

第五章 角度、距离测量与全站仪

5.6 距离测量 *

5.9 全站仪与自动全站仪简介

5.10 三角高程测量 **

5.6 距离测量

距离——指这两点沿铅垂线方向在大地水准面上投影点间的弧长。

水平距离——两点间连线投影在水平面上的长度；

倾斜距离——两点间连线投影不在同一水平面上的长度称为。

◆ 距离测量方法

钢尺量距

光学视距

电磁波测距

一、钢尺量距

1. 尺长方程式

钢尺的长度刻画是名义长度，与实际长度值通常并不相等，且不是一个固定值。

钢是弹性体，在拉力、温度等作用下会产生变形。

（尺长方程式由鉴定部门鉴定后提供。）

$$l_t = l + \Delta l + \alpha \cdot l \cdot (t - t_0)$$

l_0--钢尺的名义长度

Δ_k--钢尺实际长度与名义长度的差数

α--钢尺的温度线胀系数

［一般取11.6~12.5×10^{-6}m/(m·℃)］

t_0--设定的标准温度(20℃)

t--测量时的钢尺温度

2. 钢尺量距

- **目的：** 获得两点间的距离。
- **丈量方法：**

根据地面**坡度**不同，量距可分为：

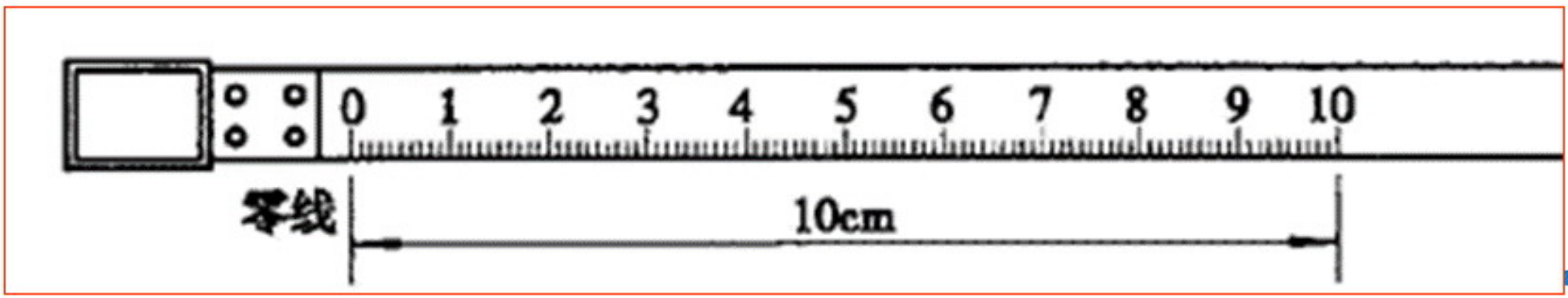
（1）平坦地面上量距——**平距**

（2）倾斜地面上量距——**斜距**

根据**精度**要求，量距可以分为：

（1）一般丈量

（2）**精确**丈量



精确丈量

直线定线 → 分段丈量各点间距（平距或斜距）。

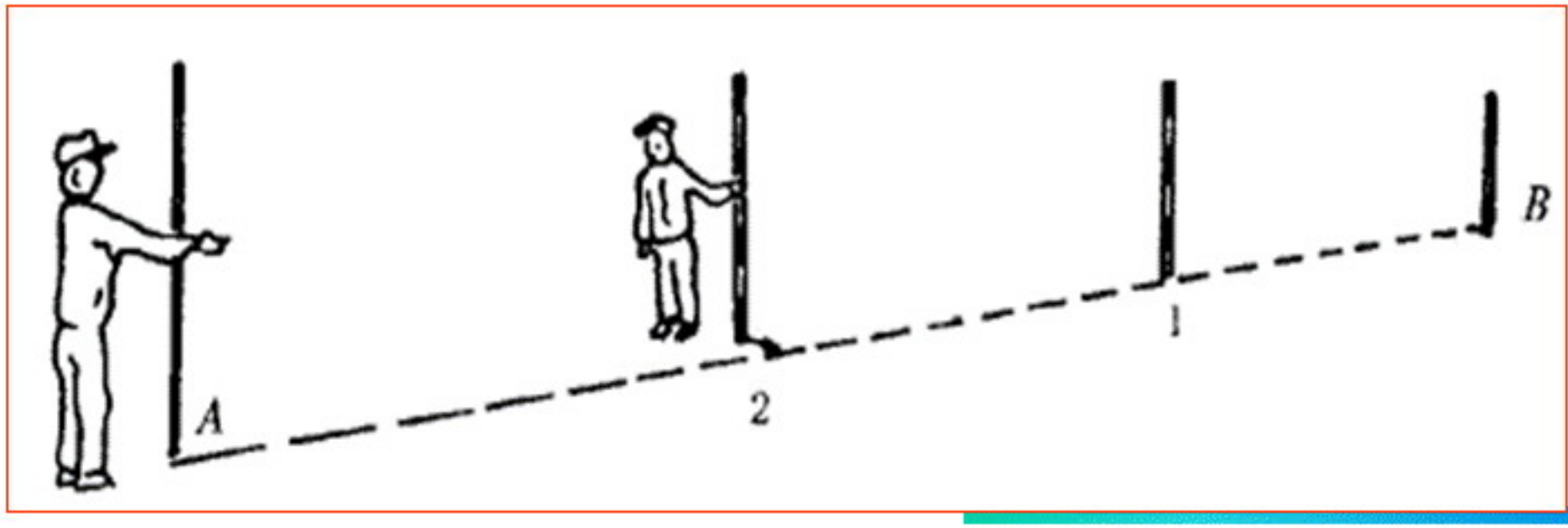
要求：

（1）往返（0端调头）丈量作比较；

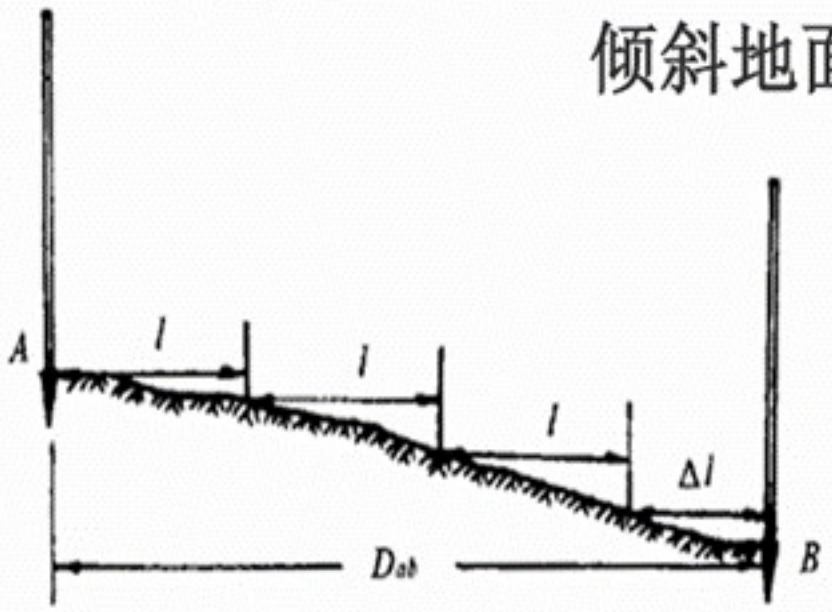
取其平均数作为丈量结果（一测回）。

（2）一般用相对误差形式来表示成果的精度，

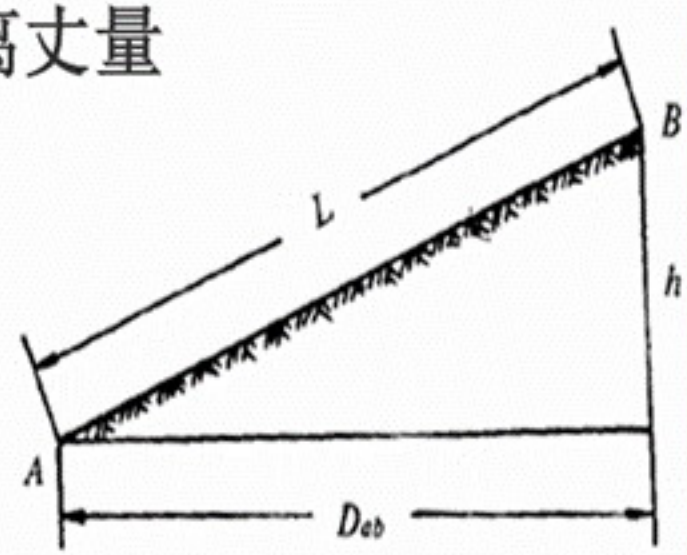
一般 $$K=\frac{\left|D_{往}-D_{返}\right|}{D}<\frac{1}{2000}$$



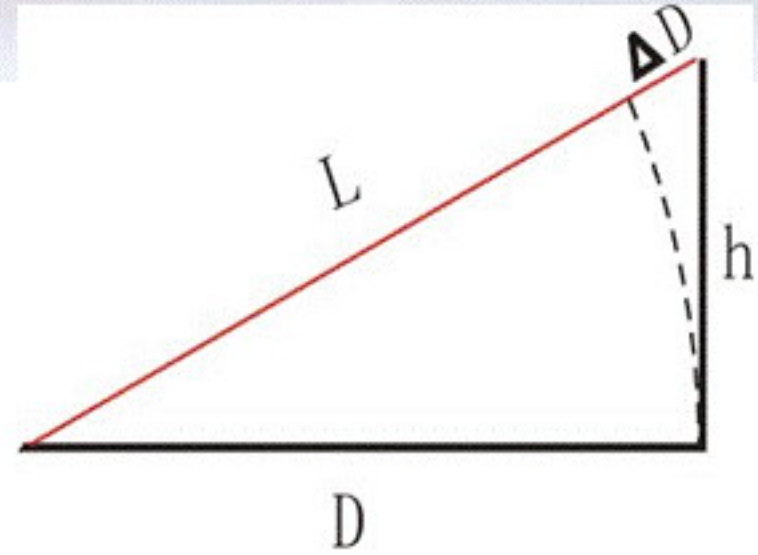
倾斜地面距离丈量



(a)



(b)



