



工业和信息化部“十二五”规划教材

惯性导航原理实验教程

Experimental Course of Inertial Navigation Theory

● 周乃新 杨亚非 编著



工业和信息化部“十二五”规划教材

惯性导航原理实验教程

Experimental Course of Inertial Navigation Theory

● 周乃新 杨亚非 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

根据“惯性导航原理”教学大纲,全书共分8章,包括绪论、陀螺仪基础实验、陀螺仪综合类测试实验、陀螺仪创新实验、陀螺稳定平台综合性实验、惯性导航系统综合性实验、控制力矩陀螺综合性实验和加速度计综合性实验。本书的特点在于以培养学生自主设计能力、综合实验能力、创新意识和创新能力为主导教学思想,一方面开设与“惯性导航原理”应该掌握的重点、难点问题相对应的实验项目,另一方面设计了一些创新性、综合性实验项目,这些实验项目涉及惯性系统设计与实现、应用基本理论解决实际问题等方面的知识,使学生在做实验的过程中,加强和锻炼分析问题、解决问题的能力及自主设计能力和创新能力。

本书可作为工科院校探测、制导与控制专业、自动化专业、航空航天等相关专业的本科高年级实验教材,也可作为研究生及相关科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

惯性导航原理实验教程/周乃新,杨亚非编著.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.11

ISBN 978-7-5603-5024-0

I. ①惯… II. ①周… ②杨… III. ①惯性导航—
高等学校—教材 IV. ①TN96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 270392 号

策划编辑 杜 燕

责任编辑 范业婷 高婉秋

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 10.75 字数 243 千字

版 次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5024-0

定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

惯性导航涉及电子、计算机、自动控制、光学、精密仪器、机电等多个技术学科,在航海、航空及航天领域有不可替代的作用。“惯性导航原理”作为探测、制导与控制专业及自动化专业必修的一门专业课,具有很强的实用性。它的实践教学环节不仅仅要实现对理论知识的验证,更重要的是通过实验来领会惯性导航原理的应用规律,使学生通过实验,分析实验数据,来掌握各种典型惯性元器件的结构特点、工作原理和基本特性,了解惯性系统在实际中的应用,加深对“惯性导航原理”这门课的理解,为将来从事相关领域的研究工作奠定坚实的基础。

为了实现因材施教,分层次教学,让学生在本科阶段接触学科前沿,学习研究惯性导航新技术、新方法和新知识,本书结合了现代科技发展前沿技术,将最新科研成果引入实验教学,开发设计了一系列具有航空、航天特色的基础类、综合类和创新类三个层次的实验项目。

根据“惯性导航原理”教学大纲,全书共分8章,内容上由浅入深,循序渐进,既易于学生接受,又达到增强学生实践能力的目的。主要包括绪论、陀螺仪基础实验、陀螺仪综合类测试实验、陀螺仪创新实验、陀螺仪稳定平台综合性实验、惯性导航系统综合性实验、控制力矩陀螺仪综合性实验和加速度计综合性实验。这些实验项目涉及基础理论验证、惯性系统特性测试、惯性系统设计与实现、应用基本理论解决实际问题等方面的知识,使学生在做实验的过程中,加强和锻炼动手能力、分析解决问题的能力、工程实践能力、自主设计能力和创新能力。书中各部分内容保持了相对的独立性,以便不同的学校根据实验设备与实验课时选用。

本书由哈尔滨工业大学周乃新老师和杨亚非老师共同编写,其中第1~6章由周乃新老师编写;第7~8章由杨亚非老师编写。

本书在编写过程中,参考了北京泰豪联星技术有限公司产品使用手册,在此向此文献的作者表示诚挚的感谢。哈尔滨工业大学邓正隆教授和哈尔滨工程大学史震教授对书稿进行了仔细的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。同时感谢哈尔滨工业大学教务处、哈尔滨工业大学控制科学与工程系的领导和同仁们的支持和鼓励。

