第四章 工程测量的仪器与方法

主要内容

- 工程测量中，进行长度和偏距、角度和方向、高程和倾斜、准直、坐标等测量的仪器及其测量方法

重点

- 专用仪器
- 特殊方法

§4.1 角度测量

角度是几何测量的基本元素，包括水平角和垂直角。

角度测量的仪器主要是经纬仪，分为光学经纬仪和电子经纬仪两大类。

§4.1　角度测量

一、光学经纬仪的基本结构

基本结构主要包括照准部（望远镜）、读数装置（含水平度盘、垂直度盘）、安平设备及基座和对点器等。



我国光学经纬仪系列分为**J07**、**J1**、**J2**、**J6**等型号，**J**为经纬仪汉语拼音的第一个字母，下标表示仪器的精度指标。

§4.1　角度测量

二、水平角观测

- ✓ 对仪器进行“对中”和“整平”；
- ✓ 盘左，粗略瞄准一个目标 ；
- ✓ 仔细对光，消除视差；
- ✓ 精确瞄准目标，取水平度盘读数；
- ✓ 不动调焦镜，盘右，精确瞄准目标，取水平度盘读数；
- ✓ 对于下一个目标，重复上述操作。

§4.1 角度测量

三、垂直角观测

三丝法垂直角观测的具体操作程序：

- ✓ 盘左，按上、中、下三根水平丝的顺序依次照准同一目标各一次，并分别读竖盘读数；
- ✓ 盘右，同上一样的观测；
- ✓ 分别计算三根水平丝所测得的指标差和垂直角，并取垂直角的平均值作为一个目标的一测回之值。

若仅使用中间的水平丝进行观测，则称为“中丝法”

§4.1　角度测量

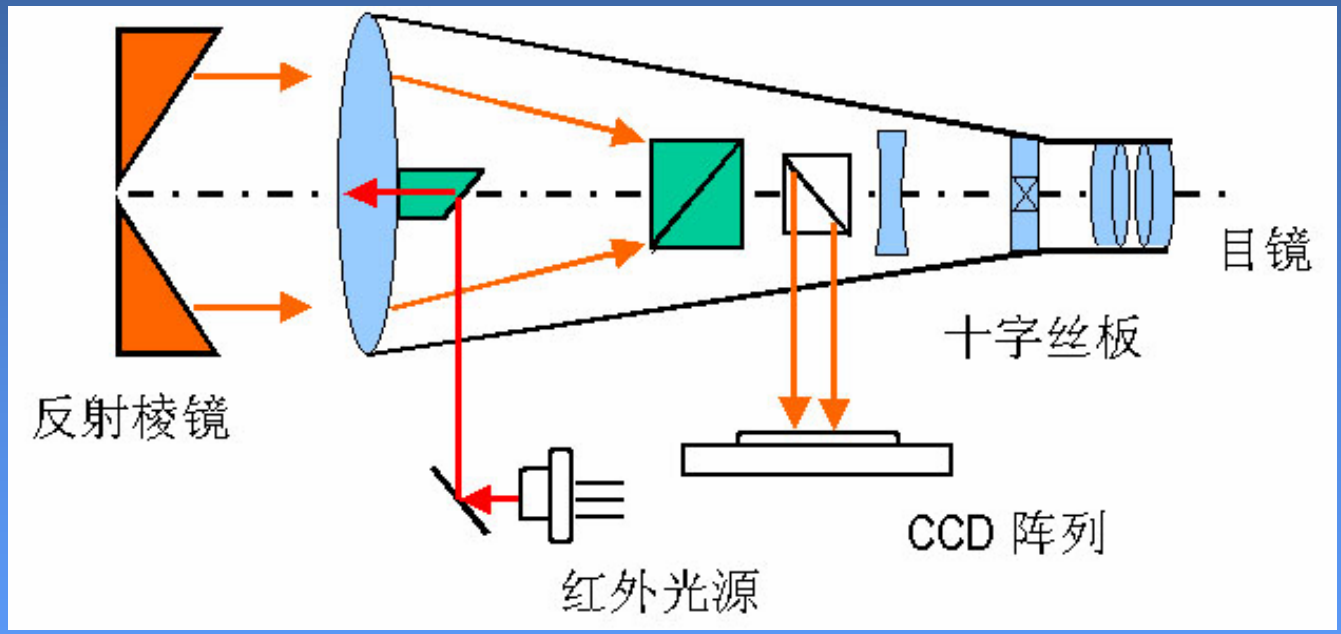
四、电子经纬仪

在光学经纬仪的照准部中，将读数系统用电子度盘替代光学模拟度盘，实现度盘读数的自动化，则成为电子经纬仪 。

用于电子经纬仪的角度传感器主要有两种：编码度盘和动态测角系统。

§4.1　角度测量

五、目标照准自动化（基本原理）



带ATR望远镜结构示意图

§4.1　角度测量

五、目标照准自动化

在角度测量时，ATR自动识别并照准目标主要有三个过程：

- ✓ 目标搜索过程
- ✓ 目标照准过
- ✓ 程和测量过程

§4.1 角度测量

六、全自动陀螺经纬仪

经纬仪与陀螺仪配合使用，成为陀螺经纬仪。目前，自动化陀螺经纬仪的主要产品有德国威斯特发伦采矿联合公司的**Gyromat2000**和日本索佳公司（**SOKKIA**）的**AGP1**等 。

