

平台式惯导陀螺漂移稳定性分析

苏小林 王 慧 徐 健
青岛航保厂 山东青岛 266071

摘要: 针对导航系统中平台式惯性导航陀螺性能下降引起的系统超差问题, 提出了一种判断陀螺仪漂移稳定性来解决系统超差的方法, 通过分析不同条件下漂移量值判断出平台式惯导性能, 高效帮助一线技术人员快速定位陀螺故障。
关键词: 平台式惯导; 陀螺漂移; 稳定性分析

Drift Stability Analysis of Platform Inertial Navigation Gyro

Xiaolin Su, Hui Wang, Jian Xu
Qingdao Aviation Safety Plant, Qingdao, Shandong 266071

Abstract: Aiming at the system out-of-tolerance problem caused by the performance degradation of the platform-type inertial navigation gyroscope in the navigation system, a method of judging the drift stability of the gyroscope to solve the system out-of-tolerance problem is proposed. The inertial navigation performance can efficiently help front-line technicians quickly locate gyro faults.

Keywords: Platform inertial navigation; Gyro drift; Stability analysis

平台式惯性导航系统因其具备自主性强、隐蔽性好等优点广泛列装于各类舰船, 其核心敏感元件为陀螺仪。陀螺仪性能对系统的精度有着决定性的影响。陀螺漂移值的大小是衡量陀螺仪性能优劣的重要指标, 也是进行陀螺漂移稳定性分析的重要依据。

1. 平台式惯性导航系统

平台式惯性导航系统由电源变换箱、电子机柜、惯性测量装置等部分组成。惯性平台是惯性测量装置的核心部件, 液浮陀螺仪与加速度计构成西北天坐标系。系统工作时, 台体坐标系始终跟踪当地地理坐标系, 为加速度计测量相关参数提供坐标基准。同时, 安装在框架轴上的三个感应同步器分别敏感船体绕纵摇、横摇及方位轴的角运动并输出姿态角信息。

1.1 陀螺仪

广义上, 可以将绕定轴转动的刚体均称作陀螺仪。本文所讨论的陀螺仪具有一个重要的特点, 即主轴的运动是自由的。单自由度陀螺仪指陀螺仪主轴只能在一个自由度上作旋回运动。为了具备一定的转动惯量, 转子稳定后的转速通常可达到30000r/min。

1.2 定轴性与进动性

陀螺仪的定轴性指当陀螺仪不受外力矩作用时, 其主轴在惯性空间的指向保持不变。进动性指当陀螺仪的输入轴有外力矩作用时, 主轴就会绕输出轴产生进动,

其方向是外力矩作用的方向。陀螺仪的进动是即时的、无惯性的, 即当外力矩消失时, 陀螺仪进动即刻停止。定轴性和进动性奠定了陀螺仪成为导航仪器的基础。

1.3 陀螺漂移

理论上, 当陀螺仪的输入轴为零时, 输出也应为零。实际上, 由于各种干扰力矩的存在导致陀螺仪在输入为零时输出并不为零, 这种现象称为陀螺漂移^[1]。陀螺漂移分为常值漂移、随机常值漂移和随机漂移三种类型, 前两种可由计算机通过初始测漂程序自动补偿, 后一种只能通过对大量数据的观察分析得出而难以精确计算。

2. 陀螺稳定性分析

陀螺稳定性指惯性导航系统在一次启动中陀螺漂移随机变化量的大小, 随机变化量越小, 陀螺稳定性越好, 稳定性决定了系统精度。下面通过求取东北天3个方向的陀螺漂移变化量来分析惯性导航系统的精度。

2.1 东向陀螺仪

(1) 航向误差判别法

东向陀螺仪漂移变化量 $\Delta \in_{\text{E}}$ 与初始航向误差和地球自转角速度余弦分量 $\Omega \cos LA$ 成正比。初始航向误差 ΔH 的获取方法: a. 静态时采用已知航向基准值; b. 码头(海上)采用另外一套系统稳定后的航向值; c. 采用外测航向基准。在 36°N 某海区, ΔH 取不同的值时, 得到不同的 $\Delta \in_{\text{E}}$: 实验1, 初始航向误差 $\Delta H 1$ 角分, 得东向

陀螺漂移变化量 $\Delta \in_E$ 0.003度/小时; 实验2, 初始航向误差 ΔH 2角分, 得东向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_E$ 0.007度/小时; 实验3, 初始航向误差 ΔH 3角分, 得东向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_E$ 0.010度/小时。经验证, 在自主导航状态开始时, 利用得到的初始航向误差变化量 ΔH 就能估算东向陀螺仪漂移变化量 $\Delta \in_E$ 。

(2) 初始测漂法

系统进行正常初校, 获取平台在西北天定向时的测漂值, 分析东向陀螺漂移的稳定性, 如漂移变化值超过 $0.003^\circ/h$, 则说明陀螺漂移稳定性小于 $0.003^\circ/h$ 。

