

应 用 研 究

紧 凑 的 空-地 激 光 测 距 仪

引 言

安装在直升飞机头部的紧凑的激光器已研制出。使用时，它能提供连续的空-地斜距数据，以便进行障碍回避、下滑倾斜度计算(至触地的时间)、航行定位、地形跟踪过程或者机载武器的弹道计算。

激光器与雷达相比，在这些功能上具备若干优点：首先，辐射源的波前接近平行的性质容易形成极窄的光束；因此能够使用窄至1毫弧度的光束来测量距离，并且能够完全不受其它目标干扰而极其精确地测定地面的特定目标或地形特征。其次，激光发射机的狭脉冲宽度(25毫微秒)很容易得到精确度为 ± 5 米的距离测量，其分辨率很高，能分开多重回波。第三，完全免除了地面杂乱波的干扰，甚至当光束与地平线夹的入射余角只有几度低时也如此。此外，对于相当的雷达而言，激光器能够设计得更紧凑，而且仅仅需要发射和接收孔径面积的一小部分。雷达系统具有良好的全天候能力这种优点。然而，从这种系统的许多应用来看，不利的气候对激光器的限制并没有什么关系，因为主要是在对地面的视觉接触可能时才进行工作的。

虽然美帝无线电公司可提供一些先前制造的、具有某些所需的主要功能的激光测距仪设备，但是所采取的途径是发展全新的系

统，在为最初的应用而选择的特定直升飞机所决定的外形因素和重量的允许范围内，使所有的工作条件同时最好地适合。尽管最初的计划是就直升飞机进行的，但是该设备容易适合于多种飞机。

系 统 的 工 作

典型的双座直升飞机的系统包括一台由操作人员控制的光学瞄准器和一台激光测距仪。如图1所示，光学瞄准器的辅助光学装置(由伺服马达驱动)使激光测距仪沿瞄准线发射。该激光器由美帝无线电公司设计和制造。激光器以外的系统元件由Textron公司贝耳航空系统分部制造。

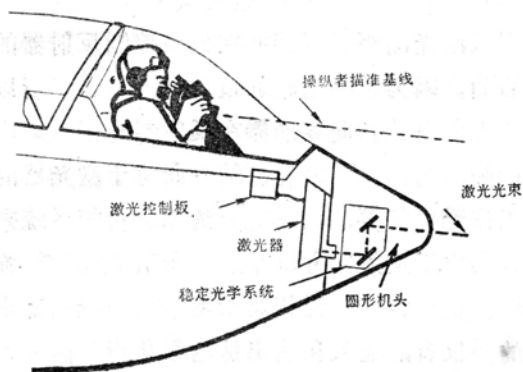


图 1 空地测距仪整机示意图。

因为本文的主要目的在于叙述激光器，因而除下面几节中的总结性资料外，对于激

光器外的任何系统元件详情均不加以讨论。

光学瞄准器安装在从驾驶员座位的底部向上伸展的缩放联动装置上。一个允许直接观察地面目标和重迭的三环叉丝象的反射器型光学瞄准器与一个折迭的、为适应于有效空间的 3.5 倍的望远镜组成了瞄准器头。光学装置相对于操纵者的手柄保持水平。当常平环锁定时, 瞄准器位置直接由操纵者确定。闭合手柄开关就使常平环解锁, 因而瞄准器是陀螺稳定的, 这样当没有输入指令时, 它在空间就保持一定的方向。操作者用姆指按右手柄上的控制开关, 就能随意变动稳定的视线。正比于所用的力的速率指令就馈送到系统内。

伺服控制的光学装置或者称“随动装置”安装在直升飞机头部透明的空气动力学流线型外壳内。这个单元含有的光学元件把激光输出向上反射到一个具有二个自由度的反射器上, 该反射器用伺服马达驱动, 能绕方位轴和高度轴转动, 以使被反射的激光束跟随光学瞄准线。因此, 当光学瞄准器是用稳定的方式操作时, 瞄准器的反射线是陀螺稳定的。可动反射器放置在透明的圆柱罩内, 以防止灰尘、污物和湿气。

