

激光测距技术在航空火控上的应用

李春亮

(航空航天工业部第六一三研究所)

摘要: 机载激光测距机能为武器的低空发射提供精确而经济的方案, 还对安全防护和飞机窗口提出建议。

Application of laser ranging technique in airborne fire-controlling

Li Chunliang

(The 613th Research Institute, The Ministry of Aerospace Industry)

Abstract: The airborne laser rangefinder can offer an accurate and economical solution for low altitude delivery of balls. Recommendations for safety precautions and aircraft window are also made.

一、距离信息在航空火控系统中的作用

1. 航空火控问题的解决

军用飞机依靠它的火控系统瞄准目标、释放武器、实施攻击。火控系统计算机, 按照内存软件表述的数学模型, 在空间坐标系中解算出目标位置的理论点。火控系统显示器将此理论点显示给驾驶员。驾驶员作为火控系统大闭环回路中的一个环节, 只需操纵飞机, 使目标位置理论点移压于目标实际点上并稳定跟踪少许时间, 即完成瞄准。由于火控数学模型系依据前置追踪、拦阻射击、连续计算投放点或连续计算命中线等不同火控原理提出的, 由于装机服役的火控系统事先经过了计算机仿真、地面试验模拟、空中试飞打靶, 所以, 火控系统确信瞄准完成后释放的武器定能穿过理论点, 从而命中实际目标。上述过程用简洁的术语表达即为“航空火力控制”。

为了完成瞄准任务, 航空火力系统需要大量初始信息, 诸如飞机相对于目标的速度、飞机到目标的距离、飞机进入目标的俯冲角、飞机自身的姿态角等。为了获得这些初始信息, 飞机需要配备光、机、电等多种设备, 作为火控系统的测量传感器, 用以测量飞机的运动、目标的位置以及释放武器相对于武器计算弹道的偏离程度等。

2. 影响航空火控系统精度的因素

为了保证瞄准精度, 航空火控系统要求它的测量传感器提供较高精度的初始信息。武器种类不同、发射方式不同, 对初始信息精度的要求可以存在一些差别。一般来说, 速度信息

测量误差不得超过 $1\sim 2\text{m/s}$ ；角度信息测量误差不得超过几毫弧度；距离信息测量误差不得超过几米。显然，各种初始信息之间在精度上应保持匹配。假若某种信息突出地具有较大误差，整个系统的精度便难于提高；假若其它信息的精度上不去，单纯为了提高某种信息精度而购买一部昂贵的传感器也毫无意义。

航空火控系统，一直使用陀螺、平台等惯性传感器测量飞机自身的运动以及飞机相对目标的角运动，为火控系统提供了精度较高的速度信息和角度信息。但是，航空火控系统通常使用的距离信息传感器尚不能满足测量精度要求。

有人认为：使用低精度的距离信息传感器，也能成功地释放武器、命中目标。应该强调指出的是：这种成功是以使用特定飞机、熟知具体目标、反复训练驾驶员为前提的。显然，为了实现这些前提需要很高的经济代价，而以高价换取的经验对于下一次作战任务，其他驾驶员却很少具有参考意义。再者，随着军事技术的发展，地面目标对空防御能力都已相当完备，许多地面目标业已巧妙伪装，因此，飞机在第一回合进入时即能发现目标、并有机会攻击目标很不容易，即一次进入摧毁目标的概率甚低。

因此，开发高精度距离信息传感器，并将其应用于航空火控系统是十分必要的。

二、几种航空测距手段的对比分析

航空火控系统通常采用的测距方案，包括外基线目视测距、测高测角测距以及直接测距三类，现对它们的优缺点对比分析如下：

1. 外基线目视测距

外基线目视测距方案，系用火控系统提供的直径可变的光环，去圈套尺寸一定的目标，由目标对于光环的张角，按三角形的边角关系解算出目标距离。

外基线目视测距方案的优点是设备简单。这种方案的问题是：大量地面目标的尺寸是难于预先知道的，对地目标测距在许多场合下无法进行；少数空中目标的尺寸虽然可以预先知道，但它在光环平面上的投影尺寸只能粗略估判，故而测距精度有限。

2. 测高测角测距

测高测角测距方案，系用飞机高度信息传感器首先测出飞机在地面以上的高度，再用目标角度信息传感器测出目标角度，然后按三角形的边角关系解算出目标距离。

作为飞机高度信息传感器的设备不外乎气压高度表和无线电高度表两种。气压高度表限于敏感元件的灵敏度而不能准确测出飞机高度信息，而且测得的海拔高度尚需减去地面海拔高度方能用于目标距离解算。无线电高度表虽能直接测得飞机自身的垂直高度，但它无法修正地面起伏引起的误差，测得的高度值可能不是飞机在目标水平面以上的高度。

