

# 主要内容

第一节 概述

第二节 变形监测的周期及其精度要求

第三节 常用变形监测仪器简介

第四节 高程控制网的建立及沉降监测

第五节 变形监测平面控制网的建立

第六节 位移监测方法

第七节 水平变形测量设备

第八节 倾斜观测

第九节 挠度观测与裂缝观测

第十节 日照和风振变形监测

第十一节 变形监测实例

## § 8.1 概述

### 一、建筑物变形监测的概念

变形按其时间长短分为：

- 1. 长周期变形。
- 2. 短周期变形。
- 3. 瞬时变形。

• 变形按其类型可分为：

1. **静态变形**：目的是确定物体的局部位移。其监测结果只表示建筑物在某一期间的变形值，如定期沉降监测值等。
2. **动态变形**：动态系统变形是受外力影响而产生的。其监测结果是表示建筑物在某瞬间的变形，如风振动引起的变形等。

# 3.变形的分类

## 变形一般分类：

- ✿ (1) **静态变形**，静态变形是时间的函数，观测结果只表示在某一期间的变形，静态变形通过周期测量得到。
- ✿ (2) **动态变形**，动态变形指在外力（如风、阳光作用下产生的变形，它是以外力为函数表示的，动态变形需通过持续监测得到。

## 按变形特征分类：

- ✿ 1) **变形体自身的形变**。变形体自身的形变包括：伸缩、错动、弯曲和扭转四种变形，
- ✿ 2) **变形体的刚体位移**。刚体位移则含整体平移、整体升降、整体转动和整体倾斜。

## 按变形特点分类

- 弹性变形

当作用的荷载在构件的弹性范围内时，其发生的变形一般为弹性变形，其特点是当荷载撤销后，变形也将消失。

- 塑性变形

当荷载作用在非弹性体或者荷载超过了构件的弹性限度，则会产生塑性变形，其特点是当荷载撤销后，变形没有或者没有全部消失。

在实际工程中，弹性变形和塑性变形会同时存在。

# 按变形速度分类

## • 长周期变形

长周期变形一般指在比较长的时间段内发生的循环变形过程，如大坝在运营期由于受水压、温度等的影响而产生的年周期变形等。

## • 短周期变形

短周期变形是指在较短的一段时间内发生的循环变形过程，如高大型建筑物在日照的作用下而发生的周日变形等。

## • 瞬时变形

瞬时变形是指在短时间荷载作用下发生的瞬间变形，例如，烟囱、塔柱等高大建筑物在风力的作用下发生的变形等。

## § 8.1 概述

### 二、建筑物变形监测的项目

1. **建筑物沉降监测**：此项监测资料的积累是研究解决地基沉降问题和改进地基设计的重要手段。
2. **建筑物水平位移监测**。
3. **建筑物倾斜监测**。
4. **建筑物裂缝监测**：当建筑物基础局部产生不均匀沉降时，其墙体往往出现裂缝。
5. **建筑物挠度监测**：这是测定建筑物构件受力后的弯曲程度。
6. **内部监测**：对建筑物基础进行应力/应变监测、温度监测、地下水位监测。

## § 8.1 概述

### 三、沉降的原因及种类

#### 1. 沉降原因

- (1) 荷载影响。
- (2) 地下水影响。
- (3) 地震影响：
- (4) 地下开采影响：
- (5) 外界动力的影响：
- (6) 打桩、降水、基坑开挖、盾构或顶管穿越等，建筑物周边或地下的施工活动。
- (7) 其他影响：如地基土的冻融，建筑物附近附加荷重的影响，都有可能引起建筑物的沉降。

# § 8.1 概述

## 2. 沉降分类

根据建筑物沉降的性质，分为两类：

### 1. 均匀沉降

当受压软土分布位置和厚度相同，基础作用条件近似，沉降量虽大，但建筑物不会出现倾斜、裂缝，此种沉降属于均匀沉降，对建筑物危害不大。

### 2. 不均匀沉降

当基础下受压层土质不同，承压性能不同，或由于建筑设计不合理及施工不当等原因都会发生不均匀下沉，轻者建筑物产生倾斜或裂缝，严重的会造成建筑物的倒塌。

## § 8.1 概述

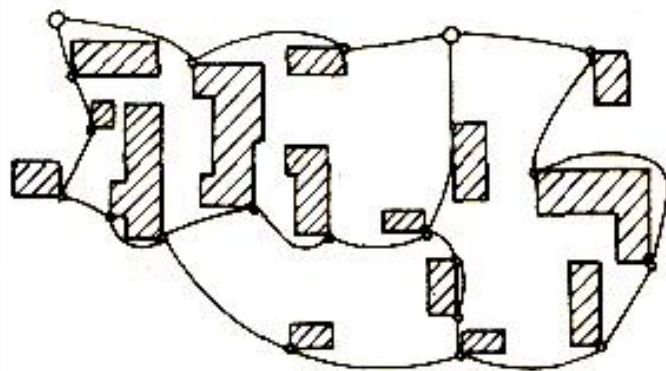
### 四. 沉降速度

- ✿ 建筑物的沉降速度主要取决于地基土的**孔隙中间外排出空气和水的速度**。
- ✿ 建筑在**砂质粉土地基**的建筑物的沉降速度快，在施工期间的沉降量约占最终沉降量的70%，如金山石化总厂工房，最终沉降量仅为2-3cm；
- ✿ 建筑在**软粘土地基**的建筑物的施工期间的沉降量约占最终沉降量的25%。如上海某学院的物理大楼，其最终沉降量为22.7cm，而每次监测的阶段沉降量为10mm左右。
- ✿ 沉降速度一般分为**加速沉降、等速沉降及减速沉降**三种，后者是建筑物趋向稳定的标志。

## § 8.1 概述

### 五. 沉降观测

- 沉降监测工作一般在**基础施工完毕后**或**基础垫层浇灌后**开始，一直到**沉降稳定**为止，都要定期地进行监测，以便得出地基和基础最全面的质量指标，由所得资料可以选择加固地基和基础的方法。



○—水准点      ●—沉降点

图 2-18 水准网的布设

## § 7.2 变形监测的周期及其精度要求

### 一、变形监测的周期

1. 沉降监测周期应能反映出建筑物的沉降变形规律。

沉降监测周期应是动态变化的。

在施工过程中，频率应大些，一般有3d、7d、半月三种周期。

到竣工投产后，频率可小一些，一般有一个月、两个月、半年与一年等不同的周期。

## § 7.2 变形监测的周期及其精度要求

2. 在施工期间也可以按荷载增加的过程进行安排监测，即从监测点埋设稳定后进行第一次监测，当荷载增加到25%时监测一次，以后每增加15%监测一次。

建筑物使用阶段的观测次数，应视地基土类型和沉降速度大小而定。除有特殊要求者外，一般情况下，可在第一年监测4次，第二年2次，第三年后每年1次，直至稳定为止。观测期限一般不少于如下规定：砂土地基2年，膨胀土地基3年，粘土地基5年，软土地基10年。

3. 在观测过程中，如有异常情况，均应及时增加观测次数。当建筑物突然发生大量沉降、不均匀沉降或严重裂缝时，应立即进行逐日或几天一次的连续观测。

4. 当建筑物又出现变形或产生可能出现第二次沉降的原因时，应对它重新进行监测。

## 5. 沉降监测进入稳定阶段的判断

沉降是否进入稳定阶段，应由沉降量与时间关系曲线判定。对重点观测和科研观测工程，**若最后三个周期观测中每周期沉降量不大于  $2\sqrt{2}$  倍测量中误差可认为已进入稳定阶段。**一般观测工程若沉降速度小于  $0.01-0.04\text{mm}/d$ ，可认为已进入稳定阶段，具体取值宜根据各地区地基土的压缩性确定。

# § 7.2 变形监测的周期及其精度要求

## 二、变形监测的精度要求

### 1. 变形监测的精度影响因素

- 建筑物的允许变形值
- 变形速度
- 监测的目的

### 2. 变形监测的精度确定

为确保建筑物的安全，则其监测的中误差应小于允许变形值的 $1/10$ - $1/20$ ；如果监测的目的是为了研究其变形的过程，则其精度要求更高。

## 《建筑变形测量规范》JGJ8—2007对变形限制的规定：

- 1) 基坑回弹、地基土分层沉降等局部地基沉降以及膨胀土地基沉降等的测定中误差，不应超过其变形允许值的 $1 / 20$ ；
- 2) 平置构件挠度等变形的测定中误差，不应超过变形允许值的 $1 / 6$ ；
- 3) 沉降差、基础倾斜、局部倾斜等相对沉降的测定中误差，不应超过其变形允许值的 $1 / 20$ ；
- 4) 受基础施工影响的位移、挡土设施位移等局部地基位移的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 20$ 。
- 5) 建筑的顶部水平位移、工程设施的整体垂直挠曲、工程设施水平轴线偏差等建筑整体变形的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 10$ ；
- 6) 高层建筑层间相对位移、竖直构件的挠度、垂直偏差等结构段变形的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 6$ ；
- 7) 基础的位移差、转动挠曲等相对位移的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 20$ ；
- 8) 对于科研及特殊目的的变形量测定中误差，可根据需要将上述各项中误差乘以 $1 / 5—1 / 2$ 系数后采用。

项目 序号	变形特征或结构形式	允许变形值	
1	塔架挠度	任意两点间的倾斜应小于两点间高差的1/100	
2	框架结构高层建筑物： $\sigma$ （层间位移）/H(层高)	风荷载1/400；地震荷载1/250	
3	砖石承重结构基础的局部倾斜	砂土和中低压缩性粘土	高压压缩性粘土
		0.002	0.003
4	工业与民用建筑相邻柱基的差异 沉降（1）框架结构	0.0021	0.0031
	（2）当基础不均匀沉降时不产生 附加应力的结构	0.0051	0.0051
5	桥式吊车轨面倾斜	纵向0.004 横向0.003	
6	高耸结构基础的倾斜 $h \leq 20\text{m}$ 时 $20 \leq h \leq 50\text{m}$ 时 $50 \leq h \leq 100\text{m}$ 时	0.008	
		0.006	
		0.005	

## § 7.2 变形监测的周期及其精度要求

### 三、变形测量的等级划分级精度要求

变形测量等级	垂直位移测量		水平位移测量	适用范围
	变形点的高程中误差 (mm)	相邻变形点高差中误差 (mm)	变形点的点位中误差 (mm)	
一等	±0.3	±0.1	±1.5	变形特别敏感的高层建筑、工业建筑、高耸建筑物、重要古建筑、精密工程设施等
二等	±0.5	±0.3	±3.0	变形比较敏感的高层建筑、高耸建筑物、古建筑、重要工程设施和重要建筑场地的滑坡监测等
三等	±1.0	±0.5	±6.0	一般性的高层建筑、工业建筑、高耸建筑物、滑坡监测等
四等	±2.0	±1.0	±12.0	观测精度要求较低的建筑物，构筑物 and 滑坡监测等

## § 7.3 常用变形监测仪器简介

### 一、精密水准仪

#### 技术参数

##### 高程测量

每公里双次观测标准偏差

电子测量	DNA03	DNA10
铟瓦标尺	0.3 mm	0.9 mm
标准标尺	1.0 mm	1.5 mm
光学测量	2.0 mm	2.0 mm

##### 距离测量

标准偏差 5mm/10m

##### 电子测距范围

标尺长度_3m	1.8m - 110m
推荐的 3m 铟瓦标尺	1.8m - 60m
标尺长度=2.7m	1.8m - 100m
标尺长度=1.82m/2m	1.8m - 60m

##### 水准仪灵敏度

圆水准器 8' /2mm

##### 补偿器

用电子跟踪的磁阻尼摆补偿器

—倾斜角  $\pm 10''$



## § 7.3 常用变形监测仪器简介

### 二、变形监测高精度经纬仪

#### 精密角度测量仪器—TC2003全站仪



- TC2003全站仪在电子测角中，采用**动态角度扫描系统**，极大地提高了测角精度。
- TC2003附设有一些**液体补偿器**，减小竖轴误差。
- TC2003全站仪的测距标称精度为 $\pm (1\text{mm} + 1\text{ppm} \times D)$ ，测角精度为  $\pm 0.5''$ 。它是目前世界上精度最高的全站仪之一，多用于精度要求很高的精密工程测量和变形测量。

### 3.精密长度测量仪器—ME3000测距仪

✦ ME5000精密激光测距仪是瑞士Kern厂的近期产品。在20世纪60年代曾生产过ME 3000—光波(氙灯)测距仪,近年来又研制成功ME 5000精密激光测距仪,两者相较,后者在技术上有很大进步。

✦ ME 5000的主要技术指标如下:

✦ 测程 单棱镜 约4km

✦ 三棱镜 约8km

✦ 精度  $\pm (0.2\text{mm}+0.2\times 10^{-6})$  内分辨力为0.01mm

✦ 重量 11kg

✦ 光源 He-Ne激光器, 波长 $0.6328\mu\text{m}$

✦ 调制频率 约500MHz

✦ 作业温度  $-10\sim+40^{\circ}\text{C}$

Kern ME5000激光测距仪-世界上精度最高的测距仪



# 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

## 一. 沉降监测的概念及等级划分

- ✎ **沉降观测**：建筑物受地下水位升降、荷载的作用及地震等的影响，会使其产生位移。一般说来，在没有其它外力作用时，多数逞下沉现象，对它的观测称**沉降观测**。
- ✎ **回弹观测**：在建筑物施工开挖基槽以后，深部地层由于荷载减轻而升高，这种现象称为回弹，对它的观测称为**回弹观测**。
- ✎ **垂直位移监测网**：由水准基点组成的水准网称为**垂直位移监测网**，它可布设成闭合环、结点或附合水准路线等形式。

## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

表 10.3.3 垂直位移监测基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点 高差中误差(mm)	每站高差中误差 (mm)	往返较差或环线 闭合差(mm)	检测已测 高差较差(mm)
一等	0.3	0.07	$0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$
二等	0.5	0.15	$0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$
三等	1.0	0.30	$0.60\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
四等	2.0	0.70	$1.40\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$

注：表中  $n$  为测站数。

## 变形监测

表 10.3.4 水准观测的主要技术要求

等级	水准仪型号	水准尺	视线长度(m)	前后视的距离较差(m)	前后视的距离较差累积(m)	视线离地面最低高度(m)	基本分划、辅助分划读数较差(mm)	基本分划、辅助分划所测高差较差(mm)
一等	DS05	因瓦	15	0.3	1.0	0.5	0.3	0.4
二等	DS05	因瓦	30	0.5	1.5	0.5	0.3	0.4
三等	DS05	因瓦	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
	DS1	因瓦	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
四等	DS1	因瓦	75	5.0	8	0.2	1.0	1.5

- 注:1 数字水准仪观测,不受基、辅分划读数较差指标的限制,但测站两次观测的高差较差,应满足表中相应等级基、辅分划所测高差较差的限值。
- 2 水准路线跨越江河时,应进行相应等级的跨河水准测量,其指标不受该表的限制,按本规范第4章的规定执行。

## 国家水准测量等级

等级	仪器类型	视线长度	前后视距差	任一测站上前后视距差累积	视线高度 (下丝读数)
一等	DSZ05, DS05	$\leq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1.5$	$\geq 0.5$
二等	DS1, DS05	$\leq 50$	$\leq 1.0$	$\leq 3.0$	$\geq 0.3$

等级	上下丝读数平均值与中丝读数的差		基辅分划读数的差	基辅分划所测高差的差	检测间歇点高差的差
	0.5 cm 刻划标尺	1 cm 刻划标尺			
一等	1.5	3.0	0.3	0.4	0.7
二等	1.5	3.0	0.4	0.6	1.0

# 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

## 二. 沉降变形主要工作

- ① 沉降观测方案研究与技术设计；
- ② 沉降观测仪器检验；
- ③ 沉降观测点位布设；
- ④ 沉降观测数据采集；
- ⑤ 沉降观测数据处理；
- ⑥ 沉降量计算与分析；
- ⑦ 沉降量报表；
- ⑧ 沉降过程曲线绘制；
- ⑨ 沉降观测报告编写。

## 三、技术设计

- 根据工程项目的性质、结构特点、规模大小、质量精度要求等，研究沉降观测方案和规划观测作业、选择测量仪器设备、组成测量队伍。
- 按《建筑物沉降观测规范》规定，一般建筑物应反应1mm的沉降量，这就要求观测精度要高于 $\pm 1\text{mm}$ ，一般按二等水准测量技术规范执行。对于研究性的观测，应采用一等水准测量技术指标。
- 根据规范的要求，一般应采用S1级精密水准仪。对于非重要建筑或沉降量较大地区的沉降观测、高速公路等，也可以采用三等水准测量技术指标实施观测。

## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

### 四、沉降监测基准点的布设

- 基准点是变形观测的基础，基准点布设是否合适直接关系到变形观测能否成功。
- 根据工程项目的不同，一般要求基准点绝对稳定，有时也可以要求基准点相对稳定。
- 要达到基准点稳定的要求，有两种选择：一是远离建筑物，二是深埋。

