

ICS 93.080.01

CCS P 11

团 体 标 准

T/JSJTQX 65—2024

公路路基路面施工智能测量 技术规程 激光全断面扫描

Technical specification for intelligent measurement of highway
subgrade and pavement construction-Laser full section scanning

2024-12-31 发布

2025-01-01 实施

江苏省交通企业协会

发布

目 次

前 言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 符号..... 2

5 设备和软件..... 2

 5.1 设备..... 2

 5.2 软件..... 2

6 断面扫描..... 3

 6.1 测量准备..... 3

 6.2 全断面扫描..... 3

7 点云数据分析及成果应用..... 4

 7.1 点云数据采集及预处理..... 4

 7.2 点云数据提取、建模、输出..... 5

 7.3 点云成果应用..... 6

附 录 A （资料性） 航线间重叠区域平差处理方法 7

 A.1 优化基站布设的方法..... 7

 A.2 技术设计的方法..... 7

附 录 B （资料性） 采用无人机机载激光扫描技术点云建模步骤 8

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省交通企业协会提出并归口。

本文件起草单位：江苏森淼工程质量检测有限公司、镇江市公路事业发展中心、中交一公局第五工程有限公司、江苏华通工程技术有限公司、中交第一航务工程局有限公司、江苏省建筑垃圾循环利用工程研究中心、江苏路通装配科技有限公司、江苏省交通运输综合行政执法监督局、江苏通用路桥工程有限公司、北京中元浩业科技有限公司、江苏镇江路桥工程有限公司、常州交通建设管理有限公司、江苏路通项目管理有限公司、溧阳市交通工程建设事业发展中心、江苏华晨路桥建设有限公司、常州市交通运输综合行政执法支队、华设设计集团股份有限公司。

本文件主要起草人：张世强、陈燕飞、申振森、吉祥、吕泰达、杜志、毛安静、张贻能、桂零、崔振华、俞晶菁、梁华骏、严律、刘云峰、李小民、韦立、施亮、徐德民、包旭、倪刚刚、苏雷成、张瑶、贺攀、曹向浦、翟成凯、祁敏、王媛婕、陈云平、俞科峰、陈光林、韩辉、路星、张素娟、刘钱梅、王扣芹、路星、沈凤玲、史奇彬、徐正、朱伟伟、钱军成、潘琪、赵鹏、陈瑜、王晖、王芮文。

本文件由江苏省交通技师学院副教授陈燕飞、江苏大学、南京工业大学研究生校外导师、研究员级高级工程师王芮文、江苏省建筑垃圾循环利用工程研究中心、扬州职业大学教授吕凡任审定。

公路路基路面施工智能测量技术规程

激光全断面扫描

1 范围

本文件规定了公路路基路面施工智能测量技术中激光全断面扫描技术的设备和软件、扫描方法、扫描数据分析及成果应用等内容。

本文件适用于公路路基路面智能测量。

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 18314 全球定位系统(GPS)测量规范

GB / T 18316 数字测绘成果质量检查与验收

GB / T 36100 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法

CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程

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 F20 公路路面基层施工技术细则

JTG F40 公路沥青路面施工技术规范

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

SJ21226 电子装备逆向工程三维建模技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光扫描 Laser scanning

