



中国工程建设标准化协会标准

CECS G××-××-2019

# 公路工程激光扫描测量技术规程

Specifications of LIDAR Surveying in Highway Engineering

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

中国工程建设标准化协会发布

中国工程建设标准化协会标准

# 公路工程激光扫描测量技术规程

Specifications of LIDAR Surveying in Highway Engineering

(CECSG××-××-2019)

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：20××年××月××日

××出版社

# 中国工程建设标准化协会 公告

20××年第××号

## 关于公布《公路工程激光扫描测量技术规程》 (CECSG××-××-2019)的公告

现发布《公路工程激光扫描测量技术规程》(编号),作为中国工程建设标准化协会标准,自20××年××月××日起实行。

《公路工程激光扫描测量技术规程》(CECSG××-××-2019)的管理权和解释权归中国工程建设标准化协会,日常解释和管理工作由主编单位中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责。

请有关单位注意在实践中总结经验,及时将发现的问题和修改建议函告中交第二公路勘察设计研究院有限公司(地址:武汉市经济技术开发区创业路18号,邮编:430056),以便修订时研用。

中国工程建设标准化协会

20××年××月××日

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会发[2018]35号《关于开展2018年第一批中国工程建设标准化协会标准(CECS G)制修订项目编制工作的通知》的要求,由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路工程激光扫描测量规程》(CECSG××-××-2019)的制订工作。

激光扫描测量技术,是一种主动高效的测量手段,集成了全球定位系统(GNSS)、惯性导航系统(INS)、激光扫描仪、CCD相机等先进遥感系统,在无需或仅需少量的地面控制点情况下,可以实现高精度三维空间信息的快速获取,进行公路新建、改扩建工程勘察设计。

为了科学、合理确定激光扫描测量技术指标,统一指导工程实践,本规程编写组在总结、归纳公路工程激光扫描测量技术与工程应用经验的基础上,结合行业特点,对相关技术指标进行充分验证,力求《规程》的严密性、可操作性。

本规程共有六章和3个附录,分别为总则、术语、控制测量、数据采集、数据处理、数字化产品生产和附录A路面控制点尺寸、附录B飞行记录表、附录C激光点云分类。

本规程由陈楚江负责起草第一章,邱赞富负责起草第二章,王亚毛负责起草第三章第一节,谭文专负责起草第三章第二节,余绍淮负责起草第三章第三节、第四节,张霄负责起草第四章,明洋负责起草第五章第一节、第二节,熊忠招负责起草第五章第三节,汤敏负责起草第五章第四节、第六节。王丽园负责起草第五章第五节,徐乔负责起草第六章第一节、第二节,余飞负责起草第六章第三节,王志明负责起草第六章第四节,刘德强负责起草第六章第五节,罗博仁负责起草第六章第六节、第七节。

请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见,函告本规程日常管理组,联系人:陈楚江(地址:武汉市经济技术开发区创业路18号,邮编:430056;电话:027-84214097,传真027-84214349;电子邮箱:cjchen@vip.163.com),以便修订时参考。

---

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股份有限公司  
湖北省国土测绘院

主 编： 陈楚江

主要参编人员： 张霄 邱赞富 王亚毛 明洋 余绍淮 余飞 汤敏 谭文专  
王志明 熊忠招 王丽园 罗博仁 刘德强 徐乔

主 审： 黄文元

征求意见稿

# 目录

1 总则.....	1
2 术语.....	3
3 控制测量.....	5
3.1 一般规定.....	5
3.2 地面 GNSS 基准站布设.....	5
3.3 路面控制点布设与测量.....	6
3.4 资料提交.....	8
4 数据采集.....	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 资料收集与分析.....	10
4.3 机载激光雷达扫描数据采集.....	11
4.4 车载激光雷达扫描数据采集.....	14
4.5 地面激光雷达扫描数据采集.....	15
4.6 资料提交.....	16
5 数据处理.....	18
5.1 一般规定.....	18
5.2 数据预处理.....	18
5.3 数据坐标转换.....	19
5.4 激光点云分类.....	20
5.5 数据精化处理.....	21
5.6 资料提交.....	21
6 数字化产品生产.....	23
6.1 一般规定.....	23
6.2 点高程插值.....	23
6.3 数字高程模型建立.....	24
6.4 数字正射影像图制作.....	25
6.5 数字线划地形图生产.....	26
6.6 断面线生成.....	27
6.7 资料提交.....	30
附录 A 路面控制点尺寸.....	31
附录 B 飞行记录表.....	32
附录 C 激光点云分类.....	33

# 1 总则

1.0.1 为适应公路建设的需要，统一公路工程激光扫描测量技术要求，编制本规程。

1.0.2 本规范适用于新建、改扩建公路工程的初测与初步设计阶段、定测与施工图设计阶段激光扫描技术生产数字产品。

1.0.3 公路工程激光扫描技术的数学基础应符合下列规定：

- 1 坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系。
- 2 高程系统宜采用 1985 国家高程基准。当搜集 1985 国家高程基准的水准点有困难时，高程系统可采用 1956 年黄海高程系。
- 3 投影面的选择应使测区内投影长度变形值小于 25mm/km。

