



CECS XXX: 201X

---

中国工程建设协会标准

# 地面三维激光扫描工程应用技术规程

Technical specification for application of terrestrial three-dimensional  
laser scanning

（征求意见稿）

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会[2016]084号文《关于印发2016年第二批工程建设协会标准制订修订计划的通知》的要求，特制定本规程。

本规程包括总则、术语和缩略语、基本规定、数据采集与处理、工程测绘与三维建模、工程检测、工程监测、质量检验与成果归档等内容。规程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，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

根据XX的要求，推荐给检测鉴定、设计、施工单位和工程技术人员采用。

本标准由XX部门负责管理，由上海市建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送上海市建筑科学研究院（地址：上海市徐汇区宛平南路75号，邮编：200032）。

**主 编 单 位：** 上海市建筑科学研究院

**参 编 单 位：**

**主 要 起 草 人：**

**主 要 审 查 人 员：**

中国工程建设标准化协会

2018年6月

# 目 录

1	总 则 .....	1
2	术语和缩略语 .....	2
2.1	术语 .....	2
2.2	缩略语 .....	3
3	基本规定 .....	4
3.1	一般规定 .....	4
3.2	仪器要求 .....	4
4	数据采集与处理 .....	6
4.1	前期准备 .....	6
4.2	数据采集 .....	6
4.3	数据处理 .....	8
5	工程测绘与三维建模 .....	10
5.1	一般规定 .....	10
5.2	技术要求 .....	10
6	工程检测 .....	12
6.1	一般规定 .....	12
6.2	技术要求 .....	12
7	工程监测 .....	14
7.1	一般规定 .....	14
7.2	技术要求 .....	14
8	质量检验与成果归档 .....	17
8.1	一般规定 .....	17
8.2	质量检验 .....	17
8.3	成果归档 .....	18
	本标准用词说明 .....	19
	引用标准名录 .....	20
	条文说明 .....	21

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Abbreviations .....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Abbreviations .....	3
3	Basic Requirements .....	4
3.1	General Requirements .....	4
3.2	Equipment Requirements .....	4
4	Data Acquisition and Processing .....	6
4.1	Prophase Preparation.....	6
4.2	Data Acquisition.....	6
4.3	Data Processing .....	8
5	Survey Mapping and 3D Modeling.....	10
5.1	General Requirements .....	10
5.2	Technical Requirements.....	10
6	Engineering Inspection .....	12
6.1	General Requirements .....	12
6.2	Technical Requirements.....	12
7	Engineering Monitoring.....	14
7.1	General Requirements .....	14
7.2	Technical Requirements.....	14
8	Quality Inspection and Documents Filling .....	17
8.1	General Requirements .....	17
8.2	Quality Inspection .....	17
8.3	Documents Filling.....	18
	Explanation of Wording in This Standard .....	19
	Normative Standards Directory .....	20
	Explanation of Standard.....	21

# 1 总 则

**1.0.1** 为了规范地面三维激光扫描技术在工程领域中的应用，做到技术先进、科学合理、安全适用、确保质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于地面三维激光扫描技术在工程测绘与三维建模、工程检测、工程监测等领域的技术设计、数据采集、成果整理和质量检验。

**1.0.3** 地面三维激光扫描工程应用，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和缩略语

### 2.1 术 语

**2.1.1 地面三维激光扫描技术** terrestrial three-dimensional laser scanning technology

基于地面固定站的一种通过发射激光获取被测物体表面三维坐标、反射强度等信息的非接触式主动测量技术。

**2.1.2 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。

**2.1.3 标靶** target

用一定材质制作的具有规则几何形状的标识。该类标识在点云中能很好地被识别和测量，从而可以用于点云数据质量检查及点云配准等工作。

**2.1.4 点间距** distance between points

点云中相邻两点之间的空间距离。

**2.1.5 特征点** feature point

在点云中便于识别选取的地物角点、现状地物交叉点等。

**2.1.6 点云配准** point cloud registration

把不同站点获取的点云数据变换到统一坐标系的过程。

**2.1.7 噪点** noise point

点云中由于外界因素（如光线、材质、振动等）以及仪器自身因素造成的偏离扫描目标的点。

**2.1.8 降噪** remove noise

去除噪点的过程。

**2.1.9 建筑模型** building model

表达建（构）筑物空间位置、几何形态、材质及外观效果等的三维模型。

**2.1.10 点云建模** point cloud modeling

利用软件将扫描的点云转化为模型的过程。

### **2.1.11 纹理映射 texture mapping**

将纹理像素映射到模型空间的过程。

### **2.1.12 点云精度 point cloud precision**

反映点云误差分布的密集或离散的程度。

## **2.2 缩 略 语**

CGCS2000 China Geodetic Coordinate System 2000 2000 国家大地坐标系

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

TDOM True Digital Orthophoto Map 数字正射影像图

TIFF Tag Image File Format 标签图像文件格式

TIN Triangulated Irregular Network 不规则三角网

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 地面三维激光扫描作业的大地坐标系宜采用 CGCS2000，采用地方坐标系时宜与 CGCS2000 建立联系。

3.1.2 地面三维激光扫描作业的高程基准宜采用 1985 国家高程基准，采用地方高程基准时宜与 1985 国家高程基准建立联系。

3.1.3 地面三维激光扫描作业用于非地形测量时，坐标系统宜采用假定坐标系。

3.1.4 地面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。

3.1.5 地面三维激光扫描精度等级应以中误差作为衡量精度的指标，并以 2 倍中误差作为极限误差。

3.1.6 地面三维激光扫描作业的点云精度等级应符合表 3.1.6 的规定，有特殊要求的应另行设计。

表 3.1.6 地面三维激光扫描作业点云精度等级

精度等级	特征点间距 中误差 (mm)	点位相对于临近控制 点中误差 (mm)	适用范围		
			工程测绘与 三维建模	工程检测	工程监测
一等	≤3	≤5	√	√	√
二等	≤15	≤30	√	√	√
三等	≤50	≤100	√	—	—
四等	≤200	≤250	√	—	—

3.1.7 地面三维激光扫描工作程序宜包括前期准备、数据采集、数据处理和数据应用等。

### 3.2 仪器要求

3.2.1 地面三维激光扫描仪应符合下列规定：

- 1 仪器的精度和测程应符合实际工程的需要；
- 2 防护等级不应低于 IP52；
- 3 仪器宜具有双轴补偿功能；

- 4 仪器应在检校合格有效期内；
- 5 仪器使用的环境条件应符合仪器使用说明书的要求。

**3.2.2 作业前仪器检查内容和要求应符合下列规定：**

1 一般检查。仪器外观无破损，各部件及附件齐全、匹配，仪器各个部件连接紧密且稳定，激光镜头清洁无污渍和浮尘。

2 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时间需求，具有激光对中、双轴补偿功能的仪器作业前应进行功能检查。

