

ICS

点击此处添加中国标准文献分类号

DB11

北京市地方标准

DB XX/ XXXXX—XXXX

## 文物三维数字化技术规范 器物

Technical specification for three dimensional digitizing of cultural relics in  
collections: artifacts

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

北京市市场监督管理局

发布

# 目 次

前言.....	11
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	3
5 基本规定.....	3
6 技术方法.....	5
7 前期准备.....	7
8 数据采集.....	7
9 数据加工.....	9
10 成果制作.....	11
11 成果提交.....	12
附录 A（规范性） 器物三维数字化采集数据检查表.....	14
附录 B（规范性） 器物三维数字化成果数据检查表.....	15
附录 C（规范性） 器物三维数字化成果质量评价汇总.....	16

## 前 言

本文件按照国标GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本文件由北京市文物局提出并归口。

本文件由北京市文物局组织实施。

本文件起草单位：故宫博物院、中兵勘察设计研究院有限公司、首都博物馆、北京市文物局信息中心、北京市文物局图书资料中心、北京建工建筑设计研究院。

本文件主要起草人：

# 文物三维数字化技术规范 器物

## 1 范围

本文件规定了对器物类文物非隐蔽表面的空间信息和颜色信息进行三维数字化的技术方法、前期准备、数据采集、数据加工、成果制作和成果提交的技术要求。

本文件适用于具有稳定的空间形态和颜色外观、材料非透明的器物类文物的三维数字化。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 18316 数字测绘成果质量检查与验收

GB/T 19471 数字测绘成果质量要求

CH/T 1004 测绘技术设计规定

CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程

WW/T 0018 馆藏文物出入库规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**空间信息** spatial data

描述器物的位置、大小、形状、方向、几何拓扑关系等的的数据。

### 3.2

**网格模型** mesh model

用三角形来描述器物的空间信息所反映出的器物形态。

### 3.3

**颜色信息** color data

描述光作用于人眼引起除空间属性以外的视觉特征的数据。

### 3.4

**纹理 texture**

器物表面的颜色分布呈现出的视觉观感。

## 3.5

**纹理贴图 texture mapping**

采用UV坐标，包含与网格模型映射关系的纹理图像。

## 3.6

**纹理模型 texture model**

由网格模型和纹理贴图共同表达器物表面特征的三维模型。

## 3.7

**三维扫描 three dimensional scanning**

以非接触方式，探测获得器物表面空间数据及相关附加信息的技术方法。

## 3.8

**点云 point cloud**

在三维空间中以离散、不规则方式分布的点的集合。

## 3.9

**特征点 feature points**

在点云可用于标识器物形态特征的点；在网格模型中可用于标识器物形态特征的顶点；在影像中可用于标识器物纹理特征的像素点。

## 3.10

**像控点 photo control point**

以测得位置数据，为摄影测量三维重建的定向计算、模型链接等提供依据、控制精度的固定点。

## 3.11

**点间距 distance between points**

点云中的两个点或网格模型、纹理模型的两个顶点之间的空间距离。

## 3.12

**尺寸精度 size accuracy**

器物三维数字化的点云、网格模型、纹理模型的最大尺寸测量值与其最或然值的差值。

## 3.13

**降噪 remove noise**

消除在点云的获取过程中由于设备、技术方法、外界干扰等因素引起的非正常点云的过程。

### 3.14

**抽稀 simplification**

保留能够反映器物基本特征的点云，删除其他点云，以减少点云数量的过程。

### 3.15

**像素 pixels**

图像元素，构成数字影像的基本单元。

### 3.16

**像素分辨率 distance between pixels**

在数字影像中，相邻两像素之间的空间距离。

### 3.17

**色卡 color chip**

表示一定颜色的标准样品卡。是用于颜色选择、比对、沟通的工具，实现颜色在一定范围内统一标准。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

