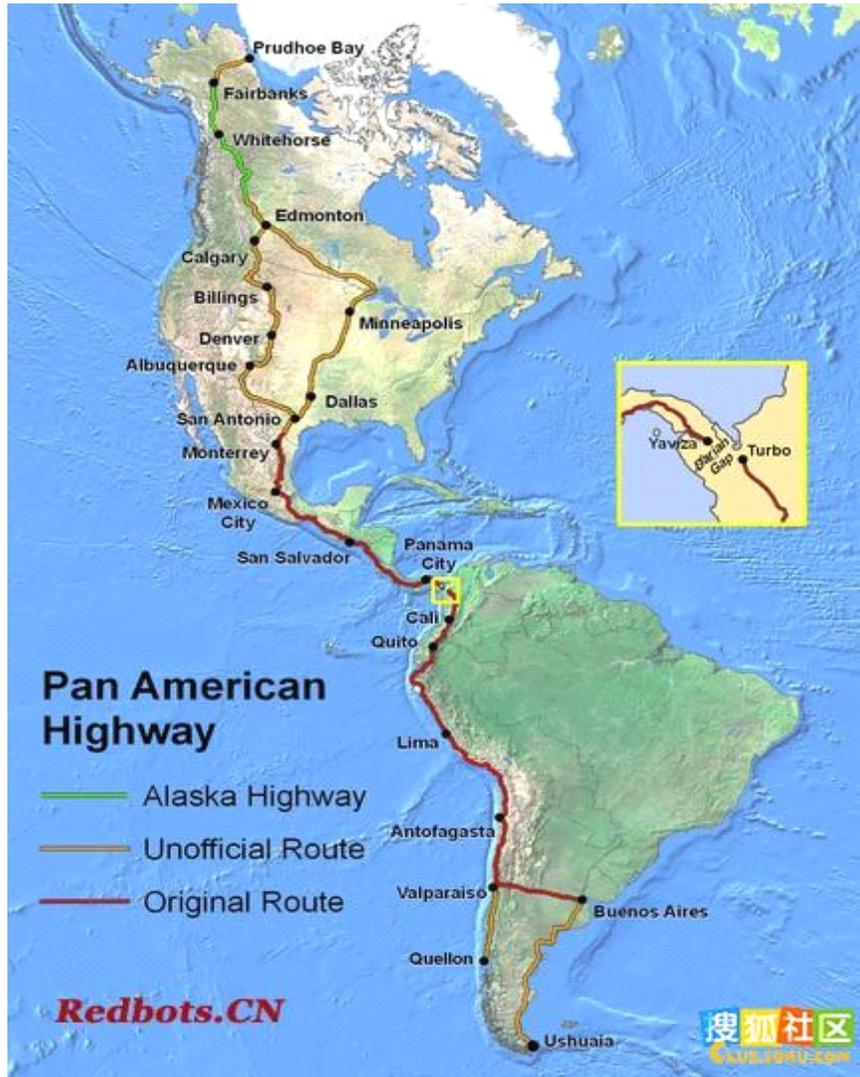


第十章 路、桥工程测量



世界上最长的公路是泛美公路，全长47515千米，把北美洲和南美洲连接起来。

川藏（成都至拉萨）公路全长2413公里，是目前我国里程最长的高原公路，也是世界上最为险峻的公路之一。

1954年建成通车的川藏公路，翻越二郎山、折多山、雀儿山、横断山等4000米以上山峰14座，先后跨越大渡河、金沙江、澜沧江、怒江等10多条水流湍急的河流，其建设难度在我国公路建设史上罕见。





2008.5.1, 我国自行设计、建造和管理的世界最长跨海大桥—杭州湾跨海大桥全线通车。杭州湾跨海大桥北起嘉兴市海盐郑家埭, 跨越杭州湾海域, 止于宁波市慈溪水路湾, 全长36公里。作为国道主干线—沈海高速跨越杭州湾的便捷通道, 大桥将缩短宁波至上间的陆路距离120余公里。 **预算118亿, 总投资160亿。总工期从2003.11.14—2008.5.1近5年。**

巴林-沙特
阿拉伯跨海大桥，世
界上第二长的海面高
架跨海大桥，全长25
公里。整个工程总费
用近10亿美元，建设
工期历时5年零两个
月，于1986年11月正
式通车。



§ 10-1 道路工程测量概述

线路在勘测设计阶段的测量工作，称为线路测量。

- 1.初测——在路线可能范围内，测回带状地形图、纵断面图，收集地质、水文等资料，为初步设计提供依据。
- 2.定测——在选定设计方案的路线上进行中线测量、纵、横断面测量、带状地形图测绘。

3.里程——从线路起点沿线路经过的长度，称为里程；把里程表示为整公里数+不足整公里米数的形式以区别线路上不同的点，称为里程桩号，例如：K4+100。里程桩分整桩和加桩。整桩是由线路起点开始，每隔20m或50m设置一桩，加桩分

地形加桩、地物加桩、曲线加桩和关系加桩(图10-1. b. c)，其中曲线加桩是指线路上的转折点(ZD)和交点(JD)桩。

桩位缩写见表10-1

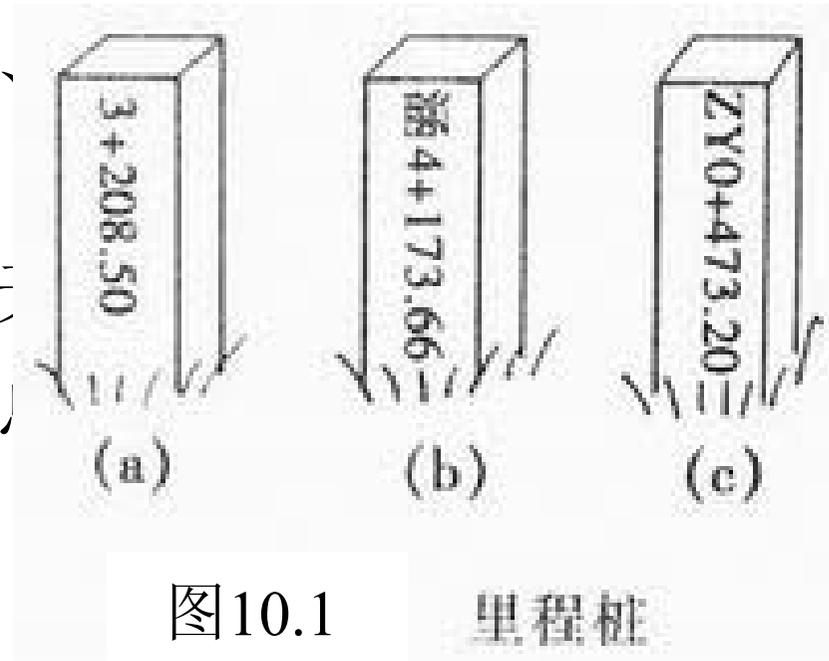


图10.1 里程桩

表10-1 公路桩位汉语拼音缩写

标志名称	简称	汉语拼音缩写	英语缩写
交点		JD	IP
转点		ZD	TP
圆曲线起点	直圆点	ZY	BC
圆曲线中点	曲中点	QZ	MC
圆曲线终点	圆直点	YZ	EC
公切点		GQ	CP
第一缓和曲线起点	直缓点	ZH	TS
第一缓和曲线终点	缓圆点	HY	SC
第二缓和曲线起点	圆缓点	YH	CS
第二缓和曲线终点	缓直点	HZ	ST

