

基于数据感知的数字孪生沈阳故宫文物数据建设研究

倪晓彤, 高家骥, 程威龙, 王佳琪

摘要: 通过运用数据感知和数字孪生技术, 对沈阳故宫的文物和建筑群数据进行建设与优化。尤其关注沈阳故宫的东、中、西路建筑群, 并以此为依据, 推荐适合的数据构建策略, 旨在降低人工工作量并提高数据处理的效率。通过精确建模和还原, 数字孪生模型为文物保护提供了一种强大的工具, 不仅帮助研究人员和保护专家理解文物和建筑群的特征与结构, 为文物保护和修复提供科学依据, 而且促进了公众对文物和建筑群的认知。

关键词: 数字孪生; 文物; 建筑群; 大数据平台; 沈阳故宫

引用本文格式 倪晓彤, 高家骥, 程威龙, 等. 基于数据感知的数字孪生沈阳故宫文物数据建设研究 [J]. 创意设计源, 2024(1):51-56;63.

Research on Data Construction of Digital Twin Mukden Palace Cultural Relics Based on Data Perception

NI Xiaotong, GAO Jiaji, CHEN Weilong, WANG Jiaqi

Abstract: Through the use of data perception and digital twin technology, the data of cultural relics and buildings in Shenyang Palace Museum are constructed and optimized. Especially pay attention to the east, middle and west road buildings of Shenyang Palace Museum, and on this basis, recommend suitable data construction strategies, aiming to reduce the manual workload and improve the efficiency of data processing. Through accurate modeling and restoration, the digital twin model provides a powerful tool for the protection of cultural relics. It not only helps researchers and conservation experts to better understand the characteristics and structure of cultural relics and buildings, but also provides a scientific basis for the protection and restoration of cultural relics, and greatly promotes the public's understanding of cultural relics and buildings.

Key Words: digital twins; cultural relics; architectural complex; big data platform; Mukden Palace

[基金项目] 本文系 2021 年度辽宁省教育厅高等学校基本科研项目“基于老年人宜居环境视角的城市休憩型广场优化布局研究——以大连市为例”(项目编号: J202154); 2022 年度辽宁省社科规划基金项目“数字化推动辽宁文化产业高质量发展的对策研究”(项目编号: L22BJY009) 阶段性研究成果。

一、新时代下沈阳故宫博物院的文物数据平台建设

随着“十四五”规划的发布, 构筑文化大数据平台已成为新时代文化建设的核心基础设施。在积极推动“互联网+中华文明”行动计划进程中, 建设文物大数据平台不仅是贯彻习近平总书记关于深度挖掘和有效利用丰富的文物和文化资源的明确指示, 还是助推

中华优秀传统文化实现创新性转化和创造性发展的重要举措。这一举措不仅对文化产业的蓬勃发展具有积极意义, 还对推动社会进步、提升国家软实力具有深远影响。沈阳故宫博物院是中国历史文化的重要载体, 其丰富的文物资源具有极高的文化和历史价值。然而, 这些文物资源多数收藏在博物馆内, 对公众的可及性相对有限。因此, 利用数字化

技术构建沈阳故宫博物院文物数据平台, 对文物进行数字化整理和展示, 有助于实现文物资源的全民共享, 提高文物的可及性, 让文物真正融入公众的生活。

(一) 沈阳故宫博物院建筑群概述

沈阳故宫占地 6 万多平方米, 包括 114 座古建筑和 500 多间建筑, 是一座承载着丰富历史文化内涵的古代遗

址（见图1）。沈阳故宫博物院建立在宫廷遗址之上，是一座备受瞩目的古代宫廷艺术博物馆，馆内陈列着丰富多彩的宫廷艺术品。

目前沈阳故宫博物院馆藏123件珍贵的国宝，涵盖了清入关前文物、明清书法绘画、清宫服饰、清代家具，以及清宫御用陈设的金、玉、瓷、漆、竹、木、牙、石、角、珐琅等各类制品。在数量和质量上，这些文物均达到国内博物馆的上乘水平，体现了博物馆收藏的卓越品质和历史价值。这一丰富的馆藏不仅深化了沈阳故宫的文化内涵，而且为人们提供了深入探讨、学习和欣赏中国历史文化的独特机会。

