

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 144 – 2023

隧道与地下工程三维激光扫描
测量技术标准

Standard for three-dimensional laser scanning surveying
technology in tunnel and underground engineering

2023-11-15 发布

2024-02-15 实施

深圳市住房和城乡建设局 发布

深圳市工程建设地方标准

隧道与地下工程三维激光扫描
测量技术标准

Standard for three-dimensional laser scanning surveying technology
in tunnel and underground engineering

SJG 144 - 2023

2023 深 圳

前 言

根据《深圳市住房和建设局关于发布 2020 年深圳市工程建设标准制订修订计划项目的通知》（深建标〔2020〕2 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，结合深圳市的实际，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准主要技术内容是：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.技术准备；5.架站式外业扫描及数据处理；6.移动式外业扫描及数据处理；7.成果编制；8.成果质量控制；9.成果移交与存储。

本标准由深圳市住房和建设局批准发布，由深圳市住房和建设局业务归口并组织深圳市地铁集团有限公司、深圳市市政设计研究院有限公司等编制单位负责技术内容的解释。本标准实施过程中如有意见或建议，请寄送深圳市市政设计研究院有限公司（地址：深圳市福田区笋岗西路 3007 号市政设计大厦，邮编 518029），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：深圳市地铁集团有限公司

深圳市市政设计研究院有限公司

本标准参编单位：深圳地铁建设集团有限公司

深圳地铁运营集团有限公司

深圳铁路投资建设集团有限公司

深圳市交通公用设施管理处

深圳市交通公用设施建设中心

武汉大学

深圳大学

深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心

深圳市规划和自然资源调查测绘中心

深圳市勘察测绘院（集团）有限公司

深圳市勘察研究院有限公司

深圳地质建设工程公司

武汉天宝耐特科技有限公司

广州欧徕测绘技术有限公司

广州南方测绘科技股份有限公司

中电建南方建设投资有限公司

自然资源部测绘标准化研究所

本标准主要起草人员：孙 波 刘树亚 傅晓珊 贺 彬 潘健英

李 围 李源潮 郭桃明 梅文胜 朱家松

黄庆彬 银 霞 禹 良 刘辉喜 陈 灯

李衍航 叶 飞 万小聪 尉永平 黄鸿伟

段景川 刘站科 马聪丽 邵 勇 李雷生

乔芷兮 李中洲 陈远鸿 汪旭伟 吴礼程

贾 磊 徐剑敏 陈卫东 周才文 武鸿印

本标准主要审查人员：王双龙 陈 鸿 曾联斌 陈 伟 张东升

付仁俊 王维林

本标准主要指导人员：宋 延 李伟雄

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
3.1	空间与时间参考系	3
3.2	仪器选择与校准	3
3.3	数据安全及保密	3
4	技术准备	4
4.1	资料收集及分析	4
4.2	技术设计	4
4.3	控制测量	4
4.4	扫描作业前检查	7
5	架站式外业扫描及数据处理	8
5.1	仪器要求	8
5.2	外业扫描	8
5.3	数据处理	10
6	移动式外业扫描及数据处理	11
6.1	仪器要求	11
6.2	外业扫描	11
6.3	数据处理	12
7	成果编制	14
7.1	三维激光扫描竣工成果编制	14
7.2	形变检测成果编制	15
7.3	限界检测成果编制	15
7.4	结构病害检测成果编制	15
8	成果质量控制	16
8.1	成果质量检查	16
8.2	成果验收	16
8.3	质量要求	17
9	成果移交与存储	18
9.1	移交内容	18
9.2	数据格式要求	18
9.3	数据存储	18
9.4	成果归档	18
	附录 A 成果的质量元素、权重、错漏分类表	19
	附录 B 三维扫描成果样表	25
	本标准用词说明	26
	引用标准名录	27
	附：条文说明	28

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
3	Basic Requirement	3
3.1	Spatial Reference System	3
3.2	Time Reference System	3
3.3	Instrument Calibration and Selection	3
4	Technical Preparation	4
4.1	Document Collection and Analysis	4
4.2	Technical Design	4
4.3	Control Survey	4
4.4	Pre-checking	7
5	Station Field Scanning and Data Processing	8
5.1	Instrument Requirements	8
5.2	Field Scanning	8
5.3	Data Processing	10
6	Mobile Field Scanning and Data Processing	11
6.1	Instrument Requirements	11
6.2	Field Scanning	11
6.3	Data Processing	12
7	Results Compilation	14
7.1	3D Scanning Completion Results Compilation	14
7.2	Deformation Detection Results Compilation	15
7.3	Limitation Bound Detection Results Compilation	15
7.4	Structural Disease Detection Results Compilation	15
8	Quality Control	16
8.1	Quality Inspection	16
8.2	Result Acceptance	16
8.3	Quality Requirements and Item Quality Elements	17
9	Results Submission and Storage	18
9.1	Submission Contents	18
9.2	Data Format and Requirements	18
9.3	Data Storage	18
9.4	Result Archiving	18
Appendix A	Quality Elements, Weights, Errors and Omissions Classification Table of the Results	19
Appendix B	3D Scanning Results Sample Table	25
	Explanation of Wording in This Standard	26
	List of Quoted Standards	27
	Addition: Explanation of Provisions	28

1 总 则

1.0.1 为了适应深圳市轨道交通、地下空间等地下基础设施的迅速发展过程中对三维测量数据的迫切需求，规范三维激光扫描测量技术在深圳市隧道与地下工程测量和变形监测中的应用，做到安全适用、技术先进，确保质量、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳市行政区内的交通、水务、电力、综合管廊等隧道与地下工程的三维激光扫描测量和变形监测工程。

1.0.3 深圳市隧道与地下工程三维激光扫描测量工作除应符合本标准外，尚应满足行业和国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 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。

2.0.2 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。

2.0.3 拟合扫描路线 connecting scanning route

从一个已知点开始，到另一个已知点结束，所完成的扫描路线叫拟合扫描路线。

2.0.4 点云抽稀 point cloud thinning

按照一定的规则，尽量保留原有点云特征信息，对过密的点云数据进行精简以减少数据量。

2.0.5 隧道椭圆度 tunnel ovality

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

2.0.6 断面收敛 cross section convergence

同一隧道断面结构壁上两点间在该直线方向上距离的相对变化。

2.0.7 错台 step

相邻管片接缝处的偏差。

2.0.8 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。

2.0.9 降噪 denoise

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。

2.0.10 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。

2.0.11 限界 gauge

保障城市轨道交通安全运行，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。

2.0.12 架站式扫描 station scanning

将三维激光扫描仪安置在固定架上进行静态扫描的作业方式。

2.0.13 移动式扫描 mobile scanning

以移动作业平台为载体，搭载三维激光扫描仪进行动态扫描的作业方式。

2.0.14 惯性测量单元 inertial measuring unit

由3个正交安装的单轴陀螺仪或2个正交安装的双轴陀螺、3个正交安装的加速度计、相关辅助电路及结构体等部分构成，用于测量运动载体的三维角速度和非引力加速度（比力）的装置。