一种精确测量和建模的量测技术，通过激光测距仪向物体发射激光束，并接收反射光来测量物体的距离和形状，从而实现高精度三维建模。

3.2

激光点云 LIDAR point clouds

通过激光测量方式获取三维空间中目标表面特征的海量点集合。

3.3

实时动态测量 real-time kinematic, RTK

利用全球定位系统进行的实时动态位置信息测量。

注：RTK又名实时动态差分定位。采用差分GNSS三类（位置差分、伪距差分和相位差分）中的相位差分技术，在野外

实时得到厘米级定位精度的测量方法。GNSS-RTK系统基准站由基准站GNSS接收机及卫星接收天线、天线电数据链电台及发射天线、直流电源等组成。

3.4

边界采样间距 boundary sampling interval

激光点云计算时，在边界采样过程中，两个相邻采样点之间的距离及高程。

3.5

激光雷达 boundary sampling interval

是包括了激光测距系统、机械扫描单元、控制记录单元、全球定位系统、惯性测量系统的一套成像设备。

4 符号

下列符号适用于本文件。

H: 机载式测量时相对航高，单位m；

f_c : 焦距，单位mm；

μ : 扫描仪镜头尺寸，单位mm；

GR: 地面分辨率，单位m/像素；

σ : 高程中误差，单位mm。

5 设备和软件

5.1 设备

5.1.1 智能测量仪器宜采用智能激光雷达扫描仪。扫描仪应满足以下要求：

- 采用不受日照、大气及自然阴影影响的非光学成像原理主动测量方式；
- 能获得精确的点云数据，激光雷达信号可穿透植被等覆盖物直接获取距离观测值；
- 可快速获取路线平面位置和高程坐标，并结合遥感影像、摄影正射影像和高精度激光点云进行点云测量；
- 具有丰富的用户接口，用以输入或输出点云数据；
- 能自动生成公路路基路面断面和边坡数据；
- 应具备高反射率，测量距离不少于 300m；
- 测距精度在 $\pm 3\text{cm}$ 内；
- 扫描频率在 5Hz~20Hz；
- 角分辨率在垂直方向为 2.0° ，水平方向为 $0.1^\circ\sim 0.4^\circ$ 之间。

5.1.2 无人机设备参数满足以下要求：

- 应适用于小范围、复杂地形的测绘任务；
- 起飞重量应不小于 13.0kg；
- 续航时间宜在 9kg 载荷下持续飞行 50min；
- 具有良好的风抗性能，最大抗风速度 15m/s；
- 无风条件下，飞行速度不小于 20m/s；
- RTK 定位正常工作时。悬停精度宜为垂直 $\pm 0.1\text{m}$ ，水平 $\pm 0.3\text{m}$ ；
- 使用温度宜在 $-10^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$ 之间。

5.2 软件

- 5.2.1 软件由用于仪器设备的系统软件及用于点云数据分析处理的后处理软件两部分组成。
- 5.2.2 仪器系统软件根据仪器功能配置，不同型号仪器功能配备相应的功能实现软件。仪器系统软件应具有以下功能：
- a) 操作界面人性化，操作步骤自动化；
 - b) 能实现点云数据自动拼接和坐标系转换，能将扫描数据直接与绘图软件协同，实现虚拟现实化和一体化；
 - c) 具有激光扫描信号转换、移动载体姿态调整和导航信号接收等功能。
- 5.2.3 后处理软件应具有以下功能：
- a) 能准确快速精准地进行点云数据处理，降低数据处理时间；
 - b) 点云数据提取及数据格式转换功能；
 - c) 坐标系建立、全景照片生成、三维点云模型导出功能；
 - d) 基于点云特征图像的提取，基于扫描线、基于聚类分析功能；
 - e) 兼容常用品牌及型号的激光雷达扫描仪。

6 断面扫描

6.1 测量准备

- 6.1.1 扫描前，应对路基路面、边坡、排水系统进行探测，了解其所在位置的地形地貌情况、设计线型、周围建筑物、植被覆盖遮挡情况，确定扫描方案。扫描方案宜满足以下要求：
- a) 环境比较开阔地带，无信号塔、高压线、发电风机等突出的障碍物，可使用无人机飞行方式的采集数据。飞行路线应提前规划，无人机应按照规划的飞行路线，自动进行数据采集工作；
 - b) 在飞行条件不具备，或需要连续进行采集作业的情况下，应使用车载无人机方式进行数据采集，可在车辆上架设2架无人机同时进行扫描作业以提高采集效率；
 - c) 在飞行区域内标定3~4个坐标点，用明显的可视物做标记，测量这些标记点的平面坐标，并使用水准仪测量标记点的高程及坐标。并将标记点的坐标及高程导入激光雷达扫描仪软件，为无人机提供区域内参考位置，确保航测区域内测量精度；
 - d) 在确定测绘区域，规划飞行高度、航线等参数，确保无人机能够安全、有效地覆盖整个测量区域；
 - e) 根据测绘区域的地形特点和对精度要求，选择合适的无人机飞行平台和激光雷达扫描系统。
- 6.1.2 编制扫描方案，熟悉设计图纸，并将相关路基路面高程和坐标设计数据等技术文件、资料在扫描前，输入到激光雷达扫描系统中。
- 6.1.3 制定详细的飞行规划，包括起飞点、航线图、着陆点等并充分考虑天气状况。同时，在无人机上安装相应的软件和传感器。
- 6.1.4 按照飞行规划，无人机起飞并进行采集数据。在飞行过程中，应尽量避免干扰和振动，保持无人机的稳定。
- 6.1.5 飞行前，应对无人机、激光雷达扫描仪进行校准，相关参数应满足5.1~5.2要求。
- 6.1.6 在飞行及扫描仪器使用前，应对仪器进行充电，并配备备用充足的电池；应配备至少2名技术人员，并经过相关培训。

