

第十三章 桥梁测量

第十三章 桥梁测量.....	1
§13—1 桥轴线长度所需精度的估算.....	1
§13—2 桥梁的平面和高程控制测量.....	2
一、平面控制网的布设及测量.....	2
二、高程控制点的布设及测量.....	3
§13—3 桥梁墩、台中心的测设.....	4
一、直线桥的墩、台中心测设.....	4
二、曲线桥的墩、台中心测设.....	6
§ 13—4 墩台纵、横轴线的测设.....	8
§ 13—5 桥梁施工测量.....	9

建设一座桥梁，需要进行各种测量工作，其中包括：勘测、施工测量、竣工测量等；在施工过程中及竣工通车后，还要进行变形观测工作。根据不同的桥梁类型和不同的施工方法，测量的工作内容和测量方法也有所不同。桥梁的测量工作概括起来有：桥轴线长度测量；施工控制测量；墩、台中心的定位；墩、台细部放样及梁部放样等。

近代的施工方法，日益走向工厂化和拼装化，梁部构件一般都在工厂制造，在现场进行拼接和安装，这就对测量工作提出了十分严格的要求。

§13—1 桥轴线长度所需精度的估算

在选定的桥梁中线上，于桥头两端埋设两个控制点，两控制点间的连线称为桥轴线。由于墩、台定位时主要以这两点为依据，所以桥轴线长度的精度直接影响墩、台定位的精度。为了保证墩、台定位的精度要求，首先需要估算出桥轴线长度需要的精度，以便合理地拟定测量方案。

在现行的《铁路测量技术规则》中，根据梁的结构形式、施工过程中可能产生的误差，推导出了如下的估算公式：

1. 钢筋混凝土简支梁

$$m_L = \pm \frac{\Delta_D}{\sqrt{2}} \sqrt{N} \quad (13-1)$$

2. 钢板梁及短跨（ $l \leq 64\text{m}$ ）简支钢桁梁

$$\text{单跨: } m_l = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{5000}\right)^2 + \delta^2} \quad (13-2)$$

$$\text{多跨等跨: } m_L = \pm m_l \sqrt{N} \quad (13-3)$$

$$\text{多跨不等跨: } m_L = \pm \sqrt{m_{l1}^2 + m_{l2}^2 + \dots} \quad (13-4)$$

3. 连续梁及长跨 ($l \geq 64\text{m}$) 简支钢桁梁

$$\text{单联(跨): } m_l = \pm \frac{1}{2} \sqrt{n \Delta_l^2 + \delta^2} \quad (13-5)$$

$$\text{多联(跨)等联(跨): } m_L = \pm m_l \sqrt{N} \quad (13-6)$$

$$\text{多联(跨)不等联(跨): } m_L = \pm \sqrt{m_{l1}^2 + m_{l2}^2 + \dots} \quad (13-7)$$

式中 m_{l1} ——单跨长度中误差;

m_L ——桥轴线(两桥台间)长度中误差;

l ——梁长;

N ——联(跨)数;

n ——每联(跨)节间数;

Δ_D ——墩中心的点位放样限差(设为 $\pm 10\text{mm}$);

Δ_l ——节间拼装限差($\pm 2\text{mm}$);

δ ——固定支座安装限差($\pm 7\text{mm}$);

1/5000——梁长制造限差。

§13—2 桥梁的平面和高程控制测量

一、平面控制网的布设及测量

建立平面控制网的目的是测定桥轴线长度和据以进行墩、台位置的放样;同时,也可用于施工过程中的变形监测。对于跨越无水河道的直线小桥,桥轴线长度可以直接测定,墩、台位置也可直接利用桥轴线的两个控制点测设,无需建立平面控制网。但跨越有水河道的大型桥梁,墩、台无法直接定位,则必须建立平面控制网。

