

宁夏矿山地质灾害无人机机载激光雷达监测技术规程

2020-02-28 发布

2020-05-28 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 监测内容 5

6 监测方法 5

7 监测成果 8

8 成果整理 10

附录 A（资料性附录） 表 A.1 飞行记录单 1

附录 B（资料性附录） 表 B.1 机载激光雷达点云信息记录表 2

附录 C（资料性附录） 表 C.1 数字高程模型质量检查表 3

附录 D（资料性附录） 表 D.1 数字表面模型质量检查表 4

附录 E（资料性附录） 表 E.1 成果清单 5

参考文献 6

前 言

本标准起草规则依据GB/T 1.1—2009《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》给出的规则进行编写。

本标准由宁夏回族自治区地质局提出。

本标准由宁夏回族自治区自然资源厅归口并实施。

本标准的起草单位：宁夏回族自治区遥感测绘勘察院。

本标准的主要起草人：吴加敏、刘长宁、张永庭、魏采用、梁伟。

本标准于2020年02月首次发布。

宁夏矿山地质灾害无人机机载激光雷达监测技术规程

1 范围

本标准规定了开展矿山地质灾害变化监测的流程、内容、方法、成果等要求。

本标准适用于应用旋翼无人机机载激光雷达技术开展由于矿产资源开发引起的已经发生且可能继续或再次发生的变形破坏和活动的地质灾害的监测，也适用于突发的自然地质灾害应急调查与监测。

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 18314-2009 全球定位系统（GPS）测量规范

CH/Z 3001-2010 无人机航摄安全作业基本要求

CH/T 9008.2-2010 基础地理信息数字成果1: 500 1: 1000 1: 2000数字高程模型

CH/T 3014-2014 数字表面模型-机载激光雷达测量技术规程

CH/T 1016-2008 测绘作业人员安全规范

DD 2008-02 崩塌滑坡泥石流灾害调查规范（1: 50 000）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机 unmanned air vehicle

一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器，具有遥控、半自主、自主三种飞行控制方式。

3.2

激光雷达 LIDAR

发射激光束并接收回波获取目标三维信息的系统。

3.3

激光雷达 LIDAR

发射激光束并接收回波获取目标三维信息的系统。

3.4

点云数据 point cloud data

以点的形式记录，每一个点包含有三维坐标，有些可能含有颜色信息（RGB）或反射强度信息（Intensity）的点的集合。

3.5

激光雷达点云数据 LIDAR point cloud data

通过激光雷达扫描获取的点云数据。

3.6

点云密度 density of point cloud

单位面积上点的平均数量。

注：一般用于每平方米的点数表示。

[CH/T8023-2011, 术语和定义3.5]

3.7

数字高程模型 digital elevation model (DEM)

在一定范围内通过规则格网点描述地面高程信息的数据集，用于反映区域地貌形态的空间分布。

[CH/T9008.2-2010, 成果描述3]

3.8

数字表面模型 digital surface model(DSM)

以一系列点云或格网点的三维坐标表达地表（含矿山建筑物、采矿塌陷等）起伏形态的数据集。

[CH/T 3014-2014, 术语和定义3.1]

3.9

矿山地质灾害 mine geological disaster

矿产资源开采引发的危害人民生命和财产安全的崩塌、滑坡、地面塌陷、地裂缝等与地质作用有关的灾害。

3.10

变形监测 deformation supervision

对地表和地下一定深度范围内的岩土体与其上建筑物、构筑物的位移、沉降、隆起、倾斜、挠度、裂缝等微观、宏观现象，在一定时期内进行周期性的或实时的测量工作。

4 总则

4.1 监测范围

由矿产资源开发引发的滑坡、崩塌与地面塌陷等地质灾害的精确测量。

一般适用于已经发生的或正在发生的矿山地质灾害监测；尤其适用于地形或监测对象较为复杂，测量人员或仪器与监测对象难以接触等复杂情况下，体积与塌陷变化的监测，形成区域性矿山地质灾害的立体监测成果。

4.2 目的任务

应用旋翼无人机机载激光雷达技术，针对滑坡、崩塌与地面塌陷等矿山地质灾害引发的地表变形情况，开展重点变化区域高精度、连续动态监测，为矿山地质灾害防治、矿山地质环境调查评价、土地复垦、地质灾害安全影响评价等提供科学决策的依据。

