

现代测绘技术在彩画现状记录中的应用

——以景福宫为例

王 莫

(故宫博物院, 北京, 100009)

摘要 景福宫位于故宫内廷外东路宁寿宫区东北部, 是宁寿宫东路的主体建筑。本文在介绍景福宫彩画现状及其记录重要性的基础上, 详细阐述了应用三维激光扫描技术和数字摄影测量技术进行景福宫彩画现状数据采集、处理的全过程, 并总结了该方法相较于传统彩画记录方法的几点优势。

关键词 景福宫 彩画 现状记录 三维激光扫描 数字摄影测量

1 景福宫概况

景福宫位于故宫内廷外东路宁寿宫区东北部, 是宁寿宫东路的主体建筑。始建于清康熙二十八年(1689年), 为康熙皇帝孝惠皇太后(即顺治帝孝惠皇后)所居。乾隆三十七年(1772年)仿照建福宫后的静怡轩重建^[1], 以待乾隆皇帝归政后宴憩之用。此后又分别于嘉庆七年(1802年)、光绪十七年(1891年)进行了修葺和改建。

景福宫坐北朝南, 平面近似正方形(图1), 面阔五间, 进深三间, 四周环以围廊。除前檐明间、后檐东梢间开门外, 其余开间以及东西两山面均为槛墙和支摘窗。建筑坐落于汉白玉须弥座台基上, 檐柱柱础雕刻有精美的仰覆莲花纹, 为宫中少见。屋顶为绿琉璃瓦黄剪边, 采用三卷棚勾连搭歇山式(图2), 曲线优美, 坡度平缓。景福宫占地面积较大, 由于屋顶形式处理得当, 因此建筑并无突兀之感, 造型灵巧舒展, 与周围园林式环境相协调, 体现了宁寿宫作为归政后居处的建筑意匠。

2 景福宫彩画现状及其记录意义

景福宫檐下饰苏式彩画, 为清晚期遗迹。苏式彩画是清代官式彩画的一个主要类别, 多应用于装饰皇家园林建筑, 其基本构图形式分为三种: 方心式、包袱式、海墁式。景福宫的苏式彩画包含了全部三种形式, 且以包袱式为主(图3)。建筑内檐和外檐内侧的彩画受外界环境、气候等因素影响较小, 因此大部分保存状况良好, 彩画颜色、纹饰清晰, 只是表面灰尘较厚。而建筑外檐外侧的彩画由于直接经受日晒雨淋、温湿度变化较大等原因, 残损情况则较为严重, 表面出现了不同程

