



第十章

桥梁工程测量



第十章 桥梁工程测量

主要内容

- 桥梁结构基本知识
- 桥址选线测量
- 桥梁施工控制测量
- 桥墩台基础的施工放样
- 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量
- 大型斜拉桥索道精密定位测量
- 桥梁施工和运营期的变形监测

重点

- 桥梁勘测、施工及运营阶段的测量工作
- 大型桥梁高塔施工测量



10.1 桥梁结构基本知识

1) 桥梁基本术语

荷载：桥梁所承受的重力（竖直的）或外力（竖直的或水平的）

承重结构：起承受重力作用的部分

上部结构：桥面与承重结构的统称，也称作跨越结构或桥跨结构

桥墩：支撑承重结构的支承物，岸边的支承物兼挡墙称作桥台。

下部结构：桥墩与桥台的统称，也称作支承结构。

桥轴线：桥渡的中心线，桥轴线两岸控制桩的距离称为桥轴线长度



10.1 桥梁结构基本知识

2) 上部结构

- 承重结构是梁的，主梁可以用钢（钢板梁、钢箱梁、铜街梁）、钢筋混凝土（跨度不大时）或预应力混凝土做成。
- 承重结构是拱的叫做主拱（多于一片拱时称拱肋）；承重结构是悬索的叫做主索或大缆。
- 桥面设在承重结构上方的叫做上承式桥。
- 桥面设在承重结构下方的叫做下承式桥。



10.1 桥梁结构基本知识

3) 下部结构

桥梁的下部结构通常就由支座、墩台、基础三个部分组成。

- 上、下部结构之间保证力的作用位置明确并且连接牢固的支点构造，叫做支座。（活动支座、固定支座）
- 桥墩与桥台一般用石砌筑或混凝土灌注而成，在旱地上有时可用钢做成
- 承受墩台底部压力的土壤或岩石叫做地基。沉井与沉桩统称深基础



10.2 桥址选线测量

10.2.1 桥址平面地形测绘

- 测绘范围

一般应满足设计桥梁孔径、桥头路堤和导流建筑物和施工场地的需要，个别情况下应满足水工模型试验之用。

- 测绘内容

测绘地形、地物、地貌、线路导线、中线、既有线中线、桥梁和导流建筑物平面、桥头控制桩、水准基点、农田分类及边界、历史最高洪水泛滥线、水流方向等。



10.2 桥址选线测量

- 测量方法

陆上地形测量

水下地形（直接法、简易断面索法、迂回测深法、三船并进法、悬空断面索，绞索拉船）

- 绘制桥址平面地形图

桥址平面地形图一般为比例尺1：500～1：5000



10.2 桥址选线测量

10.2.2 桥址纵断面及辅助断面测量

- 桥址纵断面
- 辅助断面



10.2 桥址选线测量

10.2.2.1 桥址纵断面

1. 测绘范围

- 两岸应测宽度根据路肩高程而定，以满足在图上足够布置全部桥孔及导流堤的需要为原则，包括导流堤在桥址中线上的投影长度，并能设计桥头填土。
- 如桥址纵断面兼作水文断面，并用以进行流量计算，则应测至岸边高出最高水位或设计水位至少1.0 m，泛滥很宽的河流应视具体情况而定，但必须满足流量计算的要求。
- 如两岸或一岸为山地时（包括高架桥），以在图上能正确决定桥址及台尾附属工程为原则。
- 特大桥及大中桥两岸应埋设桥址控制桩作为桥址定测和施工复测的依据，其位置不受洪水淹没，必要时应设立护桩或中线方向桩。



10.2 桥址选线测量

10.2.2.1 桥址纵断面

2. 测量方法及精度

尽量在线路中线测量，按要求一次完成。

如线路中线加桩不足，可根据中线桩在地形变化处加密。

测点距离：在山区不得大于5 m，平坦地区不得大于20～40m。

加桩高程施测误差不得大于 ± 0.1 m，与水准点闭合差的限差为（L以km计）。

3. 绘制桥址纵断面图

绘制桥址纵断面图测绘比例尺为1：200～1：500，特长桥可采用1：1 000。



10.2 桥址选线测量

10.2.2.2 辅助断面

- 线路走行于陡峻的山坡地段，为了防止桥址线路纵断面在设计中发生墩台基础有落空现象，可根据实际需要加测上、下游平行于桥址线路纵断面的辅助断面，间距一般为3~5 m。该项断面与资料应与桥址线路纵断面合并绘制，其中桥址线路纵断面用实线表示，上、下游断面用虚线表示，并注明与线路纵断面的距离。
- 对于小桥，为了正确布置陡坡建筑物，上、下游可加测顺沟方向河床纵断面，上游应连接原沟心，下游也连接原沟心或接至有出路之处。当需要计算水深，判断水流状态或考虑蓄水情况时，应加测河床纵坡和下游原沟槽有代表性横断面。



10.2 桥址选线测量

10.2.3 既有桥梁丈量

- 需进行技术改造的大中桥或修建第二线桥与既有桥有关联时，既有大中桥应进行丈量挖探基础，内容包括上、下部结构尺寸、墩台中心线与线路中心线的关系、各部位高程、结构病害和病害部位等。
- 既有桥墩台需要加高在0.4 m以内，或运营情况良好，与增建第二线桥无影响时，其基础部分可不进行挖探。
- 确定原式利用的或经调查研究确定报废的既有桥，只丈量主要尺寸，绘制轮廓尺寸图，注明中心里程和主要部分高程。



10.2 桥址选线测量

10.2.3 既有桥梁丈量

- 桩基、沉井及气压沉箱等深基础既有桥应尽量了解其确实类型、顶部尺寸及埋置深度，不进行挖探。
- 小桥需丈量主要尺寸，需改建检算和对增建第二线桥有影响时，应挖探基础，以取得基础埋置深度及襟边尺寸等有关资料。
- 需改建或加固的桥梁缺少所需的隐蔽部分尺寸或控制新旧桥梁线间距的基础尺寸时，应进行必要的开挖和丈量。同一线路同类型的桥梁，可选择有代表性的进行开挖和丈量。



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.1 概述

桥梁控制测量的目的

- 在勘测阶段，主要为测量桥址平面图，并根据水文、地质资料，选定符合计划任务书的桥址进行定测；
- 在施工阶段，主要是为保证桥轴线长度放样和桥梁墩台定位的精度要求。



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.1 概述

桥梁控制网的布设特点

- 桥梁平面控制网通常分两级布设
- 首级控制网主要控制桥的轴线
- 为了满足施工中放样每个桥墩的需要，在首级网下需要加设一定数量的插点或插网，构成第二级控制
- 由于放样桥墩的精度要求较高，故第二级控制网的精度应不低于首级网



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.2 桥轴线长度和桥梁墩台定位必要精度的确定

桥梁控制网是为保证桥轴线的放样、桥梁墩台中心定位和轴线测设的精度而布设。因此，首先要知道桥轴线长度、墩台中心定位精度要求的计算方法。



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.2.1 根据桥梁跨越结构的架设误差确定桥轴线长度需要的精度

在钢梁架设过程中，它的最后长度误差来源于杆件加工装配时的误差和安装支座的误差。



10.3 桥梁施工控制测量

钢桁梁节间长度制造容许误差为 $\pm 2\text{mm}$

两节间拼装孔距误差为 $\pm 0.5\text{mm}$

每一节间的制造和拼装误差为

$$\Delta l = \pm \sqrt{2^2 + 0.5^2} \text{ mm} = \pm 2.12 \text{ mm} \quad (\text{一般取 } 2 \text{ mm})$$

对 n 节间拼装的一跨或一联桁式钢梁，长度误差包括拼装误差 ΔL 和支座安装容许误差 δ

a) 连续梁及长跨 ($> 64\text{m}$) 简支钢桁梁

长度拼装误差 $\Delta L = \pm \sqrt{n \Delta l^2}$

每跨 (联) 钢梁安装后的容许误差为:

$$\Delta d = \pm \sqrt{\Delta L^2 + \delta^2} = \pm \sqrt{n \Delta l^2 + \delta^2}$$



10.3 桥梁施工控制测量

- b) 对于钢板梁及短跨（ $\leq 64\text{m}$ ）简支钢桁梁、钢筋混凝土梁与预应力混凝土梁等

长度拼装误差按规范取为： $\Delta L = \pm \frac{1}{5\,000} L$

每跨（联）钢梁安装后的容许误差为：

$$\Delta d = \pm \sqrt{\Delta L^2 + \delta^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{L}{5\,000}\right)^2 + \delta^2}$$

设桥梁全长有N跨（联）

$$\Delta D = \pm \sqrt{\Delta d_1^2 + \Delta d_2^2 + \cdots \Delta d_n^2}$$

取1/2的极限误差为中误差，则全桥轴线长的相对中误差为：

$$\frac{m_D}{D} = \frac{\Delta D}{2D}$$



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.2.2 桥梁墩台中心放样的精度要求

桥墩中心位置偏移，将为架设造成困难，而且会使墩上的支座位置偏移，改变桥墩的应力，影响墩台的使用寿命和行车安全。

因此，建立控制网不但要保证桥轴线长度有必要的精度，而且要保证墩台中心定位的精度。

工程上对放样桥墩的位置要求是：钢梁墩台中心在桥轴线方向的位置中误差不应大于 $1.5\text{ cm} \sim 2.0\text{ cm}$ 。



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.2.3 平面控制网精度估算

建立控制网的目的是满足施工放样桥轴线的架设误差和桥梁墩台定位的精度要求。

- 对于保证桥轴线长度的精度来说，一般桥轴线作为控制网的一条边，只要控制网经施测、平差后求得该边长度的相对误差小于设计要求即可；
- 对于保证桥梁墩台中心定位的精度要求来说，既要考虑控制网本身的精度又要考虑利用建立的控制网点进行施工放样的误差。



10.3 桥梁施工控制测量

当要求控制网点误差影响仅占总误差的十分之一时，控制网的精度要求（控制点误差对放样点位不发生显著影响原则）

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = m_2 \sqrt{1 + (m_1 / m_2)^2}$$

式中： $m_1 < m_2$ ， 将上式展开为级数，并略去高次项，则有：

$$M = m_2 \left(1 + \frac{m_1^2}{2m_2^2} \right)$$

若控制点误差影响仅使总误差增加 $1 / 10$ ，上式括号中第二项应为0.1，即得：

$$m_1^2 = 0.2m_2^2$$

上式解出 m_2 代入式（10-9）得：

$$m_1 = 0.4M$$



10.3 桥梁施工控制测量

若考虑以桥墩中心在桥轴线方向的位置中误差不大于2.0cm作为研究控制网必要精度的起算数据，则要求

$$< 0.4 M <= 0.4 \times 20 = 8 \text{ (mm)}$$

此即为放样墩台中心时控制网误差的影响应满足的要求。

由此算出放样的精度应达到的要求是

$$< 0.9 M = 0.9 \times 20 = 18 \text{ (mm)}。$$



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.3 桥梁平面控制网的建立

1 桥梁平面控制网的布设形式

按观测要素的不同，桥梁控制网可布设成三角网、边角网、精密导线网、GPS网等。

2 桥梁平面控制网坐标系和投影面的选择

- 桥梁控制网常采用独立坐标系统
坐标轴采用平行或垂直桥轴线方向
曲线桥梁坐标轴可选为平行或垂直于一岸轴线点（控制点）的切线。
- 若施工控制网与测图控制网发生联系时可进行坐标换算，统一坐标系。
- 桥梁控制网选择桥墩顶平面作为投影面



