

激光在飞行试验中的应用

田同信*

(上海飞机制造厂)

提要: 本文以国产“运十”飞机为例,论述了激光技术在飞行试验中的一些具体应用。重点介绍利用机载激光进行飞行试验的方法原理和机载激光实时数据采集处理系统,以及由此派生出来的几种新的试飞方法。

Application of laser technique to flight test

Tian Tongxin

(Shanghai Aircraft Manufacturing Plant)

Abstract: The application of laser technique to flight tests on domestic transportation aeroplane Y10 is described in this paper. The descision is focused on airborne laser measurement system, airborne data acquisition and processing laser system and several new flight test methods based on them.

前 言

在航空工业中,每个新机种的诞生都要伴随着大量的试验飞行,以确定该机种的各项性能指标,校验飞机在运动中受到干扰所造成的仪表指示偏差,借以鉴定设计思想的成败。飞机是高速运动物体,又是飞翔在空中,这使许多试飞参数的精确测试、实时采集和处理非常困难,往往要使用许多昂贵、复杂的仪器设备并且要在各种不同的飞行条件下,经过长时间的飞行测试和事后处理,才能取得最后结果。因此,试飞科技人员一直在努力寻求各种更为简便、可靠的方法和技术来改革试飞手段,以提高试飞效率、节约试飞开

支。

一九七九年以来,我们在试飞国产大型喷气客机——Y10机的过程中采用了机载激光测试并配之以微处理机为中心的实时数据采集系统,改进了一些试飞项目,取得了满意的效果。

所用 FZG-1 型机载激光测高仪系由中国科学院上海光机所提供,它的主要指标为:

测高范围 110~14000 m

测高精度 误差 ± 1 m

重复频率 2次/s或5次/s

机载激光测距仪可以在地面上使用,安

收稿日期:1984年6月12日。

* 本文作者是亲自参加过 Y10 飞机设计制造和试飞的工程师。

装在特制的测角机构和三角架上，组成一台精度较高的重复频率的激光漫反射测距仪，可以跟踪活动目标，对活动目标进行测量。

我们在装机和试飞测试使用中，解决了遥控操作、消除电源干扰、防雾、防冰、防震、测高、飞标时标、同步测量记录以及微机实时快速处理等技术问题，见照片1。在试飞过程中，得到了中国科学院上海光机所褚春霖、周正文等九名同志的大力帮助。他们和我们一起跟机试飞，使得激光测试系统较好地发挥了其应有的作用，并解决了一些多年来未曾解决的试飞关键问题。



照片1 装在机舱内的激光显示、记录打印和遥控装置

激光在试飞中应用的几个项目

1. 飞机的地面滑行

将激光测试系统安放在飞机跑道的沿长线上，对准跑道。当飞机起飞、降落时，以固定的重复频率如5次/s盯住机尾连续测量，获得在不同时刻 t_i 和距离 s_i 的系列数据。当所取的时间差 $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ 足够小时，即可算出飞机在某一位置 s_i 时的速度 v_i

$$v_i = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_{i+1} - s_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (1)$$

式中 s_{i+1} 和 s_i 分别为飞机在 t_{i+1} 和 t_i 时刻的位置。为避免飞机的不同部位对激光的反射所造成的测量误差，在飞机尾部装有四棱全反射镜。这样，飞机的运动可视为一个质点运动。这种方法的优点是迅速、直观、简便易

行，有较高的精度。

2. 刹车效率

如上所述，利用激光连续测量，并将各有关参数进行同步测量、记录，可以得出飞机滑行到某一位置 s_i 时，飞机的重量 W_i 、速度 v_i 和所施加的刹车力 F_i 、反推力 P_f ，并可求出在给定的不同条件下，经过 Δt 时所滑跑的距离 Δs 。经过综合分析就能得到在不同条件下，施以不同的减速手段以后飞机的减速情况，从而获得减速装置的性能。关于刹车效率，在国内以往是采用人工站位或机轮测速等方法进行，由于激光能测出准确的距离(位置)及滑行速度，因此激光测试获得了国内尚未达到的测试精度。

