

电磁波测距仪

〔日〕须田教明 著



测绘出版社



电磁波测距仪

〔日〕须田教明 著

赵怀珍 梁蕴华译

丁兆光 校订

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

测绘出版社

本书前三章主要介绍学习电磁波测距仪所需要的光、电基础知识，后三章介绍测距仪原理及影响测距精度的有关问题。书末附有一些实用图表。

可供广大测量工作者和测绘专业有关师生学习参考。

電磁波測距儀(改訂版)

〔日〕须田教明 著

森北出版株式会社

1976年9月15日

电 磁 波 测 距 仪

〔日〕须田教明 著

赵怀珍 梁蕴华译

丁兆光 校订

*

测绘出版社出版

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张· $8\frac{7}{8}$ 字数225千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷

印数1—4,400册·定价0.86元

统一书号：15039·新80

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 电磁波测距仪	(1)
1.2 电波测距仪和光波测距仪	(1)
1.3 电波、光波测距仪的比较	(3)
1.4 电磁波测距仪的简单原理	(3)
1.5 小结	(7)
第二章 电路	(8)
2.1 关于电路	(8)
2.2 直流和交流	(8)
2.3 电压和电阻	(9)
2.4 交流和相位	(10)
2.5 电阻、电感、电容	(13)
2.6 谐振回路	(20)
2.7 电子管、晶体管的作用	(23)
2.8 电波及其分类	(30)
2.9 振荡器	(33)
2.10 放大电路	(38)
2.11 调制	(44)
2.12 频率变换 (变频)	(48)
2.13 检波	(49)
2.14 电源电路	(51)
2.15 AGC、AFC 电路	(52)

2.16	相位测定	(53)
2.17	相位检波电路	(60)
第三章 光 (61)		
3.1	光的性质	(61)
3.2	决定横波形状的三要素	(62)
3.3	行波公式	(63)
3.4	光波的迭加	(64)
3.5	光速 (电磁波速度)	(65)
3.6	折射率	(67)
3.7	光波测距仪的光源和光的调制	(80)
3.8	由光信号变为电信号的转换器件	(113)
3.9	光波测距仪的测程方程式	(115)
3.10	电波测距仪的测程方程式	(121)
第四章 电磁波测距仪 (123)		
4.1	电波测距仪	(123)
4.2	电波的地面反射	(139)
4.3	零点差	(145)
4.4	MRA—101的电路	(149)
4.5	光波测距仪	(152)
4.6	具有代表性的光波测距仪的框图	(183)
4.7	反射镜	(192)
第五章 折射率的确定方法及其对测距的影响		
		(196)
5.1	气象测定	(196)
5.2	大气折射率对电磁波测距的影响	(205)
5.3	电磁波在空气中的折射	(212)

5.4 多色法	(222)
第六章 电磁波测距仪的测距精度及距离测定的平差计算方法	(227)
6.1 电磁波测距仪的测距精度	(227)
6.2 距离测定的平差计算方法	(233)
附录	(240)
1. 高度误差对投影长的影响	(240)
2. AGA-8 型光波测距仪的计算方式	(240)
3. 饱和水蒸气压表	(245)
4. 水蒸气压表	(246)
5. 光波的湿度改正表	(249)
6. mmHg $\rightarrow$ mb, mb $\rightarrow$ mmHg 换算表	(250)
7. 光波测距仪 (Geodimeter) 的 K_2 、 K_3 表	(252)
8. 温度、气压、湿度对电磁波测距的影响	(254)
9. 关于 1.5kHz 的调频、调幅信号的串扰问题	(255)
10. 电磁波测距仪常数的测定方法	(257)
11. 利用光波测距仪的精测法	(258)
12. 折射率表	(260)
13. 气象改正诺模图	(265)
14. 相对湿度表	(266)
15. 电波测距仪 (Tellurometer) 的诺模图	(270)
参考文献	(272)
译后记	(275)

