

# 公路桥隧三角测量

赵恩棠 钟孝顺 编

人民交通出版社

Gonglu Qiaosui Sanjiao Celiang

# 公路桥隧三角测量

赵恩棠 钟孝顺 编

人民交通出版社

## 公路桥隧三角测量

赵恩棠 钟孝顺 编

人民交通出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售  
人民交通出版社印刷厂印

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$  印张：15.25 字数：400千

1984年5月 第1版

1984年5月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,550册 定价：2.80元

## 内 容 提 要

本书根据国家建委与冶金部1979年批准的《工程测量规范》，参考国内外有关资料，密切结合公路桥、隧工程的实践，深入详细地介绍桥、隧三角测量的观测和平差方法，并有计算实例，可作为大中专院校路、桥专业的选修课本或教学参考书，也可供公路桥梁技术人员工作的参考。

本书由赵恩棠编写第一、二章，钟孝顺编写第三章至第十二章，赵恩棠审阅全书。陕西省测绘局章爱真、张永渠工程师对该书初稿提出了宝贵意见。

全书由南京工学院赵殿甲副教授审定。

# 目 录

<b>第一章 桥、隧三角网的布网形式及选点、埋石</b> .....	1
§1-1 概述.....	1
§1-2 桥梁三角网的布网形式.....	2
§1-3 隧道三角网的布网形式.....	3
§1-4 桥、隧三角点的造标和埋石.....	5
<b>第二章 桥、隧测角三角网测量</b> .....	8
§2-1 全圆测回法及测站平差.....	8
§2-2 分组方向观测及测站平差.....	11
§2-3 水平角的观测误差及水平角观测的各项限差.....	13
§2-4 归心改正和归心元素的测定.....	18
§2-5 基线丈量的主要工具.....	24
§2-6 基线尺长度的检定.....	27
§2-7 基线丈量.....	28
§2-8 基线长度的计算与精度的评定.....	35
<b>第三章 桥、隧测边网测量</b> .....	45
§3-1 测边网的外业.....	45
§3-2 激光的产生及调制.....	45
§3-3 相位式电磁波测距仪的工作原理.....	50
§3-4 HGC-1型测距仪.....	55
§3-5 WILD DI3S 型测距仪.....	61
§3-6 测距仪的误差分析.....	70
§3-7 测距仪测量精度的检测.....	75
<b>第四章 隧道地表导线测量</b> .....	90
§4-1 隧道地表导线的敷设.....	90
§4-2 地表导线的角度观测.....	92

§4-3	地表导线的边长测量	96
§4-4	地表导线起、终边方位角的测定	101
<b>第五章</b>	<b>桥、隧三角网按条件观测平差</b>	<b>116</b>
§5-1	条件观测平差的原理	116
§5-2	条件方程式	130
§5-3	条件方程式闭合差的限差	137
§5-4	组成法方程式	139
§5-5	解算法方程式	143
§5-6	单位权中误差	155
§5-7	线性对称方程组的两个特性	157
§5-8	平差值函数的中误差	161
§5-9	三角网按条件观测平差示例	170
<b>第六章</b>	<b>桥、隧三角网按分组平差</b>	<b>178</b>
§6-1	分组平差的原理	178
§6-2	条件方程式的系数及改正数的一些特性	183
§6-3	精度评定	187
§6-4	按平均分配规则作分组平差示例	191
§6-5	典型图形平差	201
<b>第七章</b>	<b>桥、隧三角网按间接观测平差</b>	<b>227</b>
§7-1	间接观测平差原理	227
§7-2	误差方程式	231
§7-3	非线性函数的误差方程式	235
§7-4	法方程式的组成和检核	242
§7-5	解算法方程式	243
§7-6	单位权中误差及 $[PVV]$ 的计算	246
§7-7	未知数函数的中误差	248
§7-8	未知数的中误差	256
§7-9	最后两个未知数的权	259
§7-10	权系数	260
§7-11	三角网按间接观测平差示例	261

