

T/JXEA

江西省工程师联合会团体标准

T/JXEA 265—2026

激光雷达测绘技术在工程测量中的应用 规范

Specification for Application of LiDAR Surveying and Mapping Technology in
Engineering Surveying

（征求意见稿）

2026 -XX- XX 发布

2026 - XX - XX 实施

目 录

前 言	3
引 言	4
1. 范 围	5
2. 规范性引用文件	5
3. 术语和定语	5
4. 基本规定	6
5. 作业设备与校准	8
6. 外业施测准备	9
7. 外业数据采集	11
8. 点云数据预处理	13
9. 点云配准与拼接	15
10. 点云分类与提取	16
11. 三维建模与成果输出	18
12. 地形测量应用规范	19
13. 线路工程测量规范	22
14. 建筑工程竣工测量规范	23
15. 工程变形监测规范	23
16. 水利水电工程测量规范	24
17. 交通工程测量规范	25
18. 数据质量控制要求	26
19. 测量精度评定方法	27
20. 成果交付与归档	27
21. 安全作业管理规定	28
22. 标准实施与监督	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。

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。

本文件由江西省工程师联合会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引言

在当今工程测量领域，激光雷达测绘技术正发挥着日益重要的作用。该技术凭借其高精度、高速度、非接触式测量等显著优势，能够快速获取目标物体的三维空间信息，为工程测量提供了更为准确、全面的数据支持。在地形测量、建筑工程、道路桥梁建设等众多工程领域，激光雷达测绘技术都展现出了卓越的应用价值。它可以高效地完成大面积地形的测绘工作，大大缩短测量周期，提高工作效率；在建筑工程中，能够精确获取建筑物的三维模型，为设计和施工提供精准的基础数据；在道路桥梁建设中，有助于进行线路规划和地形分析，保障工程的顺利进行。随着激光雷达测绘技术在工程测量中的广泛应用，标准化的需求也愈发迫切。缺乏统一的应用规范，可能会导致测量结果的准确性和可靠性受到影响，不同项目之间的数据难以进行有效的对比和整合。为了确保激光雷达测绘技术在工程测量中的科学、合理应用，提高测量质量和效率，促进工程测量行业的规范化发展，特制定本团体标准。本标准是在充分调研和分析行业现状的基础上，结合国内外先进的技术和经验编制而成。它将为激光雷达测绘技术在工程测量中的应用提供明确的技术要求、操作流程和质量控制标准，有助于推动工程测量行业的技术进步和可持续发展。

激光雷达测绘技术在工程测量中的应用规范

1. 范围

本文件规定了激光雷达测绘技术在工程测量中的应用规范，涵盖数据采集、处理、成果输出等方面的要求。本文件适用于各类工程测量场景，包括但不限于地形测量、建筑工程测量、道路桥梁测量、矿山测量等。在地形测量中，激光雷达测绘技术可快速获取高精度的地形数据，为工程规划提供基础资料；在建筑工程测量中，能精确测量建筑物的三维尺寸和空间位置，保障施工质量。对于道路桥梁测量，可有效监测桥梁变形、道路平整度等。矿山测量方面，有助于准确把握矿山地形和开采情况。然而，本标准不适用于对测量精度要求极高且需采用特殊测量方法的工程领域，如高精度天文测量、微观尺度的精密测量等。同时，在一些存在强电磁干扰、极端气候条件（如强风、暴雨、浓雾等）可能严重影响激光雷达正常工作环境下的工程测量，也不完全适用本标准。

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 14950—2020 摄影测量与遥感术语

GB/T 24356—2009 测绘成果质量检查与验收

GB/T 30318—2013 地理信息 数据质量

GB/T 35634—2017 电力线路三维建模技术规范

CH/T 8024—2019 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T 9020—2013 地面三维激光扫描作业技术规程

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

1 激光雷达测绘

利用激光雷达技术获取目标物体三维空间信息并进行测量、分析的测绘方式。

2 工程测量

为工程建设规划、设计、施工及运营管理进行的测量工作。

3 点云数据

激光雷达扫描获取的，包含目标物体三维坐标及反射强度等信息的数据集合。

4 扫描分辨率

激光雷达扫描时相邻激光点之间的最小距离，体现扫描精细程度。

5 精度指标

衡量激光雷达测绘成果与真实值接近程度的量化指标。

6 地理参考系

用于确定测绘成果空间位置的坐标系统和高程基准。

4. 基本规定

本部分明确激光雷达测绘工程测量的作业原则、人员资质及设备要求，需符合《工程测量规范》GB50026-2020 及《激光雷达测绘技术规范》GB/T 35567-2017 相关要求，确保作业过程规范、数据成果精准可靠。

4.1 作业原则规范

遵循安全第一、精度优先、高效实施的准则，符合国家相关标准要求

4.2 作业安全防护

作业区域设置明显警示标识，设备扫描安全距离不小于 5 米范围；作业人员配备安全帽、防滑鞋等防护装备；每日作业前开展安全交底，明确岗位安全职责；作业过程设置专人监护，及时制止违规操作行为；建立应急处置预案，配备急救箱及消防器材；

4.3 人员资质要求

从事激光雷达测绘作业的人员需具备相应专业能力与资质

4.4 测绘资格证书

作业人员需持有有效的测绘作业资格证书，且在有效期内；专业技术职称具备测绘工程或相关专业中级及以上技术职称；设备操作培训经专业设备操作培训并考核合格后方可上岗；岗位责任分工明确数据采集、预处理、成果输出等各岗位职责；年度继续教育每年参加不少于 20 学时的专业继续教育及安全培训；

4.5 设备管理要求

激光雷达测绘设备需符合相关标准，满足作业需求

4.6 设备选型标准

优先选用测距精度 $\pm 2\text{mm}@100\text{m}$ 、扫描频率 100kHz-1MHz 的设备；设备进场检验核查产品合格证、校准证书及技术参数说明书；定期校准维护每 6 个月进行一次全面校准，校准机构需具备 CNAS 资质；日常保养维护每日作业后清理设备灰尘，检查连接部件紧固情况；设备存储管理不使用时将设备存入防震防潮柜，避免光学部件受损；

4.7 作业方案编制

作业前需制定详细的专项作业方案，明确作业流程及精度指标

4.8 方案内容涵盖

测区概况、扫描路线、控制点布置、数据精度要求、安全措施等；方案审核流程作业方案需经项目技术负责人审核，确认符合设计要求；进度计划安排明确各工序的完成时间节点，确保作业进度符合整体工程计划；风险评估分析对测区内潜在风险进行评估，制定相应的防范及应急措施；资源配置计划明确作业人员、设备、

物资等资源的配置情况；

4.9 数据管理原则

作业过程中需严格遵守数据管理规范，确保数据安全及可追溯

4.10 原始数据保护

原始扫描数据不得随意修改，保留完整的采集日志及处理记录；数据存储规范按测站编号、测区名称分类存储，命名规则统一规范；数据备份要求原始数据需进行双备份，存储至不同硬盘或云端存储介质；数据加密管理敏感项目数据需进行加密处理，确保数据安全性；溯源信息管理所有数据及处理过程需可追溯，便于后续核查及审计；

4.11 成果交付规范

作业完成后需按照合同约定及标准要求提交完整的成果资料

4.12 交付成果清单

包含原始扫描数据、预处理数据、配准数据、三维模型及成果报告；成果格式要求成果格式需符合甲方及行业标准要求，便于后续使用；成果报告内容包含作业概述、精度统计、成果说明、质量评估等章节；交付签收确认甲方需对交付成果进行签收，确认符合合同约定的要求；版本管理要求为每个交付成果添加版本编号，便于后续管理及追溯；

4.13 安全生产管理

作业过程需严格遵守安全生产相关法律法规及标准要求

4.14 安全区域管控

作业区域设置围栏及警示标识，禁止无关人员进入扫描范围；用电安全规范设备用电需符合安全规范，避免私拉乱接电线及过载使用；气象条件限制风速大于 5 级、能见度小于 10km 时应停止外业作业；应急救援演练定期组织应急救援演练，提升作业人员应急处置能力；安全检查制度每日作业前及每周开展一次安全检查，排查安全隐患；