GYROMAT2000





AGP1

§4.1 角度测量

六、全自动陀螺经纬仪

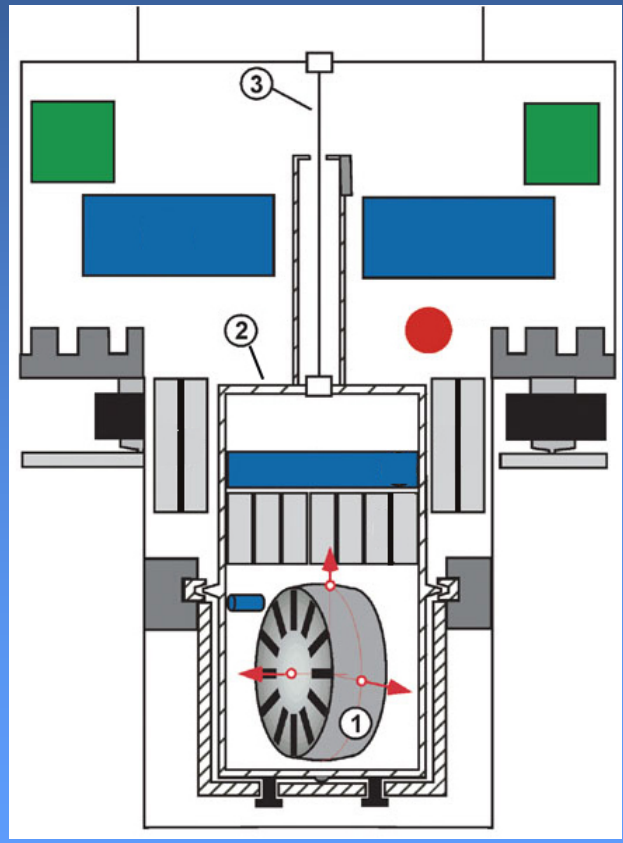
- 陀螺经纬仪的基本结构

注：

① 陀螺马达

② 灵敏部

③ 悬挂带



陀螺仪悬挂结构示意图

- 自动定向原理

§4.1 角度测量

六、全自动陀螺经纬仪

- 测量步骤
  - ✓ 将仪器安置到三脚架上并精确对中、整平；
  - ✓ 连接陀螺仪与经纬仪之间的数据通信电缆；
  - ✓ 经纬仪开机，陀螺仪开机；
  - ✓ 启动测量程序进行定向测量；
  - ✓ 经纬仪照准测线目标，盘左、盘右观测两测回，将结果输入到陀螺仪中，即可计算并显示测线方位角。

