

低氧气调技术在纸质档案虫、霉防治 与储藏保护中的应用研究 研究报告

《低氧气调技术在纸质档案虫、霉防治与储藏保护中的应用研究》课题组

2017年10月

国家档案局官网
WWW.SAAC.GOV.CN

我国纸质档案、图书等文献历经岁月侵蚀，损坏严重；其中，虫、霉是威胁档案安全保护与利用的重要因素。目前，档案虫害和长霉时有发生，尤其是地处南方的档案馆。常见的害虫包括毛衣鱼、烟草甲、竹蠹、黑皮蠹等约三十余种；文献报道仅从纸张中分离到的霉菌就达105属，266种之多。虫、霉对纸质档案的危害通常是渐进的、隐蔽的，在初始阶段肉眼不易发现，而一旦发现，问题往往已经比较严重，有些损失是不可逆的。

随着国家重点档案抢救保护工程的推进，为实现纸质档案原件完好保存和数字化工作的顺利开展，急需加强档案预防性保护和治理性保护，其中虫、霉防治是保护工作的重要工作。低氧气调保护技术符合“预防性保护”设计理念，环保、高效，逐渐成为当前档案虫、霉防治技术的研究热点。

一、研究背景

1、国内外发展现状

危害档案微生物主要是霉菌。霉菌可在档案、图书、博物馆库房墙壁、纸张、胶片、磁记录、装具等材料上生长发育繁殖，在生长的同时危害各种材料。各种档案制成材料霉变速度是不一样的，有的快一些，有的慢，速度越快，档案制成材料分解越快，档案的寿命下降则越快。霉菌在生长发育繁殖时需要从外界吸收营养，分解档案制成材料，降低或改变档案载体的性能。档案纸质纤维、浆糊和装订线，胶片中的明胶、磁记录材料的聚氨酯等都是霉菌可以吸收利用的营养

物质。微生物在摄取养份繁衍的同时，破坏了档案制成材料。青霉、曲霉属种类几乎在一切类型的基质上生长，在湿热条件下能引起纸张、皮革等多种材料严重生霉变质。黑曲霉、球毛壳、绿色木霉等种类具有多种活性强大的酶系，能分解纸张中的纤维素。档案霉菌在代谢中分泌的各种酶对档案制成材料进行催化降解，使它们的化学键断裂，如，纸张长霉后，其主要成分——纤维素由长链变成短链，霉菌以此为营养，生长发育繁殖，从而破坏了纸质成分，降低其性能，严重者，纸张糟朽，无法利用。

档案霉菌在生长过程中产生的有机酸对档案造成的降解破坏，是霉菌危害档案的方式之一。档案霉菌在降解档案材料的同时，还生成多种有机酸，如草酸、乳酸、丁酸、柠檬酸、葡萄糖酸等。此外，档案霉菌细胞在呼吸时也能产生一些有机酸，如甲酸、乙酸、乳酸、琥珀酸等。这些有机酸长期积累在档案上，会使档案酸性增加。

档案害虫严重危害档案，轻则呈孔洞，重则千疮百孔，污迹斑斑，缺边少角，残缺不全，更有甚者将整箱档案变为虫巢。纸质档案、纸质档案用品、裱糊用的淀粉浆糊是档案害虫的良好食物。有些害虫在档案中产卵，在档案中孵化后，幼虫在从档案中出来的过程中，咬损档案。有些害虫污染档案，覆盖字迹，严重影响利用。

档案害虫对档案的危害是触目惊心的。南方某些省由于地理环境因素，较易发生虫害，各级档案部门都将防虫和杀虫作为一项重要的工作，常抓不懈。大部分档案害虫对档案的破坏作用是毁灭性的，它既破坏纸张、又影响字迹的阅读，经害虫侵蚀后，档案很难

进行修复。害虫的破坏作用有一量变过程。首先，害虫将纸张蛀成直径不等的圆形孔洞，随着时间的延长，食量增加，蛀孔逐渐加深，甚至蛀破整卷档案，更有甚者将整箱档案变为虫巢。如：花斑皮蠹和白蚁对档案的侵蚀是从边缘向里进行的，使档案呈现不规则状缺损，或由表及里层层蛀蚀。

档案有害生物时有发生，如果在管理上稍有疏忽或失控，有害生物则会滋生。预防与杀灭是防治有害生物的主要方式。预防在前，通过各种方法和措施创造不利于生物生长、发育繁殖的条件，预防有害生物的生长，如果方法得当、措施严格，就能有效地抑制生物的生长，避免其对档案带来的破坏。以预防为主，预防是长期的行为，对档案馆而言是主要措施，相比较灭菌和杀虫，预防措施更为主动，是制度、管理及技术的综合体现。灭菌和杀虫是对有害生物在档案上生长后采取的杀灭措施，阻止其继续生长，减小其对档案的破坏。灭菌和杀虫是预防措施失利后而迅速采取的补救措施。

档案库内有害生物防治的基本原则：其一，坚持“以防为主，防治结合”的防治指导思想，统筹兼顾，前端控制，系统防治。其二，所用防治材料，应具备环境、生态友好性，对人、畜以及其它生物无毒害作用，不污染环境，不破坏生态系统和生态平衡。其三，防治效率高，操作简便，不损坏档案制成材料。