4.15 多部门协作机制

当存在多单位协同作业时，需明确各方职责及协调流程

4.16 职责划分明确

明确建设单位、测绘单位、施工单位等各方的工作职责；沟通协调机制建立每日例会制度，通报作业进度及存在的问题；信息共享平台建立共享平台，实时共享作业数据及进度信息；作业接口协调协调与其他施工单位的作业接口，避免相互干扰；进度同步管理确保各方作业进度同步，满足整体工程计划要求；

4.17 质量控制要求

作业过程需建立质量控制体系，确保成果质量符合标准要求

4.18 工序自检制度

每道工序完成后需进行自检，填写专项作业检查表；工序交接检验上道工序未通过检验不得进入下道工序；精度检测要求定期对设备及作业成果进行精度检测，确保符合标准；质量问题整改发现质量问题需及时整改，整改后需进行复检；质量记录存档所有质量检查记录需存档备查，保存期限不少于 5 年；

5. 作业设备与校准

本部分规定激光雷达测绘设备的选型要求、定期校准及检查方法，确保设备性能满足工程测量精度需求。

5.1 设备选型要求

需根据测区作业需求选择适配的激光雷达测绘设备

5.2 测距性能参数

优先选用激光波长 1550nm，有效测距范围 0.5m 至 5000m 的设备；扫描频率可调支持 100kHz 至 1MHz 扫描频率，适配不同测区点云密度需求；整机重量控制设备整机重量不超过 15kg，便于单人携带野外作业；防护等级达标设备防护等级达到 IP65，满足户外雨天作业基本需求；接口配置合理配备千兆以太网接口，数据传输速率不低于 100Mbps；

5.3 设备校准周期

需按照规范要求定期对设备进行校准及维护

5.4 校准周期规定

每 6 个月进行一次全面校准，特殊作业环境下每 3 个月校准一次；校准机构资质校准机构需具备 CNAS 资质，校准报告需包含完整误差分析数据；校准项目内容包含测距精度、扫描角度偏差、IMU 姿态精度等项目；校准数据留存校准完成后需留存校准报告及原始数据，保存期限不少于 2 年；校准标识管理校准合格的设备需粘贴校准合格标识，标注校准有效期；

5.5 日常设备检查

每日作业前需对设备进行前置检查，确保设备正常运行

5.6 开机自检流程

开机后运行设备自检程序，核查激光器、GNSS、IMU 模块状态；参数核查确认检查激光器功率、扫描频率、分辨率等参数是否符合作业要求；外观状态检查检查设备外壳、镜头、连接线是否有损坏或松动情况；电池电量检测确认设备电池电量充足，满足单次作业续航需求；配件完整性检查核查配套设备如三脚架、反光靶标、遮光罩等是否齐全；

5.7 设备存储管理

不使用的设备需进行妥善存储，避免设备受损

5.8 存储环境要求

存储环境需保持干燥、通风，温度控制在 10℃ 至 30℃ 之间；防震防潮措施设备需存入防震防潮柜，避免光学部件受碰撞或受潮损坏；电池存放要求长期存储时需将电池电量充至 50%，避免过充或过放损坏；配件分类存放将设备配件按类别存放，便于后续取用及管理；设备防护包装不使用时需将设备装入原厂防护包装箱，避免灰尘沾染；

5.9 设备运输要求

设备运输过程需采取防护措施，避免设备受到损坏

5.10 运输包装规范

采用原厂防震包装箱，内部填充缓冲材料固定设备；运输环境防护避免设备在运输过程中受到剧烈震动、挤压或雨淋；运输装卸要求轻拿轻放设备，避免光学部件受到碰撞或位移；运输存储管理运输车辆需保持干燥、通风，避免高温或低温环境；设备清单核对运输前后需核对设备及配件清单，确保无遗失或损坏；

5.11 配套设备管理

需对激光雷达配套设备进行规范管理，确保整体作业效率

5.12 三脚架性能要求

选用高度可调、承重不小于 5kg 的碳纤维三脚架；反光靶标规格采用直径 10cm 的反光圆靶，反射率不低于 80%；电源设备配置配备续航不小于 8 小时的锂电池组，适配野外连续作业；存储设备要求采用高速 SSD 硬盘，单盘容量不小于 2TB 满足数据存储；软件适配要求配套软件需支持点云预处理、配准、建模等功能，兼容主流格式；

5.13 设备故障处理

需建立设备故障应急处理流程，确保作业进度不受影响

5.14 故障排查流程

作业过程中出现设备故障时，第一时间停机并排查故障原因；备用设备启用配备备用设备，故障发生时可快速切换备用设备开展作业；故障维修记录记录设备故障情况、处理措施及维修结果，留存维修档案；故障预警机制定期对设备进行状态监测，提前预判潜在故障风险；厂家售后对接与设备厂家建立售后对接机制，确保故障可及时得到解决；

5.15 设备报废管理

对达到使用寿命或无法修复的设备需进行报废处理

5.16 报废判定标准

设备测距精度偏差超过 $\pm 5\text{mm}$ ，或无法通过校准恢复精度；报废流程审批设备报废需经项目负责人及设备管理部门审批同意；报废设备处置报废设备需交由具备资质的机构进行回收或无害化处理；资产注销管理完成报废设备的资产注销手续，更新设备管理台账；报废记录留存留存设备报废审批文件及处置记录，保存期限不少于 3 年；

6. 外业施测准备

本部分涵盖测区踏勘、作业方案编制、设备前置检查等内容，确保外业作业前期准备充分。

6.1 测区踏勘工作

作业前需对测区进行全面踏勘，收集相关基础资料

6.2 地形图资料调取

调取测区 1:500 比例尺地形图，核实原有控制点坐标数据；地下管线排查采用地下管线探测仪，排查测区内电力、通信、给排水管线分布；地形起伏勘查初步踏勘测区地形起伏情况，记录陡坡、水域等特殊区域；植

被覆盖调查记录测区内高大植被分布，评估其对扫描的遮挡影响；周边环境调研了解测区周边交通状况、居民分布及施工干扰情况；

6.3 控制点布设准备

需提前规划测区内控制点的布置位置及数量

6.4 控制点密度要求

平坦区域每 50m 布设一个控制点，复杂区域每 20m 布设一个；控制点类型选择采用 GNSS RTK 控制点，平面精度 $\pm 1\text{cm}$ ，高程精度 $\pm 1.5\text{cm}$ ；控制点标记方式使用反光靶标或混凝土标石标记，确保长期稳定可见；控制点坐标获取采用 RTK 测量获取控制点坐标，记录测量时间及人员信息；控制点保护措施对布设的控制点进行围栏保护，避免被破坏或遮挡；

6.5 作业方案编制

需根据测区需求编制详细的外业施测作业方案

6.6 方案核心内容

包含扫描路线规划、测站布置、数据精度指标、安全措施等；扫描路线规划遵循“先整体后局部”原则，规划最优扫描路线减少重复作业；测站布置方案明确每个测站的位置、编号及扫描覆盖范围；精度指标设定根据工程要求确定点云分辨率、平面及高程精度指标；安全措施制定针对测区潜在风险制定相应的安全防范及应急措施；

6.7 设备前置检查

作业前需对所有设备进行全面检查，确保设备正常运行

6.8 设备开机自检

运行设备自检程序，核查激光器、GNSS、IMU 模块工作状态；参数设置确认检查设备扫描频率、分辨率、测距范围等参数是否符合要求；电池电量检查确认设备及备用电池电量充足，满足连续作业需求；配件完整性检查核查三脚架、反光靶标、遮光罩等配件是否齐全完好；数据存储检查确认存储设备有足够空间，且已完成数据备份准备；

6.9 气象条件评估

需根据气象条件评估作业可行性，避免恶劣天气影响作业

6.10 气象参数标准

作业时风速不大于 5 级，气温控制在 -10°C 至 40°C 之间；能见度要求作业区域能见度不小于 10km，避免雾霾、降雨等影响扫描精度；光照条件控制避免阳光直射激光器镜头，必要时加装遮光罩进行防护；极端天气预警关注气象预报，极端天气情况下暂停外业作业；气象数据记录实时记录作业时的气温、气压、湿度等气象参数；

