



T/CECS ***-**-20**

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

铁路工程无人机应用技术规程

(征求意见稿)

Standards for the Application of UAVs in Railway Engineering

XXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

铁路工程无人机应用技术规程

(征求意见稿)

Standards for the Application of UAVs in Railway Engineering

T/CECS ***-**-20**

主编单位：中铁第一勘察设计院集团有限公司

智慧蔚蓝无人机科技（北京）有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：202×年××月××日

××××出版社

202X 年 北京

前 言

《铁路工程无人机应用技术规程》（以下简称规程）根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年度第二批协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕40 号）的要求编制。编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

标准共分为 6 章和 3 个附录，主要包括：总则、术语和缩略语、基本规定、勘察设计、工程施工、运营维护等。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第一勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议反馈至中铁第一勘察设计院集团有限公司（地址：陕西省西安市雁塔区西影路 2 号，邮政编码：710043），并抄送中国工程建设标准化协会铁道分会（北京市海淀区三里河路 9 号，邮政编码：100038），以供修订时参考。

主编单位： 中铁第一勘察设计院集团有限公司

智慧蔚蓝无人机科技（北京）有限公司

参编单位： 中国铁路经济规划研究院有限公司

中国铁路设计集团有限公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

中铁十一局集团有限公司

中铁上海工程局集团有限公司

中国铁路上海局集团有限公司

中国铁路呼和浩特局集团有限公司

蒙冀铁路有限责任公司

主要起草人：

主要审查人：

目 录

1	总 则.....	- 1 -
2	术语符号与缩略语.....	- 2 -
2.1	术语.....	- 2 -
2.2	符号.....	- 4 -
2.3	缩略语.....	- 5 -
3	基本规定.....	- 6 -
3.1	一般规定.....	- 6 -
3.2	无人机平台.....	- 7 -
3.3	无人机遥感数据获取.....	- 7 -
3.4	无人机摄影测量外业.....	- 12 -
3.5	无人机数据处理.....	- 14 -
3.6	地理信息数字成果生产.....	- 17 -
4	勘察设计.....	- 23 -
4.1	一般规定.....	- 23 -
4.2	线路走廊调查.....	- 23 -
4.3	线路地形测量.....	- 24 -
4.4	电力线、道路交叉测量.....	- 24 -
4.5	地质遥感调查.....	- 25 -
4.6	征拆调查及取证.....	- 26 -
4.7	环境影响评价调查.....	- 27 -
4.8	线路方案展示.....	- 27 -
5	工程施工.....	- 29 -
5.1	一般规定.....	- 29 -
5.2	项目策划现状调查.....	- 29 -
5.3	临建规划、便线比选.....	- 30 -
5.4	施工方案模拟论证.....	- 30 -
5.5	工程量辅助计算.....	- 31 -
5.6	辅助竣工验收.....	- 32 -

6 运营维护.....	- 34 -
6.1 一般规定.....	- 34 -
6.2 既有线测量.....	- 34 -
6.3 铁路基础设施维护巡检.....	- 37 -
6.4 外部环境隐患排查.....	- 38 -
6.5 地质灾害监测.....	- 40 -
6.6 应急测绘保障.....	- 41 -
附录 A 低空数字航摄常用计算公式.....	- 42 -
附录 B 靶标样式示意图.....	- 44 -
附录 C 无人机飞行日志.....	- 45 -
本规范用词用语说明.....	- 46 -
引用标准名录.....	- 47 -
条文说明.....	- 48 -

Contents

1	General Provisions	- 1 -
2	Terms and Abbreviations	- 2 -
2.1	Terms	- 2 -
2.2	Symbol	- 4 -
2.3	Abbreviations	- 5 -
3	Basic Regulations	- 6 -
3.1	General Provisions	- 6 -
3.2	UAV Platform	- 7 -
3.3	UAV Remote Sensing Data Acquisition	- 7 -
3.4	UAV Photogrammetry Fieldwork	- 12 -
3.5	UAV Data Processing	- 14 -
3.6	Production of Digital Geographic Information	- 17 -
4	Survey and Design	- 23 -
4.1	General Provisions	- 23 -
4.2	Route Corridor Investigation	- 23 -
4.3	Route Topographic Survey	- 24 -
4.4	Power Line and Road Crossing Survey	- 24 -
4.5	Geological Remote Sensing Investigation	- 25 -
4.6	Land Acquisition and Evidence Collection	- 26 -
4.7	Environmental Impact Assessment Investigation	- 27 -
4.8	Route Scheme Presentation	- 27 -
5	Engineering Construction	- 29 -
5.1	General Provisions	- 29 -
5.2	Project Planning and Current Status Investigation	- 29 -
5.3	Temporary Construction Planning and Access Route Selection	- 29 -
5.4	Simulation and Argumentation of Construction Schemes	- 30 -
5.5	Auxiliary Calculation of Work Quantities	- 31 -

5.6	Auxiliary Completion Inspection.....	- 32 -
6	Operation and Maintenance	- 34 -
6.1	General Provisions	- 34 -
6.2	Existing Railway Measurement	- 34 -
6.3	Railway Infrastructure Maintenance and Inspection	- 37 -
6.4	External Environment Hazard Identification	- 38 -
6.5	Geological Disaster Monitoring.....	- 40 -
6.6	Emergency Mapping Support	- 41 -
	Appendix A: Calculation Formulas for Low-Altitude Digital Aerial Photography	- 42 -
	Appendix B: Target Pattern Diagram	- 44 -
	Appendix C: UAV Flight Log	- 45 -
	Explanation of Terminology	- 46 -
	Normative Referenced Documents	- 47 -
	Addition: Explannation of Provisions.....	- 48 -

1 总 则

1.0.1 为规范铁路工程中无人机技术的应用，统一技术标准与作业流程，保证测绘与勘察成果的精度、可靠性及适用性，提升铁路工程全生命周期管理的技术水平与工作效率，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建及运营铁路工程在勘察设计、施工建设、运营维护等各阶段的无人机应用，包括但不限于地形测绘、施工监测、线路巡检、灾害调查等相关技术。

1.0.3 铁路工程无人机作业必须遵守国家相关法律法规，严格执行空域申请、飞行报备、设备登记等管理制度。作业单位应建立健全安全管理制度，结合铁路沿线环境、工况条件和作业内容，制定专项安全方案，加强风险识别与控制，确保人员、设备及铁路设施安全。

1.0.4 无人机系统、搭载的传感器及辅助测量设备应定期进行检定、校准与维护保养，保证其技术指标符合工程精度要求。作业前应进行设备状态检查，确保系统运行正常，数据采集准确可靠。

1.0.5 无人机作业过程中形成的飞行日志、原始观测数据、处理过程记录及成果资料等应内容完整、清晰可查，实行责任人审核签字制度，并及时归档管理。数据资料应具备可追溯性，并采取有效备份措施。

1.0.6 铁路工程无人机应用须严格执行国家及铁路行业信息安全与保密管理相关规定，对涉密数据、重要设施信息等采取必要的保密措施，严禁泄露敏感信息。作业过程中应贯彻“安全第一、预防为主”的方针，落实安全生产责任。

1.0.7 鼓励在铁路工程无人机应用中采用经实践验证的新技术、新方法与新设备。如使用本规程未涉及的新技术，应进行技术论证，确保其安全性、适用性及技术性能不低于本规程要求，并符合国家及行业相关标准。

1.0.8 铁路工程中的无人机应用除应执行本规程外，尚应符合国家及铁路行业现行有关法律法规和标准规范的规定。

2 术语符号与缩略语

2.1 术语

2.1.1 无人机 unmanned air vehicle (UAV)

通过远程操控或自主飞行控制管理的航空飞行器。

2.1.2 低空摄影测量 low-altitude aerial photography

利用低空飞行平台（如无人机、轻型飞机等）搭载摄影测量设备，对地球表面一定区域进行影像获取，并通过后续的处理和分析，获取目标区域的地理空间信息（包括地形、地物的位置、形状、尺寸、纹理等）的测量技术。

2.1.3 数字摄影测量 digital photography

基于摄影测量的基本原理，从摄影测量与遥感所获取的数据中，采用数字摄影影像或数字化影像，在计算机中进行各种数值、图形和影像处理，以研究目标的几何和物理特性，从而获得各种形式的数字化产品的测量方法。

2.1.4 倾斜摄影测量 oblique photography

通过在同一飞行平台上搭载多台传感器，同时从垂直、倾斜等多个角度采集地面影像数据，经过数据处理，获取地物准确、完整的位置信息和纹理数据的一种摄影测量技术。

2.1.5 贴近摄影测量 nap of the object photography

利用无人机对非常规地表（如滑坡、高陡边坡等）或人工物体表面（如建筑物立面、地标建筑等）等目标进行亚厘米或毫米级分辨率影像自动化高效采集，以实现目标对象的精细化三维重建的一种摄影测量方法。

2.1.6 多光谱摄影 multispectral photography

同步记录同一景物多个光谱波段的信息来生成图像的摄影测量技术。

2.1.7 红外摄影 infrared photography

利用红外感光设备与红外滤镜配合，或者使用对红外光敏感的胶片，捕捉物体发出或反射的红外线辐射，从而进行拍摄和记录的摄影技术。

2.1.8 地面分辨率 ground resolution

遥感影像上能够区分相邻两个目标物在地面上所对应的实际最小距离。

2.1.9 点云密度 density of point cloud

单位面积或单位体积内的点云数量，反映了激光雷达系统的扫描分辨率和覆盖范围，是衡量点云数据疏密程度的一个重要指标。

2.1.10 像片控制测量 photo control survey

为获取像片的外方位元素及其他相关数据，在实地测定具有一定精度要求的平面和高程控制点的测量工作。

2.1.11 人工靶标（点）artificial target; signalized point; artificial point

在测量、监测、成像等技术过程中，人为设置的具有特定形状、尺寸、颜色、反射特性等可识别特征的标志点，其目的是作为已知的参考点或控制点，用于确定测量基准、进行图像匹配、坐标转换、变形监测等操作，以提高测量精度和数据处理的可靠性。

2.1.12 空中三角测量 aerotriangulation; aerial triangulation

利用航空航天影像与所摄目标之间的空间几何关系，根据少量像片控制点，计算出像片外方位元素和其他待求的平面位置、高程的测量方法。

2.1.13 IMU/GNSS 辅助航空摄影 IMU/GNSS supported aerial photogrammetry

利用惯性导航技术和卫星定位技术，同时获取摄影瞬间摄影中心的位置参数与影像的姿态参数，辅助空中三角测量或测图的航空摄影测量技术。

2.1.14 倾斜实景三维模型 Oblique Realistic 3D Model

通过在同一飞行平台上搭载多台传感器，从垂直、倾斜等不同角度采集影像数据，然后利用先进的定位、融合、建模等技术处理后生成的真实反映地物外观、位置、高度等属性的三维模型。

2.1.15 真实感场景模型 large sight stereo imagery

由正射影像、立体配对影像拼接而成具有可量测功能、无缝连续的立体模型。

2.2 符号

δ —— 像点位移；

v —— 航摄飞行速度；

t —— 曝光时间；

R —— 地面分辨率 GSD。

H —— 相对摄影基准面的航高；

f —— 镜头焦距；

R —— 地面分辨率；

a —— 像元尺寸；

b_x —— 像片上的摄影基线长度；

d_y —— 像片上的航线间隔宽度；

L_x 、 L_y —— 像幅长度和宽度；

p_x 、 q_y —— 像片航向和旁向重叠度；

B_x —— 实地上的摄影基线长度；

D_y —— 实地上的航线间隔宽度；

N —— 理论超出值；

θ —— 倾斜相机角度；

β —— 倾斜相机视场角；

2.3 缩略语

- D L G —— 数字线划图 digital line graph
- D O M —— 数字正射影像 digital orthophoto map;
- TDOM —— 数字真正射影像 true digital orthophoto map;
- D E M —— 数字高程模型 digital elevation model;
- D S M —— 数字表面模型 digital surface model;
- P P K —— 动态后处理技术 post processing kinematic;
- R T K —— 实时动态测量 real time kinematic;
- GNSS—— 全球卫星导航系统 global navigation satellite system;

