

可靠度技術手冊

靜電放電環境防護設計技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十二月十二日

靜電放電環境防護設計技術

目 錄

1 前言	1
2 靜電放電來源	1
3 靜電放電的效應	3
4 靜電放電防護技術	4
4.1 靜電放電防護基本要素	5
4.2 抗靜電包裝與搬運材料	5
4.3 泡沫與墊片	7
4.4 腕帶	7
5 靜電放電防護指引與檢核表	8
5.1 一般性靜電放電防護原則	9
5.2 採購	9
5.3 接收與倉儲	11
5.4 備料與發料	11
5.5 工作區的準備	12
5.6 設備的準備	13
5.7 人員的準備	13
5.8 產品裝配	13
5.9 產品測試	14
5.10 產品包裝	14
5.11 靜電放電防護材料和設備的測試	14

靜電放電環境防護設計技術

1 前言

當發生靜電放電時，它是由一個導體跳過絕緣體或空間移轉到另一個導體。實務上，此瞬間火花的快速微小閃電通常是看不到、感覺不到和聽不到的，直到放電電壓高達 3,500 伏特時才感覺得到。例如當一個人走過一段地毯之後，其手指接觸到金屬製門把時便會感覺到。

但是，這種極為快速的放電在彼此握手、接觸一支湯匙、或印刷電路板上的焊點或零件的接腳便會發生，而導致潛在的重大損害。最近電子及國防工業界已認同，未做好接地準備的手指可以在十億分之一秒內燒壞一個精密的微電子電路，或使其品質劣化而有潛在的失效。這些劣化的零件可以通過廠內的所有驗收測試作業，但卻會在售後交給顧客使用一段或長或短的時間之後失效。這種難解的失效如果是發生在一般的商業性裝備，尚可花費相當的代價加以修理；但是如果發生在太空梭、飛彈發射系統、飛機、輪船上的話，其嚴重後果便不堪設想了。

以一小型霓虹燈為例，靜電放電會使它產生可見的暗淡光。一個人在進行正常動作時可產生90伏特的放電電壓，假如這個人一手接觸霓虹燈，另一手接觸到另外一個導體，例如另外一個人、碳膜或金屬等，將會產生一瞬間閃光，此一可見的快速放電火花通常是無感覺的，但已經足以破壞或劣化微電子電路了。簡單的說，一個會使霓虹燈產生短暫閃光的靜電放電，可能在無聲、無影、無知覺的情況下摧毀一個極為種要的電子零件。

1968 年人們首先利用霓虹燈證明，只具備一般絕緣功能的塑膠袋或其他普通的塑膠容器很容易破壞裝在裡面的零件。由經驗的累積我們也知道，一個裝在塑膠袋內的精密電阻器，因為袋壁感應的電荷會傳導到電阻器的導線，因而使電阻值產生變化。另外一個實驗是將霓虹燈和分散的導線放在同一個塑膠袋內，然後在救生衣或後運動衫上磨擦之後再搓揉塑膠袋內的霓虹燈，結果發現它會發出一閃一閃的暗淡光。由此可知，使用普通塑膠材料包裝對靜電敏感的零件和組件，或是在生產線上使用這些塑膠材料，其破壞性是可想而知的。

2 靜電放電來源

不同的材料有不同的靜電電位，表 1 說明各種材料由正到負按靜電電位排列的關係。當兩個靜電電位不同的導電體之間發生互相磨擦、發生直接接觸的動作時，或因靜電場的感應，電子會從一個原子遷移至另一個原子，累積的靜電電荷從一個高靜電荷集中區流向另一個相反極向的電荷集中區或低電荷集中區，特別是地面，因而破壞了原有的平衡狀態，導致物體間電荷的移動產生電流稱為靜電放電(electrostatic discharge, ESD)。通常，放電是電荷迅速流動，因而產生火花，因而消耗電量減少電荷集中。在靜電放電過程中，電荷的迅速流動會引起很大的瞬間電流，因而產生強烈的電場和電磁輻射，當放電通過或接近電子零件時，會損毀電子零件。

由此可知，要產生靜電放電，首先必須先形成一電荷，而電荷的產生是由於不同靜電電位材料的表面分離而起，例如鞋子離開地毯、或打開塑膠包裝袋等。在一般工作場所，到處都有靜電源，這些靜電源可歸納為材料、人員及環境三大類。在材料方面包括：原材料、生產輔助物料、包裝材料或搬運材料(例如普通的塑膠製袋子、紙張或封皮；普通的氣泡套；普通的塑膠製盤、籃、瓶或置物盒)；在人員方面包括：身體、衣服(例如普通的潔淨室罩衣、普通人工製造的個人衣服、非傳導鞋、純棉質衣服)、動作或作業程序；在環境方面包括：地板(例如封蠟的混凝土、塗蠟的木材、普通的維尼龍磁磚或平板)、工作檯面及座椅(例如塗蠟、塗漆或凡立水處理的表面；普通維尼龍或塑膠、亮面木材、玻璃纖維)、主要作業設備(例如噴洗清潔機、普通的塑膠製吸錫工具、烙鐵頭未接地的電烙鐵、人造毛製溶劑刷子、液體或蒸氣清洗或乾燥、烤箱、低溫噴洗、發熱槍或吹風機、噴砂)、潔淨室(例如牆壁、天花板、光源固定器、通風架)等。

表 1: 靜電電位表

正(+)	空氣
	手
	石綿
	兔毛
	玻璃
	雲母
	頭髮
	尼龍
	羊毛
	毛皮
	鉛
	絲
	棉紗
	鋼
	木材
	琥珀
	封蠟
	硬橡皮
	鎳、銅
	黃銅、銀
	金、鉑
	硫
	醋酸纖維
	聚酯
	賽璐珞
	奧龍
	聚亞胺脂
	聚乙烯
	聚丙烯
	PVC
	凱爾F
	矽
負(-)	特氟龍

