现 代 监 控 量 测 新 技 术

课 程 讲 义

袁永博　赵璐　刘辰龙　编著

大连理工大学　建设工程学部

2016 年 11 月

第一章：数字图像相关技术

1.1 数字图像相关测量系统

数字图像相关方法（Digital Image Correlation Method，简称 DICM）, 又称为数字散斑相关方法(Digital Speckle Correlation Method，简称 DSCM)，是应用计算机视觉技术的一种图像测量方法。数字图像相关方法利用摄像机获取变形前后被测物表面的数字图像，再通过对变形前后的图像进行相关匹配运算得到被测物表面各点的位移。

数字图像相关测量首先要获取被测结构或构件变形前后的图像，要保证图像的质量就必须要有一个稳定的测量系统，图 1-1 就是一个典型的数字图像相关测量系统，它主要由光源、摄像机和计算机组成。在图像采集过程中，摄像机固定不动。被测结构或构件受荷载作用发生变形，其表面的点产生位移，摄像机通过拍摄图片的方法记录下该位移值。数字图像相关方法计算得到的位移是摄像机与被测物之间的相对位移，要使这个相对位移可以代表实际位移，显然数字图像相关测量系统要满足一定的条件。首先摄像机的位置必需固定不变，一般将摄像机安装在三脚架上，从开始拍下初始图像到最后一幅图像采集完毕整个过程三脚架不能移动，摄像机与三脚架之间也不能有相对的移动，即使摄像机微小的抖动也可能对测量结果产生很大的影响。其次摄像机的光轴要与被测物表面近似成 90 度，这是为了保证摄像机靶面与被测物表面平行。

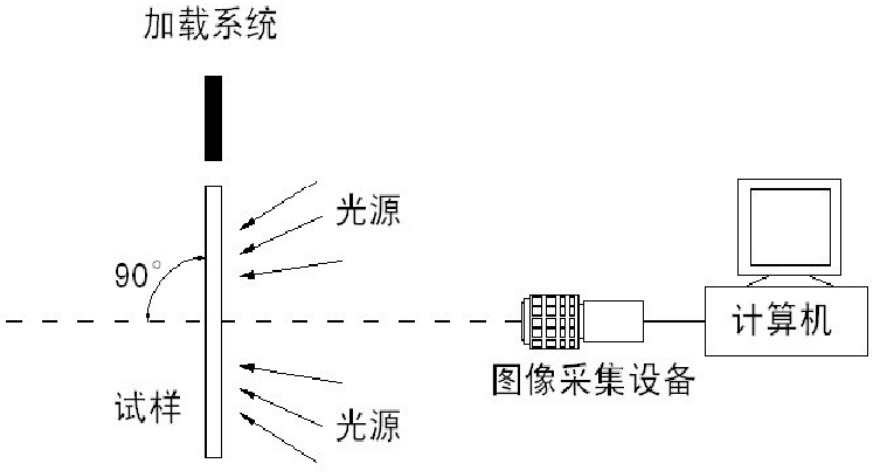


图1-1 数字图像相关测量系统示意图

摄像机作为数字图像相关测量系统的关键性元件，除了安装时要满足以上要求外，本身的性能也十分重要。摄像机的性能指标主要包括传感器类型、分辨率、信噪比、焦距、帧速率等。目前数码摄像机的传感器主要有 CCD（电荷藕合）元

件和 CMOS（互补金属氧化物导体）器件两种，一般认为 CCD 比 CMOS 的成像质量要好，但是 CCD 制造工艺较复杂，采用 CCD 的摄像头价格都会相对比较贵。事实上经过技术改造，目前 CCD 和 CMOS 的实际效果的差距已经减小了不少。而且 CMOS 的制造成本和功耗都要低于 CCD 不少，所以很多摄像头生产厂商采用的 CMOS 感光元件。摄像机采集到的图像经数字化之后，每幅图像被离散成 $m\times n$ 像素的灰度矩阵，$m\times n$ 的大小即为分辨率。在拍摄区域一定的情况下，分辨率越大，两像素点之间的实际距离就越小，测量精度就越高。信噪比是摄像机的真实图像信号与噪声信号的比值，单位为分贝，信噪比越大采集图像中噪声信号所占的比例就越小，图像就越真实。因此数字图像相关测量系统中要选用较大信噪比的摄像机，一般要求信噪比要达到 45dB 以上。焦距也是摄像机性能的重要参数，为了减小因摄像机靶面与被测量物表面不平行的位移的影响，数字图像相关测量系统中应使用长焦距远心镜头摄像机，而且为了保证图像的相关性，不宜用自动调焦的摄像机。帧速率是摄像机每秒可采集图像的张数，为了满足动态测量的需要，帧速率不宜太低。另外数字图像相关测量系统中的摄像机不同于普通的数码相机，普通的数码相机因图像的畸变较大，不能用于专业的测量中。

光源和计算机也是数字图像相关测量系统中重要的组成部分。为了保证图像的质量和变形前后图像的相关性，要求光源可以提供一个均匀稳定的光场。在白天且测量时间不是很长的情况下，自然光就可以满足要求。如果光线不足或者夜间测量则可用人工光源。计算机是数字图像相关计算的载体，一方面采集到的图像要通过数据线传输并存储到计算机中;另一方面需要在计算机中编制程序或者软件对图像进行处理和计算，因此计算机的运算速度也很大程度上决定了数字图像相关方法的数据处理时间。

另外，数字图像相关测量过程中还对被测物表面提出了一定的要求:表面可以近似为一个平面;被测物变形主要在面内，离面位移可以忽略;表面具有类似散斑图的随机灰度分布。前面两个条件一般很难人工干预，只能通过进行一些近似处理尽量降低影响。最后一个条件相对比较容易解决，实际上很多土木工程中的结构或构件表面（如混凝土表面、岩石表面等）本身就满足这一要求，如果不满足可以在喷制人工散斑。

1.2 数字图像相关的基本原理

数字图像相关测量系统采集到的图像实际是以矩阵的形式存储在计算机中，为了方便表述，可以用 $f(x, y)$ 代表变形前的图像，$g(x', y')$ 代表变形后的图像。数字图像相关方法的基本原理如图 1-2 所示，先在变形前的图像中以待测量点 (x_0, y_0) 为中心选取一定大小的子区作为参考图像子区，然后通过一定的相关搜索

方法在变形后的图像中找到与参考图像子区相关性最大的以(x_0', y_0')为中心的目标图像子区。则测量点(x_0, y_0)的位移为: $u = x_0' - x_0$， $v = y_0' - y_0$。此处计算出的位移是图片上的位移(单位是像素)，需要经过标定换算，就可得到待测点的实际位移。

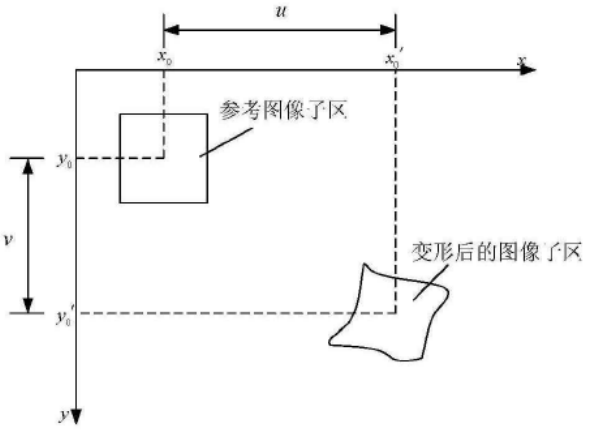


图 1-2 变形前后的图像子区

1.2.1 位移形函数

参考图像子区在变形后，不仅中心位置发生了变化，而且整个子区形状也可能会发生变化，为了表示这种变化可以引用有限元中的位移形函数。设参考图像子区中任一点(x, y)经变形后，对应目标图像子区中的(x', y')点。由于变形后图像子区不仅其中心位置会发生变化，而且形状也可能改变。因此，我们可以通过“形函数”和待定参数矢量 $\vec{p}$ 将变形前后图像子区中对应点的坐标(x, y)和(x', y')联系起来：

$$\begin{aligned} x' &= x + \xi(x, y, \vec{p}) \\ y' &= y + \eta(x, y, \vec{p}) \end{aligned} \tag{1}$$

如果目标图像子区相对于参考图像子区只有平移，则可用零阶形函数来描述:

$$\begin{aligned} \xi(x, y, \vec{p}) &= u \\ \eta(x, y, \vec{p}) &= v \end{aligned} \tag{2}$$

上式中的 u 和 v 是子区中心点(x_0, y_0)分别在 x 和 y 方向上的位移。但在大多数情况下，被测物表面不只是发生了刚体位移，还可能发生拉压、弯曲、剪切等变形。于是必需引入一阶位移形函数：

$$\xi(x,y,\vec{p})=u+\frac{\partial u}{\partial x}\Delta x+\frac{\partial u}{\partial y}\Delta y$$
$$\eta(x,y,\vec{p})=v+\frac{\partial v}{\partial x}\Delta x+\frac{\partial v}{\partial y}\Delta y \tag{3}$$

