

目 次

1 陀螺及其特性.....	1
1.1 陀螺.....	1
1.2 摆式陀螺仪.....	1
1.3 陀螺仪的基本特性.....	1
1.4 摆式陀螺仪寻北原理.....	2
1.5 积分式陀螺经纬仪的定向原理.....	5
2 Y/JTG-1 陀螺经纬仪的主要结构.....	6
2.1 总体构成.....	6
2.2 主要技术指标.....	7
2.3 Y/JTG-1A 型积分式陀螺经纬仪工作流程.....	8
2.4 陀螺仪的机械结构及光学系统.....	8
2.5 自动积分及测量控制电路.....	11
3 定向测量作业程序.....	13
3.1 测前准备.....	13
3.2 仪器各功能选择.....	13
3.3 方位角的测量.....	13
4 作业中的注意事项.....	14
5 仪器参数的设置.....	15
5.1 自摆周期和启动不跟踪周期的测定.....	15
5.2 仪器常数 C 的标定.....	15
5.3 时间设置.....	16
6 仪器的一般调校.....	16
6.1 管状水准器的调校.....	16
6.2 陀螺灵敏部悬带扭力零位的调校.....	16
6.3 激光对点器的调校.....	17
7 陀螺经纬仪的维护与保养.....	17

1 陀螺及其特性

1.1 陀螺

凡是绕定点高速旋转的物体，或绕自身轴高速旋转的任意刚体，都称为陀螺。如图 1-1 所示，设刚体上有一等效的方向支点 O 。以 O 为原点，作固定在刚体上的动坐标系 O - XYZ 。刚体绕此支点转动的角速度在动坐标轴上的分量分别为 ω_x 、 ω_y 、 ω_z ，若能满足以下条件：

$$\begin{aligned} \omega_z &\gg \omega_x \\ \omega_z &\gg \omega_y \\ \omega_z &\approx \text{Const} \end{aligned} \tag{1-1}$$

这种类型的刚体统称为陀螺。 OZ 轴是高速旋转轴，也称陀螺转子轴。刚体一面绕 OZ 轴作等速旋转，另一方面还可以绕 OX 及 OY 轴作较慢的转动。前者称为自转运动，后者称为进动运动。

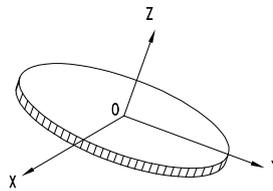
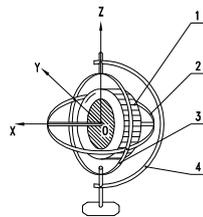


图 1-1 陀螺定义示意图

1.2 摆式陀螺仪

摆式陀螺仪如图 1-3 所示，即在陀螺仪轴上加上悬重 G ，则重心由陀螺仪中心 O 下移到 O' 点，结果便限制了绕 Y 轴旋转的自由度。亦即 X 轴受悬重 G 的作用，而永远趋于和水平面平行的状态，或者说陀螺自转轴的俯仰受到一定限制。由此可知，摆式陀螺仪具有两个完全的自由度和一个不完全的自由度，故也称为二个半自由度陀螺仪。



1-陀螺转子 2-内平衡环 3-外平衡环 4-底座

图 1-2 三自由度陀螺悬挂装置图

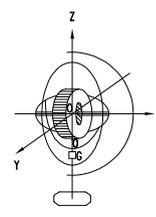


图 1-3 变自由陀螺仪为摆式陀螺仪

1.3 陀螺仪的基本特性

陀螺仪有两个非常重要的特性，即定轴性和进动性。对于由高速转子组成的陀螺仪来说，不管它们的用途如何不同，结构上如何变化，它们都是按照陀螺的这两个基本特性来工作的。

为了说明自由陀螺仪的两个特性，可用如图 1-4 所示的实验仪器做一个实验。

首先，把衡重 A 移至使杠杆达到静平衡的位置上，然后使陀螺高速旋转，这时看到陀螺旋转轴的空间方向始终保持不变，图中指向左边。证实无外力作用，陀螺转轴方向具有恒定不变的特性。因此将陀螺仪装在飞行器内，如果陀螺轴系没有摩擦，无论飞行器怎样倾斜、转弯、俯仰等，陀螺转子轴的方向始终指向初始恒定的方向。

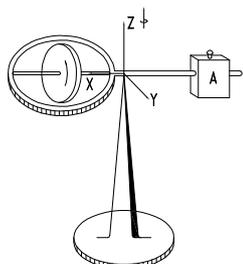


图 1-4 自由陀螺仪特性实验仪

如果将衡重 A 向左移动一小段距离，在陀螺不转动的情况下，杠杆将在竖直面内产生逆时针方向的转动，即左端下降、右端上升。但是当陀螺转动时，杠杆不作上下倾斜运动，而是仍然保持水平，且在水平面内作逆时针方向的转动（从上向下看），这种现象就是所谓的“进动”。如果将衡重 A 向右边移动一小段距离，在陀螺转动的情况下，也将产生“进动”，不过进动方向和上述方向相反，即杠杆在水平面内作顺时针方向的转动。

1.4 摆式陀螺仪寻北原理

1.4.1 摆式陀螺仪寻北规律

陀螺经纬仪上的陀螺仪，其支点不在三轴的交点上，而是将陀螺仪用弹性悬带悬挂着，支点在弹性悬带上端的着力点 O 上，如图 1-5 所示，O 点对整个陀螺仪来讲是个不动点。

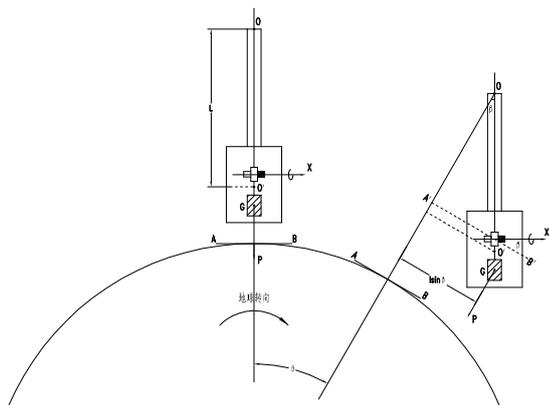


图 1-5 摆式陀螺仪受重力作用的情况

由图 1-5 中知道，当陀螺主轴 x 水平时，重力 P 的方向既通过重心 O'，也通过陀螺仪的支点 O，重力矩为零，对陀螺仪不发生作用，因此陀螺不产生进动。但是当地球自转了 β 角之后，陀螺主轴相对地平面 AB，升高了 β 角，即图中 x 轴方向与 A' B' 之间的夹角(A' B' // AB)。这时陀螺仪的重力 P 的方向不再通过陀螺仪的支点 O，而产生了力臂为 $l \sin \beta$ 的重力矩(摆力矩) M_p ，即

$$M_p = P \cdot l \sin \beta \quad (1-2)$$

式中 l 为陀螺仪悬挂点 O 至重心 O' 之间的距离；

P 为陀螺仪灵敏部的重量，其值为 mg；

β 为陀螺仪主轴与地平面之间的夹角(倾角)。

由陀螺进动规律知道，重力矩 M_p 的矢量在 y 轴上，它作用在陀螺仪主轴上，陀螺一旦旋转，便产生进动。陀螺主轴的进动角速度 ω_p 应与外力矩 M_p 成正比，而与陀螺仪的动量矩成反比，即

