

環境中雷達電磁波檢測方法

中華民國 102 年 12 月 17 日環署檢字第 1020109264 號公告

自中華民國 103 年 3 月 15 日生效

NIEA P209.90C

一、方法概要

利用天線與頻譜分析儀（註 1）組成之量測系統（以下簡稱頻譜分析儀系統），量測環境中雷達設施所發射之脈衝電磁波的強度。

二、適用範圍

本方法適用於雷達發射設施周圍環境中之脈衝電磁波強度量測。

三、干擾

- （一）待測電磁波對量測儀器本身之干擾：可能經由電纜線或直接對量測儀器內部之電路造成影響，使用具電磁隔離效果之儀器與電纜線可避免此類干擾。
- （二）量測儀器、人員、天線之支撐結構與電纜線，會對待測電磁波產生干擾，量測時人員或儀器應儘量遠離天線；人員或儀器至少應避免處於量測天線與受測雷達站之間。另外，必須選用非金屬之支撐結構以避免干擾；而另量測時電纜線儘可能保持與電場垂直之方向。在任何情況下，天線必須距離任何物體 0.2 公尺以上。

四、儀器及設備

（一）頻譜分析儀

1. 儀器頻率範圍須涵蓋被測（雷達）電磁波之頻段。
2. 具有零頻寬(Zero Span)的量測功能。
3. 解析頻寬 (Resolution Bandwidth, RBW) 與視訊頻寬 (Video Bandwidth, VBW)，需大於 $2/T_p$ (T_p 為脈衝期間)。

（二）天線

1. 頻率範圍須涵蓋被測電磁波之頻段。

2. 支撐結構必須為非金屬材料所製成。
3. 天線之天線因子（註 2）與電纜線之損耗，須經由校正機構或原廠校正取得。

五、測量方法

（一）量測前應注意事項

1. 調查雷達站之基本資料，如：雷達站種類、最大發射功率、頻率、天線主波束(Main lobe 或 Main Beam)增益、第一旁波束位準(Sidelobe Level, SLL)、脈衝期間、脈衝重複掃描時間或頻率、雷達重複掃描時間以及雷達掃描角度，以選擇適當之量測設備及決定量測區域。
2. 人員安全
 - (1) 應先以第五、(二)計算電磁波的強度，以此估算主波束與第一旁波束符合「限制時變電場、磁場及電磁波曝露指引」（以下稱曝露指引）的最短距離，並依發射角度判斷在地面之電磁波強度是否低於曝露指引，以避免誤入電磁波過強之區域內。
 - (2) 人員避免在電磁波強度高於曝露指引之環境進行量測，必要時可降低發射功率，再依量測結果估算全功率時之電磁波強度。
 - (3) 勿靠近雷達站之電力設備，以避免電擊。
 - (4) 安裝心律調節器之人員不得執行量測工作。
 - (5) 不可接觸工作中之雷達站發射天線。
 - (6) 避免接觸雷達發射天線附近之金屬導體。

（二）量測點選擇

1. 量測區域範圍選定

- (1) 利用下式計算在距離雷達天線 R 處，電磁波功率密度：

$$S_t = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2}$$

$$S_t = \text{功率密度(W/m}^2\text{)}$$

P_t = 雷達發射的總功率，可以為峰值功率或平均功率 (W)。在下列估算量測區域的公式中， P_t 取雷達系統的標稱最大發射功率。

G_t = 雷達發射天線的增益(Gain)

(2) 取曝露指引限值（功率密度）之十分之一為臨界限值 (S_{limit}) (註 3)。

(3) 電磁波功率密度為 S_{limit} 之處，利用下式計算其距雷達發射天線的距離 $R_{compliance}$ ：

$$R_{compliance} = \left(\frac{P_t G_t}{4\pi S_{limit}} \right)^{1/2}$$

(4) 若雷達天線高度為 h ，且假設雷達天線主波束有往地面方向發射(實則僅其旁波束可能直射地面)，則電磁波功率密度為 S_{limit} ，距雷達發射天線的地面水平距離 R_{range} ，如圖一。

