土木建筑工人技术等级培训教材

测量放线工

（高级工）

本培训教材编委会　组织编写

江苏省建筑设计院　马　遇
江苏省建筑工程局　孙秉仁　编

中国建筑工业出版社

本书是建设部教育司审定的“土木建筑工人技术等级培训教材”之一，是根据《土木建筑工人技术等级标准》中的高级测量放线工“应知”、“应会”的要求编写的。内容包括精密水准仪的用法，四等水准测量，变形观测，工程定位和校测方法，地形图测绘，普通水准仪和经纬仪的一般维修，场地方格网和控制网的测设，工程测量与测量误差的基本理论，施工管理和全面质量管理知识等。此外还介绍了施工测量的新技术与新设备。

本教材是建设部指定的高级测量放线工的岗位培训教材，也可供土木建筑有关专业技术人员、工程测量人员参考。

* * *

本书1～4、10～14部分由马遇编写；5～9部分由孙秉仁编写。

出 版 说 明

为贯彻落实1991年建设部教育工作会议精神，认真搞好建设系统职工的培训工作，尽快提高建设系统职工队伍的技术素质，我司在注意吸收国内外先进培训经验的基础上，组织编写了本套“土木建筑工人技术等级培训教材”。

该套教材覆盖了土木建筑十一个主要工种。每个工种的教材按初级工、中级工和高级工三等级编写，并附有一本《土木建筑工人技术等级培训计划与培训大纲》与之配套，全套教材共计34种。

本套教材在编写时以《土木建筑工人技术等级标准》（JGJ42-88）为依据，针对目前建设系统职工技术素质的实际情况和职工培训的实际需要，力求做到应知应会相结合。全套教材突出实用性，即侧重于全面提高职工的操作技能，并较详细地介绍了成熟的、并已推广应用的新材料、新技术、新工艺、新机具，同时兼顾了各地区的特点。初、中、高三个等级的教材内容既不重复，又相互衔接，逐步深化。培训计划与培训大纲在编写时力求做到实用、具体，并列出了考核项目。供各地参照执行。

本套教材及培训计划与培训大纲已通过全国各省市有关方面专家的审定，现由中国建筑工业出版社出版，可供建设系统土木建筑工人培训、自学及技术比赛用。在使用过程中如发现问题，请及时函告我们，以便修正。

建设部教育司

1992．2

"土木建筑工人技术等级培训
教材"编委会

主任委员：杨筱悌　朱象清

委员（以姓氏笔画为序）：王华生　孙宜宜
杜同昌　周汉生　胡仁山　赵福庆　龚佳龙
戴兆镛　瞿学义

目　录

一、精密水准仪的基本性能、构造和用法…… 1
（一）精密水准仪的基本性能…… 1
（二）精密水准仪的构造特点…… 2
（三）精密水准仪的类型…… 5
（四）精密水准标尺的特点…… 9
（五）精密水准仪的使用方法与操作程序…… 10
（六）精密水准仪的使用要点…… 15
（七）精密水准仪的检验…… 15
复习思考题…… 20
二、四等水准测量…… 22
（一）高程控制网及其等级分类…… 22
（二）四等水准的技术要求…… 22
（三）四等水准观测的技术要求…… 24
（四）四等水准测量的观测方法…… 25
（五）四等水准测量的成果整理…… 27
（六）质量通病的防治措施…… 31
（七）安全使用等注意事项…… 32
复习思考题…… 33
三、采用精密水准仪、经纬仪进行沉降、位移等变形观测…… 34
（一）建筑物变形观测的意义、目的和内容…… 34
（二）变形观测的方法与要求…… 35
（三）采用精密水准仪进行变形观测的方法与要点…… 37
（四）采用经纬仪进行变形观测的方法与要点…… 45
复习思考题…… 49
四、工程测量的基本理论知识…… 50

（一）工程测量的概念……50
（二）总平面图设计对地形图的要求……51
（三）建筑工程施工控制网……52
（四）放样方法的选择……57
（五）变形观测……62
复习思考题……65
五、小区控制网与图根导线测量……66
（一）小区控制网……66
（二）图根导线测量……69
（三）查找导线测量错误的方法……87
复习思考题……90
六、测量误差的基本知识……91
（一）误差的来源、分类与性质……91
（二）测量精度评定的标准……96
（三）等精度观测值……100
（四）权与带权平均值及中误差……102
复习思考题……105
七、大比例尺地形图测绘……106
（一）视距测量……106
（二）大平板仪和小平板仪的构造与使用……123
（三）大比例尺地形图的测绘……132
复习思考题……142
八、工程定位放线……144
（一）工程定位前的准备工作……144
（二）直角坐标法定位……145
（三）极坐标法定位……147
（四）角度交会法定位……150
（五）根据道路中心线定位……152
复习思考题……154

、九复杂、大型或特殊工程的测量放线……155
（一）矩形控制网定位……155
（二）工业厂房柱列轴线测设……157
（三）圆弧形平面曲线建筑物定位……158
（四）螺旋形曲线建筑物定位……169
（五）椭圆形平面曲线建筑物定位……172
（六）双曲线形平面曲线建筑物定位……186
（七）抛物线形平面曲线建筑物定位……191
（八）锯齿形建筑物定位……195
（九）正三角形平面图形建筑物定位……196
复习思考题……198
十、施工测量的新技术与新设备……199
（一）电子经纬仪的型号、等级和性能……199
（二）电子速测仪的型号、等级和性能……201
（三）新型的适用于施工测量的测角、测距仪器……203
（四）电子经纬仪和全站型仪器的使用要点……205
（五）我国研制的电子仪器、电子手簿和综合测绘系统……206
（六）NA2000数字编码水准仪简介……209
（七）工程测量先进技术的发展趋势……221
（八）施工测量新技术的推广要点……213
复习思考题……214
十一、普通水准仪、经纬仪的一般维修……215
（一）光学测量仪器维修的基本知识……215
（二）检修的设备、工具和材料……220
（三）普通水准仪、经纬仪的一般检修方法……224
（四）普通水准仪常见故障的修理……227
（五）普通经纬仪常见故障的修理……232
复习思考题……239
十二、施工管理知识和测量放线工作的全面质量管理……240

（一）施工管理知识……240
（二）测量放线班组的施工组织与管理……245
（三）全面质量管理的基本理论和方法……246
（四）建筑施工企业的全面质量管理……249
复习思考题……254
十三、预防和处理施工测量放线中质量和安全事故的方法……256
（一）预防施工测量放线质量事故的方法……256
（二）预防施工测量放线安全事故的方法……257
（三）处理施工测量放线质量事故的方法……258
（四）处理施工测量放线安全事故的方法……259
复习思考题……259
十四、向初级工、中级工传授的技能及本工种操作技术上的疑难问题……260
（一）向初级工传授的主要技能……260
（二）向中级工传授的主要技能……261
（三）高级工需解决的疑难问题……263
复习思考题……264
附录　高级测量放线工技术标准……265
参考文献……267

（二）精密水准仪的构造特点

1．用较高灵敏度的水准器，建立精确的水平视线

表1-1列出了我国水准仪系列的技术参数，水准器灵敏度提高，表现在水准管分划值小，仪器置平的精度就相应提高。

我国水准仪系列的技术参数（部分型号）　表 1-1

技术参数项目	水准仪系列型号	
	S_{05}	S_1
每千米往返平均高差中误差	≤ 0.5mm/km	≤ 1mm/km
望远镜放大倍率	≥ 40倍	≥ 40倍
望远镜有效孔径（mm）	≥ 60	≥ 50
管状水准器格值	10″/2mm	10″/2mm
测微器有效量测范围（mm）	5	5
测微器最小分格值（mm）	0.05	0.05

水准器的灵敏度愈高，在作业时要使水准器气泡迅速置平也就愈困难。为了使水准器气泡较容易地精确置中，精密水准仪设计有使水准轴和视准轴同时产生微量变化的微倾螺旋，同时在实际作业时还规定：只有在符合水准气泡两端影象的分离量小于1cm时（此时仪器的竖轴基本上在铅垂位置），才允许使用微倾螺旋来精确整平视准轴。这点在规范上有明确规定。为了深入了解这条规定的原因，下面简单介绍一下微倾螺旋的构造。

图1-1所示是瑞士威特N_3型精密水准仪微倾螺旋装置及其作用示意图。它是一种杠杆结构，当转动微倾螺旋时，通过着力点A可以带动支臂绕支点B转动，使其对望远镜的作用点C产生微量升降，从而使望远镜绕转轴D作微量倾斜。由于

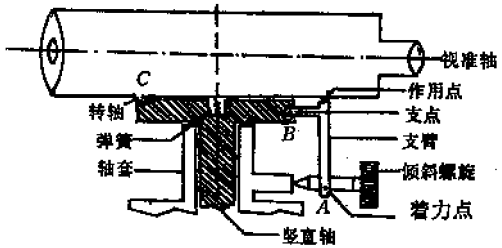


图 1-1 N_3微倾螺旋装置

望远镜与水准器是紧密相联的，于是微倾螺旋就可以使水准轴和视准轴同时产生微量的变化，从而迅速、精确地将视准轴整平，使高灵敏度的水准器，在实际作业中进行应用。

由图1-1可见，仪器的转轴D并不在望远镜的中心，而是靠近物镜的一端。当用圆水准器整平仪器时，因精度所限，竖轴不能精确处于铅垂位置。若当偏离铅垂位置较大时，使用微倾螺旋来精确整平视准轴，就会引起视准轴高度的变化，若微倾螺旋的转动量愈大，则引起视准轴高度的变化也就愈大。如果在前后视精确整平视准轴时，微倾螺旋的转动量不等，就会在测得的高差中带来这种误差的影响。因此在规范中作出的上述规定，目的就是针对仪器的构造特点，限制这种误差的影响，确保观测精度。

2. 装有光学测微器，用来精确地在水准标尺上进行读数，以提高读数精度

仪器所提供的精确的水平视线，一般不可能正好对准水准标尺上的分划线，光学测微器可以精确地测量小于分划线间隔值的尾数，以改变普通水准仪估读毫米位的读数所造成的精度较低的状况。

精密水准仪上的平行玻璃板测微装置，如图1-2所示。它是由平行玻璃板、测微分划尺、传动杆和测微螺旋等构件组

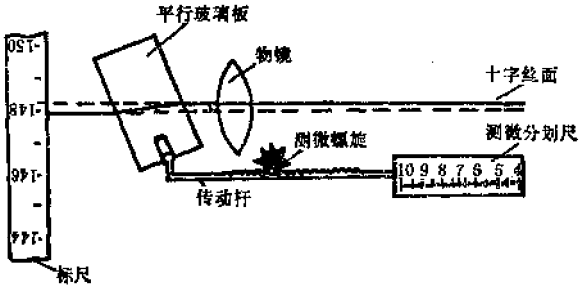


图 1-2　精密水准仪的平行玻璃板测微装置

成，这种测微结构是通过测微螺旋、导轨、齿条，推动平板玻璃框架而工作的。平行玻璃板通过传动杆与测微分划尺相连。

测微分划尺上有100个分格，它与10mm相对应，即每分格为0.1mm，可估读至0.01mm。每10格有较长的分划线并注记数字，每两条长分划线间的格值为1mm。当平行玻璃板与水平视线正交时，在测微分划尺上的读数为5mm。当转动测微螺旋时，传动杆就推动平行玻璃板框架绕其旋转轴俯仰倾斜，并同时带动测微分划尺作相应的移动。当平行玻璃板绕其旋转轴俯仰倾斜时，视线（仪器的视准轴）就会向上或向下作平行移动。若逆转测微螺旋，使平行玻璃板前俯，测微分划尺移至10mm处，则水平视线向下平移5mm；反之，顺转测微螺旋，使平行玻璃板后仰，测微分划尺移至0mm处，则水平视线向上平移5mm。

如图1-2所示，当平行玻璃板与水平视线正交时，在水准标尺上的读数应为a，a在两条相邻分划148与149之间，此时在测微分划尺上的读数为5mm，而不是0。逆转测微螺旋，则平行玻璃板向前俯，使水平视线向下平移，与就近148分划重合，此时测微分划尺上的读数为6.54mm，而水平视线

的平移量应为6.54mm－5mm。最后读数a为：

$$a = 148\text{cm} + 6.54\text{mm} - 5\text{mm}$$

$$= 148.654\text{cm} - 5\text{mm}$$

从上式可知，在每次读数中应减去常数值5mm，但因在水准测量中计算高差时，会自动抵消这个常数，所以在水准测量作业时，在进行读数、记录、计算的过程中，都可以不考虑这个常数。值得注意的是：若仅进行单向读数时，就必须减去这个常数。

3．具有良好性能的望远镜，将十字丝横丝制成楔形，便于精确照准

为了使水准标尺的呈象有足够的亮度，物镜的有效孔径应在50mm以上。为了提高照准精度，将望远镜的放大倍率，设计到40倍以上。

4．水准仪具有坚固的结构，视准轴与水准轴间的关系相对稳定，受外界条件的影响较小

水准仪中望远镜筒和水准器套均用因瓦合金铸件制成。

（三）精密水准仪的类型

精密水准仪的类型较多，下面介绍我国目前在精密水准测量中应用较普遍的三种型号。

1．N_3精密水准仪

该产品原用瑞士WILD商标，1991年下半年起改用LEICA商标。N_3有新、老两种产品。每千米往返高差的中误差为±0.2mm。新、老两种N_3水准仪，其主要技术参数如表1-2所示。新产品在外观上有明显的变化。图1-3所示为老产品的外型图。

该仪器的微倾螺旋上有分划盘，其转动范围约为七周，

几种精密水准仪的技术参数　　表 1-2

技术参数	仪器类型			
	N_3	N_3（新）	Ni004	DS_1
望远镜放大倍率(倍)	42	11～40	44	40
物镜有效孔径(mm)	56	52	58	50
管状水准器格值	10″/2mm	10″/3mm	10″/2mm	10″/2mm
测微器有效移动范围（mm）	10	10	5	5
测微器分划尺最小格值（mm）	0.1	0.1	0.05	0.05
每千米往返测高差中误差（mm）	±0.2	±0.2	±0.4	±1.0

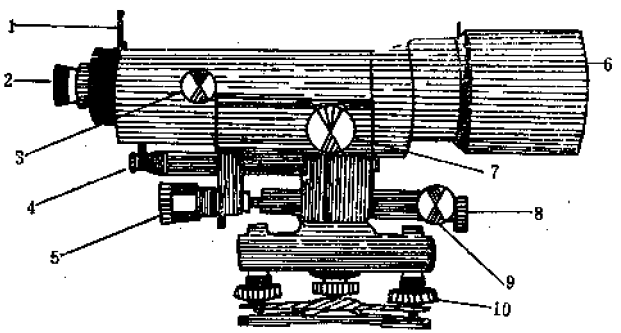


图 1-3　N_3精密水准仪

1—瞄准器；2—望远镜目镜；3—望远镜调焦螺旋；4—水准器反光板；5—微倾螺旋；6—棱形保护玻璃；7—平行玻璃板测微手轮；8—制动螺旋；9—微动螺旋；10—安平螺旋

可借助于固定指标进行读数，由微倾螺旋所转动的格数，可以确定视线倾角的微小变化量。这种装置在进行跨越障碍物的精密水准测量时，具有重要作用。

转动测微螺旋，可使水平视线在1cm范围内平移，测微分划尺的最小格值为0.1mm。在望远镜目镜的左边上下有两个小目镜，分别为符合气泡观察目镜和测微器读数目镜。所

见影象如图1-4所示。

读数方法是：转动微倾螺旋，使符合气泡观察目镜中的水准气泡两端符合，则视线精确水平，此时可转动测微螺旋，使望远镜目镜中看到的楔形丝夹准水准标尺上的148(cm)分划线，再在测微器目镜中读出测微器读数654，故水平视线在水准标尺上的全部读数为148.654cm。

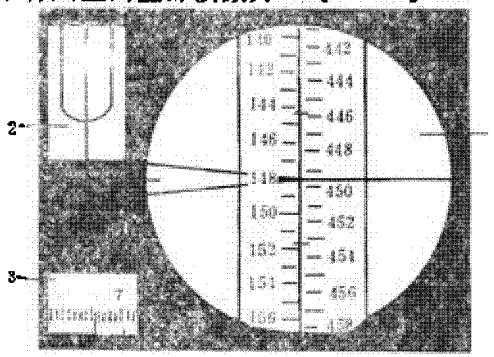


图 1-4 N_3精密水准仪目镜视场

1—望远镜标尺读数；2—符合气泡居中；3—测微器目镜读数

2. 蔡司Ni004精密水准仪

该产品为原东德蔡司产品型号，其主要技术参数如表1-2所示，其外型与老N_3产品相似。

这种仪器的主要特点是对热影响的感应较小，即当外界温度变化时，水准轴与视准轴之间的交角，即i角的变化很小，是因为望远镜、管状水准器和平行玻璃板的倾斜设备等部件，都装在一个附有绝热层的金属套筒内，这样就保证了水准仪上这些部件的温度迅速达到平衡。

该仪器的望远镜目镜视场内有两组楔形丝，如图1-5所示。左边一组楔形丝的交角较大，在视距较近时使用，右边一组楔形丝的交角较小，在视距较远时使用。测微器的分划

鼓直接与测微螺旋相连，通过放大镜在测微鼓上进行读数。转动测微螺旋，可使水平视线在5mm的范围内平移。测微鼓上刻有100个分格，所以测微鼓的最小格值为0.05mm。

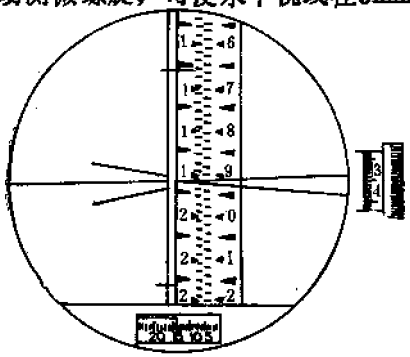


图 1-5 蔡司Ni004水准仪目镜视场

图1-5所示为望远镜目镜视场中所见的影象，下部是水准器的气泡影象。并示应得读数。当楔形丝夹准水准标尺上192(cm)分划，在测微鼓上的读数为340(即340mm)，故在水准标尺上的全部读数为192.340cm，

3. 国产S_1型精密水准仪

我国北京测绘仪器厂，靖江测绘仪器厂生产S_1型仪器，其主要技术参数，也列入表1-2中。转动测微螺旋可使水平视线在5mm范围内作平移，测微器分划尺有100个分格，故测微器分划尺最小格值为0.05mm。

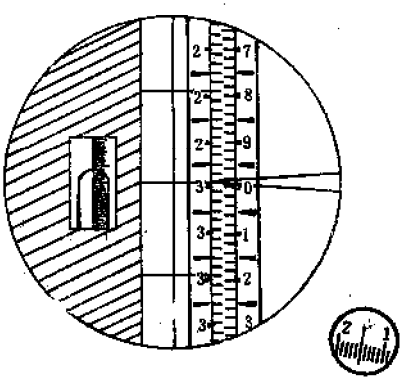


图 1-6 DS_1精密水准仪目镜视场

望远镜目镜视场中所见的影象，如图1-6所示，视场左边是水准器的气泡影象，测微器读数显微镜在望远镜目镜的右下方。

（四）精密水标准尺的特点

精密水准标尺又称“因瓦水准标尺”，是进行精密水准测量时，与精密水准仪配合使用的一种水标准尺。

1．精密水准标尺必须满足的条件

（1）标尺长度受外界温度、湿度的影响应很小。

（2）标尺刻划必须精密，其最大误差每米不得大于±0.1mm。其分格值与仪器相配。

（3）尺面必须平直。

（4）标尺上应附有足够精度的圆气泡，以便控制标尺的铅垂位置；为便于扶尺，在尺身后面应备有扶尺用环。

（5）标尺的底面应有坚固耐磨的金属板，使其不易磨损。

2．精密水准标尺的结构特点

（1）精密水准标尺一般是线条式分划，在木制的尺身中间制有尺槽，内装厚1mm、宽26mm的因瓦合金带，底端固定，另一端用弹簧拉紧，以一定的拉力引张在木质尺身的尺槽内，这种因瓦合金受温度影响甚微，其长度也不受木质尺身长度伸缩的影响。

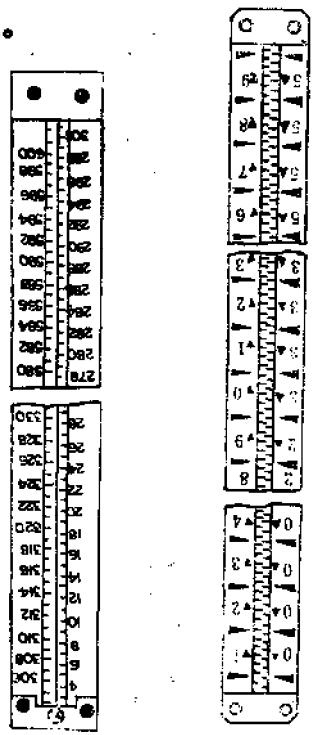


图 1-7　精密水准标尺
(a)与N_3配套；(b)与Ni004、DS_1配套

标尺分划线是画在因瓦合

金带上，相应分划的数字是注记在合金带两旁的木质尺面上，如图1-7所示。

（2）精密水准标尺的分格值有10mm和5mm两种。选用时，随水准仪的分划值而定。

与N_3精密水准仪配套的因瓦水准标尺的分划值为10mm，如图1-7（*a*）所示。因瓦带上漆有间距1cm（或0.5cm）彼此相错一个常数的左右两排分划线。右边一排的注记数字从0～300cm，称为“基本分划”，左边一排分划注记从300～600cm，称为“辅助分划”。同一高度的基本分划与辅助分划读数相差一个常数301.55cm，称为基辅差，通常又称尺常数，用以检查水准观测读数是否存在误差。

与蔡司Ni004和DS_1型精密水准仪配套的水准标尺的分划值为5mm，如图1-7（*b*）所示。它也有两排分划，每排分划之间的间隔也是10mm，但两排分划彼此错开5mm，所以实际上左边是单数分划，右边是双数分划，也就是单数分划和双数分划各占一排，而没有辅助分划。尺面右边注记的是米数，左边注记的是分米数，整个注记从0.1～5.9m，分格值为5mm，分划注记比实际数值大了一倍，所以用这种注记的水准标尺所测得的高差值需除2，才是实际的高差值。

（五）精密水准仪的使用方法与操作程序

1. 精密水准仪的使用方法

（1）使用精密水准仪进行测量前，要按测量需要达到的精度，结合所采用的仪器型号和水准标尺，进行全面的检验。检验的项目、方法和要求等，应参照规范中的有关规定执行。

水准观测要达到高的观测精度，对仪器检验的项目要比

普通水准仪相应增加，限差的允许值比普通水准仪要小，如对i角，一般要求不得大于15″。应尽可能校正到更小值。

(2) 在安置仪器前，应采取措施以保证所安置的仪器满足进行精密水准测量时有关对视线长度≤50m、前后视距差≤1m、前后视距累计差≤3m、视线离地面距离≥0.5 m等要求。并应通过读数，反映是否全面符合要求。这样，可消除或减弱与距离有关的各种误差对观测高差的影响。如i角误差和垂直折光等影响。

(3) 在高精度观测中，在两相邻测站上，应按奇、偶数测站的观测程序进行观测，即分别按“后前前后”和“前后后前”的观测程序，在相邻测站上交替进行。这样可以消除或减弱与时间成正比均匀变化的误差对观测高差的影响。如i角的变化和可以较好地消除仪器脚架在观测过程中产生垂直位移的误差影响。

使用精密水准仪，采用有关观测程序时，应领会其所作规定的目的。

(4) 在一测段的水准路线上，测站数宜安排成偶数。

(5) 高精度的观测，应进行往、返观测，以消除或减弱性质相同、正负号也相同的误差影响。如水准标尺垂直位移的误差影响，在往、返测高差平均值中可以得到减弱。

(6) 为保证观测精度，对基本分划与辅助分划的读数差和所测高差的差，一般应分别小于0.5mm与0.7mm。

2. 精密水准测量的一般操作程序

(1) 在视线长度、前后视距差等满足限差的地点，架设仪器。

(2) 用圆水准器整平仪器时，还要求望远镜在任何方向时，符合水准气泡两端影象的分离值不超过1cm，才允许

使用微倾螺旋。

（3）一般精密水准测量中，在相邻测站上，按奇、偶数测站程序进行观测时，以往测奇数测站为例，说明其具体步骤：

1）将望远镜对准后视水准标尺，在符合水准气泡两端的影象的分离量不大于2mm的条件下，分别用上丝、下丝照准水准标尺的基本分划进行读数，并记入记录手簿的（1）和（2）栏，如表1-3所示，用以计算视距。上、下丝读数的毫米位是由测微器直接读得。然后，旋转微倾螺旋，使符合水准气泡两端的影象精确符合。转动测微螺旋，用楔形丝照准水准标尺的基本分划，并读取水准标尺基本分划和测微器读数。记入手簿的第（3）栏内。测微器读数取至整格。

2）旋转望远镜照准前视水准标尺，旋转微倾螺旋，使符合水准气泡两端的影象精确符合。转动测微螺旋，用楔形丝照准标尺基本分划，读取基本分划和测微器读数。记入手簿的第（4）栏内。然后用上、下丝照准基本分划，将读数记入手簿第（5）和（6）栏内，计算前视视距。

3）用水平微动螺旋转动望远镜，照准前视水准标尺的辅助分划，转动测微螺旋，使符合水准气泡两端影象精确符合，进行辅助分划和测微器读数，记入手簿第（7）栏。

4）旋转望远镜，照准后视水准标尺的辅助分划，转动微倾螺旋，使符合水准气泡的影象精确符合，进行辅助分划和测微器读数，记入手簿第（8）栏内。

5）将观测求得的各项数据，进行以下各项计算，并与相应规定限差进行对照，当全部符合各项限差后，一个测站上的工作即告完成。

视距部分的计算：

精密水准观测手簿　　表 1-3

测站编号	后尺 下丝 / 上丝	前尺 下丝 / 上丝	方向及尺号	标尺读数 基本分划（一次）	标尺读数 辅助分划（二次）	基+K 减辅（一减二）	备考
	后距	前距					
	视距差 d	Σd					
	(1)	(5)	后	(3)	(8)	(14)	
	(2)	(6)	前	(4)	(7)	(13)	
	(9)	(10)	后—前	(15)	(16)	(17)	
	(11)	(12)	h	(18)			
1	3156	3628	后25	275 49	275 48	+1	
	2353	2723	前26	312 55	312 56	−1	
	803	805	后—前	−037 06	−037 08	+2	
	−0.2	−0.2	h	−03707			
2	3912	3499	后	350 88	350 88	0	
	3106	2692	前	309 60	309 56	+4	
	806	807	后—前	058 28	058 32	−4	
	−0.1	−0.3	h	05830			
3	3878	3600	后	337 92	337 90	+2	
	2880	2603	前	310 17	310 16	+1	
	998	997	后—前	027 75	027 74	+1	
	+0.1	−0.2	h	02774			
4	2950	3382	后	278 22	278 20	+2	
	2614	3041	前	321 20	321 23	−3	
	336	341	后—前	−042 98	−043 03	+5	
	−0.5	−0.7	h	−04300			

说明

1. 本表示例：未采用基本分划与辅助分划两次读数，而采用基本分划两次读数校核；
2. 视距部分、高差部分计算见文字说明，不再重复；
3. 每站高差综合校核为：(14) − (13) = (15) − (16) = (17)

(1) − (2) = (9)　　为后视距离

(5) − (6) = (10)　　为前视距离

(9) − (10) = (11)　　为视距差

(11) + 前站 (12) = (12)　　为视距累计差

高差部分的计算与检核：

(3) $+K-$ (8) = (14)

式中 K——基辅差。

(4) $+K-$ (7) = (13)

(3) − (4) = (15)　　由基本分划求得高差

(8) − (7) = (16)　　由辅助分划求得高差

(14) − (13) = (15) − (16) = (17) 作检核

$\frac{1}{2}\left[(15)+(16)\right]=(18)$为高差中数

表1-3中的观测数据，是用N_3水准仪测得的。与N_3配套使用的水准尺$K=3.0155$m。

若采用S_1型或者Ni004水准仪进行观测时，由于与之配套的水准标尺没有辅助分划，因此，记录表格中分别以第一次和第二次读数表示。

3. 精密水准测量所使用的尺垫与对间歇点的要求

精密水准测量时，水准标尺应立于特制的尺垫和尺桩上。由于进行高精度的观测，要求尺垫（或尺桩）具有良好的稳定性，且立尺点有精确的高度位置，当转点时，立尺位置不会因改变方向而引起高度变化。

水准测量的观测工作间歇时，最好能结束在固定的水准点上。否则，应选择两个坚稳可靠、光滑突出、便于竖立水准标尺的固定点。在间歇前精确测定其高差，在间歇后，应对间歇点的高差进行检测，检测结果需符合限差要求（一般

规定≤0.7～1mm），才可以从间歇点起测。

（六）精密水准仪的使用要点

1．为了达到精密水准测量或对建筑物进行高精度沉降观测所需的精度，需对精密水准仪和水准标尺，参照有关规范（国家水准测量规范、建筑变形测量规程等）进行全面检验。因为只有定期按规定进行i角等检验，平时注意保管和维护，使仪器和标尺保持良好状态，在观测时，从严要求，仔细操作，遵守各项限差要求，相互密切配合，才能达到高精度。

2．吃透工程的具体要求，熟悉掌握精密水准仪的基本性能、构造和用法，例如：限制和缩短视距长度，限制前后视距差、累计差，校正i角至最小值，完善观测程序等，都能有效地提高水准测量的精度。

（七）精密水准仪的检验

1．检验项目

对质量情况不明的仪器，应作以下几项检验与校正：

（1）水准仪的检视；

（2）望远镜光学性能的检验；

（3）圆水准器安置正确性的检验校正；

（4）符合水准器分划值、符合精度的测定及符合水准器质量的检验；

（5）倾斜螺旋效用正确性和分划值的测定；

（6）十字丝的检查及视距丝上下丝不对称差与视距常数的测定；

（7）光学测微器效用正确性和分划值的测定；

（8）调焦透镜运行正确性的检验；

（9）视准轴与水准轴相互关系（i角与交叉误差）的检验与校正。

全面检验精密水准仪性能的方法与步骤，可以参阅国家水准测量规范中的有关条款进行。

针对沉降观测时的特点，因前视与后视距离不等，需考虑i角和进行调焦时其调焦透镜运行这两项误差对读数的影响，当观测精度要求较高时，需进行这两项检验。

2．视准轴与水准轴相互关系的检验与校正

水准仪的水准轴与视准轴，是两条空间直线，通常将其在竖立面上投影的交角，称为i角误差。将其在水平面上投影的交角，称为φ角误差，也称交叉误差。

（1）i角误差的检验与校正：测定i角的方法很多，其基本原理都是相同的，即利用i角对水准标尺上读数的影响与距离成比例，通过比较在不同距离的情况下水准标尺上读数的差别，求出i角。

一般的测定方法如图1-8所示。距仪器s和$2s$处，分别选定A点和B点，以便安放水准标尺，A、B两点的高差和需测定的i角都是未知数。通过选定的两个测站点J_1和J_2，测量得

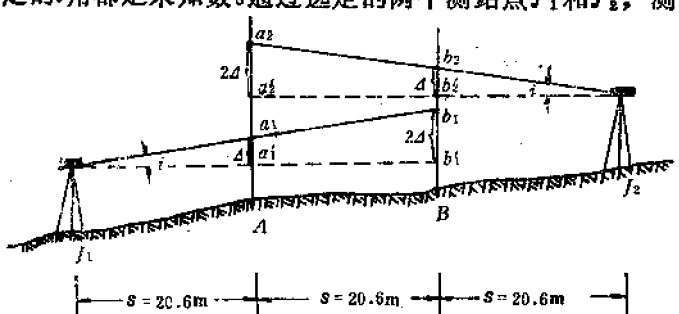


图 1-8　i角的检验方法

两份高差成果，建立相应的代数方程式，从而可解出这两个未知数。测定时的具体布置及测站点编号等如图1-8所示。

i 角 检 验 记 录 表 1-4

仪器型号：威特N_3 59285　　水准尺：№ 51 (A)　№52 (B)

日　　期：1992年3月17日　　观测者：　　记录者：

测站	观测次序	水准尺读数		高差 $a-b$ (mm)	i 角 的 计 算
		A尺读数a	B尺读数b		
J_1	1	158712	179140		A、B标尺间距离$S=20.6$m $2\Delta=(a_2-b_2)-(a_1-b_1)$ $=+4.90$mm $i''=10\Delta=+24.5''$ 校正后A、B标尺上的正确读数$a'_2b'_2$为： $a'_2=a_2-2\Delta=165962$ $b'_2=b_2-\Delta=186155$
	2	704	142		
	3	708	154		
	4	708	150		
	中数	158708	179146	-204.38	
J_2	1	166703	186394		
	2	456	410		
	3	444	396		
	4	458	400		
	中数	166452	186400	-199.48	

在J_1测站上，照准水准标尺A和B，读数为a_1和b_1，当$i=0$时，水平视线在水准标尺上的正确读数应为a'_1和b'_1，由于i角引起的误差分别为Δ和2Δ。同样，在J_2测站上，照准水准标尺A和B，读数为a_2和b_2，正确读数应为a'_2和b'_2，其误差分别为2Δ和Δ。

在测站点J_1和J_2上得到A、B点的正确高差分别为：

$$h'_1=a'_1-b'_1=(a_1-\Delta)-(b_1-2\Delta)$$

$$h'_2=a'_2-b'_2=(a_2-2\Delta)-(b_2-\Delta)$$

如不考虑其它误差的影响，则$h'_1=h'_2$，由上式可得：

$$2\Delta=(a_2-b_2)-(a_1-b_1)$$

式中(a_2-b_2)和(a_1-b_1)是仪器存在i角时，分别在测站J_2和J_1测得的A、B两点间的观测高差。以h_2和h_1表示，则上式可写为：

$$2\Delta=h_2-h_1$$

$$\Delta=\frac{1}{2}(h_2-h_1)$$

由图1-8可知：

$$\Delta=i''s\frac{1}{\rho''}$$

移项可得：

$$i''=\frac{\rho''}{s}\cdot\Delta$$

为了简化计算，测定时使$s=20.6$m，则$i''=10\Delta$，式中Δ以mm为单位。

用精密水准仪进行高精度沉降观测，对i角的限值，由观测所要求达到的精度以及前、后视距不等差的限值，密切相关，若采用$DS_{0.5}$型精密水准仪，要求i不大于$4''$。

校正在J_2测站上进行。先求出水准标尺A上的正确读数a'_2（$a'_2=a_2-2\Delta$），将a'_2的后三位数字（即表1-4中的962）安置在测微器上，转动倾斜螺旋，使楔形丝夹准水准标尺上一个分划，这个分划的注记应等于a'_2的前三位数字（即表1-4中的165）。此时水准器气泡影象分离，校正水准器的上、下校正螺丝，使气泡两端影象恢复符合为止，然后检查另一水准标尺上的读数是否正确（其正确读数为$b'_2=b_2-\Delta$），否则还应反复进行检查校正。在校正时，应先松开一个改正螺

丝，再拧紧另一改正螺丝，不可将上、下两个改正螺丝同时拧紧或同时松开。

测定i角时，为避免温度变化等因素的影响，宜在阴天测定或打伞遮阳。

（2）交叉误差的检验与校正：如果有交叉误差存在，当仪器垂直轴略有倾斜时（特别是与视准轴正交方向的倾斜），即使水准轴水平，视准轴也不水平，视准轴与水准轴在竖立面上的投影也不平行，从而产生i角。此i角是由交叉误差在垂直轴倾斜时转化形成的。

如果仪器存在交叉误差，则整平仪器后，使仪器绕视准轴左右倾斜时，水准气泡就会发生移动，交叉误差就是根据这一特征进行检验的。具体检验步骤如下：

1）将水准仪置于距水准标尺约50m处，如图1-9所示，使其中1、2两个脚螺旋在望远镜照准标尺的垂直方向上。

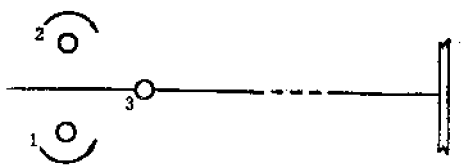


图 1-9　交叉误差的检验

2）将仪器整平，旋转微倾螺旋使水准气泡精密符合。用测微螺旋使楔形丝夹准水准标尺上的一条分划线，并记录水准标尺与测微器分划尺上的读数。在整个检验过程中，需保持水准标尺和测微器分划尺上的读数不变，也就是在检验过程中应保持视准轴方向不变。

3）将照准方向一侧的脚螺旋1升高两周，为了不改变视准轴的方向，应将另一侧的脚螺旋2作等量降低，保持楔形丝仍夹在水准标尺上原来的分划线。此时仪器垂直轴倾

斜。注意观察并记录水准气泡的偏移方向和大小。

4）旋转脚螺旋1、2回到原来位置，使楔形丝在夹准水准标尺上原分划线的条件下，水准气泡两端恢复符合的位置。

5）将脚螺旋2升高两周，脚螺旋1作等量降低，使楔形丝夹准水准标尺上的原分划线，（此时仪器相对于步骤3）向另一侧倾斜。注意并记录水准气泡的偏移方向和大小。

根据仪器先后向两侧倾斜时，水准气泡偏移的方向与大小来分析判断视准轴与水准轴的相互关系。可能出现下列不同情况：

当垂直轴向两侧倾斜时，水准气泡的影象仍保持符合，则仪器不存在i角误差和交叉误差；若水准气泡同向偏移且偏差量相等，则仅有i角误差，而没有交叉误差；若同向偏移但偏移量不相等，则i角误差大于交叉误差；若异向偏移且偏移量不相等，则交叉误差大于i角误差；若异向偏移且偏移量相等，则仅有交叉误差，而没有i角误差。

规范规定偏移量大于2mm时，需进行交叉误差的校正。

校正的方法是：先将水准器侧方的一个改正螺丝松开，再拧紧另一侧的一个改正螺丝，使水准气泡向左右移动，直至气泡影象符合为止。

当同时存在交叉误差和i角误差时，为了便于校正交叉误差，应先将i角误差校正好。

复习思考题

1.精密水准仪在构造上具有哪些特点？它从哪些方面提高了精度？

2.叙述常用的几种精密水准仪的技术参数以及在设计上的特点。

3.精密水准标尺须满足哪些条件？它在结构上有什么特点？

4.叙述精密水准仪的使用方法以及其原因。

5.叙述精密水准测量的一般操作程序。为什么规定这些程序？

6.精密水准测量中的有关限差有哪些？

7.叙述精密水准仪的使用要点。

8.如何检验精密水准仪视准轴与水准轴相互关系的正确性？

二、四等水准测量

（一）高程控制网及其等级分类

为了保证测量放线工作具有统一而精确的高程精度，需在建设地区按照统一的规格，建立高程控制系统，作为测量、放线的控制基础。

高程控制网，主要用水准测量方法建立，一般采用从整体到局部的逐级控制原则，按控制次序和施测精度进行分等。国家水准测量分为一、二、三、四等水准测量。各等水准测量所经过的路线，称为“水准路线”。一等水准路线是国家高程控制的骨干，也是研究地壳垂直移动和解决有关科学研究的主要依据。二等水准路线是国家高程控制的全面基础，沿公路、铁路及河流布设，并构成网状。

为城市、工程建设的需要，《工程测量规范》（TJ26-78）、《城市测量规范》（CJJ8-85）将水准测量的等级分为二、三、四等，作为测图、工程测量以及沉降观测的基本控制。其等级的选定，主要根据实际精度需要，结合线路长度、控制面积等设计确定。三、四等水准路线直接提供地形测图和各种工程建设所必须的高程控制点。在各等水准路线上，每隔一定距离埋设稳固的水准标石，以标定所测高程点的位置，便于长期保存和使用。

（二）四等水准的技术要求

1. 设计规格方面的要求

（1）环线或附合于高级点间四等水准路线的最大长度

为16km。每千米高差中误差为±10mm。往返较差、附合或环线闭合差平地为$\pm 20\sqrt{L}$ mm（L为线路长度，以km计）；山地为$\pm 6\sqrt{n}$ mm（n为测站数）。

（2）对观测次数的要求：与已知点联测的需进行往、返观测，往返各一次。附合或环线的只需进行一次往测。

2．对仪器、工具的要求

（1）水准仪型号以及对i角的要求：水准仪S_3型，望远镜放大倍数不小于28倍，符合水准器分划值不大于20″。水准仪视准轴与水准管轴的夹角i不应超过±20″。

（2）对水准标尺的要求：采用双面水准标尺，标尺上米间隔平均长与名义长之差，不应超过±0.5mm。

3．对水准点选点、埋石方面的要求

水准点应选在土质坚硬、便于长期保存和使用方便的地点。水准点间的距离，一般为1～3km，工厂区宜小于1km。一个测区至少应设立3个水准点。

四等水准点，应埋设水准标石，也可利用固定地物。其标志、标石的埋设规格如图2-1、图2-2所示。水准点应绘制

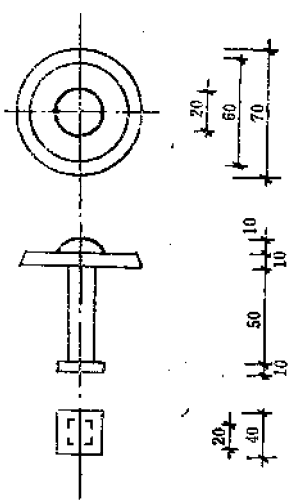


图 2-1 金属标志图

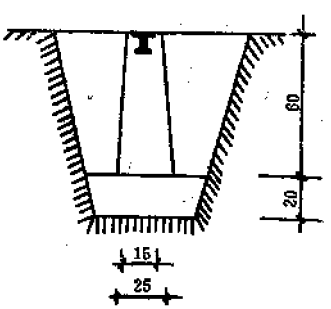


图 2-2 四等水准点标石埋设图

点志记，必要时设置指示桩，并办理托管手续。

（三）四等水准观测的技术要求

为达到四等水准有关闭合差等方面的要求，当采用S_3型水准仪、双面水准标尺进行观测且仪器经检验校正，i角不超过±20″时，具体水准观测，应在标石稳定后进行，其技术要求包括视线长度、每站的前后视距差、全线前后视距累积差等方面。

1．视线长度的要求

当架设仪器进行观测时，仪器离标尺的距离称视线长度。规范规定：四等水准观测若采用S_3型水准仪，其视线长度不得超过80m。这是根据S_3型水准仪的技术指标定出的。若采用精密水准仪及因瓦标尺，视线长度可增至100m。

2．对前、后视距差的要求

前视距离与后视距离的差，称前、后视距差。四等水准观测时，每个测站的前、后视距差均不得大于5m，这是顾及仪器虽经检校，但i角仍有检校后的残余误差（≤20″），为限制i角影响观测精度所规定的技术要求。

3．对前、后视距累积差的要求

水准测量全线（或单程）观测中，所有测站前、后视距差的代数和，称为累积差。

四等水准观测前、后视距累积差不得大于10m。

4．对视线高度的要求

四等水准观测，视线离地面最低高度为0.2m。其目的是为了减少大气折光的影响。

5．四等水准测量的测站观测限差

（1）黑红面读数差：仪器照准后视或前视进行中丝读

数时，黑面标尺的读数与红面标尺读数减去常数4.687或4.787m之差。规范规定：四等水准观测，黑红面读数差不得超过3mm。用以检查读数的估读精度。

(2) 黑红面所测高差之差：按后视、前视水准标尺的黑面、红面中丝读数分别计算出的高差之差。四等水准测量，此项差不得超过5mm。用以检查测站的观测精度。

(3) 两次仪器高时，所测两高差之差：如果不用双面水准尺观测黑面、红面分划，也可采用变动仪器高的方法，在每站观测后视、前视两点时，观测两次，求两次测得高差之差，此项限差同样不得超过5mm。

(四) 四等水准测量的观测方法

下面介绍双面标尺，采用后—前—前—后观测顺序，在一个测站上的观测程序：

(1) 在测站上安置水准仪，使圆水准器气泡居中（望远镜绕竖轴旋转时，水准器气泡两端影象分离不大于1cm）。

(2) 将望远镜对准后视标尺黑面（此时，用标尺上的圆水准器整置标尺垂直），用上、下视距丝读数，记入观测手簿中，如表2-1所示的(1)、(2)，转动微倾螺旋，使符合水准气泡精确居中，用中丝精确读定标尺读数(读至毫米)，记入表中（3）。

(3) 照准前视水准标尺的黑面，用上、下视距丝读数，记入表中(4)、(5)，转动微倾螺旋，使符合水准气泡精确居中，用中丝精确读数，记入表中（6）。

(4) 前视水准标尺的立尺者，调转尺面将红面转向观测者。观测者转动微倾螺旋，使符合水准气泡精确居中，用中丝精确读数，记入表中（7）。

(5) 观测者转向后视，照准后视水准标尺，立尺者将红面转向观测者。观测者转动微倾螺旋，使符合水准气泡精确居中。用中丝在红面上精确读数，记入表中（8）。

(6) 在一测站上的观测告一段落时，记录者需及时进行下述各项计算，填入记录手簿中，各项计算均符合四等水准观测的有关技术要求后，在一个测站上观测工作，完成后才可迁站。

1. 视距计算

(1) 根据后视、前视的上、下视距丝读数，分别计算后视与前视的视距：

后视距离，填入(9)＝[(1)－(2)]×100

前视距离，填入(10)＝[(4)－(5)]×100

(2) 计算后视与前视的视距差，填入（11）：

后视距离（9）－前视距离（10）＝（11）

(3) 计算后视、前视距离累积差，填入（12）：

上站(12)＋本站(11)＝(12)

第一个测站（12）＝0

计算后分别按四等水准测量的技术要求进行检核：

后视距离（9）不得超过80m；视距差（11）不得超过5m；累积差（12）不得超过10m。

2. 水准尺读数的检核

同一根水准尺，黑面与红面读数差为：$K+(6)-(7)$，填入（13）；$K+(3)-(8)$，填入（14）。

K为双面水准标尺的红面分划与黑面分划的零点差，常数K为4.687或4.787。

读数差（13）或（14）均不得超过3mm。

3. 高差计算与检核

由后视、前视水准尺的黑面中丝读数与红面中丝读数，分别计算该站的高差：

黑面高差：(3)－(6)，填入（15）

红面高差：(8)－(7)，填入（16）

黑、红面高差之差：(15)－(16)，填入(17)

黑、红面高差之差（17）不得超过5mm。以上几项检核均在限差之内，取其平均值，作为该站的观测高差，填入（18），即观测高差（18）$=\frac{1}{2}$［(15)＋(16)］。

上面介绍的后—前—前—后的观测顺序，能较全面地反映出一个测站的观测精度，尤其当水准路线通过土质松软地段，或精度要求较高时，这种观测顺序是最佳的。

四等水准测量也可采用后—后—前—前的观测顺序，即当后视水准标尺黑面中丝读数后，立即观测后视水准标尺的红面，进行中丝读数；然后再照准前视水准标尺，使符合水准气泡精确居中后，用中丝在黑面上精确读取读数，接着前视标尺调转尺面，在红面上精确读取读数。对于尺面分划的颜色来说，前者的程序为黑—黑—红—红；后者的程序为黑—红—黑—红。

（五）四等水准测量的成果整理

水准测量的外业结束后，应按路线进行成果整理，其中包括：对测量记录手簿中记录与计算的复核，高差闭合差的计算和检核，高差的改正和各点高程的计算。

1．对记录、计算的复核

要求观测记录真实、可靠、清晰，计算准确，对所有数字、计算逐一进行全面、仔细的复核，经测站进行全面检

测站编号	后尺 下丝 上丝	前尺 下丝 上丝	方向及尺号	标尺读数 黑面	标尺读数 红面	K+黑减红	高差中数	备考
	后距	前距						
	视距差d	Σd						
	(1)	(4)	后	(3)	(8)	(14)		
	(2)	(5)	前	(6)	(7)	(13)		
	(9)	(10)	后一前	(15)	(16)	(17)	(18)	
	(11)	(12)						
1	1571	0739	后5	1384	6171	0		
	1197	0363	前6	0551	5239	−1		
	374	376	后一前	0833	0932	+1	0832	
	−0.2	−0.2						
2	2121	2196	后	1934	6621	0		
	1747	1821	前	2008	6796	−1		
	374	375	后一前	−0074	−0175	+1	−0074	
	−0.1	−0.3						
3	1914	2055	后	1726	6513	0		
	1539	1678	前	1866	6554	−1		
	375	377	后一前	−0140	−0041	+1	−0140	
	−0.2	−0.5						
4	1965	2141	后	1832	6519	0		
	1700	1874	前	2007	6793	+1		
	265	267	后一前	−0175	−0274	−1	−0175	
	−0.2	−0.7						

检核计算

Σ(9) = 1388　　Σ(3) = 6876　　Σ(8) = 25824
Σ(10) = 1395　　Σ(6) = 6432　　Σ(7) = 25382
Σ(9) − Σ(10) = −0.7　　Σ(15) = 444　　Σ(16) = 442
Σ(9) + Σ(10) = 278.3　　Σ(15) + Σ(16) = 8862　　Σ(18) = 886

核，符合限差的成果，方可进行高差闭合差的计算。

2．高差闭合差的计算

高差闭合差的计算随水准路线的形式而不同，现分述如下：

（1）闭合水准路线：因为路线的起点和终点为同一点，因此路线的高差总和在理论上应等于零，即$\Sigma h_{理}=0$。假设闭合路线实测的高差总和为$\Sigma h_{测}$，令高差闭合差为f_h，则

$$f_h=\Sigma h_{测}$$

（2）附合水准路线：若四等水准路线布设在两个已知高级（Ⅱ等或Ⅲ等）水准点之间，已知其高程分别为$H_{始}$与$H_{终}$，则附合水准路线高差总和的理论值应为：

$$\Sigma h_{理}=H_{终}-H_{始}$$

假设附合水准路线实测的高差总和为$\Sigma h_{测}$，则高差闭合差：

$$f_h=\Sigma h_{测}-(H_{终}-H_{始})$$

（3）支水准路线：若四等水准路线由一已知水准点，进行测段往、返观测，由于往、返观测的方向相反，因此往测高差总和$\Sigma h_{往}$与返测高差总和$\Sigma h_{返}$，两者的绝对值应相等而符号相反，即往、返所测得高差的代数和在理论上应等于零。因此支水准路线往、返测的高差闭合差：

$$f_h=\Sigma h_{往}+\Sigma h_{返}$$

根据布设水准路线的形式，将观测所得的高差总和：$\Sigma h_{测}$或$\Sigma h_{往}$、$\Sigma h_{返}$可计算求得高差闭合差。

由于仪器的精密程度、水准标尺的刻划精度、水准尺竖立精度、观测者的分辨能力等都有一定的限制，而且还受到外界环境的影响，观测中包含各项误差的影响是客观存在的，高差闭合差f_h是水准测量观测综合误差的反映。四等水

准测量的允许高差闭合差为：$f_{h允} \leqslant \pm 20\sqrt{L}$ mm，式中L为环线或附合路线总长或测段往返路线总长。

在山丘地区，当每千米路线中安置水准仪的测站数超过16站时，允许高差闭合差为：$f_{h允} \leqslant \pm 6\sqrt{n}$ mm。

当通过实测资料计算所得的高差闭合差f_h在允许范围内时，认为精度合乎要求，成果可用；否则应分析原因，返工重测，直到符合要求为止。

3．高差闭合差的分配和高程计算

当f_h的绝对值小于$f_{h允}$时，才可进行高差闭合差的分配、高差改正与高程计算。

当布设闭合或附合的四等水准路线，沿线埋设数个水准点时，则按与距离L或测站数n成正比的原则，将高差闭合差反其符号进行分配，以改正水准路线上每两点间的高差，使全线高差满足相应的理论值，最后按改正后的高差计算各待定点的高程。

如图2-3所示为一附合水准路线的观测成果略图。BMA和BMB为三等水准点，图中箭头表示进行水准测量的方向，路线上方的数字为测得的两点间的高差（单位为m），路线下方的数字为该段路线的长（单位为km）。

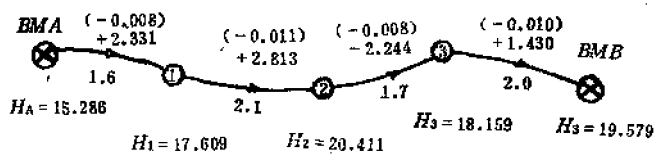


图 2-3　附合水准路线的观测成果略图

如图2-3所示，算得A、B两点的已知高差$H_B - H_A$ = 4.293m，测得A、B的高差Σh = 4.330m，其高差闭合差f_h为：

$$f_h = \Sigma h - (H_B - H_A) = +37\text{mm}$$

允许的高差闭合差：

$$f_{h允} = \pm 20\sqrt{L} = \pm 20\sqrt{7.4} = \pm 54\text{mm}$$

当$f_h < f_{h允}$，则可计算每km的高差改正数，将测得的高差加上相应的改正数，即得该段改正后的高差，最后算得1、2、3点高程。每km的高差改正数为：

$$-\frac{f_h}{\text{路线总长}} = \frac{-37}{7.4} = -5\text{mm}$$

计算求得各段的改正数后，注示在高差的上面并括以括弧。各点的高程表示在图的下面。

为直观起见，用成果略图表示，也可绘表格进行成果整理。

对于支水准路线，则取往、返高差绝对值的平均值，高差符号以往测为准，作为改正后的高差。

（六）质量通病的防治措施

（1）明确建立高程控制测量的目的，做好事先计划，以防工作的随意性。

四等水准测量是作为建设场地建立高程控制的基础工作，它的路线长度要在地形图上进行事先计划。了解起算高程点的位置、等级、高程系统。实地踏勘线路、调查起算点是否完好，其位置需与点的标志核对，防止差错。确保起算点位正确，系统清楚，起算资料可靠。线路长度不超过16km。

