

完整认识建筑形态

海拔3700米的红山之上，霞光清澈，掩映着巍峨壮观的布达拉宫，金顶群在湛蓝天空下熠熠生辉。作为中国多民族融合的见证和极其重要的文化遗产，这里始终备受世人瞩目。

布达拉宫建筑结构复杂，内部陈设众多，地窄狭小，墙体自下而上成梯形，在这里进行测绘工作难度极大。

“布达拉宫古建筑群的勘查测绘经历了不同阶段。第一个阶段是对其外部进行测绘，第二个阶段是对内部进行测绘，但复杂空间并没有测出。在文物保护阶段，则对红宫和白宫进行了三维建设建模。”北京帝测科技股份有限公司文化遗产事业部经理信泰琦介绍说。

2015年后，随着测绘科学技术在文物保护行业的广泛应用，帝测科技用两年的时间，对布达拉宫建筑及周边环境进行了高精度测绘，对布达拉宫整体的建筑形态形成了完整认识，使布达拉宫1200多个地表现出原形。

每一个文物保护对象特点不同，测绘前要考虑保护对象的特殊性。测绘团队在测绘前对布达

拉宫进行了标志，拓清了山体轮廓，进而摸清红山山体与布达拉宫的交接面，完整认识了布达拉宫的整体形态。

为了将多源异构的数据统一到同一个坐标系下，测绘团队对整个测区进行了精密控制网施测，并逐级加密。将室外坐标传递到室内，形成并建立了三维模型，形成了布达拉宫具有时代化保护特征的工作基础数据，满足了极为复杂的建筑特征及空间形态的文物保护的需要。

建立布达拉宫数据库

布达拉宫是山体建筑，砌筑地垄是保证有足够稳定的平面来支撑殿堂的基础，然而，许多内部地垄在布达拉宫修建完成后被封堵，这不仅提高了测绘难度，更重要的是无法全面认识布达拉宫的建筑整体以及这些被封堵地垄的保存状态，从而难以有针对性地制定保护措施和工作计划。

借助无人机航拍、三维激光扫描、多视角影像重建等最新技术，像搭积木一样将布达拉宫的空间一个一个地搭建在一起，信泰琦说：“空余较大的地方就是其空缺的部分，通过这种手段，我们进一步发现了6个隐藏地垄。”

保护布达拉宫的关键，在于其结构的稳定性。墙体是布达拉宫的主要结构，测绘团队对所有病害进行了标记，恢复其三维立体空间，对巡查进行统计分析，从而为结构专家下一步分析布达拉宫提供了有效依据。

“布达拉宫一共有3个山洞，1号山洞和3号山洞分别位于布达拉宫两侧，对结构稳定影响不大。其中2号山洞对布达拉宫的山体及主体建筑影响较大，在没有进行三维测绘之前，其保护规划需要进行支护。通过三维定位，明确了建筑和山体以及主体建筑间的位置关系，我们摸清了红山上山洞和山体以及主体建筑与道路之间的关系。”信泰琦说。

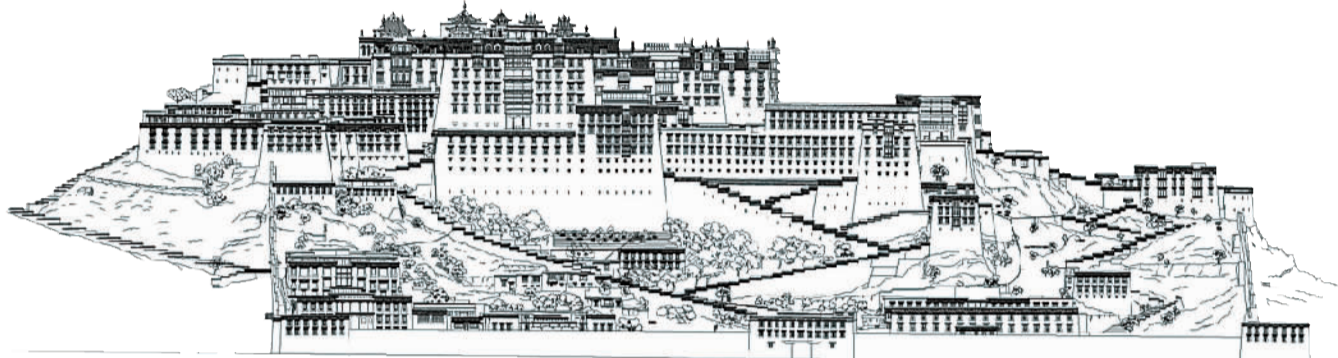
构建一个文化遗产保护综合管理平台非朝夕之功，如何持续性留存布达拉宫的保护数据，团队也在不断探索。