当丈量为斜距时，需加测高差或倾角，进行倾斜改正。

$$D=\sqrt{L^2-h^2} \qquad \text{或} \qquad D=L+\Delta D_h$$

$$\Delta D_h = \mathrm{D}-\mathrm{L} = \mathrm{L}\cdot\left[\left(1-\frac{\mathrm{h}^2}{\mathrm{L}^2}\right)^{1/2}-1\right]$$

测倾角时：$D=L\cdot\cos\alpha$

$$=-\frac{h^2}{2L}$$

$$\sqrt{1-x^2}=1-\frac{1}{2}x^2-\frac{1}{8}x^4-\cdots$$

3. 距离丈量的成果整理

$$l_t = l + \Delta l + \alpha \cdot l \cdot (t - t_0)$$

- 三项改正

1）尺长改正　$\Delta D_l = L \times \frac{\Delta l}{l}$

2）温度改正　$\Delta D_t = L \cdot \alpha \cdot (t - t_0)$

3）倾斜改正　$\Delta D_h = D - L = -\frac{h^2}{2 \cdot L}$

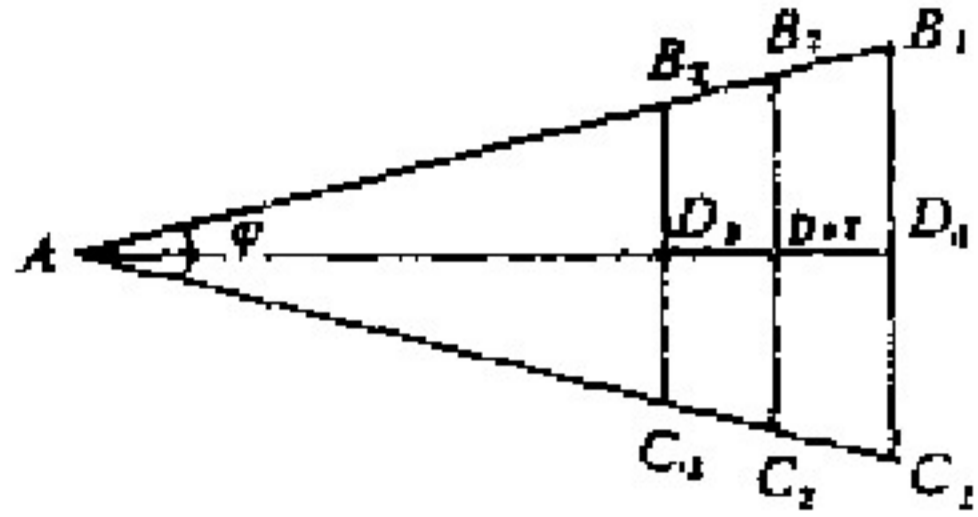
改正后距离：　$D = L + \Delta D_l + \Delta D_t + \Delta D_h$

二、视距测量

视距测量是一种测距的方法，它根据几何光学原理用简便的方法快速测出两点间的距离。精度约1/300。

1. 定角视距测量

$$AD_i = \frac{B_iC_i}{2} \cdot ctg\frac{\varphi}{2}$$



Φ角不变，BC随距离远近变化。

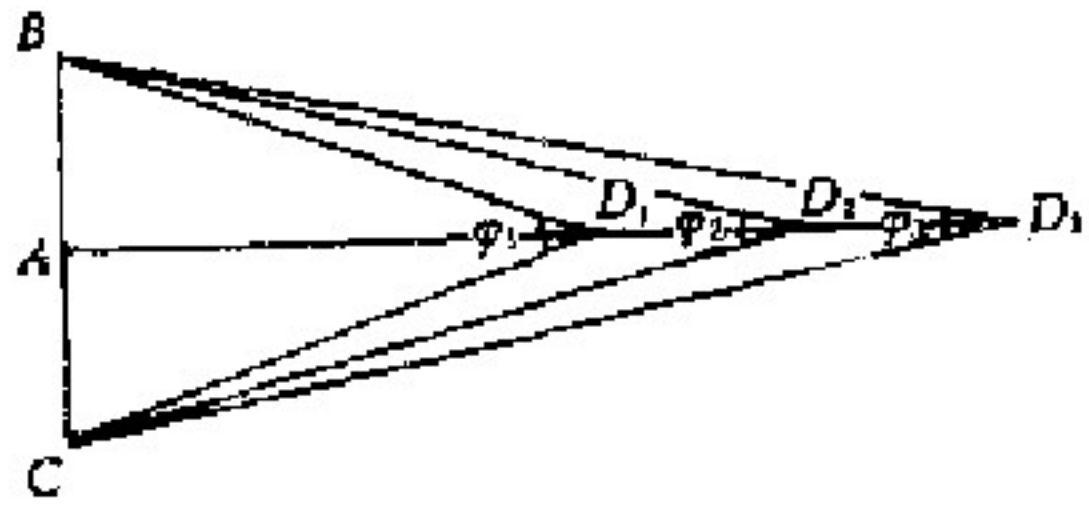
BC—称为视距尺

2. 定基线视距测量

BC角不变，　Φ随距离远近变化。

BC—称为基线尺

（视距尺一般用水准尺代替）



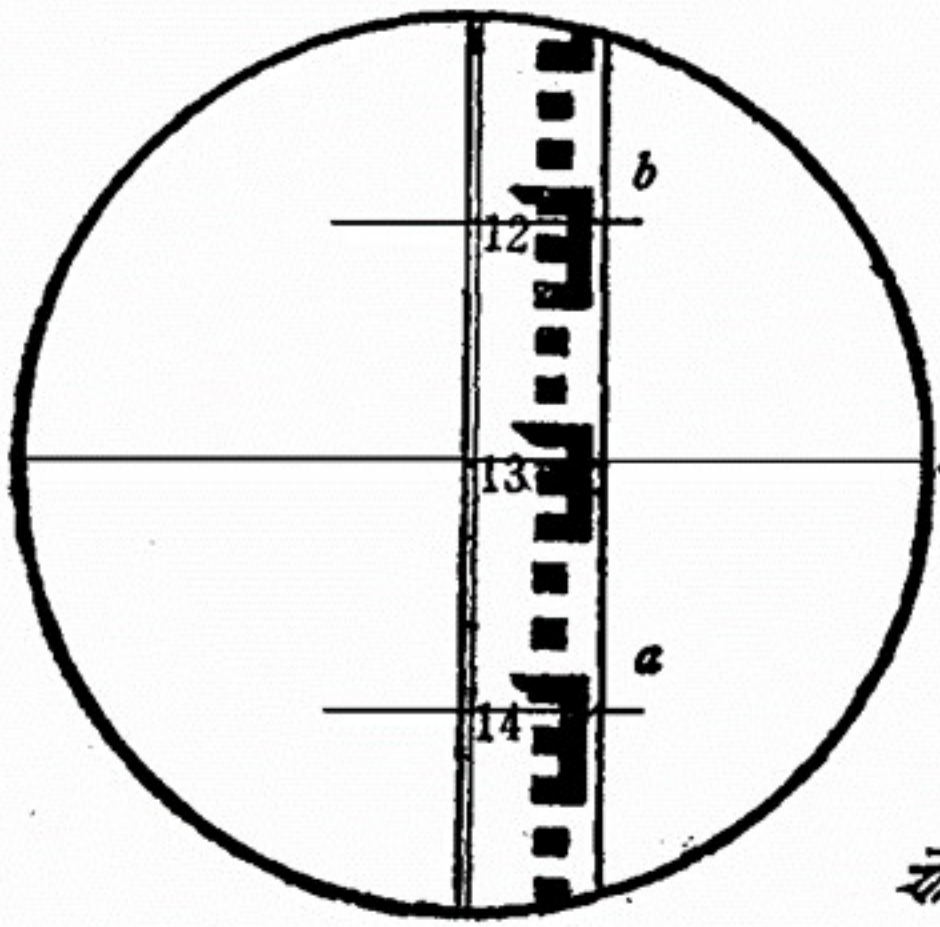
计算公式：

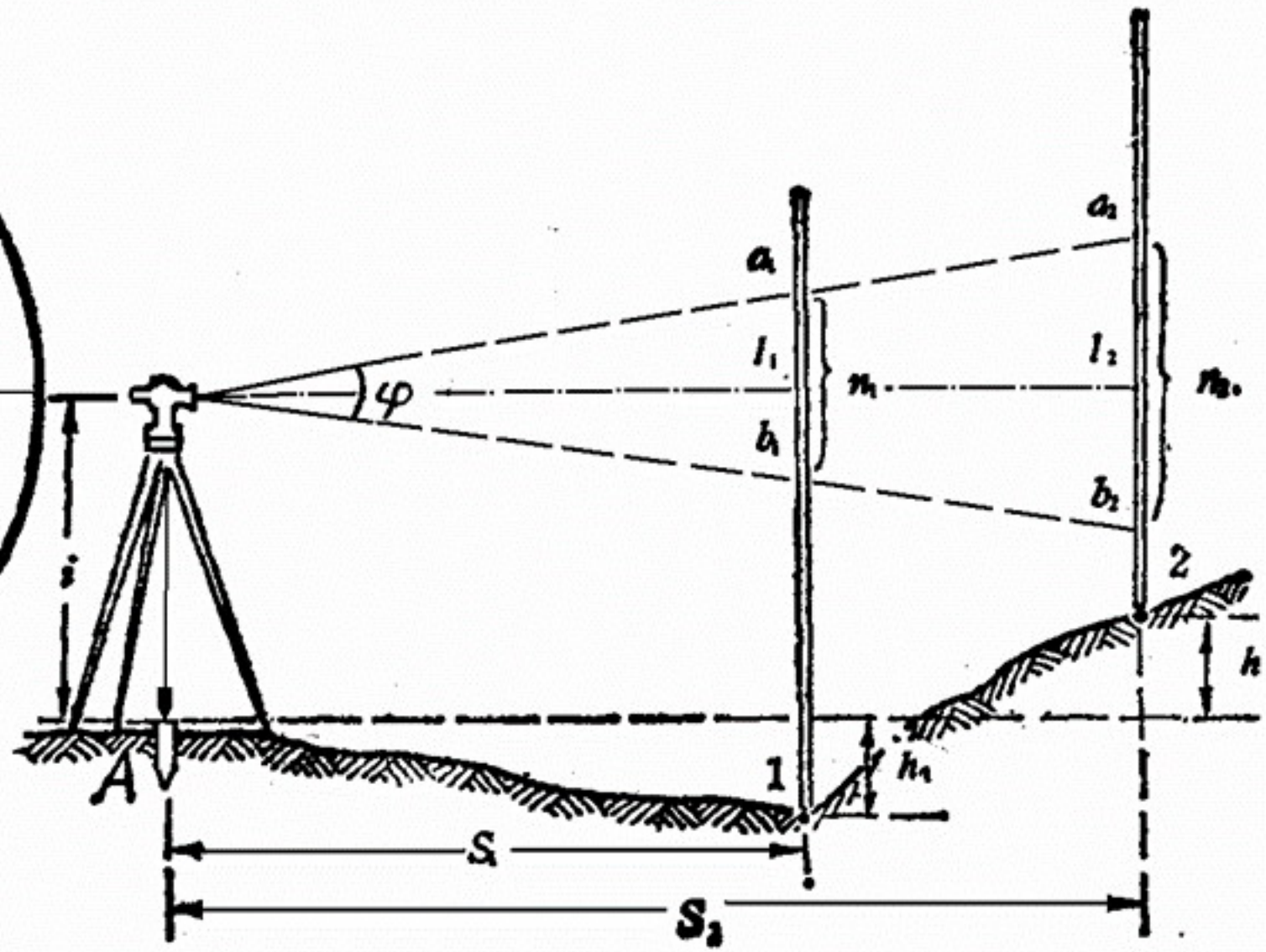
$$S = \frac{1}{2}\cdot ctg\frac{\phi}{2}\cdot l$$