（2）对仪器、工具进行全面检校，特别要检查i角不应超过±20″，水准标尺米间隔平均长与名义长之差，不超过±0.5mm。要留有检查资料。克服对仪器不做检校的侥幸心理。需有检校数据说明仪器处于符合规范要求的状态。

（3）观测资料字迹清楚、填写齐全，不得擦改或涂改

转抄复制，以确保观测数据真实、可靠。对技术要求中的各项限差，进行全面检查，只有各项限差都符合的资料，才能用于计算成果。需进行测站校核、全线校核，从实测数据上反映全面符合技术要求，凡不合格的需进行返工。

(4) 线路闭合差是精度评定的重要依据，它是极限误差，优良成果应在限差在1/2之内，对超限成果应进行仔细分析后进行重测。完成外业观测和成果整理，应对四等水准工作做出技术小结并作出评价。

(七) 安全使用等注意事项

(1) 四等水准测量过程，测量路线长，野外工作条件较差，而测量仪器构造精密，是完成任务的必备设备，因此，要防止意外事故的发生，避免造成损失。例如：在运输过程中必须防震，不能将仪器直接放在汽车或火车车厢的底板上，应装在有防震垫子的箱中；步行运送时应将仪器箱拎在手中或背在背上，运送前应先检查仪器箱的拎环、带子等是否牢固，箱盖的扣子是否扣好或上锁。

(2) 开始测量前，应先将脚架放稳，然后开箱取仪器，取仪器应用双手握基座或支架，不要提拿望远镜。将仪器放上三脚架头后，应随即用连接螺旋将仪器连接在三脚架上，以防止仪器从三脚架头上摔下来。

(3) 搬移测站时，要注意仪器的安全。在平坦地区近距离，可收拢三脚架抱在肋下，一手托住仪器，稳步前进，较长距离或需攀高差较大地区作业时，宜将仪器装入箱中。

(4) 仪器安置在测站上暂停工作时，需有人守护。当在行人车辆众多的道路上测量时，需有专人在旁保护仪器，注意提醒行人不要碰撞仪器，确保作业的安全。

(5) 开箱取出仪器时，应看清正确放置位置，工作结束装箱时，应按原位放置。装箱前应先松开制动螺旋，关箱时若发现盖箱有困难，应查明原因，不可强压。关好后应上扣、上锁，以防箱子未扣牢，拎起箱子仪器掉落受损。

复习思考题

1. 建立高程控制网的目的是什么？如何分类，如何确定其等级？

2. 四等水准测量在规格、仪器工具、埋石等方面有哪些要求？与以往学习的图根水准测量有什么不同，试作比较。

3. 叙述四等水准观测中各项具体要求及其有关限差。

4. 详细说出用双面水准标尺，采用后一前一前一后观测顺序，在一个测站上的程序。这种顺序其优点是什么？

5. 四等水准测量的成果整理包括哪些内容？如何计算高差闭合差？怎样进行改正？

6. 为做好四等水准测量工作，要注意采取哪些防治措施？

三、采用精密水准仪、经纬仪进行沉降、位移等变形观测

（一）建筑物变形观测的意义、目的和内容

1．变形观测的意义与目的

测定建筑物及其地基在建筑物荷重和外力作用下，随时间而变形的工作称变形观测。建筑变形测量是保证建筑物的合理设计、检查施工质量、验证地基及建筑物稳定性的重要环节。

由于各种因素的影响，建筑物在施工期间及竣工后，都会产生变形。这种变形在一定限度之内，认为是正常的现象，但如果超过了规定的限度，就会影响建筑物的正常使用，严重时还会危及建筑物的安全。因此，在建筑物的施工期间和竣工后的一段时间，需要进行变形观测。以便从实测数据方面，反映其变形程度，并根据多方面的资料，分析其稳定情况。

随着建筑业的发展，我国的建筑变形测量工作，近些年来有了较广泛的发展，但对各种地基、不同类型与结构的建筑物、不同的施工方法与进度时，全面、精确提供实测变形数据作为反映施工期间地基稳定情况、实际施工质量、评价设计质量等的重要依据角度来看，还有待完善、提高，尚有许多工作要做。

因此，从检验设计理论和参数的可靠程度，从施工过程与方法的实际效果以及为质检提供科学数据或者检查分析有关工程事故，提供资料等方面，变形观测有着重要意义。

2．变形观测的内容

变形观测的任务是周期性地对所设置的观测点（或建筑物某部位）进行重复观测，以求得其在两个观测周期间的变化量。为了特定要求，若需求得瞬时变形，则应采用相应的自动记录仪器与装置，以记录其瞬时位置。

变形观测的内容，要求有明确的针对性，应根据建筑物的性质与施工现场的地基情况与环境等情况确定，既要有重点，又要作全面考虑，以便能全面且正确反映出建筑物的变化情况。

工业与民用建筑物，对于基础而言，其主要的观测内容是算得绝对沉降量、平均沉降量、相对弯曲、相对倾斜、平均沉降速度以及绘制沉降分布图等。

对于建筑物本身来说，变形影响建筑物使用的衡量标准一般是能否造成房屋的裂缝，建筑物的倾斜是否超出允许范围。建筑物地基变形特征值：沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜以及沉降速率是衡量地基变形发展程度与状况的重要标志。

对于工业设备、厂房柱、导轨等，其主要观测内容是水平位移和垂直位移等。

在建筑施工过程中，常采用精密水准仪进行沉降观测，采用经纬仪进行倾斜观测，其实测数据是建筑物工程质量检查的主要依据，也是竣工验收的主要技术档案之一。

建筑变形观测还包括：基坑回弹观测、地基土分层沉降观测、地基土变形相邻影响观测及场地沉降观测、裂缝观测、挠度观测等项目。

（二）变形观测的方法与要求

下面介绍建筑施工中常用的沉降观测方法、倾斜观测方法与位移观测方法。

1．沉降观测方法

建筑物的沉降是地基、基础和上部结构共同作用的结果，其沉降量特别是差异沉降量超过一定限度，就会影响建筑物正常使用和安全，在施工期间常根据所增加层数或荷载情况，进行沉降观测，以了解、监视建筑物的沉降情况，分析是否正常，若有异常情况发生，需及时分析，采取相应的措施。

沉降观测方法，通常以水准基点（或水准点）为依据，对大型的或高层建筑应采用精密水准仪按精密水准测量法进行，按一定周期测出布设在建筑物基础或底层柱（或墙壁）上观测点的高程，不同周期的高程变化即为沉降量。

建筑物的基础沉降是指建筑物单独基础（如箱形基础）的下沉，不包括建筑物上部荷载的影响。观测点必须埋设在基础底板上，从浇筑底板开始即进行观测，直至整个基础浇筑完毕为止。所测最终高程与首次高程之差即为基础沉降量。

观测前应根据观测点的位置和现场条件，确定并计划好观测路线图，对使用的水准仪和标尺进行校验与校正，观测成果应符合有关限差的规定。

沉降观测每次完成后，应及时整理资料，计算出有关数据，观测应照设计要求按时进行，工程结束时，提交出全部资料与图纸。

2．倾斜观测方法

倾斜观测是建筑物变形观测的主要内容之一。建筑物发生倾斜的原因主要因地基承载力不均匀或因建筑物体型复杂、层高变化而形成不同荷载，地基及其周围地面有差异沉降或受外力作用的结果。

倾斜观测是用测量仪器测定建筑物的基础和上部结构的

倾斜量、方向和速率等。

从观测的部位分，可分为基础倾斜观测和上部倾斜观测。

基础倾斜观测一般采用精密水准测量的方法，定期测出基础两端点的差异沉降量，进行推算。

上部倾斜观测可根据观测对象、设备条件等选用差异沉降量推算法、悬挂锤球法或采用经纬仪投影法、测水平角法或测角前方交会法。

3．位移观测方法

位移观测的目的是为了确定建筑物在平面上随时间而移动的大小及方向。首先在待测建筑物的纵横方向上设置观测点及控制点。位移观测可采用正倒镜投点的方法直接求出位移值，亦可采用测角的方法，由测角差按距离进行推算。

（三）采用精密水准仪进行变形观测的方法与要点

1．沉降观测所需的精度

变形观测资料是工程技术档案的一部分，在《建筑地基与基础工程施工及验收规范》（GBJ202-83）中，对建筑物和构筑物的沉降观测，提出以下有关要求：

（1）沉降观测宜采用精密水准仪及因钢水准尺进行，在缺乏上述仪器时，也可采用精密的工程水准仪和刻度精确的水准尺进行。

（2）水准测量应采用闭合法进行：

采用二等水准测量应符合$\pm 0.4\sqrt{n}$ mm的要求；采用三等水准测量应符合$\pm 1.0\sqrt{n}$ mm的要求（n为水准测量过程中水准仪架设的次数）。

变形观测的数据是根据规范中有关建筑物的地基变形允许值的要求而提供的。

为了将实测变形值与变形允许值进行对比，确定其是否符合规范要求，必须保证测量数据的必要精度，因此对重要、高大等建筑物，应采用精密方法测定其变形值。应符合$\pm 0.4\sqrt{n}$mm限差的要求。。

从测定变形满足精度要求看，宜采用精密方法，如果缺乏仪器、设备，则应采用有效技术措施以保证其观测精度。

2．对设置水准基点位置的要求

(1)水准基点是进行精密变形观测的高程控制网的起始点并作为沉降观测基准的水准点。

基点设置以保证其稳定可靠为原则。宜设置在基岩上，或设在压缩性较低的土层上。

(2) 水准基点的位置，宜靠近观测点，但必须在建筑物所产生的压力影响范围以外。在一个观测区域内，水准基点不应少于三个。

(3) 工作基点的作用：若按要求选定的水准基点离观测点较远，为观测的方便并从精度考虑，可在两倍于建筑物基础宽度以外的稳固位置，选定直接测定建筑物变形作依据的工作基点，它与被观测的建筑物之间的距离以30～50m为宜。按需要或定期对水准基点与工作基点间高差进行测量。短期内可从工作基点开始观测并闭合在工作基点上。

(4) 长期使用水准基点，应考虑埋设在坚固之处，不应选在道路、仓库、河岸、新填土以及将用于建设或堆料的地方，并且在受震动影响的范围之内。

3.对水准基点及观测点标志的具体要求

(1) 水准基点根据需要可采用深埋式（如图3-1所示）和浅埋式（如图3-2所示）两种，但在每一观测区域内，至少应设置一个深埋式水准点。

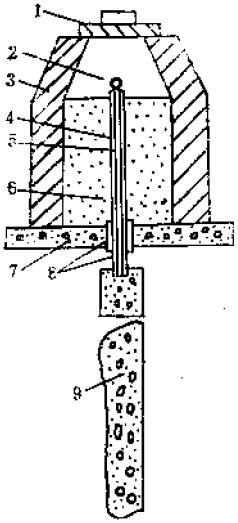


图 3-1 深埋式水准基点

1—生铁盖或混凝土盖；2—水准基点头部；3—保护井的壁；4—保护套管（铁管）；5—水准基点支承钢管；6—木屑或干炉渣；7—混凝土底板；8—油毛毡二层；9—灌注混凝土桩

水准点的头部宜用铜或不锈钢制成，如用普通钢代替，应注意防锈。

水准点埋设须在基坑开挖前15d完成。

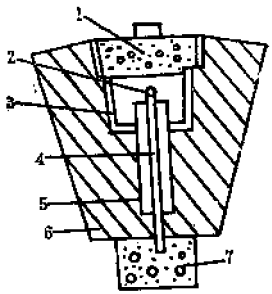


图 3-2 浅埋式水准基点

1—混凝土盖；2—水准基点头部；3—护壁；4—水准基点支承管；5—套管；6—填土；7—混凝土

(2) 测定建（构）筑物下沉的观测点，可根据建（构）筑物的特点采用不同的类型，观测点的标志，可采用预制式观测点、现浇式观测点、隐蔽式（伸入墙内）观测点和平面上观测点。立尺部位必须加工成半球形或有明显的突出点，并要涂上防腐剂。

标志的埋设应注意避开影响标尺垂直竖立的障碍物，如雨水管、窗台线、暖气片、暖水管、电气开关等。并要离开墙面和地面一定距离。

(3) 观测点的布置，由设计单位根据地基的工程地质资料及建筑结构的特点确定，应能全面地查明建（构）筑物

基础沉降的情况。

对砖墙承重结构，其观测点一般可沿墙的长度每隔8～12m设置一个，并应设置在建筑物的转角处、纵墙和横墙的交接处及纵墙和横墙的中央，建筑物沉降缝的两侧也应设置观测点。当建筑的宽度大于15m时，内墙也应在适当位置设观测点。

框架式结构的建筑物，应在每个柱基或部分柱基上设置观测点。

对采用浮筏基础或箱形基础的高层建筑，观测点应沿纵、横轴线和基础（或接近基础的结构部分）周边设置。

新建与原有建筑物的连接处两边，都应设置观测点。

烟囱、水塔、油罐及其它类似构筑物的观测点，应沿周边对称设置。

4.对沉降观测的具体要求

（1）仪器检校应严格。若采用$S_{0.5}$型仪器，要求i角不大于4″。因视距前后差受现场条件所限，不可能前后视相等，要提高观测精度，便要尽可能限制i角这项主要误差来源的影响。

（2）每次观测要尽量做到仪器、标尺、测站、线路、观测人员五固定。

（3）为了提高观测精度，视线长度宜为20～30m，比一般精密水准测量所定的50m短，视线高度不宜低于0.3m。

（4）在水准基点与工作基点进行连测或建立高程控制网时，除缩短视线长度外，还要采用精密水准测量中的观测程序。在同一测站观测时，不得两次调焦，以避免调焦带来的调焦透镜移动、视准轴变化引起误差。闭合差的限差为$\pm 0.2\sqrt{n}$ mm。

(5) 每个测站的观测限差与精密水准测量中所作规定相同。为了满足前后视距差及累计差的有关规定，又能合理地对所有沉降观测点进行观测，需在现场实地研究后，绘出观测路线图并在实地标出仪器架设位置以及转点位置。在重复观测中要注意做到五固定。

(6) 首次观测值是计算变形量的起始值，操作时应特别认真、仔细，并应连续观测两次取其平均值，以保证成果的精确度和可靠性。

(7) 每次观测均需采用环形闭合方法或往返闭合方法，当场进行检查。采用精密水准仪进行观测，其闭合差应小于$\pm 0.4\sqrt{n}$ mm。

(8) 在限差允许范围内的观测成果，其闭合差按测站数进行分配，计算高程。同一观测点的两次观测之差不得大于1mm。

5.沉降观测的次数和时间

应按设计提出的时间进行周期性观测。一般第一次观测应在观测点设置稳固后及时进行。民用建筑每加高一层应观测一次，工业建筑应在不同荷载阶段分别进行观测。整个施工阶段的观测次数不得少于4次。建筑物和构筑物全部竣工后的观测次数为：第一年4次，第二年2次，第三年后每年1次，至下沉稳定（由沉降与时间的关系曲线判定）为止。观测期限一般为：砂土地基二年，粘性土地基五年，软土地基十年。

当建筑物和构筑物突然发生大量沉降、不均匀沉降或严重的裂缝时，应立即进行逐日或几天一次的连续观测，同时应对裂缝进行观测。

6.沉降观测应提交的资料

(1) 沉降观测（水准测量）记录手簿（手簿格式可参照精密水准观测手簿表1-3）。

(2) 沉降观测成果表。表中列出每个观测点高程和其逐次沉降量。

(3) 观测点位置图。根据建（构）筑物平面图绘制，如图3-3所示。

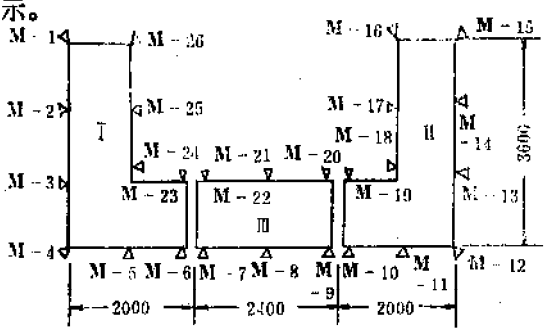


图 3-3 沉降观测点位置图

(4) 沉降量、地基荷载与延续时间三者的关系曲线图。根据沉降观测结果及有关加荷记录绘制，通常以纵轴的下方表示沉降（S），以mm为单位；以纵轴的上方表示荷载（P），以kgf/cm²为单位；以横轴表示时间（t），如图3-4

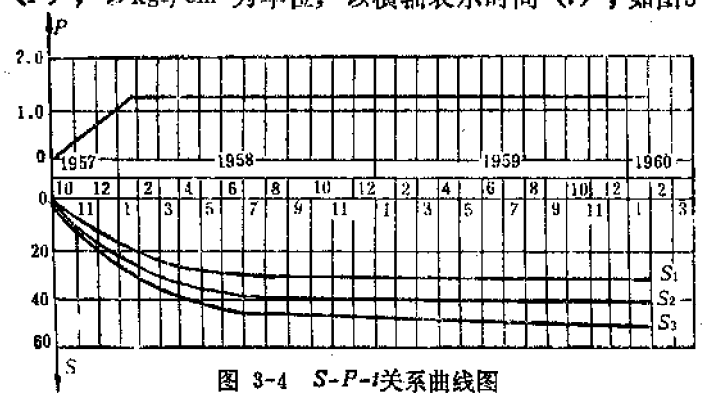


图 3-4 S-P-t关系曲线图

所示。

(5) 沉降量分布曲线图，又称沉降展开图。反映沿每边每个观测点的沉降量，以mm为单位。如图3-5所示。

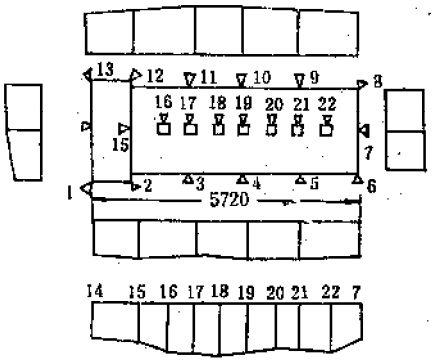


图 3-5 沉降分布曲线图

(6) 计算建筑物的平均沉降量、相对弯曲和相对倾斜值；

相对弯曲 $$F=\frac{2S_2-(S_1+S_3)}{2L}$$

式中 S_1、S_3——相对弯曲两端点的沉降量；

S_2——中间点的沉降量；

L——两观测点间的距离。

相对倾斜 $$K=\frac{S_1-S_2}{L}$$

式中 S_1、S_2——倾斜段两端观测点的沉降量；

L——两观测点间的距离。

(7) 根据各观测点累计沉降量绘制等沉降曲线图，如图3-6所示。

(8) 综合上述资料编写沉降观测分析报告。

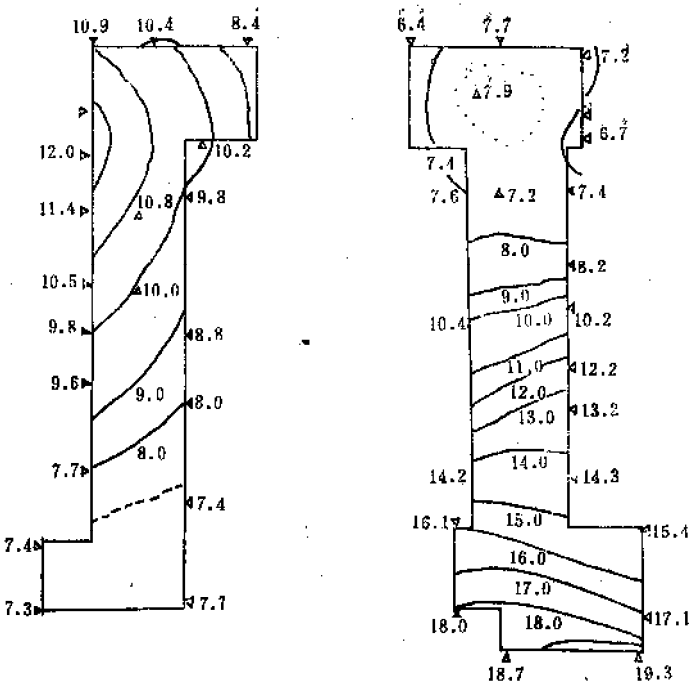


图 3-6 等沉降曲线图

7.建筑物沉降稳定控制指标

可根据各地区土的压缩性能确定。沉降速率小于0.01mm/d，一般可停止经常性观测。

8.用精密水准测量的方法观测基础倾斜

建筑物的基础倾斜观测，一般采用精密水准仪进行沉降观测的方法，定期测出基础两端点的差异沉降量Δh，如图3-7所示，再根据两点的距离L，即可按公式计算出基础的倾斜度i：

$$i=\frac{\Delta h}{L}$$

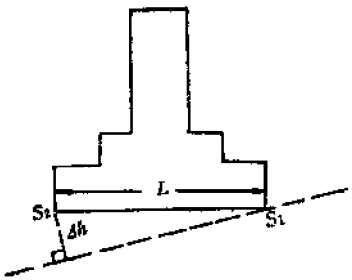


图 3-7 基础倾斜

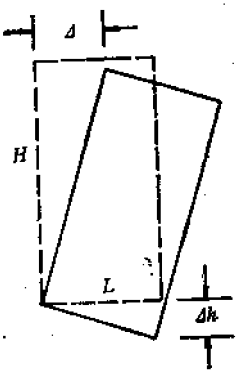


图 3-8 建筑物上部倾斜

9.观测基础的差异沉降量推算建筑物的上部倾斜

测得建筑物基础两端点的差异沉降量Δh后，根据建筑物的宽度L和高度H，可按下列公式推算出上部结构的倾斜值Δ，如图3-8所示。

$$\Delta = i \cdot H = \frac{\Delta h}{L} \cdot H$$

（四）采用经纬仪进行变形观测的方法与要点

高层建筑和水塔、烟囱等高耸构筑物的倾斜、位移等变形观测常采用经纬仪进行。

1.用经纬仪投影法测定建筑物的倾斜

利用经严格检校的经纬仪，望远镜绕水平轴旋转得一铅垂面这一原理，将望远镜瞄准顶部某位置经确认与底部应为铅垂位置的点投下并与底部比较其差值，即为倾斜值Δ，它与高度H的比值i即为倾斜度。

为提高投影的精度与消除仪器检校后残差的影响，可用正镜、倒镜分别投影，取其中数，在上部位置做出标志或做

好记录，隔一段时间后，再按同法进行投影，求其差值即为变形量。

如图3-9所示，按设计$A_{上}$与$A_{下}$应为位于同一铅垂线上的对应点，若倾斜，测得第一次投影$A_{上}$位于$A'_{上}$处，第二次投影为$A''_{上}$，则$A_{上}A'_{上}$为初次倾斜值Δ_1，$A_{上}A''_{上}$为第二次倾斜值Δ_2，则变形值$\Delta_{2\cdot1}$为：

$$\Delta_{2\cdot1}=\Delta_2-\Delta_1=A''_{上}A'_{上}$$

并计算出倾斜度

$$i=\mathrm{tg}\alpha=\frac{\Delta}{H}$$

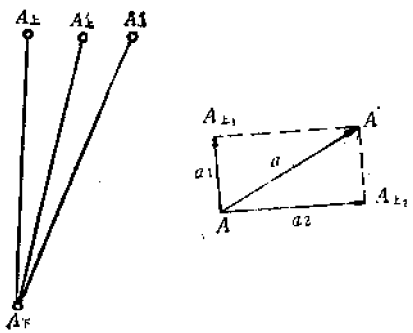


图 3-9　用经纬仪投影法测定建筑物上部倾斜

为了确定建筑物倾斜度，Δ可由投影求得；H可将仪器架设在1.5H远处，对着建筑物设置一条基线B，由三角高程测量方法测得。

若观测所得的竖直角为θ，则

$$H=B\cdot\mathrm{tg}\theta$$

再将经纬仪移到与原观测方向约成90°的方向上，用同

样的方法求得倾斜值。然后用矢量相加的办法，即可求得该观测点上部相对于下部的倾斜值与倾斜方向。

2.用测量水平角的方法测定建筑物的倾斜

如烟囱等高耸构筑物，为精确测定中心倾斜，以确定其整体倾斜情况，可在离烟囱高1.5倍远，且能观测到烟囱勒脚部分处，互相垂直方向上选定两个测站，并做好固定标志。在烟囱上标出作为观测用的标志点1、2、3和4（或观测特征点），选定一个远方的不动点为零方向。如图3-10所示，测站A，以M为零方向，依次测出各标志点的方向值，并计算$\frac{\alpha_2+\alpha_3}{2}$和$\frac{\alpha_1+\alpha_4}{2}$，其值分别表示烟囱上部中心$a$和烟囱勒脚部分中心$b$的方向。测得测站$A$至烟囱中心的距离，根据$a$与$b$的方向差，可计算出倾斜分量$a_1$，移站到测站$B$，

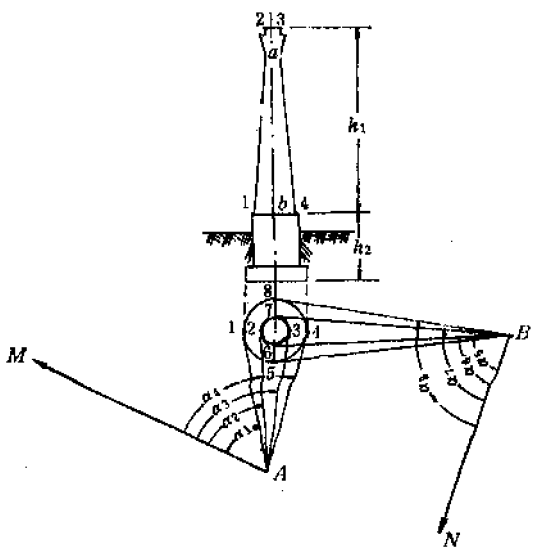


图 3-10　测量水平角测定倾斜

以N为零方向，依次观测各标志点的方向值，计算$\frac{a_6+a_7}{2}$和$\frac{a_5+a_8}{2}$，其值分别表示烟囱上部中心a和烟囱勒脚部分中心b的方向。根据a与b的方向差，并测得测站B至烟囱中心的距离，可计算出倾斜分量a_2。用矢量相加的方法，可求得烟囱上部相对于勒脚部分的倾斜值和倾斜方向。并计算出烟囱的倾斜度。

对于烟囱等高耸构筑物，往往在测定其倾斜的同时，在其下部还均匀布设不少于4点的沉降观测点，观测其沉降情况，合并研究分析。

3.用经纬仪进行建筑物的位移观测

测定建筑物的平面位置随时间而移动的工作称位移观测，有时只要测定建筑物在某特定方向上的位移量。

在垂直最大位移的方向上建立一条基准线，在建筑物上埋设观测标志，定期用经纬仪观测其角度，利用两次观测角度的差数，可计算得位移值，这种方法称为“视准线法”。

如图3-11所示，A、B、C为控制点，三点一直线，需精确定出，必须埋设牢固稳定的标桩，视为基准线。为防止其变化，每次观测前，应进行检查。M为观测点，设置在基准线同一直线上，标志要牢固、明显。

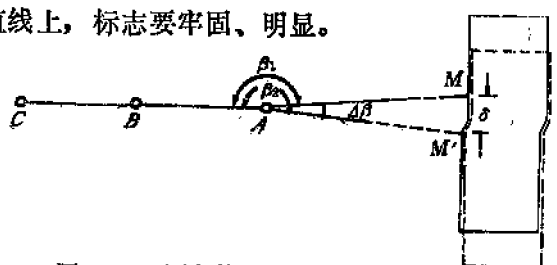


图 3-11 测定某一方向的水平位移值

经纬仪架设在A点，控制点间距离宜大于60m，以保证测角精度、精确对中、整平仪器，设第一次测得角值为β_1，第二次测得角值为β_2，两次观测角值之差$\Delta\beta=\beta_2-\beta_1$，则位移值$\delta$可由下式算得：

$$\delta=\frac{\Delta\beta''\times AM}{\rho''}$$

式中 $\rho''=206265''$。

建立基准线，埋设标志与观测点标志要牢固是位移观测的主要方面，观测手段是多样化的，可采用正倒镜投点求出位移值，还可用拉紧金属线构成基准线，也可用激光束构成基准线。位移可通过求测角求得，也可实量。

变形观测应根据观测对象、要求精度、设备条件，选用最佳方案或可行方案。

复习思考题

1.为什么要进行变形观测？它包括哪些内容？常采用哪些方法？

2.用精密水准仪进行沉降观测与采用普通水准仪进行沉降观测之间有哪些主要区别。试从进行观测的方法、具体操作及限差要求等方面进行比较。

3.如何达到精密水准进行沉降观测所需的精度？

4.沉降观测应提交哪些资料？

5.叙述用精密水准测量推算建筑物上部倾斜的方法与要点。

6.如何用经纬仪投影法测定建筑物倾斜？

7.叙述用观测水平角测定建筑物倾斜的要点。

8.用经纬仪进行建筑物位移观测的方法与要点各是什么？

四、工程测量的基本理论知识

（一）工程测量的概念

1.工程测量的内容

工程测量学是研究各种工程建设在勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有：工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量的理论、技术和方法。

2.建筑工程测量

建筑工程测量是工程测量的重要组成部分。包括在工程规划设计阶段，为提供地形图等资料的测绘工作，作为总平面图设计的依据；在施工阶段进行施工放样及检核，作为施工的依据；在管理阶段进行变形观测，以确保工程的安全使用。建筑工程建设各个阶段所进行的各项测量工作，统称为建筑工程测量。测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量与进度。因此建筑工程测量对保证工程的规划、设计、施工等方面的质量与安全都具有十分重要的意义。

3.施工测量的内容

施工测量是工程施工各阶段所进行的测量工作的总称。主要包括：施工控制网的建立，将图纸上设计好的建筑物或构筑物的平面位置和高程标定在实地上的放样工作；工程竣工后的实际情况的竣工测量，以及在施工期间测定建筑物在平面和高程方面产生的位移和沉降的变形观测等。

4.测量放线工的任务

测量放线工主要从事在施工过程中一系列测量放线工

作，贯穿于整个施工过程之中，成为按图施工和质量控制的有效手段。施工结束后，进行竣工测量，供工程管理、维修、扩建等使用。变形观测成果为施工验收及验证设计是否合理提供资料。

测量放线工需遵循测量工作的一般程序：从整体控制到局部放线或施测；研究制定满足工程精度的措施，选用合适的仪器、工具和方法，以及严格遵守技术规范和操作规程，认真进行校核。

掌握工程测量基本理论知识，有助于高级测量放线工结合建筑施工的实际需要，编制测量放线方案，解决好本工种操作技术上的难题。

（二）总平面图设计对地形图的要求

建筑场地的地形图是提供给设计部门使用的，也可用于施工场地的布置，地形图一方面要满足设计和使用的需要，另一方面，还要考虑测量工作的经济、合理。

建筑设计阶段对地形图的要求是：精度要求高，内容要求详细，比例尺要大。其中关键的问题是比例尺的选择。因为这决定了控制网的布设方案、观测的精度、控制点与地形点的密度以及等高线的间距等。

1.选择测图比例尺考虑的原则

（1）图上所显示的地形、地物应满足设计的要求；

（2）主要地物的平面位置精度应满足设计的要求；

（3）等高线所表示的高程的精度应满足设计的要求；

（4）图幅的大小应便于设计和使用；

（5）在满足上述要求的前提下，应尽可能选择较小的比例尺。

2.不同规模、不同设计阶段所选用的测图比例尺和等高距

（1）对于大、中型建筑项目，初步设计阶段可测1:2,000比例尺地形图，其等高距可在0.5m～2m之间选择；技术设计和施工设计阶段则分别测1:1,000和1:500比例尺地形图，等高距则在0.5m和1～2m之间选择；

（2）对于小型建筑项目，其初步设计阶段测1:1,000或1:500比例尺地形图，技术设计和施工设计阶段则分别测1:500和1:200比例尺地形图，以选择0.5m或1.0m的等高距为宜。

3.根据选定的比例尺，采用相应的测图方法

（1）在满足相应比例尺测量点位精度的前提下，选用大平板仪、经纬仪配合分度器或小平板仪配合皮尺量距和水准仪测高程的方法进行测绘，用极坐标法测绘地物点或地形点时，需考虑相应比例尺的图解精度，例如1:500比例尺地形图图上0.2mm，在实地为10cm，重要地物的测量精度必须与之适应。

（2）当用图解法成图时，需顾及图纸伸缩等因素，宜选用聚脂薄膜测绘。

（3）具备测距仪等设备时，充分利用测定点位的高精度成果，数字化图是发展方向。

（三）建筑工程施工控制网

为了进行施工放样测量，一般以测图控制点为定向依据建立施工控制网。

施工控制网的布设，应根据总平面设计和施工地区的地形条件来确定。当厂区地势起伏较大，通视条件较好时可采

用三角网的形式扩展原有控制网；对于地形平坦而通视较困难的地区，则可采用导线网；而对于建筑物多为矩形、且布置较规则和密集的建筑场地，则可采用建筑方格网。

1.施工控制网的特点

（1）控制范围小，控制点的密度大，精度要求高。施工控制网的主要任务是放样建筑物的轴线，而轴线的位置偏差都有一定的限值，因此要求控制网具有高精度和点的密度大。

（2）受施工干扰较大。目前通常采用平行交叉作业法施工，施工机械停放多，会影响通视，因此，施工控制点的位置应分布恰当，密度也应较大，以便使用时有所选择。

（3）布网等级宜用两级布设。在工程建设中，各建筑物轴线相互间的几何关系的要求，比它们的细部相对于各自轴线的要求来说，其精度要求低。因此，在布设较大施工控制网时，宜采用两级布网的方案。先布设整个工地的施工控制网，目的是放样各个建筑物的主要轴线，其平均边长约为200m。然后，为进行细部放样，由建筑物的主轴线，建立建筑物矩形控制网。施工控制网还用于放样铁路、公路、管道、生产车间（或建筑物）之间的联系设备等。建筑物矩形控制网是建筑物施工的基本控制，建筑物的骨架及其内部的关系尺寸，都根据它放样到实地上去。

（4）施工控制网的布设应作为整个工程施工设计的一部分。布网时，必须考虑施工的程序、方法以及施工场地的布置情况。施工控制网的设计点位应标在施工设计的总平面图上。

2.工程控制网优化设计的概念

（1）在工程控制网内，并非所有控制点的点位的精度都要求一样，而可有所侧重，可针对具体的控制网，按特定

的要求进行优化设计，利用测量仪器的性能，合理布设控制网的网形，制定最佳的观测作业方法，目的是花少的时间、人力和物力，得到最佳的设计方案。以往测量设计，是测量人员凭经验、按规范的要求直观地进行或者通过简单的估算公式计算，随着科学技术的发展和计算机技术的普及，现在已在现代最小二乘法平差理论的基础上进行控制网的优化设计。

（2）控制网的优化设计的四个阶段

1）零阶段：解决参考系的问题，即控制网的定位，按平差方法选择最优的参考系；

2）一阶段：解决控制网的图形问题，选择一个最优的点位布置和一个最优的观测方案；

3）二阶段：解决观测精度问题，即权的决定。对于一个既定的图形，必须找出相应于精度的权的优化或观测值的重复次数的优化，其中重要的是仪器设备的最佳利用；

4）三阶段：是解决原有控制网的改进设计，主要方法是在网的薄弱处用点子加密和增加观测值优化原有方案。

（3）优化设计的目的：是使设计的目标函数，包括精度指标、经济因素、可靠程度及可检验性达到最佳要求。

最优化问题是一个数学问题，不同设计阶段的解算方法，决定于目标函数的形式以及设计问题的数学公式，可用模拟法、机助法或解析法解算。优化设计与平差理论、计算机技术密切相关。学习优化设计概念，有助于结合本身工作，在布设控制网时，从有关方面，多做比较方案，并按实际需要，有所侧重，选用优化方案。

3.建筑方格网

（1）建筑方格网的特点：建筑方格网是在建筑场地上布置成方形或矩形的施工控制网，是由格网的顶点组成的控

制系统。建筑方格网既是施工过程中放样的主要依据，又是测绘竣工图和扩建、改建的控制依据。

现代化的工业厂房一般都是矩形的，而且在每一个建筑系统中，其轴线基本上都是互相平行或垂直。因此，根据建筑方格网按直角坐标法放样矩形建筑物时，放样工作简单，而且具有必要的精度。建筑方格网的作用，主要是满足施工定线的要求，保证准确地将设计的建筑物在现场放出。

（2）建筑方格网需满足的要求

1）建筑方格网所采用的施工坐标系必须与大地控制网（或地方坐标系）相联系。点位精度不低于大地控制网，建成后能代替大地网；

2）建筑方格网必须在总平面图上布置。点位要稳固并在施工时不被破坏。因此，必须在总平图上，顾及各方面的因素，进行设计。

3）对设计建筑方格网的要求：主轴线应考虑控制整个施工场地。当场地较大时，主轴线可适当增加。方格网的图形应尽可能简单，矩形边最好布设在一条直线上以减少结点。通常利用建筑方格网点作为水准点来进行各建筑物的高程测设与抄平。

4）建筑方格网的精度：建筑方格网的精度必须满足各个建筑物本身各部位的关系和其它建筑物的互相关系的精度要求，这个精度就是定线的精度。定线的精度要求，是根据设计要求和施工的技术条件决定的。满足各个建筑物本身各部位的关系，是指各建筑物细部放样的精度，即相邻点之间的测定精度；建筑物的相互关系精度，这个精度要求的实质与互为最远点的控制点的相对精度有关。

5）建筑方格网测设的精度与定线精度之间的关系：在

进行建筑物定线时，设其点位误差为$m_{位}$，而产生这种误差的因素有两种；一是建筑方格网本身的位置误差$m_{网}$，二是在定线时，由于测量操作所产生的误差，即定线工作本身的误差$m_{定}$。一般有下列关系：

$$m_{位} = \pm(1.1)m_{定}$$

$$m_{网} \leqslant \pm 0.45 m_{定}$$

6）建筑方格网与主轴线之间的精度关系：设建筑方格网的位置误差为$m_{网}$，主轴线的点位中误差为$m_{主}$，若误差$m^2_{主}/8m^2_{网}$不大于10%时，则可得到下列关系：

$$m_{主} \leqslant \pm 0.89 m_{网}$$

4.导线网

由于红外测距仪和电子计算技术的普遍应用，以导线方式布设控制网，提高了测距精度和效率，且布设灵活，得到广泛使用。导线不宜分成多级，层次过多容易产生误差积累；导线网边长不宜过短；转折角不宜多；宜布成直伸形。为了使导线测量的结果能满足预定的要求，需掌握以下几点：

（1）导线网设计的内容

1）合理性地设计导线网的布网方案。根据建筑场地的范围、高级控制点的分布情况以及现场的具体条件，进行分级、设计图形与线路总长；

2）拟定施测纲要：根据现有的仪器设备，规定测角和测（量）距的方法、测回数、读数次数和各种技术限差；

3）拟定成果处理方法：包括拟定评定野外观测成果精度的方法、导线允许闭合差、导线平差计算方法。

（2）导线测量的精度：导线测量的精度指标，主要取决于附合导线的坐标增量闭合差f_x、f_y及全长闭合差f_s，为了估算允许闭合差，必须求出导线最弱点的点位中误差。对

于两端连接在控制点上的附合导线，当角度经过方位角闭合差调整之后，从一个端点推算到另一个端点的公式为：

导线端点的纵向误差m_t：

$$m_t = \sqrt{n \cdot m_s^2 + \lambda^2 \cdot L^2}$$

导线端点的横向误差m_u：

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho''} \cdot L \cdot \sqrt{\frac{(n+1)(n+2)}{12n}}$$

导线端点的点位误差：

$$M = \sqrt{m_t^2 + m_u^2}$$

式中 n——导线边数；

m_s——测（量）距的偶然误差；

λ——测（量）距中与距离成比例的系统误差系数；

L——导线的闭合边长；

m_β——测角中误差。

1）直伸导线的优点：有利区分量（测）距和测角误差的影响；

2）导线的精度首先受到量距系统误差的影响；要减小纵向误差，必须限制λ（系统误差）的影响，可见检定作业钢尺（或检定测距仪）的重要性；

3）减少转折角（导线边数）和提高测角精度可减小横向误差（m_u）的影响。

（四）放样方法的选择

1.放样方法的分类

细部放样可采用直角坐标法、极坐标法、长度交会法、方向线法以及角度前方交会法等。

2.选择放样方法应顾及的因素

（1）建筑物所在地区的条件；

（2）建筑物的大小、种类和形状；

（3）放样所要求的精度；

（4）施工的方法和速度；

（5）施工的阶段；

（6）测量人员的技术条件；

（7）现有的仪器条件。

3.各种放样方法的特点

（1）直角坐标法：适用于各种类型与大小的建筑，也适用于各种不同的精度。所用的工具简单，能达到较高的精度。所需具备的基本条件是沿着坐标轴方向以及由坐标轴至各点，都能够直接丈量和相互通视。

（2）极坐标法：需直接丈量由极点到放样点的距离。此法既要测角又要量距。

（3）角度前方交会法：当建筑物上的某些点子离开放样控制点远，直接量距不便时，则用角度前方交会法进行放样较为有利。此法需考虑交会图形对精度的影响。为直观说明交会角与点位误差的关系，下面介绍误差椭圆：

1）误差椭圆的概念：描述待定点在各个方向上误差分布规律的椭圆，称误差椭圆。在许多测量问题上，除了要估计待定点在某些特殊方向的误差外，还需了解在各个方向的误差分布情况。误差椭圆有直观的优点，在最优化的过程中，就是采用绘画标准误差椭圆的方法，来分析设计的控制网精度分布的情况。

误差椭圆方程式为：

$$\frac{x^2}{A^2}+\frac{y^2}{B^2}=1$$

误差椭圆的长半轴A、短半轴B、长半轴的方向角φ_0，称为误差椭圆参数。可通过测量平差时计算求得，当估算时也可用图解法画出。

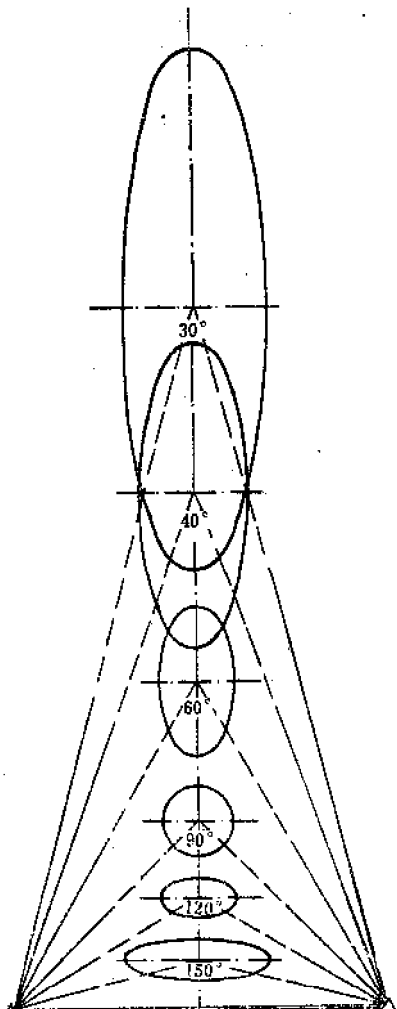


图 4-1　各种交会角的典型测角交会的误差椭圆

2）各种交会角的典型测角前方交会的点位误差椭圆：单个三角形的测角前方交会，其点位误差分布随交会角而变化，测角前方交会在交会角$\gamma=90°$时，点位误差椭圆的长、短半轴相等；当$\gamma>90°$时，长半轴平行于起始边，随着交会角的再增大，长轴也逐渐增大，而短轴有所减小；当$\gamma<90°$时，长轴垂直于起始边，随着交会角的再减小，长、短轴均增大，长轴的增大尤为显著。如图4-1所示。

如果不是正前方交会，则基本情况并无多大改变，只是长轴方向略有偏斜，短轴随着点位靠近已知点的程度，而有所减小。图4-1所示的各种测角

前方交会的典型图形是有代表性的。在实际工作中，当γ接近90°时，各方向的误差较均匀，当接近30°或120°时，则相差悬殊，需顾及其影响，并采取改善图形，提高测角精度或其它有效措施。

（4）测边（长度）交会时，交会角与点位误差的关系：当采用短距离量边交会或长距离测边交会时，点位误差与交会角密切相关。为直观起见，仍用误差椭圆表示。如图4-2所示，各种交会角的测边（长度）交会的典型图形，假定以测边（量距）的相对误差为一常数绘制。由图可见：

1）当交会角$\gamma=90°$时，误差椭圆的长、短半轴相等；

2）当$\gamma>90°$时，长半轴垂直于起始边，随着交会角的再增大，长轴逐渐增大，短轴有所减小；

3）当$\gamma<90°$时，长半轴平行于起始边，随着交会角的再减小，长轴迅速增大。

在实际工作中，可参照上述情况考虑交会角对点位误差产生的影响。

（5）测角交会与测边交会对提高点位精度具有互补性：比较测角交会与测边交会的误差椭圆可见：各种交会角的误差椭圆的长轴方向与典型测边交会的误差椭圆的长轴方向是互相垂直的。如果以交会角$\gamma<90°$的交会称为远方交会，垂直于起始边的方向称为纵向，平行于起始边的方向称为横向，则在远方交会时，测边交会有利于控制纵向误差，测角交会有利于控制横向误差。两者具有互补性质。

（6）方法的选用要与仪器条件相结合：测角交会长期以来被广泛使用，测边交会是在测距仪应用后，长距离测边才变得简单易行。针对单三角形测角交会的特点，当图形条件较差时，可采用多点交会或测边交会来提高其交会精度。

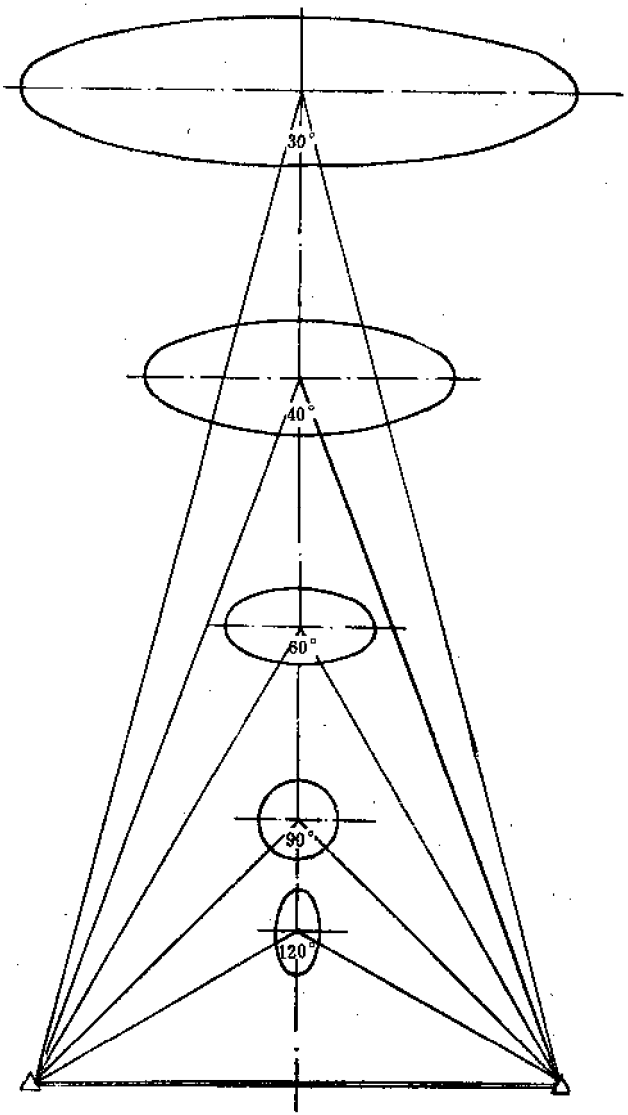


图 4-2 典型测边交会的误差椭圆

（五）变 形 观 测

1.变形观测的概念

变形观测是用测量仪器或专用仪器测定建筑物及其地基在建筑物荷载和外力作用下随时间变形的工作。进行变形观测时，一般在建筑物特征部位埋设变形观测标志，在变形影响范围之外埋设测量基准点，定期地测量观测标志相对于基准点的变形量。从历次观测结果的比较中了解变形随时间发展的情况。

变形观测的精度指标的确定、变形观测方法和自动化等方面的探讨以及如何从变形观测中取得必要的数据和资料，进行建筑基本理论的研究，这些是变形观测理论研究和实践工作中需解决的课题。

2.变形观测的周期

变形观测周期随单位时间内变形量的大小而定，变形量较大时，观测周期宜短些；变形量减小，建筑物趋向稳定时，观测周期宜相应延长。“变形”是个总体概念，既包括地基沉降、回弹、也包括建筑物的裂缝、倾斜、位移及扭曲等。

变形按其时间长短分为：

（1）长周期变形：由建筑物自重引起的沉降和倾斜等；

（2）短周期变形：由于温度的变化（如日照）所引起的建筑物变形等；

（3）瞬时变形：由于风振引起高大建筑物的变形等。

3.建筑物变形观测的项目

（1）建筑物的沉降观测：建筑物的沉降是地基、基础和上层结构共同作用的结果。此项观测和资料的积累，是研

究解决复杂地基沉降问题和改进地基设计的重要手段。同时通过观测来分析相对沉降是否有差异，以监视建筑物的安全。

（2）建筑物水平位移观测：指建筑物整体平面移动，其原因主要是基础受到水平应力的影响，如地基处于滑坡地带或受地震的影响。测定平面位置随时间变化的移动量，以监视建筑物的安全或采取加固措施。

（3）建筑物的倾斜观测：高大建筑物上部和基础的整体刚度较大，地基倾斜（差异沉降）即反映出上部主体的倾斜，观测目的是验证地基沉降的差异和监视建筑物的安全。

（4）建筑物的裂缝观测：当建筑物基础局部产生不均匀沉降时，其墙体往往出现裂缝。系统地进行裂缝变化观测，根据裂缝观测和沉降观测资料，来分析变形的特征和原因，采取措施保证建筑物的安全。

（5）建筑物的挠度观测：测定建筑构件受力后的弯曲程度，对于平置的构件，在两端及中间设置沉降点进行沉降观测，根据测得某时间段内这三点的沉降量，计算其挠度；对于直立的构件，要设置上、中、下三个位移观测点，进行位移观测，利用三点的位移量可算出其挠度。

4.建筑物沉降的性质

（1）均匀沉降：当受压软土分布位置和厚度相同，基础作用条件近似，沉降量虽大，但建筑物不会出现倾斜、裂缝，此种属均匀沉降，对建筑物危害不大。

（2）不均匀沉降：若基础下受压层的土质不同，承压性能不同，或由于建筑设计不合理及施工不当等原因，都会发生不均匀沉降，会使建筑物产生倾斜或裂缝，甚至发生危险。

5.裂缝观测

当建筑物出现裂缝时，除了要增加沉降观测的次数外，

还应立即进行裂缝观测。为了观测裂缝的发展情况，要在裂缝处设置观测标志。对标志设置的基本要求是：当裂缝开裂时，标志就能相应的开裂或变化，正确地反映裂缝的发展情况。常用以下方法：

（1）石膏板标志：在裂缝处糊上宽约50～80mm的石膏板，长度视裂缝大小选用。当裂缝发展时，石膏板随之开裂，可观察裂缝的发展情况。

（2）白铁皮标志：可用两块白铁片，一片约为150×150mm²，固定在裂缝的一侧，另一片为50×200mm²，固定在裂缝的另一侧，并使其中一部分紧贴在相邻的正方形白铁片上。将两块白铁片固定好以后，在其外露的表面涂上油漆，并写明编号和标志设置日期。

标志设置后，若裂缝发展，白铁皮将逐渐拉开，露出铁皮上没有涂油漆的部分，可用尺子直接量出裂缝加大的宽度。

（3）金属棒标志：在裂缝两边凿孔，插入直径10mm以上，长约10mm的螺纹钢筋，外露墙外约2cm，用水泥砂浆填实牢固。在金属棒端部进行加工锉平，便于用卡尺或钢尺量取间距，定期比较，以便了解裂缝的发展情况。