有了靜電來源之後，靜電放電產生的另一個要素就是要有移動的活動或動作，如此才會使任何一靜電來源轉換為之一實際的靜電產生器。各種產生靜電方式所產生的靜電量大小與材料、分離速度及濕度有關。一般而言，分離速度越快、靜電量越大；濕度越高、靜電量越低。常見的靜電產生方式及產生之靜電電壓如表 2 所示。

表 2: 各種靜電產生方式及靜電電壓值

靜電產生方式	靜電 電壓(V)	
	10 - 20%RH	65 - 90%RH
1. 走過地毯	35,000	1,500
2. 走過維尼龍製地板	12,000	250
3. 工作檯面上的作業員	6,000	100
4. 工作說明書的維尼龍封套	7,000	600
5. 從工作檯面上取塑膠袋	20,000	1,200
6. 工作椅墊上聚氨基甲酸乙脂泡沫塑料	18,000	1,500

3 靜電放電的效應

由於人體的接觸或是使用塑膠製品所產生的靜電，可能會損害電子裝備，進而使飛機、戰艦、發射控制系統或電子反制裝備無法作用。因此，靜電對於精密的微電子零件和組件所造成的損害，已成為今日工業界所面臨最嚴重的可靠性問題之一。靜電放電的影響範圍非常廣，例如電腦、電信設備、電視、、等，幾乎涵蓋了日常生活中的所有電子裝備。由於人們對於電腦的需求日益增加，而電腦又含有更複雜及更敏感的微電子零件，因此即使是一點點最簡單的靜電，也容易使整個複雜的系統受到損害。

靜電放電所產生的一點微小閃光，打在半導體的微小氧化閘極上，馬上就會使此一半導體立刻失效或使它的功能劣化，造成使用時的提早失效，即使是在廠內測試時良好的產品，也會發生這種現象。西諺說：「因為缺少一根釘子而失去一雙鞋子，因為缺少一雙鞋子而失去了一匹馬，最後在戰爭中失敗」。由於在飛機上或是艦船上所攜帶的備份品有限，因此必須確保系統與裝備之可靠性。

根據研究報告，靜電損失的發生處分佈為：16 ~ 22% 是發生在零件製造廠商、9 ~ 15% 發生在外包廠商、8 ~ 14% 發生在產品製造廠商、27 ~ 33% 發生在售後服務作業過程中。

靜電放電的損害可分為完全損害、劣化損害及售後服務損失三類。完全損害是無法修理的損害，以零件製造廠商居多；劣化損害為可以修理的損害，多發生在外包廠商或裝備製造廠商的電路板裝配作業或其他裝配作業時；售後服務的損失則是增加維修服務的次數與要求。

各種電子零件對於靜電放電有不同的敏感程度，一般稱造成損害的靜電電壓量的大小為敏感度。所謂靜電放電敏感物品是指對 15,000V 以下的靜電放電敏感的電氣與電子零件、組件或裝備，CMOS、NMOS、JFET 及其他低功率或公差要求嚴緊的零件對於靜電放電最敏感，常見的靜電放電敏感零件的敏感度如表 3 所示。

在實務上，通常將裝置依照其對靜電放電的敏感度分為 0 級、1 級、2 級、和 3 級等四個等級。第 0 級的靜電電壓量為 0 ~ 249V；第 1 級的靜電電壓量為 250V ~ 1999V，此一級又分為 1A、1B 和 1C 三個次級，1A 級的靜電電壓量為 250V ~ 499V，1B 級的靜電電壓量為 500V ~ 999V，1C 級的靜電電壓量為 1000V ~ 1999V；第 2 級的靜電電壓量為 2000V ~ 3999V；第 3 級又分為 3A 和 3B 兩個次級，其中 3A 級的靜電電壓量為 4000V ~ 7999V，3B 級的靜電電壓量為大於 8000V。

屬於第 1 級的電子零件如：沒有保路電路的 C、N、P、V 和其他 MOS 零件。SAW 零件；無保護電路的 MOS 電容器；JFET； $I_o < 0.175A$ 、在 100 下工作的 SCR；負載電壓調節率 $< 0.5\%$ 精密電壓調節器微電路；頻率 $> 1GHz$ 的微波和極高頻半導體及微電路；功率 $> 0.05W$ 、容許差 $\leq 0.1\%$ 的 RN 型薄、厚膜電阻器；功率 $\leq 0.05W$ 、容許差 $> 0.1\%$ 的 RN 型薄、厚膜電阻器。無保護電路的 LSI、微處理器和記憶體；使用第 1 級零件的混合電路。

屬於第 2 級的電子零件如：有保護電路的 C、N、P、V 和其他 MOS 零件，或其他應用 MOS 技術的零件；Schottky Diodes、Silicon Switching Diodes；精密的電阻網路，如 RZ 型；傳播延遲時間小於等於 1ns 的高速 ECL 微電路；TTL 微電路(Schottky、低功率、高速度)；有第 2 級保護電護的 MOS 電容器；有第 2 級輸入保護的 LSI；使用第 2 級保護的混合電路等。

表 3: 不同電子零件之靜電放電敏感度

零件名稱	敏感度範圍(V)
1. MOSFET	100 200
2. EPROM	100
3. JFET	140 7,000
4. OP-AMP	190 2,500
5. CMOS	250 3,000
6. Schottky Diodes	300 2,500
7. Film Resistor (Thick, Thin)	300 3,000
8. Bipolar Transistor	300 7,000
9. Schottky TTL	1,000 2,500

