目　　錄

第一章　連接器總述　2

第二章　接觸介面及接觸過程　20

第三章　接觸鍍層　32

第四章　接觸彈片材料　62

第五章　連接器用工程熱塑性材料　85

第六章　可分離式電連接器　102

第七章　永久性連接概述　121

第八章　電線與線纜　125

第九章　電線與線纜的機械式永久連接　138

第十章　印刷電路板　157

第十一章 至電路板的永久性連接　173

第十二章 連接器的應用　187

第十三章 連接器的類型　213

第十四章 連接器／插座測試　234

第一章　連接器總述

這一章包括連接器技術的總述，在後面的章節之中將會提供各獨立主題的詳細背景資料。

定義一個連接器至少有兩種方法：從功能上和從結構上。

第一種描述連接器的方法是就其應該達到和必須達到的要求而言的。這樣的定義集中在連接器所應用的功能性和操作的環境。第二種描述連接器的方法集中在連接器本身，及它的設計方法和製造材料。由於連接器的應用、操作環境及功能性要求直接影響連接器的設計，本文就從連接器的功能性定義開始。

1.1　連接器功能

連接器的應用范圍十分廣泛，本手冊的重點將會放在電連接器上，其主要應用於３C 產品。從這個重點可以提出電連接器的功能性定義是：

電連接器是一種電機系統，其可提供可分離的界面用以連接兩個次電子系統，並且對於系統的運作不會產生不可接受的作用。

定義中關鍵詞是”電機系統”，”可分離的”和”不可接受的作用”。

連接器是一種電機系統是因爲，它是通過機械方法產生的電性連接。如將要討論到的，機械式彈簧的偏向會在配合的兩部分間產生一個力量，這就使得接口配合面之間產生金屬性接觸。應用連接器在首要地方的原因是配合接口具有可分離性。可分離性的需要性具有很多的原因。它可以使得獨立地製造部份或子系統而最後裝配可在一個主要的地方進行。可分離性也可以使得零件或子系統的維護或升級不必修改整體個系統。可分離性得以應用的另一個原因是可攜帶性和支持外圍設備的擴展。

另一方面，定義中的可分離性引入了一個額外的子系統間的界面，此界面不能引入任何”不可接受的作用”，尤其是在系統的特性上不能受電訊的影響，這些影響包括如不可接受的扭曲變形和系統間的信號退化，或者是通過連接器的電源損失，以毫伏損失計算的電源損失，將會成爲功能性的主要設計標準，因此主機板的電力需求也將增加。

可分離性的需求和”不可接受性”的限度要由連接器的應用而定。可分離

性包括配合周期的數目，配合周期是指連接器在不影響其性能必須提供的，以及與另一連接器相配合所必需的作用力。典型的配合周期需求其范圍從內部連接器的幾十個周期到外圍設備的幾千個周期，比如 PCMCIA 型連接器。由於電路或功能的數量以及連接器互相連接的增加，配合力量的需求變得更加的重要。爲了提供更多的功能性，連接器上端子的位置也必須要增加，這樣就導致了更高的連接器配合力量。由連接器的使用和功能而定，其端子數從幾十到上千不等。可分離性和配合力量需求將會詳細地在 1.5.1 部分中論述，同時歸類連接器的互相連接的技術水準也將加以描述。

現在我們將要考慮的轉向第二種定義連接器的方法-結構性的或者說設計/材料上的定義。

1.2 連接器結構

一個基本的連接器包括四個部分：

- 接觸界面
- 接觸塗層
- 接觸彈性元件
- 連接器塑膠本體

上述元件已列在圖表 1.1 中。

本手冊將會在后面的章節中詳細介紹上述元件中的每一件，既要從材料上又要從設計上介紹。從這個意義上，一個概要的各個元件介紹將能提供足夠后述討論的上下文背景。

圖 1.1 爲簡要的連接器相交剖視圖，插圖(A)爲接觸塗層示意圖，插圖(B)爲接觸界面微觀結構圖。

1.2.1 接觸界面

事實上必須考慮到有兩種不同的接觸界面：可分離界面和固定(永久性)界面。可分離界面(圖 1.1， 插圖 A)由於在首要的地方使用連接器而已經被明確的提到。固定(永久性)界面是當兩個子系統相連接時在連接器功能性定義中

被提到。這些界面被稱爲固定(永久性)界面是因爲，一般說來它們只製造一次而固定使用。固定連接的例子包括位於圖 1.1 左邊的卷曲型連接和位於圖 1.1 右邊的壓力型。在可分離性界面和固定連接之間存在很多的不同點，包括結構上和需求上的，它們在基本元件上具有共同之處.在兩種情況下，產生和維護金屬接觸界面需要達到我們所期望的電力要求。此外，在兩種情況下，金屬性界面的產生是通過機械方法。

可分離界面是在每次連接器配合時建立的。界面的結構主要是由接觸端的幾何形狀、端子之間的作用力以及接觸塗層而定。如圖 1.1 中插圖 B 所示，可分離界面包括有微小的連接部，位於微觀下的粗糙表面在常力的接觸之下。可分離界面形態學將會在第二章中加以詳細描述・從這個意義上講，足以陳述接觸界面的形態學將決定三個重要的連接器功能性參數：接觸阻力，連接器配合力以及連接器耐用性(例如：配合周期將仍然支持其性能而不會退化)。

很多固定式連接分屬於兩種基本類別：治金式和機械式。治金式如焊接，它要由連接器和子系統之間接觸界面的結構而定。低溫焊接是主要的治金式連接，高溫焊接同樣也被應用，並且在較小的線纜中應用得越來越多。低溫焊接連接在製造印刷線路板裝配上尤其重要。而許多零組件要被焊接在印刷線路板，連接器就是其中最大的零組件之一。兩種主要的焊接技術：穿孔焊接和表面焊接將會在 1.4.2 部分和第 11 章中介紹。

機械式的固定連接有卷曲型，insulation displacement，壓力型，遮蔽型。機械式的固定連接的圖解如圖 1.2 所示。卷曲型和 insulation displacement 型連接主要用在線纜上，壓力型連接主要用於通孔鍍金的印刷線路板上，遮蔽型連接是用在插入式印刷線路板。每一種都將會在后面的章節中詳細介紹。

1.2.2 接觸塗層

接觸塗層如圖 1.1 中插圖 A 所示，顯示了兩個重要的功能：

・避免接觸彈簧基部金屬腐蝕

・優化接觸界面的結構

第一個功能非常簡單僅僅需要接觸彈簧組件一般爲銅合金，完全被塗層覆蓋，並且塗層自身能防腐蝕和能像薄膜一樣覆蓋在表面。而第二個功能就

要復雜得多。

優化接觸界面的方法，其實質就是對出現在接觸界面上的薄膜的規劃管理。如前所述，一個穩定且較小的接觸阻力由一不含薄膜的金屬界面產生。兩種主要的接觸塗層，貴重金屬(金，鈀以及由它們組成的合金)和非貴重金屬(如錫)，它們的不同主要是指在接觸界面上的薄膜類型。對貴重金屬(尤其是金)來說，接觸塗層是惰性的，維護接觸界面的完整性需要保護防止外部塗層的薄膜形成，主要是防止銅的接觸彈簧。對錫這種最常用的非貴重金屬來說，存在其表面的氧化問題是主要被考慮的。這些不同的腐蝕過程將被反映到連接器的設計標準和性能上。接觸塗層的性質和選擇的標準將會在第 3 章中加以討論。我們曾經考慮過可分離式和固定式接觸界面。事實上一些不同的塗層被用於可分離式和固定式連接接觸末端。此類接觸與雙向電鍍相關。最普通的雙向接觸電鍍包括一個金-鎳合金可分離式界面和鍍錫固定式界面。

貴金屬鍍層．貴金屬鍍層實際上是一個復合層，它是指在前面第 1.1 圖 A 中所述的接觸彈片基材上覆蓋一層鎳，然后在鎳的表面上再覆蓋一層貴金屬。常見的貴金屬表面鍍層是純金，但現在也有用鈀或者鈀合金代替純金的，而且這種做法還在呈上升趨勢。在許多情況下，鈀或鈀合金層與純金層接合使用以防止來于比純金抗腐蝕能力差的鍍層被腐蝕的影響。典型的貴金屬層是在 1 至 2.5 微米厚的鎳層上覆蓋 0.4 至 0.8 微米厚的貴金屬層。在鈀或鈀合金表面的純金層只有 0.1 微米厚。下面兩種鈀合金最常用：80%的鈀與 20%的鎳和 60%的鈀與 40%的銀。

鎳底層在幾個方面提高了接觸性能。這幾點將在第三章進行詳細說明，下面僅列出來供參考。

- 減少孔隙腐蝕
- 提供轉移腐蝕對象的覆蓋層
- 限制基材成分的分布
- 提高鍍層的耐久性

普通金屬鍍層．錫是最常用的普通金屬鍍層，錫鍍層的厚度介于 2.5 到 5 微米之間。現在越來越多地用錫作鍍層，因爲，即使錫被氧化，在插拔過程中，錫氧化物也會很輕易地脫落，從而不影響導電性能。然而，表面層再氧化會以磨損的方式降低錫接合面的機械性能。磨損來源于幾微米到幾十微米

的微小滑移。由于在磨損過程中，部分鎳被再次氧化，從而使得鍍層的電阻增加。對于用錫作爲鍍層的連接器來說，預防磨損是最重要的工作。較大的接觸壓力和使用合適的潤滑濟是兩種能有效地降低磨損的途徑。這一點將在第三章詳述。其它的普通金屬鍍層，包括鎳和銀，也將在第三章詳述。

總之，對貴金屬鍍層來說，保護貴金屬層是首要目的；對錫鍍層來說，防止磨損是首要目的。這些考慮方向的不同將直接影響連接器的設計參數。例如，正常壓力大小、接觸處幾何形狀、絕緣本體設計以及諸如插拔力和耐久性等的結構特性等都將受到影響。這些都將在第三章敘述。

1.2.3 接觸彈片

接觸彈片在連接器上具有以下 3 個作用：

- 在組件之間提供一條導通電訊的路徑
- 產生形成並維持接觸彈片接觸面的壓力
- 形成穩固的接觸

第一個作用，只要使用常用的銅或者銅合金材料就可輕易達到令人滿意的效果。銅合金的導電率雖然不是很低，只有銅導電率的 10%到 30%，但是，對大多數連接器來說，這個導電率已經足夠了。然而材料的導電率在用作高電流或能量分配的連接器中的確起著越來越重要的作用，因爲，在這種連接器中，由爾熱和微電壓降引起的規定溫升要求更低的阻抗。

其它兩個作用就要復雜的多，并且涉及到材料特性和設計參數之間的相互作用。接觸彈片包括兩種基本類型：插座彈片，通常是彈性的；插頭彈片，通常是剛性的，它使插座彈片產生彈性變形，從而產生固持力。圖 1.3 顯示了插頭彈片的外形圖，圖 1.4 顯示了插座彈片的外形圖。圖 1.3 顯示了帶有插入插座彈片的金手指的打印電路板和導柱/端子插頭的幾何外形。導柱與端子的外形不一樣，導柱是方的，而端子是圓的。圖 1.4 顯示了幾種連接器的設計，所有這些都要與接觸彈片對接。事實上，所有的這些設計都顯示了尤其與一種稱爲 25 方的接觸彈片對接，該接觸彈片呈正方形，邊長爲 0.025 英寸。

我們必須綜合考慮材料的各種性能，並力求達到均衡。對于可分離式接觸界面，接觸彈片彈性的主要功用是提供介于兩插接面的對接力。材料特性指楊氏模數和屈服極限。這些性質嚴重地影響著彈性偏移性能和彈性偏移

量。屈服極限也很重要，因爲它可降低插拔力。然而彈性強度必須與制造和卷曲性能對應。例如，用于提供在對接面產生彈性對接力的機械強度(用屈服極限來衡量)是與成型性能和鍛造性能相互對立的。以下各章將陸續對此進行討論。

1.2.4 連接器本體部分

連接器本體部分具有如下作用：

- 使各接觸彈片相互隔離，不能電性導通
- 固定各接觸彈片
- 對各接觸彈片進行機械保護
- 對各接觸彈片進行工作環境遮蔽保護

最后一個作用—環境遮蔽，與連接器本體的設計有關，尤其與連接器本體的封閉程度有關。這種遮蔽效果在惡劣的環境中顯得尤其重要。圖 1.5 顯示了一個有關環境遮蔽的直觀例子。該圖顯示的試件是鍍銀的，並且是在被暴露于模擬工業環境的情況下插到圖示的連接器的卡邊。環境中的硫腐蝕了金屬外表。然而，當試樣插入本體后，腐蝕便停止了。雖然卡邊還有一條卡邊緣槽，但是，遮蔽效果還是相當理想的。更爲重要的是，這種影響可以從暴露于這種環境的連接器的接觸彈片阻值變化看出來。

圖 1.6 顯示了模擬工業環境和暴露時間對接觸彈片阻值的影響。實驗環境中包括硫氫化物、氮氧化物和氧化物，濃度爲十億分之幾十到幾百就足夠了。數據對插接的和未插接的連接器都適用。樣品也獲得了一些抵抗環境的性能。在暴露了數十小時后，沒有本體的接觸彈片，其接觸阻值明顯地增加了，有本體的接觸彈片，其接觸阻值卻很少變化，這樣的接觸彈片在工業環境中可以使用 10 年。這些數據說明了絕緣本體的遮蔽效果。

上述列舉的其它一些連接器本體作用與連接器本體的材料特性有關。電子特性包括電阻系數和擊穿電壓。這些特性影響接觸彈片在連接器本體的絕緣性能。重要的機械性能包括彎曲強度和蠕變強度，因爲這些性能影響接觸彈片在本體上的牢固程度。與溫度有關的特性包括連續使用和加熱使聚合體變形的溫度值。使用溫度和設計溫度是相互關聯的。在許多情況下，尤其在表面組接中，溫度起著非常重要的作用。

考慮化學和溫度對絕緣本體尺寸穩定的影響也是很重要的。維持連接器中心線的間距、直線度、平滑度以及曲度對連接器的裝配性能和插接性能都是很關鍵的。這些特性，除了與聚合體的基本特性有關外，還與成型過程有關。接觸彈片具有材料單一而設計式樣千變萬化的特點，而絕緣本體卻具有與之相反的特點。絕緣本體的設計一般都具有許多相同的特征和要求，但其材料卻不盡相同。絕緣本體的材料是由各種需要決定的。絕緣本體的材料不但要適應使用環境，而且還要和裝配相對應。在許多情況下，正是裝配過程決定了使用何種材料。連接器的材料和設計內容將在第五章進行討論。

1.2.5 連接器結構的歸納

本節將對連接器結構進行簡單的回顧，其目的是提供一些以后將討論的有關連接器材料和設計標準等的內容。前面已提及的一些參數，例如：插拔力、孔數以及絕緣性能等，將在后續章節進行討論。然而，在結束本節之前，還要談談連接器的又一個重要性能。

1.3　電連接器阻抗

圖 1.7 除了側重點不一樣外基本相似，圖 1.7 突出裝入系統內連接器元件的電阻。包括三種：

- 可分離可分離接觸面電阻
- 接觸彈片電阻
- 固定連接電阻

如果測出圖 1.7 中電連接器 A，B 兩端所有的電阻，其阻值大概為 10－20 微歐級，可根據下面等式確定：

$$R0=Rpc+Rb+Ri \qquad (1.1)$$

其中，　R0：總電阻

Rpc：固定連接電阻

Rb：接觸彈片電阻

Ri：可分離可分離接觸面電阻

對典型信號端子而言，接觸彈片電阻占總電阻的絕大部分。與此相反，固定連接電阻可從幾十到幾百微歐。可分離接觸面電阻，在 100 克力作用下，

爲微歐級。故該電阻只占總電阻的很小部分。但是後二者的重要性在於，它們的電阻是可變的。當電連接器電阻變化時，可能是因爲一個或二個可分離接觸面電阻的增加。這就是電連接器設計／原料的標準圍繞爲確保這些接觸穩定而變化的原因。

1.4　固定連接介質

前面已經指出固定連接是與被連接電路直接連接，有兩種主要通過這些電連接器連接起來的媒體：（ａ）導線或線纜與（ｂ）印制電路板（PWBS）。

1.4.1 線與線纜

本節將對導線和線纜作簡要概述，而在第八章作詳細討論。導線由一個導體或，如果有的話，若幹導體及其絕緣體組成。

絕緣體有兩個功能：它使電導體絕緣並保護其不受機械損傷。哪種功能更爲重要一些，依靠導線所用何處，根據導線的運用（尤其是導線上將要承受的溫度和電壓）和運用環境的機械強度來決定。聚氯乙烯（PVC），聚乙烯，以及聚丙烯是其中爲通常運用目的而采用的最普通的絕緣材料，矽樹脂橡膠和其它的抗磨性聚合體在有機械環境要求時常用作被覆材料。

銅是最普通的導電材料，不管其是否鍍錫或鍍銀。選擇電鍍是基於它的運用，錫是通常運用的電鍍金屬而在高頻率運用中則要求鍍銀。導線通常可分爲兩種：實心與多芯。實心導線由單一導體構成，而多芯導線由若干導體構成。多芯導線在芯線數及其位置或纏繞方式上有所不同，實心導線在導電能力上較有利，但多芯導線對振蕩有重要的適應性及抵抗性。

線纜存在於各種各樣的構造中，以滿足一定運用範圍的需要，其與單純導線倍加在一有被覆的導線不同，可提供機械保護，同時可減少爲確保在高頻傳輸中隔離防護處理的必要性電阻。

導線/線纜結構對機械固定股式連接最重要的影響是：單股/多電連接器的不同及導線/線纜結束制程去除或處理屏蔽層或絕緣體的必要性。

1.4.2　印制電路板

PWB 技術已經從５０層單面板發展到帶接地平面的復合式的神經网絡

板與可控阻抗网絡板。PWB 制造工藝及運用要求將在第十章討論。本節僅討論有關固定連接本身。

運用在 PWB 上比較成熟的機械連接技術爲壓印，及更優的適應性壓印連接。在該技術中與壓印相關的端子腳插入 PWB 中的通孔。其連接的穩定性依賴於插入時形成的相應完全接觸面殘餘的彈性力。PWB 通孔電鍍材料採用銅或錫/銅合金。

在 PWB 應用程序中比較流行的治金技術是焊接。有兩種焊接方式常被運用，穿孔技術（THT）與表面粘貼技術（SMT）。穿孔技術（THT）利用穿孔及波峰焊程序。而表面粘接技術（SMT）更依賴於表面襯墊，或平台，及不同的焊接過程。與通過波峰焊的 THT 技術相對的是，表面粘接技術（SMT）是一個回流過程，在該程序前必須先通過大量技術處理貼好焊劑。SMT 程序包括波峰，汽洗，紅外加熱，對流，及這些程序的組合。SMT 因爲零部件的高密度與 PWB 所含功能其應用迅速提高。SMT 允許減小平台間隔以提高零部件密度，同時通過消減穿孔數目提高板的配線路徑。

與可分連接的兩個例子一樣，圖 1.9 提供了幾種 PWB 固定連接的圖示說明：卡邊緣式電連接器及兩件式電連接器。二者的具體運用將在第十三章討論。

1.4.3 小結

關於電連接器的材料/設計及連接媒體的討論已經涉及到許多電連接器具體特性的要求，因此，接下來本文將對電連接器作簡要的說明。

1.5 電連接器應用

電連接器的運用可以從兩方面來考慮：電連接器用在何處，例如它裝在設備上的位置，以及如何運用，例如電連接器的功能是信號傳輸還是配電，其中電連接器用在何處應優先考慮。

1.5.1 相互連接的層次

通常描述電連接器用在何處的方法是根據電連接器的連接層次（LOI）。許多描述採用這種方式，而本手冊通常採用 Granitz 所述方法。LOI 是指兩個連接的電路板，而非指相互連接的程序及其種類。大量連接程序與連接/連接器種類可用在給定層次的連接上。圖 1・10 說明了與電子底板連接的連接層次。

*第 1 級・*第 1 級連接是芯片外部的熱壓焊襯墊與其外殼或所安裝主電路板間的連接。導線粘接及各種不同的焊接技術基本上屬於第 1 級連接，這些連接方式大多傾向於固定連接。

*第 2 級・*第 2 級連接是外殼與印制電路板（PWB）的連接。DIP 與 PGA 插座是第 2 級連接的兩個基本例子。然多晶片模塊（MCMS）使該定義有點複雜，但，通常，爲了本論題討論（MCM）可被看作一外殼，第 2 級連接爲典型的固定連接，但爲了修復與升級的目的，插座是由可插入的若幹零部件組成。

*第 3 級・*第 3 級連接是 PWB 之間的連接。插座（第 2 級）已經包含了電連接器的基本元件，正是在第 3 級將會出現更多電連接器的慣用概念。有兩種基本的 PWB 電連接器：卡邊緣式電連接器與兩件式電連接器。正如其名稱所暗示的，卡邊緣式電連接器的一半（即插頭或插座）爲 PWB 的邊緣。而兩件式電連接器，其插頭及插座構成金屬接觸。隨 PWB 尺寸及安裝接腳需求的增加，爲縮小容許公差量及減少幾何形狀的限制，兩件式電連接器的運用比邊緣式電連接器占有優勢。

*第 4 級・*第 4 級連接是系統組件間的連接。系統組件可能是單個的 PWB 或分離的單元例如硬盤驅動器或電源。典型的第 4 級連接根據連接組件的種類，可包括兩件式電連接器與線纜裝配。

*第 5 級・*第 5 級連接是系統組件與系統輸入/輸出間的連接。系統組件與系統輸入/輸出間的連接可以是直接安裝在板上的電連接器或通過一線纜。

*第 6 級・*第 6 級連接是系統與周邊設備或系統間的連接。這些連接典型的是線纜裝配。

附：上述幾節對電連接器電阻的構成、導線及線纜的區別、電連接器與 PWB 的兩種連結技術及電連接器的連接層次作了簡要的介紹。電連接器的總電阻由固定連接電阻、接觸彈片電阻、可分離接觸面電阻三部分組成，其中

接觸彈片電阻占總電阻的絕大部分。線纜與導線除了結構有所不同外，更主要是在其應用及抗幹擾功能上的不同。電連接器與 PWB 有穿孔技術及 SMT 技術，穿孔技術穿孔技術（THT）利用在 PWB 上穿孔及波峰焊程序，SMT 已有介紹。電連接器的連接可基本分爲六級層次，即：芯片與外殼或主電路板，外殼與 PWB，PWB 之間，系統組件間，系統組件與輸入/輸出，系統間或系統與其外設間。關於級別六，是有關系統與外圍設備或者系統與系統之間的相互連接，最典型的便是用相連裝配方式來連接。

在與連接器的設計、選用方面，目前所用的連接器其相互連接的級別是從以下几點考慮：

1.可分離性及耐久性的需要（可提供方便的插拔效果）

2.標準性（具有通用的標準，可互換）

可分離性及耐久性：

早期規定，級別 1 和級別 2 所定的相互接合專指持久性。級別 3 是最先將相互連接的可分離性作爲考慮因素而提出的，尤其是對於那些插拔次數較多的連接器，對其持久性的考慮將不是擺在最重要的位置，而對插拔力大小的考慮，隨著端子數的增多而顯出越來越重要的地位。低插入力和零插入力連接器是目前人們致力開發的對象。當然，隨著芯片和 MCMs 上的端子數的增多，該等低插入力連接器或者零插入力連接器在設計時也會注重其端子耐久性的考慮以滿足連接級別 2 的要求。級別 4 和級別 5 著重強調連接器要滿足其不斷增加的插拔次數的需要。按這樣的標準製出的連接器其端子插拔力較爲適當，實際上，該等連接器即使其端子數爲几十乃至几百，其插拔力仍會小於級別 3 連接器的插拔力。級別 6 所提供的連接器在保持原有插拔力不變的基礎上，使端子有效插拔次數大幅度提高。某些與外圍設備相連的諸如電子卡連接器的端子連接，其要求插拔次數不低於數千次，這就需要在可分離之界面嚴格地控制其設計及選材等各種因素，尤其要提高小型化連接器之結構緊密度。

標準性：

標準性是指各種不同的連接方式之間具有通用的標準，級別 1 和級別 2 所指的連接器其包裝和插裝的標準是很重要的。其生產和組裝過程會涉及到一部分該標準性以滿足第 3、第 4 級別之要求，而第 5、第 6 級別的連接器其

相干性及兼容性則顯得更加重要。

這一觀點主要是針對各種級別的連接步驟作出簡要說明，指出各級別連接方式之間具有相互交疊性，而且同一連接器或連接器類型可用在不同的連接級別當中。了解該等相互交疊性質，將會有助於了解以後所介紹的各類連接器的功能，以作爲對各種連接級別的補充說明。

1.5.2 連接器分類

這一章里，連接器將被特殊地看作是固定連接介質而不當作是連接系統來分類。按這種分類方案連接器將有三類最基本的類型即線對線、線對板及板對板。圖 1.11 所示爲三種類型連接器的結構。我們再次強調，這三種類型的連接方式並非截然不同。以下兩個原因可說明這樣的類型交疊狀況。首先，同一種連接器的設計方案只需經過在連接方式上稍作改變後再重新定義，即變成可適用於另一種類型連接方式的新的設計方案；其次，一條線纜在裝配時可於其一端裝上線對線連接器而於另一端裝上線對板連接器，例如：I/O 連接器 5 級產品的外形便是其中最常見的例子。若避開這種連接形式的類別模糊性而不談，該等連接形式正好提供了連接器分類的有效依據。

・線對線連接・

線對線連接同樣也包括了線對線纜或者線纜對線纜的形式，其定義特征是兩根單線個體或者是兩條線纜中的對應導線相互永久性連接。該等永久性連接更多地常見於固定連接中線對線連接以及 IDC 連接。捲曲連接常見於不連續的線連接器中，IDC 因其在與導線相關及線束末端處理上具有優越性而常用於支配線纜連接器，線對線連接器具有各種各樣幾何形狀的塑膠支撐件如直角和圓形聚合形體的塑膠件，還有許多不同形體之組合形狀的塑膠件及金屬屏蔽殼體，主要在軍事上得以應用。

・板對板連接・

前面已提到過兩種類型的板對板連接器，如插圖 1.12 所示，一種是單片連接器或成爲卡緣，另一種是雙片連接器。第一種板對板連接器設置於電路板邊緣故稱卡緣，其發展至最終將會變成雙片連接器，因爲印刷電路板技術性能及其尺寸在不斷增長，當板的尺寸增加，其結果將導致連接器的容量增大，從而端子數增多，連接器插拔力增大，電路板印刷電路的容量增大將導

致線路密度過大，單片連接器很難滿足其要求，所以，其最終將發展成雙片連接器。

・線或線纜對板連接・

在線對板連接中，有一半連接器是與線或線纜相連，也有與印刷電路板相連，與前述線連接一樣，板連接亦是如此，只不過需要壓入或焊接兩片連接器，許多卡緣式的連接器依然在應用，其端子配合界面適合可分離的連接性，線對線連接器也是大同小異，它們均是出自同一家製造廠。線對板連接器還具有很多其他的用途，其發展方向是線纜對板連接器，或是利用前述 IDC 的優越性進行線纜裝配。

・總結・

這種形式當然不是給連接器分類的唯一方法，但這種方法確實能很好地實現比較各種連接器的目的。每一類型的連接器將在第 13 章里作細緻地討論，在這一章里還將討論一些附加類型的連接器如：同軸連接器、遮蔽連接器、過濾連接器及可控阻抗連接器等。

1.5.3 連接器的功能應用

隨著連接器應用範圍的不斷擴展，它們可根據其兩大基本功能而分成：信號傳輸及電傳輸兩類。在電子應用領域這兩類連接器的顯著特點在於其端子上一定帶有電流，在其他的應用當中，端子所提供的電壓將同樣作爲很重要的考慮對象，雖然同一種端子的設計可同時作爲信號和電量傳輸兩種功用，但在多種相類似的接觸方式的應用上來看，許多電傳輸連接器在端子設計時僅僅把電量傳輸的需要作爲唯一目的。

・信號傳送・

信號傳送可分爲兩類：模擬信號傳送及數字信號傳送。這種分類是基於很多共同特征來描述的，在這部分的介紹當中我們對其並不作詳盡的討論，數據信號以及與其相關的連接器將在第 12 章中討論。

不論模擬或數字信號連接器，其所需功能主要應能保護所傳送的電壓脈衝信號的完整性，該完整性應包括脈衝信號的波形以及其振幅。數據信號在

脈衝頻率上與模擬信號有所區別，其脈衝傳遞速度決定了所保護的脈衝的最大頻率，數據脈衝的傳遞速度比一些典型的模擬信號要快得多，有的脈衝在連接器中的傳遞速度已接近千億分之一秒的範圍，在當今微電子技術領域中，通常把連接器當作一導線看待，因爲與增長如此之快的頻率相關的波長能比得上連接器的尺寸。

當連接器或是一互相連絡系統諸如一線纜裝配被運用於高速數據信號傳輸中，相應的對連接器性能的描述也就改變了。代替了電阻的特征阻抗以及互相連絡系統中的串音變得尤爲重要。控制連接器的特征阻抗成爲一大意識潮流，在線纜中便是對串音進行控制。特征阻抗在連接器中之所以具有如此重要的地位，是因爲電阻的幾何外形很難做到完全統一，加之連接器尺寸又很小，必須將串音的可能性最小化。在線纜中，幾何形狀的控制較易實現，其特征阻抗也易控制，但是線纜的長度將有可能引起潛在的串音。

在連接器中控制特徵阻抗是圍繞這個理由而進行的，在典型的開放式端子區域，連接器阻抗(和串音)是通過控制端子以合理的分佈方式而達到的。於此類信號而言，接地比率是這種分布的一種反映，接地比率減少了。當然，這樣的結果就會減少可用于傳送信號的端子數目。與信號端子相關的理由位置是很重要的考慮因素。爲了避免接地端子的減少，具有整體的接地平面的連接器系統已經得到了中發展。前文中已經介紹過了微條和條線的幾何形狀。整體的接地平面允許用於傳遞信號端子的使用，且能提高連接器所有傳遞信號的密度。圖 1.13 展示了一個開放端子區域和接地平面連接器的結構。

