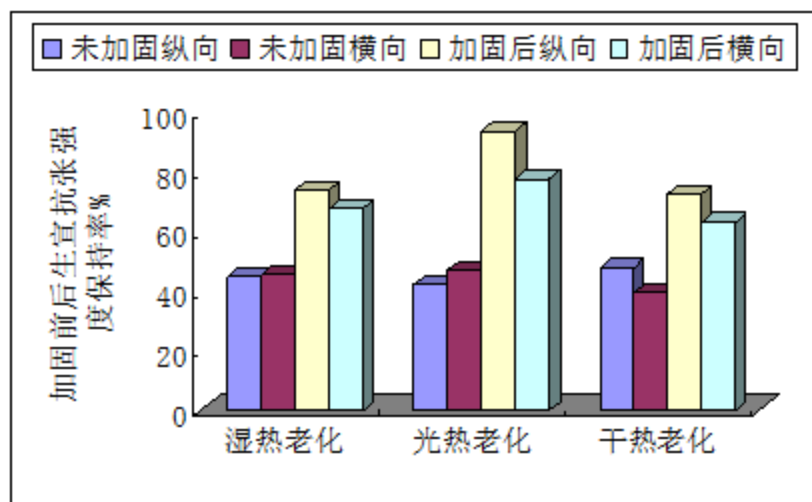


图四 熟宣棉丝网加固前后耐破度保持率

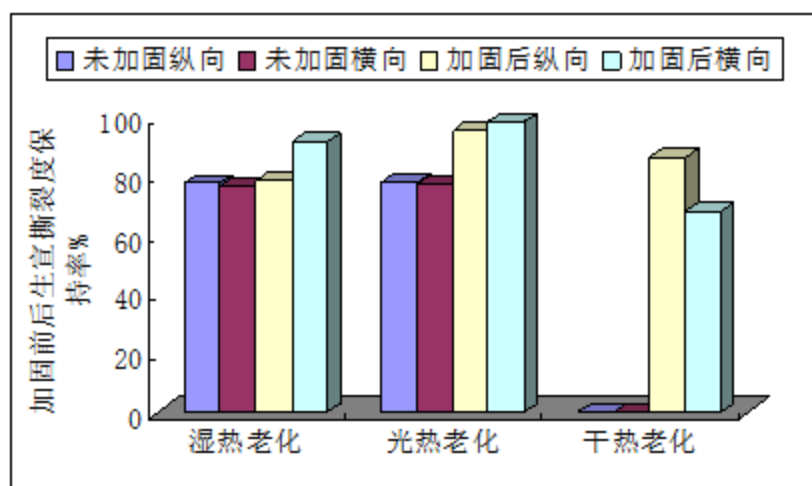
2) 生宣纸各项物理性能保持率的比较:



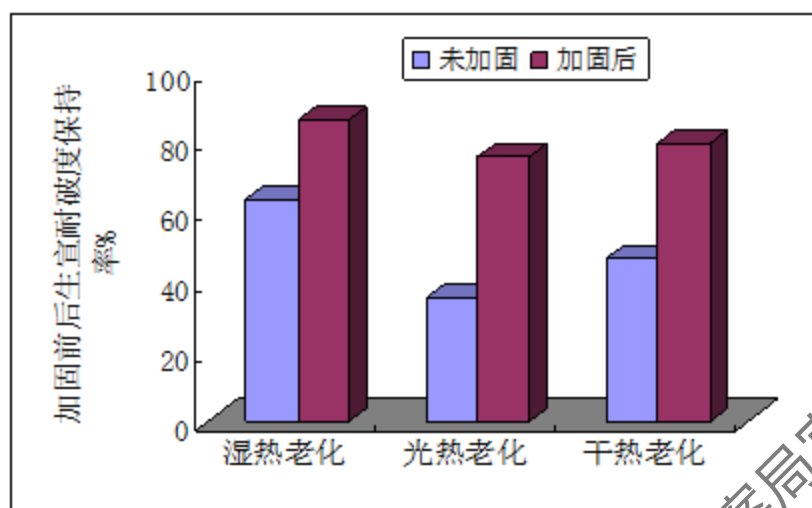
图五 生宣棉丝网加固前后耐折度保持率



图六 生宣棉丝网加固前后抗张强度保持率

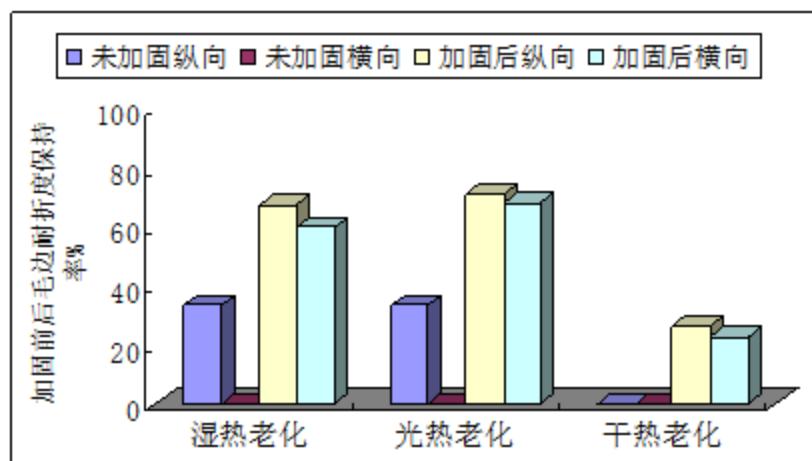


图七 生宣棉丝网加固前后撕裂度保持率

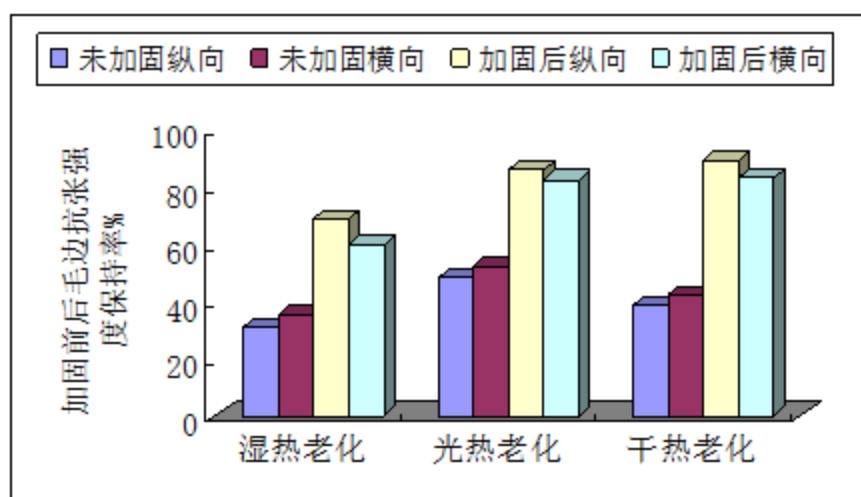


图八 生宣棉丝网加固前后耐破度保持率

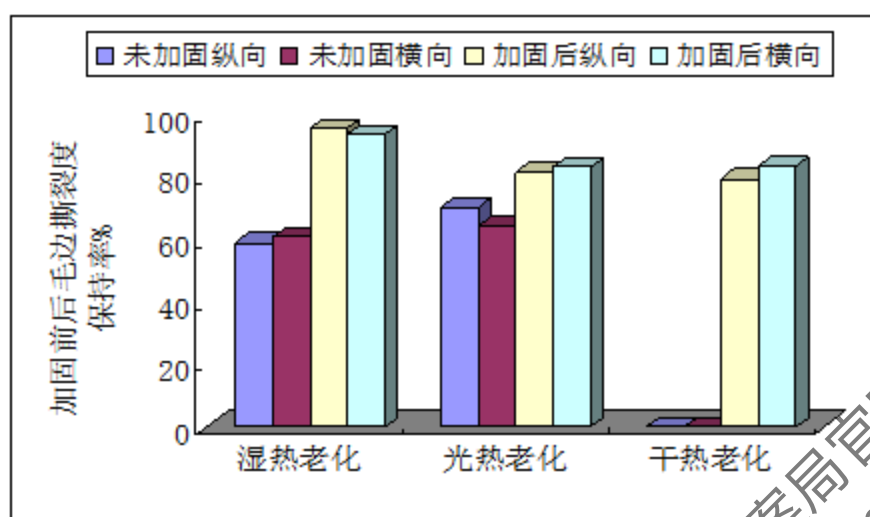
3) 毛边纸各项物理性能保持率的比较:



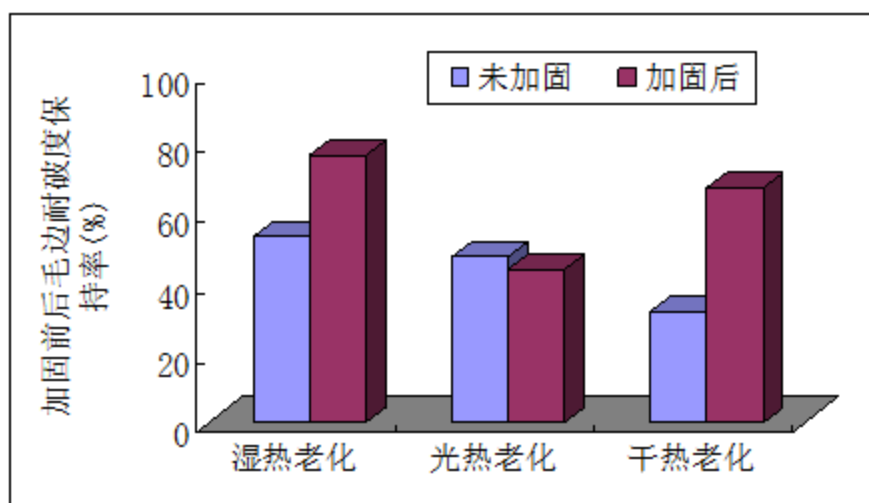
图九 毛边棉丝网加固前后耐折度保持率



图十 毛边棉丝网加固前后抗张强度保持率

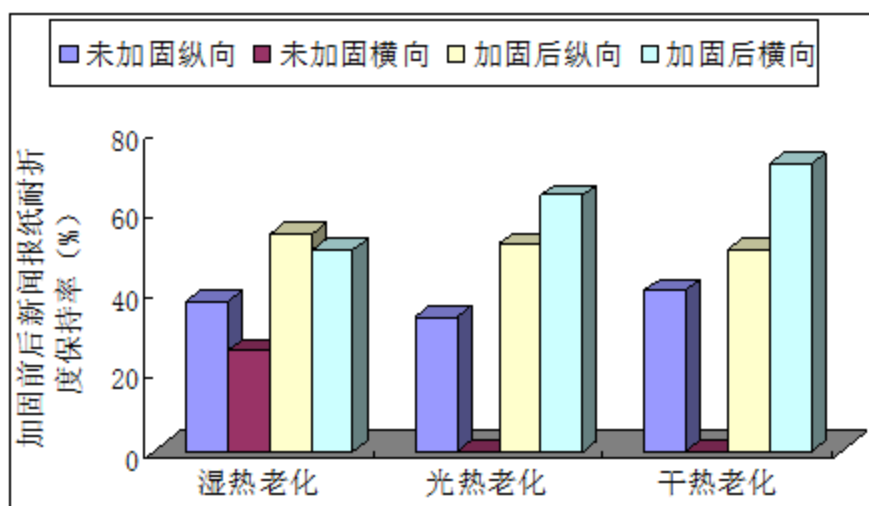


图十一 毛边棉丝网加固前后撕裂度保持率

