

15-4

微波測距資料译丛

大地系
資料室

国家測繪总局

1959·1·

目 录

一、M/R A I 型微波测距仪简介	1
二、远距系统的微波测距	4
三、皇家地理学会对远距系统的“微波测距讨论”	34
四、用微波测距仪施测的一等导线测量	43
五、微波测距试验报告	55
六、大不列颠测图局与南非科学工业研究委员会 对微波测距仪的联合试验	73
七、精密公分波段无线电测距仪器“微波测距仪”	92
八、加拿大矿产与工程测量局对微波测距仪的反映	98
九、野外大地测量工作中的微波测距仪	99
十、微波测距仪	112
十一、藉微波测距仪试测距离	129
十二、4型光速测距仪对短程测量的精度	139

一、M/RAI 型微波測距儀簡介

特 点：

应用微波可以在白天，夜间，浓雾，雨雾，甚至是小雨并在有限制的条件下，灌木和森林，可以做一般测量工作中的精确操作。

体积小，结实，重量轻，便于携带，容易架设——可以应用在很多测量目的上，包括测量的控制。

构造坚实，牢固，可靠，以最小的维修可以长期应用。

操作简，保证测量人员或其他不精通电子学的人员在野外可准确操作。

仪器适应各种情况，可以在各种不很特殊的气象和地面条件下，应用于广泛的测量工作。

用 10 CM 波长的无线电微波操作，可避免分散影响，因此与能见度无关，只要有视线条件。

无线电束的定线只需近似。

从简单的，具有最小稳定度的支架或标塔就完全可以操作。

角度不稳定度可以容许到几度。

纵向稳定度只需要和所要测量的精度相当。

反射台“Remote Station”延迟误差实际上是没有的。微波测距仪量距达 35 哩的精度大约是距离的百万分之三±吋。在最近几次试验中，精度还更高。

說 明：

在主台“Master”和副台“Remote”有下列气象附件来测气象精细读数：测量员用的空盒气压计（读到水银柱以吋表示的小数后第二位）旋转湿度计和用于迅速外测

計標的快速計標機。還有根據推算用一千小時的備用盒。

構造：牢固的鋁合金結構，並經蝕刻及油漆。特種框架各部分是卸接的；嵌板和底蓋是用磨過的不銹螺釘或螺栓連接。各部分可能的話，做成標準類型，而且適用於熱帶。

精度：在35哩內，距離誤差大約是距離的百萬分之三±2吋。零位誤差或延遲誤差在儀器中實際上可以忽略。

因此校準是不必要的，除非或許在最精密的測量工作中，要求的精度超過普通的要求。

便於攜帶：總的來說，它的便於攜帶的特點和經緯儀沒有什麼不同。儀器和攜帶箱各有手提把，並有背包皮帶可用。每架總的重量約57磅（電池不標）。

量距範圍：最小有效距離約500呎，最大有效距離從30到40哩，或者甚至到50哩，決定於視線的條件。

操作溫度範圍：微波測距儀，不經過特別改裝，可以在普通的 0°C 到 40°C 的溫度範圍內操作。為了適應周圍溫度低於 15°C 的情況下，加了晶体加溫的裝置，使晶体操作溫度升到被校準的溫度。

微波測距儀的發展：

過去十年中電子學的發展給了測量儀器設計者一個比以前更有用的媒介。此外，晶体時計和其他準確的計時儀器使得在科學上能更精確地測定光的速度和研究氣象條件對傳播的影響。這些發展自然地導至光速測定的應用，並且應用調制光波作為測量距離的媒介的光速測距儀是自然結果。

下一步的自然發展就是應用無線電波的傳播作為測量距離媒介的一個系統。由於無線電波傳播所特有，

异常现象及因此而引起的不能测定的误差，问题就发生了。

1954年在Col. H. A. Baumann, 创议下（他当时是南非三角测量部的领导人），由南非科学和工业研究委员会的电讯实验室从事于这方面的发展工作，研究工作并由这个研究所的T. L. Wadley威德利先生亲身领导，以便发展一个准确，可靠，轻便的应用微波系统的测量仪器。测量者的梦实现了！