6.单柱日照变形观测

单柱的日照变形，是指独立高柱受太阳照射时，向阳面和背阴面存在温差，使向阳面伸长而引起高柱上半部偏移变形。当混凝土的线膨胀系数为1.08×10^{-5}时，单柱上部向背阴方向偏移量可按下式计算：

$$\Delta=\frac{\alpha\cdot\Delta t}{2d}\cdot H^2$$

式中 α——柱子材料的线膨胀系数；

Δt——柱子相对侧面的温差；

H——柱子观测点的高度；

d——柱子相对侧面的厚度；

Δ——H高度处的偏移量。

日照观测可从早上日出前至日落后每隔一小时观测一次，观测需在相互垂直的两条轴线位置安置经纬仪，用投点读数法进行。

为减小日照的影响，在施工混凝土高层和超高层建筑的垂直控制测量中，应选择在日出后或日落前，日照影响小的时间进行投测。

对于施工钢结构超高层建筑时，还需考虑风速引起振动的影响。

复习思考题

1.选择测图比例尺时，应考虑哪些原则？

2.施工控制网有哪些特点？

3.控制网的优化分哪四个阶段？

4.如何提高导线测量的精度？

5.选择放样方法时，应顾及哪些因素？

6.采用角度前方交会时，交会角与点位误差有怎样的关系？

7.建筑物变形观测的项目包括哪些？

五、小区控制网与图根导线测量

（一）小区控制网

1. 控制网

在测区场地内由选定的若干个控制点而构成的几何图形，称为控制网。控制网分平面控制网和高程控制网两种。精确测定控制点平面位置（x，y）的工作，称为平面控制测量。精确测定控制点高程（H）的工作，称为高程控制测量。

在全国范围内建立的三角测量控制网，称为国家平面控制网。在城市范围内建立的控制网，称为城市控制网。在建筑施工场地建立的独立控制网，称施工控制网。建立多边形网，称导线网。由若干三角形相互连接成的网，称三角网。建立导线网和三角网的测量工作，分别称导线测量和三角测量。

2. 控制网的分级

（1）国家平面控制网：按控制次序和施测精度分为一、二、三、四等，从高级到低级，逐级加密布置。

一等三角锁由纵横三角锁互相交叉构成网状，是国家平面控制网的骨干，如图5-1所示。在纵横锁交叉处设起始边，两起始边之间锁段长约200km。一等锁内布设全面的二等网。三、四等三角测量为二等三角网的进一步加密。国家三角网的主要技术要求见表5-1，城市测量三角网的主要技术见表5-2。

为了测绘全国各种比例尺地形图和工程建设提供必要的高程控制，并为有关科学技术提供精密的高程资料，需建立统一的国家高程控制网。分一、二、三、四等水准网，如图

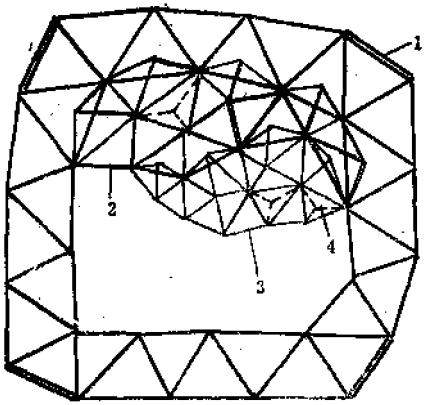


图 5-1　控制网

1——一等三角锁；2——二等三角网；3——三等三角网；4——三、四等插点

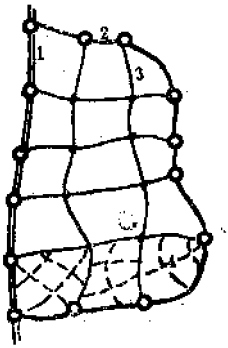


图 5-2　高程控制网

1——一等水准线路；2——二等水准线路；3——三等水准线路；4——四等水准线路

国家三角网的主要技术要求　　表 5-1

等级	平均边长(km)	测角中误差(″)	三角形最大闭合差(″)	起始边相对中误差
一	一般20～25	±0.7	±2.5	1:350000
二	13	±1.0	±3.5	1:350000
三	8	±1.8	±7.0	
四	2～6	±2.5	±9.0	

工程测量三角网（锁）的主要技术要求　　表 5-2

等级	平均边长(km)	测角中误差(″)	起始边边长相对中误差	最弱边边长相对中误差	测回数			三角形最大闭合差(″)
					DJ_6	DJ_2	DJ_1	
二等	9	±1	1/250000	1/120000			12	±3.5
三等	4.5	±1.8	1/150000(首级) 1/120000(加密)	1/70000		9	6	±7
四等	2	±2.5	1/100000(首级) 1/70000(加密)	1/40000		6	4	±9
一级小三角	1	±5	1/40000	1/20000	6	2		±16
二级小三角	0.5	±10	1/20000	1/10000	2	1		±30

5-2所示。工程测量水准网的主要技术要求见表5-3。

工程测量水准网的主要技术要求 表 5-3

等级	每千米高程中误差(mm)	附合路线长度(km)	水准仪的型号	水准尺	观测次数		往返较差、附合或环线闭合差	
					与已知点联测的	附合或环线的	平地(mm)	山地(mm)
二	±2		S_1	因瓦	往返各一次	往返各一次	$\pm 4\sqrt{L}$	
三	±6	50	S_3	双面	往返各一次	往返各一次	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 4\sqrt{n}$
			S_1	因瓦		往一次		
四	±10	16	S_3	双面	往返各一次	往一次	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 6\sqrt{n}$
图根	±20	5	S_{10}		往返各一次	往一次	$\pm 40\sqrt{L}$	$\pm 12\sqrt{n}$

在较小地区建立控制网时，尽可能与国家或城市、工矿控制网进行联测。如果测区附近没有高级控制点时，可在测区建立独立控制网。建立小地区平面控制网时，根据测区大小等情况，可采用一、二级小三角或表5-4中任一种导线或交会定点等方法进行加密。对于直接供测地图用的图根点，一般是在等级控制点下采用微三角锁（网）、图根导线或交会定点等方法进行加密，如表5-5所示。图根点的密度应根

导线测量主要技术要求 表 5-4

等级	附合导线长度(km)	相对闭合差	平均边长(m)	测角中误差(″)	边长丈量较差相对误差	锁的三角个数	测回数		方位角或角度闭合差(″)
							DJ_6	DJ_2	
一	2.4	1/10000	200	±8	1/20000		4	2	$\pm 12\sqrt{n}$
二	1.2	1/5000	100	±12	1/10000		2	1	$\pm 24\sqrt{n}$

注：n为测站数，如用电磁波测距，导线长度和边长可适当放长。

据测图比例尺和地形条件而定，平坦开阔地区的密度（包括高级控制点）每平方千米的点数一般不可少于表5-6的规定。

图根导线测量的主要技术要求 表 5-5

附合导线长度(m)	相对闭合差	边　长	测角中误差(″)	测回数 DJ₆	方位闭合差(″)
1.0M	1/2000	不大于测图最大视距的1.5倍	±20	1	$\pm 40\sqrt{n}$

注：1.M为测图比例尺分母。

2.困难地区附合导线相对闭合差，不应大于1/1000。

3.当1:500、1:1000比例尺测图时，附合导线长度可放长至1.5M，但其相对闭合差不应大于1/3000，当附合导线长度短于1/3M时，其绝对闭合差不应大于图上0.4mm。

图根点密度 表 5-6

测图比例	1:500	1:1000	1:2000
图根点密度(点/km²)	150	50	15
每幅图图根点数	4	6	10

（二）图根导线测量

小区控制网建立后，还不能满足大比例尺测图的需要，常用布设图根导线测量的方法进行加密平面控制。在建成区建筑物密集通视条件差的隐蔽地区，布设导线最为合适。

1．图根导线测量概述

将场地内相邻控制点连成直线而构成折线图形，称为导线。构成导线的控制点，称为导线点。导线测量就是依次测定各导线边的长度和各转折角，根据起算数据，推算各边的坐标方位角，从而求出各导线点的坐标。根据测区的具体情况和要求，导线布设有以下三种形式：

（1）闭合导线。从一已知点A起，最后仍回到起点A，

在地面上形成闭合的多边形，如图5-3所示。

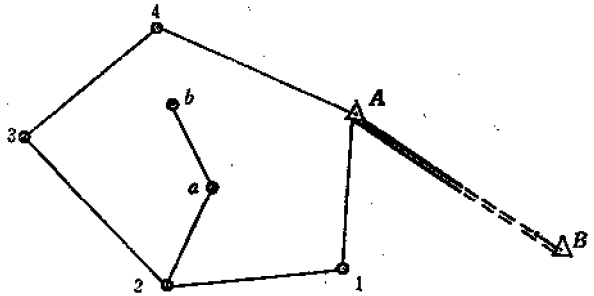


图 5-3 闭合导线、支导线

(2) 附合导线。是在地面上呈开口而伸展的多边形，其两端点连结在两已知点间的导线，如图5-4所示。

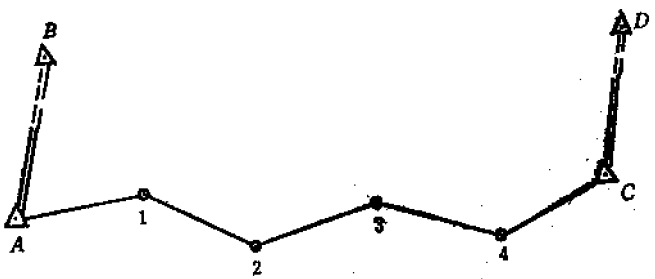


图 5-4 附合导线

(3) 支导线。是从已知点出发，在地面上呈开口伸展的多边形，既不自行闭合，也不附合到另一已知点上的导线。可布设不多于四个点，支导线亦称自由导线，如图5-3所示。

2. 图根导线测量外业工作

图根导线测量外业工作包括选点、量边、测角及与高级控制点连测。

(1) 选点，选点之前先收集该测区的有关测量资料，

包括测区地形图、高级平面控制点和水准点，然后再到现场踏勘，作出选点计划方案，并到实地确定点位。现场选点应注意下列事项：

1）导线相邻两点相互通视。周围视野开阔，以便测角和碎部施测。

2）顺着道路方向、主要边界线、河流等布点，以便量距和便于保存。

3）导线各边长大致相等，在一条导线中不宜出现过长或过短导线边。

4）在建筑区内应沿道路中心布设，为了测图方便，在道路交叉口和主要建筑物施工场地附近应设导线点。

导线点选定后，通常用木桩作临时标志。用长25～50cm、粗2～5cm的木桩，打入土中，桩顶高出地面2～3cm，桩顶中心钉一小铁钉表示点位并编号。在木桩旁的明显标志上量出到木桩的距离、方向作标记。

需要长期保存的导线点，应埋设混凝土标石，标石顶嵌入刻有“+”字的金属标志，为了便于找点，应绘导线“点之记”。

（2）量边：导线边长丈量应用经过比尺场检定过的钢尺，往返或单尺同向双拉丈量法。测量精度不得低于1/3000。光电测距仪测距，只要求单向观测。

导线边长要求是两点间的水平距离，因此在丈量导线中要测定两点的商差，按钢尺量距方法进行。

如果导线横向穿越河流或障碍物无法直接丈量边长时，可选用辅助点间接求距。如图5-5所示，设导线边7-8两点跨越河流，这时可在河边平坦地段选辅助点E，F，从7点向一侧量$7E$、$7F$两边，构成$\triangle 7E8$、$\triangle 7F8$。测量辅助三角

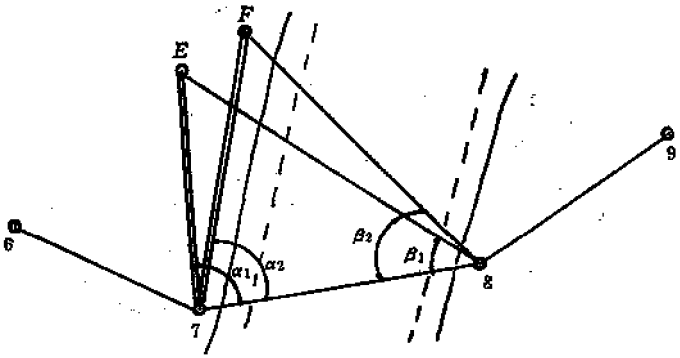


图 5-5　图根导线辅助点间接求距

形的内角α_1、β_1和α_2、β_2。为了保证导线7-8边长有较好的精度，除了三角形内角不应小于30°之外，对所测边长和角度要求都高于图根导线的精度。

7-8边长可用测得的数据，按正弦定律分别在两个三角形中求得。即

$$S_{7-8}=S_{7-E}\sin(\alpha_1+\beta_1)/\sin\beta_1$$

$$S_{7-8}=S_{7-F}\sin(\alpha_2+\beta_2)/\sin\beta_2$$

算得的两条导线边长的较差小于相应导线边的限差时，取其平均值作为导线的边长。

（3）测角：沿导线前进方向右侧的角称右角。位于导线前进方向左侧的角称左角。一般在附合导线中，测量导线左角，在闭合导线中测内角。如闭合导线按反时针方向编号，则其左角就是内角。导线测量的技术要求见表5-4。图根导线用DJ$_6$光学经纬仪测一个测回。若盘左、盘右测得角值的较差不超过40″，则取其平均值。在一个点上要观测三个以及三个以上方向时，用方向观测法进行。

支导线无检核条件，边长要往返丈量，导线折角分别观

测左、右角各一测回，左右角之和与360°之差不得大于±40″。

（4）联测：在测区内有高一级控制点，导线点应与这些点进行联测。观测连接角β_A、β_1，丈量连接边S_{A1}，作为传递坐标方位角和坐标之用。如图5-6所示。

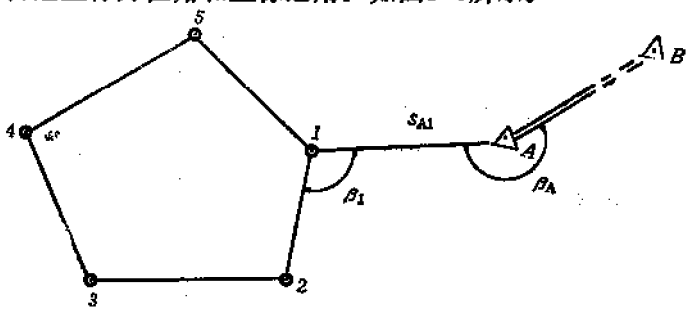


图 5-6 图根导线联测

操作工艺如下：

1）如图5-6，已知A、B两点，1、2、3、4、5为闭合导线点。

2）在点A和点1安置仪器，观测$\angle\beta_A$、$\angle\beta_1$。

3）量得A至1点边长S_{A1}。

4）根据已知边AB的方位角α_{AB}和连接角β_A、β_1推算1—2边的方向角α_{12}。

5）根据点A的坐标和连接边的方向角及其长度，求出点1的坐标。

6）如没有已知点，用罗盘仪测出导线起始边的磁方位角，用假定起始点坐标作为起始数据。

3。图根导线测量内业计算

图根导线测量的目的是得到各点的坐标，导线测量的内业计算的目的就是计算各导线点的坐标。在进行内业计算之前，应对外业量边与测角成果进行检查，有无遗漏、记错或算

错，成果是否符合规范规定的精度要求。符合精度要求后，绘导线计算略图，并注记导线观测角值、边长，起始方位角或附合边方位角。

(1) 图根导线方位角计算：导线坐标计算中必须知道各边的方位角。在观测导线各转折角时，可以测右角或测左角。现介绍推算方位角的方法。

1) 按导线的各右角推算方位角：如图5-7所示，起始方位角为α_{12}，导线的各转折角（右角）分别为β_1、β_2……。以下依次推算导线各边的方位角。即

$$\left.\begin{aligned}\alpha_{23}&=\alpha_{12}+180^\circ-\beta_2\\ \alpha_{34}&=\alpha_{23}+180^\circ-\beta_3\\ &\cdots\cdots\end{aligned}\right\}$$

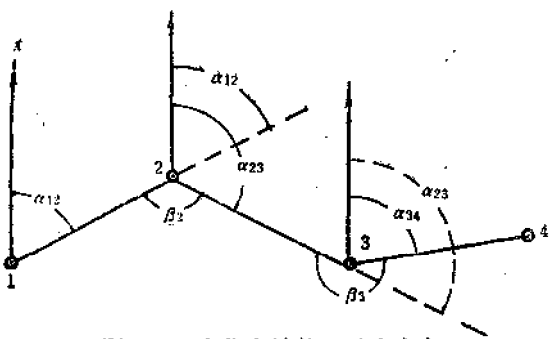


图 5-7 方位角计算（导线右角）

从上式得推算方位角的规律：

导线前一边的方位角，等于后一边的方位角加180°，再减该两边所夹的转折角（右角）

即 $\alpha_{前}=\alpha_{后}+180^\circ-\beta_{右}$

注意：当上式中算得的$\alpha_{前}$大于360°时，应减去360°后再往下计算；当$(\alpha_{后}+180^\circ)<\beta_{右}$时，应加360°以后再减$\beta_{右}$。

2）按导线的各左角计算方位角：如图5-8，按图中数据得以下公式：

$$\alpha_{23}=\alpha_{12}+\beta_2-180°$$

$$\alpha_{34}=\alpha_{23}+\beta_3-180°$$

……

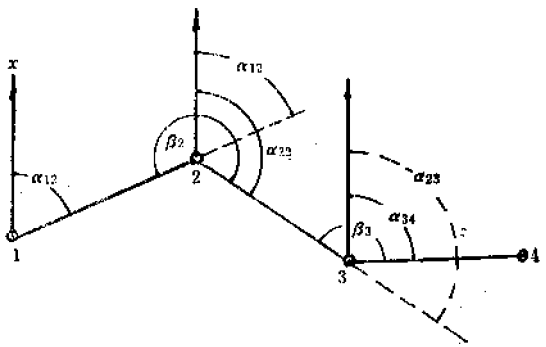


图 5-8 方位角计算（导线左角）

α_{12}为起始方位角。

从上式可看出以下规律：

导线前一边的方位角，等于后一边的方向角加该两边所夹的转折角（左角），再减180°。即

$$\alpha_{前}=\alpha_{后}+\beta_{左}-180°$$

注意：1）式中（$\alpha_{后}+\beta_{左}$）小于180°时，应先加360°后再减180°，当得到的$\alpha_{前}$大于360°时，应减去360°，再往下计算。

2）计算中抄录观测角应一律用右角，或一律用左角，决不允许对同一条导线左角和右角交替使用。

（2）坐标计算：导线方位角是从正北方向按顺时针方向起算的，为了便于应用数学中的直角坐标计算公式，所以在测量学上把x轴定为纵轴，y轴定为横轴，象限按顺时针

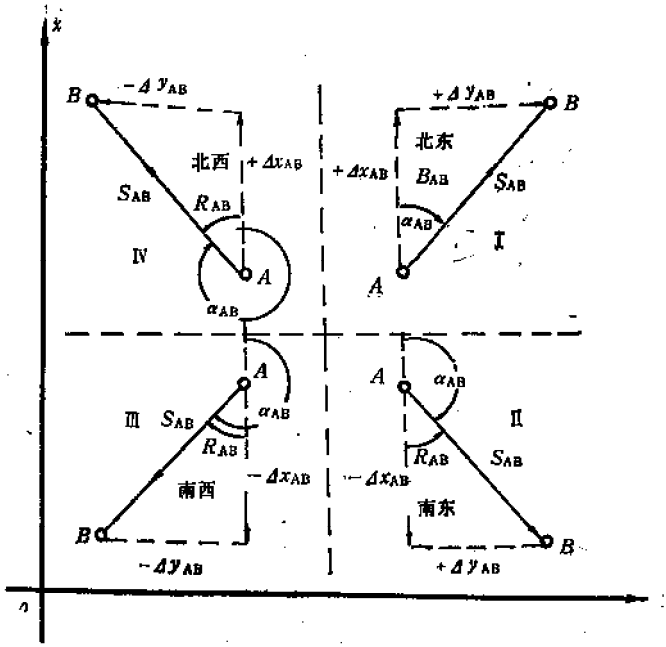


图 5-9　直角坐标系中的已知线段

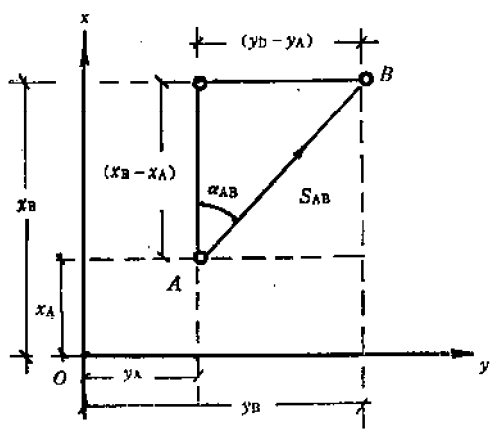


图 5-10　坐标正算

排列，坐标轴的正负号和数学的符号一致。

如图5-9所示，如果知道任一线段的起点坐标和终点坐标，这线段的位置就完全可以确定。

1）坐标正算：坐标正算是根据已知点坐标、已知边长及其方向角计算未知点的坐标，如图5-10所示。已知点A的坐标为x_A、y_A，待定未知点B的坐标为x_B、y_B，当边长S_{AB}及其方向角α_{AB}均为已知时，就可求得点B的坐标，即

$$\left.\begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x_{AB} \\ y_B &= y_A + \Delta y_{AB} \end{aligned}\right\}$$

式中Δx_{AB}为纵坐标增量，Δy_{AB}为横坐标增量，即A、B两点纵、横坐标之差（$x_B - x_A$）、（$y_B - y_A$），用以下公式求得：

$$\left.\begin{aligned} \Delta x_{AB} &= S_{AB}\cos\alpha_{AB} \\ \Delta y_{AB} &= S_{AB}\sin\alpha_{AB} \end{aligned}\right\}$$

因为边长S总是正值，所以Δx、Δy的正负符号取决于$\cos\alpha$、$\sin\alpha$的正负号，见表5-7。

方位角函数正负值　　表 5-7

象限	角度区间	正余弦函数的符号		坐标增量的符号	
		$\cos\alpha$	$\sin\alpha$	Δx	Δy
Ⅰ	0°～90°	+	+	+	+
Ⅱ	90～180	−	+	−	+
Ⅲ	180～270	−	−	−	−
Ⅳ	270～360	+	−	+	−

2）坐标反算：坐标反算是根据线段两端已知点的平面直角坐标反算其边长及方位角。如图5-10中，A、B点为两已知点，其坐标分别为x_A、y_A和x_B、y_B。按三角公式得：

$$tg\alpha_{AB}=\frac{(y_B-y_A)}{(x_B-x_A)}=\frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

或

$$\alpha_{AB}=tg^{-1}\frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

$$S_{AB}=\frac{\Delta y_{AB}}{\sin\alpha_{AB}}=\frac{\Delta x_{AB}}{\cos\alpha_{AB}}$$

注意：A．按上式计算出的方位角值，在Ⅰ象限是象限角。因此，必须根据坐标增量Δx_{AB}、Δy_{AB}的正负号决定AB边所在的象限，再将计算值换算列象限角。

B．导线计算数字取位：

数字按表5-8取位。《工程测量规范》（TJ26-78）规定，图根导线或图根三角方向的观测值、改正数和方位角，计算中数字取位均为6″或10″。边长以m为单位，取小数点后两位。

计算数字取位　　表5-8

等　级	方向(或角度)观测值(″)	各项改正数(″)	采用的函数	边长及坐标(m)	方位角(″)
一、二级小三角 一、二级导线	1	1	7或6位	0.001	1
图　根	1	1	5位	0.01	1

4．闭合导线坐标计算

（1）准备工作：将校核过的外业手簿、观测数据及起算数据填入“闭合导线坐标计算表”，见表5-9。

（2）角度闭合差计算与改正：n多边形闭合导线内角和理论值应为：

$$\Sigma\beta_{理}=(n-2)\cdot 180^\circ$$

由于观测值的误差，使闭合导线内角之和$\Sigma\beta_{理}$不等于

理论值，而产生闭合差f_β，即

$$f_\beta = \Sigma\beta_{测} - \Sigma\beta_{理}$$

f_β的限值见表5-4。f_β超过$f_{\beta允}$，则说明所测角度不合要求，应重新检测角度。如f_β不超过$f_{\beta允}$，可将闭合差按反符号平均分配到各观测角值中。改正后内角之和应为$(n-2)\cdot 180°$。如图5-11。

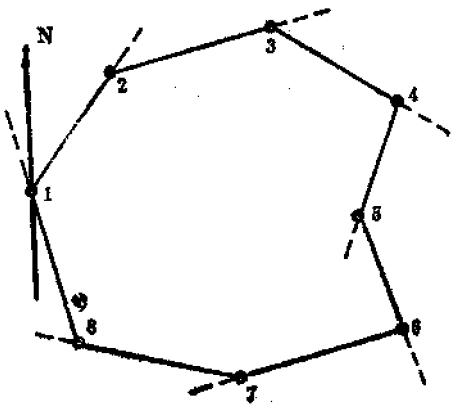


图 5-11　n边形外角计算

(3) 推算坐标方位角：用改正后的导线左角或右角，根据起始边方位角及连接角，按下列公式计算其他边的方位角。

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180° + \beta_{左}\quad(适用于测左角)$$

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180° - \beta_{右}\quad(适用于测右角)$$

注意：1) 如果算出的$\alpha_{前} > 360°$，则应减去360°。

2) 如果$(\alpha_{后} + 180°) < \beta_{右}$，则应加360°再减$\beta_{右}$。

3) 推算闭合导线各边坐标方位角，最后应算到起始边的坐标方位角，并与原有的方位角相等，否则应重新检查计算。

点号	导线右角 观测值 (° ′ ″)	导线右角 改正后角值 (° ′ ″)	方位角 α (° ′ ″)	边长 S (m)
	1	2	3	4
1	89 36 30			
			150 30 00	105.22
2	+12 107 48 30	107 48 42		
			78 18 42	80.18
3	+13 73 00 20	73 00 33		
			331 19 15	129.34
4	+12 89 33 60	89 34 02		
			240 53 17	78.16
1	+13 89 36 30	89 36 43		
			150 30 00	
Σ	359 59 10			

附注

$f_\beta = 360° - 359°59'10'' = 50''$

$f_{\beta允} = \pm 40\sqrt{4} = \pm 80'' > f_\beta$（合格）

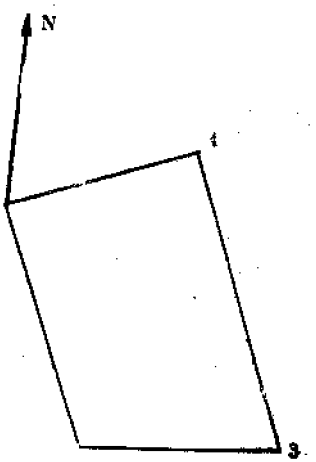
增量计算值		改正后增量		坐　标		点 号
Δx (m)	Δy (m)	Δx (m)	Δy (m)	x (m)	y (m)	
5	6	7	8	9	10	
−3 −91.58	51.81	−91.61	51.81	500.000	500.000	
−2 16.24	+1 28.52	16.22	78.53	408.39	551.81	
−3 113.47	+1 −62.07	113.44	−62.06	424.61	630.34	
−2 −38.03	+1 −68.29	−38.05	−68.28	538.05	568.28	
				500.00	500.00	
+10	−3					

$f_x = \Sigma \Delta x = +10\text{cm}$

$f_y = \Sigma \Delta y = -3\text{cm}$

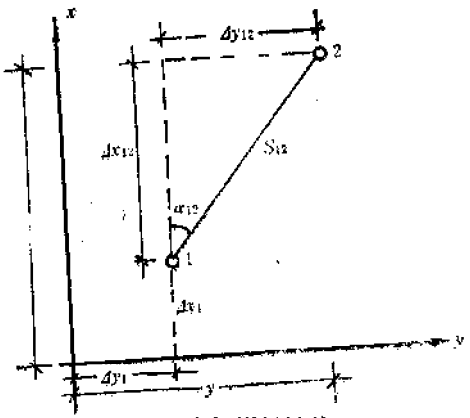
$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 10.4\text{cm}$

$K = \frac{f}{\Sigma S} = \frac{0.10}{393} = \frac{1}{3900}$ (合格)



4) 坐标增量计算及改正

A。坐标增量计算：如图5-12所示，设点1的坐标为已知，直线坐标方位角α_{12}及边长S_{12}均已测得，则点2的坐标为：



5-12 坐标增量计算

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{12}$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{12}$$

式中Δx_{12}、Δy_{12}为纵、横坐标增量，也就是直线两端点的坐标值之差。

按图5-12中几何关系，可写出下列坐标增量公式：

$$\left.\begin{aligned}\Delta x_{12} &= S_{12} \cdot \cos\alpha_{12} \\ \Delta y_{12} &= S_{12} \cdot \sin\alpha_{12}\end{aligned}\right\}$$

式中，S_{12}为正值，Δx_{12}、Δy_{12}的正负值取决于$\cos\alpha$、$\sin\alpha$的正负号。

同样可求得待定点坐标方位角和边长，如已知x_1、y_1和x_2、y_2两点坐标，则

$$\alpha_{12} = \mathrm{tg}^{-1}\frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}}$$

$$S_{12}=\frac{\Delta y_{12}}{\sin\alpha_{12}}=\frac{\Delta x_{12}}{\cos\alpha_{12}}$$

式中 $\Delta x_{12}=x_2-x_1$，$\Delta y_{12}=y_2-y_1$。

B。坐标增量闭合差的计算与改正：根据已算得导线各边的方位角和相应的边长，计算出各相应边的坐标增量，并按照表5-8的规定确定其正负号。

如图5-13所示，由于各导线边都是有向线段，因此闭合多边形的各边纵横坐标增量Δx、Δy在直角坐标纵横轴上的投影的代数和理论上应分别等于零，即

$$\left.\begin{aligned}\Sigma\Delta x&=0\\ \Sigma\Delta y&=0\end{aligned}\right\}$$

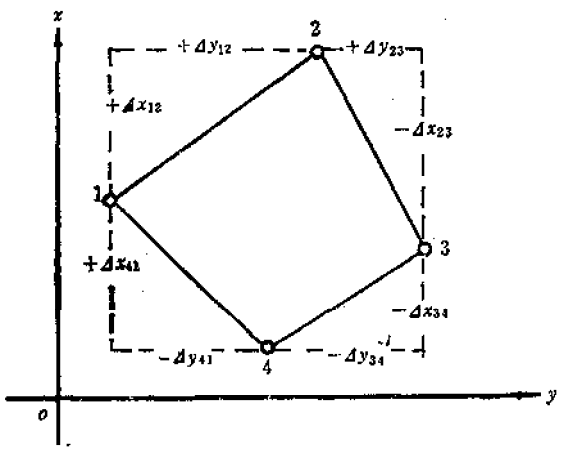


图 5-13 闭合导线坐标增量

由于量得的导线边中都包含有量距误差，而角度虽经过调整，但仍有误差存在。因此，所得的纵横坐标增量的代数和不等于零，分别存在着一个差数。如图5-14所示，在点1产生的纵横坐标增量闭合差，分别以f_x、f_y表示，即

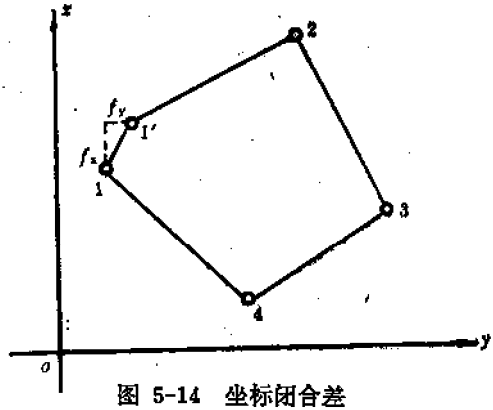


图 5-14　坐标闭合差

$$\left.\begin{aligned}\Sigma\Delta x_{测} &= f_x\\ \Sigma\Delta y_{测} &= f_y\end{aligned}\right\}$$

由于f_x、f_y的存在，使导线不能闭合，1-1′的长度为导线全长闭合差，即

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

仅以f_s值的大小还看不出导线测量的精度，应当将f_s与导线全长ΣS相比，从而得到边长的相对闭合差：

$$K = \frac{f_s}{\Sigma S} = \frac{1}{\frac{\Sigma S}{f_s}}$$

以相对闭合差K表示导线测量的精度，K的分母越大，精度越高。如果K超过$K_{允}$，则说明成果不合格，应首先检查内业计算成果有无错误，然后检查外业成果，必要时要外业观测。如果K不超过$K_{允}$，可对f_x、f_y进行改正，改正数以边长成正比按反符号分配在纵、横坐标增量中去。以V_{xi}、V_{yi}分别表示i边的纵横增量改正数，即

$$V_{xi} = -\frac{f_x}{\Sigma S} S_i$$
$$V_{yi} = -\frac{f_y}{\Sigma S} S_i$$

纵、横坐标增量改正数之和应满足下式：

$$\Sigma V_x = -f_x$$
$$\Sigma V_y = -f_y$$

在上例中改正后的增量之和应为零，以此作校核。

5. 附合图根导线坐标计算

附合导线的坐标计算步骤和方法与闭合导线坐标计算基本相同。但由于导线的布置形式不同，因而在角度闭合差与坐标增量闭合差的计算稍有区别。下面着重介绍附合导线角度闭合差和坐标增量闭合差计算。

(1) 角度闭合差计算：如图5-15所示为附合在两条已

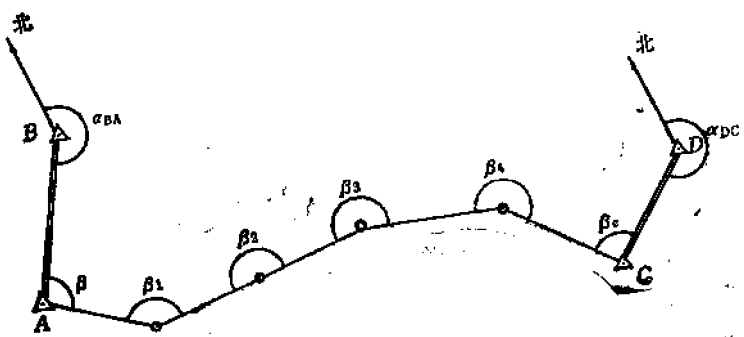


图 5-15 附合导线

知边AB、CD的附合导线。根据起始边的坐标方位角α_{BA}及观测的导线左角β，可以推算出终边CD的坐标方位角α_{CD}。

$$\alpha_{A1} = \alpha_{BA} + \beta - 180^\circ$$
$$\alpha_{12} = \alpha_{A1} + \beta_1 - 180^\circ$$
$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + \beta_2 - 180^\circ$$
$$\alpha_{34} = \alpha_{23} + \beta_3 - 180^\circ$$
$$\alpha_{4C} = \alpha_{34} + \beta_4 - 180^\circ$$
$$+) \quad \alpha_{CD} = \alpha_{4C} + \beta_C - 180^\circ$$
$$\alpha_{CD} = \alpha_{BA} + \Sigma\beta_{测} - 6\times 180^\circ$$

将上式写成一般公式，则

$$\alpha_{终} = \alpha_{始} + \Sigma\beta_{测} - n \cdot 180^\circ$$

若按导线观测右角，则用下式计算：

$$\alpha_{终} = \alpha_{始} - \Sigma\beta_{测} - n \cdot 180^\circ$$

角度闭合差f_β按下式计算：

$$f_\beta = \alpha_{终} - \alpha_{始}$$

注意：角度闭合差的调整，当用左角计算$\alpha_{终}$时，改正数与f_β反号；当用右角计算时，改正数与f_β同号。

(2) 坐标增量闭合差计算：附合导线的坐标增量代数和的理论值应等于终边、始边两点的已知坐标值之差，即

$$\left.\begin{aligned}\Sigma\Delta x_{理} &= x_{终} - x_{始}\\ \Sigma\Delta y_{理} &= y_{终} - y_{始}\end{aligned}\right\}$$

则纵、横坐标增量闭合差按下式计算：

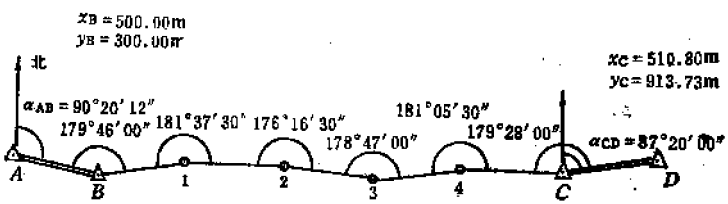


图 5-16 附合导线算例

$$\left.\begin{aligned} f_x &= \Sigma \Delta x_{测} - (x_{终} - x_{始}) \\ f_y &= \Sigma \Delta y_{测} - (y_{终} - y_{始}) \end{aligned}\right\}$$

【例】 有附合导线如图5-16所示，A、B、C、D为已知点，观测值和已知的有关数据都注写在导线略图上。试计算导线1、2、3、4点坐标。

【解】 附合导线计算见表5-10。

（三）查找导线测量错误的方法

在图根导线计算过程中，若发现导线角度闭合差或导线全长相对闭合差超过了允许值则说明测量外业或内业计算有错误。这时，首先应检查内业计算，肯定内业计算无误后，则说明外业测得的转折角或边长有错误。在到现场重测之前，可按下列方法分析可能发生错误之所在，以便明确查找目标，节约时间。

1．查找角度错误的方法

（1）闭合导线角度错误的检查：首先按边长和角度用量角器依一定的比例尺绘出导线图，如图5-17所示。从图可知，计算出的点与图解点存在闭合差1-1′，从1-1′的中点作垂线。如垂线通过或接近通过某导线点，如图中点2，则说明该点发生错误的可能性最大。

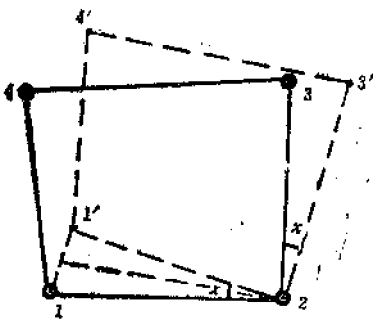


图 5-17 闭合导线闭合差

（2）附合导线角度错误的检查：首先展点，把两已知端点坐标展绘在图上，则分别自导线的两个端点B、M按边长和角度绘出两

附合导线坐标计算表

表 5-10

点号	导线（左角）观测角 (° ′ ″)	导线（左角）改正后角值 (° ′ ″)	方位角 α (° ′ ″)	边长 S (m)	增量计算 Δx (m)	增量计算 Δy (m)	改正后增量 Δx (m)	改正后增量 Δy (m)	坐标 x (m)	坐标 y (m)	点号
A											A
			90 20 12								
B	179 46 −7 00	179 45 53							500.00	300.00	B
			90 06 05	148.16	−2 −0.26	−3 148.15	−0.28	148.12			
1	181 37 −7 30	181 37 23							499.72	448.12	1
			91 43 28	128.21	−3 −3.86	−3 128.16	−3.89	128.13			
2	176 16 −7 30	176 16 23							495.83	576.25	2
			87 59 51	117.55	−3 4.11	−2 104.22	4.08	104.20			
3	178 47 −7 00	178 46 53							499.91	680.45	3
			88 46 44	118.71	−3 6.67	−2 118.52	6.64	118.50			
4	181 05 −7 30	181 05 23							506.55	798.95	4
			87 52 07	114.88	−2 4.27	−2 114.08	4.25	114.78			
C	179 28 −7 00	179 27 53							510.80	913.73	C
			87 20 00								
D				627.50	+10.93	+813.85					

附注

$f_\beta = \Sigma\beta - \alpha_{始} + \alpha_{终} - n\cdot 180^\circ$

$= +42''$（合格）

$f_{\beta允} = \pm 60''\sqrt{n} = \pm 60\sqrt{6} = \pm 147''$

$= \pm 02'27''$

$f_x = \Sigma\Delta x - (x_C - x_B) = 0.13$

$f_y = \Sigma\Delta y - (y_C - y_B) = 0.12$

$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0.18$

$K = \frac{1}{\Sigma S} = 1/3400 < 1/2000$（合格）

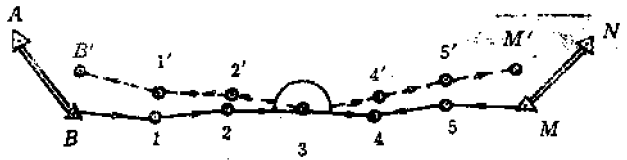


图 5-18　查找导线测角错误

条导线，如图5-18所示，如从B点按正方 向实线展绘，在M点按反方向虚线展绘，则在两条导线的交点上（点3）发生测角错误的可能性最大。

如果角度闭合差超限不大，用上述图解法显示不出测角错误的点位时，可按起始和终了边的已知方位角、实测的转角和边长，分别从B点和M点沿正反方向计算出两组导线点坐标，并相互比较，在两坐标接近的同一点，即为测错转角的导线点。

2．查找边长错误的方法

发现导线相对闭合差大大超过限差时，则先按边长和角度展绘出导线图，如图5-19所示。找出与闭合差1-1′平行或大致平行的导线边，如2-3导线边，则此边发生边长错误的可能性最大。

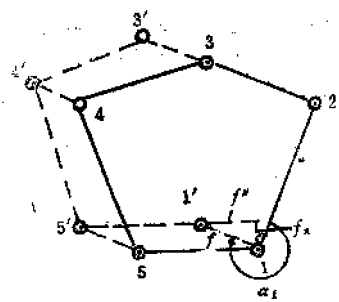


图 5-19　查找闭合导线边长错误

也可用下式计算闭合差1-1′的坐标方位角：

$$\operatorname{tg}\alpha_1=\frac{f_y}{f_x}\quad,\quad \alpha_1=\operatorname{tg}^{-1}\frac{f_y}{f_x}$$

如果某一导线边的方位角与α_1很接近，则该导线边发生边长错误可能性很大，如图5-33中的2-3边。

检查附合导线边长错误的方法与闭合导线相同，如图5-20所示。

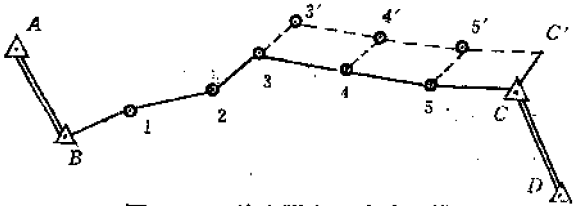


图 5-20 检查附合导线边长错误

上述查找导线错误的方法，仅是在有一个错误边或角时才有效。

复习思考题

1.图根导线测量有哪些精度要求？

2.图根导线测量外业工作包括哪些内容？

3.图根导线测量方位角如何推算？要注意些什么？

4.已知线段在平面直角坐标系中的坐标如何表示线段方向？

5.画图说明闭合导线坐标增量之和为什么等于零？

6.如何查找导线测量中测角和测边的错误？

六、测量误差的基本知识

（一）误差的来源、分类与性质

水准测量、距离丈量和点位测设中，已经提出限制误差的问题。施工放线实践表明，当对某一量进行多次观测，不论测量仪器多么精密，观测过程多么仔细，测得的结果都会产生差异。本节着重介绍测量误差的基本知识。

1．测设误差

测设一段直线长度，用钢尺往返丈量，两次丈量结果不一致。这一现象是什么原因形成的呢？这是因为观测者的感觉器官的鉴别能力不是那么完善和准确，以及所处的观测条件的变化而引起的观测误差。

观测时所处的外界条件，时刻随温度、湿度和风力等自然条件的变化而变化。在这种客观环境下进行观测或测设点位，就必然会使观测值受到影响，从而产生不可避免的误差。因此对某一未知量进行测量时，观测者、外界条件、仪器和观测方法等因素是引起测量误差的主要来源，这些综合因素，称为观测条件。

在观测条件相同的情况下进行的各次观测，称为等精度观测，所得的各次观测值，称为等精度观测值；在观测条件不同的情况下进行的各次观测，称为不等精度观测，所得的各次观测值，称为不等精度观测值。

观测（测设）误差按其对观测结果影响的性质不同，可分为系统误差和偶然误差。

（1）系统误差：对一观测量在相同条件进行一系列观

测，如果误差在大小和符号都表现出一定的倾向性，大小相同或按一定规律变化，这种误差称为系统误差。例如用一根名义长为20m的钢尺，而实际长度为20.004m，每量一尺段有－0.004m的系统误差，它是一个常数。用这根尺丈量距离，量出来的长度小了。如果测量结果是D'，则D'中含有因为钢尺尺长不准确而带来的误差$+\frac{d}{20}D'$，这种误差的大小与直线长度成正比，而且符号一致，其改正数符号为“+”；在测设直线长度中，用这根尺量一直线长度d'，则d'中含有因为钢尺尺长不准确带来的误差$-\frac{\Delta l}{20}d'$，这种误差改正数符号为“负”。

系统误差对观测结果的危害是很大的，但是由于这种误差表现出一定的规律性，因而可以设法利用各种办法将它消除，或者减弱它对观测结果的影响。

1）工具和仪器进行检定和改正。例如检定钢尺，求出尺长改正数，对丈量结果进行改正。

2）对仪器进行检验和校正。如对水准仪视准轴与水准管轴平行的校正，使残余误差减弱到一定程度。

3）采用合理的观测方法，使误差自行抵消或减弱到最小。如用经纬仪盘左、盘右测角或水准仪观测前后视距相等，又如水准观测中用后黑、前黑、前红、后红的观测程序等。这些措施都在于消除或降低仪器误差影响。

（2）偶然误差：在相同的观测条件下，反复观测，如果观测结果的差异在数值和符号上都没有一定的规律，这种误差称偶然误差。例如，对某一目标反复照准，产生的照准误差等。由于这些误差，其数值忽大忽小，其符号或正或

负。这类性质的误差均属于偶然误差。在任何观测值中都不可避免地带有偶然误差。

观测过程中偶然误差和系统误差一般会同时产生。因此，在观测中用观测程序和加以改正数等，尽量设法消除和减弱系统误差，使它减弱到与偶然误差相比处于次要地位。这样所得一组观测值中就可视为主要是存在着偶然误差，即可认为这组观测值系列中只含有偶然误差。

为了提高观测结果的质量和及时发现观测值中有无读数错误、记录错误等粗差的存在，应对测定量进行多余观测。如三角形角度观测，一般只要测定其中两个内角就行了，通过三角形内角之和的关系算得另一角度。但实际工作测量中，总是还要观测第三个角，该角称为多余观测值；又如对直线长度丈量一次就可得出数据，但通常总是进行往返各一次或多次重复丈量。由于偶然误差的存在，通过多余观测，必然会发现在观测成果之间不相一致，或不符合应有的关系而产生不符值，如平面三角形三内角之和不等于180°。

因此，通过多余观测对带有偶然误差的观测值进行处理，从而求出观测量的最可靠结果，有时还要评定观测值与最可靠值的精度。

2. 偶然观测误差的规律

偶然误差，就整体而言具有一定的统计规律性，观测值的个数越多，这种规律性表现得越明显。下面通过实例来介绍偶然误差的特性。

(1) 一组角度观测的实例：在某施工场地相同观测条件下，观测了267个三角形的全部三角形的内角。由于观测结果中存在着偶然误差，多余观测值形成三角形闭合差——三角形三个内角观测值之和不等于三角形内角和的理论值

（理论值为180°）。

设三角形内角和的理论值为X，三角形内角和的观测值为L_i，则三角形内角和的真误差Δ_i为：

$$\Delta_i = X - L_i \qquad (i = 1,2\cdots\cdots 267)$$

现将267个真误差按其绝对值的大小列表6-1。

偶然误差特性　　表6-1

误差大小区间	正的误差		负的误差		总计	
	个数	百分比	个数	百分比	个数	百分比
0—3	40	15%	41	15%	81	30%
3—6	33	12%	33	12%	66	24%
6—9	23	9%	21	8%	44	17%
9—12	17	7%	16	6%	33	13%
12—15	13	5%	13	5%	26	10%
15—18	6	2%	5	2%	11	4%
18—21	4	1%	2	1%	6	2%
21以上	0	0	0	0	0	0
总和	136	51%	131	49%	267	100%

（2）偶然误差直方图：为了直观地表达偶然误差的分布，可用表6-1中的数据绘制成图形，表示误差的分布。

如图6-1，横坐标表示误差Δ的大小，纵坐标表示误差区间内出现误差的百分比除以区间隔值，即组距（本例区间值3″）$(n/N)/d_\Delta$。这种误差图形称为直方图，此图能直观地反映出偶然误差的频率分布趋势。

从图6-1可知，图中的每一误差区间的矩形面积的大小表示误差出现该区间的概率。图中画有斜线的矩形面积，表示误差出现在3″～6″区间的百分比为12%。偶然误差出现在限值的整个区间内是必然条件，因而其概率等于1，即100%。

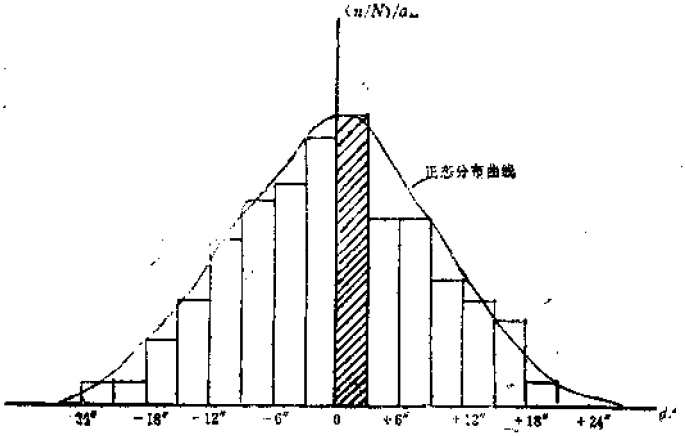


图 6-1 偶然误差直方图

由此可知矩形面积的总和应等于1。

在相同的观测条件下，将上例观测三角形无限增多，随着误差出现在各区间的百分比将会逐渐稳定在某一常数附近，这个常数称为概率。

当误差区间取得无限小，观测次数无限增多时，该折线就趋向于一条以纵坐标轴对称的连续曲线，称为误差分布曲线。在数理统计中，这条曲线称为“正态分布密度曲线”。

（3）偶然误差的四个特性：从表6-1看出这一组三角形内角误差有以下分布规律：

1）绝对值大的误差比绝对值小的误差少。0″～3″正误差40个占15%，负的误差41个占15%。18″～21″正误差4个占1%，21″以上为零。

2）绝对值相等的正负误差区间中误差的个数近似相等。如12″～15″正误差13个，负误差13个。

3）绝对值大的误差有一限度。本例最大不超过21″。

通过大量实验统计结果，特别是当观测次数较多时，如表6-1中对267个三角形内角观测，可以总结出偶然误差具有以下特性：

1）在一定的观测条件下，偶然误差的绝对值不会超过一定的限度，即超过一定限度的偶然误差出现的概率等于零；

2）绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的机会多，即绝对值较小的误差出现的概率较大；

3）绝对值相等的正负误差出现的机会相等，即两者出现的概率相等；

4）对某量进行n次等精度观测时，随着观测次数的无限增多，偶然误差的算术平均值趋近于零。即

$$\lim_{n\to\infty}\frac{[\Delta]}{n}=0$$

式中n为观测次数。

$$[\Delta]=\Delta_1+\Delta_2+\cdots\cdots+\Delta n$$

第一个特性说明误差出现的范围；第二个特性说明误差值大小的规律；第三个特性说明误差符号出现的规律；第四个特性说明偶然误差具有抵偿性。显然第四特性可由第三个特性导出的。

由于偶然误差本身的特性，不能用计算改正数或改变观测方法来简单地加以消除，只能根据偶然误差的理论来改进观测方法和合理地处理观测数据，以减小偶然误差对测量成果的影响。

（二）测量精度评定的标准

在相同的观测条件下，如用相同的仪器设备，相同的操作方法，在同样的外界条件下，由一组观测得的成果得到一

组误差，可以用偶然误差直方图表示，并求得“正态误差分布曲线”。不同的观测组得出的误差直方图不相同，“正态误差分布曲线”也表现出各组的误差大小不相同，所求得的误差m值也不相同。由此可见，m值的大小能说明观测成果精度的高低。为此在测量工作中采用一组误差的平均大小来作为衡量精度的指标。

下面介绍测量测设工作中常用的几种评定精度的指标。

1. 中误差

设在相同条件下，对未知量进行了n次观测，得出一组观测值L_1，L_2……L_n，从而相应地得到一组真误差为Δ_1、Δ_2……Δ_n，则取这组误差平方和的平均数再开方即中误差来评定这组观测值的精度，计算公式如下：

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

式中 m——中误差；

[]——表示总和；

n——观测次数。

必须指出，在相同的观测条件下进行一组观测，得到的每一个观测值都称为等精度观测值。每一观测值对应着一个误差分布，即对应着一个中误差，因此等精度观测值具有相同的中误差，即这组观测值中，每个观测值都具有这个值的精度，因此m又称为观测值的中误差。

【例】 对同一个三角形三个内角，在相同条件下，分两组各观测10次。两组观测的成果及按公式求得的中误差列于表6-2，试计算各组观测值中误差。

【解】 将观测值分别填入表6-1，计算Δ_i，i（1，2……10），求得Δ_i^2值。

三角形三个内角之和的中误差　　表 6-2

第一组观测值					第二组观测值				
次数	观测值 L_i (° ′ ″)			真误差 Δ_i (″)	Δ_i^2 (″)	次数	观测值 L_i (° ′ ″)			真误差 Δ_i (″)	Δ_i^2 (″)
1	179	59	58	+2	4	1	180	00	00	0	0
2	179	59	57	+3	9	2	180	00	07	−7	49
3	180	00	02	−2	4	3	179	59	59	+1	1
4	180	00	03	−3	9	4	180	00	01	−1	1
5	180	00	02	−2	4	5	180	00	02	−2	4
6	179	59	56	+4	16	6	179	59	52	+8	64
7	180	00	01	−1	1	7	179	59	59	+1	1
8	180	00	00	0	0	8	179	59	57	+3	9
9	180	00	03	−3	9	9	180	00	00	0	0
10	180	00	04	−4	16	10	180	00	01	−1	1
Σ					72	Σ					130

