

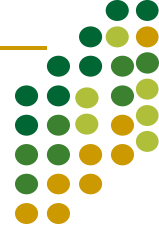


测量学

河海大学的测绘科学与工程学院

何 敏

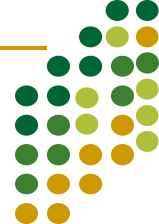
第6节 高程控制测量



1、概述

- 按水准测量的技术要求,建立各级高程控制点(水准点),并测定其平差后的高程。
- 各级水准点是测定高程的依据。
- 目的就是确定高程控制点的高程。
- 方法有水准测量和三角高程。
- 国家高程控制网分为一、二、三、四等。一二等水准网是国家高程控制的基础,三四等加密其中。
- 城市高程控制网分为二、三、四等。

各级高程控制网的技术要求

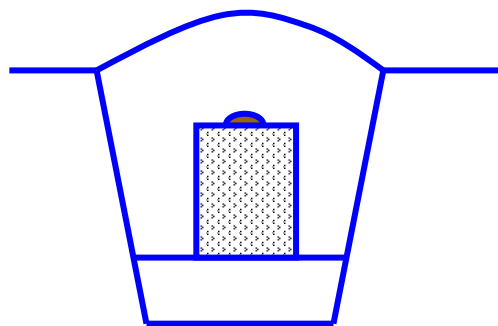


等级	水准仪 觇标 (mm)	水准尺 (km)	仪器精度	观测方法	精度要求		相邻点间高差中误差	
					往返测较差	附和环线闭合差	mm	mm
一等	2	—	DS ₁	水准测量	±0.5	±0.5	$\pm 4\sqrt{L}$	—
二等	6	±50	DS ₁	水准测量	±0.5	±0.5	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 4\sqrt{n}$
			DS ₃	水准测量	±0.5	±0.5		
三等	10	±16	DS ₃	水准测量	±0.5	±0.5	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 6\sqrt{n}$
四等	15	—	DS ₃	水准测量	±0.5	±0.5	$\pm 30\sqrt{L}$	—
五等	20	±5	DS ₁₀	水准测量	±0.5	±0.5	$\pm 40\sqrt{L}$	$\pm 12\sqrt{n}$

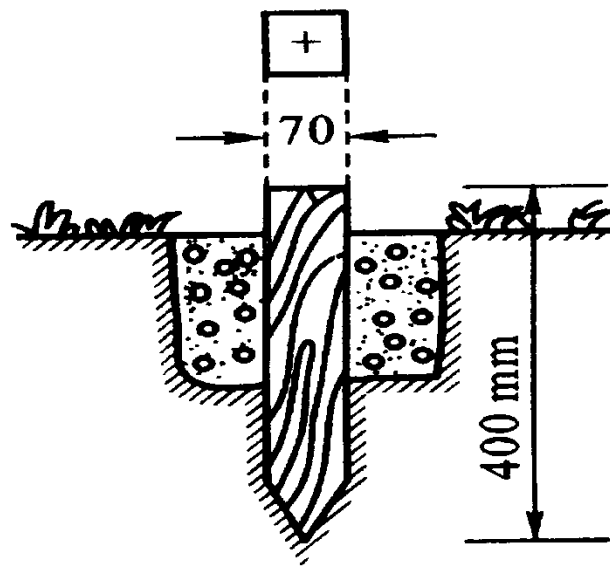
注：1. 结点之间或结点与高级点之间，其路线长度不应大于表中规定的0.7倍；
2. L为往返测段、附和或环线的水准路线长度（km）；n为测站数。

