

博物馆壁画预防性保护及智能化展示技术应用研究

——以河南博物院藏《四神云气图》壁画为例

陈晓琳

提 要: 博物馆展陈文物良好的预防性保护与适宜的展示环境,是博物馆保证藏品科学保护与受众舒适视觉的重要前提。河南博物院藏《四神云气图》壁画是我国时代最早、面积最大的珍贵壁画,该壁画自1998年进行展示后,对展示环境有针对性的进行了三次重置与调控,达到了较为满意的保护展示效果。近期为配合主展馆的抗震加固维修工程施工,需对原有保存环境再次进行升级改造。为此,本文从壁画预防性保护角度出发,结合数字化展示技术的进步,在壁画展示环境调控技术的基础上,探讨了符合壁画文物本体长期安全、展示信息全面、观众互动性强的智能化展示技术系统的基本要素及实现途径,可对我国博物馆壁画保护提供一定的借鉴作用。

关键词: 壁画 预防性保护 智能化 展示微环境

一、引言

文物的预防性保护是指在文物展藏过程中,为稳定文物的保存状态,防止病害的发生、发展而实施的前置性保护措施的总和。文物预防性保护是以文物及其赋存环境为研究对象,应用宏观与微观的技术手段,研究文物健康影响因素及其作用规律,阐明赋存环境与文物健康的相互关系,从而制定出科学的保护策略与措施,改善和创造有利于文物健康的适宜环境,达到预防病害,延长文物寿命为目标的一门保护科学。展示环境的优劣是做好博物馆展陈文物预防性保护的关键要素,博物馆展示环境是指围绕文物展品的空间及其中可以直接或间接影响文物生存、变化的各种因素的总和。展示环境的构成,通常包括博物馆室外区域大环境、展厅区域小环境及文物展柜区域的微环境¹。

由于文化遗产的脆弱性特点,决定了其本体及所承载的历史信息必将随着时间的流逝而劣化或消失,由于这种流逝或消亡的趋势不可逆过程,因此,如何在做好文物本体保护基础上,采用适宜的展示技术最大程度上留存文物信息就成为展示研究的热点问题。文物展示技术是指在文物的展示过程中,

为保证文物本体的稳定及价值信息的全面体现而采取的一系列技术措施的总称。展示技术是为了保证展示环境状态平稳、更有利于文物的长久保存而采取的技术手段的总称,展示技术通常包括两方面内容:一是完备的文物本体防护技术;二是完善的文物价值信息模拟再现技术。防护技术通常包括探测系统、预警系统和调控系统。通常情况下,展示环境及展示技术被合二为一的整合为一套展示系统,是有机的统一整体。近年来,随着数字展示技术的不断进步,以数字技术为核心,把三维数字图像和触摸屏、红外线感应器、投影等多种硬件结合,在不同的展示方式中实现文物信息价值的展现、体验、互动等得到了越来越多的应用。数字技术展现出的这种无与伦比的便利性、重复性和可复制性的特点,不仅实现了文物的虚拟现实的重建、增强了历史的穿越感与受众的参与度,而且也极大地提高了大众保护文化遗产的积极性和主动性²⁻⁴。

河南博物院藏《四神云气图》壁画,出土于河南省商丘市永城芒砀山柿园汉墓,是中国目前所见时代最早、画面最大、级别最高、保存最为完整的壁画,被誉为河南博物院“九大镇院之宝”之一,该壁画长5.14米,宽3.27米,面积16.8平方米^{5,6}。

