

DB23

黑 龙 江 省 地 方 标 准

DB23/T XXXXX—XXXX

可移动文物三维数字化采集技术规范

（征求意见稿）

联系单位：黑龙江省科学院智能制造研究所

联系人：费磊

联系电话：18686709700

邮箱：49552409@qq.com

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

黑龙江省市场监督管理局 发布

目 次

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 3

5 总体架构..... 3

6 方案设计..... 4

7 资源配置..... 5

8 数据采集..... 5

9 数据处理..... 7

10 数字化成果..... 9

附 录 A.....11

附 录 B..... 12

附 录 C..... 13

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。

本标准由黑龙江省科学院智能制造研究所提出。

本标准由黑龙江省文化和旅游厅归口。

本标准起草单位：黑龙江省科学院智能制造研究所、黑龙江省计量检定测试研究院、黑龙江省自动化学会、哈尔滨市产品质量综合检验检测中心。

本标准主要起草人：费磊、李磊、张博、宋昌江、孙思文、朱明清、陈书田、高凤娇、曹灿、刘晓曦、王一鸣

可移动文物三维数字化采集技术规范

1 范围

本文件规定了可移动文物三维数字化采集技术的相关术语和定义、工作流程、前期准备、数据采集、数据处理、成果数据及成果评价。

本文件适用于可移动文物三维数字化采集工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12979	近景摄影测量规范
GB/T 18894 -2002	电子文件归档与管理规范
GB/T 17941-2008	数字测绘成果质量要求
GB/T 24356-2009	测绘成果质量检查与验收
CH/Z 3017	地面三维激光扫描作业技术规程
DB14/T 1926-2019	石窟寺文物三维激光扫描数字化采集规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

可移动文物 Movable cultural relics

相对于不可移动文物，可移动文物主要是指馆藏文物，以及国家机关、国有企业、事业单位等搜集的历史上各时代重要实物、艺术品、文献、手稿、图书资料等，分为珍贵文物和一般文物。

3.2

文物数字化 Digitization of cultural relics

利用数字化技术手段，将文物的结构、材质、颜色、纹饰等信息。

采用分布式存储和计算技术，提供大数据的访问和处理，支持大数据应用安全高效运行的软硬件集合。

3.3

三维激光扫描 3D Laser Scanner

采用三维激光扫描仪获取物体表面高精度、高分辨率的三维点云数据。

3.4

三维扫描分辨率 3D scanning resolution

三维扫描仪采集的点云中相邻点之间的平均距离。

3.5

点云 Point cloud

以离散、规则或不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

3.6

点云密度 Point cloud density

单位面积上点的平均数量。

3.7

点间距 Distance between points

点云中相邻两点之间的空间距离。

3.8

点云的配准 Registration of point clouds

把不同局部坐标系下的点云通过同名几何约束，变换到同一坐标系下，构成完整点云的过程。

3.9

三角网格模型 Triangular Mesh Model

通过三角形表示的物体空间信息的三维模型。

3.10

纹理贴图 Texture mapping

使用 UV 坐标表示，包含纹理与网格模型映射关系的图像。

3.11

贴图分辨率 Texture resolution

纹理贴图单位长度的像素点个数。

3.12

完整度 Completeness

物体非隐蔽表面的网格模型统计面积与实际面积之比。

4 总则

- 4.1 从人员、环境、设备、采集方式、技术路线等方面做出规划，遵从文物安全第一的原则。
- 4.2 可移动文物三维数字化采集方式应选择非接触式采集方式，确保文物的无损数据采集，采集方式参照附录 A。
- 4.3 对可移动文物的三维数字化采集和数据处理应忠于文物本体，遵循真实完整的原则。
- 4.4 可移动文物三维数字化采集数据和成果数据应统一命名存储，并及时检查完整性、可用性。
- 4.5 可移动文物三维数字化采集时间基准应采用公元纪年和北京时间。
- 4.6 可移动文物三维数字化成果，应根据文物等级使用相应的技术指标，技术指标参照附录 B。