§4.1　角度测量

六、全自动陀螺经纬仪



测角装置采用**TDA5005**全站仪，还实现了目标的自动跟踪功能。

国产TDA5005+Y/JTG-1陀螺经纬仪

§4.2　距离测量

距离是几何测量的基本元素，距离测量的方法主要有三种：

- ✓ 直接丈量
- ✓ 间接视距测量
- ✓ 物理测距

§4.2　距离测量

一、钢尺量距

钢尺量距一般包括以下几方面工作：

- ✓ 定线
- ✓ 量距
- ✓ 测量定向桩之间的高差
- ✓ 成果整理

§4.2　距离测量

二、电磁波测距

电磁波测距是通过测定电磁波在待测距离上往返传播的时间，利用下列基本公式来计算待测距离的。

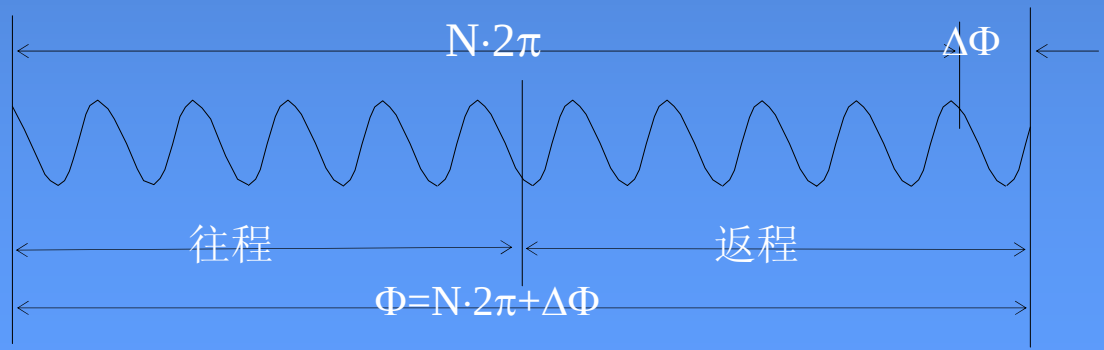
$$D = \frac{1}{2} c \cdot t_{2D}$$

§4.2　距离测量

二、电磁波测距

- 相位式测距原理：

相位式测距是通过测量调制波在测线上往返传播所产生的相位移间接地测定电磁波在测线上往返传播时间的。



相位式测距原理

§4.2 距离测量

二、电磁波测距

- 电磁波测距仪分类

✓ 按载波分：光波测距仪、微波测距仪和多载波测距仪；

✓ 按测程分：短程测距仪、中程测距仪、远程测距仪和超远程测距仪；

✓ 按精度分：超高精度测距仪、高精度测距仪、一般精度测距仪；

✓ 按测距方式分：脉冲式测距仪、相位式测距仪和混合式测距仪

§4.2　距离测量

二、电磁波测距

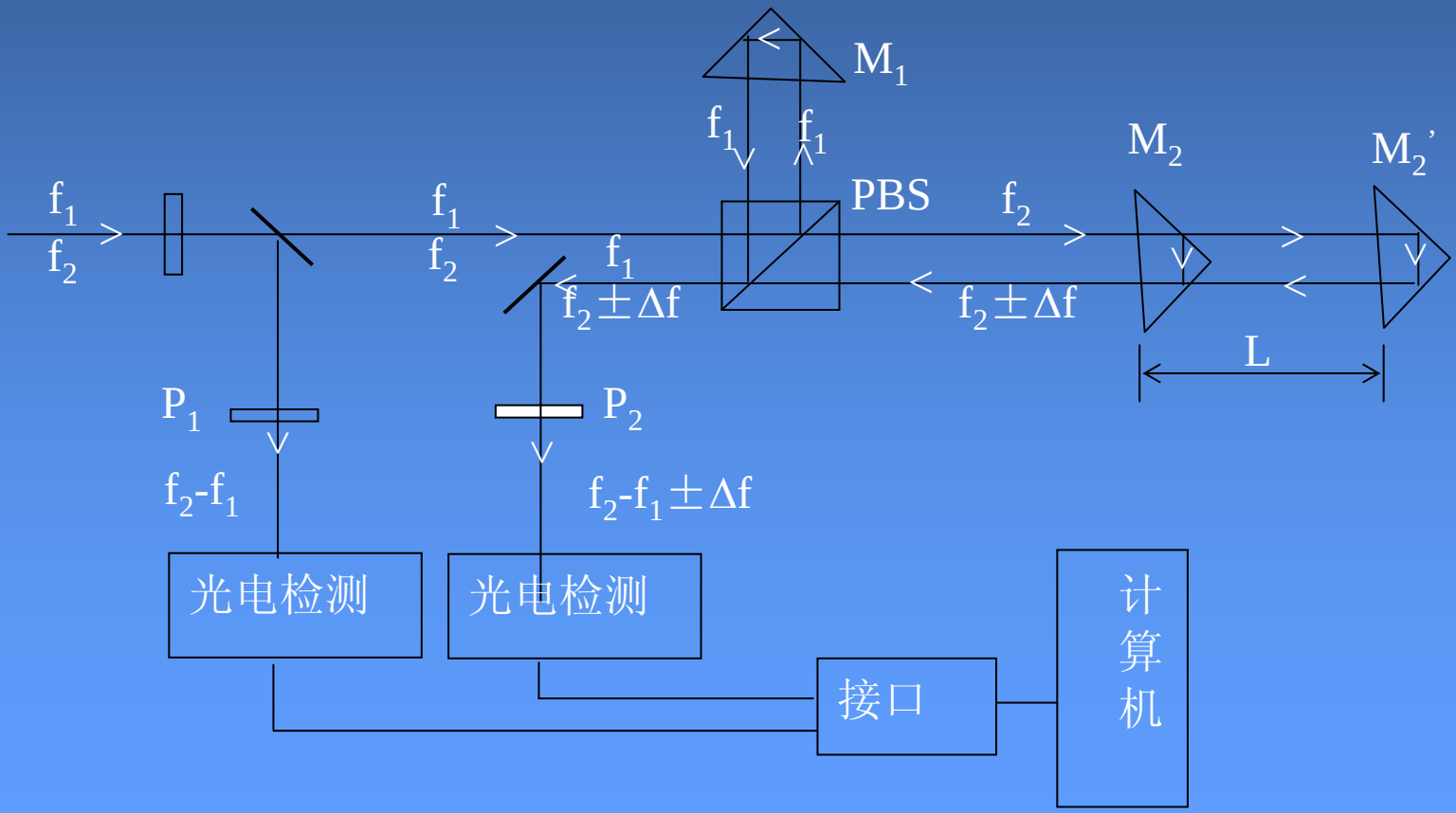
- 电磁波测距仪的使用

测距仪一般由照准头、控制器、电源和反射器四部分组成，一般与经纬仪连接使用。

- ✓ 仪器加常数和乘常数改正
- ✓ 气象改正
- ✓ 倾斜改正

§4.2 距离测量

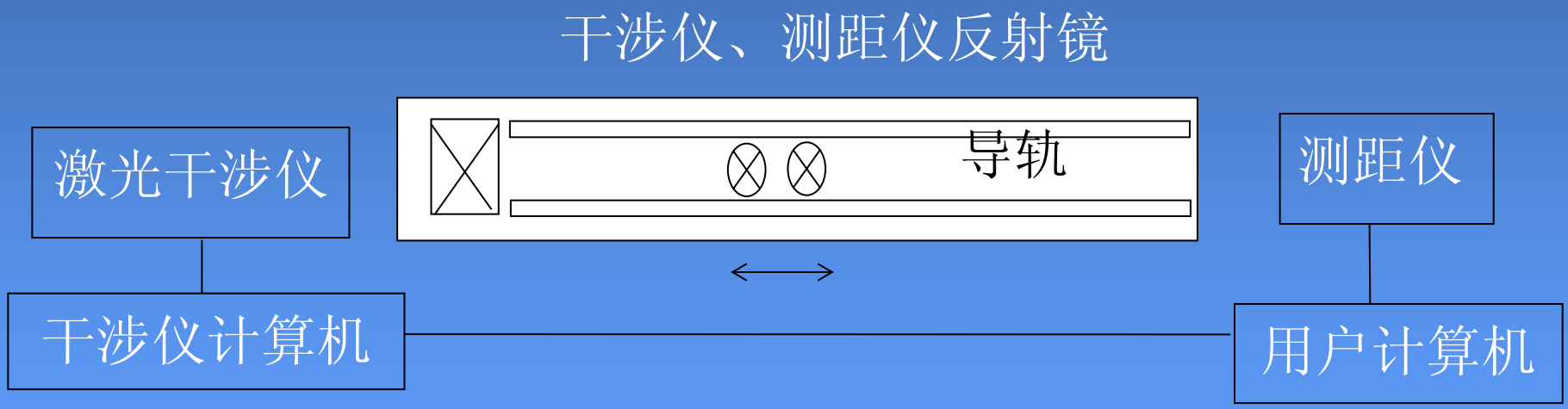
三、双频激光干涉测距



§4.2　距离测量

三、双频激光干涉测距

- 用双频激光干涉仪检定测距仪



§4.2　距离测量

四、偏距测量

- 尼龙丝准直系统

系统由三部分组成：尼龙丝，带有探测器的尺子及控制装置

- 激光准直系统

该系统由一带有专门光学系统的激光源及一台差示光电管接收机组成

§4.3　高程测量

一、几何水准测量

- 电子水准仪基本结构

基本构造由光学机械部分、自动安平补偿装置和电子设备组成。电子设备主要包括：调焦编码器、光电传感器（即线阵**CCD**器件）、读数电子元件、单片微处理机、接口（外部电源和外部存储记录）、显示器件、键盘以及影像数据处理软件等，标尺采用条形码标尺供电子测量使用。

