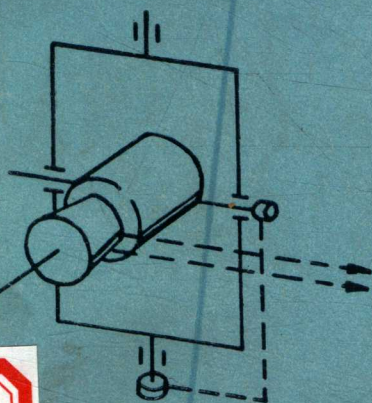


陀螺传动装置

〔苏〕 A. R. 聂乌锡平 著

刘承光 李鸿福 译



国防工业出版社

蜗 轮 传 动 装 置

〔苏〕 A.K. 聂乌锡平 著

刘承光 李鸿福 译

国防工业出版社

内 容 简 介

在本书中介绍了自动导引头陀螺传动装置的理论基础。推导出一系列陀螺传动装置的数学模型和方块图,并给出求它们的解析解的方法。即对于陀螺传动装置方法误差的线性近似给了很大注意,也考虑了非线性的影响。推导出陀螺传动装置不同方案的同步误差和系统误差公式。

本书可供从事自动导引系统和陀螺稳定系统研究、设计的工程技术人员参考。对于有关工业院校陀螺及导航专业的师生亦有裨益。

ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ

А. К. Неусыпин

«МАШИНОСТРОЕНИЕ» Москва 1978

*

陀 螺 传 动 装 置

[苏] А. К. 聂乌锡平 著

刘承光 李鸿福 译

*

国防工业出版社 出版

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

*

850×1168¹/₃₂ 印张7⁵/₈ 189千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷 印数: 0,001—1,700册

统一书号: 15034·2215 定价: 0.97元

译 序

在现代的导弹发展中，为了提高命中精度，广泛采用自动寻的制导。自动导引头是自寻系统的关键性元件，而导引头的陀螺传动装置是一个不可少的部件。陀螺传动装置利用万向支架使坐标方位仪（或称位标器）与导弹运动之间去耦，从而消除弹体振荡影响并稳定坐标方位仪测量轴在惯性空间的指向。它的性能好坏直接影响导引精度。书中对影响精度的多种误差作了分析。

本书第一章论述详尽，是阅读以后各章的基础。讨论了内万向支架式陀螺传动装置同步误差和系统误差以及方位效应的影响和消除的方法。在美制“响尾蛇”导弹 AJM-9 系列中得到广泛应用。第二章讨论了外万向支架陀螺传动装置的固有运动，同步误差和系统动态漂移。第三章叙述了双轴动力陀螺稳定平台的稳定性和几种不同的方案。电视型自动导引头中必须对光阻式射象管进行三轴空间稳定，如美制空地导弹：秃鹰 AGM-53A、幼畜 AGM-65 等型号中采用的。第四章中描述了这种陀螺稳定平台的工作原理、数学模型和进动运动。现在广泛采用的半主动制导的雷达导引头，多用两个速率陀螺作为敏感元件以形成指示型双轴陀螺稳定平台。这在美制麻雀型导弹中得到应用。第五章讨论了这种稳定平台。第一、二章由刘承光同志译出，第三、四、五章由李鸿福同志译出。

应当指出，本书在作了大量理论分析后，缺少具体实例。原书中，在公式推导，特别是印刷上错漏不少，我们在译校过程中作了更正，加了注释，由于我们水平有限难免还可能有错误和遗漏，欢迎读者批评指正。

前 言

把实现自动导引头瞄准线的角稳定和控制角运动的陀螺系统，称为自动导引头的陀螺传动装置。陀螺传动装置的各种方案，基本上是以目标坐标方位仪的不同质量，尺寸和自动导引头的技术特性（跟踪目标的最大角速度、允许的误差）为依据，来选定的。

