

国外光电测距仪介绍
光电测距仪的发展状况
SM4激光测距仪说明书

内蒙煤田地质勘探公司翻印

一九七九年十月

国外光电测距仪介绍

当前光电测距仪已成为几何大地测量的主要观测仪器之一。观测结果尺度精度一致，不论在主网或加密网中，都能达到预期的效果。在基本网中进行光电测距，计有下列三种主要形式：

(1) 导线网：最普及的形式，以狭长三角形或四边形代替单线；

(2) 三边网连续网：在整个地区布满三边网或带有附属线的四边形；

(3) 在老式基本网中，增测全部边长的 10—100%。

光电测距仪从研制、运用到发片已达 30 年，系列比较完整。自从六十年代以来，短程测距仪的发片比较迅速，型号繁多，生产的数量也很大。

按照大地测量对长程及中程测距仪的要求，其总的发片趋势是以激光系统为主；至于微波测距仪，近来新出现的就不多了。低精度控制、土地测量、城市测量以及工程测量则需要以红外光系统为主的轻便短程测距仪。短程测距仪有自成一体，有附加在经纬仪上部的，也有与经纬仪望远镜共轴的，新一代经纬仪式的红外（激光红外）测距仪，将测距、测角、归算、显示和记录各项装置集成于一套机内，全自动化操作，称为全

站型仪器。K. Poder指出, 如果红外测距仪像微波测距仪系统那样, 采用“主动”的反射镜, 则无需大功率的输出功率, 即可使测程到达 10—15 Km, 因为单程传播, 信号的损失会小得很多。

瑞典 AGAT 不断地生产 Geodimeter 光电测距仪, 近年又出现几种新的型号。其它国家如西德、瑞士、东德、美、英、日及苏联等国家都曾研制大量的测距仪, 也有在改装老式仪器方面, 获得了一定成效的, 现在择要介绍如下

一、瑞典 AGAT Geodimeter 测距仪系列

首批研究用电子方法测定光速和距离的, 是 Karolus, Mittelstaedt 和 Huettel。他们的原始装置, 对于现代化的测距仪结构有着重大影响。1941年瑞典大地测量局 (Swedish Survey Office) 大地测量学者贝内格斯特 (E. Bergstrand) 博士, 在诺贝尔物理研究所继续发展 Karolus—Huettel 建议的方法, 并在大地测量基线上对光速进行高精度的测定, 1943 年获得结果, 1947 年发展成为著名的 Geodimeter (Geodetic Distance METER) 原理。同年与瑞典 AGAT 合作。1948 年第一台 Geodimeter 样机研制成功。1950 年至 1955 年先后出现 Geodimeter 1 型, 2 型, 2A 型。2A 型夜间测程 30 Km, 首先用于基线扩大值的检测, 三角网边及导线边的测量。1957 年出现 3 型, 1959

年出现4型，而以水银灯作光源的4B型和4D型于1962年问世。自2型至4D型精度都彼此接近并极为稳定。至此光电测距已获得广泛的推广。

有重大发展意义的AGA6于1964年出厂，它提高了白天的测程(3—5 Km)，改进了移相器，减低了重量(仅16 Kg)，减少了功耗(3 W)，而且发射和接收光学系统共轴，具有经纬仪式的轻便结构。后来的6A，6B、6BL以至今日的600型都沿用此种结构。6A，6B和6BL同为25 Km的中程测距仪。

AGA8系1968年研制成功的大程激光测距仪。它的电子结构、调频分频以及另测装置，基本上与6A型的设计一致。接收光学系统有尖峰滤波器，排除一切波长不同于发射仪号波长的杂光，因此昼夜测程相同。6BL，700/710及600型均为激光系统。AGA12及其变型12A为红外测距仪。

AGA 700/710系带有精密度盘的经纬仪式结构，测程5 Km，它有内部计算机，对4.7 Km以内的斜距能算出平距和高差，另有Geodat 700纸带穿孔机供穿孔记录。称为记录式电子速测仪。

近年来，几乎同时出现的有12A，10，14和600型并。总之，AGA厂的光电测距仪系列为Geodimeter 1，2，2A，3，4，4B，4D，6，6A，8，6B，6BL，7T，76，78，700。