第一章 绪 论

1.1 电磁波测距仪

所谓电磁波测距仪，顾名思义是一种利用电波和光波来测定距离的装置。电磁波测距与原来的测距方法的不同点是：

1) 直接测定距离

原有的方法——用尺、卷尺、因瓦带尺等直接测定距离。

新方法——用电磁波直接测定距离。

2) 间接测定距离

原有的方法——以一定距离为基线，根据测角来测定距离。

从以上测距方法的分类中可以看出，原有的测距方法是用卷尺等直接测定短距离，而长距离则用光学方法来间接测定。由于电磁波测距仪的出现，长距离也可以直接而且更精确地测定了。

电磁波测距仪大体上可分下述二类：

电磁波测距仪(EDM)	{	电波测距仪*
		光波测距仪

1.2 电波测距仪和光波测距仪

电波测距仪如无线电探测器或雷达是第二次世界大战中为军事上的需要而研制出来的，历史较久。但这类仪器测距精度低，不能用于测量。如以后所述，雷达测距方式在原理上就不能

• 译注：关于该书中日文“电波测距仪”和“光波测距仪”两词的译名问题，为了保持原文解释和叙述上的统一，我们分别译为“电波测距仪”和“光波测距仪”，未采用国内对这两种仪器的通用名称——“微波测距仪”和“光电测距仪”。

获得高精度。

1956年瓦德利 (TL · Wadley) 发明了一种比雷达更精确的电波测距装置。这种装置以 “Tellurometer” (中文译名为微波测距仪——译者注) 的商品名在市场上出售, 成为世界上电波测距仪的先驱。

电波测距仪在我国是1965年前后由安全电波工业研究所研制出来并投入市场的。

光波测距仪的历史虽然与电波测距仪一样也是相当新的, 但其原理与斐索 (Fizeau) 用以测定光速的装置的原理大致相同, 因此, 对光波测距仪的探讨可以说早就开始了。不过斐索等的装置仅是一种实验用的装置, 不是面向一般测量的。