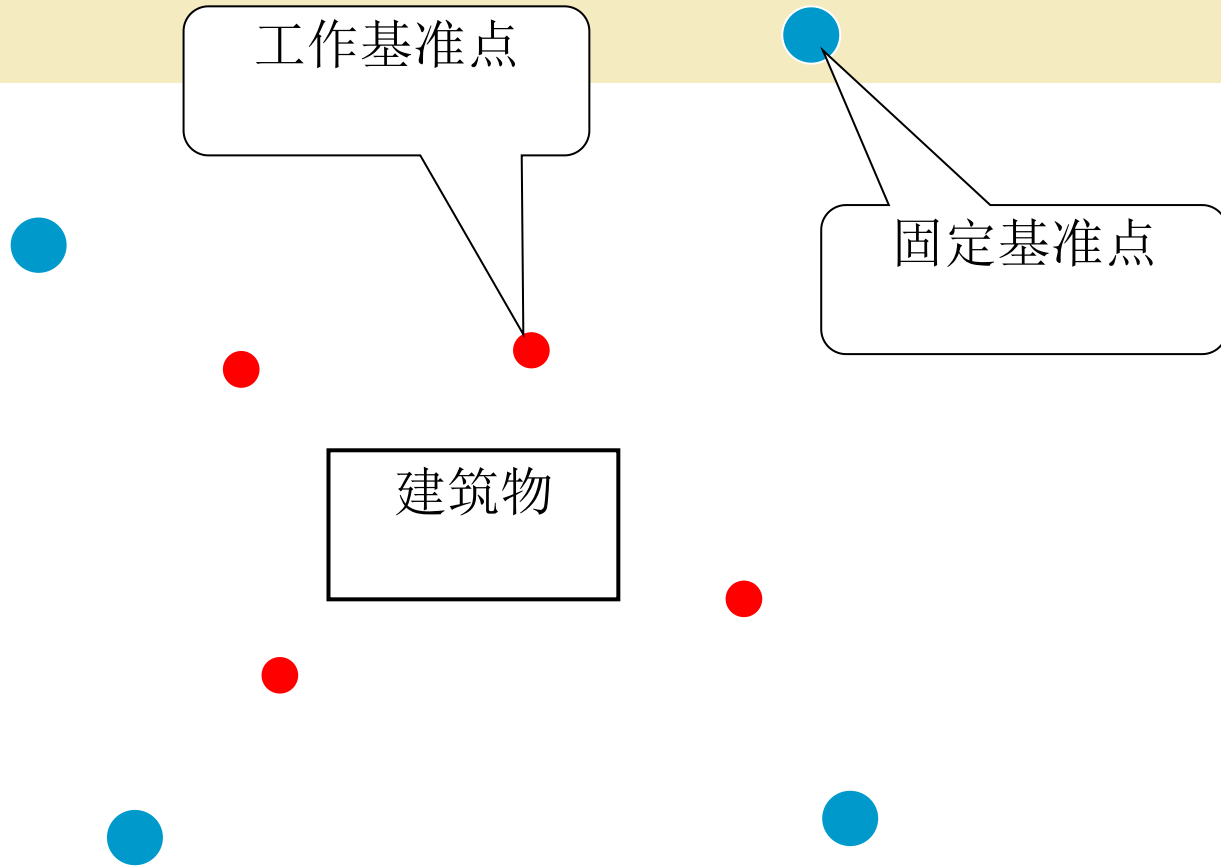
# 基准点的布设

## 第2节

## 建筑物基础沉降监测

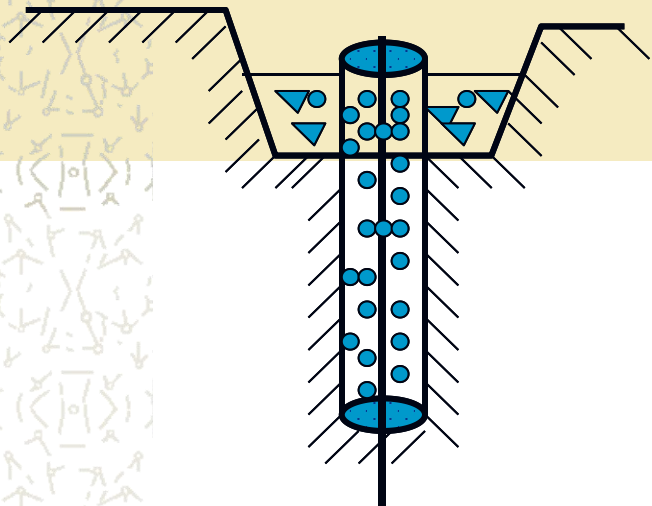
- 基准点可分为两级，**固定基准点**和**工作基准点**。
- 固定基准点应布设在距离需要观测的建筑物一定的距离且稳定，不受其它外力影响、便于保存的位置。
- 基准点数应不少于3~4个，以便于基准点保护、恢复和稳定性分析。
- 基准点的标志采用混凝土桩，或钢管加筋桩。对于高层建筑或大型建筑物，基准点应钻孔至基岩。

# 沉降观测点位布置图

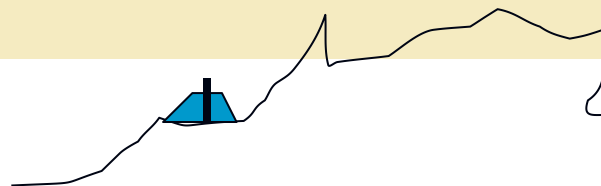


建筑物基础沉降监测

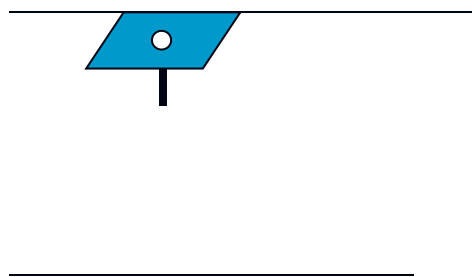
# 沉降观测基准点



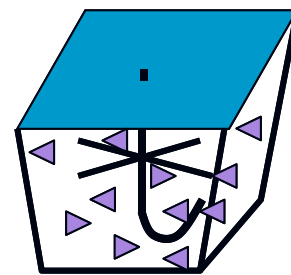
(a) 钢管加筋基准点



(b) 基岩上基准点



(c) 路边基准点



(d) 路边基准点

建筑物基础沉降监测

# 钢管加筋基准点



(a)



(b)



(c)

## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

### 沉降监测基准点的布设要求

1. 应布成网形最合理、测站数最少的监测环路。
2. 应有四个埋设深度足够的水准基点。
3. 水准点应设置在较明显、通视良好、安全的地方，且便于联测。
4. 水准点应布设在拟监测的建筑物之间，距离一般为20m到40m左右，一般工业与民用建筑物应不小于15m，较大型并略有振动的工业建筑物应不小于25m，高层建筑物应不小于30m。
5. 监测单独建筑物时，至少布设三个水准点，对占地面积大于5000平方米或高层建筑物，则应适当增加水准点的个数。
6. 当设置水准点处有基岩露出时，可用水泥砂浆直接将水准点浇灌在岩层中。一般水准点应埋设在冻土线以下半米处，墙上水准点应埋在永久性建筑物上，离开地面高度约半米左右。

## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

### 五、沉降监测点标志的构造和埋设

#### (一) 监测标志构造

1. 设备基础监测点：一般利用**铆钉**和**钢筋**来制作。标志形式有**垫板式**、**弯钩式**、**燕尾式**、**U字式**，尺寸及形状如图所示。

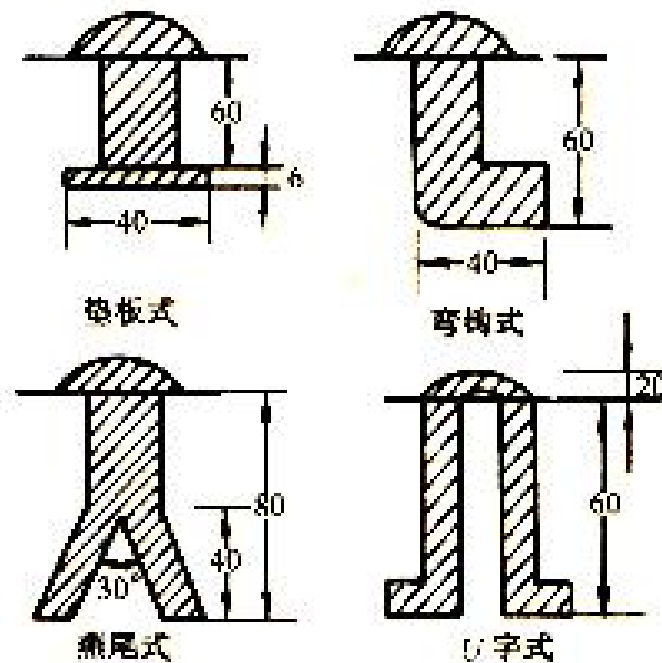


图 2-22 设备基础监测点

## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

### 2. 柱基础监测点。

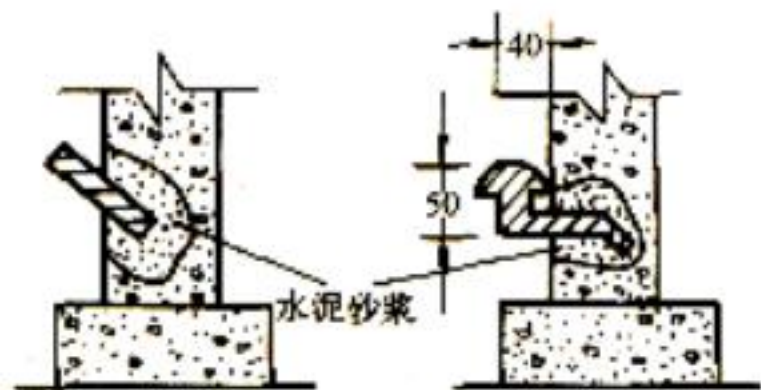


图 2-23 桩基础监测点

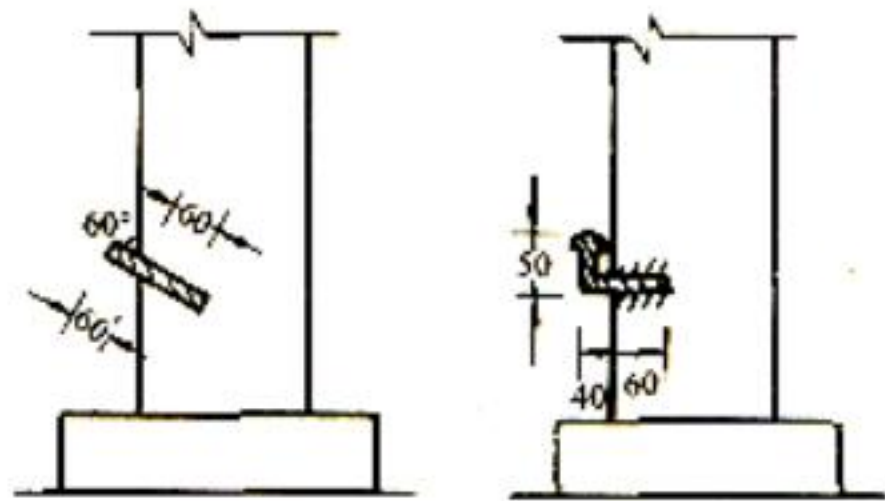


图 2-24 钢柱上的监测点

# 沉降观测点标志



15/02/2006

## • (二) 沉降监测点的埋设

1. 监测点应布置在**建筑物沉降变化较显著**的地方，并要考虑到在施工期间和竣工后，能顺利进行监测的地方。
2. 在建筑物**四周角点、中点及内部承重墙(柱)**上均需埋设监测点，并应沿房屋周长每隔10-12m设置一个监测点，但工业厂房的每根柱子均应埋设监测点。
3. 在**高层和低层建筑物、新老建筑物连接处**，以及在**相接处**的两边都应布设监测点。
4. 地基不同（**人工加固地基与天然地基交接、基础砌深相差悬殊、基础形式不同时、地基土质不均匀**）的连接处以及在相接处的两边都应布设监测点。
5. 在**振动中心**基础上也要布设监测点，对于烟囱、水塔等刚性整体基础上，应不少于三个监测点。
6. 当宽度大于15m的建筑物在设置内墙体的监测标志时，应设在承重墙上，并且要尽可能布置在建筑物的**纵横轴线**上。
7. 重型设备基础的四周及邻近堆置重物之处，即有**大面积堆荷的地方**，也应布设监测点。

## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

### (三) 沉降监测时间

施工期间的沉降监测次数，通常不得少于四次，一般建筑物各部分建成前后都要进行监测

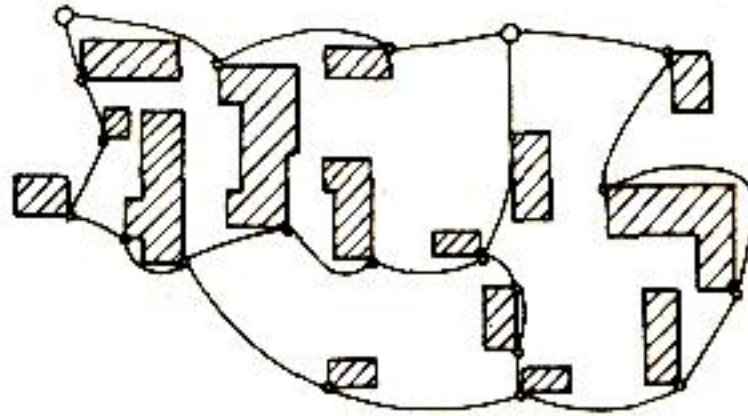
### (四) 沉降监测的技术要求

- 1、仪器和标尺要按照规范要求进行检查。已知水准点要联测检查，以便保证沉降监测成果的正确性。
- 2. 采用环形闭合方法或往返闭合方法进行检查。
- 3. 每次沉降监测应尽可能使用同一类型的仪器和标尺，固定人员观测与整理成果。
- 4. 监测时，必须连续进行，全部测点需连续一次测完。
- 5. 提高沉降观测点的首次高程测定精度
- 6. 确定沉降观测的路线并绘制观测路线图,保证每次都按固定的路线观测。

# 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

## 六、沉降观测实施

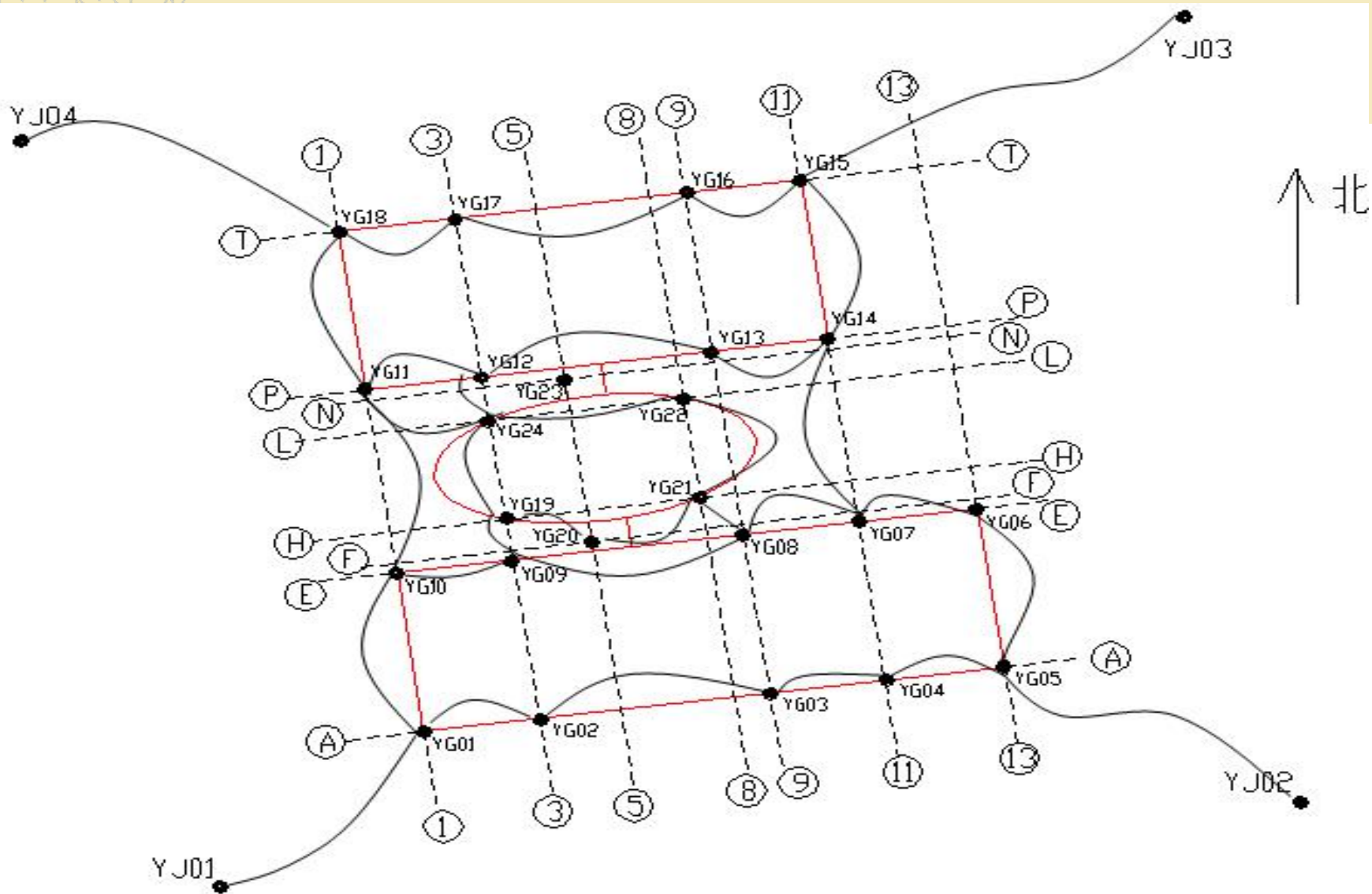
基准点观测  
各周期观测



○—水准点      ●—沉降点

图 2-18 水准网的布设

# 沉降观测网



## 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

### 一、二等水准测量外业观测程序

- ✿ 对奇数测站为：后—前—前—后
- ✿ 对偶数测站为：前—后—后—前。
- ✿ 返测时的观测顺序与往测相反。

# 7.4 高程控制网的建立及沉降监测

## 七、数据处理

- 当基准网独立观测时，基准网可以独立平差计算。
- 因首次观测无基准点稳定性的先验信息，所以，可以采用普通秩亏自由网平差。
- 当首次基准网与观测点网同时观测并整体平差时，可以以基准点为拟稳点，观测点为非拟稳点进行拟稳自由网平差，即采用拟稳重心为基准，建立平差基准和取得观测点初始测量成果。
- 各周期的平差基准要一致，这样才能反映出正确的变形量。
- 当单位权中误差和各点位中误差在设计规定之内时，本期观测成果是合格的。否则就该检查、分析原因，及时实施补测或重测。