水准点的埋设

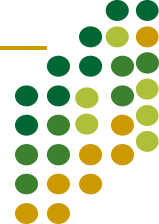
❖ 永久性



❖ 临时性



高程基准点（高程零点）



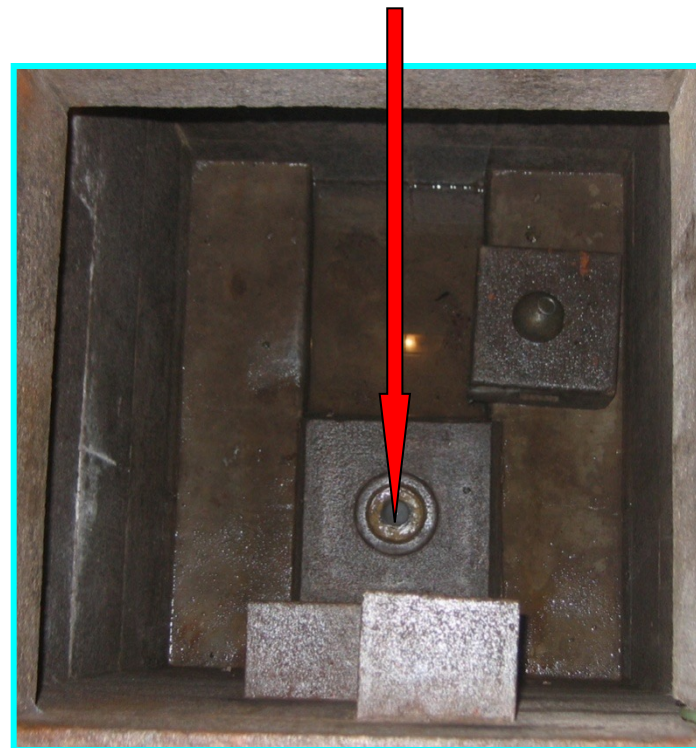
1985年国家高程基准 水准原点高程72.260m
(1987年国务院国测发[1987]198号文批准)

高程系	1985年 国家 高程 基准	1954年 黄海 系	1956年 黄海 高程	废黄河 口系	大沽 零点	吴淞 口高 程	坎门 零点	珠江 高程 系	广州 高程 系
零点差 (m)	0	+ 0.055	- 0.029	- 0.092	- 1.952	+ 1.856	+ 0.231	+ 0.557	- 4.443

我国现常用的高程系统:

1985黄海高程系统

■ 原点: 青岛观象山 $H=72.260$ 米



2、三（四）等水准测量

三（四）等水准测量主要采用“双面水准尺”观测法。仪器精度不低于DS3型的精度。

技术要求：（L、K为路线长度单位为km）

同一根水准尺

两根水准尺间

项目 等级	使用 仪器	高差闭合差的限 差（mm）		视线 长度 （m）	视线 高度	前后 视距 差m	前后 视距 累积 差m	黑红 面读 数差 mm	黑红 面所 测高 差之 差 mm
		附、闭	往、返						
三	DS ₃	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 12\sqrt{K}$	≤ 75	三丝 读数	≤ 2	≤ 5	≤ 2	≤ 3
四	DS ₃	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{K}$	≤ 100	三丝 读数	≤ 5	≤ 10	≤ 3	≤ 5