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.3 桥梁平面控制网的建立

3 桥梁平面控制测量的外业工作

桥梁控制网经设计估算能达到施工放样的精度后，就可以进行控制网的外业测量工作。外业测量工作包括实地选点、造标埋石及水平角测量和边长测量等工作。



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.4 桥梁高程控制网的建立

- 桥梁高程控制测量的作用
 - 统一本桥高程基准面；
 - 在桥址附近设立基本高程控制点和施工高程控制点，以满足施工中高程放样和监测桥梁墩台垂直变形的需要。



10.3 桥梁施工控制测量

10.3.4 桥梁高程控制网的建立

- 建立高程控制网的常用方法是水准测量和三角高程测量。
- 为了方便桥墩高程放样，在距水准点较远（一般大于1 km）的情况下，应增设施工水准点。施工水准点可布设成附合水准路线。施工高程控制点在精度要求低于三等时，也可用三角高程建立。
- 当水准路线需要跨越较宽的河流或山谷时，需要跨河水准测量方法特殊的观测方法建立桥梁高程控制。



10.4 桥墩台基础的施工放样

准确地测设桥梁墩台的中心位置和它的纵横轴线，是桥梁施工阶段最主要的工作之一，这个工作称为墩台定位和轴线测设。



10.4 桥墩台基础的施工放样

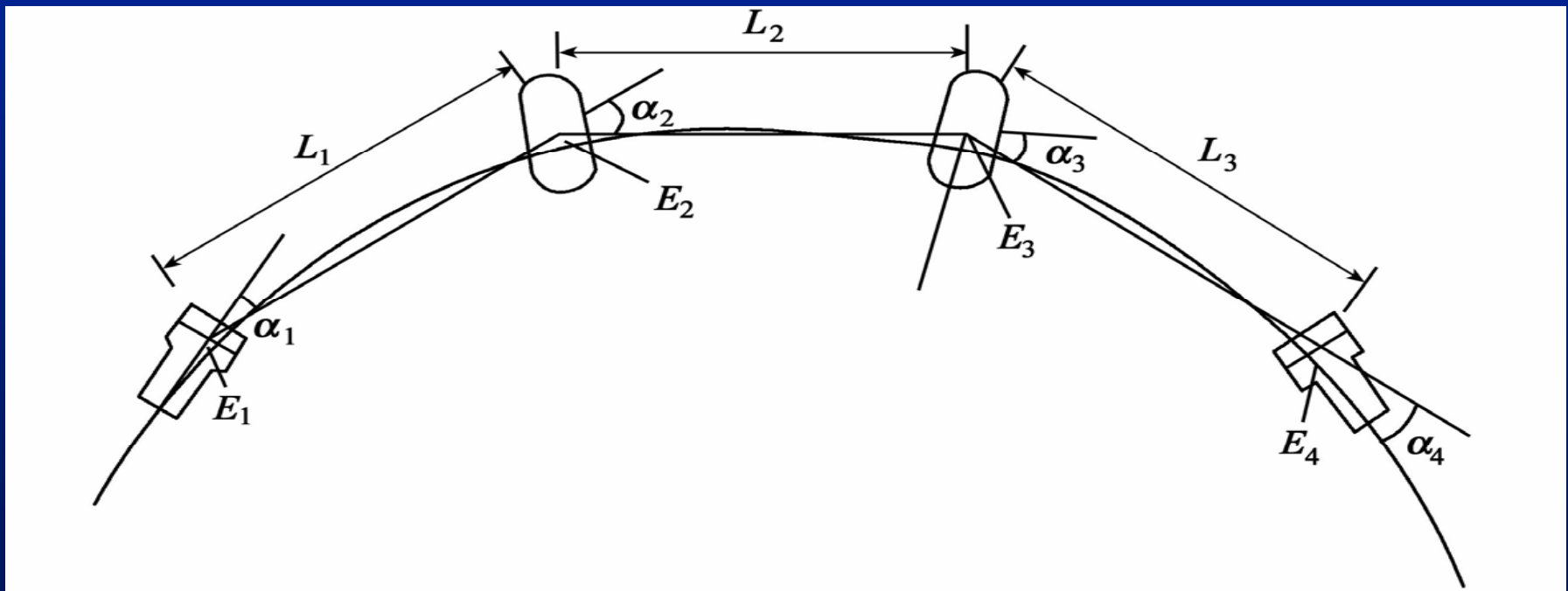
10.4.1 曲线桥梁测设资料的计算

在曲线桥梁设计中，梁中心线的两端并不位于线路的中心线上，因为那样将使梁的中部线路中心偏向梁的外侧，致使车辆通过时，梁的两侧受力不均匀，因而必须将梁的中线向外侧移动一段距离 E ，这段距离称为偏距。



