

陀螺仪器结构与设计

万德钧 翟羽健 合编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要讲授陀螺仪器元件、系统和总体设计的基本理论与方法。

全书分三篇：第一篇讲述几种较典型的航海陀螺仪器结构及性能；第二篇重点讲述惯性元件的设计理论及方法；在第三篇中，对陀螺仪器各组成系统的设计要点进行了定量分析，并讲述了仪器总体设计的基本知识。

本书为高等院校陀螺、导航专业教材，也可供从事陀螺仪器研制的工程技术人员参考。

陀螺仪器结构与计

万德钧 翟羽健 合编

*

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

*

787×1092¹/₁₆ 印张 26 608 千字

1981年7月第一版 1981年7月第一次印刷 印数：0,001—1,800册

统一书号：15034·2220 定价：2.65元

前 言

本书系根据 1978~1980 年全国造船院校陀螺导航等专业统编教材大纲审定会议通过的《陀螺仪器结构与设计》大纲编写的,供高等院校陀螺、导航专业使用。全部内容的讲授约需 120 学时。

陀螺仪器种类繁多,结构复杂,属于多学科综合性技术,在航空、航海、航天等领域中获得了广泛的应用。本书重点讲授航海陀螺导航仪器设计的基本理论及方法。显然,这些基本理论及方法也适用于其它类型的陀螺仪器及设备。

全书分三大部分。第一篇讲述陀螺方位仪、陀螺罗经、陀螺垂直平台和陀螺平台罗经等航海陀螺仪器的结构及性能,以期建立对陀螺仪器构成的感性认识,为进一步学习仪器的设计打好基础;第二篇重点讲授惯性元件(陀螺仪和加速度计)及其组成机构(陀螺马达、支承装置、角度传感器和力矩受感器等)的设计理论及方法,牢固地掌握陀螺仪器主要元件设计的基本知识,对今后独立地从事仪器的研制工作是十分重要的;在第三篇中,对陀螺仪器各组成部分和系统:常平架、稳定系统、控制系统、补偿系统以及无转角减振装置的设计重点进行了定量分析,同时讲述了陀螺仪器总体设计的基本知识。

在内容取材方面,尽可能引用了国外较近期的文献资料以及国内有关科研成果,力求反映近代陀螺技术水平,以充实及提高教材的内容及质量,适应现代陀螺技术迅速发展的需要。在内容编写方法上十分重视通过陀螺仪器的具体设计方案,阐明陀螺仪器设计的普遍规律和方法。本书既重点讲授仪器设计理论,并注意引用设计实例和实际技术参数,利于读者掌握定量分析,同时在一定程度上满足工程设计的实际需要和参考。

本书所用符号主要参照《国家标准物理量符号》和《国家标准计量单位》,并尽量做到了全书统一,但尚有若干符号不得不照顾习惯用法。

哈尔滨船舶工程学院李宝章和周耀庭同志参加了本书的编写工作(第十二章“加速度计”)。本书承上海交通大学陈忠法同志主审,并经陆恺和王鹤祥两同志审阅;吴建中、沈增琦、邹镜明、肖宏德、范光旭和许永荣等同志对书稿提供了许多宝贵意见,谨致谢意。

由于我们的水平有限,本书一定存在不少缺点和错误,希望广大读者和使用本教材的兄弟院校师生指正。

编 者

目 录

绪 论

§ 0-1 航海陀螺仪器的发展.....	1
§ 0-2 航海陀螺仪器的类型及组成.....	5
§ 0-3 航海陀螺仪器的工作条件.....	7

第一篇 陀螺仪器结构

第一章 陀螺方位仪	10
§ 1-1 概述	10
§ 1-2 606航向指示器	11
第二章 陀螺罗经	20
§ 2-1 组成及类型	20
§ 2-2 航海-I型陀螺罗经	22
§ 2-3 电控陀螺罗经	35
第三章 陀螺垂直平台	51
§ 3-1 概述	51
§ 3-2 上游-I型陀螺垂直平台	53
第四章 陀螺平台罗经	60
§ 4-1 结构原理及类型	60
§ 4-2 平台罗经结构	64

第二篇 陀螺仪器元部件

第五章 陀螺马达	79
§ 5-1 概述	79
§ 5-2 转子体的设计原则和结构形状	81
§ 5-3 陀螺转子转动惯量的计算	82
§ 5-4 转子体的强度计算	86
§ 5-5 陀螺马达的风阻力矩	90
§ 5-6 主轴承的设计要求和主要类型	93
§ 5-7 滚珠轴承的结构	93
§ 5-8 滚珠轴承的刚度	94
§ 5-9 滚珠轴承的润滑	105
§ 5-10 气体动压轴承	108
§ 5-11 转子轴	117
§ 5-12 陀螺电动机	121
第六章 支承装置	131
§ 6-1 概述	131

