

地质灾害调查无人机低空摄影测量
技术规程

2023 - 06 - 06 发布

2023 - 09 - 05 实施

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 总则 2

5 作业准备 2

6 航线规划 4

7 飞行实施 5

8 数据处理 6

9 质量控制 8

10 成果提交 9

附录 A（资料性）无人机航测成果记录表样式..... 10

参考文献 15

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。

本文件由河南省自然资源标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：河南省地质环境勘查院、郑州大学、河南省地质矿产勘查开发局测绘地理信息院、河南省爱普尔信息科技有限公司。

本文件主要起草人：赵新华、龚巍峥、孙江涛、闫超德、刘超、王文杰、程玉书、刘书超、梁亚旭、曾端阳、王玉静、刘艳华、金晓。

地质灾害调查无人机低空摄影测量 技术规程

1 范围

本文件规定了地质灾害调查工作中无人机低空摄影测量的总则、作业准备、航线规划、飞行实施、数据处理、质量控制、成果提交和附录等。

本文件适用于利用无人机低空摄影测量技术开展地质灾害调查、排查工作的生产作业。

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 23236 数字航空摄影测量 空中三角测量规范
- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程
- GB/T 41454 实景影像数据产品质量检查与验收
- CH/T 1001 测绘技术总结编写规定
- CH/T 1029.1 航空摄影成果质量检验技术规程 第1部分常规光学航空摄影
- CH/T 1029.2 航空摄影成果质量检验技术规程 第2部分框幅式数字航空摄影
- CH/T 1029.3 航空摄影成果质量检验技术规程 第3部分推扫式数字航空摄影
- CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范
- CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范
- CH/T 9008.2 基础地理信息数字成果1:500 1:1 000 1:2 000数字高程模型
- CH/T 9008.3 基础地理信息数字成果1:500 1:1 000 1:2 000数字正射影像图
- DZ/T 0284 地质灾害排查规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地质灾害

由不良地质作用引起的对人类生命财产和生态环境造成损失的地质现象。本文件主要涉及滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝等灾种。

[来源：DZ/T 0284—2015，3.1]

3.2

郁闭度

树冠在阳光直射下在地面的总投影面积（冠幅）与此林地（林分）总面积的比。

[来源：GB/T 26424—2010，5.7.10]

3.3

实景三维模型

以倾斜数字航空摄影方式为主，获取可反映地理要素在三维空间中的位置、几何形态、表面纹理、细节特点、场景效果和属性信息的可量测模型。

4 总则

4.1 调查对象

由自然或者人为因素引发的滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害。

4.2 目标任务

应用无人机低空摄影测量技术，针对地质灾害进行高精度数据采集与数据处理，为地质灾害调查、评估、治理等提供技术支撑。

4.3 工作流程

工作流程包括作业准备、航线规划、飞行实施、数据处理、质量控制、成果提交，具体见图1。

5 作业准备

5.1 基本要求

无人机飞行平台：旋翼、固定翼和复合翼无人机。

无人机飞行平台主要技术指标要求：可更换载荷的飞行平台设计任务载荷不小于0.5 kg，抗风能力大于4级。

坐标系采用2000国家大地坐标系（CGCS 2000）或依法批准的独立坐标系。

高程基准采用1985国家高程基准。当采用独立高程系统时，与1985国家高程基准进行联测。

投影采用高斯—克吕格投影，按3°分带。

5.2 前期资料收集

无人机航摄作业前，收集测区内的相关资料。主要包括：

- a) 卫星或无人机航测影像资料、控制点、地形图、交通图、行政区划图、禁飞区范围、地质灾害分布图等辅助数据。遥感影像数据现势性不宜超过1年；
- b) 宜选用分辨率优于1 m的遥感影像和优于25 m的数字高程模型，用于开展航线设计；
- c) 如行业主管部门有林分郁闭度成果数据，则可直接向有关单位申请收集数据，如没有则可以采用样地法、目测法、航片估测法或卫片估测法测定，具体确定方法按照GB/T 26424规范要求执行；
- d) 必要时可进行实地勘查以获取更多相关信息和资料。