4 靜電放電防護技術

欲發揮防靜電技術的效果，就必須隨時隨地在會發生靜電損害的地方加以活用。一個零件在安裝成產品之前的製造過程中，經歷製造、測試、包裝、儲存、搬運、接收、檢驗、儲存，裝配到電路板上、測試、包裝、儲存、搬運、接收、測試、儲存，組裝到裝備等反覆的步驟。在這複雜的過程中的任何一點，甚至於交到顧客手中以後的售後服務修理作業，都會因靜電放電而擊壞零件或組件。由於靜電的發生是全面性的，因此從設計發展到安裝服務等階段，都要有靜電的意識。要消除靜電放電損害，可循下列簡易程序：a.減少搬運；b.盡量將零件保存在原包裝容器內；c.避免穿著人造絲製衣服；d.在靜電工作室中不可有任何普通塑膠材料。

有關靜電放電問題的研究非常多，包括(1).零件的保護設計、(2).使用無靜電放電包裝與搬運材料、(3).配帶防靜電腕帶、(4).提高工作場所的溫度、(5).裝置傳導性地毯、(6).使用空氣離子化器、(7).穿帶抗靜電放電的防護衣、及(8).採用無靜電製程等。每一種方法都有其特色，但是並沒有一種是可以解決靜電放電的所有問題，除非每一個使用者充分瞭解靜電的重要性並且適切地遵守各項預防規則，否則任何方法都是徒勞無功的。另外，不同行業的預防方法也不盡相同，例如對於粉末工廠非常安全的靜電預防技術與材料，對於電子工廠而言可能是無效的甚至於反而會造成危險。

因此，最重要的靜電放電預防工作就是提醒與教導產品的製造廠商、配銷商及使用者，那些電子零件對靜電放電很脆弱、容易受損害，讓所有的人員都能夠警覺到在這些電子零件內部所產生的無聲、無影的微小靜電放電的效應、原因與解決的方法。

4.1 靜電放電防護基本要素

防止靜電放電損害的基本要素很簡單也很容易接受，大致上可歸納為下列數點。

- (1). 不動作的敏感零件必須用抗靜電放電的袋子、箱子、或墊片包起來，如此可避免這些零件與帶電荷的導體直接接觸，特別是未經事先接地釋放靜電電荷的手指。
- (2). 在適切的地方張貼警告標語，只有在無靜電的工作站才可打開包裝。此一工作站一定要有傳導或抗靜電的工作表面，通常是黑色傳導物或是粉紅色的抗靜電塑膠。
- (3). 工作人員最好配戴具有 $250\text{ K}\Omega$ 電阻器的腕帶，以消除接觸通電電路的電擊危險。腕帶鬆弛的導線部份必須絕緣，因為它可能在工作區內拖曳。
- (4). 帶腕帶的地方就可以不必使用導電地毯、座墊、椅子等，因為腕帶的唯一功能就是使皮膚接地。使用導電地毯的地方，皮膚就必須與地毯接觸，因此不可穿一般球鞋，必須穿導電鞋或使用踝帶，另外潮濕、吸汗皮鞋的導電性相當好。
- (5). 未使用抗靜電袋或箱子包裝的零件、電路板或成品，其裸露的零件絕對不可被未接地的人員接觸到，也不可接觸到一般的塑膠或絲織品。因此，在無靜電的工作站上使用的任何物品，絕對不可是一般的塑膠或絲製品，例如普通的工作流程卡、筆記本套、咖啡杯、吸錫槍等，都必須改用具有抗靜電材料的製品。
- (6). 原則上，紙、棉和木材是安全的材料，因為在正常的移動速度下它們不會產生具有危險性的靜電。塑膠柄的工具也不會，因為工作人員的汗水可迅速去除靜電，而且它們的表面積也很小。

4.2 抗靜電包裝與搬運材料

雖然靜電放電實際的損害可能不大，但是這種簡單的現象可能造成損害卻是不容忽視的。假如使用抗靜電放電的塑膠材料做成的包裝袋來包裝，則可容易地加以消除這種損害。理想的包裝方式是不要讓包裝材料直接與導體接觸，也不要使用已經充電到具破壞位準靜電電荷的包裝材料。

抗靜電包裝材料的種類很多，多採塗層或夾層的方式達到抗靜電的效果，其中有的是塗上碳膜、有的經過金屬化處理、有的則是加入有機物。在應用這些抗靜電材料時必須特別注意，絕不能將使用金屬化或塗碳膜的袋子與通電的電路接觸，因為它們會產生短路、火花，甚至於電擊人體。

在任何防靜電的計畫方案或程序等文件，若未詳細註明上述事實是不可原諒的。因為一般人總是認為黑色和透明的材料是不會導電的(一般而言這是正確的)，因此會疏忽而與通電的電路互相接觸。有些則是使用有機物的方法，使包裝材料具有抗靜電的功能，由於這種材料沒有碳膜，也沒有金屬化層，所以在應用時不會有上述的危險。

有關抗靜電放電材料的規定可參考美軍規範 MIL-B-81705, Barrier materials, electrostatic-free, heat sealable。根據 MIL-B-81705 的規定，抗靜電材料分為三種型式：型式 I、型式 II 及型式 III。型式 I 是一種不透明，可防水、防射頻及電磁干擾的抗靜電放電材料，它的外層是由 Polyolefin 編織結合而成、外部表面經過真空金屬化處理的 Tyvek，中間是一層具有防潮及隔離射頻(RF)與電磁干擾(EMI)作用的鋁箔、內部表面則是一層塗上碳膜的低傳導性黑色塑膠。型式 I 材料一般較少使用，主要是設計做為完全包裹，以保護被包裝物品免於受到濕氣蒸發和靜電的損害。型式 II 抗靜電放電材料是一種透明、可防水、具有可熱封性的粉紅色塑膠材料，軍用的厚度規格 6 mil，一般商業用途則為 2 - 4 mil。這種材料做成的塑膠袋若未經過熱封，則可重複使用。型式 III 抗靜電放電材料則是由透明、粉紅色抗靜電聚乙烯所製成的。粉紅色是抗靜電放電的色碼。