壁画的主要内容为龙、白虎、朱雀、怪兽、灵芝及云气纹等组成的图案，历史艺术水平极高，文物价值巨大。《四神云气图》于1992年从梁共王陵中揭取出来后被移交到河南博物院（当时称河南省博物馆），1998年河南博物院开馆后进行展示，后因展示环境不佳导致壁画局部变形，随即河南博物院组织保护力量，于2002年完成了包括壁画展示环境在内的壁画整体保护提升工程，这项保护工作的实施有效的改进了展示环境中对壁画影响的不良因素，达到了较好的保护效果。2003年2月，河南博物院“西汉《四神云气图》壁画综合保护项目”通过国家文物局科技专家组验收。2008年为配合河南博物院展陈提升工程，《四神云气图》壁画展示环境再次进行了提升改造，重点对展示微环境温湿度调控系统进行了完善。近期为配合河南博物院主展馆的抗震加固维修工程施工及全面提升展陈环境工程，结合现代数字化展示技术的进步，在原有壁画展示环境调控技术的基础上，研究设计出符合壁画本体长期安全、展示信息全面、观众互动性强的智能化展示技术系统，不仅能够有效的提升壁画的展示环境问题，更深刻的体现其历史价值、文化及艺术价值，同时对我国博物馆众多类似的馆藏壁画也具有重要的借鉴意义。

二、壁画预防性保护中展示微环境监测与控制

预防性保护的实施途径主要是通过长期监测、科学记录在各类风险因素影响下文化遗产的变化，以科学监测数据积累为基础，分析研究文化遗产的变化规律，制定和实施科学的保护控制措施，以达到科学保护的目的。分析壁画的赋存环境可以看出：壁画在展示中的劣化因素主要包括两个方面，一是展示环境中的诸如：光线、温度、湿度及部分有害气体等不利因素；二是壁画文物本体自身的组成成分及组织结构。在上述两方面因素中，由于壁画本

体的自身构成通常是无法改变的或改变是受到一定限制的，因此通过加强展示环境调控，创造适宜环境以达到减缓壁画劣化的保护目的，就成为保证壁画长治久安的有效途径。

预防性保护体系建设的重点内容主要包括以下几个方面：①文物病害与保存环境相关性分析；②病害的科学监测与应对措施研究；③调控管理与病害互动研究；④再调控与病害预后研究。同时，基于现代传感技术、网络技术、自动控制技术的物联网概念，现代科学技术在文化遗产保护中的作用日益凸现，以动态监测、智能预警和辅助决策为核心内容，以无线传感、智能预警、多种网络通信手段为技术支撑，通过对壁画保存环境实施有效的管理、监测、评估和控制，最大限度地抑制或延缓环境因素对壁画的物理和化学性质的改变乃至最终劣化，达到长久保护的目的。

1. 温湿度监测与调控

鉴于湿度指标对大多数文物材质的严重影响性，博物馆环境温、湿度控制应以湿度为优先。对于温度指标，虽然低温有利于降低化学反应速率，减缓文物的自然老化，但低温也会使某些文物由于收缩不均匀而造成破坏，并且达到低温所需耗能比较大。目前，馆藏文物保存环境的温度一般推荐为室温范围（18~23℃）。对于湿度指标，过分干燥与过分潮湿均会对文物造成破坏，并且不同质地的文物对湿度也有不同的要求，而且还应当充分考虑文物保存地区的气候湿度特性。一般要求文物保存微环境的相对湿度控制在40%~60%。温湿度的大幅度波动，会引发文物材料在短时间内频繁地热胀冷缩和湿涨干缩而造成破坏。研究表明，在文物保存展示过程中，控制温湿度的平稳性要比控制到某一具体数值更为重要，一般要求相对湿度日波动RH5%，温度日波动2~5℃。温湿度的控制主要有两方面内容：一是温度和湿度的适宜推荐值，另一个是温度和湿度的波动稳定性。

目前，温度和湿度传感器技术的发展比较成熟，

其精度、采集和记录方式等，已经能够满足博物馆微环境温湿度远程、实时监测和数据储存、无线传输等要求，但在实用性方面需充分考虑博物馆展陈环境智能化、美观、人性化等特殊需求。此外，由于在展柜等相对密闭空间中，温湿度具有耦合效应，文物保存微环境中相对湿度将随着温度的变化而发生明显的波动。文物受湿度的影响较温度敏感，因此，优先监控博物馆微环境中的湿度是非常必要的。