．電力應用．

如前所述，在上下文提到的電連接器是必須傳遞電力的。通常其電壓很低。通常用到的是如下兩種電力傳遞方法：(1)專用於高水準的當前電力接觸傳遞(2)和並行多籩信號接觸。它們每一種方法都有優有劣。

電力傳輸與信號傳輸相比有兩點不同之處。第一點，也是最明顯的，是用於傳遞較高電流。信號傳遞的電流通常不超過 1 安培，最多也不會超過幾安培，而電力傳輸的電流可達到几十乃至几百安培。第二點是由於電流導致的焦耳熱而產生的溫度升高。信號接觸過程產生的焦耳熱與周圍的溫度相差不多。相反地，電力傳輸的比率又是基於溫度的升高，溫度的升高，又產生相應的比率電流。一次 30 度的溫度的升高通常作爲一個電流比率的標準。

因此，爲滿足電流額定值及性能的穩定性要求，控制焦耳熱是很有必要的，這就需要在設計當中考慮信號傳遞的同時也要考慮電量的傳輸。尤其對電阻大的端子，焦耳熱是一重要因素，必須將其減小到最低程度，而且，接觸面的電阻也必須減小到最低程度，使其產生的熱量最小化。從選材的角度來說，當然是選擇高導電率或是橫截面積較大的端子以減小電阻，另外，增高傳輸電壓或增加接觸面積亦可減小接觸部分的電阻。

圖 1.13 關於開放端子領域(a 圖)和接地平面連接器(b 圖)的例子。(AMP 公司許可)

更高的交叉部分、多余的接觸端子，都暗示提高接觸壓力下連接器的尺寸。也就是說，實際上，有一個限製在貢獻電接觸上，包括接觸媒體和接觸的尺寸。在使用貢獻電接觸上，電力線纜的路徑，線纜大電力接觸的終點及電接觸的尺寸會成爲限製因素。

隨著在連接器設計上提倡附加的限製，並行多訊號接觸允許更多傳統的連接器被用來分配電能。這些限製首先直接針對保證通過接觸的電流的分配，同時，它們的熱環境盡可能一致。其中以下三個因素是主要的:

1．電路應是平行的電子流；也就是說，如果可能的話，經過所有的接觸電壓降應該是相同的。如果不同的電壓降對用途來說是根本性的，則這些電路將被區別對待。

2．如果可能的話，接觸時的熱效應會被減至最低，尤其指一大束的電流接觸將被避免。

3．接觸的阻抗或是在全部訊號分配裡一起計算的任意偏差必須相同。例如，依靠在接觸時存在的排列方式，在適當角度連接器獨立接觸的巨大阻抗會有差異。在設計分配的接觸時，這些差異應當被考慮。

認識到所有考慮的結果是一個明確的關於接觸的電流的影響能力的討論。降低到 50%可能會被意識到。換句話說，爲分配 100A 的訊號到 PWB，如以 1A 的電流接觸速率，那麼合適的接觸應當是接近 200A 而不是 100A，這表明，大量接觸是相當依賴於單位接觸電流速率。

．概述．

大體上，由於受終點、路線和尺寸考慮的限製，電流分配經由貢獻高電

流能力是明顯的。考慮到大範圍接觸和連接器的用途，多數電流分配的訊號接觸的用途需要更多的詳細分析，這些分析關於連接器要求和它們在本體中位置的接觸分配。

1.6 連接器測試

討論到這個程度，也就牽涉到自身在連接器設計及材料、用途的考慮。現在把注意力轉向如何測試性能；也就是說，連接器測試可從兩個方面來評估：即做什麼和如何做，爲什麼測試。

1.6.1　連接器測試的類型

首先考慮做什麼測試和如何做測試。在本書中的一些敘述中，一項連接器測試包括露天條件和設定條件的操作，由此也將定義這類操作，接下來是測試手段。例如，暴露在腐蝕性環境下的接觸阻抗測試一般被認爲是一種環境測試。以上這些牽涉到做什麼和如何做，這表明選擇和如何定義這些條件，測試哪些性能和如何做測試。至少有三類測試和測試手段：環境測試、機械性能測試、電氣性能測試。實例見表 1.1。

通過介紹測試術語，接下來考慮測試原因。

1.6.2　連接器測試的原因

連接器測試的基本原因是鑒定連接器性能。除設計鑒定測試外，原型或試驗型產品做測試可使連接器設計有充分依據，大部分連接器測試被引入每一個特定或合格測試程序用來鑒定產品性能。對於本次討論目標，特定的或合格測試不同於那種特殊的由連接器生產廠商定義的作爲每一個檢測項目的測試。就條件測試而言，它是由消費者、產業界、國家的、國際標準來共同定義每一測試程序。在每個例子裡，測試程序將包括大量測試項目：環境測試、機械性能測試、電氣性能測試。測試項目和測試手段及認可的判斷標準都與連接器設計必須滿足的使用或市場要求有關。通常，這種露天條件和測試手段判斷標準是有一些一般代表性，在種意義上覆蓋了一個市場或一個使用範圍而不是針對某一個特殊使用。

當一項特別使用成爲測試程序項目時，測試可能被指定爲性能鑒定測

試。在這樣的一個例子裡，暴露條件常常是更特別的。根據環境和暴露時間

表 1.1　連接器測試類型

類型	暴露條件	測試手段
環境測試	混合的流動性氣體	滲水性
	溫度／濕度	溫度升高
	熱老化性	潮氣吸收
機械性能測試	熱振動	抗拉強度
	振動	摩擦系數
	耐久周期	適配力
電氣性能測試	過載電流	接觸阻抗
	電流循環	轉換阻抗

長度可更適當地反映對條件及特殊使用的需求。這同樣是一個真實的測試手段及認可的判斷標準。這樣的測試是一個介於條件與性能測試的中間環節。

可靠性測試伴隨著一個相似於用在別的合格或性能測試上的測試表。然而有兩個主要區別。首先，可靠性測試要求在暴露測試和操作環境間存在一個比合格測試更嚴格的已知的聯系，換句話說，測試可靠性必須在測試與使用上有一個加速因素是已知的。這也就是說，暴露在測試 A 中 X 天要等同於在使用 B 中 Y 年。這種要求通常無法滿足，並限製了做可靠性測試的。第二點不同在重要程度和統計處理上的認可判斷標準。條件測試認可判斷標準，例如暴露條件中阻抗的最大變化是一般性的，所以它們的價值在於，通過廣泛使用，提供可接受的性能。考慮到使用，可靠性認可判斷標準將反映特殊要求，這將在很多案例中明顯超過合格價值。但可靠性認可判斷標準還將被運用去滿足更嚴格的統計要求—在特定的相同尺寸和數據分析—超過那些用在合格測試程序中的要求。

1.7 結論

本節敘述的目的是介紹術語，並對於每個將在以下章節所提到的更詳盡的主題討論提供一個上下文背景。

第二章　接觸界面及接觸過程

在第一章已說過，接觸界面的微觀結構決定了電連接器的電子性能和機械性能。例如，可分離接觸界面和永久性接觸界面的電阻值和插接力以及耐久性都依賴于接觸界面的微觀結構。因些，有關接觸界面的的基本結構和接觸界面形成的過程的知識對了解接觸界面對連接器的一些重要性能特征的影響是很必要的。這些知識，反過來，又會幫助理解界面的設計和制造界面的材料對創造和維護確實可靠的連接器特性的影響。下面的討論將主要針對可分離接觸界面，但是，這些相似的討論也與永久性機械接觸界面有關。

2.1 接觸界面的形狀

如前所述，當把插頭插入插座孔時，接觸界面就產生了。威廉先生提供了一份說明界面產生過程的詳細資料。

有時候，根據連接器和地球外表的相似點，使連接器接觸點(a-spots)具體化是很有益的。事實上，鄉村確實提供了一種非常有用的典型連接器接觸界面的拓樸模型。山丘高度與山丘間距離的比例和連接器接觸表面的微觀拓樸模型是相當相似的。兩者之差異大約在 1%至 10%之間。根據輪廓測定法(profilometric)和語義學(SEM)原理繪出的詳細的連接器表面圖與普通的地球輪廓圖是相當相似的，而且把兩個導體壓在一起，就象把美國的佛蒙特州翻過來蓋在英國的漢普夏郡，比例是 1：3，000，000。

這個類比例子闡述了關于接觸界面構形的凸凹面的重要性，并且介紹了微觀接觸界面的形狀，圖 2.1 描繪了這種微觀接觸界面的形狀。實際上，只有接觸界面的高點，即微觀凸面，能夠相互接觸。這些微觀凸面被稱爲接觸點。雖然它還受其它因素的影響，但是接觸點的數量取決於接觸面的粗糙度，這一點以後將詳述。由于尺寸太小(微米數量級)；即使在“板對板”階段，在一克力的作用下，這些接觸點也會因發生塑性變形而被破壞。這個破壞要持續到一個足夠承受施加負荷的接觸表面形成時。威廉和格林針對這一問題作了詳細的討論。

從應用的角度看，上述討論暗指實際接觸界面的大小僅取決於施加的負荷。對于一個連接器來說，該負荷對應於接觸正壓力。對于典型的連接器，

接觸界面僅有一小部分(1% 左右)是接觸的。

接觸正壓力決定接觸面積，但如何分配這些接觸區域則取決於接觸界面的幾何形狀。如圖 2 所示，球面接觸將形成無數個圓形接觸點。

因些，接觸界面的構形依賴於接觸界面的粗糙度，該接觸界面的粗糙度又影響接觸點的數量、施加的負荷(該負荷影響接觸面積)和接觸界面的幾何形狀(該幾何開關又影響接觸點的分布)。

接觸點的數量與接觸界面的依賴關係是合理的，下面將作進一步說明。按照威廉和格林的觀點，初始表面粗糙度決定接觸點的數量，但是有多少接觸點能接觸卻依賴於施加的負荷。連接器表面開始接觸時，只有最高的接觸點能接觸導通。這些一開始就接觸的接觸點的變形使得接觸界面越來越相互靠近，這樣，其它比一開始就接觸的接觸點稍低的接觸點也逐漸實現接觸導通。隨著負荷的增加，這樣的接觸點將依次變形。當足夠數量的接觸點變形到某一程度，即，當所有接觸點面積之和足夠支承施加的負荷時，這種變形便停止了。如果引用一個硬度的概念，那么，對這個過程就可進行直觀的描述了。材料的硬度是用力和單位面積比來定義的，例如克力每平方厘米。也就是說，如果某材料的硬度是 10 克力每平方厘米，那么一個 10 克力的負荷或力將產生 1 平方厘米的接觸面積。那么，接觸點的數量就依賴於表面接觸點和施加的負荷。

接觸界面的宏觀幾何外形(例如球面與平面平面接觸)決定了機械接觸面積在整個接觸面積中的分配方式。圖 2.3 描述了影響的過程，該圖用實例說明了當外載荷增加時，接觸點的尺寸和數量也相應地變化。

摘自 Green Wood 的圖 2.4 提供了一個上述觀點的實驗依據，該實驗顯示，當一個鋼球分別用兩種不同的載荷，如 20 克力和 80 克力去擠壓一平面時，兩者的接觸界面就產生了。該實驗表明，在載荷作用下，接觸點的數量、單個接觸點的尺寸，以及由無數接觸點組成的宏觀接觸區域面積都將相應地增加，這一結果與上面的論述完全相符。

接觸界面的粗糙度或接觸點模型可以描述如下：

接觸界面是由分布於宏觀接觸區域上的接觸點組成的。宏觀接觸區域的大小取決於接觸界面的幾何外形。接觸點的數量和大小處決於表面粗糙度和負荷。負荷也決定了接觸界面的光潔度。

這種模型描述了接觸界面上的機械構形，但是它僅僅從微觀上描述了接觸界面的外形。然而，考慮精煉爐的細微表面，甚至其表面的原子或分子結構都是非常重要的。所有的金屬表面都覆蓋著一層原子數量級的薄膜。圖 2.5 簡要地表達了幾種可能覆蓋於金屬表面的薄膜。在金屬表面的最外層可能是大量的化合物薄膜。氧化物是最常見的一種，其它物質(如：硫化物、氯化物以及復合膜)也可能存在，這是由金屬材料和金屬暴露環境條件決定的。不同金屬的熱力學性能和運動學性能差異很大，熱力學性能決定生成何種薄膜，運動學性能則影響薄膜的生成快慢。

如果考慮接觸界面鍍層的話(這一點將在第三章論述)，那么上述薄膜對連接器性能的影響就顯得相當明顯了。事實上，如第一章所述，接觸界面的鍍層可以分爲貴重元素(不易發生化學反應的元素，如，金)和非貴重元素(如，錫，該元素表面通常有一層薄薄的氧化物層)。因此，可以認爲：生成化學膜的類型以及生成速度都依賴於基材金屬和環境中的化學物質。除了化學物質以外，環境溫度和濕度也在薄膜生成時扮演了重要的角色。

除了上述化學膜以外，其它復合膜(特別是含水量、組織以及各種各樣的其它污染物和微粒)也可能存在於金屬外表。這些復合膜也可能對連接器的機械和導電性能產生很大的影響，這一點將在以后闡述。

2.2 接觸界面和機械性質

本部分主要討論點接觸模式決定的接觸界面的機械特性，尤其是對摩擦和磨損的影響。從連接器性能的角度來看，摩擦的重要性在於它對於連接器配合力的和接觸界面的機械穩定性的作用。在連接器性能顯然退化之前，磨損過程將影響連接器能經歷的配合周期次數。點接觸模式對摩擦和磨損的作用可以由圖 2.6 中得到解釋。在圖例中展示了兩種點接觸方式，其中 a 區接觸時間比 b 區接觸時間更長且經歷的變形量更大。如 2.2.2 部分中所述，在這些條件下 a 區的接觸面積將大於 b 區，也就是說 a 區的連接將會更比 b 區穩固。此時 a 區的剪切力(或剪切強度)也比 b 區大。這種變化將會影響點接觸的摩擦和磨損。

爲預測將會遇到的問題，摩擦和磨損是兩種不同的方法，來描述點接觸界面在受到壓力之下的分離。接下來的討論僅僅涉及到單一點接觸模型。當

然接觸界面的性能將會影響多個的點接觸結構以及由各個獨立的點接觸性能總和表現出來。此時將首先考慮摩擦作用的影響。

2.2.1 摩擦

摩擦表現爲一個力量，其作用是阻止兩個接觸表面之間在受到剪切力的作用下沿相對的方向移動。摩擦力可以由公式 2.1 來確定：

$$Ff = \mu Fn \qquad (2.1)$$

其中， Ff==摩擦力

μ ==摩擦係數

Fn==維持兩表面接觸的力---對連接器而言是接觸正壓力

由 Rabinowitz 的理論，摩擦力可看作是分離兩表面間連接的必需力量。摩擦力可以從下面公式中，由接觸界面強度而進行簡單的估計：

$$Ff = \tau s\ Ac \qquad (2.2)$$

其中， τ s==剪切強度係數

Ac ==點接觸面積

接觸區域與硬度，H(接觸高度)，以及由等式(2.1)中的力 Fn 有關：

$$Ac = \kappa H/Fn \qquad (2.3)$$

比例常數 κ 由很多參數而定，例如表面鍍層的作用，潤滑的狀況，表面粗糙度，接觸正壓力以及變形的種類(彈性/塑性變形)，由此，我們將公式(2.1)與公式(2.3)合並後可得到：

$$\mu = \kappa\ \tau s / H \qquad (2.4)$$

如 Rabinowitz 所提出的，剪切強度和硬度同樣要由材料的性質來決定，因此公式(2.4)中的係數可以被看作爲 1 的常數。

在實踐中，摩擦係數是從 0.05 到>1 不等，與理論上的偏差僅僅反映的了假設的簡化模式的限制，尤其是接觸總面積是金屬以及表面的分離產生在原來的接觸界面上。

低的摩擦係數值表明接觸表面是由鍍層覆蓋的，其中有化學聯接層(如氧化物)，吸收層(如水或有機物)，以及趨向於應用的潤滑劑層。這些塗層對於減少這兩種機械接觸表面的剪切強度都是非常重要。

位於接觸端的氧化層可減少金屬接觸面積。氧化層能支持但並不能促進

機械式的金屬接觸。減少金屬接觸面積將導致剪切力的降低，其最終的結果是摩擦係數的減少。

有機塗層尤其是潤滑劑，提供了在兩表面間具有更低的剪切力的接觸表面和 inhabit 金屬接觸層，尤其是兩表面之間具有相對運動。

高的摩擦係數表明，點接觸的塑性變形作用和金屬性連接的產生，將會導致比基礎金屬材料更高的剪切強度。應用到接觸界面上的剪切力將會導致在接觸界面上一定距離內接觸碎片的產生，此時將會導致更大的碎片接觸表面積同時也將導致更的摩擦係數。使連接的碎片從原來接觸表面中分離出來的可能性提供一種磨損過程的模式。

2.2.2 磨損過程

正如 Bowden 以及 Tabor 所提到的，摩擦和磨損過程要由接觸表面的分布位置而定。如前現所提到的，點接觸塑性變形將會由於加工時的變硬而導致接觸強度的增加。除了加工變硬之外另外一機理同樣很重要：也就是冷焊。冷焊與經過接觸界面聯接的產生有關，而此接觸界面是出現在兩金屬表面將成爲 intimate 接觸時。 在此條件下，相同的聯接機理將對金屬的粘著力量起到作用。事實上冷焊界面的強度高於基礎金屬，這是因爲變形時產生加工硬化。這種可能性對在受到剪切力作用下的接觸將會產生很大的影響，也同樣要對磨損機理產生影響。現在回到圖 2.6 中的 a-區域，考慮一下當給定冷焊接觸界面的模式時接觸界面的分離怎樣出現。在剪切力的作用下假定 a-區經過了冷焊，將會從原來的接觸表面中分離出去，導致磨損碎片的和金屬轉移，此時情況如圖 2.6 中的下部所示。b -區部分具有較低的變形，因此也具有較低的冷焊時的加工硬化，也將會在原來接觸表面的附近產生微小的分離，也就是說基本上沒有磨損和金屬轉移。

前述提到的磨損過程中，a 區爲粘著磨損而 b 區爲光滑磨損。粘著磨損的特性是高的摩擦係數和在兩界面間出現金屬轉移，而光滑磨損過程是低的摩擦係數和極少的金屬轉移。應當注意到磨損是一個動態的作用過程，它只是當兩接觸表面間有相對的運動時才會產生。在此運動過程中，連接增長和 prow 成形將會隨著大量的接觸界面的形成和分離而出現，此時的結果將是磨損過程分布在其滑動的軌跡上。粘著磨損和光滑磨損軌跡上表面分別是粗糙和光

滑的，此時可從相對的金屬轉移量而定。

同樣應當注意的是，如果 a-區分離產生的轉移磨損部分，將會在接觸界面上產生如研磨一樣的作用，這是由於它將產生的加工硬化，這裡也就提到了第三個磨損機理：研磨磨損，如 Antler 所提到的，研磨磨損將會導致接觸界面的磨損率的增加。

2.2.3 表面薄膜的摩擦和磨損

表面膜對摩擦力及磨損的影響可通過分析圖 7 加於討論，圖 7 大致顯示了摩擦力係數的變化，μ，作爲隨負載變化的函數。負載變化開始及其存在的範圍依賴於表面膜，構造或化學接合和表面潤滑狀況。摩擦系統數隨負載的變化能從小於 0.1 到大於 1.0。據等式（2.5）顯示，磨損係數 κ ，有相同的變化趨勢，但因爲磨損機理的變化其變化階數很大，例如，接合處增大與凸頭的形成。

首先考慮摩擦。低負載狀況下，氧化物的破損與脫落是不完全的，只有一小部分金屬接觸面產生及粘附，導致低摩擦係數。隨負載的增加，表面變形增加，從而使表面氧化物破裂十分容易。隨金屬接觸面的增大，摩擦係數亦跟著增加。最終，金屬接觸面變得很大，摩擦係數穩定下來。

相似的情況在磨損係數變化中也可以見到。磨損係數可由一簡單的破損等式確定：

$$v=\kappa Fn\ L/H \qquad (2.5)$$

此處 v==通過單程長度 L 的容量

H==硬度

Fn==負載

κ ==磨損係數

在該狀況下，如前面所述，磨損係數集中於破裂的連接處。低負載情況下，小接觸面積及極小的冷焊導致小連接處增大及凸頭形成，並伴隨小的磨損在原始接觸面附近發生分裂。負載超過一定範圍，磨損係數依賴於兩種材料特性與接觸形狀，通過接觸增大與凸頭形成，表面薄膜破裂的增加促進了冷焊的形成和導致粘附性磨損的增強。隨這種磨損機理轉化的產生，磨損係數便顯著發生變化。變化負載也依賴於接觸面的潤滑狀況，是因爲在滑動期

間潤滑對接觸形成動力的影響。有效的潤滑可減少與摩擦係數及磨損係數二者有關的金屬接觸面。Antler 建議，對硬金屬接觸面而言，由光滑磨損向粘著摩擦變化所需的負載，無潤滑接觸面大約需要 10 克力，而有潤滑的接觸面則超過 500 克力。通常金鍍層電連接器的正壓力範圍從 50 克力到 200 克力，暗示了使用潤滑可延遲粘著磨損的發生。但是，該情況並非必定出現，因爲在前述期間全部接觸表面形成了污染膜 。這些污染物能提供表面潤滑，雖然是以污染的方式。Antler 指出這些偶然被污染的接觸面可承受的負載範圍大致爲從 25 克力到 250 克力。爲確保一致的低磨損狀況，有計劃的潤滑是有益的。接觸潤滑將在第三章討論。

2.2.4 機械特性小結

接觸面的機械性能，尤其是摩擦及磨損，強烈依賴於接觸面粗糙微結構，因爲這些粗糙微結構很小，它們在較小的負載下發生彈性形變而導致微結構接觸面的工件硬化及冷焊的發生。接觸點，接觸點的破碎決定了接觸面的摩擦係數及磨損係數。摩擦係數影響接觸面的配合力和電連接器接觸面的耐磨損持久性。

2.3 接觸面形態及電氣特性

影響摩擦及磨損的相同結構及薄膜決定了接觸面的電氣特性。簡單而言，本討論從金屬接觸面開始，薄膜的影響將在後面考慮。

兩個金屬面接觸產生一電阻，術語稱之爲接觸面壓縮電阻，壓縮電阻產生的根源，如 Holm 所描述，是一個基本的結果並可通過圖 2.8 加於說明，接觸面接觸點微結構使電流被壓縮爲僅從接觸點通過，因而會產生“壓縮電阻”這一術語。根據 Holm 所述，對單一接觸點來說，壓縮電阻由下式確定：

$$RC=\rho 1/2\alpha+\rho 2/2\alpha \qquad (2.6)$$

此處 $\rho 1$ 與 $\rho 2$==接觸材料的電阻係數

α ==接觸接觸點的直徑

如果兩種材料相同，（2.6）式可簡化爲：

$$Rc=\rho/\alpha \qquad (2.7)$$

應該注意的是壓縮電阻是一種幾何形狀上的效果。這就是說，如果如 2.8

圖所描述的幾何形狀是因爲在實心原料上加工一細小凹槽而形成接觸點，盡管沒有接觸面存在仍有壓縮阻抗產生。流過變小了的通過面的電流的壓縮是因爲接觸面結構的相互獨立。這種接觸面構造能夠導致阻抗的增加超出根據式（2.7）所得出的結果，例如薄膜，但是減少壓縮電阻的唯一方法是增大接觸面積。

爲了本討論的目的，多個接觸點及它們接觸電阻的分配對總接觸電阻的影響可由圖 2.9 說明。插入的等式表明分布在同一接觸面的單一接觸點和多個接觸點的壓縮電阻依賴於其接觸面的幾何形狀。而多點接觸等式與通常接觸表面更爲相關：

$$Rc=\rho/n\alpha+\rho/D \qquad (2.8)$$

此處　n==接觸點的個數

D==接觸所分布平面的直徑

該等式表示一係列宏觀壓縮電阻的合成決定於各個接觸點的微電阻以及這些接觸點所分布的接觸面積。圖 2.10 說明了這兩種作用。第一條件明確了並行排列的多個接觸點的阻抗。對金屬導體而言，這種情況的電流壓縮與接觸面非常接近。第二個條件則表明了電流壓縮通過分布接觸面的結果。等式（2.8），可清楚表明，當接觸點的接觸數目非常大（數以十計）時，第二個條件尤其依賴於接觸點的分布。在這些條件下，圖 2.9 提出了一種近似的壓縮電阻的第三等式。對顯示的這種情況，其假定了接觸點的圓形分布，分布面積（因而其直徑）能夠從接觸材料硬度及其提供的壓力中得到，結果如式（2.9）。

$$Rc=\kappa\rho\sqrt{(H/Fn)} \qquad (2.9)$$

此處　κ==與表面粗糙程度，接觸形狀及彈性形變有關的係數

H==硬度

Fn==接觸正壓力

2.3.1 金屬界面的壓縮阻抗

對以上這樣簡單的等式的論証在插圖 2.11 中會有所提示，從具體角度來講，它所涉及的就是針對接觸表面爲銅、鎳、黃銅及錫這四種金屬其各自的接合力以及相對應的壓縮阻抗之間的對比關係。從圖中可得知該接合力非常

大，雖能保証一個較大的接觸面積，但是接觸表面的鍍層金屬容易被破壞，該兩者之間的相互關係可用等式(2.9)來表示。圖 2.11 中的表格所列的是關於三種金屬的硬度及電阻係數。爲了減小對壓縮電阻的影響，必須控制接觸面的粗糙度，對銅、黃銅、鎳三種金屬均應如此。對於錫，由於其极易遭磨損破壞而通常不用於直接受力部位，因此對其粗糙度不作討論。首先來討論關於銅的一些數據。圖中虛線表示計算值，實線表示實驗測試值。可以看出虛線與實線重合的非常好。對於錫和鎳，圖中僅僅顯示了其測量值，因此對其只進行相關的討論。注意到鎳具有比銅更高的電阻係數及硬度。由於電阻係數及硬度與壓縮電阻的關係分別爲線性及平方根關係，因此鎳的壓縮電阻值會是銅的八倍。比較其測量值可看出接觸壓力爲一千克力左右時，其重合度較好。對於錫，其電阻係數增加了十倍而硬度卻降低了五倍，因此其壓縮電總體上增加了，但這並不是說光考慮電阻係數的大小就能判斷壓縮電阻，因爲其接觸面的面積會增大。這些數據表明根據點接觸模式導出的 2.9 式是正確的。

然而，在連接器涂層部分，上述簡單的等式運用起來受到干擾而變得複雜。因爲在涂層部分需考慮到各層之間的相互作用使係數 K 很難決定，導致很難決定適當的硬度及電阻係數。在具有錫涂層的黃銅接觸面，其利用錫的硬度和黃銅的電阻係數，如圖 2.12 所顯而易見。

通常錫涂層的厚度會大於 2.5 微米，錫是一種十分軟的金屬，接觸面磨損通常發生在錫涂層里。另一方面，有兩個原因導致電流的壓縮主要產生在接觸彈片即黃銅涂層上。首先，黃銅的傳導率略等於錫的傳導率的 2.5 倍，因此在尚未接近有壓縮變形的接觸表面時，電流在黃銅中的分配會保持恆定。接觸部分的面積與接觸彈片橫截面積的比越小則這種效果就越明顯。

由圖 2.13 所示可顯而易見這種選擇的正確性。壓縮電阻是通過等式(2.9)對錫的硬度及黃銅的電阻係數進行換算而得出，其可變的接合力是被指定在虛線所包括的範圍。覆蓋在黃銅表面厚度爲 2.5 微米的錫涂層的測量電阻，作爲接合力的一個特性而繪製成一條實線。該實線與虛線具有良好的重合性，而錫涂層的厚度若爲 12.5 微米，則其測量電阻值實線與計算值虛線產生了較大的偏移，其原因可由圖 2.14 的例子說明。厚的錫涂層對壓縮電阻導入了較大的電阻（主要是因爲錫的電阻係數較大的緣故）。

顯然，等式(2.9)的運用具有一定的限制條件，最起碼要先了解設計及選材對壓縮電阻的影響，尤其要知道一般接合力及接觸面的分佈是決定接觸電阻的主要因素。接觸面的分佈主要依賴於接觸面的宏觀幾何形狀，亦即插座端子與插頭端子各自接觸表面的幾何形狀。

2.3.2 表面氧化物的接觸電阻

也許在這裡還有必要重提等式(2.9)所介紹的金屬接觸，不論是何種金屬涂層，其上均會附著一層諸如氧化物之類的化學物質，則前面所提及的接觸面變形實際上就是指這些氧化物的變形。至於表面氧化膜，不管是開頭所提到的還是在連接器的運用中出現的，均是影響接觸界面的不利因素。選擇合適的接觸面鍍層將對生成的氧化膜起著決定性作用，不僅可決定氧化膜的種類還可決定其受到破壞的容易程度。這類話題將在第三章中作詳細討論。

如果表面氧化膜並沒有消除或只是部分被消除，其結果將導致給壓縮電阻額外加上一個電阻。氧化膜電阻可有兩種存在形式，如圖 2.15 示。如果氧化膜沒被消除，伴隨壓縮電阻的產生將會產生氧化膜電阻（如 2.15 圖左側示意）。如果氧化膜被部分消除，則該氧化膜電阻會成爲有效電阻與金屬壓縮電阻並聯（如 2.15 圖右側示意）。這種高阻抗的氧化膜電阻由於金屬接觸導通而相當於被有效地減小了其厚度。但是，從整體上來講，電阻值還是升高了，原因是氧化膜的存在減小了金屬接觸面的面積。