① 双面尺构造的特点

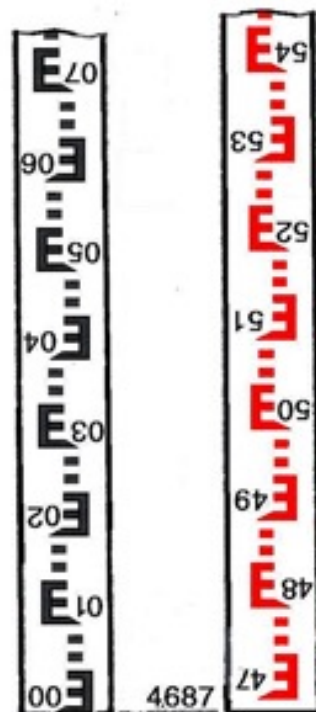
- ❖ 黑面起点0.000和0.000
红面起点4.687和4.787

- ❖ 一个测站上同时测得

黑面高差 $h_{\text{黑}} = a_{\text{黑}} - b_{\text{黑}}$

红面高差 $h_{\text{红}} = a_{\text{红}} - b_{\text{红}}$

$$h_{\text{黑}} = h_{\text{红}} \pm 0.100$$

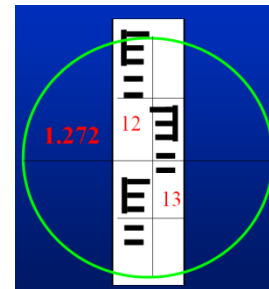


② 一个测站上测量的方法和步

骤四等水准测量为例

□ 选定测站，安置仪器

- 1、视距 $\leq 100\text{m}$
- 2、前后视距差 $\leq 5\text{m}$ （目测或步测）
- 3、三丝均能读数



□ 观测与记录（8个读数）

采用双面水准尺观测法，按“后(黑)、前(黑)、前(红)、后(红)”法读数。

- 读后尺黑面读数：下丝（1），上丝（2），中丝（3）
- 读前尺黑面读数：下丝（4），上丝（5），中丝（6）
- 读前尺红面读数：中丝（7）
- 读后尺红面读数：中丝（8）

□ 计算与校核

读后尺黑面读数：下丝 (1)，上丝 (2)，中丝 (3)

读前尺黑面读数：下丝 (4)，上丝 (5)，中丝 (6)

读前尺红面读数：中丝 (7)

读后尺红面读数：中丝 (8)

□ 视距部分

➤ 后距 (9) = [(1) - (2)] × 100 ≤ 100 m

➤ 前距 (10) = [(4) - (5)] × 100 ≤ 100 m

➤ 后前视距差 (11) = [(9) - (10)] ≤ 5 m

➤ 后前视距差累计 (12) = 本站的 (11) + 前站的 (12) ≤ 10 m

□ 高差部分

➤ 后尺黑红面读数差 (13) = K1 + (3) - (8) ≤ 3 m m

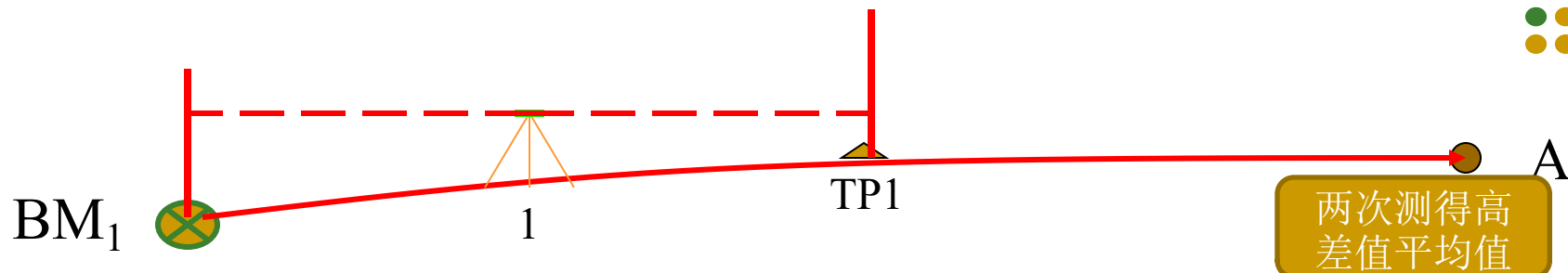
➤ 前尺黑红面读数差 (14) = K2 + (6) - (7) ≤ 3 m m

➤ 黑面高差 (16) = (3) - (6)

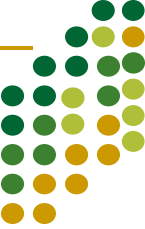
➤ 红面高差 (17) = (8) - (7)

➤ 黑红面高差之差 (15) = [(16) - (17) ± 0.100] = [(13) - (14)] ≤ 5 m m

外业施测（测、记、算、核）



测站	点号	后尺	下	前尺	下	尺号	水准尺中丝读数		K+ 黑— 红	高差 中数
			上		上					
		后距		前距			黑面	红面		
		视距差		累积差						
1	BM1	1.614		0.774		后1	1.384	6.171	0	+0.8325
		1.156		0.326		前2	0.551	5.239	-1	
	TP1	45.8		44.8		K1=4.787	+0.833	+0.932	+1	
		+1.0		+1.0		K2=4.687				