用气调技术来防治有害生物即是调节保管环境的空气组分比例，用氮气或二氧化碳取代环境中的氧气，使氧气含量下降至一定程度，密闭保存，而达到防治有害生物的作用。

大多数档案霉菌属于好氧性微生物,氧气是档案害虫生存必不可少的条件,必须在有氧条件下才能正常生长、发育、繁殖。如果绝氧或少氧,则会抑制它们的正常呼吸,从而引起生理紊乱,影响生长发育,长期的绝氧环境还可导致其死亡。所以利用氮气或二氧化碳气体取代部分或全部保管环境中的氧气,可以明显阻止或抑制档案霉菌和害虫的生长。此方法对预防档案霉菌、害虫生长有较好的效果,而且对档案纸张和字迹均无不良影响。可见,调节保管环境的空气组分比例,将档案进行绝氧或少氧保存,可较好地实现档案有害生物的防治。此种方法可对带有档案装具的档案单独处理,也可批量处理档案。气调防治方法具有简便,无毒排放,不污染环境,不会使有害生物产生抗性,不对人体造成危害,防治处理工艺流程耗能少等特点,一次处理可以起到防治霉菌和害虫的双重作用,适合于档案的批量处理。

低氧气调保护技术在国内档案、图书等珍贵藏品的保护中得到了广泛应用。梵蒂冈 30000m³大型低氧库房;大英图书馆 6000m³全封闭的低氧藏书楼;“清明上河图”等均采用氮气保护技术进行长期储藏;美国国家档案馆的珍藏品“独立宣言”密封于充满惰性氮气的保护展示箱里,《权利法案》和美国宪法也是用类似低氧保存技术进行保护。北京房山云居寺“石经回藏”,是我国应用氮气库技术实施低氧环境下文物保护的具有重大影响的典型例证。上海市档案馆研制成功了真空充氮杀虫设备,应用专门程序对真空容器进行抽真空、充氮,以达到害虫致死的技术要求。试验结果表明:对黑毛皮蠹、花斑皮蠹、档案窃蠹等主要档案害虫的卵、幼虫、蛹和成虫杀灭效果为 100%;

在相同真空充氮密闭条件下，不同虫种的耐受力有所差异，花斑皮蠹耐受力较强，其余次之。

目前，常用的气调技术（低氧技术）包括化学除氧剂除氧、真空充氮及常压低氧等。其中，化学除氧剂使用过程中面临有害物质挥发问题，容易对纸张造成二次污染，还需要定期更换，使用繁琐；真空充氮技术是先抽真空，减少氧气含量，氧气含量为0.2%左右（真空度100360Pa），再充入氮气或二氧化碳气体，密闭60或72小时，通过降低氧气含量，增加压力降低有害生物的生长发育，从而减少其对档案的危害。利用真空泵将杀虫容器内的空气抽出，真空度越高，含氧量越少，有害生物防治效果则越好。但真空充氮技术成本高，对设备要求高，处理量小，不适用于脆弱或有腔体的藏品，真空度高会导致纸张变形，因此，其推广应用具有局限性。

相对于其他低氧形式，常压低氧具有安全可靠、应用范围广、成本低等优点。该技术是以气密围护结构为基础，用洁净氮气作为保护气体，把储藏空间中原有气体置换出去，通过智能检控设备长期维持空间中氧含量、湿度等稳定，以破坏虫、霉赖以生存的环境，达到杀虫、抑菌以及长期环境调控，实现预防性保护的目标。

低氧气调保护技术与高精密检测、监控等技术紧密结合，能有效杀虫、抑菌，具有环保、无残留、对档案无伤害等优点。为确保本课题的顺利实施，将低氧气调技术应用于档案等保护领域，需要开展虫害防治、霉菌抑制效果及该技术对档案制成材料性能影响的研究。

2、常压低氧气调杀虫应用研究

美国盖蒂研究所 (GCI) 在害虫附着基质 (如纸张、丝织品、木器等文物) 的最佳储藏环境将氧含量控制在 0.5% 以下, 温度控制在 22~30℃, 相对湿度主要控制在 40~65% 范围内, 1~7 天即可 100% 杀灭试验害虫。具体试验数据见表 1。

表 1 美国盖蒂研究所氮气杀虫试验研究

虫害	氧气浓度 /%	温度 /℃	相对湿度 /%	杀虫时间 /h	文献来源
德国小蠊	≤0.1	25	55	24	Rust and Kennedy
毛衣鱼	≤0.1	25	40	48	Rust and Kennedy
黑地毯甲虫	0.03	30	40	72	Valentin
书甲虫	0.03	30	40	72	Valentin
红缘皮蠹	≤0.1	25	55	72	Rust and Kennedy
果蝇	0.5	30	75	80	Valentin and preusser
杂拟谷盗	≤0.1	25	55	96	Rust and Kennedy
红斑皮蠹	≤0.1	25	55	120	Rust and Kennedy
粉蠹	≤0.1	25	55	120	Rust and Kennedy
烟草甲	0.03	30	40	144	Valentin
药材甲虫	0.42	30	65-70	168	Valentin
袋衣蛾	0.42	30	65-70	168	Gilberg

此外, 通过参考文献了解到, 国家档案局科学技术研究所、国家图书馆、上海档案馆等也展开过低氧杀虫技术的相关研究。

表 2 部分单位应用低氧气调技术对档案常见害虫杀灭试验研究

研究单位	害虫种类	试验条件	试验结论
上海档案馆	黑毛皮蠹、花斑皮蠹、档案窃蠹	低氧环境(氧含量不明确)	卵、幼虫、蛹和成虫的杀灭效果为 100%
国家档案局档案科学技术研究所	黑毛皮蠹幼虫、花斑皮蠹幼虫	氧含量 ≤0.2%	处理 72 小时, 害虫的杀灭率达 100%

安徽大学管理学院	烟草甲和毛衣鱼	氧含量控制在0.05%	毛衣鱼杀灭时间：48~72h 烟草甲杀灭时间：72~96h
----------	---------	-------------	----------------------------------