目前常用的主要防靜電包裝和搬運材料如下：

- (1). 注入碳膜的 Polyolefin 薄片。這是一種黑色、不透明的材料，具有相當高比例的碳膜，使粒狀物與粒狀物之間彼此接觸以產生高電傳導係數。這些材料屬於絕緣材料類，其表面傳導係數的量測方法可參考 ASTM D-257，常見的商品如 3M 公司生產的 Velostat、Wescorp 公司生產的 Neutrostat 等。
- (2). 符合 MIL-B-81705 型式 III 規定的透明、粉紅色抗靜電聚乙烯。這種抗靜電放電材料在聚乙烯樹脂中注入一種有機的抗靜電液體，它會流到所有的表面而形成一層看不到、無腐蝕性、緊密鄰接的濕層，可以傳導靜電放電產生的電流。此層具有相當高的表面電阻係數(高到無法用 MΩ 表示)，在分離時具有足夠的能力傳導所產生電荷，並且慢慢地消散從其他來源傳來的電荷，因此不會產生火花而造成損害。由於此一薄層只傳導靜電電流，這種電流並不是大量或是連續的電流，因此不會產生短路或對人體產生電擊的危險。這種薄層一旦形成之後，在任何濕度水準下都能夠持續存在，只能夠用真空或烤箱的高溫將它完全去除。不夠，當再它暴露於正常的空氣中時，又會再度形成。常見的商品有 Richmond 的 1200。
- (3). 3M 公司最近推出的靜電隔離薄膜。它是由一灰藍色的鍍金屬化處理於一薄聚乙酯片上，再疊合於一注入抗靜電液的聚乙烯內層所組成的。此一內層很像 RCAS 公司出品的 1200，但不是粉紅色的。其外面的金屬化表面輕輕地塗上纖維素漆以減少脫落。此一金屬化層非常薄，薄到幾乎有點透明。

4.3 泡沫與墊片

一些利用尿烷、聚乙烯、苯乙烯等塑膠材料製造的泡沫以及類似的材料製造的墊片，幾乎都是「熱性」材料，會互相磨擦而產生靜電。在應用時，有些在尿烷泡沫加入碳膜，有些則是墊片表面的小凹穴孔塗上含碳膜的半流體稀薄混合物，也就是塗上一層具有導電性的黑色碳膜。不過由於此類材料成本很高，因此很少使用於簡單的墊片，大都用於接合半導體的引線，做為短路及防護靜電放電之用。

不過最近的研究報告指出，由於碳膜就好像電池的一個極，和零件組裝時所使用的引線是不同的材料，會受濕度和溫度的影響而隨時間產生腐蝕現象，在結合在一起的引線分開，影響這種具有導電性泡沫的短路功能。

抗靜電放電的有機泡沫都是以粉紅色來識別的，同樣的，廣被使用的聚乙烯基氣泡式墊片也有粉紅色抗靜電的產品。通常，具有抗靜電功能的材料與無抗靜電者相較，其價格相差不大，因此最好全部更換，因為這些墊片也是靜電放電損害的主要來源之一。事實上，所有的塑膠製品，除非經過特殊處理，否則都是靜電產生器。

4.4 腕帶

一般由塗碳膜的斜紋布所製成的腕帶雖然很便宜，但是很難控制或重製其電阻值，而且它鬆弛的長度會與通電的電路造成短路或其他問題的危險，因此最好不要使用。最理想的腕帶是使用多蕊的絕緣導線，並在導線的一端或兩端加裝電阻器。

選擇腕帶最好時最好配合實際的需要，每一個工作站至少安裝一個，最重要的是所有坐在位置上的工作人員隨時都要配戴腕帶，而不是在特殊狀況時才配戴，如此才能習慣成自然。工作人員都應該保護自己的工作地盤，即使是董事長也不能讓它亂拿東西，只有帶上腕帶、接觸工作人員的皮膚或是其他接地方式排除靜電之後才可接觸物品，袋子、箱子可以拿，但是裸露的零件和電路板絕對不可以碰。同樣的腕帶也應該發給售後服務部門的維修工作人員配戴，當他們在移動或更換敏感的零件時，要把腕帶接在機架的接地上。

很多人將腕帶配戴在衣服上面，這是不對的，使用腕帶時一定要與皮膚直接接觸，傳導靜電的是身體的流汗層而不是衣服。另外，頭髮與皮膚是獨立的，腕帶是幫不上忙的，因此，不要讓頭髮碰到工作檯面上的零件。腕帶一定要直接接地，而且必須與工作檯面共用同一個接地點，如此可使腕帶內的保護電阻器更安全的接地。

一般在自動插件機、表面黏著設備、自動焊錫機、清洗機、切腳機、測試設備、輸送帶等機器場所作業時，大多是將所配帶的腕帶的鱷魚夾夾在機器上。但是在這種作業情況時必須注意，因為大多數的機器都有上油漆，夾在油漆上根本沒有與大地接地，這樣是沒有效果的。因此，在這種場合必須先確認機器是否與大地接地、而且夾子與機器的導體直接接觸。另外在輸送帶上工作的人員，因為鱷魚夾不易夾在輸送帶的鐵架上，大多是另拉一條銅線供大家使用，做為共同接地。這種場合必須注意銅線是否確實與大地接地，同時每個鱷魚夾是否夾緊著銅線，以確保抗靜電的效果。