5.3 实地踏勘

为确保无人机安全作业并选择合适的起降点，无人机飞行作业前需对测区进行实地踏勘，了解测区内的基本情况，如地形地貌、地表植被以及周边的机场、重要设施、道路交通、工业布局、人口密度等信息。

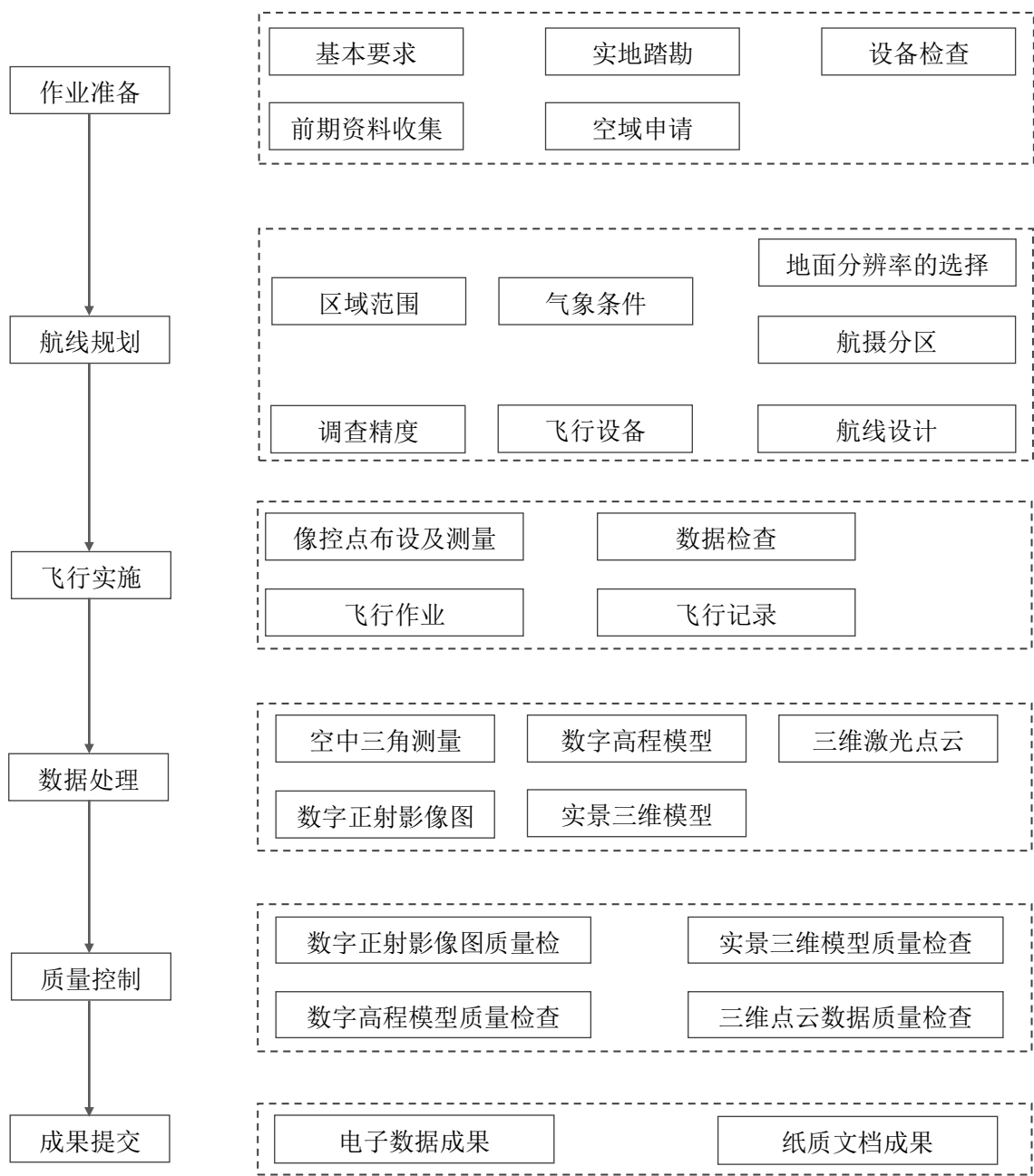


图1 工作流程图

5.4 空域申请

从事通用航空飞行活动的单位、个人，根据飞行活动要求，需要划设临时飞行空域的，应当向有关飞行管制部门提出划设临时飞行空域的申请。

5.5 设备检查

5.5.1 基本要求

作业适用的无人机、搭载传感器以及相关测量仪器、器材应进行检查校正，并确保在检校合格的有效期内。应满足以下要求：

- a) 所有设备外观、结构完整；

- b) 相机与 POS 系统稳定、牢固固定于飞行平台上；
- c) 所有连接线、接头正常、稳固连接；
- d) 相机镜头无遮挡并用无尘布擦拭干净；
- e) 电池（油箱）容量满足至少一个飞行架次；
- f) 激光雷达设备经过检校，且在检校有效期内使用，检校内容包括 POS 与激光测距设备、数码相机之间的位置和角度关系；
- g) 倾斜数字航摄仪的各相机之间的相对位置和姿态关系刚性稳定，且各相机曝光时间差不大于 120 ms；
- h) 所有设备通电测试或试飞后工作正常。

5.5.2 相机检校

相机由专业人员定期进行检校，合格后方可作业，检校满足以下要求：

- a) 相机检校参数包括：主点坐标、主距和畸变差方程参数；
- b) 相机检校时在地面或空中对检校场进行多基线多角度拍摄，通过摄影测量平差方法得到相机参数最终解，并统计精度报告；
- c) 检校精度满足：主点坐标中误差不大于 $10\ \mu\text{m}$ ，主距中误差不大于 $5\ \mu\text{m}$ ，经过畸变差方程式及测定的系数值拟合后，残余畸变差不大于 0.3 像素。

6 航线规划

6.1 航摄地面分辨率的选择