根据桥梁跨越的河宽及地形条件,平面控制网多布设成如图 13—1 所示的形式。

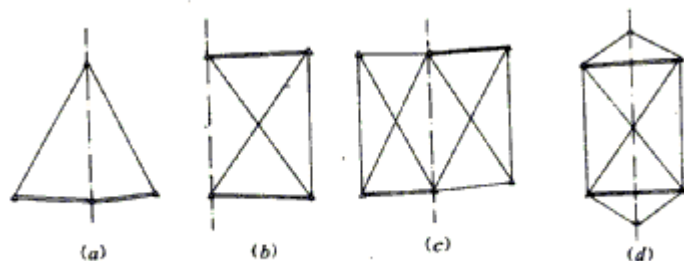


图 13—1

选择控制点时,应尽可能使桥的轴线作为三角网的一个边,以利于提高桥轴线的精度。如不可能,也应将桥轴线的两个端点纳入网内,以间接求算桥轴线长度,如图 13—1(d)。

对于控制点的要求,除了图形刚强外,还要求地质条件稳定,视野开阔,便于交会墩

位，其交会角不致太大或太小。

在控制点上要埋设标石及刻有“十”字的金属中心标志。如果兼作高程控制点使用，则中心标志宜做成顶部为半球状。

控制网可采用测角网、测边网或边角网。采用测角网时宜测定两条基线，如图 13—1 的双线所示。过去测量基线是采用因瓦线尺或经过检定的钢卷尺，现在已被光电测距仪取代。测边网是测量所有的边长而不测角度；边角网则是边长和角度都测。一般来说，在边、角精度互相匹配的条件下，边角网的精度较高。

在《铁路测量技术规则》里，按照桥轴线的精度要求，将三角网的精度分为五个等级，它们分别对测边和测角的精度规定如表 13—1 所示。

表 13—1 测边和测角的精度规定

三角网等级	桥轴线相对中误差	测角中误差 (″)	最弱边相对中误差	基线相对中误差
一	1/175 000	±0.7	1/150 000	1/400 000
二	1/125 000	±1.0	1/100 000	1/300 000
三	1/75 000	±1.8	1/60 000	1/200 000
四	1/50 000	±2.5	1/40 000	1/100 000
五	1/30 000	±4.0	1/25 000	1/75 000

上述规定是对测角网而言，由于桥轴线长度及各个边长都是根据基线及角度推算的，为保证桥轴线有可靠的精度，基线精度要高于桥轴线精度 2~3 倍。如果采用测边网或边角网，由于边长是直接测定的，所以不受或少受测角误差的影响，测边的精度与桥轴线要求的精度相当即可。

由于桥梁三角网一般都是独立的，没有坐标及方向的约束条件，所以平差时都按自由网处理。它所采用的坐标系，一般是以桥轴线作为 X 轴，而桥轴线始端控制点的里程作为该点的 X 值。这样，桥梁墩台的设计里程即为该点的 X 坐标值，可以便于以后施工放样的数据计算。

在施工时如因机具、材料等遮挡视线，无法利用主网的点进行施工放样时，可以根据主网两个以上的点将控制点加密。这些加密点称为插点。插点的观测方法与主网相同，但在平差计算时，主网上点的坐标不得变更。

二、高程控制点的布设及测量

在桥梁的施工阶段，为了作为放样的高程依据，应建立高程控制，即在河流两岸建立若干个水准基点。这些水准基点除用于施工外，也可作为以后变形观测的高程基准点。

水准基点布设的数量视河宽及桥的大小而异。一般小桥可只布设一个；在 200m 以内的大、中桥，宜在两岸各布设一个；当桥长超过 200m 时，由于两岸连测不便，为了在高程变化时易于检查，则每岸至少设置两个。

水准基点是永久性的，必须十分稳固。除了它的位置要求便于保护外，根据地质条件，可采用混凝土标石、钢管标石、管柱标石或钻孔标石。在标石上方嵌以凸出半球状的铜质或不锈钢标志。