3 基本规定

3.1 空间与时间参考系

- 3.1.1 隧道与地下工程三维激光扫描作业的平面坐标系应采用 2000 国家大地坐标系，当确有必要采用其他坐标系时，应与 2000 国家大地坐标系建立联系。
- 3.1.2 隧道与地下工程三维激光扫描作业的高程基准应采用 1985 国家高程基准。
- 3.1.3 隧道与地下工程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。

3.2 仪器选择与校准

- 3.2.1 仪器设备应在检校合格有效期内，采用的软件应经过测试。
- 3.2.2 当存在下列情况之一时，应按国家计量规范《地面激光扫描仪校准规范》JJF 1406 有关规定对仪器设备进行校准：
 - 1 新仪器启用前；
 - 2 遭受严重撞击或其他损害；
 - 3 仪器原因导致数据异常时；
 - 4 其他异常情况。
- 3.2.3 作业人员应根据工程要求的扫描精度等级选择仪器。

3.3 数据安全及保密

- 3.3.1 扫描成果生产应对生产过程中数据进行安全管理，对作业人员、要害部门部位、计算机和网络、存储载体等管理进行明确规定。未经许可不得擅自复制、拷贝或通过公开网络传输扫描成果数据。
- 3.3.2 扫描成果生产和使用应严格实行登记管理制度，在扫描成果保管、领用、复制、销毁各环节应建立登记台账，定期清查、核对。
- 3.3.3 扫描成果存储介质不得在涉密计算机和非涉密计算机上交叉使用。处理、存储扫描成果的计算机和网络应照国家要求采取安全防护措施。

4 技术准备

4.1 资料收集及分析

4.1.1 作业人员在三维激光扫描作业前宜收集下列资料：

- 1 扫描对象的设计资料及竣工资料；
- 2 扫描对象附近已有的平面、高程控制点、地形图等资料；
- 3 扫描对象的前期变形监测成果；
- 4 与扫描对象相关的其他资料；
- 5 已有的三维激光扫描成果。

4.1.2 作业人员应对本标准第 4.1.1 条规定的收集到的资料的现势性和准确性进行分析。

4.2 技术设计

4.2.1 技术设计书应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 扫描对象的现状及周边情况；
- 3 已有资料的收集与分析；
- 4 作业依据及技术要求；
- 5 仪器及扫描方式的选择；
- 6 作业流程；
- 7 数据采集；
- 8 数据处理；
- 9 成果编绘；
- 10 进度计划、质量要求、安全控制；
- 11 成果提交；
- 12 应急预案；
- 13 巡查记录表。

4.2.2 技术设计书应通过编制单位审核，可通过建设单位、项目委托单位等审批。

4.3 控制测量

4.3.1 作业人员进行控制测量时，应利用隧道与地下工程施工期间设置的控制点，并对其进行检核，确认其稳定可靠后方可使用，如有破坏应进行补测或重测。

4.3.2 地面平面控制网应分为二等线路控制网、三等线路加密控制网两个等级，应分别采用卫星定位、精密导线方法，并应分级布设、逐级控制。

4.3.3 地面高程控制网布设范围应与地面平面控制网相适应，并按二等线路控制网等级施测。

4.3.4 二等线路控制网应采用卫星定位方法进行测量，并应符合下列规定：

- 1 卫星定位控制测量应符合表 4.3.4 的规定：

表 4.3.4 卫星定位控制测量技术要求

控制网等级	平均边长 (km)	固定误差 a (mm)	比例误差系数 b (mm/km)	相邻点的相对点位 中误差 (mm)	最弱边相对中误差
二等	2	≤5	≤5×10 ⁻⁶	±10	1/100000

注：平均边长统计不包含已知点与待测点的连接边。

2 卫星定位控制网设计、选点、测量技术要求、外业测量及内业数据处理应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 和行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定；

3 卫星定位控制网基线长度精度宜按下式计算：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (4.3.4)$$

式中：

σ ——基线长度中误差 (mm)；

a ——固定误差 (mm)；

b ——比例误差系数 (mm/km)；

d ——相邻点间距 (km)。

4.3.5 三等线路加密控制网应沿建设线路两侧布设，并应采用精密导线网测量方法施测。精密导线网应采用附和导线、闭合导线或结点导线网形式。

4.3.6 精密导线网测量、观测技术要求、数据处理应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 的有关规定。

4.3.7 地面高程控制网应采用水准测量方法施测，并应符合下列规定：

1 水准测量作业前检查应符合国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 的有关规定，对所使用的水准仪和标尺进行常规检查与校正；

2 二等水准测量应符合表 4.3.7 的规定：

表 4.3.7 二等水准测量技术要求

水准测量等级	每千米高差中数 中误差 (mm)		环线或附和 水准路线最 大长度 (km)	水准仪 等级	水准尺	观测次数		往返较差、 附和或环线 闭合差 (mm)
	偶然 中误差	全中误差				与已知 点联测	附和或环 线	
二等	±2	±4	40	DS1	钢瓦尺或条 码尺	往返测 各一次	往返测各 一次	±8√L

注：L为往返测段、附和或环线的路线长度 (单位 km)。

4.3.8 联系测量应包括地面近井导线测量、近井水准测量以及通过竖井、平峒、钻孔的定向测量和传递高程测量，并应符合下列规定：

1 地下工程竣工后，宜在车站、风井等位置预留 2 个以上联系测量孔，孔上方的地面位置应方便与精密导线点联测，并设永久性保护井与保护盖，孔下方应可铅直投影至隧道中线附近位置；