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 铁路工程无人机技术应用可用于 1:500、1:1000、1:2000 比例尺数字线划地图、数字高程模型、数字正射影像、真实感场景模型、倾斜实景三维模型的制作，1:200、1:500 比例尺断面制作，视频及全景影像的制作。

3.1.2 平面坐标系统应采用 CGCS2000 国家坐标系统或铁路工程独立坐标系统，采用工程独立坐标系统时宜与国家坐标系统联测。

3.1.3 高程坐标系统应采用 1985 国家高程基准，困难时可采用其他系统或独立高程系统，全测区应采用统一的高程系统。

3.1.4 地形分类与等级划分应符合表 3.1.4 的规定。

表 3.1.4 地形等级划分

地形等级	I（平地）	II（丘陵地）	III（山地）	IV（高山地）
地面坡度（°）	<3	3~10	10~25	≥25
地面高差（m）	<25	25~150	150~350	≥350

注：表内数据指在一个测段测图范围内的大部分地面坡度或高差，当地面坡度与高差有矛盾时，应以地面坡度划分为主。

3.1.5 基本等高距应根据地形图比例尺和地形等级符合表 3.1.5 的规定。

表 3.1.5 地形图的基本等高距

地形图比例尺	1:500	1:1000	1:2000
基本等高距（m）	0.5； 1	1； 2	1； 2

注：同一测区的同一种比例尺地形图，宜采用同一种基本等高距。

3.1.6 航摄影像地面分辨率应根据不同比例尺航摄成果制作的要求，结合分区的地形条件、成图等高距、成果规格等，在确保成图精度的前提下符合表 3.1.6 的规定。

表 3.1.6 地面分辨率

测图比例尺	地面分辨率/cm
1:500	≤5

1:1000	8-10
1:2000	15-20

3.1.7 机载激光雷达获取的点云数据密度应能满足内插数字高程模型的要求，平坦地区点云密度可适当放宽，地貌破碎地区适当加大，在确保成果精度的条件下按照符合表 3.1.7 的规定。

表 3.1.7 点云密度要求

测图比例尺	点云密度/（点/米 ² ）	数字高程模型成果规格间距/米
1:500	≥9	0.5
1:1000	8-10	1.0
1:2000	15-20	2.0

3.2 无人机平台

3.2.1 无人机平台应综合考虑成果类型、面积大小及自然环境特点进行选择。面积小于 10 平方公里，成果比例尺优于 1:500，无人机航拍、全景影像拍摄、既有线复测要素测量航摄作业时宜选择多旋翼无人机；面积大于 10 平方公里，连续线路长度大于 50 公里，成果比例尺不大于 1:1000 时宜选择固定翼无人机。

3.2.2 无人机平台的任务载荷能力、抗风等级、飞行速度、自动驾驶精准度以及测姿定位系统的稳定性等技术性能应符合现行行业标准《无人机航摄系统技术要求》（CH/Z 3002）的相关规定。

3.2.3 选用的无人机飞行平台应具有搭载多种传感器的有效载荷的能力，能够根据任务需求适配光学相机、机载激光雷达、倾斜摄影相机、全景相机、多光谱相机、热红外相机及光学视频摄像机等不同类型的传感器，平台应能支持单个载荷独立运作或多个载荷协同工作的能力。

3.3 无人机遥感数据获取

3.3.1 无人机遥感数据获取方法可包括无人机正射摄影、倾斜摄影、贴近摄影、机载激光雷达摄影、视频航拍、全景航拍等方式。

3.3.2 无人机正射摄影应符合下列规定：

- 1 航摄数码相机宜采用 2000 万像素以上的框幅式定焦镜头数码相机，且对

焦无限远，相机的内方位元素和相机畸变参数可精确确定。镜头与相机机身，以及相机机身与成像探测器之间应稳固连接。相机应具备电子快门，快门响应速度应不低于 1/1000s。连接多频 GNSS 和 IMU 惯性测量装置时，相机应具备曝光信号反馈功能。

2 无人机正射摄影航摄设计应符合以下要求：

(1) 航摄区域划分应符合现行行业标准《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005）的要求，在满足地面分辨率和重叠度要求的前提下，航摄分区的跨度应尽可能大。

(2) 航线敷设应根据铁路线路走向、摄影范围特征线及地形高差、像控点布设等综合确定。曝光点应根据 DEM 设计，采用定点曝光或等距曝光控制方式，不宜采用等时曝光控制方法。航线航向覆盖超出分区边界线应不少于两条基线，旁向覆盖超出分区边界线应不少于像幅的 50%。

(3) 航向重叠度应为 65%~75%，旁向重叠度应为 30%~45%，对于地形起伏较大或高大建筑物密集的城镇地区、道路、管线、河流等摄区航摄时，重叠度设计宜适当加大。

3 采用 GNSS 辅助或 IMU/GNSS 辅助航空摄影测量时，飞行作业半径小于 10 公里的区域可使用 RTK 技术；飞行作业半径大于 10 公里时可使用 PPK 技术，应合理布设地面基准站，摄区内任意位置与最近基站基站间距离应不大于 30 公里，且基站数量不应少于 2 个。

4 飞行质量与影像质量检查、成果提交要求应符合现行行业标准《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005）的要求，IMU/GNSS 成果质量检查应符合现行国家标准《IMU/GNSS 辅助航空摄影技术规范》（GB/T 27919）的要求。

3.3.3 无人机倾斜摄影应符合下列规定：

1 倾斜数字航摄仪的各相机的像素不应低于 2000 万像素，相机的内方位元素和相机畸变参数可精确确定，并带有曝光信号反馈装置，能稳定输出和记录曝光脉冲；各相机之间的相对位置和姿态关系刚性稳定，曝光时间差不应大于 120ms；倾斜数字航摄仪的倾斜相机镜头与垂直影像镜头应适配，保证倾斜影像的中心点的地面分辨率不应低于垂直影像的中心点地面分辨率。

2 倾斜摄影航摄设计应符合以下要求:

(1) 航摄区域划分应符合现行行业标准《低空数字航空摄影规范》(CH/Z 3005)的要求,在满足地面分辨率和重叠度要求的前提下,航摄分区的跨度应尽量大。

(2) 倾斜摄影垂直影像的航向重叠度不应低于 65%,旁向重叠度应为 40%~80%之间,最低不应少于 30%,在地形复杂地区如山地或高楼密集的城市区域,航向重叠度应设计为 70%~80%。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。

(3) 航线敷设应根据铁路线路走向、摄影范围特征线及地形高差、像控点布设等综合确定。曝光点的分布依地形起伏、建筑物高低采用 DEM 或 DSM 设计,航摄成果用于三维建模时,对建筑物低矮、稀疏区域可根据大部门建筑物分布、朝向以及地形敷设;对建筑物高大、密集区域宜纵横交叉敷设或加大航向旁向重叠度。在确保成果质量和精度的前提下,可以采用仿地航线规划设计。

(4) 航向覆盖应超出摄区边界一定数量的基线,旁向覆盖也应超出一定数量的航线,具体的计算方法可参照公式 3.3.3-1 和 3.3.3-2 执行,分区覆盖标准与摄区一致。

航向和旁向覆盖应超出分区边界线一定的基线数,按式(3.3.3-1)计算:

$$N = \frac{\tan \theta}{2 \tan(\beta / 2) \times (1 - P)} \quad (\text{式 3.3.3-1})$$

式中:

N - 理论超出值,单位为条;

θ - 倾斜相机角度,单位为度($^{\circ}$);

β - 倾斜相机视场角,单位为度($^{\circ}$);

P - 航向或旁向重叠度。

在实际飞行中,由于大气等因素的影响,航向或旁向覆盖超出边界线的实际值按公式(式 3.3.3-2)和公式(式 3.3.3-3)计算:

$$N_{\text{基}} = N + 2 \quad (\text{式 3.3.3-2})$$

$$N_{\text{航}} = N + 1 \quad (\text{式 3.3.3-3})$$

式中：

$N_{\text{基}}$ - 基线数

$N_{\text{航}}$ - 航线数

3 采用 GNSS 辅助或 IMU/GNSS 辅助航空摄影测量时，可采用 PPK 或 RTK 技术，相关要求可参照本规程 3.3.1 的规定执行。

4 飞行质量与影像质量检查应符合现行行业标准《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005）的要求，IMU/GNSS 成果质量检查应符合现行国家标准《IMU/GNSS 辅助航空摄影技术规范》（GB/T 27919）的要求，成果整理提交应符合现行国家标准《倾斜数字航空摄影技术规程》（GB/T 39610）的要求。

3.3.4 无人机贴近摄影应符合下列规定

1 贴近摄影航摄数码相机应符合本规程 3.3.1 章节要求。

2 贴近摄影航摄设计应符合以下要求：

（1） 航摄设计时应参考已有目标区域的 DOM、DEM、DSM 或倾斜实景三维模型等基础地理信息数据，已有基础数据不能满足贴近摄影设计需求时，可采用正射摄影或倾斜摄影方式获取测区目标的概略三维模型。

（2） 面向目标的航摄分区划分宜根据目标的几何结构和表面分布确定目标的摄影分区和航线敷设，分区规划应满足整体三维重建的摄影重建精度要求。规则目标和不规则目标的航摄分区划分应符合现行行业标准《贴近摄影测量技术规程》（T/CSGPA 021）的要求。

（3） 贴近摄影航线敷设应综合考虑拍摄距离、轨迹内重叠度、轨迹间重叠度、目标点的多视交会角度、高度、飞行速度等因素。对于环绕航线还应考虑环绕半径、环绕间距或层数、最低高度和最大高度等，具体航线敷设原则应符合现行行业标准《贴近摄影测量技术规程》（T/CSGPA 021）的要求。

（4） 单镜头摄影轨迹内重叠度不宜低于 70%，轨迹间重叠度应设计为 40%~80%，在表面朝向变化较大的目标，轨迹间重叠度宜设计为 70%~80%。航线覆盖要求应符合现行国家标准《倾斜数字航空摄影技术规程》（GB/T 39610）的要求。

3 飞行质量与影像质量检查、成果提交要求应符合现行行业标准《贴近摄影

测量技术规程》（T/CSGPA 021）的要求。

4 为提高定向精度和对测量结果进行检核，需要布设像控点。像控点布设原则和方法应符合现行国家标准《近景摄影测量规范》（GB/T 12979）的要求。

3.3.5 无人机机载激光雷达摄影应符合下列规定：

1 激光扫描仪应经过严格的检校，并应符合现行行业标准《机载激光雷达数据获取技术规范》（CH/T 8024）的相关要求；POS 系统宜采用双频或多频 GNSS 接收器，且设备相位中心需精确标定，GNSS 接收器的采样频率应不应低于 1Hz，IMU 的记录频率不应低于 100Hz；地面 GNSS 接收器应与机载 GNSS 接收机性能匹配；适配的非量测相机检定应符合现行行业标准《低空数字航空摄影规范》（CH/T 3005）的相关要求。

2 机载激光雷达摄影航摄设计应符合以下要求：

（1）航线敷设和分区划分时，应根据 IMU 误差积累的指标确定每条航线的直线飞行时间，不宜超过 25 分钟。

（2）飞行高度的确定应综合考虑点云密度和精度要求、激光有效距离及飞行安全的要求，同时应考虑激光对人眼的安全性要求。

（3）分区应基于激光有效距离及地形起伏等情况进行设计，并应考虑基站布设情况及测区跨带等因素。

（4）旁向重叠度设计时，应同时考虑机载激光雷达的数据采集宽度与影像幅面，宜设定不小于 30% 的重叠度，相邻航带间至少应有 200 米的搭接重叠，宜选在地形平坦区域。