6.2 全断面扫描

- 6.2.1 路基路面激光全断面扫描技术可以用于路基路面分层测量、边坡测量、排水系统测量等方面。
- 6.2.2 应勘察飞行区域的范围和边界，勘测区域的杂物和障碍物，还需勘察区域的积水和泥塘以避免对

测量结果产生干扰。

6.2.3 路基路面分层施工时，应每层施工完成后进行测量。路基路面测量至少应包含横断面、纵断面以及平面特征线等数据。

6.2.4 边坡测量至少应包含边坡坡度、边坡高度、纵断线型以及平面特征线等数据。

6.2.5 排水系统测量至少应包含边沟底部坡度、边沟断面、纵断线型以及平面特征线等数据。

6.2.6 施工前，对路基路面、边坡、排水系统进行第1次全面扫描，下一层施工完成后再进行第2次扫描。按两次扫描的顶面差值可进行施工工程量计算。工程量计算常用方法有DTM法、方形网格法、等高线法、剖面法等。宜使用DTM法计算。

6.2.7 无人机搭载激光雷达系统起飞，按照规划的航线进行飞行。在飞行过程中，激光雷达系统持续发射激光束并接收反射回来的信号，从而获取地面点的三维坐标信息，形成点云数据。

6.2.8 无人机机载激光扫描分层测量点云数据采集程序如图1所示。

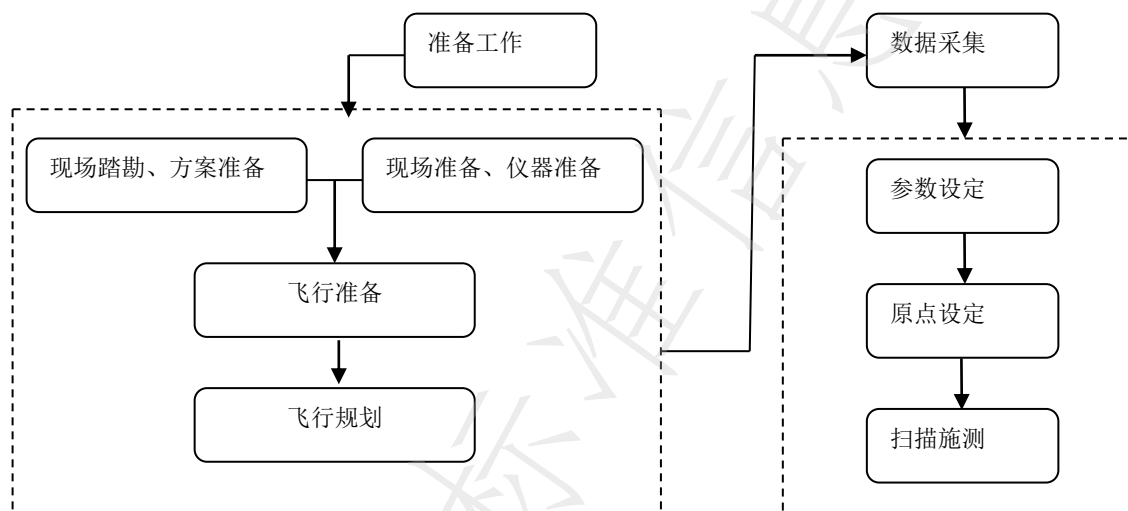


图1 无人机点云数据采集流程

7 点云数据分析及成果应用

7.1 点云数据采集及预处理

7.1.1 对点云数据进行采集和预处理，包括数据提取、配准、建模等步骤。最终生成地形和地物的测绘结果。

7.1.2 使用机载式激光雷达扫描仪器采集点云数据，应满足以下要求：

a) 按探测情况和预设飞行方案进行航线规划，确定航线间距、相对航高、重叠度、航线数量等参数。航迹重叠度宜控制在30%左右，航线间重叠区域平差处理方法见附录A。相对航高H按公式（1）确定；

$$H = f_c \cdot \frac{GR}{\mu} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

