

团 体 标 准

T/SHCH XXXXX—XXXX

SLAM 测量技术标准

Technical Standard for the Technology of SLAM Surveys

（征求意见稿）

XXXX - XX-XX 发布

XXXX - XX-XX 实施

上海市测绘地理信息学会 发布

目 录

1 范围 - 1 -

2 规范性引用文件 - 1 -

3 术语和定义、缩略语 - 1 -

 3.1 术语和定义 - 1 -

 3.2 缩略语 - 2 -

4 基本规定 - 2 -

 4.1 基本要求 - 2 -

 4.2 测量基准 - 3 -

 4.3 SLAM 测量分级 - 3 -

5 作业准备与方案设计 - 3 -

 5.1 一般规定 - 3 -

 5.2 资料收集 - 4 -

 5.3 现场踏勘 - 4 -

 5.4 方案设计 - 4 -

 5.5 作业前检查 - 5 -

6 数据采集 - 5 -

 6.1 一般规定 - 5 -

 6.2 控制测量 - 6 -

 6.3 场景扫描 - 6 -

7 数据处理 - 8 -

 7.1 一般规定 - 8 -

 7.2 点云重建 - 8 -

 7.3 点云配准与坐标转换 - 9 -

 7.4 点云轻量化 - 9 -

8 点云矢量化 - 9 -

 8.1 一般规定 - 9 -

 8.2 点云缺失处理 - 10 -

 8.3 矢量数据接边 - 10 -

9 成果检查与验收 - 11 -

 9.1 一般规定 - 11 -

 9.2 单位成果质量元素及错漏分类 - 11 -

10 成果提交 - 13 -

附录 A - 14 -

本标准用词说明 - 19 -

条文说明 - 20 -

前 言

本标准按照 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》给出的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由上海市测绘地理信息学会提出并归口。

本标准起草单位：上海市建筑科学研究院有限公司

上海市测绘产品质量监督检验站

同济大学

上海地铁监护管理有限公司

上海京海工程技术有限公司

上海测慧信息科技有限公司

上海华测导航技术有限公司

本标准主要起草人：...。

引 言

2021 年，自然资源部在全国地理信息管理工作会议中，在国家层面上首次提出了要加快自主创新成果转化应用，带动新测绘、新技术、新产品、新业态蓬勃发展，不断推动测绘学会获得更大发展，谱写服务全面建设社会主义现代化国家的新篇章的总要求。同年 12 月，上海市规划和自然资源局在地方层面上提出了到“十四五”末，实现分辨率优于 5 厘米的城市级实景三维模型、高精度数字高程模型和重点建筑部件化结构模型的全覆盖，完成全市道路网智能化全息测绘，开展地下空间测绘，开展海洋和主要河流、湖泊等水下地形测绘。可见，当今测绘行业的新需求必会促进新业态的萌生和新技术的进步。其中 SLAM 技术凭借外业操作简单、成果精度高、成果溯源性好、成果展示度好、无需 GNSS 信号等诸多独特优势在众多新技术中脱颖而出，无比适配新型测绘需求。

本标准拟统一 SLAM 测量内外业数据采集、数据处理、成果编制及质量评定的相关技术要求，规范 SLAM 测量工作流程，提升成果的客观性和准确性，确保测量成果质量可靠，以此来满足上海市城乡现代化建设发展、信息化管理和信息资源综合应用的需求。

SLAM 测量技术标准

1 范围

本标准规定了 SLAM 测量的基本规定、作业准备与方案设计、数据采集、数据处理、点云矢量化、成果检查与验收，以及成果提交等内容。

本标准适用于以低速移动载体为平台，采用 SLAM 测量技术开展的测量工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注明日期的版本适用于本标准；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
GB/T 12898 国家三、四等水准测量规范
GB/T 13923 基础地理信息要素分类与代码
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 24356 测绘成果质量检查与验收
GB 50026 工程测量标准
GB/T 50104 建筑制图标准
GB/T 50504 民用建筑设计术语标准
CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程
CH/T 3020 实景三维地理信息数据激光雷达测量技术规程
CH/T 6004 车载移动测量技术规程
CH/T 9016 三维地理信息模型生产规范
CJJ/T 8 城市测量规范
CJJ/T 157 城市三维建模技术规范
CJJ/T 202 城市轨道交通结构安全保护技术规范
JGJ 8 建筑变形测量规范
JJF 1071 国家计量校准规范编写规则
DB33/T 1308 城市轨道交通工程三维激光扫描技术规范
DG/TJ 08-86 1:500 1:1000 1:2000 数字地形测绘标准
DG/TJ 08-2322 测绘成果质量检验标准
DG/TJ 08-2439-2024 建筑工程“多测合一”技术标准
SJG1 44 隧道与地下工程三维激光扫描测量技术标准
T/CECS 790 地面三维激光扫描工程应用技术规程
T/SHCH 001 基于地理实体的全息数据采集与建库