2 地面近井点包括平面和高程近井点，应埋设在井口附近便于观测和保护的位置，并有显著标识；

3 地面平面近井点可利用精密导线点测设，并应符合下列规定：

1) 进行导线点加密时，地面平面近井点与精密导线点应构成附和或闭合导线；

- 2) 平面近井点应按本标准第 4.3.6 中精密导线网测量的规定施测，最短边长应大于 50m，近井点的点位中误差允许范围应为 $\pm 10\text{mm}$ ；
 - 3) 高程近井点应利用二等水准点测定，并应构成附合或闭合水准路线。高程近井点应按本标准第 4.3.7 中二等水准测量的规定施测。
- 4 采用一井定向、两井定向、陀螺全站仪和铅垂仪组合定向、导线直接传递测量和投点定向法时，应符合国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 的有关规定；
- 5 高程传递测量可采用悬挂钢尺法、电磁波测距三角高程法、水准测量法和电磁波测距法，并应符合下列规定：
- 1) 采用悬挂钢尺法进行高程传递测量时，每次应独立观测三测回，测回间应变动仪器高，三测回测得地上、地下水准点间的高差较差应小于 3mm；
 - 2) 电磁波测距法传递高程时，应符合国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 的有关规定；
 - 3) 当明挖施工或暗挖施工通过斜井进行高程传递测量时，可采用水准测量方法。
- 4.3.9** 地下控制测量应包括地下平面控制测量和地下高程控制测量，并应符合下列规定：
- 1 直接从地面通过联系测量传递到地下的测量成果应作为地下平面和高程控制测量起算点；
 - 2 每次进行平面、高程控制测量前应对地下平面和高程起算点进行检测。
- 4.3.10** 地下平面控制测量应符合下列规定：
- 1 曲线隧道控制点间距不应小于 60m，隧道内控制点间平均边长宜为 120m；
 - 2 控制点应避开强光源、热源、淋水等地方，控制点间视线距隧道壁或设施应大于 0.5m；
 - 3 地下平面控制测量应符合国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 中基标、加密基标的施测有关规定。
- 4.3.11** 地下高程控制测量可采用水准测量或三角高程测量方法，其精度等级可根据项目需要分为二等、三等和四等，并应符合下列规定：
- 1 高程控制测量应采用二等水准测量方法，并应起算于地下近井水准点；
 - 2 地下高程控制点应构成附合水准路线，单独埋设时宜每 200m 埋设一个，也可利用地下导线点；
 - 3 地下高程控制测量的方法和精度，应符合本标准第 4.3.7 条中二等水准测量的规定。
- 4.3.12** 任意设站控制网测量应符合下列规定：
- 1 控制点标识应清晰、齐全、便于准确识别和使用。控制点沿线路宜成对布设，各对控制点间距根据通视情况宜在 30m~60m 之内，分别埋设于地下隧道侧墙上、站台廊檐侧面、高架桥面两侧防撞墙上、地面段接触网杆内侧等，埋设高度应根据设备布置情况确定。控制点应设置在稳固、不易破坏和便于测量的地方，宜位于轨道面以上 0.3m 处；
 - 2 同一条线路应采用统一的控制点标志；
 - 3 控制网水平方向应采用边角交会观测法进行观测。分组观测时，应采用同一归零方向，并应重复观测一个方向；
 - 4 任意设站平面控制网观测时，每个任意测站观测不宜少于 4 对控制点，其中重复观测控制点不宜少于 3 对。任意测站间距宜为 30m~60m，任意测站到控制点的最远观测距离不宜大于 120m，每个控制点应有 3 个任意测站的方向和距离观测值；
 - 5 在高架段和地面段，任意设站高程控制网控制应符合本标准第 4.3.7 条中二等水准测量技术规定；在地下隧道段，宜采用自由测站三角高程测量方法，与平面测量同时进行。

4.4 扫描作业前检查

4.4.1 架站式扫描系统装备检查应包括一般检查、通电检查、功能检查三种检查形式，并应符合下列规定：

1 一般检查时，应检查扫描仪主机及基座、标靶、磁性底座、三脚架等附件是否齐全、外观和性能是否完好；

2 通电检查时，扫描仪应通电开机查看确定是否可正常工作；

3 功能检查时，应校正扫描仪距离及角度参数、开启自动整平装置，并应及时检查扫描仪平整度是否在补偿范围之内。

4.4.2 移动式扫描系统装备检查应包括一般检查、通电检查、功能检查三种检查形式，并应符合下列规定：

1 一般检查时，应检查扫描仪主机外观和性能是否完好，系统各分解部件是否完整、连接是否稳固，行走部件是否平顺；

2 通电检查时，扫描仪应通电开机查看确定是否可正常工作；

3 功能检查时，应校正扫描头姿态，并应检查里程定位是否正确。

5 架站式外业扫描及数据处理

5.1 仪器要求

5.1.1 作业人员应根据工程要求的扫描精度等级选择仪器。点云精度与技术指标应符合表 5.1.1 的规定：

表 5.1.1 扫描精度等级参数表

地面三维激光扫描仪类型	扫描精度等级		扫描仪标称精度	特征点间距中误差 (mm)	点位相对于邻近控制点 中误差 (mm)	最大点间距 (mm)
	一等	相对 绝对				
站式	一等	相对	$\leq 18''$, 2mm	≤ 2	≤ 2	≤ 3
		绝对		≤ 2	≤ 5	≤ 5
	二等	相对	$\leq 21''$, 3mm	≤ 5	≤ 10	≤ 10
		绝对		-	≤ 15	≤ 15
全站式	一等	相对	$\leq 1''$, 1mm+1.5ppm	≤ 2	≤ 2	≤ 8
		绝对		≤ 2	≤ 10	≤ 16