H——机载式测量时相对航高，m；

f_c ——焦距，mm；

μ ——扫描仪镜头尺寸，mm；

GR——地面分辨率，m/像素。

b) 无人机飞行校正方案应满足 CH/T 8024 的要求。实施航测之前应对姿态角和航偏角进行修正，以提高航测精度；

c) 数据扫描采集时，点云数据采集密度应能满足内插数字高程模型数据要求，激光扫描密度应设定为 5 点/m²~6 点/m²，且应满足 GB/T 36100 和 CH/T 8024 的要求；

d) 数据采集时选择晴朗和风小天气，确保模型清晰度和精确度；

e) 应采取措施减少大气误差、电离层延迟误差、对流层延迟误差等对扫描精度的影响，合理布设地面基准站。在无人机上安置流动站，将流动站和基准站采样间隔调设成 1"，完成扫描作业后，应下载基站数据、MU 数据及流动站数据，计算扫描点外方位元素及其航迹线；

f) 无人机、机载系统、激光雷达系统应满足 CH/Z 3005 的相关规定；

g) 像控点应选择测量物附近明显的特征点，保证机载系统能快速捕获像控点，并利用 RTK 测量出像控点高程及坐标；

h) 在航线间公共重叠区域采集的数据，应进行平差处理。

7.1.3 点云数据预处理应满足 CH/T 8023 的要求。

7.1.4 点云数据预处理的步骤包括点云拼接及坐标转换、噪点分离和绿化剔除、重新采样、点云数据过滤并导出等。

7.1.5 点云数据预处理注意事项如下：

a) 点云拼接及坐标转换应在采集的单幅点云图像无法完全覆盖测量范围时进行；

b) 当在飞行区域内设立坐标原点，采集到的点云数据以原点为基准点，采用全局方式进行点云数据拼接。拼接误差应控制在 20mm 以内；

c) 应结合现场实际情况对点云数据进行初步分析和判断，确定点云数据预处理的范围；

d) 将采集到的数据导入点云后处理软件，肉眼观察点云数据，挑选出凸起物、明显坏点等比较明显数据噪点。再利用弦高差法对点云数据进行精确定位，对设置参数进行多次调整、试算，直至去噪效果达到满足要求。

e) 点云数据降噪后丢失，无法进行修复时，应重新对点云数据进行采样；

f) 当点云数据点数据过于庞大时，对去噪后的点云数据，进行过滤精简后再导出，减少后期点云数据处理工作量和难度。

7.2 点云数据提取、建模、输出

7.2.1 点云数据的提取，模型建立应满足 SJ 21226 的要求。

7.2.2 点云数据提取应按点云分段、非地面点滤波、地面点粗提取、边界点的细提取、结果聚类、边界拟合等程序进行。

7.2.3 路基路面分层、排水系统、边坡点云分段可沿飞行轨迹按固定距离间隔进行划分，得到分割点；应确保局部范围内的高程不产生较大跨度，宜采用相同数据量，进行分段。

7.2.4 点云数据建模应包括路基路面的横断面、纵断面以及平面线型。

7.2.5 采用无人机机载激光扫描技术点云建模步骤见附录 B。

7.2.6 点云三维建模应注意以下事项：

a) 对要创建的三维模型进行规划，并分析模型结构。对无人机扫描范围内路基、路面、边坡、附近建筑物等进行组合，建立三维模型，利用拉伸、旋转、拓展等多种实体编辑的命令进行编辑；

b) 选择合适的工具对扫描范围内的路基路面空间位置信息的进行标注；

c) 可根据路基路面材料的特征，选择不同的颜色进行实体渲染；

d) 根据需要可生成平面图、纵断面图、横断面图；

e) 在后处理软件中读取任一点空间高程、任一断面的路基边坡坡度、纵断高程，根据路基路面高

程分布云图计算平整度。

7.2.7 点云数据成果输出步骤为数据提取、文件格式转换、生成线框图、修整线框图、绘制路基路面三维图、路基路面实体模型着色渲染等。点云数据输出时，应注意以下两点：

- a) 利用无人机采集到的路基路面三维点云数据，经系统软件优化处理后，将点云数据保存为通用交换格式，方便在后处理软件中进行处理；
- b) 在后处理软件中进行文件分块、数据调入。参照特征点及飞行扫描到的点云数据，绘制线框图；
- c) 可将点云模型三维特征点的坐标输出成文本文档形式，并在文本文件里面直接读取所需的数据信息。