§ 6-2	框架用滚珠轴承	131
§ 6-3	宝石轴承	135
§ 6-4	弹性支承	139
§ 6-5	液浮支承	149
§ 6-6	气浮支承	158
§ 6-7	磁浮支承	160
§ 6-8	静电支承	165
第七章	角度传感器	168
§ 7-1	概述	168
§ 7-2	动铁式感应传感器	169
§ 7-3	动圈式感应传感器	183
§ 7-4	电容式传感器	191
第八章	力矩受感器	197
§ 8-1	概述	197
§ 8-2	感应式力矩器	198
§ 8-3	磁电式力矩器	205
§ 8-4	电磁式力矩器	212
第九章	摆元件	216
§ 9-1	概述	216
§ 9-2	接触式机械摆	217
§ 9-3	电磁摆	225
§ 9-4	液体摆	230
第十章	其它元件	234
§ 10-1	导电装置	234
§ 10-2	平衡装置	238
§ 10-3	波纹管	240
第十一章	陀螺仪	245
§ 11-1	概述	245
§ 11-2	典型陀螺仪的结构	248
§ 11-3	陀螺仪的热量控制	251
§ 11-4	产生陀螺仪漂移的各种干扰力矩的分析	254
§ 11-5	陀螺仪的误差模型方程	262
第十二章	加速度计	266
§ 12-1	概述	266
§ 12-2	典型加速度计的结构	270
§ 12-3	液浮摆式加速度计摆组合件的设计	275
§ 12-4	加速度计的数学模型和误差分析	281

第三篇 陀螺仪器设计

第十三章	惯性元件的应用	286
§ 13-1	陀螺仪的类型及功用	286
§ 13-2	陀螺轴的取向	288

§ 13-3 陀螺仪性能及参数	293
§ 13-4 陀螺仪动量矩的确定	296
§ 13-5 加速度计的应用	298
第十四章 常平架系统	302
§ 14-1 常平架的功能及设计要求	302
§ 14-2 常平架的类型及配置	304
§ 14-3 常平架系统误差	306
§ 14-4 常平架数量及结构形式的确定	310
§ 14-5 常平架刚度计算	313
第十五章 稳定系统	317
§ 15-1 概述	317
§ 15-2 动力陀螺平台稳定回路分析及计算	320
§ 15-3 积分陀螺平台稳定回路分析及计算	323
第十六章 控制系统	328
§ 16-1 概述	328
§ 16-2 陀螺罗经控制系统方案分析	329
§ 16-3 陀螺罗经控制系统误差分析	335
§ 16-4 陀螺罗经自振周期的确定	337
§ 16-5 罗经控制系统参数的确定及计算程序	340
§ 16-6 罗经控制系统元件计算	343
第十七章 补偿系统	346
§ 17-1 概述	346
§ 17-2 陀螺漂移的补偿	348
§ 17-3 牵连角速度误差的补偿	353
§ 17-4 加速度误差的补偿	356
§ 17-5 积分补偿的应用	361
第十八章 减振系统	366
§ 18-1 概述	366
§ 18-2 无转角减振器设计原理	371
§ 18-3 弹性筒式减振器	375
§ 18-4 叉簧式减振器	378
第十九章 陀螺仪器总体设计	382
§ 19-1 总体设计的基本内容和程序	382
§ 19-2 陀螺仪器误差及参数计算	385
§ 19-3 可靠性设计	390
§ 19-4 近代陀螺仪器设计特点及分析	394
§ 19-5 航海陀螺仪器的发展趋向	406

绪 论

§ 0-1 航海陀螺仪器的发展

陀螺仪器是科学技术发展的丰硕成果之一，是当代的一项多学科综合性尖端技术。陀螺仪器应用范围十分广阔，特别是在航行体导航、航行体制导和精密测试设备等领域中具有重大使用价值。

根据不同需要，陀螺仪器能够提供准确的方位、水平、位置、速度、加速度信号。在飞机、舰船、飞船等航行体导航中，可以利用这些信号和指令，通过驾驶员或自动导航仪来控制航行体按一定的航线航行，而在导弹、卫星运载器、空间探测火箭等航行体制导中，则直接利用这些信号完成航行体的姿态控制和轨道控制。陀螺仪器作为精密测试设备用，能够为陆面设施、矿山隧道、导弹发射井等提供准确的方位基准，同时在振动测量中也得到应用。

陀螺仪器由根据惯性原理进行测量的敏感元件构成，不依赖外界信息，也不受外界干扰和影响，具有全自主性能，在军事上获得普遍的应用。

航海陀螺仪器是陀螺技术应用的一个分支，主要用于舰船导航和舰载武备系统的控制，提供方位和水平基准，以及船位、航程、航速等导航和控制用数据。

航海陀螺仪器从早期只能提供方位基准的陀螺罗经到近代能够提供全部导航及控制数据的惯导系统，已有七十多年的发展史。

早在两千年前，我国劳动人民在生活和生产实践中，就已发现了陀螺的基本特性，但第一个利用陀螺特性和地球自转创造陀螺罗经的科学家是法国的福科 (L.Foucault)，他于 1852 年制成了第一台实验用陀螺罗经，由于当时技术条件的限制，福科的创造只能作为一个实验室模型。在其后的半个世纪内，特洛维 (M.G.Trouvé) 等人先后对陀螺罗经模型作了很多技术改进，例如，用直流电动机驱动陀螺转子；以钢丝悬挂或液体静浮力减小框架支承的摩擦力矩；靠重力使陀螺主轴保持在水平面等，为创建具有实用价值的陀螺罗经开阔了思路，奠定了基础。

