

《用 TI 图形计算器学编程》—应用篇—工程测量

测量技术是一门具有自身专业体系、涵盖多种学科、理论性和实践性都非常强的前沿科学。掌握测量技术，必须熟知测量技术方面的基本知识，掌握测量基本技能，能具体操作测量的机械仪器。在得到测量数据后，一些计算可以借助 TI-Nspire™ CX CAS 中文彩屏机编程来完成，下面我们一起来学习如何利用编程来解决一些简单的工程测量问题。

一、工程测量简介

在工程建设的设计、施工和管理各阶段中进行测量的理论、方法和技术称为“工程测量”。工程测量是测绘科学与技术国民经济和国防建设中的直接应用，是综合性的应用测绘科学与技术。

在测绘界，人们把工程建设中的所有测绘工作统称为工程测量。它实际上包括在工程建设勘测、设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作。它是直接为各项建设项目的勘测、设计、施工、安装、竣工、监测以及营运管理等一系列工程工序服务的。可以这样说，没有测量工作为工程建设提供数据和图纸，并及时与之配合和进行指挥，任何工程建设都无法进展和完成。

工程测量按其工作顺序和性质分为：勘测设计阶段的工程控制测量和地形测量；施工阶段的施工测量和设备安装测量；竣工和管理阶段的竣工测量、变形观测及维修养护测量等。按工程建设的对象分为：建筑工程测量、水利工程测量、铁路测量、公路测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、矿山测量、城市市政工程测量、工厂建设测量以及军事工程测量、海洋工程测量等等。因此，工程测量工作遍布国民经济建设和国防建设的各部门和各个方面。

工程测量又可分为放样与测量。所谓放样，就是把已知的数据放样到施工现场，也就是说坐标一般都是设计文件给出来的，如果没给出来具体的数据起码也有一些基础数据，根据基础数据用相应的公式计算就得到了所要的坐标。

测量放样的工具一般是全站仪，外形如右图。全站仪即全站型电子速测仪（Electronic Total Station），是一种集光、机、电为一体的高技术测量仪器，是集水平角、垂直角、距离（斜距、平距）、高差测量功能于一体的测绘仪器系统。因其一次安置仪器就可完成该测站上全部测量工作，所以称之为全站仪。它广泛用于地上大型建筑和地下隧道施工等精密工程测量或变形监测领域。



在测量中，最重要一个原理是坐标计算原理，它主要通过坐标增量完成计算。

一般地，设线段两端点 A 和 B 的坐标分别为 (x_A, y_A) 、 (x_B, y_B) ，这两点间坐标值之差称为坐标增量。纵坐标增量以 Δx 表示，横坐标增量以 Δy 表示。若 A 为始点， B 为终点，则 A 至 B 的纵、横坐标增量分别为 $\Delta x_{AB} = x_B - x_A$ 、 $\Delta y_{AB} = y_B - y_A$ 。反之，若 B 为始点， A 为终点，则 B 至 A 的纵、横坐标增量应为 $\Delta x_{BA} = x_A - x_B$ 、 $\Delta y_{BA} = y_A - y_B$ 。用通式表示为： $\Delta x_{始-终} = x_{终} - x_{始}$ ； $\Delta y_{始-终} = y_{终} - y_{始}$ 。

以上可以看出， A 至 B 及 B 至 A 之坐标增量的绝对值相等，而符号相反。可见，一

线段之坐标增量的符号取决于线段的方向，即取决于线段方向所指的象限，而与该线段所在的象限无关。

如果已知线段 AB 的长度 s_{AB} ，同时已知该线段的坐标方位角，那么， AB 两点间的坐标增量也可以由下式求得： $\Delta x_{AB} = s_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}$ ， $\Delta y_{AB} = s_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}$ 。

写成通式为： $\Delta x_{\text{始-终}} = s \cdot \cos \alpha_{\text{始-终}}$ ； $\Delta y_{\text{始-终}} = s \cdot \sin \alpha_{\text{始-终}}$ 。

已知两点坐标，求两点之间的距离为： $s = \sqrt{\Delta x_{\text{始-终}}^2 + \Delta y_{\text{始-终}}^2}$ 。