随着电子技术的发展, 更加轻便、精度更高的光波测距装置陆续出现。自从1950年前后出现了第一台可供使用的 “Geodi-

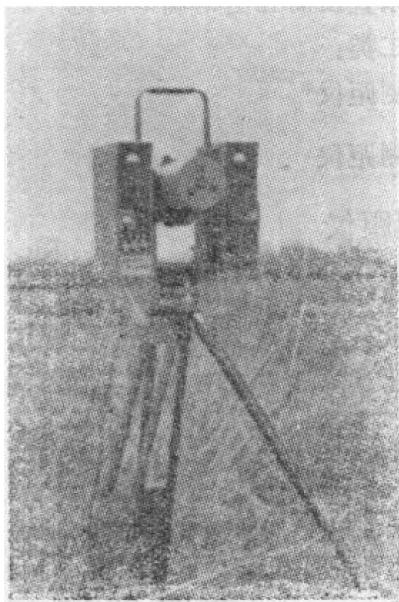


图 1.1

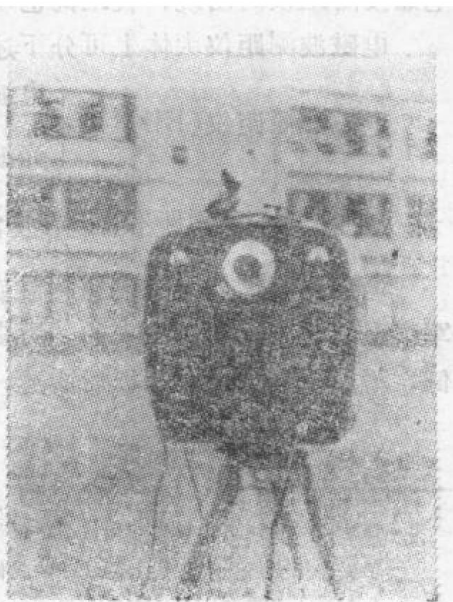


图 1.2

meter”（中文译名为“光电测距仪”——译者注）后，到现在已有十几种类型。

光波测距仪因其利用光波进行距离测量而得名，与电波测距仪比较，其优点是精度高。（见图1.1，1.2）。

1.3 电波、光波测距仪的比较

如上所述，电波、光波测距仪分别利用电波及光波作为测距的手段，这一差别大大地左右着这两种装置的性质。一般测量中应用的这两种装置其特点如下表所示。

表 1.1

	最 大 测 程	精 度	价 格	操 作 人 员
电波测距仪	50~60公里	$\pm 2 \sim 3 \text{ 厘米} + \frac{D}{30 \text{ 万}}$	贵	2~3人
光波测距仪	1~4 公里（白天） 10~20公里（夜间）	$\pm 0.5 \sim 1 \text{ 厘米} + \frac{D}{50 \text{ 万}}$	稍便宜	1~2人

在实际工作中使用哪种电磁波测距仪须根据测量的目的来决定。一般说来，用电波测距仪因所发射的电波的“传播面”的关系，在城市或森林地带测量有困难，而用光波测距仪则比较容易。

更高级的电波测距仪 MRA—4型的电波“传播面”很窄，精度几乎接近于光波测距仪，另外应用激光光源的光波测距仪 AGA—8型在白天也能测定 40~60 公里的长距离。可以预期，将来，随着高亮度的光源的开发，光波测距仪还会得到进一步的发展。

1.4 电磁波测距仪的简单原理

在研究详细原理之前，先学一些简单的测距理论是有益的，

因为我们可以从中吸取以后所需要的知识。

(1) 回 声

进入山中，如果高喊一声“呀”时，隔一会就可以听到来自远方的与自己喊声相同的“呀”的回声，这是谁都经历过的事。古人把这种现象，看作是一种神秘的现象，认为是“树精”作怪。现在，连中、小学生也都知道这是声音撞到远处的山或树上而反射回来的回声。声在空气中的传播速度可依下式求得：

$$V = V_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.2}}$$

其中 V_0 为气温 0°C 时的声速， t 为气温。

若得了从人发出声到返回耳中所经过的时间为 T ，则从人的位置到声音反射点的距离 D ，可依下式求得：

$$D = \frac{V}{2} T$$

这是利用声波测定距离的一种办法。不过，这种办法基于种种原因，不能提高精度，并且在机械上也存在着问题。

(2) 电磁波测距的一般原理

要说明电磁波测距的原理最适当的方式是用严密的数学式子。不过，在此我们可以先通过一般知识来学习电磁波测距的原理。

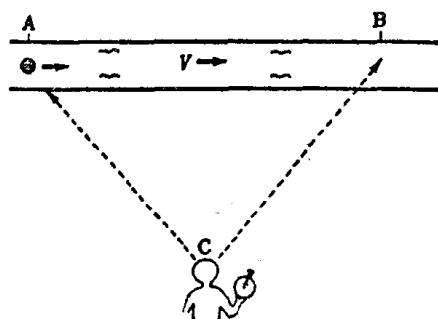


图 1.3

理。

图 1.3 表示浮子在一定流速的水流中流动的情况。当在 C 点的观测者想要测定 AB 间距离时，只要测定浮子从 A 点达到 B 点所经过的时间就可以了。在这种情况下，AB 间的距离 D 可依下式求得：

$$D = Vt$$

$$(1.4.1)$$

V 为流速。

现在换另一种情况来进行讨论。图 1.3 是从 C 点的位置能够同时看到 A 点和 B 点的情况。但当距离太长时，一般不能满足这个条件。若要测定长距离，可考虑下述方法。假定在 A、B 间有方向相反速度相等的水流（参照图 1.4）。

