

ICS 93.080.01

CCS R 00

DB51

四川省地方标准

DB51/T 2793—2021

高速公路激光测量规程

Specifications for liDAR surveying of highway

2021 - 08 - 02 发布

2021 - 09 - 01 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 测量作业准备 7

6 数据采集 9

7 数据预处理 15

8 数字化产品生产 19

9 质量检验 23

10 成果提交 24

附录 A（资料性） 机载激光雷达飞行记录单..... 25

附录 B（资料性） POS 解算报表 26

附录 C（规范性） 激光点云分类类别..... 27

参考文献 29

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由四川省交通运输厅提出、归口并解释。

本文件起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：易菊平、李升甫、杨洪、李艳玲、张衡、贾洋、徐选清、倪愿、李红梅、刘飞、程多样。

本文件首次发布。

引 言

激光扫描测量技术,作为一种主动高效的测量手段,在少量地面控制点的辅助下可以实现高精度绝对坐标下的三维空间信息快速提取,能较好的满足高速公路的勘察、设计、建设、运营养护及信息化工作对空间地理信息的需求。

高速公路激光测量规程

1 范围

本文件规定了高速公路激光扫描移动测量的术语、原则、作业准备、数据采集、数据预处理、产品生产、质量检验等环节的技术要求。

本文件适用于四川省境内高速公路新建及改扩建工程的勘测、设计及信息化环节的激光扫描测量工作，高速公路工程的建设、管理、运营养护环节的激光扫描测量工作及其他类似项目可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18316 数字测绘成果质量检查与验收
GB/T 19294 航空摄影技术设计规范
GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第1部分 1：500 1：1000 1：2000 地形图图式
GB/T 33176 国家基本比例尺地图 1：500 1：1000 1：2000 地形图
CH/T 1004 测绘技术设计规定
CH/T 1025 数字线划图(DLG)质量检验技术规程
CH/T 1026 数字高程模型质量检验技术规程
CH/T 1027 数字正射影像图质量检验技术规程
CH/T 2009 全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范
CH/Z 3005 低空数字航空摄影规范
CH/T 8021 数字航摄仪检定规程
CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范
CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范
JTG C10 公路勘测规范
JTG/T C10 公路勘测细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

构架航线 cross flightline

航线设计时，为增强平行航线之间的姿态控制，加飞的若干条贯穿航测分区且与分区航线主体方向交叉角度较大的航线。

3.2

点云密度 density of point cloud

单位面积上的平均激光点数量，单位一般为点/m²。一般分为根据激光脉冲频率和重叠度计算的点云密度设计值和根据采集到的多回波数据计算的点云密度实际值。

3.3

检校场 calibration site

为检校激光扫描仪和相机而选定的满足特定条件且布设有控制点的测试场地。

3.4

激光控制点 LiDAR control point

为消除系统误差、提高激光点平面和高程精度而预先标识且具有已知坐标的点，也称参考点或纠正点。

3.5

条带平差 strip adjustment

利用激光点云不同条带重叠区的数据进行联合平差，改正系统安置角误差，使得激光点云不同条带重叠区内同名点平面和高程较差满足条带拼接要求的技术方法。

3.6

高速公路资产要素 highway assets

高速公路用地范围内的路面、桥涵、隧道、绿化、交通安全设施、服务设施、管理设施、防护工程等设备、设施和构造物。

3.7

高速公路场景要素 the surrounding elements of highway

分布于高速公路用地范围周边的其他环境要素或构筑物。

3.8

激光点穿透性 LiDAR point penetrability

激光束的光斑透过植被枝叶间缝隙到达地表且能返回并被激光扫描接收机有效接收的能力。一般用植被覆盖区域地面点数量与实际采集点数的百分比来评价激光点的穿透性，地面点低于2%的视为穿透性较差。

3.9

机载激光雷达测量 airborne LiDAR surveying

以航空平台为载体，通过发射激光束获取地物表面三维坐标和反射强度等信息的主动式测量技术。

3.10

车载激光雷达测量 vehicle-borne LiDAR surveying

以车辆平台为载体，通过发射激光束获取地物表面三维坐标和反射强度等信息的主动式测量技术。

3.11

郁闭度 crown density

森林中乔木树冠的冠幅在阳光直射下在地面的总投影面积与林分总面积的比值，反映了林分的密度。

4 总体要求

4.1 激光测绘所需的等级控制点

- 4.1.1 高速公路激光测绘一般直接使用既有测量控制网,其等级应符合 JTG C10 和 JTG/T C10¹⁾的规定,其测量基准应与控制网成果保持一致。
- 4.1.2 用于高速公路改扩建激光测绘用途的测量控制网,平面和高程精度均不应低于四等。
- 4.1.3 进行空中或地面激光移动测量所需的地面 GNSS 基准站可选用符合要求的高速公路测量控制点。
- 4.1.4 控制测量阶段应提供控制点的大地坐标和用户坐标两套成果。

4.2 地形类别

- 4.2.1 地形类别的划分应符合表 1 的规定。

表1 地形类别划分

地形类别	平原	微丘	重丘	山岭
地形坡度 α (°)	$\alpha < 3$	$3 \leq \alpha < 10$	$10 \leq \alpha < 25$	$\alpha \geq 25$
地形高差 Δh (m)	$\Delta h < 20$	$20 \leq \Delta h < 80$	$80 \leq \Delta h < 200$	$\Delta h \geq 200$
注1: 地形坡度和地形高差指测图范围内大部分地表所属的类型。				

- 4.2.2 当地形高差与地形坡度存在矛盾时,应以地形坡度作为地形类别的主要判断依据。

4.3 测量比例尺

- 4.3.1 高速公路项目利用激光扫描手段生产的地形图,其比例尺应符合表 2 的规定。

表2 地形图成图比例尺

项目/部位	成图比例尺
新建工程全线	1 : 2000
改扩建工程既有路面以外的部分	1 : 1000、1 : 2000
改扩建工程既有路面及重要工点	1 : 500
注2: 重要工点包括隧道口、桥位处、互通范围、收费站、服务区等重要路段。	

- 4.3.2 高速公路的激光扫描测量数据采集,新建高速公路宜采用机载激光雷达测量方式,仅用于地形图成图目的的,其采集精度及相关指标依照 1 : 2000 比例尺执行,有其他成果需求的,其采集精度及相关指标依照 1 : 1000 比例尺执行;改扩建高速公路路面以外部分的采集方式和采集精度与新建高速公路相同,路面部分可采用机载激光雷达测量和(或)车载激光雷达测量两种方式,其采集精度总体依照 1 : 500 比例尺执行;特殊用途可按需确定。

4.4 点云密度设计值要求

- 4.4.1 激光点云的点云密度设计值为包含不同条带重叠区的分区平均点云密度设计值,重叠区点数包括重叠区内不同条带的点数总和。

1) JTG C10-2007和JTG/T-2007中表4.1.1-2、表4.2.1-2

4.4.2 植被郁闭度值低于 20%的疏林区域，针对不同扫描比例尺的机载激光雷达测量的平均点云密度设计值不应低于表 3 的规定；植被郁闭度值超过 70%的密林区域，在综合采用增加激光点穿透性措施的同时，点云密度设计值宜在表 3 的基础上提高 25%。

表3 点云密度设计值要求

单位为点/米²

比例尺	点云密度设计值
1：500	≥16
1：1000	≥4
1：2000	≥1

4.4.3 车载激光雷达测量时，路面平均点云密度设计值不应低于 350 点/米²。

4.4.4 激光数据若用于提取道路资产类相关信息时，对点云密度的要求应充分利用设计资料中各类道路资产的标准特征，并结合图像识别要求。

4.5 点云精度要求

4.5.1 点云精度以中误差来衡量，以 2 倍中误差作为极限误差；点云高程精度以正常高作为衡量基准。

4.5.2 新建高速公路及改扩建高速公路路面以外的激光点云数据精度不宜低于表 4 中 1：1000 比例尺的规定；在施工图设计阶段有断面提取需求的，可参照 1：500 比例尺执行。