1.0.4 激光点云成果中误差应符合下列规定：

1 新建公路工程激光点云成果的平面位置和高程中误差应优于表 1.0.4-1 的规定。

表 1.0.4-1 新建公路工程激光点云成果的平面位置和高程中误差(m)

类别	平面中误差	高程中误差
平原、微丘	0.30	0.15
重丘、山岭	0.40	0.30

2 改扩建公路工程既有道路路面、边坡的激光点云成果的平面位置和高程中误差应优于表 1.0.4-2 的规定。

表 1.0.4-2 改扩建公路工程激光点云成果的平面位置和高程中误差(m)

平面位置中误差		高程中误差	
路面	边坡	路面	边坡
0.05	0.10	0.02	0.10

1.0.5 数字地形产品平面位置和高程中误差应分别优于表 1.0.5-1 和表 1.0.5-2 的规定。注记点高程中误差应优于表 1.0.5-2 的高程中误差的 0.7 倍。

表 1.0.5-1 平面位置中误差 (图上 mm)

地形类别	平原、微丘	重丘、山岭
平面位置中误差	0.6	0.8

表 1.0.5-2 高程中误差 (m)

成图比例尺	地形类别	高程中误差
1:500	平原	0.2
	微丘	0.3
	重丘	0.7
	山岭	1.0
1:1 000	平原	0.2
	微丘	0.5
	重丘	0.7
	山岭	2.0
1:2 000	平原	0.5
	微丘	0.7
	重丘	1.5
	山岭	2.0

1.0.6 公路工程激光扫描测量除应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 术语

### 2.0.1 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。

### 2.0.2 定位定姿系统 position and orientation system (POS)

卫星定位系统和惯性测量装置的组合体,用于测定激光雷达瞬时的空间位置与姿态。

### 2.0.3 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集成系统。

### 2.0.4 车载激光雷达 mobile LIDAR

地面移动平台集成激光雷达、POS、数码相机和控制系统所构成的集成系统。

### 2.0.5 地面激光雷达 static LIDAR

地面固定平台集成激光雷达、POS、数码相机和控制系统所构成的集成系统。

### 2.0.6 数学基础 mathematic base

为控制地图地理要素分布位置和几何精度而构成的数学法则基础,包括坐标系、高程系统、投影、比例尺等。

### 2.0.7 点云 point cloud

激光雷达获取的地表三维空间离散点的数据集。

### 2.0.8 点云密度 density of point cloud

每平方米平均激光点数。

### 2.0.9 地面点 ground point

点云中反映真实陆地地面形态的点。

### 2.0.10 非地面点 non-ground point

点云中除地面点之外的点。

### 2.0.11 路面控制点 pavement control point

指敷设在道路上用于激光点云精化处理的地面控制点。

### 2.0.12 数字高程模型 digital elevation model (DEM)

以格网点的高程值表达地面起伏的数据集。

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

经过正射投影改正的影像。

### 2.0.14 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。

## 3 控制测量

### 3.1 一般规定

#### 3.1.1 基础控制测量应符合下列规定：

- 1 控制测量等级划分应符合现行的《公路勘测规范》的有关规定。
- 2 当平面使用独立坐标系、抵偿高程面坐标系时，应提供与 2000 国家大地坐标系的转换关系。
- 3 基础控制测量的平面控制测量和高程控制测量等级均应不低于四等。

#### 3.1.2 地面 GNSS 基准站平面位置和高程的测量等级均应不低于四等，平面控制测量应采用 2000 国家大地坐标系，并符合下列规定：

- 1 地面 GNSS 基准站应与基础控制平面坐标系统和高程系统保持一致。
- 2 地面 GNSS 基准站应与基础控制网和高程控制网进行统一平差计算；当分开计算时，应采用基础控制网进行检核。

#### 3.1.3 路面控制点测量应满足下列规定：

- 1 路面平面控制点应与基础控制平面坐标系统和高程系统保持一致。
- 2 路面平面控制点等级应不低于四等。
- 3 路面高程控制点等级应不低于四等，其平面位置测量等级应不低于一级。

### 3.2 地面 GNSS 基准站布设

#### 3.2.1 地面 GNSS 基准站点可选用符合要求的基础控制测量点。

#### 3.2.2 地面 GNSS 基准站间隔和数量应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 地面 GNSS 基准站间隔和数量要求

工程类型	新建公路	改扩建公路
地面 GNSS 基准站间隔 (km)	$\leq 40$	$\leq 30$
地面 GNSS 基准站数量 (个)	$\geq 2$	$\geq 2$

### 3.2.3 地面 GNSS 基准站的选址应符合下列规定：

1 远离大功率无线电发射源，其距离不应少于 200m；远离高压输电线和微波无线电信号传送通道，其距离不应小于 50m。

2 周围应便于安置接收设备和操作，视野开阔，视场内障碍物的高度角不宜超过  $15^\circ$ 。

3 充分利用符合要求的已有基础控制点。

4 交通方便，并有利于其他测量手段扩展和联测。

5 附近不应有强烈放射卫星信号的物件。

6 地面基础稳定，易于点的保存。

## 3.3 路面控制点布设与测量

### 3.3.1 路面控制点布设的位置、间距应符合下列规定：

1 宜布设在道路两侧靠近护栏的路面平整处，距离道路边缘应不小于 0.2m。

2 宜在道路两侧交叉排列，并应避免树木、交通标志标牌遮挡。

3 路面平面控制点间隔宜不大于 2 000m。

4 路面高程控制点间隔，机载宜不大于 500m，车载宜不大于 200m。

5 采用 GNSS 测量时，路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）应大于 200m，距离高压输电线和微波无线电信号传送通道应大于 50m。

