

附 錄 十四

微波鐵塔電磁場強度實測資料



國立陽明大學

醫學技術暨工程學院

National Yang-Ming University

School of Medical Technology and Engineering

Taipei, Taiwan 112, Republic of China

醫學放射技術學系
放射醫學科學研究所

電話: 02-2820-1092
傳真: 02-2820-1095

Faculty of Medical Radiation Technology
Institute of Radiological Sciences

Tel: 886-2-2820-1092
Fax: 886-2-2820-1095

行動電話基地台與微波通訊電磁場輸出功率密度值評估報告 1999/8/4

過去一年來，由於國內行動電話通訊業務民營化之後，國內行動電話基地台設置之數目與日俱增，已素為一般民眾所關心。目前世界各主要先進國家，對於「行動電話基地台與微波通訊等設備」在一般環境下，所容許的最大電磁場輸出功率密度值，均以下列幾種標準作為主要規範的參考：

1. 美國：IEEE Standards Coordinating Committee 28 on Non-Ionizing Radiation Hazards: Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz (ANSI/IEEE C95.1-1991). The Institute of Electrical and Electronic Engineering, New York, 1992.
2. 加拿大：Health Canada: Limits of exposure to radio-frequency fields at frequencies from 10 kHz - 300 GHz Safety Code 6, Canada Communication Group, Ottawa, Canada, (1993).
3. 澳洲及紐西蘭：Standards Australia (1990): AS2772.1-1990; NZS 9901.1:1990: radio-frequency radiation, part 1: Maximum exposure levels-100 kHz to 300 GHz including Amendment No. 1/1994.
4. 世界通用：International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Electro-magnetic fields (300 kHz to 300 GHz). Environmental Health Criteria 137. World Health Organization, 1993.
5. 世界通用：National Council on Radiation and Measurements: Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields. NCRP Report No.86, 1986.

上述各標準中，以美國、加拿大的標準較為寬鬆，而其他標準則較嚴格約二倍。如以目前國內所使用之 GSM-900 MHz 或 DCS-1800 MHz 之行動電話及微波通訊設備標準而言，是採用美國及加拿大的標準，其規範值如下：

GSM-900 MHz 所容許最大輸出功率密度值為 0.6 mW/cm^2

DCS-1800 MHz 所容許最大輸出功率密度值為 1.2 mW/cm^2

3-15 GHz 所容許最大輸出功率密度值為 $\frac{\text{微波頻率}(f)}{1500} \text{ mW/cm}^2$

微波頻率(f) > 30 GHz 所容許最大輸出功率密度值為 10 mW/cm^2

若依上述之規範值，針對工業技術研究院「量測技術發展中心」量測編號 D881087 (長途高雄營運處) 之測試報告中，所列之測試最大值为 $1.8 \times 10^{-11} \text{ mW/cm}^2$ 及 最小值为 $2.6 \times 10^{-11} \text{ mW/cm}^2$ ，應符合上述規範之要求。

國立陽明大學 放射醫學科學研究所

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

測試名稱：行動電話基地台環境電磁輻射量測

廠牌型號：GSM-S4000/DCS-S8000/微波

序 號：392/7311

測試結果與說明

一、測試結果：

本測試係針對設立於高雄市大昌二路 28 號之建物頂樓的行動電話及微波基地台進行量測，測量該建物頂樓及附近大樓的環境電磁輻射強度。

本測試所進行的環境電磁輻射量測主要量測範圍為行動電話及微波基地台所在之建物頂樓及附近大樓，各量測位置如圖一所示，量測位置之地址如表一所述。各位置之量測結果如表二所示，其中量測頻率值及量測功率值為所測得信號的頻率及功率值；天線因子為所使用接收天線的特性參數；電纜損耗為量測過程中所使用的信號線於該頻率下的損耗值；電磁場強度值為將量測值經計算後所得各量測位置所存在的電磁場強度。所測得之電磁場強度並以功率密度之單位表示，與美國電機電子工程師學會規範 IEEE C95.1-1991, "IEEE Standard for Safety Level with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz" 所訂的限制值(參考附錄 A)作一比較，以檢驗環境電磁場功率密度值是否在限制值以下，以符合規範要求。