这些研究的最显著的成效是微波测距仪，它是一个准确，便于携带的电子测量仪器，它可以在白天和黑夜应用……在晴天或是阴天……甚至在雨雾和浓雾或某种有限制的条件下，经过灌木和森林。它的结构坚固，结实，可靠。它的操作非常简单，以至於甚至测量员和其他不精通电子学的人员都可以很成功的使用它。它的应用是多方面的，并且除了它最初大地测量的目的具有更广泛的用途。主台“Master”或反射台“Remote”的全部装备：

	体 积	重 量 (近似)
微波测距仪（附有背带）	21" X 17" X 10	24 lbs 磅
及装设在内部的无线电话		
仪器箱（附有背带）	22" X 18" X 11"	14 磅
电源箱	10" X 5" X 5"	10 磅
三脚架（望远镜）	36" X 6" X 6"	9 磅
电池（标准 6 伏特 40 安培小时）		28 磅

注意：空盒气压计和湿度计是高精度测量时“主台”和反射台的必要装备。

仪器箱，背带，电源箱和三脚架称为原来的装备，不作为附件。仪器箱可防尘防潮湿，普通装有防湿硅胶一胶“silica-gel”。

二、远距系统的微波测距

丁·L·威德利

国家电讯研究实验室、南非科学和工业研究委员会

内 容

1、引 言

2、仪器概说

2.1、外部叙述

2.2、测量技术的叙述

2.3、操作程序的叙述

3、外业读数的 标

3.1、详细测量实例

3.2、地面影响

3.3、折射指数

3.4、零点改正

4、外业试验

4.1、外业试验性质

4.2、喀琅斯塔得基线扩展测量

4.3、约罕内斯堡测量

4.4、默土巴土巴 (Mtubatuba) 基线扩展测量

5、仪器的操作

5.1、仪器的施测距离

5.2、仪器的精确度

5.3、工作标准的稳定性

5.4、仪器的可能使用范围

6、光的速度

7、结 语

8、致 谢

9、附录

新近在联合五国试验的结果

1. 引 說

应用电磁波的传播时间的原理作为测量目的的量距工作，测量人員已逐漸熟悉了。这种原理常常以改变的形式广泛地应用于一般导航及导航設備，它常常以合适的精度应用于某些測量目的，特别是量几百哩的距离。对于短距离，由于这种裝置的仪器精度限制和传播的困难限制了它的可能应用范围。

应用可見光表測量短距离的仪器已有創制，並能給出适合于大地測量的精度。虽然可見光对于这种目的具有某些优点，但是它同时也有某些不利的地方，特别是对大地測量工作最有用的如 20 到 30 哩的中程距离。很难和白天光对抗，而晚上測量又十分不方便。要求有好的能見度，並且光学部分要相当准确地保持在軸綫上，而且光的顏色要适当控制以避免色散影响。

本文叙述的微波測距仪就是設計得主要以大地測量的精度满足大地測量上，測量有用距离的要求。它工作在 10 cm 的微波波长。应用这样的波长就容易得到足够的灵敏度，没有杂散的影响，而且能見度又无关重要，虽然它要求普通的視綫条件。观测可以很滿意地在霧、雨、霧和烟或許甚至是小雨中进行；但是大雨可能会影响精度。对这种波长來讲，自然的干涉是可以忽略的，而来自其他方面的干涉也是很少的，因为經常应用这种频率和这一波段的波束是不拥挤的。无线电來描准工作只要极近似地进行，並且需要的話，操作也只要在稍微稳定的简单的搖架或塔上进行，角度的不稳定可以容許到几度，纵向稳定只要和需要的准确度相当。

仪器測出斜距离，可用气压測得的高差以足够的精度化为水平距离，除非在极端傾斜而又較短的距离。化到海平面要求比气压讀数更高的精度，当然这决定于工作的性质，而且一般

最少需要知道某些控制点的绝对高程数据。

应用无线电波在这些目的上有一个缺点，那就是相当宽的电波束由于杂散反射引起误差，这种缺点，如果用了微波，就在很大的程度上被克服了，因为这种杂散反射能很有效地被很多种地面分散掉，而有些残余的影响也在测量方法上被消除掉。

另外一个缺点，就是无线电波的速度在空气中比起光波的速度更受潮湿的影响，关于这一点已发现它比起原来所想像的影响更小，而气象的限制大概主要是由于温度的不准确，这以相同的程度影响光波和无线电波。