§4.3　高程测量

一、几何水准测量



徕卡DNA03/10



徕卡DNA03/蔡司DINI1010



徕卡D拓普康
DL101/102NA03/10



徕卡DNA索佳SDL203/10

部分电子水准仪的外观图

§4.3　高程测量

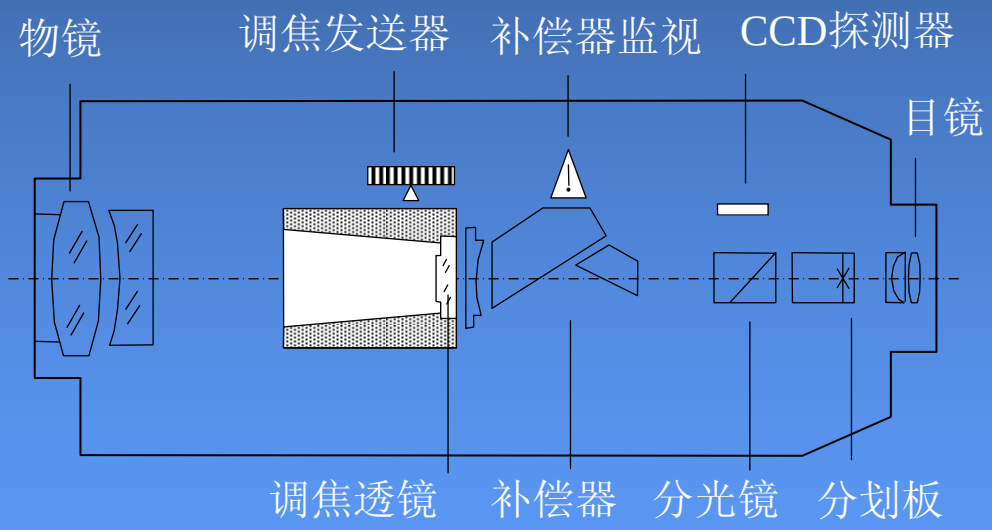
一、几何水准测量

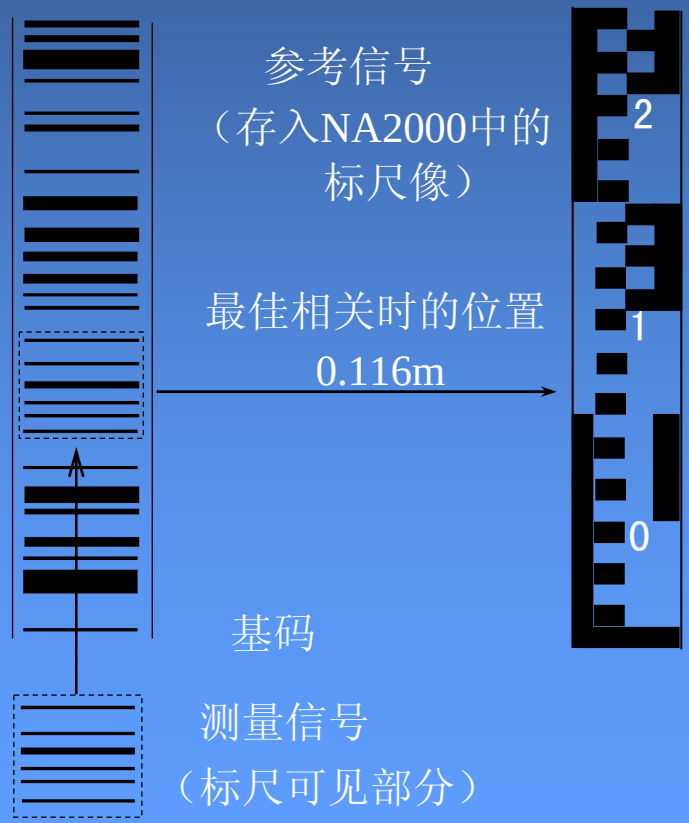
- 电子水准仪的测量原理

由于生产电子水准仪的各厂家采用不同的专利，测量标尺也各不相同，因此读数原理各异，下面主要介绍徕卡和蔡司两家公司生产的电子水准仪的测量原理。

§4.3 高程测量

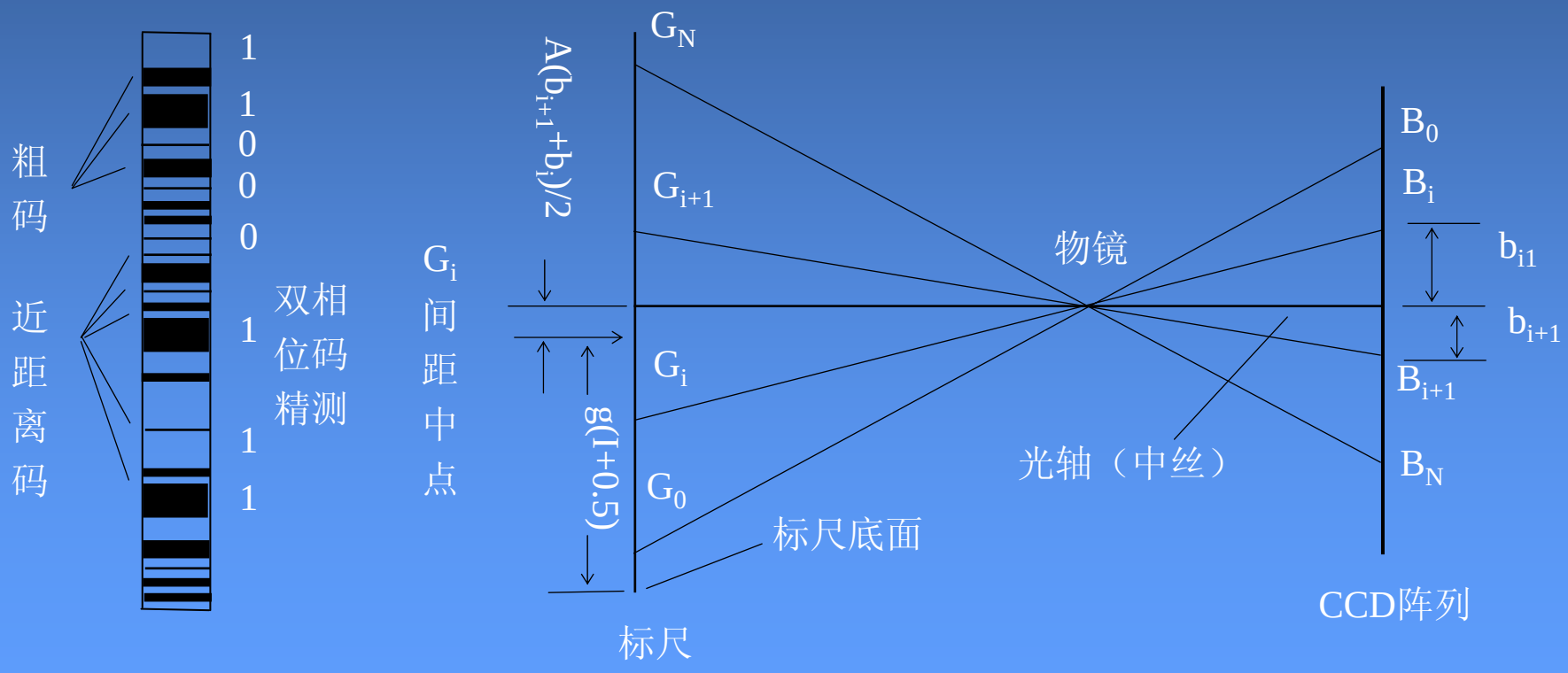
一、几何水准测量（徕卡电子水准仪原理）





§4.3 高程测量

一、几何水准测量（蔡司电子水准仪原理）



§4.3 高程测量

一、几何水准测量

- 电子水准仪的性能及特点

它与传统光学水准仪相比有以下：

优点：

- ✓ 读数客观
- ✓ 精度高