表面氧化物引起的電訊衰弱．氧化物的電阻係數可以爲很高，相當於半導體到絕緣體的電阻係數範圍，並具有高度可變性。氧化物的可變性可發生在以下三個化合物性質方面：

・成份

・結構

・厚度

這三個性質，均與氧化膜形成的條件有關。特別是環境的成份，溫度，溼度對氧化膜的結構、性能起著決定性作用。由於氧化膜的易變化性，所以對氧化膜進行機械性的破壞是處理氧化膜的首選方法。

然而，氧化膜的結構卻有利於與電相關的方面，Wagar 和 Holm 均對此作過詳盡描述，現簡要地概括如下。一個電場穿過一絕緣體或者一高阻抗薄膜

將會導致產生新的機構，如電橋、可提供 fritting 的機構，用一臨界電場導致電壓穿過氧化膜是實現這一目的的必要條件。可是，更多的情況下臨界電場（甚至是臨界電壓）也是依賴於更前面所提及的可變因素：表面氧化膜的厚度、組成及結構。另外，當電橋產生以後，電橋的電阻也要依賴於電流的大小。該等電阻的可變化性加上電壓需求的可變化性會導致表面氧化物的電子故障並給一般的電子應用帶來麻煩。

表面氧化物的机械破裂．因爲制造一金屬接触界面的需要，表面氧化物的机械破裂在連接器上尤其重要。馬口鐵（鍍錫鐵皮）以錫作爲接触鍍層來源于這樣一個事實，即馬口鐵表面上原有的氧化物薄膜在連接器對接時很容易破裂和轉移。氧化物轉移的机理如圖 2.16 所示。在馬口鐵表面覆蓋有一層又薄（几十分之一公尺）又硬又易破裂的氧化物薄膜，薄膜下的馬口鐵則又軟又具延展性。當于此馬口鐵施加一接触壓力時，很薄的氧化物層不能承受該載荷，又因爲它很易破裂，在這樣的條件下，載荷被傳導進又軟又具延展性的馬口鐵內部，其在載荷下開始流動，且隨著馬口鐵的流動，氧化物薄膜擴大裂縫而馬口鐵通過裂縫被擠出。此外，馬口鐵表面開始形成可電性導通的區域。威廉姆斯在鋁而不是在馬口鐵上証實了這种机理，如圖 2.17 所示。圖 2.17 之左圖表示當一球載荷施加在鋁平面上時，鋁表面上的氧化物所發生的破裂；右圖表示在鋁的表面氧化物被去除此之后，原來發生破裂的區域。在鋁的氧化物界面上，鋁被明顯從裂縫中擠出，而比鋁更軟的馬口鐵則更易受這一机理的影響。圖 2.18 的數据可証實上面的假設。圖 2.18 表明對于一個鋁与鋁相互接触的系統，接触阻抗對應于接触壓力的關係。

接触几何形狀的研究包括半球面而不只是平面，加載与卸載的數据都表明：甚至在很小的接触壓力下，當加載時，馬口鐵的表面氧化物很容易地轉移是接触阻抗急劇下降的一個象征，這暗示一個金屬接触界面的創建。進一步的金屬接触的証据能夠從以下事實被推証，即隨載荷的移動，低阻抗价值被保持。這种特性被解釋成爲在接触界面發生了冷焊。隨載荷的降低，冷焊維持完整的界面。更進一步的冷焊的証据是事實上，在許多情況下，對于卸載時的分离接触，一個确定的壓力是必要的。泰姆塞特在研究鋁的接触時証明了同樣的特性。

在圖 2.18 的載荷條件下，從軟和硬的物質上薄膜轉移的不同可以得到圖

2.18 与圖 2.19 的數据比較．在這個例子里，對於半球面和平面，接觸金屬都是銅合金 C72500(89%銅 9%鎳 2%錫)。空氣中熱老化性導致了表面氧化物的形成。C72500 明顯比馬口鐵硬所以在載荷條件下的破裂會更低。因爲正是破裂驅使裂縫和表面氧化物分離的產生，而在 C72500 比在馬口鐵上更難轉移氧化物。此外，C72500 通過裂縫擠壓而出的部分將更少。這些不同如圖 2.19 所示。隨載荷的施加，對於分裂表面氧化物，更高的接觸壓力是必要的。直到 100 克力被施加，否則不會發生接觸阻抗的明顯下降。由於 C72500 比馬口鐵更硬，所以它上面的接觸點會更小。此外，變形的減少將導致更少的氧化物的分離與擠出。因爲金屬接觸區域的減少，這些機理影響下的組合會導致更高的接觸阻抗。C72500 的卸載特性也不同。它比馬口鐵具有更好的彈性，也經歷更多的彈性變形，並隨載荷的移動發生彈性回復。這會產生分離表面及打破接觸點的趨勢。正象所指出的那樣，在低於 60 克力時接觸阻抗的增加。以上數據表明，至少在微觀上，當缺少殘余應力去提供接觸界面的機械穩定性時，單純依靠冷焊不可能足以維持接觸幾何形狀界面。這個事實會在以后被重提，並將在討論卷曲連接時表現出其它的意義。

2.3.3 總論

在電子與機械方面，接觸界面的粗糙模式都提供了解釋。簡單說來，接觸界面形態論依靠(depend on)表面粗糙度、接觸界面上的壓力和接觸表面的幾何形狀。表面粗糙度強烈地影響粗糙接觸點創建的數目。接觸界面壓力，決定全部的接觸區域，而接觸彈性幾何形狀決定遍及(over) 粗糙分配的區域。這解釋了爲什麼接觸壓力和接觸幾何形狀是主要的設計對數的原因，並且這兩個因素都將在 6.2 節中詳細討論。

第三章　　接觸鍍層

大多數電連接器使用接觸鍍層的原因有兩個。首先保護接觸彈片的基材金屬不受腐蝕，其次是優化接觸界面的性質，尤其是連接器的機械和電氣性能。

首先應考慮腐蝕防護。大多數電連接器接觸彈片是由銅合金製成，而銅合金在典型的電連接器工作環境中容易受到腐蝕，如氧化和硫化。實際上，接觸鍍層是用來封閉接觸彈片與工作環境隔開以防止銅的腐蝕。當然，鍍層材料在其工作環境里必須不被損害（至少在有害的範圍內）。作爲腐蝕防護重要功能的同時，優化界面是選擇合適的接觸鍍層材料的考慮因素。

與機械性能有關的參數主要是影響鍍層的耐久性、或磨損，以及配合力的因素。正如第二章所提到的，事實上這些要考慮的因素，是在相同基本效果下的兩種不同的看法，即多點接觸界面在相對運動過程中冷焊連接的分離。最重要的機械性能包括硬度，延展性和鍍層材料的摩擦系數。所有這些性質要依鍍層材料的內在性質及其所運用的工作過程而定。

電氣性能的優化可從如下方面考慮，即對已經存在和即將形成的位於接觸鍍層表面薄膜的控制。如第一章討論的，電連接器電氣性能的一個主要需求是建立和維持穩定的連接器阻抗。爲達到這個目的，需要一個金屬接觸界面以提供這樣的固有穩定性。建立這樣的接觸界面需要表面薄膜能在接觸配合的時候避開或分裂。這兩種不同的選擇明確了貴金屬或稀有金屬和普通金屬之間的區別。

在不同程度上，貴金屬鍍層(如金，鈀以及它們的合金)其本質對表面薄膜來說是游離的。對這些鍍層來說產生界面的金屬接觸相對較簡單，因爲它僅僅需要接觸表面的伴隨物在配合時的移動。通常這很容易實現。爲維持接觸界面阻抗的穩定性，連接器設計要求應注意保持接觸表面貴金屬性以防止外在因素如污染物、基材金屬的擴散以及接觸磨損的影響。以上每個因素都將加以詳細討論。

普通金屬鍍層—特別是是錫或錫合金—其表面都自然覆蓋有一層氧化薄膜。錫接觸鍍層的利用，是因爲這層氧化物容易在配合時候被破壞，這樣金屬接觸就容易被建立起來。電連接器設計的需求是能保證氧化膜在連接器配

合時破裂，而在電連接器的有效期內確保接觸界面不再被氧化。再氧化腐蝕，在磨損腐蝕中，是錫接觸鍍層最主要的性能退化機理。銀接觸鍍層最好被當作是普通金屬鍍層，因爲該鍍層容易受到硫化物和氯化物的腐蝕。由於氧化物的形成通常也把鎳鍍層當作是普通金屬。

本章將討論接觸鍍層材料和電連接器的選擇標準。在討論材料之前先按次序討論一下採用接觸鍍層的主要方法。

3.1 鍍層方法

有幾種方法在接觸鍍層中得以運用。主要有三種技術：

・電鍍（electrodeposition）

・噴鍍（cladding）

・熱浸（hot dipping）

3.1.1 電鍍

電鍍是在連接器制造中，在接觸彈片上加以鍍層有最爲廣泛的使用方法。這里僅對其基本過程作一簡要描述。更爲詳細的討論可見於 Durney 和 Reid 以及 Goldie 的論述中。

典型的電鍍單元如圖 3.1 所描述。電鍍是電鍍液中的金屬離子沉積到陰極(本圖中是接觸彈片)，其中金屬離子可來自電鍍液中的可溶性陽極，以補充沉積到陰極上的金屬離子。在這個簡單的單元中，沉積電鍍過程主要是由溶液的化學作用和陰極表面的電流分布來控制。

原則上電鍍過程的現象描述是非常簡單的。鍍層材料如金，沉積在底層基本金屬不同的點上並且在電鍍過程中在鍍層的表面漸漸加厚。達到一定厚度時，鍍層“完全地”覆蓋在底層金屬的表面上。圍繞“完全”這個詞的引証都是爲了揭示這樣一個事實，即鍍層覆蓋的程度由基材金屬的表面特性和清潔程度以及電鍍過程而定。電鍍過程中最普通的缺點是在鍍層上有很多孔隙（pores）。這種多孔性（porosity）和它對接觸性能的影響將在後面的章節中討論。

大多數電連接器接觸鍍層是在不斷循環往復（reel-to-reel）的過程進行以充分利用這個過程的成本效用。在本世紀七十年代和八十年代初期，大量的

努力都是爲了減少電連接器鍍層中金的使用量，因爲當時其價格高達 800 美元。減少金鍍層的厚度（如後面章節中將討論的，利用鎳底層是可能達到的）和控制金的數量及其在接觸處的位置取得了極大成功。

接觸鍍層電鍍通常有三種類型：完全電鍍（overall），局部電鍍（selective），雙重電鍍（duplex）。上述例子可見圖 3.2 所示。正如所預料的，完全電鍍（overall）是鍍層完全覆蓋在接觸表面上。錫接觸通常是完全鍍層。對貴金屬接觸而言，出於對成本的考慮一般采用局部電鍍（selective ）或雙重電鍍（duplex）。在這兩種情況下，貴金屬是有選擇性的運用於可分離性接觸的末端，而此運用不同於在永久性連接或其末端中鍍層的運用。選擇性接觸鍍層有用在永久性連接上的金鍍層，但鍍層厚度在每一末端可能不同。雙重電鍍（Duplex）通常都是鍍在永久性連接末端的錫或錫合金。

應當注意到電鍍材料的性能，尤其是貴金屬，它與相同的鍛造性材料（wrought form）有很大的不同。一般來說，電鍍材料更硬而延展性較差，且比鍛造性材料的密度小。其變動範圍與材料本身和電鍍過程均有關係。

3.1.2 噴鍍

噴鍍是指在高壓作用下以機械結合的方法將兩金屬接觸面結合到一起。通常有三種方式：完全噴鍍（overlays） ，選擇噴鍍（toplays） 和鑲嵌噴鍍（inlays）。其中完全噴鍍（overlays）完全覆蓋底層金屬。選擇噴鍍（Toplays）僅僅有選擇的覆蓋底層金屬表面的一部分。鑲嵌噴鍍（Inlays）是包覆金屬的一種特殊情況，其接觸鍍層材料是有選擇性的噴鍍在開有溝槽的底層金屬上。所開鑲嵌噴鍍溝槽可提供清潔的接觸表面以促進結合的可靠性。連續不斷的減少是爲了得到條狀金屬以達到最終需要的厚度從而增強金屬結合的壓力。此外結合增強因爲相互擴散過程而發生在熱處理過程中。更多關于噴鍍（cladding）方面的資料可見於 Harlan。

鑲嵌噴鍍（inlay）和電鍍接觸鍍層之間有兩個主要的不同點。第一：鑲嵌噴鍍使用鍛造材料，這樣使得其接觸鍍層的材料性能與電鍍材料的性能不一樣。第二，與電鍍相比其可用的材料範圍更廣。特別是貴金屬合金如 WE1(其中金 69 % -銀 25%-鈀 6%)以及鈀 60%-銀 40%合金作爲鑲嵌噴鍍（inlay）材料是不能用在電鍍過程中的。

錫和噴鍍層或鑲嵌層同樣用在電連接器中，但並不總是用作接觸界面。這些覆蓋材料通常是在接觸末端提供可焊接的表面。

3.1.3 熱浸

在電連接器運用中，熱浸僅用於錫和錫合金。在下面的討論中錫包括錫合金—在大多數情況下，指錫 60%-鉛 40%或　易熔的錫-鉛合金。熱浸包括將條形金屬通過熔融的錫溶液使其表面鍍上一層錫。其厚度控制是由不同的過程包括空氣刀（air knives）及空氣刷（air wipers）。典型的厚度，和厚度控制因此也由加工過程而定。

從一接觸界面的透視圖可以看出，熱浸和鑲嵌噴鍍或電鍍錫鍍層之間最大的區別是在熱浸過程中形成金屬間化合物。甚至在室溫下，銅-錫金屬間化合物形成的同時，如果不小心熱浸能產生大量金屬間化合物。過多的金屬間化合物不能提供可接受的接觸性能且對接觸的可焊接性能產生負面影響。在熱浸的時候將會產生金屬間的厚度，爲確保接觸表面是事實上是錫而非金屬間化合物，必須小心控制熱浸過程中金屬間化合物產生的厚度。

3.1.4 總結

採用三種方法將會在接觸鍍層的性能上產生不同的特性。電鍍鍍層通常比噴鍍鍍層更硬而延展性更差，很接近鍛造材料的性能。熱浸鍍層僅限用於錫和錫合金。

3.2 接觸鍍層材料

接觸鍍層將分兩類進行討論，貴金屬鍍層和普通金屬鍍層。貴金屬鍍層包括金和鈀及其合金材料。普通金屬鍍層包括錫和錫合金，銀和鎳。本節的討論從貴金屬鍍層開始。

3.2.1 貴重接觸鍍層

貴金屬接觸鍍層是一種系統，其中每個組件執行複雜的功能。爲了理解對接觸鍍層的需求，必須理解組件間的相互作用。

貴金屬接觸鍍層包括涂在底層，通常是鎳表面的貴金屬表層。貴金屬表

層厚度一般在 0.4 至 1.0 微米之間而其鎳底層厚度一般在 0.8 至 2.5 微米之間。現在也開始使用厚度小於 0.1 微米的金鍍層。如上所述，貴金屬表層的作用是提供一(film free)金屬接觸界面以確保所需要的金屬接觸界面。鎳底層是用於防止貴金屬表層大量的潛在性結構退化（potential degradation mechanisms），有些退化機理是源於接觸彈片的基材金屬，同時其它退化機理則是因爲工作環境的影響。鎳底層的這些保護功能將在後節詳細討論。如前所述，最常用的貴金屬接觸鍍層材料是金、鈀或其合金。

金・金是一種理想的接觸鍍層材料，它不但具有相當優良的導電性能和導熱性能，而且幾乎在任何環境中，都有良好的抗腐蝕性。因爲這些特性，金在要求高可靠性電連接器的使用中經常採用。但是金非常昂貴，因爲該原因要考慮可替換的材料。關於金的替換性材料將在以後討論。

金合金・金合金保持了純金的許多特性同時其價格卻比純金低的多。金合金的運用已得到了各種各樣的成功。成功的程度依賴於其熔合劑（alloying agent）的特性及電連接器預期的工作條件。合金處理將提高金的電阻系數及硬度和降低金的導熱性及抗腐蝕力。其總的效果（net effect）是電阻有微小的升高但在環境穩定性方面卻有潛在的重要降低。金硬度的提高使接觸鍍層的耐久性有了提高，但是，金合金的性能在一定範圍的運用上可以接受的，所以它們不斷地被利用。Western Electric 發明的金合金 WE1，是一種 69%金—25%銀—6%鉑的鑲嵌噴鍍鍍層。

鈀・鈀也是一種貴金屬但是，除了硬度以外，其與上面所述的金的許多重要特性都不相同。與金相比，鈀有較高的電阻率，較低的導熱率，以及較差的抗腐蝕能力。除了活潑性，鈀還是聚合體形成的催化劑（catalyst），在有機水汽存在時，濃縮的有機水汽（organic vapors）通過摩擦運動集合在鈀表面。這樣的摩擦聚合體或棕色粉末（brown powder）會導致接觸阻抗增加。鈀的硬度比金要高，因此提高了鈀接觸鍍層的耐久性。鈀還有價格上的優勢所以已大量用於電連接器，尤其是柱狀端子（post）。但是大多數情況，鈀的表面還要鍍一層厚度大約爲 0.1 微米的金（a gold flash）。Whitley ，Wei 和 Krumbein 對用金鈀鍍層代替金鍍層進行了討論。

鈀合金・有兩種鈀合金運用在電連接器上。第一，80%鈀—20%鎳的鈀鎳合金，一種可電鍍合金，通常其表面也要鍍一層薄金。第二，60%鈀—40%銀

的鈀銀合金，它既用作接觸鍍層金屬也用作底層金屬，其表面通常也鍍一層薄純金，鈀銀合金是一種鑲嵌噴鍍材料。

合金處理對接觸阻抗的影響．合金通過兩種方式影響接觸阻抗。首先，它改變了接觸阻抗的初始值。其次更重要的是，它改變了環境中的穩定性（environmental stability）。下面的數據說明了這一點。軟金，硬金（金—鈷 0.1），鈀，80%金—20%鈀金鈀合金及 80%鈀—20%鎳的鈀鎳合金等接觸鍍層金屬在“可接受條件（as-received）”下其接觸阻抗隨接觸壓力的變化數據（如圖 3.3 所示）以及加熱到 250 度在空氣中保持 16 小時後的變化數據（如圖 3.4 所示）。

首先分析可接受條件下圖 3.3 中的數據。所有上述材料在接觸壓力作用下具有近似的接觸阻抗。該條件下這些材料的硬度、導電率及耐腐蝕性等方面差異都不明顯。在 100 克力作用下（典型的電連接器接觸壓力值），接觸阻抗大約在 0.6 至 2.0 毫歐之間變化。盡管這些變化是很明顯的，但所有這些數值對大多數電信連接器的運用而言都是可接受的。加熱後的數據（圖 3.4 所示）則顯然不同。

軟金、金鈀合金及鈀幾乎不受溫度影響。這些材料幾乎不形成氧化物或者沒有形成氧化物的傾向。實際上，在溫度輻射降低硬度(H)和電阻系數(ρ)過程中由於退火（annealing），阻抗值只有輕微的下降。硬度和電阻系數的下降對接觸阻抗的影響可以從公式 2.9 得知，將其重新整理爲公式(3.1)：

$$R_c = k\rho(H/Fn)^{1/2} \qquad (3.1)$$

但鈀鎳合金及硬金卻表現出與之不同的特性，接觸阻抗顯著增加。在這兩種情況下，接觸阻抗的增加是因爲表面氧化膜的形成。鈀鎳合金生成氧化物是因爲合金中 20%的鎳。硬金中氧化物的生成則是由于鈷硬化劑。鈷很容易生成氧化物，甚至鈷的含量很低(大約 0.1%)，加熱到 250 度很快會生成氧化物。氧化物快速生成的機理是鈷元素在金中的擴散。由于鈷原子隨機分布在金原子矩陣中，無論何時鈷原子到達表面，它很快就被氧化並附著在合金表面。最終表面鈷的濃度遠遠高於其內部 0.1%的名義含量值，鈷氧化膜即導致接觸阻抗的顯著升高。因爲該原因，鈀合金很少用在溫度高於 125 度的環境中。

這個簡單的實驗清楚表明了貴金屬合金一個潛在的危險。金鈀合金沒有出現大的影響，如將要說明的，因爲鈀也是或相對而言也是一種貴金屬。但

金鎳合金，因爲鎳強烈的氧化傾向，是一種非常不同的情況。合金的成份—特別是基材金屬成份—在反應性環境（reactive environments）中對接觸阻抗性能有很大的影響。

合成貴金屬接觸鍍層·合成貴金屬接觸鍍層包括一厚度爲 0.1 微米（on the order of 0.1 μm in thickness）薄金層，及覆蓋的以降低在腐蝕性環境中合金表面活性的反應性表面。在電連接器上，通常在鈀或鈀合金表面覆蓋一層薄金。金表面保持了金的貴金屬特性的優點。鈀或鈀合金作爲一種貴金屬底層材料，其提供了大部分鍍層的指定厚度。這些利用 80%鈀—20%鎳的鈀鎳合金及 60%鈀—40%銀的鈀銀合金的金屬底層，由於與金相比鈀或鈀合金的價格低廉，其在電連接器上運用正在上升。

·小結·

總的來說，對貴金屬接觸鍍層而言，有必要保持鍍層金屬的貴金屬特性以防止外來因素對鍍層的腐蝕。如孔隙腐蝕，暴露基材金屬邊緣或磨痕的腐蝕，以及腐蝕的蔓延等。鎳底層對減少這些腐蝕的可能性是很重要的。另外，鎳底層提高了貴金屬接觸鍍層的耐久性。注意到兩件式電連接器的接觸鍍層，尤其是印制電路板上用於配合卡邊緣電連接器的襯墊，應具有相當的性能。

3.2.2 普通金屬鍍層

普通金屬鍍層與貴金屬鍍層的區別在於它們的表面通常存在表面膜。既然建立並保持金屬接觸界面是電連接器設計的一個目標，必須要考慮這些膜的存在。對普通金屬鍍層設計要求是保証配合時膜的移動和阻止以後膜的形成，主要通過它們確保接觸界面的穩定性。接觸正壓力與接觸幾何形狀，同電連接器配合時的插拔一樣，對含有膜的接觸表面也非常重要。

將討論三種普通金屬接觸鍍層：錫，銀和鎳。錫是最常用的普通金屬鍍層。銀鍍層有利於高電流接觸。鎳所知道的是限於作爲高溫接觸鍍層。如前面所討論的，鎳作爲貴金屬鍍層的底層非常重要。

錫及錫鉛合金鍍層·本章中，詞‘錫’的運用打算包括廣泛運用在可分離接觸界面的 93%錫—7%鉛合金。第二種合金，60%錫—40%鉛，主要用於

焊接連接，本節將不作討論。

如第二章所討論的，錫作爲可分離接觸界面的運用源於錫表面大量氧化膜在電連接器配合時可能會移動（displaced）。這種移動是困爲錫與錫氧化物的硬度相差很大。

但是，連接器的運用過程中錫表面的再氧化是錫鍍層的主要退化機理。該機理，後面將要討論的，通常稱作摩損腐蝕。

銀接觸鍍層．銀因爲跟硫和氯反應產生表面膜而被作爲普通金屬。硫化膜如果不破裂能在銀接觸時產生二極管的功能效果。電話機收發過程中的繼電器運用（relay applications in telephony）會受到這種影響而致使銀作爲接觸鍍層的名聲很壞。但是應該注意到，這些運用都是低插拔或者無插拔（low-or non-wiping），從而使接觸界面對氧化膜非常敏感。電連接器配合時的插拔可減小這種敏感性。

銀的另一個特性限制了它的使用。它能夠移到接觸表面致使接觸間或印制電路板的襯墊產間發生短路（shorts）。Krumbein 對移動過程提出了總的看法。

盡管銀的兩個性質，硫化物及移動，限制了銀作爲接觸鍍層的運用，但是如上所述，這種問題只是產生在繼電器（尤其是無插拔繼電器）而不是電連接器的運用上。

典型的銀鍍層厚度從 3 μm 到 8 μm。通常，與相同厚度的金相比，銀相對軟一些（knoop 100），這也與它作爲接觸鍍層的耐久性相對應。銀表面的硫化膜也非常軟且容易破裂。注意到因爲硫化物的形成銀不會經受磨損腐蝕是很重要的。氯化物與普通化合物不同其移動更加困難，因爲氯化膜更硬且更粘附。包括硫化物與氯化物的腐蝕物的混合型膜可在有些環境里形成，這些膜非常堅固。但是在大多數條件下，銀表面膜通過配合時的摩擦容易破裂。

銀具有優良的導電性與導熱性及高電流時的抗冷焊力。這些特性使得銀成爲優良的高電流接觸的可選材料，在這些運用中應該考慮銀接觸鍍層。

鎳接觸鍍層．鎳鍍層因其表面緊帖的堅硬的氧化物而屬於普通金屬。鎳表面氧化物可以被破壞，但是需要很大壓力，因爲鎳氧化物的厚度具有自我限制特性（大約爲 100 納米），施加不到 1 伏的電壓即能電解。利用鎳的這種性能其可作爲電極（battery contact material）。同錫相似，鎳也非常易受磨損腐

蝕。

3.3 選擇可分離接觸界面的接觸鍍層的考慮

基於鍍層材料性能總的簡要看法，本討論選擇性考慮電連接器上的貴金屬鍍層與普通金屬鍍層。膜處理，配合時表面膜的破壞以及避免以後膜的形成，對兩種不同鍍層的要求是不同的。對貴金屬而言，保持其貴金屬性以防止裸露的基材金屬受到腐蝕正是我們所需要的。從這個目的上來說作爲底層的鎳的作用十分重要。而對錫鍍層而言，防止磨損腐蝕則是首要的。

3.3.1 貴金屬接觸鍍層系統的設計考慮

接觸表面被履貴金屬的存在，本身並不能保証 a film-free 表面。爲防止能夠達到接觸表面的接觸彈片基材金屬的蔓延，金屬鍍層必須連續並且有足夠的厚度。貴金屬鍍層的中斷能導致基材金屬裸露部位的腐蝕。鍍層中斷可因整個制造和鍍層過程的不同原因而產生。多孔性（porosity）已經提到，接觸鍍層磨損是基材金屬裸露的另一原因。當然，多孔性與磨損非常不同，多孔性是制造問題而磨損則涉及到運用。無論是多孔性還是磨損原因，基材金屬的裸露是令人擔憂的（of concern），因爲裸露的基材金屬在典型電連接器的工作環境中可能受到腐蝕。接觸彈片材料的基材金屬成份蔓延到金接觸表面能產生表面膜。正如將討論到的，減少基材金屬腐蝕的可能性是鎳底層的功能之一。

進一步詳細考慮多孔性。在電鍍過程的討論中，多孔性被描述爲產生於電鍍金屬的運動（kinetics）。對金鍍層而言，典型的多孔性對鍍層厚度的曲線如圖 3.5 所示。當然，這些曲線的形狀及厚度同電鍍金屬特性及運用一樣依賴於端子加工過程。圖 3.5 說明了爲什麼電鍍貴金屬接觸鍍層厚度一般從 0.4 到 1.0 微米的一個原因，鍍層厚度小於 0.4 微米，孔數增加很快。而鍍層厚度大於 1 微米，孔數很少，從運用觀點來看，其降低比率是微不足道的。

不必擔心孔隙的存在，因爲孔隙的位置不會實質性影響金屬對金屬接觸面的產生。擔心的是如果孔隙暴露了基材金屬可能在孔的位置產生腐蝕。圖 3.6 對該腐蝕機理作了闡明。腐蝕物可充滿整個孔隙而且，更重要的是，如圖示的那樣，腐蝕物可從孔隙的位置移到鍍層的表面。隨著腐蝕物延伸到鍍層表

面，如果端子接近另一端子，例如相互摩擦，很可能干擾接觸界面的形成或減少既定接觸界面的接觸面積。

多孔性對電連接器性能的影響是有爭論的。根據剛才所述的機理，孔隙腐蝕可導致接觸阻抗的升高，但多孔標準及其工作環境的相互作用決定該性能的退化速度和退化程度。鎳底層對減少孔隙腐蝕可能性的作用將在後節討論。正如所預料的那樣，對處於混合流動氣體環境中小體系電連接器的重要研究顯示了電連接器性能隨多孔性的退化趨勢。但是並沒有一個臨界孔數標准。有許多高多孔性產品在預測最容易退化的環境里表現出良好的性能。後面將研究的電連接器中孔隙位置及其基座的屏蔽效果可以解釋這種現象。

接觸鍍層的磨損，如所提到的，也可能導致基材金屬的裸露。接觸鍍層的抵抗力，或耐久性決定於許多因素。包括：

・接觸正壓力

・配合間距

・接觸幾何形狀

・磨損機理

・接觸鍍層

爲了本討論，我們僅考慮接觸鍍層的影響。其它因素對電連接器耐久性的影響將在第六章討論。

影響接觸磨損或耐久性的三個鍍層特性是：

（1）鍍層材料的硬度；

（2）鍍層材料的摩擦系數；

（3）鍍層厚度。

隨硬度的增大和摩擦系數的減少，在其它所列因素的聯合作用下鍍層的耐久性將會提高。耐久性也會因鍍層厚度的增加而提高。同厚度對多孔性的影響一樣，爲既定的運用選擇適當的鍍層厚度也會影響接觸磨損或耐久性。至於材料的特性，須首先考慮硬度的影響。

電鍍的接觸金鍍層通常是硬金（hard gold），即金鍍層包含有硬化劑（hardening agent）。從根據 Antler 改編的圖 3.7，可以看出與軟金（soft gold）或純金相比，硬金耐久性有了提高。但是，通過使用鎳底層，電連接器的耐久性有了更大提高。

鈷是最普通的硬化劑，但鎳也是很有效的。正如前面所討論的，硬化劑的可能負面影響包括提高了腐蝕敏感性，降低了導電性與導熱性及鍍層的延展性。

因硬化劑導致的延展性的降低也能影響電連接器耐久性能。兩種影響應同時加以考慮。延展性的降低能減少在既定壓力下接觸面積的增加，從而減少了粘附性磨損。但延展性降低能通過提高鍍層破碎及促進研磨性磨損而增加磨損。