6.11 人员岗前培训

作业前需对所有参与人员进行岗前培训，明确岗位职责

6.12 岗位分工培训

明确数据采集、设备操作、现场记录等各岗位的具体职责；设备操作培训熟练掌握激光雷达设备的操作流程

程及故障处理方法；安全操作培训掌握外业作业安全规范及应急处置流程；质量控制培训了解数据采集质量要求及自检流程；应急演练培训组织应急演练，提升人员应急处置能力；

6.13 现场物资准备

需提前准备作业所需的物资及工具，确保作业顺利开展

6.14 应急物资配备

配备急救包、防雨布、备用电池、对讲机等应急物资；标记工具准备准备反光靶标、油漆、记号笔等现场标记工具；通讯工具配置配备对讲机，确保作业人员之间通讯畅通；饮水及食品准备为野外作业人员准备充足的饮用水及食品；交通保障准备规划设备运输路线，确认运输车辆及通行条件；

6.15 资料准备工作

需收集整理作业所需的各类资料，为作业提供依据

6.16 项目设计文件

收集项目设计图纸、精度要求及相关技术规范；测区坐标系统明确测区采用的坐标系统及高程基准，确保数据转换准确；相关权属资料收集测区内土地权属、建筑产权等相关资料；历史作业资料调取测区内以往测绘资料，作为作业参考依据；软件工具准备安装并调试点云处理、数据转换等相关软件工具；

6.17 安全防护准备

需配备齐全的安全防护装备，确保作业人员人身安全

6.18 安全防护装备

为作业人员配备安全帽、防滑鞋、护目镜、安全带等装备；安全警示设备配备警示灯、警示标识、围栏等安全警示设备；应急通讯设备配备卫星电话，确保野外作业区域通讯畅通；医疗保障对接与就近医疗机构建立对接，确保人员受伤可及时救治；消防安全设备配备灭火器材，确保作业区域消防安全；

7. 外业数据采集

本部分规范激光雷达外业扫描参数设置、数据采集流程及现场记录，确保外业数据采集精准可靠。

7.1 扫描参数设置

需根据测区需求合理设置激光雷达扫描参数，确保数据质量

7.2 扫描分辨率设置

根据测区复杂程度设置点云分辨率，平坦区域 5mm@100m，复杂区域 2mm@100m；扫描角度范围设置水平扫描角度 360°，垂直扫描角度 -90° 至 +90°；扫描频率调整根据点云密度需求，调整扫描频率至 100kHz 至 1MHz 之间；曝光时间设置合适的激光曝光时间，确保反射信号强度符合要求；参数保存确认参数设置完成后保存至设备，避免作业过程中参数变更；

7.3 测站布置原则

需按照规划的测站位置进行布置，确保扫描覆盖范围及配准精度

7.4 测站间距控制

相邻测站间距控制在 30m 至 50m 范围内，适配 100m 扫描半径；重叠区域要求相邻测站点云重叠比例不低于 30%，确保配准精度达标；测站稳固性将三脚架调平固定，确保测站设备无晃动或位移；靶标布设要求每个测站布设至少 3 个反光靶标，确保可见于相邻测站；位置标记记录每个测站的编号、坐标、安装高度及周围环境；

7.5 数据采集流程

需遵循标准化流程开展数据采集，确保数据完整无遗漏

7.6 作业前准备

抵达测站后先进行设备调平、参数设置及自检工作；扫描启动流程启动扫描程序，确认设备处于正常扫描状态；数据采集过程按照预设扫描路线进行扫描，全程监控设备运行状态；异常情况处理扫描过程中出现异常需立即停机，排查原因并处理；采集完成确认扫描完成后查看点云预览，确认无漏扫、重扫区域；

7.7 现场记录工作

需实时记录外业采集过程中的各类信息，确保数据可追溯

7.8 测站信息记录

记录测站编号、采集时间、操作人员姓名及联系方式；气象参数记录实时记录气温、气压、湿度、风速等气象参数；设备状态记录记录设备运行状态、电池电量、存储容量等信息；异常情况记录记录扫描过程中出现的异常情况及其处理措施；现场照片拍摄拍摄测站周边环境、靶标位置及扫描覆盖区域照片；

7.9 反射靶标使用

需规范使用反射靶标，作为点云配准的控制点

7.10 靶标布设位置

将靶标布设在测站周围视野开阔、无遮挡的位置；靶标数量要求每个测站布设 4 个反光靶标，确保至少 2 个可见于相邻测站；靶标高度调整调整靶标高度至与设备扫描中心高度一致；靶标固定措施将靶标固定在三脚架或牢固的物体上，避免移位；靶标检查确认扫描前检查靶标是否摆放正确，无遮挡或损坏；

7.11 镜头防护管理

需做好设备镜头的防护工作，避免影响扫描精度

7.12 镜头清洁维护

作业过程中定期使用无尘布擦拭镜头，去除灰尘及污渍；遮光罩使用阳光直射镜头时加装遮光罩，避免强光影响反射信号；防雨防护措施雨天作业时需加装防雨罩，避免镜头受潮或进水；镜头保护盖不作业时及时盖上镜头保护盖，避免灰尘沾染；镜头状态检查每次作业前检查镜头是否有损坏或污渍；

7.13 数据存储管理

需按规范存储采集的原始数据，确保数据安全

7.14 存储设备选择

采用高速 SSD 硬盘进行数据存储，确保数据读写速度；数据命名规则按“测区名_测站号_采集时间”格式命名数据文件；数据分类存储按测站编号分类存储，避免数据混淆；数据备份操作采集完成后立即进行双备份，存储至不同硬盘；存储容量检查实时检查存储设备剩余容量，避免数据存储溢出；

7.15 作业质量控制

需在采集过程中开展质量控制，确保数据符合精度要求

7.16 点云密度检查

实时查看点云预览，确认点云密度符合设计要求；重叠区域检查查看相邻测站重叠区域点云，确认重叠比例达标；靶标可见性检查确认每个靶标在点云中清晰可见，无遮挡；精度自检流程每采集 10 个测站后进行一次精度自检，核查配准误差；质量问题整改发现数据质量问题需重新采集该测站数据，确保符合要求；

8. 点云数据预处理

本部分说明点云数据的格式转换、滤波去噪、异常点剔除方法，提升点云数据质量。

8.1 数据格式转换

需将设备原始扫描数据转换为通用格式，兼容主流处理软件

8.2 转换工具选择

采用专用点云转换工具，将原始 FAR 格式数据转换为 LAS 1.4 标准格式；坐标系统转换将设备坐标系转换为工程测量坐标系，使用控制点七参数；格式转换校验转换完成后检查数据格式正确性及完整性，确保无数据丢失；元数据保留转换过程中保留原始数据的元数据信息，包含采集时间、设备参数等；转换结果存储将转换后的点云数据存储为统一格式，便于后续处理；

8.3 滤波去噪处理

需采用合适的滤波算法，剔除点云中的噪声点云

8.4 统计滤波方法

以每个点邻域内 10 个点的距离均值为基准，剔除超出 3 倍标准差的点；体素滤波降采样对空旷区域点云进行降采样，采样比例设置为 20%至 30%；边缘保留滤波针对建筑、桥梁等细节区域，采用边缘保留滤波避免细节丢失；噪声点识别利用点云反射强度信息，识别并剔除反射强度异常的噪声点；滤波效果验证滤波完成后对比原始点云与滤波后点云，确认噪声点剔除效果；

8.5 异常点剔除

需针对扫描盲区、反射异常区域的点云进行人工干预剔除

8.6 扫描盲区处理

针对扫描盲区产生的密集噪点，进行逐区域人工筛选删除；反射异常处理剔除反射强度过高或过低的异常点，避免影响后续配准；局部异常处理针对局部区域出现的异常点云，采用手动编辑方式删除；异常点标记将异常点云标记为单独图层，便于后续核查及恢复；剔除结果检查剔除完成后检查点云数据，确认无残留异常点云；

8.7 点云裁剪处理

需根据测区范围裁剪冗余点云数据，缩小处理体积

8.8 测区边界导入

导入测区边界矢量文件，作为裁剪的依据范围；裁剪区域选择按测区边界裁剪超出范围的冗余点云数据，保留有效区域；多区域裁剪针对分散的测区区域，分别进行裁剪处理并合并；裁剪后检查裁剪完成后检查点云数据范围，确认与测区边界一致；裁剪数据存储将裁剪后的点云数据单独存储，便于后续处理；

8.9 点云密度调整

可根据作业需求调整点云密度，平衡数据量与细节精度

8.10 细节区域保留

针对建筑、地形细节区域，保持原始点云密度不降低；空旷区域降采样对空旷区域点云进行降采样，减少数据处理量；密度调整参数设置降采样分辨率为 5cm 至 20cm，根据区域复杂度调整；密度调整校验调整后检查点云细节，确认关键区域细节未丢失；密度调整存储将调整后的点云数据存储为单独文件，便于后续使用；