$$\omega_p = \frac{M_p}{H} = \frac{Pl}{H} \sin\beta \quad (1-3)$$

从上式看出，当陀螺仪的 P、l、H 选定之后，进动角速度 ω_p 的大小完全随着高度角 β 的大小变化而变化，而 β 的变化却是地球自转所造成的。这样便发生了在地球自转有效分量 ω_y 和重力矩 M_p 。综合作用下，使陀螺主轴总是向子午面方向进动的效应。造成这种进动效应的力矩我们称为指向力矩，其大小为

$$M_H = H\omega_y = H\omega_E \cos\phi \sin\alpha \quad (1-4)$$

式中 ω_E 为地球自转角速度；
H 为陀螺自转的动量距(角动量)；
 ϕ 为测站的地理纬度；
 α 为陀螺自转轴与子午线的水平夹角。

指向力矩 M_H 表示将陀螺仪主轴进动至子午面的力矩大小。由式 1-4 可以看出，在赤道上 $\phi=0$ ， $\cos\phi=1$ ，陀螺进动的指向力矩 M_H 值最大，而在南、北极 $\phi=90^\circ$ ， $\cos\phi=0$ ， $M_H=0$ 。由此可见，陀螺经纬仪放在两极，无指向力矩，陀螺经纬仪不产生进动，所以也就无法定向。实际上指向力矩的大小是从赤道向两极逐渐变化的，到了高纬度变得很小，因此当 ϕ 大于 75° 后，陀螺经纬仪便失去了定向的能力。因此，在两极和高纬度的地方，不能用陀螺经纬仪定向。

在指向力矩的作用下，陀螺主轴向子午面的进动过程同扭摆一样是一个往复的周期运动。如图 1-6 所示，A 位置时，陀螺主轴的倾角为 β ，并以 ω_p 的角速度向子午面进动；当进动到子午面后，即 B 位置时因 $\alpha=0$ ， ω_y 将不再引起指向力矩，理应停止进动，然而此时的 β 角为最大，则 ω_p 也最大，故陀螺主轴以最大的角速度越过子午线；当到达 C 位置时 β 逐渐减小， ω_p 逐渐减小到零，随着 α 增大(反方向)指向力矩加大，这时指向力矩及角速度的方向与 A 位置相反，即陀螺主轴又开始返回向子午面进动。从而形成了陀螺主轴围绕子午线作往复摆动情况。这样一来，就给陀螺仪寻找真北方向带来了实际可能。

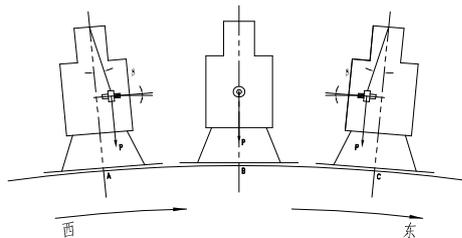


图 1-6 摆式陀螺仪向子午面的进动

1.4.2 摆式陀螺仪主轴相对地球运动的轨迹

综前所述，摆式陀螺仪主轴所以能够跟踪子午面运动，主要是 ω_v (地转垂直分量)、 ω_y (地转有效分量)、 M_p (重力矩) 等几个重要因素综合影响的结果，这些因素促使主轴的方位角和高度角处于不停的变化过程之中。下面通过图解法分析轴系间无摩擦的理想情况下，陀螺主轴北端相对地球的运动轨迹，即对子午面的相对运动。

如图 1-7 所示，过陀螺仪中心 O 作地平面 ESWN 和子午面 $SZ_N P_N N$ 。在陀螺仪主轴的北面，作垂直于地平面和子午面的一个平面 AA' ，称它为陀螺主轴相对地球运动轨迹的投影面。 MM' 为当地子午面的投影线， HH' 为当地水平面的投影线。 O' α 和 O' β 构成陀螺主轴方位角和高度角变化的直角坐标系。

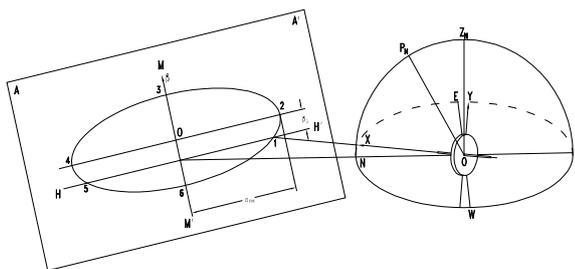


图 1-7 摆式陀螺仪主轴运动的轨迹

假设开始的时候，陀螺主轴水平放置，且向东偏离子午线为 α 角指向 1 点，无外力作用，暂时稳定于 1 点，但是由于地转有效分量 ω_y 的作用，水平面相对主轴是东面下降而西面上升，主轴相对水平面则是东面抬高西面下降。且此时水平面变化的速度较快，于是主轴出现了抬高角 β ，从而产生了作用在内环轴上的重力矩 M_p ，在 M_p 的作用下，主轴应该开始向子午面进动。但当 M_p 很小，进动角速度 ω_p 小于地转角速度垂直分量 ω_v 时，主轴仍继续相对子午面向东偏离，同时 β 角也继续增大，直至 $\beta = \beta_0$ 时，主轴指向 2 点， ω_p 与 ω_v 相等，主轴就不再向东运动暂时于 2 点片刻，我们把 2 点称为逆转点。

但是，由于地转有效分量 ω_y 不停的作用，且此时变化最快，所以 β 角继续增大， M_p 也继续增大， ω_p 大于 ω_v (主轴进动角速度大于子午面进动的角速度)，主轴逐渐回到子午面。由于主轴抬高的较慢，远小于进动角速度 ω_p ，所以较快的到达子午面 3 点上，此时 $\alpha = 0$ ， ω_y 不起作用， β 和 ω_p 都达到了最大值，并超过 ω_v 很多，所以不在子午面停留，将以最大角速度越过子午面向西运动，偏离 α 角。由于主轴运行到子午面以西， ω_y 又使水平面西端相对陀螺主轴不断抬高，而 β 角及 ω_p 将逐渐减小。当 $\beta = \beta_0$ ，即 $\omega_p = \omega_v$ 时，到达了另一个逆转点 4，主轴与子午面又处于相对静止状态，好像主轴不动一样。

当主轴运动到 β 小于 β_0 时， ω_p 又开始小于 ω_v ，主轴又逐渐向子午面靠近至 5 点，此时 $\beta = 0$ ，主轴回到水平面， ω_p 应为零。然而由于 ω_y 的不断作用，主轴将继续下降，当主轴低于水平面时， M_p 出现负值，加到 y 轴反向， ω_p 的方向也相反，主轴将加速向子午面进动，且 β 的负值越来越大。当主轴回到子午面内时，主轴位于最低点 6， $\alpha = 0$ ， ω_y 对主轴抬高不起作用。然而由于最大负重力矩的作用，主轴又以最大进动角速度 ω_p 向东偏离子午面，继续原来的进动过程。

从以上描述可知，陀螺主轴北端绕子午面的运动，是受 ω_v 、 ω_y 、 M_p 、 ω_p 等重要因素制约的，是它们联合影响的结果。运动的特点是周而复始的往复运动，进动的轨迹为一很扁的椭圆轨道。

摆式陀螺经纬仪相对地球运动的无阻尼非严格微分方程式为

$$\frac{d\beta}{dt} = \sin\alpha \cdot \omega_E \cdot \cos\varphi \approx \alpha \cdot \omega_E \cdot \cos\varphi \quad (1-5)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{M_p \cdot \sin\beta}{H} \approx -\frac{M_p \cdot \beta}{H} \quad (1-6)$$

