

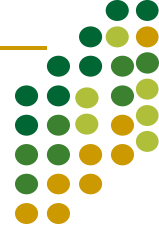


测量学

河海大学的测绘科学与工程学院

何敏

第四章 距离测量



- 什么是距离

距离一般是指地面上两点间的水平距离，是确定地面点相对位置的三个基本要素之一。

距离测量是测量工作的三项基本工作之一。

- 测量距离的方法

钢尺量距、视距测量、光电测距。

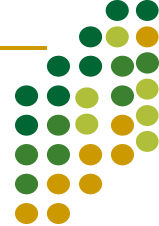
第四章 距离测量

内容要点

- 1、钢尺量距
- 2、视距测量
- 3、光电测距
- 4、全站仪测距



第一节 卷尺丈量



一、所用主要工具 钢尺、皮尺

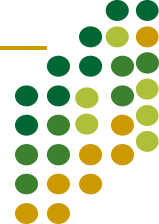


皮尺

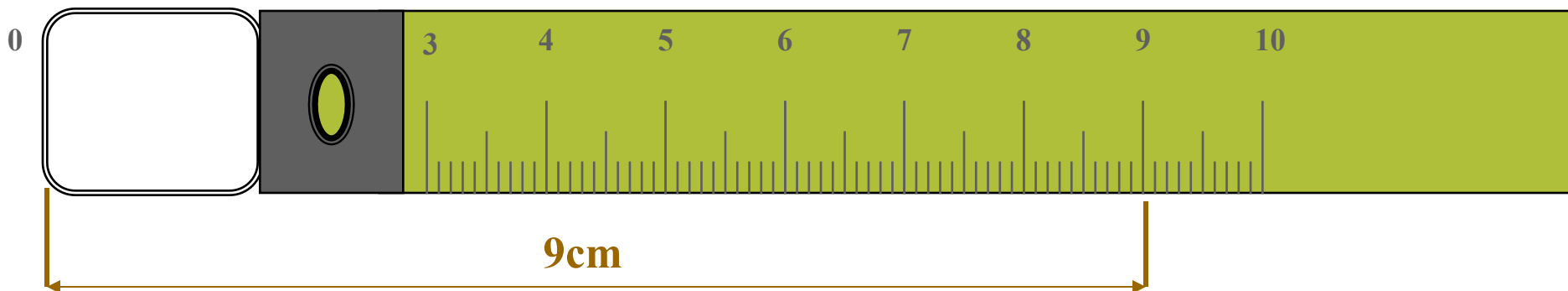


钢尺

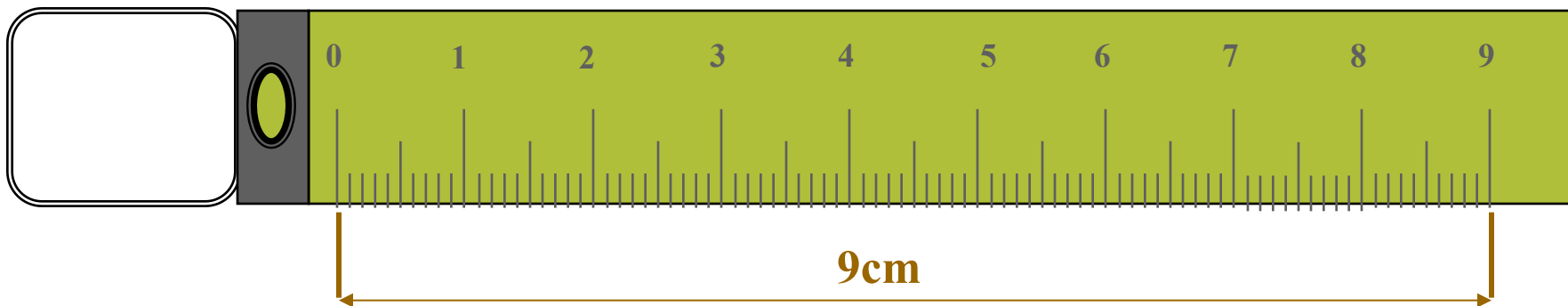
钢尺：



端点尺



刻线尺





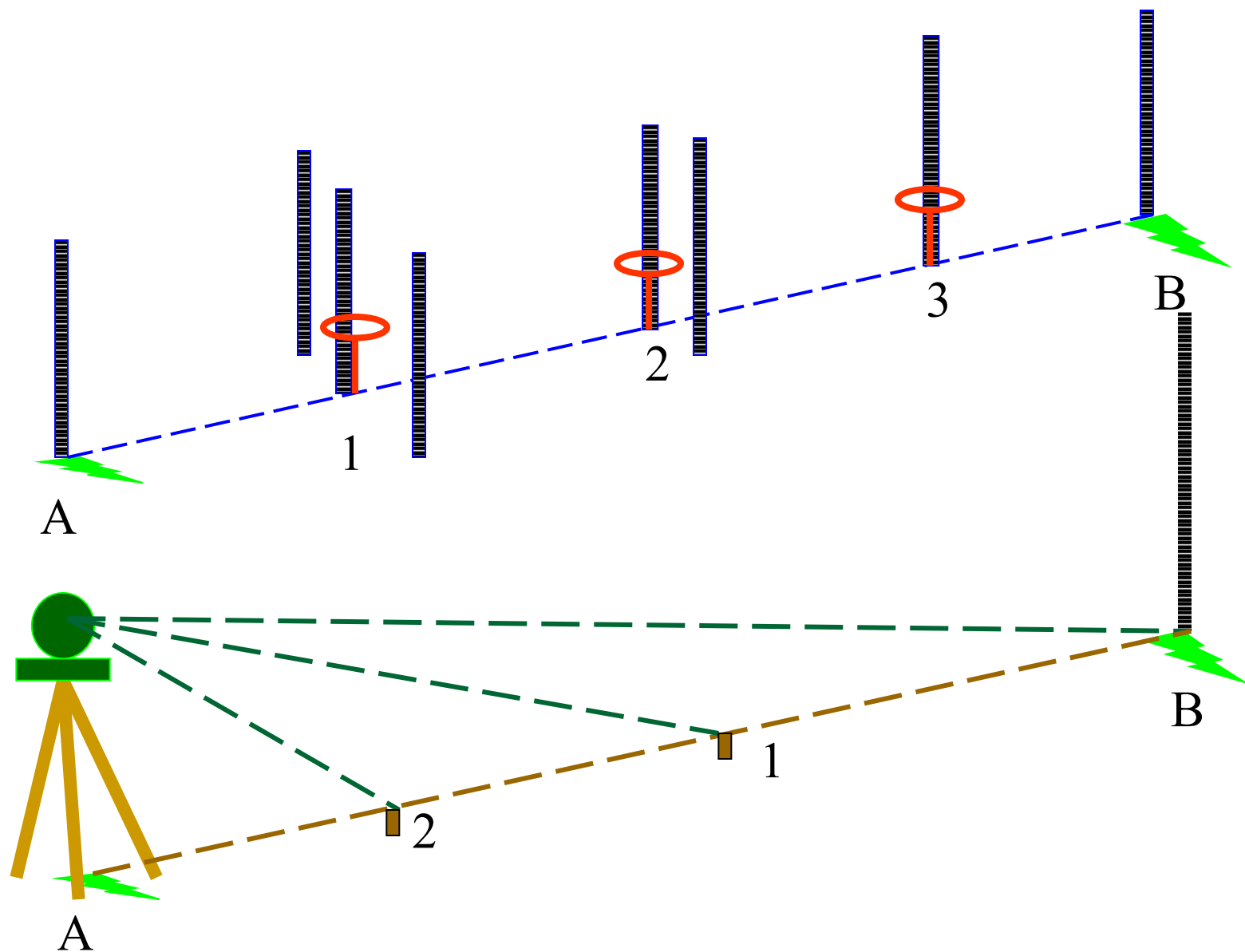
二、直线定线

