

ICS 35.040.01; 97.195

CCS A 15; Y 88

WW

中华人民共和国文物保护行业标准

WW/T 0115—2023

可移动文物三维数字化采集与加工

Three-dimensional digital acquisition and processing of movable cultural relics

2023-12-06 发布

2024-07-01 实施

国家文物局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作流程	2
5 前期准备	3
5.1 方案设计	3
5.2 条件准备	3
6 数据采集	4
6.1 基本要求	4
6.2 控制测量	4
6.3 三维扫描数据采集	5
6.4 摄影测量数据采集	5
6.5 采集成果质量检查	6
7 数据加工	7
7.1 基本要求	7
7.2 存档数据加工	7
7.3 应用数据加工	8
7.4 加工成果质量检查	8
8 成果提交	8
8.1 成果整理	8
8.2 成果存储	9
附录 A (资料性) 可移动文物三维数字化采集技术方法	10
附录 B (规范性) 可移动文物三维数字化采集技术指标	11
附录 C (资料性) 可移动文物三维数字化采集现场记录表	12
附录 D (资料性) 可移动文物三维数字化采集成果检查记录表	14
附录 E (规范性) 可移动文物三维数字化加工技术指标	16
附录 F (资料性) 可移动文物三维数字化采集与加工成果检查方法	18
附录 G (资料性) 可移动文物三维数字化加工记录表	19
附录 H (资料性) 可移动文物三维数字化加工成果检查记录表	20
附录 I (资料性) 可移动文物三维数字化采集与加工成果组织表	22
参考文献	23

