

ICS
中国标准文献分类号
备案号：

DB14

山西省地方标准

DB14/T 2022-9147

壁画墓数字化采集规程

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

山西省质量技术监督局 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
1. 范围	1
2. 规范性引用文件	1
3. 术语和定义	1
4. 基本要求	2
5. 工作流程	3
6. 数据采集	4
7. 数据处理	5
8. 成果数据	6
9. 数据格式	6
10. 成果评价	7
附录 A	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省文物局提出并监督实施，并受山西省文物保护专项资金支持。

本文件由山西省文物保护标准化技术委员会（SXS/TC 03）提出归口。

本文件起草单位：太原市文物保护研究院、太原理工大学。

本文件主要起草人：王江、张晓、李烽、李铁、崔培培、刘岩、崔杰。

壁画墓数字化采集规程

1. 范围

本文件提供了壁画墓的三维激光扫描数字化采集规范，规定了术语和定义、基本要求、采集准备、数据格式、扫描流程、数据处理、成果数据及成果评价。

本文件适用于壁画墓三维激光扫描数字化采集的过程和活动，开展数字化采集的壁画墓参照执行。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改版）适用于本文件。

田野考古工作规程修订版(2009)；

中华人民共和国文物保护法（2017）；

WT/T0024	文物保护工程文件归档整理规范
GA27-2002	文物系统博物馆风险等级和安全防护级别的规定
GB/T 12979	近景摄影测量规范
CH/Z 3017	地面三维激光扫描作业技术规程
CH/T 1004	测绘技术设计规定
GB/T 15314-1994	精密工程测量规范
GB/T 16571-1996	文物系统博物馆安全防范工程设计规范
GB/T 17941-2008	数字测绘成果质量要求
GB/T 18316-2008	数字测绘成果质量检查与验收
GB/T 24356-2009	测绘成果质量检查与验收
GB/T 14950-2009	摄影测量与遥感术语
GB/T 50103-2010	总图制图标准(附条文说明)
CH/T 9016-2012	三维地理信息模型生产规范
GB/T 18894-2016	电子文件归档与管理规范
WW/T 0082-2017	古建筑壁画数字化测绘技术规程

3. 术语和定义

上述规范性引用文件中界定的、以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 壁画墓

壁画墓指在墓室内壁、墓顶、地面、墓门和墓道等部位装饰平面性图像的墓葬。狭义的“壁画”仅指以色彩绘制的画面，广义的“壁画”还包括以线刻、浮雕、模印等工艺在建筑表面上制作的画面。

3.2 点云

以离散、规则或不规则方式分布在三维空间中的点的集合，通常由三维扫描仪采集物体表面三维信息而获得的离散点组成。

3.3 点云密度

单位面积上点的平均数量。

3.4 点间距

点云中相邻两点之间的空间距离。

3.5 点云配准

将多视角拍摄、不同局部坐标系点云数据通过同名几何约束，变换到同一坐标系下，构成完整点云数据的过程。

3.6 点云融合

将多视点获取的点云数据的公共部分进行处理，得到无重叠部分的整体点云数据的过程。

3.7 三角网格模型

以按照一定拓扑关系连接的三角形面片描述物体三维形貌的几何数据。通过三角形表示的物体空间信息的三维模型。

3.8 数字正射影像

利用数字高程模型对扫描处理的数字化的航空像片、遥感影像（单色/彩色），经逐个象元进行投影差改正，再按影像镶嵌，根据图幅范围剪裁生成的影像数据。

3.9 冷光源

与热光源不同，为几乎不含红外线光谱的光源，物体发光时的温度较低。

3.10 色彩管理

运用软、硬件结合的方法，在数据采集和处理过程中，统一管理和调整颜色，保证整个过程中色彩的一致性。

3.11 完整度

物体非隐蔽表面的网络模型统计面积与实际比例面积之比。

4. 基本要求

4.1 人员要求

项目开始前，需要明确团队组成及分工，指定一名项目负责人，负责整个项目进程。进入墓葬前，人员需穿戴专门装备，佩戴口罩、手戴手套、脚穿鞋套，手机禁止带入墓葬中。

4.2 测绘要求

- a) 平面基准：采用 2000 国家坐标系，采用地方坐标系时与国家坐标系联测。
- b) 高程基准：采用 1985 国家高程基准，采用地方高程基准时与国家坐标系联测。
- c) 时间基准：地面三维激光扫描作业及产品涉及的日期应采用公元纪年，时间采用北京时间。
- d) 精度指标：空间点位相对精度（mm）以中误差衡量，取两倍中误差为限差。空间点位相对精度是指点云中两点之间的距离与实际量测距离的较差。