已经发展起来的仪器技术使得以最小的复杂性得到高度的精密性。仪器的重量轻，体积小而又非常便于携带。因为这些缘故，除了原来大地测量的目的，它更可以应用在很多其他目的上，不管是否需要仪器的最高精度，或者在短距离内容许误差在仪器精度范围以内。

这篇文章的目的是叙述仪器操作方面和涉及到最少的电子细节，和报告关于它到目前所做的相当广泛的精度试验的结果。同时对相同的三角测量图形，比较三角测量和三边测量的结果。

2. 仪器概述

2.1. 外部叙述：测量是由两架仪器主台“Master”和副台“Remote”进行的。观测是在主台，而副台由另外一个操作人员操作，他的职任就是依照主台观测员的指示执行各种收，发的操作。一架二重电话机作为整个系统的一部，它的线路和电路跟测量所用的一样。

两架仪器外部都是一样的，它是架在一个三脚架或三角标塔的中心是一致的。

它的天线系统是一个孔径18吋的抛物镜面，发射极和接

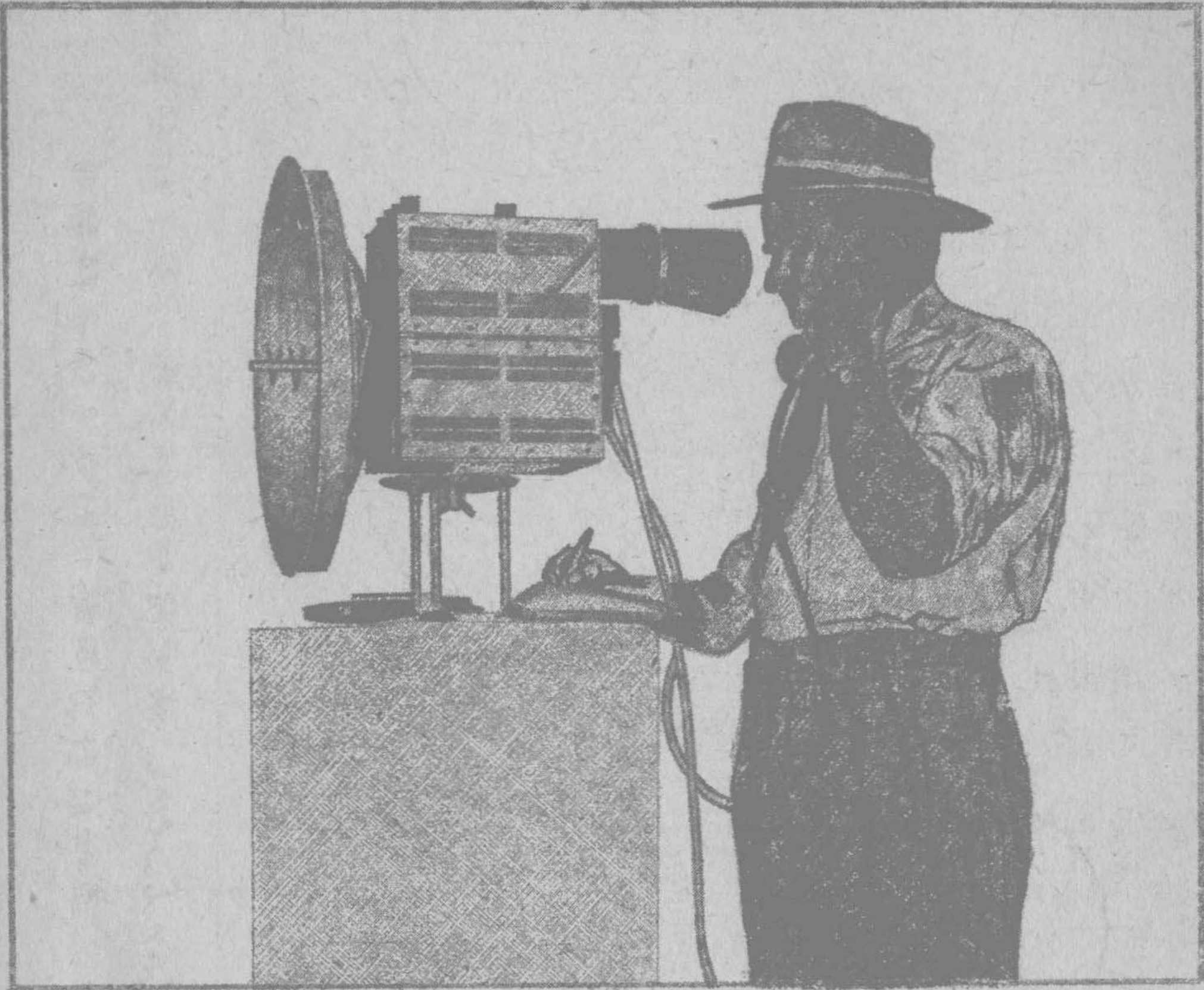


圖1. 微波測距儀主台的實驗模型。量 Pretoria 和 Johannesburg 兩站之間的距離。

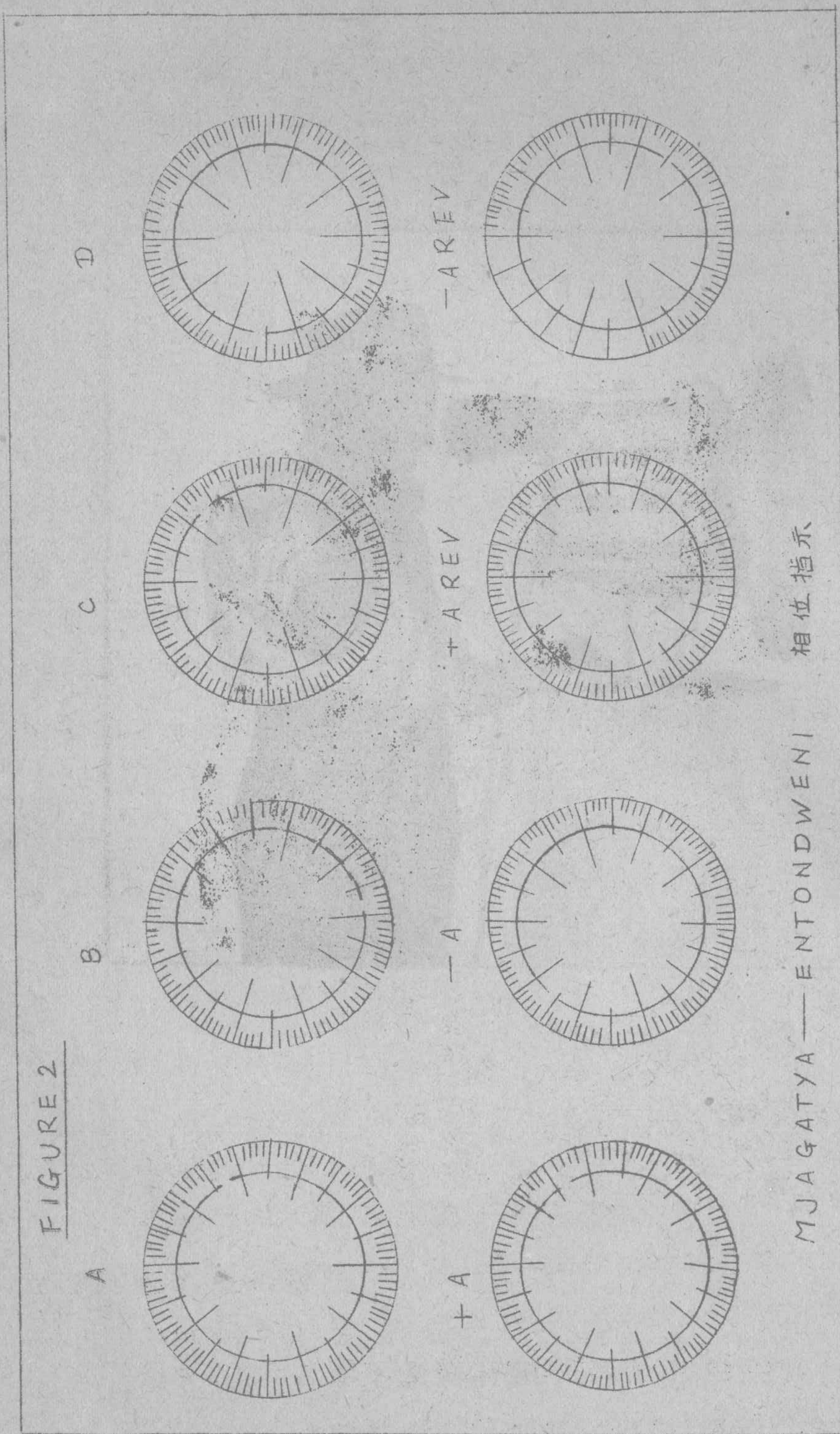


圖 2. *Mjagatya—Entondweni* 綫实际相位指示圖，表示粗讀數和一組細A讀數。
刻綫的頂部作為零，並順時針方向卷。例如A指示讀數是 $16\frac{1}{2}$