# 沉降量的计算

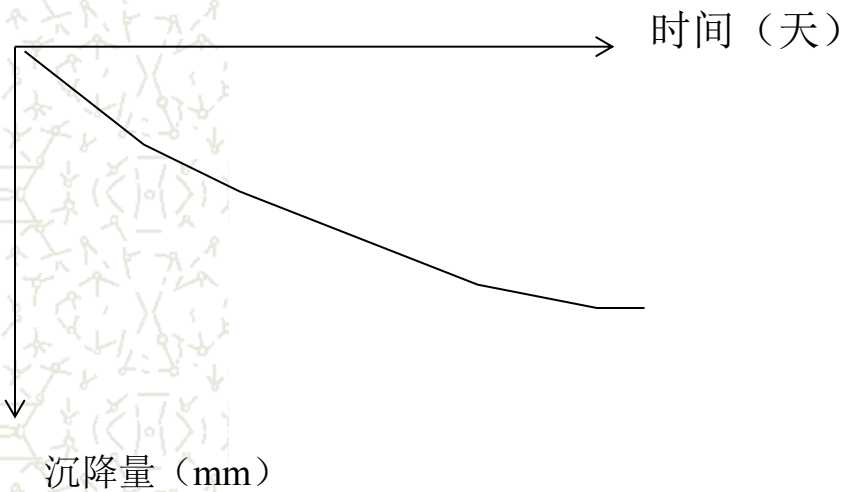
$$d_i^j = H_i^j - H_{i-1}^j$$

$$ds_i^j = H_i^j - H_0^j$$

$$v_i^j = \frac{d_i^j}{dt}$$

# 沉降量报表

- 每周期沉降观测后，应及时进行数据处理和分析，计算沉降信息，及时编制沉降量报表，提供给设计、施工、监理、业主等。
- 沉降观测报表的格式视各地建筑质量监督部门要求而定，现还没有统一的格式。



沉降过程曲线

# 报告的编写

- 当工程竣工后，应及时对施工期间沉降观测成果进行阶段总结。
- 总结报告应包括：技术措施、观测期限、观测依据等，并对总的观测结果进行分析。
- 沉降观测阶段（总结）报告应包含的分析数据有：建筑物最大沉降点名及其最大沉降量；建筑物最小沉降点名及其最小沉降量；建筑物所有观测点的平均沉降量；近期该建筑物最大沉降速率、最小沉降速率以及平均沉降速率。
- 沉降观测阶段（总结）报告中还应包含沉降观测点位布置图、点位沉降过程线等，必要时还应绘制等沉降曲线图。



## 第五节 变形监测平面控制网的建立

# 7.5 变形监测平面控制网的建立

## 一、概述

- **建筑物的水平位移**是指建筑物的整体平面移动。
- **产生水平位移的原因**主要是建筑物及其基础受到水平应力的影响而产生的地基的水平移动。
- **适时监测建筑物的水平位移量**，能有效地监控建筑物的安全状况，并可根据实际情况采取适当的加固措施。

## 二、基本原理

- 设建筑物某个点在第k次观测周期所得相应坐标为 $X_k$ 、 $Y_k$ ，该点的原始坐标为 $X_0$ 、 $Y_0$ ，则该点的水平位移 $\delta$ 为：

$$\delta_x = X_k - X_0$$

$$\delta_y = Y_k - Y_0$$

- 某一时间段（t）内变形值的变化用平均变形速度来表示。例如，在第n和第m观测周期相隔时间内，观测点的平均变形速度等于：

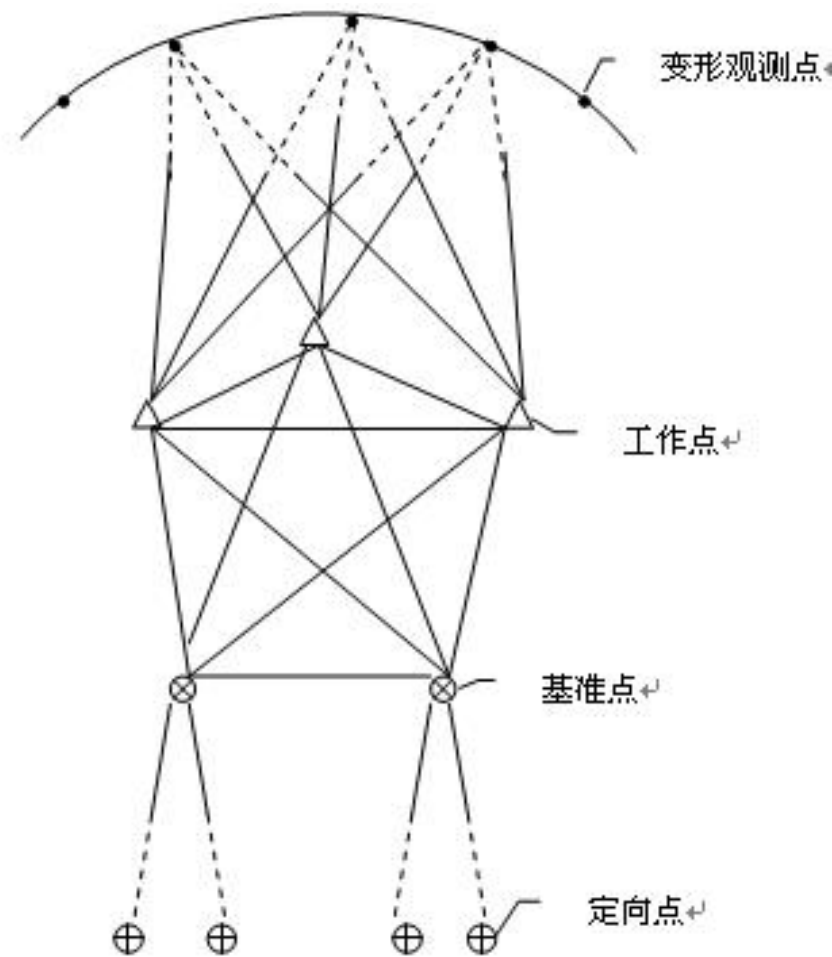
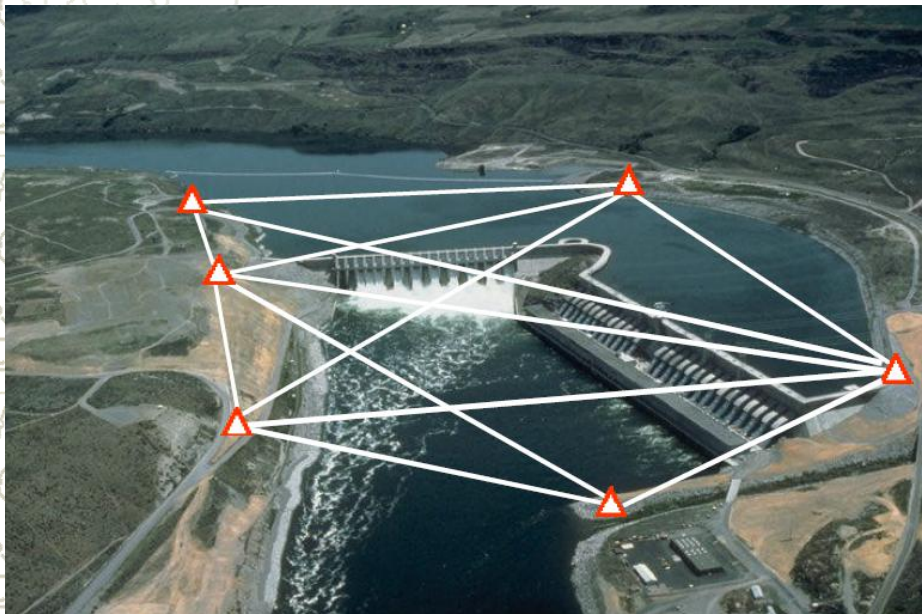
$$v_{\text{均}} = \frac{\delta_n - \delta_m}{t}$$

- 若t时间段以月份或年份数表示时，则 $v_{\text{均}}$ 为月平均变化速度或年平均变化速度。

# 7.5 变形监测平面控制网的建立

## 三、网的组成

变形监测平面网是**小型的、专用的、高精度的**。通常由三种点、两种等级的网组成。



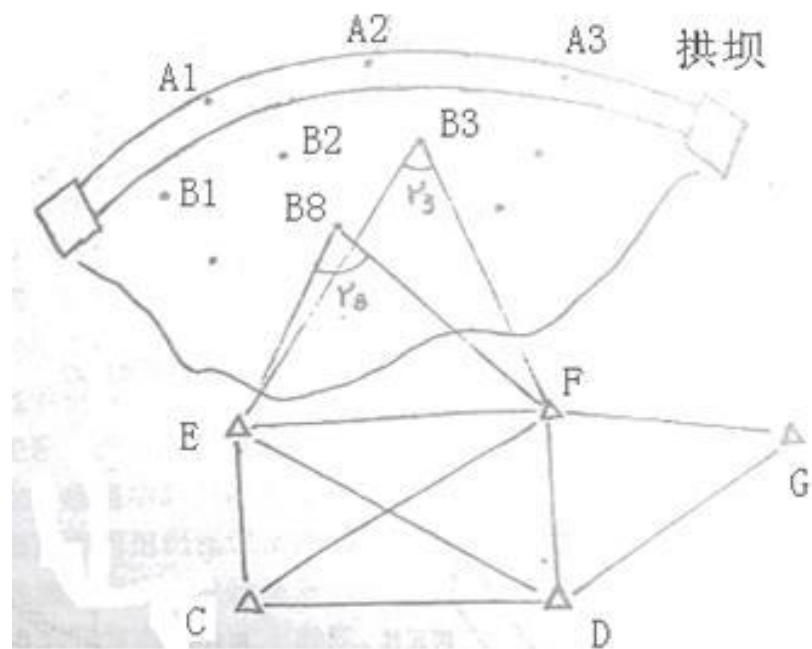
## 四、测点布设

- 建筑物水平位移监测的测点宜按**两个层次**布设，即由控制点组成**控制网**、由观测点及所联测的控制点组成**扩展网**；
- 对于**单个建筑物**上部或构件的位移监测，可将控制点连同观测点按**单一层次**布设。
- 控制网可采用**测角网、测边网、边角网和导线网**等形式，扩展网和单一层次布网有**角度交会、边长交会、边角交会、基准线和附和导线**等形式。各种布网均应考虑网形强度，长短边不宜悬殊过大。
- 为保证变形监测的准确可靠，每一测区的**基准点**不应少于**2个**，每一测区的**工作基点**亦不应少于**2个**。基准点、工作基点应根据实际情况构成一定的网形，并按规范规定的精度定期进行检测。

# 7.5 变形监测平面控制网的建立

对于大型建筑物及滑坡区域等对象，监测网宜布设为三角网、测边网、导线网、边角网、GPS网等形式。

对于分散、单独的小型建筑物，宜采用监测基线（角度交会，或边长交会）或单点量测。



# 固定式照准牌



# 五、变形网的主要技术要求

表 10.2.4 水平位移监测基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点的 点位中误差(mm)	平均边长 $L(m)$	测角 中误差(")	测边相对 中误差	水平角观测测回数	
					1"级仪器	2"级仪器
一等	1.5	$\leq 300$	0.7	$\leq 1/300000$	12	—
		$\leq 200$	1.0	$\leq 1/200000$	9	—
二等	3.0	$\leq 400$	1.0	$\leq 1/200000$	9	—
		$\leq 200$	1.8	$\leq 1/100000$	6	9
三等	6.0	$\leq 450$	1.8	$\leq 1/100000$	6	9
		$\leq 350$	2.5	$\leq 1/80000$	4	6
四等	12.0	$\leq 600$	2.5	$\leq 1/80000$	4	6

注:1 水平位移监测基准网的相关指标,是基于相应等级相邻基准点的点位中误差的要求确定的。

2 具体作业时,也可根据监测项目的特点在满足相邻基准点的点位中误差要求前提下,进行专项设计。

3 GPS 水平位移监测基准网,不受测角中误差和水平角观测测回数指标的限制。

表 10.2.6 测距的主要技术要求

等级	仪器精度等级	每边测回数		一测回 读数较差 (mm)	单程各测回 较差 (mm)	气象数据测定的 最小读数		往返较差 (mm)
		往	返			温度(°C)	气压(Pa)	
一等	1mm 级仪器	4	4	1	1.5	0.2	50	$\leq 2$ $(a+b \times D)$
二等	2mm 级仪器	3	3	3	4			
三等	5mm 级仪器	2	2	5	7			
四等	10mm 级仪器	4	—	8	10			

注:1 测回是指照准目标一次,读数 2~4 次的过程。

2 根据具体情况,测边可采取不同时间段代替往返观测。

3 测量斜距,须经气象改正和仪器的加、乘常数改正后才能进行水平距离计算。

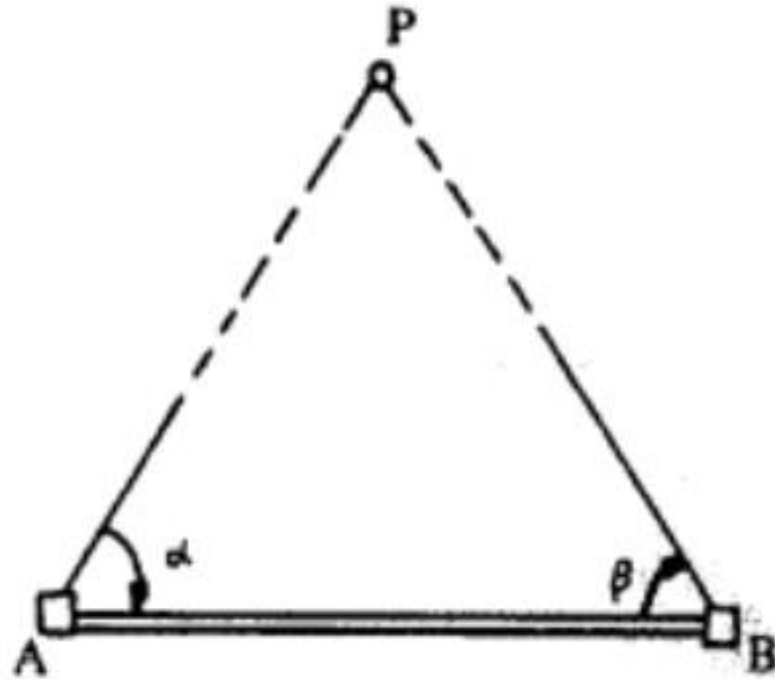
4 计算测距往返较差的限差时, $a$ 、 $b$  分别为相应等级所使用仪器标称的固定误差和比例误差系数, $D$  为测量斜距(km)。



## 第六节 位移监测方法

# 第六节 位移监测方法

## 一、交会法测定建筑物的水平位移



## 第六节 位移监测方法

### 二、自由设站法监测建筑物的水平位移

$$\begin{cases} x_i = x_P + s_i \cdot \cos \alpha_i \\ y_i = y_P + s_i \cdot \sin \alpha_i \end{cases}$$