作为布达拉宫管理处、中国文化遗产研究院、北京帝测科技股份有限公司共同实施的测绘成果，数字孪生的布达拉宫将对文化遗产保护起到非常积极的作用。用测绘记录历史，将布达拉宫某一时刻的真实数据永久留存，并建立数据库和可视化管理系统，为文物提供持续性的保护策略依据。“实现布达拉宫三维可视化构件管理，同时与消防系统平台对接，将消防设备三维空间可视化呈现，实现报警跳转、路径规划等功能应用，这对布达拉宫的预防性保护意义重大。”信泰琦说。



利用无人机搭载高分辨率相机获取的一组带有坐标信息的布达拉宫倾斜影像，这种模型效果逼真、要素全面，而且具有测量精度，是三维扫描的现实应用。图为布达拉宫实景三维模型。

日前在广西南宁举行的2020中国地理信息产业大会上，一场以《布达拉宫，测绘丝毫》为名的主题演讲吸引了众多与会者的目光，利用先进的精细化测绘技术建设一座数字孪生的布达拉宫，对于认识和保护文化遗产具有非常重要的意义，也是对人类文明的记录、守护与传承。



如今，行业创新能力不断增强，地理信息技术在文化遗产与文物、自然遗产、历史文化名城、自然保护地等多领域都有具体而迫切的应用需求，而在测绘仪器制造、商业遥感卫星、互联网地图、精准定位等领域，新技术与新产品快速迭代，从数据的获取、处理到应用，为人工勘测提供了更广阔的技术途径与判断视野。

自然资源部相关负责人也在本届大会上表示，将进一步开放地理信息资源。在确保地理信息安全的前提下，会同有关部门适时对测绘地理信息安全保密政策进行调整，加快推进公开地图内容表示、基础地理信息公开表示内容等规范性文件修订工作。加大开发力度，面向社会提供更多公众版测绘成果。

数字孪生：

测绘布达拉宫

本报记者 孙亚慧



图为布达拉宫红宫西大殿三维测绘成果。（本文图片均由北京帝测科技股份有限公司提供）

孪生、融合、智慧：

空间信息技术重构世界遗产

本报记者 齐欣 孙亚慧

在文化遗产与自然遗产领域，空间信息技术应用的总体状况如何？

党安荣：世界遗产的保护与利用需要空间信息技术的支撑，这包含了GIS以及遥感/测绘、卫星导航定位、虚拟现实/增强现实等技术。

20世纪90年代，我国在世界遗产的保护与利用中就开始探索应用空间信息技术，比如将地理信息系统（GIS）与遥感（RS）技术，应用于资源的调查与监测、数据的管理与分析、业务的支撑与决策等方面。进入21世纪，特别是2010年以

来，国产遥感技术平台多样化，遥感数据类型逐步丰富，地理信息系统进入网络化和云服务化阶段；尤其是卫星导航定位技术（GNSS）及我国北斗系统（BDS）的建设与应用发展，虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术和大数据及云计算技术的兴起与应用探索……这使得我国世界遗产保护在空间信息技术应用研究领域备受关注。近年来，研究进展明显、成果突出。



基于VR/AR技术的数字圆明园。图为大水法。

在未来，空间信息技术又会在文化遗产、自然遗产保护中扮演哪些角色？

党安荣：面向未来，空间信息技术在文化遗产及自然遗产保护中扮演的角色将越来越重要，这是由两个方面的发展趋势所决定的：一方面，随着我国生态文明建设与文化强国战略的实施，文化遗产及自然遗产保护的需求越来越突出，这种需求将更加精细、及时、高效、动态、以人为本；另一方面，随着数字中国智慧社会的建设与科技强国战略的实施，空间信息技术方法不断丰富、多元、快速、精准。

上述的需求牵引与技术推动相结合，必将推动在文化遗产及自然遗产保护中空间信息技术应用向广度与深度发展，我认为将会呈现“孪生、融合、智慧”三个重要特征：所谓“孪生”体现遗产保护过程中物质空间与信息空间的互动，以及遗产数字化保护对原真性和完整性的遵从；“融合”体现文化遗产及自然遗产保护需要多种技术方法、多源时空数据、多学科体系的集成与融合；“智慧”则是将空间信息技术与自然系统的智慧和社会文化的智慧相叠加，形成支撑遗产保护与决策的智慧，这是遗产保护智慧化的发展趋势与目标。