1. 东路建筑群

东路建筑群最初建于努尔哈赤迁都时期，其建筑风格与中原地区的皇宫有着显著的不同，反映了游牧民族的独特建筑特征^[1]。努尔哈赤寝宫遗址的挖掘和《盛京城阙图》的发现，验证了努尔哈

赤时代采用分散的宫殿建筑设计。这表明努尔哈赤时期的宫殿建筑与中原传统的皇宫建筑的设计思想（皇帝不离宫）有着明显的区别。据文献记载，古代沈阳是一个城堡，由十字形的街道和四个门组成，努尔哈赤在十字街道的中心建立了自己的府邸，即现在的大政殿和十王亭。他在城中北门的翁城里建立了自己的汗宫。汗宫与府邸的分离设计反映了当时游牧民族在宫殿建筑和国家礼仪上的不完备。一殿十亭的建筑设计在世界上极为罕见，它借鉴了满族和蒙古族行军大帐的设计思想，最大限度地保留了游牧民族军事政权的特色。从远处看，它的建筑与行军驻扎的大帐几乎无异，唯一的区别在于行军大帐是布制的，而一殿十亭是以砖木梁架为结构的亭式建筑。

这种独特的建筑特点被现代人总结为帐殿式建筑（用众多蒙古包式建筑围绕大政殿，在此环境中进行国家管理、政治统治和军事议政），这不仅在中国

历史上是独一无二的存在，在世界历史上也是独特的建筑布局。此外，这一独特的建筑还反映了后金时期的军事民主制度，即各司其职，集合则共治国政^[2]。据文献记载，皇太极在大政殿举行了登基典礼，从此，大政殿与十王亭组成的广场成为举行大型礼

仪活动的场所。大政殿的顶部是八角亭设计（见图2），这对应了八旗建制的军事特性。建筑屋顶采用了琉璃装饰，每条殿顶垂脊上都有一个威武的蒙古力士，象征着八方集聚。主要的建筑结构又体现了汉族传统建筑的特点，八条垂脊向上汇集于殿顶中心，采用八角重檐廊柱式大木作结构，共用二十四根外廊柱，内外金柱均为八根。各种角梁、单双步卯棹相接，层层叠加后使用战支顶雷公柱形成了攒尖式屋顶。

2. 中路建筑

中路建筑的开端是在努尔哈赤去世后，皇太极在精通中国传统文化（紫气东来和尊东尊卑礼序）的基础上，向西建立了自己的寝宫和大殿。从东到西延伸的建筑群体体现了子承父志的血脉延续，以及正统继承者的对外宣示。在公元1636年，皇太极登基称帝，将金改为大清，正式向明朝声明抗争。从中路建筑的形式可以看出，皇太极参考了中原文化的礼仪制度，实行前殿后宫、前