### 4.1

**CI EDE2000 cie delta E 2000 colour-difference formula**

国际照明委员会 2000 年制定的色差公式。

### 4.2

**ICC 色彩特性文件 International color consortium color profile**

简称 ICC 文件。

### 4.3

**UV 坐标 UV texture coordinates**

贴图映射坐标，简称 UV。水平方向为 U，垂直方向为 V。

## 5 基本要求

5.1 器物三维数字化，应通过数字技术手段，采集器物表面的空间信息和颜色信息，加工制作纹理模型，实现器物的三维数字再现。

5.2 器物三维数字化的文物安全应符合以下要求：

- a) 采用无损数字化技术；
- b) 采集设备和实施人员不接触器物；
- c) 器物上不增加附加物；

d) 照明灯光不影响器物安全。

5.3 应根据成果用途、工作成本、器物类型等综合因素选择三维数字化技术指标等级，各级成果技术指标应符合表 1 的要求。

表 1 器物三维数字化成果技术指标

级别	类型	内容	技术指标	
存档级	扫描点云	点云	a) 尺寸误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ; b) 平均点间距 $\leq 0.05\text{mm}$ ; c) 最大点间距 $\leq 0.20\text{mm}$ ; d) 完整度 $\geq 98\%$ 。	
		网格模型	a) 无重叠、交叉、尖锐凹凸的网格面。	
	一级	网格模型	a) 尺寸误差 $\leq 0.10\text{mm}$ ; b) 表达的最小表面起伏变化 $\geq$ 尺寸误差;	
		纹理贴图	a) 像素分辨率 $\leq 0.04\text{mm}$ ; b) CIEDE2000 色差平均值 $\leq 2.0$ ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.10\text{mm}$ ; d) 完整度 $\geq 98\%$ 。	
	二级	网格模型	a) 尺寸误差 $\leq 0.20\text{mm}$ ; b) 表达的最小表面起伏变化 $\geq$ 尺寸误差;	
		纹理贴图	a) 像素分辨率 $\leq 0.08\text{mm}$ ; b) CIEDE2000 色差平均值 $\leq 3.0$ ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.20\text{mm}$ ; d) 完整度 $\geq 96\%$ 。	
	三级	网格模型	a) 尺寸误差 $\leq 0.30\text{mm}$ ; b) 表达的最小表面起伏变化 $\geq$ 尺寸误差。	
		纹理贴图	a) 像素分辨率 $\leq 0.12\text{mm}$ ; b) CIEDE2000 色差平均值 $\leq 4.0$ ; c) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 0.30\text{mm}$ ; d) 完整度 $\geq 94\%$ 。	
	应用级	线下	网格模型	a) 三角面数为存档级的 50%，原则上 $\leq 1$ 千万面; b) 表达的最小表面起伏变化 $\geq 2$ 倍存档级尺寸误差。
			纹理贴图	a) 像素分辨率 $\leq 2$ 倍存档级像素分辨率; b) 与网格模型映射的位置误差 $\leq 2$ 倍存档级网格模型映射的位置误差; c) 完整度为 100%。
线上		网格模型	a) 三角面数原则上 $\leq 30$ 万; b) 表达的最小表面起伏变化 $\geq 2\text{mm}$ 。	
		纹理贴图	a) 单个器物 $\geq 8192*8192$ 像素; b) 最小表面起伏变化 $\leq 2\text{mm}$ 的用法线贴图表现; c) 完整度为 100%。	

注1: 点云的点是扫描点, 非后处理插值点;

注2：表内涉及精度和分辨率的指标适用于尺寸 $\leq 0.50\text{m}$ 的器物。当器物尺寸 $> 0.50\text{m}$ 时，按下式计算：

$$V = B \times N \times 0.5 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$V$ ——新指标值；

$B$ ——现在表中的指标值；

$N$ ——尺寸因子，等于器物最大尺寸值（单位 $\text{m}$ ）除以 $0.50$ 后，再向上取整的值。

5.4 器物三维数字化的空间参考系，应采用笛卡尔坐标系。宜按器物约定俗成的放置姿态和方向确定坐标轴，各坐标轴方向最大尺寸所构成的六面体的中心点为坐标原点。

5.5 器物三维数字化的时间系统，日期应采用公元纪年，时间应采用北京时间。

5.6 器物三维数字化应按以下规定进行颜色管理：

- a) 颜色管理贯穿于数据采集、数据加工和成果制作全过程；
- b) 颜色管理覆盖影像拍摄设备、显示设备和影像处理软件。

5.7 器物三维数字化应按以下规定进行质量控制：

- a) 质量控制贯穿于数据采集、数据加工和成果制作全过程；
- b) 建立质量记录，并进行成果质量评价，需填写器物三维数字化成果质量评价汇总表，见附录 C。

5.8 器物三维数字化成果应按以下规定输出：

- a) 点云输出 asc、xyz、ply、stl 等通用格式；
- b) 网格模型输出 obj、ply、stl、wrl 等通用格式；
- c) 纹理贴图输出 jpg、png、tiff 等通用格式。