定义：在地面上标定出位于同一直线上的若干点，以便分段丈量。

种类：目视定线和经纬仪定线两种。

目视定线

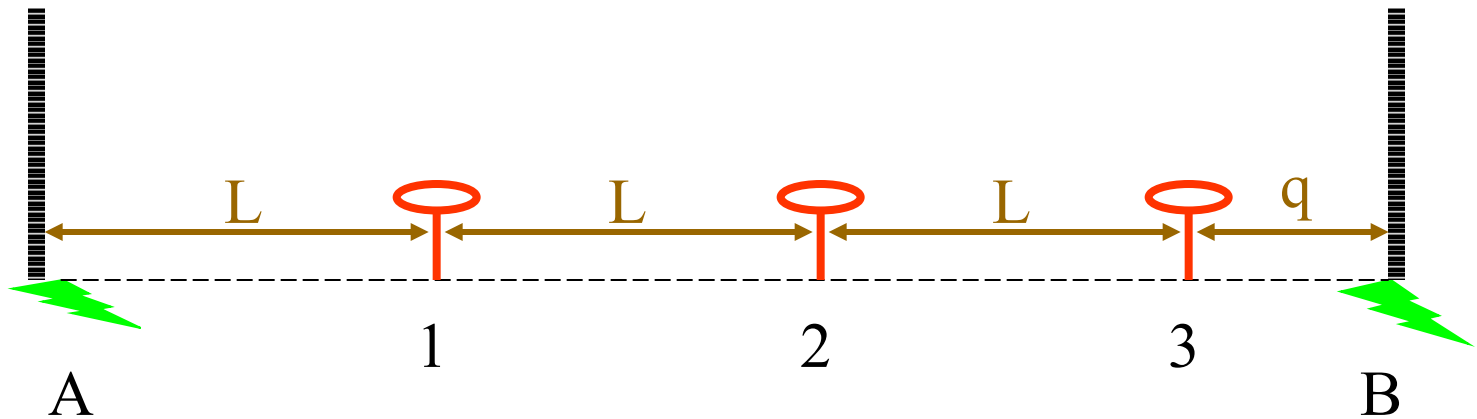
经纬仪定线





三、钢尺量距的一般方法

1、平地量距

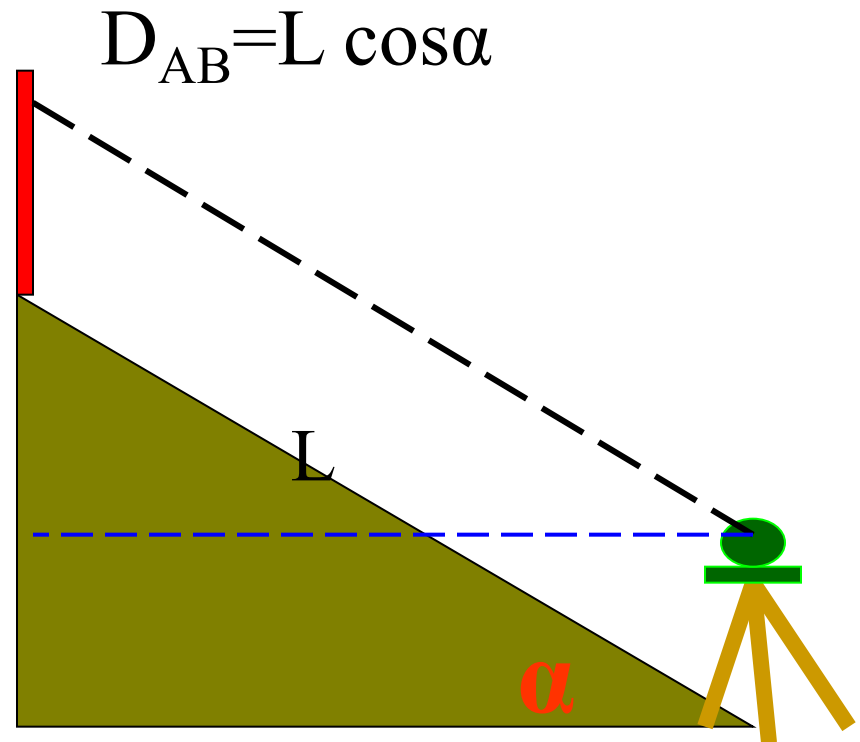
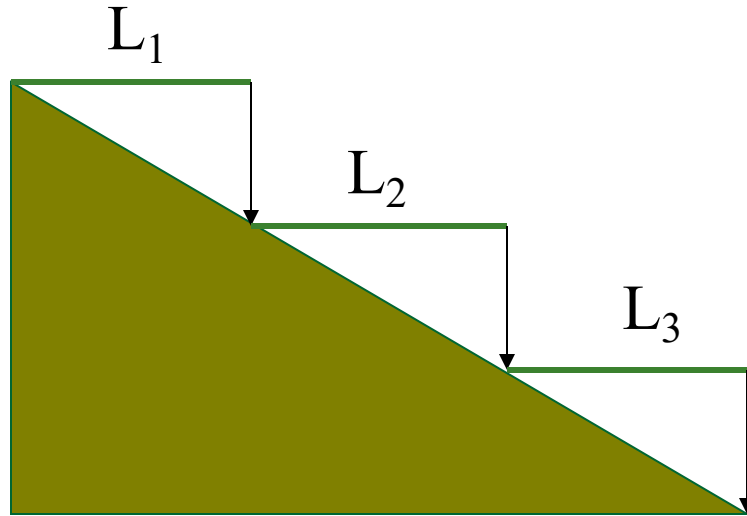


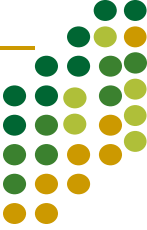
$$D_{AB} = nL + q$$



2、斜坡量距

$$D_{AB} = \sum L_i$$





四、钢尺量距的记录方法与精度

| 测线 | | 整尺段数 | 零尺段 | 总长度 | 平均长度 | 精度 |
|----|---|--------|--------|---------|---------|--------|
| AB | 往 | 6 × 50 | 36.537 | 336.537 | 336.482 | 1/3087 |
| | 返 | 6 × 50 | 36.428 | 336.428 | | |