为了方便施工,也可在附近设立施工水准点,由于其使用时间较短,在结构上可以简化,但要求使用方便,也要相对稳定,且在施工时不致破坏。

桥梁水准点与线路水准点应采用同一高程系统。与线路水准点连测的精度不需要很高,当包括引桥在内的桥长小于 500m 时,可用四等水准连测,大于 500m 时可用三等水准进行测量。但桥梁本身的施工水准网,则宜用较高精度,因为它是直接影响桥梁各部放样精度的。

当跨河距离大于 200m 时,宜采用过河水准法连测两岸的水准点。跨河点间的距离小于 800m 时,可采用三等水准,大于 800m 时则采用二等水准进行测量。

§13—3 桥梁墩、台中心的测设

在桥梁墩、台的施工过程中,首要的是测设出墩、台的中心位置,其测设数据是根据控制点坐标和设计的墩、台中心位置计算出来的。放样方法则可采用直接测设或交会的方法。

一、直线桥的墩、台中心测设

直线桥的墩、台中心位置都位于桥轴线的方向上。墩、台中心的设计里程及桥轴线起点的里程是已知的,如图 13—2 所示,相邻两点的里程相减即可求得它们之间的距离。根据地形条件,可采用直接测距法或交会法测设出墩、台中心的位置。

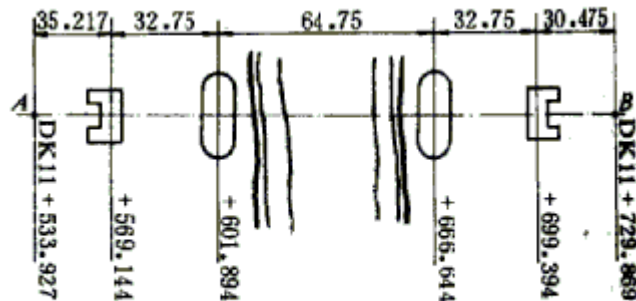


图 13—2

(一)直接测距法

这种方法使用于无水或浅水河道。根据计算出的距离,从桥轴线的一个端点开始,用检定过的钢尺逐段测设出墩、台中心,并附合于桥轴线的另一个端点上。如在限差范围之内,则依据各段距离的长短按比例调整已测设出的距离。在调整好的位置上订一个小钉,即为测设的点位。

如用光电测距仪测设,则在桥轴线起点或终点架设仪器,并照准另一个端点。在桥轴线方向上设置反光镜,并前后移动,直至测出的距离与设计距离相符,则该点即为要测设的墩、台中心位置。为了减少移动反光镜的次数,在测出的距离与设计距离相差不多时,可用小钢尺测出其差数,以定出墩、台中心的位置。

(二)交会法

当桥墩位于水中，无法丈量距离及安置反光镜时，则采用角度交会法。

如图 13-3 所示，A、C、D 为控制网的三角点，且 A 为桥轴线的端点，E 为墩中心位置。在控制测量中 φ 、 φ' 、 d_1 、 d_2 已经求出，为已知值。AE 的距离 l_E 可根据两点里程求出，也为已知。则

$$\alpha = \arctan\left(\frac{l_E \sin \varphi}{d_1 - l_E \cos \varphi}\right) \quad (13-8)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{l_E \sin \varphi'}{d_2 - l_E \cos \varphi'}\right) \quad (13-9)$$

α 、 β 也可以根据 A、C、D、E 的已知坐标求出。

在 C、D 点上架设经纬仪，分别自 CA 及 DA 测设出 α 及 β 角，则两方向的交点即为 E 点的位置。

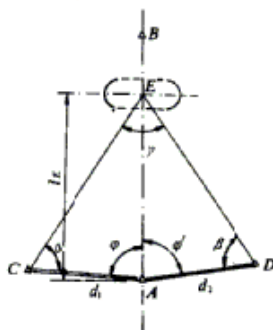


图 13-3

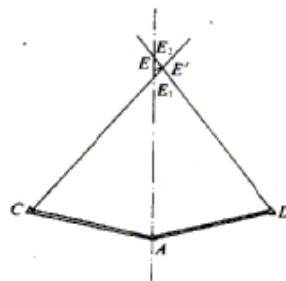


图 13-4

为了检核精度及避免错误，通常都用三个方向交会，即同时利用桥轴线 AB 的方向。

由于测量误差的影响，三个方向不交于一点，而形成如图 13-4 所示的三角形，这个三角形称为示误三角形。示误三角形的最大边长，在建筑墩、台下部时不应大于 25mm，上部时不应大于 15mm。如果在限差范围内，则将交会点 E 投影至桥轴线上，作为墩中心的点位。

