绪　论

所谓导航，是指在某参考系内将运动物体以一点引导到另一点的过程。这里所说的运动物体包括舰船、飞机和宇宙飞行器等，通常叫做载体；参考系是指地球表面、空间和太阳系等。

在早期，导航通常意味着正确地引导船舶在海上航行。那时，导航与航海是同义语。随着科学技术的不断发展，飞机、导弹、人造卫星和宇宙飞船等相继出现，导航的含义则不局限于航海了。由于各种载体运动的规律及性能参数不同，因而其导航系统也各具特点。但是，无论是从导航系统的使命，还是从组成导航系统所依赖的原理和所需要的技术上看，各种载体的导航系统均有共同之处。

船舶在海上航行，必须随时知道自身的位置、航速、航向和航程。由于各种舰艇，特别是导弹核潜艇的出现，为了满足发射导弹和稳定其他装置的需要，除要求导航系统提供上述数据外，还要提供水平基准信号。舰船的导航方法有多种，根据获得导航数据的手段，其方法大致可分两类：观测舰位法和推算舰位法。

观测舰位法，是依靠观测外部目标或接收外部（光波、无线电波）信息来确定舰位。属于这种导航方法的，主要有地文导航、天文导航、无线电导航和卫星导航等。地文导航，是利用目测、光学等方法，辨认和观测地面或海上的特定标志，以确定舰位；天文导航，是利用测定天体（日、月、星）相对于水平面的高度角和相对于真北的方位角，来计算出舰位；无线电导航，是测出舰船相对于地面导航台的几何参量，建立若干位置线，根据两条位置线的交点来确定舰位；卫星导航，是对一定轨道上的人造卫

星进行电波观测，求出舰船相对于卫星的位置，再根据已知的卫星相对于地面的位置来计算出舰位。

推算舰位法，”是用舰船自身的导航设备，不断测量舰船的航向、航速或加速度，加入初始位置，推算出舰船的瞬时位置。例如，利用陀螺罗经测量舰船的航向，利用计程仪连续地测量出舰船相对于海水的速度，将速度在相应的坐标系内分解，再对时间积分，即可求出舰船的航程。惯性导航，是利用加速度计测量舰船的运动加速度，对时间进行两次积分，从而确定舰位。因此，惯性导航法也是一种推算舰位法。

舰船的各种导航方法，在具体应用中是相辅相成的。为了提高导航精度，往往把它们组成综合导航系统。

在观测舰位法中，地文导航易受天候限制，定位精度较低；但其所用设备结构简单，使用方便，故障较少。天文导航也易受天候限制，如在潜艇上使用，需露出水面观测，容易暴露目标；但其定位精度较高。无线电导航作用距离较远，定位精度较高，且不受时间和天候的限制；但易受自然或人为的干扰和发射台的限制，潜艇处于水下状态时不能使用。卫星导航容易做到全球、全天候导航，定位精度高；但不能实时连续导航。

在推算舰位法中，陀螺罗经、计程仪加上航迹自绘仪系统，使用比较广泛。但是，长时间使用这些设备定位，容易产生积累误差。迄今为止，所有计程仪只能测量舰船相对于海水的速度，而不是相对于地面的速度，海水又有流向和流速的变化，影响了测量精度。

舰船惯性导航系统完全依靠本身的能力，自主地完成导航任务。它不依赖于任何外部信息，也不向外辐射能量，因而系统工作不受外界干扰，具有很好的隐蔽性。它可以连续地实时地提供舰船的航速、舰位及航向角、纵横摇角等信息。所以，这种完全自主式的导航设备，在作战舰艇上尤其是在战略核潜艇上使用最为理想。惯性导航系统的不足之处，是设备比较复杂；需采用高