（5）在满足成果数据的技术要求和精度要求的前提下，在同一分区内可采用仿地飞行设计。

3 基站的布设与测量工作应符合现行国家标准《IMU/GNSS 辅助航空摄影技术规范》（GB/T 27919）的相关要求，飞行作业的同时应布设不宜少于 2 个地面 GNSS 基站。

4 飞行质量与影像质量检查、成果提交要求应符合现行行业标准《机载激光雷达数据获取技术规范》（GB/T 8024）的要求。

5 应根据项目测区不同地形条件，不同地表景观、不同植被覆盖均匀布设一

定数量的检核点,每个测区不应少于1处检核点,每处样本点数量不应少于30个,小范围面状区域样本点数量可酌减。

3.3.6 无人机视频航拍应符合下列规定:

- 1 航拍相机分辨率不应低于 $1920 \times 1080\text{dpi}$, 帧率不应低于每秒 30 帧(30fps)。
- 2 视频航拍设计时, 应将设计中的线路中线作为基准线, 若存在双线并行情况, 则以左侧线路为基准; 若仅为单线设计, 则直接以该中线为参照进行规划。
- 3 视频航拍宜采用仿地飞行模式, 相对航高的计算方法可依据以下公式进行。

$$H = (Z - Z_0) + h$$

其中, Z 为航点位置地表绝对高程;

Z_0 为起飞点地表绝对高程;

h 为设计航高。

- 4 视频采集应采取分段连续拍摄的方式, 各段视频之间需留有一定的重叠部分, 重叠的距离不宜少于设计航高值的 1.5 倍。

5 增强型视频航拍可使用普通航拍类无人机, 地理型视频宜使用带网络 RTK 的航拍类无人机, 并应带有与视频流相关联的元数据文件, 以实现视频帧级别的精准定位和剪辑。

3.3.7 无人机全景航拍应符合下列规定:

- 1 全景相机传感器应不低于 2000 万像素, 宜使用焦距为 16-35mm 的广角镜头。

2 实施定点全景拍摄时, 无人机的悬停位置不应超过 120 米, 应避免正对关注目标上方, 宜选择适当偏移的位置以获得更自然的视觉效果。

3 应以坐标方位角为参照, 采用每 45° 或更小角度的固定间隔, 顺时针旋转一周进行拍摄, 确保全方位覆盖。拍摄时, 相邻照片之间应有至少 30% 的重叠区域, 同时, 俯仰角应控制在 30° 至 70° 之间, 采集至少两个不同俯仰角度的影像环, 不同俯仰角度之间的影像需保证至少 30% 的重叠度, 便于后期拼接的准确性和流畅性。

3.4 无人机摄影测量外业

3.4.1 无人机摄影测量外业包括像控点布设、像控点测量、像片调绘、基站测量、质量检查等内容。

3.4.2 在执行飞行任务时，宜采用 GNSS 辅助或 IMU/GNSS 辅助航空摄影测量技术。无人机正射摄影像控点应采用区域网格法，每个作业区域内的影像数量应控制在 2000 张以内，具体要求应符合表 3.4.2 的规定。

表 3.4.2 无人机航空摄影测图的像控点布设要求

测图比例尺	像控点间距（m）	
	航线方向	垂直航线方向
1:500	≤200	≤200
1:1000	≤800	≤300
1:2000	≤1500	≤500

3.4.3 无人机倾斜摄影像控点布设宜按区域网布设，点位应在各区域内的分布均匀。用于三维展示的倾斜摄影，应按 600 至 800 米布设一对像控点；用于铁路正向设计的倾斜摄影，应按每 300 至 400 米设置一对像控点。对于面积小于 1 平方公里的工点，为保证测量精度，每个分区内的像控点总数不宜少于 5 个。

3.4.4 地物特征稀少区域（如森林、荒漠、海滩等）或需重复监测的地点，应在航摄前布置人工靶标并精确测量其坐标，靶标可参照附录 B 样式，相关作业应符合现行行业标准《数字航空摄影测量控制测量规范》（CH/T 3006）的要求。

3.4.5 贴近摄影为提高定向精度和对测量结果进行检核，需要布设像控点。像控点布设原则和方法应符合现行国家标准《近景摄影测量规范》（GB/T 12979）的要求。

3.4.6 像控点联测应采用 GNSS 静态测量或快速静态测量技术，并符合现行行业标准《全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范》（CH/T 2009）的要求。

3.4.7 采用 IMU/GNSS 辅助航空摄影或进行机载激光雷达摄影时，应在数据获取的同时架设地面基站，该基站的控制点应被纳入整个工程项目的控制网进行统一平差处理，其平面和高程的精度需达到四等标准，宜优先利用线路工程已有的基础控制网成果。

3.4.8 机载激光雷达摄影的成果必须经过外业实测高程验证，每个测区应至少选

择 1 个检核区域，每个点的样本数量不应少于 30 个；对于面积较小的区域，样本点数量可适当减少。检核点的测量宜采用 RTK 方法开展。

3.4.9 像片调绘的工作流程和方法应符合现行国家标准《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范》（GB/T 7931）的相关技术方法和要求。

3.5 无人机数据处理

3.5.1 无人机遥感数据处理包括获取的正射摄影、倾斜摄影、机载激光雷达、视频及全景影像等原始数据的处理：

1 无人机正射摄影及倾斜摄影数据包括原始影像数据的预处理，初始影像外方位元素的解算，空中三角测量；

2 无人机机载激光雷达数据包括激光点云数据的预处理和后处理，及适配的相机原始影像数据的处理；

3 无人机视频航拍数据包括原始视频流数据解算，航迹数据解算；

4 无人机全景数据包括原始影像数据的预处理，初始影像外方位元素的解算，影像的镶嵌拼接。

3.5.2 无人机正射摄影及倾斜摄影数据处理应符合下列规定：

1 根据内业数据处理需要，在不影响地物立体观测及属性判读的情况下，需对影像进行预处理，包括格式转换，畸变差纠正，调色或匀色等增强处理。

2 当采用 IMU/GNS 辅助航空摄影测量时，按照载波相位测量差分 GNSS 定位技术，采用高精度动态数据处理软件计算影像初始外方位元素文件。

3 制作 DLG、DEM 及 DOM 时，内业加密点相对邻近野外控制点的平面位置中误差、高程中误差不应大于表 3.5.2 的规定；成果仅用于 DOM 时，高程精度可适当放宽。

表 3.5.2 内业加密点平面和高程中误差（m）

地形图比例尺	地形等级	平面中误差	高程中误差
1:500	I	≤0.46	≤0.17
	II	≤0.46	≤0.33

	III	≤ 0.55	≤ 0.50
	IV	≤ 0.55	≤ 0.67
1:1000	I	≤ 0.91	≤ 0.33
	II	≤ 0.91	≤ 0.50
	III	≤ 1.10	≤ 0.70
	IV	≤ 1.10	≤ 1.00
1:2000	I	≤ 1.40	≤ 0.50
	II	≤ 1.40	≤ 0.80
	III	≤ 1.70	≤ 1.20
	IV	≤ 1.70	≤ 1.20

3.5.3 无人机机载激光雷达数据处理应符合下列规定：

1 机载激光雷达数据预处理前应准备和检查相关资料,包括点云原始数据和航飞日志文件、航迹线文件、地面检查点文件、地面基站观测记录文件、地面基站观测成果文件、机载激光雷达设备配置文件等。

2 IMU/GNSS 联合数据解算处理包括 GNSS 差分解算和 GNSS/IMU 联合平差计算；解算过程中应选取最近地面基准站的数据，联合平差精度不应大于表 3.5.3-1 的规定。

表 3.5.3 – 1 GNSS/IMU 联合平差精度要求

指标	限差
平面中误差	0.05m
高程中误差	0.08m
侧滚角中误差	18"
俯仰角中误差	18"
航偏角中误差	90"

3 检校场相邻航线接边处点云平面和高程接边较差应符合表 3.5.3-2 的规定。

表 3.5.3 – 2 检校场相邻航线点云接边较差

平面较差(m)	高程较差(m)
---------	---------

≤ 0.15	≤ 0.10
-------------	-------------

4 不同航线间点云数据拼接时,同名点的平面位置较差和高程较差应符合表 3.5.3-3 的规定。

表 3.5.3 - 3 不同航线间点云接边较差

平面较差	高程较差
$\leq 1/2$ 平均点间距	$\leq 1/2$ 高程中误差

5 机载激光雷达点云数据应进行平面坐标和高程转换,宜采用摄区四角附近的(不少于 4 个)同时具有 WGS84 框架坐标系以及用户选定坐标系两套成果的控制点或者采用已知坐标转换参数进行坐标转换计算;摄区坐标转换参数或两套成果的控制点在使用前必须经过严密检核。转换后点云平面中误差应小于成图比例尺上的 0.1mm,高程中误差应小于表 3.5.3-4 规定的 0.75 倍。

表 3.5.3 - 4 激光雷达测量高程中误差 (m)

地形等级 \ 比例尺	1:500	1:1000	1:2000
I	≤ 0.15	≤ 0.20	≤ 0.30
II	≤ 0.30	≤ 0.40	≤ 0.40
III	≤ 0.40	≤ 0.60	≤ 1.20
IV	≤ 0.60	≤ 1.20	≤ 1.20

注:隐蔽或困难地区,可放宽至 50%

6 检校计算完成后输出的原始点云文件数据格式宜为激光点云通用格式 LAS1.2,并应根据数据后处理软件及计算机硬件性能对点云数据进行分块划分。

7 点云数据分类应采用计算机自动分类和人工辅助分类相结合的方式。

3.5.4 无人机视频航拍数据处理应符合下列规定:

1 多架次视频数据拼接处理应对重复区域进行裁切,确保拼接位置满足视频过渡的平顺性要求,避免观测位置和视场角度的急剧变化。

2 为提升视频成果质量,视频数据应进行稳定处理、去雾、图像均衡化等预处理操作。

3 宜对视频进行地理时空信息化处理,包括拍摄时刻、空间地理三维坐标、航向角、俯仰角、侧滚角等信息的标注。

4 无人机视频应根据应用需求进行成果编码与压缩。对于无特殊要求的成果，宜采用 1920×1080 分辨率，帧速率不低于 30 帧/秒，码率控制在 8000~10000 kbps，推荐使用 H264 编码并以 MP4 格式存储。

5 巡检视频应添加线路、里程标和文字注记等信息，或者通过地理信息化编码方式建立视频与铁路中线、里程空间位置的对应关系。

6 巡检视频用于网络流媒体应用时，宜采用视频切片格式进行存储和发布，以提高传输效率和用户体验。

3.5.5 无人机全景数据处理应符合下列规定：

1 应采用调色工具统一对原始影像进行处理，确保亮度、饱和度和色差的一致性。

2 对多角度拍摄的单片进行拼接处理时，宜采用正轴等角圆柱投影方式进行投影，形成单张全景影像。

3 全景影像的 EXIF 信息中应存储数据获取时的空间位置信息。

4 拼接处理后，若存在瑕疵、杂物，或天空缺失部分，应采用相近色调的文件进行修补，以保证全景影像的完整性和美观性。

3.6 地理信息数字成果生产

3.6.1 基于无人机航摄原始资料、外业像控成果、基础调绘成果等基础资料，可进行 DLG、DOM、DEM、横断面、倾斜实景三维模型、视频、全景影像等基础地理信息成果的生产制作，满足专业应用需求。