4.3 基本要求

无人机飞行平台：一般选择旋翼电动无人机。

监测精度：点云密度 ≥ 1 点/ m^2 ，DEM制作比例尺不小于1:2000。

无人机飞行平台主要技术指标要求：续航时间 ≥ 30 分钟，任务载荷0.5~5kg，抗风能力为4级。

激光雷达主要技术指标要求：扫描角度 $\geq 30^\circ$ ，探测距离 $\geq 100\text{m}$ 。

坐标系统应采用2000国家大地坐标系或依法批准的独立坐标系。

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

投影宜采用高斯-克吕格投影。

4.4 工作流程

资料收集—野外踏勘—选点埋石—航线布设—外业数据获取—数据处理—叠加对比分析—成果编制。
无人机载激光雷达矿山地质灾害监测技术流程见图1。

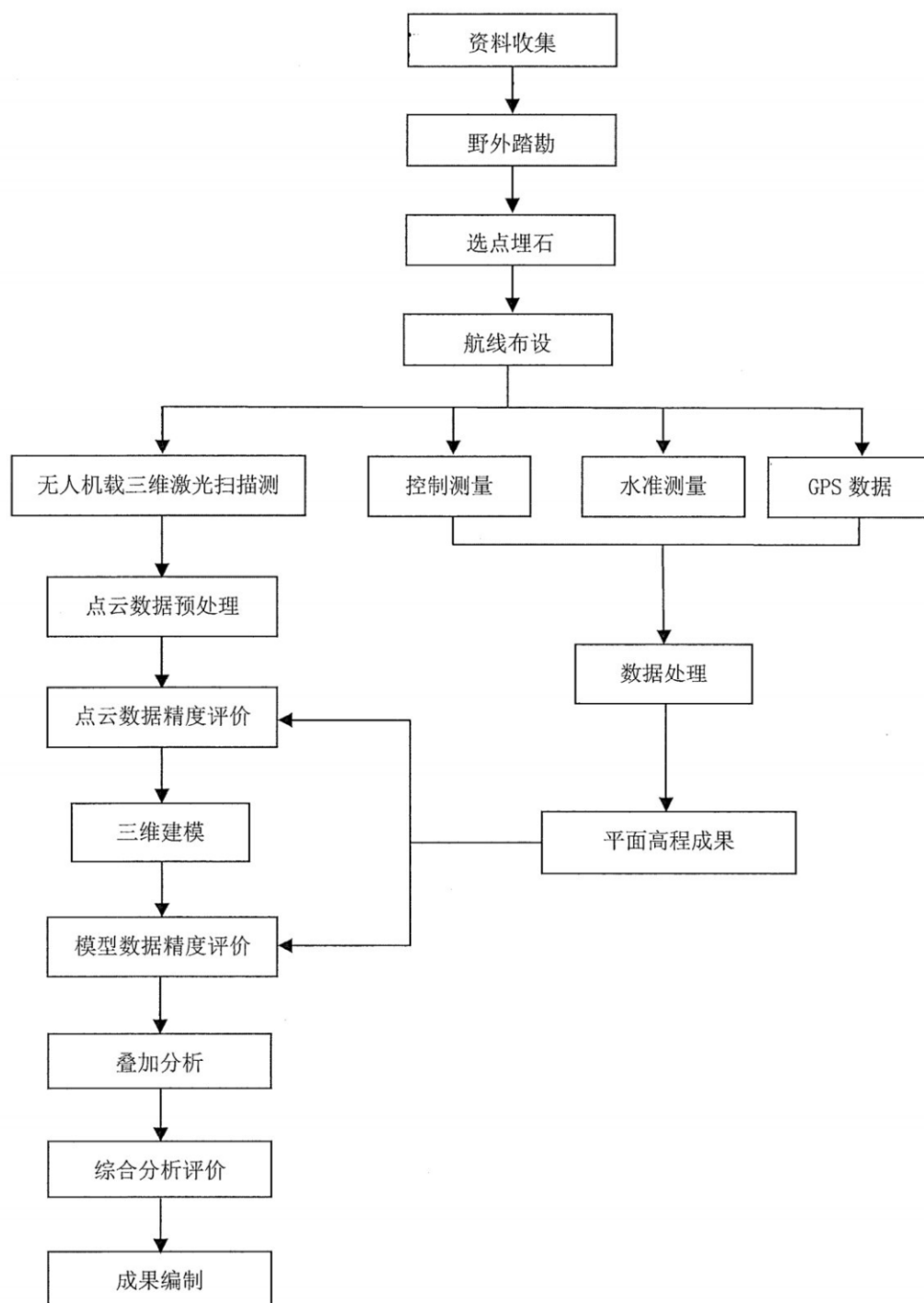


图1 无人机载激光雷达地质灾害监测技术流程

5 监测内容

5.1 滑坡、崩塌

滑坡、崩塌监测包括变形监测和宏观前兆监测。

5.1.1 滑坡、崩塌变形监测

主要为位移监测，分为绝对位移监测和相对位移监测：

- a) 绝对位移监测。监测滑坡、崩塌的三维(X、Y、Z)位移量、位移方向与位移速率；
- b) 相对位移监测。监测滑坡、崩塌重点变形部位裂缝、崩滑面(带)等两侧点与点之间的相对位移量，包括张开、闭合、错动、抬升、下沉等。

5.1.2 滑坡、崩塌变形破坏宏观前兆监测

包括滑坡、崩塌变形破坏前出现的地表裂缝和前缘岩土体局部坍塌、鼓胀，以及建筑物或地面的破坏等。测量其产出部位、变形量及其变形速率。

5.2 地面塌陷

地下开采引发的地面塌陷坑、地裂缝及沉陷的范围、形态特征、塌陷量、塌陷速率等。

6 监测方法

6.1 资料收集与分析

作业前应收集下列资料，并进行适用性分析：

- a) 监测区域地层、水文地质、环境地质、气象、矿区开发现状矿山开发利用方案、采掘工程平面图等资料；
- b) 监测区域及邻近地区内满足要求的已有控制点成果资料；
- c) 监测区域 1:2000~1:5000 比例尺地形图、遥感影像等资料；
- d) 监测区域基础地理等其他相关资料。

6.2 现场踏勘

现场踏勘应符合下列要求：