在测量工作中，应用坐标增量可解决两类问题：

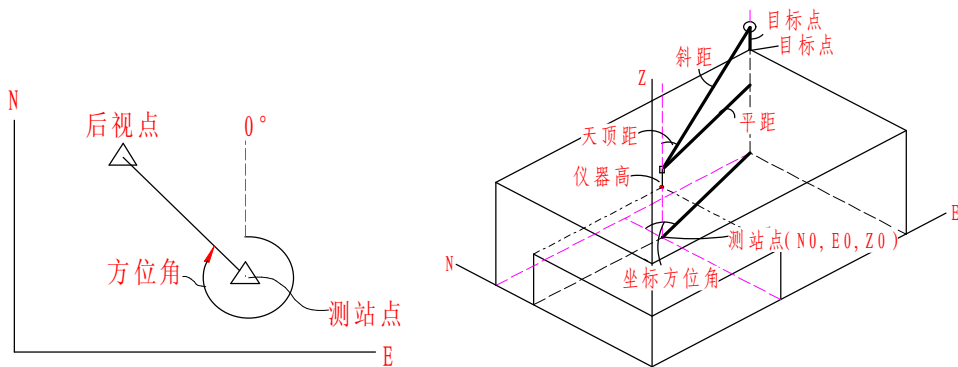
(1) 坐标正算. 根据线段始点的坐标、线段长度及其方位角，计算线段终点的坐标，称为坐标正算；

(2) 坐标反算. 根据线段始点和终点的坐标，计算线段的边长和方位角，称为坐标反算。

在测量放样时，通常要用到坐标正算和坐标反算. 如已知实地两个点坐标把第三个、第四个等等已知待定点坐标在实地标出来，首先就要用到坐标反算把线段的方位角计算出来，然后利用坐标正算把终点坐标测量出来。

二、测量案例

开启全站仪，选择相应的功能，可以直接测量角度、距离、坐标. 例如进行坐标测量时，先设置好测站坐标，测站高，棱镜高及后视点坐标，设置好后照准得出方位角，从而测定出未知点的坐标. 测量图示如下：

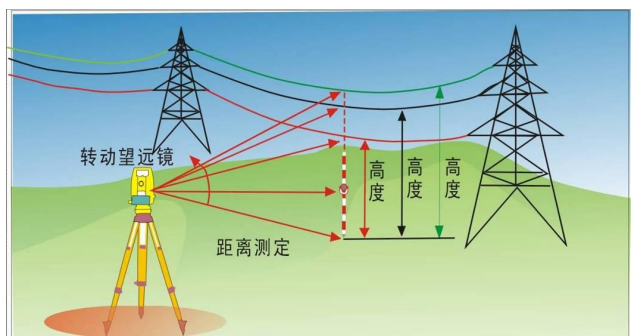


下面我们看看利用全站仪进行测量的实际案例。

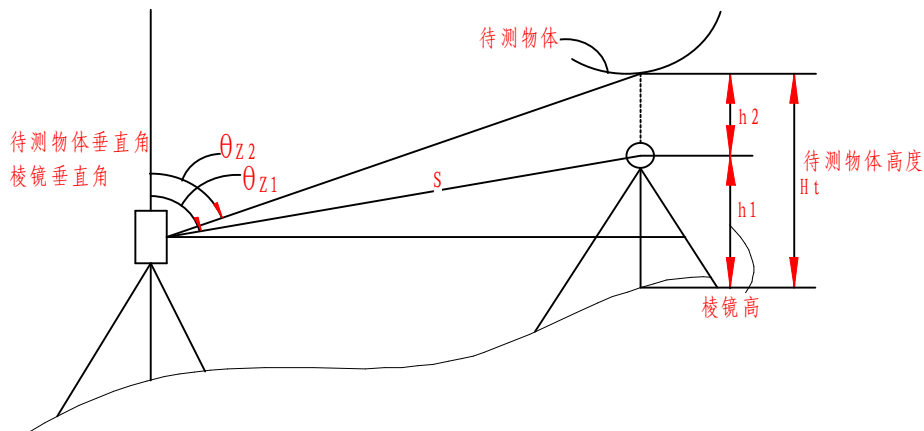
1. 悬高测量

为了得到不能放置棱镜的目标点高度，只须将棱镜架设于目标点所在铅垂线上的任一点，然后进行悬高测量. 悬高测量用于对不能设置棱镜的目标（如高压输电线、桥架等）高度的测量。