激光测距仪直接放在伺服控制反射器的后面。因为它的光路通过受控反射器, 所以激光器总是指向瞄准器在反射器光阑极限内所瞄准的目标。因为象的取向对于激光器的工作无关紧要, 故不需要消除旋转的系统来补偿由于反射器方位角运动所引起的像旋转。整个激光单元相对于飞机机架是静止的。仅有的输入和输出是电源及指令输入和电信号输出。

激光器测得的斜距能够以两种方式贡献给系统的工作。第一种是作为辅助跟纵系统的输入。如果已知直升飞机的前进速度, 并

且已测得到地面目标的方向和距离, 就能够计算从直升飞机上所见的目标的表面角速度。矢量能够沿瞄准线分解成方位和高度分量, 并且当以稳定的方式工作时, 作为进动信号加在瞄准器上。假定飞机速度的横向和垂直分量可忽略, 则瞄准线无需操纵者之助就能保持非常接近于所选择的地面目标。

设计 要 求

装于飞机上的红宝石激光系统的一般要求是为操作者所选的地形点、建筑物或物体提供连续的斜距测量。能避免飞机运动影响的稳定的光学瞄准和发射-接收系统是影响整个系统设计的基本要求。从一开始便遇到一些严格的要求, 它们需要在下列领域成功地应用先进技术: 微型电子学 (以便减小尺寸); 激光发射器设计 (为降低阈值); 发展冷却系统 (以便在宽温度范围内保持特定的性能); 紧凑的光学设计以及结构设计和包装设计 (以满足重量和体积的分布)。其它基本考虑是: 目前飞机的电流供给受到限制, 以及长期工作而无须替换氙闪光灯或部件, 或者进行修理或者加以调整。

设计要求总结在表 1 中。

其它条件是发射器和接收器共用一个 73 毫米直径的光学窗口为使耦合到随动平衡光学系统中, 激光器所有光学部分分别支撑, 使之与激光器单元的其余部分分开, 使加在随动光学组上的重量负载减至最小 (由于飞机头部设备重量有限)。同样, 需要第一-最后回答接收器提供最大距离为 5 千米的第一回波 (回答) 或者最后回波 (回答) 的距离指示选择。

另外, 还需要防止意外短路或者低阻抗电源不能预料的超载应用时的自保护电路, 及热过载保护特性。

表 1 设计 要 求

激光器总重量	20公斤
随动光学组支撑的激光器重量	最大 7 公斤
体 积	约 22 公升
电 源	28 伏; 工作时电流峰值不超过 35 安培
环境温度	
工作时	-40°C到+65°C
储存时	-60°C到+70°C
发射光束	1 毫弧度
接收器光束	0.75 毫弧度
脉冲重复频率	每秒 1 次(5分钟期间内 100 个脉冲)
测量距离精度	±5 米
距离读出	模拟电压(灵敏度因素每 5 米距离 10 毫伏) 选择一数字显示
热交接器空气流	120 毫米时每秒 10 公升

设计 特 点

光学系统

为使测距仪正常工作, 接收器即使不是

全部也要基本上观望到发射器照明的部分面积。这要求发射器和接收器的视界基线尽可能地重合和平行。因为激光器通过对称窗口观望外界(它的光学特点随观察角度有少许变化), 有必要使发射器和接收器的光通路尽可能相互接近, 以致二者在任何时刻通过几乎相同的窗口面积, 因而产生相同的偏移, 且保持相互平行。另外, 紧要的是减少从任何窗口表面将输出能量反射进入接收器孔径。

结论是前面谈到的条件用同心光学系统能够最好地解决。因为发射器的孔径不必比接收器孔径大, 故将发射器的物镜放在中心。

可用的空间和同心配置导致了采用 F 形光学系统, 其中, 上下横臂分别表示接收器和发射器, 竖杆表示共用的望远镜组件。图 2 表示这种光学系统在飞机中的位置顺时针旋转了 90 度, 即望远镜圆筒通常是水平的。这种结构允许所有的光学元件安装在公共的基板上, 这非常便于使发射器和接收器间获得和维持精确的光学准直。