收极位于它的焦点。通过镜的表面，测量就在焦点进行，而仪器中心当然是放在抛物线的准线平面内。这大约是仪器的重心。仪器和天线系统组成整个部件，重约十六磅。一个附有内部蓄电池电源部分也重约十六磅，它安放在仪器下面的地上。或者可在外部接一标准蓄电池。电力消耗约 8 安培，6 伏特。

此外，在每一测站，全部设备还包括测定气象数据所用的空盒气压计和旋转湿度计。这种设备适当地包装和捆紮好，曾由一个人带到 1000 呎高的地方。

2.2. 测量工作的叙述。波长为 $10 \text{ cm} \cdot (3,000 \text{ Mc/sec})$ 连续无线电波从主台天线系统发射出去。这个电波调幅到所谓调制频率 (pattern frequency) 10 Mc/sec ，其他的同样的频率下面将进行解释。这个已调制的波被副台天线所接收而且由它的发射系统发射出去。怎样用电气方法完成这种精细的操作不可能在这种性质的文章里叙述。这种再发射出来的波同样是一种更复杂的调制波，它有效地再发送调制频率调制。

为了这种叙述，应该说明，这种重新发射几乎是同时发生的，在副台的电路中并没有足以引起行程时间的迟滞差，这样测量就在抛物线的焦点进行。

反射回来的电波被主台接收，并且与发射波进行比较，仪器指明发射波和接收波之间的相位差。这里也是比较镜子焦点的电波。

这种相位通过一种圆的射线或迹线形状的示波器显示出来，在示波器上有一小缝隙标明相位在圆刻度圈上的位置。一个十进的刻度只有十个大格一个小格，读数以缝隙前边缘顺时针方向读出，通常读到一小格或更小到小格的 $\frac{1}{2}$ ，甚至是 $\frac{1}{4}$ 。

在以 10 Mc/sec 调制频率相位指示转一周代表双程经历时间改变 $\frac{1}{10}$ 的微秒，即 100 千分之一微秒。这样每一小格代

表千分之一微秒相当6吋小一些，一个相位整周约等于50呎。

10 Mc/sec 模样或是普通叫做 A 模相位指出以千分之一微秒为单位的经历时间的最后两个数字，前面的数字或是整个 A 模整周的数字是不知道的，这个由三个模样来解决。模样频率是：—

A 模样 10.000 Mc/sec

B 模样 9.990 Mc/sec

C 模样 9.900 Mc/sec

D 模样 9.000 Mc/sec

A 模样读数数和 B, C, D 各自之间的读数差给出对于调整制频率差的相位读数，这样以它们得出了如下可以确定前面数字的粗模：—

A 减去 B 10 Kc/sec 模 ... 50,000 呎

A 减去 C 100 Kc/sec 模 ... 5,000 呎

A 减去 D 1000 Kc/sec 模 ... 500 呎

A 本身 10 Mc/sec 模 ... 50 呎

对于超过 50,000 呎的距离，第一个数字应从线的大约长度得知，另加一个模样频率可以解决这个问题，但是认为是没有必要的。

其他的频率安排当然是可以的，上面一系列的频率的选择首先因为它们很靠近，调制线路是一样的，第二因为它们相差数都是和 A 模样的频率比较的，这个 A 频率，由于需要，应该校准。所有的频率都从石英晶体得到，A 晶体必须参考某个标准来校准，最好是能从华盛顿的度量衡局所发射的标准信号 10 Mc/sec 来校对。其他晶体可以以较低的精度校准，对于最精密的作业要进行 A 晶体频率对温度的检定。

