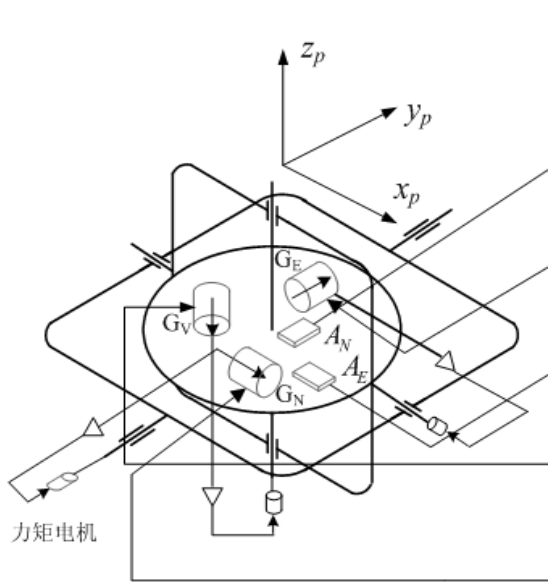




主讲人：奔粤阳

惯性导航初始对准

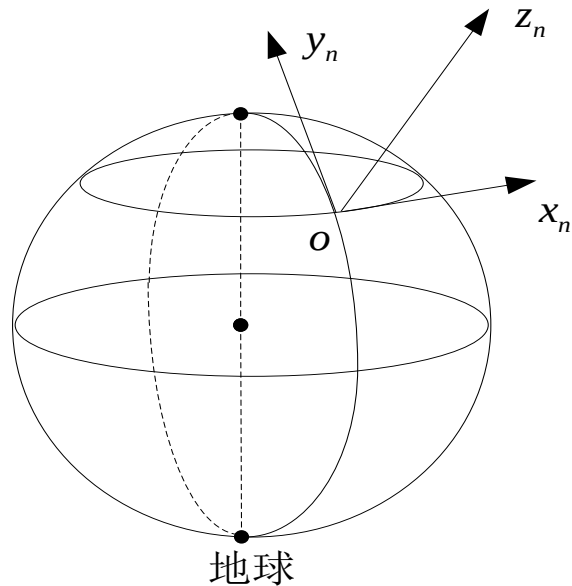
□ 初始对准目的——平台式惯性导航系统



平台坐标系



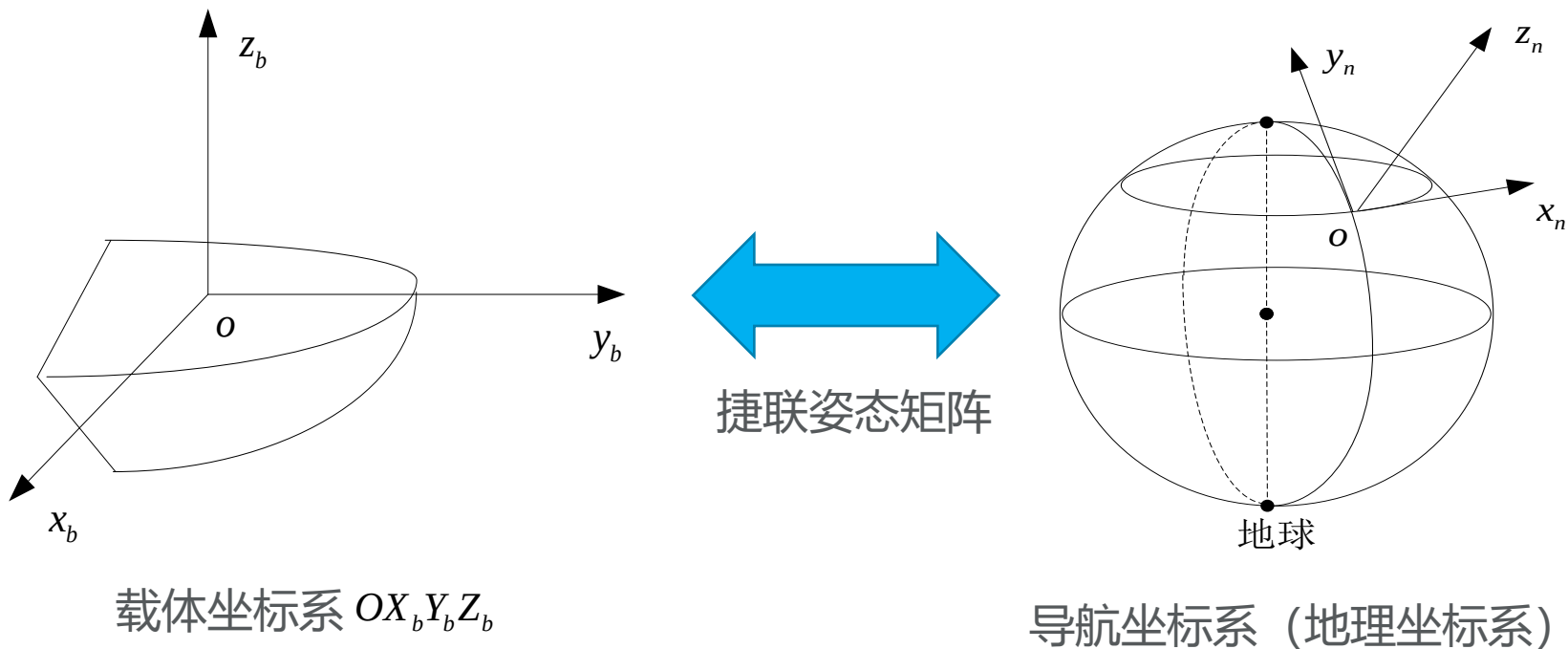
对准



导航坐标系 (地理坐标系)

惯性导航初始对准

□ 初始对准目的——捷联式惯性导航系统



惯性导航初始对准

□ 初始对准目的——捷联式惯性导航系统

$$C_b^n = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{pmatrix}$$

$$C_b^n = \begin{pmatrix} \cos \gamma \cos \psi + \sin \gamma \sin \psi \sin \theta & \sin \psi \cos \theta & \sin \gamma \cos \psi - \cos \gamma \sin \psi \sin \theta \\ -\cos \gamma \sin \psi + \sin \gamma \cos \psi \sin \theta & \cos \psi \cos \theta & -\sin \gamma \sin \psi - \cos \gamma \cos \psi \sin \theta \\ -\sin \gamma \cos \theta & \sin \theta & \cos \gamma \cos \theta \end{pmatrix}$$