例 1 右图所示，在对一高压输电线的悬挂高度进行测量时，不能将棱镜置于高压线上，此时只须将棱镜架设于目标点所在铅垂线上的任一点，然后进行悬高测量。



测量时，可得到下图的相关数据，主要有：棱镜高 h_1 、棱镜垂直角 θ_{z1} 、待测物体垂直角 θ_{z2} 、棱镜距离 s 。试求待测物体高度 h_t 。



分析：根据解三角形易得到求解方法，从而建立起数学求解模型，由于测量中需要重复测量，从而可编写一个自定义库程序进行计算。

解：第一步 利用解三角形的知识建立求解模型。

由图易知， $h_2 = s \cdot \cos \theta_{z2} - s \cdot \cos \theta_{z1}$ ，从而 $h_t = h_1 + h_2$ 。

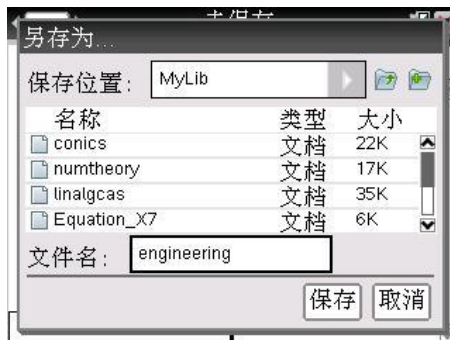
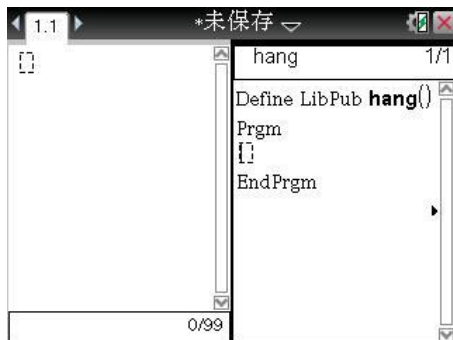
第二步 新建一个程序。

按 **on** **1** **1** 新建一个文档及计算页，按 **menu** **9** **1** **1** 新建一个程序，命名为 *hang*。注意类型设置为“程序”，库访问设置为“LibPub（显示在目录中）”。



第三步 保存文件到库目录。

按 **ctrl** **s** 弹出保存文件的窗口，文件保存在 *MyLib* 目录下，命名为 *Engineering*。





第四步 输入计算悬挂物高度的程序.

在程序窗口, 输入以下程序:



```
Define LibPub hang()=  
Prgm  
©测量悬挂物高度, 棱镜立于目标  
点铅垂线下.  
setMode(1,15):  
setMode(2,2):setMode(5,2)  
Request "棱镜高",h1  
Lbl begin  
Request "棱镜垂直角",θ 1  
Request "棱镜距离",s  
Request "目标垂直角",θ 2  
h2:=s*cos(θ 2)-s*cos(θ 1)  
Disp "目标高度",h1+h2  
DelVar θ 1,θ 2,s  
Try  
Request "回车重新开始, 其它键  
+回车 结束",bg,0  
Else  
Goto begin  
EndTry  
DelVar bg  
EndPrgm
```









```
hang 16/16  
Define LibPub hang()=  
Prgm  
©测量悬挂物高度, 棱镜立于目标点铅垂线下.  
setMode(1,15): setMode(2,2):setMode(5,2)  
Request "棱镜高",h1  
Lbl begin  
Request "棱镜垂直角",θ1  
Request "棱镜距离",s  
Request "目标垂直角",θ2  
h2:=s*cos(θ2)-s*cos(θ1)  
Disp "目标高度",h1+h2  
DelVar θ1,θ2,s  
Try  
Request "回车重新开始, 其它键+回车 结束",bg,0  
Else  
Goto begin  
EndTry  
DelVar bg  
EndPrgm
```

按  可选择注释符“©”, 按  可进行中英文切换. 建议采用软件“TI-Nspire CAS Teacher Software”编写以上程序.

第五步 检查语法, 并保存程序.



按   检查语法并保存, 如有错误, 则光标停留在错误行.

第六步 刷新库.

按   新建一个文档及计算页, 按   执行刷新库的操作, 按   即可以看到新增的库文件 *Engineering* 和其下的相应库函数 *hang*, 以及库函数的注释.