$$R_{range} = \left(R_{compliance}^2 - h^2 \right)^{1/2}$$

(5) 以雷達天線為圓心，半徑為 R_{range} 的圓形區域，且一般民眾可以活動的範圍為量測區域。

(6) 若無法得知雷達天線的高度，亦可以 $R_{compliance}$ 當量測區域之半徑。

(7) 若雷達非 360° 掃描，則僅將其掃描角度內的扇形區域選定為量測區域。

2. 量測點選定

(1) 在雷達天線與量測區域最遠處，任取一量測線，在量測線上等間隔取 5 個量測點。

(2) 若因現場環境因素，無法取等間隔的量測點時，可依現場情況，於量測線上取不同間距的 5 個量測點 (註 4)。

(三) 量測前儀器準備

1. 打開頻譜分析儀電源，並依原廠儀器操作手冊之規定進行熱機。

2. 若儀器具有自我校正功能，則進行自我校正。

3. 若儀器使用電池，則須檢查電力是否充足。

4. 依雷達訊號頻率，選擇適當之天線，並以電纜線連接天線與頻譜分析儀，連接時必須確定接頭穩固沒有鬆動。

(四) 量測步驟

1. 在所選定之量測區域內選定量測點，取離地面 1.1、1.5 與 1.7 公尺三個高度逐一進行量測，且在同一量測高度上進行三軸向的場強量測（註 5）。
2. 將天線固定於第一個選定的量測高度上，以及調整至第一個選定的軸向。
3. 依照儀器之使用手冊，進行頻譜分析儀之操作，並設定解析頻寬 (RBW)、視訊頻寬 (VBW)、偵測模式 (Detection Mode) 以及掃描時間。
4. 將頻譜分析儀中心頻率設定為雷達波之中心頻率，頻寬設定為 0，亦即設定為零頻寬之方式。
5. 脈衝期間以 T_p 表示，設定解析頻寬至少大於 $2/T_p$ ，視訊頻寬則設定至儀器所能設定之最大值。
6. 選擇峰值偵測模式 (Peak 或是 Positive Peak)。
7. 選擇適當之觸發 (Trigger) 模式與觸發位準，直到可以量測到雷達波形（註 6）。
8. 設定約一個脈衝週期之掃描時間，以易於觀測。
9. 設定量測追蹤 (Trace) 為最大值 (Max Hold)。
10. 進行量測時，量測時間須大於雷達重複掃描時間，以最大之峰值為量測結果。
11. 改變天線的軸向 (極化方向)，重複五 (四) 9、11 之量測，直到完成三個軸向之量測。
12. 改變天線的高度，重複五 (四) 11 與 12 之量測，直到完成三個高度之量測。

六、結果處理

- (一) 量測時應記錄量測作業的基本資料，內容須包括量測地點、溫溼度、量測人員、發射頻率、量測儀器廠牌型號序號、量測位置與雷達站相對位置圖示等。

(二) 頻譜分析儀量測所得之功率數值，須依以下之計算公式，逐步計算其空間的電場強度以及功率密度（註7）。

(三) 峰值功率與平均功率之轉換

頻譜分析儀之量測數值為峰值功率值 P_{peak} ，可以依下式計算其平均功率值 P_{avg} ：

$$P_{\text{avg}} = P_{\text{peak}} + 10 \times \log(\text{Duty Factor})$$

不論峰值功率值 P_{peak} 或平均功率值 P_{avg} ，都可以當作下列公式中的 P （頻譜分析儀量測所得之功率數值），以計算空間之電場強度或功率密度（註8）。

(四) 電場強度計算

頻譜分析儀量測所得功率數值，依下式計算電場強度：

$$E_0(\text{dB}_{\mu\text{V}/\text{m}}) = P(\text{dBm}) + 107(\text{dB}) + \text{AF}(\text{dB}_{1/\text{m}}) + \text{CL}(\text{dB})$$

其中 E_0 ：電場強度

P ：頻譜分析儀量測所得之功率讀值

107(dB)：電壓值(dB μ V) 與功率值 (dBm) 在 50 歐姆阻抗系統中之轉換係數

AF：天線因子

CL：電纜線損耗(Cable Loss)

(五) 電場強度及功率密度之單位換算

$$E_0(\text{dB}_{\mu\text{V}/\text{m}}) = 20 \times \log E_1(\mu\text{V}/\text{m})$$

$$E_2(\text{V}/\text{m}) = E_1(\mu\text{V}/\text{m}) / 10^6$$

$$P(\text{mW}/\text{cm}^2) = [E_2(\text{V}/\text{m})]^2 / (10 \times Z_0) \\ \doteq [E_2(\text{V}/\text{m})]^2 / 3770$$

其中 E_1 ：為以 $\mu\text{V}/\text{m}$ 單位表示之電場強度值

E_2 ：為以 V/m 單位表示之電場強度值

P ：為以 mW/cm^2 單位表示之電磁波功率密度值

Z_0 ：為自由空間之波阻抗，約等於 377 歐姆

上列公式僅適用於量測點滿足遠場條件時。

(六) 三軸電場強度之加總

在同一量測點，同一高度的三個不同軸向電場強度量測結果分別是 E_x 、 E_y 與 E_z ，則以下式取其和方根值(Root-Sum-Square, RSS)，表示其量測結果。

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

七、品質管制

頻譜分析儀至少每二年必須送至可追溯至國家或國際標準之校正實驗室進行校正；天線及電纜線如有破損（裂）或變形等現象，須再進行校正以取得天線因子與電纜線損耗。

八、檢驗相關條件註記

記錄雷達站種類、最大發射功率、頻率、天線主波束增益、第一旁波束位準、脈衝期間、脈衝重複掃描時間或頻率等。

九、參考資料

- (一) Measuring Non-Ionizing Electromagnetic Radiation (9 kHz - 300 GHz), ECC/REC/(02)04, Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 2003.
- (二) 行政院環境保護署，電磁波預警措施之研究計畫期末報告，EPA-99-E3S2-02-01，中華民國 99 年。
- (三) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic fields (up to 300 GHz), ICNIRP, 1998.