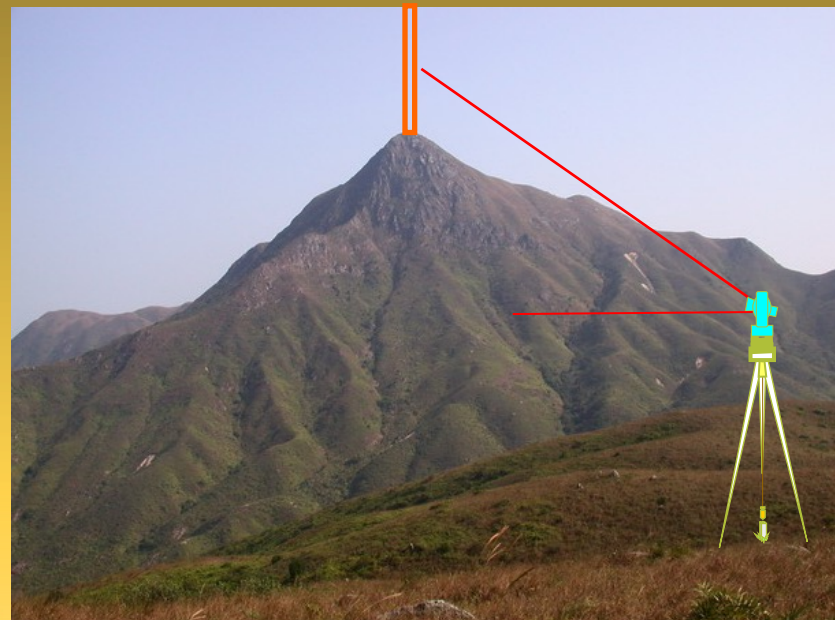
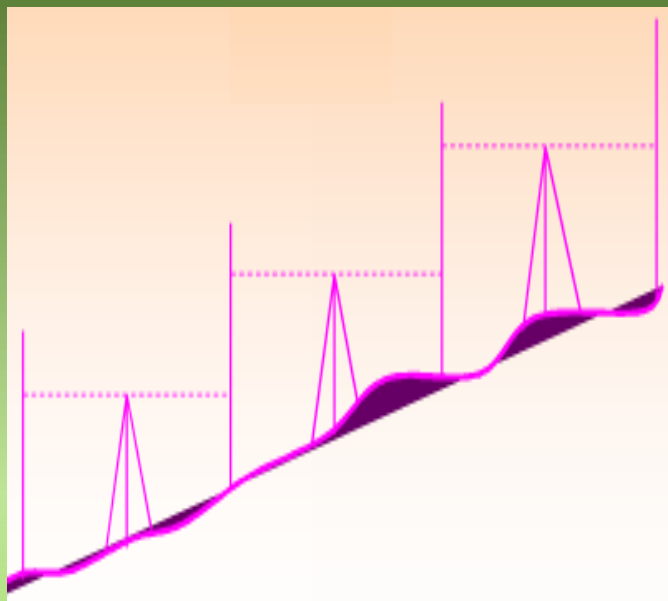
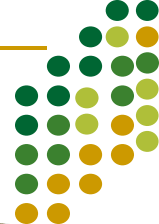