3 相机检查。内置同轴相机宜进行照片与点云匹配检核，排除照片与点云之间的误差；如使用外置相机，外置相机应进行相机主距、像主点、畸变参数、安装姿态等参数的标定和校准。若校准发现有偏差，需重新进行校准匹配。

**3.2.3 仪器校准有效期宜为 1 年，当有下列情况之一时，应送专门机构校准：**

- 1 新仪器启用前；
- 2 超过校准有效期；
- 3 遭受严重撞击或其它损害。

## 4 数据采集与处理

### 4.1 前期准备

4.1.1 前期准备工作应包括资料收集、现场踏勘和方案制定等内容。

4.1.2 资料收集宜包括项目需求书、现场照片、图纸资料等。

4.1.3 现场踏勘时，应查看作业范围、控制点分布和通视条件，了解现场环境并记录风险因素。

4.1.4 应根据项目委托要求、测试对象的类型、现场作业的条件等制定三维扫描技术方案，方案宜包括以下主要内容：

- 1) 项目概况；
- 2) 现场踏勘情况；
- 3) 设备型号；
- 4) 控制测量、测站布设与配准方案；
- 5) 项目进度计划。

### 4.2 数据采集

4.2.1 数据采集工作应包括控制网布设、扫描站布设、标靶布设、点云数据采集、纹理数据采集、外业数据检查等内容。

4.2.2 控制测量及标靶配准应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 控制测量及标靶配准技术要求

点云精度等级	控制网		标靶配准	
	平面控制	高程控制	连续传递配准次数	相邻两站公共标靶数量
一等	—	—	$\leq 3$ ，且闭合	$\geq 5$
二等	二级导线 或二级 GNSS 静态	四等水准	$\leq 5$ ，且闭合	$\geq 4$
三等	二级导线 或二级 GNSS 静态	四等水准	$\leq 10$	$\geq 3$
四等	图根导线 GNSS 静态或动态	图根水准		

#### 4.2.3 控制网的布设应符合下列规定：

- 1 控制网应整体设计，分级布设；
- 2 控制网应根据测区内已知控制点的分布、地形地貌、扫描目标物的分布和精度要求，来选定控制网等级并设计控制网的网形，并符合表 4.2.2 的规定；
- 3 控制网布设应满足扫描站布测和标靶布测需求，控制点应进行编号；
- 4 控制网宜选在主要扫描目标物附近且视野开阔的地方；
- 5 控制网应全面控制扫描区域，控制点应均匀分布在目标物的四周；
- 6 控制点标志宜采用平面标靶；
- 7 小区域或单体目标物扫描，通过标靶进行配准时可不布设控制网；标靶连续传递配准次数大于 10 次，应布设控制网。

#### 4.2.4 扫描站的布设应符合下列规定：

- 1 扫描站应设置在视野开阔、地面稳定且通视条件好的安全区域；
- 2 单站扫描作业的布设位置应使扫描区域最大程度地覆盖目标物；
- 3 多站扫描作业应合理布设扫描站位置，在保证扫描成果满足任务要求的前提下减少设站数量；
- 4 登高作业应保证有足够的设站数量及操作空间，保证设站区域或平台的稳定性。

#### 4.2.5 标靶的布设应符合下列规定：

- 1 标靶应进行编号，相邻两扫描站的公共标靶数量应符合表 4.2.2 的规定；
- 2 标靶的布置应均匀分布在目标物的四周且高低错落，应确保不受振动或遮挡影响，明显特征点可作为标靶使用，标靶之间距离不宜小于 10m；
- 3 扫描作业前应检查标靶的外观质量，如发现标靶反射涂层缺失严重或变形、开裂等情况应及时更换；
- 4 仪器与平面标靶的扫描角度应不小于  $50^{\circ}$ 。

#### 4.2.6 点云数据采集应符合下列规定：

- 1 仪器应在观测环境中静置至温度平衡；
- 2 雨雪天或强光环境下不宜进行现场扫描作业；
- 3 扫描时应设置合适的点云采集间距；
- 4 内业数据处理中，测站的配准方式采用点云特征点的配准方式时，各站

点有效点云的重叠度不宜低于 30%；

5 仪器在扫描过程中出现移位、振动、死机、断电等异常情况时，应重启设备重新进行扫描。

**4.2.7** 纹理数据采集应符合下列规定：

1 纹理分辨率宜符合表 4.2.7 的规定。

**表 4.2.7 纹理分辨率等级**

等级	一等	二等	三等	四等
像元大小	≤3 mm	≤10 mm	≤25 mm	≤50 mm

2 图像的拍摄角度应保持镜头正对目标面，无法正面拍摄全景时，应分幅正面拍摄；

3 宜选择光线柔和、均匀的环境下进行拍摄，避免逆光拍摄；

4 相邻两幅图像的重叠度不宜低于 30%；

5 采集图像时宜绘制图像采集点分布示意图；

6 纹理颜色有特殊要求时应使用辅助灯光及色卡配合拍摄。

**4.2.8** 现场记录和检查应包括以下内容：

1 目标物、设站点、控制点、标靶位置分布示意图及编号；

2 现场重要部位摄像或拍照；

3 扫描完毕后应检查扫描数据的完整性。

## 4.3 数据处理

**4.3.1** 数据处理宜包括点云配准、降噪抽稀、坐标转换、信息融合和特征提取。

**4.3.2** 点云配准和坐标转换应建立统一的空间坐标系统，通过配准点的空间坐标计算坐标转换参数和残差，并应符合下列规定：

1 采用标靶点配准时，标靶点应分布均匀，靶心拟合和转换后的坐标残差应小于表 3.1.6 中相应等级的点位中误差的 1/2；

2 采用特征点配准时，特征点不应共线或共面，配准点和独立检核点的个数应符合表 4.3.2 的规定；

3 采用迭代最近点匹配法配准时,独立检核点的个数应符合表 4.3.2 的规定;点云精度等级为一等时,不得采用迭代最近点匹配法;

4 连续传递配准的次数应符合表 4.3.2 的规定;

5 配准点或独立检核点的坐标转换残差应小于表 3.1.6 中相应等级的点位中误差的 1/2;

6 配准后相邻站点云重叠度不宜低于 20%。

**表 4.3.2 每站配准点和独立检核点个数及多站连续配准次数规定**

点云精度等级	每站配准点/检核点个数			多站连续配准次数
	标靶配准点个数	特征点配准点个数	独立检核点个数	
一等	$\geq 5$	严禁采用	$\geq 1$	$\leq 3$ 且 闭合
二等	$\geq 4$			$\leq 5$ 且 闭合
三等	$\geq 3$	$\geq 7$	$\geq 3$	$\leq 10$
四等				