第七步 调用自定义的库函数.

在计算页中, 按   查找到新增的库文件 *Engineering* 下的库函数 *hang*, 回车后依次输入所需数据, 得到计算结果, 然后选择是否退出计算.



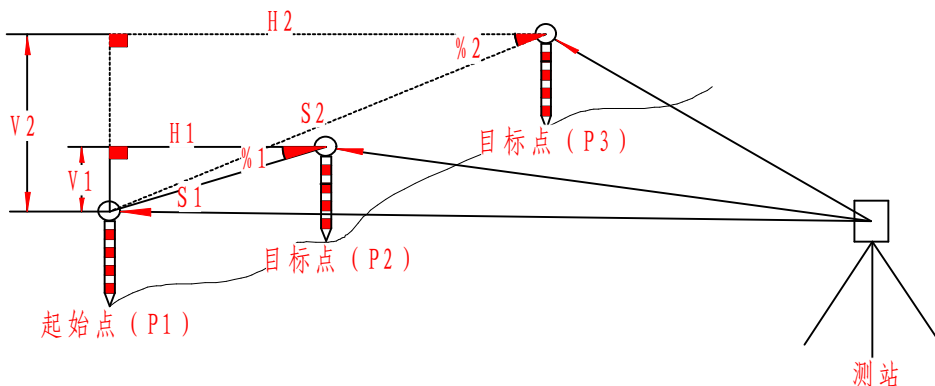
思考：给定两个已知点的绝对高度，如何测量悬挂物的绝对高度呢？请建立数学模型，并写出求解过程。

2. 对边测量

对边测量是在不搬动仪器的情况下，直接测量多个目标点与某一起始点 (P_1) 间的斜距、平距和高差。最先测量的点可以设置为后面测量的起始点。在测量两点间高差时，将棱镜安置在测杆上，要注意棱镜的高度（若镜高不一致要及时更改镜高或不更改镜高在高差计算时作相应的加减）。任一点目标与起始点间的高差也可用坡度来显示。

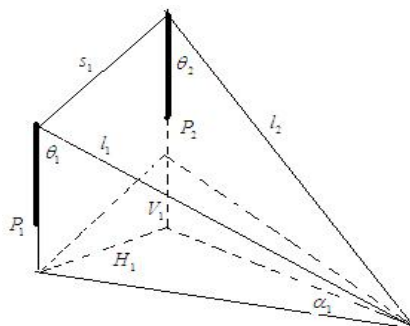
例如有些施工单位通知核样时，可能建筑物已经建到一定的层数，有施工脚手架、施工模板等，造成不能使用钢尺量距。用全站仪作水平对边测量，也受不通视或者有障碍物的影响，此时测量人员可把棱镜立在通视的建筑高角点上，求测出建筑物的水平长度。

例 2 如下图所示：



测量人员在测站测得 P_1 、 P_2 、 P_3 处棱镜的垂直角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 （三点的棱镜高度相同），斜距分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 ，同时测得目标点 P_2 、 P_3 相对于起始点 P_1 的水平方位角为 α_1 、 α_2 。试计算目标点 P_2 、 P_3 到起始点 P_1 的斜距 s_1 、 s_2 。

分析：运用解直角三角形与斜三角形的知识来解决此例计算。例如计算 s_1 时，经历解直角三角形，先计算出 P_2 与 P_1 的高差 V_1 ，再经历解斜三角形，计算出 P_2 与 P_1 的水平距离 H_1 ，然后由勾股定理计算出斜距 s_1 。



解：第一步 利用解三角形的知识建立求解模型。

如右图 P_2 与 P_1 的高差为

$$V_1 = l_2 \cdot \cos \theta_2 - l_1 \cdot \cos \theta_1.$$

P_2 与 P_1 的水平距离为

$$H_1 = \sqrt{(l_2 \cdot \sin \theta_2)^2 + (l_1 \cdot \sin \theta_1)^2 - 2 \cdot (l_2 \cdot \sin \theta_2) \cdot (l_1 \cdot \sin \theta_1) \cdot \cos \alpha_1}.$$