5.2 外业扫描

5.2.1 外业扫描作业流程宜由装备检查、仪器架设、参数设置、数据采集和现场清理组成，详细作业流程宜符合本标准图 5.2.1 的规定。

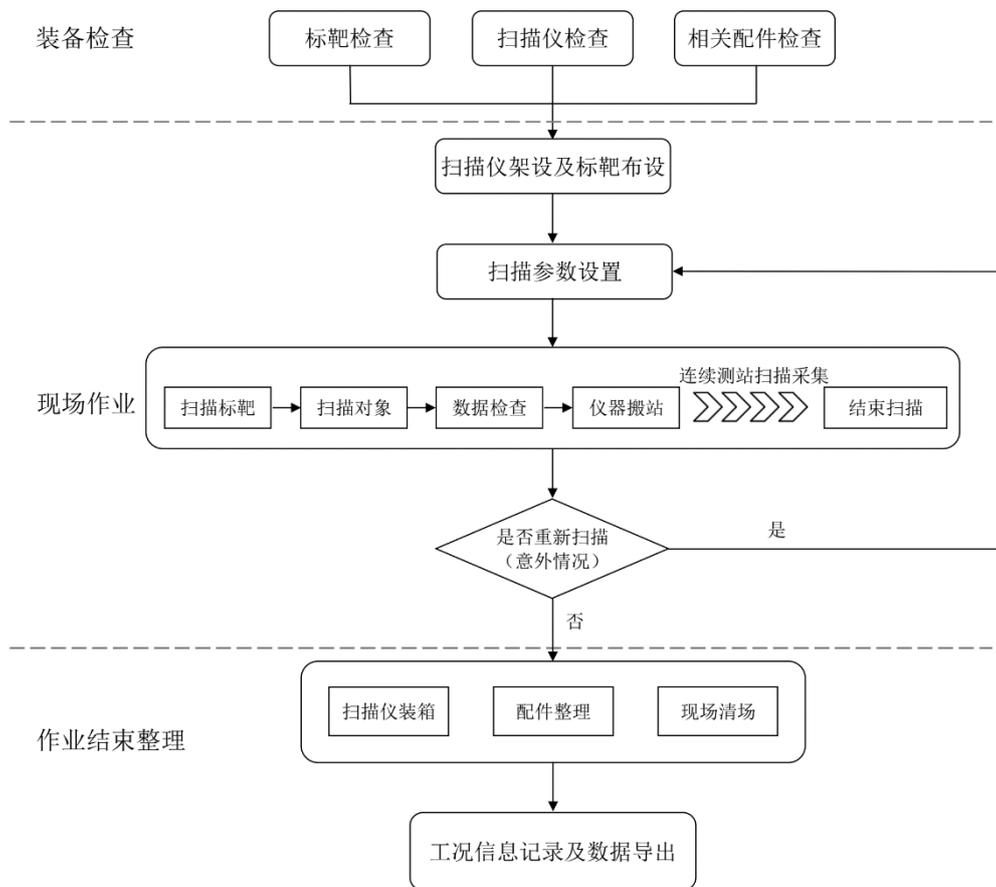


图 5.2.1 架站式外业扫描作业流程

5.2.2 扫描仪设置应符合下列规定：

- 1 扫描分辨率的设置应符合本标准表 5.1.1 中最大点间距的规定；
- 2 扫描仪应安置在稳固的区域，作业过程中应防止设备晃动；
- 3 外业扫描时，作业前仪器宜放置在作业环境中 30 分钟以上。

5.2.3 扫描仪设站应符合下列规定：

- 1 扫描精度等级为一等时，相邻两个测站位置的架设间距宜小于 30m；
- 2 扫描精度等级为二等时，相邻两个测站位置的架设间距宜小于 50m；
- 3 项目成果要求采用绝对坐标时，宜采用后方交会设站、附和扫描线路设站或扫描具有绝对坐标的标靶进行转换；
- 4 项目成果不要求采用绝对坐标时，宜优先选用后方交会或附和扫描路线设站，也可根据现场环境灵活进行设站。

5.2.4 标靶布设应符合下列规定：

- 1 扫描期间标靶应保持稳固，宜放置在固定装置或特制的磁性基座上；
- 2 扫描精度等级为一等时，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少于 3 个；
- 3 扫描标靶应在水平面上均匀布置且不在同一直线上，高程上宜错落分布。

5.2.5 标靶扫描应符合下列规定：

- 1 扫描精度等级为一等时，在依据现场实际情况扫描完成后可单独对标靶重新扫描。标靶

应采用特制的球形靶或标靶板；

2 每站扫描结束前应检查标靶扫描点云数据，应确认标靶的扫描点云数据完整后再结束扫描并搬站。

5.2.6 现场扫描应符合下列规定：

1 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；

2 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。标靶设置应符合本标准第 5.2.5 条的规定；

3 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、控制点使用情况等信息，系统报警、死机等非正常作业情况应详细记录；

4 扫描过程中出现断电、死机、仪器位置变动等异常情况，应重新进行设备检查。检查通过后，应进行初始化并重新扫描；

5 相邻两测站的点云重叠度不宜低于 30%；

6 扫描作业结束后，宜对点云数据备份并检查。基本检查项目应包括标靶点云数据完整性、点云分辨率等，并应对异常数据及时补测。两测站之间的点云分辨率应符合本标准表 5.1.1 中规定的最大点间距要求。

5.3 数据处理

5.3.1 数据准备应符合下列要求：

1 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，并应备份原始数据文件；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；

2 对已复核的控制点数据，应整理成已知控制点坐标文件，并通过软件拟合和配准，在点云数据中提取放置于控制点位置的标靶坐标；

3 应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，应根据外业日志文件进行数据处理。

5.3.2 点云配准应符合下列规定：

1 当扫描精度为一等时，可使用已知控制点、标靶球、标靶板进行点云配准。当扫描精度为二等时，可采用控制点、标靶球、标靶板、公共特征点、重叠点云的方式进行点云配准；

2 扫描点云可选择控制点、标靶或地物特征点进行拼接，应采用不少于 3 个同名点，拼接后同名点的点位中误差不应低于本标准表 5.1.1 中特征点间距中误差的 1/2；

3 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，配准后同名点的配准残余中误差应不大于本标准表 5.1.1 中规定的精度等级要求中误差的 1/2。

5.3.3 点云降噪和抽稀应符合下列规定：

1 点云降噪应根据项目成果要求，以不影响成果解算为参考，剔除无关点云数据，保留和成果相关的点云数据；

2 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本标准表 5.1.1 中对应精度等级的最大点间距要求。