随着工程的进展，需要经常进行交会定位。为了工作方便，提高效率，通常都是在交会方向的延长线上设立标志，如图 13-5 所示。在以后交会时即不再测设角度，而是直接照准标志即可。

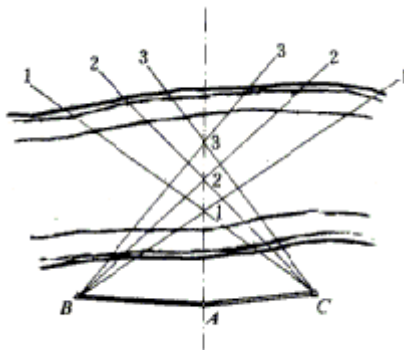


图 13-5

当桥墩筑出水面以后，即可在墩上架设反光镜，利用光电测距仪，以直接测距法定出墩中心的位置。

二、曲线桥的墩、台中心测设

在直线桥上，桥梁和线路的中线都是直的，两者完全重合。但在曲线桥上则不然，曲线桥的中线是曲线，而每跨桥梁却是直的，所以桥梁中线与线路中线基本构成了符合的折线，这种折线称为**桥梁工作线**，如图 13-6 所示。墩、台中心即位于折线的交点上，曲线桥的墩、台中心测设，就是测设工作线的交点。

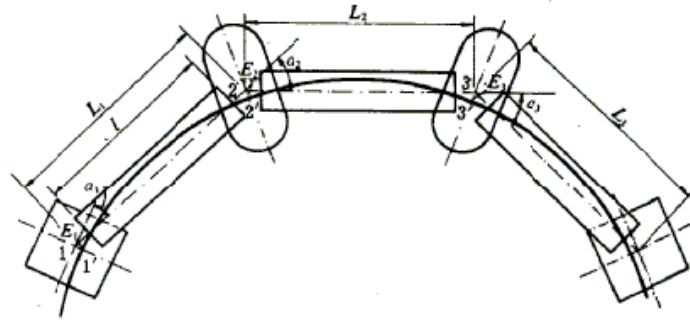


图 13-6

设计桥梁时，为使列车运行时梁的两侧受力均匀，桥梁工作线应尽量接近线路中线，所以梁的布置应使工作线的转折点向线路中线外侧移动一段距离 E ，这段距离称为“桥墩偏距”。偏距 E 一般是以梁长为弦线的中矢的一半。相邻梁跨工作线构成的偏角 α 称为“桥梁偏角”；每段折线的长度 L 称为“桥墩中心距”。 E 、 α 、 L 在设计图中都已经给出，根据给出的 E 、 α 、 L 即可测设墩位。

在曲线桥上测设墩位与直线桥相同，也要在桥轴线的两端测设出控制点，以作为墩、台测设和检核的依据。测设的精度同样要求满足估算出的精度要求。

控制点在路线中线上的位置，可能一端在直线上，而另一端在曲线上（图 13-7），也可能两端都位于曲线上（图 13-8）。与直线不同的是曲线上的桥轴线控制桩不能预先设置在线路中线上，再沿曲线测出两控制桩间的长度，而是根据曲线长度，以要求的精度用直角坐标法测设出来。用直角坐标法测设时，是以曲线的切线作为 x 轴。为保证测设桥轴线的精度，则必须以更高的精度测量切线的长度，同时也要精密地测出转向角 α 。