式中 α 、 β 较小，故 $\sin\alpha \approx \alpha$ ， $\sin\beta \approx \beta$ ， $M_p = Pl$ 。

此方程式中，假定靠近北方陀螺轴正端在地平面以上的 β 为正值， α 规定为从北顺时针计量，当 α 为正值时，引起陀螺轴正端反时针方向进动，因此 $M_p \beta / H$ 前加一负号。

由式 1-6 得

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{M_p}{H} \frac{d\beta}{dt} \quad (1-7)$$

将式 1-7 代入式 1-5 得

$$\alpha \omega_E \cdot \cos\varphi + \frac{d^2\alpha}{dt^2} \frac{H}{M_p} = 0 \quad (1-8)$$

将上式乘以 M_p/H 得二阶齐次微分方程式

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{M_p\omega_E \cdot \cos\varphi}{H} \cdot \alpha = 0 \quad (1-9)$$

设陀螺轴正端在东逆转点，即 $\alpha = \alpha_0$ 、 $\beta = 0$ 时， $t=0$ 。解此式可得

$$\alpha = \alpha_0 \cos t \cdot \sqrt{\frac{M_p\omega_E \cdot \cos\varphi}{H}} \quad (1-10)$$

$$\beta = \alpha_0 \sqrt{\frac{H\omega_E \cdot \cos\varphi}{M_p}} \cdot \sin t \cdot \sqrt{\frac{M_p\omega_E \cdot \cos\varphi}{H}} \quad (1-11)$$

由式 1-10 和式 1-11 可得陀螺仪轴正端运动轨迹方程式为

$$\frac{\alpha^2}{\alpha_0^2} + \frac{\beta^2}{\left(\alpha_0 \sqrt{\frac{H\omega_E \cdot \cos\varphi}{M_p}}\right)^2} = 1 \quad (1-12)$$

从上式看出，陀螺主轴相对子午面的运动轨迹为一个椭圆。因为 $(H\omega_E \cdot \cos\varphi)/M_p$ 是很小的真分数，所以椭圆长轴 α_0 。比短轴大的多，其轨迹则是很扁的椭圆。

当 $\left(\frac{M_p\omega_E \cdot \cos\varphi}{H}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot t$ 等于 2π 时， t 即为无阻尼周期 T ，得

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{M_p\omega_E \cdot \cos\varphi}} \quad (1-13)$$

陀螺主轴沿椭圆轨迹运动一周所需的时间称为摆动周期 T 。理想的陀螺仪其主轴绕子午面的运动是一种永不衰减的简谐摆动。但实际上，陀螺经纬仪的摆动系统是处于空气之中，陀螺轴在轴承中又有摩擦，使陀螺仪轴的摆动振幅在方位上和高度上产生逐渐衰减。衰减程度与摩擦力矩的大小有关，摆动的情况决定于摩擦力矩是否保持一致。当摩擦力矩的大小和方向都不变时，这种微弱的衰减具有一定的规律性，即衰减系数 K (等于前后两个摆幅的比值) 将保持常数，如图 1-8 所示。 K 为

$$K = \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_3}{a_4} = \dots = \frac{a_{n-1}}{a_n} \quad (1-14)$$

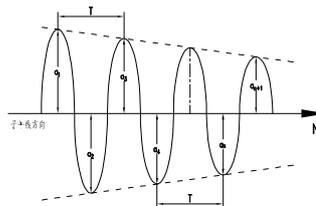


图 1-8 陀螺轴摆动的周期及衰减现象

1.5 积分式陀螺经纬仪的定向原理

摆式陀螺仪中，陀螺轴摆动平衡位置和真北方向以及悬带扭力零位之间，存在着一个确定的关系。如图 1-9 所示，假定陀螺仪安置后，陀螺轴偏离真北方向 α_N 角，由于悬带反力矩的作用，使陀螺轴摆动的平衡位置处于仪器零位（参考反射镜法线）和真北之间，此时，陀螺轴摆动的平衡位置是在弹性扭力矩与陀螺指北力矩的共同作用下产生的，此时可得到如下力矩平衡方程：

$$\alpha_K D_B = (\alpha_N - \alpha_K) D_K \quad (1-15)$$

式中： α_K —悬带扭力零位与陀螺平衡位置之间的夹角；

α_N —悬带扭力零位与真北方向之间的夹角；

D_B —悬带扭力矩系数；

D_K —陀螺指北力矩系数。

若令 $K=D_B/D_K$, 则

$$\alpha_N = \alpha_K(1+K) \quad (1-16)$$

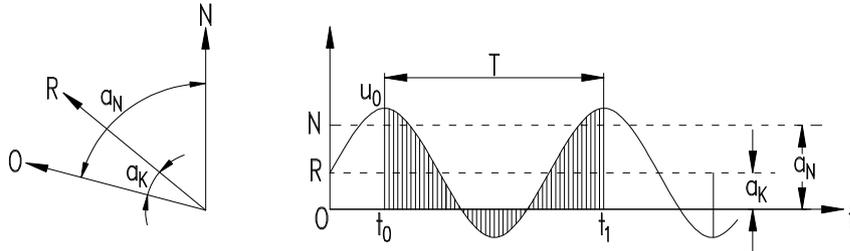


图 1-9 积分定向测量原理图

根据摆式陀螺运动的函数表达式(12), 可以从任一时刻 t_0 起, 对 α 进行一个周期的积分, 即

$$S = \int_{t_0}^{t_0+T} (\alpha_K + A \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t) dt = \alpha_K \cdot T \quad (1-17)$$

由此得

$$\alpha_K = S/T \quad (1-18)$$

式中, S 为积分值; T 为陀螺轴的摆动周期; α_K 为零位与平衡位置之间的夹角。

为消除悬带扭力零位的变化带来的影响, 需对陀螺敏感部自摆信号进行积分, 求得悬带扭力零位。同时考虑到光学系统和光电检测元件零位的变化, 陀螺仪设置了参考基准镜, 所有积分值都以该基准镜的积分值为基准进行比较。这样, (1-18)式变为

$$\alpha_N = (\alpha_K - \alpha_0)(1+K) - (\alpha_B - \alpha_0)K \quad (1-19)$$

式中, α_B 为悬带扭力零位, 以角值表示的积分值; α_0 为基准镜法线零位与光电检测元件零位之间的夹角, 以角值表示的参考基准镜法线方向的积分值; K 为力矩比例参数; α_N 为陀螺方位角。

摆动积分法定向测量的基本特点是设计积分电路, 对陀螺轴的自摆和进动信号及陀螺敏感部自摆的信号, 进行一个完整周期的高密度数据采样并累加计算, 求得陀螺轴摆动的平衡位置 (即测站的真北方向)。

实际定向中, 陀螺轴的摆动信号的输出由安装在陀螺敏感部上的反光镜 (摆镜) 完成。摆镜随陀螺敏感部绕真北方向摆动, 测量光路中的固定光线经摆镜反射后产生偏折, 偏折后的光线成像于光电敏感器件之上, 由光电转换机构转化为电信号, 电信号经 I (电压)/ f (频率) 变化后由控制 and 数据处理系统采集。采集数据经基准镜与悬带扭力零位测量数据修正, 与经纬仪水平角读数一起由数据处理软件计算后, 输出目标的陀螺方位角。

