

# 博物馆

Museum Environmental  
Monitoring and Control Techniques

## 环境监测控制技术

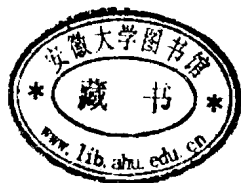
张晋平 / 著

中国环境出版社

# 博物馆 环境监测控制技术

Museum Environmental  
Monitoring and Control Techniques

张晋平 著



中国环境出版社·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

博物馆环境监测控制技术/张晋平著. —北京: 中国环境出版社, 2013.3

ISBN 978-7-5111-1340-5

I. ①博… II. ①张… III. ①博物馆—环境监测  
IV. ①G264

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 036030 号

出版人 王新程  
责任编辑 孔 锦  
助理编辑 李雅思  
责任校对 唐丽虹  
封面设计 刘丹妮

---

出版发行 中国环境出版社  
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.com.cn>  
电子邮箱: [bjgl@cesp.com.cn](mailto:bjgl@cesp.com.cn)  
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)  
010-67187041 (学术著作图书出版中心)  
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司  
经 销 各地新华书店  
版 次 2013 年 3 月第 1 版  
印 次 2013 年 3 月第 1 次印刷  
开 本 787×960 1/16  
印 张 18.25 彩插 12  
字 数 300 千字  
定 价 68.00 元

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

# 前 言

博物馆文物保存的好坏，寿命长短，既取决于文物本身材料性质，更取决于它所处的环境。可以这样说，除了人为毁坏和异常自然因素破坏外，文物的寿命是由它所长期处于的环境条件决定的，文物不可避免会受到周围环境的物理、化学、生物等因素影响，例如光线、温度和相对湿度、空气污染、灰尘、昆虫、霉菌等因素会对文物发生作用而造成文物发生变化，其结果就是使文物日益改变其本来的形态或者化学结构。

文物的破坏往往不是某一种因素在起作用，而是几种因素共同作用。例如光辐射对文物的损害，是在氧气或水的协同作用下进行的，水的存在又与温度和相对湿度有关。

对于博物馆室内环境，我们仅仅可以说：可能干涉博物馆室内环境，即通过技术干涉方法，尽可能达到我们所要求的环境条件。我们试图控制博物馆室内环境，通过我们的努力尽可能达到我们期望的控制目标，但是，由于多种因素会对我们的环境控制造成影响，我们有时只能望尘莫及，束手无策。例如应用空调系统控制博物馆环境，有时会由于某种原因突然停电，空调系统是由多台设备和无数零部件组成的，某个零部件出现故障就会使空调系统局部瘫痪，再加上每年都有设备检修、管道清洁、过滤网膜更换和设备维护期，所以国外很多博物馆所做出的计划是要保证空调系统在 95%的时间内保持正常运转。而且当气候出现极端状态时，应用空调系统也仅仅是降低极端气候条件带来的影响，不可能完全达到我们的期望值。这也就是说，如果博物馆想通过空调系统控制室内温度和相对湿度，那么至少有 5%的时间，温度或者相对湿度会超过我们所设定的控制范围。我们可以做到的是，在博物馆文物的保藏、陈列、鉴定、研究、修复等各个环节中，要尽可能维持一个相对稳定的温湿度，没有有害气体污染，没有有害生物和虫害的环境条件，博物馆现代建筑维持这

一环境的主要方法是通过空气调节系统来实现。

对于个体文物，我们更期望能够控制其保存和展出微环境，文物保护人员所能够做的是创造半密闭的甚至密闭的保存和展出小环境，或者附加各种保护措施使之延长寿命。半密闭的保存和展出小环境，例如将易碎的陶瓷器文物装于具有弹性内衬材料的囊匣里，将水粉画作品保存于无酸纸夹中，将油画保存和展示于玻璃和木框组成的框架内，将糟朽的纺织品片和老的新闻报纸保存和展示于聚酯塑料夹中，以及将珍贵文物展示于密闭性好、有温湿度的控制措施的展柜微环境内等。对于某些特殊文物、敏感文物、珍贵文物要创造特殊密闭保存环境条件，例如将干尸保存于低温或者氮气展柜微环境中，将珍贵有机文物保存和展示于氮气甚至氩气的微环境控制盒中，将照片文物保存于低温环境中，应用除氧剂密闭环境封充保存金属、纸张、毛皮、纺丝品、动植物标本等文物，这些都是可以大大延长文物寿命的措施。