当飞机以中空或高空方式进入时，高度信息误差对于距离精度的影响尚可容许。但当飞机以低空或超低空方式进入时，高度信息误差、角度信息误差都成了距离信息精度的敏感因素，将严重影响目标距离测量的准确性。

3. 无线电雷达直接测距

更为理想的方案是对地面目标直接测距。直接测距的手段，可为无线电雷达，或为激光测距机。我们首先讨论无线电雷达。

无线电雷达测距具有无须预先知道目标尺寸、避免测高测角，从而避免了这些传感器引起的误差等优点。无线电雷达遇到的困难也在于低空和超低空使用场合。若飞机飞行高度为

60m,目标实时距离为3.4km,则飞机对于目标的瞄准线对于地面的倾角仅为 1° 。由于无线电雷达发射的无线电波束角度不能很窄,在如此小的掠角上对目标实现精确测距是办不到的,无线电波束的边缘部分兴许被目标外的其它地物所反射出现伪信息。

诚然,并非所有的进入方式都在超低空场合下进行,但作为军用飞机的火控系统,应能提供更多的战机,应能保证最苛刻条件下的武器发射。如果火控系统不具备超低空使用性能,将使许多作战任务无法完成。

4. 激光直接测距

激光测距机胜过无线电雷达的地方在于:即使在很小的掠角上也能精确完成测距任务。激光测距机能有这种优点,原因之一:激光束具有很好的方向性,经光学系统准直后的激光束的发射角可小于 1mrad ;原因之二:激光束能以陡锐度很高的短脉冲方式工作,其脉冲长度可短于 20ns 。

从作战使用的角度考查,激光测距机还有一些其它优点。激光测距机仍属一种光学装置,它不受敌方电子设备的干扰,也不干扰本机的电子设备。发射激光束容易同瞄准线校准,同步地协调跟踪目标。激光测距机可以研制得相当小巧轻便,即使在座舱设备十分拥挤的飞机上亦好加装。激光测距机不仅可以测距,而且可以提供地形回避的预警信息。

综合上述,可看出在航空火控系统中使用激光测距机的战术意义和经济效果。这样的火控系统能保证一次进入成功,能减少完成作战任务出动飞机的架次,能减小地面炮火攻击造成的伤亡,能攻击进入后捕捉到的目标,能免除修建模拟目标的开支,能降低飞行训练的费用,能缩短新驾驶员培训的周期。当前,空军对于加装激光测距机的航空火控系统表示了愈来愈浓的兴趣。

三、激光测距机的重复频率要求

1. 距离信息提供的间隔值

也许有人认为,单从武器释放角度考虑,在对目标进入时仅进行一次测距就可以了。因为目标距离信息一旦被提供,火控系统即可算出飞机飞达武器释放点的剩余距离值,若把此值输送到执行机构并同时在显示装置上给出释放点符号来,驾驶员即可用释放点符号移压目标以完成武器释放。所以,激光测距机只需 1pps 甚至更低的重复频率都无关紧要。实际上,这种看法不切合实际。因为在典型的进入模式下,驾驶员可以得到的攻击机会不超过 5s 。如果激光测距机的重复频率太低,驾驶员有可能来不及对目标测距,或者由于激光测距机提供的距离信息间隔值太大而不能测得实时距离。

激光测距机是在发射激光束被目标返回、被接收器探测时立即给出距离信息。由于飞机在不停地飞行,即使目标固定不动,目标距离仍在连续变化。由激光测距机输出的同一目标的两个距离信息的间隔值,取决于激光测距机的重复频率。重复频率越高,间隔值越小;重复频率越低,间隔值越大。对于时速 800km 的飞机,如果激光测距机的重复频率只有 1pps ,则两次距离信息的间隔值将为 200m 左右。而武器的最佳释放点兴许就在这 200m 左右上的某处。所以,无论是采用最佳释放点前的那次距离信息还是采用最佳释放点后的那次距离信息,都缺乏实时性,影响瞄准精度和攻击效果。

2. 重复频率与冷却方案的折衷

激光测距机的重复频率越高,测距时产生的热量也越多,为不影响测距机的寿命和正常

工作，应对它采取冷却措施以制止温升。

为激光测距机加装冷却装置，既需增加功率消耗，又要增大体积重量。因此，对于军用飞机来说，加装了专门冷却装置的激光测距机是不受欢迎的，激光测距机的高重复频率设计应与简便的冷却方案平衡折衷。

激光测距机的温升不只与重复频率有关，同时还与激光器选用的介质材料有关。例如，钽玻璃的热耗就比较大，不适用于高重复频率的激光测距机中，而掺钕钇铝石榴石温升有限，若激光腔设计适当，由它制成的激光器即使按10pps的高重复频率连续运行，仍可不加装专门的外部冷却装置，较适合于航空火控系统。