惯性导航初始对准

□ 初始对准的分类

初始自对准一般分为粗对准和精对准两个过程，粗对准的目的是给后来精对准提供一个粗略的初始捷联姿态矩阵。精对准在粗对准的基础上，获取精确的捷联姿态矩阵。

□ 粗对准：强调快速性

载体系解析式粗对准，惯性系解析式粗对准。

□ 精对准：强调精确性

罗经回路精对准，卡尔曼滤波精对准。

惯性导航初始对准

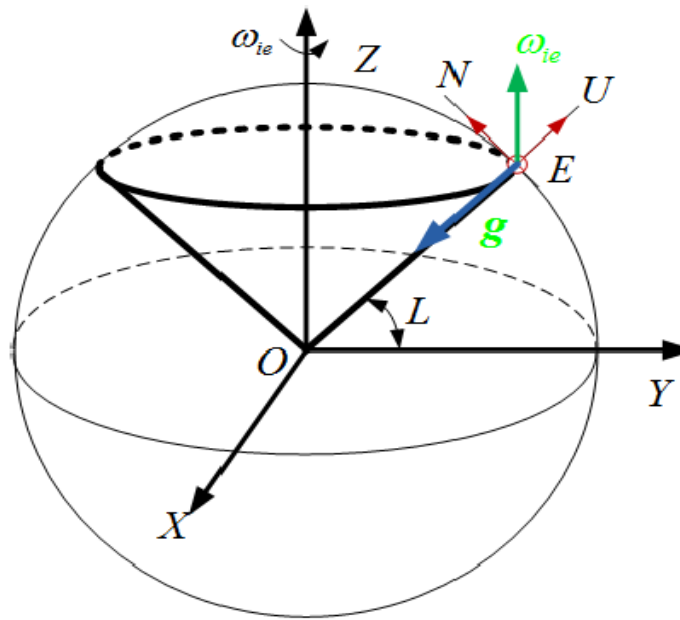
□ 载体系解析式粗对准

$$\hat{C}_b^n = \begin{bmatrix} (\mathbf{g}^n)^T \\ (\boldsymbol{\omega}_{ie}^n)^T \\ (\mathbf{g}^n \times \boldsymbol{\omega}_{ie}^n)^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (\tilde{\mathbf{f}}^b)^T \\ (\tilde{\boldsymbol{\omega}}^b)^T \\ (\tilde{\mathbf{f}}^b \times \tilde{\boldsymbol{\omega}}^b)^T \end{bmatrix}$$