精密的惯性元件——陀螺仪和加速度计；加工、装配及维护保养等需要较高的技术水平；生产、使用成本较高。此外，当系统长时间工作时，陀螺仪的漂移会造成无界定位误差。所以，当长时间使用惯性导航系统时，必须利用其他导航仪器对它进行校准。尽管如此，惯性导航系统还是越来越受到人们的重视，应用的对象越来越多。问世二十多年来，在舰船、飞机、导弹、人造卫星和宇宙飞船等的导航和制导上均广泛应用。目前，惯性导航系统的功能在不断扩大，精度和可靠性也在不断提高。近年来，又把惯性导航技术用于大地测量，从而显示了它的生命力和广阔的发展前景。

第一章　惯性导航基础知识

§1-1　空　　间

序言里已提到，惯性导航所要解决的基本问题是不断确定载体的姿态、速度和位置。任何物质的运动和变化，都是在空间和时间中进行的。物体的运动或静止及其在空间的位置，是指它相对另一物体而言。这就是说，在描述物体的运动时，必须选定一个或几个物体作为参考系。当物体对于参考系的位置有了变化时，就说明该物体发生了运动；反之，如果物体对于参考系没有发生任何位置变化，就说明该物体是静止的。

舰船的运动，基本上限于地球表面。所以，选定地球作为参考系来描述舰船运动。一个物体的运动，只有在其他物体对其施以力时才能发生。能对地球附近的物体施以力的，除地球外，还有那些距地球较近的星球。这样，当研究舰船在地球表面运动时，应该把它置于太阳系，考察太阳系里的星球对其运动的影响。

太阳系的中心天体是太阳。围绕太阳转动的有九大行星，整个太阳系又围绕银河系在运动，银河系也处于不停的运动中，在它外面还有许多星系存在，统称为“河外星系”。

这许许多多的星球之所以能够维持各自的运动，是由于它们之间存在互相吸引的力——万有引力。事实上，任何物体周围都充满了一种特殊形式的物质，这种特殊形式的物质称为场。两个不接触的物体之间的引力不是这两个物体间直接的超距作用，而是一个物体通过它周围的场作用在另一物体上，并称该场为引力场。

惯性导航的基本原理，是根据牛顿运动定律，在载体内部通过测定惯性力的大小来确定其运动加速度。在运动学中，参考系可以按照研究问题的方便任意选择。但是，在应用牛顿运动定律

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

时，参考系则不能任意选择，也就是说，牛顿运动定律成立的参考系，称为惯性空间。众所周知，原点取在不动点而又无转动的参考系就是一个惯性空间。与惯性空间相固联的坐标系，称为惯性坐标系或简称惯性系。要决定一个参考系是不是惯性系，只能依靠观察、实验和测量。由于牛顿运动定律是否成立依赖于所能达到的或者要求达到的测量精度，因而，决定一个参考系是不是惯性系也将依赖于现有的测量水平。在牛顿时代，人们以太阳中心为原点，以指向任意恒星的直线为坐标轴，组成一个坐标系。根据当时的测量条件和水平，牛顿运动定律是成立的。因此，把这样的参考系视为惯性系。以后才知道，太阳连同太阳系一起还在围绕银河系运动，只是运动的角速度极小罢了。上述参考系可以认为是一个相当精确的惯性系。凡是对上述惯性系作匀速直线运动的参考系，牛顿运动定律也是适用的。因此，也是惯性系。

在讨论惯性导航问题时，经常用到的坐标系有以下几种。

太阳中心惯性坐标系 $S\xi_I\eta_I\zeta_I$（简称日心惯性坐标系 I） 通过太阳中心 S 点，作黄道平面，即地球绕太阳公转运动的平均轨道平面。黄道平面与地球赤道平面的交线是 $\Upsilon\theta$。Υ 点与 θ 点在天文学中分别称为春分点和秋分点。坐标系的 ξ_I 轴沿 $S\Upsilon$ 方向，而 ζ_I 轴的方向与地球自转角速度的方向平行，η_I 轴则与 $\xi_I\zeta_I$ 平面垂直。这样，就组成了原点在太阳中心的惯性坐标系。