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家文物局提出。

本文件由全国文物保护标准化技术委员会（SAC/TC 289）归口。

本文件起草单位：故宫博物院、中国科学院上海高等研究院、浙江大学、中兵勘察设计研究院有限公司、天津大学。

本文件主要起草人：苏怡、黄墨樵、欧阳宏、黄俊、刁常宇、赵术强、孙济洲、刘世光、张沛沛、侯琛琛、吴雯欣、张雨辰、刘欢、李祝军、魏鑫燊、欧阳盼。

可移动文物三维数字化采集与加工

1 范围

本文件规定了可移动文物三维数字化采集与加工的工作流程、前期准备、数据采集、数据加工、成果提交等方面的要求。

本文件适用于外观形态和颜色稳定且材料非透明的可移动文物三维数字化采集与加工。

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—2008 近景摄影测量规范

CH/T 1004 测绘技术设计规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

网格模型 mesh model

通过若干三角形、四边形等多边形表示的文物空间信息的三维模型。

3.2

纹理贴图 texture map

使用 UV 坐标¹⁾表示，包含纹理与网格模型映射关系的图像。

3.3

纹理模型 texture model

由网格模型和纹理贴图共同表达文物表面特征的三维模型。

3.4

贴图分辨率 texture resolution

纹理贴图单位长度的像素点个数。

3.5

完整度 completeness

可移动文物非隐蔽表面的网格模型统计面积与实际面积之比。

3.6

模型精度 model accuracy

网格模型的尺寸、顶点位置等几何测量的中误差²⁾。

1) UV 坐标是贴图映射坐标，水平方向是 U，垂直方向是 V。

2) 中误差是在相同观测条件下的一组真误差平方平均值的平方根，是一组真误差的代表值。

3.7

模型标准器 model standards

形态为长方体、正方体等几何体，尺寸经过校准，用于验证模型精度的器具。

3.8

特征点 feature points

点云中用于标识文物形态特征的点；网格模型中用于标识文物形态特征的顶点；影像中用于标识文物纹理特征的像素点。

4 工作流程

采集与加工工作包括下列流程（见图 1）：

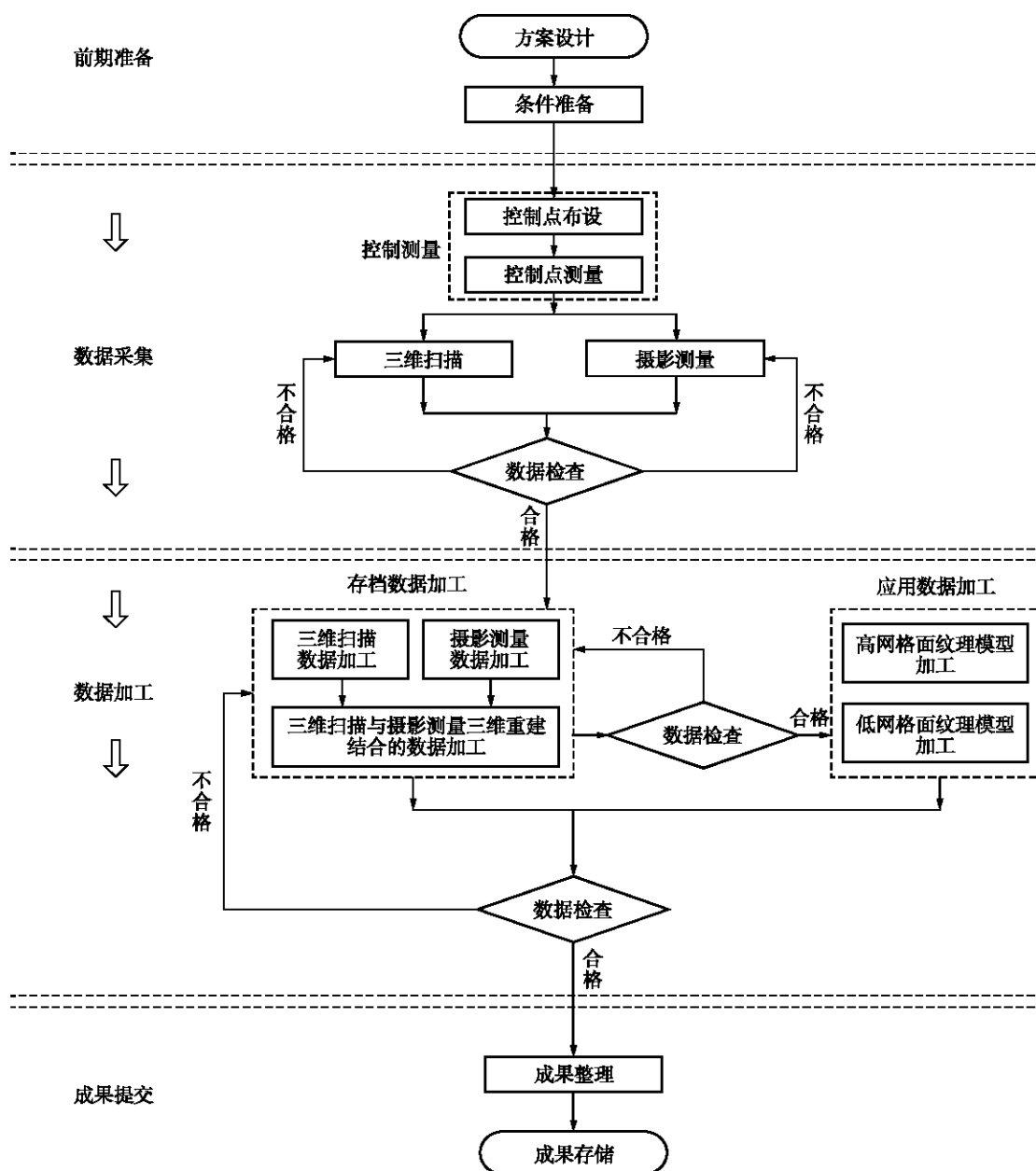


图 1 可移动文物三维数字化采集与加工的工作流程

- a) 前期准备：方案设计、条件准备；
- b) 数据采集：控制测量、三维扫描、摄影测量；
- c) 数据加工：存档数据加工、应用数据加工；
- d) 成果提交：成果整理、成果存储。

