

**DB 13**

河 北 省 地 方 标 准

DB 13/T 6096—2025

# 水利工程实景三维测量技术规程

2025 - 05 - 27 发布

2025 - 06 - 03 实施

河北省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 符号、代号和缩略语 ..... 2

5 基本规定 ..... 3

6 三维测量 ..... 5

7 模型构建 ..... 16

8 单体模型构建 ..... 18

9 成果整理与提交 ..... 19

附录 A（规范性） 航摄常用计算公式..... 21

附录 B（资料性） 地面标志布设方法、像控点点之记及像控点成果表格式..... 22

附录 C（资料性） 航摄飞行记录表..... 25

附录 D（资料性） 水利工程模型不同阶段模型精度参考示例..... 26

## 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。

本文件由河北省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：王海城、康军红、张海涛、刘艳国、黄楠、赵文飞、刘晖娟、赵阳、任春磊、冯书强、崔雷、孙创、王硕、武卫国、王雯涛、姚焕文、董晓倩、徐婷婷、曹玥、王庆阳。

# 水利工程实景三维测量技术规程

## 1 范围

本文件规定了水利工程实景三维测量技术的术语和缩略语、基本规定、三维测量、模型构建、单体模型构建、成果整理与提交等内容。

本文件适用于水利工程实景三维测量及模型制作。

## 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 7931-2008 1:500 1:1000 1:2000地形图航空摄影测量外业规范  
 GB/T 13977-2012 1:5000 1:10000地形图航空摄影测量外业规范  
 GB/T 15967-2024 1:500 1:1000 1:2000地形图数字航空摄影测量测图规范  
 GB/T 18314-2024 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范  
 GB/T 18316-2008 数字测绘成果质量检查与验收  
 GB/T 23236-2024 数字航空摄影测量 空中三角测量规范  
 GB/T 24356-2023 测绘成果质量检查与验收  
 GB/T 27919-2011 IMU/GPS辅助航空摄影技术规范  
 GB/T 27920.1-2011 数字航空摄影规范 第1部分：框幅式数字航空摄影  
 GB/T 39612-2020 低空数字航摄与数据处理规范  
 CH/T 1001-2005 测绘技术总结编写规定  
 CH/T 1004-2005 测绘技术设计规定  
 CH 1016 测绘作业人员安全规范  
 CH/T 2009-2010 全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范  
 CH/Z 3001-2010 无人机航摄安全作业基本要求  
 CH/T 3003-2021 低空数字航空摄影测量内业规范  
 CH/T 3004-2021 低空数字航空摄影测量外业规范  
 CH/T 3005-2021 低空数字航空摄影规范  
 CH/T 3006-2011 数字航空摄影测量 控制测量规范  
 CH/Z 3017-2015 地面三维激光扫描作业技术规程  
 CH/T 3026-2023 实景三维数据倾斜摄影测量技术规程  
 CH/T 8021-2010 数字航摄仪检定规程  
 CH/T 8024-2011 机载激光雷达数据获取技术规范  
 NB/T 35029-2023 水电工程测量规范  
 SL 197-2013 水利水电工程测量规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**倾斜摄影** oblique photography

由一定倾斜角的航摄相机所获取影像的航空摄影技术。

### 3.2

**贴近摄影** nap of the object photography

以地理实体某一特定面为摄影对象，利用旋翼无人机等结合一定倾斜角度的摄影相机获取高分辨率影像的一种倾斜摄影技术。

### 3.3

#### 仿地飞行 simulated flight

无人机在作业过程中，通过设定与已知三维地形的固定高度，使得飞机与目标地物保持恒定高差。

### 3.4

#### 实景三维 3D real scene

对一定范围内人类生产、生活和生态空间进行真实、立体、时序化反映和表达的数字空间。

### 3.5

#### 实景三维模型 3D real scene model

基于影像匹配或激光扫描技术获取的反映地物三维信息的数据。

### 3.6

#### 实景三维 Mesh 模型 3D real scene Mesh model

利用点云、实景影像等数据源制作的可量测的、具备实景纹理信息的连续三角面片模型。

### 3.7

#### 实景三维单体模型 3D real scene single model

利用点云、实景影像等数据源制作的可量测的、具备实景纹理信息的地物单体三维模型。

### 3.8

#### 三维激光扫描技术 3D laser scanning technology

通过发射激光获取被测物体表面三维坐标、反射光强度等多种信息的非接触式主动测量技术。

### 3.9

#### 地形模型 terrain model

用于表示地面连续起伏形态的三维模型。

### 3.10

#### 地理要素模型 three-dimensional model of geographic feature

能可视化反映建筑要素、交通要素、水系要素、植被要素等地理要素在立体空间中的位置、几何形态、表面纹理及其属性等信息，不含地下空间及地上建（构）筑物地理信息内部。

### 3.11

#### 模型块 model tile

连续三角面片模型按照一定空间大小进行裁切存储的最小单元。

### 3.12

#### IMU/GNSS 辅助航空摄影 IMU/GNSS-supported aerial photography

利用惯性测量单元（IMU）和全球定位系统（GNSS）的组合测量技术，获取摄影瞬间摄影中心的位置参数及影像的姿态参数的一种航空摄影技术。

## 4 符号、代号和缩略语

CORS	Continuously Operating Reference Station	连续运行参考站
DEM	Digital Elevation Model	数字高程模型
DOM	Digital Orthophoto Map	数字正射影像
DSM	Digital Surface Model	数字表面模型
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
RTK	Real-time Kinematic	实时动态载波相位差分技术
PDOP	Position Dilution of Precision	空间位置精度降低因子
PPK	Post Processed Kinematic	载波相位事后差分的GNSS定位技术
TDOM	Thematic Digital Orthophoto Map	专题数字正射影像地图

## 5 基本规定

5.1 坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系。当采用其他坐标系统时，应与 2000 国家大地坐标系建立联系。

5.2 高程基准应采用 1985 国家高程基准。当采用其他高程基准时，应与 1985 国家高程基准建立联系。

5.3 本文件以中误差作为衡量模型数学精度的标准，并以 2 倍中误差作为极限误差。

5.4 实景三维数据应包含几何数据、纹理数据、属性数据和元数据，各数据类型及其格式应采用通用格式，数据类型及数据格式见表 1 的规定。

表 1 三维模型数据类型与数据格式

数据类型		数据格式
几何数据		.OSGB、.OBJ、.fbx、.3DS、.3DMAX、.FLT、.WRL、.kmz、.DAE、3D tiles 等
纹理数据	不带 Alpha 通道	.JPG、.TIFF、.PNG 等
	带 Alpha 通道	.DDS、.TGA、.TIFF、.PNG 等
	动画纹理	.AVI、.MPG 等
属性数据		.XML、.XLS、.DBF、.TXT、.KML、.SHP 等
元数据		.XML、.XLS、.DBF、.TXT、.KML、.SHP 等

5.5 实景三维 Mesh 模型宜采用四叉树、八叉树、自适应树等数据组织结构。

5.6 水利工程实景三维建模数据等级分为 T 级、I 级~IV 级共五个级别（T 级表示特级，对局部要求更为精细的模型规定特级精度），不同等级对应的下视影像地面分辨率见表 2。

表 2 不同等级对应的下视影像地面分辨率

单位为 m

级别	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
成图比例尺	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
地面分辨率 ≤	0.02	0.05	0.08	0.16	0.40

5.7 水利工程实景三维模型产品主要分为地形模型、地理要素模型两种类型。

5.8 形模型精度根据地形表现重要程度需求划分为 I 级~IV 级四个等级，划分标准见表 3。

表 3 地形模型精度

单位为 m

级别		I 级	II 级	III 级	IV 级
成图比例尺		1:500	1:1000	1:2000	1:5000/1:10000
格网尺寸		1	2	2.5	5
平面精度	平地、丘陵 ≤	0.3	0.6	1.2	3.0/6.0
	山地、高山地 ≤	0.4	0.8	1.6	4.0/8.0
高程精度	平地 ≤	0.17	0.30	0.35	0.48
	丘陵 ≤	0.50	0.68	1.00	1.69
	山地 ≤	1.40	1.90	2.80	4.10
	高山地 ≤	2.00	2.70	4.00	6.80

