

公路工程北斗与激光扫描集成测量 技术规范

Technical Specifications for Highway Surveying by Integrating Beidou with LiDAR

(征求意见稿)

202×-××-××发布

202×-××-××实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国推荐性行业标准

公路工程北斗与激光扫描集成测量 技术规范

Technical Specifications for Highway Surveying by Integrating Beidou with LiDAR

JTG/T xxxx—xxxx

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参编单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

湖北省国土测绘院

中国交通信息科技集团有限公司

四川省交通勘察设计研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：202×年××月××日

人民交通出版社有限公司

前 言

根据交通运输部《关于做好 2023 年度公路工程行业标准制修订准备工作的通知》（交公路函[2022]389 号文）的要求，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司作为主编单位，承担《公路工程北斗与激光扫描集成测量技术规范》（JTG/T ××××—××××）（以下简称“本规范”）的制订工作。

本次规范制订以“创新引领、技术先进、注重实效、绿色低碳”为编制原则，力求科学、合理地制定公路工程北斗与激光扫描集成测量技术指标，指导和规范工程实践，引领公路工程行业北斗卫星导航系统、激光扫描及其集成测量技术发展与应用。本次规范编制过程中，编写组通过广泛调查研究、收集国内外北斗与激光扫描的新技术、新方法和新成果，总结、吸收、集成国内外相关行业的经验和最新科研成果，开展相关技术与成果的专题研究和测试验证工作，并充分考虑了与其他相关标准的协调性和一致性。

本规范共分为 10 章和 4 个附录，分别是：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 北斗控制测量、5 北斗位置测量、6 北斗形变测量、7 激光扫描数据采集、8 激光扫描数据处理、9 北斗与激光扫描集成测量、10 数字化产品生产，附录 A 点云地面控制点形状及尺寸、附录 B 点云标靶点形状及尺寸、附录 C 飞行记录表和附录 D 激光点云分类。

本规范由 负责起草第 1 章， 负责起草第 2 章， 负责起草第 3 章，负责起草第 4 章， 负责起草第 5 章， 负责起草第 6 章， 负责起草第 7 章， 负责起草第 8 章， 负责起草第 9 章， 负责起草第 10 章， 负责起草附录 A， 负责起草附录 B， 负责起草附录 C， 负责起草附录 D。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组（地址：武汉市经济技术开发区创业路 18 号，中交第二公路勘察设计研究院有限公司，邮编：430056），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

参 加 人 员：

征求意见稿

目 次

1 总则	- 5 -
2 术语和符号	- 6 -
2.1 术语	- 6 -
2.2 符号	- 7 -
3 基本规定	- 9 -
3.1 技术选择	- 9 -
3.2 系统配置	- 9 -
3.3 测量精度	- 11 -
3.4 坐标转换	- 11 -
3.5 北斗测量安全保障	- 12 -
4 北斗控制测量	- 13 -
4.1 一般规定	- 13 -
4.2 激光扫描基准站布设	- 13 -
4.3 点云地面控制点布设	- 14 -
4.4 标靶点布设	- 14 -
4.5 外业观测	- 15 -
4.6 数据处理	- 15 -
4.7 资料提交	- 16 -
5 北斗位置测量	- 18 -
5.1 一般规定	- 18 -
5.2 碎部点测量	- 18 -
5.3 放样测量	- 19 -
5.4 成果检查与输出	- 20 -
5.5 资料提交	- 20 -
6 北斗形变测量	- 21 -
6.1 一般规定	- 21 -
6.2 测量网点布设	- 21 -
6.3 外业观测	- 22 -

6.4 数据处理与检查	- 23 -
6.5 资料提交	- 23 -
7 激光扫描数据采集	- 25 -
7.1 一般规定	- 25 -
7.2 机载激光雷达扫描数据采集	- 26 -
7.3 车载激光雷达扫描数据采集	- 27 -
7.4 固定站式激光雷达扫描数据采集	- 28 -
7.5 移动便携式激光雷达扫描数据采集	- 29 -
7.6 资料提交	- 30 -
8 激光扫描数据处理	- 31 -
8.1 一般规定	- 31 -
8.2 数据预处理	- 31 -
8.3 激光点云分类	- 32 -
8.4 数据精化处理	- 33 -
8.5 数据融合处理	- 34 -
8.6 资料提交	- 35 -
9 北斗与激光扫描集成测量	- 36 -
9.1 一般规定	- 36 -
9.2 北斗与激光扫描集成采集硬件系统	- 36 -
9.3 北斗与激光扫描集成采集软件系统	- 37 -
9.4 北斗与激光集成数据联合处理	- 38 -
9.5 北斗与激光扫描集成应用	- 40 -
9.6 资料提交	- 42 -
10 数字化产品生产	- 43 -
10.1 一般规定	- 43 -
10.2 点高程插值	- 43 -
10.3 数字高程模型建立	- 44 -
10.4 数字正射影像图制作	- 44 -
10.5 数字三维模型生产	- 45 -

10.6 数字线划地形图生产	- 47 -
10.7 断面线生成	- 49 -
10.8 资料提交	- 50 -
附录 A 点云地面控制点形状及尺寸	- 51 -
附录 B 标靶点形状及尺寸	- 52 -
附录 C 飞行记录表	- 53 -
附录 D 激光点云分类	- 54 -

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为适应公路工程建设需要，统一公路工程北斗卫星导航系统、激光扫描及其集成测量技术要求，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于采用北斗卫星导航系统、激光扫描及其集成技术进行新建、改扩建公路工程的初测、定测与监测。

1.0.3 公路工程北斗与激光扫描集成测量的时空基准应符合下列技术要求：

- 1 时间基准宜采用公元纪年和北京时间。
- 2 大地基准宜采用 2000 国家大地坐标系。
- 3 高程基准宜采用 1985 国家高程基准。
- 4 投影方式宜采用高斯-克吕格投影，投影长度变形应不大于 25mm/km。

1.0.4 公路工程北斗与激光扫描集成测量应积极稳妥地应用新技术、新材料、新工艺和新设备。

1.0.5 公路工程北斗与激光扫描集成测量除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 全球卫星导航系统 global navigation satellite system (GNSS)

全球范围内提供导航服务的卫星导航系统的通称。

2.1.2 北斗卫星导航系统 beidou navigation satellite system (BDS)

中国研制建设和管理的为用户提供实时三维位置、速度、时间和短报文等信息的全球卫星导航系统。

2.1.3 激光雷达 light detection and ranging (LiDAR)

通过发射激光束并接收回波获取目标三维信息的激光探测与测距系统。

2.1.4 机载激光雷达 airborne LiDAR

航空平台上集成激光雷达、POS、数码相机和控制系统所构成的综合系统。

2.1.5 车载激光雷达 mobile LiDAR

汽车等移动平台集成激光雷达、POS、数码相机和控制系统所构成的综合系统。

2.1.6 固定站式激光雷达 terrestrial LiDAR

在地面固定平台上，集成激光雷达、数码相机和控制系统所组成的综合系统。

2.1.7 便携式激光雷达 portable LiDAR

采用地面推扫式、背包式或手持式平台，集成激光雷达、数码相机和控制系统，结合即时定位与地图构建算法、全局优化方法、POS 的综合便携系统。

2.1.8 点云 point cloud

激光雷达获取的地表三维空间离散点的数据集。

2.1.9 点云密度 density of point cloud

每平方米平均激光点数。

2.1.10 地面点 ground point

点云中反映真实地表形态的点。

2.1.11 非地面点 non-ground point

点云中除地面点之外的点。

2.1.12 标靶点 target point

用一定材质制作的具有规则几何形状的标识点。该类标识点在点云中能很好地被识别和测量，从而可以用于点云数据质量检查及点云配准等工作。

2.1.13 点云地面控制点 point clouds ground control point

指数设在地面上用于激光点云精化处理的地面控制点。

2.1.14 数字高程模型 digital elevation model (DEM)

以规则格网点的高程值表达地表起伏的数据集。

2.1.15 数字正射影像图 digital orthophoto map (DOM)

经过正射投影改正的影像。

2.1.16 数字线划地形图 digital line graphic (DLG)

地形要素及地理信息以数字形式表达的地图。

2.2 符号

BDS ——北斗卫星导航系统 (BeiDou navigation satellite System)

DEM ——数字高程模型 (Digital Elevation Model)

DLG ——数字线划地图 (Digital Line Graph)

DOM ——数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map)

GeoTIFF ——地理信息标签图像文件格式 (Geographic Tagged Image File Format)

GNSS ——全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)

IMU ——惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit)

- JPG ——联合图像专家组定义的一种图像压缩格式（Joint Photographic Group）
- POS ——定位测姿系统（Position and Orientation System）
- RTK ——实时动态测量（Real Time Kinematic）
- TIFF ——标签图像文件格式（Tagged Image File Format）
- TIN ——不规则三角网（Triangulated Irregular Network）

征求意见稿

3 基本规定

3.1 技术选择

3.1.1 各等级平面测量、五等及等外高程测量、离散点形变测量，可采用北斗卫星导航系统测量。

3.1.2 激光扫描测量可根据测量对象、测量范围、地形地貌条件等按照表 3.1.2 选择合适的激光测量方法。

表 3.1.2 激光扫描测量方法

激光扫描测量	适用对象
机载激光扫描测量	新建公路、改扩建公路
车载激光扫描测量	改扩建公路
固定站式激光扫描测量	新建公路、形变测量
便携式激光扫描测量	新建公路

3.1.3 地形类别划分应符合表 3.1.3 的规定。当地面坡度与相对高差有矛盾时，应以地面坡度划分为主。

表 3.1.3 地形类别划分

地形类别	平原	微丘	重丘	山岭
地面坡度 α (°)	$\alpha < 3$	$3 \leq \alpha < 10$	$10 \leq \alpha < 25$	$\alpha \geq 25$
相对高差 Δ_h (m)	$\Delta_h < 20$	$20 \leq \Delta_h < 80$	$80 \leq \Delta_h < 350$	$\Delta_h \geq 350$

3.2 系统配置

3.2.1 北斗卫星导航系统接收机选用应符合下列规定：

- 1 接收机应为动态测量型双频 GNSS 接收机，最小采样间隔不应大于 1s。
- 2 接收机天线应采用航空型产品，具有动态双频数据接收能力。
- 3 接收机应具备仅接收 BDS 公开服务信号，实现高精度测量的能力，同时也能支持 RTK 差分工作能力。
- 4 接收机单点定位水平中误差应优于 5m，垂直中误差应优于 10m。
- 5 接收机进行 RTK 测量的水平中误差应优于 20mm，垂直中误差应优于 40mm。

3.2.2 POS 系统选择应符合下列规定：

- 1 应采用双频 GNSS 接收机，采样频率不应低于 1Hz。
- 2 IMU 测角精度：俯仰角和侧翻角不应大于 0.008° ，航偏角不应大于 0.01° 。
- 3 IMU 记录频率不宜低于 200Hz。
- 4 数码相机快门开启脉冲应同步准确写入 GNSS 数据流，其脉冲延迟不宜大于 1ms。
- 5 系统应具有良好的抗加速能力，有精确定义和稳定的相位中心，能在高空、高速飞行状态下正常工作。

