

应用研究

石英激光陀螺

目前，美帝国主义的海军武器试验站正在对激光陀螺进行鉴定，这台陀螺仪是由昂尼韦耳公司提供的(见图1)。为了保证陀螺的紧凑和坚固，他们采用了石英块。海军武器试验站所试验的这台陀螺仪是准备放在舰艇上用的。

仪器由三个平面的或者单一轴的陀螺构成，它们对于三条正交轴的任一条轴的旋转都是敏感的。这家公司的进一步发展计划是制造一种三维空间激光陀螺，它把三个平面环状陀螺装到一个球状台架上(见图5)。但是，目前该公司提供给海军武器试验站检定用的陀螺，还停留在笨重、易碎的水平上，同时对振动和冲击都很敏感。

激光陀螺比一般陀螺优越，它没有旋转元件及引起漂移的转动子，也没有摩擦，因此它对极高的角速度是相当灵敏的，这是它的一个重要的特点。电机陀螺仪转子的摩擦和不平衡，会导致寄生转矩的出现，磁及温度的作用同样会对一般的陀螺产生不良的影响。这些作用的结果是产生人们所不希望的转矩，它们引起漂移或者由初始位置作无规则的位移，速度从100度/小时到500度/小时。当然，也有办法使漂移减少到0.001度/小时，如可以将转动子浮在液体或气体中，也可置于静电场或磁场中，但实在是太昂贵了。

激光陀螺没有较多的运动部件，没有轴承或对温度变化灵敏的漂浮液体。与一般的陀螺比较起来，它能在更宽的动态范围内工作。制作者们认为，接近于0的极小的角速度在理论上说来有助于精度高于0.001度/小时的测量，高精度可以测量到75转/秒的速度。激光陀螺仪能测量如此高的速度，因此，当陀螺传感器被紧紧地固定在飞行体上并随其一起旋转的时候，它就有可能被用在无平衡环的宇宙导航系统中。

激光陀螺在飞行中能瞬时发射和不需要经常微调，这是一个很可贵的性

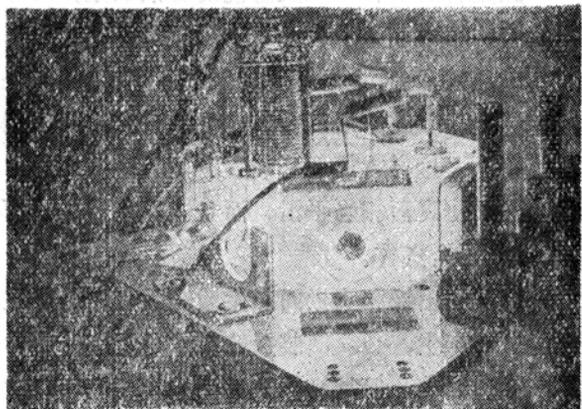


图1 由昂尼威耳公司发展的这种激光陀螺是由整块熔石英制成的，它可以制得相当坚固，能经受大的重力。

质。但对于一般的陀螺仪来说，为了使转动子的转动达到工作速度和稳定温度，必须要经过 15 至 30 分钟。而且，这种新型的陀螺仪，当导弹发射及运动时，它能经受住很大的加速度，这是它适用于导航的又一个优点。仪器的坚固结构能经受得住很大的重力，同时，不象一般陀螺那样，它的工作不依赖于陀螺运动方程中的 g 和 g^2 项。

上面谈的是激光陀螺的优点以及它应用于导航系统的可能性，下面再来看看它的工作原理。

激光陀螺仪(也可称环形激光传感器或激光积分陀螺)中采用了两束激光，它们都在同一闭合回路中回转，一束光顺时针方向转，一束则反时针方向转。如果装置台不转动，那末，两束光在同样时间内走完自己的行程，但当陀螺相对自己的轴转动时，其中一束光的有效行程就会缩短，而另一束的行程则会增长。其结果就使两束光的频率产生了差异，这一频率差(Δf)很容易发现和测出。如果光束是一般的热光源振荡，那末，在旋转的时候就会出现相移，但是，即使装置很大，这种相移也是很难测定的。

激光陀螺可以比拟为振荡频率取决于腔长的光学波段振荡器。

为了测量陀螺的旋转，应使输出信号——两激光束——几乎平行地辐射。两束光的波前互相干涉，组成了干涉条纹，最后造成了波的位移，其结果就出现了拍频，干涉条纹按激光陀螺旋转的方向来确定其移动方向，在单位时间内条纹的数目正比于旋转速度。这时，每一干涉条纹具体地反映了陀螺的旋转角。用两个光电元件就可以测量出旋转的速度及方向。如果将光电元件的输出信号馈给脉冲计数器，就可获得速度积分陀螺。