早期的陀螺罗经只是在技术上提高了陀螺仪本身的精度 ($10^{-1} \sim 10^{-3}$ 度/小时)；设法消除了巨大的冲击误差和摇摆误差 (近 20°) 之后，才具有实际应用价值。

第一台实用陀螺罗经是德国的安休茨 (H. Anschütz) 创建的。他于 1902 年曾设想乘潜艇从冰下潜往北极探险，为解决导航问题，物理学家推荐使用陀螺仪，最初曾试制一台陀螺方位仪，但未能获得预期效果，继而改为研制能自动找北的罗经。经两年的努力，终于制成了第一台陀螺罗经样机。1906 年，青年科学家舒拉 (Max Schuler) 从理论上和技术上完善了罗经的设计和结构：如采用 84.4 分钟无阻尼振荡周期和交流陀螺马达等。经一系列改进，终于在 1908 年首次制成单转子液浮陀螺罗经 (图 0-1)。不久，德国海军就用这种罗经装备了一批潜艇和装甲舰。随后，为消除巨大的摇摆误差，从单转子演变为三转子，

又从三转子演变为双转子。同时,在结构上还对阻尼器、导电装置和温控装置等不断加以改进,直至1930年,才制成了较完善的安休茨型双转子液浮陀螺罗经的基本型式(图0-2),并逐步发展成为一个罗经系列。二次世界大战前定型生产的安休茨型罗经有标准Ⅰ型和Ⅱ型,战后开始生产标准Ⅲ和Ⅳ型两种。1968年开始生产标准Ⅵ型小型罗经,1977年研制成功标准ⅣS型罗经。

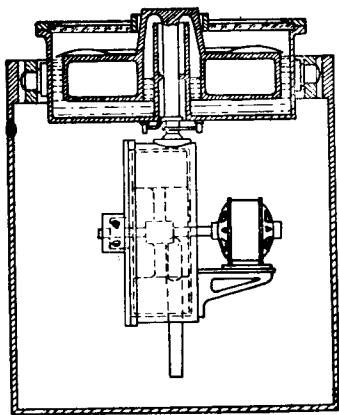


图0-1 最初的安休茨型罗经

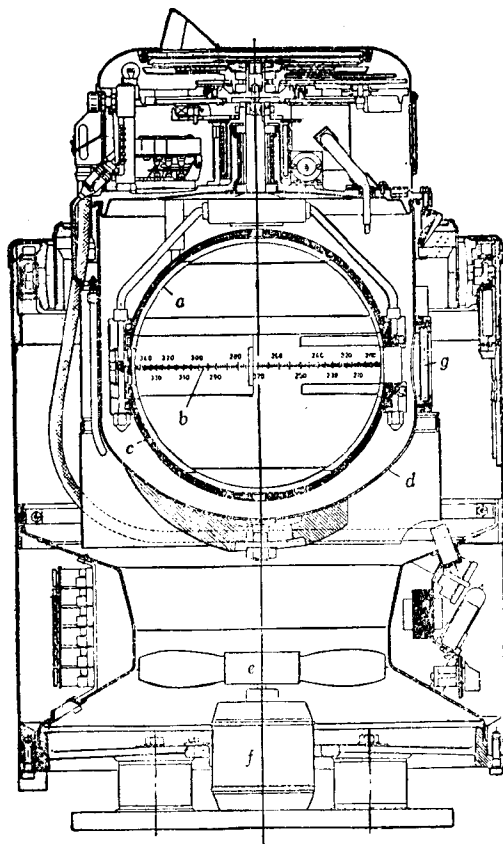


图0-2 安休茨型罗经

位于西德汉堡的泼拉脱航仪厂,于1951年在安休茨罗经基础上进行简化与变革,试制成功泼拉脱型罗经(图0-3),产品有A、B、C型和航海型等。

安休茨型罗经技术比较成熟,性能比较可靠,因之不少国家都根据它的结构原理制成各种类似的产品。例如,我国的航海型、苏联的航向型、意大利的天狼星型,以及日本北辰电机制作所生产的产品,均属于安休茨类型陀螺罗经。