8.11 坐标系统校正

需利用控制点数据对原始点云进行坐标系统校正

8.12 控制点选取

选取至少 3 个已知坐标的控制点，用于坐标系统校正；七参数计算利用控制点坐标计算坐标系转换的七参数；坐标转换执行将原始点云数据按照七参数进行坐标转换；转换精度检查对比转换后控制点坐标与实际坐标，计算转换误差；校正结果存储将校正后的点云数据存储为新的文件，更新坐标系统信息；

8.13 数据完整性检查

需对点云数据的完整性进行检查，确保无数据遗漏或损坏

8.14 点云数量统计

统计预处理前后点云数量，确认数据丢失情况；点云范围检查检查点云数据范围是否与测区范围一致；数据格式校验检查点云数据格式是否符合 LAS 1.4 标准要求；异常数据排查排查点云中的缺失数据或损坏数据，进行补全或删除；检查报告生成生成预处理数据完整性检查报告，存档备查；

8.15 预处理日志记录

需记录预处理过程中的所有操作及参数，确保可追溯

8.16 操作步骤记录

详细记录格式转换、滤波去噪、异常点剔除等操作步骤；参数设置记录记录各处理步骤的参数设置，包含滤波阈值、降采样比例等；处理时间记录记录每个处理步骤的开始及结束时间；操作人员记录记录执行预处理操作的人员姓名及联系方式；日志文件存储将预处理日志文件与点云数据一同存储，便于后续核查；

8.17 数据备份管理

需在预处理过程中进行数据备份，避免数据丢失

8.18 原始数据备份

预处理前对原始点云数据进行备份，存储至不同介质；预处理过程备份每完成一个处理步骤后进行一次数据备份；备份文件命名备份文件按“预处理步骤_时间”格式命名，便于识别；备份存储位置备份文件存储至不同硬盘或云端存储，避免单点故障；备份完整性检查备份完成后检查备份文件的完整性，确保可正常读取；

9. 点云配准与拼接

本部分规定多站点点云的配准方法、拼接精度及质量控制要求，实现多站点点云的无缝拼接。

9.1 靶标配准方法

需利用反射靶标作为控制点，完成相邻测站点云的配准计算

9.2 靶标坐标获取

采用 RTK 测量获取每个反射靶标的实际坐标数据；靶标匹配识别在点云中自动识别反射靶标中心位置，提取靶标坐标；配准参数计算利用靶标实际坐标与点云内坐标，计算配准变换参数；配准精度检查计算靶标配准后的残差，确保残差不超过 $\pm 1\text{mm}$ ；配准结果验证对比配准后点云与靶标实际坐标，确认配准精度达标；

9.3 无靶标配准方法

需采用迭代最近点算法，实现无靶标区域的点云配准

9.4 ICP 算法选择

采用迭代最近点（ICP）算法，实现相邻测站点云的配准；初始配准设置利用测站相对位置设置初始配准参数，提升配准效率；迭代次数控制设置迭代次数不超过 50 次，避免配准过程过度收敛；残差阈值设置设置配准残差阈值为 $\pm 2\text{mm}$ ，剔除配准误差超标的结果；配准结果优化对配准结果进行优化，减少配准过程中的累积误差；

9.5 配准精度要求

需确保多站点点云配准后的精度符合工程测量标准要求

9.6 整体配准误差

整体点云配准后的平面误差不超过 $\pm 5\text{mm}$ ，高程误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ；单站配准残差每个测站的配准残差不超过 $\pm 1\text{mm}$ ，确保单站配准精度；重叠区域误差相邻测站重叠区域点云的偏差不超过 $\pm 2\text{mm}$ ；精度统计计算统计所有测站的配准残差，生成配准精度统计报告；精度评估方法采用随机抽样方法，抽取 10%的配准区域进行精度验证；

9.7 全局优化处理

需对所有配准后的点云进行全局优化，消除累积误差

9.8 光束法平差

采用光束法平差算法，对所有测站点云进行整体误差修正；控制点约束利用已知控制点对全局点云进行约束，提升整体精度；误差分布分析分析点云误差分布情况，识别误差较大的区域；优化参数调整根据误差分布情况调整优化参数，确保全局精度达标；优化结果检查优化后检查点云整体连续性，确认无明显错位或漏缝；

9.9 拼接流程规范

需按照标准化流程完成多站点点云的拼接工作

9.10 测站排序

按扫描顺序对测站进行排序，确保拼接顺序合理；局部拼接先完成相邻测站的局部配准拼接，形成局部点云模块；模块合并将多个局部点云模块合并为整体点云数据；拼接缝隙处理针对拼接缝隙区域，采用插值方法填补缝隙；拼接结果检查拼接完成后检查整体点云连续性，确认无明显拼接痕迹；

9.11 异常配准处理

需识别并处理配准错误的测站，确保拼接精度达标

9.12 异常配准识别

通过配准残差、点云错位等方式识别异常配准的测站；靶标位置核查重新核查异常测站的靶标位置及坐标数据；配准参数调整调整配准参数，重新进行配准计算；异常测站重扫若配准无法恢复，需重新扫描异常测站的点云数据；异常处理记录记录异常配准的原因及处理措施，存档备查；

9.13 配准过程记录

需详细记录配准过程中的所有操作及参数，确保可追溯

9.14 配准方法记录

记录采用的配准方法，包含靶标配准或无靶标配准；参数设置记录记录配准算法、迭代次数、残差阈值等参数；配准时间记录记录配准过程的开始及结束时间；操作人员记录记录执行配准操作的人员姓名及联系方式；配准日志存储将配准日志与点云数据一同存储，便于后续核查；

9.15 拼接质量控制

需在拼接完成后开展质量控制，确保拼接成果符合要求

9.16 整体点云检查

可视化检查整体点云连续性，确认无明显错位或漏缝；精度检测抽取部分区域进行精度检测，确认拼接精度符合要求；缺陷修复针对拼接过程中出现的缺陷，进行修复处理；质量报告生成生成拼接质量检测报告，包含精度统计及缺陷修复情况；成果存档将拼接后的整体点云数据及质量报告存档，便于后续使用；

10. 点云分类与提取

本部分明确点云数据中地形、地物等要素的分类提取规则，实现点云数据的有效利用。

10.1 分类标准制定

需依据相关规范制定点云分类标准，明确分类类别及规则

10.2 分类类别划分

将点云分为地形点、地物点、植被点、噪声点四大类别；地形点定义包含地面点、地形特征点等反映地形起伏的点云；地物点定义包含建筑物、道路、桥梁、管线等人工设施点云；植被点定义包含乔木、灌木、草地等植被覆盖区域的点云；噪声点定义包含扫描盲区、反射异常等无效点云数据；

10.3 自动分类算法

需采用合适的算法实现点云的自动分类，提升分类效率

10.4 机器学习分类

采用深度学习模型，对海量点云数据进行自动分类；特征提取提取点云的反射强度、坐标、邻域特征等作为分类依据；算法训练利用标注好的点云数据对分类算法进行训练；分类精度评估采用混淆矩阵评估分类算法的精度，确保准确率达标；分类结果输出输出自动分类后的点云数据，按类别存储为单独文件；

10.5 人工复核修正

需对自动分类结果进行人工复核，修正分类错误的点云

10.6 分类错误识别

通过可视化方式识别自动分类错误的点云区域；人工修正操作针对分类错误的点云，手动调整其分类类别；细节区域处理针对建筑、植被等细节区域，进行精细化分类修正；复核记录留存记录人工复核的过程及修正的点云区域，存档备查；复核精度检查抽取 10% 的分类区域进行复核，确保分类准确率不低于 95%；

10.7 地形要素提取

需从点云中提取地形要素，构建地形表面模型

10.8 地面点分离

利用点云高度信息，分离地面点与非地面点；地形特征提取提取山脊、山谷、陡坡等地形特征点；等高线生成利用地面点云数据生成地形等高线，间隔设置为 1m 至 5m；地形模型构建构建 TIN 地形模型，反映测区地形起伏情况；地形成果存储将地形要素数据存储为单独文件，便于后续使用；

