

影响纸质文物的五大环境因素

王 博



提要:从环境引起纸质文物发生病变的重要因素入手,综述纸质文物的特点。在平时,它们既怕高温、潮湿,同时又怕酸性有害气体及生物、霉变所带来的损坏。纸张文物是从植物的纤维,即由碳水化合物为基础而构成纤维素,自身的性质必然是异常的娇脆和易损。在保存这些纸质文物的过程中了解库房中的有害环境因素,避免文物在库房自然环境中受到的损坏,延长纸质文物藏品的寿命。

环境是文物赖以生存的基础,直接或间接的影响着文物的寿命与价值。文物是不可再生的,库房环境是诸多博物馆面临的共同问题。库房环境达不到要求也是纸质文物受损的重要原因。中国是纸的发源地,是我国古代四大发明之一,最先受惠于纸的应用。由于纸本书籍的迅速增加,使中国文教事业空前发展,同时也为记录人类历史活动和发展轨迹提供了极大的方便。在中世纪漫长的岁月里,已使得中国在科学文化方面居于世界领先地位。对于研究人类社会的进步和科学技术的发展有着十分重要的价值。纸还是中国特有的书法和绘画作品的载体,纸的使用大大促进了这两门艺术的发展。书画家可以在柔韧受墨的纸上任意挥笔,完成艺术杰作,形成了中国丰富的纸文化遗产。纸质文物承载着我国古代先人智慧的结晶,是我们认识和研究古文化的重要资料,因此对它的妥善保存势在必行。

纸是由纸制浆处理的植物纤维的水悬浮液通过脱水、压榨和烘干而形成的片状纤维制品。由于纸张的主要原料是纤维素、在制纸过程中再加入动物胶、淀粉、矾和树脂等,加上装订裱衬所用的各种浆糊,这些物质在一定的环境条件下都是霉菌和昆虫发育所需的食物,不仅脆弱,而且不稳定,容易分解。用于造纸的植物纤维是植物体内的一种厚壁细胞,形状细而长,两端呈纺锤形,胞壁是空的。这种厚壁细胞主要含纤维素、木质素和半纤维素,其次还含有少量的果胶、有机酸、酯和微量无机盐等。其中纤维素占 2/3 以上,造纸

需要纤维素和半纤维素,而木质素和果胶、有机酸、酯和微量无机盐则是造纸不需要的成份,因为它们会对纸造成危害,影响纸张品质。所以,造纸过程中需尽可能将这些有害物去除,但无论采取什么工艺,纸张中还是会存在少量的木质素、果胶、有机酸、酯和无机盐等有害成份。不同植物的纤维所含木质素的分子,结构不同。例如针叶树纤维中所含的木质素,由“愈创木基”单体聚合而成,而阔叶树木质素分子则是由“紫丁香基”单体聚合而成的高分子化合物。木质素的化学结构非常复杂,详细的化学结构至今尚未搞清楚。木质素分子中含有酚羟基,具有微酸性,易受氧化而发黄,它的酸性也能使纸张发黄变脆,因而木质素对纸张有着较强的破坏作用,造纸原料中残留此种物质越多,纸张的品质越差。果胶、有机酸和酯在纸张保存过程中,受外界条件的影响产生酸化物,使纤维降解,也是造成纸张变质的因素之一。纸质文物一般是指书籍、档案、文献、书画、碑帖、报纸等纸质品,一般都置于库房保管或放在陈列室供人参观浏览。它们暴露在空气中,如果周围环境发生大的波动,这些有机材料的反应也格外剧烈其寿命和实用价值就会遭到破坏。合适的温度和湿度是保存纸质文物的重要条件,但是由于气候条件的变化,生态环境的影响,使纸质文物保存环境不尽人意,在某些情况下,对纸质文物的寿命影响很大。由于博物馆类型、馆址、藏品性质的不同,对库房建筑的要求也各有差异。中国南方潮湿多雨,库房的防潮、防虫要求显得突出;北方气候干燥,日照时间

长,库房的防尘、防晒和防火要求更为重要。不同质地藏品(如青铜器、陶瓷、织品、书画、动植物和矿物标本等),对库房的温度和湿度的要求也不尽一致。纸质文物是库房藏品中最为脆弱的,如果库房环境不稳定,有的未及陈列而长期保存在库房中的纸质文物,也会因外界环境的影响发生变脆、酥粉、变黄以及褪色等现象。所以如何做好纸质文物的环境保护工作,是从事这项工作的人们的当务之急。

通常引起纸质文物保存变质的环境因素主要有:

一、大气污染

随着人类对大气污染的逐渐加剧。空气中的有害气体种类和含量急剧增加,大气中不同的有害气体经氧化作用,造成纸质文物的变黄和变脆。所以,防止纸张的酸化和氧化是延长保存寿命的主要因素。使纸张原有的结构遭到破坏,机械强度减弱,并使字迹褪色,越来越受到潜在的威胁。但是,大气环境不可能在短时间内达到非常理想的水平,这就需要博物馆在储藏的小环境上下工夫。目前,最常见的对纸质文物危害较大的有害气体主要有:第一种为硫的氧化物及硫化物。硫的氧化物有二氧化硫(SO_2)和三氧化硫(SO_3)。二氧化硫是一种无色的有刺激性臭味的气体。常温下每升水能溶解40升的二氧化硫,二氧化硫的水溶液即为亚硫酸。二氧化硫在光照及粉尘的作用下与氧反应生成三氧化硫,三氧化硫又极易与水结合成硫酸。由二氧化硫生成的亚硫酸及其二次污染物三氧化硫生成的硫酸都是纸张纤维素酸性水解的催化剂。二氧化硫来源于各种含硫酸燃料的燃烧,如冶炼厂、热电厂、硫酸厂等产生二氧化硫,且不可避免的要向空气中排放。由此在这些工厂周围,空气中二氧化硫浓度很容易超过大气环境标准。空气污染中的硫化物主要是指硫化氢(H_2S)。硫化氢是一种无色恶臭的有毒气体,溶于水形成氢硫酸。此外,硫化氢在空气中被氧化,生成二次污染物二氧化硫,从而增加了空气中二氧化硫的浓度。硫化氢来源于工业废气、污水池等处。腐败的蛋白质也产生硫化氢。第二种为氮的氧化物。氮的氧化物有很多种。其中对纸

质文物直接造成危害的是二氧化氮(NO_2)。二氧化氮为棕红色气体,具有刺激性气味并有毒,有很强的氧化性。其氧化性可加速纸张纤维素氧化分解。且使墨迹褪色。二氧化氮与水反应生成硝酸,而硝酸具有强酸性及强氧化性。因此说二氧化氮既是酸性有害气体,又是氧化性有害气体。二氧化氮来源于含氮燃料的燃烧和工业生成。如制造和使用硝酸的工厂及车辆排出的废气等。第三种为卤素及其化合物。卤素主要指氯气(Cl_2)。氯气为黄绿色气体。有剧烈窒息性臭味和毒性。干燥氯气在低温下不活泼,但能与水反应生成盐酸和次氯酸。而次氯酸很不稳定,易分解生成原子太氧。原子太氧具有强氧化性。由于氯气与水作用产生物的酸性氧化性,所以氯气同二氧化氮一样,既有酸性有害气体,又有氧化性有害气体。卤素化合物指氯化氢(HCl),无色气体,有刺激性气味,易溶于水形成盐酸。氯气来源于碱工业及用氯气作原料的化工厂。氯化氢主要来源于盐酸制造厂及盐酸做原料的工厂。第四种为碳的氧化物。碳氧化物有一氧化碳(CO)和二氧化碳(CO_2)。一氧化碳无色无味,无刺激性有毒气体,对人体有害。但对纸张无不良影响。而二氧化碳则为无色、无毒、无味、弱酸性气体。空气中含量比较高,二氧化碳溶于水生成碳酸,碳酸是一种弱酸。在无其他污染的环境下,在短时间内二氧化碳对纸张含酸量的影响可能微乎其微,但如果长期被纸张吸收就能使纸张酸度逐渐增加,对纸张的破坏性不可忽略。碳氧化物来源于动植物呼吸及可燃性物质的燃烧。上述有害气体有一个共同的特性,就是与水作用都有酸生成。研究证明,酸是促使纸张老化的重要因素,酸对纸张纤维的破坏主要是酸性水解。具有氧化性的有害气体还促使纸张纤维素氧化,而导致纸张强度拉力下降,使纸张墨迹氧化褪色。库房中空气和纸张都含有一定量水分,当湿度增加时,由于纸张纤维分子羟基的亲水性及纸张表面存在的毛细管的较强吸湿性,纸张含水量也随之升高。而此状态下的纸张易吸附能溶于水的有害气体,致使有害气体转化为酸的量增加。二氧化硫、硫化氢、三氧化硫、二氧化氮、二氧化碳、氯气及氯化氢都

