

中国城市轨道交通协会团体标准

T/CAMET XXXXX—XXXX

城市轨道交通隧道与地下工程三维激光扫描 测量技术规范

Technical specification of three-dimensional laser scanning for urban
rail transit tunnel and underground engineering

(征求意见稿)

XXXX - XX-XX 发布

XXXX - XX-XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前 言 II

城市轨道交通隧道与地下工程三维激光扫描测量技术规范 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

5 技术准备 3

6 架站式外业扫描及数据处理 4

7 移动式外业扫描及数据处理 6

8 成果编绘 7

9 质量控制 9

10 成果移交与存储 10

附录 A（资料性附录） 架站式外业扫描作业流程..... 11

附录 B（资料性附录） 三维激光扫描日志..... 12

附录 C（资料性附录） 移动式外业扫描作业流程..... 13

附录 D（资料性附录） 隧道收敛及椭圆度检测成果汇总表..... 14

附录 E（资料性附录） 盾构隧道管片错台成果检测汇总表..... 15

附录 F（资料性附录） 隧道限界检测成果图..... 16

附录 G（资料性附录） 隧道病害检测成果汇总表..... 17

附录 H（资料性附录） 18

 H.1 架站式激光点云成果的质量元素、权重、错漏分类表 18

 H.2 移动式激光点云成果的质量元素、权重、错漏分类表 18

 H.3 激光点云展开影像成果的质量元素、权重、错漏分类表 20

 H.4 断面数据成果的质量元素、权重、错漏分类表 21

 H.5 限界数据成果的质量元素、权重、错漏分类表 22

 H.6 错台数据成果的质量元素、权重、错漏分类表 23

附录 I（资料性附录） 总结报告内容..... 24

前 言

本规范按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

请注意本规范的某些内容可能涉及专利，本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范由中国城市轨道交通协会工程建设专业委员会提出。

本规范由中国城市轨道交通协会归口。

本规范起草单位：深圳市地铁集团有限公司、中铁第六勘察设计院集团有限公司、北京城建勘测设计研究院有限责任公司、上海勘察设计研究院（集团）有限公司、深圳市市政设计研究院有限公司、南京地铁集团有限公司、南京航空航天大学、武汉大学、广州欧徕测绘技术有限公司。

本规范主要起草人：

城市轨道交通隧道与地下工程三维激光扫描测量技术规范

1 范围

本标准规定了城市轨道交通隧道与地下工程三维激光扫描测量工作的一般要求、技术准备、架站式外业扫描及数据处理、移动式外业扫描及数据处理、成果编绘、质量控制、成果移交与存储等，指导采用三维激光扫描技术进行城市轨道交通工程建设期交工测量、竣工测量和运营期现状调查、隧道专项检测及结构变形监测等。

本标准适用于地铁、轻轨、市域快轨等城市轨道交通工程。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18316-2008 数字测绘成果质量检查与验收
GB/T 24356-2009 测绘成果质量检查与验收
GB/T 28587-2012 移动测量系统惯性测量单元
GB/T 50308-2017 城市轨道交通工程测量规范
GB 50446-2017 盾构法隧道施工及验收规范
GB 50911-2013 城市轨道交通工程监测技术规范
CJJ/T 8-2011 城市测量规范
CJJ/T 157-2010 城市三维建模技术规范
CJJ/T 202-2013 城市轨道交通结构安全保护技术规范
JGJ 8-2016 建筑变形测量规范
JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则
JJF 1406-2013 地面激光扫描仪校准规范
CH/Z 3017-2015 地面三维激光扫描作业技术规程
CH/T 6007-2018 城市轨道交通结构形变监测技术规范
CH/T 8023-2011 机载激光雷达数据处理技术规范
CH/T 9016-2012 三维地理信息模型生产规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

三维激光扫描技术 three-dimensional laser scanning technology

一种通过高速激光扫描，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和全景影像的非接触式主动测量技术。

3.2

点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

[CH/T 8023-211，术语和定义 3.3]

3.3

点云配准 point cloud registration

把测量获取的点云数据转换到同一坐标系的过程。

[CH/Z 3017-2015, 术语 3.1.5]

3.4

附合扫描路线 connecting scanning route

扫描路线起点和终点的配准标靶均包括已知点控制标靶，该线路称为附合扫描路线。

3.5

椭圆度 tunnel ovality

圆形隧道管片衬砌拼装成环后隧道最大与最小直径的差值与隧道设计内径的比值，以千分比表示。

[GB 50446-2017, 术语 2.0.18]

3.6

收敛 convergence

同一断面隧道结构壁上两点间在该直线方向伸长或缩短的相对变化。

3.7

错台 step

相邻管片接缝处的偏差。

[GB 50446-2017, 术语 2.0.19]

3.8

噪点 noise point

点云中非规定设施相关的异常点和脱离扫描目标物的异常点、孤立点。

3.9

降噪 remove noise

去除点云中由于外界因素以及三维激光扫描仪本身因素造成的不可避免的粗差点的过程。

[CH/Z 3017-2015, 术语 3.1.9]

3.10

特征点 feature point

在点云中便于识别选取的地物角点、线状地物交叉点等。

[CH/Z 3017-2015, 术语 3.1.4]

3.11

限界 gauge

保障城市轨道交通运行，限定车辆断面尺寸、限制沿线设备安装尺寸以及确定建筑结构有效净空尺寸的图形和相应定位坐标参数称为限界。分为车辆限界、设备限界和建筑限界三类。

[GB/T 50308-2017, 术语和符号 2.1.14]