4.3 安全保障

- e) 项目实施前，提前制定安全预案；
- f) 项目执行过程中，要确保文物安全及人员安全；
- g) 防止仪器设备接触到墓葬表面或倾倒碰撞到文物本体；
- h) 在高空测量时，人员要系安全带；
- i) 移动设备与墓葬表面之间安全距离 $\geq 500\text{mm}$ ；

j) 采用固定扫描设备及支架的，以大于设备及支架倾倒半径确定为与墓葬表面最小安全距离。

k) 采集人员要按照文物保护人员的基本要求进行操作，避免因人为操作不当对文物本体造成不可挽回的破坏。

l) 安排专人专用设备保管数据，保证信息安全。

4.4 风险预案

前期准备工作中，明确风险范围以及发生损害事件后的责任划分与风险预案。如在工作过程中对设备的拿放、移动等行为应由专人负责，扫描过程应在专人监督指导下进行。如出现文物的损害可根据工作准备前期与文物管理单位的责任划分与风险预案进行相应处理，避免责任纠纷。

5. 工作流程

工作流程见图 1。

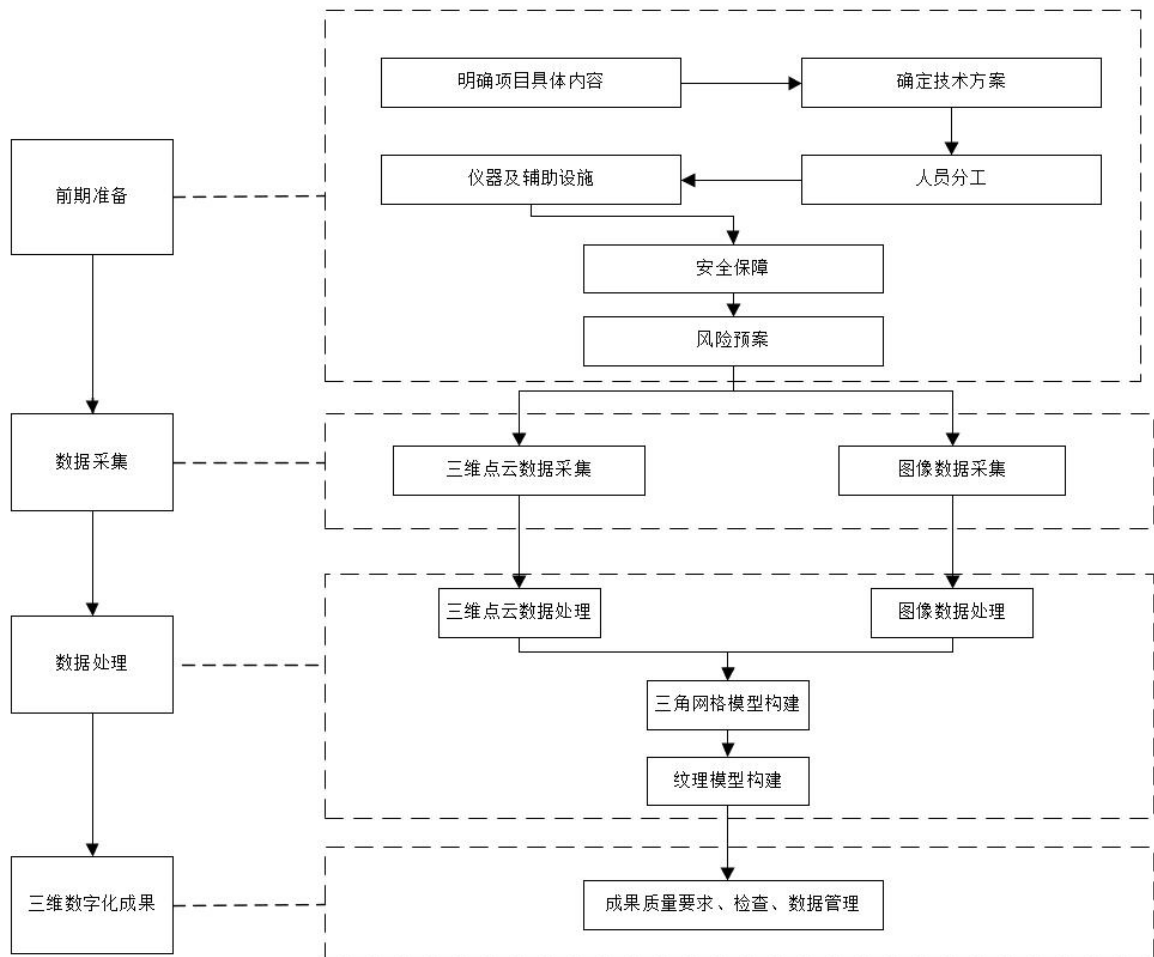


图 1 工作流程图

6. 数据采集

6.1 标靶设置

6.1.1 标靶布设

- a) 每一扫描站的标靶 ≥ 4 个。
- b) 相邻两扫描站的公共标靶 ≥ 3 个。
- c) 标靶在相邻两扫描站连线的中点附近区域，均匀布置且高低错落。
- d) 同一扫描站标靶之间的距离至少有一个 $>$ 等于扫描目标物主体到扫描站的距离。
- e) 标靶不易设置区域，用标靶纸替代。

6.1.2 标靶测设

在需要借助标靶进行坐标系转换时，在不同控制点上施测 5 次以上，各次测量最大互差 $\leq 3\text{mm}$ ，高程最大互差 $\leq 2\text{mm}$ 。取各次测量平均值作为标靶的中心坐标。

6.2 点云数据采集

6.2.1 点云数据采集的基本要求

f) 点云数据采集的分辨率原则为采样点距均匀、越精细越好，因精细数据会造成数据量的加大，对后续数据处理和保存等都增加了难度，实施中结合实际情况选择适合的分辨率。下面是采集精度基本要求：

