

電磁脈衝防護作為之探討

海軍中校 華雲貴

提 要：

- 一、電磁脈衝對人體、機具、設備、設施及結構幾乎沒有直接傷害，只對通電系統具嚴重破壞力，它的「人道」特性，已引起先進國家的極大興趣，並認為未來戰爭只要藉電磁脈衝武器摧毀對方C4ISR系統，便可獲致勝利。
- 二、軍事裝備之電磁脈衝防護需結合設施結構之輻射屏蔽防護與接地系統，工程技術高、介面規格要求嚴謹，若不審慎規劃，則需投資可觀費用才可達到目的。
- 三、對於軍事裝備系統電磁脈衝防護作為，在實際作法上，依其侵襲途徑可分為設施結構防護與系統裝備防護等兩大部分；設施結構防護所指的是任何軍事建物、或機動載台之輻射屏蔽工程，防護作為可分為「輻射屏蔽防護」與「接地設計」；系統裝備防護作為可分為「傳導耦合防護」與「系統備援」。

關鍵詞：電磁脈衝防護、高空核爆電磁脈衝、輻射屏蔽防護、突波保護裝置

壹、前言

電磁脈衝的現象，早在1940年代於高空核子試爆時即已被發現，由於電磁脈衝在短時間內，以強大電磁形式，對電子、資訊、纜線等設備，造成熱毀效應，因此美國、蘇聯等國早已進行相關研究，但是大多以核武

對通訊能力影響為主¹，核子武器在地表或近地表引爆後，有85%~90%的能量，係以空氣爆震以及輻射熱之方式向外散發，這是產生電磁脈衝的主要因素。我國早期在對核生化防護研究之同時，也做了相當程度的探討²⁻⁷，雖然針對設施工程防護電磁脈衝之研究文獻尚少，但在國內學術界仍有不少相關

註1：Capt. M. A. King, USA & P. B. Fleming, "An Overview of the Nuclear Weapons on Communications Capabilities", Signal, January, 1980.pp.59-66.

註2：李仲誼，〈高速高動能武器系統－電磁能砲〉，《陸軍學術月刊》，第314期，民國80年10月，頁75。

註3：陳朝鵬，〈核武爆炸的新發現－電磁脈衝及其效應〉，《陸軍核生化防護季刊》，第13期，民國75年，頁42。

材料防護電磁脈衝的研究⁸；美國國防部即曾計畫使用電磁炸彈攻擊伊拉克⁹，其實在「沙漠風暴」的波斯灣戰爭中，多國聯軍已使用吸收電磁脈衝功能之緩衝器，達到防護電磁脈衝干擾的效果。我們亦應同時留意中共對我國電磁脈衝防護的相關情蒐資訊，因「知己」與「知彼」同樣重要。

由於電磁脈衝對人體、機具、設備、設施及結構幾乎沒有直接傷害，只對通電系統具嚴重破壞力，它的「人道」特性，已引起先進國家的極大興趣，並認為未來戰爭只要藉電磁脈衝武器摧毀對方C4ISR系統，便可獲致勝利，軍事設備與設施正逐漸增加其對自動化系統的依賴，因此，自動化的利益，事實上，已經成為一種難以防守的弱點。因此要如何加強整體軍事設備與設施的電磁脈衝防護，實是值得我們重視並深入研究的。

貳、核電磁脈衝威脅評估

一、影響範圍

研判中共在核彈電磁脈衝能力已具備微型核武技術，可研製低當量核彈頭配備於彈道飛彈，若於大氣平流層引爆，將可產生電磁脈衝，大範圍的癱瘓地面通資電系統。2005年美國五角大廈公布的「共軍軍力報告」，特別提到共軍可能對台動用「高空核爆電磁脈衝」，以迴避對台使用核武可能引發

的國際爭議。

核彈核爆時，除了產生輻射塵、熱浪和震波外，會產生 γ 射線撞擊大氣中氣體分子，使得大量的自由電子釋出。這些自由電子受到地球磁場的作用，會進一步產生瞬間超強電磁輻射。此一從核爆到電磁脈衝產生的效應，通常稱為康普吞(Compton)效應。

核子彈頭雖然可以產生高強度的電磁脈衝，但是其前題是要在其主要威力的熱浪、震波和輻射塵不傷人的狀況下使用，才能突顯其效果。如此看來，若要運用核爆來產生電磁脈衝，應該考量的是30公里以上的高空核爆，才不致於傷人。高空核爆的電磁脈衝，又可稱為HEMP (High-altitude EMP)，其影響範圍，可依據下述公式求得：

$$R_T = R_E \cos^{-1} \left(\frac{R_E}{R_E + HOB} \right)$$

其中 R_T 以公里為單位，表示核爆電磁脈衝所影響之地面圓半徑； $R_E=6371$ 公里，表示地球半徑；HOB(Height of Burst)也是以公里為單位，表示高空核爆距離地面之高度。舉例而言，在HOB=40公里高度的高空核爆，會對半徑712公里的圓面積內的地面產生影響。