鍍層的缺點，無論是多孔性還是磨損，因爲它們位於可能發生腐蝕的裸露基材金屬上，是令人擔憂（of concern）的。如所提到的，鎳底層對減少這些腐蝕非常重要，下面將要討論到。

貴金屬鍍層中鎳底層的功能• 貴金屬接觸鍍層系統中鎳具有以下幾方面優點：

・減少孔隙及缺陷位置的腐蝕（pore and defect sites）

・阻止腐蝕的移動

・減少基材金屬成份的蔓延

・增加延展性

我們將分別討論每個優點。

多孔性・圖 3.8 基本表明了鎳在減少孔及缺陷位置發生腐蝕的可能性與效果。該圖也包括圖 3.6 圖示的沒有鎳底層的孔隙腐蝕說明。兩者間最重要的區別在於在孔位置處的裸露的鎳將形成可有效密封腐蝕孔隙的氧化膜。鎳氧化膜的厚度是有限制的，典型爲的 100 納米，沒有填滿孔隙，更重要的是沒有移動。類似的效果在缺陷位置包括磨痕也會產生。這種孔密封機理的效果在高濃度氯的環境中因爲降低了氯對鎳氧化物的影響就已經提出。但是，氯濃縮的必要性並沒有很好明確。在這些環境中廣泛的測試表明鎳底層對很大範圍的電連接器產品的優點。

圖 3.9 顯示了孔隙腐蝕對置於模擬工業暴露環境的流動的混合氣體（flowing mixed gas FMG）測試環境中金鍍層片（coupon）的影響。測試環境由十億分之幾數量級（parts-per-billion）的氯，氫硫和氮的氧化物組成爲主要污染物，加上溫度爲 25 度的潮濕（濕度爲 75%）空氣。在孔隙周圍出現環狀腐蝕，結果腐蝕物出現圖 3.6 所示的腐蝕移動。這些腐蝕物的存在，當它們

蔓延到接觸表面時，對接觸阻抗有很大的影響。

來自於 Geckle 的圖 3.10，提供了一些有關腐蝕物移動過程特性的實例。這些數據來自暴露在上段所述 FMG 環境中的金/鈀/鎳/銅合金鍍層片，各層厚度分別爲 0.1、1.5、2.5 微米。位於圖中間的縮微照片顯示了孔隙以及孔隙周圍的環狀腐蝕物。圖上面一系列 X—光線圖顯示了孔隙通過所有層的延伸。因爲金、鈀和鎳層中信號的缺少及沒有缺少的強烈的銅信號，孔隙的存在是顯而易見的。裸露的銅是腐蝕物產生的根源。顯示了主要腐蝕種類（major corrosion species）位置的更低的 X—光線圖，暗示了氧氣主要停留在孔隙位置，氯可以輕微地移動，但硫腐蝕物明確局限於環狀腐蝕物範圍內。移動種類（species）明顯包括銅/硫腐蝕物。

腐蝕移動・圖 3.11 表明了一種評估腐蝕移動的實驗方法。在這種情形下的五種不同系統，自鍍有有益接觸鍍層系統的銅合金片（coupon）沖制（stamped）一圓盤形狀。沖制過程產生暴露的基材金屬邊緣，其在 FMG 暴露環境爲可腐蝕位置，暴露後的腐蝕移動大致與上述描述相同。圖中插入的數據提供了暴露在 FMG 環境一定時間後腐蝕移動距離的實驗性數據。該數據揭示了兩種所關心的效果。

第一，注意到金表面腐蝕物的移動距離比鈀大，依次，鈀表面腐蝕物的移動距離比鎳大。

第二，鎳底層將金和鈀鍍層腐蝕物的移動距離減少了一半。

這兩種效果可以根據腐蝕物移動的運動學，以一種簡單但又關聯的方式加以簡明。基本的假設是腐蝕物在光潔表面擴散得很快，這種現象可能是因爲表面張力的影響，類似於濕潤現象。腐蝕物在表面自由擴散以至於超出表面膜。光潔金表面不會產生氧化膜。鈀是一種催化劑（catalytic）材料，易於在其表面形成一層有機薄膜，且在測試環境里是反應性的（reactive），這一點將在後面章節討論。在測試的暴露環境里（in the test exposure），鈀表面很容易形成氧化膜。鎳，正如所提到的，也會形成一層表面氧化膜。在已知假設下，腐蝕物的移動符合數據所顯示的模式，腐蝕物在金表面擴散得最迅速，鈀次之，鎳最慢，這就解釋了上述所觀察到的在三種鍍層金屬上腐蝕物具有不同的擴散速度的原因。

第二次觀察，鎳底層上腐蝕物的移動距離僅爲金底層的一半，是因爲鎳

阻礙了腐蝕物的擴散。在這種情況下，鎳底層就象銅合金與貴金屬鍍層之間的柵欄。雖然鎳能夠阻礙腐蝕物的擴散，但由於鎳層僅有几微米厚，腐蝕物很容易穿透鎳層在金或鈀鍍層表面更快地擴散，在圖 3.11 所示特定的測試條件下，可以想象鎳底層的阻礙效果大約只有測試暴露環境的一半，這是簡單的但基本正確的對實驗數據的解釋。

圖 3.12 顯示了在與圖 3.11 採用的數據類似的測試暴露環境里腐蝕物在鍍有金／鎳／磷青銅鍍層金屬的沖制圓盤上的擴散。外邊緣的膜非常厚，且其擴散距離減少。表面上的亮點爲探測點，其上接觸阻抗的測量以金作爲探針，在邊緣位置，其阻抗值大於 2 歐姆，試驗預設的極限值成立。如圖 3.13 顯示的只有在接近底層中心時，才會出現毫歐級的阻抗值。

鎳作爲阻礙腐蝕物擴散對接觸界面的正面（barrier normal to）效果明顯受限於底層的厚度。但是，其側　面的阻礙（lateral barrier）是非常有效的。圖 3・14 提供了一個實例，所示端子完全鍍鎳且在其接觸面上局部（selective）鍍金。接觸下部（the lower contact）也得到附加的薄金（gold flash）鍍層（通常爲 0.1 微米）。將端子置於同樣的工業環境中。薄金鍍層表面更有利於腐蝕物的擴散。當考慮到收容端子於基座（housing）的保留飛邊結構（the retention lance ）的腐蝕區域是沖壓產生的形狀，這就是顯而易見的（this is obvious when considering the corrosion around the area where the retention lance that holds the contact in the housing is stamped）。沖壓成形區域的鍍層金屬覆蓋範圍（plating coverage in the stamped area）不完全是因爲沖壓過程中剪斷處（shear-break）的粗糙度和這些凹陷處（recesses）不能被有效電鍍。這些區域鍍層金屬的欠缺導致基材金屬（銅合金）裸露，從而成爲腐蝕源。腐蝕物在薄金接觸面很快地移動而它們在全部鎳鍍層表面的移動是受限制的。該圖表明當鎳在腐蝕物移動方向上有足夠的延伸時，它能夠有效地防止腐蝕物擴散。

擴散・鎳底層阻礙擴散的有效性可通過圖 3.15 中的數據加以說明，該圖顯示了銅通過金，鈀，銀和鎳鍍層的相對擴散。同金或鈀相比，通過一定量或更多的減少可以看出鎳是一種有效的防銅擴散金屬。相似的情況發生其它典型基材金屬成份如鋅和錫上。通過這種方式，鎳有效的防止基材金屬成份擴散到接觸表面，在該表面基材金屬成份可與其運用環境中的各種腐蝕起反應。

耐久性・鎳也能改善貴金屬接触鍍層的耐久性。對金鍍層的影響將被表明，但相似的影響也發生在別的貴金屬鍍層上。根据 Antler 改編的圖 3.16，表明了直接鍍有 2.0um 厚鈷一金合金接触鍍層的銅和鈹銅底層的耐久性典線。應該注意到檢測樣品包括平面取樣片（flat coupons）和半球形附件（rider）。這些數据僅與几何形狀有關而并不代表電連接器接触界面的典型數值。但這些數据的趨勢与連接器的耐久性有關。

耐久性可用一磨損（wear）指標，即一種作爲通過次數函數的基材金屬暴露總數的度量（耐久周期(durability cycles)）來評估。耐久性指標爲 50 意味著出現的(showed)磨痕(track)有 50%裸露了基材金屬。注意到銅基材的金鍍層耐久性明顯低于鈹銅基材的金鍍層。這种結果是由于鈹銅比銅更硬。更硬的底層金屬能夠提供支持層來增加鍍層的有效硬度，并由此而降低了在既定壓力下的接触面積。因爲磨損与接觸點的破裂有關，正如第二章所討論過的，接触面積的減少會導致磨損降低。

鍍鎳底層可提供一個比鈹銅更硬的支持層，所以可以預測其耐久性有進一步提高。圖 3.17 証實了這種預測，顯示了磨損指標對鍍有鈷金合金的銅的配合周期次數隨不同厚度的鍍鎳底層的變化。隨鎳底層厚度的增加，耐久性立即提高。

・總結・

在這里，鎳作爲底層的优點概述如下：

・鎳通過其非活性氧化物表面，封閉基本孔隙位置，從而減少孔隙腐蝕的可能性。

・鎳在貴金屬接触鍍層下面提供了一層堅硬的支持層可提高耐久性。

・鎳可有效地阻礙基材金屬成份遷移到接触表面，當基材金屬遷移到接触表面時，會与操作環境發生反應。

・鎳也可有效地阻止基材金屬腐蝕物的移動。

前三個优點是在金鍍層變薄的同時保持相等的或是改良的性能。多孔性的影響已經減輕，貴金屬不再用作阻礙腐蝕物移動，并且耐久性有了提高。最后一個優點是減少形成於其它地方、移動到接触界面并導致接触阻抗增加的腐蝕物的可能性。

這种特性(nature)的考慮突出了連接器鍍層被作爲系統來考慮的事實。鍍層不同成分間的相互作用能強烈影響鍍層性能。本討論爲下一節存在數据的解釋提供了一個背景。

貴金屬接触鍍層系統的環境性能　本節將描述在模擬工業暴露環境的 FMG 測試環境里貴金屬接触鍍層系統的腐蝕現象。被評估的鍍層系統包括：

- 0.75 金(鈷)/1.25 鎳/銅
- 1.8 鈀/1.25 鎳/磷青銅(PB)
- 1.8 鈀(80)-鎳(20)/1.25 鎳/PB
- 0.1 金/1.8 鈀/1.25 鎳/PB

上述厚度單位都是 um。底層金屬的不同只能影響最初的接触阻抗的大小而不可能影響在暴露環境下接触阻抗的變化。

圖 3.18 顯示了在可接受條件(as-received)下如預先暴露于 FMG 環境，前三個系統(first three systems)接触阻抗對接触壓力的數据曲線。使用軟金探測參考，該圖表明了九個探測點的數据分布。探測模式可以是隨机性的或是有選擇性的。在隨机探測中，系統掃描表面，自動在九個隨机點上探測。在選擇性探測中，探測員(probe operator)降低探針，以便避開孔隙腐蝕位置并盡可能減少任何孔隙腐蝕或者腐蝕移動對接触阻抗的影響。在選擇性探測模式中，可以評价鍍層本身原有的腐蝕反應性。圖 3.18 中的數据是隨机探測獲得的。注意到在 100 克力的接触正壓力下，三個系統所產生的接触阻抗都在 1mΩ的范圍里。

圖 3.19 表明了在同一模式下，暴露於 FMG 環境里 48 小時後得到的數据。孔隙腐蝕和腐蝕移動的影響明顯表現在金与鈀的數据上。得到的數据與在可接受條件(as—received)下得到的數據相比，有些數据沒有顯出變化，但是許多探測點已經明顯受到腐蝕物的影響。在不插拔(non-wiping) 載荷的探測系統里，需要高壓力來破裂腐蝕物。然而，鈀－鎳合金的數据則不同，取代兩種模式下的阻抗數據，其同時有一個向上的移動和阻抗分布范圍的變寬。這是表面膜的典型現象。

這种解釋被暴露 100 小時后得到的數据所証實，如圖 3.20 所示。金鍍層數据仍顯示了兩种退化(degradation)模式。在這種情況下，鈀的數據則顯示了一種高水平的孔隙腐蝕。鈀－鎳數据繼續有一向上的移動和數据分布范圍的

變寬。

圖 3.21 繪製了作爲接觸壓力函數的鈀-鎳合金九個調查點接觸平均阻抗的曲線。圖表清楚的表明平均接觸阻抗隨暴露點的升高。鈀(80%)-鎳(20%)合金性能不象是貴金屬，卻象是基材金屬，這也就不奇怪在合金中加入 20%的作爲基材金屬鎳金屬。圖 3.4 顯示合金暴露在空氣中有相似效果。

圖 3.22 包含的數據是測量了金和鈀接觸鍍層經過相同的 FMG 環境後得到的。注意到到金的數據幾乎不隨時間變化。而另一方面，鈀的數據顯示了增大的變化和擴大的分布，盡管其比鈀-鎳合金的變化範圍要小很多。鈀則顯示了對測試環境的反應。

這些數據表明了爲什麼在大多數情況下鈀和鈀-鎳合金鍍層要與一個薄的金鍍層-約幾十個微米的金，配合使用。從圖 3.23 中可清楚看到，鈀外面的金薄層對 FMG 環境下腐蝕的作用是很有效的。接觸阻抗的大小和分布表明暴露在 MFG 測試條件下 48 或 100 小時幾乎沒有變化。當金覆蓋在鈀-鎳合金上時也會出現類似的情況。

但是，應該注意到金薄層厚度可能不會完全覆蓋鈀的表面，所以薄膜效應就可能產生。這種可能性對鍍有薄金層的鈀-鎳合金更有意義，因爲其更有活性。此外金的缺失例如經過磨損腐蝕，將會導致其下層的鈀的暴露。換句話說，覆蓋有金薄層的鈀和鈀-鎳合金容易受到機械磨損腐蝕退化的影響。對鈀而言，摩擦聚合物的形成是其退化的主要機理。對鈀-鎳合金而言，經過氧化過程的腐蝕將會出現。

總而言之，環境測試結果表明，這三種鍍層對環境固有穩定性按其減少的順序爲：金，鈀和鈀(80%)-鎳(20%)合金。基本鈀鍍層外的金薄層可有效的減少這種變動。此外在連接器應用中這種固有穩定性的差別會通過三種作用得到控制。

第一，遮蔽此類環境下接觸界面的連接器塑膠本體的作用，有效的增加了相互配合的連接器對環境的穩定性。環境遮蔽的效果取決於塑膠本體的設計。封閉式塑膠本體將明顯比開放式更有效，盡管卡緣塑膠本體可提供如第一章所述的保護。

第二，如數據所示，與在連接器鍍層中一樣，電鍍過程中的多孔性對其受腐蝕可能性有很大影響。鈀和鈀-鎳合金鍍層的電鍍經驗表明鈀和鈀-鎳鍍層

的多孔性通常會比金鍍層的低。這種作用減少了其固有穩定性的變化差異。

第三，受到腐蝕的可能性取決於其應用的環境。在典型的辦公室環境下，僅有較少的硫和氯，實驗表明腐蝕蔓延極小且孔隙腐蝕也同樣減少。

這些考慮的因素減少了固有受腐蝕性差別的意義。在更多的腐蝕環境下，尤其是含有高濃度的硫和氯的時候，選擇接觸鍍層時就應當考慮金所天然具有的貴金屬性優點。

貴金屬鍍層系統中的耐久性考慮・選擇接觸鍍層另一個要考慮的因素是鍍層的耐久性。在此情況下，經驗表明其性能的順序與在環境中相反，至少存在金薄層時是這樣的。鍍金的鈀-鎳合金比鍍金的鈀的耐久性高，而接下來鍍金的鈀比金要高。這種趨勢被認爲與鍍層硬度有關。硬金的 Knoop 硬度爲 200，而鈀和鈀-鎳合金的 Knoop 硬度爲 400 或 500。

以上關於金鍍層的合格性解釋非常重要，經驗也表明由於鈀和鈀-鎳合金鍍層比金硬度更高而延展性更低，所以容易產生災難性的易碎的破片結構。

3.3.2 普通金屬接觸鍍層的設計考慮因素

錫(包括錫鉛合金)，銀及鎳被是用在連接器上的重要普通鍍層材料。三者中，錫代表了大量應用的普通金屬鍍層，因此本節主集中對錫鍍層進行討論。

普通金屬鍍層與貴金屬鍍層的區別在於：普通金屬接觸鍍層的設計考慮包括配合時普通金屬接觸鍍層表面固有氧化膜的破裂/移動以及防止氧化膜的再生成。本節先討論錫接觸鍍層表面膜的破裂，接下來討論錫鍍層的退化機理，磨損腐蝕。

錫鍍層接觸界面的形成，回顧前面所述，錫用作接觸鍍層源自於：其固有的氧化膜在連接器的配合中通過接觸表面的機械變形能夠破裂和移動。因此原有的錫氧化物在連接器插接過程中將因機械毀損而被擠破和取代。重新利用圖 2.16 作爲圖 3.24 來引証表面氧化物破裂的機理。又薄又硬又脆的錫氧化物在負載下容易破裂。載荷傳到錫鍍層，由於其硬度小、延展性好而易於流動。氧化物裂縫變寬，里層的錫從裂縫中擠出來形成所需要的金屬接觸界面。然而不幸的是，錫表面的再氧化導致了錫鍍層的主要退化機理：磨損腐蝕。

磨損腐蝕・圖 3.25 說明了磨損腐蝕機理。圖 3.25a 描述了包括裂縫、破

碎的氧化物和從裂縫間擠出的錫接觸區　域的原始接觸界面。圖 3.25b 顯示了接觸區域移到新的位置例如在機械干擾作用下。新的接觸界面是通過相同的破碎機理形成的。然而，先前接觸區域暴露的錫被再氧化。如果這些動作重復進行，也就是說，如果鍍層系統慢慢被磨損(圖 3.25c)，暴露的錫(摩擦腐蝕的腐蝕部分)連續不斷的再氧化導致在接觸界面形成一層氧化碎片（debris）(圖 3.25d)。這些碎片將導致接觸阻抗的增加甚至露出電路。引起接觸阻抗不可接受的增加必要的磨損循環次數取決於許多因素，包括運動方式和磨損距離（length）。對轉化運動而言（translational movement），磨損運動只要移動幾個到幾十個微米單位的距離就足夠產生磨損腐蝕。腐蝕磨損率依賴於磨損距離。磨損退化率依賴於磨損運動距離（length），因爲氧化碎片必須經過磨損距離上的累積。大位移運動有效地將錫氧化物推到運動軌跡的盡頭。同樣原因，擺動（rocking）或轉動能加快磨損，因爲碎片相對比較集中。

對錫而言，產生不可接受的接觸阻抗之前的磨損循環次數已經可以從幾百到幾萬。鎳在磨損次數和接觸阻抗增加方面與錫很相似。Bare 和 Graham 報告了沒有鍍金的鈀和鈀鎳合金鍍層經過幾萬次循環之後的磨損情況。他們還報告了鍍金的鈀和鈀鎳合金鍍層經過幾十萬次循環之後的穩定性能。

如果存在不同的熱膨脹，這是連接器經常發生的情況，磨損運動可通過機械干擾或熱循環產生。考慮一下裝置於印制電路板(PWB)的連接器。印制電路板，接觸彈片與連接器絕緣本體有不同的熱膨脹系數。由於熱膨脹不同（mismatch）產生的接觸界面壓力取決於其不同的大小，溫度變化，及連接器的長度（length）。熱膨脹不同是連接器磨損運動最主要的來源。

圖 3.26 顯示了磨損腐蝕(因轉動而引起)發生後的錫接觸表面。圖示黑點表示錫表面典型磨損腐蝕區域。圖 3.27 顯示了磨損點的交錯區。圖中可以清楚看到壓損的錫和錫氧化物碎片。

圖 3.28 顯示了磨損腐蝕與增加接觸阻抗之間的聯系。圖 3.28 的曲線通過縮微照片所顯示的腐蝕點的接觸阻抗的變化。一張氧氣穿過腐蝕點的放大電子顯微線疊加到縮微照片上，氧，表現爲氧化物與接觸電阻的關係非常清楚。

假如磨損腐蝕是錫接觸鍍層主要的退化機理，那么如何才能有效地防止或減緩這種退化呢？下面將討論這個問題。

磨損腐蝕的防止・預防磨損腐蝕主要有兩種方法。第一種，也是最常用

的方法是利用高正壓力。這些正壓力提供接觸界面較大的摩擦力以防止磨損運動。然而，增加正壓力有一個極限。當正壓力增加時，連接器插拔力和耐久性都將受到相反的影響。錫因爲比較軟，有一極限耐久性且由於高摩擦系數—通常爲 0.7 而表現出高插拔力，相對而言金的摩擦系數僅爲 0.3。

第二種，利用預防磨損腐蝕接觸潤滑。圖 3.29 說明了使用預防磨損接觸潤滑的功效。顯示的數據來自一個因熱膨脹不同而導致的磨損運動的試驗容器。熱循環溫度介於 55 到 60 度之間。升溫是用來加速氧化和潤滑的退化。在這些條件下，產生的運動位移大約爲 80 微米，這是好的磨損距離。

“幹錫”—干淨的錫表面—的測試數據顯示測試系統對產生磨損腐蝕有影響。它同時也表明磨損腐蝕可能是非常快的退化機理。在循環磨損數千次後，接觸阻抗按二次方的增長速度增加。此外礦物石油潤滑劑的測試數據也被列舉出來。 礦物石油潤滑劑最初很有效，但是最終仍產生磨損腐蝕。該缺點與環境中的保護無關而與礦物石油本身有關。礦物石油的結構在溫度升高時從接觸界面流走並且揮發/退化。密封作用消失，摩擦磨損開始。涂有防磨損潤滑的接觸的數據顯示在摩擦循環數千次後表現了很好的抗磨損性能。經過數百次的循環摩擦之後接觸阻抗的下降是因爲接觸界面被磨光而增加了接觸面積。

應該注意到除了摩擦腐蝕外，因爲錫表面固有的氧化物的保護特性，錫接觸鍍層還提供了良好的環境穩定性。錫鍍層在引起貴金屬鍍層腐蝕的 FMG 環境中表現出很好的性能。當磨損腐蝕可以防止(通過高的正壓力來防止磨損，或者通過有效的接觸潤滑來防止氧化腐蝕)時，錫鍍層在變化的工作環境和很寬的電流和電壓範圍內能提供穩定的接觸阻抗。

錫鉛合金，連接器中主要利用下面兩種錫鉛合金：含錫鉛（93/7）合金和錫鉛（60/40）合金（或者 63/37，共熔焊劑成份）。 錫鉛（93/7）合金可用作可分離性連接和永久性連接，但錫鉛（60/40）合金用作可軟焊（solderable）連接。考慮成本和性能兩方面的因素而使用低鉛合金。在錫中加入鉛可防止錫須(tin whiskers)的形成， 錫須是電鍍過程中固有壓力作用下形成的細小而單一的水晶狀生成物。錫須直接或通過切斷和短路其它部件而導致連接器的短路(shorting)問題。用於可分離接觸界面的錫鍍層厚度介于 2.5 到 4 微米之間，取決於其應用的方式。

60/40 合金或 63/37 合金的應用厚度介於 1 到 6 微米之間，取決於焊接過程。因爲這些合金的硬度低，易蔓延性且增加了復雜的鉛腐蝕物，所以它們一般不用於可分離接觸界面。

3.3.3 接觸鍍層的其它設計考慮

接觸鍍層其它設計考慮有兩種，兩種考慮在一定程度上已經討論過，尤其是對優點的詳細討論。即底層與接觸潤滑的應用。

底層・兩種主要使用的電連接器底層材料是銅和鎳。如所討論過的，鎳的主要作用是作爲貴金屬接觸鍍層的底層以保持表面鍍層的貴金屬特性。銅，作爲貴金屬鍍層的底層不能提供相同的功能。如所討論的，銅是一種腐蝕源，銅蔓延能導致接觸表面的退化。銅在提高接觸鍍層耐久性方面也不如鎳有效。盡管存在這些限制，在不可接受鎳底層磁性的應用中銅仍然用作底層。

鎳底層的第二個重要作用與永久性連接有關，保証可焊性－－特別是爲可軟焊產品提供一種活性（a shelf life）。保持可焊性將詳細討論。

成功的焊接需要錫焊劑（tin of the solder）與基材金屬襯底（base metal substrate）成份間產生金屬間化合物。因爲銅和鎳與錫形成金屬間化合物適合於焊接，因而作爲底層以保持可焊性。保持可焊性的全部鍍層系統包括底層和錫，金或鈀表面涂層（coating）。不同系統分別有不同的保持可焊性機理。

涂錫或焊劑的表面是可熔的（fusible）。錫涂層在焊接過程中熔化並滲入到襯底表面產生的金屬間化合物中。比較而言，金涂層表面是可溶解的（soluble），這意味著金完全溶解在焊劑里，金屬間化合物在裸露的底層形成。金涂層實質是保護了底層的可焊性。鈀在熔劑里溶解則慢得多，焊劑的結合通常是與鈀形成。

焊劑（solder coatings）在保持其可焊性方面更加有效，就象其花費更少一樣。因爲它們是焊劑而沒有引入新的退化機理。而另一方面，金則引入了新的退化機理，兩種情況都是因爲錫-金金屬間化合物的形成。金-錫化合物易碎而降低了焊接的機械強度。熔化的金-錫化合物在焊液里的累積將最終降低焊接過程的有效性。因爲這些原因，焊劑涂層是確保可焊性的更好方式。
焊接過程產生金屬間化合物是必要的，但金屬間化合物本身不是必須可焊

的，且過量的金屬間化合物會產生可焊性問題。室溫下金屬間化合物的增多可能導致可焊性降低並有可能提高接觸電阻。銅-錫間化合物比錫-鎳間化合物增加得更快。

許多銅合金是可焊的，且底層可以增強可焊性，尤其是鍍在黃銅基材金屬表面。黃銅表面需要底層以防止鋅的蔓延，但這也可能降低了可焊性。

接觸潤滑・接觸潤滑常完成兩種不同的功能：

・減小摩擦系數

・提供環境保護

減小摩擦系數有兩個益處。第一，它減小了連接器的配合力（mating forces）。第二，它通過減少磨損而提高了連接器的耐久性。

接觸潤滑通過形成“密封”阻止或減緩外界環境進入接觸表面而能夠提供環境保護。對錫接觸鍍層而言，接觸鍍層的首要功能是在防止磨損腐蝕方面提供環境保護。預防磨損潤滑可以減小摩擦系數，但並非其主要目的。事實上，如果潤滑不能有效防止氧化，摩擦系數的減小可能增強磨損腐蝕。摩擦系數的減小因爲減小了機械穩定性而使接觸界面更容易受到磨損。在沒有潤滑存在的接觸移動中不會產生的干擾可能產生潤滑性接觸的移動。

對貴金屬鍍層而言，接觸潤滑是爲了減小摩擦系數和提高連接器的耐久力，但是，伴隨提供環境保護重要性的提高，提供環境保護成爲有益的附加功能。

幾個與接觸潤滑相關的考慮值得注意。對有效潤滑而言，其在接觸界面數量必須足夠。測量和監測（monitoring）潤滑的存在是很困難的工作。

連接器可能伴隨有適當的潤滑出售，但是組件過程（特別是，焊接或柱焊的清洗（post soldering））可能移走潤滑劑。因而，需要第二次補充潤滑劑。

潤滑劑可能收留粉塵，如果在粉塵或污染環境中應用，可能會出現接觸阻抗和耐久性問題。最後，潤滑的適用溫度可能限制它的應用。

潤滑潛在的益處—減小配合力，提高耐久性，和在環境中的保護—是非常需要的，但是在評價接觸潤滑對給定應用的連接器的總的效果應考慮所提到的限制。

3.4 接觸鍍層選擇

選擇適當的接觸鍍層決定於其應用所考慮因素的數量。包括：

・配合需要

・應用環境

・線路需要

貴金屬鍍層與普通金屬接觸鍍層的區別在於其所考慮的每一性能。爲了簡單，以金作爲貴金屬的代表，而普通金屬的代表則爲錫。

爲了爲接下來的討論提供一個背景，一些通常的注解是有用的。因爲貴金屬鍍層比錫鍍層更低的正壓力要求，更高的天然耐久性，及更低的摩擦系數，在配合需要方面它們的應用更加廣泛。因錫的硬度低，錫接觸鍍層需要高正壓力來盡量減少潛在的磨損腐蝕且其耐久性較差和摩擦系數較高。最終的效果是錫鍍層的耐久性較差而配合力較高。

所有的接觸鍍層在毫伏到伏和毫安到安的一定範圍內都能提供可靠的性能。金與錫的區別在於阻抗的穩定性。磨損腐蝕也是主要的區別。產生於磨損腐蝕過程的阻抗變化能夠導致在信號線路中產生噪音和在高電流應用中熱散發的可能性。金接觸鍍層在很寬的適用條件範圍內有助於保持接觸阻抗的穩定。

應用環境必須考慮機械、熱及化學環境。機械因素，如振動，影響連接器所需的機械穩定性。接觸界面的移動將導致錫鍍層的磨損腐蝕和使金鍍層易存在外來的腐蝕物或污染物。熱環境通過不同的熱澎脹引起接觸界面的移動而達到相同的結果.然而，高應用溫度—大約 105 度—可能會因擠壓松馳而使正壓力降低。這種正壓力的降低，錫比金表現得更隱蔽。由於本章其它部分討論的外來腐蝕的各種各樣的來源，環境腐蝕對金鍍層有很大的影響盡管金具有很強的固有的抗腐蝕能力。錫除了磨損腐蝕外，由于原有的表面氧化物而表現出很好的抗腐蝕能力。