此外，加强展陈环境的环境控制，还要做好宏观系统的控制。采取的主要手段是依靠中央空调系统控制博物馆的温湿度，同时也要考虑到中央空调更容易受到展厅环境、参观人流量以及外界大气环境的影响，往往很难精确控制。在此背景下，加强展陈微环境控制就成为至关重要的关键手段。展陈微环境的调控通常要做好展柜的密封性，同时配合加调湿剂、安装恒湿系统、安装抽湿机或者加湿器来进一步控制湿度。其中调湿剂主要有硅胶类、无机盐类、无机矿物类、有机高分子材料类和复合型调湿材料类^{7,8}。

2. 污染气体监测与调控

展陈微环境中污染气体的来源主要有以下两方面：一是展柜外的污染物通过渗透、交换等进入展柜；二是展柜内各种装饰装修材料及文物自身降解老化所散发出的各种污染气体。因此，展柜装饰装修材料，特别设计提高展柜密封度；柜内所有板材采用铝塑膜封闭处理，防止污染物散发恶化展柜微环境，从源头上控制文物保存环境质量。展陈微环境中气态分子污染物具有浓度低、成分复杂的特点；相关监测数据表明，目前我国博物馆环境气体污染物的种类主要包括：甲酸(HCOOH)、乙酸(CH₃COOH)、甲醛(HCHO)、乙醛(CH₃CHO)等。常用的环境监测手段包括直接测试技术、采样分析技术、间接测试技术等。对气体污染物的控制，首先要去除展陈微环境中易产生有害气体的装饰材料、展柜材料等，选用安全环保材料或对相关材料进行净化处理，其次确保展厅内各展柜密封性良好，防止有

害气体的进入；第三适当采用有效的吸附剂过滤掉有害气体，例如：活性氧化铝和活性炭介质，可有效去除空气中的SO₂、H₂S、NO₂、O₃等有害气体⁹。

3. 光辐射监测与调控

光是一种能量，光线所引起的化学反应会引起物质的组织、结构及成分的改变，使染料、颜料色泽发生变化，最终导致物质本体的破坏。不同的光波产生的能量也不尽相同。根据能量公式，波长越长，能量越小，反之，能量就越大。光对物质的作用特点一是产生光化学反应；二是光的辐射会造成物质表面温度的波动。针对壁画来讲，光的照射会引起壁画颜料的光化学反应，尤其是对光敏感的各种颜料及有机胶料。另外，光的热效应还会使光照射的环境内温度升高，常见的是博物馆展柜内照明光源的周期性闭合与断开，会引起壁画表面温度的波动，这种累积效应会造成壁画颜料层的开裂起翘病害。在强度同等条件下，光对文物的损害依次为紫外光>紫光>蓝光>黄光，因此，过滤除去紫外光对文物保护有利⁷。

针对展示微环境的光辐射的监测与控制，首先要严格执行国家标准《博物馆照明设计规范(GB/T23863 X009)》进行规范。尽量减少不必要的照射时间，在展示区域安装红外感应的调光系统，也就是当观众走到距展柜一定距离时，光线会自动加强，当观众离开时，光线会自动变暗，直至熄灭。同时尽可能地使用冷光灯或者光纤灯，降低光辐射影响。

4. 生物危害的监测与控制

生物危害的产生是多因素耦合作用的结果。一方面微生物的发生需要一定的介质，另一方面需要有适宜的温湿度。因此，针对生物病害的监测首先应加强与生物病害相关性强的温湿度的监测，其次提高壁画本体的免疫能力。在上述原则指导下，展示微环境温度控制在20℃，湿度控制在60%以下为宜。同时，加强日常管理，定期对壁画进行检查。在进入壁画展示厅入口处设立过渡间，安装风屏装置，最大程度上减少人员流动可能带来外来生物污

