

陀螺仪生产与试验 文集

国防工业出版社

陀螺仪生产与试验文集

〔苏〕 Г. А. 斯洛缅斯基 主编

吴国柱 赵荣先 李泽民 译

刘德均 雷传琪 冯蕴璞 校

国防工业出版社

1974

内 容 简 介

本书汇集了十二篇文章，分别从陀螺仪结构设计、实验测试、生产工艺和环境洁净等方面探讨了提高陀螺仪精度、可靠性和使用寿命的一些途径，其中所涉及的设计原则、实验数据、试验方法和典型工艺，均具有一定的实用价值。

本书可供从事陀螺仪生产与研究工作的技术人员和工人参考，对有关工业院校陀螺仪及惯性导航专业的师生亦有裨益。

ГИРОСКОПЫ ПРОИЗВОДСТВО И ИССЛЕДОВАНИЕ
Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Г. А. Сломьянского
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

*

陀螺仪生产与试验文集

赵荣先 吴国柱 李泽民 译
刘德均 雷传琪 冯蕴璞 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 5⁹/₁₆ 117 千字

1974年10月第一版 1974年10月第一次印刷 印数：0,001—3,700册

统一书号：15034·1369 定价：0.47元

目 录

前言	5
一、仪表净化的某些方法	11
二、精密陀螺仪制造工艺的某些问题	44
三、提高浮子积分陀螺精度的某些途径	53
四、结构工艺因素对精密陀螺仪的陀螺马 达质量的影响	79
五、关于精密陀螺仪马达重心热位移的研究	99
六、缩短陀螺仪准备时间的一种方法	116
七、高速旋转径向止推滚珠轴承轴向振动的测量	121
八、用试验方法确定陀螺马达转子轴的惯性矩	127
九、陀螺马达的通用试验装置	149
十、无触点等刚度滑动导电丝固有振动 频率的研究	163
十一、悬臂梁导电丝由于摩擦不对称而在振 动时引起的陀螺漂移	167
十二、用无接触法确定积分陀螺传递系数的 可能性	172

陀螺仪生产与试验文集

〔苏〕 Г. А. 斯洛缅斯基 主编

吴国柱 赵荣先 李泽民 译

刘德均 雷传琪 冯蕴璞 校

国防工业出版社

1974

内 容 简 介

本书汇集了十二篇文章，分别从陀螺仪结构设计、实验测试、生产工艺和环境洁净等方面探讨了提高陀螺仪精度、可靠性和使用寿命的一些途径，其中所涉及的设计原则、实验数据、试验方法和典型工艺，均具有一定的实用价值。

本书可供从事陀螺仪生产与研究工作的技术人员和工人参考，对有关工业院校陀螺仪及惯性导航专业的师生亦有裨益。

ГИРОСКОПЫ ПРОИЗВОДСТВО И ИССЛЕДОВАНИЕ
Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Г. А. Сломьянского
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

*

陀螺仪生产与试验文集

赵荣先 吴国柱 李泽民 译
刘德均 雷传琪 冯蕴璞 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 5⁹/₁₆ 117 千字

1974年10月第一版 1974年10月第一次印刷 印数：0,001—3,700册

统一书号：15034·1369 定价：0.47元

出版说明

遵循伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们翻译出版了《陀螺仪生产与试验文集》，供从事陀螺生产和研究的同志们参考。

精密陀螺是宇航、航空和航海惯性导航系统和普通导航设备的核心元件，随着惯性导航系统和设备的日趋完善，对其精度、可靠性和寿命提出了越来越高的要求。为了提高陀螺的精度，延长其平均故障时间和寿命，一些国家都投入了可观的人力物力从事各项试验研究。各类精密陀螺的研制成果对改进导弹、宇宙飞船、飞机和舰船的性能起着重大的作用。

本书在翻译出版过程中，对原书中的个别错误作了更正。但由于我们水平所限，书中可能仍存在不少缺点和错误，热忱欢迎读者批评指正。

目 录

前言	5
一、仪表净化的某些方法	11
二、精密陀螺仪制造工艺的某些问题	44
三、提高浮子积分陀螺精度的某些途径	53
四、结构工艺因素对精密陀螺仪的陀螺马 达质量的影响	79
五、关于精密陀螺仪马达重心热位移的研究	99
六、缩短陀螺仪准备时间的一种方法	116
七、高速旋转径向止推滚珠轴承轴向振动的测量	121
八、用试验方法确定陀螺马达转子轴的惯性矩	127
九、陀螺马达的通用试验装置	149
十、无触点等刚度滑动导电丝固有振动 频率的研究	163
十一、悬臂梁导电丝由于摩擦不对称而在振 动时引起的陀螺漂移	167
十二、用无接触法确定积分陀螺传递系数的 可能性	172