- a) 监测区域的地形地貌、气候条件、地面覆盖类型、植被覆盖密度以及机场、重要设施等情况；
- b) 核对控制点的准确性；
- c) 根据踏勘情况设置控制网、航线的方式及选择无人机起降场地。

6.3 场地选择

起降场地选择中应注意下列事项：

- a) 起降场地相对平坦、通视良好，距离军用、民用机场；
- b) 远离人口密集区，半径 200m 范围内不能有高压线、高大建筑物，重要设施；
- c) 附近应无正在使用的雷达站、微波中继、无线通信等干扰源，在不能确定的情况下，应测试信号的频率和强度，如对系统设备有干扰，须改变起降场地。

6.4 航线设计

航线设计应满足下列要求：

- a) 依据监测对象的特点采用“之”字型或“井”字型进行设计；
- b) 航高一般为 50m~200m，具体航高按照监测精度、激光雷达有效距离、点云密度、飞行安全的要求设置。行高、精度及点云密度设置见表 1；

- c) 航线旁向重叠度应不小于 30%，在丘陵山地地区，航线旁向重叠度 50%~80%。航线布设应超出监测区域范围 200m~500m；
- d) 在一条航线内，旋翼机飞行速率不大于 15m/s；航线俯仰角、侧翻角一般不大于 2°，最大不超过 4°；飞机转弯时，坡度不大于 15°，最大不超过 22°；
- e) 在同一个监测区、多期监测所布设的航线、航高、飞行速率及飞行姿态应保持一致。

表1 不同比例尺对应飞行高度及点云密度

飞行高度	比例尺	点云密度 (点 / 米 ²)
$h \leq 75$	1:500	≥ 16
$75 < h \leq 150$	1:1000	≥ 4
$h \geq 150$	1:2000	≥ 1
注:h 代表无人机飞行高度		

6.5 空域协调

监测作业前需根据国家及地方政府相关规定申请空域，批复后方可进场作业。

6.6 飞行实施

外业飞行实施主要步骤为：

- a) 到达现场后，测定风速，并观察空气能见度；
- b) 组装无人机及激光雷达，组装时需检查各部件是否连接紧密，供电接线是否正确连接，电量是否充足；
- c) 架设电台，用于地面站和无人机之间的通讯；
- d) 启动激光雷达和 GPS 接收机进行数据采集；
- e) 进行数据采集，并监测航高、航速、飞行轨迹及激光雷达工作状态；
- f) 数据采集完毕后，对采集数据及飞机整体进行检查评估，判断是否复飞。