10.4 桥墩台基础的施工放样

10.4.1 曲线桥梁测设资料的计算

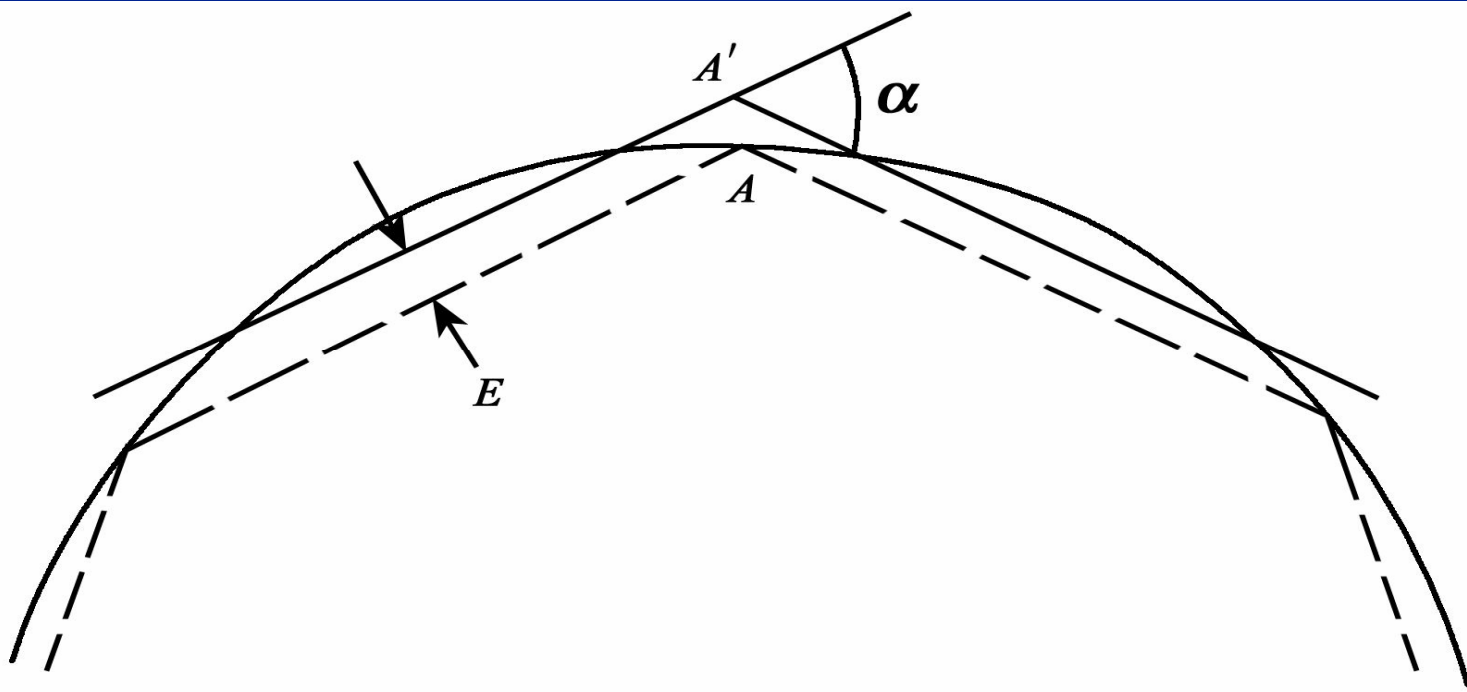


曲线桥线路中心线与梁的中线不能完全吻合



10.4 桥墩台基础的施工放样

10.4.1 曲线桥梁测设资料的计算



梁中线向外侧的偏距



10.4 桥墩台基础的施工放样

偏距的布置方式

- 平分中矢布置：使 E 等于中矢值的一半。
- 切线布置：使 E 等于中矢。



10.4 桥墩台基础的施工放样

偏距的计算

I. 当梁在圆曲线上时

- 切线布置, 则E为中矢值

$$E = \frac{L^2}{8R}$$

- 平分中矢布置, 则E为中矢之半

$$E = \frac{L^2}{16R}$$

II. 当梁在缓和曲线上时

- 切线布置

$$E = \frac{L^2}{8R} \frac{l_t}{l_0}$$

- 平分中矢布置

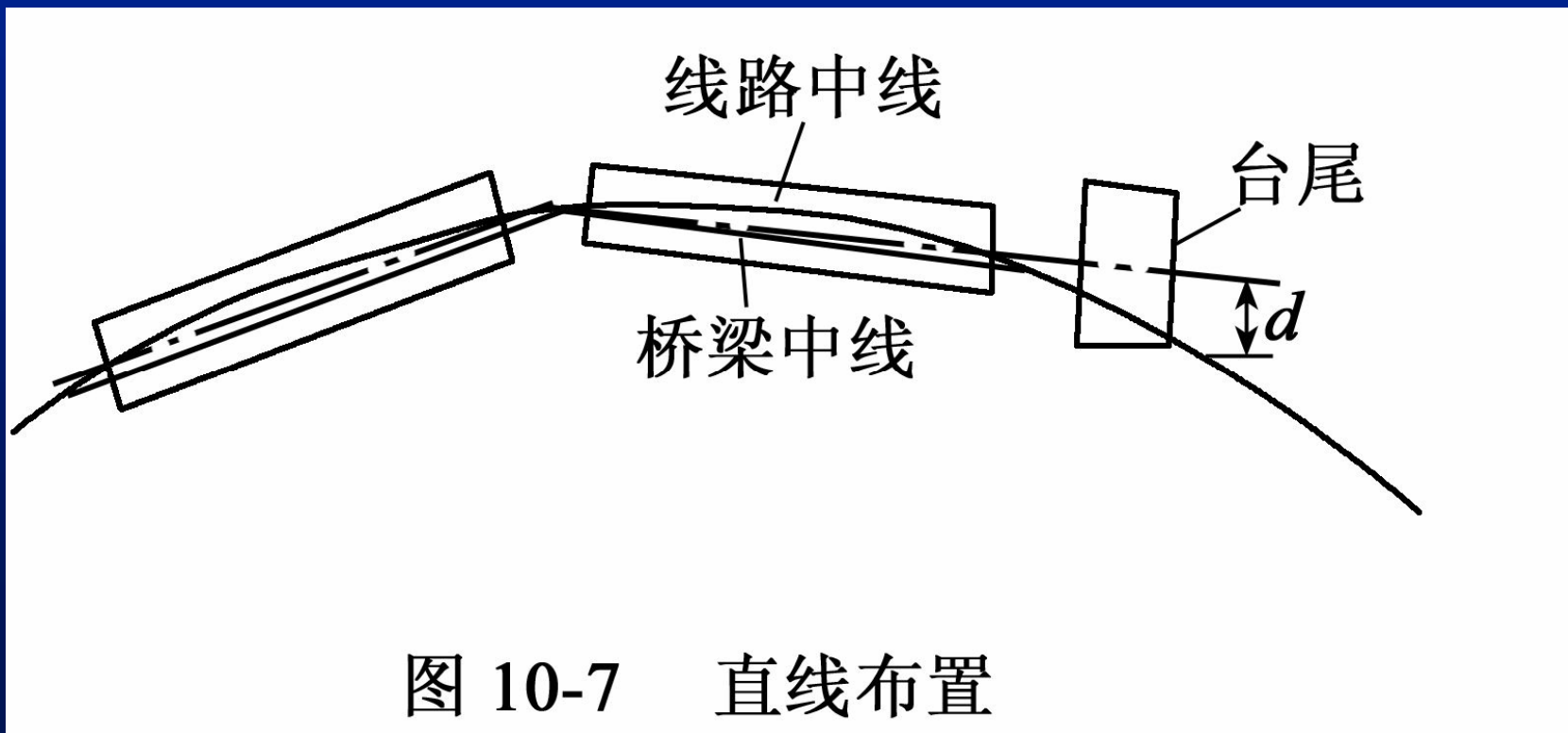
$$E = \frac{L^2}{16R} \frac{l_t}{l_0}$$



10.4 桥墩台基础的施工放样

• 桥台的布置

- 直线布置：桥台的中心线与相邻梁跨的中线布置在一条直线上





10.4 桥墩台基础的施工放样

- 折线布置：使台前的 E 与相邻梁跨的 E 相同，而使台尾的 E 为零

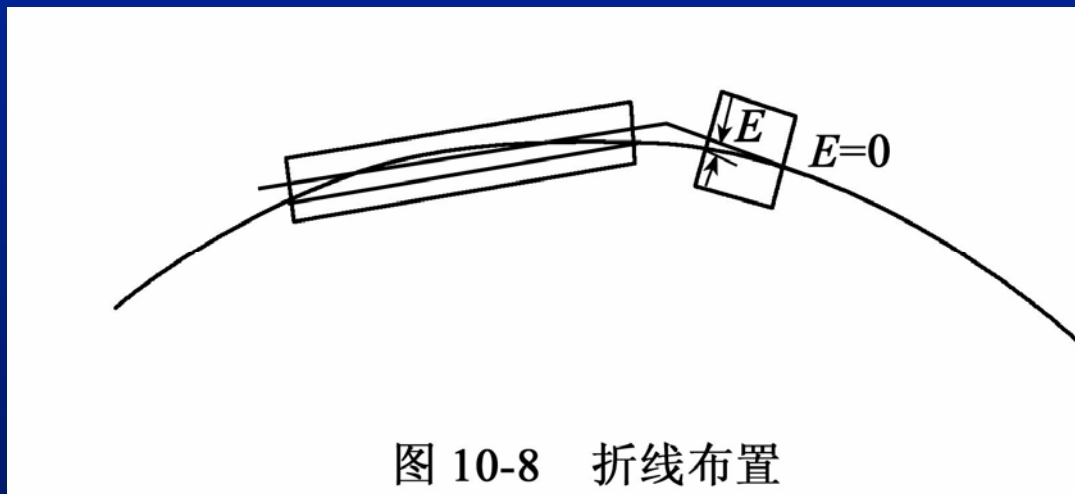


图 10-8 折线布置

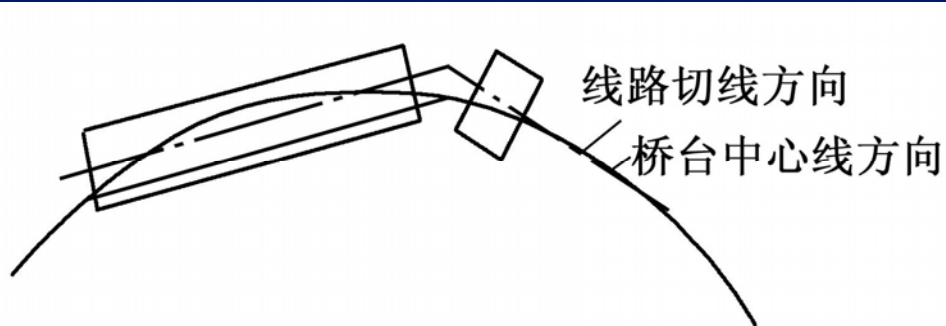


图10-9 台尾偏角改变方向

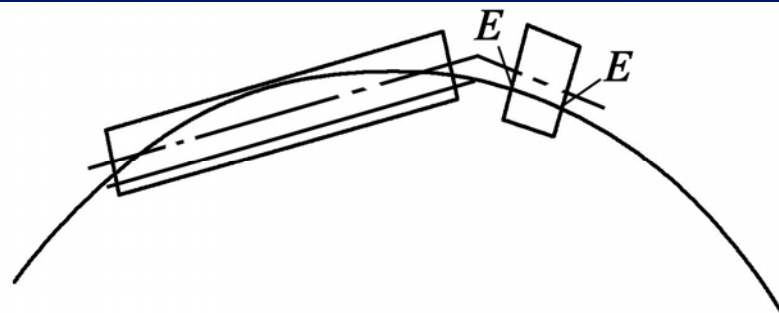
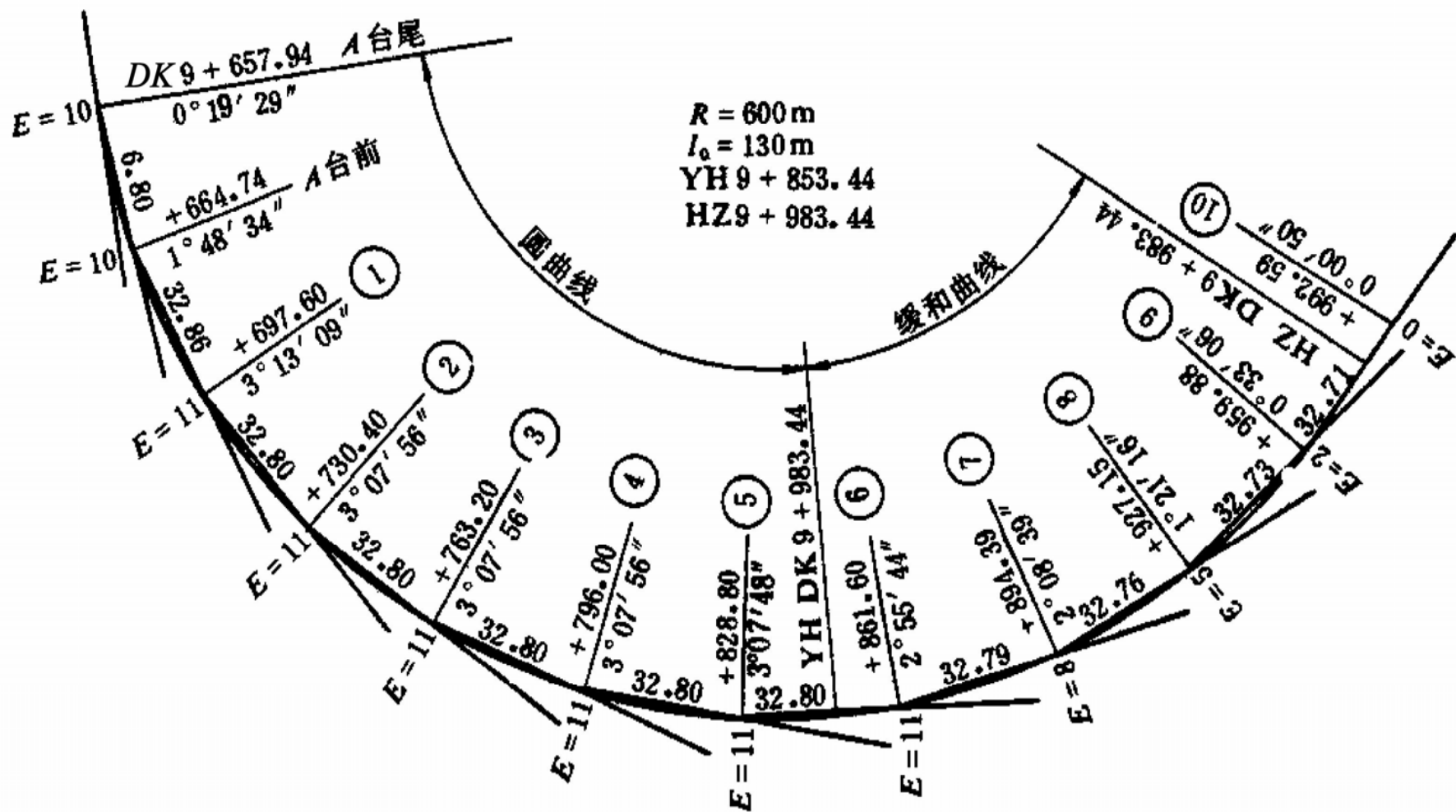


图10-10 台尾与台前采用相同的 E 值



10.4 桥墩台基础的施工放样

偏心距 E 、偏角及墩中心距 L ，一般在设计文件中给出，但在测设以前仍应按上述计算方法重新进行校核计算。





10.4 桥墩台基础的施工放样

10.4.2 曲线桥梁墩台中心坐标计算

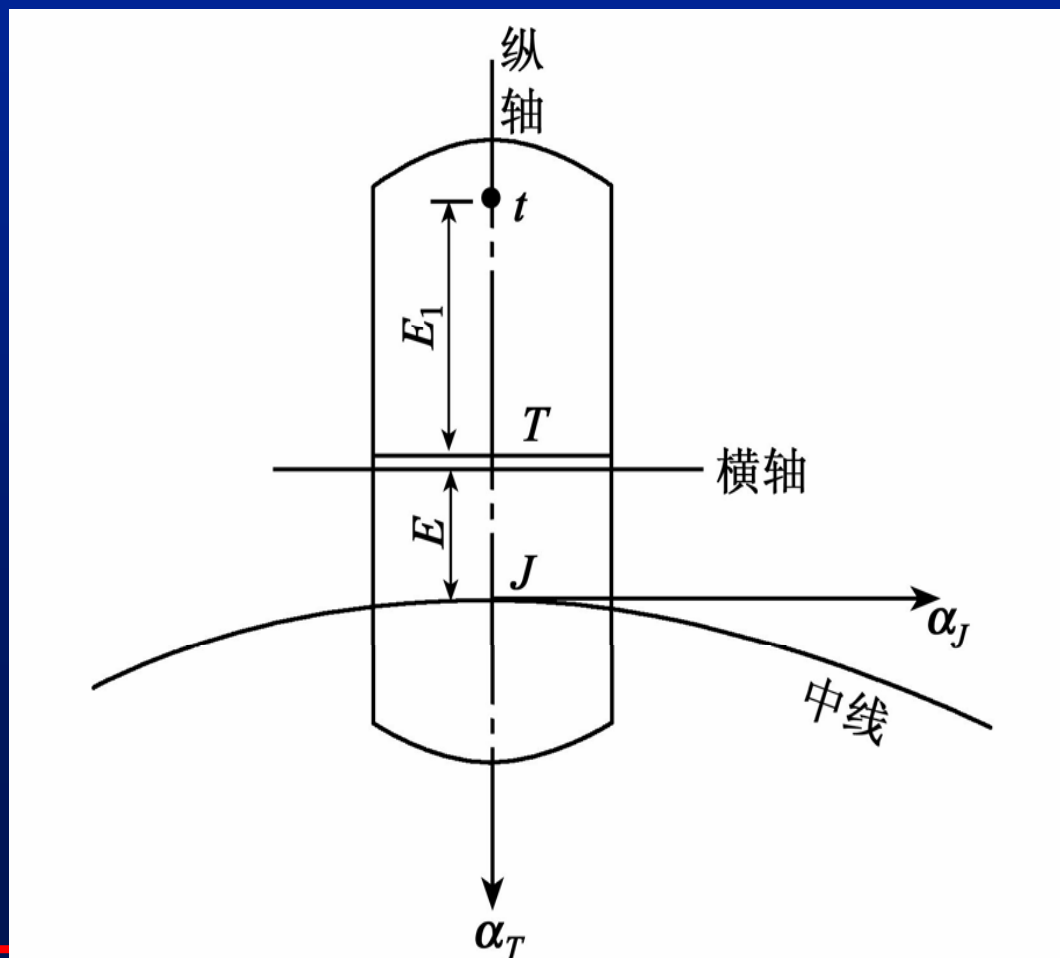
$$\alpha_T = \alpha_J + 90^\circ$$

墩台中心坐标

$$\begin{cases} x_T = x_J - E \cos \alpha_T \\ Y_T = y_J - E \sin \alpha_T \end{cases}$$