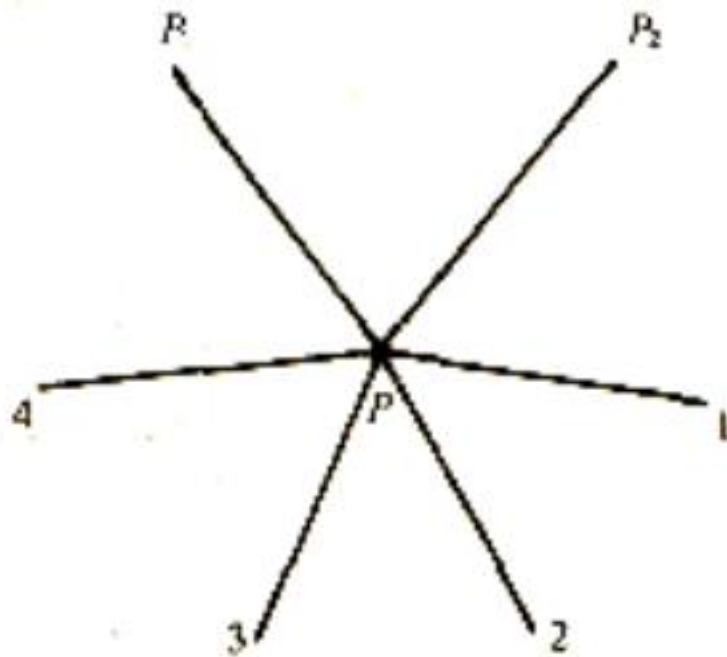


图 2-28 自由设站

# 第六节 位移监测方法

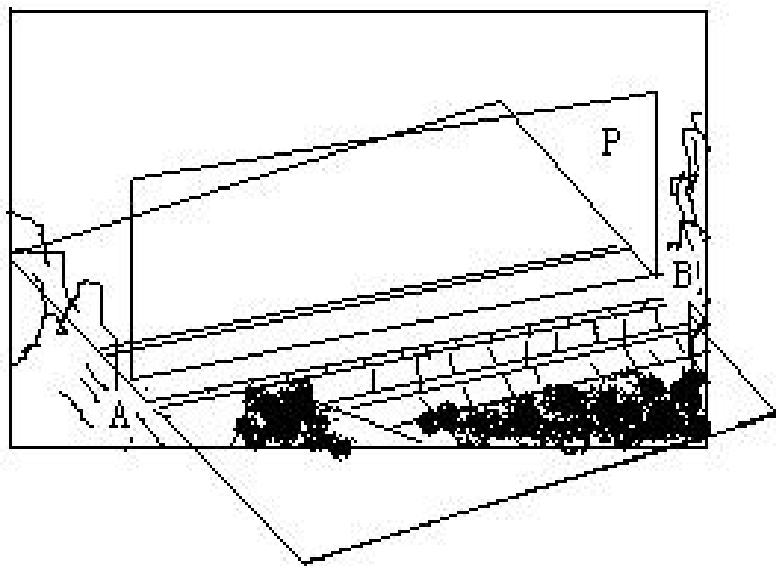
## 三、基准线法

### 基准线法

视准线法  
激光准直法  
引张线法  
倒垂线法

测小角法

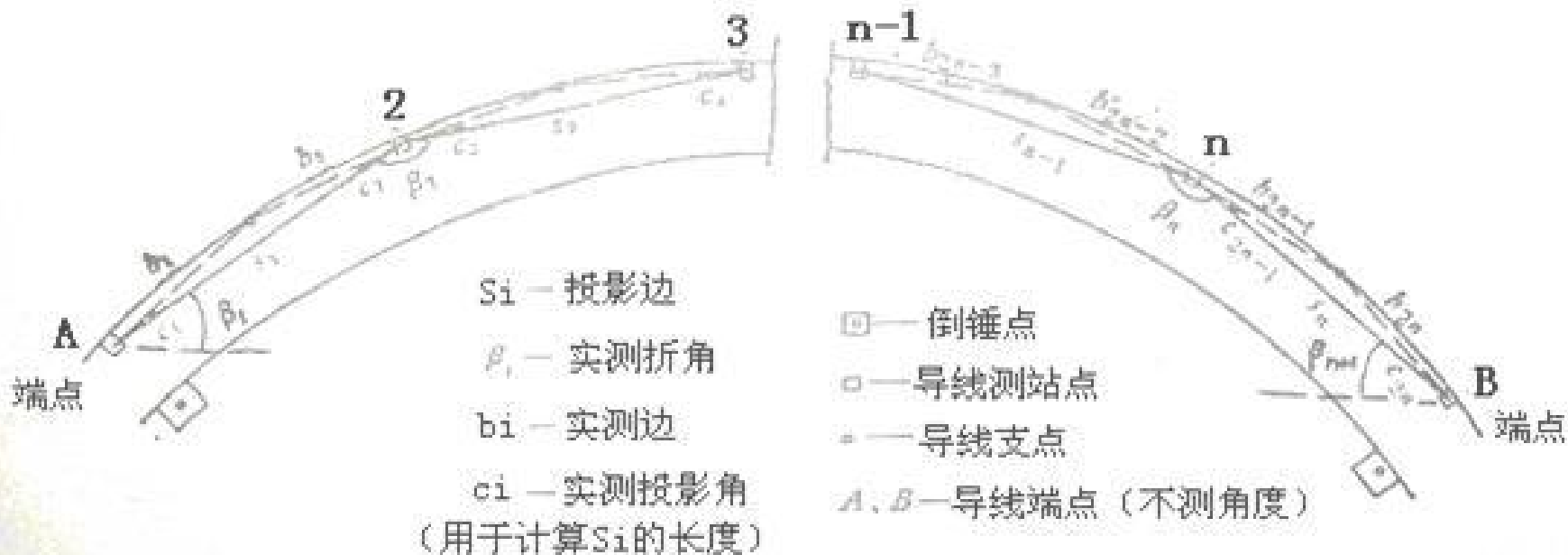
活动觇牌法



# 第六节 位移监测方法

## 四、精密导线测量

- 精密导线法是监测曲线形建筑物（如拱坝等）水平位移的重要方法。
- 由于导线的两个端点之间不通视，无法进行方位角连测，故一般需设计倒垂线控制和校核端点的位移。



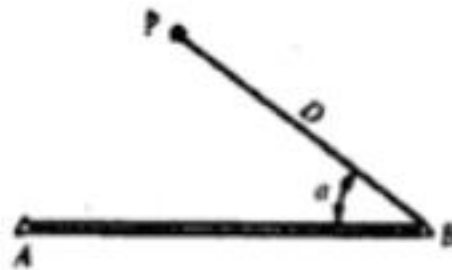
为减少方位角的传算误差，提高测角效率，可采用隔点设站的办法，减少导线点数。

## 第六节 位移监测方法

### 五、全站仪三维变形监测

#### 1. 二维极坐标法

如图所示，A、B为基准点，其坐标已知，p为变形点，



点位中误差的估算公式为：

$$m_p = \pm \sqrt{m_D^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho} D\right)^2}$$

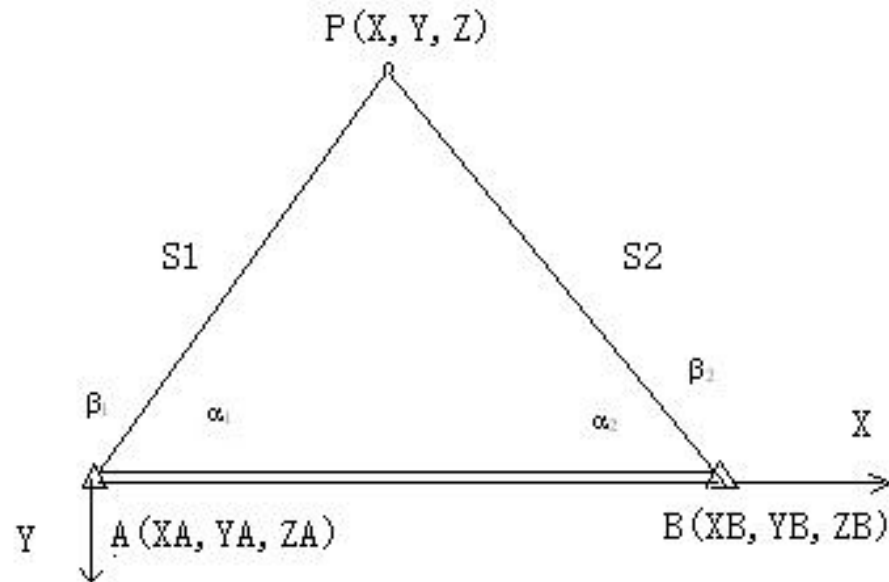
## 第六节 位移监测方法

### 2. 三维极坐标法

$$X_P = X_0 + S \cdot \sin V \cdot \cos \alpha$$

$$Y_P = Y_0 + S \cdot \sin V \cdot \sin \alpha$$

$$Z_P = Z_0 + S \cdot \cos \alpha V + i$$





# 第七章 工程建筑物变形监测

朱宝训  
测绘与城市空间信息系

# 主要内容

- 第七节 水平变形测量设备
- 第八节 倾斜观测
- 第九节 挠度观测与裂缝观测
- 第十节 日照和风振变形监测
- 第十一节 变形监测实例

# 第七节 水平变形测量设备

- 一、各种对中设备的误差分析
- 二、觇标的选用
- 三、观测墩

# 一、各种对中设备的误差分析

## 对中误差对测角影响

设C为测站，应测得  $\angle ACB = \alpha$  ；

因对中误差的影响使测站偏心于  $C'$

点，实测  $\angle AC'B = \alpha'$ 。设偏心距

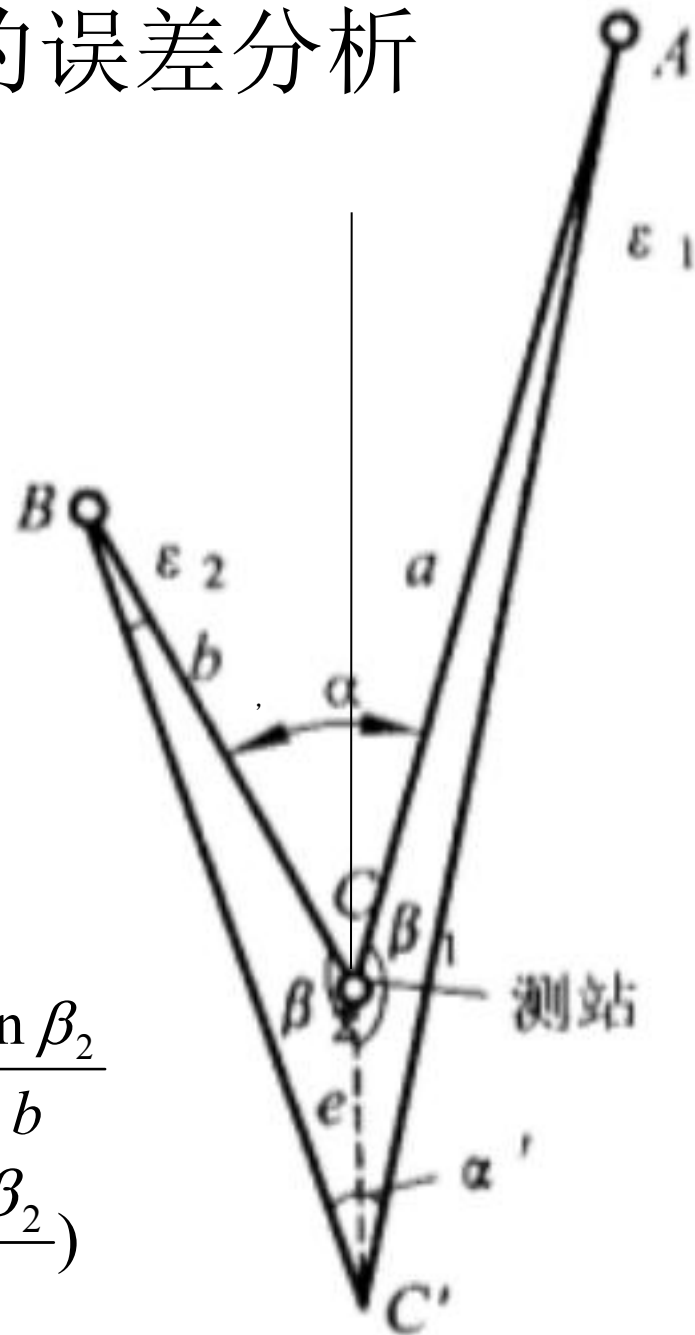
$CC' = e$ ，则测角误差  $\varepsilon$  为：

$$\varepsilon = \alpha - \alpha' = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

设  $AC = a$ ， $BC = b$ ，因为  $\alpha' = \beta_1 + \beta_2$

所以 
$$\varepsilon_1 = \rho'' \cdot e \frac{\sin \beta_1}{a} \quad \varepsilon_2 = \rho'' \cdot e \frac{\sin \beta_2}{b}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \rho'' \cdot e \left( \frac{\sin \beta_1}{a} + \frac{\sin \beta_2}{b} \right)$$



# 1. 垂球对中法

- (1) 观测的视觉误差；
- (2) 对中机构本身的误差；
- (3) 风力的影响；
- (4) 观测过程中脚架的扭转等。

垂球对中误差可达 $\pm 1\sim 3\text{mm}$ ，不言而喻，各种建筑物的变形测量无法接受这样大的对中误差。为了将误差限制在 $\pm 1\text{mm}$ 范围以内的目的，首先要把对中误差限制在最小范围内。

## ★ 2. 对中杆对中法

✎ 对中杆的对中精度取决于圆水准器的灵敏度。圆水准器的灵敏度一般为  $(8'' \sim 6')$  / 2mm，设对中杆圆水准器的误差为  $\pm 3'$ ，若对中杆的高度为 1.2m，由此而引起的对中误差

$$e = \pm 3' \times 1.2 \times 1000 / 3438' = \pm 1mm$$

✎ 所以，对中杆的对中误差虽比锤球线法小一些，但因气泡制造工艺比较粗糙，无法克服脚架扭曲误差影响等，也不能满足变形测量的需要。



### ★ 3. 光学对中法

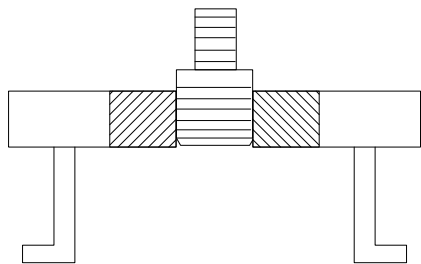
- ✦ 光学对中器的对中误差取决于仪器照准部上部的管水准器的灵敏度。水准器的灵敏度一般为（20 “~30”）/2mm，如果水准器的灵敏度为±20 “，仪器高为1.2m，则

$$e = \pm 20'' \times 1.2 \times 1000 / 206265 = \pm 0.1 \text{ mm}$$

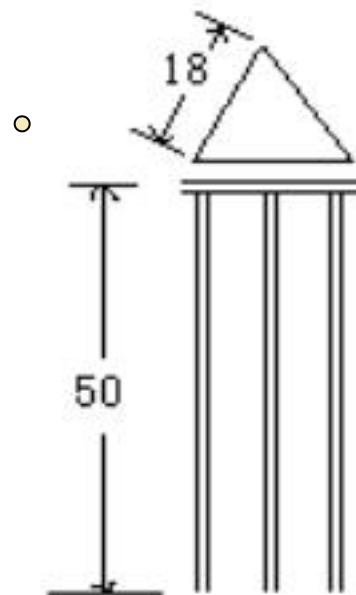
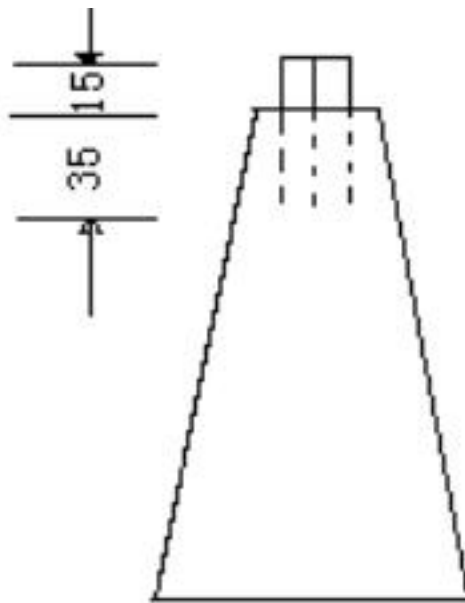
- ✦ 如果在考虑光学对中器的目估误差以及脚架的扭转误差，则总误差仍将达到±（0.3~0.5）mm，因此用光学对中法并不是最佳对中法。

## 4. 强制对中法

### (1) 支承托架式强制对中器

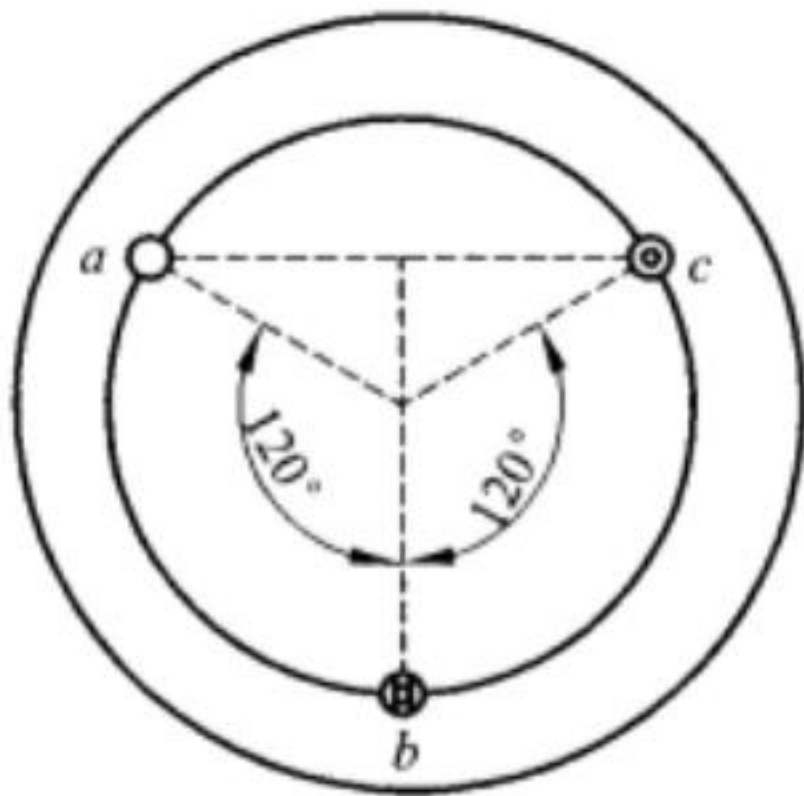


圆柱插入式装置



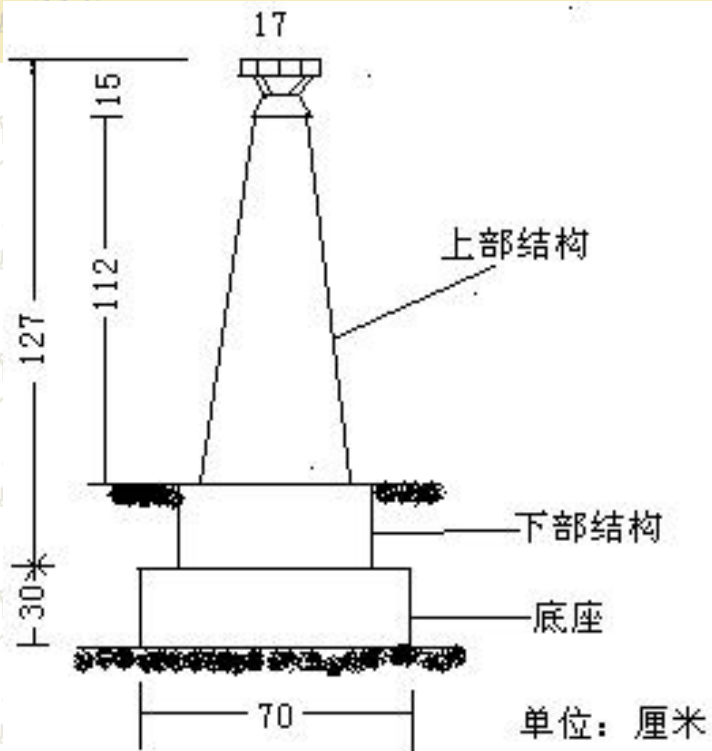
该对中器的对中误差取决于底板中心螺旋孔的工艺精度，精密者误差为 $\pm(0.1\sim 0.2)$  mm，粗糙者可达 $\pm 1.0$  mm。支承托架露出部分不宜过高，否则易变形，影响精度。