一顆百萬噸級當量核子彈爆炸後，高空核爆電磁脈衝輻射能量可達到10~18爾格或10~11焦耳。假設40公里高空核爆電磁脈衝

註4：古捷之，〈對核武爆炸產生之電磁波功能效力及房門措施之研究脈衝及其效應〉，《陸軍核生化防護季刊》，第16期，民國76年，頁74。

註5：王池瑞，〈電磁脈衝防護－減緩效應之野戰技術〉，《陸軍核生化防護季刊》，第25期，民國78年，頁17。

註6：蔣永新，〈防護電磁脈衝之塑膠複合材料之研究〉，《陸軍核生化防護季刊》，第43期，民國83年，頁24。

註7：申天明，〈核爆－電磁脈衝防護之探討〉，《陸軍工兵學術季刊》，第112期，民國81年，頁38-47。

註8：李旺秋，〈電磁脈衝彈殺傷力研究〉，中華民國火藥學會90年年會論文集，民國90年11月23日，頁103-112。

註9：〈資訊時代的魔鬼毀滅者－電磁炸彈〉，《尖端科技軍事雜誌》，第219期，民國91年11月，頁40-47。

表一 高空核爆當量大小與電場強度關係

當量 (TNT)		1KT (KV/m)	10KT (KV/m)	100KT (KV/m)	1MT (KV/m)
距離 (km)	電場 強度				
0-10		50	50	50	50
10-20		>20	50	50	50
20-40		>7.7	>24.3	50	50
40-80		>3.9	>12.3	>38.8	50
80-120		>2.0	>6.5	>20.6	50
120-160		>1.3	>3.9	>12.4	>39.2
160-200		>0.8	>2.6	>8.2	>25.9
200-712		0.06	>0.2	>0.7	>2.2

資料來源：中科院蔡德平先生簡報資料

表二 HEMP對通信通道影響評估表

裝備名稱	頻率	評估
地面微波通信	Ku	可通聯，通信不受影響。
衛星電話	Ku	可通聯，通話品質受影響數分鐘至數十分鐘。
地面特高頻通信	UHF	通信阻斷數十秒至數分鐘，通話品質受干擾數分鐘。
地面超高頻通信	VHF	通信阻斷數十分鐘至數小時，通話品質受干擾數小時至數日。
地面高頻通信	HF	通信阻斷數小時至數日。

資料來源：國軍電磁脈衝防護作業指導

為點源(Point Source)輻射，造成地面最大電場強度為50 kV/m，距離爆炸點之電場強度分布如表一。

針對美軍電磁脈衝防護測試規範MIL-STD-188-125規範訂定之威脅強度電場強度50 kV/m評估：1仟噸(kT)級微當量高空核爆之嚴重威脅影響範圍(電場強度>20kV/m)約直徑40公里，約可涵蓋台灣本島主要作戰區內之大部分軍事作戰設施。

二、威脅模式

在高空平流層引爆核彈，將產生兩種電

磁脈衝攻擊威脅模式：

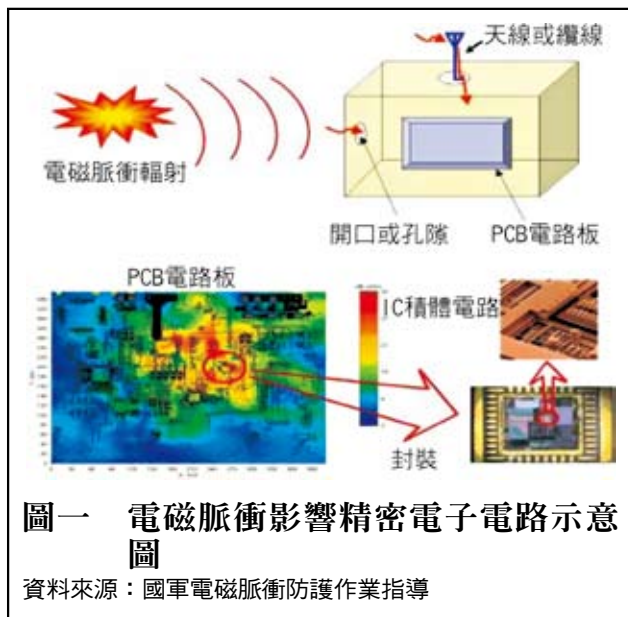
(一) 首先影響電離層及通信通道

高空核爆造成電離層劇烈變化及通信傳播通道離子化窄化，將影響部隊無線電正常通訊。一般而言，頻率越高、波長越短則穿透電離層之能力越好，故其因受電荷密度劇烈變化所產生影響不大。電磁脈衝將使HF頻段全面癱瘓失效，並對VHF頻段造成嚴重影響；對使用於Ku頻段之衛星則影響不大，而下一代Ka頻段衛星可於10-15秒內回復正常通信品質。針對國軍現有通信裝備受高空核爆電磁脈衝之影響評估如表二。

(二) 形成高強度電磁脈衝沖擊地表

核爆產生的伽瑪射線撞擊大氣分子，游離大量高動能的電子，在地球磁場作用下，瞬間產生高強度電磁脈衝，向地表輻射，接觸金屬導體等，所感應之高電壓/大電流，是殺傷電子裝備主要威脅，其侵襲模式分述如後：

1. 高強度電磁脈衝穿透或滲透屏蔽防護不足之建物或陣地，直接照射裝備，感應產生高電壓/大電流侵入內部，干擾或癱瘓積體電路等脆弱性電子元件。電磁脈衝直接照射於用電裝備系統，透過開口、孔隙或天線、線纜，感應產生脈衝電流竄入裝備系統內部，干擾或癱瘓積體電路等電子元件的正常運作。隨著現代高科技的迅速發展，各種先進武器系統的核心，都是精密的電子計算機、半導體積體電路與弱電流控制元件系統，對於周遭環境電磁場、電壓、電流的瞬時變化，極具敏感性與脆弱性；電磁脈衝影響精密電子電路示意圖如圖一。