6 移动式外业扫描及数据处理

6.1 仪器要求

6.1.1 采用移动式外业扫描的三维激光扫描仪应符合下列规定：

- 1 有效测程内的径向距离标称精度不应大于 2mm；
- 2 数据获取速率不宜小于 50 万点/s，断面测量模式下的转速不宜低于 50Hz。

6.1.2 移动平台应符合下列规定：

1 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；

2 移动平台应根据分辨率要求，按配置的速度行进和扫描，保证螺旋线间隔及每个螺旋线的相邻点间距满足点云分辨率的要求；

3 移动平台宜具有里程计、360 度棱镜等辅助定位设备。

6.1.3 定位系统应符合下列规定：

1 采用绝对测量时，宜配备惯性测量单元（IMU）结合跟踪型全站仪、里程计、标靶点等组合定位；

2 采用相对测量时，宜采用里程计、标靶点组合定位。

6.2 外业扫描

6.2.1 外业扫描作业流程宜由装备检查、系统组装、参数设置、数据采集和现场清理组成，详细作业流程宜符合本标准图 6.2.1 的规定。

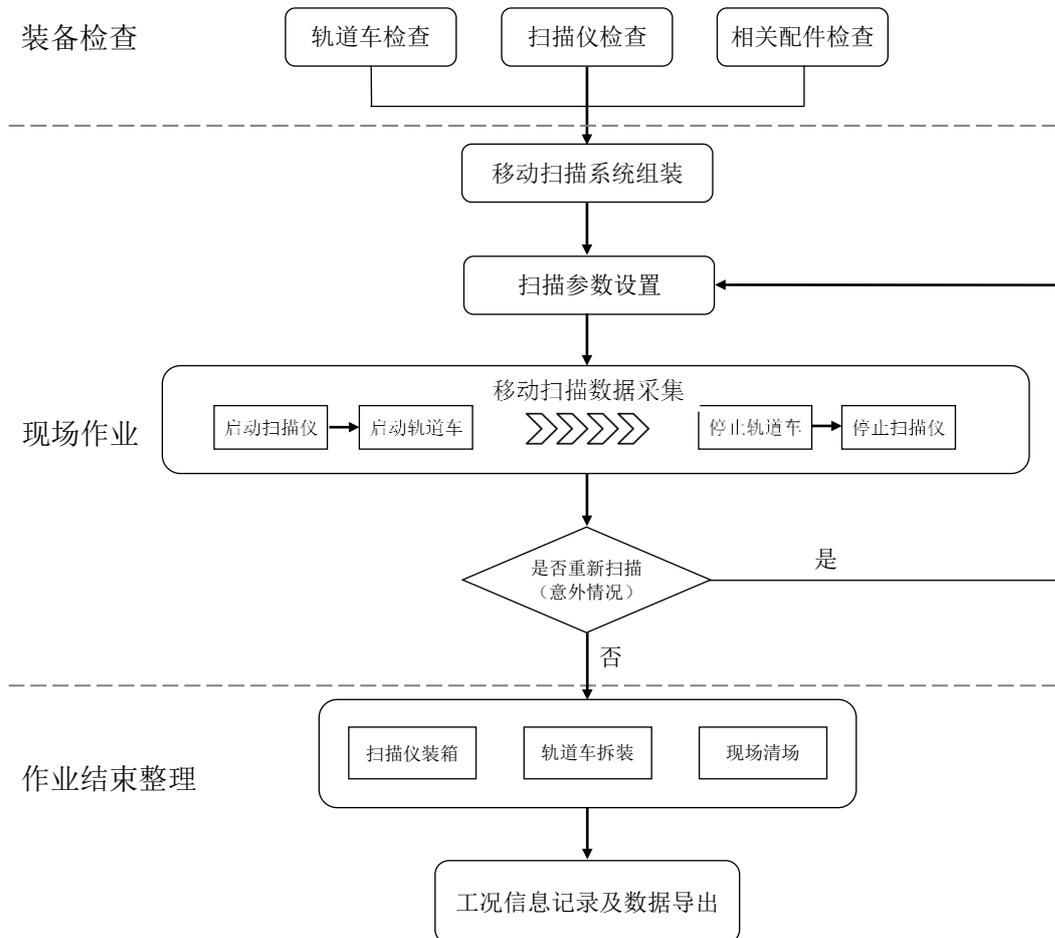


图 6.2.1 移动式外业扫描作业流程

6.2.2 标靶布设应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 标靶应便于全站仪坐标联测和从激光点云集中识别；
- 3 可利用现场明显特征点代替专用标靶。

6.2.3 现场扫描应符合下列规定：

- 1 根据分辨率要求，应配置行进速度和扫描参数；
- 2 扫描作业过程中，应保证扫描头与待测对象通视，禁止任何物件靠近扫描头；
- 3 扫描结束后，应确认扫描数据的完整性；
- 4 现场应记录扫描区间、起始和终点里程、起始和终点隧道环号、设备编号、数据文件名、控制点使用情况、移动平台运行参数等信息，扫描过程若出现死机、断电、系统报警等非正常作业情况应重测并详细记录；
- 5 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。

6.3 数据处理

6.3.1 点云配准应符合下列规定：

- 1 点云应先根据惯导系统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；
 - 2 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，应进行上、下行线扫描数据的配准；
 - 3 点云配准后宜分区段、分区间或全线形成连续的三维点云模型。
- 6.3.2** 点云校正应符合下列规定：
- 1 应利用收集到的断链数据进行里程校正；
 - 2 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，应进行上、下行线扫描数据的里程校正。
- 6.3.3** 点云生成影像数据处理应符合下列规定：
- 1 应建立影像与真实物纹理投影关系；
 - 2 影像分辨率和对比度应满足病害识别的需要；
 - 3 采用反射率强度生成灰度影像时，宜采用等面积投影。

7 成果编制

7.1 三维激光扫描竣工成果编制

7.1.1 隧道竣工成果编制应符合下列规定：

1 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制；

2 隧道土建竣工成果编制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；

3 铺轨及设备安装后竣工成果编制应包含下列内容：

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。

4 利用配准后的点云成果编制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；

5 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，盾构隧道可选用分块圆形拟合，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，横断面拟合残差应小于等于 5mm；

6 隧道变断面处应分别绘制横断面；

7 编制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；

8 隧道横断面图的剖切间距宜在 1m~6m 之间。

7.1.2 地下空间和附属结构竣工成果编制应符合下列规定：

1 土建竣工、铺轨和设备安装后的成果编制应包含各层平面线划图和剖面线划图，可增加包含地下空间及设备分布图、全景影像等数据；

2 地下空间剖面线划图编制应符合本标准第 7.1.1 条第 4 款、第 5 款的要求；

3 地下空间的横剖面间距，宜在 1m~6m 之间，纵剖面宜位于地下空间建筑的主要轴线及线路中心线上；

4 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；

5 利用点云进行地下空间和设备细部的三维建模，应符合现行行业标准《三维地理信息模型生产规范》CH/T 9016 的规定；

6 应对出入口通道、风道、垂直升降电梯等工程部位分别编制竣工成果；

7 附属结构竣工成果应包括结构平面图和剖面图，编制方法可按地下空间和隧道竣工成果编制要求执行。

7.2 形变检测成果编制

7.2.1 断面收敛成果编制应符合下列规定：

1 隧道收敛成果编制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；

2 测线选取应能体现隧道水平和竖向变形情况，应选取不少于 3 条水平测线和 1 条竖直测线。

7.2.2 椭圆度成果编制应符合下列规定：

1 盾构隧道管片椭圆度成果编制时，应每环计算椭圆度，选取的断面应与管片轴向垂直，按 7.1.1 条第 4、5 款的要求进行横断面拟合，提取椭圆的长短轴，按下列公式计算管片椭圆度：

$$\delta (\%) = 1000 (b - a) / d \quad (7.2.2)$$

式中：

δ ——椭圆度（%）；

b ——长轴（m）；

a ——短轴（m）；

d ——设计管片内直径（m）。

2 椭圆度成果宜采用环号-椭圆度柱状图，并按 6‰，10‰，25‰分区间制作统计图表。

7.2.3 盾构隧道管片错台成果编制时，应包含环间、环内错台，在每个环缝两侧各 5cm 内提取点云，以管片轴向为基准，按等比例角度区间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，提取平均错台量，通过计算超限率标明错台量大于 10mm 的管片并进行成果汇总。

7.2.4 多次形变检测的数据汇总可为阶段性监测成果提供依据。

7.3 限界检测成果编制

7.3.1 限界检测应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。

7.3.2 限界检测应采用人工量取或程序识别方式，识别和提取侵限部位与侵限值。

7.3.3 车辆、设备、建筑限界的检测应计算隧道横断面点云到车辆限界间有效净空，绘制限界检测断面图，以隧道中心为原点，按照 10°间距分区标注出各区域最小净空，并应编制限界检测成果汇总表。

