

惯性导航应用理论

国防工业出版社

惯性导航应用理论

〔苏〕 Э.И. 斯里夫 著

吴国柱、赵荣先 译

汪顺亭、宋铁藩、杜书田 校

HK45/27

国防工业出版社

内 容 简 介

本书叙述了几何式、解析式和半解析式惯性导航系统，着重讨论了在船舶导航中广泛采用的系统的一些理论问题。

书中论述了构成惯性导航系统的基本原理，导出了运动方程和结构图，研究了不受载体加速运动干扰的水平基座的建立方法，讨论了固有振荡的阻尼问题，并分析了惯性导航系统的仪器误差。

本书可供从事惯性导航的科研设计人员参阅，也可供院校有关专业师生教学参阅。

Прикладная теория инерциальной навигации

Э. И. Слив

《Судостроение》

ленинград 1972

*

惯性导航应用理论

〔苏〕 Э. И. 斯里夫 著

吴国柱、赵荣先 译

汪顺亭、宋铁藩、杜书田 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4¹³/₁₆ 100 千字

1978年4月第一版 1978年4月第一次印刷 印数：0,001—4,300册

统一书号：15034·1629 定价：0.51元

译 者 的 话

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译出版了《惯性导航应用理论》一书，供有关同志参考。

本书着重从理论上介绍了几种常见的惯性导航系统：几何式、解析式和半解析式系统；叙述了几种系统的构成方法、运动方程，并进行了误差分析。基本原理叙述的比较简明易懂，在每种方案中都介绍了结构图和微分方程，用拉氏变换的方法加以讨论。因此，阅读本书不需很多的专业知识和高深的数学基础。

本书可供有关科研设计人员参阅，也可供院校有关专业师生教学及自学参阅。

由于水平所限，错误在所难免，请读者批评指正。

译者 1977.3

目 录

前言	7
引言	9
第一章 几何式惯性导航系统	20
§ 1 在与稳定平台相关联的方位的高度和地理座标间的关系	22
§ 2 地理座标的产生及中间不做经纬度测定的航线的建立	24
§ 3 建立垂线的基本原理	28
§ 4 载体任意运动时垂线的构成	30
§ 5 按近似计算建立垂线	32
§ 6 具有方位稳定垂线基准装置的几何式惯性导航系统	36
§ 7 稳定平台上装有加速度计的几何式惯性导航系统	41
§ 8 振荡的阻尼	46
第二章 解析式惯性导航系统	51
§ 9 确定载体沿球面移动的运动参数	52
§ 10 确定载体在空间任意运动的参数	56
§ 11 具有加速度积分器的解析式惯性导航系统	59
§ 12 关于解析式惯性导航系统中建立垂线的可能性	63
§ 13 采用加速度二重积分器的解析式惯性导航 系统及运动方程	67
§ 14 运动方程的分析	69
§ 15 解析式惯性导航系统运动的稳定性	75
§ 16 相对速度矢量的计算	79
§ 17 解析式惯性导航系统振荡的阻尼	86
第三章 半解析式惯性导航系统	91

§ 18	最简单的半解析式导航系统	91
§ 19	常平架地理定向的半解析式导航系统	93
§ 20	带有方位陀螺的半解析式导航系统	100
§ 21	加速度计信号馈给常平架轴的半解析式导航系统	105
第四章 惯性导航系统的仪器误差		113
§ 22	稳定平台漂移对几何式惯性导航系统 确定水平精度的影响	113
§ 23	稳定平台漂移对运动载体定位精度的影响	118
§ 24	在几何式惯性导航系统中积分不准确性对运动载体 定位精度和水平精度的影响	122
§ 25	解析式惯性导航系统由于稳定平台漂移而产生 的误差及误差方程	127
§ 26	误差方程的积分	133
§ 27	由加速度计误差引起的解析式惯性导航系统的误差	141
§ 28	由积分误差引起的解析式惯性导航系统的误差	142
§ 29	由于地心引力加速度补偿不准确所引起的解析式 惯性导航系统的误差	145
§ 30	研究仪器误差的主要结果	152
参考资料		154