国际上文物保护专家将博物馆环境监测和控制，为文物创造的各种保存设备和材料的研究和应用技术等不涉及文物本体的文物保护工作统称为预防性文物保护。也就是说，预防性文物保护是指保护文物所采取的保护方法不干涉文物本体，不改变文物的现状，而是要采取积极的预防措施，为文物延年益寿创造适宜的博物馆保存和展出环境。更确切地说：人们通过积极努力，在博物馆内把所有不利于文物保藏和展出的影响因素降低到最小。

在本书里，我愿意将我在中国国家博物馆长期从事预防性文物保护技术工作的探索、实践和研究做一个阶段性总结，也将我在30年中实际工作中遇到的问题，在博物馆室内环境监测、环境干涉和环境控制领域所总结的经验，以及近10年间我通过阅读所收集的国内优秀文献资料，以及我阅读和翻译的相关此领域的国外优秀研究和应用的文献资料，汇集起来写成此书。我愿意此书能成为所有博物馆人的一本实用工具书，在此书找到所有与博物馆环境科学与技术相关问题的答案，博物馆环境监测与控制的技术指导，以及预防性文物保护技术相关问题及解决方案。在本书里，我尽可能用所有博物馆人都能读懂的语言，用到专业词汇时，尽可能地用通俗的语言去解释清楚。

此书的阅读对象也适用于美术馆、图书馆、档案馆、展览馆、医院、药厂、科研院所以及其他行业从事环境监测与控制的工作人员。

# 序

20世纪90年代我国现代化建设加快了步伐,随之我国博物馆的现代化建设也加大了步伐。建设现代博物馆重要的任务是引进现代科学技术,用现代高科技装备博物馆。上海博物馆马承源馆长十分重视新馆科技项目的建设,上博计算机专家祝敬国研究员引进并创建的楼宇自控系统就是博物馆重视科技建设、自主创新的成果。上博的楼宇自控系统是我国第一座高科技的智能化博物馆,为后建的一些博物馆采用。十几年过去了,进入21世纪科学技术突飞猛进、日新月异,博物馆的科技水平也不断提升到更高的水平。中国国家博物馆也在更高的起点上进行科技项目的建设。吕章申馆长有建筑学的知识背景,对高新技术的引进十分重视,博物馆环境监测控制系统工程就是在馆领导支持下取得的成果。中国国家博物馆环境监控工程起点很高,在现代环境科学和现代生态科学的理论基础上,不仅保护物而且保护人,不仅调控建筑内环境而且关注建筑外大气环境。

文物保护专家张晋平研究员写的这本书共九章,从宏观到微观,从理论到方法,全面涵盖了环境诸要素和环境保护诸方面。第一章关于光线,第二、第三章关于大气和室内空气,第四至第七章关于温湿度及监测与控制,第八章关于智能博物馆建筑,第九章关于密闭微环境技术。这是一本有理论阐述、有操作技术、有测试数据的最新的博物馆环境测控技术的教程,具有普遍适用性。这本书还有更深一层的价值,就是推进绿色博物馆建设。建设绿色博物馆是当前我国博物馆的一项崭新而又紧迫的任务,这本博物馆环境保护专著的出版,也为绿色博物馆建设提供了理论和技术的支撑,具有前瞻意义。

最后再谈一点题外的话。博物馆引进新思想、新技术有一个主体问题，我一直认为要以我为主。我在引进国际生态博物馆理念，推进中国生态博物馆发展中，一直坚持本土化，坚持以我为主。馆外的任何新技术引进博物馆都是一个与博物馆实际相结合的过程，不是照搬，而是一个技术自主创新的过程。没有博物馆自己的专家来做是做不好的。所以博物馆现代化建设中培养自己的科技专家，拥有自己的专家，使用自己的专家是至关重要的，这是博物馆人才战略的大问题。略抒己见，聊备参考。