表4 新建高速公路点云数据精度要求

单位为米

比例尺	地形类别	高程中误差	平面位置中误差
1：500	平原	0.15	0.20
	微丘	0.25	
	重丘	0.35	0.28
	山岭	0.50	
1：1000	平原	0.15	0.40
	微丘	0.35	
	重丘	0.50	0.55
	山岭	1.00	
1：2000	平原	0.25	0.80
	微丘	0.35	
	重丘	0.85	1.10
	山岭	1.00	

4.5.3 在植被郁闭度值超过 70%、反射率较低等特殊困难地区，点云数据高程中误差可在表 4 基础上乘以 1.5 倍。

4.5.4 改扩建高速公路路面的点云精度总体按 1：500 比例尺精度执行，具体不应低于表 5 的相应规定。

表5 改扩建高速公路点云精度要求

单位为米

工程部位	平面位置中误差	高程中误差
一般路面	0.06	0.05
特殊路面	0.06	0.02
边坡等重要构造物	0.09	0.15
注3：特殊路面指改扩建工程中，对路面高程有特殊精度要求的情况。		

4.6 成果规格

- 4.6.1 数字高程模型和数字正射影像图的分幅宜按图上 50 cm×50 cm 标准图幅分幅，相邻图幅向四周外扩图上 1 cm 设置重叠区，图幅编号宜按测区走向采用从北到南或从西到东顺序编号。数字线划图宜按照线路走向采用不规则分幅，每幅图的里程范围不宜大于 10km，数据量不宜大于 20MB，分幅时不宜分割桥梁、隧道、枢纽互通等重要构造物，图幅编号宜沿线路走向顺序编号，编号后可附注桩号范围。
- 4.6.2 数字高程模型采用的格网分辨率及高程中误差应根据地形类别和比例尺要求符合表 6 的规定。

表6 数字高程模型成果要求

单位为米

比例尺	地形类别	数字高程模型高程中误差	数字高程模型格网分辨率
1：500	平原	0.2	0.5
	微丘	0.4	
	重丘	0.5	
	山岭	0.7	
1：1000	平原	0.2	1.0
	微丘	0.5	
	重丘	0.7	
	山岭	1.5	
1：2000	平原	0.4	2.0
	微丘	0.5	
	重丘	1.2	
	山岭	1.5	

- 4.6.3 数字正射影像图影像地面分辨率与平面位置中误差应根据地形类别和比例尺要求符合表 7 的规定。

表7 数字正射影像图成果数学精度要求

单位为米

比例尺	地形类别	平面位置中误差	影像地面分辨率
1：500	平原、微丘	0.3	优于0.05
	重丘、山岭	0.4	
1：1000	平原、微丘	0.6	优于0.10

表7 数字正射影像图成果数学精度要求（续）

单位为米

比例尺	地形类别	平面位置中误差	影像地面分辨率
1 : 1000	重丘、山岭	0.8	优于0.10
1 : 2000	平原、微丘	1.2	优于0.20
	重丘、山岭	1.6	

4.6.4 数字线划图基本等高距应符合表8的规定，等高线和高程注记点的高程中误差应符合表9的规定，地形图上地物点平面位置中误差应符合表10的规定。

表8 数字地形图基本等高距

单位为米

比例尺	地形类别	基本等高距
1 : 500	平原	0.5
	微丘	0.5
	重丘	1.0
	山岭	1.0
1 : 1000	平原	0.5
	微丘	1.0
	重丘	1.0
	山岭	2.0
1 : 2000	平原	1.0
	微丘	1.0
	重丘	2.0
	山岭	2.0

表9 等高线插值的高程中误差

地形类别	平原	微丘	重丘	山岭
高程中误差	$1/3H_d$	$1/2H_d$	$2/3H_d$	H_d
注4：高程注记点的精度按表9中的0.7倍执行。				
注5： H_d 为基本等高距。				

表10 地物点点位中误差

单位为毫米

重要地物平面位置中误差	一般地物平面位置中误差
0.6	0.8
注6：单位毫米代表的是图上距离，实地距离应乘以相应比例尺。	

4.6.5 植被郁闭度值超过 70%的密林区域，激光数字化产品的中误差不应大于 4.6.2、4.6.3、4.6.4 条相应规定的 1.5 倍。

4.6.6 成果精度应以中误差作为衡量标准，以 2 倍中误差作为极限误差。

4.6.7 数字高程模型和数字正射影像图成果应做接边处理。地形未变化处的数字高程模型接边时，同名格网点的高程值应保持一致，地形地物未变化处的数字正射影像图接边时，同名影像平面较差不应大于表 7 中的相应比例尺的平面位置中误差。

5 测量作业准备

5.1 资料准备

5.1.1 激光扫描项目开展前，应收集以下资料：

- a) 委托方对测绘范围以及成果种类、精度、格式的要求，以及测绘成果的主要用途；
- b) 由总体设计初步确定的设计道路中线、设计重点关注的构造物布设范围和关键位置标高等；
- c) 测区及周边的行政区划、气象、通信、交通、人文、社会资源和自然地理等；
- d) 附近现有高等级控制点成果、点之记以及可用的 CORS 系统等；
- e) 测区内已有的数字地形图、数字正射影像图、数字高程模型等基础测绘资料；
- f) 地形类别、植被覆盖情况等；
- g) 实地踏勘获取的其他相关资料；
- h) 拟采用机载激光扫描测绘手段的，还应收集测区附近空域使用和空管限制情况。

5.1.2 根据项目要求分析和评定已有资料的可利用性和利用方案，对控制点资料进行初步校核。

5.2 技术设计

5.2.1 项目开始前，应依据项目招投标文件、合同或用户委托书的要求，结合已有资料和设备的情况等进行技术设计，编写激光测量项目的技术设计书。技术设计书应符合 CH/T 1004 的相关规定。

5.2.2 技术设计应包含下列内容：

- a) 任务来源、工作内容、作业范围、工作量及成果的技术指标等；
- b) 测区地形和气候特征，通讯、交通和食宿等作业条件，水系和植被等要素的分布特点，需要航空作业的还应包括周边机场及空域情况；
- c) 已有资料的种类、数量、形式、主要技术规格和指标，生产时间和生产方式，初步质量评定结果，已有资料利用的可能性和利用方案等；
- d) 引用的标准、规范或其他技术文件；
- e) 成果的种类、形式、坐标系统、高程基准、比例尺、投影方法、分幅编号、数据基本内容、数据格式、数据精度及其他技术指标等；
- f) 生产过程所需的硬、软件配置情况，包括测绘仪器、数据处理相关设备和作业辅助装备等的类型、数量和关键指标要求，以及主要数据处理软件的功能和数量等；
- g) 项目生产过程中的人力资源配置，主要包含项目实施各个阶段的负责人及其职责；
- h) 激光扫描测量的技术路线及工艺流程，包括激光扫描采集路线设计、地面基站选择与观测、激光控制点的布设与测量、激光点云与影像数据采集、外业调绘、数据预处理、成果生产、质量检验等各工序的作业方法、技术指标、质量控制环节以及质量要求；
- i) 项目进度安排，确认各个时间节点满足项目工期的要求；

- j) 成果提交的内容和要求;
- k) 环境、职业健康与安全的相关要求。

5.2.3 在技术设计的同时,应及时提供初步设计参数供 5.3 条办理航飞作业许可和 5.4 条选用激光雷达设备,并根据正式许可批准的作业参数和范围以及实际可用设备的参数调整优化作业方案。

5.3 获得作业许可

5.3.1 若需开展航空作业,应提供作业区域范围、作业高度、拟使用飞行平台、作业期限等方面的信息,提前到相关单位申报航飞作业许可,并严格按批复条件作业。

5.3.2 使用直升机作业的,还应酌情申报临时起降点。

5.4 激光设备及运载平台的要求

5.4.1 搭载激光雷达的空中平台,应符合下列规定:

- a) 在额定任务载荷和测区典型气象条件下,能保证适宜的续航时间和激光雷达扫描所需的姿态稳定性,能用不超过 80%最大功率达到指定的航高和航速并具有较强的位置、高度和速度控制能力;
- b) 具有避障或迫降等应急止损能力;
- c) 实际升限视地貌类别不同应高于航线越障高度 200 m~400 m。

5.4.2 搭载激光雷达的地面移动测量平台应符合下列规定:

- a) 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 0.4 m;
- b) 在运营中的高速公路车道上作业的地面移动测量平台,其最低行驶速度不应低于 60 km/h;
- c) 设备固定装置能承受正常作业和短途进出场过程的各种受力;
- d) 平台应安装有醒目的警示装置和标记;
- e) 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。

5.4.3 用于空中作业的机载激光雷达设备应符合下列规定:

- a) 测程应大于最佳作业航高的 1.2~1.4 倍;
- b) 在作业航高下,激光点云精度和点云密度能满足采集要求;
- c) 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;
- d) 除特殊情况外,激光雷达系统应配备采集能力和技术指标与激光扫描设备相匹配的数码相机;
- e) 设备应状态完好,且处于维护保养、厂方检测或用户检校的有效期内。

5.4.4 用于地面移动测量的激光雷达设备应符合下列规定:

- a) 当前工况下最大测程不应低于最远目标距离的 1.5 倍;
- b) POS 系统初始化所需的条件应易于在高速公路场地实现;
- c) 水平面或垂直面内不存在固定盲区,或虽存在盲区,但可用变换扫描线路、改变方向或其他方法予以消除;
- d) 应有针对 GNSS 信号欠佳,或搭载平台姿态剧烈变化情况下进行精度改善的装置或措施。

5.4.5 激光雷达的 POS 系统应符合下列规定：

- a) 应采用支持北斗系统的高动态、高精度的多频航空型 GNSS 接收机，其采样频率应不低于 2 Hz；
- b) 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° ；
- c) IMU 记录频率不宜低于 200 Hz；
- d) 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 1 ms。

5.4.6 激光雷达系统若包含相机系统，应符合下列规定：

- a) 量测型数码相机及其检定应符合 CH/T 8021 的规定；
- b) 非量测型数码相机及其检定应符合 CH/Z 3005 的规定；
- c) 多镜头全景相机及其检定应满足点云纹理映射及影像与点云位置精确配准的需要；
- d) 特殊视角的高清相机应满足特定场景细节分辨需要。

5.4.7 地面基准站使用的 GNSS 接收机应符合下列规定：

- a) 使用支持北斗系统的多频接收机；
- b) GNSS 接收机的最高采样频率不应低于 5 Hz；
- c) GNSS 接收机应具有良好的抗干扰能力；
- d) 基站静态数据应支持 RINEX V3.02 及以上格式输出。

6 数据采集

6.1 采集路径设计

6.1.1 数据采集进场后和每个批次作业开始前，应根据新掌握的现场情况，对前期的采集计划进行充实、调整和完善，完成可直接指导每次作业的采集路径及相关参数设计。

6.1.2 高速公路的测绘范围应满足下列规定：

- a) 新建高速公路的测绘范围应包含设计线路中心线两侧各 300 m；
- b) 改扩建高速公路的测绘范围宜包含现有道路中心线两侧各 300 m；
- c) 互通区、服务区、匝道等位置的测绘范围，新建高速公路宜沿工程范围线外扩 500 m，改扩建高速公路宜沿工程范围线外扩 300 m；
- d) 高速公路起止点处的测绘范围，除线路的设计里程长度外，还应在起点和终点处沿线路轴线方向分别向外延伸 1000 m 的长度；
- e) 交叉跨越既有公路、铁路、水利、电力设施等区域的，测绘范围应超过交叉点两侧不少于 1000 m。
- f) 用户的其他特殊要求。

6.1.3 机载激光扫描航线设计应符合下列规定：

- a) 航线设计应遵循“安全第一、经济与效率并重”的原则，激光雷达搭载方式和采集航线设计结果均应经过飞行人员的安全确认；
- b) 实际数据采集范围应根据测绘范围向四周各外扩半条航带的覆盖范围；
- c) 应根据 IMU 误差累积指标确定每条直飞航线的最大长度；

- d) 航飞分区应根据设备测程、地形高差、GNSS 基站分布、激光控制点布点条件以及直飞航线长度等条件来综合划定，分区内高差一般不应大于三分之一相对航高；
- e) 分区内飞行高度应在满足最低安全飞行高度和航空管制指令的前提下，根据地形起伏及坡度情况、植被覆盖情况、激光点云密度设计值和精度要求、激光雷达测程以及人眼安全距离等要求综合确定；
- f) 飞行速度应根据激光雷达的脉冲频率、扫描频率、激光点云密度要求、影像曝光间隔要求、地形起伏状况、风速以及飞行平台性能等综合确定；
- g) 航线的旁向重叠度应满足 CH/T 8024 的相关要求，宜达到 20%，不应低于 13%，在地形起伏较大的重丘和山岭地区宜适当加大旁向重叠度；
- h) 同步采集数字影像数据时，航线设计还应满足相关规定；
- i) 每个分区应至少设计一条构架航线，相邻分区的交叉航线满足条件时可互为构架航线。

6.1.4 对于植被郁闭度超过 70%的密林区域、激光点穿透性可能不足的激光扫描区域，应综合采用以下组合措施提高激光点穿透性：

- a) 在保证人眼安全的情况下选用大功率的激光设备和较低的脉冲频率；
- b) 降低飞行高度，缩小航线间距，缩小扫描视角；
- c) 增加采集次数。

6.1.5 在影像不用作立体测图的情况下，可采用维持对地航高大体稳定的仿地飞行方式，以提高航飞采集效率和作业安全性。

6.1.6 作业时段选择应符合下列规定：

- a) 选择植被枝叶稀疏、地表和植被含水率低、无积雪覆盖的季节；
- b) 宜选择天气晴朗干燥、云雾露霜和沙尘最弱的时段；
- c) 应选择 GNSS 预报几何精度因子较好的时段；
- d) 需同步采集数字影像时，作业时段的选择还应满足 GB/T 19294 的相关规定；
- e) 在空域或交通繁忙区域单独采集激光点云时，可选择夜间作业。

6.1.7 车载激光扫描路线设计应满足下列规定：

- a) 充分利用导航地图和卫星影像对行驶路线进行设计和优化；
- b) 协调高速公路管理单位充分利用中央分隔带应急开口、互通立交调头匝道、隧道横通道等应急通行设施，为扫描作业提供通行便利；
- c) 在车流密集的路段作业，或因故行驶速度无法达到高速公路最低限速时，除加强警示措施之外，还应酌情协调养护单位提供带有警示及防撞装置的车辆前后护卫；
- d) 对于道路中间有分隔带、防护栏及其他遮挡物，或单向车道超过三条以上的，应规划多次扫描路线，确保采集数据的齐全完整；
- e) 一次数据采集的时间应根据 IMU 误差累积、高速公路出口间距、采集的数据量、磁盘容量、GNSS 接收机电池工作时间等综合确定；
- f) 路线规划完毕后，应进行现场实地踏勘，针对采集路途有限高以及遮挡物的地方提前标注和规避。

6.2 激光控制点布设

- 6.2.1 激光控制点应按统一要求布设和测量，可适当加密一些作为检查点。
- 6.2.2 在高反射率规则目标不足且需要利用地面标志消除系统误差或检查精度的区域，应在激光数据采集前人工布设激光靶标作为控制点；使用自然目标作为控制点的，可在数据采集之后根据激光点云细节进行选点。
- 6.2.3 激光控制点的测量作业宜与选、布点或外业调绘等工作相结合，以满足预处理环节资料需求为时间目标统筹安排。
- 6.2.4 新建高速公路激光控制点精度按照表 11 执行。