2 Y/JTG-1 陀螺经纬仪的主要结构

2.1 总体构成

陀螺经纬仪主要由陀螺仪、经纬仪两大部分组成, 各部分的组成详见图 2-1。

陀螺仪主要包括陀螺敏感部、光电转换机构、输电机构、测量控制及数据处理机构, 完成仪器的寻北。

经纬仪包括电子测角、光电测距、测量控制及数据处理机构, 完成目标点水平方向

值、水平距离及高差的测定。

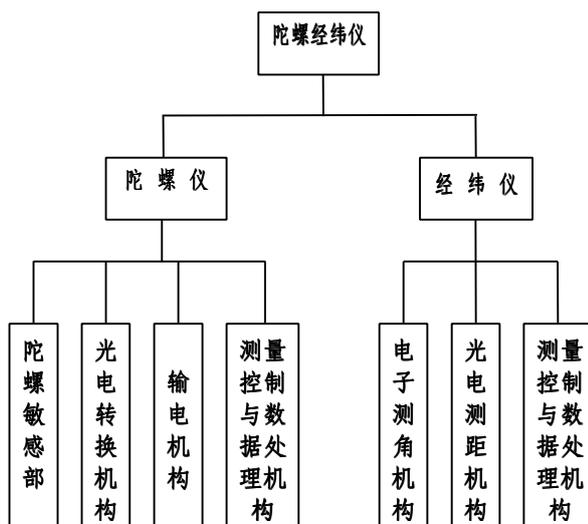


图 2-1 Y/JTQ-1 陀螺经纬仪组成框图

Y/JTG-1 陀螺经纬仪主要部件及其名称见图 2-2。

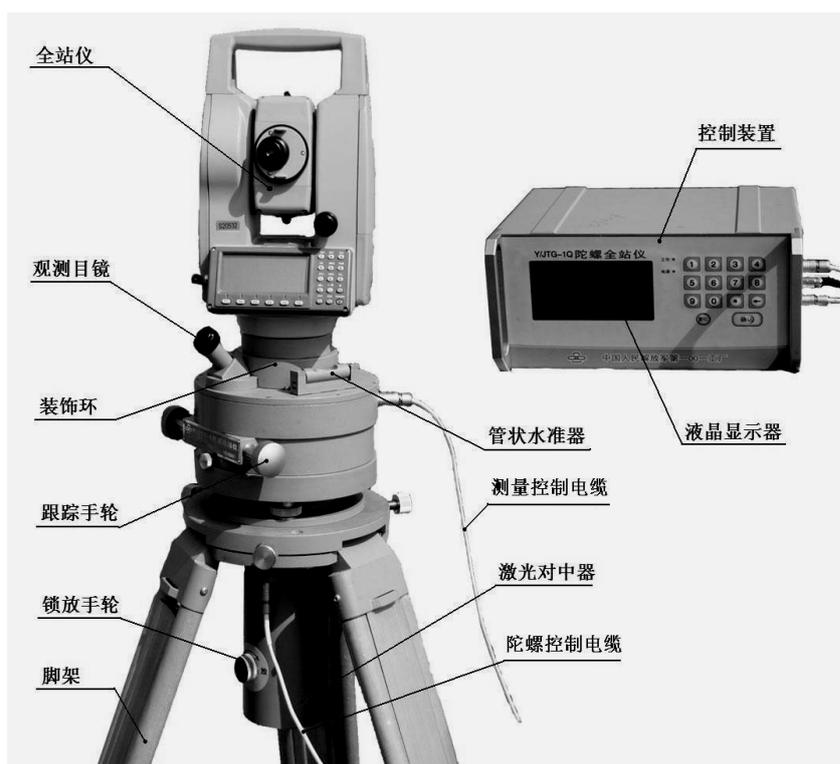


图 2-2 Y/JYG-1 陀螺经纬仪主要部件及其名称示意图

2.2 主要技术指标

- 1) 定向精度(1σ): $\leq 7''$;
- 2) 一次定向测量时间: $\leq 20\text{min}$;
- 3) 陀螺电机工作寿命: $\geq 1000\text{h}$;
- 4) 仪器工作环境温度: $-10^\circ\text{C} \sim +45^\circ\text{C}$;
- 5) 仪器工作环境相对湿度: $5\% \sim 98\%$ (非冷凝)。

2.3 Y/JTG-1A 陀螺经纬仪工作流程

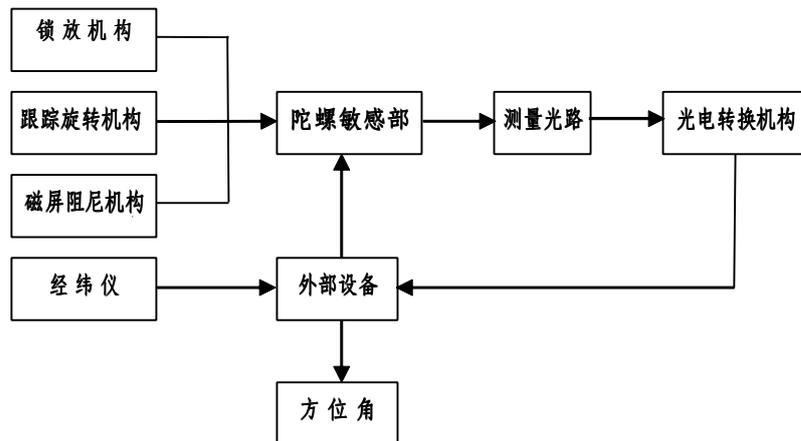


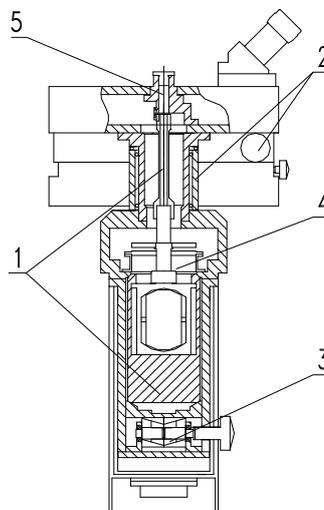
图 2-3 Y/JTG-1A 陀螺经纬仪工作流程框图

在地球自转的作用下，悬挂于悬带上陀螺敏感部敏感地球自转角速度的水平分量，形成参照真北方向进行的往复方位进动，其信号通过与陀螺敏感部固联的反光镜（摆镜）造成测量光路中固定光线反射后产生偏折输出至光电敏感器件之上，由光电转换机构转化为电信号，电信号经 V （电压）/ F （频率）变化后由积分测量控制装置采集，所采集数据与经纬仪水平角读数一起由操作软件计算后，积分测量控制装置输出目标的陀螺方位角。为消除光电零位及悬带扭力零位变化带来的测量误差，在测量步骤中设置了基准镜测量及测前、测后零位测量。

目标点的水平距离、高差及水平方向值由经纬仪测定，传输至积分测量控制装置后统一输出。

2.4 陀螺仪的机械结构及光学系统

2.4.1 陀螺仪的机械结构



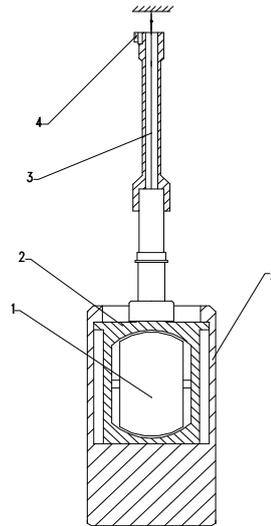
1—陀螺敏感部 2—跟踪旋转机构 3—锁放机构
4—输电机机构 5—悬带

图 2-4 积分式陀螺仪机械机构简图

如图 2-4 所示，陀螺仪在结构上分为陀螺敏感部、锁放机构、输电机构及跟踪旋机构等几部分。

2.4.1.1 陀螺敏感部

陀螺敏感部是陀螺仪的关键部件，它敏感地球自转的水平分量，形成参照真北方向的往复运动，从而达到定向的目的。主要由陀螺电机、陀螺房体及悬挂机构等组成，结构见示意图 2-5。