苏东海

2012年11月30日



# 目 录

<b>第一章 光线</b> .....	1
第一节 光的基本知识.....	1
第二节 光辐射对文物的损害和博物馆对策.....	3
第三节 博物馆照明光源.....	11
参考文献 .....	27
<b>第二章 大气污染</b> .....	28
第一节 大气和大气污染.....	28
第二节 空气污染对文物的损害.....	30
第三节 我国现行环境空气质量标准.....	39
第四节 博物馆环境质量标准.....	42
第五节 博物馆环境质量检测技术应用及研究动态.....	43
第六节 中国国家博物馆空气质量状况.....	48
第七节 环境空气质量监测系统及实时在线空气质量检测仪器.....	59
参考文献 .....	69
<b>第三章 室内空气污染</b> .....	72
第一节 室内空气污染对人类健康的威胁.....	72
第二节 布展引起的室内环境问题.....	80
第三节 室内污染对于文物的危害.....	83
第四节 材料释放甲醛与温湿度的关系.....	84
第五节 展厅环境污染预防与控制.....	86
第六节 几个简易材料试验方法.....	92
第七节 室内空气质量检测仪器.....	96
第八节 关于空气净化器.....	98



参考文献 .....	103
<b>第四章 温度和相对湿度</b> .....	<b>105</b>
第一节 温度 .....	105
第二节 相对湿度 .....	110
第三节 环境温湿度对文物的影响 .....	117
第四节 国外博物馆展厅温湿度控制范围 .....	123
第五节 国内博物馆温湿度控制范围 .....	130
第六节 中国国家博物馆温湿度控制范围 .....	132
参考文献 .....	133
<b>第五章 温湿度自动监测系统</b> .....	<b>136</b>
第一节 有线组网方式 .....	137
第二节 远程无线通讯虚拟组网 .....	140
第三节 近距离无线网络技术 .....	142
第四节 无线数据传输技术比较 .....	153
参考文献 .....	155
<b>第六章 空气调节系统</b> .....	<b>159</b>
第一节 博物馆空调特点 .....	159
第二节 空调制冷系统 .....	161
第三节 空调热源系统 .....	167
第四节 博物馆减湿技术 .....	168
第五节 博物馆加湿技术 .....	171
第六节 空气过滤器 .....	176
第七节 古老建筑作为展厅和文物库房的温湿度控制 .....	178
第八节 博物馆空调系统节能 .....	180
第九节 空调常用物理单位换算 .....	186
第十节 焓湿图和焓湿表的应用 .....	188
参考文献 .....	189
<b>第七章 展柜微环境控制</b> .....	<b>190</b>
第一节 展柜对于保护文物的作用 .....	190

第二节	展柜内微环境温湿度问题.....	191
第三节	应用调湿材料控制展柜内相对湿度.....	201
第四节	应用小型恒湿机控制展柜内相对湿度.....	207
第五节	应用远程柜式大型恒湿机控制多个展柜的相对湿度.....	213
第六节	展柜内部微环境空气质量的控制.....	215
第七节	现代展柜购置的科学.....	217
	参考文献.....	223
<b>第八章</b>	<b>智能建筑.....</b>	<b>225</b>
第一节	智能建筑特征.....	225
第二节	通信自动化系统.....	227
第三节	楼宇自动化系统.....	233
第四节	中央空调自动控制子系统.....	234
	参考文献.....	252
<b>第九章</b>	<b>密闭微环境技术.....</b>	<b>254</b>
第一节	氩气密闭微环境技术.....	254
第二节	氮气微环境技术.....	258
第三节	除氧剂密闭微环境应用技术.....	262
第四节	二氧化碳气体微环境技术.....	268
第五节	低温密闭环境.....	273
第六节	阳光照射黑箱密闭杀虫方法.....	277
	参考文献.....	281
<b>后 记</b>	<b>.....</b>	<b>283</b>

# 第一章 光线

## 第一节 光的基本知识

光辐射主要来自太阳光，其次是人工光源。光辐射对于人类生存和生活是必不可少的，人们欣赏文物时，也必须在光线下进行。但是光线对于文物是有害的，其中紫外线对文物的影响非常大。光辐射可引起文物表面的光化学反应，也会由于它的热效应使化学反应速度加快。所以人们采取各种措施尽量减少光线照射在文物表面的时间和降低其照射强度。

光是一种电磁波。人们能够产生视觉的光辐射，被称为“可见光”，是由光源发出的辐射能中的一部分，即能产生视觉的辐射能，波长范围是 380~780 nm。紫外线波长是指 100~380 nm 的光辐射能，红外线波长是指 780 nm~1 mm 的光辐射能。

光的物理性质是由它的波长和能量来决定的。波长决定了光的颜色，能量决定了光的强度。光映射到我们的眼睛时，波长不同决定了光的色相不同。波长相同能量不同，则决定了色彩明暗的不同。

