

光学仪器丛书



# 光学经纬仪

杨国光 沈涵芬编

机械工业出版社

光学仪器丛书

# 光学经纬仪

杨国光 沈涵芬 编



机械工业出版社

本书比较具体地介绍了国产光学经纬仪的结构原理、使用方法、测量误差及观测成果的处理。特别对光学经纬仪在工业方面的应用、光学经纬仪的校正、常见故障的排除以及正确使用经纬仪等方面作了详细介绍。另外，对国内外最新发展的各种新型经纬仪也从原理上作了介绍。

本书可供仪器制造人员，广大测量工作者以及测量仪器检修人员参考。

本书由杨国光、沈涵芬同志执笔，在编写过程中曾得到苏州第一光学仪器厂张俐同志的协助，並提供了部份素材。

## 光 学 仪 器 丛 书

### 光 学 经 纬 仪

杨国光 沈涵芬 编

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/32·印张 8 1/2 ·字数 186 千字

1982年 9月北京第一版·1982年 9月北京第一次印刷

印数 0,001—5,400·定价: 0.88元

\*

统一书号: 15033·4784

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 概况 .....         | 1  |
| 一、经纬仪的作用与意义 .....    | 1  |
| 二、经纬仪的测角原理 .....     | 1  |
| 1.角度的概念 .....        | 1  |
| 2.水平角与垂直角 .....      | 3  |
| 三、经纬仪的基本结构 .....     | 5  |
| 四、经纬仪的特点与要求 .....    | 7  |
| 五、我国经纬仪的系列 .....     | 8  |
| 第二章 经纬仪的构造原理 .....   | 10 |
| 一、经纬仪的望远镜系统 .....    | 10 |
| 1.望远镜成象的光学原理 .....   | 10 |
| 2.望远镜的放大倍数与视场角 ..... | 10 |
| 3.望远镜的调焦 .....       | 15 |
| 4.望远镜物镜 .....        | 17 |
| 5.望远镜目镜 .....        | 19 |
| 6.望远镜的瞄准 .....       | 21 |
| 7.望远镜的正确使用方法 .....   | 27 |
| 二、经纬仪的读数系统 .....     | 29 |
| 1.读数的基本知识 .....      | 30 |
| 2.度盘 .....           | 31 |
| 3.带尺显微镜 .....        | 35 |
| 4.光学测微原理 .....       | 41 |
| 5.光学重合读数 .....       | 43 |
| 6.实现重合读数的光学系统 .....  | 59 |
| 三、光学对点器 .....        | 61 |
| 四、经纬仪轴系 .....        | 63 |

## IV

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 1. 竖轴型式             | 64  |
| 2. 竖轴轴系             | 69  |
| 3. 横轴               | 69  |
| 五、止动、微动与复测机构        | 72  |
| 1. 箍紧式止、微动机构        | 72  |
| 2. 杠杆式止、微动机构        | 72  |
| 3. 止、微动螺旋同轴的机构      | 73  |
| 4. 复测机构             | 74  |
| 六、水准器及垂直度盘自动归零装置    | 75  |
| 1. 水准器              | 75  |
| 2. 垂直度盘自动归零装置       | 80  |
| 第三章 经纬仪的使用与测量数据分析   | 88  |
| 一、经纬仪操作常识           | 88  |
| 1. 经纬仪的安置           | 88  |
| 2. 瞄准目标             | 90  |
| 3. 读取读数             | 91  |
| 4. 变换水平度盘位置         | 92  |
| 二、经纬仪的测量方法          | 92  |
| 1. 水平角测量            | 92  |
| 2. 垂直角测量            | 103 |
| 3. 视丝测距             | 107 |
| 4. 经纬仪定线            | 110 |
| 三、经纬仪在工业上的应用        | 111 |
| 1. 建立大型构件点、线、面之间的关系 | 111 |
| 2. 进行大型精密构件的误差检定    | 115 |
| 3. 研究大型构件的微小复杂变形    | 117 |
| 四、正确使用经纬仪的守则        | 118 |
| 五、测量数据的计算与分析        | 123 |
| 1. 等权测角作业           | 124 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 2. 不等权测角作业        | 130 |
| 3. 仪器精度的表示方法      | 135 |
| 第四章 经纬仪的校验与修理     | 138 |
| 一、经纬仪的检查和校正       | 138 |
| 1. 经纬仪的检查项目和检查步骤  | 138 |
| 2. 经纬仪的校正方法       | 140 |
| 二、J6级光学经纬仪的检修     | 152 |
| 1. 望远镜系统的故障及其排除   | 153 |
| 2. 读数系统的故障及其排除    | 160 |
| 3. 度盘偏心的检查与校正     | 164 |
| 4. 机构故障的判断与排除     | 167 |
| 三、J2级光学经纬仪的检修     | 174 |
| 1. 仪器的拆卸          | 175 |
| 2. 光学系统故障         | 180 |
| 3. 机构方面故障         | 196 |
| 四、经纬仪的维护保养方法      | 198 |
| 1. 平时的管理          | 198 |
| 2. 仪器搬运、取出和装箱时的保养 | 199 |
| 3. 使用时的维护保养       | 200 |
| 4. 三脚架的保养         | 201 |
| 第五章 国产经纬仪及几种新型经纬仪 | 202 |
| 一、国产经纬仪           | 202 |
| 1. J15级仪器         | 202 |
| 2. J6级仪器          | 203 |
| 3. J2级仪器          | 206 |
| 4. J1级仪器          | 212 |
| 5. J.7级仪器         | 216 |
| 二、几种新型的经纬仪        | 221 |
| 1. 工具经纬仪          | 221 |