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

3.1.1 SLAM 测量技术 Simultaneous Localization And Mapping survey technology

一种利用即时定位与地图构建技术，通过移动式激光或视觉扫描方式，大面积高分辨率地快速获取被测对象表面的三维坐标数据或全景影像的非接触式主动测量技术。

3.1.2 点云特征点间距 distance between feature points

点云中易于拾取的两个特征点之间的空间距离。

3.1.3 点云抽稀 point cloud resampling

点云数据经过预处理后通过精简算法以减少点云数量的过程。

3.1.4 闭合扫描路线 closed scanning route

从一个位置开始，到相同的位置结束，所完成的扫描路线叫闭合扫描路线。

3.1.5 非闭合扫描路线 connecting scanning route

从一个位置开始，到另一个位置结束，所完成的扫描路线叫非闭合扫描路线。

3.1.6 套环式扫描路线 loop scanning route

沿扫描目标外围，按距离从远到近或从近到远，重复多次扫描同一对象。

3.1.7 点云切片 point cloud slice

采用特定的几何形状或平面将指定厚度内的点云数据单独分割并导出。

3.1.8 有限空间 confined space

封闭或者部分封闭，与外界相对隔离，出入口较为狭窄的地下或地上空间。

3.1.9 相对 SLAM relatively Simultaneous Localization And Mapping

未布设控制点，或控制点未赋坐标仅作为同名点，采用重叠区域或同名点进行拼接的扫描作业方式。

3.1.10 绝对 SLAM absolute Simultaneous Localization And Mapping

加入了绝对坐标系或自定义坐标系下的控制点，采用控制点对点云进行坐标转换的扫描作业方式。

3.2 缩略语

以下缩略语适用于本标准。

SLAM 同步定位与建图 (Simultaneous Localization And Mapping)

GNSS 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

BST 北京标准时间 (Beijing Standard Time)

4 基本规定

4.1 基本要求

4.1.1 SLAM 测量作业模式按载体不同，分为手持式 SLAM、背包式 SLAM 或特殊场景下的其他低速 SLAM。

4.1.2 开始作业前，应综合考虑测量目的、测量对象、测区现状、测量精度等，选择适宜的 SLAM 测量作业模式，测量人员应具备测绘从业资格。

4.1.3 仪器设备宜经检校合格，并在合格有效期内使用。新购置或经过维修的仪器设备应在重新检校合格后使用，检校频率宜不低于一年一次。应定期进行期间核查，核查频率应不低于半年一次，仪器期间核查可参考附录 A，主要核查以下内容：

- 1 外观及各部件功能相互作用；
- 2 设备线路连接检查；

- 3 安装牢固性检查；
- 4 测距精度检查；
- 5 测距重复性检查。

4.1.4 鼓励采用新技术、新方法进行数据处理，对于自主研发的点云数据采集、数据处理或数据分析系统，应经过论证后使用。

4.2 测量基准

- 4.2.1 平面坐标系统宜采用绝对坐标系或自定义坐标系。
- 4.2.2 高程宜采用绝对高程系或自定义高程系。
- 4.2.3 测量时间应采用公元纪年，时间应采用北京标准时间(BST)。

4.3 SLAM 测量分级

4.3.1 SALM 测量分为绝对 SLAM 和相对 SLAM，宜根据仪器径向距离精度、距离中误差、距离相对中误差和点位中误差等，综合确定 SLAM 测量的等级。

4.3.2 SLAM 测量的分级应符合表 4.3.2 的要求。

表 4.3.2-1 相对 SLAM 测量的分级

扫描等级	径向距离精度 (30m 距离处) (mm)	距离中误差 (mm)	距离相对中误差
高等	≤ 20	30	$\leq 1/1000$
中等	≤ 30	50	$\leq 1/500$
普通	≤ 50	70	$\leq 1/250$

注：1) 径向距离精度指激光发射器在激光发射方向的距离测量精度；
2) 距离中误差精度验证距离值宜控制在 5m~50m 之间。

表 4.3.2-2 绝对 SLAM 测量的分级

扫描等级	径向距离精度 (30m 距离处) (mm)	点位中误差 (mm)	高程中误差 (mm)
高等	≤ 10	≤ 30	≤ 40
中等	≤ 30	≤ 50	≤ 70
普通	≤ 50	≤ 150	≤ 200

注：1) 径向距离精度指激光发射器在激光发射方向的距离测量精度；
2) 点位中误差为点位相对于邻近控制点的中误差。

5 作业准备与方案设计

5.1 一般规定

5.1.1 在进行 SLAM 测量作业前应根据作业类型进行作业准备，宜包括资料收集、现场踏勘、方案设计 & 作业前检查。

5.1.2 在进行 SLAM 测量前应对 SLAM 测量的作业人员进行技术交底和安全交底。

5.2 资料收集

5.2.1 资料收集宜包括下列内容：

- 1 项目任务书；
- 2 项目设计、变更或竣工图纸；
- 3 现有的控制点；
- 4 周边环境与气候；
- 5 与拟扫描对象相关的其他资料等。

5.2.2 对收集的资料应进行现势性和准确性分析，验证资料的可用性。

5.3 现场踏勘

5.3.1 在进行 SLAM 测量作业前应对拟扫描现场进行踏勘。

5.3.2 现场踏勘宜包含测区的地形、地貌、交通、建（构）筑物、植被等，排查可能包含的障碍物、危险源等。

5.3.3 现场踏勘应重点关注扫描路线及控制点的规划，扫描路线应符合以下规定：

- 1 应覆盖整个作业区域；
- 2 如遇重要目标物，宜降低采集速度，保证采集密度；
- 3 宜避免移动物体和遮挡障碍物；
- 4 宜闭合；
- 5 宜避免重复；
- 6 结构复杂或通视困难的作业区域应增加测量次数。

5.3.4 现场踏勘时宜携带辅助设备，进行定位测量、留取影像资料等。

5.3.5 现场踏勘后应对踏勘结果进行资料整理分析。

5.4 方案设计

5.4.1 SLAM 测量作业方案编制应遵循因地制宜，科学经济的原则。

5.4.2 SLAM 测量方案应包含下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 拟扫描对象的现状及周边情况；
- 3 作业依据及技术要求；
- 4 扫描等级的选择；
- 5 仪器及扫描方式的选择；
- 6 扫描作业流程；
- 7 数据处理流程；
- 8 成果编绘要求；
- 9 进度、质量、安全控制措施。