3、相关规范

档案行业标准《特藏档案库基本要求》（DA/T 55-2014）中定义“低氧贮藏”为将贮藏环境中氧气的体积百分比降至较低水平的贮藏方式。同时要求“对于入选《中国档案文献遗产名录》、《世界记忆名录》等的档案，应保存于密闭的微环境中，温度为 $16\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $45\pm 3\%$ ，并采取避光、低氧贮藏等措施。”《档案虫霉防治一般规则》（DA/T 35-2017）也对真空充氮保存档案有所涉及。

上述常压低氧气调杀虫试验研究及相关规范为本课题的研究（如氧含量、湿度值选取及作用时间等）提供了理论及实践依据。

二、技术原理与技术路线

1、核心技术

低氧气调系统是以气密围护结构为基础，以空气为原料制取洁净氮气，并作为保护气体将储藏空间中原有气体置换出去，通过智能检控设备创造低氧、恒湿环境，以破坏虫霉赖以生存的环境，达到杀虫抑菌或灭菌，以及长期预防性储藏保护的目。

低氧气调系统衍生出的系列产品包括一体式低氧气调储藏柜、“一拖五”型低氧气调储藏柜、低氧气调杀虫库房、低氧气调杀虫柜等。

低氧气调系统系列产品主要由气密围护结构、空压机、氮气发生装置、温湿度及氧检测装置、湿度调控装置、综合检控装置、安全报警装置等组成。系统运行时经空气压缩机压缩、干燥，并经过初级过滤去除90%的水、油、颗粒物，再经过四级过滤器除油、除水、除尘、

除异味和酸性气体后，送入中空纤维膜进行氮氧分离，得到的高纯净氮气依据程序通入相应的气密围护结构，根据氧传感器、湿度传感器检测信号进行氧含量及湿度的调节。

2、技术路线

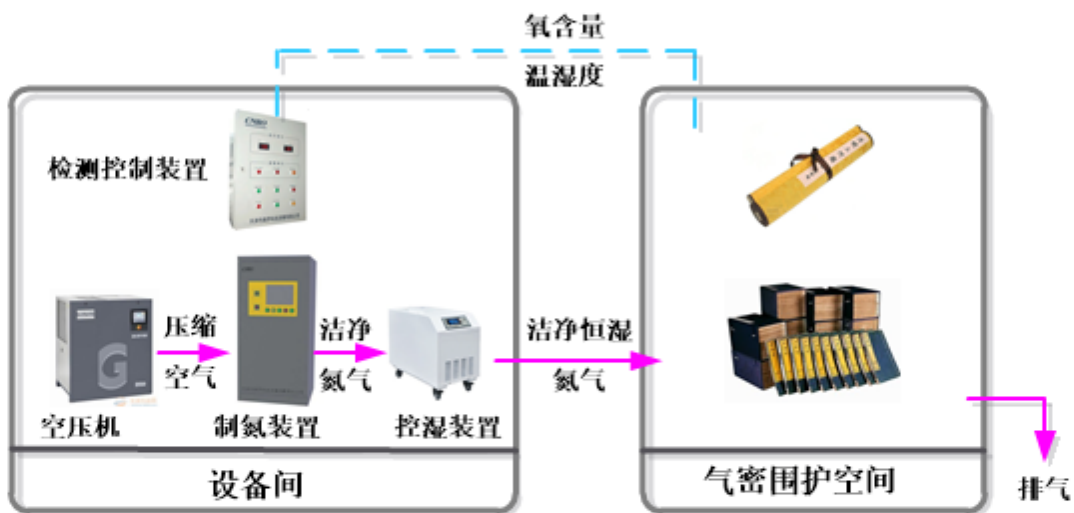


图1 系统工作流程图

1) 将遭受虫蛀、霉变的纸质档案等置于气密围护空间内，根据试验要求在触摸屏上设定所需的氧含量和相对湿度等参数；

2) 按下控制面板上的“启动”键后，系统依程序控制空压机、制氮、加湿、气体检测和显示控制单元启动工作；

3) 气密围护空间内气体逐渐被洁净、湿度适宜的氮气替代，当空间内氮气纯度和湿度到达设定值时，装置自动停机；

4) 显示控制单元根据程序定期自动对气密围护空间内气体进行采样分析。当空间内气体氧含量或相对湿度超出设定范围时，显示控制单元将控制系统启动，对空间内的氧含量或湿度进行补偿调节，使其指标维持在设定范围内；

5) 根据防治的需求,也可选配远程监控及智能监控系统。

3、主要技术指标

(1) 主要性能指标

最高氮气纯度: $\geq 99.9\%$;
 O_2 含量范围: 0.1%~21% (可调);
湿度调节范围: 10%~65%RH (20℃);
换气率: $\leq 0.02/d$;
供电电源: AC380V/50Hz, AC220V/50Hz。

(2) 主要功能指标

一键式自动控制功能;
充氮杀虫抑菌及预防性储藏保护双重功能;
具有参数设定、修改、查询等功能;
湿度和氧含量参数的监测与自动调控功能;
设备故障报警和更换提示功能;
系统远程监控功能(选配)。

三、创新与突破

1、配套设备技术创新与突破

低氧气调系统的关键技术是要保证设备的气密性,尽可能少地补充氮气,并能维持氧浓度。本项目在制氮控湿与综合检控系统的基础上,结合档案馆、图书馆等使用需求,创新突破了多种形态的气密围护结构、自动控制技术以及模块化设计等问题,为“~~常压低氧~~气调技术进行虫、霉防治与储藏保存”课题研究提供了保障,成为档案馆、

