第三章 角度测量

第三章 角度测量.....1
§3－1 角度测量原理.....2
§3－2 经纬仪的构造.....3
一、对中整平装置.....4
二、照准装置.....5
三、读数装置.....6
（一）分微尺法.....6
（二）单平板玻璃测微器法.....6
（三）对径符合读法.....7
§3－3 水平角测量的方法.....9
一、经纬仪的安置.....9
(一) **对中**.....9
(二) **整平**.....10
二、测回法测水平角.....10
三、方向观测法测水平角.....12
§3－4 竖直角测量的方法.....13
一、竖盘的构造.....13
(一) 指标带水准器的构造.....14
(二) 指标带补偿器的构造.....14
二、竖直角的观测方法.....15
三、竖直角的计算.....15
四、竖盘指标差.....16
§3－5 经纬仪的检验和校正.....17
一、经纬仪应满足的主要条件.....17
二、经纬仪的检验和校正方法.....18
(一) 照准部的水准管轴垂直竖轴.....18
(二) 圆水准器轴平行竖轴.....19
(三) 十字丝竖丝垂直横轴.....19
(四) 视线垂直于横轴.....19
(五) 横轴垂直于竖轴.....20
(六) 光学对中器的视线与竖轴旋转中心线重合.....21
(七) 竖盘指标差.....21
§3－6 角度测量的误差分析.....22
一、仪器误差.....22
(一) 水准管轴不垂直竖轴.....22
(二) 视线不垂直横轴.....22
(三) 横轴不垂直竖轴.....23
(四) 照准部偏心.....24

(五) 光学对中器视线不与竖轴旋转中心线重合 24
(六) 竖盘指标差 24
二、观测误差 24
(一) 测站偏心 24
(二) 目标偏心 25
(三) 照准误差 25
(四) 读数误差 25
(五) 竖盘指标水准器的整平误差 25
三、外界条件的影响 25
§3－7 电子经纬仪 26
一、电子经纬仪的读数系统 26
二、电子经纬仪的特点 27
习 题 27

§3－1 角度测量原理

为确定一点的空间位置，角度是需要测量的基本要素之一，所以角度测量是一种基本的测量工作。角度可分为**水平角**和**竖直角**。水平角是指从空间一点出发的两个方向在水平面上的投影所夹的角度；而竖直角是指某一方向与其在同一铅垂面内的水平线所夹的角度。

如图 3－1 所示：设有从 O 点出发的 OA、OB 两条方向线，分别过 OA、OB 的两个铅垂面与水平面 H 的交线 oa 和 ob 所夹的 $\angle aob$，即为 OA、OB 间的水平角 β。由于 ob 是水平线，且与 OB 在同一铅垂面内，所以∠Bob 即为 OB 的竖直角 α。

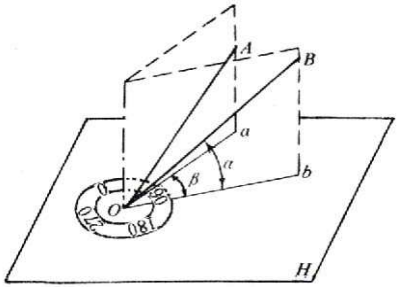


图 3－1

如果在 O 点水平放置一个度盘，且度盘的刻划中心与 O 点重合，则两投影方向 oa、ob 在度盘上的读数之差即为 OA 与 OB 间的水平角值。同样的，在 OB 铅垂面内放置一个竖直度盘，也使 O 点与度盘刻划中心重合，则 OB 和 Ob 在竖直度盘上的读数之差即为 OB 的竖直角值。

实际上，水平度盘并不一定要放在过 O 的水平面内，而是可以放在任意水平面内，但其刻划中心必须与过 O 的铅垂线重合。因为只有这样，才可根据两方向读数之差求出其水平角值。同理；竖直度盘也不一定要在所测方向的铅垂面内，只要位于与其平行的铅垂面内，且使刻划中心位于过 O 点且垂直于该铅垂面的直线上即可。

由于竖直角是由倾斜方向与在同一铅垂面内的水平线构成的，而倾斜方向可能向上，也

可能向下，所以竖直角要冠以符号。如果向上倾斜规定为正角，用“＋”号表示，而向下倾斜规定为负角，用“－”号表示。

§3－2 经纬仪的构造

经纬仪是测量角度的仪器，它虽也兼有其他功能，但主要是用来测角。根据测角精度的不同，我国的经纬仪系列分为 DJ_{07}、DJ_1、DJ_2、DJ_6、DJ_{30} 等几个等级。D 和 J 分别是大地测量和经纬仪两词汉语拼音的首字母，角码注字是它的精度指标。

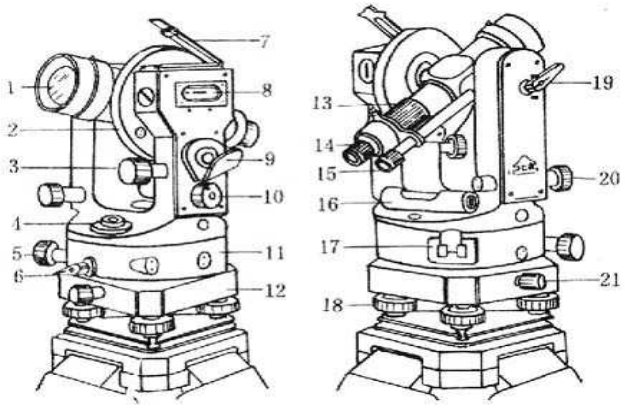
根据上节所述的测角原理，经纬仪的构造必须具有以下一些装置：

(1) 对中整平装置 用以将度盘中心(即仪器中心)安置在过所测角度顶点的铅垂线上，并使度盘处于水平位置。

(2) 照准装置 要有一个望远镜以照准目标，即建立方向线。且望远镜可上下旋转形成一个铅垂面，以保证照准同一铅垂面上的不同目标时，其在水平面上的投影位置不变。它也可以水平旋转，以保证不在同一铅垂面上的目标，在水平面上有不同的投影位置。

(3) 读数装置 用以读取在照准某一方向时水平度盘和竖直度盘的读数。

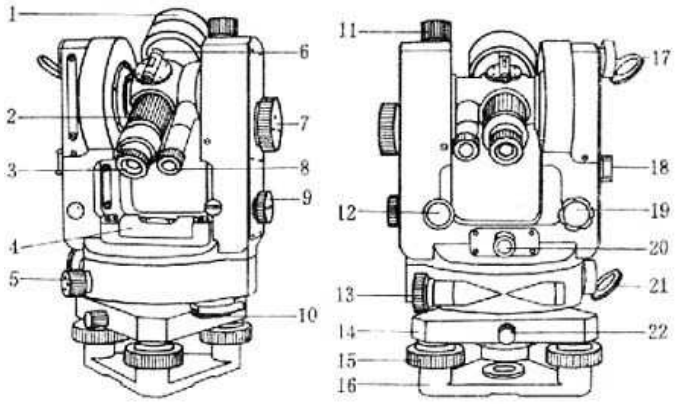
经纬仪中目前最常用的是 DJ_6 和 DJ_2 级光学经纬仪。图 3－2 是 DJ_6 级光学经纬仪的外貌，图 3－3 是 DJ_2 级光学经纬仪的外貌。



(a) (b)

1－物镜；2－竖直度盘；3－竖盘指标水准管微动螺旋；4－圆水准器；5－照准部微动螺旋；6－照准部制动扳钮；7－水准管反光镜；8－竖盘指标水准管；9－度盘照明反光镜；10－测微轮；11－水平度盘；12－基座；13－望远镜调焦筒；4－目镜；15－读数显微镜目镜；16－照准部水准管；17－复测扳手；18－脚螺旋；19－望远镜制动扳钮；20－望远镜微动螺旋；21－轴座固定螺旋。

图 3－2



(a) (b)

1－物镜；2－望远镜调焦筒；3－目镜；4－照准部水准管；5－照准部制动螺旋；6－粗瞄准器；7－测微轮；8－读数显微镜；9－度盘换象旋钮；10－水平度盘变换手轮；11－望远镜制动螺旋；12－望远镜微动螺旋；13－照准部微动螺旋；14－基座；15－脚螺旋；16－基座底板；17－竖盘照明反光镜；18－竖盘指标水准器观察镜；19－竖盘指标水准器微动螺旋；20－光学对中器；21－水平度盘照明反光镜；22－轴座固定螺旋。

图 3－3

下面分别说明光学经纬仪各种装置的具体构造。

一、对中整平装置

该装置包括三脚架，垂球或光学对中器，脚螺旋，圆水准器及管水准器。

三脚架的作用是用来支撑仪器。移动三脚架的架腿，可使仪器的中心粗略地位于角顶上，并使安装仪器的三脚架头平面粗略地处于水平。架腿一般可以伸缩，以便于携带，但也有不能伸缩的，其优点是较为稳定，故多用于精度较高的经纬仪。

垂球的作用是用来标志仪器是否对中的，它悬挂于连接三脚架与仪器的中心连接螺旋上。当仪器整平，即仪器的竖轴铅垂时，它即与竖轴位于同一铅垂线上。当垂球尖对准地面上角顶的标志时，即表示竖轴的中心线及水平度盘的刻划中心与角顶在同一条铅垂线上。

光学对中器也是用来标志仪器是否对中的。其优点是不像垂球对中会受风力的影响，所以对中精度较垂球为高。它的构造如图 3－4 所示，它是在一个平置的望远镜前面，安装一块直角棱镜。望远镜的视线通过棱镜而偏转 90°，以使其处于铅垂状态，且要保持与仪器的竖轴重合。当仪器整平后，从光学对中器的目镜看去，如果地面点与视场内的圆圈重合，则表示仪器已经对中。旋转目镜可对分划板调焦，推拉目镜可对地面目标调焦。