3.12

点云切片 point cloud slice

用任意平面对点云进行剖切时，据剖切平面两侧一定距离内的所有点云在剖切平面上的投影点的集合。

4 一般要求

4.1 作业流程

4.1.1 由技术准备、外业扫描及数据处理、成果编绘、质量控制和成果移交与存储组成。

4.1.2 根据作业流程开展工作。

4.2 空间参考系

4.2.1 三维激光扫描坐标系可采用原工程坐标系。

4.2.2 根据测量需要可自定义平面坐标系和高程基准。

4.2.3 三维激光扫描作业的时间应采用公元纪年，时间应采用北京时间。

4.3 仪器校准与选择

4.3.1 仪器设备应符合《JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则》中 5.12 要求。

4.3.2 当仪器设备有下列情况之一时，应进行校准：

- a) 新仪器启用前；
- b) 遭受严重撞击或其他损害；
- c) 仪器原因导致数据异常时；
- d) 其他异常情况。

4.3.3 点云精度与技术指标要求应符合表 1 的要求。

表 1 点云精度与技术指标

扫描精度等级		扫描仪标称精度	特征点间距 中误差/mm	点位中误差 /mm	最大点间距/mm	适用场景
一等	相对	$\leq 12''$, $2\text{mm} \pm 10 \times 10^{-6}d$	≤ 5	≤ 2	≤ 3	结构和轨道变形监测,隧道 病害检测等 限界检测,竣工测量、结构 现状普查
	绝对		—	≤ 10	≤ 10	
二等	相对	$\leq 24''$, $3\text{mm} \pm 10 \times 10^{-6}d$	≤ 15	≤ 10	≤ 10	装修装饰、广告牌安装等
	绝对		—	≤ 20	≤ 20	
三等	相对	$\leq 36''$, $5\text{mm} \pm 10 \times 10^{-6}d$	≤ 50	≤ 100	≤ 25	地形测量、用于展示的低精 度三维模型等
	绝对		—		≤ 50	
四等	相对	$\leq 50''$, $10\text{mm} \pm 10 \times 10^{-6}d$	≤ 200	≤ 250	—	其他

5 技术准备

5.1 资料收集及分析

5.1.1 在三维激光扫描作业前收集以下资料：

- a) 拟扫描建筑结构的设计图及竣工图；
- b) 拟扫描区域附近已有的平面、高程控制点等资料；
- c) 扫描区域内建筑结构的变形监测成果；
- d) 与拟扫描结构相关的其他资料。

5.1.2 应对上述收集到的资料的现势性和准确性进行分析，证明资料的可用性。

5.2 技术设计书

5.2.1 技术设计书包括以下内容：

- a) 项目概况；
- b) 拟扫描区域的现状及周边情况；
- c) 作业依据及技术要求；
- d) 仪器及扫描方式的选择；
- e) 扫描作业流程；
- f) 数据处理流程；
- g) 成果编绘要求；
- h) 进度质量安全控制措施。

5.2.2 技术设计书应通过审核。

5.3 控制点布设

5.3.1 平面控制测量的精度应符合 GB/T 50308-2017 第 3.3 节的要求，相邻控制点的间距不宜大于 150m。

5.3.2 高程控制测量的精度应符合 GB/T 50308-2017 第 4.3 节中二等水准的要求，高程控制点可与平面控制点结合布设，隧道内相邻高程点的间距不宜大于 150m。

5.3.3 检查现场的控制点和成果，合格后方可使用。

5.4 扫描作业前检查

5.4.1 架站式扫描系统装备检查

- a) 扫描仪主机及基座、标靶、磁性底座、三脚架等附件齐全、外观和性能完好；
- b) 扫描仪应通电开机查看确定可正常工作，基本检查项目包括：对中整平正常、仪器设站正常、标靶获取正常、扫描测试正常、电池电量足够、存储空间足够等。

5.4.2 移动式扫描系统装备检查

- a) 一般检查：检查系统各分解部件的完整性和连接的稳固性；
- b) 通电检查：仪器通电后能正常获取并存储数据，电源容量和存储容量符合作业需求；
- c) 功能检查：校正扫描头姿态、扫描头调整至与轨道正交或与扫描车成固定夹角，检查里程定位正确性；
- d) 惯性测量单位检查：三个轴向输出量的稳定性、开机重复性。

6 架站式外业扫描及数据处理

6.1 仪器要求

6.1.1 扫描仪架设要求

- a) 扫描仪应安置在稳固的区域，作业过程中应防止设备晃动；
- b) 相邻两个扫描测站之间的距离宜小于 30m，特殊情况不应大于 50m。

6.1.2 仪器设站要求

- a) 测量点云数据为绝对坐标时，宜采用后方交会或附合扫描路线设站，扫描标靶宜均匀分布并单独扫描；
- b) 对于一等精度项目，可采用双面扫描标靶，减小扫描仪自身的轴系误差；
- c) 项目不要求绝对坐标成果数据时，可根据现场环境灵活设站，使用简易标靶或特征点作为公共点进行点云配准。

6.1.3 标靶布设要求

- a) 扫描期间标靶应保持稳固，宜放置在三脚架或特制的磁性基座上；
- b) 每个测站扫描标靶的数量应不少于 4 个，且相邻两个扫描测站的公共标靶数量应不小于 3 个；
- c) 扫描标靶应在扫描范围内水平上均匀布置，高程上错落分布。

6.1.4 标靶扫描要求

- a) 一等、二等精度外业扫描时，宜采用仪器可设置扫描的最高扫描密度进行扫描标靶；
- b) 每站扫描结束前应检查标靶扫描点云数据，确认标靶的扫描点云数据完整后再结束扫描并搬站。