3.2.3 机载三维激光扫描仪选用应符合下列规定：

- 1 激光安全等级不应低于 1 级。
- 2 激光扫描仪标称测距精度宜优于 $10\text{mm}+10\times 10^{-6}D$ （D 为测量距离）。
- 3 激光束发射度不宜大于 $0.5\text{m}\cdot\text{rad}$ 。
- 4 最大视场角不宜小于 60° 。
- 5 激光扫描仪宜能接收无穷次回波。
- 6 公路改扩建工程应选择具有点云强度信息的激光扫描仪。
- 7 测程应大于最佳作业航高的 1.2~1.4 倍。
- 8 在作业航高下，激光点云精度和点云密度能满足采集要求。
- 9 设备的体积、重量、功耗满足飞行平台搭载要求和航空适航安全要求。

3.2.4 车载三维激光扫描仪选用应符合下列规定：

- 1 激光扫描仪激光安全等级应为 1 级。
- 2 激光扫描仪的标称测距精度宜优于 $6\text{mm}+20\times 10^{-6}D$ （D 为测量距离）。
- 3 有效测距距离不应小于 50m。
- 4 激光束发射度不宜大于 $0.5\text{m}\cdot\text{rad}$ 。
- 5 激光扫描仪宜能支持全景扫描。
- 6 激光扫描仪的最高激光发射频率不宜低于 200kHz。
- 7 改扩建公路工程应选择具有点云强度信息的激光扫描仪。
- 8 激光扫描仪宜能接收无穷次回波。

3.2.1 固定式激光扫描系统选择应符合下列规定：

- 1 精度和测程应符合实际工程的需要。
- 2 防护等级不应低于 IP52。
- 3 宜具有双轴补偿功能。
- 4 应满足使用环境的要求。
- 5 激光扫描仪的测距范围不应小于 150m。

6 激光扫描仪的标称测距精度宜优于 $3\text{mm}+10\times 10^{-6}D$ (D 为测量距离)。

3.2.2 移动便携式激光雷达扫描系统应符合下列规定：

- 1 应具备良好的机动性、灵活性和安全性。
- 2 应具有成本低、效率高的特性。
- 3 应具备无需 GNSS 也可获取周围环境三维点云数据的能力。
- 4 应能很好地进入狭小、拥挤、地下、管道等场地环境，适合困难环境下的测量工作。

3.3 测量精度

3.3.1 公路工程北斗与激光扫描集成测量应采用中误差作为评定精度的指标，2 倍中误差为极限误差。

3.3.2 形变测量主要技术指标应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 形变测量主要技术指标

垂直位移测量 (mm)		水平位移测量 (mm)
形变测量点的高差中误差	相邻形变测量点的高差中误差	形变测量点的点位中误差
10	10	5

3.3.3 激光扫描测量主要精度指标应符合表 3.3.3 的规定。

表 3.3.3 激光扫描测量主要精度指标

项目	平面精度 (m)	高程精度 (m)
新建公路	平原、微丘	± 0.30
	重丘、山岭	± 0.40
改扩建工程	路面	± 0.05
	边坡	± 0.10

3.4 坐标转换

3.4.1 数据坐标转换应采用七参数转换模型。

3.4.2 无法获取已知的转换参数时，应选取覆盖测区且均匀分布的 3 个及以上基础控制点，解算相应的转换参数。

3.4.3 应利用多余的基础控制点对坐标转换精度进行检查。坐标和高程转换精度应分别不低于 0.050m 和 0.015m。

3.5 北斗测量安全保障

3.5.1 条件艰苦、交通通讯不便地区北斗与激光扫描测量应制定安全保障应急预案，并应采用支持北斗卫星导航系统通信的野外勘察终端。

3.5.2 北斗卫星导航系统通信应支持采用北斗 RDSS 短报文进行通信传输。

3.5.3 北斗卫星导航系统野外勘察终端应支持遇险报警装置，在紧急或遇险情况下，能通过触发遇险报警装置向管理后台发出遇险报警提示。

征求意见稿

4 北斗控制测量

4.1 一般规定

4.1.1 北斗控制测量应包括激光扫描基准站、点云地面控制点、标靶点测量。

4.1.2 北斗控制测量前应搜集工程区域高等级平面、高程控制点资料，公路工程前期方案研究资料，以及公路工程区域内的行政区划、通信、交通、水文、气象、城乡规划和自然地理等相关资料。

4.1.3 北斗控制测量控制网布设应符合满足需要、确保质量、因地制宜、经济合理的原则。

4.1.4 各级控制点的平面坐标系统和高程基准应与基础控制保持一致。当测区有多个投影带或投影面时，其分界附近的控制点应同时具有不同投影带或投影面的计算成果。

4.1.5 各等级北斗卫星导航系统平面测量、高程测量，数字地形产品平面位置和高程中误差的主要技术指标应符合现行《公路勘测规范》（JTG C10）的规定。

4.1.6 各级控制点应按平面控制点和高程控制点分类并统一编号。

4.2 激光扫描基准站布设

4.2.1 激光扫描基准站的平面测量和高程测量等级均不应低于四等。

4.2.2 激光扫描基准站布设要求应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 激光扫描基准站布设要求

工程类型	新建公路	改扩建公路
基准站间隔（km）	≤40	≤30
基准站数量（个）	≥2	≥2

4.2.3 基准站的选址应符合下列规定：

- 1 视野开阔，视场内障碍物的高度角不宜超过 15°。
- 2 周围应便于安置接收设备。

- 3 宜交通方便，并有利于其他测量手段扩展和联测。
- 4 应点位稳固。
- 5 附近不应有强烈反射卫星信号的物体。
- 6 远离大功率无线电发射源，距离不应小于 200m；远离高压输电线和微波无线电信号传送通道，距离不应小于 50m。

4.3 点云地面控制点布设

4.3.1 点云地面控制点的测量精度应符合下列规定：

- 1 平面控制点的平面测量等级不应低于四等。
- 2 高程控制点的高程测量等级不应低于四等，平面测量等级不应低于一级。

4.3.2 点云地面控制点的布设应符合下列规定：

- 1 宜在道路两侧交叉排列，并应避免树木、交通标志、标牌遮挡。
- 2 地面控制点距离大功率无线电发射源（如电视台、电台、微波站等）不应小于 200m，距离高压输电线和微波无线电信号传送通道不应小于 50m。
- 3 宜布设在道路两侧靠近护栏的平整路面处，其中心点距离道路硬路肩外侧边缘不应小于 0.2m，不大于 0.5m。
- 4 平面控制点间隔不宜小于 200m，且不宜大于 2 000m。
- 5 高程控制点间隔，机载激光扫描测量不宜大于 500m，车载激光扫描测量不宜大于 200m。
- 6 地面激光扫描测量每一扫描站的路面控制点个数不应少于 4 个，相邻两扫描站的公共路面控制点个数不应少于 3 个，且均匀分布。

4.3.3 点云地面控制点的标记应符合下列规定：

- 1 平面控制点宜采用易于激光点云识别的材质进行敷设，可直接采用道路上具有明显位置特征且能在激光点云中准确识别的点。
- 2 平面控制点应具有明显中心位置的几何图形。形状宜为“”形、“”形、块状或扇形等，其尺寸应符合本规范附录 A 的有关规定。
- 3 地面控制点中心位置应做明显固定标记。

4.4 标靶点布设

4.4.1 标靶点的平面测量等级不应低于一级，高程测量等级不应低于四等。

4.4.2 标靶点的布设应符合下列规定：

1 标靶点应在激光扫描范围内均匀布置，且高低错落，并进行编号，标靶点应确保不受振动或遮挡影响。

2 每一测站扫描范围内的标靶个数不应少于 4 个，相邻两扫描站的公共标靶个数不应少于 3 个。

3 明显特征点可作为标靶点使用。

4 激光扫描作业前应检查标靶的外观质量，如发现标靶反射涂层缺失严重或变形、开裂等情况应及时更换。

4.4.3 标靶点的标记应符合下列规定：

1 标靶点标志在点云中应能很好地被识别和量测。

2 标靶点应为具有规则几何形状的标志。

3 标靶点形状及尺寸可参照本规范附录 B 的有关规定执行。

4.5 外业观测

4.5.1 北斗控制测量外业观测技术要求应符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 北斗控制测量外业观测技术要求

控制点类型	基准站	点云地面控制点	标靶点
测量方式	静态	快速静态	RTK 测量
基线长度(km)	≤ 5	≤ 10	≤ 5
卫星高度角($^{\circ}$)	≥ 15	≥ 15	≥ 15
同步锁定卫星数(颗)	≥ 4	≥ 4	≥ 5
几何精度因子 (GDOP)	≤ 6	≤ 6	≤ 6
观测时间(min)	≥ 60	≥ 20	/
观测历元数 (个)	≥ 1800	/	> 20

4.5.2 若基准站未布设在路线基础控制点上，则应与基础控制点进行联测，获取统一的平面及高程坐标。

4.5.3 采用 RTK 进行标靶点三维坐标测量时，应在同一控制点上观测 2 测回，或在不同控制点上施测 2 次，平面、高程较差均不应大于 20mm，取平均值作为最终成果。

4.6 数据处理

4.6.1 北斗卫星导航系统数据预处理应符合下列规定：

1 各时刻接收机天线的中心位置坐标应采用激光扫描基准站坐标联合激光扫描载体北斗观测数据进行精密后处理。

2 应选择距离摄区最近的基准站数据进行解算或采用多基准站数据联合解算，确保采用最优解算结果。

3 应选择最小几何精度因子的可见卫星组合。

4 POS 数据应顾及系统检校已量测的偏心分量值，基于差分 GNSS 结果与 IMU 数据进行联合解算。

4.6.2 平面数据处理应符合下列规定：

1 平面数据需进行坐标转换时应采用七参数转换模型将点云数据转换至成果坐标系中。

2 无法获取已知的转换参数时，应选取覆盖该数据区域且均匀分布的 3 个及以上基础控制点，解算相应的转换参数。

4.6.3 高程数据处理应符合下列规定：

1 应利用区域似大地水准面精化成果或当地的重力大地水准面模型、资料。

2 对联测的已知高程点应进行可靠性检验，应剔除不合格点。

3 对于地形平坦的小测区，可采用平面拟合模型；对于地形有起伏的大面积测区，宜采用曲面拟合模型或采用分区拟合的方法进行。

4 拟合高程计算，不应超出拟合高程模型所覆盖的范围。

4.6.4 应利用检查点对数据坐标转换精度进行精度检查。

4.7 资料提交

4.7.1 北斗控制测量应提交以下资料：

- 1 技术设计书；
- 2 仪器检定证书；
- 3 记录手簿；
- 4 控制点点之记；
- 5 控制点布设及观测资料；
- 6 控制网联测网图及计算报告；
- 7 控制点成果及说明；
- 8 技术总结。

4.7.2 控制测量采用独立坐标系统时，还应提供独立坐标系统与 2000 国家大地

坐标系间的转换关系。

4.7.3 测量坐标成果数据可采用 xls 格式或文本格式。

征求意见稿

5 北斗位置测量

5.1 一般规定

5.1.1 北斗位置测量应包括碎部点测量和放样测量。

5.1.2 位置测量前应搜集以下内容：

- 1 测区的控制点成果、北斗卫星定位测量资料及连续运行基准站系统的覆盖情况。
- 2 测区的平面基准和高程基准的参数，应包括参考椭球参数、中央子午线经度、纵横坐标的加常数、投影面高程、平均高程异常等。
- 3 北斗卫星导航系统的地心坐标框架与测区地方坐标系的转换参数及相应参考椭球的大地高基准与测区的地方高程基准的转换参数。
- 4 公路工程前期方案研究资料，以及公路工程区域内的行政区划、通信、交通、水文、气象、城乡规划和自然地理等相关资料。