註：

- (1) 頻譜分析儀可為功能符合本方法之量測需求，但名稱不同的儀器(比如接收機)。
- (2) 天線因子在被測雷達脈衝波的中心頻率沒有校正值，得使用內差法計算該頻率之天線因子。

- (3) 取十分之一的理由為考量環境中有其他電台或基地台電磁波的存在，因而採用更嚴格標準以保護民眾安全。另外 S_{limit} 須視 P_t 為峰值功率或平均功率而定，及參考環保署公告「限制時變電場、磁場及電磁波曝露指引」。
- (4) 由於一般量測區域廣大，量測點可為相關環保單位或民眾指定之地點，若無特別指定之地點，則選擇有民眾長期活動的地區，比如住宅或學校周圍的空曠地，每一地區(比如學校)若無特別要求，以取一處量測點為原則。
- (5) 量測時，須先確定量測點是在遠場或近場區域，若是在遠場區域，僅須進行電場或磁場的強度量測，若是在近場區域，則須進行電場和磁場的強度量測。
- (6) 建議採用 Video 觸發模式，觸發位準需高於雜訊位準，以得到穩定的波形顯示。
- (7) 因一般情況下，在雷達波的量測點都在遠場，且在此頻段大多數的天線皆量測電場，因此計算公式僅對電場做說明；如須計算磁場請參照 NIEA P203。
- (8) 不論採用峰值功率值或平均功率值計算空間的電場強度或功率密度，其計算結果要應與其相對應的峰值或平均值之曝露指引，進行比較。

名詞解釋：

- (一) 電場強度(V/m, $\mu\text{V}/\text{m}$, $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)：表示空間中電場向量的大小值，其單位為伏特每公尺(V/m)。對於較微弱的電場，常以微伏特每公尺($\mu\text{V}/\text{m}$)為表示單位，以對數表示時，則常以 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 為表示單位，其中：
$$\text{電場強度}(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m})=20 \times \log_{10}[10^6 \times \text{電場強度}(\text{V}/\text{m})]$$
- (二) 磁場強度(A/m, mA/m , dBA/m)：表示空間中磁場向量的大小值，其單位為安培每公尺(A/m)。對於較微弱的磁場，常以毫安培每公尺(mA/m)為表示單位，以對數表示時，則常以 dBA/m 為表示單位，其中：
$$\text{磁場強度}(\text{dBA}/\text{m})=20 \times \log_{10} [\text{磁場強度}(\text{A}/\text{m})]$$
- (三) 電磁波功率密度(W/m^2 , mW/cm^2)：於垂直電磁波行進方向的平面上，單位面積上的電磁波功率值，其單位為瓦特每平方公尺(W/m^2)，一般也常採用毫瓦特每平方公分(mW/cm^2)為表示單位，其關係為：
$$10 \text{ W}/\text{m}^2=1 \text{ mW}/\text{cm}^2$$

(四) 天線因子：為天線的特性參數之一。表示天線所在位置的訊號電場強度(單位為伏特每公尺,V/m)，與該訊號在天線輸出/入端點所產生的電壓值(單位為伏特,V)之比值。其關係式為：

$$\text{天線因子}(1/m) = \text{電場強度}(V/m) \div \text{電壓值}(V)$$

以對數表示時，則為：

$$\text{天線因子}(dB_{1/m}) = \text{電場強度}(dB_{V/m}) - \text{電壓值}(dBV)$$

或是：

$$\text{天線因子}(dB_{1/m}) = \text{電場強度}(dB_{\mu V/m}) - \text{電壓值}(dB\mu V)$$

(五) 電纜線損耗(dB)：電磁波訊號在電纜線傳輸過程中，電磁波訊號功率的衰減率。

(六) 雷達重複掃描時間：雷達完成所有角度之掃描後，重新開始下一次掃描所需之時間。

(七) 脈衝列(Pulse Train)：一個脈衝波形(Pulse Waveform)的連續序列。若未指明，序列中的脈衝波形假設為相同，如圖所示。

(八) 脈衝期間 (Pulse Duration)亦以 T_p 表示：脈衝在高位準的時間，定義為上升至指定位準至下降至指定位準之間的時間，在此，指定位準訂定為最高位準與最低位準之差距的 50%，如圖二所示。脈衝期間一般亦常被稱為脈衝寬度(Pulse Width)。