6.2 外业扫描

6.2.1 外业扫描作业流程由装备检查、仪器架设、参数设置、数据采集和现场清理组成，详细作业流程见附录 A。

6.2.2 扫描设置

- a) 扫描分辨率的设置应符合表 1 中最大点间距的要求；
- b) 一等精度外业扫描时，作业前仪器宜放置在作业环境中 30 分钟以上。

6.2.3 现场扫描

- c) 扫描作业时，扫描仪周围不应出现干扰扫描作业的移动物体；
- d) 扫描间歇时，应在固定位置设置标靶用于间歇后的扫描点云配准，标靶设置应符合 6.1.3 条要求；
- e) 相邻两测站的点云重叠度不宜低于 30%；
- f) 扫描过程中出现断电、死机、仪器位置变动等异常情况，应初始化扫描仪重新进行扫描；
- g) 扫描作业结束后，宜对点云数据备份并检查，基本检查项目包括：标靶点云靶心数据完整性、两测站之间的点云分辨率符合表 1 中规定的最大点间距要求等。对异常数据应及时补测；
- h) 现场应记录扫描区间、起始里程或盾构隧道环号、设备编号、数据文件名等情况，系统报警、死机等非正常作业情况需详细记录，三维激光扫描日志格式可按照附录 B 编制。

6.3 数据处理

6.3.1 数据准备

- a) 在未完成数据成果制作前，应保留扫描设备存储硬盘中的原始数据，并备份原始数据文件；对于同一个项目的点云数据，宜采用同一个项目文件进行管理、查看、编辑和处理；
- b) 对已复核的控制点数据，整理成已知控制点坐标文件，并找出对应控制点的标靶位置点云，通过软件拟合和配对；
- c) 对外业扫描记录的日志文件进行检查，并结合扫描数据复核扫描日志文件，检查和复核正确后根据外业日志文件进行数据处理。

6.3.2 点云配准

- a) 可使用已知控制点、公共特征点、重叠点云的方式进行点云配准；
- b) 采用控制点进行点云配准时，控制点配准残余中误差应不大于表 1 中规定的精度等级要求中误差的 1/2；
- c) 采用特征点或标靶进行数据配准时，相邻两站的配准应采用不少于 3 个同名点进行配准转换，配准后的同名点的配准残余中误差应不大于表 1 中规定的精度等级要求中误差的 1/2。

6.3.3 点云降噪和抽稀

- a) 点云降噪宜采取算数平均滤波法或人机交互的方式；
- b) 点云抽稀不应影响目标物特征识别与提取，且抽稀后的点云密度应符合表 1 中对应精度等级的最大点间距要求。

7 移动式外业扫描及数据处理

7.1 仪器要求

7.1.1 采用移动式外业扫描的三维激光扫描仪应满足以下要求：

- a) 仪器最小测程应小于 0.5m，有效测程内的径向距离示值误差不应大于 2mm；
- b) 数据获取速率不宜小于 50 万点/s，断面测量模式下的最高转速不宜低于 50Hz。

7.1.2 移动平台的行走部件应满足轨道绝缘要求，作业过程中应防止对计轴器、导电轨等轨道交通设施产生不良影响。

7.1.3 配备惯性测量单元（IMU）的移动式外业扫描，惯性测量单元准确度等级宜为 II 级及以上。准确度等级划分应符合表 2 要求。

表 2 准确度等级划分

单位为度（°）

准确度等级	测角标准差（ δ ）
I	$\delta \leq 0.01$
II	$0.01 < \delta \leq 0.02$
III	$0.02 < \delta$

7.2 外业扫描

7.2.1 外业扫描作业流程由装备检查、系统组装、参数设置、数据采集和现场清理组成，详细作业流程见附录 C。

7.2.2 标靶布设

- a) 标靶设置应满足点云数据配准的要求，宜成对布设。布设间距应根据设计方案的精度要求、惯性测量单元（IMU）精度性能等确定，相邻两对标靶的间距不宜大于 150m；
- b) 标靶应便于全站仪坐标联测和从激光点云集中识别；
- c) 可利用现场明显特征点代替专用标靶。

7.2.3 外业扫描

- a) 扫描作业过程中，保证扫描头与待测对象通视，禁止任何物件靠近扫描头；
- b) 扫描结束后，应确认扫描数据的完整性；
- c) 扫描过程若出现死机、断电等异常情况，应重测；
- d) 现场记录扫描区间、起始里程（盾构隧道环号）、设备编号、数据文件名等情况，系统报警、死机等非正常作业情况需详细记录。

7.2.4 扫描作业过程中，宜采用其他测量手段，实测现场部分几何数据，供内业成果检校。

7.3 数据处理

7.3.1 点云数据配准

- a) 点云数据配准适用于配备惯性测量单元移动扫描系统；
- b) 点云数据先依据惯性测量单元（IMU）数据进行坐标计算和配准，再识别点云中的

标靶，进行绝对定位；

c) 双圆盾构隧道、有中隔墙的单洞双线隧道或大直径盾构隧道，需进行上、下行线扫描数据的配准；

d) 点云数据配准后宜分区段、分区间或全线形成连续的三维点云模型。

7.3.2 点云数据校正

a) 点云数据校正适用于未配备惯性测量单元移动扫描系统；

b) 应利用明显标识进行里程校正；

c) 双圆盾构隧道、有中隔墙的单洞双线隧道或大直径盾构隧道，需进行上、下行线扫描数据的里程校正。

7.3.3 影像数据处理

a) 采用反射率强度生成灰度影像时，宜采用等面积投影；

b) 影像与真实物纹理投影关系正确。

8 成果编绘

8.1 基本要求

8.1.1 点云成果相对于邻近控制点的中误差应符合表 1 规定。

8.1.2 应使用全站仪极坐标法等常规测量方法对点云成果的精度进行抽样检核，抽样点应选取结构的明显位置。架站式扫描成果宜每测站选取一个横断面，移动式扫描宜沿线路每 20~30 米选取一个横断面。抽样点应均匀分布在横断面上。