§ 10-2 道路中线测量

中线测量是通过直线和曲线的测设，将道路中心线具体测设到地面上，它包括：中线各交点(JD)和转点(ZD)测设，量距和钉桩，测量路线各偏角(α)，测设圆曲线等。

1. 交点测设

交点可根据与地物关系测设（图10.2），也可根据与导线点关系用极坐标法、交会法、支距法等确定（图10.3）。

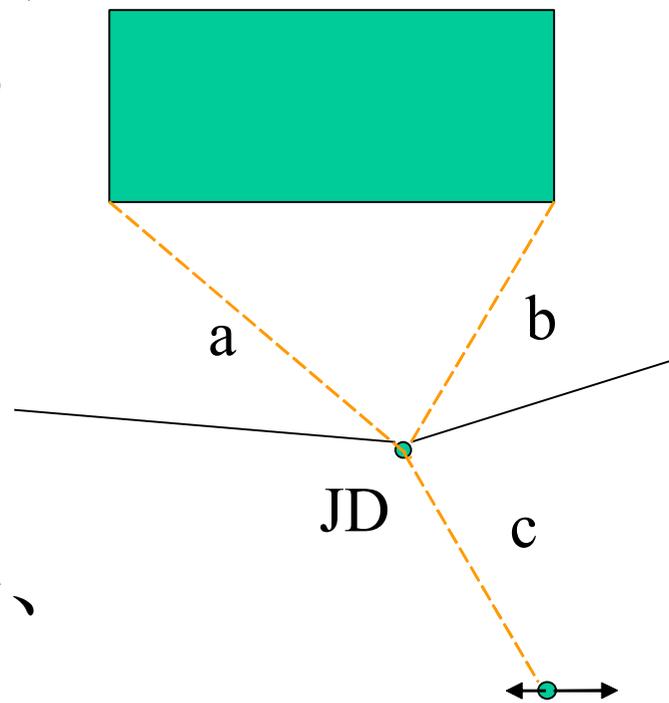


图10.2 根据地物测设交点

$$s = \sqrt{(x_p - x_a)^2 + (y_p - y_a)^2}$$

$$\alpha_{ap} = \arctan \frac{y_p - y_a}{x_p - x_a}$$

$$\beta = \alpha_{ap} - \alpha_{ab}$$

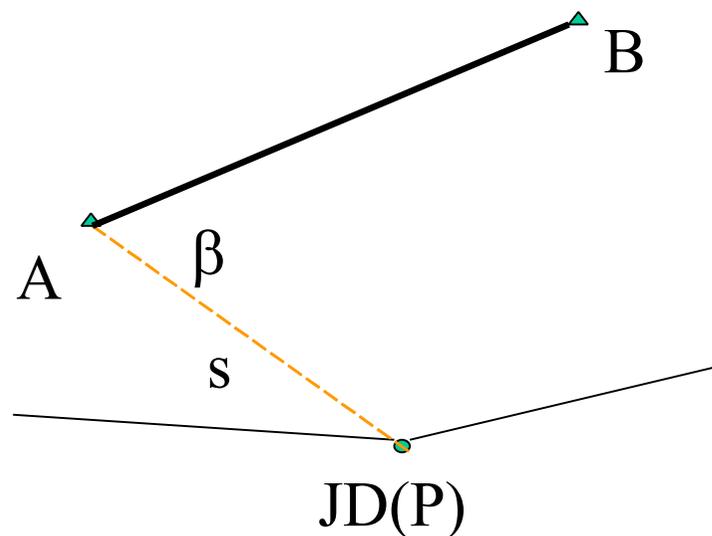


图10.3 极坐标测设交点

还可用穿线法测
设交点见图10.4

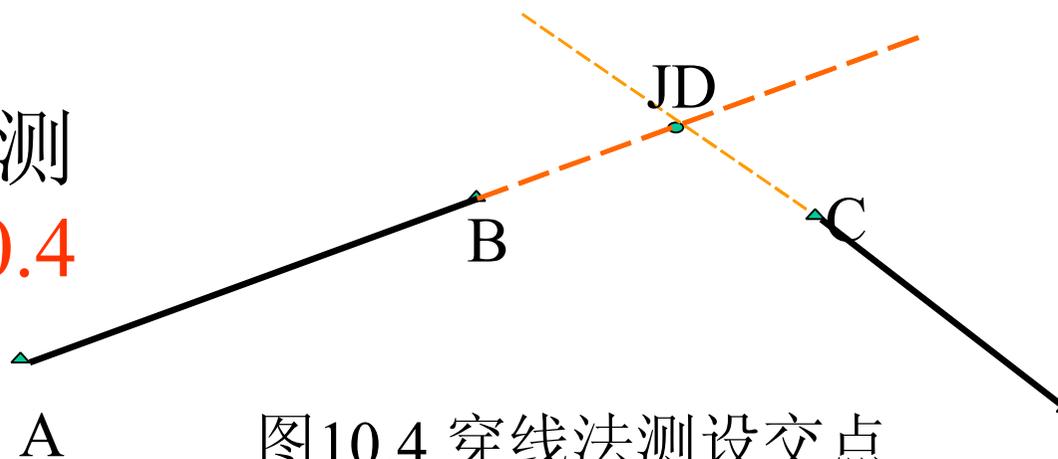


图10.4 穿线法测设交点

2.转点测设

转点可采用经纬仪直接定线或经纬仪正倒镜分布法测设。

1) 两交点间设转点
见图10.5

$$e = \frac{a}{a+b} \cdot f$$

2) 在两交点延长线上设转点见教材

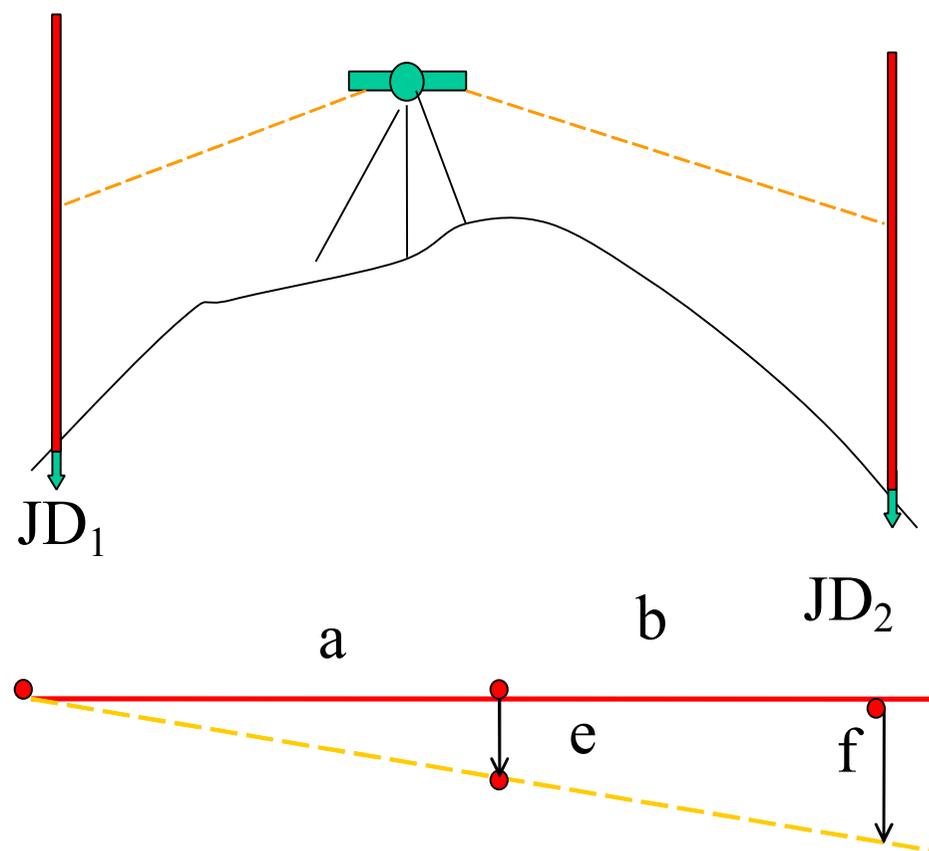


图10.5 两交点间设转点

3. 路线转折角的测定

见图10.6

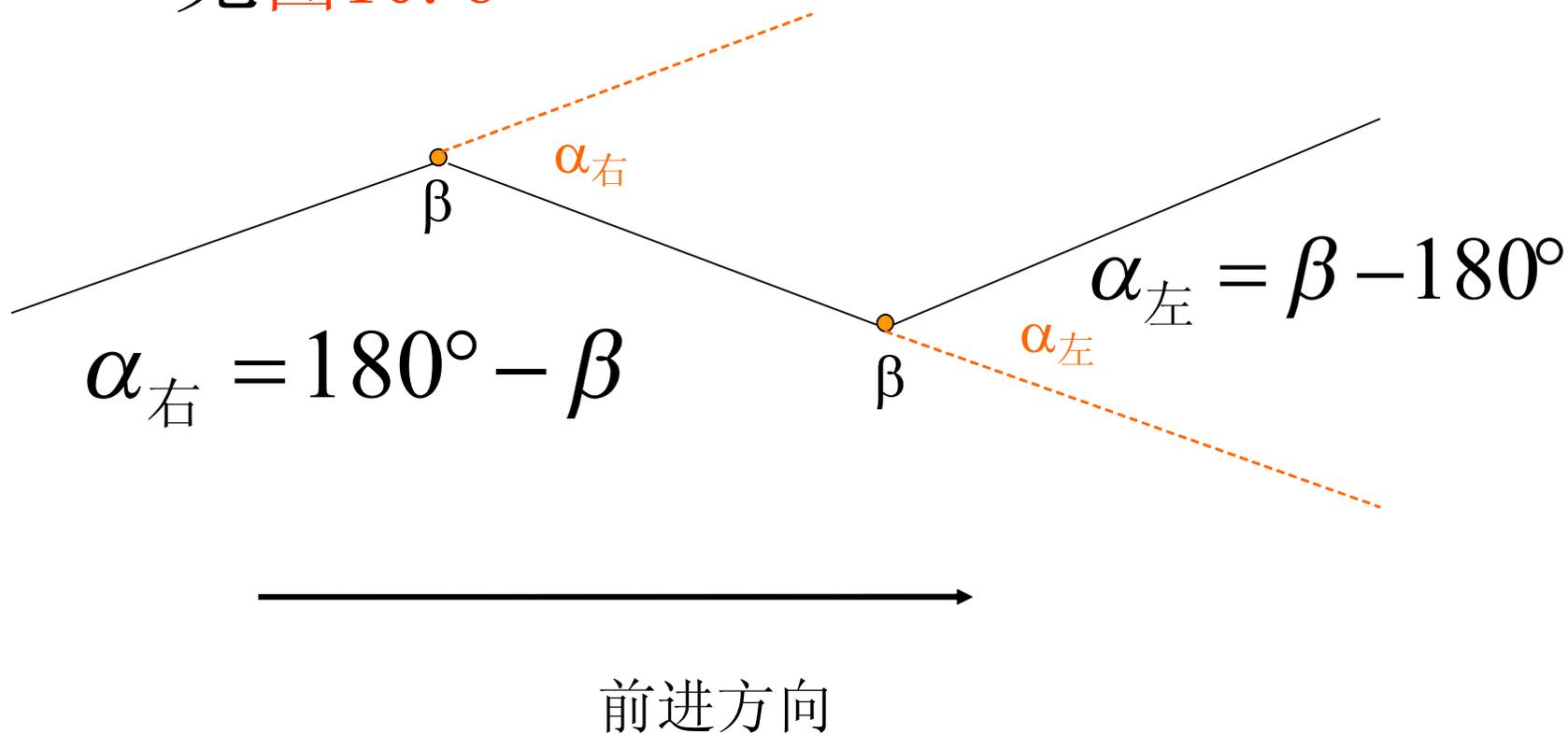


图10.6 路线转角

§ 10-3 道路圆曲线的测设

一、圆曲线主点的测设

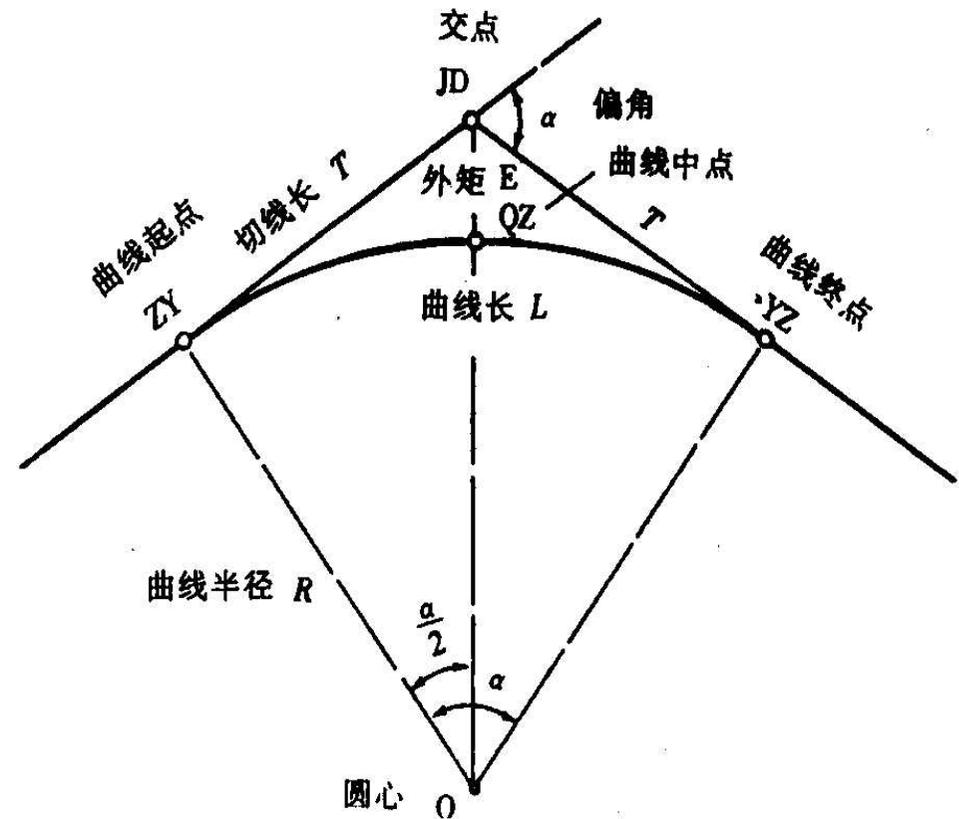
(一)、主点测设元素的计算

$$T = R \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$L = R \alpha^{\circ} \frac{\pi}{180}$$

$$E = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

$$J = 2T - L$$



(二)、主点桩号的计算

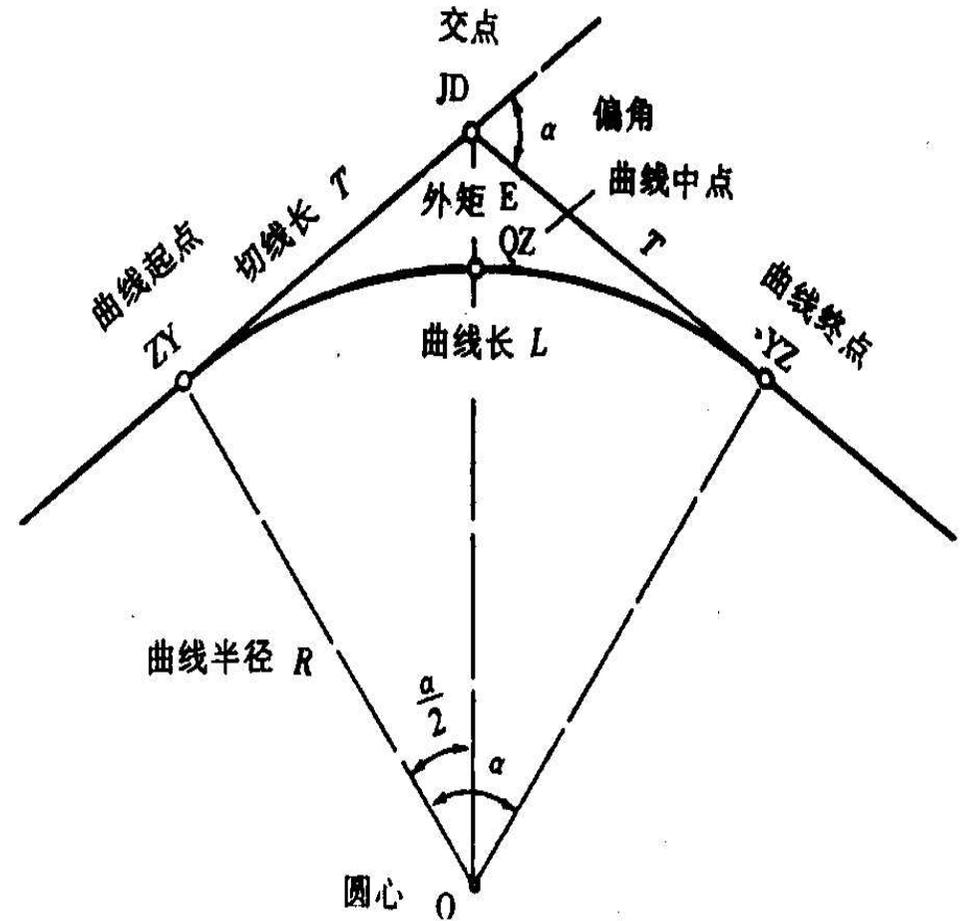
$$ZY\text{桩号} = JD\text{桩号} - T$$

$$QZ\text{桩号} = ZY\text{桩号} + \frac{L}{2}$$

$$YZ\text{桩号} = QZ\text{桩号} + \frac{L}{2}$$

检核

$$YZ\text{桩号} = JD\text{桩号} + T - J$$



(三) 主点的测设

1. 曲线起点的测设

经纬仪安置在JD点，后视相邻交点，量切线长T，即为ZY点。

2. 曲线终点的测设

经纬仪，前视相邻交点，量切线长T，即为YZ点。

3. 曲线中点的测设

测定路线转折角的分角线方向(曲线中点方向)，量外距E，即为QZ点

二、圆曲线详细

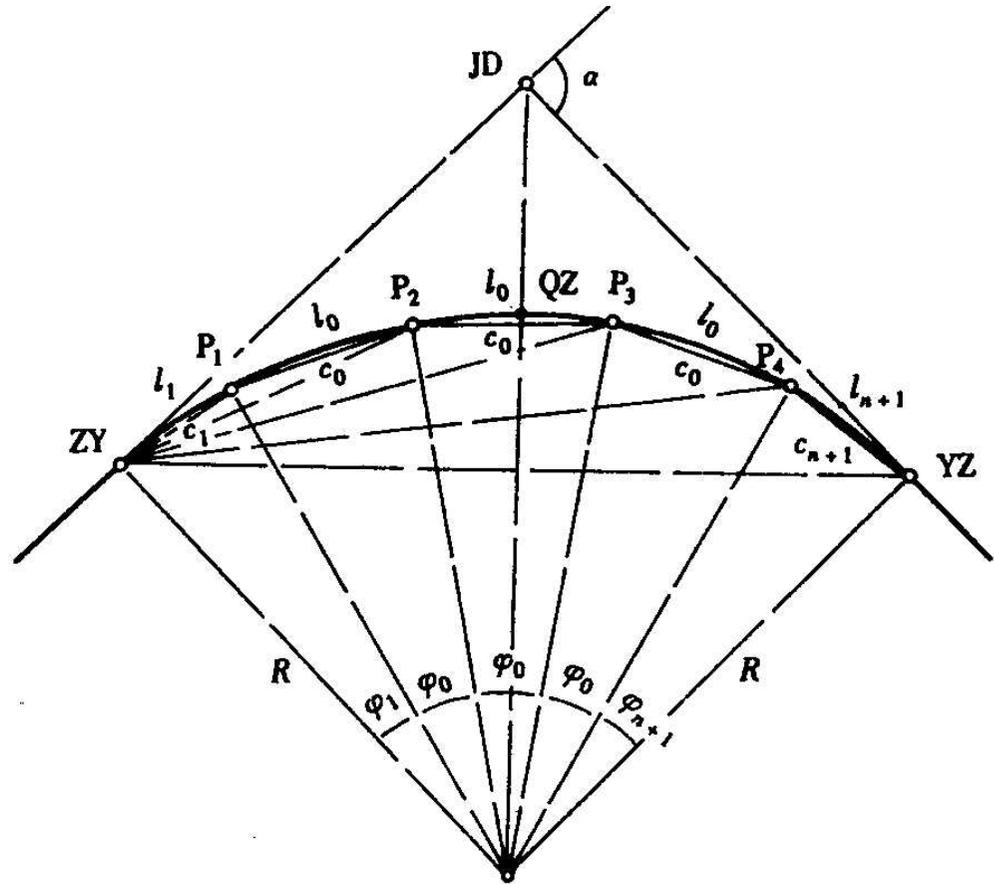
最常用的方法有偏角法、切线支距法
(直角坐标法)等

(一) 偏角法

(1) 偏角计算

$$\begin{aligned}\Delta i &= \phi_i / 2 \\ &= li / 2R\rho\end{aligned}$$

(Δi 为圆曲线第*i*个
桩点的偏角, ϕ_i
为圆心角, li 为 ϕ_i 所对的相应弧长)



(2) 偏角法测设过程:

①在ZY点安置经纬仪（对中、整平），用盘左瞄准JD，将水平度盘的读数配到 $0^{\circ}00'00''$ ；

②转动照准部到度盘读数为 $\Delta 1$ ，从ZY点量取C，定出1点；

③转动照准部到度盘读数为 Δi ，从第 $i-1$ 点量取C，与此方向交出第 i 点；

④检核，观测者将水平度盘读数放到 $\alpha/4$ 时，应能看到QZ桩；将水平度盘读数放到 $\alpha/2$ 时，应能看到YZ桩，可用 $\alpha/2$ 及 $1n$ 所对弦长 C_n 进行检核其闭合差为：半径方向横向应小于 $\pm 0.1m$ ，切线方向(纵向)应小于 $\pm L/1000$ 。(L为曲线长)

(二) 切线支距法(直角坐标法)

(1) 坐标计算

选以ZY原点，其切线指向JD方向为X轴，其垂线指向圆心方

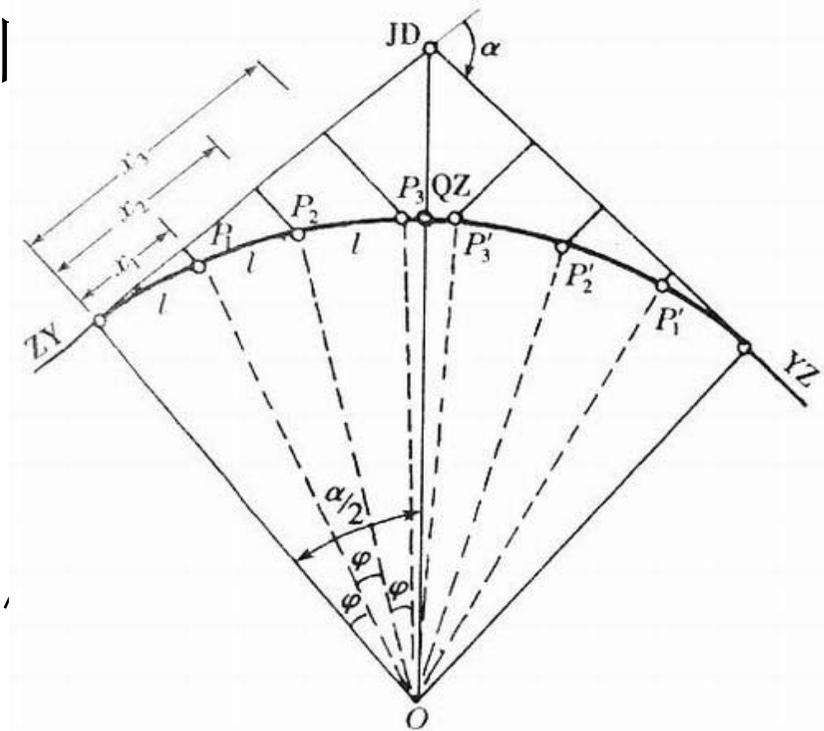
Y轴，建立局部坐标系

则 $X_i = R \cdot \sin \phi_i$

$$Y_i = R \cdot (1 - \cos \phi_i)$$

式中: $\phi_i = l_i / R \cdot 180^\circ$,

$$(i=1, 2, 3 \dots)$$



切线支距法测设圆曲线

(2) 直角坐标法放样过程:

①从ZY点沿切线方向量取 X_i ，
自此点沿垂直方向量取 Y_i ，定出1点

②重复依次定出*i*点

③检查 用此法测定QZ点与预先测定的QZ点应相符，作为检核。

此法适宜于平坦开阔地区，使用工具简单，且测设点位误差不累积等优点。

详细测设的两种方法对比见表

已知参数	偏角 $10^{\circ} 49'$	$JD_{\text{里程}}=522.31\text{m}$	设计半径 $R=1200\text{m}$	整桩间距		
特征参数	切线 $T=113.61\text{m}$	外矢距 $E=5.37\text{m}$	弧长 $L=226.54\text{m}$	$\lambda_0 = 20\text{m}$ 切曲差 $D=0.68\text{m}$		
主点里程	$ZY_{\text{里程}}=K4+408.70$	$QZ_{\text{里程}}=K4+521.97$	$YZ_{\text{里程}}=K4-635.24$	$JD_{\text{里程}}=K4+522.31$ (检核)		
详细测设参数			切线支距法 原点: ZY x 轴: ZY-JD	偏角法 测站: ZY 起始方向: ZY-JD		
点名	桩号里程 (km+m)	累计弧长 (m)	切线支距法		偏角法	
			X(m)	Y(m)	$\theta (^{\circ} ' '')$	$d(\text{m})$
ZY	K4+408.70	0	0	0		
1	K4+420.00	11.30	11.30	0.05	0 16 11	11.29
2	K4+440.00	31.30	31.30	0.41	0 44 49	31.29
3	K4+460.00	51.30	51.28	1.10	1 13 28	51.29
4	K4+480.00	71.30	71.26	2.18	1 42 07	71.28
5	K4+500.00	91.30	91.21	3.47	2 10 46	91.27
6	K4+520.00	111.30	111.14	5.16	2 39 25	111.25
QZ	K4+521.97	113.27	113.10	5.34	2 42 15	113.22



三、圆曲线遇到障碍时的测设

当受地形条件限制，在交点和曲线起点不能安置仪器或视线受阻时，圆曲线的测设不能按常规方法进行，可根据现场情况，采用相应的方法。

§ 10-4 缓和曲线的测设

为了保障车辆行驶安全，在直线与圆曲线之间加入一段半径由 ∞ 逐渐变化到R的曲线，这种曲线称为缓和曲线。

目前常用的缓和曲线多为螺旋线，它有一个特性，曲率半径 ρ 与曲线长度 l 成反比。若缓和曲线长度为 l_0 ，与它相连的圆曲线半径为R，则数学表达式为：

$$\rho \cdot l = R \cdot l_0 = c \quad (c \text{为常数})$$

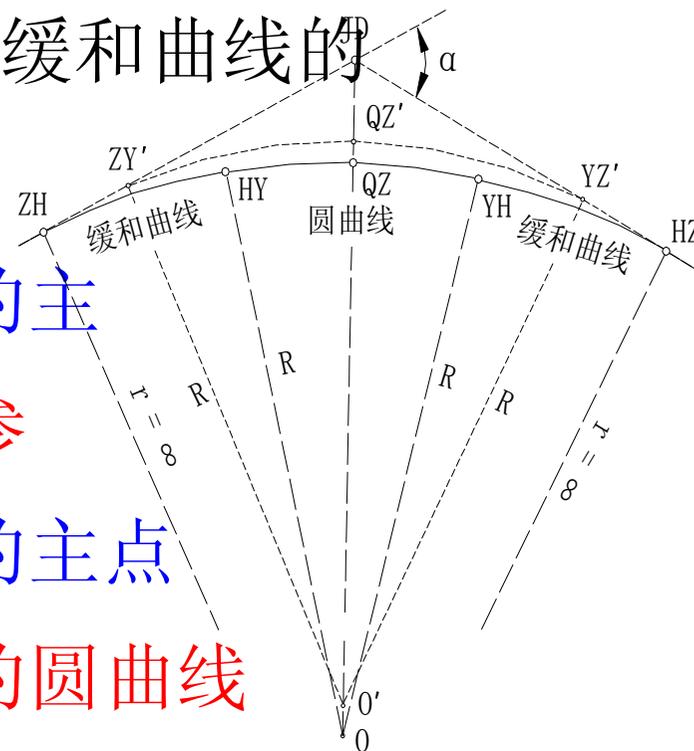
$$\rho \cdot l = R \cdot l_0 = c \quad (c \text{ 为常数})$$

目前我国公路采用 $c = 0.035V^3$ (V 为车速, 单位为 km/h), 铁路采用 $c = 0.09808V^3$, 则公路缓和曲线的长度为: $l_0 = 0.035V^3/R$, 铁路缓和曲线的

长度为: $l_0 = 0.09808V^3/R$ 。

带缓和曲线的圆曲线的主点及主元素的计算、缓和曲线参数推导、带缓和曲线的圆曲线的主点桩号计算及检核、带缓和曲线的圆曲线

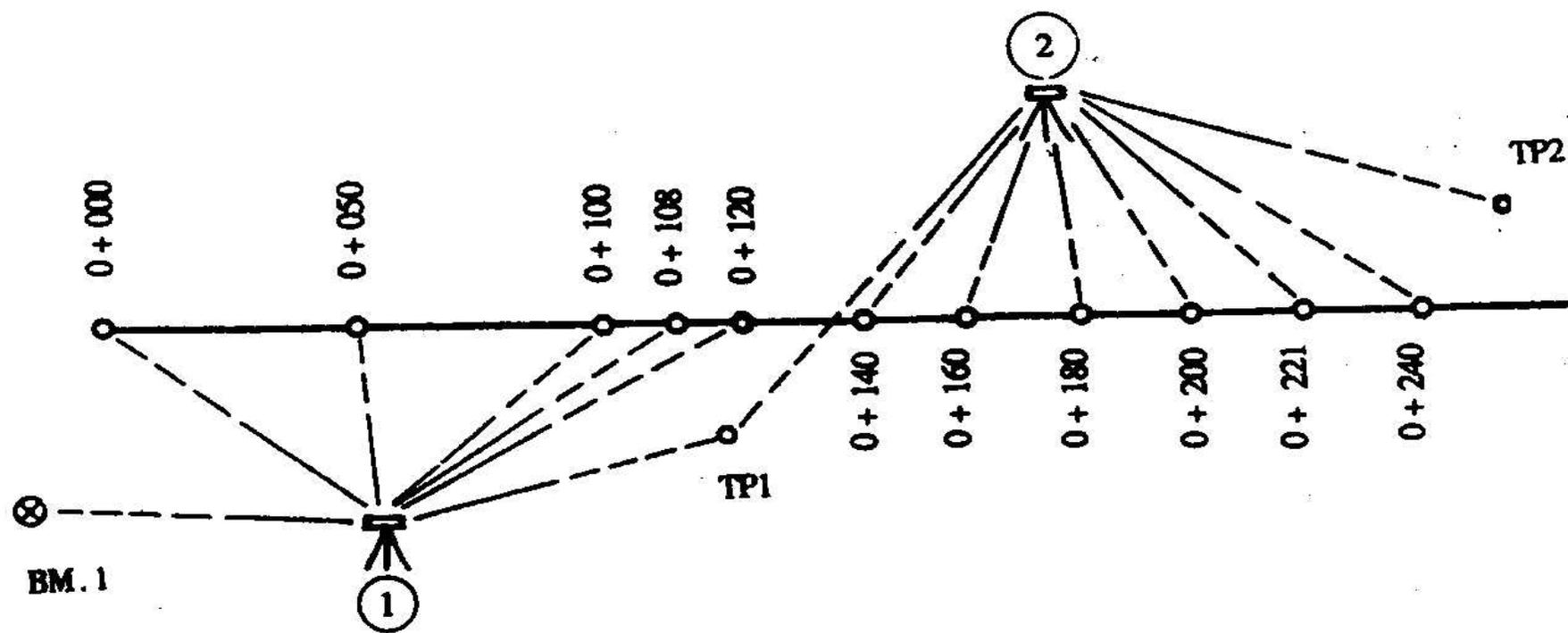
的主点的测设过程、带缓和曲线的圆曲线中桩的测设方法请大家请阅读教材, 以后有用。



§ 10-5 路线纵、横断面测量

一、路线纵断面测量

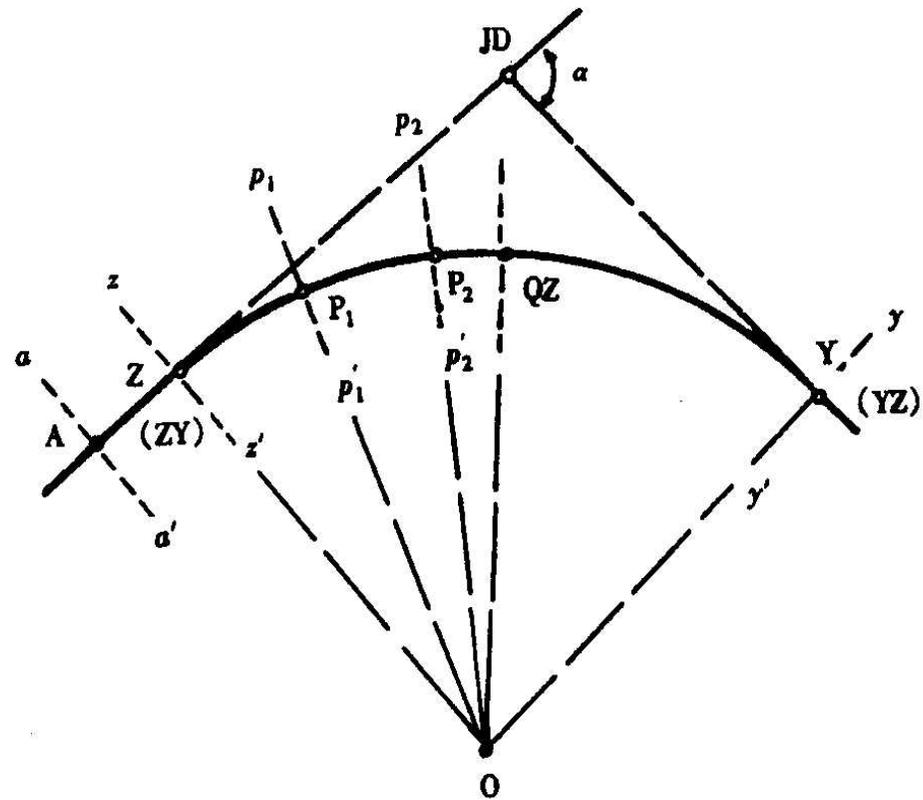
- (一) 基平测量——控制测量（同四等水准测量）
- (二) 中平测量——逐个测定中桩的地面高程



二、路线横断面测量

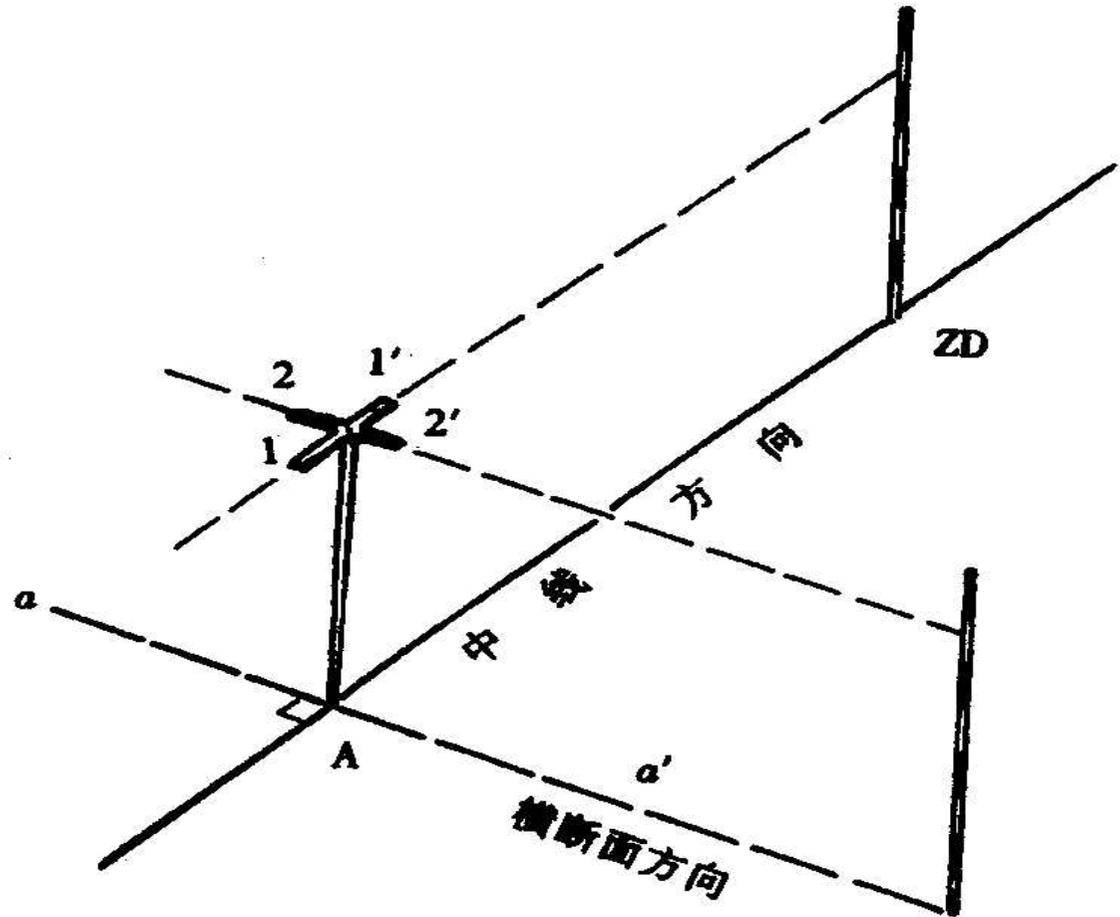
任务：在各中心桩处测定垂直于中线方向的地面起伏，然后绘成横断面图，是横断面设计、土石方等工程量计算和施工时确定断面填挖边界的依据。