从而目标点 P_2 到起始点 P_1 的斜距为

$$\begin{aligned} s_1 &= \sqrt{V_1^2 + H_1^2} \\ &= \sqrt{(l_2 \cdot \cos \theta_2 - l_1 \cdot \cos \theta_1)^2 + [(l_2 \cdot \sin \theta_2)^2 + (l_1 \cdot \sin \theta_1)^2 - 2 \cdot (l_2 \cdot \sin \theta_2) \cdot (l_1 \cdot \sin \theta_1) \cdot \cos \alpha_1]} \\ &= \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - 2l_1l_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \alpha_1}. \end{aligned}$$

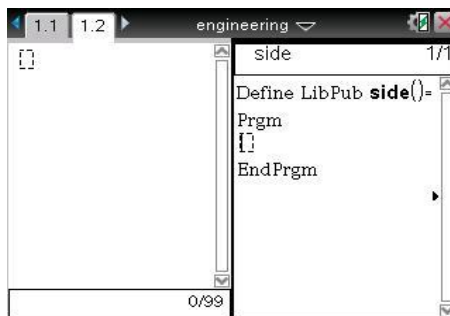
第二步 打开库文件 *Engineering*，添加一个计算页。

按 **Ctrl+O** 打开我的文档，打开文档 *Engineering*，按 **Ctrl+D** 添加一个计算页。



第三步 新建一个程序。

按 **Menu+2+1+1** 新建一个程序，命名为 *side*。注意类型设置为“程序”，库访问设置为“LibPub（显示在目录中）”。再按 **Ctrl+S** 弹出保存文件的窗口。



第四步 输入计算对边斜距的程序.

在程序窗口, 输入以下程序:

```
side 15/19
Define LibPub side:=
Prgm
©测量对边斜距, 两等高棱镜分别立于起始点、目标点.
setMode(1,15);setMode(2,2);setMode(5,2)
Request "起始点棱镜垂直角",θ1
Request "起始点棱镜斜距",l1
Lbl begin
Request "目标点棱镜垂直角",θ2
Request "目标点棱镜斜距",l2
Request "目标点到水平点方位角",α1
v1:=l2·cos(θ2)-l1·cos(θ1)
h1:=√(l1·sin(θ1))²+(l2·sin(θ2))²-2·l1·sin(θ1)·l2·sin(θ2)·cos(α1)
s1:=√v1²+h1²
Disp "起始点与目标点斜距",s1
DelVar l2,θ2,α1
Try
Request "回车重新开始, 其它键+回车 结束",bg,0
Else
Goto begin
EndTry
DelVar bg
EndPrgm
```

按 \square 可选择注释符“©”, 按 \square 可进行中英文切换, 按 \square 可选择三角函数, 按 \square 可选择根号等. 建议用软件“TI-Nspire CAS Teacher Software”写此程序, 联机后用软件打开保存好的自定义库文件, 在软件的“查看”菜单项, 勾选“计算机”模式.

第五步 检查语法, 并保存程序.

按 \square 检查语法并保存, 如有错误, 则光标停留在错误行.

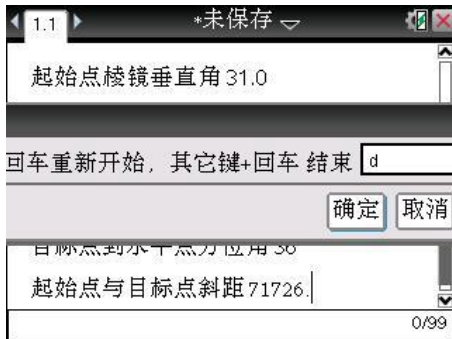
第六步 刷新库.

按 \square 新建一个文档及计算页, 按 \square 执行刷新库的操作, 按 \square 即可以看到新增的库文件 *Engineering* 和其下的相应库函数 *side*, 以及库函数的注释.



第七步 调用自定义的库函数.

在计算页中, 按 \square 查找到新增的库文件 *Engineering* 下的库函数 *side*, 回车后依次输入所需数据, 得到计算结果, 然后选择是否退出计算.