圖一 電磁脈衝影響精密電子電路示意圖

資料來源：國軍電磁脈衝防護作業指導

表三 EMP損害各類電子元件所需的最低能量

層級	接收能量 (焦耳)	可能損害
1	10^{-7}	高頻微波二極體燒毀。
2	10^{-6}	類比IC或線性積體電路失效或燒毀。
3	10^{-5}	低功率電晶體失效或燒毀。
4	10^{-4}	數位IC、CMOS積體電路、中功率電晶體、二極體、電容器失效或燒毀。
5	10^{-3}	JFET、SRC高功率電晶體及薄膜電阻失效或燒毀。
6	1	真空管燒毀。

資料來源：中科院蔡德平先生簡報資料

電磁脈衝攻擊下，一但電磁脈衝進入用電系統，就會有脈衝電壓或是電流傳導在電路上，可能使一些電路元件損壞，亦可能使電路工作狀態發生錯亂。造成系統失效或損毀，分析各類電子元件損壞所需的最低能量層級如表三。

2. 高強度電磁脈衝將直接對暴露在建物或陣地之外電力線、天線、通信導線等導體

表四 HEMP對金屬導體之感應電流強度

類別	脈衝上升時間 (微秒)	感應電壓 (伏特)	感應電流 (安培)
架空長電力線、大型天線	0.01-0.1	100K-5M	100K-5M
室內電話線	0.01-1	100-10K	1-100
室內電力線	0.1-10	1K-50K	10-100
HF天線	0.01-0.1	10K-1M	500-100K
VHF天線	0.001-0.01	1K-100K	100-1
UHF天線	0.001-0.01	100-10K	10-100
電磁屏蔽隔離線	1-100	1-100	0.1-50

資料來源：中科院陳文禮先生簡報資料

，感應產生高電壓／大電流，若無突波保護裝置，將侵入破壞系統裝備。

對長導線耦合感應電流：電磁脈衝對於暴露外界之架空電力線、大型天線、通信導線，耦合感應能量強大之脈衝電流，破壞用電裝備系統。由於脈衝上升時間極快(奈秒等級)，而傳統避雷保護器(微秒等級)，無法有效迅速反應，啟動保護，產生突波大電流，造成系統不穩定而全面癱瘓。定義高空核爆電磁脈衝對金屬導體之感應電流強度如表四¹⁰。

參、電磁脈衝防護原則

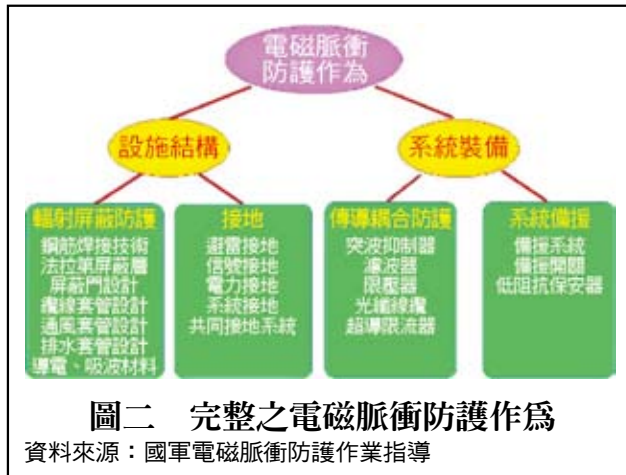
一、基本原則

電磁脈衝對於一個用電系統會有三種可能入侵途徑：

(一)經由天線或類似天線的金屬突出結構、微波電纜、電力線、電話線及金屬管路等，將脈衝能量導入用電系統。

(二)脈衝能量直接由設施的開孔，如門

註10：“Electromagnetic Pulse and the Radio Amateur”，Part 1, ARRL, 1986.



窗、接縫、通氣孔及各種水電連接配孔等，進入用電系統。

(三)在系統金屬表面，由脈衝低頻磁場分量產生感應電流，滲入到內部電路。

基本上，電磁脈衝防護工程是要以分層防護和因地制宜的方式進行。分層次的防護原則為：

(一)設法使電磁脈衝能量儘量不要進入用電系統。

(二)設法使進入系統的電磁脈衝能量，不會傳到機敏裝備的敏感元件上。

(三)使用適當的電子元件和電路設計，藉以增加系統的電磁脈衝耐受度(Susceptibility)。

除了上述的防護原則，對於軍事裝備系統電磁脈衝防護作為，在實際作法上，依其侵襲途徑可分為設施結構防護與系統裝備防護等兩大部分；其中，設施結構防護所指的是任何軍事建物、或者機動載台之輻射屏蔽工程，防護作為可分為：「輻射屏蔽防護」與「接地設計」。而設施結構內所置放之系統裝備，防護作為可分為：「傳導耦合防護

」與「系統備援」，如圖二所示。

接地是將建築物內之用電裝備與裝置連接至大地，這種與大地相接的目的，是要建立一條低阻抗的路徑。無論屏蔽、箝壓等電磁脈衝防護手段，或自然界雷擊電磁脈衝防護，皆需藉由良好之接地系統，以排放有害之突波電流。

屏蔽之物理機制，主要為將有害電磁波反射出去。至於穿透屏蔽之電磁波，少部分進入防護區域、而另一部分則為屏蔽層所吸收，並以突波電流之型式、沿著屏蔽層表面流動；同時屏蔽層表面流動之突波電流須經由接地系統而排放，屏蔽層是針對高空核爆電磁脈衝之輻射侵襲途徑而進行之有效防護手段。