山 密 岸啲職試差第

職玩BM1惋BM2		2002- 12- 12	財職蓋：⊙	踪樣蓋：楷	
榼憐：8：35		汕：11：22	恹鼓：h	侈屏：DS123456	

職騰蔞墜	肚墜	塋毆	仞仔 仞仔	噉毆	仞仔 仞仔	C 墟 塋毆 墜	岸啲毆踴狍 m		K+糅-確 mm	蝕桖伢 狍 m	恹爆
		塋薨 m		噉薨 m			糅曦	確曦			
		塋噉航薨桖 m		落桖桖 m							
		k K S1=100* 1-2 DS=S1-S2	i L S2=100* 4- S=S+DS	塋 噉 塋-噉	┌ └ H1=3-6	┐ └ H2=8-7	G1=K1+3-8 G2=K2+6-7 G1-G2	H= H1+H2± 0.100 /2			
1	BM 1~T 1	1.614	0.774	塋1	1.384	6.171	0	+0.832 5	K1=4.787 K2=4.687		
		1.156	0.326	噉2	0.551	5.239	-1				
		45.8	44.8	塋-噉	0.833	0.932	+1				
		+1.0	+1.0								
2	T1~ T2	2.188	2.252	塋2	1.934	6.622	-1	-0.0740			
		1.682	1.758	噉1	2.008	6.796	-1				
		50.6	49.4	塋-噉	-0.074	-0.174	0				
		+1.2	+2.2								
3	T2~ T3	1.922	2.066	塋1	1.726	6.512	+1	-0.1410			
		1.529	1.668	噉2	1.866	6.554	-1				
		39.3	39.8	塋-噉	-0.140	-0.042	+2				
		-0.5	+1.7								
4	T3~ BM 2	2.041	2.22	塋2	1.832	6.520	-1	-0.1740			
		1.622	1.79	噉1	2.007	6.793	+1				
		41.9	43	塋-噉	-0.175	-0.273	-2				
		-1.1	+0.6								
L ／		C S1=177.6				C 3=6.876 C 8=25.825		C H=+0.4 435			
		C S2=177.0				C 6=6.432 C 7=25.382					
		Sヤ騰=+0.6				C H1=+0.444 C H2=+0.443					
		欽薨筭=354.6				(C H1+C H2)/2=+0.4435					

3、三角高程测量



基本思想：根据由测站向照准点所观测的**垂直角**（或天顶距）和它们之间的**水平距离**，计算测站点与照准点之间的**高差**。
适用于：地形起伏大的地区进行高程控制。