1—陀螺电机 2—内房体 3—悬带
4—摆镜 5—外房体

图 2-5 陀螺敏感部结构示意图

陀螺电机固定在陀螺房体中，悬挂机构中的悬带（吊丝）将陀螺房体处于自由悬挂的状态，在悬挂机构的上方固定反光镜（摆镜），通过摆镜对固定光线的反射，将陀螺敏感部的进动信号传递给光电转换机构，在陀螺房体及阻尼筒外均设置磁屏蔽机构（随动磁屏及静磁屏），消除外界磁场对仪器寻北精度的干扰，锁放机构确保陀螺敏感部在工作时处于悬挂状态，在非工作时处于固定状态。

陀螺电机采用的是永磁直流陀螺电机，工作寿命 1000 小时以上，转速 16000 转/分钟，启动时间与制动时间均为 100 秒左右，具有转动平稳、无转动死点及工作时温升小等优点，可保证仪器工作的可靠性及稳定性。

陀螺房体分内、外房体，均为对称式结构，这样就确保了陀螺敏感部的静平衡，陀螺电机固定在内房体上后整体安装在外房体上，在外房体外设置有屏蔽磁屏（随动磁屏），用于减弱或消除陀螺电机不同停止位置的磁场差异对仪器零位的影响。

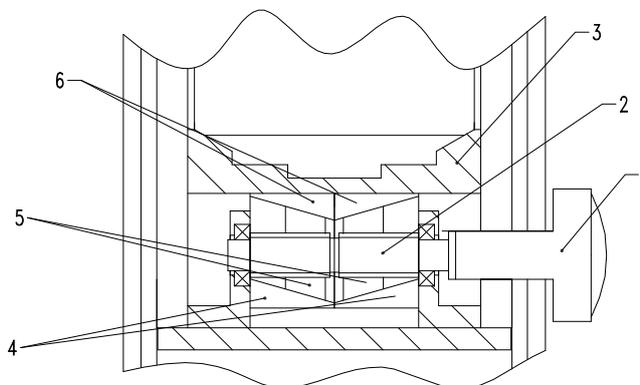
悬挂机构中的悬带，一端固定在上带夹上与仪器座体连接，另一端固定在下带夹上与陀螺房体连接，这样使整个陀螺房体及陀螺电机处于自由悬挂状态，悬带的材料采用力学性能稳定的 3J23 精密弹性合金，制成后真空回火，以提高陀螺敏感部扭矩零位的稳定性。

悬挂机构的上部，固定有一个反光镜（摆镜），当陀螺敏感部摆动时，摆镜随之摆动，通过其对固定光线的反射，将陀螺敏感部的摆动信号传递给光电转换机构。

陀螺敏感部外侧，加设多层磁屏蔽筒（定磁屏），屏蔽筒采用 1J79 永磁合金，减小外界磁场对陀螺敏感部进动信号的干扰。

2.4.1.2 锁放机构

锁放机构是使陀螺敏感部在工作状态下处于自由悬挂的状态，在非工作状态下处于固定的状态，采用的是径向旋转锁紧的双向楔块机构，可使陀螺敏感部的平稳锁放，确保步进迭代的有效性，缩短定向测量时间。



1—锁放手轮 2—锁放螺杆 3—锁紧碗
4—下楔块 5—锁紧螺母 6—上楔块

图 2-6 锁放机构结构简图

如图 2-6 所示，当顺时针旋转锁放手轮，锁放螺杆带动两个锁放螺母向内闭合，通过上楔块将锥状锁紧碗顶起，锁紧碗与陀螺敏感部外壳体下部接触后一同向上，直至陀螺敏感部上部与仪器上锥接触，两端将陀螺敏感部夹紧；当逆时针旋转旋转锁放手轮，下楔块带动锁紧碗向下，当悬带将陀螺敏感部悬挂后锁紧碗继续向下与之脱离，使陀螺敏感部处于自由悬挂状态。

在锁紧碗上固定有楔型定位块，一则使陀螺敏感部每次锁紧的角度基本一致，二则将陀螺敏感部工作时的旋转限制在一定范围，避免其旋转角度过大造成悬带损坏。

2.4.1.3 输电机构

仪器在寻北过程中，陀螺敏感部在自由悬挂的状态下，与仪器外壳有相对的运动，输电机构的功能就是为运动中的陀螺供电，主要包括有输电盘及导流丝等。

陀螺驱动板上的电流，通过 4 根导流丝传递给陀螺电机，导流丝形状为圆弧状，一端固定在与仪器壳体相联接的静输电盘上，另一端固定在与陀螺敏感部相联接的动输电盘上，在输电盘的上、下各有两根，4 根导流丝在同一圆周面上呈对称布局，当陀螺敏感部与仪器壳体发生相对运动时，4 根导流丝中的 2 根形状发生拉伸，而另 2 根则发生压缩，这样，拉伸与压缩所产生的力矩相互抵消，消除了导流丝的力矩变化对仪器测量精度带来的不利影响。

2.4.1.4 跟踪旋转机构

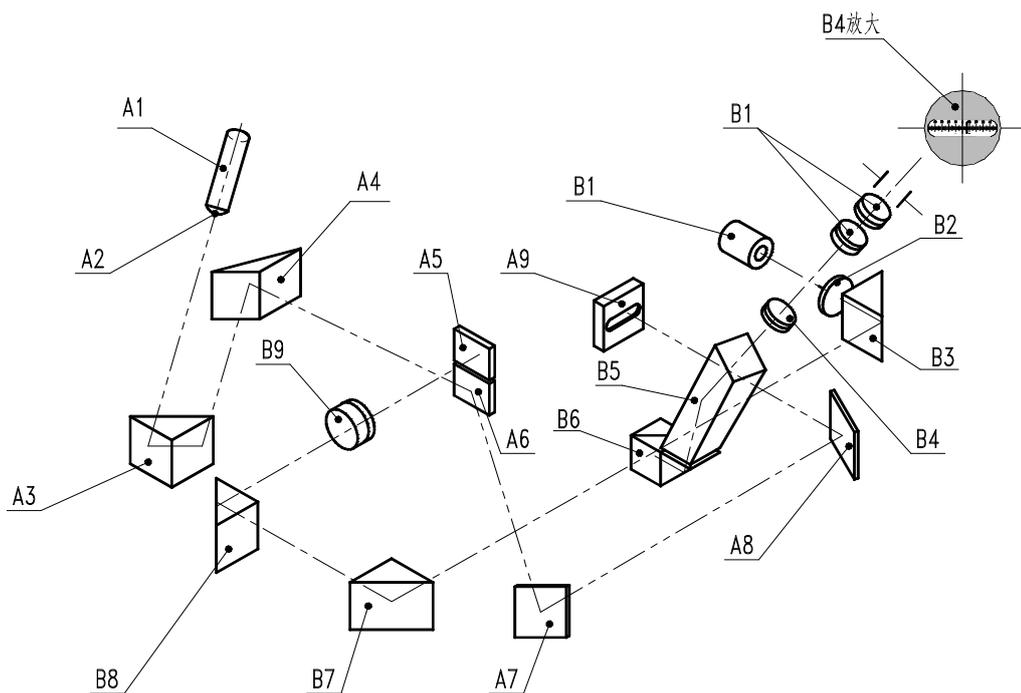
由精密旋转轴系及跟踪机构组成。

轴系采用的是先进的密珠轴系，这种轴系的内轴与轴套之间装有呈螺旋状排列的滚珠，采用轻微的过盈配合，无径向间隙，且可承受较大的轴向负荷。

跟踪机构包含有跟踪手轮及固定手轮，松开固定手轮时，可直接转动仪器快速的跟踪陀螺敏感部光标运动轨迹，固定手轮锁紧时，可利用跟踪手轮缓慢、精确的跟踪陀螺敏感部光标运动轨迹。