至於高空核爆電磁脈衝藉由纜線、天線之傳導耦合入侵路徑，則可藉由裝設適當之箝壓模組，進行有效防護，且必須與屏蔽工程相互整合。箝壓保護模組之物理機制，主要為將纜線或天線所感應之有害突波電流，經由接地系統而排放，詳如圖三所示。

為使設施內的系統裝備在電磁脈衝之侵襲下仍可安然運作，通常在設施內之機敏裝備集中區，在成本考量下，儘可能建立二次屏蔽防護層，內含金屬屏蔽牆面、電磁脈衝防護隔離門與窗、接頭面板、箝壓濾波模組、導波管等防護組件，以衰減直接照射之電磁脈衝能量，如圖四所示。

固定軍事設施(包括：指揮所、通資機房等)電磁脈衝防護需結合設施結構之輻射屏蔽防護與接地系統，工程技術高、介面規格要求嚴謹，若不審慎規劃，則需投資可觀

費用才可達到目的。因此，考量需求、成本、風險及時程等因素，建議宜採逐步達成方式進行，說明如下：

(一) 基礎防護：進行建物基礎之結構工程，提供電磁脈衝良好之法拉第籠屏蔽效應(如鋼筋或鋼構之搭接需符合電性連續)；以及接地工程，提供良好之接地系統，除防雷之外亦可強化電磁脈衝防護能力。此級為針對屏蔽物穿透予以強化，為最重要基礎必須之工程。

(二) 初級防護：除基礎防護外，此級為針對架空電力線、電信線等長導線，以及大型天線之電磁脈衝突波保護予以強化。具體作法為改善各電子裝備系統部署，盡量將機敏作業區規劃置於地下樓層、建築物中央區域，減少進出通道、門窗及開口；同時針對電力、信號、通信線、大型天線等加裝初級長導線突波抑制器，以防止電磁脈衝經由傳導耦合路徑竄入裝備系統。

(三) 進階防護：除初級防護外，建立建構二次電磁脈衝輻射屏蔽防護層，並在門窗、通風氣孔、纜線出入口與其他孔洞等，加裝各類防護套管/套件，以及裝備天線、電力、信號、通信線等進入口加裝第二級突波保護裝置(或濾波器)，建立高空核爆電磁脈衝防護能力。

(四) 特殊防護：除進階防護外，針對敏感裝備再加裝次級防護之箝壓器、濾波器等保護元件。除可抵擋高空核爆電磁脈衝攻擊，並滿足使用者特殊之電磁防護需求。

二、精進作法

(一) 積極防護作為：建立完善電磁脈衝防護能力。

1. 固定設施：重新規劃設計等電位接地系統，及精進避雷系統。改用光纖線路，纜線貼地，纜線埋入線溝／導線架，同時加蓋。機敏區建構電磁脈衝屏蔽防護隔離室。

2. 機動載具：改善強化機動車廂、通風口、孔洞、門之電磁脈衝防護能力。建立符合規格要求之接地系統。

3. 通資裝備：依不同防護等級，逐級加裝突波保護器、濾波器。進行面板、鍵盤、孔洞補強，改善電磁脈衝防護能力。

4. 電力系統：逐級加裝突波保護器、濾波器，並建立完善電力備援系統。

5. 備援系統：現代化通資裝設備進屏蔽室、防護箱尋求掩蔽。

(二) 消極應變作為：其防護概念為減少開口、縮小面積、尋求掩蔽、纜線貼地。

1. 固定設施：為門窗緊閉、孔洞加蓋、纜線貼地、接頭緊鎖，確保接地系統功能妥善。

2. 機動載具：機動車廂門緊閉、孔洞加蓋、纜線貼地、接頭緊鎖，確保接地系統功能妥善。

3. 通資裝備：盡量將裝備纜線貼地，纜線埋入線溝／導線架，同時加蓋。

4. 備援系統：裝備關機，纜線解連，纜線無法解連者，捲繞貼近裝備¹¹。

肆、電磁脈衝防護作法

註11：「國軍電磁脈衝防護作業指導」，民國96年2月7日。

一、機敏裝備隔離防護

任何一個用電系統，都可能是由數個獨立裝備組合而成。這些裝備的功能可包括：

- (一)發電及電力輸配。
- (二)資料偵蒐與通訊。
- (三)自動資料處理。
- (四)指揮與控制。
- (五)其他因任務需要而特定之功能。

上述任一裝備，若為機敏裝備，則在電磁脈衝侵襲期間或是侵襲過後，都必須保持正常運作。因此，各自加裝電磁屏蔽和銜接口保護裝置，是不可或缺的防護措施。在技術上，這些防護措施必須要達成下述各目的：

(一)除非會影響正常功能，否則每一個機敏裝備都該以電磁屏蔽和銜接口保護裝置做好電磁阻隔設施。

(二)所加裝的電磁屏蔽和銜接口保護裝置，必須要合乎本規範的性能要求。

(三)儘量減少屏蔽層開口，進而減少所使用之銜接口保護裝置的數量。

(四)人員進出口和管線進出口，要儘量分開。

(五)儘量減少使用特定防護措施。

(六)妥為應用接收測試和驗證測試。

(七)儘量減少防護措施對於維修與監護的依賴。

對於任何一個裝備，除了高架天線外，其他的通風、水電等管線，依規定都要集中在一個共同銜接口區域。因此，執行防護工程設計時，對於人員於平時和緊急狀況的進出方式、內部設備是否方便拆裝、以及通風是否適當等問題，都需要整體考量。所謂場