易溶于水,因而易被湿度大的纸张吸收,随着库房湿度增大,纸张含水量也增加,吸附有害气体量也随之增多,致使纸张酸度增大。有害气体中的二氧化氮、三氧化硫、氯气及氯化氢遇水分别生成硝酸、硫酸、盐酸,这三种强酸具有较大的电离度。它们在纤维素酸性水解中,催化效率高作用强烈,对纸质文物的危害尤其严重。由于纸张各部位吸湿量不均匀,直接接触空气的边缘部位吸水量多,极易吸附有害气体,故其酸度大。因而纤维素的水解机率也较大,致使接触空气部位首先发黄发脆。从以上可知,有害气体与湿度共同作用可加速纤维素酸性水解,对纸张的耐久性有很大影响,而且纸质库房湿度越大,纸张含水量也增大,有害气体对纸质文物的损害越严重。为阻止或减缓有害气体的危害,可采取以下几项措施:首先,控制库房湿度在适宜范围。因为要考虑到纸张本身的特性。湿度太低纸张脱湿,导致纸张发脆,容易折断、撕裂;又因大多数种类的纸张理想含水量6%~7%,大约相当于50%RH的相对湿度。控制湿度的方法很多,开窗通风去湿、利用排气扇空调机械调温去湿或药物去湿等方法。其次,要注意减轻或杜绝有害气体的侵袭。具体办法:一是选择远离污染区的地区或在污染区的上风建馆,尽量避开工厂或学生食堂等易产生有害气体的单位。二是档案库房改造成密闭的环境,对珍贵纸质文物采取装柜保存。三是安装通风设备及空气过滤净化装置。四是改善档案馆周围环境,搞好绿化,最大限度地扩大绿化面积,以净化和吸收空气中的有害气体。

二、温度和湿度

空气的温度和相对湿度是衡量文物库房气候环境的主要指标。温湿度的变化直接作用于文物藏品,它们在环境因素中,对文物的影响是最普遍、最直接的,二者互促互用、相动相变,同时,也直接或间接地影响其他环境因素。通常温度越高,其中含水蒸气就越多。随着温度的变化,湿度也在发生变化。当温度上升时,纤维质地文物原有的水分蒸发,造成干裂、收缩、发脆变色、降低强度。实验证明,温度上升10℃,纤维质地的文物便吸收水气,开始膨胀起来,吸湿后的纤

维会变形。纸质文物是文物藏品中最为薄弱的,他对温湿度的要求也格外严格。要跟具体当地的气候量身制定库房温湿度,例如,北京市气候的特点为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促。年平均气温10~12摄氏度。1月-7~-4摄氏度,7月25~26摄氏度。在库房中更根据纸质文物保存特点恒温恒湿,避免外界环境的干扰。温度忽高忽低,会导致纤维质地反复受热胀冷缩的变化,产生相互摩擦而降低强度。潮湿的环境会使纸张变潮而发生水解,同时还会使耐水性差的字迹墨迹洇化褪色,模糊不清。潮湿的环境还有利于微生物的生长繁殖。适宜的温湿度可以延缓纸张老化变质,抑制虫霉孳生,延长纸质文物的保存寿命。纸张中含有的水分会使纸张本身变得柔软且富有韧性,但随着温度的上升,纸张中的水分蒸发,导致纸张纤维素的内部结构被破坏,使纸张变脆、断裂。纸质文物如果长期保存在潮湿的环境中,纸制品中的纤维素还会发生水解,使纸张的强度下降,纸张上的字迹和色彩也会失胶褪色或模糊不清。当纸张处于潮湿和灰尘环境中时,灰尘中的颗粒和纸张表面发生摩擦,影响字迹的清晰度。产生潮解,增加了纸张的酸性,有的水解产物带有黏性,使纸张发生黏结。不适当的温度和湿度还会使纸张长出各种霉菌。温湿度的变化还会影响纸质文物卷翘的程度,一些本身较为平整的纸质文物,基本不受气候变化的影响,而本身就已卷翘的纸质文物在湿度大的环境下卷翘较为缓和,在干燥的环境下会有所加重。我们知道,收缩率大的物质,膨胀率也大,在吸收同样的水分的情况下,膨胀的幅度也大。书画的组成材料是有机纤维制品,具有细胞样的结构和吸湿能力,对温度的变化特别敏感,温度高,湿度小,并持续时候过长时,书画就会收缩、干裂、变形。同样温度高、湿度大则大气中的活泼氧和水蒸气化合成双氧水,会加速纤维素的分解,对书画的损害更大。在纸质文物中凌绢是装裱的必要饰料,凌绢的膨胀率大于纸张,在吸收同样多的水分时,凌绢比纸张膨胀更多,就会使纸张文物的卷翘程度加大。因此,保证库房恒温恒湿对保护纸质文