10.9 地物要素提取

需从点云中提取各类人工地物要素，满足工程需求

10.10 建筑物提取

利用点云高度及平面特征，提取建筑物轮廓及立面点云；道路提取利用点云反射强度及平面特征，提取道路中心线及路面点云；桥梁提取提取桥梁的桥墩、桥面、栏杆等地物要素点云；管线提取提取地下管线、架空管线等管线要素的点云数据；地物分类存储按地物类别将提取的点云数据分别存储，便于后续使用；

10.11 植被要素提取

需从点云中提取植被要素，评估植被覆盖情况

10.12 植被点分离

利用点云高度及反射强度特征，分离植被点与其他点云；植被高度统计统计植被的平均高度、最大高度等参数；植被覆盖面积计算计算测区内植被覆盖的总面积及占比；植被分类区分乔木、灌木、草地等不同类型的植被；植被成果输出将植被要素数据存储为单独文件，用于后续环境评估；

10.13 分类精度验证

需对分类提取的成果进行精度验证，确保符合工程要求

10.14 验证样本选取

随机抽取 10% 的点云区域作为验证样本；人工标注验证由专业人员对验证样本进行人工标注，作为真值；精度指标计算计算分类准确率、召回率、F1 值等精度指标；精度要求标准分类准确率需不低于 95%，满足工程测量要求；精度报告生成生成分类精度验证报告，存档备查；

10.15 分类成果管理

需对分类提取的成果进行规范管理，便于后续使用

10.16 成果分类存储

按地形、地物、植被、噪声等类别分别存储点云数据；文件命名规范按“测区名_类别_时间”格式命名成

果文件；元数据留存留存分类过程的元数据信息，包含分类算法、参数设置等；成果版本管理为每个分类成果添加版本编号，便于后续管理；成果共享将分类成果上传至共享平台，便于相关人员调用查看；

11. 三维建模与成果输出

本部分规范基于点云的三维建模流程及成果输出格式要求，确保三维模型符合工程需求。

11.1 三维建模流程

需基于分类后的点云数据，构建高精度三维模型

11.2 点云数据导入

将分类后的点云数据导入三维建模软件，确保数据完整；地面点处理利用地面点云数据构建 TIN 地形模型，反映测区地形起伏；地物要素建模针对建筑物、道路、桥梁等地物要素，分别构建三维模型；纹理映射将现场拍摄的正射影像贴图至三维模型表面，提升真实感；模型优化处理简化冗余三角面，提升模型加载及显示效率；

11.3 三角网构建

需采用合适的算法构建三维模型的三角网结构

11.4 Delaunay 三角剖分

采用 Delaunay 三角剖分算法，构建地形及地物的三角网；三角网密度控制根据点云密度调整三角网密度，确保模型细节完整；边缘检测处理对模型边缘进行检测，确保边缘平滑无锯齿；三角网质量检查检查三角网的重叠、漏洞等质量问题，进行修复；三角网数据存储将构建好的三角网数据存储为单独文件，便于后续使用；

11.5 纹理映射处理

需将现场拍摄的影像数据映射至三维模型表面

11.6 影像数据采集

采用无人机或地面相机采集测区正射影像数据；影像配准将采集的影像数据与点云数据进行配准，确保坐标一致；纹理映射操作将配准后的影像贴图至三维模型表面，提升模型真实感；纹理分辨率调整根据模型需求调整纹理分辨率，平衡真实感与文件大小；纹理质量检查检查纹理映射效果，确保无错位、模糊等问题；

11.7 模型精度控制

需确保三维模型的精度符合工程测量标准要求

11.8 模型精度检测

对比模型点云与原始点云，计算模型贴合误差；精度指标要求模型平面误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ，高程误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ ；误差修正处理针对精度超标的区域，进行模型修正或重新建模；精度报告生成生成模型精度检测报告，包含误差统计及修正情况；精度验证存档将精度检测报告存档，便于后续核查；

11.9 成果输出格式

需按照工程需求输出多种格式的三维模型成果

11.10 LAS 格式输出

输出分类后的点云数据，用于后续点云处理；OBJ 格式输出输出三维模型及纹理数据，兼容主流 BIM 及可

视化软件；DXF 格式输出输出二维 CAD 图纸，包含建筑物轮廓、道路等要素；PLY 格式输出输出高精度三维模型数据，用于专业可视化分析；格式转换校验转换完成后检查输出格式的正确性及完整性；

11.11 成果报告编制

需编制完整的成果报告，包含作业概述、精度统计等内容

11.12 报告内容框架

包含作业概述、数据采集情况、预处理及配准过程、分类提取情况、建模流程、精度统计、成果说明等章节；精度统计内容包含点云密度、配准精度、分类精度、模型精度等统计数据；成果说明详细说明三维模型的用途、使用方法及注意事项；报告排版规范按照团体标准要求排版，确保格式规范、内容完整；报告打印及电子存档将报告打印为纸质版及电子档，存档备查；

11.13 成果交付管理

需按照合同约定及标准要求交付三维模型成果

11.14 交付成果清单

包含三维模型文件、点云数据、成果报告、相关辅助资料；交付格式要求成果格式需符合甲方及行业标准要求，便于后续使用；交付方式选择根据距离及需求选择线下交付或线上云端交付；交付签收确认甲方需对交付成果进行签收，确认符合合同约定的要求；交付记录留存留存交付记录及签收文件，便于后续追溯；

11.15 模型数据管理

需对三维模型成果进行规范管理，确保数据安全及可追溯

11.16 模型数据存储

将模型数据存储至高速存储设备，确保快速加载；数据备份管理对模型数据进行双备份，存储至不同硬盘或云端；版本管理要求为每个模型成果添加版本号，便于后续管理及更新；权限控制管理设置不同人员的访问权限，确保数据安全性；数据更新维护根据工程需求对模型数据进行更新维护，确保模型时效性；

11.17 建模质量控制

需在建模过程中开展质量控制，确保模型质量符合要求

11.18 工序自检制度

每道工序完成后需进行自检，填写专项质量检查表；工序交接检验上道工序未通过检验不得进入下道工序；质量问题整改发现模型质量问题需及时整改，整改后需进行复检；质量记录存档所有质量检查记录需存档备查，保存期限不少于 5 年；质量评估报告生成建模质量评估报告，包含质量控制情况及整改情况；

12. 地形测量应用规范

本部分规定激光雷达测绘在地形测量中的作业流程与精度要求，确保地形测量成果符合工程标准。

12.1 作业流程规范

需按照标准化流程开展地形测量作业，确保成果精准可靠

12.2 测区踏勘准备

对测区进行全面踏勘，收集基础资料并规划作业方案；设备校准检查作业前对激光雷达设备进行校准及前置检查，确保性能达标；控制点布设按规范布设控制点，获取准确的坐标数据；外业数据采集按照规划的扫描路线开展数据采集，确保覆盖全部测区；点云数据预处理对采集的点云数据进行格式转换、滤波去噪等处理；点云配准拼接完成多站点点云的配准拼接，形成整体点云数据；点云分类提取提取地形要素点云，构建地形模型；三维建模及成果输出生成地形三维模型及相关成果资料；

12.3 精度指标要求

需符合《工程测量规范》GB50026-2020 中地形测量的相关标准

12.4 平面精度要求

平坦区域平面误差不超过 $\pm 5\text{cm}$ ，丘陵区域不超过 $\pm 10\text{cm}$ ；高程精度要求平坦区域高程误差不超过 $\pm 3\text{cm}$ ，丘陵区域不超过 $\pm 8\text{cm}$ ；点云密度要求平坦区域每平方米 1 个点，丘陵区域每平方米 3 个点，陡坡区域每平方米 5 个点；等高线精度要求等高线与实际地形的偏差不超过 $\pm 2\text{cm}$ ；地形模型精度 TIN 地形模型的贴合误差不超过 $\pm 5\text{cm}$ ；

12.5 控制点布设要求

需按规范布设地形测量控制点，确保坐标准确可靠

12.6 控制点类型选择

采用 GNSS RTK 控制点，满足地形测量的精度需求；控制点密度设置平坦区域每 50m 布设一个，丘陵区域每 30m 布设一个，陡坡区域每 20m 布设一个；控制点坐标获取采用 RTK 测量获取控制点坐标，记录测量时间及人员信息；控制点标记使用混凝土标石或反光靶标标记，确保长期稳定可见；控制点保护对布设的控制点进行围栏保护，避免被破坏或遮挡；