激光管的易碎以及反射镜的各别固定，乃是第一批试验仪器工作不稳定的原因。要使仪器的结构牢固，必须有坚实的台架。

昂尼韦耳公司的激光陀螺仪中，采用了整块的高质量熔石英。运用机械加工法在熔石英上挖出孔和腔，用以构成光导，安装阳极、阴极及电路。反射镜用分子粘附法固定在石英块的角上，这样就能保证装置有足够的坚固性。为了使石英与反射镜接触表面的分子粘好，必须使表面相当平滑，而且应严格抛光。石英块的内腔应抽空并注入气压为 5 毫米汞柱的氮-氩混合气体。

为了在阳极和阴极间产生激光效应，必须在两极间施加一千伏的电压。为了保证激光效应的自动产生，必须使装置的尺寸尽量小一些，昂尼韦耳公司的制作者们声称，他们已克服了一系列困难，但是机械加工还只能相应于现时的技术水平。石英块的简单化预示着激光陀螺比一般陀螺便宜 5 倍左右。

在昂尼韦耳公司的陀螺中，激光的行程是三角形的，但这并不是唯一可能的形式。例如，它的竞争对手斯佩里公司就设计了两种形式的仪器，一种是三角形的，一种是四边形的。

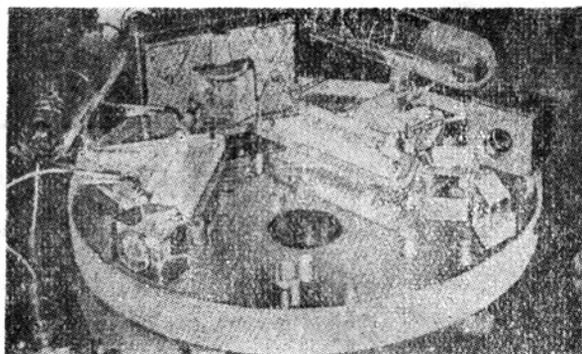


图 2 这种老式的激光陀螺由很多个零碎的部件制成，调节起来太复杂。

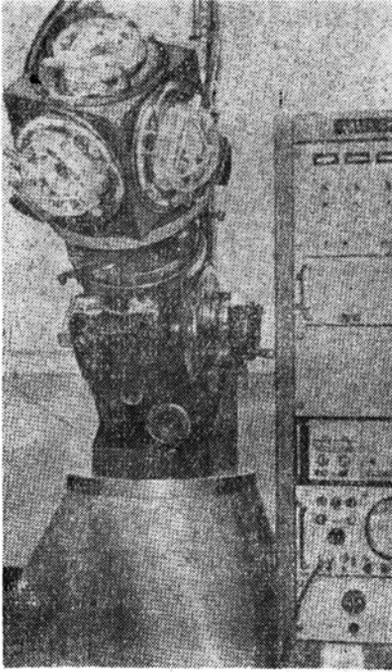


图 3 装在检验台上的这台三轴激光陀螺是用于舰艇装置中的。

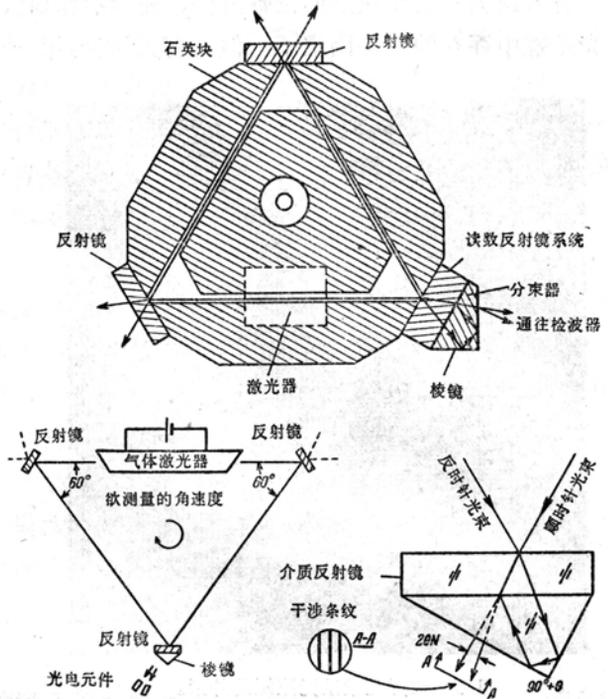


图 4 石英框架中的环形激光传感器。左下图告诉我们，激光陀螺是如何相应于自己的轴旋转的。右下图为光学读数系统，我们可以看出，光束是如何互相干涉并形成干涉条纹的。

无论是那一种形状，它们都有一个特点，就是频率差 Δf 直接正比于包含在光束内的面积： $f = KAS/L\lambda$ ，其有， A ——包含在光束内的面积； S ——角速度； L ——光程； λ ——光波长。无论是斯佩里也好，昂尼韦耳也好，这两个垄断集团都在考虑三角形装置的两个问题：在反射镜为单数时如何能使它们自动调节到水平状态；第二，在减少元件的情况下，如何能保证调整，以及如何减少光的散射损耗。