相对误差 $K = (D_{\text{往}} - D_{\text{返}}) / D_{\text{平}} = 1 / M$

平坦地区: $K_{\text{限}} = 1 / 3000$

困难地区: $K_{\text{限}} = 1 / 1000$



第四章 距离测量

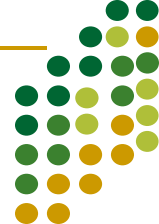
4.1 卷尺丈量

4.2 视距测量

4.3 光电测距

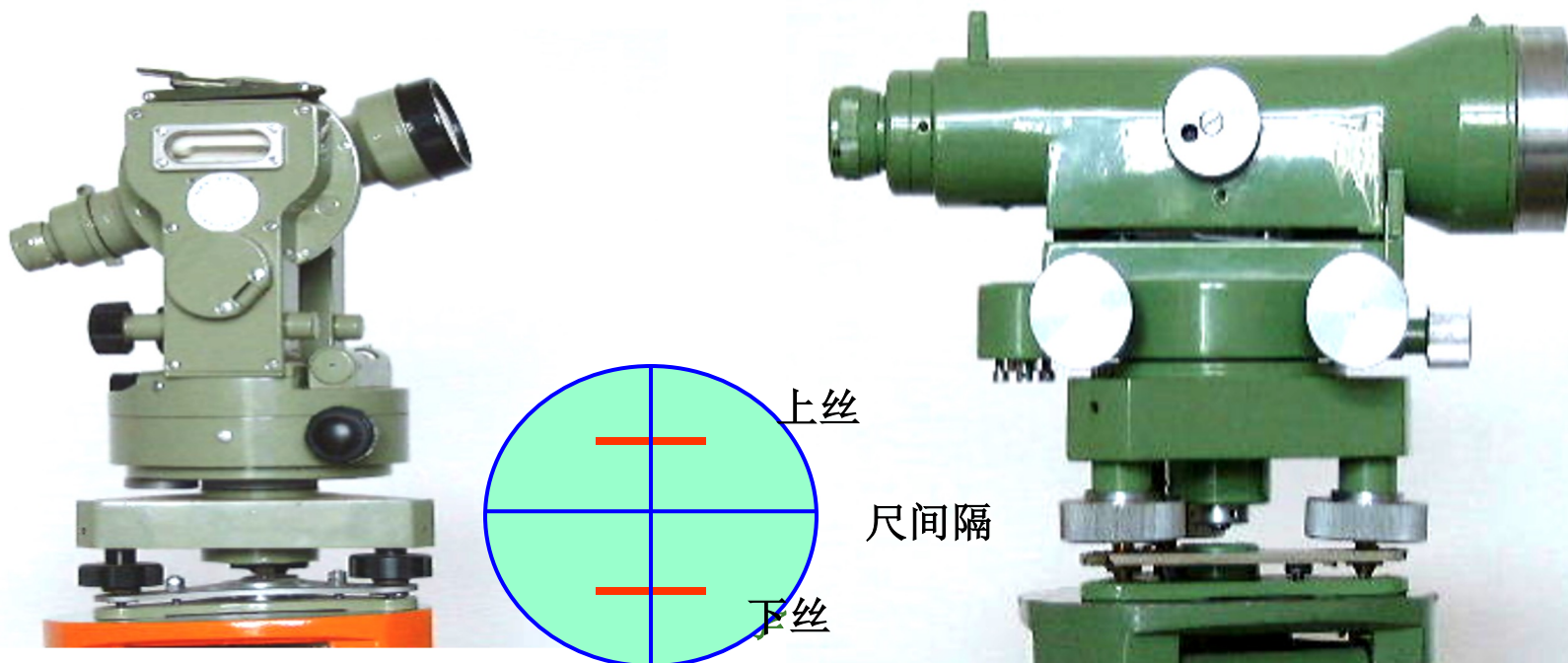
4.4 全站仪

视距测量



一、视距测量的概念：

使用带有视距丝的仪器间接地同时测定地面上两点间的距离和高差的方法。所用仪器是经纬仪（有时可用水准仪）和水准尺。





- 优点：**测量速度快，不受地形限制。
- 不足：**精度低，距离相对误差一般约为 $1/300$ ，高差一般为分米级。
- 用途：**主要用于地形图测绘（地形点的距离与高差）。

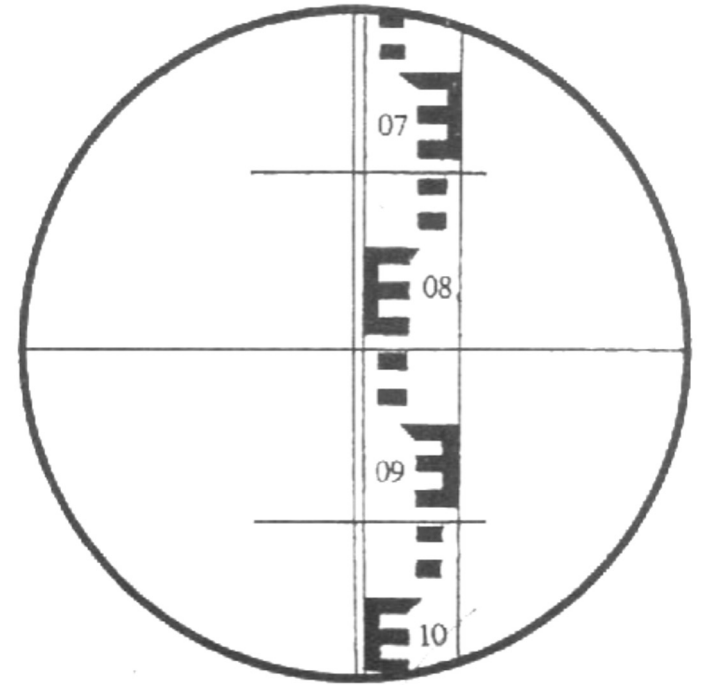


图 2-17 瞄准水准尺与读数

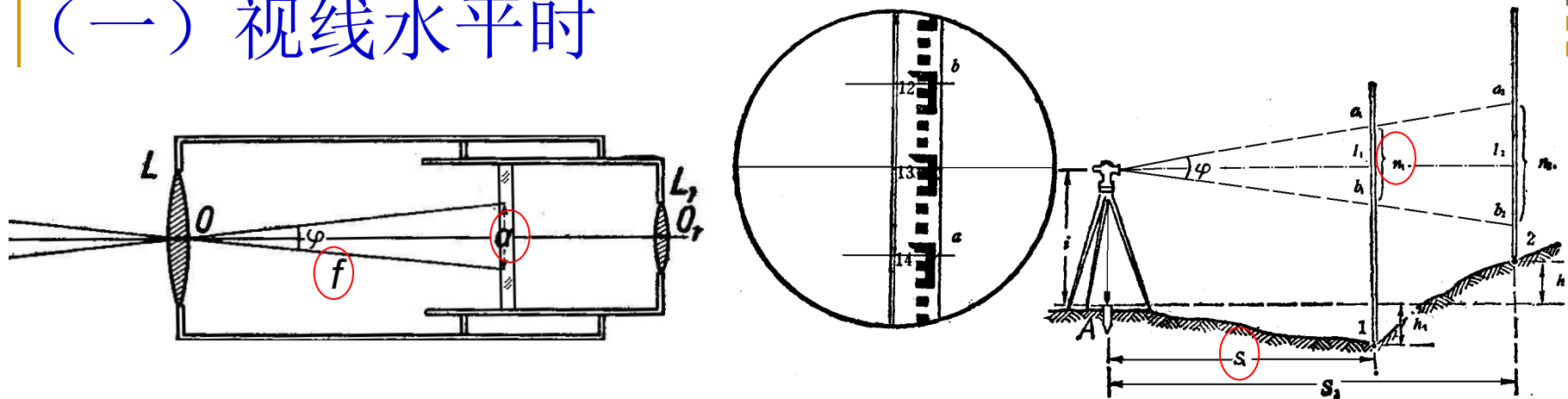


二、视距测量的原理和公式

(1) 视线水平时
水准仪

(2) 视线倾斜时
经纬仪

(一) 视线水平时



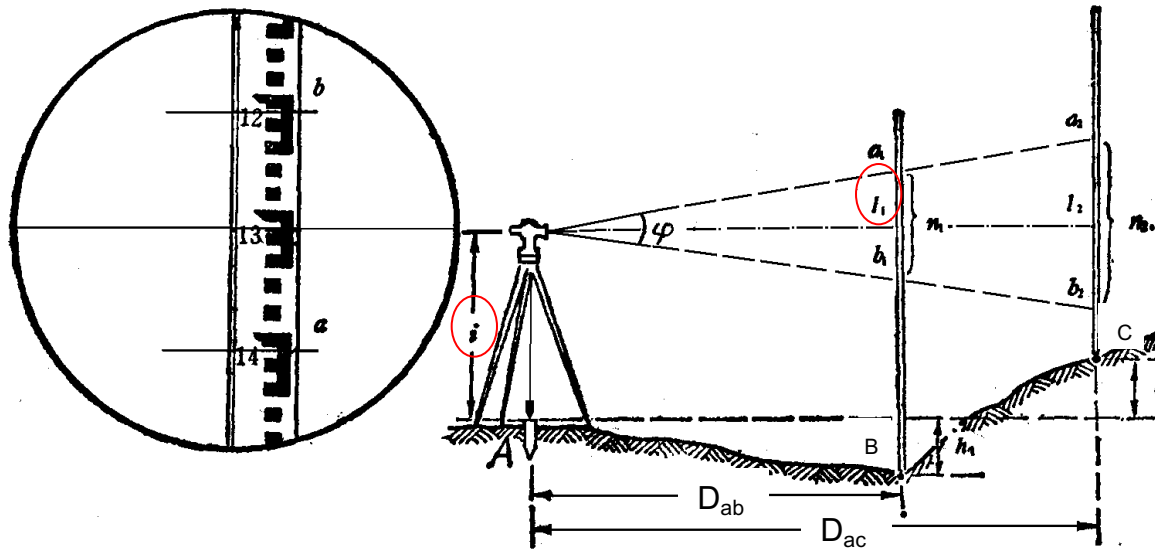
- 十字丝板上有两根视距丝，它们在物镜光心处的张角φ基本是不变的。两根视距丝在物方向的间距与距离成正比

$$\frac{a}{f} = \frac{n}{s'}$$

$$\text{爵將 } s' = n \cdot \frac{f}{a} = n \cdot c$$

- 一般制作仪器时，令

$$\frac{f}{a} = 100 (\text{藍 } \phi \approx 2000 \text{ 變 } \approx 34.38 \text{ 列}) \quad \text{爵將 } S' \approx 100n$$



1.视距公式:

$$n = |a - b|$$

(4-2-1)

$$D_{ab} = 100n$$

(4-2-2)