3. 起飞、着陆性能的测定

将跑道上的连续测量延续一部份，并将飞机腾空一段包括进去，就可以测出飞机的起飞、着陆性能(见照片2)。



照片2 激光系统在风雪严寒的跑道端头进行起飞着陆性能的测定

在起飞时，利用地面激光和由激光标定过的机载仪表分别同步测出飞机的距离和高度。

当测出飞机在时刻 t_i 的位置 (x_i, y_i) 之后，便可由(1)式得出 v_x 、 v_y 和 v ：

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{\frac{1}{2}}$$

连同飞机的其它起飞数据进行分析，就能得到飞机在起飞、着陆时的各种性能。我们曾对“三叉戟”、“波音707”和“伊尔14”等

机种进行过多次测试,均获满意结果。

4. 地面效应的激光测试

由于地面效应对飞机的影响,使得飞机在地面或靠近地面飞行时,飞机的机载仪表无法准确指示,利用地面激光测试可以测出其准确值。将激光测得的数据和机载仪表的指示值相比较,就得出了地面效应对飞机的影响(见表1),借此可确定飞机离地或接地时刻的准确速度以及飞机在起飞、着陆时在跑道上的滑跑长度。

表1 拉萨机场激光校验 Y10 机特征点的修正系数

特征点	抬前轮	离地	接地	前轮接地
修正系数	0.97 ~0.98	0.91 ~0.93	0.94 ~0.95	0.97 ~0.98

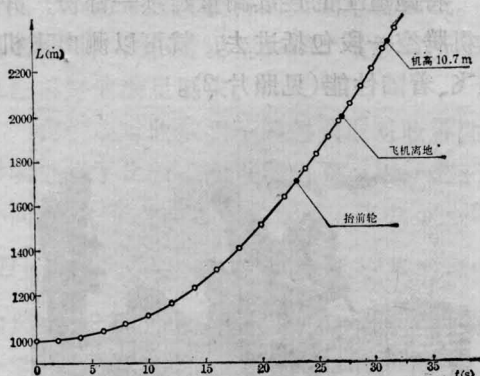


图1 试航拉萨起飞数据激光校准曲线

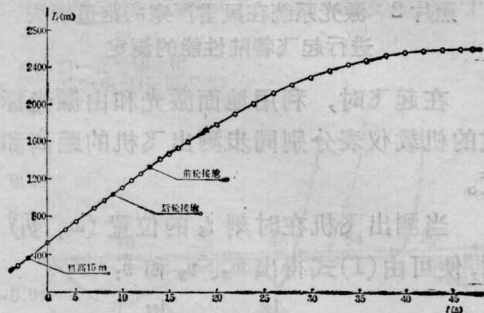


图2 试航拉萨着陆数据激光校准曲线

在国产“运十”飞机试飞拉萨、确定商载的过程中,激光测试作出了贡献(图1、2)。西藏曾一度被认为“空中禁区”,拉萨贡嘎机场海拔3543 m,空气稀薄,对飞机的起飞、降落、

刹车减速性能要求很高。激光测试、标定给出了准确数据。

国产“运十”飞机试飞拉萨在国内外引起了强烈反响。“运十”飞机商载飞越天险,创造了我国航空史上的新记录……(见世界经济导报)。而国产的 FZG-1 激光测试系统在这个过程中发挥了巨大作用。

5. 标定“运十”飞机的真空速、表速和机轮转速

利用激光准确地测速和其它相应的测试进行对照计算,可以对机载仪表的真空速、表速和机轮转速进行标定。表1所列数据是利用激光测得的关键数据的修正系数。

用激光系统标定真空速、表速和机轮转速等参数,大大提高了高原机场测试数据的精度和可靠性。同时为有把握地确定运十飞机商载能力(空运拉萨)提供了依据。

6. 温度恢复系数的飞行校准

用激光系统并借助于探空测量进行温度恢复系数的飞行校准获得满意效果(见表2)。

表2 γ_h 校准值

方法	激光法	图解法	风洞试验
结果	0.973	0.972	0.078

准确的温度测量,对于飞机及飞机发动机性能的确事关重要。气流的温度不能用飞机仪表直接、准确指示,必须用飞行试验的办法测出气流的温度恢复系数,经过计算而得出。利用激光-探空法,不但能准确测量,而且能够大大简化试飞方法。它的原理是用激光精确测高,用探空仪准确测温,便可获得飞机飞行高度上气流温度,而由下式确定温度恢复系数 γ_h :

$$\frac{T_b^*}{T} = 1 + \frac{k-1}{k} \gamma_h M^2 \quad (2)$$

式中 T_b^* 是飞机仪表感受的总温; M 是飞行马赫数; T 是飞机在给定高度 H_i 上飞行时大气温度(静温); $k = c_p/c_v = 1.4$ 是绝热比。