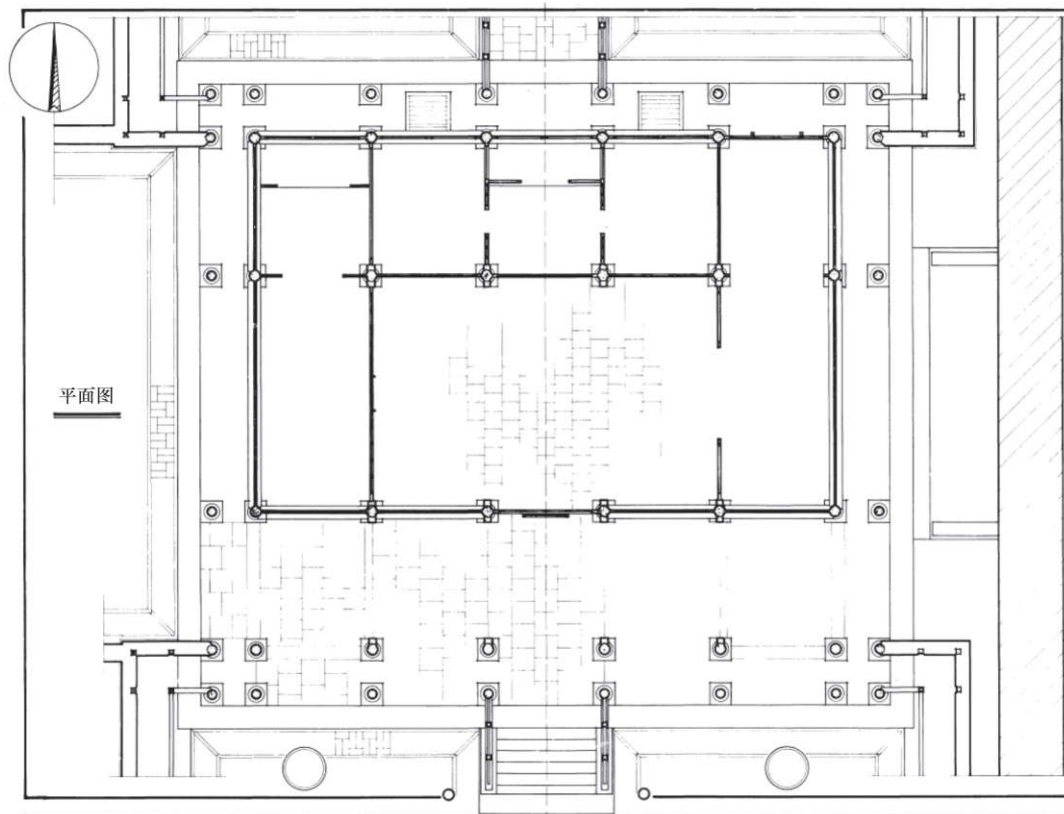


图1 景福宫平面图

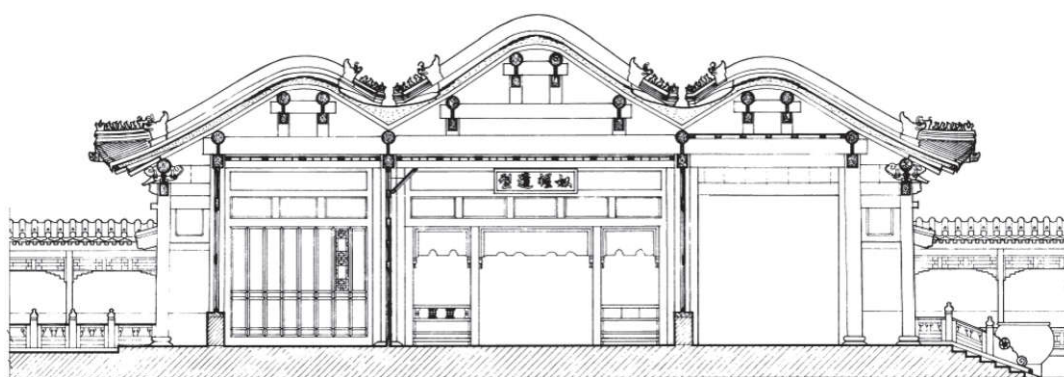


图2 景福宫纵剖面图



图3 景福宫苏式彩画

度的开裂、起翘、剥落^[2]，特别是彩画褪色明显，并且局部有水渍痕迹，致使纹饰晦暗不清。

彩画是中国传统木构古建筑的重要组成部分，也是中国木构古建筑的主要特征之一。除了对木构的保护和美化两大功能，彩画还是明确显示建筑用途和等级的一种形象“语言”。景福宫的苏式彩画具有明显的时代特征，携带着大量的历史信息，为我们研究清晚期的官式苏画提供了有力物证。它不仅是研究景福宫历史沿革的重要参考依据，见证着景福宫的发展历程；而且还承载着多方面的人文信息，是研究晚清社会形态与社会发展的珍贵资料。与此同时，作为中国绘画艺术中的一个特殊门类，景福宫彩画的艺术价值也很突出，它能为当代艺术创作提供丰富的借鉴。所以，我们有责任把景福宫彩画现状真实、完整地记录下来，并使之长久留存，这对于中国传统文化的传承具有重要意义。

3 现代测绘技术简介

鉴于景福宫彩画现状记录的重要性，为了能够完整记录绘制于立体构件上的彩画的几何形态与色彩信息，最大限度地反映出彩画的真实面貌，我们决定运用近些年在测量界快速发展起来的三维激光扫描技术和数字摄影测量技术开展此次彩画现状的记录工作。

3.1 三维激光扫描技术

传统的测量设备，如全站仪、水准仪、GPS等只能获取目标物体上重要的几何特征点坐标，而三维激光扫描仪则有所不同，它可以自动完成对目标物体表面的高密度坐标点采集工作^[3]。其工作原理为：三维激光扫描仪通过内部的发射装置连续对目标物体发射激光，激光碰到物体表面后反射回来，并由扫描仪内的探测装置接收，根据激光束发射和接收时刻的相位移动值或者飞行时间差，仪器会自动解算出该点的三维坐标。众多个测量点依据各自的空间坐标排列，就形成了三维激光扫描仪的可视化测量数据——点云。三维激光扫描技术的出现为空间三维信息的获取提供了全新的技术手段，与之前的离散点测量方法相比，具有测量速度快、获取信息丰富、数据价值高等优点。

