

上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
TISC技术与创新支持中心

数字化城市

DIGITAL CITY BRIEFING

2023 年

第 13 期



遗产建筑修复中的 BIM 技术应用

编者按

建筑信息模型 BIM (Building Information Modeling) 起源于美国，最早出现在 20 世纪 70 年代，但直到 2000 年初才成为一个商定的术语。不同国家 BIM 标准的制定和采用进度各一。相比于起步较早的欧美国家，中国近几年在遗产建筑修复和保护领域对该项技术的应用力度在不断加大。本期简报将对 BIM 技术在国内外遗产修复领域的理论、模型研究，以及技术发展进行介绍，并例举了国内外遗产建筑修复中 BIM 技术的应用案例。



目 录

技术..... 3

 BIM 技术在遗产建筑保护中的捕捉、修复、振兴和教育能力..... 3

 基于 BIM 的古建筑信息模型研究 5

 国外建筑遗产修复的 BIM 应用实践 7

 国内古建筑中的 BIM 技术探究..... 8

案例 11

 巴黎圣母院修复中的 BIM 技术..... 11

 河南省辉县百泉卫源庙修复 12

 宋庆龄故居保护中的三维信息化 BIM 模型..... 13

 杨树浦水厂改造中的 BIM 信息化管理 14



技术

BIM 技术在遗产修复中的捕捉、修复、振兴和教育能力

文化遗产的保护是一项跨越几代人的责任。随着时间的推移，保护人类丰富的历史和建筑奇迹的需求也在不断增长。在当今时代，BIM 技术已成为一种强大的工具，不仅可以用于建造新结构，还可以为人类的遗产注入新的生命。

一、通过 BIM 捕捉历史精髓

过去，修复遗址通常意味着需要手工费力地重建复杂的细节。然而，BIM 技术通过创建结构的详细数字复制品，彻底改变了这一过程。通过数字孪生捕捉了原始建筑的精髓，包括每个角落、缝隙和华丽的细节。

- 3D BIM 建模

通过精心制作这些模型，专家们可以准确地再现历史建筑的结构、材料和设计原理，确保恢复过程中不会丢失任何复杂的方面。

- 保持历史准确性

BIM 不仅捕捉遗产地的视觉效果，还记录其历史背景。这包括建筑趋势、施工技术，甚至嵌入结构中的故事。

二、BIM 在遗产保护方面的优势

BIM 技术在保护人类丰富的文化遗产方面有着无与伦比的优势。

- 高效恢复

BIM 的功能不仅限于可视化，它们的有效恢复的基石。建筑师和工程师可以利用 BIM 模型彻底分析遗产地的状况。通过识别脆弱性和结构弱点，在深入了解建筑物需求的情况下制定修复策略。这最大限度地减少了修复过程中出现不可预见挑战的风险，并简化保护工作的执行。

- 虚拟时间旅行

BIM 技术最显着的特点之一是它能够模拟时间的流逝。保护主义者可以创建数字模型来展示遗产结构几个世纪以来的演变。这种虚拟时间旅行不仅在视觉上



令人着迷，而且在视觉上令人着迷。对于历史学家和研究人员来说，它是一个非常宝贵的工具。通过探索建筑物如何随时间变化，专家可以揭开其历史，了解建筑影响，并深入了解不同时代的文化背景。

- 数据驱动的决策

BIM 模型包含从材料规格到结构分析的多层信息。保护主义者可以利用这些丰富的数据做出明智的决策。无论是选择最合适的修复材料还是评估干预措施的潜在影响，数据驱动的选择都可以提高保护工作的有效性和寿命。

- 最大限度地减少不确定性

修复项目，尤其是涉及历史建筑的修复项目，存在固有的风险。BIM 通过提供虚拟测试场来帮助减轻这些风险。保护主义者可以在数字模型中模拟各种场景和干预措施，以预测潜在的结果。这种积极主动的方法最大限度地减少了不确定性，并确保恢复工作充分知情并根据每个遗产地的独特特征进行定制。

三、恢复遗产

保护遗产地不仅仅是为了维持其外观，而是为了确保其功能和寿命能够为子孙后代所用。BIM 技术通过考虑结构的视觉和功能方面的细致修复来帮助实现这一目标。

- 虚拟修复

BIM 的虚拟环境允许专家在执行之前模拟修复场景。这使他们能够尝试不同的方法，确保所选的修复路径符合该地点的历史意义，同时解决结构问题。

- 可持续材料和技术

现代修复通常结合可持续材料和施工技术。BIM 使修复团队能够以虚拟方式测试这些创新，确保它们与遗产地的现有组件无缝融合。这种传统与现代的结合保留了该地点的原始魅力，同时增强了其恢复能力。