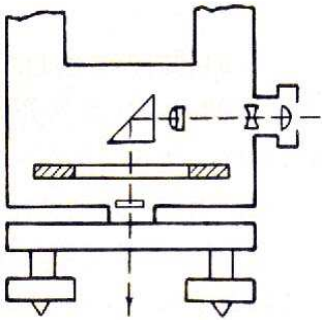


图 3－4

光学对中器安置的位置，有的是在照准部上，有的则在基座上。如在照准部上，则可与

照准部共同旋转，而在基座上则不能。

经纬仪的三个脚螺旋位于基座的下部，当旋转脚螺旋时，可使仪器的基座升降，从而将仪器整平。

水准器是用来标志仪器是否已经整平用的。它一般有两个：一个是圆水准器，用来粗略整平仪器；一个是管水准器，用来精确整平仪器。

二、照准装置

经纬仪的照准装置又称照准部，它包括望远镜，横轴及其支架，竖轴和控制望远镜及照准部旋转的制动和微动螺旋。

望远镜的构造与水准仪的基本相同。不同之处在于望远镜调焦螺旋的构造和分划扳的刻线方式。它的望远镜调焦螺旋不在望远镜的侧面，而在靠近目镜端的望远镜筒上。分划扳的刻划方式则如图 3—5 所示，以适应照准不同目标的需要。

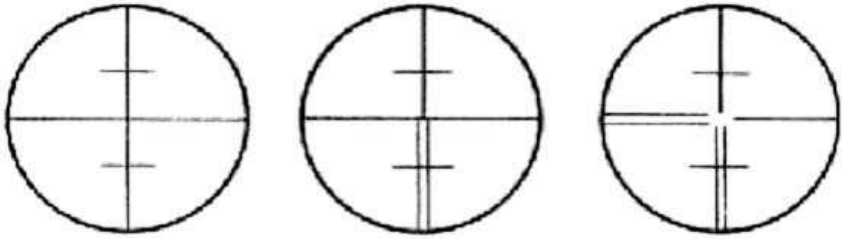


图 3—5

横轴与望远镜固连在一起，并且水平安置在两个支架上，望远镜可绕其上下转动。在一端的支架上有一个制动螺旋，当旋紧时，望远镜不能转动。另有一个微动螺旋，在制动螺旋旋紧的条件下，转动它可使望远镜作上下微动，以便于精确地照准目标。

望远镜连同照准部可绕竖轴在水平方向旋转；以照准不在同一铅垂面上的目标。照准部也有一对制动和微动螺旋，以控制其固定或作微小转动。

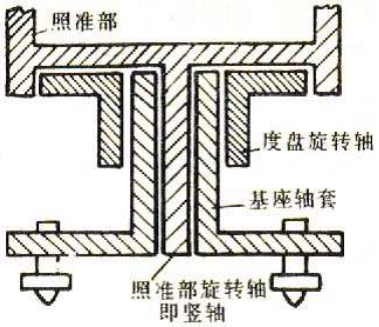


图 3—6

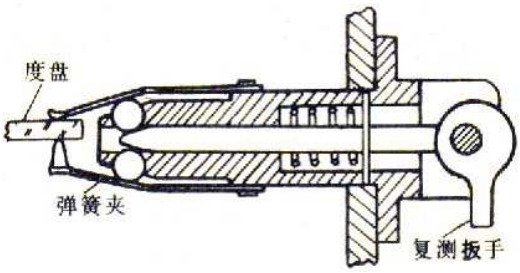


图 3—7

经纬仪竖轴的轴系如图 3—6 所示。照准部的旋转轴位于基座轴套内，而度盘的旋转轴则套在基座轴套外，其目的是使照准部的旋转轴与度盘旋转轴分离，以避免两者互相带动。根据照准部与度盘的关系，可分为两类：一类是照准部和度盘可以共同转动，也可以各自分别转动。这种仪器可以用复测法测水平角，因而称作复测经纬仪。它是利用一个复测扳手，使照准部与度盘可以脱开，也可以固连。其结构如图 3—7 所示。当复测扳手扳下时，弹簧夹将度盘夹住；则旋转照准部时，度盘也一起转动，因而度盘读数不发生变化；当复测扳手

扳上时，弹簧夹与度盘脱离，则旋转照准部时，度盘仍保持不动，从而使读数变化。另一类是照准部和度盘都可单独转动，但两者不能共同转动。这类仪器只能用方向法测角，因而称为方向经纬仪。精度在 DJ_2 级以上的经纬仪都是这种结构，有的 DJ_6 级经纬仪也采用这种结构。这类仪器有一个度盘变换手轮，转动它时，度盘在其本身的平面内单独旋转，可以在照准方向固定后，任意安置度盘读数。为了防止无意中触动而改变读数，通常都设有保护装置。

三、读数装置

经纬仪的读数装置包括度盘、读数显微镜及测微器等。不同精度不同厂家的产品其基本结构是相似的，但测微机构及读数方法则差异很大。现只介绍在我国应用最为普遍的几种。

光学经纬仪的水平度盘及竖直度盘皆由环状的平板玻璃制成，在圆周上刻有 360° 分划，在每度的分划线上注以度数。在工程上常用的 DJ_6 级经纬仪一般为 1° 或 30″ 一个分划，DJ_2 级仪器则将 1° 的分划再分为 3 格，即 20″ 一个分划。

读数显微镜位于望远镜的目镜一侧。通过位于仪器侧面的反光镜将光线反射到仪器内部，通过一系列光学组件，使水平度盘、竖直度盘及测微器的分划都在读数显微镜内显示出来，从而可以读取读数。DJ_6 光学经纬仪读数装置的光路如图 3－8 所示。

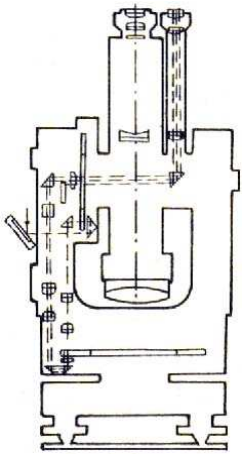


图 3－8

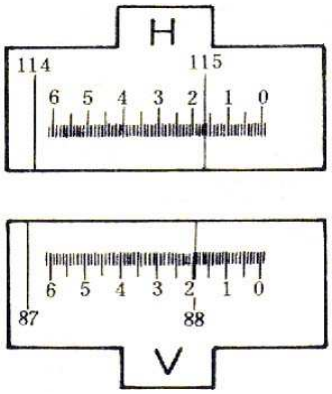


图 3－9

最常见的读数方法有分微尺法、单平板玻璃测微器法和对径符合读法。下面分别说明其构造原理及读数方法。

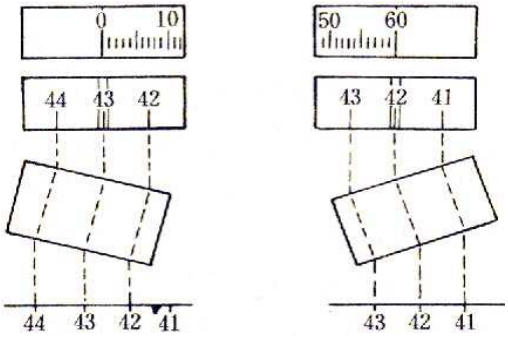
（一）分微尺法

分微尺法也称带尺显微镜法，多用于 DJ_6 级仪器。由于这种方法操作简单，不含隙动差，其应用日广。如国产的 TDJ_6，Leica T16 等都采用这种方法。

这种测微器是一个固定不动的分划尺，它有 60 个分划，度盘分划经过光路系统放大后，其 1° 的间隔与分微尺的长度相等。即相当于把 1° 又细分为 60 格，每格代表 1′，从读数显微镜中看到的影像如图 3－9 所示。图中 H 代表水平度盘，V 代表竖直度盘。度盘分划注字向右增加，而分微尺注字则向左增加。分微尺的 0 分划线即为读数的指标线，度盘分划线则作为读取分微尺读数的指标线。从分微尺上可直接读到 1′，还可以估读到 0.1′。图 3－9 中的水平度盘读数为 115° 16.3′。

（二）单平板玻璃测微器法

这种测微方法也是用于 DJ_6 级经纬仪。由于操作不便，且有隙动差，现已较少采用。但旧仪器中还可见到，如 Wild T_1 和部分国产 DJ_6 的读数装置即属此类。

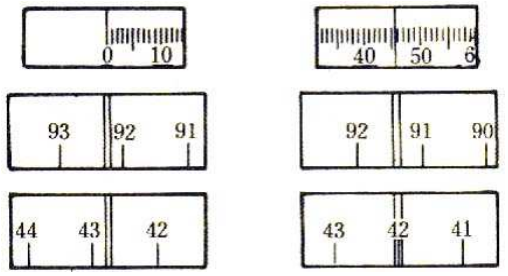


(a) (b)

图 3－10

它的结构原理如图 3－10 所示。度盘影像在传递到读数显微镜的过程中，要通过一块平板玻璃，故称单平板玻璃测微器。在仪器支架的侧面有一个测微手轮，它与平板玻璃及一个刻有分划的测微尺相连，转动测微手轮时，平板玻璃产生转动。由于平板玻璃的折射，度盘分划的影像则在读数显微镜的视场内产生移动，测微分划尺也产生位移。测微尺上刻有 60 个分划。如果度盘影像移动一格，则测微尺刚好移动 60 个分划。因而通过它可读出不到 1°的微小读数。

在读数显微镜读数窗内，所看到的影像如图 3－11 所示。图内下面的读数窗为水平度盘的影像，中间为竖直度盘的影像，上面则为测微尺的影像。水平及竖直度盘不足 1° 的微小读数，都利用测微尺的影像读取。读数时需转动测微手轮，使度盘刻划线的影像移动到读数窗中间双指标线的中央，并根据这指标线读出度盘的读数。这时测微尺读数窗内中间单指标线所对的读数即为不足 1° 的微小读数。将两者相加即为完整的读数。例如图 3－11(b)中的水平度盘读数为 42° 45.6′ 。



(a) (b)

图 3－11

（三）对径符合读法

上述两种读数方法，都是利用位于直径一端的指标读数。如图 3－12 所示，如果度盘的刻划中心 O 与照准部的旋转中心 O' 不相重合，它会使读数产生误差 x，这个误差称偏心差。为了能在读数过程中将这个误差消除，一些精度较高(如 DJ_2 级以上)的仪器，都利用直径两端的指标读数，以取其平均值。这种仪器在构造上有两种：双平行玻璃板法和双光楔法。由于两种构造的作用相同，现只对双平行玻璃板法加以说明。