图书馆等单位珍贵藏品的虫、霉防治与储藏保存提供了安全、可靠保障，具有应用推广价值。具体表现如下：

(1) 新型气密围护结构

新型气密围护结构根据纸质档案数量、种类的不同，不同档案馆的实际需求设计成多种形式，包括柔性气密帐、气密袋，或者刚性气密柜、气密库房等。辅以特殊气密处理工艺，满足不同批量、不同场所等藏品的虫、霉防治与预防性保护需求，可实现 0.02~100m³ 之间围护结构的低氧杀虫抑菌需求。

围护结构良好的气密性不仅能够减少储藏空间与外部大气的交换，长期维持空间内气调环境的稳定性，防止档案纸张氧化劣化；也可以减少系统设备频繁启动，降低运行成本，延长设备使用寿命。

以天津博物馆刚性低氧杀虫室为例，杀虫室内的氧含量调控至设定值之后，系统停机并静态放置 16 天，氧含量日均变化量为 0.03%；实际换气率约 0.002d⁻¹，换气率低于 0.02d⁻¹ 的设计要求，远远优于国外换气率 <0.1d⁻¹ 的指标。1~2 周开机调控一次，即可将气密空间内的氧含量长时间维持在 0.1%~0.5% 范围内，有助于控制保存环境，维持存储条件的稳定，且简化操作。

以南京栖霞寺经书杀虫用柔性气密袋为例，选用氧气日均透过量小于万分之三的高阻隔膜，月均氧含量变化小于千分之二，能满足藏品的杀虫需要，无需频繁充氮置换，操作简单。

(2) 设备自动控制技术研究

复杂的操作程序和流程给用户带来很大的不便，尤其是在操作人

员流动比较大的情况下，用户更加迫切要求装置的操作简单、明了、易学，这就对装置的全自动控制技术提出了更高的要求。

配套设备均采用一键式控制技术，即由检测、控制和执行三块组成，实现了开机/关机、空压机控制、加湿控制、氮气纯度选择及故障报警监测等工作自动完成。用户使用时仅需进行简单的参数设定工作，系统依程序自动运行，可对多个空间内的参数进行独立稳定调控，无需人工参与，大大减少了使用人员的工作。

(3) 模块化设计增加产品系列

将不同氮气输出纯度的氮气发生装置、不同规格的气密容器、不同精度的检测单元等作为模块要素，将模块接口部位的结构、尺寸和参数标准化，可根据客户实际需求进行模块组合，增加产品系列，提高产品质量，提升客户满意度。

(4) 设备成本降低利于推广应用

相较于化学除氧剂除氧、真空充氮技术，常压低氧气调系统成本低，利于博物馆、档案馆的推广应用。

化学除氧剂使用过程中面临有害物质挥发问题，容易对纸张造成二次污染，还需要定期更换，使用繁琐，运营成本高。

真空充氮技术是先抽真空，减少氧含量，再充入氮气，通过降低氧含量，增加压力降低有害生物的生长发育，从而减少其对档案的危害。真空充氮技术成本高，对围护结构强度要求高，处理量小，其推广应用具有局限性。

而常压低氧气调系统对围护结构强度要求低，处理量大，可持续

使用，且不对档案造成二次污染，可谓是一劳永逸，维护成本低，利于推广。

2、科研形式的创新与突破

(1) 融合密封、低氧等多种专利技术，应用于虫、霉防治中，并开展系统的试验性研究

本项目在不影响档案纸张、字迹材料性能改变的前提下，探索低氧气调杀虫、抑菌效果的最佳氧含量等参数，为低氧杀虫抑菌提供理论参考。本项目自主研发的不同形式的高气密围护结构、专利技术及其配套的低氧气调杀虫、抑菌系统，在使用此技术后，不仅通过试验研究了该技术的杀虫、抑菌效果，还对档案纸张、字迹性能做了系统测试，为使用此技术提供理论依据。

(2) 通过设计创新，研制多种形式、多种功能的产品，满足不同规模虫、霉防治及预防性储藏保护需求

本项目针对不同规模档案馆档案杀虫抑菌需求，研发出低氧柜、低氧库房、柔性袋或柔性帐篷等，配合高纯度制氮检控装置、便携式抽气充氮装置或移动式低氧气体工作站等，通过自制气或外供气等多种方式既可实现小批量的杀虫、抑菌，也可实现大批量集中低氧气调杀虫抑菌，如藏品入库前、新馆搬迁时或虫害繁殖季等。此外，本项目亦可实现档案长期低氧预防性储藏保护，达到“防虫、防霉、防酸化、防氧化”等作用。

四、研究内容

本课题采用控制变量法、试验研究法，通过配套的系统设备对气

密围护空间内的氧含量及湿度进行实时监控,考察常压低氧环境对虫、霉防治效果以及低氧对纸张物理性能的影响研究。试验主要包括以下内容:

1、试验一:常压低氧气调技术杀虫效果研究

(1) 试验方法

在 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 30%~40%的试验条件下,将放有花斑皮蠹幼虫及饵料的书籍分别置于空气和不同氧含量(0.1%、1.0%、3.0%、5.0%)的气密杀虫空间内,定期观察害虫的存活情况,研究不同氧含量条件下害虫致死机理;探索低氧杀虫的最佳氧含量。

(2) 试验结论

试验结果表明,常氧环境下存放的花斑皮蠹幼虫体型肥硕,趴在书籍纸张上;氧含量 $\geq 5\%$ 时,对害虫无明显抑制或杀灭作用;当氧含量 $\leq 3\%$ 时,能够抑制害虫的生长发育,3个月可杀虫;当氧含量 $\leq 1\%$ 时,能够在2个月内杀灭害虫;当氧含量降至0.1%时,大约1~2周即可杀灭害虫。结果显示,随着氧含量的降低,杀虫时间明显缩短,杀虫效率明显提高。