常用的腕帶說明如下：

(1). 珠鏈式腕帶

珠鏈式腕帶是由 Bendix 公司所研製成功的，後來由 Richmond 公司加以商品化，目前已變成最普遍的導線帶，它有一個可以旋轉的軸承以防止導線帶糾結在一起，並裝有鱷魚夾或香蕉插頭，帶子上依規定裝有一個 $250\text{ K}\Omega$ 或 $1\text{ M}\Omega$ 的電阻器。這種帶子經過特別小心製造，因此不易失效。所有的帶子在使用之前都應該用電阻表量測其兩端，以確保它沒有斷線也沒有無電阻值的現象，並且其電阻值符合規定。腕帶沒有電阻值等於直接接地，這是很危險的；而斷線的開路現象是無法防護靜電放電的作用的。

(2). Velcro 手鐲式腕帶

這種腕帶本身是非導電性的，但有碳膜或金屬扣在裡面，所使用的導線也是絕緣體，而不是用碳膜化的塑膠或布製成的。

(3). Fred 腕帶

這種腕帶是最新的發明，由 Fred Mykkanen 所設計的，故稱之為 Fred 腕帶，它的特性像手錶帶一樣有鬆緊功能，利用可分離的按扣連接頭，結合時卻相當牢固，絕緣線非常輕，使用一個巧妙的香蕉插頭，其上的旋轉軸承可以防止插頭鬆脫，這種設計可以說是腕帶中的極品。

5 靜電放電防護指引與檢核表

為避免有些人對靜電放電的現象造成誤解，將這些注意事項加以簡單化擬訂一些通則，雖然在某些場合免不了有小部份的例外，這些通則都是相當重要的基本原則。

(1). 靜電放電是由於分離非導電性的表面而起的

當拿取塑膠袋或打開塑膠袋、走路時塑膠鞋跟與地毯分離、使用塑膠錫槍、穿著尼龍運動衫慢慢地人造絲製衣物互相磨擦移動、或者打開壓感膠帶時，都會形成靜電電荷。簡單的說，幾乎所有的一般塑膠製品與絲製品之間彼此互相移動、磨擦或分離時，便會產生靜電電荷，除非其表面是潮濕的。

(2). 靜電電荷是被導體拾取與傳導的

破壞性的靜電電荷很少是直接由塑膠或非導體的表面而起的，反之，它們首先是以相當低的位準感應到附近的導體上，然後以火花的形式穿過絕緣的空間或材料傳送於導體之間。事實上，只有金屬、碳膜及人的濕皮膚三種導體必須特別注意，它們會拾取、儲存及快速釋放所累積的電荷。

當走路時鞋跟與地毯分離而產生的電荷，會感應並儲存到人體潮濕的皮膚表面，所產生的靜電電荷隨著這個人的走動而放電到金屬門把、另一個人或其他導體，鞋子本身並沒有火花的危險，故不必接地，但是潮濕的身體就必須在方便的時間或地點帶上腕帶來接地，或者使用其他的方法將皮膚接地，以便釋放所累積的靜電電荷。

顯然地，印刷電路板上的金屬箔是大塊的接地，就像門把一樣，當帶有電荷的手指與之接觸時，就會產生破壞性的火花。當手指接觸到印刷電路板上的鉀點，此一火花便會傳導通過敏感的零件而造成損害。如果使用很厚的一般塑膠來包電路板，在大多數的情況下可以防止直接的靜電放電損害。利用多層(複合)的袋子或氣泡式墊子包裹非常敏感的零件或電路板，可增加絕緣空間的厚度並且防止與帶靜電電荷的手指直接接觸。不過，這些一般用的塑膠袋及包裝材料本身在搬運或開封時就會在其表面產生很大的靜電電荷，其中少部份的電荷便會感應到其內部的傳導性零件接腳或電路板，並向對靜電敏感的零件放電產生火花，致使這些零件遭到破壞或劣化。

理想上，應該避免已帶有電荷的良導體接觸到零件，同時也不要接觸或靠近高度充電的非導體。只要遵守上述兩大原則，即可將靜電放電的損害減到很微小甚至於不存在。

5.1 一般性靜電放電防護原則

- (1). 在指定的靜電放電防護區內，隨時隨地都要穿著散電性的抗靜電衣服，個人的衣服不可暴露在防護衣服外面。
- (2). 所有的電子零件和裝配成品都應該視為靜電敏感零件，在搬運拿取所有的零件與成品時，除非是製程上的需要，不可接觸任何裸露的電路部份。
- (3). 傳送靜電放電敏感零件時，必須放置在適當的容器內，不可接受任何未妥善包裝的靜電敏感零件，而且只有在靜電放電防護區內、已接地的工作人員才可以打開靜電放電敏感零件的包裝。
- (4). 拿取靜電放電敏感零件時，一定要帶適當地接地的腕帶，對於高移動性的拿取動作，則可使用具有導電性的鞋跟帶或踝帶，直接與地毯接地。
- (5). 確保工作檯面是使用不會產生靜電的材料。
- (6). 在靜電放電防護區內不可抽煙或飲食。
- (7). 確保靜電放電防護設備都已適當的接地並且其導電功能正常。

5.2 採購

- (1) 靜電放電敏感零件交貨時之包裝(製造商、協力廠商及供應商的來源要求)
 - a 來源的包裝一定要能夠保護電子零件的接腳和端子，不會在搬運及交貨的情況下受到外物的傷害。零件接腳及端子的包裝材料必須是非腐蝕性、抗靜電性及導電性的，而且也不可以影響到零件接腳和端子的長期焊接性。
 - b 必須使用靜電放電防護材料包裝電子零件，最好的防護方法是用不同的材料做為內層和外層的包裹。