- g) 墓葬空间，分辨率 $\geq 5\text{mm}$ ，采集精度为 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 。

6.2.2 点云数据采集的流程

按照以下步骤进行采集：

- a) 布置三维点云采集的现场条件，准备辅助设施，包括脚手架、电源、遮光布等；
- b) 校准仪器，确保其工作性能达到最佳水平；
- c) 规划扫描视点，设定扫描路径，采集三维点云；
- d) 在数据采集软件中对原始点云进行拼接、检测，确保数据完整性；
- e) 保存原始数据，按附录 A 填写现场记录。

6.3 图像数据采集

6.3.1 图像数据采集的基本要求

图像数据主要包括：墓葬壁画和墓葬纹理图像。图像数据采集的原则为越整体连贯越好，图像角度为正投影视角；根据实际情况选择合适的设备及灯光。下面是对图像采集的要求：

- a) 图像采集使用满足分辨率要求的单反相机，单张图像相幅设置到相机的最大分辨率；
- b) 相机的最小像素应 ≥ 4000 万像素，拍摄对象实际分辨率 $\geq 300\text{dpi}$ ；小型墓葬推荐分辨率 $\geq 600\text{dpi}$ ，大型墓葬 $\geq 300\text{dpi}$ ；
- c) 拍摄角度应保持镜头正对目标面；无法正对拍摄时，先拍摄全景，再拍摄局部，保证数据完整；照片拍摄要有连贯性；
- d) 拍摄照片时灯光要分布均匀，杜绝出现阴影、高光、亮点或暗点。
- e) 相邻照片之间保证有 $\geq 40\%$ 的重叠区域；
- f) 图像文件格式应选择 TIFF 或 RAW+JPEG。

6.3.2 图像数据采集的流程

按照以下步骤进行采集：

- a) 布置图像数据采集的现场条件，准备辅助设施，包括脚手架、电源、遮光布等；
- b) 设置光源，放置色卡，调整相机，校准仪器，确保其工作性能达到最佳水平；
- c) 规划拍摄视点与角度，采集图像数据；
- d) 拍摄后，现场检查照片完整性，保存原始数据。