## VI

|            |     |
|------------|-----|
| 2. 激光定向经纬仪 | 228 |
| 3. 陀螺经纬仪   | 235 |
| 4. 激光测距经纬仪 | 239 |
| 5. 自动经纬仪   | 246 |

## 附表

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 一、国内经纬仪型号及主要技术数据对照表       | 259 |
| 二、国外主要经纬仪型号及性能参数对照表       | 260 |
| 三、经纬仪测角时的主要误差与消除或减少方法     | 262 |
| 四、国外激光定向及激光测距经纬仪型号及主要技术性能 | 264 |

# 第一章 概 况

## 一、经纬仪的作用与意义

经纬仪是一种精密测量角度的仪器。测量角度是大地测量的一项主要工作，一般在野外进行角度测量的仪器叫做经纬仪。

经纬仪在经济建设和国防建设中具有重要的作用。在经济建设中，为了找到丰富的地下资源，从普查、勘探到采掘矿物的整个过程都必须应用经纬仪的测量成果。修建铁路、公路、桥梁、治山治水、农田水利、城市规划与建设等等都离不开经纬仪的测量。在国防建设中，如战场准备、港湾、要塞、机场、基地以及军事工程建设等等，都必须以详细而正确的大地测量为依据。因此，经纬仪的质量就直接关系到工程建设与国防建设的质量。

六十年代以来，由于激光技术在经纬仪上的应用，使经纬仪成为大型精密机械工业，造船及航空工业等方面进行精密定位与安装的有力工具。

## 二、经纬仪的测角原理

### 1. 角度的概念

两条直线相交就形成角度，

图 1-1 中，两条直线AO与BO在

O点上相交，就构成角度 $\angle AOB$ ，记为 $\alpha$ ，即 $\angle AOB = \alpha$ ，

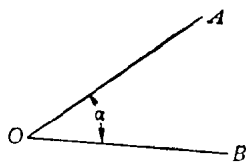


图 1-1

O称为角的顶点，直线AO与BO称为角的边，角度的作用是它决定了直线之间的相对位置。

我们也可以把角度看作是一条方向线绕端点旋转产生的，这有如钟表的时针与分针，当一条方向线OA（图1-2 a）绕端点O旋转，如果转一周转到原来方向线的位置，其所转过的角度就叫周角。当方向线转到和它的原方向相反而构成一条直线AOB时（图1-2 b），所转过的角度就叫做平角，如果把平角二等分，方向线OC（图1-2 c）与原方向OA之间的交角 $\angle AOC$ 就叫做直角，显然：

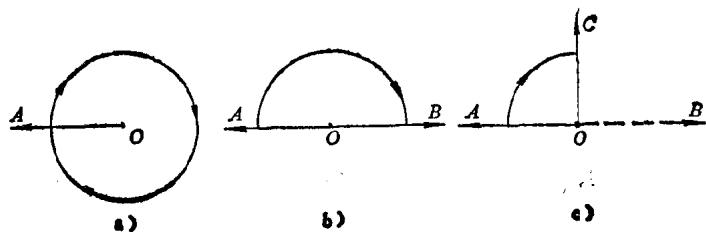


图 1-2

$$1 \text{ 直角} = \frac{1}{2} \text{ 平角} = \frac{1}{4} \text{ 周角}$$

二条直线相交，交角为直角时此两条直线就叫做相互垂直。因此，角度在决定直线的位置上是十分重要的。

当前国际上度量角度的单位有两种：

#### 1) 60进制

把周角等分成360个单位，每一个单位就叫做“度”，记为 $1^\circ$ ，把“一度”再等分成60个单位，这个单位就叫做“分”，记为 $1'$ ，再把“一分”等分成六十个单位，这个单位就叫做“秒”，记为 $1''$ ，这样就有：