- c 導電性材料是用來包裝主動電子零件，因為它們除了具備散電性和無靜電產生的功能之外，尚有隔離電場的效果，但是未經保護的電池或其他含有自有電力的產品則不可使用，因為它會產生分路效應。靜電放電敏感零件、半成品和成品一定要用靜電隔離袋來包裝。
- d 安全的包裝方法
 - (a). 雙排線包裝(DIP)和其他類似包裝的半導體一定要用內部是高導電性的套管包裝，並且用導電性或抗靜電性的塞子防止移動，再用抗靜電材料圍繞起來。另外一種方法是用內部是抗靜電性的套管包裝，用導電性或抗靜電性塞子防止移動，在用具導電性、電場隔離性的材料圍繞起來。
 - (b) 用來包裝一般形狀的靜電放電敏感零件的塑膠成型容器一定是具有高導電性的材料為核心，外面圍繞著抗靜電的材料。另外一種方法是用抗靜電的塑膠成型容器來包裝一般形狀的靜電放電敏感零件，再用具有導電性及電場隔離性材料將之圍繞起來。
 - (c) 其他不尋常形狀的靜電放電敏感零件的接腳和端子可先擠進非腐蝕性且具有導電性的泡沫中，然後再全部放進抗靜電袋子內。
 - (d) 電阻器、電容器、變壓器和電感器等被動零件，只要用抗靜電材料圍繞起來即可。
 - (e) 表面黏著型的主動零件，例如無引線晶片承載器等，一定要放在具有導電性的容器內，表面黏著型的被動零件，如晶片電阻器等，則可放在具有抗靜電性或導電性容器內。對靜電放電越敏感的零件，要用越高導電性的材料。
- (2). 所有會產生靜電放電的包裝材料，如袋子、薄膜、氣泡墊、泡沫、盤子、管子、薄片或其他用一般塑膠製的物品，都必須採取消除靜電的措施。只有具有導電性或抗靜電性的材料才可用來包裝靜電放電敏感的零件和成品。
- (3) 包裝靜電放電敏感電子零件的外層表面必須貼上靜電放電的警告標識。

5.3 接收與倉儲

- (1). 在靜電放電防護工作站，已接地的工作人員才可打開靜電放電敏感零件的包裝。
- (2) 收到未妥善地做好靜電放電防護包裝的靜電放電敏感零件或成品時，應該馬上通知採購負責人員，並請零件工程師確認該零件是否真的是靜電放電敏感零件，如果該零件是屬於美國國防部手冊 DOD-HDBK-263 中規定 Class 1 或 Class 2 零件，或者其他工業標準規定的靜電放電敏感零件，則必須退回供應商，並要求其採取對策和更換符合規定包裝的零件或成品。假如不是上述 Class 1 或 Class 2 的零件，則應適當地予以包裝並要求供應商採取對策。

- (3) 非靜電放電敏感零件的包裝不可危害到靜電放電敏感零件，因此，在生產區域內不應該有會產生靜電放電的包裝材料。這些零件可以用一般的聚乙烯塑膠袋包裝，但是它們必須在各區域小心地與靜電放電敏感零件和成品加以隔離。印刷電路裸板可以使用一般的未密封聚乙烯塑膠袋。紙箱不會產生靜電，因此不會對靜電放電敏感零件造成威脅。在作業區域內，盡量使用具有抗靜電性或導電性的有蓋容器。
- (4) 所有包裝靜電放電敏感零件和成品的容器，外面一定要貼上警告標誌。

5.4 備料與發料

- (1) 在靜電放電防護站上打開靜電放電敏感零件的包裝，依照需求量組配成套，再按規定重新適當地包裝。
- (2) 裝盛套裝零件和靜電放電敏感零件的容器，在發出倉庫之前一定要先貼上警告標誌。
- (3) 在工廠內的所有搬運過程中，靜電放電敏感零件必須保存在保護的包裝狀態，直到它們到達一個有靜電放電防護的工作站為止。
- (4) 為避免造成損害起見，所有的靜電放電敏感零件應該儲存在倉庫中特定的地區，並且使用具有導電性、電場隔離作用的包裝袋來發放主動零件，用抗靜電的包裝袋來發放被動零件。
- (5) 用一般未密封的聚乙烯袋包裝的印刷電路板與靜電放電敏感零件放在同一個容器內發放時，必須先用抗靜電袋先包裝好。
- (6) 不可使用膠帶來捆綁微電子零件的套管、印刷電路板，或做為其他捆綁目的，因為大部份的膠帶在撕去時會產生相當高的靜電電荷。在這種場合，可以使用橡膠帶、棉線、夾子、大型抗靜電袋、大型隔離袋或類似的方法替代之。

5.5 工作區的準備

- (1) 在靜電放電防護工作站裡，所有的物品都要接地在同一電位，包括操作人員、工作檯面、地毯、工具、有蓋的箱子、物料盒及靜電放電敏感零件與成品。任何一項如有不同的電位，便會對靜電放電敏感零件產生損害。對於有懷疑的地區則應使用靜電錶測量靜電量，發現不合格時應立即採取對策。
- (2) 任何會接近靜電放電防護區的人員一定要接受教育訓練並通過靜電放電意識訓練課程。訪客在進入靜電放電防護區域內之前，一定要給予適當的教導，並且由該地區受過訓練的人員陪同。靜電放電防護區域必須在其周圍或出入口(封閉式的房間)的地板上貼上黃黑交替的條紋膠帶。
- (3) 所有會產生電磁場的電力設備，其外殼一定要接地，並且在這些裝備與散電性工作表面之間用橡膠墊或其他相容材質加以隔離。一些利用交流(AC)或直流(DC)