本书可作为工科院校探测、制导与控制专业、自动化专业、航空航天等相关专业的本科高年级实验教材,也可作为研究生及相关科研人员的参考书。

由于作者水平所限,不足和疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2015年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 惯性导航原理实验分类	1
1.2 实验流程与要求	1
1.3 实验测试数据处理方法	3
第 2 章 陀螺仪基础实验	5
实验 1 几种典型陀螺仪结构展示实验	5
实验 2 二自由度陀螺仪基本特性验证实验	12
实验 3 二自由度陀螺运动规律研究实验	22
实验 4 光纤陀螺数据采集过程演示实验	25
实验 5 光纤陀螺仪常值漂移测试实验	29
第 3 章 陀螺仪综合类测试实验	31
实验 1 单自由度液浮陀螺静态漂移测试实验	31
实验 2 单轴干涉型光纤陀螺仪性能测试综合实验	36
实验 3 激光陀螺工作原理及闭锁效应研究实验	48
第 4 章 陀螺仪创新实验	54
实验 1 MEMS 陀螺仪数字采集系统设计	54
实验 2 光纤陀螺捷联航姿系统设计	56
第 5 章 陀螺稳定平台综合性实验	62
实验 1 双轴陀螺稳定平台控制系统设计创新实验	62
实验 2 双轴陀螺稳定平台结构展示实验	65
实验 3 平台式惯性导航系统初始对准实验	68
第 6 章 惯性导航系统综合性实验	77
实验 1 GPS 接收机 OEM 板开发设计实验	77
实验 2 捷联航姿系统工作过程演示实验	79
实验 3 组合导航系统定位、定向、测姿实验	84
实验 4 实时卫星位置解算实验	91
实验 5 实时传输误差计算与特性分析实验	95
实验 6 几何精度因子 DOP 实验	97
实验 7 接收机位置解算实验	100
第 7 章 控制力矩陀螺综合性实验	105
7.1 Model750 控制力矩陀螺系统简介	105
7.2 控制力矩陀螺动力学模型建立	108
7.3 系统安全须知和自导引示范	115
实验 1 控制力矩陀螺系统惯量测量实验	124

实验 2 控制力矩陀螺章动和进动实验	130
实验 3 陀螺力矩三种控制律的设计与比较实验	134
第 8 章 加速度计综合性实验	143
实验 1 几种典型加速度计结构展示实验	143
实验 2 加速度计的重力场翻滚测试实验	146
实验 3 加速度计离心实验	156
参考文献	163

第1章 绪 论

1.1 惯性导航原理实验分类

为了实现因材施教,分层次教学,本书将最新的科研成果引入实验教学,开发设计了一系列与现代科技发展前沿技术紧密结合、具有航空航天特色的基础类、综合类和创新类三个层次的实验项目,使实验内容体现和运用现代的实验方法,确保实验教学内容的系统性与先进性,进而提高学生综合实验能力,设计能力和创新能力。

基础类实验以演示性、验证性实验为主,如“几种典型陀螺仪结构展示实验”“双自由度陀螺仪基本特性验证实验”“光纤陀螺数据采集过程演示实验”等。通过实验使学生建立起惯性空间的概念,加深对惯性器件的感性认识,了解其结构特性及实际应用。

综合类实验难度加深,需要的知识量增多,如“单自由度液浮陀螺静态漂移测试实验”“陀螺稳定平台综合性实验”“惯性导航系统综合性实验”等。综合类实验揭示惯性测量的本质,加深学生对所学惯性测量基本概念的理解和掌握;培养学生理论与实际相结合的能力、动手能力和分析问题、解决问题的能力。

创新类实验体现了对学生创新研究能力的培养,通过创新型实验研究,使学生亲身经历“发现问题—查阅文献—出理论方案—实验验证—解决问题”的科研历程,提高自主创新能力。这类实验一般由经验丰富的教师给出实验材料,提供实验设备,提出实验总目标,学生自行研究,编写实验方案,独立完成实验操作,分析处理实验数据,最后总结实验结论。

1.2 实验流程与要求

一个完整的实验过程包括实验预习、实验操作及实验报告。

1. 实验预习

实验预习是指在实验操作之前对本次实验涉及的理论知识、仪器操作要熟悉。对于进行开放性实验的同学来说,此环节尤为重要。在本实验教学中心的网站中,针对各种实验内容均有全面的预习要求、理论阐述及仪器使用介绍的视频文件。应充分利用网络资源,做好预习工作。

(1)学生在进行实验前应复习《惯性导航原理》教材中的有关内容,认真阅读实验指导书及与实验有关的参考资料,明确实验要求,做好充分准备。

(2)预习后,应对实验的内容和方法等进行充分讨论,认真填写预习报告。预习报告应在实验前完成,经教师审查同意后方可进行实验,未完成预习报告或预习报告不符合要求的学生不能参加实验。

(3)实验预习报告应包括:实验目的、实验内容、实验接线图、实验步骤(应写明每项实验

内容的具体操作步骤,保持条件,读取哪些数据等)和注意事项等。

此外,预习报告中应设计好记录表格,以备实验时记录数据使用(记录表格的格式可参考实验指导书中的说明)。预习报告应独立完成。

2. 实验操作

正确合理的实验操作方法是实验顺利进行的有效保证。实验操作时,应注意如下事项:

(1) 检查实验仪器。

实验前,首先按照实验指导书清点实验台上提供的实验仪器,并按照预习时网络视频或实验指导书的讲解内容检查仪器是否完好,如有问题及时向指导教师提出。

(2) 连接线路。

按照实验报告提供的实验电路或自己绘制的设计电路接线时,应遵循如下要求:

①接线前,调节电源至实验要求值后关闭。接线过程中,保持电源为关闭状态。

②为避免接触不良,应尽量避免在一个节点连接三根以上导线。

(3) 排查故障。

当电路出现故障时,可按照以下方法排查:

①断电检查法。关闭电源开关,用万用表的欧姆挡对电路中的节点进行逐一测试,根据被检查点的电阻值是否异常找出故障点。

②通电检查法。不需关闭电源,用万用表的电压挡对电路中的节点进行逐一测试,根据被检查点的电压值是否异常找出故障点。

(4) 测试数据。

①首先进行预测,此过程不必仔细读取数据,而只是概略地观察被测量的变化趋势及测量仪表的读数变化范围。

②根据预测结果选定仪表的适当量程,对实验电路进行正式测量。为保证绘制曲线的精确度,注意在曲线的拐点处多取几组数据。

③测试完毕后先自查,看是否与理论预测结果相近。经指导教师复核无误后,方可拆除接线。

(5) 整理实验台。

完成所有实验内容后,将仪器、导线等所用实验器具按原样摆放,确保所有仪器的电源为关闭状态。经指导教师允许后,方可离开实验室。

3. 实验报告要求

除实验操作外,实验报告的撰写也是指导教师考核学生实验效果的重要部分。规范的实验报告要求学生用通顺的文字及清晰的图表总结实验目的、过程、结果等信息,并对实验结果进行正确、简要的分析。

(1)实验报告应按实验指导书的要求根据原始记录完成,并于规定时间内交到指导教师处。

(2)实验报告由个人独立完成,每人一份。报告要有经辅导教师签字后的原始记录。无原始记录的报告无效。报告应字迹整齐,数据、曲线等符合要求。

(3)实验报告应包括:封面(包括实验名称、班号、组别、姓名及学号、同组同学姓名、实验日期、报告完成日期);实验目的;实验内容及原理线路图;数据处理;回答实验讨论题及实验

总结(对实验结果和实验中的现象进行简练明确的分析并得出结论或评价,分析应着重于物理概念的探讨,也可以利用数学公式、向量图、曲线等帮助说明问题)六部分内容。

(4)对数据处理的具体要求。

①将原始记录中要用到的数据整理后列表,并写明其实验条件;需要计算的加以计算后再填入表中,同时说明所用的计算公式并以其中一组数据代入来说明计算过程。

②计算参数或性能时,要先列出公式,然后代入数字,直接写出计算结果(中间计算过程可略去)。计算的有效位数以仪表的有效位数为准。若计算曲线上的点,则也应按此要求以一点为例代入数字,其他各点可将结果直接填入表中。

综上所述,只有认真对待以上每个实验环节,才能保证获得高质量的实验效果。

1.3 实验测试数据处理方法

导航控制系统的分析、综合与设计,通常采用两种方法:一种方法是解析方法,即运用理论知识(例如物理学、化学知识等)对控制系统进行理论方面的分析、计算,但这种方法往往有很大的局限性;另一种方法就是实验方法,即利用各种仪器仪表与装置,对控制系统施加一定类型的信号来测取系统的响应,确定系统的动态性能。大多数情况下是两者兼用,即在分析时要依靠实验,在实验中要用到分析。

1. 列表法

列表法是记录和处理实验数据的基本方法,也是其他实验数据处理方法的基础。一般将实验数据列成适当的表格,就可以清楚地反映出有关物理量之间的对应关系,这样既有助于及时发现和检查实验中存在的问题,判断测量结果的合理性,又有助于分析实验结果,找出有关物理量之间存在的规律性。一个好的数据表可以提高数据处理的效率,减少或避免错误,所以一定要养成列表记录和处理数据的习惯。

2. 作图法

利用实验数据,将实验中物理量之间的函数关系用几何图线表示出来,这种方法称为作图法。作图法是一种被广泛用于处理实验数据的方法,它不仅能简明、直观、形象地显示物理量之间的关系,而且有助于研究物理量之间的变化规律,找出定量的函数关系或得到所求的参量。同时,所作的网线对测量数据起到取平均的作用,从而减小随机误差的影响。此外,还可以作出仪器的校正曲线,帮助发现实验中的某些测量错误等。因此,作图法不仅是一个数据处理方法,而且是实验方法中不可分割的部分。

3. 逐差法

逐差法也是实验中处理数据的一种常用方法。凡是由自变量作等量变化而引起的应变量也作等量变化,便可采用逐差法求出应变量的平均变化值。逐差法计算简便,特别是在检查数据时,可随测随检,及时发现差错和数据规律。更重要的是可充分地利用已测到的所有数据,并具有对数据取平均的效果。另外还可绕过一些具有定值的已知量,求出所需要的实验结果,减小系统误差和扩大测量范围。