世界上第二台具有实用价值的陀螺罗经是美国人斯佩里(E.A.Sperry)于1909年创建的。初期的斯佩里型罗经也采用液浮(水银悬浮)陀螺仪(图0-4),但不久就用钢丝悬挂支承取代了液浮支承,以简化结构,便于维修。五十年代以后,为了提高罗经精度,又开始采用液浮支承,同时运用了电磁控制技术。斯佩里型罗经的设计别具一格。并经几十年的努力逐步发展成较完善的系列。斯佩里公司定型生产的陀螺罗经有MK14、18、19、20、22、23、27、227、29、30、37型和SR120、130型等二十余种。同时与日本合作生产MK-14型、ES型和TG-100型等罗经。此外,苏联生产的MГK型也属于斯佩里型单转子罗经。

世界上第三台有实用价值的陀螺罗经是由英国人布朗于1912年创建的。布朗型罗经虽

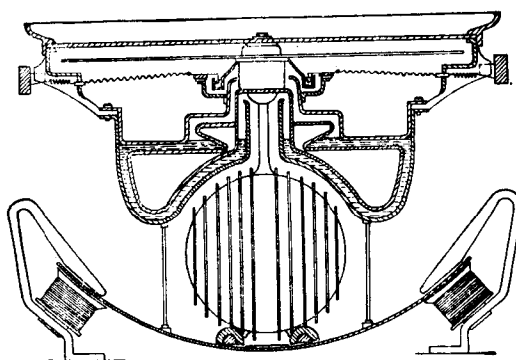
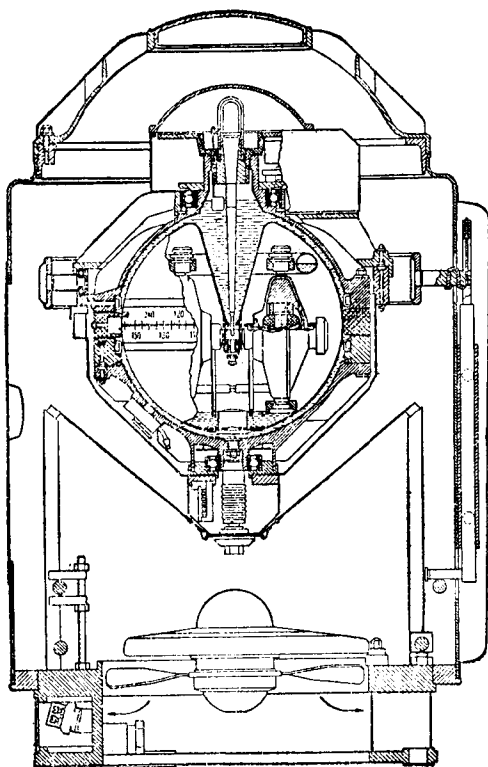


图0-4 最初的斯佩里型罗经

图0-3 坎拉脱型罗经

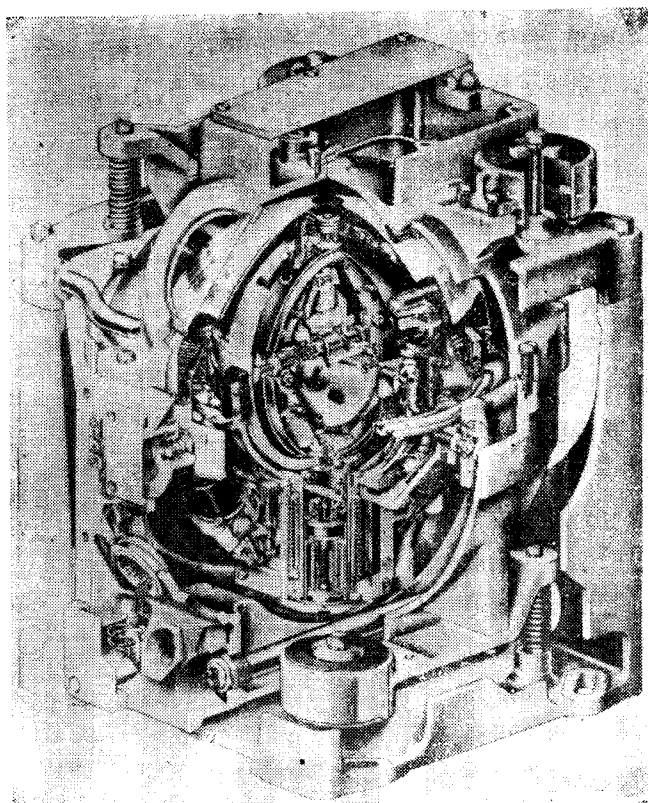


图0-5 斯佩里MK23型罗经

有结构简单紧凑等优点, 但因其支承装置等结构上的致命弱点而未能继续发展。二次大战后, 英国与美国合作研制成功性能优越的阿尔马-布朗型电控罗经, 并逐步发展成完整系列, 先后有 MK1、2、3、4、5、7、10、12、20 和 30 型等产品。

第一次世界大战前后, 炮火射程不断增大, 对瞄准装置的精度要求不断提高, 迫切需要在舰船上建立人工水平面, 以隔离船体的摇摆运动。这种需要促进了陀螺垂直器的发展。斯佩里公司除了生产陀螺罗经外, 尚研制了一系列型号的陀螺垂直器。陀螺垂直稳定平台的出现是进一步改善陀螺垂直器性能的结果, 其中陀螺动力平台在炮火指挥仪、导弹发射器以及车辆稳定装置中得到普遍的应用。