①原理

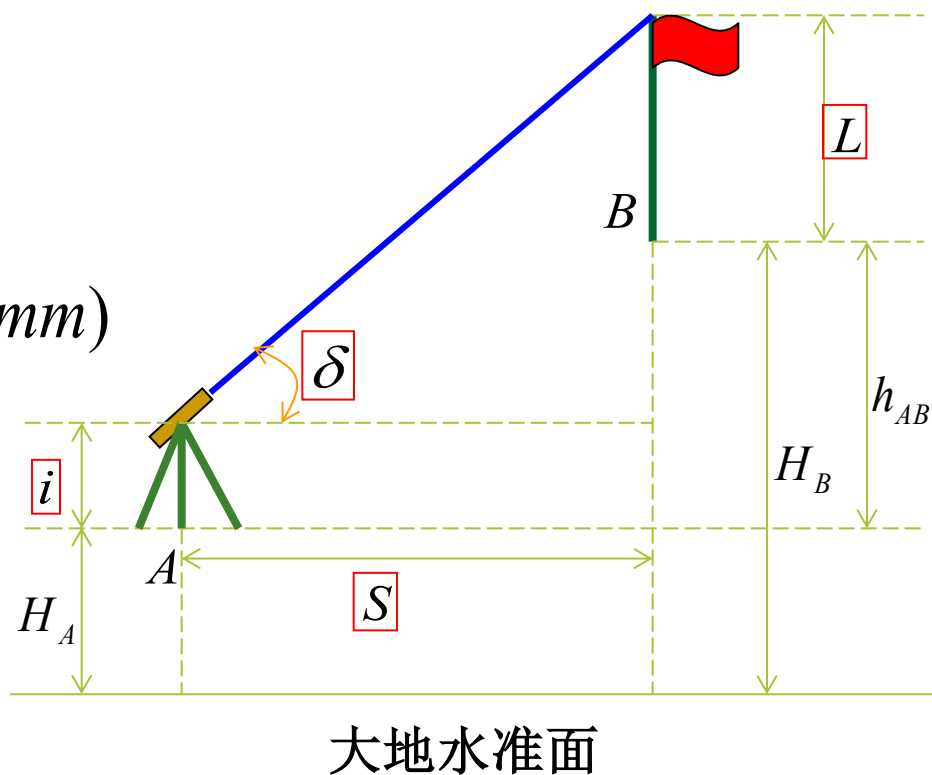
观测值 $i \quad \delta \quad S \quad L$

高差值

$$h_{AB} = S \cdot \tan \delta + i - L$$

$$\Delta h = |h_{\text{后}}| - |h_{\text{前}}| \leq \pm 0.05m \cdot S(mm)$$

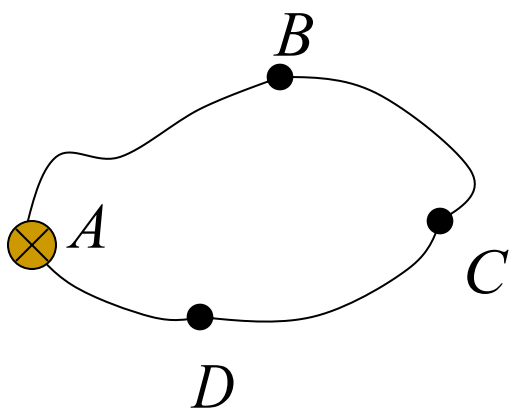
$$h = \frac{1}{2}(h_{\text{后}} - h_{\text{前}})$$
$$= \frac{1}{2}(|h_{\text{正}}| + |h_{\text{反}}|)$$



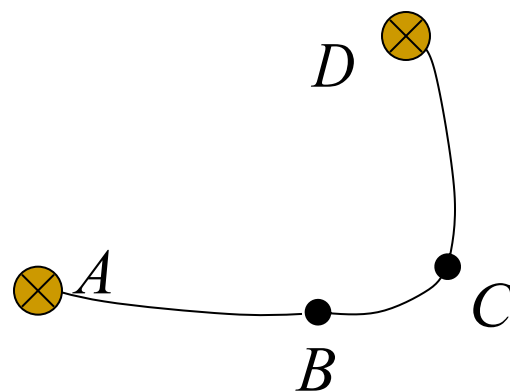
②三角高程的路线

三角高程的路线

{ 附和路线
闭合路线



闭合路线



附和路线

③三角高程路线计算

■ 计算高差闭合差

理论:

$$\left(\sum h_i\right)_{\text{理论}}$$

实际:

$$\sum h_i$$

高差闭合差 $f = \sum h_i - \left(\sum h_i\right)_{\text{理论}}$

■ 计算高差改正数 (闭合差的分配)