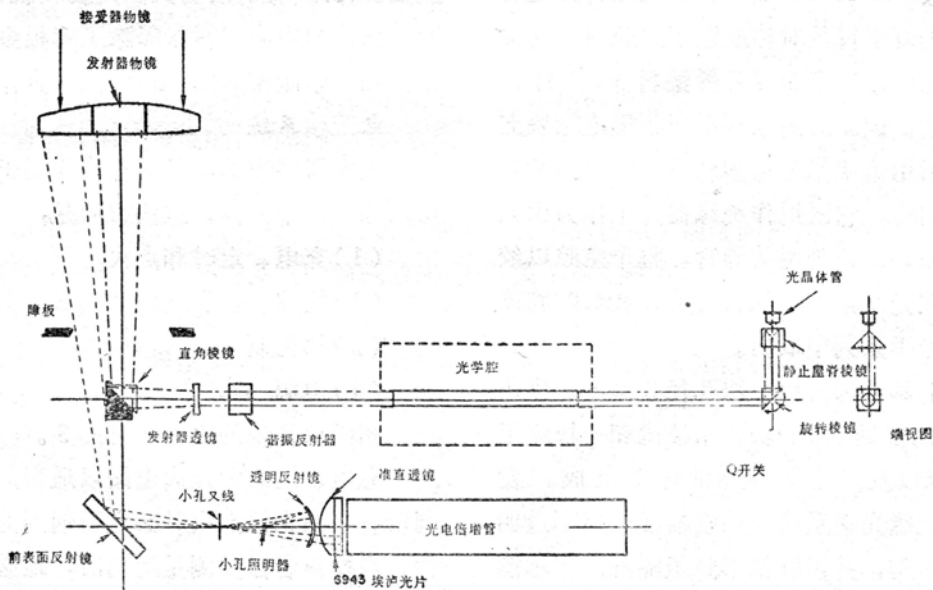


图 2 测距仪的光学系统示意图。

相干振荡器是一根放在法布里-珀洛谐振腔中的红宝石棒。输出端是一谐振反射器，用三块青玉平板堆组成，它们隔开使得在 6,943 埃处产生约 87% 的反射。另一端是全内反射屋脊棱镜和旋转 90° 的棱镜。能量输出通过三倍的伽利略望远镜，用以减少光束的发散角度。加上一只检出红宝石能量输出瞬间或“激射”的光晶体管，这就是发射器的全部装置。

Q 开关由旋转的 90° 度棱镜，固定的屋脊形棱镜，驱动马达和磁传感器组成。双棱镜装置通常产生高于马达转速四倍的光轴旋转。仔细设计了转子，以保持纵向对称，以便避免任何由于高速旋转而产生不对称离心力引起的反射光束的横向偏转。驱动马达是二相交流马达，转速约 50,000 转/分。磁传感器在旋转 90° 棱镜接近平行反射位置而需要激射时产生一个电脉冲。

光学腔由挖空的铝块组成，且有外表面镀银的玻璃圆筒。二块高度抛光的铝制端板支撑一根长 75 厘米、直径 6 毫米的红宝石棒和一支 FX-38A 型氙灯。由此保持红宝石棒和闪光灯平行及对称放置于空腔衬筒的轴线。棒的两端用聚四氟乙烯塑料 V 字封口径向夹紧。闪光灯的末端用多指形绝缘块支撑，然后用聚四氟乙烯塑料 V 字封口密封入氧化铝管，它既用作绝缘器，也作为引入和排出循环冷却剂用的导管。整个空腔以铤链接合在光学架上，使得替换棒或灯时腔体能够从光学系列中取出。

发射器望远镜由一块孔径 8 毫米、焦距 70 毫米的负透镜、一块直角棱镜和一块焦距 210 毫米以及直径 20 毫米的物镜组成。发射器望远镜光学系统和接收器部分用不透明的棱镜支架，并以圆锥形障板隔开。望远镜使射出的光束的发散度减至 1 毫弧度以下。

接收器物镜外径 64 毫米，内径 20 毫米。透镜焦距长 214 毫米，当考虑了由棱镜支架引起的吸收时，接收器的等效 f 数是 4.6。望远镜所有的光学元件均有敷层，且用 6,943 埃光线校正。