各航摄分区基准面的地面分辨率应根据不同的调查比例尺要求，结合项目需求、分区的地形条件、航摄基高比等，在满足成果精度要求的前提下，无人机航摄地面分辨率不低于表1中的要求。

表1 无人机航摄地面分辨率

调查比例尺	地质灾害类型	地面分辨率值（cm）
1:500	地裂缝	5
1:500	崩塌、滑坡、泥石流	5
1:1 000		10
1:2 000		20
1:1 000	地面塌陷	10
1:2 000		20

6.2 航摄分区

航摄分区的制定遵循以下原则：

- a) 分区界线与图廓线相一致；
- b) 分区内的地形高差一般不大于 1/4 相对航高；
- c) 航摄分区的跨度尽量划大，能完整覆盖整个摄区，同时分区划分时需考虑用户提出的加密方法和布点方案的要求；
- d) 当地形高差突变，地形特征显著不同或有特殊要求时，可以破图廓划分航摄分区；
- e) 应考虑航摄飞机侧前方安全距离与安全高度。

6.3 航线设计

6.3.1 航线敷设

航线敷设的制定遵循以下原则：

- a) 航线设计宜采用仿地飞行，航摄高度设计需综合考虑地形地貌、激光雷达有效测距、林分郁闭度和飞行平台等因素；
- b) 曝光点的分布依地形起伏、建筑物高低采用 DEM 或 DSM 设计；
- c) 摄影区域含有水域或紧邻水域时，航线尽量避免垂直影像主点落水；
- d) 对地形复杂、建筑物高大、密集区域加大航向旁向重叠度；
- e) 航向覆盖超出分区边界线不少于两条基线，旁向覆盖超出整个摄区和分区边界线一般不少于像幅的 50%。

6.3.2 像片重叠度

像片重叠度满足以下要求：

- a) 垂直影像：旁向重叠度一般为 40%~80%，最小不小于 30%；航向重叠度一般为 65%~85%，最小不小于 60%，在地形复杂区域、建筑物密集区，航向重叠度设计为 70%~85%；
- b) 倾斜摄影：当满足垂直影像重叠度后，倾斜影像的航向、旁向重叠度可不再重新设计；
- c) 机载激光雷达：旁向重叠度不小于 30%；在丘陵山地地区，航向旁向重叠度 50%~80%。