思考：如果棱镜的高不相同，又将建立怎样的数学模型呢？程序将如何修改？

3. 面积测量

面积测量主要是计算闭合图形的面积，面积计算有如下两种方法：

- (1) 用坐标数据文件计算面积（已有的测量数据）；
- (2) 用测量数据计算面积（现测现得）。

一般来说，面积计算程序是计算目标各点之间连线所包围的多边形的面积，参与计算的点可以通过实测取得，也可以从内存中选取，也可以用手工键盘输入。

注意：图形边界线不能相互交叉；不能混淆坐标文件数据与测量数据；面积计算所用的点数是没有限制的，构成图形的折点位的数据必须统一按顺时针或逆时针顺序输入。

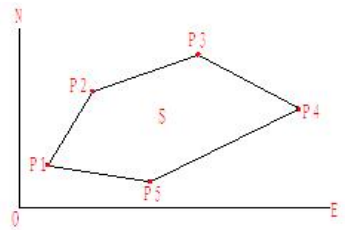
例 3 如右图所示，根据图中 P_i 各点的坐标，计算面积 S 。

分析：将多边形划分为三角形，已知三点的坐标，求三角形的面积可由行列式计算。

解：第一步 利用行列式知识建立求解模型。

将凸 n 边形划分为 $n-2$ 个三角形，分别是 $P_i P_{i+1} P_{i+2}$ （第 i 个）。又三角形的三个点的坐标分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3)

时，其面积为 $S = \frac{1}{2} \cdot \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$ ，从而可循环计算出凸多边形的面积。



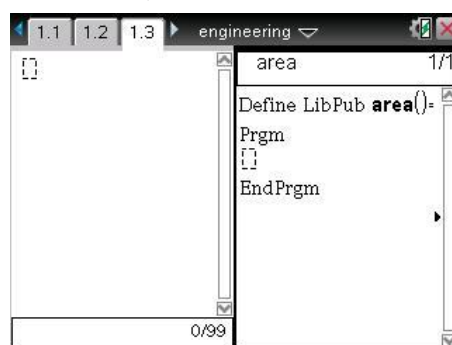
第二步 打开库文件 *Engineering*，添加一个计算页。

按 打开我的文档，打开文档 *Engineering*，按 添加一个计算页。



第三步 新建一个程序.

按 **menu** **9** **1** **1** 新建一个程序, 命名为 *area*. 注意类型设置为“程序”, 库访问设置为“LibPub (显示在目录中)”. 再按 **ctrl** **W** 弹出保存文件的窗口.



第四步 输入计算闭合图形面积的程序.

在程序窗口, 输入以下程序:



按 \square 4 可选择注释符 “©”，按 \square 可进行中英文切换，按 \square 可选择绝对值及矩阵，其中 $\det()$ 是计算行列式值的函数。建议用软件 “TI-Nspire CAS Teacher Software” 写此程序，联机后用软件打开自定义库文件，在软件 “查看” 菜单项，勾选 “计算机” 模式。

第五步 检查语法，并保存程序。

按 \square 2 1 检查语法并保存，如有错误，则光标停留在错误行。

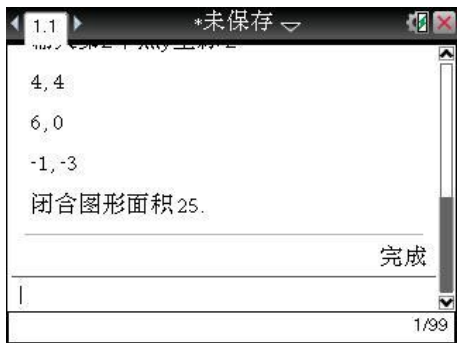
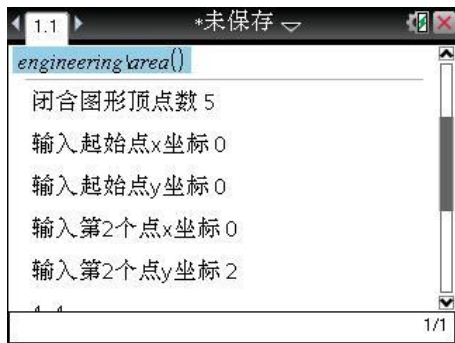
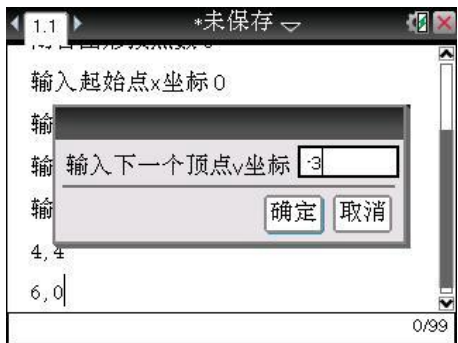
第六步 刷新库。