一个周角 =  $360^\circ$ ,  $1^\circ = 60'$ ,  $1' = 60''$ 。

角度小于  $1''$  时, 就采用十进制。

## 2) 100进制

把周角等分成 400 等分, 每个等分叫做 “g” (新制的度), 每个g再100等分叫做 “c” (新制的分), 每个c再100等分叫做 “cc” (新制的秒)。即:

1 周角 =  $400^g$ ,  $1^g = 100^c$ ,  $1^c = 100^{cc}$

我国目前采用60进制, 即度、分、秒制来度量角度, 而100进制(即新制)目前国内还没有得到广泛应用。

## 2. 水平角与垂直角

经纬仪是用来测量水平角和垂直角的。大地测量所测定的水平角与垂直角与图 1-1 所示的一般的任意二方向之间所夹的角度不同。大地测量中的水平角和垂直角是在特定的平面——水平面与垂直面内测量的。

图 1-3 是三个盛有液体(如水)的玻璃杯, 当三个杯

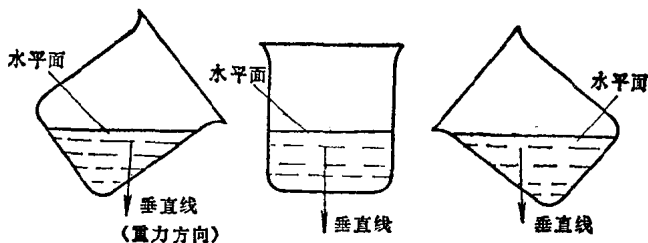


图1-3 水平面与垂直线

处于不同的倾斜位置时, 液体表面总是水平的, 因此我们把这个不随物体放置位置而变化的平面叫做水平面, 与这个水平面相垂直的平面就是垂直面。它是包含地球重力线的平

面，习惯上也叫做铅垂面或竖直面。与地球重力线相垂直的平面，就叫做水平面或水准面。由于地球是个椭球体，重力都指向地球中心，严格的水平面应是椭球面，但就测量的局部范围而言，仍可认为水平面是平的，这样，地面上的任一点就可以在水平面及垂直面上来测量。土地的面积，路途的里程可以用水平面上的距离来表示，山高和水深可以用垂直面上的距离来表示，这就是大地测量的基本原理。

图 1-4 是经纬仪测量水平角与垂直角的原理图，图中 A、B、D 为野外地面上三个不同高度的被测量点。测量时通过 DA、DB 分别作一个垂直面，这两个垂直面与水平面 H 的交线是 da 和 db，它们分别为 DA 和 DB 在水平面上的投影。这样，夹角  $\angle adb$  就称为 A、B 两点对 D 点的水平角。因此，水平角是两个目标方向线在水平面上投影的夹角。

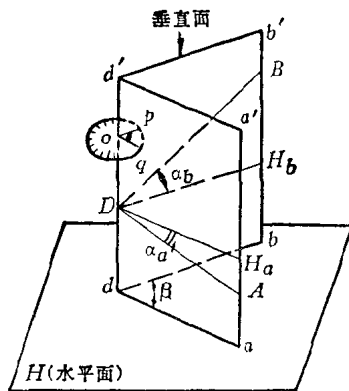


图1-4 水平角及垂直角

水平角是在水平面上度量的，由图 1-4 可知， $\angle adb$  是通过方向线 DA 和 DB 的两个垂直面形成的二面角，这两面角在两垂直面交线上任意一点都可度量，并且角值都等于  $\beta$ 。

即  $\angle adb = \beta$

我们在二个垂直面的交线  $dd'$  上任意一点 o 放置一个水平的度盘，目标 A、B 对 D 点的方向线 DA 和 DB 在度盘上投影所夹的弧长  $\widehat{pq}$  对应的圆心角  $\angle poq$  即为水平角  $\angle adb$  的角值，即

$$\angle poq = \angle adb = \beta$$

这就是经纬仪测量水平角的基本原理。

垂直角是垂直面内目标方向线与水平线之间的夹角，因此，垂直角是在垂直面内度量的，见图1-4。在垂直面 $dd'b'b$ 中放置一个垂直度盘（图中未画出），并使度盘的中心 $O'$ 与D点重合，则方向线DA和水平线 $DH_a$ 在度盘上的夹角即是A点的垂直角，以 $\alpha_a$ 表示。同样，方向线DB和水平线 $DH_b$ 的夹角就是B点的垂直角，以 $\alpha_b$ 表示。这就是经纬仪测量垂直角的基本原理。