2.高差公式:

$$h = i - l$$

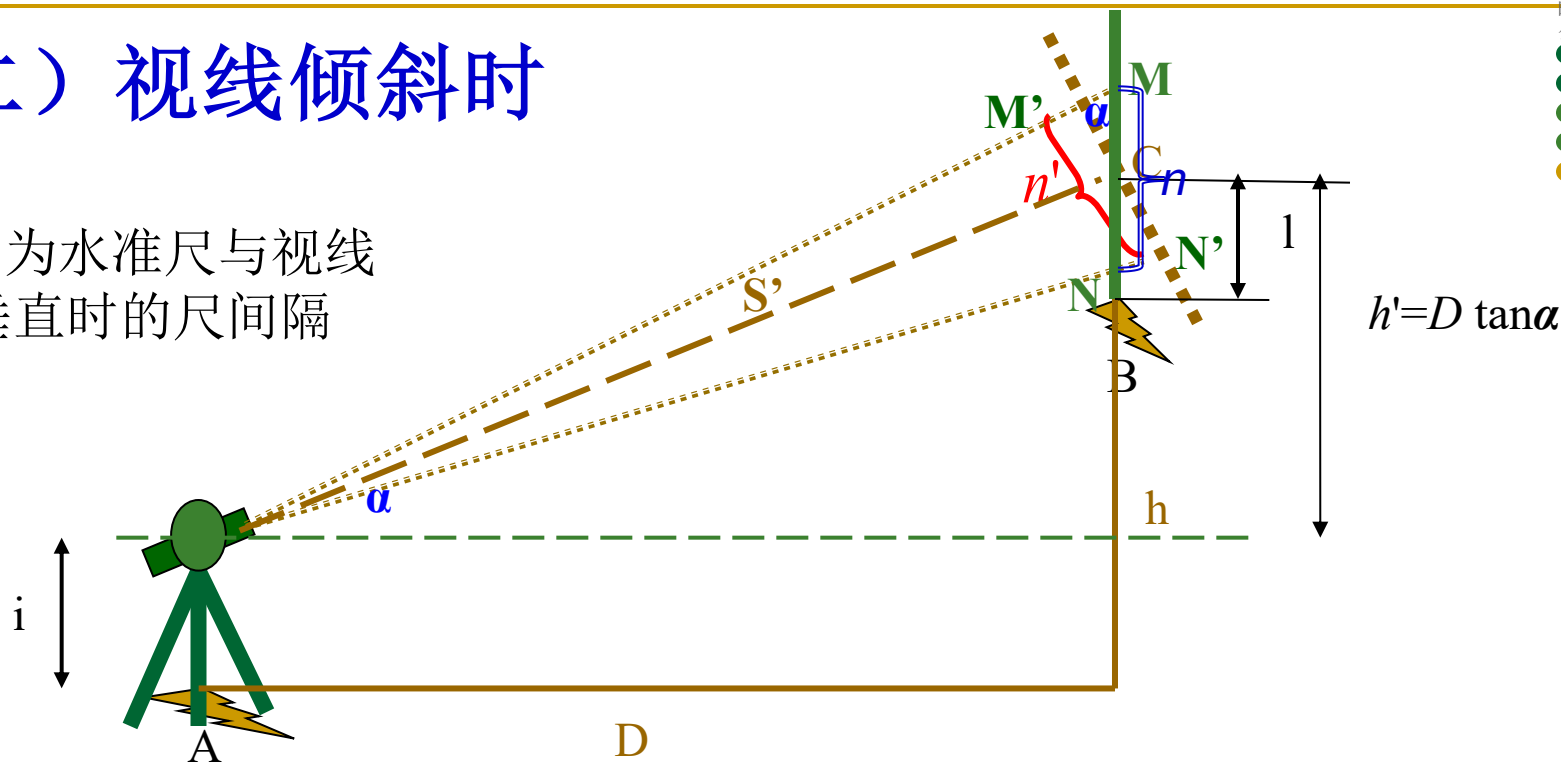
(4-2-4)

$$H_B = H_A + h = H_A + i - l$$

(4-2-5)

☐读数要求: 上下丝读数a、b读至毫米, 中丝 l 读至厘米, 仪器高 i 量至厘米。

二.视线倾斜时视距测量公式


$$n' = n \cos \alpha$$

$$\therefore S' = 100n \cos \alpha$$

(4-2-8)

絲 $D = S' \cos \alpha = 100n \cos^2 \alpha$

2.高差公式: 高差主值 $h' = D \tan \alpha$

AB高差 $h = h' + i - l = D \tan \alpha + i - l$ (4-2-9)

三.视距测量观测和计算

观测： 在测站安置经纬仪，对中、整平、量仪器高；
在测点竖水准尺，瞄准(要求三丝都能读数)。

读数： 每个测点读四个读数

上丝读数 a

读至毫米

下丝读数 b

读至毫米

中丝读数 l

读至厘米

竖盘读数 L

读至分

视距测量通常只测盘左（或盘右），测量前
要对竖盘指标差进行检验与校正。



视距测量表

视距测量记录

测站:A

测站高程:21.40m

仪器高:1.42m

| 照准点号 | 下丝读数 上丝读数 视距间隔 | 中丝读数 l | 竖盘读数 L | 垂 直 角 α | 水平距离 D | 高 差 h | 高 程 H |
|------|----------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|------------|------------|
| 1 | 1.768 | 1.35 | 92°45' | + 2°45' | 83.21 | + 4.07 | 25.47 |
| | 0.934 | | | | | | |
| | 0.834 | | | | | | |
| 2 | 2.182 | 1.42 | 95°27' | + 5°27' | 150.83 | + 14.39 | 35.79 |
| | 0.660 | | | | | | |
| | 1.522 | | | | | | |
| 3 | 2.440 | 2.15 | 88°25' | - 1°35' | 57.76 | - 2.33 | 19.07 |
| | 1.862 | | | | | | |
| | 0.578 | | | | | | |