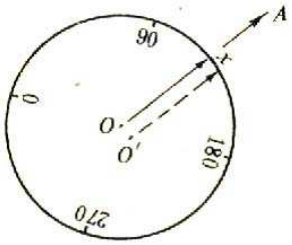
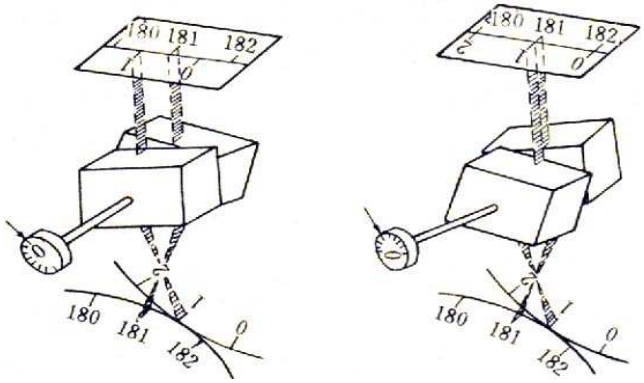


图 3－12

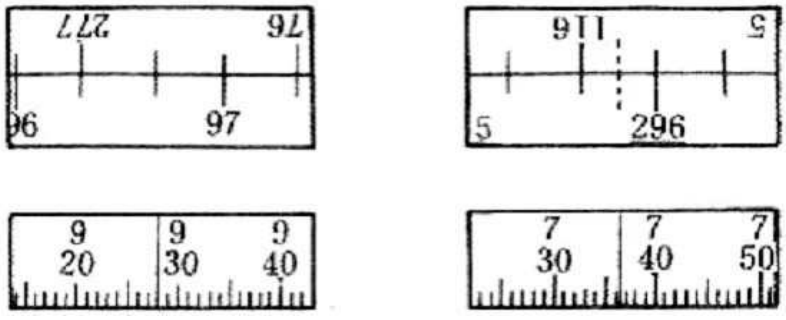
采用双平行玻璃板构造的仪器，其原理如图 3－13 所示。位于支架一侧的测微手轮也与两块平行玻璃板及测微分划尺相连。度盘直径两端的影像，通过一系列光学组件，分别传至两块平行玻璃板，再传至读数显微镜。当旋转测微手轮时，两块平行玻璃板以相同的速度作相反方向的旋转。因而在读数窗内，度盘直径两端的刻划影像、也作相反方向的移动。当移动到对径两端的刻划线互相对齐后，则可从相差 180° 的两条刻划线上读出度数及 10′ 数，再从测微分划尺上读出不足 10′ 的分数及秒数，两者相加，即为完整的读数。



(a) (b)

图 3－13

在图 3－14(a)中，其对径两端的刻划线对齐后，相差 180° 的 96° 40′ 与 276° 40′ 两条刻划线对齐。由于这两条线注字的像一为正像一为倒像，为了方便，通常按正像的数字读取度及 10′ 数。图中的读数即为 96° 49′ 28。″ 。有时读数窗内的影像可能如图 3－14(b)所示。当对径两端刻划线对齐后，没有相差 180° 的刻划线相对，这时需在两相差 180° 刻划线的中间位置取读数。如图中读数为 295° 57′ 36.4″ 。



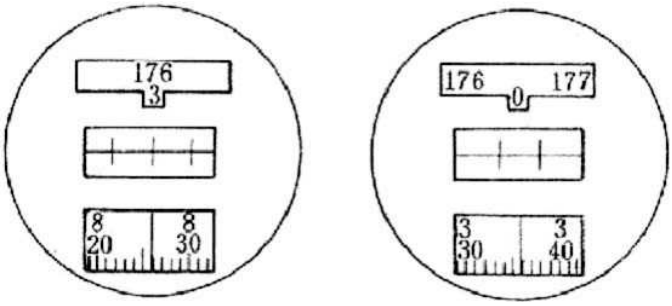
96° 49′ 28.0″ 295° 57′ 36.4″

(a) (b)

图 3－14

上述这种读数方法，在读取 10′ 数时十分不便。而且极易出错。所以现在新的仪器产品，都改为“光学数字读法”。这种读数方法，在读读数显微镜的视场内如图 3－15 所示。

中间小窗为度盘直径两端的影像，上面的小窗可读取度数及 10′ 数，下面小窗即为测微分划尺影像。当旋转测微手轮，使中间小窗的上下刻划线对齐后，可从上面小窗读出度数及 10′ 数，再从下面小窗的测微尺上读出不足 10′ 的分、秒数。如图 3－15(a)中的完整读数为 176° 38′ 25.8″ 。但在图 3－15(b)中，应注意此时上面小窗的 0 相当于 60′ ，故读数应为 177° 00′ 而不是 176° 00′ 。完整的读数应为 177° 03′ 35.8″ 。



176° 38′ 25.8″ (a)　　177° 03′ 35.8″ (b)

图 3－15

在使用这种仪器时，读数显微镜不能同时显示水平度盘及竖直度盘的读数。在支架左侧有一个刻有直线的旋钮，当直线水平时，所显示的是水平度盘读数；而直线竖直时，则显示的是竖直度盘读数。此外，读数时应打开水平度盘或竖直度盘各自的进光反光镜。

§3－3 水平角测量的方法

一、经纬仪的安置

在测量角度以前，首先要把经纬仪安置在设置有地面标志的测站上。所谓测站。即是所测角度的顶点。安置工作包括对中、整平两项。

(一) **对中**

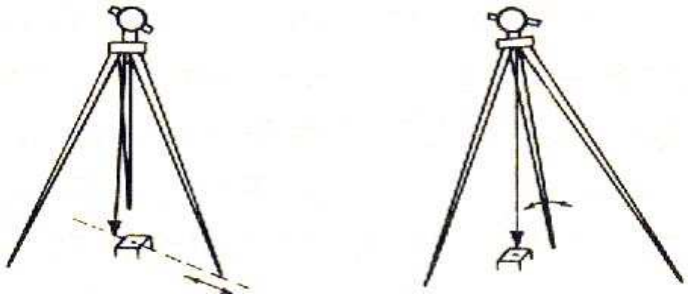
在安置仪器以前，首先将三脚架打开，抽出架腿，并旋紧架腿的固定螺旋。然后将三个架腿安置在以测站为中心的等边三角形的角顶上。这时架头平面即约略水平，且中心与地面点约略在同一铅垂线上。

从仪器箱中取出仪器，用附于三脚架头上的连结螺旋，将仪器与三脚架固连在一起，然后即可精确对中。

根据仪器的结构，可用垂球对中，也可用光学对中器对中。

用垂球对中时，先将垂球挂在三脚架的连结螺旋上，并调整垂球线的长度，使垂球尖刚刚离开地面。再看垂球尖是否与角顶点在同一铅垂线上。如果偏离，则将角顶点与垂球尖连一方向线，将最靠近连线的一条腿，沿连线方向前后移动，直到垂球与角顶对准，如图 3－16(a)所示。这时如果架头平面倾斜，则移动与最大倾斜方向垂直的一条腿，从高的方向向低的方向划一以地面顶点为圆心的圆弧，直至架头基本水平，且对中偏差不超过 1～2cm 为止。最后将架腿踩实，如图 3－16(b)。为使精确对中，可稍稍松开连接螺旋，将仪器在架头

平面上移动，直至准确对中，最后再旋紧连接螺旋。



(a) (b)

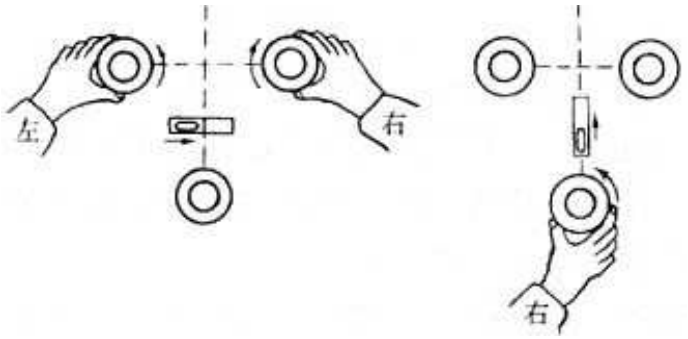
图 3－16

如果使用光学对中器对中，可以先用垂球粗略对中，然后取下垂球，再用光学对中器对中。但在使用光学对中器时，仪器应先利用脚螺旋使圆水准器气泡居中，再看光学对中器是否对中。如有偏离，仍在仪器架头上平行移动仪器，在保证圆水准气泡居中的条件下，使其与地面点对准。如果不用垂球粗略对中，则一面观察光学对中器一面移动脚架，使光学对中器与地面点对准。这时仪器架头可能倾斜很大，则根据圆水准气泡偏移方向，伸缩相关架腿，使气泡居中。伸缩架腿时，应先稍微旋松伸缩螺旋，待气泡居中后，立即旋紧。因为光学对中器的精度较高，且不受风力影响，应尽量采用。待仪器精确整平后，仍要检查对中情况。因为只有在仪器整平的条件下，光学对中器的视线才居于铅垂位置，对中才是正确的。

(二) **整平**

经纬仪整平的目的，乃是使竖轴居于铅垂位置。整平时要先用脚螺旋使圆水准气泡居中，以粗略整平，再用管水准器精确整平。

由于位于照准部上的管水准器只有一个，如图 3－17(a)所示，可以先使它与一对脚螺旋连线的方向平行，然后双手以相同速度相反方向旋转这两个脚螺旋，使管水准器的气泡居中。再将照准部平转 90°，用另外一个脚螺旋使气泡居中。这样反复进行，直至管水准器在任一方向上气泡都居中为止。在整平后还需检查光学对中器是否偏移。如果偏移，则重复上述操作方法，直至水准气泡居中，对中器对中为止。



(a) (b)

图 3－17

二、测回法测水平角

当所测的角度只有两个方向时，通常都用测回法观测。如图 3－18 所示，欲测 OA、OB 两方向之间的水平角∠AOB 时，在角顶 O 安置仪器，在 A、B 处设立观测标志。经过对中、