<b>第八章 桥、隧三角网平差的矩阵方法</b> .....	280
§8-1 用矩阵解算间接观测平差.....	280
§8-2 用矩阵解算条件观测平差.....	307
§8-3 用矩阵解分组平差.....	314
§8-4 电算中常用的线性方程组的解法.....	318
<b>第九章 桥、隧测角三角网和基线网的平差</b> .....	335
§9-1 隧道三角测量的精度估算.....	335
§9-2 隧道基线网的精度估算.....	358
§9-3 隧道三角网平差.....	362
§9-4 隧道基线网平差.....	376
§9-5 桥梁三角网平差.....	380
<b>第十章 桥、隧测边网的平差</b> .....	387
§10-1 测边四边形独立网的平差.....	387
§10-2 测边中点多边形和具有交叉边的扇形平差.....	394
§10-3 测边网强制符合条件及其平差.....	397
§10-4 测边交会定点的平差.....	410
<b>第十一章 隧道地表导线的精度估算及导线网的平差</b> .....	414
§11-1 支导线点位精度的估算.....	415
§11-2 角度调整后导线终点点位误差的估算.....	423
§11-3 导线网的精度估算.....	427
§11-4 附和导线的误差理论.....	430
§11-5 导线形状问题的讨论.....	435
§11-6 导线平差.....	436
§11-7 导线网按多边形法平差.....	449
<b>第十二章 隧道贯通测量</b> .....	462
§12-1 贯通误差的概念.....	462
§12-2 贯通误差的限值.....	462
§12-3 地表导线测量误差对横向贯通误差的影响.....	464
§12-4 地表三角测量误差对横向贯通误差的影响.....	470
<b>参考书目</b> .....	479

# 第一章 桥、隧三角网的布网形式 及选点、埋石

## §1-1 概 述

公路工程上的桥、隧三角网测量是为满足勘测设计及施工各阶段进行各种不同的测量工作的需要。为了正确地选择桥位，测绘桥址地形图，特别在长年有水的大河上，为在桥梁施工前精确地求出桥轴线长度，并便于施工时有足够的控制点放样桥墩的位置和上部建筑，要使这些局部的测量工作有足够精度的控制点，需在桥位处布设三角网；同样，为了选择经济合理的隧道位置，测绘隧道所在处的地形图，在地形困难不能直接丈量隧道轴线长度时，为了精确地求出隧道轴线长度，和确定洞口、竖井、斜井、横洞等的位置，以及在施工中将隧道轴线上的各点正确传递到地下确定开挖方向，并保证贯通，也需在隧位处布设三角网。桥、隧三角测量都在小范围内进行，三角形的边长较短，因此在平差时不考虑地球曲率，即使采用严密平差也比国家三角网的严密平差简单。

随着科学的发展，不少新技术在测量上的应用，特别是近年来电磁波测距仪的广泛采用，减轻了三角测量中的基线丈量的外业工作。同时也可以三边测量（即测边网）和电磁波测边导线来代替某些三角测量。这些崭新的技术在公路桥、隧三角测量上同样也能适用。

桥、隧三角网的布网形式与桥、隧的长度、形状、地形的难易程度等诸因素有关，下面分别叙述桥、隧三角网的布网形式。



## §1-2 桥梁三角网的布网形式

为桥位的勘测设计和桥梁施工所布设的三角网应力求图形简单，并具有足够的强度，能使两桥台间距离的精度满足设计要求，用这些三角点作前方交会放样桥墩时，具有足够的精度。选择桥梁三角网的图形除满足上述要求外，还应使平差计算简单方便。常用的桥梁三角网的图形如图 1-1 所示的几种。使用时应根据桥长、桥型、地形等情况综合分析，选择经济合理的一种。