5.9 地理要素模型精度采用平面精度、高程精度、地形精度、DOM 精度、模型精细度以及纹理精细度等六个指标表述。每个指标分为不同表达级别，每个级别对应相应的技术要求。水利工程模型不同阶段模型精度参考示例见附录 D。

a) 三维模型的平面精度应符合表 4 的规定。

表 4 平面精度

单位为 m

级别	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
成图比例尺	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
中误差 ≤	0.1	0.3	0.8	1.4	3.5
注：困难地区（如林区、阴影覆盖隐蔽区等）的平面中误差可按表中规定放宽 0.5 倍，两倍中误差为最大误差。					

b) 三维模型的高程精度应符合表 5 的规定。

表 5 高程精度要求

单位为 m

级别	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
成图比例尺	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
中误差 ≤	0.3	0.5	1	2	5
注：困难地区（如林区、阴影覆盖隐蔽区等）的高程中误差可按表中规定放宽 0.5 倍，两倍中误差为最大误差。					

c) 三维模型地形精度可通过成图比例尺、网格间距以及高程中误差等三者的综合因素指标表述。地形格网点相对于邻近野外控制点的高程中误差应符合表 6 的规定。

表 6 地形精度要求

单位为 m

级别		T 级	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
成图比例尺		1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
网格间距		0.1	0.5	1	2	2.5
地类	平地 ≤	0.3	0.37	0.37	0.75	1
	丘陵 ≤	0.37	0.75	1.05	1.05	2.5
	山地 ≤	0.75	1.05	1.5	2.25	5
	高山地 ≤	1.05	1.5	3	3	8
注 1:阴影、摄影死角、森林、隐蔽等困难地区高程中误差可按表中规定放宽 0.5 倍，DEM 内插点的高程中误差可按表中规定放宽 0.2 倍；						
注 2:两倍中误差为采样点数据最大误差；						
注 3:DEM 与三维模型匹配的区域会损失部分精度。						

d) 三维模型 DOM 精度可用成图比例尺和 DOM 地面分辨率来表达。DOM 地面分辨率应符合表 7 的规定。

表 7 DOM 精度

单位为 m

级别	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
成图比例尺	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
中误差 ≤	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5

e) 水利工程三维模型的模型精细度应符合表 8 的规定。

表 8 模型精细度表现分级

模型区域	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
水库区、水面、河床	细节建模表现	主体建模表现	主体建模表现	主体建模表现	地形表现或不表现
坝址河段	细节建模表现	主体建模表现	主体建模表现	主体建模表现	地形表现或不表现
坝址、闸址、渠首、溢洪道、码头、亲水平台、亲水台阶	细节建模表现	细节建模表现	细节建模表现	主体建模表现	地形表现或不表现
涵洞和涵管进出口、调压井、厂房	细节建模表现	细节建模表现	细节建模表现	主体建模表现	地形表现或不表现
防护工程区、防洪墙（堤）、滑坡区、防波堤	细节建模表现	细节建模表现	主体建模表现	主体建模表现	主体建模表现
天然料场、渣场、施工场地	细节建模表现	细节建模表现	主体建模表现	主体建模表现	主体建模表现
堤防、输水线路、输电线路、道路、渠道、隧洞等带状地形带状区域	细节建模表现	细节建模表现	主体建模表现	主体建模表现	主体建模表现
建设征地与移民工程	细节建模表现	细节建模表现	主体建模表现	主体建模表现	主体建模表现

f) 三维模型纹理精细度要求应符合表 9 的规定。

表 9 纹理精细度

类型		T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
纹理描述		修饰真实纹理	修饰真实纹理	不修饰真实纹理	通用纹理	示意纹理
纹理内容	纹理来源	现状照片	现状照片	现状照片	现状照片	纹理库
	遮挡物	处理遮挡	处理遮挡	处理遮挡	适当处理	不处理
	透视变形	需要处理	需要处理	适当处理	适当处理	不处理
	纹理接缝	需要处理	需要处理	适当处理	适当处理	不处理
	纹理眩光	需要处理	需要处理	适当处理	适当处理	不处理
保持地理要素原有外观的完整性、美观性、统一性，模型观感与原物体保持一致。						

5.10 仪器和相关设备应按照相应规程进行检验、校正，加强维护、保养；使用的软件应经行业认可或通过第三方检测机构测试。

5.11 三维实景测绘产品应符合测绘产品保密的相关规定。

6 三维测量

6.1 一般规定

6.1.1 数字实景三维测量设计前应收集并分析有关资料，收集但不限于以下内容：



- a) 气象、通信、交通、人文和自然地理等资料;
  - a) 已有的控制资料;
  - b) 已有的数字高程模型、正射影像图、地形图等;
  - c) 已有的模型成果;
  - d) 测区附近可供开展倾斜摄影测量的相关条件。
- 6.1.2 作业前应了解测区内无人机起降场地、较高建筑物/构筑物、危险源等与航空摄影相关的情况,确保航飞安全。
- 6.1.3 不同等级的地图应采用满足要求的相应等级的数字航摄仪、激光扫描仪。
- 6.1.4 三维激光扫系统检校基本规定:
- a) 扫描系统中的激光扫描仪、POS 系统、数码相机等设备必须处于良好的工作状态,具有仪器设备检验合格证书,且检验合格证书应在有效期内;
  - b) 激光测距精度和扫描测角精度经过检校;
  - c) 系统零点位置经过检校;
  - d) POS 系统与激光扫描仪、数码相机之间的位置和角度关系,在每个项目实施前均需进行系统偏心分量进行准确检校。
- 6.1.5 飞行平台机载 IMU/GNSS 系统应满足 GB/T 27919 的规定。大范围航摄时,IMU 的数据记录频率不宜小于 200Hz。无人机航摄应配置 PPK,小范围作业也可使用 RTK。
- 6.1.6 地面基准站 GNSS 应符合下列规定:
- a) 基准站 GNSS 接收机应符合 GB/T18314 的相关要求;
  - b) 基准站应设置在已知控制点上。宜选择在测区地势较高,且四周无高度角超过 15°的障碍物和强烈干扰接收卫星信号或反射卫星信号物体的位置;
  - c) 基准站仪器架设高度不低于 1.3m;
  - d) 静态观测时最小采样间隔不应大于 1s;
  - e) 航摄作业开始前及作业结束后应增加观测时长至少 10min;
  - f) 应配有充足的电源系统,能保证航摄作业中供电不间断;
  - g) 应配有能适应满架次作业所需地面观测数据存储要求的存储器。
- 6.1.7 对于相对高差大于 1/4 航高的摄区,宜选用具有仿地飞行功能的飞行平台。
- 6.1.8 需要单体建模的建(构)筑物宜采用旋翼式无人机搭载数字航摄仪的方式获取摄影数据或贴近摄影测量数据。
- 6.1.9 基于激光扫描测量的实景三维建模方式在进行点云数据采集时,应进行影像数据的采集。
- 6.1.10 采用 GNSS 或 IMU/GNSS 辅助摄影时,按照 GB/T 27919 执行。
- 6.1.11 采用固定站三维激光扫描方法进行采集时,宜架设在地面控制点上。
- 6.1.12 采集过程中要做好作业人员安全教育和机器设备安全检查,确保采集系统各部件连接紧密,运行正常有效。
- 6.2 航摄计划
- 6.2.1 根据数字实景三维建模需要,应制定航摄计划,内容包括(但不限于):
- a) 摄区范围与地物地貌特征;
  - b) 实景三维建模的等级和摄影地面分辨率;
  - c) 航摄数据采集的方式、航线敷设方法、像片航向和旁向重叠度;
  - d) 飞行平台类型与技术参数;
  - e) 航摄仪的类型、参数和其他辅助设备参数;
  - f) 航摄成果的名称、类型和数量;
  - g) 执行航摄任务的季节、气候和时间;
  - h) 其他技术要求。
  - i) 航摄设计
- 6.2.2 设计用基础地理数据的选择原则如下:
- a) 应选择摄区最新制作的地形图、影像图、DEM 和 DSM,地形图、影像图比例尺不低于 1:10000,DEM 和 DSM 比例尺不低于 1:50000;

- b) 当采用贴近摄影测量时，宜采用预扫描获取的航摄影像制作 DSM 或已有模型成果作为基础数据。

#### 6.2.3 航摄分区划分要求如下：

- 航摄分区划分宜按 GB/T 27920.1 执行；
- 分区划分应兼顾成图比例尺、飞行效率、飞行方向、飞行安全等因素；
- 平地、丘陵地和山地分区内的地形高差不应大于 1/4 相对航高；高山地分区内的地形高差不应大于 1/3 相对航高；
- 在满足分辨率与重叠度要求的前提下，航摄分区的跨度应尽量大；
- 对于具有仿地飞行功能的无人机飞行平台，在满足飞行平台性能和飞行安全的前提下，尽可能减少航摄分区划分的数量。