(3) 应用推广情况

2017年6月,天津博物馆应用常压低氧技术在相对湿度 $45\pm 5\%$ 、温度 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$ 条件下,对黑毛皮蠹幼虫进行低氧杀虫试验研究。试验幼虫为5组(个体大小接近一致,每组10头);其中,对照组放置在天津博物馆杀虫室外的自然常氧环境下;两组置于30%低氧杀虫室内不同位置,为避免虫子爬出损伤文物,用布封住杯口,另外两组分

别置于柔性袋内，一组裸露，另一组置于书籍中；启动配套设备，分别对低氧杀虫室、柔性气密袋进行降氧置换，将氧含量降至0.1%。两天后，低氧柔性袋内裸露及书籍中的害虫体色变黄，触碰无蠕动；18天后低氧杀虫室内的幼虫取出，均用基恩士三维显微系统进行害虫生命体征和存活状态观察。

2016年底，采用便携式抽气充氮装置对南京栖霞寺遭受虫害蛀蚀的5000册经书分两批进行低氧气调杀虫处理。试验时值冬季，房间内无温控设施，试验期间室内温度约为10℃左右，氧含量控制在0.1%~1.0%范围内，每次试验持续2~3个月。杀虫结束后，均对经书进行清扫，并对经书中检出害虫的存活状态与数量进行统计，两次杀虫效率分别为95.4%、100%，温度对低氧气调杀虫效率有一定的影响。

2、试验二：常压低氧气调技术抑菌效果研究

(1) 试验研究

针对纸质档案上常见的毛霉、黑曲霉、木霉、杂色曲霉、米根霉、青霉等进行低氧抑菌与常氧对照试验研究。采用单独或组合方式，将上述霉菌浸染到棉签上，分别裸置在氧含量0.1%的低氧和自然常氧环境下，存放3天后取出，并接种在无菌PDA培养基上，于28℃的恒温培养箱内培养3天，经显微镜观察。常氧与低氧试验对比结果如下：

表 3 低氧气调技术抑菌效果影响

序号	常氧对照组		低氧试验组	
	菌种	霉菌数量	菌种	霉菌数量
样品 1	毛霉、黑曲霉	++++	无	无
样品 2	木霉	++	无	无
样品 3	杂色曲霉、黑曲霉	++++	黑曲霉	+
样品 4	黑曲霉	+	无	无
样品 5	毛霉	+	无	无
样品 6	毛霉	++++	无	无
样品 7	米根霉	++	无	无
样品 8	青霉	+	无	无
样品 9	杂色曲霉	++	杂色曲霉	+

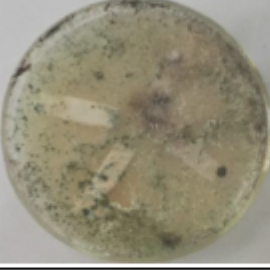

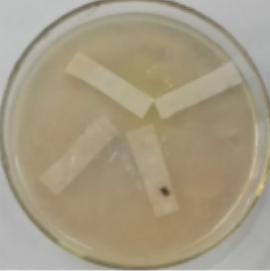
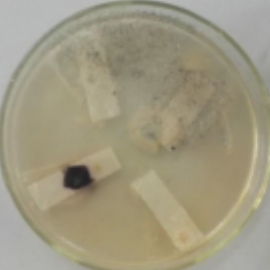
注：“+”表示霉菌数量。

由表 3 可以看出，带菌样品经常氧与低氧环境储藏，其菌落数量存在明显差异。对照组样品经数天培养后，均长出霉菌，霉菌繁殖情况由高到低顺序依次是毛霉、黑曲霉、杂色曲霉、木霉、米根霉、青霉。试验组样品经数天培养后，样品上的霉菌种类和数量明显下降。试验结果表明，低氧气调环境对霉菌有明显的抑制作用。

(2) 抑制霉菌的最佳氧含量参数试验

将实验室培养已经长霉的纸张和未浸染霉菌的样品分别置于空气和 5 个不同氧含量（0.05%、0.1%、0.5%、1.0%、2.0%）的气密储藏柜中，柜内相对湿度均控制在 50%±5% 范围内，3 天后，取出试样，拿回实验室对上述处理后的样品重新培养，按检测霉菌的方法检测低氧对霉菌的抑制效果。试验结果显示，在 0.5% 的氧含量下抑菌效果最佳。试验结果如下：

表 4 不同氧含量对霉菌的抑菌作用

氧含量	微生物鉴定	培养后霉菌生长情况
0.05%	黑根霉 4 级	
0.1%	黑根霉 1 级 黑曲霉 2 级 杂色曲霉 4 级	
0.5%	无	
1.0%	黑曲霉 1 级	
2.0%	黑根霉 2 级 黑曲霉 1 级 杂色曲霉 1 级	
常氧对照组	黑根霉 3 级 黑曲霉 2 级 青霉 2 级	

为便于观察，进行试验结果统计：

国家档案局官网
www.saac.gov.cn

表 5 不同氧含量对霉菌的抑菌效果对比

霉菌类别	试验氧含量					
	0.05%	0.1%	0.5%	1.0%	2.0%	21.0%
黑根霉	4 级	1 级	——	——	2 级	3 级
黑曲霉	——	2 级	——	1 级	1 级	2 级
杂色曲霉	——	4 级	——	——	1 级	——
青霉	——	——	——	——	——	2 级

(3) 不同湿度对霉菌抑制效果研究

将实验室培养已经长霉的纸张和未浸染霉菌的样品置于 4 个储藏柜内，并利用制氮检控装置将储藏柜内的氧含量均调节至 0.5%，通过控制加湿单元的工作状态，将柜内相对湿度分别调至 10%、20%、30%、40%，湿度调控回差范围±5%，3 天后，取出试样，拿回实验室对上述处理后的样品重新培养，按检测霉菌的方法检测低氧对霉菌的抑制效果。试验结果表明，当相对湿度≤30%时，有明显抑菌效果。