当然，激光陀螺也还存在着一系列缺点，但也有克服它们的办法。

当陀螺的转速降低时，两回转光束间的寄生耦合就会增强；当 Δf 达某一阈值时，光束会同步，且 Δf 会跃变为零。如果要克服这种现象，可以在陀螺静止时移动光束或人为地建立 Δf 。要是不移动，就很难测量每小时几千度以下的旋转。移动后，估计可以用不大的陀螺就能测量出小到 0.01 度/小时的转速。但昂尼韦耳公司的制作者们指出，这种内位移的装置必须增加放大作用，这样才能补偿能引起阈值 Δf 增加的附加损耗及附加反向散射，而移动的不稳定性不应该超过 1×10^{-6} 。因此，该公司偏重于外位移的装置。

激光陀螺的另一个缺点是零位的漂移。这一影响可以用放电电流平衡的方法使其限于最小值。如果激光振荡大于一种波型，可能会产生补充噪声。但是可详细考虑出一种机构或放大器来避免这些困难。输出信号与输入的依赖曲线一直到很高的角速度(大于 75 转/秒)都是格严线性的。在这一频率时离线性的误差只有 1×10^{-6} 。

有人认为，对于速度的读数方法，还没有象激光陀螺应有的那么灵敏，这可算是目前在激光陀螺中存在的一个困难了。但也有人认为，第一个应该解决的问题是温度的稳定性问题，

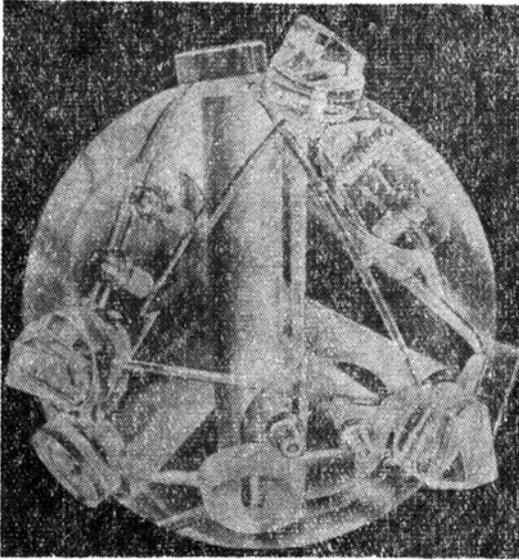


图 5 球形三轴激光陀螺的外形。

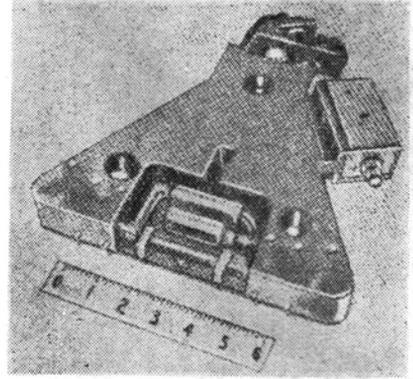


图 6 斯佩里公司运用三角形结构制造出来的体积不大而又坚固的陀螺。

从力学及电子学的观点来看，激光陀螺是一种瞬时发射装置，但温度对它的影响还没有解决。

昂尼韦耳公司为了牟利，又想制造一种三轴球形激光陀螺，模拟装置示于图 5。它们认为，用三个单轴组件互相垂直地装在一个部件内，其基本的一个好处是更换比较方便。

该公司第一个想出了这种三轴激光陀螺，因此它就接受了“科研工作远景规划管理局”的五十万美元的定货，这批定货由美帝国主义的火箭部队中心指挥部直接督促制造。昂尼韦耳的竞争对手斯佩里公司虽然还未制造出类似的石英激光陀螺仪，但为了在竞争中不致落后，因此千方百计地改善了自己的环形激光器，获得了周长小的坚固的仪器，它已把这种激光陀螺提供给空军及国家航空和宇宙航行局。目前，它也正致力于三轴陀螺的发展工作。它们自己认为，它们的仪器可以用作测量达 600 度/秒的角速度的传感器，可与普通的无平衡环的陀螺(30 度/秒)相比较。另一方面，激光陀螺的速度灵敏度阈在 100—300 度/小时的范围内，其它类型陀螺的阈值为 0.1 度/小时。