3.2 数字摄影测量技术

数字摄影测量学是基于数字影像和摄影测量的基本原理，应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的理论与方法，提取所拍物体用数字方式表达几何和物理信息的摄影测量分支学科。数字摄影测量软件通过对具有一定重叠率的数字影像进行匹配和处理，可以自动识别出相互对应的像点，并且应用解析摄影测量的方法运算出所拍物体的空间坐标，进而构建出带有纹理信息的彩色三维模型。数字摄影测量技术具有操作简便、数据量小、模型与纹理的匹配准确性高等优点。

我们将结合三维激光扫描技术和数字摄影测量技术的不同特点，把扫描仪获取的彩画空间位置信息，作为其摄影测量成果的定位及尺寸基准，以完成真实坐标三维模型和彩画展开图的制作。

4 景福宫彩画现状数据的采集

4.1 使用设备

我们选用Surphaser 25HSX三维激光扫描仪（图4和表1）和佳能EOS 5D Mark III数码单反相机（图5和表2）进行景福宫彩画现状数据的采集。

表1 Surphaser 25HSX三维激光扫描仪的主要参数表

序号	参数	参数值
1	测距方式	相位式
2	视场角	360°（水平）×270°（垂直）
3	最高扫描速度	120万点/s
4	最大扫描半径	46m
5	可靠扫描半径	0.4~19m
6	距离精度	<0.5mm@5m
7	数据噪声	0.12mm@3m
8	测距分辨率	0.001mm
9	角度分辨率	1s

表2 佳能EOS 5D Mark III数码单反相机的主要参数表

序号	参数	参数值
1	相机类型	35mm全画幅数码单反相机
2	传感器类型	CMOS
3	传感器尺寸	约36×24mm
4	总像素	约2340万
5	有效像素	约2230万
6	拍摄分辨率	约2210万像素(5760×3840)

该设备是目前市场上速度最快、精度最高的地面型三维激光扫描仪，工作稳定可靠；缺点是设备的电源外置，集成度差，扫描时需要同计算机连接操作。

在拍摄彩画构件照片的过程中，为确保彩画纹理的拍摄质量，我们选用了佳能24~70mm镜头。



图4 Surphaser 25HSX三维激光扫描仪



图5 佳能EOS 5D Mark III数码单反相机

4.2 三维激光扫描

我们首先在景福宫院内布设了6个控制点(图6)，并利用原有控制点将景福宫数据纳入了故宫的整体坐标系中，这样做有利于景福宫数据的统一管理与综合利用。随后，为了快速、准确拼接多站点云数据，我们还在景福宫院内粘贴了诸多平面标靶(图7)。标靶布设均匀，且保证相邻测站间至少有3个同时可见为原则。当公共标靶被不同测站使用的次数越多时，这几个测站间的拼接精度就会越高。

扫描站点的布设需要考虑各个测站之间的互补性、相邻测站的通视性、测站覆盖的全面性等多个方面。在保证扫描精度的前提下，通常选取尽可能少的站点来覆盖整体目标。因此，三维激光扫描宜从高、中、低角度结合进行。我们根据扫描站位的远近及扫描精度要求将Surphaser扫描仪的参数设置为 24×24 或 60×60 ，即在横、纵方向上每度分隔内均有24个或60个激光测距点(三维激光扫描仪实际都是按角度分辨率工作的)；仪器与目标的扫描距离基本控制在 $0.5 \sim 3\text{m}$ 范围内(图8)。此次针对景福宫彩画构件及其院落环境共布设了90个扫描站点，原始点云的数据量总计约为35.6GB。