自动导引的飞行器在做空间角运动时，陀螺传动装置在自动导引过程中，是以很大的目标方位角工作着。这使得自动导引头的输出信号中出现方法误差。

陀螺传动装置误差的理论分析是与研究高阶非齐次非线性方程组分不开的。用实验方法研究误差是要结合传动装置的具体典型产品来进行。由于经常有一系列的工具误差，有时使得我们很难对方法误差作出正确的评价。

已公布的多种陀螺系统方面的理论材料中，有关陀螺传动装置的动态误差和方法误差方面的材料非常少。因此，在本书中阐述自动导引头传动装置方法误差的理论和计算。

在自动导引系统的实践中，采用内万向支架和外万向支架式的单转子陀螺传动装置得到了广泛地应用。这里阐述它们的工作原理和结构。推导出了采用双轴和三轴动力陀螺稳定原理和指示型的陀螺传动装置方法误差的解析关系式。

这里不可能对自动导引头陀螺传动装置所有方案进行研究，但本书中叙述的同步的和系统误差计算方法及公式推导，可以使读者自己进行精度分析。陀螺传动装置型号误差的计算，本书不作赘述。

本书中所给出的陀螺传动装置的数学模型、误差公式和方块

图可以在特别需要高精度自动导引系统中的综合信号计算里，得到应用。特别在进行综合模拟计算时，简化的数学模型和由分析这些模型而得到的公式，可应用于不同级的自动导引系统的电子数学模拟计算中。

序 言

自动导引头的陀螺传动装置能保证自动导引头瞄准线在空间的稳定和控制。它直接参与飞行器控制信号的形成。在自动导引头的传动装置中广泛地采用了动力陀螺稳定原理的陀螺系统^[13、16、17、18、20、22]。它们能承受很大负载,具有很高的稳定性(在同名通道的飞行器的振荡幅度与瞄准线振荡的幅度之比),但还有不足之处。作为自动导引头的传动装置,最可行的是采用无静差陀螺仪,它早就在自动导引系统中得到应用^[7、8、19、20、21、26、27、28、29]。无静差陀螺是最简单的陀螺仪表之一,在文献^[1、4、5、21、24]等书中,对它做了很好的研究。尽管它的精度不高,但有很高的可靠性。在陀螺传动装置中,由于这种陀螺简单,所以明显地减少了质量、外廓尺寸和能量的消耗。

由于飞行器绕质量中心的振荡,使自动导引头陀螺传动装置承受来自万向支架的惯性干扰力矩以及陀螺和平台框架轴的干摩擦和速度摩擦所产生的干扰。这些,经常是导致陀螺传动装置误差的基本干扰。

在基座做振荡运动时,为保证陀螺系统运动的稳定和规定的精度,陀螺传动装置误差的计算和参数的选择是与分析描述陀螺传动装置运动的高阶非线性微分方程组联系着的。近代电子计算机发展的水平使我们能够对这些系统进行分析研究。但在很多情况下,最重要的是获得误差的解析关系式,而这种关系式只有用近似的方法才能得到,尽管它的精度要比用计算机计算的精度低。此外,在自动导引系统综合研究中,描述陀螺传动装置运动的全微分方程的数学模型,由于它的复杂性,一般是不采用的。

在求解描述陀螺传动装置运动的非线性微分方程组的近似计

算方法中，“普阿松-李亚普诺夫小参数法”^{〔12、14〕}不是最新的一种方法。但基座以小振幅振荡时，这种方法是特别有效的。此方法经修正后用于陀螺系统，如文献〔1、4、5、17、20、21〕等著作。在这种情况下所得到的派生方程组，是系统运动数学描述的一次近似。这个线性化方程组可作为研究系统运动的稳定和质量分析的手段^{〔2、12、25〕}。

当这种派生方程组应用到陀螺系统和陀螺传动装置中时，特别是在基座以小幅振荡的情况下，它能以足够的近似来描述周期的运动。在基座作周期振荡时，所产生的系统误差可以用“小参数法”，由二次近似方程来得到。在本书中，采用这种方法来研究自动导引头的陀螺传动装置不同方案的误差，同时也用此方法对它们的运动稳定性进行分析。