纵轴线上离墩中心 E_1 处取一点 t ，则 t 的坐标为

$$\begin{cases} x_t = x_T - E_1 \cos \alpha_T \\ y_t = y_T - E_1 \sin \alpha_T \end{cases}$$





10.4 桥墩台基础的施工放样

10.4.3 墩台中心定位和轴线测设

测设墩台中心的方法有直接丈量法、偏角法、导线法、极坐标法及前方交会法。

- 1) 极坐标法
- 2) 前方交会法

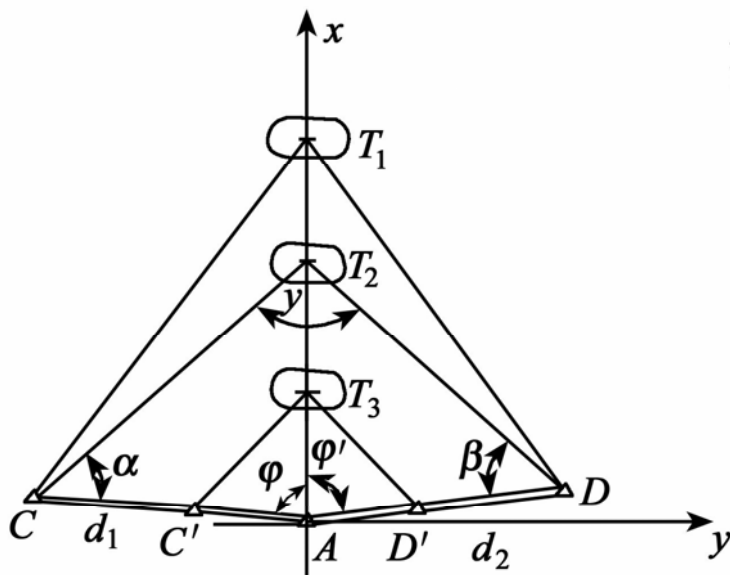


图 10-13 直线桥前方交会法

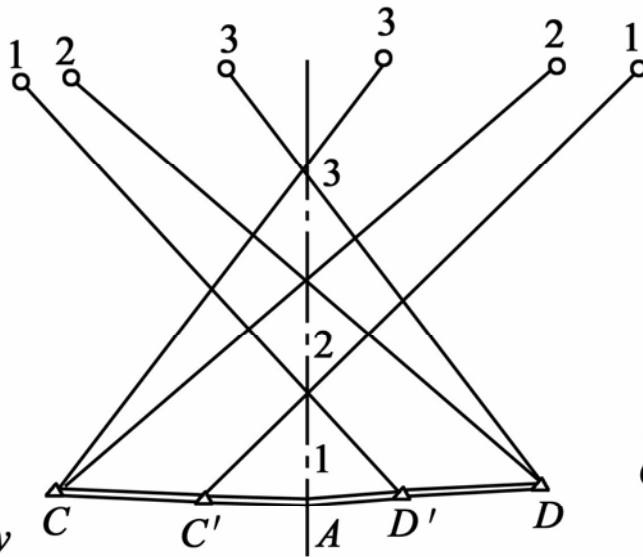


图 10-14 照准对岸的觇牌

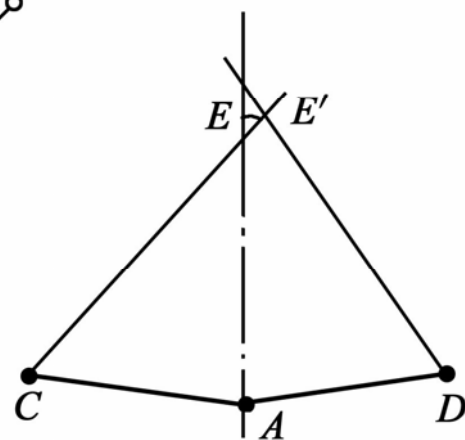


图 10-15 示误三角形



10.4 桥墩台基础的施工放样

10.4.4 桥梁施工中的检测与竣工测量

1 桥梁下部结构的施工放样的检测

- (1) 桩基础：一般单排桩要求轴线偏位 $\pm 5\text{cm}$ ，群桩要求轴线偏位 $\pm 10\text{cm}$ 。
- (2) 承台（系梁）的轴线偏位 $\pm 15\text{ mm}$ 。
- (3) 立柱、墩帽轴线偏位 $\pm 10\text{ mm}$ 。

2 桥梁上部结构的施工放样的检测

本阶段的测量工作主要是高程的控制，如T梁、板梁、现浇普通箱梁、现浇预应力箱梁的顶面标高直接影响到桥面的厚度，桥面的厚度直接影响桥梁使用。悬浇预应力箱梁的高程控制更是要影响贯通的高差及桥面的厚度。



10.4 桥墩台基础的施工放样

10.4.4 桥梁施工中的检测与竣工测量

3 桥梁的竣工测量

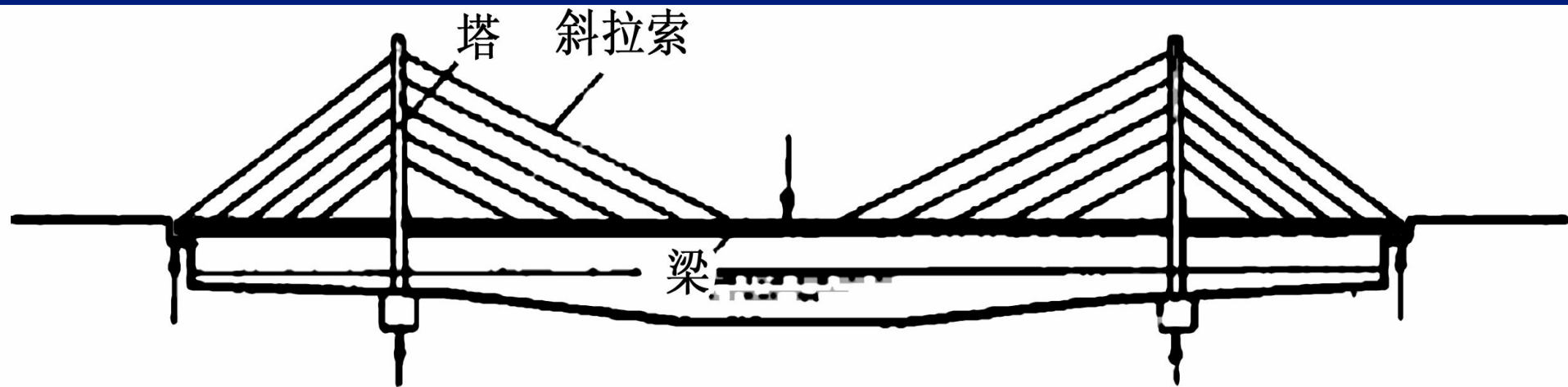
桥梁的竣工测量主要根据规范、图纸要求，对已完成的桥梁进行全面的检测，主要检测的测量项目有轴线、高程、宽度等。



10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

10.5.1 概况

- 斜拉桥用若干根斜拉索将梁拉在塔上，它由斜索、塔柱和主梁所组成。

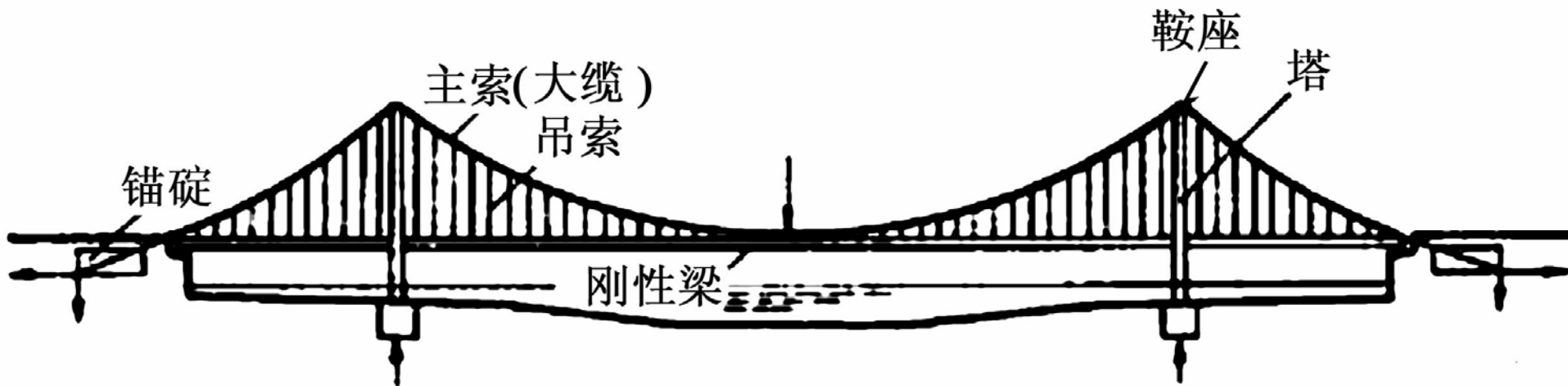


(a) 上海黄浦江主跨 602m 的杨浦斜拉大桥



10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

- 悬索桥是桥面支承在悬索（通常称大揽）上的桥，悬索桥一般设有刚性梁（又称加劲梁），桥面铺在刚性梁上，刚性梁吊在悬索上。



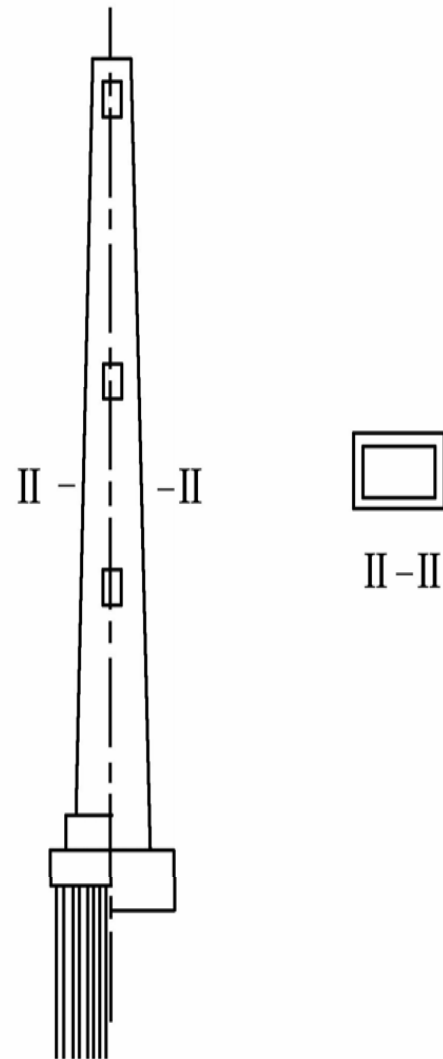
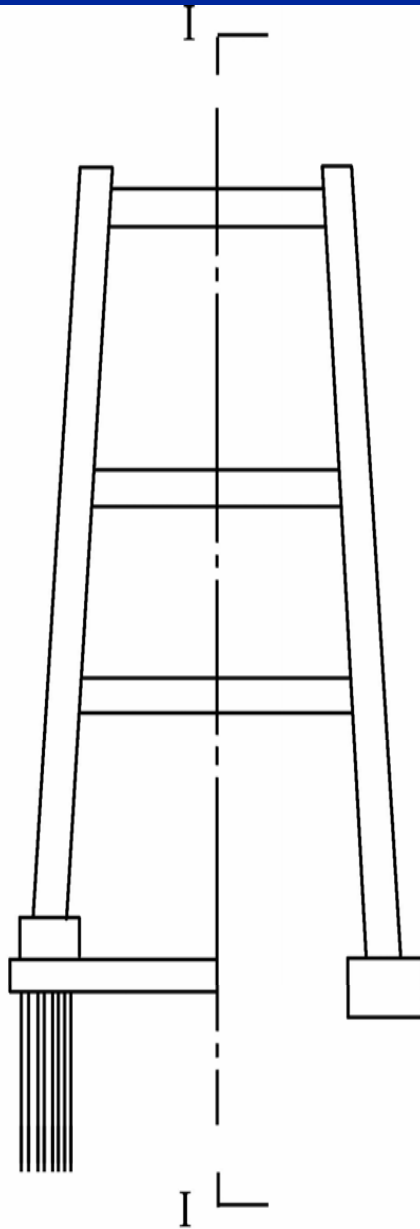
(b) 主跨 1385m 的江阴长江悬索大桥



