

當壓力管內水壓足夠且大致穩定時，漏水音是一個頻率 (Frequency) 與相位 (Phase) 皆穩定的聲波，但其它雜音與水流聲的頻率與相位則是雜亂無章的。將二個音波檢知器所收到的聲音在時間域 (Time Domain) 進行交叉比對 (Correlation) 的計算後會發現：雜亂無章的聲音互相抑制抵銷，但二端分別收到的漏水音則因頻率及相位相近而在比對後益加顯著，並產生明顯之波峰 (Peak)，如圖 3 所示。

這種道理就好比少數穿制服者混雜在一群穿便服者中並不容易被發現，但是當人群進行比對而使得穿制服者集合在一起時，他們就變得明顯起來。

漏水音傳至感音器 A 及 B 的時間差若為 T，則由圖 2 中可知

$$T = T_a - T_b = (L_a - L_b) / V = (L - 2L_b) / V$$

$$\text{故 } L_b = (L - T \times V) / 2$$

上式中，L 可於現場量得，V 可在瞭解管材及管徑後得知，因此可以迅速的計算出 L_b ，也就得到漏水點的位置了。

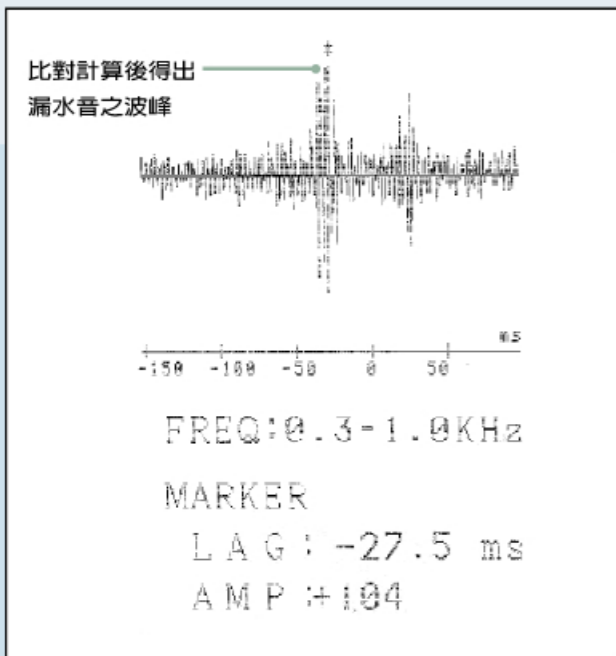


圖3 比對計算後之波形及波峰

3. 透地雷達探測 (Ground Penetrating Radar ; 簡稱GPR)

談到“雷達”，相信開車族一定不陌生，偶而您會收到一張紅紅的單子，隨單還附贈照片一張，上面就是您的愛車迎風奔馳的英姿。這位讓您荷包破費的元兇正是“雷達波”。

雷達波屬於一種高頻 (1MHz~1000MHz) 的電磁波，可穿透空氣、土壤、水等介質，但當它遇到不同介質的界面時，一部份的雷達波就會反射 (Reflect) 回來，量測雷達波的來回時間，再乘以雷達波在該介質中的波速，便可知道探測物的位置。原則上當所使用雷達波的頻率越高，解析度相對提高但探測深度則變小。反之，其頻率越低，解析度也越低，但探測深度則可加大。

雷達波的穿透力強，且在空氣中的速度極快，約為光速的 95%，可迅速的偵測到目標，因此被廣泛運用於各領域而有不同的稱呼，例如：偵測敵機的是「軍事雷達」，幫您的愛車拍照的是「測速雷達」，而找到深藏在冰層下的長毛象的則是「透地雷達」。顧名思義，透地雷達是將雷達波往地底下發射，利用雷達波碰到物體反射的自然現象 (如圖 4)，分析反射波來回所需要的時間、波型、振幅等特徵，來判別反射體的性質、範圍與位置等。