7 飞行实施

7.1 像控点布设及测量

7.1.1 像控点布设

像控点布设符合以下要求：

- a) 像控点连线应完全覆盖成图区域，且全部布设平高点，根据调查区特点制定详细的区域网布点方案，绘制区域网布设示意图；
- b) 地面塌陷调查区像控点布设按照 CH/T 3004 规范要求执行；
- c) 滑坡、崩塌调查区像控点布设以满足空中三角测量要求为原则，点位在像片上的条件可适当放宽；
- d) 地裂缝、泥石流调查区像控点布设方式宜采用航带法，布点沿航线方向，间隔不大于 8 条基线，对称布设 1 组像控点，航线起点、终点和转弯处布设 1 组像控点，每组布设 2 个像控点，宜位于调查区两侧测量范围外边缘；
- e) 地质灾害应急调查时，在保证飞行安全的前提下，像控点布设要求可依据现场条件适当放宽。

7.1.2 像控点测量

像控点测量按照 CH/T 3004 规范要求执行。

7.2 飞行作业

飞行作业需满足以下条件方可开展：

- a) 飞行作业前，需仔细检查设备的状态是否正常；
- b) 飞行作业应避免雨、雾、霾等能见度低及其他恶劣气象条件，以及积雪、洪水、扬尘等各种覆盖物的不利影响；
- c) 在陡峭山区或高大建筑物密集区，宜在正午前后各 2h 内摄影，减少阴影对地物细节影响。

7.3 数据检查

每个航飞阶段任务完成后，立即检查影像及POS数据的数量和质量，对于不符合要求的数据，需及时补飞。检查的内容及要求包括：

- a) 影像数量和预估的数量基本一致；
- b) 影像数据和 POS 数据一一对应；
- c) 影像质量需满足地质灾害调查的精度要求，主要地质灾害调查对象清晰呈现，影像目视清晰、纹理结构正常、反差适中，色调柔和；
- d) 影像上无云、云影、烟、大面积曝光、噪点等缺陷，如局部存在少量缺陷，但不影响影像拼接及重要地物判识，可不作处理；
- e) 点云数据、影像航带重叠、覆盖范围满足要求，无绝对漏洞；
- f) 当采用 GNSS（或 IMU/GNSS）辅助航空摄影时，检验的方法按 CH/T 1029 相关规定执行。

7.4 飞行记录

每个飞行架次结束后填写飞行记录，参见附录A.1。

8 数据处理

8.1 空中三角测量

空中三角测量作业流程、方法按照GB/T 23236规范要求执行。加密点对最近野外控制点的平面位置中误差、高程中误差不大于表2的规定。

表2 加密点对最近野外控制点的平面位置和高程中误差

调查比例尺	平面位置中误差（m）			高程中误差（m）		
	地裂缝	崩塌、滑坡、泥石流	地面塌陷	地裂缝	崩塌、滑坡、泥石流	地面塌陷
1:500	0.175	0.25	—	0.15	0.35	—
1:1 000	—	0.55	0.4	—	0.5	1.0
1:2 000	—	1.1	0.8	—	0.8	1.2

8.2 数字正射影像图制作

数字正射影像图制作要求按照CH/T 9008.3规范要求执行。

8.3 数字高程模型制作

数字高程模型制作要求按照CH/T 9008.2规范要求执行。

8.4 实景三维模型

实景三维模型构建流程主要包括像对选取、点云匹配、三角网构建与优化、纹理映射、模型存储等。具体要求如下：

- a) 像对选取的主要工作是在选定的范围内，选择最优候选影像组成像对，一般可依据重叠度约束、交会角约束、尺度约束等约束条件进行像对选取；
- b) 点云匹配过程中尽可能多的获得能够表达地物表面细节的点云，如地裂缝等细状地物，以及地物边缘等地物点；

- c) 三角网构建与优化是从三维点中计算三维三角网表面，采取优化算法，在尽可能的获得保留细小结构物体三维的同时，能够恢复出更多的模型细节；
- d) 在构建完三维表面后，对每个三角形面片选择最优映射纹理，模型纹理选片尽可能来自同一张影像，保持纹理的一致性，且需要减少模型间的纹理颜色差异；
- e) 实景三维模型成果按照模型块进行存储，模型块可根据项目建设需要或硬件设备条件，按照不同格网间距大小进行分块。