有学者认为随着图像子区尺寸和位移梯度的增大，图像子区内的位移场保持线性的可能性降低，因此必须要考虑模板窗口的非均匀变形，此时一阶形函数已经没法描述实际的变形和位移了，就需要引入二阶形函数。能描述更为复杂变形状态的二阶形函数表达式如下:

$$\xi(x,y,\vec{p})=u+\frac{\partial u}{\partial x}\Delta x+\frac{\partial u}{\partial y}\Delta y+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 u}{\partial^2 x}\Delta x^2+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 u}{\partial^2 y}\Delta y^2+\frac{\partial^2 u}{\partial x\partial y}\Delta x\Delta y$$
$$\eta(x,y,\vec{p})=v+\frac{\partial v}{\partial x}\Delta x+\frac{\partial v}{\partial y}\Delta y+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 v}{\partial^2 x}\Delta x^2+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 v}{\partial^2 y}\Delta y^2+\frac{\partial^2 v}{\partial x\partial y}\Delta x\Delta y \tag{4}$$

1.2.2 相关函数

数字图像相关方法中的相关函数是评价变形前后图像子区相似程度的函数，是待求变形参数的函数。数字图像相关方法以相关函数为判断依据，在变形后的图像中搜索，找到与变形前图像子区的相关函数为极值的子区。相关函数有多种不同的形式，归纳起来分为三类：互相关函数(Cross-correlation criteria)、最小平方距离函数(Sum of squared difference criteria)和参数最小平方距离函数(Parametric sum of squared difference criteria)。三类相关函数分别列在表 1-1，表 1-2 和表 1-3。

表 1-1 常用的互相关函数

互相关函数	公式
直接互相关函数	$C_{CC}=\sum_{x=-M}^{x=M}\sum_{y=-M}^{y=M}f(x,y)g(x',y')$
标准化互相关函数	$C_{NCC}=\dfrac{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}f(x,y)g(x',y')}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}f(x,y)^2}\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}g(x',y')^2}}$
标准化协方差相关函数	$C_{ZNCC}=\dfrac{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}[f(x,y)-f_m][g(x',y')-g_m]}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}[f(x,y)-f_m]^2}\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}[g(x',y')-g_m]^2}}$

表 1-2 常用的最小平方距离函数

最小平方距离相关函数	公式
最小平方距离相关函数	$C_{SSD}=\sum_{x=-M}^{x=M}\sum_{y=-M}^{y=M}[f(x,y)-g(x',y')]^2$
归一化的最小平方距离相关函数	$C_{NSSD}=\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}\left[\frac{f(x,y)}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}f(x,y)^2}}-\frac{g(x',y')}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}g(x',y')^2}}\right]^2$
零均值归一化的最小平方距离相关函数	$C_{ZNSSD}=\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}\left[\frac{f(x,y)-f_m}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}\left[f(x,y)-f_m\right]^2}}-\frac{g(x',y')-g_m}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}\left[g(x',y')-g_m\right]^2}}\right]^2$

表 1-3 常用的参数最小平方距离函数

参数最小平方距离函数	公式
带有一个未知参数 a 的最小平方距离相关函数	$C_{PSSDa}=\sum_{x=-M}^{x=M}\sum_{y=-M}^{y=M}\left[af(x,y)-g(x',y')\right]^2$
带有一个位置参数 b 的最小平方距离相关函数	$C_{PSSDb}=\sum_{x=-M}^{x=M}\sum_{y=-M}^{y=M}\left[f(x,y)+b-g(x',y')\right]^2$
带有两个参数的最小平方距离函数	$C_{PSSDab}=\sum_{x=-M}^{x=M}\sum_{y=-M}^{y=M}\left[af(x,y)+b-g(x',y')\right]^2$

公式中的$f(x,y)$是参考图像子区中坐标为(x,y)的灰度值，$g(x',y')$是目标图像子区中对应坐标为(x',y')的灰度。$f_m=\frac{1}{(2M+1)^2}\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}f(x,y)$，$g_m=\frac{1}{(2M+1)^2}\sum_{x=-M}^{M}\sum_{y=-M}^{M}g(x',y')$分别为参考图像子区和目标图像子区的灰度平均值。不同的相关函数对工程测试环境有不同的敏感性，因此在数字图像相关计算时需要选择一种抗干扰能力较强的相关函数。

1.2.3 相关搜索

相关搜索过程就要找到参考图像子区在变形后图像中的位置。在选定位移形函数和相关函数后，相关搜索过程如图 1-3 所示。在进行相关搜索前先选好参考图像子区，并给变形参数赋初值，然后代入形函数，得到在此初值下的(x',y')点。由于在变形过程中，物体的位移一般不会刚好整像素的，因此(x',y')点的灰度值需要通过亚像素插值才能得到。当子区内所有点对应的(x',y')点的灰度都求出来以后，便可以按上表中的定义计算出相关函数值，比较此时计算出来的相关函数值，如果达到了预先给定的闽值，就认为此时的变形参数就是所要求的。反之，重新给变形参数赋值，再计算，直到满足要求为止。

相关搜索的基本流程见图 1-3。

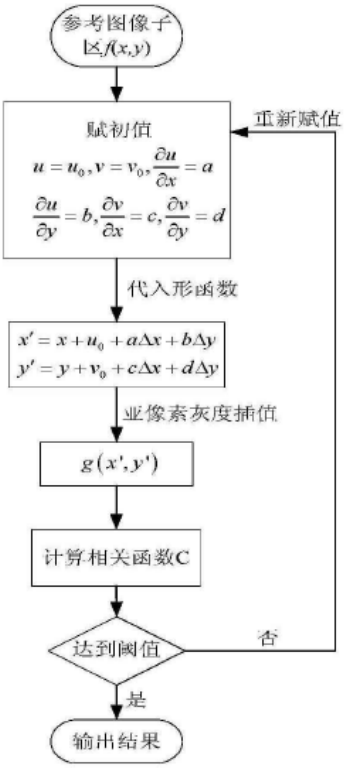


图 1-3 相关搜索流程

1.2.4 像素位移与实际位移的转化

数字图像相关方法计算的位移是图像上的虚拟位移，单位是像素。结构工程测试实践中，必需将此像素位移转换为实际位移。最直接的方法是在图像中拍下一个标尺，然后根据标尺上两参考点的实际距离 l(单位为 mm)除以这两点之间的像素个数 n，就可以得到每个像素代表的实际位移，也可称为转换系数 $r= l/n$。

1.3 图像相关方法应用于土木工程中的优势与问题

数字图像相关方法作为一种新型的光学测量方法，将其应用于土木结构变形测量中，与传统的方法相比具有其独特的优势：

(1)非接触式测量。非接触式是指测量过程中，无需接触被测构件。接触式的测量都要求找到固定的参照基准点或基准梁来安装传感器，对于大型空间结构，如大跨度桥梁的挠度，高层建筑结构的动态位移监测等，很难或基本无法找到固定的参照基准点。这时非接触式的方法的优势就突显出来了。另外非接触式测量还不会因为接触对被测量结构的受力或变形状态产生影响。

(2)全场测量。数字图像相关方法可以测量出整个被测区域的位移场或应变场。这对于研究构件的局部变形十分重要，如结构或构件的应力集中区域、关键部位和处于复杂应力状态下的区域等，这些区域的位移和应变场的分布对于结构设计或研究都是很重要的。现在的大部分方法都无法进行全场测量，有时为了得到全场应变分布不惜花费大量的人力物力和时间来制作光弹模型，并以光弹模型实验结果作为指导。由此可见，全场测量是极其重要的。

(3)一次测量既可获得位移又可获得应变。数字图像相关方法只需一次图像采集就可以经过计算得到位移和应变，而传统的方法要获得位移和应变，需要用两种不同的方法来测量，如用位移传感器来测量位移，电阻应变方法来测量应变。毫无疑问测工作量成倍的增加，且两种测量过程可能相互制约和相互影响。

(4)数据采集过程简单。数字图像相关方法的数据采集过程光路简单，无需激光作为光源，自然光就能满足要求，只用对构件表面作简单处理(表面纹理可以近似为散斑场时，可以不用处理，如混凝土表面，没有喷涂的钢材表面)。采集前的准备工作也很少，不需要进行传感器的安装、贴应变片等这些复杂的工作。

数字图像相关方法虽然有以上的诸多优势，但是目前该方法还没有在土木结构变形测量中广泛的应用，主要是因为还存在以下方面的问题：

(1)位移计算精度随距离变化。数字图像相关方法的位移计算精度虽然可以达 0.01 像素，但是如果距离较远时，测量的区域就会变大，图像上每像素对应的实际长度就会增大，精度也就随之降低。这使得数字图像相关方法难以进行远

距离测量。

(2)应变测量精度低。应变比较位移更能反应结构内部的变形情况，数字图像相关方法的理论应变测量精度只有 20με，而实际测量时由于噪声等方面的影响，更是只有 100με 左右。

(3)计算效率有待提高。进行动态测量时，目前数字图像相关方法的计算速度还难以实现真正的实时测量。而且计算速度往往与计算精度存在着矛盾，有时为了使计算精度提高，而不得不以增加计算时间为代价。由此如何处理好计算效率和计算精度之间的关系也十分重要。

(4)许多研究停留在实验室阶段。目前许多研究没有考虑实际工程环境，只是在实验室内进行，这显然使数字图像相关方法的应用还难以适应复杂的工程环境。因此还需要更进一步的研究使数字图像相关方法与工程实际结合起来。才能让数字图像相关方法在土木结构中广泛的应用。

