

HP-3820A 测距经纬仪

译者按：原文直译应为“HP 3820 A 电子总站”今按国内技术名称改译，以便于理解。

奥福雷德·F·高特

摘 要

本文介绍了HP-3820A测距经纬仪。它是由分辨率为1cc级的电子数字经纬仪、测程为5公里的测距仪和微处理机联合组成一体的仪器。全文主要介绍仪器的光学系统、角度读出系统、水平传感器、测距仪及微处理机几个主要部分的技术说明。

绪 言

近年来，电子测距仪已经成功制造出来并且与现有的经纬仪联合组成了三度空间的测量装置。把电子测角测距联合组成的装配成整体的测距仪器已经由几家公司研制出来。对于带有光学测微器的光学机械经纬仪来说，它的性能是难以与电子编码器相配合的。迄今为止，编码器体积相当大并且多数也没有达到秒级的精度。由于对测量速度和精度要求的提高，把距离和角度测量功能合并到一台仪器内，同时具有秒级精度的任务在目前是很有意义的。

HP-3820A 研制

设计指标

根据市场调查、用户和会议的建议确定了下列指标：

——把角度和距离的测量装置联合到一台仪器内。

——角测量精度达到或者优于秒级读数经纬仪。

——当仪器整平不好时水平角和天顶角都能补偿。

——测程和精度与角度测量精度相适应。

——能做数据处理和电子数据输出。

——仪器的尺寸要和秒级经纬仪相似。

HP-3820A测距经纬仪完全达到了这些指标。为了达到这些指标，研制了几个新的辅助系统。下述的新系统对于HP-3820A的成功起了保证作用。

——同一光学系统既起测距仪发射和接收光学系统的作用，同时又起经纬仪望远镜的作用。

——一个在尺寸上和精度上可以与秒级经纬仪相比较的电子测角系统。

——一个两轴重力传感器，用来做垂直指标和水平角改正。

——一套低功耗、测程为5公里的微型测距仪单元。

——一套完整的电子系统和微处理机，用它对仪器进行控制，并完成必要的计算和输出数据到记录或数据处理的外围设备。

——结构形式和轴系的稳定性与秒级经纬仪要求相同。

HP3820A光学系统

图1是HP-3820A的光学系统布置图。采用了66mm口径的折反射式望远镜。这个系统除了为测距仪的发射、接收提供足够的面积之外，还兼顾具有短的望

远镜长度。望远镜放大能力主要位于反射镜内，因而，此系统很好地消色差并消除了二级光谱。物镜是由凹反射镜和凸凹透镜补偿校正组成，它很好的校正了球差和1.5°视场内的慧差。为了得到正象在30倍的望远镜内采用了Pechan棱镜。对称式的目镜在出瞳为12毫米的全角内具有清晰的象。为了晚上工作，设立了十字丝照明。

在测距仪方面，光学系统是一个8倍的伽利略望远镜系统。它包括一个双异质结砷化镓激光二极管、光阑系统和参考光路。用一只光束分离器控制红外光进入测

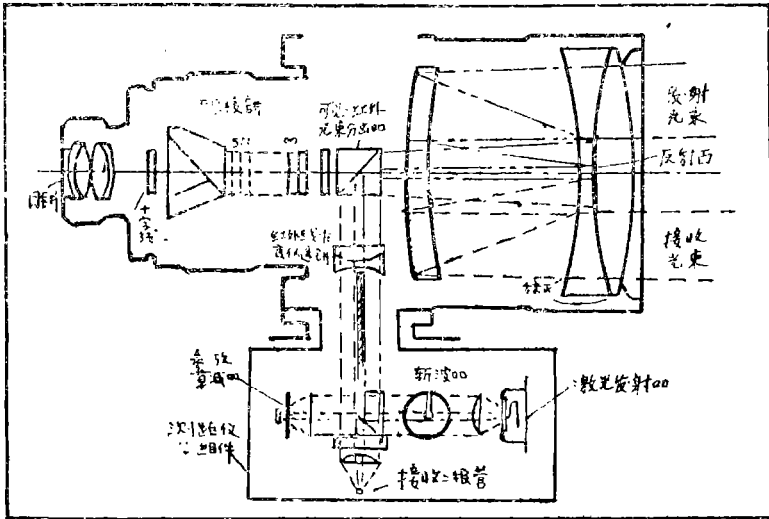


图1 HP-3820A光学系统

距仪单元。光束分离器对于测距仪所采用的波长进行反射，但透过可见光。为了达到提高测程和精度，在设计中特别注意的是减少干扰光耦合到测距仪中。

方框图(图2)指出了角度、距离测量系统是怎样由微处理机控制的。水平和垂直度盘系统在光学上和电路上是相同的。用相位测量装置来完成内插法。度盘、水平传感器和测距共用一台相位计。

