

精密激光测距系统

1953年美帝就已开始运用电光仪器测量大地距离。第一台仪器大而笨重，用钨灯作光源。1962年，小巧而轻便的仪器制成，它用汞蒸汽灯作光源。两种仪器都有比较高的测量精度，但是，它们的工作距离有限，而且只能在夜间观察。1965年末开始发展用激光器作光源的仪器，以便提高在中等程度的雾下的测量范围，在明亮日光下测量出较长的距离，并提高精度。此仪器在1966年完成并作了野外试验。

光学设计

激光光学系统中的发射机和接收机的方框图如图1所示。发射部分所有组件都放在一块可调节的板上，板能够从仪器上取下以

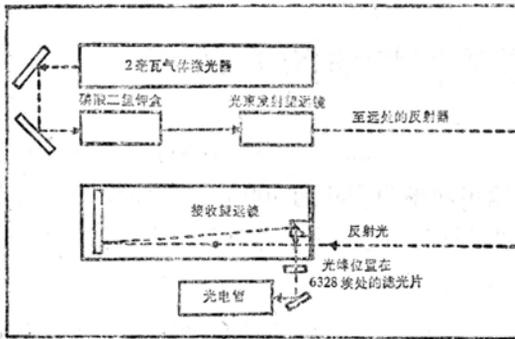


图1 激光光学系统方框图。

利磷酸二氢钾盒和发射望远镜的对准。2毫米的激光束通过光束发射望远镜后，光束扩展成20毫米。发射望远镜是可调节的，使得光束直径在10哩处能准直到1.5米至30米左右。

为了在野外对准发射机和接收机，接收

光学系统涂有宽带膜，并装上尖峰在6328埃的滤光器，它可由操作者移动，使之挪入光路，或由光路中挪开。

晶体温度的控制

为了尽可能消除调制频率的误差，建成的晶体炉用汞温度计控制炉温。热敏电阻放在炉中，监控温度的指示计安装在仪器板面上。炉子的工作温度为 50°C ，温度的最大起伏为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。三个调制频率为30兆赫左右。每秒30赫的变化将引起被测距离的百万分之一的误差。晶体温度的微小变化将引起调制频率的变化。这三种频率的任何一种的最大起伏约为 0.2×10^{-6} 。

仪器的校准

把一根三米长的尺放到距仪器50米远的地方，然后用频率2和频率3对3米长的尺每增加十分之一米观察一次读数。用这样的方法，对三种频率的延迟线作了校准。为了确定仪器的零常数并消除任何可能产生的延迟线误差，把校准反射镜放到离测量仪器50.225米处(用频率1和频率3进行测量时)和50.095米处(用频率2进行测量时)。对上述距离，内校准和反射值几乎全部相等。

计算

激光电光系统的计算，依据下列恒量。

光速 $V_L = 299,792,500$ 米/秒

测量频率 $F_1 = 29,970,000$ 赫*

* 译校注：原文为 Hz/Sec，译校者认为是 Hz。

$$F2 = 30,044,920 \text{ 赫}$$

$$F3 = 31,468,500 \text{ 赫}$$

$$\text{折射率 } RI = 1.0003086$$

折射率 RI 是一恒量，没有对温度、压力、湿度和光的波长作修正。

U1、U2 和 U3 的计算如下：

$$U1 = \frac{VL}{4(F1)(RI)}$$

$$U2 = \frac{VL}{4(F2)(RI)}$$

$$U3 = \frac{VL}{4(F3)(RI)}$$

单位长度，

$$U1 = 2.500000 \text{ 米}$$

$$U2 = 2.493766 \text{ 米}$$

$$U3 = 2.380952 \text{ 米}$$

公式如下：

$$\text{激光, } 6328 \text{ 埃} = \frac{1 + 0.000107925p}{273.2 + t}$$

$$\frac{1.5026e10^{-5}}{273.2 + t}$$

p = 以毫米汞柱表示的压力

t = 摄氏温度

e = 以毫米汞柱表示的蒸汽压力

公式中最后一项对相对湿度的修正，很难得大于 10^{-6} ，并且通常是由图解得到的。用图 2 和图 3 所示的方法来测定距离。在图 2 中，表示出了一个测量频率的单位长度；但是仪器采用了三种不同的频率，如图 3 所示，仪器发射很多光段，计算 U1、U2 和 U3 便能确定对于每一测量频率这些光段的长度。当仪器测量单位长度的最后一部分时（图 2），它的值通常小于 2.5 米。1000 米的距离对 F1 而言有 400 个单位长度，对 F2 有 401 个，而对 F3 则有 420 个。当 F1 发射了 400 个单位长度，它就比 F2 落后整整一个单位长