下面的討論將更詳細地考慮上述各個考慮因素同時指出金、鈀、鈀鎳合金及錫鍍層之間的一些區別。

3.4.1 配合要求

兩種配合要求必須考慮：連接器必須承受的循環配合次數和連接器配合要求的壓力（配合力）。如第一章所提到的，連接器要求的循環配合次數取決

於相互連接的層級。第 2 到 4 級連接典型的要求僅僅是幾十次的配合循環。第 5 和第 6 級連接，因爲它們提供輸入/輸出功能，可能需要更高的循環配合次數。另一方面，配合壓力顯示出相反的趨勢。第 2 和第 3 級通常要求考慮最大的配合壓力，因爲這些層級的連接 pin 數傾向於比第 4 到第 6 級連接的 pin 數高得多。插座和兩件式板對板連接器其 pin 數各自可能從 400 到超過 1000。而幾十到一百的 pin 數在第 4 到第 6 級連接中更爲典型。

接觸鍍層及耐久性· 影響接觸鍍層耐久性的主要因素是鍍層的硬度及其摩擦系數。貴金屬鍍層具有比錫鍍層更高的硬度和更小的摩擦系數，因此貴金屬鍍層固有的耐久性也比錫鍍層高。

耐久性不僅依賴於接觸鍍層，還與下列因素有關：

· 接觸正壓力

· 接觸幾何形狀

· 接觸長度

· 潤滑

· 鍍層厚度

除了鍍層厚度以外，其他因素在第二章均已經討論過並將在第六章繼續討論。本節重點是討論接觸正壓力，因爲接觸鍍層的選擇決定了連接器所需要的接觸正壓力。其他因素對貴金屬及普通金屬鍍層來講具有相似的影響。另外，鍍層厚度對耐久性的影響也應該注意。

如前所述，錫鍍層比金鍍層需要更高的正壓力來盡量減小磨損腐蝕的可能性。爲了提供機械穩定性，鍍錫連接器的正壓力通常在 200 克力以上，比較而言，金鍍層連接器只需 50 克力左右的正壓力即可保証其接觸穩定性。當耐久性的需求很重要時，耐久性隨著正壓力的增加反而降低的事實使金鍍層相對於錫鍍層的優勢更加明顯。

貴金屬鍍層耐久能力的差別並不是很明顯，在 3.3.1 節，應該注意到貴金屬鍍層的相關特性，按遞減順序，爲鍍金的鈀鎳合金層，鍍金的鈀及金鍍層。按這樣的順序，可以想到貴金屬鍍層是鍍在鎳底層上。

另外，鍍層的耐久性取決於鎳底層的厚度及其硬度，這些相互作用使得很難超過一般順序得到連接器耐久性的確切值。

理所當然地可以說接觸鍍層的耐久性取決於鍍層厚度，但這種耐久性與

鍍層厚度的關係也取決於前面提到的鎳底層的材料性能，所以耐久性—厚度關係不可能是一直線。

有效的接觸潤滑能通過兩種方式減少貴金屬鍍層的相對差別。潤滑結果也能減少耐久性的差別。另外，能提供環境保護的潤滑劑能減少固有腐蝕敏感度方面的差別。

影響耐久性的幾何參數上面已經列出。連接器的設計在這些方面變化很大。接觸幾何形狀和接觸長度的主要影響是各自的磨損區域和磨損軌跡長度。所有這些對比的最終結果是連接器的耐久性根據試驗的方法已被最可靠地評估出來。

接觸鍍層和配合力・配合力取決於以下几個因素：

・接觸正壓力

・接觸幾何參數

・摩擦力

・潤滑

接觸鍍層是通過影響接觸所需正壓力的大小亦即通過影響由摩擦系數決定的摩擦力的大小來影響配合力的大小的。先前已經指出，由於金鍍層比錫鍍層具有更低的正壓力要求和更低的摩擦係數，因此金鍍層比錫鍍層具有更低的配合力。通過使用接觸潤滑可使摩擦系數的不同在一定程度上能得以改善。貴金屬鍍層的間區別很少用配合力而是用耐久性來表示。

注意到接觸配合力和更重要的參數—連接器配合力的不同是十分重要的。當然，連接器配合力不僅依賴於每個接觸接觸時的配合力，也包括連接器絕緣本體以及連接器各部分的緊固力的影響（alignment of the connector halves）。連接器的配合將在第六章更爲詳細的討論。

・總結・

當應用需求包括高耐久力和高 pin 連接，那麼貴金屬鍍層是首選的。有薄金層的鈀（20%）鎳（80%）合金鍍層能提供最高的耐久力，接下來是有薄金層的鈀鍍層和金。錫鍍層，因爲其固有的低硬度和需要較高正壓力來減少摩擦腐蝕的可能性，故錫鍍層與貴金屬鍍層相比表現出有限的耐久性和較高的配合力。高配合力要求限制了具有錫鍍層的連接器的接觸 pin 數。

3.4.2 應用環境

在應用環境這個標題上要考慮以下几個因素。包括有機械環境，除了配合條件，還包括振動和磨損；熱環境方面包括溫度和溫度波動；化學方面包括溼度以及一些潛在的腐蝕如氯化和硫化腐蝕。應用環境的每個方面都會對接觸鍍層的選擇產生影響。

機械方面・雖然機械配合是作用在連接器上的最常見的機械壓力，但在連接器的整個有效期內還會受到許多潛在的干擾。機械沖擊和振動是必須要考慮的其它因素。連接器暴露在許多潛在的沖擊和振動源中。然而，無論什麼樣的原因，所關心的效果是因爲干擾而產生的對接觸界面的壓力是否足於導致連接器兩部分的相對移動。如果產生這樣的運動，它們能常被限於一定的範圍而歸屬於磨損的一種。磨損有兩種令人擔憂的結果：磨損損耗和磨損退化（fretting wear and fretting degradation）。磨損損耗是指在第二章中所描述的磨損過程，產生的結果是接觸鍍層受損。磨損退化包括摩擦腐蝕（fretting corrosion），相關的錫、鎳、鈀鎳合金以及摩擦聚合物，相關的鈀。

注意到潛在的磨損損耗是很重要的，因爲它能引起鍍層的穿透性磨損。連接器期望達到的預測配合循環次數不僅僅是連接器磨損方面的唯一因素，這種考慮使得薄鍍層重要性增加，例如鈀、鈀合金和鎳鍍層外面的薄金層。因磨損所引起的薄金層的損失會導致底層的鈀和鎳裸露出來。換句話說，鍍金的鈀和鈀鎳合金對磨損退化機理是很敏感的。而對鈀來說，摩擦聚合物的形成則是其主要的退化機構。鈀鎳合金或鎳的磨損腐蝕是通過氧化作用發生的。鍍有薄金層的鈀和鈀鎳合金鍍層已被許多調查者評價。大多數而不是全部的研究，已經報告過它的穩定性能。鎳鍍層表面金薄層的使用是近期的事，所以這段時間幾乎沒有什麼証明經驗。但是，可以肯定的是這些鍍層金屬對摩擦腐蝕非常的敏感。還應該注意到，暴露底層金屬的其它機理的存在。例如：不完全的鍍層，鍍層的損壞如刮擦。

總而言之，與機械環境相關的主要論題與磨損損耗及磨損退化有關。錫鍍層對磨損退化是最敏感的。然而，金鍍層的選擇應該考慮到這些機械性的影響。

熱環境・熱環境存在兩個主要因素：應用溫度和熱波動。絕對溫度能導

致大量潛在的退化機理。熱波動的主要影響是因爲熱膨脹的不同而經過的潛在性磨損。

重要的可能性敏感溫度的退化機理包括腐蝕，擴散和金屬間化合秀的形成。腐蝕率一般隨著溫度的升高而加快，盡管溫度對水份的吸附效果能減緩這種作用。擴散速度也隨溫度的升高而加快，結果能產生表面膜。如圖 3.4 所示。

金屬間化合物（IMC）的形成對錫鍍層是很重要的。金屬間化合秀的形成速度隨溫度升高而加快。如果金屬間化合物的形成消耗了錫而在接觸面上的該點形成大量的金屬間化合物，那麼接觸電阻可能受到影響。一般來說，保留在表面上的錫，能提供有效的接觸。圖 3.30 中的數據對此作了描述。圖 3.30 顯示了一個 3 微米厚的鍍錫銅（tin-over-copper）以軟金探針所測得的接觸阻抗隨壓力的曲線。數據在可接受的條件下顯示，一是增時處理使錫轉化爲錫化合物，二是增時處理和腐蝕後。IMC 阻抗的增加超過了可接受條件下的值但但它對許多應用是合適的。雖然增時處理的時間足於完成從錫到金屬間化合物的全部轉化，但通常仍能發現殘留在表面上的錫。如果表面被腐蝕物取代，金屬間化合物本身的接觸導致接觸阻抗的額外增加。

總之，熱環境能導致腐蝕退化，它也能影響貴金屬的腐蝕速度和潛在地影響錫鍍層的金屬間化合物的生成。

化學性・ 化學環境包括濕度及一系列可能的腐蝕种類，如氯，硫和氧。氯和硫對于貴金屬鍍層特別重要，而氧則對錫鍍層很重要。如先前所提及的，錫氧化物對錫提供了來自於在其它腐蝕源(source)的腐蝕保護。

濕度對腐蝕率和腐蝕物水合度的影響是令人擔憂的。經驗也表明，濕度變化能影響腐蝕机理和腐蝕率。

貴金屬的腐蝕机理在 3.3.1 節中已經作了討論。爲了更加完整(for completeness)，對貴金屬鍍層而言，應該注意到主要的腐蝕机理隨環境成分特別是氯和硫的含量(content)的變化而發生變化。隨環境惡劣程度(in severity)的增加，主要的退化机理由多孔腐蝕變化到腐蝕擴散(creep)。正如前面所說的那樣，移動類型以銅－硫腐蝕物出現。

對于錫鍍層，由于氧在磨損腐蝕中的作用，氧是主要的反應(reactive)類型。由于錫氧化物固有的保護特性，所以錫在 FMG 環境中性能良好。

總結・總之，應用環境的考慮表明了接触鍍層選擇上的不同權衡，取決於化學方面，熱，或是与腐蝕相關方面，何者占支配地位。在惡劣的机械環境里，因爲磨損腐蝕而限制了錫的使用。但是，磨損損耗的可能性，磨損退化的產生，在惡劣的條件下不應該低估。高溫環境要求對錫金屬間化合物的產生和對影響貴金屬鍍層的蔓延/氧化的考慮。腐蝕考慮對貴金屬和錫來說是不同的。而且，磨損腐蝕主要涉及到錫。隨惡劣條件的增加，貴金屬的腐蝕机理會隨環境從孔隙腐蝕轉變爲擴散(creep)腐蝕。

3.4.3 電路需求

從一個基本的觀點出發，如果能創建並保持一個金屬接触界面，那么在一個大電壓和電流范圍里的接触鍍層間的功能(finishs with respect to their functionality)沒什么不同。在這樣的條件下，因硬度和阻抗系數的差別產生的阻抗的變化是相對較小的。鍍層間的不同在于阻抗的穩定性，即接觸界面對于應用條件下退化的敏感性(sensitivity)。自然地，對比羅簡單的描述有几個限制因素。

電壓・在電連接器上，除了電能的應用，電壓相對很低——只有几伏特。金屬間的接触界面將以歐姆來衡量，即電壓与電流間的關系是線性的，其斜率由系統阻抗決定。只有當接触界面不完全是金屬接觸面時(cease to be completely metallic)，也就是說，當它們開始退化時，電壓的影響才顯現出來。在這種條件下，電壓可能允許薄膜的電性中斷(breakdown)並由此而建立或重建一個較低的接触阻抗，這一現象有時稱作自我复原（self-healing）。不幸的是，這種阻抗容易變化并且不可恢复，這也是爲什么薄膜的机械破坏和薄膜形成的避免對電性中斷是首要的。Wagar 和 Holm 提供了電性薄膜中斷特性的討論，主要概括在 2.3.2 小節中。

本討論目的關鍵點是導致中斷的必要電壓和的和因此產生的高變化性阻抗。電壓的變化源自於薄膜結构本身的易變化性。厚度，組成和結构都依賴于薄膜形成的環境。阻抗的變化性產生於因爲中斷引起的導電區域取決於中斷時間里電流的流過的事實。

Bock 和 Whitley 提供了有關磨損退化的電流及電壓決定條件的証据(evidence of this cu-rrent/voltage dependence with respect to fretting degradation)。

電流・正如第一章所述，針對電流有兩種基本電性應用：信號和電能。對于信號應用，典型的電流通常低于 1A。而電能應用則可能需要几十甚至上百安培的電流。

對于信號應用，在可能引入系統的雜訊或者數字式應用上可能的數据丟失方面，接触鍍層退化的影響及在隨之而來的接触阻抗的變化是非常重要的。Abbott 和 Schrieber 研究了這一影響，而且 Abbott 是針對磨損腐蝕來考慮。根据這些著作，發生數据丟失的可能原因是，隨接触阻抗的退化所產生的瞬間開路趨勢的增加。在可引起貴金屬鍍層磨損腐蝕的條件下，也可以得到類似的結果。

在典型能量應用更高電流下，由于高電流下而產生的焦耳熱和紅外線，會導致額外的考慮。兩個單獨的(separate)問題值得討論：(a)什么因素決定鍍層所能承受的最大電流。(b)高電流時，接触阻抗的退化有什么影響。

接触鍍層所能承受的最大電流由接触界面的溫度所決定。接触界面溫度反過來又取決於產生的焦耳熱與從接触界面到接触彈片散熱的平衡。熱量的產生取決于鍍層阻抗系數和阻抗系數隨溫度的變化率。而散熱取決於熱傳導率和熱傳導率隨溫度的改變率。這些反應可能相當复雜，就象 Williamson 所討論的那樣。

爲了本討論的目的，注意到每一個鍍層在其熔化時都有一特征電壓，特征電壓的大小，及依據前面提到的相互作用所能達到的比率就足夠了。對于金，銀和錫鍍層，各自的熔化電壓分別是 430，370 和 130 毫伏。

在實際上，通過接触界面的電壓下降由電流產品(product of the current)和接触界面阻抗所決定。At a first cut，熔化電壓能被用來指示鍍層的電流容量，其公式如下：

$$Vm=I*Rc \qquad (3.2)$$

其中　Vm==熔化電壓

I==電阻爲 Rc 且即將發生熔化時的電流

Rc==接触界面阻抗

在第二章已經討論過，Rc 取決于鍍層和接触壓力。對于一個确定的接触阻抗，通過熔化電流的減法，最大電流能夠被确定。恒定的電流容量一般由溫升條件所決定，而溫升條件又取決于接触阻抗的大小，這一點將在第十二

章中討論。

按這個標准，錫具有低電流容量，然而金和銀卻是相當的。鈀和鎳則具有更高的熔化電壓，但是它們所擁有的高阻抗和低效熱傳導性能制約了這一优點。

對于高電流應用，銀由于自身的低電阻抗和高效熱傳導性能而占有优勢。在電能接触中，銀的弱點，污點和移動趨勢并不重要。電能接触的典型的高壓力(high forces typical of power contacts)使污點的影響降至最低。巨大的尺寸，分离和通常典型的電能應用接触間的絕緣減少了移動反應。

接触阻抗退化在高電流性能上的影響是明顯与前述討論有關。這樣的退化更進一步促進了接近熔化電壓。以這樣一個觀點，鍍層對退化相對的反應有更大的影響在電能應用的鍍層選擇上。再次，錫由于自身的低的熔化電壓和對磨損腐蝕的反應 poses 最大的危險。

電路參數綜述・在理論上，金屬間界面對電流和電壓沒有反應，但接触界面的退化連同接触界面阻抗的變化引入了一系列的考慮。

3.5 接触鍍層概述

合适的接触鍍層的選擇包含了使用和功能需求的考慮。例如，由于對錫的高的接触壓力需求和在裝配壓力及磨損的共同影響，高接觸數量，高适配循環需求決定了貴金屬鍍層(參見表 3.1 和表 3.2)。環境考慮是复雜的，包括在貴金屬鍍層上的多孔性和在錫鍍層上磨損退化的可能性之間的權衡。考慮一個确定的應用，合适的鍍層是在性能与可靠性間的“最好”的折衷。

表 3.1 接触鍍層的接触壓力需求

鍍層	最小接触壓力(g)	評价
金	25	最小值由机械穩定性和污染物的轉移所決定。尤其是零接触壓力(zero-force)條件必須极力避免。
鈀	50	由于接触反應的作用表面薄膜的可能性。此外，金的評价也适用。
金-鈀或	50	薄金表面將是多孔的，所以需要使用鈀。

鈀－鎳		
錫	100	100g 是最小值。更高的值可用來解釋磨損腐蝕。但必須提供机械穩定性。
銀	75	必須解釋表面硫化膜。如用作電能接触則可能需要更高的壓力。
鎳	300	更高的硬度需要更高的壓力來确保破坏薄膜。

表 3.2　接触鍍層的鍍層，硬度，延展性及摩擦系數

鍍層	硬度(Knoop) (%)	延展性范圍	摩擦系數常用值
純金	<90	7-10	0.5->1　0.7
鈷金	130-200	<1	0.2-0.5 0.3
鈀	200-300	1+	0.3-0.5 0.3
金-鈀或鈀-鎳	200-300	1+	0.3-0.5 0.4
銀	80-120	12-19	0.5-0.8 0.6
錫			
粗糙度	9-12	20	0.6-1.0 0.8
亮度	15-20	3	0.4-0.6 0.5
93-7	9-12	17	0.5-0.8 0.6
雙列直插隊直插封裝			0.2-0.8
鎳	140-400	5	0.5-0.7 0.6

第四章　接觸彈片材料

銅合金在電氣和電連接器上得到了很廣泛的應用，其原因是由於它具有良好的傳導性能、強度、成型性以及抗腐蝕性能。在本章中將從連接器使用者的觀點，來對商業上可加以利用且其性能適合於運用在連接器上的合金進行其性能的對比。然而與連接器製造相關的重要性能也沒有被忽略，因爲它們同樣也影響合金材料的選擇。除了一些對連接器來說獨特重要的方面，一

般的關於銅合金的信息讀者都可從參考目錄 1-4 中得到指導。

如表 4.1 中所總結的，當選擇合金材料時連接器產品的功能性需求如設計因素和材料性能之間的相互關係將會共同作用。合金的種類能滿足產品的功能性需求以及其所分布的功能和如 4.1 部分中所總結的它們在碾磨過程中的總的方面。銅合金將會在 4.2 部分中由一般術語進行回顧，更專業的將會在 4.3 部分中的合金中另以敘述。

4.1 主要的銅連接器合金

4.1.1 銅合金的製造

銅合金材料在運用於連接器的加工過程中，先是被加工成爲薄片狀的板材，然後切成條帶形狀以適應後面的沖壓過程的需要。線材同樣應用於連接器中，但是在端子元件和其他類型的連接器中這樣的材料應用得很少。

圖 4.1 描述了一個典型的薄板和條帶銅合金的製造流程。此外在參考書目 3 中可以得到更詳細的描述。合金線材以同樣的方式製造但具有幾個顯著的特點：熱擠壓，軋製，和通過沖模的拉拔以改變熱軋製和冷軋製在板材中的應用，以及退火處理過程經常用於這種產品。

溶煉和鑄造　銅合金是最先用於可回收的商業應用的金屬之一，這是因爲工業上能用經濟的辦法將銅合金中的雜質維持在一個較低的水平。溶煉常用于電溶爐之中而少見於銅合金在真空和惰性氣體下的溶煉和鑄造過程中。碳層能提供一足夠的保護。此外，利用真空或特殊的空氣環境將會很大的增加合金製造的成本。

氫、氧和碳的污染影響由溶煉過程和熱力學方法來平衡其溶煉層進行控製，其中氫能溶解於銅，氧能與銅和一些合金元素形成氧化物，而碳能與有碳化物組分的合金起反應。溶煉控製包括純電解陰極銅和有選擇的相容合金碎屑。當一些純組分如鎳、錫、硅或起支配作用的合金如磷、鈹、和鉻合金組分增加時，都會引起合金成份改變。

板材鍛造的製造過程是從不連續的鑄造成大矩形橫截面金屬錠或薄鑄片開始的。前述大金屬錠的典型尺寸爲約 150 毫米厚，300 到 900 毫米寬，並且經過熱軋製處理以有效的減少其厚度並消除在鑄造過程中殘餘的鑄造微片。

另一種鑄造方法是薄鑄片(常用於窄條狀鑄造材料)，其典型的尺寸是約 15 毫米厚，150 到 450 毫米寬，這些薄鑄片將直接轉到冷軋過程之中。選擇條形鑄造是基於經濟上的考慮因素(熱研磨需要較高的資金成本)以及合金的特性(一些銅合金不容易在熱條件下工作)。

前述半連續且大的金屬錠在鑄造過程中垂直利用一個中空水冷的銅模，在開始時此銅模的下底部被封住。溶化的金屬實際上並未象圖 4.1 中所示的直接進入溶模。此溶化的金屬通過一流槽及分配系統進入溶模，分配系統能通過一陶製閥系統控制金屬的流量。底關閉部從溶模中降低，此時形成一穩定的固體外殼以容納溶化的金屬。鑄造將繼續進行直到一直冷(DC)金屬錠形成以足夠熱軋製的長度。直冷(DC)金屬錠處理的經濟上的優點是幾個金屬錠可當溶爐中的溶化金屬加入相鄰的溶模時同時形成。此外接著通過熱軋製在厚度方面的分離是一個快速有效的方法，盡管在軋製以前要經過重新加熱。

水平方向進行的條狀鑄造將會產生呈盤旋狀的薄片，此薄片的厚度是與冷軋中第一次分離的軋磨容易相配合的。薄片在製造中被切成盤旋狀而不影響其鑄造過程。鑄造後的表面將會重新研磨加工以形成高的表面精度。錫青銅大多數情況下用於條狀加工是因爲其較差熱環境下的工作性能，而黃銅可廣泛用於熱軋製中的大部分應用範圍，一些合金製造商還將其用於條狀鑄造加工中。

熱軋製 直冷錠在幾小時之內加熱以用於特殊合金溫度的需要，這樣就能通過回動研磨將其從 25～150 毫米的厚度減少約 10～25 毫米。在熱軋製中快速減少其厚度是可能的，因爲其溫度變化可使合金快速再結晶而不是硬化。典型的預熱溫度是從 850 到 950℃。溶爐環境能有效的將氧化過程減小到中性的程度。此階段形成的氧化物對其要求並不嚴格，因爲現有的熱軋製片將會在研磨中把表面氧化物及缺陷部清除。此外更重要的是熱處理抹掉了紋理粗糙的鑄造結構，這樣就能達到均勻和較好的效果。

當熱軋製完成後，而在水噴淬火及盤卷之前時軋薄片的溫度大約在 600℃左右。接著是用機械方法去除熱軋製後的表面和邊緣，此後合金片將要經過一系列的冷軋和退火處理以降低其表面粗糙度，其中退火處理能提高紋理的微觀結構、促進其均勻性並得到所需的性能。

冷軋過程 經過製造商與一系列的軋製和退火加工相配合的冷磨處理之

後將會得到一性能均勻和尺寸均勻重達 1000 公斤的盤卷片。分離軋製過程在處理中的厚度可利用前後安排的四高研磨(four-high mill)(其中兩加工軋製由一大直徑的回程軋製)，以及獨立，回程研磨。非常普遍的是通過一系列的研磨後過程可以得到最後的厚度和性能(如已知的 Sendzemir 研磨，其加工軋製是經過幾組軋製實現的)大尺寸的厚度是通過接觸計量器的盤旋長度來監測和控制，小尺寸的微觀厚度是通過 X-射線或伽瑪射線來度量。線張力和軋製形狀在軋製過程中可以調整以提供一均勻的條狀尺寸。

退火 冷軋可減少條狀厚度面增加合金強度但同時也降低了其延展性。有效加工過程中的持續性需要在加工過程中的薄片在其中的幾處通過退火處理變軟。退火過程中的變軟驅動力是軋製變形過程中存儲能量的釋放。新的紋理是從變形紋理中成形的，並且其尺寸也同時增加。至新紋理處的延伸是允許增加的，因爲在成型性和強度上需要更好的紋理微觀結構，此延伸是由退火溫度及持續時間的選擇決定的。

銅合金的退火是在同一溶爐的不同盤旋片中進行的，其溫度將保持幾個小時當開放的盤旋薄片通過一退火溶爐(請參照圖 4.1)。每一退火方法都有其優點和局限。成批退火其側重點在於加重的前末端處理厚度；通過鍍層厚度處理的退火能達到更大的靈活性，並且每一種方法之間可以相互替換。

整爐退火處理是位於一可移動、類似鍾形的內腔之中進行，且此內腔的下部封閉。在內腔的盤旋片是通過處於低氧和低濕度的氮或氮-氫成分的氣體來防止其被氧化。而上述的氣體在內腔快速循環。此內腔又被一更大的可移動的外部空腔所包圍，以收容此加熱源(燃燒氣體或電加熱)。內部鍾形腔內的溫度從 250℃(一般用於純粹的銅)到約 650℃(用於一些銅合金)。表面質量是由被覆物所保持，而此被覆物可防止線圈之中包裹物的粘貼。殘餘的被覆物在之後的清除加工過程中將被去除。

合金線圈將在一到兩個小時內達到均勻的溫度，然後其設在一定溫度並保持幾個小時。通過去除了外層的容腔後退火的冷卻速度將會加快。內部容腔及其內部的保護氣體成分將一直保持到金屬完全冷卻，以避免其受到氧化。

線圈的連續退火可利用將薄片(sheet)通過溶爐而實現，此溶爐還包括有一燃燒室以通過直接接觸來對金屬進行加熱。氧化可通過控製氣體成分來減少。對如圖 4.1 中所安排的垂直溶爐來說，板材通過一頂端封閉部進入加熱

區，並且其冷卻是利用沖擊氣體在從下端封閉部退出前進行。板材在低於出口部的水中淬火。排列成一直線的酸清洗和研磨刷將會在板材被盤卷之前完成，而此過程位於溶爐線之末端。

氫氣是從壓縮的氨水中提煉出來的，它可與氮氣混合在一起而不發生化學反應。使用這些干淨氣體的火爐除了可能水平放置并且具有更高的防止外面空氣進入的密封裝置外，具有與普通燃燒爐同樣的特性，該火爐通常是在近似標準大氣壓下工作的。薄片 (sheet)被外部的熱蒸餾瓶(retort)或者火爐內部自配的電加熱元件加熱升溫。薄片(sheet)在進入大氣前被噴出的氣體冷卻。

在退火過程中，銅合金氧化被減少到了最低點，但是它是不能完全避免的。氧化的程度及形成的氧化物的耐火性依賴於合金組成成分同保護氣體發生氧化反應的活性。非合金的銅和黃銅抗氧化能力相對強一些，因爲退火溫度低并且由於熱力學原因， 殘餘的氧化物及用于降低氣壓的露點形成控制要求是適度的。合金氧化物具有很活潑的元素，如金皮或鋁，在商業許可的環境中不能逃避被氧化。酸浸(Acid pickling)(包括稀釋的可與過氧化氫反應而生成更具腐蝕性物質的硫酸)和研磨刷及拋光被廣泛地應用於確保不會引起印刷工具不可接受的磨損的高質量表面和材料。

後處理 合金型材制造的最后工藝－退火是相當關鍵的，因爲這一步形成了一種材料以達到需要的性質。進行後續退火處理材料的厚度依賴於硬化合金以達到所需的強度或生成調劑的冷軋的次數。本節后續部分提供了冷軋選定合金的例子。爲了提高合金材料的性能或降低內部殘渣的彈性伸縮率，材料治煉過程常包括低溫退火工藝。

爲了消除片狀材料的彎曲或提高其整個面板的平整度，片狀材料可能在最後工序被拉緊撫平。 拉緊撫平包括整塊材料向相反方向順序彎曲，嚙全碾平，片狀料板在拉力作用下同時保持平整。內部綱孔的數量在條料寬度各段會有所變化。來於內部紡織翻轉和拉伸的反向彎曲的聯合效應引起片狀材料塑性變形並局部形成更好的配合鄰接區域。片狀材料中心處更多的塑性變形導致消除由轉曲遺留的長邊緣的皺形。延長邊緣的水平裝置用作消除中等寬度的彎曲。彎曲生產過程被設計來生產可能的最平的長條材料，該材料僅用於必要的更重要的場合。

被加工成寬度介於 250mm 至 800mm 的薄料最終要用裝在合適位置的轉

刀將之切開並壓在沖模寬度。最終沖壓件被象包扎薄餅似地輕輕地包裝以便於運輸。

4.1.2 標準的規定(standard designations)

合金組成. 合金元素的種類、濃度及其加入治煉過程的影響控制著銅合金的強度。合金強度值可通過幾種途徑來提高，這依賴於合金所包括的關鍵元素類型。由溶液的原子尺寸不同於銅原子尺寸的合金元素引起的不適當的張力和來源於凝結物的張力(strain fields)代表了兩種提高合金強度的途徑。固溶合金及凝結強化合金在用作連接器的合金中占大部分。二次散佈合金的顆粒，比后者粗糙，代表了又一種高強度合金的來源。這些粒子有助於提高冷軋的強度效應。用於提高銅合金強度的機械治煉在本章的后續部分詳細描述。

銅合金是根據其包含的重要合金構成物來分類的，因爲這些重要的合金構成物對合金的性能有很大的影響。這些合金構成物包括含鋅的黃銅；含鎳，鋁或矽的青銅；含不同數量錫的黃銅及鎳與其它元素(如鋅，矽及錫等)的組合物。表 4.2 列出了連接器上應用的幾種主要的銅合金，該表還列出了這些合金名義上的組成物和北美用於區分這些合金的統一數字系統(UNS)的代號。每組中決定強度的主要元素都被列於表 4.2 中並用來標識合金的類型。