### 一、太阳辐射光谱

太阳是个炽热的大火球，它以辐射的方式不断地把巨大的能量传送到地球上，哺育着万物的生长。太阳辐射的波长范围，在 0.15~4  $\mu\text{m}$ 。在这段波长范围内，又可分为三个主要区域，即波长较短的紫外光区、波长较长的红外光区和介于两者之间的可见光区。太阳辐射的能量主要分布在红外光区和可见光区，红外光占太阳辐射能量的 50%，可见光占 43%，紫外光只占能量的 7%。在波长 0.48  $\mu\text{m}$  的地方，太阳辐射的能力达到最高值，如图 1-1 所示。

太阳辐射通过大气时，分别受到大气中的水汽、二氧化碳、微尘、氧和臭氧以及云滴、雾、冰晶、空气分子的吸收、散射、反射等作用，而使投射到大气上界的太阳辐射不能完全到达地面，大气中某些成分具有选择吸收一定波长辐射的

特性，例如水汽、氧、臭氧、二氧化碳及固体杂质等，太阳辐射被大气吸收后变成热能，因而使太阳辐射减弱。

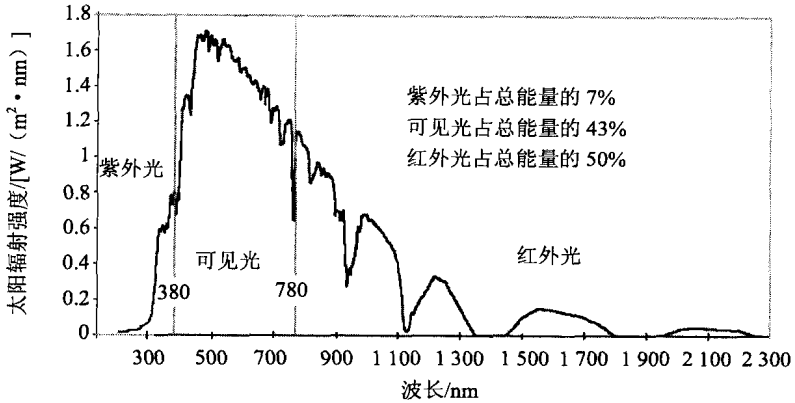


图 1-1 太阳辐射光谱

## 二、光谱

英国科学家牛顿在 1666 年发现，当太阳光经过三棱镜折射，然后投射到白色屏幕上，会显出一条像彩虹一样美丽的色光带，为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色。

这是因为日光中包含有不同波长的辐射能，在它们分别刺激我们的眼睛时，会产生不同的色光，而它们混合在一起并同时刺激我们的眼睛时，则是白光，我们感觉不出它们各自的颜色。但是，当白光经过三棱镜时，由于不同波长的折射系数不同，折射后投影在屏上的位置也不同，所以一束白光通过三棱镜便分解为上述七种不同的颜色，这种现象称为色散（见彩插）。可以看到红色的折射率最小，紫色最大。

表 1-1 波长与光能关系

波长/nm	光能/ (kJ/mol)	波长/nm	光能/ (kJ/mol)
200	598.5	500	239.4
300	399.0	600	199.5
400	299.3	700	157.5

光谱中不能再分解的色光叫做单色光。由单色光混合而成的光叫做复色光，自然界的太阳光，白炽灯和日光灯发出的光都是复色光。色散所产生的不同色光具有不同的波长，不同波长具有不同的能量，波长越短能量越高。