惯性导航应用理论

〔苏〕 Э.И. 斯里夫 著

吴国柱、赵荣先 译

汪顺亭、宋铁藩、杜书田 校

HK45/27

国防工业出版社

内 容 简 介

本书叙述了几何式、解析式和半解析式惯性导航系统，着重讨论了在船舶导航中广泛采用的系统的一些理论问题。

书中论述了构成惯性导航系统的基本原理，导出了运动方程和结构图，研究了不受载体加速运动干扰的水平基座的建立方法，讨论了固有振荡的阻尼问题，并分析了惯性导航系统的仪器误差。

本书可供从事惯性导航的科研设计人员参阅，也可供院校有关专业师生教学参阅。

Прикладная теория инерциальной навигации

Э. И. Слив

《Судостроение》

ленинград 1972

*

惯性导航应用理论

〔苏〕 Э. И. 斯里夫 著

吴国柱、赵荣先 译

汪顺亭、宋铁藩、杜书田 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4¹³/₁₆ 100千字

1978年4月第一版 1978年4月第一次印刷 印数：0,001—4,300册

统一书号：15034·1629 定价：0.51元

译 者 的 话

遵照伟大领袖毛主席关于“**洋为中用**”的教导，我们翻译出版了《惯性导航应用理论》一书，供有关同志参考。

本书着重从理论上介绍了几种常见的惯性导航系统：几何式、解析式和半解析式系统；叙述了几种系统的构成方法、运动方程，并进行了误差分析。基本原理叙述的比较简明易懂，在每种方案中都介绍了结构图和微分方程，用拉氏变换的方法加以讨论。因此，阅读本书不需很多的专业知识和高深的数学基础。

本书可供有关科研设计人员参阅，也可供院校有关专业师生教学及自学参阅。

由于水平所限，错误在所难免，请读者批评指正。

译者 1977.3

目 录

前言	7
引言	9
第一章 几何式惯性导航系统	20
§ 1 在与稳定平台相关联的方位的高度和地理座标间的关系	22
§ 2 地理座标的产生及中间不做经纬度测定的航线的建立	24
§ 3 建立垂线的基本原理	28
§ 4 载体任意运动时垂线的构成	30
§ 5 按近似计算建立垂线	32
§ 6 具有方位稳定垂线基准装置的几何式惯性导航系统	36
§ 7 稳定平台上装有加速度计的几何式惯性导航系统	41
§ 8 振荡的阻尼	46
第二章 解析式惯性导航系统	51
§ 9 确定载体沿球面移动的运动参数	52
§ 10 确定载体在空间任意运动的参数	56
§ 11 具有加速度积分器的解析式惯性导航系统	59
§ 12 关于解析式惯性导航系统中建立垂线的可能性	63
§ 13 采用加速度二重积分器的解析式惯性导航 系统及运动方程	67
§ 14 运动方程的分析	69
§ 15 解析式惯性导航系统运动的稳定性	75
§ 16 相对速度矢量的计算	79
§ 17 解析式惯性导航系统振荡的阻尼	86
第三章 半解析式惯性导航系统	91

§ 18	最简单的半解析式导航系统	91
§ 19	常平架地理定向的半解析式导航系统	93
§ 20	带有方位陀螺的半解析式导航系统	100
§ 21	加速度计信号馈给常平架轴的半解析式导航系统	105
第四章 惯性导航系统的仪器误差		113
§ 22	稳定平台漂移对几何式惯性导航系统 确定水平精度的影响	113
§ 23	稳定平台漂移对运动载体定位精度的影响	118
§ 24	在几何式惯性导航系统中积分不准确性对运动载体 定位精度和水平精度的影响	122
§ 25	解析式惯性导航系统由于稳定平台漂移而产生 的误差及误差方程	127
§ 26	误差方程的积分	133
§ 27	由加速度计误差引起的解析式惯性导航系统的误差	141
§ 28	由积分误差引起的解析式惯性导航系统的误差	142
§ 29	由于地心引力加速度补偿不准确所引起的解析式 惯性导航系统的误差	145
§ 30	研究仪器误差的主要结果	152
参考资料		154