4. 最小二乘法

把实验的结果画成图表固然可以表示出规律,但是图表的表示往往不如用函数表示来

得明确和方便,所以一般通过实验的数据求经验方程,也称为方程的回归问题。变量之间的相关函数关系称为回归方程。

设

$$b_i = x_i - \bar{x} \quad i=1,2,\dots,n \quad (1.1)$$

式中, b_i 称为残差(或第 i 次测量值 x_i 与算术平均值 $\bar{x}$ 的偏差)。可以证明,以式(1.1)方式组合得到的残差平方和,比其他方式组合的偏差平方和都小。

第2章 陀螺仪基础实验

陀螺仪基础实验侧重于对惯性导航系统中基本概念、基本定理的验证,培养学生观察问题、分析问题的能力,加强对一些抽象概念的理解。

实验1 几种典型陀螺仪结构展示实验

一、实验目的

- (1)熟悉陀螺仪的分类。
- (2)了解几种典型陀螺仪的结构特点和工作原理。
- (3)加深学生对陀螺仪的感性认识,了解陀螺仪在不依赖任何外部信息的情况下,可实时测量出海、陆、空、天任何运载体的运动角速度,使学生认识到陀螺仪在惯性技术中的核心作用及其重要性。

二、仪器与设备

- (1)YNT-30 型角速度陀螺仪。
- (2)YT3-JM/JT 型角度陀螺仪。
- (3)静电陀螺仪。
- (4)FOG-2B 型光纤陀螺仪。
- (5)J-1-128IV(90)型激光陀螺仪。

三、实验原理

从传统概念来讲,我们将绕自身转子轴高速旋转的刚体称为陀螺,而利用陀螺的力学性质所制成的具有支撑、能实现旋转测量功能的陀螺装置称为陀螺仪。

1. 机械框架式转子陀螺仪

机械框架式转子陀螺仪的自由度可定义为自转轴相对基座旋转的自由度。因此按自转轴相对壳体所具有转动自由度的数目,转子陀螺仪可分为单自由度陀螺仪、二自由度陀螺仪和三自由度陀螺仪三种类型。

二自由度机械框架式转子陀螺仪一般由陀螺转子、内外两个框架及附件等部件组成,如图2.1所示。陀螺转子由内环支撑,通常采用同步电机、磁滞电机、三相交流电机等拖动方法来使陀螺转子绕自转轴高速旋转,并且其转速近似为常值。内、外框架是使陀螺仪自转轴获得转动自由度的结构,内框架通过内环轴支撑在外框架上,可相对外框架转动。外框架通过外环轴支撑在基座上,可绕外框架轴相对基座转动。陀螺仪的主轴(又称自转轴)、内框架轴、外框架轴相交于一点,该点称为陀螺仪的支点。转子可绕自转轴转动,故转子相对基座

具有三个运动自由度,而实际上转子只能绕内框架轴和外框架轴转动,因此我们说自转轴具有两个转动自由度。陀螺仪的附件有力矩马达、信号传感器、力矩传感器、导电环、电缆线和基座等。没有任何力矩装置的转子陀螺仪,称为自由陀螺仪;而配有力矩传感器和信号传感器的陀螺仪称为传统意义上的转子陀螺仪,如图 2.1 所示。

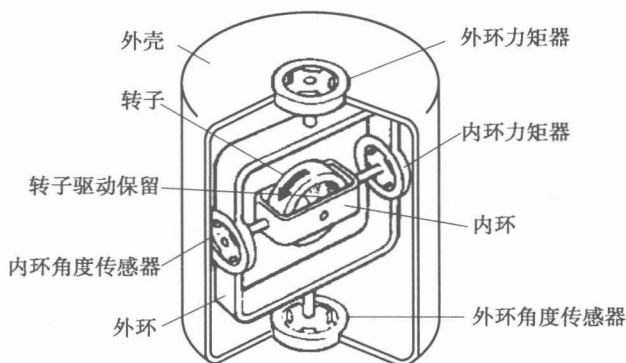


图 2.1 机械框架转子陀螺仪结构示意图

2. 静电陀螺仪

静电陀螺仪是一种采用静电悬浮支撑的高精度自由转子陀螺仪,也是目前广泛应用的精度最高的陀螺仪。静电陀螺仪由带球面电极的陶瓷壳体、球形转子、球形电极、驱动线圈、定中线圈、光电传感器和钛离子泵等组成,如图 2.2 所示。