## 第二节 光辐射对文物的损害和博物馆对策

### 一、光老化试验

1994年，美国国家标准局主持启动了“纸张老化试验方法评估研究”的项目，并给予400万美元研究经费支持，其中美国农业部林务局林产研究所的科学家 Rajai Atalla 博士领导的课题组<sup>[1]</sup>和芬兰纸浆和造纸研究所的科学家 Dr. Ingegerd Forsskahl 领导的课题组<sup>[2]</sup>承担了纸张光老化试验方法的研究评估课题。两个研究所分别对15组纸张样品进行了4年时间的试验和研究，2000年他们完成了研究报告。美国林产研究在4年时间内对15组纸张样品进行了不同光线的老化试验<sup>[1]</sup>，包括自然光线、荧光灯、卤钨灯和氙气灯四组不同光源直接照射纸张样品，各种光线的平均辐射照度为  $6.4 \text{ W/m}^2$ 、 $9.5 \text{ W/m}^2$ 、 $28.5 \text{ W/m}^2$  和  $11.6 \text{ W/m}^2$ ，对应平均光照度值为 213 lx、315 lx、950 lx 和 390 lx。芬兰纸浆和造纸研究所应用了自然光线、荧光灯和氙气灯三组光源进行试验。经过不同光线照射后，他们对样品纸张的颜色、耐折度、拉力等进行试验，从中总结出各种光线对于纸张的影响程度，以确定纸张光老化试验的方法的可行性。他们试验得出几个结论：①自然光线、荧光灯、卤钨灯和氙气灯等所有光线都会造成纸张颜色变化；②含木质素的纸张变黄或者变红速率快；③全棉纸张经过光线照射，开始一定时间内会由于光线的漂白作用白度上升，然后才会由于纤维氧化度增加而造成白度下降，但下降速率较低；④相同纸浆制造的纸张添加碳酸钙成为碱性纸后，老化前和老化后白度都增加了，且老化速率有所变缓；⑤对于含木质素高的纸张，无论是紫外光，还是可见光，都会引起颜色变化。他们研究得出结论，漂白化学热磨机械针叶木纸浆造的纸张在荧光灯照射200 d后白度指数由76下降为37，如图1-2所示，黄度指数由8上升至27，如图1-3所示，红度指数由-1上升至3；完全棉浆纸张经过荧光灯照射100 d后白度指数由85上升至87，然后白度呈下降趋势，经荧光灯照射900 d后为79，如图1-4所示。

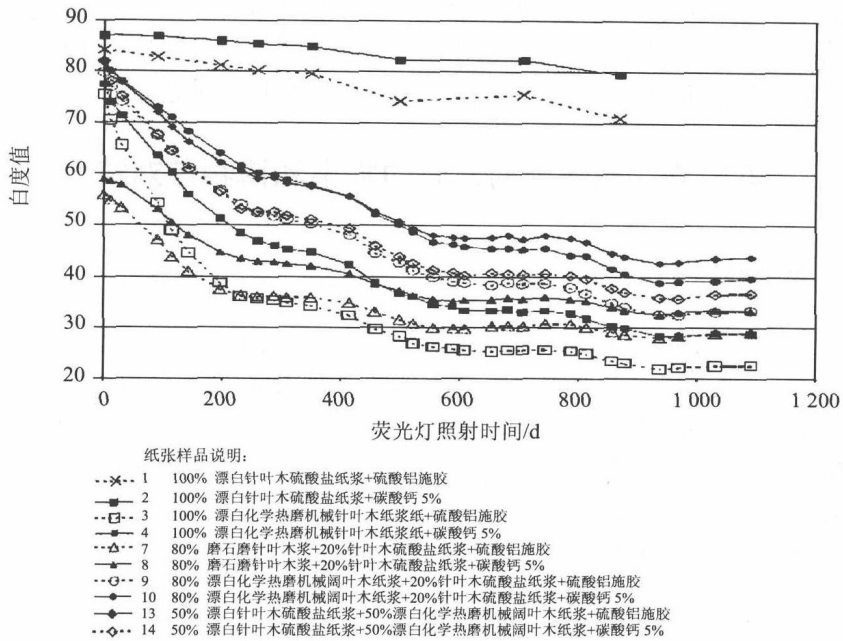
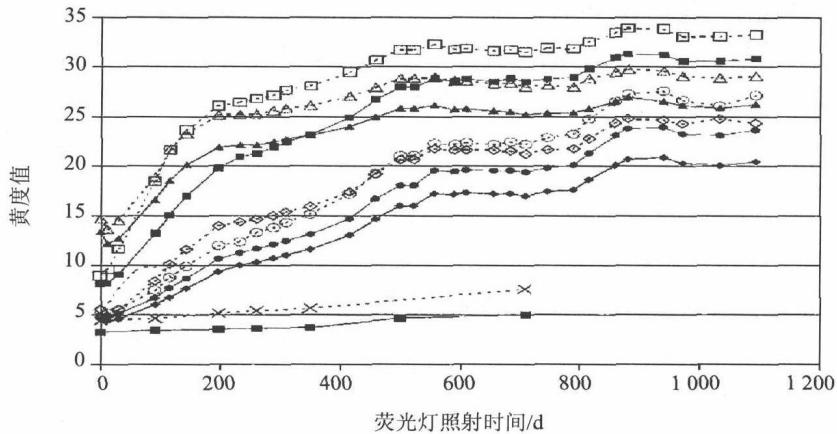