12.7 外业数据采集要求

需按照规范开展外业数据采集，确保数据质量

12.8 扫描参数设置

根据地形复杂度设置点云分辨率，平坦区域 5cm，丘陵区域 3cm，陡坡区域 1cm；测站布置相邻测站间距控制在 30m 至 50m 范围内，确保重叠区域不低于 30%；数据采集流程遵循“先整体后局部”原则，按预设路线依次扫描；现场记录实时记录测站信息、气象参数及设备状态；数据备份采集完成后立即进行双备份，确保数据安全；

12.9 点云数据处理要求

需对采集的点云数据进行规范处理，提升数据质量

12.10 格式转换

将原始数据转换为 LAS 1.4 格式，兼容主流处理软件；滤波去噪采用统计滤波方法剔除噪声点云，保留地形细节；异常点剔除针对扫描盲区、反射异常区域的点云进行人工剔除；坐标转换将设备坐标系转换为工程测量坐标系，使用控制点七参数；点云裁剪按测区边界裁剪冗余点云数据，保留有效区域；

12.11 地形模型构建

需基于点云数据构建高精度地形模型，反映测区地形起伏

12.12 地面点分离

利用点云高度信息分离地面点与非地面点；TIN 模型构建采用 Delaunay 三角剖分算法构建 TIN 地形模型；等高线生成利用 TIN 模型生成地形等高线，间隔设置为 1m 至 5m；地形细节处理针对陡坡、沟壑等特殊地形区域，进行精细化处理；模型精度检查对比模型点云与原始点云，计算模型贴合误差；

12.13 成果质量验证

需对地形测量成果进行质量验证，确保符合工程要求

12.14 精度检测

抽取 10%的测区区域进行精度检测，验证平面及高程误差；地形检查可视化检查地形模型的连续性，确认无明显漏洞或错位；成果审核由专业技术人员对成果进行审核，确认符合设计要求；问题整改发现成果质量问题需及时整改，整改后需进行复检；验证报告生成地形测量成果质量验证报告，存档备查；

12.15 作业安全要求

需遵守地形测量作业的安全规范，确保作业人员安全

12.16 安全区域管控

作业区域设置围栏及警示标识，禁止无关人员进入；气象条件限制风速大于 5 级、能见度小于 10km 时应停止作业；用电安全规范设备用电需符合安全规范，避免私拉乱接电线；应急处置制定应急处置预案，配备急救箱及消防器材；安全检查每日作业前及每周开展一次安全检查，排查安全隐患；

12.17 成果交付要求

需按照合同约定及标准要求交付地形测量成果

12.18 交付成果清单

包含原始点云数据、预处理数据、地形模型、等高线数据、成果报告；交付格式要求成果格式需符合甲方及行业标准要求，便于后续使用；交付签收甲方需对交付成果进行签收，确认符合合同约定的要求；成果存档将地形测量成果存档，保存期限不少于 5 年；成果应用指导为甲方提供成果应用指导，确保成果有效利用

表 1 四等水准测量记录表

测站编号	后尺读数 (mm)	前尺读数(mm)	高差计算(mm)	视距差 (mm)	累计视距差 (m)	检核结果
BM1 → TP1	黑面: 1548 红面: 6235	黑面: 1326 红面: 6113	黑面高差: +222 红面高差: +122 平均高差: +222	3.2	3.2	合格
TP1 → TP2	黑面: 1892 红面: 6578	红面: 6578 黑面: 1654 红面: 6341	黑面高差: +238 红面高差: +237 平均高差: +237.5	-1.5	1.7	合格
TP2 → BM2	黑面: 1456 红面: 6143	黑面: 1789 红面: 6476	黑面高差: -333 红面高差: -333 平均高差: -333	2.8	4.5	合格

13. 线路工程测量规范

13.1 线路工程测量作业流程

布设测站间距 500m-800m，采用 RTK 建立定位基准；设置激光点云密度 100 点/m²，覆盖线路两侧各 50m 范围；检查仪器自检状态，确认水平垂直角误差小于 1"；记录作业环境温湿度，确保在 0-40℃ 区间内；按设计方案标记测站位置，做好测站标识；

13.2 线路数据采集参数设置

设置激光发射频率 100kHz，提高数据采集效率；调整仪器视场角 360°，确保无采集盲区；设置扫描分辨率 0.05°，保证点云细节精度；设定数据存储格式为 LAS 1.4 版本，兼容后续处理；调整仪器扫描速度 5000 点/秒，提升采集效率；

13.3 线路点云数据预处理

剔除无效点云数据，占比不超过总数据的 1%；进行点云降噪处理，采用高斯滤波去除噪声点；完成点云配准，使用靶标配准误差小于 ±2mm；将点云数据转换为通用格式，便于后续建模；提取线路沿线特征点，包括杆塔、绝缘子等；

13.4 线路特征点提取与建模

采用半自动提取方法，识别线路杆塔位置；提取绝缘子串特征点，精度控制在 ±3mm 范围内；构建线路三维模型，包含杆塔、导线、绝缘子等；计算导线弧垂参数，与设计值偏差不超过 5%；生成线路三维模型报告，包含所有特征点信息；

13.5 线路断面测量与计算

每隔 50m 采集线路断面数据，确保覆盖全线；提取断面特征点，包括地面、杆塔基础等；计算断面面积与体积，误差控制在 ±2% 以内；生成线路断面图表，标注所有关键尺寸；对比设计断面数据，确认线路走向合规性；

13.6 线路中线放样

采用点云数据生成线路中线坐标，精度 ±5mm；使用 RTK 配合全站仪进行中线放样；标记放样点位，误差控制在 ±10mm 范围内；记录放样数据，生成放样报告；复核放样点位，确保符合设计要求；

13.7 线路竣工测量

采集竣工后线路全部点云数据，密度 80 点/m²；对比竣工数据与设计数据，偏差不超过 ±8mm；提取竣工后杆塔位置，与设计位置偏差 ≤ ±5mm；生成竣工测量报告，包含所有偏差数据；整理竣工测量资料，提交建设单位审核；

13.8 线路测量成果整理

将所有测量数据分类存储，便于查询；生成测量成果报告，包含数据来源、精度指标；整理点云数据、模型文件、报告等资料；按照归档要求整理所有纸质与电子资料；提交完整的线路测量成果包，通过审核；

14. 建筑工程竣工测量规范

14.1 建筑竣工测量准备工作

检查仪器校准证书，确保在有效期内；准备测量靶标，数量不少于 20 个，分布均匀；收集建筑设计图纸与施工资料，核对尺寸；规划测站布设方案，覆盖建筑全部外立面与内部；准备数据存储设备，容量不小于 2TB；

14.2 建筑外立面点云采集

采用 RIEGL VZ-2000 仪器，采集外立面点云；设置测站间距 30m-50m，确保无采集盲区；点云密度设置为 80 点/m²，保证细节精度；使用靶标进行测站配准，误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；采集外立面门窗、墙面等特征点数据；

14.3 建筑内部结构数据采集

设置内部测站间距 20m-30m，覆盖所有房间；采集内部梁柱、墙面、地面等点云数据；设置点云密度 50 点/m²，满足内部建模要求；使用扫描仪自带软件进行实时预览，确保数据完整；标记内部特征点，包括门窗洞口、管线位置；

14.4 点云配准与拼接

使用靶标配准算法，完成各测站数据拼接；计算配准误差，平面误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，高程误差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$ ；合并所有点云数据，生成建筑整体点云模型；剔除重复点云数据，优化模型文件大小；检查拼接缝隙，确保无明显数据断层；

14.5 建筑构件尺寸校核

提取建筑构件尺寸，包括墙面平整度、梁柱尺寸；对比设计尺寸，偏差允许范围 $\pm 5\text{mm}$ ；校核门窗洞口尺寸，偏差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ；生成尺寸校核报告，标注所有偏差数据；对超差构件进行复核，确认整改情况；

14.6 竣工模型构建

基于点云数据构建建筑三维竣工模型；添加建筑构件属性，包括材质、尺寸、位置等；生成模型的 LOD3.0 版本，满足竣工交付要求；将模型转换为 IFC 格式，兼容 BIM 软件；检查模型完整性，包含所有建筑构件；

14.7 竣工测量成果输出

导出竣工模型文件，格式为 IFC、LAS、OBJ；生成竣工测量报告，包含精度指标、偏差数据；输出建筑构件尺寸统计表，标注所有关键尺寸；提交成果文件至建设单位与监理单位；整理成果资料，便于后续归档；