5.4.3 SLAM 测量方案设计应通过编制单位技术审核并经甲方同意后执行。

5.5 作业前检查

5.5.1 在进行 SLAM 测量作业前应进行作业前检查。

5.5.2 作业前检查应包含以下内容：

- 1 仪器是否在校准有效期内；
- 2 仪器的各项性能指标是否正常；
- 3 各项辅助设备及材料的确认；
- 4 狭小及密闭空间的环境安全检测。

6 数据采集

6.1 一般规定

6.1.1 数据采集方式应结合现场条件、测量对象、技术要求等确定，可采用手持式、背包式或其他低速作业模式。

6.1.2 数据采集应在仪器允许环境条件下进行。

6.1.3 数据采集需符合下列规定：

- 1 开始和结束时仪器应保持静止，采集过程中宜相对稳定；
- 2 宜采用闭合扫描路线，扫描仪距离目标不宜小于 0.5m；
- 3 采集路线应尽量避开水体、玻璃等易反射或穿透的介质；
- 4 采集过程中应及时做好数据存储和备份，并做好影像记录；
- 5 分段采集时，控制点和特征区域应符合表 6.1.3 的规定；

表 6.1.3 分段采集技术要求

扫描等级	绝对 SLAM	相对 SLAM
	控制点（个）	同名点（个）
高等	≥ 5	≥ 5
中等	≥ 4	≥ 4
普通	≥ 3	≥ 3

- 6 控制点和同名点宜均匀分布于扫描路线；
- 7 控制点和同名点应高低错落，不应三点共线或四点共面，应清晰，易于辨识，便于拾取。

6.1.4 数据采集异常时，应分析判断原因并采取相应措施，必要时重新进行数据采集。

6.1.5 数据采集工作流程可参考图 6.1.5。

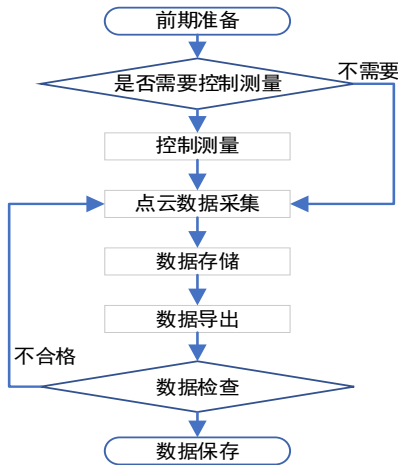


图6.1.5 数据采集工作流程图

6.2 控制测量

6.2.1 控制测量分为平面控制测量和高程控制测量，控制点应设置为平面和高程共用点。

6.2.2 平面控制测量可采用 GNSS RTK 或导线测量，高程测量可采用 GNSS RTK 高程、水准测量或三角高程测量等方法。

6.2.3 控制测量的技术指标应满足相关规范的要求，并符合表 6.2.3 的相关规定。

表 6.2.3 控制测量技术指标

扫描等级	平面控制	点位中误差 (cm)	相对中误差	高程控制
高等	二级	2	$\leq 1/10000$	三等
中等	图根	5	$\leq 1/4000$	四等
普通	—	10	$\leq 1/2000$	—

6.2.4 控制网的布设应遵循“从整体到局部、分级布设”的原则，首级控制网宜一次全面布设，次级控制网可分期布设。

6.2.5 四等高程控制可采用三角高程或 GNSS RTK 高程。

6.2.6 在观测工作结束后，应及时整理并检查外业观测手簿，并在确认观测成果完全符合规范后，再进行平差计算。

6.2.7 地下空间绝对 SLAM 测量时，宜开展地下控制测量。地下控制测量应符合下列规定：

- 1 地下空间长度 500m 内，且已有出入口数量在 3 个以上时，可不进行地下控制测量；
- 2 地下空间长度超过 500m，或出入口数量少于 3 个，宜开展地下控制测量；
- 3 地下控制测量前，宜进行联系测量。

6.3 场景扫描

6.3.1 有限空间场景扫描

6.3.1.1 扫描方式宜采用手持式或背包式扫描，主要场景有室内房间、管廊、井道等。

6.3.1.2 有限空间场景扫描时，应对扫描路径进行清障，保持扫描路线畅通。

6.3.1.3 一个空间进入另一个空间时应缓慢度过，且在同一空间内不宜停留过长时间。

6.3.1.4 狭窄空间应注意测量员和扫描仪之间的扫描距离，避免仪器被遮挡。

6.3.1.5 扫描时应考虑周围环境对扫描速度的影响，适时调整扫描路线。

6.3.1.6 扫描线路可参考图 6.3.1。

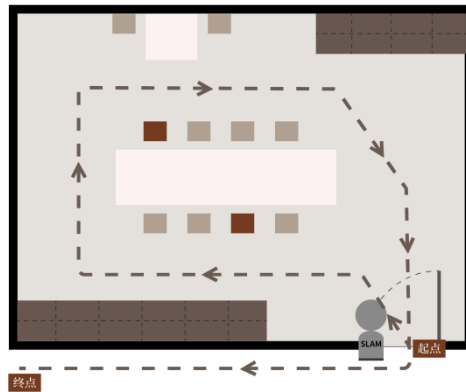


图 6.3.1 有限空间扫描线路图

6.3.2 建（构）筑物扫描

6.3.2.1 扫描方式宜采用手持式或背包式。

6.3.2.2 单、多层建（构）筑物扫描时应符合下列规定：

- 1 激光传感器正对目标；
- 2 扫描速度宜为 1.5km/h~3.0km/h；
- 3 扫描仪宜略向上倾斜，宜在 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