前 言

惯性导航系统具有许多显著特点，主要有自主性、防干扰性和隐蔽性。

除完成主要任务——确定船舶及其他运动载体的座标外，惯性导航系统还有下述主要作用：给出速度和加速度矢量，给出相对航速矢量，确定航向。

由此可以理解，从事船舶及其他运动载体的导航和运动控制系统的工作者对惯性导航系统是具有浓厚兴趣的。

本书着重研究文献中尚未完全阐述的惯性导航系统的理论问题。

本书由引言和四章组成。

在引言里选定了座标系并得出进一步阐述所需的运动学关系。

第一章叙述几何式惯性导航系统。该章是从这种系统的一般工作原理开始介绍的，并且说明几何式系统在船舶导航实践中应用的天文导航法。其次，叙述了取得几何座标和在不间断测定经纬度时建立航线的方法。

在这一章中，对建立无干扰水平基座法的研究占去了相当的篇幅。这里介绍了按照精确计算以及连续修正的近似计算建立水平基座的方法。

除几何式惯性导航系统的典型方案外，本章还研究两种同类系统的方案：方位稳定垂线基准装置的几何式系统和在

稳定平台上装有加速度计的几何式系统。

在本章末尾叙述了几何式系统固有振荡阻尼的方法。

第二章阐述解析式惯性导航系统。这里，说明在地球表面或以任意方式在空间运动载体的运动参数是怎样产生的。

除用加速度计的典型方案外，书中研究了采用加速度积分器的解析式惯性导航系统。本章指出，解析式惯性导航系统解决像速度和加速度矢量的产生，相对航速矢量的产生，测定航向，确定攻角及静止环境介质中的侧滑角那样一些重要问题。

这里，确立了在载体舱建立水平基座的可能性，确定解决这一问题的相应变换式，研究解析式惯性导航系统运动的稳定性和介绍这些系统的振荡阻尼方法。

第三章研究了半解析式导航系统。介绍三种系统：有常平架的地理定向系统，有方位陀螺的系统及带有加速度计信号加给常平架轴的系统。根据对所述运动方程的分析，取得系统无干扰条件，说明产生运动参数的方法及确定这些系统解决出现某些问题的可能性。

第四章阐明了对惯性导航系统仪器误差的分析。研究了稳定平台漂移和积分不准确度对测定水平及几何式惯性导航系统运动载体位置精度的影响。此外，本章研究了由于稳定平台漂移、加速度计和积分器误差，以及由于地心引力加速度补偿不准确对解析式惯性导航系统所产生的误差。

引 言

坐标系 我们研究地面座标 λ 、 φ 、 R 。该座标轴用 x 、 y 、 z 表示，并在座标 λ 、 φ 、 R 增大的一边沿相应座标线的切线指向如图 1 所示。

轴 x 和 y 处在地心水平面内，并分别地按《东》和《北》定向，而轴 z 沿地心垂线指向。

该轴系通常叫做达尔布 (Дарбу) 三面体⁽³⁾。

下面与地心垂线不同，我们假定把与地球引力加速度方向上和地球自转惯性离心力方向上的合成线相重合的线叫做真垂线或铅垂线。垂直于真垂线的平面叫做真水平面，该平面不同于地心水平面，我们把后一平面理解为在所在点上与地球相切的平面[●]。

我们用 u_1 、 u_2 、 u_3 来表示三面体 xyz 的瞬时角速度在轴 x 、 y 、 z 上的投影。

不难看出， $u_1 = -\dot{\varphi}$ ； $u_2 = (\omega + \dot{\lambda}) \cos \varphi$ ； $u_3 = (\omega + \dot{\lambda}) \sin \varphi$ ，其中， ω 是地球自转角速度； φ 是地心纬度； λ 是经度。

引入符号 $\dot{\theta} = \omega + \dot{\lambda}$ 。故

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= -\dot{\varphi} \\ u_2 &= \dot{\theta} \cos \varphi \\ u_3 &= \dot{\theta} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

假若 v_N 和 v_e 是载体相对地球运动的北向和东向速度分

● 未考虑地球重力场异常的影响。

量, 则 $\dot{\varphi} = v_N / R$; $\dot{\lambda} = v_e / R \cos \varphi$ 。

相应地

$$u_1 = -\frac{v_N}{R} = -\frac{V_N}{R}$$

$$u_2 = \frac{R \omega \cos \varphi + v_e}{R} = \frac{V_e}{R}$$

$$u_3 = \frac{R \omega \cos \varphi + v_e}{R} \operatorname{tg} \varphi = \frac{V_e}{R} \operatorname{tg} \varphi$$