前 言

陀螺仪表和陀螺装置发展到现阶段的特点是：在非常严格的使用条件下，不断提高对其精度、可靠性、重量和尺寸的要求。这就需要对陀螺仪的结构和生产工艺进行根本性的改革。如已研制出的三自由度和二自由度浮子陀螺，其精度要比采用最高精度滚珠轴承的陀螺高得多。在采用了作相对旋转的滚珠轴承作为支承结构时，也取得了较好的效果。空气动压支承的球形陀螺效果也是肯定的。目前，流体动压、静电、超导、原子、激光和其它一些新型陀螺的研制正在进行中。

新型陀螺的研制需要进行多方面的实验研究。为此，常常需要设计和制造专用的高精度的设备，这往往又是非常复杂的问题。

浮子陀螺和其他新型陀螺的精度和可靠性主要取决于它们的生产工艺和所选用的材料。实际上，这些陀螺的生产工艺与一般陀螺仪的生产工艺不同，它包括了许多新的工艺过程。精密陀螺的绝大多数零件其制造精度需达到一微米，而有些零件则需达到四分之一微米的精度。这些零件应有非常高的几何形状和尺寸的稳定性。因而对这些零件的材料提出了很苛刻的要求，同时也要求对这些零件作特殊的热处理。

然而，零件机械加工的高精度固然是必需的，但是这对制造精密陀螺来说还是远远不够的。新型陀螺中的很多零件、组件和元件应具有严格规定的（有时难以达到的）弹性、磁

性和其它一些物理特性。装调工序的组织与质量特别重要，装调工序应在十分理想的清洁而合乎标准的房间内进行，这种房间内实际上是完全没有灰尘的。新型陀螺的检验要求研制出专用高精度的检验设备。

为解决精密陀螺在生产工艺方面存在的许多问题，就需要进行深入而广泛的研究。这些研究工作不比解决仪表的工作原理、结构和基本参数选择这一类问题来得容易。

精密陀螺的结构特点和生产的特殊性，归根到底就是要使得陀螺中的有害力矩随机分量值不超过百分之几毫克·厘米，而在某些情况下要求不超过千分之几毫克·厘米。

现在，在精密陀螺的生产方面已经积累了大量的经验，制定并掌握了许多新的工艺规程，研制出了精密陀螺装配、调整和实验用的专用设备。尽管精密陀螺及其元件的生产、研究和参数选择这些问题很重要，然而，其中尚有许多问题在文献中还没有足够的阐述。本书对其中有些问题将予以介绍。

本书研究了仪表净化的方法以及陀螺污染对其精度和可靠性的影响。指出了仪表零件的结构形状会影响到陀螺成品的清洁状况。对零件设计提出了具体意见，以便保证使仪表受到灰尘、金属屑或其他杂质的污染最少。叙述了在制造零件和装配组件及仪表的各阶段净化工作的工艺保障法。

本书对于研究和检查零件、润滑油、灌充液体、清洗液体以及因周围空气污染而专门制作的仪器的使用方法给予了极大的重视。介绍了用这种仪器进行研究所得出的结果；说明了可供仪表及其元件装配试验用的单独操作箱；规定了对生产车间清洁度的要求。

书中还阐明了精密陀螺生产工艺中的一些问题；叙述了

车床运转时间对其所加工的零件尺寸影响的实验研究结果；列出了用铝合金制的精密零件有效的制造工艺路线；指出了机械加工对被加工零件抗磁性的影响程度，并提出了最有效地保持零件原材料抗磁性能的意见；提供了浮子积分陀螺装配和调整工艺中的主要问题；并导出了导电装置所产生的力矩和工艺误差对陀螺马达重心偏移影响的实验结果。

书中有些内容是叙述提高浮子积分陀螺精度的一些途径。其中提到了对精密陀螺的主要结构材料的要求；列出了一些结构材料的物理-机械特性；说明了浮子积分陀螺的漂移分量同浮子材料的物理-机械特性的关系；介绍了一种已装好的仪表进行浮子组件的重浮力平衡的方法以及利用静平衡器来进行浮子组件相对其旋转轴平衡的方法；论述了浮子积分陀螺当其热敏元件安装的位置不同时，其继电型温控系统的某些实验研究结果；得出并分析了浮子积分陀螺中采用导电装置所产生的力矩。