陀螺平台罗经能够在舰船上同时建立人工子午面和人工水平面两个基准。这种综合性仪器不仅在结构上和职能上可以取代单一的罗经和垂直器, 而且由于两种基准的组合, 消除或减少了许多误差源的影响, 从而在性能上得到大幅度的提高, 适应了二次大战期间和以后舰载弹道导弹及其它武器系统对方位及水平基准精度日益提高的要求, 而电磁控制方法的应用使平台罗经在技术上得以实现。

第一台平台罗经产品—斯佩里 MK19 型于 1949 年诞生。MK19-3 型已在大型舰船上使用了二十多年, 特别是 MK19-3C 型的精度有较大的提高, 并且装备了扫雷艇。一些国家常以平台罗经装备潜艇, 作为主要导航设备。自从六十年代末起, 又相继出现了五种以上的平台罗经, 其中 MK29 型精度较高, 而 PL-41 型(德)和 MCV-1 型(法)的稳定时间短, 同时 PL-41 型的设计是基于惯性平台原理, 其体积和重量缩小到 MK19-3 型的 $1/3$, 从而有可能在小型舰艇上使用。

1973~1974 年美国第二代平台罗经 AN/WSN-2 型完成了性能鉴定, 其航向和水平精度分别达到 3 和 1.5 角分, 并能转入惯导工作状态, 供导弹驱逐舰和巡洋舰使用。六十年代问世的挠性陀螺仪, 正以精度高、结构简单、易于制造、造价低和体积小等突出优点而获得日益广泛的应用。挪威于 1978 年生产的 SKR-80 型罗经已成功采用了挠性陀螺仪。

当代科学技术的重大研制成果——惯性导航系统已广泛用于航空、航海、航天等领域。惯导系统通常由惯性平台、加速度计和计算机组成, 它基于测量航行体的加速度, 并经一次和二次积分运算得到航速和航程, 不仅能连续地提供全部导航数据, 而且能够提供准确的



图 0-6 SKR-80 挠性陀螺罗经

• 水平基准。

惯性导航原理大约于1910年在德国提出,1927年积分加速度计试制成功,1932年苏联拟定了几何式惯导系统方案,而于1941年在德国V-2型火箭上已实际使用了惯导系统。但由于当时陀螺仪精度不高,惯导系统误差较大。近年来,随着各种精密陀螺仪的出现,加速度计的完善,电子计算机的普遍使用,使惯导系统获得迅速发展,得到各国的高度重视和大力研究,现已有大批产品提供使用。惯性导航系统的研制给陀螺仪器的发展开拓了新的领域。

§ 0-2 航海陀螺仪器的类型及组成

一、陀螺仪器的类型

在舰船上应用的陀螺仪器种类繁多,按其职能和结构特点可分为下列数种:

1. 陀螺方位仪

陀螺方位仪是直接利用陀螺仪相对惯性空间的稳定性而制成的航向仪器,无方向选择性,其误差随时间而积累。陀螺方位仪具有较高的动态性能,在短时间内能够提供连续而精确的航向数据,供火炮、鱼雷、导弹的发射定位用,与磁罗经或无线电定向仪等配套时,也可用于近海导航。

2. 陀螺罗经

陀螺罗经工作于闭环系统,具有自动指示子午面的性能,提供单一的航向数据,主要用于舰船导航,按其结构特点可分为:

(1) 机械摆式陀螺罗经: 其中包括单转子摆式罗经和双转子摆式罗经两种。

(2) 电磁控制陀螺罗经: 能够以罗经和方位仪两种工作方式提供航向数据。

3. 陀螺垂直器

陀螺垂直器用于建立地垂线基准,提供舰船摇摆姿态数据。陀螺垂直器不能直接稳定负载。

4. 陀螺垂直平台

陀螺垂直平台设有稳定系统,不仅能够输出水平基准信号,而且可以直接稳定各种设备,其性能比陀螺垂直器远为优越。陀螺垂直平台主要用于稳定雷达、声纳以及向火炮和导弹发射指挥仪提供水平基准信号。

5. 陀螺方位水平仪

陀螺方位水平仪是陀螺方位仪与垂直平台组成的综合性仪器,能够同时提供航向和水平基准,主要用于武备系统。

6. 陀螺平台罗经

陀螺平台罗经是陀螺罗经与陀螺平台有机组合而形成的一种多功能导航仪器,它所提供的航向和水平基准信号精度均高于陀螺方位水平仪,或单一的罗经和垂直平台,可同时用于舰船导航和武备控制。近代平台罗经尚能转入惯导系统工作方式。