### 三、经纬仪的基本结构

根据上述测角原理，经纬仪要进行角度测量必须有下列几个基本结构（图1-5）：

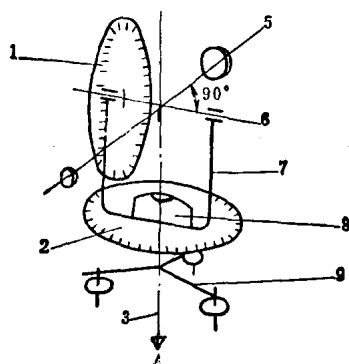


图1-5 经纬仪的基本结构

1—垂直度盘 2—水平度盘 3—竖轴 4—铅垂线 5—望远镜

6—横轴 7—照准架 8—水准器 9—安放系统

(1) 望远镜

望远镜主要形成视轴，用视轴来照准远方的A点和B点

形成方向线DA和DB(图1-4),得到水平角,同时望远镜还应在垂直面内旋转得到垂直角。

### (2) 度盘

度盘是测量角度时的比较标准,因此也叫角度标准器。测量水平角时用水平度盘比较,测量垂直角时用垂直度盘比较。

### (3) 水准器

水准器是指示水平面或垂直面的元件。经纬仪上的水准器是保证仪器安置到正确的测量位置上的,即水平度盘放置到水平面上,垂直度盘放置到垂直面上。实现仪器水平的部分叫安平系统或脚螺旋。

### (4) 旋转轴

分竖轴与横轴。竖轴使经纬仪的望远镜在水平面内旋转,因其旋转轴的位置在垂直线上故称竖轴。横轴是望远镜本身的旋转轴,用于照准不同高低位置的目标,测量垂直角。联接竖轴、横轴的部分称照准架。

### (5) 读数系统

读数系统的作用主要是对度盘作精确读数,以获得角度值。

### (6) 对点器

使经纬仪的转动中心(水平度盘的中心)与野外的测站点重合的部分,也就是说对点器的作用是使经纬仪安放到测点上,在图1-4中就是使经纬仪精确地处在 $dd'$ 线上。

根据水平角和垂直角的概念,经纬仪的上述基本结构,应保持如下基本关系:

1) 竖轴应处于垂直线的位置上,这样,水平度盘才能水平,读取的角值才是水平面内的水平角。

2) 望远镜的视准轴应与横轴正交(即垂直),而且横

轴与竖轴也应正交，这样，望远镜上下转动时扫描出的才是垂直面。

3) 垂直度盘应与横轴垂直而且同心，这样，才能正确获得垂直角。

4) 水平度盘的中心应与竖轴中心重合，竖轴中心应落在测站点上。

综合上述关系，就是要求三轴（视准轴、竖轴、横轴）与二盘（水平度盘、垂直度盘）互成正确关系，它们相互联系，相互约制，从而构成了经纬仪的整体。如果上述基本关系破坏，就会影响测角精度。这对正确使用仪器是十分重要的，必须加以注意。

#### 四、经纬仪的特点与要求

经纬仪的第一个特点是高精度。因为工程建设与国防建设对大地测量提出了高精度的要求，必须有相应的经纬仪来保证测量结果的精确，这就对经纬仪的一些零件提出了很高的精度要求。以度盘为例，当要求测角误差小于 $1''$ ，度盘半径 $R=50$ 毫米时，在圆周上对应于 $\delta=1''$ 的偏差 $\Delta$ 的大小（图1-6）为：

$$\Delta = \frac{R \times \delta}{\rho}$$

$\rho$ ——角度转化为弧度的系数，即 $\rho = 206265 \approx 2 \times 10^5$

代入上式，则：

$$\Delta = \frac{50 \times 1''}{2 \times 10^5} = 0.00025 \text{ 毫米}$$

即度盘上的刻线位置若有0.25微米的偏差时将造成 $1''$ 的差错，这个 $1''$ 的误差对20公里远的目标将造成100毫米的偏

差。因此，经纬仪上关键零件的加工要求是很高的。

经纬仪的第二个特点是野外作业。我国地域辽阔，气温可以在 $+50\sim-40^{\circ}\text{C}$ 的范围内变化，一天之内的温差最大可达 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。同时仪器在野外还必须经受风砂、湿气的侵蚀。可能在沼地、草原、高山、深谷、矿井等各种地面基础上