$$v_i = \frac{-f_h}{\sum S} \cdot S_i$$

v_i : 第*i*站高差改正数

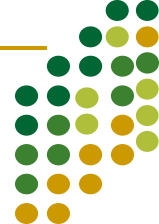
S_i : 第*i*站视距

$$\hat{h}_i = h_i + v_i$$

$\sum S$: 各站视距之和

■ 计算高程

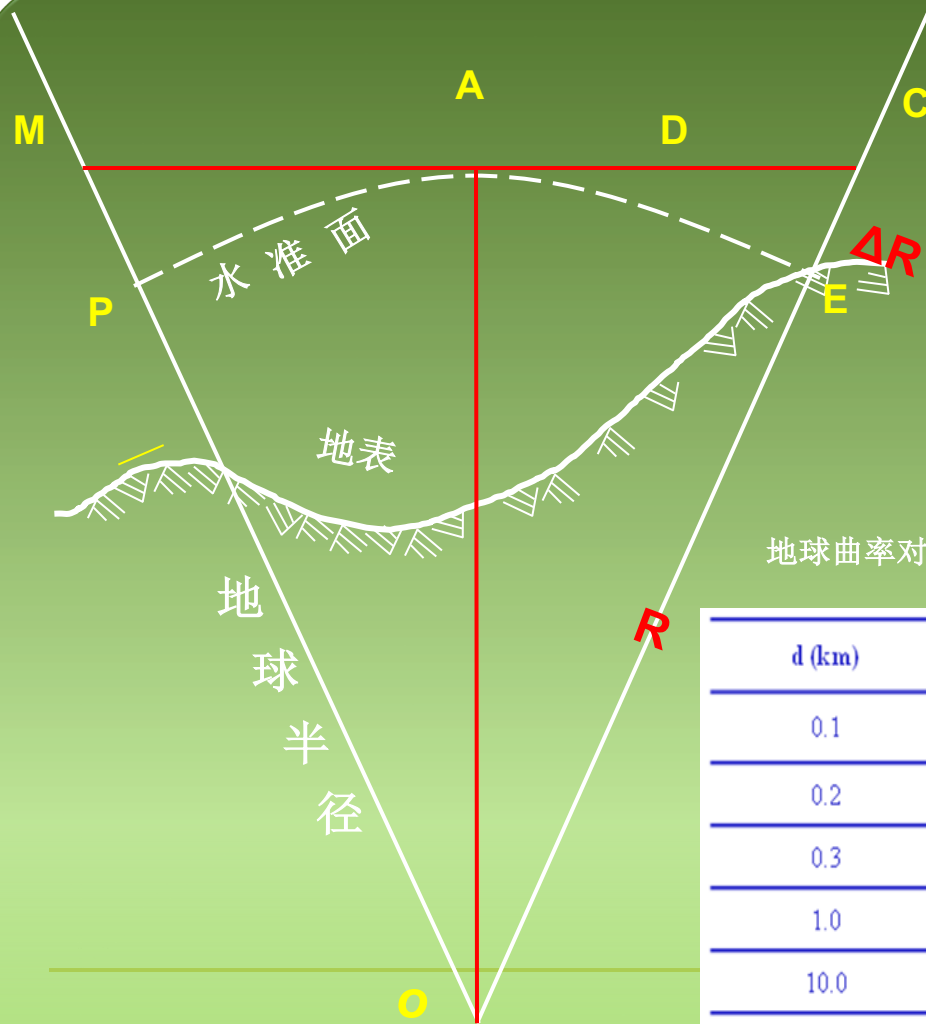
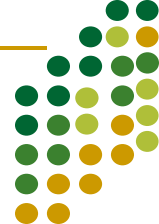
④球气差改正



□当两点间距离大于300m时，要考虑地球曲率及大气垂直折光的影响。前者为地球曲率差，简称球差（ p ），后者为大气垂直折光差，简称气差（ r ）。

□施测仅从A点向B点观测称为单向观测，如果不仅由A向B，且由B向A称为对向观测。对向观测可自行消减地球曲率和大气垂直折光的影响，且观测视线应高出地面障碍物1m以上。

地球曲率对高程的影响



$$OC^2 = AO^2 + AC^2$$



$$(R + \Delta R)^2 = R^2 + D^2$$



$$\Delta R^2 + 2R \cdot \Delta R = D^2$$



$$D^2 = 2R \cdot \Delta R$$



$$\Delta R = D^2 / 2R$$

大气折光对高程的影响



$$r = -\frac{S^2 k}{2R}$$

球气差影响

$$f = p + r = \frac{S^2}{2R} - \frac{S^2 k}{2R} = \frac{S^2 (1 - k)}{2R}$$

⑤三角高程测量观测和计算



1、步骤：①仪器对重整平，量取仪器高和目标高。

②观测竖直角N个测回。测出斜距。

2、计算：也布设成**闭合**和**附和**的形式

三角高程测量计算表

起算点 未知点	A B	
往返测 平距D或斜距S	往测 543.21	返测 543.21
竖直角	$-2^{\circ}32'56''$	$+2^{\circ}28'14''$
$D \cdot \tan \alpha$ 或 $S \cdot \sin \alpha$	-24.18	+23.44
仪器高	+1.45	+1.43
目标高	+1.10	+1.10
球气差	+0.02	+0.02
单向高差	-23.81	+23.79
平均高差	-23.80	



第六章 知识点小结（**考查重点**）

平面控制：

概念：直线定向、坐标方位角、坐标正反算、三种交汇定点方法。

计算：坐标方位角的推算、坐标增量与方位角的关系、**导线内业计算（闭合、附和）**

高程控制：

四等水准测量：技术指标，一测站的观测顺序、观测内容、计算与检核

三角高程测量：理解基本原理、知道球气差