### 3.3.2 路面控制点的标记应符合下列规定：

1 路面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 路面平面控制点的形状宜采用“**⊥**”形或者“**+**”形等具有明显中心位

置的几何图形，其尺寸应按附录 A 执行。

3 路面高程控制点中心位置应做明显固定标记。

4 应现场拍摄路面控制点的数码照片，清晰反映路面控制点与周围地物关系，易于分辨与识别。

3.3.3 路面控制点应按路面平面控制点和路面高程控制点分类并统一编号。

3.3.4 路面平面控制点应采用双基准站快速静态 GNSS 测量方式，观测技术要求应符合表 3.3.4 规定。

表 3.3.4 路面平面控制点 GNSS 测量观测技术要求

技术指标	快速静态
基线长度(km)	$\leq 10$
卫星高度角( $^{\circ}$ )	$\geq 15$
同步锁定卫星数(颗)	$\geq 4$
GDOP	$\leq 6$
观测时间(min)	$\geq 20$

3.3.5 路面高程控制点的高程应采用水准测量，其平面坐标可采用 GNSS 测量或导线测量。路面高程控制点测量应符合下列要求：

1 水准测量应起闭于四等及以上高程控制点并应符合表 3.3.5-1 的规定。节点间的长度不得大于表 3.3.5-1 中规定的水准路线长度 0.7 倍。

表 3.3.5-1 水准测量技术要求

每公里观测高差全中误差(mm)	水准路线长度(km)	视线长度(m)	观测次数		往返较差、附合或环线闭合差(mm)	
			附合或闭合路线	支线或与已知点联测	平原、微丘	重丘、山岭
$\leq 10$	$\leq 16$	$\leq 100$	往一次	往返各一次	$\leq 20\sqrt{L}$	$\leq 6\sqrt{n}$

注：L为水准路线长度(km)；n为测站数。

2 GNSS 测量宜采用双基准站快速静态或 GNSS RTK 方式，观测技术要求应符合

合表 3.3.5-2 规定。多次测量点位较差小于 0.1m 时,可直接采用一次测量结果作为最后成果。

表 3.3.5-2 GNSS 测量观测技术要求

技术指标	快速静态	GNSS RTK
基线长度(km)	≤10	≤5
卫星高度角(°)	≥15	≥15
同步锁定卫星数(颗)	≥4	≥5
GDOP	≤6	≤6
观测时间(min)	≥15	—
观测历元数(个)	—	>20

3 导线测量技术要求应符合表 3.3.5-3 规定,导线网节点间的长度应不大于表 3.3.5-3 中导线长度的 0.7 倍。

表 3.3.5-3 导线测量技术要求

测量等级	导线长度 (km)	边数 (条)	每边测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	方位角闭合 差(")	导线全长相对 闭合差
四等	≤12	≤12	10	2.5	≤ $5\sqrt{n}$	≤1/35 000
一级	≤6	≤12	14	5.0	≤ $10\sqrt{n}$	≤1/17 000

注:  $n$ 为转折角个数。

### 3.4 资料提交

3.4.1 新建公路工程控制测量应提交下列资料:

- 1 仪器检定证书;
- 2 记录手簿;
- 3 GNSS 控制网计算报告;
- 4 地面 GNSS 基准站点之记;
- 5 地面 GNSS 基准站成果及说明;
- 6 技术总结。

3.4.2 改扩建公路工程控制测量应提交下列资料:

- 1 仪器检定证书；
- 2 记录手簿；
- 3 GNSS 控制网计算报告；
- 4 地面 GNSS 基准站、路面控制点点之记；
- 5 地面 GNSS 基准站、路面控制点成果及说明；
- 6 路面控制点联测略图；
- 7 技术总结。

3.4.3 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。

征求意见稿

## 4 数据采集

### 4.1 一般规定

4.1.1 数据采集主要包括资料收集与分析、激光扫描系统选择、激光扫描数据采集和资料提交。

4.1.2 新建公路宜选择机载或地面激光雷达扫描系统进行数据采集；改扩建公路可选择机载、车载、地面激光雷达扫描系统进行数据采集。

4.1.3 激光点云分布、点云密度宜大于表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 激光点云密度(点/m<sup>2</sup>)

工程类型	改扩建公路	新建公路
激光点云密度	≥40(路面)、≥4(路外)	≥4

4.1.4 数码影像的地面分辨率宜大于表 4.1.4 的规定。

表 4.1.4 数码影像地面分辨率(m)

工程类型	改扩建公路	新建公路
地面分辨率	≤0.1	≤0.2

### 4.2 资料收集与分析

4.2.1 资料收集应包含下列内容：

- 1 公路工程区域内的行政区划、通信、交通和自然地理等情况。
- 2 公路工程推荐线、比较线的路线方案资料。
- 3 互通式立体交叉资料。
- 4 特大桥和大桥工程方案资料。
- 5 隧道工程方案资料。