为了正倒镜的方便，微处理机有两套相同的键盘和显示器。数字输出单元经过五个滑环把数据传输到仪器基座上。

HP-3820A 角度 测量系统

由于在现代经纬仪中，玻璃度盘的光

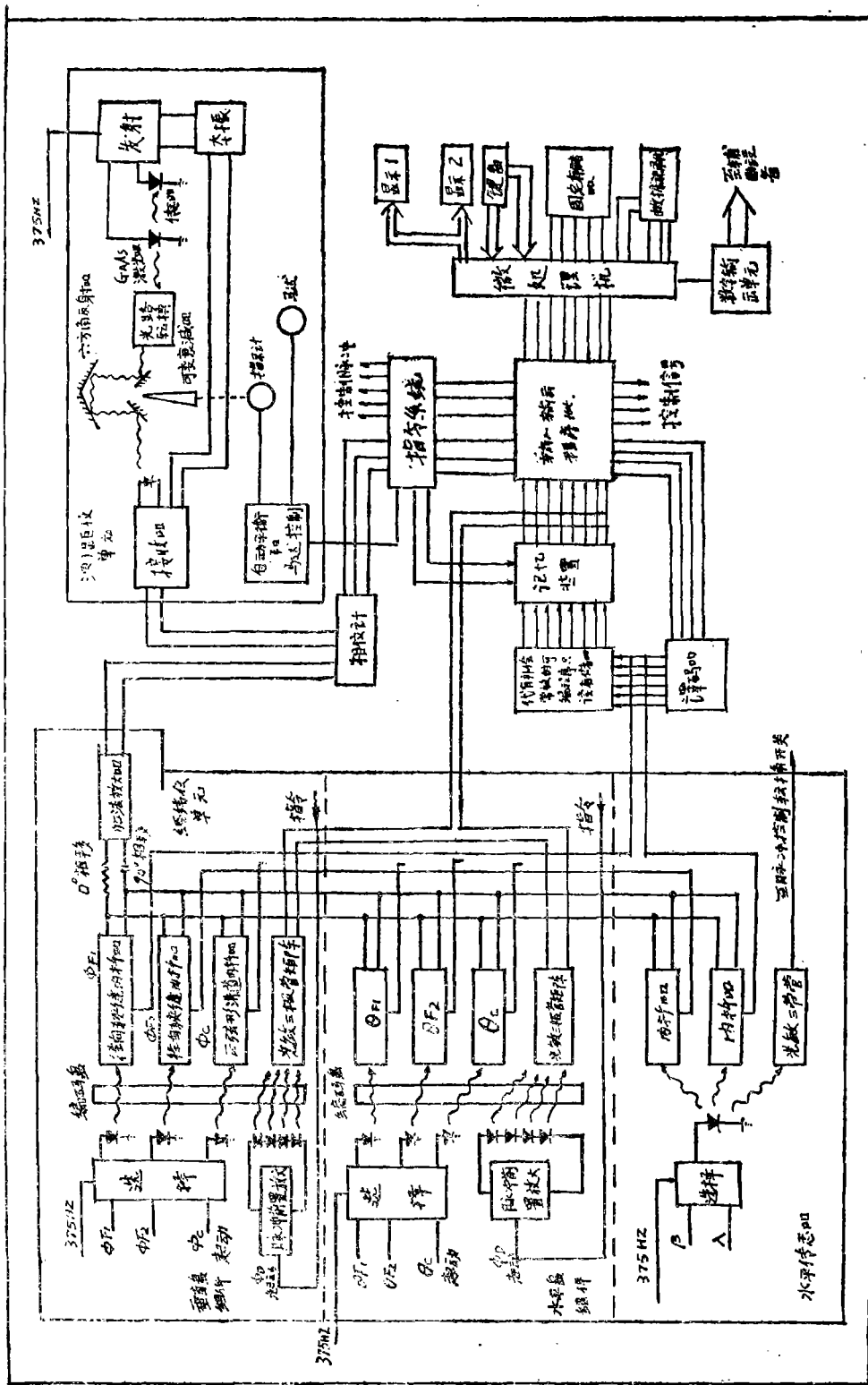


图 2 HP - 3820 A 电气方框图

学读数具有很好的精度和稳定度。因此HP-3820A选择了类似的系统。角度是从面上敷有金属膜片的玻璃盘上用电的方法读取。由于天顶角是相对于重力的一个绝对值，所以选择了绝对读数系统以代替增量值。垂直度盘和水平度盘是相同的。

图3为HP3820A所采用的编码盘(图3略)。光学读取系统说明如图4，读数分别由三个不同的测量装置来完成。

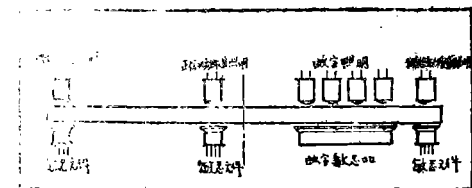


图4 光学读取系统

1) 第一，测量八道半透明的二进制码，它确定到256分之一的位置。这近似于经纬仪的度。

2) 第二，仪器插入了128个周期的正弦形的沟道。内插器把每一沟道又分为1000分。因此，度盘被分为128000个增量，每一个增量近似为10弧秒。

3) 第三，仪器插入4096个径向狭缝，同样每一小缝分为1000分。这样分度盘为4096000个增量，结果形成1cc的分辨率。