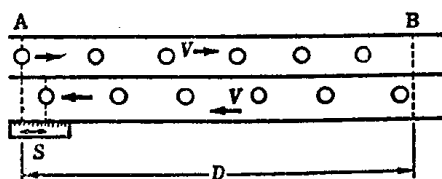


图 1.4

在 A 点以一定的时间间隔向 B 点投放浮子，当由 A 点来的浮子抵达 B 点的瞬间，以相同的时间间隔在 B 点向 A 点投放浮子。此时 A、B 间距离 D 可依下式求得：

$$2D = nd + s \quad (1.4.2)$$

其中： d 为浮子的间隔； n 为在 A、B 之间流动的浮子数；

s 为在 A 点投放了浮子时，从 B 的方向流来的浮子中最接近 A 点的浮子与 A 点间的距离（此距离可直接测得）。

如浮子的流放时间间隔为 t ，流速为 V ，则上式可表示如下：

$$2D = ntV + s$$

$$\therefore D = \frac{1}{2}(ntV + s) \quad (1.4.3)$$

在此式中 t 、 V 为已知， s 是可以直接测定的，因而若知 n 则 D 即可求得。 n 值可在读取从 B 点流来的第一个浮子与 A 点的间距 s 值时，计算从 A 发出的浮子数求得，可是若不给浮子编号或采用其他手段，则在一般情况下 n 值是不能知道的。下面再来探讨一下 (1.4.2) 式的几种特殊情况。

1) 当 $2D = d$ 的情况（如图 1.5）

这种情况是在从 A 点要投放浮子时，从 B 点向 A 点投放的浮子流到 A 点时的情况。此时，下式可成立：

$$2D = d$$

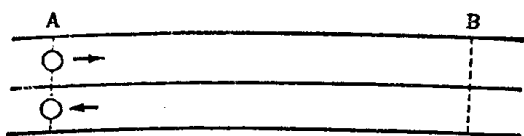


图 1.5

$$\therefore 2D = tV$$

$$\therefore D = \left(\frac{t}{2}\right)V \quad (1.4.4)$$

即可根据浮子投放的时间间隔来决定距离。

2) $2D < d$ 的情况 (如图1.6)

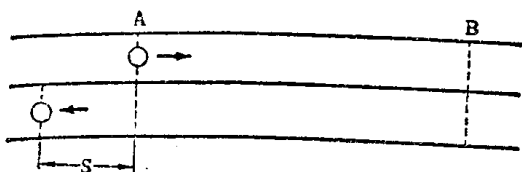


图 1.6

这时下式成立:

$$2D = d - s \quad (1.4.5)$$

其中, s 为在 A 点投放浮子时从 B 点流来的浮子同 A 点间的距离。

因为, 此时只要能测出从 B 点流来的浮子通过 A 点时起, 到在 A 点投放浮子时为止的时间间隔, 即可求得 s , 所以(1.4.5)式可改写成

$$2D = tV - TV = V(t - T) \quad (1.4.6)$$

因 V 是已知的, 只要测得 t 及 T 即可求得 D 。($t - T$) 是浮子往返于 AB 间的时间, 以 Δt 表示, 将此值代入上式则得

$$D = \left(\frac{V}{2}\right)\Delta t \quad (1.4.7)$$

即当 $D < \frac{d}{2}$ 时直接测定浮子在 AB 间的往返时间便可求得 D 。

电磁波测距的原理与上述水流和浮子的关系相类似。

(1.4.7) 式相当于雷达测距的情况, (1.4.3) 式相当于电波、光波测距的情况。如将 (1.4.3) 式改写一下, 则为

$$D = \left(\frac{s}{2} \right) + nt \left(\frac{V}{2} \right) \quad (1.4.8)$$

在此式中, 问题在于决定 n 值的方法。电磁波测距仪各有不同的求 n 值的方法, 但其原理是完全相同的。如以电磁波 (电波测距仪时为电波, 光波测距仪时为光) 代替水流, 以具有一定频率的信号代替浮子来考虑, 即成为电磁波测距仪的测距原理。