横断面测量，根据实际工程要求和地形情况确定一般在15—50m，距离和高差分别准确0.1m和0.05m即可满足要求。

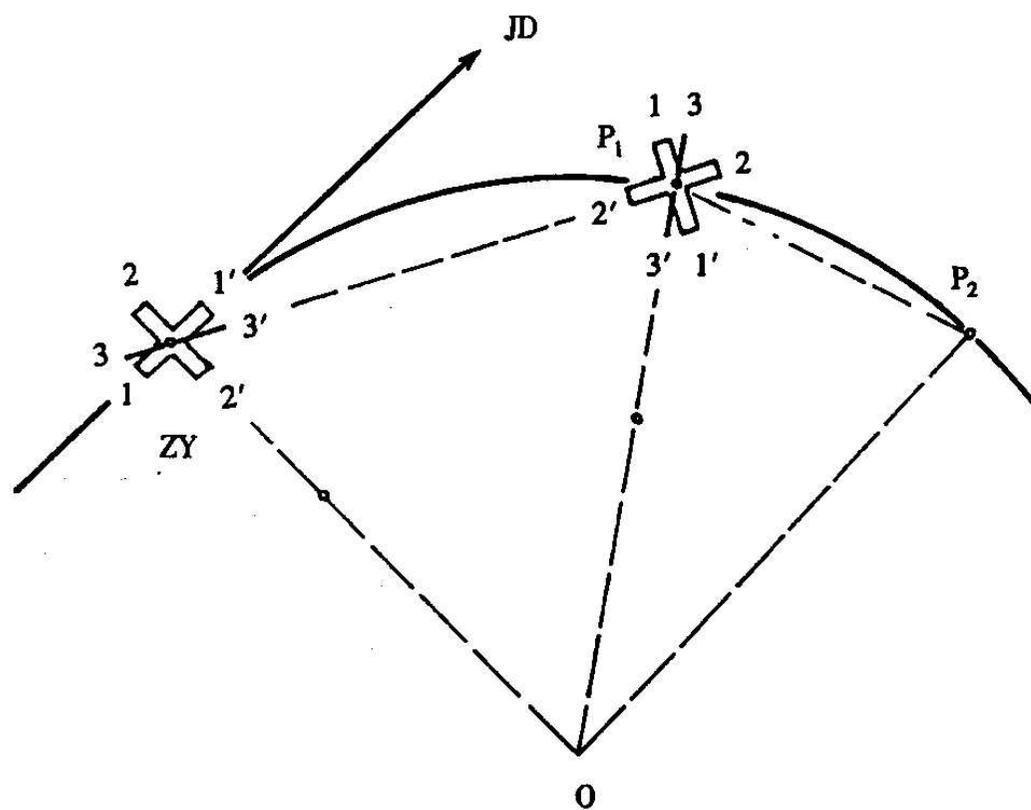
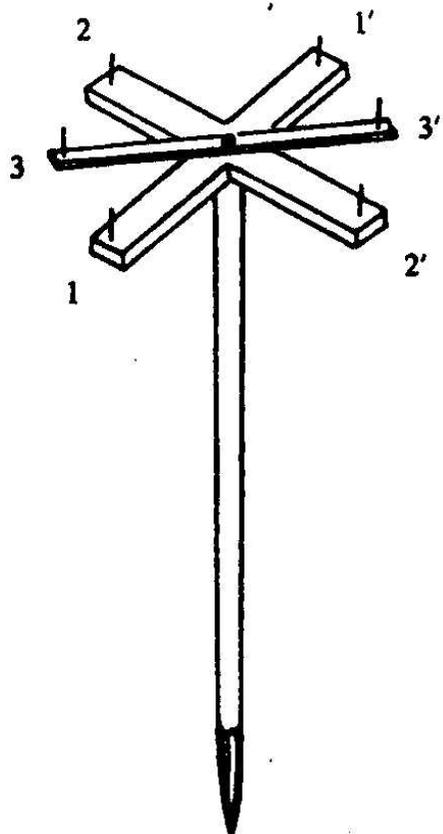


(一) 测设横断面方向

直线段上的横断面方向，是与线路中线向垂直的方向。曲线上的横断面方向是与曲线的切线相垂直的方向。



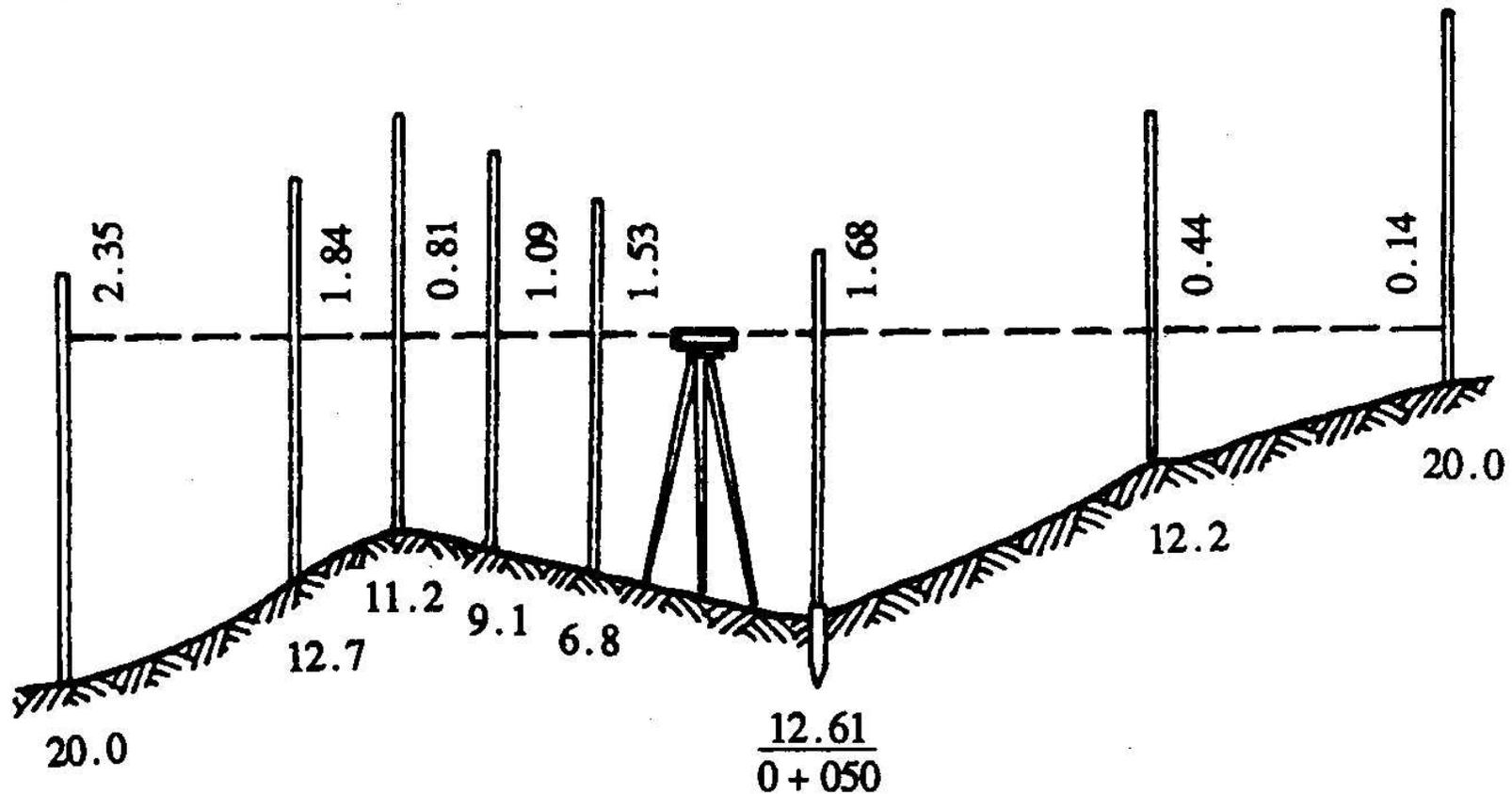
用方向架定横断面方向



(二) 测定横断面上点位

中桩的地面高程测出，只要测量出各地形特征点相对于中线桩的平距和高差，就可以确定其点位和高程，平距和高差可用下述方法

1. 水准仪皮尺法



表示方法:

$$\frac{\text{相邻点高差}}{\text{相邻点距离}}$$

左 侧				桩 号	右 侧			
$\frac{-0.6}{3.5}$	$\frac{+2.8}{14.7}$	$\frac{+1.9}{7.9}$	$\frac{-1.1}{5.1}$	82K=080	$\frac{+0.8}{4.5}$	$\frac{+0.9}{4.8}$	$\frac{+2.5}{125}$	$\frac{+0.5}{10.3}$

用全站仪测量数据见表

表 横断面数据文件(纬地格式)

里程数

左横断面测点个数 相对前点距离 相对前点高差 (m)

右横断面测点个数 相对前点距离 相对前点高差

(m)

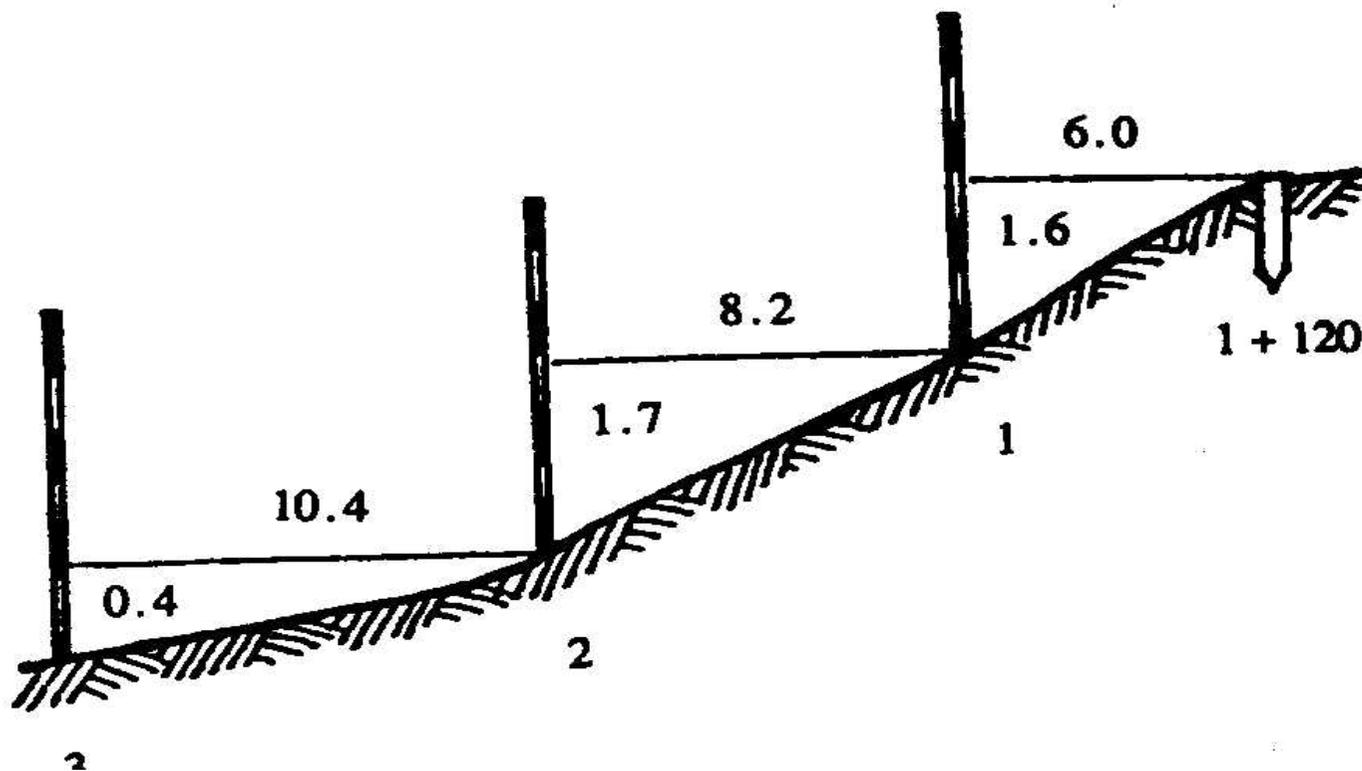
82K+080

5 10.8 - 1.39 、 14.8 - 0.59 、 9.6 0.29

11.5 - 1.82、 9.1 - 1.5

4 10.9 - 0.78 、 14.9 1.64 、 10.9 0.93、 9.1

2. 标杆 皮尺法



3. 经纬仪视距法

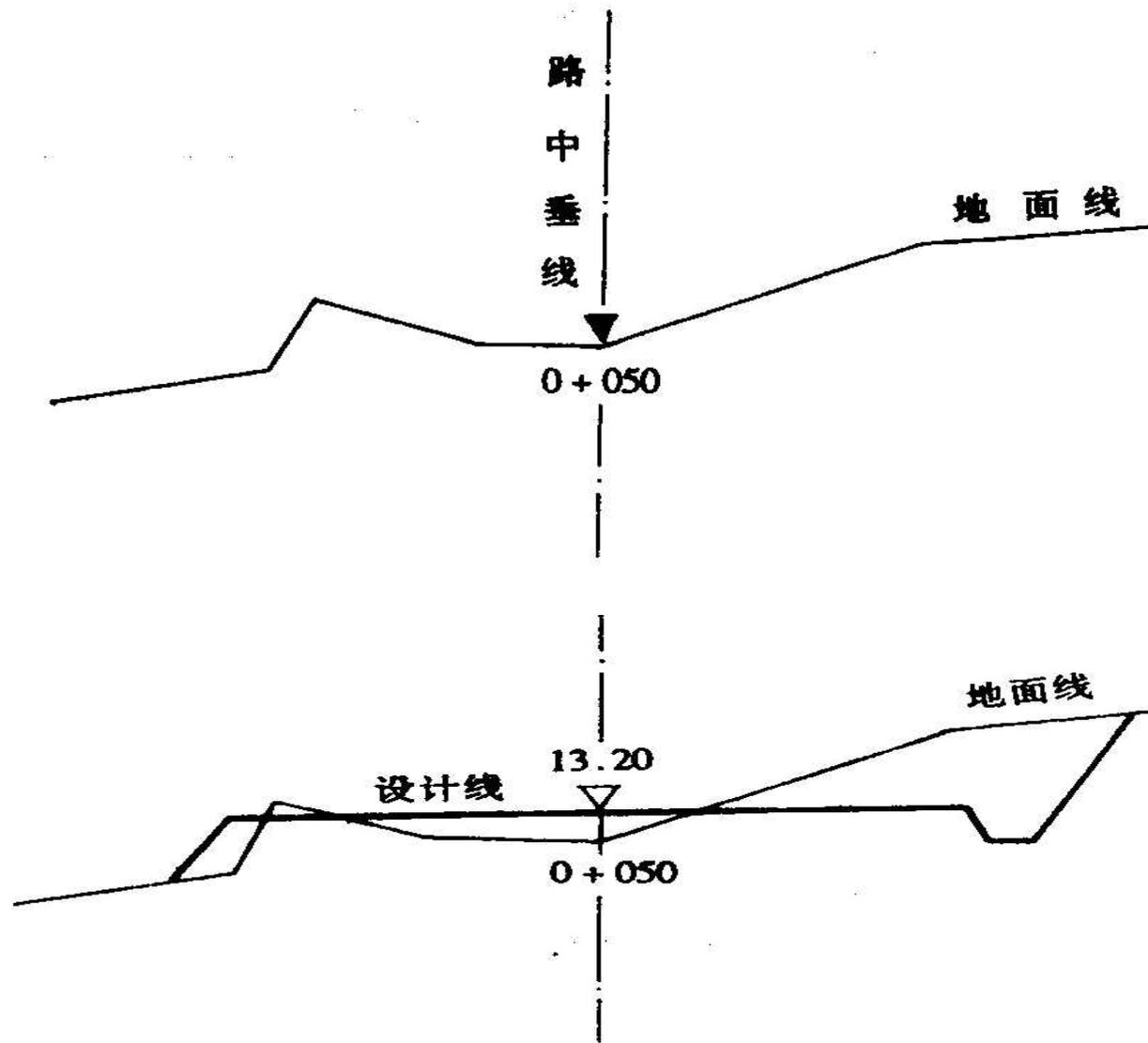
经纬仪安置于中桩上, 定出横断面方向, 量出仪器高, 用视距法测出各特征点与中桩的距离和高差。



(三) 横断面图的绘制

根据实际工程要求，参照《线路工程测图种类及比例尺》确定绘制横断面图的水平 and 垂直比例尺。依据横断面测量得到的各点间平距和高差，在毫米方格纸上绘出各中线桩的横断面图。