- 6 激光扫描区域内已有的四等及以上平面控制点或高程控制点及其点之记。
- 7 实地勘察获取的相关资料及信息。

#### 4.2.2 资料分析应包含下列内容：

- 1 应分析和确认公路工程方案及激光扫描测绘范围。
- 2 应分析平面控制点、高程控制点的分布位置、坐标系统。

### 4.3 机载激光雷达扫描数据采集

4.3.1 机载激光雷达扫描系统的搭载平台，新建公路宜选择运输机或直升机，改扩建公路宜选择直升机或无人机。

#### 4.3.2 机载激光雷达扫描仪选择应符合下列规定：

- 1 激光安全等级应不低于 3 级。
- 2 激光扫描仪需支持的最高激光发射频率宜根据公式（4.3.2）确定。

$$fp = \frac{1}{800} h \times \theta \times v \times pd \quad (4.3.2)$$

式中， $fp$ ——激光扫描仪需支持的最高激光发射频率(kHZ)；

$h$ ——飞行航高(m)；

$v$ ——飞行速度(m/s)；

$pd$ ——所需要的点密度(个/m<sup>2</sup>)；

$\theta$ ——视场角 (rad)。

- 3 激光测距标称精度，新建、改扩建公路工程宜分别优于 50mm、20mm。
- 4 激光束发射度宜不大于 0.5m·rad。
- 5 最大视场角宜不小于 60°。
- 6 激光扫描仪宜能接收无穷次回波。
- 7 公路改扩建工程应选择具有点云强度信息的激光扫描仪。

#### 4.3.3 POS 系统应符合下列规定：

- 1 应采用双频 GNSS 接收机，采样频率应不低于 1HZ。
- 2 侧滚、俯仰和航偏角的测量精度要求应根据航飞高度确定，并宜符合表

4.3.3 的规定。

表 4.3.3 侧滚、俯仰和航偏角测量精度要求(°)

航飞高度 (m)	改扩建公路(低空)		新建公路、改扩建公路(高空)	
	侧滚、俯仰角	航偏角	侧滚、俯仰角	航偏角
$h \leq 200$	$\leq 0.01$	$\leq 0.015$	—	—
$200 < h \leq 500$	$\leq 0.003$	$\leq 0.007$	$\leq 0.01$	$\leq 0.015$
$h > 800$	—	—	$\leq 0.005$	$\leq 0.008$

3 数据记录频率宜不低于 200HZ。

4 GNSS 空间定位精度平面宜不大于 0.05m，高程宜不大于 0.1m。

5 当需要连接数码相机时，应具有信号示标输入器接口且脉冲延迟宜不大于 1ms。

6 系统应具有良好的抗加速能力。

4.3.4 用于生产数字化产品时，数码相机应符合下列规定：

1 像素宜大于 3 000 万。

2 焦距宜为 35mm~80mm。

3 应为中心快门，最短曝光时间宜达到 1/500 秒。

4.3.5 机载激光雷达扫描测量数据采集范围宜按路线方案及互通式立体交叉、桥梁、隧道等工程方案进行设计，并应符合下列规定：

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 300m；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 100m，分离式线位方案宜超过路线方案中心线两侧各 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 1 000m。

4.3.6 机载激光雷达扫描准备工作应符合下列规定：

1 应布设激光雷达检校场，并应在每次数据采集前、后进行系统检校。

2 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。

3 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。

#### 4.3.7 机载激光雷达扫描飞行应符合下列规定:

- 1 飞机的转弯坡度应不大于  $22^{\circ}$ ,宜不大于  $15^{\circ}$ 。
- 2 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。
- 3 航线飞行应符合下列规定:
  - 1) 应采用左转弯和右转弯交替方式飞行。
  - 2) 航线偏离、航高上下偏离均应不大于 25m。
  - 3) 航偏角应不大于  $15^{\circ}$ ,宜不大于  $6^{\circ}$ 。
  - 4) 航线俯仰角、侧滚角应不大于  $4^{\circ}$ ,宜不大于  $2^{\circ}$ 。
  - 5) 航线弯曲度应不大于 3%。
- 4 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 B 规定执行。

#### 4.3.8 机载激光雷达扫描飞行检校场应符合下列规定:

- 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不小于 3 条航线,每条航线长度宜为 3km~5km。

#### 4.3.9 机载激光雷达扫描数据采集的应符合下列规定:

- 1 飞行的相对航高宜不大于 800m。
- 2 飞行速度宜不大于 180km/h。
- 3 激光点云数据的旁向重叠应不小于 10%。

4 影像航向重叠应不小于 56%，宜大于 60%；影像旁向重叠度应不小于 15%。

#### 4.4 车载激光雷达扫描数据采集

4.4.1 车载激光雷达扫描系统应符合下列规定：

- 1 激光扫描仪的激光安全等级应为 1 级。
- 2 激光扫描仪的标称测距精度宜优于 10mm。
- 3 激光扫描仪的有效测距距离应不小于 50m。
- 4 激光扫描仪的激光束发射度宜不大于 0.5m·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新建公路工程宜不低于 50kHz，改扩建公路工程宜不低于 200kHz。
- 7 激光扫描仪宜能接收无穷次回波。
- 8 改扩建公路工程应选择具有点云强度信息的激光扫描仪。