6.3.2.3 高层建（构）筑物扫描时应符合下列规定：

- 1 激光传感器正对目标；
- 2 扫描速度宜 1.5km/h~2.0km/h；
- 3 扫描仪宜略向上倾斜，宜在 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ；
- 4 作业方式宜采用套环式扫描路线。

6.3.2.4 建（构）筑物内部扫描时应参考本标准 6.3.1。

6.3.2.5 扫描线路可参考图 6.3.2。

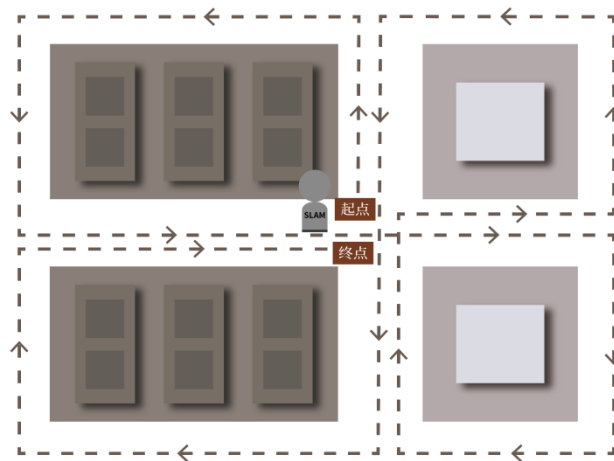


图 6.3.2 建（构）筑物扫描线路图

6.3.3 地形扫描

6.3.3.1 扫描路线宜采用“S”形或“回”字形方式。

6.3.3.2 背包式扫描速度宜为 1.5km/h~3.0km/h，扫描速度宜不超过 20km/h。

6.3.3.3 扫描测图在地形测绘中应依据测图的范围大小、地形类别、比例尺等设置地面控制

点，地面控制点数量、分布及点位精度应满足相应比例尺成图的精度。

6.3.3.4 大面积测区应分区扫描后进行配准，不同测站位置、不同视角的扫描区域应满足表 6.1.3 的规定。

6.3.3.5 地形扫描时应符合下列规定：

- 1 激光传感器正对目标，高于地平面 0.5m 以上的地形应略向上倾斜，低于地平面 0.5m 以下的地形应略向下倾斜；
- 2 车流量、人流量大的区域尽量避开，不宜长时间停留。

6.3.3.6 扫描线路可参考图 6.3.3。

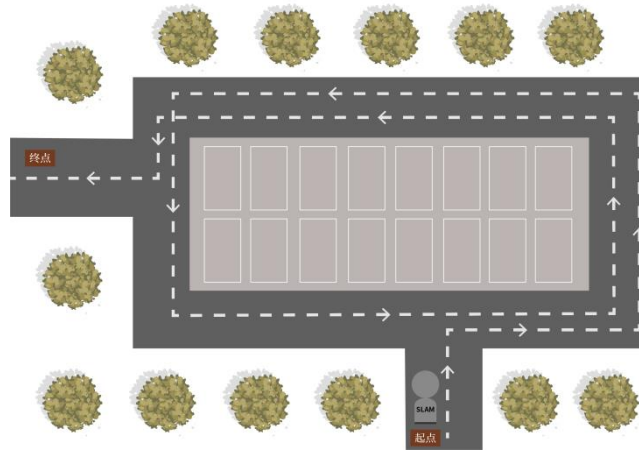


图 6.3.3 地形扫描线路图

6.3.4 其它场景扫描

6.3.4.1 对于缺少特征的扫描场景，可设置用于相邻扫描站点云数据拼接的特征点或特征物。

6.3.4.2 其他特殊场景扫描可根据现场条件、测量对象、技术要求而定。

6.3.4.3 对于地下空间扫描，宜增加对应区域地上空间的扫描，建立地上和地下的联系。

7 数据处理

7.1 一般规定

7.1.1 数据处理内容宜包括点云重建、点云配准与坐标转换、点云轻量化。

7.1.2 原始数据准备应符合下列规定：

- 1 原始数据应进行完整性和准确性检查；
- 2 原始数据处理前应进行数据备份并做好相关记录；
- 3 硬件设备宜满足点云处理的基本配置。

7.1.3 数据处理应符合下列规定：

- 1 数据处理后的数据应包含所需的数据信息，不应缺失或遗漏重要数据；
- 2 数据处理各环节成果数据应与源数据具有对应关系，保证各环节数据成果可追溯与可验证并及时进行归档。

7.2 点云重建

7.2.1 点云重建是将激光器测距测角信息与设备自带的惯导信息计算得到扫描区域内点云三维坐标的过程，宜包括精度优化、厚度优化等环节。

7.2.2 点云重建过程中，应使用 SLAM 算法优化点云精度。

7.2.3 点云重建过程中，宜导入外部控制点，优化点云精度。控制点位置可在采集过程中同步采集，也可在点云重建过程中导入控制点位置。

7.2.4 室外应用场景，如设备支持在扫描过程中同时获取 GNSS 信号，在点云重建过程中，宜加入 RTK 或 PPK 解算。

7.2.5 点云重建过程中，宜采用厚度优化降低点云厚度，便于后续点云矢量化使用；厚度优化后的点云，仍应满足 4.3.2 的点云精度要求。

7.2.6 点云解算的成果数据的命名应符合一定的规则，方便数据查找与追溯，应保存为通用格式（*.LAS、*.LAZ、*.TXT、*.PLY、*.PCD、*.OBJ、*.ASC、*.PTX 等）文件。