按中误差公式：

$$m = \pm\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

$$m_1 = \pm\sqrt{\frac{72}{10}} = \pm 2.7''$$

$$m_2 = \pm\sqrt{\frac{130}{10}} = \pm 3.6''$$

$m_1 < m_2$，则说明第一观测值精度比第二组的观测精度高。

2. 允许误差（极限误差）

由偶然误差第一个特性可知，在一定观测条件下，偶然误差的绝对值不会超过一定的限度，绝对值超过某个限值的概率很小。观测成果中个别观测值超过了这个限度，可以认为这个观测值的质量不符合要求，应将它舍去不用而重新进

行观测。

因此规定n次等精度观测时所产生的最大偶然误差，以区分观测成果是否合格的界限，这种偶然误差的极限值，称为极限误差，简称限差或允许误差。

误差是代表一组误差分布的离散程度，不是代表某一值的真误差的大小。但是中误差与被评定的真误差之间，存在着一定的统计学上的关系。

根据误差理论和大量的数理统计证明：在一系列等精度观测的误差中，绝对值大于中误差的偶然误差出现个数约为32%；绝对值大于两倍中误差出现的个数约为5%；绝对值大于三倍中误差的出现个数仅为3‰。误差出现在中误差m区间内的概率$P(\Delta)$分别为：

$$P_{-m}^{+m}(\Delta)=1-32\%=0.68,\text{误差区间}[-m,+m];$$

$$P_{-2m}^{2m}(\Delta)=1-5\%=0.95,\text{误差区间}[-2m,+2m];$$

$$P_{-3m}^{3m}(\Delta)=1-3‰=0.997,\text{误差区间}[-3m,+3m]。$$

因此，在观测次数不多的情况下，可以认为大于三倍中误差的偶然误差实际上是不可能出现的。故常以三倍中误差为偶然误差的极限值（称为极限误差），即

$$\Delta_{极}=3m$$

测量规范要求观测值不允许存在较大的误差时，常以两倍中误差为误差的允许值，称为允许误差，即

$$\Delta_{允}=2m$$

在检查观测成果中，发现观测值中出现了超过$2m$的误差，就可以认为该观测值不可靠，应舍去不用。

3. 相对误差

在评定观测成果精度时，有时用中误差难以直观地判断

观测成果的精度。例如，丈量两条直线的距离，第一条长度为350m，第二条长度为35m，它们的中误差均为±0.005m。虽然两者的中误差相同，就长度来看，两条直线精度并不相同。用中误差与观测值之比，且将分子化为1的分式表示称相对误差。因此可以得知，当观测的未知量的误差与观测值本身大小有关时，则必须采用相对误差来衡量观测值的精度。如上述距离丈量中，第一段距离相对误差为 $\left(\frac{5}{350000}=\frac{1}{70000}\right)$。第二段距离相对误差为 $\left(\frac{5}{35000}=\frac{1}{7000}\right)$。即第一段距离精度高于第二段。

相对误差有时也用允许误差或真误差等与观测值之比表示，同时相对误差是个无名数。中误差、真误差和允许误差是带有测量单位的数值，因此称为绝对误差。

（三）等精度观测值

1．算术平均值

在相同的观测条件下，对某量进行了n次观测，得观测值为L_1、L_2、……L_n；各观测值的相应真误差为Δ_1、Δ_2……Δ_n。现在的问题就是要根据这n个观测结果确定出该未知量的最或然值。

设未知量的真值为X，则观测值的真误差公式为：

$$\begin{cases}\Delta_1 = X - L_1\\ \Delta_2 = X - L_2\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\\ \Delta_n = X - L_n\end{cases}$$

将上式相加得：

$$\Delta_1+\Delta_2+\cdots\cdots+\Delta_n=nX-(L_1+L_2+\cdots\cdots+L_n)$$

化简为：

$$[\Delta]=nX-[L]$$

故

$$X=\frac{[L]}{n}+\frac{[\Delta]}{n}$$

设x表示观测值的算术平均值，即

$$x=\frac{[L]}{n}$$

以Δx表示算术平均值的中误差，即

$$\Delta x=\frac{[\Delta]}{n}$$

则观测值的真误差：

$$X=x+\Delta x$$

根据偶然误差第四个特性知道，当观测次数无限增多时，Δx趋向零，即

$$\lim_{n\to\infty}\Delta x=0$$

则n趋向无穷大时，算术平均即为真值。在实际工作中，观测次数总是有限的，所以求得的算术平均值并不是所求量的真值；但从Δx值式中可看出，随着观测次数的增加，x是趋近于真值的，因此在计算时，不论观测次数的多少，均以算术平均值x作为未知量的最或是值。

2．等精度观测算术平均值的中误差

在测量工作中，除了要求算出观测值的中误差以外，还必须求出一组等精度观测值算术平均值的中误差，以便评定算术平均值的精度。

算术平均值x为

$$x=\frac{[L]}{n}=\frac{1}{n}L_1+\frac{1}{n}L_2+\cdots\cdots+\frac{1}{n}L_n$$

式中$1/n$为常数，n为观测次数。

在等精度观测中，各独立观测值的中误差应相等，即$m_1=m_2=\cdots\cdots=m_n=m$。根据误差传播规律，得算术平均值中误差$m_{(x)}$为：

$$m_{(x)}^2=\left(\frac{1}{n}\right)^2m^2+\left(\frac{1}{n}\right)^2m^2+\cdots\cdots+\left(\frac{1}{n}\right)^2m^2$$

$$=\left(\frac{1}{n}\right)^2(m^2+m^2+\cdots\cdots+m^2)$$

$$=\frac{n}{n^2}m^2=\frac{1}{n}m^2$$

或

$$m_{(x)}=\pm\frac{m}{\sqrt{n}}$$

即一组等精度观测值的算术平均值的中误差$m_{(x)}$比每次观测值中误差小$\sqrt{n}$倍。

（四）权与带权平均值及中误差

在一组等精度观测值中，求未知量的最或然值和评定其精度的问题已进行过讨论。但实际工作中，经常遇到的是对未知量进行n次不等精度的观测，因而在求该量的最或然值及其精度时，就必须考虑到各个观测值本身的精度。

1．权

权是用来衡量一组观测值间的相对精度的比重。例如对未知量X进行了n次不同精度的观测，得n个观测值L_i（$i=1,2\cdots\cdots n$），它们的中误差是m_{xi}（$i=1,2\cdots\cdots n$）。这时就不能取观测值的算术平均值作为未知量的最或然值。那么

对于不同精度观测，应该用什么公式来计算未知量的最或然值呢？这个问题可以这样解决：

在计算不同精度观测值的最或然值时，精度高的观测值在其中占的“比重”大一些，而精度低的观测值在其中占的“比重”小一些。这里的“比重”就反映了观测精度。“比重”可以用数值表示，在测量工作中，称这个数值为观测值的“权”。显然，观测值的精度愈高，即中误差愈小，其权就大；反之，观测值的精度愈低，即中误差愈大，其权就小。

在测量计算中，给出了用中误差求权的定义公式。设以P_i表示观测值L_i的权，则权的定义公式为：

$$P_i=\frac{\mu^2}{m_i^2}\quad(i=1,\ 2\cdots\cdots n)$$

式中μ是任意常数。在用上式来求一组观测值的权P时，必须采用同一个μ值。从上式可见，P_i是与中误差的平方成反比的一组比例数。

则 $$\mu^2=P_im_i^2\qquad(i=1,2\cdots\cdots n)$$

或 $$\frac{\mu^2}{m_i^2}=\frac{P_i}{1}$$

2．单位权

由上式可见，μ是权等于1的观测值中误差，通常等于1的权为单位权，权为1的观测值为单位权观测值。而μ为单位权观测值的中误差，简称为单位权中误差。

当已知一组观测值的中误差时，可以先设定μ值，然后确定这组观测值的权。

【例】 已知L_1的中误差$m_1=\pm2$mm，L_2的中误差$m_2=\pm4$mm，L_3的中误差$m_3=\pm5$mm。求各观测值的权。

【解】 设单位权 $\mu=m_1=\pm2$mm，则

$$P_1=\frac{\mu^2}{m_1^2}=\frac{(\pm 2)^2}{(\pm 2)^2}=1$$

$$P_2=\frac{\mu^2}{m_2^2}=\frac{(\pm 2)^2}{(\pm 4)^2}=\frac{4}{16}$$

$$P_3=\frac{\mu^2}{m_3^2}=\frac{(\pm 2)^2}{(\pm 5)^2}=\frac{4}{25}$$

这时$P_1=1$，$P_2=\frac{4}{16}$，$P_3=\frac{4}{25}$。

确定单位权时，也可以令$\mu=\pm 1$mm，则

$$P_1'=\frac{\mu^2}{m_1^2}=\frac{(\pm 1)^2}{(\pm 2)^2}=\frac{1}{4}$$

$$P_2'=\frac{\mu^2}{m_2^2}=\frac{(\pm 1)^2}{(\pm 4)^2}=\frac{1}{16}$$

$$P_3'=\frac{\mu^2}{m_3^2}=\frac{(\pm 1)^2}{(\pm 5)^2}=\frac{1}{25}$$

这时$P_1'=\frac{1}{4}$，$P_2'=\frac{1}{16}$，$P_3'=\frac{1}{25}$。

上述两组权P_1、P_2、P_3及P_1'、P_2'、P_3'都同样地反映了观测值之间的精度，因为$P_1:P_2:P_3=P_1':P_2':P_3'=1:0.25:0.16$。在上述求权时，首先令$\mu=2$mm，此时$P_1=1$，即令第一个观测值$L_1$的权为单位权，则$L_1$的中误差就是单位权中误差，即$\mu=m_1=\pm 2$mm。在第二组定权计算时，令$\mu=\pm 1$mm，即令中误差为1mm的观测值的权中误差为单位权，不过这个观测值不是真实的观测值，而是个“设想的观测值”，因为在上例中，没有一个观测值的中误差等于± 1mm。

复习思考题

1.测量误差有哪几种？说明各种误差产生的原因及其性质，偶然误差有哪些特性？

2.等精度观测的算术平均值为什么认为是最或是值？

3.解释中误差、相对误差和极限误差？各有什么用途？

4.什么是算术平均值及其中误差？

5.何谓权？单位权与中误差的关系怎样？

6.观测$\angle ABC$六个测回。其值分别为：

58°32′12″、58°32′54″、58°32′06″、58°32′06″、58°32′00″、58°32′00″。试求该角度的最或是值（算术平均值）、观测中误差和算术平均值中误差。

七、大比例尺地形图测绘

地形图测绘是在控制测量工作结束以后，以控制点为测站，测定其周围的地物、地貌的特征点的平面位置和高程，按测图比例尺缩绘在图纸上，并根据地形图图式规定的符号，勾绘出地物、地貌的位置、大小和形状，形成地形图。地物、地貌的特征点统称碎部点，所以地形图测绘又称为碎物测量。

测绘地形图常用的方法有经纬仪测绘法、小平板仪与经纬仪联合测绘法、大平板仪测绘法及摄影测量方法等。

（一）视距测量

视距测量是根据光学几何原理，用简便的方法同时间接测出两点间距离和高差的方法。这种方法的精度比直接丈量低，但能满足地形测图中对碎部点位置的测量精度要求。视距测量根据不同精度要求分有精密视距测量和普通视距测量。精密视距测量精度在1/2000以上，普通视距测量的测距精度为1/200～1/300。

视距水平时直接可测得两点水平距离；在视线倾斜时，测出的视距为斜距。要把斜距改化为水平距，就必须同时测得垂直角，据此还可以计算站点至目标点的高差。

视距测量有以下优点：

(1)测距速度快，在野外能很快得到要测定的水平距离；

(2)使用方便，特别在起伏山区，比用尺子量距方便；

(3)在长距离丈量中，用视距测量可作为总长的检核，防止发生大的差错；

(4) 在特殊施工中，如下水管道和简易路面施工中，可用视距测量直接控制坡度。

1.视距测量原理

经纬仪、水准仪和大平板仪的望远镜内都有视距丝装置。在十字丝平面上刻有与十字丝横丝平行的上下对称的两条短横丝，这两根短横丝即为视距丝，如图7-1所示。

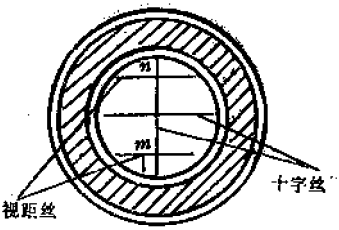


图 7-1 视距装置

(1) 视线水平时水平距离的计算公式。在测站A点上设置仪器，对中、安平后，B点上立标尺，如图7-2所示。

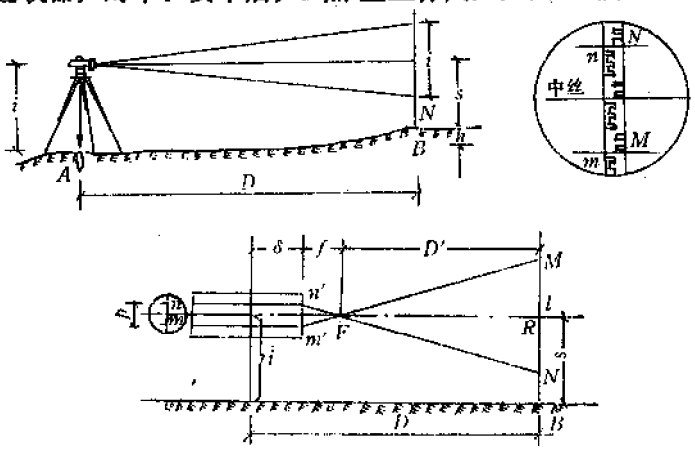


图 7-2 视距测量原理

望远镜视线水平时，瞄准B点视距尺，这时，视线与视距尺垂直。若尺上M、N点成象在十字丝分划板上的两根视距丝m、n处，那么尺上MN的长度可由上、下视距丝读数之差求得。

图中f为物镜的外焦距，δ为物镜光心到仪器中心的距

离；p为视距丝mn的间距。nn'、mm'为两视距丝平行光线，当其透过物镜时发生折射，相交于F点，到标尺后交标尺于M、N点，即为标尺上的读数。M、N的读数差为尺间距l。

因为　　$\triangle MNF \sim \triangle m'n'F$

所以　　$D' : MN = f : m'n'$

而　　$m'n' = mn = p$、$MN = l$

代入上式得　　$D' : l = f : p$

则　　$D' = \dfrac{f}{p} \cdot l$

仪器中心到标尺中心的距离为：

$$D = D' + f + \delta$$

将 $D' = \dfrac{f}{p} \cdot l$ 代入上式得，

$$D = \frac{f}{p} \cdot l + (f + \delta)$$

上式即为视距测量的基本公式。

在仪器设计制造中，设法使$\dfrac{f}{p} = K = 100$，则上式化简得：

$$D = Kl + (f + \delta)$$

令　　$f + \delta = 0$（略去不计）

则　　$D = Kl$，$K = 100$

【例】 用照准仪测得上丝在标尺上的读数为0.805，下丝读数为2.306，已知该视距仪的$K = 100$，求测得的视距是多少？

【解】 已知上下丝读数，计算标尺间距l：

$$l = 2.306 - 0.805 = 1.501\text{m}$$

则视距D：

$$D = Kl = 100 \times 1.501 = 150.1\text{m}$$

（2）视线水平时高差的计算公式：从图7-2中可看出，A、B两点的高差：

$$h_{AB} = i - s$$

式中 i——测站仪器高，是桩顶到仪器水平轴的高度；

s——望远镜水平时，中丝在标尺上的读数。

【例】 已知A点高程$H_A = 14.223\text{m}$，量得测站点仪器高$i = 1.45\text{m}$，照准B点时，标尺中丝读数$s = 1.21\text{m}$，求B点高程？

【解】 A、B两点的高差：

$$h_{AB} = i - s = 1.45\text{m} - 1.21\text{m} = 0.24\text{m}$$

则B点的高程H_B：

$$\begin{aligned} H_B &= H_A + h_{AB} \\ &= 14.223\text{m} + 0.24\text{m} \\ &= 14.463\text{m} \end{aligned}$$

（3）视线倾斜时水平距离与高差的计算公式

1）视线倾斜时水平距离的计算公式：在地势起伏较大的地区进行碎部测量时，视线不可能都处于水平位置，多数情况下是视线与水平线成俯角或仰角。因此就须导出在视线倾斜时的视距计算公式。

从图7-3中可以看出，视线与标尺不垂直，因此不能用视线水平时的视距测量计算公式计算。要把标尺改化为与视线垂直，即由标尺读数MN改成$M'N'$，计算出倾斜距离D'，再将斜距D'计算成水平距离D。

在$\triangle MM'E$和$\triangle NN'E$中，对顶角都等于α，α是照

准仪照准标尺时的仰角，望远镜的视差角φ一般为34″，所以$\angle MM'E$和$\angle NN'E$可视为直角。

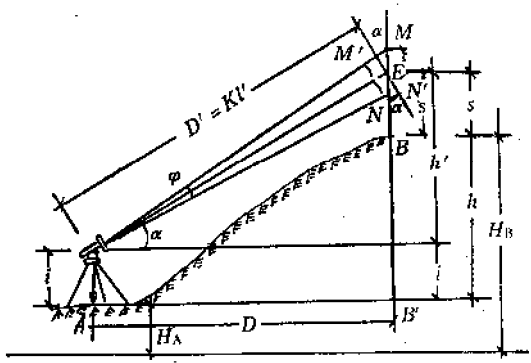


图 7-3 倾斜视线测量

因此，$\triangle NN'E \cong \triangle MM'E$，$NN'$视为等于$MM'$。则

$$N'E = NE\cos\alpha$$

$$M'E = ME\cos\alpha$$

将以上两式相加得：

$$N'E + M'E = (NE + ME)\cos\alpha$$

而

$$N'E + M'E = l'$$

$$NE + ME = l$$

所以

$$l' = l\cos\alpha$$

因为

$$D' = K \cdot M'N' = Kl'$$

将$l' = l\cos\alpha$代入上式得：

$$D' = Kl\cos\alpha$$

从图上可知：$D = D'\cos\alpha$

将$D' = Kl\cos\alpha$代入上式得：

$$D = Kl\cos^2\alpha$$

该式即为视线倾斜时视距的计算公式。当$\alpha=0$时，即得视线水平时的视距计算公式。

2）视线倾斜时高差的计算公式：由图7-3可知：

$$h=h'+i-s$$

而　　$h'=D'\sin\alpha$　　$D'=Kl\cos\alpha$

所以　　$h'=Kl\cos\alpha\cdot\sin\alpha$

利用三角函数中半角公式，可将上式变为：

$$h'=\frac{1}{2}Kl\sin2\alpha$$

将上式代入$h=h'+i-s$式得：

$$h=\frac{1}{2}Kl\sin2\alpha+i-s$$

该式即为视线倾斜时高差的计算公式。

当$\alpha=0$时，$\sin2\alpha=0$，则$h=i-s$，即为视线水平时高差的计算公式。

如果知道两点的高差h_{AB}，即可计算另一点B的高程：

$$H_B=H_A+h_{AB}$$

在野外测量中，一般使望远镜中丝照准与仪器同高，即$i=$，则$h=\frac{1}{2}Kl\sin2\alpha$，这样计算比较方便。

在地形测量中，视距和高差的计算都很麻烦，为了方便，一般用预先编算好的视距计算表和高差表查表求得，见表7-1。视距非整米数时计算高差和平距的辅表见表7-2。也可用视距计算尺或电子计算器等计算工具求得。

2.视距测量的观测与计算

（1）视距测量的观测操作程序

1）如图7-3所示，在A点安置经纬仪，对中、整平后，

修正值		高差主							
		α	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′
1′	3	0°	0.00	0.15	0.29	0.44	0.58	0.73	0.87
2′	6	1°	1.74	1.89	2.04	2.18	2.33	2.47	2.62
3′	9	2°	3.49	3.63	3.78	3.92	4.07	4.21	4.36
4′	12	3°	5.23	5.37	5.52	5.66	5.80	5.95	6.09
		4°	6.96	7.10	7.25	7.39	7.53	7.68	7.82
1′	3	5°	8.68	8.83	8.97	9.11	9.25	9.40	9.54
2′	6	6°	10.40	10.54	10.68	10.82	10.96	11.11	11.25
3′	8	7°	12.10	12.24	12.38	12.52	12.66	12.80	12.94
4′	11	8°	13.78	13.92	14.06	14.20	14.34	14.48	14.62
		9°	15.45	15.59	15.73	15.87	16.00	16.14	16.28
1′	3	10°	17.10	17.24	17.37	17.51	17.65	17.78	17.92
2′	5	11°	18.73	18.87	19.00	19.13	19.27	19.40	19.54
3′	8	12°	20.34	20.47	20.60	20.73	20.87	21.00	21.13
4′	11	13°	21.92	22.05	22.18	22.31	22.44	22.57	22.70
		14°	23.47	23.60	23.73	23.86	23.99	24.11	24.24
1′	2	15°	25.00	25.13	25.25	25.38	25.50	25.63	25.75
2′	5	16°	26.50	26.62	26.74	26.86	26.99	27.11	27.23
3′	7	17°	27.98	28.08	28.20	28.32	28.44	28.56	28.68
4′	10	18°	29.39	29.51	29.62	29.74	29.86	29.97	30.09
		19°	30.78	30.90	31.01	31.13	31.24	31.35	31.47
1′	2	20°	32.14	32.25	32.36	32.47	32.58	32.69	32.80
2′	4	21°	33.46	33.56	33.67	33.78	33.89	33.99	34.10
3′	6	22°	34.73	34.84	34.94	35.05	35.15	35.25	35.36
4′	8	23°	35.97	36.07	36.17	36.27	36.37	36.47	36.57
		24°	37.16	37.25	37.35	37.45	37.54	37.64	37.74

值					水平距离			
35′	40′	45′	50′	55′	α	0′	20′	40′
1.02	1.16	1.31	1.45	1.60	0°	100.0	100.0	100.0
2.78	2.91	3.05	3.20	3.34	1°	100.0	99.9	99.9
4.50	4.65	4.79	4.94	5.08	2°	99.9	99.8	99.8
6.24	6.38	6.53	6.67	6.81	3°	99.7	99.7	99.6
7.97	8.11	8.52	8.40	8.54	4°	99.5	99.4	99.3
9.68	9.83	9.97	10.11	10.25	5°	99.2	99.1	99.0
11.39	11.53	11.67	11.81	11.95	6°	98.9	98.8	98.7
13.08	13.22	13.36	13.50	13.64	7°	98.5	98.4	98.2
14.76	14.00	15.04	15.17	15.31	8°	98.1	97.9	97.7
16.42	16.55	16.69	16.83	16.96	9°	97.6	97.4	97.2
18.06	18.19	18.33	18.46	18.60	10°	97.0	96.8	96.6
19.67	19.80	19.94	20.07	20.20	11°	96.4	96.1	95.9
21.26	21.39	21.53	21.66	21.79	12°	95.7	95.4	95.2
22.83	22.96	23.09	23.22	23.35	13°	94.9	94.7	94.4
24.37	24.49	24.62	24.75	24.87	14°	94.1	93.9	93.6
25.88	26.00	26.12	26.25	26.37	15°	93.3	93.0	92.7
27.35	27.48	27.60	27.72	27.84	16°	92.4	92.1	91.8
28.80	28.92	29.04	29.15	29.27	17°	91.5	91.1	90.8
30.21	30.32	30.44	30.55	30.67	18°	90.5	90.1	89.8
31.58	31.69	31.80	31.92	32.03	19°	89.4	89.0	88.7
32.91	33.02	33.13	33.24	33.35	20°	88.3	87.9	87.5
34.31	34.31	34.42	34.52	34.65	21°	87.2	86.8	86.4
35.46	35.56	35.66	35.76	35.87	22°	86.0	85.6	85.1
36.67	36.77	36.86	36.96	37.06	23°	84.7	84.3	83.9
37.83	37.93	38.02	38.11	38.21	24°	83.5	83.0	82.6

修正值		主高差							
		a	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′
1′	2	25°	38.30	38.40	38.49	38.58	38.67	38.77	38.86
2′	3	26°	39.40	39.49	39.58	39.67	39.76	39.84	39.93
3′	5	27°	40.45	40.54	40.62	40.71	40.79	40.87	40.96
4′	7	28°	41.45	41.53	41.61	41.68	41.77	41.85	41.93
		29°	42.40	42.48	42.56	42.63	42.71	42.78	42.86
1′	1	30°	43.30	43.37	43.45	43.52	43.59	43.68	43.79
2′	2	31°	44.15	44.22	44.28	44.35	44.42	44.48	44.55
3′	4	32°	44.94	45.00	45.07	45.13	45.19	45.25	45.32
4′	5	33°	45.68	45.74	45.79	45.85	45.91	45.97	46.03
		34°	46.36	46.41	46.47	46.52	46.57	46.63	46.68
1′	1	35°	46.98	47.03	47.08	47.13	47.18	47.23	47.28
2′	2	36°	47.55	47.60	47.64	47.69	47.73	47.77	47.82
3′	2	37°	48.06	48.10	48.14	48.18	48.22	48.26	48.30
4′	3	38°	48.51	48.55	48.58	48.62	48.65	48.69	48.72
		39°	48.91	48.94	48.97	49.00	49.02	49.05	49.08
1′	0	40°	49.24	49.27	49.29	49.31	49.34	49.36	49.38
2′	1	41°	46.51	49.53	49.55	49.57	49.59	49.61	49.63
3′	1	42°	49.73	49.74	49.76	49.77	49.78	49.80	49.81
4′	1	43°	49.88	49.89	49.90	49.91	49.92	49.92	49.93
		44°	49.97	49.97	49.98	49.98	49.99	49.99	49.99

续表

值					水平距离			
35′	40′	45′	50′	55′	α	0′	20′	40′
38.95	39.04	39.13	39.22	39.31	25°	82.1	81.7	81.2
40.02	40.11	40.19	40.28	40.37	26°	80.8	80.3	79.9
41.04	41.12	41.21	41.29	41.37	27°	78.4	78.9	78.4
42.01	42.09	42.17	42.25	42.33	28°	78.0	77.5	77.0
42.93	43.01	43.08	43.16	43.23	29°	76.5	76.0	75.0
43.80	43.87	43.94	44.01	44.08	30°	75.0	74.5	74.0
44.62	44.68	44.75	44.81	44.88	31°	73.5	73.0	72.4
45.38	45.44	45.50	45.56	45.62	32°	71.9	71.4	70.9
46.08	46.14	46.19	46.25	46.30	33°	70.3	69.8	69.3
46.73	46.78	46.83	46.88	46.93	34°	68.7	68.2	67.8
47.32	47.37	47.42	47.46	47.51	35°	67.1	66.6	66.0
47.86	47.90	47.94	47.98	48.02	36°	65.5	64.9	64.3
48.33	48.37	48.41	48.44	48.48	37°	63.8	63.2	62.7
48.75	48.78	48.81	48.85	48.88	38°	62.1	61.5	61.0
49.11	49.14	49.16	49.19	49.21	39°	60.4	59.8	59.3
49.41	49.43	49.45	49.47	49.49	40°	58.7	58.1	57.5
49.64	49.66	49.68	49.69	49.71	41°	57.0	56.4	55.8
49.82	49.83	49.85	49.86	49.87	42°	55.2	54.6	54.1
49.94	49.95	49.95	49.96	49.90	43°	53.5	52.9	52.3
49.99	50.00	50.00	50.00	50.00	44°	51.7	51.2	50.6

0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	视距小数(m)
高差修正值⊿h (cm)									倾角
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0°
0	0	1	1	1	1	1	1	2	1°
0	1	1	1	2	2	2	3	3	2°
1	1	2	2	3	3	4	4	5	3°
1	1	2	3	3	4	5	6	6	4°
1	2	3	3	4	5	6	7	8	5°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	6°
1	2	4	5	6	7	8	10	11	7°
1	3	4	6	7	8	10	11	12	8°
2	3	5	6	8	9	11	12	14	9°
2	3	5	7	9	10	12	14	15	10°
2	4	6	7	9	11	13	15	17	11°
2	4	6	8	10	12	14	16	18	12°
2	4	7	9	11	13	15	18	20	13°
2	5	7	9	12	14	16	19	21	14°
2	5	8	10	12	15	18	20	22	15°
3	5	8	11	13	16	19	21	24	16°
3	6	8	11	14	17	20	22	25	17°
3	6	9	12	15	18	21	24	26	18°
3	6	9	12	15	18	22	25	28	19°
3	6	10	13	16	19	22	26	29	20°
3	7	10	13	17	20	23	27	30	21°
3	7	10	14	17	21	24	28	31	22°
4	7	11	14	18	22	25	29	32	23°
4	7	11	15	19	22	26	30	33	24°

0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
水平距离修正值 ΔD（分米）								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	8
1	2	3	4	5	6	7	7	8
1	2	3	4	5	6	6	7	8
1	2	3	4	5	5	6	7	8
1	2	3	4	5	5	6	7	8
1	2	3	4	4	5	6	7	8
1	2	3	3	4	5	6	7	8
1	2	3	3	4	5	6	7	8
1	2	3	3	4	5	6	7	8
1	2	3	3	4	5	6	7	8

0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	视距小数(m)
高差修正值Δh (cm)									倾角
4	8	11	15	19	23	27	31	34	25°
4	8	12	16	20	24	28	32	35	26°
4	8	12	16	20	24	28	32	36	27°
4	8	12	17	21	25	29	33	37	28°
4	8	13	17	21	25	30	34	38	29°
4	9	13	17	22	26	30	35	39	30°
4	9	13	18	22	26	31	35	40	31°
4	9	13	18	22	27	31	36	40	32°
5	9	14	18	23	27	32	37	41	33°
5	9	14	19	23	28	32	37	42	34°
5	9	14	19	22	28	33	38	42	35°
5	10	14	19	24	29	33	38	43	36°
5	10	14	19	24	29	34	38	43	37°
5	10	15	19	24	29	34	39	44	38°
5	10	15	20	24	29	34	39	44	39°
5	10	15	20	25	30	34	39	44	40°
5	10	15	20	25	30	35	40	45	41°
5	10	15	20	25	30	35	40	45	42°
5	10	15	20	25	30	35	40	45	43°
5	10	15	20	25	30	35	40	45	44°

续表

0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
水平距离修正值 ΔD（分米）								
1	2	2	3	4	5	6	7	7
1	2	2	3	4	5	6	6	7
1	2	2	3	4	5	6	6	7
1	2	2	3	4	5	6	6	7
1	2	2	3	4	5	5	6	7
1	1	2	3	4	4	5	6	7
1	1	2	3	4	4	5	6	7
1	1	2	3	4	4	5	6	6
1	1	2	3	4	4	5	6	6
1	1	2	3	3	4	5	6	6
1	1	2	3	3	4	5	5	6
1	1	2	3	3	4	5	5	6
1	1	2	3	3	4	4	5	6
1	1	2	2	3	4	4	5	6
1	1	2	2	3	4	4	5	5
1	1	2	2	3	3	4	5	5
1	1	2	2	3	3	4	4	5
1	1	2	2	3	3	4	4	5
1	1	2	2	3	3	4	4	5

量取木桩顶到仪器中轴的高度即仪器高i。

2）使望远镜照准B点视距标尺，分别读取上、中、下三丝在标尺上截取的读数，中丝读数为s（一般照准使$s=i$），上丝读数为a，下丝读数为b。

3）使望远镜竖盘指标水准管气泡居中，读取竖盘读数，并计算竖直角α。

4）计算视距尺间距$l=b-a$，竖直角α、仪器高i及中丝读数s，计算水平距离和高差。

在实际照准读数中，常用中丝对准视距尺上拟读的读数s附近，使得下丝对准视距尺上的整分划，以便直接读取尺间隔l，然后将中丝再对准视距尺上拟读的读数s处，并使竖盘指标水准管气泡居中，读取竖盘读数。

（2）视距计算表的应用：见表7-1，视距计算表是把视距从10～300m，每隔1m制成一页；又按竖直角从0°～45°，每隔5′制成高差主值栏，并在表的左侧附有从1′～4′的高差主值的修正值；在表的右侧按竖直角从0°～45°，每隔20′制成水平距离栏。高差与水平距离均以m为单位，高差修正值以cm为单位。

视距非整米数时，如表7-2所示，相应高差和水平距离可由表查得。

【例1】 在某点测得视距标尺的尺间隔$l=1.00$m，竖直角$\alpha=7°40′$，仪器高$i=1.35$m，标尺中丝读数$s=1.35$m。已知$K=100$，求水平距离D及高度差h？

【解】 根据$Kl=100\times1.00\text{m}=100\text{m}$，查表7-1。在高差主值栏内，$\alpha=+7°40′$时，$h'=13.22$m

因为$i=1.35$m，$s=1.35$m，$i=s$，所以$h=h'=13.22$m。

在水平距离栏中查得：当$\alpha=+7°40′$时，$D=98.2$m。

【例2】 已知$Kl=100.6$m，$\alpha=11°34'$，$i=1.38$m，$s=2.00$m，求水平距离D与高差h？

【解】 查表7-1，在100m高差主值栏内，当$\alpha=-11°35'$，高差主值为-19.67m；在高差修正值栏内，相应的1′的高差修正值为$+0.03$m；查表7-2。视距小数0.6m和$\alpha=11°34'$的高差为-0.12m。

初算高差：$h'=-19.67\text{m}+0.03\text{m}-0.12\text{m}=-19.76\text{m}$。

所求高差：$h=-19.76\text{m}+1.38\text{m}-2.00\text{m}=-20.38\text{m}$。

查表7-1水平距离栏，当$\alpha=-11°34'$时，$D=95.96$m；

视距小数0.6m的距离改正数很小，计算平距时可直接加上0.6m，则

$$D=95.96\text{m}+0.6\text{m}=96.56\text{m}。$$

3.视距测量误差及注意事项

视距测量的精度较低，在较好的条件下，其精度约为$\frac{1}{200}\sim\frac{1}{300}$，当外界气候条件较差或视距标尺不直时，一般只有1/100，有时甚至更低。

（1）视距测量的误差

1）读数误差：望远镜视距丝在标尺上读数的误差，与尺子最小分划的宽度、视距的远近，望远镜的放大倍率等因素有关，因此读数误差的大小，视使用的仪器、作业条件而定。

2）垂直折光影响：视距读数中，光线是通过不同密度的空气层到达望远镜的，越接近地面的光线，受折光影响越显著。根据实验，观测视线通过在接近地面的视距标尺上读数时，100m距离的垂直折光差可达1.5m，并且这种折光差与距离的平方成比例地增加。

3）视距标尺倾斜所引起的误差：视距标尺倾斜误差的影

响与地面坡度有关，如表7-3所示。表内α为地面坡度倾斜角，δ为视距尺倾斜角，m'_D为视距尺倾斜时所引起的距离误差。

视距标尺倾斜误差与地面坡度关系　　表 7-3

m'_D/D \ δ / α	30′	1°	2°	3°
5°	1/1310	1/665	1/327	1/218
10°	1/650	1/325	1/162	1/108
20°	1/315	1/150	1/80	1/50
30°	1/200	1/100	1/50	1/30

标尺倾斜对视距精度影响很大，在起伏大的山区影响更为显著。根据实验证明，在平坦地区，立尺时用目测使尺身垂直，3m标尺倾斜2°不易发觉；在陡坡地段，倾斜3°不易发现。在地面倾斜角大于8°时，应在尺上附设水准器，才能使尺子倾斜角小于30′。

4）视距常数K的误差、视距尺分划的误差、竖直角观测的误差、自然条件变化引起的误差等。以上这些误差都会影响视距测量的精度。

（2）视距测量注意事项

1）控制观测视线离地面高1m以上，减少垂直折光影响。

2）视距标尺装置水准器，在立尺时，注意将视距尺竖直。

3）严格检定视距常数，K值应在100±0.10以内，否则应加以改正。

4）视距尺一般是厘米刻划的整体尺。如果使用折尺或塔尺，应检查接头是否准确。

5）应选择在成象稳定的时间进行观测。

（二）大平板仪和小平板仪的构造与使用

大平板仪测量亦称图解测量，是和视距测量一样用望远镜中视距丝，测定碎部点的平面位置和高程。其优点是角度的水平投影是用直接图解法描绘在图纸上，直线水平长度也可按测图比例尺用图解法求得。

1.平板仪测图原理

如图7-4所示。在地面上有A、B、C三个点，现在要求得到这三点在图上的位置。

在B点安置平板仪，调整使平板仪水平，平板上固定一张图纸，在适当位置画出B点在图上位置b点，使b点与实地B点木桩中心在同一铅垂线上（平板仪对中）。

用水平角观测原理，将实地BA、BC两方向作铅垂面，它们在图纸上的交线bm、bn就是BA、BC两个方向在图板上的水平投影。bm与bn的夹角即为$\angle ABC$的水平角。

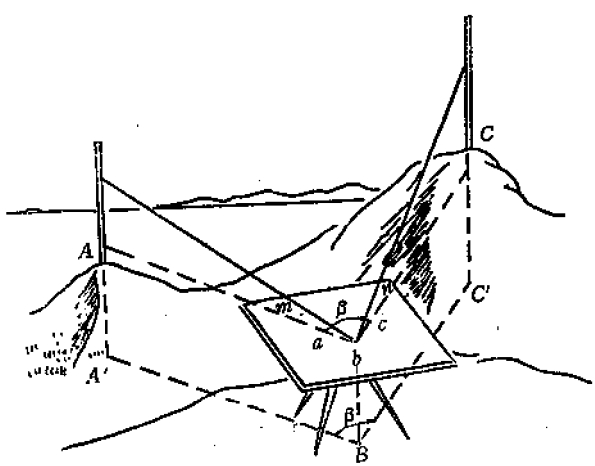


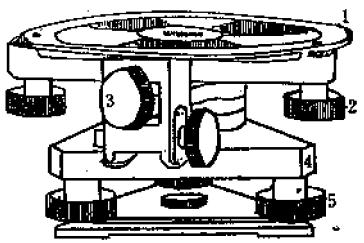
图 7-4　平板仪测图原理

如量得BA、BC的水平距离，并按测图比例尺从b点起量得bm线上水平距离ba、量得bn线上水平距离bc，即为A、B两点在图上的位置。图上abc三点组成的图形与实地ABC组成图形相似，这就是平板仪测图的原理。

在B点用三角高程测量方法，测出BA、BC方向上两点对B点的高差，用B点已知高程，计算得A、C点高程，注记到图纸上。用同样方法，测出测站点周围地物、地貌特征点平面位置和高程，用测出的点位和高程即可描绘成地形图。

2.平板仪的构造

由平板仪测图原理可知，用图解法测地形图必须附有一块能安置对中、调水平的图板；还要有能够瞄准目标画出方向线的照准仪以及对点用的对点器等。



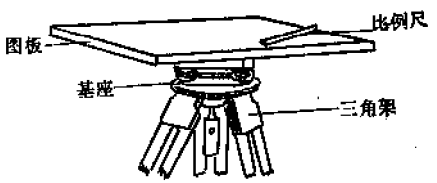


图 7-5 大平板仪基座

1—金属圆盘；2—图板固定螺旋；3—水平方向微动螺旋；4—水平方向制动螺旋；5—脚螺旋

(1) 大平板仪的构造：大平板仪由平板和照准仪组成。

1) 平板：平板由图板、基座及三脚架组成。图板是用风干的木料制成的方形板，长宽为40～70cm，板厚2～4cm。

基座有金属和木质的两种，如图7-5所示，各种螺旋均与经纬仪上相应的螺旋作用相同。

2) 照准仪：照准仪是用来瞄准目标、画方向线、测量距离和高差的，主要由望远镜、竖直度盘、支柱及直尺等部

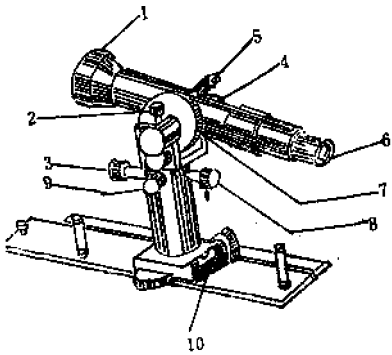


图 7-6 照准仪构造

1—物镜；2—望远镜制动螺旋；3—望远镜微动螺旋；4—竖盘指标水准管；5—读数显微镜；6—目镜；7—竖直度盘；8—竖盘指标水准管微动螺旋；9—横轴微倾螺旋；10—横轴水准管

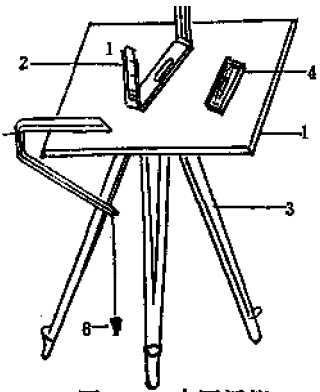


图 7-7 小平板仪

1—平板；2—照准仪；3—三脚架；4—罗针；5—对点器；6—锤球

分组成，如图7-6所示。

附件有水准器和长盒罗针等。

（2）小平板仪的构造：如图7-7所示。小平板仪的构造比较简单，主要部件有平板、照准仪、三脚架、对点器等。

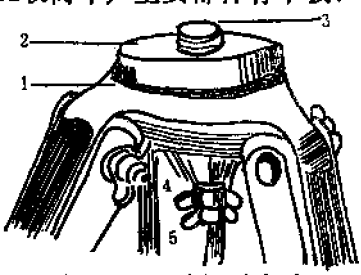


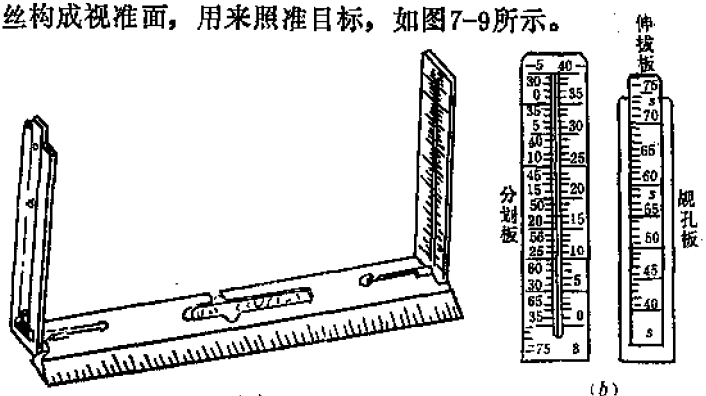
图 7-8 金属三脚架头

1—三脚架头；2—金属半球；3—连接螺旋；4—倾斜制动螺旋；5—水平制动螺旋

平板与三脚架通过基座连接，基座多为球窝接头，如图7-8所示，在金属三脚架头上有碗状球窝，球窝内嵌入一个具有同样半径的金属半球2，半球上部有连接螺旋3，可与平板相连接。穿过球窝中间圆孔的下部有倾斜制动螺旋4和水平制动螺旋5。松开螺旋4和5，可使平板倾斜和转动，安置图板水

平时固定螺旋4。当平板水平方向转动到一已知方向时，固定螺旋5，使平板固定不动。

照准仪由直尺、水准器、前后觇板组成。直尺长约20～30cm，尺的斜边刻有分划，一般最小刻划为mm。直尺一端装有一块含有上、中、下三个觇孔的后觇标，另一端装有照准丝和分划线的前觇板；照准丝可用黑色尼龙丝。由觇孔、照准丝构成视准面，用来照准目标，如图7-9所示。



(a)　(b)

图 7-9　照准仪

(a) 照准仪；(b) 分划板和觇孔板

罗针用来标定图板方向；对点器的作用和大平板的对点器相同，用来使图纸上一点与地面上点对中在同一铅垂线上

3.平板仪安置

平板仪安置包括对中、整平、定向三个步骤。

(1) 对中：如图7-10所示，在测站A点安置平板仪，即把测图板上展绘的已知控制点安置在地面相应控制点标志的铅垂线上。

首先作初步定向、整平，再移动三脚架，最后使整个仪器稳定、牢固。然后移动图板，目估对中定向，使图板大致安置在需要的位置上。由于安置中的几项工作互相影响，需

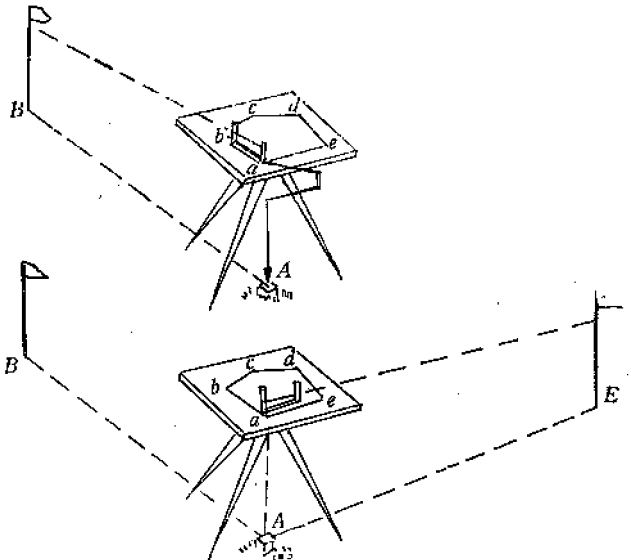


图 7-10　平板仪的安置

要反复进行，最后进行精确安置。对中是使对点器上臂尖点对准图纸上点，移动图板，对点器和图板同时移动，使图上点与地面相应点的标志在同一铅垂线上。对中允许误差为测量比例尺限差的一半。如测图允许图上限差0.1mm，则对中允许误差为$0.5\times0.1\times M$mm，M为比例尺分母，具体要求见表7-4所示。

(2) 整平：大平板仪用长盒水准器进行整平，小平板仪

对中允许误差　　表7-4

测图比例尺	对中允许误差（cm）	对点的方法
1:500	2.5	对点器对点
1:1000	5	对点器对点
1:2000	10	目估对点
1:5000	25	目估对点

用照准仪直尺放在图板中央进行整平。放松倾斜和水平固定螺旋，俯仰图板使长水准器气泡居中，再将长水准器气泡调90°放在图板上，使气泡居中，则测图板就安置平。

(3) 定向：定向就是使图板上的已知直线方向线ab与地面上相应的方向线位于同一铅垂面内，使方向一致。

图板上有已知直线ab方向线，紧贴照准仪直尺边，转动图板瞄准B'，如图7-11所示，并固定测图板。

当图上没有已知方向线时，用长盒罗针的长边紧贴图板纵向边线，转动图板，使罗针指向盒内的零分划时，再固定测图板。

定向精度对测图精度影响很大，要细心操作。当图上ab线很短时，可以先精确延长ab线，再将照准直尺贴紧ab方向线，这样定向精度要高一些。

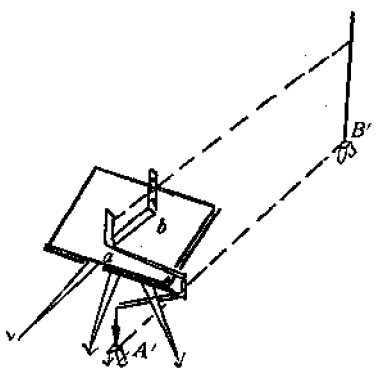


图 7-11 平板定向

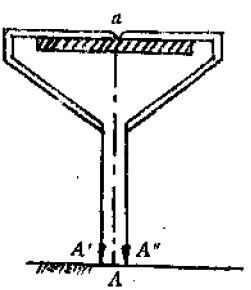


图 7-12 校正对点器

4.小平板仪的校正

(1) 对点器的校正：测定对点器是否正确，是在水平图板上，看平臂尖端与锤球尖端是否在同一垂线上。

检验方法：如图7-12所示，先在水平图板的左侧，用对

点器对准图板上点a，锤球对准地面上A'点；再将对点器放在水平图板右侧，仍对准图板上a点，这时锤球在地面上对准点A''。若A'与A''重合，则说明对点器符合质量要求。否则应改变悬臂位置，使锤球对准A'、A''连线的中点A。

(2) 检验照准仪的直尺边是否为一直线：在平整的图纸上，沿直尺边画一直线，然后将直尺调180°，再把直尺边靠紧直线画一直线，如果两线重合，则说明照准仪的直尺边为一直线，符合要求。否则应用细砂纸修磨直尺边。

(3) 检验照准仪直尺上管状水准器是否平行于直尺面：将照准仪放在水平图板上，使水准管内气泡居中，然后沿直尺画一条直线；再把照准仪调180°，使直尺边紧靠所画的直线，若水准管内气泡还居中，则说明两者满足平行条件。否则应调整水准器端校正螺旋，使气泡返回一半。如此反复校正几次，直至气泡偏离不超过半格为止。

(4) 检验三个觇孔与照准丝是否在同一竖直面上：距图板10m远挂一锤球，分别用觇板的上、中、下孔和照准丝瞄准，若照准丝与锤球线处处重合，则说明三个觇孔与照准丝在同一竖直面上。

5.大平板仪测图的优缺点

(1) 优点

1) 测得的距离、高程可直接展绘在图上，可以在现场校对，防止差错。

2) 距离与高差用视距测量测得，比较方便。

(2) 缺点

1) 仪器由三大部件组成，比较笨重。

2) 在现场展绘点、勾绘图，测量员思想过于紧张，工作太集中，易发生差错。补救的办法是增设碎部点测量记录，

作为内业校正。

6.大平板仪测图

大平板仪测图一般由四人组成一组。操作仪器、观测读数、绘图由1人承担，记录碎部点手簿、计算平距和高程也由人负责，立尺员2人。

（1）操作工艺顺序

1）在测站点安置平板仪，对中、整平，用照准仪瞄准已知点进行图板定向，量取仪器高i，使i=图板高+图板到照准仪横轴的高度。

2）立尺员确定跑尺线路，立尺于待测碎部点上。

3）操作仪器人员用照准仪照准标尺，且用尺边贴在图上的测站点，读取上、中、下丝读数，并调整竖盘水准气泡居中，读取竖直角。

4）记录员在手簿上记录，并计算待定点水平距离和高程。

5）操作员沿照准仪直尺边缘按比例尺截取应有的水平距离，得碎部点平面位置，在点右侧注上高程。

重复上述操作，测出测站周围各碎部点，绘成等高线，连接地物特征点。

每测20～30个碎部点，检查一次图板定向有无移动。

（2）选定测图跑点路线：立尺员在测图过程中要走很多路，为了提高测图质量和速度，需选择恰当的碎部点，及合理的跑尺路线。

一般立尺员选的路线是先近后远，再由远到近，最后立尺于测站附近点。按逆时针方向跑点，避免照准直仪尺边压盖在点位上，影响随测随连线。

地貌点按等高线、分水线方向立尺，不要上下跑，以减

少体力消耗。

平坦地形用双圈环形路线跑点，如图7-13所示。地形复杂地区，可用梅花式路线跑点，如图7-14所示。平坦地区如果障碍物少，也可用S形跑点法，如图7-15所示。

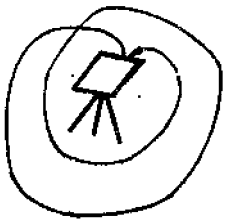


图 7-13　双圈环形路线



图 7-14　梅花式路线

(3) 测图注意事项

1) 精心对中。平板仪对点误差不得超过表7-4的规定。

2) 定向精度：长边定向，短边检查，其方向线的偏差不得超过图上0.3mm。



图 7-15　形跑点

3) 测图前，明确程序、范围、内容，统一手势、旗语。

4) 读视距的方法：直接读视距尺间隔时，尽量用上丝对准某整数，用下丝读取标尺读数，如不能直接读视距，可读取半视距间隔，这时$K=200$。

5) 为了减少读算工作，一般中丝照准仪器高i或照准仪视线高程的零数。

在视线遇到障碍物时，可将尺升高或降低一整米数读取尺上读数，并通知计算人员，在计算中加或减去此常数。

6) 竖直角读数之前，应使竖盘水准器气泡居中。注意竖直角的正或负。

7) 实地对照，随测、随绘、随连线。地物按符号注记，

地貌勾绘等高线，为了实地核对，最好先绘出首曲线。

8）平板定向，每测20～30个碎部点检查一次定向方向，结束时仍要检查一次。

9）下一站应检查前一站地物，重复立尺几点，图上偏差应小于限差规定。

10）立尺员在一测站结束前，应检查图上连线、注记有无错误。

11）注记地物名称、村庄名称、河流和山名。

（三）大比例尺地形图的测绘

1．测图前的准备工作

（1）准备资料：根据测图比例尺的要求，准备如下资料：

1）有关规范：测图规范、图式等。

2）已知数据成果表：汇编测区的各控制点坐标、边长、方位角和高程成果及测区图幅编号展开网图。

3）制定施测方案和技术要点。

（2）准备仪器工具：校正测图用的仪器，如经纬仪、水准仪、平板仪等，备齐其它必要的测量工具。

（3）准备测图纸：临时性用图，可将绘图纸直接固定在图板上进行测绘。长期保存的图，要用能防止图纸变形的聚脂薄膜代替图纸进行测

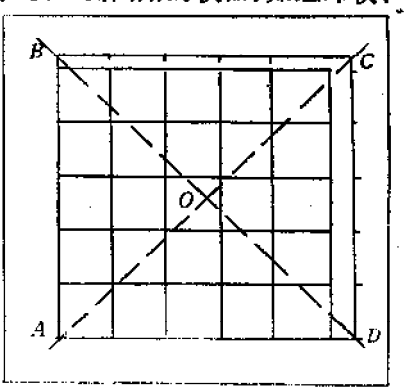


图 7-16　对角线法绘坐标方格网

图。但要防火防折。

(4) 绘制坐标方格网：为了准确地将控制点展绘在图纸上，须先在图纸上精确绘制坐标方格网，它是由若干边长为10cm的正方形组成。

绘制坐标方格网有两种方法：

1) 对角线法：如图7-16所示，先在图纸中央画二条对角线交于O点。以O点为圆心，以适当长度为半径，用杠规（或大圆规）在对角线上画弧，分别交于A、B、C、D，连接各点，得矩形$ABCD$。从A、B两点起，分别沿AD和BC向右每隔10cm截取一点；再从A、D两点起分别沿AB、DC向上每隔10cm截取一点，连接相应各点，即得图廓和坐标方格网。