- ✓ 速度快
- ✓ 效率高
- ✓ 操作简单

缺点：

- ✓ 电子水准仪对标尺进行读数不如光学水准仪灵活
- ✓ 电子水准仪受外界条件影响较大

§4.3　高程测量

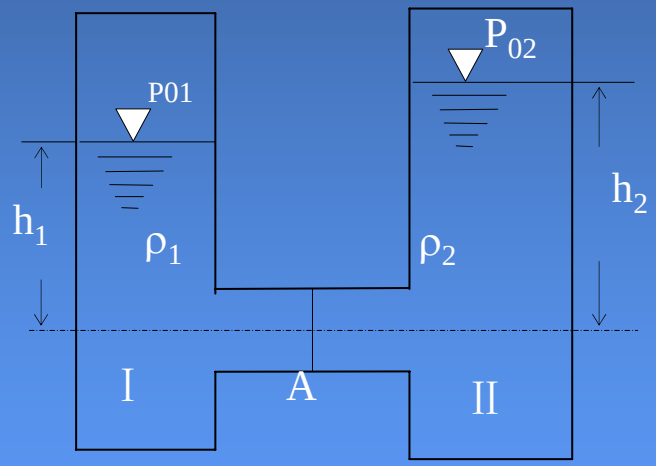
一、几何水准测量

- 电子水准仪的应用

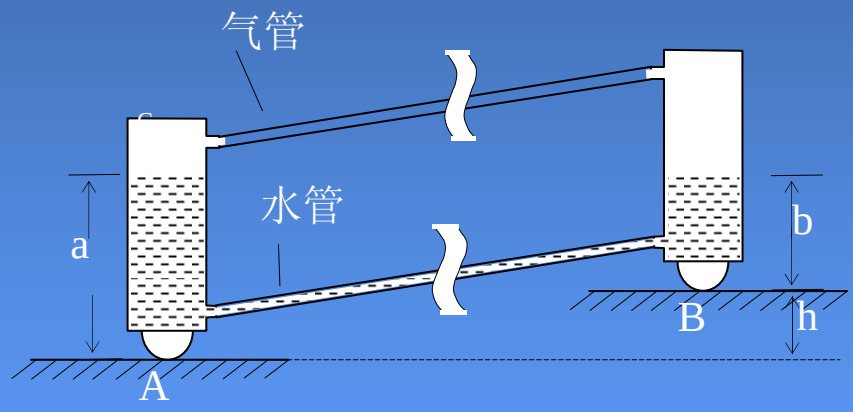
  由于电子水准仪优点显著，目前已经广泛应用于大地测量、工程测量、工业测量等领域。

§4.3 高程测量

二、液体静力水准测量



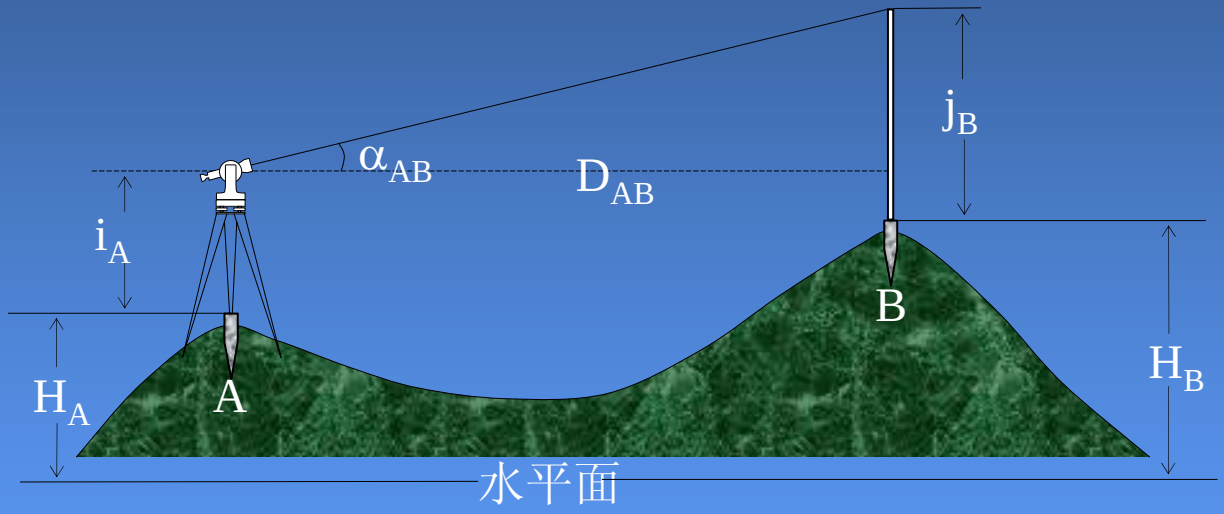
连通器内液体的平衡



液体静力水准测量原理

§4.3 高程测量

三、三角高程测量



$$h_{AB} = D_{AB} \cdot tg\alpha_{AB} + i_A - j_B$$

$$h_{AB} = S_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB} + i_A - j_B$$