物是非常重要的。库存或陈列纸质文物的环境条件应当稳定：冬天应使库房温度保持在 12℃ ~ 20℃，夏天不超过 25℃，相对湿度为 50 ~ 60%，温湿度每昼夜波动幅度分别为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 5\%$ 。库房必须满足密闭、隔热、防潮等要求。对于文物保护的温湿度环境，重要一点是防止突变。如迫不得已必须改变，则最好有一个缓冲的过程。事后，再回到原环境中去。

三、虫害

纸张的纤维是有机物质，在造纸过程中大多还要加入动物胶、淀粉等添加剂，加之在装订书籍时所用的各种浆糊原料等，都为害虫提供了生长的食物，一旦环境气候条件适合，菌、虫害便会很快蔓延。轻则蛀蚀成洞，重则使纸张裂为碎片，缺字少段，难以辨认。危害书画最为常见也最为严重的害虫是烟草虫，其次是蠹鱼。烟草虫的成虫长约 0.4 厘米，体弯曲，淡黄白色，近圆筒形，多皱纹，体密生丝状黄色细毛，喜欢在书画中蛀食打洞，自身藏于洞内而得到保护。烟草虫的幼虫危害极大，使被蛀书画出现许多小洞。严重时，书画成片被噬，有的成为筛状，有的甚至全部损毁。蠹鱼，学名毛衣鱼，属原始无翅昆虫，成虫体长 0.9~1.3 厘米，背面覆浅灰黑色鳞片，腹覆白色鳞片。体型由头至尾逐渐细小，尾部有 3 根长的尾须。触角丝状，长 1.1~1.5 厘米。喜食蛋白质、淀粉、纤维等物质，对书画一般蛀食表面较多，特别危害用糨糊粘贴的题签。蠹鱼性喜潮湿、温暖，怕光，爬走敏捷，生命力甚强。根据害虫生长繁殖的这些特点，要针对性的采取相应措施，控制温度、湿度的变化。造成有利于纸质文物保存的良好环境。纸质文物在入库前，必须先经过消毒和清洁处理。纸质文物的消毒有两种方法，一种是用杀菌、杀虫剂熏蒸，常用的有麝香草酚、甲醛、环氧乙烷和溴甲烷等。另一种方法是利用防霉药纸，如麝香草酚药纸防蠹纸等。还要坚持对杀虫药剂的品种和消毒杀虫方法进行更新，在文物柜内使用专用干燥剂和防虫防霉剂，此外，尽量不使用剧毒和对人体或环境有严重影响的杀菌剂，避免二次污染。

四、微生物

霉菌无处不在，霉菌的孢子大量散播在空气中，要将纸质文物保存在无菌环境中，在一般的条件下是不可能的。霉菌污染纸张后，在其生长蔓延的地方，纸张中的酸 (pH 值) 将迅速增加，严重时几个月内发现浓度高达 5% 的一定量的草酸，因而使纸张发黄、变脆以及腐蚀。霉菌在其生理活动过程中所产生的有机酸，除能使纸张纤维素水解（酸解）生成水解纤维素外，还能分解油墨中的脂类物质，尤其在高温高湿的条件下使纸张材料遭受严重的损坏。由实验证明，由于霉菌活动的结果，纸张的牢固性在 5 天内就减低了 50%。图书散页、裱糊加固的字画部分脱落，是霉菌同化黏着物——淀粉、动物胶等造成的恶果。特别是档案纸质文物，由于霉菌含有很强的纤维素酶，在它的作用下，纸张中的纤维素、胶黏物，加固封皮所用浆糊中的淀粉，皮革中的蛋白质等复杂化合物可被分解为比较简单的氨基酸等。霉菌就是把这些简单的化合物作为自己之用，造成皮革腐烂、淀粉和黏性、纤维素柔软无力、纸张机械强度降低，有的则向墨纸那样容易吸水，最后成为浆状物，严重时档案纸张彼此黏合，结为一块，形成“砖”无法提供利用。霉菌对天然纤维有较强的分解能力，并能产生各种色素，因此对纸张文物危害很大。由于空气中充满了霉菌的孢子，因而纸张文物表面不可避免地会附着这些孢子。霉菌处在孢子状态时，肉眼不能发现；条件不适合时也暂不繁殖。当纸张处于高温、潮湿环境下时，发生霉变现象，霉菌分泌出的色素，使纸张产生各种难以去除的色班，污染了书籍、字画。到目前为止，还没有安全可靠的去霉方法将纸质文物的霉斑完全除去，彻底清洗掉。污染纸张的霉菌属真菌类微生物。常见的有：黑曲霉、黄曲霉、杂色曲霉、木霉、桔青霉、球毛壳霉、芽枝霉等二十几种。霉菌在生长发育过程中，产生各种具有生物活性的酶，这些生物酶以纤维素为底物，将纤维素分子分解为小分子，然后将其消化掉，消化代谢后的产物是有机酸等，有机酸与酶的协同作用加快了纤维素分子的降解，直至纤维素分子完全被分解为止。所以，即使霉菌被清除，纸质文物表面仍会留下各种颜色的霉点。但是我们如果了解霉菌生长繁殖