书中的一些部分还谈到了陀螺马达及其元件。其中对开启式和密闭式、同步和异步、内套圈旋转和外套圈旋转的滚珠轴承等现代陀螺马达分别进行了分析比较；示出了为保持润滑油从而大大提高了陀螺马达寿命的特殊装置的结构；介绍了一种陀螺马达滚珠轴承的支承结构，其支承中滚珠的滚道直接装在陀螺马达零件上；研究了转子的转速、电源电压和频率对陀螺马达寿命及质量影响的问题；指出了陀螺马达的品质因素与其动量矩的关系，并指出了所需功率和动量矩之比、所需功率与重量之比这两个比值与动量矩之间的关系；对保证陀螺马达重心位置稳定所采取的结构和工艺方面的措施给予了重视；提出了对精密陀螺仪的陀螺马达选型、设计

和制造方面的建议。

书中提到一种浮子扭力装置，可用来测量陀螺马达重心偏离所产生的力矩；并提出了主要参数选择的意见。

这种装置的最小分辨力为 $0.05 \sim 0.07$ 毫克·厘米，并对影响陀螺马达及其个别组件重心稳定度的各个因素进行了研究；导出了陀螺马达及单个定子通电后其重心偏移的结论；叙述了陀螺马达重心偏移值同电源电压值间关系的实验结果。

列举了一些实验数据，这些数据表明，陀螺马达在启动后重心位置的稳定时间远大于转子的加速时间；并提出了角动量为 100 克·厘米·秒的同步磁滞陀螺马达不只以 36 伏 400 赫的额定电压启动，而且还在不同量值的过激电压和频率下启动，其重心稳定时间是不同的；列出了它们的实验数据，实验表明，用 60 伏 400 赫的过激电压启动与不用过激电压启动相比，重心位置的稳定时间由 15 秒减至 5 秒。

文中介绍了一种用于测量支承陀螺马达转子的高速旋转径向止推滚珠轴承轴向振动的新颖装置，列出了用该装置测量陀螺马达各类滚珠轴承所产生的振动的研究结果，同时亦介绍了用该装置检查装有轴承的陀螺马达的振动数据。

文章以很大的兴趣分析了适用于精确测量陀螺马达转子轴向移动惯量的各种实验方法。其中叙述了用摆振法来进行测量的三种方案及其可能达到的精度，并且画出了用这种方法来确定转子转动惯量的专用装置简图；研究了由于被测物固定不准确而产生的误差及用摆振法测定转子转动惯量时磁场对其测量精度的影响；叙述了被测转子周围磁场采用或不采用磁屏蔽，对测量陀螺马达转子摆振周期影响的实验结果。

有一部分内容是介绍在小批量生产的情况下，对各种类

型陀螺马达进行实验的综合试验台。这种试验台可以同时进行五个陀螺马达的试验。在经过时间间隔的调整后它可以自动地分别起动各陀螺马达，并保证检查每一个陀螺马达的耗损电流和消耗功率以及确定停转时间和定子绕组的温升。当采用过激起动时，试验台可供给陀螺马达过激电压，并将此电压保持一段时间，然后不必切断供电电路便可将陀螺马达转换到额定的工作电压。

书中还有部分内容对陀螺仪用的滑动导电丝进行了研究。

文中指出，无触点等刚度滑动导电丝可以有两组与接触压力值无关的固有振动频率。其中一组频率是假定导电丝是以悬臂梁形式固定的，而另一组则是假定其为一端固定，而另一端是铰接形式；列出了对导电丝的样机振动频率的研究结果。

文中进而说明了导电丝的运动方向相对支承表面有变化则可改变法向接触压力的量值，这就导致形成不对称摩擦力。由于导电丝相对接触表面有振动，因而出现了不对称的摩擦力，最终引起陀螺单向漂移。文中推导了计算这一漂移所采用的公式，并且提出用导电丝相对迎面配置的办法来对这一漂移进行补偿，这时须保证它们有相等的弯曲和接触压力。

书中对积分陀螺进动周期的两种无接触测量方法进行了研究，以便确定高精度仪表的传递系数。其中一种方法是利用光二极管或光敏电阻作为电信号传感器，另一种方法是用同步器（正余弦同步器 BT）作为电信号传感器。对这两种方法均给出了实验线路并标明了元件的参数值。

Г. А. 斯洛缅斯基

一、仪表净化的某些方法

C. A. 柯特拉秋克

仪表不清洁对其精度和可靠性的影响及 对生产车间的要求

一切精密机械仪表如钟表、膜盒式仪表以及任何级精度的陀螺仪，它的不清洁都会对其性能有严重的影响。这种影响表现为精度下降，寿命缩短，甚至影响仪表的正常工作。对于不同的陀螺装置，髒污所造成的影响亦不同。总的说来，髒污会妨害仪表的生产并降低其可靠性和寿命。