在望远镜底部被 45° 前表面反射镜折迭后，入射光线在焦点进入场限定叉线上。这种不透明的叉线有一个清晰的、直径 0.152 毫米的中心孔，构成了 $\frac{1}{2}$ 毫弧度的视界。叉线能够沿二个正交的轴线径向调整，并且能用偏心夹子锁定位置。

入射光线通过小孔光阑后进入一块简单的平-凸准直透镜。这片透镜使得入射光线在它的平的后表面上垂直地横截过 6,943 埃滤光片。然后，余下的光线入射到 RCA C70042CP1 光电倍增管的表面上。

光学座架通过三块弹性橡皮防震衬垫联结在激光器机架上，衬垫是起限制作用而不是固定座架。光学座架直接连接在随动装置的安装表面上来固定位置的，使二者保持光学准直。另一方面，激光器机架被连接在薄板金属支撑结构上，后者又固定在飞机骨架上。因此三块橡皮防震衬垫隔除了薄板金属支撑结构和光学座架间的任何弹性耦合作用。

电子学系统

激光器系统的电子学部分为便于讨论，可以分作四个方面。这些方面是：

- (1) 充电、定时和点火
- (2) 接收、信息处理和读出
- (3) 热控制
- (4) 电源

测距仪系统的方框图见图 3。

充电、定时和点火电路以适当的顺序控制所有在激光器点火时必定要遇到的各种条件。当操纵者需要测量距离时，他必须首先按下他手柄上的启动开关，启动指令履行二

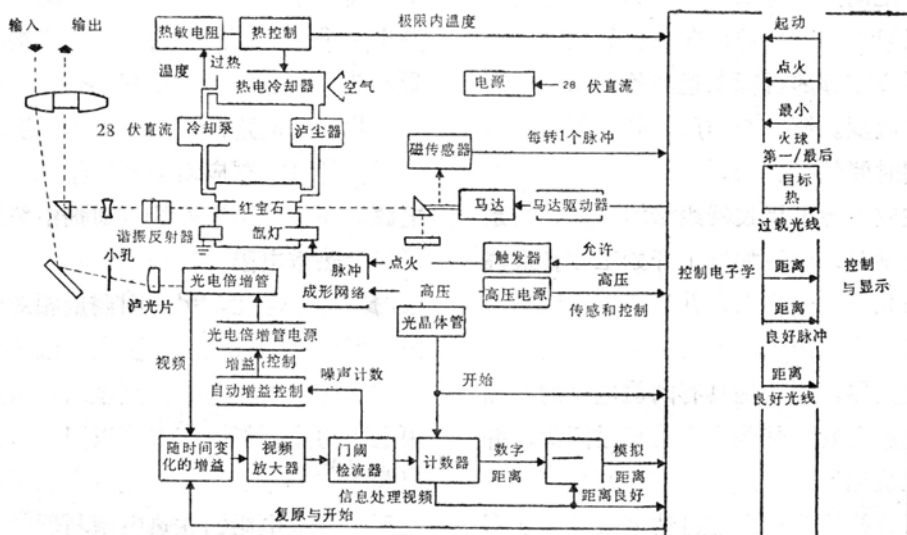


图 3 测距仪的电子学系统方框图。

种职能：开动Q 开关马达和向闪光灯电容器充电。

Q 开关马达用马达驱动器匣中的 800 赫弛张振荡放大器供电，它可在少于 1 秒的时间内使马达达到额定转速。从安装在 Q 开关架上的磁传感器中取得的每转一个脉冲的输出在控制逻辑电路中受到监视，且决定马达达到此速度的时间，在什么时间将适当的允许信号释放给点火接通电路。

闪光灯电容器用 20 千周振荡器 变换器控制的高压直流电源充电。启动指令开启了振荡器，充电过程即开始。当电容器充电时，它的电压由高压读出电路显示，并且将所取得的电压与所需的电压电平相比，可固定在 1,300~1,500 伏范围内。当所需的电压达到时(在 1 秒内)，关闭振荡器，将一个允许信号给到点火接通电路。这样系统就准备接收“点火”指令。