3.6.2 DLG 可采用立体测图、真实感大场景测图、裸眼 3D 测图、激光点云与数字正射影像融合测图等方法实现。

1 立体测图宜使用自动切换像对的全数字摄影测量工作站或一体化的真实感大场景模型完成，应采用经空中三角测量恢复绝对定向后的模型进行立体数据采集。

2 裸眼 3D 测图宜采集房屋和街区轮廓等线划地物，应基于实景三维 Mesh 模型采用五点法、面面相交等方式切准房角或轮廓拐角后打点连线采集外围轮廓。

3 激光点云与 DOM 融合测图法的等高线及高程点宜采用经自动和人工分

类后提取的地面点云自动生成，地物等线划要素宜使用经平面和高程纠正重采样的 DOM 数据采集。

4 地形地貌、地物等采集要求及地物符号库、线型库等图式符号应符合现行企业标准《数字航空摄影测量 测图规范 第 1 部分： 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图》（CH/T 3007.1）的规定要求。

5 成果检查的内容应包括平面高程坐标系统、平面和高程精度、数据格式和数据组织，各要素符号、线划的规格，文字注记，接边关系，文件内容等。

6 成果资料应包括数字线划地形图、图历簿、图幅设计资料 and 检查记录等。

3.6.3 横断面宜采用立体测图、真实感大场景测图、裸眼 3D 测图、激光点云与数字正射影像融合测图等方法实现，困难地区应采用实测法（GNSS RTK 法、光电测距法）作为辅助补充。

1 采用正射摄影方法制作断面时无人机影像地面分辨率宜优于 5cm；采用激光点云与 DOM 融合测图时点云密度宜优于 9 个点/平方米。

2 利用机载激光点云、DOM、倾斜实景三维模型等多源数据采集断面时，宜采用自动提取断面高程值的方式，地形高差 ≥ 0.2 米时自动提取变坡点，并在断面线与地物变化的边界线交点处添加地物类别信息。

3 横断面采集前，应确定中线里程相对应的横断面位置。断面应沿同一方向地形变化点，断面点距离限差为 $\pm 0.3\text{m}$ ，高差限差为 $\pm 0.35\text{m}$ 。

4 利用立体法采集的横断面应在控制点的控制范围之内，一个完整的横断面宜在同一立体像对上完成采集。遇有阴影、遮挡、落水等处，应外业实测辅助。

5 利用机载激光点云进行断面制作时可根据断面位置在点云自动分类的基础上手工精细化分类完成，制作三维地形使用的 DEM 的格网尺寸应优于 0.5m。

6 采用机载激光点云精细分类获取地面点和立体影像测图的方式采集特征线时应合并地面点和特征线，有中桩高程时应一并纳入构建 DEM，其范围应大于横断面的测绘范围。

7 采用航测立体采集横断面完成后应提交模型绝对定向精度报告、断面的 ASCII 数据文件或图形文件。

3.6.4 DEM 生产应采用机载激光雷达测量法或数字航空摄影测量方法生产，并符

合以下规定：

1 DEM 宜用地面规则格网点或不规则三角网点数据，地面特征的关键部位应辅以特征点数据。

2 DEM 数据的格网间距应符合表 3.6.4-1 的规定。

表 3.6.4 - 1 数字高程模型的点云规格与格网尺寸

比例尺	点云类		格网类
	点云密度（点/m ² ）	平均点间距（m）	格网尺寸（m）
1:500	≥9	≤0.35	0.5,0.5
1:1 000	≥4	≤0.5	1,1
1:2 000	≥1	≤1	2,2

3 DEM 格网点高程中误差不应大于表 3.6.4 – 2 的规定。DEM 内插点的高程精度为格网点高程中误差的 1.2 倍，森林等隐蔽地区的高程精度为格网点高程中误差的 1.5 倍。1:500、1:1000、1:2000DEM 的高程值应取位至 0.01m。

表 3.6.4 – 2 DEM 格网点的高程中误差（m）

比例尺 \ 地形等级	I（平地）	II（丘陵地）	III（山地）	IV（高山地）
1:500	0.37	0.75	1.05	1.50
1:1000	0.37	1.05	1.50	3.00
1:2000	0.75	1.05	2.25	3.00

4 DEM 特征数据应在立体模型下采集，测标应精确切准地面，除地形特征线外，还需要量测水涯线、森林区域边界线等与高程有关的要素，技术要求和工作方法应符合现行行业标准《数字航空摄影测量 测图规范 第 1 部分：1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图》（CH/T 3007.1）的相关要求。

5 DSM 的生产方法和要求应符合现行行业标准《数字表面模型航空摄影测量生产技术规程》（CH/T 3012）的相关要求。

3.6.5 DOM/TDOM 生产应采用数字航空摄影测量方法生产，并符合以下规定：

1 DOM/TDOM 数据应包括影像数据、地理定位信息和元数据。并可根据需要叠加地名、高程注记及专业设计要素等相关信息，DOM/TDOM 用于实景三维

网格模型、铁路工程地理实景构建时，不宜含图廓数据。

2 TDOM 应根据项目需求在消除原始影像遮蔽信息的前提下，基于高精度的 DSM 进行影像数字微分纠正，把影像中每一点投影方式从中心投影改正为正射投影。

3 DOM/TDOM 数据地面分辨率不应低于表 3.6.5-1 的规定。

表 3.6.5-1 DOM/TDOM 数据的地面分辨率

比例尺	地面分辨率（m）
1:500	0.05
1:1000	0.10
1:2000	0.20

4 DOM/TDOM 地物点在影像图上的点位中误差应符合表 3.6.5-2 的规定。

表 3.6.5-2 地物点点位中误差（图上 mm）

比例尺	点位中误差
1:500、1:1 000	≤1.6
1:2 000	I、II级地形≤1.0； III、IV级地形≤1.2；困难时≤1.6

5 DOM/TDOM 应纹理清晰、反差适中、色调均匀，不应有明显的匀色处理痕迹；影像无模糊、错位、扭曲、拉花等现象。

3.6.6 倾斜实景三维模型生产应采用数字摄影测量方法生产，并符合以下规定：

1 应在完成空中三角测量所生成的密集点云基础上，设定三维建模参数，涵盖三维建模的坐标基准、建模范围以及瓦片划分规则等内容。

2 同一测区内的不同分区应确保瓦片划分的切片原始坐标、瓦片大小等参数统一。切片原始坐标应选定项目在投影坐标系下的外接矩形向外扩展后的左下角位置，且单个瓦片的存储大小不得超过处理器内存的一半。

3 由三维建模生成的地表几何模型，在最大程度保留细小物体三维结构的同时，应保证建筑物等物体表面平整光滑，边缘清晰平直。

4 针对大面积水域等区域，应导入水域范围矢量文件以进行约束建模；对于模型纹理与实际地物不相符的区域，需进行人工编辑处理；对于近地面建筑物底商等遮挡严重、模糊的区域，应采用地面补拍作业，与空中影像进行融合建模。

5 三维建模完成后，应统一成果的产品格式、空间基准、坐标原点等参数。

3.6.7 视频航拍制作应并符合以下规定：

1 无人机视频成果包括增强型视频成果和地理型视频成果。

2 增强型视频成果应增加线位、里程标和工点名称等标注，根据成果需要可增加用地界、保护界线等标注，并符合以下要求：

(1) 里程标应以百米标或公里标等间隔标注，应包括起始里程和终止里程。

(2) 工点名称应为重要工点、站点或其他关键位置的名称。

(3) 各类不同类型标注应以不同颜色及大小区分，铁路工程线路中线宜以红色标注，隧道等地下工程应以虚线表示。

(4) 叠加要素应用视频运动追踪技术与原始视频无缝衔接，避免剧烈抖动。

3 地理型视频成果应包含原始视频流的元数据信息，应包括对应帧影像的 Unix 的时间戳、位置、传感器姿态等信息，并符合以下要求：

(1) 地理型视频应带有与视频流相关联的元数据文件，用于计算视频传感器的飞行路径、视频图像帧中心以及地图上视频帧轮廓线的四个角，其基本元数据字段应包括以下内容：精确时间戳，传感器经纬度、椭球体高度或真实高度，平台航向角、仰俯角、滚动角，传感器相对滚动角、相对高程角、相对方位角、水平视域、垂直视域等。

(2) 视频轮廓线和帧中心的精度取决于所提供的 DEM 数据源的精度，为实现地理型视频的增强应用，宜使用所在区域高精度的 DEM 成果或免费开源的 DEM 图层，如 12.5 米的 SRTMDem 数据。

(3) 地理型视频增强应用宜采用视频地图投影方式实现与铁路专题矢量信息间的叠加显示。

4 视频成果分辨率宜达到 1920×1080P 以上或更高。

5 视频成果应规范命名，应至少包含工程名称、链段名称、起始里程、终止里程和分辨率等信息。

3.6.8 全景影像制作应并符合以下规定：

1 全景影像成果应采用工点名称、里程信息和获取时间的方式进行命名。

2 成果的存储应宜采用 JPG、PNG、TIFF 格式进行存储，像幅大小不应低

于 3 亿像素、分辨率不低于 300dpi。

3 全景影像宜采用与地理信息场景结合的发布方式,相关影像图标应嵌入地理信息场景。

4 全景影像成果宜采用 Web、移动手机端、小程序等方式进行可视化应用。

4 勘察设计

4.1 一般规定

4.1.1 在铁路工程勘察设计阶段，无人机技术可用于线路走廊调查、地形测量、线路交叉测量、地质遥感调查、征拆调查取证、环境影响评价以及线路设计方案展示等。

4.1.3 无人机平台的选择应依据勘测成果的需求，综合考虑调查区域范围、自然环境以及成果表现形式，选择适宜的无人机平台及传感器类型。

4.1.4 根据专业调查的具体要求，应灵活运用单一或组合多种传感器进行数据采集。基础数据获取可采用正射摄影、机载激光雷达、倾斜摄影等多种技术；而辅助调查可采用视频航拍、热红外成像以及多光谱相机等方式。通过多维度、多层次的数据采集，满足不同专业调查的深度需求，提升勘察设计的科学性和精准度。

4.2 线路走廊调查

4.2.1 为全面掌握线路全貌，宜优先采用无人机视频航拍技术进行线路沿线的概览调查，针对桥梁、站场、隧道进出口等关键工点或特殊区域，可利用全景影像、DOM 或倾斜实景三维成果。

4.2.2 无人机线路走廊调查范围应包括以下内容：

- 1 无人机视频航拍应能覆盖线路的永久用地范围及临时用地边界。
- 2 无人机全景影像应能覆盖隧道进出口、车站等重点工点的全貌；路基、桥梁等长线性区间，应能覆盖工程本体。
- 3 核心工点区域，DOM 和倾斜实景三维模型范围应能覆盖工程本体，外扩不应少于 200 米范围。

4.2.3 无人机线路走廊调查相关技术要求如下：

- 1 无人机视频航拍作业时，镜头俯仰角设置在 25° 至 40° 之间，远景视角天际线需在画面上方 1/4 区域。
- 2 应用无人机全景影像技术时，对于隧道进出口、车站等重点工点，应至少从三个不同角度采集全景数据，以立体展示工点全貌；针对路基、桥梁等长线性

区间，应在线路一侧设定固定间隔进行全景数据的采集，确保相邻影像在路线方向上的投影长度至少有 30% 的重叠。

3 针对核心工点区域，DOM 或倾斜实景三维模型影像的地面分辨率宜优于 10 厘米。宜优先选择集成网络 RTK 功能的无人机进行数据采集，对不具备网络 RTK 条件的点状工点，宜采用区域格网法应至少布设 5 个像控点，确保数据的精确定位与测量质量。

4.3 线路地形测量

4.3.1 无人机技术应用于线路地形测量适用于线路里程小于 100 公里，成图宽度小于 2 公里的中大比例尺地形测量工作。

4.3.2 线路地形测量数据获取方式可使用正射摄影，机载激光雷达或倾斜摄影方式。

4.3.3 预可研阶段线路地形测量成果宜以 1:2000 比例尺为主，可研阶段后桥梁、站场、隧道和大临工点宜以 1:1000 或 1:500 比例尺为主，横断面绘图比例尺宜为 1:200-1:500。影像地面分辨率指标应符合本规程第 3.1.6 章节的有关规定，点云密度指标应符合本规程第 3.1.7 章节的有关规定。