**4.3.3** 信息融合宜符合下列规定:

- 1 信息融合宜包括激光反射强度、回波次数、色彩纹理信息等;
- 2 融合后的点云宜保存为通用数据格式。

**4.3.4** 特征提取的步骤宜包括剔除非目标物、点云分类、人工提取或拟合计算。

**4.3.5** 处理成果可保存为矢量图形、属性记录或栅格影像,并符合下列规定:

- 1 矢量图形宜包括点、线、面、体、模型;
- 2 属性记录宜与矢量数据关联;
- 3 栅格影像宜注明投影面,比例尺等。

**4.3.6** 点云文件的存储、处理流程复杂,宜使用高配置计算机,点云文件和配套处理程序宜同步存档以便于使用和检查。

## 5 工程测绘与三维建模

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本章适用于使用地面三维激光扫描设备测绘大比例尺地形图,测绘建(构)筑物平面图、立面图、剖面图,以及制作各类三维模型工作。

**5.1.2** 工程测绘与三维建模应用应根据实际需要按表 3.1.6 的技术要求选用合适的精度等级。

**5.1.3** 地形图测绘宜选用具有多次回波功能的脉冲式扫描仪,建筑测绘与三维建模宜选用具有影像采集功能的相位式扫描仪。

### 5.2 技术要求

**5.2.1** 地形图测绘流程包括地形特征点提取、地貌数据获取、等高线生成、地形图编辑。地形图测绘应符合下列规定:

- 1 电力线、道路、房屋、坎边等线状地物宜采用拟合线方式采集;
- 2 管线井、独立树、电线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;
- 3 山脊线、山谷线、坡坎等地形要素的采集位置、密度应满足相应比例尺地形图制作要求;
- 4 点云中无法判定的地物应进行实地核查和补测。

**5.2.2** 建(构)筑物平面图、立面图、剖面图的测绘流程包括数据投影、矢量数据采集、图形编辑和图形整饰。平面图、立面图、剖面图制作应符合下列规定:

- 1 根据选用的投影面进行投影,根据投影后的点云绘制特征线;
- 2 根据选用的参考面和切片厚度进行点云切片,切片厚度不宜大于成果精度要求;
- 3 对于弧形部件应采用点云拟合方式生成圆弧、椭圆弧等曲线特征线;

**5.2.3** 三维模型制作流程包括点云分割、模型拟合、模型构建、纹理映射。三维模型制作宜符合下列规定:

- 1 根据软硬件性能、数据规模等进行点云分割;

2 规则模型可直接根据点云或提取的轮廓线、特征线进行交互式建模；对于球面、弧形面、管道等曲面模型应根据点云拟合建模；

3 不规则模型宜通过点云建立三角网模型进行建模，并应采用填充孔、简化、光滑等优化三角网模型；

4 纹理映射可在模型和图像上选择同名点的方式进行。

#### 5.2.4 纹理映射应符合下列规定：

1 模型的外观可见面应进行纹理映射；

2 纹理应真实反映物体的外观效果，不得出现反光、逆光及拉伸现象；

3 纹理相同的物体应采用重复纹理；

4 同一区域内，各个模型纹理的整体色调、风格应协调一致，层次清晰；

5 纹理的透明度和镂空效果，可通过增加纹理参数中透明度实现；

6 分区制作的模型纹理应进行接边处理，接边处的模型纹理应保持一致，接边原则为向下、向右接边。

## 6 工程检测

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本章适用于工程结构及构件检测中的几何尺寸、挠度、表面平整度、倾斜，以及其它经验证符合要求的工程检测应用。

**6.1.2** 工程检测宜采用单站扫描的点云数据。检测部位的点云数据为多站扫描数据配准而成时，应采用标靶配准，配准次数不宜大于 4 次且扫描路线应闭合。

**6.1.3** 宜采用精度更高的量测仪器或方法，对地面式激光扫描仪在不同现场条件下扫描数据的量测结果进行校验。

**6.1.4** 工程检测应用应根据实际需求按表 3.1.6 的技术要求选用合适的精度等级。

### 6.2 技术要求

**6.2.1** 几何尺寸量测应符合下列规定：

1 根据点云分布、形态特点、量测精度的要求，可采用获取目标物特征点坐标值、点云拟合建模、TIN 建模等方法量测几何尺寸；

2 采用获取目标物特征点坐标值的方式进行几何尺寸量测时，应首先确认量测位置的准确性；

3 圆柱体或圆锥体、圆球体的几何尺寸宜通过点云拟合建模方法进行量测，并应符合下列规定：

1) 参与拟合的采样点间距宜小于目标物直径的 1/30；

2) 应选取至少两个部位的点云数据分别进行拟合，拟合较差应小于表 3.1.6 中规定的特征点间距中误差，并取平均值作为量测值；

3) 量测圆柱体或圆锥体的直径时，参与拟合计算的点云切片高度不宜大于目标物直径的 1/10，切片处的点云覆盖面积宜大于切片处圆柱体或圆锥体表面积 的 25%；

4) 量测圆球体的直径时，参与拟合计算的球面点云覆盖面积宜大于该球体总表面积的 25%。

4 表面形状不规则目标物的几何尺寸，宜采用特征点坐标值直接量测或

TIN 建模后量测的方式。

#### 6.2.2 挠度量测应符合下列规定：

1 目标物为圆形管状构件时，应采用点云数据拟合方式获取圆管轴心的坐标进行挠度换算；

2 目标物截面形状为非圆形时，宜通过获取构件表面点云数据坐标值的方式进行量测，点云最大相邻点间距宜小于挠度允许值的 1/10~1/20；

3 目标物为网架结构时，应采用点云数据拟合方式获取球节点形心的坐标进行挠度换算；球面点云最大相邻点间距宜小于 5mm，参与拟合计算的球面点云覆盖面积宜大于该球体总表面积的 25%。

#### 6.2.3 表面平整度量测应符合下列规定：

1 表面平整度量测的点云最大相邻点间距宜小于 50mm；

2 宜采用目标物特征点坐标值直接量测或 TIN 建模的方法进行量测；

3 构件表面凹凸深度量测可参考表面平整度的量测规定。

#### 6.2.4 倾斜量测应符合下列规定：

1 可采用特征点坐标值直接量测或点云数据拟合的方法量测，宜选择相对高差最大的 2 个部位进行倾斜换算；

2 当量测横断面为圆形截面的目标物倾斜时，宜采用点云数据拟合的方法，通过获得不同高度的形心坐标值来换算目标物的倾斜率；

3 当通过量测目标物外轮廓线倾斜的方式来评测目标物的倾斜时，可采用直接获取轮廓线上特征点坐标值直接进行量测，此时轮廓线处点云最大相邻点间距应小于 5mm；

4 建（构）筑物的倾斜量测，当外立面转角处无明显外轮廓线时，宜采用点云数据拟合的方法，通过相邻两立面延伸交会后形成轮廓线再进行量测。

## 7 工程监测

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本章适用于沉降监测、水平位移监测、隧道收敛变形监测和斜坡位移监测，以及其它经验证符合要求的工程监测应用。