以往是利用图解法由(2)式求解 γ_h ,它要求飞机在某一高度上,分别以不同的马赫

数 M 飞行, 测出不同 M 下对应的总温 T_b^* , 在一定高度上 T 是定值。用试飞数据作 $T_b^* \sim M^2$ 图, 延长线与纵轴相交的点相应于 $T_b^* = T$, 代入 (2) 式求出 γ_h 。在求解过程中, 由于利用图解, 将会增加误差, 且要求飞机进行变速飞行, 将增加飞行、测试时间。

用激光探空法是很简便的。由机载激光测出几何高度 H_i , 由探空仪测出在各高度上的温度 T_i 、压力 P_i 。通过数据处理, 获得飞机所在高度上的真实大气温度, 从而算出 γ_h 来。测量几何高度有不同的方法, 机载激光测高是最简便准确的。利用激光-探空法只要求飞机在某一高度进行等速平飞即可。

7. 气动修正量飞行测试——激光法

飞机的机载仪表需要准确的指示, 但飞机在飞行过程中由于受到气动干扰, 将会给仪表指示带来很大误差 (参见表 3)。因此, 机载仪表除了要在地面进行准确校验之外, 还必须在飞行中作进一步的校验修正, 这个修正量叫作气动修正量。

$$\Delta H = H - H_b, \Delta v = v - v_b, \Delta M = M - M_b$$

式中 H 、 v 和 M 为飞机飞行的准确高度、速度和马赫数。 H_b 、 v_b 和 M_b 为飞机仪表指示的高度、速度和马赫数。

从表 3 中可以看出, 象波音 707 这样比较先进的飞机, 气动修正量也是相当可观的。如不进行气动修正量修正, 当飞机在飞行包线附近飞行时, 有可能超出限制, 造成严重事故。因此每种飞机必须进行气动修正量试飞。

测试气动修正量的试飞方法有许多种, 有的方法虽然简单, 但精度很低, 不能满足测试范围的要求; 有的精度虽高, 但系统繁杂,

表 3 波音 707 飞机气动修正量的最大值

项目	Δv (km/hr)	ΔM	ΔH (m)
正常系统	8	0.017	120
备用系统	40	0.100	500

设备昂贵。利用激光法试飞, 简便、可靠、准确、迅速, 是一种理想的试飞方法。

机载仪表如高度表、速度表等是按标准大气刻度的, 所指示的是气压高度 H 。而各种试飞方法所测的高度 (包括激光法), 皆为飞机的几何高度。而飞机是在非标准大气中飞行的, 因此必须在试飞的同时测出试飞区域的大气参数。把激光测出的飞机几何高度 H_i , 根据所测的实际大气条件, 换算成气压高度 H , 将 H 作为准确的气压高度, 和机载仪表指示的气压高度 H_b 相减, 便得到高度修正量 ΔH 。整个过程均由实时数据采集处理系统来完成。

有了 ΔH , 便可通过公式算出其它修正

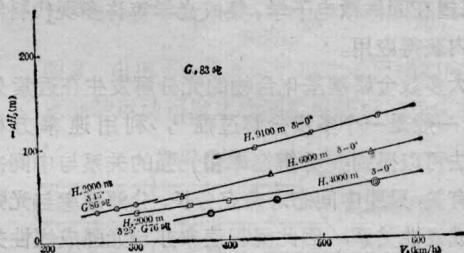


图 3 Y10 机高度修正量

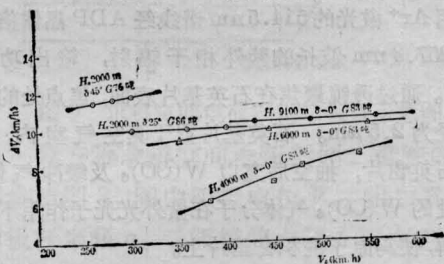


图 4 Y10 机速度修正量

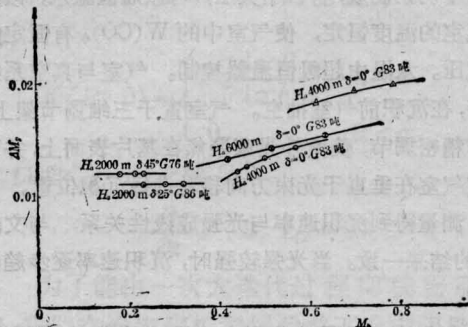


图 5 Y10 机马赫数修正量

(下转第 362 页)