为了进行陀螺传动装置同步误差的分析和运动稳定性的研究，在数学模型中，选出一些派生方程。在同步误差分析中，广泛采用了拉普拉斯变换和留数理论^{〔3、10〕}。陀螺传动装置数学模型中采用的二次近似，只是为了推导出陀螺传动装置的系统误差公式。

在本书中，对叙述的材料做较为复杂处理的尝试。正因为如此，最简单的单转子内万向支架式的陀螺传动装置，不在极坐标系中，而是在迪卡尔坐标系中做了非常细致的研究。我们利用前边章节所推导出来的材料，对后面几章中的一些方案作了研究，在本书中推导出的简化线性数学模型体现在那些方块图中。它以非常直观的图形来说明自动导引头各元件之间的关系。

目 录

第一章 具有内万向支架和外定子的单转子式自动导引头的陀螺传动装置	1
§ 1.1 陀螺传动装置工作原理和结构	1
§ 1.2 陀螺传动装置运动方程的推导	3
§ 1.3 陀螺传动装置运动的稳定性	13
§ 1.4 自动导引头的单转子陀螺传动装置方法误差的基本理论	17
§ 1.5 在自动导引头中的方位效应	29
§ 1.6 减小自动导引头中方位效应影响的方法	42
§ 1.7 陀螺传动装置同步误差	45
§ 1.8 飞行器绕纵轴以常速转动时陀螺传动装置的特性	70
§ 1.9 陀螺传动装置的系统误差	81
§ 1.10 在强干扰条件下陀螺传动装置的特性	92
§ 1.10.1 陀螺传动装置对常值干扰的反应	101
§ 1.10.2 陀螺传动装置对按指数增长的干扰的反应	104
§ 1.10.3 陀螺传动装置对按指数衰减的振荡干扰的反应	107
§ 1.11 具有辅助随动框架的陀螺传动装置	111
第二章 采用万向支架式单转子自动导引头的陀螺传动装置	134
§ 2.1 陀螺传动装置的数学模型	135
§ 2.2 陀螺传动装置的固有运动	139
§ 2.3 陀螺传动装置传递函数	142
§ 2.4 陀螺传动装置周期动态漂移 (同步误差)	150
§ 2.5 陀螺传动装置系统动态误差	152
第三章 应用双轴动力陀螺稳定原理的自动导引头陀螺传动装置	161
§ 3.1 陀螺传动装置的数学模型	162
§ 3.2 陀螺传动装置运动的稳定性	165

§ 3.3	陀螺传动装置的扰动运动	166
§ 3.4	以二进动轴垂直安装的双转子陀螺稳定器为基础的 陀螺传动装置	171
§ 3.5	以二进动轴共轴安装的双转子陀螺稳定器为基础的 陀螺传动装置	181
§ 3.6	以具有配对陀螺其进动轴共轴安装的四转子陀螺稳 定器为基础的陀螺传动装置	185
§ 3.7	用电子模拟计算机模拟陀螺传动装置的特点	189
第四章	应用三轴动力陀螺稳定原理的自动 导引头陀螺传动装置	192
§ 4.1	陀螺传动装置的构造和工作原理	194
§ 4.2	陀螺传动装置的数学模型	196
§ 4.3	陀螺传动装置的进动运动	203
第五章	应用指示型稳定原理的自动导引头陀螺传动装置	208
§ 5.1	陀螺传动装置的构造及工作原理	208
§ 5.2	直接控制型的陀螺传动装置的数学模型	210
§ 5.3	直接控制型的陀螺传动装置运动的稳定性	213
§ 5.4	直接控制型的陀螺传动装置的受迫运动	217
§ 5.5	直接控制型的陀螺传动装置的进动运动	224
§ 5.6	陀螺控制型的陀螺传动装置的数学模型	226
§ 5.7	陀螺控制型的陀螺传动装置运动的稳定性	229
§ 5.8	陀螺控制型的陀螺传动装置的受迫运动	230