#### 6.2.4 重叠度设计指标应符合表 10 的规定。

表 10 影像重叠度要求

摄区类别	航向重叠度 (%)	旁向重叠度 (%)
水库区 $\geq$	70	50
枢纽区 $\geq$	80	70
河道、渠道及其他区域 $\geq$	70	45

#### 6.2.5 摄区、分区航线覆盖要求如下：

- 摄区的航向覆盖应超出摄区边界线一定的基线数，旁向覆盖应超出摄区边界线一定的航线数。航摄常用计算按公式参见附录 A 的公式 (A.2) 和公式 (A.3)；
- 厂房、营地、大坝等建（构）筑物摄区的航向、旁向航线覆盖超出摄区边界线的距离应不小于相对飞行航高的 1.5 倍，分区覆盖与摄区覆盖的要求相同。

#### 6.2.6 航线敷设应遵循以下原则：

- 航线敷设宜按 GB/T 39612 执行；
- 水库区摄区的航线方向通常应平行于干流或支流的水流方向，且航线尽量避免垂直影像像主点落水；
- 大坝枢纽区的航线应根据建筑物分布、朝向以及地形情况进行敷设，航线方向宜垂直于主体建筑物的朝向；
- 其他摄区的航线可根据地形条件敷设，航线宜按东西向平行飞行，特定条件下亦可作南北向飞行或沿线路、河流等方向飞行。

#### 6.2.7 航摄季节和航摄时间的选择应遵循以下原则：

- 航摄应选择气象条件有利的季节，尽量避免或减少积雪、洪水、扬沙等对摄影的不利影响，确保航摄影像能够真实地显现地表细部特征；
- 在河流、湖泊、海洋、大面积的盐滩、盐碱地、滩涂等区域航摄时，应采取正午前后 1h~2h 摄影，以减少地面强反光造成影像地物细节的损失；
- 在陡峭山区和高大建筑物密集的地区，宜在正午前后各 2h 内摄影，减少阴影对地物细节的影响。

### 6.3 像控点布设与测量

#### 6.3.1 外业像控点测量之前应进行现场踏勘，选择作业道路、特征地物、布标位置等，合理调配人员和仪器。

#### 6.3.2 像控点测量作业使用的仪器设备应进行检查校正，检校合格证应在有效期内。

#### 6.3.3 像控点宜按照区域网或航线布设。像控点分布应能控制整个测区并满足成果精度要求，相邻像对、相邻航线、相邻分区之间的像控点宜共用。

#### 6.3.4 像控点选点应符合下列规定：

- 像控点点位目标应影像清晰、易于判别和精确量测，如选在交角良好（30°~150°）的细小线状地物交点、明显地物拐角点、地面标志线的角点、原始影像中不大于 3×3 像素的点状地物中心，同时应是高程起伏较小、常年相对固定且易于准确定位和量测的地点。弧形地物、阴影、高大建筑物以及高大树木附近，与周边不易区分的地点等不应选作点位目标；

- b) 高程控制点应选在高程变化较小的地方，以线状地物的交点或平头山顶为宜；狭沟、太尖的山顶或高程变化急剧的斜坡等，均不宜选作高程控制点的点位；
  - c) 测区内难以找到合适像控点目标的区域，应铺设地面标志。地面标志的布设方法宜参照附录 B 执行；
  - d) 布设的像控点宜平面与高程共用，布设在垂直影像航向及旁向六片或五片重叠范围内；应选在像片旁向重叠中线附近，尽量远离像片边缘，点位距像片边缘不应小于 150 像素，距像片上各类标志不应小于 50 像素；
  - e) 像控点控制区域应大于测图范围。
- 6.3.5 倾斜摄影的像控点采用全野外布点时宜按现行国家标准《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范》GB/T 7931 的规定执行。
- 6.3.6 区域网划分应考虑下列因素：
- a) 依据航摄分区、航线以及地形情况按矩形划分；
  - b) 网的大小和像控点间跨度应依据模型精度、航摄资料以及系统误差的处理方法等因素综合确定。
- 6.3.7 区域网的像控点布设应符合下列要求：
- a) 同一区域网内有不同比例尺建模要求时，布点应满足最大一级比例尺的建模精度；
  - b) 不同摄影比例尺或同比例尺不同航摄仪所摄像片划在同一个区域网时，在航向衔接处应加布一个平高控制点和一个高程控制点；
  - c) 区域网中心部位应布设一个用作检查的平高控制点；
  - d) 特殊困难地区（如大面积森林、湖泊、河流、滩涂等），应在适当位置增加像控点。
- 6.3.8 无 GNSS 辅助航摄、无 IMU/DGNSS 辅助航摄的区域，对于两条和两条以上的平行航线采用区域网布点时，相邻控制点基线与航线跨度应符合表 11 的规定。

表 11 相邻控制点基线与航线跨度

等级	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
比例尺	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000/1:10000
航向基线跨度（条）	1	3	4	6	/
旁向航线跨度（条）	2	3	3	3	/

- 6.3.9 GNSS 辅助航摄、IMU/DGNSS 辅助航摄的区域网像控点布设除应满足现行国家标准《IMU/GNSS 辅助航空摄影技术规范》GB/T 27919 的相应要求外，还应符合下列规定：
- a) 像控点连线应完全覆盖成图区域，且全部布设平高点；
  - b) 像控点采用角点布设法，即在区域网凸角转折处和凹角转折处布设平高点，区域网中应至少布设一个平高点，相邻控制点的基线跨度和航线跨度不应超过表 12 的规定；

表 12 航向相邻控制点的基线航线跨度

等级	T 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
比例尺	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:5000/1:10000
基线跨度（条）	4	12	15	20	/
航线跨度（条）	4	6	6	6	/

- c) 当有构架航线时，相邻控制点的航线基线跨度和旁向航线跨度可适当放宽。
- 6.3.10 采用单航线布点时，相邻控制点间的航向跨度可参照本文件 5.4.8 的规定设计，在需布点像片的上下标准点位处均需布设控制点。
- 6.3.11 特殊情况的像控点布设应符合下列规定：
- 当摄区像主点、标准点落水，或处于海湾岛屿地区、航摄漏洞等区域时，视具体情况以满足空中三角测量和立体测图要求为原则布设控制点，可按照现行行业标准《数字航空摄影测量控制测量规范》CH/T 3006 的相关要求执行。
- 6.3.12 检查点宜布设为平高点，点位分布宜均匀，与像控点测量同步开展。
- 6.3.13 像控点和检查点测量应按图根点精度施测，可按《水利水电工程测量规范》SL197 的规定执

行，特殊困难地区（如大面积森林、湖泊、河流、滩涂，以及登岛困难的岛礁等），像控点的平面位置中误差和高程中误差可相应放宽 0.5 倍。

6.3.14 像控点平面测量可采用 GNSS 静态或快速静态相对定位、GNSS RTK 测量、GNSS 精密单点定位等方法；高程测量可采用 GNSS 水准高程拟合、GNSS 高程测量、GNSS RTK 测量等方法。

6.3.15 对像控点测量成果进行检查、平差、坐标转换，坐标转换成果应使用未参与坐标转换参数计算的点位进行检核。

6.3.16 像控点点之记及像控点成果表格式宜按附录 B 执行。

6.3.17 像控点成果质量控制应按照《测绘成果质量检查与验收》GB/T 24356 的规定执行。

## 6.4 数据采集

6.4.1 实景三维模型数据获取宜采用倾斜摄影、贴近摄影、地面摄影、三维激光扫描等采集方式。

6.4.2 倾斜摄影采集应符合以下内容：

- a) 倾斜摄影采集系统至少应包含飞行平台、传感器及地面控制系统三部分；
- b) 倾斜摄影飞行质量及影像质量除应满足 GB/T 39612 相应要求外，数据采集还应符合下列规定：
  - 1) 根据飞行器的性能要求选择起降场地和备用场地；
  - 2) 飞行前对使用的设备、材料进行认真检查；
  - 3) 航摄实施前应制定详细的飞行计划，且应针对可能出现的紧急情况制定应急预案；
  - 4) 在飞行安全的前提下，光照和能见度条件允许时，可实施云下摄影；
  - 5) 实施航摄时风力不应大于 4 级；
  - 6) 作业期间，对飞机、倾斜相机等主要设备和电源系统、记录系统进行定期检查，使其保持良好工作状态；
  - 7) 每次飞行结束，应填写航摄飞行记录表，记录表格式参见附录 C。
- c) 倾斜摄影数据采集过程中应时刻注意无人机接收卫星信号的数量，PDOP 值应小于 6；
- d) 基于已有 DEM 数据进行仿地飞行数据采集时，为了避免无线电通信被山体阻隔而造成无人机失联，宜将 DEM 数据进行分区，分区间重叠两条航线，分区依据主要考虑起飞点、地形高差、地形起伏特征等；
- e) 出现以下情况时，应进行补摄：
  - 1) 航摄影像出现相对或绝对漏洞；
  - 2) 高山地、建筑物密集区同一视角倾斜相机连续漏片数大于 2 张。
- f) 补摄时应遵循以下原则：
  - 1) 采用前一次航摄飞行的同型号倾斜数字航摄仪补摄；
  - 2) 漏洞补摄应按原设计要求进行；
  - 3) 补摄航线的两端应至少超出漏洞之外一条基线。