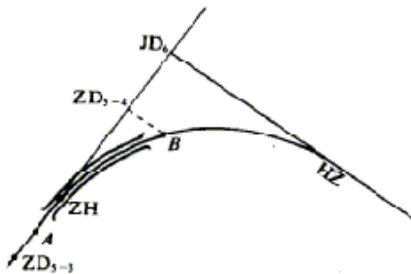


图 13-7

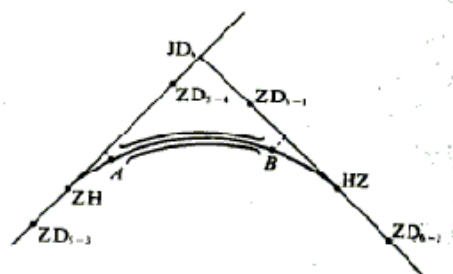


图 13-8

测设控制桩时，如果一端在直线上，而另一端在曲线上（图 13-7），则先在切线方向上设出 A 点，测出 A 至转点 ZD_{5-3} 的距离，则可求得 A 点的里程。测设 B 点时，应先在桥台以外适宜的距离处，选择 B 点的里程，求出它与 ZH （或 HZ ）点里程之差，即得曲线长度，据此，可算出 B 点在曲线坐标系内的 x 、 y 值。 ZH 及 A 的里程都是已知的，则 A 至

ZH 的距离可以求出。这段距离与 B 点的 x 坐标之和,即为 A 点至 B 点在切线上的垂足 $ZD_{5.4}$ 的距离。从 A 沿切线方向精密地测设出 $ZD_{5.4}$,再在该点垂直于切线的方向上设出 y, 即得 B 点的位置。

在设出桥轴线的控制点以后,即可据以进行墩、台中心的测设。根据条件,也是采用直接测距法或交会法。

(一) 直接测距法

在墩、台中心处可以架设仪器时,宜采用这种方法。

由于墩中心距 L 及桥梁偏角 α 是已知的,可以从控制点开始,逐个测设出角度及距离,即直接定出各墩、台中心的位置,最后再符合到另外一个控制点上,以检核测设精度。这种方法称为导线法。

利用光电测距仪测设时,为了避免误差的积累,可采用长弦偏角法,或称极坐标法。

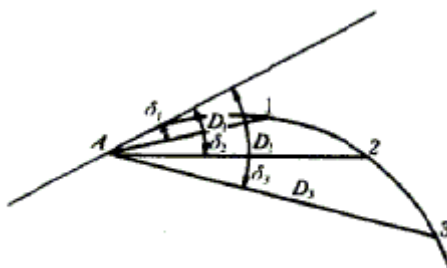


图 13-9

由于控制点及个墩、台中心点在曲线坐标系内的坐标是可以求得的,故可据以算出控制点至墩、台中心的距离及其与切线方向的夹角 δ_i 。自切线方向开始设出 δ_i ,再在此方向上设出 D_i ,如图 13-9 所示,即得墩、台中心的位置。此种方法因各点是独立测设的,不受前一点测设误差的影响。但在某一点上发生错误或有粗差也难于发现,所以一定要对各个墩中心距进行检核测量。

(二) 交会法

当墩位于水中,无法架设仪器及反光镜时,宜采用交会法。

由于这种方法是利用控制网点交会墩位,所以墩位坐标系与控制网的坐标系必须一致,才能进行交会数据的计算。如果两者不一致时,则须先进行坐标转换。

为了具体起见,现举例说明交会数据的计算及交会方法。

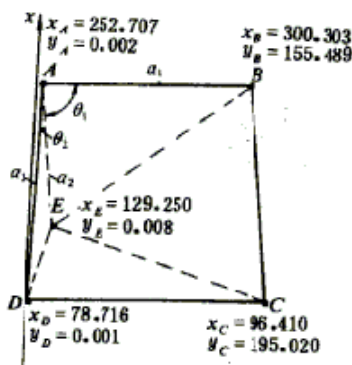


图 13-10

在图 13-10 中, A、B、C、D 为控制点, E 为桥墩中心。在 A 点进行交会时,要算出自 AB、AD 作为起始方向的角度 θ_1 及 θ_2 。

控制点及墩位的坐标是已知的，可据以算出 AE 的坐标方位角

$$\alpha_2 = \arctan\left(\frac{y_E - y_A}{x_E - x_A}\right) = \arctan\left(\frac{0.008 - 0.002}{129.250 - 252.707}\right) = \arctan\left(\frac{0.006}{-123.455}\right) = 179^\circ 59' 50.0''$$