$$= k\cdot l = 100\times l$$

单位：l——mm，

S——m





3. 视线倾斜时的计算公式

视线倾斜时，与水准尺不垂直，尺上长度为M'G'。

→ 上面推导的公式就不适用了。

?? 使视距尺与望远镜视准铀垂直，不易办到。

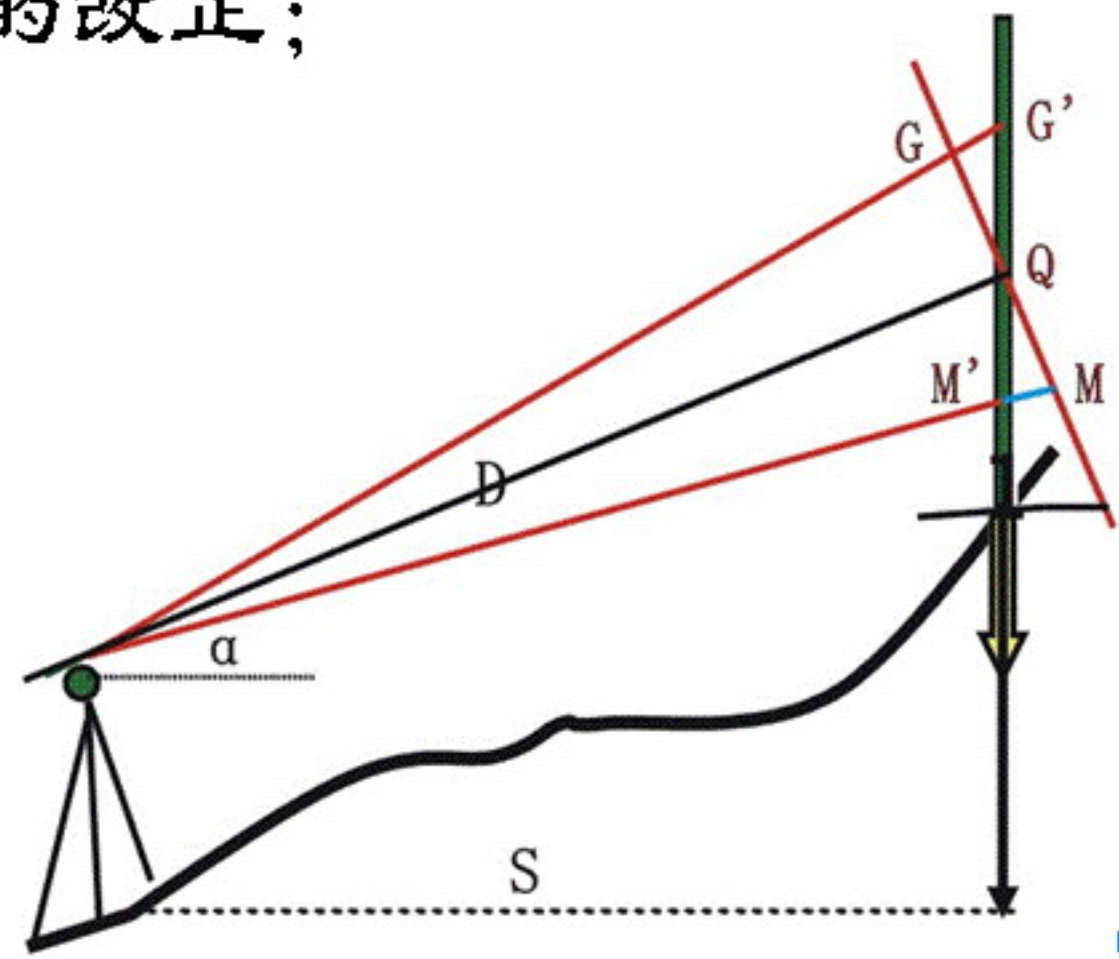
→ 采用加入两项改正数的方法：

1) 视距尺不垂直于视准轴的改正；

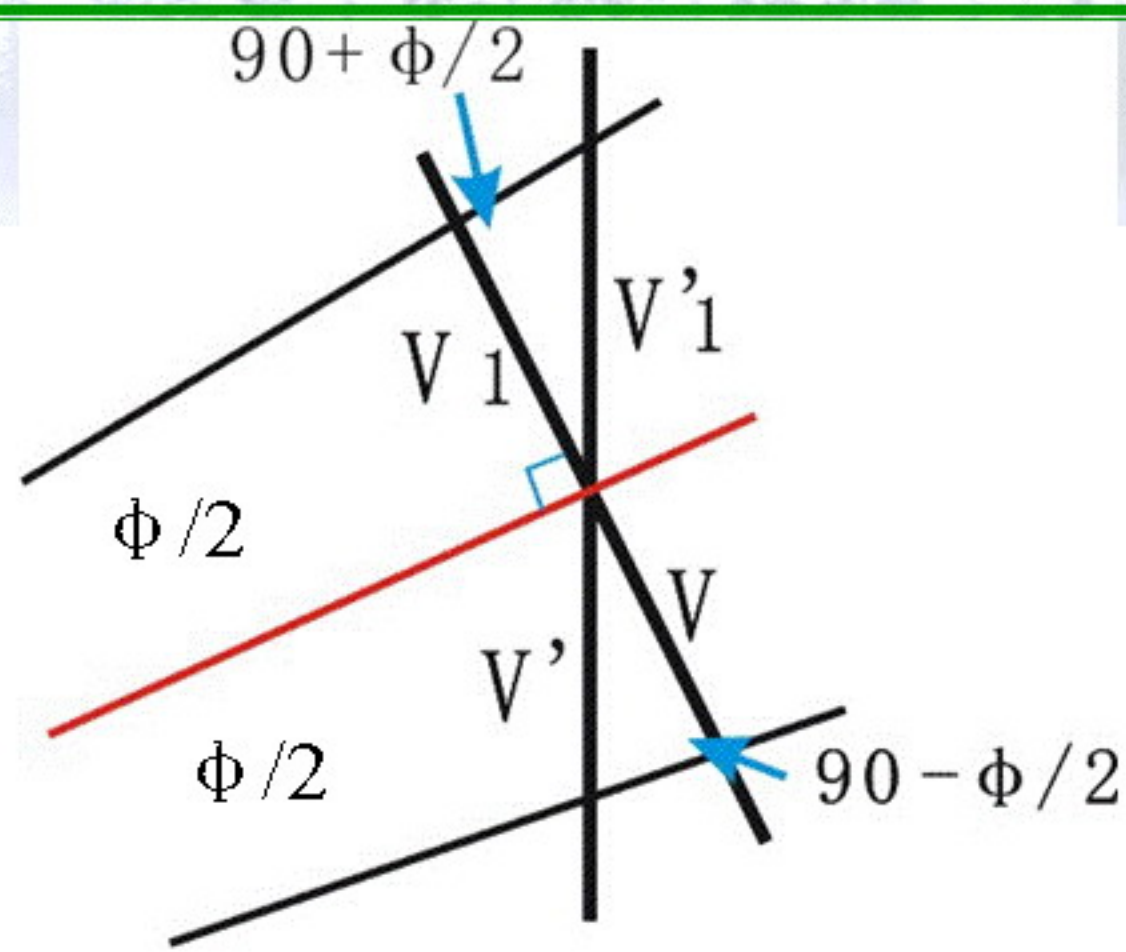
2) 视线倾斜的改正。

◆状态Ⅰ：望远镜上、中、下丝切在视距尺上的G'、Q、M'位置；

◆状态Ⅱ：望远镜上、中、下丝切在视距尺上的G、Q、M位置。



右图中，$\varphi/2$是一个很小的角度（17’11.5”），故所标示的角度基本认为是直角。



故有：$V+V_1=V'\cos\alpha+V_1'\cos\alpha$

$$=(V'+V_1')\cos\alpha$$

→ $l_0=l\cdot\cos\alpha$

→ $D=K\cdot l_0=K\cdot l\cdot\cos\alpha$

换算成水平距离为：

$$S=D\cdot\cos\alpha=K\cdot l_0\cdot\cos\alpha=K\cdot l\cdot\cos^2\alpha$$

三、光电测距

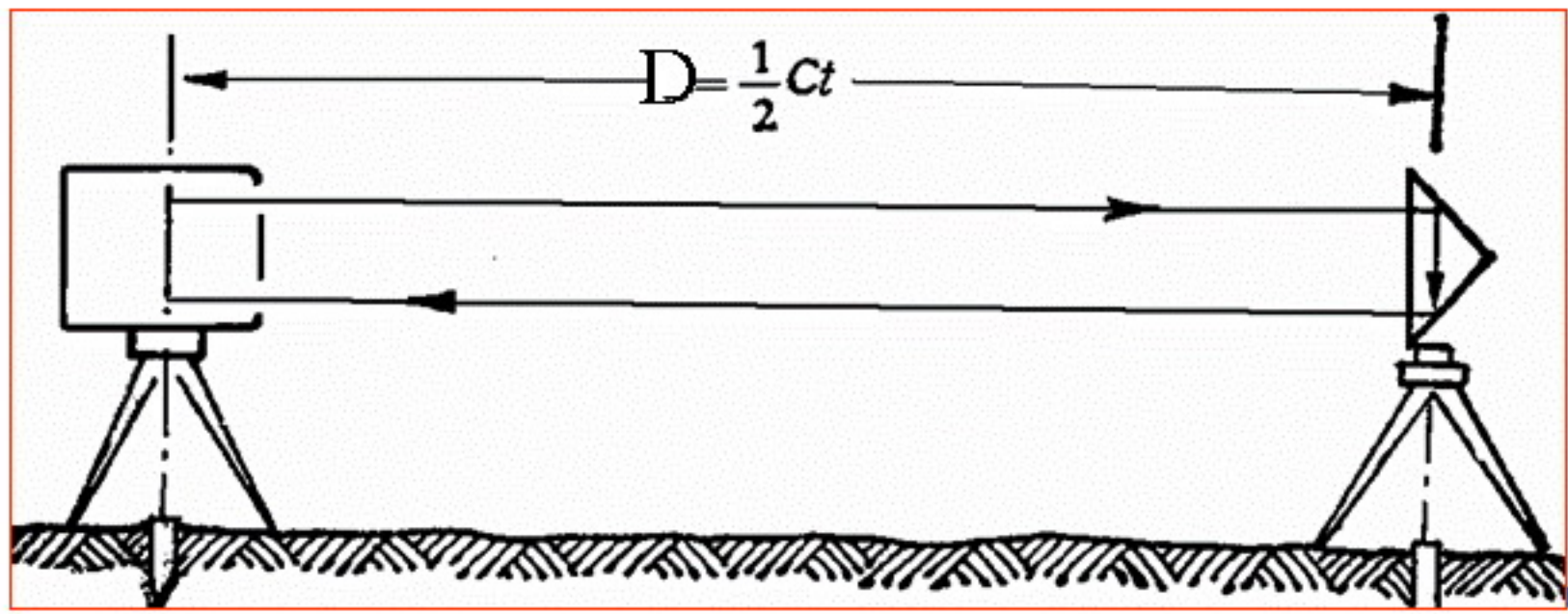
1. 电磁波概述

◆ 特点： 1).测程远； 2). 精度高； 3). 操作简便；
4).作业速度快； 5).劳动强度低

◆ 原理简介

测定电磁波在待测距离两端点间的往返一次的传播时间t，利用电磁波在大气中的传播速度c，来计算两点间的距离。

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t$$



2. 电磁波测距仪的分类

- 按载波分

  微波测距仪；　激光测距仪；　红外光测距仪

- 按测程分

  远（长）程测距仪；　中、短程测距仪

5.9 全站仪简介

全站仪 = 电子经纬仪 + 测距仪

◆主要构成：

电子测角系统——测角

光电测距系统——测距

微处理系统——控制操作与读数面板、数据输入输出等

存储卡——数据记录

电池——供电

以及同光学仪器的三轴系统。

尼康DTM-350/330全站仪

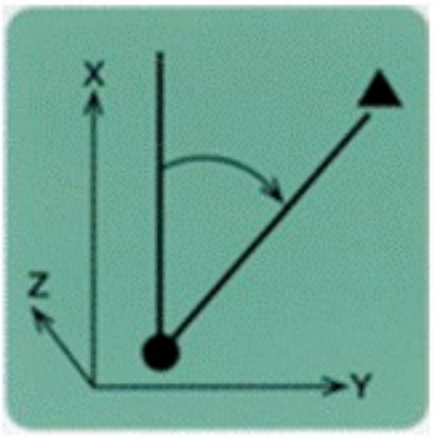


技术指标

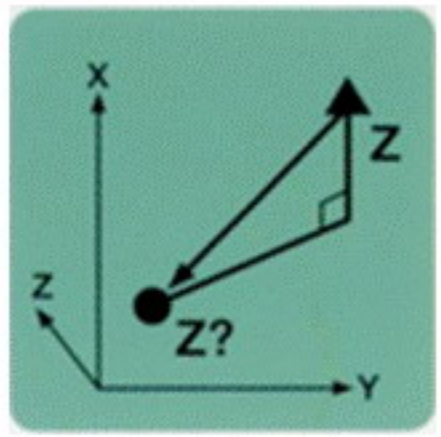
测角精度：5〃
最小显示：1〃/5〃
测距精度：3mm+2ppm
测　　程：2100m
最小显示：1mm