內纜線，是指機動或固定設施內，各裝備之間的各式連接電纜。每一個纜線的長度應該小於200m，且要遵守下列各規定：

(一)纜線要儘量貼地佈放，最好是埋入地下，最高不可高出地面10cm以上。

(二)若佈放纜線時，超出地面10cm以上之情況無法避免時，則其縱剖面的總面積不可大於30m²，且最大高度要小於7m。

(三)場內纜線不可用來連接高度大於7m以上的裝備或是結構(例如：高架之射頻無線天線)。

當機敏裝備是座落於電磁屏蔽層外部時，就應對機敏裝備實行特殊的防護措施。特殊保護措施的功能，在於使設備當遭受電磁脈衝襲擊時，所承受的時域脈衝電流峰值仍能小於設備的耐受規格。譬如說，射頻天線及任何與之相關之電子設備、調變電路、及裸露在電磁屏蔽層外的天線傳輸纜線等，通常都被視為座落於屏蔽層外的機敏裝備。這些機敏裝備的特殊防護措施包括如下：

(一)將纜線、管套及局部性的空間加以屏蔽。

(二)加裝線性及非線性暫態抑制裝置。

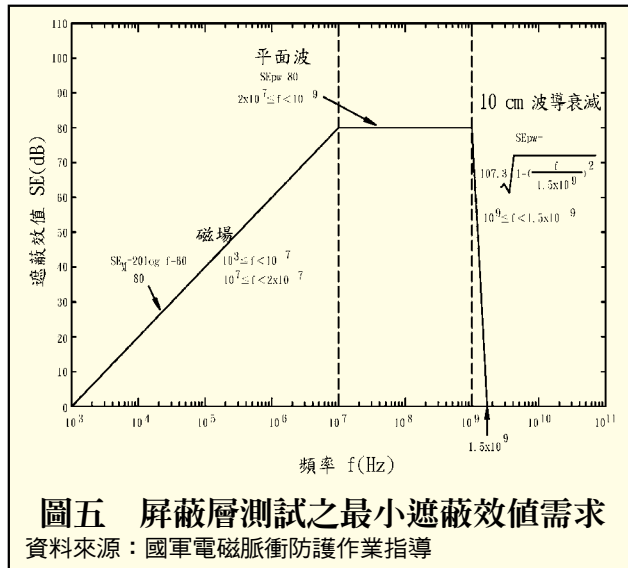
(三)提升設備對電磁脈衝強化的等級(如：降低耦合截面積、信號及電力線採用更佳的絕緣方式，使用耐受度更高的元件等)。

(四)將敏感性電路遷移至電磁脈衝阻隔設施內。

(五)在任務工作許可下，將機敏裝備裝設有可自動回復以及操作者可中斷的功能。

(六)其他適當的防護措施。

二、屏蔽層建立



建立屏蔽層是要針對電磁脈衝的頻譜做好適當的電磁能量阻隔：

(一)使艙間做好具有法拉第籠(Faraday's Cage)效應的鋼筋、導體接合(Bonding)設計與施工，然後適當的接地。

(二)根據導波衰減效應做好箱櫃機匣的孔洞、縫隙處理。

(三)將電力和電訊纜線地下化或是套上金屬護管後適當的接地。

圖五是MIL-STD-188-125對於屏蔽層測試之最小遮蔽效值需求。此一最小需求是針對HEMP能量頻譜而訂定。它將測試頻譜分為三段，也就是頻率在1kHz到20MHz的低頻區、20MHz到1GHz的中頻區、和1-1.5GHz的高頻區。

以軍事作戰系統而言，基本上可分為機動載具和固定設施兩類。就機動載具而言，最外層屏蔽可能就是一個封閉的金屬殼，因此其屏蔽效應，一般而言是非常優良，只是需要特別注意孔洞防護。否則，會因為不小

心的電磁脈衝漏洞，而造成屏蔽的失效，損及內部的電子裝備。固定設施的最外層屏蔽，通常是以鋼筋混凝土、磚石或是自然覆土構成，幸運的是，土石和鋼筋兩者的電磁脈衝屏蔽效應，在頻段上有互補的功效。