§4.3　高程测量

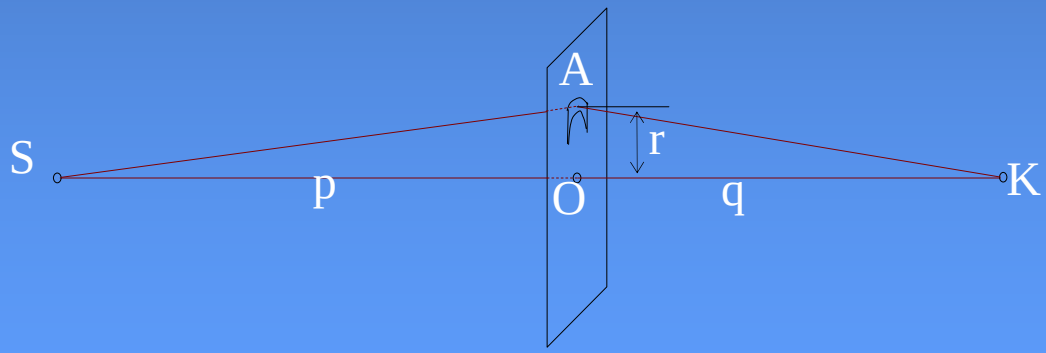
四、倾斜测量

虽然地面或建筑物的倾斜可用常规的测量方法测定两点间高差的变化，从而求出倾斜值，但在一些工作面倾斜测量和连续自动化倾斜监测中，一般采用专用的倾斜测量仪。目前倾斜仪的种类很多，大体可以分为“短基线”倾斜仪和“长基线”倾斜仪两种。前者一般用垂直摆锤或水准气泡作为参考线；后者一般根据静力水准测量的原理做成。

§4.4 准直测量

一、光的相干性原理

因为光具有波动性，所以如机械波那样，当两列光波频率相同、方向相同、相位相同或相位差恒定时，这两列光波将产生干涉现象。



光的相干性

§4.4 准直测量

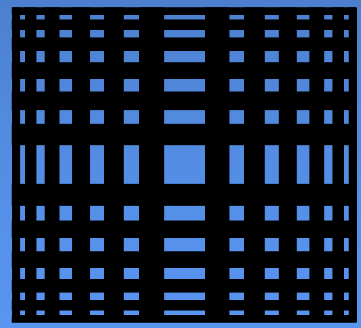
二、 波带板激光准直测量的设备

波带板激光准直设备主要有以下部件组成：

- ✓ He-Ne激光器，用于发射激光。
- ✓ 波带板



(a) 圆形波带板



(b) 方形波带板

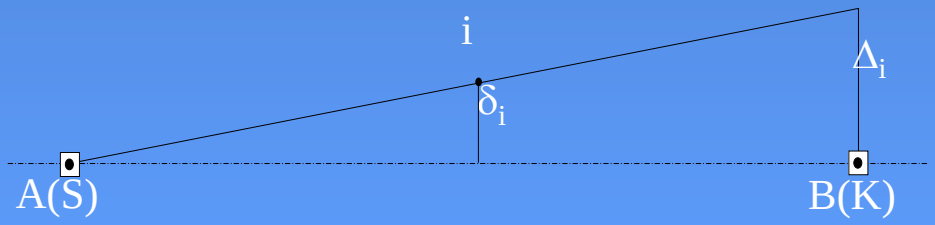
- ✓ 激光探测器

§4.4 准直测量

三、波带板激光准直测量方法

波带板激光准直测量步骤如下：

- ✓ 在一基准点A安置激光器；
- ✓ 在另一基准点B安置探测器；
- ✓ 在待测点i安置一特定“焦距”的波带板。



$$\delta_i = \frac{S_{Ai}}{S_{AB}} \Delta_i$$

激光波带板准直测量

§4.4 准直测量

四、激光准直测量的精度与应用

实验表明用这种装置准直，测定偏离值的精度可达测线长度的10^{-6}；由于激光准直受大气的影响，如果将高精度激光准直系统安装在真空管道内，则准直精度还可达10^{-7}~10^{-8}。

由于波带板激光准直测量的高精度，目前已被广泛应用于线状工程建筑物的变形观测，如大坝变形观测，精密导轨标定和高能粒子加速器直线段的安装与变形检测中，也用于高能粒子加速器环形网三角形高的测量中。

