

靶场光测设备发展趋势

曹金贵 王峻山

提要 本文描述了国外靶场光测设备采用的新技术、新手段；并根据我国靶场光测设备目前急待解决的问题，提出了对靶场光测设备发展的看法。

国外靶场光测设备采用的新技术

一、复合轴座架和自适应预测滤波系统

对小视场的光测设备，特别是激光跟踪测量系统，在发射波束角为毫弧度，甚至几十角秒的情况下，要求高精度的伺服座架，以保证大加速度的高精度跟踪和测量，采用复合轴和自适应预测滤波，是实现高精度伺服系统行之有效的途径。目前，其精度为角秒量级。

白沙导弹靶场已经研制出一种自适应滤波器，装在跟踪座架上，以提供数字伺服控制。此滤波器是一种可程序的微处理机，它是以八位和十六位微处理机为基础而设计的。它能提供良好的伺服系统特性，以完成自适应伺服控制。一九七一年微处理器和高性能伺服系统对接，按编制的程序，用通用的采样数据理论处理，实现了伺服数据补偿。在采样速率低到每秒二十周时，仍可得到良好的伺服性能。

一九七六年，完成了自适应预测滤波器的最终设计，并建立了系统。

二、图识别和实时瞄准校正

近十年来，在利用计算机进行目标识别方面做了很多研究试验，表明制造一种极好的跟踪可靠性和实时校正瞄准误差的光学跟踪系统，已是现在技术力所能及的了。

二次世界大战以来，自第一次近代火箭试验之后，光学跟踪开始成为靶场精密测量设备主要方法，光学仪器达到的精度超过了其他仪器。由于编码器、光学检测、大气模拟试验和光学设计的改进，还在不断提高光学仪器的精度。但其主要缺点是需要处理胶片。这一过程拖延了光学校正数据的交付期。最近，在并非与光学直接有关的技术进展，解决了数据交付中的拖延问题，这就是使用高速微处理机，人工智能，图象识别技术以及对现有的光学系统进行专门修正的自动跟踪方法。

实时光学跟踪受到限制的首要原因是完善的处理方法要求的计算量已超过了通常的计算机能力，其次是缺少象的知识。最近在前一方面已取得了有重大价值的进展，在后一方面也有令人鼓舞的新成就。

近十年来，美国国防先进研究局和国家宇航局进行了多种数据处理方法的尝试。这些尝试加深了对象和象处理的了解。各种军事目的也大量地需要象识别和象知识的研究，军事目的始终是发起机构及国家基础部研究的中心内容。在美国白沙导弹靶场，美国空军夜视研究所的这一方面研究，近期已获得相当完善的系统。白沙靶场集中研究可见光谱和实时处理方

面的内容，而夜视研究所则主要集中红外和有关实时方面的研究。

三、微处理机的应用

美国比较先进的和典型的光测系统如 *PATS* 和 *SUPER RADOT* 等都应用了微处理机，它可以机动灵活、可靠地完成系统控制、故障检测、误差检测、精度修正、信号处理和实时输出等方面的工作，随着微处理机的完善和发展，必然为靶场光测设备带来新的前景。

四、靶场光学数据转换的改进

以美国白沙导弹靶场为例，说明光学数据转换的现代化过程：

第一阶段：利用固体电子学器件，更新了电传胶片判读仪。用固体器件取代了录音存储器，用磁带装置取代了穿孔卡片。

第二阶段：在数据转换中又增加了读取码盘的功能。为判读康特拉维斯 *F* 型胶片的信息点阵，购买了两台康特拉维斯 *FB-2* 型判读仪。每台电传判读仪都改进为具有数据点阵读取装置的仪器。

第三阶段：将用数字控制器对胶片判读台进行改进。数据在送到数据处理装置之前，控制器先对其进行内部误差检查。数据处理系统将从所有判读台接收数据，该系统编排、贮存一次任务中所获得的全部数据，并检查数据的符合程度，最后将数据录制在磁带上，以便用来数据简化。

白沙导弹靶场通过下列三条途径来获得必要的工作能力，即：配置同样的系统；购买快速系统；改进现有系统，提高处理速度，但以后种为主。

五、捕获、引导手段

在光学测量中，由于视场小，仪器本身捕获目标是很困难的。美国有些靶场采用了雷达引导，但造价昂贵，设备量增加，而且又很繁琐。美国研究出一种光电扫描系统和光雷达捕获与跟踪系统，使之完成自捕获功能。

其一 是根据美国宇航局要求，研制出雷达捕获与跟踪系统。本系统具有自动预先捕获搜索能力。在捕获工作方式时，激光波束及析象光电倍增管瞬时视场在同一捕获视场中进行同轴电扫描。捕获目标时，误差信号馈送到中心波束器，对目标跟踪。当目标丢失时，则系统反回捕获方式。本系统特点是可以自搜索工作方式提高捕获能力。

其二 是光电扫描系统，使仪器本身增加了捕获能力，而不降低测量精度。该系统可在适当的系统内，捕获目标，而在一个小视场内进行高精度的跟踪。众所周知，如果跟踪和捕获视场角相同，虽然增加了仪器的捕获能力，但使之跟踪精度下降，并且仪器也容易受到其他干扰。所以用两个不同视场的光电扫描系统是提高仪器本身的捕获能力的一个有效途径，加之自搜索的应用，使仪器本身捕获目标的能力大为增加。