重力加速度和地球自转角速度在地理坐标系上的投影为：

$$\mathbf{g}^n = [0 \quad 0 \quad -g]^T \quad \boldsymbol{\omega}_{ie}^n = [0 \quad \omega_{ie} \cos \varphi \quad \omega_{ie} \sin \varphi]^T$$

重力加速度和地球自转角速度在载体坐标系上的投影用加速度计和陀螺的测量值 $\tilde{\mathbf{f}}^b$ $\tilde{\boldsymbol{\omega}}^b$ 替代。



惯性导航初始对准

□ 载体系解析式粗对准

传统载体系解析式粗对准中假设：

(1) 近似认为粗对准过程中捷联姿态矩阵为常值，

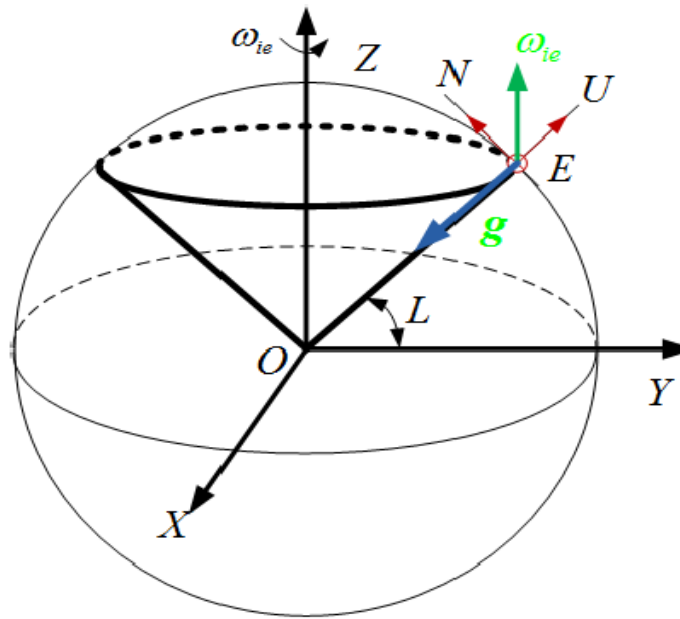
$$C_{b(t)}^{n(t)} = C_b^n$$

(2) 载体角运动为零均值微幅晃动，干扰角速度经过一段时间平均可近似为零，所以

$$\omega_{ie}^{b(t)} \approx \bar{\omega}_{ib}^b = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{\omega}_{ib}^{b(\tau)} d\tau$$