第二章：非接触视频测量仪

非接触视频测量仪是一套由英国艾美创(Imetrum)公司研发的二维位移测量系统。该系统基于数字图像处理技术实现位移数据的非接触式测量。整套仪器包括一个已安装好配套分析软件的笔记本电脑、高分辨率数字摄像机、镜头以及三脚架，摄像机与笔记本电脑由一根千兆网线相连，实现数据的传输。该仪器已广泛应用于工程检测和各类力学实验中。

图 2-1 非接触视频测量仪在力学实验中的应用
a） 摄像机；b)千兆网线；c)配套电脑

在工程检测方面的应用主要包含：桥梁检测、道路检测、铁轨检测、堤坝检测等。

图 2-2 非接触视频测量仪在桥梁检测中的应用

图 2-3 非接触视频测量仪在道路检测中的应用

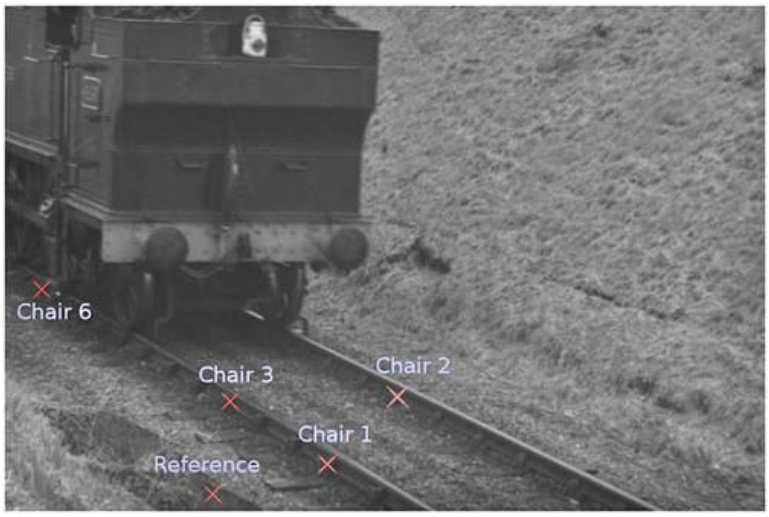


图 2-4 非接触视频测量仪在铁轨检测中的应用

图 2-5 非接触视频测量仪在堤坝检测中的应用

仪器的优势：

(1) 安装省时简单。

(2) 无需在被测物上做标记点。

(3) 同步实时测量多个点。

(4) 可以对录像进行分析，实现后处理。

2.1 仪器的操作流程

(1)架设仪器

架设相机时应该注意两个方面。

选择合适的距离

在架设相机时应在保证被测物的变形或位移不超出相机所能拍摄的范围的前提下，以较近的距离进行测量。

架设在稳定的位置上

在选择相机架设的位置时，要选择稳定的位置进行架设，尽量减小因仪器振动对测量精度产生的影响。

(2)启动应用程序

从 Start 菜单，选择 Imetrum 然后点进 Video Gauge。将会启动该应用软件程序。或者，双击桌面上的 Video Gauge 快捷方式。

应用程序的界面如下图所示：

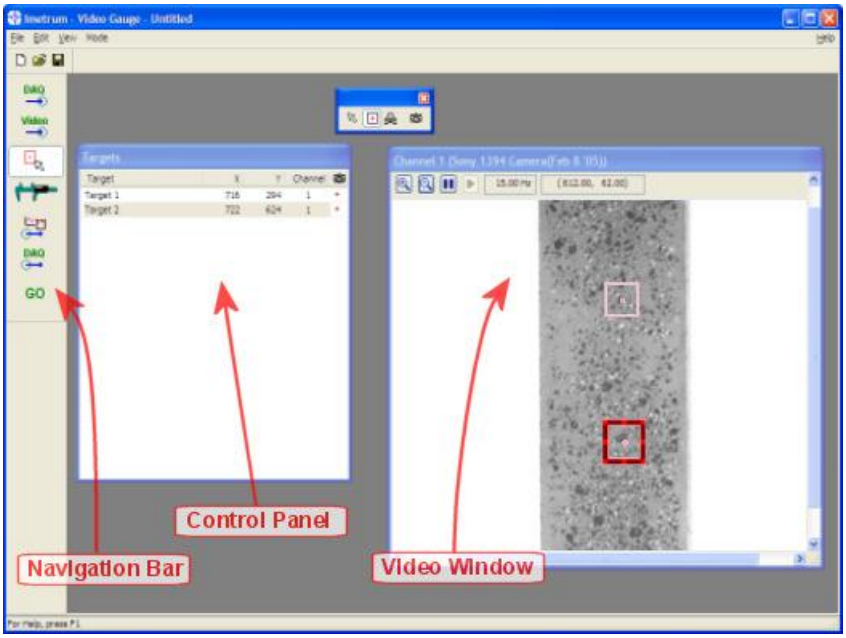


图 2-6 非接触视频测量仪的应用程序界面

应用程序窗口有三个主要部分：

视频窗口——显示的是来自相机或录像文件里的图像。如果你连接了多个相机或多个录像文件，每个录像都显现出一个窗口。视频窗口包括缩放控制按钮和图像滚动栏。

控制面板——显示的各种信息和配置应用程序的相关设置。

导航栏——从上到下依次逐步完成视频测量仪的设置。控制面板里的选项会根据导航栏中所选择的项目不同而不同。

导航栏：

在应用程序窗口的左侧是导航栏。

配置模拟和数字输入（数据采集中）

从相机和录像文件里配置视频输入

选择目标点

选择测量内容，例如应变、位移、间距

设置测试结果的图像

设置模拟和数字输出

开始测量

(3)仪器标定

视频测量仪分析视频图像，所有的测量结果都是以像素为基础。为了转换像素为实际的物理单位，比如：毫米，计算从像素到实际物理单位的转换系数是非常必要。这需要测量两点之间在图像上的距离（像素），以及两点之间的实际物理距离（毫米）。通过两者相除，得到每一个像素代表的实际物理距离。这是一个简单的处理过程，可以通过以下两种方式得到：

(1) 采用一个已知的距离

在图像中识别一个目标物，在它上面有两个点，您知道这两点之间的实际物理距离。这可能是一个具有已知尺寸的物体，可能是一个简单的直尺。现在，将鼠标分别移动到这两个点上，记下鼠标指针的坐标（显示在视频窗口的上部）。这样，两个点之间的像素距离可以利用下面的公式进行计算：

$$\text{两点之间的距离} = \sqrt[2]{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

现在，将测量得到的两点之间的实际物理距离除以像素距离得到转换系数。

(2) 采用一个已知的位移

如果一个物体可以移动一个已知的距离（比如：利用试验机的横梁位移），这种方法是很适合的，并且，将得到比前一种方式更高的准确度。

首先，在将要经历一个已知位移的物体上，做一个标记点。然后，添加一个此标记点的“displacement”测量，它将会非常准确的测量标记点的(x,y)位移。

现在，移动物体产生一定量的位移，利用下面的公式可以计算出被测量的位移：

$$\text{Displacement} = \sqrt[2]{x^2 + y^2}$$

测量得到的像素位移除以已知位移得到转换系数。

2.2 仪器在桥梁静载试验中的应用

桥梁静载试验是在静荷载作用下，对桥梁工作状态和使用能力进行直接测试的一种检定手段。通过对桥梁进行静载试验，量测与桥梁结构性能有关的参数(如变形、挠度、应变、裂缝)，从而分析得出结构的强度、刚度及抗裂性能，据此判断桥梁的承载能力。

以五一桥静载试验为案例，介绍仪器在桥梁检测中的应用。

图 2-7 五一桥桥梁检测现场

操作流程：

1）相机参数调整

选择合适的镜头，镜头焦距的不同会导致测量范围的不同。焦距越小的镜头，视场角越大，但同时会降低测量精度。本次试验选择的镜头为 25mm 焦距镜头。

本次试验所使用的工业相机的采样频率是可以调节的。该相机最高的采样频率可以达到 117HZ，即一秒钟可以拍摄 117 张照片。本次试验中，将相机的采样频率调整到 1HZ，也就是说一秒钟拍一张照片。