图 1-2 荧光灯照射影响不同纸张白度变化



注：纸张样品与图 1-2 相同。

图 1-3 荧光灯照射影响不同纸张黄度变化

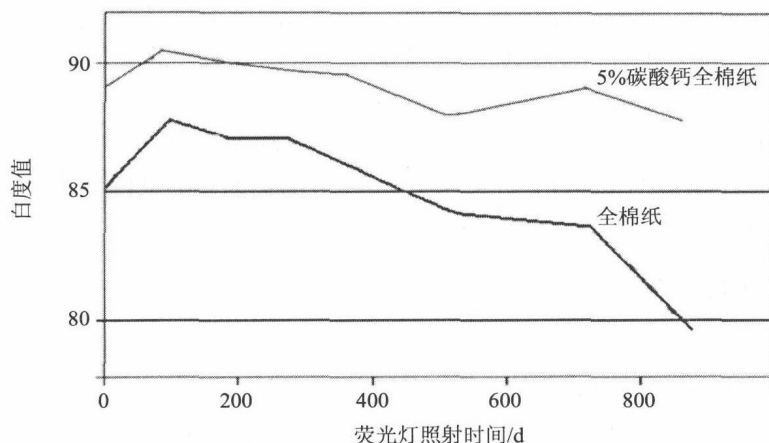


图 1-4 荧光灯照射影响全棉纸和填加 5%碳酸钙全棉纸白度变化

## 二、光老化机理

一般认为，在光能作用下，会引发纸张内部的纤维素和木质素分子内和分子间结合力减弱，因而造成某些化学键断裂，在发生光降解或光氧化降解的同时，纸张机械强度必然会因纤维变短而下降。同时，当纤维素和木质素分子在光能降解和光氧化降解的共同作用下产生新的有色基团和发色体系时，纸张的原始白度会下降而泛黄变色。进一步说，促使纸张泛黄变色的光氧化的原因主要有两个：其一是木质素分子容易氧化，其构成三维空间网状结构高分子化合物中的活泼基团容易发生脱氢、位移、重排等反应，较短时间内即可形成新的碳碳双键和碳氧双键发色基团和电子共轭体系，共轭链的形成和加长过程便是木质素氧化和降解过程的反映，因此颜色由浅变深乃至呈现黄褐色。自然界的树木茎秆被砍伐后暴露在空气中色泽会变黄褐，也是木质素氧化的原因。其二是纤维素分子在光、水、氧化剂和金属离子等不利因素同时存在的条件下，纤维素大分子上的葡萄糖基  $C_6$  上的自由羟基容易被氧化成羧基，或者  $C_2$  和  $C_6$  上的自由羟基同时被氧化成二羧基，这类羧基与金属离子 Al、Fe、Cu 等结合成络合物便呈现黄色，也会因此加速以后的氧化降解反应。

从化学角度来说，光辐射除了会对纤维类文物造成光氧化和光裂解，也会造成颜色文物表面颜料和染料的褪色或变色。这是由于光化学反应导致其结构发生变化，引起了颜色变化。任何波长的光都会发射光子，光子被文物上的吸光物质所吸收，使吸收了光子的原子处于激发状态，条件成熟便可能引发光化学反应导



致吸光物质被破坏。博物馆必须有光辐射，观众要想看清楚文物必须有光辐射，博物馆所做的是尽可能在弱的光辐射照度条件下展出光敏感和高度光敏感文物。

光的热作用与化学作用不同，使辐射到展品上的一部分光被吸收，引起温度升高而变得干燥。如果空气湿度不足，展品就有受到重大损伤的危险。热作用主要来自来自于光辐射的红外线部分。若要减小红外线热辐射作用，可使用隔热滤光器，把波长大于 780 nm 以上的红外辐射吸收或反射掉。

### 三、可见光控制

我国制定的《博物馆照明设计规范》中规定<sup>[3]</sup>：应对展厅展览时和非展览时的全部光照及总曝光量进行控制，对光特别敏感的展品总曝光量控制在小于 50 000 lx·h/a；对光敏感的展品控制在总曝光量小于 360 000 lx·h/a，见表 1-2。这一规定说明，对光特别敏感的展品暴露于 50 lx 照度值条件下，如果每天展出 8 h，每年只能展出 125 d。