電力設備的塑膠外殼，如終端機、數位測試設備、收音機、等，要用靜電錶進行測試，如其靜電電壓在 100 伏特以下，則不會造成危險。

- (4) 從靜電放電防護區消除所有會產生靜電的塑膠材料(例如苯乙烯材質物料盒、聚乙烯材質袋子和薄膜、尿烷泡沫、醋酸鹽材質的工作說明透明封套等)，並且以具有抗靜電性或導電性的材料取代之。小錢帶、展示套、附件或其他類似塑膠的物品也不可以放置在工作表面上。
- (5) 靜電放電防護區的相對濕度必須保持在 35 ~ 65% 之間，此一範圍可將絕緣物上所產生的靜電降至最小，同時使經過抗靜電處理的塑膠材料得以維持其抗靜電特性。為確保相對濕度之維持，可在製造工作區域內具有代表性的位置掛上相對濕度指示器，以利監視。對於無法控制在此相對濕度範圍內的地區，則需要注意額外的預防工作，例如使用濕度產生器、局部空氣離子化器，當作第二道防線。
- (6) 驗證工作檯面是否為具有防護性工作檯面，完整的散電性工作表面可以從接地電線和腕帶連接點加以區別。然後驗證腕帶與散電性工作表面的連接是否適當。散電性工作表面必須用一條軟式接地電線連接到硬式接地電線，腕帶一定要連接到工作表面上的按扣或連接點。
- (7) 新的工作站設立之後，一定要用靜電錶來確認其靜電電荷在 100 伏特以下。
- (8) 在使用腕帶並不安全或者作業時有大距離移動的考慮時，可使用具有導電性的墊子或地毯，然後用軟式接地電線將導電墊或毯連接到硬式接地。使用導電墊或毯時，便必須穿導電性的鞋子或配帶踝帶。不可同時使用腕帶和踝帶，因為它們是並聯的，如此會降低對人身保護的水準。
- (9) 消除工作區域中的所有塑膠物品及地毯，並且盡可能使用天然豬毛製刷子進行清洗、被覆等工作。無論如何，絕對不可使用人造毛刷處理靜電放電敏感零件和成品。

5.6 設備的準備

- (1). 利用接地式三插頭將交流(AC)電力測試設備的金屬外殼接地，或在外殼與硬式接地之間連接一條硬式接地電線。
- (2) 確保金屬外殼已接地的設備已經用橡膠腳墊或相等的材料和散電性工作表面做電氣性的隔離。
- (3) 磁碟機、終端機、監視器、磁帶設備、等快速傳送媒介物的設備，在操作時會產生強大的靜電電荷，因此，在操作之前一定要先將其外殼適當的予以接地。

5.7 人員的準備

- (1). 靜電防護衣袖必須比個人衣服長，必須完整地保留製造廠商的標籤以利求證。避免穿著如耐龍、壓克力或聚脂等人造絲材料做的衣服，因為它們會在低濕環境下產生高靜電電荷。最好是在清洗或乾燥含有絲織品的人造纖維時，加入抗靜電的軟化劑。
- (2). 拿取所有未保護的靜電放電敏感零件時，一定要在操作員與散電性工作表面上的按扣或接地之間連接一條腕帶，腕帶必須與操作員的裸皮膚直接接觸。使用導電性地毯來排除電荷的地方，則不必使用腕帶與散電性工作表面，但操作員必須穿踝帶於兩個鞋子，以便達到適當的接地。導電性的繩索必須平貼才能與操作員的裸皮膚直接接觸，將腳放在凳子或椅子上，會影響地毯將靜電電荷排除到大地的效果。
- (3). 在所有的靜電放電敏感零件的工作區和裝配過程中拿取零件的接腳或端子時，一定要帶純棉(100%)手套、抗靜電手套、或抗靜電指套。赤裸的手指一定不可以接觸到欲焊接的部位，但可用金屬鑷子來拿取小零件。

5.8 產品裝配

- (1). 在靜電放電防護工作站裡，將盛裝靜電放電敏感零件的保護包裝袋、盒、箱等放在已接地的散電性工作表面或其他已接地的表面，來排除包裝上殘餘的靜電電荷，然後小心地把零件放在散電性工作表面上或直接放在工作表面上具有抗靜電性或導電性的容器、物料盒或配料器。假如是使用金屬送貨車或類似材料的輸送系統時，車體或箱子或容器本身一定要先接地後才可移動其中的物品。
- (2). 按照工程指示，在裝配區類組裝零組件。
- (3). 將靜電放電敏感零件和成品存放在保護包裝內，或者放置在散電性工作表面上。
- (4). 最後才裝配最敏感的零組件。
- (5). 在接觸接腳之前，先將修剪、成形或零件彎腳的工具與散電性工作表面接觸。工具不用的時候，將之放置散電性工作表面或其他已接地的表面上。
- (6). 加熱槍、風扇和其他低速度的空氣吹風機並不會產生具有危險程度的電壓，故可在各地區使用。

5.9 產品測試

- (1). 依照作業程序、測試程序進行測試工作。
- (2). 驗證測試設備是否適當地接地。

- (3). 儘可能由印刷電路板的的金手指(邊緣連接器)來測試電路板成品，避免使用探針或測試靜電放電敏感零件的測試設備。在探針或測試引線接觸靜電放電敏感零件與成品之前，應先將探針或測試引線接地，或將它們連接在一起。
- (4). 加入輸入信號之前應先加入直流電壓，在電源操作之前應先確保所有的外殼均已適當地予以接地。
- (5). 電力存在時，不可從連接器或插座上移離零件或成品。
- (6). 不可使用三用電錶 X1 的電阻值刻度來測試靜電放電敏感零件或成品，因為它會產生危險的瞬間大電流，必須使用高輸入阻抗的電錶刻度。
- (7). 在連接電纜連接插頭於機板上的交配插座之前和移開任何保護蓋、插頭和插座外殼之前，一定要短暫的接觸，以排除電纜與機板之間的任何靜電電荷。