为了消除偏心差，4096个径向狭缝是在度盘直径的相对二点上读取。由于偏心被4096个径向狭缝所读出，所以正弦形沟道插入器也得到校正。微处理机合并这三个敏感系统的读数，得出一个绝对读数。

为了说明内插法原理，如考虑刻划是正弦形沟道。图5a所示的沟道其宽度是按正弦曲线变化的。图样的波长是1080微米，最大的幅值是600微米。四个光电二极管沿着正弦曲线布置，相隔90°。光电

管产生的光电流取决于二极管被照射面积，事实上它是取决于二极管与“图形”的相对位置。

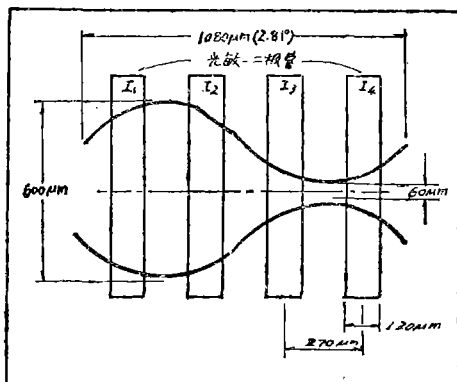


图5a 编码盘上的正弦沟道

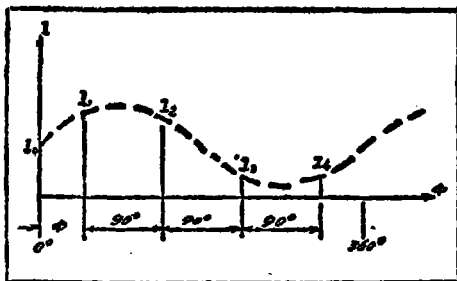


图5b 角度内插法原理

管产生的光电流与位置之间的关系推导如下(参看图5d)

$$I_1 = I_0 + I \sin(\Phi) \quad (1)$$

$$I_2 = I_0 + I \sin(\Phi + 90) \\ = I_0 + I \cos(\Phi) \quad (2)$$

$$I_3 = I_0 + I \sin(\Phi + 180) \\ = I_0 - I \sin(\Phi) \quad (3)$$

$$I_4 = I_0 + I \sin(\Phi + 270) \\ = I_0 - I \cos(\Phi) \quad (4)$$

由(1)减去(3)和由(2)减去(4)