14.8 竣工测量数据归档

将所有测量数据分类存储，按项目名称命名；备份电子数据至两台独立服务器，确保数据安全；整理纸质资料，包括报告、图纸、校准证书等；按照档案管理要求进行装订与编号；移交归档资料至项目档案管理部门；

15. 工程变形监测规范

15.1 变形监测测站布设

布设基准点 3 个以上，形成闭合监测网；采用强制对中装置固定仪器，减少定位误差；设置监测测站，间

距 600m-800m，覆盖监测区域；标记监测点位置，使用反光靶标便于识别；规划监测路线，确保无遮挡与采集盲区；

15.2 变形监测数据采集

设置激光点云密度 50 点/m²，覆盖监测区域；采用扫描频率 100kHz，提升采集效率；记录监测时间、温度、湿度等环境参数；检查仪器自检状态，确认各项指标正常；采集监测点云数据，确保完整覆盖监测区域；

15.3 监测点云数据处理

导入点云数据至专业处理软件，进行预处理；剔除噪声点，优化点云数据质量；提取监测点坐标，精度控制在±3mm 范围内；计算监测点位移量，对比初始坐标数据；生成监测点位移曲线，直观展示变形情况；

15.4 变形量计算与分析

计算监测点平面位移量，误差≤±2mm；计算监测点垂直位移量，误差≤±1.5mm；分析变形趋势，判断是否超过预警阈值；生成变形分析报告，包含所有监测数据；对比设计变形允许值，确认变形合规性；

15.5 监测预警阈值设置

设定平面位移预警值±5mm，超差即预警；设定垂直位移预警值±3mm，超差即预警；设置监测频次，正常情况下每周一次；极端天气情况下增加监测频次至每日一次；建立预警机制，超差时及时通知相关单位；

15.6 监测周期与频次

日常监测周期为每月一次，采集全部数据；施工阶段监测周期为每周一次，增加监测次数；极端天气后立即开展监测，确保结构安全；变形超差时加密监测，频次增至每日一次；整理监测周期数据，形成监测台账；

15.7 变形监测成果提交

提交监测成果报告，包含所有监测数据与分析；生成监测点位移图表，直观展示变形情况；提交预警记录与整改建议，供相关单位参考；整理所有监测资料，包括数据、报告、图表等；按要求提交成果至建设单位与监管部门；

表 2 变形监测测站与基准点布设记录表

点号	类型	X 坐标(m)	Y 坐标(m)	H 高程(m)	点位描述	对中装置类型	备注
BM-01	基准点	3456789.123	567890.456	45.678	基坑北侧稳固岩层	强制对中盘	起算点
BM-02	基准点	3456820.550	567910.220	46.120	东侧观测墩	强制对中盘	闭合校核
BM-03	基准点	3456850.330	568000.100	45.980	西侧建筑物基础	强制对中盘	闭合校核

16. 水利水电工程测量规范

16.1 水利库区地形测量

采用机载激光雷达测量库区地形，点云密度 20 点/m²；设置飞行高度 500m，覆盖库区全部地形范围；采集库区地面、植被、建筑物等点云数据；处理点云数据，剔除植被点，提取地面高程数据；生成库区地形图，

比例尺 1:1000;

16.2 大坝坝体变形监测

布设监测基准点,采用强制对中装置固定仪器;设置测站间距 40m,覆盖大坝上下游监测区域;采集坝体点云数据,密度 50 点/ m^2 ,确保细节精度;提取坝体特征点,包括坝顶、坝坡、廊道等;计算坝体变形量,误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 范围内;

16.3 引水隧洞测量

采用车载激光雷达测量隧洞内部,点云密度 100 点/ m^2 ;设置测站间距 20m,覆盖隧洞全部长度;采集隧洞内壁、衬砌、支护等点云数据;提取隧洞断面数据,计算断面面积与体积;对比设计断面数据,确认隧洞尺寸合规性;

16.4 水利设施点云建模

基于点云数据构建水利设施三维模型;包含大坝、溢洪道、引水隧洞、泵站等设施;添加设施属性,包括尺寸、材质、位置等;生成模型的 LOD2.0 版本,满足工程管理要求;将模型转换为通用格式,便于后续使用;

16.5 水利工程断面测量

每隔 100m 采集水利工程断面数据;提取断面特征点,包括地面、衬砌、支护等;计算断面面积与体积,误差控制在 $\pm 2\%$ 以内;生成断面图表,标注所有关键尺寸;对比设计断面数据,确认工程进度合规性;

16.6 库区库容计算

基于点云数据生成库区数字高程模型;计算库区不同水位下的库容数据;对比设计库容数据,偏差不超过 $\pm 3\%$;生成库容计算报告,包含所有水位下的库容数据;提交库容计算成果至水利管理部门;

16.7 测量成果审核

审核测量数据的完整性与准确性;检查点云数据质量,剔除无效数据与噪声点;复核测量精度指标,确保符合规范要求;审核成果报告,确认内容完整、数据准确;提交审核通过的成果至建设单位;

17. 交通工程测量规范

17.1 道路地形测量

采用车载激光雷达采集道路地形数据,点云密度 50 点/ m^2 ;设置采集速度 60km/h,提升道路测量效率;覆盖道路两侧各 20m 范围,确保无采集盲区;处理点云数据,提取地面、植被、建筑物等信息;生成道路地形图,比例尺 1:500;

17.2 桥梁结构测量

采用地面激光雷达采集桥梁结构数据,点云密度 80 点/ m^2 ;设置测站间距 40m,覆盖桥梁全桥结构;采集桥梁主梁、桥墩、桥面等特征点数据;提取桥梁尺寸数据,包括跨度、高度、宽度等;对比设计尺寸,偏差不超过 $\pm 5\text{mm}$;

17.3 隧道断面测量

采用洞内激光雷达测量隧道断面,点云密度 100 点/ m^2 ;设置测站间距 20m,覆盖隧道全部长度;采集隧

道内壁、衬砌、支护等点云数据；提取隧道断面数据，计算断面面积与体积；对比设计断面数据，偏差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ；

17.4 交通设施点云采集

采集交通标志、标线、护栏等设施点云数据；设置点云密度 $200\text{点}/\text{m}^2$ ，确保设施细节精度；标记设施位置，包括坐标、尺寸、类型等；生成交通设施三维模型，包含所有设施信息；对比设计图纸，确认设施位置合规性；

17.5 道路中线放样

基于点云数据生成道路中线坐标，精度 $\pm 5\text{mm}$ ；使用 RTK 配合全站仪进行中线放样；标记放样点位，误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 范围内；记录放样数据，生成放样报告；复核放样点位，确保符合设计要求；

17.6 交通工程竣工测量

采集竣工后交通工程全部点云数据，密度 $50\text{点}/\text{m}^2$ ；对比竣工数据与设计数据，偏差不超过 $\pm 8\text{mm}$ ；提取竣工后道路、桥梁、隧道等设施数据；生成竣工测量报告，包含所有偏差数据；整理竣工测量资料，提交建设单位审核；

17.7 成果整理与提交

将所有测量数据分类存储，便于查询；生成测量成果报告，包含数据来源、精度指标；整理点云数据、模型文件、报告等资料；按照归档要求整理所有纸质与电子资料；提交完整的交通工程测量成果包；

18. 数据质量控制要求

18.1 外业数据质量检查

检查仪器校准证书，确保在有效期内；检查测站标记，确保位置准确无误；检查点云数据完整性，无明显采集盲区；检查数据存储格式，符合 LAS 1.4 版本要求；记录外业作业数据，包括时间、环境参数等；

18.2 内业点云数据预处理

导入点云数据至专业处理软件，进行预览；采用高斯滤波去除噪声点，优化数据质量；剔除无效点云数据，占比不超过总数据的 1% ；完成点云配准，使用靶标配准误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；将点云数据转换为通用格式，便于后续处理；

18.3 数据配准精度检查

计算各测站配准误差，平面误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；计算各测站配准误差，高程误差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$ ；检查配准后的点云模型，无明显拼接缝隙；对比靶标坐标，确认配准精度符合要求；生成配准精度报告，记录所有误差数据；

18.4 特征点提取质量控制

采用半自动提取方法，识别特征点；检查特征点提取精度，误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 范围内；对比设计图纸，确认特征点位置合规性；生成特征点提取报告，标注所有提取数据；复核特征点数据，确保准确无误；