1HZ 的采样频率只是针对本次试验的选择，在进行其他测量时，可以根据要求适当调整采样频率。

2）选择被测点

非接触视频测量仪的数据采集原理为图像散斑识别技术原理。因此，为了保证测量的精度，被测点要尽量选在光线较好的位置。如果光线不好，会出现测不出结果的情况。

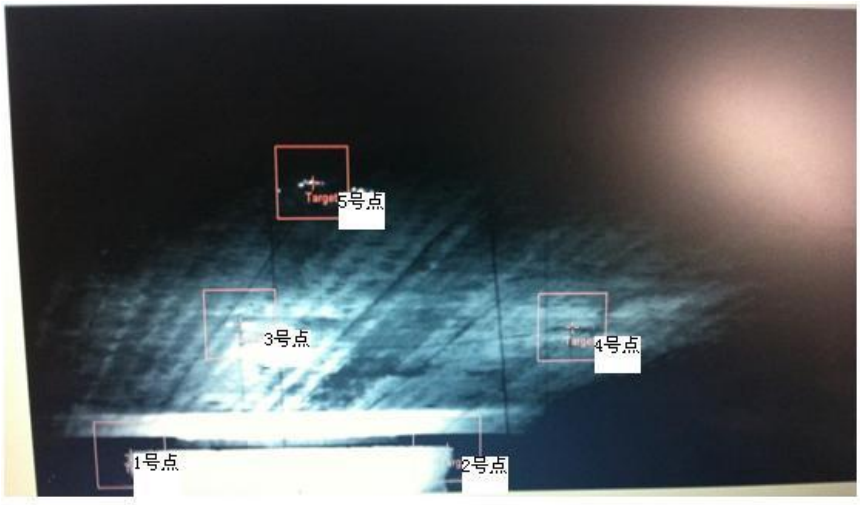


图 2-8 视频测量仪取点截图

1、2 号点为桥墩的两个角点

3、4 号点为桥底面 1/4 处点

5 号点为桥底面跨中点

因为静载试验是夜间作业，受限于光线条件，没有合适的 3/4 跨处点。

3）架设仪器

仪器的架设要注意以下几个问题。

（1）仪器要架设在一个相对稳定的环境中。远离振源，例如：测量现场的发电机；尽量避开人的干扰，例如：要求镜头前不许过人，测量过程中不能有人碰到三脚架等。

（2）在仪器的假设位置时要考虑到，被测点能否全部在视频中取到。具体的操作方式应该是在连接电脑以后，边看显示器中的图像，边调整仪器的位置。

4）仪器标定

根据 2.1 中所介绍的标定方法标定仪器即可。

5）加载、录像

在完成以上几步工作之后，就可以录像、加载了。整个录像包括了，加载前、加载过程中、满载、卸载过程、偏载、卸载结束。录像结束后，会由配套软件直接生成记事本格式的原始数据文件。

测量结果：

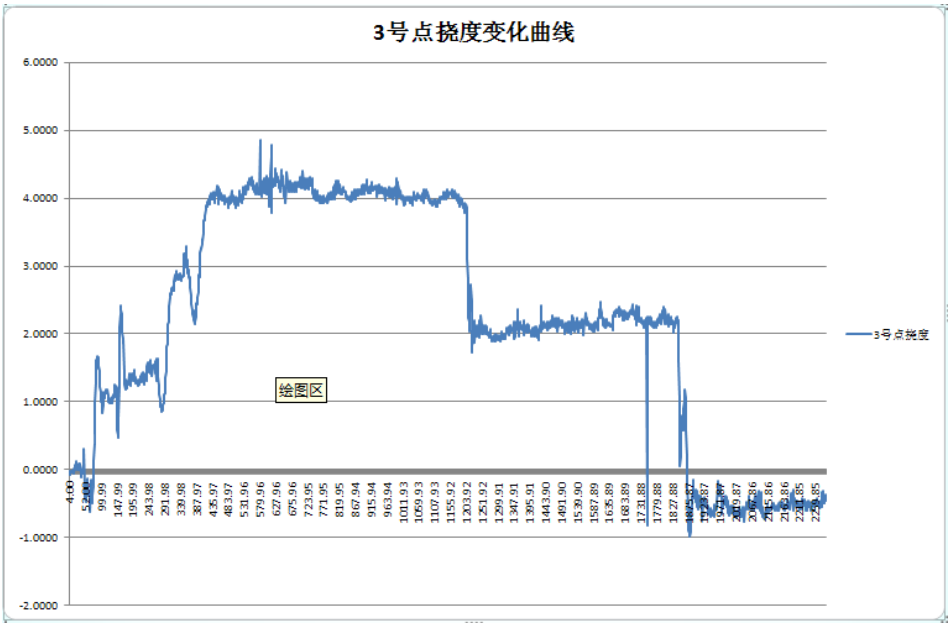


图 2-9 3 号点挠度变化曲线图

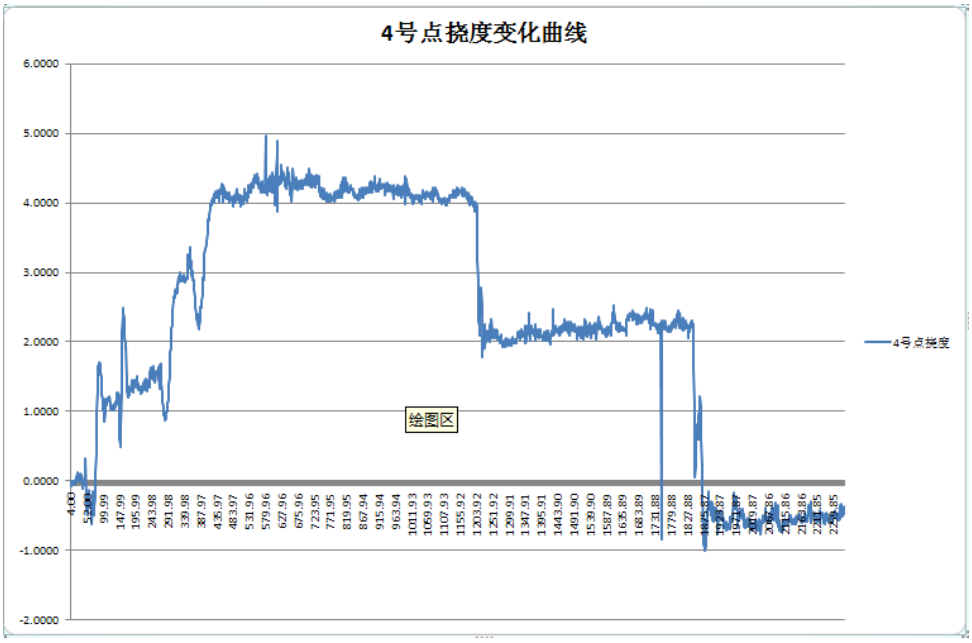


图 2-10 4 号点挠度变化曲线图

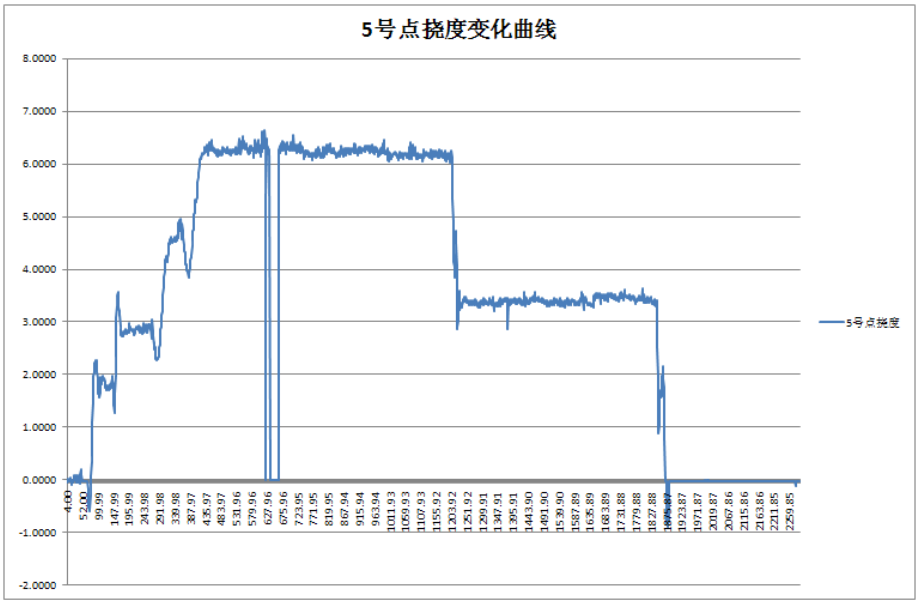


图 2-11 5 号点挠度变化曲线图

将非接触视频测量仪的结果与千分表测量的结果进行比较，如下表：

表 2-1 测量结果对比表

工况	测量方法	3 号点	4 号点	5 号点
工况一	千分表	4.71mm	4.71mm	6.13mm
	视频测量	4.61mm	4.61mm	6.24mm
工况二	千分表	2.15mm	2.15mm	3.32mm
	视频测量	2.17mm	2.17mm	3.39mm

千分表是传统的测量设备，同时也是目前在桥梁检测中公认的最准确的测量手段。通过上表的对比可以看出，利用非接触视频测量仪所得到的结果与千分表所得到的结果差别很小，说明非接触视频测量仪可以很好地应用于桥梁静载试验中。

第三章：三维激光扫描技术

3.1 基本概念

激光的英文 Laser 是 Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation 的缩写，它是 20 世纪最重大的一项科学发现。激光又被成为神奇之光，因为它的四大特性（方向性好、亮度高、单色性好、相干性好）是其他普通光所无法企及的。激光技术，是探索开发产生激光的方法以及研究应用激光的这些特性为人类造福的技术总称。自激光产生以来，激光技术得到了迅猛的发展，不仅研制出不同特色的各种各样的激光器，而且激光的应用领域也在不断拓展。

物理学家爱因斯坦在 1916 年首次发现激光的原理。1960 年，世界上第一台红宝石激光器在美国诞生，激光才第一次被制造出来。之后，激光技术在世界各国的重视和科学家们辛勤努力下得到了飞速的发展。与传统光源不同，激光具有相干性、高亮度、颜色极纯、定向发光和能量密度极大等特点，并且需要用激光器产生。