六、经纬仪加装激光、电视、红外光测系统和微波雷达加装激光系统

经纬仪加装激光、电视、红外及微波雷达加装激光，是实现单站测量，实时输出的好办法，同时综合利用微波雷达和激光的各自特点，使之成为靶场优良的测量系统。详见典型系统介绍。

七、故障检测与监视系统的应用及可靠性的研究

前者国外靶场用的较多，后者国外非常重视，投入大量人力、物力。

美国靶场典型光测系统介绍

一、美国RCA公司研制的三坐标跟踪系统——微波测量和光学测量相结合系统

激光雷达与微波雷达结合,可获得激光雷达的高精度,消除多路反射效应,以及微波雷达的远距离“全天候”的各自特点。

美国 RCA 公司已研制并安装成功两台三坐标跟踪系统,即将激光测距与跟踪系统加装在雷达上。已投入使用的有 NASA—WALLPS 飞行中心的 NA/FPC—16 测试雷达,白沙导弹靶场的 AN/MPS—36 被动式测试雷达。具有宽波束和远距离跟踪能力的微波雷达可用于捕获,捕获后可自动转入激光的近距离、低仰角的精密跟踪。微波和激光结合系统有如下的性能特点:

雷达性能	不变
跟踪距离	350英尺—120000英尺
角跟踪速度	450毫弧度/秒(最大)
角 K_v 值	5300秒 ⁻¹ (最大)
角 K_d 值	195秒 ⁻² (最大)
距离跟踪速度、加速度	≥10000呎/秒, 2500英尺/秒
激光波束宽	4毫弧度
脉冲重复频率	40周/秒
功率输出(峰值)	20兆瓦
能量输出(每个脉冲)	40毫焦耳
脉宽	20毫微秒
波长	1.06微米
通光口径	7英尺
测距精度	小于0.5英尺(均方值) $S/N > 20$ 分贝
激光角精度	小于50微弧(均方值) $S/N > 20$ 分贝

大量实验表明,激光系统不能代替长距离和在各种天气下工作的雷达系统,也没有一台雷达能完成激光系统所能完成的近距离、高精度跟踪,尤其是低仰角范围内的跟踪。

所以,微波雷达与激光系统的结合可望成为优良的靶场跟踪设备。

二、P A T S

美国GTE赛尔凡尼亚公司生产的 P A T S 系统是一种激光测距和精密跟踪的单站测量系统。该系统具有极高的精度,可实时收集、记录、显示各种飞行器的空间位置,其成本比多站电影经纬仪小的多,而其性能与微波雷达及经纬仪比较,有许多特点。

P A T S 采用618型 Nd—YAG 激光发射器,重复频率100次/秒,输出1.06微米的脉冲,脉宽15毫微秒,用计算激光从发射至返回的时间来测量距离。

激光跟踪系统采用四象限探测器探测激光束与主光轴的位置偏差,通过电子学系统处理,以驱动座架跟踪目标。整个系统由主控台控制,其中包括处理器、处理器接口装置、测距处理器、电视监控器、数字终端、磁带传输等。主控台只需一人操作。P A T S 数据处理系统主要用一台16位微处理机组成、工作时,微处理机接到回路中,完成处理,同时控制跟踪系统及编制数据,以供记录、完成显示、绘图等。输入、输出数据的磁带单元,角度数字终

端、纸带记录与穿孔装置，以及 $X-Y$ 绘图仪均由处理器软件程序控制。处理器完成计算目标的位置和速度，以进行绘图和显示。计算机程序还可以自动的完成各种检测。

位置数据通过多路传输，然后在两个双笔 $X-Y$ 绘图仪上完成显示，利用计算机选择数据输出。绘图数据包括直角坐标中的目标位置，目标速度，以及极坐标中的位置参数，这些参数可组合绘图并作出对于时间的曲线。

此外，赛尔凡尼亚公司制备有各种规格、形状的后向反射器，用于飞机上的半球状阵列已有商品，同时可根据用户的需要设计制造各种合作目标。

(一) $PATS$ 与经纬仪比较

电影经纬仪虽然可获得精确数据，但至少需二台或更多台交汇工作。数据处理费时费力。 $PATS$ 系统只有二个操作手就可单站实时显示位置及速度数据，用绘图仪和电视可迅速实时得到数据，其精度和经纬仪相比也是很好的。

1. 高精度。弹道相机测试已表明， $PATS$ 与电影经纬仪的精度相比较是很好的。
2. $PATS$ 可实时提供数据，可以在实验期间评价数据及重新显示数据。
3. 单站工作。电影经纬仪则需二站或更多。
4. 机动性好。全系统装入一个单一的箱体，在达到指定地点时，一小时内可投入使用。
5. 需人力少。只要一人操作，加上维护只需二人。
6. 数据获得成本低。
7. 工作环境与天气没有电影经纬仪要求的那样严格。

