维普资讯 http://www.cqvip.com

常见几种陀螺仪的比较及应用分析

姜 璐 于运治

（哈尔滨工程大学 150001）（海军青岛潜艇学院 266071）

摘 要 论述了常用的几种陀螺仪应用情况及在导航中的地位，主要对静电陀螺、光学陀螺、微机械陀螺的原理、性能和使用范围进行了比较及分析，并介绍了几种新型陀螺仪的工作原理及应用前景。

关键词 陀螺仪；应用；光学陀螺；微机械陀螺

自陀螺仪的问世，因其独特的性能，广泛地应用于航海、航空、航天以及国民经济等领域，陀螺及其相关技术一直是各国重点发展的技术之一，发展十分迅速，迄今为止，陀螺仪从传统的刚体转子陀螺仪到新型的固态陀螺仪，种类十分繁多。液浮陀螺、静电陀螺和动力调谐陀螺是技术成熟的三种刚体转子陀螺仪，达到了精密仪器领域内的高技术水平。随着光电技术、微米／纳米技术的发展，新型陀螺仪如激光陀螺、光纤陀螺和微机械陀螺应运而生，它们都是广义上的陀螺仪，是根据近代物理学原理制成的具有陀螺效应的传感器，因其无活动部件，称为固态陀螺仪，这种新型全固态的陀螺仪将成为未来的主导产品，将具有广泛的发展和应用前景。

1 陀螺仪的应用及比较

根据最近几年国内外的文献，目前常见几种型号陀螺的精度范围如图1描述：

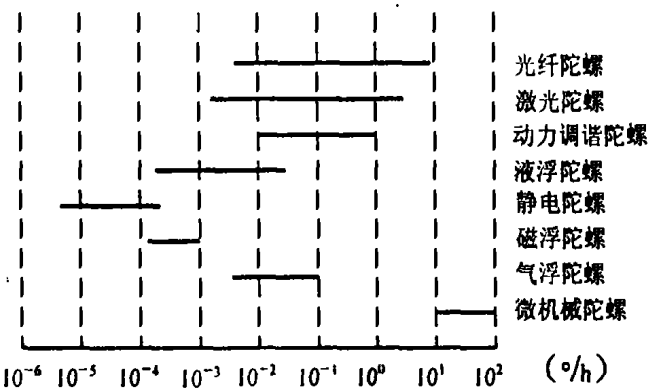

图1 目前常见几种型号陀螺的精度范围

收稿日期：2003-09-20。修回日期：2004-01-06。姜璐（1972－），女，海军潜艇学院讲师，哈尔滨工程大学博士研究生，从事导航、制导与控制专业教研。

维普资讯 http://www.cqvip.com

从图1可以看出，陀螺精度的分布相差大约8个数量级，那么根据其精度范围大致可分为三部分：超高精度陀螺仪、中高精度陀螺仪和低精度陀螺仪。

1.1 超高精度陀螺仪

超高精度陀螺仪指精度在10^{-6}～5×10^{-4}（°/h）范围内的陀螺仪，主要包括静电陀螺、磁浮陀螺和液浮陀螺。

目前最高精度的陀螺仪是静电陀螺仪，这种陀螺的精度还有进一步提高的潜力，至少在未来一个阶段还将占据领先地位。

液浮陀螺在导航中已得到最广泛的应用，如在舰船的陀螺罗经和惯性导航系统。液浮陀螺在今后几年还将继续发挥作用，这是因为液浮陀螺已建立良好的加工工艺，并形成了一定的生产基础。不过就目前的现状来看，再投入人力物力去研制新的液浮陀螺已没有必要，这是因为进一步提高液浮陀螺的精度已很困难，并且现在已经有高精度的静电陀螺。