5.10 產品包裝

靜電放電敏感零件和成品一定要：

- (1). 放在電場隔離袋內並且適當地加以標示。
- (2). 放在密封的導電性容器內。
- (3). 把零件接腳和電路與高導電性泡沫板接觸，或者採用相等的方法。

5.11 靜電放電防護材料和設備的測試

(1). 測試時間

通常是在每月初執行測試，各區域的主管應指定專人負責該區域內的所有靜電放電防護站的測試工作。大部份的測試工作不應該中斷該工作站工作的進行，測試之前先以目視確認所有的項目是否處於正常狀況，不良的設備一定要馬上更換，不堪使用的項目應該交由專業負責部門進行分析。測試合格的項目一定要有標示，以利日常目視檢查。

(2). 腕帶

將腕帶與導電電線當成一個裝配品，利用三用電錶測試，測量腕帶內電阻器到導電電線另一端的香蕉插頭，其總電阻值應在 $1\text{M}\Omega \pm 250\text{K}\Omega$ 之間。

(3)軟式接地線

用三用電錶量測連接工作表面、地墊和地毯到大地的軟式接地線，其電阻值應在 $1\text{M}\Omega \pm 250\text{K}\Omega$ 之間。

(4) 硬式接地線

用三用電錶量測任何硬式接地線，其電阻值應小於 20Ω 。

(5) 接地方塊

用三用電錶量測接地方塊，其電阻值應小於 20Ω 。

(6) 散電性工作表面

工作表面的材料必須滿足 ASME D-257 的要求。用百萬歐姆錶和探針測量表面電阻係數，其電阻係數應在 $10^5 \sim 10^9 \Omega/\text{sq}$ 之間；用三用電錶量測桌面上按扣與按扣之間的電阻值，此值應小於 20Ω 。散電性工作表面上不可使用蠟或含蠟的溶液，因為蠟會增加絕緣度。

(7) 導電性地毯

導電性地毯的材料必須滿足 ASME D-256 的要求，用百萬歐姆錶和探針測量表面電阻係數，其表面電阻係數應在 $10^5 \Omega/\text{sq}$ 以下。在導電性地毯表面上不可使用蠟或含蠟的溶液，因為蠟會增加絕緣度。

(8) 導電性容器

導電性容器的材料必須滿足 ASME 0091 的要求，其體電阻係數應在 $5000\Omega/\text{sq}$ ，表面電阻係數依 ASTM D-257 或 MIL-P-82646 的規定，用百萬歐姆錶和探針測量，其值應為 $10^3 \Omega/\text{m}^2$ 以下。

(9) 焊錫及去錫設備

用三用電錶量測其尖部到電源線接地插頭之間的電阻值，應小 20Ω 。

(10) 靜電放電防護設備

彙整各種靜電放電防護設備之電阻值如表 4 所示。

表4 各種靜電放電防護設備之電阻值

項 目	電阻值
-----	-----

1. 腕帶到插頭或夾子	1M ± 250K
2. 工作表面接地線到接地	1M ± 250K
3. 地毯接地線到接地	1M ± 250K
4. 設備外殼到接地	< 20
5. 接地方塊到接地	< 20
6. 工作表面的按扣到按扣	< 20
7. 焊接頭到接地	< 20

參考文獻

1. IEC 61340-5-1, Protection of Electronic Devices from Electrostatic Phenomena -- General Requirements
2. EN 100015-1, Basic Specification: Protection of Electrostatic Devices -- Part 1: General Requirements
3. ANSI/ESD-S20.20-1999, ESD Association Standard for the Development of an Electrostatic Discharge Control Program for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)
4. ESD-ADV3.2, Selection and Acceptance of Air Ionizers
5. ANSI/IEEE-STD-142, IEEE Green Book (IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems)
6. EIA-471, Symbol and Label for Electrostatic Sensitive Devices
7. ANSI/EIA-541, Packaging of Electronic Products for Shipment
8. ANSI/EIA-583, Packaging Material Standards for Moisture Sensitive Items
9. ANSI/EIA-625, Requirements for Handling Electrostatic-Discharge-Sensitive (ESDS) Devices
10. MIL-HDBK-263, Electrostatic Discharge Control Handbook for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies, and Equipment (Excluding Electrically-Initiated Explosive Devices)
11. FED-STD-101, Federal Test Method Standard
12. MIL-STD-129, Marking for Shipment and Storage
13. MIL-B-117, Bags, Sleeves and Tubing -- Interior Packaging
14. MIL-E-17555, Electronic and Electrical Equipment, Accessories, and Provisioned Items (Repair Parts): Packaging of
15. MIL-M-38510, General Specification for Military Microcircuit
16. MIL-PRF-81705, Barrier Materials, Flexible, Electrostatic Free, Heat Sealable
17. MIL-P-82646, Plastic Film, Conductive, Heat Sealable, Flexible
18. MIL-PRF-87893, Workstations, Electrostatic Discharge (ESD) Control
19. MIL-STD-1285, Marking of Electrical and Electronic Parts

20. MIL-STD-1686, Electrostatic Discharge Control Program for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies, and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)
21. MMA-1985-79, Revision 3, Standard Test Method for Evaluating Triboelectric Charge Generation and Decay
22. ESDSIL, Reliability Analysis Center (RAC) ESD Sensitive Item List