染源，保持展厅区域环境的清洁卫生，防止害虫和霉菌的滋生和繁殖⁷。

为使壁画展示环境通风良好，可建立新风系统以加强洁净空气的流动，降低生物病害在特定微环境内的持续存在时间。这种新风系统是根据在密闭的展示厅内一侧用专用设备向展示厅内输送新风，在送风的同时对进入室内的空气进过滤、灭毒、杀菌，再从另一侧由专用设备向展示厅外排出，在展示环境中形成“新风流动场”，其特点主要是气流定向、稳定，与外界贯通而不是在空间内的内循环，能够有效排除室内各种气体污染物，以满足壁画展示厅所需高质量的空气。

此外，为减少粉尘带来的危害，可在展厅入口安装风屏和铺设防尘地毯。另外，为进一步优化展示厅内空气流通及污染的去除，可在展示厅内设置空气透析系统。空气透析的重点是指将空气净化，隔绝空气污染物。通过上述综合手段对壁画微环境进行调控，创造一个适宜的最佳保存环境，最终达到长期保护的目的⁹。

三、展示微环境控制中常用的密封隔绝技术

根据壁画文物损坏的机理研究，常用的壁画展示保护技术处理应达到密封隔绝、调控温湿度及避免紫外光照射等主要指标，其中展示区域的密封隔绝是关键环节。目前，常用的展示微环境密封隔绝调控技术主要包括：常压密封隔绝系统、低压密封隔绝系统、常压低氧密闭隔绝系统等三种形式。

1. 常压密封隔绝系统

常压密封隔绝法是壁画展陈中常用的保护手段。其做法通常是采用适宜的透明材料如玻璃等，通过技术手段制作成具有一定气密性的独立空间作为壁画的存放及展示空间，在进行隔绝空气的同时也会配合调温控湿及光线调节等。为进一步降低氧气对文物的侵蚀作用，提高文物的保护水平，在密

闭隔绝的基础上，人们通常还要在密闭空间内充入一定的惰性气体，根据充入惰性气体的方式不同可分为两类：常压密闭隔绝和低压密闭隔绝。

密封隔绝法是早期文物展示的常用方法，它具有制作简单、保存效果较好等特点。其缺点是对密闭空间内的空气和气流等变化情况缺乏有效调控手段。

2. 低压密封隔绝系统

低压密闭隔绝系统是通过改变大气压降低氧浓度，从而实现减小氧气对文物侵蚀的保护目的。从实现方式上讲有两种：一是采用抽气系统为主的高真空低压密闭系统；一种是通过加入特定的气体消耗材料如除氧剂等为主的气体消除型低压密闭系统。其中，高真空低压密闭系统由密闭腔体、抽气系统、输气系统、探测系统、控制系统、照明系统等组成。

低压密闭腔体通常由高强度耐压透明材料制作而成，这种腔体具有良好的密闭性，可以承受较大压力。用真空泵不断地抽出腔体内气体，即可造成低气压条件。气体消除型低压密闭系统，通常加入的是除氧剂，其做法是在一密封装置中放置一定量的除氧剂后，再注入一定量的惰性气体如氮气，在密闭空间内形成一定的正压力，避免空气中的氧气及其他有害气体的侵入。

3. 常压低氧密闭隔绝系统

常压低氧密闭隔绝系统是靠改变氧浓度降低氧分压而实现减小氧气对文物侵蚀的保护目的。从实现原理上讲，低压低氧密闭隔绝系统依靠真空泵对密封腔体进行抽气实现，而常压低氧密闭隔绝系统则是靠对腔体内充氮气实现，用洁净氮气作为保护气体，将壁画展示空间内的中原有气体置换出去，通过智能检控设备创造低氧、恒温恒湿环境，达到抑制微生物及病虫害生长繁殖的保护目的；同时，减缓或抑制壁画材质因氧气存在、环境参数波动等变化而造成的光氧化、酸化水解、氧化劣化等损害。