尼康DTM-501新型全站仪

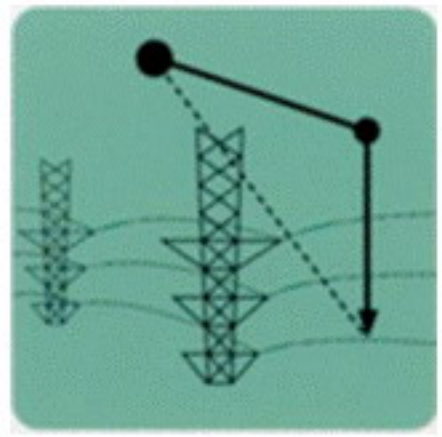
软件功能



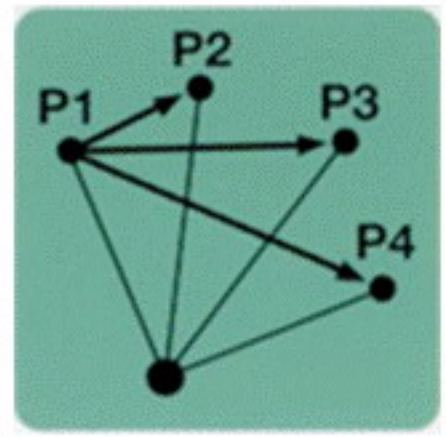
已知点



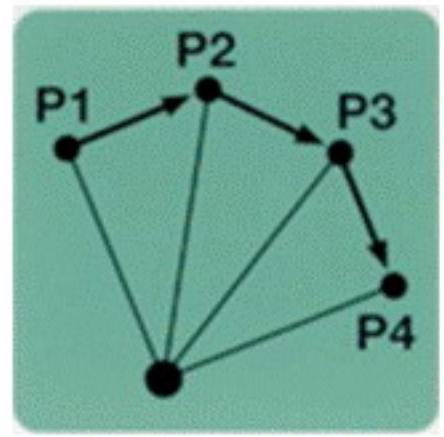
远程水准



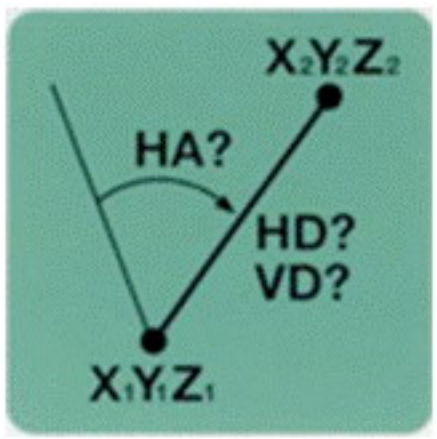
悬高测量



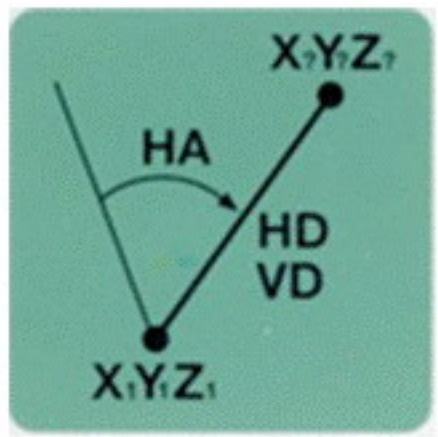
遥距测量



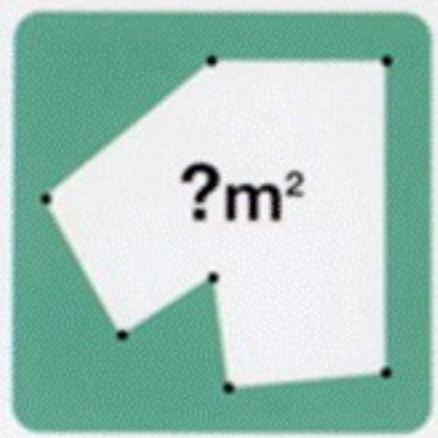
遥距测量



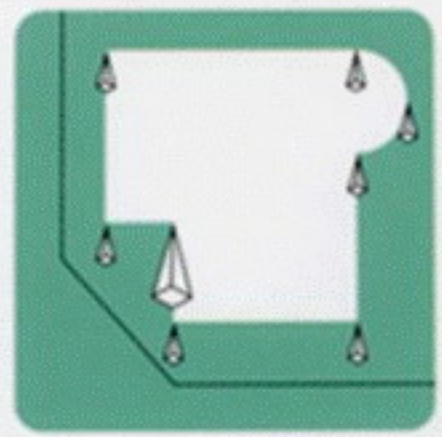
Pt-Pt



HD+HA



面积计算



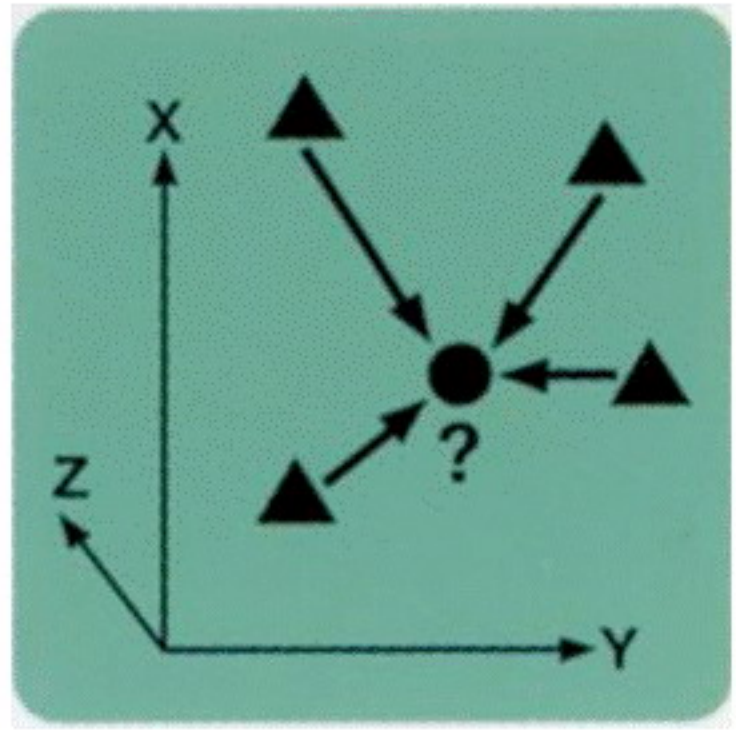
放样



尼康DTM-501新型全站仪

多点交会建站（Multiple resection）

- 2-10个已知点交会测站点XYZ坐标
- 最小二乘法自动平差提高交会精度

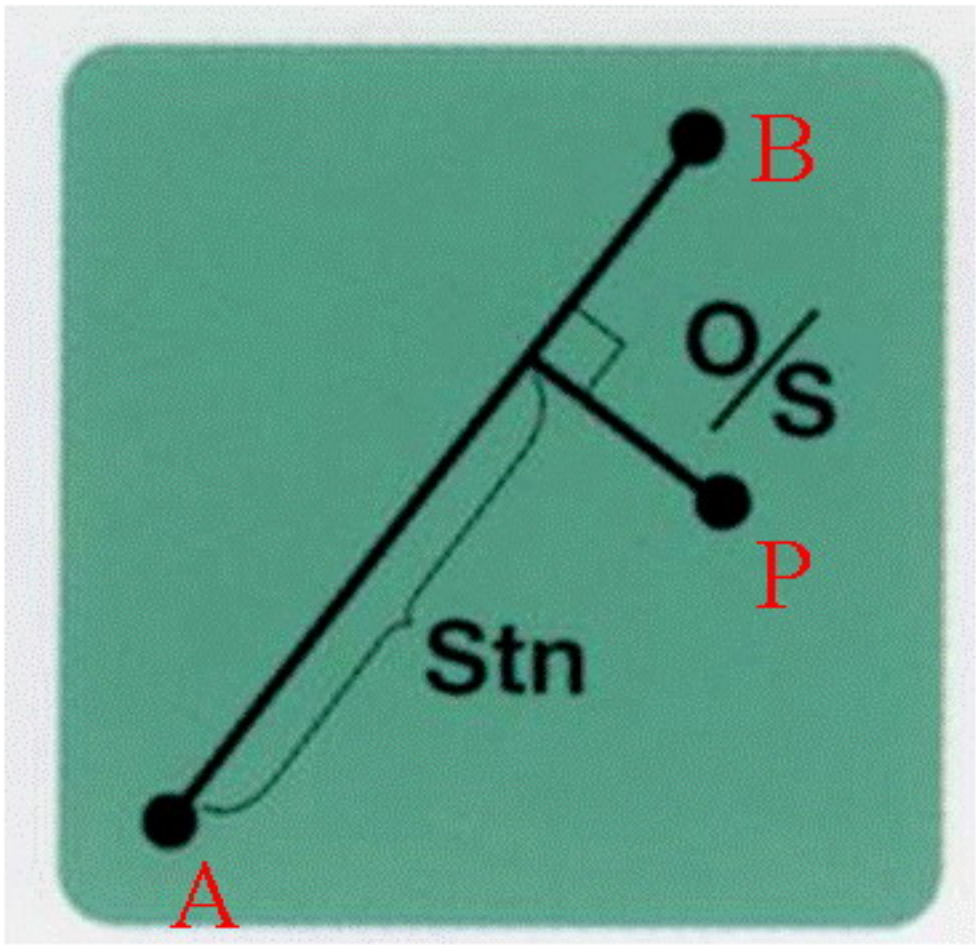


F1/F2正倒镜平均测量

- 正倒镜观测提高测量精度
- 同时记录原始数据及平均结果数据

尼康DTM-501新型全站仪

2点参考线测量（Line & offset）



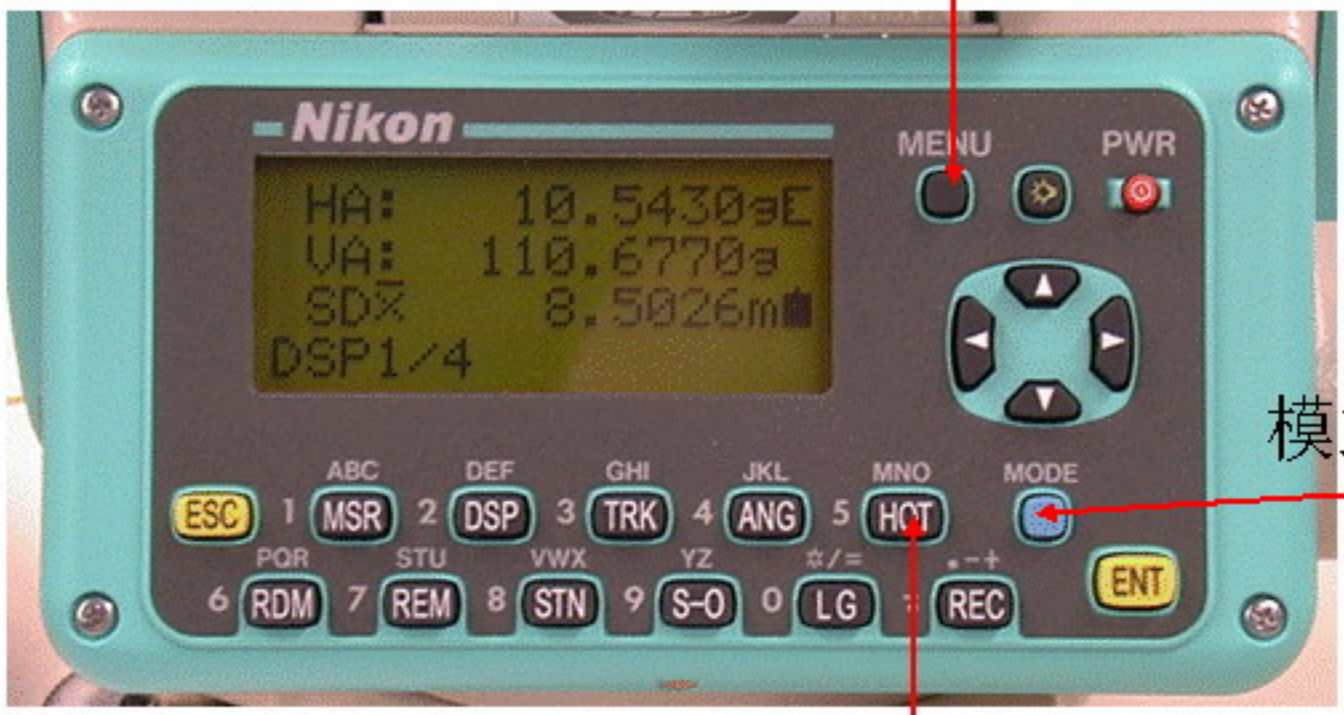
- 测量A、B确定一独立坐标系
- 可测量出P点在独立坐标系中的Stn及O/S
- 应用：建筑测量、土木工程