## 6 技术方法

6.1 器物三维数字化可根据器物的材料、形态、结构、纹理等特点，以及数字化成果的用途，按表 2 选择技术方法。

表 2 器物三维数字化技术方法

技术方法	主要设备	成果特点	方法适用性
摄影测量三维重建	a) 数码相机 b) 控制测量仪器、装置	a) 纹理贴图还原度高； b) 纹理贴图与网络模型映射的位置误差小； c) 成果质量受摄影测量技术方法固有特点的制约。	按摄影测量要求拍摄的纹理照片进行处理实现三维数字化，适用器物： a) 纹理特征丰富； b) 且非连续对称、重复。
三维扫描与	a) 三维扫描仪	a) 高密度的点云； b) 纹理贴图还原度高；	通过三维扫描获取空间信息、



摄影测量三维重建结合	b) 数码相机 c) 控制测量仪器、装置(可选)	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的共同制约。	摄影测量获取颜色信息,两者结合进行处理实现三维数字化,适用器物: a) 材料透明度、反射率低; b) 纹理特征丰富,且非连续对称、重复。 c) 有高密度点云要求; d) 对成果有相互印证要求。
------------	-----------------------------	--	--

6.2 应根据项目要求和技术方法,选择符合要求的三维扫描仪、数码相机、控制测量设备、照明设备、颜色管理设备、温湿度记录设备和配套软件。

6.3 器物三维数字化宜包括下列工作环节、并按图 1 的流程开展工作。

- a) 前期准备,宜包括综合评估、方案设计、资源配置;
- b) 数据采集,宜包括现场布设、控制测量、摄影测量照片拍摄、三维扫描;
- c) 数据加工,宜包括点云处理、网格模型处理、像控刺点、空中三角测量、三维重建、UV 分展;
- d) 成果制作,宜包括摄影测量存档级纹理模型制作、三维扫描存档级纹理模型制作、应用级纹理模型制作;
- e) 成果提交,宜包括质量检查与评价、成果整理与提交。