表11 新建高速公路激光控制点精度要求

单位为米

比例尺	地形类别	高程中误差	平面位置中误差
1：500	平原	0.05	0.05
	微丘	0.05	
	重丘	0.10	
	山岭	0.10	
1：1000	平原	0.05	0.10
	微丘	0.10	
	重丘	0.10	
	山岭	0.20	
1：2000	平原	0.10	0.20
	微丘	0.10	
	重丘	0.20	
	山岭	0.20	

- 6.2.5 一般路面精度要求的改扩建高速公路，其激光控制点平面位置中误差不应大于 0.05 m，高程中误差不应大于 0.04 m。
- 6.2.6 对路面高程有特殊精度需求的改扩建高速公路，其激光控制点测量应满足以下要求：
- a) 平面精度不低于一级，高程精度不低于四等；
 - b) 高程控制点使用四等水准测量，线路应起闭于四等或四等以上高程控制点并满足表 12 的规定；

表12 四等水准测量技术要求

每公里观测高差 全中误差（mm）	水准线路长度 （km）	视线长度（m）	观测次数		往返交叉、附和或环线闭合差（mm）	
			符合或闭合线路	支线或已知点联测	平原、微丘	重丘、山岭
≤10	≤16	≤100	往一次	往返各一次	$\leq 20\sqrt{L}$	$\leq 6\sqrt{n}$
注7：L为水准路线长度（km），n为测站数。						

- c) 平面控制点可用快速静态或 RTK 方式测量，在运营中的高速公路上测量时应优先使用 RTK。利用 RTK 进行一级控制点测量时，应遵照 CH/T 2009 的要求；

d) 单独布设的高程控制点还应以 1:500 图根控制点对应精度联测其平面位置。

6.2.7 靶标的材质与环境应对激光具有较高的反射率差异，对环境无危害，便于携带。

6.2.8 靶标的形状应根据作业场所的特定环境需要，结合携带、布设、识别需求和造价等因素综合确定，可选择便于根据已知形状或纹理确定定位点的平面标志或立体标志。

6.2.9 靶标的尺度应保障能获得足够且较为均匀的激光点以提高辨识精度。

6.2.10 高程靶标可独立布设，也可与平面靶标组合布设。组合布设时，高程靶标应基本水平。拟采用水准测量的高程靶标，应有便于水准尺架设和旋转的微小凸起。

6.2.11 靶标布设方式应根据不同搭载平台激光设备的特点有针对性地调整。

6.2.12 车载移动测量所需的靶标控制点应满足以下要求：

- a) 激光靶标一般应布设在高速公路靠外边缘的应急车道上；
- b) 选用的靶标形状、尺寸及布设方位应与车载点云纵向和横向点间距差异相适应，并能获得足够辨识目标的激光点；
- c) 平面靶标间距 300 m~900 m，高程靶标间距 100 m~300 m。开阔地带靶标间距按较大距离布设，在隧道进出口附近、隧道内、桥下、匝道和遮蔽严重路段靶标按中等间隔加密布设，隧道内路面有特殊高程精度要求的靶标按最小间距布设。

6.2.13 机载激光控制点分布应满足以下要求：

- a) 激光控制点宜成组布设，平面位置可使用 GNSS-RTK 方式测量，平面点每组宜采集 3~5 个点；高程测量可采用三角高程测量或 GNSS-RTK 测量，每处总点数不少于 10 个；
- b) 激光控制点应结合地形起伏、地表覆盖情况和扫描范围综合布设，一般宜布设在航摄分区的两端，不同分区之间可以共用激光控制点。长度 5 km 及以内的分区，可在两端各布置一组，长度超过 5 km 的分区，中间约每 5 km 加布一组，重要工点处可适当加密；
- c) 平面点主要布设在公路斑马线、明显道路交叉处、地物拐角等地面上反射率差异明显且边长足够的交角处。平面点兼做 DOM 平面精度检测时，应选择地面目标；
- d) 高程点主要布设在平整开阔的坚硬地面的中部，避开田埂、屋角、陡坎等高程突变处。

6.2.14 RTK 测量时，参与计算参数的校正用已知点连线应尽可能覆盖待测点，并具有最大的横向覆盖宽度和高程覆盖范围。如果激光控制点所在位置与已知点外轮廓连线的横向距离超过 500 m，应使用全站仪检核其中两点的高差；如果横向距离超过 2000 m，应使用三角高程方法测量高程。

6.2.15 激光控制点测量时，应尽量选择与激光数据采集时所用地面 GNSS 基站不同的测量控制点作为起算点，增加校核作用；激光控制点设站测量时，应检核至少 2 个以上的高等级测量控制点。

6.2.16 激光控制点成果需包括经度、纬度、大地高和成果坐标系平面、高程两套成果，成果中应标注经纬度所使用的角度单位以及成果坐标系的定义，还应附起算点和检核点数据备查。

6.3 激光数据采集

6.3.1 数据采集前的准备工作应满足下列规定：

- a) 机载激光扫描作业应确保所需空域已被批准使用；

- b) 气象条件满足正常作业所需，空气及被测目标表面不潮湿；
- c) 激光雷达 IMU 与 GNSS 接收机的三维偏心分量以不低于 5 cm 的精度测量并妥善记录；
- d) 作业人员清楚本次作业范围、作业要求以及备选作业方案；
- e) 激光扫描平台移动到视野开阔且具有良好卫星观测条件的地点，通电检测并按规定流程完成 POS 初始化。

6.3.2 机载激光扫描作业期间应满足下列规定：

- a) 应以左转弯和右转弯交替方式进入航线；
- b) 每次直线飞行超过 30 min 时，应在进入测区或航线前做“S”形或“8”字飞行；
- c) 航摄分区内实际航高与设计航高之差不应大于 50 m。影像有立体观测需求时，同一航线上相邻航片的航高差不应大于 30 m，最大航高与最小航高之差不应大于 50 m；
- d) 在作业区内宜保持对地飞行速度均匀，同一条航线内升降速率不应大于 10 m/s；
- e) 航线飞行过程中，航线的俯仰角、侧翻角一般不大于 5°，最大不超过 12°。对于特别困难地区一般不大于 8°，最大不超过 15°。转弯坡度角应不大于 22°；
- f) 仿地飞行时，同一条航线上航高差可不作要求，升降速率和俯仰角变化应适当放宽；
- g) 分区飞行完成前，宜及时进行构架航线飞行；
- h) 飞行过程中应及时填写飞行记录单，表格样式见附录 A；
- i) 飞机降落后，应停稳静置不少于 5 min，待 IMU 与 GNSS 数据记录完毕后方可进行后续操作。

6.3.3 车载激光扫描作业中应满足下列规定：

- a) 宜按照设计的速度和路线进行车载激光扫描数据采集，亦可根据实际交通状况对采集顺序做调整；
- b) 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；
- c) 应避免姿态剧变、原地转向、倒车和持续单方向转弯；
- d) 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；
- e) 天顶存在盲区的激光设备，宜采取变换车道或扫描方向的方式进行补测，必要时使用便携式激光扫描设备进行补充；
- f) 移动车载 GNSS 在开始作业前需保持静止 5 min；
- g) 数据采集完毕后，应将移动测量车移动到空旷地区并保持静止 5 min，待 IMU 与 GNSS 数据记录完毕后方可进行后续操作。

6.3.4 地面 GNSS 基站同步观测应满足下列规定。

- a) 可独立使用既有测量控制网、CORS 站或者二者结合作为数据采集时的地面 GNSS 基站，GNSS 基站应经过统一联测并使用相同的平面和高程基准及采样频率。
- b) 采集作业期间，同步观测的地面 GNSS 基站不应少于 2 个。
- c) 机载激光扫描时，地面基站之间的距离不应大于 30 km，飞行期间，飞机与地面基站的距离不宜大于 20 km；车载激光扫描时，基站之间的距离不应大于 10 km，扫描期间，扫描车与地面基站之间的距离不宜大于 6 km。
- d) 观测前后两次量取 GNSS 天线高，且其前后差值不应超过 3 mm，并取平均值作为最终天线高，同时记录天线类型。