整平以后，即可按下述步骤观测。

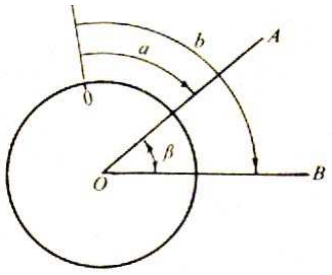


图 3－18

(一) 将复测扳手扳向上方。松开照准部及望远镜的制动螺旋。利用望远镜上的粗瞄器，以盘左(竖盘在望远镜视线方向的左侧时称盘左)粗略照准左方目标 A。关紧照准部及望远镜的制动螺旋，再用微动螺旋精确照准目标，同时需要注意消除视差及尽可能照准目标的下部。对于细的目标，宜用单丝照准，使单丝平分目标像；而对于粗的目标，则宜用双丝照准，使目标像平分双丝，以提高照准的精度。最后读取该方向上的读数 $a_{左}$ 。

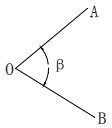
(二) 松开照准部及望远镜的制动螺旋，顺时针方向转动照准部，粗略照准右方目标 B。再关紧制动螺旋，用微动螺旋精确照准，并读取该方向上的水平度盘读数 $b_{左}$ 。盘左所得角值即为：$\beta_{左}=a_{左}-b_{左}$ 。以上称为上半测回。

(三) 将望远镜纵转 180°，改为盘右。重新照准右方目标 B，并读取水平度盘读数 $b_{右}$ 。然后顺时针或逆时针方向转动照准部，照准左方目标 A。读取水平度盘读数 $a_{右}$ ，则盘右所得角值 $\beta_{右}=a_{右}-b_{右}$ 。以上称为下半个测回。两个半测回角值之差不超过规定限值时，取盘左盘右所得角值的平均值 $\beta=\dfrac{\beta_{左}+\beta_{右}}{2}$ ，即为一测回的角值。根据测角精度的要求，可以测多个测回而取其平均值，作为最后成果。观测结果应及时记入手簿，并进行计算，看是否满足精度要求。

手簿的格式如表 3－1 所示。

表 3－1 测回法观测手簿

日期　　仪器型号　　观测
天气　　仪器编号　　记录

测站	测点	盘位	水平度盘读数 ° ′ ″	水平角值 ° ′ ″	平均角值 ° ′ ″	备　注
1	2	3	4	5	6	7
O	A	左	118 47 00	72 36 00	72 36 10	
	B		191 23 00			
	B	右	11 23 20	72 36 20		
	A		298 47 00			

值得注意的是：上下两个半测回所得角值之差，应满足有关测量规范规定的限差，对于 DJ_6 级经纬仪，限差一般为 30″ 或 40″ 。如果超限，则必须重测。如果重测的两半测回角值之差仍然超限，但两次的平均角值十分接近，则说明这是由于仪器误差造成的。取盘左盘右角值的平均值时，仪器误差可以得到抵消，所以各测回所得的平均角值是正确的。

两个方向相交可形成两个角度，计算角值时始终应以右边方向的读数减去左边方向的读

数。如果右方向读数小于左方向读数，则应先加 360° 后再减，例如表 3－1 中 $\beta_{右}$ ＝11° 23′ 20″ +360° －298° 47′ 00″ ＝72° 36′ 20″ 。若用 298° 47′ 00″ －11° 23′ 20″ ＝287° 23′ 40″ ，所得的则是∠AOB 的外角。所以测得的是哪个角度与照准部的转动方向无关，与先测哪个方向也无关，而是取决于用哪个方向的读数减去哪个方向的读数。在下半测回时，仍要顺时针转动照准部，是为了消减度盘带动误差的影响。

三、方向观测法测水平角

当在一个测站上需观测多个方向时，宜采用这种方法，因为可以简化外业工作。它的直接观测结果是各个方向相对于起始方向的水平角值，也称为方向值。相邻方向的方向值之差，就是它的水平角值。

如图 3－19 所示，设在 O 点有 OA、OB、OC、OD 四个方向，其观测步骤为：

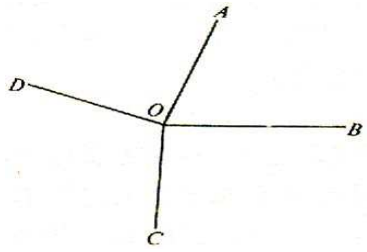


图 3－19

(一) 在 O 点安置仪器，对中、整平。

(二) 选择一个距离适中且影像清晰的方向作为起始方向，设为 OA。

(三) 盘左照准 A 点，并安置水平度盘读数，使其稍大于 0° ，用测微器读取两次读数。

(四) 以顺时针方向依次照准 B、C、D 诸点。最后再照准 A，称为归零。在每次照准时，都用测微器读取两次读数。以上称为上半测回。

(五) 倒转望远镜改为盘右，以逆时针方向依次照准 A、D、C、B、A，每次照准时，也是用测微器读取两次读数。这称为下半测回，上下两个半测回构成一个测回。

(六) 如需观测多个测回时，为了消减度盘刻度不匀的误差，每个测回都要改变度盘的位置，即在照准起始方向时，改变度盘的安置读数。为使读数在圆周及测微器上均匀分布，如用 DJ_2 级仪器作精密测角时，则各测回起始方向的安置读数依下式计算：

$$R=\frac{180^\circ}{n}(i-1)+10'(i-1)+\frac{600''}{\mathrm{n}}\left(i-\frac{1}{2}\right) \tag{3-1}$$

式中 n ——总测回数；

i ——该测回序数。

每次读数后，应及时记入手簿。手簿的格式如表 3－2 所示：

表 3－2 方向法观测手簿

日期　　仪器型号　　观测　　.

天气　　仪器编号　　记录　　.

测站	测点	水平盘读数						左-右 (2c)	$\frac{左+右}{2}$	方向值	备注
		盘左			盘右						
		° ′	″	″	° ′	″	″		° ′ ″	° ′ ″	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O	A	60 15		00	240 15		12	-12	60 15 04 60 15 06	0 00 00	
	B	101 51		54	281 52		00	-6	101 51 57	41 36 53	
	C	171 43		18	351 43		30	-12	171 43 24	111 28 20	
	D	313 36		06	133 36		12	-6	313 36 09	253 21 05	
	A	60 15		00	240 15		06	-6	60 15 03		
		$\Delta_{左}=$		0	$\Delta_{右}=$		-6				

表中 4、7 两栏横线上下分别为盘左、盘右时的两次测微器读数。5、8 两栏为两次读数的平均值。第 9 栏为同一方向上盘左盘右读数之差，名为 2c，意思是二倍的照准差，它是由于视线不垂直于横轴的误差引起的。因为盘左、盘右照准同一目标时的读数相差 180°，所以 $2c=L-(R-180°)$。第 10 栏是盘左盘右的平均值，在取平均值时，也是盘右读数减去 180° 后再与盘左读数平均。起始方向经过了两次照准，要取两次结果的平均值作为结果。从各个方向的盘左盘右平均值中减去起始方向两次结果的平均值，即得各个方向的方向值。

为避免错误及保证测角的精度，对各项操作都规定了限差。例如在《新建铁路工程测量规范》中，规定的各项限差如表 3—3 所示：

表 3—3 方向观测法的限差

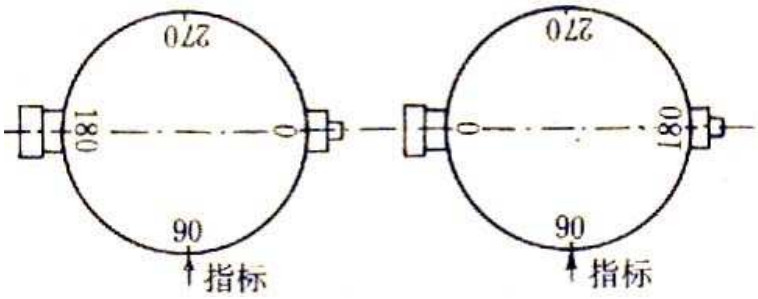
仪器型号	光学测微器两次重合读数之差	半测回归零差	各测回同方向 $2c$ 值互差	各测回同一方向值互差
DJ_1	1″	6″	9″	6″
DJ_2	3″	8″	13″	10″
DJ_6		18″		24″

§3—4 竖直角测量的方法

一、竖盘的构造

为测竖直角而设置的竖直度盘(简称竖盘)固定安置于望远镜旋转轴(横轴)的一端，其刻划中心与横轴的旋转中心重合。所以在望远镜作竖直方向旋转时，度盘也随之转动。另外有一个固定的竖盘指标，以指示竖盘转动在不同位置时的读数，这与水平度盘是不同的。

竖直度盘的刻划也是在全圆周上刻为 360°，但注字的方式有顺时针及逆时针两种。通常在望远镜方向上注以 0° 及 180°，如图 3—20 所示。在视线水平时，指标所指的读数为 90° 或 270°。竖盘读数也是通过一系列光学组件传至读数显微镜内读取。



(a) (b)

图 3－20

对竖盘指标的要求，是始终能够读出与竖盘刻划中心在同一铅垂线上的竖盘读数。为了满足这个要求，它有两种构造形式：一种是借助于与指标固连的水准器的指示，使其处于正确位置，在早期的仪器都属此类；另一种是借助于自动补偿器，使其在仪器整平后，自动处于正确位置。

(一) 指标带水准器的构造

这种构造如图 3－21 所示。指标装在一个支架上，支架套在横轴的一端，因而可以绕横轴旋转。在支架上方安装一个水准器，下方安装一个微动螺旋。旋转微动螺旋，指标可绕横轴作微小转动，同时水准器的气泡也发生移动。当气泡居中时，指标即居于正确位置。