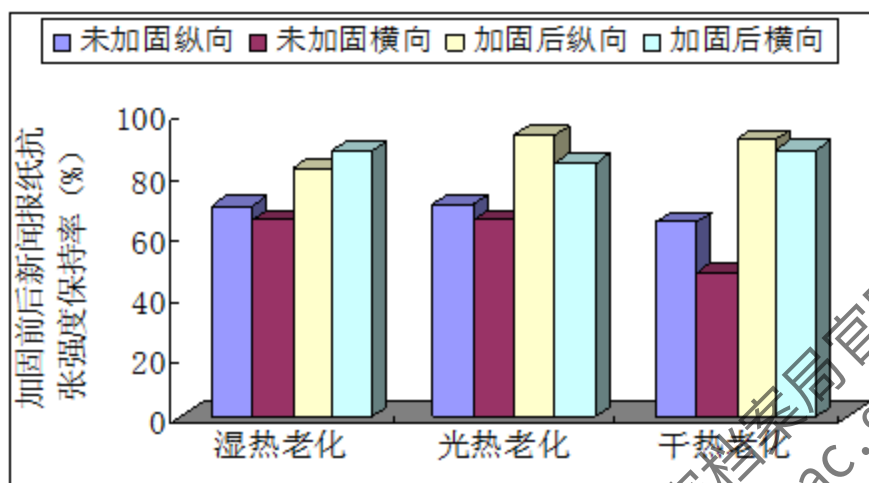


图十二 毛边棉丝网加固前后耐破度保持率

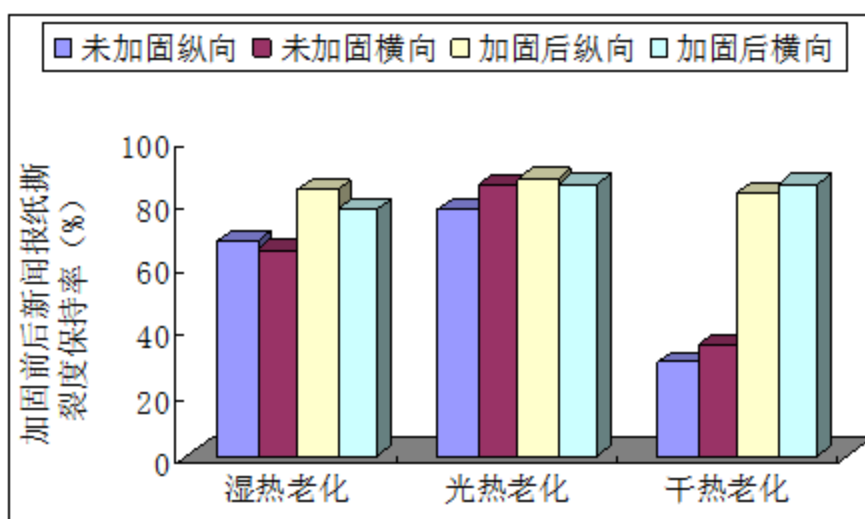
4) 新闻报纸各项物理性能保持率的比较:



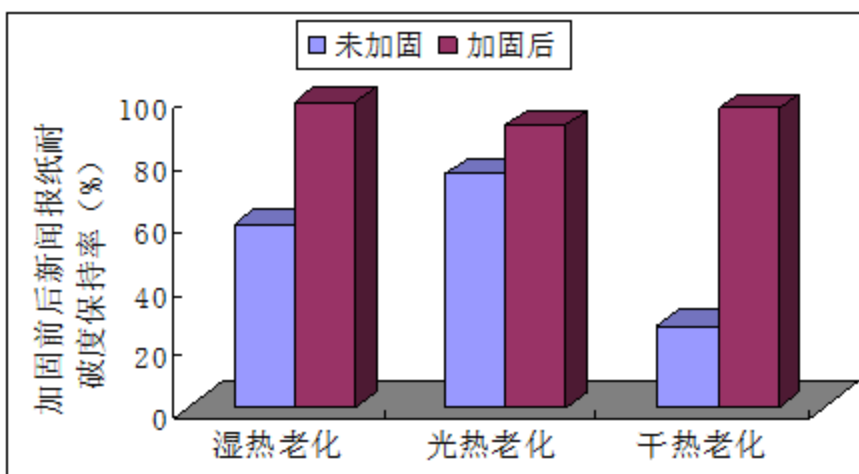
图十三 新闻报纸棉丝网加固前后耐折度保持率



图十四 新闻报纸棉丝网加固前后抗张强度保持率



图十五 新闻报纸棉丝网加固前后撕裂度保持率



图十六 新闻报纸棉丝网加固前后耐破度保持率

3.2 耐久性分析

纸的耐久性，是表明纸张保持其化学稳定性仍然像最初状态的时间长短。耐久性对于法律上的记录用纸、重要的证明文件用纸、艺术作品用纸以及有长期保存价值的图书用纸等是非常重要的。由于纸在其他方面的许多用途，要求纸连续几十年不发生严重的变质，或者这些纸经得起短时间的高温而品质不过分损失。对于耐久性重要的性质包括：抗张力的下降、耐折以及抗撕等。在室温条件下，纸中的纤维素是稳定的。随温度的升高，纸的老化速度会加快，纸中所含游离水的脱去，使纸张的干度增加，造成纸张脆化；纤维素的断裂，降

低了纤维素的强度。湿度增高会使纸张的理化性能迅速恶化，纤维素分子间氢键的断裂，使纸张的强度下降，韧性和弹性发生变化；纸张纤维素的水解降解加快，纤维素强度降低。臭氧的存在，使纸张纤维素分子发生氧化降解，其强度和耐老化性能明显降低。

3.2.1 兼容性能分析

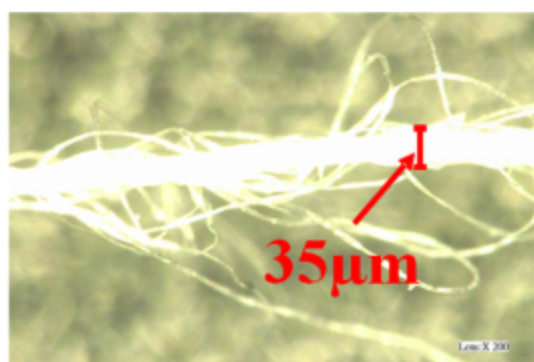
材料的一致性 & 匹配性。文物修复而添加的材料应与原有材料相似，也就是说采用的加固材料要与被修复的纸张材料有好的兼容性。纸张的主要成份为植物纤维，而本文采用的丝网是由纯棉线织成的，纯棉线为优质植物纤维，与纸张伸缩率一致，两者兼容性好。

3.2.2 粘结性能分析

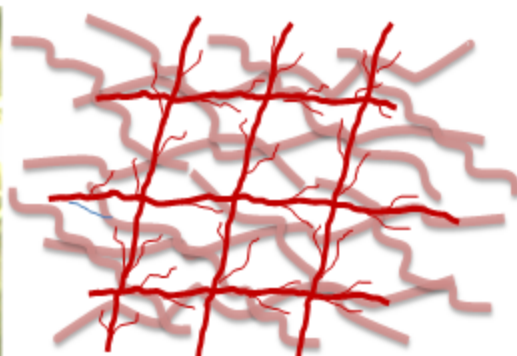
物质结构理论看，在物质的聚集状态中，分子间存在着一些较弱的吸附力，从分子运动理论看，在结合面中，粘合剂分子、丝网、纸张表面分子彼此都处于热运动中。分子之间互相扩散，并形成化学键。化学键的强度比物理吸附力高得多。从而使单丝树脂网与纸张获得较强的粘结力，而牢固地粘合在一起。

由于纸的表面具有多孔性，粘合剂分子聚乙烯醇缩丁醛呈半溶解、分散状，粘结时就可以通过纸张表面的毛细孔而渗透到纸张的内部，这种投描作用使之产生巨大的物理粘结力，同时亦增强了纤维分子间的作用力，从而提高纸的强度。天然纤维纸是极性材料，聚乙烯醇缩丁醛也是极性材料，可获得良好的粘结效果。此外，丝网用的是140支大约为 $35\mu\text{m}$ 直径的棉线，在显微镜下观察周边有丰富的毛羽，形成粘结钉键和钩键，这样，就形成了棉线与纸张之间以弯曲的路径