5 总体架构

可移动文物三维数字化采集的工作流程宜分为方案设计、资源配置、数据采集、数据处理、数字化成果 5 个步骤进行，如图 1 所示。

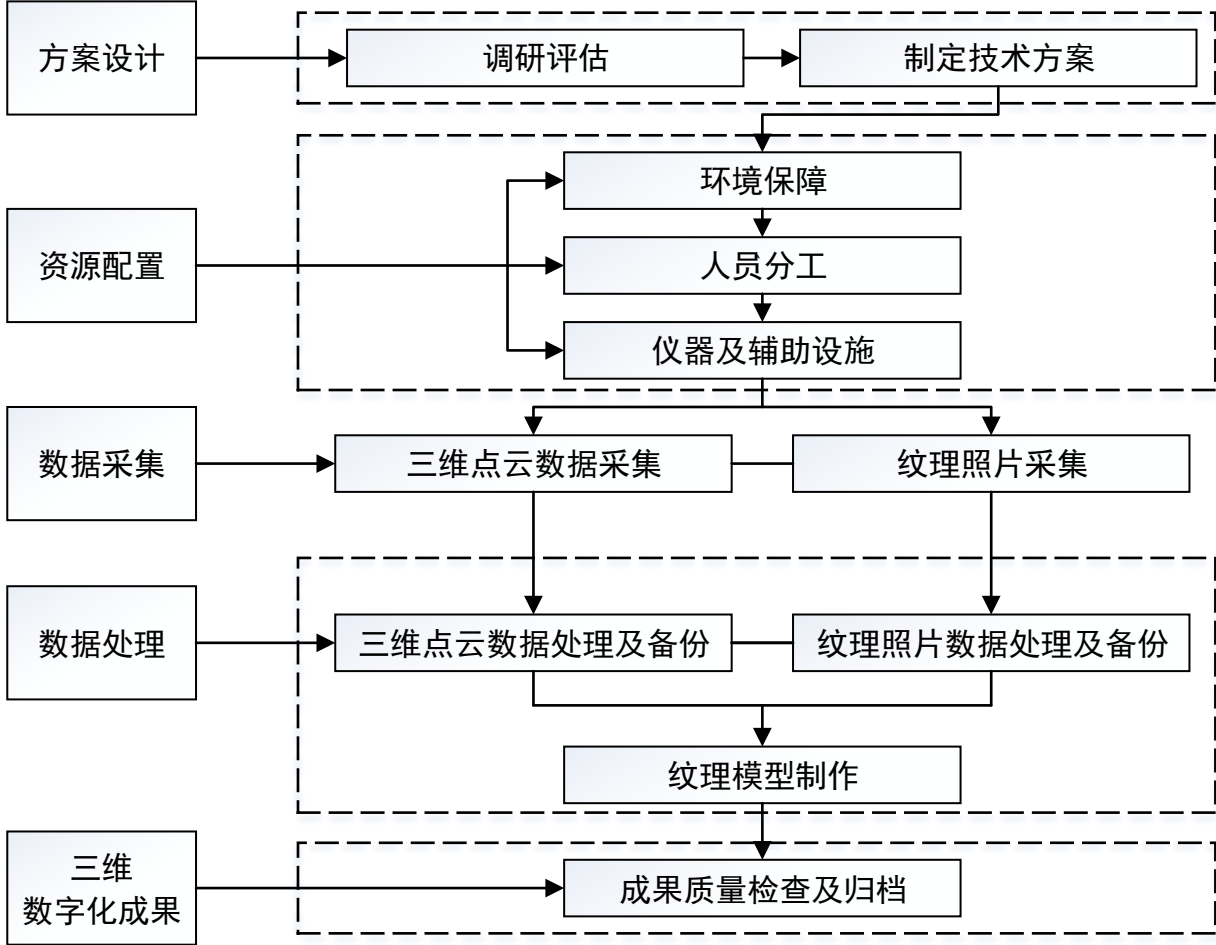


图1 可移动文物三维数字化总体架构

6 方案设计

6.1 提出需求

委托方根据可移动文物状况进行分析。提出数字化工作需求。

6.2 调研评估

在可移动文物三维数字化采集之前，应明确包括文物数量、尺寸、材质以及工作环境等基本情况，并确定数字化成果的输出形式、精度要求和应用需求。

6.3 制定技术方案

编写可移动文物三维数字化采集技术方案，宜包含以下内容：

- a) 项目概述：说明项目背景、项目目标、工作内容、工作要求、完成期限等基本情况；
- b) 文物情况：文物特点、分析其适用的技术方法，预估工作难点；

- c) 作业依据：说明项目背景、引用的标准、规范、制度等；
- d) 技术路线：项目实施将采用的技术指标、作业流程、方法步骤、工作内容等；
- e) 资源配置：说明项目实施配置的仪器设备、软件、人员、环境等情况；
- f) 施工组织设计：说明项目实施的组织机构、责任分工、进度安排；
- g) 质量控制措施：项目实施的质量管理与控制措施；
- h) 安全保障措施：说明项目实施中对器物、人员、设备、环境等采取的安全保障措施；
- i) 成果清单：明确项目成果的内容及格式。

7 资源配置

7.1 人员分工

项目实施前，需要明确项目负责人、团队组成及分工。

7.2 环境保障

项目实施前，需要明确项目负责人、团队组成及分工。

- a) 数据采集地点应为安全场所，单独场所；
- b) 现场采集环境应为专业采集环境，避免潮湿环境，冬天应具备取暖设施，保证现场温度适宜；
- c) 保证现场设备、电线、电缆固定牢固，保证现场电源连接稳定、安全；