第一章 具有内万向支架和外定子的单转子式自动导引头的陀螺传动装置

自动导引头的陀螺传动装置是一次使用仪表。它应具有足够简单, 比较便宜, 同时还应具有规定的精度, 保证目标坐标方位仪的瞄准线的稳定性和跟踪目标。在轻型自动导引飞行器中, 用得最广泛的是具有内万向支架和外定子的单转子式陀螺传动装置, 其外定子固定在飞行器的壳体上。这样的陀螺传动装置, 就其精度它低于采用陀螺稳定平台方式的陀螺传动装置。但自动导引头单转子陀螺传动装置轻巧、紧凑, 与采用陀螺稳定平台方式的自动导引头的陀螺传动装置相比较, 它消耗的能量要少得多。装有这种传动装置的自动导引头所给出的信号, 同样与瞄准线的角速度成正比例, 但其中也有与自动导引头方位有关的分量。在平行接近的导引方法中, 它与理想信号是有区别的。本章将叙述内万向支架外定子的单转子式陀螺传动装置运动理论; 推导出形成控制信号的公式, 以及由飞行器绕其各主轴振荡和绕纵轴转动所产生的假控制信号的公式。

§ 1.1 陀螺传动装置工作原理和结构

具有内万向支架和外定子的单转子式陀螺传动装置是一种在转子上装有镜子或天线, 并具有修正装置的三自由度无静差陀螺仪。美国导弹“响尾蛇”自动导引头的陀螺传动装置示于图 1.1 中。陀螺传动装置的转子 1 是用永久磁铁作成, 并装有目标坐标方位仪的光学系统。此系统是由两个镜子和一个调制盘 2 所组成。具有离心稳定机构 3 的传动装置转子, 悬置在万向支架 4 中, 绕其轴可转动 $\pm 30^\circ$ 。陀螺传动装置转子同时是具有自动调整(电动

机的) 旋转磁场频率能力的脉冲型, 两对极磁电式电动机 转子。该磁场是由定子线圈产生。

在图 1.1 中, 示出在电动机定子上的线圈安装位置。安装在壳体 5 外表面上, 相互位移 90° 的四个线圈 W_α 产生旋转磁场。该磁

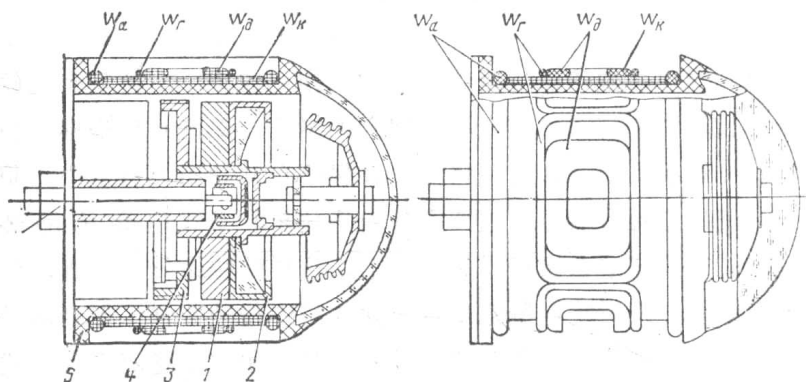


图1.1 “响尾蛇”自动导引头系统的陀螺传动装置

场与永久磁铁的磁场相互作用而产生旋转力矩。与电动机线圈相对应的四个线圈 W_r , 完成基准电压发生器的功能。感应到这些线圈里的电压在时间相位上相差 90° , 并在解调器中作为分解飞行器两条控制通道控制信号的解调电压之用。两 W_α 线圈起电锁定装置的作用。控制(修正)线圈 W_k 作成螺线管状, 由四个绕组组成。利用这些线圈产生使陀螺进动的力矩, 其中的电压可作为控制信号。