- e) 所有地面 GNSS 基站应比激光雷达提前 30 min 开机检测并连续观测, 延后 20 min 关机。

6.3.5 激光数据采集结束后应进行以下操作:

- a) 保持扫描系统静置状态 5 min, 并核实设备主要设置参数无误;
- b) 拷贝本次扫描数据;
- c) 确认作业记录单填写完整;
- d) 关闭激光扫描系统电源;
- e) 20 min 后, 结束地面 GNSS 基站观测并及时回传数据。

6.3.6 当存在以下问题时应及时进行补充或重新扫描:

- a) POS 数据存在缺损;
- b) 点云密度实际值不足、覆盖范围存在漏洞或精度异常;
- c) 针对车载、机载扫描无法覆盖的桥下、涵洞等隐蔽区域, 宜采用便携式激光扫描设备进行补测。

6.3.7 补充或重新扫描时, 采集范围两端应超出补充或重新扫描范围半个条带宽度, 并满足重叠度要求。

6.4 检校作业

6.4.1 激光雷达系统除按期维护保养和厂方检测之外, 在项目实施前和实施中发生以下情况时还应进行检校:

- a) 设备经过剧烈震动或冲击;
- b) 系统经过长途运输;
- c) 系统主要部件经过拆装;
- d) 重大项目之前;
- e) 长时间放置后, 特别是在潮湿的环境中。

6.4.2 机载激光扫描设备检校场以及检校场控制点依照 CH/T 8024 执行, 车载激光扫描设备检校场宜按通用方案执行。

6.4.3 检校作业路径在设计采集路径时一同设计。

6.4.4 检校作业宜根据需要适时实施。

6.5 外业调绘

6.5.1 外业调绘宜根据内业制图工期, 结合其他外业工作统筹实施。

6.5.2 需要外业调查的主要要素包括:

- a) 道路沿线的居民地、厂矿、学校、医院、山岭、水库、河流的名称;
- b) 村庄周围的宗祠、宗族墓地、文物、古树、名木等;
- c) 既有高速公路大型桥梁和隧道等主要构造物的名称;
- d) 110 KV 及以上高压输电线的线名、电压值及各塔架编号;
- e) 影像上不易分辨的漫水桥、过水路面、倒虹吸、渡槽、暗渠等;

- f) 交叉道路的名称、等级、路面材料、去向及交叉处里程；
- g) 房屋建筑的层数及材质。

6.5.3 需要外业实地测量的与道路专业相关的主要线状要素包括：

- a) 设计线位下穿重要道路桥梁的梁底高程；
- b) 与设计线位相交叉的铁路的轨顶高程、铁路高架桥桥墩平面位置及梁底高程；
- c) 110 KV 及以上高压输电线各跨最低点的悬高；
- d) 道路沿线地下的石油、煤气、天然气等管道和国防光缆等重要地下管线的指示牌位置；
- e) 与设计线位相交叉的水渠、渡槽等水利设施的平面位置、顶部高程和底部高程。

6.6 外业资料移交

外业数据采集工序需向预处理工序移交以下资料：

- a) 原始影像数据；
- b) 原始激光测距数据文件；
- c) POS 观测数据；
- d) 偏心分量；
- e) 检校场数据；
- f) 地面 GNSS 基站观测数据；
- g) 已知测量控制点成果；
- h) 激光控制点成果；
- i) 地面 GNSS 基站观测记录；
- j) 作业路径设计成果。

7 数据预处理

7.1 POS 解算

7.1.1 POS 解算之前，应先检查 GNSS 地面基站、移动激光雷达系统 GNSS 观测数据及 IMU 数据的以下内容，确保不存在明显影响解算精度的因素。

- a) 偏心分量的测量方式、测量精度是否满足要求。
- b) 根据激光扫描期间地面 GNSS 站点的观测数据解算的 GNSS 站点空间关系与根据站点控制成果计算出的空间关系有无大的偏差。
- c) 地面基站 GNSS 和移动激光扫描 GNSS 的卫星观测质量是否满足要求。
- d) 地面基站 GNSS 的观测时段是否超出移动激光扫描系统 GNSS 的观测时段；
- e) IMU 数据记录是否齐全、完整，是否与 GNSS 时间同步。

7.1.2 POS 解算应满足下列规定：

- a) 联合各类 GNSS 基站数据、激光雷达系统 GNSS 观测数据，按照后处理动态测量模式进行处理，获取数据采集过程中各时刻激光雷达系统 GNSS 天线的三维坐标；
- b) 采用邻近的多个基站分别进行单基站或多基站数据联合解算，选择其中的最优解作为最终结果；

- c) 结合偏心分量，将差分 GNSS 结果与 IMU 数据进行融合处理生成实时轨迹文件；
- d) 利用 GNSS 定位精度、POS 解算正反算差值、数据质量因子等指标对 POS 解算质量进行综合评定，具体应满足下列要求：
 - 1) POS 解算的平面位置中误差和高程中误差不应大于表 13 的规定。

表13 轨迹解算精度

单位为米

比例尺	道路部位	POS平面位置中误差	POS高程中误差
1 : 500	新建工程、改扩建工程路外部分	0.05	0.075
	改扩建工程路面部分	0.05	0.075
1 : 1000	新建工程、改扩建工程路外部分	0.10	0.15
	改扩建工程路面部分	0.05	0.075
1 : 2000	新建工程、改扩建工程路外部分	0.20	0.30
	改扩建工程路面部分	0.05	0.075
注8: POS解算的高程中误差以大地高为基准。			

- 2) POS 解算正反算差值不应大于 POS 解算中误差的 2 倍。
 - 3) POS 解算的固定解率达到 90%以上。
- e) POS 解算质量满足项目要求后，导出合格的轨迹成果，并填写 POS 数据处理报告，表格样式见附录 B。

7.1.3 当 POS 数据存在严重影响精度的缺失或解算精度达不到要求时，应及时进行补充或重新扫描。

7.2 检校计算

7.2.1 利用检校场采集的 POS 数据、激光测距数据、影像数据和实测的控制点进行检校计算。

7.2.2 检校计算宜采用相关检校软件或数据处理软件的自检校功能。

7.2.3 检校计算的主要内容是 POS 与激光扫描仪、数码相机之间的系统安置角 Heading、Pitch、Roll。

7.2.4 检校计算的方法是以系统安置角为变量进行条带平差迭代，当迭代收敛且安置角变化值小于 POS 系统的姿态标称精度时，可作为安置角的检校成果。

7.2.5 一般情况下，可利用正常作业数据之间的重叠和交叉以及构架航线等多余观测在航摄分区进行自检校。

7.3 点云解算

7.3.1 点云解算应满足下列规定：

- a) 联合 POS 解算结果、激光测距数据、激光雷达设备硬件配置文件、系统检校文件等，输出三维点云数据；
- b) 点云数据宜采用 LAS 格式，对于真彩色点云数据，宜采用能存储颜色信息的 LAS 格式相应版本；
- c) 机载扫描点云数据宜每条航带单独存储一个文件，车载扫描点云数据宜按照点云数据量大小或扫描距离分段存储；

d) 输出的点云数据高程基准为大地高。

7.3.2 点云解算结果应满足下列要求，对于不满足的应补充或重新扫描。

- a) 点云密度实际值达到技术设计要求，激光点穿透性较好。
- b) 点云覆盖范围达到技术设计要求，重叠度满足要求。
- c) 噪声点未造成有效点云密度的明显降低，且与有效数据之间易于区分。

7.3.3 对于因沥青路面、水域以及局部房屋顶、路面积水等低反射导致的局部点云密度实际值低于设计值，一般部位可不补充扫描，重要部位用其他手段补测。

7.3.4 对于反映公路资产要素类的点云，如果直接获取的点云密度实际值低于设计值，但结合图像识别和设计资料仍能有效识别并提取公路资产要素几何结构参数，且精度满足公路资产管理应用要求的，可不补充扫描。

