



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

基坑工程三维激光扫描应用 技术规程

Technical specification for application of three dimensional laser
scanning in foundation pit engineering

（征求意见稿）

拟更名为：

基坑工程地面三维激光扫描应用技术规程

202X 年 XX 月

1 总则

1.0.1 为了规范地面三维激光扫描技术在基坑工程中的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

【条文说明】1.0.1 近年来随着三维激光扫描技术的发展，地面三维激光扫描技术已在基坑工程的施工和监测中逐渐得到推广应用，为规范作业方法和保证成果质量，迫切需要制定统一的技术标准。本条对制定本规程的目的和意义进行了说明。

1.0.2 本规程适用于地面三维激光扫描数据采集与数据预处理、基坑工程检测、基坑工程监测、BIM 建模与应用、检验与成果等环节。

【条文说明】1.0.2 本条对本规程的适用范围进行了规定。

1.0.3 基坑工程地面三维激光扫描应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基坑工程 excavations

为进行建（构）筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间。

2.1.2 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、反射光强度等多种信息的非接触式主动测量技术。

2.1.3 点云 point cloud

由激光扫描仪或其他三维传感器获取，以离散形式分布于三维空间中的点的集合。

2.1.4 点云配准 point cloud registration

把不同站点获取的独立坐标系下的点云数据转换到统一坐标系的过程。

2.1.5 标靶 target

具有规则几何形状的人工标识物，可以被精确地识别和量测，用于点云数据质量检查及点云配准等工作。

2.1.6 噪点 noise point

受光线、材质、振动、非目标物及扫描仪器等因素影响，点云中偏离扫描目标的点。

2.1.7 点云拟合 point cloud fitting

对离散分布在三维空间中的点构建光滑且连续的曲线或曲面模型，该模型可用数学模型或几何形状表示。

2.1.8 纹理映射 texture mapping

将纹理像素信息映射到点云或模型空间上的过程。

2.1.9 基坑工程测绘 detection of excavations engineering

在基坑工程施工及使用阶段，采用三维激光扫描技术进行基坑支护体系与周边环境的几何参数与形态检测。

2.1.10 假定坐标系 assumed coordinate system

测量控制网中任意假定一个点的坐标和起始方向而形成的坐标系统。

2.1.11 假定高程 assumed elevation

以假定的水准面为基准面的高程。

2.1.12 建筑信息模型 building information modeling (BIM)

在建设工程及设施全生命期内，对其物理和功能特性进行数字化表达，并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称。

2.1.13 参数化建模 parametric modeling

使用参数和约束来创建和修改几何模型。

2.1.14 模型求差法 model difference method

利用点云数据生成测量对象的表面模型或三维模型，对不同时段的模型进行对比分析来获取变形数据信息。

2.2 缩略语

2.2.1 CGCS2000 China Geodetic Coordinate System 2000

2000 中国大地坐标系，又称 2000 国家大地坐标系。

2.2.2 GNSS Global Navigation Satellite System

全球导航卫星系统。

2.2.3 DEM Digital Elevation Model

数字高程模型。

2.2.4 TIN Triangulated Irregular Network

不规则三角网。

2.2.5 NURBS Non-Uniform Rational B-Splines

非均匀有理 B 样条。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 当基坑规模较大、分布密集、基坑支护体系及周边环境复杂时，可利用地面三维激光扫描技术，开展基坑工程整体施工质量鉴定评估、整体变形监测、BIM建模与施工管理等工作。

3.1.2 基坑工程地面三维激光扫描技术工作流程应包括技术准备与技术设计、数据采集、数据预处理、数据分析与成果整理、质量检验与成果归档。

3.1.3 基坑工程地面三维激光扫描工作开展前应编制技术设计书，设计书的编制应符合现行行业标准《测绘技术设计规定》CH/T 1004 的有关规定，并结合工程特点、数据要求、仪器精度、场地条件等综合确定。