6.7 控制网布设与测量

建立旋翼无人机机载雷达控制基准站，布设和测量应符合下列规定：

- a) 基站点宜选在监测区域周围地面基础稳定且视野开阔的地方；
- b) 基站点应经过测量，满足控制测量等相关规范要求；
- c) 同一个监测区，多期监测周期内应使用相同 GPS 接收机架设在同一个控制点上；
- d) 航摄时应将基站点与监测对象同步进行观测，保证其数据准确性；
- e) 控制点布设应符合 GB/T 18314—2009 中 5.5.2 精度及布设距离规定要求。

6.8 安全保障措施

安全保障应符合下列规定：

- a) 仪器在开展作业前和作业后均需进行检查，检查合格后方可组织作业；
- b) 无人机作业应满足 CH/Z3001—2010 规定；
- c) 作业员人身安全应符合 CH/1016 的规定。

6.9 点云数据预处理

6.9.1 原始数据解压

采用相关软件对航摄获取的原始数据进行解压,分离出激光雷达GPS数据、惯导数据(IMU)和点云数据。

6.9.2 坐标系统转换

6.9.2.1 利用基站点数据转换

利用架设在基站点的GPS静态数据,通过基站点已知坐标,进行差分处理,将同一架次的激光雷达GPS数据、惯导数据(IMU)和点云数据等进行联合解算,将点云数据转换至成果坐标系统。

6.9.2.2 利用控制网数据转换

通过监测区域布设的控制网,获取不同坐标系统中控制点的坐标值,转换出不同坐标系统之间的参数,再对同一架次的激光雷达GPS数据、惯导数据(IMU)和点云数据等进行联合解算,将点云数据转换至成果坐标系统。

6.9.3 高程系统转换

6.9.3.1 利用基站点数据转换

利用架设在基站点的GPS静态数据与基站点已知高程,对点云数据进行高程拟合转换。

6.9.3.2 利用大地水准面精化成果转换

利用大地水准面精化成果将点云高程系统转换至成果高程系统。

6.10 点云数据处理

6.10.1 噪点滤除

将悬于空中或地表以下明显有别于监测区域地表目标离散点云或密集点群(即噪点),在处理前期进行分离剔除。

6.10.2 数据的拼接

对整个监测区域内,不同架次获取的点云数据进行拼接处理,检查是否存在空洞。

6.11 质量检查

对点云数据处理的各个环节进行检查。通过对点云数据进行目视检查、分类显示、高程显示等方法,对有疑问处用断面图进行查询、分析。

6.11.1 检查方法

监测地表点检查一般采用建立地面模型的方法进行检查。对模型上不连续、不光滑处,绘制断面图进行查看;也可通过对地物的特征点进行RTK测量,对比点云数据的精度;若有同一时相、分辨率优于1米的遥感影像也可用来辅助检查。

6.11.2 检查内容

检查的主要内容包括:

- a) 点云数据、激光雷达GPS数据、IMU数据及地面GPS数据记录是否缺失;
- b) 点云数据坐标是否正确;

c) 点云数据处理是否满足要求。

6.12 补飞与重测

点云数据存在无法解算、因局部空洞而影响监测精度及精度不满足要求的应进行补飞与重测。补飞与重测应与原航线一致。

7 监测成果

7.1 数字高程模型（DEM）制作及质量检查

7.1.1 数据处理

对于点云数据处理过程中出现的零散、小面积无数据区域，根据实际情况设置构网距离进行插值，保证插值结果反映完整地形。

对不满足要求区域（如地质灾害或地物遮蔽严重区域处）进行外业补采，保证地形细节完整。

对于建筑物、立交桥、高架路等高于地面的人工构筑物，一般只保留地面点云数据。

7.1.2 数字高程模型制作

将所有地面点均作为特征点，利用软件自动生成数字高程模型。

7.1.3 数字高程模型制作要求

7.1.3.1 格网尺寸及精度

地质灾害变形监测精度要求较高，参考CH/T 9008.2中1:500~1:2000比例尺数字高程模型格网尺寸及一级精度指标，根据宁夏地区的矿山地质灾害变形量明确了格网间距及精度要求。格网间距及精度要求见表2。

表2 格网间距及精度要求

单位为米

比例尺	格网间距	地形类别	高程中误差	平面中误差
1:500	0.5	平地	0.2	0.3
		丘陵地	0.4	0.3
		山地	0.5	0.4
1:1000	1	平地	0.7	0.4
		丘陵地	0.2	0.6
		山地	0.5	0.6
1:2000	2	平地	0.7	0.8
		丘陵地	1.5	0.8
		山地	0.4	1.2
参考[CH/T 8023—2011]				