如前所述，太阳连同太阳系围绕银河系在运动。有关运动数据如下：

太阳的速度233公里/秒；

太阳与银河系中心的距离2.2×10^{17}公里；

太阳绕银河系的旋转周期190×10^{6}年。

这些数据表明，太阳并不是作匀速直线运动。假设太阳绕银河系作圆周运动，则太阳对银河系中心的向心加速度及转动角速度的近似值分别为 $2.4\times10^{-11}g$ 和 0.001角秒/年。这说明，以太阳中心为原点的坐标系并不是惯性坐标系。但是，向心加速度和转

动角速度的数值都远远小于惯性导航问题中对这两个参数所要求的精确度。因而，可以把以太阳中心为原点的坐标系看作惯性坐标系。

由于所研究的载体是在地球附近运动，因而提出一个问题：是否能在地球上建立一个惯性坐标系？经计算得知，这个坐标系可以建立。

地球中心惯性坐标系 $E\xi_o\eta_o\zeta_o$（简称地心惯性坐标系 E_o） 这个坐标系的原点E在地球中心，三根坐标轴分别与太阳中心惯性坐标系的三根轴平行。所以，ζ_o 轴沿地球自转轴方向，而 ξ_o及η_o轴则在地球赤道平面内，三根轴都指向空间固定的方向。

能否把上述坐标系视为惯性坐标系，需要考虑太阳、月亮及其它星体对地球附近载体的影响。太阳系以外的星体距地球太远，不加考虑；在太阳系内，除月亮以外的其它星体的影响也很小，可以忽略；月亮引起的重力场变化约为 5×10^{-6}g，一般亦可不予考虑。这样，只需考虑太阳的影响了。现在，来分析质量为m的质点M在地球附近的运动情况。

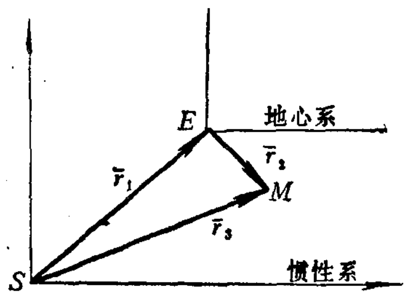

图1-1-1　质点M在空间的运动

假设S、E和M分别代表太阳中心、地球中心和质点，它们的质量分别为s、e和m。

在惯性坐标系I内，质量M的运动方程为

$$-smk\frac{\bar{r}_3}{r_3^3}-emk\frac{\bar{r}_2}{r_2^3}=m\ddot{\bar{r}}_3=m(\ddot{\bar{r}}_1+\ddot{\bar{r}}_2) \qquad (1\text{-}1\text{-}1)$$

式中　k——引力常数。

地球的运动方程为

$$-sek\frac{\bar{r}_1}{r_1^3}=e\ddot{\bar{r}}_1 \qquad (1\text{-}1\text{-}2)$$

将式（1-1-2）代入（1-1-1），经整理得

$$-smk\left(\frac{\bar{r}_3}{r_3^3}-\frac{\bar{r}_1}{r_1^3}\right)-emk\frac{\bar{r}_2}{r_2^3}=m\ddot{\bar{r}}_2 \qquad (1\text{-}1\text{-}3)$$

由于M靠近地球，则有

$$\bar{r}_1\approx\bar{r}_3$$

和

$$\left|\frac{\bar{r}_3}{r_3^3}-\frac{\bar{r}_1}{r_1^3}\right|\leqslant\left|\frac{2\bar{r}_2}{r_1^3}\right|$$

太阳与地球质量之比为3.34×10^5，$r_1=1.5\times10^8$公里，若取$r_2=6.4\times10^3$公里，则式（1-1-3）中第一项和第二项之比为

$$2\frac{sr_2^3}{er_1^3}\approx5.3\times10^{-8}$$

因此，近似地得到

$$-emk\frac{\bar{r}_2}{r_2^3}\approx m\ddot{\bar{r}}_2 \qquad (1\text{-}1\text{-}4)$$