在統一數字系統(UNS)中，每一組的銅合金都用字母 C 開頭，其后跟著 5 位數字(包括以銅或黃銅開頭的 3 位數字系統)。通常只采用前 3 位或 4 位數字。(當尾部數字是零時，常將之省略以幫助銅合金的識別。)

統一數字系統(UNS)標準中，第一位數字介于 1 到 9 之間，並且數字 1 到 7 表示可鍛銅合金(第一位數字 8 和 9 表示合金鑄件)。非合金銅和高銅合金(含銅量至少在 90.6%以上)被歸入 C1xxxx 系列的一組。銅鋅合金列於其後(C2xxxx 系列)，以下依次是錫黃銅(C4xxxx 系列)、錫青銅(C5xxxx 系列)、鋁或矽銅合金(C6xxxx 系列)和鎳銅合金(C7xxxx 系列)等。后面緊跟的數字用來區別每組中的不同組成成分，如 C23000 和 C26000 分別代表含 10%或 30%鋅的銅合金。表 4.2 省略的部分是幾組含鉛的合金型號，如含鉛青銅 C3xx 系列，因爲這些類型通常用於機械部分(杆狀物和條狀物)，而在連接器上用得較少。

調制回火 銅合金調劑的命名系統是由 ASTM 定義的，推荐的應用型號是 B601。該系統是爲了取代原有述語，即半硬性、彈性等，但是現在新舊命

名同時存在。表 4.3 總述了用於銅合金(不論產品形式)的退火環境。

用作特殊合金的調劑是通過回火冷作硬化或特殊熱處理等聯合效應而生產的得到的。調劑是用拉伸強度和延伸率或者屈服強度來描述的，這些都是用扭轉的方向來測量的。溶液強化合金和二次散佈強化合金是由特殊合金的厚度通過在“準備加鍍層”的回火環境(參考 4.1.1 節)冷彎曲而制得的。固溶強化合金和二次散佈強化合金，將在 4.1.3 節描述，通常是用前述方法來說明的，然而，屈服強度常用於凝結強化合金。

金屬是由許多微小顆粒組成的 (polycrystalline)，其中單個微小顆粒可以想象爲泡沫。 微小顆粒的平均直徑被測量爲介於沿著置放在穿過樣品部分的冶金光澤上的隨意分布邊界的截距。微小顆粒在回火環境有等量退化 (equiaxed)的趨勢，在冷軋回火環境中有延伸的趨勢。 微小顆粒的尺寸在某些場合被詳細地加以說明，這已成爲銅合金的習知記錄。典型的銅合金微小顆粒直徑介於 5 到 25 微米之間，包括在某些特殊情況下產生的優質顆粒和劣質顆粒。

4.1.3 合金種類及其治煉技術

合金也根據其比純銅更可靠的占優的冶金學機械特性在表 4.2 中進行分組。而且，每種合金不同地反應了制造某種特性(該特性能區別該合金)的化合物的過程。

銅合金占優的冶金強化機理包括固體溶解強化、二次散佈強化和凝結強化等。一些合金通過多種途徑化合強化。固體溶解合金指那些主要被廣泛地溶解於合金里的元素強化的合金。當某一合金元素超出溶解極限時便產生了尺寸由粗糙(1 微米以上)到中等大小(幾十分之一微米)再到很細(幾百分之一微米)的第二階段的粒子。提高強度的最大功臣是尺寸爲亞微米的細小顆粒。最大的顆粒一般來源於鑄件。具有中等尺寸的顆粒來源於熱機械過程。二次散佈強化合金包括通過增加冷加工效應來提高強度的中等尺寸顆粒。凝結強化合金把其強度歸功於由促進其形成的熱處理特殊順序生成的細小顆粒的特性。

固體溶解合金・含有鋅，錫，矽，鋁及鎳的銅合金構成了大多數商業上的固體溶解強化合金。這些合金主要另外由一到二種元素組成。錫，矽和鋁等額外元素提供了最大的強度。鋅和鎳必須加入比錫和矽更多的劑量以達到

相同的強化功效，但它們有合金中也具有更大的溶解度。經過固體溶解強化的合金具有與銅相同的原子晶體結構并且當對某部分進行微觀分析時會發現其呈現單一階段微觀結構。

把固體溶解合金象典型的沖壓那樣變成片狀的碾磨過程包括重複多次的受控冷壓過程和熱壓或鑄造環境的回火過程。 圖 4.2 舉例說明了由 a read-to-finish 的回火環境得到的固體溶解合金的典型冷壓彎曲過程(該圖描述了 C260，一種含 30%鋅的黃銅合金)。這些彎曲用作定義在制造合金調劑中所需的彎曲強度值。就象厚度減小延伸性下降一樣，冷壓增加了合金的強度但也會伴隨著更低的延展性。

單獨的固體溶解合金元素的強度增加主要包括三個重要因素：（1）由加入元素的原子半徑與銅原子半徑不合適和相對銅的電子結合（原子價）引起的強度提高效應；（2）合金元素溶解的多少及（3）其對從冷壓操作到最終回火條件的冷作硬化率的影響。圖 4.3 列出了三種商業合金中的鋅和錫對合金強度的單獨影響。這些合金包括含 10%銅的鋅黃銅器(C220)和含 5%銅及 8%錫的青銅各爲(C510 和 C521)，該合金常與非合金銅(C110)作比較。如果在回火和冷作硬化條件下對含 5%銅的合金和含 8%錫的合金作比較就會發現兩者的強度比含 10%鋅的合金的強度提高的多得多。如果根據每種合金中合金元素的百分比含量來作比較，就會發現各種合金的強化效應具有更大的差異（由於更厚的錫比鋅含有更低的原子百分比）。

圖 4.3 顯示，若達到相同的強度，8%錫合金所要求的冷軋次數較少。拉伸度及可成型性等其它方面因此隨強化合金在高強度時更加可靠。因爲銅合金需要更多次的冷軋，所以對錫-銅合金而言，冷軋銅達到相同的強度，其可成型性更差。各種合金各自的可成型性將在本章後面討論。

固溶合金中的合金元素引入了其它替換性特性。其中商業性合金的導電性只有非合金銅的一半，更多關於合金處理對導電性影響的說明將在第 4.2.1 節討論，對抗腐蝕性的影響將在 4.2.5 節將論。

通常來講，固溶合金在中等強度作用下的可成型性較好，對腐蝕及導電性有不同程度的替換。與固溶合金形成競爭的是二次散佈合金（dispersed second-phase alloy），它在中等強度作用下能夠提供更好的導電性，並且凝結強化合金在導電性、強度及成型性有更好的結合。

二次散佈合金 該組合金通過加強對亞微米粒子而不是粒子冷處理的反應而具有更優的強度。冷處理會在包含有一定比例拉伸力的金屬結構內部產生線性分離（linear defects）。相同數量的二次散佈合金粒子與普通固溶強化合金（solid solution-strengthened alloy）粒子相比，二次散佈合金粒子會促進更多欠缺的產生。因運行而產生的欠缺越多，通過它們間相互干擾所產生的連續變形抵抗力就越大，即增加了它們的強度。

二次散佈強化對提高強度的作用是因爲熱加工過程而不是來自於鑄造過程。選定可使合金元素形成固溶合金的臨界退火溫度，失去退火條件（strip annealing conditions）也須調整到不再溶化已處理合金元素而可以再結晶，盡管該退火方式也能用於再溶化所需要的合金元素。

對固溶合金而言，傳送原料帶的回火度由冷軋通過對經過退火的准備鍍層的量的控制而得到。二次散佈粒子同時也通過延遲粒子在退火過程中的增長而精煉微粒構造，因此而促進合金的強度及經常促進其可成型性。

圖 4.4 顯示了兩種不同二次散佈銅合金工件的硬化曲線。一種主要包含 2.3%的鐵及數量更少的磷和鋅，而另一種包含了 22%的鋅以及更少的鋁和鈷（C688）。銅鐵合金成份超過了鐵在銅中的溶解度，且在退火過程中形成鐵粒子。這些分散粒子的主要影響是提高經冷處理後的銅合金矩陣的強度。該影響通過比較 C194 與非銅合金 C110 的冷軋曲線而更加明顯。大約不到 0.01%的鐵保留在固溶合金中，這些散佈的鐵粒子減小了銅的導電性。

銅-22%的鋅銅（C688）含有鈷-鋁金屬間化合散佈階段，該過程對精煉粒子到 10μm 以下尤其有效。相反，10 到 25μm 的粒子是典型的第一階段，固溶合金。零件的硬化率也固有意地加入 C688 粒子而得到提高。C688 與鋅銅二元合金及相同數量的鋅（C240）的曲線比較說明了這個效果（圖 4.4）。對相關的那些經單獨溶解而強化的二次散佈合金而言，較少冷處理零件通常需要達到相同的強度，因此，二次散佈合金在相對強度下通常更容易成形。

二次散佈合金可提供很寬的導電率範圍（請參閱第 4.4.1 節）。C688 與該組其它合金相比其導電率更低，盡管其硬度很高。散佈保持在銅基材合金中的鋁與鈷說明了爲什麼合金的導電率較低。從該組合金中同時將較好的成型性與適當的高強度結合起來是可行的，它們性能的結合接近於凝結強化合金的這些特性。

凝結強化合金 可以在凝結強化合金中得到提高的過於精煉的二次散佈粒子通過阻止線性原子的分離運動而直接影響合金強度（對經強化了的冷處理零件中的二次散佈合金的主要影響）。它們的封閉空間，有時通過可伸縮的不適當擴大阻止產生塑形的影響範圍彈性區域的輔助，對它們的強化效果是有影響的。這種不適當的彈性源於銅與合金元素之間原子大小的不同，因爲後者原子簇在以銅原子爲主的合金原子矩陣中形成了粒子。

僅僅有一小部分銅合金可以得到凝結強化。它們與其它合金相比突出的特性在於：在溫升時合金元素的高溶解性，及低溫熱處理時更低的溶解性。通過持續的熱處理充分利用它們的雙重溶解特性，設計這些合金進程發展更精細的二次散佈合金。因此，處理過程在相對的高溫下通常包含料帶退火，並伴隨快速冷卻，以盡可能地溶解溶合。該處理以後，通過低溫且更長時間的臨界退火（或增加處理）產生所需要的精煉凝結粒子分布。

商業上重要的凝結強化合金是與金皮或銘元素，或雙層鎳與銀或錫，或鉛的合金。盡管數量很少，凝結強化合金在要求更多的電連接器應用上仍是一組重要的合金，優良的成型性、對高溫下伸縮的高抵抗力、以及良好的抗腐蝕性是該組合金的特殊性質，而導電性則可以從相對較低，與最強的鈹銅相比，到適當較高的數值，與銅銘合金相比。

凝結強化（或提高壽命）處理可以通過電連接器的加工或通過合金的研磨進行。決定選擇一種或是另一種取決於商業上對強度及沖壓成型性這種特殊的熱處理加工性能，及與室內執行該最後強化處理相關的成本對研磨處理合金的更高成本的要求。通過優化的處理溶液加上冷卻條件可以得到最高的可能強度。其成型性隨強化處理強度的增加而降低。因而，大多數對幾何形狀有要求的部件在材料處理前預先成形。凝結硬化處理前後的屈服強度如圖 4.5 所示。冷軋回火熱處理，而不僅僅是溶解處理，導致最後合金強度的增加。導電性及強度隨銅原子矩陣在合金成份中因二次強化鈹化物的形成而逐漸衰竭。

但更經常的是，凝結硬化處理過程通過料帶加工作爲最後的制程，在該狀況下材料是指研磨硬化材料。這些研磨處理的回火在強度與成型性之間形成一種平衡；合金典型地被處理爲在最高強度以下從而提供比完全凝結強化條件下更好的成型性。圖 4.5 所示的這種研磨硬化回火顯示了與合理有用的

成型性的關係。

通過研磨硬化回火（mill hardened tempers）有兩個優點：（1）潛在降低加工成本及（2）更好控制尺寸（dimension）。熱處理過程中沒有氧化物移動，附加的操作及挑選酸性物質處理即可以避免。在凝結過程中特定的體積變化可能改變尺寸。成形部件上殘餘的壓力促進凝結反應的進行，同時拉力促進凝結產生的體積膨脹。這種影響在商業上通過對熱處理時部件的壓迫，或成型可補償預期變形的尺寸而得到控制。大多數凝結強化合金，包括金皮銅和銅-鎳基材合金，因爲該理由而經常利用研磨硬化條件下（mill-hardened condition）。

4.2 電連接器合金性能

4.2.1 合金的選擇因素

材料性能與電連接器的功能性要求間的關係可參閱表 4.1 所總結。大多數重要材料與功能相關的性能包括導電率、強度及伸縮系數。通過減少接觸壓力（伸縮現象）和抗腐蝕力來影響可靠性。可成型性及尺寸控制影響滿足電連接器產品功能性需要合金的機械加工可靠進行的能力。

與導電性有關的決定性因素是電連接器是試圖傳輸電流（通常幾十安培）還是試圖傳輸電信號（通常 1 安培以下）。正如所預測的，高導電率合金更有利於電能傳輸應用以避免產生大量的焦耳熱，但在電壓必須受預定的電路損耗時，它們可能對信號傳輸更爲有利。

合金產生的強度及伸縮系數決定了電連接器配合時接觸彈片的接觸正壓力。經常，對提高接觸壓力的有效性壓力可通過變曲得到。從彈性臂端子（見第 6.3.1 節）得到的正壓力（Fn）的關係可表示爲：

$$Fn = \alpha\ \text{modulus} \times \text{deflection} \times \alpha\ \text{stress} \qquad (4.1)$$

幾何上因素（如梁的寬度、厚度、及長度）使該等式最終成立。彎曲伸縮系數可遵循胡克定理提供的懸臂彈性而用於決定接觸壓力（這就是說，所加的彎曲壓力不能超過比例限度）。該比例限度隨著其它屈服強度的增加而傾向於增加，並因此受合金及其過程影響。因而，在給定材料厚度的情況下，高強度合金通常能提供更高的接觸壓力。施加壓力超過其彈性限度會導致微

結構的變形。最終結果是如果彈性移動僅僅通過伸縮應力產生則接觸壓力小於將要達到的（最大接觸壓力）。

連接器的可靠性需要連接器處於工作狀態過程中，接觸壓力保持穩定，或至少不會低於所允許的極限值。當接觸彈片處於長期的應力狀態下時，即使應力是在彈性範圍以內，微量塑性變形依然會發生。一些初始的彈性應力和張力可以被塑性變形所取代，這樣會導致接觸力減小。(一種解釋爲應力釋放的現象)。冶金過程中的微塑性變形是受溫度影響的，並且，當工作溫度處於 80－100℃時銅合金的微塑性變形會變得很明顯。某些合金對溫度的影響具有較高的抵抗力。多個連接器並聯時，接觸力的穩定性明顯增加。爲了讓插入力處於一個合理的水平中，接觸力可以被設計得接近於允許的極限值，這是爲了保持可靠的電性連續性。然而，這種情況下的工作過程中，初始力的降低必須保持在範圍允許的最小值。

對於可靠的連接器性能還需要滿足一個額外的要求，那就是其合金的成份必須能夠防止在工作環境中受到的化學腐蝕。如有必要，銅合金會鍍上一層金屬以增加對受污染的空氣及化學物質的抵抗能力。

折彎加工是連接器成型過程中最常見的工步。端子料帶材料存在一個在加工過程中不至於斷裂的極限範圍，該極限是選擇端子合金及其回火方式的關鍵之一。在某些連接器的組成部分要防止伴隨成型加工所生成的不規則的粗糙部的產生。如果鍍層出現很明顯的起皺現象，就會影響表層金屬的連續性，但不至於一起基材銅合金的破損，所以這種起皺現象在連接器的特定部位上發生或許是可取的。

同樣與成型加工相關的是對受成型過程或成型后熱處理過程彈性回復影響的尺寸的控制。這可依照經驗或者由銅合金料帶供應商所提供的信息來調整治具，以實現對尺寸的控制。

在以下的章節里，將選擇性的討論合金的性質，尤其是前文所提到的對連接器性能很重要的性質。首先要討論的是最具有區別特性的合金傳導率及其強度。一般來講，強度越高的合金其傳導率越低。

4.2.2 傳導率/焦耳熱

銅合金的電性傳導率是以一種獨特的方式即占純銅標準(International

Annealed Copper Standard， IACS)的百分比來描述。在早於一個世紀以前當純銅標準剛建立時，IACS 百分數值是用來表示純銅的純度。隨著冶金技術的進步，開發出許多具有商業價值的具有更高傳導率的銅合金。C110 的 IACS 百分比值爲 101，它是商業純銅。純度測量的基本原理是先測出其電阻率再經由除以 172.4 從微歐轉換成 IACS 百分比值。連接器用的銅合金其電性傳導率 IACS 值一般在 5～95%範圍內。IACS 值小於 30%的銅合金其傳導率適合於信號及小電流傳輸的連接器。以傳輸電力爲主的連接器其 IACS 值一般要超過 70%。表 4.4 中列出了常用的連接器合金的傳導率數值。與穩定的溶液相比，合金的傳導率會隨著各種其他金屬成份的減少而增加。插圖 4.6 描繪了向穩定溶液中分別加入鎳、錫、鋅三中雜質后所得不同傳導率的曲線。每組合金曲線體現了相應商業合金的最小傳導率主要取決於合金中的主要合金成份（當然亦包括含量較少的一些雜質元素）。某些元素如錫和鎳的存在會使傳導率大爲降低。鋅雜質對合金傳導率的影響不是很明顯。經完全退火處理的合金其電性傳導率亦會降低，但這種影響較小（IACS 值在 2～3%範圍內的較爲典型），而經回火處理的合金其電性傳導率受到的影響明顯得多。

溶解元素的凝結會導致較高的傳導率（如合金中鎳與矽結合形成的矽溶液，鐵從銅－鐵合金中結晶出來）。插圖 4.7 將連接器合金按照傳導率（或強度）分類描述，同時也顯示了這些合金各自的增加強度的不同方法。

銅合金的電性傳導率及熱傳導率之間是通過 LORENZ 法則聯系起來的，如插圖 4.8 示。該法則從所建立的超導體金屬模型上獲得，它指出電性傳導率與熱傳導率之間通過 LORENZ 系數相互聯系。有了這一法則，合金的熱傳導率就可以通過測量電性傳導率或電阻率而方便地得到。

在室溫環境中，低的電性傳導率對應於低的熱傳導率。可以推理得出，歐姆加熱器用低電性傳導率的合金作成，當給其加入較大電流時，由於其熱傳導率亦較小熱量不易散發而產生大量熱能。對於具有相同傳導率及相關基本組成成份的合金來說，各成份的比例關係十分重要。

LORENZ 系數與溫度有關，而且各種合金成份的電傳導率和熱傳導率與溫度變化的關係不完全一致。舉個例子說明，不含合金成份的銅，當溫度升高時，其電性傳導率比熱傳導率要降低得多得多，而對於銅的合金成份，其電性傳導率隨溫度升高而降低的同時，某些熱傳導率卻會隨溫度的升高而升

高，LORENZ 系數可在 10～20%的精度範圍內將熱傳導率從電性傳導率（或電阻率）中區別出來。

4.2.3 強度

延展特性，包括屈服強度及彈性系數，作爲區分各種合金成份的一種尺度而應用於特殊連接器的設計當中。由於連接器常見的應力形式爲彎應力，因此彎曲應力也要作爲合金的一種機械特性而附加考慮。拉伸及彎曲應力特性是合金加工中十分重要的考考慮因素。各種各樣銅合金的彈性系數均有略微不同，彈性的恆定並不是取決於各合金自身受到加工過程的影響，而是由其材料形成時結晶組織所固定的彈性系數來決定的。

拉伸強度　按照拉伸特性所選擇的連接器用合金按照其相關電性傳導率列示於圖 4.7。圖中多數結晶合金均運用回火工藝而獲得 380～700MPA 的拉伸強度，其傳導率一般低於 35%IACS，而較爲離散的合金其傳導率卻較大，一般在 50%IACS 以上，其強度只比那些集中點代表的合金略低。凝結強化合金和與其具有相同傳導率的溶液強化合金相比其具有最高的強度，和二次散佈合金相比具有較高的強度但是傳導率較低。

彎曲強度/接觸壓力　對於最初的材料選擇和對它們從供應商得來的規格，可延展性能是足夠的。然而，彈性端子常常是懸臂梁，所以(and)彎曲應力—應變特性基本上是適用的。依靠材料性能上的限製是否被超出，或者當使用錯誤的應力應變數據時，接觸壓力可能被錯誤地預測。

如圖 4.9 所示的青銅在接觸彈片 (contact spring) 受壓超過了性能極限時的拉伸、壓縮和彎曲應力應變曲線。這些曲線的限製(Dert-ermination)在合適的指定的 ASTM 方法下會被覆蓋。彎曲包括暴露表面的拉伸和壓縮特性，並且這些特性間不存在必然性的對應關系。因此，彎曲應力應變曲線將對在缺少拉伸和壓縮數據時接觸壓力的預測會更有益。如例子 C260 所示的那樣，壓縮曲線在強度上比拉伸曲線更高，但這個相對的順序不能被認爲是一般性的。

而且，對於冷軋制材料的管理，彎曲歪斜反應常常是相當直接的。如圖 4.9 也表明了 C260 的各向異性。當彈性端子元件被對齊普通(或垂直)長條(strip′s)旋轉方向時，可以期待從合金中得到更高的接觸壓力。而且在垂直方向上，拉伸曲線比壓縮曲線更高，在橫向方向上則剛好相反。長條在橫向和

縱向上的相對強度也由合金與製程所控製。

彈性系數　合金化處理和加工過程只是稍微會影響銅合金的拉伸與壓縮彈性性能。手冊中的彈性系數的數值範圍是在高銅合金和鋅黃銅直到 C230 上加壓 117MPa，和在 C260 與錫青銅上加壓 110MPa 所得到的。例如對於鎳銀合金和 C725 加壓 124-138MPa，含鎳合金比後者具有更高一點的彈性系數。低硬度合金也具有比其它合金更高的彈性系數，即對於老化回火的鈹銅和 C7205 具有 131-138MPa 的值。

製程在兩方面影響彈性系數。冷軋制回火的穩定韌化依靠合金和回火，易於增加彈性系數 5-7MPa。製程也改變了彈性性能的方向。彈性常數直接是銅合金之類原料的三次方，不象導電率只是平方。例如 C7025 有經向和緯向上分別具有 131MPa 和 140MPa 的彈性系數。

4.2.4 應力松弛/接觸壓力穩定性

對於連接器可靠性能的關鍵是當它在工作時，它保持電性導通(transparent)。然而，當受拉伸應力時，來源於在彈性端子原料裡多微孔性的接觸壓力的降低最終可能導致不可接受的接觸阻抗。因爲發生多微孔性的製程是由於受熱引發的，所以高耐用溫度導致它們發生不同程度的變化，這依靠於合金和它如何製成。

如果端子初始變形超出了彈性變化範圍，那麼伴隨任意的原料畸變，接觸壓力在第一次插入後迅速的發展取決於彈性端子的彈性回複。當使用時，彈性變形隨彈性原料依靠時間和溫度的多孔性畸變會部分被回複，從彈性變形到塑性變形的變化結果會降低接觸壓力。這種變化稱之爲應力松弛，它隨溫度的增加而增加。然而應力鬆弛不同於發生在固定不變的端子彈片上的隨時間變化而應力降低的現象，而應下意識地聯系到在裝配載荷下隨時間變化而引起的幾何形狀的變化(應變)。

許多合金在室溫條件和微小溫度變化情況下有足夠的實用性，但當工作溫度增加到 80--100 度時， 表中可利用的合金性能會受到更大的限製。應力松弛的阻抗會受固溶合金元素和其它對金屬上微量塑性畸變的阻礙而變化，比如細微的二次散佈合金顆粒和凝結合金顆粒。

檢測不同銅合金的相對應力松弛的阻抗常常是在懸臂彎曲中進行的，最

初是在檢測設備中施加 50%到 100%的屈服強度壓力。按最初在制訂的持續曝光條件下保持的彈性應力的百分比數來指定穩定性標準。C510 的應力松弛性能如圖 4.10 所示。當以對數坐標來描述時，應力保持數據是線性對應的。這個線性特性允許用推斷法去預測更長遠的性能。檢測常常持續充足時間以確保應力松弛特性保持線性或者包括任意可能發生的直線斜率的變化。

圖 4.10 中的例子也表明冷工作的數量常用在取得強度上的影響穩定性(更大強度的回過火的 H08 的穩定性比 H02 要低)。在某些場合，因爲具有更好的長期穩定性，低溫回火能在端子上提供更高的承載能力，甚至低溫回火能使應力低於開始狀態。同時也應該注意到其強度明顯低於初始狀態，在第一小時內，初值下降得很快也表明了這一點。

應力松弛特性也可通過最初在漫延-破裂上發展起來的雷斯密爾方法而得出。這種方法需要在大範圍內的雷斯密爾參數來決定。該參數被用來限製一個控製曲線，從而估計保持在任意時間和溫度組合條件下的壓力。該方法的一個缺點是假設了簡單機理反映了在一個決定參數的溫度範圍裡的應力松弛。因此，從這種方法中可能得出錯誤的結論；由於應力松弛特性受溫度影響，是以該方法的另一缺點仍在爭論之中。

低溫熱處理能提升應力松弛阻抗。這種處理主要目的是用來有效避免強度的改變，就象在調質退火的軋制 H08 的回火而產生 HR08 一樣。穩定性也能是具有方向性的，隨橫向和縱向的性能不同而在退火中變得更明顯，或經冷加工而使該差異更爲明顯。

在某些特定的溫度下，一些合金元素能比其它元素更具有影響力。這種影響的層次相關於同樣的因素，即列在前面由溶解元素加強的因素。錫在增加了基體百分比後有額外的超過鋅的對應力松弛的影響力。如圖 4.11 所示，一種含錫 8%的青銅合金(C521)比含錫 30%的青黃銅(C260)具有更大的應力松弛阻抗。同時要注意到錫青銅具有更高的硬度(730MPa 的屈服強度--H08)相對於 C260 黃銅(590MPa 的屈服強度--H08)。

由不同合金元素所提供的溫度穩定性也不同。錫青銅能比鋅青銅用在更高溫度的場合。如圖 4.11 所示，C260 處在邊緣，因爲保持在 1000 小時(折合 5 周的使用時間)後，只有低於 75%的應力存在。青銅在使用溫度上受到限製，不得超過 75 至 100 度，而錫青銅和錫黃銅可達 125 度。一些散佈層次的高強

度合金比黃銅具有更好的穩定性，如圖 4.12 所示，但 C151 是例外的。

在從中溫(105-125 度)到高溫(150-175 度)的最大的應力松弛阻抗對於結晶合金是可利用的。以 150 度調質退火的錫青銅與鈹銅的比較來看表明了這種影響(如圖 4.13 所示)。兩種所示的回火合金都具有相近的導電率。

4.2.5 成型性

對於選擇合金材料重要的是在沖壓成型過程中能夠獲得所需要的幾何形狀的能力。按治具的半徑彎曲 90 度或是更大的角度，也同時降低厚度來幫助彎曲定位，都是連接器沖製上常用的。當合金充分退火後，絕大多數成形是可利用的，但在此條件下，強度會降低。固體溶液的冷軋制和散粒硬質合金增加了強度，但卻消耗了成型性能。鑄造方式有效地改變了回火性能，這可能由於它造成的加工硬化而損害了成型性能，或者由於其厚度降低而導致有助於成形。

在它們製程中的大量的冷加工所發展起來的更高強度的回火結構也可能在一個方向上比在另一個方向上表現出更好的成型性能。當可能時，最大的成形能力出現在彎曲軸線垂直於捲曲方向。這個方向是首選的，因爲它常常比另一方向的回火能具有更好的成型性。在這個方向上的成形稱之爲徑向的，因爲它指出了隨彎曲的進行金屬流動的方向。對應到平行於軋制方向的彎曲軸線的成形則稱之爲緯向的。緯向彎曲上最小的可接受半徑能比經向上更大，特別對於高溫回火的固溶合金和散佈強化合金。在連接器殼體部分中的 90 度的彎曲常常朝向窄條導向以利用縱向的成型性。窄條能形成而不產生裂縫的沖模最小範圍爲由設計者和製造商所共同支持的合金窄條所定義，其中的裂縫定義爲一不可接受的粗糙表面。材料的工作性能可以從彎曲的最小彎曲半徑(MBR)而得知，由窄條厚度(t)所分割。較小的 MBR/t 值表明有較好的成型性。

圖表 4.5 中總結了所選擇合金的相關成型性。此圖表表明了名義上可拉伸強度其其每一合金可接受的最小彎曲(MBR/t value)在其縱向上和橫向上從 1 到 1.5。在沖壓工具中的實際性能與此有些不同。此圖表中所示的強度在縱向上較高，這樣與通常此方向上的成型性較好是一致的。此圖表同樣表明了銅合金的一個與其獨立的強度來源相關的總趨勢。此固體溶解強化合金可提供

一較高的強度，從而能使規定的最小成型性比固溶合金以及散佈強化合金要小，因爲此成形過程與其冷工作下性能的相關性很小。與此相似，在一組固溶合金中，如 C521，其溶解強度爲 8%時能提供比 C511 更高的強度，而 C511 只有 C521 含有錫的一半(4%)。同樣地分布強度合金有比純銅高得多的強度。

不要忽略在固體溶液中的合金元素其強度可在傳導過程中得到增加。凝結強化合金能提供較高的傳導性且與其他類型的合金相比在高強度下有更好的成型性。靈活性可從銅模的溶液強化的聯合中得到，而此銅模與冷加工和沉積變硬結果將導致強度、研磨過程中的成型性之間的獨特的平衡。此平衡也在圖表 4.5 中得到反映。

4.2.6 抗腐蝕性

銅合金通常對化學侵襲有較強的抵抗力，所以好經常在沒有保護鍍層的情況下使用。當在苛刻的環境下使用時，如自動化應用中，銅合金通常在其表面上鍍一層錫或錫料以提高對腐蝕的抵抗能力。在這些實例中，錫或錫料鍍層也用於接觸鍍層表面。銅合金在其它的應用性能中所覆蓋的東西更爲詳細。