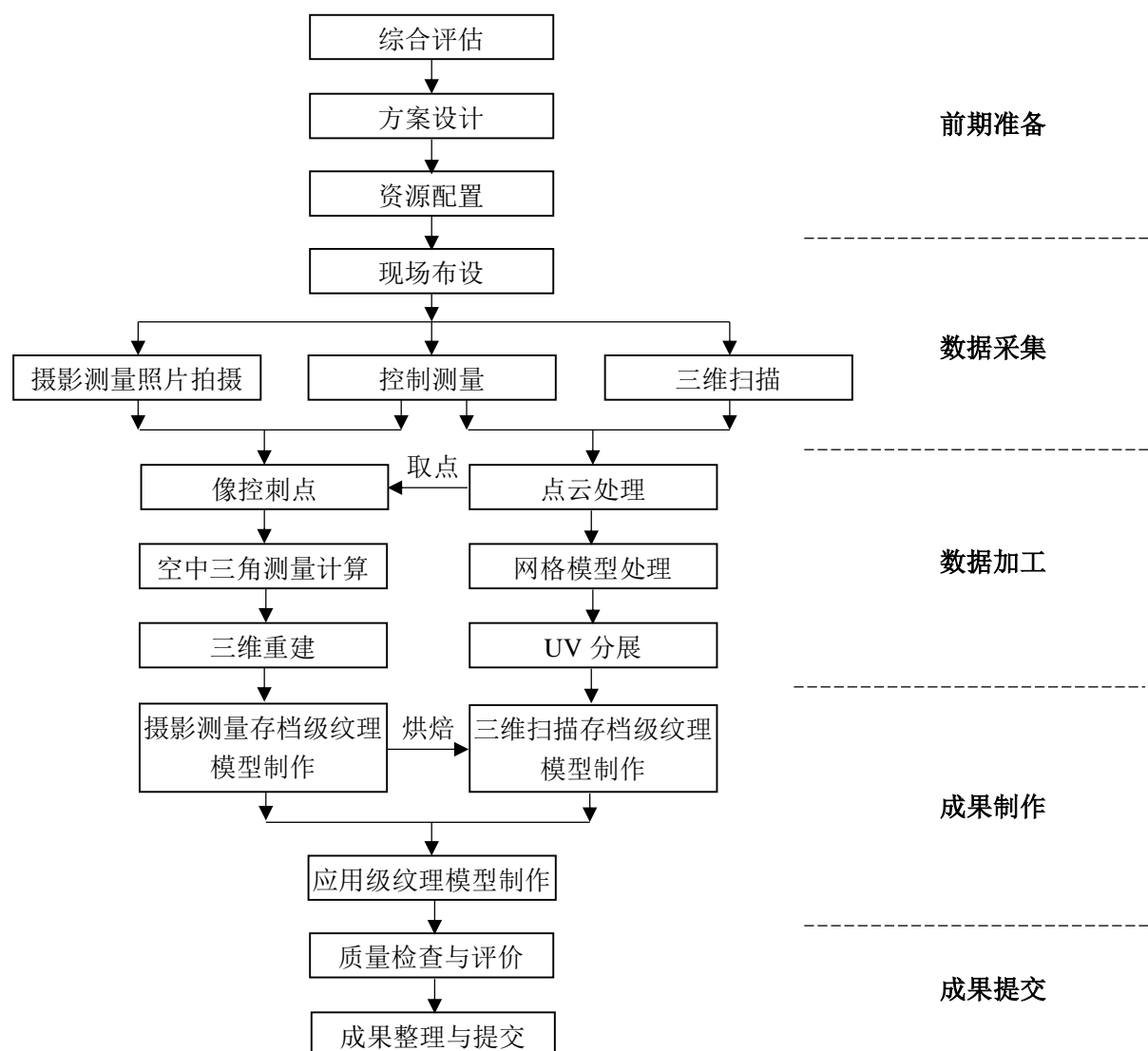


图1 器物三维数字化流程图

## 7 前期准备

7.1 在三维数字化展开前，应根据已有资料、器物实际情况等，对器物的安全情况、对本文件规定的数字化技术方法的适用性等进行评估；根据作业现场踏勘情况，对保障文物安全和满足实施要求进行综合评估。

7.2 应根据项目要求，结合对器物、作业现场的评估，按照 CH/T 1004 的规定进行项目设计，编制项目实施方案。

7.3 项目实施方案宜包括下列内容：

- 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；
- 文物情况：描述器物特点，分析其适用的技术方法，预估工作难点；
- 作业依据：说明引用的标准、规范，项目委托情况；

- d) 技术方法：说明项目实施将采用的技术思路、作业流程、方法步骤；
- e) 资源配置：说明项目实施配置的仪器设备、软件和人员情况；
- 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：说明项目实施的质量管理与控制措施；
- h) 安全保障措施：说明项目实施中对文物、人员、设备、环境等拟采取的安全保障措施；
- i) 提交成果：说明拟提交的项目成果。

7.4 大型或重点项目的实施方案，宜经过相关专家论证；批准后的方案应严格执行。

7.5 应根据项目设计，按以下要求配置充分的实施资源：

- a) 满足技术指标、适合器物特点的设备和软件；
- b) 满足项目实施要求的人力资源；
- c) 设备经过检校，人员经过针对性的培训。

## 8 数据采集

### 8.1 一般要求

8.2 应按项目成果技术指标要求，在计算评估后续工作过程中技术指标损失的基础上，确定数据采集的技术指标。

8.3 宜统筹安排数据采集，一次进出采集环境即完成全部采集作业。

8.4 器物出入库应符合 WW/T 0018 的规定，数据采集过程中，除该器物的文物管理人员，其他任何人不应接触文物或对文物施加影响。

8.5 器物在正式数据采集前宜进行预采集，以确定合适该器物的设备参数设置；在采集过程中应根据采集情况及时调节设备参数。

8.6 在采集过程中为使采集的数据更具完整性、准确性而调整器物的放置位置和姿态，应在确保文物安全的情况下进行。

8.7 采集的数据文件应根据项目名称、器物名称或编号、采集日期、采集序号等信息统一命名存储。

8.8 应在现场对采集数据的完整性、可用性进行及时检查，出现异常情况，应及时采取应对措施。

### 8.9 现场布设

8.10 应选择温湿度等环境条件满足器物存放规定、地面平坦、空间充裕、无障碍物、电源充足之处作为数据采集场所。

8.11 应按任务类别或工序进行现场空间划分，工作空间不应出现交叉。

8.12 放置文物的工作平台应平稳牢固，文物进出通道和操作空间应无障碍物。

8.13 光环境布置应按以下要求进行：

- a) 应遮蔽所有自然光和干扰光源；
- b) 应采用标准色温的人工光源；
- c) 人工光源的持续色温应为  $5500\text{k} \pm 10\%$ ；

- d) 对于光敏性器物应使用冷光源；
- e) 在连续拍摄期间，光源亮度差异应 $\leq 10\%$ ；
- f) 光源布置不应导致器物上出现影响拍摄画质的阴影、强反光；
- g) 布置的光源应能反映出器物的纹理特点。