7. 惯导系统

惯导系统由惯性平台、加速度计和计算机组成,它不仅能够提供精确的航向和水平数

据, 而且能够直接给出位置 (经度和纬度)、航程及航速数据, 已在航行体导航和制导中普遍应用。

二、陀螺仪器的组成

如上所述, 陀螺仪器种类繁多, 结构也十分复杂, 然而, 它们都是由功能上相同的元、部件及系统所构成的。根据近代仪器结构及设计特点, 陀螺仪器的组成可分为下列几大部分:

1. 惯性元件

惯性元件包括陀螺仪和加速度计, 由于它们都是根据惯性原理制成的, 因而得名。

陀螺仪器可以采用单自由度陀螺仪构成, 也可以采用二自由度陀螺仪构成, 它们是仪器的核心部分。近代陀螺仪器的发展趋向于把陀螺仪制成独立的部件, 在结构上, 不仅包括陀螺马达、支承和框架构件, 而且还具有信号器和力矩器, 使陀螺仪获得良好的通用性和互换性。

加速度计是惯导系统的核心元件, 在平台罗经中也可用于倾角测量。加速度计是一种精密元件, 在结构上, 一般除陀螺马达外, 与陀螺仪甚为相似, 而陀螺摆式加速度计就是在单自由度陀螺仪基础上制成的。

2. 常平架系统

常平架系统用于隔离航行体的运动, 并完成输出信号的几何测量, 它由各种形式的环架结构组成。应当指出, 在所谓常平架系统中将不包括陀螺仪本身所需的框架部分。常平架的数量和结构根据陀螺仪器的类型和工作需要确定, 舰船陀螺仪器多采用三环结构。

3. 稳定系统

采用单自由度陀螺仪构成定向仪器时, 稳定系统是必不可少的。在近代陀螺仪器中, 为了提高精度, 采用二自由度陀螺仪方案的仪器设备也普遍应用伺服系统。稳定系统由卸荷装置和电子线路组成, 并与陀螺仪和常平架协同工作, 构成相对惯性空间稳定的基本单元, 它是各种陀螺仪器所共有的结构组成部分。

4. 控制系统

控制系统又常称为修正装置或修正系统, 其功用是使相对惯性空间稳定的陀螺仪或稳定平台具有模拟特定参考系 (如地理坐标系) 的性能。控制系统是表征陀螺仪器特性的组成部分, 陀螺仪器类型和功能的区别, 主要在于控制系统的不同。航海陀螺仪器控制系统大多由摆元件、力矩器和电子线路组成。

5. 误差补偿系统

由于设计上和制造上的缺陷; 工作条件和外界环境的影响, 陀螺仪器不可避免地将产生各种误差。补偿系统的作用就在于消除或减小这些误差, 提高仪器的性能。在很大程度上, 仪器的实用精度取决于误差补偿的效果。在近代陀螺仪器设计中, 补偿系统占有重要的地位, 成为必不可少的组成部分。补偿系统由各种类型的计算解算装置组成, 它可能工作于闭环系统, 也可能工作于开环系统。

6. 温控系统

隔离外界温度变化对陀螺仪器的影响, 温控系统也可以作为误差补偿系统的一个组成

部分。

7. 信号处理及发送系统

指示、传输、放大和变换陀螺仪器的输出信号。

8. 输电系统

实现陀螺仪器活动部件间的电源及信号的传输。

9. 减振系统

隔离航行体的冲击及振动。

10. 电源系统

变换及改善航行体电源，提供陀螺仪器所需的电能。

考虑到结构、使用以及维护的要求，陀螺仪器整套设备可以制成整体式，也可以制成几个单独的部件，通常分为：

- (1) 主体仪器；
- (2) 控制（操纵）箱或控制台；
- (3) 发送装置；
- (4) 电源装置等。

各部件间以电缆联接。

§ 0-3 航海陀螺仪器的工作条件

一、空气湿度

空气中存在着一些尺寸为 0.001~0.1 微米的水蒸气微粒，温度不同，水蒸气含量也不同。空气湿度以相对湿度表示。

$$R = \frac{q}{Q} 100\% \quad (0-1)$$

式中 q ——绝对湿度（单位体积空气中水蒸气含量，克/米³）；

Q ——空气被水蒸气饱和的极限值（克/米³）。

当空气中水蒸气含量超过饱和时，水气凝结成小水珠，其大小达 0.01 毫米，形成云雾或水滴落在仪器表面上。海面上的空气经常达到饱和极限，仪器设备往往处于过饱和的湿空气中，凝结在仪器表面的水珠很容易浸入内部。水是具有高导电的强偶极性介电质，并且由于混合物的存在，其性质显著地变化。

金属表面长期处于潮湿空气中将出现氧化层或金属盐，使构件腐蚀或产生过大摩擦，迅速损坏。潮湿对电气元件，如电容器、电感器、变压器、转换开关等的性能影响很大，使绝缘下降，损耗增大，介电常数变化等。航海陀螺仪器应具有良好的防潮、防水、防腐蚀性能。