国外期刊和文献已有不少论述，说明必须很重视精密仪表制造中确保其清洁的问题。

但是，这些文献主要是讲述了装配车间的清洁问题，而没有说明为保证装配仪表的清洁所必须采取的措施。

事实上，国外、国内的文献中都根本没有提到为保证高精度仪表最好的净化而采用的设计原则方面的资料。

我们来研究浮子积分陀螺仪的浮液被微屑污染以及开敞式陀螺马达润滑油被沾污的问题。被微屑沾污了的液体充入浮子积分陀螺中以后，微屑粘附在浮子上或者从浮子上掉下来，均会造成陀螺的漂移。另外，由于微屑落入宝石孔和轴颈间的间隙中，支承的摩擦力矩值会变化，这亦会造成陀螺的漂移。

下面根据球状黄铜微屑直径的不同，来研究一个浮子积分陀螺仪，在其角动量 $H = 100$ 克·厘米·秒，浮子半径为 17.5 毫米，其漂移不超过每小时百分之几度的情况下，落入浮子积分陀螺的浮液中的球状黄铜微屑有多少颗，就会引起 0.01 度/小时的随机漂移。简单的计算表明，这样大小的漂移量可由下表所列数量的微屑造成（假设这些微屑同时粘附在浮子的一面或从浮子的一面上掉下来）。

微屑直径 (微米)	1	5	10	15	30	45	60	104.4
微屑数量	880000	7050	880	260	33	10	4	1

显然，在陀螺仪工作过程中，像尺寸为 15 微米的微屑不可能以这样多的数量（如 260 个）同时粘附在浮子上或同时从浮子上掉下来，因此存在这种尺寸的微屑并不危险。对于给定的陀螺仪来讲，当尺寸为 60 微米的单个大微屑粘附到浮子上（或者从浮子上掉下来）时所产生的有害力矩是危险的。浮子陀螺的液体中可能掉入更大一些的颗粒。在充入浮子陀螺内腔的液体中，在浮子上或在壳体的一些零件和部件的各个“死角”里会出现一些较大的颗粒。当陀螺仪已经充液和装调完毕后，使浮液温度达到计算值需要进行多次加热和冷却。而微屑从零件表面上掉下来，浮液中就出现了微屑。大小在 10 微米以下的小微屑是危险的，这样的微屑可能掉入支承中去，因为宝石孔和轴颈间的间隙仅为 3~8 微米；而大于 10 微米的微屑对支承来说并不危险，因为它不可能落到宝石孔和轴颈的间隙中去。

对所研究的浮子积分陀螺可以得出如下结论：

1. 对于小角动量的转子和小尺寸的浮子来说，在浮液中混入大小为 1~10 微米，及 60 微米以上的微屑是危险的，因为在机械加工之后残留的金属屑或在装配过程中带入内表面的金属屑所产生的力矩会使陀螺的漂移急剧变化。

2. 大小为 15~45 微米的微屑并不危险，因为这样的微屑既不会产生太大的有害力矩，也不会充塞在轴承的间隙之中。

3. 由上述大小的微屑所产生的有害力矩造成的随机漂移值可以与同级精度的小型陀螺仪允许的随机漂移值相比拟。

浮液被微屑污染后对浮子积分陀螺仪漂移所造成的影响可以很方便地用图 1.1 所示的曲线来确定。按该图可以根据微屑的材料、直径及其距浮子转轴的距离 R 和陀螺角动量 H 来确定直径为 0~10 微米的微屑所产生的陀螺漂移值。假若微屑直径超过 10 微米，那么漂移值可按式转换确定：

$$\omega'_{\text{AP}} = \omega_{\text{AP}} \left(\frac{d'}{d} \right)^3$$

式中 d 和 ω_{AP} ——按曲线求得的微屑直径和漂移角速度值；

d' 和 ω'_{AP} ——微屑的直径和漂移角速度的实际值。

实例 黄铜微屑， $d' = 80$ 微米， $H = 300$ 克·厘米·秒， $R = 3.25$ 厘米。按曲线图查出 $d = 8$ 微米时， $\omega_{\text{AP}} = 3.8 \times 10^{-6}$ 度/小时。实际漂移

$$\omega'_{\text{AP}} = \omega_{\text{AP}} \left(\frac{d'}{d} \right)^3 = 3.8 \times 10^{-6} \left(\frac{80}{8} \right)^3 = 3.8 \times 10^{-3} \text{ (度/小时)}$$

按曲线图（图 1.1）确定的漂移角速度与按下式计算得