(九) 脈衝週期(Pulse Period)：週期性脈衝波形重複的最短時間，可定義為兩連續脈衝上升或兩連續脈衝下降至相同指定位準的時間差，如圖一所示。脈衝週期一般亦可稱為脈衝重複時間(Pulse Repetition Time, PRT, 或是 Pulse Repetition Interval, PRI)。

(十) 脈衝重複頻率(Pulse Repetition Frequency, PRF)：脈衝週期的倒數。

(十一) 工作因子(Duty Factor)：脈衝期間與脈衝週期的比值。工作因子一般亦可稱為工作週期(Duty Cycle)。

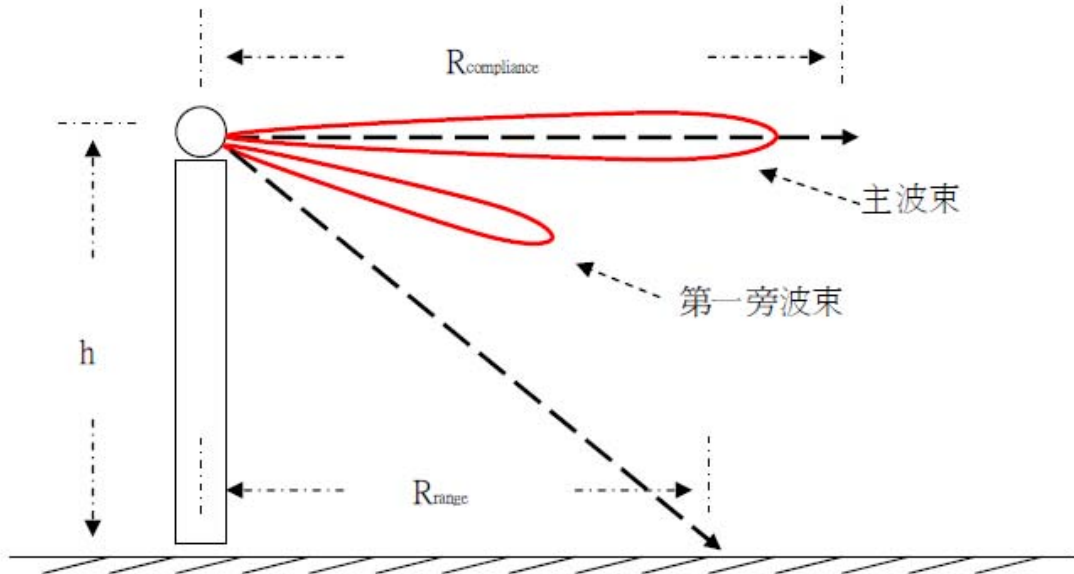
(十二) 峰值功率(Peak Power)：波形中最大的功率值。

(十三) 平均功率 (Average Power)：波形的時間平均(Time_averaged)功率

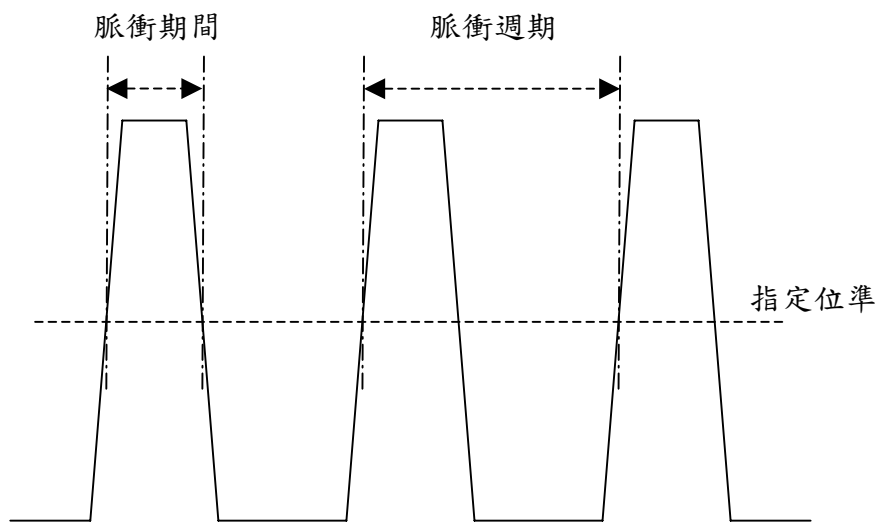
值，定義為：
$$P_{avg} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} |P(t)| dt$$

t_1 及 t_2 分別為平均的起始與中止時間，假如波形有週期性，則積分應

包含任何整數個週期性波形。



圖一、雷達站與量測區域計算之示意圖



圖二、脈衝列圖示