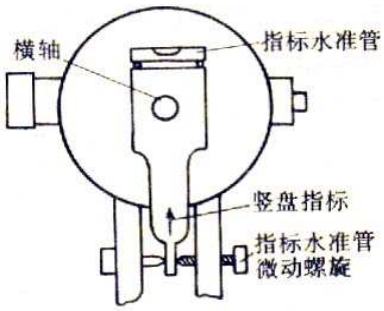
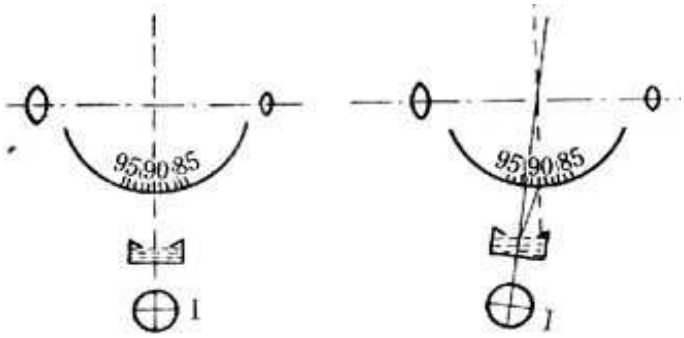


图 3－21

(二) 指标带补偿器的构造

补偿器的构造有两类形式，但都是借助重力作用，以达到自动补偿而读出正确读数的目的。一类是液体补偿器，利用液面在重力作用下自动水平，以达到补偿的目的；另一类是利用吊丝悬挂补偿元件，在重力作用下稳定于某个位置，以达到补偿的目的。现只对液体补偿器的补偿原理加以说明。

液体补偿器的构造原理如图 3－22 所示。补偿原件是一个盛有透明液体的容器。如果仪器的竖轴位于铅垂位置。则容器内的液体表面水平，容器的底也是水平的；液体相当于一块平面平行玻璃扳，而指标 I 也位于过竖盘刻划中心的铅垂线上，如图 3－22(a)，当视线水平时，则指标成像于竖盘的 90° 处。如果仪器有少许倾斜，如图 3－22(b)，则指标 I 偏离过竖盘刻划中心的铅垂线，液体容器的底也发生倾斜，但液体表面仍处于水平位置。所以这时液体实际形成了一个光楔，如果视线是水平的，则指标 I 的成像通过光楔的折射，仍然成像于度盘的 90° 处，这就达到了自动补偿的目的。



(a) (b)

图 3－22

二、竖直角的观测方法

由竖直角的定义已知，它是倾斜视线与在同一铅垂面内的水平视线所夹的角度。由于水平视线的读数是固定的，所以只要读出倾斜视线的竖盘读数，即可求算出竖直角值。但为了消除仪器误差的影响，同样需要用盘左、盘右观测。其具体观测步骤为：

1. 在测站上安置仪器，对中，整平。

2. 以盘左照准目标，如果是指标带水准器的仪器，必须用指标微动螺旋使水准器气泡居中，然后读取竖盘读数 L，这称为上半测回。

3. 将望远镜倒转，以盘右用同样方法照准同一目标，使指标水准器气泡居中后，读取竖盘读数 R，这称为下半测回。

如果用指标带补偿器的仪器，在照准目标后即可直接读取竖盘读数。根据需要可测多个测回。

三、竖直角的计算

竖直角的计算方法，因竖盘刻划的方式不同而异。但现在已逐渐统一为全圆分度，顺时针增加注字，且在视线水平时的竖盘读数为 90°。现以这种刻划方式的竖盘为例，说明竖直角的计算方法、如遇其他方式的刻划，可以根据同样的方法推导其计算公式。

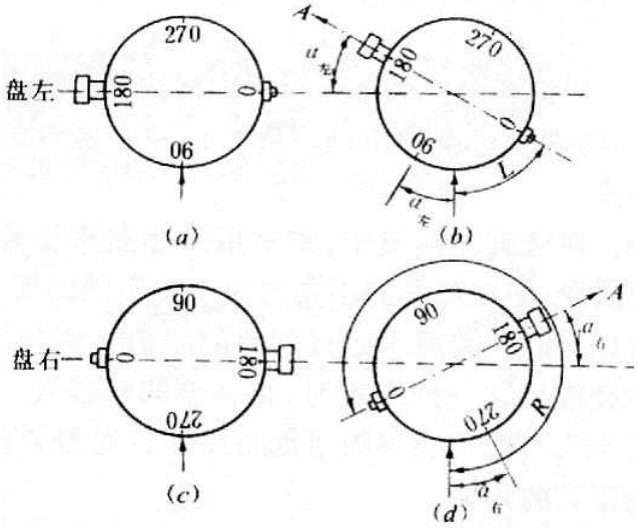


图 3－23

如图 3－23 所示，当在盘左位置且视线水平时，竖盘的读数为 90°(图中(a))，如照准高处一点 A(图中(b))，则视线向上倾斜，得读数 L。按前述的规定，竖直角应为“＋”值，所以盘左时的竖直角应为：

$$\alpha_{左} = 90° - L \tag{3－2}$$

当在盘右位置且视线水平时，竖盘读数为 270°(图中(c))，在照准高处的同一点 A 时(图中(d))，得读数 R。则竖直角应为：

$$\alpha_{右} = R - 270° \tag{3－3}$$

取盘左、盘右的平均值，即为一个测回的竖直角值，即

$$\alpha = \frac{\alpha_{左} + \alpha_{右}}{2} = \frac{R - L - 180°}{2} \tag{3－4}$$

如果测多个测回，则取各个测回的平均值作为最后成果。

观测结果应及时记入手簿，手簿的格式如表 3－4 所示：

表 3－4 竖直角观测手簿

日期　　仪器型号　　观测　　.

天气　　仪器编号　　记录　　.

测站	测点	盘位	竖盘度数	竖直角	平均角值	备　注
			° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	
O	A	左	80 05 20	+9 54 40	+9 54 30	
		右	279 54 20	+9 54 20		

四、竖盘指标差

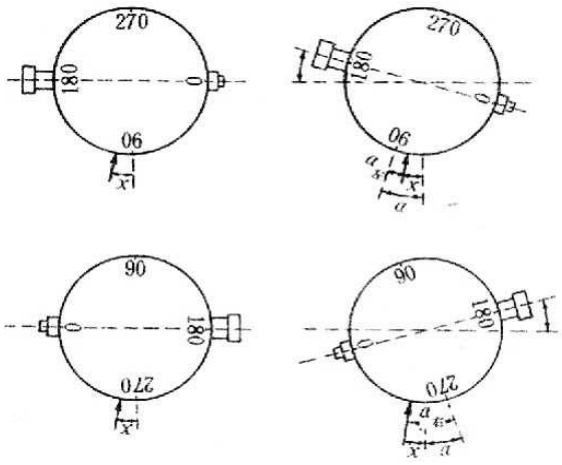


图 3－24

如果指标不位于过竖盘刻划中心的铅垂线上，则如图 3－24 所示，视线水平时的读数不是 90°或 270°，而相差 x，这样用一个盘位测得的竖直角值，即含有误差 x，这个误差称为**竖盘指标差**。为求得正确角值α，需加入指标差改正。即：

$$\alpha = \alpha_{左} + x \tag{3－5}$$

$$\alpha = \alpha_{右} - x \tag{3－6}$$

解上两式可得：

$$\alpha = \frac{\alpha_{右} + \alpha_{左}}{2} \tag{3－7}$$

$$x = \frac{\alpha_{右} - \alpha_{左}}{2} \tag{3－8}$$

从(3－7)式可以看出，取盘左、盘右结果的平均值时，指标差 x 的影响已自然消除。将(3－2)、(3－3)式代人(3－8)式，可得：

$$x = \frac{R + L - 360°}{2} \tag{3－9}$$

即利用盘左、盘右照准同一目标的读数，可按上式直接求算指标差 x。如果 x 为正值，说明视线水平时的读数大于 90° 或 270° ，如果为负值，则情况相反。

以上各公式是按顺时针方向注字的竖盘推导的，同理也可推导出逆时针方向注字竖盘的计算公式。

在竖直角测量中，常常用指标差来检验观测的质量，即在观测的不同测回中或不同的目标时，指标差的较差应不超过规定的限值。例如用 DJ_6 级经纬仪作一般工作时，指标差的较差要求不超过 25″ 。此外，在单独用盘左或盘右观测竖直角时，按(3－5)或(3－6)式加入指标差 x，仍可得出正确的角值。

§3－5 经纬仪的检验和校正

按照计量法的要求，经纬仪与其他测绘仪器一样，必须定期送法定检测机关进行检测，以评定仪器的性能和状态。但在使用过程中，仪器状态会发生变化，因而仪器的使用者应经常利用室外方法进行检验和校正，以使仪器经常处于理想状态。

一、经纬仪应满足的主要条件

从测角原理已知：为了能正确地测出水平角和竖直角，仪器要能够精确地安置在测站点上；仪器竖轴能安置在铅垂位置；视线绕横轴旋转时，能够形成一个铅垂面；当视线水平时，竖盘读数应为 90° 或 270° 。

为满足上述要求，仪器应具备下述的理想关系：

1. 照准部的水准管轴应垂直于竖轴

如满足这一关系，需利用水准管整平仪器后，竖轴才可以精确地位于铅垂位置。

2. 圆水准器轴应平行于竖轴

如满足这一关系，则利用圆水准器整平仪器后，仪器竖轴才可粗略地位于铅垂位置。

3. 十字丝竖丝应垂直于横轴

如满足这一关系，则当横轴水平时，竖丝位于铅垂位置。这样，一方面可利用它检查照准的目标是否倾斜，同时也可利用竖丝的任一部位照准目标，以便于工作。

4. 视线应垂直于横轴

如满足这一关系，则在视线绕横轴旋转时，可形成一个垂直于横轴的平面。

5. 横轴应垂直于竖轴

如满足这一关系，则当仪器整平后，横轴即水平，视线绕横轴旋转时，可形成一个铅垂面。

6. 光学对中器的视线应与竖轴的旋转中心线重合

如果满足这一关系，则利用光学对点器对中后．竖轴旋转中心才位于过地面点的铅垂线上。

7. 视线水平时竖盘读数应为 90° 或 270°

如果这一条件不满足，则有指标差存在，给竖直角的计算带来不便。

二、经纬仪的检验和校正方法

经纬仪检验的目的，就是检查上述的各种关系是否满足。如果不能满足，且偏差超过允许的范围时。则需进行校正。检验和校正应按一定的顺序进行，确定这些顺序的原则是：

1. 如果某一项不校正好，会影响其他项目的检验时，则这一项先做。

2. 如果不同项目要校正同一部位，则会互相影响，在这种情况下，应将重要项目在后边检验，以保证其条件不被破坏。

3. 有的项目与其他条件无关，则先后均可。

现分别说明各项检验与校正的具体方法。

(一) 照准部的水准管轴垂直竖轴

检验：先将仪器粗略整平后，使水准管平行于一对相邻的脚螺旋，并用这一对脚螺旋使水准管气泡居中，这时水准管轴 LL' 已居于水平位置。如果两者不相垂直(图 3－25(a))，则竖轴 VV' 不在铅垂位置。然后将照准部平转 180° ，由于它是绕竖轴旋转的，竖轴位置不动，则水准管轴偏移水平位置，气泡也不再居中，如图 3－25(b)。如果两者不相垂直的偏差为 α，则平转后水准管轴与水平位置的偏移量为 2α 。