8.14 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。

### 8.15 三维扫描数字采集

8.16 应根据器物特点和项目技术指标要求，分别选择使用不同类型的三维扫描设备，或多类型扫描设备配合使用。宜选用具有校准精度和拼接精度输出扫描设备。

8.17 三维扫描作业应按 CH/Z 3017 的规定执行，且符合以下要求：

- a) 采集指向与器物表面宜保持垂直，有夹角时不小于 60 度；
- b) 采集过程中扫描仪宜与器物保持等距离；
- c) 随器物表面曲率增大应增加点云密度；
- d) 分块扫描时，按照分块数最少的原则设计分块，相邻块之间有效点云的重叠度 $\geq 30\%$ 且重叠部分是沿分块边界的平行条带。

8.18 每件器物现场扫描完成后，应立即进行以下检查：

- a) 完整度应不高于限值；
- b) 平均点间距和最大点间距应在限值内；
- c) 点云不应出现重层、错位；
- d) 噪点与器物数据应能区分；
- e) 扫描仪生成输出有校准记录、单站扫描记录和拼接记录，记录不应有异常数据反映。

8.19 三维扫描采集应填写器物三维数字化采集数据检查表，见附录 A，出现不合格情况的应按照本章要求在器物撤场前及时进行相应的重扫、补扫。

### 8.20 摄影测量数据采集

8.21 摄影测量照片拍摄应使用符合以下要求的数码相机：

- a) 成像传感器尺寸 $\geq 24\text{mm} \times 36\text{mm}$ ；
- b) 成像的 RGB 每通道色彩深度 $\geq 12\text{Bit}$ ；
- c) 单张照片像素 $\geq 2400$  万；
- d) 支持照片以无损格式存储。

8.22 拍摄前应按以下要求进行相机设置：

- a) 无损格式加 JPEG 格式存储；
- b) 画质为最高状态；
- c) 感光度 (ISO)  $\leq 100$ 。

8.23 数码相机的颜色基准应按以下要求建立：

- a) 相机色域应设定为范围最大的色域选项；

- b) 应在拍摄光环境内进行相机白平衡设置;
- c) 拍摄器物不少于四视图的标准色卡照片, 色卡紧邻器物且置于各视图正前方, 片中色卡在照片中的画幅面积占比 $\geq 50\%$ ;
- d) 摄影测量照片拍摄前, 应拍摄色卡照片, 进行色差评估。

8.24 可选择器物自然特征点或在其周围布设标志作为摄影测量三维重建的像控点, 像控点的布设及测量应按照 GB/T 12979 的规定执行。

8.25 摄影测量照片拍摄应按照 GB/T 12979 的规定执行, 且符合以下要求:

- a) 照片的像素分辨率应优于成果要求的纹理贴图像素分辨率;
- b) 拍摄过程中应保持相同的焦距, 使用非定焦镜头应对其采取焦距固定措施;
- c) 器物在照片中的画面面积占比应 $\geq 70\%$ ;
- d) 航向重叠度应 $\geq 80\%$ , 旁向重叠度应 $\geq 60\%$ ;
- e) 器物上同一特征点的相邻照片数应 $\geq 3$ 张。

8.26 每件器物拍摄完成后, 应立即进行以下检查:

- a) 应保存有无损格式文件;
- b) 应图像清晰、曝光均匀;
- c) 像素分辨率应满足纹理贴图像素分辨率指标要求;
- d) 焦距应一致;
- e) 器物在画面中的占比应高于限值;
- f) 航向重叠度、旁向重叠度应高于限值;
- g) 器物上同一特征点的相邻照片数高于限值, 且拍摄的照片对器物的覆盖达到完整度要求。

8.27 摄影测量照片拍摄应填写器物三维数字化采集数据检查表, 见附录 A, 出现不合格情况的应按照本章要求在器物撤场前进行相应的重拍、补拍。

## 9 数据加工

### 9.1 三维扫描数据加工

9.2 宜使用扫描仪自身配套软件或通用商业软件, 加工三维扫描采集的点云数据, 构建网格模型。

9.3 点云数据应按以下要求处理:

- a) 应删除多余点, 只保留采集对象的点云数据;
- b) 数据应降噪, 过滤、剔除异常点;
- c) 宜采用靶标点、控制点、点云相结合方式进行分块点云拼接配准, 配准后的点云尺寸精度应满足技术指标要求;
- d) 宜按曲率采样方式进行点云抽稀, 抽稀后的点间距应满足成果技术指标的要求。

9.4 应采用三角网法进行点云封装, 构建网格模型。

9.5 构建网格模型后, 应按以下要求进一步处理:

- a) 消除叠面、交叉面、锐角网格;
- b) 在顶点间距满足技术指标要求的范围内, 进行三角网减量;