10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

斜拉桥、悬索桥的斜索和悬索一般均支承在两个塔柱上。

索塔是斜拉桥、悬索桥的主体构件之一，桥的跨径越大，其索塔越高。





10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

10.5.2 索塔施工对测量控制的技术要求

1 平面定位技术要求

- 塔柱中心线位偏位误差不超过塔高的 $1/3000$;
- 东西索塔的中心距符合设计距离，桥轴线长度的精度不低于 $1/4$ 万;
- 索塔的中心线与桥轴线平行及垂直;
- 控制塔身以设计的倾斜度、收坡和断面提升，其偏位误差不超过塔高的 $1/3000$ 。



10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

10.5.2 索塔施工对测量控制的技术要求

2 高程定位技术要求

控制上、中、下塔柱和各横系梁等各施工断面的标高，使其上升到一定的高度时符合设计的倾斜度；下横系梁顶面标高的误差不大于 $\pm 1.0\text{cm}$ ，中横系梁顶面标高的误差不大于 $\pm 2.0\text{cm}$ ，塔顶和上横梁标高的误差不大于 $\pm 3.0\text{cm}$ 。

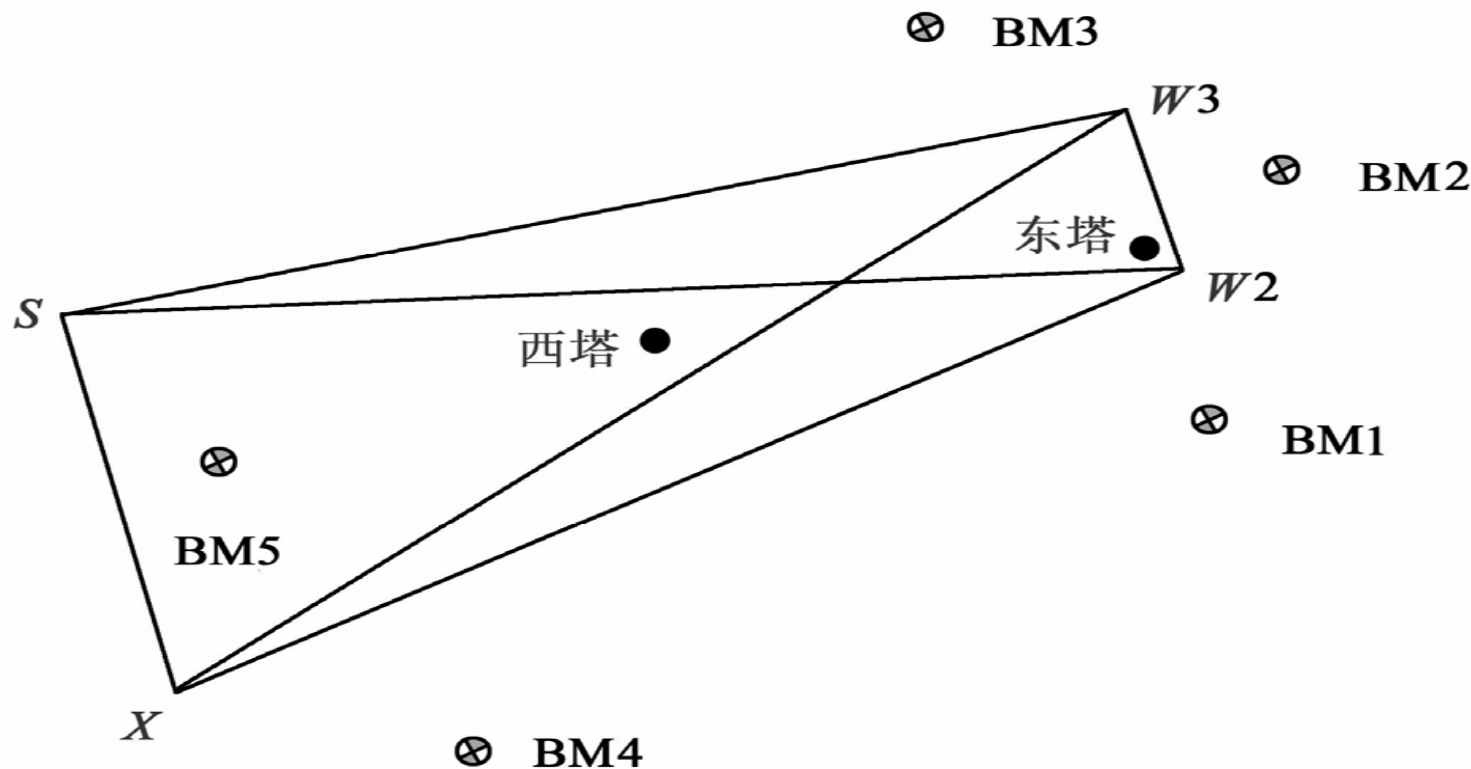


10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

10.5.3 索塔施工首级与局部控制网的建立与施测

1 索塔施工首级控制网的建立与施测

为保证塔柱间的横向间距和纵向跨径符合设计要求，需建立控制范围包括东西塔的首级平面和高程控制网。

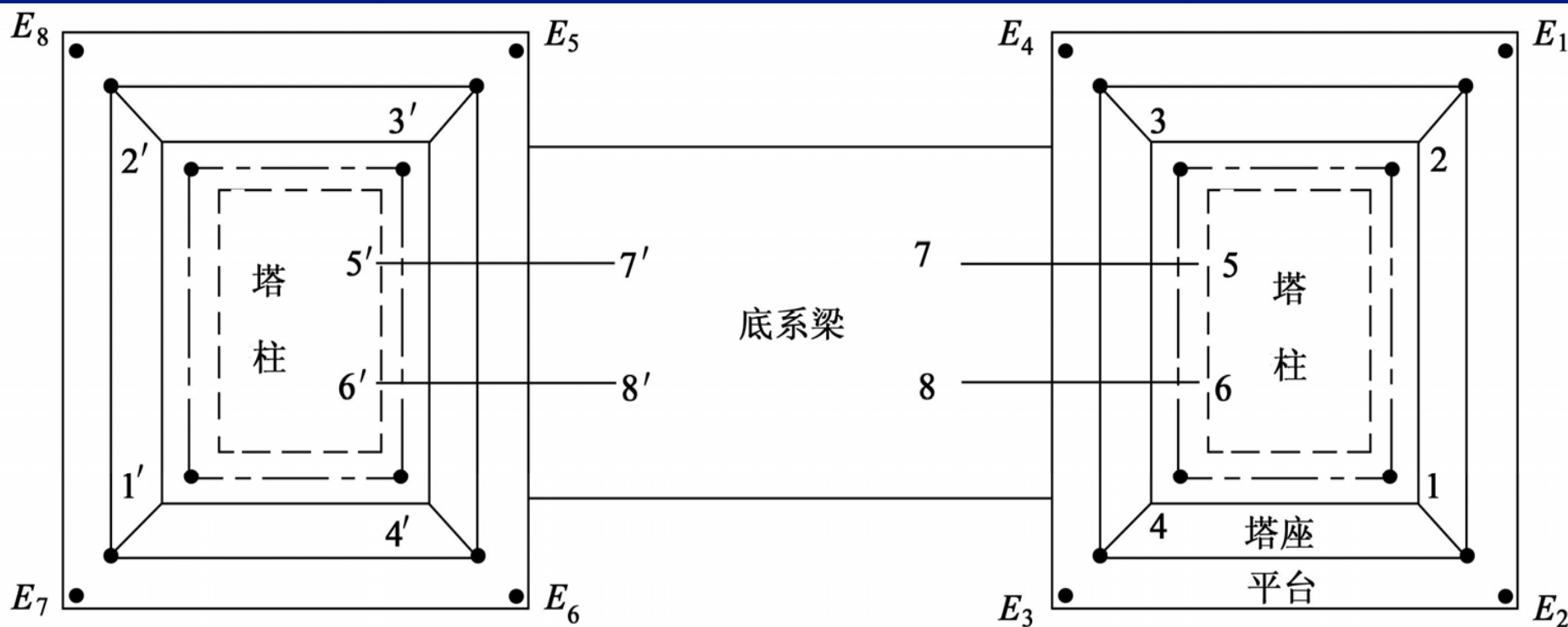




10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

2 索塔施工局部控制网的建立与施测

图中1、2、3、4和、 \cdot 、 \cdot 、 \cdot 为局部网平面控制点，E1、E2.....E8、为局部网高程控制点（兼作沉降监测点），5—7、6—8、和—和—为准直仪观测平台，利用首级控制网按极坐标方法精确放样1、2、3、4和 \cdot 、 \cdot 、 \cdot ，用二等水准测量联测E1—E8的高程，再利用局部控制点精密放样准直仪的观测平台。





10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

3 观测平台、滑车的设计与安装

- 为适应不同高度处塔柱的模板定位，使准直仪能快速地安置于需要的位置上，在每个塔柱的内侧设计两个观测平台；
- 为减少准直仪对中误差的影响和快速安置仪器，设计了装载准直仪的滑车，这样便可使装载准直仪的滑车能在观测平台上来回滑动。
- 为使滑车能方便地装载准直仪并在观测平台上滑动，滑动时保持其中心与平台的中线一致，且能从滑车上观测准直仪的移动量，要求滑车上要有安装准直仪的中心螺孔，沿槽钢顶面和侧面滑动的滑轮和量取移动量的刻划标志线。



10.5 大型斜拉桥、悬索桥高塔柱施工测量

10.5.4 索塔施工测量控制方法

1 天顶准直仪铅垂线控制法

利用准直仪垂直方向上的铅垂光线投影在光靶上的视点或光斑，控制施工模板在顺桥向和横桥向两个垂直向上的移动，使施工模板定位在塔柱的设计位置上，以达到控制塔柱施工的横向倾斜度

2 全站仪极坐标控制法

全站仪极坐标法测量坐标与设计坐标比较

3 索塔的标高定位

悬挂钢尺水准测量的方法分段往上传递



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

10.6.1 概述

斜拉索的应力和线形控制是施工监控的重要内容，斜拉索的线形与由塔上和梁上斜拉索索道管的空间位置相关，斜拉索索道管空间位置的精密测量定位及其精度，是影响斜拉桥施工质量、成桥线形和施工工期的重要因素，在斜拉桥的施工测量中占有重要的地位。