7.3.5 点云解算结果应满足以下精度要求：

- a) 点云数据各扫描条带重叠区同名点平面位置较差的中误差小于平均点间距的 2 倍；
- b) 新建工程全线及改扩建工程路面以外点云数据各扫描条带重叠区同名点高程较差的中误差小于表 4 中相应高程中误差的 2 倍；
- c) 改扩建工程路面上点云数据各扫描条带重叠区同名点高程较差的中误差小于表 5 中相应高程中误差的 2 倍。

7.4 条带拼接及点云纠正

7.4.1 不同条带重叠区同名点之间的平面位置和高程较差的中误差满足下列要求时，可利用激光控制点进行系统误差检查，确认不存在系统误差，才能进行条带拼接。

- a) 不同扫描条带重叠区同名点平面位置较差的中误差小于激光点云平均点间距。
- b) 不同扫描条带重叠区同名点高程较差的中误差小于表 4 和表 5 规定的相应比例尺点云高程中误差。

7.4.2 机载激光扫描点云同名点之间的平面和高程较差的中误差超限，或存在系统误差时，应利用不同条带重叠区数据与激光控制点联合条带平差进行点云误差纠正。

7.4.3 车载激光扫描点云宜采用激光控制点对点云平面和高程进行纠正，使点云的平面中误差、高程中误差及往返/重复扫描过程中的同名点平面、高程较差的中误差满足精度要求。

7.4.4 车载激光扫描点云的纠正应按本文件 7.6 条进行坐标、高程转换后，在成果坐标系的高程基准上执行。

7.5 影像预处理

7.5.1 影像数据预处理的内容包括：

- a) 对采用非通用压缩格式的原始影像进行解压缩处理；
- b) 对影像数据进行匀光匀色，输出影像色调基本一致、过渡自然、色彩真实的影像；
- c) 联合 POS 解算出的轨迹文件、相机曝光时标文件、相机参数文件等，解算数字影像的外方位元素。

7.5.2 影像数据预处理后，应对其进行质量检查。检查的主要内容包括：

- a) 有无丢片、黑片，丢片数量；
- b) 有无云影/遮挡导致的地物无法识别；
- c) 有无像移造成的重影、模糊；
- d) 有无明显曝光不足、过度以及色彩偏移；
- e) 影像的航向重叠度、旁向重叠度和数据覆盖范围是否满足要求；
- f) 相机曝光时标信息记录是否齐全、完整。

7.5.3 对于测区内影像数据存在明显缺陷、严重影响后续生产的地方，应及时进行影像数据补充采集，采集的范围和重叠度应按 6.3.7 条执行。

7.6 坐标、高程转换

7.6.1 当轨迹、拼接和纠正后的点云、影像外方位元素的坐标系统、高程基准与成果基准不一致时，需要进行坐标、高程转换。

7.6.2 若测区内已有覆盖范围和转换精度满足要求的严格转换参数，应直接利用其将点云数据、轨迹数据、影像外方位元素数据转换到成果基准。

7.6.3 若测区无法直接获取满足要求的转换参数，则需要利用公共点计算转换参数。

7.6.4 一般宜使用精度和分布满足要求的高速公路测量控制点作为坐标、高程转换的公共点，按照点的分布情况以多种点组合方式选择不少于 3 个公共控制点分别计算和优选，获得最终的转换参数。

7.6.5 高程转换参数应参考线路走向、控制点分布和地表高程起伏情况采用分段线性拟合方式计算，桥隧穿越的山峰或谷底未布设控制点时，不能使用外推方式计算转换参数。

7.6.6 测区内有多个投影分带时，宜每个投影分带单独计算转换参数，相邻投影分带在接边处应有公共控制点参与转换参数计算。

7.6.7 坐标、高程转换后，应利用未参与转换参数计算的公共点评价转换的精度。

7.6.8 新建高速公路的平面转换中误差不应大于 0.05 m，改扩建高速公路的平面转换中误差不应大于 0.02 m；新建和改扩建工程的高程转换中误差分别不应大于表 4 和表 5 中相应比例尺点云数据高程中误差的三分之一。

7.6.9 坐标、高程转换后，均匀抽取未参加点云纠正的激光控制点作为检查点，检测激光点云的数据精度，点云精度应满足表 4 和表 5 的相应规定。

7.7 点云高程特殊精化处理

7.7.1 对于高程精度要求较高的用途，改扩建项目的路面点云还需进行高程强制约束，做特殊精化处理。

7.7.2 强制约束前，需对激光高程控制点进行粗差探测和剔除。

7.7.3 高程精化模型的构建应满足下列要求：

- a) 获取激光控制点在激光数据中相应位置的拟合高程值，与其实测高程值及位置形成带状高差改正模型；
- b) 沿道路中线的法线方向，将改正模型水平拉伸到所在道路的边缘；
- c) 多条或多层路面应分别建立改正模型。

7.7.4 对建立的高差改正模型进行校核和完善。

7.7.5 用高差改正模型改正本模型范围内改扩建项目的路面点云。

8 数字化产品生产

8.1 点云分类

8.1.1 点云分类宜根据高速公路不同阶段、不同区域、不同产品类别所要求的范围和精度分别实施。

8.1.2 激光点云数据分类前宜进行分幅处理。机载激光点云数据宜按 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 进行分幅，车载激光点云数据宜根据数据量大小，沿主道路延伸方向按 $0.3\text{ km} \sim 0.5\text{ km}$ 长度进行分幅，互通、匝道等多次扫描区域宜适当减小分幅长度。

8.1.3 激光点云分类前宜对点云数据进行噪声点去除工作，对地表以下明显影响地面点提取、地表以上明显影响地物点提取的噪声点进行分离。

8.1.4 提取地面点和不同类别地物点时，宜根据激光点云回波信息、高度信息、反射强度、颜色信息、空间形态分布、点云密度等特征进行分割，对于空间形态分布特征明显的地面点和地物类别，可利用算法设置合适的参数进行自动分类。

8.1.5 对于空间形态分布特征不明显的地物或自动分类不正确的区域，应采用人工方式对分类错误的地方进行局部编辑。

8.1.6 点云分类时对地形、地物边界和类型有争议的地方，可提取剖面或结合影像辅助判别。

8.1.7 点云分类应满足以下规定：

- a) 激光点云应按照工程需求的类别进行分类，分层类别及编码原则宜按附录 C 的规定执行；
- b) 植被郁闭度值大于 70% 区域的条带重叠区点云数据应参与地表点提取，避免不同方向穿透性不同造成局部地表点缺失；
- c) 立交桥、高架路、桥梁等架空于地面或水面之上的人工地物，将悬空部分都归为桥梁点，一般只保留地面或水面的点云作为地表点；
- d) 路堤、土堤、拦水坝、水闸等底部与地面相接的构筑物，保留其点云作为地面点；
- e) 悬崖需保持上下边缘完整；
- f) 人造地物下方的地形，以保留自然地貌为主，建筑物遮盖范围线以内的部分用平面连接，建筑悬空的部分不计入地表点；
- g) 分类结果中应能体现高差超过 1 倍基本等高距的地形变化；
- h) 点云沿法线方向到地面的距离超过表 14 的点被分类为地面点视为分类错误，此类错误点数量不应超过地面点总数的 4.5%，且不应集中分布。点云的后验采集精度高于设计精度时，可将超过部分按比例放宽到分类容许的精度损失中。

表14 点云错分类地面点判断指标

单位为米

成果比例尺	点云错分类点离地面距离			
	平原	微丘	重丘	山岭
1 : 500	0.15	0.25	0.28	0.40
1 : 500	0.15	0.35	0.40	0.80
1 : 2000	0.25	0.35	0.68	0.80