注:竖盘公式: $\alpha = L - 90$

计算公式

$$D = 100(a - b)\cos^2 \alpha$$

$$h = D \tan \alpha + i - l$$

$$H_p = H_A + h = H_A + D \tan \alpha + i - l$$



四、视距测量误差主要来源

1. 视距读数误差
2. 竖直角测量误差
3. 标尺倾斜误差
4. 大气垂直折光的影响



第四章 距离测量

4.1 卷尺丈量

4.2 视距测量

4.3 光电测距

4.4 全站仪



1941年瑞典物理学家Bergstrand在研究光速时开发了高精度测量 t 的技术

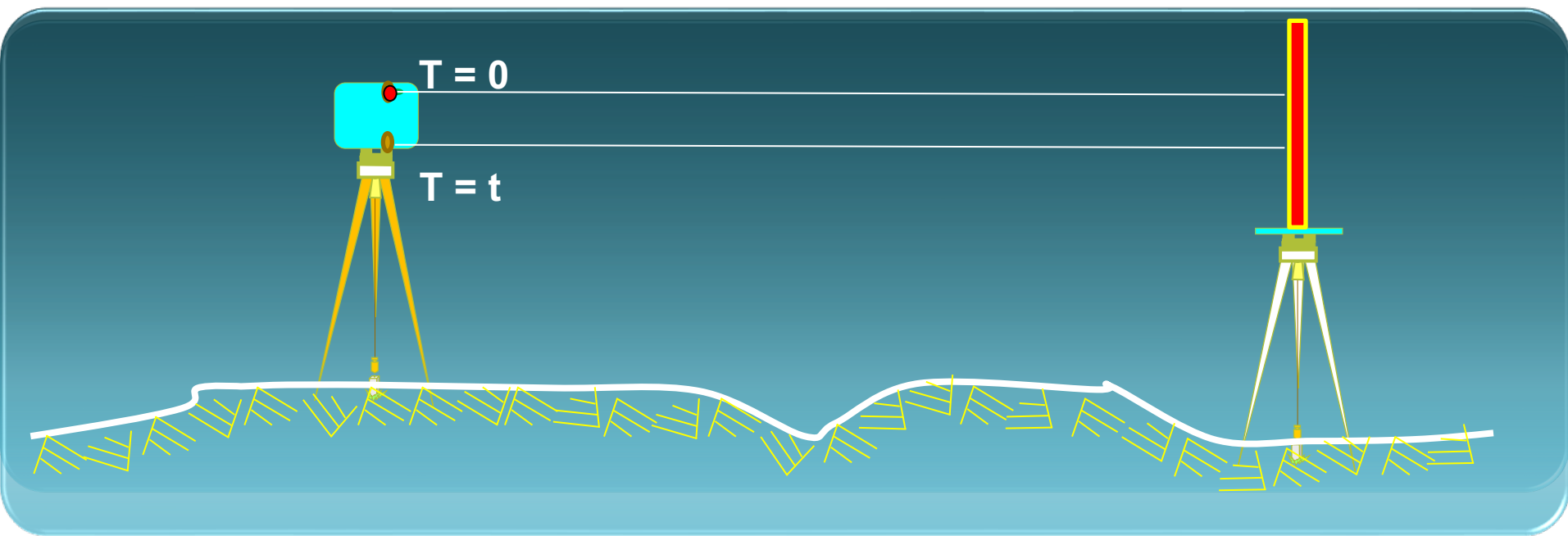
1948年瑞典AGA厂推出了第一台光波测距仪

随着需求的增长和光学、微电子学的发展使电磁波测距的技术迅速发展。进一步推进了测量学的发展

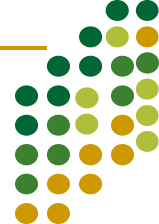
尽管GPS应用很广，短程电磁波测距仪仍然大有用途

光电测距仪的基本原理

$$D = c t / 2$$



电磁波测距仪分类



1. 按其所采用的载波（光源）可分为：

微波测距仪(microwave EDM instrument);

激光测距仪(laser EDM instrument);

红外测距仪(infrared EDM instrument);

$$m_D = a + b \cdot D$$

m_D 为测距中误差， a 为固定误差（加常数）， b 为比例误差（乘常数，用 ppm表示 mm/km， 10^{-6} ）

2. 按测程分为：

短程测距仪($\leq 5\text{km}$)

中程测距仪($5 \sim 15\text{km}$)

远程测距仪($\geq 15\text{km}$)

3. 按精度分为：

I 级测距仪($m_D \leq 5\text{mm}$)

II 级测距仪($5 \leq m_D \leq 10\text{mm}$)

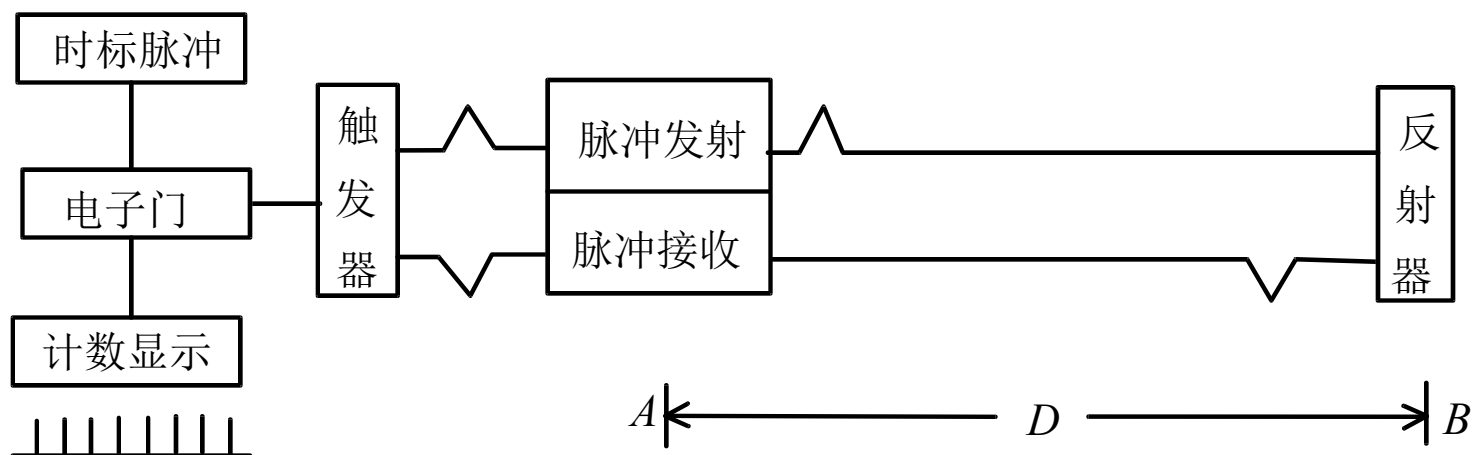
III级测距仪($m_D \geq 10\text{mm}$)

4. 按测距原理分为：

脉冲式（直接测时间）

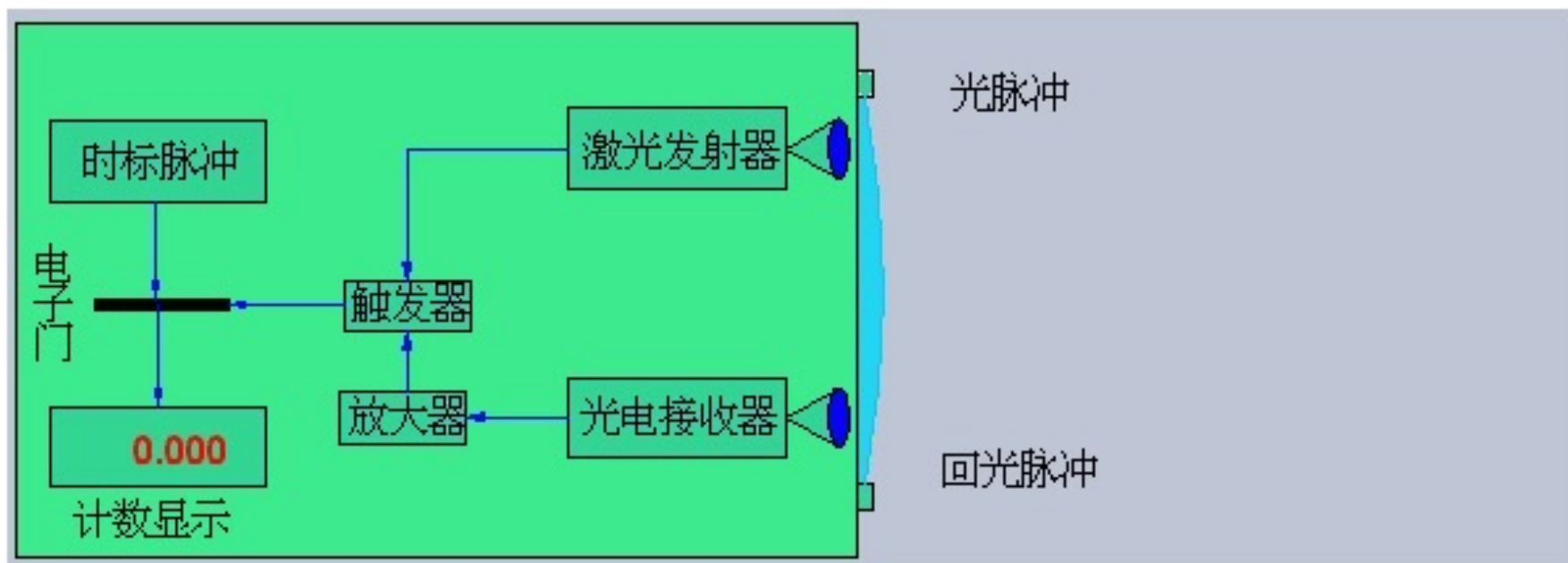
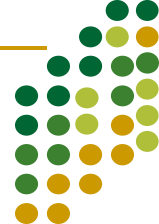
相位式（间接测时间）