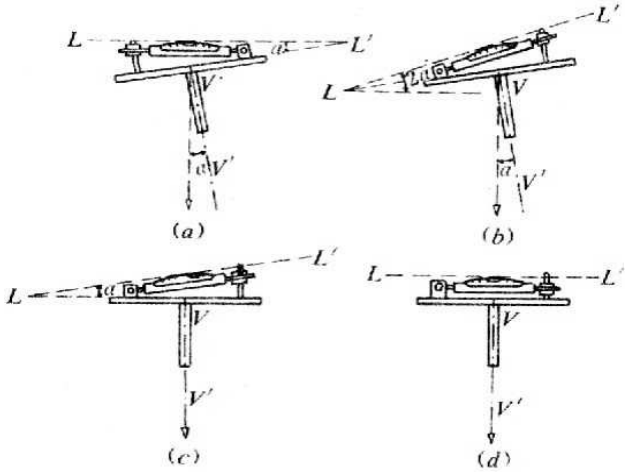


图 3－25

校正：校正时用脚螺旋使气泡退回原偏移量的一半，则竖轴便处于铅垂位置，如图 3－25(c)。再用校正装置升高或降低水准管的一端，使气泡居中，则条件满足，如图 3－25(d)。水准管校正装置的构造如图 3－26 所示。如果要使水准管的右端降低，则先顺时针转动下边的螺旋，再顺时针转动上边的螺旋；反之，则先逆时针转动上边的螺旋，再逆时针转动下边

的螺旋。校正好后，应以相反的方向转动上下两个螺旋，将水准管固紧。



图 3－26

(二) 圆水准器轴平行竖轴

检验：利用已校好的照准部水准管将仪器整平，这时竖轴已居铅垂位置。如果圆水准器的理想关系满足，则气泡应该居中。否则需要校正。

校正：在圆水准器盒的底部有三个校正螺丝，如图 3－27 所示。根据气泡偏移的方向，将其旋进或旋出，直至气泡居中则条件满足。校正好后，应将三个螺丝旋紧，使其紧固。

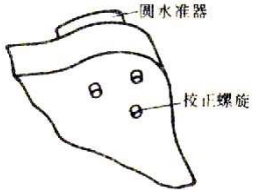
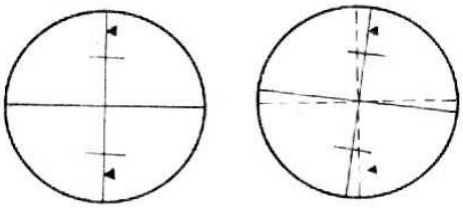


图 3－27



(a) (b)

图 3－28

(三) 十字丝竖丝垂直横轴

检验：以十字丝竖丝的一端照准一个小而清晰的目标点，再用望远镜的微动螺旋使目标点移动到竖丝的另一端，如图 3－28 所示。如果目标点到另一端时仍位于竖丝上，则理想关系满足。否则，需要校正。

校正：校正的部位为十字丝分划板，它位于望远镜的目镜端。将护罩打开后，可看到四个固定分划扳的螺旋，如图 3－29 所示。稍微拧松这四个螺旋，则可将分划板转动。待转动至满足理想关系后，再旋紧固定螺旋，并将护罩上好。

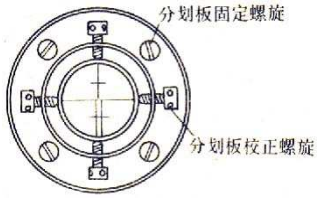


图 3－29

(四) 视线垂直于横轴

检验：选一长约 100m 的平坦地面，将仪器架设于中间 O 处，并将其整平。如图 3－30 所示，先以盘左位置照准设于离仪器约 50m 的一点 A。再固定照准部，将望远镜倒转 180°，改为盘右，并在离仪器约 50m 于视线上标出一点 B_1。如果仪器理想关系满足，则 A、O、B_1 三点必在同一直线上。当用同样方法以盘右照准 A 点，再倒转望远镜后，视线应落于 B_1 点上。如果第二次的视线未落于 B_1 点，而是落于另一点 B_2，即说明理想关系不满足，需要进行校正。

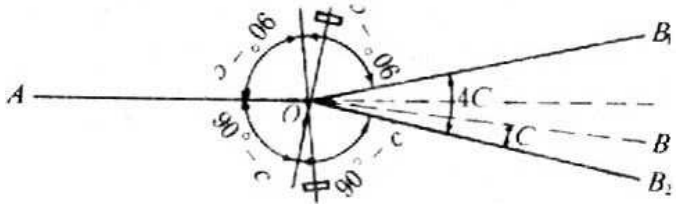


图 3－30

校正：由图 3－30 可以看出，如果视线与横轴不相垂直，而有一偏差角 c，则∠B_1OB_2=4c。将 B_1B_2 距离分为四等份，取靠近 B_2 点的等分点 B，则可近似地认为∠BOB_2=c。在照准部不动的条件下，将视线从 OB_2，校正到 OB，则理想关系可得到满足。

由于视线是由物镜光心和十字丝交点构成的，所以校正的部位仍为十字丝分划板。在图 3－29 中，校正分划板左右两个校正螺旋，则可使视线左右摆动。旋转校正螺旋时，可先松一个，再紧另一个。待校正至正确位置后，应将两个螺旋旋紧，以防松动。

(五) 横轴垂直于竖轴

检验：在竖轴位于铅垂的条件下，如果横轴不与竖轴垂直，则横轴倾斜。如果视线已垂直横轴，则绕横轴旋转时构成的是一个倾斜平面。根据这一特点，在作这项检验时，应将仪器架设在一个高的建筑物附近。当仪器整平以后，在望远镜倾斜约 30° 左右的高处，以盘左照准一清晰的目标点 A，然后将望远镜放平，在视线上标出墙上的一点 B，如图 3－31(a)所示。再将望远镜改为盘右，仍然照准 A 点，并放平视线，在墙上标出一点 C，如图 3－31(b)。如果仪器理想关系满足，则 B、C 两点重合。否则，说明这一理想关系不满足，需要校正。

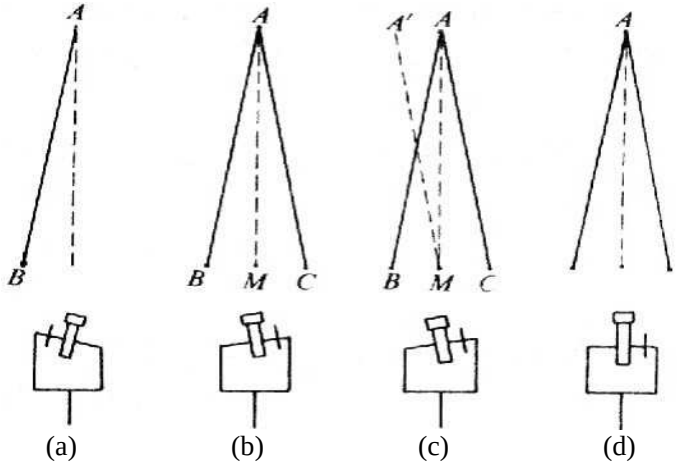


图 3－31

校正：由于盘左盘右倾斜的方向相反而大小相等，所以取 B、C 的中点 M，则 A、M 在同一铅垂面内。然后照准 M 点，将望远镜抬高，则视线必然偏离 A 点，而落在 A' 处，如图 3－31(c)所示。在保持仪器不动的条件下，校正横轴的一端，使视线落在 A 上，如图 3－31(d)，则完成校正工作。

在校正横轴时，需将支架的护罩打开。其内部的校正装置如图 3－32 所示，它是一个偏心轴承，当松开三个轴承固定螺旋后，轴承可作微小转动，以迫使横轴端点上下移动。待校正好后，要将固定螺旋旋紧，并上好护罩。

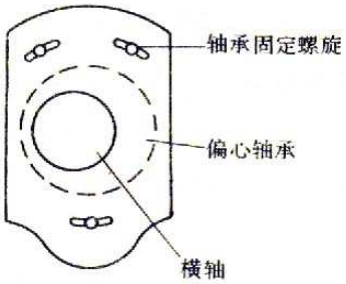


图 3－32

由于这项校正需打开支架护罩，一般不宜在野外进行。

(六) 光学对中器的视线与竖轴旋转中心线重合

检验：如果这一理想关系满足，光学对中器的望远镜绕仪器竖轴旋转时，视线在地面上照准的位置不变。否则，视线在地面上照准的轨迹为一个圆圈。

由于光学对中器的构造有在照准部上和基座上两种，所以检验的方法也不同。

对于安装在照准部上的光学对中器，将仪器架好后，在地面上铺以白纸，在纸上标出视线的位置，然后将照准部平转 180°，如果视线仍在原来的位置，则理想关系满足。否则，需要校正。

对于安装在基座上的光学对中器，由于它不能随照准部旋转，不能采用上述的方法。可将仪器平置于稳固的桌子上，使基座伸出桌面。在离仪器 1.3m 左右的墙面上铺以白纸，在纸上标出视线的位置，然后在仪器不动的条件下将基座旋转 180°，如果视线偏离原来的位置，则需校正。