**7.1.2** 监测方案除应满足 4.1.4 的要求外，还应包括监测对象的变形特点和环境条件发生异常时的应急变形监测方案。

**7.1.3** 监测控制网布设应符合下列要求：

1 监测位移变形时，应通过几何测量、卫星测量等技术建立平面或高程控制测量基准，每期测量前先进行控制网检核；

2 监测几何尺寸变化时，可不设置监测控制网或控制点。

**7.1.4** 首期测量应连续进行两次独立测量。当相应两次观测数据的较差不大于极限误差时，取其算术平均值作为该项目变形测量的初始值，否则应立即进行重测。

**7.1.5** 数据采集除应符合表 3.1.6 的精度要求外，尚应符合下列规定：

1 应采取措施减少仪器系统误差影响；

2 应采用与激光扫描仪配套的标靶；

3 历次观测应选取相同的仪器、采集模式、角度分辨率、设站位置和数据处理方法。

**7.1.6** 应根据气象条件、监测对象、拟合残差、抽测检核等因素对监测成果进行综合分析。

### 7.2 技术要求

**7.2.1** 工程监测精度应符合下列规定：

1 沉降观测精度宜以差异沉降变形允许值的  $1/10\sim 1/20$  作为单站高差中误差；

2 水平位移观测精度宜以位移变形允许值的  $1/10\sim 1/20$  作为单站位移量测中误差；

3 隧道收敛变形观测精度不应低于 3mm;

4 斜坡位移观测精度宜根据变形体的特点确定。

**7.2.2** 监测基准点应位于变形影响区域外、分布均匀,数量不少于 4 个。平面基准点的坐标宜采用全站仪或 GNSS 设备进行检核,高程基准点宜采用水准测量方法联测。

**7.2.3** 工程监测宜采用单站扫描的点云数据,历次监测宜在同一工作基点设站扫描作业。监测区域的点云数据为多站扫描数据配准而成时,应采用标靶配准,配准次数不宜大于 2 次。

**7.2.4** 监测点设置与观测应符合下列规定:

1 可采用固定标靶作为监测点,固定标靶的重复安装误差不应大于精度要求的 1/10,标靶的识别精度不应低于精度要求的 1/3;

2 当采用有明显轮廓线的目标物作为监测点时,可采用直接量测轮廓线特征点坐标值的方法,轮廓线处点云最大相邻点间距宜小于 3mm;

3 当采用监测目标物的几何特征拟合监测点时,历次选取的位置应明显、一致、平整。

**7.2.5** 监测数据处理应符合下列规定:

1 沉降观测的数据处理,可采用数字高程模型等方法进行沉降变形分析,绘制等沉降曲线、统计表格等成果;

2 水平位移的数据处理,可通过比较多期扫描点云轮廓的平面坐标偏移量,分析并绘制水平位移变化曲线;

3 隧道收敛观测的数据处理,可通过在点云中提取同一里程并垂直于结构中轴线的断面,结合结构表面特点建立数据处理模型,输出包括特征点的径向长度在内的断面变形数据,并进行不同期数据的比较;

4 斜坡位移观测的数据处理,应剔除地表植被、建筑物等影响,可通过设置扫描参照标识、高程变化情况、迎滑坡面水平位移、剖面形态变化等指标判断位移量或通过点云整体比较发现异常区域,或设置多组纵向剖面进行剖面曲线对比分析。

**7.2.6** 宜采用全站仪、水准仪等测量设备进行抽测验证,评定扫描数据的精度、拟合模型的适用性及监测结果准确性,抽测的期数不少于总期数的 5%。

**7.2.7** 应及时整理监测成果，当发现异常观测值时，应加强现场巡查、加密观测频率及抽查验证，结合现场工况综合分析，及时预警防范。

## 8 质量检验与成果归档

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 作业成果的质量检验应包括以下内容：

- 1 测距中误差、点位中误差、配准精度；
- 2 模型与点云数据空间坐标信息的符合性；
- 3 计算方法合理性、过程完整性及结果准确性。

**8.1.2** 过程检查中发现不符合技术标准或技术方案要求时，应提出处理意见，返回作业部门进行纠正，纠正后的成果应符合方案要求。

**8.1.3** 对作业成果应根据质量检验结果评定质量等级，质量等级分为合格和不合格。出现下列问题之一时，应判定为不合格：

- 1 仪器未经检定或超出检定有效期；
- 2 观测精度不满足要求；
- 3 数据伪造或严重失真。

**8.1.4** 作业成果的质量检验应形成记录并归档。

### 8.2 质量检验

**8.2.1** 地形图制作质量应符合下列规定：

- 1 地形图比例尺宜选择 1: 500 及以上大比例尺；
- 2 要素的分类与代码应符合 GB/T 13923 规定；
- 3 图式符号、注记、图面整饰应符合 GB/T 20257.1 规定；
- 4 地形图平面和高程精度应符合 GB 50026 规定。

**8.2.2** 建（构）筑物平面图、立面图、剖面图质量应符合下列规定：

- 1 成图比例尺宜选择 1: 10、1: 20、1: 50、1: 100；
- 2 图式符号、注记、图面整饰应符合 GB 50104 规定；
- 3 结构尺寸应实地检核，相对误差不应大于 1/200。

**8.2.3** 三维建模质量应符合下列规定：

- 1 模型尺寸宜以“m”为单位表示；
- 2 不应出现面数为 0 的空物体；
- 3 模型中不应出现游离点、边、面及重面、破面、漏面、漏缝。

### 8.3 成果归档

#### 8.3.1 成果整理应符合下列规定：

- 1 外业观测、数据处理记录规范、齐全；
- 2 检查验收记录完整，各项指标明确；
- 3 技术文档齐全、完整，内容真实，表述准确；
- 4 各项作业记录、技术资料和成果应签署完整。

#### 8.3.2 成果归档资料应包括以下内容：

- 1) 成果清单；
- 2) 技术方案；
- 3) 外业扫描数据；
- 4) 内业数据处理记录；
- 5) 各类成果；
- 6) 检查验收记录；
- 7) 其它相关资料。

## 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，在条件许可时首选应这样做的：

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 条文中制定应按其它有关标准执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

## 引用标准名录

- 《地面激光扫描仪校准规范》 JJF 1406
- 《城市三维建模技术规范》 CJJ/T 157
- 《城市测量规范》 CJJ/T 8
- 《地面三维激光扫描作业技术规程》 CH/Z 3017
- 《建筑变形测量规范》 JGJ 8
- 《数字测绘成果质量检查与验收》 GB/T 18316
- 《建筑制图标准》 GB50104
- 《工程测量规范》 GB50026
- 《测绘作业人员安全生产规范》 CH1016
- 《基础地理信息分类与代码》 GB13923
- 《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
- 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ1