磁浮陀螺的研制已有30多年历史，但没有得到广泛使用，这是因为在超高精度方面静电陀螺更具优势，而在中、高精度方面的应用液浮陀螺又长期占主导地位。所以说精度接近10^{-4}（°/h）的磁浮陀螺只能在一些特定的领域得到使用，此外它的使用还要受成本因素的制约。俄罗斯研制一种球形磁浮陀螺，采用球形磁悬浮转子，在高真空下高速旋转，其工作原理类似于静电陀螺，但它靠的是电磁力作为支承。由于采用低廉的电磁材料及简便的生产过程，并进行自动化生产，故价格较低，这方面同价格昂贵的静电陀螺相比具有优势，球形磁浮陀螺应用在半解析式惯性导航系统中，体积小精度高，其缺点是过载能力低，启动时间长，只能适用于航海上。

静电陀螺是利用静电力支承使球形转子在超高真空的环境下高速旋转的一种自由转子陀螺仪。转子是由比重轻、刚度大的铝或铍制成的空心或实心球体，置于超高真空的陶瓷球腔内，球腔内壁经过金属化处理后再开出沟槽，把球腔面分割成上下左右前后6个支承面，构成三对电极，当电极通电时，支承电极之间形成很强的静电场，静电引力使转子悬浮在球腔的中心，再通过两对轴线正交的驱动线圈所产生旋转磁场驱动转子高速旋转。由于陀螺转子是靠静电悬浮支承的，实现了转子的无机械接触支承，从而提高了陀螺仪的精度。静电陀螺仪适用于高精度的惯性导航系统中。静电陀螺仪组成的静电陀螺监控器（ESGM）与舰船惯性导航系统（SINS）组成SINS/ESGM组合导航系统，该系统是目前最高精度等级的惯性导航设备，它能满足潜艇及航母高精度、高可靠性和隐蔽性的要求。

目前，静电陀螺的研制者还将开发其新的应用前景。首先，在宇航方面利用静电陀螺建立高精度的定位系统。目前静电陀螺在航天器上还未得到使用，但根据其工作原理静电陀螺在失重条件下工作应十分有效。可以预料，静电陀螺仪在航天器上的应用将从根本上简化航天器的定位系统。其次，静电陀螺仪在陀螺经纬仪上的应用，这是因为利用静电陀螺仪可以克服微小加速度干扰，提高稳定性，并缩短启动时间。

1.2 中高精度陀螺仪

中高精度陀螺仪指精度在5×10^{-4}到10^{-1}（°/h）的陀螺仪。这种精度范围的陀螺仪种类很多，这样经济成本就成为选择陀螺仪的一个重要因素。目前最具有发展前景的陀螺仪就是光学陀螺仪，主要指激光陀螺和光纤陀螺，其工作原理都是基于萨纳克（Sagnac）效应，

维普资讯 http://www.cqvip.com

光纤陀螺的工作原理与激光陀螺的不同之处仅在于光纤陀螺是用光导纤维缠绕成一个线圈所构成的光路来代替用石英玻璃加工出的密封空腔光路。萨纳克效应是相对惯性空间转动的闭环光路中所传播光的一种普遍的相关效应，即在同一闭合光路中从同一光源发出的两束特征相等的光，以相反的方向进行传播，最后汇合到同一探测点。若绕垂直于闭合光路所在平面的轴线，相对惯性空间存在着转动角速度，则正、反方向传播的光束走过的光程不同，就产生光程差，其光程差与旋转的角速度成正比。因而只要知道了光程差及与之相应的相位差的信息，即可得到旋转角速度。

最近几年，由于光纤陀螺在精度、性能和尺寸上具有更大的潜力，越来越受到各国陆海空三军的青睐。这是因为光纤陀螺同机电陀螺或激光陀螺相比，其主要优点在于：①无活动部件，体积小，结构简单，耐冲击；②启动时间短，仅需零点几秒即可工作；动态范围宽，测量范围在0.01（°/h）～400（°/s）；③易于采用集成光路技术，信号稳定可靠，可直接数字输出，便于与计算机接口；④检测灵敏度和分辨率比激光陀螺仪提高了几个数量级，克服了激光陀螺仪的闭锁问题。有关专家认为：精度在10^{-2}（°/h）或者更高的光纤陀螺将代替激光陀螺，这是发展趋势。