四、遗产的古为今用

虽然保护至关重要，但使遗产地适应当代用途也同样重要。BIM 技术通过帮助将历史建筑转变为符合现代需求的功能空间来促进这一目标。

- 适应性再利用规划

BIM 使建筑师能够探索适应性重用场景。无论是将旧教堂改造成图书馆，还



是将工厂改造成博物馆，BIM 的预测功能都可以让建筑师准确地可视化和规划改造过程。

- 整合现代设施

复兴通常涉及在不损害历史完整性的情况下整合现代设施。BIM 有助于完成这项任务，允许建筑师将 HVAC 系统、电线和辅助功能等元素无缝地融入到结构中，同时保持其原始特征。

五、教育和激励后代

保护遗产地不仅是砖块和砂浆，而是保护故事、文化和传统。BIM 技术在这一努力中发挥着重要作用，它能够创建将人们与过去联系起来的沉浸式教育体验。

- 虚拟游览和展览

BIM 支持的虚拟游览和展览为那些可能永远没有机会亲自参观遗产地的人们提供了一扇了解历史的窗口。这些数字体验提供了对该网站的历史、架构和重要性的交互式见解，促进了更深入的理解和欣赏。

- 教育推广

BIM 模型可用作学校和大学的教育工具，让学生能够以数字化的方式亲身探索历史建筑。这促进了人们对保护和建筑的兴趣，同时强调了保护人类文化遗产的重要性。

资料来源：

<https://www.varminect.com/heritage-bim-how-bim-technology-preserves-our-legacy/>

基于 BIM 的古建筑信息模型研究

中华 5000 多年的古建筑文化具有极高的历史价值、艺术价值和科学价值。由于时代的变迁，我国各地区的古建筑在一定程度上存在破损。古代传统的古建筑信息存储方式包括文字、彩画与构件大样图等，这些资料很容易丢失，且不能完全真实地放映出古建筑的结构特点，关联性相对较差。

随着现代科学技术的发展，BIM 技术逐渐被应用到古建筑模型信息中，解决了古建筑修复、保护与扩建的问题，从而使得建筑中的构件信息得以永久保存。



选择 BIM 作为存储古建筑构件信息的平台，利用现代科技新技术来解决较为繁杂的古建筑构件信息记录，使我国古建筑三维信息更直观地呈现在 REVIT 三维模型中。于此同时，各个构件信息可以随意被调用。BIM 技术可以更好地实现模型信息管理与信息共享，使读者、观看者、研究者可以全面详细地了解古建筑。目前，我国古建筑保护应用 BIM 技术主要体现在：记录古建筑生命周期的信息、古建筑三维整体模型与局部模型的建立等方面。

相对于 CAD 二维软件来说，BIM 平台提供了三维思维，将建筑平面设计、施工图设计、方案设计、建筑能耗、寿命周期等整合在一座建筑模型中，节省了大量人力、物理、财力，大大提高了工作效率。通过 BIM 技术所提供的平台，可更为真实地记录古建筑构件信息，将其作用发挥到最大。BIM 技术所构建的建筑信息模型最大特点是参数化。参数化族构件是动态的，能够体现一座建筑在不同时期的不同尺寸，且可以与其他构件相关联。因此，建筑即使受到不同程度的损害，也可以通过模型信息将其修复与还原。BIM 技术强大的信息存储能力和完善的功能平台，为现代建筑及古代遗产建筑保护提供了强大的技术支持，使遗产保护工作更高效，也使我国的古建筑文化源远流长。

资料来源：

[https://www.linkedin.com/pulse/bim-industry-40-construction-ai-how-future-might-look-maji,](https://www.linkedin.com/pulse/bim-industry-40-construction-ai-how-future-might-look-maji)

<https://kns.cnki.net/KXReader/Detail?invoice=L6o7oYMRPLbjuR4tN79xyvF105fdxkRPi2pzTIV0WfJmZgroxZZtKs%2FwDBcVzYmQWnx8k9Bp6BircLVdVq%2FN0hKzyYh5YnSn1uXcSgzND9Q%2B5ncqVav2X%2BI4nEmX6XOchwndN5%2BgB3LbUQgjEqsflKJpodThA%2Ftx52CEbiOoohA%3D&DBCOD=CJFQ&FileName=YCBH201907022&TABLEName=cjfdlast2019&nonce=BEA65E04EA2142108DEF446BB6755021&TIMESTAMP=1699496709110&uid=>