要注意到粗模是读数差，不包含由于种种原因而产生的零

点误差，例如，标尺失调，小的相位缺陷，系统读数误差等。

A 读数本身，它在测定时间是最主要的，可是受到这些误差的影响。为了克服这种缺点而且使所有的读数是差数，装设了一个叫做负 A 读数。计时时可以当作负 10 Mc/sec 类型的频率得到的。这也就是说，当从 +A 读数减去这种读数得到一个 20 Mc/sec 模样读数，这就消除了仪器内部误差，人的误差等。当仪器移开时 -A 的读数对正型按顺时针增加的方向向后转。读数显示在同一方向，同法读读数，反转基本上是外表程序，并非指示电路。主台保持着同样的 10 Mc/sec 晶体，这种操作只由副台的操作人员控制。

除了上面以外，一个简单的相位反转在 +A 和 -A 读数上表示了反转的指示，取平均数，就可以消除任何对中心的误差。这个操作同样是由副台的工作人员控制，主台观测员保持以前的 10 Mc/sec 模样。这四个称为“精密”A 读数，好像是经纬仪读数，+A 读数和 -A 读数相当于远处测站的两个读数，度盘的位置没有关系，因为是取的差数。反转 +A 和 -A 读数这时就跟盘左和盘右读数一样，那就是加或减标尺上的 50 格。

进一步再取读数相当于不同度盘位置，但是这是不必要的，因为只要消除中心和零点误差就可以获得足够的标尺精度。

传播的影响产生误差的一个更重要来源，这种影响是由于微波射线从物体杂散反射来的，当然也从地面本身，因为波束相当宽，大约有 10° ，这样就不能不引起地面的影响。

这些误差在大多数情况下几乎是可以忽略的，因为大部份的地面足够散播地面的反射线，只剩下唯一的直接射线。但是，有时遇到这样地面，十分有力地反射，而且普通水面将会产生显著的表面影响。如果间接路线的长度和直接路线的长度没有多大差别，表面的反射特性将无关重要也不会产生或产生微小

的地面誤差。在 20 哩長的路線，如果路線離地面不到 200 呎，不會引起什麼誤差。

這些地面反射影響使實際讀數和正確讀數有差別，這個偏差量是這些量的函數，就是間接射線增加的長度，地面反射的強度，並且最主要的是微波載波在兩條路線上的相對相位。誤差將在兩個方向決定於載波相對相位，而且當載波相位改變時，將變化在真值的周圍，這種影響曾經較詳細地分析過，這裡雖然不想再分析，但理論敘述實際測驗肯定了圍繞真讀數的變化。

在大多數地面條件下，所包含的誤差觀測不出來，或者是小到包含在偶然發生的誤差中。因此作為工作習慣，所有測量都是利用每隔 10 Mc/sec 的一系列的載波頻率路程之差使間接載波對於直接射線來講具有不同的相對相位。如果路程很不相同，幾周的偏差將會發生，如果地面的反射性非常高，偏差將達到最大，但在最壞的情況下它不會超過約 4 呎。當路程度成更相等，偏差將只有二周的一部分，但是在這種條件下，甚至地面的反射非常高，偏差的幅度將會變小，或許是一呎的很小一部分並和偶然誤差分不開。

實際工作時，利用連續載波頻率，取一連串十個或是十二個讀數。副台的操作人員控制了載波變動的步驟，在每一步驟主台觀測員記下所有 A 讀數。另外的換樣不再重記，因為粗模的差數，不管是什麼載波頻率，差不多保持常數。這個程序和從經緯儀取得一系列的度盤讀數大概相似，而且所取讀數的數目決定於工作的性質。這些讀數是相對地粗糙些，並且在這方面不能跟經緯讀數相比較。重複讀數並不是由於增加讀數精度的需要，雖然在這方面可得到一些好處。對於某種繪圖和攝影測量工作，在很多情況中一個載波頻率的一組讀數已足夠了。在大多數要求較高的大地作業，讀數的粗數是不受限制的，這