8.5 三维激光点云数据处理

8.5.1 点云数据预处理

8.5.1.1 预处理的内容

对原始数据进行解码，获取GNSS数据、IMU数据和激光测距数据等。将同一架次的GNSS数据、IMU数据、地面基站观测数据、飞行记录数据、基站控制点数据和激光测距数据等进行整理，生成满足要求的点云数据。

8.5.1.2 POS 数据处理

POS数据处理要求按照CH/T 8024规范要求执行。

8.5.1.3 点云数据解算

点云数据解算的要求如下：

- a) 联合 POS 数据和激光测距数据，附加系统检校数据，进行点云数据解算，生成三维点云；
- b) 点云数据采用 LAS、PLY、VTK 等格式存储。

8.5.1.4 航带拼接和系统误差改正

航带拼接时，不同航带、不同架次拼接时，同名点平面位置、高程精度满足表3规定的精度要求。精度超限且存在系统误差的，采取布设地面控制点的方式进行系统误差改正，小于限差后，再进行航带拼接。

表3 无人机航测成果检查点平面位置及高程精度要求

比例尺	地质灾害类型	平面位置限差（m）	高程限差（m）
1:500	地裂缝	0.30	0.37
	崩塌、滑坡、泥石流	0.40	1.05
	地面塌陷	—	—
1:1 000	地裂缝	—	—
	崩塌、滑坡、泥石流	0.80	1.50
	地面塌陷	0.60	0.37
1:2 000	地裂缝	—	—
	崩塌、滑坡、泥石流	1.60	2.25
	地面塌陷	1.20	0.75

8.5.2 点云数据处理

点云数据处理符合下列要求：

- a) 点云数据包括地物反射强度、回波次数、GNSS 时间等基本信息；

- b) 点云数据进行降噪处理，并滤除明显低于地面或明显高于测区内地物的激光点云；
- c) 具体处理方法等符合 CH/T 8023 的相关规定。

9 质量控制

9.1 数字正射影像图质量检查

质量检查的主要内容及要求包括：

- a) 影像是否存在拼接错位、模糊、扭曲变形、重影等现象；
- b) 影像反差适中、色调均匀、无曝光过度或曝光不足、无明显污点等现象；
- c) 实地检查点坐标精度、地物长度等几何信息；
- d) 其他要求按照 GB/T 24356 规范要求执行。

9.2 数字高程模型质量检查

数字高程模型按CH/T 9008.2的要求执行。

9.3 实景三维模型质量检查

实景三维模型质量检查的主要内容及要求包括：

- a) 实景三维模型质量检查满足模型完整、纹理清晰等要求，不应有模糊、模型损坏、地物错位等现象；
- b) 实景三维模型几何精度根据作业任务要求确定，满足地质灾害调查精度需求；
- c) 其他要求按照 GB/T 41454 规范要求执行。

9.4 三维点云数据质量检查

三维点云数据质量检查的主要内容及要求包括：

- a) 点云数据覆盖范围是否包含整个测区；
- b) 点云数据密度及多航带接边精度参照表 4 执行；
- c) 点云数据检查点平面位置及高程精度满足表 3 要求。针对高山峡谷、黄土沟壑区等特殊困难地区精度可放宽 1 倍；
- d) 数据质量检查结果参见附录 A. 2~A. 4 要求填写归档。

表4 不同调查比例尺的点云密度

调查比例尺	林分郁闭度	点云密度（点/m ² ）	航带接边（m）
1:500	[0.7, 1]	[30, 60)	≤0.05
	[0.2, 0.69)	[25, 30)	≤0.05
	[0, 0.2)	[16, 25)	≤0.05
1:1 000	[0.7, 1]	[25, 30)	≤0.1
	[0.2, 0.69)	[20, 25)	≤0.1
	[0, 0.2)	[8, 16)	≤0.1
1:2 000	[0.7, 1]	[20, 25)	≤0.15
	[0.2, 0.69)	[15, 20)	≤0.15
	[0, 0.2)	[4, 8)	≤0.15