三、孔洞防護

人員或裝備進出、各種通風以及用水管道或是電力與電訊纜線的連接，皆需要在屏蔽層開挖孔洞，因此在這些孔洞附近需做適當的處理，以達到電磁脈衝的防護效益。

(一)人員或裝備進出口

為了電磁脈衝的防護需求，在不違反美國防火安全協會之人員安全逃生法規前提下，門是愈少愈好：

1. 人員進出口，不論為玄關式或通道式之架構，最好均有兩扇互呈90度且接縫處有電磁密閉設計之屏蔽大門，以達到最佳遮蔽效應。

2. 門的尺寸若大於2.44m，則其遮蔽效值要完全合乎圖五之各頻段最小需求。若小於2.44m，則只要符合圖五之中頻區最小需求即可。

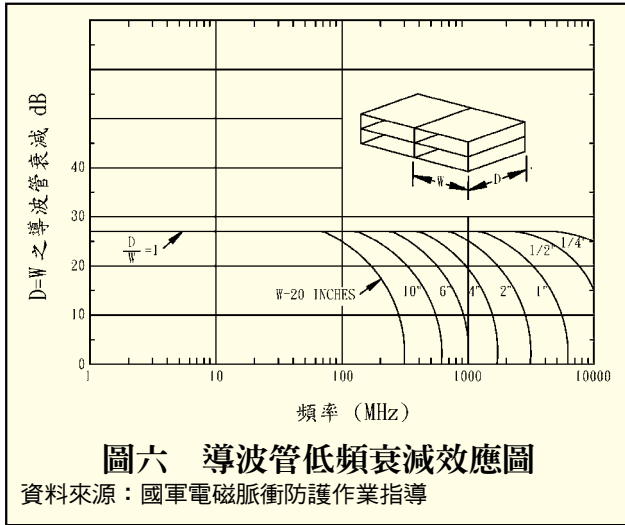
3. 若採通道式進出口設計，通道長至少為門對角尺寸的五倍。

4. 通道內最好沒有纜線架設；如果不可避免，則需要外套以金屬管，而金屬管要和通道屏蔽層作好固定與接合。

5. 兩扇密閉大門的開關，最好要有互鎖控制，也就是同一時間只有一道門會開啟。

(二)通風與用水管道

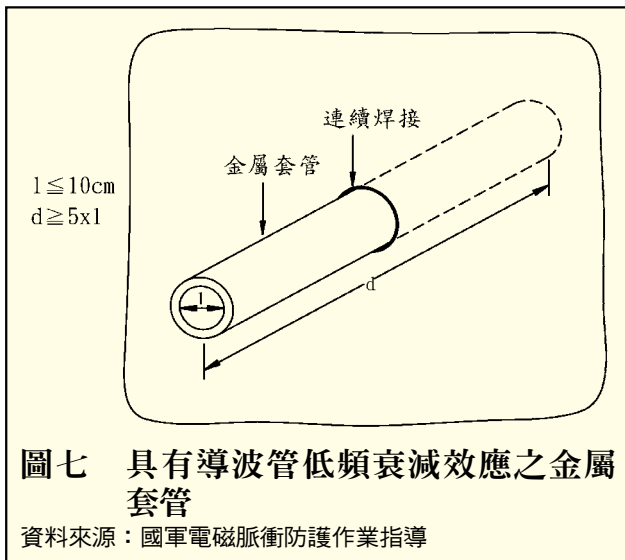
通風與用水管道的電磁脈衝防護，運用電磁學的導波管低頻衰減(Waveguide-



表五 導波管低頻衰減效應表

衰減特性 導波管形狀	截止頻率 f_c (MHz)	衰減量 (dB)
圓形導波管	$\frac{175.77}{l}$	$32 \frac{d}{l}$
蜂巢形導波管	$\frac{159.85}{l}$	$30 \frac{d}{l}$
矩形導波管	$\frac{149.86}{l}$	$27.3 \frac{d}{l}$

資料來源：國軍電磁脈衝防護作業指導



Below-Cutoff，縮稱WBC)效應。根據導波理論，任何管道如果視為導波管，則對於頻率小於截止頻率 f_c 的電磁波，均有如圖六之衰減效應。在估算衰減量時，可參考表五。其中 l 是以 m 為單位之導波管截面管徑；對於圓形而言， l 表示直徑；對於蜂巢形而言， l 表示對角邊；對於矩形而言， l 表示較長邊。此外， d 表示以 m 為單位之導波管長度。由表五可知，要滿足圖五所示之截止頻率 $f_c=1.5\text{GHz}$ ，則 l 要小於 10cm 。為了同時滿足圖五高頻區所示之遮蔽效值需求，導波管長度 d 的設計準則是 $d \geq 5l$ ，如圖七所示。

通風和用水的管道，運用導波管低頻衰減效應原則：

1. 管徑小於 10cm 者，管長 d 的設計準則是 $d \geq 5l$ 。

2. 管徑大於 10cm 者，可將之細分為管徑小於 10cm 之多孔網狀結構，每一細管長度 d 的設計準則仍是 $d \geq 5l$ 。

3. 若管徑大於 10cm 者無法將之細分為管徑小於 10cm 之多孔網狀結構，則每一管長度 d 的設計準則是 $d \geq 10l$ 。

4. 穿入建物屏蔽層的通風管數不得超過10支，用水管數不得超過20支。

5. 非金屬管在穿牆管長 d 的這一段要改為金屬管。金屬管四周與一 $1/4$ 吋厚金屬界面面板緊密焊接後，界面面板再與屏蔽層緊密焊接，而此金屬界面面板的邊緣距離管線外緣至少1吋。

6. 金屬管四周與一 $1/4$ 吋厚金屬界面面板緊密焊接後，界面面板再與屏蔽層緊密焊接，而此金屬界面面板的邊緣距離管線外緣至少1

吋，如圖八、九、十。

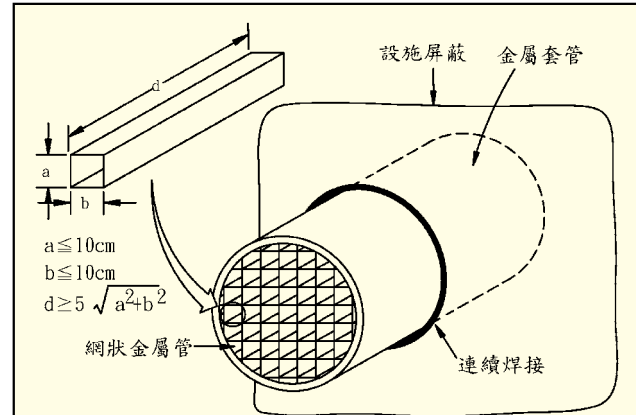
為了提供人員適當且充分的空氣與用水量，致使通風與用水管道之設計尺寸違反了前述的設計準則時，則在設施之電磁屏蔽層內，就通風與用水管路，需要額外的建立特殊保護措施。以一個自備發電機設施為例，這時要將設施內之通風與用水管路，從主屏蔽層到機台，沿著管路以金屬屏蔽將其完全的包覆起來，形成了一個自我封閉的屏蔽層。其屏蔽效值需求，必須滿足如圖五所示之最小規格。