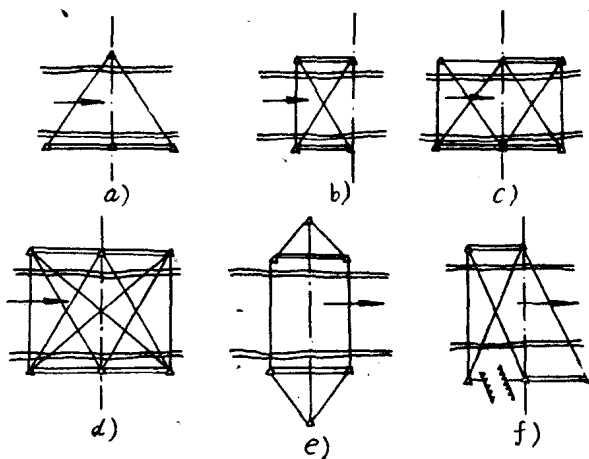


图 1-1

因为桥梁三角网的边长较短，通常以三角网边作为基线，为了提高桥梁三角网的精度，使具有较多的检核条件，一般测量两条基线，每岸各一条，如受地形限制，也可以将两条基线均布设在一岸上，其长度不短于两桥台间距离（或河宽）的70%，基线尽可能布置得和桥轴线垂直。为使三角点与桥轴线紧密联系，在布网时应将河流两岸轴线上的两个点作为三角点，这样便于计算桥轴线长度，也便于桥台的施工放样。

桥梁三角网是作为一个独立的三角网进行平差计算的，通常采用桥轴线为纵坐标轴( $x$ )，与它垂直方向作为横坐标轴( $y$ )，坐标原点选在位于河流一岸桥轴线上一个三角点。

为了便于观测和保存，要求所有三角点都要选在不在被水淹没的地方，且在施工时不被开挖和堆放材料的地方，同时三角点应设在避免交通干扰的地方。

### §1-3 隧道三角网的布网形式

隧道三角网的布网形式决定于隧道形状和隧道的施工方法，以及地形的难易。在地形简单处的直线短隧道，一般敷设地表导线，进行导线平差，就足以控制直线短隧道的贯通。长的直线隧道以布设单三角锁为主，如图 1-2 所示，有时为了提高精度，也可以在两个三角形中加测一条对角线。曲线隧道常采用中点多边形或环形三角锁如图 1-3a)、b)、c) 所示。布网时尽可能将洞口和井口的控制桩作为三角点，或者使隧道上每二个相邻的入口连系在三角网的同一边上，这样可以减少地下控制测量的定向误差对贯通的影响。如采用前述的方法都有困难时，应将这些点作为前、后方交会定点或插点，以便于将三角点的坐标传递到这些点上去。三角网中的三角形个数过多时，应布设两条基线，以加强三角网的精度。

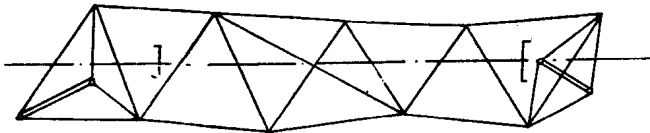


图 1-2

隧道三角网的选点工作，首先应踏勘测区全貌，了解隧道轴线的位置，找到选线人员所埋设的隧道进、出口处的交点桩，并进一步了解竖井、斜井、横洞等的位置，然后确定布网方案，根