激光器是用来发射激光的装置。1954 年科学家研制成功了世界上第一台微波量子放大器，在随后的几年里，科研人员又先后研制出红宝石激光器、氦氖激光器、砷化镓半导体激光器。之后，激光器得到了蓬勃而快速的发展，激光器的种类也越来越多。激光器按工作介质大体上可分为固体激光器、气体激光器、染料激光器和半导体激光器四大类。

激光以其高亮度和能量密度极大的特性现已广泛应用于医疗保健领域。在光学加工工业和精密机械制造工业中，由于其可精密测量长度的性质，激光测距成为关键的技术之一。随着传感器技术和激光技术的发展，激光传感器出现了。它常被用于振动、速度、长度、方位、距离等物理量的测量，还被用于无损探伤和对大气污染物的监测等。

伴随着激光技术和电子技术的发展，激光测量也已经从静态的点测量发展到动态的跟踪测量和三维测量领域。20 世纪末，美国的 CYRA 公司和法国的 MENSI 公司率先将激光技术运用到三维测量领域。三维激光测量技术的产生为测量领域提供了全新的测量手段。

三维激光扫描测量，最常见的英文翻译有”Light Detection and Ranging”(缩写为 LiDAR)、”Laser Scanning Technology”等。雷达是发射无线电信号遇到物体后返回接收信号，对物体进行探查与测距技术，英文名称为”Radio Detection and Ranging”，简称为”Radar”，译成中文就是“雷达”。由于 LiDAR 和 Radar 的原理

一样，只是信号源不同，有因为 LiDAR 的光源一般都采用激光，所以都讲 LiDAR 译为“激光雷达”，也可称为激光扫描仪。

由国家测绘地理信息局发布的《地面激光扫描作业技术规程》（CH/Z 3017-2015）（以下简称《规程》），于 2015 年 8 月 1 日开始实施，对地面三维激光扫描技术(terrestrial three dimensional laser scanning technology)给出了定义：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。

三维激光扫描技术又称为高清晰测量(High Definition Surveying, HDS)，它是利用激光测距的原理，通过记录被测物体表面大量密集点的三维坐标信息和反射率信息，将各种大实体或实景的三维数据完整地采集到电脑中，进而快速复建被测目标的三维模型及线、面、体等各种图件数据。结合其他各领域的专业应用软件，所采集点云数据还可进行各种后处理应用。

随着三维激光扫描设备在性能方面（主要包括扫描精度、扫描速度、易操作性、易携带性、抗干扰能力）的不断提升，而在价格方面的逐步下降，性价比越来越高，20 世纪末期，测绘领域也掀起了三维激光扫描技术的研究热潮，扫描对象越来越多，应用领域越来越广，在高效获取三维信息应用中逐渐占据了主要地位。

传统的测量方式是单点测量，获取单点的三维空间坐标，而三维激光扫描则自动、连续、快速地获取目标物体表面的密集采样点数据，即点云；实现由传统的点测量跨越到了面测量，实现了质的飞跃；同时，获取信息量也从点的空间信息扩展到目标物的纹理信息和色彩信息。

3.2 三维激光扫描仪的原理

三维激光扫描系统主要由三维激光扫描仪、计算机、电源供应系统、支架以及系统配套软件构成。而三维激光扫描仪作为三维激光扫描系统的主要组成部分之一，又由激光发射器、接收器、时间计数器、马达控制可旋转的滤光镜、控制电路板、微电脑、CCD 相机以及软件等组成。

激光测距技术是三维激光扫描仪的主要技术之一，激光测距的原理主要有基于脉冲测距法、相位测距法、激光三角法、脉冲-相位式四种类型。目前，测绘领域所使用的三维激光扫描仪主要是基于脉冲测距法，近距离的三维激光扫描仪主要采用相位干涉法测距和激光三角法。激光测距技术类型介绍如下：

(1) 脉冲测距法

脉冲测距法是一种高速激光测时测距技术。脉冲式扫描仪在扫描时激光器发射出单点的激光，记录激光的回波信号。通过计算激光的飞行时间(Time of Flight，

缩写为 TOF)，利用光速来计算目标点与扫描仪之间的距离。这种原理的测距系统测距范围可以达到几百米到上千米的距离。激光测距系统主要由发射器、接收器、时间计数器、微电脑组成。

此方法也称为脉冲飞行时间差测距，由于采用的是脉冲式的激光源，适用于超长距离的距离测量，测量精度主要受到脉冲计数器工作频率与激光源脉冲宽度的限制，精度可以达到米数量级。

(2) 相位测距法

相位式扫描仪是发射出一束不间断的整数波长的激光，通过计算从物体反射回来的激光波的相位差，来计算和记录目标物体的距离。基于相位测量原理主要用于进行中等距离的扫描测量系统中。扫描范围通常在 100m 内，它的精度可以达到毫米数量级。

由于采用的是连续光源，功率一般较低，所以测量范围也较小，测量精度主要受相位比较器的精度和调制信号的频率限制，增大调制信号的频率可以提高精度，但测量范围也随之变小，所以为了在不影响测量范围的前提下提高测量精度，一般都设置多个调频频率。

(3) 激光三角法

激光三角法是利用三角形几何关系求得距离。先由扫描仪发射激光刀物体表面，利用在基线另一端的 CCD 相机接收物体反射信号，记录入射光与反射光的夹角，已知激光光源与 CCD 之间的基线长度，由三角形几何关系推求出扫描仪与物体之间的距离。为了保证扫描信息的完整性，许多扫描仪扫描范围只有几米到数十米。这种类型的三维激光扫描系统主要应用于工业测量的逆向工程重建中。它可以达到亚毫米级的精度。

(4) 脉冲-相位式测距法

将脉冲式测距和相位式测距两种方法结合起来，就产生了一种新的测距方法：脉冲-相位式测距法，这种方法利用脉冲式测距实现对距离的粗测，利用相位式测距实现对距离的精测。

三维激光扫描仪主要由测距系统和测角系统以及其他辅助功能系统构成，如内置相机以及双轴补偿器等。工作原理是通过测距系统获取扫描仪到待测物体的距离，再通过测角系统获取扫描仪至待测物体的水平角和垂直角，进而计算出待测物体的三维坐标信息。在扫描的过程中再利用本身的垂直和水平马达等传动装置完成对物体的全方位扫描，这样连续地对空间以一定的取样密度进行扫描测量，就能得到被测目标物体密集的三维彩色散点数据，称为点云。

3.3 点云数据的特点

地面三维激光扫描测量系统对物体进行扫描后采集到的空间位置信息是以特定的坐标系统为基准的，这种特殊的坐标系统称为仪器坐标系，不同仪器采用的坐标轴方向不尽相同，通常其定义为：坐标原点位于激光束发射处，Z 轴位于仪器的属相扫描面内，向上为正；X 轴位于仪器的横向扫描面内与 Z 轴垂直；Y 轴位于仪器的横向扫描面内与 X 轴垂直，同时，Y 轴正方向指向物体，且与 X 轴、Z 轴一起构成右手坐标系。

三维激光扫描仪在记录激光点三维坐标的同时也会将激光点位置处物体的反射强度值记录，可称之为“反射率”。内置数码相机的扫描仪在扫描过程中可以方便、快速地获取外界物体真是的色彩信息，在扫描、拍照完成后，不仅可以得到点的三维坐标信息，而且获取了物体表面的反射率信息和色彩信息。所以包含在点云信息里的不仅有 X、Y、Z、点密度，还包含每个点的 RGB 数字信息。

依据 Helmut Cantzler 对深度图像的定义，三维激光扫描是深度图像的主要获取方式，因此激光雷达获取的三维点云数据就是深度图像，也可以称为距离影像、深度图、xyz 图、表面轮廓、2.5 维图像等。

三维激光扫描仪的原始观测数据主要包括：□根据两个连续转动的用来反射脉冲激光镜子的角度值得到激光束的水平方向值和竖直方向值；□根据激光传播的时间计算出仪器到扫描点的距离，再根据激光束的水平方向角和竖直方向角，可以得到每一扫描点相对于仪器的空间相对坐标值；□扫描点的反射强度等。

《规程》中对点云(point cloud)给出了定义：三维激光扫描仪获取的以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

点云数据的空间排列形式根据测量传感器的类型分为：阵列点云、线扫描点云、面扫描点云以及完全散乱点云。大部分三维激光扫描系统完成数据采集是基于线扫描方式，采用逐行（或列）的扫描方式，获得的三维激光扫描点云数据具有一定的结构关系。点云的主要特点如下：

□数据量大。三维激光扫描数据的点云量较大，一副完整的扫描影像数据或一个站点的扫描数据中可以包含几十万至上百万个扫描点，甚至达到数亿个。

□密度高。扫描数据中点的平均间隔在测量时可通过仪器设置，一些仪器设置的间隔可达 1.0mm，为了便于建模，目标物的采样点通常都非常密。

□带有扫描物体光学特征信息。由于三维激光扫描系统可以接收反射光的强度，因此，三维激光扫描的点云一般具有反射强度信息，即反射率。有些三维激光扫描系统还可以获得点的色彩信息。