得，

$$I_1 - I_3 = 2 I \sin(\Phi) \quad (5)$$

$$I_2 - I_4 = 2 I \cos(\Phi) \quad (6)$$

亮度幅值被调制成为时间的函数:

$$I(t) = I \sin(\omega t). \quad \text{代入到(5)和(6)}$$

中得:

$$I_1 - I_3 = 2 \sin(\Phi) \sin(\omega t) \quad (7)$$

$$I_2 - I_4 = 2 I \cos(\Phi) \sin(\omega t) \quad (8)$$

把这两个信号用这样的方法处理。先把 $(I_1 - I_3)$ 在时间上相对于 $(I_2 - I_4)$ 相移 90° 使之同相。然后把得到的信号加到运算放大器中 (参看图 6)。

$$2 I \sin(\Phi) \sin(\omega t) \rightarrow \text{移相 } 90^\circ$$

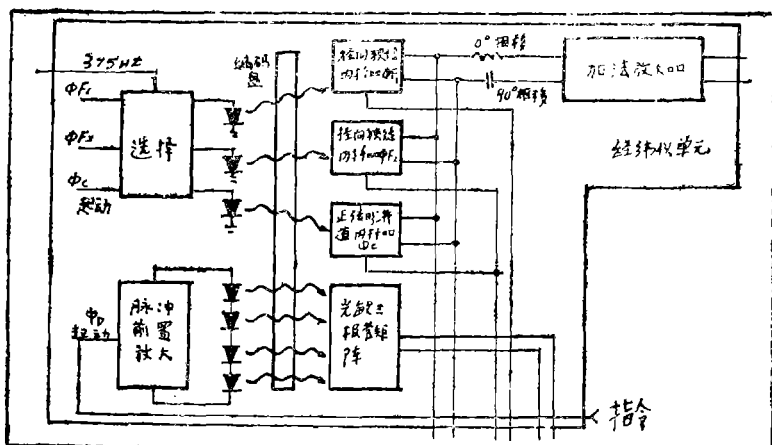


图 6

$$2 I \sin(\Phi) \cos(\omega t) \quad (a)$$

$$2 I \cos(\Phi) \sin(\omega t) \rightarrow \text{移相 } 0^\circ$$

$$2 I \cos(\Phi) \sin(\omega t) \quad (b)$$

$$(a) + (b) \quad 2 I \sin(\omega t + \Phi) \quad (9)$$

把信号(9)和调制信号 $(\sin \omega t)$ 在相位计中进行比较, 得到 Φ 。相位计的 0.36° 相当于插入位的 $1/1000$ 。

上面的推导, 假定敏感元件的宽度为

θ 。但是, 可以导出, 方程式对于一定宽度的敏感器是适用的。这是因为一个正弦函数和一个矩形函数的乘积永远是一个不同幅值的正弦或余弦函数。

1096个径向狭缝沟道采用同样的内插法。其不同点是: 尽管这些狭缝是棒形的, 但在光检波器上有正弦波形状受光带。

图 7 是一个典型的编码系统误差

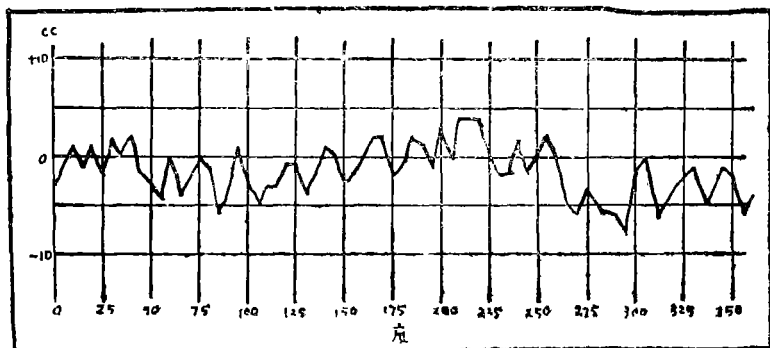


图 7 编码盘的典型误差

图。对这个图进行付立叶分析得出内插误差为3.1cc，基波误差为2.6cc，二次谐波误差4.2cc。基波误差能用倒镜来消除，二次谐波误差可以用增加测回来消除。总的说来，用它做为秒级测量工作的工具时，其误差的标准离散度在1弧秒以下。