7.4 结构病害检测成果编制

7.4.1 结构病害检测应采用点云灰度和空间信息判断渗漏水、破损、裂缝等结构病害。

7.4.2 作业人员应对结构病害进行成果汇总，宜包含序号、中心里程、环向位置、类型、环号、面积/长度、病害灰度图。

7.4.3 病害概览图宜采用灰度影像图为底图，各病害类型宜采用不同颜色进行标注，标注内容宜包含序号、面积（长度）。

7.4.4 结构权属单位宜建立结构病害数据库或信息管理系统，可对结构病害进行有效的跟踪管理。

8 成果质量控制

8.1 成果质量检查

8.1.1 质量检查应包括下列内容：

- 1 控制点资料；
- 2 仪器设备的检定、校准或检验资料；
- 3 线路平纵断面图、限界图等设计资料；
- 4 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；
- 5 测量成果图件及表格；
- 6 三维模型成果；
- 7 技术设计书；
- 8 技术总结报告；
- 9 其他资料。

8.1.2 质量检查应包括下列内容：

1 应按照现行国家标准《测绘成果质量检查与验收》GB/T 24356 有关规定进行两级质量检查，其中过程检查应采用全数检查，最终检查的内业检查比例应为 100%，外业检查比例应不低于 20%；

- 2 检查过程中应留存检查记录；
- 3 测量成果最终检查应编写质量检查报告。

8.2 成果验收

8.2.1 激光扫描测量成果验收应采用抽样核查的方式进行，抽样时应符合下列要求：

- 1 架站式扫描数据抽样时应随机抽取不少于 10%的扫描长度作为样本；
- 2 移动式扫描数据宜以千米为单位划分单位成果，随机抽样的样本量应符合表 8.2.1 规定：

表 8.2.1 批量与样本量对照表

批量 (km)	样本量 (km)
≤3	全数检查
3~20	3
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。

3 内业应对抽取的样本进行全数检查；

4 外业应抽取不少于 20%的样本进行检查。

8.2.2 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。

8.3 质量要求

8.3.1 点云成果精度应符合下列规定：

1 点云成果相对于邻近控制点的中误差应符合本标准表 5.1.1 的有关规定；

2 精度检测时，应符合现行国家标准《测绘成果质量检查与验收》GB/T 24356 中的数学精度检测方法的规定。绝对扫描宜检测点云中易于测定的明显结构特征点，相对扫描宜检测点云中易于测定及计算的结构特征位置处的空间距离。

8.3.2 模型成果质量应符合下列规定：

1 规则模型应与点云成果基本匹配，并应符合现行行业标准《城市三维建模技术规范》CJJ/T 157 中其他三维模型质量检查要求；

2 非规则模型细节应表达合理，模型表面应完整，纹理映射后，图像与模型应无明显偏差。

8.3.3 图件成果质量应符合下列规定：

1 灰度影像图、彩色纹理照片等与配准后的点云成果应建立映射关系。灰度影像图应标注里程、隧道长短链等信息；

2 平面图、立面图、剖面图的图轮廓线应与点云数据符合，结构应完整，构件搭接关系应正确，文字描述、尺寸标注应齐全。

8.3.4 扫描成果的主要质量元素应包含各质量元素的检查项、检查内容及错漏分类，见本标准附录 A。

9 成果移交与存储

9.1 移交内容

- 9.1.1 移交内容应包括测量成果图件及表格、技术总结报告、三维模型成果等。
- 9.1.2 过程测量报告应包括下列内容：
- 1 扫描测量项目概况；
 - 2 现场巡视信息，包括巡视照片、记录、具体时间等；
 - 3 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；
 - 4 测量数据、巡视信息的分析与其他说明；
 - 5 结论与建议。
- 9.1.3 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，其中三维扫描成果表可根据本标准附录 B 编制。

9.2 数据格式要求

- 9.2.1 原始文件数据内容不应修改。
- 9.2.2 点云数据宜采用 xyz、pts、las、laz、pcd、txt 格式，数据文件应含有点位坐标信息和原始激光反射率、扫描角、RGB 颜色值等信息。
- 9.2.3 影像数据宜采用 MrSID、tiff 或 jpeg 格式。

9.3 数据存储

- 9.3.1 原始数据信息应存储在同一目录下，应包含数据基本描述信息、数据处理信息和数据存储信息。
- 9.3.2 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。

9.4 成果归档

- 9.4.1 成果归档资料应包括下列内容：
- 1 成果清单；
 - 2 控制点资料；
 - 3 仪器设备的检定、校准或检验资料；
 - 4 线路平纵断面图、限界图等设计资料；
 - 5 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；
 - 6 测量成果图件及表格；
 - 7 三维模型成果；
 - 8 技术设计书；
 - 9 技术总结报告；
 - 10 其他资料。

附录 A 成果的质量元素、权重、错漏分类表

表 A.0.1 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
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	元数据文件的元数据项的完整性	必填项不完整	-	-	-

表 A.0.2 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	中误差不能满足用户的规定	-	-	-
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	-	-	

表 A.0.3 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	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	-	-	-

表 A.0.4 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	断面数据质量	0.4	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	-	-	-

表 A.0.5 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	0.4	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	-	-	-

表 A.0.6 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	0.4	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	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	-	-	-

附录 B 三维扫描成果样表

表 B.0.1 三维扫描成果样表

环号	测量值 (mm)			备注
	0°-180°	45°-225°	135-315°	
水平最大宽度环号				
xxxx- xxxx 范围环数				

本标准用词说明

- 1 为了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，非这样做不可的用词：
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用词：
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用词：
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用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关的标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《工程测量标准》 GB 50026-2020
- 2 《国家一、二等水准测量规范》 GB/T 12897
- 3 《测绘成果质量检查与验收》 GB/T 24356
- 4 《城市轨道交通设施运营监测技术规范》 GB/T 39559.3-2020
- 5 《城市轨道交通工程测量规范》 GB/T 50308
- 6 《地面激光扫描仪校准规范》 JJF 1406
- 7 《三维地理信息模型生产规范》 CH/T 9016
- 8 《城市测量规范》 CJJ/T 8
- 9 《城市三维建模技术规范》 CJJ/T 157
- 10 《地面三维激光扫描作业技术规程》 CH/Z 3017-2015

深圳市工程建设地方标准

隧道与地下工程三维激光扫描测量技术标准

SJG 144 - 2023

条文说明

目 次

4	技术准备.....	30
4.1	资料收集及分析	30
4.3	控制测量.....	30
4.4	扫描作业前检查	30
5	架站式外业扫描及数据处理.....	31
5.1	仪器要求.....	31
5.2	外业扫描.....	31
5.3	数据处理.....	32
6	移动式外业扫描及数据处理.....	33
6.1	仪器要求.....	33
6.2	外业扫描.....	33
6.3	数据处理.....	34
7	成果编制.....	35
7.2	形变检测成果编制.....	35
7.4	结构病害检测成果编制	36
8	成果质量控制.....	38
8.3	质量要求.....	38
9	成果移交与存储.....	44
9.1	移交内容.....	44
9.2	数据格式要求	44
9.3	数据存储.....	44

