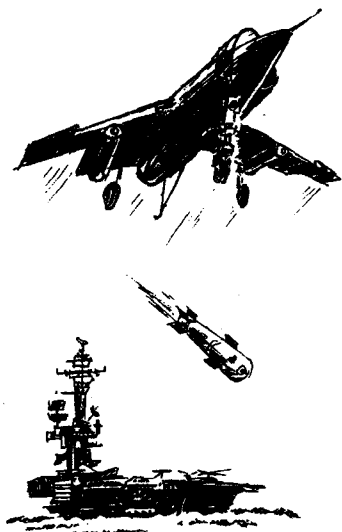


# 光纤陀螺及其军事应用

段改丽



光纤技术作为一项新兴技术,性能优异、应用潜力巨大,而光纤陀螺是其中研究最为活跃的一种传感器。美国的瓦利(V. Vali)和肖迪尔(R. W. Shortill)于1976年提出的光纤陀螺引起广泛

关注。光纤陀螺因其体积小、抗电磁辐射和冲击能力强、寿命长、易于集成、成本低等优点而飞速发展,广泛用于兵工、航海、航空、航天等军事领域。

## 一、光纤陀螺的原理

光纤陀螺以光的 Sagnac 效应为理论基础。Sagnac 效应是在相对于惯性空间旋转的闭合环中传播的光普遍存在的一种相关性。当光束在一个环形通道中前进时,如果环形通道本身具有转动速度,那么光线沿通道转动的方向前进所需时间要比沿这个通道以相反方向转动前进所需时间多。即光学环路转动时,在不同前进方向上的光学环路光程相对于环路在静止时的光程都会产生变化,这种光程变化就引起相位和谐振频率的变化。通过测量相位和谐振频率的变化量可测定环路旋转的速度。

## 二、光纤陀螺仪的分类

**干涉型陀螺仪(I-FOG)** 干涉型光纤陀螺仪是第一代光纤陀螺仪,它起步较早、发展也比较完善,是现在常用的一种光纤陀螺仪。它的特点是运用 Sagnac 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 Sagnac 相位变化。干涉型光纤陀螺又分为开环和闭环两种。开环光纤陀螺结构简单、价格便宜,但是线性度差、动态范围小。闭环型是一种较为精密、复杂的光纤陀螺,主要用于中等精度的惯导系统。现在干涉型光纤陀螺仪的光纤元器件一般都用保偏光纤制作,由于保偏光纤对线偏振光具有较强的偏振保持能力,并且与普通单模光纤有良好的相容性,从而大大提高了光纤陀螺的性能。但若增加它的灵敏度就必须增加光纤长度,一般为数百米到数千米,所以干涉型光纤陀螺的体积相应较大,实用性受到一定影响。

**谐振型光纤陀螺(R-FOG)** 谐振型光纤陀螺是第二代光纤陀螺仪,它利用 Sagnac 效应产生的光程变化、通过调整光纤环路的光的谐振频率进而测量环路的转动速度。从理论上讲谐振型光纤陀螺采用环形谐振腔增强 Sagnac 效应,利用循环提高精度,克服了干涉型光纤陀螺的光纤长,体积大的缺点,它要比干涉型的光纤陀螺仪有更好的灵敏度,有更大的发展空间,但实际中,谐振式的陀螺仪在实现干涉时,它的光程差较大,所以要求的光源必须有很好的单色性,而一般光源由于其单色性不是很高,所以在产生干涉时,会有其他杂散光的干涉,影响测量的精度。如何消除杂散光产生的干涉是目前面临的重大难题。而且由于对谐振型光纤陀螺研究起步较晚,所以在技术上还不太成熟,目前正处于由实验室向实用过渡阶段。

**布里渊型光纤陀螺(B-FOG)** 布里渊型光纤陀螺是第三代光纤陀螺仪,它基于光学非线性效应

能半导体制冷技术,也是近年来的研究新方向。目前研究的最大制冷量已达 31kW,制造成本虽高于普通压缩式制冷机,但却能以零费用运行。

和常规制冷相比,半导体制冷还存在制冷系数低(半导体制冷器最初的制冷系数只有 0.9 左右,目前实验室产品已达 2.0,而常规压缩式空调的制冷系数为 2.5~3.0)、制冷温差小等不足,这在很大程度上影响了其商业化推广。但由于其本身优势(特

别是环保、无污染、免费利用太阳能的潜力及在一些特殊场合的无法替代的地位),相信随着该技术的进一步发展和完善,半导体制冷技术必将在未来制冷领域中占据重要地位。

(李洪斌,广东省武警广州指挥学院训练部数理教研室 510440;杨先,云南省大理州下关第三中学 671000)