度。当 F1 发射了 21* 个单位长度，它就比 F3 落后了整整一个单位长度。在 1000 米处，所有单位长度都将重合一致；但 F1 和 F3 将有偶数个单位长度，而 F2 将有奇数个。在 2000 米处，所有单位长度将又重合一致，并且对所有频率都有偶数个单位长度。对于下一个 2000 米，单位长度将开始另一次循环，并重复上述同样过程。所以，任何距离的测量将可理解为 2000 米以内或更小。

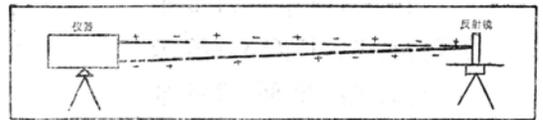


图 2 测量方法。示出一种测量频率的单位长度。

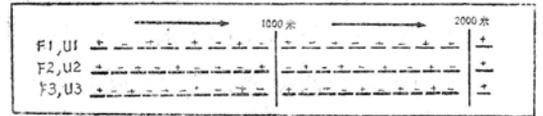


图 3 采用三种不同频率的测量方法。

检测仪器的精度和性能，可在 20 至 50 米的短距离内进行。在多数情况下，这是合适的。在少数情况下，飞越时间将在光电管中出现。为谨慎计，仪器应该用长度在 1000 米到 2000 米之间的、用卷尺精密标定过的基线来校验。美帝海岸和大地测量局的激光电光仪器根据 1,650 米长的精密的贝耳茨维耳**基线进行了测试。若用仪器测得的距离和用卷尺测得的距离的平均值之间的差值超过 12 毫米，则认为仪器的测量有误差，因此，须重新全部进行检查和校准，并重新测量距离。在大多数情况下，卷尺测距和此仪器测距值之间的差，是在 1 至 6 毫米。

样机野外试验

在根据精密的贝耳茨维耳基线进行的精

* 译校注：原文是 21 个，译校者认为应是 20。

** 译校注：在美帝马里兰州。

度试验中，仪器运转得非常顺利，四次测量的平均结果比卷尺测得的平均距离大 3 毫米。其次，根据野外大地测量队预先测定过的几条测量线以及内布拉斯加州奥罗勒附近的高精度测定过的、横贯美帝大陆的铁路线，对仪器进行了试验和估价。下面是测得的距离：

用激光：14,514.839 米
用汞蒸汽光：14,514.839 米
用激光：15,653.470 米
用汞蒸汽光：15,653.476 米
用激光：29,856.205 米
用汞蒸汽光：*29,856.205 米
用激光：41,968.662 米
用汞蒸汽光：*41,968.670 米

在所有上述距离测量上，于无风的情况下，在此仪器光路的高度上，在仪器与反射镜之间约一半的路程处，取中点温度。当风速超过 10 哩/小时，中点轻气球不升起，因此不取中点温度。过去经验表明，当风速为 10 哩/小时或更大时，温度颇为均匀。

根据贝耳茨维耳基线和在内布拉斯加地区进行的试验证明激光仪器非常精确，同时它比用汞蒸汽灯的仪器能测量更长的距离。在大气变化情况下，激光波长 (6,328 埃) 比汞蒸汽光稳定得多。所用的汞蒸汽灯光的波长为 5,500 埃，但其光谱是由若干种颜色组成的。当在晴朗的夜间进行测量时，汞蒸汽光的光谱蓝—绿端将射到远处的反射镜上并折回此仪器；但能见度差时，蓝—绿光将被大气吸收。红色波长的激光在变化的大气中是不变的。

目前，海岸和大地测量局在美帝国内使用着八台激光光电光仪器。至今，用这些仪器测量了约 2,000 条线。所测量的线的长度范围从 1 至 84 千米，其中大多数的长度是从