4 技术准备

4.1 资料收集及分析

4.1.2 对收集到的资料的现势性和准确性进行分析，是为了验证资料的可用性。

4.3 控制测量

4.3.2 地面平面控制网等级划分依据《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308。

4.3.8 本条第5款第3)条规定当明挖施工或暗挖施工通过斜井进行高程传递测量时，如采用电磁波测距三角高程测量的方法，其测量精度应符合本标准第4.3.7中二等水准测量的规定施测。

4.3.9 本条第2款中指出：“每次进行平面、高程控制测量前，应对地下平面和高程起算点进行检测”，是为了确保其可靠性。

4.4 扫描作业前检查

4.4.1 本条规定了架站式扫描系统作业前装备检查的检查项，其中通电检查时，扫描仪应通电开机查看确定是否可正常工作，包括仪器设站正常、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。

4.4.2 本条规定了移动式扫描系统作业前装备检查的检查项，其中功能检查时，应校正扫描头姿态，将扫描头调整至与轨道正交或与扫描车成固定夹角。

5 架站式外业扫描及数据处理

5.1 仪器要求

5.1.1 表 5.1.1 所列举的两种仪器类型的参数取值：

站式扫描仪名词说明：地面三维激光扫描技术获取的数据由点云和影像组成，不仅记录了扫描对象的坐标数据和尺寸信息，更能自动记录其拓扑与纹理信息，使得传统“点测量”向“形测量”转化，具有如下特点：

- 1 非单点式测量，不需要使用照准部；
- 2 360 度全方位全要素获取数据，无需绘制草图；
- 3 可直接获取被测物体表面三维坐标，无透视投影变形。

（此说明参照 GB 50026-2020《工程测量标准》条文注释解释）

站式扫描仪名词说明：站式三维激光扫描仪在站式扫描仪的基础上增加了高精度角度盘及高倍望远镜，加强了站式设备的测角能力及获取高清晰影像成果的能力；更适用于地下空间中异形结构区的形变、位移、裂缝等检测与实时监测工作。

站式扫描仪（一、二等）：特征点间距中误差、点位相当于临近控制点中误差指标参考了参照《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017-2015，最大点间距中误差指标设定应充分考虑隧道狭窄空间、扫描入射角小、扫描空窗期短等多种客观因素影响，既要满足快速获取连贯多期点云的需求，同时又要满足盾构法隧道收敛变形检测工作的需求（1、通缝管片预警值 $9.6\%D$ 2、错缝管片预警值 $7.2\%D$ 注： D 为隧道外径）深圳既有地铁多为常规 6m 外径也有 16m 外径隧道，所以将最大点间距的取值设定在 6mm-15mm 之间。

站式扫描仪（一等）：地下工程变形监测的精度是根据工程需要和设计要求确定的，该规范涵盖范围部分属于重要的隧道结构、基础变形监测范围，可用三等精度；部分属于一般的结构，可用四等精度。参照《精密工程测量规范》GB/T 50026-2020 之隧洞内外平面制网等级三等（测角中误差 1.8 秒）、四等（测角中误差 2.5 秒）。

5.2 外业扫描

5.2.3 扫描仪架设应符合下列规定：

1 稳定的扫描安放基准位能有效的规避因震动导致的点云成果出现错层、噪点等无效数据的几率，提高整体数据质量，保障数据可用性；

2-3 参照《工程测量标准》GB 50026-2020 之地下工程变形监测的标准：隧道内变形观测点应按断面选取，断面间距宜为 10-50 米，传统点位选择在隧道顶部、底部和两腰，三维激光扫描可兼顾新奥法与盾构法施工工艺的需求并实施全断面校验法，兼顾不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝的部位。

参照《城市轨道交通设施运营监测技术规范》第 3 部分：隧道 GB/T 39559.3-2020 隧道常规监测点的布设应综合考虑隧道结构特点，地质条件、周围环境条件等因素：

- 1) 明（盖）挖法和矿山法隧道满足：1、水平与竖向位移监测点每 10m-50m 布设 1 组，在曲线半径小于 400m 的地段每 5m-20m 布设 1 组；2、净空收敛监测断面每 50m-100m 布设 1 组，在曲线半径小于 400m 的地段每 10m-40m 布设 1 组；
- 2) 盾构法隧道满足以下要求：1、水平与竖向位移监测点每 6m-50m 布设 1 组；2、

净空收敛监测断面每 6m-50m 布设 1 组，每个断面应布设水平和竖向两条测线；

- 3) 沉管法隧道满足以下要求：1、竖向位移监测点应在管节的两端和中部各布设 1 组；2、水平位移监测点根据需要布置，宜与竖向位移监测断面一致；3、剪力键三向位移监测点应在每处管段接口位置布设 1 组；
- 4) 区间附属结构满足以下要求：1、竖向位移监测点应在联络通道中部布设 1 组，在联络通道和区间隧道衔接处两侧各布设 1 组，在风井、泵站和迂回风道等附属结构上布设不少于 1 组；2、净空收敛监测断面在联络通道两端各布设 1 组，每个断面应布设水平和竖向两条测线。依据深圳地铁现状和既有情况并考虑外业扫描效率与点云间距的要求，充分利用三维激光扫描仪单测站内点云内差精度高的特点，尽量一次扫描即可覆盖多个监测断面，建议一等架站间距宜小于 30 米、二等小于 50 米。

5.2.4 标靶布设应符合下列规定：

相邻的三维激光扫描仪测站在扫描完成后需要通过两个测站中间的标靶作为公共点进行拼接，公共点构成的公共面要求最少 3 个标靶，为保证精度要求标靶应均匀布置且高低错落；标靶位置宜采用全站扫描仪自带高精度测角与测距功能测量，可在同一基准站（控制点）观测两测回，或在不同基准站（控制点）各实测一次，平面、高程较差均不应大于 20mm，应分别取平均值作为最终成果。

5.2.6 现场扫描应符合下列规定：

- 1 测站视野应开阔，并应有效覆盖扫描区域内的地物等；
- 2 设置标靶时，应识别并扫描标靶；
- 3 三维激光扫描日志格式可按照下表编制：

表 1 三维激光扫描日志格式

制表人：		观测人：								
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										

4 扫描过程中若出现断电、死机、仪器位置变动等情形，应初始化扫描仪，并应重新扫描；

5 大范围测区应用分区扫描后进行配准拼接，不同测站位置、不同视角的扫描区域的重叠度不宜小于 20%；考虑到地铁站台及隧道均为地下管状结构、特异性结构少共性结构多，遂将扫描重叠度要求提高到不小于 30%；

6 扫描作业结束后，应将现场检查点云数据覆盖范围、标靶数据的完整性和可用性，对缺失和含有粗差的数据应补扫。当受物体遮挡激光扫描区域没有激光点云数据时，可在现场选取另一处可通视位置作为辅助扫描基站进行补充扫描。