作爲連接器應用的一個重要性能，是其局部微觀結構的壓力腐蝕。可以將其描述爲腐蝕性的環境和高彈性的外部拉壓力，將導致對其的裂縫產生和最終失效。此壓力的存在有一外部根源，如產生於連接器配合過程中，以及內部根源(如來自保持導引線的成形及彎曲的殘餘應力。)局部失效模式將在其作用顯現於表面時被覺察到，並且其沒有顯著的塑性變形。此裂縫路徑位於微粒之間(其可相互作用)，而裂縫可通過紋理結構進行傳播。此裂縫可通過合金與媒介進行傳播漫延。

要出現壓力腐蝕就必須有如下三個條件的存在：

1.合金必須易受到壓力腐蝕的影響。

2.其工作環境使得此特定的合金易受影響。

3.拉伸力的存在。

此相關的幾種合金對用於連接器的可接受性如圖表 4.6 中所總結。此指數用於在不同環境下整合其性能的分類。這些工作環境的範圍從輕-中等的工業環境到航海的條件以及最惡劣的暴露於潮濕的氨氣中的條件下。此指數成

線性分布從 0 到 1000。

最易受保護的金屬包括鋅，C260 包含有 30%的鋅是最易受保護。其作用是產生限制以達到一個良性的環境。而如只含有 15%鋅的 C230 以及含有僅僅較低鋅和附加的鎳(如 C770)，其可顯著的增加對壓力腐蝕的低抗能力。錫-青銅，鎳-硅和鈹-銅合金都是具有較好的抗腐蝕能力的銅合金。銅-鎳合金和高銅合金對化學侵襲產生的裂縫將有很重要的保護作用。

4.2.7 可焊性

大多數銅合金能被錫、錫－鉛合金、以及其他不同的常用於低溫合金的焊料焊接而用於電氣和電子應用。從比率圖系統中此相關的可焊接能力表明，對一特定的流量來說其概括了錫和焊料層的性能特性，並且與相關的容量可消除任何位於材料上的污垢。

內在的焊接性能通常由可視的樣品檢查來決定(經過軍方標準和美國材料實驗協會規定)，其通常是溶化並浸入焊料之中經過一特定的時間。一級品爲完全被焊料所浸濕，而三級品的焊接性爲只有 50%的被浸濕(殘余物顯示在焊接薄膜上有銅-錫合金的金屬間化合物的產生)。焊接性能在三級以上或更好的合金適用於大多數的連接器應用。電子應用中溶劑的侵入其範圍從適度的樹脂(如 R 型)到逐漸具有活性(如 RMA 型)。與我們所期望的一樣侵入更多的焊料將會導致更好的焊接性能級別。

表 4.7 顯示了當使用一種中等活性的助溶劑時所選合金固有的可焊性。大多數電連接器合金都具有 1 至 2 等級的可焊性黃銅的可焊性比其它合金差。在可焊性要求很高時，具有第 3 等級可焊性的材料是通過在鍍錫或焊劑的條件下獲得的而不是在溶化的焊劑裡加入助溶劑而製得。

錫和焊劑鑄成品被應用於銅合金條以確保由該材料製造的成品具有良好的可焊性並保持相當時間及提供抗腐蝕能力。現在可生產數種這樣的鑄成品：這些成品被機械地磨擦或被空氣刀切出一條溶化的路徑，就象電鍍和回流那樣(被加熱或高溫油浸泡溶化)。每種鑄造成品都具其自己的內部金屬厚度特性(來自於底層銅合金與錫的反應)，合金厚度邊界和公差許可的製造厚度。

在室溫倉庫中，即使是沖壓後沒有內部金屬階段的電鍍錫鑄件在一個月後也會生成 20～30 微米厚的內部金屬層。內部金屬階段的形成也表明底層合

金與錫或焊劑鑄件之間發生了金屬原子的擴散。合金成分擴散到鑄件表面並且當這些成分與硫或氧等發生化學反應而生成抵抗薄膜時， 合金成分擴散就會使鑄件的焊接性能下降。一些合金的成分很可能擴散到合金表面而形成諸如鋅的反應薄膜。Steam-aging 和高溫烘烤測試被用於判斷錫鑄件的品質。接觸電阻的增加和焊接性能的下降是內部擴散和合金成分與周圍大氣反應的結果。

4.3 特殊合金性質

4.3.1 稀釋銅合金(Dilute Copper Alloys)

稀釋銅合金又稱高銅合金，指合金元素含量低於 4%的銅合金。作爲一組，這些銅合金在所有銅合金中具有最高的導電率和極佳的在一般壓力和高壓力下的耐腐蝕能力。在足夠的成形能力下的拉伸強度被限製在低於大約 500Mpa 拉伸強度，因爲其拉伸強度主要由冷卷(請回憶前面提過的主要用於降低成型性能的冷作硬化)。該合金組在相對零溫度到 80 攝氏度(華氏 176 度)之間提供了很好的對壓力松馳的抵抗能力。

表 4.8 總述了合金元素含量低的銅合金的典型特性。按合金中合金元素含量的比率來計算，上述銅合金的相對導電率有所下降。合金元素自己也極大地影響了傳導性能，這是其內部電子結構因素的結果。C151 是一種也具有最低的合金含量(含 0.1%左右的鋯)和最高的導電率的二元合金。該合金通過銅鋯的易擴散以與冷作硬化結合而生成第二階段顆粒而使其強度提高。留有固體溶解物裡的鋯元素含量不超過 0.02%。C151 的最重要的性能是在高溫下仍具有很高的抵抗壓力釋放的能力，盡管其合金元素含量很低。該合金由於在高溫下具有比其它高銅合金，包括凝結強化合金，明顯的優良性能，因些該合金等級較高。C151 在 150 攝氏度的高溫下保溫 3000 小時後仍具有其初使 87%的壓力；然而強度比凝結合金要低得多。

鎂和磷在 C155 中要反應生成磷化物。這些顆粒在通過從溶液中除去鎂和硫而達到高導電率的同時增加了冷作硬化的效應。該合金也需要加入微量的銀以在低溫回火時提高防止軟化的能力。C155 應力鬆弛阻抗在高銅合金中是適度的。

低級別的銻和錫(含於低氧銅或磷再氧化的銅) 也能增加軟化抗力，如 C1443 和 C145。控製殘留的氧對避免生成防止銻元素提高軟化阻力的銻氧化物藉非常重要的。這些合金的導電率是很高的，因爲留在溶解合金裡的合金添加物的含量是很小的。這類合金的壓力釋放過程並不特別。

C194、C195 和 C197 代表了一組基於鋼和磷組成物變化的合金。強度提高是因爲當這些合金被冷壓以生成調劑時用作增加冷用硬化效應的磷化物的擴散(含有鈷，鋼和鎂元素)。強度和導電率是由添加於 C195 的溶解強化的錫來均衡的。在該組基於合金的磷化鋼中，C197 提供了最高的導電率，因爲 C197 含有在其形成過程中生成的混合鋼和磷化鎂。

4.3.2 鋅、錫及改善黃銅(Modified Brasses)

銅鋅合金在用作製造工作溫度(環境溫度或焦爾熱)適中且成本低的電連接器的銅合金中最出名。在這些合金中，C230(含 15%鋅)和 C260(含 30%鋅)恐怕是最常用的了。在相同的成型能力下，C230 的強度並沒 C260 的高(如表 4.5 所示)，但是這些低合金組成物提供了更高的導電率。鋅黃銅合金(包括 C230 和 C260)的壓力釋放阻力是適度的(表 4.9)，這限製了其使用溫度大約在 75 攝氏度左右(167 華氏度)。含有 15%或稍少的鋅的黃銅合金也更不易受擠壓腐蝕裂縫的影響。

錫銅合金由於比二元銅鋅合金具有更好的強度成型組成物和壓力釋放阻力以及抵抗壓力腐蝕裂縫的能力而顯得更具特色。錫加入物在強度上是可靠的，因此在冷作硬化時需要降低組成物的含量；更好的成型性能是該舉措最直接的效益。通常含有 10%鋅和 2%錫的合金 C425 作爲降低錫合金成本的替代物應用呈上升趨勢。C425 的導電率與 C260 不相上下。C425 的導電率也比最重要的錫青銅合金要高(下一節將對此討論)，但成型性能並設有錫青銅那樣好。C425 的壓力釋放阻力也要比上述鋅青銅合金好，這允許它應用於達到 125 攝氏度(257 華氏度)高溫的環境中。

鐵，鈷，鋁及矽等合金加入物和銅鋅組成物進一步改善了原本已經高度易成型的基本黃銅合金的一些重要特性。C664(表 4.9)中的鐵和鈷是擴散的粒子加入物並將導致在與 C260 相同的強度水準下獲得更高的成型性能。合金 C664 很可能在需要更高強度的應用中作爲 C260 的潛在替代物。

鋅黃銅(C688)的鋁和鈷等加入物混合了來自對呈現的鈷鋁合金進行更有效的冷作硬化以獲得精煉粒子(10 微米以下)的強化功效。該結果是得到一種易成型的合金，該合金提供了不經凝結強化的可得到的最高強度。表 4.9 列出了相對於其它鋅銅合金的鋁擴散強度合金的特性。值得注意的是作爲冷作硬化的高效能的組成物，需要更少的工作即可達到所需強度，成型性能在橫向與縱向是一樣的(參閱表 4.5)。與隨後說明的凝結硬化合金不同，C668 合金及大多數其它黃銅合金的壓力釋放阻力被限製應用於低於 100 攝氏度(含錫合金 C425 除外)的條件。

4.3.3 錫青銅

粗糙的錫青銅也指磷青銅，因爲加入的磷(含量在 0.03 到 0.35 之間)是爲了使金屬還原和達到更好的流動性。含量在 1%到 10%之間的錫通過溶解硬化和增加錫元素給予銅的(表 4.10)加工硬化率而達成強度提高。商業上最重要的錫青銅合金是 C510 和 C521。C510 合金是最常用的錫青銅合金，當更高的強度/成型能力組成物成爲必要時，常使用成本稍高的 C521 合金。後者高出的成本是由加入的金屬基本成本和加入的錫影響熱加工而提高的成本組成。含錫量高的青銅必須鑄成條狀，因此防止大部分成本，熱壓碎成爲了可能。

源於更高的錫的充許範圍的強化處理被低導電性所抵銷，如表 4.10 所顯示的。因而錫銅合金不適用於高電流接觸，而應用於電信號傳輸上更好。錫銅對伸縮的抵抗力直到接近 125 度都有良好的特性。對更高溫度時的穩定性要求已促進了錫銅合金向凝結強化合金的轉化。

錫銅合金有良好的成型性。例如，因爲對強度的冷處理要求更少，C521 比 C510 能提供更好的成型性。因此，對於相同的強度 C521 的應力鬆弛阻抗力比 C510 更優。典型地，通過提高冷處理次數對 C510 的強化處理稍微減小了其伸縮抵力，但可通過減輕退火度得到提高。

與其說錫銅的應力腐蝕抵抗力受到影響不如說錫的抵抗力提高。在個觀點上，錫銅與鋅銅的區別在於鋅抵抗力的提高對　應力腐蝕敏感性提高有極深地影響。

4.3.4 鋁與矽銅

鋁銅包括含有矽、鐵、鈷、或其它附加於銅-鋁基材的元素的合金。用於電連接器上的矽銅合金，含有錫及其它附加於銅矽基材中的元素。該組合金中對電連接器有重要商業意義的例子如表 4.11 所示。

C638，含有鋁及更少量的鈷和矽，可以同時提供很高的強度及良好的成型性。精細散布的鈷矽化物，具有很小的粒子，包含在該合金中對其硬度有一定影響。該合金在拉力達到近 700Mpa 時仍保持了相對成型性。C638 的應力鬆弛阻抗力比較適中，限制其利用的溫度爲 75 度左右或更低。

C654 是一種固溶且經過冷軋的合金，其能提供與 C510 在 125 度（最高的推荐應用溫度）時相同的應力鬆弛阻抗力。C654 的成型性在 690Mpa 拉力作用下比 C510 更優，盡管其導電性大約只有後者的一半。與 C510 一樣，C654 實質上不受應力腐蝕分裂的影響。

4.3.5 錫與含鋅的銅鎳合金

大多數重要的用在電連接器上的銅-鎳固溶合金有 C725，C762，C770。其中，C725 因爲中等強度條件下良好的成型性，適中溫度時良好的伸縮性，以及很好的腐蝕抵抗力而應用最多（表 4.12）。

4.3.6 凝結強化合金

溫度升高時，高強度、良好成型性、優良的應力鬆弛阻抗力、以及適中的導電性最有利的適中結合，從那些能夠通過熱處理得到強化的合金中實現。該組合金突出的特性在第 4.2.2 節中已經討論。

主要的凝結銅合金以鈹（與鈷或鎳結合）或鎳（與矽或錫結合）。這些合金與電連接器相關的可能用到的性能總結在表 4.13 中。

所有銅合金中能夠加熱處理到最高強度的含鈹合金是 C172。鈷的加入是爲了通過高溫溶合退火步驟中形成粒子周圍的鈷鈹化合物而控制微粒的大小。在其最高強度及應力鬆弛阻抗力時，鈷有很差的成型性。在需要最高性能的情況下，合金料帶（the alloy strip）在熱處理達到其最高強度前，首先從溶化處理或溶化處理狀態下的冷軋回火形成部件。經常，冷軋餘熱淬火料帶，用於表示強度與成型性之間的平衡。應力鬆弛阻抗力也考慮冷軋料帶的優點但是其不如高強度狀況下穩定。正如第 4.2.2 節中所提到的，因爲需要移走熱

處理過程中形成的鈹氧化物，也可能爲避免變形而需要移走設備，故部件熱處理會產生附加的加工成本，在性能與最終的決定條件（final aged condition）總結在圖 4.4 中。

C175，C172 中稀釋鈹的形式，在壓延回火（mill-hardened tempers）過程能提供更高的導電性，但缺少可成型性。爲了降低金屬成本而實質上不影響金屬的性能，C175 已被 C1751 所替代，而 C1751 中的鎳被鈷所替換。C175 中鈹與鈷的容量進一步減少到一定程度已經被作爲 C1741 介紹過，C1741 只有在壓延條件下才是可用的。但是後者在強度輕微下降的同時，卻有更好的成型性。

加入銅鎳基材合金中的矽通鎳矽氧化物的凝線導致足夠硬度的合金。訪組中的合金[C7025（其也包含有鎂）及 C7026]因爲在適中導電性時有良好的強度/成型性而有貴金屬性。C7025 對溫度升高有相適配的抵抗力和其它可與稀釋鈹銅相競爭的性能。C7025 的應力腐蝕抵抗力與高抵抗力的磷銅合金。

加入銅-鎳基材中的錫，根據合金的成份和熱處理，能提供與 C172 幾乎相同的強度。該組中最強的含錫合金是 C729。這些合金主要的強化處理是一種被稱爲旋節分解（spinodal decomposition）的精煉凝結。該組合金中鎳與錫的含量範圍從最高的 C729（15%的鎳及 8%的錫）到 C7265（8%的鎳及 5%的錫）。更爲稀釋的成份，如 4%鎳-4%錫（C726），和 9.5%鎳-2.3%相對的錫（C725）不能通過凝結熱處理得到強化。C729 據報告在高溫工作環境中可提供非常好的應力鬆弛阻抗，例如暴露在 200 度環境中 1000 小時能保持 90%的初始壓力。而 C7625 經過相同的條件強度有輕微降低，穩定性也有些下降，同時可保持 80%的壓力。C7265 與 C729 是該組中最常用的合金。但是，因爲制程及金屬成份的成本，使得它們很成本很高；且后者因爲較差的熱性能通常通過粉末壓合來加工。像鈹銅一樣，鎳-錫合金在冷軋回火（爲了增加形成后的壽命）及壓延回火也是可用的。

4.4 相關成本因素

對選定的高容量（high-volume）的商業銅合金的定價如圖 4.14 所示，實際的價格根據銅與各自合金成份的價格、定購數量、容許的尺寸要求，以及金屬供應商的不同而有所不同。鋅銅是最不昂貴的，因爲歷史上鋅的價值比

銅低。更高的錫及鎳的價格反應到錫銅合金及含鎳銅合金的價格更高。含鈹成份，此處通過 C172 和 C1751 非獨有的成份來代表，歷史上已經成爲銅合金中最昂貴的銅合金，而 C172 是最昂貴的銅合金。大多數很高的鎳錫合金、凝結硬化合金（precipitation-hardenable alloy）的定價都以 C172 爲參照。

第五章　連接器用工程熱塑性材料

工程塑膠由於具有良好的韌性、尺寸穩定性、高阻抗、化學抗蝕力、短期熱穩定性及長期抗老化性之類的關鍵特性，因而逐漸成爲許多連接器供應廠商的主要原材料。近年來，連接器的生產及開發技術趨勢极大的改變了市場。隨著高密封裝和微元化趨勢的流行，今天的連接器設計要求在更小的空間里實現更高的性能，因此表現出更薄的壁厚。塑膠原料應能滿足在更長的連接器本體上填充薄壁的設計，並能保持原有的性能，同時也滿足成本與生產工時的需求。

人們現在正在研制流動性更好的塑膠原料來滿足薄壁的要求，並且允許更快的生產循環時間。今天，在製造週期和隨後的成型生產週期里，塑膠一直被暴露在高溫條件下。例如，在高密度的電路板上安裝更小的元件，已逐漸採用表面粘著技術，可用更低的價格提供一個更可靠的集成電路板。在連接器工業上這種明顯的趨勢要求連接器材料具有更好的高溫性能、更小空間里的耐壓性能，並且具有更低的成本。

由於連接技術不斷地更新，所以連接器設計也不斷地在變化。隨之爾來的是，對連接器用塑膠原料性能的要求也极大地變化著。事實上，對連接器用塑膠，連接器的設計人、製造商和最終用戶都正不斷提出新的特點與更高的特性要求，即在這些關鍵的地方同時具有良好的溫度及物理性能。

連接器本體具有下述的功能：

*兩兩接觸的電絕緣性能。

*提供一定的接觸的機械支持。

*爲可分離或永久式連接界面提供機械的/尺寸的穩定性

*在任何使用環境下保持需求的性能

在合理成本潮流下，以上要求應當被滿足，其中每一個問題都將在本章中闡述。連接器製造廠商一直努力以最低廉的成本來提供最好性能的連接器，然而最終用戶卻想以最低的價格買到最好的連接器。

連接器本體的性能，很大程度上依賴於所使用的工程塑膠的物理特性。連接器本體必須具有良好的物理特性和製造性能。聚合物必須提供良好的韌性和尺寸穩定性，同時具有高阻抗和絕緣之類的電氣性能。聚合物也應當滿足最終使用的需求，例如：化學抗蝕力、阻燃性、短期熱穩定性、長期抗老化能力及其它成型性能。而且韌性和沖擊性能之類的性能在一定的環境里會減弱。這樣一些性能是塑膠所固有的，但常常加入添加劑以達到特別的性能水平。典型添加劑包括滑石和玻璃纖維，它們能改善塑膠的物理特性，並能有助於阻燃（參見 5.3.1 部分）。玻璃纖維添加劑能改善模具薄壁部分的填充能力。云母和滑石提供改進尺寸上的穩定性的功效，尤其在半晶體聚合物，爲增加流動與潤滑，還可加入其它一些添加劑。

對連接器原料來說，化學抗蝕力和熱穩定性是關鍵的性能。在過去几年里，這是千真萬確的。現在，當成型過程和最終使用時，它要達到這樣的水平，即連接器原料應適應不斷被暴露在各種化學環境中的工作要求。

本章的目的是在工程師和設計人員在做原料選擇時，提供使用在電子行業中的絕緣原料的信息，協助它們作出決定。這些信息，在連接器行業顯得尤爲重要，因爲正在使用塑膠原料的電機和電子工程師，可能需要一些基本的知識關於有實用性的原料、原料特性、適用範圍、強度和弱點，及其各部分之間的相互依存關係。

由於自身的性能特點，人們長期以來一直在各類連接器設計時採用這些工程塑膠。最近的原料簡介更進一步地增加了使用性設計的選擇權。本章也注意到通用性設計的考慮，所以包括了一個附加的破壞性能討論。

自從各種形狀、尺寸、顏色及功用的連接器問世以來，對於零部件原料的要求可能是具有挑戰性的。在決定做連接器本體用的原料上，連接器的最終使用及其在生產階段經歷的成型過程中扮演了重要的角色。

對於製造係統，隨著在更小空間里負載電流要求的與日俱增，在電子行業里的一個主要發展趨勢是不斷朝微元化和更好更多的功能方向發展。不久前，典型的端子觸點間的端子容室在 100～156mils 之間，而今天，它通常只有 50mils，隨之而來的是圍欄厚度減到 5～10mils，所以連接器本體的薄壁部分成了關鍵點。對於每一個薄壁圍欄，具有良好的尺寸穩定性，同時保持所需絕緣性的特殊原料很重要。它還要以更快的成型時間去填充模腔各部分，以提高產能。

決定聚合物的另一重要因素是聚合物的分子量（MW）。聚合物由何種方法製成及保管決定了分子量。分子量能影響粘度、物理性能和熱容量性能。分子量的分配，在聚合物內部，決定內鏈的長度範圍，也隨製程的變化，對以上性能產生明顯的影響。

聚合物內鏈分子量決定粘度或原料的流動性。因爲分子量影響了內鏈運動和內網，這能极大的改變粘度或原料的流動性。聚合物內鏈必須具有一特定的長度，才能形成內網，從而限制內鏈的相互移動。因此，同樣基體的高分子聚合物較低分子聚合物具有更低的流動性和更高的粘度。

物理性能如延展長度也受分子量的影響。對於低分子聚合物，延展壓制的可能性爲零。但隨著分子量的增加，延展長度將會增加，且到一定水平會斷裂，具有一個近似的最大延伸長度。正如在晶體聚合物部分的討論，形成晶體物質的必要條件是一種聚合物必須達到一特定分子量或內鏈長度，從而使內鏈排成直線。依靠化學藥品，高分子聚合物能比低分子聚合物提供更多的機會。晶體延遲了性能的改善，例如充模能力和化學抗蝕力。一般說來，隨著分子量的增加，機械強度和熔融粘度性能會增加，但流動性和製程能力下降；同時隨分子量分配範圍變大，流動充模能力和熔化強度增加；隨著分子量分配範圍變小，抗沖擊強度增加，但 warpage 流動性和製程能力下降。

總之，分子量的增加會導致機械性能的增強。是以，大多數聚合物的分子量介於一萬到一百萬之間。除非至少可獲得分子量爲一萬的聚合物，否則強度性能得不到改善。此外，分子量也能影響製程流動性和聚合物別的一些物理性能，如抗沖擊強度和延展長度。

5.1 聚合物結構

對於理解關於一特定連接器所使用的塑膠而作出的恰當的選擇，了解聚合物的結構常識是必要的。從一個微觀觀點來考慮，聚合物可畫分爲兩類：無定型聚合物和晶質聚合物。

5・1・1 非晶體聚合物

非晶體聚合物由聚合物內鏈組成，這些內鏈以一個隨機無序的形式排列。在這里把它們看作爲一碗意大利麵條，如圖 1 所示。相對晶體聚合物，非晶體聚合物被認爲有更寬的熔解範圍、更低的收縮率、更低的 warpage 和更低的流動性。它們具有良好的延展性、抗沖擊強度及尺寸穩定性。這些原料包括了非晶體聚合物範圍，且它們所擁有的大量物理和機械性能，具有很強的溫度依賴性。低溫時，非晶體聚合物是玻璃質的，堅硬但易碎。隨著溫度的增加，非晶體聚合物超過了自身玻璃質轉換溫度 Tg，加熱到該溫度時，聚合物結構轉向橡膠質(在冷卻時，轉化爲玻璃質)。在 Tg 溫度上，聚合物將失去明顯的自身所有的機械性能，如圖 5.2 所示，in modulus shown 這些性能會急劇下降。因此，當以非晶體聚合物原料來設計連接器時，考慮大致的使用溫度是首要的。關於非晶體聚合物有聚苯乙烯和聚碳酸酯等。

5.1.2. 晶體聚合物

通常所說的晶體聚合物指半晶體聚合物並包括晶體、非晶體聚合物範疇，而非晶體聚合物只包括非晶體聚合物。晶體聚合物被推斷以圖 5.3 所示結構有序的排列。隨著早期的推斷。晶體聚合物被想象成一碗混合了煮熟的和直硬未熟的意大利面條。這種有序通常是由于聚合物內鏈有這樣一個結構，可讓它們排成直線並聚集形成晶體範圍。直線型態由這樣的幾何特征而來，並被在聚合物內鏈間形成的低能量化合物所保持這些低能量化合物如氫

合物等。中間鏈的結合依靠內鏈長(即分子量)，這就是爲什麼分子量是如此重要的塑膠原料參數的原因。塑膠原料里晶體的百分比由聚合物類型(化學組成)所決定，它也影響著內鏈主鏈的柔韌性，和能促進結晶的可能的內鏈反應。例如：尼龍內鏈有能力形成氫合物，因此在聚合物內促進了結晶。聚酯也能形成氫合物，並影響構成聚合物內鏈的化學單元長度，因此促進了結晶。

晶體聚合物 sharper 熔點和玻璃質轉化溫度，比起無定型聚合物具有更高的係數和抗拉強度。盡管它們的抗沖擊性能低於那些非晶體聚合物，但通常認爲晶體聚合物具有良好的化學抗蝕力。

在熔融狀態，晶體聚合物也是非晶體的；也就是說，聚合物內鏈以隨機的方向排列。但隨著熔液的冷卻，內鏈開始直線排列並形成晶體聚合物。直線型式可促使先前提到的係數和化學抗蝕力的加強。

通常，原料晶體的性質能對連接器元件的制程和物理性能施加一個可預測的影響。隨著成型過程所使用的成型方法及添加進基體塑膠的化合物的變化，晶體也隨之變化。隨著晶體百分比的增加，機械性能也增強。圖 5.4 表示了一典型的應力－應變曲線。當晶體增加時，如前敘，隨晶體百分比的增長，屈服點和主要的強度會提高。被作爲一種衡量硬度的尺度的彈性的模量(應力對應應的比率)也在增加，但晶體的增長通常會造成原料韌性的下降。而內鏈的直線排列和前述的中間鏈聚合，引起了機械性能的提高。在聚合物的機械性能上，晶體的增長具有明顯的影響。晶體聚合物主要有乙烯聚合物的氯化物（PVC），尼龍和聚酯，例如：聚乙稀、對苯二酸鹽（PET）和聚丁烯（PBF）。

・工程塑膠原料

現在這將有助於詳細調查一些使用頻率很高的連接器原料。這些原料將根據它們是否屬於晶體或非晶體聚合物而劃分爲兩大類。

5.2.1　非晶體聚合物

丙烯晴－丁二烯－苯乙烯（ABS）　ABS 由一係列的有時被用於低要求連接器運用場合的配方構成。盡管 ABS 具有良好的沖擊性能，并且相對比較便宜，但它對有機溶劑幾乎沒有抵抗力，一經暴露在這類環境下，它就會變脆。ABS 也不具有長期的熱穩定性。ABS 也不具有長期在高溫環境中的使用

性能，因此不能適用於一些高要求的連接器運用場合。ABS 還具有良好的機械性能、熱和化學的抵抗力、良好的耐久性、高沖擊強度及磨損抵抗力。

聚碳酸鹽酯（PC） PC 是具有良好尺寸穩定性和沖擊強度的非晶體聚合物。當運用上需要時，它的透明也很有價值。PC 也具有相對較高的加熱性能和 1500 度的熱變形的溫度。但它不具備良好的化學抗蝕力，而且在有機溶劑中可能會被裂解。它具有良好的電性能，本質上是自衰的。PC 和其它合成橡膠、熱塑性聚乙烯、ABS 磺化聚合物混合的特性是可利用的，並可提供改善的低溫韌性和製程性能。

Polyphenylene（PPO） 由於處理和成型簡單聚合物的困難，PPO 典型被用在改變混合形式上。連接器場合上大部分的混合是隨高沖擊強度的聚苯乙烯（HIPS）或尼龍而變化，並是玻璃質增強的。這些混合能阻燃以達到 UL 94-VO 易燃品表單要求。PPO 和它的混合物具有良好的溫度係數和一定的化學抗蝕力（它對酸性和城性環境具有良好的抵抗力，但會溶解一些芳香醇和氯化溶劑）。在一個大範圍的濕度和溫度條件下，該等聚合物具有低的吸水率和良好的電氣性能。然而，PPO 不具有類似聚乙烯的良好的流動性，故無法使用在薄壁連接器上。

聚眠甲烷 市場上有許多價格與性能差異很大的聚眠甲烷。這些原料具有良好的加熱性能尺寸穩定性能，但是對有機溶劑幾乎沒有抵抗力，尤其是對氯化的碳化氫。它們具有高的受熱斜向溫度、良好的尺寸穩定性、良好的爬行阻抗及好的電性連接性能。聚眠甲烷本身具有良好的阻燃性，並具有相對較高的受熱性能。

Polyetherimide(PEI) PEI 是一種高溫非晶體原料。它通常用在需要較高受熱阻抗或尺寸穩定性條件下。它具有符合 UL94-VO 的阻燃係數。PEI 是一種高穩定的聚合物，它可以被研磨及通過復合途徑使用。它具有良好的 UV 和 γ 射線阻抗。在沸水中浸泡 10，000 小時后它還能保持 85%的拉伸強度。在不同溫度、濕度、頻率條件下，PEI 具有良好的電氣性能。它的散布對於微波是透明的。對於波峰焊和氣焊製程的 PEI 的阻抗也是通用的，這使它特別在電性運用上引人注意。PEI 主要的不利因素在於它的成本很高、製程溫度高、流動性差。