由此可见，牛顿第二运动定律在研究地球附近的载体运动时，仍然是适用的。因此，可以得出结论，上面定义的坐标系可以足够精确地看作惯性坐标系。显然，地心惯性坐标系E_0是不参与地球自转运动的。既然导航问题要求解决载体相对于地球的运动情况，还必须有一个确定载体相对于地球运动的坐标系。

地球坐标系$E\xi\eta\zeta$(或称E系） 该坐标系的原点仍在地心E，ξ和η轴在地球赤道平面内，ζ轴沿自转轴方向，三根坐标轴都固定在地球上，即参与地球的自转运动。显而易见，E系相对E_0系的相对运动，就是地球的自转运动，其角速度为$\bar{\Omega}$。

地理坐标系$OX_TY_TZ_T$ 该坐标系的原点在载体的质量中心，X_T、Y_T和Z_T轴分别从原点出发指向东、北和天向。为简便起见，以后记为$OXYZ$。

在以后的分析过程中，还会定义一些新的坐标系。

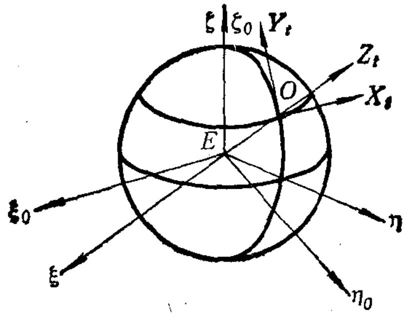

图1-1-2　E_0、E和T系之间的关系

§1-2　时　　间

描述物体运动，除了空间的概念外，还要引入时间概念。上面已说明了如何利用参考系或坐标系，来度量物体在空间的位置。现在，不仅需要知道物体的位置，而且需要知道它的速度，这就必须确定它在一定的时间间隔里所发生的位置变化。在惯性空间中，需要确定在某一时刻载体所占据的位置，显然离不开时间的精确计量。

时间和空间是物质存在的基本形式。时间，表示物质运动的连续性，空间，表示物质运动的广延性。

既然时间同物质运动联系在一起，那么时间的计量当然也就要以某种物质运动作为标准。一般说来，以物质的周期性运动作为计量时间的标准是比较方便的。为了保证时间的计量具有一定的精确性，要求这种周期性运动必须是均匀的、连续的。从这个意义上说，任何具有这种性质的周期运动，均可作为计量时间的标准。在自然界中，地球的自转运动是非常稳定的，它具有均匀、连续的特性。所以，人们很自然地把它取作计时标准。但是，前面已经讲到，物体的运动是相对的。因此，要观察地球的自转运动，必须以地球以外的别的星体作为参考系才有可能。例如，可以把太阳或恒星取作这样的参考系，来观察地球的自转运动。这就产生了太阳日和恒星日两个计时系统。

把相对于恒星测得的地球自转运动的周期作为计时单位，这就是恒星日。把一个恒星日分成24等分，就是恒星时。

利用太阳的视运动来计量时间，这就是另一个计时单位——太阳日。地球除自转外，还围绕太阳作公转。作为太阳在地球上的视运动，除周日视运动外，还有周年视运动。地球相对于太阳自转一周的时间叫做真太阳日。由于地球围绕太阳运动的轨道为椭圆，使真太阳日变得不均匀，最长的和最短的太阳日相差51秒。这样一来，按照真太阳日制造计时仪表困难极大，使用起来也不方便。于是，天文学家假想了一个太阳，其在轨道上的视运动的运行速度等于真太阳日的平均速度。这样，这个假想的太阳的运行速度便是均匀的了。这个假想的太阳，称为平太阳。地球相对于平太阳自转一周的时间，叫做平太阳日，一个平太阳日又可分为 24 个平太阳时。这就是科学技术和日常生活中采用的计时单位——平太阳时单位。