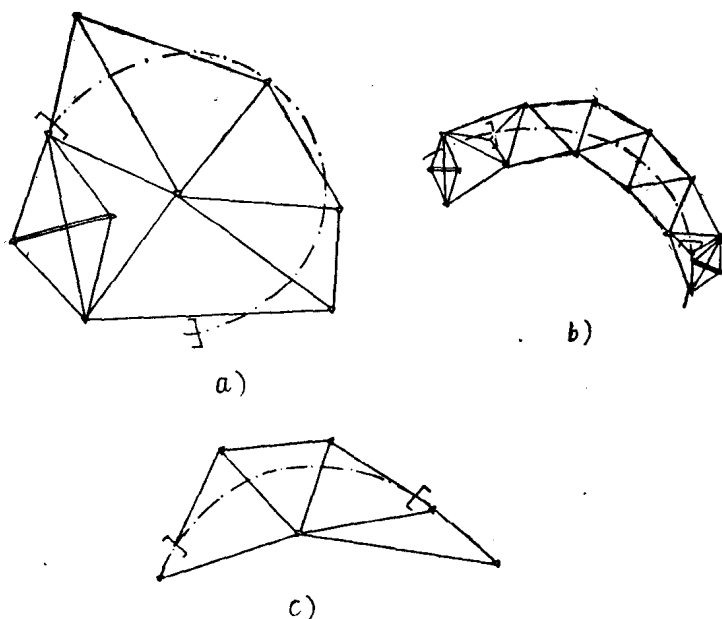


图 1-3

据精度估算结果，选定某一方案，再选择网上各三角点的位置。隧道三角网的三角形应力求接近等边三角形，三角形的任一内角应不小于  $30^\circ$  或不大于  $120^\circ$ 。三角点要尽量选在突出开阔，视野通畅的地方，以利观测。隧道进口、出口、竖井、斜井等处，附近应设置三角点，如不能直接布设三角点，则需布设前、后方交会点或插点，但须有二个以上的方向能同时和三角点通视，能作对向观测。各三角点间的竖直角变化不宜过大，以减小测角时两倍视准误差的变化。三角点应尽量避免施工开挖、材料堆放、车辆行走地区，以免遭到破坏和影响观测。为了避免受旁折光的影响，视线应离开物体旁边（树林边缘、山坡边缘等）至少 1 米。为避免视线受折光影响，要求视线应高出障碍物至少 1.5 米。三角点应设在地质稳定处，不应设在有崩塌、滑动和松软地区。

隧道三角网除选择三角点外，还需选择基线和基线网。基线不应离隧道轴线太远，否则将增多三角网中的三角形个数而降低了三角网最远推算边的精度。基线两端点必须相互通视。基线应尽量布置在平坦而开阔的地面上，避免通过沟谷、岗陇等障碍。基线的纵坡不应超过 $\frac{1}{20}$ ，个别困难地区可达 $\frac{1}{6}$ 。由于地形困难，在三角网的起始边上无法设置直接丈量的基线时，可采用电磁波测距，也可以在能够直接丈量的位置选择一条较短的基线，然后借基线网把它扩大，计算出三角网起始边长度。就扩大这个目的来说，可以采用各种几何图形，但考虑到相同的测角精度由于基线网图形的不同，所得扩大边的精度也不同，经平差后认为如图 1-4 所示的正菱形是基线网中最好的图形，因为它推算得扩大边的精度较高。其次是图 1-5 所示的三边中点形，在不得已的情况下也可采用图 1-6 所示的大地四边形。

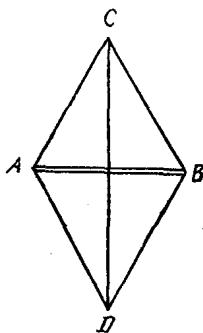


图 1-4

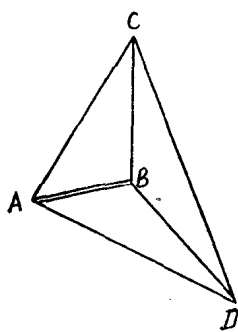


图 1-5

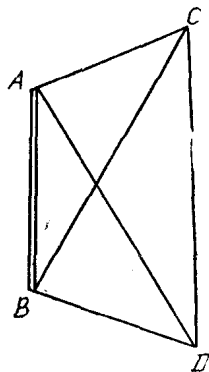


图 1-6

### §1-4 桥、隧三角点的造标和埋石

由于桥、隧三角网都是独立的、小范围的三角网，仅供桥、隧勘测设计和施工时应用，所以造标、埋石都不需严格按照国家三角测量的等级规定进行。

## 一、造 标

由于桥、隧三角网的三角形边长较短，当在地面上安置仪器后能直接通视时，造标只是作为观测目标的觇标，这种觇标通常采用如图 1-7 所示的寻常觇标，这种寻常觇标没有内架；在架设寻常觇标时，应使觇标的标杆中心与标石中心在同一铅垂线上。如果三角网的边长很短，也可以在标石中心上竖立标杆作为瞄准工具，见图 1-8。