- c) 在尺寸精度满足技术指标要求的范围内，进行局部或整体平滑处理；
- d) 用于应用级成果的加工，可按趋势修补模型孔洞。

## 9.6 摄影测量数据加工

9.7 用于摄影数据处理的显示器，初次使用时应按以下要求进行颜色校准：

- a) 显示器色彩空间设定为与相机一致的色域空间；
- b) 在稳定室内光环境下，使用校色仪进行屏幕颜色校准，生成显示器颜色校准文件。

9.8 显示器颜色校准文件应按以下要求使用：

- a) 显示器进行影像颜色管理之前，应在显示器控制面板中调用在校准有效期内的显示器校准文件，实现显示器的颜色还原；
- b) 校准文件超过有效期，应立即对显示器重新进行校准，并对显示器颜色还原控制进行更新。

9.9 应选择支持颜色管理的影像处理软件进行纹理贴图数据加工，软件的色彩空间设定为与相机、显示器一致的色域空间。

9.10 摄影数据加工前，剔除不清晰的照片，并按以下要求进行颜色还原：

- a) 使用色卡配套的校准软件，对器物的标准色卡影像进行解析，生成标准色卡的 ICC 文件；
- b) 在影像处理软件中，调用色卡校准软件生成的 ICC 文件，进行器物照片颜色还原。

9.11 摄影测量数据加工，宜选择支持点云与影像协同进行三维重建的摄影测量软件。

9.12 三维重建的控制可选择以下方式：

- a) 导入三维扫描成果点云进行控制；
- b) 三维扫描成果点云或三角网模型与器物照片对照，以共同的特征点作为像控点进行控制；
- c) 器物周边布设的控制标志作为像控点进行控制。

9.13 在空中三角测量计算后，应检查计算输出的精度和分辨率指标，满足成果技术指标要求方可进行后续三维重建。

9.14 三维重建宜按以下要求进行：

- a) 按成果技术指标要求控制网格模型顶点密度和纹理贴图分辨率生成参数；
- b) 计算设备可承受条件下的最少分块；
- c) 相邻分块之间无重叠；
- d) 网格模型自动补洞；
- e) 纹理贴图自动匀色。

## 10 成果制作

### 10.1 存档级纹理模型制作

10.2 采用摄影测量三维重建方法三维数字化，纹理模型成果宜按以下要求制作：

- a) 拼接整合，将重建的分块模型合并成完整的纹理模型；
- e) 接缝处理，消除缝隙、拉伸等现象；

- f) 调色处理，使纹理颜色均匀统一；
- g) 优化贴图，在满足技术指标的情况下使纹理贴图数据量最小。

10.3 采用三维扫描与摄影测量三维重建结合方法三维数字化，宜先进行摄影测量纹理模型成果制作，再进行三维扫描网格模型的 UV 分展，最后摄影测量纹理模型的纹理贴图烘焙至三维扫描网格模型上，得到成果纹理模型。

10.4 三维扫描网格模型的 UV 分展宜按以下要求进行：

- a) 按项目要求的技术指标，计算模型 UV 分块个数和每块的面积；
- b) UV 分块边界在隐蔽、平滑处，不破坏主体纹饰；
- c) UV 排布面积均匀、充满画幅、无拉伸；
- d) 对 UV 分展结果应采用棋盘格法进行变形校验，出现变形区域较大或局部变形较明显，应对 UV 分块进行调整后分展。

10.5 摄影测量纹理模型的纹理贴图烘焙至三维扫描网格模型宜按以下要求进行：

- a) 烘焙前计算三维重建的网格模型与三维扫描的网格模型贴合的平均距离，该距离与摄影测量三维重建的纹理贴图误差之和，应小于等于成果要求纹理贴图映射的位置误差；
- b) 选择使用的烘焙软件应具有烘焙结果评价信息输出；
- c) 烘焙完成后应进行纹理贴图检查，重点检查网格模型曲率大的部位。

10.6 成果制作完成后，除保存制作软件自有格式文件外，至少导出本文件 5.8 所要求的一种通用格式文件。

## 10.7 应用级纹理模型制作

10.8 应用级纹理模型分为线下应用级和线上应用级，应基于相应存档级纹理模型制作。

10.9 线下应用级纹理模型应按以下要求制作：

- a) 网格模型由存档级纹理模型的网格模型抽稀 50%，三角面数 $\leq 1$ 千万；
- b) 存档级纹理模型不完整导致网格模型出现的孔洞，应按趋势进行修补至 100%完整；
- c) 纹理贴图由存档级纹理模型的纹理贴图缩减 50%，修补区域进行虚拟贴图制作。