现在，来考察恒星日和平太阳日之间的关系。上面已说明，地球除作周日运动外，还围绕太阳作周年运动。天文学上的测量表明，地球围绕太阳公转一周需要 365.2422 个平太阳日；而在相同时间内，相对于恒星转一周需要 366.2422 个恒星日。可见，恒星时要比平太阳时短一些。地球在一个恒星日内准确转动 360°，所以，其自转角速度为

$$\Omega_s = 15^\circ/\text{恒星时}$$

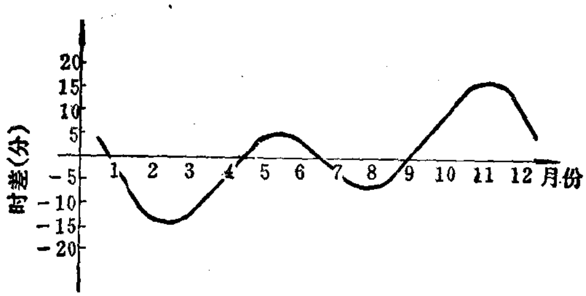

图1-2-1　时差曲线

而在一个平太阳日内地球转动的角度要比 360° 大一些。当用平太阳日表示地球自转角速度时

$$\Omega = 15.0410694^{\circ}/\text{平太阳时}$$

在惯性导航中，计时单位是平太阳时，所以，地球自转角速度取此值。

平太阳时简称平时，以后为了方便就叫时，细分为分、秒。

§1-3 地　　球

前面已指出，所要讨论的问题是地球附近载体的导航。在这种情况下，和载体关系最为密切的就是地球。地球的某些特性，例如地球的自转运动，地球的引力场等，对于惯性导航问题是极为重要的。因此，有必要将天文学和大地测量学中的有关研究结果在这里作一介绍。

地球的形状是非常复杂的，很难用一个数学曲面来精确地描述它。事实上，在惯性导航问题中，这样做也没有必要，因为地球体积很大，表面上的凸凹不平与地球半径比是微不足道的。在工程应用上，仅仅根据具体需要找出一些近似的形体来代替它。如，把平静的海平面向大陆下面延伸，结果形成一个封闭的曲面，这就是大地水准面（图1-3-1），它所包围的几何形状称为大地水准体。由于地球质量分布不均匀，加上太阳、月亮等天体的影响，使地球重力场的大小和方向不规则。因此，大地水准体也是一个不规则的几何体。可以把大地水准体近似看作旋转椭球体，其长半轴为 a，在赤道平面内；短半轴为 b，与自转轴重合(图1-3-2)。

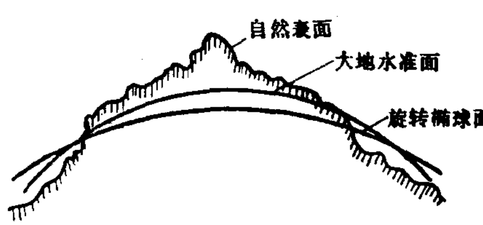

图1-3-1　大地水准面

许多国家的学者对旋转椭球体的参数进行了测量，所得数据也有差异，因而形成了多种参考椭球体。现将其中常用的三种参考椭

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

球体的数据列于表1-3-1。

从表 1-3-1 可以看出，参考椭球体的长、短半轴之差仅为长半轴的 0.3%。有时为了简单起见，把地球近似地看成一个圆球体，并将其半径定为 6366.707 公里。

表1-3-1　参考椭球体参数

椭　　球	长半轴(公里)	短半轴(公里)	椭　圆　度
克拉克(1866)	6378.249	6356.515	1/293.5
海福德(1909)	6378.388	6356.909	1/297.0
克拉索夫斯基(1938)	6378.245	6356.863	1/298.3