5 前期准备

5.1 方案设计

5.1.1 在采集工作开展前，应根据实际情况开展已有资料收集、文物现状评估、现场勘察等工作，对采集方法的适用性、项目实施环境的安全性等进行综合评估。

5.1.2 方案设计应遵循 CH/T 1004 的规定，根据采集要求，结合评估结果进行编制。方案设计文件宜包括以下内容：

- a) 项目概述：说明项目实施的背景、目标、工作内容、工作要求、完成期限等基本情况；
- b) 文物情况：说明文物特点，分析其适用的技术方法，预估工作难点；
- c) 实施依据：说明项目要求和引用的标准、规范；
- d) 技术方法：说明项目实施采用的技术路线、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、人员、环境等情况；
- f) 安全保障：说明项目实施中对文物、人员、设备、场地等采取的安全保障措施；
- g) 实施计划：说明项目实施的组织机构、责任分工、进度安排；
- h) 质量控制：说明项目实施的质量管理与控制措施；
- i) 成果存储：说明项目成果类型、数量、方式等。

5.1.3 采集与加工方案应由文物保管单位进行审核，经批准的方案方可实施。

5.2 条件准备

5.2.1 采集场地环境布置应符合以下要求：

- a) 在满足文物安全存放规定基础上，选择地面平坦、空间充裕、无障碍物、电源充足之处，且有安全保护措施；
- b) 按任务类别或工序进行现场空间划分，工作空间不出现交叉；
- c) 放置文物的工作平台平稳牢固，台面无杂物，铺设缓冲衬垫。

5.2.2 人员

人力资源配置应满足项目实施要求，宜包括项目负责人、技术负责人、审核人、数据采集人员、数据加工人员等。

5.2.3 设备

5.2.3.1 三维扫描设备应符合以下要求：

- a) 扫描精度和扫描密度应符合项目技术指标要求；
- b) 采用激光扫描设备时，激光安全等级应为 Class I；
- c) 宜具有校准精度和拼接精度输出功能；
- d) 宜具有设备自跟踪的点云拼接功能。

5.2.3.2 照片拍摄设备应符合以下要求：

- a) 成像传感器尺寸不小于 24 mm×36 mm；
- b) 成像的 RGB 每通道颜色深度值不小于 12 bit；

- c) 具有 Adobe RGB 及以上色域；
- d) 单张照片不小于 3400 万像素；
- e) 支持 RAW 文件³⁾存储。

5.2.3.3 照明设备符合以下要求：

- a) 应采用持续色温为 5500 K 的人工光源，色温偏差不超过 10%；
- b) 宜使用冷光源；
- c) 在连续拍摄期间，光源亮度差异应不大于 10%；
- d) 应与具有阻挡红外线和紫外线功能的柔光装置搭配使用。

5.2.3.4 颜色管理设备应符合以下要求：

- a) 标准色卡不少于 24 色，大、中、小规格成套配置；
- b) 显示器能覆盖 95% 以上的 Adobe RGB 色彩空间，色彩位深度不小于 10 bit；
- c) 显示器使用分光光度计定期进行颜色校准。

5.2.3.5 模型标准器符合以下要求：

- a) 尺寸应不小于采集对象的三分之一，且不大于采集对象的 3 倍；
- b) 精度指标应不低于采集技术指标；
- c) 宜具有已知几何参数。

5.2.3.6 温度湿度测量设备的指标应满足采集设备参数修正的需要。

5.2.3.7 采集加工及存储设备除功能和性能满足要求外，还应满足信息安全和存储安全的要求。采集设备应进行安装、预热、校准。

5.2.3.8 软件资源配置应满足采集与加工实施要求，包括三维扫描控制软件、点云处理软件、照片处理软件、摄影测量三维重建软件、三维模型处理软件等。

6 数据采集

6.1 基本要求

6.1.1 采集方法应对文物无损，参照附录 A 选用。

6.1.2 采集的技术指标应符合附录 B 的要求。

6.1.3 空间参考系应采用世界坐标系。宜按文物安全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。

6.1.4 时间系统的日期应采用公元纪年，时间应采用北京时间。

6.1.5 采集的数据应统一命名存储，及时检查完整性、可用性。

6.2 控制测量

6.2.1 控制点布设要求如下：

- a) 控制点采用文物表面特征点时应便于识别，采用人工标志点时应布设于文物之外；
- b) 控制点的数量应不少于 8 个，以便构成覆盖文物的控制网，满足数字化精度指标的控制要求；
- c) 控制点宜均匀分布，在文物形态变化大的部位可增加控制点。