5.1.3 碎部点测量主要技术要求应符合表 5.1.3 的规定。

表 5.1.3 北斗碎部点测量主要技术要求

点位中误差 (m)	高程中误差 (m)	与基准站的距离 (km)	观测次数	起算点等级
±0.1	±0.15	≤10	1	平面一级、高程五等以上

注：1.点位中误差指控制点相对于起算点的误差。

2.采用网络 RTK 测量可不受流动站到参考站间距离的限制，但宜在网络覆盖的有效服务范围。

5.1.4 北斗外业测量前应检查仪器设备配置的完整性、北斗定位仪器采样频率等参数设置的正确性。

5.2 碎部点测量

5.2.1 碎步点测量参考站的点位选择应符合以下规定：

- 1 参考站周围应视野开阔，截止高度角应超过 15 度，周围无信号反射物，并要尽量避开交通要道、过往行人的干扰。
- 2 应尽量设置于相对制高点上。
- 3 应远离微波塔、通信塔等大型电磁发射源 200m，远离高压输电线路、通

讯线路 50m。

5.2.2 碎部点选点应符合下列要求：

- 1 应选地物特征点或方向变化处。
- 2 应选在最能反应地貌特征的山脊线、山谷线等地性线上。
- 3 不规则的地貌应加密碎部点。
- 4 碎部点间隔宜按照图上 2~3cm 一个点。

5.2.3 碎部点测量外业观测应符合下列要求：

- 1 碎部点测量前应选择三个及以上平面坐标已知点进行校正，并均匀分布于测区周围。
- 2 当测区面积较大，采用分区求解转换参数时，相邻分区不应少于 2 个重合点。
- 3 BDS RTK 作业期间，参考站应不移动或关机又重新启动，若重新启动应重新校正。
- 4 参考站主机开机后，应等差分信号正常发射后进行流动测量。
- 5 碎部点测量流动站观测时可采用固定高度对中杆对中、整平，每次观测历元数应大于 5 个。
- 6 连续采集一组地形碎部点数据超过 50 个点，应重新进行初始化，并检核一个重合点。当检核点位坐标较差不大于图上 0.30mm 时，方可继续测量。

5.3 放样测量

5.3.1 放样点宜采用 BDS RTK 进行位置测量，并应符合以下技术要求：

- 1 中线放样时，应注意路中线与结构物中心、相邻施工段的中线闭合。
- 2 深挖高填路段，每挖填 3-5m 或者一个边坡平台应复测中线和横断面。
- 3 在各类特殊地点应设加桩，加桩的位置和数量应满足路线、构造物、沿线设施等专业勘测调查的需要。

5.3.2 放样测量外业观测应符合下列要求：

- 1 放样前应对导线点进行全面检查，检测成果与初测成果的较差符合限差要求，并且控制点分布可以满足设计要求时，应采用原成果，否则应对整个控制网进行复测，并应重新进行平差计算。
- 2 控制点密度不能满足放样要求时，应根据现有控制点进行加密。
- 3 应根据设计图纸上的尺寸，进行点间互相关系的检查。
- 4 大型工程项目，应进行坐标闭合。

5.4 成果检查与输出

5.4.1 成果检查应符合下列技术要求：

1 平面成果应进行 100% 的内业检查和不少于总点数 10% 的外业检测，外业检测采用相应等级的全站仪测量边长和角度等方法进行，其检测点应均匀分布测区。

2 高程成果应进行 100% 的内业检查和不少于总点数 10% 的外业检测，外业检测采用相应等级的三角高程、几何水准测量等方法进行，其检测点应均匀分布测区。

5.4.2 成果输出应包含以下内容：

- 1 外业采集的数据应及时从数据记录器中导出，并进行数据备份、整理。
- 2 转换参考点的点名（号）、残差、转换参数；
- 3 参考站、流动站的天线高、观测时间；
- 4 流动站的平面、高程收敛精度；
- 5 流动站的 2000 国家大地坐标、平面和高程成果数据。

5.5 资料提交

5.5.1 碎部点测量资料应提交以下内容：

- 1 参考点的点名（号）、残差、转换参数；
- 2 地物点、地形点的平面位置和高程数据；
- 3 测量外业记录资料；

5.5.2 放样测量资料应提交以下内容：

- 1 交桩资料；
- 2 测量外业记录资料；
- 3 测量内业计算书；
- 4 测量仪器台账及检定文件。

6 北斗形变测量

6.1 一般规定

6.1.1 形变测量应包括测量网点布设、外业观测、数据处理与检查、资料提交工作。

6.1.2 形变测量可用于公路工程施工监测，以及公路路基路面、边坡、桥梁和隧道等形变测量。

6.1.3 形变测量频率应符合下列规定：

- 1 路基路面、公路边坡的监测频率不宜小于 1~2 次/年。
- 2 桥梁、隧道的监测频率不宜小于 1 次/年。
- 3 发生异常变形情况，或形变测量过程中的测量数据达到预警值时，应增加测量频率或进行实时测量。

6.1.4 实时形变测量时，通信网络建设应符合下列规定：

- 1 宜采用 TCP/IP 作为数据通信协议。
- 2 控制中心接入端的通信链路可采用有线专线、卫星通信等通信方式。
- 3 控制中心到用户的实时通信方式可采用移动通信方式。
- 4 通信网络数据传输率应大于 64kbit/s，通信误码率应小于 10^{-8} ，通信延时应小于 500ms，可用性应大于 95%。
- 5 通信线路上应加装信号线或射频线避雷设备。通信线接入通信终端前，应加装通信线电涌防护设备。

6.2 测量网点布设

6.2.1 北斗形变测量基准网应由基准点和工作基点组成。基准网布设应符合下列规定：

- 1 应根据精度要求、卫星状况、接收机类型和数量、测区地形和交通状况等因素，综合考虑布设基准点。
- 2 基准点数量不宜少于 3 个。基准点不能满足形变测量要求时，可在测量对象周边布设工作基点。
- 3 基准网点位应均匀分布，相邻点间距离最大不宜超过平均距离的 2 倍。
- 4 新布设的基准网应与附近已有的国家高等级控制点进行联测，联测点数

不应少于 3 点。

6.2.2 北斗形变测量基准网选点应符合下列规定：

- 1 基准点应选在变形区域之外稳固的位置。工作基点应选在变形区域内稳定且方便的位置，且与基准点构成合理的网形。
- 2 应选在比较稳定且方便使用的位置，并对其进行稳定性分析。
- 3 应视野开阔，视场内障碍物的高度角不宜超过 15° 。
- 4 距离电视台、电台、微波站等大功率无线电发射源不宜小于 200m。
- 5 距离高压输电线和微波无线电信号传送通道宜大于 50m。
- 6 附近不应有大面积水域、大型建筑以及热源等强烈反射卫星信号的物体。
- 7 基准点的作业半径不宜超过 5km。
- 8 选点任务完成后，应提供基准网点之记。

6.2.3 北斗形变测量基准网点埋设应符合下列规定：

- 1 宜埋设在稳定岩层或稳定原土层上。
- 2 宜设立带有强制对中装置的观测墩。强制对中装置的对中误差应优于 1mm。
- 3 观测墩高度不宜小于 1.2m，底部宜设置水准测量标志。
- 4 宜选择满足要求的已有控制点上。

6.2.4 北斗形变测量布设应符合下列规定：

- 1 测量点选点宜符合本规范第 6.2.2 的有关规定。
- 2 应埋设在能够充分代表或反映测量对象变形特征的位置或测量断面上。
- 3 测量点可埋设观测墩、普通标石或地面标志。
- 4 埋深不宜小于 1m，冻土地区应埋至当地冻土线以下 0.5m。

6.3 外业观测

6.3.1 应使用零相位天线和强制对中盘安置接收机天线，天线应指北。

6.3.2 在同一测量点上宜使用同一台接收机和天线。

6.3.3 北斗形变测量观测墩的对中误差不应大于 0.2mm，并应与测量对象牢固结合。

6.3.4 北斗形变测量外业观测技术要求应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 北斗形变测量外业观测技术要求

卫星截止高度角 (°)	10
同时观测有效卫星数 (颗)	≥ 4
有效观测卫星总数 (颗)	≥ 20
观测时段数 (个)	≥ 3
时段长度 (h)	≥ 23
采样间隔 (s)	30

注：1.有效观测卫星总数是指各时段的有效卫星数总和减去其间的重复卫星数。

2.观测时段长度是指由开始记录数据到结束记录的时间段。

3.当实时形变测量时，可根据需要提高测量点采样间隔。

6.3.5 实时形变测量时，测量站与基站 GNSS 接收机的数据采样间隔应相同。

6.4 数据处理与检查

6.4.1 北斗形变测量结束后，应首先对基准网进行稳定性检验和分析，并通过统计检验的方法判断是否存在点位位移。

6.4.2 当使用不同型号的接收机共同作业时，应将观测数据转换成 Rinx 格式后，再统一进行基线解算。

6.4.3 北斗形变测量网可采用多基线或单基线解算。

6.4.4 应对北斗形变测量数据进行无约束平差和约束平差处理。平差处理结果宜包括网点在相应坐标系中的二维或三维坐标、基线长度、基线向量改正数、方位、转换参数以及相应的精度信息等。

6.4.5 每期北斗形变测量结束后，应依据测量点平差成果计算位移量，并绘制水平位移和垂直位移测值过程线。

6.5 资料提交

6.5.1 北斗形变测量提交资料内容应提交技术总结、数据成果及专题图件。

6.5.2 技术总结应包括北斗形变测量的主要内容、任务依据与工作量，北斗形变测量网技术设计、选点与埋石情况，卫星定位观测、数据处理与形变测量结果，精度检查与分析情况等。

6.5.3 北斗形变测量数据成果应包括形变测量原始观测数据，平差计算资料和

成果表等。

6.5.4 专题图件应包括卫星定位变形速率图、卫星定位累计变形量图等。

6.5.5 北斗形变测量数据宜建立数据库进行管理。

征求意见稿

7 激光扫描数据采集

7.1 一般规定

7.1.1 激光扫描数据采集方式应包括机载激光扫描数据采集、车载激光扫描数据采集、固定站式激光扫描数据采集、移动便携式激光扫描数据采集。

7.1.2 激光扫描宜同步进行激光点云数据和数码影像数据采集。

7.1.3 激光点云应分布均匀，点云密度应符合下列规定：

1 激光扫描点云密度应为包含不同条带重叠区的分区平均点云密度值，重叠区点数应包括重叠区内不同条带的点数总和。

2 机载激光扫描的点云密度不宜低于表 7.1.3 的规定。植被茂密地区，在采取增加激光穿透性措施的基础上，点云密度宜在表 7.1.3 的基础上提高 25%。

表 7.1.3 激光点云密度要求 (点/m²)