(3) 环境干扰导致加速度计对重力矢量的测量误差为零均值微幅振动，干扰加速度经过一段时间平均可近似为零，即

$$g^{b(t)} \approx -\bar{f}^b = -\frac{1}{T} \int_0^T \hat{f}^{b(\tau)} d\tau$$

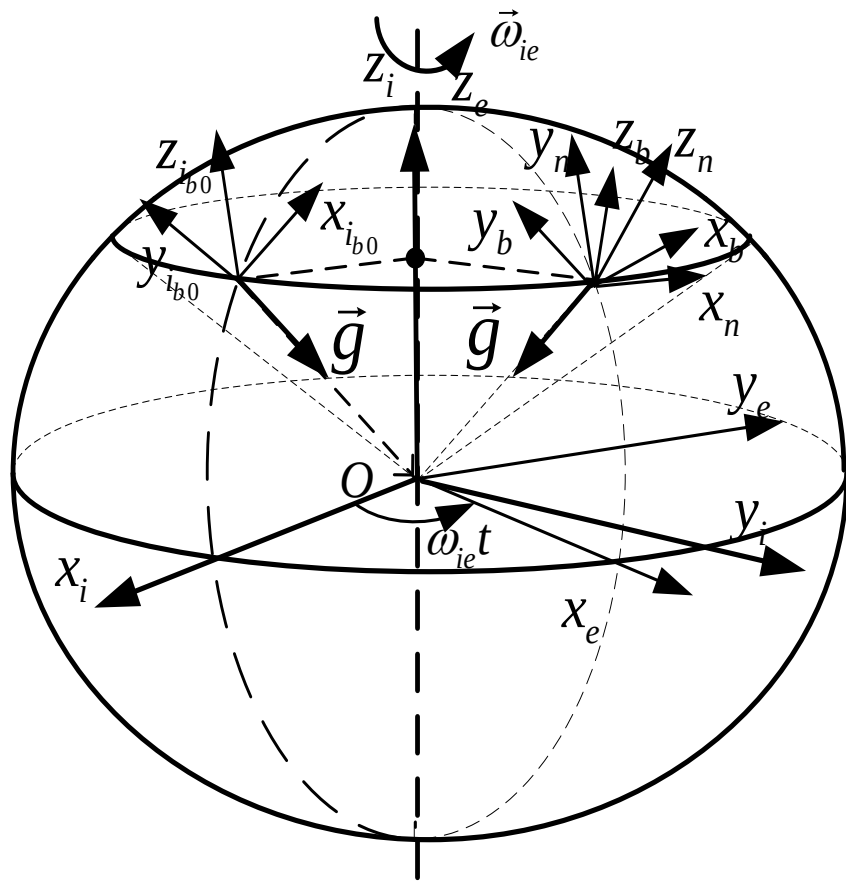


惯性导航初始对准

□ 惯性系解析式粗对准

惯性系解析式粗对准中，捷联姿态矩阵可以表示为：

$$\hat{C}_b^n = \hat{C}_i^n \hat{C}_{i_{b0}}^i \hat{C}_b^{i_{b0}}$$



惯性导航初始对准

□ 惯性系解析式粗对准

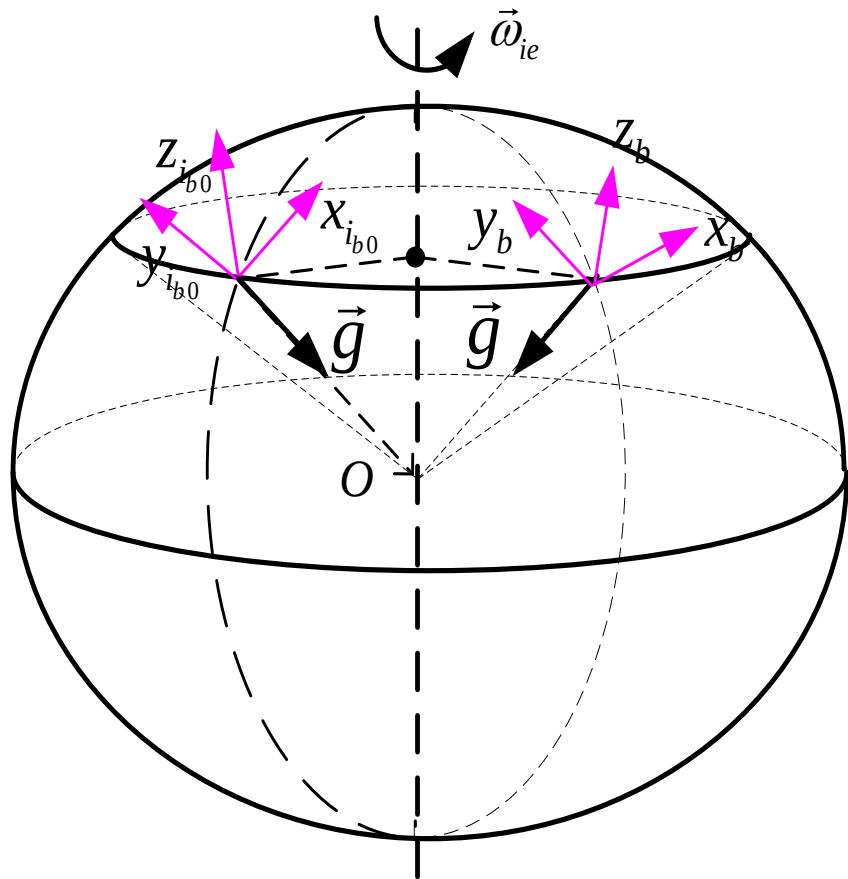
惯性系解析式粗对准中，捷联姿态矩阵可以表示为：

$$\hat{C}_b^n = \hat{C}_i^n \hat{C}_{ib_0}^i \hat{C}_b^{ib_0}$$



$$\dot{\hat{C}}_b^{ib_0}(t) = \hat{C}_b^{ib_0}(t) \left[\left(\hat{\omega}_{ib_0}^b \right) \times \right]$$