美国是率先研制和应用光纤陀螺的国家，其中利顿（Litton）和霍尼韦尔（Honeywell）公司研制的光纤陀螺达到了国际上的最高水平并且已得到广泛应用。在军用方面，飞机、舰艇、潜艇以及导弹均将装备光纤陀螺用以导航和制导，而且卫星、宇宙飞船上也将会装备光纤陀螺仪用于与地形跟踪匹配和导向，火箭发射场上光纤陀螺仪用于火箭升空发射跟踪及测定等。在民用方面，光纤陀螺仪可用于飞机导航和石油勘察、钻井导向（确定下钻的位置），特别是在工业上的应用具有极大的发展潜力。据最新报道，Honeywell公司研制的干涉型光纤陀螺（IFOG）的最高精度已达到0.00038（°/h）。随美国之后，英、法、德、日以及前苏联等国也先后开展了光纤陀螺的应用研究以装备海军和空军。如英国的航空系统设备公司已推出漂移率为10（°/h）的小型光纤陀螺，目前已装备海军和空军。而日本和法国于20世纪80年代末分别研制出精度为0.1～10（°/h）以及小于0.1（°/h）的小型光纤陀螺，目前均装备于导航和导弹制导系统中。

目前国内光纤陀螺的研制尚处于实验室阶段，正处于工程化和实用化的攻关阶段。国内的很多研究所和高校开展了光纤陀螺的研究和开发工作，并取得了一定成绩，有的样机已在车载导航系统和航天器上得到试用，而在舰船导航中的应用还停留在预研阶段，可望向工程化和实用化发展。表1列出了不同精度的光纤陀螺在各领域的应用范围。

表1　不同精度的光纤陀螺在各领域的应用范围

测量范围表（°/s）	漂移率（°/h）	适用范围
—	10～100	短期导航：战术导弹、短程火箭、小型舰艇和反潜武器等
>100	0.1～10	中程/近程导弹、民用飞机、汽车、机器人、卫星
>100	0.01～0.1	远程导弹、军用飞机、大型舰艇、卫星
≤10	<0.01	高精度（惯导级）：战略导弹、潜艇、宇宙飞船、卫星

维普资讯 http://www.cqvip.com

1.3 低精度陀螺仪

低精度陀螺仪指精度范围超过10^{-1}（°/h）的陀螺仪。传统上都认为该精度的陀螺在导航方面应用范围很窄，在其它领域的应用前景也很暗淡。但是微惯性元件（微机械陀螺、微加速度计）的产生使这一看法发生了彻底转变。微机械陀螺的研制是从20世纪80年代开始，其中最具代表性的有美国德雷珀实验室的硅微机械陀螺、美国Siston Donner公司的石英微机械陀螺和日本Murata公司的压电陶瓷微机械陀螺。