700/710, 12, 12A, 10, 14及600型。采用的光源先后有白炽灯、水银灯、激光和红外。所用的调制器有克尔盒及KDP两类。从电路原理来讲, 1, 2, 2A, 3, 4, 4B, 4D及6型的为同类; 6A, 6B, 6BL及8型的为同类。

AGA 600外型与AGA 6BL相似, 测程较长, 实际上是代替AGA 8的, 现将它的技术数据罗列如下:

测程

最大距离	40 Km	} 采用AGA棱镜 571, 125, 021
最短距离	15 Km	

测程的大小与能见度、光线状况及反射器类型有关。白天和天黑以后的测程实际上一致。

精度

一次相位另测 (另测时间为1分钟):

中误差小于 $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ mm/Km}$;

标准法 (另测时间为3分钟):

中误差小于 $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ mm/Km}$;

特殊法 (另测时间为20—30分钟):

中误差小于 $1 \text{ mm} + 1 \text{ mm/Km}$ 。

精度不受光束中断的影响。

一般数据

光源 1mW He—Ne 激光

电源 12 VDC 电池

耗电另 26 W

量程角 $-55^{\circ} - +90^{\circ}$

外界空气温度范围 $-40^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$

(到达 $+50^{\circ}\text{C}$ 时, 频率稳定性略低一些)

光学数据

接收头:

焦距 600 mm

放大倍率 28 X

直径 105 mm

相应的“投靶”面积 $0.8 \times 0.8 - 0.15 \times 0.15 \text{ m}^2/\text{km}$

发射头:

焦距 600 mm

直径 53 mm

体积和重量

标准装备 No. 571.199.008:

仪口并附带 Kern 三角台: 15 Kg; $220 \times 360 \times 530 \text{ mm}$;

装运箱 (包括工具箱、工作手册、记录表格、电池缆):

8.5 kg; $280 \times 360 \times 630$ mm.

有了很大改进的接收头光学系统和激光光源可以直接向墙及其它反射表面另测达 200 m 的距离而不必采用反射镜。1.5 km 的距离可以改用塑料反射镜。本仪对位移测定也是适用的。由于光束发散度很小，作长距离观测时，仪口安置应多次校定。

AGA Geodimeter 的使用范围较为广泛，为了确定它的系统误差和了解它的精度状况，一些国家从多方面用 AGA 8 与 Tellurometer MKA 3 型微波测距仪作观测比较。加拿大地测局于 1969 年—1970 年作了约 200 条 7 km—27 km 边长的外业观测。除采用 AGA 8 及 MKA 3 外，还采用了 AGA 6 及 MKA 4。分析结果认为：

(1) Geodimeter 在地面站间另测，存在系统的周日变化，白天另测结果比夜间的大 $4 \cdot 10^{-6}$ ；

(2) 在 Tellurometer 微波测距网中，不论从地面站或从标塔站上另测都产生百万分之几的周日系统变化；

(3) 用 Tellurometer 微波测距仪另测的距离，一般比 Geodimeter 另测的短 $2-5 \cdot 10^{-6}$ ；

(4) 用 Geodimeter 在地面站之间另测的距离，昼夜的平均值是可靠的，接近日出或接近日没时的另测也都是可靠的；

(5) Geodimeter 在标塔站之间进行另测，其系统误差

误差小于 $1 \cdot 10^{-6}$;

(6) Tellurometer 微波测距仪的观测值一般短了百分之几。

奥地利林纳 (K. Rinner) 教授在“关于 Steiermark 实验网的激光与微波测角报告”中指出, 1967—1973 年在奥地利的部分一杆网和相应的二杆网中用 AGA8 和 MRA3 对 59 条边作了长期观测比较。经过严格平差, 认为激光测角结果的平均精度为 1mm/Km , 而用微波观测的精度则稍低。

二、美国使用和研制光电测距仪的状况

美国于五十年代初期即引进 AGA Geodimeter。海岸及大地测量局于 1953 年开始用 Geodimeter 型光电测距仪观测精密基线。到了 1967 年又用了 2A, 4B 及 6 型。通过几条已有精密基线的测试, 认为如果沿线精确测定平均温度, 则 Geodimeter 各型的精度是一致的。