4.4.2 车载激光雷达扫描系统的 POS 系统的选择可参照 4.3.3 执行。

4.4.3 车载激光雷达扫描系统数码相机宜选用全景相机，并应符合下列规定：

- 1 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。

4.4.4 车载激光雷达扫描采集范围可参考 4.3.5 改扩建的要求执行。

4.4.5 车载激光雷达扫描准备工作可参考 4.3.6 改扩建的要求执行。

4.4.6 车载激光雷达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，不能有

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。

#### 4.4.7 车载激光雷达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应不小于 20%。
- 2 应匀速行驶，速度应不小于 20km/h，且不大于 60km/h。
- 3 不宜急转弯行驶，转弯速度应不小于 20km/h，且不大于 30km/h。
- 4 单次作业的持续时间应不大于 3h。
- 5 宜不停车通过收费站、施工管制等路段。
- 6 宜在数据采集车辆前后 50m 范围内安排前导车和后卫车协同数据采集。
- 7 应采集高分辨率数码影像。

#### 4.5 地面激光雷达扫描数据采集

##### 4.5.1 地面激光雷达扫描系统应符合下列规定：

- 1 仪器的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 仪器宜具有双轴补偿功能。
- 4 仪器应满足使用环境的要求。
- 5 激光扫描仪的测距范围应不小于 150m。
- 6 激光扫描仪的标称测距精度宜优于 5mm。

4.5.2 地面激光雷达扫描测量系统的数码相机参考 4.4.3 规定执行。

4.5.3 地面激光雷达扫描采集范围参考 4.3.5 的规定执行。

4.5.4 地面激光雷达扫描检校场参考 4.4.6 规定执行。

#### 4.5.5 地面激光雷达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 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。
- 3 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。
- 4 数码相机无法拍摄全景时，应分幅正面拍摄。
- 5 每一扫描站的靶标点个数应不少于 4 个，相邻两扫描站的公共靶标点个数应不少于 3 个，明显特征点可作为靶标使用。

#### 4.6 资料提交

##### 4.6.1 机载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 地面 GNSS 基站观测数据；
- 6 地面 GNSS 基站测量手簿；
- 7 飞行记录数据；
- 8 其他相关资料。

##### 4.6.2 车载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 地面 GNSS 基站观测数据；
- 6 地面 GNSS 基站测量手簿；
- 7 路面控制点数据
- 8 其他相关资料。

4.6.3 地面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 地面 GNSS 基站观测数据;
- 6 地面 GNSS 基站测量手簿;
- 7 路面控制点数据;
- 8 其他相关资料。

4.6.4 应对激光扫描中存在的漏洞进行实地补测, 应符合下列规定:

- 1 实地补测的数据点间距, 平原、微丘地区应不大于 20m, 重丘、山岭地区应不大于 10m。
- 2 特征点、特征线应加密测量。

## 5 数据处理

### 5.1 一般规定

5.1.1 新建公路工程激光数据处理应包括数据预处理、数据坐标转换、激光点云分类和资料提交工作，改扩建公路工程还应包括数据精化处理工作。

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

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

5.1.4 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。

### 5.2 数据预处理

5.2.1 数据预处理应包括 POS 数据处理、影像预处理、点云数据解算和点云拼接平差。

5.2.2 POS 数据处理应符合下列要求：

1 各时刻 GNSS 天线的中心位置坐标应采用地面 GNSS 基准站坐标联合激光扫描载体 GNSS 观测数据进行精密后处理。

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

3 应选择最小几何精度因子（GDOP）的可见卫星组合，保证最终差分数据质量。

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

数据联合解算。

5.2.3 影像预处理应将影像进行匀光、匀色和几何畸变校正等处理，并基于原始数码影像数据、检校参数、航迹文件或车辆轨迹文件或测站信息，解算数码影像外方位元素。

5.2.4 点云数据解算应联合 POS 数据、激光测距数据和附加系统检校数据进行解算，生成三维点云。

5.2.5 点云拼接平差应将不同条带或测站间的点云数据进行拼接和系统误差改正，激光点云拼接误差应小于点云限差。

### 5.3 数据坐标转换

5.3.1 数据坐标转换应采用七参数转换模型将点云数据转换至成果坐标系中。坐标转换的中误差应不大于图上 0.1mm。

5.3.2 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。坐标转换的中误差应不大于图上 0.1mm。

5.3.3 应利用多余的基础控制点对数据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。

5.3.4 激光点云的精度检查应符合下列规定：

1 抽检路段长度宜不少于 10% 路线总长，分布均匀，对重点路段可根据工程项目需要进行精度检查。

2 检查点应均匀分布于各抽检分段。

## 5.4 激光点云分类

5.4.1 激光点云的分类应包括激光点云分类预处理、自动分类、人工分类和分类检查工作。

5.4.2 激光点云数据的类别划分、存储宜按附录 C 的规定进行处理。

5.4.3 激光点云分类预处理应符合下列规定：

1 应去除点云中的噪声点。

2 机载激光雷达扫描点云数据宜按  $1\text{km}\times 1\text{km}$  进行分块，车载激光雷达扫描点云数据宜沿采集条带长度方向按  $0.5\text{km}$  长度进行分块。