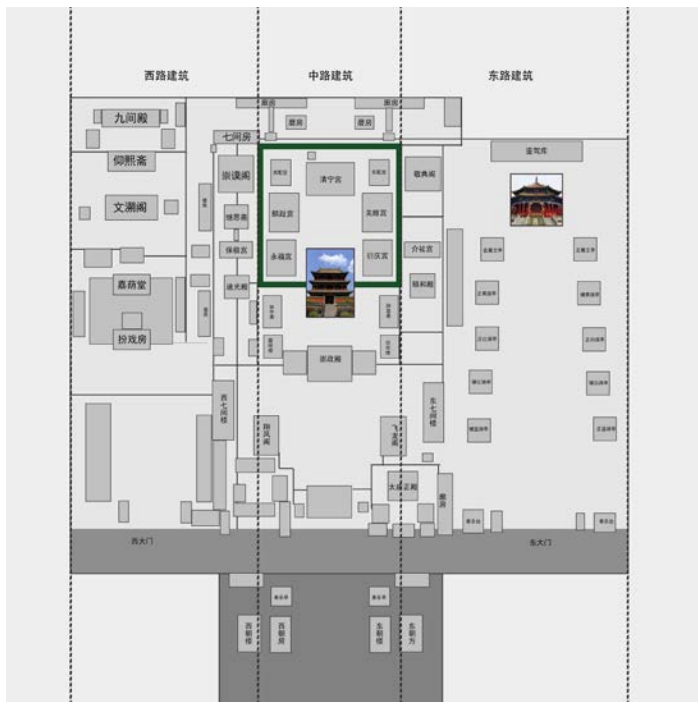


图1 沈阳故宫建筑群概况



图2 沈阳故宫大政殿

朝后寝，其形式结构已不同于游牧民族传统的军事文化形态，而是展现出礼序治国的政治文化形态。皇太极在这里登基称帝，因此，中路宫殿也被称为清朝的开国宫殿。皇太极时期，盛京城由原来的十字街结构转变为井字街。中路宫殿位于沈阳城的中心，符合古代中国“则中立宫”的建立规则。围绕沈阳宫殿的四条街道通向八个城门，这八个城门分别对应了八旗的军事力量，也象征了君主的绝对权力^[3]。

中路建筑中的满族文化主要体现在台上五宫，即清宁宫、麟趾宫、关雎宫、永福宫、衍庆宫。五宫高于殿是一大特色。沈阳故宫中路的崇政殿低于其五个寝宫，北京故宫则是宫低殿高，强调三大殿。明朝时的中原文化强调皇权至上，使宫殿建在高台上以突显皇家的威严。然而，沈阳故宫更重视住宅部分，因此五宫被建在高台上，而崇政殿位于平地。这种建筑形式延续了满族早期重要建筑位于高处的传统居住模式。

沈阳位于北方，气候干燥，因此宫殿建筑多采用硬山式设计，以防风和防火。中路建筑的寝宫结构采用袋房和万字炕。北方冬季寒冷，寝宫的大门多开在最东面一间的南侧，以保持室内温度。落地烟囱和索罗竿等外部特征都反映了满族传统的生活习俗和宗教信仰，是民族文化和宫廷建筑文化完美融合的体现。

在古代，黄色是皇家专用颜色，因此皇帝居住宫殿的屋顶全部采用黄琉璃瓦。皇太极时期的建筑参考了大量中原文化，采用瑞兽、祥云等进行装饰，将八角穹顶变为四角，建筑格局采用中正对称的形式，形成了一定的礼仪规则。这些体现了皇太极吸收并融合了中原和满族文化的智慧和勇气，以及

清朝建筑的独特魅力。

3. 西路建筑

盛京宫殿在乾隆时期经历了大规模的改建和扩建。乾隆皇帝受儒家文化影响，首先对中路建筑进行了改造。乾隆八年（1743年）和乾隆十一年（1746年）至十三年（1747年），乾隆皇帝在崇政殿前增设日晷和嘉量，改建飞龙阁和翔凤阁，并在中路建筑两侧修建了东所和西所，作为他和他的母亲东巡祭祖时的居所。

这一次的大规模改建和扩建，使沈阳故宫的面貌发生了巨变。除了崇政殿、凤凰台和台上五宫等主体建筑基本保持原貌外，其两侧的附属建筑都被改建为对称形式。这样既保持了原有皇家宫殿主体建筑的特点，也为举行各种礼仪活动提供了场所，为沈阳故宫增添了庄重大气的氛围。

乾隆四十三年（1778年）至四十八年（1783年），乾隆皇帝对沈阳故宫进行了第二次修建，兴建了西路的文溯阁、仰熙殿、嘉荫堂等建筑群。此外，他还整修了盛京城中的天坛和地坛，同时将太庙迁至大清门东侧，符合“左祖右社”的帝都规制。乾隆时期的建筑群采用院落式，类似江南建筑的游廊形式。迪光殿、保极宫以及两侧连接的游廊组成了西所中独具特色的一处院落，院落中央是供皇帝行走的御路，御路周围有花坛、湖石等园林植物及小品点缀，富有清新典雅的人文气息。游廊的设计增加了空间的进深感和层次感，西所中还大量采用了苏式彩画为装饰，景致清丽雅致。