$$\hat{C}_b^{ib_0}(t_0) = I$$



惯性导航初始对准

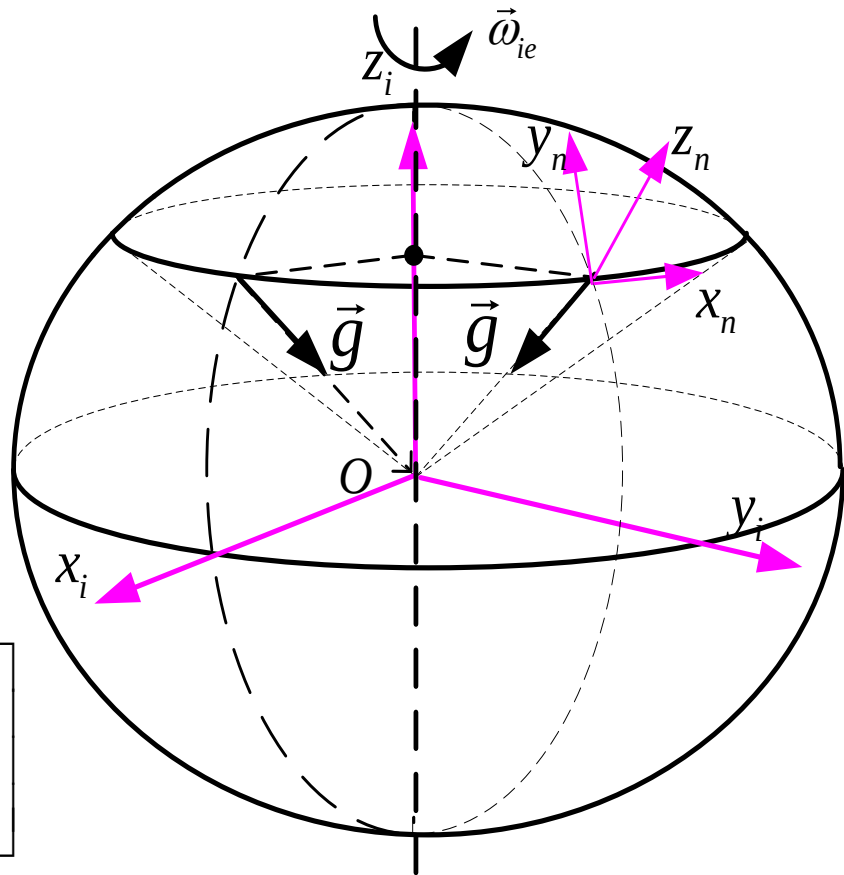
□ 惯性系解析式粗对准

惯性系解析式粗对准中，捷联姿态矩阵可以表示为：

$$\hat{C}_b^n = \hat{C}_i^n \hat{C}_{i_{b0}}^i \hat{C}_b^{i_{b0}}$$



$$\hat{C}_i^n = \begin{bmatrix} -\sin[\omega_{ie}(t-t_0)] & \cos[\omega_{ie}(t-t_0)] & 0 \\ -\sin L \cos[\omega_{ie}(t-t_0)] & -\sin L \sin[\omega_{ie}(t-t_0)] & \cos L \\ \cos L \cos[\omega_{ie}(t-t_0)] & \cos L \sin[\omega_{ie}(t-t_0)] & \sin L \end{bmatrix}$$