## (2) 三点式强制对中器



此法对中误差在0.3mm左右。

### (3) 旋进式强制对中器

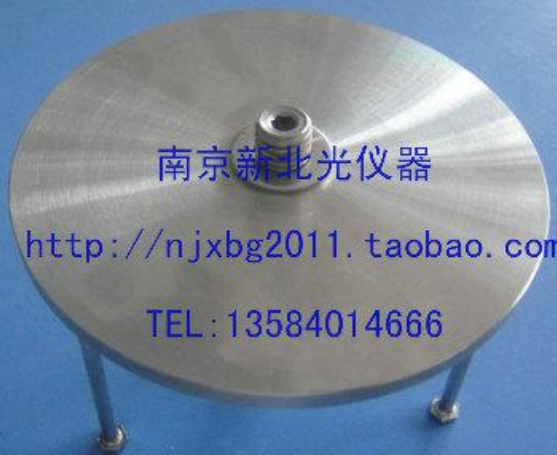


在制造观测墩时，将铜头埋于墩的顶部，墩顶端平面平滑，点中心露出的螺杆长度适宜。观测时，只需将经纬仪基座拧在露出的点中心上即可。实践证明旋进式强制对中器的误差很小，可忽略不计。



订货电话: 027-51815188 15207139438 13296538278

型号: DZ-A强制对中基座(适用滑坡监测、精密控制网、位移点)



南京新北光仪器

<http://njxbg2011.taobao.com>

TEL: 13584014666

## 二、觇标的选用

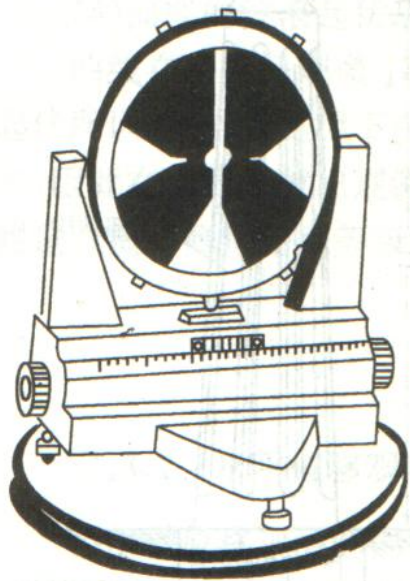
✿ (1) 如图所示的觇标图案：图形简单，几何中心轴明显；标志宽度不一，便于在不同视线长度时使用；可用双丝照准，在有利条件下也可用单丝照准。

✿ (2) 从外业观测实践可知，保证有足够的反差，使觇标的标心界线明晰，是保证观测精度的重要条件。从人眼的感光灵敏度来说，采用黄绿色觇标为佳。

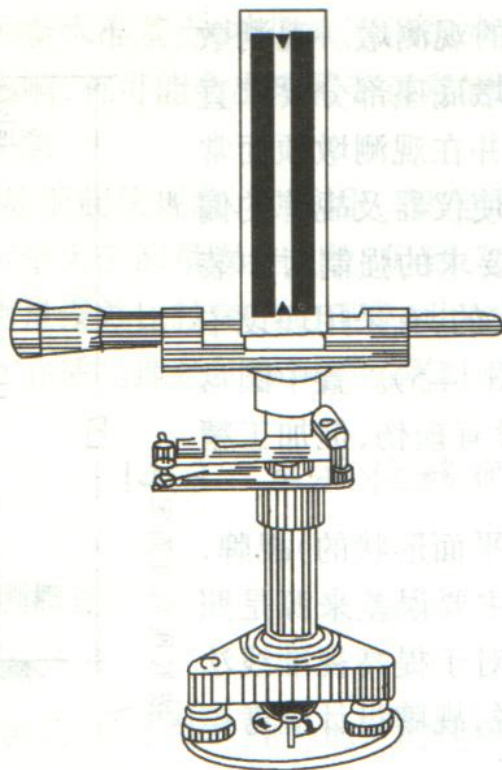


✿ (3) 为保证足够的精度，觇标必须有足够的亮度。

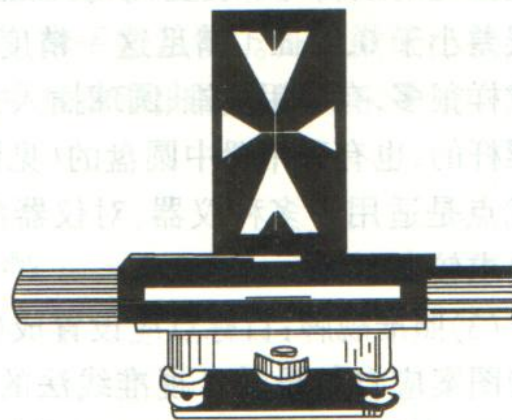
✿ (4) 觇标宽度要适中。



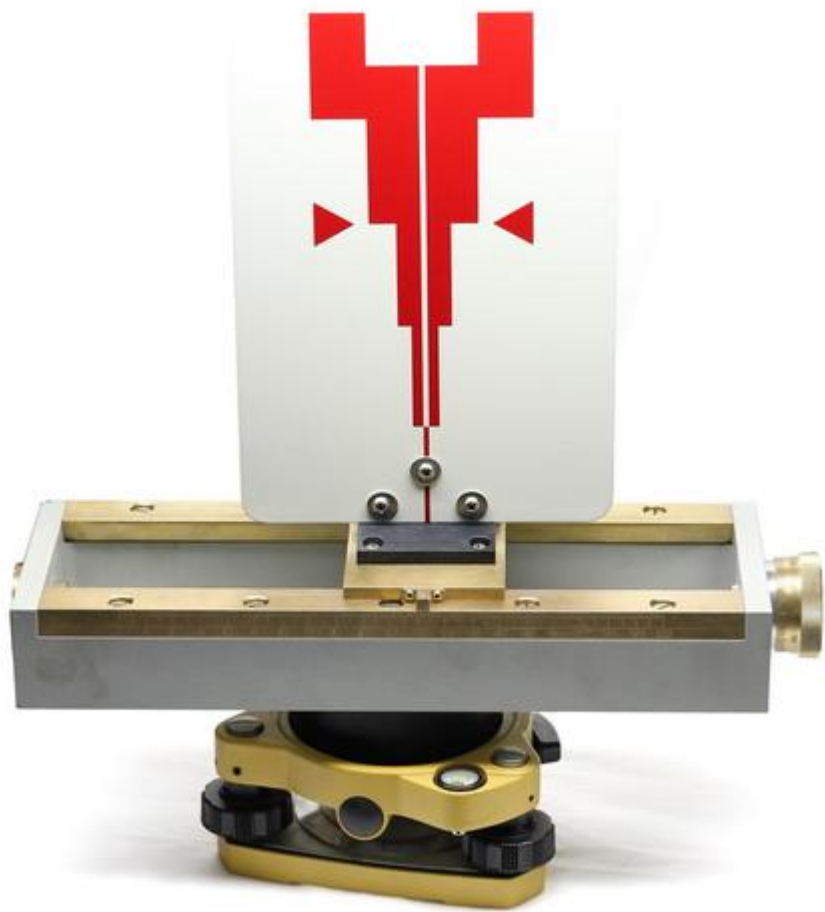
a)



b)



c)



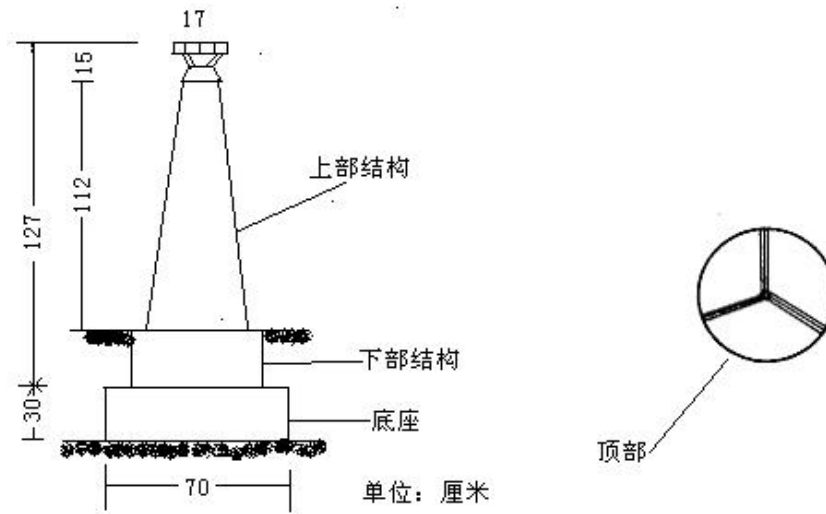
🔦 报价2000



报价1000

### 三、观测墩

- (1) 各类标墩的底板必须埋设在最大冻土层以下0.5m处，有条件时最好直接浇注在基岩上，以确保稳定；
- (2) 如果采用混凝土观测墩必须适当配置钢筋；
- (3) 为了避免折光的影响，观测墩高度需要大于0.8m，且远离建筑物；
- (4) 预埋仪器和觇标通用的强制对中器；
- (5) 严格掌握施工质量。

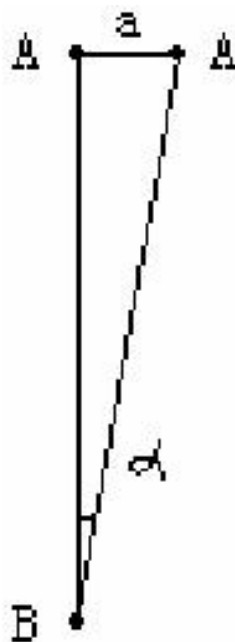


## 第八节 倾斜观测

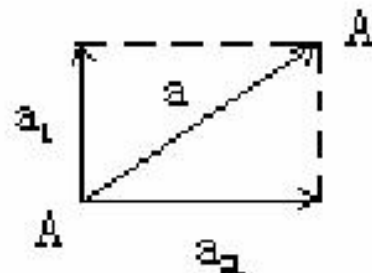
倾斜是指建筑物顶部位移与建筑物的高度之比。

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{h}$$

- 测定建筑物的倾斜有**两类**方法：
  - 一类是直接测定建筑物的倾斜。
  - 另一类是通过测量建筑物基础相对沉降的方法来计算建筑物的倾斜。



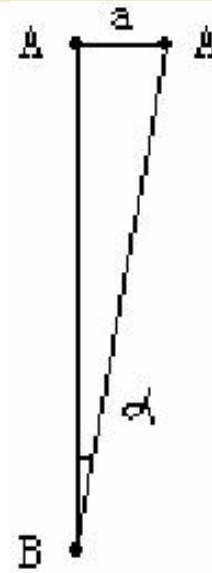
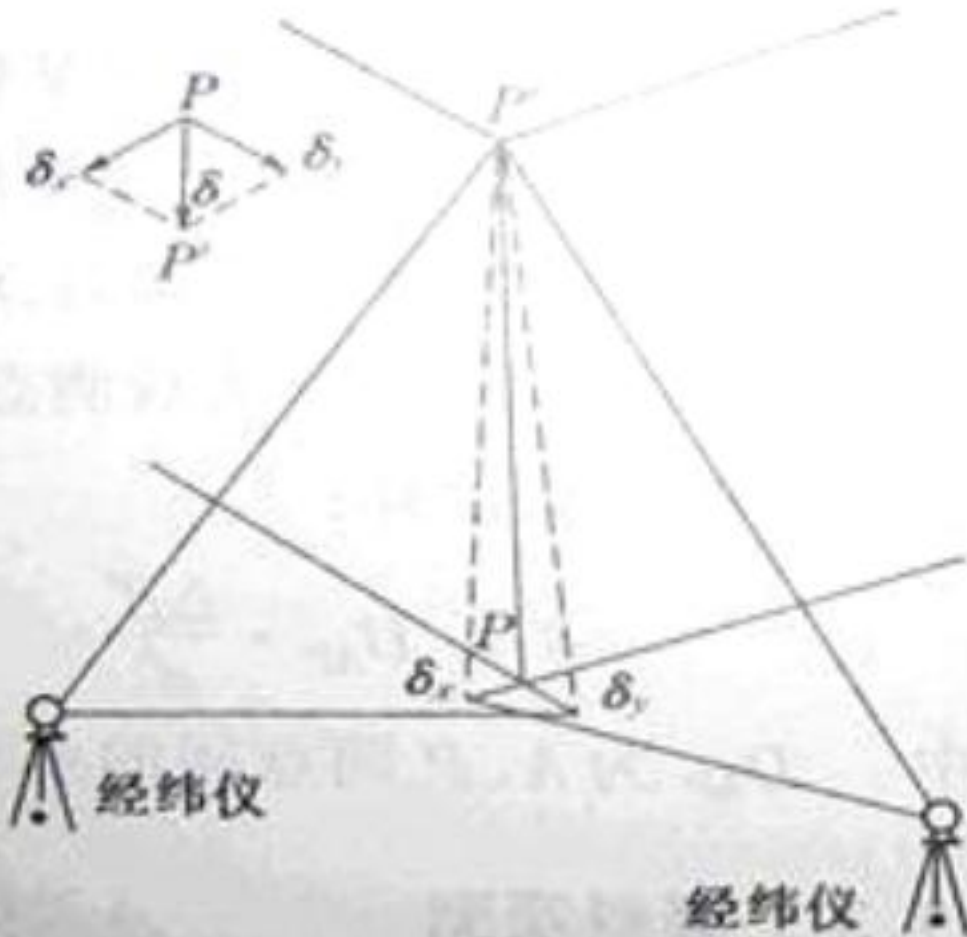
(a)



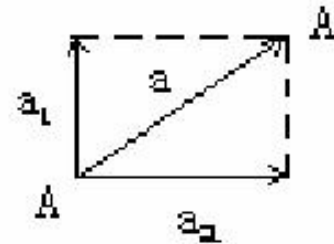
(b)

# 一、直接测定建筑物倾斜的方法

## (1) 经纬仪投影法



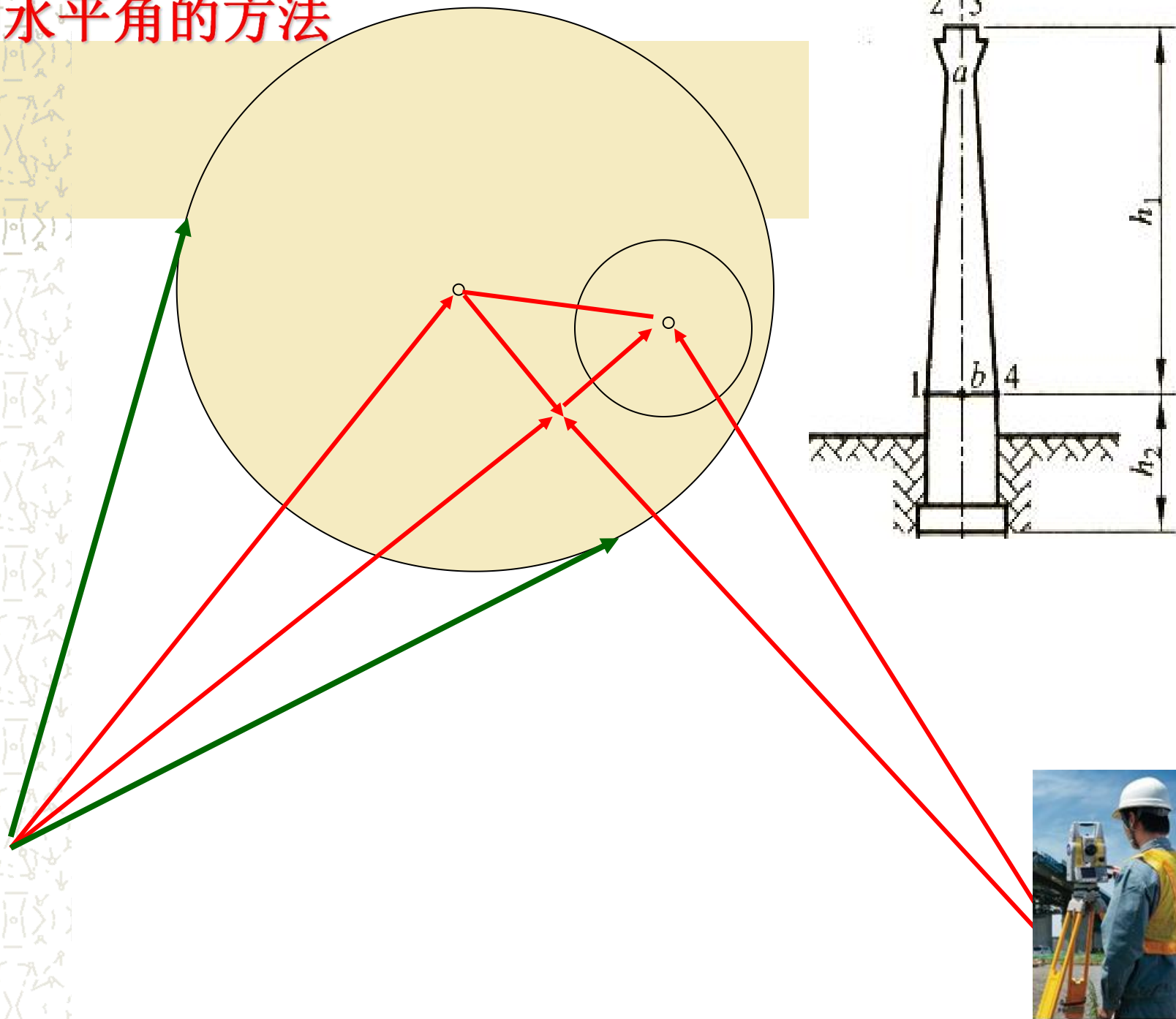
(a)