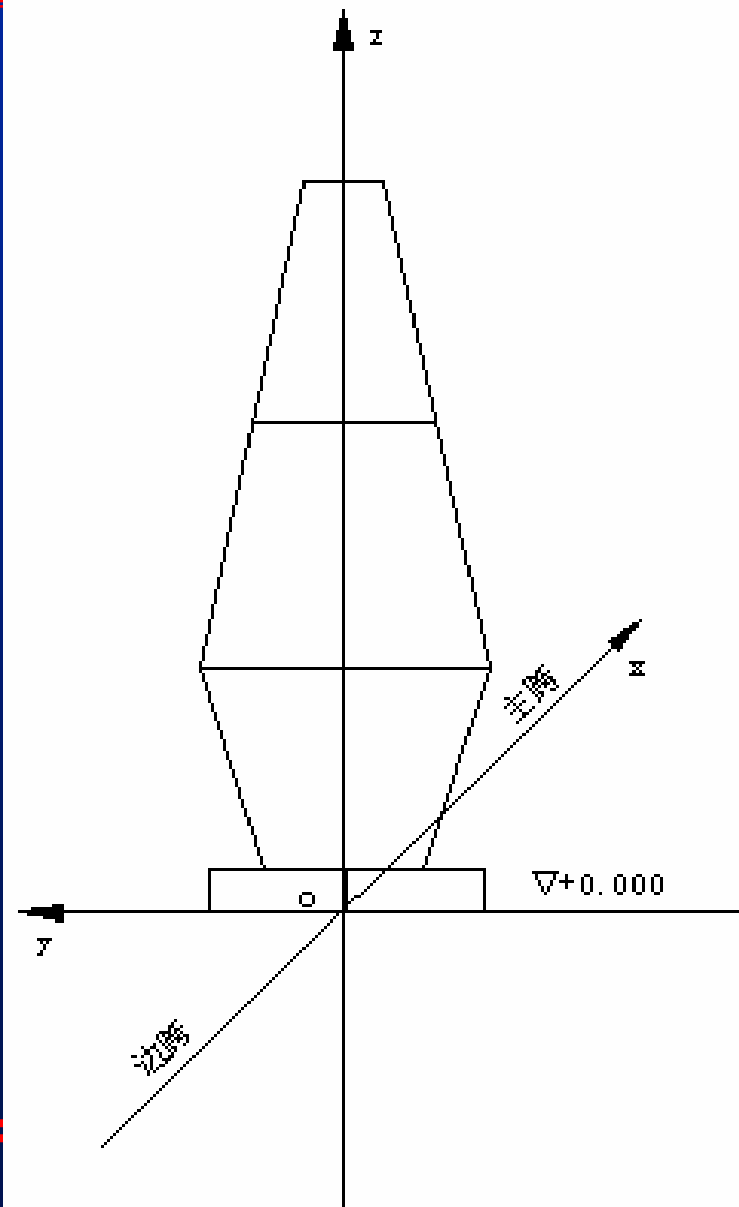
塔上斜拉索索道管其位置高，又与索塔同时施工，受施工的影响大，因此比主梁上的斜拉索索道管测量定位难度大，塔上斜拉索索道管的精密测量定位方法，是大型斜拉桥施工测量的主要内容之一。



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

10.6.2 斜拉索索道管的测量定位的精度要求

为了确保成桥后斜拉索和主梁线形接近设计线形，大型斜拉桥斜拉索索道管测量定位的精度要求高达 $\pm 5\text{mm}$ ，即相对于局部坐标系原点而言，索道管上、下口中心的施工定位与设计位置在X、Y、Z三方向的误差，都不得大于 $\pm 5\text{mm}$ 。





10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

10.6.3 斜拉索索道管空间位置的设计参数

- 1) 索塔锚固区钢垫板中心点A的空间坐标，A点的位置见右图。

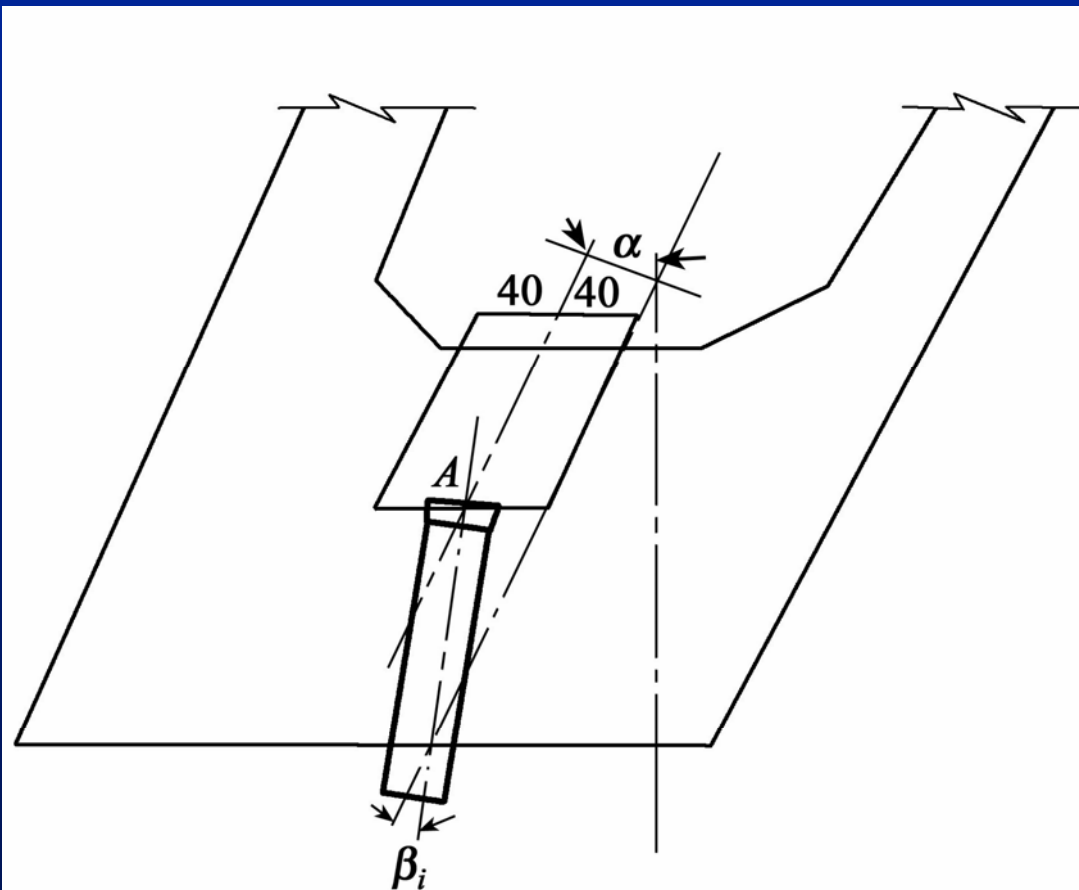


图10-22

索道管空间横向偏角示意图 (单位 :cm)



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

2) 索道管的纵向倾角，
其几何含义见图10-23。

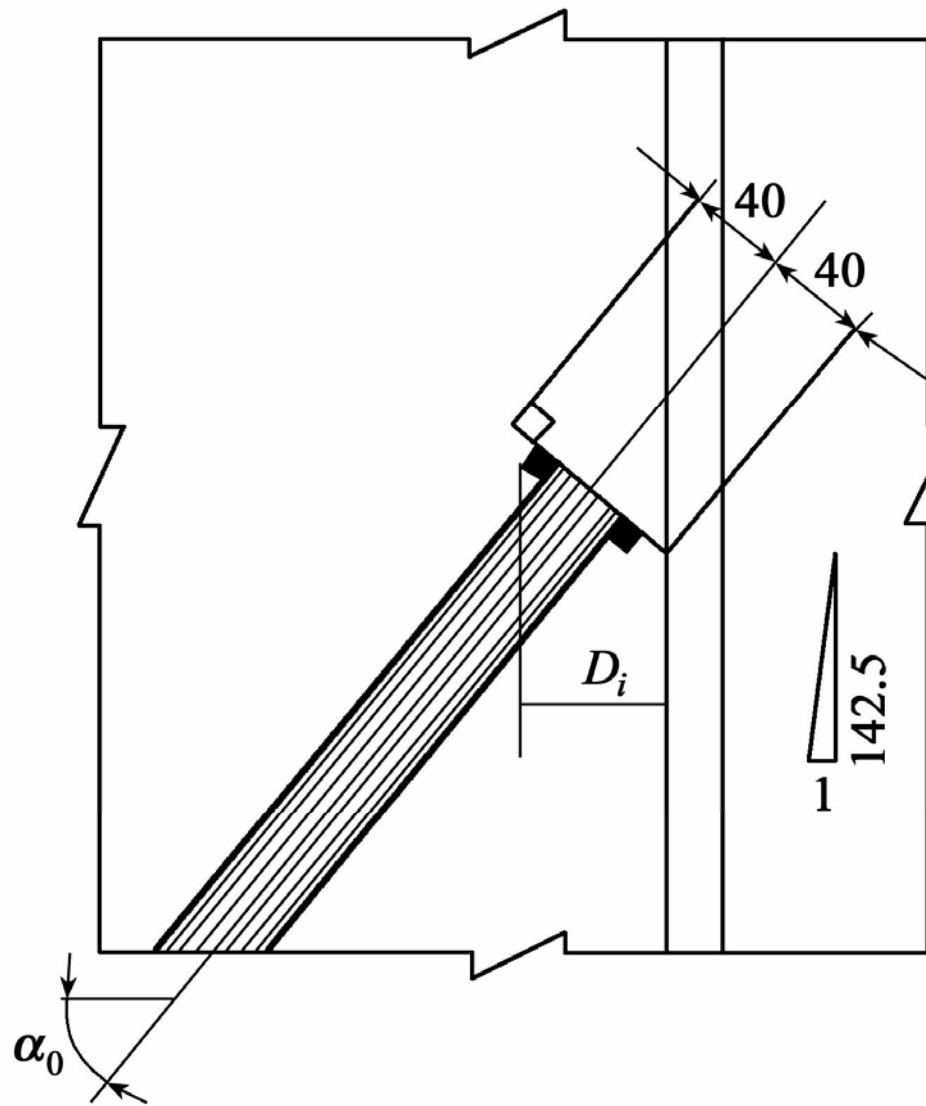


图10-23 索道管纵向倾角示意图 (单位 :cm)