见教材及后图



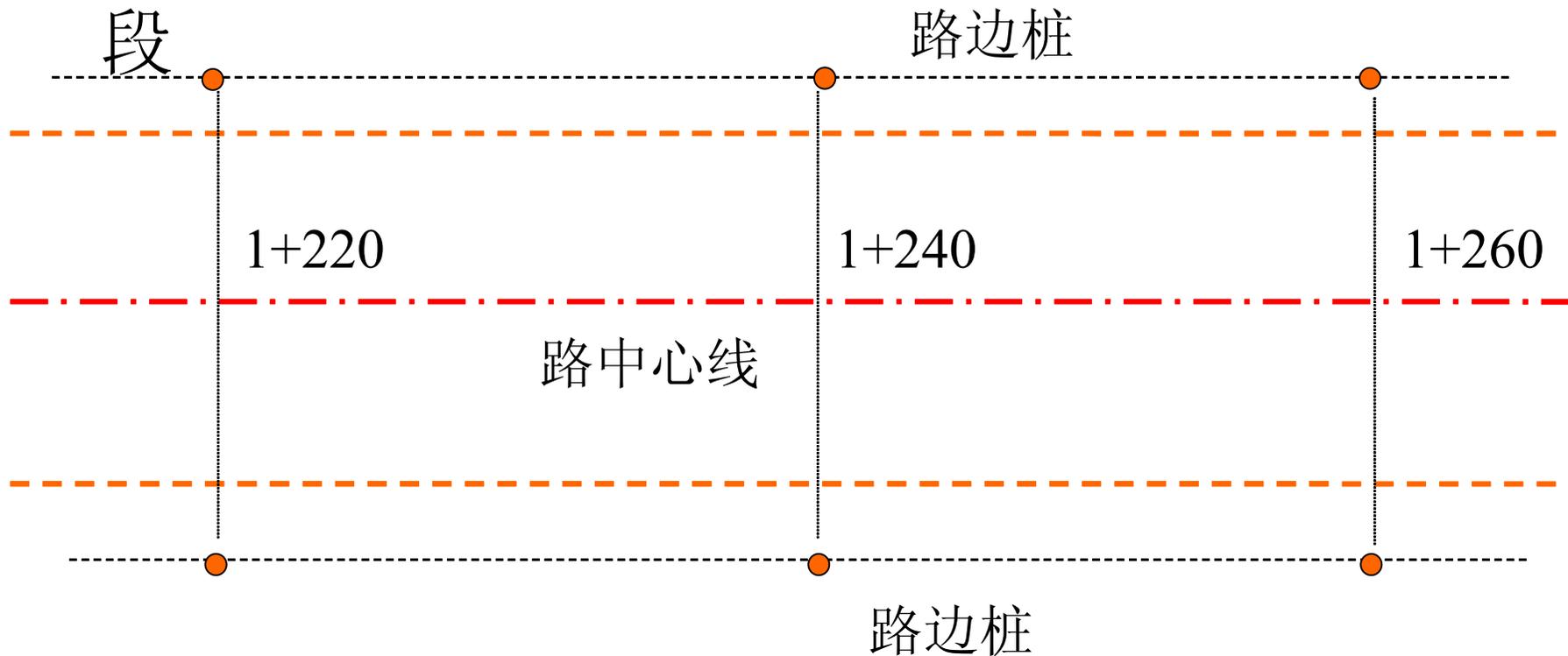
设计路基横断面

§ 10-6 道路施工测量

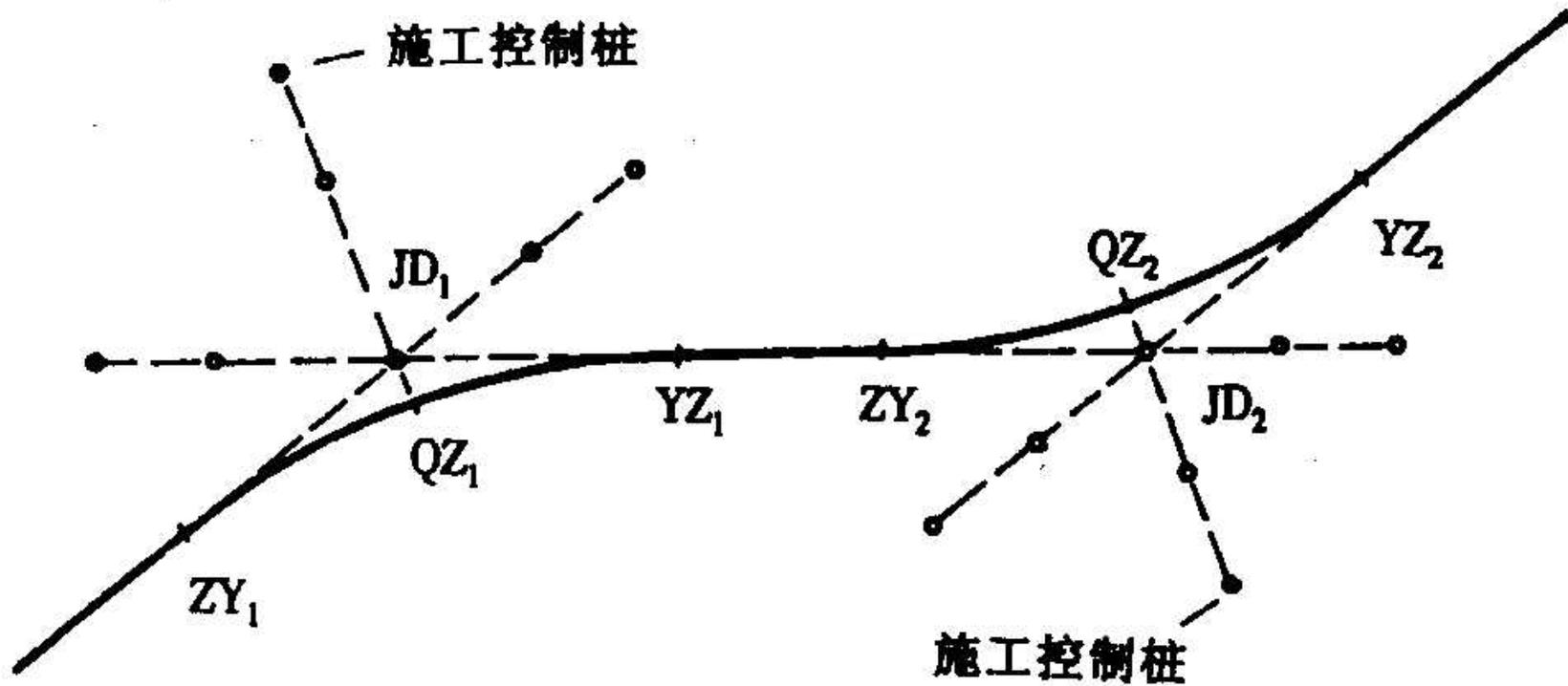
主要工作：恢复中线测量、施工控制桩、边桩和竖曲线的测设。

一、施工控制桩的测设

(一) 平行线法（适用于地势平坦地区直线）



(二) 延长线法



二、边桩的测设

边桩：施工前，要把设计路基的边坡与地面相交地点测设出来，该点称为边桩。

边桩测设方法有：

1、图解法

在线路工程设计时，地形横断面及设计标准断面都已绘制在横断面图上，边桩的位置可用图解法求得，即在横断面图上量取中线桩至边桩的距离，然后到实地在横断面方向上用卷尺量出其位置。

2、解析法（见教材）

解析法是通过计算求得中线桩至边桩的距离。在平地 and 山区计算和测设的方法不同。

(1) 平坦地段、路堤和路堑边桩计算用下式：

路堤边桩至中线桩的距离为：
$$l_{左} = l_{右} = \frac{B}{2} + mh$$

路堑边桩至中线桩的距离为：
$$l_{左} = l_{右} = \frac{B}{2} + mh + S$$

式中：B——路基设计宽度

m——路基边坡

h——填土高度或挖土深度
顶宽

S——路堑边沟



(2) 山坡地段路基边桩测设

在山坡上测设路基边桩，由右图可知，左、右边桩至中线桩的距离为：

$$l_{\text{左}} = \frac{B}{2} + mh_{\text{左}} + S$$

$$l_{\text{右}} = \frac{B}{2} + mh_{\text{右}} + S$$

三、竖曲线测设

竖曲线测设时，考虑到竖曲线的坡度转折角 α 较小，可以近似计算，简化公式如下：

$$\alpha = (i_1 - i_2) / \rho$$

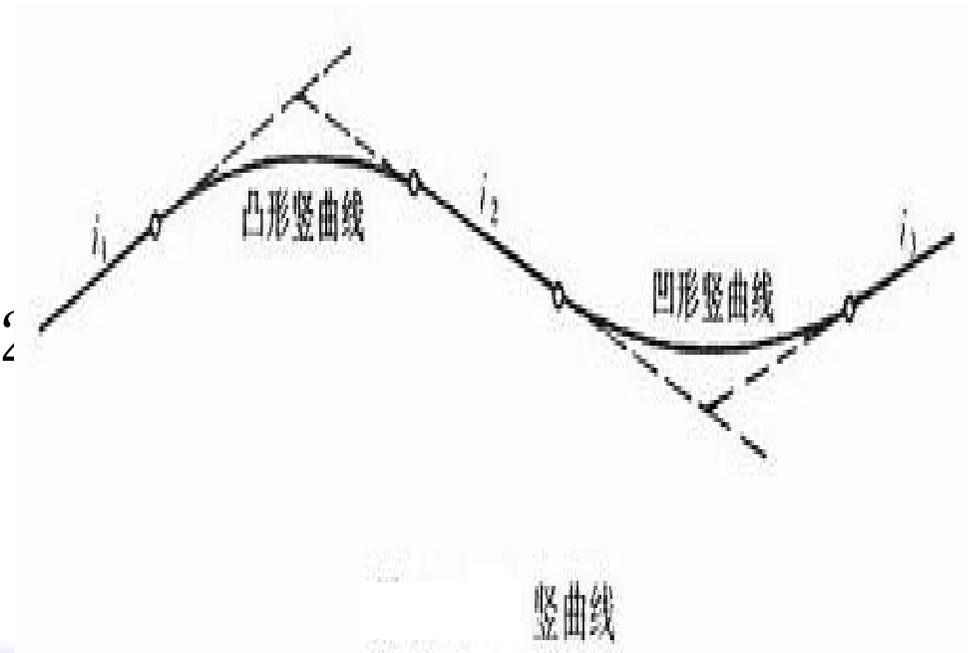
而 $\tan(\alpha / 2) \approx \alpha / 2 \rho$ ，

素简化计算为：

切线长 $T = R \cdot (i_1 - i_2) / 2$

曲线长 $L = R \cdot (i_1 - i_2)$

外矢距 $E = T^2 / (2R)$



§ 10-7 桥梁施工测量

桥梁按其轴线长度分特大型（大于500m长）、大型（100~500m）、中型（30~100m）、小型（8~30m）等四类，不同类型桥梁的施工测量方法及精度要求也不相同桥梁施工测量的主要内容包括

平面控制测量
高程控制测量
墩台定位、墩
基础及顶部放
样等。





桥梁施工测量的基本任务

根据设计文件，按照规定的精度，将图纸上设计的桥梁墩台位置标定于地面，据此指导施工，确保建成的桥梁在平面位置、高程位置和外形尺寸等方面均符合设计要求。

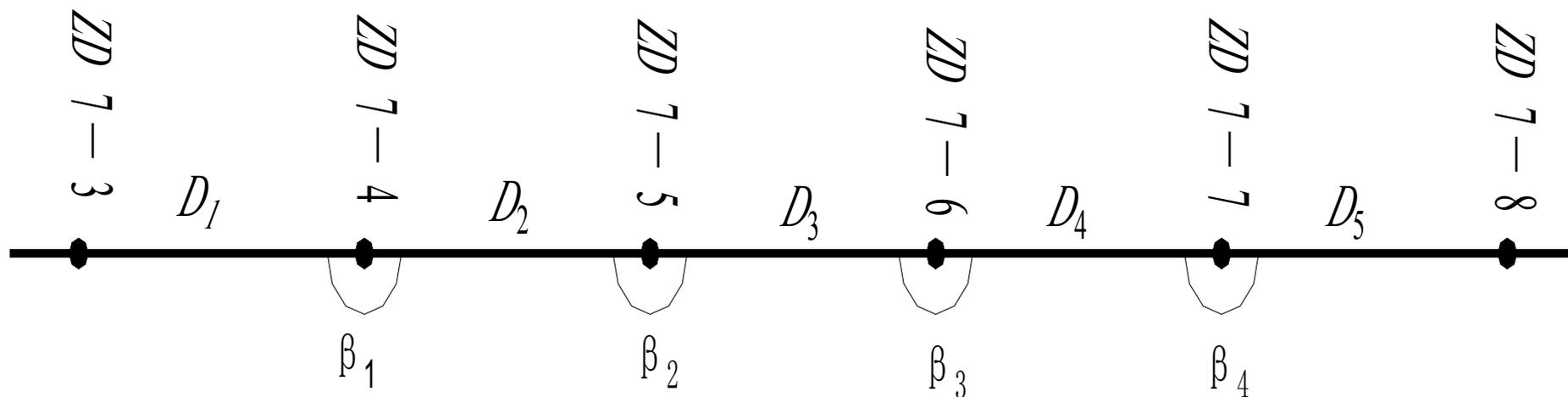


一、中线复测及桥轴线测定

定测或线路复测的精度较低，一般不能满足桥梁施工测量的精度要求。因此桥梁施工前，需对桥址线路中线以较高的精度进行复测。

复测的主要方法是导线法。

(一)、直线桥的中线复测



观测： 桥址位置上所有转点间的水平距离 D_i 和相邻边间的水平角 β_i 。

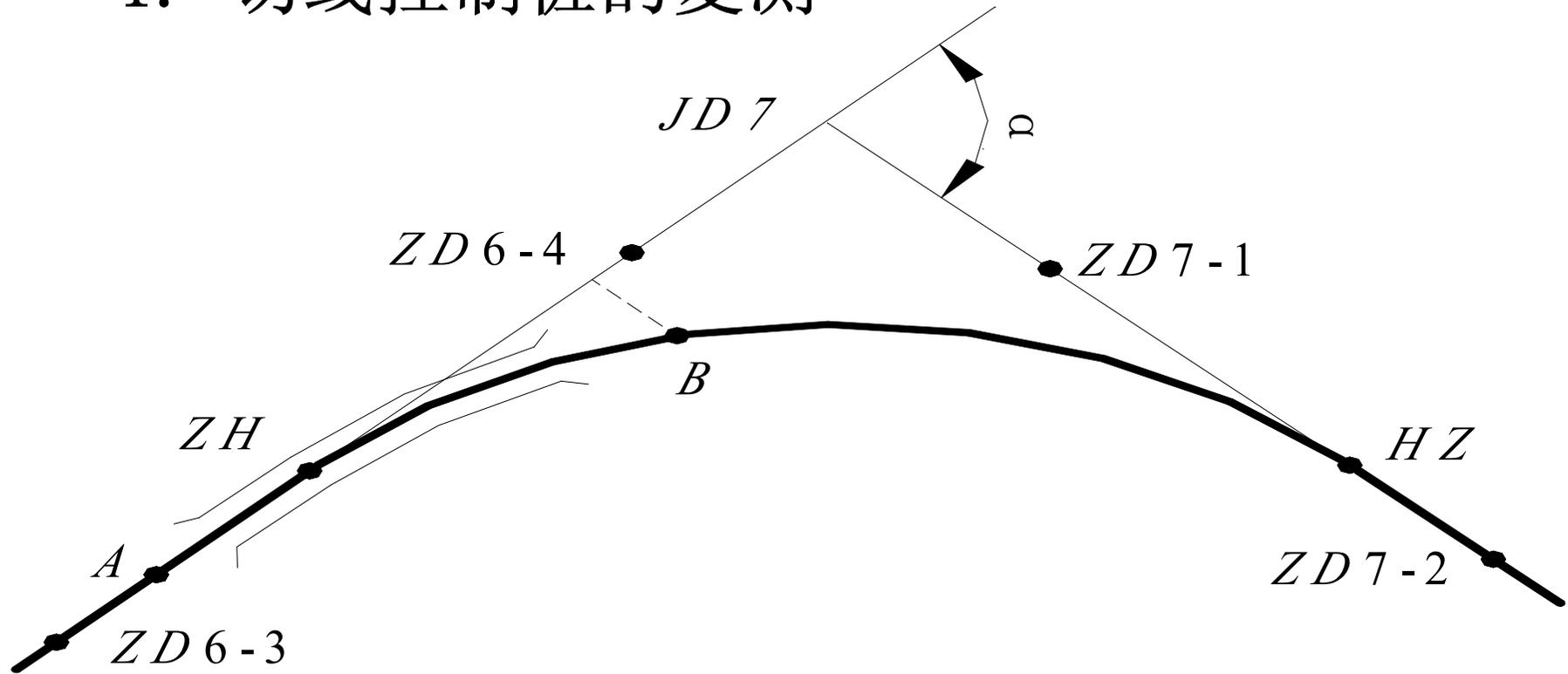
计算： 以两端转点（ZD7-3, ZD7-8）的连线为 x 轴建立施工坐标系，计算各转点的坐标