3.1.4 基坑工程地面三维激光扫描工作应委托具备相应能力的单位进行实施。

3.1.5 地面三维激光扫描测量应采用现行的国家平面坐标系统和高程系统，同一工程的平面坐标系统和高程系统应保持一致。

3.1.6 地面三维激光扫描测量平面控制点宜共点布设，布点位置、数量、作业方法和精度应符合现行行业标准的有关规定。

3.1.7 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。

3.1.8 对地面三维激光扫描仪在不同现场条件下扫描数据的测量结果，宜采用高等级测量仪器或方法进行数据校验。

【条文说明】3.1.8 影响地面三维激光扫描仪测量误差的因素很多，包括测距、测量角度、激光波长、激光入射角、目标表面粗糙度、温度、压力、湿度、配准误差、坐标转换、拟合计算误差等。由于地面三维激光扫描仪的技术水平和现场操作环境的复杂性，仍然难以准确评估测量误差的大小。大量的工程实践表明，对于测量精度要求明确的工程检测，应采用精度较高的测量仪器或方法对扫描仪的测量数据进行验证。

3.1.9 原始数据和成果应及时做好备份，测量成果宜及时整理和归档。

3.2 基本要求

3.2.1 地面三维激光扫描作业用于独立测量时，平面坐标系统可采用假定平面坐标系，高程系统可采用假定高程基准。

【条文说明】3.2.1

在变形监测中往往仅需要测定监测对象相对于基准点的位移变化，以及在基坑的检测与鉴定工作中测量基坑工程局部区域的尺寸等几何信息，为了减少误差累积与联测换算带来的不便，宜选择假定坐标系及高程基准作为其坐标系统和高程基准。5 小区域基坑或独立的点云成果时可不布设控制网。

3.2.2 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。

【条文说明】3.2.2 实际基坑工程应用当中，往往需要获取目标物的形态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。

3.2.3 地面三维激光扫描作业的点云精度等级应符合表 3.2.3 的规定，有特殊要求的应另行设计。

表3.2.3 地面三维激光扫描作业点云精度等级与精度要求

点云精度等级	特征点间距中误差 (mm)	相对于邻近控制点中误差 (mm)	点云最大点间距 (mm)	适用范围		
				基坑测绘	基坑监测	BIM 建模与施工管理
一等	≤3	≤5	≤3	√	√	√
二等	≤10	≤20	≤10	√	-	√
三等	≤30	≤30	≤25	-	-	√

【条文说明】3.2.3 工程应用中，点云精度是重要的参数指标，地面三维激光扫描精度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。为便于工程实际应用，本规程将点云精度划分为三个等级，并对适用范围作出相应规定。

综合考虑三维激光扫描设备实际精度水准以及应用领域的精度要求，本规程未对仪器设备的精度等级进行直接规定，而是根据不同的应用对象对测量结果的点云精度需求进行规定。当采用地面三维激光扫描仪开展测绘和建模时，建议点云精度达到一等精度的要求，对于小比例尺的测绘可酌情采用二等～三等的精度要求；当采用地面三维激光扫描仪开展基坑和工程监测时，原则上点云精度等级应达到一等的要求，对于少数变形量大、精度要求低的情形可采用二等精度等级，不得采用三等精度等级。经过分析对比，当点云精度达到一等精度时可基本实现建筑变形测量四等的要求。

基坑测绘是为保障基坑工程安全，在建设全过程中对与建筑物有关的地基、建筑材料、施工工艺、建筑结构进行一系列测试并与设计值比较的工作。工程监测是指在建构筑物施工、运营过程中，采用监测仪器对关键部位各项控制指标进行监测的技术手段，以保证工程实施过程中的安全性。

3.2.4 地面三维激光扫描仪应符合下列规定：

- 1 仪器宜具有双轴补偿功能；
- 2 仪器宜配有倾角仪、高度计、GNSS 等传感器；
- 3 仪器的技术参数应按表 3.2.4 的规定采用；

表3.2.4 地面三维激光扫描仪的技术参数 (mm)

点云精度等级 技术指标	一等	二等	三等
仪器测距中误差或仪器点位中误差	≤2@D 或≤3@D	≤5@D 或≤8@D	≤15@D 或≤25@D

有效点云范围	$\leq D$ 且 $\leq 0.5S$	$\leq 1.5D$ 且 $\leq 0.5S$	$\leq 0.5S$
--------	------------------------	---------------------------	-------------