a) 一等、二等扫描精度抽样点位中误差按下式计算：

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{2n}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

b) 三等、四等扫描精度抽样点位中误差按下式计算：

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

M—成果中误差

n—检测点总数

Δ —较差

8.1.3 灰度影像图、彩色纹理照片等应与配准后的点云成果建立映射关系。

8.1.4 灰度影像图应标注里程和盾构隧道环号信息，图片分辨率不宜低于 10mm。

8.2 竣工成果编绘

8.2.1 隧道竣工成果编绘应符合下列要求：

a) 应在隧道土建完工后、隧道内完成铺轨和设备安装后竣工验收前分别进行各阶段的隧道竣工成果编绘；

b) 隧道土建竣工成果编绘应包括：隧道横断面线划图、隧道内轮廓水平投影线划图和隧道中心线坐标、高程成果；

c) 铺轨及设备安装后竣工成果编绘应包含：

1) 含有道床、轨道、接触网或接触轨、疏散平台及轨旁设备等设施的隧道横断面线划图；

- 2) 隧道内轮廓水平投影线划图；
- 3) 左右轨的轨面高程成果和轨道中心线的三维空间坐标成果；
- 4) 隧道中心线坐标、高程成果；
- 5) 各类设备以及应急疏散平台的空间位置信息。

d) 利用配准后的点云成果编绘隧道横断面线划图时，宜选取剖切平面两侧与剖切平面的垂距小于 30mm 的点集，将其投影在剖切平面上，并利用这些投影点进行横断面的拟合；

e) 可根据隧道断面的形式选用适当的数学模型，采用最小二乘法等方法进行横断面拟合，盾构隧道可选用圆或椭圆模型，矩形隧道可选用直线段组合模型，马蹄形隧道可选用样条曲线模型，横断面拟合残差应 $\leq 5\text{mm}$ ；

f) 隧道变断面处应分别绘制横断面；

g) 编绘隧道内轮廓投影线划图时，应将隧道的点云投影到水平面上，以投影点集的轮廓线作为隧道内轮廓的投影线；

h) 隧道横断面图的剖切间距宜在 1~6m 之间。

8.2.2 车站和附属结构竣工成果编绘应符合下列要求：

a) 土建竣工后的成果编绘应包含各层平面线划图和剖面线划图，可增加三维模型、全景影像等数据；

b) 铺轨和设备安装后的成果编绘应包含各层平面线划图和剖面线划图，可增加包含车站及设备细部三维模型、设备分布图、全景影像等数据；

c) 车站剖面线划图编绘应符合 8.2.1 d)、e) 的要求；

d) 车站的横剖面间距，宜在 1~6m 之间，纵剖面宜位于车站建筑的主要轴线及线路中心线上；

e) 各层平面线划图应以不同高度的水平面对点云成果进行剖切和投影，根据投影点集绘制墙体等结构。选择用于剖切的水平面的高度应能全面反映各层结构分布；

f) 利用点云进行车站和设备细部的三维建模，应符合 CH/T 9016-2012 的要求；

g) 应对出入口通道、风道、垂直升降电梯等工程部位分别编绘竣工成果；

h) 附属结构竣工成果应包括结构平面图和剖面图，编绘方法参照车站和隧道竣工成果编绘要求。

8.3 变形监测成果编绘

8.3.1 隧道收敛成果编绘应从点云成果中提取隧道横断面上指定方向的径向长度，与对应方向的设计值、竣工测量值、上一次测量值分别相减，获取隧道的收敛值及其变化量。

8.3.2 盾构隧道管片椭圆度成果编绘时，按 8.2.1 d)、e) 的要求进行横断面拟合，提取椭圆的长短轴，按以下公式计算管片椭圆度：

$$\delta (\%) = 1000 (b - a) / d$$

式中：

δ —椭圆度

b—长轴

a—短轴

d—设计管片直径

8.3.3 盾构隧道管片错台成果编绘时，在每环接缝两侧各 5cm 内提取断面，以线路中心线为基准，比较两断面的差值得到管片的环间错台数据和环内相邻管片错台数据，提取错台量大于 10mm 的管片进行成果汇总。

8.3.4 隧道收敛和椭圆度检测成果汇总表的格式可按照附录 D 编制，管片错台成果汇总表

的格式可按照附录 E 编制。

8.4 限界检测成果编绘

8.4.1 以轨道中心线为基准，用设计的限界图叠加隧道横断面的点云切片成果。

8.4.2 采用人工量取或程序识别方式识别和提取侵限部位和侵限值。绘制限界检测成果图，限界检测成果图的样式可按照附录 F 编绘。

8.5 结构病害检测成果编绘

8.5.1 应采用识别灰度影像图的方法判断渗漏水区域和混凝土病害区域。

8.5.2 应对混凝土病害区域和面积大于 0.1 m² 的渗漏水区域进行成果汇总，检测成果表的格式可按照附录 G 编制。

9 质量控制

9.1 质量检查

9.1.1 扫描测量成果质量的两级检查中，内业应全数检查，外业应符合表 3 中要求抽样检查，检查过程中应留存检查记录。

9.1.2 激光扫描测量成果的过程检查，宜包含以下内容：

- a) 控制点资料；
- b) 仪器设备的检定、校准及检验资料；
- c) 线路平纵断面图、限界图等设计资料；
- d) 点云外业数据采集记录、点云成果数据及内业处理计算资料；
- e) 测量成果图及表格；
- f) 技术设计书及其他资料。