校正：造成光学对中器误差的原因有二：一是在直角棱镜上视线的折射点不在竖轴的旋转中心线上；一是望远镜的视线不与竖轴的旋转中心线垂直，或者直角棱镜的斜面与竖轴的旋转中心线不成 45°。

由于前一种原因影响极小，所以都校正后者。不同厂家生产的仪器，可校正的部位也不同。有的是校正对中器的望远镜分划板，如北光的 DJ_2E；有的则是校正直角棱镜，如上三光的 DJK-6 即是。

由于检验时所得前后两点之差是由二倍误差造成的，因而在标出两点的中间位置后，校正有关的螺旋，使视线落在中间点上即可。对中器分划板的校正与望远镜分划板的校正方法相同。直角棱镜的校正装置位于两支架的中间，图 3－33 为上三光 DJK-6 校正装置的示意图。调节螺旋 1，则视线前后移动，调节螺旋 2、3，则视线左右移动。

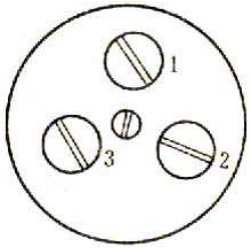


图 3－33

(七) 竖盘指标差

检验：检验竖盘指标差的方法，是用盘左、盘右照准同一目标，并读得其读数 L 和 R 后，按公式(3－9)计算其指标差值。

校正：保持盘右照准原来的目标不变，这时的正确读数应为 R－x。用指标水准管微动螺旋将竖盘读数安置在 R－x 的位置上，这时水准管气泡必不再居中，调节指标水准管校正螺旋，使气泡居中即可。

上述的每一项校正，一般都需反复进行几次，直至其误差在容许的范围以内。

§3－6 角度测量的误差分析

在角度测量中，由于多种原因会使测量的结果含有误差。研究这些误差产生的原因、性质和大小，以便设法减少其对成果的影响。同时也有助于预估影响的大小，从而判断成果的可靠性。

影响测角误差的因素有三类：即仪器误差、观测误差、外界条件的影响。

一、仪器误差

仪器虽经过检验及校正，但总会有残余的误差存在。仪器误差的影响，一般都是系统性的，可以在工作中通过一定的方法予以消除或减小。

主要的仪器误差有：水准管轴不垂直于竖轴，视线不垂直横轴、横轴下垂直竖轴、照准部偏心，光学对中器视线不与竖轴旋转中心线重合及竖盘的指标差等。

(一) 水准管轴不垂直竖轴

这项误差影响仪器的整平，即竖轴不能严格铅垂，横轴也不水平。但安置好仪器后，它的倾斜方向是固定不变的，不能用盘左盘右消除。如果存在这一误差，可在整平时于一个方向上使气泡居中后，再将照准部平转 180°，这时气泡必然偏离中央。然后用脚螺旋使气泡移回偏离值的一半，则竖轴即可铅垂。这项操作要在互相垂直的两个方向上进行，直至照准部旋转至任何位置时，气泡虽不居中，但偏移量不变为止。

(二) 视线不垂直横轴

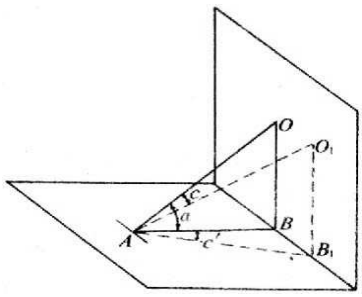


图 3－34

如图 3－34 所示：如果视线与横轴垂直时的照准方向为 AO，当两者不垂直而存在一个误差角 c 时，则照准点为 O_1。如要照准 O，则照准部需旋转 c'' 角。这个 c'' 角就是由于这项误差在一个方向上对水平度盘读数的影响。由于 c'' 是 c 在水平面上的投影，从图 3－34 可知：

$$c'' = \frac{BB_1}{AB} \cdot \rho \qquad (3-10)$$

而 $$AB = AO\cos\alpha, BB_1 = OO_1$$

所以 $$c' = \frac{OO_1}{AO\cos\alpha}\cdot\rho = \frac{c}{\cos\alpha} = c\cdot\sec\alpha \tag{3－11}$$

由于一个角度是由两个方向构成的，则它对角度的影响为：

$$\Delta c = c_2' - c_1' = c(\sec\alpha_2 - \sec\alpha_1) \tag{3－12}$$

式中α_2、α_1为两个方向的竖直角。

由上式可知，在一个方向上的影响与误差角 c 及竖直角α的正割的大小成正比；对一个角度而言，则与误差角 c 及两方向竖直角正割之差的大小成正比，如两方向的竖直角相同，则影响为零。

因为在用盘左、盘右观测同一点时，其影响的大小相同而符号相反，所以在取盘左盘右的平均值时，可自然抵消。

(三) 横轴不垂直竖轴

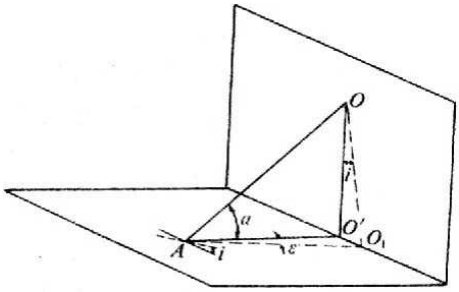


图 3－35

因为横轴不垂直竖轴，则仪器整平后竖轴居于铅垂位置，横轴必发生倾斜。视线绕横轴旋转所形成的不是铅垂面，而是一个倾斜平面，如图 3－35 所示。过目标点 O 作一垂直于视线方向的铅垂面，O'点位于过 O 的铅垂线上。如果存在这项误差，则仪器照准 O 点，将视线放平后，照准的不是O'点而是 O_1 点。如果照准O'，则需将照准部转动 ε 角。这就是在一个方向上，由于横轴下垂直竖轴，而对水平度盘读数的影响，倾斜直线OO_1与铅垂线之间的夹角i与横轴的倾角相同，从图 3－35 可知：

$$\varepsilon = \frac{O'O_1}{AO'}\cdot\rho \tag{3－13}$$

因 $$O'O_1 = \frac{i}{\rho}\cdot OO'$$

故 $$\varepsilon = i\cdot\frac{OO'}{AO'} = i\cdot tg\alpha \tag{3－14}$$

式中i——横轴的倾角

α——视线的竖直角

它对角度的影响为：

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = i(tg\alpha_2 - tg\alpha_1) \tag{3－15}$$

由上式可见，它在一个方向上对水平度盘读数的影响，与横轴的倾角及目标点竖直角的正切成正比；它对角度的影响，则与横轴的倾角及两个目标点的竖直角正切之差成正比。当两方向的竖直角相等时，其影响为零。

由于对同一目标观测时，盘左盘右的影响大小相同而符号相反，所以取平均值可以得到抵消。

(四) 照准部偏心

所谓照准部偏心，即照准部的旋转中心与水平盘的刻划中心不相重合。这项误差只有在直径一端有读数的仪器才有影响，而采用对径符合读法的仪器，可将这项误差自动消除。

如图 3－36 所示，设度盘的刻划中心为 O，而照准部的旋转中心为 O_1。当仪器的照准方向为 A 时，其度盘的正确读数应为 a。但由于偏心的存在，实际的读数为 a_1。a_1-a 即为这项误差的影响。

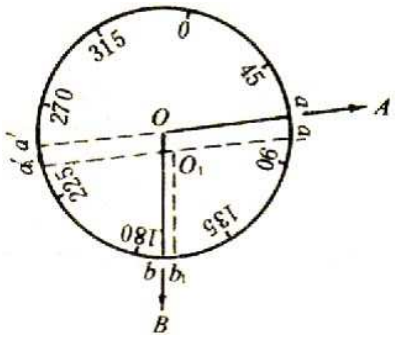


图 3－36

照准部偏心影响的大小及符号是依偏心方向与照准方向的关系而变化。如果照准方向与偏心方向一致，其影响为零；两者互相垂直时，影响最大。在图 3－36 中，照准方向为 A 时，读数偏大，而照准方向为 B 时，则读数偏小。

当用盘左、盘右观测同一方向时，是取了对径读数，其影响值大小相等而符号相反，在取读数平均值时，可以抵消。

(五) 光学对中器视线不与竖轴旋转中心线重合

这项误差是影响测站偏心，将在后边详细说明，如果对中器是附在基座上，在观测测回数的一半时，可将基座平转 180° 再进行对中，以减少其影响。

(六) 竖盘指标差

这项误差是影响竖直角的观测精度。如果工作时预先测出，在用半测回测角的计算时予以考虑，或者用盘左、盘右观测取其平均值，则可得到抵消。

二、观测误差

造成观测误差的原因有二：一是工作时不够细心；二是受人的器官及仪器性能的限制。观测误差主要有：测站偏心、目标偏心、照准误差及读数误差。对于竖直角观测，则有指标水准器的调平误差。

(一) 测站偏心

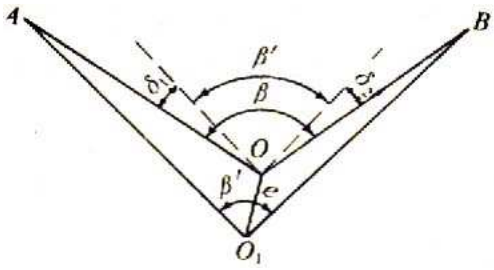


图 3—37

测站偏心的大小，取决于仪器对中装置的状况及操作的仔细程度。它对测角精度的影响如图 3—37 所示。设 O 为地面标志点，O_1 为仪器中心，则实际测得的角为 β' 而非应测的 β，两者相差为：

$$\Delta\beta = \beta - \beta' = \delta_1 + \delta_2 \qquad (3-16)$$

由图中可以看出，观测方向与偏心方向越接近 90°，边长越短，偏心距 e 越大，则对测角的影响越大。所以在测角精度要求一定时，边越短，则对中精度要求越高。

(二) 目标偏心

在测角时，通常都要在地面点上设置观测标志，如花杆、垂球等。造成目标偏心的原因可能是标志与地面点对得不准，或者标志没有铅垂，而照准标志的上部时使视线偏移。

与测站偏心类似，偏心距越大，边长越短，则目标偏心对测角的影响越大。所以在短边测角时，尽可能用垂球作为观测标志。

(三) 照准误差

照准误差的大小，决定于人眼的分辨能力、望远镜的放大率、目标的形状及大小和操作的仔细程度。

人眼的分辨能力一般为 60″；设望远镜的放大率为 v，则照准时的分辨能力为 $\frac{60''}{v}$。我国统一设计的 DJ_6 及 DJ_2 级光学经纬仪放大率为 28 倍，所以照准时的分辨力为 2.14″。照准时应仔细操作，对于粗的目标宜用双丝照准，细的目标则用单丝照准。