绘图用5H绘图铅笔，线条粗细保持0.1mm。用检验过的直尺和三棱尺，保证其精度。

2) 坐标格网尺法：如图7-17所示，坐标格网尺是一支金属直尺，适用于绘制50cm×50cm的正方形图廓和坐标格网。尺上有六个方孔，每个方孔有一斜面。在左边起始孔的斜面上有一细指标线表示该尺长度的零点，其余孔面边缘是以零点为圆心，分别以10、20、……50cm为半径所作弧线。尺的最末端的斜面边缘，是以70.711cm为半径的弧线，它是50cm×50cm正方形的对角线长度。

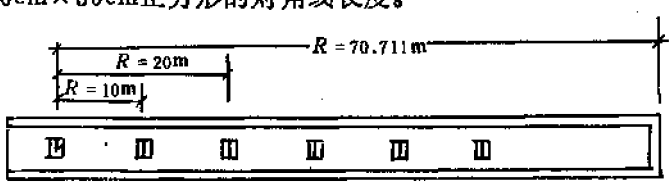


图 7-17 坐标格网尺

使用坐标格网尺绘制坐标格网的步骤如图7-18所示。

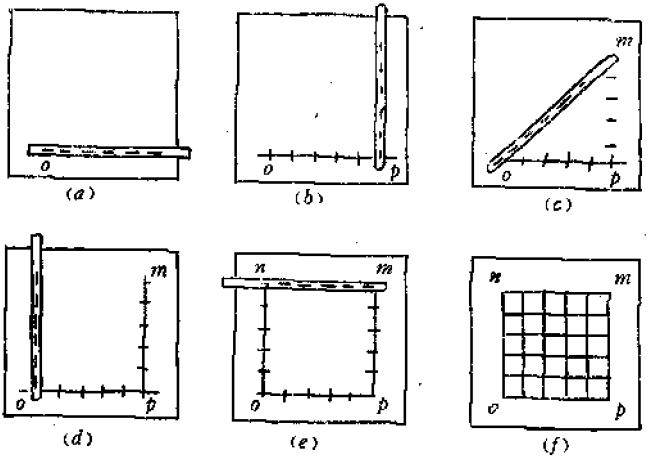


图 7-18　绘制坐标格网步骤示意图

(a) 尺零点对准点o；(b) 尺零点对准p点；(c) 尺零点再对准o点，末端弧线交m点；(d) 尺零点对准o点，尺置左侧；(e) 尺横置图纸上端mn；(f) 连接mn，则opmn为50cm正方形

坐标格网绘好后应进行检查，检查项目和精度要求是：方格网线粗不应超过0.1mm；方格网线段与理论长度之差不超过图上0.2mm；对角线上各点应在一条直线上，图廓边及其对角线长度与理论长度之差不超过图上0.3mm。检查合格后，图廓外注明格网纵横线x、y值，并在格网上边说明图幅号。

(5) 展绘控制点：根据已知数据成果表或控制网展绘图，找出该幅图的全部控制点，并展绘到图纸上。

如图7-19所示，首先确定控制点所在的方格。A点的坐标为$x_A=264.50$m、$y_A=566.45$m，可确定A点在$klmn$方格中。从k和n分别沿kl、nm线按规定的比例向上量取64.50m，

得a，b两点；再从k和l点分别沿kn和lm线向右量取66.45m得c、d两点。连接ab、cd，其交点即控制点A在图上的位置。同法展绘其余的控制点。

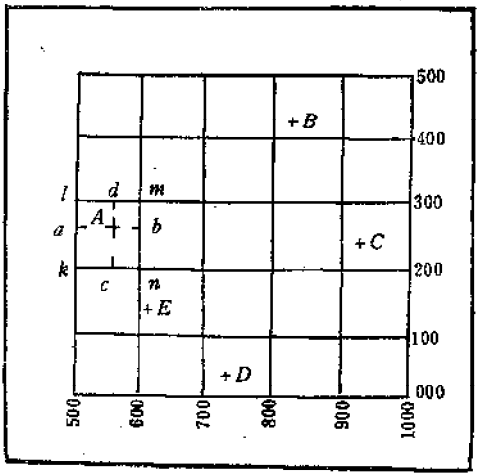


图 7-19 展绘控制点

在相邻图廓边的点，可作为本图幅的公用点，都应展绘在图廓外边，用来测绘相邻图幅的衔接部分，保证接边的精度。

检查展绘点的精度：控制点间图上长度与相应实地长度之差，不应超过图上0.3mm。合格后按图式绘制控制点符号，在右侧注点号和高程，如$\frac{A}{6.23}$表示A点高程6.23m。

2. 碎部点的选择

碎部点是构成地形图的重要因素，地形图的质量在很大程度上取决于跑尺员能否正确合理选择地形点。碎部点应选在地物、地貌的特征点上。地物特征点，就是地物轮廓线的方向变化处，转折、转角、交叉和弯曲等变化处的点及独立地物的中心点等；地貌的特征点，就是控制制地貌形态骨骼作

用的山脊线、山谷线和倾斜变换线等地性线上的最高和最低点以及坡度和方向的变化处、山头和鞍部等处的点。如图7-20所示。根据这些碎部点，勾绘等高线，就可把地貌图表示出来。应按表7-5的要求选择足够的碎部点。一般碎部点间距在图上最大距离为3cm。

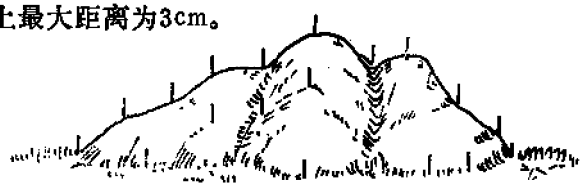


图 7-20　地貌点选择

碎部点的最大间距和最大视距　　表 7-5

比例尺	碎部点最大间距(m)	最大视距 (m)		备注
		主要地物点	次要地物及地貌点	
1:500	15	60(40)	100(70)	等高距为0.5m时高程可注至cm，大于0.5m，注至dm
1:1000	30	100(80)	150(120)	
1:2000	50	180(150)	250(200)	
1:5000	100	300	350	

注：1. 竖直角超过±10°时，视线长度适当缩短；平坦地区成像清晰时，视距长可放宽20%。

2. 在1:500比例尺测图时，在城市建筑区和平坦地区，地物点距离应实量，其最大长度为50m；

3. 用电磁波测距仪测距时，距离可适当放长。

选择地貌点注意事项：

地性线上的点是控制地貌和用等高线逼真地表示地貌的关键点。如果地貌点不在地性线上选择，仅按规范规定碎部点的最大间距分布设点，这时虽按立尺点的平距和高程勾绘出了等高线，但是此等高线严重失真，如图7-21等高线表示的地貌失真。按地性线立尺，控制了地貌，勾绘出的等高线



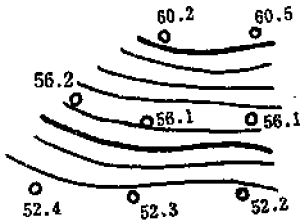


图 7-21 地貌失真等高线

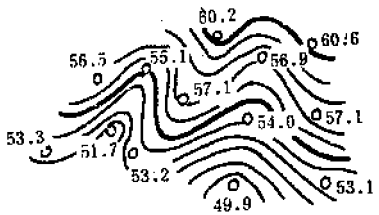


图 7-22 地貌等高线

逼真，如图7-22所示。

3．小平板仪与经纬仪测图

小平板仪与经纬仪联合测绘地形图，是用小平板仪现场瞄方向线，图解出角和直线，然后用经纬仪视距测量直线长度和高差，再按测图比例尺展绘出距离，求得碎部点在图上的位置。

用水准仪与小平板仪也可联合测图。这种方法适用于平坦地区或地势起伏不大而又开阔的丘陵地区。

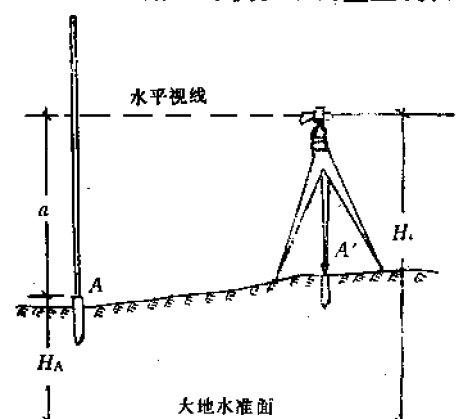


图 7-23 经纬仪水平视线高程

小平板仪与经纬仪测图其优点是速度快，质量高，在现在各种测图中较为广

泛应用。

（1）仪器的安置：在测站点A的周围约2m处A'点安置经纬仪，如图7-23所示。立尺于测站点A，将望远镜调整水平，读取尺上读数a（相当于仪器高i）。用A点高程H_A，可计算出经纬仪水平视线高程：$H_i = H_A + a$。

在测站A安置小平板仪，对中、整平、定向后，用照准仪直尺紧贴图上a点，并瞄准A'点，画出方向线。然后用皮尺量出AA'的水平距离，按测图比例尺，自a点沿方向线量出图上aa'距离，从而在图上定出经纬仪的位置a'点。

（2）测绘碎部点：如图7-24所示，要测房屋角m点的平面位置及高程。跑尺员在m点立尺，仪器操作人员用照准仪上直尺紧贴a点，瞄准m点尺子，在图上画出方向am。另一

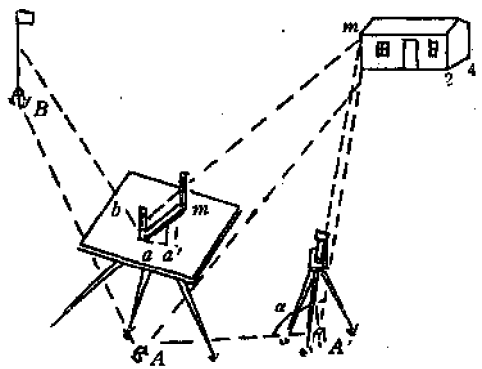


图 7-24　测绘碎部点

观测员用经纬仪瞄准m点上标尺，用视距测量的方法求得经纬仪到立尺m的水平距离和m点的高程，随即记录在手簿上，如表7-6所示。

绘图员从a'点按比例量取距离$a'm$，使它与过a点所画的方向线相交，即得地物点m在图上的位置，然后在m点右

视距测量记录手簿　　表 7-6

测站	点号	测站高程 (m)	仪器高 i (m)	仪器高程 $1+i$ (m)	视距间隔 n (m)	竖直角 α (°′)	水平距离 δ (m)	中丝读数 l (m)	高差 h (m)	地形点高程 (m)	备注
A	1	57.40	1.42	58.82	0.514	−1 45	51.4	1.42	−1.57	55.8	鞍部
	2				0.750	−3 00	74.8	2.42	−4.82	52.5	山谷
	3				0.760	−3 28	75.7	1.42	−4.59	52.8	山脚
	4				0.257	+2 38	25.6	1.42	+1.18	58.6	山脊

侧，字头朝北注记高程。同法测出其他碎部点。

随测随连线，检查仪器定向有无变动。

将测绘碎部点展绘在图上，勾绘等高线，如图7-25所示。

（3）绘制等高线：如图7-25所示，测出地貌点的高程和平面位置后，如何按等高线的要求勾绘出地貌图呢？由于等高线的高程是等高距的整米数或半米数，而这些测出的地形点的高程是随机的，因此必须在相邻两点之间，先用内插法求出基本等高线通过的点，然后参照实地地貌，用光滑曲

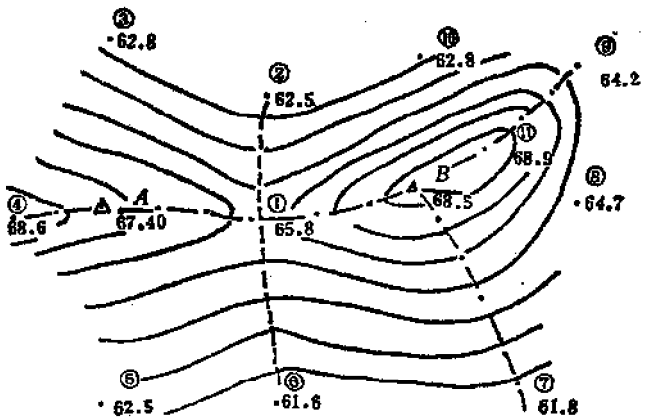


图 7-25　勾绘碎部点地形图

线将相邻各同名高程点进行连接，勾出等高线。

等高线的勾绘方法有解析法、图解法和目估法等。

1）解析法：根据在同一坡度上等高线的平距与高差成正比的特性，在相邻地貌特征点间求出各条等高线通过的位置。如图7-26所示，地面上相邻两地貌特征点A、B，两点间坡度相同，其高程分别为60.0m和64.9m。现按比例内插，求出ab连线上61、62、63、64m四条等高线通过的点位1′、2′、3′、4′。按相似三角形原理得：

$$A1' : Ab = 11' : Bb$$

式中，Ab为A、B两点在图上的距离，可量得为30mm；Bb为A、B两点的高差，即 64.9－60.0＝4.9m；$11'$为1点高程（61.0m）与A点高程（60.0m）之差，即61.0m－60.0m＝1.0m；

所以 $A1' = 30 \times 1.0 \div 4.9 = 6.1$m

在Ab线上自A向b量取6.1mm定得1′点，该点为61.0m等高线通过的位置。同理可求得64m等高线通过的点位。将61与64m两等高线三等分，即得62m、63m等高线通过的位置2′、3′点。

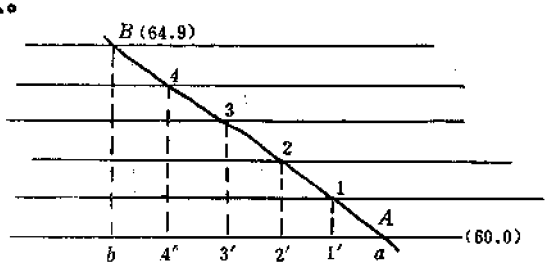


图 7-26 内插等高线

2）图解法：在透明纸上绘一组等间隔的平行线，如图7-27(a)，每条线上注以相应高程，然后把透明的平行线蒙

在a、b两点连线上，如图7-27(b)，并使a点位于6平行线(2.6)(62.6)处，使b位于6.21(66.2)处。这时各平行线与ab连线的交点$1'$、$2'$、$3'$、$4'$，即为61、62、63、64m各等高线通过的位置。

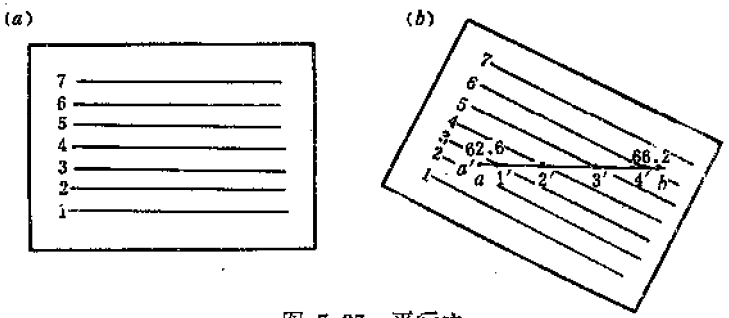


图 7-27　平行线

(a) 平行线　(b) 图解法求等高线通过的位置

3) 目估法：根据解析法的原理，用目估来确定图上两地形点间等高线通过的位置，其要领是“先取头定尾，后中间等分”。如图7-27(b)，可先按比例关系用目估确定ab线上首尾两条等高线63m、66m通过的位置a'、$4'$点，再等分中间。

4. 经纬仪与分度器联合测图

经纬仪安置在测站点，测得碎部点方向角α，读得视距，并求得水平距离，再根据测出的数据，当场用长臂分度器，按比例尺将各碎部点缩绘在图纸上。或记录后回到室内展绘碎部点。

具体操作工艺如下（如图7-28所示）：

(1) 安置仪器：在测站点A安置经纬仪，对中、整平后，量取仪器高i，记入手簿。

(2) 经纬仪定向：使水平度盘读数为0°00′00″，后视另一控制点B进行检查。

(3) 立尺：按跑尺的方法，选择碎部点做到均匀分布

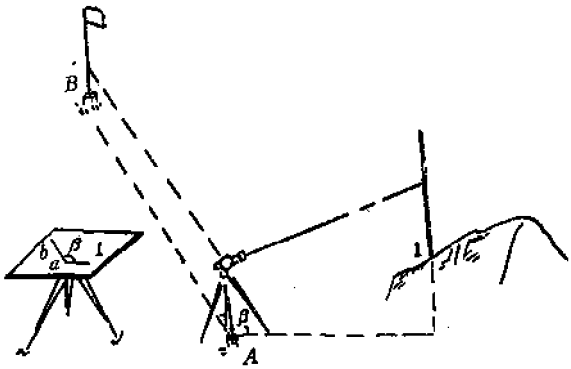


图 7-28　经纬仪与量角器配合测图

碎部点。

（4）观测：转动照准部，照准点1的标尺，读视距标尺间隔l，中丝读数v，竖盘读数L及水平角β。随读随记录在手簿。对有特殊作用的碎部点，如房屋角、山顶、鞍部等，还要加以注明。

（5）计算：按读取视距和竖直角，计算水平距离和高差。

（6）展点：用小针将分度器的圆心插在图上测站点a处，转动量角器，使量角器上分划等于β角的刻划线对准起始方向线ab，这时量角器零方向线便是碎部点1的方向，按测图比例尺，在该方向量取水平距离，定出点1的位置，并在点的右侧注明其高程。

同法测出其余各碎部点平面位置和高程，绘于图上，勾绘等高线，拼接图纸等。

复习思考题

1．视距测量有哪些优缺点？

2.视距测量如何读取标尺读数？如何计算距离？

3．如何使用视距计算用表？

4．视距测量误差及注意事项有哪些？

5．怎样进行平板仪测图？

6．平板仪安置有哪几个步骤？

7．大比例尺地形测图如何选择碎部点？

8．选择地貌点应注意哪些事项？

9．如何进行小平板与经纬仪测图？

10．怎样在图上内插等高线？

11．经纬仪与分度器联合测图有哪些步骤？

八、工程定位放线

工程定位的目的与工程地形测图工作相反，它是按照设计和施工的要求，将设计的建筑物位置、形状、大小及高程在地面上标定出来，以便于进行施工。

工程定位放线的原则是由总体到局部，即先定出建筑物的主轴线，然后再定出建筑物的各个部分。

对于建筑物平面位置的定位，常用直角坐标法、极坐标法、角度交会法、前方交会法等，这些方法的施测都是长度、角度的放样。

对于建筑物的高程，通常用水准仪测量方法，将已知建筑物高程测设到实地。

（一）工程定位前的准备工作

1．图纸资料准备

（1）熟悉图纸、资料：定位放线人员首先要学习所要施工放线建筑物的所有图纸。包括建筑施工图、结构施工图、设备施工图、管道施工图，以及这些图纸需套用的标准图等。另外，还应掌握了解施工现场控制点坐标、高程、红线桩的数据等。

1）弄清关系：建筑、结构、设备安装等图纸在相互关系上互不矛盾、互不干扰，才能使施工顺利进行。整套施工图从开工到竣工，始终是定位放线的依据。

2）算准尺寸：检查分尺寸和总尺寸是否一致；建筑图和结构图以及设备图相应尺寸是否一致；分层高程与总高是否一致。

3）校对资料。抄录的放线已知数据要反复核对，防止差错。

2．现场准备工作

（1）找控制点。如作为放线依据的红线桩的位置、附近控制点的位置、水准点的位置等。为了便于工作，在这些点上可设立标志（如竖花杆）等。

（2）其他准备：如校正仪器、工具，准备作定位点的标志木桩，绘制皮数杆，准备龙门板等。

施工放线应严格按施工图进行，发现差错处应及时通知设计部门，并按设计变更通知书的要求放线，决不能马虎从事，以免造成工程质量事故。

3．拟定定位放线计划

定位放线工作一般需2～3人，多至4～5人，放线工作之前，应把定位工程向大家交底，做到从心中有数，从而分头做准备。拟订定位计划，如从哪里开始到何处结束等，避免盲目行动。

（二）直角坐标法定位

直角坐标法定位是根据一条与坐标轴平行的控制线进行的。这时，先沿着控制线量出定位点的横坐标，然后在该点位置垂直于控制线的方向，定位出该点的纵坐标。这种方法只需要量距和测设直角，操作比较简单。

直角坐标法最适用于定位靠近矩形控制网便于量距的建筑物。如图8-1所示，ox、oy为施工方格网，建筑物的两个方向分别与ox、oy平行。设计总平面图中已给定某车间的四角点1、2、3、4的坐标，如表8-1。必须指出的是，建筑物在总平面图上至少要给出二个角点坐标，才能定出实地的平

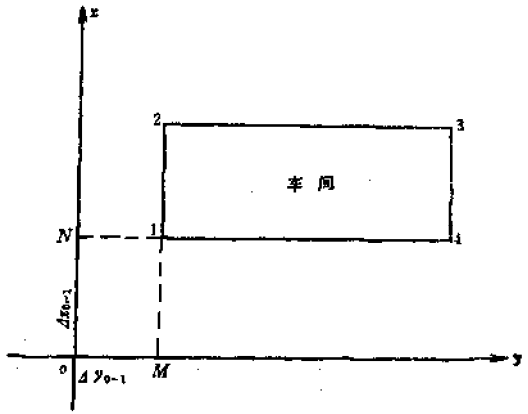


图 8-1 直角坐标法定位

直角坐标法定位数据 表 8-1

点位	已知数据		点位关系	定位数据	
	x	y		Δx	Δy
0	500.000	400.000			
			0～1	30.540	45.620
1	530.540	445.620			
			1～2	12.000	0
2	542.540	445.620			
			2～3	0	72.000
3	542.540	517.620			
			3～4	12.000	0
4	530.540	517.620			

面位置。

1. 直角坐标法定位工艺顺序

(1) 计算定位放线所需的各种数据，见表8-1。Δx、Δy是建筑物的边长。

(2) 在o点安置经纬仪，照准y点，沿oy方向丈量水平距离$\Delta y_{0\sim1}$得M点。再用经纬仪照准x点，沿ox方向丈量水平距离$\Delta x_{0\sim1}$得N点。

(3) 将经纬仪安置于M点，照准y点，逆时针测设90°

角，沿此方向从M点起丈量水平距离$\Delta x_{0\sim1}$得1点，在此方向从1点丈量水平距离$\Delta x_{1\sim2}$得2点。3、4点按此工艺顺序测设。

2．检核

从N点量到1点，其水平距离应等于$\Delta y_{0\sim1}$，其相对误差不应大于1/3000。

检核在1、2、3、4点测得的内角是否为90°，并丈量各边是否等于设计边长。

注意建筑物所在的象限，防止方向定反。

若事先在施工场地测设一条定位基线，拟建建筑物可依据基线定位，定位方法大致与前述相同，即直角坐标法定位。因此直角坐标法定位应用最为广泛。

（三）极坐标法定位

在建筑物附近有两个以上的控制点，而且控制点到建筑物主轴线点之间量距方便，并可一尺段量到测设点，这时可用极坐标法定位。

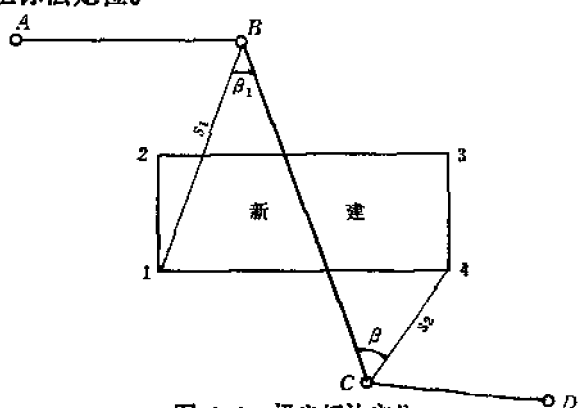


图 8-2 极坐标法定位

如图8-2所示，已知导线点A、B、C、D和新建房屋角1、2、3、4点坐标，见表8-2。

极坐标法定位数据　　表8-2

点位	已知数据		点位关系	定位数据	
	x	y		Δx	Δy
A	540.280	454.300			
B	545.380	475.300	$B\sim1$	−25.080	−15.050
C	514.380	486.360	$C\sim4$	+5.920	+45.890
D	500.280	500.360	$B\sim C$	−31.000	+11.000
1	520.300	460.250			
2	532.300	460.250			
3	632.300	532.250			
4	520.300	532.250			

用极坐标法进行定位，其工艺顺序如下：

（1）确定测站点：确定B、C点为测站点（其他点也可）。

（2）内业计算

1）计算坐标增量：

$$\Delta x_{B\sim1}=545.380-520.300=-25.080$$

$$\Delta y_{B\sim1}=475.300-460.250=15.050$$

$$\Delta x_{C\sim4}=520.300-514.380=5.920$$

$$\Delta y_{C\sim4}=532.250-486.360=45.890$$

2）坐标反算：

$$s_1=\left(\Delta x_{B\sim1}^2+\Delta y_{B\sim1}^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$=\left[(-25.080)^2+15.050^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=29.249\text{m}$$

$$s_2=\left(\Delta x_{C\sim4}^2+\Delta y_{C\sim4}^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$=(5.920^2+45.890^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 46.270\text{m}$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{C\sim4} = \frac{\Delta y_{C\sim4}}{\Delta x_{C\sim4}}$$

$$= \frac{y_4 - y_C}{x_4 - x_C}$$

$$\alpha_{C\sim4} = \operatorname{arctg}\frac{\Delta y_{C\sim4}}{\Delta x_{C\sim4}}$$

$$= \operatorname{arctg}\frac{45.890}{5.920}$$

$$= 82°38'57''$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{B\cdot C} = \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}$$

$$\alpha_{B\cdot C} = \operatorname{arctg}\frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}$$

$$= \operatorname{arctg}\frac{11.060}{-31.000}$$

$$= -19°38'06'' + 180°$$

$$= 160°21'54''$$

(3) 计算极角$\angle\beta_1$、$\angle\beta_2$：

$$\angle\beta_1 = \alpha_{B\sim1} - \alpha_{B\sim C}$$

$$= 210°58'02'' - 160°21'54''$$

$$= 50°36'08''$$

$$\angle\beta_2 = \alpha_{C\sim4} - \alpha_{C\sim B}$$

$$= 82°38'57'' - 340°21'54''$$

$$= 102°17'03''$$

(3) 定位步骤

1) 在B点安置经纬仪，照准C点，盘左盘右顺时针转

$\angle\beta_1 = 50°36'08''$，水平角取中点，在前视方向线上自$B$点起量取$s_1 = 29.249$m水平距离，即可定得点1。

2）在C点安置经纬仪，照准B点，盘左盘右顺时针转$\angle\beta_2 = 102°17'03''$，水平角取中点，在前视方向线上自$C$点量取$s_2 = 46.270$m水平距离，即可定得点4。

3）连接1～4，为新建筑物主轴线，以此轴线和设计给定数测设2、3点。

（4）检核：丈量建筑物四条边并与设计边长相比较，看其是否满足设计限差的要求。也可以计算B～4边长度并与实地丈量长度比较，防止差错。

（四）角度交会法定位

施工现场建筑物与控制点距离较远，不便量距时，采用角度交会法定位较好。

如图8-3所示，已知A、B两点及待测设点P的坐标，见表8-3。定位工艺顺序如下：

（1）计算α_P角：根据表8-3中的已知数据计算放线所需

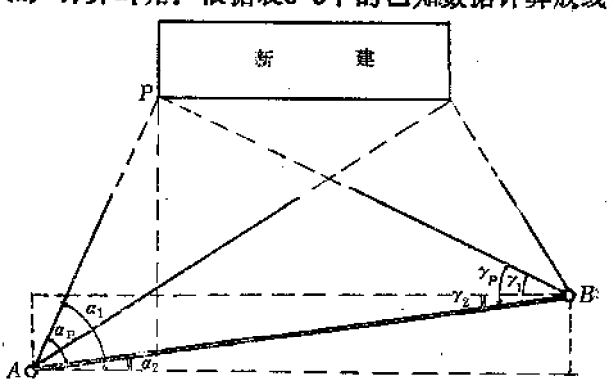


图 8-3　交会法定位

角度交会法定位数据　　表 8-3

点位	已知数据		点位关系	放线定位数据	
	x	y		Δx	Δy
A	500.000	400.000	$A\sim P$	71.150	30.950
B	521.060	501.340	$A\sim Q$	71.150	90.950
P	571.150	430.950	$B\sim P$	50.090	−70.390
Q	571.150	490.950	$B\sim Q$	50.090	−10.610
			$A\sim B$	21.060	101.340

的数据，填入表8-3。

因为　$\alpha_1 = \text{arctg}\dfrac{\Delta x_{PA}}{\Delta y_{PA}}$

$$= \text{arctg}\frac{571.150-500.000}{430.950-400.000}$$

$$= \text{arctg}\frac{71.150}{30.950}$$

$$= 66°29'28''$$

$$\alpha_2 = \text{arctg}\frac{\Delta x_{BA}}{\Delta y_{BA}}$$

$$= \text{arctg}\frac{21.060}{101.340}$$

$$= 11°44'23''$$

所以　$\alpha_P = \alpha_1 - \alpha_2$

$$= 66°29'28'' - 11°44'23''$$

$$= 54°45'05''$$

（2）计算γ_P角：

因为　$\gamma_1 = \text{arctg}\dfrac{\Delta x_{PB}}{\Delta y_{PB}}$

$$= \text{arctg}\frac{50.090}{-70.390}$$

$$= 35°26'09''$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 = 11°44'23''$$

所以 $\gamma_P = \gamma_1 + \gamma_2$

$$= 35°26'09'' + 11°44'23''$$

$$= 47°10'32''$$

（3）在A点安置经纬仪，盘左后视B点，逆时针转$\alpha_1 = 54°45'05''$水平角；在B点安置经纬仪，盘左后视A点，顺时针转$\gamma_P = 47°10'32''$水平角。一人持花杆立在P点处听候指挥，当两个前视方向都精确瞄准花杆时，两条前视方向线交于一点，即为定出的P_1点。

（4）盘右重复（3）的操作，则可定出P_2点。

（5）若P_1、P_2的距离在允许值内(一般应小于20mm)，则P_1、P_2的中点即为要测设的主轴线点。

（6）用同样方面可定出Q点。

（7）检核：丈量PQ长度并与设计长度相比较，其相对误差应小于1/3000。

如果条件允许可用另一点与A或B重新进行一次定位，校核P、Q点的位置。

（五）根据道路中心线定位

临街的新建房屋，如果距人行道边线一定的距离，而且与道路中心线（或人行道边线）保持平行关系，那么这类临街房屋可以道路中心线为依据进行定位。

如图8-4所示，新建工程与道路中心线平行，且纵横距离均已知。其定位操作工艺顺序如下：

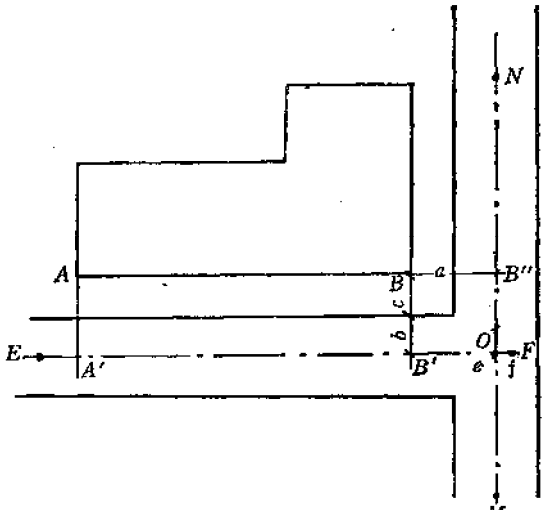


图 8-4 根据道路中心线定位

(1) 定道路中心点。量取道路中心点E、F，将经纬仪安置在E点，照准F点，在前视方向线道路交叉口定得e、f两点。

量取另一道路中心，定出M、N两点。为精确测取道路中心，MN的距离要适当加长。将仪器置于M点，前视N点，瞄准ef线段，标出两线交点O。

(2) 在O点安置经纬仪，照准E点，读取水平度盘读数，顺时针转动照准N点，测水平角应为90°，其差在允许范围内，再进行下一步测设点位工作。

当望远镜照准E后，在视线方向从O点起量取a，得点B'，从B'点起量取$B'A'$得A'点。在ON方向量取$b+c$得B''点。

(3) 在A'点安置经纬仪，照准后视点(距离远的一点F)，逆时针转90°，在前视方向线上，从A'起量取$b+c$，得点A点。

(4) 在B'点安置经纬仪，按上述操作定得B点。

(5) 边长检核：丈量AB距离，并与设计长度比较，其相对误差应小于1/3000。

复习思考题

1. 工程定位前的准备工作有哪些？
2. 如何利用直角坐标法进行定位放线？
3. 如何利用极坐标法进行定位放线？
4. 如何利用角度交会法进行定位放线？
5. 如何根据道路中心线进行定位放线？

九、复杂、大型或特殊工程的测量放线

随着近年来旅游建筑、公共建筑的发展，有许多建筑物的平面外廓线设计成各种几何形状。如大半径圆弧曲线、椭圆形平面曲线、双曲线平面图形等。有许多大型建筑，如超高层建筑，地面以上30多层，最大高度100m以上，建筑面积几万平方米。这些复杂、大型工程的测量放线方案编制要求和组织现场定位的工艺有所不同，下面介绍几种几何图形的定位方案的编制和实测程序。

（一）矩形控制网定位

1．确定矩形控制网的方案

建筑物各轴线桩钉在轴线交点上，开挖基槽时就被挖掉，因此将轴线桩引测到基槽外边线以外1～1.5m的地方，称

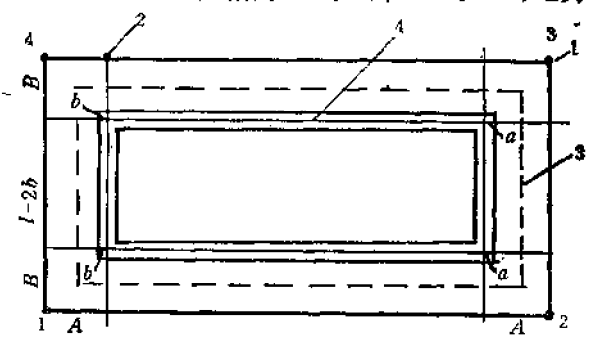


图 9-1 矩形控制网形状

L—建筑物长度；*l*—建筑物宽度；*a*、*b*—外边线至主轴线距离；*A*、*B*—控制桩至外墙轴线距离

1—矩形网控制桩；2—轴线控制桩；3—基槽边线；4—外墙轴线

这个引桩为轴线控制桩，也叫做轴线保险桩。把基槽外的控制桩连接起来，称之为矩形控制网，如图9-1。控制网的形式根据建筑物的规模而定，可采用“矩形”、“田字形”。

2。控制桩坐标计算

如图9-2(*a*)所示，新建工程和原有建筑在一条直线上，相距D。新建工程布设矩形控制网后与原有建筑的距离关系，如图9-2(*b*)，A为控制线到山墙轴线距离；新建工程和原有建筑的距离为$D-A+a$，主轴线$MN=L$，新建工程1—2为$L-2a+2A$。

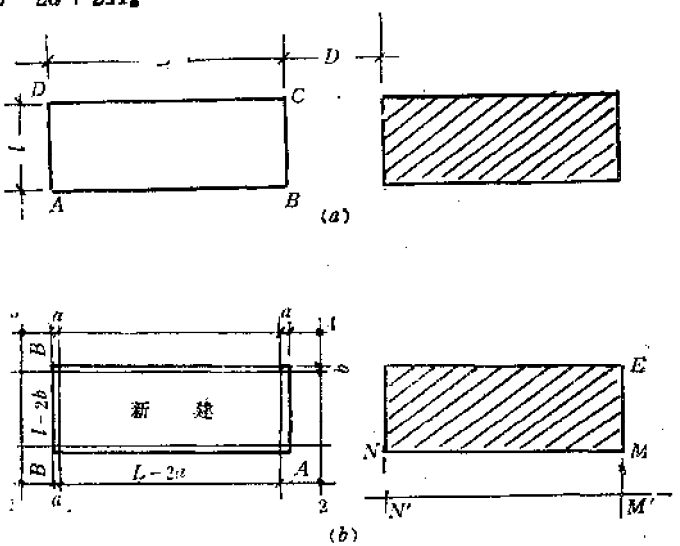


图 9-2 布设矩形网前后相对关系

(*a*) 新建房屋与原有房屋在一条直线上；(*b*) 新建工程布矩形控制网后与原有建筑的距离关系

已知建筑物四角坐标，设矩形控制桩距轴线交点4m，轴线外墙厚370mm，各桩坐标值计算如表9-1。

3。精度要求

矩形网坐标计算　　表 9-1

柱号 \ 坐标	x	y
A	130.000	250.000
B	130.000	340.740
C	140.740	340.740
D	140.740	250.000
1	130.000＋0.370－4.000＝126.370	250.000＋0.370－4.000＝246.370
2	130.000＋0.370－4.000＝126.370	340.740－0.370＋4.000＝344.370
3	140.740－0.370＋4.000＝146.370	340.740－0.370＋4.000＝344.370
4	140.740－0.370＋4.000＝146.370	250.000＋0.370－4.000＝246.370

矩形控制网技术要求　　表 9-2

矩形网类别	厂房类别	主轴线、矩形边长精度	主轴线交角允许误差	矩形角允许误差
单一矩形网	中小型厂房或系统工程	1:10000～1:25000		±10″
田字形网	大型厂房或系统工程	1:50000	±3″～±5″	±6″

对不同矩形网的精度要求见表9-2。

建立了建筑物矩形控制网后，细部放线均以控制网为依据，不得用场区控制点。

（二）工业厂房柱列轴线测设

1．柱列轴线定位

矩形控制网测设后，经过检核符合精度要求，就可进行柱列轴线测设。

根据设计柱间距离数据，用钢尺沿矩形控制网各边量出柱列中心线的端点位置，如图9-1中轴线控制桩2。埋设固定标志。

根据柱列轴线端点，安置经纬仪，按角度交会法测定基础定位桩。如图9-1中柱基定位桩4。在每一柱基的纵、横线上离基础开挖基槽线0.5～1.0m处打四个木桩，钉上小钉表示柱列轴线方向开挖基坑和安装的依据。

2．柱列基础的定位

测设柱基任务是：根据基础平面图和基础大样图的有关尺寸，把基坑开挖的边线用白灰撒线以便挖坑。

在柱基相应两轴线控制桩安置两架经纬仪，用角度线交会出各柱基的位置（即为定位轴线的交点）。

3．基坑高程测设

当基坑挖到一定深度时，应在坑壁四周离坑底设计标高0.3～0.5m处，设置几个小平桩，作为基坑修坡和清底的标高依据。

4．基础模板的测设

垫层施工结束后，在柱基坑四周木桩用拉线法并在拉线交叉点吊锤球，把柱基定位线投影到垫层上，用墨斗弹出墨线，用红漆画出标记，作为柱基立模和布置钢筋的依据。

（三）圆弧形平面曲线建筑物定位

1．圆弧形平面曲线计算

根据圆的定义，确定圆弧形曲线的圆心坐标x_0、y_0，半径R。如图9-3所示。在直角三角形OAB中，$OB=y-y_0$，$AB=x-x_0$，$OA=R$，O为圆心。

则 $$R=OA=\sqrt{OB^2+AB^2}$$
$$=\sqrt{(y-y_0)^2+(x-x_0)^2}$$

当O与O'重合时，则：

$$R^2=x^2+y^2$$

2．圆弧平面曲线建筑物定位

圆弧曲线定位有拉线法、坐标法、偏角法、矢高法等。

（1）直接拉线画弧法：根据建筑红线确定了圆心O后，先在实地用测设一点的方法，定得O点的位置，用半径R在实地直接拉线法画弧。

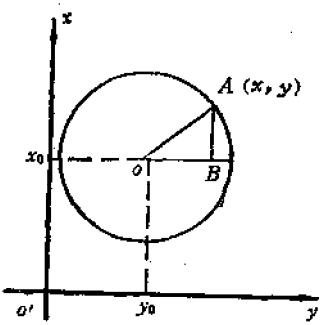


图 9-3 圆曲线的数学表达式

如图9-4所示为圆弧曲线建筑物平面图，O为圆心，已

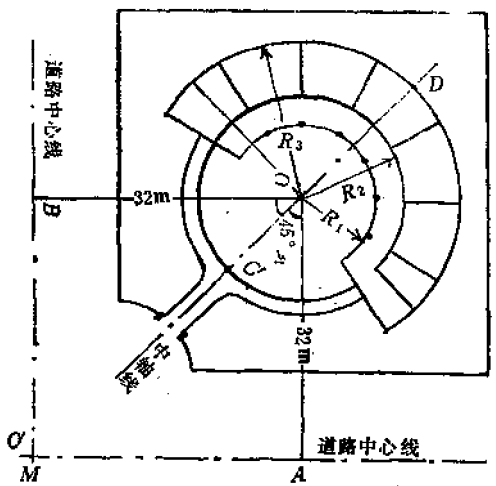


图 9-4 圆曲线平面建筑定位

知前沿墙的半径$R_1=8.400$m，柱廊半径$R_2=11.400$m，后沿墙的半径$R_3=18.000$m，半圆中柱廊六等分。

其定位操作工艺如下：

1）找出两道路中心线交点M，从M点沿道路中心线分

别量取水平距离32m，得A、B点。

2）在A、B点安置经纬仪，测设O点。

3）在O点安置经纬仪，后视A点（或B点），顺时针转45°，确定建筑物中轴线CD上的M点。则

$$M>0=\sqrt{32^2+32^2}=45.25\text{m}。$$

4）从O点量取R_1、R_2、R_3，用直接画线法定出建筑柱廊、前沿墙和后沿墙的轴线尺寸。

5）将钢尺零点套在O点中心桩上，分别用R_1、R_2、R_3画圆，所画三道圆弧即为柱廊、前沿墙和后沿墙的轴线位置。

6）在中心轴线的内外设置龙门板，再根据中心轴线弹线，细部定位。

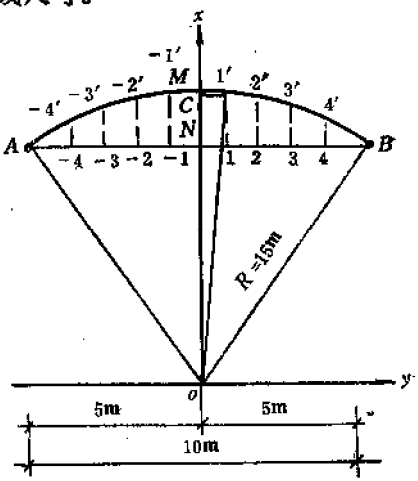


图 9-5 圆弧曲线坐标法定位

（2）圆弧曲线坐标法定位：如图9-5所示，已知弧半径为15m，弦长AB为10m，求出弦上各点矢高值，然后将各点连线进行画弧。

其定位工艺如下：

1）首先确定A、B两点。将AB弦平分成10等分，其平分点分别为1、2、3、4、B和－1、－2、－3、－4、A。

2）从各平分点作弦AB的垂线。

3）计算弦上各点矢高值。

在直角三角形ONA中，得

$NO=\sqrt{(OA)^2-(NA)^2}=\sqrt{15^2-5^2}=14.14\text{m}$

$MN=MO-NO=15.00-14.14=0.86\text{m}$

在$\triangle OC1'$中，根据直角三角形

$OC=\sqrt{(O1')^2-(C1')^2}=\sqrt{15^2-1^2}=14.97\text{m}$

因为 $11'=NC=OC-ON$

$=14.97-14.14=0.83\text{m}$

同样方法求得：

$22'=0.73\text{m}$

$33'=0.56\text{m}$

$44'=0.32\text{m}$

又因为MN为中心，两边对称，左边各点矢高对应于右边各点矢高，见表9-3。

坐标法定位数据　　表 9-3

等分点	A	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	B
矢高(m)	0	0.32	0.56	0.73	0.83	0.86	0.83	0.73	0.56	0.32	0

4）在各等分点截取矢高，分别得$1'$、$2'$、$3'$、$4'$、M、$-1'$、$-2'$、$-3'$、$-4'$。将各点连成圆滑曲线，即为所要定位弧形线。

（3）圆曲线矢高法定位：如图9-6所示，根据已知半径R及AB弦长，取弦中点矢高OC，定得C点，再将弦AC、

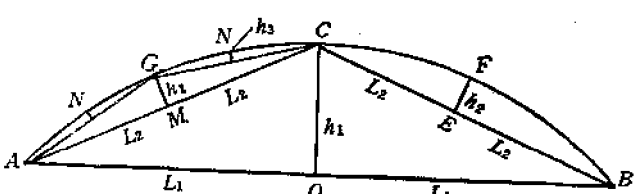


图 9-6　矢高法定位

BC，取弦中点矢高，得G、F点，逐渐加密弧上各点，然后画成弧线。其定位工艺如下：

1）计算矢高：已知半径为R、弦长为$2L_1$，则

$$\text{矢高}\quad h_1=R-\sqrt{R^2-L_1^2}$$

$$\text{弦长}\quad l_2=\frac{1}{2}\sqrt{L_1^2+h_1^2}$$

$$\text{矢高}\quad h_2=R-\sqrt{R^2-L_2^2}$$

2）在实地定得弦的两端点A、B，量取中点。作弦的垂线，截取矢高h_1定得C点。

3）连接AC、BC，取其中点M、E，作AC、BC垂线，截取矢高h_2得G、F点。

4）再作AG、GC、CF、FB的连线，分别过中点作垂线截取矢高h_3，定得N等各点。

5）重复作弦中点垂线，截取矢高，在弧线上得二分之一点，四分之一点、……三十二分之一点……，直到满足画弧形的要求为止。

（4）圆弧曲线偏角法定位：过圆曲线上某点作一弦，该弦与该点的切线所夹之角称为偏角，根据几何定理可知，偏角等于该弦所对圆心角的一半，用偏角法定位圆曲线以此原理为基础。如图9-7中，k为弧长，R为半径，则圆心角φ及偏角δ可由以下公式求得：

$$\varphi=\frac{k}{R}\,\frac{180^\circ}{\pi},\qquad \delta=\frac{1}{2}\varphi=\frac{k}{R}\,\frac{180^\circ}{\pi}$$

圆曲线偏角法定位工艺程序如下：

1）在A点安置经纬仪，使度盘读数对$0°00'00''$，照准T点。

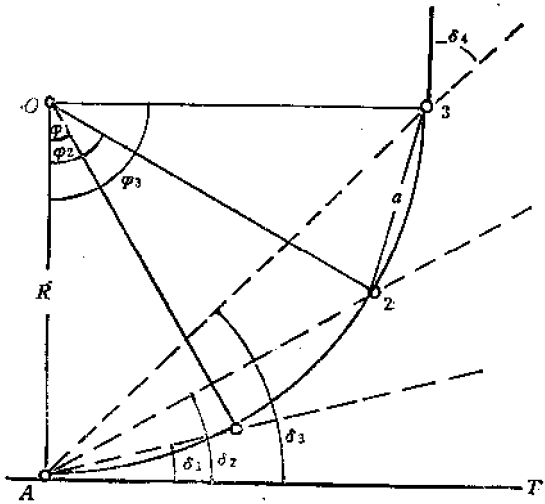


图 9-7 偏角法定位圆曲线

2）转动照准部使视线与切线成δ_1角，在视线方向上量出弦长a，此处弦长a可以认为等于弧长k，即得出第一点1。

3）再转动照准部使视线与切线成δ_2角，由点1量出a，并使其终点落在视线A_2的方向线上，即得出第二点2。

4）用同样方法定出其他各点，量此点至最后点长度作校核。

5）由曲线的两端向中央定位，当曲线中点不闭合时，曲线上各点按离曲线起点（或终点）长度之比例进行改正。

【例】 某建筑物平面形状呈S形圆弧曲线，各项尺寸数据如图9-8所示。圆心O_2处民房没有拆除，圆心O_1处有障碍物。O_1、O_2均在挖土区。试进行现场施工放线。

【解】

(1) 分析

1）本工程有地下室，为满足各阶段施工的需要，要进

行反复定位放线。分以下几个阶段进行定位放线。

A。'三通一平'后定位放线，以确定基础平面位置或桩位。

B。基础垫层边线定位。

C。在基础垫层进行轴线定位放线。

D。地下室墙板扎筋，立模前进行一次定位放线。

E。地下室竣工，进行上部结构施工前，在地下室顶盖上需进行一次定位放线。

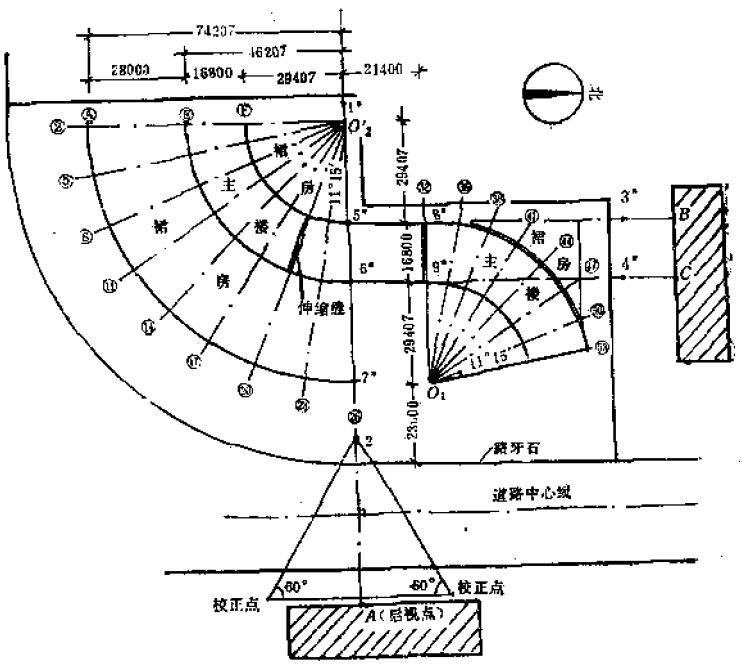


图 9-8 S形圆弧曲线建筑定位

2) O_1与O_2在挖土区，不能用直接画弧法定位，拟用经纬仪测偏角法进行定位。

3）在S图形中，确定一条基准轴线作为整个施工定位放线的控制线，拟依㉘轴线为基准轴线。

（2）准备工作

1）定位数据计算

A。以O_1、O_2为圆心，每间房屋放射轴线角度为：$\alpha=\frac{90^\circ}{8}=11^\circ15'$。主楼为八开间。

B。每间房屋圆弧曲线弦长：

Ⓕ轴线：$\frac{1/2弦长}{29407}=\sin\left(\frac{11^\circ15'}{2}\right)$

$$弦长=2\times29407\times\sin\left(\frac{11^\circ15'}{2}\right)=5765mm$$

Ⓔ轴线：

$$弦长=2\times46207\times\sin\left(\frac{11^\circ15'}{2}\right)=9058mm$$

Ⓐ轴线：

$$弦长=2\times74207\times\sin\left(\frac{11^\circ15'}{2}\right)=14547mm$$

2）确定基准轴线。根据建筑红线位置和规划部门提供的要求定㉙轴线。在㉘轴线一端非挖土区设置控制桩如2#桩，在主干道一侧建筑物墙上，设立后视点A。

在2#点一侧道路旁设两个校正桩，构成一个等边三角形。

（3）定位放线

1）地面定位：在“建筑红线”范围，进行施工定位，如桩基要在地面上定出各轴线位置和桩位。具体定位操作工艺如下：

A。测设控制桩。在2#桩安置经纬仪，后视A点，然后

转180°，因1*桩有建筑物无法定点，在适当位置定1*临时控制桩点。

B。按设计图纸尺寸，在㉘轴线上，从路边开始，向内量23.000m、29.407m、16.800m，分别定出主楼和裙房的放线桩5*、6*、7*，设置固定标志，在桩顶设置轴线标志点。