□立体化。点云数据包含了物体表面每个采样点的三维空间坐标，记录的信

息全面，因而可以测定目标物表面立体信息。由于激光的投射性有限，无法穿透被测目标，因此点云数据不能反映实体的内部结构、材质等情况。

□离散性。点与点之间相互独立，没有任何拓扑关系，不能表征目标体表面的连接关系。

□可量测性。地面三维激光扫描仪获取的点云数据可以直接量测每个点云的三维坐标、点云间距离、方位角、表面法向量等信息，还可以通过计算得到点云数据所表达的目标实体的表面积、体积等信息。

□非规则性。激光扫描仪是按照一定的方向和角度进行数据采集的，采集的点云数据随着距离的增大、扫描角越大，点云间距也增大，加上仪器系统误差和各种偶然误差的影响，点云的空间分布没有一定的规则。

以上这些特点使得三维激光扫描数据得到十分广泛的应用，同时也使得点云数据处理变得十分负责和困难。

3.4 三维激光扫描系统的分类

3.4.1 依据承载平台划分

当前从三维激光扫描测绘系统的空间位置或系统运行平台来划分，可分为如下四类：

(1) 机载型激光扫描系统

机载激光扫描测量系统（Airborne Laser Scanning System，ALSS；也有称为 Laser Range Finder，LRF；或者 Airborne Laser Terrain Mapper，ALTM），也称机载 LiDAR 系统。

这类系统由激光扫描仪（LS），飞行惯导系统（INS）、DGPS 定位系统，成像装置（UI），计算机以及数据采集器、记录器、处理软件和电源构成。DGPS 系统给出成像系统和扫描仪的精确空间三维坐标，惯导系统给出其空中的姿态参数，由激光扫描仪进行空对地式的扫描来测定成像中心到地面采样点的精确距离，再根据几何原理计算出采样点的三维坐标。

空中机载三维扫描系统的飞行高度最大可以达到 1km，这使得机载三维激光扫描不仅能用在地形图绘制和更新方面，还在大型工程的进展监测、现代城市规划和资源环境调查等诸多领域都有较广泛的应用。

(2) 地面激光扫描测量系统

地面激光扫描测量系统（Ground-based Laser Scanning System，GLSS；Vehicle-borne Laser Mapping System，VLMS）可划分为两类：一类是移动式扫描系统，也称为车载激光扫描系统，还可称为车载 LiDAR 系统；另一类是固定式扫描系统，也称为地面三维激光扫描系统（地面三维激光扫描仪），还可称为地

面 LiDAR 系统。

所谓移动式扫描系统，是集成了激光扫描仪，CCD 相机以及数字彩色相机的数据采集和记录系统，GPS 接收机，基于车载平台，由激光扫描仪和摄影测量获得原始数据作为三维建模的数据源。移动式激光扫描系统具有如下优点：能够直接获取被测目标的三维点云数据坐标；可连续快速扫描；效率高，速度快。目前市场上的车载地面三维激光扫描系统的价格比较昂贵（500 万左右），单位拥有的数量较少。地面车载激光扫描系统，一般能够扫描到路面和路面两侧各 50m 左右的范围，它广泛应用于带状地形图测绘以及特殊现场的机动扫描。

而固定式的扫描系统类似于传统测量中的全站仪，它由一个激光扫描仪和一个内置或外置的数码相机，以及软件控制系统组成。二者的不同之处在于固定式扫描仪采集的不是离散的单点三维坐标，而是一系列的“点云”数据。这些点云数据可以直接用来进行三维建模，而数码相机的功能就是提供对应模型的纹理信息。地面型激光扫描系统是一种利用激光脉冲对目标物体进行扫描，可以大面积、大密度、快速度、高精度地获取地物的形态及坐标的一种测量设备。

(3) 手持型激光扫描系统

手持型激光扫描系统是一种便携式的激光测距系统，可以精确地给出物体的长度、面积、体积测量。一般配备有柔性的机械臂。优点是快速、简洁、精确、可以帮助用户在数秒内快速地测得精确、可靠的成果。此类设备大多用于采集比较小型物体的三维数据，大多应用于机械制造与开发、产品误差检测、影视动画制作以及医学等众多领域。此类型的仪器配有联机软件和反射片。

(4) 星载激光扫描仪

星载激光扫描仪也称星载激光雷达，是安装在卫星等航天飞行器上的激光雷达系统。运行轨道高并且观测视野广，可以触及世界的每一个角落，对于国防和科学研究具有十分重大的意义。星载激光扫描仪在植被垂直分布测量、海面高度测量、云层和气溶胶垂直分布测量，以及特殊气候现象监测等方面可以发挥重要作用。

另外，在特殊场合应用的激光扫描仪，如洞穴中应用的激光扫描仪：在特定非常危险或难以到达的环境中，如地下矿山隧道、溶洞洞穴、人工开凿的隧道等狭小、细长型空间范围内，三维激光扫描技术亦可以进行三维扫描，此类设备如 Optech 公式的 Cavity Monitoring System，可以在洞径 25cm 的狭小空间内开展扫描操作。

3.4.2 依据扫描距离划分

按三维激光扫描仪的有效扫描距离进行分类，目前国家无相应的分类技术标准，大概可分为以下四种类型：

□短距离激光扫描仪。这类扫描仪最长扫描距离只有几米，一般最佳扫描距离为 0.6~1.2m，通常主要用于小型模具的量测。不但扫描速度快且精度较高，可以在短时间内精确地给出物体的长度、面积、体积等信息。手持式三维激光扫描仪都属于这类扫描仪。

□中距离激光扫描仪。最长扫描距离只有几十米的三维激光扫描仪属于中距离三维激光扫描仪，它主要用于室内空间和大型模具的测量。

□长距离激光扫描仪。扫描距离较长，最大扫描距离超过百米的三维激光扫描仪属于长距离三维激光扫描仪，它主要应用于建筑物、大型土木工程、煤矿、大坝、机场等的测量。

□机载（或星载）激光扫描系统。最长扫描距离大于 1km，系统由激光扫描仪、DGPS 定位系统、飞行惯导系统、城乡装置、计算机及数据采集、记录设备、处理软件及电源构成。机载激光扫描系统一般采用直升机或固定翼飞机作为平台，应用激光扫描仪及实时动态 GPS 对地面进行高精度、准确实时测量。

3.4.3 依据扫描仪成像方式划分

按照扫描仪成像方式分为如下三种类型：

□全景扫描式。全景式激光扫描仪采用一个纵向旋转棱镜引导激光光束在竖直方向扫描，同时利用私服马达驱动仪器绕其中心轴旋转。

□相机扫描式。它与摄影测量的相机类似。它适用于室外物体扫描，特别对长距离的扫描很有优势。

□混合型扫描式。它的水平轴系旋转不受任何限制，垂直旋转受镜面的局限，集成了上述两种类型的优点。

3.4.4 依据扫描仪测距原理划分

依据激光测距的原理，可以将扫描仪划分为脉冲式、相位式、激光三角式、脉冲-相位式四种类型。

3.5 三维激光扫描技术的应用领域

三维激光扫描技术在国内的应用逐渐增多，应用领域也越来越广，主要应用在文物保护、古建筑重建、虚拟现实、地形勘测、数字城市、城市规划、智能交通、矿山测量等领域。

(1) 文物保护与研究

人类社会在发展中留下了许多珍贵的文物，包括自然的和人文的遗产，随着时间的流逝，这些文物经过风吹日晒雨淋以及人为的破坏，有的变得残缺不全，有的面临着小时，为了更好地保护和修复这些珍贵的遗产，三维激光扫描仪技术给文物保护提供了一种新的技术手段。通过三维激光扫描技术把文物的几何和纹

理信息扫描下来，以数字的形式存储或构建成三维模型，这对文物的保护、修复以及研究都有重要的意义。

(2) 体积量测

三维激光扫描速度与精度的有点使得它可以测量和监测土方填充的体积，如果基准面已知，通过测量新的地形表面，减去它的基准面，就可以得到需要填充的土方量，在采矿或采石过程中，通过三维激光扫描仪可以获得矿的体积，而这种技术相对于传统的测量技术，速度更快、精度更高。

(3) 详细的大比例是地形图绘制

三维激光扫描技术能用在特殊场所详细的大比例尺地形图的绘制，尤其是大型建筑施工现场、采石场或下陷区，这项扫描技术非常重要。可在不直接接触危险区域的情况下，详细、快速地进行地形测量。

(4) 边坡变形监测

三维激光扫描技术可以获取高密度、高精度的三维点云数据，因此，对边坡的变形监测能反映坡体的总体变形趋势和量级。其操作过程是对边坡定期进行扫描，将前、后两次扫描的点云数据叠加在一起，然后由处理软件分析前、后两次点云数据的差别，从而得出边坡的变形趋势和量级。

(5) 开采沉陷监测

由于三维激光扫描技术具有快捷、高分辨率、高精度等特点，在进行开采沉陷监测时，可以对地表的移动进行观测，能够快速获得整个目标区域的空间位置和垂直相对位置的变化，从而确定整个地表移动区域的下沉情况。