- d) 保证现场光线柔和，避免阳光直射，避免其他光源干扰数据采集；
- e) 采集前，对设备和场所进行清洁、检查和调整。

7.3 仪器及辅助设施

按照技术方案的要求，确定测量平台、扫描设备、数码相机、控制测量设备、照明设备、颜色管理设备等，对辅助设施（如辅助参考点、背景板、云台）进行提前布置和准备，按照仪器使用规程进行操作，在数据采集设备进入采集环境安装就位后，应按设备使用的规定，做好使用前的预热、校准等各项准备工作。

8 数据采集

8.1 采集原则

采集前，检查文物外观，对损坏严重或具有其他不利于三维数字化采集的情况，应告知委托方，并立即终止该文物的作业，并做好记录；不可移动文物数字化采集不可粘贴标志点，以免损坏文物，宜将标志点粘贴在文物以外的背景板或辅助支架上，并采用特征拼接方式采集。

8.2 技术指标

数据采集精度指标应按项目对成果的要求，对照附录 B 选择对应的存档等级，根据存档等级确定。

8.3 扫描仪的选择

三维扫描设备应根据可移动文物特点、数据采集的技术指标选择，宜具有校准精度和拼接精度输出功能。三维数字化采集作业应按 CH/Z 3017 的规定执行。

对于如青铜器、大型雕塑等大型可移动文物，标志点布置困难，宜采用免标志点大场景三维激光扫描仪或结构光扫描仪，扫描精度不低于 1mm；对于细节特征较多的中小型文物，宜采用需粘贴标志点的手持非接触式三维激光扫描仪进行数字化采集，保证扫描精度在 0.3mm 以内。相关三维数据采集设备应具有省级以上计量机构出具的精度计量报告。

8.4 三维点云数据采集的基本要求

三维点云数据采集的分辨率选择原则为数据采集越精细越好，采样点距尽量均匀。但精细的数据会造成数据量的加大，对后续的数据处理和保存等都增加了难度。因此需要根据实际情况进行选择合适分辨率大小。下面是对不同对象的采集分辨率推荐要求：