2.4.2 光学系统

如图 2-7 所示，仪器的光路由两路成像优良的光学系统组成，在一个层面分别将两路光线引入光电转换器件和目视系统。



- A1. 激光管 A2. 柱面镜 A3. 大直角棱镜 A4. 折光棱镜 A5. 基准镜 A6. 摆镜
A7. 反光棱镜 1 A8. 反光棱镜 2 A9. 传感器
B1. 发光二极管 B2. 分划板 B3. 折光棱镜 B4. 目镜分划板 B5. 等腰棱镜
B6. 分光棱镜 B7. 直角棱镜 1 B8. 直角棱镜 2 B9. 准直透镜

图 2-7 Y/JTG-1A 陀螺经纬仪光学系统示意图

2.4.2.1 光电转换光路

激光管 A1 发出的光线经柱面镜 A2 聚焦后，以线光源形式投向大直角棱镜 A3、折光棱镜 A4，经基准镜 A5 或摆镜 A6 反射到反光棱镜 A7、A8 后进入位置传感器 A9，调整基准镜及摆镜的位置使其零位置于置传感器 A9 中心，构成光电转换光路。

2.4.2.2 目视观测光路

磨砂式狭缝分划板 B2 置于准直物镜 B9 的焦点上，经超高亮发光二极管 B1 照明后，经折光棱镜 B3、半透半反镜 B6、直角棱镜 B7、B8 及准直物镜 B9 后，以平行光射向基准镜 A5 或摆镜 A6，反射后的光线原路返回至分光棱镜，反射至等腰棱镜 B5 后，折射向上，聚集在准直物镜 B9 的焦点即目镜 B1 的分划板上，供人眼步进跟踪观测 12 倍的放大倍率。

2.5 自动积分及测量控制电路

2.5.1 电路方框图

仪器的电路部分主要由自动积分电路及测量控制电路组成，其中自动积分电路包括光电传感器、数据采集及前置放大电路、数据处理电路等；测量控制及数据处理机构主要包括操作面板、液晶显示屏、陀螺电机驱动板、控制主板及操作软件等。电路框图见图 2-8

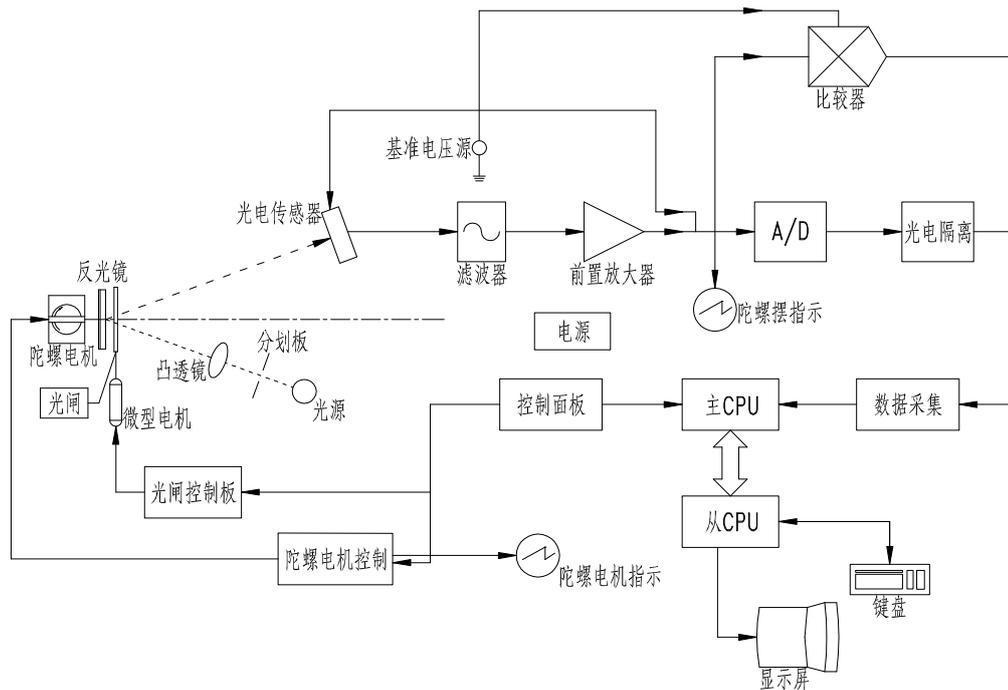


图 2-8 积分测量电路及测量控制电路框图

2.5.2 自动积分测量电路

2.5.2.1 光电转换器件

光电转换器件的作用是将光信号转化为电信号，仪器中采用的是 PSD 位移传感器，它根据光线中心在光敏面上投射的位置输出相应的电流，线性度指标高，可满足光电转换的精度要求。

2.5.2.2 前放电路

前置放大及信号处理电路是将 PSD 位移传感器输出的微小电流信号，经过滤波、前置放大和信号处理后，产生一个与陀螺进动运动相对应的周期性的电压信号。为避免信号传输时外界干扰，前放电路采用小型化设计，置于陀螺经纬仪主机内部，缩短信号与前放电路间的传输距离，并采用高速光电隔离技术，提高电路的整体抗干扰能力。

2.5.2.3 积分测量电路

积分测量电路是在一个自摆或启动周期内，通过对陀螺敏感部自摆及进动信号的采集，实现定向的积分测量。数据采集采用“压/频”变换技术。

2.5.3 测量控制电路

测量控制电路主要实现以下功能：

2.5.3.1 仪器操作控制

根据显示屏的提示，选择相应的按键，向 CPU 发出请求，由 CPU 控制仪器完成对应的操作步骤。

2.5.3.2 数据的处理及计算

对接收到的基准镜、陀螺敏感部自摆零位及进动信号的积分测量数据，操作软件处理后，根据仪器的比例当量、扭力系数、经纬仪的水平角读数、仪器常数等，计算陀螺方位角或天文方位角。

2.5.3.3 数据接收及发送

仪器的积分测量数据及经纬仪的测量数据通过测量控制电缆，传输至电控箱上的 232 接收串口，由控制主板接受，数据处理及计算完成后，整理成相应格式的文档，再

通过 232 发送串口，传输至外界接收装置（加固笔记本电脑）。

2.5.3.4 周期测量

数据采集系统根据电压比较器输出的结果，向主 CPU 发出是否启动计时程序。启动计时程序后，数据采集系统又根据电压比较器输出的结果，向主 CPU 发出关闭计时程序的命令，显示所测周期值。

3 定向测量作业程序

3.1 测前准备

- a) 在测站架设仪器脚架，架设时应使三角架的三个脚尖大致与测点标志中心基本等距，并注意脚架的张角和高度，伸缩脚架腿使圆水准器概略居中；
- b) 将仪器主机安放于脚架之上，连接控制装置和主机、打印机间的电缆（若不需打印可不接打印机），控制装置的电源线连接到规定的电源上（室内作业若使用 220V 交流电时，控制装置应连接地线）；
- c) 打开控制装置上的电源开关，控制装置进入“参数自检”状态，对陀螺自摆周期、陀螺启动不跟踪周期、扭力系数 X、比例当量 K 的数据进行检查（注：扭力系数 X 和比例当量 K 由厂家给定。陀螺自摆周期和陀螺启动不跟踪周期，需由作业单位在当地测定）；
- d) 仪器对中、整平；
- e) 用磁罗盘为仪器概略定北，使仪器的固定手轮和锁放手轮面向南。