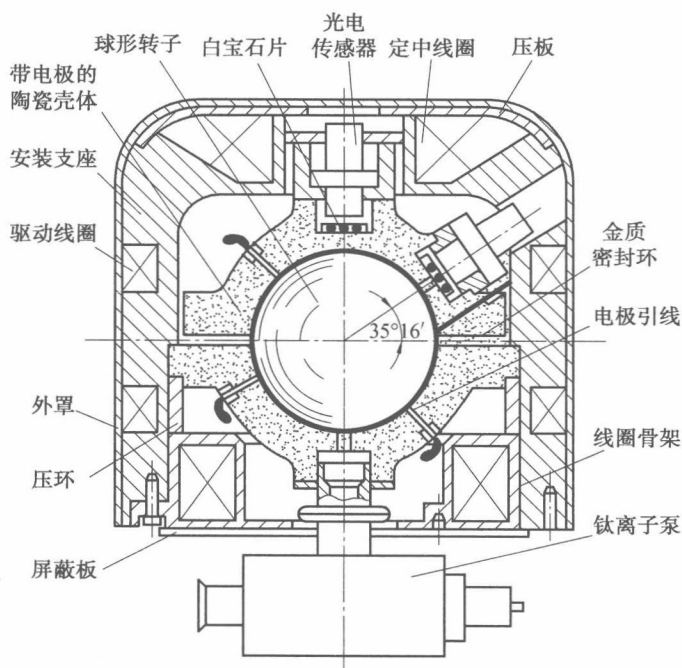


图 2.2 静电陀螺仪原理示意图

(1) 球形转子。

在静电陀螺仪中,转子做成球形,并放置在超高真空的电极球腔内,由强电场所产生的静电吸力使其支悬起来。球形转子的结构有空心球和实心球两种类型。转子的材料通常采用铍。铍的密度小而刚度大,对提高承载能力和陀螺精度有利。但铍的粉末、蒸气和溶液有毒性,加工时需要特殊的防护措施。

空心球转子由两个薄壁半球配合后,经真空电子束焊接而成。球外径的典型尺寸为38 mm和50 mm。球壁厚度一般为0.4~0.6 mm,但在赤道处加厚,即具有一个对称于极轴的赤道环,以保证转子绕极轴的转动惯量最大,这样极轴便成为唯一稳定的中心惯性主轴。

(2) 带有球面电极的陶瓷壳体。

支撑球形转子所需的球面电极和超高真空球腔,由两个带球面电极的陶瓷壳体密封连接而成。电极与转子之间的间隙,对于直径为38 mm的空心球转子一般取50 μm ,对于直径为10 mm的实心球转子一般取5~7.5 μm 。

陶瓷壳体的结构形式通常为厚壁半球碗,俗称陶瓷碗。在它的球腔内壁上制成球面电极。在有关位置上开有电极引线针孔、光电传感器的通光孔(在该孔的端面处烧结白宝石片以保证密封而透光)以及抽真空所需的通气孔等。在其开口端的外缘处还有连接螺钉孔及定位销孔。

球面电极划分的基本方案有正六面体电极和正八面体电极两种。对于空心球转子,一般采用前者;对于实心球转子,一般采用后者。两个陶瓷碗之间的密封通常采用金质密封环。在陶瓷碗的端面上放置的金环,当连接螺钉拧紧时产生塑性变形而起到密封作用。

(3) 驱动线圈与定中线圈。

驱动线圈用来产生旋转磁场,使转子获得所需的转速。两对驱动线圈固装在陶瓷壳体的四周,两对线圈的轴线呈90°交角。当驱动线圈通以两相交流电时,形成旋转磁场,在转子表面上感应出电流。感应电流与旋转磁场的作用结果,便产生驱动力矩而驱使转子做角加速旋转。两个定中线圈固装在陶瓷壳体的上、下端。当定中线圈通以直流电时,产生与旋转轴线相一致的恒定磁场,旋转的转子在恒定磁场中受到力矩作用,使转子极轴与磁场方向趋于一致,亦即极轴与转轴趋于一致,从而使转子绕极轴做稳定旋转。在定中过程结束后,转子的转轴和极轴均与壳体零位对准。

静电陀螺仪具有精度高、结构简单、可靠性高等优点,不足之处是工艺较复杂,价格十分昂贵。静电陀螺仪的精度一般在 $10^{-4} (^{\circ})/\text{h}$ 以上,漂移率可达到 $1 \times 10^{-7} (^{\circ})/\text{h}$,被应用在要求长时间高精度的惯性系统中,如核潜艇的静电惯性导航系统、静电监控器系统、战略轰炸机惯性导航系统、航天飞机惯性导航系统等战略武器及火箭方面。