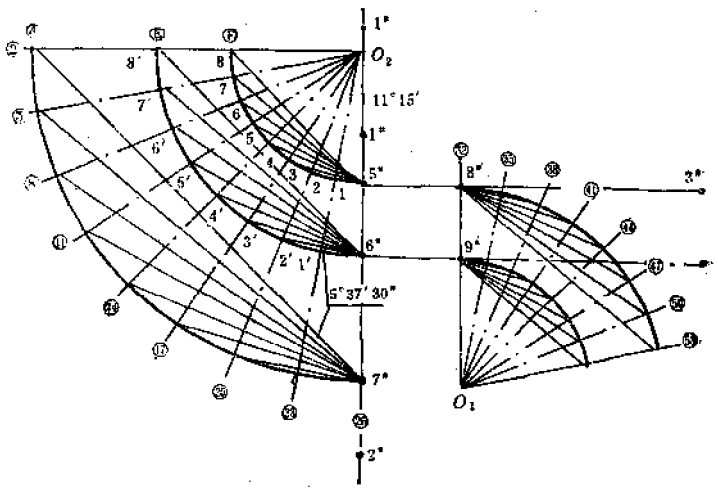


图 9-9　放射形轴线中心点位置

C。安置经纬仪于5*点，后视2*控制点，逆时针转90°在非挖土区定得3*控制桩点，并在侧面建筑物墙上，设立后视点*B*，在视线方向上量取21.400m，定出㉜轴线8*控制桩点，设固定标志。再逆转90°对准1*测量控制桩点作校核。

D。安置经纬仪于6*点，按*C*步骤，定出4*控制桩点和后视点*C*，以及9*放线控制桩。

E。测定放射形轴线中心点位置，如图9-9，以Ⓟ轴线为例：

a。安置经纬仪于5*控制桩点，后视2*或1*桩，照准部

作90°转动，使视线转向南方。

b．使弦切角等于圆心角的一半，在前视方向量取5.765m得点1，则点1即为㉓轴放射形轴线与Ⓟ轴线的交点位置。

c．将视线继续转5°37′30″，从1点开始，以5.765m的长度与视线相交得2点，则2点为⑳轴线放射轴线与Ⓟ轴线相交点位置。

d．按上述操作，直到定得3、4、5、6、7、8各点，由于操作误差影响，对定得各点，要反复测定。

e．安置经纬仪于8*点，后视5*放线控制桩点，然后转动照准部180°，用3*桩作校核无误后，按上述操作，定出㉜～㊸各放射形轴线与Ⓟ轴线的交点，这时边的弦长为9.058m（$R=46.207$m）。

f．Ⓔ轴线和Ⓐ轴线也可按上述操作步骤定得各点。

2）基坑内放线：由于基础面积大，整个施工中，土方、混凝土垫层，地下室钢筋混凝土结构按三段流水作业施工，给定位测量工作带来了一定困难。基础土方完成后，浇混凝

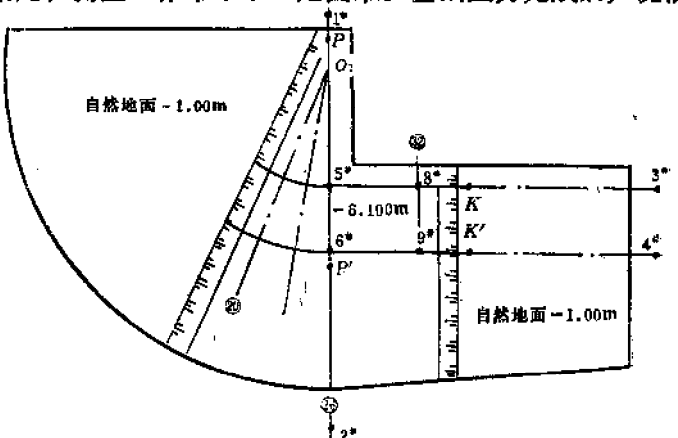


图 9-10　基坑内定位图

土垫层前的定位操作工艺如下（如图9-10所示）：

A．安置经纬仪于2*控制桩点，后视*A*点，旋转180°，对准1*控制桩点作校核，无误后，将视线投向基坑，在基坑的护壁钢板桩前设临时控制点*P*，在另一侧设置*P′*，则*PP′*直线即为㉘轴线在基坑的位置。

B．安置经纬仪于3*控制点，后视*B*点，照准部转动180°，这时视线看不到坑底，在基坑北侧的上边自然地面上设置一引桩点*K*。

C．安置经纬仪于*K*点，后视3*控制点，然后转动180°，将视线投测到基坑的*P-P′*直线上，得出5*放线控制桩点，如图9-11所示。同时定出Ⓕ轴线的直线段位置，即㉖～㉜

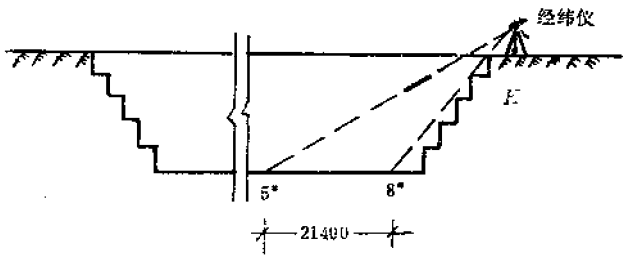


图 9-11　基坑轴线投测

轴间的直线段位置。用钢尺精确丈量5*～8*边长21.400m，得8*放线控制桩点。

从5*桩开始，用钢尺量取*PP′*线上29.407m，得O_2点即为圆心点。

D．用同样方法定出6*、9*点。

E．基坑定得5*、6*点，⑳—㉖轴间圆弧形部分的定位工作，按地面放线方法进行。

F．安置经纬仪于圆心O_2点，后视*P*点，后转动90°，在前视方向线上分别量取29.407m、16.800m、28.000m，

得出②轴线的8、8′、8″，用测角法定出Ⓔ轴线、Ⓒ轴线和Ⓐ轴线上各放射轴线的交点位置。

（4）定位注意事项：

1）对控制桩认真校核。2*、3*、4*控制桩点是定位的关键，每次定位前，要检查其位置的正确性。2*点用主干道上校核点检查，观测三角形三个内角是否等边三角形。3*点用观测∠$B3^*C$，4*点观测∠$B4^*C$进行校核。

2）对定位仪器进行校正。经纬仪要定期校正，专人保管，专人使用。

3）做好定位数据记录。书面记录资料是施工技术资料的一部分。

（四）螺旋形曲线建筑物定位

螺旋形楼梯是由内、外侧同一圆心，两条不同半径的螺旋曲线组成螺旋面分级而成。每一踏步都从圆心向外放射，而在每一个放射面上的内、外侧标高相同。这种图形定位比较复杂，如图9-12，预制踏步的螺旋形楼梯，它的底面为不连续的曲面。整浇的螺旋形楼梯，它的底面为一连续的曲面体。螺旋楼梯的平面图和内、外侧面的展开剖面图，如图9-13所示。

1．螺旋形平面曲线计算

如图9-14所示螺旋形楼梯尺寸。R_1、R_2、$R_{中}$为设计给定数据。每一踏步内、外侧宽度：

$$bO = \frac{1}{2}R_1 \times 2 \times \pi = R_1\pi$$

$$b_1O_1 = \frac{1}{2}R_2 \times 2 \times \pi = R_2\pi$$

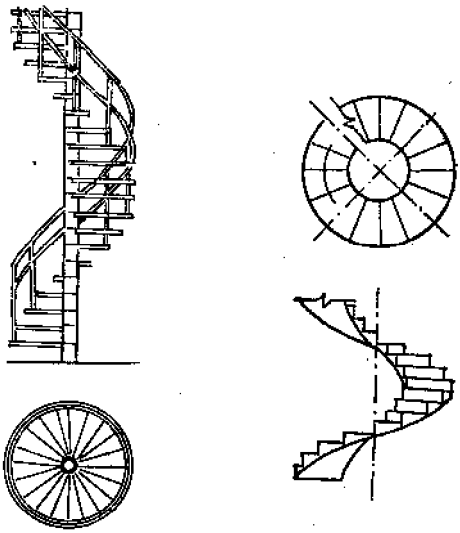


图 9-12 螺旋形楼梯示意图

(a) 预制踏步；(b) 整浇式

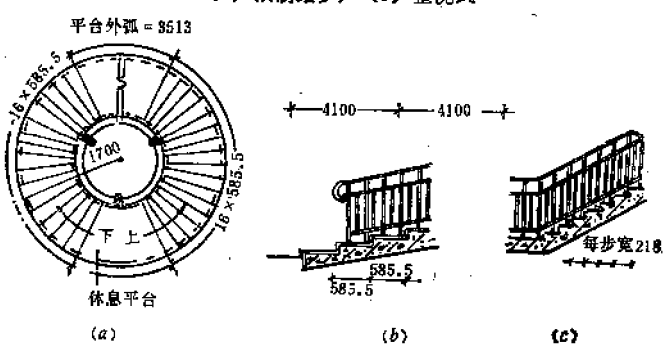


图 9-13 螺旋形楼梯

(a) 平面图；(b) 外侧展开剖面；(c) 内侧展开剖面

设楼层高为3.600m，总踏步数23步，则

内侧踏步宽为$bO/23 = l_{内}$

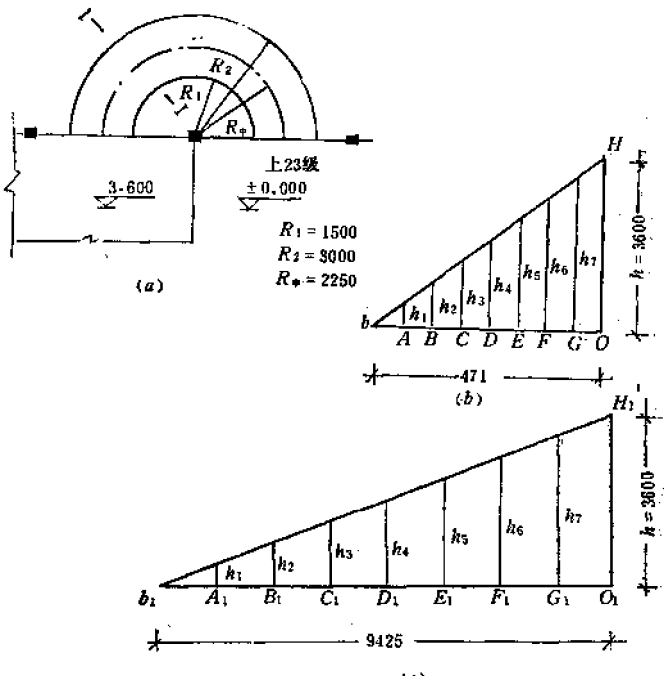


图 9-14　整浇式半圆螺旋楼梯模板立柱放样示意图

外侧踏步宽为$b_1O_1/23=l_{外}$

2．螺旋形曲线定位操作工艺

1）放大样：在平地放出楼梯内、外轮廓线的两个半圆弧线，将分成若干等分，如分为八等分。内圆等分点：b、A、B、C、D、E、F、G、O；外圆弧的等分点为b_1、A_1、B_1、C_1、D_1、E_1、F_1、G_1、O_1，如图9-14（b）、（c）所示。各等分为模板立柱的基点。

2）将内、外圆弧示作两根直线，并将直线为直角三角形的底边，楼层高为直角三角形另一直角边，则

直角三角形HbO和$H_1b_1O_1$中按上式计算得：

$$bO = 1500 \times \pi = 4712\text{mm}$$

$$b_1O_1 = 3000 \times \pi = 9425\text{mm}$$

每一踏步高度：

$$3600 \div (23+1) = 150\text{mm}$$

每一踏步内、外侧宽度分别为：

内侧宽度　$4712 \div 23 = 205\text{mm}$

外侧宽度　$9425 \div 23 = 410\text{mm}$

3）每个立柱高度：按图9-14（c）中进行图解得。在每条圆弧的放射线上，内、外立柱的高度是相等的。在同一放射线上的内、中、外立柱组成立柱排架的形式，在上面先铺设弧楞木，然后铺底板。

内外立柱的间距为：

内立柱间距　$4712/8 = 589\text{mm}$

外立柱间距　$9425/8 = 1178\text{mm}$

外圆弧线上的立柱间距过大，可以在楼梯外侧二分之一或三分之二宽度内，增设立柱排架，如图9-15所示。

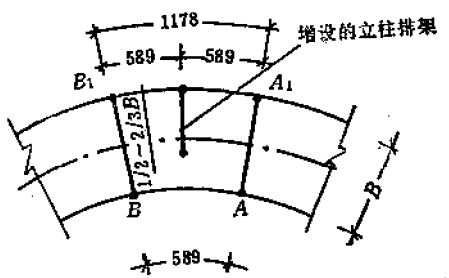


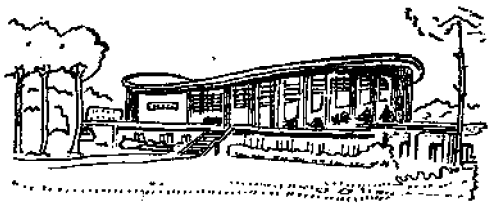
图 9-15　外侧增设立柱排架

4）场地准备：在立模范围内，平整场地，先准确放出内、外半圆边线，共分八等分，使立柱排架位置正确无误。

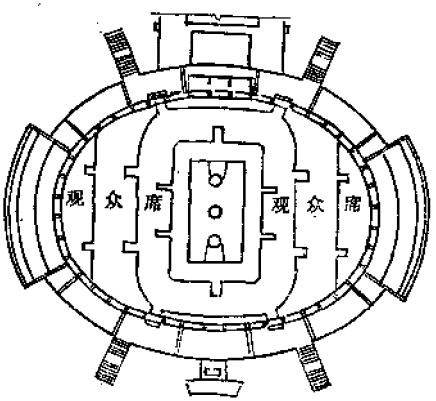
（五）椭圆形平面曲线建筑物定位

椭圆形平面建筑较多地使用于公共建筑，尤其在体育

场、馆使用较多，因这种图形建筑能使观众获得良好的视觉效果，各个方向的席位都具有良好的清晰度，能获得比较均匀的深度感和高度感。如图9-16，为某地体育馆的平面和立面示意图。



(a)



(b)

图 9-16 某体育馆

(a) 立面图；(b) 平面图

1. 椭圆形平面曲线的计算

如图9-17所示。椭圆是平面内到定点F_1、F_2的距离之和等于常数点的轨迹。这定点F_1、F_2称作焦点，F_1，F_2之间距离称作焦距。设$F_1F_2=2c$，$MF_1+MF_2=2a$，则

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1 \qquad (c^2=a^2-b^2)$$

椭圆对称于x、y轴，x轴称为长轴，其值为$2a$，y轴称为短轴，其值为$2b$。

在椭圆方程式中，当a、b值一定时，只要知道变量x，便可求得椭圆曲线上另一个数值，即

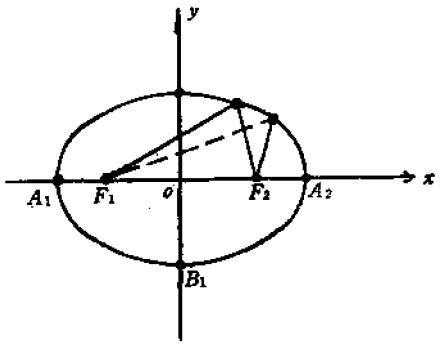


图 9-17　椭圆数学关系

$$y=\pm\frac{b}{a}\sqrt{a^2-x^2}$$

或

$$x=\pm\frac{a}{b}\sqrt{b^2-y^2}$$

【例】 已知椭圆曲线方程为$\frac{x^2}{10^2}+\frac{y^2}{8^2}=1$，求作椭圆的几何图形。

【解】 根据已知方程得：$a=10$，$b=8$，

则 $c=\sqrt{a^2-b^2}=\sqrt{10^2-8^2}=6$

该椭圆的有关参数为：

A。长轴 $2a=20$；短轴 $2b=16$

B。焦距 $2c=12$

C。两焦点坐标分别为：F_1 $(-6,\ 0)$、F_2 $(6,\ 0)$。

椭圆的四个顶点坐标为：

$A_1(-10,\ 0)$，$A_2(10,\ 0)$；

$B_1(0,\ -8)$，$B_2(0,\ 8)$。

由此标准方程为

$$y=\pm\frac{8}{10}\sqrt{10^2-x^2}$$

按上式标准方程，在直角坐标的第一象限$x\leqslant10$的范围内，可计算出若干点的坐标值（x，y），如表9-4。

椭圆曲线数据表　　表 9-4

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y	8	7.96	7.84	7.63	7.33	6.93	6.40	5.710	4.80	3.49	0

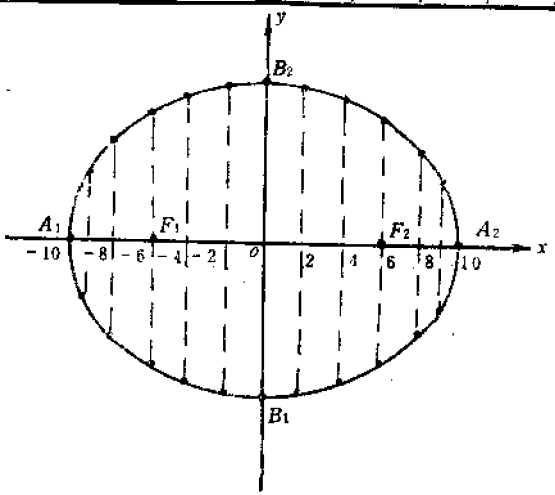


图 9-18　椭圆曲线

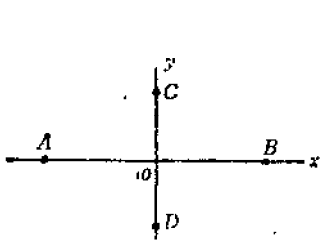
根据表9-4中x、y值，点画出第Ⅰ象限的椭圆图形，利用椭圆的特性，画出整个椭圆图形，如图9-18。计算出的点数越多，描绘出的椭圆图形就越精确。

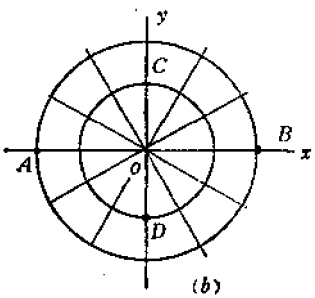
2．椭圆形平面曲线作图方法

当椭圆a、b值较小时，可以用以下几种作图法求得椭圆图形。

(1) 同心圆作图法：已知椭圆a、b值，具体作图工艺如下：

1) 作椭圆长轴$AB=2a$及垂直等分线$CD=2b$。如图





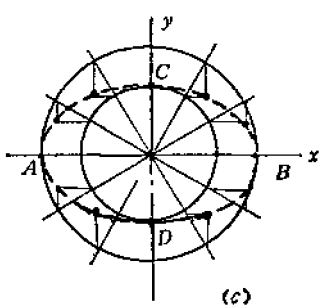
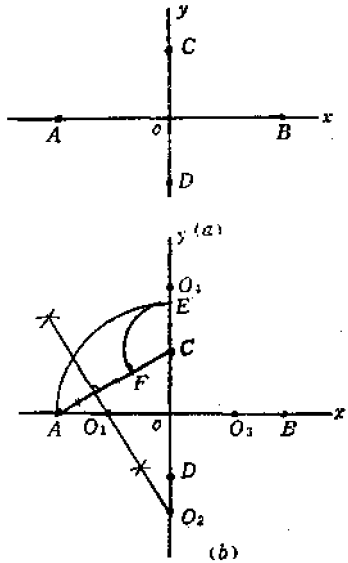


图 9-19 用同心圆法作椭圆

(a) 长、短轴；(b) 同心圆；(c) 等分同心圆



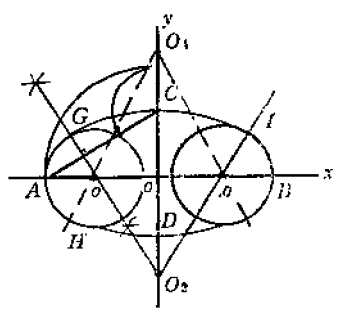


图 9-20 用四心圆法作近似椭圆

(a) 长、短轴；(b) 四心圆；(c) 近似椭圆

9-19（a）所示。

2）分别以O为圆心，AO、CO为半径作同心圆。如图9-19（b）所示。

3）等分同心圆若干等分，如十二等分等。

4）从大圆各等分点作竖向直线，从小圆各对应等分点作水平线，两线相交点即为椭圆曲线上各点。

5）光滑连接各点，即为所求作的椭圆曲线。

（2）四心圆法作椭圆：已知椭圆a、b值，具体作图工艺如下：

1）作椭圆长轴$AB=2a$，短轴$CD=2b$，如图9-20（a）所示。

2）连接A、C，以O为圆心，OA为半径作圆弧交CD延长线于E点。如图9-20(b)所示。

3）以C为圆心，CE为半径作圆弧，交于AC直线F点。

4）作AF的垂直平分线，交长轴于O_1，交短轴于O_2。

5）在OB轴线上截取$OO_3=OO_1$；在OC轴上截取$OO_4=OO_2$。

6）分别以O_1、O_2、O_3、O_4为圆心，以O_1A、O_2C、O_3B、O_4D为半径作圆弧。如图9-20(c)所示。

7）各弧段在O_1O_2、O_2O_3和O_1O_4、O_3O_4的延长线上的G、I、H、J四点处相交，则所描绘得封闭曲线即为所要求作的近似椭圆曲线。

（3）相切圆作图法：已知椭圆的长轴$2a$，短轴范围可以任意选定时，可以用相切圆作图法近似求作椭圆曲线。

具体作图工艺如下：

1）作椭圆长轴$AB=2a$，取其中点O，过O点作长轴的垂直平分线，即为椭圆的短轴，如图9-21（a）所示。

2）以AO、BO为直径，m、n为圆心作圆。

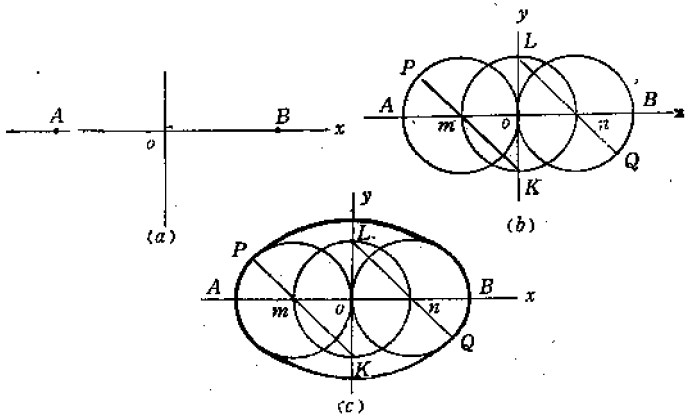


图 9-21 相切圆作椭圆

（a）长轴AB；（b）作以AO为直径圆；

（c）以K为圆心，KP为半径作圆

3）以O为圆心，以om为半径作圆，交短轴于K、L点。

4）连接Km并延长交圆弧于P点；连接Ln，并延长交于圆弧Q点。

5）以K、L为圆心，以KP、LQ为半径作圆弧，与圆m和圆n相切，则所得的封闭曲线即为所要求作的椭圆曲线。如图9-21（c）所示。

6）在以O为圆心，当用不同半径作圆时，与短轴相交的K、L点位置亦不同，最后求得的椭圆的短轴尺寸亦不相同。

7）当圆的半径加大时，则椭圆的短轴尺寸缩短，反之则增长。

（4）连续运动法作椭圆：已知椭圆长轴$AB=2a$，短轴$CD=2b$，用连续运动法作椭圆曲线。亦称直接拉线法。

具体作图工艺如下：

1）作椭圆长轴AB和短轴CD。

2）计算椭圆的焦距，确定焦点F_1、F_2位置，$c=\sqrt{a^2-b^2}$。如图9-22所示。

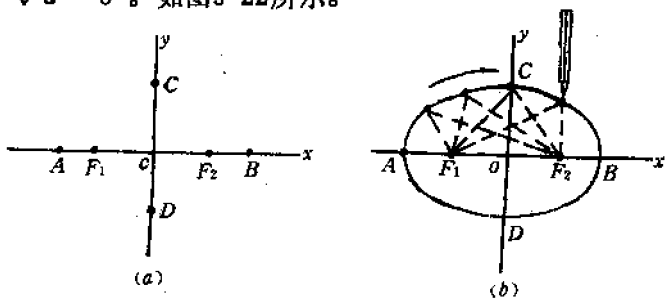


图 9-22　连续运动作椭圆法

(a) 长、短轴；(b) 连续运动作椭圆法

3)用一根伸缩性小的线，使其长度等于F_1C+F_2C，两端固定在F_1、F_2点，然后用铅笔套住线作缓慢运动，其轨迹为椭圆上半部分椭圆曲线ACB。

4）用同样的动作，反过方向作椭圆曲线下半部分ADB。整个闭合曲线即为所要求作的椭圆曲线。

(5) 按点描图法作椭圆。已知椭圆长轴$A_1A=2a$，短

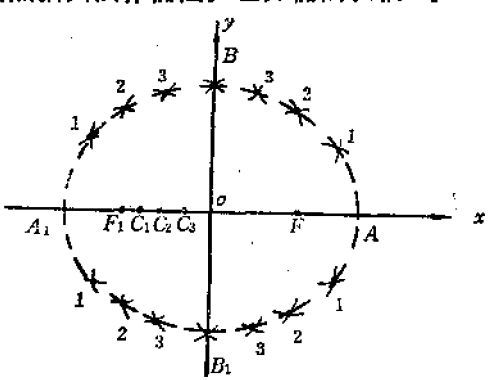


图 9-23　按点描图作椭圆

轴$B_1B=2b$。因长、短轴尺寸较大，不便用连续运动法作图。如图9-23所示。

具体作图工艺如下：

1）设椭圆中心与直角坐标系原点O重合，x、y轴分别为椭圆的长、短轴。

2）在x轴两边分别取$OA=OA_1=a$；在y轴两边分别取$OB=OB_1=b$；则A、A_1、B、B_1为椭圆四个顶点。

3）计算焦距c。根据椭圆方程式中$c^2=a^2-b^2$，则得$c=\sqrt{a^2-b^2}$。

在OA、OA_1线上分别截取$OF=OF_1=c$、F、F_1即为椭圆的两个焦点。

4）在FF_1线上任意作一点C_1，分别以F和F_1为圆心，先以A_1C_1为半径作弧；后以C_1A为半径作弧，在A_1A轴线上、下方共得四个交点（在图上它们都标以1），这四个点都是椭圆曲线上的点，因为：

$$1F_1+1F=A_1C_1+C_1A=2a$$

即两焦点到它们每一点的距离之和都等于$2a$。

5）在F_1F轴线上继续增设C_2、$C_3\cdots C_n$，重复C_1点的操作，每次同样得四个点。

6）当F_1F轴线上增设足够的点之后，椭圆曲线上的点相应增加，描画出这些点平滑曲线，即为椭圆曲线。

3. 椭圆形平面曲线建筑物定位

现场测设椭圆形平面曲线建筑物的方案较多，通常用的方法有直接拉线法即连续运动法、几何作图法和坐标计算法等。

（1）连续运动作图法：在椭圆形平面尺寸较小时常采用连续运动作图法定位，这种方法比较简单，放线速度快，

只要操作认真，可以获得一定的精确度。

【例】 设椭圆形建筑物，如图9-24所示。椭圆的长轴$a=15$m，短轴$b=9$m，试用连续运动作图法在现场定位。

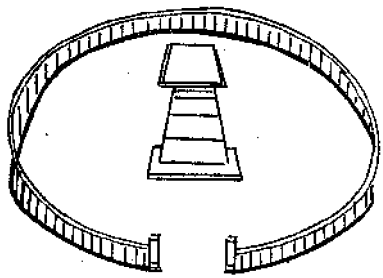


图 9-24 椭圆形建筑物

具体定位操作工艺：

1）如图9-29所示。确定椭圆中心点O，主轴线方向，并精确放出长轴位置。

2）计算四个顶点坐标，即A（-15，0）、B（15，0）、C（0，9）、D（0，-9）。

焦距 $c=\sqrt{a^2-b^2}=\sqrt{15^2-9^2}=12$m。

3）在F_1、F_2焦点埋设固定标志。

4）用伸缩性小的线，其长度等于F_1C+F_2C，两端固定在F_1、F_2点上，用铁棍套细线在长轴两边画曲线，即得

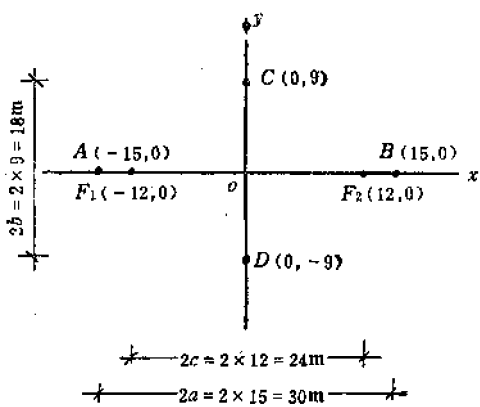


图 9-25 长短轴位置

椭圆曲线。如图9-26所示。

5）注意事项

A。焦点F_1、F_2上设置的标志要准确、稳固，施工中加以保护。

B。用铁棍套细线描画曲线过程中，应始终拉紧，不能有时松有时紧的现象。

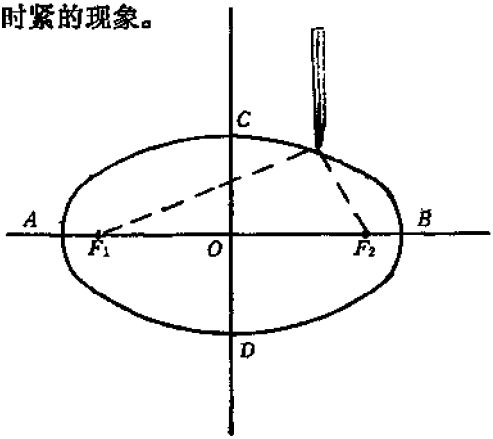


图 9-26 椭圆四顶点

（2）几何作图法作椭圆曲线：当椭圆长轴在80m以上时，可用几何作图法进行现场椭圆形曲线定位，大多采用四心圆法，另有同心圆法、相切圆法等。

【例】 设有椭圆形建筑物，按设计提供的长短轴尺寸：长轴$2a=80$m，短轴$2b=60$m，周围设44根柱子，曲线平面形状参照图9-27、图9-28所示。

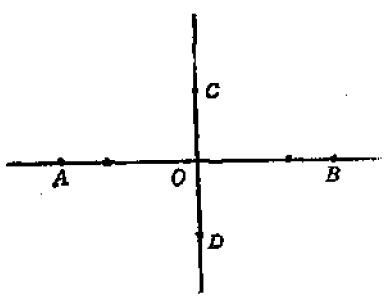


图 9-27 长、短轴

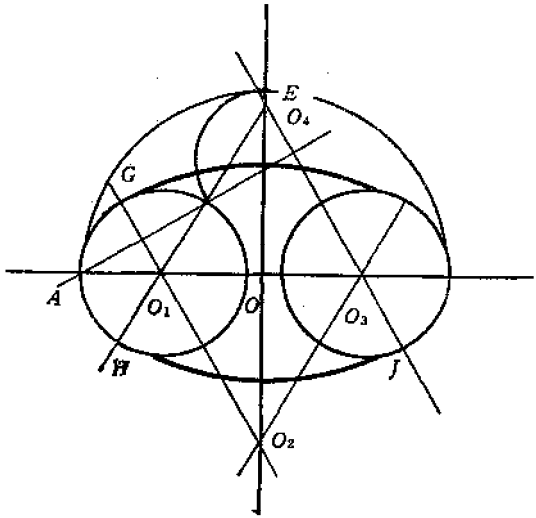


图 9-28 四心圆法作椭圆

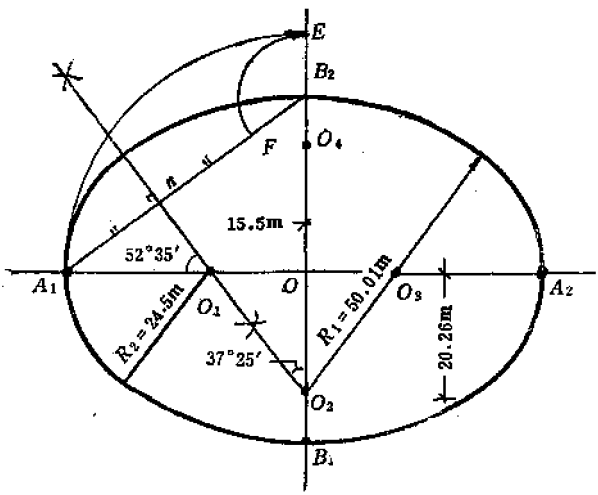


图 9-29 四心圆法作椭圆曲线

现场具体定位工艺如下：

在图纸上用1:100～1:200比例，按a、b值用四心圆作图法作椭圆曲线。如图9-29所示。

1）作图及计算定位数据

A。在直角坐标中确定长轴$2a=80$m，垂平分$2a$，交于O点，取$2b=60$m。

B。求圆心O_1、O_2、O_3、O_4，连A_1B_2。

以O为圆心，$OA_1=40$m为半径作圆弧，交短轴延长线上E点，以B_2E为半径作圆弧，交A_1B_2线于F点。

C。求A_1F垂直平分线，交长轴A_1O于O_1，交短轴OB_1于O_2。

D。在OA_2轴上截取$OO_3=OO_1=15.50$m，在OB_2轴上截取$OO_4=OO_2=20.26$m。

E。圆心分别为O_1、O_2、O_3、O_4。半径分别为$O_1A_1=24.50$m、$O_2B_2=50.01$m、$O_3A_3=24.50$m、$O_4B_1=50.01$m。

F。长轴方向圆弧半径$R_1=50.01$m、$R_2=24.50$m、R_1与短轴的夹角$\alpha_1=37°25'$，R_2与长轴的夹角$\alpha_2=52°35'$。

G。计算椭圆线周长：

长轴方向圆弧：$\left(50.01\times2\times\pi\times\frac{37°25'\times2}{360°}\right)\times2$

$=131.65$m

短轴方向圆弧：$\left(24.50\times2\times\pi\times\frac{52°35'\times2}{360°}\right)\times2$

$=89.94$m

椭圆曲线周长44根柱子的柱距为：

$221.23\text{m}/44=5.028\text{m}$

2）现场椭圆曲线定位

现场定出椭圆形平面的中心点及主轴线方位。

A。确定椭圆平面的四个顶点A_1、A_2、B_1、B_2。用经纬仪或方角尺确定长、短轴线方位。

B。确定四个圆心O_1、O_2、O_3、O_4的位置。根据以上计算数据定位，认真钉好木桩（或水泥桩），在圆心位置钉上铁钉。

C。连接四个圆心并延长，按上述已求得的圆弧半径R_1和R_2，确定圆弧的交界点m_1、m_2、m_3、m_4。如图9-30所示。

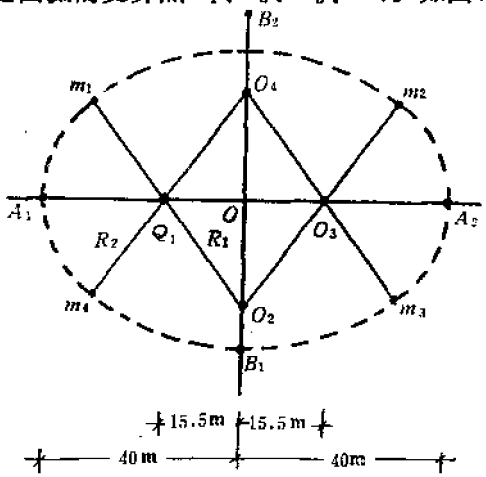


图 9-30 椭圆曲线定位

D。分别以O_1、O_2、O_3、O_4为圆心，以相应的R_1和R_2为半径，用连续运动法作椭圆曲线，所得的封闭图形，即为所要求作的椭圆平面的四周柱子中心。

E。确定44根柱子所在方位；椭圆形平面四周柱子的合理方位，一般以椭圆形外圈离中心点最短距离（即短轴长度之半）与长轴的交点所作的连线方向为合理方向，如图9-31所示。

假定从OB_2短轴的右侧开始向1点量得

$$B_2 1 = \frac{1}{2} \times 5.013 = 2.5065\text{m} = 2.507\text{m}$$

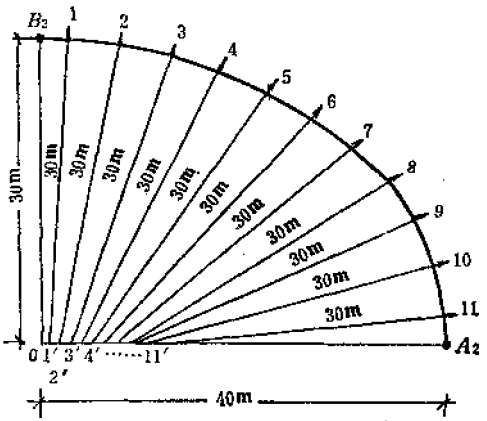


图 9-31 短轴一侧定柱方向

然后以1点为圆心，以短轴之半长（30m）为半径，作弧交长轴于1′点，连接1-1′，则连线方向即为1点柱子的中心线方向。其余2、3…各柱子方位的求法同上。

F．确定44根柱子位置和中心方向后，可作基础尺寸定位。

G．设置基础龙门板。可分内、外两部分，内部可以中心点为中心，沿长轴方向设整体龙门板，外部则顺着椭圆形方向设置若干块龙门板。

（六）双曲线形平面曲线建筑物定位

在公共建筑物中用双曲线形平面图形较多，如图9-32为某会议大厅。

1．双曲线形平面曲线计算

如图 9-33 所示。双曲线是平面内到两定点 F_1、F_2

的距离之差等于常数的点的轨迹。F_1、F_2点叫双曲线焦点，F_1F_2叫焦距，用$2c$表示（$c>0$）。$MF_1-MF_2=2a$，（$a>0$），假设$c^2=a^2+b^2$，则

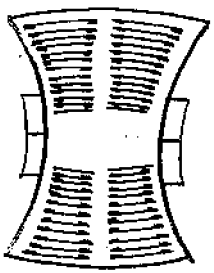


图 9-32 某双曲线形会议大厅

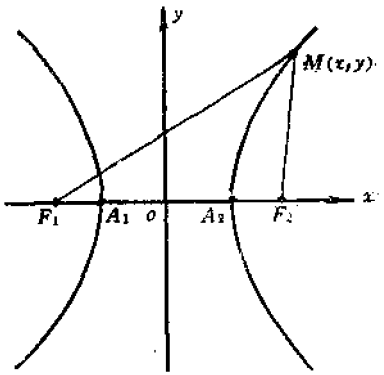


图 9-33 双曲线图形

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}=1$$

即为双曲线标准方程式。

2. 双曲线平面曲线作图方法

作图方法有连续运动法、按点描图法和坐标计算法三种。

（1）连续运动法作双曲线图：这种方法仅用于图上作

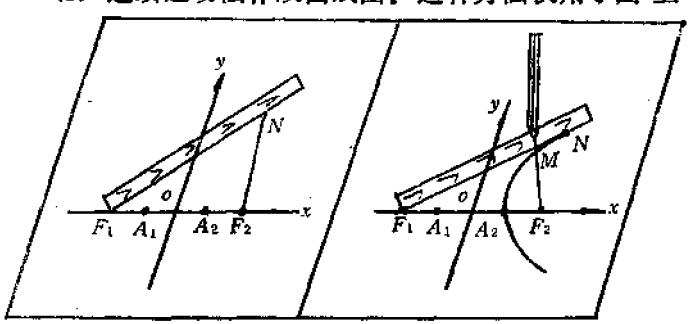


图 9-34 连续运动法作双曲线

图，现场用于定位作图难度较大。如图9-34所示。

1）计算焦距。根据双曲线标准方程提供的a、b值，计算$c=\sqrt{a^2+b^2}$。

2）确定焦点。在直角坐标系中，根据a、c值，确定双曲线的两焦点F_1、F_2，两顶点A_1、A_2。

3）如图9-34所示，用一直尺和一根伸缩性小的线，线一端固定于F_2点，另一端固定于直尺的N点。直尺的一端固定于F_1点，但可以自由转动，使$F_1N-F_2N=2a$。

4）用铅笔的尖端将线拉紧，使直尺与x轴重合，这时笔尖对准双曲线的顶点A_2，然后渐渐向上移动，笔尖始终紧靠尺边，并拉紧细线，则笔尖所画出的细线，即为双曲线的一条支线。

5）x轴下侧双曲线用上述方法画得。y轴左侧双曲线对称于右侧双曲线。

（2）坐标计算法作图：根据双曲线的标准方程式，计算出双曲线上各相应点的x、y值，然后按直角坐标定出各点，最后将各点顺滑连接而成双曲线。

3．现场进行双曲线形平面建筑物定位

用坐标计算法现场定位双曲线建筑物，首先按设计图纸给出的尺寸，先列出双曲线标准方程式，然后将x（或y）作变量，求出相应的y值（或x值），最

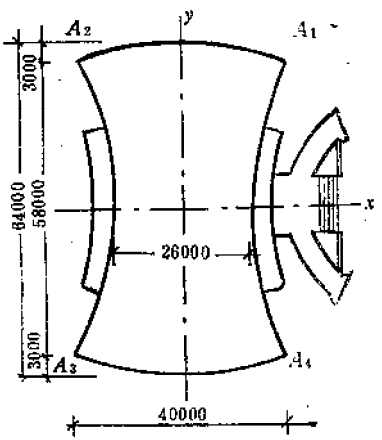


图 9-35　双曲线建筑平面图

后将计算结果列成表格，供现场放线使用。

【例】 双曲线形建筑物如图9-35所示。长方向为双曲线形，两端为圆曲线，按图中所示尺寸，试用坐标计算法进行双曲线形定位。

【解】 (1) 计算坐标

1) 建立双曲线标准方程式

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}=1$$

以双曲线中心点为坐标原点，以横向为x轴，纵向为y轴建立直角坐标系。

2) 由图9-35可得各项尺寸如下：

$$a=\frac{2b}{2}=13\text{m},$$

A_1 (20, 29)、A_2 (−20, 29)、

A_3 (−20, −29)、A_4 (20, −29)。

A_1、A_2、A_3、A_4为该建筑物四角点坐标。

3) 列双曲线方程：

因为A_1在双曲线上，则

$$\frac{x^2}{a}-\frac{y^2}{b}=\frac{(-20)^2}{13^2}-\frac{(29)^2}{b^2}=1$$

则 $b=24.8\text{m}$

4) 列以y为变量的方程式：

$$x=\pm\frac{a}{b}\sqrt{b^2+y^2}$$

即 $$x=\pm\frac{13}{24.8}\sqrt{24.8^2+y^2}$$

5) 给y值分别为3、6、9、12……27、29，代入以y为

变量的方程式，得出一组数据，见表9-5。

双曲线建筑平面坐标计算　　表 9-5

y	0	2	4	6	8	10	12	14
x（±）	13	13.04	13.17	13.38	13.66	14.02	14.44	14.93
y	16	18	20	22	24	26	28	29
x（±）	15.47	16.06	16.70	17.38	18.09	18.84	19.60	20

6）计算两端圆弧坐标：如图9-36，A_1、A_2在圆弧曲线上，连接CA_1、OA_1，在直角三角形CDA_1中，

$$\operatorname{tg}\angle DCA_1 = \frac{DA_1}{CD} = \frac{20}{3} = 6.667$$

$$\angle DCA_1 = 81°28'10''$$

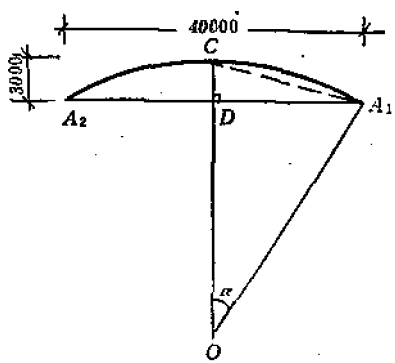


图 9-36　圆弧半径计算

因为三角形是等腰三角形，所以顶角为：

$$\alpha = \angle COA_1 = 180° - (81°28'10'') \times 2 = 17°3'40''$$

$$OA_1 = R = \frac{DA_1}{\operatorname{sin}\alpha} = \frac{20}{0.2934} = 68.16\text{m}$$

以R为半径作圆弧。

(2) 双曲线建筑物现场定位

1) 定双曲线中心点位置和主轴线方向。

2) 在中心点O安置经纬仪，以主轴线方向，测定纵、横轴线x、y。x为双曲线的实轴。

3) 如图9-37所示，在y轴上以原点O为对称点，上下分别取0、2、4……28、29m得1、2、3……15各点。

4) 安置经纬仪于1、2、3……15各点，作y轴垂直线，按表9-4中x值，定出相应的点。连接顺滑描绘曲线，即可求得双曲线图形。

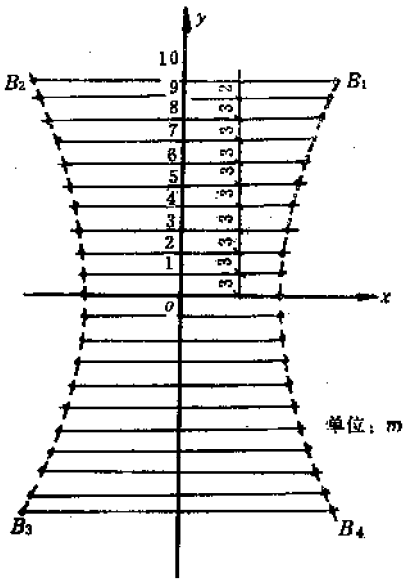


图 9-37 坐标计算法作双曲线定位

5) 两端按圆曲线作图法定位。

6) 各细部进一步定位。

(七) 抛物线形平面曲线建筑物定位

抛物线形建筑物图形，一般公共建筑采用较多，部分建筑构件的外形也有采用抛物线形的，如鱼腹式吊车梁的鱼腹部分是一段抛物线，拱桥的拱肋如图9-38所示，也是抛物线的一种。

1. 抛物线平面曲线作图方法

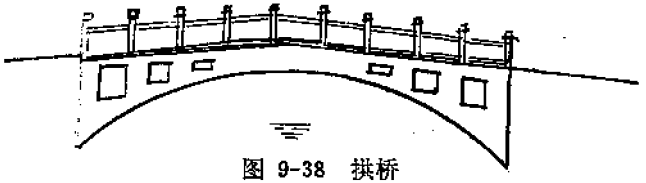


图 9-38　拱桥

抛物线的标准方程式：

$$y^2=2px \quad (p>0)$$

上式中，p为抛物线参数。

常用作图方法有连续运动法、几何作图法、坐标计算法等。

在图纸上作抛物线的方法：

(1) 在图纸上画出相互垂直的坐标系。

(2) 在横轴上原点两侧分别取$OA=OF=\frac{p}{2}$，F为抛物线的焦点。如图9-39所示。

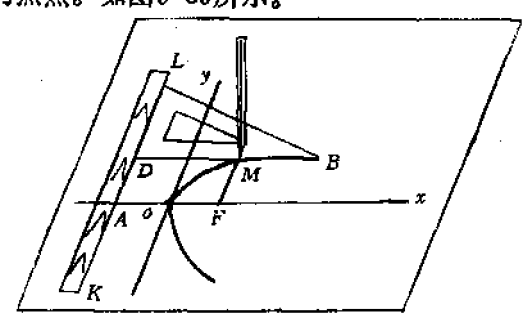


图 9-39　连续运动法作抛物线图

(3) 确定抛物线准线。在A点作KL平行于oy线。

(4) 直尺紧贴准线，用三角板的短边靠直尺，长边靠ox轴。

(5) 取一根细线，使其一端固定于焦点F处，另一端

定于三角板长边的顶端B处，使线长等于$OF+OB$。

（6）用铅笔的尖端将线拉紧，使三角板沿准线缓缓移动，而笔尖始终紧靠三角板的边，并始终拉紧线，这样画出的曲线就是一条抛物线，因为该曲线上每一点，都是$MF=MD$。

2．抛物线平面曲线建筑物现场定位

抛物线现场定位用坐标计算法。按图上尺寸求得标准方程，以y为变量算得x值，列成数据表，供定位作依据。

【例】 设某建筑物的平面图、立面图及其尺寸如图9-40所示。试用坐标计算法作该建筑物定位。

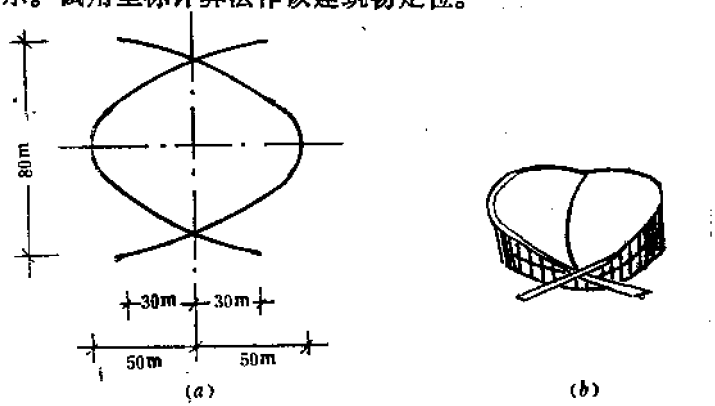


图 9-40 某抛物线形建筑物

（a）平面；（b）立面

【解】 （1）建立抛物线标准方程式计算坐标：

由图9-40所示尺寸得A、D点坐标：A（80，40）D（80，－40），如图9-41。

将A（80，40）代入标准方程$y^2=2px$得：

$$40^2=2p\times 80$$

所以 $$p=10$$

因此抛物线建筑物平面投影标准方程为：

$$y^2 = 20x$$

由 $y = \pm\sqrt{20x}$ 计算各点坐标（在Ⅰ，Ⅳ象限）。

为了保证定位精度，在$x \leqslant 5$m范围内，以1m间距取值，在$x \geqslant 5$m范围内，以5m间距取值，计算结果列于表9-6。

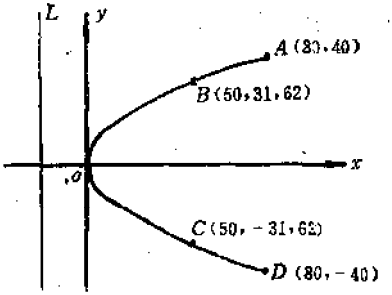


图 9-41 抛物线曲线坐标计算

抛物线曲线坐标计算 表 9-6

x	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
y（±）	0	4.47	6.32	7.75	8.94	10	14.14	17.32	20.0	22.36	24.50

x	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
y（±）	26.46	28.28	30.0	31.62	33.17	34.64	36.06	37.42	38.73	40

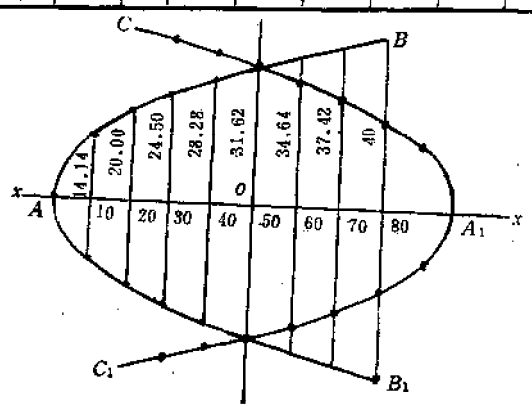


图 9-42 坐标计算法抛物线曲线定位

(2) 现场建筑物定位

1）根据设计总平面图，定出抛物线建筑物图形中心点及主轴线（x轴）位置，如图9-42所示。

2）在x轴上从原点开始，向轴左、右各取50m，得A、A_1点。

3）在x轴AA_1线上，从A点开始，分别取1、2、……5、10……80m等点。即在5m以内每隔1m取点，5m以外每隔5m取点。

4）求各点在x轴上的垂直线，量取相应坐标值。用经纬仪测设垂直线精度较高。

5）连接以上各点得曲线，即为抛物线。

6）进行各细部点定位。

（八）锯齿形建筑物定位

如图9-43所示，住宅楼平面布置成锯齿形。建筑物边线平行于道路中心线，建筑边线距道路中心线15m，与原有建筑相距20m，外墙轴线至边线宽370mm。

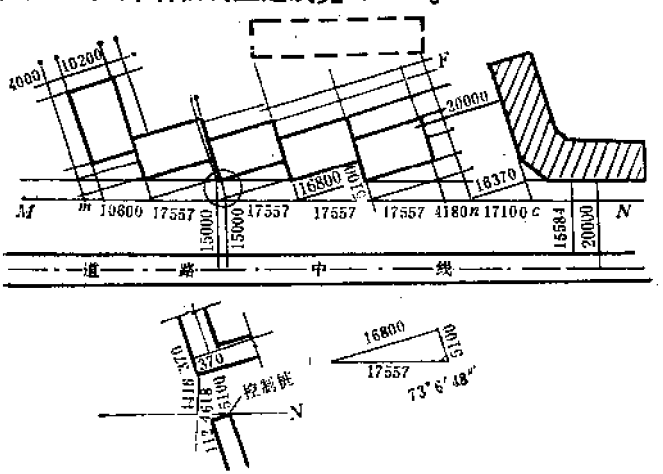


图 9-43　锯齿形建筑定位

1．锯齿形建筑物定位方案

建筑物平面位置在建筑总平面图上，标明各种尺寸关系。用给定的数据确定定位步骤。该建筑物设计限制条件是外墙角至道路中心线的距离，定位放线需要的是轴线控制桩，而建筑物轴线与道路中线又不平行，因而控制桩至道路中心线的距离需进行换算，如图9-43中平距为16.800m，换算成斜距为17.557m等。

2．锯齿形建筑定位工艺程序

（1）找出道路中心线。按设计的要求控制桩至道路中心的距离为15.584m。如图9-43所示。作道路中心线的平行线，定出M、N点，M、N的连线即是控制桩的连线。

（2）原有建筑物边线的延长线交MN直线于O点。

（3）在N点安置经纬仪，前视方向线从O点开始依次丈量，定得n、m各点。

4）在n点安置经纬仪，后视M点，顺时针测角$\alpha = 73°6'48''$，在视线方向依次丈量n、F各点。

5）当MN、nF直线上的桩位定出来后，就可根据建筑物各轴线相对应的控制桩，用测直角的方法，测设出其他轴线控制桩，定出平面控制网。

（九）正三角形平面图形建筑物定位

正多边形的平面图形建筑物，在建筑设计中被广泛采用，经常见到的有正三角形、正五边形、正六边形、正八边形等。现介绍平面为正三角形图形的建筑物定位，如图9-44所示。

1．定位数据

设某正三角形平面点式建筑如图9-45所示，建筑物三条

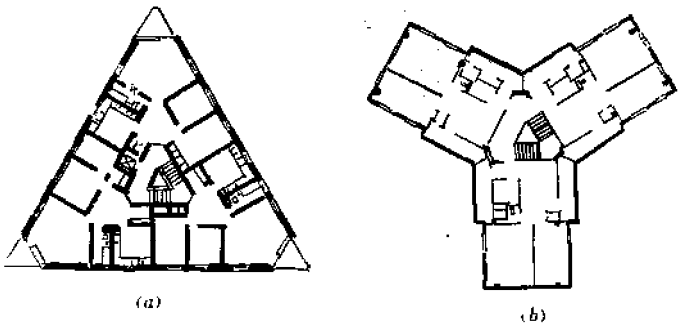


图 9-44　建筑物正三角形平面图

(a) 三角形平面塔楼；(b) 三角形平面点式住宅

中心轴线的交点距两边建筑红线均为35m。

2. 正三角形平面建筑物定位工艺

具体定位操作工艺如下：

(1) 确定道路中心线MN_1、NN'，交于O'点。如图9-45所示。

(2) 在O'点安置经纬仪，照准N_1点，从O'起在前视方向线上量取$O'N_1=35.000$m，得N_1点。

经纬仪逆时针转动90°，照准N'，从O'点起，在前视方向线上量取35.000m得N_2。

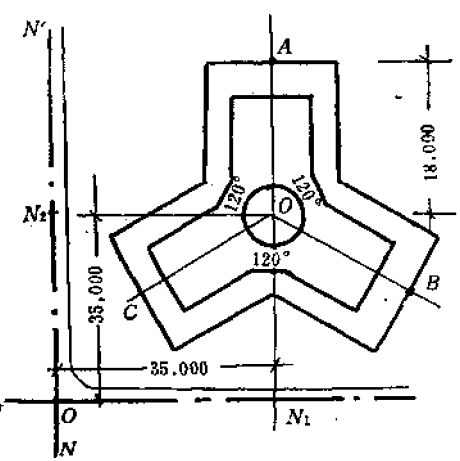


图 9-45　三角形建筑物定位

(3) 在N_1点安置经纬仪，后视O'点，顺时针转动90°，

从N_1点起，在前视方向上，量取35.000m，得O点，再从O点延长量取18m得A点。

(4) 在O点安置经纬仪，后视A点，顺时针转120°，从O点起在前视方向线上量取18m得B点。再转120°，同样从O点起量取18m得C点。

(5) 根据OA、OB、OC三条主轴线，定出建筑物其他点及细部位置。

(6) 基槽内的定位是在基槽上方与下方测设引桩，根据引桩恢复轴线定位。

复习思考题

1.如何确定矩形控制网方案?