6.4.3 贴近摄影采集应符合以下内容：

- a) 针对水利工程中模型精细度不满足要求的区域、部位或建（构）筑物宜进行贴近摄影，需实现无人机最优路径规划和精准数据采集时，宜进行优视摄影测量。
- b) 贴近摄影测量数据采集过程中需满足以下条件：
  - 1) 无人机的飞行轨迹需要贴合目标表面；
  - 2) 根据物体形状，无人机相机能动态调整拍摄角度；
  - 3) 获取物体表面高分辨率影像。
- c) 贴近摄影采集平台的要求如下：
  - 1) 数据采集平台宜采用旋翼无人机；
  - 2) 采用基于 GNSS 的定位方法；
  - 3) 宜采用像素数多、固定焦距、像素小、连续曝光性能好、具有自动测光性能及曝光参数实时动态调整能力的相机传感器；
  - 4) 宜采用能够在水平、横滚、俯仰三个轴向对相机进行增稳的三轴云台，且云台至少提供两个方向的可控自由度（水平旋转和镜头俯仰）。
- d) 贴近摄影测量航线设计原则如下：
  - 1) 贴近摄影测量航向重叠度不小于 65%，旁向重叠度不小于 35%；

- 2) 建筑物墙面等立面目标、大坝等斜面目标拍摄宜采用面状规划方式以立面或斜面的水平方向为主航迹方向，然后改变飞行高度以蛇形航线的方式覆盖整个目标，基于最低安全飞行高的考虑，在底部附近宜增加无人机镜头旋转的航线以保证获取的数据完整；
  - 3) 独立地标建筑等柱状目标拍摄宜选用点环绕的航摄方式，根据需求去调整环绕半径和环绕层数；
  - 4) 建筑物整体目标拍摄宜选用体状环绕方式，通过最小高程、最大高程、以及圆形半径的设置，规划出一个合理飞行的体状对象。
- 6.4.4 地面摄影采集应符合以下内容：
- a) 重要建（构）筑物的局部细节、纹理需要改善时，可采用地面摄影方式。
  - b) 地面摄影数据采集应遵循以下原则：
    - 1) 根据不同的拍摄对象采用手持相机、鱼镜头等不同的拍摄设备；
    - 2) 针对观测目标对象特点，地面补拍应由远及近，多角度围绕式采集；
    - 3) 应选择光线较为柔和的环境（包括天气、时间、地点等），按正视角度进行拍摄。应避免逆光拍摄；
    - 4) 遵循纹理的单一最小化原则。应拍摄地物所有部位的表面影像。有重复单元的表面，宜拍摄局部。无重复单元的表面，应拍摄完整表面。对无法正视拍摄的表面，应进行多角度拍摄，并利用图像处理软件进行纠正和拼接处理；
    - 5) 应根据不同细节层次的模型以及相应的精度与表现要求，确定拍照需要表现的细节；
    - 6) 应拍摄有代表性的表面影像制作通用纹理或示意纹理。
- 6.4.5 地面三维激光扫描测量采集应符合以下内容：
- a) 地面三维激光扫描测量数据采集流程包括控制测量、扫描站布测、标靶布测、点云数据采集、纹理图像采集、外业数据检查、数据导出备份。
  - b) 控制网宜整体设计、分级布设。平面控制测量可采用导线测量或 GNSS 测量方法，高程控制测量应采用水准测量方法，观测作业应符合《水利水电工程测量规范》SL197；
  - c) 扫描站布设应符合下列规定：
    - 1) 扫描站应设置在视野开阔、地面稳定的安全区域；
    - 2) 扫描站应均匀布设，且设站数目要尽量少，一般要求扫描站不得多于 8 站；
    - 3) 目标物结构复杂、通视困难或线路有拐角时应适当增加扫描站；
    - 4) 相邻扫描站间有效点云的重叠度不低于 30%，困难区域不低于 15%的要求。
  - d) 标靶布测应符合下列规定：
    - 1) 标靶应在扫描范围内均匀布置且高低错落；
    - 2) 每一扫描站的标靶个数应不低于 4 个，相邻两扫描站的公共标靶个数应不少于 3 个；
    - 3) 对点云质量要求不高的场景，明显地物特征点亦可作为标靶使用；
    - 4) 标靶坐标测量可采用 GNSS-RTK 或全站仪，应在同一控制点上观测两测回，或在不同控制点上施测两次，平面、高程较差应不大于 2cm，取平均值作为最终结果。
  - e) 数据采集应符合下列规定：
    - 1) 作业前应将仪器放置在观测环境中 30min 以上；
    - 2) 扫描仪水平扫描角度范围 360°，垂直扫描角度范围不低于 270°；
    - 3) 设有标靶的扫描站应进行标靶的识别与精确扫描；
    - 4) 现场架站路线、位置以及标靶站、补站信息应记录存档；
    - 5) 扫描作业结束后，应检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性和可用性。存在结构缺失和异常数据时，应及时补扫。
  - f) 纹理图像采集应满足下列规定：
    - 1) 纹理图像像元大小 $\mu$ 应与相机与目标物之间距离 $S$ 、相机焦距 $f$ 、点云间距 $d$ 之间满足式（1）要求：
 
$$\mu \leq \frac{fd}{S} \dots\dots\dots (1)$$
    - 2) 宜选择光线较为柔和、均匀的天气进行拍摄，避免逆光拍摄，能见度过低或光线过暗时不宜拍摄，必要时应进行匀光匀色处理，确保拼接图像反差适中、色彩一致；
    - 3) 相邻两幅图像的重叠度应不低于 30%；

- 4) 影像采集完成后应绘制影像分布与扫描测站位置对应缩略图。
- g) 根据不同的作业方法,可选择控制点、标靶、特征地物点进行点云数据粗配准,当使用标靶、特征地物点进行点云数据配准时,应采用不少于3个同名点建立转换矩阵进行点云配准,配准后同名点的内符合精度应不低于特征点间距中误差的1/2;经过粗配准后的点云,应采用ICP(迭代最近点)、Graph、GMM、Semi-Definite以及深度学习框架等算法进行精确配准。
- h) 根据相机与扫描仪的姿态参数制作彩色点云,对彩色点云进行降噪、去冗余、抽稀处理后,方可进行三维模型重建。
- 6.4.6 机载三维激光扫描测量采集应符合以下内容:
- a) 采用机载激光雷达技术生产实景三维模型应同时采集地物高分辨率数字影像。
- b) 组成机载激光雷达系统的激光扫描仪、POS系统、数码相机等设备应经国家相关检定机构检验合格。
- c) 项目实施前应对POS系统与激光扫描仪、数码相机之间的偏心分量进行检校。
- d) 基站数据可通过CORS或布设地面GNSS基站获取,采样频率不低于2Hz。
- e) 飞行过程中姿态要求:
- 1) 航线俯仰角、侧翻角宜不大于2°,最大不超过4°;
  - 2) 航线弯曲度不大于3%;
  - 3) 当分区单条航线过长时,为避免IMU误差积累,正式进入航线前应进行“8”字飞行。
- f) 补测与重飞
- 1) 经解算后的轨迹数据精度不满足要求的航带应进行重飞;
  - 2) 相邻航带间重叠区域出现错位,经航带平差后仍不满足精度要求应进行重飞;
  - 3) 当植被覆盖密集区域、反射率较低区域(如河流、池塘)出现绝对漏洞时就行补测,补测可采用GNSS-RTK、全站仪或地面三维激光扫描系统。
- g) 数据格式要求
- 1) 点云数据宜采用LAS格式;
  - 2) 轨迹数据宜采用OUT格式;
  - 3) 点云数据与轨迹数据的时间系统应保持一致;
  - 4) 时间系统可采用GPS time、GPS standard time、GPS seconds-of-week。
- h) 点云数据坐标变换应采用七参数布尔莎模型,对于小范围测区亦可采用四参数+高程拟合;
- i) 宜采用TDOM影像对点云数据进行覆色处理。
- 6.4.7 车载三维激光扫描测量采集应符合以下内容:
- a) 应配置好移动检测车的行进速度 $v$ 和扫描仪的发射频率、线频率 $f$ 等参数,以确保点云间距 $D$ 、点云线间距满足点云分辨率的要求。点云线间距按公式(2)计算:
- $$D = \frac{v}{f} \dots\dots\dots (2)$$
- b) 激光发射线宜垂直于轨道中线。
- c) 当需要获取点云绝对坐标时,应符合以下要求:
- 1) 扫描仪应集成惯性测量单元(IMU)及其他传感器(卫星定位系统、里程计等);
  - 2) 在扫描范围内宜均匀布设控制点标靶,并成对布设;
  - 3) 控制点标靶的布设密度应根据设计方案的精度要求及集成传感器的性能等确定;
  - 4) 控制点标靶直接布设在控制点上时,对中误差不应大于5mm;
  - 5) 控制点标靶的测量应符合本文件5.5.5.4的要求。
- d) 扫描作业应现场填写作业记录表。
- e) 当需要获取点云绝对坐标时,应将点云数据与其他集成传感器数据、控制点标靶坐标等进行融合解算,得到满足精度要求的三维点云数据。
- f) 扫描影像图应包含线路、里程、日期及影像分辨率等,数据可采用tiff、jpg格式。
- 6.4.8 数据采集结束后,应检查以下内容:

- a) 影像应清晰，层次丰富，反差适中，色调柔和；应能辨认出与地面分辨率相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型；
- b) 影像上不应有云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷。虽然存在少量缺陷，但不影响立体模型的连接和测绘，可用于测制线划图；
- c) 影像重叠度和航摄高度检查；
- d) 检查影像数量与地面站显示的是否一致，影像质量是否合格（有无云、雾、雪，有无发虚现象）；
- e) 检查 POS 数据与实际飞行是否一一对应，是否与影像数量一致；
- f) 检查贴近摄影影像数据、地面摄影影像数据是否出现建筑物遮挡、树木遮挡等情况；
- g) 检查贴近摄影影像数据、地面摄影影像数据的清晰度是否符合要求，避免出现色彩不均匀的纹理情况。

6.5 空中三角测量

6.5.1 资料收集及分析

- a) 控制成果资料，包括基础控制测量成果及像片控制测量成果（像片控制点的数量、点位分布、成果精度情况等）。
- b) 影像资料，包括影像数据文件，航摄相机参数，摄站点坐标 GNSS 数据、IMU 像片姿态参数，航摄略图（包括航摄分区划分、航线分布、影像索引图，中心点接合图），其他相关资料。
- c) 对各类资料应进行检查、分析，确认能满足空中三角测量工作要求。

6.5.2 空三分区

空三区域网划分应大于航摄分区范围，分区原则依据处理设备性能情况及航摄分区情况，可利用控制点的分布以及地形条件等情况灵活划分，可以合并多个航摄分区为一个区域网。

6.5.3 精度要求

- a) 空中三角测量精度以区域网平差后连接点的精度来衡量。连接点对最近野外控制点的平面位置中误差和高程中误差不应大于表 13 的规定。连接点的中误差采用检查点的中误差进行估算，应满足表 13 要求。
- b) 特殊困难地区（大面积水域、森林等）的平面位置和高程中误差可放宽 0.5 倍，应在技术设计中明确规定。

表 13 连接点对最近野外控制点平面位置与高程中误差 单位为 m

模型等级	平面位置中误差				高程中误差			
	平地	丘陵地	山地	高山地	平地	丘陵地	山地	高山地
I 级	0.15	0.15	0.21	0.21	0.113	0.21	0.263	0.375
II 级	0.3	0.3	0.405	0.405	0.113	0.263	0.375	0.75
III 级	0.6	0.6	0.825	0.825	0.21	0.263	0.6	0.75

c) 检查点的平面位置中误差、高程中误差分别按式（3）、式（4）计算。

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta_{xi}^2 + \Delta_{yi}^2)} \dots\dots\dots (3)$$

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{hi}^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：  
 $m_p$ —检查点平面位置中误差，单位为m；  
 $m_h$ —检查点高程中误差，单位为m；  
 $\Delta_{xi}\Delta_{yi}$ —检查点的平面坐标较差，单位为m；

$\Delta_{hi}$ —检查点的高程较差，单位为m；

$n$ —参与评定精度的检查点数。

d) 区域网之间公共点的平面中误差、高程中误差分别按式（5）、式（6）估算。

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_{xi}^2 + d_{yi}^2)} \cdots \cdots \cdots (5)$$

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{hi}^2} \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中：

$m_p$ —公共点平面位置中误差，单位为m；

$m_h$ —公共点高程中误差，单位为m；

$d_{xi}d_{yi}$ —公共点的平面坐标较差，单位为m；

$d_{hi}$ —公共点的高程较差，单位为m；

$n$ —参与评定精度的点数。

6.5.4 在技术设计时，应根据空中三角测量技术方法、倾斜摄影测量系统制定具体、详细的空中三角测量作业流程。

6.5.5 数据预处理宜满足以下规定：

a) 一般规定：

- 1) 应采用专用的高精度数据处理软件；
- 2) 各种起算数据应进行数据完整性、正确性和可靠性检核。

b) IMU/GNSS 数据预处理规定：

- 1) 数据检查确保覆盖项目范围且满足一定外扩；
- 2) 确保数据内容包含影像名、摄站点坐标及姿态信息；
- 3) 整理数据确保与影像文件数量一致，各列数据保留的小数位数一致，且 IMU/GNSS 信息的影像编号与影像编号保持一致且一一对应；
- 4) 数据格式根据处理软件整理，为 txt、csv 等格式；
- 5) 需标明坐标系统、转角系统及相应单位。

c) 影像预处理规定：

- 1) 确保整个项目的影像名唯一；
- 2) 检查原始影像数量和质量。对有雾霾、噪声、色调不一致的影像需根据情况进行影像处理；

d) 像控点预处理规定：

- 1) 检查控制点分布是否均匀，完整；
- 2) 整理后的像控点文件应满足各列数据保留的小数位数一致，坐标文件与点之记文件一一对应；
- 3) 文件中应说明控制点坐标系统信息，且确保坐标系统与目标坐标系统一致。

6.5.6 相对定向宜满足下列规定：

- a) 相对定向连接点一般采用影像自动匹配获得，当连接点分布不均匀、数量不足或在标准点位缺少时，应采用人工判读方式加刺连接点，且距离影像边缘不应小于 15 个像素；
- b) 每张影像连接点应分布均匀，连接点数目一般不少于 30 个，且每个标准点位区应有连接点；
- c) 标准点位区落水时，应沿水涯线均匀选择连接点；
- d) 自由图边在图廓线以外应有连接点。

6.5.7 水利工程常见的水域占比较大等特殊情境的连接点处理方式应符合下列规定：

- a) 剔除落水的连接点，实现高精度自动空中三角测量；
- b) 标准点位区落水时，人工判读沿水涯线均匀加刺连接点。

6.5.8 自由网平差应符合以下规定：

- a) 自由网平差和粗差点剔除、连接点补测应反复进行；
- b) 影像自动匹配的连接点坐标残差平均偏差趋近于 0，中误差应不大于 0.7 个像素，最大残差应不大于 2 个像素，坐标残差大于 1 个像素而小于 2 个像素的连接点个数应不超过 5%；



- c) 像控点和人工判读/量测的连接点像点坐标残差中误差应不大于 0.5 个像素, 最大残差应不大于 1.5 个像素;
  - d) 将不同地面分辨率的影像构建在同一个平差区域网时, 不同地面分辨率影像之间的连接点像点残差应按低分辨率影像指标执行;
  - e) 特殊资料或特别困难地区可按以上规定放宽 0.5 倍。
- 6.5.9 绝对定向与区域网平差应符合以下规定:
- a) 绝对定向及区域网平差后对连接点、像控点进行粗差检测、删除或修正;
  - b) 区域网基本定向点残差、检查点误差、公共点较差最大限值应满足表 14 规定。

表 14 基本定向点残差、检查点误差、公共点较差最大限值 单位为 m

模型 等级	点别	平面位置限差				高程限差			
		平地	丘陵地	山地	高山地	平地	丘陵地	山地	高山地
I 级	基本定向点	0.11	0.11	0.16	0.16	0.085	0.16	0.2	0.28
	检查点	0.15	0.15	0.21	0.21	0.113	0.21	0.263	0.375
	公共点	0.3	0.3	0.42	0.42	0.226	0.42	0.526	0.75
II 级	基本定向点	0.225	0.225	0.3	0.3	0.085	0.2	0.28	0.56
	检查点	0.3	0.3	0.405	0.405	0.113	0.263	0.375	0.75
	公共点	0.6	0.6	0.81	0.81	0.226	0.526	0.75	1.5
III 级	基本定向点	0.45	0.45	0.62	0.62	0.16	0.2	0.45	0.56
	检查点	0.6	0.6	0.825	0.825	0.21	0.263	0.6	0.75
	公共点	1.2	1.2	1.65	1.65	0.42	0.526	1.2	1.5
<p>注 1:基本定向点限差为连接点中误差的 0.75 倍; 注 2:检查点限差为连接点中误差的 1 倍; 注 3:区域网间公共点限差为连接点中误差的 2 倍。</p>									