4.3.4 DLG、DOM 及断面制作参照本规程第 3.6 章节的相关规定执行。

4.4 电力线、道路交叉测量

4.4.1 线路交叉测量测图比例尺宜以 1:1000 比例尺为宜。

4.4.2 道路交叉测量可使用无人机正射摄影方式，并符合以下要求：

- 1 数据获取范围应包括线路跨越道路中线两侧的 200 米范围内。
- 2 影像地面分辨率宜优于 10cm。

3 DLG 成果中应标明线路与铁路、公路中心的交叉角及路基宽度，交叉处的路堤、路堑的高度和铁路轨顶标高，标注交叉点到既有铁路、公路最近里程桩的距离。

4.4.3 当线路跨越已有电力线路时，宜采用机载激光雷达方式开展电力线、线杆等细小要素的获取，并符合以下要求：

- 1 线杆点云密度宜优于 40 个点/平方米。
- 2 电力线点云密度宜优于 12 点/平方米。
- 3 基于激光点云数据,除测量线路与既有电力线路的交叉角和交叉点的地面高程外,还应测量交叉点到已有电力线两边塔杆的距离,及中线交叉点与已有电力线的最高线或最低线的悬高,并绘制断面图。

4.5 地质遥感调查

4.5.1 无人机地质遥感调查宜在卫星遥感宏观调查分析的基础上,开展局部精细化地质遥感调查,指导局部重难点段落地质选线。可采用无人机正射摄影、倾斜摄影、机载激光雷达等航测方式制作 DOM、DEM、倾斜实景三维模型、真实感场景模型等基础地理信息成果,外业核查可采用无人机航拍照片、视频航拍、全景影像等辅助调查。

4.5.2 无人机地质遥感调查范围应根据专业所提范围外扩不少于 100 米。

4.5.3 无人机地质遥感调查相关技术要求如下:

- 1 用于地层、构造、不良地质、水文地质要素的解译识别,无人机正射摄影制作 DOM 及真实感场景模型影像地面分辨率宜优于 20cm,综合解译成果宜基于 DOM 附加解译要素综合成图,比例尺宜为 1:500~1:2000。

- 2 高植被覆盖区隐伏滑坡、岩堆、危岩体等不良地质的解译识别,宜采用分类后的无人机机载激光雷达点云数据制作 DEM 成果,激光雷达点云密度宜高于 9 个点/平方米。

- 3 滑坡、危岩落石、不稳定边坡、泥石流等不良地质的解译识别及基岩裸露结构面产状信息的提取,宜采用无人机倾斜摄影方式,影像地面分辨率宜优于 10cm。针对高陡边坡等影响线路方案走形的重点区域,可采用贴近摄影方式构建高精度的实景模型进行稳定性评价分析,影像地面分辨率宜优于 2cm。

- 4 基岩裸露地区地层岩性的识别可采用无人机高光谱摄影方式,高光谱相机光谱范围应覆盖全波段区域(400-2500 纳米),影像地面分辨率宜优于 20cm。

- 5 外业核查宜采用地理型无人机视频航拍方式,航拍照片时需根据地质体特征从不同视角、不同高度进行拍摄,航线敷设宜沿线路方向连续拍摄,并基于航

拍视频添加各类地质调查矢量要素。

4.6 征拆调查及取证

4.6.1 线路征拆调查及取证宜在线路定线后实施，依据相关专业要求，针对铁路本体工程、隧道洞口、浅埋隧道顶部、隧道辅助坑道、环保设施、四电所亭、取弃土场、改路、改河、施工便道等大型临时工程涉及到的房屋、企（事）业单位、其他建（构）筑、特殊设施及树木等开展征拆调查。可综合运用无人机航拍和倾斜实景三维建模的方式，进行全面的定性及定量调查。

4.6.2 无人机视频航拍宜沿线路中线进行航拍，区间范围需包含路基、桥梁、隧道进出口等用地范围并适当放宽，车站范围应在用地范围的基础上适当加大范围。无人机视频航拍相关技术要求如下：

- 1 全景：应包括项目范围内地形地貌、平视和俯瞰角度的周边道路，拆迁建筑物等；
- 2 近景：应能分清该拆迁宗地界址，能分辨地上附着物的主要特征；
- 3 特写：应对涉及到的房屋及构筑物以户为单位进行拍摄，航拍视频应能反映院落外全景，院落内房屋整体、单独构筑物及房屋装修情况，对于涉密的军事设施严禁拍摄。
- 4 航拍视频宜以增强型视频成果制作，应按照线路里程进行整理，并标明隧道进出口、桥梁分界点、用地图、环保拆迁辅助线等信息，文件分段不宜设置于重点工点段落；航拍照片应以线路中线里程命名，并与航拍视频文件相对应。

4.6.3 用于征拆调查的无人机正射摄影相关技术要求如下：

- 1 范围应覆盖线路用地范围，并外扩不少于 50 米。
- 2 无人机正射摄影影像地面分辨率宜优于 10cm。
- 3 应使用获取的影像成果制作以 DOM 为基础的征拆调查专题图，专题图应叠加线路中线、地界及保护区范围等矢量要素，征拆调查图应详细标明每户房屋范围、企业边界范围、树木片区范围并根据征拆调查表进行编号。
- 4 征拆调查宜能反映定测阶段征拆调查现状，并根据需要宜开展不少于两次的获取，对比分析，为加盖、抢盖举证提供依据参考。

4.6.4 用于征拆调查的无人机倾斜摄影相关技术要求如下：

- 1 范围应覆盖线路工程本体、大临设施等涉及征拆的密集构筑物区域。
- 2 无人机倾斜摄影影像地面分辨率宜优于 5cm。

4.6.5 应以工程项目为单位构建实景征拆信息管理平台，宜以获取的无人机影像制作的 DOM 及倾斜实景三维模型为数据底座，叠加线路中线、用地范围线等矢量要素，满足各设计专业定性及定量分析需求。

4.7 环境影响评价调查

4.7.1 用于环境影响评价生物多样性调查时可采用无人机多光谱摄影或无人机机载激光雷达方式；用于环境敏感区评价时可采用无人机正射摄影或无人机机载激光雷达方式。

4.7.2 用于环境影响评价调查的相关技术要求如下：

- 1 无人机多光谱相机光谱范围应至少覆盖可见光至近红外区域（400-900 纳米），影像分辨宜优于 1 米，对于特定敏感区域影像地面分辨率需优于 20cm；
- 2 无人机机载激光点云用于生物多样性生境结构调查时，点云密度宜优于 16 个点/平方米为宜；
- 3 无人机正射摄影用于环境敏感区或敏感点获取时影像地面分辨率宜优于 10cm，辅助开展弃土场设计和噪声预测时，无人机机载激光雷达点云密度宜优于 4 个点/平方米。
- 4 无人机地理型航拍视频可用于辅助建立取弃土渣场、预制场、开挖面等施工作业区的数字化用地台账和环水保措施实施台账。

4.8 线路方案展示

4.8.1 线路工程线路方案展示应按预可研和可研阶段的应用需求分层级制作，根据表达范围、表达内容和精细程度可使用无人机视频航拍、无人机正射摄影或无人机倾斜摄影方式制作工程级或工点级地理实景用于线路方案展示。

4.8.2 地理实景范围应覆盖线路永久和临时用地界范围，隧道进出口、站场等工程重要工点目标。

4.8.3 用于线路方案展示的无人机航摄相关技术要求如下：

1 无人机视频航拍应沿线路中线飞行，飞行高度不宜高于 150 米，站场等特殊工点不宜高于 300 米，拍摄角度宜为 25° - 40° ，中视区正线两侧范围不小于 150 米，以覆盖线路永久和临时用地界范围为宜。

2 无人机全景影像或倾斜摄影可用于隧道进出口、站场等工程重要工点目标的数据获取。

3 无人机正射摄影用于工程级地理实景获取时影像地面分辨率宜优于 20cm，用于工点级地理实景获取时影像地面分辨率宜优于 10cm。

4 无人机倾斜摄影用于工点级地理实景获取时影像地面分辨率宜优于 5cm。

4.8.4 用于线路方案展示地理实景成果制作相关技术要求如下：

1 工程级地理实景展示可用无人机视频成果、全景影像与线路中线、里程、红线范围及影响方案设计的地质、生态保护区等辅助矢量要素组装融合，或无人机正射摄影制作的 1:2000 比例尺 DEM/DSM 和 DOM/TDOM 与铁路工程实体模型进行地理实景的组装融合，BIM 模型应以各专业设计简化模型为主。

2 工点级地理实景展示可用无人机正射摄影制作的 1:1000 比例尺 DEM/DSM 和 DOM/TDOM、1:500 比例尺工点倾斜实景三维模型与铁路工程实体模型进行地理实景的组装融合，BIM 模型应以各专业设计精细模型为主。

5 工程施工

5.1 一般规定

5.1.1 在铁路工程施工建设阶段，应结合设计资料、现场调查资料以及周边环境信息等，综合运用无人机新技术、新方法开展地形测量、施工进度监测、质量检查等工作。

5.1.2 铁路工程施工建设阶段可采用无人机技术进行项目策划调查、大临设施规划、便线比选、施工方案模拟、工程量辅助计算、辅助竣工验收等工作。

5.1.3 应根据铁路工程施工过程中的应用需求综合选取无人机航拍、正射摄影、机载激光雷达、倾斜摄影等方式开展数据获取及成果制作。涉及到巡查、巡检等多频次的应用需求应按照铁路建设单位、监理单位的要求执行。

5.1.4 应综合利用无人机航摄获取的多源异构数据构建工程级或工点级地理场景，满足施工建设三维可视化动态信息化管理应用需求，提升过程动态管理与信息化水平。

5.2 项目策划现状调查

5.2.1 项目策划现状调查宜以无人机视频航拍及航摄结合的方式开展，作为指导房屋综合调查、水系调查和道路调查等施工策划的基础资料。

1 项目上场策划现状调查宜在施工建设进场后及时进行。

2 现状调查范围应涵盖施工状态的正线（隧道洞身除外）、取弃土场和拌合站、梁场、铺轨基地等大临设施，并涵盖环水保护区。

5.2.2 正线及大临设施现状调查宜采用无人机正射摄影方式，影像应覆盖用地界范围，影像地面分辨率宜优于 10cm，成果精度满足 1:1000 比例尺要求，并宜与设计阶段征拆调查图对比分析，分析加盖、抢盖等违建情况，评估征拆成本。

5.2.3 对于涉水工程施工、工程污水排放等对生态保护区、水体保持区等对周围水体影像的施工段落宜采用无人机增强型视频航拍和多光谱正射摄影方式开展，数据获取应能有效覆盖线路本体工程所涉及的保护区范围，数据空间分辨率应优于 10cm，若存在水质异常的区域，无人机的覆盖范围应进行扩大，并确定影响范