(b)

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{h}$$

## (2) 测水平角的方法



## (2) 测水平角的方法

经纬仪先在A点测a1 和b1, 则 :

$$\Delta a = a_1 - b_1$$

同样再在B点测a2、 b2, 则:

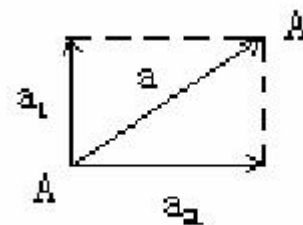
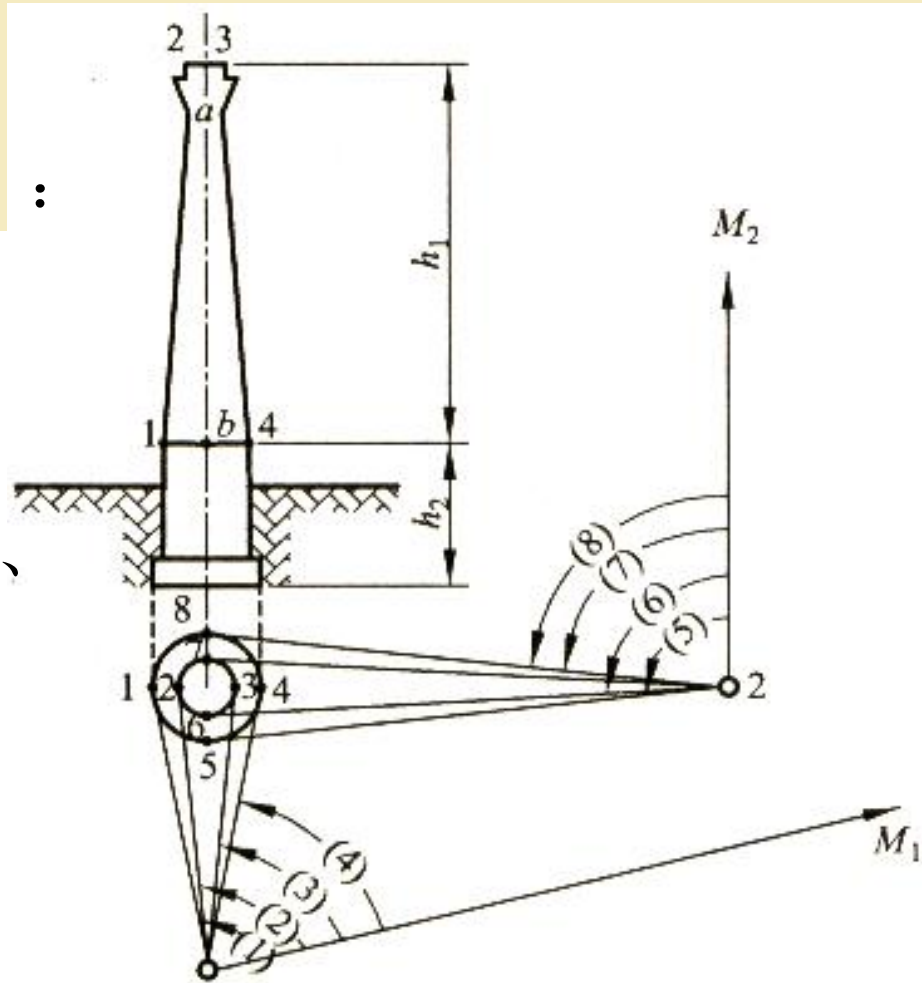
$$\Delta b = a_2 - b_2$$

并从测站到烟囱外皮的距离D1、  
D2, 则计算偏移量e1、 e2:

$$\left. \begin{aligned} e_A &= \frac{\Delta a}{\rho} (D_A + R) \\ e_B &= \frac{\Delta b}{\rho} (D_B + R) \end{aligned} \right\} \text{偏移量}$$

烟囱总的偏移量e为: 
$$e = \sqrt{e_A^2 + e_B^2}$$

方位角: 
$$\alpha = \arctan \frac{e_A}{e_B}$$

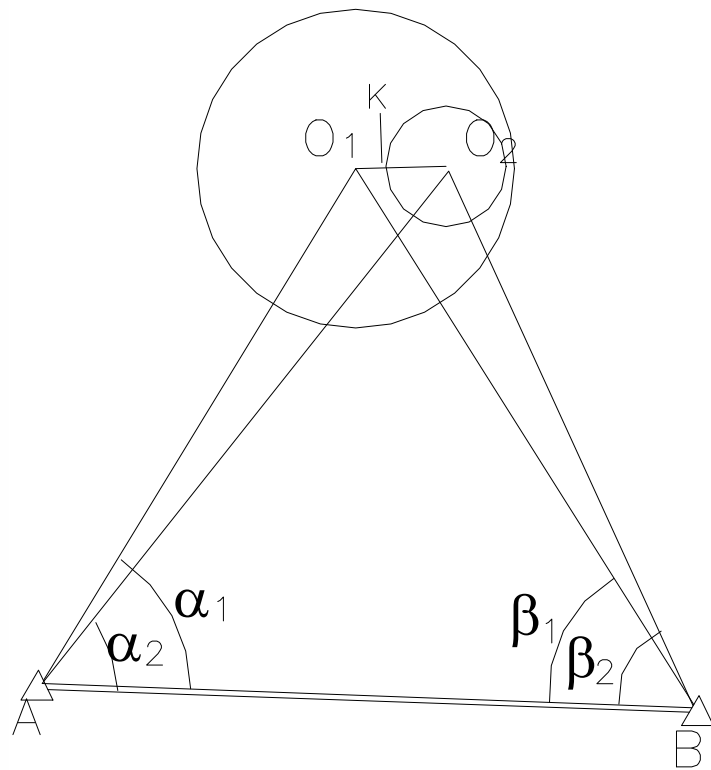
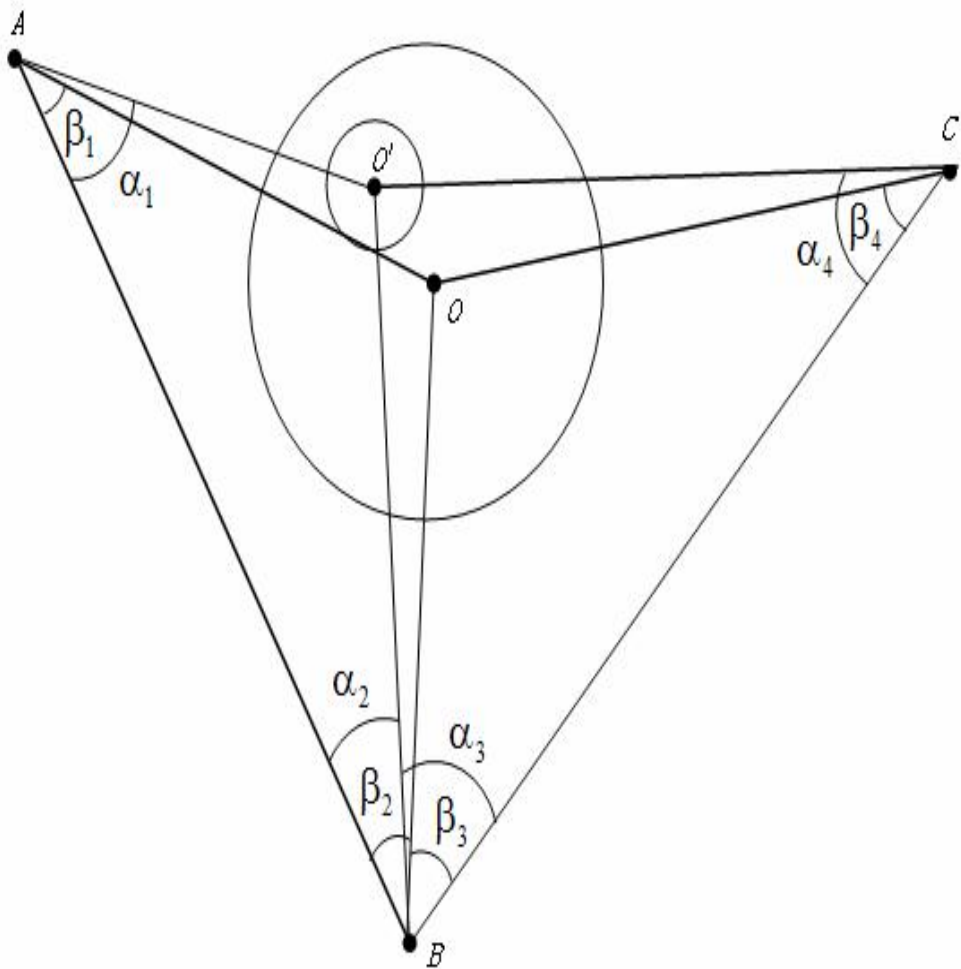


### (3) 前方交会法

- 当测定倾斜的精度要求较高时，可以采用角度前方交会法。
- 首先在圆形建筑物周围标定 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 三点，观测其转角和边长，则可求得其在实用坐标系中的坐标；
- 然后分别设站于 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 三点，观测圆形建筑物顶部两侧切线与基线的夹角，并取其平均值；
- 以同样的方法观测圆形建筑物底部；
- 按角度前方交会定点的原理，即可求得圆形建筑物顶部圆心 $O'$ 和底部圆心 $O$ 的坐标。

# 前方交会法倾斜观测计算

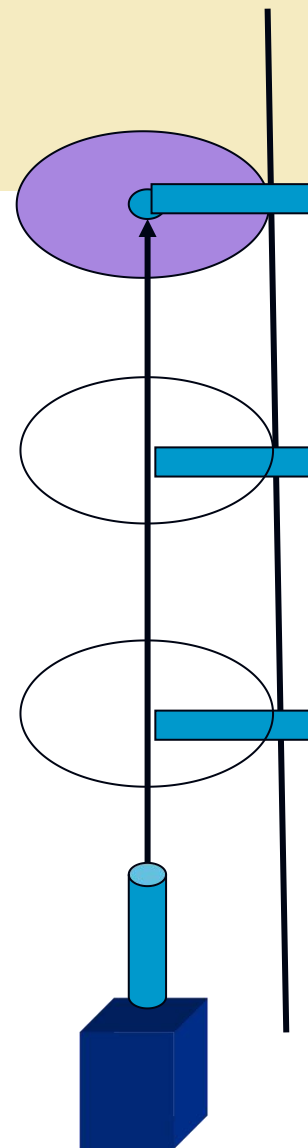
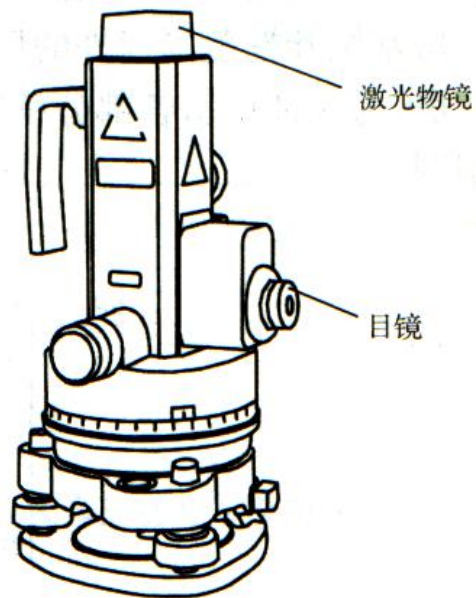
建筑物倾斜监测



$$e = \sqrt{(x_{O'} - x_O)^2 + (y_{O'} - y_O)^2}$$

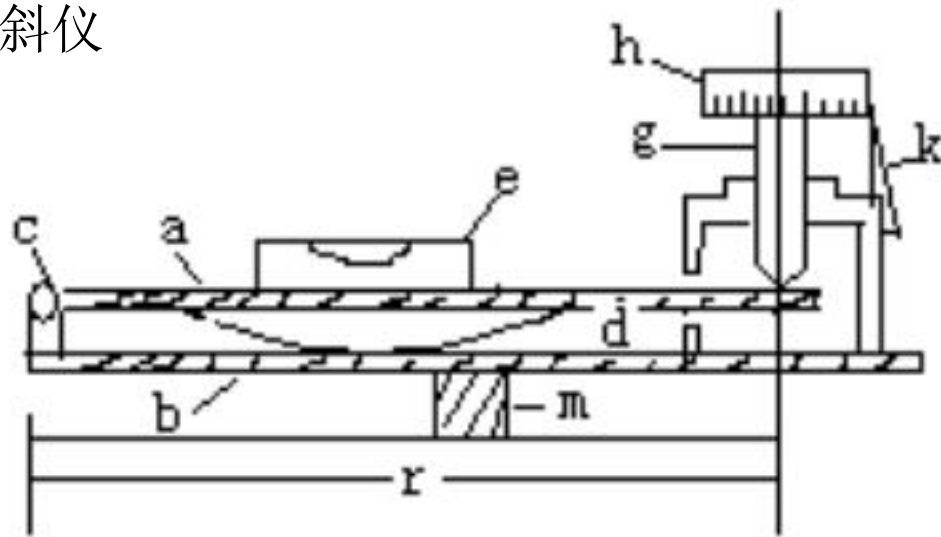
## (4) 垂准线法

- 垂准线的建立，可以利用悬吊垂球，也可以利用铅垂仪(或称垂准仪)。
- 铅垂仪的构造如图所示，当仪器整平后，即形成一条铅垂视线。如果在目镜处加装一个激光器，则形成一条铅垂的可见光束，称为激光铅垂线。



## 二、测定建筑物基础相对沉陷来确定倾斜

- (1) 水准测量方法。
- (2) 液体静力水准测量方法。
- (3) 气泡式倾斜仪



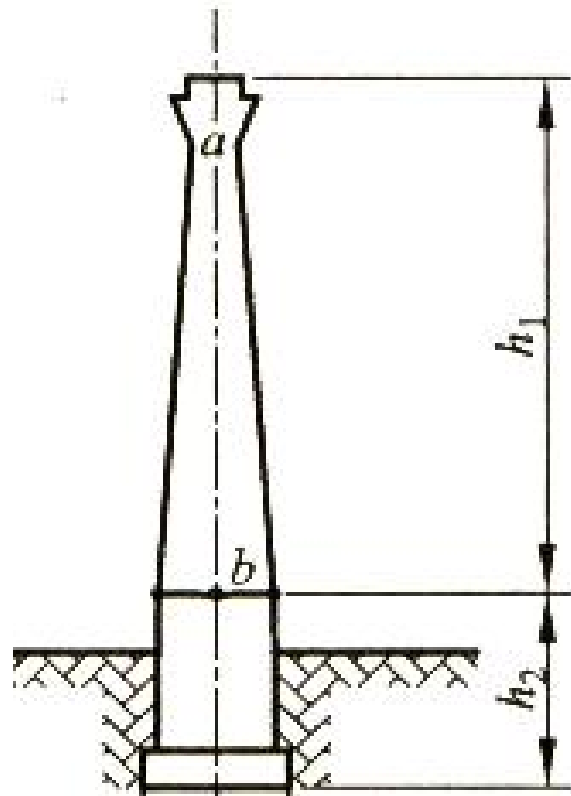
气泡式倾斜仪适用于观测较大的倾斜角或量测局部地区的变形，例如测定设备基础和平台的倾斜。

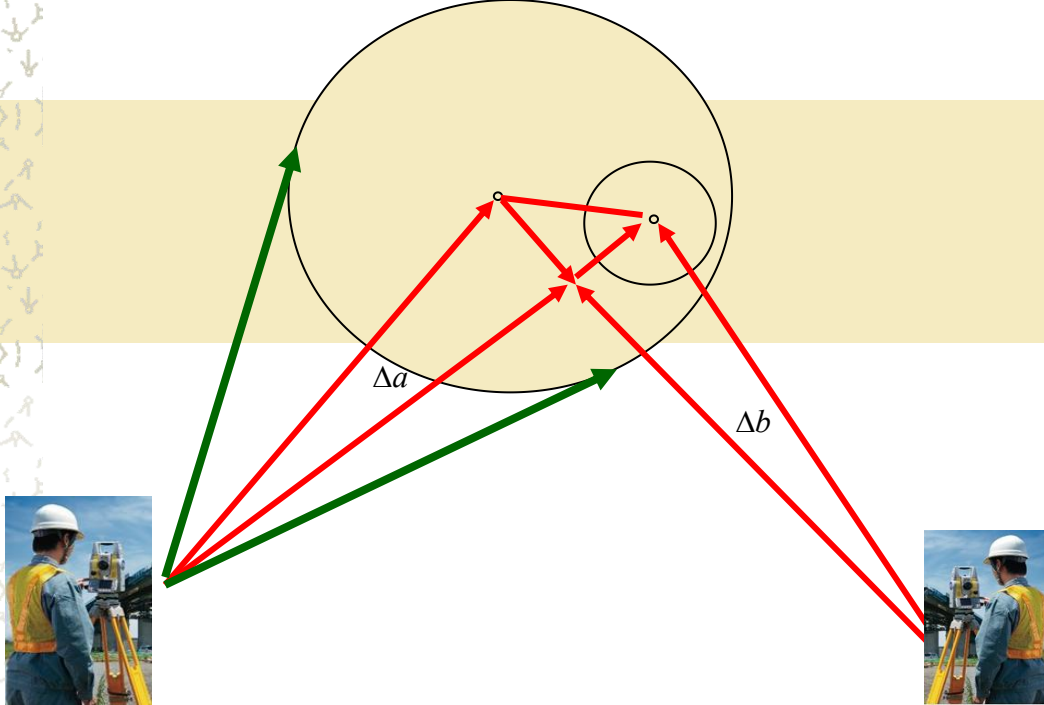
## 《建筑变形测量规范》JGJ8—2007对变形限制的规定：

- 1) 基坑回弹、地基土分层沉降等局部地基沉降以及膨胀土地基沉降等的测定中误差，不应超过其变形允许值的 $1 / 20$ ；
- 2) 平置构件挠度等变形的测定中误差，不应超过变形允许值的 $1 / 6$ ；
- 3) 沉降差、基础倾斜、局部倾斜等相对沉降的测定中误差，不应超过其变形允许值的 $1 / 20$ ；
- 4) 受基础施工影响的位移、挡土设施位移等局部地基位移的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 20$ 。
- 5) 建筑的顶部水平位移、工程设施的整体垂直挠曲、工程设施水平轴线偏差等建筑整体变形的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 10$ ；
- 6) 高层建筑层间相对位移、竖直构件的挠度、垂直偏差等结构段变形的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 6$ ；
- 7) 基础的位移差、转动挠曲等相对位移的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1 / 20$ ；
- 8) 对于科研及特殊目的的变形量测定中误差，可根据需要将上述各项中误差乘以 $1 / 5—1 / 2$ 系数后采用。