在盛京皇宫中，乾隆时期的建筑尤为显眼。与努尔哈赤和皇太极时期的建筑在风格上有所统一，但同时也融入了更多汉族，尤其是江南文化的建筑特色，将中原与关外的审美意趣充分

结合。其中文溯阁较为特别，该建筑采用的是黑绿色琉璃瓦覆顶，与其他建筑多采用黄绿色不一样，这主要是因为文溯阁是用于存放《四库全书》的七阁之一。古人对风水极为讲究，五行与五色和五方是联系在一起的。木火土金水与青赤黄白黑和东南西北相对应，中央是黄色，象征着皇帝位居中央，统摄天下。在封诸侯的仪式中，皇帝会根据封的方位，从坛上取对应颜色的土，授予新封诸侯。

文溯阁是为藏《四库全书》而建，因为怕火，所以选择了黑色。在五行五色中，黑色对应水，水有镇压火的作用，因此文溯阁的建筑颜色采用黑绿两色。乾隆时期的改建和扩建，使盛京宫殿更加庄重大气，同时也更符合皇家礼仪。盛京宫的每一次改造都是一次与时俱进，它的变化反映了清朝在不断发展壮大的同时，也在不断吸收和融合各种文化元素，形成独特的清朝皇家文化。

二、基于数字孪生技术的沈阳故宫文物数据平台建设分析

（一）数字孪生技术应用的优劣势分析

数字孪生技术旨在虚拟世界中实时构建与现实世界物体或过程一一对应的动态数字模型。通过充分利用物理模型、传感器以及运行历史数据等多源信息，该技术整合了多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，能够在虚拟信息空间中准确映射物理实体，展示其在全生命周期内的行为、状态或运动过程。2012年，美国航空航天局（NASA）正式提出数字孪生技术路线图和概念模型，并对其概念进行了明确定义。数字孪生技术的发展目标是通过数字手段对物理实体进行

深度模拟、预测和优化。

2017年,美国Gartner公司认定数字孪生技术为当下的十大战略技术趋势之一,高度评价其具备巨大的颠覆性潜力,预计未来3~5年内将有数以亿计的物理实体以数字孪生状态展现。尽管如此,当前数字孪生技术仍处于初级阶段,相关理论、技术和应用成果相对有限,可供借鉴的成功案例也相对稀缺。这表明数字孪生技术领域仍需更多深入的研究和实践,以更好地推动其在不同领域的全面发展和广泛应用。在这个新兴领域中迈出坚实的步伐,有助于推动数字孪生技术的全面普及和应用^[4]。

数字孪生技术以其独特的优势,为沈阳故宫博物院的文物数据平台建设提供了新的可能(见表1)。这项技术通过建立与文物相对应的详尽数字模型,为实现文物的实时模拟和预测提供了关键手段。通过数字模型,我们能够以高度准确的方式再现文物的各个细节,包括形状、结构和材质等方面的特征。这使得在虚拟环境中对文物进行深入研究、呈现和模拟成为可能。为文物保护提供早期预警,避免不必要的损害。同时,这种数字模型也使我们可以在虚拟环境中进行无数次的模拟实验,寻找最佳的文物保护和修复策略,避免对文物造成可能的损伤,节省了资源并保护了珍贵的文物。此外,实时的数字孪生模型也可实时监控文物的状态,及时发现并处理问题。最后,这种生动、直观的数字模型可以极大地提高公众对文物的理解和感知,提升文物的展示效果和观众的参与度,同时也提供了一种全新的方式,让公众可以在虚拟世界自由探索和学习,增强他们的文化素养和历史意识。总的来说,数字孪生技

术对文物数据平台的建设具有深远影响。

(二) 数字孪生技术在文物数据建设平台融合分析

数字孪生技术在文物数据建设平台中具有关键性的地位。通过数字孪生技术,可以全面深入地理解文物的形态、属性、状态以及演化过程。这项技术能够通过整合物理模型、传感器记录和历史运行等文物数据,形成一个综合的、与现实世界一一对应的数字孪生模型。这一数字孪生模型反映了文物在虚拟信息空间中的全面图景,为文物数据的深度分析提供了基础。通过融合多学科、多物理量、多尺度和多概率的仿真过程,数字孪生技术能够实时映射文物在现实物理世界中的行为、状态和活动过程,使文物的数据更具丰富性和立体感^[5]。

在文物数据建设平台,数字孪生技术还可以为文物的保护、研究和展示提供有力支持。通过对数字孪生模型的分析,可以制定科学、有效的文物保护策略,深入挖掘文物的历史和文化内涵,同时为公众呈现具体、生动的文物展示和体验。因此,数字孪生技术在文物数据建设平台上的应用不仅提升了文物