§4.5 坐标测量

一、全站仪测量

- 速测术与速测仪
- 全站型电子速测仪
  - ✓ 全站仪的系统结构
  - ✓ 全站仪的分类
- 全站仪的发展趋势

§4.5 坐标测量

二、全球定位系统（GPS）

- 伪距法定位原理
- 载波相位测量原理
- GPS作业方式
- GPS数据处理
- GPS定位的误差来源

§4.5 坐标测量

三、 激光跟踪仪

目前，国际上主要有三家仪器公司生产激光跟踪仪，分别是瑞士徕卡公司，美国SMX公司（现已并如FARO）、API公司。



徕卡LTD500



SMXTracker4500



API TrackerII

§4.5 坐标测量

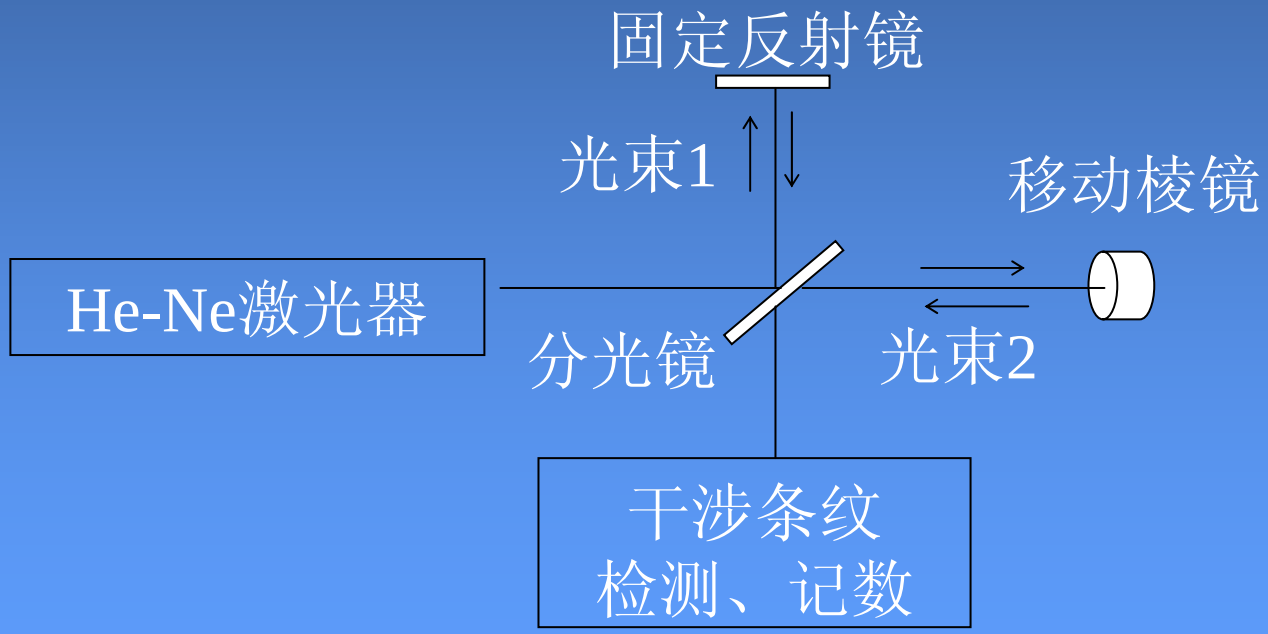
三、 激光跟踪仪

- 激光跟踪仪的基本组成
  - ✓ 角度测量部分
  - ✓ 距离测量部分
  - ✓ 跟踪部分
  - ✓ 控制部分
  - ✓ 支撑部分

§4.5 坐标测量

三、 激光跟踪仪

- 激光跟踪仪的测量原理和坐标系

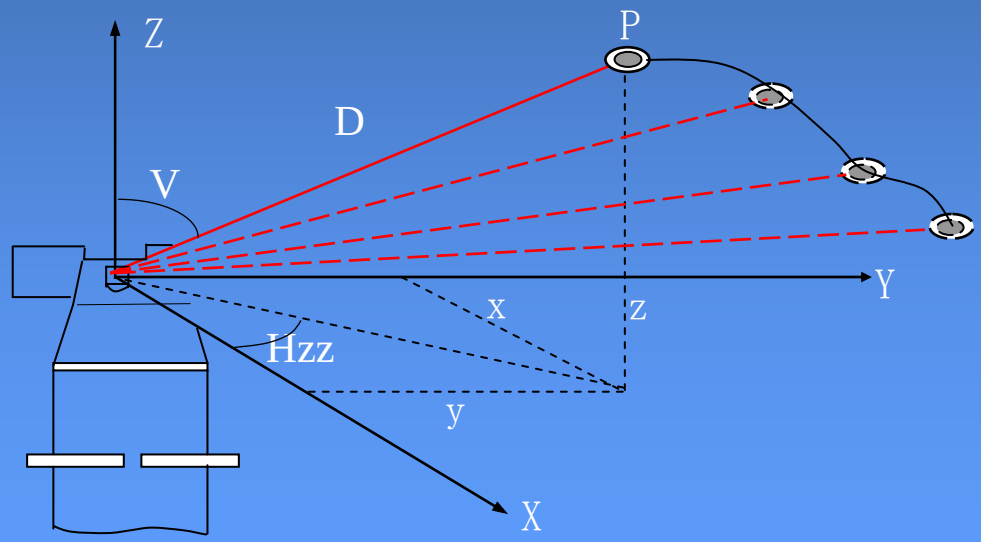


激光干涉测距原理

§4.5 坐标测量

三、 激光跟踪仪

- 激光跟踪仪的测量原理和坐标系



激光跟踪仪坐标测量原理图

§4.5 坐标测量

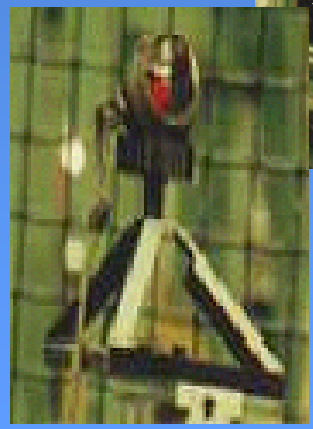
三、 激光跟踪仪

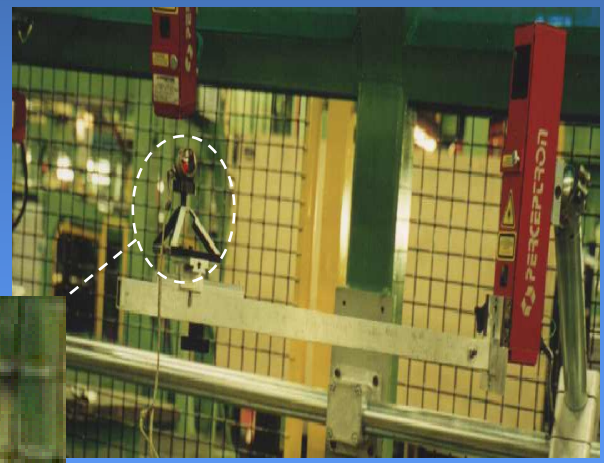
- 激光跟踪仪应用



车身在线检测设备







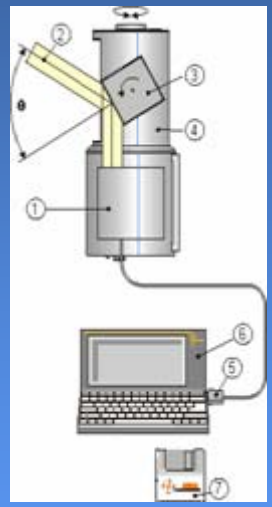
CCD传感器的校准

§4.5 坐标测量

四、 激光扫描仪







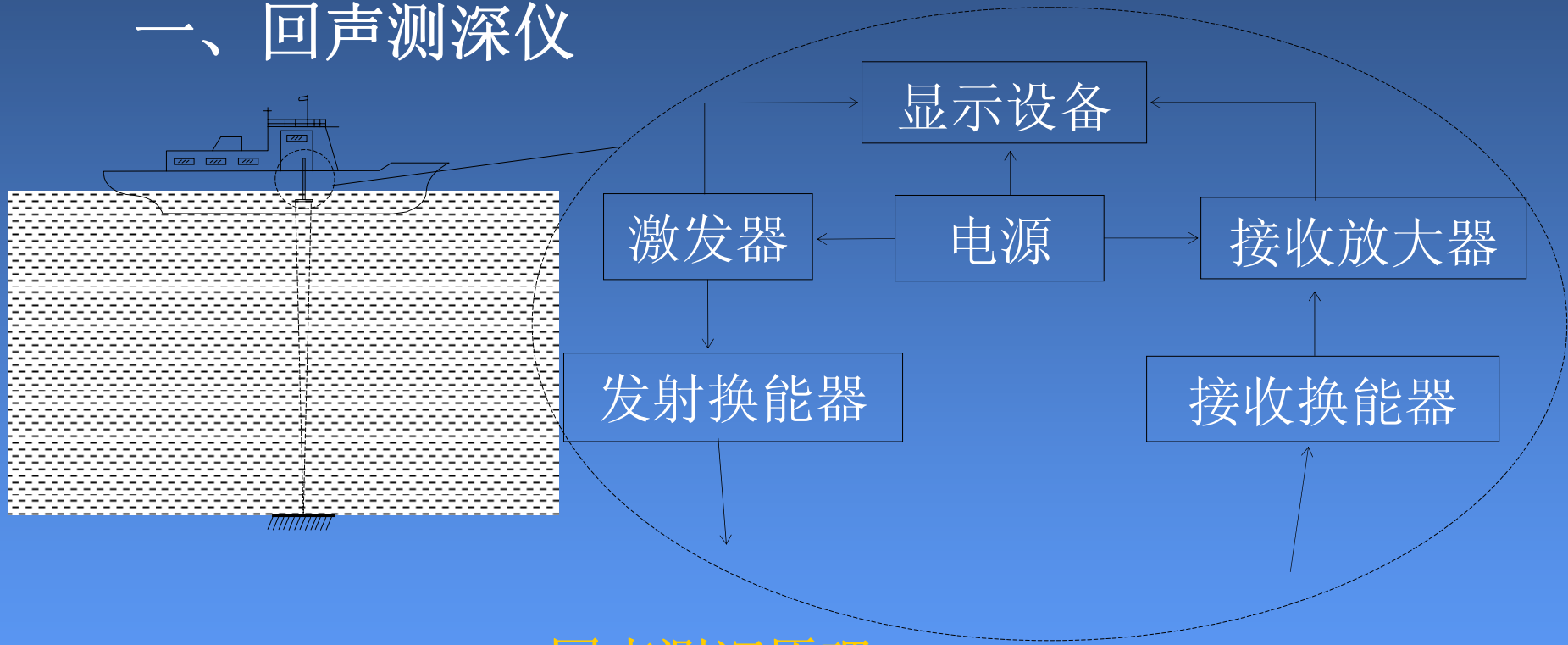
不同厂家激光扫描仪外型