## 例题：

某烟囱高100m，周长为150.72m。运行5年后，为评估其安全性需要观测烟囱的倾斜（要求不大于2‰），拟采用测距精度为 $2+2\text{ppm}\cdot D$ ，测角精度为2秒的全站仪进行观测，试设计相应的观测方案（画图说明观测方法）；包括观测方法、步骤、采用的仪器。





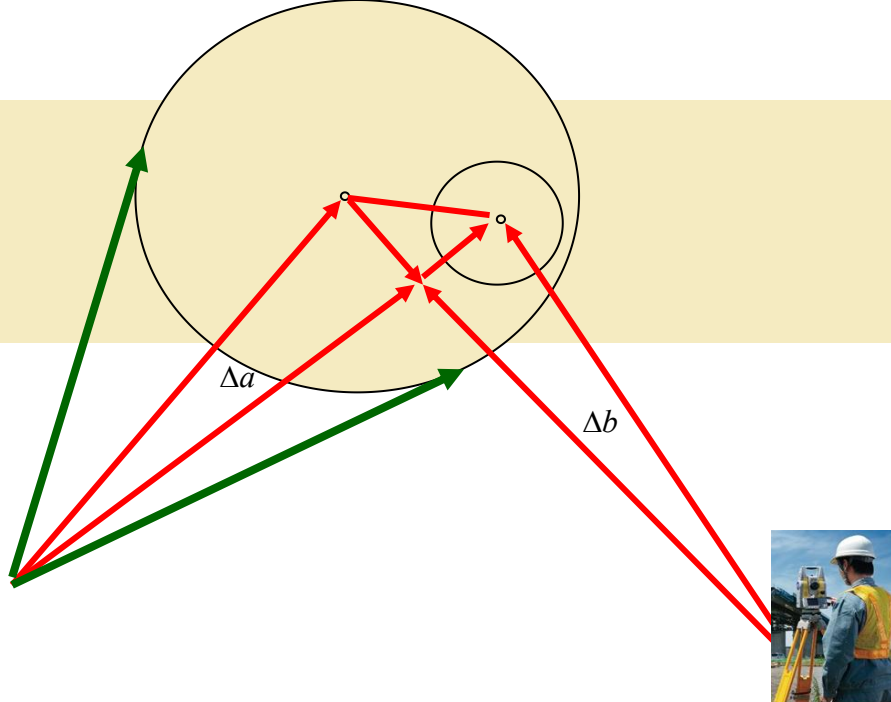
## 1. 观测方法

(1) 如图，为观测顶部的位移，在A、B设两观测站，并使Ap、Bp方向垂直。

(2) 经纬仪先在A点观测烟囱底部和顶部相切两方向的值，取平均值得a、a'，  
 $\Delta a = a'$ 即为通过烟囱底部和顶部中心的方向值。

(3) 同样再在B点观测，得b、b'， $\Delta b = b' - b$ 。

(4) 并从A、B分别沿Ap、Bp方向量出到烟囱外皮的距离，烟囱底部的周长。

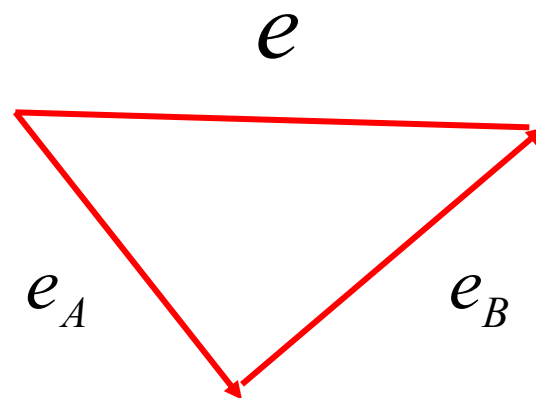


## 2. 计算方法

$$\left. \begin{aligned} e_A &= \frac{\Delta a}{\rho} (D_A + R) \\ e_B &= \frac{\Delta b}{\rho} (D_B + R) \end{aligned} \right\}$$

$$e = \sqrt{e_A^2 + e_B^2}$$

$$i = e/h$$




### 3. 求观测测回数

顶部允许位移  $100 \times 2 / 1000 \times 1000 = 200mm$

$$m_e = 200 \times 1 / 20 = 10mm$$

由:  $e = \sqrt{e_A^2 + e_B^2}$  全微分, 得:


$$de = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{e_A^2 + e_B^2}} (2e_A de_A + 2e_B de_B)$$

则顶部位移观测中误差:  $m_e^2 = \pm \frac{1}{e_A^2 + e_B^2} (e_A^2 m_{eA}^2 + e_B^2 m_{eB}^2)$

$$m_e^2 = \frac{1}{e^2} (e_A^2 m_{eA}^2 + e_B^2 m_{eB}^2)$$

$$m_{eA} = m_{eB}$$

$$m_e^2 = \frac{1}{e^2} (e_A^2 + e_B^2) m_{eA}^2$$

则一侧位移允许中误差:  $m_{eA} = m_e = 10mm$

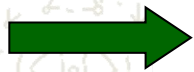
则一侧位移观测中误差： $m = \frac{1}{3} m_{eA} = 3.3mm$

对式：

$$\left. \begin{aligned} e_A &= \frac{\Delta a}{\rho} (D_A + R) \\ e_B &= \frac{\Delta b}{\rho} (D_B + R) \end{aligned} \right\}$$

全微分，则

$$m_{eA} = \frac{m_{\Delta\alpha}}{\rho} (D + R) = 3.3mm$$



$$m_{\Delta\alpha} = \frac{m_{eA}}{D + R} \rho$$

《建筑变形测量规范》规定：测站点的点位应选在距照准目标1.5~2.0倍目标高度的固定位置。设距离为烟囱高度的1.5倍，则：

$$2\pi R = 150.72 \Rightarrow R = 12m$$

角度中误差：  $m_{\Delta\alpha} = \frac{m_{eA}}{D + R} \rho = \frac{3.3}{(150 + 12) \times 1000} \times 206265 = 4.2''$

方向中误差:  $m_{\alpha} \sqrt{2} = m_{\Delta\alpha} \Rightarrow m_{\alpha} = \frac{4.2}{\sqrt{2}} = 3''$

如采用DJ2经纬仪，望远镜放大倍数为30倍，则

$$m_v = 60'' / V = 60'' / 30 = 2''$$

故测一测回即可满足要求。

如采用5秒全站仪:

$$m_{\alpha} = \frac{5}{\sqrt{n}} < 2.8'' \Rightarrow n > 3.2$$

如采用5秒全站仪，测4测回即可满足要求。

建筑工程质量验收规范规定：倾斜允许值小于  $1/1000H$ ，且最大不超过30mm。

$$m_e = 30 \times 1/20 = 1.5\text{mm}$$

$$m = \frac{1}{3} m_{eA} = 0.5\text{mm}$$

$$m_{\Delta\alpha} = \frac{m_{eA}}{D+R} \rho = \frac{0.5}{(150+12) \times 1000} \times 206265 = 0.63''$$

$$m_\alpha = \frac{0.63}{\sqrt{2}} = 0.45$$

如采用DJ2经纬仪，则

$$\longrightarrow \frac{m_\alpha}{\sqrt{n}} < 0.45 \Rightarrow n > \frac{2^2}{0.45^2} = 19.8$$

### 3.3 变形监测精度的确定

- 某建筑物为框架结构，基础土层为高压缩性土，相邻两沉降观测点(埋设在柱基上)的距离=10m，若建筑物的允许倾斜度4‰，求任一观测点高程中误差。假如有基准点离建筑物800米，问用DS1型精密水准仪做二等水准可以监测其倾斜吗？

解：由于建筑物地基上两点差异沉降量允许值为

$$\delta = 0.004l = 0.004 \times 10 = 40(\text{mm})$$

而一般观测误差为变形量的1/20，

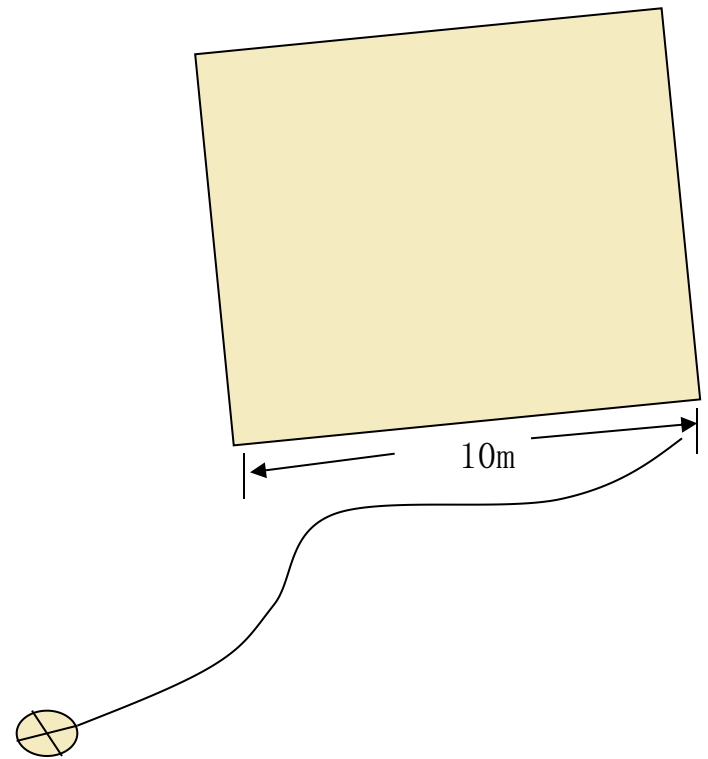
$$\text{故 } m_{\text{差}} = 2\text{mm}$$

因差异量为两点沉降之差  $\Delta = h_1 - h_2$

而  $h_i = H_B - H_A$  为两次高程之差

$$\text{故： } m_{\Delta} = \sqrt{2}m_h \quad m_h = \sqrt{2}m_H$$

$$\text{所以 } m_H = m_{\Delta} / 2 = 1\text{mm}$$



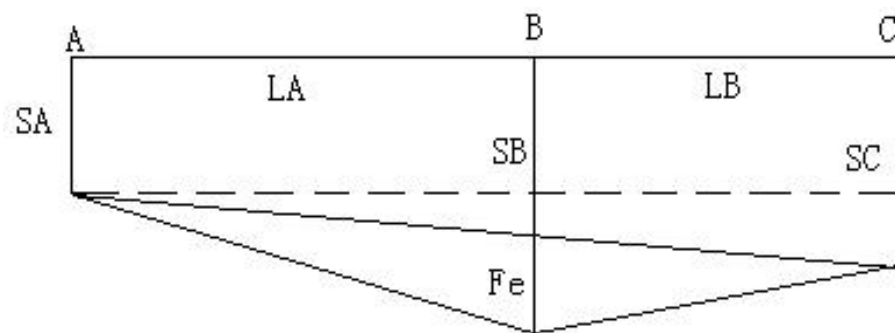
水准仪精度指标定义为每千米往返高差中数中误差：

测量等级	一等	二等
每公里偶然中误差	0.45mm	1mm
每公里全中误差	1mm	2mm

结论：基准点距离为800m，故可以满足要求。

## 第九节 挠度观测与裂缝观测

### 一、挠度观测



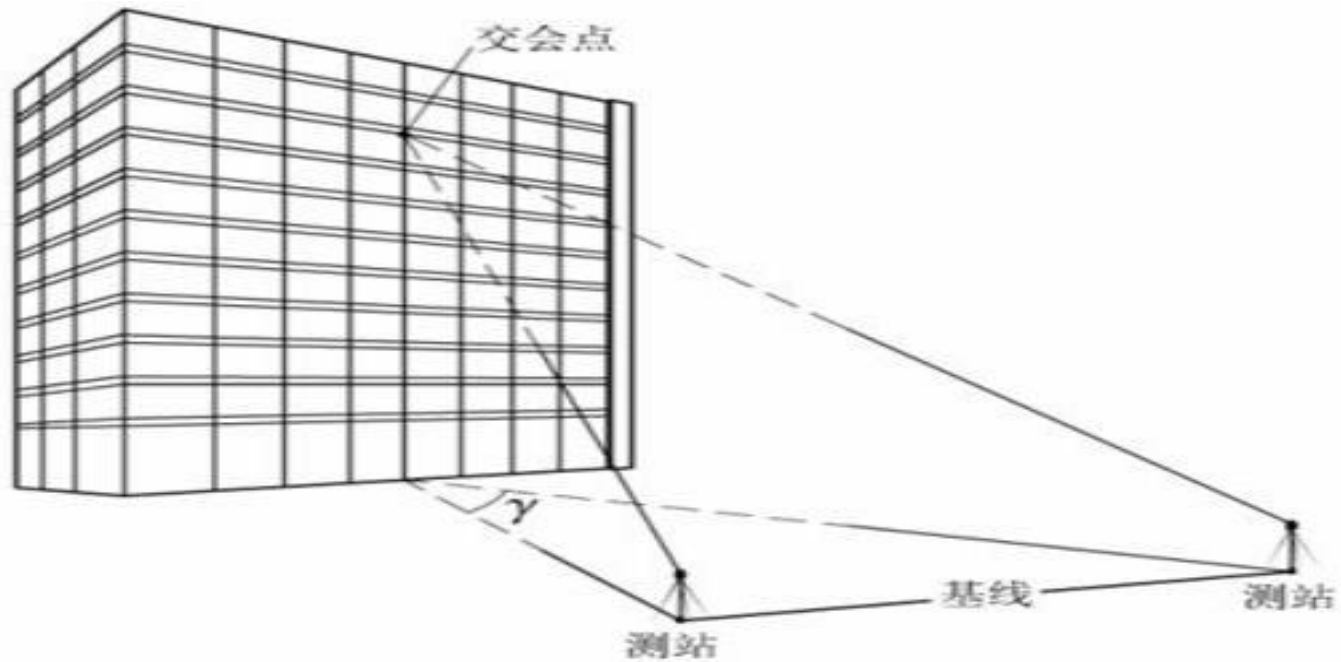
所谓挠度，是指建(构)筑物或其构件在水平方向或竖直方向上的弯曲值。

(1) 建筑物基础挠度计算。

$$F_e = (s_B - s_A) - \frac{L_A}{L_A + L_B} (s_C - s_A)$$

## 13.5 挠度与裂缝观测

对高层建筑物，通常采用前方交会法测定。



对内部有竖直通道的建筑物，挠度观测多采用垂线观测，即从建筑物顶部附近悬挂一根不锈钢丝，下挂重锤，直到建筑物底部。在建筑物不同高程上设置观测点，以坐标仪定期测出各点相对于垂线最低点的位移，比较不同周期的观测成果，即可求得建筑物的挠度值。