四、激光损伤及眼睛防护

能量密度较大的激光束，当通过眼瞳并被眼球聚焦于视网膜时，激光束的能量会对视网膜的色素上皮层和脉络膜产生热效应，引起视网膜烧伤或造成视网膜出血。能量密度更大的激光束，甚至可以引起视网膜的连锁破坏和大量出血。

视网膜遭受损伤后，患者的视野中首先会出现障碍观察的白点。大约经过两周时间，白点演变成黑点。当患者再观察白色物体时，黑点总能复现，并随视线的转移而转移。实际上，这种黑点即是盲点，不仅高能量的激光束可以导致眼睛损伤，就是低能量的激光束亦能产生不良后果。低能量激光器引起的最初损伤虽有康复之可能，但多次重复损伤亦能造成永久性盲点。

由上述可见，进行激光应用研究和激光产品使用的人们，都应采取适当防护措施，以免来自激光器的直接激光束或者经由反射镜反射的间接激光束造成眼睛损伤。防护措施是简单而有效的，诸如设置安全挡板、佩带激光防护眼镜等。

五、激光测距机对飞机窗口的反要求

军用飞机对其激光测距机提出了一系列应该提出的要求。为了充分发挥激光测距机的性能，为了全面提高火控系统质量，激光测距机对于飞机窗口设计也有一些反要求。这些反要求可归纳为以下几条：

1. 窗口材料及加工

窗口材料应在所有激光器的波长上具有较高透过率。窗口应经研磨和抛光，使之达到规定的光学质量标准。例如，窗口平面在激光束可及的全部范围内不应有大于四分之一波长的失真（相当于1道光圈）；窗口两表面间的楔形角不应大于1mrad。此外，窗口内表面应该涂镀抗反射膜，这种膜层允许激光束在平均的入射角上具有最高的透过率。

2. 窗口强度及安装

无论是在作战使用还是在机场停放环境中，窗口应能承受来自外界的静态压力和动态压力，应能经得起鸟撞、雨淋、雹砸；窗口应相对激光束倾斜安装，且在整个光束透射口径上光束中的任何光线都不得小于 10° 角，以防发射激光束直接由窗口返回时引起接收元件的响应。

3. 防霜除雾手段

在使用或停放环境中，飞机窗口有结霜凝雾之可能，飞机应考虑去除手段。在当前使用的各种手段中，最好方案莫如在测距机与窗口之间通入干热气体。

本文承蒙高级工程师张守璋审校，作者谨致谢意！

作者简介：李春亮，男，1941年12月生。高级工程师。现从事平视显示器以及其它机载电光设备的光学系统设计。

收稿日期：1989年3月1日。

· 简 讯 ·

横向放电激励的小功率准分子激光器系列通过专家鉴定

中国科学院安徽光学精密机械研究所承担国家“七五”重点科技攻关项目“激光技术”的子专题“横向放电激励的小功率准分子激光器”合同。在完成国家合同任务的同时（5W器件），安徽光机所自行研制了10W级器件，形成75系列准分子激光器。

在设计制造过程中，科技人员参考国内外技术资料和产品，着重吸收自己的科研成果。75系列器件采用单腔体圆筒结构，大尺寸切向风机，强化工作气体循环，改进型的张氏电极，具有自己的特色。安徽光机所为75系列小功率准分子激光器的小批量生产做了大量的准备工作，配置了10余套工装夹具，积累了经验，形成了一支从设计、加工、安装到调试的技术队伍。同时在设计过程中执行了国家有关标准化的各项规定，使样机的标准化种类系数达到33.34%，标准化件数系数达到61.18%，初步建立了小批量生产准分子激光器的生产线。

1989年9月26日，“横向放电激励的小功率准分子激光器系列”通过专家鉴定。专家们认为：5W级器件已全面达到国家七五合同要求的各项技术指标，在国内同类器件中首次把重复率提高到130Hz，输出能量稳定度3%，优于合同指标。10W级器件达到了设计的各项技术指标。75系列准分子激光器的主要技术指标达到国际上80年代中期同级商品的指标。

75系列准分子激光器技术指标

检测项目	5W级器件检测指标	10W级器件检测指标
单脉冲能量	80~150mJ	100~200mJ
平均功率	5.2~11.8W	11~22W
脉冲-脉冲能量稳定度	<±3%	<±5%
功率稳定度	<±5%	<±5%
重复率	1~130Hz	1~160Hz
激光脉宽	~20ns	~20ns
光斑尺寸	20×10mm ²	20×10mm ²
光束发散角	4.5×2.5mrad	4.5×2.5mrad
单次充气寿命	>3×10 ⁶ 次	>10 ⁶ 次
光电转换效率	>1%	>1%

(赵震声 供稿)