美国将在贯穿大陆超等精度导线中进行测角的 Geodimeter 统统称为标准型 Geodimeter (Standard model Geodimeter), 这些仪器都是靠近 Culpeper, Virginia 的精密带尺基线上作过试验的。原来精密带尺观测的结果为 $9.051 \cdot 751\text{m}$, 而用 Geodimeter 测得的平均边长为 $9.051 \cdot 746\text{m}$ 。在美国有关的技术报告中, 把已完成约 $2 \cdot 2000\text{Km}$ 超等精度导线称为超精度 Geodimeter 导线 (High Precision Geodimeter)

ter Traverso)。目前美国已有 150 m, 600-800 m, 1200-1400 m 的光电测距检定基线 50 多条, 认为在全国应有 600 条。

下面概略地介绍一下美国改装测距仪的个别事例。

1965 年后期, 海军及大地测量局用氦氖 (He-Ne) 激光作光源改装 Geodimeter 4D。目的在于提高中雾天气的测程并能在白天另测长距离。主要是以 2 mW 的 He-Ne 激光代替水银蒸汽灯, 以 KDP 晶体代替克尔盒, 以 TVP 光电倍增管代替 IP21 光电管。另将一只 6328 埃的尖峰纹号滤波器 (Spike filter) 安装在光电倍增管的前面。1966 年初期完成改装过程。

改装后的激光 Geodimeter 的检测方法与 Geodimeter 4 型的检测方法完全一样。现将比较另测的结果列在下面:

激光 Geodimeter 测距	1649.986 m
精密带尺另距	1649.983 m
差 值	0.003 m

Geodimeter 4	-441	测距	14,514.839 m	15,653.476 m
	-284			
激光 Geodimeter		测距	14,514.839 m	15,653.470 m

从试验的情况来看, 激光 Geodimeter 接近标准型 Geodimeter 的精度。

1977年外刊报导, 美国国家大地测量局曾改装一台 Geodimeter, 用于测量长边, 称之为 4 L 型 Laser Geodimeter, 采用 10 mW 激光, 测程 80 km。

七十年代以来, 美国在研制光电测距仪方面有着较大的发展。如光谱物理公司 (Spectra Physics), 休勒特-派卡尔德厂 (Hewlett Packard), 开易公司 (Keuffel + Esser Comp) 以及精密仪器国际有限公司 (Precision International Inc.) 等都研制各种型号的测距仪。还有部分大学也在不断地研制更高精度的三波测距仪。

光谱物理公司的 Geodolite 3G 是 5 mW 的长程 He-Ne 激光测距仪, 据史密松天体物理天文台 P. Mohr 的专门报告, 认为该仪比 Geodimeter 的精度略高一筹, 但差得多。开易公司生产 Ranger 型长、中、短程测距仪系列。短程红外测距仪则以休勒特-派卡尔德厂生产的 HP 3800 型的系列为最多。宣传得最广泛的要算全站型的 HP 3810 A, 在一个测程中可以自动求得测点的坐标 X, Y, Z 。

HP 3820 A 是新一代的, 以砷化镓激光二极管作光源的电子式全站型仪。将 1 秒级电子数字自动记录式的经纬仪、自动测距自动记录测程达 5 km 的测距仪和一只微信息处理机集成于一套机内。现将该仪的功能、结构形式和技术数据详列如下:

仪口的功能

- (1) 将测角、测距结合起来；
- (2) 测角精度优于或胜过1秒级经纬仪；
- (3) 自动补偿水平角、天顶距由于置平剩差所产生的影响；
- (4) 测距精度和测角精度一致；
- (5) 能进行数据的整理和输出；
- (6) 仪口的尺寸与2寸经纬仪相当；

结构形式

- (1) 发射头、接收头和望远镜瞄准线都结合在经纬仪内部；
- (2) 电子测角系统的精度和尺寸与2寸经纬仪一致；
- (3) 有一种装置可以对天顶距和水平角作相应的改正；
- (4) 大大降低电流消耗量，减轻了仪口，测程达5Km；
- (5) 一种电子系统和一只微信息处理机，自动监测测量过程、作必要的计算、检验测量质量、自动顾及地球曲率和折光并将数据输出到外部储存及处理的装置内；
- (6) 一只仪口箱和一只瞄准装置，两者均相当于二寸经纬仪校定性的要求。