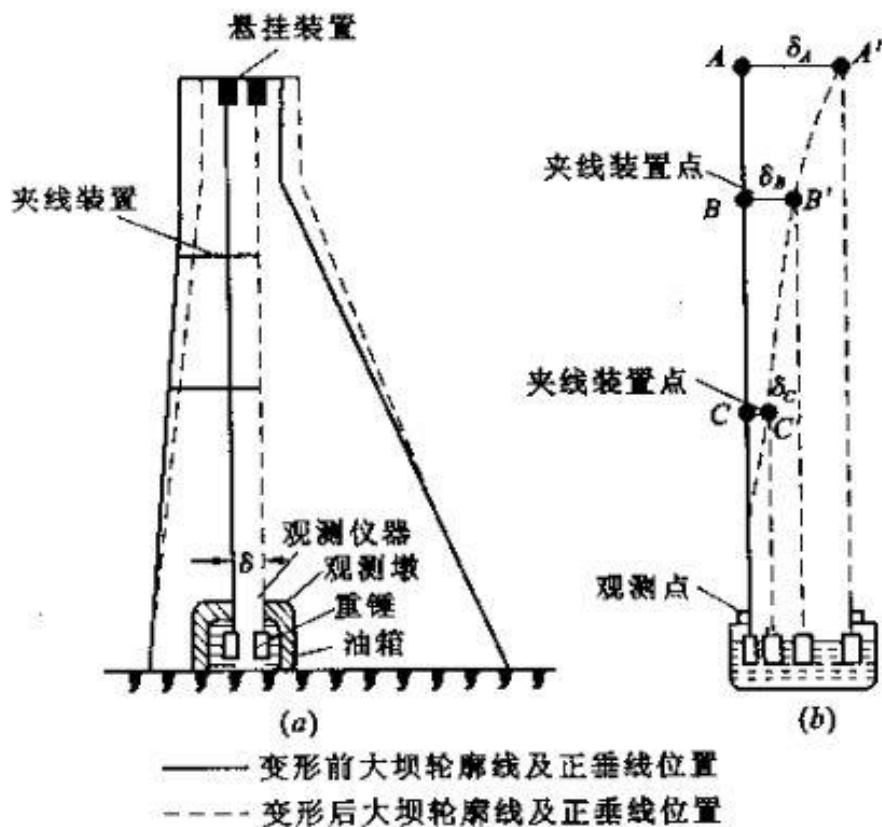


图 13.12 正垂线测量挠度

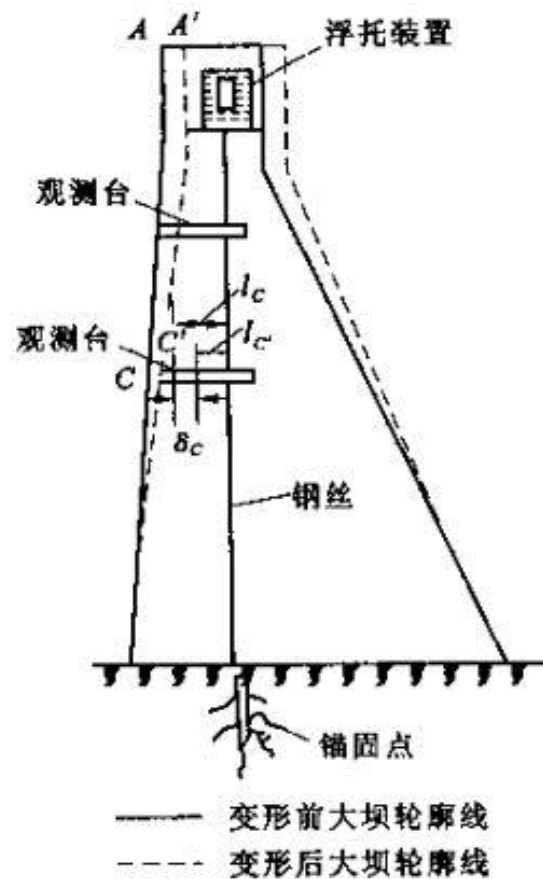
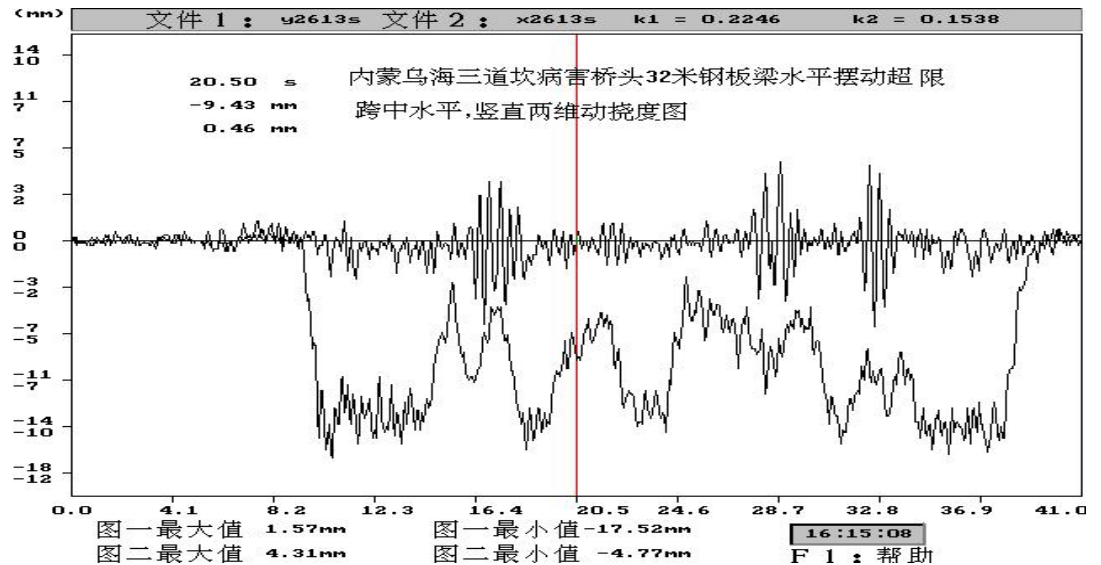


图 13.13 倒垂线测量挠度

# 桥梁挠度仪



## 挠度观测方法：

- 🔦 水准测量、
- 🔦 前方交会法
- 🔦 极坐标法
- 🔦 垂线法
- 🔦 挠度计、
- 🔦 位移传感器

## 二、裂缝观测

### (1) 裂缝产生的原因。

地基处理不当、不均匀沉降；地表和建筑物相对滑动；设计问题，导致局部出现过大的拉应力；混凝土中浇灌或养护的问题，水温、气温或其它问题。

### (2) 观测内容。

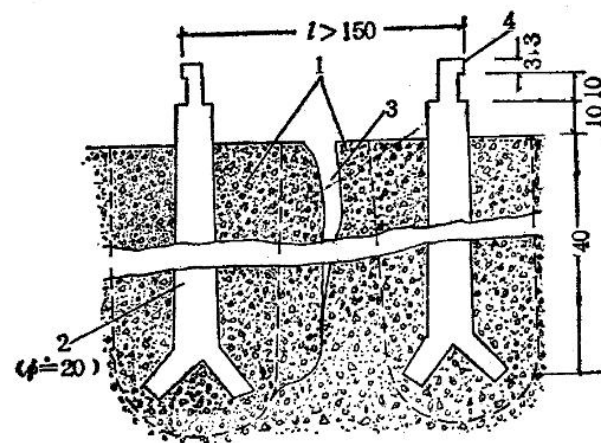
裂缝分布位置、走向、长度、宽度及其变化程度等项目。

(3) 埋设标志。每条裂缝至少应布设两组观测标志，一组在裂缝最深处，另一组在裂缝末端。

对于混凝土建筑物上的裂缝的位置、走向以及长度的观测，是在裂缝的两端用油漆画线作标志，或在混凝土的表面绘制方格坐标，

## (4) 观测

- ✎ 用钢尺丈量，
- ✎ 用方格网板定期量取“坐标差”。
- ✎ 对于重要的裂缝，也在裂缝的两侧打孔埋设金属标志点，定期用游标卡尺量。
- ✎ 对于面积较大且不利于人工测量的众多裂缝宜采用近景摄影测量方法；
- ✎ 当需要连续监测裂缝变化时，还可采用测缝计或传感器自动测记方法。



单位：毫米

1—钻孔后回填的混凝土， 2—观测标点， 3—裂缝， 4—游标卡尺卡着处

(5) **观测周期** 通常开始半月1次，以后1月1次。当发现裂缝加大时，应增加观测次数，直至几天或逐日一次的连续观测。

裂缝观测时，其宽度应量至0.1mm，每次观测应量出裂缝位置、形态和尺寸，注明日期，附必要的照片资料。

# 裂缝仪





# 第十一节 变形监测工程实例

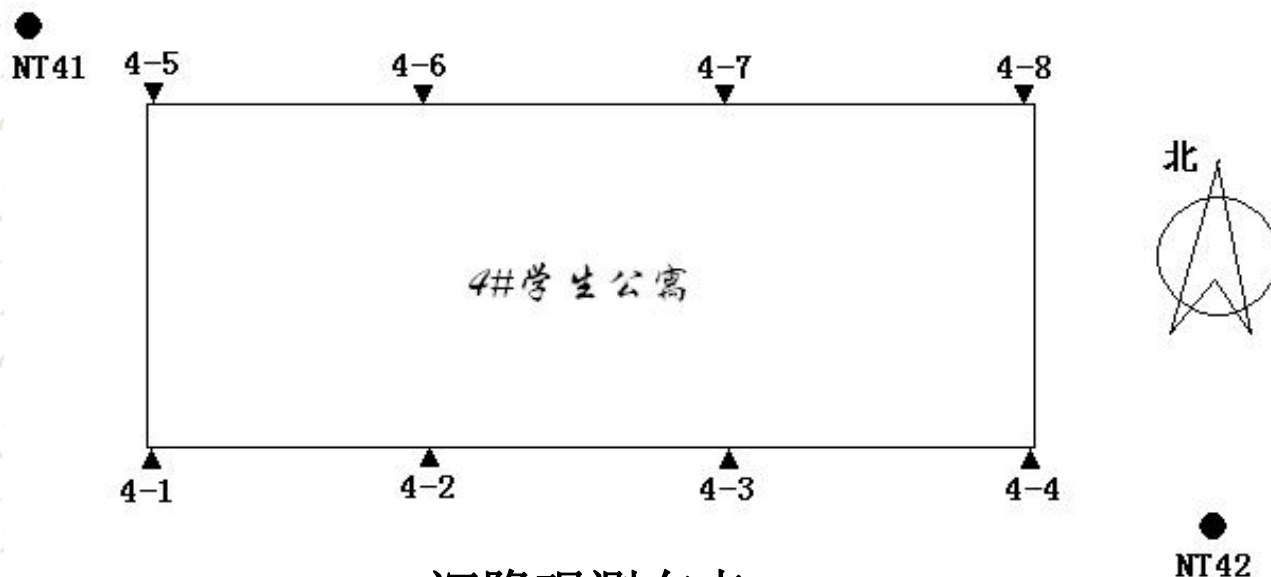
# 仪器及精度设计

- 依据设计要求，为能反映出1mm的沉降量，采用S1级精密水准仪和铟钢尺，按二等水准测量的规程进行沉降观测；
- 视距长度小于30m，三丝最小读数不限，正确读数至0.1mm，估读至0.01 mm，单位权（一测站）中误差不超过0.5mm，点位高程中误差不超过1.0mm。

# 沉降观测点位设计

参照建筑物设计总平面图、建筑设计图及其沉降观测规范，在建筑物主要轴线布设8个沉降观测点，在其周围布设4个沉降观测基准点，其中直接用于观测的基准点2个。

工程实例



沉降观测布点

# 观测周期设计

- 建筑物施工至±0以上时进行初始观测；以后每施工完一层观测1次；封顶观测1次；封顶1个月后观测1次；建筑物竣工时观测1次；以后第1个月后观测1次、第3个月后观测1次、第6个月后观测1次、第9个月后观测1次、第12个月后观测1次。
- 预计共观测15次，若施工期间沉降速率过大或竣工后沉降仍未趋于稳定，则按甲方要求适当增加观测次数。

# 沉降观测实施

- 首先对基准网进行了观测，利用普通秩亏平差获得了基准点在其重心坐标系下的高程基准，作为后续观测的依据。按技术要求及其施工进度实施每周期观测。
- 利用经典平差方法进行数据处理，若平差结果显示观测成果合格，则进行沉降观测成果报表。
- 当建筑物竣工验收前对前面所进行的观测进行总结、分析，提交阶段（总结）报告。

# 提供资料要求

- 在沉降监测过程中，施测方在每次观测时将上次观测的成果资料提交给业主方，若发现沉降量或沉降速度过大，则及时报告业主。
- 建筑物竣工时，施测方向业主提交沉降监测阶段报告。
- 建筑物沉降监测工作全部完成后，及时提交沉降监测总结报告，包括下列成果：沉降观测成果表；沉降观测点平面布置图；沉降观测分析报告；点位沉降过程曲线图。

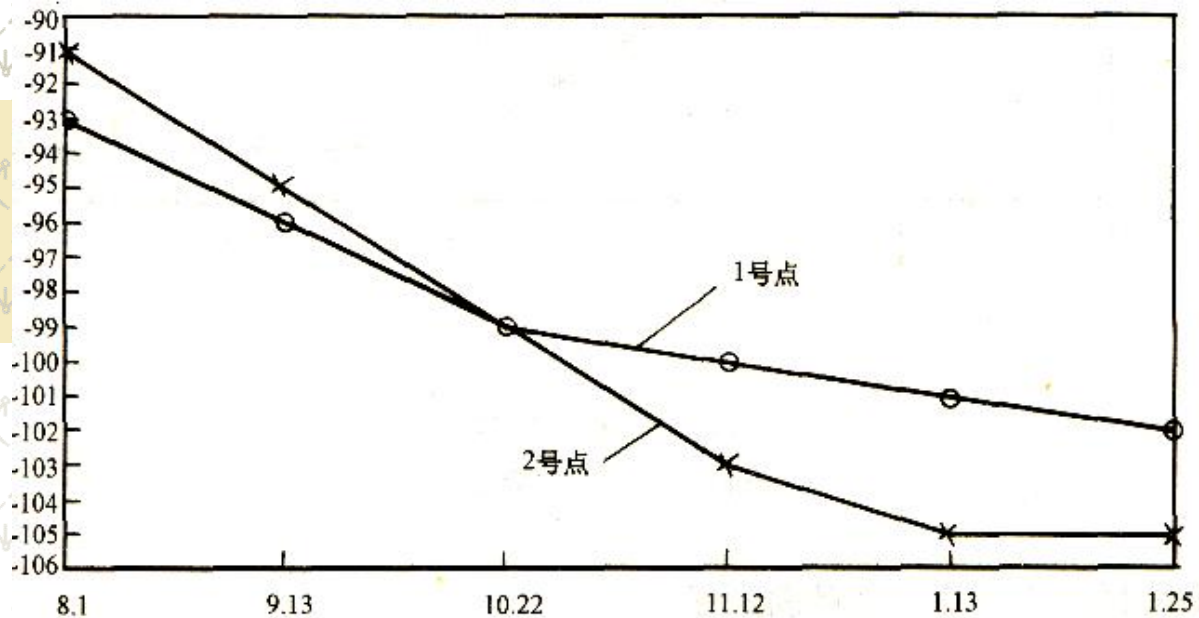
六次沉降监测结果汇总

表 2-6

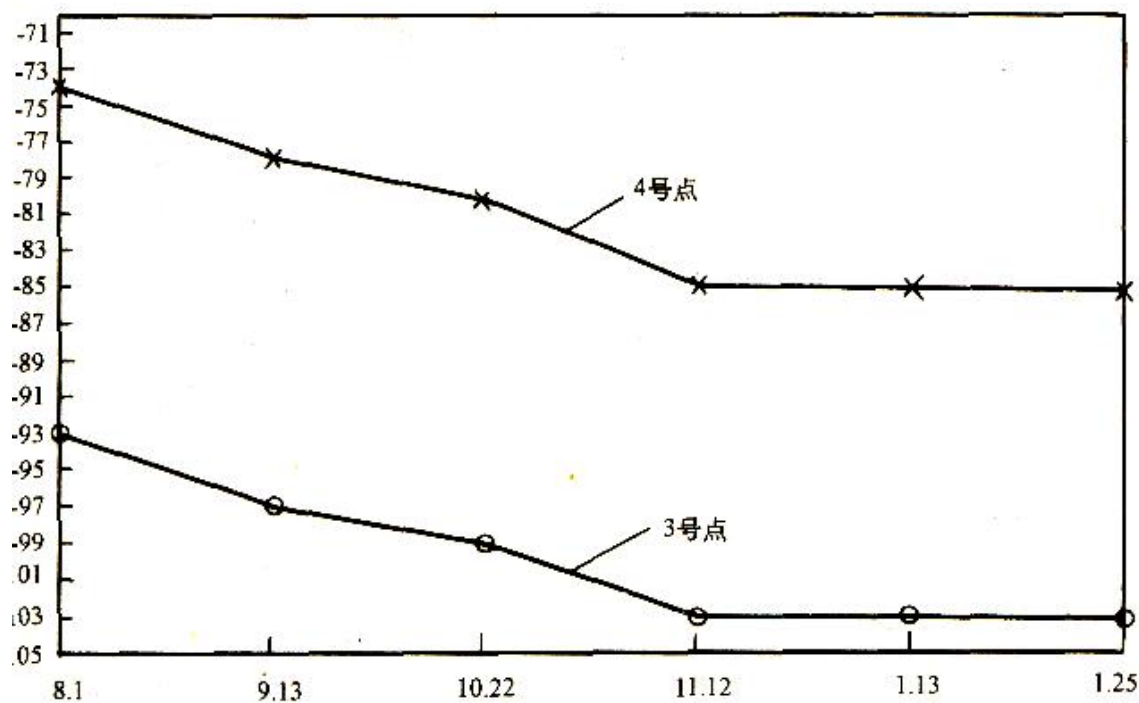
点号	1999年8月10日		1999年9月13日		1999年10月22日		1999年11月12日		2000年1月13日		2000年1月25日	
	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)
1	-29	-93	-3	-96	-3	-99	-1	-100	-1	-101	-1	-102
2	-21	-91	-4	-95	-4	-99	-4	-103	-2	-105	0	-105

点号	1999年8月10日		1999年9月13日		1999年10月22日		1999年11月12日		2000年1月13日		2000年1月25日	
	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)	本次 (mm)	累计 (mm)
3	-10	-93	-4	-97	-2	-99	-4	-103	0	-103	0	-103
4	-11	-74	-4	-78	-2	-80	-5	-85	0	-85	0	-85
5	-17	-77	-6	-83	-3	-86	-3	-89	0	-89	0	-89
6	-9	-86	-5	-91	-2	-93	-5	-98	0	-98	0	-98

# 变形曲线



(a) 1号、2号点沉降曲线



(b) 3号、4号点沉降曲线

## 作业

1. 建筑物变形监测的内容有哪些？
2. 影响测小角法精度的因素有哪些？其中最主要的是什么？设某观测点到端点（置镜点）距离为100m，若要求测定偏离值的精度为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，试问用测小角度法观测时，测量小角度的精度应为多少？若设 $m_v = \frac{60''}{v}$ ，则当采用望远镜放大倍数为30倍的DJ2型精密经纬仪观测时，小角度至少应观测几个测回？
3. 变形网由哪三种点、两种等级的网组成？画图说明。
4. 一般水准点应埋设在冻土线以下多深处？墙上水准点埋设时离开地面高度约多少。为什么？
5. 什么是挠度？挠度是如何计算的？
6. 某仪器水准器的灵敏度为 $\pm 20'' / 2\text{mm}$ ，仪器高1.5m，则对中误差为多少？
7. 建筑物变形监测的周期如何确定？