3. 激光陀螺仪

激光陀螺仪是基于萨格奈克(Sagnac)效应而发展起来的一种光电式惯性敏感仪表,它通过检测谐振腔中相向传播的两束光波的频差,即可确定腔体相对惯性空间的转动角速度。

激光陀螺仪主要由环形谐振腔体、激光管、反射镜、增益介质、偏频组件、程长控制组件、信号读出机构、环形激光器、核心逻辑电路、电源组件、安装结构、电磁屏蔽罩等构成。如图2.3所示为一个典型整体式激光陀螺仪的结构示意图。它采用三角形谐振腔,在腔体内加工出三角形的光束通道孔,构成三角形激光通路。在三角形的三个顶角处分别开有大孔,各个

大孔的端面均要磨平并高度抛光,使平面度达到 $0.05\ \mu\text{m}$,用来安装反射镜,在腔体侧面还开有一些小孔,用来安装电极和引线。

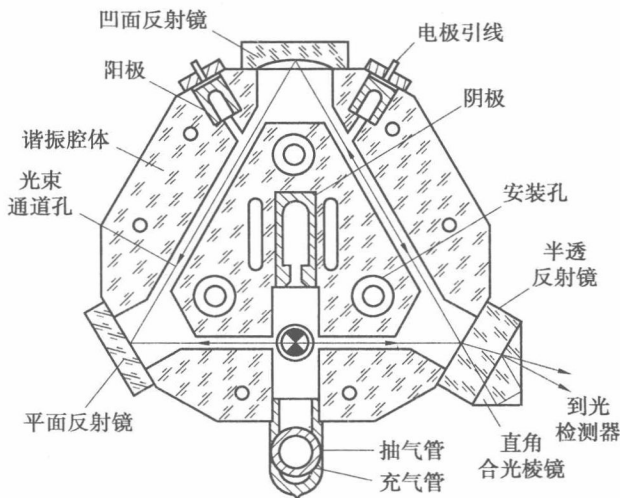


图 2.3 整体式激光陀螺仪的结构示意图

激光管内装有工作介质,一般为氮氧混合气体,它由高频电压或直流电压予以激励;三个光学平面反射镜形成闭合光路(环型激光谐振器),由光电二极管组成的光电读出电路可以检测相向运行的两束光的光程差。

反射镜是激光陀螺仪关键的光学元件。通常要求反射镜的反射率大于 99.9% ,而其散射率要低于 $1/10\ 000$ 。反射镜的作用就是无损失地、准确地改变光在光路中的运行方向,一般都放在光和腔体接触的位置,构成一个无应力、密封的腔体。构成谐振腔的反射镜中,有一个应为凹面反射镜,以使激光在腔内反复反射时不会逸出腔外,从而得到谐振腔的稳定条件;其余的均为平面反射镜,但其中一个为半透反射镜,以使两相反方向传播的光束进入直角合光棱镜并入射在光检测器上。

激光陀螺仪具有动态范围宽,线性度好;直接数字输出,不需要 A/D 转换;结构简单而坚固,成本低;仪表启动快,准备时间短;性能稳定,可承受大的过载;可靠性高,适合大批量生产等优点。激光陀螺仪的缺点是精度相对较差,尺寸也比常规陀螺仪稍大些,另外存在着在很低输入速率下的光速自锁问题。

4. 光纤陀螺仪

光纤陀螺按其光学工作原理可分为三类:干涉型光纤陀螺(I-FOG)、谐振型光纤陀螺(R-FOG)和受激布里渊散射光纤陀螺(B-FOG)。其中干涉型光纤陀螺技术已完全成熟并产业化,而谐振型光纤陀螺和受激布里渊散射式光纤陀螺还处于基础研究阶段,尚有许多问题需要进一步探索。

干涉型光纤陀螺的主体是一个萨格奈克干涉仪,由宽带光源(如超发光二极管或光纤光源)、光纤耦合器、光探测器、Y 分支多功能集成光学芯片和光纤线圈组成,如图 2.4 所示。它的特点是运用萨格奈克效应产生的光程变化,利用干涉测量技术把相位调制光转变为振幅调制光,把光相位的直接测量转化成光强度测量,从而比较简单地测出萨格奈克相位变

化。

从光源发出的光经分束器分成等强的两束,它们各自经一个透镜,分别耦合进多匝单模光纤线圈的两端。两相反方向传播的光束在光纤线圈绕行后,分别从光纤线圈的相反两端射出,再经分束器而汇合,并在光检测器中产生干涉条纹。

当光纤线圈绕其中心轴无旋转时,从光纤线圈两端出来的两束光的光程差为零。当光纤线圈绕其中心轴旋转时,从光纤线圈两端出来沿顺时针和逆时针方向传播的两束光波之间产生光程差,即出现一个与旋转角速率成正比的相位差。此时两束光的干涉情况发生变化,到达光检测器的光强亦发生变化,而光检测器的输出电流正比于输入光强,因此光检测器的输出电流发生变化,通过换算可求出陀螺旋转角速率。