围和清污分散面。

5.3 临建规划、便线比选

5.3.1 临建规划及便道比选宜采用无人机增强型视频航拍或航摄方式开展数据获取，成果应能反映大临设施的建设、运行和环水保等周边环境情况。

5.3.2 临时设施、取弃土场选址布设时，宜采用无人机正射摄影或倾斜摄影方式，地面分辨率宜优于 5cm，精度满足 1:500 比例尺要求。

5.3.3 便道的选址应与地形附和，对于山区便道建设，宜采用无人机倾斜摄影方式作为边坡稳定性评价的基础资料，影像地面分辨率宜优于 5cm。

5.3.4 对住宅区、苗木地和耕地等居民生活密集区有影响时，宜使用无人机正射摄影制作 DOM 成果，影像地面分辨率宜优于 5cm。

5.3.5 便道土石方计算可采用无人机机载激光雷达方式制作 DEM 成果，点云密度满足 9 个点/平方米，精度满足 1:500 比例尺要求。

5.4 施工方案模拟论证

5.4.1 在施工方案模拟时，可利用无人机正射摄影方式制作工点级铁路工程地理实景数据。

5.4.2 铁路工程正线本体宜以 DEM/DSM 和 DOM/TDOM 为基底数据，无人机正射摄影影像地面分辨率宜优于 10cm，站场、桥梁、隧道进出口等重要工点区域宜以无人机倾斜摄影方式获取，影像地面分辨率宜优于 5cm，BIM 模型应以各专业设计精细模型为主。

5.4.3 施工方案模拟工点级地理实景的组装融合应符合下列要求：

1 对需要表现工点地区细节特征的情况，应利用特征点、特征线等数据进行场景模型细化。

2 工点级地理实景应完整覆盖整个工点完整的建模区域，对地表的空洞区域进行修补。

3 铁路工程实体模型单体化模型定位应符合下列规定：

1) 铁路工程要素模型应与地形图或航测立体模型、DOM/TDOM、倾斜实

景三维模型上获取的平面位置保持一致。

2) 建筑模型应与地形图或航测立体模型、DOM/TDOM、倾斜实景三维模型上采集的基底轮廓线保持一致。

3) 地上管线模型应与地形图转换或航测立体模型、DOM/TDOM、倾斜实景三维模型上采集的特征点连线位置及走向保持一致。

4) 其他模型应与地形图或航测立体模型、DOM/TDOM、倾斜实景三维模型上获取的平面位置保持一致。公路等两旁种植的行道树、公园绿地种植的景观植物等独立的植被模型应根据实际情况，合理设置摆放位置及间距，不应与周围建模物体相互穿插。

4 工点级地理实景应与铁路工程要素模型、建筑模型、地上管线模型及其他模型底部无缝衔接，纹理平滑过渡，场景协调一致。

5.5 工程量辅助计算

5.5.1 工程量辅助计算宜采用无人机增强型视频航拍、机载激光雷达及倾斜摄影方式开展。

5.5.2 工程项目土方开发量计算可基于 DEM、横断面成果估算，宜采用分类后激光点云数据进行成果制作，无人机机载激光点云密度宜优于 9 个点/平方米。

5.5.3 针对桥梁、站场等明线工程施工进展评估，可采用基于精细 BIM 工程模型的工点级地理场景，以无人机机载激光雷达或倾斜摄影方式获取当前工程施工现状，对比分析工程施工进度，并符合以下要求：

1 无人机机载激光雷达点云密度宜优于 1000 个点/平方米，影像地面分辨率宜优于 2cm；

2 桥梁、站场等高大构筑物，航线宜以交叉飞行或贴近摄影方式，避免航摄漏洞；

3 监测频率可根据施工进度评估要求以月或季度开展。

5.5.4 施工概况进度计算宜采用无人机增强型视频航拍方式，应根据项目的阶段和进展速度综合确定频次、范围。

1 设备进场前应全线开展一次，工程施工期间应不低于 1 次/季度。

2 建设期的数据获取应涵盖主体工程施工范围、取弃土场和拌合站等大临设施，无地面工程的隧道洞身可不获取数据。

3 正线宜采用无人机视频巡检的方式开展，应覆盖用地界范围；

4 拌合站、梁场等大临设施宜采用多角度照片或全景方式进行数据获取，应能全面反映大临设施的建设、运行和环水保情况。

5 取、弃土场应采用 DOM 成果，无人机正射摄影影像地面分辨率宜优于 10cm。

6 对于站场等特殊工点的工程建设安全巡查，宜采用无人机定点影像抓拍或无人机自主机巢巡检方式。

5.6 辅助竣工验收

5.6.1 竣工验收宜用无人机视频航拍或航摄技术辅助进行表观静态验收，应根据铁路工程施工完成进度及时开展，并根据验收需要适时开展整改对比检查工作：

1 在工程施工完成后及时开展一次，在联调联试前再次开展一次，频次宜不少于两次，并根据工程整改需要增加部分段落的施工现状调查频次。

2 辅助施工验收应涵盖线路用地范围、主体工程施工范围等，内容包括线路、轨道、路基、站场、桥梁等专业验收需求，检测要求应符合现行企业标准《高速铁路工程静态验收技术规范》（TB 10760）、《市域（郊）铁路静态和动态验收技术规范（试行）》（TB 10462）等规范的技术要求，不满足表观验收应用需求的应以现场验收为准。

5.7.2 辅助施工验收宜根据不同专业的验收需求采用以下作业方式开展：

1 线路正线宜采用无人机正射摄影方式开展，影像地面分辨率宜优于 5cm，成果宜以 DOM 为主，范围宜应覆盖线路左右侧 1000 米；对于电力线、电源线等附属设施未与正线并行且超出覆盖范围的，宜以设施延展中线开展数据获取，范围宜应覆盖延展中线左右两侧 500 米。

2 轨道、路基、站场、隧道进出口、桥面及附属设施等竣工验收宜采用无人机地理型视频航拍与倾斜摄影方式开展数据获取，影像地面分辨率宜优于 3cm，范围宜覆盖铁路线路主体区域。桥梁下视盲区宜以贴近摄影方式开展，影像地面

分辨率宜优于 2cm。

3 生态保护和水土保持项目宜采用无人机正射摄影制作 DOM 成果，影像地面分辨率宜优于 20cm，范围宜覆盖铁路用地界两侧各 100m。其中声屏障和隔声窗等噪声治理环保设施检测宜采用多角度航拍影像开展，具体的数据获取范围应满足覆盖其安装里程段落和区域。

6 运营维护

6.1 一般规定

6.1.1 在既有铁路工程运营维护阶段，应结合工务台账、现场调查资料、既有数据资料以及周边环境信息，综合运用卫星遥感、常规航空摄影、GNSS 测量及自动化监测等天空地一体化技术开展铁路运营维护工作。

6.1.2 在既有铁路运维阶段，可采用无人机技术进行既有铁路测量、基础设施巡检、铁路外部环境隐患排查、地质灾害监测、应急测绘保障等工作。

6.1.3 应根据铁路运维阶段的应用需求，综合选取无人机航拍、正射摄影、机载激光雷达、倾斜摄影等方式开展数据获取及成果制作。涉及到巡查、巡检等多频次的应用需求应按照运维要求执行。

6.1.4 各类无人机运维应用，除特殊要求外，均不得在运营铁路正上方作业，且须在作业前进行公安报备。宜在无列车通过或天窗时间开展作业，作业前应征得铁路工务部门和公安部门许可后方可开展作业。

6.2 既有线测量

6.2.1 无人机既有线测量应符合下列规定：

1 无人机既有线测量适用于既有线路对空无遮挡区域的地形测量、中线测量、断面测量、控制因素测量和专业调查测量等。

2 无人机既有线测量可采用机载激光雷达或倾斜摄影、贴近摄影方式进行数据获取，综合利用三维激光点云数据、倾斜实景三维模型、立体像对模型、正射影像等成果进行铁路要素提取；

3 无人机既有线测量的具体手段可依据测区植被发育程度、交通便利程度、复测内容及要求等进行综合选择；

6.2.2 既有线无人机测量作业前，应沿既有铁路布设控制靶标点，靶标点应符合以下要求：

1 靶标采用预制黑白棋盘格形式，靶标尺寸不小于 50cm×50cm，见附录 B 图 B 样式。

2 线路区间内靶标控制点应沿线路中线交叉布设,相邻靶标控制点沿线路纵向间隔不宜大于 200m,距离线路中线横向偏距不宜大于 50m,宜布设于防护栅栏外侧。

3 靶标控制点应使用同一规格的带盖水准点标志,布设在地面相对平整的硬质路面,且地面能够容下 50cm×50cm 正方形靶标板。

4 靶标控制点板面中心圆孔直径与靶标板厚度,应根据埋设靶标控制点的顶部圆球半径和高度标志定制,使靶标板嵌入水准点顶部圆球后,靶标板顶面与水准点顶部平齐。

5 靶标板铺设时应保证正方形其中 1 条对角线与线路中线垂直,同时采用植筋胶固定,避免靶标板活动。

6 无人机航飞前,应再次确认靶标板情况,保证靶标板铺设平整、表面干燥、无灰尘。

7 靶标控制点平面和高程共桩时,与基础控制平面坐标系统和高程系统应保持一致。靶标点平面测量应联测不少于 4 个基础平面控制点,困难条件下联测点数应不少于 3 个,靶标点高程测量应联测不少于 3 个基础高程控制点。

6.2.3 既有铁路测量采用无人机机载激光雷达非接触测量方式除需满足常规机载雷达地形测量指标要求外,还需符合以下要求:

1 无人机机载激光雷达扫描宜采用平行线扫描方式,激光发射频率不小于 150 万点每秒。IMU 数据更新频率应大于 100Hz,后处理俯仰及横滚角度精度优于 0.005°,航向角度精度优于 0.010°。

2 无人机机载激光雷达航线宜设计为沿运营铁路用地界外两侧的往返航线且有效点云数据能覆盖靶标点,长直航线不宜大于 1500m,飞行相对航高不宜高于 120m,飞行速度不宜大于 6m/s;对于铁路曲线地段不宜使用协调转弯方式,如有必要进出测区时需进行“8 字飞行”。

3 基站宜架设在已有基础控制网平高点上,基站数量应不少于 2 个,控制半径不宜超过 5 公里,基站宜处于测区中心位置。

4 无人机航飞作业前 15 分钟基站开机,无人机安全落地后延后 15 分钟关机。

5 POS 轨迹解算应采用地面 GNSS 基准站数据联合激光扫描载体的 GNSS 观测数据、IMU 数据进行紧耦合双向融合解算。结合靶标在强度图中的显示情况通过多次直线交会拟合出相应的靶标中心点，对每个航带的点云数据进行精度优化，纠正后靶标点的平面和高程偏差不大于 2cm，点密度不宜少于 1500 点/平方米。

6 使用激光点云提取复测要素时宜采用自动化提取配合人工补测的方式进行，必要时可使用 DOM 或全野外补测；中线测量宜通过提取两条轨道轨面坐标进行推算，中线测量与高程测量可同时进行；基于点云提取的轨面坐标、高程应进行粗差剔除，相邻点平面、高程差值不应大于 2cm，满足精度要求后方可进行中线、线间距、高程测量等；里程丈量宜依据推算的线路中线进行；限界测量可采用点云提取特征点坐标、高程的方式进行计算。

7 既有铁路 DLG 制作宜使用既有激光雷达成果，相关制作要求参照本章节 DLG 制作技术要求执行。

6.2.3 无人机贴近摄影测量既有线测绘

1 采用无人机倾斜摄影或贴近摄影方式进行既有线测绘时地面分辨率应优于 1cm；

2 无人机倾斜摄影或贴近摄影航摄设计应采用预飞行 DEM 或 DSM 辅助进行，避免影像重叠度较低或飞行安全事故发生；

3 无人机倾斜摄影或贴近摄影航线应设计为沿运营铁路用地界外两侧的往返航线，两侧相邻航线影像主光轴交会角宜为 60° ，单侧相邻航带间影像主光轴交会角宜为 15° 。