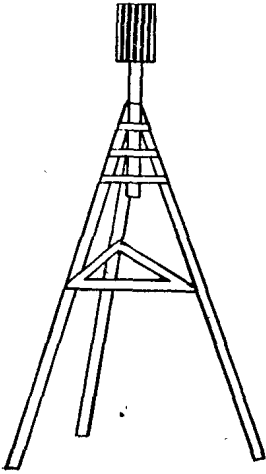


图 1-7

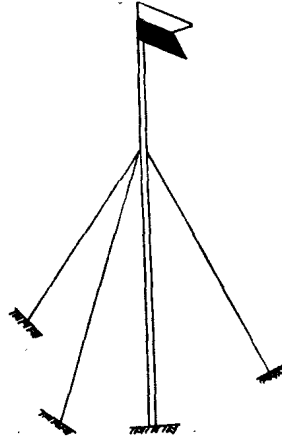


图 1-8

## 二、埋 石

桥、隧三角点的埋石，一般可在野外就地挖孔灌注混凝土，中心插入直径 1~2 厘米，长 20 厘米的钢筋棒，棒顶刻细十字线作为标石中心。在运输条件许可的地区，可事先预制好，如图 1-9 所示的混凝土标石，运到现场去埋设。

若所测的桥、隧三角点需永久保存，则需埋设如图 1-10 所示

的混凝土标石，下面一块称为盘石，上面一块称为柱石。柱石和盘石之间应放 0.5~1 厘米厚的粗砂。埋石后应注明点名、等级和测设单位、年月日等。

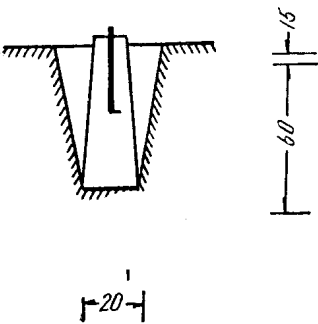


图 1-9

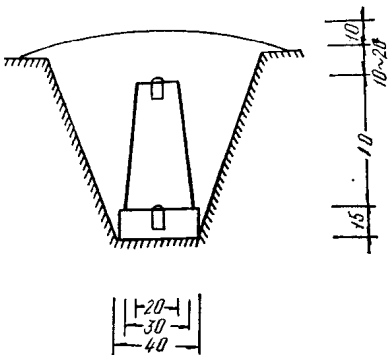


图 1-10

## 第二章 桥、隧测角三角网测量

在测角三角网测量中，大量的外业工作是水平角观测，其次是基线丈量。水平角观测和基线丈量的精度将直接影响到测角三角网的精度，因此对水平角观测和基线丈量所用的仪器、用具和测量方法都要有所选择。

经纬仪按一个测回水平方向观测中误差分为  $J_1$ 、 $J_2$ 、 $J_6$ （即 1 秒级、2 秒级、6 秒级）等不同级别，在国家三、四等三角测量和桥、隧测量中，主要使用  $J_2$  级光学经纬仪为主，如我国苏州光学仪器厂生产的 JGJ<sub>2</sub> 型光学经纬仪，东德蔡司厂生产的 010 型光学经纬仪，瑞士威尔特厂生产的 T<sub>2</sub> 型光学经纬仪等，这些仪器的构造和读数方法在一般测量书中都有介绍，不再重复。这里着重讨论，水平角观测方法和测站平差。

为保证三角网最弱边能达到一定的精度，基线丈量一般采用殷钢线尺悬空丈量法，近年来采用电磁波测距。本章主要介绍殷钢线尺悬空丈量法，有关电磁波测距的内容于下章介绍。

### §2-1 全圆测回法及测站平差

#### 一、全圆测回法

如图 2-1 所示，仪器精确安置于 0 点，盘左顺时针照准 1、2、3、4、1 依次读数。然后盘右逆时针照准 1、4、3、2、1 依次读数，即完成了一个测回。记录如表 2-1 所示。

在全圆测回法观测中，零方向的作用是比较大的，零方向选择的好坏，直接影响整个测回观测的精度。零方向应选择通视良好、目标清晰、边长适中的方向。当边长不等时，应选择中等边长的目标作为调焦、消除视差的影响，以避免在一测回中变动调