技术数据

望远镜放大率： 30X；

物镜口径： 66 mm；

视场角: 1.5° ;

最短视距: $5m$;

水平及垂直度盘为编码式: 数字角度显示 $1cc$;

光源: 砷化镓激光二极管;

波长: $830nm$; 发散角: $2c$;

三种角度: 方向, 天顶距, 折角;

圆气泡: $8'$; 补偿范围: $\pm 4.5c$;

中误差: 水平角 $\pm 6cc$; 垂直角: $\pm 12cc$;

仪口连电池重量: $9.5kg$;

作用距离: $1000m$ (1只棱镜), $3000m$ (3只棱镜), $5000m$ (6只棱镜);

$\pm (5mm + 1mm/Km)$ (在 $-10^\circ C - +40^\circ C$ 内);

调制频率: $15MHz$, $375KHz$ 及 $3.75KHz$.

美国国际精密仪口有限公司生产 Beetle 型红外测距仪达 6 种之多, 但迄今未见报导检校和使用的情况。其它如 Cubic 工业公司生产红外测距仪 DM—60.

华盛顿大学曾试验一种三载波的测距仪。用一个 $5mW$ 的氦氖激光 ($\lambda_2 = 632.8nm$) 口和一个 $5mW$ 的氦镭激光 ($\lambda_3 = 441.6nm$) 口作光载波。此两种激光光线通过渥拉斯顿棱镜结合起来, 然后导入微波泡克斯调制口。在该调制口中, 光线的椭圆偏振以 $3GHz$ 频率进行变化。椭圆偏振光

通过一个20cm的卡塞格伦望远镜引向距离它端尖的反射镜进行反射。发射口也作为接收口。光线经接收以后，再次通过调制口，在这里偏振光的椭圆率是增大了还是降低了，按情况它在发射和返回仪器之间组成某种相位差。若三种波长为9.6GHz的微波。还有一个微型计算机用于控制和计称。经外业试验：10.1Km的标称偏差小于 $1 \cdot 10^{-7}$ ，5.3Km的标称偏差小于 $5 \cdot 10^{-8}$ 。对2.1—10Km的试验长期稳定性 $3 \cdot 10^{-7}$ 。

美国科罗拉多大学也曾研制过氦氖和氮镭并用的双光流激光测距仪，试图补偿空气密度的影响。但结果表明尚需测定气象元素，精度仍在单色光范围以内，因而停止此项研究，用加强光流强度（单色波）和增加调制频率的数目以提高观测精度。该校也研制一种三波长的激光微波测距仪，其特点就是补偿气象因素的影响。由光流射出的光是单色的，不再返回测站，而用检波口，三种波长分别为：

- (1) 氦氖激光 6328 埃
- (2) 氮镭激光 3256 埃
- (3) 微波 9.6 千兆赫

三. 西德蔡司厂的红外测距仪

1971年西德蔡司厂生产了红外测距仪SM₁和Reg Elta 44。两者均属经纬仪式，前者测距自动化，测角为光学读取。Reg

Eltac 4 称为记录式电子速测仪，它与 EItacit 标机，纸带穿孔口打印式记录装置相连接，测距、测角（编码度盘）、记录以至统计计算均系自动化。另有 ASG 放样仪，有利于外业测设。

近年该厂又生产了 Eldi 1, Eldi 2, Eldi 3 及 SM4 四种红外测距仪。Eldi 2 及 Eldi 3 既可自成一体，亦可安置在经纬仪顶部结合使用。而 SM4 则是 Eldi 2 和光学经纬仪 Th—42 两者的结合，成为既可测距又可测角的整体式仪器。即发射头和接收头均位于经纬仪望远镜的内部，其余部分均在经纬仪顶部，不随望远镜的回转而运动。

四、东德的光电测距仪

东德蔡司厂生产无汞为 10W 白炽灯的 EOS 测距仪及 EOK 2000 红外测距仪。东德长期使用此两种仪器。苏联也采用 EOK 2000 并经常在刊物上介绍使用情况。该厂的最新产品为 EOT 2000 型速测仪，它是将标准化的 1 秒经纬仪，光电测距系统、微信息处理机和带式记录盘集成于一个整体内，另有外部连接并可装卸的键盘。经由键盘输入大气改正数、垂直角和站高。由微信息处理机计算斜距、水平距、高差和行程。键盘与主体完全分离，用一臂连接，可以自由地绕主机旋转而不妨碍其它操作。当进行精确的角度观测时，可将键盘卸下。键盘上有 20 个键钮，显示 7 位数字。全部外业数据和站号经过键盘直接输