4 地面靶标应在航摄实施前沿铁路线路两侧成对均匀布设于航线重叠区域，靶标应至少被线路两侧的 3 条航线观测到，相邻测区靶标应尽可能共用；

5 靶标测量应采用 RTK 静态或快速静态测量方式进行；

6 植被密集区域的横、纵断面测量不宜采用倾斜摄影、贴近摄影的方式进行；

7 铁路复测要素提取可采用倾斜实景三维模型、DOM 或无畸变影像恢复的立体模型进行；

8 用于进行中线测量、车站测量、桥涵丈量等的倾斜实景三维模型、正射影

像不应存在拉花、扭曲、变形等问题，模型重点区域的平面、高程精度应优于 1cm；

9 基于实景模型提取的轨面坐标、高程应进行粗差剔除，相邻点平面、高程差值不应大于 2cm，待满足精度要求后方可进行中线、线间距、高程测量等；

6.3 铁路基础设施维护巡检

6.3.1 铁路基础设施维护巡检可采用无人机搭载高清光学视频、红外热成像仪、可见光光学相机、机载激光雷达等多类型传感器。通过集成至铁路工务维护系统，建立详细的基础设施维护台账及图层，为工务维护提供数据支撑。

6.3.2 铁路基础设施维护应包含以下内容：

- 1 电力线/电源线/接触网：电线破损、绝缘子污损、设备过热等；
- 2 桥梁：桥墩、桥台、桥面、支座、伸缩缝、护栏等缺失或破损；
- 3 路基：路基、排水设施、边坡、路肩等损坏；

6.3.3 电力线、电源线、接触网等导线净空距离测量、弧垂安全风险评估宜采用无人机机载激光雷达方式；电线破损、绝缘子污损等病害宜采用无人机增强型视频航拍方式；接触网等电气故障检测宜采用热红外光学影像方式在通电状态下夜间开展；

6.3.4 桥梁露筋、混凝土剥落掉块、裂缝检测、钢结构高强螺栓缺失、桥梁支座滑移等宜采用无人机增强型视频航拍方式或航拍方式。

6.3.5 路基设施损坏宜采用无人机正射摄影方式。

6.3.6 巡检排查数据获取应符合以下要求：

- 1 无人机视频航拍图像分辨率宜优于 $1920 \times 1080\text{dpi}$ ；
- 2 无人机热红外传感器图像分辨率宜优于 $640\text{dpi} \times 512\text{dpi}$ 、温度分辨率不低于 1°C ；
- 3 无人机影像数据影像地面分辨率宜优于 5cm；
- 4 电力线巡检无人机机载激光雷达点云数据点云密度宜优于 12 点/平方米。

6.3.5 铁路基础设施巡检宜采用定期巡查方式，监测频次不低于 4 次/年，重点段高频次巡检宜采用无人机机巢自主巡检方式开展。

6.4 外部环境隐患排查

6.4.1 外部环境隐患排查宜采用空天一体化监测技术，定期筛查宜采用无人机巡检与卫星遥感影像、常规航空摄影相结合的技术，并集成至铁路工程外部环境隐患排查 GIS 系统，建立外部环境隐患台账及图册。

6.4.2 新建铁路在竣工验收前，应根据需要开展外部环境隐患航测建档排查，可采用无人机正射摄影方式完成数据获取。

1 航测建档隐患类别应包括：违法施工类、危险物品类、河道桥梁类、开采爆破类、违建违占类、堆放隐患类、倒落隐患类、植被隐患类、硬漂浮物类、轻漂浮物类、非法通行类共 11 个大类，建档范围应符合表 6.4.2 相关要求，其他铁路外部环境隐患排查应采用其他方法进行。

表 6.4.2 铁路外部环境航测建档类别要求

大类	小类	监测范围
违法施工类	取土挖砂挖沟	安全保护区和安全保护区外 50m
	下穿上跨施工、采空作业	
危险物品类	加工存储易燃易爆或者放射性物品的场所仓库	安全保护区外 1000m
河道桥梁类	采砂淘金	上下游各 1km
	疏浚作业	
	围垦造田	
	拦河筑坝	
	架设浮桥	
开采爆破类	采石采矿	铁路线路路堤坡脚、路堑坡顶、铁路桥梁外侧起各 1000 米范围内，及铁路隧道上方中心线两侧各 1000 米范围内
违建违占类	违法建筑房屋设施	安全保护区和铁路用地红线内
	违法占地	
	违法经营	
堆放隐患类	杂物、材料、设备堆放	安全保护区和安全保护区外 50m
	弃土弃渣堆放	

	倾倒垃圾和排污	
倒落隐患类	杆塔、上跨线缆、高大设施等存在倒伏的安全隐患	100m 范围
植被隐患类	影响线路行车安全和行车瞭望的树木等植物	安全保护区内
硬漂浮物类	彩钢瓦房、铁皮房	线路两侧 500m 范围
	广告牌	
	建筑材料	
	各类硬质围挡	
软漂浮物类	防尘网	线路两侧 500m 范围
	塑料薄膜	
	土工布、广告布	
非法通行类	私设非法道口	安全保护区
	非法人行通道	

2 航测建档排查作业流程主要包括数据获取、控制测量、隐患识别、信息提取、图册制作、成果入库等。

3 航测建档排查应符合以下要求：

- (1) 无人机正射摄影影像地面分辨率宜优于 10cm；
- (2) 数据获取范围宜为铁路线路两侧不少于 500 米范围，针对部分类别根据要求范围获取；
- (3) 隐患识别可采用数字摄影测量方式目视解译，或基于数字正射影像的人工智能遥感检测方法；
- (4) 信息提取应根据隐患类型按图层编码，并编辑属性信息，包括但不限于里程定位、规模等信息；

4 成果提交包括隐患台账、一事一档报告、成果图层及隐患入库后的 GIS 系统。

6.4.3 外部环境动态监测可采用空天定期筛查方式，监测频次不低于 4 次/年；重点段高频次监测宜采用无人机正射摄影或无人机机巢自主巡检方式开展。

6.5 地质灾害监测

6.5.1 既有铁路地质灾害调查宜用天空地一体化监测技术，宜在卫星遥感、常规航空摄影广域调查的基础上，针对重点地质灾害点开展无人机航测及地面监测，建立地理实景场景，集成至铁路工程地质灾害监测系统管理平台，建立铁路地质灾害隐患台账。

6.5.2 铁路沿线地质灾害广域调查宜用卫星遥感或常规航空摄影开展普查，可利用高分辨率 DOM 数据，通过机器学习和人工解译等方式提取滑坡、泥石流沟等不良地质灾害体，利用 InSAR 技术，对沿线开展区域地面沉降及采空区沉降监测，识别和排查地表形变变化，建立包含地质解译要素的地形级地理实景场景。监测周期宜每年入汛前不少于 1 次。

6.5.3 在广域普查的基础上，针对影响铁路运营安全的滑坡体、高陡边坡、地表沉降等重点段落宜开展大比例尺无人机航测工作，建立包含地质解译要素的工程级或工点级地理实景场景，并符合以下技术要求：

1 作业范围应覆盖铁路本体工程两侧各 200 米区域，范围应覆盖重要地质灾害体。

2 基底数据应以 DOM 与 DEM 为主，影像地面分辨率宜优于 10cm。

3 重点设备或滑坡体、高陡边坡等隐患工点宜以高分辨率实景三维数据为主，无人机影像地面分辨率宜优于 5cm，采用无人机贴近摄影数据获取时地面分辨率宜优于 2cm；对植被茂密的潜伏性滑坡体宜获取无人机机载激光雷达点云数据，点云密度宜优于 100 个点/平方米，经后处理后的点云密度不宜少于 9 个点/平方米。

4 对于泥石流沟等溯源范围较大的区域，可采用无人机机巢方式开展定期视频巡检。

5 每年入汛前应至少开展一次基底数据采集，风险隐患高的重点地段应每年不少于 2 次数据采集（入汛前后）。

6.5.4 针对重点段落的监测，可采用 GNSS 连续运行参考站或自动化监测仪器开展实时监测。相关数据应纳入铁路工程地质灾害管理平台，并建立相关台账。

6.6 应急测绘保障

6.6.1 应急测绘宜采用空天地一体化勘测技术手段，在突发事件“第一时间”快速获取现场信息数据，并进行分析、处理，为应急指挥、快速救援、损失评估、重建规划提供技术支撑。

6.6.2 无人机技术可提供的应急测绘成果可包括以下内容：“第一张”影像图、快速镶嵌影像数据、快速数字高程模型/数字表面模型、正射影像数据、常规数字高程模型/数字表面模型、数字线划图、倾斜实景三维模型等。

6.5.3 基于成果内容及无人机传感器类型，无人机摄影遥感数据可包括高清视频数据、影像数据、倾斜摄影数据、机载激光雷达点云数据等，其具体技术要求如下：

- 1 高清视频数据图像分辨率宜优于 $1920 \times 1080\text{dpi}$;
- 2 影像数据影像地面分辨率宜优于 50cm ;
- 3 倾斜摄影数据垂直影像地面分辨率宜优于 10cm ;
- 4 机载激光雷达点云数据点云密度宜优于 1 个点/平方米。

6.5.4 基于应急决策的应急测绘成果宜在事后 8 小时内提供，基于救援的应急测绘成果宜在事后 72 小时内提供，基于重建规划的应急测绘成果宜在事后 90 小时内提供。

附录 A 低空数字航摄常用计算公式

A.1 像点位移

$$\delta = \frac{v \times t}{R} \quad (\text{A.1})$$

式中 δ —— 像点位移, 单位为像素;

v —— 航摄飞机飞行速度, 单位为米/秒 (m/s);

t —— 曝光时间, 单位为秒 (s);

R —— 地面分辨率 GSD, 单位为米 (m)。

A.2 航高

$$H = \frac{f \times R}{a} \quad (\text{A.2})$$

式中 H —— 摄影航高, 相对摄影基准面的航高, 单位为米 (m);

f —— 镜头焦距, 单位为毫米 (mm);

R —— 地面分辨率 GSD, 单位为米 (m);

a —— 像元尺寸, 单位为毫米 (mm)。

A.3 摄影基线和航线间隔

$$b_X = L_X(1 - p_X) \quad (\text{A.3})$$

$$d_X = L_Y(1 - q_Y) \quad (\text{A.4})$$

$$B_X = b_X \times \frac{H}{f} \quad (\text{A.5})$$

$$D_Y = d_Y \times \frac{H}{f} \quad (\text{A.6})$$

式中 b_X —— 像片上的摄影基线长度, 单位为毫米 (mm);

d_Y —— 像片上的航线间隔宽度, 单位为毫米 (mm);

L_X 、 L_Y —— 像幅长度和宽度, 单位为毫米 (mm);

p_X 、 q_Y —— 像片航向和旁向重叠度 (以百分比表示);

B_X —— 实地上的摄影基线长度, 单位为米 (m);

D_Y —— 实地上的航线间隔宽度, 单位为米 (m);