6.2.2 控制点测量要求如下：

- a) 测量仪器的精度应不低于技术指标；

3) RAW 文件是未经过处理而直接从相机 CCD 或 CMOS 上得到的原始图像文件。不同相机产生的 RAW 文件扩展名一般不同。

- b) 测量仪器单点测量时，每个控制点测量应不少于 2 次，取平均值为测量值；
- c) 三维扫描测量时，每个控制点扫描应不少于 2 次，取拟合值的平均值为测量值。

6.2.3 控制测量结果数据应满足控制点的中误差值小于技术指标精度值，且误差最大值小于 2 倍中误差。

6.3 三维扫描数据采集

6.3.1 三维扫描设备应根据文物特点和采集技术指标选择，宜具有校准精度和拼接精度输出功能。

6.3.2 三维扫描作业参照 CH/Z 3017 开展，宜参照附录 C 填写采集现场记录，且操作符合以下要求：

- a) 扫描仪的指向与文物被扫描表面切线夹角宜为 90° ，不应小于 60° ；
- b) 采集过程中扫描仪宜与文物保持相同的距离范围；
- c) 随文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、相邻块彼此平行、相邻块之间有效点云的重叠度大于 30% 的原则设计分块；
- e) 扫描需要标靶点时，控制点可作为标靶点使用；
- f) 在文物旁放置模型标准器并随文物一起扫描。

6.3.3 每件文物现场扫描完成后，应立即进行以下检查，宜参照附录 D 进行记录，有不合格项时按相应要求重扫或补扫：

- a) 分块重叠度符合 6.3.2 d) 的要求；
- b) 网格模型完整度符合附录 B 的要求；
- c) 平均点间距和最大点间距符合附录 B 的要求；
- d) 点云无分层、错位；
- e) 扫描仪输出的校准记录、单站扫描记录和拼接记录数据无异常。

6.3.4 三维扫描采集的点云数据宜使用扫描仪配套软件或通用软件，按以下要求进行基本处理：

- a) 应删除多余点，只保留采集对象的点云数据；
- b) 应对数据进行降噪，并过滤、剔除异常点，宜参照附录 D 进行记录；
- c) 宜采用标靶点、控制点、点云相结合的方式的分块点云拼接配准，配准后的点云尺寸精度符合附录 B 的要求；
- d) 宜按曲率采样方式进行点云抽稀，抽稀后的点间距符合附录 E 的要求。

6.3.5 经过基本处理后的点云应采用三角网封装，生成网格模型。

6.4 摄影测量数据采集

6.4.1 照片拍摄的光环境应符合以下要求：

- a) 遮蔽干扰光源；
- b) 按文物纹理特点布设光源，通过调整光源类型、位置、角度、亮度等，减少影像中阴影、反光、光晕等现象。

6.4.2 拍摄前数码相机参数设置应符合以下要求：

- a) RAW 文件和 JPEG 格式应同时存储；
- b) 画质宜为最高等级；
- c) 感光度 (ISO) 应不大于 100；
- d) 色域应选择最大范围；
- e) 白平衡应与拍摄光环境适应。

6.4.3 标准色卡照片的拍摄应符合以下要求：

- a) 色卡照片应同时包含色卡和文物，画面清晰且其中色卡在画幅中占比大于 50%；
- b) 色卡应放置于文物前方，色卡平面宜与数码相机的焦平面平行；
- c) 当文物尺寸大于 0.5 m 时，应在纵横方向按 0.5 m 分区拍摄色卡照片；
- d) 拍摄色卡照片后进行色差评估。

6.4.4 摄影测量照片拍摄按照 GB/T 12979—2008 中第 5 章的要求执行，宜参照附录 C 记录采集现场情况，且拍摄应符合以下要求：

- a) 照片分辨率高于附录 B 中贴图分辨率的要求；
- b) 拍摄过程中保持相同的焦距，使用非定焦镜头时采取焦距固定措施；
- c) 文物在照片中的画面占比大于 70%；
- d) 航向重叠度大于 80%，旁向重叠度大于 60%；
- e) 文物上同一特征点的相邻照片数不少于 3 张；
- f) 在文物旁放置模型标准器并随文物一起拍摄。