(三) 電力與電訊纜線

電磁脈衝防護的主要對象，既然是各種電力或是電子裝備。因此，會牽涉到許多電力線、通訊線、和控制訊號線的線路防護。除了通訊線和控制訊號線儘量使用光纖線路外，這些線路的防護一方面可由外加套管或是埋入地下來提供遮蔽效果，另方面則依靠突波吸收器和濾波器的妥善設計以改善面對電磁脈衝時的暫態響應。電力的供應，若是外接市電，則最多只允許兩條纜線管路穿入屏蔽層，而且每條管路在穿入前至少16m要埋入地下。除了市電，也要考慮自備發電機的可行性。

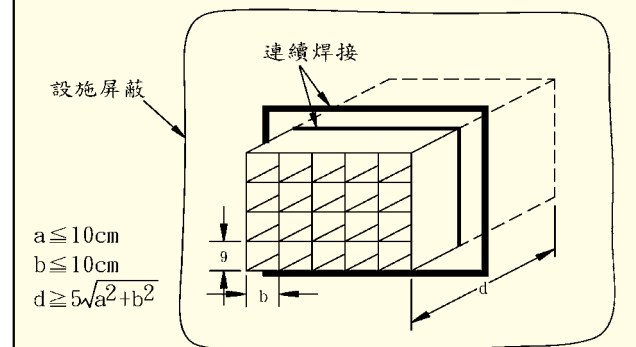
通訊線和控制訊號線儘量使用光纖線路，是電磁脈衝防護的最有效方法。這是因為資訊以光傳輸的頻率，比可能造成傷害的電磁脈衝頻譜高許多，不會受到影響。光纖線路在穿入屏蔽層時，適當設計套管與界面板即可。

無法以光纖取代的金屬導線，應該優先考量外加金屬套管，以增加電磁脈波屏蔽



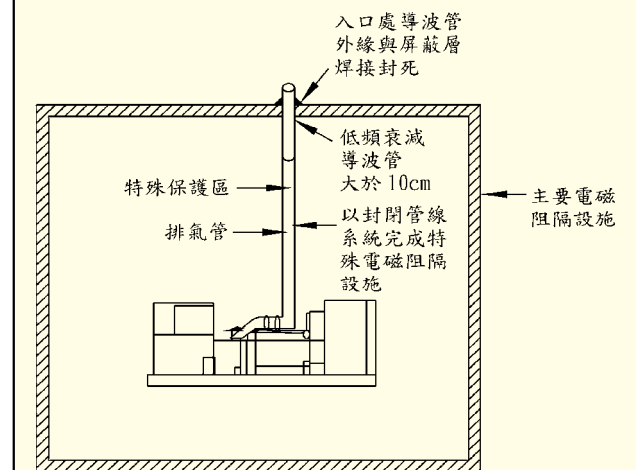
圖八 圓柱型多孔網狀金屬套管

資料來源：長庚大學張連璧教授於簡報資料



圖九 方柱型多孔網狀金屬套管

資料來源：長庚大學張連璧教授於簡報資料



圖十 管路進入口的特殊保護區

資料來源：國軍電磁脈衝防護作業指導

表六 不同口徑套管之允許長度(m)

套管 外徑 (OD)	導線 類別	訊號線或小 電流電力線		中電流 電力線		大電流 電力線	
		地面 下	地面 上	地面 下	地面 上	地面 下	地面 上
5cm≤ OD<10cm		37	6	200	60	200	200
10cm≤ OD<15cm		75	12	600	120	600	600
15cm≤OD		112	18	1120	180	1200	1200

資料來源：國軍電磁脈衝防護作業指導

。導線可能多根集成一股，套入一根導管內。

。根據MIL-STD-188-125的區分，其中只要有一條是通訊或是控制用之訊號傳輸線，該股導線就歸類為訊號線。若導線均為電力傳輸線，則可依據流經該股導線中，電流額定值最小導線的電流大小，再區分為小電流(<1A)、中電流(1-10A)、大電流(>10A)電力線。再來決定連接兩獨立屏蔽區之間，不同外徑套管的電纜線，其長度是否可允許不加裝突波吸收器和濾波器。超過一定長度，則突波吸收器和濾波器勢不可免。即使在允許長度內，套管、界面板、和屏蔽層之間的焊接也要緊密。再者，表六中的導線屬地面上和地面下的區分，在於導線全長度中，是否累計有1m以上裸露在土表外。若有則屬地面上導線，反之則屬地面下導線。

當套管長度超過表六所允許的值，或是根本沒有金屬套管的導線，例如：架空導線在重量限制下不能加金屬套管，則突波吸收器和濾波器的搭配使用益發重要。突波吸收器是一種暫態導通開關，可瞬間將大量的電磁脈衝能量，經由接地而疏導到大地，避免

傷害用電設施。濾波器則可濾除無用的頻譜能量，達到電路正常工作之保護目的。突波吸收器有許多類型，必須根據實務，妥為選用。濾波器固然是常用的電磁脈衝防護器材，只是在使用時一定會搭配有突波吸收器，以避免導線上過量的暫態電壓或是電流，會傷及濾波器。