H —— 摄影航高, 单位为米 (m);

f —— 焦距, 单位为毫米 (mm)。

A.4 像片重叠度

$$p_X = p'_X + (1 - p'_X)\Delta h/H \quad (\text{A. 7})$$

$$q_X = q'_Y + (1 - q'_Y)\Delta h/H \quad (\text{A. 8})$$

式中 p'_X 、 q'_Y —— 航摄像片的航向、旁向标准重叠度（以百分比表示）；

Δh —— 相对于摄影基准面的高差，单位为米（m）；

H —— 摄影航高，单位为米（m）。

A.5 相邻像片的曝光时间间隔

$$\Delta t = \frac{B_X}{W} \quad (\text{A. 9})$$

式中 Δt —— 相邻像片曝光时间间隔，单位为秒（s）；

B_X —— 实地上的摄影基线长度，单位为米（m）；

W —— 飞机飞行时的地速，单位为米每秒（m/s）。

A.6 摄影分区基准面高程

摄影分区基准面高程是将分区个别突出最高点与最低点舍去不计外，使分区内高点平均高程与低点平均高程面积各占一半的平均高程平面。采用DEM做航带设计时，摄影分区基准面高程计算公式为：

$$h_{\text{基}} = \frac{\sum_i^n h_i}{n} \quad (\text{A. 10})$$

式中 $h_{\text{基}}$ —— 摄影分区基准面高程（m）；

h_i —— 分区内 DEM 格网点的高程值（m）；

N —— 分区内 DEM 格网点数。

附录 B 靶标样式示意图

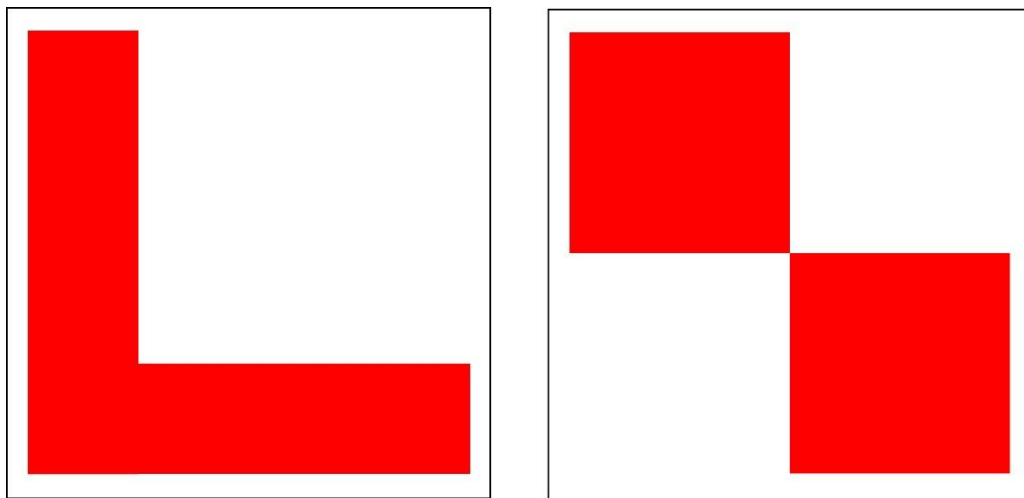


图 A 纸板、喷涂平面型靶标示意图

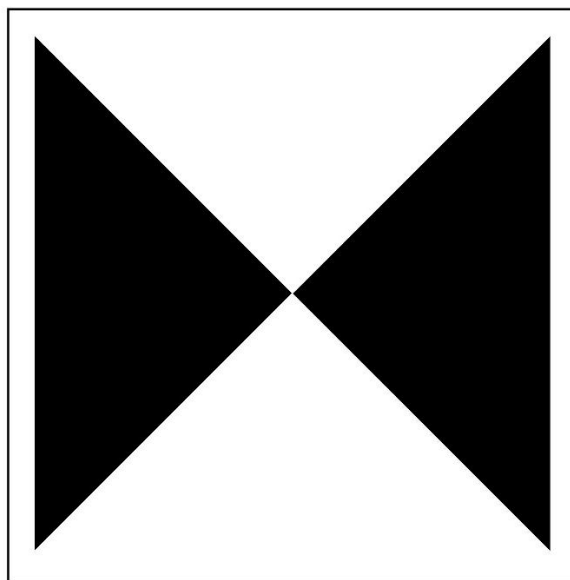


图 B 纸板、喷涂平面型靶标示意图

附录 C 无人机飞行日志

测区飞行日志								
人员：				时间：				
飞 前 准 备	机臂卡扣		GPS 松紧		天气		控制点数量	
	螺旋桨螺丝		相机镜头盖		风向		坐标系	
	起落架螺丝		相机连接		风速		GPS 型号	
1	测区地形	测区 最高点	测区 最低点	起飞点 高程	飞行 相对高	飞行 海拔高	激光 测距	扫描 线速
	飞机 电池号	起飞 时间	起飞 前电压	等高电压	降落时间	等高电压	落地电压	飞行 时间
	旁向 间隔	旁向 重叠	航线 数量	飞行 速度	Aam 照片数	扫描角度		
2	测区地形	测区 最高点	测区 最低点	起飞点 高程	飞行 相对高	飞行 海拔高	激光 测距	扫描 线速
	飞机 电池号	起飞 时间	起飞 前电压	等高电压	降落时间	等高电压	落地电压	飞行 时间
	旁向 间隔	旁向 重叠	航线 数量	飞行 速度	Aam 照片数	扫描角度		
3	测区地形	测区 最高点	测区 最低点	起飞点 高程	飞行 相对高	飞行 海拔高	激光 测距	扫描 线速
	飞机 电池号	起飞 时间	起飞 前电压	等高电压	降落时间	等高电压	落地电压	飞行 时间
	旁向 间隔	旁向 重叠	航线 数量	飞行 速度	Aam 照片数	扫描角度		

本规范用词用语说明

本规程执行程度的用词，采用下列写法：

（1） 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

（2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

（3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

（4） 表示允许有选择，在一定条件下可这样做的用词，采用“可”。

引用标准的用词采用下列写法：

（1） 在规程总则中表达与相关标准的关系时，采用“除符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

（2） 在规程条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，表述为“应符合 ****”的有关规定。

（3） 当引用本规程中其他规定时，表述为“应符合本规程第*章的有关规定”、“应符合本规程第*.*节的有关规定”、“应符合本规程第*.*.*条的有关规定”或“应按第*.*.*条的有关规定执行”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版本适用于本规程。

《无人机航摄系统技术要求》 CH/Z 3002

《低空数字航空摄影规范》 CH/Z 3005

《全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范》 CH/T 2009

《数字航空摄影测量控制测量规范》 CH/T 3006

《数字航空摄影测量 测图规范 第 1 部分： 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图》 CH/T 3007.1

《数字表面模型航空摄影测量生产技术规程》 CH/T 3012

《机载激光雷达数据获取技术规范》 CH/T 8024

《IMU/GNSS 辅助航空摄影技术规范》 GB/T 27919

《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范》 GB/T 7931

《近景摄影测量规范》 GB/T 12979

《贴近摄影测量技术规程》 T/CSGPA 021

《高速铁路工程静态验收技术规范》 TB 10760

《市域（郊）铁路静态和动态验收技术规范（试行）》 TB 10462

《无人机驾驶航空器飞行管理暂行条例》（国令第 761 号）

中国工程建设标准化协会标准

铁路工程无人机应用技术规程

T/CECS XXX—202X

条文说明

制 定 说 明

本标准制定过程中，编制组进行了广泛且深入的调查研究，总结了铁路工程在勘察设计、施工建设、运营维护等各阶段的无人机应用实践经验，同时参考了国内外先进技术方法、技术标准，通过各个参编单位的工程应用经验，总结提炼了工程实践中的技术问题和解决方法，为标准编制奠定了坚实基础。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《铁路工程无人机应用技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。

本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握条文规定的参考。

1 总 则

1.0.3 铁路工程无人机飞行任务应严格遵守“无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（国令第 761 号）”，严格执行空域申请、飞行报备、设备登记等管理制度。此暂行条例于 2023 年 5 月 31 日由国务院发布，自 2024 年 1 月 1 日起实施。

2 术语符号与缩略语

2.1 术语

2.1.5 贴近摄影测量技术是一种新兴的摄影测量方法，被誉为“为每一个对象进行量身定做的摄影测量”，由武汉大学张祖勋院士团队率先提出并推广，是对传统倾斜摄影测量技术的重要补充和升华。此方法是一种通过无人机搭载相机，尽可能地贴近物体的表面，以超近的距离、多角度、高重叠率的方式获取超高分辨率影像，并进行精细化三维建模的技术。

3 基本规定

3.3 无人机遥感数据获取

3.3.3 条文中无人机仿地飞行是通过设定与已知三维地表的固定高度，使无人机与目标地物保持相对航高的一种飞行方式。这种飞行方式允许无人机适应不同的地形或地物起伏，根据测区地表起伏自动生成变高航线，从而保持地面分辨率的一致，能获得更好的数据效果。此种航线设计需要有地表概率三维地形模型作为数据支撑。

3.3.6 条文中无人机视频成果按铁路工程应用分为增强型视频和地理型视频成果，增强型视频成果应为普通航拍类视频叠加相关工程矢量要素，实现工程现场的感官调查或方案展示；地理型视频成果则为带有空间定位及分析功能的视频流，可实现与工程要素的空间定位及相关分析。

3.6 地理信息数字成果生产

3.6.2 条文中真实感大场景模型是基于无缝镶嵌的数字正射影像和立体辅助影像

构建的一个大范围可量测的无缝正射影像立体模型产品，其突破了传统全数字摄影测量过程中单像对立体模型的范围限制，形成了连续无缝的真三维立体场景，适用于小像幅框幅式影像数据的线划地形采集，且精度与传统立体测量精度相当。

4 勘察设计

4.3 线路地形测量

4.3.1 条文中铁路工程卫星影像立体像对数据适用于比例尺 1:2000、1:10000 基础地理信息成果制作，常规航空摄影测量适用于 1:500、1:1000、1:2000 及 1:10000 基础地理信息成果制作，综合考虑飞行成本，工作效率及勘测周期，无人机摄影测量适用于卫星影像及常规摄影测量的数据补充或线路里程小于 100 公里长度，宽度小于 2 公里的影像数据获取。

4.5 地质遥感调查

4.5.3 条文中基于真实感场景模型的地质遥感解译方法相比于传统二维 DOM 或 DOM+DEM 的 2.5 维场景，模型场景更逼真，信息量更丰富，坐标量测精度更高。真实感场景协同设计平台可实现遥感解译分析与 AutoCAD 辅助设计软件的无缝连接，能辅助线路方案的协同设计。

4.8 线路方案展示

4.8.4 条文中铁路工程地理实景应按预可研和可研阶段的应用需求分层级制作，根据表达范围、表达内容和精细程度可分为地形级、工程级、工点级地理实景。地形级地理实景应能反应地形起伏形态特征，铁路工程实体模型以体块模型、线性中心线或其它通用符号呈现为主，宜以 1:10000 比例尺 DEM/DSM 和 DOM/TDOM 与铁路工程实体模型进行地理实景的组装融合，宜以卫星影像数据为主要数据源。工程级地理实景展示应反映铁路工程沿线地形起伏特征和地物分布特点，其铁路工程实体模型以概略模型、简化模型呈现为主。工点级地理实景展示应反映工点区域地形起伏特征、地物分布特点及细化反映铁路工程各专业设计方案，其铁路工程实体模型以精细模型呈现为主。

5 工程施工

5.5 工程量辅助计算

5.5.3 条文中基于激光点云数据的构筑物建模，是一个复杂而精密的过程，其需要借助海量点云数据所包含的空间位置、几何形状以及纹理等丰富信息。在建模之前，要经过一系列的数据预处理过程，包括数据去噪，以去除因各种干扰因素产生的噪声点，确保数据的准确性；数据配准，将不同视角或不同时间获取的点云数据准确地对齐到同一坐标系下，为后续的处理提供统一的基础；数据精简，在不损失重要信息的前提下，减少数据量，提高处理效率。在此基础上，基于点云数据的几何特征，或者利用卷积神经网络等深度学习方法进行点云分割，通过识别构筑物的结构和特征，逐步构建出构筑物的三维模型。在进度评估中，将生成的三维模型与设计 BIM 模型进行对比。通过量化分析，可以清晰地了解工程施工的现状，包括施工进度是否符合计划、施工质量是否达到标准，此种技术方式有助于及时发现问题并采取相应的措施进行调整和改进。

6 运营维护

6.2 既有线测量

6.2.2 条文中既有铁路测量常采用人工全野外测量或车载激光雷达扫描方式，然而，受制于天窗时间短、上线作业效率低、安全风险高等因素，在一定程度上影响了既有线测量的外业数据采集效率。随着近年来激光雷达传感器性能的不断提升，无人机机载激光雷达非接触测量为既有铁路测量提供了一种便捷的数据获取方式，有效提升了既有铁路外业数据获取的效率。对于隧道等地下工程，目前仍需采用传统的人工全野外测量或车载激光雷达扫描方式作为补充。