表 1-2 展品总曝光量限值<sup>[3]</sup>

展品类别	照度标准值/lx	年曝光量/(lx·h/a)
对光特别敏感的展品：织绣品、绘画、纸质物品、彩绘陶(石)器、染色皮革、动物标本等	≤50	50 000
对光敏感的展品：油画、蛋清画、不染色皮革、银制品、牙骨角器、象牙制品、宝玉石器、竹木制品和漆器等	≤150	360 000
对光不敏感的展品：其他金属制品、石质器物、陶瓷器、岩矿标本、琉璃制品、搪瓷制品、珐琅器等	≤300	不限制

将文物永远置于黑暗中，肯定是一种有效的保护措施。但是当我们展出文物、研究文物和整理文物时，一定要在一定的光线下进行，所谓文物保护防止光辐射，是指应做到尽量降低光照度，将光辐射对文物的损害降低到最低限度。对于光线敏感文物，要限制文物的展出时间。也需要应用新技术，仅在观众观看此文物时自动控制开启光源。

国际博物馆界要求展厅和库房的照度值应与色温相匹配，照度较高时选用高色温光源，照度较低时宜选用低色温光源。一般博物馆照明建议使用色温低于 3 300 K 光源，目的是保持博物馆整体统一的环境色温。

中国的博物馆执行的是三级分类法<sup>[3]</sup>：光不敏感的展品、光敏感的展品、光特别敏感的展品。多数其他国家的博物馆也将文物的光敏感程度分为三级。

博物馆界在制定光敏感程度材料的分级时, 参照的标准是国际标准纺织品色牢度标准: 蓝色羊毛标样 (ISO Blue Wool Scale), 此标准将光敏感度分为 8 级, 是评价纺织品颜色在光线照射后褪色的评价标准<sup>[4]</sup>, 也可以说是量度颜料或颜色在光线照射后的变淡程度的标准。也称为耐光度标准, 1 级为最不耐光, 8 级为最耐光。

加拿大文物保护研究所 (CCI) 将光敏感材料分为四类: 光不敏感材料、低度光敏感材料、中度光敏感材料、高度光敏感材料。

光不敏感材料是指在太阳光照射下不会变色的材料, 包括石头、陶瓷器、金属、玻璃、珐琅、无机矿物颜料、炭黑等。但是这些材料中有的材料会受到空气污染而发生化学变化而引起变色, 例如在空气污染和水的影响下金属生锈后变色。

低度光敏感材料是指在室内光线照射下会稍微退色的材料, 相当于国际标准纺织品色牢度蓝色羊毛标样 7~8 级, 包括银盐黑白照片、动物标本表面颜色、靛蓝颜料、朱砂、汽车表面漆等。

中度光敏感材料是指在室内光线照射下会退色的材料, 相当于国际标准纺织品色牢度蓝色羊毛标样 4~6 级, 例如茜素染色纺织品、碱性染色纺织品、Cibachrome 和 Kodachrome 彩色照片、皮毛、羽毛等。

高度光敏感材料是指在微弱室内光线照射下会退色的材料, 相当于国际标准纺织品色牢度蓝色羊毛标样 1~3 级, 例如几乎所有浅色植物染料, 例如胭脂红、紫胶染料、红色和蓝色圆珠笔颜色、苯胺染料、彩色胶片和照片等。

表 1-3 是加拿大文物保护研究所 (CCI) 制作的不同照度值引起不同级别的光敏感材料变化的时间表<sup>[5]</sup>。

表 1-3 不同照度值引起不同级别的光敏感材料变化的时间表

照度值/lx	退色情况	低度光敏感材料	中度光敏感材料	高度光敏感材料
50	肉眼可观察退色	300~7 000 a	20~700 a	1.5~20 a
	几乎全部退色	10 000~200 000 a	700~20 000 a	50~600 a
150	肉眼可观察退色	100~2 000 a	7~200 a	6 个月~7 a
	几乎全部退色	3 000~70 000 a	200~7 000 a	15~200 a
500	肉眼可观察退色	30~700 a	2~70 a	1/7~2 a
	几乎全部退色	1 000~20 000 a	70~2 000 a	5~60 a
5 000	肉眼可观察退色	3~70 a	2 个月~7 a	5 d~2 个月
	几乎全部退色	100~2 000 a	7~200 a	6 个月~6 a
30 000	肉眼可观察退色	6 个月~10 a	2 周~1 a	1 d~2 周
	几乎全部退色	20~300 a	1~30 a	1 个月~1 a