的受激布里渊散射而提出的有源光纤陀螺,原理与谐振型光纤陀螺相同,只不过以光纤线圈代替了传统的环形激光腔。泵浦激光源耦合进入光纤线圈,并产生增幅的布里渊散射,光纤线圈中产生光学谐振。泵浦激光器发出的光被分成两束,分别进入光纤环中沿相反方向传播,当光满足受激布里渊散射的阈值条件时分别产生后向散射光,两束以相反方向传播的散射光分别沿与泵浦光相反的方向相遇进行拍频,“拍频”指两个频率相近的信号间产生的频率差拍现象。布里渊型光纤陀螺还有许多技术难题有待解决,尚处于实验室研究阶段。

### 三、光纤陀螺的军事应用

光纤陀螺能够精确确定运动物体的方位,与传统的机械陀螺相比,具有结构简单、无旋转部件、重量轻、耐冲击、使用寿命长、消耗功率小、动态量程大等优点,广泛用于导弹制导、飞机船舰导航、军用卫星与地形跟踪导航等控制系统中,它的发展对一个国家的国防建设具有十分重要的战略意义。

光纤陀螺在陆战中的应用 近年来,随着我国军事发展的需要,军事地理信息系统已进入实际研发阶段。而全球定位系统 GPS 对军事地理信息系统的发展起到了很大推动作用。众所周知, GPS 接收器靠接收 GPS 卫星信号获取定位信息,所以在山区、隧道等卫星信号微弱甚至根本“看不到”卫星的地方, GPS 就显得“力不从心”,但这些地区往往是敌我作战的主战场。为解决上述问题,一般采用 GPS 与航位推算系统相结合的办法弥补 GPS 失去卫星定位信号而产生的数据空缺。航位推算系统是由光纤陀螺和里程计组成的一种自主式导航系统,完全依靠车载设备自主完成导航任务,不易受周围环境的干扰和影响,能够保证连续定位。光纤陀螺还可用于装甲车和坦克的转塔,在车辆瞄准和射击时用于稳定炮塔。2002 年 6 月, KVH 公司为欧洲系统集成商制造的几辆战车提供 E - Core 4000 型光纤陀螺,其中单轴 E - Core 4000 型陀螺用于主战坦克转塔的升级,双轴 E - Core 型陀螺集成到新装甲车的转塔上,在车辆瞄准和射击时陀螺将用于稳定炮塔。由于 E - Core 4000 型光纤陀螺不包括运动机件,对于那些影响机械陀螺精度和稳定性的外部振动、冲击和加速的惯性和十字线移动不敏感。战车制造商使用后认为,其稳定性和可靠性远远超

过现在军车上使用的机械陀螺,平均无故障运行时间为 6.5 万小时,在数量级上大大超过机械陀螺。

光纤陀螺在海战中的应用 自 19 世纪后半叶出现钢制轮船以来,陀螺仪就担当了舰船导航的重要任务。海军武器以运动平台为载体,掌握自身平台的时间、空间和姿态信息是保证大部分作战兵器充分发挥效能的基础。在未来战争条件下,无线电、GPS、天文导航和制导都可能被对方干扰,而光纤陀螺以其牢固稳定、耐冲击、启动时间短、检测灵敏度高、寿命长、信号稳定等优点,在未来信息战环境中有着特殊地位,它在水下是唯一有效的导航手段,已普遍被各国海军认识和接受。KVH 公司的 DSP - 300 光纤陀螺已用于海上雷达和导弹防御系统的稳定系统。

光纤陀螺在空战中的应用 陀螺仪在航空中的应用比航海稍晚些。20 世纪 20~30 年代开始,飞机上相继使用陀螺转弯仪、陀螺地平仪和陀螺方向仪作为指示仪表。而光纤陀螺真正用于飞行器是 20 世纪 70 年代后期,和传统的机械陀螺相比,具有重量轻、启动时间短、感应度高、无可动部分、能承受强加速度等优点。美国空军和宇航部门都为研发光纤陀螺投入了大量资金,在美国星球大战计划中也曾列入采用保偏光纤研制光纤陀螺的计划。另外,光纤陀螺还可用于精确制导弹药,可极大提高弹药的命中精度。20 世纪 90 年代初的海湾战争中,美国“战斧”巡航导弹上就装备有光纤陀螺,使导弹的稳定性和命中率得到显著提高。在战争中,即使卫星导航因在强电子干扰而无法获得准确信息,光纤陀螺依然可以保证飞行器自主导航、精确制导和准确命中目标。目前,美国正在研究光纤陀螺与 GPS 组合定姿定轨技术,作为微小型航天器或舱外机动装置上高精度自主姿态确定系统。

虽然我国光纤陀螺的研制和应用起步较晚,但近年来已取得长足进步,在我军的武器装备中已经得到一定程度的应用。我国武器装备“机械化、信息化、制导化”的发展方向为光纤陀螺的应用提供了广阔发展空间,相信各类高性能光纤陀螺在我军武器装备上将被大量采用,为提高我军战术战略精确打击能力做出贡献。

(陕西省西安陆军学院 710108)