国外建筑遗产修复的 BIM 应用实践

随着信息技术的不断发展，BIM 技术逐步被用于建筑遗产研究保护领域，使建筑遗产保护过程中遇到的问题得以高效解决。从 BIM 技术在建筑遗产中应用的程序，将其划分为三个步骤。

步骤一：使用地面激光扫描或数字摄影测量模型远距离收集调查数据

针对欧洲古典建筑，Murphy 等提出 BIM 用于历史建筑的新方法，即收集三维图像数据、查阅建筑资料细化历史建筑细节、映射构件参数到扫描数据上生成 BIM 模型、导出结果资料形成云数据。Moano 等在对西班牙赛维利亚一座巨型铜时代纪念碑的研究中引入 BIM 技术和三维扫描点云技术，利用三维扫描点云数据建立具有复杂考古形状的 BIM 参数对象。Suwardhi 等面对位于印度尼西亚的 Borobudur 寺庙建筑石块劣化程度不断加重的情况，该研究团队通过无人机摄影技术获得 Borobudur 寺庙的地面图像，详细收集建筑三维信息，使寺庙建筑实现完全数字化，并建立了 1:100 的数字高程模型。

步骤二：BIM 模型源数据收集后，需要对点云数据进行处理，并进行建筑物或构筑物 BIM 模型的建立

Murphy 等在爱尔兰都柏林的 Henrietta 街保护建模中，激光扫描后，将正交图像导入到 BIM 平台 Archi-CAD 中，通过组合 HBIM 插件中包含的所有必需库部分来完成建模。Barazzetti 等使用 Cloud-to-BIM-to-FEM 的方法，将点云转换为 BIM 然后用有限元方法模拟结构行为。

步骤三：将单一模型的 BIM 模型信息能和其他的数据信息连接，形成关联、开放的系统或数据库，为建筑遗产的管理和维护提供更多的帮助

Murphy 等将 Henrietta 街的 HBIM 模型转换为 cityGML，进行进一步的 GIS 分析。最后，与 cityGML 的集成可以提供将信息系统与 3D 传统模型链接的更多功能。ciribini 等提出通过软件的互操作性实现在建筑设计中引入 BIM 数据流，



使 BIM 作为历史建筑结构和能源保护及修复过程的基础。Fai 等基于 Batawa 项目，将不同的 BIM 数据集整合到同一个数据对象中，使用 Navisworks 软件协助实现单个资产模型的访问验证。Brumana 等对意大利科莫斯卡里亚的圣玛丽亚教堂进行研究，将建筑性能分析与 BIM 平台和 Autodesk 基于 web 的能源分析软件 Green Building Studio 结合使用，开发一种适用于生命周期建筑管理和能源效率的工具。

资料来源：<https://m.fx361.com/news/2021/1231/13828441.html>

国内古建筑中的 BIM 技术探究

近年来，随着 BIM 技术的兴起，BIM 技术开始作为古建筑遗产保护的技术手段。通过数字化建模，能够得到覆盖古建筑遗产项目全寿命周期详细信息的建筑信息模型，使古建筑遗产的保护从传统模式中走出来，以数字化的形式延存。

一、基于激光扫描、倾斜摄影等技术的 BIM 模型数据收集方法：

- 基于 BIM 和 GIS 建立的斗拱信息化模型及得到了时空布局；
- 利用点云构建古建筑遗产全息集合模型，配合 GIS 环境将模型实现共享；
- BIM-3D 扫描技术，实现根据点云数据建立古建筑遗产 REVIT 模型；

二、建筑 BIM 模型建立

- 基于点云数据的古建筑遗产建模方法，对于复杂结构采用 DELAUNAY 四面体剖分算法建立三角网模型，对于规则部位则直接构建实体模型；
- 基于 IFC 标准的建筑模型转化技术；

三、构件库建立

- 根据图形数据库和扩展字典保存古建筑遗产附加信息，建立构建信息模型系统。
- 以明清古建筑构造形式及建造规律为基础，以构件为最小粒度单元，对 BIM 环境下的明清古建筑构件库参数化设计进行研究；