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

3) 索道管水平投影的横向偏角和锚固区索道管中心点A的横向偏距d, 它们的几何含义见图10-24。

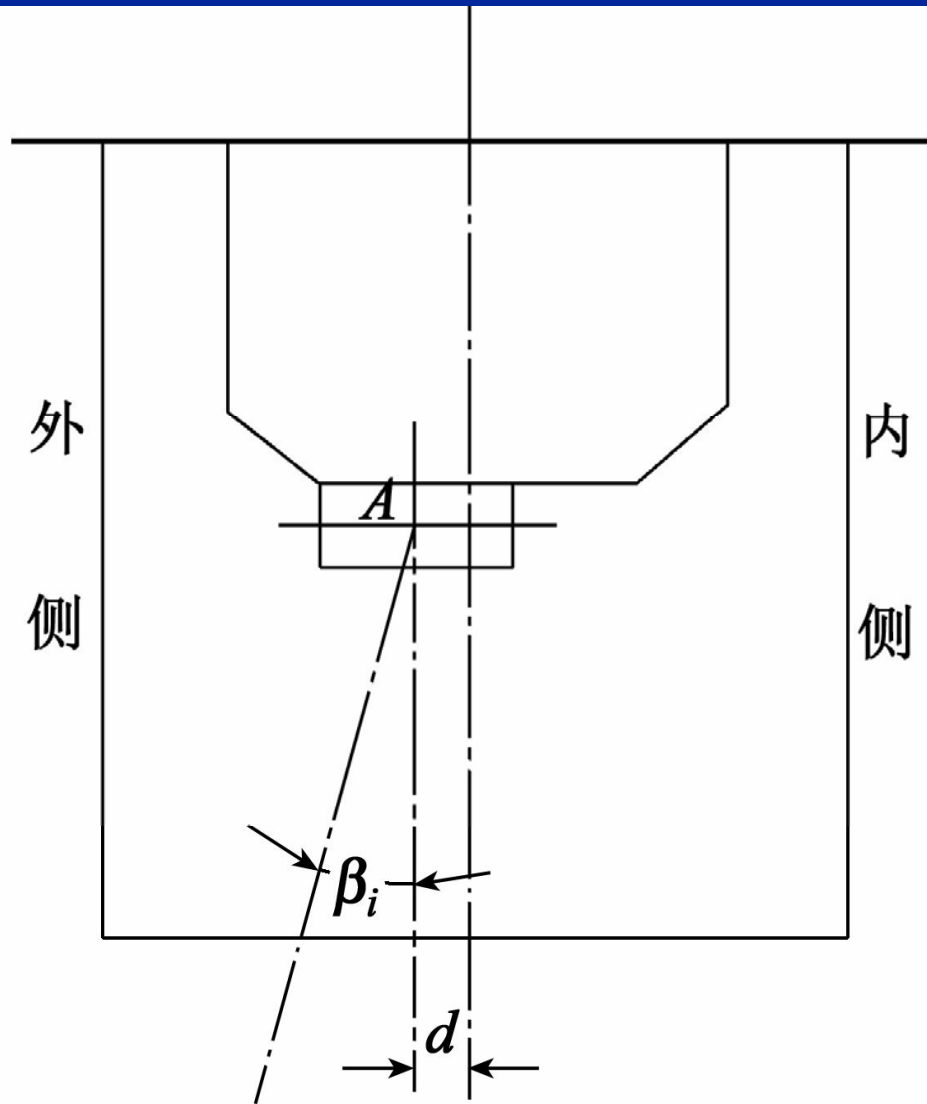


图10-24 索道管水平投影横向偏角示意图



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

- 4) 索道管的空间横向偏角（用公式编辑器修改），与的关系为，的几何含义见图10-22。
- 5) 索塔顺桥向方向的倾斜度的几何含义见图10-23。
- 6) 索道管的长度 L 、索道管的半径 R 和钢垫板的厚度 t_2 ，它们的几何含义见图10-25。
- 7) 索塔锚固区索道管中心与塔柱外侧壁交点 C 的空间坐标， C 点的位置见下图10-25。

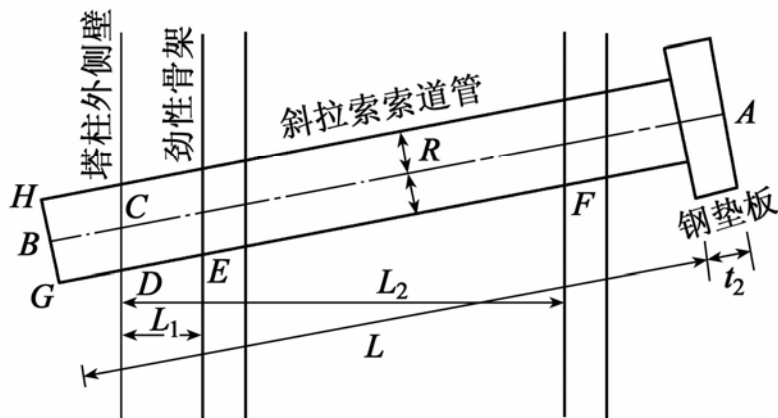


图10-25 索道管测量定位点示意图



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

10.6.4 索道管施工放样点设计坐标的计算

1 中跨上游侧1号索道管设计参数

A点坐标 (m)			C点坐标 (m)			纵向倾角 α	横向倾角 β
x_A	y_A	z_A	x_C	y_C	z_C		
2.259	8.403	92.861	3.407	8.625	90.000	$68^{\circ}08'18''$	$10^{\circ}53'53''$
塔柱倾斜度 α_0		拉索索道管 (m)		钢垫板厚度 t_2	索道管与内、外侧劲性骨架交点，距塔柱混凝土面的设计长度 (m)		
		长度L	半径R				
1/142.5		4.268	0.1585	0.070	$L_1=0.400$	$L_2=1.200$	



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

2 索道管出口B、H和G点设计坐标的计算

$$\begin{cases} x_B = x_A + (t_2 + L) \times \cos \alpha \times \cos \beta = 3.845 \\ y_B = y_A + (t_2 + L) \times \cos \alpha \times \sin \beta = 8.708 \\ z_B = z_A - (t_2 + L) \times \sin \alpha = 88.835 \end{cases}$$
$$\begin{cases} x_H = x_B + R \times \sin \alpha \times \cos \beta = 3.989 \\ y_H = y_B + R \times \sin \alpha \times \sin \beta = 8.736 \\ z_H = z_B + R \times \cos \alpha = 88.894 \end{cases}$$
$$\begin{cases} x_G = x_B - R \times \sin \alpha \times \cos \beta = 3.701 \\ y_G = y_B - R \times \sin \alpha \times \sin \beta = 8.680 \\ z_G = z_B - R \times \cos \alpha = 88.776 \end{cases}$$



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

3 索道管与塔柱外侧壁最低交点D的坐标计算

塔柱在索道管中线铅垂面方向的倾斜率： $\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{\cos \beta} = 1:145.1$

该方向塔柱倾角： $\beta_1 = \arctg \alpha_1 = 0^\circ 23' 41.5''$

D点坐标：

$$\begin{cases} x_D = x_c + \frac{R}{\cos(\alpha + \beta_1)} \times \sin \beta_1 = 3.410 \\ y_D = y_c = 8.625 \\ z_D = z_c - \frac{R}{\cos(\alpha + \beta_1)} \times \cos \beta_1 = 89.567 \end{cases}$$



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

4 索道管测量放样点E和F的设计坐标计算

已知E和F点距塔柱外侧壁的顺桥向方向水平距离分别为 $L_1=0.400m$ 和 $L_2=1.200m$ ，根据索道管的纵向倾角和横向偏角，可把 L_1 和 L_2 转换为索道管中线方向的空间长度。

$$L'_1 = \frac{L_1}{(\cos \beta \times \cos \alpha)} = 1.094m$$

$$L'_2 = \frac{L_2}{\cos \beta \times \cos \alpha} = 3.282m$$

E、F点的设计坐标为：

$$\begin{cases} x_E = x_D - L'_1 \times \cos \alpha \times \cos \beta = 3.010 \\ y_E = y_D - L'_1 \times \cos \alpha \times \sin \beta = 8.547 \\ z_E = z_D + L'_1 \times \sin \alpha = 90.582 \end{cases} \begin{cases} x_F = x_D - L'_2 \times \cos \alpha \times \cos \beta = 2.210 \\ y_F = y_D - L'_2 \times \cos \alpha \times \sin \beta = 8.394 \\ z_F = z_D + L'_2 \times \sin \alpha = 92.613 \end{cases}$$



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

10.6.5 斜拉索索道管测量定位的方法

1 加密索道管测量定位的局部控制网点

- 在边跨已经竣工的桥墩或桥面上距索塔200m左右处，设置索道管测量定位的局部平面控制网点
- 在索塔上横梁上，设置索道管测量定位的局部高程控制网点

2 索道管定位点E及F空间位置测设和索道管定位

- 按E、F设计高度，用局部水准点和悬吊钢尺水准测量精确确定支撑钢板高度
- 在已经调好高度的钢板上放出E和F点的设计位置



10.6 大型斜拉桥索道精密定位测量

10.6.5 斜拉索索道管测量定位的方法

3 检查索道管出口上边缘点H的位置

- 在出口上端H点设置测量标志，以整体或局部平面控制点为基准，测量H点的平面坐标；
- 以局部高程控制网点为基准，用精密水准仪悬吊钢尺水准测量方法测量H点的标高，这样就获得了H点的三维实测坐标；
- 与其推算的设计坐标相比较，若X、Y、Z三方向的误差均在以内，则该索道管定位完毕，否则，应按上述方法重新进行调整再次检查，直到满足要求为止。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.1 概 述

桥梁变形

静态变形:

变形观测的结果只表示在某一期间的变形值, 如墩台变形。

墩台垂直位移观测

墩台水平位移观测

动态变形:

在外力影响下而产生的某个时刻的瞬时变形, 如挠度变形。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

桥梁变形 观测方法

大地控制测量方法（常规地面测量方法），是变形观测的主要手段。

特殊测量方法，包括倾斜测量和激光准直测量

地面立体摄影测量方法

GPS动态监测方法

桥梁变形分析：归纳出桥梁变形的过程、变形的规律和幅度，分析变形的原因，判断变形是否异常。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.2 垂直位移观测

1 垂直位移监测网

- 基准点应尽量选在桥梁承压区之外，但又不宜离桥梁墩台太远，以免加大实测工作量及增大测量的累积误差，一般来说，以不远于桥梁墩台1km~2km为宜。
- 工作基点一般选在桥台上，以便于观测布设在桥梁墩台上的观测点，测定各桥墩相对于桥台的变形。
- 观测点的布设应遵循既要均匀又要有重点的原则。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.2 垂直位移观测

2 垂直位移观测

- 垂直位移观测是定期地测量布设在桥墩台上的观测点相对于基准点的高差，求得观测点的高程，利用不同时期观测点的高程求出墩台的垂直位移值。
- 基准点观测应每年定期进行一次或二次，各次观测的条件应尽可能相同，以减少外界条件对成果的影响。水准测量应执行的等级，依据变形观测的精度要求而定。一般大型桥梁应按一等水准测量施测，它能满足变形观测精度1mm的要求。
- 观测点观测包括引桥观测点观测和水中桥墩观测点的观测，由于引桥观测点是在岸上，其施测方法可参照工作基点的施测方法进行。水中观测点观测的线路方案从一个墩到另一个墩的观测，可以采用跨河水准测量或跨墩水准测量。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.3 水平位移观测

1 水平位移监测工作基点测定

测定相对位移时，工作基点一般处于桥台上或附近不远处，很难保证稳定不动，所以要定期测定工作基点的位移，以改正观测点测定的结果。工作基点位移可按如下方法测定：

- (1) 边角网
- (2) 方交会法
- (3) 检核基准线法
- (4) GPS网



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

2 水平位移观测

测定相对位移的方法与桥梁的形状有关，对于直线形桥梁，一般采用基准线法、测小角法等；对于曲线桥梁，一般采用前方交会法、导线测量法等。

(1) 基准线法，可布设三条基准线，主桥一条，两端引桥各一条。

(2) 测小角法，精密测定基准线方向（或分段基准线方向）与测站到观测点之间的小角。

(3) 前方交会法，若桥梁难以直接用距离测量法和基准线法测定位移，可用前方交会法。

(4) 导线测量法导线，两端连接于桥台工作基点上，每一个墩上设置一导线点，它们也是观测点。这是一种两端不测连接角的无定向导线。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.4 桥梁挠度观测

桥梁挠度观测分为桥梁的静荷载挠度观测和动荷载挠度观测。静荷载挠度观测时测定桥梁自重和构件安装误差引起的桥梁的下垂量；动荷载挠度观测时测定车辆通过时在其重量和冲量作用下桥梁产生的挠曲变形。

- 1 精密水准法
- 2 全站仪观测法，即光电测距三角高程法。
- 3 GPS观测法，对大挠度的桥梁可考虑用GPS。
- 4 静力水准观测法，自动化的数据采集和处理。
- 5 专用挠度仪观测法，最常见的为激光挠度仪。