(6) 基础设施建设

三维激光扫描仪及处理软件被应用于公路、铁路、航空、港口等项目的新建、改建及规划中。在这些基础设施建设领域，三维激光扫描仪提供了快捷的测绘手段，测量数据精度高，测量结果不仅包含特征点的几何特征，而且连同现场对象的细节特征，对象的颜色信息及完整的三维空间结构都保存下来。可实现将全面、可视化、精准测量的结果完全在电脑中进行细化测量和勘察，减少野外数据采集的工作量和采集时间。

第四章：FARO FOCUS^{3D} 三维激光扫描仪

FARO FOCUS^{3D} 激光扫描仪是由美国 FARO 公司研发的一套中距离相位式地面激光扫描仪。FARO 是美国著名品牌，是纳斯达克上市公司，FARO 全球总部位于美国佛罗里达州，欧洲总部位于德国斯图加特，亚太总部位于新加坡，FARO 在全球安装了超过 20000 台设备，并拥有 10000 多个用户。

4.1 仪器的组成

图 4-1 FARO 三维激光扫描仪
a)激光发射孔；b)反射棱镜；c)操作面板

三维激光扫描仪的构造主要包括：一台高速精确的激光测距系统、一组引导激光并以均匀角速度扫描的反射棱镜、水平方位偏转控制器、高度角偏转控制器、内置数码相机。

4.2 仪器的操作流程

（1） 安装仪器

展开并锁定三脚架的所有支脚。检查三脚架的调节装置是否已锁定，并且每个支架长度相等。确保表面平稳，固定三脚架的支脚，并且三脚架牢固地安装在

其位置上。三脚架板应尽可能调至水平。接下来，将三维激光扫描仪通过标准相机快装板安装到三脚架上。

（2） 打开仪器

按扫描仪的“ 开 / 关 ”按钮可开始启动过程，此时扫描仪 LED 呈蓝色闪烁。

如果只通过电池供电，但是因电池电量太低而无法启动扫描仪，则扫描仪 LED 会呈黄色持续亮起。其它启动过程错误会导致 LED 呈橙色闪烁。

当仪器准备就绪时， LED 会停止闪烁并会呈蓝色持续亮起，并且扫仪操作软件的主屏幕会出现在集成触摸屏上。

图 4-2 三维激光扫描仪操作面板

（3） 设置扫描参数

扫描参数（如分辨率、质量或扫描角度）是扫描仪用于记录扫描数据的参数。可通过两种方式设置扫描参数：手动更改这些参数，或选择作为一组预定义扫描参数的扫描配置文件。当选择某个扫描配置文件时，会使用此扫描配置文件的设置覆盖扫描参数。

图 4-3 三维激光扫描参数设置

（4） 开始扫描

设置好参数后，点击屏幕上的开始扫描按钮，扫描开始。

图 2-3 扫描视图

扫描时，人眼应处于安全距离之外，尽量不要直视仪器，以免激光对眼睛造成损伤。

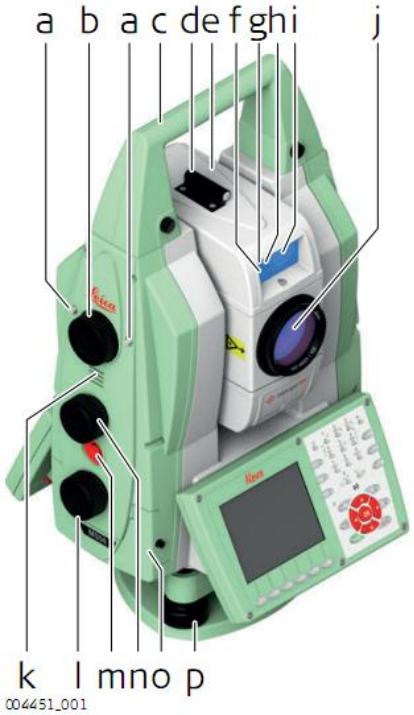
第五章：Leica 超站仪

5.1 超站仪简介

超站仪由扫描全站仪 MS 50 与 GS 15 GPS 天线组成的。

MS 50 是目前最先进的测量工具，集成了高精度全站仪技术、高速 3D 扫描技术、高分辨率数字图像测量技术以及超站仪技术等多项先进的测量技术。应用领域包括：隧道断面测量，超欠挖计算，油罐计量，大坝、桥梁等扫描监测，矿石等堆场体积计算，建筑数字化、文物保护等。仪器构成见下图。

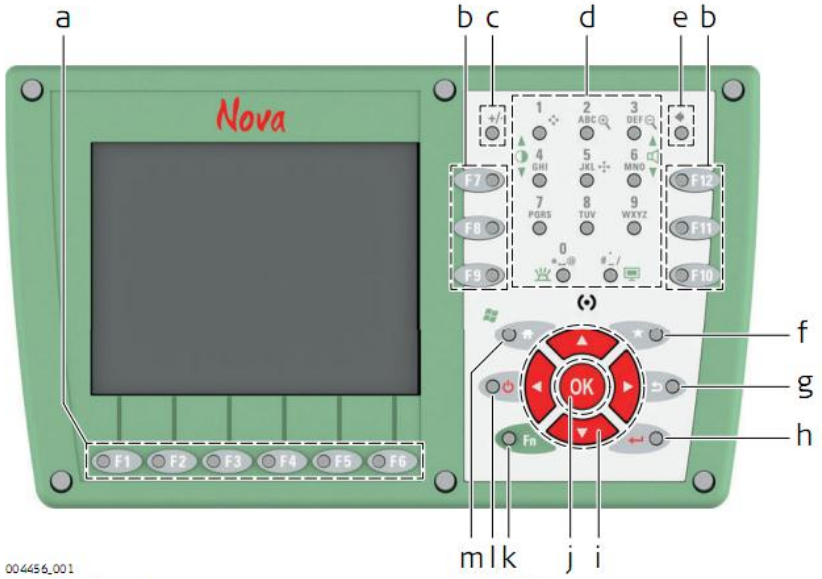
图为 MS50/TS50 仪器。



a）自动对焦按钮
b）伺服对焦螺旋
c）提把
d）粗瞄器
e）望远镜，集成 EDM，ATR，相机 （如有） 对于 MS50/TS50，EGL 和 PS
f）对于 MS50/TS50，EGL
g）对于 MS50/TS50 I/TM50 I，广角相机
h）对于 MS50/TS50，超级搜索，发送器
i）对于 MS50/TS50，超级搜索，接收器
j）角度和距离同轴光学测量，距离测量可见激光出口
k）扬声器
l）水平微动螺旋
m）用户自定义智能键
n）竖直微动螺旋
o）SD 卡和 USB
p）基座脚螺旋

q) 可互换目镜
r) 圆水准器
s) 触摸屏输入笔
t) 电池仓
u) 竖直微动螺旋
v) 基座保险钮
w) 屏幕
x) 键盘； TM50 第二面键盘可选

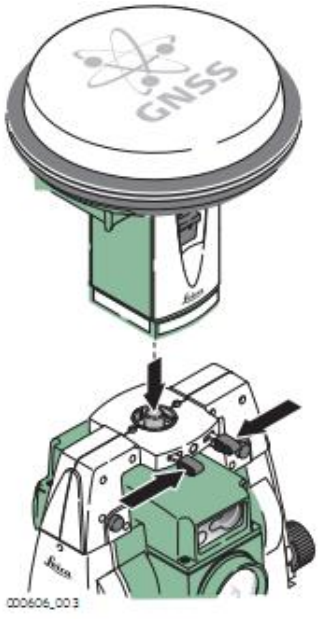
键盘 MS50/TS50/TM50



a) 功能键 **F1 - F6**
b) 功能键 **F7 - F12**
c) ± 键
d) 字母数字键
e) 退格
f) 快捷键
g) 返回
h) 回车键
i) 导航键
j) **OK**
k) **Fn**
l) 开 / 关
m) 主菜单

按键	功能
功能键 F1-F6	对应活动窗口下面的六个软按键。
功能键 F7-F12	用户自定义为执行所选命令或进入选择页面的按键。
字符数字键	输入字符及数字。
返回键	离开当前页面并且不保存任何修改。
Fn	第一和第二级功能键之间切换。
回车	选择加亮显示线段并且进入下一逻辑菜单 / 对话框。 进入编辑模式以编辑字段。 打开一个可选列表。
开/关	如仪器处于关机状态： 可按住 2 s 打开。
快捷键	进入快捷键菜单。
主菜单	回到 SmartWorx Viva 主菜单。
导航键	在屏幕上移动焦点。
OK	选择加亮显示线段并且进入下一逻辑菜单 / 对话框。 进入编辑模式以编辑字段。 打开一个可选列表。