常压低氧系统以制氮机为氮源，采用高浓度氮

气稀释展示柜内空气的办法,使展示柜空气中的氧浓度从原来的 20% 左右,稀释到所需的低氧浓度。低氧环境不仅仅是靠向展示柜内充氮气实现低氧分压,而是利用降低空气中的氧气成分以实现低氧,所达到的效果是氧气浓度降低而气压不变,实现了常压低氧的良好效果。它与常规低氧环境的区别在于,一个是靠向里面充高浓度的氮气置换或降低氧气组分含量以达到低氧效果,一个则是消耗舱内本身的氧气以达到低氧的效果。从壁画保护角度出发,常压低氧系统具有一定的优越性。

四、《四神云气图》壁画的预防性保护系统与智能化展示设计

1.《四神云气图》壁画的预防性保护系统

为保证“四神云气图”壁画的长期稳定保护,提出的壁画预防性保护研究应以壁画本体保护为核心,以“环境—壁画—健康”为模式(适宜稳定的环境,协调一致的互动模式,健康持久的保存状态)为手段,以壁画及其赋存环境为研究对象,以预防性保护为主要思想指导,运用现代科学知识和方法研究环境对壁画健康影响的规律,制定预防壁画病害发生的措施,实现壁画持久健康。为此,在针对壁画展示微环境的设计中主要实现以下目标:①安全可靠:应根据壁画现状,通过多重防护技术措施的协同,实现壁画展示过程中的高可靠性、高稳定性及风险可控要求。②展示系统可自我调控性能好:通过可靠的保护材料及智能化的实时信息采集、系统跟踪及实时调控等技术系统,实现壁画展示过程中的全信息监控,为壁画保存环境的稳定提供支撑。③预留提升空间:遵循开放性和标准化基本原则,保证壁画展示过程中各系统之间的衔接性、通用性及协同性,在实现最佳展示效果的同时,为壁画保护预留提升空间(图1)。

根据预防性保护的基本要求,结合《四神云气图》壁画的展陈环境状况,首先应做好壁画展示环



图 1. 壁画原有展示柜结构图

境的监控工作:①建立博物馆外部大气环境、气象状况观测系统;实施腐蚀性气体、大气气溶胶和降尘的同步观测和分析,以获得不同时空尺度下的室内微环境和关键大气污染物的变化特征,理清博物馆室内大气环境质量、污染来源及可能影响;②开展壁画展示柜中微环境的监测;对展示柜中的温湿度、光照、有机挥发物、腐蚀性气体等进行重点监测;③建立展示环境监测信号传输系统、数据终端系统等;运用无线传感网络技术,远程、实时监控文物保存微环境,实现监测数据的自动化分析及自动预警功能¹⁰。

其次,在科学监测基础上,完善展示环境调控系统。调控系统的重点是建立“常压低氧恒温恒湿”展示系统。该展示系统主要由气密展示柜、中央控制系统、制氮系统、控湿装置、综合检控装置、气体调节装置、安全保护报警装置以及管线阀门等构成。在该系统中实现常压低氧环境的办法,主要采用高浓度氮气稀释展示柜内空气的办法,使展示柜内空气中的氧浓度从原来的 20% 左右,稀释到所需的低氧浓度。在系统总体设计上,该低氧展示系统主要有三部分组成:展示柜、氮气源和柜内环境监控系统等。展示柜采用铝合金结构、普通塑料等搭建成框架结构,粘贴有机玻璃,组成一个相对密封空间即可。低氧恒温恒湿展示柜主要由三大部分

构成：气体循环净化系统；温湿度调控系统（可通过柜外无线方式调节设置，或者远程计算机调节设置）；照明系统。其特点主要是：展柜内材料不挥发任何有害气体；展柜密闭性能好；玻璃透明度好、无颜色、无炫光、抗冲击能力强（图2）。