- c) 水利工程常见的水域占比较大等特殊情境的区域网平差处理方式:
  - 1) 野外施测的水位点高程换算至摄影时的水位高程, 作为控制定向点直接参与平差计算;
  - 2) 平差后, 根据野外施测的水位点和内业量测的水位点, 在三维中依据地势变化状况, 配赋改正, 其改正数不应大于平地连接点高程中误差。

6.6 资料整理

6.6.1 影像数据应按以下规则编号:

- a) 以航线为单元, 影像编码采用 16 位阿拉伯数字组成。其中影像编号自左至右第 1 位~第 5 位为摄区代号, 第 6 位~第 7 位为分区号, 第 8 位~第 10 位为航线号, 第 11 位~第 12 位为相机号, 第 13 位~第 16 位为影像流水号, 具体见图 1;

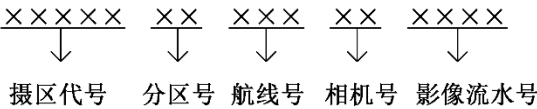


图 1 影像编号规则

- b) 应以飞行方向为编号的增长方向;
  - c) 同一航线内的影像编号不能重复;
  - d) 当有补飞航线时, 补飞航线的影像流水号在原流水号基础上加 5000。
- 6.6.2 IMU/GNSS 数据处理应按以下要求执行:

- a) IMU/GNSS 数据中影像名编号与影像编号相一致;
  - b) IMU/GNSS 需要标明坐标系统、转角系统及相应单位。
- 6.6.3 数据存储与外包装应按以下要求执行:
- a) 倾斜数字航摄影相机分别建立存储路径, 对应相机获取的影像存储在相应的路径下;
  - b) 文件应为常规影像格式, 文件名称与影像编号一致;
  - c) 宜采用硬盘存储, 硬盘存放于纸质或塑料包装盒内;
  - d) 总体信息部分具体包含:
    - 1) 摄区名称;
    - 2) 摄区代号;
    - 3) 摄区面积;
    - 4) 航摄时间;
    - 5) 垂直影像地面分辨率;
    - 6) 倾斜数字航摄影仪类型、编号及主距;
    - 7) 航线数、垂直影像数和倾斜影像数;
    - 8) 航摄单位。
  - e) 装载内容具体包含:
    - 1) 盘号(分盘序号 / 总盘数);
    - 2) 类型和格式;
    - 3) 航线号;
    - 4) 影像起止片号;
    - 5) 备注。
- 6.6.4 成果整理完成后应移交下列内容:
- a) 影像数据;
  - b) 影像位置和姿态数据;
  - c) 航摄分区示意图、航线示意图;
  - d) 航摄飞行记录表;
  - e) 相机检校报告、检校模型及检校参数;
  - f) IMU/GNSS、RTK、PPK 相关数据;
  - g) 航摄技术设计书;
  - h) 航摄成果清单;
  - i) 其他相关资料。
- 6.6.5 航摄技术设计书, 包括以下内容:
- a) 航摄分区示意图;
  - b) 航高设计;
  - c) 航摄设计参数(包括正射相机焦距、像元大小、设计分辨率、重叠度、拍照间隔、航线间隔等参数);
  - d) 其他相关内容。
- 6.6.6 像控点测量作业完成后, 应形成以下资料:
- a) 像控点、检查点的坐标成果;
  - b) 像控点、检查点的原始观测数据以及观测手簿、计算手簿;
  - c) 仪器检校证书。
- 6.6.7 像控点测量作业完成后, 应编制以下成果:
- a) 像控点、检查点的成果说明;
  - b) 以控制像片、数字影像或电子表格制作的点之记文件;
  - c) 像控点分布略图。
- 6.6.8 三维激光扫描测量数据获取应提交下列资料:
- a) 三维激光点云数据;
  - b) 影像数据;
  - c) POS 数据;
  - d) 地面控制点成果;

- e) 系统检校数据;
- f) 地面 GNSS 基准站测量手簿;
- g) 数字表面模型;
- h) 实景三维模型;
- i) 索引表;
- j) 数据获取范围及路线、构造物方案图;
- k) 技术设计书;
- l) 技术总结;
- m) 检查报告;
- n) 其他相关资料。

6.6.9 空中三角测量作业成果资料宜包括以下内容:

- a) 相机参数文件;
- b) 像片外方位元素;
- c) 畸变纠正后影像;
- d) 空三加密报告(应包含连接点分布情况、区域网分区图、连接点坐标及精度统计分析、像控点精度分析);
- e) 检查报告;
- f) 其他相关资料。

## 7 模型构建

### 7.1 一般规定

7.1.1 模型构建的软件应满足以下要求:

- a) 支持多源数据融合构建;
- b) 支持通用交换格式输入输出;
- c) 支持大场景分块构建;
- d) 支持智能运维调度管理;
- e) 支持数据服务权限控制;
- f) 支持计算机集群并行处理;
- g) 支持大范围、带状以及不同高差数据的稳健空中三角测量。

7.1.2 模型构建工作流程由像对选取、密集点云匹配、三角网构建、纹理映射、模型存储和模型命名等环节组成。

### 7.2 模型重建

7.2.1 模型重建要求如下:

- a) 三维重建时模型块宜采用平面格网划分方式,模型块尺寸可采用不同的格网间距,取值应为整数;
- b) 模型坐标原点坐标和分块原点坐标取值应为整数;
- c) 同一测区,同一时期数据重建模型的坐标原点和分块原点应保持不变,不同时期数据重建模型的坐标原点和分块原点宜与前期数据相同;
- d) 模型应相对完整,无漏洞,模型块无缺失、无冗余;
- e) 模型纹理色调均匀、反差适中、层次分明,色彩不失真;
- f) 同一区域多源数据融合重建应选择精度高的点云数据和分辨率高的影像数据;
- g) 除摄影死角外,模型应无纹理缺失;
- h) 需做定期更新的,应统一规定瓦块尺寸,包括接边距离、划块原点与模型原点,初期生产与后期生产使用同一套参数。

7.2.2 像对选取时应考虑重叠度、交会角、尺度等约束条件,在选定的范围内选择最优候选影像组成像对。

7.2.3 密集点云匹配宜考虑多源数据的点、线、面特征。对影像匹配存在困难的情形,如管线物体、

杆状物体、面状单薄物体、地物边缘以及弱纹理区域等，宜采用贴近摄影测量影像、三维激光点云数据进行融合匹配。

7.2.4 三角网构建宜采用 Delauney 算法进行不规则三角构网，生成的几何模型特征突出、表面光滑、细节真实。

7.2.5 模型纹理映射选片过程中，为保持纹理一致性，宜选取同一张影像或纹理特征相近的影像；可采用多波段融合方法或标准的泊松融合等方法进行色彩融合，减少模型接缝线处色彩差异。

7.2.6 模型命名应具有唯一性、可扩充性、简洁性，且纹理数据文件命名应与对应模型数据文件名一一对应。

7.2.7 模型成果按照模型块进行存储。

### 7.3 模型整饰

7.3.1 模型修饰应进行结构修饰和纹理修饰。

7.3.2 模型的修饰不应改变模型的数据组织结构。

7.3.3 模型结构修饰应满足无异常悬浮物、扭曲、孔洞、拉花、变形以及粘连等问题。

7.3.4 模型纹理修饰应满足纹理清晰、过渡自然。

7.3.5 模型接边的坐标原点，分块原点，模型块尺寸宜与目标模型保持一致。

7.3.6 模型镶嵌误差应满足相应等级模型精度的技术要求。

7.3.7 模型一般修饰应符合以下规定：

- a) 对模型整体美观进行修饰，边缘保留有效数据，裁切整齐，整体色彩真实，色调均匀、反差适中、过渡自然；
- b) 应对模型中出现明显的、较大体积的悬浮物进行剔除；
- c) 模型中的水面应完整无漏洞、纹理自然，大面积静止水面结构平整，流动水域的高程应按照水边线高程情况自上而下平缓过渡，与周围地形地物高程之间的关系正确、合理，水岸分界明显，过渡自然。