7.3 点云配准与坐标转换

7.3.1 点云配准是将多次采集且有公共区域的相对 SLAM 数据配准到同一区域，配准后点云应满足 4.3.2 中相对 SLAM 精度要求。

7.3.2 点云配准宜采用同名点进行配准，同名点宜采用控制点、标靶或相同地物的同一特征点。

7.3.3 点云配准采用自动特征配准算法配准时，重叠区域应大于全部区域的 30%。

7.3.4 点云坐标转换应遵循以下规定：

- 1 点云坐标转换控制点宜覆盖全部点云范围，且均匀分布；
- 2 绝对 SLAM 点云数据可通过坐标系参数转换进行坐标转换；
- 3 坐标转换宜在点云配准后进行。

7.4 点云轻量化

7.4.1 点云数据为满足后续矢量化使用，宜对点云数据进行轻量化，点云轻量化包括点云降噪、点云抽稀与点云切片。

7.4.2 点云降噪是剔除点云中的异常点、噪声点及冗余数据。

7.4.3 剔除点云中的异常点、噪声点宜采用算法进行自动滤波，与人工辅助判读的方式进行。

7.4.4 剔除点云中的冗余数据宜采用人机交互的方式。

7.4.5 点云降噪应保证数据完整性，不应降噪后产生目标地物点云的特征缺失。

7.4.6 点云抽稀是在保证目标地物点云几何特征完整的情况下，降低点云数据密度。

7.4.7 在目标地物点云特征丰富的情况下，宜采用保留特征抽稀方法；在特征不明显的区域，宜采用等距抽稀法或随机抽稀法。

7.4.8 为满足点云绘制或矢量化需要，可将点云进行切片。

7.4.9 切片点云成果可为三维点云通用格式，也可将其投影到特定平面，转换为二维影像通用格式。

8 点云矢量化

8.1 一般规定

8.1.1 在对点云精度评定合格后进行点云矢量化，主要包括特征点线面提取、要素采集。

8.1.2 点云可根据数据规模、软硬件性能等因素进行分割。

8.1.3 结合要素对象类型，利用地物的几何特征、纹理信息，点云的强度信息提取要素的定位点和定位线，也可采用不同的渲染方式进行要素提取，提取的定位线应真实反映地形地物的真实情况。

8.1.4 应以点云数据结合实景影像切换不同视角确认点、线、面状要素的准确位置，提取完成后调整视角检查矢量结果在平面、高程方向与点云的贴合程度，有偏差的地方应挪动或加密特征点。

8.1.5 点、线、面状要素特征点提取时，应依据点云和影像数据情况，采用分类拟合或人机交互方式提取，并符合下列规定：

- 1 点云矢量化宜以 m、mm 为单位按实际尺寸精确绘制；
- 2 点、线、面特征提取不应错漏、移位和变形。对点状要素提取的定位点，应准确描述其几何定位，有向点应确定其方位角；对线状要素提取其定位线，定位线应根据轨迹描述，走向明确，衔接合理；对面状要素提取轮廓线，其特征线在平面和高程上应闭合，不应重叠；
- 3 管线井、独立树、立杆等有规则形状的独立地物，宜采用拟合中心的方法进行采集；
- 4 管线、道路、桥梁、河流、坎坡、垣栅、台阶、楼梯等线状地物，宜采用拟合线的方法进行采集；
- 5 规则房屋宜采用拟合面的方法进行采集；
- 6 拟合或手动提取的轮廓线需矢量规则化处理，与实际轮廓保持一致。

8.1.6 建筑物结构或场景复杂时，宜利用点云切片和数据拟合功能提取目标轮廓数据，并符合下列规定：

- 1 切片宜选择合适位置，尽可能涵盖物体的最大范围；
- 2 选择合适点云切片厚度；
- 3 轮廓、边界数据提取时，宜将点云切片视图转换至投影面的平面直角坐标系。

8.1.7 矢量化时应结合配准后的点云、全景影像进行判读，对于点云数据质量不佳的区域和内业无法判定的地物，利用其他数据源对提取的定位点和定位线进行验证，数据存在矛盾时，应进行外业检查，检查合格后方可使用。

8.1.8 绘制地形图，点云矢量化应符合《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 20257.1、《工程测量规范》GB 50026、《基础地理信息要素分类与代码》GB/T 13923 的要求；绘制建筑用图，点云矢量化应符合 GB/T 50104 的要求，其他参照相应行业规范。

8.2 点云缺失处理

8.2.1 点云密度不足或数据缺失区域，结合影像和实际情况宜根据露明部分延伸相交、内插等方式推算，推算结果应特别说明。

8.2.2 若缺失区域仍不满足矢量化制图要求，应进行实地核查和补测，补测时宜采用 SLAM、水准仪、全站仪、GNSS 等测量仪器相结合的方式。

8.3 矢量数据接边

8.3.1 接边处的数据应连续，无裂缝、图形平滑自然。

8.3.2 当点云存在分层、错位现象时，矢量接边较差不应大于表 4.3.2 中相应等级中误差的 2 倍，符合限差时可平均配赋，但应保持地物相互位置和走向的准确性，超过限差时应外业检测后再接边，不接边部分应注明。