(二) $PATS$ 的主要指标:

1. 绝对精度。

方位：目标距离为200—30000米时为0.1毫弧度 (≈ 20 秒)

俯仰：目标距离为200—30000米时为0.1毫弧度

距离：10000—30000米时为 ± 1 米

200—10000米时为 ± 0.3 米

2. 采样率:

100、50、20、10次/秒

3. 角度复盖。

方位： ± 420 度

俯仰： -5° — $+185^\circ$

动态保精度 -5° — $+45^\circ$

4. 捕获特性 (手动——单杆与电视监视)

最大角速度 (方位和俯仰): 100毫弧度/秒

最大角加速度 (方位和俯仰): 80毫弧度/秒²

5. 捕获特性 (自动——采样100次/秒)

最大角速度: 500毫弧度/秒

最大角加速度: 80毫弧度/秒²

6. 角跟踪特性

最大角速度 (方位和俯仰): 500毫弧度/秒

最大角加速度 (方位和俯仰): 80毫弧度/秒²

7. 操作显示

距离：以 1 英尺或 0.5 米递增数字显示

方位：以 0.1 度递增数字显示

俯仰：以 0.1 度递增数字显示

8. 捕获视场 3 毫弧度

9. 可变焦寻像器视场 5° — 20° （借助变焦控制）

10. 功率：208 伏，3 相，30 千瓦

11. 环境：

温度 0— $120^{\circ}F$

风速 0—90 公里

12. 架设时间：小于一小时

三、激光跟踪系统——电影经纬仪单站测量及自动跟踪

美国康特拉维斯公司戈茨分公司把 *EOTS-D* 型电影经纬仪改型为具有激光测距、激光自动跟踪能力的仪器。该仪器采用 *Nd:YAG* 激光器，具有 *TEM₀₀* 模式的输出，用于测距和角跟踪。电影经纬仪光学部分的方位和俯仰轴改为力矩电机直接驱动。该系统在爱德华空军基地试验及正式工作期间获得大量的靶场跟踪数据。

该仪器除具有测距和自动跟踪能力外，同时还保留着胶片摄影功能，使之成为能对胶片摄影进行弹道分析提供实时输出及事后处理的仪器。

该仪器采用瑞森专用微波装置部制造的 *325D* 型激光器，激光输出频率为 60 次，120 次，240 次（每秒）。波长 1.06 微米，脉宽 7—12 毫微秒，脉冲输出功率 60 毫焦耳、30 毫焦耳和 2 毫焦耳。发射速率由微处理机控制。

本仪器由于采用力矩电机直接驱动，微处理机 (*DEC-PDP11/03*) 编排和输出实时跟踪数据，激光锁定及激光分系统控制，使仪器具有完美的单站跟踪性能。

四、超级自动数字记录光学跟踪系统 (*SUPER RADOT*)

为了跟踪进入夸加林导弹靶场 (*KMR*) 命中区的再入飞行器，*KMR* 对作用距离和更高精度的位置测量提出了愈来愈高的要求，从而促使 *KMR* 的光学传感器系统需要扩展其有效的跟踪距离和改善角精度。

SUPER RADOT 系统应用高档小型计算机，实现自动控制，使该系统采用的跟踪系统成为可能。操作模式的校正，误差的确定、指向捕获和跟踪机能用一个软件箱来实现。该软件箱通过安装在控制台上的模式转换开关矩阵型面板进行汇集数据及控制、自动跟踪机能收集空间有限精度的目标角位置数据，应用星跟踪误差测定技术确定跟踪误差模型系数以得到飞行器位置数据的系统误差分量，在校正模型装置中给出方位和高低坐标数据误差（小于 ± 1.0 角秒），星数据的分布可表明数据的残差。通过光学——视频传感器可探测并捕获在太阳照射下 1000 公里以远的再入目标，并借助视频处理器对该目标进行自动跟踪。

此系统为美国当前导弹靶场远距离、高精度的典型产品。

目前，国内靶场光测设备已初具规模。但尚有某些问题急需解决。

1. 因经纬仪台站缺少距离数据，必须多站交汇测量，造成设备复杂，布站困难，降低精度，费时费力，成本提高。另外，有些国内靶场由于没有解决实时输出问题，虽然精度可保证，但拖延了数据的交付期。特别是常规武器试验，数量大，次数频繁，事后处理周期更长。

激光技术的发展，为靶场高精度，单站测量提供了有力条件。经纬仪加激光测距和跟踪实现单站测量，实时输出，可及时处理和分析试验情况。但随之而来的是要加强高精度座架的研制，以及角反射器的研制和生产，以适应激光跟踪和测量。

2. 实践证明，微波和激光结合系统可成为优良的靶场测量设备。

3. 我国自己研制的大、中、小型经纬仪在国内各靶场已得到广泛应用。但捕获、引导问题尚未完全解决。因此引导雷达配套，自引导、自跟踪问题，成为急需解决的问题。除统一配备引导雷达外，采用近距离大视场，小视场精跟踪的方法，以及自搜索应是解决的途径。

4. 应加强微处理机、图象处理、自适应系统、故障检测，可靠性等方面的研究和应用。