按 \square on 1 1 新建一个文档及计算页，按 \square doc 6 执行刷新库的操作，按 \square 6 即可以看到新增的库文件 *Engineering* 和其下的相应库函数 *area*，以及库函数的注释。



第七步 调用自定义的库函数。

在计算页中，按 \square 6 查找到新增的库文件 *Engineering* 下的库函数 *area*，回车依次输入所需数据后得到计算结果。



节后语： 以上三例工程测量，有了先进的全站仪后，仪器内置的程序都可自动算出相应结果。笔者在此只是利用全站仪测得的角度与距离进行计算，希望帮助高中同学掌握数学模型在工程测量中的应用，也掌握一些编程基础知识，体会算法思想的运用。

三、放样案例

测量放样基本上是利用已知点和待定点之间的几何关系，通过测量仪器把已知点和待定点之间的几何关系测量出来以后用测量标志在实地上标识出来的过程。

测量放样涉及到的领域很多，如房屋修建、公路铁路修筑、桥梁、隧洞、机场、大坝等等凡是涉及建筑的都要用到测量放样。

测量放样基本类型有如下三类：

1、水准放样。水准放样是利用水准仪通过水准测量将待定点标志高程测出，然后与设计高程进行比较。如公路放坡测量、房屋基础、弧门支撑点测量、发电机定子测量等等。

2、垂直度测量。垂直度测量就是测量物体的垂直度。如烟卤、铁塔、柱子等等是否与水平面保持垂直。垂直度测量通常使用经纬仪进行，利用经纬仪望远镜纵丝与水平面垂直的特性将建筑物垂直中心线定出，并做好标志。

3、点位放样。点位放样就是根据已知点与待定点之间的几何关系，通过测量仪器将几何关系测量出并定出待定点的具体位置，如房屋基础、公路、桥梁、隧洞测量等等。点位放样主要通过全站仪进行。

实施全站仪放样的基本步骤是：

S1：选取两个已知点，一个作为测站点，另外一个为后视点，并明确标注；

S2：收集已知点数据，如一个已知点坐标加一个坐标方位角，或者两个已知点坐标；

S3：取出全站仪，将仪器架于测站点，进行对中整平后量取仪器高；

S4：将测站点坐标、高程数据输入到全站仪内，并在全站仪上设置后视已知点方向或者坐标；

S5：将棱镜置于后视点，转动全站仪，使全站仪十字丝中心对准棱镜中心；

S6：测量后视已知点，看看测量结果与已知结果是否相同，如差值较小则说明上述过程准确，反之要重新查找原因直到符合要求为止；

S7：进入设置放样点界面，输入仪器高，放样点点名、放样点坐标及高程，再输入棱镜高，此时放样点参数设置结束，开始进行放样；

S8：移动棱镜，测量棱镜坐标，直到棱镜坐标与要求放样的坐标一致为止；

S9：放完一个点坐标后，用测量标志在实地做好记号，然后进入下一个放样点的设置并进行放样，直至所有放样点放样结束，整个放样过程完成。

非常遗憾的是，笔者水平有限，缺少测量实践知识，网上搜索的一些放样案例根本看不明白，所以暂时空缺此处实践案例，敬请各位高手介绍一些与高中数学整合的案例。

四、补充说明

在 TI-Nspire 图形计算器的编程及使用中，经常用到许多函数及指令，在这里不——详细说明，请大家到下载“TI-Nspire™ CAS 参考指南.pdf”了解，下载网址是：

<http://education.ti.com/calculators/downloads/CHINA/Guidebooks/Search/>

或http://sx.zsedu.net/dtsy/Article_Show.asp?ArticleID=31

软件 TI-Nspire CAS Teacher Software 的下载地址是：

http://education.ti.com/educationportal/sites/CHINA/productDetail/cn_nspire_teacher.html

（作者：高建彪 邮箱:dsgjb@163.com, QQ:76456245 2011年7月19日完稿于中山市东升高中）

本资料的整理中，特别感谢三位测量工程师网友“天涯明月刀”、“双城”、“红尘过客”的指导。