HP3820A 重力传感系统

习惯上，为准确的调平，经纬仪是平行于轴系安装一个20秒水泡，同时按装一只校正天顶角的垂直补偿器。在大倾角时必须精密整平，以保持测量精度。HP-3820A的垂直补偿器和轴系的整平是用一个两轴水平传感器来实现的。这个元件去消了对精确整平的要求。

图8是水平传感器的光学布置图。重力方向是用一个用硅油做阻尼的水银盘来建立的。这个部件用一块具有减反射镀膜的光学平玻璃封闭在金属盒子中，以适应热膨胀。

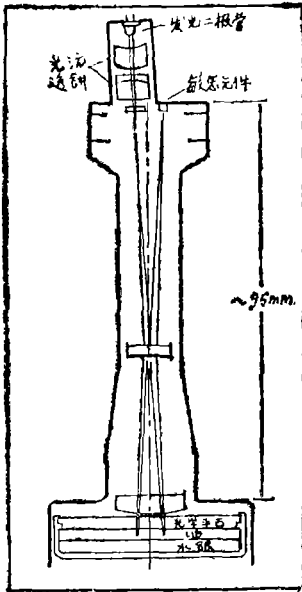


图8 水平传感器的光学布置

这个系统基本上是一个两轴电子自动准直仪。内插法和角度测量时一样。图9表示了正弦形透明狭缝和垂直于两轴安装的四个二极管敏感器。当内插器超过范围时，为了避免错误读数，安装了一个极限敏感器。当处于极限范围以内时，极限敏感器一直处于照亮的状态。当超过极限范围时，极限敏感器不再被照亮，闪光显示器发出闪光通知操作者。

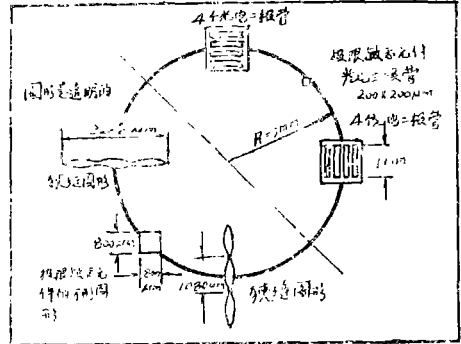


图9 水平传感器的图形——敏感元件布置

设置三个单体透镜，使光源照射到透明正弦狭缝的照度是均匀的。一个正透镜、一个负透镜和一个水银反射镜组成了成像系统。这个系统的等效焦距是166毫米。为了控制整平在1cc之内，此装备读到0.7微米。十字轴随1毫米高度的光电二极管一起移动的极限范围到 $\pm 450\text{cc}$ (± 150 秒)。