为了在电动机中获得整流过的电流, 采用了专门电子线路, 它保证了转子转速的稳定。能给出瞄准线与目标视线之间的失调角的自动导引头目标坐标方位仪是一套与陀螺传动装置转子相固连, 能接收目标辐射出红外线的光学系统。调制盘安装在光学系统的焦点上, 并与光学系统和陀螺传动装置的转子一起旋转。由调制盘调制后的热流落到与内万向支架外环相固连的光敏电阻上。光敏电阻将热流变换为电脉冲。把这个电脉冲输入陀螺传动

装置的控制线圈中，形成修正力矩和自动导引头的输出控制信号。修正力矩引起与转子固连的目标坐标方位仪做相应的进动，因此，实现了瞄准线跟踪目标视线。自动导引头输出的控制信号送给飞行器的自动驾驶仪，使得飞行器指向瞬时命中点。

具有内万向支架的自动导引头单转子陀螺传动装置^①，只能工作在有限的目标方位角内。这不仅与内万向支架的具体结构特点有关，而且与方位效应有关。该效应是在转子的自转轴与陀螺马达定子相固连的飞行器纵轴之间存在失调角的情况下产生的。

§ 1.2 陀螺传动装置运动方程的推导

在不考虑内万向支架元件的转动惯量和其中各轴的摩擦力矩，可以推导出内万向支架式陀螺传动装置的足够近似的运动方程。

设 $x_0 y_0 z_0$ 坐标系与飞行器相固连。飞行器的绝对角速度在

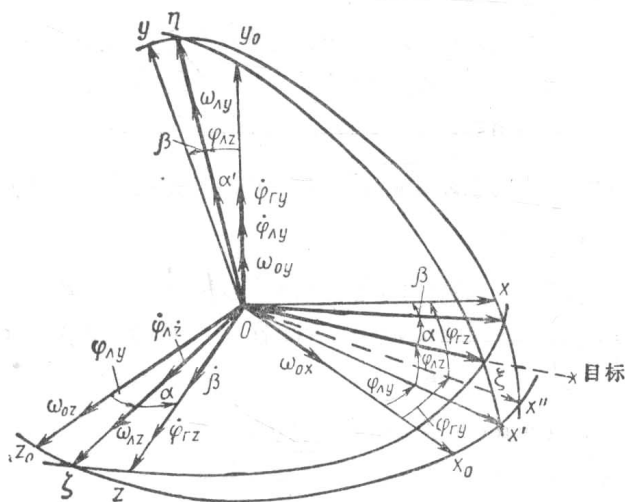


图1.2 坐标系^{①②}

① 原文 α' 应为 α 。——译者

② 原图中漏掉 ω_E ，它是 $O\eta$ 与 $O\xi$ 轴在平面 $\eta\xi$ 内的转动角速度。——译者

$x_0y_0z_0$ 的主轴上的投影表示为: ω_{0x} , ω_{0y} , ω_{0z} 。陀螺传动装置转子的赖沙尔轴 xyz 相对 $x_0y_0z_0$ 的位置由表征自动导引头瞄准线方位的 φ_{ry} 和 φ_{rz} 角来确定 (图 1.2)。目标 ($\xi\eta\zeta$) 的方位角用 φ_{ny} 和 φ_{nz} 来表征。装在陀螺传动装置转子上的目标坐标方位仪测量飞行器-目标视线与瞄准线之间的失调角, 并给出在两个相互垂直平面内失调角 α 和 β 的信号。飞行器-目标视线的绝对角速度, 在空间相互垂直轴上的投影, 用 ω_{ny} 和 ω_{nz} 来表示。我们找出在与飞行器相固连的轴中与目标相固连的 $\xi\eta\zeta$ 轴系中的瞄准线绝对角速度在赖沙尔轴上的投影。此赖沙尔轴相对飞行器的位置, 我们用 φ_{ry} 和 φ_{rz} 来表示。