难看出: DCM 在丙烯酸酯和在 DMSO 中的激光波长调谐范围和激光能量转换效率彼此相同(或者说,在丙烯酸酯中略为优越)。但值得注意的是: 丙烯酸酯溶液可在更低的温度条件下工作。例如: 当温度为 12°C 时, 流动性仍然很好的丙烯酸酯溶液的 DCM 激光输出降低约 40% 左右, 但 DCM 的 DMSO 溶液此时已完全凝固而无法工作。

讨 论

基于上述吸收光谱、荧光光谱、荧光衰变规律及 DCM 浓度对它们的影响等实验结果, 可以认为: DCM 在丙烯酸酯中的光物理特性和它在其它极性溶剂中并无原则的不同, 并完全可用我们曾提出的有关激发态 DCM 分子运动变化微观图景^[3]及其动力学规律^[4]予以详细描述。

DCM 在丙烯酸酯中的激光工作特性参数测定及其在 DMSO 中的情况比较的结

果, 一方面证明了 DCM 的激光是由处于非平面扭变型的 ICT 激发态分子产生的推论, 以及据此而建立的溶剂选择基本考虑的正确性。另一方面则直接表明: 丙烯酸酯可用作 DCM 染料激光工作介质更为理想光溶剂。在这种溶剂中, DCM 染料分子的激光输出特性类似, 甚至超过它在过去被认为“最佳”的 DMSO 中激光工作特性, 而且这种的溶剂的无色、无臭、无毒、低凝固点、低挥发性以及粘度适当等特点, 将使 DCM-丙烯酸酯体系更适合于在“喷流”条件下工作, 而无需对工作环境条件提出特殊要求。

参 考 文 献

- [1] E. G. Marason; *Opt. Commun.*, 1981, **37**, 56.
- [2] 邵子文等;《激光》, 1981, **8**, No. 10, 1.
- [3] 张兴康等;《中国激光》, 1983, **10**, No. 8~9, 636.
Guo Chu *et al.*, *J. Photochim.*, (to be Published)
- [4] 郭 础, 张兴康; 待发表。
- [5] T. Fujinaga, K. Izutso; *Pure. Appl. Chem.*, 1971, **27**, 273.

(上接第 373 页)

量 Δv 和 ΔM 来。图 3~5 分别为 Y10 机的高度、速度、马赫数修正量。

结 论

1. 利用机载激光在波音 707 飞机上进

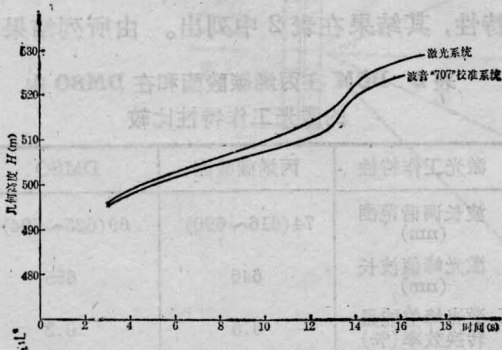


图 6 激光测量系统与波音 707 校准系统对照测试结果

行了对照试飞, 所得结果是一致的(见图 6), 说明采用激光技术进行飞行试验的测试的方法是方便、可行的。

2. 利用机载激光测试系统在不同机种上进行了许多试飞课题的测试, 均获得了满意的结果。在低温高寒、炎热潮湿和机载震动的条件下, 经过长时间的应用, 未曾出现大的问题, 并在试航拉萨及其确定商载的过程中提供了可靠的数据。

3. 激光系统的测距精度仅有 ± 1 m, 机载激光系统, 由于是在飞机上向下测量, 其由角度偏差带来的高度误差在千分之一以内, 这是我国当前试飞测试中尚未达到的精度。

4. 机载激光系统在实际应用中简化了试飞方法, 获得了很大的经济效益。

5. 机载激光具有广泛的使用推广价值, 它可以在航空测量、航空摄影以及边远地区的线路勘察中发挥作用。