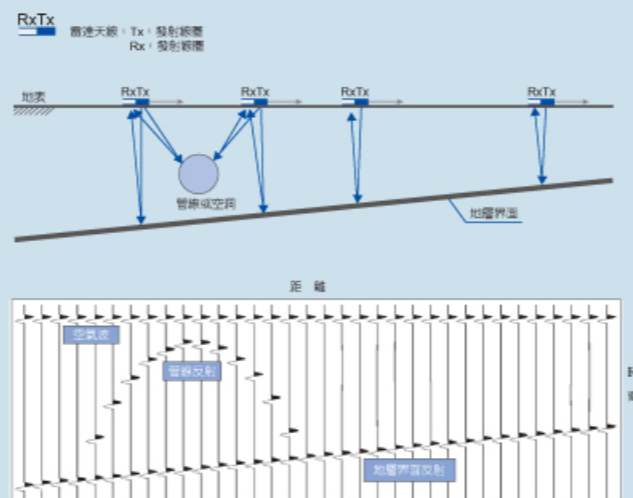


圖4 雷達波反射示意圖

地層名稱	導電率(mho/m)	介電常數	衰減常數(dB/m)	來回走時(ns/m)	探測深度(m)
空氣	0	1	0	7	
淡水	$10^{-1} \sim 3 \times 10^{-2}$	81	0	59	20
海水	4	4	1000	59	
鐵或鋼		1			
水泥		6		16	
塑膠		3		13	
碳氫化合物		1.5~3.5			
砂礫(乾)					25~40
砂礫(濕)					10~15
砂(乾)	$10^{-7} \sim 10^{-3}$	4~6	0	15	15~30
砂(濕)	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	30	0.03~0.3	36	5~10
粉砂(濕)	$10^{-3} \sim 10^{-2}$	10	1~100	20	3~8
黏土(濕)	$10^{-1} \sim 1$	8~12	1~300	20	2~6
花崗岩	10^{-8}	5	0.01~1	15	
石灰岩	10^{-9}	7~9	0.4~1	16	
石英		4		13	20~50

註：[1] 探測深度係假設以100 MHz雷達天線為參考依據。
[2] 表中地層之乾、濕係依目視界定。

表2 一般物質之電磁波特性一覽表

雷達波由雷達天線 (Antenna) 發射與接收，如圖 5 所示，發射天線產生振幅為 A 的雷達波，經地層界面反射回來後振幅會變為 r A (不考慮地層的衰減特性)，反射波振幅與入射波振幅間之比值稱為反射係數，當考慮雷達波高頻及淺層導磁率變化不大的情況，反射係數的大小與界面上、下物質介電常數 (Dielectric Constant) 的差異程度有關，在一般自然界的地層情況下，反射係數可以下式表示：

$$r = \frac{\sqrt{(\epsilon_1 - 1)} - \sqrt{(\epsilon_2 - 1)}}{\sqrt{(\epsilon_1 - 1)} + \sqrt{(\epsilon_2 - 1)}}$$

式中 r 代表反射係數， ϵ_1 、 ϵ_2 則分別代表上、下地層的介電常數。

$$\Gamma = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)}$$

Γ = 反射係數(reflection coefficient)
 Z_1 = 第一層的阻抗 (impedence of layer1)
 Z_2 = 第二層的阻抗 (impedence of layer2)

針對高頻的雷達波可以簡化成：

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1 - 1} - \sqrt{\epsilon_2 - 1}}{\sqrt{\epsilon_1 - 1} + \sqrt{\epsilon_2 - 1}}$$

阻抗的定義：
 $Z = \sqrt{j\omega \mu / (\sigma + j\omega \epsilon)}$
 $j = \sqrt{-1}$
 $\omega = 2\pi f$ (角頻率：f：頻率)
 μ = 磁感率(magnetic suseptibility)
 ϵ = 介電常數(dielectric constant)

圖5 雷達波入射與反射關係示意圖

表 2 列舉若干地層及常見物質的電磁波特性供參考，有助於在施測時選擇適當頻率的發射天線，及設定適當的記錄範圍。此外，影響透地雷達探測深度的因素尚應考慮地層的衰減係數 (Attenuation Factor)；由於其間的關係較複雜，故實際應用時可直接參考表 2 所列的地層速度 (係實地試驗獲得)。

透地雷達系統最大的特點在於雷達波是不斷地以極快的速率不停地向下發射，因此施測者僅需操縱雷達天線沿一預定的測線拖曳 (如圖 6)，在每一瞬間位置可以記錄到一條描線，將每一個位置的描線排在一起便可獲得雷達波影像，其橫軸是天線所在位置，縱軸則是接收的時間 (可對應深度)。因快速發射的特點，使得現場施測時，可以即時地將記錄的描線以彩色影像的方式顯示在螢幕上，產生立即掃描的效果。



圖6 主機端監控 (左) 及天線端探測 (右)