7.3.8 模型精修需满足下列要求：

- a) 道路面应结构平整，纹理无变形拉花。交通指示牌存在漏洞的，应进行修补，根据实际照片贴图，应与实际指示牌信息保持一致；
- b) 大型场地模型如广场、体育场馆等模型，需对场地上的凸起进行置平，对场地上的标线进行修整，确保标线清晰无变形；
- c) 建（构）筑物的基底、外立面几何结构与建筑高度应准确，纹理拼接应过渡自然；
- d) 建（构）筑物玻璃幕墙、宣传广告牌等存在漏洞的区域，应进行修补。存在的悬浮物，应进行清除。存在粘连的区域，应进行编辑拆分；
- e) 对重点建筑标牌，应补拍后重贴清晰纹理；
- f) 植被区域有大量空洞影响视觉观感的，需修饰保障主题结构完整，纹理过渡自然。

### 7.4 质量检查

7.4.1 模型质量控制包括模型数据检查、整体效果检查、属性数据检查、文件资料检查等内容。

7.4.2 模型数据检查应包括以下内容：

- a) 模型数据的完整性；
- b) 模型制作的准确性、合理性。包括模型数据的平面位置、高程、形状、分辨率等几何精度的准确性，模型在场景中表达逻辑的正确性以及各级别模型优化制作的合理性检查等；
- c) 模型纹理、贴图的准确性、完整性、协调性。包括模型纹理的准确率、清晰度，以及纹理与几何模型的一致性检查等；
- d) 各建模单元接边的正确性、合理性检查；
- e) 模型及纹理数据命名的正确性、规范性检查；
- f) 其他内容检查。

7.4.3 模型整体效果检查，模型应准确反映出建模物体的位置、高度、分布、样式、质感及色彩等。

7.4.4 文件及相关资料检查应包括下列内容：

- a) 文件资料应齐全，相关说明、附图、签章等应完整、清晰；
- b) 文件资料内容应合理、可靠；

c) 自检报告的内容应完整，表述应清楚，报告分析结论应合理。

7.5 资料整理

7.5.1 模型构建作业资料整理宜包括以下内容：

- a) 成果清单；
- b) 检查报告；
- c) 原始模型文件；
- d) 模型整饰后模型文件；
- e) 水面约束文件；
- f) 其他相关资料。

8 单体模型构建

8.1 一般规定

8.1.1 单体模型构建应满足下列要求：

- a) 使用实景三维 Mesh 模型或其他数据作为源数据采集三维图元的几何框架；
- b) 三维图元的几何框架应完整，准确表达目标的三维几何形态特征。任一维度变化超过 1m 的结构特征均应获取三维几何信息；
- c) 三维图元的各组成部分之间对应关系真实准确；
- d) 模型的基底与所处地形位置处于同一水平面上，与地形起伏相吻合；
- e) 在满足模型细节层次的要求下，精简三维图元的面片数量；
- f) 避免模型的缝隙和错位，无多余面和破面；
- g) 纹理细节清晰，准确反映建模物体材质特征，不同材质或铺装形式之间的差别与分隔应清晰反映；
- h) 按照地物实体采集精度选取适宜的 Mesh 三维模型，采集三维图元几何框架并进行纹理映射，对于因遮挡、阴影、变形等原因造成的自动纹理映射不符合质量要求的图元，应从多源影像数据中人工寻找并裁切相应纹理，人工建立纹理与三维图元的映射关系，完成纹理映射。

8.2 属性数据采集

8.2.1 属性数据应依据水利工程的应用需要进行采集，宜包括下列内容：

- a) 建（构）筑物的名称、权属单位、地上建筑层数、结构、建（构）筑物性质、建成时间等；
- b) 其他模型对应的名称、权属单位等。

8.2.2 属性数据宜利用已有的基础地理信息资料和其他统计资料提取，也可采取实地调查方式采集。

8.2.3 属性数据采集应符合下列规定：

- a) 每个建模地物均应具有相应的属性；
- b) 属性数据采集宜与几何、纹理的数据采集同步进行；
- c) 必要时，属性数据应实地校核检查，保证建模地物的信息正确完整。

8.3 单体模型构建

8.3.1 水利工程模型单体建模表现应符合表 15 的规定。

表 15 单体建模表现要求

表现级别	模型精细度等级				
	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
细节建模表现	0.1m	0.2m	0.5m	/	/
主体建模表现	/	/	0.6m	0.8m	1.2m
注：表中 0.1m 表示 0.1m 进退结构需要建模，模型应反映建（构）筑物体长、宽、高等任意维度变化大于 0.1m 的细节。					

- 8.3.2 模型结构利用 Mesh 三维模型或激光点云数据进行提取。
- 8.3.3 文字标识、Logo 等要求贴图清晰表现与原型保持一致，贴图可使用地面拍摄影像进行纹理贴图。
- 8.3.4 建（构）筑物立面结构（包括底部结构）应符合现实特征。
- 8.3.5 模型使用的纹理材料应与建（构）筑物外观保持一致，反映实际的图像、颜色、透明度等，区别出混凝土、木材、玻璃等不同材质；纹理中不应含有建（构）筑物以外的物体，物体的变化细节应清晰可辨。
- 8.3.6 模型的基底与所处地形位置应处于同一水平面上，与地形起伏相吻合。
- 8.3.7 建筑底部与地面衔接处，可允许建筑立面有少许插入地面，但不超过 0.5m。

## 8.4 质量检查

- 8.4.1 单体模型完整性应符合以下要求：
  - a) 单体模型数据要素应全面完整，不应有遗漏和冗余；
  - b) 不同类型、不同细节层次数据的拓扑关系应完整、正确。
- 8.4.2 单体模型数据的位置精度及表现精细度包括平面精度、高程精度、地形精度、DOM 精度、模型精细度以及纹理精细度六个指标，应符合本文件 4.9 的相关规定。
- 8.4.3 单体模型属性精度应满足以下要求：
  - a) 单体模型属性应根据不同模型类别设置不同的属性字段；
  - b) 各类模型分类及其编码应正确完整；
  - c) 单体模型的属性项和属性值应准确、完整。
- 8.4.4 属性数据应检查属性数据的正确性、完整性和现势性。
- 8.4.5 单体模型逻辑一致性应满足以下要求：
  - a) 单体模型数据在遵循的概念式规则上应具有一致性；
  - b) 单体模型数据存储的数据格式应具有一致性；
  - c) 单体模型数据空间位置应具有拓扑一致性。

## 8.5 资料整理

- 8.5.1 单体模型构建完成后，应对下列资料进行整理：
  - a) 单体建模原始数据，比如实景 Mesh 模型、空三成果、点云数据、纹理影像等；
  - b) 单体模型属性成果；
  - c) 单体模型成果；
  - d) 单体模型元数据；
  - e) 其他相关资料。

## 9 成果整理与提交

- 9.1 水利工程实景三维测量及模型构建完成后，应对以下成果进行整理：
  - a) 原始影像及其相关技术参数资料；
  - b) 像控点、检查点的坐标成果及成果说明；
  - c) 像控点、检查点的原始观测数据以及观测手簿、计算手簿；
  - d) 以控制像片、数字影像或电子表格制作的点之记文件；
  - e) 像控点分布略图；
  - f) 补充数据采集相关资料（包括影像、点云等成果）；
  - g) 空三加密观测资料及计算成果；
  - h) 空三加密分区接合图（包括航线、像主点、像控点、检查点和加密点及编号等）；
  - i) 实景三维模型数据；
  - j) 精修三维模型；
  - k) 单体化模型数据；
  - l) 属性数据；
  - m) 纹理数据；

- n) 技术设计书、技术总结报告以及质量检查报告；
- o) 其他有关资料。

9.2 成果提交内容包括：

- a) 成果资料清单；
- b) 技术设计书；
- c) 实景三维模型成果；
- d) 质量检查报告；
- e) 技术总结报告；
- f) 其他成果文件。

附 录 A  
(规范性)  
航摄常用计算公式

A.1 航向和旁向覆盖应超出分区边界线一定的基线数，按式 (A.1) 计算：

$$N = \frac{\tan \theta}{2 \tan(\beta/2) \times (1-P)} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$N$ ——理论超出值，单位：条；

$\theta$ ——倾斜相机角度，单位：度 (°)；

$\beta$ ——倾斜相机视场角，单位：度 (°)；

$P$ ——航向或旁向重叠度。

A.2 实际飞行中，由于大气等多种因素的影响，航向或旁向覆盖超出边界线的实际值一般按公式 (A.2) 和公式 (A.3) 计算：

$$N_{\text{基}} = N + 2 \dots\dots\dots (A.2)$$

$$N_{\text{航}} = N + 1 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$N_{\text{基}}$ ——基线数；