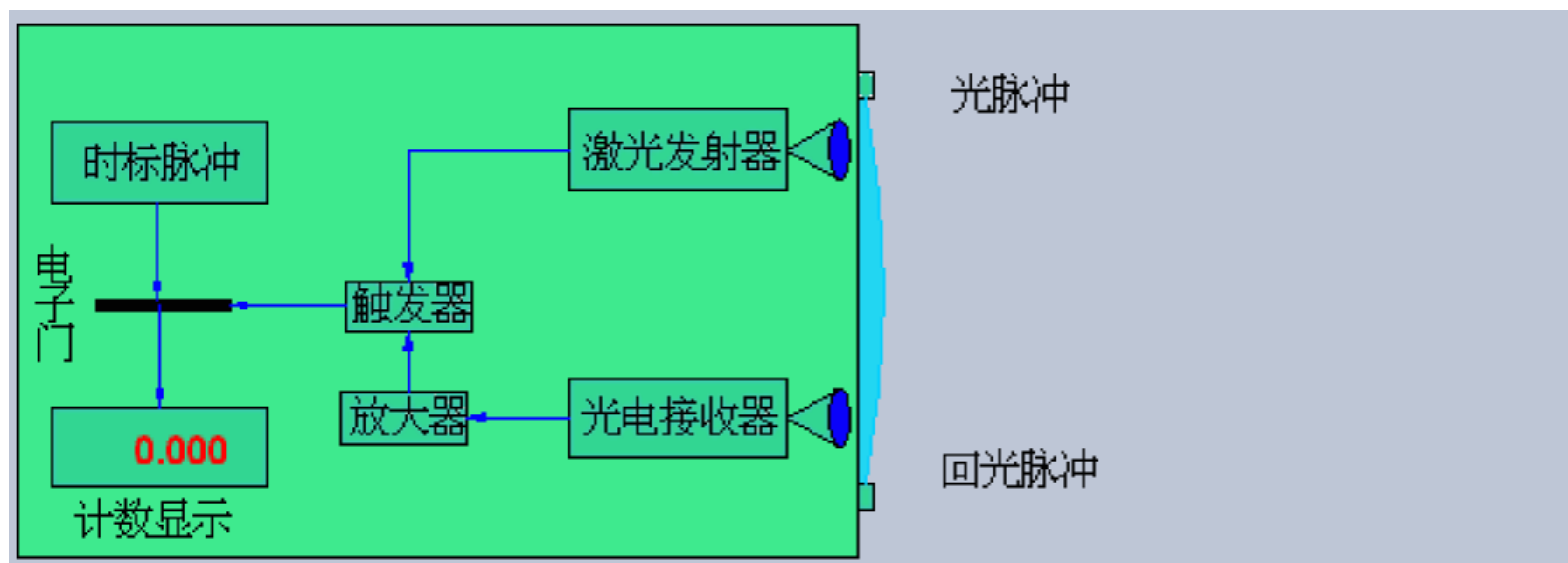
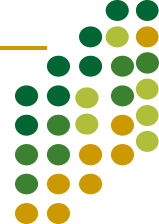
脉冲式测距仪测距原理

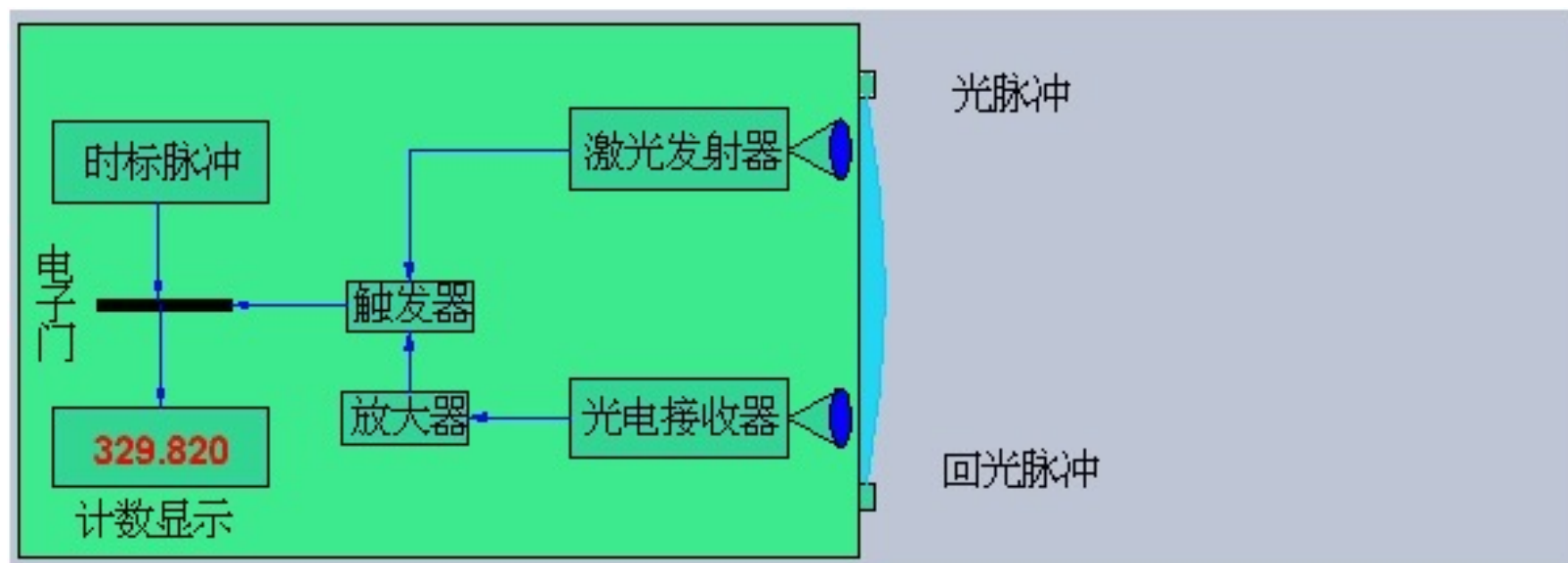
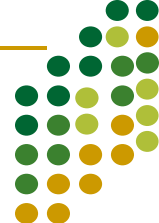


时间测定： 1、脉冲计数测时

2、模拟—数字测时（电容充电）









脉冲测距举例

已知：

时标脉冲频率： $f=15 \text{ Mhz}$

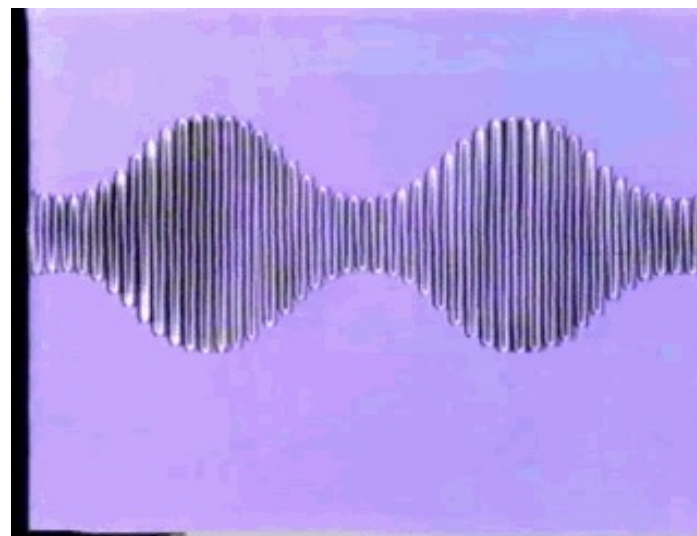
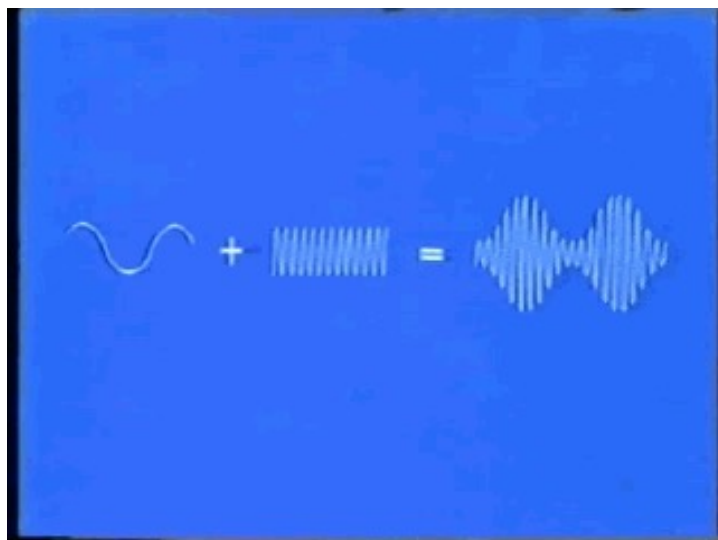
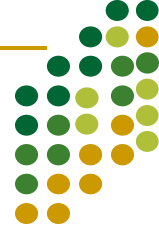
电磁波速度： $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$