6.4.5 每件文物拍摄完成后，应立即进行以下检查，宜参照附录 D 进行记录，有不合格项时按相应要求重拍或补拍：

- a) 保存有 RAW 文件；
- b) 感光度符合 6.4.2 c) 的要求；
- c) 保存有色卡照片，且照片符合 6.4.3 的要求；
- d) 颜色管理符合 6.4.2 c) 和 6.4.2 d) 的要求；
- e) 照片分辨率符合 6.4.4 a) 的要求；
- f) 航向重叠度、旁向重叠度符合 6.4.4 d) 要求；
- g) 文物上同一特征点的相邻照片数符合 6.4.4 e) 的要求，且拍摄的照片满足三维重建后附录 B 网格模型完整度要求；
- h) 图像清晰、曝光均匀；
- i) 文物在画面中的占比符合 6.4.4 c) 的要求；
- j) 焦距整体一致或成组一致。

6.4.6 摄影测量照片应按以下要求进行颜色还原：

- a) 相机、显示器及照片处理软件的颜色空间设置应一致；
- b) 剔除不清晰的图片；
- c) 解析各区域标准色卡照片，生成对应的颜色特性文件（International Color Consortium color profile，简称 ICC 文件），还原文物照片颜色。

6.4.7 空中三角测量计算按以下要求进行：

- a) 应采用控制测量数据进行控制；
- b) 宜使用已配准的三维扫描点云辅助三维重建；
- c) 应检查计算输出的精度和分辨率等指标，符合附录 B 的要求方可进行纹理模型生成。

6.4.8 纹理模型生成宜按以下要求进行：

- a) 根据设备条件，按分块数最少的原则分块；
- b) 相邻分块之间无重叠；
- c) 对网格模型微小孔洞自动补洞；
- d) 单张纹理贴图满足 8192×8192 像素；
- e) 对纹理贴图自动匀色。

6.5 采集成果质量检查

6.5.1 采集成果主要技术指标参照附录 F 进行质量检查，并参照附录 D 填写检查记录表。

6.5.2 采集成果主要技术指标质量检查中有不合格项时，应查找原因并修改。

7 数据加工

7.1 基本要求

7.1.1 加工的技术指标应符合附录 E 的要求。

7.1.2 用于长期保存的模型数据应加工为存档数据，为后续应用提供数据基础。

7.1.3 用于文物修复、研究、展示、传播等的模型数据应加工为应用数据，可根据项目要求在存档数据基础上选择加工。

7.1.4 加工不应改变数据的空间参考系、时间系统。

7.1.5 数据应统一命名存储，及时检查完整性、可用性。

7.2 存档数据加工

7.2.1 三维扫描数据加工

7.2.1.1 应结合点云数据对采集生成的网格模型进行加工，加工后的网格模型符合附录 E 中存档数据的要求。

7.2.1.2 加工应按以下要求进行：

- a) 除去与可移动文物无关的多余部分；
- b) 消除变形、叠面、交叉面等现象；
- c) 在点间距符合附录 E 要求的范围内，进行三角网减量；
- d) 在模型精度符合附录 E 要求的范围内，进行局部或整体平滑处理；
- e) 在符合附录 E 指标要求的情况下，宜重复上述步骤使网格模型数据量最小。

7.2.2 摄影测量数据加工

7.2.2.1 应结合摄影测量照片对采集生成的纹理模型进行加工，加工后的纹理模型符合附录 E 中存档数据的要求。

7.2.2.2 加工应按以下要求进行：

- a) 消除网格模型中的变形、叠面、交叉面、缝隙等现象；
- b) 消除纹理贴图中的模糊、拉伸、接缝、高光等问题；
- c) 进行纹理贴图匀色，使纹理颜色均匀统一；
- d) 在符合附录 E 指标要求的情况下，宜优化网格模型、纹理贴图，使数据量最小化。