当然，环形激光的原理不只应用于陀螺仪中。斯佩里公司正在研制一种气流测量仪，它可以记录气流中的神秘物质。同时，环形激光传感器还能作为精密的微分计，用以对轴的角状态进行译码，也可用作精密的风速计。在实验中，测量流速是利用光传播速度改变这一现象，当光穿过运动着的透明介质时，它的速度与介质的速度成正比，即所谓牵引效应。

在该公司的实验中，它们应用了环形激光器中的牵引效应来获得频率分裂或信号差值。当固体、液体或气体介质沿激光束轴运动时就获得这些现象，频率差仅仅是由运动介质的速度的轴向分量引起的。欲精确测量流体的速度，还须知道介质的密度，因为频率分裂是正比于折射率的。这里所说的测量方法应该是很有前途的，因为一般的测量仪都会遇到压力下降，

紊流、锈蚀及清洗等困难，用上述方法就能避免这些困难。

最后还想说一点，有人认为，在需要测量大速度的地方，激光陀螺是很适用的，但在目前，如果要测量小的角速度，它只能让位给带转子的陀螺。

编译自 Christiansen D., *Electronics*, 1966, 39, No. 19, 183—188.

用光学定位法测量月球的距离

天体的光学定位可以用来进行天文测量。下面我们就谈一下用光雷达来测量月球表面距离的实验。这一实验完成了现阶段的测量任务^[1]，它的最终目的是使用将来在月球上建立的人造光学反射器来研究月球的轨道参数和它的形状，以及一系列其它天文学常数^[2,3]。鉴于这种情况，故除了测量距离的基本任务外，还提出了完成未来的装置和方法的任务。

实验装置

实验装置见图 1。

红宝石激光器 1 及用作月球反射光信号接收器的光电倍增管 2 固定地安装在望远装置 3 的库德焦点上。在光电倍增管的光阴极前面装有可调谐的干涉滤光器 4。光阑 5 确定接收部分的视场。为了将装置中发射转换为接收，使用了自动后仰反射镜 6、方框 7 用来将落在光电倍增管上的脉冲进行放大

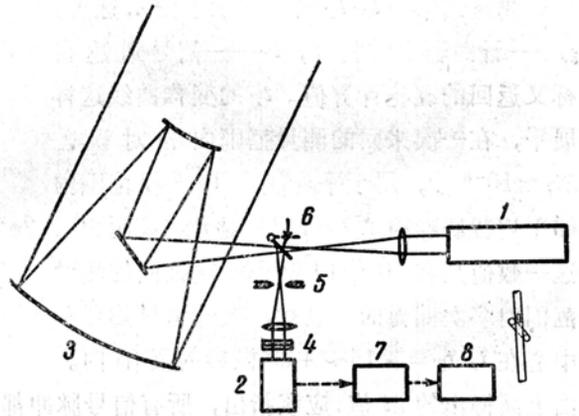


图 1 实验装置。

和整形。时间间隔记录器 8 用来测量由激光器发出脉冲到接收器接收反射信号的时间间隔。将激光器辐射脉冲的部分能量导入光电倍增管，以使计数器开始工作。反射讯号（同噪声一起）的记录只能在选通脉冲时间间隔中被记录下来。选通脉冲的中心与反射讯号到达的计算瞬间相吻合。因为在反射镜 6 和计时器 8 这段通路上，发射讯号与反射信号走过同样的距离，因此由此而引起的误差可以消除。

装置的参数

激光器波长 $\lambda_z = 6,943$ 埃；脉冲能量 $W_z = 5 \sim 7$ 焦耳；脉冲宽度 $J_z = 5 \times 10^{-8}$ 秒；光束直径 $d_z = 13$ 毫米；望远装置主反射镜的直径 $D_T = 2.6$ 米；焦距 $F_T = 104$ 米；在望远装置出射端上光束的发散度 $\theta_T \approx 3''$ 。干涉滤波器的通带 $\Delta\lambda = 10$ 埃；光电倍增管的量子效率 $K_\phi = 0.04$ ；装置中测量时间的误差 $\delta t_a = \pm 10^{-7}$ 秒；选通脉冲的持续时间 $T = 150$ 微秒。

信号预期值和测量误差的估计

选择弗拉马里昂火山口底部月面坐标为 $\lambda - 3^\circ.57$ ； $\phi - 2^\circ.98$ 的中心场地为测绘目标。可以用下面的公式估算反射信号值：

$$n_c = \frac{W_z \lambda_z D_T^2}{4R^2 hc} \rho K_{\text{发射}} K_{\text{接收}} K_{\text{大气}}^2 K_\phi$$