Nikon DTM-500系列全站仪

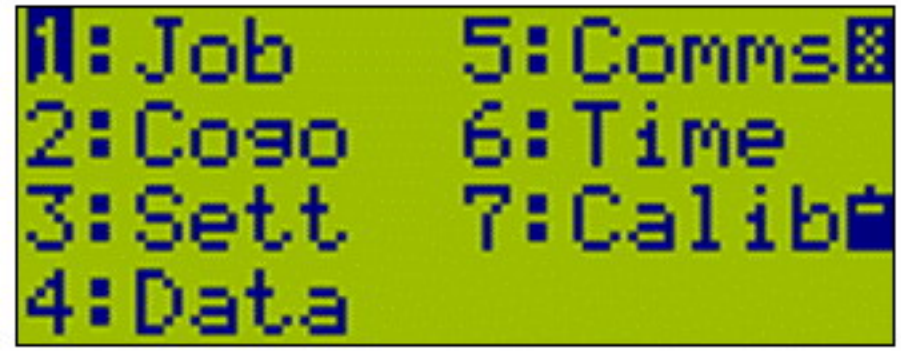
键盘及显示屏



Nikon DTM-500系列全站仪



菜单键



模式键

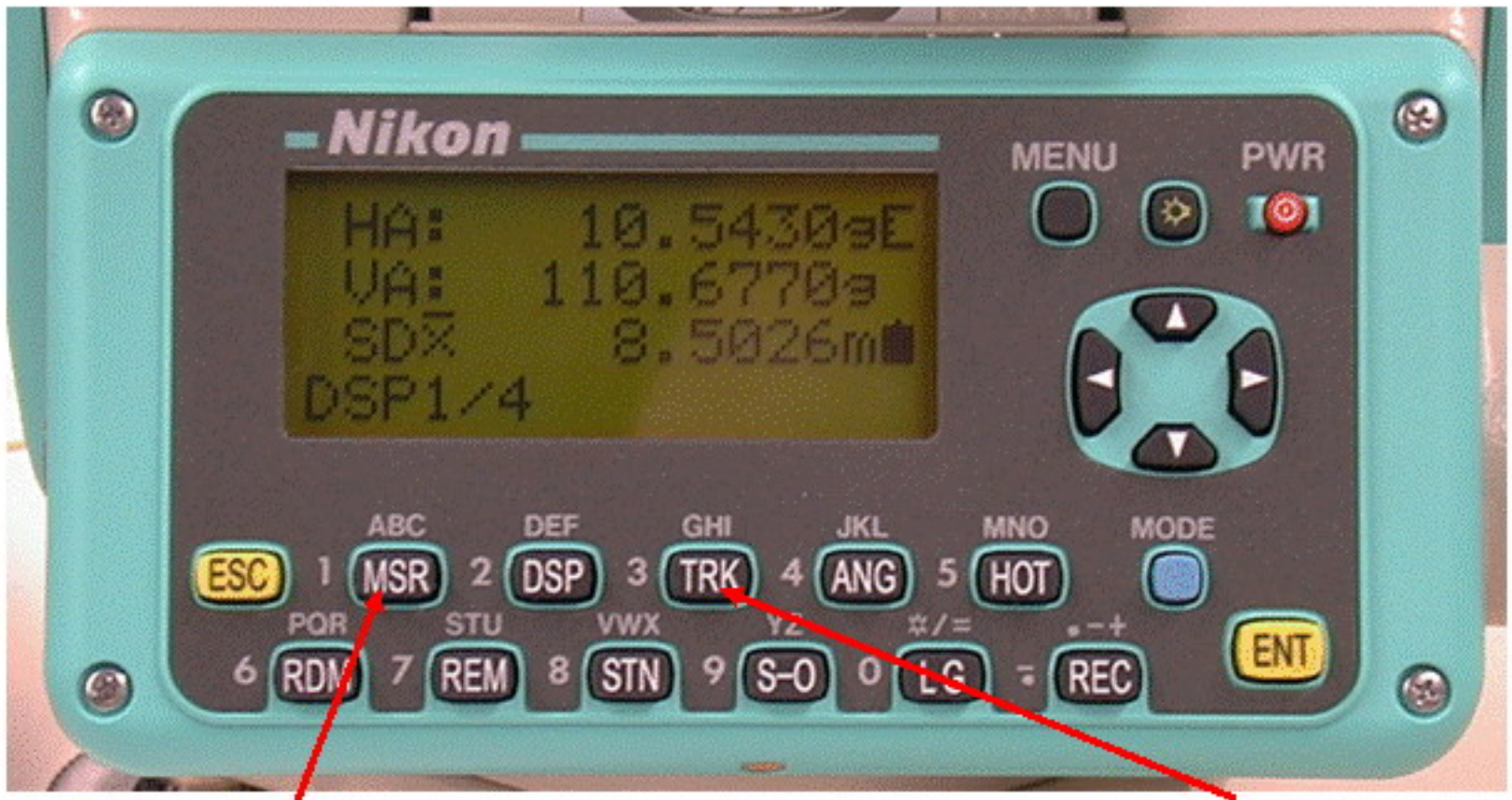


热键



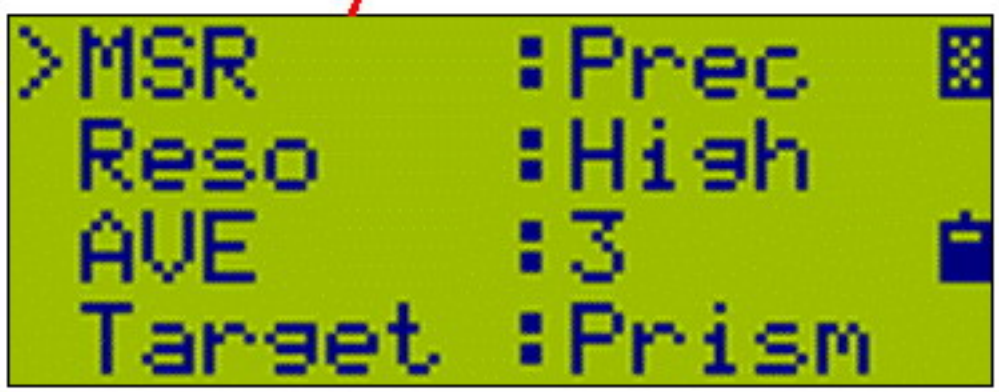
Nikon DTM-500系列全站仪

按住 MSR 或 TRK键 >1 秒钟:



设定

- 测距模式
- 测距精度
- 平均次数
- 棱镜或反射片

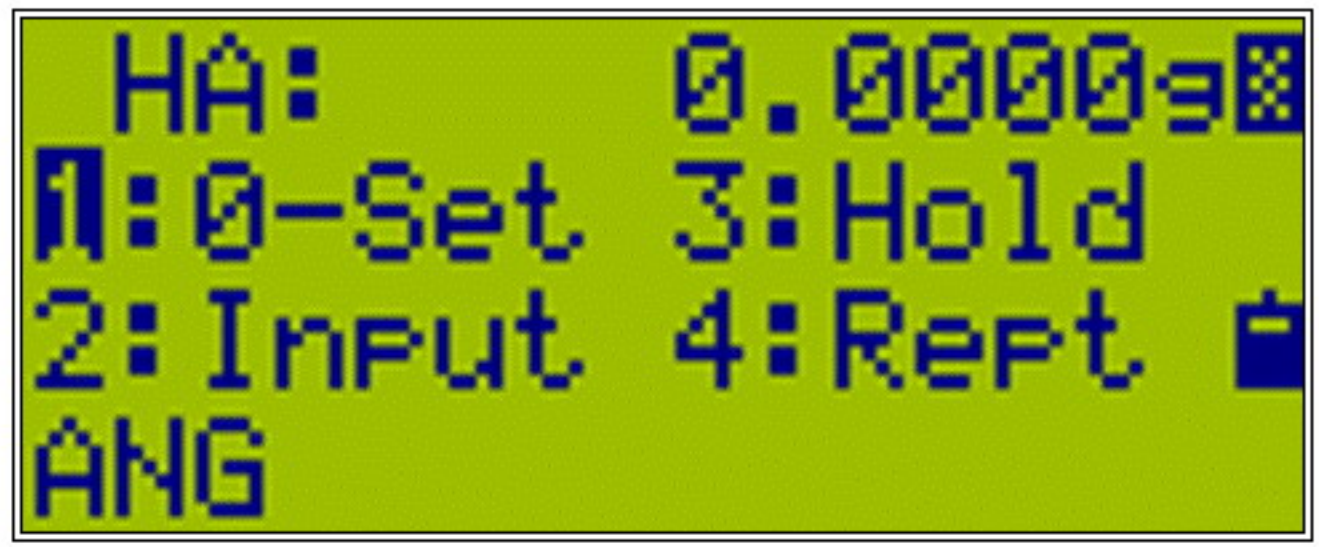




Nikon DTM-500系列全站仪

设置角度非常方便

- 角度
  - 角度设 **0º00’00”**
  - 角度重设
  - 角度累加
  - **Rept.** 用于快速角度复量



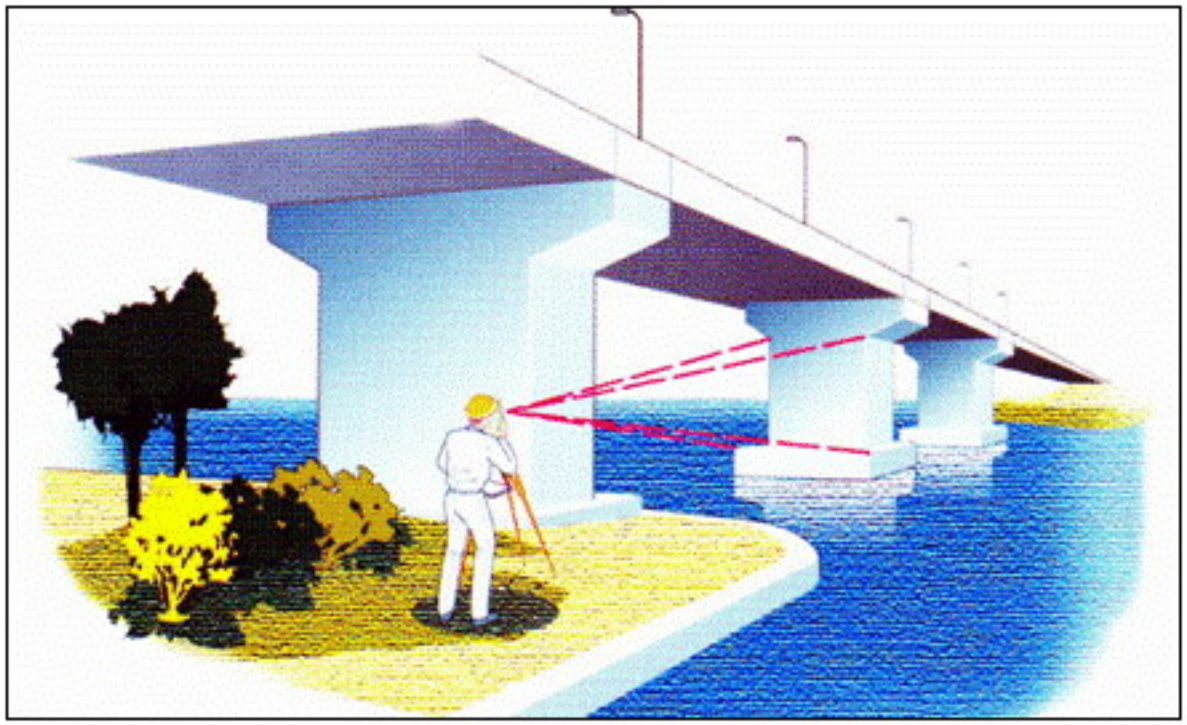
宾得R300系列全站仪（自动调焦）



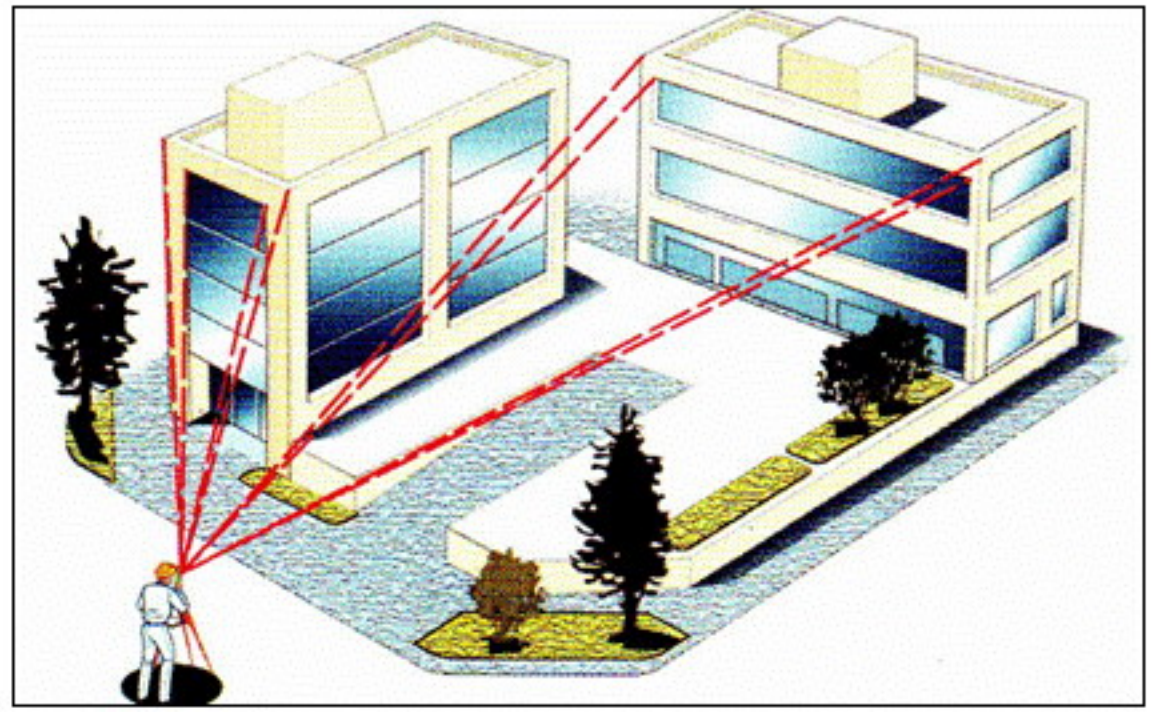
蔡司EltaC系列(免棱镜)全站仪



免棱镜激光全站仪典型应用

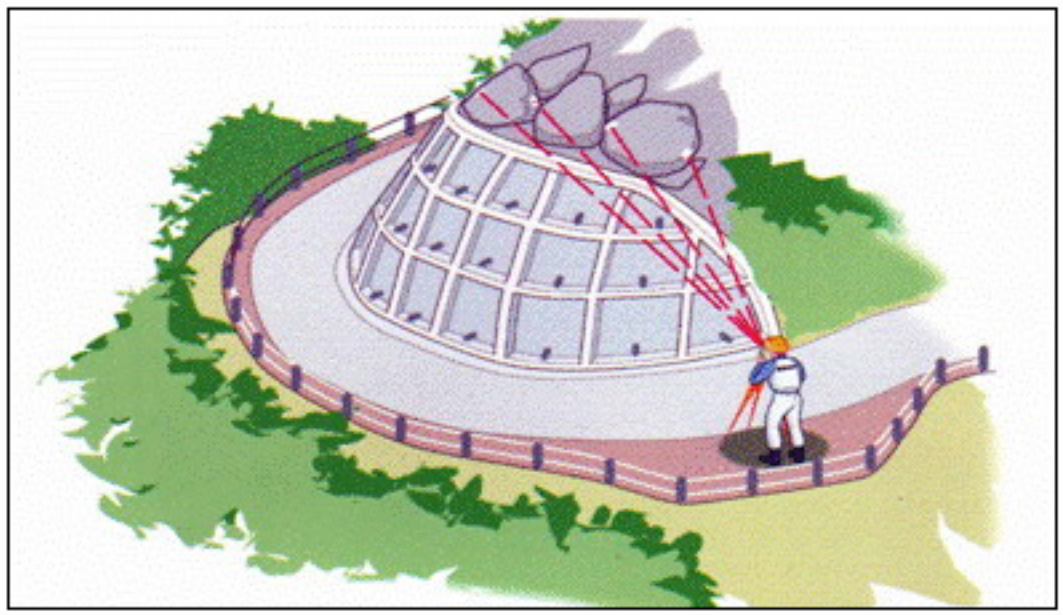


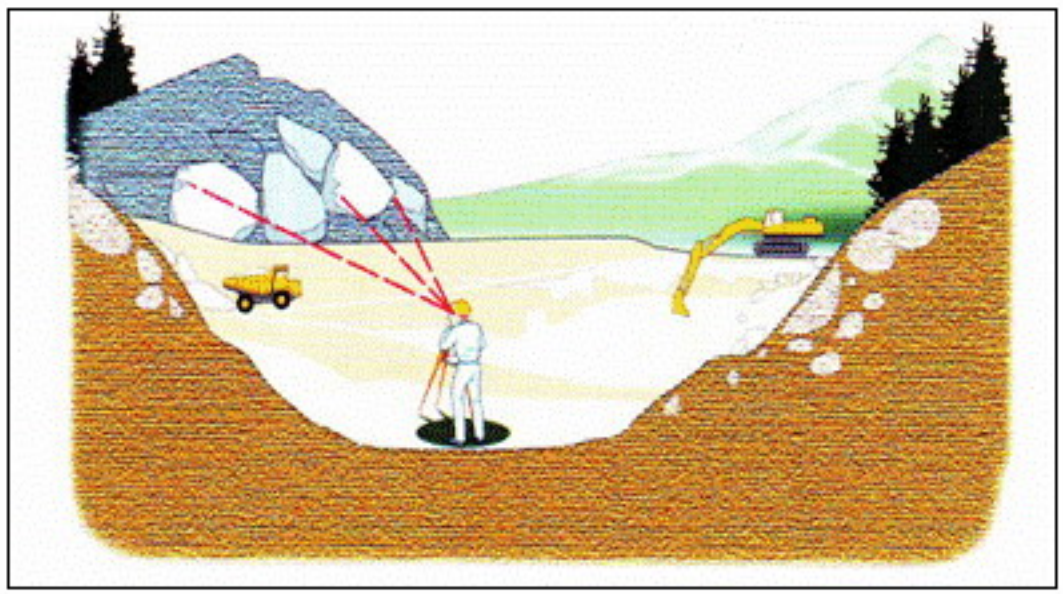
结构物测量
桥，塔



建筑物测量
建筑物外围，高度，3D坐标

免棱镜激光全站仪应用





- 难以到达区域测量
- 危险地点测量
- 高温目标测量
- 大构件变形监测
- 大件机械控制定位
- 船体测量
- 堆积物测量
- 采矿
- 标记测量（钢架构，土木工程等）