9.1.3 激光扫描测量成果最终检查应编写质量检查报告。

9.2 成果验收

9.2.1 激光扫描测量成果验收应采用抽样核查的方式进行，抽样时应满足以下要求：

- a) 架站式扫描成果验收，抽样时应随机抽取不少于 10% 的扫描长度作为样本；
- b) 移动式扫描数据宜以千米为单位划分单位成果，抽样时参照表 3 确定样本量随机抽样；

表 3 批量与样本量对照表

移动式扫描测量数据/km	
批量	样本量
≤20	3 或不少于 10% 的扫描长度
21~40	5
41~60	7
61~80	9
81~100	10
101~120	11
121~140	12
141~160	13

161~180	14
181~200	15
≥201	分批次提交，批次数应最小，各批次的批量应均匀。
注：当批量小于或等于 3，样本量等于批量时，为全数检查。	

c) 对抽取的样本，内业应全数检查，外业应抽取不少于 30%的样本进行检查。

9.2.2 激光扫描测量成果质量验收检查中，当需要使用仪器设备时，其精度应不低于项目作业时所采用仪器设备的精度。

9.3 单位成果质量元素

9.3.1 规定架站式激光点云成果、移动式激光点云成果、激光点云展开影像成果、断面数据成果、限界数据成果、错台数据成果的质量元素，见附录 H；

9.3.2 规定以上 6 种扫描测量成果各质量元素的检查项、检查内容及错漏分类，见附录 H。

10 成果移交与存储

10.1 移交内容

10.1.1 应移交过程测量报告和总结报告。

10.1.2 过程测量报告应包括以下内容：

- a) 扫描测量项目概况；
- b) 现场巡视信息，包括巡视照片、记录、具体时间等；
- c) 测量数据图表，包括测量项目的初始值、变化值、断面图、测量项目位置图等；
- d) 测量数据、巡视信息的分析与其他说明；
- e) 结论与建议。

10.1.3 总结报告在项目完成后提交。应包括概况、技术设计执行情况、项目最终测绘成果质量评估、测绘成果及资料清单等，可按照附录 I 编制。

10.2 数据格式要求

10.2.1 原始文件由扫描仪直接导出。

10.2.2 点云数据宜采用 xyz、pts、las、laz 格式，数据文件应含有点位坐标信息和原始激光反射率信息。

10.2.3 影像数据宜采用 tiff 或 jpeg 格式。

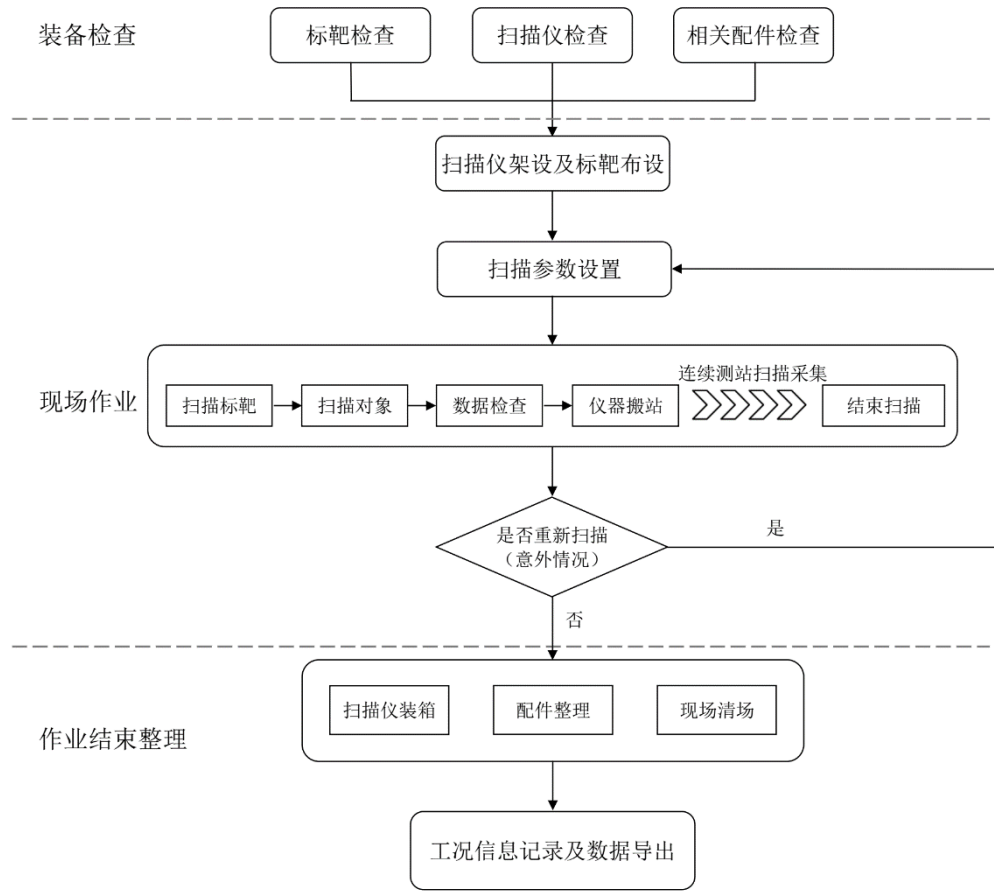
10.3 数据存储

10.3.1 测量点云数据可按线路站点区间进行数据分段存储和编号。

10.3.2 原始数据信息应存储在同一目录下，包含以下内容：

- a) 数据基本描述信息，包括坐标系、点云密度、范围、采集时间等；
- b) 数据处理信息，包括采集单位、处理单位、产权单位、数据处理方法等；
- c) 数据存储信息，包括存储格式、有效期等。