表 6 不同氧含量对霉菌的抑菌效果对比

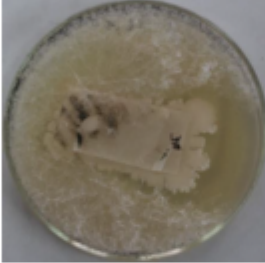

相对湿度 浸染霉菌试样	10%	20%	30%	40%
1	无	无	无	霉菌
2	无	无	无	无
3	无	无	无	一个木霉
4	无	无	无	无
5	无	无	无	无
6	无	无	无	无
未浸染霉菌的试样	无	无	无	霉菌

综上所述，适当的控制氧含量以及湿度能达到良好的抑菌效果。

(4) 模拟档案保存情况研究抑菌效果

在上述试验确定的较好氧含量 0.5%和相对湿度 30%的环境条件下，将霉菌浸染到纸张上，模拟档案馆实际保存情况，将染菌试样放置在厚度约 5cm 纸张中间，置于低氧环境中，5 天后，观察其对霉菌的抑制情况。试验结果如表 7 所示：

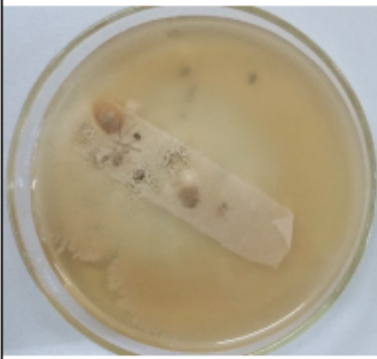
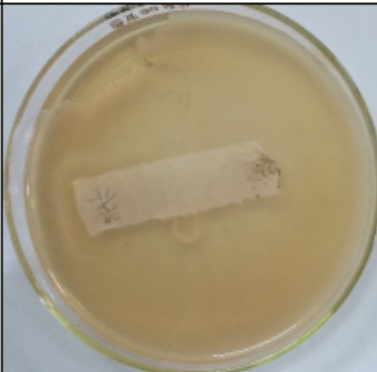
表 7 不同条件下模拟真实档案抑菌试验结果

试验持续时间	微生物鉴定	培养后霉菌生长情况
5 天 (0.5%O ₂ +30%RH)	黑根霉 4 级	
5 天 (0.5%O ₂ +30%RH)	黑根霉 3 级	

由表 7 可以看出，在模拟档案保存情况时，霉菌抑制效果不明显。由于浸染霉菌的档案试样置于 5cm 厚纸张中间，纸张较为致密，常压低氧依靠气体的扩散，短时间档案内部氧含量依旧偏高，是导致霉菌抑制效果不明显的主要原因。

为此，在上述试验的基础上，将霉菌浸染档案纸张上，依旧置于厚度约 5cm 厚的纸张中，将空间内的氧含量降至 0.1%，低氧环境作用时间延长至 21 天。试验结果如表 8 所示：

表 8 不同条件下模拟真实档案抑菌试验结果

试验持续时间	微生物鉴定	培养后霉菌生长情况
21 天 (0.1%O ₂ +30%RH, 染)	黑根霉 2 级 杂色曲霉 2 级	
21 天 (0.1%O ₂ +30%RH, 染)	黑根霉 1 级	

由表 7、8 对比可以看出，应用低氧气调技术较厚的档案、图书等进行抑菌处理时，应降低氧含量并延长低氧环境下的作用时间，有利于提高抑菌效果。

(5) 应用推广情况

2017 年 6~8 月，安国中小企业药业商会应用低氧气调装置以及柔性气密帐、柔性气密袋等，对当归、白术、桃仁等十余种中药材进行低氧气调养护储藏，并对部分已生虫的桔梗以及已霉变的中药材等进行杀虫抑菌处理。通过常氧与低氧环境下的对比试验，表明低氧气调技术不仅能够长期保持其性状，减缓中药材泛糖、出油等问题，还能达到抑制霉菌窒息害虫的目的。

3、试验三：常压低氧气调技术对纸张物理性能影响研究

(1) 低氧低湿环境对纸张物理性能的影响

以宣纸、书写纸作为试验纸张，将其置于4台常压低氧储藏柜（氧含量0.5%）内，并将各储藏柜内的相对湿度分别设置为10%、20%、30%、40%，相对湿度调控精度为±5%，于常温环境下进行低氧储藏3天。试验结束后按照国家档案局行业标准《文件用纸耐久性测试法》（DA/T 11-1994）对纸张抗张力、耐折度和白度等性能进行测试，并与处理前纸张进行对比。从纸张的耐折度来看，纸质档案储藏的湿度不宜低于30%RH。试验结果如下。

表9 不同湿度的低氧环境下储藏的纸张物理性能测试结果

物理性能	纸张类别		处理前	10%RH	20%RH	30%RH	40%RH
耐折度 /次	宣纸 (0.24N)	横	8	7	7	8	——
		纵	9	9	8	9	10
	书写纸 (0.75N)	横	24	22	22	21	23
		纵	31	30	31	31	32
抗张力 /N	宣纸 (0.24N)	横	1.24	1.18	1.20	1.21	1.21
		纵	1.99	1.86	1.95	1.96	1.90
	书写纸 (0.75N)	横	3.24	3.19	3.20	3.22	3.19
		纵	3.56	3.67	3.69	3.54	3.61
白度 /%	宣纸 (%)		52.11	52.12	52.10	52.10	52.10
	书写纸 (%)		49.15	49.16	49.16	49.16	49.16