中国工程建设协会标准

地面三维激光扫描工程应用技术规程

**CECS XXX: XXXX**

条文说明

# 目 录

1	总 则.....	23
2	术语和缩略语.....	24
2.1	术语.....	24
2.2	缩略语.....	24
3	基本规定.....	25
3.1	一般规定.....	25
3.2	仪器要求.....	25
4	数据采集与处理.....	27
4.1	前期准备.....	27
4.2	数据采集.....	27
4.3	数据处理.....	29
5	工程测绘与三维建模.....	32
5.1	一般规定.....	32
5.2	技术要求.....	32
6	工程检测.....	34
6.1	一般规定.....	34
6.2	技术要求.....	34
7	工程监测.....	37
7.1	一般规定.....	37
7.2	技术要求.....	38
8	成果归档与质量检验.....	40
8.1	一般规定.....	40
8.2	质量检验.....	40

# 1 总 则

**1.0.1** 本条阐明了制定地面三维激光扫描工程应用技术规程的目的。三维激光扫描技术已广泛地应用于工程建设行业并发挥巨大的作用，但目前并无标准规范可依。为规范地面三维激光扫描技术在工程中的应用，统一地面三维激光扫描仪技术的作业流程、作业方法，提升地面三维激光扫描设备的整体应用技术水平，促进工程测绘行业信息化水平的提高，有必要制定专门的技术规程。

**1.0.2** 本条规定了本规程的适用范围。本规程规定了地面三维激光扫描技术在工程应用中各个步骤的技术指标、质量要求和工作方法，提出了一套系统的技术流程，适用于工程测绘与建模、工程检测、工程监测等领域应用地面三维激光扫描设备进行的测绘测量及信息化作业。

## 2 术语和缩略语

### 2.1 术 语

术语主要是根据现行中华人民共和国测绘行业标准化指导性技术文件《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z3017、《地面激光扫描仪校准规范》JJF 1406、《城市三维建模技术规范》CJJ/T 157、《建筑变形测量规范》JGJ 8 等给出的。

### 2.2 缩 略 语

缩略语主要是根据现行中华人民共和国测绘行业标准化指导性技术文件《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z3017、《地面激光扫描仪校准规范》JJF 1406、《建筑制图标准》GB50104 等，以及本标准的需要规定的。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 2000 国家大地坐标系，是我国法定推荐的大地坐标系。当扫描作业需要与国家大地坐标系建立联系时，建议采用 CGCS2000。

**3.1.2** 1985 国家高程基准，是我国法定推荐的高程基准。当扫描作业需要与国家高程基准建立联系时，建议采用 1985 国家高程基准。

**3.1.3** 为了减少误差累积与联测换算带来的不便，宜选择假定坐标系作为其坐标系统。

**3.1.4** 实际工程应用当中，往往需要获取目标物的形状或位置随时间变化的特征信息，因此地面三维激光扫描仪应采用国家统一的时间基准。

**3.1.5~3.1.6** 工程应用中，点云精度是重要的参数指标，点云精度通常用中误差来衡量。为便于工程实际应用，本规程将点云精度指标按等级进行划分，并对适用范围做出相应规定。

**3.1.7** 本条文规定了地面三维激光扫描仪工作流程。对于特殊情况，应根据实际情况确定其工作流程及相应的内容。

### 3.2 仪器要求

**3.2.1** 本条文规定了仪器的基本使用要求：

**2** IP(INGRESS PROTECTION)防护等级系统是由 IEC(INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION)所起草，将电器依其防尘防湿气之特性加以分级。IP 防护等级是由两个数字所组成，第 1 个数字表示电器防尘、防止外物侵入的等级，第 2 个数字表示电器防湿气、防水侵入的密闭程度，数字越大表示其防护等级越高。IP52 的防护范围为：完全防止外物侵入，虽不能完全防止灰尘侵入，但灰尘的侵入量不会影响电器的正常运作，在倾斜 15° 时，仍可防止水滴浸入。

**3** 为保证采集数据的有效性，宜通过双轴补偿器实时对仪器的轻微变化进

行修正，使仪器始终保持水平垂直的测量状态。

**4** 检校合格有效期是根据仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所确定，如果仪器超过检校合格有效期仍继续使用，偏离标准状态的概率会显著增加。

**5** 地面三维激光扫描仪使用时，应保证环境温度和湿度满足正常工作的要求。当超出仪器所规定的使用环境条件时，会出现运行不稳定、采集的点云数据精度下降的情况。

**3.2.3** 本条文规定了地面三维激光扫描仪应校准的几种情况：

**1** 新出厂的仪器，由于在生产过程中的质量控制水平不同，而且贮存运输过程会对仪器产生一定影响，为保证仪器启用时处于标准状态，应进行校准；

**2** 依据现行国家行业标准《地面激光扫描仪校准规范》（JJF 1406）的相关条文，仪器校准的有效期建议不超过 1 年；

**3** 地面三维激光扫描仪属于精密光学仪器，在遭受严重撞击或其它损害时容易偏离标准状态。

## 4 数据采集与处理

### 4.1 前期准备

**4.1.2** 现场踏勘及制定方案前，需要通过收集资料了解项目的基本情况，以便于现场踏勘工作的开展，并为数据采集方案的制定提供依据。项目需求书主要包括项目基本情况、扫描目的、精度及分辨率、时间计划、数据采集范围等。现场照片主要包括扫描区域整体照片、地形照片、重点目标物照片等，图纸资料主要包括平面图、立面图、剖面图、地形图等。

**4.1.3** 现场踏勘应多视角、多层次、全方位地覆盖整个数据采集区，并重点踏勘图纸资料与实际情况的符合性、控制点及标靶的布设条件、各扫描站的通视条件及可能存在的风险因素等。

### 4.2 数据采集

**4.2.3** 控制测量是指在测区内，按测量任务所要求的精度，测定一系列控制点的平面位置和高程，建立起测量控制网。控制网具有控制全局，限制测量误差累积的作用，是三维激光扫描仪控制测量及配准作业的一种重要技术手段。控制网的布设方法可按现行国家标准《工程测量规范》GB500026 执行。

建筑工程领域控制点的标识，常采用不锈钢制作，以标志中间的十字中心坐标作为该控制点的坐标。由于地面三维激光扫描仪工作时是随机发射激光束，点云点之间存在无坐标信息的区域，故难以准确获取该类控制点的十字中心坐标。而采用标靶作为控制点标识，可通过点云拟合的方式准确获取标靶中心点的坐标，适用于三维激光扫描仪作业的控制网布设。