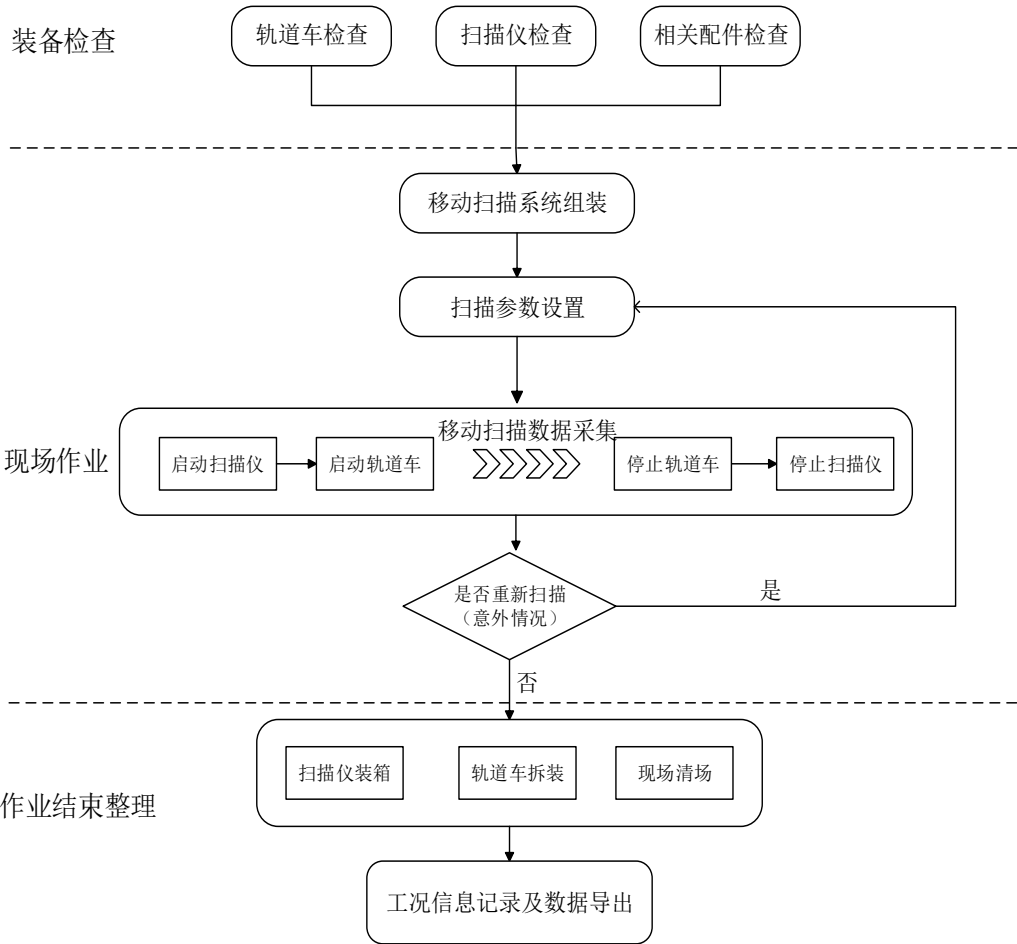
附录 A
(资料性附录)
架站式外业扫描作业流程



附录 B
(资料性附录)
三维激光扫描日志

序号	线路名称	线路区间	线别	扫描时间	里程/环片区间	扫描公里数	扫描仪参数设置	数据文件名	扫描现场异常情况	扫描站点分布
1										
2										

附录 C
(资料性附录)
移动式外业扫描作业流程



附录 D
(资料性附录)
隧道收敛及椭圆度检测成果汇总表

XXX-XXX 区间右线逐环收敛检测表								
序号	里程	环号	椭圆长轴 (m)	椭圆短轴 (m)	偏转角 (°)	水平直径 (m)	椭圆度 (°)	差值

附录 E
(资料性附录)
盾构隧道管片错台成果检测汇总表

XXX-XXX 区间右线错台分析报表						
环片宽度(m):			隧道内径(m):		两点间最大 间隔(mm):	
序号	序号	环片左侧里程	环片右侧里程	起止角度 (°)	错台弧长 (m)	平均错台 量(mm)