惯性导航初始对准

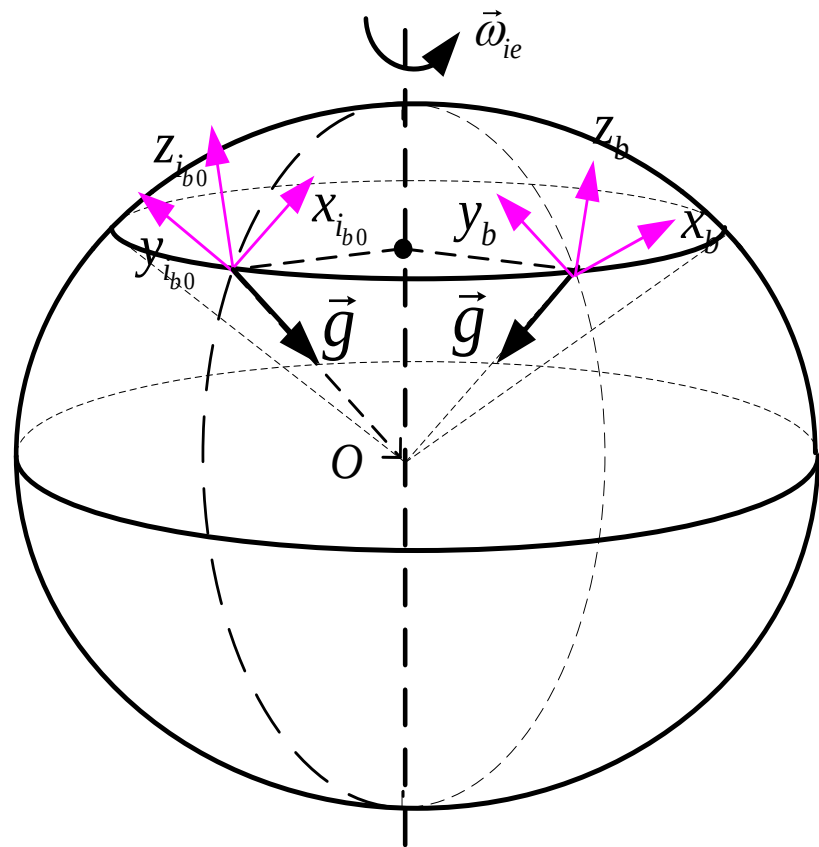
□ 惯性系解析式粗对准

惯性系解析式粗对准中，捷联姿态矩阵可以表示为：

$$\hat{\mathbf{C}}_b^n = \hat{\mathbf{C}}_i^n \hat{\mathbf{C}}_{i_{b0}}^i \hat{\mathbf{C}}_b^{i_{b0}}$$



$$\hat{\mathbf{C}}_{i_{b0}}^i = \begin{bmatrix} [\mathbf{V}^i(t_{k1})]^T \\ [\mathbf{V}^i(t_{k2})]^T \\ [\mathbf{V}^i(t_{k1}) \times \mathbf{V}^i(t_{k2})]^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} [\hat{\mathbf{V}}^{i_{b0}}(t_{k1})]^T \\ [\hat{\mathbf{V}}^{i_{b0}}(t_{k2})]^T \\ [\hat{\mathbf{V}}^{i_{b0}}(t_{k1}) \times \hat{\mathbf{V}}^{i_{b0}}(t_{k2})]^T \end{bmatrix}$$