1.5 小 结

在这一章里学习了什么是电磁波测距仪; 电磁波测距方式同原有的测距方法有何不同以及其基本原理是怎样的等问题。针对这些问题在以后还要详细说明。由于电磁波测距仪同原有的测量仪器构造不同, 仪器的绝大部分都是电气元件, 为了充分理解这些仪器的工作原理, 还需要学一些简单的电子学知识。

第二章 电 路

2.1 关于电路

电磁波测距仪的主要部分与原有测量仪器有很大不同，它是由一些电路组成的。因而，即使是测量人员也有必要学习一些简单的电路知识，以便于理解电磁波测距仪的原理。

在本章中，结合实际应用的电路图，学习一些比较简单的电路知识，以达到熟悉布线图的目的。

2.2 直流和交流

电流就是电子的流动。这种流动不随时间发生变化的称为**直流 (DC)**，而随时间变化的则称为**交流 (AC)**。从电池流

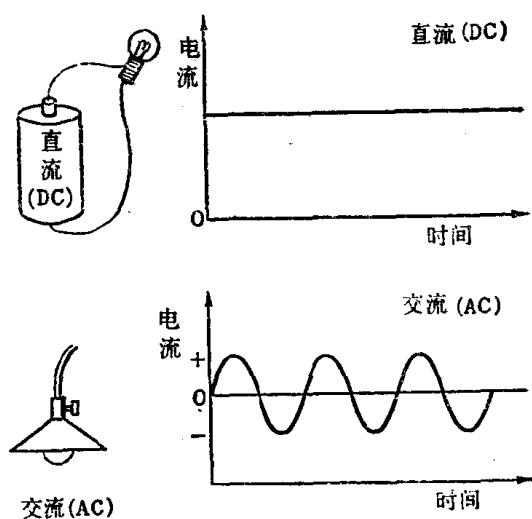


图 2.1

出的电流是直流，在家庭用电灯里流动的电流为交流。电磁波测距仪的电源主要是用蓄电池等直流电源。电流的单位用安培(A)表示。

2.3 电压和电阻

当我们用手压物体时，称为对物体施加压力。如图 2.2 所示，容器中的水对器壁施加压力，此时水的压力称为**水压**。所谓水压可以看作是推水流动的力量。电的情况也是这样，使其产生电流的力量称为**电压**。电压单位用伏特(V)表示。