當主屏蔽層之電纜線入口保護裝置，未能達到設施內某些機敏裝備之防護規格時，就應將這些機敏裝備所在的位置劃定為特殊保護區，額外加設保護措施。額外的保護措施除了將電線及設備以金屬屏蔽完全包覆外，同時應於特殊保護區之入口及出口處，分別設置一次保護裝置及二次保護裝置，以期能完全抑制電磁脈衝，滿足系統之功能需求。額外防護屏蔽除了是用於纜線或設備之屏蔽外，也可能是另一獨立的屏蔽層。特殊防護屏蔽之屏蔽效值，至少須滿足如圖五所示之最小規格¹²。

伍、結語

中共近年來不斷提升科研能力並致力於軍武應用，特別是電磁脈衝已獲突破性的發展，對我指管、重要設施將構成威脅。各單位於新建案時，應依作戰需求將電磁脈衝威脅納入防護考量，並提供防護技術中之屏蔽層建立、孔洞防護、機敏裝備之隔離防護與接地技術等做重點式之記要，以及電磁脈衝防護工程維護要領，以便建立各種備援接替手段及啟用優先順序。國軍對軍用元件或資訊通訊的電磁脈衝防護雖已有所初步研究，

註12：張連璧，《電磁脈衝學與電磁屏蔽》，五南出版社，民國97年2月。

但就整體屏蔽防護而言，軍事設施與C4ISR等系統之電磁脈衝防護，應在同一預期目標下規劃設計，方能收到相輔相成以及發揮成本效益之功能。就概念而言，電磁脈衝防護技術是以分層防護和因地制宜的方式，結合屏蔽技術、接地技術和導線濾波及突波吸收技術。就工程實務而言，電磁脈衝防護技術的落實，需要建立完整的設計手冊和量測規範。

未來作戰形態，將是一場高科技戰爭。其中電磁脈衝將對武器平台、通信、指管、電腦、雷達、控制等相關設備產生軟、硬殺效應，致使指管通情控制任務無法有效遂行。目前國軍電磁脈衝防護能量有限，為提升防護及改良傳統武器具備電磁脈衝攻擊效應之能力，以爭取作戰效果，進而獲取戰場優勢，應及早因應加速發展，以期建立嚇阻武力及在遭受電磁脈衝攻擊後仍能維持武器、C4ISR等裝備系統之正常運作。

＜參考資料＞

1. Capt. M. A. King, USA & P. B. Fleming, "An Overview of the Nuclear Weapons on Communications Capabilities", Signal, pp. 59-66, January, 1980.

2. 李仲誼，＜高速高動能武器系統－電磁能砲＞，《陸軍學術月刊》，第314期，民國80年10月，頁75。

3. 陳朝鵬，＜核武爆炸的新發現－電磁脈衝及其效應＞，《陸軍核生化防護季刊》，第13期，民國75年，頁42。

4. 古捷之，＜對核武爆炸產生之電磁波功能效力及房門措施之研究脈衝及其效應＞，《陸軍核生化防護季刊》，第16期，民國76年，頁74。

5. 王池瑞，＜電磁脈衝防護－減緩效應之野戰技術＞，《陸軍核生化防護季刊》，第25期，民國78年，頁17。

6. 蔣永新，＜防護電磁脈衝之塑膠複合材料之研究＞，《陸軍核生化防護季刊》，第43期，民國83年，頁24。

7. 申天明，＜核爆－電磁脈衝防護之探討＞，《陸軍工兵學術季刊》，第112期，民國81年，頁38-47。

8. 李旺秋，＜電磁脈衝彈殺傷力研究＞，《中華民國火藥學會90年年會論文集》，民國90年11月23日，頁103-112。

9. ＜資訊時代的魔鬼毀滅者－電磁炸彈＞，《尖端科技軍事雜誌社》，第219期，民國91年11月，頁40-47。

10. "Electromagnetic Pulse and the Radio Amateur", Part 1, ARRL, 1986.

11. 《國軍電磁脈衝防護作業指導》，民國96年2月7日。

12. 張連璧，《電磁脈衝學與電磁屏蔽》，五南出版社，民國97年2月。

作者簡介：

華雲貴中校，中正理工學院78年班，中正理工學院電子工程碩士，中山大學電子工程博士班研究生，現服務於海軍造船發展中心。



老軍艦的故事

壽山軍艦 PF-836

壽山軍艦原為美海軍KLIEN號，編號APD-120，由美國麻州伯利恆造船廠建造，1944年10月18日成軍服役。

民國55年美國依據軍援政策將該艦售予我國，於同年6月7日拖抵左營港，6月14日由總司令馮啟聰中將主持升旗典禮，命名為「青山軍艦」，隸驅逐艦隊。當年10月31日，為恭祝先總統 蔣公八秩華誕，更名為壽山軍艦。

壽山軍艦成軍後，主要執行海峽偵巡及外島運補護航，民國57年曾納編敦睦遠航支隊，前往關島、中途島、夏威夷及沖繩等地訪問，於民國86年3月16日功成除役。

(取材自老軍艦的故事)



廬山軍艦 PF-836

廬山軍艦原為美海軍BULL號，編號APD-78，由美國丹佛造船廠建造，1943年8月12日成軍服役。

民國55年美國依據軍援政策將該艦售予我國，於同年12月19日拖抵左營港，12月22日由總司令馮啟聰中將主持升旗典禮，命名為「廬山軍艦」，隸屬驅逐艦隊。

廬山軍艦成軍後，主要執行海峽偵巡及外島運補護航，民國57年曾與壽山軍艦納編敦睦遠航支隊，前往關島、中途島、夏威夷及沖繩等地訪問，於民國84年10月1日功成除役。

(取材自老軍艦的故事)