四、古建筑全生命周期管理

- 基于 BIM 技术，从古建筑遗产的全生命周期出发，划分各个层次信息，



从而构建了古建筑遗产的信息模型；

五、参数化建模

- 根据 BIM 的优势，结合 BIM 技术对古建筑遗产保护的详细信息进行参数化存储、建模方法，构建了 BIM 技术在古建筑遗产保护中的参数化模型。

资料来源：<https://m.fx361.com/news/2021/1231/13828441.html>



案例

巴黎圣母院修复中的 BIM 技术

2019 年 4 月 15 日，巴黎圣母院突发大火，烧毁了拥有 900 年历史的巴黎圣母院大教堂的屋顶，超过三分之二的塔顶被烧毁，标志性的尖顶整个坍塌，世人为之震惊和心痛。巴黎圣母院的修复一直是法国民众关注的焦点。

此后，专门从事历史古迹激光测量和数字化的 Art Graphique & Patrimoine (AGP) 公司通过投资制作建筑信息参与了巴黎圣母院的重建工作模型。AGP 使用 BIM 技术创建巴黎圣母院的 3D 数字模型，是大教堂修复的关键。

2022 年 4 月，全球专业软件巨头 Autodesk 提供了智能数据和几何三维建模。这为不同机构之间的远程协作提供了很大的便利，最新的数据和计划都实时在了这个中央储存库里。Autodesk 还与 Art Graphique & Patrimoine (AGP) 合作，将现有扫描与新的激光测量相结合，创建了巴黎圣母院的高度详细的数字模型。幸运的是，法国公司 Art Graphique and Patrimoine (AGP) 已经捕获了火灾发生前大教堂大部分区域的详细数字扫描。随后，AGP 和 Autodesk 重新扫描了现场，试图了解大火改变了什么。

由于巴黎圣母院的复杂性、结构细节和庞大的规模，Autodesk 和 AGP 花了一年多的时间才创建了一个全尺寸的数字模型。该模型完全采用 Autodesk 技术设计，需要 12 台激光扫描仪和 7 名工程师组成的团队来扫描建筑物并收集 46000 张图像。这是使用 BIM 技术进行历史建模的无与伦比的示例。

BIM 技术使修复团队能够在强大的云计算技术的支持下，处理大教堂及其周围场地的精心细致的 3D 数字模型。设计软件巨头 Autodesk 的首席执行官安德鲁·阿纳格诺斯特表示，它可以让人们真正了解建筑物如何组合在一起、如何构建。该公司自火灾后不久便为该项目提供了技术咨询、软件和财务援助。这个数字模型花了一年多的时间创建，包括超过 12000 个对象、30000 平方米的石墙、3900 平方米的铅屋顶和 186 个大教堂拱顶。

巴黎圣母院大教堂将于 2024 年重新开放，之后，BIM 仍可能发挥重要作用：Autodesk 建筑、工程和施工行业战略副总裁 Nicolas Mangon 表示，公司目前正在讨论部署该模型来管理未来建筑群的各个方面，可能会使用传感器来精确定位



未来火灾的位置。

资料来源：<https://www.autodesk.com/design-make/articles/bim-renovation-agp>,
https://www.autodesk.com/campaigns/make-anything/notre-dame?us_oa=dotcom-us&us_si=67060ee0-4578-4e87-a75e-94983c51a181&us_st=notre%20dame,
<https://www.fastcompany.com/90881189/digital-modeling-restoring-notre-dame-cathedral>

河南省辉县百泉卫源庙修复

清晖殿位于河南省辉县市百泉卫源庙内。卫源庙创建于隋，为祭祀卫源之神而建。现存建筑为明代早期重建，保留有柱础等唐宋遗构。

清华大学建筑设计研究院有限公司建筑与文化遗产保护研究所经探索后，将 BIM 技术应用于清晖殿的保护设计、施工、运营维护各阶段，充分体现 BIM 的参数化设计方法，并探索了 HBIM (heritage building information model) 应用技术。通过应用 HBIM 技术，对异形屋面，建筑脊饰等细部，斗拱等的三维模型进行可视化设计，大大减少了二维设计的隐形失误。

基于 BIM 的思维，文物建筑的构件信息，结构信息，材料信息，残损信息、修缮做法都可以被整合在一个相互关联的逻辑系统中，在建立大木、小木、瓦石、装修模型的时候已经同步载入年代、价值、残损等主要特征信息。最终的图纸是一个信息模型在不同维度上的表达。责任设计师同时可以以三维的方式观察设计对象。

文物建筑的修缮设计中应用 HBIM 技术，主要优势有以下三个方面：

一是文化遗产保护涉及多个人群，同时设计过程涉及诸多工种，设计中反复推敲带来的调整变更往往是多环节多工序的；HBIM 提供了一种新的工作方式，将管理部门、保护单位、设计方、施工方和大众联系在一个交流平台上，从而使保护工作的各个环节紧密联系，同步调整的设计方式协同进行。