式中, $V_e = R \omega \cos \varphi + v_e = V_e$ 和 $V_N = v_N = V_N$ 是载体运动绝对速度的东向和北向分量。

我们引入由球坐标系绕轴 z 转动一个角 k —载体运动航向所形成的坐标系 $x' y' z'$, 如图 1 所示。一般地说, 航向是由《北》向起顺时针读出的。新坐标系的轴 x' 和 y' 处在地心水平面内, 而轴 y' 沿航线 (把航线理解为地球表面上的轨迹)

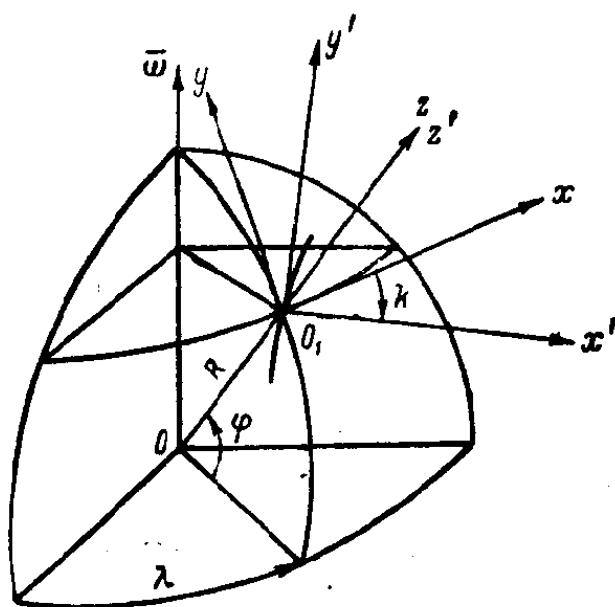


图 1 达尔布三面体

的切线指向。以这种方法构成的轴常常叫做《大圆航线轴》。

对于达尔布三面体的瞬时角速度在轴 x' 、 y' 、 z' 上的投影, 我们仍然采用符号 u_1 、 u_2 、 u_3 。如果由表达式 (1) 确定的角速度在轴 x' 、 y' 、 z' 上投影, 并且三面体绕轴 z' 旋转的角速度为 $\dot{k}$, 则得到

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= -\dot{\varphi} \cos k - \dot{\theta} \cos \varphi \sin k \\ u_2 &= -\dot{\varphi} \sin k + \dot{\theta} \cos \varphi \cos k \\ u_3 &= \dot{\theta} \sin \varphi - \dot{k} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

或者

$$u_1 = -\omega \cos \varphi \sin k - \frac{v}{R} = -\frac{V_{y'}}{R}$$

$$u_2 = \omega \cos \varphi \cos k = \frac{V_{x'}}{R}$$

$$u_3 = \omega \sin \varphi + \frac{v \sin k}{R} \operatorname{tg} \varphi - \dot{k}$$

式中, $V_{x'} = R \omega \cos \varphi \cos k$ 和 $V_{y'} = R \omega \cos \varphi \sin k + v$ 是载体运动绝对速度分别在轴 x' 和 y' 上的投影。

假若载体沿大圆弧 (大圆航线) 运动, 则有关系式

$$\frac{v \sin k}{R} \operatorname{tg} \varphi = \dot{k}$$

这很容易证明, 如果采用柯列罗 (Клеро) 定理, 使它适应于球体: 对球体大圆弧来说纬度余弦与航向正弦的乘积是常值[●], 即 $\cos \varphi \sin k = \text{const.}$

对这一表达式进行一次微分后, 得到

$$-\dot{\varphi} \sin \varphi \sin k + \dot{k} \cos \varphi \cos k = 0$$

注意到 $\dot{\varphi} = \frac{v \cos k}{R}$, 立即得到

$$\dot{k} = \frac{v \sin k}{R} \operatorname{tg} \varphi$$

相应地 $u_3 = \omega \sin \varphi$ 。

- 柯列罗定理对任何旋转体来说都是成立的, 叙述如下: 对旋转体表面上的大地短程线来说纬度余弦与航向正弦的乘积是常值; 对球体来说大圆弧是大地短程线。