新建工程	改扩建工程
4	16

3 车载激光扫描的路面点云密度不宜低于 350 点/m²。

7.1.4 数码影像地面分辨率宜符合表 7.1.4 的规定。

7.1.4 数码影像地面分辨率要求 (m)

改扩建公路	新建公路
优于 0.1	优于 0.2

7.1.5 激光扫描数据采集范围应符合下列规定：

1 公路路线采集范围，新建公路工程宜超过路线方案中心线两侧各 500m；改扩建公路工程原路拼接加宽扩建方案宜超过现有道路中心线两侧各 300m。

2 互通式立体交叉或服务区采集范围，新建公路宜自工程范围线向外延伸 300m，改扩建公路宜自工程范围线向外延伸 100m。

3 工程起、终点处采集范围，应纵向向外延伸 1000m。

4 交叉跨越既有公路、铁路、水利、电力设施等区域的，应超过交叉点两侧不少于 1000m。

7.2 机载激光雷达扫描数据采集

7.2.1 搭载平台选择应符合下列规定：

- 1 新建公路宜选择固定翼飞机或直升机，改扩建工程宜选择直升机或无人机。
- 2 在额定任务载荷和测区典型气象条件下，宜保证适宜的续航时间和激光雷达扫描所需的姿态稳定性，宜用不超过 80%最大功率达到指定的航高和航速并具有较好的位置、高度和速度控制能力。
- 3 应具有避障或迫降等应急止损能力。
- 4 实际升限视地貌类别及局部气象情况应高于航线越障高度 200m~400m。

7.2.2 数码相机选择应符合下列规定：

- 1 影像像素宜大于 3000 万。
- 2 焦距宜大于 35mm。
- 3 应为中心快门，最短曝光时间宜达到 1/500 秒。

7.2.3 激光雷达设备应在开始作业前进行加电检测，并应在载体启动前 5 分钟开机，载体停稳后 5 分钟关机。

7.2.4 所有地面 GNSS 基准站应在激光雷达设备开机前进入观测状态，并应在激光雷达设备关机后停止观测。

7.2.5 激光扫描飞行应符合下列规定：

- 1 飞行的相对航高宜根据不同地形及航测精度要求应满足最低安全高度。
- 2 飞行速度不宜大于 280km/h。
- 3 激光点云数据的旁向重叠不应小于 10%。
- 4 影像航向重叠不应小于 56%，宜大于 60%；旁向重叠度不应小于 15%。
- 5 航偏角不应大于 15°，不宜大于 6°；航线俯仰角、侧滚角不应大于 4°，不宜大于 2°，航线弯曲度不应大于 3%；飞机转弯坡度不应大于 22°，不宜大于 15°。
- 6 航线飞行时应采用左转弯和右转弯交替方式飞行，航线偏离、航高上下偏离均不应大于 30m。
- 7 当航路时间大于 30 分钟时，应先进行一次回头弯飞行再开始正式航线飞行。
- 8 飞行过程中应重点观察 POS 系统信号状况、回波接收状况、数据质量状况等，并认真填写飞行记录。飞行记录格式应按附录 C 规定执行。

7.2.6 机载激光扫描检校场设置应符合下列规定：

- 1 检校场应选择在测区或机场等地势平坦、有线性关系好的明显地物附近。
- 2 检校场内不应存在激光回波高吸收地物。
- 3 检校场应选择有较宽、较长且直的公路区域。
- 4 检校场应进行重叠飞行，应包含平行与垂直交叉飞行的航线不应小于 3 条航线，每条航线长度宜为 3km~5km。

7.3 车载激光雷达扫描数据采集

7.3.1 搭载平台应符合下列规定：

- 1 可提供视野开阔、高度适宜的设备搭载位置，含设备在内的工作总高度应低于作业区限高以下 0.4m。
- 2 设备固定装置应能承受正常作业和短途进出场过程的各种受力；
- 3 平台应安装有醒目的警示装置和标记；
- 4 用于桥下、洞内、匝道及遮蔽严重地区作业的平台还应有辅助定位装置或措施。

7.3.2 数码相机选择应符合下列规定：

- 1 宜选用全景相机，全景影像像素宜大于 3000 万。
- 2 全景影像覆盖范围宜大于 75%。
- 3 应支持连续拍摄及高速存储功能。

7.3.3 车载激光扫描数据采集应符合下列规定：

- 1 激光点云数据的旁向重叠不应小于 20%。
- 2 应匀速行驶，速度不应小于 20km/h，且不大于 70km/h。
- 3 不宜急转弯行驶，转弯速度不应小于 20km/h，且不大于 30km/h。
- 4 单次作业的持续时间不应大于 3h。
- 5 不宜停车通过收费站、施工管制等路段。
- 6 宜在数据采集车辆前后 100m 范围内安排前导车和后卫车协同数据采集。
- 7 在保证行车安全性和满足数据采集精度指标的条件下，宜在车顶架高激光器和靠近左侧车道行驶，减少障碍物对 GNSS 信号和扫描光束的遮挡。
- 8 应避免姿态剧变、原地转向、倒车和持续单方向转弯。
- 9 同步采集影像时，应采用定点曝光，避免逆光，并在光线突变时降低车速。

7.3.4 车载激光扫描检校场应符合下列规定：

- 1 检校场应选择地形开阔、GNSS 观测条件良好、无信号干扰源区域。
- 2 校检场地形起伏不宜过大。
- 3 校检场内用于校检的主体建筑物应四角转折明显，建筑表面平整，不宜有大面积的玻璃幕墙等弱反射材质。
- 4 建筑四周应平整，且有与建筑物外边线基本平行的硬化道路围绕。
- 5 控制网应全面控制扫描区域，控制点应均匀分布在目标物的四周。
- 6 靶标点应均匀分布在目标物的四周且高低错落，并进行编号。

7.4 固定站式激光雷达扫描数据采集

7.4.1 扫描测站宜设置在地面稳定的安全开阔区域，布设均匀，以尽量少的测站覆盖整个扫描目标。

7.4.2 数码相机选择应符合下列规定：

- 1 影像像素宜大于 3000 万。
- 2 应支持连续拍摄及高速存储功能。
- 3 相机应具有固定防抖动功能。

7.4.3 激光扫描数据采集应符合下列规定：

- 1 雨雪天或强光环境下不宜进行现场扫描作业。
- 2 作业前应将仪器放置在观测环境中 30 分钟以上。
- 3 扫描时应根据实际公路工程特点设置合适的点云采集间距。
- 4 仪器在扫描过程中出现移位、震动、死机、断电等异常情况时，应重启设备重新进行扫描。
- 5 数码相机无法拍摄全景时，应分幅正面拍摄。
- 6 扫描作业结束后，应将扫描数据导入电脑，检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性和可用性。对缺失和异常数据，应及时补扫。

7.4.4 激光扫描检校场应符合下列规定：

- 1 检校场应设置在视野开阔、地面稳定的安全区域。
- 2 标靶点应在扫描范围内均匀布置且高低错落。
- 3 每一扫描站的标靶个数不应少于 4 个，相邻扫描站的公共标靶个数不应少于 3 个。
- 4 目标物结构复杂、通视困难或线路有拐角的情况应适当增加扫描站。
- 5 明显特征点可作为标靶点使用。

7.5 移动便携式激光雷达扫描数据采集

7.5.1 移动便携式激光雷达扫描方式，应含背包式激光雷达扫描、手持式激光雷达扫描和推车式激光雷达扫描等。

7.5.2 数码相机选择应符合下列规定：

- 1 相机影像像素不宜低于 5000 万。
- 2 全景影像覆盖范围宜大于 75%。
- 3 为了保证便携性，相机重量不宜超过 1.5kg。
- 4 相机最大码率宜大于 100Mbps。
- 5 应支持连续拍摄及高速存储功能。

7.5.3 激光扫描采集的扫描路径规划应符合下列规定：

- 1 扫描路径应覆盖整个作业区域。
- 2 扫描路径应尽量闭合。
- 3 应尽量避免路径重复。
- 4 地面推扫作业宜选择平缓路径，必要时可铺设轨道进行扫描。
- 5 结构复杂或通视困难的作业区域宜提前进行路径规划。

7.5.4 激光扫描数据采集应符合下列规定：

- 1 数据采集前，应对扫描路径进行清障，移除影响移动通行的障碍物，地面推扫作业前应进行动态陀螺仪校准。
- 2 扫描作业时，应尽量保持设备平稳，分段采集数据时，应保证分段数据间有足够的重叠区域，以便相邻测段拼接。
- 3 保证异常情况记录完整，包括遮挡严重或无法进入区域等，便于后续利用其他手段补测。
- 4 保障设备正常工作，电量不足时，应及时做好数据备份和存储。
- 5 扫描作业结束后，应现场检查点云数据的完整性，对缺失和异常数据应及时补扫。
- 6 影像数据采集时，应保证影像清晰明亮，避免在能见度过低或光线过暗的环境中进行采集。
- 7 相邻影像间的重叠度不应低于 30%。
- 8 影像数据采集时，为避免影响全景影像拼接质量，相机与目标间的距离应合理设置。
- 9 当穿过明暗剧烈变化的区域时，宜采用缓慢移动的作业方式。

7.5.5 激光扫描检校场应符合下列规定：

- 1 检校场标靶应均匀分布在作业区域内，宜使用圆球标靶。
- 2 标靶应布设在不同高度。
- 3 明显特征点可作为标靶使用。
- 4 标靶位置宜便于坐标联测。
- 5 小区域或对象单体扫描，通过标靶进行闭合时可不布设控制网。

7.6 资料提交

7.6.1 激光雷达扫描数据采集应提交下列资料：

- 1 系统检校数据；
- 2 激光扫描数据；
- 3 影像数据；
- 4 POS 数据；
- 5 基准站观测数据；
- 6 基准站测量手簿；
- 7 扫描记录数据；
- 8 路面控制点或靶标点测量数据；
- 9 其他相关资料。

7.6.2 应对激光扫描中存在的漏洞进行实地补测，并应符合下列规定：

- 1 实地补测的数据点间距，平原、微丘地区不应大于 20m，重丘、山岭地区不应大于 10m，高山峡谷区不应大于 5m。
- 2 陡坎、凹腔、负地形等地形变化点或区域应加密测量。

8 激光扫描数据处理

8.1 一般规定

8.1.1 激光数据处理应包括数据预处理、激光点云分类、数据精化处理、数据融合处理和资料提交工作。

8.1.2 坐标转换后的激光点精度应满足新建公路工程激光点云成果中误差要求。

8.1.3 数据精化处理后的激光点精度应满足改扩建公路工程激光点云成果中误差要求。

8.1.4 激光点云分类应准确分检出地面类激光点云数据，并存入相应的类别和层中。

8.2 数据预处理

8.2.1 机载、车载和移动便携式激光扫描数据预处理应包括定位定姿数据解算、点云数据预处理、条带间点云拼接、坐标转换和影像预处理。

8.2.2 定姿数据解算应采用北斗卫星导航定位系统或基于北斗卫星导航系统的多星导航定位系统，且应满足下列要求：

- 1 数据解算应选择距离最近的北斗定位基准站数据进行，或采用多基站数据进行联合解算。

- 2 在卫星信号较差或长期失锁的情况下，应采取地面控制点纠正的方式提高定位定姿处理精度。

- 3 北斗卫星导航系统定位天线中心位置坐标应采用基准站坐标联合激光扫描平台 GNSS 观测数据进行精密动态后差分处理。

- 4 应输出定位定姿精度、北斗时间等信息。

8.2.3 不含北斗等定位模块或在隧道等地下空间作业的移动便携式激光扫描应结合激光数据和惯性导航组合定位优化解算轨迹。

8.2.4 点云数据预处理应联合 POS 数据、地面基站的北斗卫星定位数据或基于北斗的多星卫星定位数据、轨迹记录、激光测距数据和系统检校数据进行解算。

8.2.5 点云条带拼接应将不同条带间的点云数据进行条带拼接和系统误差改正，激光点云拼接误差应小于点云限差。

8.2.6 固定式激光扫描数据预处理应包括测站间点云数据配准、点云预处理、坐标转换和影像预处理。

8.2.7 测站间点云配准可选择控制点、标靶、特征地物点进行点云数据配准，并符合下列规定：

- 1 当使用控制点进行点云数据配准时，应利用控制点直接获取点云的坐标进行配准。
- 2 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。