7. 数据处理

7.1 点云数据处理

7.1.1 点云配准

点云数据需按照扫描站点路径顺序拼接，确保站点拼接数据的正确性和连续性，避免出现错站漏站的情况发生。对于长直连续站点可进行间接拼接的方式进行宏观拼接，保证总体误差偏小后在进行平差。整体平差后要求站点平差精度 ≤ 2 mm。

7.1.2 坐标系转换

墓葬三维扫描点云，不使用绝对坐标的整体转换。采用3个以上、分布均匀的同名点进行坐标系转换，通过参数模型解算点云坐标系和绝对坐标系之间的转换参数，坐标转换残差 < 5 mm。

7.1.3 降噪与抽稀

点云数据中存在脱离扫描目标物的异常点、孤立点时，根据视点的数量采用滤波方法或人工手动进行点云数据降噪处理。

对点云数据抽稀符合下列规定：

- a) 扫描目标物表面曲率变化小的区域采用均匀抽稀，抽稀的原则满足建模时点密度要求；
- b) 扫描目标物表面曲率变化明显区域采用保持特征的抽稀，根据法向量变化和曲率识别特征区域进行抽稀。

7.2 图像数据处理

图像数据处理包括图像色调调整和色彩纠偏、变形纠正、图像配准、格式转换，符合下列要求：

- a) 图像出现曝光过度、曝光不足、阴影、相邻图像间的色差等现象时，进行色调调整，色彩纠偏，保持图像反差适中、色调一致；
- b) 因视角或镜头畸变引起变形，对图像的变形部分作纠正处理；
- c) 图像配准时，保证图像细节表现清晰，无配准镶嵌缝隙；
- d) 将处理后的图像转换为通用的文件格式；
- e) 处理后的图像应与实地情况相符，真实反映实际材质的图案、质感、颜色及透明度。

7.3 三角网格模型构建

由点云数据采用点云封装进行三角网格模型的建立，构建后需根据现状对三角网模型进行进一步修复操作。

7.3.1 三角网格的精简

三角网格的精简采用基于曲率的精简方式，保留物体的特征。数据量的控制根据建模对象的要求和计算机的处理能力而定。

7.3.2 三角网格的平滑

三角网格平滑是在保持物体特征的基础上，去除丁状物、高折射边、自相交，通过设置平滑的程度以处理物体的不同部位。

7.3.3 三角网格的修补

三角网格修补是在几何建模过程中对由于扫描死角等产生的漏洞进行修补，实现修补部位与已有部位的光顺连接，采用保证曲率的孔洞修补方式。

7.4 纹理模型构建

对三角网格模型进行纹理映射形成纹理模型，满足如下要求：

- a) 纹理映射所用照片必须亮度均匀统一，无明显色彩差异；
- b) UV图不得有重叠，建议每块UV之间有10pix的距离；

- c) 当目标物过大时，使用多张UV图。

8. 成果数据

8.1 三角网格模型

- a) 三角网格模型为高精度三角面片网格模型，模型分辨率 $\geq 5\text{mm}$ ，三角单边距离 $\leq 0.3\text{mm}$ ；
 b) 网格模型表面不得有破面及高锐角面，对于遮挡部分可根据实际情况适当顺滑；
 c) 当模型数据 $>4\text{G}$ 时，除保存整体模型外，需保存切块后模型，单块模型 $<4\text{G}$ ，且相邻两块模型之间有重叠。

8.2 纹理模型

- a) 纹理映射的阈值（三角网模型与图像的对应点偏差值） $<0.5\text{mm}$ 。
 b) 纹理映射完成后须严格检查图像和三角网模型的匹配质量，对于超过阈值的映射，需重新纹理映射。
 c) 纹理表面不得出现接缝、阴阳面等非正常效果；贴图大小为 $8192*8192$ ；贴图分辨率不 $<300\text{dpi}$ 。

8.3 数字正射影像

- a) 正射影像图无明显配准痕迹，图像色彩接近真彩色，纹理清晰，色调均匀，反差适中；
 b) 正射影像图分辨率不 $<300\text{dpi}$ ，图片格式为PSB/PSD。
 c) 出具 $\leq 1\text{G}$ 的JPG简体正射影像图，该图内需有规范标尺，并附有TXT文档描述其导入第三方软件时所需的导入参数，确保导入后为1:1尺寸。