下面，讨论地球重力场的特性。地球的重力场是由地心吸力和地球自转的离心力合成的。假定在地球表面有一测试物体 A，并考虑地球为一均匀的旋转椭球体，则地心引力是在 A 点与地心 E 的连线方向。离心力的大小随纬度变化，方向却永远与地球自转轴相垂直，如图 1-3-2 所示。二者合力即为重力，除在极点以外，重力的方向与引力的方向是不相同的。旋转椭球体表面上 A 点的法线 AM 的方向与 AE、AN 的方向也不相同。AE 叫做地心垂线，AN 叫做重力垂线，而 AM 叫做测地垂线，它们与赤道平面的夹角分别为 ϕ'、ϕ 和 ϕ''，这几个角度分别称为地心纬度、天文纬度和测地纬度。参考椭球体虽然与大地水准体不完全一致，但十分接近。所以，天文纬度与测地纬度相差甚小可不加区别。在惯性导航系统中，由于加速度计输入轴几乎与重力方向相垂直，故求得的纬度实际上就是天文纬度。但实际上地球并不是

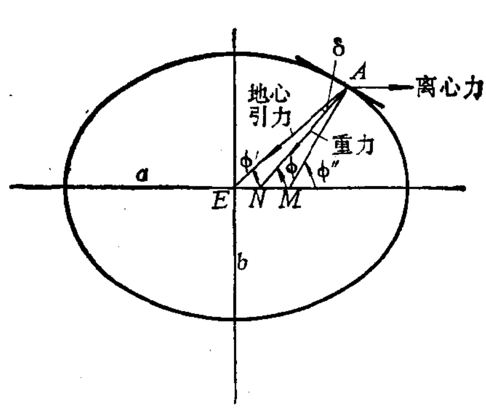

图1-3-2　地心吸力、离心力与重力

一个均匀的旋转体，所以，在一般情况下，地心引力作用线并不通过地心E。

对应于参考椭球体，球面上的重力公式可由势函数[8]导出

$$g = g_0(1 + 0.0052884\sin^2\phi - 0.0000059\sin^2 2\phi) \tag{1-3-1}$$

式中 $g_0 = 978.045$厘米/秒^2。

但实测的结果，g_m并不一定满足式（1-3-1），二者之差

$$\delta_g = g_m - g \tag{1-3-2}$$

称为重力异常。这是由于地球的自然形状与参考椭球体不完全符合，地球内的质量分布也不均匀造成的。地球表面上各点的重力异常并没有什么规律性，只能将地球表面划分成许多个区域，通过试验方法逐点测量，然后将测得的数据存入惯导计算机加以补偿。在绝大多数情况下，重力异常是很小的，可以忽略不计。

另外，根据旋转椭球体的方程式

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{1-3-3}$$

可以求得向量 $\bar{R}$ 在地理坐标系内的投影。在图 1-3-3 中，ϕ 为地

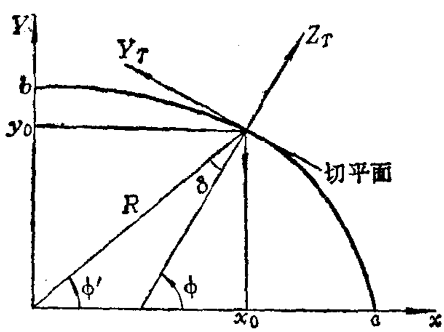

图1-3-3 旋转椭球体

理纬度，ϕ'为地心纬度。椭圆法线 AN 的斜率为

$$\mathrm{tg}\,\phi = -\frac{dx}{dy} = \frac{ya^2}{xb^2} \tag{1-3-4}$$

地心线 AE 的斜率为

$$\mathrm{tg}\phi' = \frac{y}{x} \tag{1-3-5}$$

由于

$$\delta = \phi - \phi' \tag{1-3-6}$$

因而

$$\mathrm{tg}\,\delta = \mathrm{tg}(\phi - \phi') = \frac{\mathrm{tg}\,\phi - \mathrm{tg}\,\phi'}{1 + \mathrm{tg}\,\phi \cdot \mathrm{tg}\,\phi'} = \frac{\mathrm{tg}\,\phi\left(1 - \dfrac{b^2}{a^2}\right)}{1 + \dfrac{b^2}{a^2}\mathrm{tg}^2\phi} \tag{1-3-7}$$