7.2.3 三维扫描与摄影测量三维重建结合的数据加工

7.2.3.1 三维扫描与摄影测量三维重建结合的数据加工应在三维扫描数据加工、摄影测量数据加工、UV 分块和展开的基础上，将三维重建纹理贴图烘焙到三维扫描网格模型上。

7.2.3.2 应按 7.2.1 的要求对三维扫描数据进行加工。

7.2.3.3 应按 7.2.2 的要求对摄影测量数据进行加工。

7.2.3.4 应按以下要求对三维扫描的网格模型进行 UV 分块和展开：

- a) UV 分块的边界在文物模型的隐蔽、平滑处，且不破坏文物主体纹饰；
- b) 对 UV 展开的结果采用棋盘格法进行形变校验，UV 分块分布均匀、充满画幅、无拉伸。出现形变区域较大或局部变形较明显时，对 UV 分块调整后，再进行 UV 展开。

7.2.3.5 应按以下要求进行纹理贴图烘焙：

- a) 摄影测量网格模型与三维扫描网格模型之间的误差与摄影测量生成纹理贴图时产生的误差之和，不大于附录 E 中对存档数据要求的纹理贴图映射的位置误差；
- b) 使用的烘焙软件具有烘焙结果缺陷提示功能，能完整、准确地将摄影测量三维重建纹理模型的纹理贴图烘焙至三维扫描网络模型上。

7.2.3.6 纹理贴图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。如出现问题，及时查找原因并解决。

7.3 应用数据加工

7.3.1 高网格面纹理模型加工

7.3.1.1 网格模型应由存档网格模型抽稀 50% 生成，当生成后的网格面数大于 1000 万面时，宜降低抽稀比例，由存档网格模型重新抽稀至不大于 1000 万面。

7.3.1.2 应消除网格模型中的变形、叠面、交叉面、缝隙等现象。

7.3.1.3 应修补网格模型的孔洞，使模型完整度达到 100%。

7.3.1.4 纹理贴图由存档纹理模型的纹理贴图缩减 50% 生成，并修补孔洞部分的纹理贴图。

7.3.1.5 网格模型和纹理贴图的修补情况，宜在附录 G 给出的加工记录表中进行记录。

7.3.2 低网格面纹理模型加工

7.3.2.1 网格模型应由存档网格模型抽稀简化或拓扑制作而成，网格面数不宜大于 30 万面。

7.3.2.2 网格模型的网格面分布密度应与网格模型曲率大小成正比，网格模型与存档纹理模型的贴合距离最大值应不大于 2 mm。

7.3.2.3 应消除网格模型中的变形、叠面、交叉面、缝隙等现象。

7.3.2.4 应修补网格模型的孔洞，使模型完整度达到 100%。

7.3.2.5 宜使用单张贴图，单张纹理贴图应不低于 4096×4096 像素。

7.3.2.6 UV 分块的边界应在文物模型的隐蔽、平滑处，UV 分块分布均匀、充满画幅、无拉伸。

7.3.2.7 纹理贴图应由存档纹理模型的纹理贴图烘焙制作而成，并修补缺失部分的纹理贴图。

7.3.2.8 应有法线贴图，法线贴图的法线方向和表现的凹凸程度应与文物形态一致。

7.3.2.9 网格模型和纹理贴图的修补情况，宜在附录 G 给出的加工记录表中进行记录。

7.4 加工成果质量检查

7.4.1 加工成果主要技术指标应参照附录 F 进行质量检查，并参照附录 H 填写检查记录表。

7.4.2 加工成果主要技术指标质量检查中有不合格项时，应查找原因并修改。

8 成果提交

8.1 成果整理

8.1.1 采集与加工工作完成后应按以下要求进行成果整理：

- a) 参照附录 I 的成果类型分类整理，各项成果规范、完整；
- b) 采集成果包括三维扫描数据、色卡照片、摄影测量照片和控制测量结果数据；
- c) 加工成果包括存档数据和应用数据；
- d) 成果质量检查记录包括采集成果检查记录和加工成果检查记录；
- e) 文档成果包括项目方案和项目报告。

8.1.2 采集与加工成果整理完成后应编写项目报告，报告宜包括以下内容：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/018060042121006120>