2.对控制网精度有哪些要求?

3.工业厂房柱列轴线如何定位?

4.工业厂房柱列基础如何定位?

5.圆弧平面曲线定位如何进行直接画弧?

6.圆弧平面曲线如何进行坐标法定位?具体定位操作工艺有哪些步骤?

7.圆弧平面曲线如何进行矢高法定位?

8.圆弧曲线偏角法如何进行定位?

9.圆弧曲线定位有哪些注意事项?

10.椭圆形平面曲线建筑物怎样定位?

11.椭圆形平面曲线如何用四心圆法作图?

12.如何用连续运动法作椭圆?

13.双曲线形平面曲线如何用连续运动法作图?

14.如何进行抛物线平面曲线作图?

15.锯齿形建筑物如何定位?

16.正三角形平面图形建筑物如何定位?

十、施工测量的新技术与新设备

随着近代光学、电子学尤其是激光、红外技术、集成电路和微处理技术的迅速发展，使测绘科学正发生着革命性的变革，表现在电子经纬仪和红外测距仪的推广应用、电子速测仪的产品形成系列、制造出数字编码水准仪和新型条形码双面标尺以及外业测量数据、放样数据的贮存和内业计算机处理、打印、绘图已可形成自动的作业流程等方面。

测量数据的自动采集与处理，实现全过程的自动化，是当今的发展方向。对于大型、精密工程的施工测量，新技术有着明显的优越性。

新技术的使用，依靠大量的新设备，下面分别介绍其型号、性能。

（一）电子经纬仪的型号、等级和性能

1. 电子经纬仪的型号、等级

自从1977年在瑞典斯德哥尔摩 FIG 会议上首次展出电子经纬仪以来，目前国际上已开发生产了几十个型号的商

电子经纬仪精度等级分类　　表 10-1

商标 / 精度等级	LEICA	OPTON	SOKKIA	南京测绘仪器厂	华东光学仪器厂
高精度	T3000				
中等精度	T1610	Eth2	DT_2		
一般精度	T1010	Eth1	DT_1	DZJ_6	DJD_6-1

电子经纬仪的技术指标　　表 10-2

型　　号		T2002	T1000	DT_3	DZJ_3
望远镜	倍　率	32×	30×	32×	29×
	物镜孔径(mm)	42	42	45	40
	最短视距(m)	1.7	1.7	1.0	2.0
测角部	测角方式	绝对编码动态	绝对编码连续测量		增量式编码器
	标准差(″)	0.5	3	2	水平角4 天顶距10
	最小读数(″)	0.1	1	1（或5）	1
自动补偿功能	方　式	双轴液体传感	摆　式	液体倾斜式	液体补偿器
	水准器长圆	20″/2mm 8′/2mm	30″/2mm 8′/2mm	20″/2mm 10′/2mm	20″/2mm 8′/2mm
	显　示	8位，LCD 双面	7位，LCD 双面	8位，LCD 双面	7位，LCD 双面

品。现在电子经纬仪的体积、重量、价格等都达到与光学经纬仪相似的程度，在测角精度与稳定性方面，也可与同级的光学经纬仪相比。其精度等级分类如表10-1所示。

2. 电子经纬仪的技术指标（表10-2）

T1610通用型电子经纬仪如图10-1。

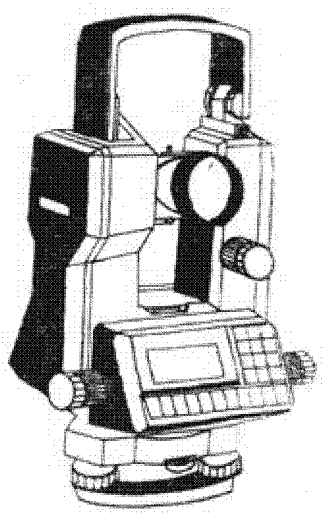


图 10-1　T1610通用型电子经纬仪

3. 电子经纬仪的特点

以LEICA公司的产品T2002为例，此型号为T2000的改

进型，是一种全能型精密电子经纬仪，它带有一个双轴补偿器，采用机械型光电角度扫描系统，进行绝对角值的测量。每次读数沿着全度盘扫描，消除了度盘刻划误差，也消除了度盘偏心的影响。仪器内有微处理机控制电子测量系统。具有高精度的阻尼液体补偿器，为竖直角提供自动指标。

电子经纬仪同一台测距仪相结合，便组成积木式电子速测仪。

光学经纬仪采用光学度盘及手工旋转测微器进行读数，而电子经纬仪则采用光电扫描度盘及自动显示读数，与电子数据记录器连接后，能自动记录测量数据，使测量数据采集自动化。

（二）电子速测仪的型号、等级和性能

1．电子速测仪的组成与型号

电子速测仪亦称“全站型电子速测仪”，是由电子经纬仪、红外测距仪、计算机以及记录器（或电子手簿）等有机地组合而成。这种仪器测量过程高度自动化，通过按钮，由微处理控制可自动进行角度和距离的测量；进行测量数据的记录、各种归算。若配以电子外业手簿和电子内业数据处理装备，就组成综合测绘系统。

电子速测仪按其结构，可分为整体式与积木式两类。

整体式电子速测仪是将电子测角、红外测距、微处理机综合成一个整体的结构形式的电子速测仪，这类仪器将测角、测距装置和存储装置一体化，改变了测量外业的面貌。

目前国际上已开发了多种系列的全站型速测仪，其中又分为普通型与智能型两种。

智能型全站仪内藏数学运算程序、测量精度高，有的采

用人机对话形式的控制面板。

积木式电子速测仪是将电子经纬仪与多种型号的测微仪组合而成。一般是两台单独的仪器，在观测前在测站上进行连接，一般均具有可与另外型号进行互换的性能。

全站仪的精度等级分类见表10-3。

全站仪的精度等级分类　　表 10-3

商标 / 精度等级	LEICA	OPTON	SOKKIA
高精度	TM3000		
中等精度	TC1610	Elta2	SET $^{2B}_{2C}$
一般精度	TC1010	Elta3	SET $^{4B}_{4C}$

2. 电子速测仪的技术指标（表10-4）

电子速测仪的技术指标　　表 10-4

型　　号	TC1610	Elta2	SETZB
望远镜倍率	30×	30×	30×
测角方式	绝对编码连续	绝对式	光电增量编码器
测角标准差（″）	1.5	0.6	2
测角最小读数（″）	1	0.3	1或5
自动补偿器方式	摆　式		双轴液体倾斜传感器
测距标准差（mm）	2+2ppm	5+2ppm	3+2ppm
测　程（km）	单棱镜 2.5	三棱镜 2.0	单棱镜 2.4
显　示	8位LCD双位	9位，LCD单面	LCD双面
水准器 长 圆	30″/2mm	15″/2mm 10′/2mm	20″/2mm 10′/2mm

3．全站型电子速测仪的特点

仪器的测角、测距部分，均通过按钮，由微处理机控制，自动进行测量，成果均可以电控方式进行储存。

通常将由光学经纬仪与红外测距仪组成的测距经纬仪，称为半站型测距经纬仪。这样组合时，光学经纬仪测得角值，需通过手控输入电子手簿。

（三）新型的适用于施工测量的测角、测距仪器

在开发上述高精度全站型电子速测仪的同时，现各仪器厂商在高精度、功能完善的仪器的基础上，大力开发一些适时对路的产品。仪器的精度根据使用要求而定，内设多种适应测量现场的应用软件，故能提供高速、高精度的观测成果又能高效、简易地完成各种测量作业。

下面分别介绍四种为工程测量、施工测量设计的仪器，以了解新型仪器所具有的特点：

1．Elta40电子速测仪

这是德国OPTON厂1984年推出的专为建筑及工程测量而设计的产品。该仪器单棱镜测程为500m（因统计施工中90%的距离测量均短于250m），Elta40测量角度和距离的精度可达到±1mm的精度（测角标准差6″，距离为200m时，相当于±6mm）。

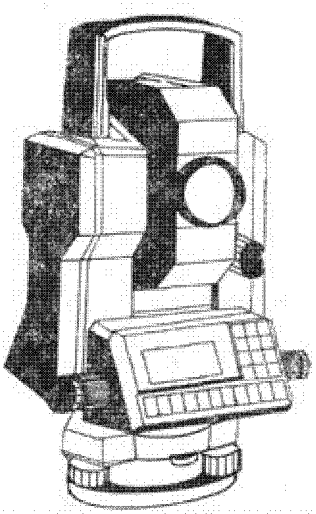


图 10-2　TC1610电子速测仪

2. TC1610电子速测仪（如图10-2）

这是LEICA公司新生产的全站仪，方向观测中误差±3″，单棱镜测程达2km，测距标准差为3mm＋2ppm。

该仪器借助于GRM REC模块记录和存贮数据。每片可存贮约500个数据块。具有内藏式多功能处理软件。TC1000的改进型内藏固化的点位坐标几何关系函数处理功能。

3. DM500系列

为原Kern厂（现LEICA）生产的积木式全站仪，这类仪器的特点是利用计算机中的已编程序自动进行各种规定的计算和数据传输。计算结果可以由DM500系列电子测距仪自动发射到固定在反射器上的远端接收器RD10上，并由数字显示。手持棱镜的放样人员随时可知方向与距离的偏差值，相应移动棱镜的位置，达到放样数据所要求的位置，这对施工放样是非常方便的。

4. SETC系列

为SOKKIA新生产的智能型全站仪，具有下列特点：

(1) 增加了数据存贮模块SDC2插入主机柱体侧面固定部位，测量结果可以按操作键盘发出的指令直接存贮在模块内。一块模块可存贮800个点左右。取出模块放入读卡机读卡，数据流可直接传输至终端计算机及数控绘图桌进行处理和成图，而无需电子外业手簿SDR。

(2) 在操作键盘上，能方便地实行三维坐标测量、导线型坐标测量及改进的放样测量等测量作业。

从上述几种仪器可见：满足测量放线工作的新型仪器已具有高精度、快速进行测角、测距、放样、自动记录、计算，操作方便、便于联机进行数据进一步处理与绘图等功能。这对于开拓视野，结合设备等具体情况，改进测量放线

工作是有帮助的。

（四）电子经纬仪和全站型仪器的使用要点

1．要了解掌握所用仪器与测量放线工作有关的功能

电子经纬仪和全站型仪器与光学经纬仪相比，从精度方面比较，已有类似的精度等级的系列产品可选用。从测量数据的采集方面比较，电子仪器有接口与电子手簿（或记录模块、存储卡）相联，以便对数据进行系列处理。而光学经纬仪需通过读数后手工键入。

针对所采用的仪器，还需对其性能，通过阅读说明书，并对照仪器，了解、掌握其特性，因为这类仪器，不同厂商的产品，各具特色，生产厂型号变化快，尤其是基本功能键的功能方面不断在扩展。只有仔细学习、了解仪器特性后，再结合工作需要，才能充分利用其功能。

2．要学习、了解建立测量仪器系统方面的知识

（1）电子仪器是建立多功能的、可以独立完成各种生产任务的并进行程序控制的测量仪器系统的基础和核心。

多功能表现在：适用于完成各种类型的测量放线工作，操作方法直观明确，可直接利用基本功能键或按工作需要自编补充程序。

例如只要按一下全功能键，仪器可同时完成距离、水平角和竖直角测量，计算出水平距离等有关数据，并可对观测点进行编号及完成所需信息的记录，以便对数据作进一步处理。通过记录功能键，能进行存储或传输。按程序功能键，则可调用仪器内部的固化程序。

选用放样测量程序，能用多种方法完成放样元素的计算和放样作业的检校。

(2) 建立测量系统时，需按所选用的仪器配置有关附件并配置和建立程序库。

在附件方面需分清那些是必须一并购置与所采用仪器配套的，那些是可按作业需要，进行灵活组合的。

目前各厂商的仪器其电源，常有特定的电压要求，各型号也常不同，使用时需注意检查是否适用。对采用的充电器，也需检查是否适用。

对于数据终端、记录模块或存储卡，需视情况，选用原配件或采用电子手簿替代。也可将通用型的袖珍机（如PC1500）改装、开发，按需要设计数据采集、数据处理程序及具有绘图功能的软件包，形成系统。

（五）我国研制的电子仪器、电子手簿和综合测绘系统

1. 我国研制生产的测距仪

我国目前生产的测距仪，多数为中、短程红外测距仪，标准精度为±（5mm＋5ppm·D），可与光学经纬仪组合成半站型测距经纬仪，这种方式的优点是：可充分利用现有的光学经纬仪设备。缺点为：测角数据只能手工键入电子手簿。

如图10-3为常州大地测距仪厂生产的D3000系列红外光电测距仪，使用1～3块棱镜D3000系列最大测程（普通气象条件）分别为1～3km。北光系列测距仪，可选用1～8块棱镜，其中DC2-JDC2-JA型选用8块棱镜测程可达5500m。

2. 我国生产的电子经纬仪

南京测绘仪器厂和中科院长春光机所联合研制的DZJ6型电子经纬仪，1990年11月通过鉴定。该仪器采用增量式编码器、微机细分技术，并具有标准RS-232C接口，仪器能

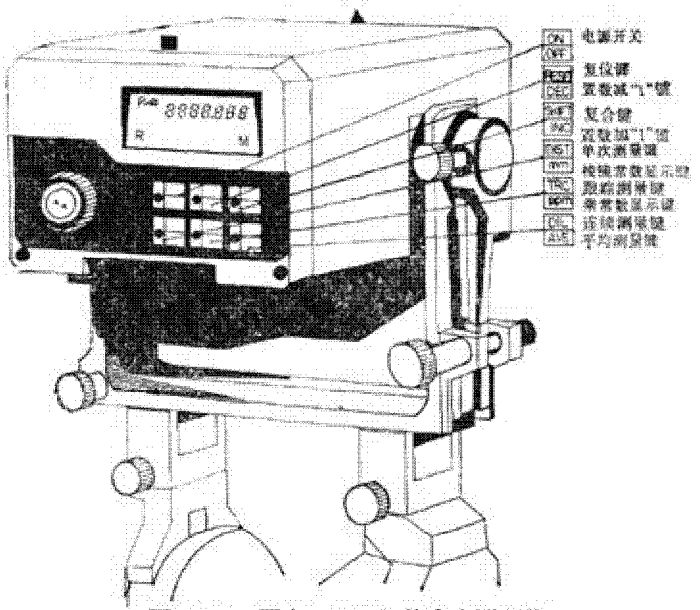


图 10-3 国产D3000红外光电测距仪

自动同时显示水平角和竖直角，两面均有液晶显示器，最小显示1″，望远镜为正象，其它技术指标如表10-1所示。设有四个功能键。

北京光学仪器厂引进日本TOPCON公司产品生产ETL-1型及DT-05A型等型号电子经纬仪，前者测角精度为2″，后者测角精度为5″。

南京华东光学仪器厂研制的DJD6-1型电子经纬仪，1991年通过鉴定。

3．我国开发的电子手簿

1990年以来，先后有武汉测绘科技大学，上海测绘院、南京师范大学等单位，研究开发电子手簿。其具有的特点为：

(1) 均对PC-1500袖珍机进行综合开发，在不改变原

机操作的情况，功能加以扩充，贮存量增大且通讯功能强。

上海测绘院研制的《PC-1500野外电子手簿接口》与PC1500A型袖珍计算机连接使用，共同组成电子手簿。外业时，可与多种电子测量仪器灵活联机，对其进行自动控制，实现观测数据的自动采集、自动记录、自动显示、自动报错，并能根据需要，选用机内固化的各种测量程序，进行各种测量成果的自动计算及各类规定限差的自动判别，并引导整个测量工作的进程。

南京师范大学研制的电子外业手簿EFB64由PC-1500系列计算机和EFB64多功能盒构成。具有体积小、耗电省、通讯功能强等优点，可与多种电子仪器灵活联机。装有测量应用软件包，包括外业手簿的自动打印，测量草图自动绘制等基础软件。

(2) 通用性强，可为用户设计、固化专用程序，价格低。可替代进口的同类产品。

国内研制的电子手簿，配有两个标准串行接口(RS-232C)和一个标准并行输出口，能与各种具有串、并接口的红外测距仪、电子经纬仪、全站型速测仪、打印机、绘图仪，计算机(如IBM-PC系列机)联机通讯，而国外仪器的数据终端、记录模块或存储卡，是专为该厂某系列仪器或某型号仪器设计的。

武汉测绘科技大学改装PC-1500机，大大增加了信息存贮容量，能与微机实现双向通讯，在硬件开发的基础上，设计了一系列野外测量数据采集、数据处理程序及绘图软件包，实现了以PC-1500机为主体的野外测绘系统，可现场绘制各种大比例尺平面图、断面图等多种工程用图。

(3) 电子手簿的优点：可取代人工记录，减轻劳动强

度，提高工效，减少人为错误，提高数据的准确性及可靠性，为实现测图数字化、数据处理自动化、绘图自动化提供了切实可行的设备。可为测量放线工作设计并固化专用程序。

4．综合测绘系统

中南勘察院、上海测绘院等单位，已在生产中使用综合测绘系统测绘1:500比例尺平面图。北光用该厂产品组成测绘系统。由框图10-4说明综合测绘系统的组成及作业流程。

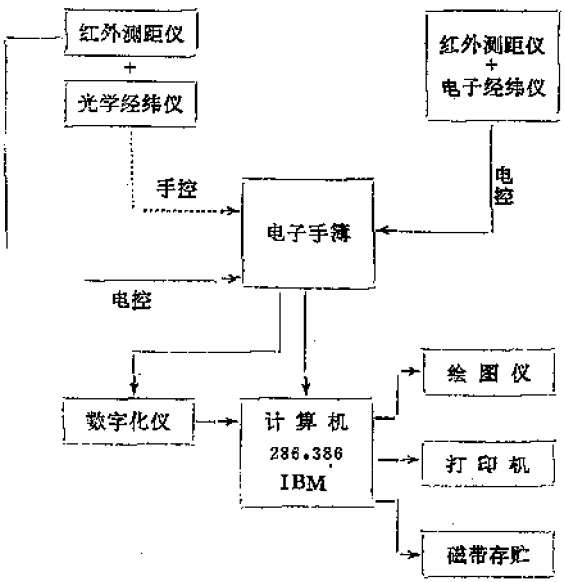


图 10-4　综合测绘系统框图

（六）NA2000数字编码水准仪简介

1．数字编码水准仪的特点

LEICA产NA2000数字编码水准仪是利用电子工程学原理进行观测、信息处理、获取并自动记录每一个观测值的新

型水准仪。如图10-5所示。

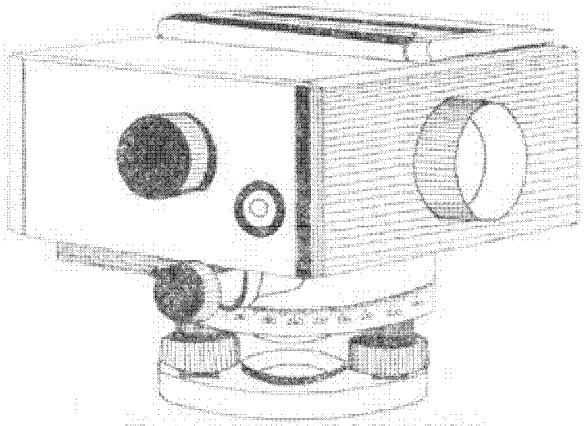


图 10-5 NA2000数字编码水准仪

NA2000数字编码水准仪的技术参数 **表 10-5**

望远镜放大倍率	24×
物镜有效孔径（mm）	36
显示方式	点阵式液晶显示
屏面信息量	2行，每行8个字符
电子测量法测程（m）	1.8～100
光学观测法测程（m）	0.5以上
每千米往返标准差（mm）	电子1.5，0.9　光学2.0
电子编码测距精度	3～5mm/10m
电子测量平均时间（s）	4
计算所需基本数据	标尺读数和水平距离
摆式自动安平补偿器	作用范围±12′，安装精度±0.8″
内嵌式数据存贮器	REC模块GRM10　64KB容量
外接式数据存贮器	GRE3/4或PC机

使用这种仪器时，只要照准目标，按一下按键，仪器就能自动、精确地确定目标点的高程和距离。其测量原理是根据数字影象处理技术。以数字形式显示观测值，并立即存贮在该公司生产的记录模块（GRM10）或数据终端（GRE4），或直接存贮在计算机里。

适用于各种工程设计、施工所需要的格网水准测量、沉降观测、变形观测等。

该仪器需同新型条形码双面标尺配套使用，该标尺一面为标准分划以便目视读数，另一面则有双色条形码供电子扫描用。

2．NA2000数字编码水准仪的技术参数（表10-5）

3．水准仪内嵌测量程序

（1）单次观测作业：显示标尺读数和水平距离。

（2）测线开始：开始水准路线测量。

（3）连续测量：程序控制水准路线测量以便中途检视和放样。可自动计算高程。

（4）检核/平差：双线检验并进行平差计算。

（5）删除数据：删除REC记录模块中的内容。

4．新型条形码双面标尺的技术参数（如图10-6所示）

（1）标尺长度：4.05m，三段拆接式每段长1.35m。

（2）刻划标准形式：条形码/cm分划。

（3）线膨胀系数：小于0.4mm/10°C，4m长。

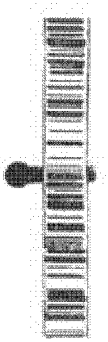


图 10-6 新型条形码双面标尺

（七）工程测量先进技术的发展趋势

1．智能型全站速测仪的应用与功能完善

目前生产厂已推出多种型号的高精度的智能型的全站速测仪，其功能还在日益完善中。这类仪器内设有多种适应现场测量、放样用的应用软件，因此能提供高速、高精度的观测成果以及高效、简便地完成各种测量工作。烦琐的测量作业，均能通过键盘操作来实现，不但精度有保证，而且使用者也感到省力，使测量野外工作迈向自动化的新时代。

2．数字编码水准仪的应用

适用于建筑施工的新型内嵌测量程序的高精度编码水准仪（NA3000每千米往返测高标准差±0.4mm），对实现水准测量、抄平测量、格网测量、沉降观测、变形监测测量过程的高效、可靠、高精度、自动化成为现实。

3．多种适用于施工测量仪器的应用

仪器的多样化与配套组合以满足施工测量的多种需要。例如：采用激光器同经纬仪配合组合成为激光经纬仪，仪器发出的激光束与视准轴精密重合，以适应准直测量、点位标定及远程目标或表面测定的需要。

激光器也可同光学垂准仪配套组成激光垂准仪，同水准仪配套组成激光水准仪。

将测微平板与普通水准仪组合成较高精度的测微水准仪。

此外，还有一种十分小巧、灵活、较实用的双棱光学直角器，测设直角和检验定线精度可达每30m标准差±1cm。

根据需要配套组合经济实用，且已有商品。

4．程控通用综合测绘系统的建立

目前测绘仪器科研设计部门、生产厂商的产品形成系列且从建立程控通用综合测绘系统的高度来研制。野外采集与内业数据处理以及成图的自动化、数字化，这系统已经建立而且正在日益完善之中。因此当选购仪器设备时，宜根据本身作业情况、经费条件考虑到建立综合测绘系统的需要。对已有的仪器、设备也可考虑使其完善，趋于形成测绘系统。

5. GPS测量系统的应用简况

利用GPS传感器接收卫星信号，利用GPS控制器控制作业模式、监视其作业进程和记录观测所得数据，经计算机处理后可求得经度差、纬度差、高程差，且可进行坐标换算。

已有商品可用于控制定位、工程测量等作业，这种利用GPS卫星信号进行定位的技术不需控制点间的相互通视，具有很大的灵活性。

高精度的静态定位精度可达5mm＋1ppm，动态定位精度可达1cm左右。

20km以内的基线定位，一般只要1～2min。1min便可完成毫米级GPS快速静态定位，分钟之内便可完成往返设站定位技术。

利用GPS卫星定位的传感器、控制器目前已有多种型号的商品，其功能、软件日益完善，价格将趋向经济，且更加轻便，将使测绘技术步入新纪元。

（八）施工测量新技术的推广要点

1. 施工测量新技术的推广应用，涉及到仪器设备以及测量新技术掌握的程度两方面，经学习认识到，已应用到测量放线方面的仪器设备具有精度高、自动化程度高、提高工效等优点。要发挥新仪器新技术的潜力还需具有较丰富的及

较广泛的科技知识，介绍新技术首先着眼于开拓视野。

2．新技术的推广应用要紧密结合生产实践的需要，结合国情、结合所在部门的具体情况，要有个过程，宜根据本部门实际生产及已有仪器设备，有计划地采用新技术，提高施工水平。例如，目前在高层建筑施工中已有不少施工单位采用光学垂准仪或激光垂准仪进行竖向控制。

复习思考题

1.有哪些新仪器、新设备、新技术标志或反映了施工测量新技术的发展？

2.电子经纬仪与光学经纬仪比较有哪些类似处，又有哪些特点。

3.电子速测仪有哪两种组成形式？区别处在哪里？

4.全站型电子速测仪具有哪些特点？

5.叙述电子经纬仪和全站型仪器的使用要点。

6.说出我国目前研制了哪些电子仪器、电子手簿以及我国研制的综合测绘系统有什么特点。

7.数字编码水准仪及与其配套使用的组合式水准标尺的特点是什么？

8.学习工程测量先进技术的目的是什么？请谈切身体会和收获。

9.结合本身工作谈谈如何推广先进技术，并请提一些建议。

十一、普通水准仪、经纬仪的一般维修

（一）光学测量仪器维修的基本知识

1．光学测量仪器维修工作的重要性

一般测量仪器如普通水准仪、经纬仪是由一些光学零件如透镜、棱镜、平面镜等所组成的系统，并用一些镜框和机械构件联结起来。光学机械仪器的作用原理是建立在光学基础上的，它的结构比较复杂，配合比较严密，在仪器中对光学零件或金属零件的工作面都要求极高的光洁度和精密的公差配合，这样才能保证测量仪器的轴系、读数系统等部件，满足相应的精度要求。

测量仪器因用于野外作业，易受潮湿和高温影响而发霉、生雾、锈蚀；有些部位易积灰砂，影响仪器的正常使用；长时间的外业使用，仪器会自然磨损，也可能受外力撞击、震动等影响，使仪器所要求满足的轴系几何关系发生变动，严重的甚至造成部件的损坏。上述情况都会影响仪器的使用与观测精度。在实际工作中，测量放线工缺乏仪器检校、维护、修理的基础知识，从而影响工作和影响仪器使用寿命，这都说明学习掌握普通仪器一般维修知识的重要性。

对使用者来说首先要重视维护和懂得维护，保管好仪器，携带和运输中，尽量减少和避免剧烈震动。每次收工时，要用软毛刷拂去仪器上的灰尘，不用时，将仪器保存在干燥的房间内。使用过程还应定期检校、维护以提高使用效率。

发生故障时，应按有关程序对故障症状进行分析、检查，视具体情况和客观所具备的条件，进行力所能及的检修

工作。若仪器损坏较严重或者不具备维修该部件的知识、经验和设施条件的，不得随意拆卸，应送制造厂或专门部门修理，以免造成进一步损坏。

2．测量仪器中常用的光学零件及其作用简介

在测量仪器中，为了进行光学成象、影象放大，改变光线的方向及测量微小读数等，应用了各种光学零件，如透镜、棱镜、光楔、平行平面玻璃板等。

(1) 直角棱镜：当垂直于棱镜的棱线所作的横断面均为等腰直角三角形时，该棱镜称为直角三棱镜。如图11-1所示。

利用直角棱镜的任意面进行反射或折射，对光学仪器的光路调整很有用处。

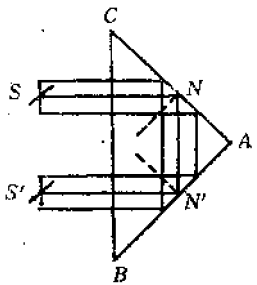


图 11-1 直角棱镜

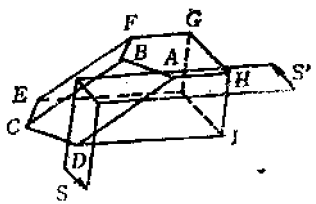


图 11-2 屋脊棱镜

(2) 屋脊棱镜：屋脊棱镜是一种变形的直角棱镜，其斜面由两个构成90°角的屋脊形反射面$ABCD$和$BCEF$所代替。两个反射面的交线BC称为屋脊棱，屋脊棱镜中BC、AD、FE与底面的夹角均为45°，$\angle FBA$为90°，$\angle BAH$为135°，$\angle AHG$和$\angle HID$均为90°，如图11-2所示。

屋脊棱镜能使光线改变方向，又使象倒转。它在光学经纬仪的读数系统中得到广泛的应用。

(3) 菱形棱镜：如图11-3所示，两对棱角A和C为45°，

$\angle B$和$\angle D$为135°。

菱形棱镜的作用是使光线平行位移而方向不变。

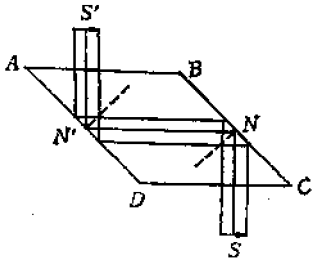


图 11-3　菱形棱镜

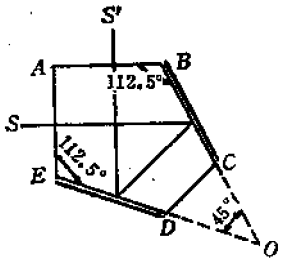


图 11-4　五角棱镜

(4) 五角棱镜：如图11-4所示，这种棱镜用来使光线方向改变90°，与直角棱镜相比，不严格要求入射光线S垂直于棱面AE，而入射光线S与出射光线S'在一定条件下，恒相差90°角，但要求BC、ED两面必须镀银。

(5)光楔：如图11-5所示，棱角θ很小的三棱镜称为光楔。

利用光楔能使光线倾斜一个很小角度的特性，在测量仪器中广泛应用于经纬仪的测微系统中，光楔移动值是与度盘分划移动量成正比。因此，测角时就可以用测微器精确测出秒级值。

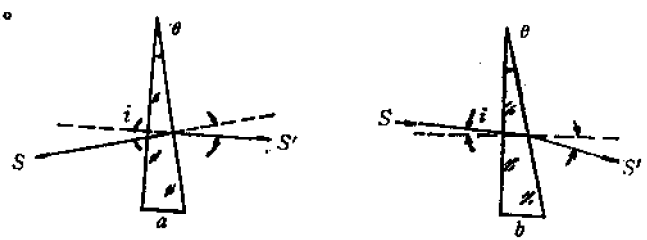


图 11-5　光线在光楔中的折射

(6) 平行平面玻璃板：平行平面玻璃板的两界面互相平行，其作用可使倾斜的光线移动一段距离，而不改变方向。如图11-6示。

平行平面玻璃板在测量仪器中广泛用作光学测微器的活动光学零件。

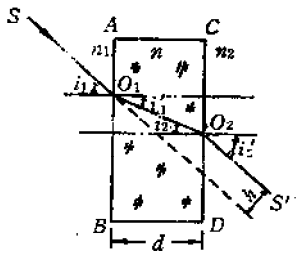


图 11-6 光线在平行平面玻璃板上的折射

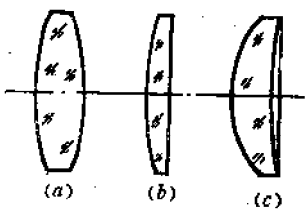


图 11-7 会聚透镜

(7) 透镜组：具有两个折射面，其中一个或者两个都是球面的光学零件称为透镜。

透镜的种类很多，它是光学机械仪器中应用得最多的一种光学零件。根据其光学特性及球面的方向不同，可分为会聚透镜（凸透镜）和发散透镜两个大类。

会聚透镜又分为双凸透镜如图11-7(*a*)所示、平凸透镜如图11-7（*b*）所示和收敛凸透镜如图11-7（*c*）所示。这三种会聚透镜的共同特点是中间厚而四周薄。

发散透镜又有双凹透镜如图11-8(*a*）所示、平凹透镜如图11-8（*b*）所示和发散凹透镜如图11-8（*c*）所示。这三种发散透镜的共同特点是中间薄而四周厚。

通过透镜两球面中心的连线称为透镜光轴。对于平凸或平凹透镜而言，通过透镜的球面中心且垂直于平面的直线称为透镜光轴。

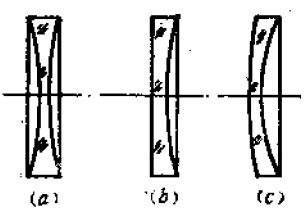


图 11-8 发散透镜

透镜通常是用玻璃磨制

而成，利用透镜使物体成象，这是透镜的一个重要应用。透镜所成的象与物体离透镜的距离有关。

在测量仪器中，为了得到良好的成象质量，减除各种象差的有害影响，提高精度，通常采用两块或两块以上的透镜组成透镜组。透镜组有胶合型的和分离型的。

透镜组的线放大率决定于物体（如度盘分划线）到透镜组的距离及两透镜之间的距离。在光学经纬仪的读数系统中，因度盘和读数窗的位置是固定的，就是通过调整显微物镜组的位置，来调整视差和行差的。

3．测量仪器中的主要机械部件简介

（1）轴系：轴系是属于导轨的一种结构形式，它的作用是使仪器上的运动部分旋转时，能以一定的精度，循巡规定的方向进行，因此轴系的基本要求是置中或定向的。测量仪器中的主要轴系要求有固定的相互关系，如相互平行、垂直和共轴，并要求在运动过程中，保持这些关系。经纬仪中的竖轴与横轴的设计、加工中是否完善以及利用时是否正常，对于观测是十分重要的。也是维检的重要部分。

（2）制动和微动设备：仪器中的制动、微动机构是为了使仪器上的运动部分迅速而又准确地安置到所要求的位置。在实际测量时，制动和微动是不能分割的一组零件，不论是何种制微动结构，都必需先行制动后，微动才能正常工作。

微动设备直接影响照准精度，对于经纬仪而言，微动螺旋的灵敏度一般不允许大于望远镜照准目标的最大误差，这也是维检的内容。

（3）安平螺旋：良好的安平螺旋能保证仪器的精确安平和整个仪器的稳定。

三个安平螺旋是以互成120°的方位分布在基座上的。安

平螺旋的设计、加工精度，必须与安平水准器的灵敏度相适应，这涉及到安平螺旋的螺距、手轮直径、到仪器中心的距离、手指的敏感度和安平水准器的角值等，新仪器涉及设计、加工、装配的完善程度。

仪器使用后，若发现安平螺旋晃动而使水准气泡不稳定，则需进行维修。

4. 测量仪器光学零件、机械部件与一般维修的关系

上面将普通水准仪、经纬仪中的主要光学零件与主要的机械部件方面与一般维修关系较密切的部分进行了介绍。

光学零件组成了仪器各个部分的光路，为了满足有关设计要求，零件的位置经过计算，若位置变化、零件受潮霉变或脱胶，有关光学部分就会出现故障。

机械零件部分若设计合理，新产品性能正常，使用后发现故障，需对故障情况进行分析。

（二）检修的设备、工具和材料

1. 检修工作室

为使检修工作顺利开展，保持检修环境的洁净，要根据仪器的精度等级、检修项目及客观条件建立检修工作室。

（1）工作室不宜过大，检修与验校可以分开。工作室的清洁整齐是首要条件，尤其要注意防灰与干燥。进入时要换清洁的拖鞋，穿上工作服。宜保持室温稳定，不宜急剧变化。

（2）室内要有充足的光线，除尽量利用天然采光外，应装置一些不同亮度的照明灯具和可移动的照明设备，以满足检修工作的需要。室内四壁和天花板宜涂刷浅色油漆。

（3）室内地面必须坚实，必要时可特制一个稳固坚实的仪器观测台，以使在室内进行检校时，不受地面震动的影响。

(4) 检修仪器用的工作台，在其三面应加设挡板，结构要稳固，不能有晃动，台面必须平整应铺设一层橡胶皮。

(5) 为减少灰尘，可在工作台上加一个防尘罩，还能保护光学零件，较为实用。

(6) 工作间宜设置黑色窗帘，以便在不需天然光线时，进行遮光。

2. 常用工具

仪器的检修通常要经过拆卸、安装和调整、检校。需具备一些工具，其检修质量除与检修人员的业务水平能力有关，还取决于检修工具的质量、完备情况和使用是否正确。

为圆满完成仪器检修任务，通用工具一般购置，部分工具如图11-9所示。专用工具则需自行加工特制。

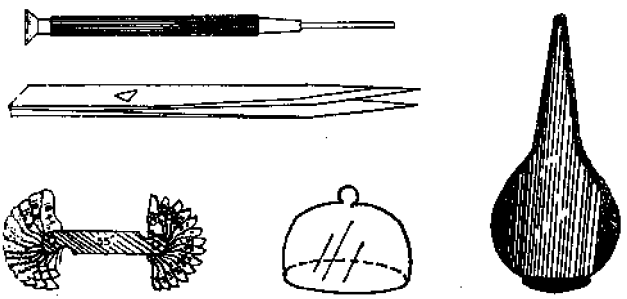


图 11-9 仪器修理的通用工具

(1) 螺丝刀：包括大小不同规格的和精密仪表用的，用于拆装仪器上不同规格的螺丝。两者宜成套购置。

(2) 镊子：宜备弹性较好的不锈钢镊子和镊片较硬的镊子（拆螺丝盖片用）。

(3) 螺纹规：螺纹规有公制和英制两种。公制的标注有60°字样，英制的标注有55°字样。国产仪器均属于公制，外国的仪器有的采用英制。螺纹规是为配制螺丝时，测量螺距。

（4）玻璃罩：又称灰罩，大的称钟罩，用于保护仪器的零件、部件或整台仪器不受外界的撞击和湿度等影响。应视需要购置适当的大小高度的玻璃罩。

（5）吹风球：即医用洗耳球，在检修时，用于吹拂零件表面的灰尘。有90cc和120cc的两种，较为实用。

（6）玻璃缸、玻璃盒或培养皿：用于盛装拆下来的零件、组件和小型零件。

（7）五金类工具：包括各种钳子、扳头、锉头、锉刀、台虎钳、手虎钳、钢锯等。

（8）其它工具：包括手摇钻、电烙铁、游标卡尺、千分尺、酒精灯、钟表刷、猪宗牙刷、小漆刷、刀片、校正针、各种规格的螺丝圆板牙和螺丝攻（即丝锥）等。

自制工具是为了使仪器的拆装更为安全无损以及提高工效，需根据测量仪器的构造与零部件的连接方式设计。可参阅有关资料或向生产厂了解情况后进行加工或改制。

3．仪器检修的常用材料

（1）润滑油脂：鲸脑表油、钟表油、扩散泵硅油、机油、无酸凡士林油、3号润滑脂或低温脂。

在检修测量仪器工作中，使用的油脂是很重要的，必须加以重视。油脂的主要作用是使运转部位转动灵活，保护机械零件的摩擦面尽可能少磨损和不锈蚀，并起润滑作用。由于测量仪器要在野外不同的气温条件下使用，低温时不凝结，高温时不能离析或流出，长期使用中不允许氧化水解，不能改变原有性能，因此一般应选用精密仪表油。

由于仪器转动部分的间隙、转动方式、压力和速度均有不同，应根据不同的部位，选用不同性质的润滑油，如机械零件应加稠度较大的润滑脂，而轴系则应加稠度较小的油。

（2）清洁剂：乙醇、乙醚、香蕉水、汽油、煤油、丙酮等。

清洁剂要按清洁对象选用。在光学零件的清洁中常采用纯度为95%的工业酒精，溶解油脂、虫胶；乙醚能溶解油脂、石蜡等，是清洁光学零件中不可缺少的材料。经实践证明，将13～20%的乙醇和87%～80%的乙醚混合使用，其效果更为突出。

丙酮可溶解油脂、石蜡、有机胶类和硝基漆。香蕉水对于溶解有机胶类和油漆类较有效。

煤油对于金属零件的除锈和油脂的清洗较为有效。因不易挥发，用煤油清洁过的零件，通常还需要用汽油清洗一次。

汽油一般采用航空汽油和洗涤汽油，用以清洗金属零件，去污性能好，能溶解沥青、石蜡和油脂。对于镀铝层的表面清洁，采用10%的中性肥皂水和90%蒸馏水混合作为清洁液。

（3）胶类：用于光学零件的胶合剂主要有：加拿大树胶（国产为中性树胶）、甲醇脂、冷杉树脂胶、钻石牌树脂胶等。

用于非光学零件上的胶合剂有：环氧树脂胶、乌利当胶和万能胶等。

（4）研磨剂：800号或1000号金刚砂、309号红粉（三氧化二铁）、银粉砂纸、00号铁砂布、粗细油石和氧化铬等。

（5）揩擦用品：麂皮、丝绒布、特级脱脂棉（用于清洁光学零件）、细漂白布、纱布（均需作脱脂处理）。

（6）其它材料：石膏粉用于安装水准气泡；薄铝片和锡箔纸用作衬垫用。

（三）普通水准仪、经纬仪的一般检修方法

1．检修前的检查

修理前一般要求对仪器的各个部位包括望远镜、水准器、轴系、读数系统、度盘、制动微动机构、微倾螺旋和安平螺旋作全面检查，同时应对使用中发现的故障及发生故障原因作出记录。在修前再重点进行复查，并作出记录，作为判断和排除故障的根据。

以上检查内容是对水准仪、经纬仪两者一并讲的，尚需按检修的仪器确定检查项目。

通过修前检查，应确定故障的症状、部位及属于那个系统。是机械零件还是光学零件方面的？是什么性质的？属于更换部件、清洗加油润滑，还是需作光路调整等等。

2．光学仪器一般性的检修项目和步骤

（1）检查各安平、制动、微动等螺旋和目镜、物镜的调焦环（或调焦螺旋）有否缺损和不正常现象。

（2）检查外表零件、组件的固连螺丝、校正螺丝有无缺损和松动以及外表面有无锈蚀、脱漆、电镀脱色等现象。

（3）检查各个水准器有无碎裂、松动、气泡扩大、能否随安平螺旋的调动量作相应移动和格线颜色脱落等现象。

（4）水准器的观察镜、反光镜有否缺损，气泡呈象是否符合要求，观测系统（观察镜、反光镜）有无缺损和霉污，呈象是否清晰。

（5）检查竖轴和横轴在运转时，是否平滑均匀正常，有无过松或过紧、卡滞等现象。

（6）检查照准系统望远镜的呈象情况，检查光学零件有无水汽、霉污、视线模糊、脱胶、碎裂和缺损现象。并检查

读数系统和光学对中器有无上述光学部分呈象不清等现象。

（7）度盘和测微器的格线有无长短、歪斜及度盘偏心现象。

（8）水平度盘和竖盘的格线有无视差、行差和指标差。

（9）设有复测机构的经纬仪，需检查复测机构有无带动度盘或打滑现象。

（10）检查三脚架是否牢固，脚架伸缩腿的固定螺旋有否失效、木棍紧固螺丝是否有效及伸缩腿的脚尖有无松动。

以上检修项目和步骤，主要是对经纬仪而言，普通水准仪仅与一部分有关。

3．检修时应注意的事项

（1）通过对仪器全面和分步骤的检查，结合有关光学零件和主要机械部件的知识，准确判断出仪器产生故障的原因和部位，定出检修的方案。

普通水准仪有安平系统、转动系统、照准系统。经纬仪除有以上三系统外，还有读数系统、视距系统和对中系统。应按故障特征，分析是那个系统、那个部件的故障后，才能确定需进行检修的部位和修理方法。

（2）检修某些局部性的故障，需按“那里有故障，就拆修那个部位”的原则，尽量不拆动与故障无关的零部件，以免造成损失。

（3）检修前应先学习熟悉所检修的这一型号仪器的技术资料，如轴系结构及有关系统的结构图纸、光路图等，因为各种牌号、型号的仪器结构有区别；同时还要将检修工具、材料准备齐全，放在工作台或附近备用。

（4）若出现综合性的故障，应先处理局部容易解决的问题，然后再处理难度较大的故障。同时还要局部地进行拆

卸、修理、清洁和组装的程序，以免装错或丢失零件。

（5）拆装仪器是难点之一，型号不同的仪器又常有区别。一般应经学习、培训掌握操作工艺和技能的基础上，初次拆装应在导师指导下进行。遇到难拆卸的零部件，在没有弄清仪器的结构之前，不得随意或强行拆卸。

要仔细检查结构连接部位是否有定位螺丝，是否有反牙或被销钉销住。在拆卸由螺纹连接的部件和由螺丝固定的零件时，切勿用力过猛，以免拧坏螺纹或将螺丝拧断。如遇有不易拆或锈住的螺丝，可在该部位滴些汽油，同时小心地轻轻敲几下螺丝，使生锈部分开裂，以便拧下。

拆卸下的零部件，要仔细检查有无损坏，以便逐个修配。在拆卸时要注意拆卸的部位和特点，以便检修后组装复原。

拆卸下来的零部件，应按零件的精细程度分别存放和清洁，以免造成损伤或混杂，也便于组装时选用。

（6）拆卸的顺序宜由上而下进行，避免在拆卸上部时污染下部。在拆卸光学零件时，要避免用手指直接接触光学零件的抛光面，安装前应戴上乳胶手套，将所有的光学零件的抛光面擦拭干净，不得留有油迹或汗斑，否则会形成霉污就难于去掉。放置光学零件的器皿要垫脱脂棉或棉纸，要使零件间尽量分开。

光学零件常涉及就位的精确性，应尽可能少拆或采取分批拆卸，分批组装的办法。

（7）所用的清洁液用后要及时盖紧，所用的辅助材料（如垫片、压片等）要经防霉、防雾处理。

（8）检修后的仪器应进行检校，经检校合格的仪器方可交付使用。检修人员除善于排除故障外，还必须掌握检校知识。条件允许时，还应在检修工作室购置检校设备。以提

高检校质量与效率。

（四）普通水准仪常见故障的修理

1．安平系统方面常见故障的修理

（1）基座安平螺旋转动时不正常，有过松过紧、卡滞、晃动等现象。

过松过紧是由于枣形螺母与螺杆相互磨损或松紧调整螺母没有压紧所致，可调整松紧调整螺母排除。

转动有卡滞、晃动，一般是因螺纹上有污垢，或因螺纹损伤，螺母变形引起的。凡属污垢，清洗螺纹重新加油即可；若属损伤可用氧化铬进行对磨，研磨后将零件清洗，加油装配后再检查，直至合乎要求为止。

（2）长水准器弧曲度不正确的检修：当整平时，如发现水准器的气泡，不能随安平螺旋的调动量作相应的移动，即有故障。若发生的水准器中部或气泡两端符合处，应换新件。

（3）管状水准器的安平超微倾螺旋的调整范围的故障：微倾式水准仪，在圆水准器气泡整平后，便可借助于微倾螺旋使长水准器气泡居中，若仪器受过剧烈的震动，就可使水准轴与竖轴之间的倾角，超过微倾螺旋所能调整的范围。出现这种故障，首先应检查微倾机构挠板上端的顶针（如图11-11(a)中8所示）有无缺损，顶针的位置是否过于偏斜，微倾弹性金属片压板螺丝（如图11-10中4所示）有无松动，长水准器的球头轴钮（如图11-10中7）是否放正，如发现上述几方面有不正常现象，则需尽先设法排除。排除后即进行校验，若仍不能使管状水准器气泡居中，或者虽可居中，但微倾螺旋已旋到极限位置，此时将水准仪用长气泡按整置经纬仪类似的方法，将水准仪精确整平后，再把微倾螺旋调

到旋动范围的中央位置，然后从微倾挠板的下端向上改动顶针的调整螺丝，如图11-11(a)中9所示，使管状水准器气泡居中。如调整螺丝已经损坏，可予调换，或适当调换顶针的长度，使之适合需要。

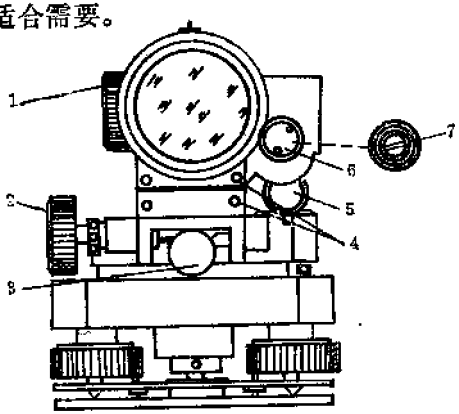


图 11-10　水准仪物镜方向侧视图

1—物镜调焦螺旋；2—微动螺旋；3—制动螺旋；4—微倾弹性金属片压板螺丝；5—反光板手轮；6—长水准器轴钮紧压螺丝；7—轴钮螺丝。

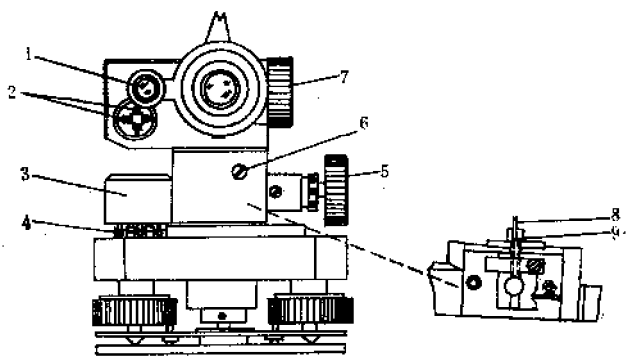


图 11-11　水准仪目镜方向侧视图

1—长水准器观察镜；2—长水准器校正螺丝；3—圆水准器；4—圆水准器校正螺丝；5—微倾螺旋；6—微倾螺旋挠板固连螺丝；7—物镜调焦手轮；8—顶针；9—顶针调整螺丝

（4）水准轴和视准轴的平行关系不能持久的检修：在微倾式水准仪中，如发生这种故障，应从安平系统和照准系统两个方面先行检查。

安平系统方面：在检查长水准器玻璃管和外套金属管之及的装置以及外套金属管和仪器主体之间的装置时，如发现有松动现象，需按照结构装置情况，设法进行加固修理，务使水准轴稳定不动。还需检查长水准器的校正螺丝间有否顶紧。