5.3 数据处理

5.3.3 根据项目要求，可对点云数据进行降噪和抽稀，降噪处理应采用滤波或人机交互模式，抽稀不应影响目标物特征识别与提取，且抽稀后点间距应符合表 5.1.1 中最大点间距。

6 移动式外业扫描及数据处理

6.1 仪器要求

6.1.1 移动式三维扫描是通过高精度高密度点云来实现对病害识别，提取特定部位点云进行结构参数计算，因此需要对扫描仪测距精度以及点云获取效率做出要求，隧道净空测量一般要求误差不超过 3mm，因此扫描仪点云测量误差应不大于 2mm；点云获取效率和转速影响点云密度和外业作业效率兼顾现有扫描仪技术水平建议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。

6.1.2 所指的移动平台是指车载式的移动式三维激光扫描仪所用的移动平台，应符合下列规定：

1 移动平台的行走部件有可能影响交通控制信号，因此应满足轨道绝缘要求，行走部件减少或避免使用金属部件，两端不能导电连通，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；

2 点云密度分辨率对目标识别提取质量以及外业作业效率影响很大，移动平台应根据分辨率要求，按配置的速度行进和扫描，保证螺旋线间隔及每个螺旋线的相邻点间距满足点云分辨率的要求；

3 里程计提供相对定位，360 棱镜配合全站仪联测施工控制点获得工程坐标系下绝对定位。一般净空、限界、椭圆度、病害检测时可通过里程计获得相对定位测量，在管片姿态、竣工验收时采用全站仪跟踪 360 度棱镜使用绝对定位测量。

目前移动扫描技术和装备发展迅速，除车载式三维激光扫描系统在轨道交通隧道中应用较为成熟外，穿戴式、推车式、手持式等其它形式的移动三维扫描系统也在地下空间扫描开展了相关应用。各种装备或方法在应用中都应该做好精度保障和检核工作确保项目成果质量，外业扫描应依据项目现场条件和测量成果要求布设相应控制点、检查点保证项目精度。

6.1.3 里程计相对定位一般误差 5‰，长线路误差累积导致精度不满足工程要求，可通过设置标靶点消除累计误差；需要绝对定位时可采用跟踪全站仪联测控制点跟踪移动平台上 360 度棱镜结合惯性测量单元（IMU）获得绝对定位数据。

6.2 外业扫描

6.2.2 标靶用于整体精度控制和坐标转换，标靶应便于全站仪坐标联测和从激光点云集中识别；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；可利用现场明显特征点代替专用标靶。

6.2.3 关于现场扫描应符合下列规定：

1 由于各厂家扫描仪有各自的扫描速率、点间距及不同的扫描模式，不同任务类型应采用不同方法和参数设置，目标检测识别需要的项目依据检测目标类型和大小采用不同工作模式和分辨率参数，建模的项目应根据精度和分辨率的要求结合仪器性能设置响应参数确保成果满足项目要求；

2 扫描仪是光学仪器，需要保障通视条件，最好和目标垂直正射；

3 长时间持续工作中，存在数据中断缺失风险，扫描结束后，应确认扫描数据的完整性，

及时补测；

4 扫描过程若出现死机、断电等异常情况，将导致数据不全或者异常，对应范围应重测；

5 便于内业数据资料整理，应将现场相关信息完整记录。现场记录扫描区间、起始和终点里程、起始和终点隧道环号、设备编号、数据文件名、控制点使用情况、移动平台运行参数等信息，系统报警、死机等非正常作业情况需详细记录。

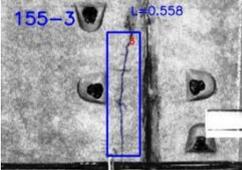
6.3 数据处理

6.3.1 本条规定的点云配准适用于配备惯性测量单元的移动扫描系统，配备惯性测量单元的移动扫描系统点云配准得到绝对坐标，并形成统一的三维模型。

6.3.2 本条规定的点云校正适用于未配备惯性测量单元的移动扫描系统，未配备惯性测量单元移动扫描系统应利用里程标、管片环缝等明显标识进行里程校正减小里程计误差影响。

6.3.3 采用等面积投影确保目标检测量算精度，目标图像在影像上需要呈现为具有多个像素的图斑并且和周围环境图像具有足够灰度对比才能实现可靠的目标识别，根据检测目标大小和反射强度对比调整图像分辨率和灰度处理确保目标识别。

表 4 病害成果表

XXX-XXX 区间 X 线隧道病害检测结果						
线别:	地铁 X 号线		左/右线:	X 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(°)	面积(m ²)/长度(m)	病害灰度图
1	YDK16+250.5	134	破损	47.55	0.0716	
2	YDK16+282.0	155	裂缝	280.85	0.5580	
3	YDK16+303.5	169	渗漏水	134.55	0.0417	

7.4.4 病害数据库在工程中作用越来越大，工程结构安全评价中建造和安装带来的影响不可忽略，兼顾相关指标数值和发展变化综合分析。宜建立结构病害数据库或信息管理系统，对结构病害进行有效的跟踪管理。

8 成果质量控制

8.3 质量要求

8.3.4 扫描成果的主要质量元素应包含各质量元素的检查项、检查内容及错漏分类，格式参考下表 5-10。

表 5 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
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	元数据文件的元数据项的完整性	必填项不完整	-	-	-

表 6 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	中误差不能满足用户的规定	-	-	-
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	-	-	

表 7 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	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	-	-	-

表 8 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	0.4	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	-	-	-

表 9 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	0.4	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	中误差不能满足用户的规定	-	-	-
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	-	-	-

表 10 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	0.4	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	元数据文件的数据项的完整性	必填项不完整	-	-	-

9 成果移交与存储

9.1 移交内容

9.1 明确了主要移交内容，移交资料包括过程资料和总结资料，过程资料包含原始资料、加工资料。内容移交方还应提供详细、准确的移交清单，包括成果类型、成果名称、成果描述、成果存储介质及数量，名称应与资料源名称保持一致，涉及多个存储设备的移交数据应在各设备外部不影响运行区域粘贴标签，注明设备所存储数据名称。总结报告中应包含测绘资质证书、仪器检定证书。

9.2 数据格式要求

9.2 数据类型有文档成果、数据成果，数据成果包括原始数据、加工数据，所有数据应转换为通用数据格式。

9.3 数据存储

9.3.1 本条规定了原始数据的存储内容，其中数据基本描述信息应包括坐标系、点云密度、范围、采集时间等，数据处理信息应包括采集单位、处理单位、产权单位、数据处理方法等，数据存储信息应包括存储格式、有效期等。

9.3.2 本条规定了点云数据的命名方式、存储方式。数据存储应满足保密工作要求，应对测量原始数据、加工数据进行备份。