(二)、曲线桥的中线复测

- 当桥梁位于曲线上时，应对整个曲线进行复测。
- 检查切线方向控制桩是否在同一条直线上。如果不在同一条直线上，则应给予改正。
- 重新精确测定线路的转向角。
- 重新计算曲线综合要素。
- 重新标定曲线的起点和终点。

1. 切线控制桩的复测



检查切线上的控制桩是否在同一条直线上。

方法：穿线法、导线法。



2. 转向角复测

- 依据：已确认的切线控制桩；
- 方法：

直接测量——测回法

间接测量——导线法

- 如果已确认的切线控制桩中含有交点桩，则采用直接测量法
- 否则，采用间接测量法，即导线测量法或副交点法。

复测转向角与定测转向角不符时处理方法：

原则：尽量不改变原设计。

方法一：利用复测转向角重新计算曲线要素，改变曲线起点或终点里程

- 桥梁布设在直线—始端缓和曲线—圆曲线区间内，则曲线的ZH里程保持与原设计里程不变；
- 桥梁布设在圆曲线—末端缓和曲线—直线区间内，则曲线的HZ里程保持与原设计里程不变；同时保持各墩台中心设计里程不变。
- 要使ZH或HZ里程不变，可设断链桩或将距离误差调整在直线段。

方法二：调整切线方向，使转向角恢复到原设计值

- 整个桥梁布设在始端缓和曲线—圆曲线—末端缓和曲线区间内，或回头曲线转向角在 180° 左右时，如果桥梁前后相邻曲线没有施工或无重大建筑物，可以调整切线方向，使转向角恢复到原设计值，以保证桥梁原设计不变。

方法三：采用复测转向角，改变桥梁设计

(三)、桥轴线长度测定

1. 桥轴线控制桩：两岸桥头中线上埋设的控制桩。作用：保证墩台间的相对位置正确，并使之与相邻线路在平面位置上正确衔接。
2. 桥轴线长度：两岸桥轴线控制桩间的水平距离。
3. 桥轴线长度的测量方法
 - 直接测定法——光电测距
 - 间接测定法——三角网推算



二、桥梁施工控制测量

对于水中不能直接测设的桥梁或水面较宽且有高墩、大跨、深水基础或基础施工难度较大，梁部结构类型复杂的特大桥和大桥，需要建立施工平面控制网。

为了合理地拟定桥梁施工平面控制测量的布网方案和观测方案，保证墩台中心的定位精度，必须预先估算桥轴线长度测定的必要精度。

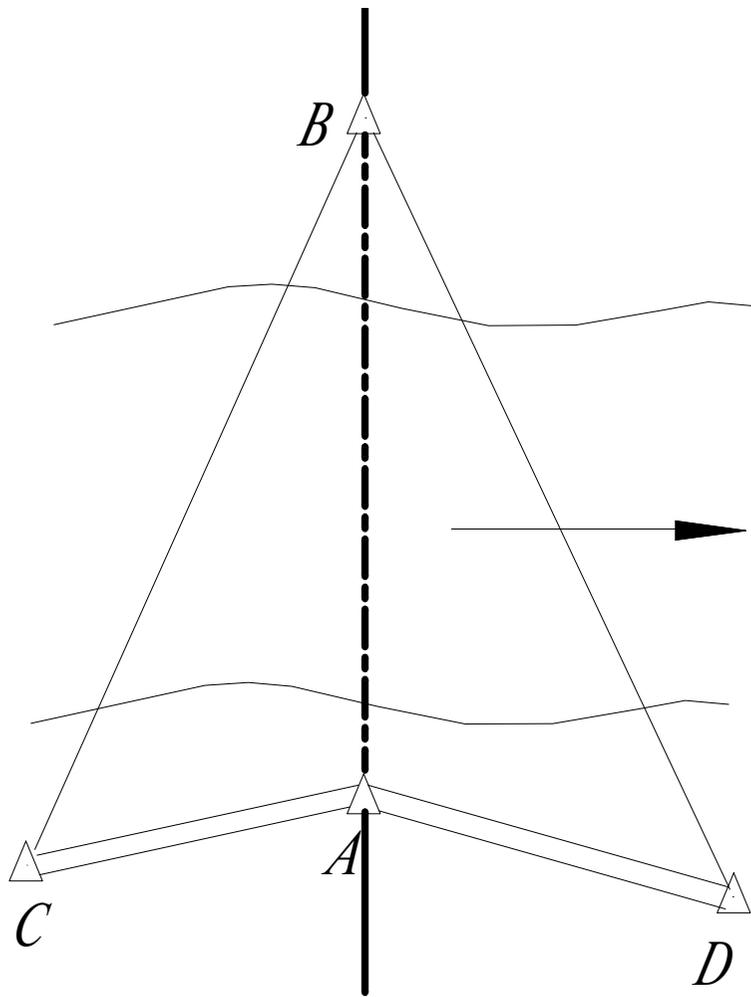


(一)、桥梁施工平面控制测量

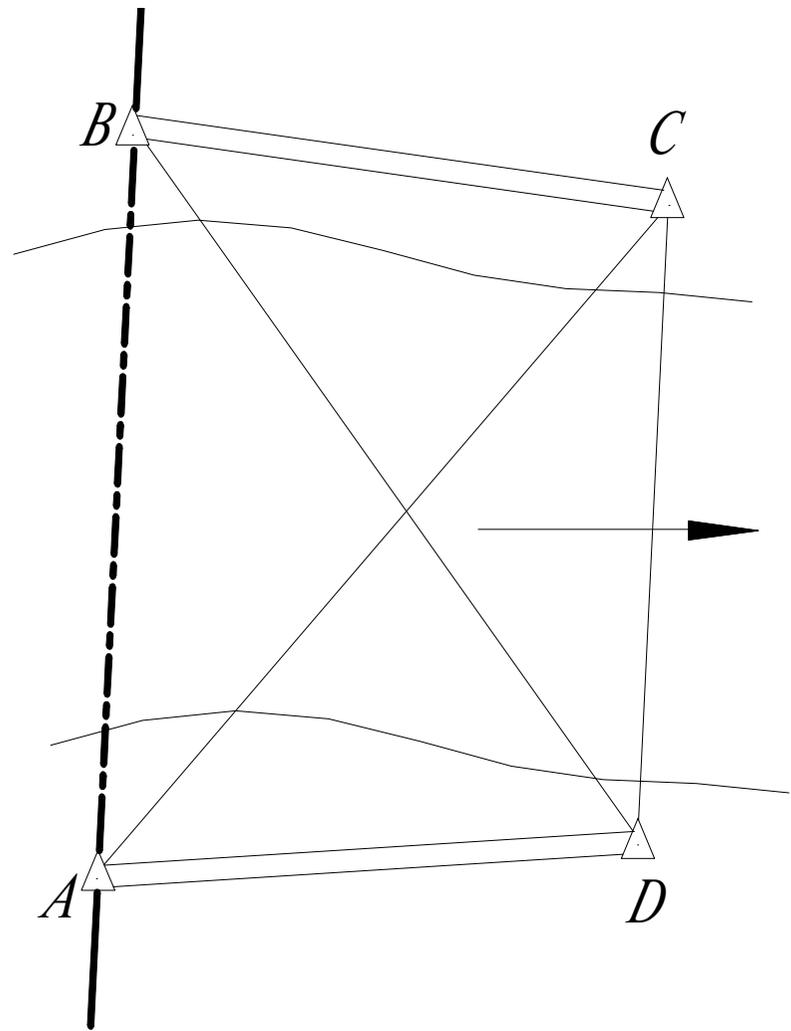
1. 桥梁施工平面控制网网形布设

在满足桥轴线长度测定和墩台中心定位精度的前提下，力求图形简单并具有足够的强度，以减少外业观测工作和内业计算工作。

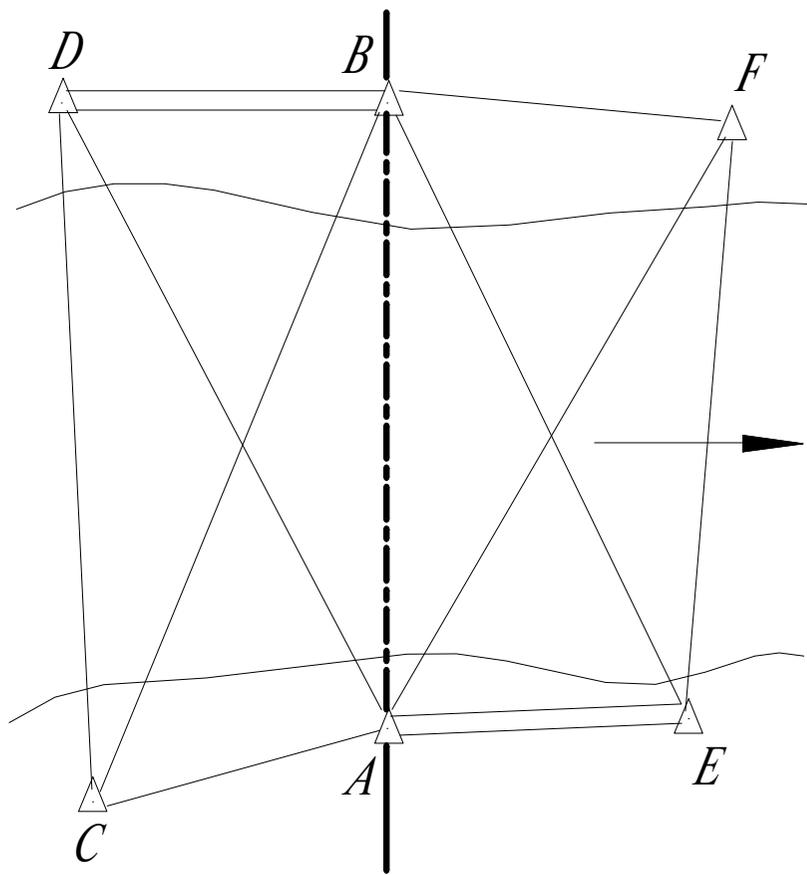
根据桥梁的大小、精度要求和地形条件，桥梁施工平面控制网的网形布设有以下几种形式。