此外，还将新闻纸、书写纸、宣纸等试样置于常氧与低氧（氧含量0.1%）环境下，放置3天，取出后对纸张的抗张力、耐折度、白度等分别进行测试，试验结果如表10所示。

表10 低氧气调技术对纸张耐久性的影响

纸张种类		抗张力 (KN)		耐折度 (次)		白度 (%)	
		试验	对照	试验	对照	试验	对照
新闻纸	横	3.752	3.744	13	13	56.32	56.33

	纵	5.342	5.451	18	17		
书写纸	横	2.781	2.776	11	10	67.11	67.10
	纵	3.782	3.765	15	15		
宣纸	横	1.789	1.785	5	5	65.16	65.14
	纵	1.964	1.963	8	7		

由表 10 可以看出,经低氧处理后,除新闻纸纵向外,试验组纸张的抗张力均略高于对照组,其变化幅度在 0.1%~2%之间,影响较小;而试验组与对照组的耐折度差别在 1 次以内,白度变化小于 0.02%。考虑到试验仪器精度及操作误差。结果表明,氮气环境下储藏的纸张性能与常氧环境下的基本一致或略有偏高,应用低氧气调技术进行储藏安全可靠。

(2) 低氧与常氧环境下纸张老化试验研究^[1]

为探索低氧环境储藏对纸张寿命的影响,国家图书馆古籍保护中心与森罗公司参照 GB/T464-2008《纸和纸板的干热加速老化》等标准,针对不同纸张的性能进行了老化试验研究,以单宣、桑皮纸、苦竹纸、字典纸和打字纸作为纸张样品,分别置于 105℃的通氮气(2%氧含量)、通空气以及常氧封闭环境下进行 72h 的热老化试验,相当于自然环境下存放 25 年。通过对纸张白度、撕裂度和冷抽 pH 值等进行测试,确定低氧气调环境对纸张物理性能的影响,结果如下。

[1]田周玲,龙莹,易晓辉等.保存环境对纸张性能的影响研究[J].2016,37(14):31~33.

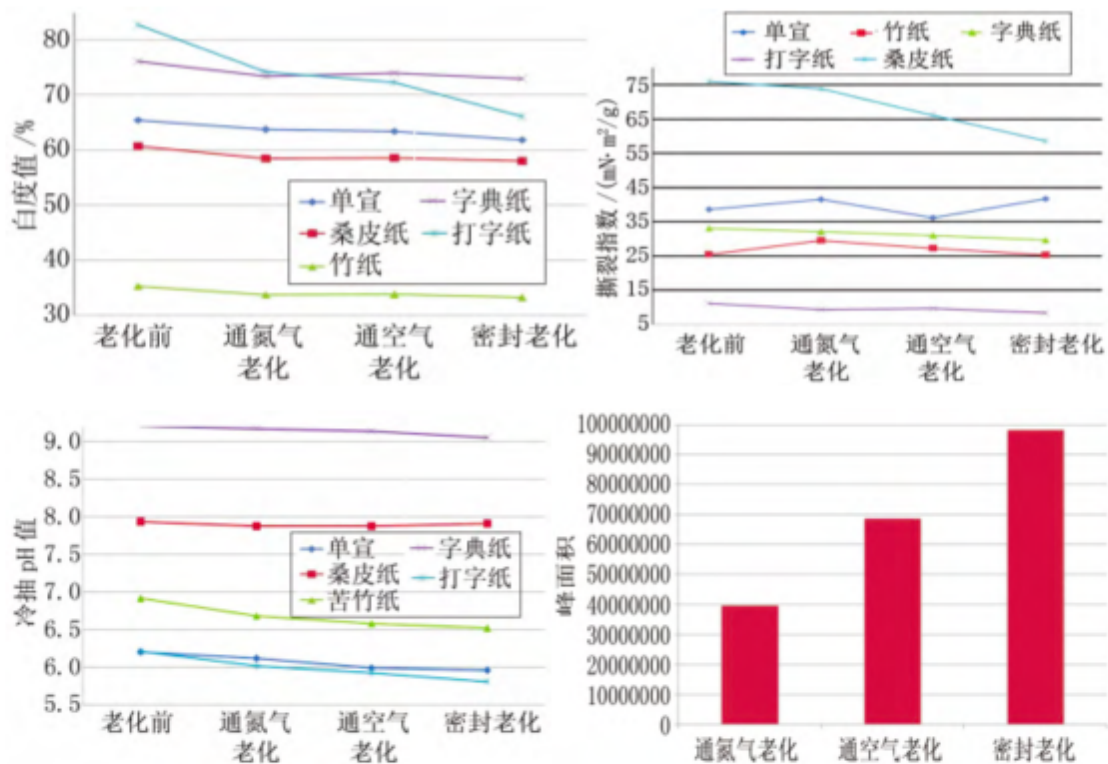


图2 不同纸张于常氧和低氧环境下老化后性能对比

由图2可以看出，不同纸张的三种老化效果存在明显差别，耐久性最差的打字纸的效果区分最明显，而耐久性最好的桑皮纸的效果区分最不明显；从综合对比结果来看，通氮气保存的纸张同比其他两种方式均有明显优势，通氮气的防老化效果最佳，其次是通空气、密封。

五、推广应用情况

目前，多数馆内珍藏的档案、书籍、丝织品等存在虫、霉侵害问题，亟需解决。本项目通过研究常压低氧环境的杀虫抑菌效果，确定较佳的氧含量、湿度等条件，为档案馆、图书馆、博物馆等单位的纸质文献虫、霉防治工作提供一种高效、安全可靠的新方法，为常压、低氧环境预防虫霉滋生、高效杀虫、抑菌、长期预防性储藏保护等工作的实施提供详实可靠的数据支撑。