操纵者按下手柄上的触发器开始测量距离。如果在冷却系统中不存在任何热过载，前一次距离测量后至少经过了一秒钟，这时这个指令将开动点火程序。当所有必要的允

许信号均存在时，从磁传感器中发出的下一个脉冲，为激光器点火提供最后的触发。

因为这个脉冲在 Q 开关达到反向反射前 300 微秒时产生，所以信号延时约 50 微秒后再触发闪光灯。这个延时提供了必需的精确调整，保证了 250 微秒的氙灯持续时间的终端发生在反射的瞬间终止。这使得红宝石在完全光泵后又能够在能够产生任何衰减前激射。储藏在电容器中的电压通过脉冲成形电路加到闪光灯上。

接收、信息处理和读出电路具有各种必要的作用，以测量和传送所需的距离信息。它们包括用以测量激光能量经地面来回一周经过时间的计数器电路、开启和停止计数器的电路、用以控制检测器的电路和提供模拟输出信号用的转换电路。

在闪光灯被触发的同时，接收器系统的某些部分准备接收返回信号。尤其计数器用狭脉冲复原，接收器电路的增益降至最低。

前面已经提到，激射瞬间是用安装在 Q 开关上的光晶体管探测的。这个信号具有二种作用。首先，它允许检测器输出信号的电

平反比于距离的平方上升。因此增益是变化的,用以减少短距离的反向散射效应和用以增加从距离较远的目标上返回的较弱信号的接收器灵敏度。第二个作用是开启测量发射后的渡越时间的计数器。

现在应当考虑接收器线路的工作。当系统刚刚激励时,电源加给了开始工作在最高灵敏度的光电倍增管上,并且由于周围环境的照亮而产生噪声尖峰。光电倍增管输出通过视频放大器,随后是具有阈值电平的检测器。经过放大后,某些噪声将超过阈值,并且出现在检测器的输出中。这些测量噪声脉冲馈入积分检测器输出的自动增益控制(AGC)系统中,并通过光电倍增管电源控制其增益。因此自动增益控制系统使光电倍增管的灵敏度处在尽可能高的电平上,但是不超过虚假回波所需的灵敏度,排除了由于环境产生的外部噪声危险。因为激光接收器的门仅仅在总共约为 33 微秒的时间中是打开的,所以能够看到,如果能将分布在背景中的噪声限制到适当小的数目,接收随机噪声脉冲的几率是极少的。

三个工作在 30 兆周的振荡器输出的计数器被应用在激光器的测量部分。其一是参考计数器,在所有初始复原条件为零时开始计数。

其余二个计数器用以进行第一个或最后一个的回波距离测量选择。这种选择,操纵者通过他的操作板上的第一/最后回波选择器开关来选取。最后回波选择限定在超出 5 公里距离所接收的最后的回波。同样,用了 1.3 微秒的消息电路来消除落在 0~200 米内的任何回波。

距离测量后,储藏在自保电路中,在这里受到核对,以确保处在 200 到 500 米范围内。若是这样,转换电路(Dacon)就能把数

字距离信号转换为模拟形式,向后面的设备发出一个“距离良好”信号表明能接收距离信号,并且给操纵者显示“距离良好”指示。

热控制电路监视冷却剂的温度和热电调制器,并且控制应用于调制器组列的 28 伏电源。在泵浦出口处的冷却剂中极接近地装了二个热敏电阻。其一测量其相对于温度上限的冷却剂温度,另一则测量相对于温度下限的温度。如果超过了温度上限,控制电路就向冷却器供给电能,直至温度重新降至极限之下为止。低温度控制以同样方式进行,只是流过调制器的电流方向相反。此外,第三个热敏电阻贴在热电调制器的背风处,如调制器的温度超过指定的安全极限时,引起了切断冷却器所有的电源,激射作用停止,并向操纵者显示热过载指示灯。

电子电路组件除电压电源组外,都装在印刷电路板上,为屏蔽起见,装在小钢盒内。为了保证最大导电率,所有接点在其周围均有接点指,所有盒子均敷金。

冷 却

高压电源的组件安装在铝制散热槽中,冷却空气在其下流通。空气流极仔细地限定在被冷却的表面上,而不允许任何一点接近激光装置的其它部分,以避免弄污光学元件。设备结构见图 4。激光器的一个要求是其要能够在环境温度高至 50°C 时工作,然而红宝石在超过 30°C 时将不再有效地激射。很明显,简单的散热槽不适用于冷却,需要某种冷却系统。作为合适的方法,从空间、电源、简单性和可靠性的观点看,用作转换热的液体热电冷却是最吸引人的方法。