8.4 平面图、立面图、剖面图

- a) 平面图、立面图、剖面图制作应符合GB/T 50001和GB/T 50103、GB/T 50104相关规定；
 b) 剖面图采用点云切片方式绘制，使切片点云投影到平面，基于投影点云描绘；
 c) 由于点云采集不全，无法准确获取结构尺寸时，对于目标物交接关系明确的，可根据露明部分尺寸推算隐蔽尺寸，反推算的结果补充特别说明；
 d) 平面图、立面图、剖面图的结构尺寸比对实地检核值，较差应 $\leq 1\text{cm}$ ；
 e) 基于数字正射影像绘制某一比例尺的平面图、立面图，依据的正射影像的比例尺 \geq 绘制比例尺的2倍。

9. 数据格式

表 1 数据格式

数据类型	数据格式
点云	.ASC、.TXT、.XYZ、.PTS、.PTX、.OBJ等
照片	.RAW、.TIFF、.JPG、.PNG等
几何模型	.STL、.OBJ、.PLY等
纹理模型	.WRL、.3DS、.OBJ、.IGS等
数字正射影像	.TIFF、.JPG、.TGA、.PNG等
视频数据	.WMA、.AVI、.MP4、.MPEG等
控制点、标靶点	.TXT、.PTS、.PTX等

10. 成果评价

10.1 点云数据按表 2 点云数据检查质量元素与详查内容评价。

10.2 三维模型按表 3 三维模型检查质量元素与详查内容评价。

10.3 平面图、立面图、剖面图按表 4 平面图、立面图、剖面图检查质量元素与详查内容评价。

10.4 评价方法应按照 GB/T 24356 及 GB/T 18316 的规定进行。

表 2 点云数据检查质量元素与详查内容

质量元素	详查内容
点云覆盖情况	1. 原始点云密度； 2. 原始点云噪点情况； 3. 原始点云点间距； 4. 处理后点云密度； 5. 处理后点云完整性； 6. 处理后点云是否有分层，配准结果仅作参考，以点云切片检查实测结果为准。
点云着色情况	具有真实 RGB 信息

表 3 三维模型检查质量元素与详查内容

质量元素	详查内容
点云模型正确性	1. 点云模型单位选择： mm 。 2. 检查点云模型的可靠性 a) 单扫描站云数据无相对偏移； b) 点云数据噪声情况； 3. 检查点云数据是否有分层。
三角网格模型正确性	1. 三角网模型的单位： mm ； 2. 三角网模型的空间位置是否正确，保证其与原始点云的空间位置一致； 3. 无关模型是否删除干净。即与被测物体不相关的点云，如行人、标靶球等； 4. 三角网模型表面完整，无孔洞； 5. 三角网模型无重叠面。即模型无分层，无面的重叠，以避免模型显示、纹理映射时出错，同时减少无用模型； 6. 三角网模型表面平滑，无钉状物； 7. 三角网模型要清晰体现被测物体的细节，保证模型的表面精度为 2mm 以内； 8. 纹理模型，其纹理需清晰，每 2mm*2mm 的范围内需有一个有效像素； 9. 纹理模型，其纹理需明暗适中，不允许有接缝出现； 10. 纹理模型，其纹理需完整，不允许有空洞出现。

表 4 平面图、立面图、剖面图检查质量元素与详查内容

质量元素	详查内容
数据正确性	<ol style="list-style-type: none">1. 外形结构完整、表达清楚；2. 文字描述准确性；3. 尺寸标注正确性；4. 比例尺正确性；5. 图例表达合理性；6. 与多项已有资料或多项设计资料矛盾情况。
数据格式	<ol style="list-style-type: none">1. .DWG、.DXF 格式；2. .JPG、.TGA、.PNG、.TIFF 等。
资料质量	<ol style="list-style-type: none">1. 元数据文件的正确性、完整性；2. 其它文档资料的正确性、完整性。

附录 A

(资料性)

三维数据采集现场记录表

A.1 三维数据采集现场记录表

三维数据采集现场记录表参见表 A.1。

表 A.1 三维数据采集现场记录表

文物基本信息			
文物名称		文物编号	
扫描信息			
扫描人员		扫描日期	
扫描设备		扫描视点数	
扫描分辨率		数据量	
照相信息			
照相人员		照相日期	
相机型号		照片数量	
光源参数		相机参数	
备注			