照准系统方面：在检查十字丝校正螺丝、十字丝分划板压环以及目镜整套（内包括十字丝分划板）连接部分的装置情况时，如有松动现象，需设法加固。

此外，还要检查一下调焦透镜和调焦镜管的位置，物镜和物镜座的装置，若有松动，就能改变光轴的位置，使视准轴和水准轴之间的平行关系破坏，需要拆出加固，使视准轴位置先稳定不动。

2．转动系统方面常见故障的修理

（1）转动轴紧涩的检修：首先查看微动螺旋的顶针和弹簧套尖头的安装情况，如果没有顶在微动杆上的顶孔内，只要把它安装好，就能消除。如因转动轴缺油、腐蚀生锈、灰沙磨损或用油不当，则通过拆洗和重新加油，可恢复正常。如发现转动轴表面有磨损的伤痕，则需用800～1000号银粉砂纸，用手贴紧竖轴的摩损处，作同一方向的均匀绕擦，将伤痕上凸出的毛头擦去，然后清洗上油，使轴的摩擦面能均匀地薄薄涂上一层油，不宜太多。

（2）制动螺旋失效：其原因是制动圈、制动瓦缺油或油污沾结或者因制动杆磨损而顶不紧制动轴瓦，前者可通过清洗、加油复原；若属磨损可进行调整或配以新件。

（3）微动螺旋失效的检修：如在旋转时，有过紧或晃动，可用改针调节其松紧压环，使其松紧适度；如在旋转时，不能起前后推动的作用时，乃是微动螺旋螺母的位置没有固定好，使螺母随着螺杆一起在转动，这就需要将螺母的止头螺丝旋出，重新安装。安装时先旋动微动螺旋，从止头螺丝孔中注意里面的螺母，让螺母随着螺杆转动到上面的止动槽对准螺丝孔时，就将止头螺丝装上，把螺母固定起来。此外，若微动螺旋手轮上的销钉折断或螺丝松动，也能引起失效，需分别处理。还有由于竖轴过紧，而使微动螺旋弹簧不能承担推动力，同样能引起微动螺旋的失效，这就要从修理竖轴的方面着手解决。

3. 照准系统方面常见故障的修理

（1）目镜调焦螺旋发生过紧或晃动现象的检修：在目镜调焦时，如发现过紧的现象，是调焦螺旋螺纹中沾上灰尘油腻所致；若螺纹有损耗和缺油时，则会引起晃动现象。

将目镜调焦螺旋取下，拆下其屈光度环，用汽油将灰尘油腻洗清，加上新的润滑脂即可。

（2）十字丝视象模糊不清的检修：十字丝视象模糊不清，原因有的是因目镜调焦螺旋失效所引起的，应按仪器的结构情况，进行修理和校正；有的是因光学零件松动脱开或没有放平而引起的，将目镜拆出，加紧压环即可。假如是因光学零件上沾上了灰尘、水汽和霉斑等现象，就要按照下述的方法进行清洁：

首先，将目镜上接触眼睛的一块透镜，用麂皮或丝绒布，浸蘸少许酒精把它揩擦干净，然后从目镜中观察，如看到一些灰点、雾气等不洁物，随目镜调焦时一起转动，便说明这些污点是在目镜上面。如当转动目镜时，一些污点停留

着不动，则这些污点乃是在十字丝分划板上。

在分划板上面的污点，又可分为几种情况：如在调焦时污点与十字丝同时清晰，说明这些污点是与十字丝位于同一平面上；若当十字丝清晰后，这些污点还需要用目镜向内调焦才能看清楚，则这些污点是在分划板的靠近物镜的一面；反之，十字丝清晰后，这些污点需要向外调焦才能看清楚，则这些污点就位于靠目镜一边的十字丝刻线的复盖玻璃上面。

查清污点的所在位置后，慢慢地把目镜拆出，用脱脂棉卷在小竹棒上，略浸蘸些酒精进行揩擦。需注意：在揩擦十字丝分划板上的灰点时，需在明亮处看清灰点的位置，要用很细的棉花棒，从浸蘸过酒精的棉花上蘸些酒精，逐点揩擦，每揩一个点，就要调换一次棉花。对于靠物镜一边的分划板表面，若需揩擦时，只要将整套目镜拆下后，从目镜中检视着灰点，将棉花棒从另一端伸进去逐点揩擦掉（在伸进去时，棉花球不能碰着金属零件）。

（3）望远镜调焦失灵：产生这种故障多数是调焦手轮的转动齿轮和调焦透镜的滑动齿条脱开，使调焦透镜不在镜筒中正常运动所致。

调焦镜管如图 11-12 所示。

修理方法：将调焦螺旋拆下来，重新安装，使齿轮与齿条符合好。

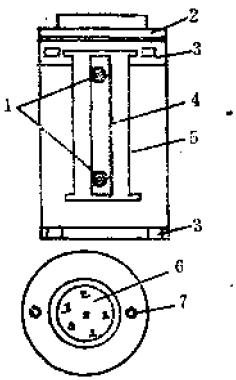


图 11-12　调焦镜管

1—齿板螺丝；2—透镜座；3—弹簧片；4—齿板；5—滑槽上边；6—调焦透镜；7—板孔

（4）物象模糊的处理方法：物象模糊时，首先通过物

镜向镜筒内部检查，如发现调焦透镜和物镜上面沾上了灰尘、水汽和霉斑等现象，应考虑如何进行清除。在清除时最好不要将透镜拆出镜座，以免产生呈象模糊和调焦误差；如水汽、霉斑在镜片的夹层里面，非拆出不可时，应事先做好镜片和镜座之间的安装记号以及镜片和镜片之间的对合位置记号。

用酒精或乙醚揩擦时，需注意不能让这些清洁剂浸入胶合面；并需注意：不胶合的物镜、透镜与透镜之间的三块隔片，不能揩掉或遗失。

（五）普通经纬仪常见故障的修理

先对经纬仪的修理与普通水准仪的修理，作一比较，因经纬仪机件结构精密度要求更高，读数系统中使用了较多的光学零件，涉及到光路调整；照准系统有较多的内容，还有对中系统，而且各种不同等级与型号的经纬仪，在轴系、读数系统、光学对中器设置部位等方面又有区别。因此普通经纬仪的修理较为复杂，对检修人员的水平要求较高。

下面着重介绍读数系统方面故障的鉴别，对于修理宜视条件做些力所能及的工作，凡与水准仪修理内容有类似的部分，不再重复，仅作简单介绍。

1．普通经纬仪机件故障的修理方法

（1）对产生故障的原因进行分析：经纬仪机件故障的原因有：设计制造方面的（如因设计考虑不周引起、材料选择欠佳、加工精度不够高、装校不细致）、振动与摩擦方面的、润滑油脂方面和受灰尘湿度的影响等。

在使用过程中产生故障的原因是复杂的，应在全面检查分析的基础上，作出判断，然后采取相应的修理方法。

(2) 安平系统方面常见故障的修理：安平螺旋过松过紧或失效；转动轴紧涩和卡死（因振动、摩擦、油脂、灰尘侵入引起）；制动和微动螺丝失效等这些故障的修理方法，与普通水准仪产生的类似故障的处理方法类似。

有区别的是，经纬仪修理时，有更高的要求，经纬仪的转动轴（竖轴与横轴）的正常转动，会受到温度对材料膨胀以及制造厂加工的竖轴与轴套的公差产生的影响，这种原因引起的紧涩或竖轴与水准轴的关系不稳定，涉及材料选用与加工精度方面存在的问题，处理就困难。

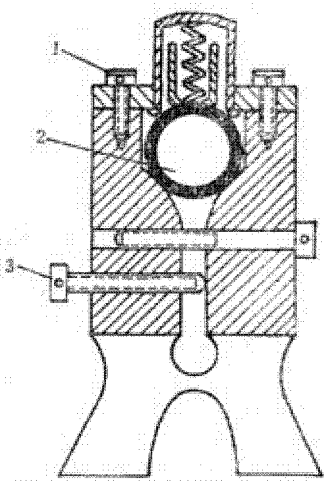


图 11-13 右支架上部结构
1—横轴盖瓦固定螺丝；2—横轴；
3—支架调整螺丝

横轴运转时，如有较紧或松紧不匀的现象，一般通过拆洗加油后，可恢复正常。

若已经检验发现横轴支架位置变动，即横轴不水平（不与竖轴垂直）。有的仪器可旋松或旋紧如图11-13中所示的两个支架调整螺丝，使横轴升高或降低。有的仪器没有此项设备。支架差校正，需查出较低的一个支架，然后用锡纸垫高，使之符合要求。

对于因轴套和轴承损耗造成的横轴松动，简便的处理方法是，用锡纸垫在轴承轴套上下，不使轴承松动，也可在轴承上面两侧装上两个较紧的平头螺丝，作为调整轴承松动之用。以上做法，都是临时性的。根本办法是重新配制轴承或

在轴承面上镀铬。

（3）水准器的装配和更换方法：水准器如发现不能随安平螺旋的调动作相应移动等不正常现象时需作更换；或已破损时，必须配同精度水准器代替之。若因固定水准器的石膏变质，使水准器晃动而失灵，则拆下重新灌石膏。

精度较高的仪器，其水准器玻璃管，一般是用两只金属弹性帽，扣紧玻璃管两端后，装入金属管内。在金属管的两端各用三个顶紧螺丝，顶住玻璃管两端弹性帽上跷起来的三个帽脚，使玻璃管固定在金属管内。金属管两端的塞头是用螺丝连接起来的，一般装得很紧。如图11-14。

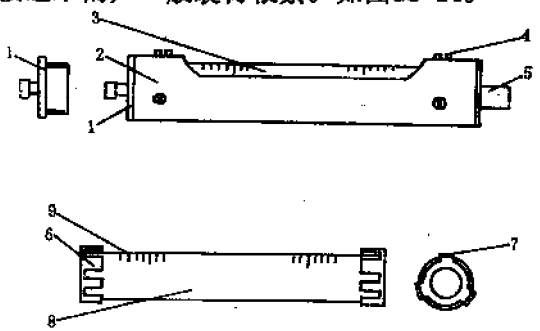


图 11-14　水准器的装配

1—金属管塞头；2—金属管；3—水准器观察窗；4—弹性帽顶紧螺丝；5—方形顶杆；6—弹性帽；7—帽脚；8—水准器玻璃管；9—分划线

如果玻璃管还可用，则在拆卸时要十分细心，最好先将六个帽脚螺丝略微放松，在塞头接缝处滴些煤油，用孔径比金属管略大些的木夹子，周围衬着薄橡皮，把金属管夹住不动（不能夹在观察窗外，也不能夹得太紧），然后设法将塞头取下。在安装时，如金属管弹性帽不能扣紧玻璃管，应将帽口设法收紧；如帽脚太低，螺丝顶不紧，则将帽脚用钳子适当的钳高些；安装时弹性帽的一个帽脚必须位于玻璃管分

划面的中心，金属管塞头上方形顶杆的上下平面，必须与观察窗的框平面平行，这样才能符合使用要求。

精度较低的仪器，其水准器玻璃管一般用石膏直接固定在金属管内，拆取方法是，用薄口的仪表起子，细心地沿着管壁四周，从外圈到中心，把石膏擦去，擦到中心时更要细心，要防止碰到玻璃管的尖头。如果管端的石膏已擦去，而玻璃管还不能取出，则可将水准器管浸入水中，让石膏先行溶解，然后用相当于玻璃管同样粗细的空心笔管，从玻璃管平底一端向另一端顶出去。安装时，应在玻璃管底面衬一些相当于玻璃管大小的白纸，纸的张数以能撑紧玻璃管为宜。在粘结时，先用水将石膏调匀，灌入金属管两端，然后用木棍沿着管壁四周轻轻挤压，待干燥后才能装上仪器。

水准器玻璃管的规格是指玻璃长度、直径、气泡长度、格值。最主要的指标是要格值必须相同，大小要与金属管的容积以及和观察窗的大小适应。棱镜折射符合法的水准器如损坏，在配制时，气泡的长度应等于两个进光窗孔中点间距的长度，如图11-15所示。如没有这种规格，可按照两个进光窗孔的长度作适当的选择，但不能超过两窗孔的2/3或小于两窗孔的1/3，以免影响观察气泡的呈象。

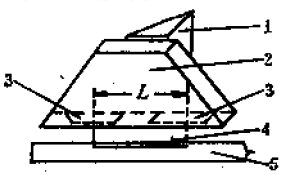


图 11-15 水准器符合棱镜组外形图

1—转向棱镜；2—符合棱镜组；3—进光窗孔；4—水准器气泡长度；5—水准器玻璃管

2. 普通经纬仪读数系统方面故障的判断知识

(1) 从读数系统的特征了解光路概况：各级、各类型的光学经纬仪的构造各有不同，其中以读数系统的光学设计方法差别较大。能从读数显微镜中反映出其类型的特征；在

识别或熟悉了各种类型的特征后，就能从读数显微镜中了解其光学设计的概况，进而能从各个视象所反映出的不正常现象中，正确地判断出读数系统产生故障的原因和部位，由此可作出适当的修理步骤。

我国大多数工厂生产的DJ6型光学经纬仪，在读数显微镜中只反映度盘直径的一端视象，且采用带尺读数法，下面以这种型号仪器为例，说明其光路设计的概况。

此类仪器的特征是不装置光学测微器，而在竖盘和水平度盘的两个读数窗上，各自装置一个固定的可以直接读数的分划带尺。这种仪器有关竖盘和水平度盘两个视象的光路，绝大多数是分开的，各自有一个读数显微镜光具组，把象分别递送到指定的读数窗内，然后竖盘和水平度盘的视象汇合在一条光路上，通过读数显微镜目镜光具组的作用而呈现。当发现视象有不正常现象时，需查看清楚，是竖盘或水平度盘视象中个别存在的现象，还是两个视象与读数窗之间共同存在的现象。如果是个别现象，就从有关的一个视象的光路上去研究检修，倘是共同性的，就仅从两个视象汇合后的光路上去研究检修。

采用光学测微器指标读数法的DJ6型仪器以及DJ2型仪器读数方法不同，其光路也不相同。

(2) 普通经纬仪读数系统故障产生的原因及部位的辨别和排除方法。

1) 视场黑暗无光：原因是光路阻塞或光线中途失去联系，光学零件发生位移、脱落或碎裂。遇到这种故障，需按光路系统，分段查看其中棱镜有无松动、脱落、缺失和装错。

2) 从读数显微镜中看到整个视场（包括两个度盘、读数窗格）模糊不清。这种现象的产生原因是，在读数窗后面

的读数显微镜目镜光具组的光学零件上有不洁物。其具体位置可按下列方法逐一调试以便辨别。

3）如灰点和霉斑随目镜调焦时而转动，则灰点和霉斑是在目镜上；反之若当调焦时，污物停留不动，则是位于转象透镜或转向棱镜上。

4）在转动两个度盘时，视场中的污物没有移动，而读数窗格也保持应有的清晰度，这种现象的原因产生于读数窗。如污物随度盘的转动而相应地移动，则污物是位于度盘上。在查看时，若污物的清晰程度和度盘的视象完全一致，则污物就位于该度盘的同一平面上。如不一致，而当度盘视象清晰后，还要用目镜向内方向调焦才能将污物看清楚，则污物是位于度盘前面（按照读数系统次序）的另一个平面内。反之，是用目镜向外方向调焦才能看清污物，则其是位于度盘后面的另一个平面内。

5）若视场虽然发暗，但用强光源照明可看到读数窗及分划线的模糊阴影。这说明大部分光学零件生霉或秽污所致。仪器需作清洗。

6）利用经纬仪正镜倒镜观察，若明暗程度及位置有变化，而且明暗的位置在视场四周某一位置，可能是横轴棱镜的位置不正确所致。

7）分划象歪斜、竖盘和水平度盘在读数窗中的位置格线高低与长度不一致是由于光学零件位置变动所引起的，要按仪器的光路，判断是那一块（或那一组）棱镜位移。一般棱镜位置能沿着光轴作上下和前后直线移动，或俯仰改动的，这类棱镜是专用于视象位置的高低和格线长度变化方面的校正。

棱镜位置能绕着光轴作旋转改动，或作歪斜和扇形移动

的，这类是用于刻度线歪斜方面的校正。在不影响刻度线歪斜的前提下，也可以校正读数指标差。棱镜位置如能在光轴上作左右平行移动的，此类可以校正读数指标差。

透镜位置可沿着光轴作前后或上下移动的，能校正象的放大率和清晰度。

透镜位置可作平面移动，能校正视图位置的偏高偏低、偏左偏右和格线长度。

以上介绍了读数系数故障原因和部位辨别以及排除方面的基本知识，在修理时还需了解所修理仪器的拆卸、光路图以及校正步骤。

3．望远镜系统的检修

（1）望远镜成象不清：原因是物镜压圈未压牢，透镜位移或物镜由于经过拆卸安装有误而发生呈象不清及看不远的故障，如是物镜压圈松动，则将其固紧。若是由于两镜片不共轴引起呈象不清，则应相对转动物镜各镜片，直至呈象清晰为止。

（2）视距乘常数的调整：视距乘常数不正确，主要原因是在拆装望远镜筒时，有的零件没有按原来的位置安装好，或是受了很大的振动，以致改变了物镜至十字丝之间的距离，使物镜焦距与视距丝间隔的比例100:1受到破坏，遇到这种现象，应查看望远镜筒各节之间的衔接情况以及物镜垫圈、十字丝分划板正反面等部件有没有装错。

在调整时，如尺上所切的视距读数比实际距离短，说明视距乘常数大时，可将物镜座框上的一个止头螺丝松开，从望远镜中检视着视距尺上的读数，将物镜座框慢慢地向内旋进（如里面有垫圈阻碍不能旋进时，可将垫圈适当地磨薄一些），使视距丝在尺上所切的读数恰好等于实际距离为止。

若视距乘常数小，则将物镜座框向外旋出，使之符合要求；旋出后镜座和镜筒之间的间隙，应设法用垫圈弥补好。

复习思考题

1. 测量放线工掌握仪器的检校、维修知识有什么实际意义？
2. 测量仪器中有哪些常用的光学零件？有哪些主要的机械部件？各起什么作用？
3. 检修仪器要做哪几方面的准备，扼要地分述其要求。
4. 说出检修仪器的一般方法、检修项目步骤以及应注意的事项。
5. 普通水准仪有哪些常见故障？分别按几个系统说出并结合本身工作中遇到的故障，说出排除故障的方法。
6. 普通经纬仪有哪些常见故障？说出对于读数系统产生的故障的原因、部位如何辨别和排除？

十二、施工管理知识和测量放线工作的全面质量管理

(一) 施 工 管 理 知 识

1. 施工管理的概念

施工管理是施工企业经营管理的一个重要组成部分。它是企业为了完成建筑产品的施工任务，从接受施工任务开始到工程交工验收为止的全过程，围绕施工对象和施工现场所进行的生产组织管理工作。施工管理的目的是为了充分利用施工条件，发挥各施工要素的作用，对各方面的工作进行协调，使施工能够正常进行，按时完成全面符合要求的建筑产品。

2. 施工管理的主要内容

主要包括以下几项内容：

(1) 落实施工任务，签订承包合同；

(2) 进行开工前的各项业务准备和现场施工条件的准备，促成工程开工；

(3) 进行施工中的经常性准备工作；

(4) 按计划组织综合施工，进行施工过程的全面控制和全面协调；

(5) 加强对施工现场的平面管理，合理利用空间，保证良好的施工条件；

(6) 利用施工任务书，进行基层的施工管理；

(7) 组织工程的交工验收。

施工管理是综合性很强的管理工作，其关键在于协调和组织作用。若没有各有关的专业管理，施工管理就失去了支柱；若没有施工管理，专业管理就会各行其事，不能为施工整体服务好。

3．施工准备工作的重要性

施工准备工作，是为保证施工正常进行，在施工前必须做好的工作。建筑施工是一项非常复杂的生产活动，需要耗用大量的物资，使用安排众多的人力，动用许多机械设备，碰到多种多样的环境和条件，需要处理复杂的技术问题，涉及各专业工种的接替或交叉作业，因此必须进行事先充分的施工准备，自始至终坚持“不打无准备之仗的原则”，准备工作是一个重要阶段。

施工准备起着开路先锋的作用，为取得施工过程的主动权，对保证工期，提高工程质量，降低工程成本都具有重要的意义。

4．作业条件的施工准备工作的主要内容

作业条件的施工准备工作，是施工企业基层单位的经常性的工作。一方面是开工前施工准备工作的深入和具体化；另一方面是为适应施工中的各种实际需要和情况的变化而进行的。包括以下几方面的内容：

（1）编制分阶段（如基础、结构、装修）施工组织设计和分部（分项）工程施工方案。

（2）采用的新结构、新技术、新工艺、新设备的试验，并编制相应的工艺规程及培训相应的技术工种。

（3）编制作业计划。

（4）编制并下达施工任务书或签订队、组承包合同。

（5）进行计划、技术、质量、安全和经济责任的交底。

（6）进行施工中的测量放线和复核工作。

（7）根据施工的变化，适当调整现场平面布置，以及搭建相后的临时设施和安排材料堆放场地。

（8）进行工程的变更洽商。

（9）按计划组织材料、构件、制品、施工机具进场，保证连续施工。

（10）合理地调配劳动力，使之调配及时，工作连续，任务饱满。不窝工，不缺工。

（11）做好必要的队组间、工序间的交接手续。

（12）办好工程隐检、预检手续并按规定进行记录。

（13）做好总包、分包的现场协调工作，保证按规定顺序进行施工。

（14）在冬雨期的施工前和施工中，要编制季节施工技术组织措施，做好施工现场的供热、保温、排水、防汛等临时设施的准备工作，供应必需的材料和机具，配备必需的专业人员等。

作业条件的施工准备是经常性的业务工作与施工交错进行，贯穿在单位工程或分部分项工程施工前及施工的全过程。

5. 施工组织设计的概念

施工组织设计是指导施工准备和组织施工的全面性的技术、经济文件，是指导现场施工的法规。也是一项重要的施工准备工作，是确定建设总进度的决策依据。施工组织设计必须体现下到要求：

（1）必须贯彻国家的方针政策，执行国家和上级对拟建工程的指示精神；

（2）必须根据工程的特点，贯彻有关建设法规、规范、

规程和各项制度；

（3）必须有严密的组织计划，处理好人与物、空间与时间、工艺与设备、使用与维修、专业与协作、供应与消耗、生产与储存结合所处的天时和地利条件，以便多、快、好、省地完成建设任务。

6．施工组织设计的主要内容

施工组织设计的内容，应视工程的性质、规模、复杂程度、工期要求、建设地区的自然条件而有所不同，制定时还应结合当地的经济条件与发展状况。一般包括以下内容：

（1）施工总进度计划，用以确定施工顺序和工期。

（2）确定主要的施工方法。

（3）制定劳动力、施工机械、运输设备、主要建筑材料、构件和制品的需用量计划，以列出供应方面需安排解决的问题。

（4）绘出施工总平面图，用以解决空间安排问题。

（5）说明书及技术经济指标的计算和分析。

7．施工任务书的作用

施工任务书又称工程任务单，是向班组下达作业计划的重要文件。是企业实行定额管理，贯彻按劳分配，开展社会主义劳动竞赛和班组核算的主要依据。通过施工任务书可把计划进度、工程数量、质量、安全、节约等指标，分解为班组的指标，落实到人，使企业的各项指标的完成好坏与班组、个人的责任和利益联系起来。

8．施工任务书的主要内容

对施工任务书总的要求是：简单扼要、通俗易懂，填写方便。一般包括：

(1) 工程项目、工程数量、劳动定额、计划工数、开工与竣工日期、质量及安全要求。

(2) 小组记工单（考勤记录）。

(3) 限额领料单（领料凭证、核算记录）。

9. 限额领料单

限额领料单是根据施工任务单中的各个分项工程的数量定额领用材料的一种凭证，是施工现场材料管理中一种领发料的用料管理制度，它要求班组施工时，必须把材料消耗控制在该项工程的消耗定额内。

签发和审核限额领料单的依据是材料消耗定额（施工定额）和施工依据。

10. 劳动定额

劳动定额是在正常的生产技术和生产组织条件下，为完成单位产品（或工作）所规定劳动消耗的数量标准。它有两种表示方式：时间定额和产量定额。两者成互为倒数的关系。

时间定额是指完成单位产品或某道工序所必须的劳动时间（工日）。产量定额是指单位时间内完成合格产品的标准数量。

11. 材料消耗定额

材料消耗定额是在合理和节约使用材料的条件下，为完成一定计量单位的工程所需要消耗材料的数量标准。

12. 施工顺序

施工顺序是指分项工程或工序之间的施工的先后次序。

确定施工顺序，既是为了按照施工客观规律组织施工，也是为了解决工种之间在时间上的搭接问题。在保证质量与安全施工的前提下，做到充分利用空间，争取时间，实现缩短施工工期的目的。

（二）测量放线班组的施工组织与管理

根据施工管理知识结合测量放线工种的特点，建立适合本单位具体施工规模的测量放线工作的施工组织并进行管理是高级工需具备的知识。

在中级工教材中已介绍班组管理知识和测量放线工作的特点，如何针对测量放线工作的特点和本单位各个阶段测量放线工作的实际需要，既满足施工顺序中有关工种的需要，在时间上搭接好；又能合理按排好测量放线工作，使其既有一定的准备时间和施测时间，又能充分发挥其班组成员的积极性，增加经济效益。

建筑企业中主要工种，一般按组织设计为依据，结合施工现场的具体条件，编制出分部、分项工程施工计划，实施计划时常按流水作业法组织施工，把施工对象划分为若干个施工段，组织若干个作业小组，按照施工顺序，依次从一个施工段转移到另一个施工段，就象流水一样均衡地进行施工，以充分利用时间和空间，产生较好的经济效益。

测量放线工作是配合性的，为均衡地作业，涉及到较多因素，从整体需要出发，可按工程的具体需要，参照流水作业法的思想，从下列几个方面，编制作业计划、劳动力计划，做好施工组织工作。

（1）建设项目较多的工程，需列出与测量放线有关的所有项目，如主体、附属建筑、道路管线的测量放线内容、工作量及时间要求以及其它项目如沉降变形观测、竣工图等方面的要求，作为测量放线施工组织编制的依据。

（2）单体工程如测量放线工作较多的高层建筑、复杂建筑可依据该工程的需要，配合主体工种的施工进度，安排

好测量放线工作，如竖向投测、楼面弹线、沉降观测交叉进行并编制相应的作业计划和劳动力计划。

（3）根据所在公司、工程处施工需要，充分利用仪器、设备，编制相应的作业计划。

（4）作业班组阅读、熟悉放线用设计图纸、技术交底、准备工作以及现场测量、测设工作的合理安排。

测量放线工作的管理包括以下几个方面：

（1）对测量放线班组所做的各项准备工作进行检查，在下达施工任务书以及有关资料、图纸后，检查班组对施工总平面图及设计施工有关图纸，有否仔细阅读，有什么疑问？有否进行现场踏勘？现有起算测量标志完好情况如何？仪器工具是否准备齐全和进行过检校？

（2）进行技术交底：对测量放线工作的技术要求，如施测方法、精度要求、应注意的事项、验收要求等进行技术交底。

（3）进行工序管理：制定出测量放线各项工作的最佳程序包括：工序流程（在整个工序流程中抓好并突出 PDCA 四个环节）、工作内容、每道工序的标准、关键部位或薄弱环节、责任者（明确每道工序每项工作内容的责任者）、质量信息反馈、评价和考核、上下工序互提资料、时间等九项内容。其目的是做好工序质量控制，达到持续地、稳定地做好测量放线的各项工作。

工序管理要做到：程序优化、重点突出、明确互提资料标准、整体协调。工序管理是建立质量保证体系的基础。

（三）全面质量管理的基本理论和方法

1．提高建筑产品质量的意义

(1) 建筑工程质量与人民生活息息相关

建筑工程质量是保障社会生产、人们日常生活和工作的“安全大堤”。若建筑工程质量低劣，不仅影响生产给人民生活和工作带来不便，严重的还会危及生命安全。

(2) 建筑工程质量是发展国民经济的需要。工程质量是基本建设的一项主要内容，工程具有使用价值（质量）才能成为社会财富，工程质量越好，使用寿命越长，适用性越好，则整个国民经济的投资效益也就越显著。

(3) 建筑工程质量是企业的生命。企业的发展靠竞争能力，只有提高信誉，才能有很强的竞争力，企业靠优良工程才能赢得信誉。

(4) 建筑工程质量是物质文明和精神文明的体现。建筑工作者的高度责任感是保证工程质量的思想基础。

(5) 建筑工程质量是企业技术水平和管理水平的综合反映。质量的形成与企业广大职工和领导者的技术素质和管理素质有关，优良的建筑工程质量，取决于企业的技术进步、设备更新、严格的工序控制、合理的管理方法和组织。

2. 全面质量管理的概念

全面质量管理是企业全体职工及各部门同心协力，综合运用管理技术、专业技术、科学方法和思想教育结合起来，建立起产品的研究、开发、设计、生产、服务等全过程的质量保证体系，从而有效地利用人力、物力、财力、信息等资源，提供出符合规定要求和用户期望的产品的管理活动。

全面质量管理的核心是提高人的素质，调动全员的积极性，人人做好本职工作，通过抓好工作质量来保证和提高产品质量和服务质量。

3. 全面质量管理的基本观点

可以简称为“412”。

四全：全面的质量管理、综合性的质量管理、全过程的质量管理、全员性的质量管理。

一防：防检结合，以防为主，重在提高。把以事后检验和把关为主，转变为以预防和改进为主；把就事论事、分散性管理转变为用系统的观点进行全面的综合治理；把管结果转变为管因素，把影响质量的各个因素查出来，抓住主要矛盾，发动全员、所有部门参加，依靠科学管理的理论、程序和方法，使生产、作业的全过程都处于受控状态，以达到保证和提高产品质量和服务质量的目的。

两个一切：一切为用户服务、一切用数据说话。服务是包括在质量之中，由于产品只有在用户使用中才能辨别出它的优劣，并通过使用中的质量信息的反馈来提高质量。产品质量包括：产品性能、耐用性（寿命）、可靠性、安全性和经济性等五个方面。

为用户服务其内容有着广泛的含义，不仅指甲方（建设单位）或使用单位为用户，下道工序也是用户，具体地说：主体专业为配合专业服务，先行专业为后行专业服务，政工和后勤为生产服务。前道工序为后道工序服务。

贯彻“下道工序是用户”是“质量第一”思想在施工单位内每道工序或每个人之间的具体体现，也是实行“为用户服务”的具体体现。

4. 全面质量管理的基本方法

基本方法概括为：“一个过程”、“四个阶段”、“八个步骤”、“七种工具”简称“一、四、八、七”管理方法。

“一个过程”是指对生产全过程的管理。如建立质量保证体系就是应用系统工程的理论，对产品质量形成的全过程

进行系统的管理。

“四个阶段”是指计划（P）、实施（D）、检查（C）、总结和处理（A）。简称PDCA。如图12-1所示。

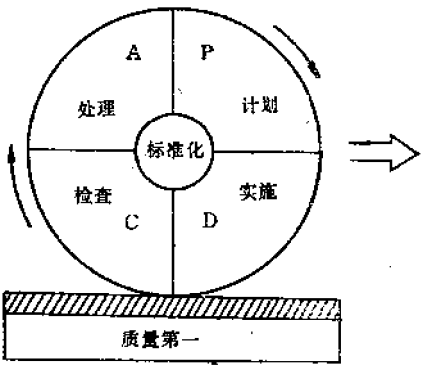


图 12-1 PDCA循环

“八个步骤”是：第一步分析现状，找出问题；第二步分析各种影响因素；第三步找出主要的影响因素；第四步针对主要影响因素制定措施；第五步执行措施；第六步检查效果；第七步巩固措施制定标准；第八步将遗留问题转入下一个循环。以上1～4步为计划（P）阶段，第五步为实施（D）阶段，第六步为检查（C）阶段，第七、八步为总结和处理（A）阶段。

“七种工具”是排列图、因果图（又称鱼刺图）、分层法、统计表法、直方图、控制图和相关图。建筑工程质量管理中常用排列图和因果图。

（四）建筑施工企业的全面质量管理

建筑施工企业的全面质量管理是在建筑施工企业生产的全过程中，实行以预防为主的质量控制，企业的全体职工参加质量管理活动，整个企业的各项工作都纳入质量第一的轨道，经济地生产出用户满意的产品，并做好竣工后服务的一套管理系统和制度。

建筑工程全面质量管理主要包括以下几个方面的内容：

（1）工程质量检验：主要是指“自检”、“互检”、“交接检”和“预检”、“隐检”。

（2）工程质量评定：按分项工程、分部工程和单位工程进行划分。其工程质量等级均划分为“合格”与“优良”两级。严格按国家有关部颁发的标准执行。评定程序是先分项工程再分部工程，最后是单位工程。

（3）工程质量监督：是指由建立在建设单位、设计单位和施工单位之外的独立的法定组织机构—工程质量监督站，来统一监查和仲裁工程产品生产中的各种质量问题。

（4）工程质量通病及防治：质量通病是长期困扰建筑企业，使工程质量不能进一步提高的一大问题。企业应从思想上和技术上找原因，针对通病研究制定措施。

（5）工程质量事故及处理：是指工程质量不符合设计图纸和国家颁发的施工技术验收规范或质量评定标准的要求，必须立即进行返工或加固处理的工程质量问题。建筑工程质量事故分为一般事故和重大事故两类。

1．对建筑工程的产品质量的基本要求

建筑工程的产品质量是指建筑工程为满足所规定的使用要求而具备的特性和特征，是建筑工程的使用价值。建筑工程必需满足可靠性、适用性、经济性和美观大方这四个方面的要求。

2．建筑企业的工作质量的主要内容

建筑企业的工作质量是指建筑企业的全部政治、经济、生产、技术和领导等工作对建筑工程质量的保证程度。它包括各级领导干部、工程技术人员、管理人员和工人在内的，建筑企业各类人员所做的各项工作的优劣好坏。

工作质量是建筑工程产品质量的基础和保证，而建筑工

程产品质量则是建筑企业工作质量的综合反映。

3. 排列图及其画法（如图12-2所示）

（1）排列图的概念：排列图是为寻找影响质量的主要原因所使用的图。它是由四个部分组成的：1)两个纵坐标(频数和频率坐标;2)一个横坐标（项目坐标）；3）几个按高低顺序依次排列的长方形；4）一条累计百分数曲线。

根据工程质量发生不合格的各种原因，分类统计出不合格品的个数(出现的次数称频数)按产生不合格品的几种主要原因，从大到小顺序地排列在横坐标轴上（即按频数排列）绘成矩形图。同时把不合格品所占的百分比（频率）及累计率计算出，按项目（横坐标）及右侧纵坐标（频率累计率）交点描出各点，用一折线从曲线原点起，将描出的累计频率点连起来成一条累计百分数曲线。此曲线又名巴累托图或帕拉特图。

（2）排列图的画法

1）收集和整理数据：找出影响质量的各项因素，在一定的范围和时间内收集数据，对样本进行检查并统计各因素发生的次数。将统计出的各因素发生的频数，按频数的大小为序，列出统计表格。计算各因素的频率和累计频率，填入统计表中相应栏中。

2）画出纵横坐标，定出适当的刻度与间隔，然后写出两个纵坐标的刻度值和横坐标上各因素项目的名称。

3）画出直方：按表格所列项目、频率，自左至右画出直方（矩形），直方的高度就是该因素项目的频数。

4）画出累计频率曲线：按表格所列的项目、累计频率，在相应于各因素项目直方的右侧边线上方，按累计频率的高度描点，并标好累计频率值，从坐标原点起，将绘出的各累

计频率点相连成曲线。

5）划分A、B、C类区：为寻找影响质量的主要因素，将累计频率0～80%的范围称为A区（即主要因素区，一般A类项以一至两项为宜，最多不超过三项），80～90%是B区（称为次要因素区），90～100%为C区(称为一般因素区)。具体画法是从右纵坐标的80%、90%、100%处，向左边画水平虚线，虚线与累计频率曲线相交点向横坐标作垂线，即可找出影响工程质量的主、次因素。

6）填写必要的说明，在图的下方填写排列图的名称、收集数据的时间、绘图者、分析结论等。

【例】 某建筑公司测量放线组，统计检查21项大比例尺地形图清绘的底图中，发现原则性的错误、误差、遗漏共计69处，按其分类进行统计，列出统计表，如表12-1所示。

原则性错差漏统计表 **表 12-1**

序号	错差漏项目	个　数	频率（%）	累计百分比（%）
1	高程注错、点线不符	29	42.0	42.0
2	漏绘等高线	14	20.3	62.3
3	漏绘地物	13	18.8	81.1
4	漏注高程	9	13.0	94.1
5	房屋结构及地名注错	3	4.4	98.5
6	漏绘控制点	1	1.5	100
	小　　计	69	100	

画出的排列图如图12-2所示。

4. 因果图及其画法

（1）因果图的概念：因果图又称鱼刺图以图的形状而称之。是表示质量特性与原因关系的图，它是把群众分析的

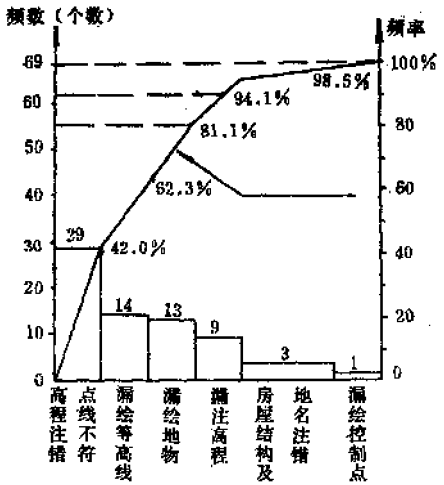


图 12-2　测绘地形图差错漏排列图示例

意见按其相互关系，用特定的形式反映在一张图上，是为进一步寻找产生质量问题的原因的图示方法。

（2）因果图的画法

1）确定特性：即确定所要解决的质量问题的特性。

2）调查研究：召开有关人员的会议，共同讨论、分析造成质量问题的各种原因，找出问题的本质，经解剖归类，最后确定大原因。对于建筑工程的质量问题，一般大原因定为：人、材料、设备、施工工艺和方法、环境以及管理水平等几方面。

3）画出图形：将要解决的工程质量问题写在图的右边，用框框起，画一条带箭头的主干线指向该工程质量问题。如图12-3所示，将确定下来的大原因用箭头排列在主干线的两侧。并在箭头尾部简单标注这些大原因。确定质量问题要具体，不是一个工序或某一质量特性。

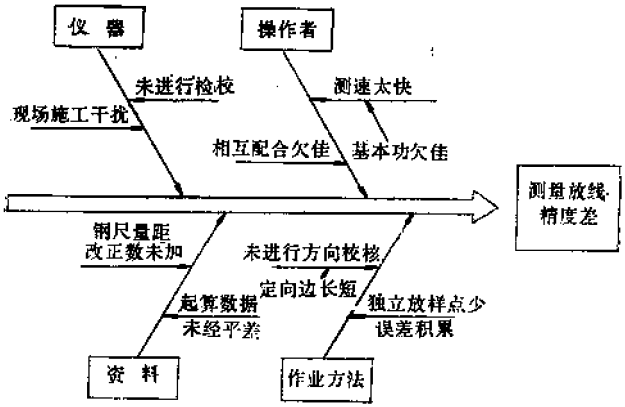


图 12-3 因果图示例

4）深入分析：按照大原因层层展开，逐步深入地分析。把所有原因从大到小，按相互之间的关系，用长短不等的箭头逐一画在图上，找出主要原因按线段的60°角列入图上。一直分析到能采取措施为止。

5）确定要因：在分析出的众多原因中确定出特别重要的原因，并作出标记。讨论时要充分发扬民主，要如实记录意见。找质量问题的原因时，不要同解决质量问题的办法混淆。

6）检查效果：将分析出来的原因，放到实际生产中去检验，直到真正取得实效。

复习思考题

1。什么是施工管理？施工管理的目的是什么？

2。施工任务书的内容和作用各是什么？

3。测量放线的施工组织与管理有哪些具体要求？如何做好这项工作？

4. 什么叫全面质量管理？
5. 全面质量管理的基本观点和基本方法是什么？
6. 什么叫排列图？怎样画法？
7. 什么叫因果图？怎样画法？
8. 谈谈学习施工管理知识与全面质量管理的有关知识后，在认识上有哪些提高？在实际管理工作已运用了哪些知识，并举出实例说明。

十三、预防和处理施工测量放线中质量和安全事故的方法

（一）预防施工测量放线质量事故的方法

（1）进行全员质量教育，强化质量意识：是指要求测量放线班组每一个成员，在测量放线工作全过程中，思想上自觉地重视质量，贯彻“质量第一”方针，这是“对国家对人民对企业负责”基本要求的体现；是“以质取胜，占领市场”基本原则的体现；也是企业“降低成本，提高效益”的基本途径。质量意识是企业的灵魂。测量放线工作，一般是通过分工协作完成，且是多工序的工作，因此进行全员质量教育，不断强化质量意识，是预防质量事故的关键性工作。

（2）进行技术交底，充分做好准备工作：

测量放线工作是根据有关设计图纸的数据，采用仪器、工具，按有关技术要求、操作工艺进行的，室内的准备工作包括下列三方面：

1）图纸的全面阅读与审校：对于与测量放线有关图纸上的尺寸、内容要弄清楚，并进行全面核对，向作业人员交待清楚，作业人员也要进行核对。并进行事先指导或交底。

2）学习有关规范：使作业人员明确精度要求以及对各项作业的具体要求。

3）对仪器工具进行检校：需用的仪器、工具准备齐全，并进行检校。

（3）制定作业方案，采取相应的质量保证措施。

1）按测量放线工作的规模、技术要求，制定作业方案，按工程的复杂程度，需进行必要的论证，结合规范，确定合适的作业方法，提出限差要求，提出对成果的要求等。

2）针对技术要求，在现场踏勘的基础上，提出操作要领和相应的质量保证措施。

3）必要时进行事前技术培训：对于有一定难度的工作，或参加人员中有不熟悉操作工艺要求的人员时，应组织事前技术培训。

（4）进行中间检查以及工序管理：

工作质量是产品质量的保证和基础，在事先指导的基础上，对关键性的工作或每道工序进行中间检查，防止不合格产品进入下一道工序。事先应有完善的中间检查和工序管理计划，明确工作分工、工序流程，每道工序的工作内容、责任人、检查人、标准以及管理方法等。

（二）预防施工测量放线安全事故的方法

（1）进行安全教育：经常组织学习安全操作规程，严格贯彻“安全第一、预防为主”的方针，实现安全生产，文明施工。

（2）进入施工现场必须戴安全帽，否则不准上岗作业。

（3）在进行工作前，应了解施工现场的情况，检查工作环境是否符合安全要求，安全设施及防护用品是否齐全。

（4）与有关工种交叉作业时，对可能发生的安全问题，应事先联系安排，采取有效的防护措施，确保人身及仪器的安全。在测量放线工作中应注意吊装作业，防止高处落物伤人或击坏仪器。

（5）不得任意开动机、电设备，必要时应请有关工种

协助移动或开动。

(6) 上架子施工必须先检查架子牢固与否，确认安全时才可上去。

(7) 仪器架设后，不得离人，要注意仪器搬动和运输过程中的安全。

(8) 工作时必须思想集中，不准嘻戏打闹。

(三) 处理施工测量放线质量事故的方法

(1) 根据质量事故的性质、特点，有针对性的、有计划地进行检查分析与质量事故有关的因素，找出主要原因；必要时也可按工序进行工作全过程的检查分析，一般有下列几个方面的因素，造成质量事故：

1) 设计图纸上的尺寸有矛盾，前先未发现，或没有检查；

2) 测量起算坐标、高程有问题；

3) 仪器未经检验或工作过程中轴系发生变化而导致测量误差过大；

4) 测量标志引用错误或点位、高程变动；

5) 作业方法不妥或未按操作工艺进行工作；

6) 工作中不细心造成粗差，或由于记录、计算错误，未经严格校对，造成放线数据有误。

(2) 为保证质量，需对影响质量的部分工作甚至全部工作进行返工，以挽回对工程造成的影响。对质量事故的处理，必须以在分析的基础上，有针对性地进行实地检核，用数据说话，绝不可以用推测代替检查或改动数据。在检测中需由另一作业人或技术负责人参加检测以确保质量事故的完善处理。

(3) 需对质量事故的原因、分析处理情况、造成的损

失以及补救措施，写出书面报告。

（四）处理施工测量放线安全事故的方法

安全事故包括作业人身安全和设备安全两个方面，发生安全事故要查看了解班组有关记录，得知事故情况后一般应做下列几方面的工作：

（1）调查安全事故的全过程；

（2）组织有关人员认真分析事故的原因；

（3）找出事故的主要原因、责任人，提出防范措施并挽回影响；

（4）总结经验教训，写出书面报告。

复习思考题

1．如何预防施工测量放线中的质量事故？并结合本身工作谈谈自己的体会。

2．如何预防施工测量放线中的安全事故？并结合本身工作谈谈自己的体会。

3．谈谈处理施工测量放线中质量事故或安全事故的切身体会和经验。

十四、向初级工、中级工传授的技能及本工种操作技术上的疑难问题

（一）向初级工传授的主要技能

1．明确测量放线工的责任和要求

（1）施工建筑物平面位置和标高的精确程度，取决于测量放线工作。从城市规划和建筑设计本身，都要求测量放线准确无误并具有一定的精度要求。放线、抄平是施工的前期工作，若发生差错，会造成后续工序工种的返工、延误工期，造成经济损失，后果严重。从对所从事工作的重要性认识开始，增强责任感。

（2）树立良好的工作作风：测量放线的数据，来自于图纸上有关的标注尺寸，工作是在条件变化的施工现场，要弄清众多尺寸的相互关系，并在实地正确放出，首先必须树立认真负责、积极主动、踏实细致、一丝不苟、同心协力、实事求是的工作作风，这是做好测量放线工作的重要保证。

2．传授识图方面的基本功

从识图的基本知识讲起，要通过多看、多练习，掌握识图方法和步骤。重点在弄清尺寸标注的准确位置、三道尺寸和平、立、剖面图有关尺寸是否相符。通过传授使初级工能掌握正确的识图方法、步骤和校核方法。并培养仔细、耐心及对图纸反复阅读、核对的作风。

3．传授测量基本理论知识和使用仪器工具的基本功

将长度、角度、标高、坐标、坡度、面积等概念讲解清楚，

结合仪器性能，使初级工既弄清概念，又掌握使用水准仪、经纬仪及工具的使用方法，同时传授仪器工具的保养知识，以养成爱护仪器的良好习惯。

4．传授测量和测设、放线和抄平的基本功

使初级工较系统掌握正确的方法、操作工艺流程与要点。测量放线工作除确保精度要求外，要时刻防止差错发生，对放线资料、测量数据、读数、记录、计算等各个环节都要过细并注意工作中的检核。通过言传身教使初级工执行认真进行检核的制度，以防止差错。

5．测量放线是集体性的工作

测量放线是多工序的集体性的技术工作，对工作中每个环节，对参加工作的每个成员必须保证其工作质量并同心协力、相互协作才能使工作按质按量完成，要树立群体意识。

（二）向中级工传授的主要技能

1．明确中级测量放线工的重要责任，传授组织班组生产的技能

（1）对中级工提出较高和全面的要求，传授处理班组工作的能力：中级工是本工种的中坚力量，对完成测量放线班组的工作，起着重要和关键性的作用，必须提出全面和严格的要求。测量放线工作主要通过中级工为骨干的班组来完成，测量放线工作的众多内容，要求中级工具有较丰富的基础和专业知识和较熟练的操作技能以及较系统的专业基础知识，才能胜任技术工作；同时班组的人员结构和工作的多变性又给组织工作带来相当的难度，需具有一定的班组工作管理能力。这些基本功，主要通过高级工的传授来提高中级工的能力。

2. 传授进行全面的准备工作的技能

从施工任务书下达后，要指导中级工进行审校图纸、数据（如红线桩、控制点、水准点核对、圆曲线的计算）、工具仪器、控制点埋设等项准备工作，只有做好完善的准备工作，才能使测量放线工作顺利进行，而不致造成窝工。根据任务量及时间要求，合理地进行人员安排也是一项重要的准备工作。

3. 传授仪器检校技能

仪器检校是件易被忽视或望而生畏的重要工作，是目前的薄弱环节。初期需由高级工指导逐项进行检校。未经检校的仪器不得用于作业。通过传授使中级工全面掌握检校方法，养成定期进行检校的习惯并形成制度。

4. 传授工序管理知识

测量放线工作是多工序的，按任务内容对中级工传授进行工序管理方面的知识，道道工序把关，不合格的前道工序，不得进入下道工序，从而建立起质量保证体系的概念，由工作质量和工序管理，保证成品质量。

5. 传授资料整理和进行成果分析的技能

测量放线成果一般要进行计算整理，对原始数据的记录、计算都要经过全面核对，才能提供。校对的方法、技巧以及对成果精度、质量分析的技能，由高级工传授以不断提高中级工的作业技能和水平。

6. 传授并提高中级工的专业知识和技能

通过高级工系统、全面地并由浅入深，根据任务需要，有针对性地、逐步进行抄平、钢尺丈量和测设、控制网的布设、图根导线、坐标换算、沉降观测、建筑物定位放线、吊装测量、竖向投测的操作技能以及制定一般工程施工测量放线方案并组织实测的技能。

7. 传授专业基础理论

传授测量误差的来源、性质、限差规定以及对施测中产生误差的原因和消减方法的有关知识。有针对性地提高测量专业水平和分析、解决问题的能力。

8. 传授新技术

根据工作的需要和可能，传授红外测距仪、垂准仪、自动安平水准仪等仪器的性能和使用知识，使中级工领会到新仪器、新设备在提高测量精度和加快作业进度方面所起的作用。在条件可能时，将其使用于测量放线工作。

（三）高级工需解决的疑难问题

1. 在审校图纸方面、测量放线起始数据的准备方面的疑难问题

对于测量放线中复杂图纸的审校、图纸会审中提出的问题、测量放线班组对图纸提出的疑问以及放线测设数据的计算中的疑难问题，高级工在深入阅读、研究、分析后提出解决方法和具体意见并指导测量放线班组的工作。

2. 编制复杂、大型或特殊要求的工程的测量放线方案，并组织实测

运用工程测量的基本理论，根据工程的具体精度要求，选用合适的仪器工具和作业方法，在工程技术人员指导下，用误差理论进行分析，编制合理的测量放线方案。对方案向测量放线班组进行技术交底并组织实测，完成后参与总结，通过实际方案的实施，提高班组作业水平。

3. 水准仪、经纬仪的维修

测量放线班组在仪器检校中发生的疑难问题及发现的故障，指导帮助解决。对故障产生的原因进行分析，帮助解决

或提出处理意见。

4. 新技术、新设备进行指导

对于引进或推广的新技术、新设备组织岗位培训，系统地进行指导。使班组迅速用于生产，发挥经济效益。

5. 班组中的质量事故的处理

对于班组中发生的质量事故，进行深入细致的调查研究，查阅资料和记录及计算成果，用科学的方法和专业知识进行分析，提出处理意见，并挽回其影响，使返工量和损失尽可能降低，并总结经验教训，制定相应措施。

复习思考题

1. 经过学习并结合自身经历，谈谈向初级工应传授哪些方面的技能？如何进一步做好这项工作？

2. 向中级工传授技能方面有什么特点？结合自身经历和学习体会，谈谈如何有计划地向中级工传授技能？

3. 经过学习你对高级工应解决的疑难问题方面，有哪些体会和提高？今后打算如何进一步做好本身的工作？

附录　高级测量放线工技术标准

（一）应　知

1．看懂并审校复杂、大型或特殊工程（如超高层、钢结构、玻璃幕墙等）的施工总平面和有关测量放线的施工图的关系及尺寸。

2．工程测量的基本理论知识和施工管理知识。

3．测量误差的基本理论知识。

4．精密水准仪、经纬仪的基本性能、构造和用法。

5．地形图测绘的方法和步骤。

6．在工程技术人员的指导下，进行场地方格网和小区控制网的布置、计算。

7．建筑物变形观测的知识。

8．工程测量的先进技术与发展趋势。

9．预防和处理施工测量放线中质量和安全事故的方法。

（二）应　会

1．普通水准仪、经纬仪的一般维修。

2．熟练运用各种工程定位方法和校测方法。

3．场地方格网和小区控制网的测设，四等水准观测及记录。

4．用精密水准仪、经纬仪进行沉降、位移等变形观测。

5．推广应用施工测量的新技术、新设备。

6．向初中级工传授技能，并解决本工种操作技术上的

疑难问题。

7. 在工程技术人员的指导下，编制复杂、大型或特殊工程的测量放线方案，并组织实测。

参考文献

1. 侯国富等编　建筑工程测量　北京：测绘出版社　1987

2. 王秉礼主编　测量学　上海：同济大学出版社　1990

3. 邓学才编著　复杂建筑施工放线　北京：中国建筑工业出版社　1988

（京）新登字035号

土木建筑工人技术等级培训教材
测 量 放 线 工
（高 级 工）
本培训教材编委会 组织编写

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）
新 华 书 店 经 销
河北省蓟县印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：8⁵/₈ 字数：194千字
1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷
印数：1—7,000册 定价：3.65元
ISBN7—112—01746—7/TU·1325

（6778）