研究的深度和广度,也为文物的数字化管理和传承提供了强大的工具和方法。

三、数字孪生技术在文物数字化建设中的应用研究

(一) 构建文物拟态模型的多尺度演化机制与运行路径

文物数据涵盖庞大的异构数据,包括了文物的外形、材质、历史背景、保存状况等多方面信息。然而,要将这些数据进化为深刻的知识仍是一个亟待解决的问题。传统的文物数据处理方法可能只局限对数据的收集和存储,缺乏对数据间关联和深层次挖掘的有效手段。因此,如何在庞大且复杂的文物数据中发现潜在的知识,成为数字化时代面临的重要挑战。解决这一问题需要借助先进的技术手段,包括人工智能、机器学习等,以实现文物数据深刻和全面地理解,为文物研究、保护和传承提供有力的支持。通过构建多尺度、多维度的文物知识模型,更好地传递文物的内在价值。

以往的文物数据表达和生成方法未能满足公众对文物多维度阐释的需求,难以让公众深入理解文物的价值。为解决

表1 数字孪生技术优势分析

优势	分析
模拟和预测	数字孪生技术使人们可以在虚拟世界中模拟沈阳故宫文物的各种状态和过程,包括文物的衰老、损坏等过程,以此预测未来的文物保护和修复需要面对的问题,提前做好准备
优化	通过数字孪生技术,人们可以在虚拟世界进行模拟实验,找出最优的沈阳故宫文物保护和修复策略,无需在真实的文物上进行试验,既节省了资源,又保护了珍贵的文物
监控	通过将数字孪生模型与现实世界的文物紧密连接,人们可以实时监控沈阳故宫文物的状态,及时发现并解决问题,防止文物受到损害
教育和展示	数字孪生模型可以使公众直观了解文物,提高沈阳故宫文物展示的效果和观众的参与度。同时,通过数字孪生模型,公众可以在虚拟世界中自由探索和学习,增强公众的文化素养和历史意识

这一挑战,本研究从宏观、中观和微观三个层面入手,着眼构建多维度的文物知识模型,以满足公众对文物价值多层次阐释的需求。通过这一创新性方法,文物的复杂性得以细致、全面地展现,使公众容易理解文物的历史和文化价值。同时使文物数据更具可理解性,为数字文物研究和推广提供基础。

(二) 构建数字文物应用服务系统:多元、多物理量、动态特性

本研究旨在构建具备多元、多物理量、动态特性的数字文物应用服务系统。通过这一方法,数字文物的展示更加生动,为用户提供丰富和全面的文物体验。参与者可以通过调整虚拟实体,将其反馈至与文物本体相关的数字设备上,使文物本体实时发生变化,实现物理维度文物本体与信息维度数字的双向实时映射。这一创新方法为公众提供了全新的互动方式,用户通过对不同时间段的数据解析、数据调用等手段,从文物多物理量本体属性的角度全方位体验数字文物。这样的互动体验为公众创造了深入、个性化的文物交流与学习环境(见图3)。

(三) 构建多模态感知融合、自适应交互情境

文物拟态模型包含了对沈阳故宫文物本体的几何参数与结构关系、文物的物理属性,以及特征信息、文物在不同外部环境下,实时响应的行为模型,使文物拟态模型按照“情景一一对应”模式,对文物“上下文”进行全流程仿真,多通道的数据接口可以让公众从不同的感知角度对沈阳故宫数字文物进行感知。同时,可视化的自适应交互形式为公众加强对文物价值和意义的认知提供底层的资源数据支持^[6]。

四、基于数字孪生模型的文物保护研究和风险评估

(一) 精确建模和还原

精确建模和还原在数字孪生模型中发挥着至关重要的作用,特别是在文物保护领域。利用数字孪生技术,可以运用高精度三维扫描和测量技术对沈阳故宫的文物和建筑群进行建模,这样可以精确地还原其外观、结构、材料等特性。在建模过程中,通过先进的激光扫描、摄影测量等手段,获取文物的几何数据。例如,沈阳故宫的建筑群中包含东路建筑、中路建筑和西路建筑,这些建筑群的历史信息和结构特征可以通过高科技手段进行捕获。这些数据被用来生成详细的三维模型,从而准确地描绘文物的形状和外观。此外,非破坏性的测试技术(如X射线或红外线等),使人们窥见文物的内部结构和材料,从而理解文物的构造。