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

表二、行動電話基地台環境電磁輻射量測結果

基地台名稱：長途高雄營運處

基地台編號：GSM-392/DCS-7311

基地台地址：高雄市大昌二路 28 號

量測日期：中華民國八十八年七月二十八日

量測位置 (如圖示)		量測值		天線因 子 AF (dB/m)	電纜損 耗 CL (dB)	電磁場強度值			IEEE 規範值 (mW/cm²)	符合 標準
		頻率 (GHz)	功率值 P _r (dBm)			電場強度		功率密度 (mW/cm²)		
						(dB μV/m)	(V/m)			
1	A	4.126	-85.67	32.9	2.5	56.7	6.9×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻¹⁰	2.7	是
2	A	5.9~6.5	<-95	34.7	3.2	49.9	3.1×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻¹¹	3.9	是
3	A	10.7~11.7	<-93	38.8	4.1	56.9	7.0×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻¹⁰	7.1	是
4	A	17.7~18	<-92	46.2	5.4	66.6	2.1×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁹	10.0	是
5	A	18~19.7	<-92	40.2	5.8	61.0	1.1×10 ⁻³	3.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
6	A	21.2~23.6	<-91	40.4	6.6	63.0	1.4×10 ⁻³	5.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
7	A	0.9571	-55.33	38.9	3.0	93.6	4.8×10 ⁻²	6.0×10 ⁻⁴	0.6	是
8	A	1.8068	-46.83	28.4	5.7	94.3	5.2×10 ⁻²	7.1×10 ⁻⁷	1.2	是
9	B	3.755	-87.83	32.4	2.4	54.0	5.0×10 ⁻⁴	6.6×10 ⁻¹¹	2.5	是
10	B	5.9~6.5	<-95	34.7	3.2	49.9	3.1×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻¹¹	3.9	是
11	B	10.7~11.7	<-93	38.8	4.1	56.9	7.0×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻¹⁰	7.1	是
12	B	17.7~18	<-92	46.2	5.4	66.6	2.1×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁹	10.0	是
13	B	18~19.7	<-92	40.2	5.8	61.0	1.1×10 ⁻³	3.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
14	B	21.2~23.6	<-91	40.4	6.6	63.0	1.4×10 ⁻³	5.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是

電場強度(dB μV/m) = P_r (dBm) +107 (dB) + AF(dB/m) + CL(dB)

$$\text{電場強度 (dB } \mu\text{V/m)} = P_r \text{ (dBm)} + 107 \text{ (dB)} + AF \text{ (dB/m)} + CL \text{ (dB)}$$

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

量測位置 (如圖示)		量測值		天線因子 AF (dB/m)	電纜損耗 CL (dB)	電磁場強度值			IEEE 規範值* (mW/cm²)	是否 符合 規範
		頻率 (GHz)	功率值 P _r (dBm)			電場強度		功率密度 (mW/cm²)		
						(dB μV/m)	(V/m)			
15	B	0.944	-48.5	38.9	3.0	100.4	0.10	2.9 × 10 ⁻⁴	0.6	是
16	B	1.8067	-40.0	28.5	5.7	101.2	0.11	3.5 × 10 ⁻⁴	1.2	是
17	C	3.744	-86.5	32.4	2.4	55.3	5.8 × 10 ⁻⁴	9.0 × 10 ⁻¹¹	2.5	是
18	C	5.9~6.5	<-95	34.7	3.2	49.9	3.1 × 10 ⁻⁴	2.6 × 10 ⁻¹¹	3.9	是
19	C	10.7~11.7	<-93	38.8	4.1	56.9	7.0 × 10 ⁻⁴	1.3 × 10 ⁻¹⁰	7.1	是
20	C	17.7~18	<-92	46.2	5.4	66.6	2.1 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻⁹	10.0	是
21	C	18~19.7	<-92	40.2	5.8	61.0	1.1 × 10 ⁻³	3.3 × 10 ⁻¹⁰	10.0	是
22	C	21.2~23.6	<-91	40.4	6.6	63.0	1.4 × 10 ⁻³	5.3 × 10 ⁻¹⁰	10.0	是
23	C	0.94405	-30.67	38.9	3.0	118.2	0.82	1.8 × 10 ⁻⁴	0.6	是
24	C	1.81915	-34.67	28.5	5.7	106.5	0.21	1.2 × 10 ⁻⁴	1.2	是
25	D	3.8933	-86.33	32.8	2.5	56.0	6.3 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻¹⁰	2.6	是
26	D	5.9~6.5	<-95	34.7	3.2	49.9	3.1 × 10 ⁻⁴	2.6 × 10 ⁻¹¹	3.9	是
27	D	10.7~11.7	<-93	38.8	4.1	56.9	7.0 × 10 ⁻⁴	1.3 × 10 ⁻¹⁰	7.1	是
28	D	17.7~18	<-92	46.2	5.4	66.6	2.1 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻⁹	10.0	是
29	D	18~19.7	<-92	40.2	5.8	61.0	1.1 × 10 ⁻³	3.3 × 10 ⁻¹⁰	10.0	是
30	D	21.2~23.6	<-91	40.4	6.6	63.0	1.4 × 10 ⁻³	5.3 × 10 ⁻¹⁰	10.0	是
31	D	0.9534	-36.00	38.9	3.0	112.9	0.44	5.2 × 10 ⁻⁵	0.6	是
32	D	1.81915	-37.17	28.5	5.7	104.0	0.16	6.7 × 10 ⁻⁶	1.2	是