附录 F
(资料性附录)
F 隧道限界检测成果图

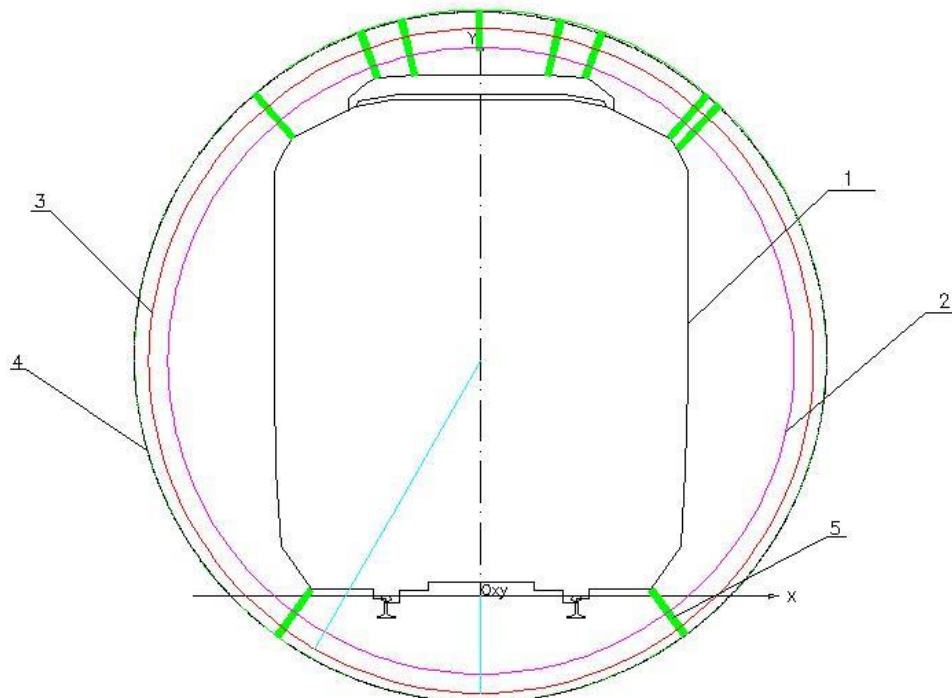


图1 圆形隧道各种限界之间关系

1-车辆轮廓线 2-设备限界 3-建筑限界 4-点云拟合隧道内壁 5-限界值

附录 G
(资料性附录)
隧道病害检测成果汇总表

XXX-XXX 区间右线隧道病害检测结果					
线别:	地铁 X 号线			左/右线:	右线
线路区间:				里程桩号:	
检查日期:				制表:	
序号	里程	环号	病害类型	角度(°)	病害区域面积(m2)

附录 H
(资料性附录)

H.1 架站式激光点云成果的质量元素、权重、错漏分类表

序号	质量元素	权重	检查项	权重	检查内容	错漏分类			
						A (严重错漏)	B (错漏)	C (一般错漏)	D (轻微错漏)
1	几何精度	0.2	控制精度	1.0	控制点相对位置关系检查	不满足用户的规定	—	—	—
2		0.3	测站配准精度	0.4	标靶点配准误差	不满足用户的规定	—	—	—
3			点云位置精度	0.6	特征点云三维坐标与实测值计算的中误差	中误差不满足用户的规定	—	—	—
4	点云质量	0.2	密度	0.5	稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例	稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>3	3>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>2	2>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1.5	1.5>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1
5			点云一致性	0.5	同一结构目标扫描点云的一致性	变形严重,严重影响目标识别	变形明显,影响目标识别	变形不明显,影响目标识别	—
6	完整性	0.2	点云异常	0.5	站扫激光点云的错位或丢失	站扫激光点云存在错位或丢失	—	—	—
7			点云漏扫	0.5	配准后激光点云漏扫	存在明显的结构漏扫区域	—	—	—
8	附件质量	0.1	元数据	1.0	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	—	—	—

H.2 移动式激光点云成果的质量元素、权重、错漏分类表

序号	质量元素	权重	检查项	权重	检查内容	错漏分类			
						A（严重错漏）	B（错漏）	C（一般错漏）	D（轻微错漏）
1	几何精度	0.5	点云线扫描精度	0.5 （无绝对控制时取1.0）	扫描线上特征点间距计算的中误差	中误差满足用户的规定	—	—	—
2			点云位置精度	0.5 （无绝对控制时取0.0）	特征点云三维坐标与实测值计算的中误差				
3	点云质量	0.2	密度	0.5	点云的纵向和横向密度是否均匀，是否满足用户的要求	点云密度占用户要求的点云密度的比例<50%	50%≤点云密度占用户要求的点云密度的比例<70%	70%≤点云密度占用户要求的点云密度的比例<90%	90%≤点云密度占用户要求的点云密度的比例<95%
4			点云一致性	0.5	面状结构扫描点云的一致性	变形严重，严重影响断面量测	变形明显，影响断面量测	变形不明显，影响断面量测	—
5	完整性	0.2	点云丢失	0.5	移动激光点云存在丢失	移动激光点云丢失比例≥5%	2%≤移动激光点云丢失比例<5%	1%≤移动激光点云丢失比例≥2%	0.5%≤移动激光点云丢失比例≥1%
6			点云漏扫	0.5	连续展开的移动激光点云	存在明显的不连续漏扫区段	—	—	—
7	附件质量	0.1	元数据	1.0	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	—	—	—

H.3 激光点云展开影像成果的质量元素、权重、错漏分类表

序号	质量元素	权重	检查项	权重	检查内容	错漏分类			
						A（严重错漏）	B（错漏）	C（一般错漏）	D（轻微错漏）
1	精度	0.2	影像里程精度	0.5	展开影像上的特征位置里程	影像上的特征里程与实测里程差超过用户的规定	—	—	—
2			影像横向精度	0.5	展开影像上的特征位置横向坐标	影像上的特征横向坐标与实测值之差超过用户的规定	—	—	—
3	影像质量	0.4	明暗度	0.5	影像明暗是否均匀	影像严重明暗不均，无法辨认出目标	影像明暗不均，不影响主要目标的识别	影像明暗不均，不影响目标的识别	影像明暗轻微不均，不影响目标的识别
4			清晰度	0.5	影像画面是否清晰	影像模糊，无法辨认出目标，有大片噪声	影像轻微模糊，有轻微噪声，不影响主要目标的识别	影像轻微模糊，有轻微噪声，不影响目标的识别	其他轻微影像质量问题
5	完整性	0.3	缺失	0.5	影像画面存在缺失	画面缺失占整个画面的比例 $\geq 5\%$	$2\% \leq$ 画面缺失占整个画面的比例 $< 5\%$	$1\% \leq$ 画面缺失占整个画面的比例 $\geq 2\%$	极少细微画面缺失，不影响使用
6			损坏	0.5	影像完好无损	影像损坏，不能打开	—	—	—
7	附件质量	0.1	元数据	1.0	元数据文件的完整性	必填项不完整	—	—	—