(四) 读数误差

对于分微尺读法，主要是估读最小分划的误差，对于对径符合读法，主要是对径符合的误差所带来的影响，所以在读数时宜特别注意。DJ_6 级仪器的读数误差最大为士 12″，DJ_2 级仪器为±2″～3″。

(五) 竖盘指标水准器的整平误差

在读取竖盘读数以前，须先将指标水准器整平。DJ_6 级仪器的指标水准器分划值一般为 30″，DJ_2 级仪器一般为 20″。这项误差对竖直角的影响是主要因素。操作时宜分外注意。

三、外界条件的影响

外界条件的因素十分复杂，如天气的变化、植被的不同、地面土质松紧的差异、地形的起伏、以及周围建筑物的状况等，都会影响测角的精度。有风会使仪器不稳，地面土松软可使仪器下沉，强烈阳光照射会使水准管变形，视线靠近反光物体，则有折光影响。这些在测角时，应注意尽量予以避免。

§3－7 电子经纬仪

随着电子技术、计算机技术、光电技术、自动控制等现代科学技术的发展，1968 年电子经纬仪问世。电子经纬仪与光电测距仪、计算机、自动绘图仪相结合，使地面测量工作实现了自动化和内外业一体化，这是测绘工作的一次历史性变化。图 3－38 是 Leica T2000 电子经纬仪的全貌。

电子经纬仪与光学经纬仪相比较，主要差别在读数系统，其他如照准、对中、整平等装置是相同的。

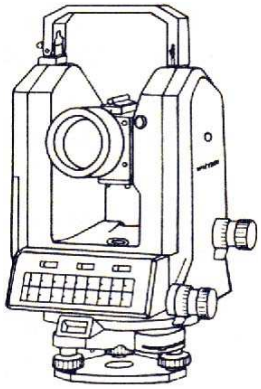


图 3－38

一、电子经纬仪的读数系统

电子经纬仪的读数系统是通过角-码变换器，将角位移量变为二进制码，再通过一定的电路，将其译成度、分、秒，而用数字形式显示出来。

目前常用的角-码变换方法有编码度盘、光栅度盘及动态测角系统等，有的也将编码度盘和光栅度盘结合使用。现以光栅度盘为例，说明角-码变换的原理。

光栅度盘又分透射式及反射式两种。透射式光栅是在玻璃圆盘上刻有相等间隔的透光与不透光的辐射条纹。反射式光栅则是在金属圆盘上刻有相等间隔的反光与不反光的条纹。用得较多的是透射式光栅。

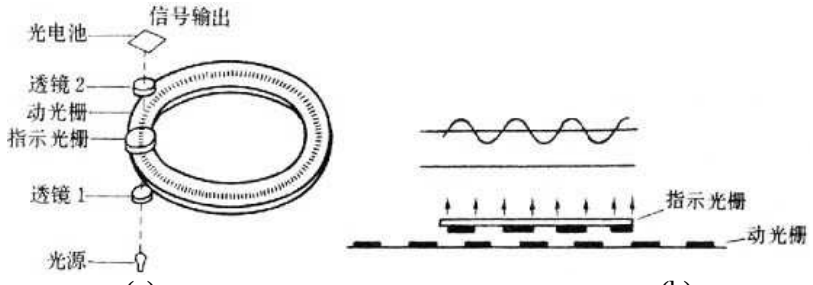


图 3－39

透射式光栅的工作原理如图 3－39(a)所示。它有互相重叠、间隔相等的两个光栅，一个是全圆分度的动光栅，可以和照准部一起转动，相当于光学经纬仪的度盘；一个是只有圆弧上一段分划的固定光栅，它相当于指标，称为指示光栅。在指示光栅的下部装有光源，上部

装有光电管。在测角时，动光栅和指示光栅产生相对移动。如图 3－39(b)所示，如果指示光栅的透光部分与动光栅的不透光部分重合，则光源发出的光不能通过，光电管接收不到光信号，因而电压为零；如果两者的透光部分重合，则透过的光最强，因而光电管所产生的电压最高。这样，在照准部转动的过程中，就产生连续的正弦信号，再经过电路对信号的整形，则变为矩形脉冲信号。如果一周刻有 21600 个分划，则一个脉冲信号即代表角度的 1′ 。这样，根据转动照准部时所得脉冲的计数，即可求得角值。为了求得不同转动方向的角值，还要通过一定的电于线路来决定是加脉冲还是减脉冲。只依靠脉冲计数，其精度是有限的，还要通过一定的方法进行加密，以求得更高的精度。目前最高精度的电子经纬仪可显示到 0.1″，测角精度可达 0.5″。

二、电子经纬仪的特点

由于电子经纬仪是电子计数，通过置于机内的微型计算机，可以自动控制工作程序和计算，并可自动进行数据传输和存储，因而它具有以下特点：

(一) 读数在屏幕上自动显示，角度计量单位(360° 六十进制、360° 十进制、400g、6400 密位)可自动换算。

(二) 竖盘指标差及竖轴的倾斜误差可自动修正。

(三) 有与测距仪和电子手簿连接的接口。与测距仪连接可构成组合式全站仪，与电子手簿连接，可将观测结果自动记录，没有读数和记录的人为错误。

(四) 可根据指令对仪器的竖盘指标差及轴系关系进行自动检测。

(五) 如果电池用完或操作错误，可自动显示错误信息。

(六) 可单次测量，也可跟踪动态目标连续测量。但跟踪测量的精度较低。

(七) 有的仪器可预置工作时间，到规定时间，则自动停机。

(八) 根据指令，可选择不同的最小角度单位。

(九) 可自动计算盘左、盘右的平均值及标准偏差。

(十) 有的仪器内置驱动马达及 CCD 系统，可自动搜寻目标。

根据仪器生产的时间及挡次的高低，某种仪器可能具备上述的全部或部分特点。随着科学技术的发展，其功能还在不断扩展。

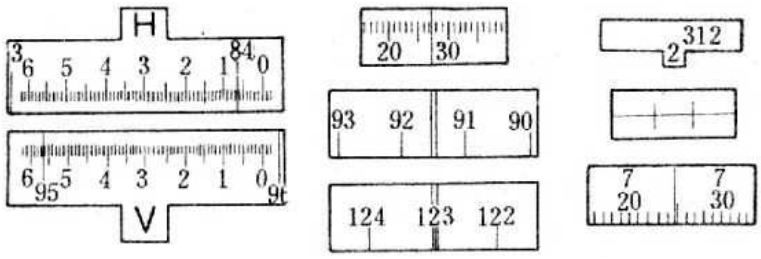
习　　题

1. 什么是水平角和竖直角？如何定义竖直角的符号？

2. 根据测角的要求，经纬仪应具有哪些功能？其相应的构造是什么？

3. 复测经纬仪和方向经纬仪最主要的区别是什么？如果要使照准某一方向的水平度盘读数为 0° 00′ 00″，两种仪器分别应如何操作？

4. 试根据图 3－40，分别读出水平度盘的读数。



(a) (b) (c)

图 3－40

5. 如图 3－41 所示，怎样决定所测的是α角或β角？

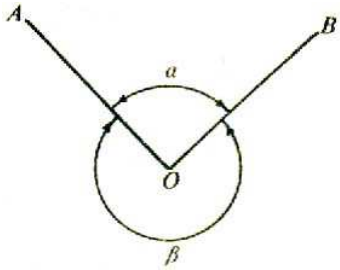
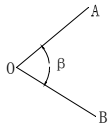


图 3－41

6. 试述测回法测水平角的步骤，并根据表 3－5 的记录计算平均值及平均角值。

表 3－5 测回法测水平角手簿

测站	测点	盘位	水平度盘读数 ° ′ ″	水平角值 ° ′ ″	平均角值 ° ′ ″	备 注
O	A	左	20 01 10	47 11 20	47 11 13	
	B		67 12 30			
	B	右	247 12 56	47 11 06		
	A		200 01 50			

7. 试述用方向法测水平角的步骤，并根据表 3－6 的记录计算各个方向的方向值。

表 3－6 方向法测水平角手簿

测站	测点	水平盘读数 盘左 ° ′	″	″	盘右 ° ′	″	″	左-右 (2c)	$\frac{左+右}{2}$ ° ′ ″	方向值 ° ′ ″	备注
O	A	0 02	06 04	05	180 02	16 18	17	-12	0 02 12 0 02 11	0 00 00	
	B	37 44	12 14	13	217 44	12 14	13	0	37 44 13	37 42 01	
	C	110 29	06 07	06	290 28	54 56	55	+11	110 29 00	110 26 48	
	D	150 15	04 07	06	330 14	56 58	57	+9	150 15 02	150 12 50	
	A	0 02	07 09	08	180 02	20 22	21	-13	0 02 14		
		$\Delta_{左}=$		+3	$\Delta_{右}=$		+4				

8. 在观测竖直角时，为什么指标水准管的气泡必须居中。

9. 什么是竖盘指标差？怎样测定它的大小？怎样决定其符号？

10. 经纬仪应满足哪些理想关系？如何进行检验？各校正什么部位？检校次序根据什么原则决定？

11. 在测量水平角及竖直角时，为什么要用两个盘位？

12. 影响水平角和竖直角测量精度的因素有哪些？各应如何消除或降低其影响？

13. 电子经纬仪与光学经纬仪相比较，其最主要的区别是什么？