4 地面三维激光扫描仪应经法定计量检定机构校准合格，并在校准有效期内使用；当出现仪器碰撞、振动、数据异常等情况时，应进行重新校准。

3.2.5 地面三维激光扫描仪的数据处理软件应具有兼容性，且应经过测试并经主管部门管理部门备案。

3.2.6 标靶应符合下列规定：

- 1 标靶的尺寸应根据扫描点云的密度确定，满足扫描仪的识别要求；
- 2 采用球形标靶时，应采用整体发射率大的材质，标靶的不同截面直径的极差不应大于 1mm；
- 3 采用平面标靶时，标靶的表面材质应满足扫描仪的识别要求；
- 4 标靶宜选择设备生产厂家附带的原厂标靶。

【条文说明】3.2.6 标靶从外形上主要分平面标靶、球形标靶，根据材质不同可分为金属标靶、塑料标靶、纸质标靶。标靶选用时应根据作业环境的不同采用合适的标靶形式，通常情况下，球形标靶的配准效果较好。

4 数据采集与数据预处理

4.1 一般规定

4.1.1 地面三维激光扫描仪的扫描工作参数应根据基坑工程特点、应用要求、场地条件等综合确定。

4.1.2 作业前应对仪器的测距精度、水平角精度、平面点位精度等主要性能参数进行检校。

4.1.3 数据采集与预处理应按图 4.1.3 的流程实施,宜按照附录 A 填写作业记录。

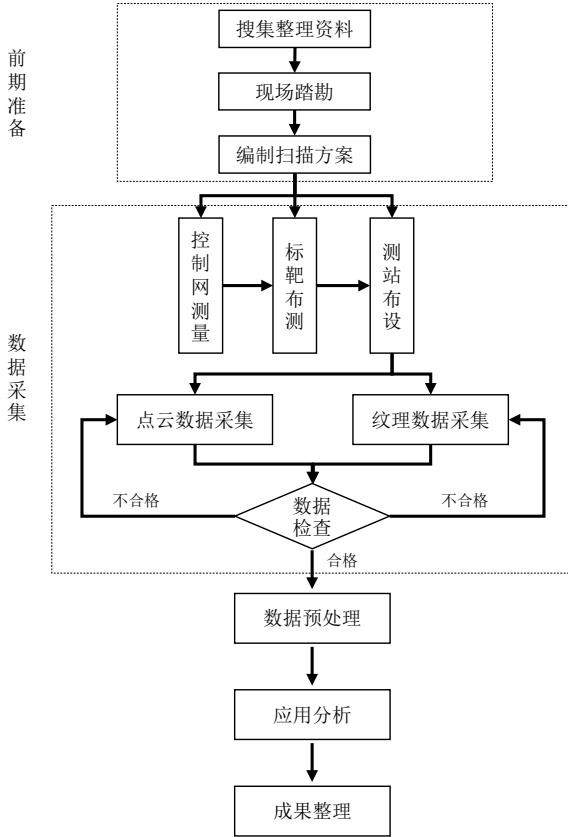


图 4.1.3 扫描作业流程图

4.1.4 三维激光扫描数据采集与数据预处理除应符合本规程的规定外,尚应符合设计要求及现行行业标准《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017 的有关规定。

4.2 前期准备

4.2.1 数据采集前应具备下列资料:

- 1 项目委托书;

- 2 基坑设计图纸及设计变更、场地地形图等工程资料；
- 3 现场作业范围、现场情况说明和现场影像资料等；
- 4 已有平面、高程控制网数据；
- 5 地面三维激光扫描技术方案。

4.2.2 作业前的现场踏勘宜包括以下内容：

- 1 基坑工程项目的范围、空间分布及施工进度等现场情况；
- 2 项目现场危险区域、交叉流线等可能影响扫描作业安全的状况；
- 3 作业区域内障碍物大小、位置等空间分布情况；
- 4 初步规划仪器的架设位置，作业路线；
- 5 已有控制点的位置、保存情况及使用的可能性。