$$\cos\delta = \cos\phi \frac{1 + \dfrac{b^2}{a^2}\mathrm{tg}^2\phi}{\sqrt{1 + \dfrac{b^4}{a^4}\mathrm{tg}^2\phi}} \tag{1-3-8}$$

$$\sin\delta = \sin\phi \frac{1 - \dfrac{b^2}{a^2}}{\sqrt{1 + \dfrac{b^4}{a^4}\mathrm{tg}^2\phi}} \tag{1-3-9}$$

另有

$$\mathrm{tg}\phi' = \frac{b^2}{a^2}\mathrm{tg}\,\phi \tag{1-3-10}$$

以及

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= R\cos\phi' \\ y_0 &= R\sin\phi' \end{aligned}\right\} \tag{1-3-11}$$

由式（1-3-3）、（1-3-10）和（1-3-11），可求得

$$R = \frac{a\sqrt{1 + \dfrac{b^4}{a^4}\mathrm{tg}^2\phi}}{\sqrt{1 + \dfrac{b^2}{a^2}\mathrm{tg}^2\phi}} \tag{1-3-12}$$

从而，A 点位置向量 $\overline{R}$ 在地理坐标系 X、Y 和 Z 轴上的投影分

别为

$$R_x = 0 \tag{1-3-13}$$

$$R_y = -R\sin\delta = -\frac{ae^2\sin\phi\cos\phi}{\sqrt{1-e^2\sin^2\phi}} \tag{1-3-14}$$

$$R_z = R\cos\delta = a\sqrt{1-e^2\sin\phi} \tag{1-3-15}$$

式中　$e=\dfrac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$——旋转椭球体的偏心率。

§1-4　惯性法测量高度

载体在地球附近运动，并不意味着这种运动就在地球表面上发生。实际上，有的载体的运动高出地球表面，如飞机、导弹、卫星等；有的则在地球表面以下，如潜艇。这时，需要三个坐标分量来确定载体的位置，除了确定载体所在点的地理坐标系原点的经、纬度以外，还要确定载体在地理坐标系天轴上的分量，也就是它的高度 h。

任一高度 h 处的重力加速度的表达式为

$$g(h) = g_0\frac{a^2}{(a+h)^2} = g_0\left(1-\frac{2h}{a}+\cdots\right) \tag{1-4-1}$$

由此可见，重力加速度随高度而变化。如果沿平台的 Z 轴放置一个加速度计，使其输入轴与 Z 轴相重合，由公式（1-4-1)可以求得加速度计的输出。

$$A(h) = \ddot{h} + g(h) + \Delta_z \tag{1-4-2}$$

式中　$A(h)$——高度为 h 时的加速度计输出；

Δ_z——加速度计的偏值。

按照式（1-4-2)，可以给出加速度计的机械编排方程

$$A(h') = \ddot{h}' + g(h') \tag{1-4-3}$$

从式（1-4-3）中减去式（1-4-2)，并令 $h'-h=\delta h$，则

$$\delta\ddot{h} - \frac{2g_0}{a}\delta h = \Delta A_z \tag{1-4-4}$$

式（1-4-4）的齐次解为

$$\delta h(t)=A_1 e^{\sqrt{\frac{2g_0}{a}}\,t}+A_2 e^{-\sqrt{\frac{2g_0}{a}}\,t} \qquad (1\text{-}4\text{-}5)$$