8.2.8 固定式光点云预处理应符合下列规定：

- 1 点云数据中存在脱离扫描目标物的异常点、孤立点时，应采用滤波或人机交互进行降噪处理。
- 2 点云数据抽稀不应影响目标特征识别与提取，且抽稀后点间距应满足点云密度要求。

8.2.9 激光点云数据坐标系转换应采用不少于 3 个分布均匀的同名点，通过七参数模型进行坐标系转换，转换时宜固定比例因子。

8.2.10 影像预处理应包括影像匀光、匀色和几何畸变校正等，并基于数码影像数据、POS 数据、基站数据和检校参数，解算影像外方位元素。影像预处理应符合下列规定：

- 1 图像出现曝光过度、曝光不足、阴影、相邻图像间的色彩差异等现象时，应进行色彩调整保持图像反差适中、色彩一致。
- 2 因视角或镜头畸变引起变形时，应对图像的变形部分做纠正处理。
- 3 应采用 3 个或以上同名点对影像进行配准与拼接，拼接后应保证无明显拼接缝隙。
- 4 处理后的影像应与实地相符，真实反映物体的材质、纹理与颜色。

8.2.11 预处理后的激光点云数据和影像数据宜以通用格式保存。

8.3 激光点云分类

8.3.1 激光点云分类应包括激光点云分类预处理、自动分类、人工编辑分类和

分类检查工作。

8.3.2 激光点云分类预处理应符合下列规定：

1 点云分类预处理应进行噪点滤除，将明显低于地面或点群和高于地表或点群定义为噪点进行滤除。

2 机载激光扫描点云数据宜按 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 进行分块，车载激光扫描点云数据宜沿采集条带长度方向按 0.5km 长度进行分块，固定式和移动便携式激光扫描点云数据宜按测站或测段进行分块。

8.3.3 激光点云自动分类应符合下列规定：

1 分类前应按照绝对高程范围进行滤波处理，去除点云中的明显噪点。

2 自动初始分类，可按照地形类别分别设置坡度阈值。

3 裸露地表区域应将唯一回波的点云分类为地面点。

4 植被覆盖区域宜将末次回波点云分类为地面点，并结合周围地形进行人工判读综合取舍。

5 提取植被、人工规则建筑、水体类别激光点时，应根据激光点高程及点云形状、密度、坡度等特征进行点云分类。

6 形状及空间特征明显的地物，可通过参数设置自动提取。

8.3.4 采用自动分类难以正确分类的地区，宜结合数码影像重新进行人工分检。

8.3.5 激光点云数据分类后应进行成果可靠性、一致性及符合性检查，并符合以下规定：

1 可靠性检查应按点云类别采用高程显示法、三维透视法及晕渲法等，目视检查分类后点云；对模型不连续、不光滑处应重新核实地面点分类的可靠性；对有疑问区域宜用剖面图进行查询、分析。

2 一致性检查应利用点云分类结果与影像进行分类范围的对比分析，对比分析可采用点云赋真彩色的方法进行。

3 符合性检查应利用野外实测数据对分类后的地面点进行断面形态的高程对比检查。

8.3.6 激光点云数据的类别划分、存储宜按附录 D 的规定进行处理。

8.4 数据精化处理

8.4.1 应利用地面控制点或标靶点对激光数据进行精化处理，精化处理后的数据质量应符合后续数字化产品的精度要求。

8.4.2 激光扫描数据精化处理应符合下列规定：

- 1 平面位置的精化处理宜采用分段仿射变换修正，分段长度宜为 5km-10km。每个分段包含的地面控制点或标靶点个数不宜少于 3 个，相邻分段公共点不宜少于 1 个。
- 2 高程坐标的精化处理应采用地面控制点或标靶点构建三角网或线性高程误差补偿模型。
- 3 三角网高程误差补偿模型应采用路面高程控制点向公路两侧各平面偏移 500m 的虚拟高程控制点进行构建，并应进行三角面插值修正激光点云高程误差。
- 4 线性高程误差补偿模型应能贯穿整个数据区域，宜根据激光点所在分段的投影坐标对其进行高程误差线性修正，并应进行线性插值修正激光点云高程误差。

8.4.3 点云精化处理成果质量检查应符合以下规定：

- 1 抽检累计长度不宜少于 10%的路线总长，且抽检位置应分布均匀。
- 2 抽检位置应包含离地面北斗 GNSS 基站最远处、多基站正中间位置附近、不同条带拼接重叠处、既有公路路桥分界处、路基不均匀沉降处。
- 3 改扩建项目应重点对既有路面进行检查。

8.5 数据融合处理

8.5.1 多平台激光点云融合处理应符合以下规定：

- 1 多平台数据应包含重合区域，重合区域内宜覆盖有地面控制点、标靶点等同名点。
- 2 应统计同一区域不同平台系统获取的激光同名点匹配误差，其平面中误差不应大于平均点云间距，高程中误差应符合本规范表 3.3.3 的相关规定。
- 3 宜利用轨迹线或地面控制点、标靶点确定各平台所获取数据精度，可直接以同区域精度较高的点云数据为参考纠正其他平台所获点云数据。
- 4 数据融合含多期数据时，宜结合现势性强的资料确定变化区域，根据技术要求确定最终成果。
- 5 多期数据配准应基于未变化区域进行。
- 6 应对融合后的多平台点云数据进行综合去噪，可依据各平台点云数据的噪声点特性进行。
- 7 宜依据大范围信息的平台获取的点云数据为基准，对经匹配后的多平台点云数据反射强度进行调整。
- 8 完成点云数据融合后，应利用检测点检查点云平面精度和高程精度是否满足项目设计要求。

8.5.2 多平台影像数据配准处理应符合下列规定：

- 1 应采用匀光匀色方式对影像进行色彩、亮度 and 对比度的调整处理。
- 2 应对相邻影像接边精度进行统计，其精度满足后续数字化产品生产要求。
- 3 影像裁剪宜优先保留同区域精度较高的影像数据。
- 4 图像配准时，应保证图像细节标线清晰，无配准镶嵌缝隙。
- 5 处理后的图像应与实地情况相符，真实反映地物图案、质感及颜色。
- 6 宜将处理后的图像转换为通用的文件格式。

8.5.3 点云与影像数据融合处理应符合下列规定：

- 1 应对多平台获取的影像数据与点云数据进行高精度配准后再进行融合处理。
- 2 点云与正射影像融合宜采用相同平面坐标的像素与点云直接进行融合。
- 3 车载点云与全景影像融合应先获取全景影像外方位元素，结合全景成像共线方程进行解算后进行融合。融合时应选取与特征点云最近且正面的影像。
- 4 各平台点云可采用点云和影像数据中对应的同名点解算 DLT 方程系数，获取对应影像中的 RGB 信息赋给对应的点云。
- 5 应根据需求选择像素级融合、特征级融合或决策级融合等算法进行真彩色点云数据制作。
- 6 制作完成的彩色点云在与图像重叠的区域应无明显色彩差异。

8.6 资料提交

8.6.1 激光扫描数据处理宜提交以下资料：

- 1 定位定姿、影像、点云等中间过程数据。
- 2 处理后的点云、影像数据。
- 3 激光点云精度检查报告。
- 4 其他相关资料。

8.6.2 激光点云成果数据宜采用 LAS 格式，影像数据宜采用 JPG、GeoTiff 或者 Tiff 格式。

9 北斗与激光扫描集成测量

9.1 一般规定

9.1.1 北斗与激光扫描集成测量主要包括北斗与激光扫描集成采集系统、北斗与激光数据联合处理、北斗与激光扫描集成应用。

9.1.2 北斗与激光扫描集成测量可用于公路工程的勘测，路况、边坡/桥梁/隧道检测和监测。

9.1.3 北斗与激光扫描集成测量应精确测定高精度空间位置信息和姿态信息。

9.2 北斗与激光扫描集成采集硬件系统

9.2.1 北斗与激光扫描集成采集硬件系统应包括数据采集、定位定姿、通信传输模块。

9.2.2 数据采集模块应符合下列规定：

- 1 应具备采集目标物的三维激光点云、影像、视频等信息功能。
- 2 应实时提供集成采集系统的时间、经纬度、高程、速度和方向等信息，并能上传至后台控制系统。
- 3 应具备导航功能，可设计、存储、显示航线和按已知航线导航。

9.2.3 定位定姿模块应符合下列规定：

- 1 应内置 IMU 惯性测量单元，并应支持北斗单模定位和北斗 GNSS 导航与惯性测量组合导航定位模式，并支持定位模式切换。
- 2 应能接收和解算导航电文和相关信息，自主修正本地时间，使本地与 UTC 或系统时间同步。

9.2.4 通信传输模块应满足下列规定：

- 1 应支持蓝牙、WIFI/有线网络、3G 以上无线通信和短信通信等多通道进行数据、影像数据或差分数据传输。
- 2 宜支持采用北斗 RDSS 短报文进行通信传输功能。

9.2.5 定位定姿性能应符合下列规定：

- 1 冷启动首次定位时间应优于 40s，热启动首次定位时间应优于 10s，重新捕获时间应小于等于 1s。
- 2 测速精度应小于或者等于 0.1m/s。

3 北斗系统接收信号频点捕获灵敏度应优于-133dBm，跟踪灵敏度优于-136dBm。

4 与惯导进行组合导航时，IMU 更新率不应低于 200Hz。

5 单频 RTK 初始化时间不应超过 120s，双频 RTK 初始化时间不应超过 20s。

6 IMU 的陀螺随机游走应优于 0.04°/h，角度输入量程应优于±200°/s。

7 加速度计算量程应优于±20g，加速度计量零偏应优于 1.7mg。

8 滚动角、俯仰角精度应优于 0.005°，航偏角精度应优于 0.010°。

9.2.6 定时性能应符合下列规定：

1 相对于 UTC 定时精度应优于 250ns；

2 相对于系统时间定时精度应优于 150ns；

3 支持 1PPS 秒脉冲输出。

9.2.7 北斗与激光扫描集成采集硬件系统使用环境条件应符合下列规定：

1 根据使用场景需求，应能满足普通环境 0℃~50℃的工作范围要求或者满足工业级-40℃~85℃。

2 应能够在温度为 40℃，相对湿度为 95%的环境下正常工作。

3 应能够在高温 85℃和低温-40℃循环变化的环境下放置一定时间后保持正常工作。

4 不应低于 IP43 外壳防护等级。

5 终端的平均故障间隔时间(MTBF)最低可接受值应为 5000h。

9.3 北斗与激光扫描集成采集软件系统

9.3.1 北斗与激光扫描集成采集软件系统应包括多硬件连接与管理、项目管理与数据采集控制、语音与报警、数据存储与下载、系统状态显示等模块。

9.3.2 多硬件连接与管理应符合下列规定：

1 应提供标准接口，支持三维激光扫描仪、高分辨率相机、惯性测量单元、导航定位接收天线等测绘硬件终端的连接管理。

2 支持集成采集系统参数设置，包括数据采集分辨率、频率等。

3 应支持多种卫星系统联合定位设置，可设置接收卫星的截止高度角、数据采集率等参数。

4 应支持基准站的添加、删除，以及基准站坐标、天线参数设置功能。

9.3.3 项目管理与数据采集控制应符合下列规定：

1 应具备新建项目、项目管理、删除项目、打开项目、设置当前项目信息等功能。

- 2 支持预先设置存储测绘点位、路线、范围，并在测区地图上叠加显示。
- 3 可支持航线拍照、定时拍照、定距拍照多种影像拍照模式。
- 4 支持基于导航定位的数据采集控制功能，可依据预先存储设置的数据采集点位、路线、范围实现测绘数据自动采集。