10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.5 GPS (RTK) 桥梁实时位移监测方法

10.7.5.1 卫星定位系统监测大桥位移的特点

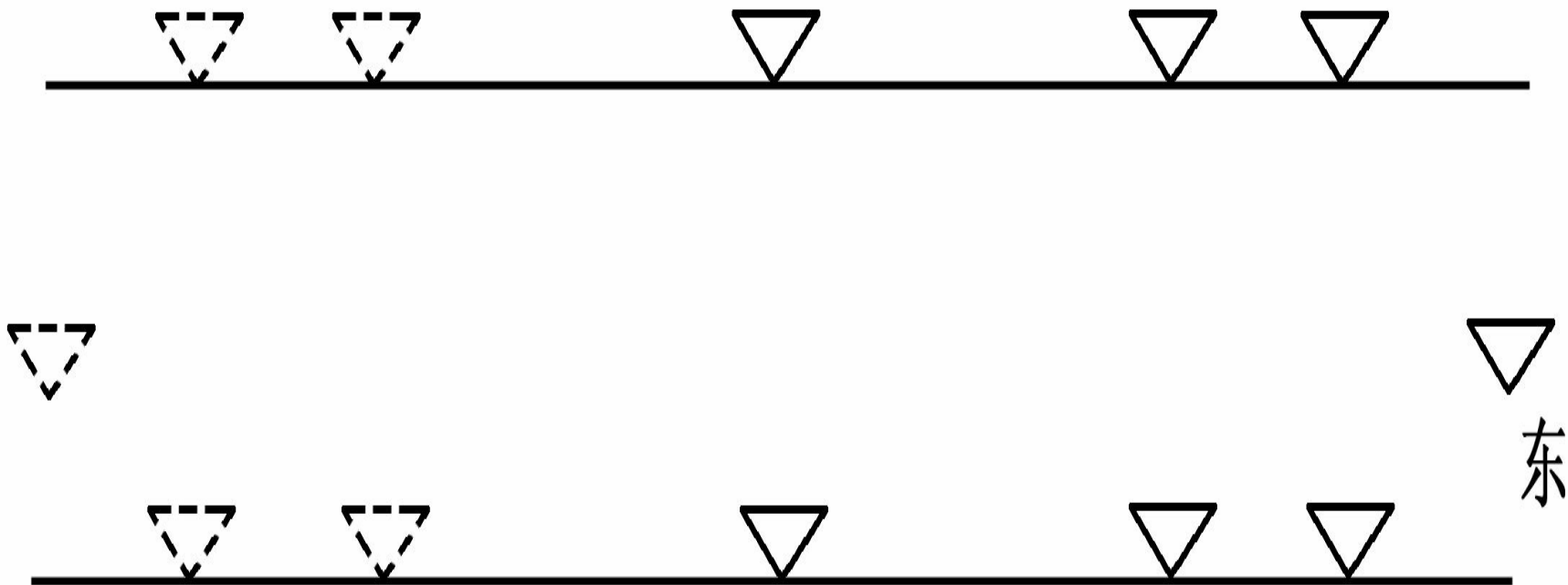
- (1) 大桥上各点只要能接收到 5颗以上 GPS卫星及基准站传来的 GPS差分信号，即可进行RTKGPS差分定位。各监测站之间无需通视，是相互独立的观测值。
- (2) GPS定位受外界大气影响小，可以在暴风雨中进行监测。
- (3) GPS测定位移自动化程度高。从接收信号，捕捉卫星，到完成 RTK差分位移都可由仪器自动完成。所测3维坐标可直接存入监控中心服务器进行大桥安全性分析。
- (4) GPS定位速度快、精度高。RTKGPS最快可达10~20Hz速率输出定位结果，实时定位精度平面可达10mm, 高程可达20mm。

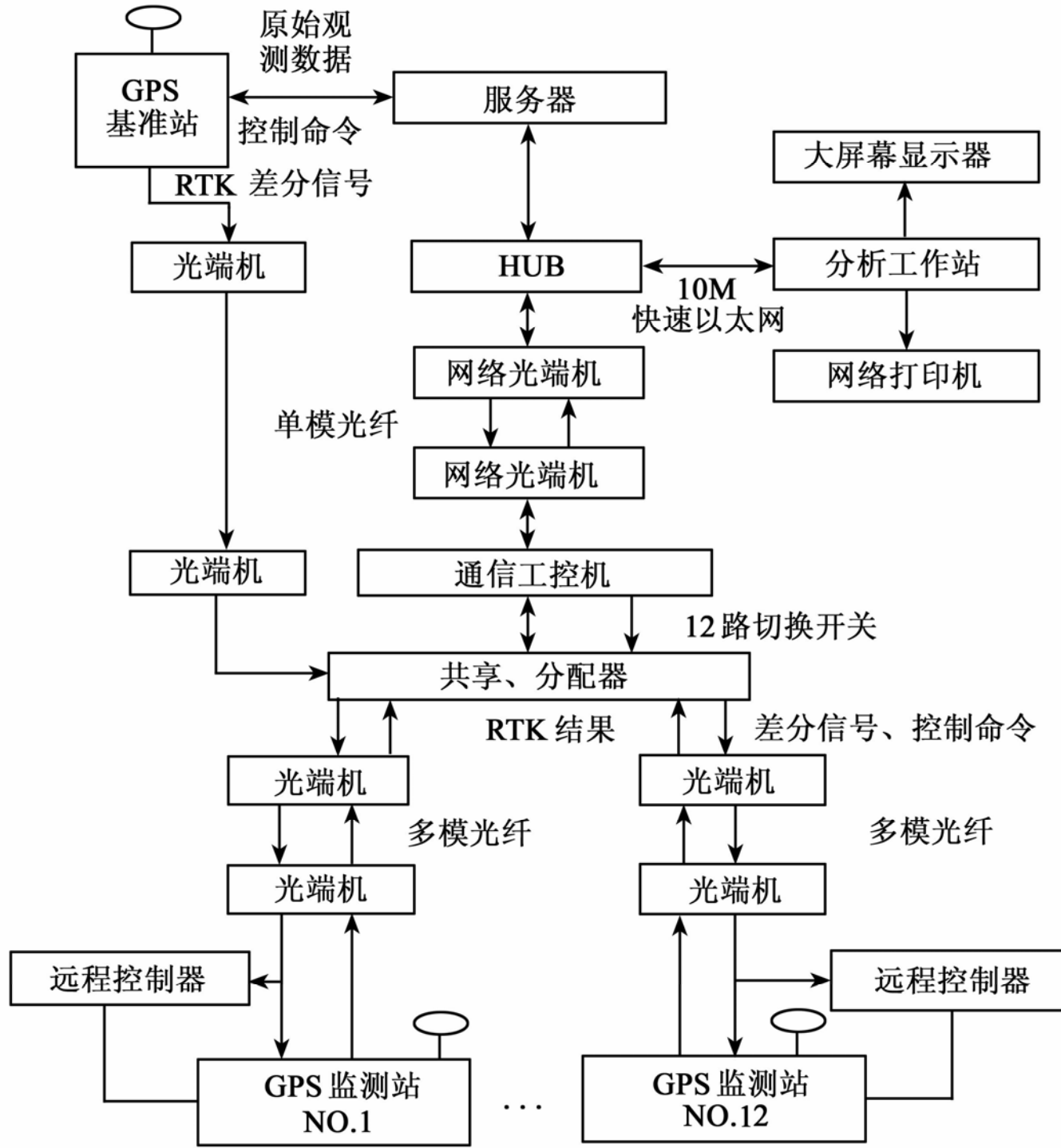


10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.5.2 虎门大桥GPS (RTK) 实时位移监测系统的构成

桥面上布设12个GPS监测点，在桥面的中点、四分之一、八分之一处两侧对称安置两个监测点，在东西桥塔的塔上横梁中点处各安置一个监测点。



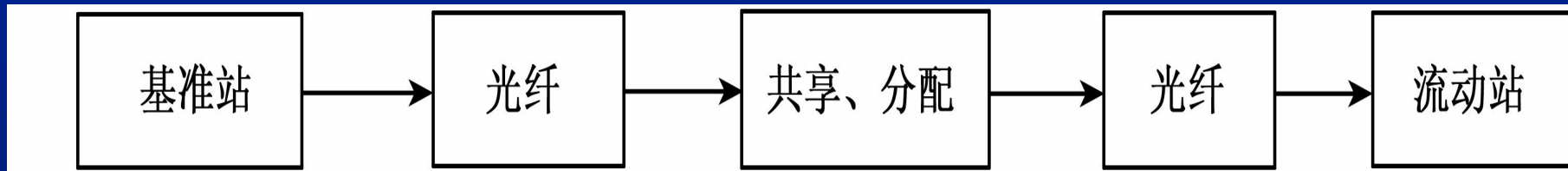




10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

10.7.5.3 虎门大桥RTKGPS实时位移监测系统信号流程

1 差分信号的传送



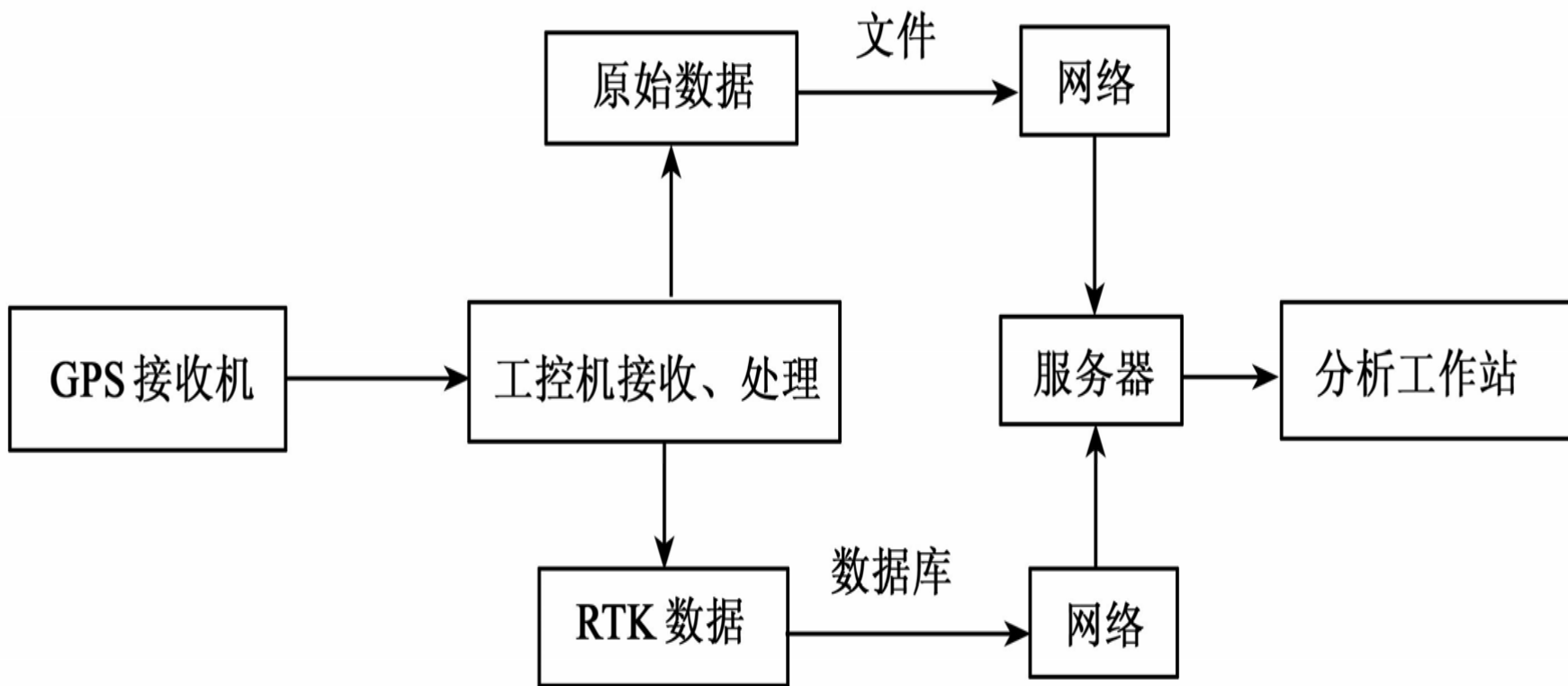
2 控制命令的传递





10.7 桥梁施工和运营期的变形监测

3 RTK数据和原始数据传递





谢谢大家!