H.4 断面数据成果的质量元素、权重、错漏分类表

序号	质量元素	权重	检查项	权重	检查内容	错漏分类			
						A（严重错漏）	B（错漏）	C（一般错漏）	D（轻微错漏）
1	断面点数据质量	0.5	点密度	0.4	断面点的均匀度及密度	稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>3	3>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>2	2>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1.5	1.5>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1
2			断面点精度	0.4	断面特征点间距检测中误差	中误差不能满足用户的规定	—	—	—
3			非结构点剔除	0.2	断面特征参数提取时非结构点剔除情况	未剔除的非结构点占全部非结构点的比例>15%	15%>=未剔除的非结构点占全部非结构点的比例>10%	10%>=未剔除的非结构点占全部非结构点的比例>5%	5%>=未剔除的非结构点占全部非结构点的比例>3%
4	提取参数数据质量	0.3	椭圆度	1.0	提取值与断面点的吻合度	不吻合值超过15mm	15>=不吻合值>10mm	10>=不吻合值>5mm	5>=不吻合值>3mm
5			横向收敛						
6			竖向收敛						
7	完整性	0.2	缺失	1.0	断面上结构点缺失情况	结构点缺失比例超过30%	30%>=结构点缺失比例>25%	25%>=结构点缺失比例>20%	20%>=结构点缺失比例>10%
8	附件质量	0.1	元数据	1.0	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	—	—	—

H.5 限界数据成果的质量元素、权重、错漏分类表

序号	质量元素	权重	检查项	权重	检查内容	错漏分类			
						A（严重错漏）	B（错漏）	C（一般错漏）	D（轻微错漏）
1	断面点数据质量	0.5	点密度	0.5	断面点的均匀度及密度	稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>3	3>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>2	2>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1.5	1.5>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1
2			断面点精度	0.5	断面特征点间距检测中误差	中误差不满足用户的规定	—	—	—
3	限界提取质量	0.3	提取限界值	1.0	提取限界值与断面点的吻合度	不吻合值超过 15mm	15>=不吻合值>10mm	10>=不吻合值>5mm	5>=不吻合值>3mm
4	完整性	0.2	缺失	1.0	限界值提取缺失情况	最小限界提取缺失	—	—	—
5	附件质量	0.1	元数据	1.0	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	—	—	—

H.6 错台数据成果的质量元素、权重、错漏分类表

序号	质量元素	权重	检查项	权重	检查内容	错漏分类			
						A（严重错漏）	B（错漏）	C（一般错漏）	D（轻微错漏）
1	断面点数据质量	0.5	点密度	0.5	断面点的均匀度及密度	稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>3	3>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>2	2>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1.5	1.5>=稀疏处点云平均间距与用户要求的点云平均间距的比例>1
2			断面点精度	0.5	断面特征点间距检测中误差	中误差不满足用户的规定	—	—	—
3	错台提取质量	0.3	提取的错台量	1.0	提取错台量与实测错台量的吻合度	不吻合值超过 8mm	8>=不吻合值>6mm	6>=不吻合值>4mm	4>=不吻合值>3mm
4	完整性	0.2	缺失	1.0	错台值提取缺失情况	缺失比例大于 50%	—	—	—
5	附件质量	0.1	元数据	1.0	元数据文件的完整性	必填项不完整	—	—	—

附录 I
(资料性附录)
总结报告内容

项目总结报告编制	内容要求
项目概述	1) 业主单位名称、项目内容、工作量，项目的组织和实施情况； 2) 项目执行情况：说明生产任务安排与完成情况； 3) 作业区概况和已有资料利用情况。
技术设计执行情况	1) 说明生产所依据的技术性文件，包括测绘技术设计书及设计更改内容、有关的技术规范、规程和标准； 2) 说明和评价测绘技术活动过程中，项目测绘技术文件和有关技术性规范、规程的执行情况，重点说明测绘生产过程中技术设计书的更改内容、变更原因等； 3) 重点描述项目实施过程中出现的主要技术问题和处理方法、特殊情况的处理及其达到的效果等； 4) 说明项目实施中质量保证措施的执行情况，包括组织管理措施、资源保证措施和质量控制措施以及数据安全措施； 5) 新技术、新方法、新材料应用情况； 6) 总结项目实施中的经验、教训和遗留问题，并对今后生产提出改进意见和建议； 7) 说明和评价项目最终测绘成果的质量情况，成果达到的技术指标。
测绘成果资料	1) 测绘成果的名称、数量、类型等，当上交成果的数量或范围有变化时需附上交成果分布图； 2) 文档资料：包括测绘技术设计书及有关设计变更文件、测绘技术总结，质量检查报告等； 3) 其他须上交和归档的资料。
成果材料附录	1) 成果清单； 2) 设备检校的相关资料（含测绘仪器检定证书）； 3) 原始测量数据文件、通用点云数据、工程扫描测量成果资料； 4) 控制测量与计算资料； 5) 标靶布设与测量资料； 6) 外业扫描记录； 7) 内业数据处理记录； 8) 项目设计书； 9) 项目总结报告； 10) 质量检查报告与验收报告； 11) 其他相关资料。