10.10 线上应用级纹理模型应按以下要求制作：

- a) 网格模型由存档级纹理模型的网格模型抽稀简化或拓扑制作，三角面数应 $\leq 30$ 万；
- b) 拓扑制作网格模型，三角面分布密度应与网格模型曲率大小成正比，小于技术指标值的表面起伏特征用法线贴图表现；
- c) 存档级纹理模型不完整导致网格模型出现的孔洞，应按趋势进行修补至 100%完整；
- d) 网格模型对应单张 8192 $\times$ 8192 像素纹理贴图；
- e) UV 分块边界应在隐蔽、平滑处，UV 排布面积应均匀、充满画幅、无拉伸；
- f) 网格模型非修补区域的纹理贴图由存档级纹理模型的纹理贴图烘焙制作，修补区域进行虚拟贴图制作；
- g) 纹理贴图的法线方向、深浅与器物凹凸起伏一致。

## 11 成果提交

## 11.1 质量检查与评价

11.2 成果提交前应进行质量检查，检查应符合 GB/ T 18316、GB/ T 19471 的规定。

11.3 成果质量检查应包括以下内容：

- a) 存档级点云成果：尺寸误差、平均点间距、最大点间距、完整度；
- b) 存档级纹理模型：网格模型尺寸误差，纹理贴图的像素分辨率、CIEDE2000 色差值、与网格模型映射的位置误差、完整度；
- c) 应用级纹理模型：网格模型三角面数，纹理贴图的像素分辨率、CIEDE2000 色差值、与网格模型映射的位置误差、完整度。

11.4 成果质量检查方法应按下列要求执行：

- a) 尺寸误差：可使用标准件比对法，即三维扫描或摄影测量时，器物旁放置有尺寸  $\geq 1/3$  且  $\leq 3$  倍器物尺寸的标准件，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，其差值可作为尺寸精度；或者使用重复测量比对法，即使用误差  $\leq 1/3$  误差指标要求的设备，重复采集  $\geq 3$  组尺寸数据的平均值作为最或然值，成果尺寸值与最或然值的差值可作为尺寸精度。
- b) 平均点间距：获得成果中所有各点与相邻点之间的点间距，计算其平均值即为平均点间距。
- c) 最大点间距：获得成果中所有各点与相邻点之间的点间距，其最大值即是最大点间距。
- d) 完整度：未修补前与修补完整后成果所覆盖的器物表面积之比，即是成果的完整度。
- e) 纹理贴图的像素分辨率：在用摄影测量软件进行三维重建中，当纹理贴图采用 100% 像素输出时，软件系统给出的像素分辨率可以作为纹理贴图的像素分辨率；摄影测量软件未提供像素分辨率，可按下式计算：

$$ASD = H \times \alpha / f \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$ASD$  —— 器物采样距离（即一个像素代表的器物表面空间距离，单位为 m）；

$H$  —— 照片拍摄距离（单位为 m）；

$f$  —— 相机镜头焦距（单位为 mm）；

$\alpha$  —— 相机成像传感器像元尺寸（单位为 mm）。

f) CIEDE2000 色差值，CIEDE2000 色差值按下式计算：

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H}\right)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\Delta E_{00}$  —— CIEDE2000 总色差；

$\Delta L'$  —— 明度差；

$\Delta C'_{ab}$  —— 彩度差；



- $\Delta H'_{ab}$  ——色相差；
- $K_L$  ——明度校正系数
- $K_C$  ——彩度校正系数
- $K_H$  ——色相校正系数；
- $S_L$  ——明度权重系数
- $S_C$  ——彩度权重系数
- $S_H$  ——色相权重系数；
- $R_T$  ——旋转系数。

g) 纹理贴图与网格模型映射的位置误差，误差值用下式计算：

$$E_m = E_r + E_d \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$E_m$ ——映射位置误差；

$E_r$ ——摄影测量三维重建的纹理贴图误差，由摄影测量软件三维重建时计算给出；

$E_d$ ——三维重建的网格模型与三维扫描的网格模型贴合的平均距离，由三维处理软件在对两模型贴合比较时给出。

11.5 成果检查应填写器物三维数字化成果数据检查表，见附录 B，出现不合格情况的应按本章要求进行修改。

11.6 成果提交前应按以下要求进行质量评价：

- a) 提供每一件器物成果质量评价的汇总表，对各器物数字化成果满足项目要求的技术指标的情况做出定量评价，应填写器物三维数字化成果质量评价汇总表，见附录 C，出现不合格情况的应按本文件查找原因并从引起不合格处重新开始工作；
- b) 提供项目总体质量的评价结论，对项目所有器物数字化成果整体满足项目要求的技术指标的情况做出定量评价。