通过特制的连接器，将 GS15 GPS 天线与 MS 50 相连接，组成全站仪。



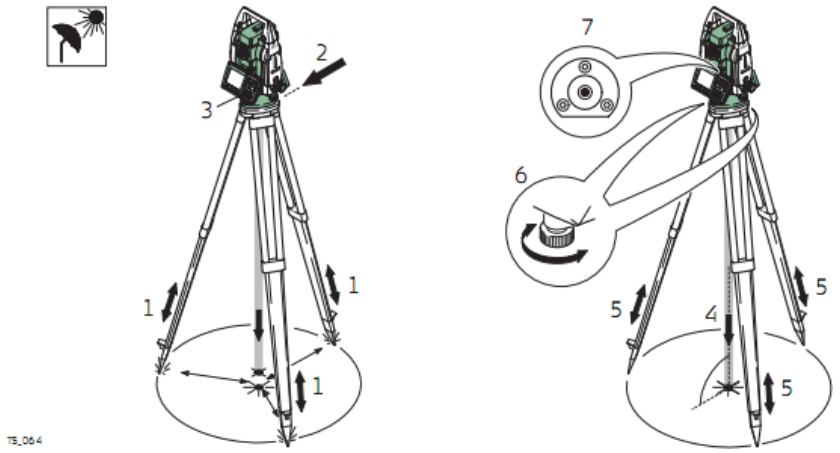
传统的测量，如地形、地籍、土地、交通、工程线路、森林、灾害防治、江河湖海水域等测绘工作，无一不需要做控制网或控制点，而对测量对象较少或控制引入困难的地区，建立控制是一件不划算的做法，而超站仪可以很方便的解决这些问题，使测绘作业从此彻底摆脱控制网的束缚；克服了顶空不通视对 GPS 技术造成的困难；克服了目前最集中体现现代测绘科技发展进步的 RTK 技术和 RTK 网络技术必须设基准站且作业半径范围受限制的困难；可以随时测定地球

上任意一点在当地坐标系下的高斯平面坐标，而且精度均匀；可以极大的减轻目前测绘作业的劳动强度。而且具有独立性、准确性、易操作性等各种测量手段的优势集合。

5.2 超站仪的操作流程

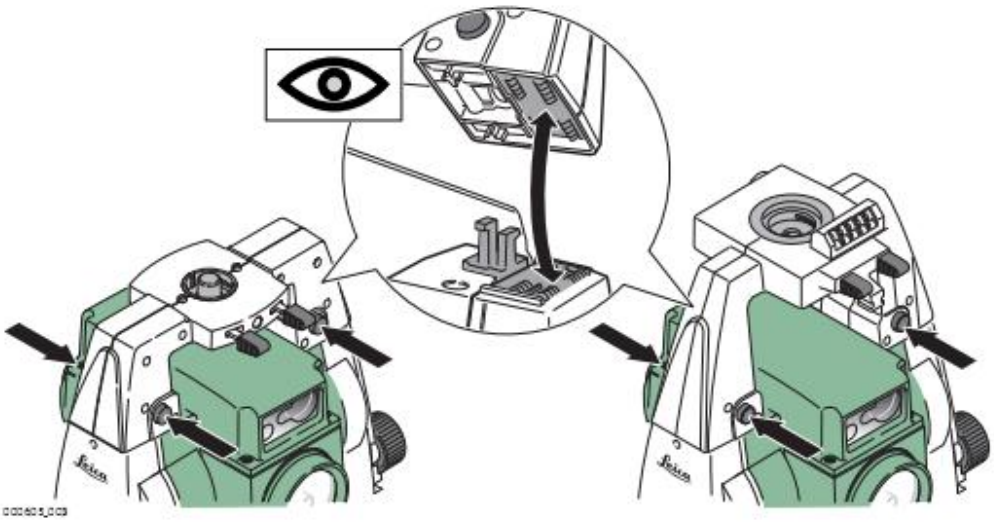
（1） 架设仪器

1）架设 MS 50：

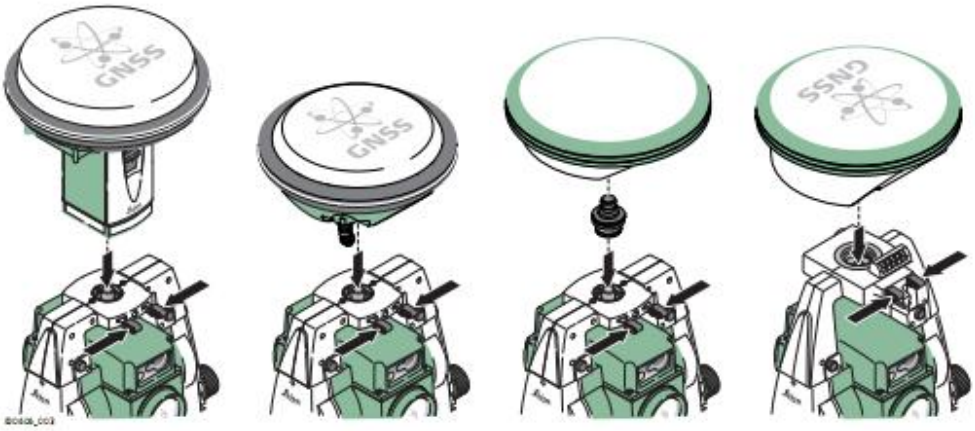


步骤	说明
☞	使用遮阳伞、遮阳罩等设备保护仪器，使仪器免于阳光直射及周围温度不均。
1.	顾及到观测姿势的舒适性，调节三脚架腿到合适的高度。将三脚架架设在地面标志点上，严密对中。
2.	将三角基座和仪器牢固固定在三脚架上。
3.	开启仪器，点击 。选择**主菜单** / **仪器** / **全站仪设置** / **整平 & 补偿器**激活激光对中器和电子气泡 . 对于 TS12 Robotic： 开启仪器，点击 **ON** 持续 2 s 按 **USER, STAT (F3)** 进入**状态菜单** 选择**整平 & 补偿器**进入**整平 & 补偿器界面**激活激光对点器。
4.	移动三脚架腿 (1) 并调节三角基座脚螺旋 (6)，对中地面点 (4)。
5.	调节三脚架腿整平圆气泡 (7)。
6.	根据电子气泡，调节基座脚螺旋 (6) 精确地整平仪器。
7.	通过移动和调整三角基座 (2) 对中仪器 (4)。
8.	重复步骤 6. 和 7. 直到满足精度要求。

2）安装 GS 15 天线：



步骤	说明
1.	通过同时按压四个开关按钮将 GS15/GS14/GS08plus 天线通过 GAD110 适配器放置到全站仪上。 对于 GS08plus： 对于 GAD110 适配器，还需要 GAD113 适配器 通过同时按压四个开关按钮将 {GS12 天线通过 GAD104 适配器放置到全站仪上。
☞	确保适配器下端的连接接口与 Communication side cover 位于同侧。



步骤	说明
2.	通过同时按压两个夹子将 GS15/GS14/GS12/GS08plus 天线连接到适配器上。

（2） 仪器的主菜单

确认
选择高亮的选项并继续接下来的屏幕。

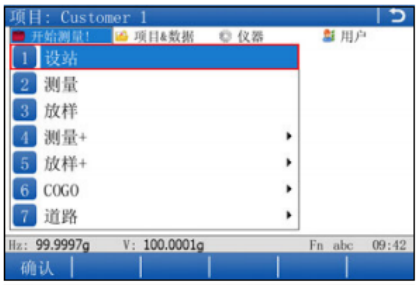
图形
打开**点击图形**

Fn 模式
切换 GPS 和 TPS 模式

Fn 退出
关闭 Leica SmartWorx 软件

主菜单 功能	说明
1	**开始测量！** • 选择并开始应用程序。
2	**项目 & 数据** • 管理项目，数据，编码表，GNSS 天线，反射目标，坐标系 • 以 ASCII 格式或 DXF 格式从仪器项目中导出数据到存储设备的文件中。 • 从存储设备文件中导入 ASCII，GSI 或 DXF 数据到仪器的项目中。 • 在项目间拷贝点。
3	**仪器** • 进入所有与测量，仪器以及接口相关的配置参数。 • 查看多个仪器状态界面。 • 如有，配置相机。
4	**用户** • 格式化存储设备。 • 上传与仪器功能相关的文件，例如，固件文件，语言文件以及许可码。 • 在存储设备与一个标准且简单的 FTP 服务器之间传输数据。 • 查看存储设备或者内存中的文件。 • 配置不同系统和测量参数的所有参数。 • 检校并调整补偿器，指标差，视准差

（3） 超站仪的设站



开始设置

- 在**开始测量！**菜单，选择**设站**

- 选择下列方法中的一种进行设站并选择**确认**
  - **设置方位角**
  - **已知后视点**
  - **多个后视点**
  - **高程传递**

肯定有一种适合 SmartStation 的设站方法。

测量目标点

- **测站点选自：** 选择 **GPS- 超站仪** .
- **仪器高：** 输入仪器高

确保天线类型设置正确 这样可以确保 TPS 和 GS15/GS14/GS12/GS08plus 天线在垂直方向保持一致。

- **确认**进入 GPS 测量界面

测量目标点

- 按**观测**进行点观测
- 按**停止**结束点观测
- 按**保存**存储点信息

选择一个坐标系统

如果没有选择一个坐标系统

- 按**当地**进入**单点一步法**

或

- 按**坐标系**进入**坐标系**界面选择一个已有的坐标系统
  在这个界面，创建和编辑坐标系统都是可以的

- **坐标系名**给当前坐标系统输入一个名称
- 输入设站点的当前坐标系
- 按**确认**来设置坐标系

测量目标点

- **后视点号** 选择相关点号用于后视点
- 按**测距**进行测量
- 按**设置**设置设站定向并返回到**主菜单**

现在您完成了 SmartStation 设站。

（4） 开始测量

点击主菜单上的开始测量，选择所要进行的测量工作，测量开始。