- a) 大型青铜器、大型雕塑，建议采集分辨率为 1mm-2mm；
- b) 中小型文物，建议采集分辨率为 0.3mm-1mm；
- c) 字刻、徽章、雕饰等精细文物，建议采集分辨率小于 0.1mm-0.2mm。

8.5 三维数字化采集流程

- a) 辅助设施准备，包括背景板、标志点、电源、遮光布等；
- b) 仪器校准，确保仪器的精度满足测量要求；
- c) 扫描仪配置，包括分辨率、激光强度等参数；
- d) 确定扫描视点，进行数据采集，三维扫描仪测头与文物之间保持安全距离；
- e) 在扫描软件中进行数据拼接和数据处理；
- f) 保存原始数据，并按要求输出点云或者三角化网格；
- g) 进行点云数据检查，出现不合格情况需要重新采集。

8.6 纹理图像数据采集要求

- a) 避免所有自然光及其他光源干扰；
- b) 利用专业色彩管理软件及标准色卡校色；
- c) 根据采集环境和技术方案，调试布光场景；
- d) 确定曝光值和白平衡；
- e) 采用色温为 5500K 的人工光源。

8.7 纹理贴图拍摄应按照 GB/T 12979 的规定执行，且符合以下要求

- a) 照片分辨率等于或优于相应的存档等级的成果要求中规定的纹理贴图分辨率；
- b) 拍摄过程中保持相同的焦距，使用非定焦镜头时对其采取焦距固定措施；
- c) 可移动文物在照片中的画面面积占比 $\geq 70\%$ ；
- d) 可移动文物上同一特征点的相邻照片数 ≥ 3 张；
- e) 纹理映射图像以正视图照片颜色为基准；
- f) 纹理映射图像整体清晰度要不低于 95%；
- g) 相邻照片之间应保证不小于 3%的重叠区域；
- h) 在可移动文物旁放置参照物并随可移动文物一起拍摄。

8.8 拍摄后检查

- a) 保存有 TIFF 或 RAW+JPEG 格式文件；
- b) 图像清晰、曝光均匀；
- c) 颜色管理符合要求；
- d) 照片分辨率满足相应的存档等级成果要求中纹理贴图分辨率指标要求；
- e) 焦距整体一致或成组一致；
- f) 可移动文物在画面中的占比符合不低于 70%限值要求；
- g) 可移动文物上同一特征点的相邻照片数符合不低于 3 张应限值要求，且拍摄的照片满足三维重建后网格模型完整度要求；
- h) 出现不合格照片应按要求重新拍摄。

9 数据处理

9.1 可移动文物三维点云预处理

三维数据的几何建模包括点云预处理、点云数据配准、三角网格处理等内容，主要如下：

- a) 点云预处理：包括点云的选择、删除、降噪、平滑、均匀采样、曲率采样等；
- b) 点云数据配准：在两组点云中选择对应点，实现三维数据的配准和融合。对多组点云要进行全局误差控制；
- c) 三角网格处理：对三角网格进行选择、删除、平滑、精简、补洞等处理。

9.2 可移动文物三维点云配准

点云配准也叫数据拼接，是三维数字化采集中重要环节，建议点云配准应该在三维扫描软件中进行，在软件中首选自动拟合的方式，如自动拟合不能完成配准，可选用手动配准模式，具体要求如下：

- a) 根据不同的作业方式，可选择利用控制点、地物特征点等方式进行点云配准；
- b) 点云配准相邻点云重叠度不小于 30%；
- c) 手动配准时，公共特征点点选应不少于 4 个；
- d) 对于多数据配准拼接，应在基础对齐基础上进行全局配准，避免误差累计，保证误差分布平均化。