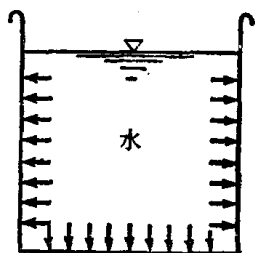


图 2.2

那么，再来研究一下水的情况，在一定时间内通过水管的水量是同管粗 S 、水流速度 v (与水压 P 有关) 等成正比的。1 秒时间内的流量 I 可以用下式表示。

$$I = kSv = k'SP$$

其中： k 及 k' 为比例常数。即水压越高、水管越粗，则水量越大，水压越低，水管越细，水量越少。

对电流来说，即使导线粗，电流也只集中于表面。称此现象为**趋肤效应**。所以使用多根细导线也能通过大电流。

下面再来研究电子的流动 (图 2.3)。如以 I 、 V 、 S 分别表示电流、电压及导线的截面，则

$$I = kVS$$

其中， k 为比例常数。

设 S 的倒数为 r ，以 r 代入上式则得

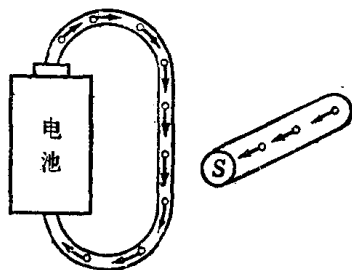


图 2.3

$$I = kV \frac{1}{r}$$

V 越大, 即电压越高, 导线越粗, 电流越容易通过。电流通过的难易也与导线的性质有关。例如铜线电流容易通过, 而镍铬合金线电流不易通过。

表 2.1 电 阻 率

	ρ (电阻率)		ρ (电阻率)
银	$0.017 \times 10^{-4} \Omega \text{厘米}$	白 金	$0.11 \times 10^{-4} \Omega \text{厘米}$
铜	0.016	铅	0.21
金	0.028	水 银	0.96
铁	0.120	锰	0.42

如以 r 表示物质的电阻, 则

$$r = \rho \frac{l}{s}$$

其中: ρ 为电阻率, 即电流通过的难易程度; l 为长度; s 为截面。

根据欧姆定律, 电压 V 、电流 I 、电阻 R 之间的关系式如下:

$$I = \frac{V}{R}$$

注: 把使电流流动的力量解释为电压并不正确, 正确的说法应该用电位差这个名词。可是在实际应用中地表为零伏特, 因而在对地表的电位这个意义上采用了上文的解释。

2.4 交流和相位

交流 (AC) 是指电子的流动随着时间的推移而有一定变化而言 (如图2.4)。在图中电流以 0 点为基准, 向上时为正(+),

向下时为负(-)。图的下面表示电流在导线中流动的状态。下图A、B、C分别表示时间 t 在 A、B、C 点时电流流动的状态。一般家庭用的电流在 1 秒钟内作 60 次正负方向的交替, 亦即频率为 60Hz (赫兹)●的交流。现在来详细探讨图 2.4 的交流波形。

将长为 A 的金属棒的一端 O 固定, 来考察金属棒旋转时的情况 (如图 2.5), 设 A 从水平位置按反时针方向开始旋转, 于 t_1 秒后移动到 b 的位置。此时

$$O\text{bsin}\theta = A\text{sin}\theta$$

当右方的波形在 t_1 时, 成为 y 轴方向的长度。即波形是金属棒于各个时间在 y 轴上的投影值相联结而成的。移动金属棒使它再回到原来位置的时间称为 1 周期。如在一秒间旋转两周, 则一个周期为 0.5 秒。

周期 T 同周数 (亦称为频率) f 之间有如下关系。

$$\text{周期}(T) = \frac{1}{\text{频率}(f)}$$

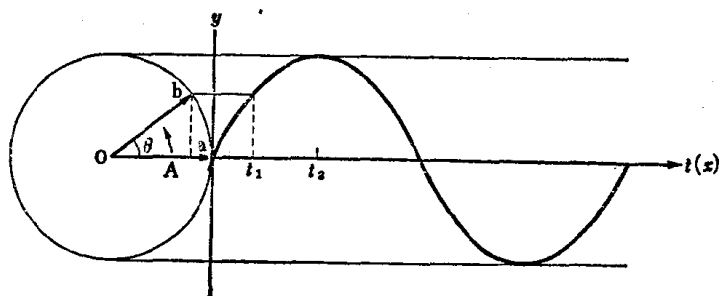


图 2.5

● 频率的单位用Hz (赫兹) 表示。

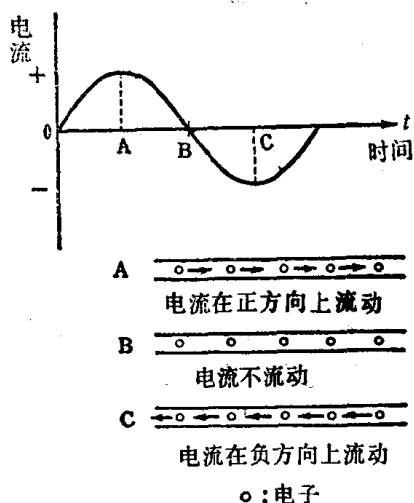


图 2.4