10 成果提交

10.1 电子数据成果

10.1.1 数字产品成果格式

无人机低空摄影测量成果类型及成果格式满足表5的要求。

表5 成果类型及成果格式

序号	成果类型	成果格式
1	数字正射影像图（DOM）	tiff
2	数字高程模型（DEM）	tiff
3	实景三维模型	osgb、obj
4	三维点云（3D point）	Las、ply、vtk

10.1.2 电子数据成果存储

电子数据成果采用移动存储介质进行存储，主要包括：

- a) 原始航飞影像数据成果；
- b) 原始激光雷达点云成果；
- c) POS 数据成果；
- d) 像控点/检查点实测数据成果；
- e) 数字正射影像图、数字高程模型、实景三维模型、三维点云数据等数字产品成果；
- f) 无电子格式的纸质文档扫描成电子文档。

10.2 纸质文档成果

纸质文档成果单独装订成册，分类存放，主要包括：

- a) 成果清单（见附录 A.5）；
- b) 无人机航测成果精度检查记录表；
- c) 测量技术成果报告, 格式按照 CH/T 1001 规范要求执行；
- d) 其他相关资料。

附 录 A
(资料性)
无人机航测成果记录表样式

A.1 航摄飞行记录表样式见表 A.1。

表A.1 航摄飞行记录表

测 区	项目名称					
	测区位置			作业时间:		
	测区编号		长宽		测区面积/km ²	
	地形地貌		平均海拔		最高点海拔	
天气	天气状况		风力		能见度	
航摄系统	品牌		型号		起降方式	
载 荷	品牌		型号		感光度	
	传感器尺寸		焦距		光圈	
	检校信息					
航线信息	影像数量		飞行时间		拍摄方向	
	航线数量		相对航高		起飞点海拔	
	航向重叠度		旁向重叠度		地面分辨率	
作业人员	飞控手		组长			
	参与人员					
像控点/航线飞行示意图:						

A.4 高程精度检查记录表样式见表 A.4。

表A.4 高程精度检查记录表

项目名称			测区编号		
作业时间			成果类型		
飞行架次			无人机型号		
检测方式			像控点密度 (个/km ²)		
序号	要素类型	实测高程H ₁	图上高程H ₂	差值ΔH	备注
检查点数量 (个)		超限数量 (个)		超限比例 (%)	
测量员			测量日期		
检查者			检查日期		
复核者			复核日期		

A.5 成果清单样式见表 A.5。

表A.5 成果清单

项目名称：					
测区位置	省 市 县（市） 乡 村 组				
坐标	经度： ° ' "		纬度： ° ' "		
测区面积			测区编号		
飞行架次			无人机型号		
作业时间			数据处理时间		
成果归档时间			成果归档人员		
序号	项目	单位	数量	完整程度	备注
1	成果清单				纸质、电子文档
2	原始航飞影像				电子文档
3	原始激光雷达点云				电子文档
4	POS数据				电子文档
5	野外实测数据				电子文档
6	现场相机拍摄照片				电子文档
7	数字正射影像图				电子文档
8	数字高程模型				电子文档
9	实景三维模型				电子文档
10	三维点云数据				电子文档
11	无人机航测成果精度检查记录表				纸质、电子文档
12	测量技术成果报告				纸质、电子文档
13	其他相关资料				纸质、电子文档

参 考 文 献

[1] GB/T 7930 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量内业规范
[2] GB/T 7931 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范
[3] GB/T 19294 航空摄影技术设计规范
[4] GB/T 36100 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法
[5] GB/T 39610 倾斜数字航空摄影技术规程
[6] CH/Z 3001 无人机航摄安全作业基本要求
[7] CH/Z 3002 无人机航摄系统技术要求
[8] CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范
[9] CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
[10] CH/T 3023 机载激光雷达数据获取成果质量检验技术规程
[11] DD2015-01 地质灾害遥感调查技术规定
[12] DB41/T 2256 露天矿山环境修复无人机应用技术规范