工程实践表明，小区域或单体目标物扫描，由于扫描站数量少，需要配准的次数少，配准误差的传播能较好的控制。当标靶连续传递配准次数增多，配准误差会呈线性趋势放大并难以定量评估，为了保证配准后的整体点云精度满足作业要求，应通过控制测量的方式来减少连续传递配准次数。

**4.2.4** 扫描站的布设是数据采集的重要工作。站位布设时应参考方案中的预设站位图并根据现场实际情况决定最终的设站位置，每个站位要充分考虑现场多种因素的影响，如振动、施工、遮挡等情况。在设站的同时也要充分做好人员及设备的安全保障，发现设站的位置存在以上影响因素时应及时进行调整。

地面三维激光扫描仪的现场作业属于固定站的作业方法，单站作业时间较其它光学测量仪器长，当需要多站作业时，现场作业效率更低。为保证现场实施效率，可配合其它不同款式的地面三维扫描仪共同使用，同时应保证后续数据格式的相互兼容。

**4.2.5** 标靶布设是数据采集过程中的重要环节，标靶布设的合理对扫描后整体点云的精度具有至关重要的影响，是数据采集过程中的重要环节。标靶布设的方法可参考控制网的布设方法。

标靶外形上主要分圆形标靶、方形标靶、球形标靶等，根据材料不同可分为金属标靶、非金属标靶。标靶的选用时应根据现场环境的不同采用适合的标靶形式，通常来说，球形标靶、金属标靶的配准效果较好，当现场条件有限，只能采用粘贴平面标靶时，应将平面标靶应尽可能正对仪器的激光发射镜头。同时，两测站间的公共标靶数量对配准精度有一定程度的影响，为保证点云配准精度，公共标靶数量应大于最少配准的数量要求，以防止内业点云配准过程中因部分标靶失效而造成数据配准精度的降低。同时标靶宜选择设备生产企业附带的原厂标靶。

**4.2.7** 本条文规定了纹理数据采集的图像分辨率、纹理精度等级及其他相关技术要求。扫描对象的纹理信息应根据不同的应用需求，采用不同的方式进行采集。对于纹理要求不高，纹理信息主要用于辨识点云所属物体的特征信息时，可采用仪器的内置数码相机在自然光源条件下进行采集。对于色彩还原及纹理细节有较高要求时，可使用高分辨率外置单反相机、外置光源及色卡等设备进行采集。

**4.2.8** 为便于后期点云数据处理工作的开展，应在现场数据采集的同时做相关的文字、图像记录。

每站数据采集完毕后应立即通过预览功能对所采集信息进行检查，主要检查数据采集范围内的目标物、标靶、控制点的点云数据是否出现缺失或出现与

目标物形态明显不符的情况，若无上述情况，方可移动仪器或配准标靶进行下一站的扫描作业，否则应补充扫描。当天外业工作结束前需对各扫描站点的扫描完成情况进行全面的检查，发现漏站的情况要及时进行补充扫描。

### 4.3 数据处理

**4.3.1** 点云的降噪抽稀，应保留目标物的主要细节和整体特征，满足特征提取的密度和范围要求，并宜采取措施减少非目标对象的测量数据对目标物特征提取的影响；

**4.3.2** 配准也称为拼接，是为了将目标区域构建完整，将不同站点采集的点云进行重新定位，即把相当于当前仪器坐标系下的点云转换到一个共同的基准坐标系下，组成三维数据集。

点云配准的过程其实是要找出两个坐标系之间的变换关系，可以用一个  $3 \times 3$  的旋转矩阵  $R$  和三维平移向量  $t$  来描述，求解  $R$  和  $t$  需要在两个坐标系下的空间数据中找出最少 3 个同名点（一般为标靶点或特征点）。

**1** 在坐标转换过程中，若两种坐标体系之间没有严密的数学转换关系，而仅仅是符合一定精度的转换，那么这样的转换完成后，与目标坐标系统的坐标必然不能完全一致，存在一定的误差，这个误差就是坐标转换残差。

**4** 采用标靶进行配准时，距离过近会导致方位角计算误差较大，距离过远又难以精确识别标靶。此外，考虑到标靶识别、距离测量和坐标转换过程中的误差传递，多站连续配准后会造成坐标传递的精度超出限差，且必须通过闭合到已知点以检核发现配准误差。

**5** 通过检查配准点的内符合精度，以及设置一定数量的独立检核点，可以检查配准过程中是否存在输入错误、坐标误差超限等错误，以保证多站点云配准的精度满足相应要求。

**6** 为保证点云完整覆盖扫描对象，相邻站点的点云重叠度不宜低于 20%，通视困难区域可适当放宽。

**4.3.3** 信息融合的目的，主要是为了弥补单一信息源、非均匀分布、数据理解习惯而进行的信息探测、联想、估计以及组合处理,其目的是获得精确的被测目

标的状态、一致性估计和完整的综合评价。

点云的 XYZ 坐标不包括纹理信息，可通过内置或外置相机采集 RGB 彩色纹理信息，或者通过激光反射强度来反映低光照（或黑暗）环境下的材质差异。将 XYZ 坐标与纹理、反射强度等信息源进行综合，能够获得更好的可视化效果，方便点云的人工分类、矢量化和其它应用。

在利用激光点云生成等高线或绘制立面图时，往往需要先对点云进行特殊的抽稀或投影处理，才能同步将坐标、纹理等正射投影至某一指定平面（如高程面、建筑立面等），从而获得具有特定的、一致性的量测功能的 DEM 或正射影像等。该过程也可以认为是坐标和纹理信息的融合，能够符合专业技术人员的数据理解习惯。

**4.3.4** 非目标测量物包括孤立点、非连接项、边缘噪点、角度噪点、移动物体（车辆、行人）、反射（折射）噪点等。此类数据产生的主要原因包括：（1）被测物体表面因素，如粗糙度、表面缺陷、表面材质、波纹、颜色对比度等；（2）仪器设备自身因素，如扫描精度、CCD 传感器分辨率、激光散斑、分辨率和采样误差、系统电噪声、热噪声等，可采用调整扫描参数或滤波函数过滤掉；（3）突发因素，包括人、车、飞鸟等因素。因此，可使用多次重复测量取均值或经验证有效的算法模型，去除因外界因素或仪器自身因素造成的偏离扫描目标的噪声点。

由于当前点云数据处理的分类算法、拟合模型和软件功能并不十分完善，大量的特征提取仍然需要通过人机交互完成。通过预先剔除非目标物和点云分类操作，能够有效提高人工提取的效率和正确率。