图10、是水平传感器的典型误差图。

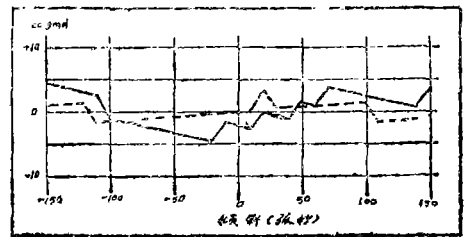


图10 水平传感器的典型误差

HP-3820A 测距仪系统

图11是测距仪主要部件的方框图。尽管在原理上与新型的HP系列相似，但仍具有下列特点：

——光学系统是和瞄准望远镜合一的，

- 尺寸大大减小；
- 测距仪的功耗减小到1.5瓦；
- 使用了双异质结连续发光砷化镓激光二极管。

象以前的样机一样，测距仪具有自动内光路系统和自动平衡检相系统。这个自动平衡检相系统允许返回信号强度在较宽

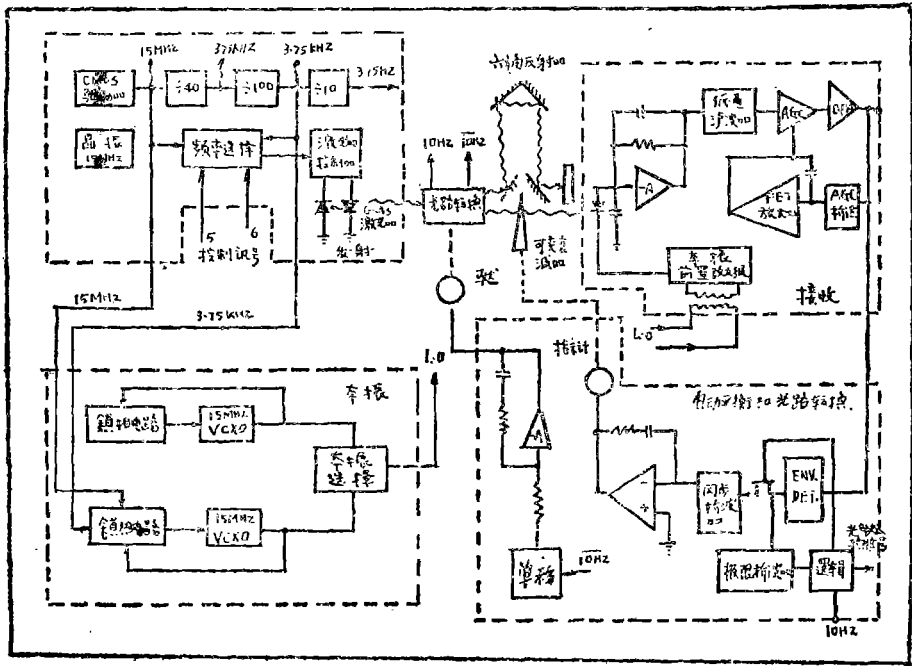


图11 测距仪电气方框图

范围内变化。以适应较长距离测程的需要。

本仪器采用三个调制频率：

15M C的360°相移对应于10米的距离。

375K C的360°相移对应于400米的距离。

3.75K C的360°相移对应于40000米的距离。

使用这些调制频率可以在很长距离内给出单值距离显示。在理想大气条件下，测程可能超过5公里。

用光敏雪崩二极管做为接收元件，它同时具有混频和放大作用。能给出75倍的放大系数。发射二极管是由HP公司专为测距使用而研制的砷化镓激光二极管。图12是激光器的控制和调制系统。应用一个光学反馈环路使激光器的工作点能在很宽的温度范围内稳定。激光器和它的控制系统，封装在一个具有光学窗的密封金属盒子内。由于接收机的高灵敏度和激光器的高亮度，仪器使用六块反射镜时，测程是5公里。在250米以内，为防止输入回路过载，反射器上需要加一个衰减器。或者

可以使用性能差的反射镜。由于长测程的精度很大程度上依赖于调制频率的精度，所以使用了低温度系数的晶体。晶体的规格是 $\pm 3 \text{ PPM} (-10^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C})$ 。

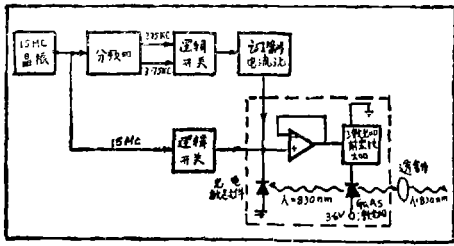


图12 激光器的控制和调制系统

对830nm光用两种不同参数求出标准大气（15°C，76mmHg）的群速指数：

$$N_g - 1 = 279.42 \times 10^{-6}$$

N_g 是群速指数 (10)

$$C = 299792.5 \text{ 公里/秒} \quad (11)$$

结果得到在标准大气下 O_{PPM} 校准的调制频率是 $f = 14.985437 \text{ MC}$ 。在HP 3820 A中这个频率是处在 $+110 \text{ PPM}$ 情况下，所以变为 $f = 14.987085 \text{ MC}$ 。

激光的安全性

在美国，对激光器有严格的安全规程。在830毫微米波长的情况下，总的输出功率为在100秒内的平均值为70微瓦以下。HP 3820 A在测角时，激光器的功率下降到8微瓦左右，这更大大地增加了激光器的安全性。这种产品应使用一级激光器（见HEW激光器现行标准21CFR章节J）。

HP3820A电子设备

HP 3820 A仪器内利用一架由HP袖珍计算机改制的微处理机来完成各种不同功能。其功能如下：

- 控制各种测量装置程序和显示。
- 处理由角度编码器、水平传感器和测距仪得到的中间结果。
- 完成许多计算和校准。如当仪器不平时的角度补偿及计算投影距离。

下面是使用微处理机进行计算的一些简要讨论。

角度校正

HP 3820 A测距经纬仪整平不好时，能够立即对水平角或垂直角进行补偿。这是目前唯一具有这个特点的仪器。只要先把仪器整平到150秒，就能保持角度的总精度。因此，当采用光学对中时，为了避免投点误差，推荐整平精度为1'。这使用固定在仪器照准架上的园水泡很容易且很快的就能达到。