- 8.1.8 点云分类后，应根据不同用途、不同比例尺，采用不同的尺度标准对分类质量进行检查：
- a) 对于提取地形用途的分类，采用对分类后的地面点建立地表模型的方法检查地形表示的完整性和点云精度，对于模型不连续、不光滑、不符合自然逻辑处，可利用断面图和影像图辅助检查分类可靠性；
 - b) 对于提取地物用途的分类，主要检查地物表示的完整性；
 - c) 对于提取断面用途的分类，除地面点外，部分人造地物如桥梁、立交桥、高架路等，也应加入构建模型，重点检查断面线位置附近地形突变处、植被密集处地形地物表达的完整性。

8.1.9 激光点云数据宜采用 LAS 文件格式，点云有存储颜色信息需求时应使用 LAS1.2 及以上版本。

8.2 数字高程模型

- 8.2.1 数字高程模型的生成应在激光点云分类完成检查和修改后进行。
- 8.2.2 点云中所有地面点均参与数字高程模型的构建。根据实际情况，可将外业补测数据参与数字高程模型生成。
- 8.2.3 数字高程模型的数据组织表达形式宜采用规则格网格式，有特殊需求时也可使用 TIN 格式。其格网分辨率和高程精度应满足表 6 的规定，成果接边应满足 4.6.7 条的要求。
- 8.2.4 数字高程模型成果的分幅和编号应满足 4.6.1 条的要求。
- 8.2.5 根据成果的实际要求，可采集下列平面位置准确、节点具有准确高程值的三维特征线参与数字高程模型的构建。
- a) 等级以上公路边界线。
 - b) 河流水面宽度大于 20 m 的，应采集水涯线并赋予水面高程值，其高程应自上游往下游平缓过渡，不应出现局部倒流现象。
 - c) 池塘、湖泊、水库等静止面状水域，面积大于 20 m×20 m 的，应采集水域范围线，取常水位高程，高程值应保持一致。
 - d) 房屋前后的坎顶、坎脚边界线。

8.3 数字正射影像图

- 8.3.1 激光数据生成正射影像图是基于 POS 数据辅助空三得到的影像外方位元素和分类后地面点构建的地面模型，对原始影像进行数字微分纠正，生成单片数字正射影像。
- 8.3.2 影像镶嵌线应避开房屋、悬空桥梁、立交桥等离地表高差较大的地物，大型桥梁、互通、高架

路等平面位置对高速公路设计影响较大的地方应进行真正射纠正。

8.3.3 同一条高速公路数字正射影像图分幅、编号应与数字高程模型保持一致。

8.3.4 数字正射影像图的平面位置中误差和影像地面分辨率应满足表 7 的规定,成果接边应满足 4.6.7 条的要求,电力线可不要求接边。

8.3.5 车载移动测量配备高清相机的,制作路面部分高分辨率影像图时,影像地面分辨率宜根据距离远近折中设置。

8.3.6 数字正射影像图颜色模式应采用 32 位真彩色,在测绘范围线以外的无数据区域,统一设置为透明区域,以像素值 rgba (0,0,0,0) 表示。

8.3.7 数字正射影像图的文件格式应满足地理空间数据格式交换的需求,宜采用 TIFF 影像格式,含对应的 tfw 坐标文件;对于压缩率和控制数据量有较高要求的项目,可输出压缩率不低于 75%的 JPEG 格式影像数据,含对应的 jgw 坐标文件。

8.4 数字线划图

8.4.1 数字线划图成果的分幅和编号应满足 4.6.1 条的要求。

8.4.2 数字线划图的基本等高距、等高线和高程注记点的高程精度、地物点的平面精度应分别满足表 8、表 9 和表 10 的规定。

8.4.3 地物提取宜综合采用以下方式进行采集:

- a) 地表面的地物,如道路、水系、独立地物、土质植被等,可直接从正射影像图上采集;
- b) 地表以上低矮稀疏的房屋、管线等,可利用正射影像图结合激光点云采集轮廓线;
- c) 地表以上高大、密集的房屋、立交桥等投影差较大的地物,应结合激光点云、立体量测、真正射影像或其他方法提取。

8.4.4 等高线和高程注记点的提取应在激光点云分类完成检查和修改后进行。

8.4.5 利用分类后地面点数据或者同比例尺数字高程模型,提取生成满足项目需求的等高线和高程注记点。高程注记点宜均匀分布,地形特征变化点、道路交叉口、水边线、桥隧构造物等处需加注高程点。铁路与等级公路应在图上分别每隔 10 cm 加注高程点。

8.4.6 高压输电线应标注电压值,高压输电线与设计线路相交点附近一定范围内,还应测注悬高。

8.4.7 数字线划图坐标注记应根据工程用图习惯,坐标值沿相应坐标线方向、字头朝向坐标增大方向注记。

8.4.8 数字线划图的符号规范化表达应符合 GB/T 20257.1 的规定。对图式中没有规定符号的地物、地貌,应制定补充规定,并在技术报告中明确。

8.4.9 数字线划图宜采用 dwg 格式存储。

8.5 断面

8.5.1 断面提取前应准备以下数据:

- a) 设计中线和中桩桩号;
- b) 提取横断面还应提供左右断面宽度;
- c) 提取斜交断面还应提供对应的斜交角;
- d) 提取边桩点还应提供偏距;
- e) 满足断面提取精度要求的局部分类后地面点云数据;
- f) 与断面提取相关的桥梁、立交桥、高架路等既有构造物的分类点云数据或三维特征线数据。

8.5.2 断面线生成应符合以下规定:

- a) 分类后点云数据生成不规则三角网应符合 Delaunay 三角网约束规则;
- b) 新建高速公路全线及改扩建高速公路路面以外部分, 分类后点云构 TIN 的最大距离, 平原和微丘区域一般不大于 20 m, 重丘和山岭区域应根据地表起伏状况及细部特征适当缩小构 TIN 最大距离;
- c) 改扩建高速公路路面及邻近过渡区域, 分类后点云构 TIN 的最大距离一般不大于 5 m;
- d) 滤除房屋后出现的零散、小面积无地面点数据区域, 其构 TIN 距离可根据房屋尺寸适当增大;
- e) 对于水域面积较大造成的构 TIN 漏洞, 应按照 8.2.5 条要求采集三维水边线参与构 TIN;
- f) 分类后点云构 TIN 后, 三角网应无空洞。植被下激光点穿透率太低导致的构 TIN 漏洞, 应予以标记, 外业实测检核;
- g) 根据设计中线、中桩桩号、断面角度和断面宽度生成二维断面线;
- h) 断面点的平面位置宜根据二维断面线和三角网边线在 XY 平面上的交点来确定;
- i) 断面点的高程值宜采用三角网插值法计算;
- j) 改扩建高速公路沿线桥梁、立交桥、高架路等既有构造物处的断面线应结合点云及其三维特征线构建三角网辅助提取;
- k) 凹崖位置和水域内的断面线应由野外实测补充断面点;
- l) 对于改扩建高速公路沿线的盖板边沟、路缘石、护栏、人行步道等重要构造物, 激光点云能完全反应这些细节的, 则直接利用点云构 TIN 提取断面线, 如果激光点云无法完全反映这些细节, 则需要外业实地调查和测量;
- m) 断面提取成果应与数字正射影像图套合辅助判别。

8.5.3 断面线编辑应符合以下规定:

- a) 应剔除断面线突变异常处对应的断面点;
- b) 房屋前后断面线高程应与地基表面高程一致;
- c) 在有实测数据情况下, 应使用实测数据辅助激光点云提取纵横断面;
- d) 应根据陡坎形态对陡坎处断面线进行修正;
- e) 从点云形态上不易判别断面线走向的地方, 宜使用数字正射影像图参与校核。

8.5.4 高速公路项目直接从激光点云中提取的断面, 相对于邻近激光控制点或检查点的精度应分别满足表 15 和表 16 的规定。新建高速公路从点云中提取的断面, 应对植被郁闭度值超过 70% 的密林区域利用实测中桩高程值对断面进行高程系统差改正。