尼康DTM-532C防爆全站仪



中文内存全站仪 NTS-320系列



蔡司EltaS系列伺服型全站仪



- 马达驱动，自动跟踪；
- 快速锁定、搜索光、定位光、自动化测量
- 人体工程学设计控制键盘
- 双轴补偿
- 内置486操作系统，兼容性、扩充性强
- 温度气压自动感应

5.10 三角高程测量

◆ 高差测量方法的比较

1) 水准测量

精度高、用于建立国家高程控制点、

高级地形控制点

2) 三角高程测量

地面起伏大、精度要求不高、速度快

一、三角高程测量原理

◆ AB两点间高差：

$$h_{AB} = S \cdot tg\alpha + i - v$$

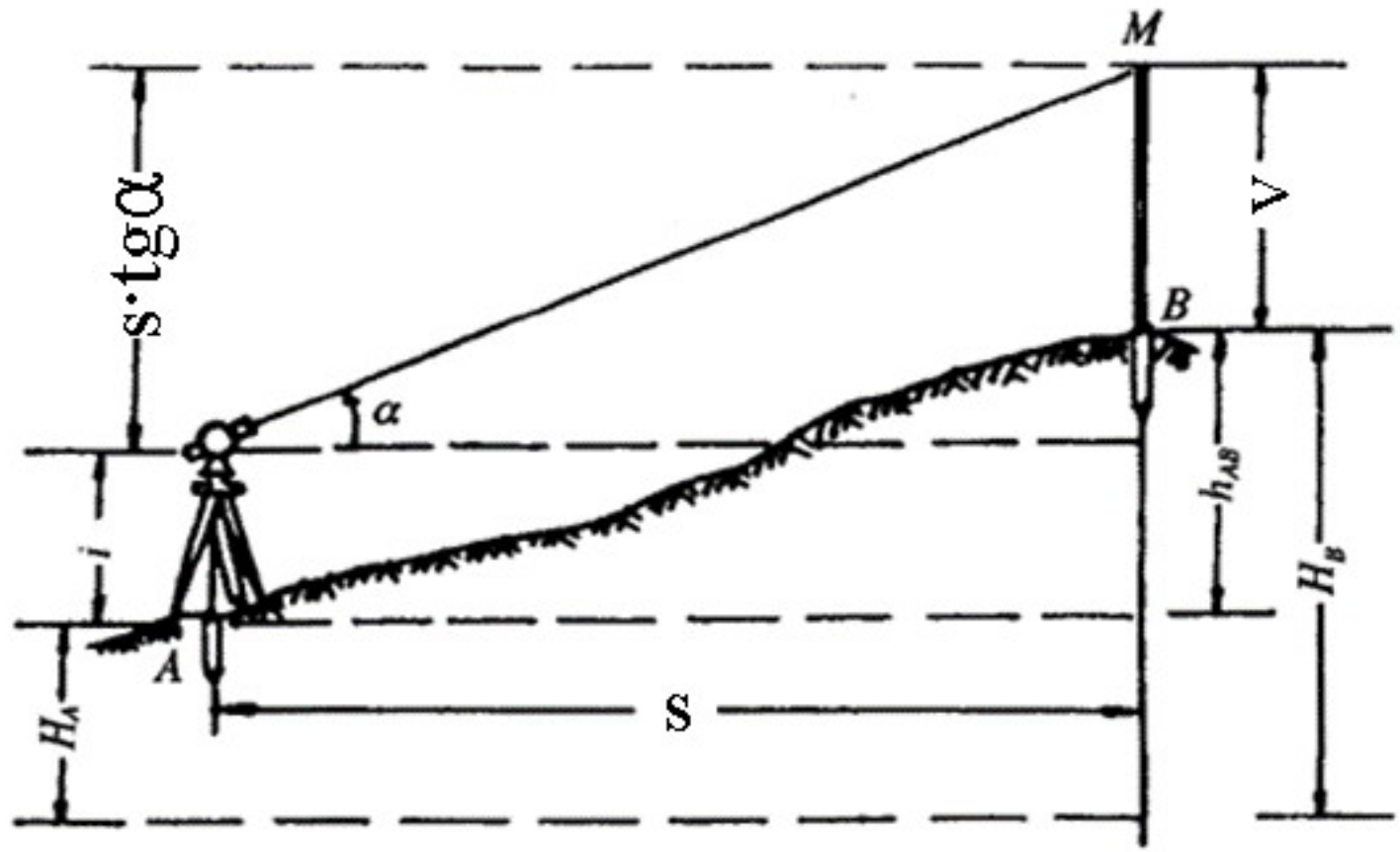
◆ 观测元素：

仪器高 i

目标高 v

竖角 α

水平距 S



若A点的高程为已知H_A，则B点的高程为：

$$H_B = H_A + S \cdot tg\alpha + i - v$$

◆ 直、返觇：

直觇——已知点上设站观测未知点。

反觇——未知点上设站观测已知点。

二、三角高程测量的基本公式

1. 地球曲率和大气折光的影响：

？？大气折射(大气折光)