作紧密的接触，固化之后就像许多小钩子似地与被粘物连接在一起，有助于树脂粘结。如下图所示：



纯棉线显微镜下观察图片



棉纤维毛羽增强附着力

最后，纤维素的化学反应，天然纤维素中含有大量的羟基，而这些羟基具有醇类羟基的特性，故能与胶黏剂层等的表面羟基、缩丁醛基等发生化学反应，从而形成主价键结合，完成粘结。

3.2.3 耐久性分析

采用棉纤维丝网加固耐久性好。纯棉植物纤维相对于其它昆虫纤维而言，耐久性好，优质宣纸有“纸寿千年”之称，其原因之一就是纤维素含量高。而纯棉纤维的纤维素含量接近 100 %，为天然的最纯纤维素来源。

此外，将脱酸有机结合与加固工艺之中，脱酸后的纸张与纯棉纤维作为整体提高了纸张的耐久性。从加速老化系统评价的数据分析中得到了验证。

3.3 可逆性分析

由于文物修复是建立在文物历史及艺术研究上，并采用现代技术、材料进行的，而现代的认识限于各种原因，不一定能最恰当的恢复其历史真实性与原始风貌，特别是随着考古的深入，科技的发展以

及材料的进步，今后有可能会有更多的残片，更好的方法，更理想的材料来对文物进行更科学的修复，因此所有的修复应该是可逆的，这样在新修复时才易于除去原来的修复材料而不破坏原件，不影响今后的再修复，为再次修复保留更多的原件。可逆性原则还使得我们在修复中可以随时纠正错误的修复或添加新发现的部件。

本文提出的棉纤维丝网加固工艺，可以将加固后的纸张试样经过湿热老化、光热老化、干热老化后喷洒适量的无水乙醇，用圆头镊子可将棉丝网从纸张上剥离开，不会对文物产生任何二次破坏，具有很好的可逆性。此工艺既简单又安全可行。

4 修复保护工程案例

1929 年中国“济南惨案”历史事件史料加固效果



各莊長併同調查。經兩星期時間調查完畢。雖有調查專員。又有公安局協助。西南東北各莊長併同調查。只因濟南慘案發生後。日軍在濟南殘殺我無辜同胞及國民革命軍官兵士兵。屍體多被日軍用汽車載運黃河。死難姓名籍貫職業。未能盡詳。令人痛心。雖是事實上所不能。亦愚民之遺憾。附此數言。鄭重聲明。

郭 慶 民

死亡人口調查表

死者姓名	別	年歲	籍貫	職業	被害情形	死亡日期	屍體所在	死者家屬	備註
呼長華	男	四十一	山東	皮件工	五月九日午三時 身亡於黃河	五月九日	現在南門外	現有媳婦長子共八口	王長仲 說死
王德山	男	四十六	山東	木料商	五月九日午三時 被日軍殺死	五月九日	現葬城西南	現有媳婦長子共八口	王長仲 說死
郭德山	男	三十二	山東	木料商	五月九日午三時 被日軍殺死	五月九日	現葬城西南	現有媳婦長子共八口	王長仲 說死
郭德林	男	二十	山東	木料商	五月九日午三時 被日軍殺死	五月九日	現葬城西南	現有媳婦長子共八口	王長仲 說死

2017 年修復

1937 年中国发生“西安事变”历史事件报纸加固效果



修复前



1999 年修复

1942 年中国延安报纸修复加固效果



修复前



2009 年修复

国家档案局官网
www.saac.gov.cn

附件 1：工程范例：

1、唐-五代（618-960 年）佛经修复保护

2004 年，陕西省铜川市耀州区神德寺塔 4 层塔洞中发现唐-五代时期（618-960 年）珍贵佛经，被尘土、鸟粪污染，纸张糟朽、破损、皱褶，墨迹遇水易脱落。2010-2015 年，他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固技术”对其进行了加固、去污、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