在与飞行器相固连的轴系中的瞄准线绝对角速度在赖沙尔轴上的投影为:

$$\omega_p = \begin{vmatrix} \omega_{px} \\ \omega_{py} \\ \omega_{pz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\varphi_{ry}\cos\varphi_{rz} & \sin\varphi_{rz} & -\sin\varphi_{ry}\cos\varphi_{rz} \\ -\cos\varphi_{ry}\sin\varphi_{rz} & \cos\varphi_{rz} & \sin\varphi_{ry}\sin\varphi_{rz} \\ \sin\varphi_{ry} & 0 & \cos\varphi_{ry} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \omega_{0x} \\ \omega_{0y} \\ \omega_{0z} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \cos\varphi_{ry}\cos\varphi_{rz} & \sin\varphi_{rz} & 0 \\ -\cos\varphi_{ry}\sin\varphi_{rz} & \cos\varphi_{rz} & 0 \\ \sin\varphi_{rz} & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\varphi}_{rz} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{\varphi}_{ry} \\ \dot{\varphi}_{rz} \end{vmatrix} \quad (1.1)$$

在与目标相固连的 $\xi\eta\zeta$ 轴系中的瞄准线绝对角速度 ω_p 在赖沙尔轴上的投影为:

$$\omega_p = \begin{vmatrix} \omega_{px} \\ \omega_{py} \\ \omega_{pz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\alpha\cos\beta & \sin\beta & -\sin\alpha\cos\beta \\ -\cos\alpha\sin\beta & \cos\beta & \sin\alpha\sin\beta \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \omega_{\xi} \\ \omega_{\eta} \\ \omega_{\zeta} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \cos\alpha\cos\beta & \sin\beta & 0 \\ -\cos\alpha\sin\beta & \cos\beta & 0 \\ \sin\alpha & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{vmatrix} \quad (1.2)$$

在自动导引头中的 α 和 β 角不超过几度, 因此可以认为: 它们的正弦等于其角本身; 余弦等于 1; 而它们的正弦的积等于零,

这样则有:

$$\omega_p = \begin{vmatrix} \omega_{px} \\ \omega_{py} \\ \omega_{pz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & \beta & -\alpha \\ -\beta & 1 & 0 \\ \alpha & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \omega_\xi \\ \omega_{\eta y} \\ \omega_{\eta z} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1 & \beta & 0 \\ -\beta & 1 & 0 \\ \alpha & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{vmatrix} \quad (1.2')$$

由 (1.1)~(1.2') 表达式右边部分可得:

$$\begin{aligned} & \omega_{0x} \cos \varphi_{ry} \cos \varphi_{rz} + \omega_{0y} \sin \varphi_{rz} - \omega_{0z} \sin \varphi_{ry} \cos \varphi_{rz} + \dot{\varphi}_{ry} \sin \varphi_{rz} \\ &= \omega_\xi + \omega_{\eta y} \beta - \omega_{\eta z} \alpha + \dot{\alpha} \beta \\ & - \omega_{0x} \cos \varphi_{ry} \sin \varphi_{rz} + \omega_{0y} \cos \varphi_{rz} + \omega_{0z} \sin \varphi_{ry} \sin \varphi_{rz} + \dot{\varphi}_{ry} \cos \varphi_{rz} \\ &= \omega_{\eta y} + \dot{\alpha} + \omega_\xi \beta \\ & \omega_{0x} \sin \varphi_{ry} + \omega_{0z} \cos \varphi_{\eta y} + \dot{\varphi}_{rz} = \omega_{\eta z} + \dot{\beta} + \omega_\xi \alpha \end{aligned}$$

我们求出 $\dot{\varphi}_{ry}$, $\dot{\varphi}_{rz}$, ω_ξ :