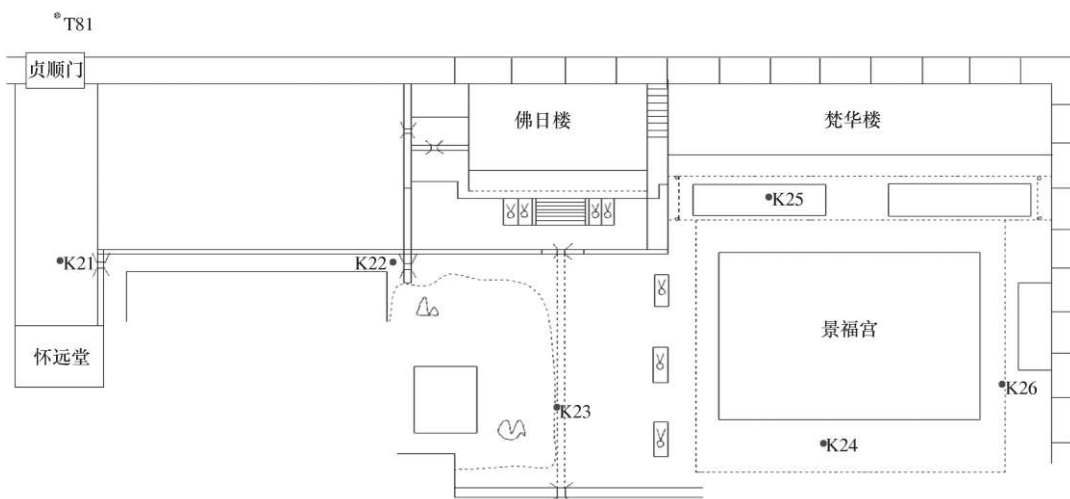


图6 控制点示意图



图7 粘贴的平面标靶



图8 三维激光扫描现场

4.3 数字摄影测量

我们在拍摄用于彩画构件建模的照片时遵循以下原则：

(1) 根据成果影像输出分辨率为150dpi的要求，控制好拍摄距离，并尽可能拍摄较小范围的照片。

(2) 相机镜头应与被拍摄彩画保持平行，且相邻照片之间的覆盖率为50%以上；对于非平面部位应当变换拍摄角度，并确保该部位被拍摄到至少2次以上。

(3) 要根据彩画构件的具体情况布设闪光灯，通过调整辅助光源的位置和光照强度（图9）以及增加局部反光面（图10）等方法进行补光拍摄。



图9 闪光灯布设



图10 反光面布设

(4) 在相同的光线条件下，需拍摄一张色卡（图11），用于照片处理过程中的色彩校正。
佳能EOS 5D Mark III数码单反相机的拍摄参数设置如下：

- (1) 采用数码相机的P挡进行拍摄。
- (2) 测光模式采用点测光，单点对焦和多点对焦结合使用。
- (3) 光圈范围控制在8~16之间，一般情况下设置为16。

(4) 选用24~70mm镜头，在拍摄环境允许的情况下，镜头焦距设置为50mm左右；在环境不允许的情况下，要根据拍摄对象所处空间的可操作性确定焦距，但镜头焦距均控制在24~50mm之间。

- (5) 感光度设置在ISO100到ISO400之间，这样能保证将照片的噪点控制在可接受范围内。



图11 拍摄色卡

此次，我们共拍摄了10922张景福宫彩画构件的照片，数据量总计约为375.8GB。

5 景福宫彩画现状数据的处理与成果展示

5.1 点云拼接

利用全站仪控制网内的标靶坐标，我们将获得的多站扫描数据拼接到一起，形成了完整的景福宫建筑点云。具体方法如下：

(1) 直接将全站仪所测标靶数值导入点云数据处理软件Cyclone中，并对每站点云数据中的标靶进行识别和命名，之后采用点云约束的方式执行拼接。

(2) 对误差大于5mm的拼接约束进行检查，调整其权重，或删除某些明显错误的约束。

(3) 如果拼接精度达不到要求，则要增加特征点匹配，直到所有站的拼接误差均小于5mm为止，且同时检查拼接后点云的正确性。

此次，景福宫多站点云数据的拼接精度基本控制在1~4mm范围内。

5.2 照片处理

我们要先利用色卡识别工具软件，通过色卡照片制作出该条件下的色彩校正配置文件；再将彩画照片的无损格式文件导入图像处理软件Lightroom中，调整好阴影和高光（即把照片中的暗处调亮、曝光过度部分调正常）后，用刚制作出的色彩校正配置文件对其进行色彩校正（图12），与此同时，启用软件中的“镜头校正”功能对彩画照片进行镜头畸变校正（图13）；最后，为保留照片细节，需将经过色彩和镜头畸变校正的彩画照片文件以不压缩的TIFF格式导出。