2、明代（1368 年-1644 年）“黄氏家谱”修复保护

中国河南省档案馆征集到明代“黄氏家谱”，发生酸化、断裂、裂缝、成渣，颜料、墨迹遇水易脱落，铅白颜料“返铅”变黑。2015-2017 年，他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固技术”、“铅白颜料返铅病害治理技术”对其进行了加固、脱酸、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

3、陕西韩城普照寺明代（1368 年-1644 年）天花板绘画修复保护

陕西韩城普照寺明代（1368 年-1644 年）天花板绘画严重污染，天花板绘画严重污染，颜料遇水极易脱落，纸张严重酸化、糟朽。2012-2017 年，他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固技术”，对其进行了加固、脱酸、去污、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

4、陕西韩城大禹庙明代（1368 年-1644 年）天花板绘画修复保护

陕西韩城大禹庙明代（1368年-1644年）天花板绘画严重破损、污染，纸张严重酸化、糟朽。2012-2017年，他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固技术”，对其进行了加固、脱酸、去污、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

5、明（1368年-1644年）、清（1636年-1912年）两代圣旨、诏书、地契、书法、绘画修复保护

陕西历史博物馆、西安博物院、咸阳博物院、安康博物馆等二十多座博物馆藏明（1368年-1644年）、清（1636年-1912年）两代圣旨、诏书、地契、书法、绘画发生酸化、断裂、裂缝、成渣、污染、霉变。2002年至今，他和研究团队对其进行了加固、脱酸、去污、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

6、晚清（清代晚期）“汉阳钢铁厂”档案修复保护

湖北省档案馆藏中国晚清（清代晚期）创办东亚规模最大钢铁联合企业（汉阳钢铁厂、大冶铁矿、萍乡煤矿）档案，大多数文件使用当时从欧洲进口的铁盐墨水书写，字迹严重腐蚀脱落，文件格式等原始信息使用水溶性染料印制，遇水易洇化消失，修复难度很大。2008-2012年，他和研究团队用上述创新技术对其进行了加固、脱酸、修复，完整保护了档案原始信息。跟踪观察至今，保持稳定。

7、清代（1636年-1912年）以来黄河水利档案修复保护

黄河水利委员会黄河档案馆收藏自中国清代以来治理黄河档案史料，相当部分发生糟朽、脆化、破损，其字迹以水溶性染料书写，他和研究团队以“修复过程中易损毁档案加固”“纯棉网兼容性修

复与脱酸加固”等创新技术，对其进行了抢救修复保护，完整保护其历史原貌。

8、晚清造船工业硫酸纸底图修复保护

中国船舶集团公司技术档案馆收藏 1905—1930 年制造船舶的硫酸纸底图，发生了严重断裂、糟朽、成渣，其上有红墨水、蓝墨水标注字迹，处于濒危状态。他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固”、“纯棉网兼容性修复与脱酸加固”等创新技术，对其进行了抢救修复保护，完整保护了其原始信息。

9、中华民国（1911 年-1949 年）中国国民党档案修复保护

中国第二历史档案馆藏中华民国时期特藏档案，如孙中山先生手书“博爱”、“建国方略图”，廖仲恺、胡汉民、于右任等辛亥革命元老题词手稿，发生严重酸化、断裂、裂缝，墨迹遇水易脱落，手稿中相当部分以蓝墨水、红墨水、圆珠笔、复写纸书写，发生严重褪色、扩散，遇水易润化。2012-2017 年，他和研究团队应用“褪变档案字迹恢复与保护”、“修复过程中易损毁档案加固技术”，对其进行加固、脱酸、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

10、1936 年重大历史事件“西安事变”报纸修复保护

1936 年 12 月“西安事变”期间形成的报纸，发生了严重酸化、糟朽、成渣。1999 年，他和研究团队应用“天然超细纯棉网兼容性修复与脱酸加固”技术，对其进行了精细修复与脱酸加固，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

11、著名水利专家李仪祉主持修建陕西关中水利工程（1922-1935

年)档案修复保护

陕西省档案馆藏著名水利专家李仪祉于1922-1935年主持陕西关中“泾惠渠”、“渭惠渠”、“洛惠渠”等水利工程档案,纸张脆弱、破损、酥粉,相当部分文件字迹以水溶性染料书写或印刷,修复中遇水易润化。1993年至2018年,他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固技术”,对其进行加固、精细修复,再现原貌。跟踪观察至今,保持稳定。