当光线通过由下而上密度均匀变化着的大气层时，光线产生折射，形成一凹向地面的连续曲线。

◆ 球气差——大气折光和地球曲率二者对高差的总影响称为球气差。

1. 地球曲率和大气折光的影响：

图中：r —大气折光影响，

p —地球曲率影响

$$H_B = H_A + i + p + s \cdot tg\alpha - r - v$$

$$p = \frac{S^2}{2R} \quad , \quad r = \frac{S^2}{2 \cdot R'} \approx \frac{S^2}{2 \times 6R} = 0.08 \times \frac{S^2}{R}$$

$$H_B = H_A + s \cdot tg\alpha + i - v + (p - r)$$

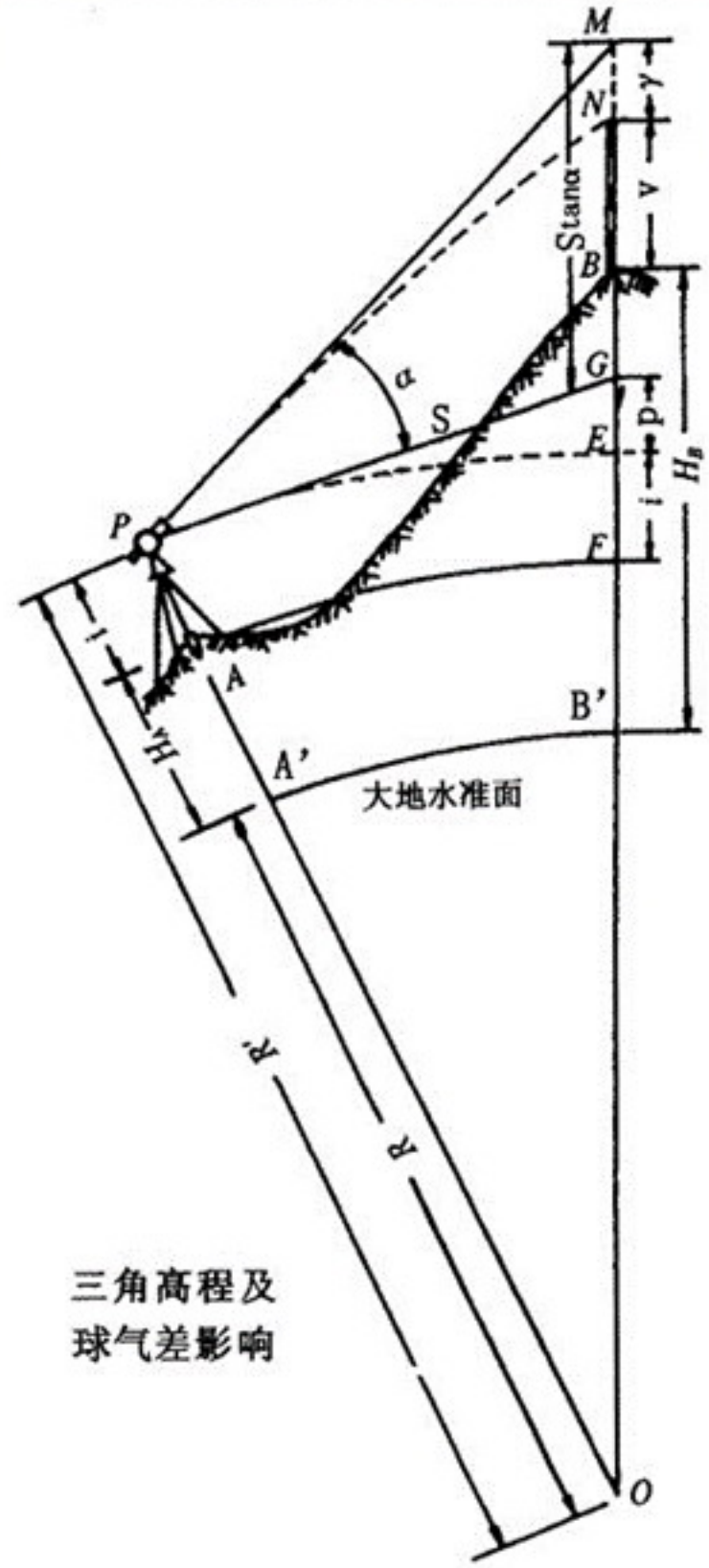
R’为照准目标时，光路的半径；

一般为地球半径的6倍。

(p-v)即为球气差总影响改正数：

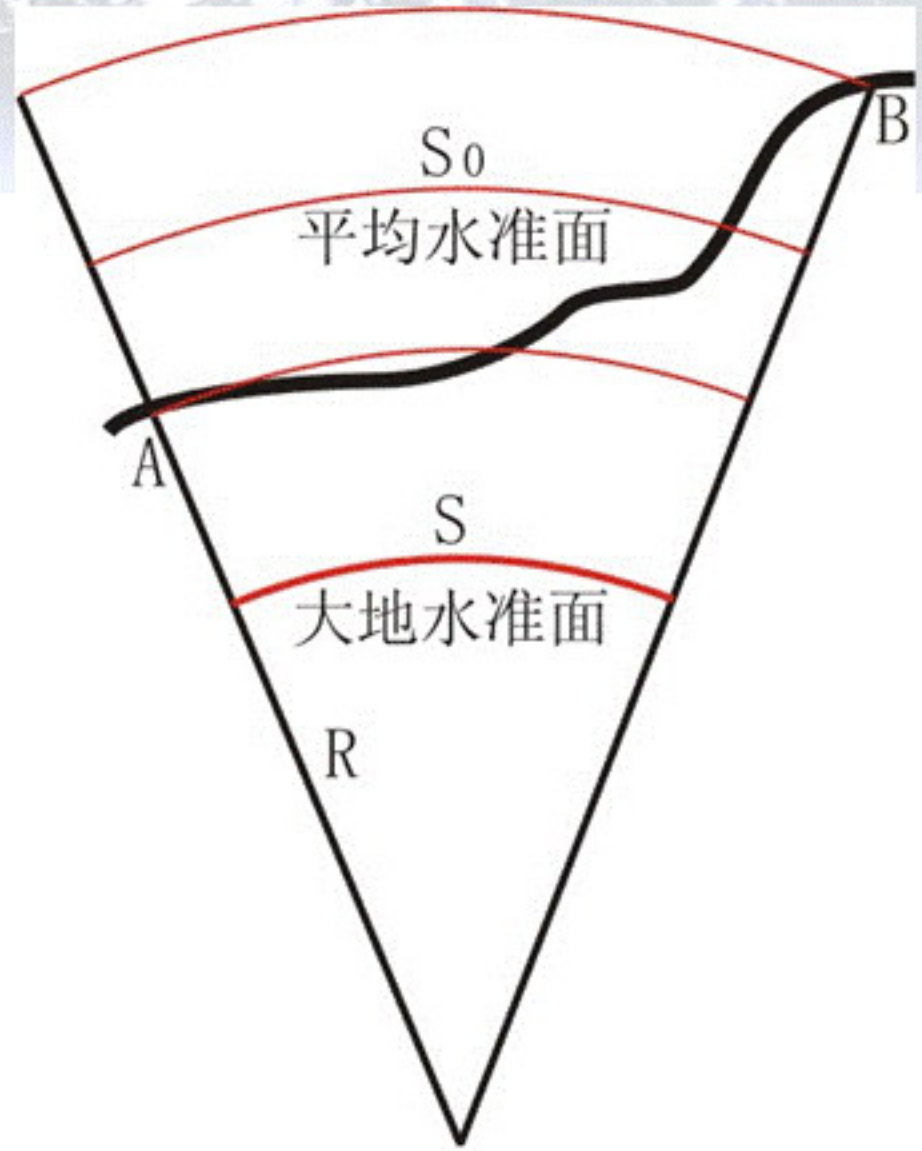
$$h_{AB} = s \cdot tg\alpha + i - v + f$$

$$f = p - r = 0.42 \times \frac{S^2}{R}$$



三角高程及
球气差影响

2. 距离归算



公式中实际距离应为S_0（近似认为）

$$H_m=\frac{H_A+H_B}{2},\quad \frac{S_0}{S}=\frac{R+H_m}{R}=1+\frac{H_m}{R}$$

$$S_0=S\cdot\left(1+\frac{H_m}{R}\right)$$

用水准面上距离计算三角高程时：

$$H_B=H_A+s\cdot tg\alpha\left(1+\frac{H_m}{R}\right)+i-v+f$$

S与高斯投影面距离d的关系：

$$S=d\cdot\left(1-\frac{y_m^2}{2R^2}\right)$$

➔

$$S_0=d\cdot\left(1+\frac{H_m}{R}-\frac{y_m^2}{2R^2}\right)$$

3. 用高斯投影面上距离计算高差

所以，当用高斯坐标反算距离计算三角高程时，需加入改正数：

$$h_{AB} = d \cdot tg\alpha \cdot \left(1 + \frac{H_m}{R} - \frac{y_m^2}{2R^2}\right) + i - v + f$$

$$= h'_{AB} + d \cdot tg\alpha \cdot \left(1 + \frac{H_m}{R} - \frac{y_m^2}{2R^2}\right)$$

改正数为：

$$\Delta h_{AB} = d \cdot tg\alpha \left(1 + \frac{H_m}{R} - \frac{y_m^2}{2R^2}\right)$$

三、三角高程测量的误差来源

$$h_{AB} = S \cdot tg\alpha + i - v + f$$

从上式中可以看出，精度受竖角、距离、球气差、仪器高、觇标高等因素影响。

◆ 主要包括以下几个方面：

1）竖角测量误差（15″）

2）大气折光误差

3）边长误差

4）仪器高 i 和觇标高 v的误差（可达mm级）

三角高程测量精度，仅要求达到厘米级。

1）竖角测量误差

◆ 包括：　(可达15")

照准误差——最主要项

读数误差

竖盘指标差

管水准泡居中误差

$$r \approx 0.08 \times \frac{S^2}{R}$$

2）大气折光误差

系数变化范围：0.08—0.14。短边时，折光影响小，400米内可达到mm级。

3）边长误差

用光电测距代替坐标反算距离，可达三、四等水准高程精度。