9.3.4 语音与报警应符合下列规定：

- 1 应支持对导航信息、测绘任务进度等事件提供语音提示。
- 2 应支持对定位失效、通信中断、测绘硬件终端故障等紧急事件提供语音报警。

9.3.5 数据存储与下载应符合下列规定：

- 1 应支持集成采集数据实时存储、备份，包括导航定位数据、惯导数据、三维激光点云数据、图像数据等。
- 2 应支持数据在线或者离线下载，包括导航定位数据、惯导数据、三维激光点云数据、图像数据等。

9.3.6 系统状态显示应符合下列规定：

- 1 应支持实时显示卫星状态、载噪比、定位结果、定位精度、及 HDOP、VDOP、PDOP 的功能。
- 2 支持显示硬件终端实时工作状态，硬件终端包括包括三维激光扫描仪、高分辨率相机、惯性测量单元、导航定位接收天线等。
- 3 支持采集工作的实时进度显示。

9.3.7 软件系统性能应符合下列规定：

- 1 存储数据量支持能力不宜少于 500GB。
- 2 数据存储有效性应达到 100%，紧急情况数据可恢复率应达到 100%。
- 3 任务指令与报警响应时间应小于 0.1s。
- 4 系统在数据响应和界面承载方面不应会出现界面混乱、数据报错、触发按钮功能缺失、操作频繁或者快速容易崩溃等问题。
- 5 系统故障恢复时间应小于 10min。

9.4 北斗与激光集成数据联合处理

9.4.1 北斗与激光集成数据联合处理应对原始数据进行解码，获取北斗 GNSS 数据、IMU 数据和激光测距数据等，并结合基准站观测数据、航/轨迹数据、基站控制点数据和激光测距数据等生成满足要求的点云数据。

9.4.2 测站定位定姿数据处理应符合下列规定：

- 1 在扫描区域内有全球导航卫星系统连续运行基准站，并且其采样频率符

合要求,收集这类基准站的观测数据,联合北斗 GNSS 观测数据,按照后处理精密动态测量模式进行处理,获取扫描过程中各时刻北斗 GNSS 天线的基准坐标。

2 如果在扫描区域布设北斗 GNSS 地面基准站,可采用国家已知北斗 GNSS 标点联测方式得到基准站坐标,或收集基准站周围全球导航卫星系统连续运行基准站观测数据、北斗历书和精密钟差等相关数据,解算获取北斗 GNSS 基准站坐标,联合北斗 GNSS 观测数据按照后处理精密动态量模式进行处理,获取扫描过程中各时刻北斗 GNSS 天线的基准坐标。

3 选择该集成设备距离摄区最近的基准站数据进行解算或采用多基准站数据联合解算,确保采用最优解算结果。

4 剔除姿态不佳的编号卫星数据,保证最终差分数据质量。

5 基于差分北斗 GNSS 结果与 IMU 数据进行数据联合处理,并顾及系统校验已量测的偏心分值。

6 若北斗 GNSS 数据用精密单点定位后处理模块进行处理,按照精密单点定位数据处理流程解算扫描过程中各个时刻集成设备的准确位置。

7 通过双向解算差值、北斗 GNSS 定位精度和数据质量因子等指标进行综合评定。

8 导出航/轨迹文件成果。

9.4.3 系统各个部件的检校场或室内检校数据主要用于改正系统误差、轨迹偏移等。系统部件之间的偏心角、偏心分量数据,通过整体平差的方法解算出定向定位参数,改正行驶轨迹平面和高程漂移系统误差。

9.4.4 点云数据解算应符合下列规定:

1 联合定位定姿数据和激光测距数据,附加系统检校数据,进行点云解算,生成三维点云。

2 点云数据可采用 LAS 格式、ASCII 码格式或其他格式存储。

9.4.5 点云处理、拼接和系统误差改正应符合下列规定:

1 三维点云宜投影到二维平面上,以便于后续影像纠偏、断面数据的提取和结构表面病害的识别与标注等。

2 线路里程宜利用结构的明显标识进行校正,对于双圆盾构隧道、有中隔墙的大直径盾构隧道,需进行上、下行线扫描数据的里程校正。

3 点云成果用于断面几何尺寸测量和限界检测时,宜将点云坐标转换至垂直于隧道中心线的平面直角坐标系。

4 当需要获取点云绝对坐标时,应将点云数据与控制点标靶坐标、其他集成传感器数据等进行融合解算,得到满足精度要求的三维点云数据。

5 条带拼接时，不同条带间（含同测站次和不同测站次）点云数据同名点的平面位置中误差、高程中误差应小于点云同类中误差的 $\sqrt{2}$ 倍。

6 如果中误差超限且存在系统误差，应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，再进行扫描带拼接。

9.4.6 预处理完成后，应采用控制点检查的方式检查点云数据的精度编写点云数据精度检查报告。

9.5 北斗与激光扫描集成应用

9.5.1 北斗与激光扫描集成可应用于公路工程的勘测、检测和监测。

9.5.2 数字化工程勘察应符合下列规定：

1 数字化勘测集成应实现公路工程的地形与环境数据收集、三维模型创建、道路设计方案评估和环境影响评估等。

2 数字化勘察纹理宜利用全球导航定位系统获取绝对坐标，可采用激光强度影像或其他设备采集的影像。

3 公路及附属设施结构等部位的地形、地质、环境数据与三维模型宜基于扫描点云及其他设备采集的影像数据，采用自动或交互方式创建。

4 工程地质勘察应包括公路工程地质条件采集、地质信息处理、坐标转换等。

9.5.3 数字化施工监测集成应符合下列规定：

1 数字化施工监测应通过北斗系统和激光扫描仪实时或定期检测公路工程的机械设备的导航与定位、地面施工和铺设平整度校正、质量控制和安全管理等。

2 施工监测基准点应部署工程施工区域外、均匀分布，监测基准点坐标应采用北斗系统获取，并利用北斗系统获取机械设备实时动态定位信息，确保机械路径正确、路面平整度和厚度符合设计规范。

9.5.4 路况检测集成应符合下列规定：

1 路况检测集成应通过北斗系统和激光扫描仪实时或定期检测道路设施检测、路基检测、路面病害检测、突发事件等的实时路况检测。

2 路况检测基准点应部署在变形影响区域外、均匀分布。基准点的坐标宜采用北斗系统通过静态观测获取。

3 路况检测应采用固定式或移动式激光扫描获取，并利用北斗系统获取激光扫描检测设备的实时动态定位信息。

4 道路设施检测应包括交通安全设施、服务设施和管理设施检测，以保障行车安全，为用路者提供良好的服务。

9.5.5 边坡检测集成应符合下列规定：

1 边坡检测集成应通过北斗系统和激光扫描仪实时或定期检测边坡的三维位移和沉降。

2 边坡检测基准点应部署在变形影响区域外、均匀分布。基准点的坐标宜采用北斗设备通过静态观测获取。

3 边坡检测宜采用单站激光扫描或固定标靶监测点激光扫描，并应通过北斗设备获取激光扫描仪或固定标靶点的实时三维坐标。

4 当采用单站激光扫描的方式，历次监测宜在同一工作基点设站扫描作业。监测区域的点云数据为多站扫描数据配准而成时，应采用标靶配准，配准次数不宜大于 2 次。

5 当采用固定标靶监测点的方式，边坡监测点设置与观测应符合下列规定：

1) 固定标靶的重复安装误差不应大于精度要求的 $1/10$ ，标靶的识别精度不应低于精度要求的 $1/3$ 。

2) 当采用有明显轮廓线的目标物作为监测点时，可采用直接量测轮廓线特征点坐标值的方法，轮廓线处点云最大相邻点间距宜小于 3mm。

3) 当采用监测目标物的几何特征拟合监测点时，历次选取的位置应明显、一致、平整。

9.5.6 桥梁形变检测集成应符合下列规定：

1 桥梁形变检测集成应通过北斗系统基准点及监测点实时或定期监测小桥、中桥、大桥、特大桥重点部位的形变。

2 桥梁检测基准点部署在变形影响区域外、均匀分布。基准点的坐标宜采用北斗系统通过静态观测获取。监测点应部署在桥梁结构变形特征区域。

3 桥梁形变检测应包括水平位移监测、垂直位移监测、三维位移监测和其他位移监测。

9.5.7 隧道检测集成应符合下列规定：

1 隧道检测应通过北斗系统和激光扫描仪实时或定期检测短隧道、中隧道、长隧道、特长隧道及隧道群内外结构的结构及病害。

2 隧道检测基准点应部署在变形影响区域外、分布均匀。基准点的坐标宜采用北斗系统通过静态观测获取。

3 隧道检测应采用架站式或移动式激光扫描获取，并利用北斗系统获取激光扫描检测设备的实时动态定位信息。

4 隧道结构检测应采用断面检测方法，选择结构内壁遮挡物较少、无大面积渗漏水的部位，断面宽度不宜大于 2cm。多期扫描成果对比时，断面提取位置宜选取在同一里程处。

5 隧道病害检测宜对隧道土建结构病害特征及变化的观测和分析，结构表面病害成果应对渗漏水、混凝土缺陷等病害进行识别实现。

9.6 资料提交

9.6.1 北斗与激光数据联合处理应提交以下资料：

- 1 成果清单；
- 2 激光点云数据、DEM、DLG、三维模型、TDOM、平面图、立面图、剖面图，以及表面积、体积计算成果；
- 3 控制测量与计算资料；
- 4 标靶布设与观测资料；
- 5 外业扫描记录；
- 6 内业数据处理记录；
- 7 技术设计书；
- 8 技术总结书；
- 9 检查报告与验收报告；
- 10 其他相关资料。

9.6.2 北斗与激光扫描集成应用报告应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 现场踏勘情况；
- 3 总体方案；
- 4 控制测量、测站布设方案；
- 5 数据处理与分析报告；
- 6 项目进度计划及执行报告。