样，現在將詳細地叙述操作程序，將以說明上面的討論。

2. 3. 操作程序的叙述，下面所叙述的操作程序是有关典型条件下的大地作业。測量大約用了 15 分钟，約 30 分钟用在測站上，包括儀器的打开和安裝。

两个操作人員校准他們的射綫在需要直綫的 5 到 10 度之內。电門一开之后，拉定和选择微波晶体电流，保証发射器不断发射，並联系到耳机中和示波器上的热噪声的存在，保証接收器的正常工作，副台的操作者保持一个固定的載波頻率而主台观测員的責任就是去找到，虽然通常儀器是合調的，如果以前已經共同工作了。儀器可以从任一端校成“合調”，並自动兩路都合調，但是主台观测員必須保持調節的責任，否則將会产生混乱的結果。

在建立了双路通話之后，那就是双方同时通話，就得通过观测每一端电表上所顯示的信号的强度來发出校准射綫的指示。

如果儀器以前曾經共同使用过，測量就可以进行。如果是第一次共同使用，或是不協調，主台观测員应指示副台操作者校准各晶体並調到調制水准。后者是被动的調制，一般是和測量模样的精确度无关，測量模样只是主台晶体的作用。后者在外业中並不接触到，但是它們的温度必須測量，因此如果需要的话他們的頻率可以适当的校准。主台观测員順序地发生四个模样，这时副台操作者就作必要的調節，同时主台观测員检查他自己的显示圈的形狀，中心，焦点和光度。

观测員同时也可以讀取模样相位，因而可得到粗讀数，或在所有調節工作作完之后，指示副台操作人員依次发射四个模样，每取一个讀数时兩端都要調到同一頻率。如果电台发出錯誤的模样，在示波器和耳机中就会显示出來，每个作业員可以在任何时间用計——量开关，打断量測工作，进行通話。在更

踐中，有經驗的操作人員在整個測量程序中很少交換指示，因為他們已經很清楚需要做什么。一般發出指示稍談一下是必要的，但是長時間談話通常是有關額外的事情。

在念完了粗讀數之後，主台觀測員將指示副台操作員觀測氣象情況，那就是濕度，溫度和氣壓力，同時也在主台進行這些工作。這些讀數就一道在主台記錄下來，並在精讀數開始時，記下平均氣象情況。

觀測員這時注意了晶體溫度，並順次地取精A讀數，這些工作都只由副台的操作員控制。這些讀數按規定的次序記下，並不需再作指示，斷升表示要取下一個讀數，這時副台操作員移動開關。

對第二組的讀數觀測員將指示副台操作員改變頻率，觀測員也跟著頻率的改變，完成細調工作。頻率大約按等間隔時間交換，但是觀測員也可以發出其他的指示以適應工作條件的需要。這時觀測員再次讀取所有A精讀數等，直到有足夠的讀數來適合所需要的條件，這工作大約要用五分鐘左右。最後觀測員又再取氣象讀數，並重新測量晶體的溫度之後就再測定自己氣象資料，這時測量就全部完成，儀器又轉回它們反來的頻率。

作為測量的校核，特別是粗讀數，以保證沒有大的誤差並保證“完成”滿意的測量，大約的傳播時間就得以當場計標出。在長程，和在非常熱和冷的气候，晶體頻率要求在“完成”測量以前校正，但是普遍在最精密的作業中只校正A晶體的頻率。

3、外業讀數標和改正

3.1、一個完整的測量的詳細例子。下面是一個典型的詳細例子的一組外業讀數和它們的標。它們代表安頓特灣尼Entondweni和默查卡德阿Miagatya間的線的標，它

是那都 Nata / 的珠魯兰 Zululand 地方默土巴土巴 Mtuba-
atuba 基綫的主要扩展綫。这是一条靠近第 30 子午綫的一
条比較現代的基綫。在下面提到包括这条綫的圖形的完整測量
工作。

圖 2 是这一条綫上“鏡”面指示，表示各組粗讀數和一組
細 A 讀數。这条綫長約 25 哩——在傳播時間中的第一个数字
是 2，那就是 50,000 呎樣樣中有两个沒有分解的旋轉。

粗 讀 數

+ A 16 刻度尺零點誤差 E 假定 00

B 46

C 12

D 77

20 到 30 哩... + A 16 + A 16 + A 16 + A 16

第一数字... B 46 C 12 D 77 E 00

2 差數 70 差數 04 差數 39 差數 16



細 讀 數

开始——晶体溫度 32°C

气象条件：

	乾溫度	濕溫度	校正气压計
主台...	71 $\frac{1}{2}$	67 $\pm$	29.61
副台...	72	64	28.92