電場強度(dB μV/m) = P_r(dBm) + 107 (dB) + AF(dB/m) + CL(dB)

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

量測位置 (如圖示)		量測值		天線因子 AF (dB/m)	電纜損耗 CL (dB)	電磁場強度值			IEEE 規範值 [*] (mW/cm ²)	是否 符合 規範
		頻率 (GHz)	功率值 P _r (dBm)			電場強度		功率密度 (mW/cm ²)		
						(dB μV/m)	(V/m)			
33	E	3.8867	-84.83	32.7	2.5	57.4	7.4×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻¹⁰	2.6	是
34	E	5.9~6.5	<-95	34.7	3.2	49.9	3.1×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻¹¹	3.9	是
35	E	11.492	-84.83	39.5	4.3	66.0	2.0×10 ⁻³	1.1×10 ⁻⁹	7.7	是
36	E	17.7~18	<-92	46.2	5.4	66.6	2.1×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁹	10.0	是
37	E	18~19.7	<-92	40.2	5.8	61.0	1.1×10 ⁻³	3.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
38	E	21.2~23.6	<-91	40.4	6.6	63.0	1.4×10 ⁻³	5.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
39	E	0.94445	-47.67	38.9	3.0	101.2	0.11	3.5×10 ⁻⁴	0.6	是
40	E	1.82533	-41.17	28.5	5.7	100.0	0.10	2.7×10 ⁻⁴	1.2	是
41	F	3.7~4.2	<-90	32.7	2.5	52.2	4.1×10 ⁻⁴	4.4×10 ⁻¹¹	2.5	是
42	F	6.048	-91.17	34.7	3.1	53.6	4.8×10 ⁻⁴	6.1×10 ⁻¹¹	4.0	是
43	F	10.7~11.7	<-93	38.8	4.1	56.9	7.0×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻¹⁰	7.1	是
44	F	17.7~18	<-92	46.2	5.4	66.6	2.1×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁹	10.0	是
45	F	18~19.7	<-92	40.2	5.8	61.0	1.1×10 ⁻³	3.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
46	F	21.2~23.6	<-91	40.4	6.6	63.0	1.4×10 ⁻³	5.3×10 ⁻¹⁰	10.0	是
47	F	0.9534	-45.33	38.9	3.0	103.6	0.15	6.0×10 ⁻⁴	0.6	是
48	F	1.83957	-37.83	28.6	5.7	103.5	0.15	6.0×10 ⁻⁴	1.2	是
電場強度(dB μV/m) = P _r (dBm) + 107 (dB) + AF(dB/m) + CL(dB)										

* IEEE C95.1-1991 "IEEE standard for Safety Level with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz" 規範。

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

二、測試說明：

(一) 本報告所列的測試項目及測試方法，乃經委託及受委託單位雙方同意。

(二) 測試日期：

本測試作業係於中華民國 88 年 7 月 28 日 進行。

(三) 使用設備：

1. 接收機：HP 8564E 頻譜分析儀
(頻率範圍：9 kHz - 40 GHz)
2. 接收天線：R/S HZ-13 半波長雙偶極天線
(頻率範圍：300 - 1000 MHz)
3. 接收天線：Tecom 201032 對數週期天線
(頻率範圍：1.0 - 12.4 GHz)
4. 接收天線：EMCO 3115 雙脊號角天線
(頻率範圍：1.0 - 18 GHz)
5. 接收天線：EMCO 3160-09 標準增益號角天線
(頻率範圍：18 - 26.5 GHz)