的条件,便可以采取适当措施加以抑制,达到保护的目的。霉菌在温度 20℃~30℃相对湿度 75%以上时繁殖最快,而 75%的相对湿度是其大量繁殖的临界湿度。当相对湿度上到 80%~90%时,已很适合多数霉菌的生长繁殖;在湿度达到 95%左右时,霉菌的生长繁殖非常的旺盛;而当温度在 18 摄氏度以下,相对湿度在 65%以下时,霉菌则不能正常发育;温度降至 10 摄氏度以下,霉菌便不易生长;温度降至 4 摄氏度以下,霉菌便停止生长,但不会死亡。

五、光照

光对文物的危害,不仅是它产生热效应能使有关化学反应加速外,更甚的是光化学反应,导致文物老化。在光照下,纸质文物中的纤维素被激发后发生化学反应,分子的聚合度大大降低,纸张的机械强度明显减弱,主要表现为纸制品发黄、变脆。氧可对纤维素起氧化作用,使之成为易粉碎的氧化纤维素,光线能加速氧对纤维素的作用,称之为光氧化作用。在潮湿的情况下,光氧化反应的破坏力更大。光线对纸张中非纤维成分也有破坏性,在很短的时间内光线就会使木质素变为氧化木质素。如以碎木纸浆为原料制造新闻纸,含木质素较多,在光线作用下很容易氧化变黄发脆,强度降低,各种字迹会因光线作用而发生不同程度的褪色。特别是从有机染料为色素成分的复写纸以及圆珠笔和墨水的字迹,因光线破坏起染料结构中的发色团,从而引起褪色。在所有的光线中,对纸质文物损害最大的是紫外线,因此防光的重点是防止紫外线照射。当紫外光照射在纸质文物上时,纤维素分子活化,发生氧化反应。福兰克(Franck)和康登(Condon)发现,受光作用之后,分子结构中的化学键就好像一个压紧的弹簧一样,要向外伸张,这种向外伸张的力量较强时,就能将化学键破坏,产生化学键断裂。纤维素分子形成的自由基可以和空气中的氧分子作用,形成

氧化性强的自由基,将纤维素完全氧化分解掉,最终产生羧酸、低碳糖、低聚物甚至二氧化碳。在金属离子 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 的存在下,纤维素光氧化降解的反应速度大大加快。这是因为反应中,金属离子起了敏化剂的作用,扩大了纤维素分子的吸收光谱,同时快速将光子的能量传递给了纤维素分子,使其迅速发生降解反应。光线的损害作用是日积月累的,照射的时间愈长,光照度愈高,对光敏性材料的损害愈大。光线辐射对有机材质的破坏作用是逐进演化过程,光照停止其破坏作用还在继续,即使受间断性的光辐射作用,其损害程度仍很严重。所以光线在库房建筑方面,最好采用无窗结构。使用有窗户的库房时应采取措施阻止阳光直射图书,也可采用具有紫外线过滤功能的玻璃,或者防紫外线窗帘,尽可能使用过滤紫外线的照明灯具。尽量减少珍贵纸质文物展览时间和照明时间,避免日光或灯光直射。当然,文物不可避免地要进行展示、研究、交流等各种活动,为此,要严格控制灯光照明,光源采用不含紫外线的冷光源,光照度小于 50lux,并注重文物小环境的营造以及更换的便利和安全。展柜采用了低温无紫外、无红外的发光二极管的暗藏灯光照明,避免自然光对文物的损坏,做到小空间恒湿,大空间恒温,尽量为纸质文物创造一个清洁、通风、避光、温湿适中的保存环境。

纸质文物保护的质量,既取决于其材料的质地,更取决于它经历的环境。创造良好的保存环境,使文物处于适宜的环境中,是阻止或延缓其自然损坏的重要措施。博物馆是文化遗产的宝库,随着我国博物馆事业的不断壮大和发展,“保护文物,利用文物”文物库房内的环境控制建设将成为一项新的课题。加强库房建设,完善现代化设备,为文物的保存提供优质的空间环境,让文物以最佳状态展示出来。

(作者:中国国家博物馆)