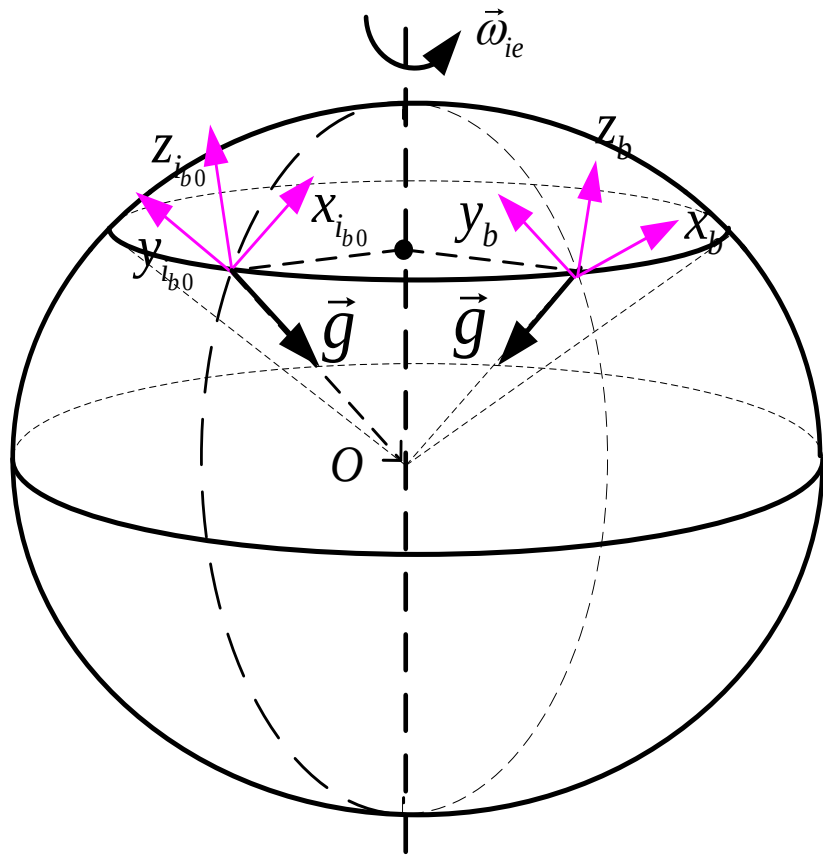
惯性导航初始对准

□ 惯性系解析式粗对准

$$\hat{\mathbf{C}}_{ib0}^i = \begin{bmatrix} [\mathbf{V}^i(t_{k1})]^T \\ [\mathbf{V}^i(t_{k2})]^T \\ [\mathbf{V}^i(t_{k1}) \times \mathbf{V}^i(t_{k2})]^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} [\hat{\mathbf{V}}^{ib0}(t_{k1})]^T \\ [\hat{\mathbf{V}}^{ib0}(t_{k2})]^T \\ [\hat{\mathbf{V}}^{ib0}(t_{k1}) \times \hat{\mathbf{V}}^{ib0}(t_{k2})]^T \end{bmatrix}$$



$$\hat{\mathbf{V}}^{ib0}(t_k) = \int_{t_0}^{t_k} \hat{\mathbf{C}}_b^{ib0} \tilde{\mathbf{f}}^b dt \quad \mathbf{V}^i(t_k) = \int_{t_0}^{t_k} (-\mathbf{g}^i) dt$$
$$= \int_{t_0}^{t_k} (-\hat{\mathbf{C}}_n^i \mathbf{g}^n) dt$$