8.3.3 接边时应保持逻辑一致性、图形完整性。

9 成果检查与验收

9.1 一般规定

9.1.1 检查验收对象为 SLAM 点云数据成果；

9.1.2 检查验收的基本规定、分批和抽样、质量检查与评价按 GB/T 24356《测绘成果质量检查与验收》的规定执行，且满足技术设计书的要求；

9.1.3 SLAM 点云数据成果的单位成果质量元素及错漏分类按本标准执行；

9.1.4 涉及抽样时，应根据最终成果的类型和数量，对照 GB/T 24356《测绘成果质量检查与验收》确定点云成果的样本量。

9.2 单位成果质量元素及错漏分类

SLAM 点云数据成果的质量元素、质量元素、检查项及权重见表 1，错漏分类见表 9.2。

表 9.2-1 SLAM 点云数据成果质量元素、检查项及权重表

质量元素	权重		检查项
	A 类	B 类	
数据质量	0.5	0.6	1. 数据格式 2. 数据坐标系统、高程系统 3. 控制测量数据 4. 点云噪声 5. 点云密度 6. 点云精度 7. 点云拼接
扫描质量	0.2	0.2	1. 扫描重叠度 2. 数据覆盖完整性 3. 扫描线路合理性
影像质量	0.1	—	1. 影像分辨率 2. 影像清晰度 3. 色调、反差
资料质量	0.2	0.2	1. 资料完整性 2. 资料正确性 3. 整饰质量
注：A 类为获取成果含影像成果；B 类为获取成果不含影像成果。			

表 9.2-2 SLAM 点云数据质量错漏分类表

质量元素	A 类	B 类	C 类	D 类
数据质量	1. 点云数据格式不符合技术要求 2. 点云数据无法读取或数据丢失造成无法使用 3. 点云数据大量缺失，严重影响下工序使用 4. 坐标系统或高程系统不正确 5. 控制测量等级不符合要求或主要指标超限 6. 平均点云密度不符合技术要求，严重影响下工序使用 7. 平面或高程精度超限或粗差率超过 5% 8. 点云拼接精度超限 9. 点云存在大量噪声，严重影响下工序使用 10. 其他严重的错漏	1. 上交的观测数据不完整，影响下工序作业 2. 控制测量观测不规范或次要指标超限 3. 点云数据缺失较多，影响下工序使用 4. 平均点云密度符合技术要求，但点云密度差异明显，对下工序有较大影响 5. 点云存在较多噪声，致使下工序作业困难 6. 点云拼接误差较大，对下工序有较大影响 7. 其他较重的错漏	1. 点云数据缺失较少，对下工序影响较小 2. 点云密度差异较大，对下工序影响较小 3. 点云存在少量噪声，对下工序影响较小 4. 其他一般的错漏	其他轻微的错漏
扫描质量	1. 扫描重叠度、覆盖完整性等任一项超限，严重影响下工序使用 2. 扫描线路严重不合理，严重影响点云质量，严重影响下工序使用 3. 其他严重的错漏	1. 扫描重叠度、覆盖完整性等任一项偏离较大，对下工序有较大影响 2. 扫描线路不合理，点云质量影响较大，对下工序有较大影响 3. 其他较重的错漏	1. 扫描重叠度、覆盖完整性等任一项偏离较小，对下工序有轻微影响 2. 扫描线路不合理，点云质量影响轻微，对下工序影响轻微 3. 其他一般的错漏	其他轻微的错漏
影像质量	1. 实际影像分辨率与设计严重不符 2. 影像存在明显错位、模糊、重影等现象，大部分信息无法判读 3. 影像不清晰，层次感差、色调差、反差太小或太大，严重影响下工序成果质量 4. 其他严重的错漏	1. 影像不清晰，层次感差、色调较差、反差过小或过大，使影像信息损失 2. 其他较重的错漏	1. 影像欠清晰，层次感较差、色调较差、反差较小或较大，使局部影像信息损失 2. 其他一般的错漏	其他轻微的错漏
资料质量	1. 无设计书或实施方案 2. 附件资料普遍错漏，	1. 上交技术文档、附表、附图等与规定不	1. 注记、包装、整饰及各类注记错	其他轻微的错漏

	影响下工序使用 3. 其他严重的错漏	符 2. 成果注记、包装、整饰不符合要求 3. 缺技术总结或检查报告等成果附件资料 4. 其他较重的错漏	误 2. 技术总结或检查报告内容不全 3. 其他一般的错漏	的 错漏
--	-----------------------	---	-------------------------------------	------

10 成果提交

10.0.1 提交用户成果资料应按任务书或合同书的规定提交全部成果。

10.0.2 成果提交应列出清单或目录，移交时应办理交接手续。

10.0.3 成果提交应符合下列规定：

- 1 原始数据及各项外业记录整理完整；
- 2 技术文档齐全、完整，内容真实，表述准确；
- 3 各项作业记录、技术资料和成果应签署完整；
- 4 电子资料存储的介质应稳定、可靠。

10.0.4 成果提交应包括以下内容：

- 1 成果清单；
- 2 点云数据、点云成果数据；
- 3 控制测量与计算资料；
- 4 技术设计书；
- 5 技术总结书；
- 6 质量检查记录与报告；
- 7 仪器校准证书或记录；
- 8 其他相关资料。

附录 A
(资料性附录)
设备期间核查细则

1 核查项目

- 1.1 外观及各部件功能相互作用。
- 1.2 设备线路连接检查。
- 1.3 安装牢固性检查。
- 1.4 测距精度检查。
- 1.5 测距重复性检查。

2 核查事项及方法

2.1 一般核查内容

2.1.1 外观检查

- (1) 是否标明仪器型号、出厂编号、核查日期和核查有效期等。
- (2) 仪器外表有无脱漆、锈蚀、伤痕和开裂现象。

2.1.2 各部件性能

- (1) 每个按键性能是否良好。
- (2) 设备安装是否牢固，链接螺丝有无松动。

2.2 测距精度检查

2.2.1 测距值比对方法

(1) 在墙上布设 3 个标靶 S1、S2、S3，标靶间的距离约为 5.0m，在距标靶约 5m、10m、15m 处固定一个观测点，使用手持式 SLAM 三维扫描仪在观测点位置进行扫描，观测标靶间的距离；