图12 色彩校正前后对比

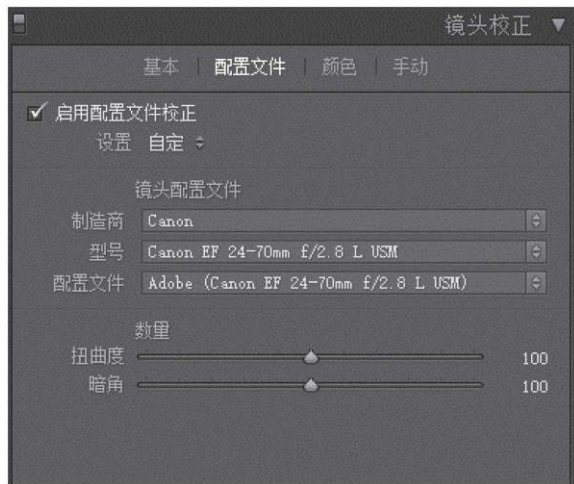


图13 照片的镜头畸变校正

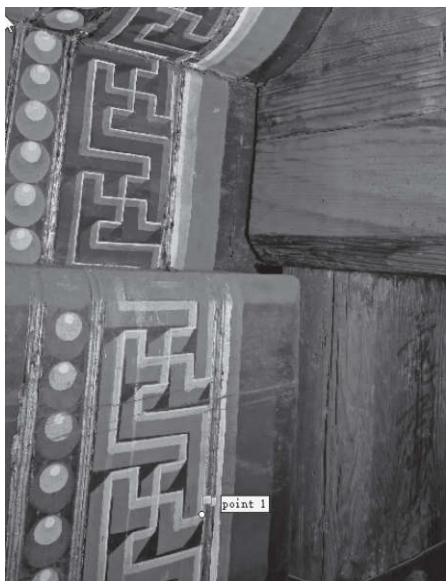


图14 在照片上设置控制点

5.3 彩色纹理模型构建

我们先在摄影测量软件Photoscan中加载完成校正的TIFF格式彩画照片，并在照片上设置控制点（图14）；再从拼接好的景福宫建筑点云中量取所需控制点的空间坐标；将控制点的坐标值输入Photoscan后，软件就能进行摄影测量的计算处理工作了，其主要步骤包括：

（1）对齐照片。采用中等精度对齐，可生成稀疏的点云（图15）。

（2）生成密集的彩色点云（图16）。点云生成质量设置为高精度，此时点间距多数在0.6mm左右。

（3）构建模型。构建的模型种类为三角网模型（图17），网格面数设置为高。

（4）纹理贴图。需要根据构件大小来确定贴图用的纹理尺寸。通过摄影测量软件计算生成的彩色纹理模型（图18），其纹理与模型是完全吻合的。

5.4 展开图制作

从摄影测量软件中导出OBJ格式的彩色纹理模型后，我们先使用三维建模软件Rhino中的“压扁”命令把模型展开，并同样以OBJ格式输出；再在三维动画渲染与制作软件3D Max中打开该展开模型，执行“渲染”命令，设置好输出图像的大小和JPG格式，即完成了彩色纹理模型的展开图（图19，注：白色区域为木棍遮挡部位）制作。