时标脉冲个数： $n=100$

求： 距离 D

$$D = 1/f \times n \times c / 2 = 1000 \text{ 米}$$

相位式测距仪测距波的调制





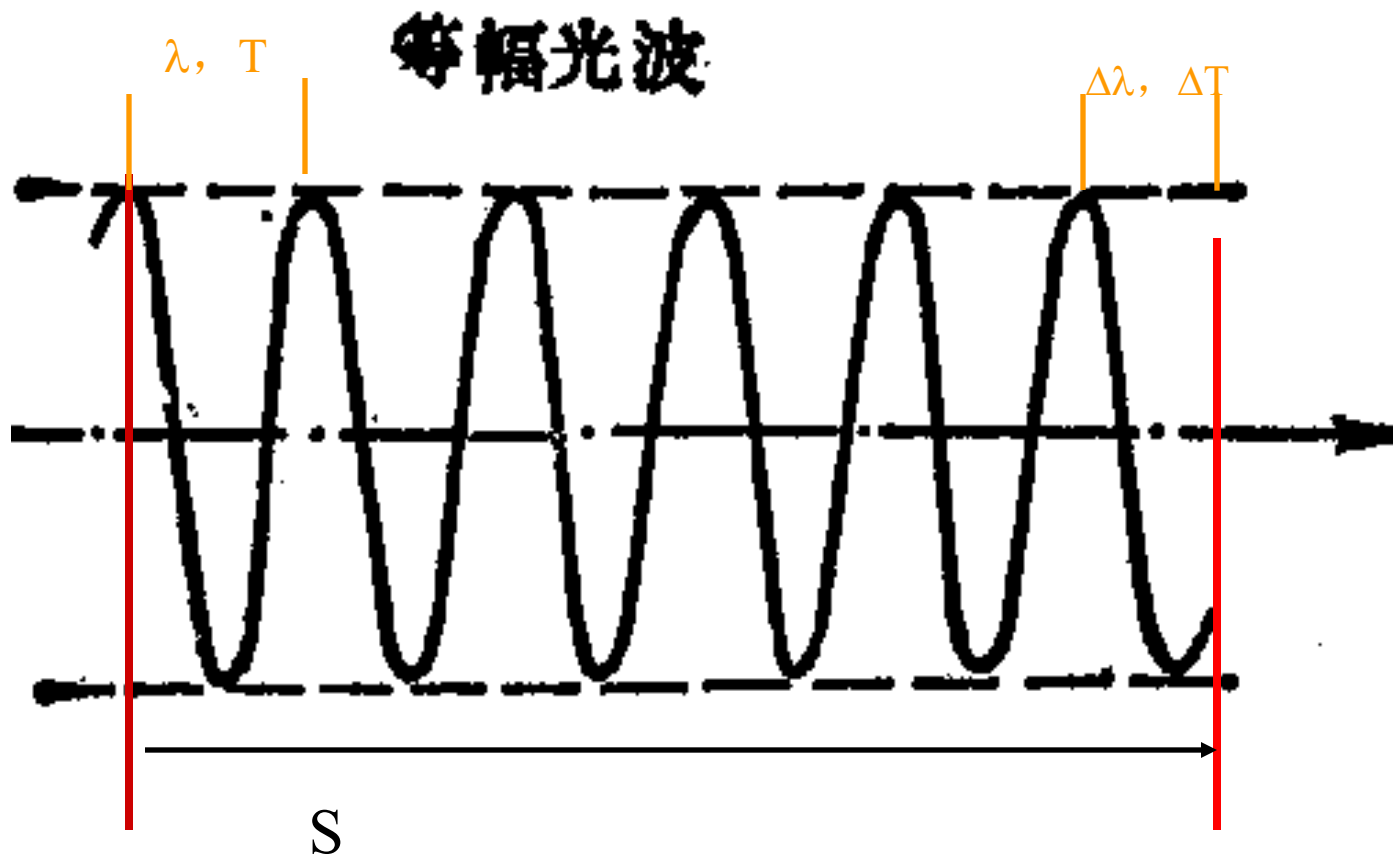
$$\lambda = CT = \frac{C}{f}$$

$$C = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$$

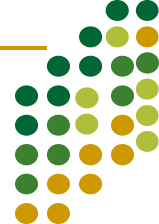
$$t = NT + \Delta T$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta \varphi}{2\pi}$$

$$S = \frac{1}{2} C t = \frac{1}{2} (N\lambda + \Delta \lambda) = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \right)$$



相位式测距仪测距原理



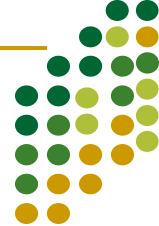
- 设光从发射器发出，抵达反光镜后返回仪器的接收器，称为信号2。而从发射器发出的光分出一路直接进入处理装置，称为信号1。这两个信号之间存在相位差 $\Delta\phi$ 和整周数 N 。

$$S = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right)$$

$$\frac{\lambda}{2} N \text{ 整周数 } \quad \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\Delta\phi}{2\pi} \text{ 相位差}$$

- 利用相位器可测定 $\Delta\phi$ ，但不能求得“整周数 N ”。因此只可以求得“余长”，而不能求得整长。
- **整周数 N 的测定**：用两个频率的波（两个不同的电子尺）进行测量，一个用来测量距离的大数，另一个用于精确测量距离的尾数。就可以既扩大测程又保证精度。如果需要还可以用更多的频率测量。

数字拼接



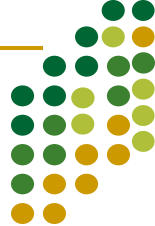
■ 用 $f_1=150\text{kHz}$, $\lambda = \frac{C}{f}, \frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2f} = 1000\text{m}$

测得距离986.4m

■ 用 $f_2=15\text{MHz}$, $\lambda = \frac{C}{f}, \frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2f} = 10\text{m}$