(四) 測試前準備事項：

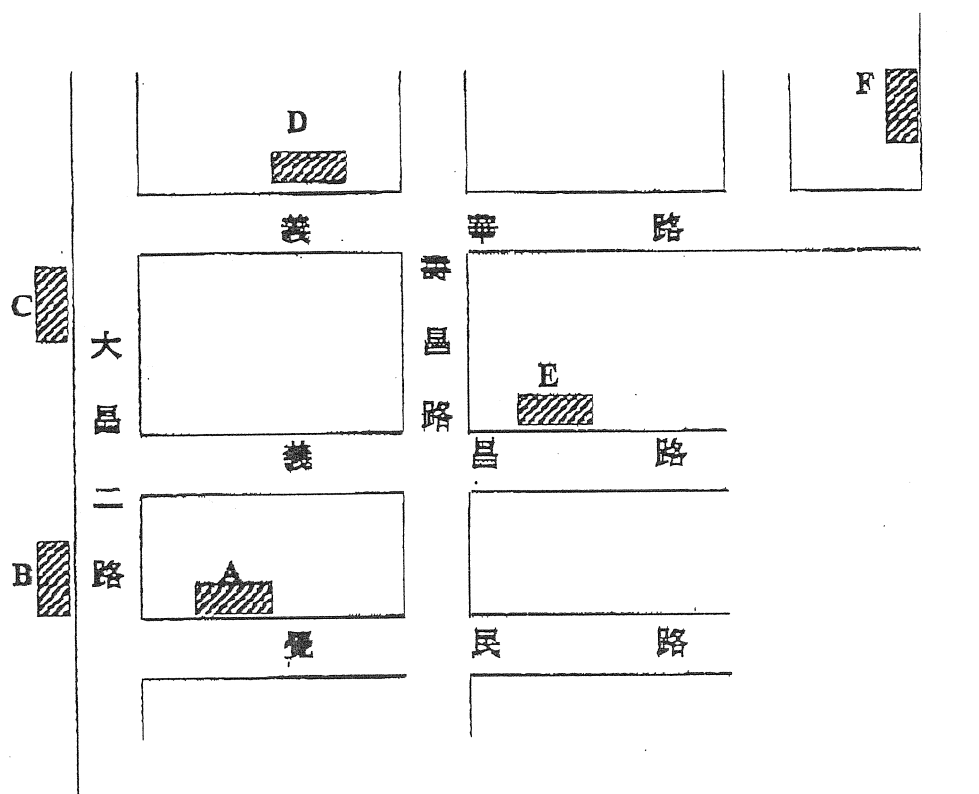
頻譜分析儀在量測前須完成熱機，並進行自我校正程序。

(五) 量測位置：

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087



圖一、量測點位置圖。

表一、行動電話基地台環境電磁輻射量測位置說明

量測位置	量測位置說明
A	中華電信公司長途高雄營運處
B	尖美市(覺民路 496~498 號頂樓)
C	鑽石雙星金星棟(大昌二路 121 號頂樓)
D	登峰造極(義昌路 197 號頂樓)
E	風雲世家(義昌路，頂樓)
F	向陽翠庭大廈(義德路 61 巷，頂樓)

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

於該建物及附近大樓頂樓，如圖一所標示之位置進行量測，共計六個量測位置。

(六) 量測頻率：

執行測試所量測之頻率範圍，乃針對量測位置所在，中華電信的系統工作頻率而定：GSM 系統為 950 MHz 附近頻段；DCS 系統為 1820 MHz 附近頻段；微波系統則包含 3.7~4.2 GHz、5.9~6.5 GHz、10.7~11.7 GHz、17.7~19.7 GHz 及 21.2~23.6 GHz 等頻段。測試時分別量取各系統所涵蓋頻段內的最大信號值，作進一步的電磁場強度計算。