12、西安实业家开办“孤儿教养院”(1919-1950年)档案修复保护

西安市档案馆藏西安著名实业家张子宜历经干旱、灾荒、战争等艰苦时期,收养、教育贫寒孤儿,开办“西安孤儿教养院”的档案,纸张脆弱、破损、酥粉,相当部分文件的字迹以水溶性染料书写或印刷,修复中遇水易润化。2007-2013年,他和研究团队应用“修复过程中易损毁档案加固技术”,对其进行加固、精细修复,再现原貌。跟踪观察至今,保持稳定。

13、南洋公学、交通大学(1896-1937年)档案修复保护

西安交通大学档案馆藏西安交通大学初创期(1896-1937年)档案,在第二次世界大战中国抗日战争期间,该大学由上海迁往重庆办学,该批档案由轮船沿长江运往重庆,因轮船事故,部分档案落入长江之中,使档案中以水溶性染料书写、印刷的字迹,遇水润化,纸张粘连。圆珠笔、复写纸、蓝墨水书写的字迹发生褪变。该批档案在抗日战争胜利后运回上海。1956年交通大学迁往西安,现藏西安交通

大学档案馆。2012 年至今，他和研究团队应用“褪变档案字迹恢复与保护”、“修复过程中易损毁档案加固技术”，对其进行精细修复，再现原貌。

14、1935-1947 年延安、中国共产党、陕甘宁边区政府部分档案修复保护

延安革命纪念馆藏中国共产党、陕甘宁边区政府、鲁迅艺术学院在抗日战争、解放战争期间形成的手稿、军事地图、理论书籍、报纸、期刊、歌谱、剧本、货币、邮票等，相当部分文件的字迹用红墨水、蓝墨水、圆珠笔、复写纸、油墨等书写或印刷，发生了严重褪色、扩散，修复中遇水易润化。纸张发生了酸化、糟朽、酥粉。自 1995 年起至今，他和研究团队应用“褪变档案字迹恢复与保护”、“修复过程中易损毁档案加固”“档案、图书无公害整体规模化脱酸与加固”、“酸化、糟朽双面字档案天然超细纯棉网兼容性修复与脱酸加固”等技术，对其进行加固、脱酸、精细修复，再现原貌。跟踪观察至今，保持稳定。

15、2008 年 5 月 12 日四川特大地震损毁档案修复保护

2008 年 5 月 12 日汶川地震，北川县档案馆整体倒塌，档案被埋，抢救出的档案被雨水、消毒液浸泡，蓝墨水、红墨水、圆珠笔、复写纸字迹发生严重褪色、扩散，纸张发生破损。他和研究团队应用“褪变档案字迹恢复与保护”、“修复过程中易损毁档案加固”、“酸化、糟朽双面字档案天然超细纯棉网兼容性修复与脱酸加固”等技术对其进行了显现加固，修复保护，再现原貌。

16、西安市 1930-1940 年地形图版修复保护

西安市城市建设档案馆收藏上世纪 30、40 年代绘制的城市地形图板，用蓝色、红色墨水标注，发生褪色模糊，遇水润化。1996-2000 年，他和研究团队用“褪色蓝墨水字迹显现加固剂”、“红墨水字迹加固剂”对其进行了恢复加固，完整再现原貌。

17、中国工农红军 1929 年报纸创刊号——“浪花”修复保护

2013 年，在福建省上杭县的一间寺庙内发现一张贴在墙上的报纸，为 1929 年发行的中国工农红军报纸创刊号，福建省古田会议纪念馆将贴有报纸的墙切割，运回纪念馆，但报纸处于濒危状态。2017 年，他和研究团队应用“薄荷醇”对其进行预加固，揭取墙皮，应用“修复过程中易损毁档案加固”、“褪变档案字迹恢复与保护”等技术对其进行精细修复，再现原貌。