惯性导航初始对准

□ 罗经回路精对准

北向水平回路中多出了一个耦合项

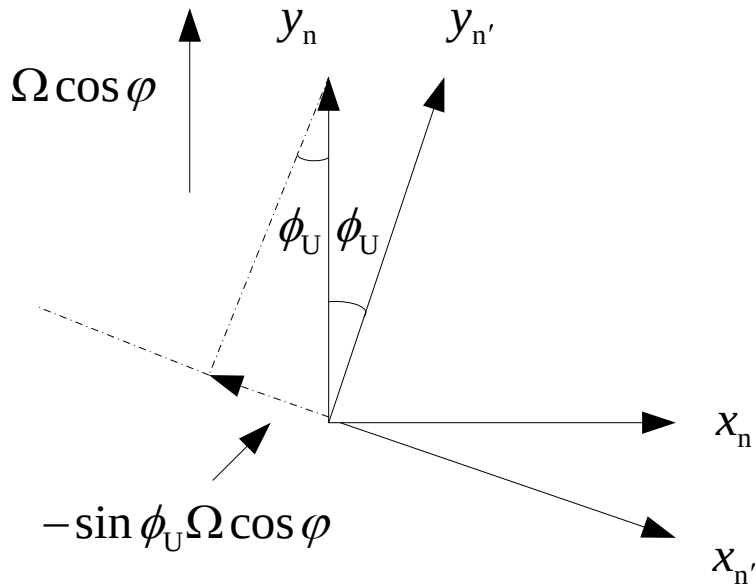
$$-\sin \phi_U \Omega \cos \varphi$$



小角度近似

$$-\phi_U \Omega \cos \varphi$$

方位失准角通过该项与北向水平回路之间的耦合关系即为罗经效应。

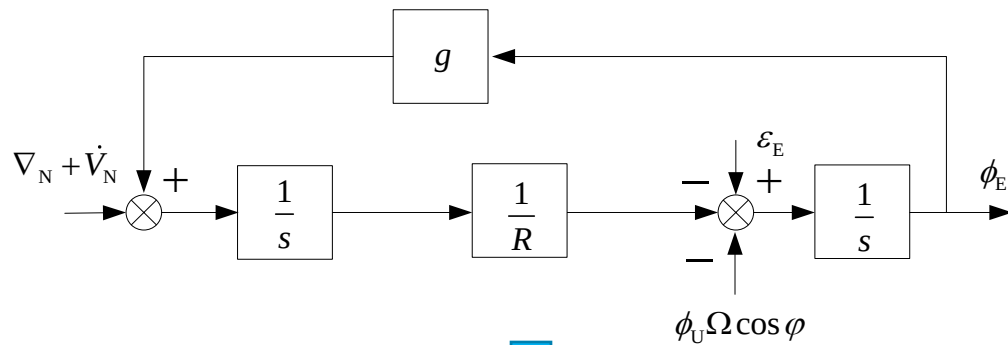


罗经效应原理示意图

惯性导航初始对准

□ 罗经回路精对准

北向单通道水平回路信息流程图：

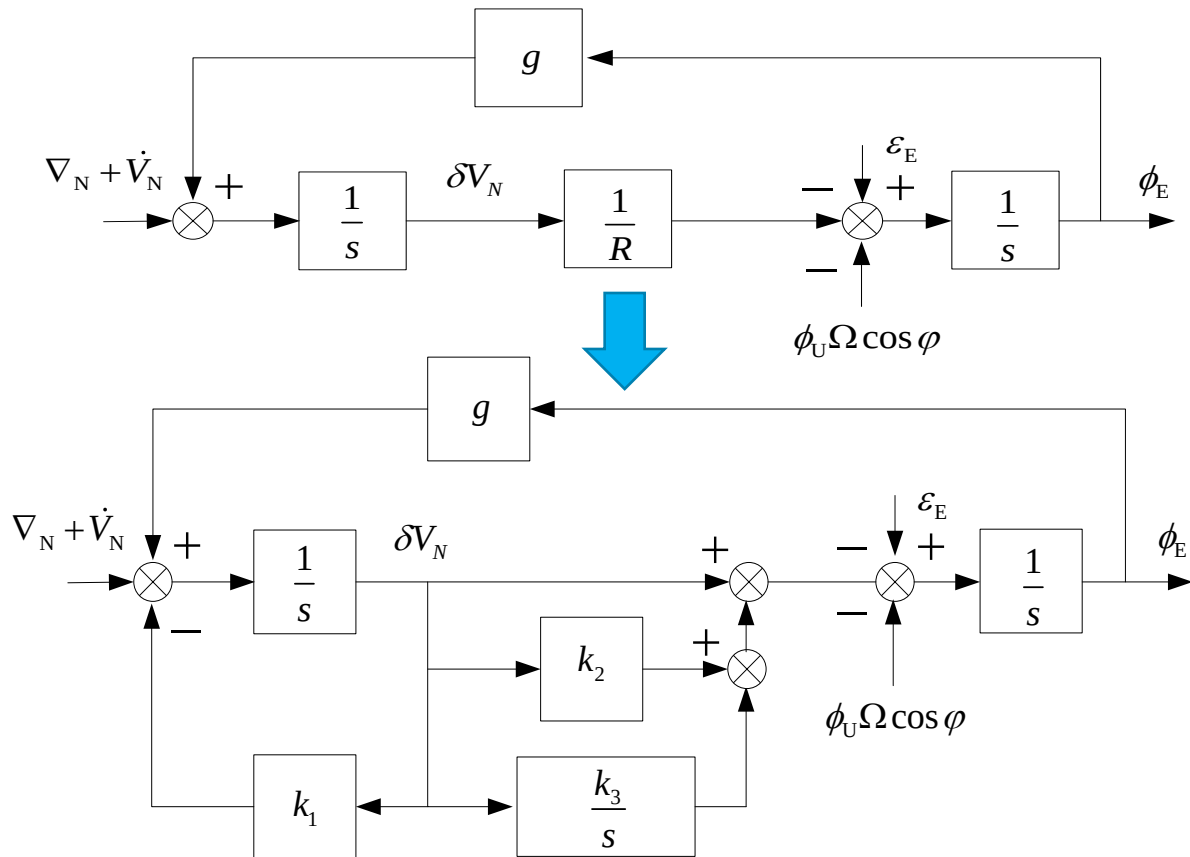


$$\Delta(s) = s^2 + \frac{g}{R} = s^2 + \omega_s^2$$

惯性导航初始对准

罗经回路精对准

北向单通道水平
回路信息流程图：



惯性导航初始对准

罗经回路精对准

北向水平回路与方位轴信息流程图：