注：步骤 c) 中，若显示屏显示某个参数错误，则需对该参数重新输入或测定。仪器 K 值及 X 值保存于随机文件中；仪器自摆周期及启动不跟踪周期需重新输入或测定。

3.2 仪器各功能选择

仪器预热结束控制装置屏幕自动进入主菜单状态，控制装置屏幕显示的主菜单为：

- 1: 方位测量
- 2: 周期测量
- 3: 输入常数
- 4: 设置时间

此时可选择：按【1】键进入方位角测量子菜单，按【2】键进入周期测量子菜单，按【3】键进入仪器常数输入子菜单，按【4】键进入时间设置子菜单；

3.3 方位角的测量

在主菜单下，按【1】键选择方位测量，控制装置屏幕显示方位角测量子菜单：

- 1: 基准镜测量
- 2: 测前零位
- 3: 启动陀螺
- 4: 联机取数
- 5: 积分测量
- 6: 制动陀螺
- 7: 测后零位
- 8: 返回

方位角测量依子菜单所设定程序依顺序进行操作。测量过程中需要返回主菜单时，按数字【8】键。

打开电子经纬仪开关，然后按以下步骤进行方位角测量。

- 1) 基准镜测量

按【1】键仪器进入“基准镜测量”状态，控制装置屏幕显示测量时间的倒计时秒值及“正在基准镜测量 请稍等...”，直至听到蜂鸣声，进入下一测量步骤；

2) 测前零位

控制装置屏幕提示“下放陀螺 限幅”，作业员操作仪器下放陀螺敏感部，将目视光路中光标摆幅限制在 $\pm 2 \sim \pm 5$ 格范围内，按【2】键仪器进入“测前零位测量”状态，控制装置屏幕显示测量时间的倒计时秒值及“正在测前零位 请稍等...”，直至听到蜂鸣声，进入下一测量步骤；

3) 启动陀螺

控制装置屏幕提示“锁紧陀螺”，作业员锁紧陀螺敏感部，按【3】键，控制装置屏幕显示“按确认键进行 按数字键退出”，按【确认】键仪器进入“启动陀螺”状态，控制装置屏幕显示陀螺转速标志值及“正在启动陀螺 请稍等...”，听到蜂鸣声，控制装置屏幕提示“下放陀螺 跟踪”，作业员下放陀螺敏感部，通过步进迭代将目视光路中光标摆幅限制在 $\pm 2 \sim \pm 5$ 格范围内（注：光标摆动范围应尽可能的与0线对称）；

4) 联机取数

按【4】键进入联机取数，控制装置屏幕显示“输入点号”，输入相应的测点点位号（也可根据实际情况由操作人员赋予，必须由0~9依顺序输入）后，控制装置屏幕显示“输入盘左读数”，电子经纬仪盘左照准目标后，按电子经纬仪上【0set】键发送读数，蜂鸣声响后可依相同方法进行盘右观测。若需下一个目标点测量，按【确认】键输入该点位号，否则按任一数字键退出，进入下一测量步骤；

5) 积分测量

按【5】键仪器进入“积分测量”状态，控制装置屏幕显示量时间的倒计时秒值及“正在积分测量 请稍等...”，直至听到蜂鸣声，进入下一测量步骤；

6) 制动陀螺

控制装置屏幕提示“锁紧陀螺”，作业员锁紧陀螺敏感部后，按【5】键，控制装置屏幕显示“按确认键进行 按数字键退出”，按【确认】键仪器进入“制动陀螺”状态，控制装置屏幕显示显示陀螺转速标志值及“正在制动陀螺 请稍等...”，直至听到蜂鸣声，进入下一测量步骤；

7) 测后零位

控制装置屏幕提示“下放陀螺 限幅”，作业员操作仪器下放陀螺敏感部，将陀螺摆幅限制在 $\pm 2 \sim \pm 5$ 格范围内，按【7】键，控制装置屏幕显示测量时间的倒计时秒值及“正在测后零位 请稍等...”，听到蜂鸣声控制装置屏幕提示“锁紧陀螺”，作业员锁紧陀螺敏感部，稍后屏幕显示各点位号的目标读数值（盘左及盘右的均值）及相应点位的真北方位角值，操作人员纪录测量数据。

8) 测后选择

若需要继续测量，重复测量步骤；若结束测量，按【8】键，控制装置屏幕显示返回主菜单，选择其他功能或关闭控制装置上的电源开关、收测。

4 作业中的注意事项

1) 仪器测前准备及收测、陀螺启动及制动操作时，陀螺敏感部必须处于锁紧状态，以免陀螺敏感部处于悬挂状态时受到震动或其他外力时造成陀螺悬带损坏；

2) 仪器定向测量程序，要求作业人员按测量顺序操作仪器，否则电控箱将发出蜂鸣声报警，同时显示屏会显示“操作错误，确认/退出”的字样，此时若确需此项操作，比如重复某一测量步骤或跳过某一步骤，可按【确认】键，否则按任一数字键退出，程序将回到当前的操作步骤；

3) 陀螺敏感部在悬挂状态下，若仪器受到外力作用，会影响其摆动正常的摆动轨迹，使所采集的数据失真而带来测量误差，因此，在测前零位测量、积分测量及测后零

位测量过程中应避免外界震动或触摸仪器主机；

4) 当陀螺敏感部寻北时（陀螺启动的状态下），步进迭代使陀螺光标摆动对称于分度板 0 线（也即陀螺敏感部摆动中心与悬带扭力中心相一致），有利于提高测量精度；

5) 工作时应避免仪器受阳光直射及风力的影响；

6) 仪器上的【复位】键，将中止一切操作，使操作程序重新启动，当仪器发生死机或出现故障确实需要重新启动时方可使用，且陀螺敏感部必须处于锁紧状态；

7) 旋转“锁放手轮”下放陀螺敏感部时，应缓慢、均匀，若下方后光标摆动过大或出现抖动，可锁紧后再次下放；

8) 每测回间隔时间不得少于 5~8 分钟，温度越高，间隔时间应越长。

5 仪器参数的设置

5.1 自摆周期和启动不跟踪周期的测定

陀螺敏感部的摆动周期，是指其完成一个完整往复运动所用的时间。当陀螺不工作时，陀螺敏感部的摆动周期为自摆周期；当陀螺工作而仪器静止时（即仪器不跟踪陀螺敏感部光标的摆动轨迹），陀螺敏感部的摆动周期称之为陀螺的启动不跟踪周期。

积分法定向的仪器是对陀螺敏感部的运动轨迹进行一个完整周期的积分，若陀螺敏感部的周期值不准确，会使积分产生的数据失真而产生测量误差。

陀螺敏感部的摆动周期，主要受仪器所在地的纬度及仪器中悬带、导流丝随时间变化产生物理性能变化的影响，所以应定期或仪器长途运输后进行周期测量。

在仪器的主菜单下按【3】键选择周期测量，控制装置屏幕显示如下子菜单：

- 1 自摆周期
- 2 启动陀螺
- 3 启动周期
- 4 制动陀螺
- 5 返回

在此菜单下，可进行周期测量。

5.1.1 自摆周期测量

在不启动陀螺电机的状态下，下放陀螺敏感部，将陀螺敏感部的自摆摆幅步进到 $\pm 15 \sim \pm 17$ 格范围内后，按【1】键仪器进入“自摆周期测量”状态，控制装置屏幕显示“正在测量自摆周期 请稍等...”，听到长蜂鸣声后，锁紧陀螺敏感部，屏幕显示自摆周期测定值，确认无异常后记录并按【确认】键，仪器将自动储存所测数值。