设计了闭合冷却剂循环圈,包括泵浦、热电交换器、除尘器、激光腔以及用于注入和净化空气系统必要的导管和接头。

考虑了各种形式的泵浦后,设计了正位

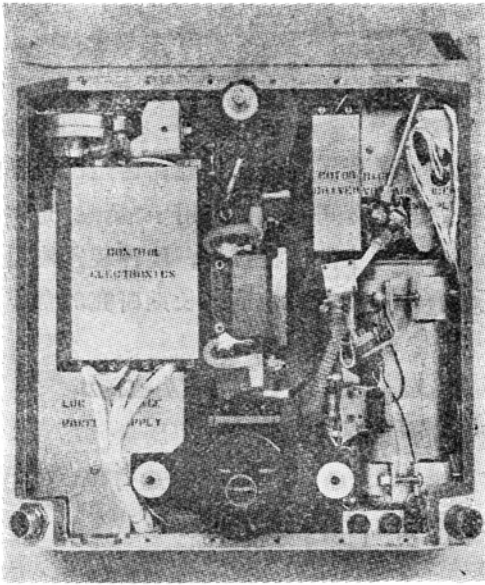


图 4 测距仪内部装置图。

移光阑泵浦，提供必需的每秒 20 立方厘米流量速率，并使漏泄和冷却剂沾污最小。

冷却剂从泵浦打出，通过在二块铜板间的锯齿形铜管流过热电交换器，每块铜板二边依次夹上 10 Melcor cp2-31-06 Pin-fin 散热器，类似于具有密铜鬃的刷子，冷却空气流过它而带走热。在高环境温度时需要约 20 升/秒的空气流量来冷却激光器。冷却器组件横向安装在激光器装置的上部。热电交换器能够在低环境温度下用于加热激光器，只要简单地改变通过串联调制器电流的方向即可。

离开冷却器后，液液经过滤器去除任何能够在腔中形成热浓度核的杂质。腔本身容有约 25 立方厘米冷却剂。所有接头处采用 O 形环或 V 字封口阻止漏泄。

考虑了很多应用于这个系统的冷却剂。尽管从许多方面看来蒸馏水是理想的，但是由于长期腐蚀问题而不能采用。最后选择的液剂是碳氟化合物 FC-104。这种液剂

证明完全适用于冷却，并且表明不变黑或在相当长的时间内发生特别的情况。

性 能

激光测距仪已经具备了无限期以每秒一个脉冲工作的能力。它能够测量 200 米到 5 千米间的距离，误差为 5 米。所需的唯一电源是 28 伏直流。

电流负值随所起的作用而变化。静止时测距仪需要约 2 安培电流。点火时，电容器必须重新充电，这需要 18 安培的瞬态电流。当热电冷却器最初耗能时，需要约 11 安培的峰值电流，不久即固定到约 9 安培的稳态值上。因此，在接通热电冷却器后马上使电容器充电时，需要 30 安培的峰值负值电流。这宽裕地处在飞机最大电流规格 35 安培之内。

激光棒需要约 105 焦耳的输入能量，并且产生 125 毫焦耳，20 到 25 毫微秒的输出，等效峰值输出功率是 5 兆瓦。

热电冷却系统能够维持腔体在摄氏 28 至 30 度间的恒温范围内，而消耗 200 瓦，有荷因素是 $\frac{1}{3}$ ，使用 44°C 空气，每秒约 10 公升。

激光器的总重量是 20 公斤，随动光学单元支撑光学机架组的重量是 3.0 公斤。

同时，激光器设计得容易加以修改以适应其它类型的工作。用掺钕玻璃代替红宝石，并改变一系列光学元件和滤光片，用 S-1 表面的管改变光电倍增管，这样就能够在 1.06 微米处工作。远远大于 1 秒的激光工作重复频率能够通过修改充电电路和修改可以扩展范围的热交换器来完成。

译自 Seeley P. E., Whistler R.; *Lasers*, 1967, №7, 57~62