## 观 测 记 录

表2-1

方向号数 名称及照 准目标	读 数						左-右 (2c)	左+右 2	方 向 值	备注
	盘 左			盘 右						
1	0° 00'	$\frac{12}{12}$	12	180° 00'	$\frac{05}{03}$	04	+08	(10 <sup>0</sup> 0) 08.0	0° 00' 00.0	
2	129° 23'	$\frac{53}{51}$	52	309° 23'	$\frac{44}{44}$	44	+08	48.0	129° 23' 38.0	
3	203° 19'	$\frac{67}{67}$	67	23° 19'	$\frac{57}{55}$	56	+11	61.5	203° 19' 51.5	
4	244° 41'	$\frac{47}{48}$	48	64° 41'	$\frac{42}{42}$	42	+06	45.0	244° 41' 35.0	
1	0° 00'	$\frac{16}{16}$	16	180° 00'	$\frac{09}{07}$	08	+08	12.0		

归零差:  $\Delta_{左} = +04''$      $\Delta_{右} = +04''$

焦螺旋，减少视差。

### 二、测 站 平 差

一个测站上各方向都观测了若干个测回，这些成果即使都符合限差要求，但由于受各种误差的影响，彼此仍有微小的差别。所谓测站平差，就是消除观测误差所引起的矛盾，并求出各方向的最或然值。

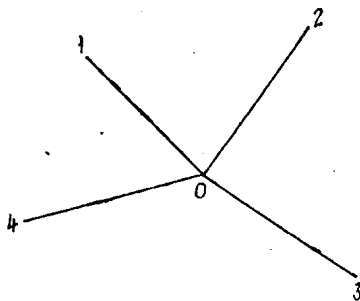


图 2-1

全圆测回法的测站平差比较简单，因为各测回观测是相互独立的，而且是同精度的，所以各方向的测站平差方向值就等于该方向各测回观测值的平均值。

设某一测站上有  $n$  个方向，其中任一方向，在  $m$  个测回中，归零后的方向值分别为  $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$ ，以  $x$  表示各方向的最或然值，则



$$x = \frac{e_1 + e_2 + e_3 \dots + e_n}{m} \quad (2-1)$$

在实际作业中，测站平差是在固定的表格中进行的，如表 2-2。

表2-2

观测日期	测回号	1		2		3		4	
		0' 00"	V	0' 129 23"	V	0' 203 19"	V	0' 244 41"	V
80.3.10	I	00.0		38.0	+3.1	51.5	+3.6	35.0	+1.6
	II	00.0		42.0	-0.9	55.0	+0.1	37.5	-0.9
	III	(00.0)		(32.0)		(49.0)		(30.5)	
	IV	00.0		40.5	+0.6	55.5	-0.4	39.5	-2.9
	V	00.0		39.0	+2.1	54.5	+0.6	37.0	-0.4
	VI	00.0		41.0	+0.1	55.0	+0.1	37.0	-0.4
	VII	00.0		42.0	-0.9	55.0	+0.1	37.5	-0.9
	VIII	00.0		43.5	-2.4	54.0	+1.1	36.0	+0.6
	IX	00.0		(34.0)		53.0	+2.1	35.0	+1.6
	X	00.0		44.0	-2.9	56.5	-1.4	33.5	+3.1
	XI	00.0		43.5	-2.4	58.0	-2.9	38.0	-1.4
	XII	00.0		40.0	+1.1	57.0	-1.9	34.0	+2.6
	重III	00.0		40.5	+0.6	56.0	-0.9	39.0	-2.4
重IX	00.0		39.5	+1.6					
中数		00.0		41.1		55.1		36.6	
$\Sigma(+V)$					9.2		7.7		9.5
$\Sigma(-V)$					9.5		7.5		9.3

一测回方向值的中误差  $\mu = K \frac{\Sigma |V|}{n} = \pm 1''.43$        $\Sigma |V| = 52.7$

$m$  个测回方向值中数的中误差  $M = \frac{\mu}{\sqrt{m}} = \pm 0''.41$        $m = 12$        $K = 0.109$

注：括弧中的成果为重测不采用的。

一个测回方向值的中误差

$$\mu = \pm K \frac{\Sigma |V|}{n} \quad (2-2)$$