垂直轴对于重力线的残余倾斜改正 是：

$$\begin{aligned} \text{天顶角改正} &= \Delta \Phi \\ &= \beta + 1/2 \delta^2 \cot(\Phi) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{地平角改正} &= \Delta \Phi \\ &= \delta \cot(\Phi) - 1/2 \delta \beta [1 + 2 \cot^2(\Phi)] \end{aligned} \quad (13)$$

式中： β —沿望远镜轴方向的倾斜；

δ —沿横轴的倾斜；

Φ —天顶角。

从(12)式的分析得出， $\Delta \Phi$ 的二次项是可以忽略的。例如，当 $\beta = \delta = 150$ 秒（即水平敏感器的极限值）在天顶角为1°时， $\Delta \Phi$ 的二次项仅为3"。天顶角为45°时，这一项小于 $\frac{1}{10}$ 弧秒。

方程式(13)的每一项都是有效的。但在倾角为45°以内时HP 3820 A仅使用第一项改正。超过这个范围时，两项都使用。天顶角为75°时，每4"的不平将引起

的误差，足以说明地平角改正的重要性。依靠自动校正，HP3820A不需要精密整平。

数字输出

HP3820A可以输出数据到记录或处理的外围设备中。数据信息沿滑环输出到固定在仪器基座上的五点接口。HP3820A输出一组56位二进制或14位二——十进制数字。每字包括9位数字数据和5位数状态指示。数码状态规定如下：

- 1、数据是什么。
- 2、数据的单位是什么
- 3、显示器状态（固定的或是闪光的）。
- 4、数据是由哪一个键盘上输出。
- 5、水平补偿器的状态（开/关）。

HP公司提供一台袖珍记录器来记录这些数据。（它包括一个由电池供电的半导体存储器，可容纳1023个数据），数据收集后马上传输给HP处理机。这些操作需要联处理，需要接口装置直接把HP3820A连接到计算机上。

距离一致性检验

和以前的HP测距仪一样，HP3820A包括有距离一致性检验。距离信息被累加的同时，信息处理机保存累计值的平均值和读数的偏离值。如果偏离值超过这个限度时，平均值被在显示中闪光，表示它是临界结果。最后，如果没有读数得出就有一个闪光的“零”显示出来。关于这方面的问题，哈特有更完全的描述。虽然HP3820A的程序在某些细节上有所不同，但基本上还是相同的。

距离投影

装在HP3820A中的微处理机可以做

投影距离的计算。然而，仪器的测程和精度要求地球曲率和折射率作用的影响校正应考虑。如忽略这些因素将引起明显的误差。用图13说明有关的角度和距离哈根指出：

$$\sin(C) = \frac{AC}{2(R_e + A\text{点高程})} \quad (14)$$

忽略A点高程并近似取

$$AC = SD \sin(Z)$$

$$C = \sin(C)$$

则方程(14)变为：

$$C = \frac{SD \sin(Z)}{2R_e} \quad (15)$$

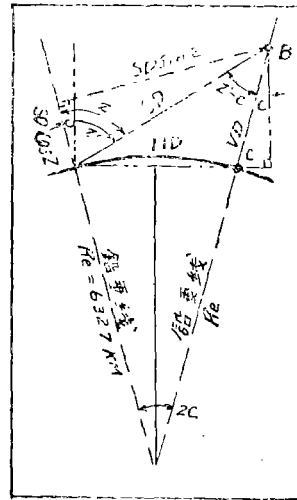


图13 距离投影

式中：SD—被测斜距；

Z—被测的天顶角；

R_e —地球半径（6372公里）。

取平均反射系数为0.071，得到反射改正：

$$R = 0.071 \frac{SD \sin(Z)}{R_e} \quad (16)$$

由(15)(16)共同得出天顶角的改正：

$$Z' = Z - C + R$$

$$= Z - 0.429 \frac{S D \sin(Z)}{R_e} \quad (17)$$

应用正弦值到三角形 A B C 中

$$H D = \frac{S D \sin(Z' - C)}{\cos(C)} \quad (18)$$

$$V D = \frac{S D \cos(Z')}{\cos(C)} \quad (19)$$

把(17)代到(18)(19)中得出:

$$H D = \frac{S D \sin(Z - \frac{2}{3} C + R)}{\cos(C)} \quad (20)$$

$$V D = \frac{S D \cos(Z - \frac{C}{3} - \frac{R}{3})}{\cos(C)} \quad (21)$$

设 $E = C - R$ $E_1 = 2 C R$, 取小角度的正弦值近似等于这个小角度值, 其余弦值等于 1。距离投影的最后方程式变成:

$$H D = S D [\sin(Z) - E_1 \cos(Z)] \quad (22)$$

$$V D = S D [\cos(Z) + E \sin(Z)] \quad (23)$$

注意应用方程式(22)和(23)时, 微处理机通过这些三角公式只须做一些简单的计算。这样可以节约计算时间。虽然采用了许多近似, 但在 5 公里斜距时, 水平距离的最大误差小于 2 毫米。

距离投影——举例

H P 3820 A 的研制过程中, 实测了一些不同的控制网。用来验证在实地条件下系统的性能每次都采用对角线四边形。测量出它们的边和角并且校正归算。下面是这些实验中的一个边:

测量得的斜距: 1035.276 米

观测得天顶角: $78^{\circ}11'42''$

应用公式(18)和(19)并计入(14)

中仪器高程(640毫米), 算出投影距离是:

$$H D = 1062.287 \text{ 米}$$

$$V D = 222.103 \text{ 米}$$

使用 H P 3820 A 时, 利用(22)和

(23) 算出的投影距离是:

$$H D = 1062.288 \text{ 米}$$

$$V D = 222.103 \text{ 米}$$

由上面例子看到, 这两种近似法的结果, 对于水平距仅差 1 毫米或百万分之一。对于垂直距离, 这两种简化能够准确到小数点后三位。因此, 在 H P 3820 A 中所做的假定和简化程序是合理的。H P 3820 A 斜距简化法同“直角三角形”简化法相比较, 水平距符合到 $\frac{1}{30000}$, 垂直距符合到

$\frac{1}{3000}$ 。因此, 当 H P 3820 A 能达到设计精度时, 地球曲率和折射率的简化是保证够用的。

技术数据

距离:

——测程: 5 公里, 使用二组三块一组的反射镜。

——精度: 斜距(中误差) $(\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/KM})$

——显示单位: 0.001 米或 0.001 呎(用开关选择)

——显示速度: 跟迹(Track Mode)型

1.5 秒——斜距

2.5 秒——投影距

——光源:

型式: 砷化镓固体激光二极管

(下转第 65 页)

辽宁省煤炭学会召开测量 学术交流会

辽宁省煤炭学会于1979年5月26日至29日在八道壕煤矿召开了辽宁省煤炭学会测量学术交流会。参加会的有辽宁省煤炭系统有关局、矿、科研、设计、院校、地质勘探及唐山煤炭科学研究所等二十二

个单位，八十名代表。会上提出了包括：陀螺定向、激光指向、航测成图、矿图绘制、施工测量、平差计算、贯通测量等方面的学术报告23篇。

(上接第59页)

波长：830nm

发散角：2'~全角

角度：

——分辨率：1秒或1cc

——显示单位：度、分、秒或度、cc。

(开关选择)

数字输出：

——型式：一路连接二进制串行数据

转换

——字长：14位二进制——十进制

望远镜：

——放大倍率：30倍

——成象：正象

——物镜口径：66毫米

——视场：1.5°

——调焦范围：5m~∞

——十字丝带有照明装置

——有粗瞄准装置二个

电源：内装镉镍电池，可供四小时连续工作。

操作控制：

——仪器操作方式开关

——便于正、倒镜测量，设双套操作

键盘

——制微动同轴

——双速度微动螺丝

——双速度盘变换螺丝

联结：

——联结：HP11426A整平基座

——粗调平：在照准部用感度为5min/2mm的园水泡。

——对中：照准架上装有放大率为5倍，焦距0.6米~∞的光学对中器。

尺寸和重量：

——尺寸：165×241×343毫米

——重量：9.1公斤(包括电池)

陈文仁译自“美国测量与制图协会会刊”1977.10.