15 至 30 千米。用不同的激光光电光仪器进行若干试验，所有的试验表明，任何一条测量线的测量精度为 1 厘米加被测距离的百万分之一。

温度测量

采用二种方法观察沿被测量线的温度。一种方法是用系留气球把三个热敏电阻升至仪器光路的高度上，大约在仪器与反射镜的中点处。当由气球上的热敏电阻获取中点温度时，仪器与反射镜的中点处所测得的温度值的权为 2，而各端点的权为 1。用气球方法测量温度是很精密的，但是往往难于驱车到测量线的中点处去测量温度，同时，由于热敏电阻的四根引出导线的重量的限制，气球只能带起 450 呎长的导线。在某些情况，被测的测量线的中点，在仪器光路上大于 450 呎。

另一种方法是沿测量线的全程从飞机上测量温度。热敏电阻放在屏蔽管内并按装在小飞机的两翼上。热敏电阻的金属线穿过机翼与机舱内的仪器连接，当飞机沿着被测的测量线飞行时，可用手或用记录器记下温度。平均飞行速度约每小时 80 哩，如用人记录，则每 30 秒测读一次温度。为了校对热敏电阻，飞机靠近测量线的端点飞行，并且比较飞机和地面之间的测量结果。所有温度读数的平均值是用来计算斜距离的。至今，大约有 20 条测量线是用空携热敏电阻来测量温度的，其结果表明，激光光电光仪器是非常适宜使用这种系统的。

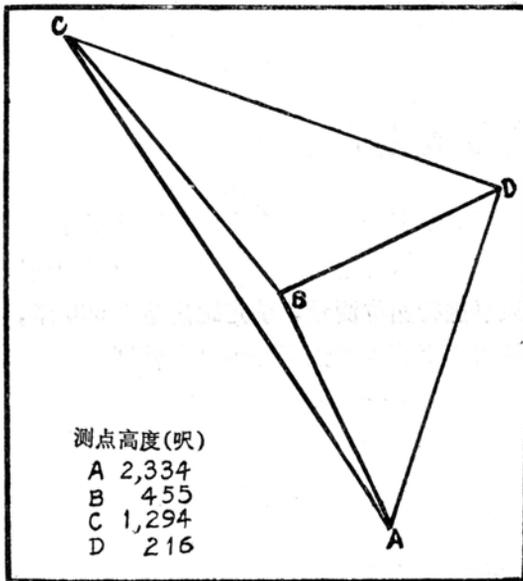
加利福尼亚试验计划

在最近的一次试验计划中，用激光光电光测距仪测量时，要求之一是沿着测量线全程精密地测定温度。使用以前实验过的、装在飞机上的热敏电阻来测量温度，同时对全部

* 原注：投影长度。

数据作比较校准以保证仪器的精度。

利用海岸和大地测量局的一级标准方法观测所有的角度。在每一距离测量的前后，同时用一级经纬仪观测对顶角。有两个晚上，也用一级经纬仪观测水平角。当观察水平角时，没有用飞机测量温度。通过观察四个完全面来确定所有测量线上的距离。一个面是用三个频率测量所得的平均结果。四个面中有二个所取得的是低校准读数，而其他二个面所取得的是高校准读数。



所测的大地距离如下:

测量线	日期(1969)	仪器	平均长度(米)
BD	3/01	4L-# 246	18,592.199
	3/02	4L-# 246	18,592.204
BC	3/01	4L-# 246	18,103.801
	3/04	8L	18,103.796
AB	3/02	4L-# 246	20,447.676
	3/04	8L	20,447.694
CD	3/03	4L-# 246	30,637.147
	3/04	4L-# 246	30,637.131
AD	3/02	4L-# 441	22,604.577
	3/05	4L-# 441	22,604.574
AC	3/02	8L	38,530.568
	3/03	4L-# 246	38,530.570
	3/04	4L-# 246	38,530.566

测量线 AB 和 BC 在 AC 上的投影 38,530.563(4L)
 测量线 AB 和 BC 在 AC 上的投影 38,530.576(8L)

小飞机是以 80 哩/小时的恒定速度沿测量线飞行的。飞机上的热敏电阻，在终端测点与汞温度计作过校准。当以同一高度在 100 码以内飞过各测点时，作了 44 次温度测量的比较。

例子(图 4) 示出被测的测量线的图形以及所测的距离、计算出的水平角和平面观察角。测点 B 和 D 的方位标在一级水平线上，其确定方法是用激光仪器测出从测点到方位标的距离，并翻转这两点之间的对顶角。确

用 4L 型仪器测量所计算出的水平角如下:

三角形号码	测点	计算的角
1	D	91°26'53.25"
	A	52°38'06.67"
	C	35°54'27.08"
		闭合角: 180°00'00.00"
2	B	113°12'07.77"
	C	33°54'06.15"
	D	32°53'46.08"
		闭合角: 180°00'00.00"
3	B	70°34'46.08"
	D	58°33'07.14"
	A	50°52'06.78"
		闭合角: 180°00'00.00"
4	B	176°13'07.42"
	A	1°46'32.33"
	C	2°00'20.25"
		闭合角: 180°00'00.00"

平面观察角如下:

三角形号码	测点	观察角	球面角盈	平面角
1	D	91°26'54.74"	-0.59	91°26'54.15"
	A	52°38'39.89"	-0.59	52°38'39.30"
	C	35°54'26.34"	-0.58	35°54'25.76"
				闭合角: 179°59'59.21"
2	B	113°12'09.18"	-0.27	113°12'08.91"
	C	33°54'06.36"	-0.26	33°54'06.10"
	D	32°53'46.54"	-0.26	32°53'46.28"
				闭合角: 180°00'01.29"
3	B	70°34'45.68"	-0.31	70°34'45.37"
	D	58°33'08.20"	-0.30	58°33'07.90"
	A	50°52'06.54"	-0.30	50°52'06.24"
				闭合角: 179°59'59.51"
4	B	176°13'05.14"	-0.02	176°13'05.12"
	A	1°46'33.35"	-0.02	1°46'33.33"
	C	2°00'19.98"	-0.02	2°00'19.96"
				闭合角: 179°59'58.41"

图 4 例子——加利福尼亚试验计划。

定测点 A 和 C 的高度的方法是翻转在下午的后半部分同时测出的 B 和 D 之间的对顶角。

激光防护

激光电光仪器的功率输出范围从 0.7 毫瓦至 1.4 毫瓦。此激光除对眼睛之外是没有危害的，而这种危害如遵守安全预防办法，也能够避免。注意不要在没有适当的眼防护措施时去看调制的光束。对于现有的激光器，如无适当的防护措施，安全距离估计为 5,000 米或更远些。海岸和大地测量局的安

全标准要求这种预防措施，并在指定的条件下使用防护玻璃。安全规则要使全体人员掌握，并且要明显地显示激光危险信号。

在用空运热敏电阻进行测温，而飞行人员又看得见激光的情况下，必须考虑到飞机中所有人员的眼睛的保护措施。驾驶员不能戴激光安全防护眼镜，因为它会滤去红色光，而红色光是航空中使用的警戒光，但可用人造偏振片制的太阳镜作为必要的预防措施。

取自 *Military Engineer*, 1969 (July—Aug.), 61, № 402, 250—253

激光导弹跟踪器填补了雷达的空白

在导弹发射后短短几千米的飞行距离之内，雷达跟踪常常失效。已研制成的激光跟踪装置能填补这一空白。

这种跟踪器使用一台波长为 4,880 埃、输出为 5.4 瓦的连续波氩离子激光器。在 6,000 米距离上，对于 0.8 的导弹反射率，跟

踪器的距离精度为 0.1 米，速度精度为每秒 0.08 米。这种连续波测距技术是用三种调制频率进行相位测量，确定距离达 1,000 米，然后再用第四种频率得到最大精度。

取自 *Microwaves*, 1969 (Oct.), 8, № 10, 8

利用激光在远距离上作标记

美帝沃维特朗 (Ovitron) 公司研制出一种新装置，能在几百呎的远距离上精确作标记。

这种系统的基本组成部分是一台低功率激光器和感光纸。纽约世界贸易中心在装配铁制品时用这种系统确定钻孔的位置。

这种纸对于气体激光的频率很灵敏。用化学方法处理之后，就能把激光光点固定在感光纸上。活化之后 30 分钟，感光纸仍然可感光。用固定剂处理之后，就记录下一个永久性的激光点。

感光纸贴在墙上作为激光束的靶，用照准望远镜确定一个参考点之后，便固定住激光器的位置，令其发射，使在纸上构成一个像，然后断掉激光器，再转到下一个点。

该公司最初进行了历时几个月的实验，想利用激光直接在金属上打上标记，但距离超过几呎时，所需的激光能量对旁边的工作人员就可能危险，因此才研究这种感光纸。所使用的激光器是低功率 He-Ne 或氩激光器。

取自 *EDN*, 1969 (Nov. 15), 14, № 22, 26