展示柜内的气体交换包括进、漏气部分和弥散三部分。进气是因为需要向展示柜内充入 N_2 ；漏气是因为展示柜的不绝对密封性造成的（漏出展示柜外的是 N_2 ）；弥散是因为展示柜内外不同气体的浓度差造成的，由于展示柜外的 O_2 高于展示柜内，而展示柜内的 N_2 浓度高于展示柜外，因此 O_2 的弥散方向是由外向内，而 N_2 的弥散方向是由内向外。由展示柜内外气体弥散特点可知，要想控制展示柜内 O_2 浓度不超标，有两种方法可供选择，一种是在舱内放置 O_2 吸附剂，另外一种方法就是调节展示柜内外气体弥散的面积。

展示柜低氧环境是靠充氮气来维持的，因此氮气的制备是一个重要的过程。氮气 N_2 是空气中最主要的成分，约占空气含量的 78%。氮气的制备要依靠制氮机来完成，制氮机是用物理的方法将空气中的氮和氧分离的装置，通过过滤器、氮氧分离、气体检测和显示控制等组件的集成，能够有效去除空气中微生物、孢子、虫卵、水蒸气等，并通过氮氧分离组件对大气中的气体组分进行氮氧分离，在此过程中进一步除去氧气、硫化氢、二氧化碳、一氧化碳等杂质组分，可确保充入展示柜中的 N_2 的浓

度达到 99% 以上，保证气密空间内较高的洁净度。

综合上述因素，针对《四神云气图》壁画的实际情况，采用常压低氧系统可弥补低压系统的诸多不足，具有安全性高、维护方便等特点，因此采用常压低氧系统更有利于壁画的长期保护。

2.《四神云气图》壁画智能化展示技术

通过气体净化、降氧置换以及监测控制等现代化科技手段，实现对展柜内氧浓度、湿度、有害气体及颗粒物含量的控制和调节，从而提高展柜内保存环境中空气的质量，减缓壁画氧化劣化速度，延长壁画寿命。在上述保护手段的基础上，结合数字化展示系统，集预防性保护和展示功能于一体，以数字化系统特有的信息传递功能营造出良好的展示氛围，进而加强与观众的互动，引发观众的参与兴趣与积极性，达到保护文物与科学展示的有效融合是《四神云气图》壁画展示设计的核心要求。

20 世纪中后期以来，随着计算机、软件、互联网、大数据等数字化技术的迅猛发展和广泛应用，为数字化展示设计提供了良好的发展环境，同时也对数字化展示设计提出了更大的考验。文化遗产展示设计在数字技术的影响下，逐渐向创新化、多元化、非物质化的方向发展，更加高效地执行传递信息的媒介职能。基于这样的时代大背景，旨在整合保护与展示、技术媒介等交叉学科的知识，从艺术与科技的综合视角，将文物预防性保护与科学技术深度融合是今后展示设计发展的一个大方向^{11,12}。在多媒体数字化、电子化和虚拟化等高新技术的支持下，为观众呈现了一场精彩的文化视觉盛宴。这种数字化的展示手段在保护文物本体的同时，也给观众带来了良好的参观体验。一方面数字化展陈技术的运用有效地提升了展示效果，各种高逼真、大区域的展示设备被投入使用，实现了展示区域的陈展环境下方便、高效的交互；另一方面，在满足有效交互需求的前提下，展陈系统也将文物所蕴涵的价值永存于世成为可能^{13,14}。