由式（1-4-5）看出，用惯性法确定高度是发散的。这一结果，说明高度通道不稳定。相应的系统误差方块图如下。

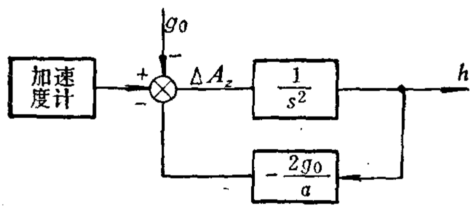

图1-4-1　用惯性法确定高度

§1-5　平面惯性导航

这是一个要在平面上确定载体位置和速度的问题。由于载体的运动局限在一个平面上，所以，用一个直角坐标系 OXY 作为参考系就完全满足要求。根据牛顿第二运动定律，物体在外力作用下所产生的加速度与它所受的外力成正比。表达式为

$$F=m\cdot A \qquad (1\text{-}5\text{-}1)$$

式中　F——作用在物体上的外力；

A——物体所产生的加速度；

m——物体的质量。

根据式（1-5-1），可以在载体上沿 X 轴和 Y 轴方向各放置一个加速度计，通过这两个加速度计所感受的惯性力来测量载体沿 X 轴和 Y 轴的加速度 A_x 和 A_y。有了加速度，将它们对时间积分一次，得到速度变化量；再积分一次，便得到位置变化量。如果加入初始时刻的速度和位置，可以确定载体在 OXY 平面上的速度和位置。

$$s_x(t)=s_{x0}+\int_0^t v_x(t)dt$$

$$s_y(t)=s_{y0}+\int_0^t v_y(t)dt$$

式中　$s_x(t)$、$s_y(t)$——载体在时刻 t 的位置；

s_{x0}、s_{y0}——初始位置。

将上述步骤用方块图表示，如图 1-5-1 所示。

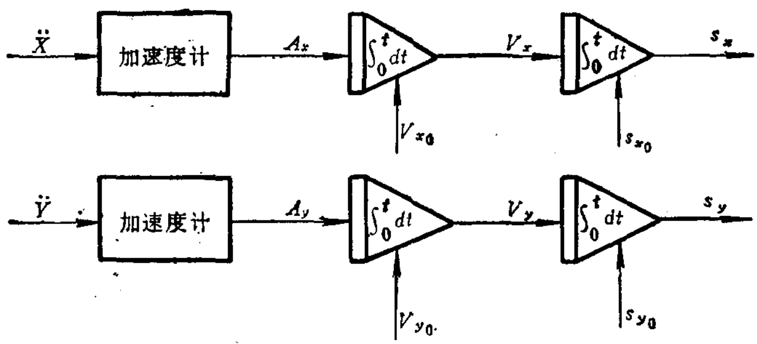

图1-5-1　平面惯性导航

讨论到此，似乎平面惯性导航问题已经全部解决了，其实不然。问题远比这要复杂得多。首先，用上面的方法根本无法保证两个加速度计永远对准 X 轴和 Y 轴方向。这就是说，在方位上出现失调角是必然的。这是因为，载体不可能总是沿着不变的方向在 OXY 平面内运动，一旦它的运动方向变化了，加速度计的方向也要随着变化。假如从 $t=t_0$ 开始，载体的方向变化了角度γ。若 $t-t_0=1$ 小时，载体的加速度为 $A=2$ 米/秒^2，则从 t_0 到 t 这段时间将造成位置误差$\Delta s=\frac{1}{2}A(t-t_0)^2\sin\gamma$，如果 $\gamma=5$ 角分，则 $\Delta s=$ 19.5公里，如图 1-5-2 所示。

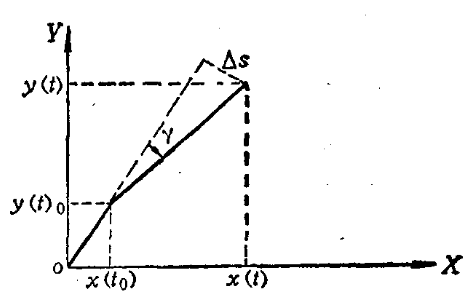

图1-5-2　方位失调角造成的位置误差

其次，这两个加速度计在水平面内的对准也是没有

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com