在控制网资料中，已知 AB 的坐标方位角为 $\alpha_1 = 72^\circ 58' 48.7''$ ，AD 的坐标方位角为 $\alpha_3 = 180^\circ 00' 01.0''$ ，则

$$\theta_1 = \alpha_2 - \alpha_1 = 179^\circ 59' 50.0'' - 72^\circ 58' 48.7'' = 107^\circ 01' 01.3''$$

$$\theta_2 = \alpha_3 - \alpha_2 = 180^\circ 00' 01.0'' - 179^\circ 59' 50.0'' = 0^\circ 00' 11.0''$$

同法可求出在 B、C、D 各点交会时的角值。

在 A 点交会时，可以 AB 或 AD 作为起始方向，设出相应的角值，即得 AE 方向，在交会时，一般需用三个方向，当示误三角形的边长在容许范围内时，取其重心作为墩中心位置。

§ 13—4 墩台纵、横轴线的测设

为了进行墩、台施工的细部放样，需要测设其纵、横轴线。所谓纵轴线是指过墩、台中心平行与线路方向的轴线，而横轴线是指过墩、台中心垂直于线路方向的轴线；桥台的横轴线是指桥台的胸墙线。

直线桥墩、台的纵轴线与线路中线的方向重合，在墩、台中心架设仪器，自线路中线方向测设 90° 角，即为横轴线的方向（图 13-11）。

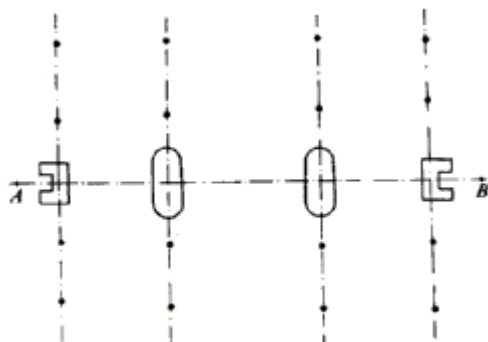


图 13—11

曲线桥的墩、台轴线位于桥梁偏角的分角线上，在墩、台中心架设仪器，照准相邻的墩、台中心，测设 $\alpha/2$ 角，即为纵轴线的方向。自纵轴线方向测设 90° 角，即为横轴线方向（图 13-12）。

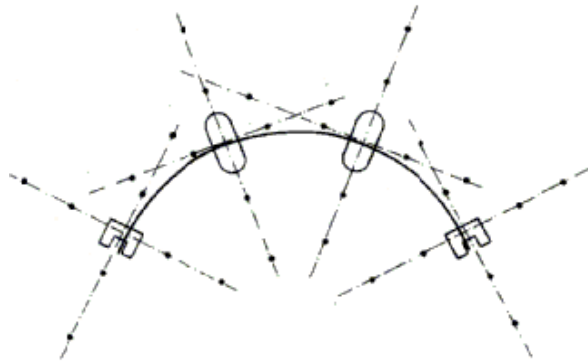


图 13—12

在施工过程中，墩、台中心的定位桩要被挖掉，但随着工程的进展，又要经常需要恢复墩、台中心的位置，因而要在施工范围以外订设护桩，据以恢复墩台中心的位置。

所谓护桩即在墩、台的纵、横轴线上，于两侧各订设至少两个木桩，因为有两个桩点才可恢复轴线的方向。为防破坏，可以多设几个。在曲线桥上的护桩纵横交错在使用时极易弄错所以在桩上一定要注明墩台编号。