5.4.4 激光点云自动分类应符合下列规定：

1 测区高悬在空中或明显低于地表的噪音激光点，宜按绝对高程进行分类。

2 提取初始地表面激光点时，可按地形类别分别设置坡度阈值进行分类。

3 裸露地表区域应将唯一回波对应反射点分类为地面点。

4 植被覆盖区域宜将末次回波对应反射点分类为地面点。

5 提取植被、人工建筑、水系类别激光点时，应根据激光点高程及点云形状、密度、坡度等特征，对非地面点云进行分类。

6 形状及空间特征明显的地物，可通过参数设置自动提取。

5.4.5 采用自动分类难以正确分类的地区，应对其重新进行人工分类。

5.4.6 激光点云的分类检查应符合下列规定：

1 点云分类成果可靠性检查，应按点云类别采用高程显示、三维透视及晕渲等方法，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；对有疑问处宜用剖面图进行查询、分析。

2 点云分类成果一致性检查，应利用点云分类结果与影像套合，分析所分激光点云类别与影像显示是否一致。

3 点云数据分类符合性检查，应利用野外实测检查点与激光点云分类的地面

点进行断面形态的高程符合性检查。

## 5.5 数据精化处理

5.5.1 改扩建公路工程应利用路面控制点对激光数据进行精化处理。

5.5.2 激光点云平面位置的精化处理应符合下列规定：

- 1 宜采用分段仿射变换修正。
- 2 分段长度宜为 5km~10km。
- 3 每个分段包含的路面平面控制点个数宜不少于 3 个，相邻分段公共点宜不少于 1 个。

5.5.3 激光点云高程坐标的精化处理应符合下列规定：

- 1 应采用路面高程控制点构建三角网或线性高程误差补偿模型。
- 2 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。
- 3 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。
- 4 三角网高程误差补偿模型应采用三角面插值修正激光点云高程误差。
- 5 线性高程误差补偿模型应采用线性插值修正激光点云高程误差。

5.5.4 道路改扩建工程应重点检查道路路面处激光点云的平面和高程精度，抽检长度宜不少于 10% 的路线总长，分布应均匀。

## 5.6 资料提交

5.6.1 激光扫描测量数据处理作业应提交下列资料：

- 1 轨迹文件，包括机载航迹和车载轨迹文件；
- 2 影像外方位元素；
- 3 数码影像数据；
- 4 激光点云分类成果数据；

5 激光点云数据精度检查报告；

6 其他相关资料。

5.6.2 激光点云分类成果数据应宜采用 LAS 格式，影像数据宜采用 JPG 或者 Tiff 格式。

征求意见稿

## 6 数字化产品生产

### 6.1 一般规定

6.1.1 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、数字线划地形图生产、断面线生成及资料提交。

6.1.2 点高程、数字高程模型、数字正射影像图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。

### 6.2 点高程插值

6.2.1 点高程插值应包括激光点选择、不规则三角网模型（TIN）构建、高程内插和质量检查工作。

6.2.2 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。备选点所处范围应符合下列规定：

1 新建公路工程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。

6.2.3 高程内插应符合下列规定：

1 点高程内插应采用三角面插值法。

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。

3 水系范围内或半径 20m 范围内无地面激光点的空洞区域，点的高程应进行野外实地测量。

6.2.4 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，另一个显示按高程插值点剖切激光点云的剖面信息。

### 6.3 数字高程模型建立

6.3.1 数字高程模型（DEM）应依据分类后的地面类激光点与补测后的地面点建立，包括数据源选择、数据插值和数据检查工作。

6.3.2 DEM 制作应符合下列规定：

1 DEM 的数据源应选择激光点云的地面类点作为特征点，反映地表特征的特征线应具有高程信息。

2 宜采用线性内插或三角面内插。

3 DEM 格网点间距应按表 6.3.2 规定执行。

表 6.3.2 格网点间距(m)

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

6.3.3 DEM 检查应符合下列规定：

1 DEM 拼接后应形态合理，数据覆盖完整、位置正确、接边处高程一致、地形过渡自然。

2 应对 DEM 高程精度进行抽检，面积应不少于 10%；检测样本应均匀分布，兼顾不同地形类别，其密度应为图上每 100mm×100mm 内不少于 1 个。

## 6.4 数字正射影像图制作

6.4.1 数字正射影像图制作应包括数据准备、DOM 处理、DOM 镶嵌、DOM 裁剪和质量检查工作。

6.4.2 数据准备应符合下列规定：

1 数字正射影像图宜采用清晰、反差适中、色调正常的机载激光扫描测量数码影像进行制作。

2 应准备影像索引文件、相机航迹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。

6.4.3 DOM 制作应符合下列规定：

1 DOM 制作技术指标宜符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3 DOM 技术指标

成图比例尺	1:500	1:1 000	1:2 000
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，每张相片至少应有 5 个以上连接点，且尽量均匀分布于每张影像的四角和中间位置。

4 条件允许时，可加入已知地面控制点，以提高 DOM 精度。

5 应进行去模糊、去雾的增强预处理。

6 宜对影像色调、亮度、对比度进行调整处理。

7 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。

8 对单片 DOM 应做匀光、匀色处理，确保区域整体影像色彩平衡。

9 DOM 制作完成后，应纹理清晰、层次丰富、无明显失真。

6.4.4 DOM 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，面积应不少于 DOM 产品面积的 10%；检测样本应均匀分布，兼顾不同地形类别，其密度应为图上每 100mm×100mm 内不少于 1 个。