二、环境温度

陀螺仪器在舰船上使用期间，以及在贮存和运输期间的环境温度变化很大，通常由 -50℃ 到 +50℃。我国北部沿海地区冬夏季温差很大，而南海地区则属于热带或亚热带气

候条件。仪器在远洋舰船上使用时，环境温差范围更加悬殊。但是，陀螺仪器的制造、装配及调试通常在工厂 $+20^{\circ}\text{C}$ 条件下进行，温度的变化对仪器精度及可靠性影响很大。

温度变化将引起陀螺仪重心偏移，产生过大的漂移；热膨胀及低温收缩使零件尺寸变化；不同材料间的配合面将产生间隙或卡死现象；固连在一起的不同材料的杆件由于温度变化将弯曲；温度变化也可能引起弹性元件性能的变化，而在低温条件下轴承润滑油粘度的增大将使摩擦增加，恶化仪器的运行状态。在陀螺仪器设计中，必须充分考虑温度变化对仪器的影响，并采取隔离和补偿技术措施。

航海陀螺仪器环境温度：

舱室 $0^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ ；舷外 $-30^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ ；贮存 $-25^{\circ}\text{C}\sim30^{\circ}\text{C}$ 。

三、尘埃、盐雾及微生物

尘埃会使仪器受到严重的破坏。灰尘落入活动构件中将产生机械磨损；在开关和继电器内灰尘可以引起电弧，以致引起触点的烧毁。

航海陀螺仪器特别容易受到盐雾的侵蚀。盐分是良好的电介物质，能够加速不同金属间的电化反应所造成的腐蚀。

微生物的繁殖对在热而潮湿的气候条件下工作的仪器将引起一定的危害性。为防止细菌生长，常采用杀菌漆和药物。

四、振动及冲击

陀螺仪器在使用和运输过程中始终承受持续的振动和冲击作用。舰船动力设备、波浪冲击及武器发射是主要振动源和冲击源。舰船的振动由一系列振幅和频率不同的周期性正弦振动组成，其中把具有最大周期的正弦振动频率称为基频：舰船振动基频通常为 $3\sim 5$ 赫；铁路运输时约为 30 赫。

陀螺仪器在振动和冲击作用下，尤其是当仪器固有振动频率与舰船基频或其它高次谐振频率之一共振或接近时，将产生过大的误差；引起材料疲劳而损坏；元件错位或脱位；支架弯曲或断裂等。陀螺仪器必须具有足够的振动稳定性和振动强度。

所谓振动稳定性是指仪器在振动条件下保持指示精度的稳定性和可靠性的能力，而振动强度为在规定寿命期间内保证无损工作的能力。振动稳定性和振动强度不仅取决于振动频率，而且与振幅有关。振动强度以振动过载 N 表示，它等于最大振动加速度与重力加速度之比。

$$N = \frac{4\pi^2 f^2 a}{g} \quad (0-2)$$

式中 f —— 振动频率。

五、舰船运动

舰船航速、加速度以及船体摇摆将相应引起速度误差、加速度误差和摇摆误差，对陀螺仪器工作精度影响十分显著，其中仅摇摆误差即可达 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 之巨，而速度误差与仪器结构无关。消除或减小这些误差一直是陀螺仪器设计的重要技术内容。

舰船运动参量主要与舰船职能、类型及海情条件有关。

舰船航速随着造船技术的发展日益提高：现代大型远洋轮航速为 20~30 节；军用舰船航速可达 40~45 节；小型快速舰艇的航速已超过 60 节。

舰船加速度是由于航速变化或环航而产生的。舰船环航加速度的持续作用时间远较直航向加速度作用时间长，特别是机动频繁的军用舰艇，使陀螺仪器经常处于持续的加速度工作条件。

海情条件对舰船摇摆影响很大，同时取决于船型以及防摇设施的完善程度，一般情况下，航海陀螺仪器应在表 0-1 所示摇摆参数下能正常运行。

表 0-1 舰船摇摆参数

		水 下 舰 艇	水 面 舰 艇	小 型 快 艇
纵 摇	幅 度	$\pm 5^{\circ} \sim \pm 15^{\circ}$	$\pm 3^{\circ} \sim 10^{\circ}$	$\pm 10^{\circ} \sim \pm 15^{\circ}$
	周 期	5 ~ 7 秒	5 秒	5 ~ 7 秒
横 摇	幅 度	$\pm 15^{\circ} \sim \pm 45^{\circ}$	$\pm 15^{\circ} \sim \pm 40^{\circ}$	$\pm 15^{\circ} \sim \pm 45^{\circ}$
	周 期	8 ~ 12 秒	9.5 秒	8 ~ 12 秒

第一篇 陀螺仪器结构

第一章 陀螺方位仪

§ 1-1 概 述

陀螺方位仪是利用二自由度陀螺仪的稳定性建立航行体方位基准的陀螺仪器。它可以制成单独的航向仪器，也可以是其它导航仪器（如电控罗经、平台罗经等）的一种特定的工作方式。