7.3 点云成果应用

7.3.1 在成果图中直接读取路基路面分层断面高程、计算横坡、平整度，计算边坡坡度、高度、纵断线型、平面特征线，计算边沟底部坡度、边沟断面、纵断线型以及平面特征线等信息，并可与设计文件进行对比，自动生成报告。

7.3.2 在成果图中能判断出路基路面不平整路段，边坡、边沟冲刷路段，边沟积水路段等缺陷点。

7.3.3 根据成果图，采用不规则三角剖分方法计算路基填筑土方量和路面材料数量。

附 录 A
(资料性)
航线间重叠区域平差处理方法

A.1 优化基站布置的方法

- A.1.1 基站布置应合理，设置多个基站时，应均匀布置。
- A.1.2 作为基站点控制点平面和高程精度优于四等 GNSS 和四等水准。
- A.1.3 作为基站点控制点应选择在宽阔的区域，在视角 15° 范围内没有任何障碍物，观测时不受到任何车辆或行人的影响。
- A.1.4 基站架设时，仪器高的量测精度要优于 $\pm 3\text{mm}$ ，对中误差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

A.2 技术设计的方法

- A.2.1 为提高点云获取精度，在进行技术设计时，尽量通过增大发射频率，减小飞行高度的方式提高高程精度。
- A.2.2 依据发射频率合理设置扫描频率，确保航向与旁向点间距为 1:1，从而保证点密度最大。
- A.2.3 尽量减小扫描角，提高高程精度。
- A.2.4 为获取高点密度可降低飞机飞行速度。

附录 B

(资料性)

采用无人机机载激光扫描技术点云建模步骤

B.1 航测照片导入专业软件，自动筛选和提取精度符合要求的照片进行拼接，生成带高程坐标的照片。同时生成航测区域三维模型。



图 B.1 航测照片拼合、三维模型建立

B.2 生成的每个点都有平面坐标+高程坐标的属性，海量的点云数据，通过高程坐标的颜色渲染，生成航测区域的三维模型。



图 B.2 点云数据模型

B.3 将整桩号+偏距的平面坐标导入软件，坐标点拟合在点云三维模型中，可以批量查询和导出对应的高程值，自动导出平面+高程的三维坐标。

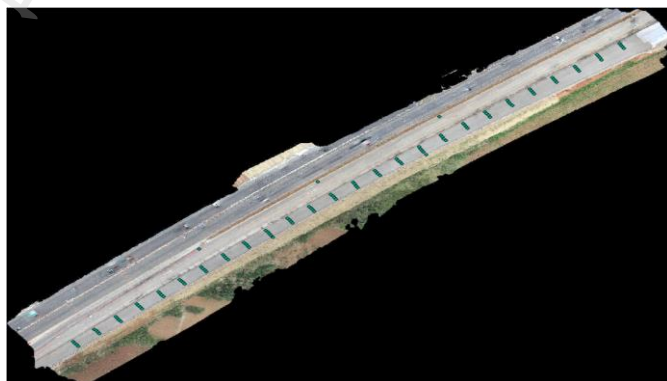


图 B.3 导入高程、平面数据后点云数据模型

B.4 点云三维坐标生成高程模型。

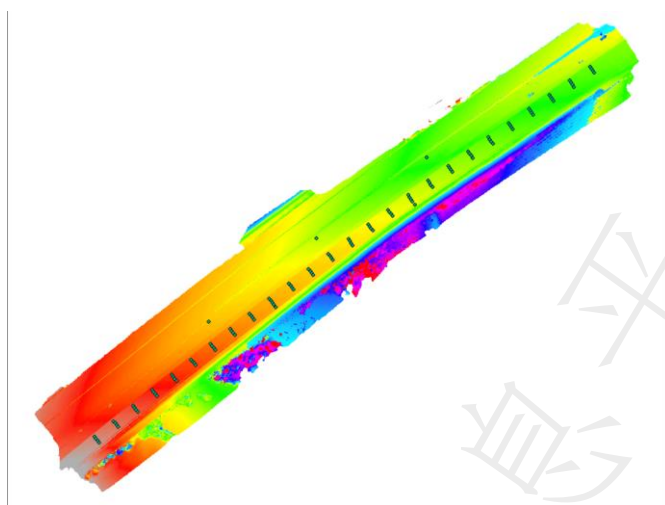


图 B.4 高程数据模型