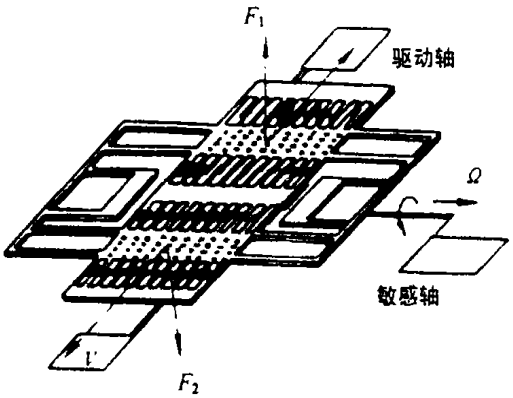

图 2 音叉式微机械陀螺结构图

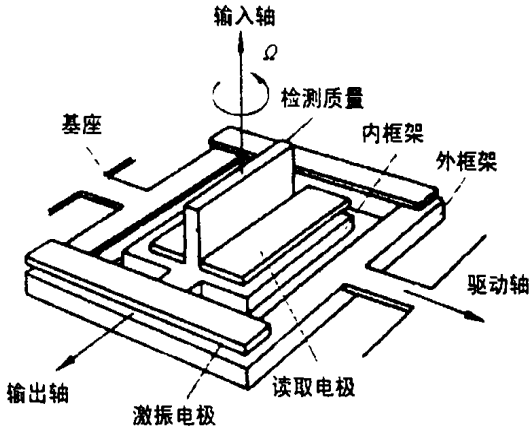

图 3 框架式微机械陀螺结构图

微机械陀螺是采用微电子技术，利用化学蚀刻方法在单晶硅片上制成的一种超小型的测角装置，具有外形尺寸小，质量轻，功耗低，启动快、成本低、可靠性高和易于数字化等优点，其加工工艺可以保证大规模生产，因而成本很低，但它最大的缺点是精度低。微机械陀螺目前精度在10^2（°/h）)左右，还将进一步提高到10^1（°/h）。随着先进的微电子技术的发展，预计微机械陀螺的价格将会在1美元到几百美元之间。其低廉的价格使其具有广阔的应用前景，有望在一些新的领域中得到应用，如车载导航系统、天文望远镜、工业机器人、计算机鼠标，甚至是玩具上。

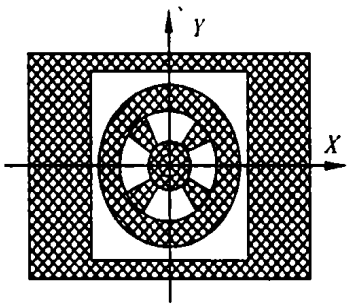

图 4 振轮式微机械陀螺结构图

微机械陀螺目前常见的结构类型有音叉式、框架式和振动轮式几种。理论分析表明，振动轮式MEMS陀螺在现有的结构中，具有最高的灵敏度，且便于加工实现，是微机械陀螺重点发展的方向。音叉式微机械陀螺的工作原理是，当有角速度输入时，将产生哥氏力使其绕挠性轴振动，振动的幅度与输入角速度成正比。框架式结构由内框架和外框架组成，二者相互正交，均为挠性轴。检测质量固定在内框架上。检测质量绕驱动轴振动，由于振动角很小，故检测质量点的振动可认为是沿输出轴的线振动。当有角速度输入时，哥氏力作用在检测质量上，使其绕输出轴振动，测量电容差值的变化，得到正比于输入角速度的输出电压信号。振动轮式基本工作原理是：梳状驱动轮通过一对挠性轴与外框架相连，还通过4根支撑梁与中心支柱相连。给定齿施加简谐驱动电压，定齿与动齿间形成静电驱动力，在静电驱动力作用下，带有陀螺检测质量和梳齿

维普资讯 http://www.cqvip.com

的振动轮带动外框架绕其中心轴在*XY*平面内振动。当输入轴*X*有角速度输入时，作用在陀螺检测质量上的哥氏力将使振动轮带动外框架绕其输出轴Y振动，于是与基片上检测电极间形成一对差分电容。根据其电容变化的大小就可测得输入角速度的值。

尽管中、低精度陀螺不能满足惯性导航系统的要求，但可以同全球卫星定位系统（GPS或GLONASS）组合组成造价低廉的微型组合导航系统，这是一个发展方向。在这样的组合导航系统中陀螺仪和GPS两个组成部分互相取长补短，组合导航系统的长期精度由误差不随时间积累的GPS来保证，当短时间失去GPS信号时，由微惯性元件提供运动的动态参数和导航信息，而GPS正常工作时微惯性元件利用GPS信息进行校正，以提高精度。

表2列出了日本、美国、俄罗斯几种中、低精度陀螺仪的主要性能参数，其中Gyrostar ENC型和Gyrostar ENV型为压电陶瓷微机械陀螺，Gyrochip为音叉式硅微机械陀螺，ВОГ 910为闭环光纤陀螺，РВГ-1M为振动轮式微机械陀螺。