基于数字孪生模型,文物保护专家和研究人员可以在虚拟环境中观察和研究文物,深入了解其内外部结构。这种精确建模和还原过程为研究文物的历史、制作工艺、材料特性等方面提供了重要基础。同时,也为文物保护决策提供了科学依据,使保护措施更具针对性和有效性。

此外,数字孪生模型还可以与虚拟现实(VR)和增强现实(AR)等技术相结合,使公众能够以互动的方式理解和欣赏沈阳故宫各个时期的文物。通过这样的交互体验,公众可以全方位地认识和理解文物,可以近距离地观察文物的细节,深化对其历史和文化价值的认识。通过精确建模和还原,数字孪生模型为沈阳故宫的文物保护提供了强大的工具,不仅帮助研究人员和保护专家更好地理解文物的特征和结构,为文物保护和修复提供科学依据,而且极大地促进了公众对文物的认识和欣赏^[7]。

(二) 模拟环境变化对文物的影响

数字孪生模型可以模拟文物在不同环境条件下的变化和退化过程,从而评估文物在这些环境中的响应和变化情况。

温湿度是文物保护中的一个重要因素。通过数字孪生模型,可以模拟不同温湿度条件下文物的受潮、干燥、膨胀、

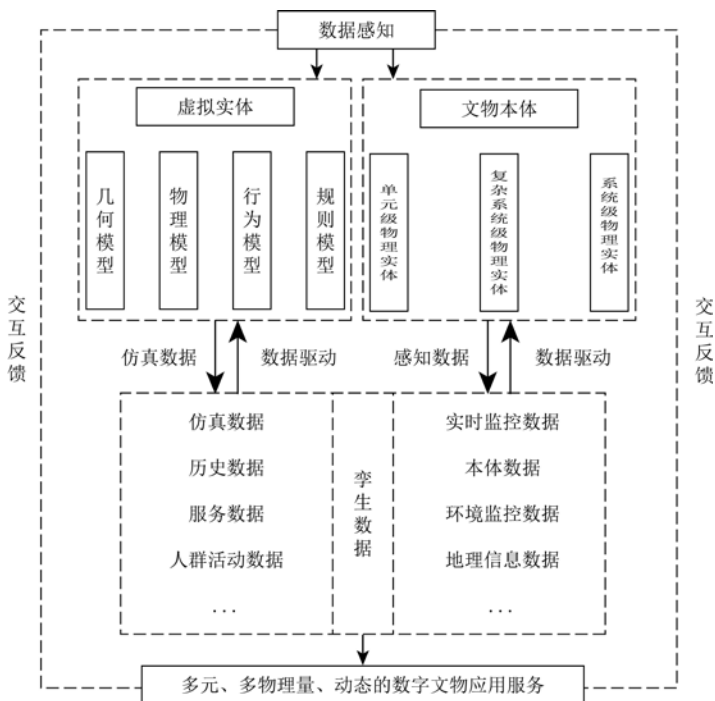


图3 多物理量、动态的数字文物应用服务内容建设(作者自绘)

收缩等现象,以及由此引起的材料老化、腐蚀、开裂等问题。这有助于评估文物在不同湿度和温度环境中的稳定性和风险,从而制定相应的保护策略。

光照条件是影响文物保护的因素之一。数字孪生模型可以模拟不同的光照强度、光谱分布等条件下文物表面的光化学反应和颜色变化。通过模拟光照条件的变化,可以评估文物在长时间曝光下可能发生的褪色等问题,为文物的展示和保护提供参考。

此外,震动是文物受损的常见原因。通过数字孪生模型,可以模拟地震等环境因素对文物结构的影响,评估文物的抗震性能和脆弱性。这有助于确定文物在地震活动或其他振动环境中的安全性,并采取相应的防护和支撑措施。