对外轮廓较规则的测量对象，如直线、矩形、圆形、圆柱体、圆锥体等，可采用拟合计算方法求解几何参数，以实现特征的自动化、批量化提取。

**4.3.5** 数据处理过程中，原始扫描点云应单独备份保存，处理成果一般可保存为 CAD 图形、几何尺寸、图像等不同类型格式。

以建筑立面测绘应用为例，首先在原始点云中提取指定的平面、立面或剖面切片，然后人工交互绘制图形和标注尺寸，保存为相应格式的 CAD 图形或表格文档。实际应用中，往往是将切片的点云、图形、尺寸等统一存储于某一特定的 CAD 文件中，以便于作业人员随时进行编辑和调用。

以地下工程的激光扫描应用为例，可利用激光点云在不同材质、入射角度条件下的反射强度差异信息，经投影和插值后生成扫描对象的灰度影像。该类影像可弥补传统 CCD 相机拍照时需外部光照的不足，能够在无光照条件下获取测量对象的材质、纹理等信息，用于进一步识别测量对象、发现病害等。

## 5 工程测绘与三维建模

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本章给出目前地面三维激光扫描仪在工程测绘和建模领域中较为普遍的作业方法，对不同作业对象的技术要求做出规定。实际作业时，应根据对象特征、现场条件及精度要求等选择合适的方法。

**5.1.3** 具有多回波功能的脉冲式扫描仪对于穿透植被效果良好，相同条件下相比相位式扫描仪能获得更多的地面点云，测绘地形图时为方便后期过滤植被，推荐使用具有多回波功能的脉冲式扫描仪。

### 5.2 技术要求

**5.2.1** 本条规定了测绘地形图时应符合的技术要求。

**1** 对于地形图上的线状地物，交互采集容易遗漏关键点位，所以应采用拟合线方式采集。

**2** 点云特征点提取处理时，要采用合适的处理算法，避免将地形特征高程点丢失，导致后期生成的等高线失真。

**5.2.2** 本条规定了制作建（构）筑物平面图、立面图、剖面图时应符合的技术要求。

**2** 根据切片投影后的点云绘制特征线既保证了采集精度，也较直接在点云上采集方便。为了保证地物采集精度，应控制点云切片的厚度。

**3** 如手工采集弧形特征线会导致特征点太密或变形，且效率太低，因此建议采用点云拟合方式采集。

**5.2.3** 本条规定了制作三维模型时应符合的技术要求。

**2** 对于规则模型直接依据点云或根据制作好的投影图建模两种方式都能符合精度要求。点云部分缺失无法准确获取结构尺寸时，可依据可见部分尺寸推算隐蔽尺寸。对于管道等曲面模型，直接根据点云交互建模不能保证点云和模型完全吻合，应交互选择曲面上的点云来拟合曲面。

**3** 对于不规则表面无法进行交互式建模，需先利用点云建立不规则三角网模型，点云扫描一般不能保证完全覆盖所测对象，因此对于不规则表面，需对建

立的三角网进行孔洞填充、边修补、简化、光滑化等处理。

**4** 应选择位置明显、特征突出、分布均匀的同名点，且不少于 4 对；各同名点应不在同一条直线上或近似同一平面内；纹理映射后，图像与模型应无明显偏差。

**5.2.4** 本条根据建模经验规定了在纹理映射时纹理处理及贴图应满足的要求。

## 6 工程检测

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本条文规定了地面三维激光扫描仪在工程检测中使用频次较高、有成熟经验的应用领域，其它领域待进一步推广应用且经验成熟后，进行补充和完善。

**6.1.2** 工程检测对点云数据的准确性有较高要求。对于单站扫描的点云数据来说，点云的点位误差主要来源于仪器系统误差，该误差具有一定规律性，易通过数据修正的方式予以减少。而多站扫描配准而成的点云数据，其点云的点位误差大小主要和配准效果有关，由于配准的实际效果难以量化，其点云的点位误差量化规律难以掌握，故工程检测中应尽量减少点云配准次数，并应做到扫描路线的闭合。

**6.1.3** 地面式激光扫描仪测量误差的影响因素较多，主要有测距、测角、激光波长、目标物反射角、目标物表面粗糙度、温度、气压、湿度、配准误差、坐标转换、拟合计算误差等。受限于地面式三维激光扫描仪的技术水平和现场作业环境的复杂多变，对于量测误差的大小，目前仍难以做到准确预评估。大量的工程实践表明，对于量测精度有明确要求的工程检测来说，应通过精度更高的方法对扫描仪的量测数据进行校验。

### 6.2 技术要求

**6.2.1** 本条文规定了几何尺寸量测的作业方法：

**1** 几何尺寸的量测，可直接通过点云点的坐标信息换算或将点云数据通过点云应用软件建模后进行量测。

**2** 由于点云点是空间分布，在特定的观测视角下，不同空间位置的点云点会出现重叠的假象，为了避免选点错误，当选取了某一点云点时，应通过移动观测视角的方法，对点云点选取的实际位置加以确认。

**3** 点云数据是由离散的点坐标组成，无空间数据的拓扑关系，相邻点之间的坐标信息不能直接获得。对于圆柱、圆球、圆锥等外形规则的目标物而言，当

直接获取特征点坐标的方式不能符合几何尺寸的量测精度,或难以通过部分点云数据获取构件的几何信息时(如直径、形心坐标),可通过将点云数据进行拟合建模或构成 TIN 后,再对模型进行量测的方式实现。

4 对于基于点云数据的拟合建模,目前大多数的研究和应用成果都集中在对平面、圆柱体、圆锥体、圆球体等点云分布具有一定规律的目标扫描物中,还无法实现对无规律点云数据的拟合建模。

#### 6.2.2 本条文规定了挠度量测的作业方法:

1 大量试验结果表明,对于圆管状构件,采用获取构件表面点云数据坐标值的方法进行挠度量测,其观测误差较大。采用拟合建模的方法,观测误差相对较小,且该方法无需在构件表面布设挠度观测点,能大幅提高现场的作业效率;

2 对于难以采用拟合建模的方式进行挠度观测的构件,可以通过获取挠度观测点点云坐标值的方法来开展挠度量测。由于点云分布具有随机性,当点间距较大时,难以保证目标观测点上有点云数据。为了避免该种情况的出现,需对挠度观测处的点云最大间距做出规定。

3 根据钢网架结构变形的特点,其挠度值可以通过球节点坐标值的变化反映。为保证拟合效果,本条款规定了量测钢网架结构挠度时,现场数据采集及内业拟合建模应符合的技术要求。

#### 6.2.3 本条文规定了表面平整度量测的作业方法:

1 为保证平整度量测结果的准确性,需对点云采样密度做出相应规定;

2 不同类型的构件,表面平整度的评价方法不同。工程检测中应根据不同的评价方法,采用合适的数据处理方法;

3 表面平整度及凹凸深度的评估方法应根据量测对象的不同采用相应的现行标准确定。

#### 6.2.4 本条文规定了倾斜量测的作业方法:

1 本款规定了倾斜量测的常用方法。为减少量测误差,需对倾斜观测的高度作出规定;