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_{ry} &= + \frac{\omega_{\eta y}}{\cos \varphi_{rz}} + \frac{\dot{\alpha}}{\cos \varphi_{rz}} + \omega_{0x} \cos \varphi_{ry} \operatorname{tg} \varphi_{rz} - \omega_{0y} \\ & - \omega_{0z} \sin \varphi_{ry} \operatorname{tg} \varphi_{rz} - \frac{\omega_\xi \beta}{\cos \varphi_{rz}} \\ \dot{\varphi}_{rz} &= \omega_{\eta z} + \dot{\beta} - \omega_{0x} \sin \varphi_{ry} - \omega_{0z} \cos \varphi_{ry} + \omega_\xi \alpha \quad (1.3) \\ \omega_\xi &= \omega_{0x} \cos \varphi_{ry} \cos \varphi_{rz} - \omega_{0z} \sin \varphi_{ry} \cos \varphi_{rz} + \omega_{\eta y} \operatorname{tg} \varphi_{rz} \\ & + \dot{\alpha} \operatorname{tg} \varphi_{rz} + \omega_{0x} \cos \varphi_{ry} \operatorname{tg} \varphi_{rz} \sin \varphi_{rz} - \omega_{0z} \sin \varphi_{ry} \operatorname{tg} \varphi_{rz} \\ & \times \sin \varphi_{rz} - \omega_\xi \beta \operatorname{tg} \varphi_{rz} - \omega_{\eta y} \beta + \omega_{\eta z} \alpha - \dot{\alpha} \beta \end{aligned}$$

以足够的近似可以取:

$$\begin{aligned} \omega_\xi &= \omega_{0x} \frac{\cos \varphi_{ry}}{\cos \varphi_{rz}} - \omega_{0z} \frac{\sin \varphi_{ry}}{\cos \varphi_{rz}} \\ & + \omega_{\eta y} \operatorname{tg} \varphi_{rz} + \dot{\alpha} \operatorname{tg} \varphi_{rz} \quad (1.4) \end{aligned}$$

那时, 将 ω_ξ 值代入 (1.3) 的第一和第二表达式中, 我们

● 原文 $\varphi_{\eta y}$, 应该为 γ_{ry} 。——译者

● 原文 φ_{ry} , 应该为 $\omega_{\eta y}$ 。——译者

得到:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_{ry} &= \frac{\omega_{ny}}{\cos\varphi_{rz}} + \frac{\dot{\alpha}}{\cos\varphi_{rz}} + \omega_{0x}\cos\varphi_{ry}\operatorname{tg}\varphi_{rz} - \omega_{0y} \\ &\quad - \omega_{0z}\sin\varphi_{ry}\operatorname{tg}\varphi_{rz} - \left(\omega_{0x}\frac{\cos\varphi_{ry}}{\cos\varphi_{rz}} - \omega_{0z}\frac{\sin\varphi_{ry}}{\cos\varphi_{rz}} \right. \\ &\quad \left. + \omega_{ny}\operatorname{tg}\varphi_{rz} + \dot{\alpha}\operatorname{tg}\varphi_{rz} \right) \frac{\beta}{\cos\varphi_{rz}} \\ \dot{\varphi}_{rz} &= \omega_{nz} + \dot{\beta} - \omega_{0x}\sin\varphi_{ry} - \omega_{0z}\cos\varphi_{ry} \\ &\quad + \left(\omega_{0x}\frac{\cos\varphi_{ry}}{\cos\varphi_{rz}} - \omega_{0z}\frac{\sin\varphi_{ry}}{\cos\varphi_{rz}} + \omega_{ny}\operatorname{tg}\varphi_{rz} + \dot{\alpha}\operatorname{tg}\varphi_{rz} \right) \alpha \quad (1.5)\end{aligned}$$

将 (1.5) 式代入 (1.1) 式中, 我们得到:

$$\omega_{px} \approx \omega_{ny}\operatorname{tg}\varphi_{rz} + \dot{\alpha}\operatorname{tg}\varphi_{rz} + \omega_{0x}\frac{\cos\varphi_{ry}}{\cos\varphi_{rz}} - \omega_{0z}\frac{\sin\varphi_{ry}}{\cos\varphi_{rz}}$$