§ 13—5 桥梁施工测量

随着施工的进展，随时都要进行放样工作，但桥梁的结构及施工方法千差万别，所以测量的方法及内容也各不相同。总的来说，主要包括基础放样、墩、台放样及架梁时的测量工作。

中小型桥梁的基础，最常用的是明挖基础和桩基础。明挖基础的构造如图 13-13 所示，它是在墩、台位置处挖出一个基坑，将坑底平整后，再灌注基础及墩身。根据已经设出的墩中心位置，纵、横轴线及基坑的长度和宽度，测设出基坑的边界线。在开挖基坑时，如坑壁需要有一定的坡度，则应根据基坑深度及坑壁坡度设出开挖边界线。边坡桩至墩、台轴线的距离 D （图 13-14）依下式计算：

$$D = \frac{b}{2} + h \cdot m$$

式中 b ——坑底的长度或宽度；

h ——坑底与地面的高差；

m ——坑壁坡度系数的分母。

桩基础的构造如图 13-15 所示，它是在基础的下部打入基桩，在桩群的上部灌注承台，使桩和承台连成一体，再在承台以上修筑墩身。

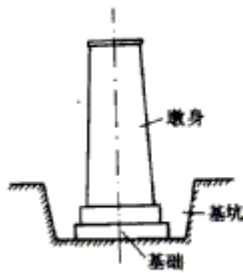


图 13-13

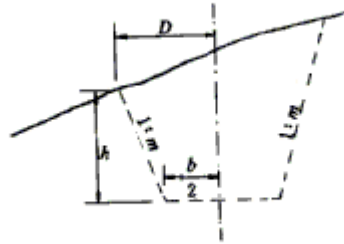


图 13-14

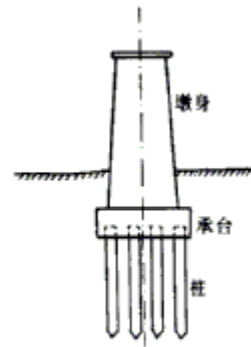


图 13-15

基桩位置的放样如图 13-16 所示，它是以墩、台纵、横轴线为坐标轴，按设计位置用直角坐标法测设。在基桩施工完成以后，承台修筑以前，应再次测定其位置，以作竣工资料。

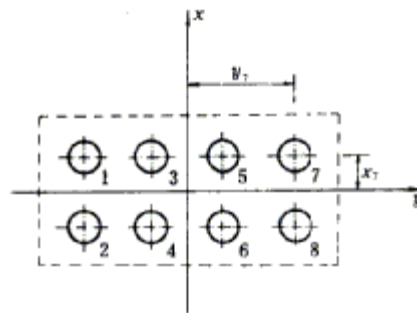


图 13-16

明挖基础的基础部分、桩基的承台以及墩身的施工放样，都是先根据护桩测设出墩、台的纵、横轴线，再根据轴线设立模板。即在模板上标出中线位置，使模板中线与桥墩的纵、横轴线对齐，即为其应有的位置。

墩、台施工中的高程放样，通常都在墩台附近设立一个施工水准点，根据这个水准点以水准测量方法测设各部分的设计高程。但在基础底部及墩、台的上部，由于高差过大，难于用水准尺直接传递高程时，可用悬挂钢尺的办法传递高程。

架梁是建造桥梁的最后一道工序。无论是钢梁还是混凝土梁，都是预先按设计尺寸做好，再运到工地架设。

梁的两端是用位于墩顶的支座支撑，支座放在底板上，而底板则用螺栓固定在墩、台的支承垫石上。架梁的测量工作，主要是测设支座底板的位置，测设时也是先设计出它的纵、横中心线的位置。支座底板的纵、横中心线与墩、台纵横轴线的位置关系是在设计图上给出的。因而在墩、台顶部的纵横轴线设出以后，即可根据它们的相互关系，用钢尺将支座底板的纵、横中心线设放出来。