表15 新建高速公路断面提取精度要求

单位为米

地形类别	平面位置中误差	高程中误差
平原、微丘	0.3	0.3
重丘、山岭	0.4	0.6

表16 改扩建高速公路断面提取精度要求

单位为米

断面精度要求	平面位置中误差		高程中误差	
	路面	边坡	路面	边坡
一般路面要求	0.08	0.12	0.05	0.20
特殊路面要求	0.08	0.12	0.02	0.20

8.6 道路要素提取

- 8.6.1 道路要素提取宜从公路资产要素和公路场景要素两个方面进行提取，具体要素对象可参见附录C。
- 8.6.2 公路资产要素特征点或定位点的平面精度应优于0.1 m，高程精度优于0.05 m。
- 8.6.3 公路场景要素提取的平面精度优于0.6 m，高程精度优于0.3 m。
- 8.6.4 通过机载激光扫描或车载激光扫描获取的实际点云密度无法达到某些高速公路道路资产要素结构提取需求时，可采用其它便携式激光扫描方式加以补充。

9 质量检验

9.1 检验方式

9.1.1 激光测量数字化成果的质量实行两级检查、一级验收制度。过程检查由作业部门负责，最终检查由项目承担单位负责，成果验收由项目委托方组织或第三方法定质量检验机构负责。

9.1.2 质量检验应依据下列文件进行：

- a) 项目委托书、合同书、项目委托方与承担方达成的其他协议文件；
- b) 项目技术设计文件；
- c) 技术设计依据的标准文件。

9.1.3 激光测绘成果的质量检验应符合 GB/T 18316 的规定。质量检验应形成检查记录文件，并编写质量检查报告、验收报告。

9.2 检验内容及要求

9.2.1 数字线划图、数字高程模型、数字正射影像图的基本检验内容应分别符合 CH/T 1025、CH/T 1026、CH/T 1027 的规定。

9.2.2 公路专业关注的内容检验应满足以下要求：

- a) 激光点云应重点检验点云的分类精度；
- b) 数字正射影像图应重点检查大型桥梁、互通、高架路等位置的平面精度；
- c) 数字地形图应重点检查与高速公路设计相关的地形、地物要素以及调绘要素；
- d) 断面成果检验的主要内容有：断面格式、与中线的交角、覆盖宽度、植被密集处或地形突变处的断面形态正确性、断面精度、断面的完整性；
- e) 道路要素提取成果主要检验要素的完整性、齐全性、位置精度、属性精度。

10 成果提交

10.1 成果提交的要求

成果提交应满足以下要求：

- a) 各项技术文档内容齐全、完整、真实、表述准确；
- b) 各项作业记录、技术资料和成果数据完整；
- c) 成果经检验合格。

10.2 成果提交内容

根据项目实际生产需求，提交以下全部或部分成果：

- a) 成果清单；
- b) 分类后的点云成果；
- c) 匀光匀色后的影像；
- d) 激光控制点成果；
- e) DEM、DOM、DLG 成果；
- f) 断面成果；
- g) 道路要素提取成果；
- h) 技术设计书；
- i) 技术总结；
- j) 质量检查报告；
- k) 其他相关内容。

附录 A
(资料性)
机载激光雷达飞行记录单

表A.1为机载激光雷达飞行记录单的内容。

表A.1 机载激光雷达飞行记录单

[illegible]

附录 B
(资料性)
POS 解算报表

表B. 1为POS解算报表的内容。

表B. 1 POS 解算报表

项目名称						
作业时间				天气状况		
飞机/扫描车型号				飞行员/驾驶员		
航测员/记录员				扫描架次		
地面基站原始数据记录分析	序号	基站名称	数据编号	卫星颗数	数据完整性	是否异常
	□1、无异常，可进行后处理。□2、部分基站有异常，可进行后处理 □3、所有基站异常，不能进行后处理。□4、备注_____					
移动数据预处理记录及分析	移动GNSS数据	有无失锁发生	□有	所在区间		时间（s）
		□无				
	□1、无失锁，可进行后处理。 □2、失锁区间较短，且在非航摄区，可进行后处理 □3、在航线上失锁时间较短，可进行后处理。 □4、失锁时间长，部分区间无法后处理，建议补摄_____ □5、其它_____					
	卫星颗数	□≥18 □6-18 □≤6				
	PDOP值	□≤3 □3-4 □≥4				
	IMU数据	□有异常 □无异常				
	固定解	□ 0 □ 1 □ 2 □ 3				
解算结果分析	GNSS定位精度（m）		东<		北<	高<
	正反算差值（m）		东<		北<	高<
扫描质量评估		□优秀 □良好 □一般 □差				
备注						

附 录 C
(规范性)
激光点云分类类别

C.1 编码结构

激光点云的分类类别以层号来区分，层号数据范围是0~255。基础类只分一级类，类别可在需要的基础上继续扩展，扩展的层号在0~19之间。高速公路资产要素和高速公路场景要素可在一级类基础上扩展二级类，每个一级类可扩展不超过10个二级类，二级类层号的编码规则如下：

- a) 在已有一级类基础上增加尾数，尾数值为 0~9；
- b) 二级类的层号在增加尾数的基础上减去 100。

C.2 主要类别

激光点云的主要分类类别设置应符合表C.1的规定。

表C.1 激光点云分类类别表

大类	一级类	存储内容	层号
基础类	原始类	原始输出的未经过分类的点类别	0
	默认类	拟采用算法分类的点云初始类别	1
	地面	反应真实地表起伏，落于地表面的点	2
	低矮植被	贴近地表的植被点	3
	中层植被	邻近但未贴近地表的植被点	4
	高层植被	远高于地表的植被点	5
	人工建筑	落于居民地、各种人工活动设施以及垣栅上的激光点	6
	噪声点	明显悬在空中或低于地表的无效激光点	7
	模型关键点	用于构建数字地面模型的地表关键点	8
	重叠区	裁切航带重叠区后的点	9
高速公路场景要素	路面	既有路面上及路边缘的点	20
	桥涵	桥梁及涵洞的点	21
	隧洞	洞身、洞门翼墙、洞外侧墙上的点云	22
	公路房建	路域范围内人工建筑表面的点云	23
	交通安全设施	涵盖路面标线、交通标志、护栏及附属设施的点云	24
	防护工程	护坡、挡土墙、护岸上的点云	25
	声屏障工程	砌块体、金属、复合结构等材质声屏障上的点云	26
	公路管理设施	收费站、龙门架等管理设施上的点云	27
	防排水设施	边沟、截水沟上的点云	28

表C.1 激光点云分类类别表（续）

大类	一级类	存储内容	层号
高速公路场景要素	公路绿化	涵盖服务区、隔离带、互通、边坡、碎落台等处植被上的点云	29
高速公路场景要素	电力线	道路可视范围内落于架空电力线上的非地面类激光点	30
	高压电塔	道路可视范围内落于高压电塔上的激光点	31
	水体	道路可视范围内河流、沟渠、湖泊、池塘、水库等范围内的激光点	32
	植被	道路可视范围内落于路域范围外的低矮、中层、高层等不同类型植被表面点	33
	人工建筑	道路可视范围内路域范围外民房、办公楼等其它人工建筑上的点云	34

参 考 文 献

- [1] GB/T 27919 IMU/GPS辅助航空摄影技术规范
 - [2] GB/T 36100 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法
 - [3] CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程
 - [4] CH/T 3020 实景三维地理信息数据激光雷达测量技术规程
 - [5] CH/T 3023 机载激光雷达数据获取成果质量检验技术规程
 - [6] CH/T 6003 车载移动测量数据规范
 - [7] CH/T 6004 车载移动测量技术规程
 - [8] CH/T 9008.1 基础地理信息数字成果 1: 500 1: 1000 1: 2000 数字线划图
 - [9] CH/T 9008.2 基础地理信息数字成果 1: 500 1: 1000 1: 2000 数字高程模型
 - [10] CH/T 9008.3 基础地理信息数字成果 1: 500 1: 1000 1: 2000 数字正射影像图
-