即

$$\omega_{px} = \omega_{\xi} \quad (1.6)$$

$$\omega_{py} = \omega_{ny} + \dot{\alpha} - \omega_{\xi}\beta \quad (1.7)$$

$$\omega_{pz} = \omega_{nz} + \dot{\beta} + \omega_{\xi}\alpha \quad (1.8)$$

用 Ω 来标定转子相对飞行器的自转角速度, 我们求出转子绝对角速度在赖沙尔轴上的投影为:

$$\begin{aligned}\bar{\omega}_{px} &= \omega_{px} + \Omega \\ \bar{\omega}_{py} &= \omega_{py} \\ \bar{\omega}_{pz} &= \omega_{pz}\end{aligned} \quad (1.9)$$

陀螺传动装置的动力学用刚体绕固定点的广义欧拉动力学方程来描述:

$$\left. \begin{aligned}J_x \frac{d\bar{\omega}_{px}}{dt} - J_y \bar{\omega}_{py} \omega_{pz} + J_z \bar{\omega}_{pz} \omega_{py} &= M_x \\ J_y \frac{d\bar{\omega}_{py}}{dt} - J_x \bar{\omega}_{pz} \omega_{px} + J_z \bar{\omega}_{pz} \omega_{pz} &= M_y \\ J_z \frac{d\bar{\omega}_{pz}}{dt} - J_x \bar{\omega}_{pz} \omega_{py} + J_y \bar{\omega}_{py} \omega_{pz} &= M_z\end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

式中 M_t ——相对赖沙尔轴的外力矩；

J_x, J_y, J_z ——陀螺传动装置转子相对赖沙尔轴的转动惯量。

我们取

$$J_y = J_z = J_r \quad (1.11)$$

将 (1.11) 式代入 (1.10) 式后，则得：

$$\left. \begin{aligned} J_x \frac{d\bar{\omega}_{px}}{dt} &= M_x \\ J_r \frac{d\bar{\omega}_{py}}{dt} - J_r \omega_{pz} \omega_{px} + J_x \bar{\omega}_{px} \omega_{pz} &= M_y \\ J_r \frac{d\bar{\omega}_{pz}}{dt} - J_x \bar{\omega}_{px} \omega_{py} - J_r \omega_{py} \omega_{px} &= M_z \end{aligned} \right\} \quad (1.10')$$

从陀螺马达定子方面通过电磁耦合作用到陀螺传动装置转子上有以下力矩：驱动转子转动的力矩；修正力矩；速度（粘性）摩擦力矩；在陀螺传动装置中，引起方位效应的力矩和转子不平衡力矩。我们求出上述力矩的函数关系。驱动转子转动的力矩（旋转力矩）的产生是由于电动机定子线圈的磁场与转子磁铁相互作用的结果。它指的方向是飞行器的纵轴，即陀螺马达定子对称轴。在自动导引头方位角 φ_r 不等于零时，旋转力矩分成两个分量：其一，指向沿转子自转轴方向；其二，指向相应的赤道轴方向。为了保证转子自转角速度为常值，第一分量不应受自动导引头的方位角 φ_r 的影响。为此，在驱动转子旋转的系统中应预先考虑到上述力矩相应的调整的情况。因此，指向定子对称轴的陀螺马达旋转力矩应该与自动导引头方位角的正割成比例（图1.3）：

$$M_{x_0}^{zp} = \frac{M_x^*}{\cos \varphi_r} \quad (1.12)$$

那么， $M_{x_0}^{zp}$ 在 x 轴和飞行器赤道轴上的投影为：

$$\begin{aligned} M_x^{zp} &= M_x^* \\ M_\varphi &= M_x^* \operatorname{tg} \varphi_r \end{aligned} \quad (1.12')$$

在修正线圈中流过了与瞄准线和飞行器-目标（目标线）视线之间