18.5 成果数据格式校验

检查成果数据格式，符合 LAS、OBJ、IFC 等要求；检查数据文件大小，确保无损坏或丢失；检查数据命名

规范，符合项目管理要求；检查数据目录结构，便于查询与使用；生成格式校验报告，确认所有数据合规；

18.6 数据审核流程

由专业审核人员进行数据审核；审核数据完整性，包含所有测量环节数据；审核数据精度指标，符合规范要求；审核成果报告，确认内容完整、数据准确；提出审核意见，对不合格数据要求整改；

18.7 质量问题整改

针对审核提出的问题，制定整改方案；安排作业人员进行数据整改，确保符合要求；重新进行数据质量检查，确认整改合格；整理整改后的资料，提交再次审核；形成整改记录，纳入项目档案；

19. 测量精度评定方法

19.1 精度指标定义

平面精度允许误差 $\pm 5\text{mm}$ ，采用全站仪比对法；高程精度允许误差 $\pm 3\text{mm}$ ，采用水准测量比对法；点云密度精度允许误差 $\pm 2\text{mm}$ ，满足工程测量要求；模型精度允许误差 $\pm 3\text{mm}$ ，符合 BIM 建模标准；整体测量精度满足工程设计要求；

19.2 平面精度评定方法

选取不少于 10 个比对点，分布均匀；采用全站仪测量比对点坐标，精度 $\pm 1\text{mm}$ ；对比激光雷达测量数据与全站仪数据；计算平面偏差，误差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 为合格；生成平面精度评定报告，记录所有偏差数据；

19.3 高程精度评定方法

选取不少于 8 个比对点，分布均匀；采用水准测量测量比对点高程，精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ；对比激光雷达测量数据与水准测量数据；计算高程偏差，误差 $\leq \pm 3\text{mm}$ 为合格；生成高程精度评定报告，记录所有偏差数据；

19.4 模型精度检验

选取不少于 15 个构件特征点进行检验；对比模型坐标与实测坐标，误差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ；检查模型细节，确保与实际工程一致；生成模型精度检验报告，标注所有偏差数据；对比设计图纸，确认模型合规性；

19.5 精度评定报告编制

包含精度指标定义、评定方法、数据结果；包含平面、高程、模型等精度评定数据；包含比对点分布、误差计算过程；包含精度评定结论，确认是否合格；提交精度评定报告至建设单位与监理单位；

19.6 精度指标验证

邀请第三方机构进行精度验证；采用国家标准仪器进行比对测量；对比验证数据与本标准测量数据；确认精度指标符合规范要求；形成验证报告，纳入项目档案；

20. 成果交付与归档

20.1 成果交付内容要求

交付点云数据，格式为 LAS 1.4 版本；交付三维模型文件，格式为 IFC、OBJ；交付测量成果报告，包含精度指标、偏差数据；交付测量图表，包括地形图、断面图、位移曲线等；交付仪器校准证书、作业记录等辅

助资料；

20.2 成果数据格式规范

点云数据采用 LAS 1.4 版本，兼容主流处理软件；三维模型采用 IFC 格式，满足 BIM 协同要求；测量报告采用 PDF 格式，便于阅读与打印；图表采用 CAD 格式，便于编辑与修改；电子数据采用压缩包格式，便于传输与存储；

20.3 成果文档编制要求

编制测量成果报告，包含项目概况、测量方法；包含数据采集、处理、精度评定等环节数据；包含精度指标、偏差数据、评定结论等内容；编制测量图表，包括地形图、断面图、模型截图等；文档排版规范，符合团体标准要求；

20.4 档案归档流程

由项目负责人整理所有成果资料；按照档案管理要求进行分类与编号；移交归档资料至项目档案管理部门；档案管理部门进行资料审核，确认完整合规；将归档资料录入档案管理系统，便于查询；

20.5 归档材料清单

包含点云数据文件、三维模型文件；包含测量报告、图表、精度评定报告；包含仪器校准证书、作业记录、审核记录；包含项目变更记录、整改记录等辅助资料；清单一式两份，一份留存项目，一份归档；

20.6 电子档案存储规范

电子档案采用加密存储，确保数据安全；备份数据至两台独立服务器，异地备份；采用 RAID5 磁盘阵列，提高数据存储可靠性；设置访问权限，仅授权人员可查阅档案；定期进行数据备份，确保数据不丢失；

20.7 纸质档案整理要求

纸质资料采用 A4 纸规格，统一装订；采用档案盒进行分类存放，标注清晰明确；编制纸质档案目录，便于查询与管理；按照档案管理要求进行防潮、防火、防虫处理；移交纸质档案至项目档案管理部门；

21. 安全作业管理规定

21.1 作业设备安全要求

作业前检查仪器电池电量，剩余不低于 30%；检查仪器镜头，确保无污渍与损坏；检查仪器三脚架，确保稳固可靠；检查数据存储设备，确保容量充足；定期对仪器进行校准与维护，确保正常运行；

21.2 作业人员安全防护

作业人员佩戴安全帽、防滑鞋等防护用品；高空作业人员系安全绳，确保坠落防护；作业人员经过专业培训，掌握仪器操作技能；作业人员遵守现场安全管理制度，服从指挥；定期开展安全培训，提升安全意识；

21.3 作业环境安全控制

设置作业警戒区，禁止无关人员进入；在道路作业时，设置交通警示标志与防护设施；在高空作业时，设置安全网与防护栏杆；检查作业环境温度湿度，确保在仪器允许范围；极端天气情况下停止作业，确保人员安全；

21.4 仪器操作安全规范

严格按照仪器操作规程进行操作；禁止在仪器运行时移动仪器或三脚架；禁止在仪器镜头前放置遮挡物；禁止在仪器附近使用强磁场设备；作业结束后关闭仪器电源，妥善存放仪器；

21.5 数据存储安全管理

采用加密存储设备，确保数据安全；备份数据至两台独立服务器，异地备份；设置访问权限，仅授权人员可查阅数据；定期进行数据备份，确保数据不丢失；禁止在数据存储设备上安装无关软件；

21.6 应急处置流程

制定应急处置预案，包含火灾、触电、坠落等；配备应急救援器材，包括急救箱、灭火器等；定期开展应急演练，提升应急处置能力；发生安全事故时，立即停止作业并上报；组织人员疏散与救援，减少事故损失；

21.7 安全检查制度

每周开展一次作业现场安全检查；每月开展一次仪器设备安全检查；每季度开展一次全员安全培训与考核；建立安全检查台账，记录所有检查与整改情况；对安全隐患及时整改，确保作业安全；

22. 标准实施与监督

22.1 标准实施时间规定

本标准自 202X 年 X 月 X 日起正式实施；本标准实施前已开工的项目，可选择沿用旧标准或执行本标准；本标准实施后，所有激光雷达测绘工程测量项目必须执行；本标准由江西省工程师联合会负责解释与修订；

22.2 标准监督检查机制

由江西省工程师联合会组建监督检查组；每季度开展一次标准执行情况监督检查；检查内容包括作业流程、数据质量、安全管理等；对违反本标准的项目，下达整改通知书；对整改不合格的项目，暂停项目施工；

22.3 标准推广应用要求

组织团体标准宣贯培训，提升从业人员技能；在行业内推广本标准，提升激光雷达测绘应用水平；鼓励企业采用本标准，提高工程测量质量；建立标准应用案例库，展示标准实施效果；与其他省份开展标准交流，提升标准影响力；

22.4 标准修订流程

根据行业发展与技术进步，定期修订本标准；收集标准使用过程中的意见与建议；组织专家进行标准修订论证；修订后的标准报江西省工程师联合会审批；发布修订后的标准，替代旧版本；

22.5 实施效果评估

每年开展一次标准实施效果评估；评估内容包括标准执行情况、数据质量、作业效率等；收集企业与从业人员的意见与建议；形成实施效果评估报告，提交江西省工程师联合会；根据评估结果，提出标准修订建议；

22.6 监督考核指标

建立标准执行情况考核指标体系；考核内容包括作业流程合规性、数据质量合格率、安全管理达标率；考核结果纳入企业信用评价体系；对考核优秀的企业和个人进行表彰；对考核不合格的企业和个人进行通报批评；

22.7 宣贯培训要求

组织团体标准宣贯培训班，邀请专家授课；培训内容包括标准内容、作业流程、质量控制等；培训对象包括测量人员、管理人员、技术人员等；颁发培训合格证书，作为从业人员上岗依据；定期开展后续培训，更新标准内容；