测得距离6.574m

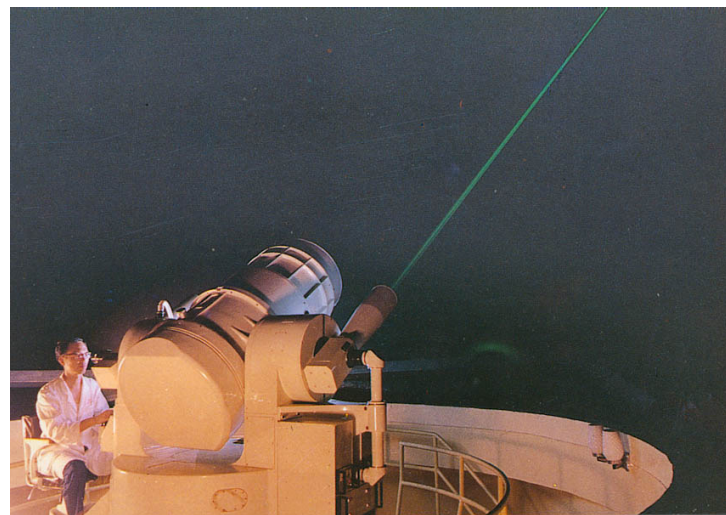
两组数字拼接为986.574m



■ 脉冲法测距应用-激光测卫

激光往返时间 t

距离 D



二、测距仪的构造

各型号的大致相同。

主要由：

❖ 照准头

❖ 控制器

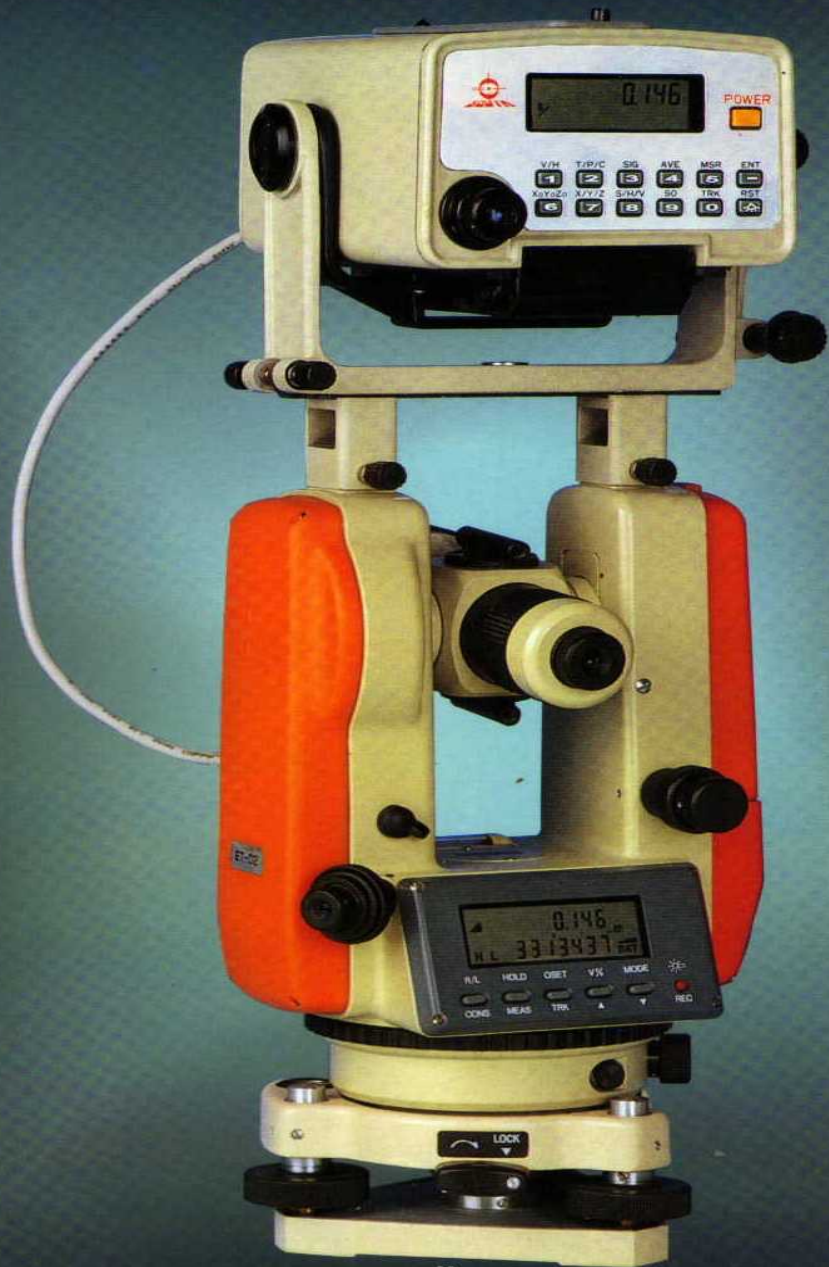
❖ 反光镜

等组成。





经纬仪+光电测距仪



电子经纬仪 + 光电测距仪



测距仪用反射棱镜

测距仪用反射棱镜 Prisms for distance meters



ADS13(A)



ADS33(A)



ADS13(B)



ADS33(B)



三、测量距离的步骤

- ①将测距仪和反射镜分别安置在测段两点上。
- ②望远镜瞄准反光镜相应位置，反射镜面与入射光线垂直。
- ③打开开关，检查光电信号的强弱，合乎要求后开始测距。
- ④记录若干次读数，为一测回。并记录大气温度和气压。

四、光电测距成果整理



1. 仪器常数改正

乘常数改正 $\Delta S_K = K \times S$ 加常数改正 $\Delta S_C = C$

仪器的振荡频率发生变化造成的

仪器内光路等效发射面、接收面和仪器中心不一致造成的

$$S = 816.350\text{m}, K = 6.3\text{mm/km}, \Delta S_K = 6.3 \times 0.816 = 5\text{mm}$$

2. 气象改正 $\Delta S_A = A \times S$

3. 倾斜改正 $\Delta S_\alpha = S \times (\cos \alpha - 1)$

最终平距 $D = S + \Delta S_K + \Delta S_C + \Delta S_A + \Delta S_\alpha$

4. 水平距离向椭球面的化算

$$D' = D (1 + H_m / R)^{-1} \quad H_m: \text{两中心高程均值}$$

5. 椭球面距离向高斯平面的化算

$$\Delta d = (y_m^2 / 2R^2) D'$$

y_m : 两端点高斯横坐标自然值的均值

$$D'' = D' + \Delta d$$



总结：三种测距方法的比较

| 方法 | 特点 |
|------|--|
| 卷尺丈量 | 劳动强度大，工作效率低，受地形影响大，精度为 $1/1000 \sim 1/4000$ |
| 视距测量 | 观测速度快，操作方便，不受地形限制，精度为 $1/200 \sim 1/300$ ， 测程小 。广泛应用在地形测量中。 |
| 光电测距 | 观测速度快，测程大，不受地形影响，精度极高。 |



第四章 距离测量

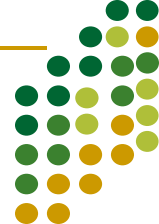
4.1 卷尺丈量

4.2 视距测量

4.3 光电测距

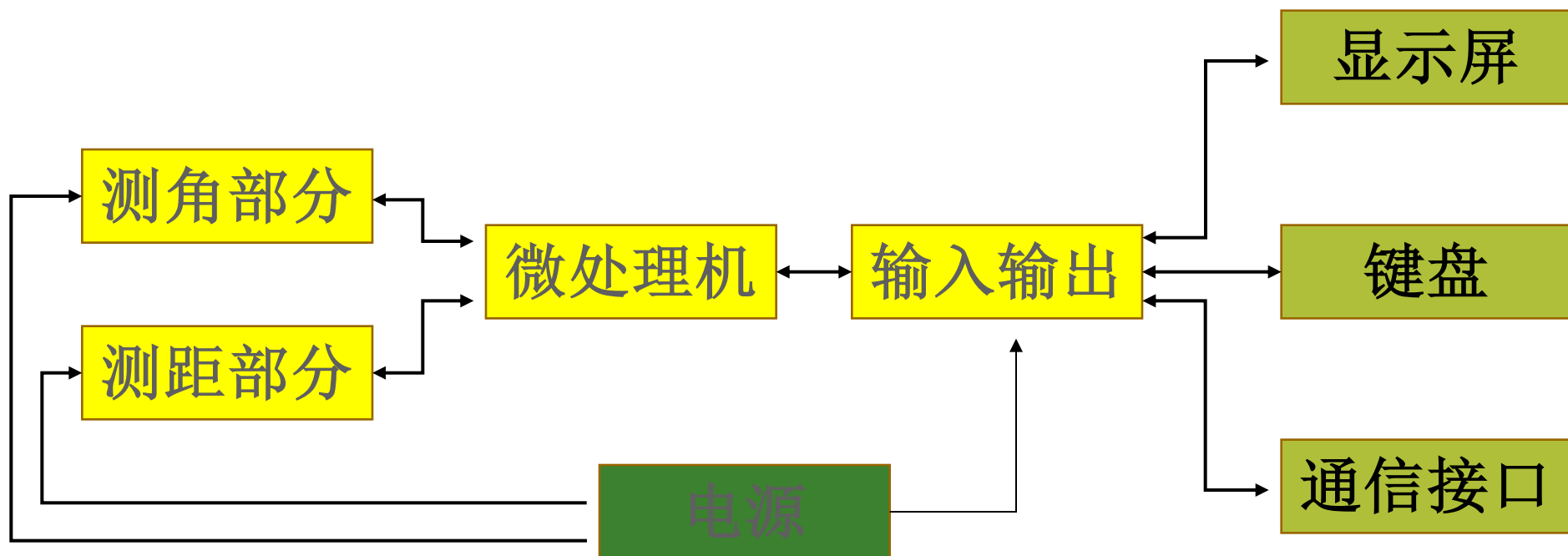
4.4 全站仪

全站仪



- 全站仪是电子测角、光电测距、微处理器及其软件组合而成的智能型测量仪器。
- 一次观测可获得水平角、竖直角、倾斜距离等三种观测数据，借助内部固化软件可以组成多种测量功能（如自动完成平距、高差、镜站点坐标的计算等）。
- 广泛用于控制测量、大比例数字测图以及各种工程测量中。

一、基本构造



莱卡TC2003

测角中误差达到 $\pm 0.5''$

测距精度达到 $1\text{mm}+1\text{ppm}\cdot D$





二、全站仪的功能

- 角度测量
- 距离测量
- 高差测量
- 三维坐标测量与放样