陀螺方位仪不具备方向的选择性，因而必须设有补偿装置，并定期校正。由于陀螺方位仪的误差是随时间积累的，它不能供长时间导航用，而主要装备高速机动舰艇。随着陀螺仪器的发展，近代船用方位仪常常与罗经组合制成综合性仪器，作为特殊情况（舰船机动、高纬度区航行）下的辅助导航方式。

陀螺方位仪的主要性能指标为方位漂移。用于快艇导航及武器发射控制的陀螺方位仪，其漂移要求在 $0.5 \sim 1.5$ 度/小时 范围内，而在平台罗经中，方位仪状态的精度要求在 $0.05 \sim 0.5$ 度/小时 范围内。

图 1-1 所示为陀螺方位仪结构示意图。它主要由陀螺仪、水平修正系统、方位伺服（随动）系统及误差补偿装置等组成。

陀螺方位仪通常采用二自由度陀螺仪构成，一般选用主轴水平指北取向方式，在仪器本身无倾斜情况下，陀螺仪两个测量轴分别沿近似垂线和东西水平方向。水平修正系统的功能是使主轴保持在水平面内，它通常由摆元件、放大器和方位力矩器组成。摆感受主轴相对水平面的偏离，输出相应的电压信号，经放大输入力矩器，向垂直轴施加修正力矩，使主轴返回水平面。

方位轴没有任何定位控制装置。为使主轴在方位上跟踪子午线的运动，在陀螺方位仪中设有方位补偿装置，它由解算器和力矩器组成。解算器的输入信号为航速 V 、航行纬度 ϕ 及航向 K 。力矩器向水平轴施加

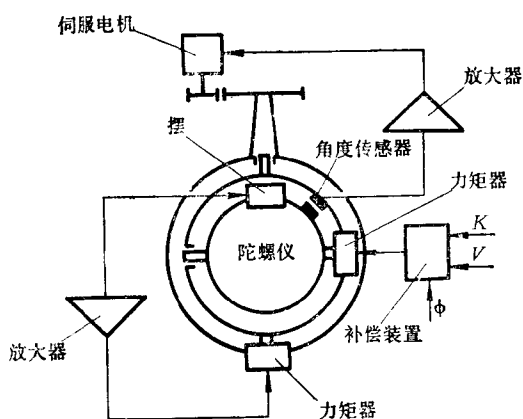


图1-1 陀螺方位仪结构示意图

$$M_y = H \left(\omega_e \sin \phi + \frac{V \sin K}{R} \operatorname{tg} \phi + \varepsilon_{zo} \right) \quad (1-1)$$

式中 H ——陀螺仪动量矩；
 ω_e ——地球自转角速度；

R ——地球半径,

ε_{zo} ——陀螺方位轴常值漂移。

的补偿力矩,以补偿地球自转垂直分量 $\omega_z \sin \phi$; 舰船航速垂直分量 $\frac{V \sin K}{R} \operatorname{tg} \phi$ 及陀螺常值漂移 ε_{zo} 而产生的方位误差。

船用陀螺方位仪的方位轴负载(导电装置摩擦力矩、指示装置及信号输出装置摩擦力矩和反作用力矩等)比较大,因此,为了提高仪器精度及稳定性,往往采用伺服系统,以卸除外负载。伺服系统由角度传感器、放大器和伺服电机组成。角度传感器输出正比于伺服环与陀螺外环偏角的电压信号,经放大输入伺服电机,驱动伺服环,使其与陀螺仪的位置相协调,同时带动发送器,输出航向信号。

除了上述组成部分外,陀螺方位仪还有电源装置、匹配装置、航向指示和传输装置等其它辅助机构。

§ 1-2 606航向指示器

一、功用及组成

606航向指示器主要应用于快速机动的小型水面舰艇,供导航及武备系统控制。单独使用时,它作为航向指示器;与自动舵配套时,则可作为航向稳定器用,自动保持舰艇航行的预定方位,其工作精度为 ± 1.5 度/小时。

航向指示器采用普通机械类型的二自由度陀螺仪制成,利用重心偏移法补偿地球自转垂直分量所引起的主轴在方位上的误差。该仪器设有电气水平修正装置和方位匹配机构。为了卸除方位轴负载和向复示器、自动舵或其它接收器传输航向信号,仪器采用了灵敏度较高的随动系统。航向指示器结构示意图如图 1-2 所示。

606航向指示器的使用航行范围为北纬 $0^\circ \sim 76^\circ$ 。仪器由 24 伏直流舰电网供电,供电后进入正常工作状态所需要的时间不大于 30 分钟。全部系统所需额定功率不超过 290 瓦;启动功率不大于 450 瓦。

航向指示器由下列五个单独的部件组成(图 1-3):

1. 主体仪器 1;
2. 供电组合机 2;
3. 放大配电器 3;
4. 航向匹配器 4;
5. 复示器 5。

主体仪器包括如下部分:

1. 陀螺仪;
2. 水平修正装置;
3. 纬度校正器;
4. 温度补偿器;
5. 随动系统;
6. 同步发送器;