(七) 量測程序：

1. 將接收天線以腳架架設於離地面 1.6 公尺之高度，以信號傳輸線連接天線之信號輸出至頻譜分析儀之信號輸入端。
2. 依圖一所標示之量測點，將天線置於該位置進行信號接收。
3. 由頻譜分析儀上針對天線所接收到前述頻率範圍內之信號強度進行觀察，並取最大值記錄之。若信號強度低於頻譜分析儀之雜訊位準，則記錄雜訊位準，而功率量測值以低於雜訊位準表示，例如，若雜訊位準為 -92 dBm，則功率量測值為 < -92 dBm。
4. 移動天線至下一量測地點，重覆 3. 之步驟，至完成所有量測點為止。

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

(八) 環境電磁場量測結果計算：

1. 以各次所量得之最大信號功率讀值取出作場強度計算。

2. 計算公式：

$$\begin{aligned}\sqrt{\text{電場強度 } E_0 (\text{dB } \mu\text{V/m})} &= \text{接收信號功率強度 (dBm)} \\ &+ 107 \text{ (dB)} \\ &+ \text{天線因子 (dB/m)} \\ &+ \text{電纜損耗 (dB)}\end{aligned}$$

其中 107(dB) 為電壓值(dB μ V) 與功率值 (dBm) 在 50 歐姆
阻抗系統中的轉換係數、天線因子由接收天線之使用手冊中
取得、電纜損耗由量測中心微波實驗室之衰減量測系統對
所使用連接於天線與頻譜分析儀間之信號傳輸線量測而
得。

3. 電磁場強度相關單位之換算方式為：

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

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

$$\begin{aligned}P (\text{mW/cm}^2) &= [E_2 (\text{V/m})]^2 / (10 \times Z_0) \\ &\approx [E_2 (\text{V/m})]^2 / 3770\end{aligned}$$

其中 E_1 為以 $\mu\text{V/m}$ 單位表示的電場強度值； E_2 為以 V/m 單位表示的電場強度值； P 為以 mW/cm^2 單位表示的電

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

磁場功率密度值： Z_0 為自由空間之波阻抗，約等於 377 歐姆。

(九) 參考資料：

1. IEEE C95.1-1991, "IEEE Standard for Safety Level with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz," April 27, 1992.

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

附錄 A：IEEE C95.1-1991 所規範在一般環境所容許的最大電磁場 功率密度值

(IEEE C95.1-1991, "IEEE Standard for Safety Level with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz,")

頻率範圍 (MHz)	電場強度 (V/m)	電磁場功率密度 (mW/cm ²)
0.003 - 0.1	614	100
0.1 - 1.34	614	100
1.34 - 3.0	$823.8/f$	$180/f^2$
3.0 - 30	$823.8/f$	$180/f^2$
30 - 100	27.5	0.2
100 - 300	27.5	0.2
300 - 3000	—	$f/1500$
3000 - 15000	—	$f/1500$
15000 - 300000	—	10

* f 為以 MHz 為單位的頻率值。

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

附錄 B：相關名詞及單位說明

1. 電場強度 (V/m , $\mu V/m$, $dB \mu V/m$)：表示空間中電場向量的大小值。其單位為伏特每公尺 (V/m)。對於較微弱的電場值，常以微伏特每公尺 ($\mu V/m$) 為表示單位。以對數表示時，則常以 $dB \mu V/m$ 為表示單位。

2. 電磁場功率密度 (W/m^2 , mW/cm^2)：於垂直電磁波行進方向的平面上，單位面積上的電磁場功率值。其單位為瓦特每平方公尺 (W/m^2)。對於較微弱的電磁場功率密度，常以毫瓦特每平方公分 (mW/cm^2) 為表示單位。

3. 天線因子：為天線的特性參數之一。表示接收機自天線端點所量測到的電壓值 (單位為伏特, V) 與天線所在位置空間中的電場強度 (單位為伏特每公尺, V/m) 關係。其關係式為：

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

以對數表示時，則為：

$$\text{電場強度}(dBV/m) = \text{天線因子}(dB/m) + \text{電壓值}(dBV)$$

或

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

量測技術發展中心

新竹市光復路二段 321 號

編號：D881087

4. 電纜損耗(dB)：信號在電纜線上傳輸過程中，信號強度的衰減率。

5. IEEE C95.1-1991 標準：為美國電機電子工程師學會 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 所制訂的一份標準規範。標準中對環境電磁場的強度提出一份建議值，以避免環境中過強的電磁場對曝露於其中的人體造成影響。