9.3 三角网格化

利用三角形面片建立三维点云中点与点之间的拓扑连接关系，生成三角网格模型，输出格式为 STL、OBJ、PLY 等通用的三维数据格式。

9.4 纹理模型制作

9.4.1 显示器颜色校准

- a) 显示器色彩空间设定为与相机和采集色卡一致；
- b) 在稳定室内光环境下，使用校色仪进行显示器颜色校准，生成显示器颜色校准文件。

9.4.2 纹理模型制作过程

将相机拍摄的二维影像数据，利用 UV 展开，与三维数据进行特征匹配，以完成纹理映射，生成纹理模型。纹理映射过程中遵循以下规则：

- a) UV 分块原则应选择在隐蔽、平滑且不影响主体纹饰；
- b) UV 分块应遵循分布均匀、画幅饱满的选择，尽量避免出现拉伸，局部大面积畸变等现象；
- c) 将映射后的分块模型拼接形成完整的纹理模型；
- d) 消除因分块整合产生的缝隙及局部拉伸等现象；
- e) 基于色卡，调节整个纹理模型的颜色，保证均匀一致；
- f) 在满足精度要求的基础上尽可能进行贴图优化，降低纹理模型的数据量，以保证数据的有效使用。

10 数字化成果

10.1 成果形式

10.1.1 三维数字化成果应包括原始数据和成果数据。原始数据包括原始采集的单站点云数据和二维影像原始数据。成果数据包括拼接完整的点云成果数据、存档级模型数据及调色后二维影像数据。

10.1.2 数据化成果输出格式

数字化成果输出格式应为通用格式，如表 1 所示：

表 2 成果数据格式

成果类型	数据格式
点云数据	.asc、.xyz、.stl、.ply、.pts 等
纹理照片、摄影测量照片	.jpg、.raw 等
三维网格	.obj、.stl、.ply 等
带纹理模型	.ob、j.wrl、.3ds 等

10.2 数据存储

可移动文物三维数据采集过程中，每天需对数据进行备份，保存在专用的数据存储设备上，根据可移动文物的特点存储系统应符合以下要求：

- a) 可移动文物数据量巨大，存储系统应有灵活的扩展性和兼容性，如采用国产存储服务器并可级联扩展的磁盘柜及高密大容量存储磁盘等；
- b) 文物数据要求永久保存，为避免文物数据丢失，存储系统应具备永久的数据存储能力，如滚动升级、数据迁移等。

10.3 成果评价

三维数字化成果主要技术指标参照附录 C 进行质量检查。

10.4 成果归档

10.4.1项目的各项技术工作完成后应按以下要求进行成果整理：

- a) 应对数据成果分类整理；
- b) 数据采集、数据处理和质量检查等记录应规范、齐全，技术文档应完整、准确、签署无遗漏。

10.4.2 成果整理完成后应编写项目技术工作报告，报告应包括以下内容：

- a) 项目概况：背景、目的、要求、开始和完成日期、实际工作量、作业依据等；
- b) 技术工作情况：技术路线、作业流程、仪器设备、技术方法、实施步骤等；

- c) 质量情况：质量控制方法、检查流程、评价情况与结果；
- d) 提交的成果；
- e) 结论与建议。

10.4.3 项目成果应完整归档。

附 录 A

可移动文物三维数字化采集技术方法

A. 1 可移动文物三维数字化采集技术方法

可移动文物三维数字化采集技术方法参见表A. 1。

表A. 1 可移动文物三维数字化采集技术方法

技术方法	主要设备	成果特点	方法及适用性
三维激光扫描仪	a) 三维激光扫描仪 b) 数码相机 c) 控制测量仪器、装置（可选）	a) 点云密度高； b) 纹理贴图还原度高； c) 纹理贴图与网格模型映射的位置误差较小； d) 三维扫描数据与摄影测量数据可以相互印证； e) 成果质量受三维扫描和摄影测量技术方法固有特点共同制约。	本方法利用三维扫描获取空间信息，利用摄影测量获取颜色信息，两者结合从而实现三维数字化，适用于本规范所定义的各类可移动文物，尤其适用于有以下需求的项目： a)对高密度点云有要求；b)对高精度数据有要求； c)对成果相互印证有要求。