10 数字化产品生产

10.1 一般规定

10.1.1 数字化产品生产应包括点高程插值、数字高程模型建立、数字正射影像图制作、三维模型生产、数字线划地形图生产、断面线生成及资料提交。

10.1.2 点高程、数字高程模型、数字正射影像、三维模型及数字线划地形图在地形及属性要素上应保持正确性和一致性。

10.1.3 数字化产品生产之前，应检查影像数据、点云数据的完整性和有效性，当存在数据漏洞时，应进行实地补测。

10.2 点高程插值

10.2.1 激光点选择应从分类后的激光点云数据中提取地面类激光点作为备选点数据。备选点应满足下列规定：

- 1 新建公路工程或改扩建公路工程路基范围外点高程插值应提取被插值点周围半径 10m 范围内的地面类激光点。
- 2 改扩建公路工程路面或边坡点高程插值应提取距该点周围半径 0.5m 范围内的地面类激光点。

10.2.2 TIN 构建应符合下列规定：

- 1 应利用提取的地面类激光点进行构建。
- 2 应将地形特征线、空白区域外边缘和作业范围作为三角形的约束边。
- 3 所有三角形均不应相交或重复。
- 4 三角形的三个内角宜为锐角。
- 5 空白区域内部和作业范围线外部不应构成有效的三角形网络。

10.2.3 高程内插应符合下列规定：

- 1 点高程内插宜采用三角面插值法。
- 2 构造物复杂区域的点高程内插应结合地物特征，采用邻近点插值或赋值。

10.2.4 质量检查应符合下列规定：

- 1 应按点插值总数进行不少于 5%抽检；检测样本应均匀分布，兼顾不同地

形类别。

2 应重点检查房屋前后、陡坎、边坡和沟渠，植被覆盖等区域内插点的高程与周围点云中地面类点高程是否一致。

3 应利用野外实测的检查点或激光点云进行精度检查。

4 应将高程插值的点与分类后的激光点云叠加显示。

5 检查时应同时显示两个视图窗口，一个显示 DOM 和激光点云平面信息，另一个显示高程插值点剖切激光点云的剖面信息。

10.3 数字高程模型建立

10.3.1 DEM 应依据分类后的地面类激光点云与补测的地面点建立，反映地表特征的特征线应具有高程信息。

10.3.2 DEM 的高程内插宜采用线性内插或三角面内插。

10.3.3 DEM 格网点间距应按表 10.3.3 的规定执行。

表 10.3.3 格网点间距

成图比例尺	1:500	1:1 000	1:2 000
格网点间距 (m)	≤0.5	≤1.0	≤2.0

10.3.4 DEM 拼接,数据应覆盖完整、位置正确，接边处高程一致，形态合理、地形过渡自然；DEM 裁剪应外扩至少一排 DEM 格网。

10.3.5 应对 DEM 高程精度进行抽检。抽检面积不应少于产品面积的 5%；检测样本应均匀分布，兼顾不同地形类别、不同种类植被覆盖区域，图上每 100mm×100mm 内不少于 1 个。

10.4 数字正射影像图制作

10.4.1 数据准备应符合下列规定：

- 1 DOM 宜采用清晰、反差适中，色调正常的数码影像进行制作。
- 2 应准备影像索引文件，航迹、轨迹或测站文件及相机镜头畸变参数。
- 3 应准备相应成图比例尺的 DEM 数据。

10.4.2 DOM 制作应符合下列规定：

- 1 DOM 制作技术指标宜符合表 10.4.2 的规定。

表 10.4.2 DOM 技术指标

成图比例尺	1: 500	1: 1 000	1: 2 000
影像地面分辨率 (m)	≤0.05	≤0.10	≤0.20
灰阶	≥256	≥256	= 256
波段 (个)	≥1	≥1	≥1

2 应采用地面类激光点云进行影像的数字微分纠正。

3 影像连接点选取、匹配时, 每张影像至少应有 5 个以上连接点, 且宜均匀分布于每张影像的四角和中间位置。条件允许时, 可加入已知地面控制点, 以提高 DOM 精度。

4 应进行影像去模糊、去雾的增强预处理。

5 宜对影像色调、亮度、对比度进行调整处理。

6 应进行影像重采样, 使生成的 DOM 视觉效果好, 图像信息损失少。

7 DOM 镶嵌线宜沿着道路或地类, 块边缘色调较暗的地方通过; 镶嵌线应避免靠近影像边缘及地形有突变的区域, 应避免直接穿过大面积水域。

8 DOM 裁剪应依据裁剪线外扩不少于 1 行或 1 列栅格点影像进行作业。

9 应作匀光、匀色处理, 确保区域整体影像色彩平衡。

10 DOM 制作完成后, 应纹理清晰、层次丰富、无明显失真。

10.4.3 质量检查应符合下列规定:

1 应检查 DOM 拼接处的接边限差, 超过限差的产品应重新生成 DOM。

2 应检查相邻 DOM 的纹理、亮度、反差、色调、色彩的一致性。整幅图像应纹理清晰, 视觉效果良好。

3 应对平面精度进行抽检。抽检面积不应少于 DOM 产品面积的 5% ; 检测样本应均匀分布, 兼顾不同地形类别、植被覆盖, 图上每 100mm × 100mm 内不应少于 1 个。

10.5 数字三维模型生产

10.5.1 数字三维模型生产包括三维连续表面模型生产和三维单体模型生产。

10.5.2 三维连续表面模型生产包括道路及附属设施等地物模型生产。

10.5.3 三维连续表面模型生产应符合以下规定:

1 模型由 TIN 与纹理组成, 反映地物结构特征和纹理特征。

2 模型依据点云数据进行 TIN 结构建模, 依据影像数据进行纹理映射。

3 模型应纹理细节清晰, 准确反映地物特征, 对存在的悬浮、漏洞、粘连、拉花等现象的部位应进行结构编辑处理。

10.5.4 三维单体模型生产包括道路单体模型生产、附属设施单体模型生产以及其他单体模型生产。

10.5.5 道路单体模型包含以下内容：

- 1 路面类，包括车行道、非机动车道、人行道、匝道、出入口、安全岛、避险车道、路肩、平面交叉口、涵洞、减速带等。
- 2 标线类，包括道路标线、标线箭头、标线文字等。

10.5.6 道路单体模型生产符合以下规定：

- 1 道路单体模型的地理位置应根据采集的点云数据确定。
- 2 道路单体模型的纹理信息宜依据采集的影像数据确定。
- 3 道路单体模型上的各类交通标线宜与实际情况一致。
- 4 道路单体模型建模宜基于点云数据提取结构线，采用自动化或人机交互的方式进行。模型高度宜基于点云数据自动匹配或人工判读。纹理应细节清晰，可反映道路材质，不同纹理的差别与分割应清晰反映。

10.5.7 附属设施单体模型包含以下内容：

- 1 道路交通类，包括公里桩、警示桩、防撞桶、停车设施、交通标志设施、指示牌、摄像头、信号灯、护栏、隔离带、收费站等。
- 2 公共设施类，包括水、电、气、热等各种检查井盖、照明灯及相关设施等。

10.5.8 附属设施单体模型生产应符合以下规定：

- 1 附属设施模型的地理位置应根据采集的点云数据确定。
- 2 附属设施模型的纹理信息宜依据采集的影像数据确定。
- 3 附属设施模型底部应与道路模型衔接一致。
- 4 附属设施模型宜基于点云数据提取结构线，采用自动化或人机交互方式进行。也可对同类型附属设施建立通用模型。

10.5.9 其他单体模型包括除道路及附属设施以外的、可以从道路采集到的模型，包括地上建（构）筑物、植被等。

10.5.10 其他单体模型生产应符合以下规定：

- 1 建（构）筑物模型的基底、外立面几何结构、建筑高度和植被的地理位置应根据采集的点云数据确定。
- 2 植被模型宜采用多面片形式表现。针对特定需求，宜对古树名木树种进行细节建模表现。

- 3 建（构）筑物模型、植被模型底部应与道路模型衔接一致。
- 4 建（构）筑物模型纹理宜正确反映材质特征，植被的纹理宜反映植被的真实色彩。

10.5.11 数字三维模型生产成果质量检查应符合以下规定：

- 1 模型数据的时空基准检查，应包括模型数据的平面坐标系、高程基准和投影等。
- 2 模型数据的精度检查，应包括模型数据的特征点为平面中误差、特征点高程中误差等几何精度。
- 3 模型数据的完整性和正确性检查，应包括道路及附属设施等的错漏检查。
- 4 模型纹理的准确性和协调性检查。
- 5 各建模单位元接边的正确性、合理性检查。
- 6 数据组织的正确性、规范性检查，应包括模型数据格式、模型及纹理数据命名的正确性、规范性检查。
- 7 其他内容检查。

10.6 数字线划地形图生产

10.6.1 等高线数据宜基于激光点云分类中的地面类或数字高程模型自动生成。

10.6.2 高程注记采集应基于 DOM 和地面类激光点进行，并应符合下列规定：

- 1 路线、地质、水文各专业所需的特征点，路线附近的沟底、谷底、鞍部、山顶、变坡处、坎顶、坎底、道路交叉、桥面最高处及主要河流、湖泊及较大水塘的水边等均应测注高程注记点。
- 2 既有公路图上每 10~15mm 应测注高程注记点。
- 3 高程注记点密度宜为图上每 100mm × 100mm 内，平原、微丘地区 10~20 个，重丘、山岭地区 8~15 个。
- 4 等高线注记图上每 100mm × 100mm 内宜标注 1~3 个。

10.6.3 地物、地貌数据采集应符合下列规定：

- 1 各类建筑物、构筑物及主要附属设施数据均应采集。
- 2 采集依比例尺表示的地物应切准轮廓线或拐角，并采点连线。
- 3 采集不依比例尺表示的地物应确定定位点或定位线，采用相应符号或线型表示。
- 4 地物要素应按国家现行有关图式要求进行标示。
- 5 山脊线、山谷线应位置准确、走向分明。

6 水系的表达应反映水系类型、形态和密度特征，河流与湖泊入口衔接关系的表示应自然合理。

7 水涯线的表示应以采集时水位为准。

8 斜坡应采集上坡线及对应的下坡线。

10.6.4 地形图编辑应符合下列规定：

1 建筑在陡坎和斜坡上的建筑物应按实际位置绘出，陡坎无法准确绘出时，可移位图上 0.2mm 表示。

2 悬空建筑在水上的房屋与水涯线重合时，房屋应照常表示，间断水涯线。

3 两个点状地物相距很近且同时绘出有困难时，可将高大突出的或对路线方案位置有控制性要求的准确表示，另一个移位图上 0.2mm 表示。

4 地面、地下及架空管线应按地面标记连线表示，并应注明用途属性。

5 电力线、通信线走向与线状地物平行且距离小于图上 10mm 可不连线，10kV 以上的输电线应注明电压伏数。

6 水涯线遇桥梁、水坝、水闸时应中断，与陡坎重合时可用陡坎边线代替，与斜坡脚重合时应在坡脚绘出。

7 点状地物与房屋、道路、水系地物重合时，可中断其他地物符号并间断图上 0.2mm，以保持点状地物完整性。

8 公路应注明等级、名称、路面宽度以及铺面材料；铁路应注明等级、名称，与道路相交时，应中断道路符号。

9 两级境界重合时，应绘高一级境界符号，并应注记两级行政隶属。

10 地类界与地面有实物的线状符号重合时，可省略不绘；与地面无实物的线状符号重合时，应将地类界移位图上 0.2mm 绘出。

11 注记与独立地物、线状地物重合时，宜移动注记位置。

12 地物、等高线接边应连续、无裂缝，图形平滑、自然，属性一致。接边差在限差以内时，应取平均值作为最终使用值；超过限差时，应重新生产。

13 不同坐标系之间的地形图接边，应将相邻地形图进行变换，统一到同一坐标系内接边。

10.6.5 地形图质量检查应符合下列规定：

1 应对地形图平面和高程精度进行抽检。抽检面积不应少于产品面积 5%，检测样本应均匀分布，兼顾各种地形类别，图上每 100mm × 100mm 内不应少于 1 个。