## 11.7 成果整理与提交

11.8 项目各项技术工作完成，应对项目成果进行整理，整理应符合以下规定：

- a) 数据采集、加工、成果制作和质量检查评价记录应齐全、规范；
- b) 技术文档应完整、准确、签署无遗漏。

11.9 项目成果整理完成，应编写项目技术工作报告，报告宜包括以下内容：

- a) 项目概况：项目背景、目的和要求、开始和完成日期、实际完成的工作量等；
- b) 技术方案：工作依据、采用的技术思路、作业流程、采用的仪器设备和技术方法、实施步骤等；
- c) 质量评定：质量检查结果、质量评价结果；
- d) 提交的成果资料；
- e) 结论与建议。

11.10 项目成果的提交，数据成果宜以电子档的形式，质量检查记录、质量评价报告和项目技术工作报告宜以纸质档形式提交。提交内容包括：

- a) 点云数据；
- b) 影像数据；
- c) 存档级纹理模型；
- d) 线下应用级纹理模型；
- e) 线上应用级纹理模型；
- f) 质量评价报告；
- g) 项目技术工作报告。

## 附 录 A

(规范性)

## 器物三维数字化采集数据检查表

器物三维数字化采集数据检查应按表A.1的要求进行。

表 A.1 器物三维数字化采集数据检查表

项目名称				表格编号	
文物名称				数据等级	
原始点云数据					
序号	内容	评价		处理措施	备注
1	校准精度	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 重新校准	
2	拼接精度	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 重新拼接	
3	点云重叠度	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补充扫描	
4	点云空洞	<input type="checkbox"/> 可处理	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补充扫描	
5	点云分层	<input type="checkbox"/> 可处理	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 剔除错误数据 <input type="checkbox"/> 重新扫描	
6	点云噪点冗余	<input type="checkbox"/> 可处理	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 剔除错误数据 <input type="checkbox"/> 重新扫描	
7	现场记录完整	<input type="checkbox"/> 完整	<input type="checkbox"/> 不完整	<input type="checkbox"/> 补充记录	
原始影像数据					
序号	内容	评价		处理措施	备注
1	无损格式	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
2	照片感光度	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
3	颜色管理	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
4	照片有效分辨率	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
5	重叠率	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
6	完整度	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
7	图像清晰	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
8	曝光均匀	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格	<input type="checkbox"/> 补拍 <input type="checkbox"/> 剔除废片 <input type="checkbox"/> 重拍	
9	现场记录完整	<input type="checkbox"/> 完整	<input type="checkbox"/> 不完整	<input type="checkbox"/> 补充记录	
记录人:				日期:	
复核人:				日期:	

## 附 录 B

(规范性)

## 器物三维数字化成果数据检查表

器物三维数字化成果数据检查应按表B.1的要求进行。

表 B.1 器物三维数字化成果数据检查表

项目名称			表格编号	
文物名称			数据等级	
成果	检查内容	检查结果	合理性评价	
存档级点云	尺寸误差		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	平均点间距		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	最大点间距		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	完整度		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
存档级纹理模型	模型尺寸误差		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	贴图像素分辨率		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	CIEDE2000 色差值		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	映射位置误差		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	完整度		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
应用级纹理模型	模型尺寸误差		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	贴图像素分辨率		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	CIEDE2000 色差值		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	映射位置误差		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
	完整度		<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
记录人:	日期:			
复核人:	日期:			

附 录 C  
(规范性)  
器物三维数字化成果质量评价汇总

器物三维数字化成果质量评价汇总应按表C.1的要求进行。

表C.1 器物三维数字化成果质量评价汇总表

项目名称			表格编号																			
文物名称			数据等级																			
序号	文物编号	文物名称	最大尺寸	存档级点云			存档及纹理模型					线下应用级纹理模型				线上应用级纹理模型			合格性评价			
				尺寸误差 (mm)	平均点间距 (mm)	最大点间距 (mm)	完整度 (%)	尺寸误差 (mm)	贴图像素分辨率 (dpi)	CI EDE2000 色差值	映射位置误差 (mm)	完整度 (%)	三角面数量 (个)	贴图像素分辨率 (dpi)	映射位置误差 (mm)	完整度 (%)	三角面数量 (个)	贴图像素分辨率 (dpi)		完整度 (%)		
																					☑合格 ☐不合格	
																						☑合格 ☐不合格
																						☑合格 ☐不合格
																						☑合格 ☐不合格
																						☑合格 ☐不合格
记录人:											日期:											
复核人:											日期:											