附 录 B

可移动文物三维数字化采集成果技术指标

B.1 可移动文物三维数字化采集成果技术指标

可移动文物三维数字化采集成果技术指标参见表B.1。

表B.1 可移动文物三维数字化采集成果技术指标

等级	类型	内容	技术指标
特级	纹 理 模 型	网格模型	a) 三角面数 ≥ 1000 万; b) 尺寸误差 $\leq 0.04\text{mm}$; c) 表面起伏变化最小值 $\geq$ 尺寸误差; d) 完整度 $\geq 98\%$
		纹理贴图	a) 贴图分辨率 $\geq 600\text{dpi}$; b) CIEDE2000 色差平均值 ≤ 1.0 ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.05\text{mm}$ 。
一级	纹 理 模 型	网格模型	a) 尺寸误差 $\leq 0.08\text{mm}$; b) 表面起伏变化最小值 $\geq$ 尺寸误差; c) 完整度 $\geq 98\%$
		纹理贴图	a) 贴图分辨率 $\geq 300\text{dpi}$; b) CIEDE2000 色差平均值 ≤ 2.0 ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.10\text{mm}$ 。
二级	纹 理 模 型	网格模型	a) 尺寸误差 $\leq 0.16\text{mm}$; b) 表面起伏变化最小值 $\geq$ 尺寸误差; c) 完整度 $\geq 96\%$ 。
		纹理贴图	a) 贴图分辨率 $\geq 200\text{dpi}$; b) CIEDE2000 色差平均值 ≤ 3.0 ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.20\text{mm}$ 。
三级	纹 理 模 型	网格模型	a) 尺寸误差 $\leq 0.24\text{mm}$; b) 表面起伏变化最小值 $\geq$ 尺寸误差; c) 完整度 $\geq 94\%$ 。
		纹理贴图	a) 贴图分辨率 $\geq 150\text{dpi}$; b) CIEDE2000 色差平均值 ≤ 4.0 ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.30\text{mm}$ 。

附 录 C

可移动文物三维数字化采集成果数据检查方法

C.1 可移动文物三维数字化采集成果数据检查方法

可移动文物三维数字化采集成果数据检查方法参见表C.1。

表C.1 可移动文物三维数字化采集成果数据检查表

序号	检查指标	检查方法
1	尺寸误差	a) 标准件比对法。三维扫描或摄影测量时，可移动文物旁放置 $\geq 1/3$ 且 ≤ 3 倍尺寸的标准件，在三维数字化成果中计算出标准件的尺寸，与标准件的实际尺寸进行比较，其差值可作为尺寸误差； b) 重复测量比对法。使用 $\leq 1/3$ 误差指标要求的设备，重复采集 ≥ 3 组尺寸数据的平均值作为最或是值，成果尺寸值与最或是值的差值可作为尺寸误差。
2	平均点间距	软件统计法。使用具有平均点间距统计功能的软件进行统计。
3	最大点间距	软件分析法。使用具有最大点间距分析功能的软件进行分析。
4	完整度	软件统计对比法。使用具有面积统计功能的软件，分别统计成果网格模型和参照可移动文物实物修补完整的网格模型的表面积，求取前者与后者比值百分率。
5	贴图分辨率	a) 软件报告法。将相机采集的照片在不改变原像素分辨率的情况下生成纹理贴图，软件给出的采样分辨率或对地分辨率可以作为纹理贴图分辨率； b) 推断法。参与三维重建的有效照片中，最低分辨率照片，其分辨率可作为纹理贴图分辨率的最低值。
6	CIEDE2000 色差值	a) 规范计算法。按照ISO/CIE 11664-6 Colorimetry-Part 6: CIEDE2000 Colour-difference formula CIEDE2000 中给出的方法求取； b) 工具软件法。使用具有计算CIEDE2000 色差值的软件求取。