【条文说明】4.2.2 在进行建筑基坑项目的三维扫描测绘前，进行现场踏勘是非常重要的，它有助于确保扫描工作的顺利进行以及获得高质量的扫描数据。

4.2.3 应结合已有资料、实地踏勘等情况有针对性地编制技术设计书，应包括以下内容：

- 1 根据任务书或合同文件的要求，确定测区范围、坐标系统、高程系统和采集数据要求等；
- 2 根据资料搜集、基础控制点及现场踏勘情况，确定测区平面、高程控制测量采用的技术方法、使用的设备和测量精度等；
- 3 根据项目技术要求进行扫描方案设计，合理布设扫描站和标靶点，确定测量方法和精度；
- 4 扫描作业注意事项和现场扫描质量检查方法；
- 5 根据项目技术要求和已有软件情况，对数据预处理及数据处理流程制定及资料检查设计。

4.3 扫描作业

4.3.1 作业前应对仪器进行外观检查、通电检查和相机检查，并应符合下列规定：

- 1 仪器外观应无损伤，激光镜头应清洁无污染；
- 2 仪器通电检查性能正常，电池容量和存储容量应满足作业要求；
- 3 当采用外置相机时，应进行相机主距、像主点距离、畸变参数、安装姿态等参数的校准。

4.3.2 控制网的布设应符合下列规定：

- 1 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，选定控制网等级并设计控制网的网形；
- 2 控制网布设应满足扫描站布设和标靶布设需求，控制点应编号；
- 3 控制网应全面控制扫描区域，控制点应均匀分布在目标物四周；
- 4 控制点标志宜采用平面标靶或球型标靶。

【条文说明】4.3.2 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，是地面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》GB 50026 的有关规定执行。

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，点与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，适用于地面三维激光扫描仪作业的控制网布设。控制点应统一编号，并绘制点之记略图，以便于寻找点位。

4.3.3 控制网平面测量宜采用导线测量或全球导航卫星系统（GNSS）测量的方法施测，控制网高程测量宜采用几何水准测量的方法施测，控制网的平面测量和高程测量应符合国家现行标准《工程测量标准》GB 50026、《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定。控制测量的技术参数应按表 4.3.3 的规定采用。

表4.3.3 地面三维激光扫描作业点云精度等级与精度要求

点云精度等级	控制网	
	平面控制	高程控制
一等	应专项设计	应专项设计
二等	一级导线或一级 GNSS 静态	四等水准
三等	二级导线或二级 GNSS 静态	四等水准

【条文说明】4.3.3 一等精度的控制测量应根据工程需求专项设计。

4.3.4 扫描测站的布设应符合下列规定：

- 1 扫描站应设置在基坑四周、无振动且通视条件好的安全区域，也可根据现场情况布置在基坑内部；
- 2 根据现场情况，当布置在基坑内部时应避免施工扰动；
- 3 扫描站应布设均匀，且设站数目尽量少；
- 4 当单一测站时，扫描测站的布设应覆盖目标工程；
- 5 登高作业操作空间应满足使用要求，设站区域或平台应具有稳固性。

【条文说明】4.3.4 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。在发现设站的位置存在以上影响因素时应及时进行调整，同时也要充分做好人员及设备的安全保障。

地面三维激光扫描仪的作业方式属于固定站的作业方式，通常情况下，单站作业时间较其他固定站光学测量仪器长，当需要多站作业时，现场作业效率偏低。为提高现场实施效率，可配合其他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。

4.3.5 标靶的布设应符合下列规定：

1 当各扫描站的点云数据采用标靶配准时，标靶布设的技术参数应按表 4.3.5 的规定采用；

表4.3.5 标靶布设的技术参数

点云精度等级	连续传递配准次数	相邻两站公共标靶数量
一等	≤ 3	≥ 5
二等	≤ 5	≥ 4
三等	≤ 10	≥ 3

2 标靶应均匀分布在扫描对象的四周，任意两个标靶之间的距离不宜大于 15m，且不宜放置在同一高度上；

3 标靶识别的允许点位中误差宜为 $\pm 3\text{mm}$ ；

4 地面三维激光扫描仪的激光束与平面标靶的入射角不应大于 50° 。

【条文说明】4.3.5 标靶布设是数据采集过程中的重要环节，标靶布设的合理性对扫描后整体点云的精度具有至关重要的影响。标靶布设的方法可参考控制网的布设方法。

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。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。因此本条对连续传递配准次数和相邻两站公共标靶数量进行规定。