## 6.5 数字线划地形图生产

6.5.1 数字线划地形图生产应包括等高线生成、数据采集、高程注记、数据编辑和质量检查工作。

6.5.2 等高线生成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等高线数据。

6.5.3 地物数据采集应在叠加激光点云的 DOM 上或数码影像构建的可量测立体模型上进行采集，并符合下列规定：

- 1 地物要素应按国家现行有关图式要求进行标示。
- 2 各类建筑物、构筑物及主要附属设施数据均应采集。
- 3 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。
- 4 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。
- 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 水涯线的表示以数码影像采集时水位为准。
- 8 斜坡应采集上坡线及对应的下坡线。
- 9 有植被覆盖的地表应进行植被高度改正。

6.5.4 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 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 0.2mm 表示。
- 4 地面、地下及架空管线应按地面标记连线表示，并注明输送物资。
- 5 电力线、通讯线走向与线状地物平行且距离小于图上 10mm 可不连线，10 KV 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，可中断其它地物符号并间断 0.2mm，以保持点状地物完整性。
- 8 公路应注明等级、通向、路基和路面的宽度以及铺面材料；铁路应注明等级、通向，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，将地类界图上移位 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 注记的字头宜指向线路前进方向的左侧。

#### 6.5.5 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，抽检面积应不少于总数 10%，检测样本应均匀分布，兼顾各种地形类别，其密度应为图上每 100mm×100mm 内不少于 1 个。
- 2 应检查属性项名称、类型、长度、顺序的正确性和遗漏情况。
- 3 点、线、面拓扑关系应正确性。

### 6.6 断面线生成

#### 6.6.1 断面线生成应包括断面线数据准备、点云提取、断面线生成、断面线编

辑和质量检查工作。

6.6.2 断面线数据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。

6.6.3 点云提取应提取断面线平面位置 2m 范围以内的分类后点云数据。

6.6.4 断面线生成应根据提取的分类后点云数据进行处理，并应符合下列规定：

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域宜为 5m。

2 应选取距断面线平面距离小于 0.1m 的地面类点，根据该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 0.1m~0.3m 的地面类点作为补充点，生成断面线；并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 0.3m~0.8m 的地面类点作为补充点，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。

6.6.5 断面线生成应用于新建公路工程或改扩建路基范围外时，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。改扩建路基范围内的点应采用邻近点高程赋值生成断面点高程。

6.6.6 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，另一个视图显示按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基表面高程保持一致。

5 应根据断面线与水涯线平面位置交点距离处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，并判别是否纳入断面线中。

6.6.7 质量检查应检查断面线的精度、一致性和数据完备性。

6.6.8 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。

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。

3 断面线的精度指标应符合表 6.6.8-1 和表 6.6.8-2 的规定。

表 6.6.8-1 新建公路工程断面线的平面位置和高程中误差(m)

类别	平面位置	高程
平原、微丘	0.40	0.20
重丘、山岭	0.50	0.40

表 6.6.8-2 改扩建公路工程断面线的平面位置和高程中误差(m)

类别	平面位置		高程	
	路面	边坡	路面	边坡
中误差	0.07	0.15	0.02	0.15

6.6.9 断面线一致性检查应检查以下内容：

1 地面线和沿线房屋、陡坎、水涯线等地物相交处高程的正确性。

2 地面线在水域、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。

6.6.10 断面线数据完备性检查应检查全部中桩断面地面线及其宽度的情况，不应出现遗漏的断面线。

## 6.7 资料提交

### 6.7.1 机载激光雷达扫描测量数字化产品生产应提交下列资料：

- 1 分幅结合表；
- 2 DOM 数据；
- 3 DEM 数据；
- 4 DLG 数据；
- 5 高程内插点数据；
- 6 断面线数据；
- 7 产品质量报告、检查报告和验收报告；
- 8 技术总结；
- 9 其他相关资料。

### 6.7.2 车载激光雷达扫描测量、地面激光雷达扫描测量数字化产品生产应提交下列资料：

- 1 分幅结合表；
- 2 DEM 数据；
- 3 DLG 数据；
- 4 高程内插点数据；
- 5 断面线数据；
- 6 产品质量报告、检查报告和验收报告；
- 7 技术总结。

### 6.7.3 数字产品格式宜符合下列规定：

- 1 高程内插点或断面线数据宜按 ASCII 或 EXCEL 格式存储。
- 2 DOM 数据宜采用 Tiff 格式。
- 3 DEM 数据宜采用 CNSDTF-DEM 格网数据交换格式。
- 4 DLG 数据可采用 DGN、DWG 和 DXF 格式。