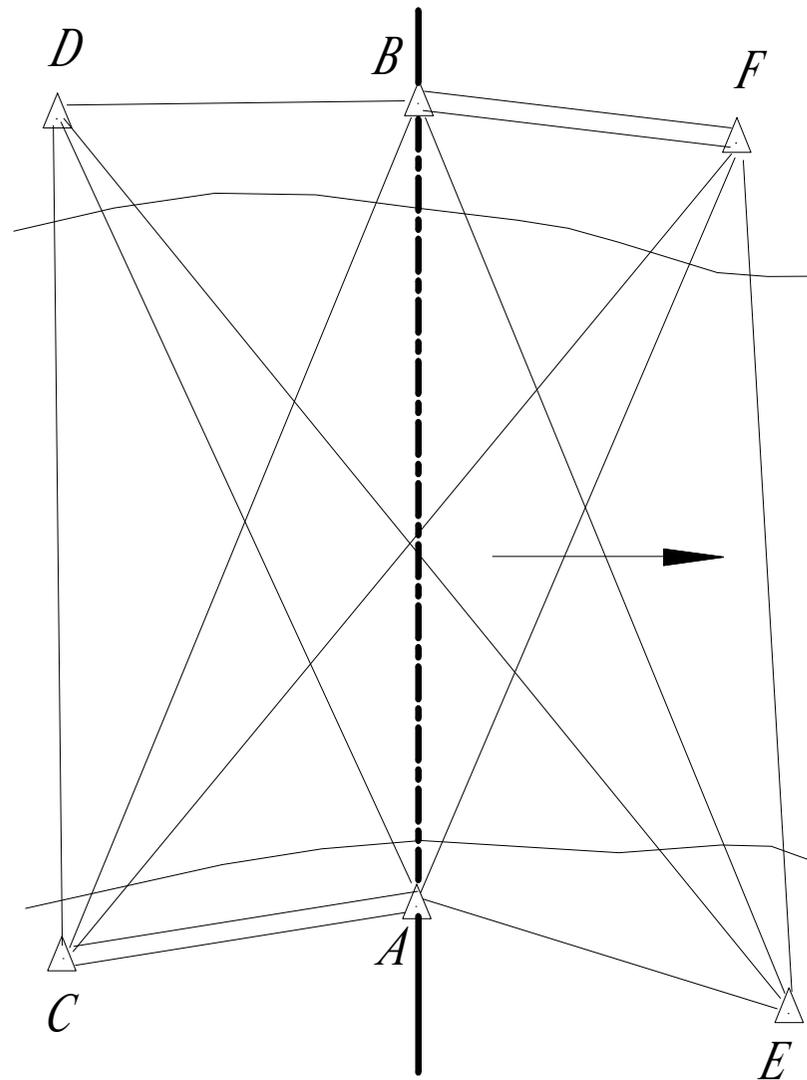
双三角形



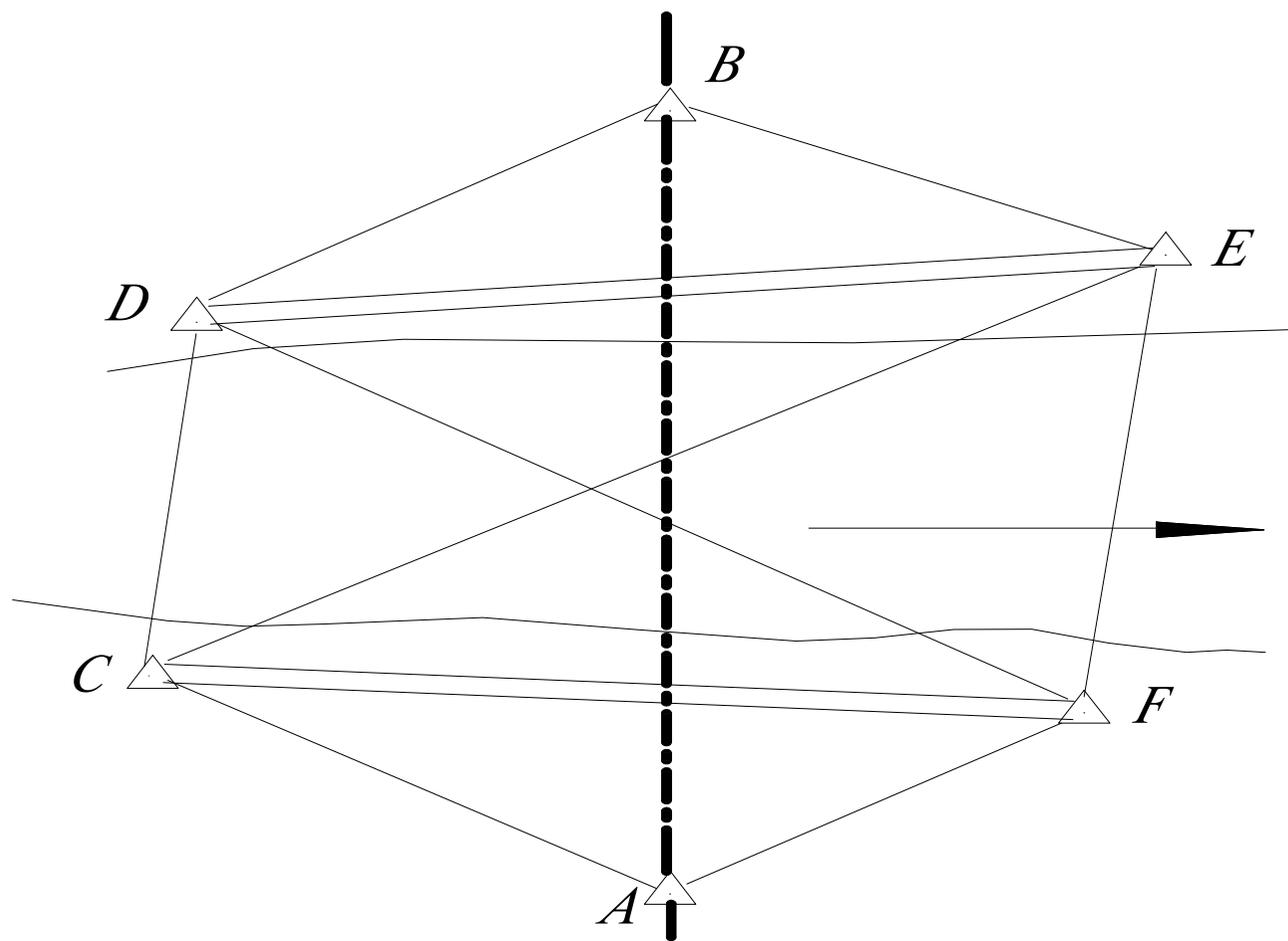
大地四边形



双大地四边形



加强型大地四边形



大地四边形加三角形



2. 桥梁施工平面控制测量的角度观测

水平角观测要求：

开测前应对所测角仪器进行检验和校正；

作业过程中，仪器2C绝对值DJ1型仪器不得超过20"；DJ2型仪器不得超过30"；

水平角观测测回数应符合规范的规定；

各测回的零方向读数应均匀分布在度盘和测微器的不同位置上。

（二）、桥梁施工高程控制测量

各水准点应沿桥轴线两侧以400 m左右的间距均匀布设，并构成连续水准环。

水准点应与相邻的线路水准点联测，以保证桥梁与相邻线路在高程位置上的正确衔接。

水准测量的等级、精度、限差应符合相应的规定。

为了便于施工放样，可根据实际需要在施工地点附近设立若干个施工水准点。



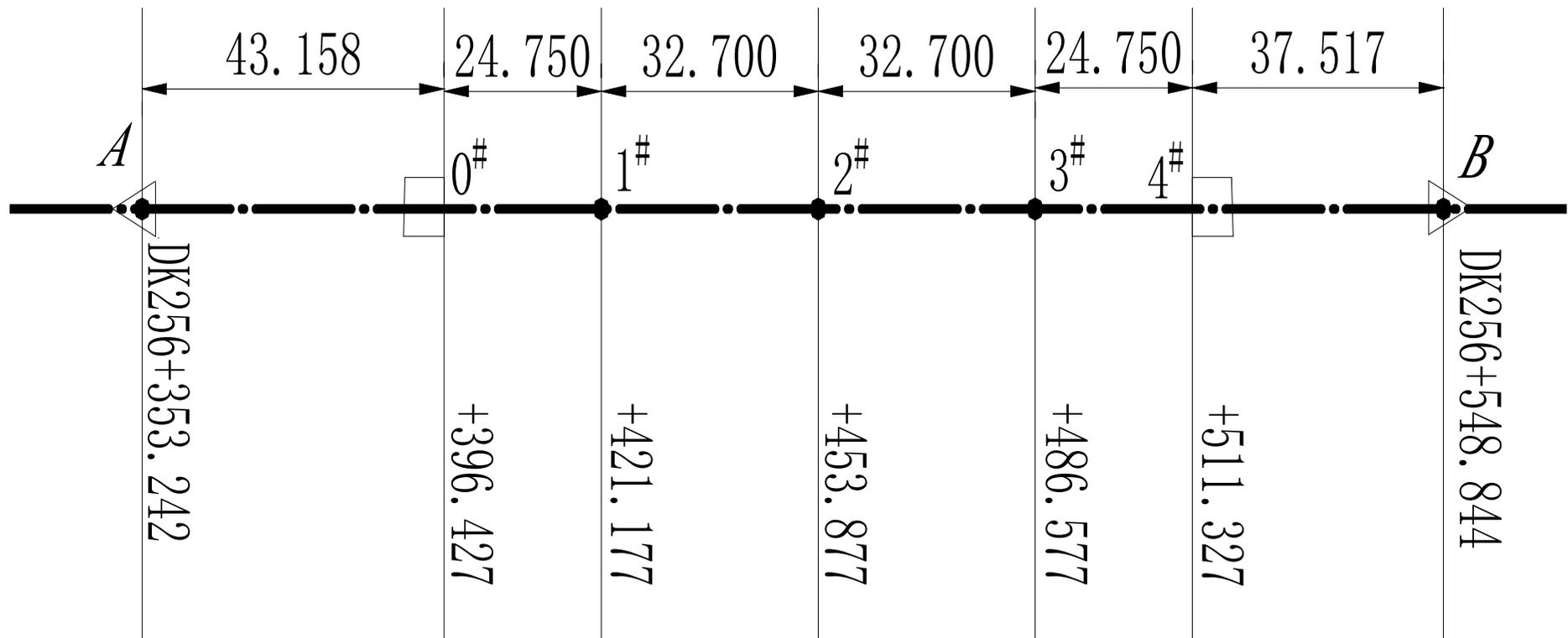
三、墩台定位及纵横轴线测设

桥梁施工测量中，主要的工作是准确地测设出桥梁墩、台的中心位置，即所谓的墩、台中心定位，简称墩台定位。

墩台定位必须满足一定的精度要求，特别是对预制梁桥更是如此。

(一)、直线桥的墩台定位

1、直接量距法、光电测距 或 直接丈量



2. 前方交会法

如果桥墩位置无法直接丈量，也不便于架设反光镜时，可采用前方交会法测设墩位。

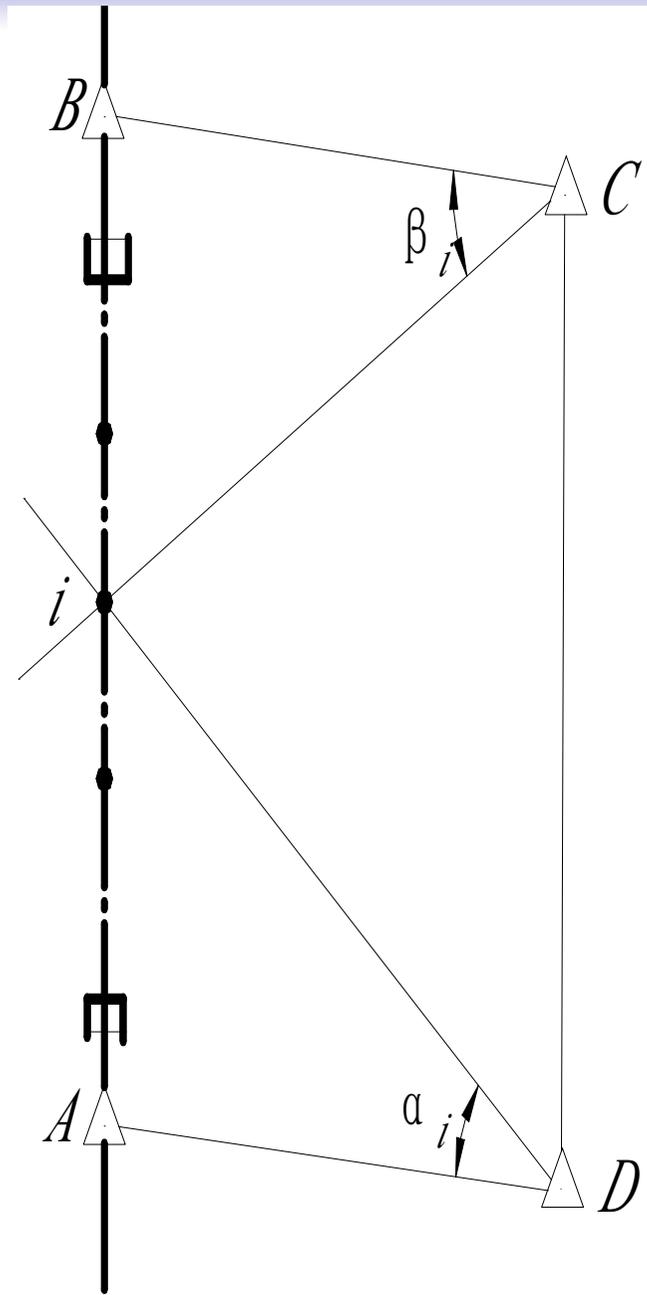
前方交会法既可用于直线桥的墩台定位测量，也可用于曲线桥的墩台定位测量。

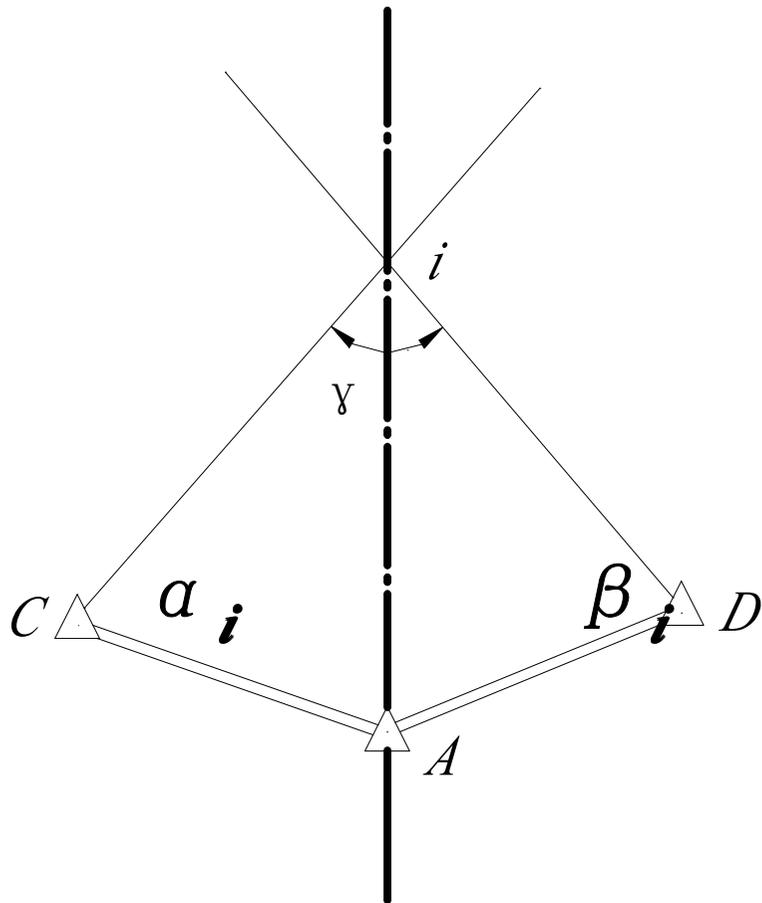
用交会法测设墩位，需要在河的两岸布设平面控制网，如导线、三角网、边角网、测边网等。

(1) 前方交会法的基本原理:

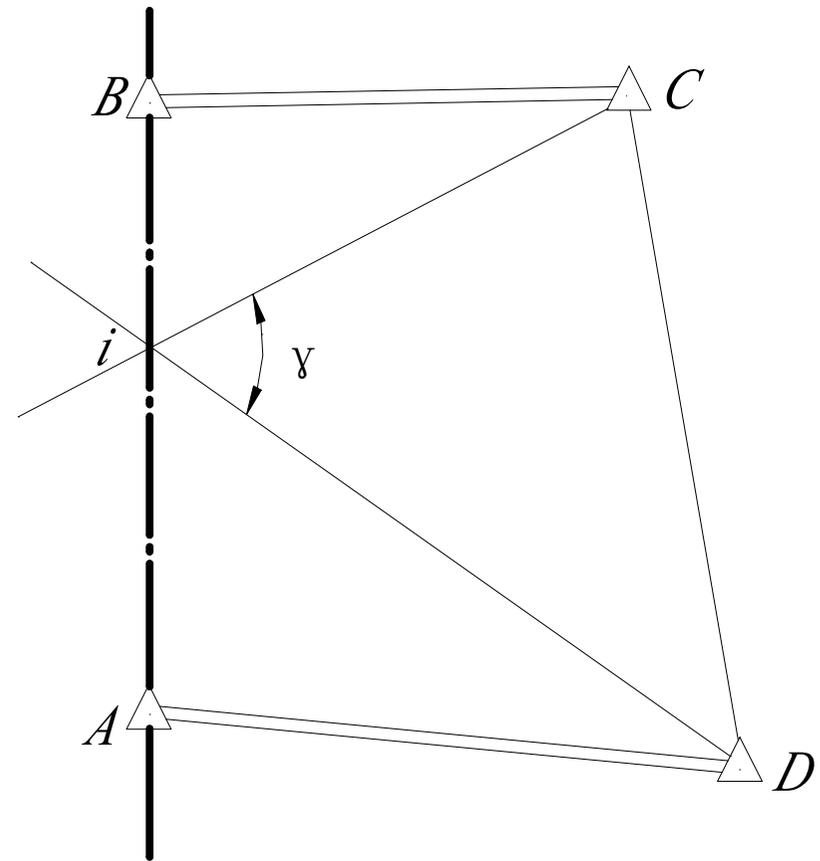
理:

根据控制点坐标和墩台坐标，反算交会放样元素 α_i 、 β_i ，在相应控制点上安置仪器并后视另一已知控制点，分别测设水平角 α_i 、 β_i ，得到两条视线的交点，从而确定墩台中心的位置。





异侧交会



同侧交会

两交会方向线之间的夹角 γ 称为交会角

墩台中心交会的精度与交会角 γ 的大小有关。

(2) 交会角的要求:

当置镜点位于桥轴线两侧时，交会角应在 $90^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 之间；

当置镜点位于桥轴线一侧时，交会角应在 $60^{\circ}\sim 110^{\circ}$ 之间。

在桥梁控制网网形设计和布网时，应充分考虑每个墩台中心交会时交会角的大小，必要时，可根据情况增设插如点或精密导线点作为次级控制点。



(3) 测设数据计算

为了便于作业，应根据控制点的坐标和墩台中心的坐标，计算测设数据并将其编制成表。

墩台定位测设数据主要包括：
置镜点、墩台或控制点编号、坐标方位角、边长等。其格式如下表。

置 镜 点	控 制 点	边 长	坐标方位角 。 ' "	墩 台 号	边 长	坐标方位角 。 ' "
• D_1				0#	161.4192	145 04 25.8
	D_2	141.7931	40 39 40.4	1#	141.8365	139 20 24.9
	D_3	199.9008	83 43 49.1	2#	101.9071	114 55 28.3
	D_4	151.0969	142 17 32.5	3#	94.7837	77 09 57.9
				4#	126.0050	47 10 28.8
				5#	143.9781	39 55 54.1