(2) 在同一观测点位置使用 3mm+2ppm 以上的全站仪对标靶测距，观测 2 个测回，将全站仪测距平均值作为参考值；

(3) 比对 SLAM 三维扫描仪的测距值和参考值之间的差值，作为测距误差。

2.2.2 测距值误差合格判定标准

取全站仪与 SLAM 三维扫描仪测量测距值之差 ΔLi ，如 ΔLi 最大值不大于表 4.3.2 中测距中误差的 2 倍，则判定 SLAM 三维扫描仪测距精度合格。

2.2.3 测距误差核查结果填写在《SLAM 测距精度检查表》中（见附表 2）。

2.3 测距重复性检查

2.3.1 测距值重复性检验方法

在校准室内墙上布设 2 个标靶，标靶间的距离约为 5.0m，在距标靶约 10m 处地面布设观测点，使用手持式 SLAM 三维扫描仪在观测点上对标靶进行重复测距 10 次，并读取读数。测量重复性按下式计算：

$$S(D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

式中：

$S(D)$ —重复性误差, mm;

D_i —第 i 次读数值, mm;

$\bar{D}$ — n 次读数的平均值, mm;

n —测距次数。

2.3.2 测距值重复性合格判定标准

若 $s(D) \leq 15\text{mm}$ ，SLAM 三维扫描仪重复性合格。

2.3.3 测距重复性核查结果填写在《SLAM 测距重复性检查表》中（见附表 3）。

3 期间核查周期要求

对于 SLAM 三维扫描仪校准 6 个月后，应进行 SLAM 三维扫描仪期间核查工作，建议两次相邻的期间核查时间不超过 1 年。

4 核查报告单与原始记录样式

核查报告单样式见附表 A.1。

核查原始记录样式见附表 A.2～附表 A.3。

附表 A.1 SLAM 三维扫描仪期间核查报告单

仪器型号		仪器编号	
核查依据		核查日期	
核查人		审核人	
核查结果			
序号	核查项目	技术要求	核查数据/结果
1	外观及各部件性能	良好	
2	设备线路连接检查	良好	
3	安装牢固性检查	牢固无松动	
4	测距精度检查	2 倍测距中误差	
5	测距值重复性检查	15mm	
核查结论	☐ 完全符合核查项目技术要求。	☐ 部分符合核查项目技术要求。	☐ 完全不符合核查项目技术要求。
使用提示	☐ 合格。可正常使用。	☐ 准用。	☐ 停用。需要 ☐ 维修 / ☐ 报废。

附表 A.2 SLAM 精度检查表

SLAM 型号：SLAM 编号：

全站仪型号：全站仪编号：

核查地点：核查日期：

观测者：记录者：检查者：

点号	全站仪测量			
	盘左坐标 (m)	盘右坐标 (m)	盘左坐标 (m)	盘右坐标 (m)
S1				
S2				
S3				
距离	参考值 (mm) 全站仪		测得值 (mm) SLAM	差值 (mm)
S1-S2				
S1-S3				
S2-S3				
说明	标准值和测得值的差值，不应大于 2 倍测距中误差			

附表 A.3 SLAM 重复性检查表

SLAM 型号:

SLAM 编号:

核查地点:

核查日期:

观测者:

记录者:

检查者:

序号	读数 Di/mm
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
平均值 D 均=	
标准差 S _D = (≤15mm)	

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

上海市测绘地理信息学会行业标准

SLAM 测量技术标准

条文说明

本标准由上海市测绘地理信息学会提出并归口，标准引用的数据案例以上海地区为主，标准的主要技术要求以激光 SLAM 为主，其他形式 SLAM 可参考本标准相关条款。

3.1.8 此处所指的有限空间为广义的有限空间，包含地上有限空间和地下有限空间，如综合管廊、箱涵、管涵、检查井、地下室、地下停车场、仓库等。

4.1.1 特殊场景一般包括箱涵、窖井等人员无法通行的区域，可采用机器狗作业模式，将 SLAM 设备安置于机器狗上。对于一些低速代步车可以通行的区域，也可采用代步车式，将 SLAM 设备安置于车辆上，时速一般不超过 20km/h。

4.1.3 检校包含检定、校准或自校准。SLAM 仪器设备目前尚未有检定或校准规范，可参考国家现行行业标准《地面激光扫描仪校准规范》JJF 1406 和国家现行行业标准《手持式激光测距仪检定规程》JJG 966 的相关要求，进行自核查，代替校准。使用频繁的仪器设备，可以适当提高核查频率。

4.2.1 绝对 SLAM 需要引入坐标系，包含绝对坐标系或自定义坐标系。在上海地区，绝对坐标系指当前采用的上海 2000 坐标，适用于需要绝对坐标的测量，如竣工测量和地形测量等；自定义坐标系指的是上海 2000 坐标以外的其他坐标系，用于仅需要独立坐标的测量，如工程测量、地下空间测量等。

4.2.2 绝对 SLAM 需要引入高程时，可采用绝对高程系或自定义高程系。在上海地区，绝对高程系指当前采用的上海吴淞高程系，适用于需要绝对高程的测量，如竣工测量和地形测量；自定义高程系指的是上海吴淞高程以外的其他高程系，用于仅需要独立高程的测量，如工程测量、地下空间测量等。

4.3.2 相对 SLAM 和绝对 SLAM 的指标分开使用，两个表格中的等级是独立的。在相对 SLAM 中，仅需要满足相对 SLAM 表中的相应指标要求；在绝对 SLAM 中，仅需要满足绝对 SLAM 表中的相应指标。