2 量测截面形状为圆形的等截面或变截面物体的倾斜时,如圆柱、烟囱、冷却塔、储油罐等,采用拟合建模的方法具有量测精度高、内外业作业效率高的特点;

**3** 对于外形具有明显轮廓线的目标物，如方柱、建（构）筑物的倾斜量测，可采用在获取的轮廓线上直接量测特征点坐标值的方法。为保证目标物的轮廓线上有点云坐标信息，应对轮廓线处的点云采样密度进行规定。

## 7 工程监测

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本章给出目前变形监测工程实践中较为普遍使用的观测方法,对其适用场合和作业技术要求等做出规定。考虑到当前激光扫描仪器精度限制、处理软件功能欠缺,倾斜监测、挠度监测、裂缝监测等领域尚未普遍应用,可根据实际工程需要进行选用。

**7.1.2** 以斜坡位移观测为例,激光扫描主要适用于人工无法布点、滑坡体变形较大,以及其它原因导致传统监测方法难以适用的情况。目前,基于激光扫描点云提取变形观测量主要采用人工提取特征和几何拟合方法,当监测对象外形改变或附着物等外部因素对观测结果产生影响时,拟合模型的适用性可能会发生改变。综合以上因素,应根据变形测量对象、变形特征、现场条件及精度要求等选择合适的方法。可以同时选择多种观测方法以相互验证。

**7.1.3** 基准网的布设和观测精度,可参照《建筑变形测量规范》JGJ 8 中的相关章节。非绝对位置变形观测时,可不设置基准网和基准点。

**1** GNSS、全站仪、水准仪等传统变形观测仪器,其仪器精度、观测精度和点位精度的指标已经大量验证和普遍认同。激光扫描仪的测距精度经仪器厂家和计量检定,也已能够进行精确测定。激光扫描仪不同于传统光学设备的观瞄操作,受角度分辨率、设站位置、表面材质、附着物、拟合模型等综合因素影响,导致其测量精度会发生一定改变。

**2** 监测几何尺寸变形,主要指隧道收敛监测、挠度监测、倾斜监测等应用。相对几何变形主要是监测对象的内部几何尺寸变化,可不依赖于基准网或基准点,但需要根据几何特征在点云中进行提取,并剔除附着物等外部因素的影响。

**7.1.5** 目前,点云拼接的配准精度受靶球加工精度、摆放位置、球间距离等多重因素影响,实际拼接精度会使得点位测量中误差达到 cm 级。因此,为提高变形观测的精度,应尽量减少多站点云之间的拼接配准。选择具有对中整平功能的激光扫描仪,主要是为了减少点云拼接误差。

3 为尽量避免由于不同扫描仪的作业模式和参数设置的不同，导致不同期监测点云的密度、精度、噪声水平等发生差异，以及由此对变形观测成果造成的影响，宜选择相同的仪器、采集模式、角度分辨率、设站位置和计算方法进行解算处理。

**7.1.6** 变形观测获取的是监测对象的形状或位置随时间变化的特征信息，因此需要及时根据测量过程中的监测数据、外部环境、施工行为及其它情况进行综合分析，调整监测工作的频率、观测方法以及多方法验证等，以确保能够及时发现变形并提前预警。

## 7.2 技术要求

**7.2.1** 沉降、水平位移和斜坡位移的监测精度主要参照《建筑变形测量规范》JGJ 8 中的相关章节取值，隧道收敛变形观测精度参照《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 中关于直径椭圆度测量的精度要求。

**7.2.3** 变形监测的精度要求较高，多站点云的配准误差会导致精度超限。

**7.2.5** 本条文规定了监测数据处理的方法：

1 沉降观测一般选择水准测量方法，激光扫描沉降观测方法主要适用于格网水准、特殊道路或其它面状监测对象，可发挥激光扫描点云覆盖密集的优势。采用拟合方法提取直线、圆柱等其它规则几何形状时，也应根据拟合后点云的整体残差来评估模型的适用性和精度指标。

2 激光扫描采用无合作目标测量模式进行观测，不同于传统变形观测方法具有明确的观测点位，难以人工选取确定的某一个监测点进行对比。

3 隧道收敛测量的断面选取，主要参照全站仪全断面收敛和激光扫描仪收敛测量。采用传统方法验证时，可认为固定测点、测线的观测方法精度优于激光扫描拟合方法，也可利用标准尺寸的几何体来直接评定点云精度以及验证拟合计算模型。本条规定收敛变形观测精度指标时，以测线长度测量中误差为精度衡量指标。

根据上海、南京等地开展的 600km 地铁盾构隧道收敛测量的工程经验，其收敛断面提取的基本步骤是：（1）利用激光扫描点云重建隧道结构的中轴线，

一般为 10m~15m 扫描范围内；（2）垂直于结构中轴线，提取 1cm~2cm 厚度的断面，并投影至统一的平面；（3）根据断面的几何特征，选择合适的拟合模型，剔除隧道内附着物影响，提取隧道收敛值。激光扫描的点云密度一般远超过全站仪全断面观测方法，单个断面点云数量可达 5000 点以上，可通过分析拟合模型的残差等确定拟合模型的适用性，以及采用传统全站仪固定测线方法验证测量精度。

隧道收敛的拟合模型的适用性，可使用全站仪固定测线法的变化量作为变形真值，与激光扫描拟合提取的收敛变形量进行对比，从而验证拟合模型的适用性。若根据管片拼接实际分段进行优化处理则精度可达到 3mm。

**4** 传统斜坡位移监测方法需要设置固定监测点，而部分高边坡、碎石边坡或泥石流等区域，难以开展监测点的选点和埋设。激光扫描方法监测斜坡位移，可以发挥其无合作目标测量、测量距离远、测点密集等优势，避免人工进行斜坡监测点布设的危险性。但是，由于斜坡表面的复杂性，尚难以通过单个激光扫描测点作为变形观测的特征点，实际工程中一般使用滑坡体的多期剖面线的变化量来观测斜坡的位移量。斜坡位移观测的精度，可根据实际工程的需要进行单独评定。斜坡观测时，可通过人工设置位移量、变形仪器高、多次重复扫描或选取多组剖面等方法，以检验滑坡体剖面变形监测精度。

**7.2.6** 考虑到监测对象的变形不可逆和过程变化，需在监测过程中组织至少 1 次质量检查。

## 8 质量检验与成果归档

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本条文规定了成果归档的质量要求。

### 8.2 质量检验

**8.2.3** 因点云采集一般都以“m”为单位，为方便模型在不同软件之间转换，所以建议模型尺寸以“m”为单位表示。建模过程中，由于编辑、修改、删除等原因，成果中有时会有没有任何面的空对象，要将空对象删除。建模完成后要对模型进行相应检查，保证模型内部点、线、面之间的逻辑关系正确，便于模型在不同使用平台之间转换。