$N_{\text{航}}$ ——航线数。



附录 B  
(资料性)  
地面标志布设方法、像控点点之记及像控点成果表格式

- B.1 铺设地面标志的摄区，在签订航摄合同时应予以注明。
- B.2 地面标志应在飞机进入摄区前铺设完毕，并应固定在地面上，不易被损毁或移动。多次使用时，应在航摄前进行检查，保证航摄期间标志清晰可见。
- B.3 地面标志一般可采用下列形状和尺寸，可根据需要同比扩大：

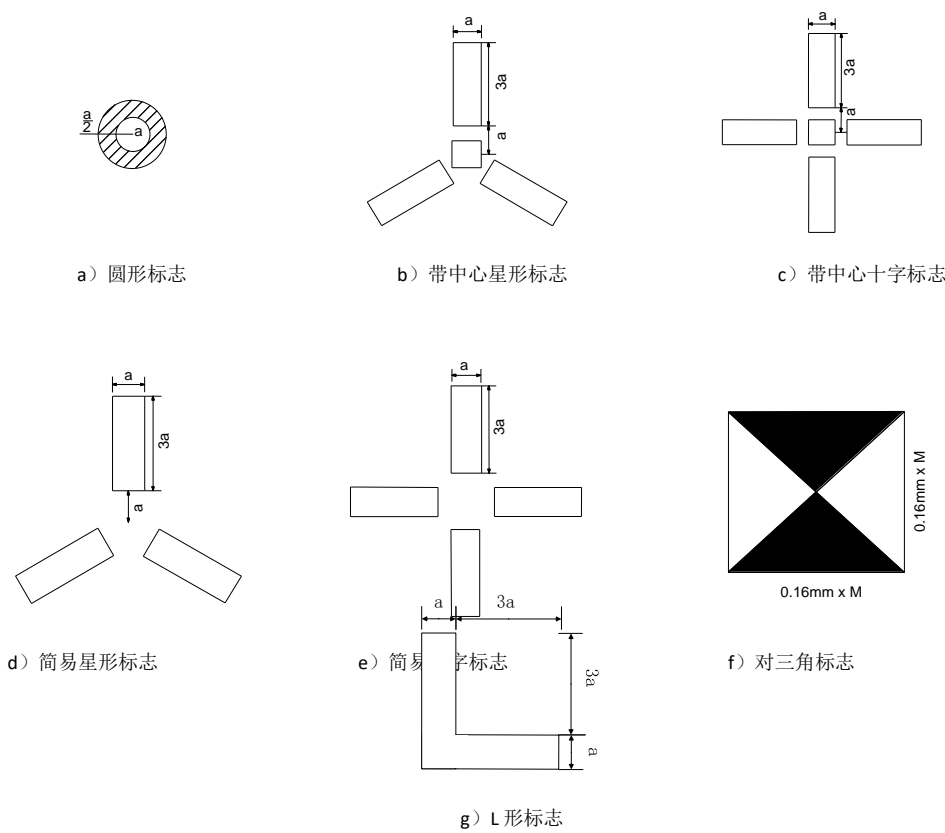


图 B.1 地面标志示意图




图中， $a=0.04 \times M$ ，单位为mm，M为像片比例尺分母。中心标志不应大于a，标翼的宽度及标翼至标志中心一般为a，标翼的长度一般为3a。

B.4 在暗色衬景上应布设白色标志；在绿色植被上宜采用白色标志，也可采用黄色；在水泥屋顶上、打谷场上、土路上和没有植被的土地上宜采用加黑边的白色标志。选择标志材料时，应考虑材料的色调和携带、敷设的方便，标志的安全、材料的价格等方面因素。如在水泥地和沥青路面，可采用油漆，一般地面上的标志可采用乳白塑料布，涂上油漆的苇席或竹席，以及石灰、煤渣等材料。

B.5 标志的点位应布在明显目标上，如道路交叉口、打谷场、水坝和大桥的一端等，可采用加黑边的白色圆形标志。点位布在不易寻找的地面上，宜采用带标翼的标志，一般以三翼标为宜。在有觐标的控制点上布标，应采用十字形标志。铺设标志时，应使翼片中线交点或圆形标志中心与实地选定点位（或已有控制点）的中心重合，各翼片大致水平。在城市和荫蔽地区布标应注意标位的对空视角。

B. 6 像控点点之记内容和格式参见表 B. 1。

表 B. 1 像控点点之记

点号		影像地面分辨率			航摄时间		
刺点者		检查者		刺点时间			
坐标	X(m)		Y(m)		H(m)		
	像素 X		像素 Y		说明		
<div>概略点位(片号：0419)</div> <div></div>							
<div>点位略图(100%)</div> <div></div>				<div>点位详图(300%)</div> <div></div>			
备注	P1293 刺泵房的东南角，高程测至房角顶部。						

B. 7 像控点成果表内容和格式参见表 B. 2。

表 B.2 像控点成果表

点名	x	y	h	B	L	H
1						
注：x， y 为 CGCS2000 平面坐标，h 为 1985 国家高程基准高程，x， y， h 单位为 m。 B， L 为 CGCS2000 经纬度 坐标，单位为度分秒， H 为大地高，单位为 m						

附 录 C  
(资料性)  
航摄飞行记录表

C.1 航摄飞行记录表内容和格式参见表 C.1。

表 C.1 航摄飞行记录表

机组			日期			从时分到时分	
摄区	摄区名称		摄区代号		航摄分区		垂直影像地面分辨率/m
	绝对航高		摄影方向		航线条数		地形地貌
飞机	飞机型号				飞机编号		
航摄仪	航摄仪型号		航摄仪编号		焦距		
天气	天气状况		水平能见度		垂直能见度		
机组	机长		飞行员		摄影员		
航摄飞行示意图							
备注:							

填表人

附 录 D  
(资料性)  
水利工程模型不同阶段模型精度参考示例

D.1 水利工程模型规划阶段模型精度参考示例参见表 D.1。

表 D.1 水利工程模型规划阶段模型精度参考示例

设计阶段	规划阶段					
模型区域	平面精度	高度精度	地形精度	DOM 精度	模型精细度	纹理精细度
水库区	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅲ级
坝址河段	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级
坝址、闸址、渠首、溢洪道	-	-	-	-	-	-
涵洞和涵管进出口、调压井、厂房	-	-	-	-	-	-
防护工程区、滑坡区	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级
天然料场、渣场、施工场地	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级
堤防、输水线路、输电线路、道路、渠道、隧洞等带状地形带状区域	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅲ级
建设征地与移民工程	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级

D.2 水利工程模型设计阶段模型精度参考示例参见表 D.2。

表 D.2 水利工程模型设计阶段模型精度参考示例

设计阶段	设计阶段					
模型区域	平面精度	高度精度	地形精度	DOM 精度	模型精细度	纹理精细度
水库区	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级
坝址河段	-	-	-	-	-	-
坝址、闸址、渠首、溢洪道	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
涵洞和涵管进出口、调压井、厂房	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
防护工程区、滑坡区	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅲ级	Ⅲ级
天然料场、渣场、施工场地	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅲ级
堤防、输水线路、输电线路、道路、渠道、隧洞等带状地形带状区域	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级
建设征地与移民工程	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅲ级

D.3 水利工程模型施工阶段模型精度参考示例参见表 D.3。

表 D.3 水利工程模型施工阶段模型精度参考示例

设计阶段	施工阶段					
模型区域	平面精度	高度精度	地形精度	DOM 精度	模型精细度	纹理精细度
水库区	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅱ级
坝址河段	-	-	-	-	-	-
坝址、闸址、渠首、溢洪道	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级
涵洞和涵管进出口、调压井、厂房	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级
防护工程区、滑坡区	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅱ级
天然料场、渣场、施工场地	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅱ级
堤防、输水线路、输电线路、道路、渠道、隧洞等带状地形带状区域	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅱ级
建设征地与移民工程	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级

D.4 水利工程模型运维阶段模型精度参考示例参见表 D.4。

表 D.4 水利工程模型运维阶段模型精度参考示例

设计阶段	运维阶段					
模型区域	平面精度	高度精度	地形精度	DOM 精度	模型精细度	纹理精细度
水库区	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
坝址河段	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
坝址、闸址、渠首、溢洪道	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
涵洞和涵管进出口、调压井、厂房	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
防护工程区、滑坡区	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
天然料场、渣场、施工场地	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
堤防、输水线路、输电线路、道路、渠道、隧洞等带状地形带状区域	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
建设征地与移民工程	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级