相对 SLAM 中的精度指标是指多段扫描数据，通过重叠区域，完成自动拼接后的特征点间距的距离中误差和距离相对中误差。

绝对 SLAM 中的精度指标是指在经过坐标转换后的绝对坐标系或相对坐标系中，特征点的点位中误差和高程中误差。

SLAM 测量不同等级的适用场景建议如下，仅作为建议，具体应用还需要结合项目特殊要求。

表 4.3.2-3 SLAM 测量的建议场景

扫描等级	建议场景（相对）	建议场景（绝对）
高等	高精度测量	病害检测
中等	几何尺寸测量、建筑物边长测量、层高测量、高度测量、体积测量、结构状态普查等	竣工测量、地形测量等

普通	三维建模、实景模型、资产调查等	概略位置测量、应急抢险、地下空间设施测量等
----	-----------------	-----------------------

6.1.3 绝对 SLAM 的控制点用于对点云进行绝对坐标转换，相对 SLAM 中的配准点仅作为数据拼接使用，无需进行配准点的坐标测量，数量参考 T/CECS 790《地面三维激光扫描工程应用技术规程》相关要求。数据采集过程中，为了保证扫描区域的有效性，扫描仪不宜距离目标太近。带摄像功能的扫描仪应同步采集影像，不带摄像功能的扫描仪，应采用辅助设备，采集现场的影像，用于后期的数据处理。

6.2.3 以上海地区为例，GNSS RTK 测量技术要求应符合现行上海市工程建设规范《卫星定位测量技术规范》DG/TJ08-2121 的相关规定，应利用 SHCORS 系统施测。图根导线测量技术要求应符合现行上海市工程建设规范《1:500 1:1000 1:2000 数字地形测绘标准》DG/TJ 08-86 的相关规定。

6.2.7 地下空间距离较短，且有出入口可以直通地面时，可以将控制点布设在地面，减少地上地下的传递误差，通过扫描路线将地面控制点引入地下空间。联系测量可在地面架设全站仪，通过出入口采用投点定向法或导线直传法进行坐标传递。高程传递可采用悬挂钢尺、激光测高等方法。

7.2.3 无论是相对 SLAM 还是绝对 SLAM，在 SLAM 算法超限时，均建议使用控制点作为优化点云精度的手段，控制点采集与精度应符合本规范要求。

7.2.5 点云厚度优化是通过算法对多线激光器标定导致的点云测量误差进行纠正，其表现为点云厚度变薄，但由于算法差异，存在可能影响点云精度情况，建议在采用厚度优化功能前，对压薄算法的精度影响进行测试。

7.2.6 命名应符合一定规则，如按照点云覆盖范围，或对应图幅号等，便于后续数据检查、溯源的查找。

7.3.1 点云配准的情况可以通过点云剖面检验效果， x 、 y 、 z 三个方向截取公共区域的剖面，测量点云分层的距离与趋势。

7.3.4 控制点精度应符合本规范第六章要求。

7.4.2 异常点通常是由于特定的物理现象或数据采集过程中的问题产生的，它们可能形成局部的簇或与周围点云数据有显著差异；噪声点通常是由于传感器的测量误差或者环境因素引起的，它们在点云数据中表现为随机分布的孤立点。冗余数据是点云数据中不包括采集目标，但仍被采集的数据。

7.4.7 保留特征抽稀方法有多种，常用的为：1、基于曲率和法线，通过计算点云数据中各个点的曲率和表面法线，可以识别出边缘点、角点等特征丰富的点。这些点通常作为特征点进行保留；2、深度学习方法，通过训练深度学习模型，可以直接从点云中提取高级特征进行保留。等距抽稀法，是根据点云之间的距离关系进行抽稀处理，通过计算点云之间的距离，并根据设定的距离阈值来决定是否保留点云，这种方法能够保持点云形态的连续性，并且适

用于点云密度不均匀的情况。随机抽稀法，这种方法通过设置一个采样率，按照一定的比例从原始点云中随机选择点云进行保留，以降低点云密度，这种方法适用于点云密度均匀或不需要保持精确结构的情况。

7.4.9 常见的点云通用格式为*.LAS、*.LAZ、*.TXT、*.PLY、*.PCD、*.OBJ、*.ASC、*.PTX 等，常见二维影像通用格式为*.tif、*.jpg 等。

8.1.5 绘制建筑物时，应采集单体建筑外沿角点位置，建筑边线宜采集点云数据墙体线中心位置。建筑轮廓边线提取位置如 8.1.5 所示。

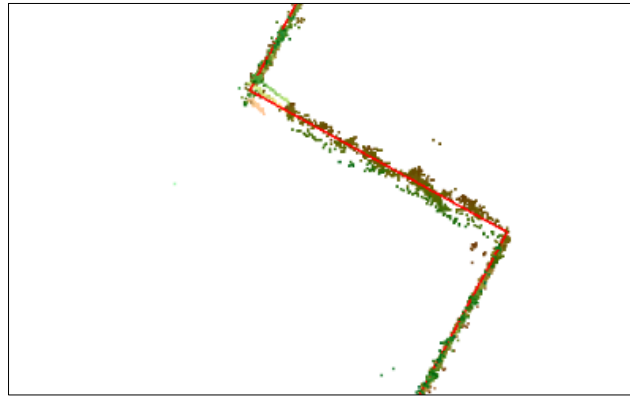


图 8.1.5 建筑轮廓边线采集位置

附录 A 按表 4.3.2 中距离相对中误差计算，高等、中等、普通的距离中误差分别为：30mm、50mm 和 70mm。15m 的距离相对中误差小于距离中误差，取 2 倍距离中误差，作为空间距离的限差。