展开图按照150dpi的分辨率输出，其尺寸误差在1mm左右。

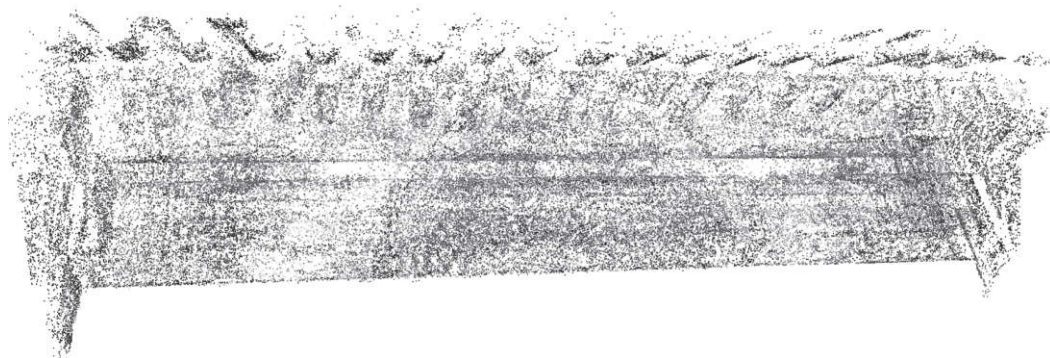


图15 照片对齐后的稀疏点云



图16 密集的彩色点云



图17 无色三角网模型



图18 彩色纹理模型

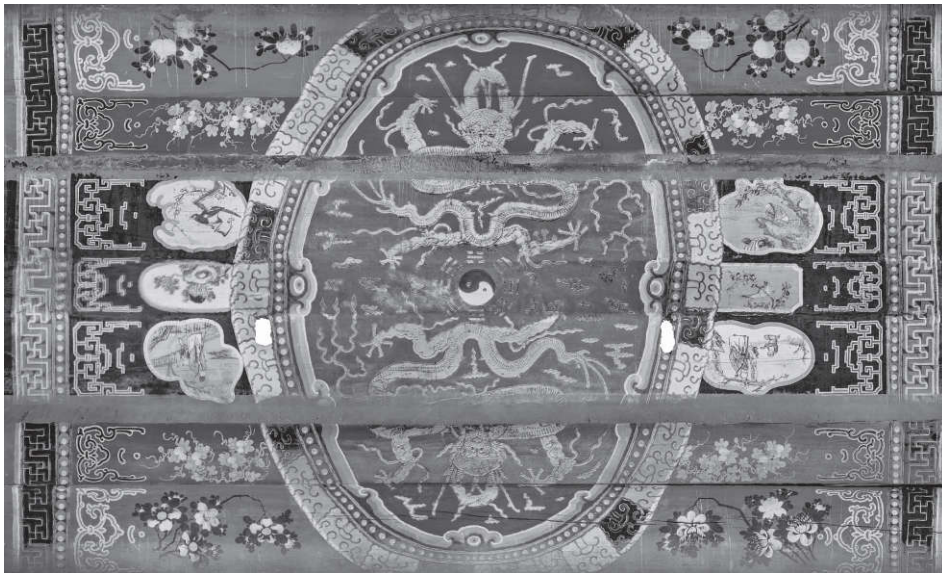


图19 明间脊檩彩画展开图

6 现代测绘技术用于彩画现状记录的优势

徒手测量与拍照相结合的现状记录方法在古建筑界已被沿用了很长时间，相较于这种传统的彩画记录方法，现代测绘技术的应用具有以下几点明显优势：

第一，有利于彩画遗迹的保护。徒手测量时使用的钢卷尺容易把老彩画酥松的沥粉痕迹以及单皮灰地仗的起翘部位破坏。而无论是进行三维激光扫描还是数字摄影测量，操作人员及设备均不会与彩画产生直接接触，所以也就不会对彩画遗迹造成任何损坏。

第二，数据的采集速度快。在徒手测量建筑构件和彩画大线尺寸前要先搭建大量靠近古建筑的脚手架。与之相比，三维激光扫描仪不但测量速度快，而且现场只需临时搭建少量脚手架，这些都大大缩减了数据的采集时间，提高了工作效率。

第三，获取的信息丰富。除了彩画的纹样线条、色彩和残损情况等常规信息外，应用现代测绘技术还能记录传统方式无法获取的构件空间形态与所有空间尺寸，绘制于立体构件上的彩画将因此得到完整、直观的展现。

第四，数据的准确性高。由于拍照时不能确保正视角度，且相机镜头存在畸变，所以照片（特别是边缘处）变形明显，而其中的彩画纹样也难免失真。但在经过摄影测量软件精确计算后，纠正了镜头畸变的照片，所构建出的彩色三维模型不存在变形，因此模型上的纹饰图案也没有任何变形，这就使彩画的纹饰特征得以真实记录。另外，在拍照过程中放置色卡，并利用软件进行色彩校正的工作步骤，还有效解决了日常拍摄时照片色彩还原度差的问题。

第五，数据的利用价值高。真实坐标三维模型具有广泛的应用性，设计人员可根据工程需要，利用其制作出各种形式的成果文件，如彩画展开图、正射影像图等；也可利用三维模型详细统计出彩画残损部分的表面积等设计所需数值。

综上所述,现代测绘技术能够在不接触彩画的条件下快速、全面、准确地采集现状数据,并将数据处理成果以各种形式直观展现,它比目前使用的传统方法更加符合专业人员的实际需求,因此古建筑彩画的现状记录工作应当逐渐改用现代测绘技术,这是大势所趋,也是测绘技术进步带来的必然结果。

参 考 文 献

- [1] 刘榕. 静怡轩的建筑渊源及其复原设计 [J]. 故宫博物院院刊, 2005, (5): 172-189.
- [2] 杨红. 故宫建福宫区轴线建筑油饰彩画保护修复设计研究 [A] //中国文物保护技术协会, 新疆文物古迹保护中心. 中国文物保护技术协会第六次学术年会论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 2010: 196-215.
- [3] 王莫. 三维激光扫描技术在故宫古建修缮工程中的应用研究 [J]. 世界建筑, 2010, (9): 146-147.