通过模拟环境变化,数字孪生模型能够提供对文物在不同环境条件下的响应和变化的深入理解。这为沈阳故宫文物保护工作提供了重要的科学依据,帮助文物保护专家和研究人员预测和评估文物可能面临的环境风险,并采取相应的措施来减轻或防止潜在的损害。这样的模拟和评估过程有助于制定有效的文物保护策略,确保文物的长期保存和传承。

(三) 损伤评估和风险识别的技术与方法

通过数据分析和模拟,可以对文物在不同条件下的损伤程度进行评估,并识别文物面临的风险和潜在问题。

通过数字孪生模型,可以对沈阳故宫文物进行全面的数据分析,包括文物的结构、材料特性、历史背景等方面的信息。这些数据可以用于建立文物的数字化模型,并进行损伤评估。利用模型和数据分析技术,可以模拟温度、湿度、光照、振动等因素对文物的影响,评估文物在不同条件下的损伤程度(材料的老化、腐蚀、变形等)。这有助于发现

文物的薄弱环节和容易受损的部分,为沈阳故宫的文物保护工作提供重要的指导和决策依据。

此外,通过数据分析和模拟,还可以识别文物面临的风险和潜在问题。比如,通过历史数据和环境参数分析,可以预测自然灾害(如地震、洪水等)对文物的潜在影响,以及人为因素(如盗窃、破坏等)可能带来的风险。基于这些预测,可以制定相应的保护策略和风险管理措施,以减轻文物遭受损害的潜在风险。

综合利用数字孪生模型、数据分析和模拟技术,可以对文物的损伤程度进行评估,并识别潜在的风险因素。这为文物保护工作提供了有益支持,帮助文物保护专家和决策者制定科学有效的保护策略和措施,保护文物的安全性和完整性。

(四) 风险预测和保护措施制定

数字孪生模型以及风险评估技术的结合可以有效进行文物风险预测,进而制定对应的保护措施。历史数据、环境参数及其他相关因素分析能识别诸如自然灾害(地震、洪水、火灾等)、气候变化、环境污染、人为破坏等潜在的风险与威胁,这些因素可能对文物的完整性和安全性产生影响。数字孪生模型和风险评估技术的联用可以预测文物可能面临的风险场景。比如,模拟不同地震强度下文物的情况,或预测洪水可能对文物带来的影响或分析气候变化对文物材料的损伤程度等。这些预测结果有助于文物保护专家和决策者了解并评估文物可能面临的风险,进而制定相应的保护措施和风险管理策略。

根据风险预测结果,我们可以采取一系列保护措施以降低文物遭受损害的风险^[8]。比如,可以制定紧急预案,以应对突发事件。加强对文物的监测和巡查,及时发现并处理潜在问题;改善

文物的存储条件和展示环境,控制温湿度、光照等因素。加强安全措施,保护文物免受盗窃和破坏等。在文物保护领域,数字孪生模型和风险评估技术的综合利用有着广泛的应用前景。数字孪生模型可以提供对文物的精确建模和还原,使我们能够深入了解文物的形状、结构和材料等特征。通过模拟环境变化,可以评估文物在不同条件下的响应和变化。损伤评估和风险识别能让我们了解文物的损伤程度和面临的风险,进而采取预防措施。

数字孪生模型和风险评估技术的结合能让我们全面、准确地了解沈阳故宫文物的保护需求,这对制定科学有效的保护措施,降低文物遭受损害的风险,并延长文物的寿命有着极其重要的意义^[9]。同时,这两者还为文物保护决策提供了科学依据。通过预测文物可能面临的风险和问题,我们可以制定相应的保护策略和管理计划,最大限度地保护沈阳故宫文物的安全性和完整性。因此,数字孪生模型和风险评估技术在文物保护领域有着广泛的应用前景,其能够提供全面、准确的信息,为决策提供支持,有助于文物的可持续性保护与传承。

五、结语

本文详细研究了基于数据感知的数字孪生技术在沈阳故宫文物数据建设中的应用。通过深入分析数字孪生模型和风险评估技术在文物保护领域的综合应用,可知这些先进的技术手段极大地提升了文物数据的管理和保护效率,有助于实现文物全民共享的目标。通过建立数字孪生模型,沈阳故宫可以对文物进行精确地建模和还原,从而让公众深入理解和欣赏文物的价值。同时,通

(下转 63 页)