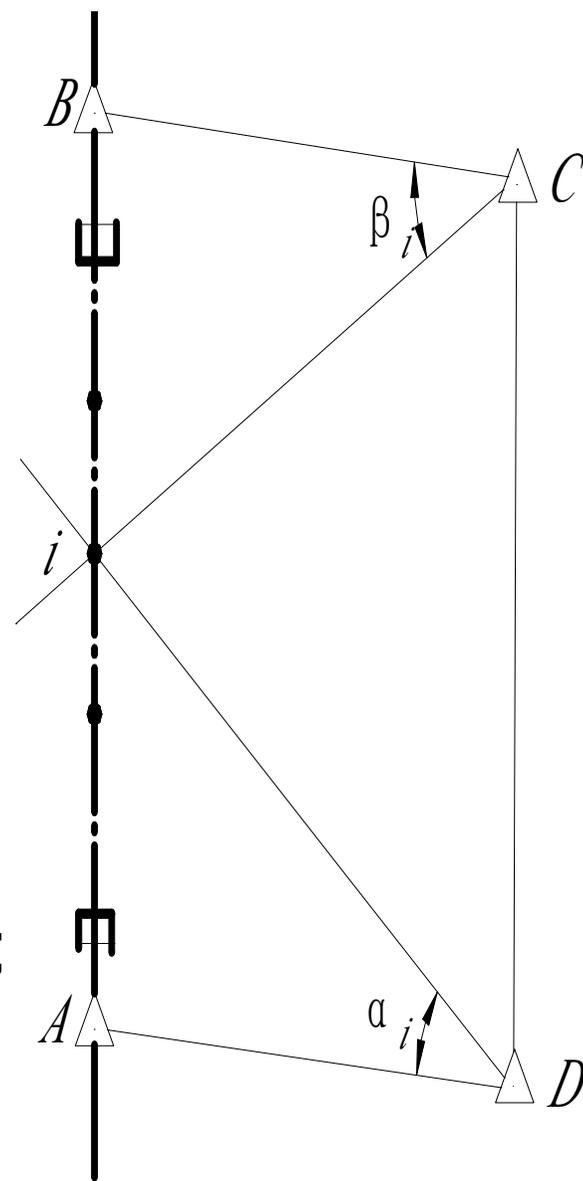
(4) 现场测设

在控制点D安置仪器，后视控制点A，将度盘安置为 α_{DA} ；

根据测设数据表，转动照准部至度盘读数为 α_{Di} 得到 D-i 方向；

同样方法得到 C-i 方向，两条视线的交点处打桩，钉设出 i 号墩台中心位置；

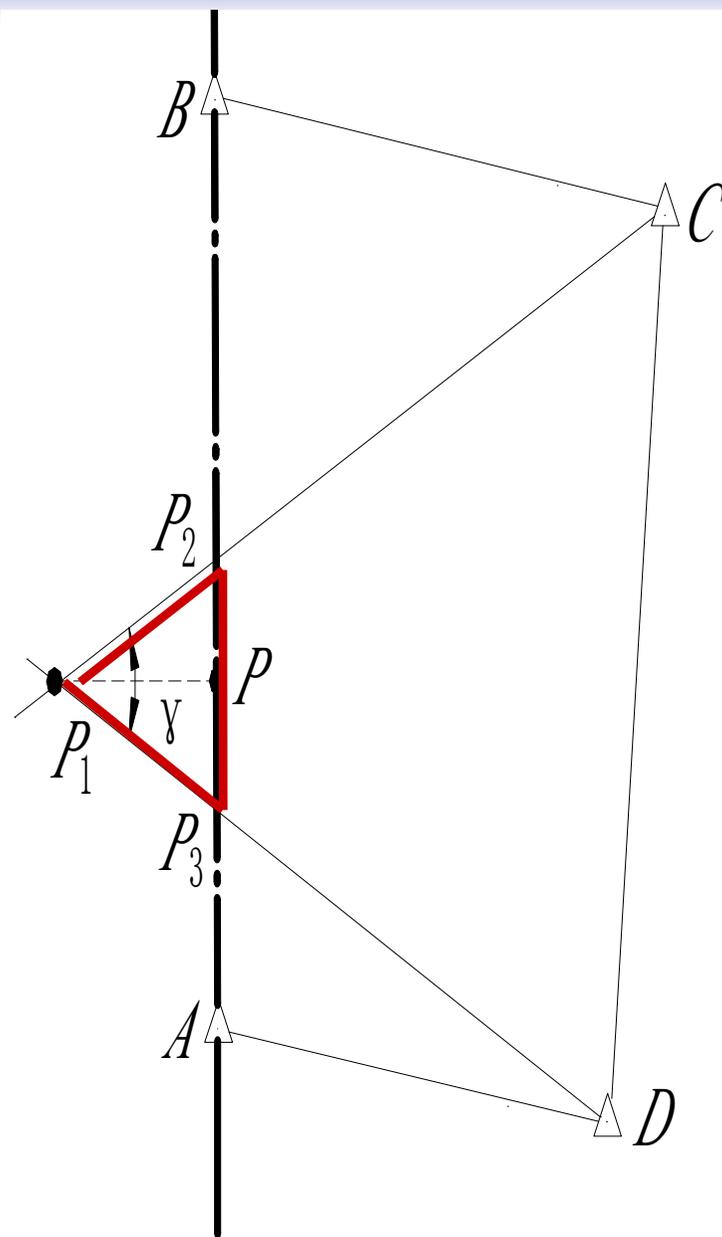
在桥轴线上检查各墩台位置。



(5) 示误三角形

通常将三台经纬仪分别安置于三个控制点上，用三条方向线同时交会。

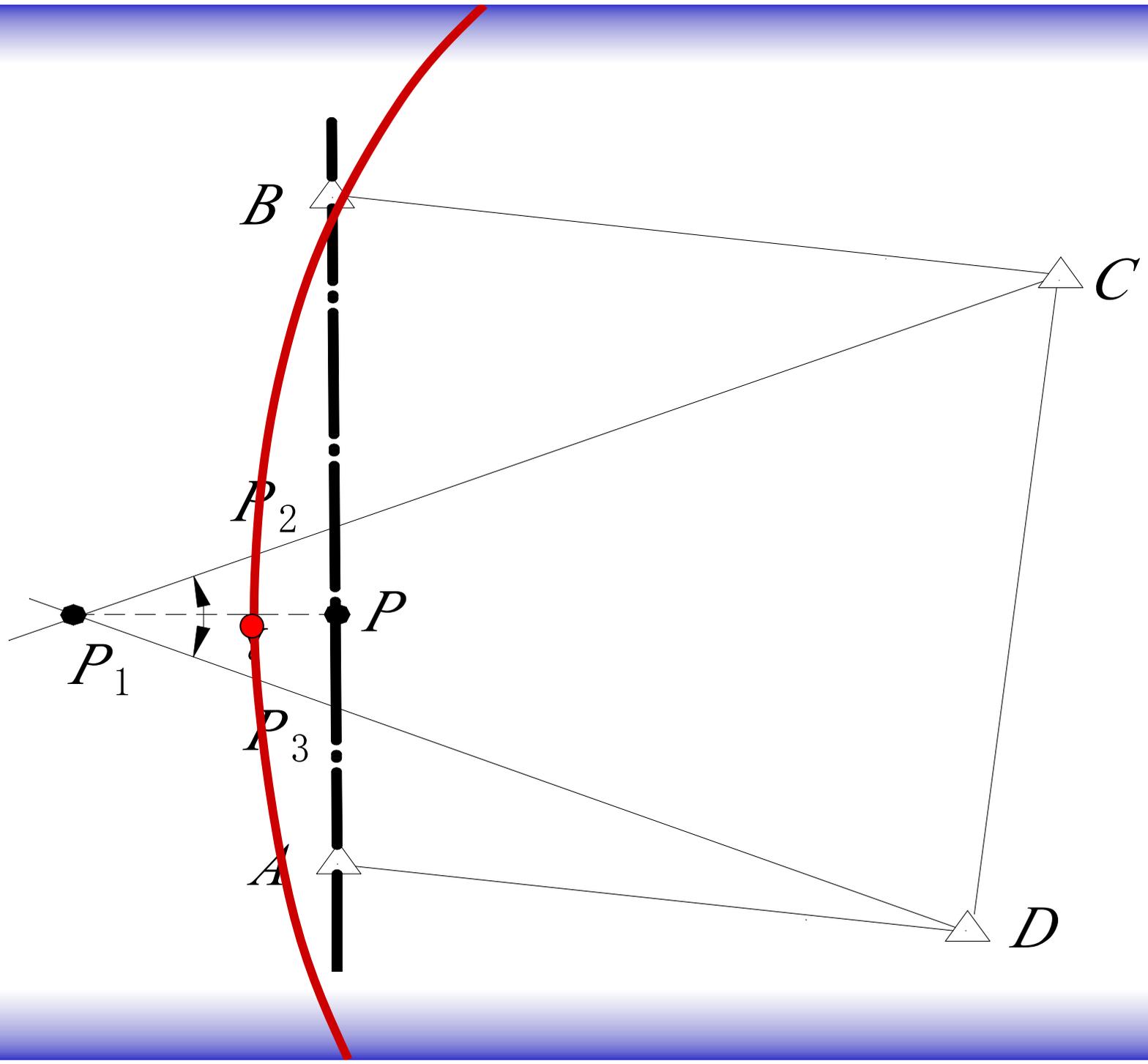
理论上三条方向线应交于一点，而实际上由于控制点误差和交会测设误差的共同影响，三条方向线一般不会交于一点，而是形成一个小三角形，该三角形的大小反映交会的精度，故称其为示误三角形。



(6) 交会限差及墩台中心的确定

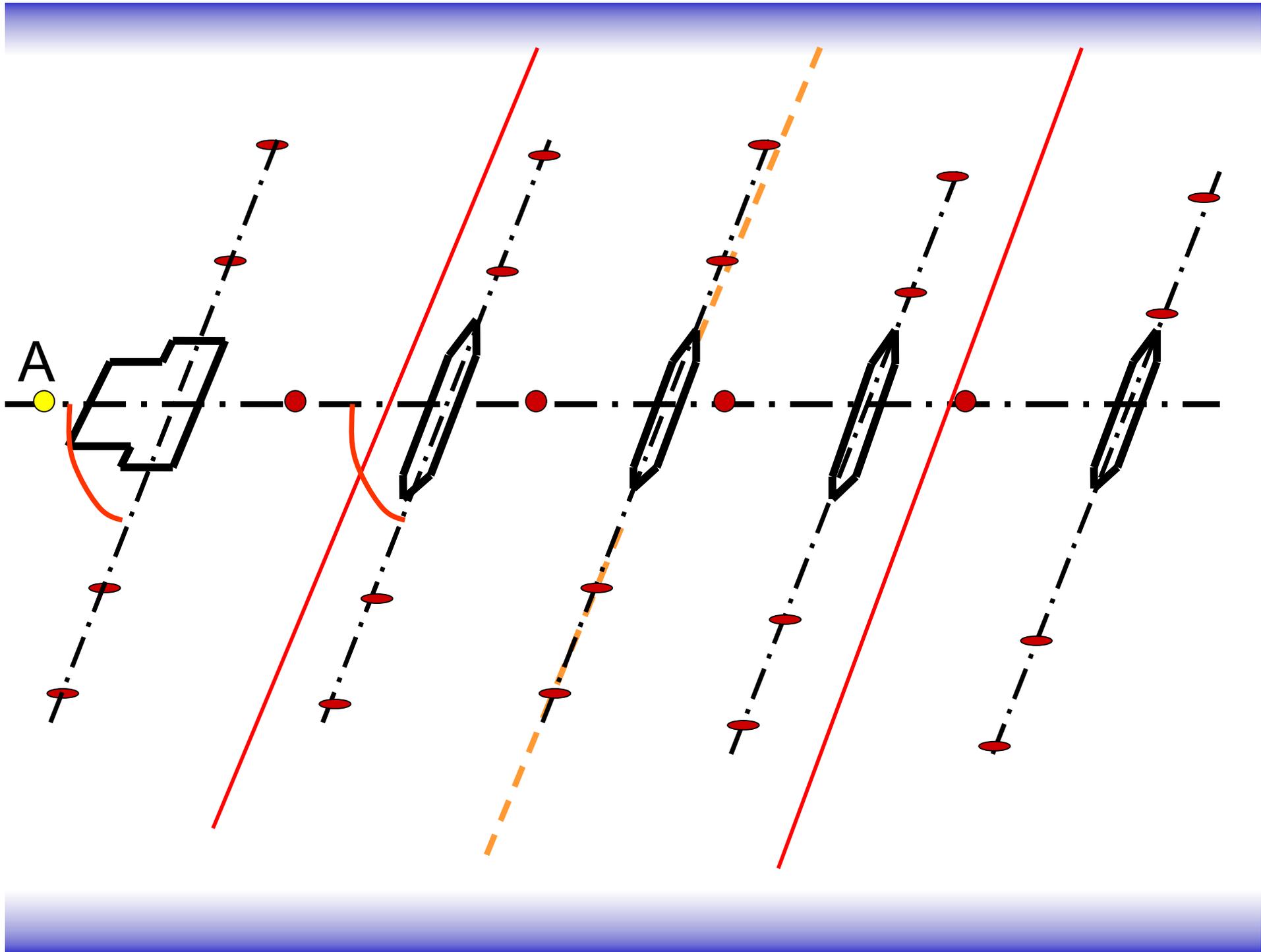
示误三角形的最大边长或两交会方向与桥中线交点间的长度，在墩台下部（承台、墩身）不应大于25mm，在墩台上部（托盘、顶帽、垫石）不应大于15mm。若交会的一个方向为桥轴线，则以其它两个方向线的交会点P1投影在桥轴线上的P点作为墩台中心。

交会方向中不含桥轴线方向时，示误三角形的边长不应大于30mm，并以示误三角形的重心作为桥墩台中心。



（二）、墩台纵横轴线测设

墩台纵横轴线是确定墩、台方向的依据，也是墩、台施工中细部放样的依据。直线桥各个墩台的纵轴线与桥轴线重合，可根据桥轴线控制桩测设；直线桥的横轴线不一定与纵轴线垂直，两者夹角根据设计文件确定，可将经纬仪安置于墩台中心，后视桥轴线控制桩定向，测设规定的角度得到墩台横轴线方向。





四、桥梁竣工测量

墩台施工完成以后架梁以前，应进行墩台的竣工测量。对于隐蔽在竣工后无法测绘的工程，如桥梁墩台的基础等，必须在施工过程中随时测绘和记录，做为竣工资料的一部分。

桥梁架设完成后还要对全桥进行全面测量。



(一)、桥梁竣工测量的目的:

- 测定建成后墩台的实际情况;
- 检查是否符合设计要求;
- 为架梁提供依据;
- 为运营期间桥梁监测提供基本资料。



（二）、桥梁竣工测量的内容：

- 测定墩台中心、纵横轴线及跨距；
- 丈量墩台各部尺寸；
- 测定墩帽和支承垫石的高程；
- 测定桥中线、纵横坡度；
- 根据测量结果编绘墩台中心距表、墩顶水准点和垫石高程表、墩台竣工平面图、桥梁竣工平面图等；
- 如果运营期间要对墩台进行变形观测，则应对两岸水准点及各墩顶的水准标以不低于二等水准测量的精度联测。



思考题：

1. 圆曲线计算：交点JD的桩号为K3+332.76，线路的右偏角 $\alpha = 28^{\circ}28'00''$ ，欲设置半径为200米的圆曲线，计算圆曲线的诸元素T、L、E、D及圆曲线各主点的桩号。
2. 缓和曲线计算：拟在半径为300米的圆曲线两端各设置长度为60米的缓和曲线进行线路转向，线路的右偏角 $\alpha = 19^{\circ}28'00''$ ，计算 β_0 、XHY、YHY、p、q、TH、LH、EH、DH，及曲线的各主点桩号（JD桩号为K3+737.55）。