7.1.3.2 数据覆盖范围

数字高程模型应覆盖整个监测区域，并适当外扩200-500米。

7.1.4 质量检查

数字高程模型覆盖范围及格网尺寸是否符合要求。

数字高程模型高程精度是否达到规定要求。

7.2 数字表面模型(DSM)制作及质量检查

7.2.1 数据处理

对于崩塌、滑坡、地面塌陷点云数据分别进行分类编辑。

7.2.2 特征线采集

采集带有高程信息的特征线，不同地物特征线应放置在不同图层内，确保接边处无缝连接。

7.2.3 数字表面模型制作要求

利用已处理后的点云数据和特征线构建不规则三角网，将不规则三角网按表2规定的格网尺寸进行内插生成数字表面模型。

格网尺寸及精度应满足表2格网间距及精度要求。

数字表面模型应覆盖整个监测区域，并适当外扩200~500米。

7.2.4 质量检查

数字表面模型覆盖范围及格网尺寸是否符合要求。

数字表面模型高程精度是否达到规定要求。

7.3 矿山地质灾害变形提取

7.3.1 单期监测

针对突发的崩塌、滑坡及地面塌陷等地质灾害利用不小于1:5000比例尺地形图等资料，获取格网间距为2.5米的数字高程模型或收集格网间距优于2.5米的数字高程模型，与监测模型数据进行叠加分析，获取监测对象变化情况。

7.3.2 多期监测

针对矿产资源开发引发的正在发生变化的崩塌、滑坡与地面塌陷等地表变形问题，利用多期点云数据分别构建数字高程模型，确保精度满足表2要求后，对多期数字高程模型进行叠加运算，获取监测对象变化量、变化速率、体积等信息。

7.4 成果综合分析

7.4.1 崩塌、滑坡

依据监测崩塌、滑坡堆积体的体积确定其规模等级，其规模等级划分见表3。

对崩塌、滑坡隐患按变化速率、变化量进行评估；提出崩塌、滑坡发展趋势。

7.4.2 地面塌陷、地裂缝

依据地面沉陷或伴生的地裂缝的长度、宽度及其影响的面积、深度，评价地面塌陷的规模。规模等级划分见表3。

依据地面塌陷（地裂缝）监测结果，提出地面塌陷（地裂缝）预防、预测及监测的对策建议。

表3 地质灾害规模等级表

地质灾害规模	巨型	大型	中型	小型
崩塌体积/ 10^4m^3	≥ 100	10~100	1~10	< 1
滑坡体积/ 10^4m^3	≥ 1000	100~1000	10~100	< 10
地面塌陷面积/ km^2	≥ 10	1~10	0.1~1	< 0.1
地裂缝长/km 或影响宽度/m	地裂缝长 $> 1\text{km}$, 地面 影响宽度 $\geq 20\text{m}$	地裂缝长 $> 1\text{km}$, 地面 影响宽度 10~20m	地裂缝长 $> 1\text{km}$, 地面 影响宽度 3~10m, 或 长 $\leq 1\text{km}$, 宽 10~20m	地裂缝长 $> 1\text{km}$, 地面 影响宽度 $< 3\text{m}$, 或长 $\leq 1\text{km}$, 宽 $< 10\text{m}$
引自[DD 2008-02]				

8 成果整理

8.1 图件编制

矿山地质灾害变形分布图(1:500-1:2 000)(基本内容包括监测区基础地理要素、DSM/DEM、矿山地质灾害类型及分布、变化量等)。

8.2 成果报告编写

成果报告编写包括以下内容:

- 前言(目的、任务,监测对象、监测范围);
- 矿山基本情况(自然地理概况、地质环境、矿山开采概况);
- 监测方法、路线;
- 监测工作部署;
- 数据采集及处理;
- 监测成果及分析;
- 结论与建议。

8.3 成果提交

提交成果包括以下内容:

- 成果清单(附录E);
- 飞行记录单(附录A);
- 点云信息记录表(附录B);
- 数字高程模型质量检查表(附录C中表C.1);
- 数字表面模型质量检查表(附录D中表D.1);
- 点云数据;
- 数字高程模型数据;
- 数字表面模型数据;
- 技术设计书;
- 成果报告;
- 相关图件;
- 测绘成果按相应程序进行归档存储。