表2 国外几种中、低精度陀螺仪的主要性能参数

参数	陀螺型号 公司名称				
	Gyrostar ENC Murata	Gyrostar ENV Murata	Gyrochip GC-1-50-100 SistonDonner	ВОГ 910 НТК Физоптика	РВГ-1М НПП Темп-Авиа
量程（°/s）	90	80	50,100	200	90
频率 Hz	50	7	60	1000	45
漂移率（°/h）	—	1（10min）	0.2	0.01	0.005
非线性 %	5	0.5	0.1	0.2	0.5
敏感轴	1	1	1	1	2
功耗 W	0.025	0.075	0.8	0.5-1.5	3-5
外形尺寸 mm	22×9×8	19×46×38	ϕ50×25	ϕ80×25	ϕ34×37
质量 g	2.7	50	100	100	50

2 结语

陀螺仪技术将利用现代微电子技术在原有的机械理论的基础上得到进一步的发展，预计最近10年陀螺仪的主要研究方向是：①研制10^{-6}（°/h）的高精度静电陀螺，用于解决自主导航和基础研究方面的问题；②研制低成本、高精度的光学陀螺，主要是精度在10^{-3}～10^{-1}（°/h）的光纤陀螺，可广泛用于导航各个领域；③研制精度在10^{1}～10^{2}（°/h）的微机械陀螺和微加速度计，将广泛用于组合导航系统和运动控制系统中。

维普资讯 http://www.cqvip.com

参考文献

1 孙丽，王德钊. 国内外光纤陀螺的最新进展[J]. 控制工程. 2002，(1)：9～14.

2 何传五. 几种新型陀螺简介[J]. 航天控制. 2001，19(2)：73～80.

3 Пешехонов.Современная автономная навигация проблемы и перспективы. Гироскопия и навигация.1999.3.

4 Rand Husing. MEMS Inertial Rate and Acceleration Sensor. IEEE AES system Magazine, November 1998.

Comparison and Application Analysis on Some Current Use Gyroscopes

JIANG Lu YU Yunzhi

Abstract This paper discussed the application and status in navigation of some current use gyroscopes, in next compared and analyzed the principle , quality and use range of the electrostatic gyroscope、fiber-optical gyroscope and micro-mechanical gyroscope. At last, introduced the working principle and developing prospect of some new gyroscopes.

Key words Gyroscope; Application; Micromechemical Gyro; Fiber-Optic Gyroscope

GPS 何时会在国内轿车市场普及

据有关资料统计，2002 年中国 GPS 导航系统的市场销售额是 21 亿元人民币，预计到 2005 年将增长到 100 亿元。

而 GPS 进入中国汽车市场好多年了，进口的、合资的、国产的，大都成了市场的过客，就连作为基本配置装上汽车的，也不太被消费者看好。那么，GPS 何时会在国内轿车市场普及呢？

适合中国国情的 GPS 产品应当具有导航、无线数据传输、多媒体娱乐三大功能，要充分体现车载系统集成化、智能化的发展趋势。

从市场反馈上看，20 万元以上的中高档车安装 GPS 的需求正在持续递增。随着 GPS 成本空间的进一步下降，以及使用功能的不断完善，GPS 导航系统的市场空间将会向纵深发展，简单的 GPS 产品今后无疑也将应用在经济型轿车上。

对于 GPS 在中国市场的发展，最重要的推动力还是消费者。业内专家认为，改变 GPS 导航系统在中国市场不尽如人意的表现，关键在于消费者的认同。首先是让消费者感觉到它的使用价值，就是说让消费者真正感到它对汽车驾驶确实方便；再就是让消费者感到物有所值，也就是说其价格一定要在消费者能够接受的范围之内，而且其功能不能与其他配置有所重复。

（肖力供稿）