2 应检查属性项名称、类型、长度、顺序的正确性和是否遗漏。

3 应检查点、线、面拓扑关系的正确性。

10.7 断面线生成

10.7.1 断面线数据生成前，应准备断面线的中桩桩号、中桩点三维坐标或断面两端端点平面坐标。

10.7.2 断面线数据宜根据 DEM 或激光点数据生成。

10.7.3 用于断面生成的激光点应在断面线两侧各 1m 范围内的地面类激光点中提取。

10.7.4 激光点生成断面线应符合下列规定：

1 断面线空洞阈值，新建公路工程宜为 20m，改扩建公路工程路面或边坡区宜为 5m。

2 应选取距断面线平面距离小于 0.1m 的地面类激光点，根据该类点在断面线平面上的投影坐标生成初始断面线；对初始断面线进行扫描且存在空洞时，应选取距断面线平面距离 0.1-0.3m 的地面类激光点作为补充点，生成断面线；再次对断面线进行扫描且存在空洞时，应选取距断面线平面距离 0.3-0.8m 的地面类激光点作为补充点，生成断面线。

3 断面线中处于水域内的区域，应采用野外实测进行补点。

10.7.5 断面线生成应用于新建公路工程或改扩建公路工程路基范围外时，应对提取的点云数据中地面类点构建 TIN，采用三角面插值出断面点高程。改扩建公路工程路基范围内的点应采用邻近点高程赋值生成断面点高程。

10.7.6 断面线编辑应符合下列规定：

1 应将断面线、生成的断面点和提取的点云叠加显示。

2 检查时应同时显示两个视图窗口，一个视图显示 DOM 和激光点云平面信息，另一个视图显示断面线剖切激光点云的剖面信息。

3 应剔除断面线突变异常处对应的断面点。

4 房屋前后断面线高程应与地形表面高程保持一致。

5 应根据断面线与水涯线平面位置交点，间断水域内的断面线。

6 应根据陡坎形态对陡坎处断面线进行修正。

7 断面线下的非地面类激光点，应结合 DOM 进行分析，并判断是否纳入断面线中。

10.7.7 断面线质量应检查其精度、一致性和数据完备性。

10.7.8 断面线精度检查应符合下列规定：

- 1 应按断面线总数进行不少于 5%抽检；检测样本应均匀分布，兼顾不同地形类别、植被覆盖区域。
- 2 应利用野外实测的检查点或点云中的地面类激光点进行精度检测。

10.7.9 断面线一致性检查应包括下列内容：

- 1 断面线及其相交房屋、陡坎、水涯线等地物处高程的正确性。
- 2 断面线在水域、陡坎、微地貌等区域的形态，与最低激光点的包络线形态是否一致。

10.7.10 断面线数据完备性检查应包括全部中桩断面线及其宽度的情况，不应遗漏断面线。

10.8 资料提交

10.8.1 数字化产品生产宜提交下列资料：

- 1 分幅结合表；
- 2 高程内差点数据；
- 3 DOM 数据；
- 4 DEM 数据
- 5 DLG 数据；
- 6 三维模型数据；
- 7 断面线数据；
- 8 产品检查报告或验收报告；
- 9 技术总结；
- 10 其他相关资料。

10.8.2 数字化产品格式应符合下列规定：

- 1 高程内差点或断面线数据宜按 ASCII 或 EXCEL 格式存储。
- 2 DEM 数据宜采用 CNSDTF-DEM 格网数据交换格式。
- 3 DOM 数据宜采用 Tiff 格式。
- 4 DLG 数据宜采用 DGN、DWG 或 DXF 格式。
- 5 三维连续表面模型数据宜采用 osgb、flt、dae 或 fbx 格式。
- 6 三维单体模型数据宜采用 osg、obj、flt、3ds、dae 或 fbx 格式。

附录 A 点云地面控制点形状及尺寸

A.0.1. 点云地面平面控制点尺寸应根据激光点间距确定，其标线宽度宜为 2 倍激光点间距，标线长度、块状长度或扇形直径宜为 8 倍~10 倍激光点间距。

A.0.2. 机载激光扫描测量地面平面控制点形状宜符合图 A.0.2 的规定。

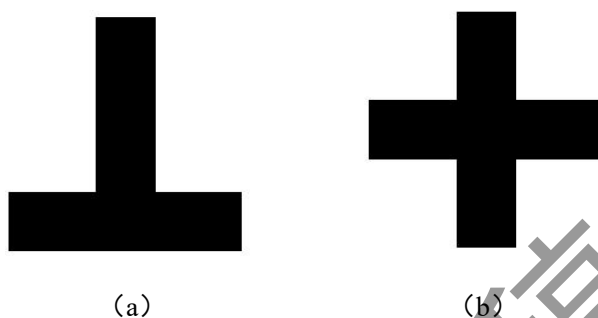


图 A.0.2 机载激光扫描测量地面平面控制点形状

A.0.3. 车载激光与地面激光扫描测量地面平面控制点形状宜符合图 A.0.3 的规定。

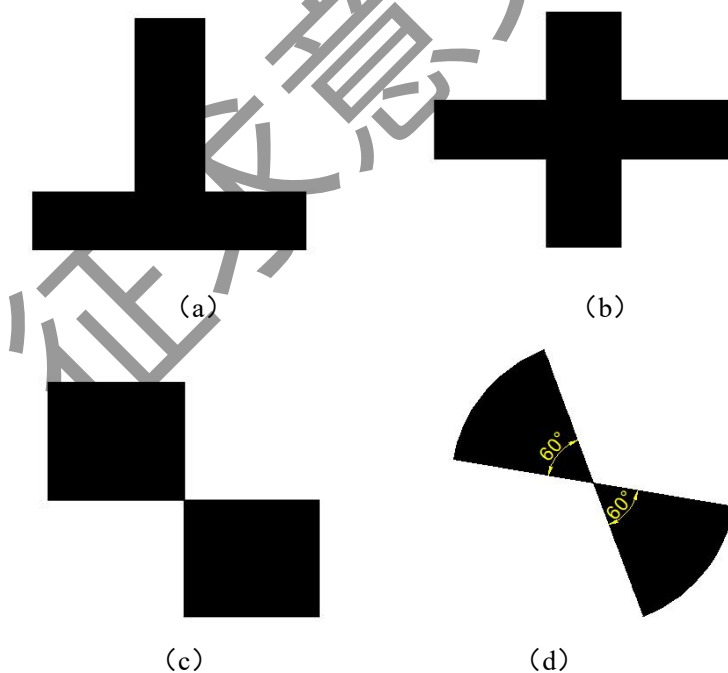


图 A.0.3 车载与地面激光扫描测量地面平面控制点形状

附录 B 标靶点形状及尺寸

B.0.1. 标靶点应具有规则几何形状的标志，一般采用方形或圆形。

B.0.2. 标靶点形状及尺寸宜符合图 B.0.2 的规定。

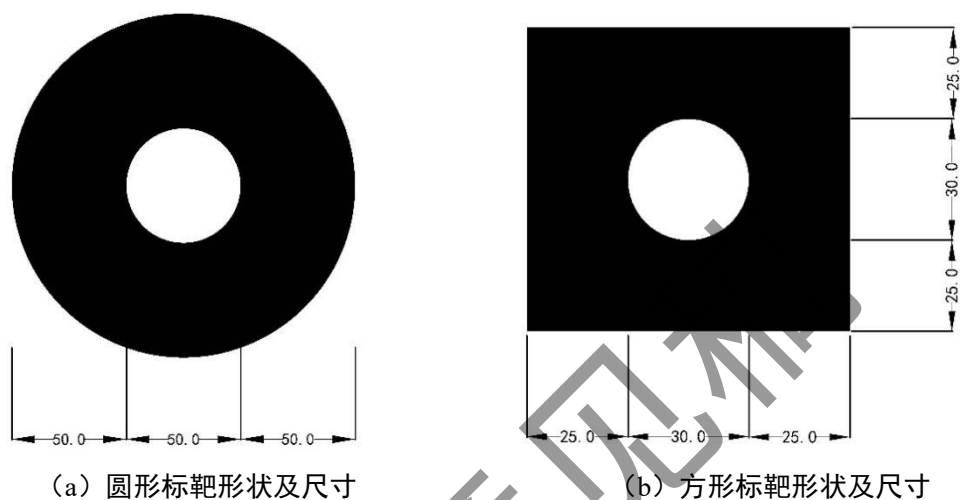


图 B.0.2 点云标靶点形状及尺寸（单位：mm）

附录 C 飞行记录表

C.0.1. 飞行记录表应记录项目名称、地形类别、公路线型、公路带宽、作业时间、起飞时间、降落时间、飞行时长等。

C.0.2. 航线信息应记录设计航带号、文件号、UTC 时间、航高、速度等。

C.0.3. 飞行记录表格式宜按表 C.0.3 规定执行。

表 C.0.3 机载激光雷达飞行记录表

项目名称							
地形类别							
公路线型							
公路带宽							
作业时间				天气情况			
飞机型号				飞行架次			
使用机场				GNSS基站			
飞行员				操作员			
起飞时间 (UTC)				初始化结束 时间 (UTC)			
降落时间 (UTC)				关车时间 (UTC)			
飞行时长							
设计航带号	文件号	开始时间	结束时间	航高 (m)	速度 (km/h)	像片起止 编号	备注

附录 D 激光点云分类

D.0.1. 激光点云分类应划分为原始类、地面类、非地面类、产品类。

D.0.2. 激光点云所在类别应包含类名、存储内容、层号信息。

D.0.3. 激光点云分类宜符合表 D.0.3 的规定。

表 D.0.3 激光点云类别表

序号	类名		存储内容	层号
1	原始类	全部	通过算法提取但尚未分类的点	0
2		备用	准备采用算法分类的点	1
3	地面类		反映地面真实起伏的点	2
4	非地面类	植被	地表上的植被点	3
5		人工建筑	落于居民地、各类人工活动设施及垣栅等范围内的点	4
6		水体	河流、沟渠、湖泊、池塘、水库等范围内的点	5
7		其他	测区内高悬在空中或明显低于地表的激光点	6
8	产品类	横断面	用于提取公路横断面地面线的激光点	7
9		纵断面	用于提取公路纵断面地面线的激光点	8
10		车道标线	用于提取公路路面车道标线的激光点	9
11		护栏	落于公路护栏的激光点	10
12		路缘石	落于公路路面边缘/界石上的激光点	11
13		标志标牌	标志标牌上的激光点	12
14		铁轨	铁轨的激光点	13