LR200激光雷达

§4.6 水深测量

一、回声测深仪



回声测深原理

$$h = v \cdot \Delta t$$

v 为超声波在水中的传播速度，约为**1500m/s**

Δt 为水面至水底反射往返的时间间隔

§4.6　水深测量

二、多波束测深仪

与传统的单波束测深仪比较，多波束测深仪具有测量范围大、速度快、精度高、记录数字化以及成图自动化等优点，它把测深技术从点、线扩展到面，并进一步发展到立体测深和自动成图，从而使水下地形测量技术发展到了一个较高的水平。

§4.6　水深测量

三、水位观测

水深测量需与陆地上平面位置与高程联系起来才具有水下地形测绘等实用价值。测深的平面定位可籍助陆地测量技术，如传统的方向交会、距离交会、极坐标法等，目前主要采用GPS动态定位方法和无线电定位等。

§4.6　水深测量

四、深度基准面的概念

在工程测量中，水下地形点竖向位置的描述可使用与陆地同样的高程系统，由此得到水下地形图。但有时需用水深描述水下地形点的竖向位置，则得到用等深线表示的水深图或海图。水深计算的起算面称为深度基准面。

§4.7　其他测量仪器

一、手持式激光测距仪





§4.7　其他测量仪器

一、手持式激光测距仪

- 手持式激光测距仪的应用



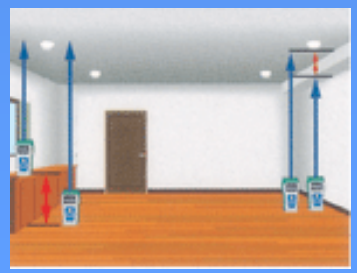
测量不便时



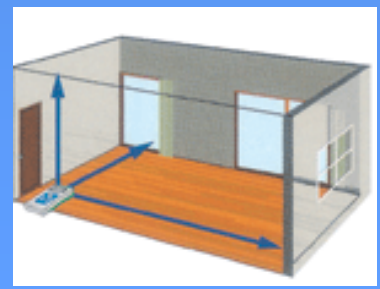


环境干扰时





装修与房产

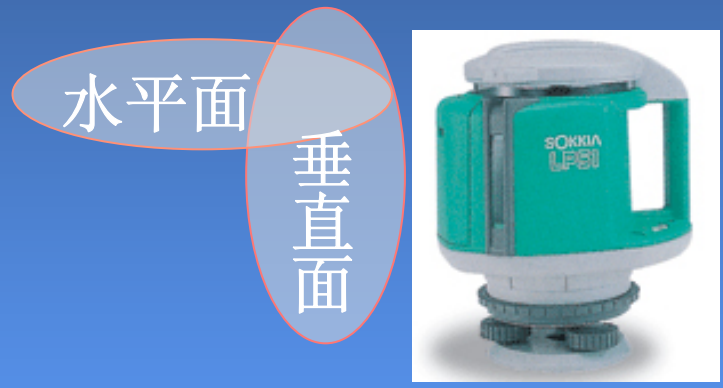


§4.7　其他测量仪器

二、激光扫平仪



激光扫平仪和探测器



水平和垂直平面扫描

§4.7 其他测量仪器

三、投点仪



A.天顶仪



B.天底仪



C.天顶天底仪



D.激光天顶仪

光学或激光投点仪

谢 谢 大 家!