（党安荣：清华大学建筑学院教授，清华大学人居环境信息实验室主任，清华大学国家文物局重点科研基地主任，主要研究方向为城乡规划与文化遗产保护新技术）



图为数字圆明园中的上下天光。

这种研究和应用是全方位进行的吗？

党安荣：是的，这体现在世界遗产保护与应用的宏观、中观、微观各个层面的应用。

在宏观层面，进行了中国世界遗产数据库建设，中国世界文化遗产遥感数据库及示范地动态监测研究、中国世界文化遗产监测预警体系建设，中国世界文化遗产动态信息系统和监测预警系统试点，遥感技术在中华文明探源中的应用研究等重大工程；中观层面的工作包括京杭大运河保护地理信息系统建设、大运河历史文化环

境保护支持系统研发、长城资源保护管理信息系统建设、世界自然遗产地九寨沟数字景区与智慧景区建设、世界文化与自然混合遗产地黄山数字景区与智慧景区建设、智慧颐和园平台建设、再现圆明园系统研发等。

在更细化的微观层面，既有遗产资源动态变化监测、遗产数据库建设、遗产保护规划与管理信息系统研发，也有不可移动及可以动文物的数字化采集、三维建模、虚拟修复、虚拟展示、数字博物馆建设等。

世界遗产需要广泛的社会支持。空间信息技术在数字化展示传播方面可以发挥哪些作用？

党安荣：无论文化遗产还是自然遗产，其保护、管理、利用过程中，数字化展示与传播都有着重要作用。通过数字化展示传播，可有助于达到普及科学知识、提升综合素养、认同遗产价值、唤醒保护意识、促进保护传承等多种效果。因此，世界遗产数字化展示传播一直受到各界重视。然而，这项应用始终离不开空间信息技术的支撑与保障，从遗产数字化的信息采集、处理、分析、建模、管理，到遗产价值的数字化阐释、展示、传播，都

需要空间信息技术中的遥感技术、测绘技术、激光扫描技术、三维建模技术、数据管理技术、GIS空间分析技术、GIS平台集成技术、VR/AR展示技术等支撑。这些技术将遗产本体及其环境数字化，实现从物质空间到信息空间的转变；而且，在展示传播之前，也需要借助多种分析技术方法达到对遗产价值的准确认知与阐释，从而保障展示传播准确的遗产价值，否则达不到遗产展示传播及保护传承的目的。

2.当前数据遗产保护信息平台的集成化特点

随着空间信息技术的进一步发展，其在文化及自然遗产保护领域的应用呈现出集成与融合的特点，就是将RS、GIS、GNSS、VR/AR，以及物联网、大数据、云计算等技术进行集成与融合，借助物联网体系及无人

机遥感，动态监测与获取数据，形成集多种类型数据于一体的时空大数据资源，然后在GIS平台上开发多种类型的监测分析功能，包括游客管理与服务、遗产本体保护与管理、遗产环境变化与分析等，从而可以随时对时空大数据资源进行分析挖掘，为遗产的保护与利用提供决策支持。

客观来看，这些大面积、深入的应用研究，大致处于怎样的水平？

党安荣：总体来看，我国在世界遗产（自然遗产与文化遗产）领域空间信息技术的应用，虽然与世界同行相比，起步相对晚一些；但无论是技

术方法研究、还是信息系统研发以及工程项目实践及保护管理中的应用，整体发展状况保持与世界同步，部分领域的进展还有领先的方面。

链-接

1.地理信息技术在文化遗产与自然遗产领域的应用

当前，我国第三代北斗全球卫星导航系统的建设、高分遥感工程的建设、网络GIS云服务体系的建设，使得空间信息技术在文化遗产及自然遗产保护领域的应用场景非常丰富：如遥感考古信息系统研发、遗产资源

的动态变化监测，森林火灾的监测分析和预警决策，地质灾害的监测分析和预警决策，遗产病虫害的监测分析和预警决策、遗产本体及其环境劣化动态监测分析，游客行为的动态监测与时空分析，遗产保护与管理信息系统，遗产地智能导览信息系统、虚拟博物馆及其展示传播系统等。