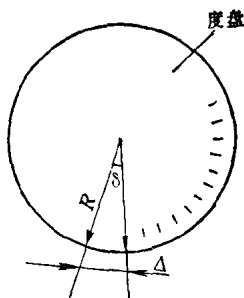


图 1-6

操作。使用人员还往往要背着仪器长途跋涉，爬山越岭，在各种气候因素下工作。

由上述特点，对经纬仪提出了四个基本要求：

- 1) 仪器必须达到规定的精度。
- 2) 在变化的外界条件下经久耐用。
- 3) 仪器结构稳定可靠，操作、维修简单方便。
- 4) 体积小，重量轻。

根据这四个基本要求就出现了结构十分紧凑、复杂的光学经纬仪。光学经纬仪是近代典型的高精度测角仪器。

## 五、我国经纬仪的系列

经纬仪是按照能达到的测角精度来分类的。凡适用于国家各级三角测量的光学经纬仪，通称为精密光学经纬仪，适用于地形及工程测量的光学经纬仪称为工程光学经纬仪。

《国家三角测量和精密导线测量规范》指出，用于国家各等级角度观测的精密光学经纬仪系列分为J0.7、J1、J2。工程光学经纬仪分为J6、J30。J为经纬仪汉语拼音的第一个字母，表示经纬仪。注脚的数字表示该级仪器能达到的精

度指标。经纬仪的精度指标对水平角来说我国采用一测回水平方向中误差来表示。例如J2型经纬仪是一测回水平方向中误差允许为 $\pm 2''$ ，适用于国家三、四等三角测量及精密工程测量。表1-1是我国经纬仪的系列表。表中DJ表示用于大地测量的经纬仪，以与工业上使用的激光经纬仪等区别。但为简便起见，以后仍用J来称呼经纬仪。

表1-1 经纬仪系列

| 型 号  | 主 要 用 途              | 主要精度指标（一测回水平方向中误差） |
|------|----------------------|--------------------|
| DJ08 | 一等三角测量               | $\pm 0.8''$ ①      |
| DJ1  | 二等三角测量及精密工程测量        | $\pm 1''$ ①        |
| DJ2  | 三、四等三角测量及精密工程测量      | $\pm 2''$          |
| DJ6  | 图根及大比例地形测量<br>一般工程测量 | $\pm 6''$          |
| DJ30 | 小比例地形及工程测量           | $\pm 30''$ ②       |

①按国家测量“规范”，J0.7、J1两级仪器都是用测角中误差命名的，即“0.7和1”分别等于国家一等和二等三角网的允许测角中误差。这种命名的好处能较好地反映仪器的内部符合精度与外业精度的一致性，但对统一命名及生产厂的检验不太适宜。因此，一测回水平方向中误差建议改为 $\pm 0.8$ ，即DJ08相当于国家规范中规定的经纬仪J07，DJ1一测回水平方向中误差仍定为 $\pm 1''$ 。这与“测量规范”中的J1相比时，此仪器精度略有提高。

②DJ30是建议新设的系列，根据1953年及1966年编制的经纬仪系列中J6级下面设立J15、J60及J180三个等级，经过实践认为J6级以下不宜分等太多，同时由于可以扩大J6级仪器的生产来取代J15级仪器，这样设立J30就能满足各方面工程的需要，特别是农村基本建设的需要。

## 第二章 经纬仪的构造原理

### 一、经纬仪的望远镜系统

#### 1. 望远镜成像的光学原理

望远镜是经纬仪上的瞄准部分，它的作用是精确瞄准被观测的物体，以进行测量。

我们先从望远镜是如何能看到远方物体，即成像原理谈起。

望远镜由物镜和目镜组成。物镜的作用是将远方的物体AB移到离眼睛较近的地方，形成一个缩小的但是移近了实象 $a'b'$ （图2-1）。目镜的作用与放大镜相同，也就是将实象 $a'b'$ 放大。当 $a'b'$ 位于目镜的焦点附近时，经过目镜就被放大成虚象 $a''b''$ 。

望远镜系统的特点是物镜 $O_1$ 的后焦点 $F'_1$ ，与目镜 $O_2$ 的前焦点 $F_2$ 相重合（图2-1），也就是说光学间隔 $\Delta = 0$ 。这意味着由很远的物体AB进入物镜的平行光线，经目镜后仍是平行光线出射。这时对于正常眼无需调节，即肌肉放松的情况下就可以接收目镜射出来的平行光线，也就是人眼在不感到疲劳的情况下可以用望远镜看到很远的物体（理论上是看到无穷远的物体）。因此，凡是使入射为平行光束而出射保持平行光束的光学系统都称为望远镜系统。

#### 2. 望远镜的放大倍数与视场角

##### （1）望远镜的放大倍数