## 附录 A 路面控制点尺寸

A.0.1 路面控制点尺寸根据激光点云间距确定，其标线宽度宜为 2 倍激光点云间距，长边长度宜为 8 倍~10 倍激光点云间距。

A.0.2 机载激光雷达扫描测量路面控制点尺寸宜按图 A.0.2 规定执行。

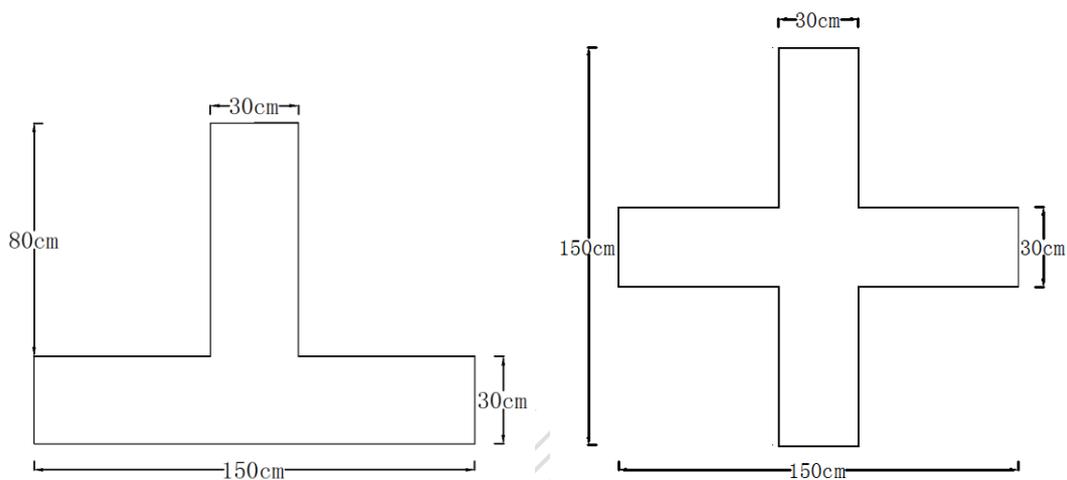


图 A.0.2 机载激光雷达扫描测量路面控制点尺寸

A.0.3 车载激光雷达扫描测量路面控制点尺寸宜按图 A.0.3 规定执行。

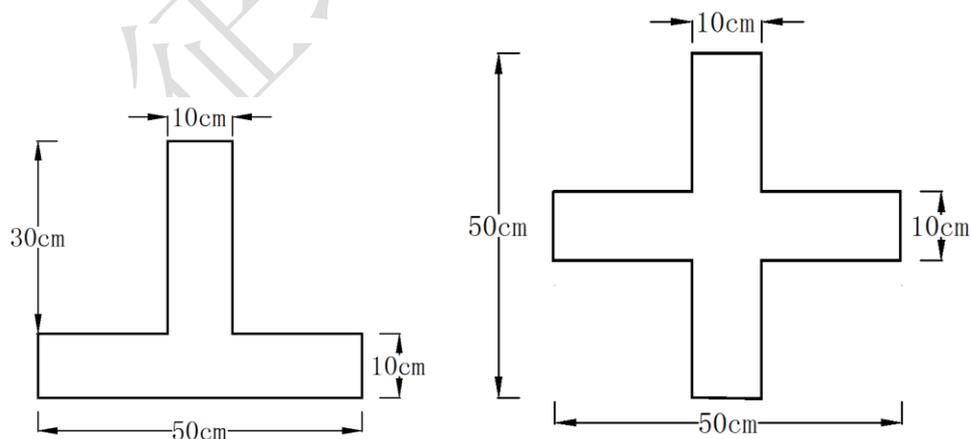


图 A.0.3 车载激光雷达扫描测量路面控制点尺寸

## 附录 B 飞行记录表

B.0.1 飞行记录表应记录项目名称、航飞日期、起飞时间、降落时间、航线信息等。

B.0.2 航线信息应记录航线号、影像起止编号、飞行速度、飞行高度等。

B.0.3 飞行记录表格式按表 B.0.3 规定执行。

表 B.0.3 飞行记录表

项目名称		摄区名称		
参加人员		记录员		
航飞日期		天气		
扫描参数		相机参数		
起飞时间		降落时间		
备注				
航线号	影像起止编号	飞行速度	飞行高度	备注

## 附录 C 激光点云分类

C.0.1 激光点云类别应划分为原始类、地面类、非地面类等。

C.0.2 激光点云类别应包括类名、存储内容、层号等信息。

C.0.3 激光点云类别划分宜按表 C.0.3 执行。

表 C.0.3 激光点云类别表

序号	类名	存储内容	层号
1	原始类	通过算法提取但尚未分类的点	0
2	备用类	准备采用算法分类的点	1
3	地面	反映地面真实起伏的点	2
4	低矮植被	贴近地表的低矮植被点	3
5	中等高度植被	顶端临近但未紧贴地表的植被点	4
6	高植被	枝叶顶端远离地表的植被点	5
7	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	6
8	噪音	测区内高悬在空中或明显低于地表的激光点	7
9	模型关键点	构建数字地面模型的地形关键点	8
10	水体	河流、沟渠、湖泊、池塘、水库等范围内的点	9
11	横断面	用于提取公路横断面地面线的激光点	10
12	纵断面	用于提取公路纵断面地面线的地面类激光点	11
13	车道标线	用于提取公路路面车道标线的地面类激光点	12
14	波形护栏	落于公路护栏的非地面类激光点	13
15	路缘石	落于公路路面边缘/界石上的地面类激光点	14
16	标志标牌类	标志标牌上的激光点	15