光纤陀螺是一种新型的全固态惯性仪表。与传统机电陀螺相比,光纤陀螺无运动部件和磨损部件,结构简单、成本低、寿命长、质量轻、体积小、动态范围大、精度覆盖面广、灵敏度高、无加速度引起的漂移、结构设计灵活、生产工艺简单、耐过载、消耗功率小;与重力加速度 g 无关、性能稳定、可靠性好、有极强的环境适应能力;启动时间短,易于实现数字化结构,便于计算机管理;良好的性能价格比;抗电磁辐射和冲击能力强、易于集成等一系列的优异性能,应用范围广泛。

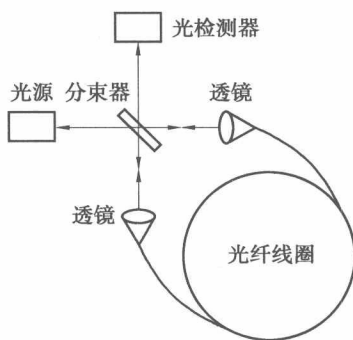


图 2.4 光纤陀螺仪结构示意图

四、实验要求

- (1)掌握陀螺仪的分类及各自的工作原理。
- (2)了解典型陀螺仪的结构特点。

五、实验内容及步骤

(1)分解 YNT-30 角速度陀螺仪表,了解其结构特点和工作原理,仪表电路示意图如图 2.5 所示。

- ①拆解 YNT-30 角速度陀螺仪表,了解其结构特点;
- ②分析 YNT-30 角速度陀螺仪表工作原理;
- ③了解 YNT-30 角速度陀螺仪表性能指标及应用领域。

YNT-30 角速度陀螺仪表生产于 1978 年,其技术指标为:

- a. $(40 \pm 2) \text{ V}$, $(500 \pm 1) \text{ Hz}$ 的三相交流电和 $(6 \pm 0.2) \text{ V}$ 直流电共同供电;
- b. 测量角速度范围: $\pm 30(^{\circ})/\text{s}$;
- c. 仪表所需的马达相电流不大于 0.12 A ;
- d. 仪表电位计总电阻不小于 500Ω ;
- e. 仪表阻尼系数在 $0.2 \sim 0.8$ 之间;

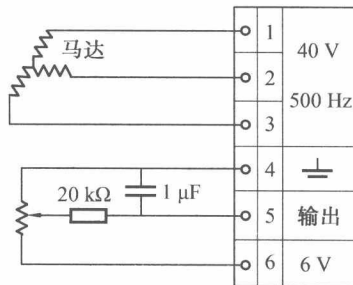


图 2.5 YNT-30 角速度陀螺仪表电路示意图

- f. 适用温度: $55 \sim -45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
g. 仪表灵敏度不低于 $\pm 0.6(^{\circ})/\text{s}$ 。

④重新组装好仪表。

(2)分解 YT3-JM/JT 角度陀螺仪表,了解其结构特点和工作原理,仪表电路示意图如图 2.6 所示。

- ①按下陀螺仪的锁,观察会发生什么现象,由此你能推断该陀螺有几个自由度?
- ②拆解 YT3-JM/JT 角度陀螺仪表,了解其结构特点;
- ③分析 YT3-JM/JT 角度陀螺仪表工作原理。

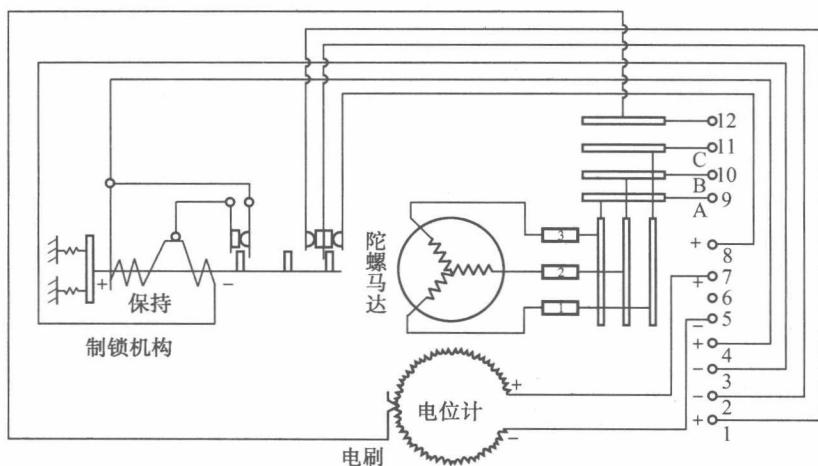


图 2.6 YT3-JM/JT 角度陀螺仪表电路示意图

④了解 YT3-JM/JT 角度陀螺仪表性能指标及应用领域,实物图如图 2.7 所示。

YT3-JM/JT 角度陀螺仪表生产于 1977 年,其技术指标为:

- a. 直流电源: $(26 \pm 2)\text{V}$, $(6 \pm 0.2)\text{V}$;
- b. 三相交流电源: $(40 \pm 4)\text{V}$, $(500 \pm 10)\text{Hz}$;
- c. 测量角速度范围: $\pm 120(^{\circ})/\text{s}$;
- d. 仪表所需的马达相电流不大于 0.28 A ,启动时间不大于 1 min ;

- e. 制锁机构的动作电压不大于 18 V ;
- f. 仪表电位计总电阻: $2\ 160\ \Omega$;
- g. 仪表精度: 5 min 内漂移不大于 2° ;
- h. 质量不大于 1.2 kg 。

⑤重新组装好仪表。

(3)分解静电陀螺仪表,了解陀螺仪的结构和工作原理,实验装置如图 2.8 所示。

- ①拆解静电陀螺仪表,了解其结构特点;
- ②分析静电陀螺仪表工作原理;
- ③了解静电陀螺仪表性能指标及应用领域;

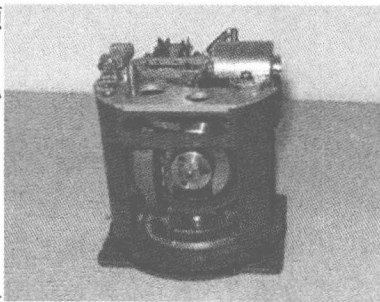


图 2.7 YT3-JM/JT 角度陀螺仪表实物图

④ 重新组装好仪表。

静电式自由转子陀螺实验模型技术指标：

- a. 转子直径: 5.6 cm;
- b. 电极与转子间的间隙: 千分之几厘米;
- c. 转子与电极的椭圆度: 小于 $0.125\ \mu\text{m}$;
- d. 质量不大于 1.2 kg。

(4) 拆解 FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪表, 了解其结构特点、工作原理和基本特性。

① 拆解 FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪表, 了解其结构特点, 实验装置如图 2.9 所示。



图 2.8 静电陀螺实验装置

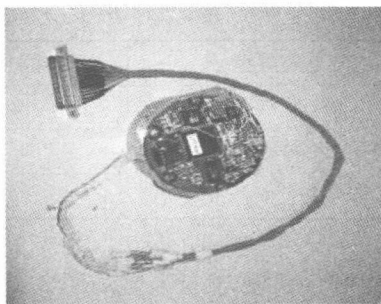


图 2.9 FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪

FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪是一种中精度闭环光纤陀螺仪, 输入敏感轴 (IRA) 为垂直向上方向, 属于固态陀螺仪。它由光路部分和电路部分两大部分组成。光路部分包括: 光源、耦合器、Y 波导器件、光纤线圈、光电检测器。电路部分包括光源驱动和信号处理电路板。这两部分共同安装在陀螺结构体上, 其基本组成框图如图 2.10 所示。

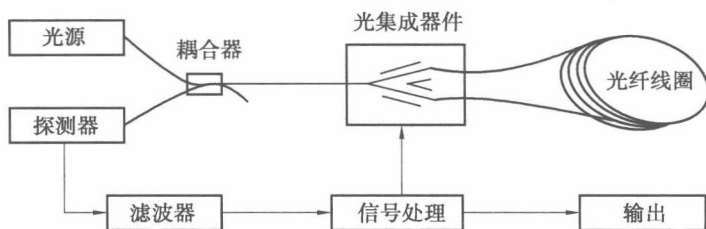


图 2.10 闭环光纤陀螺仪基本组成框图

② 分析 FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪表工作原理;

③ 了解 FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪表性能指标及应用领域, 性能参数见表 2.1。

表 2.1 FOG-2B 型闭环光纤陀螺仪性能参数表

标度因数	K	$\text{Bit}/[({}^{\circ}) \cdot \text{s}^{-1}]$	13 639.33
标度因数非线性	K_n		0.007
零偏 (20 $^{\circ}\text{C}$)	B_0	$(^{\circ})/\text{h}$	30.6
零偏稳定性 (10 s)	B_s	$(^{\circ})/\text{h}$	0.4
最大输入角速率	Ω_{max}	$(^{\circ})/\text{s}$	280
分辨率	Ω_r	$(^{\circ})/\text{s}$	0.01
阈值	Ω_r	$(^{\circ})/\text{s}$	0.006