(3) 速度——航向误差判别法

北向速度误差 ΔV_N 主要与航向误差余弦分量 $\Delta H \cdot \Omega \cos LA$ 和东向陀螺仪漂移余弦分量 $\Delta \in_E \cos \Omega t$ 成比例。 δH 为 ΔH 的变化量, δV_N 为 ΔV_N 的变化量, $\delta \in_E$ 为东向陀螺仪漂移的随机变化量; 由 $\Delta \in_E$ 引起的 ΔV_N 变化可以很快反映到系统中。在 $36^\circ N$ 某海区, δV_N 、 δH 分别取不同的值时, 得到不同的 $\Delta \in_E$: 实验1, 初始航向误差 δH 2角分, 北向速度误差变化量 δV_N 0.2节, 得东向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_E$ 0.010度/小时; 实验2, 初始航向误差 δH 3角分, 北向速度误差变化量 δV_N 0.3节, 得东向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_E$ 0.015度/小时; 实验3, 初始航向误差 δH 4角分, 北向速度误差变化量 δV_N 0.4节, 得东向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_E$ 为0.020度/小时。经验证, 在自主导航状态中, 利用两个不同时刻的航向误差变化量 δH 和北向速度误差变化量 δV_N 就能估算东向陀螺仪漂移变化量 $\Delta \in_E$ 。

2.2 北向陀螺仪

(1) 初始校准测漂法

系统工作在“20”状态, 如要尽快地对北向陀螺漂移做出较准确地估计, 可通过改变系统的工作状态进行快速校准, 求取北向陀螺仪的漂移变化量^[2]。

(2) 速度判别法

在“20”状态, 东向速度误差 ΔV_E 主要与北向陀螺仪漂移变化 $\Delta \in_N$ 和系统纬度误差正弦分量 $\Delta LA \cdot \Omega \sin LA$ 成比例。在 $36^\circ N$ 某海区, ΔV_E 、 ΔLA 分别取不同的值时, 得到不同的 $\Delta \in_N$: 实验1, 纬度误差 ΔLA 3角分, 东向速度误差 ΔV_E 0.2节, 得北向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_N$ 0.005度/小时; 实验2, 纬度误差 ΔLA 5角分, 东向速度误差 ΔV_E 2.3节, 得北向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_N$ 为-0.024度/小时; 实验3, 纬度误差 ΔLA 11角分, 东向速度误差 ΔV_E 5.1节, 得北向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_N$ -0.054度/小时。

(3) 速度变化量判别法

在“20”状态, 短期内观察到 ΔV_E 有较大变化且在20分钟后速度误差较稳定; 观察 ΔLA 变化量很小, 其影响远小于引起的速度变化量, 则可以用 ΔV_E 的变化量求

取漂移的变化量: 在 $36^\circ N$ 某海区, ΔV_{E_1} 、 ΔV_{E_2} 分别取不同的值时, 得到不同的 $\Delta \in_N$: 实验1, t_1 时刻东向速度误差 ΔV_{E_1} 0.3节, t_2 时刻东向速度误差 ΔV_{E_2} 0.2节, 得北向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_N$ 0.002度/小时; 实验2, t_1 时刻东向速度误差 ΔV_{E_1} 0.5节, t_2 时刻东向速度误差 ΔV_{E_2} 0.3节, 得北向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_N$ 0.003度/小时; 实验3, t_1 时刻东向速度误差 ΔV_{E_1} 1.7节, t_2 时刻东向速度误差 ΔV_{E_2} 1.3节, 得北向陀螺漂移变化量 $\Delta \in_N$ 0.007度/小时。

(4) 码头GPS校

在码头可通过采用码头GPS校程序自动地求取各次累加值。观察逐次GPS校北向陀螺仪的校准累加值, 其累加值反映了在一定时间内漂移的变化趋势。累加值越大, 说明陀螺漂移的变化也较大。

2.3 方位陀螺仪

(1) 航向误差变化判别法

方位陀螺仪变化 $\Delta \in_b$ 与航向误差变化 $\delta H \cdot \Omega$ 成正比, 与地球自转角速度正弦分量 $\sin \Omega \Delta t$ 成反比。

(2) 北向速度误差判别法

当初校或GPS校后短期内, 若北向速度误差均匀变化, 且 ΔV_E 可以不加考虑, 则截取北向速度误差均匀区间的误差值, 就可以估算出方位陀螺仪漂移的量值。北向速度误差变化 δV_N 主要与航向误差变化 δH 和地球自转角速度余弦分量 $\Omega \cos LA$ 的乘积成正比。可以得出, 方位陀螺仪漂移 $\Delta \in_b$ 与航向误差变化 δH 成正比。 δH 取不同的值时, 得到不同的 $\Delta \in_b$: 实验1, 初始航向误差变化量 δH 1.5角分, 得方位陀螺漂移变化量 $\Delta \in_b$ 0.025度/小时; 实验2, 初始航向误差变化量 δH 2.0角分, 得方位陀螺漂移变化量 $\Delta \in_b$ 0.033度/小时。

(3) 码头GPS校

若系统东向陀螺漂移比较稳定, 通过码头GPS校求取各次的 $\Delta \in_b$ 和漂移的累加值, 就能估算出方位陀螺仪的精度。一般来说, 随着启动时间的延长, 经多次GPS校后, $\Delta \in_b$ 能趋于一个小的范围。观察方位陀螺累加漂移, 如果累加值向一个方向积累, 说明还存在着斜漂。

3. 总结

实际维修中灵活运用各种判断方法可以有效帮助一线技术人员快速定位陀螺性能下降导致的系统超差故障。该方法对其他液浮陀螺仪惯性导航系统的故障排除具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 吴谋和. 惯性导航系统维修[M]. 天津: 中船重工第七〇七研究所, 1991.
- [2] 许江宁, 卞鸿巍, 刘强等. 陀螺原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.