标靶的布设需要考虑两个方面的要求，一是标靶与标靶之间的距离，距离过近会降低配准精度；二是标靶与测站之间的距离，在实际工程应用中应根据实际情况选择合适的距离，以确保标靶被准确识别，根据工程经验，建议标靶识别的误差不超过 3mm。

4.3.6 点云数据采集宜按架设扫描站、建立扫描项目、设置扫描范围、设置点间距、点云扫描的步骤操作，且应符合下列规定：

1 扫描仪应在仪器允许环境条件下使用，开机后应预热和静置 3min~5min，再开始扫描工作；

2 单站扫描过程中不宜有断电、仪器重设等操作；

3 点间距应符合数据采集要求，且最大点间距应符合本规程表 3.2.3 的规定；

4

采用点云特征点进行测站配准时，相邻扫描站点间有效点云的重叠度不应低于 30%；

5 点云精度等级为一等、二等时，相邻两个扫描测站之间的距离不宜大于 30m，点云精度等级为三级时，相邻两个扫描测站之间的距离不宜大于 50m；

6 仪器在扫描数据异常时，应分析判断原因并在采取处置措施后，重新进行点云数据采集；

7 扫描期间应在仪器及标靶附近设置警示标识，防止人员和机械设备的移动造成遮挡和触碰；

【条文说明】4.3.6 在点云精度满足工程应用的前提下，应设置合适的点云采样间距，采样点间距太大，对数据处理精度或成果的应用造成影响，采样点间距太小，采集的数据量庞大，后期处理效率较低。合适的点云采样间距，可提高外业扫描和内业数据处理效率。

4.3.7 纹理数据采集应符合下列规定：

1 纹理分辨率等级应按表 4.3.7 的规定采用；

表4.3.7 纹理分辨率等级

等级	一等	二等	三等
像元大小（mm）	≤3	≤10	≤25

2 图像拍摄应保持镜头正对目标面；

3 应选择光线柔和、能见度好、均匀的天气环境条件进行拍摄，不得采用逆光拍摄，避免高温地面拍摄；

4 相邻两幅图像的重叠度不应低于 30%；

5 采集图像时宜绘制图像采集点分布示意图；

6 拍摄纹理颜色时，可使用辅助灯光或色卡配合拍摄；

7 扫描作业时，应利用扫描仪内置或外置相机同时采集纹理数据；

【条文说明】4.3.7 本条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。

4.3.8 现场扫描完毕后，应核验扫描数据，当发现数据异常时，应补充扫描。

【条文说明】4.3.8 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，发现漏站的情况应及时补充扫描。

4.4 数据预处理

4.4.1 数据预处理应包括点云数据配准、坐标系转换、降噪与抽稀、图像数据处理、特征提取。

4.4.2 点云数据配准连接点可选择控制点、标靶、特征地物点，并应符合下列规定：

1 点云数据配准应采用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；

2 采用标靶点配准时，标靶点应分布均匀，标靶配准点个数应符合表 4.4.1 的规定；

3 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数量应符合表 4.4.1 的规定；

4 采用迭代最近点匹配法配准时，独立检核点的数量应符合表 4.4.1 的规定。

表4.4.2 每站配准点和独立检核点个数

点云精度等级	每站配准点/检核点个数		
	标靶配准点个数	特征点配准点个数	独立检核点个数
一等	≥ 5	不适用	≥ 1
二等	≥ 4		
三等	≥ 3	≥ 7	≥ 3

【条文说明】4.4.1 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*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。

2.采用迭代最近点匹配法配准时，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。

【条文说明】4.4.1 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*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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/225244044021011323>