附 录 A
(资料性附录)
表 A. 1 飞行记录单

项目名称			
工作区名称			
参加人员		记录人员	
航飞日期		天气	
扫描参数		扫描参数	
起飞时间		降落时间	
飞行速度		飞行高度	

附 录 B
(资料性附录)

表 B.1 机载激光雷达点云信息记录表

项目名称:

数据获取单位		数据获取时间	
数据覆盖范围			
激光雷达 获取参数	激光雷达型号		视场角
	脉冲频率		扫描频率
	相对航高		绝对航高
点云数据参数	数据格式		数据量
	航带数		坐标系统
	地图投影		高程基准
点云质量	点云密度	☐ 达标	☐ 不达标
	旁向重叠度	☐ 达标	☐ 不达标
	数据覆盖范围	☐ 达标	☐ 不达标
	高程精度	☐ 达标	☐ 不达标
	航带接边误差	☐ 达标	☐ 不达标

记录员:

记录日期:

附 录 C
(资料性附录)

表 C.1 数字高程模型质量检查表

项目名称:

数字高程模型比例尺: ☐1:500 ☐1:1000 ☐1:2000

生产单位				生产日期		
质量元素	质量子元素	检查项		检查结果		备注
空间参考系	大地基准	坐标系统		☐ 达标	☐ 不达标	
	地图投影	投影参数		☐ 达标	☐ 不达标	
	高程基准	高程基准		☐ 达标	☐ 不达标	
位置精度	高程精度	高程中误差		☐ 达标	☐ 不达标	
逻辑一致性	格式一致性	数据归档		☐ 达标	☐ 不达标	
		数据格式		☐ 达标	☐ 不达标	
		数据文件		☐ 达标	☐ 不达标	
		文件命名		☐ 达标	☐ 不达标	
时间精度	现势性	原始资料		☐ 达标	☐ 不达标	
		成果数据		☐ 达标	☐ 不达标	
点云质量	点云参数	点云密度		☐ 达标	☐ 不达标	
		数据覆盖范围		☐ 达标	☐ 不达标	
附件质量	附属文档	完整性		☐ 达标	☐ 不达标	
		正确性		☐ 达标	☐ 不达标	
		权威性		☐ 达标	☐ 不达标	
检查意见:						

记录员:

记录日期:

附录 D
(资料性附录)

表 D.1 数字表面模型质量检查表

项目名称:

数字表面模型比例尺: ☐1:500 ☐1:1000 ☐1:2000

生产单位				生产日期		
质量元素	质量子元素	检查项		检查结果		备注
空间参考系	大地基准	坐标系统		☐ 达标	☐ 不达标	
	地图投影	投影参数		☐ 达标	☐ 不达标	
	高程基准	高程基准		☐ 达标	☐ 不达标	
位置精度	高程精度	高程中误差		☐ 达标	☐ 不达标	
逻辑一致性	格式一致性	数据归档		☐ 达标	☐ 不达标	
		数据格式		☐ 达标	☐ 不达标	
		数据文件		☐ 达标	☐ 不达标	
		文件命名		☐ 达标	☐ 不达标	
时间精度	现势性	原始资料		☐ 达标	☐ 不达标	
		成果数据		☐ 达标	☐ 不达标	
点云质量	点云参数	点云密度		☐ 达标	☐ 不达标	
		数据覆盖范围		☐ 达标	☐ 不达标	
附件质量	附属文档	完整性		☐ 达标	☐ 不达标	
		正确性		☐ 达标	☐ 不达标	
		权威性		☐ 达标	☐ 不达标	
检查意见:						

记录员:

记录日期:

附 录 E
(资料性附录)
表 E.1 成果清单

项目名称:
提交单位:

项目密级:
日 期:

序号	文件名称	存储介质（电子/纸质）	数量
1	点云数据		
2	数字高程模型数据		
3	数字表面模型数据		
4	技术设计书		
5	成果报告		
6	相关图件		

记录员:

记录日期:

参 考 文 献

- GB/T 24356 《测绘成果质量检查与验收》
CH/Z 3002-2010 《无人机航摄系统技术要求》
CH/T 8023-2011 机载激光雷达数据处理技术规范
CH/T 8024-2011 《机载激光雷达数据获取技术规范》
CH/T 1028-2012 《变化测量成果质量检验技术规程》
DZ/T 0151-2015 《区域地质调查中遥感技术规定1:50000》
DZ/T 0296-2016 《地质环境遥感监测技术要求1: 250000》
DD2014-05 《矿山地质环境调查评价规范1:50000》
-