二是勘察和记录信息，这是文物保护才有的需求，而新建设计是没有的。HBIM 设计过程中，有价值的信息在 BIM 建模数据完成后可以永久的保留下去，具有建立新型档案保存方式和检索方式的意义。那么 BIM 在古建保护方面的意义就完全



不同于新建设计了。

三是施工设计上，通过 BIM 规定实施工序，把材料、构造等传统施工工艺体现在三维 BIM 的房屋修缮图中。对于文物古建筑来说，这种方式让病害的诊断和治疗措施的制定更直观。

资料来源：https://www.sohu.com/a/362498273_100237201

宋庆龄故居保护中的三维信息化 BIM 模型

位于上海淮海中路宋庆龄故居是全国重点文物保护单位，从始建至今经历了多次大修。故居的保护工程不仅包括对房屋的检测和修缮，还有对故居内大量可移动文物信息的读取、保存和安保管理，以及故居周边景观和古树的保护工作。

原先，文物建筑保护大多是通过增加人力、物力等传统手段，效率不高。近年来，随着数字技术的发展，特别是 GIS（地理信息系统）、三维激光扫描、信息化建模、虚拟现实、BIM 等新型数字信息技术的涌现，让历史建筑也有了“数字大管家”。

2021 年 4 月，宋庆龄故居纪念馆向上海市文物保护工程协会提出“基于数字孪生技术的上海宋庆龄故居文物建筑预防性保护项目”的申报申请。项目以数字孪生技术为载体，结合故居的建筑现状，将形成一个系统性的建筑运维管理平台，实现文物建筑全生命周期管理的数字化转型。通过三维激光扫描、无人机摄影测量、VR 全景漫游等，真实还原被扫描物体的空间坐标信息，根据实景完整保存故居建筑外侧和庭院内所有物件的尺寸、纹理、颜色等信息，从而形成数字化模型。只要点点鼠标，就能随时观测到故居的一物一景、一草一木。

通过 BIM 技术对数字化几何模型进行深化处理，形成故居三维信息化 BIM 模型，就可以对模型中的任意构件的属性进行定义，比如添加历史信息、图片、修缮记录等，形成数字化信息档案。将健康监测系统与 BIM 平台相结合，通过倾斜监测点、不均匀沉降监测点、温湿度传感器、白蚁传感器、振动传感器等布置，实现对故居整体进行在线、连续、实时的监控，大大提高文物修缮、保护的及时性和可预见性。



资料来源: <https://www.163.com/dy/article/GG190R8U0514EGPO.html>

杨树浦水厂改造中的 BIM 信息化管理

1883 年, 杨树浦水厂建成通水, 这里曾流出第一滴城市自来水, 诞生第一批自来水产业工人, 号称“远东第一大水厂”。如今, 杨树浦水厂深度处理改造工程正在全面施工。深度处理改造工程于 2020 年全面启动。在上海各大水厂中, 杨树浦水厂改造可谓最难。它是全国重点文物保护单位, 厂区内十分复杂, 既有生产设施与百年历史保护建筑纵横交错。标注“1902”、“1921”、“1925”等年代的建筑随处可见, 施工中必须避让。

杨树浦水厂是国家文物重点保护单位, 对它进行改造施工, 难度远超常规工程; 同时还要保证对外供水不间断等诸多限制。为此, 杨树浦水厂提出了“水质保证、环境保护、运营保障、文物保全”的四保方针, 按照“一池一策”“一树一保”量身定制规划设计方案, 采取“分步改造、分期建设”的工程措施。在施工中, 建设单位尝试大量运用全套管硬切割咬合桩等新技术, 解决了在狭小场地中新建水池和保护既有建筑之间的矛盾, 并采用 BIM 系统实现全过程精细化、信息化管理。

2024 年投产之后, 杨树浦水厂将拥有全国领先的制水工艺, 每天为 300 万名市民提供 120 万立方米高品质饮用水。

资料来源: <https://export.shobserver.com/baijiahao/html/638629.html>,

<https://www.sh.chinanews.com.cn/bdrd/2023-08-03/114668.shtml>



数字化城市

DIGITAL CITY BRIEFING



地址：上海市永福路 265 号

邮编：200031

编辑：汤颖颖

责编：曹磊

编审：林鹤

电话：021-64455555

邮件：istis@libnet.sh.cn

网址：www.istis.sh.cn