低氧气调杀虫灭菌系统已成功应用于首都博物馆、南京栖霞寺、

中国丝绸博物馆、青海博物馆、天津博物馆、海南省博物馆、桂林博物馆、汕头博物馆、杭州工艺美术馆、中国海关博物馆等，用于纸质藏品、毛皮、丝织品、古尸等杀虫、抑菌。以南京栖霞寺为例，依据客户实际需求配置低氧气调杀虫装置，对寺内珍贵经书进行低氧充氮杀虫处理，取得了良好的杀虫效果，得到南京栖霞寺法师及档案研究专家的一致好评。同时，人性化的软件设计不仅提高了系统的自动化、智能化程度，还使用户使用更加便捷。此外，正在进行故宫博物院、中国军事博物馆等多家文物保护单位低氧气调杀虫灭菌系统设备的设计与研制工作。

低氧气调杀虫抑菌系统基于对纸张档案虫、霉防治效果及纸张物理性能的影响研究，解决对遭受虫、霉病害的档案进行高效杀虫抑菌及长期保存等问题，同时对入库前、搬迁时档案进行安全、无公害的虫、霉防治及长期预防性保护等问题提供解决途径。

该系统的成功研制将低氧气调技术理论研究转化为实用新型；突破了多项技术创新，将新型围护结构及气密处理工艺、气体调控、远程监控等技术成功应用于该系统；有效规避了化学熏蒸、低温冷冻等杀虫、抑菌方法存在的诸多问题，实现了环保、无污染防治，具有更广阔的应用前景和重要的技术推广价值。

参考文献:

1. 国家档案局档案科学技术研究所《新档案保护技术实用手册》编委会编著. 新档案保护技术实用手册. 北京: 中国文史出版社, 2013
2. 张美芳主编. 档案保护概论. 北京: 中国人民大学出版社, 2013
3. 刘家真主编. 文献遗产保护. 北京: 高等教育出版社, 2005
4. [日] 井上真由美. 微生物灾害及其防治技术. 上海: 上海科技出版社, 1983
5. 黄秀梨主编. 微生物学. 北京: 高等教育出版社, 1998
6. 陈华癸, 樊庆笙主编. 微生物学. 北京: 农业出版社, 1997
7. 邹国林等编著. 酶学. 湖北: 武汉大学出版社, 1997
8. 冯惠芬. 从档案霉菌的危害看预防的必要性. 机电兵船档案, 2004(3)
9. 张美芳. 臭氧对档案灭菌效果及对纸张物理性能影响的研究. 档案学研究, 2002(2)
10. 管晓卉, 杨璐. 从档案图书的保管谈霉菌的危害及防治. 档案与建设, 2004(11)
11. 时晓东. 档案的防火、防霉与空气净化. 档案学通讯, 2005(4)
12. 顾晓红. 档案防霉驱虫方法多. 档案与建设, 2005(8)
13. 陈菲. 档案馆库房生物污染与人体健康. 机电兵船档案, 2004(4)
14. 周玲, 龙堃, 易晓辉等. 保存环境对纸张性能的影响研究 [J]. 2016, 37(14): 31~33.
15. 李能树等. 档案馆库房中微生物的研究. 生物学杂志, 2005(9)
16. 姜志书. 档案库房害虫与霉菌的防治. 浙江档案, 2002(11)

17. 赵志杰等. 档案库房中霉菌对人体健康危害的调查及其防治. 山东档案, 2000(6)
18. 朱兰英. 档案霉菌的危害及其防治. 兰台世界, 2004(12)
19. 陶琴, 方志华. 档案霉菌防治技术研究现状. 机电兵船档案, 2004(3)
20. 刘仲敏等. 档案图书防霉条件研究及防霉剂的筛选. 微生物学通报, 2005(32)
21. 王景轩. 防治霉菌以防为主. 第三期全国城建档案馆馆长岗位培训班论文选
22. 杨业蓁等. 挥发性防霉剂在档案保护中的作用. 机电兵船档案. 2004(2)
23. 张媛媛. 几种常用档案防霉剂的防霉效果比较. 安徽科技学院学报, 2006(20)
24. 张乃娥, 李素琴. 甲醛灭菌杀虫方法尝试. 四川档案, 2000(6)
25. 李东霞. 胶片发霉的原因及防治办法. 感光科技, 2000(4)
26. 陶琴. 霉菌对档案的危害及其预防措施. 机电兵船档案, 2000(7)
27. 李焕荣等. 霉菌对新型档案字迹的影响. 档案学研究. 2003(1)
28. 陆文军. 霉菌与纸张耐久性的关系研究. 档案学通讯, 2003(2)
29. 尹慧道, 刘丽. 重新认识档案馆微生物灾害的严重性. 档案学通讯, 2004(2)
30. 陶琴等. 全国纸质档案霉菌种类与分布调查. 档案学研究, 1995(6)
31. 张美芳. 真空充氮杀虫灭菌方法的研究. 中国档案, 2000(6)

32. Lacey J. Allergy and allergic disease [M]. London : Black Science, 1997:858 - 883.
33. 李晓华. 试谈霉菌对文物的危害及防治[J]. 东南文化 1996.
34. White T J, Bruns T, S Lee, et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics [D] JJ Innis MA et al eds PCR protocols. San Diego: Academic Press, 1990: 315 -322.
35. Mary L E, Florian L M. The ecology of the fungal fox spots in a book published in 1854[J]. Restaurator, 1999,20:137-150.
36. DA/T 60—2017 《纸质档案真空充氮密封包装技术要求》