入盒式磁带记录田。

五. 瑞士 Wild 厂及 Kern 厂的测距仪

Wild 厂于 1963 年开始试制红外测距仪，DI10 型于 1968 年问世。随后又生产 DI3 型，近年又将 DI3 改进为 DI3S，后者可以计称座标差，有利于类的测设。该厂最近也生产一种经纬仪式的速测仪，叫做 TCI Wild Tachymat，自动计称平距并可求高差。一次照准测点兼测方向，由磁带盒记录数据。

Kern 厂生产 DM1000，DM2000 和 DM500 红外测距仪。DM500 的发射筒和接收筒成 U 字形上下排列套在 DKM2—A 经纬仪的望远镜上，近来出现它的变型 DM501，测程较远。

Kern 厂与英国有关公司合作生产的短程^程测距仪 Mekometer ME 3000，是当前所有短程测距仪中精度最高的，下一节予以说明。。

六. 英国研制的测距仪

六十年代初，英国国家物理实验室 (NPL) 的 Bradsell 及 Froome 曾先后研制多精度的短程测距仪 Mekometer I, II, III。III 型的精度最高，但未成批生产。1973—1974 年间 Com—rad 有限公司 (Slough) 与瑞士 Kern 厂合作在 III 型的基础上生产了测程为 1.5—2.5 Km、精度为 $\pm [0.2 \text{ mm} + (1-2) \cdot 10^{-6} S]$ 的 Mekometer ME 3000 测距仪。它在精密工程测量

和建筑物变形测量中得到广泛运用，也是其它短程测距仪进行检验的依据。ME 3000 以氦气内光管作光源，有效光谱为 0.485 微米，在可见的绿、兰交界处。其精度主要原因它是通过高效率的 500 MHz 光电调制与一只机械移相器的结合，才获得亚毫米的分辨率。为了做到精确对中，应采用发光中心螺旋和透明格网板。

英国国家物理实验室近年又研制一种新的轻便双色波长程测距仪 Georan I 型，以脉冲式氦离子激光作光源，认为利用氦离子激光的兰、绿光谱线，可以大大减少大气折射对测距结果的影响。而采用的偏振光调制和相位差测法均与 ME 3000 的相类似，但 Georan I 的调制器为磷酸二氢钾晶体 (KD P) 而不是磷酸二氢钾晶体 (KDP)，不过迄今并未见到正式产品问世。

英国 Plessey Tellurometer 厂先后生产测程为 2 Km 的红外测距仪 MA 100 和 CD 6。MA 100 的精度为 $\pm (1.5 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-6} S)$ ，是迄今红外测距仪中精度最高的。

七. 其它

近年来，日本 Nikon 公司和 Sokkisha 公司也生产短程测距仪。日本还生产一种单频式的光电测距和光学测距相结合的，测程达 100 m 的平板仪，精度为 $\pm 30 \text{ m}$ 。

苏联自1953年起,即开始研制光电测距仪,系列齐全,型号繁多。

八.结束语

光电测距的主要问题之一是大气折射的影响。自1957年苏联普里列平提出直接确定沿视线方向载波的平均折射率的方法以来,不断出现用双波法和三波法进行研究和测试。由于三波法已经作出卓有成效的试验结果,所以第16届国际大地测量协会考虑了多波法的实用性,并建议研制和运用三种波长的仪。还认为应6种频率的多波法测距来检查由实验室推导的公式。

1977年5月23日—27日在荷兰 Wageningen 举行“电波测距及大气折射影响”的国际讨论会中, G. R. Huggert 介绍了他所研制的三波仪 (He—Ne 激光, He—Cd 激光与微波), 精度很高, 仪团体积 $70 \times 40 \times 30$ cm, 重量93磅。

有关国家生产的测距仪型号及其重要技术数据见附表。由于水平关系, 参阅的文献也有限, 不足或谬误之处, 希予指正。

国家测绘总局测绘研究所传真室 万佩竹