5.1.2 启动不跟踪周期测量

在陀螺敏感部锁紧的状态下，按【2】键，控制屏幕显示“按确认键进行，按数字键退出”，按【确认】键仪器进入“启动陀螺”状态，控制装置屏幕显示“正在启动陀螺 请稍等...”，听到蜂鸣声，下放陀螺敏感部，将陀螺摆幅步进到 $\pm 15 \sim \pm 17$ 格的范围内，然后按【3】键，仪器进入“陀螺启动不跟踪周期”测量状态，控制装置屏幕显示“正在测量启动周期 请稍等...”，听到长蜂鸣声后，锁紧陀螺敏感部，屏幕显示不跟踪周期测定值，确认无异常后记录并按【确认】键，仪器将自动储存所测数值；按【4】键选择制动陀螺，控制装置屏幕显示“正在制动陀螺 请稍等...”，听到蜂鸣声后结束。

5.2 仪器常数 C 的标定

5.2.1 陀螺方位角的测定

1) 将仪器常数输为零。

2) 将仪器置于二等以上天文方位边的测站上进行 6-9 次定向测量。

3) 将所测数据(陀螺方位角)取算术平均值。

5.2.2 仪器常数的计算

根据所测已知天文方位边的陀螺方位角均值，按下式计算仪器常数：

$$\Delta = \alpha - \alpha_T$$

式中： Δ —仪器常数

α —已知边天文方位角

α_T —陀螺方位角

5.2.3 仪器常数的输入

在控制装置屏幕显示的主菜单中选择【4】键进入“仪器常数输入”状态，按屏幕提示“度、分、秒、正负号”依次输入仪器常数，其中+号输入按【1】键，负号输入按【0】键。

5.3 时间设置

在主菜单显示状态下，如果控制装置屏幕显示时间与北京时间不符，可按【4】键，按屏幕提示输入正确的北京时间（24 时制）。

6 仪器的一般调校

6.1 管状水准器的调校

仪器上的管状水准器，是安置陀螺仪旋转轴处于铅垂方向的指示标志，若其基准发生变化，将使仪器无法正确调平，因此出测前应加以检验及校正。

校正方法为：仪器架设后，首先用脚螺旋将水准器水泡居中，然后松开陀螺仪制动螺丝，旋转陀螺仪 180°，若气泡变化超过 0.5 个格值以上，可用水准器上的改正螺丝改正变化量的一半，再用脚螺旋将水泡居中，重复以上动作直至水泡变化小于 0.5 个格值。

6.2 陀螺灵敏部悬带扭力零位的调校

陀螺敏感部悬带的扭力零位，受到震动、温度变化及随时间的漂移，可能会发生变化，表现在目视视场中陀螺敏感部自摆时光标摆动中心偏离目视分化板的 0 线过多，这种情况下，会使陀螺敏感部定向时往复进动中心与悬带扭力中心偏离较大，造成悬带受扭不对称，带来测量误差。仪器出厂时，厂方会将其调整在偏离中心 0.5 格之内，使用中若偏离超过 2 格，则需加以校正。

判断悬带扭力零位的方法为：进入定向测量子菜单，按【2】键后，下放陀螺敏感部，步进迭代使光标摆动在±5 格左右，观察摆动正、负方向的极限格值，相减后除 2，即为自摆中心的偏离值。

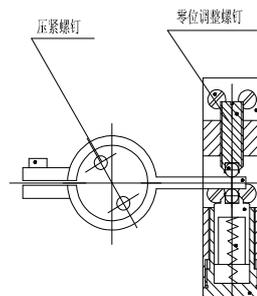


图 5-1 自摆零位调整机构示意图

校正的方法为：用钟表起子松开陀螺经纬仪目镜后方装饰环上的三个紧定螺钉，将

其抬起，可通过3个窗口会看到两个上带夹压紧螺钉和零位改正螺钉（见图2-23）。用长改针松开上带夹上平面上的两个压紧螺钉后，用螺丝刀旋转零位改正螺钉即可改变陀螺敏感部自摆的零位位置，零位调整螺钉顺时针旋转，零位在视场中向右方向移动，反之向左方向移动。调整至自摆中心偏离分划板0线 ± 1 格之内，旋紧上带夹的两个压紧螺钉，放下装饰环并固紧三个紧定螺钉即可。

6.3 激光对点器的调校

激光对点器中激光发出的光线，应与陀螺仪旋转中心共轴，否则将带来陀螺仪的对中误差，影响测量的准确性。

在日常的作业中，可按照以下步骤来判断其是否需要调整：架设陀螺经纬仪并整平，将激光对中器光点与点位标志重合，松开陀螺仪的制动手轮，旋转陀螺仪 180° ，观察激光点的变化值，光点偏离点位标志中心超过 0.5mm ，需要校正。

校正时，先将仪器脚架升至最高，架设仪器并整平，然后按下列步骤进行对中器的校正：

- a) 将一十字标志放至距仪器底部约 50mm 处，十字中心与激光点重合，松开陀螺仪制动手轮，旋转陀螺仪 180° ，观察光点变化情况，然后将十字置于光点跳动中心，用改针旋紧或旋松对侧平移调整螺钉（见图2.4，在陀螺经纬仪下部。调整时光点的变动方向与平移调整螺钉的移动方向一致），将光点改至于十字重合，然后再次检查光点跳动情况，如此反复，直至光点跳动小于 0.5mm ，最后依次旋紧4个平移改正螺钉。
- b) 倾斜误差改正方法是将十字标志置于地面，其中心与激光点重合，松开陀螺仪制动手轮，旋转陀螺仪 180° ，观察光点跳动后，将十字置于光点跳动中心，用改针松开于欲改动方向一侧或旋紧相反方向的倾斜调整螺钉（见图5-2，在陀螺经纬仪下部），将光点改至于十字重合，然后再次检查光点跳动情况，如此反复，直至光点跳动小于 0.5mm ，最后依次旋紧3个改正螺钉。

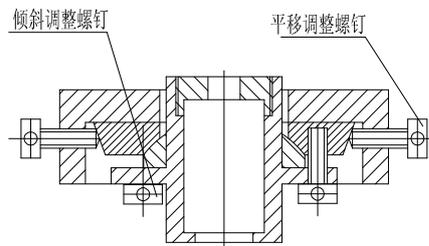


图 5-2 激光对中器结构示意图

- c) 复查，a)、b)项校正完成后，再次检查光点跳动，必要时可重复校正。

7 陀螺经纬仪的维护与保养

- 1) 仪器运输时，应平稳放置，避免倾斜、碰撞；
- 2) 仪器日常应存放在通风、阴凉、防潮和防尘的环境中；
- 3) 仪器主机及控制装置，在存贮期间，每三个月至少通电一次；
- 4) 仪器长期未用，直流电池组应每三个月充电一次。
- 5) 仪器使用后，应除去望远镜、读数目镜、陀螺观察目镜等上的灰尘。
- 6) 若仪器受潮或雨淋，必须擦净、晾干后方可装箱。