同时，结合《四神云气图》壁画的保护要求，

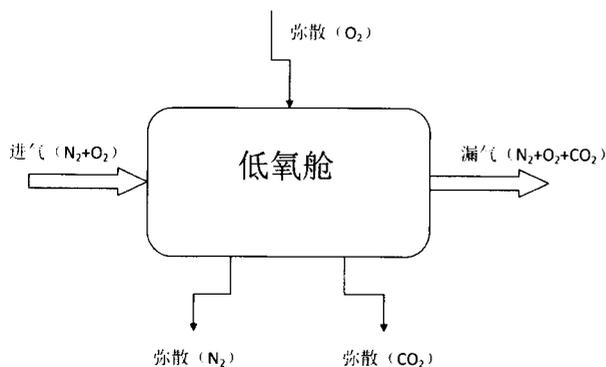


图 2. 低氧恒温恒湿展示柜内气体交换模型图

数字化展示技术的应用原则主要应满足以下几点：一是无损性，即数字化技术在对遗产进行处理时，对文物本体不会造成潜在危害；二是真实性原则，应当严格依据壁画事实存在要素，进行数字化处理；三是具备多重参与性、多重维度的重现性及多方参与的互动性，实现满足多方需求的数字化处理新技术；四是展柜环境的优化与展示数字化技术的协同，在加强数字化技术运用的同时，突出壁画本体的主体性，避免喧宾夺主。

五、结论与展望

由于壁画类文化遗产的脆弱性特点，决定了其本体及所承载的历史信息必将随着时间的流逝而劣化或消失，由于这种流逝或消亡的趋势不可逆过程，因此，如何在做好壁画文物本体保护基础上，采用适宜的展示技术最大程度上留存文物信息具有十分重要的意义。壁画预防性保护通过探测系统、预警系统和调控系统等科学完备的文物本体防护技术，能够最大限度地实现壁画本体的留存时间，为壁画文物价值信息的提取、利用等深层次研究提供了足够的工作空间；而智能化展示系统，以数字技术为核心，把三维数字图像和触摸屏、红外线感应器、投影等多种硬件结合，在不同的展示方式中实现文物信息价值的展现、体验、互动等的应用，展现出了无与伦比的便利性、重复性和可复制性。总之，壁画预防性保护技术与智能展示技术的融合，不仅实现了壁画文物本体的科学保护，而且通过对文物的虚拟现实的重建、增强了历史的穿越感与受众的参与度，极大地提高了大众保护文化遗产的积极性和主动性，代表着文物保护、展示、利用等多位一体的“大保护”的发展方向。

注 释：

1. 吴来明,徐方圆,周浩.预防性保护理念下的博物馆藏品保存环境对策与实践.东亚文化遗产保护学会第二次学术研讨会论文集,2011年,172-187.
2. 李慧.关于数字博物馆展示内容设计的思考.博物馆研究,2003(3):43-47期.
3. 吴祺,鲁东明,袁庆曙.数字技术辅助博物馆展陈的若干思考.东南文化,2009年03期.
4. 李绚丽.数字展示技术在博物馆展览中的应用.中国博物馆,2015年(2).
5. 陈进良.柿园汉墓壁画揭取报告.芒砀山西汉梁王墓地.文物出版社,2001.
6. 铁付德.馆藏西汉四神云气图壁画保护修复报告.文物出版社,2014.
7. 郭宏.文物保存环境概论.科学出版社,2001.
8. 吴来明,徐方圆,黄河.博物馆环境监控及相关物联网技术应用需求分析.文物保护与考古科学,2011(3).
9. 赵国兴,刘建忠.浅析影响馆藏文物保存的环境因素及预防性保护.文物世界,2015年(2).
10. 邓宏.无线传感网络技术在文化遗产保护领域的应用.文物保护与考古科学,2011年(3).
11. 夏溢涵.虚拟展示场景的探究,南京林业大学硕士学位论文研究生论文,2015.
12. 黄秋野.博物馆中的数字化展览及展示技术研究,江南大学专业硕士学位论文,2008.
13. 魏敏.新媒体时代的博物馆展览——基于观众研究的分析与探索.东南文化,2013年(6).
14. 陈刚.智慧博物馆——数字博物馆发展新趋势.中国博物馆,2013(4).

(作者：河南博物院副研究馆员)