Polyether ketone(PEK) PEK 是一種相當貴的原料，它被用於高溫場合。

該原料由於固有的磨損和疲勞阻抗而具有良好的化學性能和抗腐蝕性能。只有濃縮無水的或是強酸才能對它起作用。酮唯一可溶於酸。它們對於熱水分解具有很高的抵抗力。酮有時也會發生翹曲，這可以被鑄造克服。酮類聚合物具有高達 3000 度的熔點。它們具有低煙率並在整潔環境裡通過了 UL 的 94-VO 的測試。酮類聚合物是具有一定韌性、強度、硬度和高沖擊強度和負載承受能力的。酮類聚合物會受 UV 的影響，但在一個大的溫度範圍裡對 α 、β 、γ 射線具有高的抵抗力。

5.2.2 晶體聚合物

Polyoxymethylenes（縮醛） 縮醛是具有良好流動性和類似對有機溶劑的化學抵抗力一樣好的製程性能的半晶體聚合物，但它們當暴露於強酸作用下時，會發生退化。縮醛固有的缺點是不具有阻燃性，因此它們在使用上受到限製。縮醛具有在長時期大範圍裡保持良好的機械、化學、電子性能結合的能力。它們對承受負載和疲勞具有良好的抵抗力。對於在 2000 度高溫下使用，也具有較高的熱抵抗力，並具有很好的水穩定性。這些塑膠是堅硬的、牢固的和具有良好韌性的。

聚乙烯 在電子工業領域，有許多原料是聚合物內鏈的酯結合，因此都屬於工程塑膠的聚乙烯家族。許多標準連接器由聚乙烯組成是因爲它能提供良好的流動性、很光滑並具有良好的溶解抵抗力。這些原料主要是 PBT、PET 和 PCT。選擇這些玻璃增強劑的性能被納歸納在表 5.1 中。簡單的樹脂不同於化學合成的，故也由於該不同而造成具有不同的性能 ，如表 5.2 中所示。基於用來製造不同聚合物的單體，聚合物的內鏈會被改變。結構的不同會影響到化學性能、熔點(Tm)、晶體百分比和其它一些性能。晶體的變化會在物理性能、化學抵抗力和其它一些原料的重要性能上產生很大的影響。聚乙烯的半晶體原料，很容易在成型時收縮。

PBT 具有良好的化學阻抗性能，此外還具有不受濕度影響的電氣性能。它也不受水、弱酸及其通用有機溶劑的影響。

PET 具有高的強度、韌性、尺寸穩定性、化學和熱抵抗力及其一些其它的性能。它 PBT 對水和製程中的水的百分比更敏感，這會導致成型聚合物的退化。不填充 PET 的成型收縮率是 2%，但當加入 30%的纖維添加劑後，收縮

率只有 0.1%到 0.3%。

PCT 具有 285 度的熔點，相對 PBT 的 225 度和 PET 的 255 度，更高的溫度阻抗使它更易於在表面安裝電子元件。PCT 主要的缺點是它的製程窗口由於很小的熔解和退化溫度跨距而很狹窄。但它也有很好的物理、化學、電子、機械和熱性能。

PBT 比 PET 和 PCT 更牢固。當 SMT 不成爲問題時，良好的流動性和牢固的晶體使 PBT 聚合物用在很多連接器上。這實質上是允許更快的循環時間，因爲它能更快地填充模具並成型。PET 是低晶體並因此導致更長的成型時間，這會延長循環周期。PCT 具有和 PBT 大致相當的晶體百分比，但更慢的晶體化過程而導致更慢的循環周期。PET 和 PCT 型由於它們的高熔點而需要更高的成型溫度。這類聚乙烯通常被用作絕緣原料，而且受所需的化學抗蝕力、溫度決定，並且 PBT 在使用中佔很大比重。

Polyphenylene sulfide（PPS） PPS 是具有良好流動性和受熱能力的半晶體聚合物。它具有良好的流動製程性能並能填充複雜連接器設計的薄壁部分。大部分的 PPS 原料和混合物是下班露出增強劑，這是因爲它的簡單構造。它在成型中不易碎並不會閃光。PPS 通常用在需要高溫的 PCT 上。PPS 固有阻燃性，但它的價格限製了它的使用。PPS 被 UL 94-VO 評定過。當玻璃纖維增強後，PPS 可持續使用在 2000 度的的溫度等級裡。PPS 在大的溫度和濕度範圍裡也具有很好的電氣性能。

Polyamide（PA） PA 最常見的是尼龍，可以有很多種。依靠所使用的單體，原料在性能和成本上有很大的變化。表 5.3 和表 5.4 中分別提出了選擇簡單和填充尼龍樹脂的性能 。大部分尼龍是半晶體聚合物。尼龍能夠隨使用的添加劑和混合物的不同而發生很大的原料性能變化。尼龍的流動性也會發生變化，因此能被用在各種需要高強度和係數的場合。但是通常尼龍需要添加添加劑和強度添加劑。尼龍具有良好的韌性和水解穩定性。它們具有長期老化性能但不具有阻燃性。使用尼龍的缺點是收濕性；它所吸收的濕氣會隨溫度和濕度的變化而發生變化，因而會導致聚合物矩陣的延伸。但通過烘干，條件是可逆的。由於這個原因，一些 PA 不適合應用於要求三維尺寸穩定性的場合中。吸濕性也影響了一些性能，例如它增加了翹曲和沖擊強度但減少了拉伸強度。聚合物的電氣性能對於濕氣和增加了水分後的變質很敏感。尼

龍對於烴和芳香族化合物具有很強的化學抵抗力，但受強酸、堿、酚的影響。在一定的持續時間和暴露強度下，提高溫度和超聲波照射(UV)都將使尼龍退化。

液晶聚合物（LCP） 液晶聚合物包括大量的樹脂，樹脂在熔解和固體時其結構均顯示出了很高的硬度，在薄的部分也是這樣。它們同樣顯示了較高的溫度穩定性和化學抵抗性能。用於連接器工業中的液晶聚合物通常爲含酯類酸的聚脂類液晶聚合物材料。液晶聚合物具有很好的機械和熱性能同時還具有較好的流動性。因此它們用於薄壁應用中。如果連接器上端子之間的距離很小時就應該考慮使用 LCP，因爲 LCP 的流動性比 PPS 的要好四至五倍。在流動方向上的塑造收縮只有千分之一英吋的大小。LCP 可歸爲改善的熱塑性塑料一類，在表面安裝的應用中其比 PBT 在製造薄壁型產品的時候具有更好的性能。

液晶聚合物受基於外來芳香族化合物而導致較高的各向異性的形態的影響。這種化學作用的影響將使材料的價格的升高。爲降低成本 LCP 常與其它一些的低成本的材料相混合使用，如人造樹脂、添加劑以及玻璃纖維。LCP 與 PPS 相混合使用的第一個商業目的是可降低 LCP 的成本以及減少 PPS 的閃光。液晶聚合物的性質特徵爲低溶解粘性，良好的拉伸性，具有壓縮力以及彎曲係數值；以及非常好的化學，輻射，及熱穩定性。圖表 5.5 中顯示了 LCP 的選擇性有代表的性能參數值。

如圖 5.6 所示，基於其化學性 LCP 可分爲三類。與熔解溫度特性相應的是其最顯著的特徵是 HDT。LCP 極具竟爭力的一個優點是其快速出模和製造薄壁產品而不留毛邊的性質。此類材料具有經受高溫處理和長時間處於升溫的狀態。

在 LCP 材料中也存在如下的缺點，它們的各向異性將導致出現橫向應力，並且將導致部分的 warpage 。這些問題可通過增加添加劑來改善。結晶同樣會出現在此類材料中，這樣將會減少前端流動熔合的時間。這樣將導致焊接線強度較差，但是這種問題也可通過控製成型過程和加工工具設計來加以控製。由於未充滿的 LCP 具有各向異性，爲了加強其在電子方面的應用，通常在其中加入 30%到 50%的玻璃纖維。高熔解溫度在 300℃範圍內，高係數會對波動，蒸汽階段以及紅外線焊接條件產生影響。LCPs 有 UL 94-VO 的阻

燃率，以及在燃燒時不會產生煙霧。其對酸的以及稀釋城，有機溶劑化學抵抗力非常好。強城如氫氧化鈉和胺將會使 LCPs 到一個加高的溫度。

LCPs 在連接器市場上能有一席之地是因爲有兩個重要的因素：設計上的小型化和在自動生產過程中的高生產率。近年來的趨勢是具有更高生產率的表面粘著技術，其經濟性允許使用高成本的 LCP 材料。

5.2.3 熱固性聚合物

爲了更完整的敘述接下來便是熱固性聚合物。熱固性聚合物從熔解狀態到冷卻狀態因此不能被軟化或再加熱以用於其它目的。因此它們只能提供較爲有限的機會在再研磨用的過程中。在化學上熱固性樹脂在處理中要經歷一個交叉連接的反應過程，以產生一個固定的分子間的網絡結構。熱固性材料在交叉連接的時通常是收縮的，但是這種收縮是能通過附加如添加劑和加強光纖進行控製。在熱固性狀態下的這些材料的變化可以在室溫和高溫下完成，而樹脂則能在加熱下進行得更爲徹底。總的來說熱固性材料比熱塑性材料具有更好的溫度性能。

5.3 添加與添加劑

在連接器領域應用的大多數樹脂可以通過添加劑的方式來提高其性能。這些添加劑的範圍從阻燃劑到惰性添加劑以及加強料。很多用作絕緣的材料可通過增強處理和添加劑的方式來提高其性能。增強處理通常用來提高材料的強度、硬度、尺寸穩定性以及熱和機械性能。其通常能減小熱膨脹係數(CTE)並且在薄片結構中它們能減小捲曲和收縮。添加劑通常能增強硬度、尺寸穩定性、和熱機械性能。它們有時會影響強度和工作性能。添加劑通常便宜且能降低材料的成本。在很多情況下增強劑和添加劑聯合與玻璃纖維使用以平衡成本與性能之間的關係。這裡有一些因素能控製附加添加劑的使用：

載荷---附加添加劑的數量將決定一定載荷下硬度、強度以及熱性能的增加。一般情況下 50%的載荷常常被用到。

比率---在很多情況下增強效率要由玻璃纖維和添加劑在比率方面(長度/直徑比率)來決定。很多添加劑是易碎且在材料的鑄造和成型時易碎裂和退化。具有低比率的材料經不起太大的損壞。

界面連接–很多礦物質和玻璃基於其化學組成而具有高表面積，其組成佔有很高的表面能量。Coupling agent 或 sizing 可用於量度材料增強樹脂矩陣之間的聯接。通常的 coupling agent 包括 silanes，石蠟，titinates 和胺。

混合處理----添加劑與聚合物矩陣相聯接的方法將會在其性質上產生想不到的效果。

用得最廣泛的增強和添加劑是阻燃劑、玻璃光學纖維、雲母片、wallastonite 以及滑石粉。

5.3.1 阻燃劑（FRs）

很多電子應用上要用到阻燃樹脂。最明顯的原因是防止可燃材料的點燃。有幾種可燃途徑必須注意到，如稀釋物(添加劑)，保護層的成型(磷化物)，以及冷卻物(鋁及從水中產生的氫氧化物)。這種反應通常發生在固體或氣體階段。阻燃劑在使用了鹵素元素之後將會妨礙原子團之間的反應。經過交叉連接反應它們會在材料表面形成一個燒焦或屏障層，這些是可通過磷化物的介入而產生的。

阻燃劑能作爲反應劑和填加劑。作爲反應劑的時候它們自己通常要進入聚合物的矩陣結構之中，而作爲填加劑時它們通常只會物理上與聚合物矩陣結構相配合作用。FRs 在工程熱塑膠材料上的應用一般是作爲填加劑。其中一些在混合物中起配合劑的作用。這種阻燃劑的選擇是可擴展的，並且其總類和影響對絕緣材料的作用將會被提到。

在工程塑料領域裡應用的填充阻燃劑有最基本的兩類：含鹵素和不含鹵素的 FRs。有一些材料如 PEI 和 PPS 它們自己分子結構內部就有阻燃劑，因此也就不需要附加的阻燃劑。含鹵素的阻燃劑其效率增加的順序爲：氟<氯<溴<碘。含鹵素的 FRs 通常使用溴作爲鹵源而有時也使用氯，這是由於鹵素與碳原子相結合時其釋放需要有一定的能量從而能提供給 FR。FR 的化學活性已經大量的研究了但仍然存在爭議。增加鹵素通常會提高材料的成本同時也使此混合物的密度增加。含溴和含氯的 FRs 被束於脂肪類和芳香族的聚合物矩陣之中。脂肪類結合的鹵素容易被破壞，所以它們比芳香族結合的鹵素的溫度抵抗性要差。芳香族結合的鹵素在工程塑料中應用得很普遍，例如：tetrabromobisphenol A，乙烯(tetrabromo-phalimide)，以及

poly(dibro-mophenylene)。這些材料的成分從 4%到 15%不等，這要依 FR 中的溴的含量以及能提供給阻燃劑的矩陣而定。由於分子和聚合物的不同這些材料所帶有鹵素將會影響絕緣材料的性質。例如很多聚合含鹵分子用於工程塑料之中。

大部分情況下要用到銻基化合物。這樣可以提高鹵素阻燃的效率。配合氧化劑自己並沒有 FR 的能力，然而它在含鹵化合物中具有很強的配合作用並且還可與廣泛的與鹵素相配合使用。此類反應通常發生在氣體狀態下。

非鹵素的阻燃劑同樣也在研究之中，但由於其在應用中對一些材料的基本聚合物矩陣將產生損壞性的影響，所以其應用受到了限制。例如磷基化合物用於尼龍材料中而不能用於聚脂之中是因爲其與聚脂微晶不相容。磷化物所起的作用通常是在濃縮階段。其化學組成通常爲高含氧成分並用於聚脂中。磷類主要包括有亞磷酸鹽、亞磷酸、磷化物、白磷、紅磷以及磷酸鹽。這些化合物可用於一些明顯的材料並且通常作爲燒焦層組分和屏障層組分。作用於表面的 FRs 可對表面的性能產生一定影響。例如形成燒焦層的材料將影響聚合物表面抵抗力，它們同樣會妨礙鑄造柱形表面過程。

工程塑料中很少有適合 FRs 的礦物質，因爲大多數礦物質的分解溫度比工程塑料形成溫度還要低。含有礦物質的材料，如氫氧化鎂、碳酸鎂、氫氧化鋁及含硼的化合物已經被應用。它們加熱時通常要分解，但不象其它物質那樣蒸發，而是釋放出不燃燒的氣體，如水和一氧化碳等稀釋燃料的混合氣體。同時它們也把聚合物和氧隔離，以免其被氧化。但是這些混合物因爲需要高度濃縮以滿足 FR 的需要而使其在工程材料中的應用受到限制。由於材料中包括了水和更低的物理特性，尤其是流動性和相互沖擊性。許多情況下，這些材料也提供了稀釋的作用，因此那些不燃燒的其它材料對 FR 的形成具有積極的效果。聚合物中含有許多其它物質，如矽，其表現出有限的分解延緩應用性，但是它們必須考慮成本和性能。

延緩分解性的要求一般是用(Underwriters)實驗來確定的，許多確認延緩分解性的不同實驗被采用，如 UL94，DIN4102 及 NEP92-507 等。獲得 UL 證書需經過嚴格的測試。

當考察 FR 添加物和分解延緩材料時，應用的特殊性、全部材料的絕緣性能及材料的成本/性能比值都必須考慮。又，聚合物的許多性能可通過向聚

合物矩陣添加 FRs 添加劑而得以改變，這一點也是需要考慮的。

5.3.2 強化添加劑

玻璃纖維 玻璃纖維是廣泛用作強化劑中的一種。除了強化作用外， 玻璃纖維還可增加分解延緩性和使材料更耐化學和熱作用。 玻璃纖維添加劑可大提高材料的物理性能。如，向 PBT 中加入玻璃纖維添加劑可使其彎曲係數增加 250%，拉伸係數增加 100%。在其它樹脂中可看到相似的性能的提高。 玻璃纖維添加物一般要降低樹脂的流動性並可能引起一些表面缺點。 玻璃纖維對選定的聚合物性能的強化作用被列於表 5.7 和 5.8 中。

雲母 雲母也是一種用作提高熱傳導性，溫度阻值及電介質絕緣性能的同時降低熱澎脹的天然材料。它可作爲添加劑或強化劑並常與玻璃纖維合用，表 5.9 說明了這一點。

Wallastonite. Wallastonite 也是一種天然的針狀材料。它常與玻璃纖維合用並表現出很好的電絕緣性能和很好的熱變形特性，表 5.10 對此進行了說明。

5.4 成型和應用

聚合物形成連接器絕緣本體的過程(通常是注塑成型)及關於成型過程部分設計的作用對連接器絕緣本體性能有很大的影響。連接器將被使用的應用也將影響聚合物選擇的標準。關於此以後將繼續討論。

5.4.1 成型過程

某種連接器應用的特殊材料的選擇可能受許多因素的影響。有時一種材料根據其物理特性來選擇。在其它情況下，連接器的使用環境也可能影響樹脂的，這一點也需考慮，並且熱和化學相容性必須作爲主要因素加以考慮。作爲首要考慮的因素，合適的熔化和成型溫度必須考慮材料的數據表。高的成型溫度一般導致低的成型壓力，高的成型完整性及易流入較窄部位。爲了獲得統一的成型高溫，建議采用噴吐機或熱端子以從核心向外散熱。溫度平衡依賴以下三個因素：模具設計，熔化濕度及循環次數。冷模會引起過度的彎曲和收縮。

注塑壓力值是成型過程的另一重要因素。較窄的部分成型尤其困難。它

們需要大量的排氣孔，熱模及額外快速填充。注塑成型壓力值依賴於局部幾何形狀、模型設計、成型材料及熔化溫度。總的來說，連接器最常用的材料趁向於具有低粘性和易流動性。在連接器絕緣本體注塑成型時，使用低壓注射是很重要的，這樣可降低沖擊，成型壓力及模具小核心的疲勞度。如果采用過高的注塑壓力，由於模具鋼的移位或其它對模具的損害都可能引起注件尺寸的改變。

這樣的影響在連接器的局部角落顯得尤其突出，因爲注塑件的外部比其內部冷卻速度要快得多。降低角落處的彎曲程度的關鍵是使連接器兩邊的冷卻率相等。達到這一點的典型做法是使角落處的內部比外部溫度低。另一種做法是使角落處的內部升溫。使核心部比外部洞穴降低到更低溫度值的能力在許多連接器工具中是很重要的。

5.4.2 應用

表面粘結技術(SMT)將作爲一個聚合物/應用干擾的例子。SMT 允許向電路板密集地安裝元件。SMT 的主要優點是在裝配時可降低成本，減小尺寸及減輕重量。許多電路板的製造商都編入采用各種 SMT 技術的製造設計技術(DFM)。製造商發現 up-front、受控的放置規劃、焊劑、修理維護及測試可顯著地提高生產率和可靠性。考慮的重要設計是使用的 SMT 類型，電路板條件及可靠性和成本因素。

現在有兩種基本的用於 SMT 的接觸方式：波峰焊和流動焊。在波峰焊中，裝置和接觸面直接暴露於熔化的錫合金。流動焊依賴於傳遞的熱以熔化置放的焊劑合金(主要用作錫/導引/熔化粘著更重要的安置裝置)。波峰焊常用於穿孔插接(PTH)方式和在焊接過程中被收容於基樹脂的低輪廓裝置。流動焊則僅用作粘結以保持該裝置。

流動焊是用於 SMT 裝配方式，尤其是需要使用更新的、更好的樹脂混合物的先進的焊接方法。當幾種方法存在以有效地流動焊接粘結時，常采用紅外線來加熱。激光、熱氣、熱棒及局部集中的紅外線在流動焊接中也常用的。

波峰焊或流動焊是一種適合使用 SMT 技術的製造的共同方法。波峰焊是一個過程，在該過程中，許多連接部與流動的焊劑波接觸一小段時間，同時連接部被焊接。

除了焊接以外，粘劑和樹脂也可以用於向組裝表面安裝組成物。粘著技術可用手操作機械的注射器而達成，或使用高速輸出、可編程的機械分配手在需要組裝其它元件的位置點上粘劑。

上面的關鍵點是 SMT 向電路板和連接器環境傳熱和化學物質的過程。注意 SMT 應用的材料挑選以材料在焊接端子的 SMT 過程中暴露的時間和溫度爲基礎是相當重要的。這些絕緣材料在 490 華氏度(255 攝氏度)的高溫下可以停留 30 秒到幾分鐘。

5.5 小結

電連接器材料可能暴露在熱及化學環境中。此時，材料的選擇更加嚴格。故設計者必須確定電連接器絕緣本體的材料選擇在經過長時間的不良環境以後仍能保持其性能。

選擇電連接器絕緣本體材料還有其它長期因素需要設計者加以考慮。其中之一考慮是如果部件在板清洗過程中暴露於碳化氫時對抗化學腐蝕力的要求。例如，postassembly 環境也是很重要的。例如，長期熱及化學抵抗力在覆蓋應用時（under--the--hood）應加以考慮。

高密度及小型化在電連接器市場上將會繼續發展。可以預測未來之設計將要求在更少的空間有更高的性能。因而對設計者而言，在材料領域的變及表面粘接技術上處於變化的前列更爲重要。

表 5.11 列舉了不同材料的優點及缺點。同時表 5.12 包含了與電連接器應用最相關的選擇的工程聚合物的一些聚合物性能總結。

表 5.11 電連接器應用所選擇的工程聚合物的優點與缺點

材料	優點	缺點
ABS	良好的抗沖擊性能，價格低廉	較差的有機溶液抵抗力，缺少長期抗熱老化性，對大部分的連接器應用不適合
ACETAL	良好的流動性及化學抵抗力、成本低廉	在酸性或城性環境中易退化，且阻燃性差

PBT	良好流動及光滑，良好的電氣性能及化學抵抗力，良好的熱性能	高收縮性，在負載下易發熱
PET	與 PBT 相比減小了翹曲性，比 PBT 更耐高熱	流動性比 PBT 差，對空氣濕度敏感（比 PBT 的結晶性差）
PCT	最高的熱聚合物，良好的流動性及化學抵抗力	易碎，制程窗口窄
PC	天然阻燃性，良好抗沖擊強度，尺寸穩定性，透明性，熱性能	化學抵抗力差，壓力下易分裂，流動性差
PPO blends	良好熱性能，天然阻燃性，具有一定化學抵抗力	流動性差，可著色性差
Nylons	良好流動性，抗熱性，抗沖擊性	吸濕性差，尺寸穩定性差
PPS	良好流動性，抗熱性，化學抵抗力	易碎，反光，著色性差
PEX	非常好的熱性能，良好的抗環境疲勞性，天然阻燃性	結晶慢，成本高
PEI	熱性能好，天然阻燃性好	成本高
LCP	非常好流動性，熱性能好，天然阻燃性好，電氣性能好	編織線強度，著色性，成本，機械性能與流動性相對 perpendicular

附：PEI=polyetherimide；PES=polyethersulfone；PC=polycarbonate；PBT=polybutylene terephthalate；PCT=polycyclohexylene terephthalate；PPS=polyphenylene sulfide；PA=polyamide；LCP=liquid crystal polymer；其中：PC 不含有玻璃，PPS 含有 40%玻璃，其它材料不含玻璃。

第六章　可分離式連接器

在第一章中，就連接器曾給出如下的功能性定義：電子連接器是指一種能夠爲電子系統兩個子系統之間提供可分離式接觸界面的電子裝置。

可分離式接觸界面本身具有一些要求，其中包括耐久性，結合力及機械穩定性。耐久性指連接器可正常工作的結合周期。一個連接器所需要的結合周期取決於其具體應用。當製造工藝比耐久性重要時，這個數值可以較低，大約爲 10。至於便攜式電腦(如辦公室或家庭用的筆記本電腦)時，就需要數千周期。耐久性主要涉及接觸面涂層消耗的可能性，其導致第三章中提到的腐蝕保護及界面最佳化的喪失。

結合力（連結連接器之插頭與插座所需的力）對於高級端子計數連接器尤爲重要，這種連接器由於其結合力較大導致須以工具輔助裝設否則將被破壞。機械穩定性指連接器承受應用載荷如震動、沖擊及熱循環的能力，其可能導致接觸面干擾。這種干擾也可能產生如第三章所述的電鍍層脫落。

影響這些操作性能的主要的連接器設計及物料因素是接觸面涂層、正常接觸力及接觸面形狀。本書第二章、第三章曾就接觸面涂層對摩擦、損耗及受此影響的耐久性、結合力的重要性和影響進行說明。

本章將討論正常接觸力和幾何形狀對操作性能的影響，其中正常接觸力是重點，尤其是它的產生、大小及其穩定性的維持。

6.1 引言

爲方便起見，將前述連接器橫載面圖 1.1 再現爲圖 6.1。在連接器中各種各樣的可分離的接觸面接觸之設計拓展了在不同環境的要求下應用的連接器的範圍。可分離式連接器一般具有兩部分。大體上，連接器的一端(通常插座)是彈性部分，而另一端(插頭)之固體接觸部爲 post，pins，或者 PWB。分類上，這些裝置可歸入 post/插座，pin/插座，及卡邊連接器。

6.1.1 posts，pins 及 PWBs

圖 6.2 是典型的插頭接觸端之實例。 PWB(圖 6.2.a)就是三級和一些四級連接器裝置的一部分。posts 和 pins 的主要差別在它們的幾何形不同。posts 爲方形或其他規則形，而 pins 則爲圓形。

圖 6.2.b 所示的一側邊爲 0.025 in(0.635mm)的 25 針方形 post 是目前最常見的幾何形狀，盡管小一點的 post (如 15 針方形和 0.5mm)的應用越來越多。貴重金屬涂層應用於高操作性能之領域，而錫涂層則用於電子和商業產品上。在 3、4 級產品中，post 依據工作環境不同可以直接插入板上或收容於連接器端部，其可以被遮敝，也可以不遮蔽。

Pins 在四級產品中應用不多，其主要應用在於五級與六級產品中。根據不同情況其可應於很多尺寸。常用的兩種型號爲如圖 6.2c 所示的加工螺桿及圖 6.2d 所示的層疊式。二者主要區別在於加工螺桿的 pin 上沒有接口縫，且不易於控製其尺寸。因此，其通常被認爲具有優良的性能而同金接觸涂層一起應用於軍事和高性能系統。層疊式則用於電子及商業領域並可應用於貴重金屬及錫涂層上。

6.1.2 母端子

大多數母端子都設計成懸臂梁形狀，當然也可以看到混合接縫.一些最常見的形狀如圖 6.3 至 6.5 所示.

最簡單的母端子設計成懸臂梁，如具有卡片狀邊緣的端子(圖 6.3a)，盡管

有一部分端子呈現出如圖 6.3b 所示的混合懸臂設計一樣的複合形狀.

對於插桿\插座系統，有多種的端子接縫在應用，如圖 6.4a 到 6.4e 所示的敞開或盒子形狀.除了圖 6.4e 外，在這些例子中，兩個懸臂梁使端子正對插桿的一面.敞開的雙端子由於價格低廉而在商業利用上壓製了盒子狀端子.有四種形狀的雙端子比較常見；通俗地講，他們指的是：秸叉(圖 6.4a)，扭桿(圖 6.4b)，單懸臂(圖 6.4c)和卷盒(圖 6.4d)。他們在實際製造和懸臂梁設計時有很大的不同，這些都影響到製造成本及工作性能.如圖 6.4a 的平壓端子是基本的設計。此外成形操作還帶來一些附加的特徵，圖 6.4d 所示的設計對插桿的不平直度作了一些保護，而且對端子接縫的反超限應力也起了一定的保護作用，這是因爲卷盒向裡伸展。

這些系統提供了太過長的端子，它們都應用了貴重金屬而且末端鍍有錫，最後的 25 平方母端子設計圖是有四條接縫的卷盒端子，是爲了適應貴重金屬末端的要求，而主要應用了高性能和多插腳。

正如同對端子的決定一樣，爲了相同的市場公端子還應用於可機加工螺旋和沖壓成型的類型。圖 6.5a 和圖 6.5b 分別所示的是可機加工螺旋和沖壓成形的公端子。可機加工螺旋的端子常常鍍金，而沖壓成形的端子常常被發現在末端有貴重金屬和錫。

6.1.3 總結

在應用中還有許多其他的母端子，都是爲了適應耐久性配合力，成本的要求.上述有提及到，母端子彈性的一個重要功能是產生正常接觸力。

6.2 接觸正壓力

由於接觸正壓力對於以下性能特性之影響，使其成爲連接器設計中一個主要參數。

* 配合力
* 磨損
* 接觸彈性部上之壓力
* 連接器殼體上之壓力
* 接觸電阻

增加之正壓力對以上前四項產生不利影響，而只對一項產生緩和之因素。如在第二章所討論的，一樣之接觸面結構，即冷焊後之粗糙結合部，引起了磨擦及磨損。增加之正壓力提高了磨擦力，也增大了配合力及磨損率。緩和之因素是增加之磨擦力同樣提高了端子接觸部之機械穩定性。這是一個有利的因素，因爲它減少了接觸面之潛在不穩定性，降低了它受在端子接觸面或其附近出現之腐蝕性產品或污濁影響的敏感程度。

如將要被討論的，增加之正壓力使得在端子彈性部上之壓力變大，這樣反過來也對連接器殼體產生一個更高之壓力，因爲在大多數連接器設計中，端子是被殼體在某些點所固持的。在端子彈性部上的更高壓力對彈性物質產生的強度和其可成形性間之權衡關系有更高之要求。在連接器殼體上之高壓力導致殼體更易發生變形，這樣可能影響彈性部之固持位置，進而影響正壓力。從這一點來看，顯示出增加之正壓力總的來講對連接性能產生不利之影響。

然而增加之正壓力卻可以抵銷這些不利影響，如在第二章所討論的，接觸電阻隨著正壓力之增加而減少，正如公式（2.9）所顯示出的，爲方便敘述重複於公式（6.1）中。

Rc=接觸阻力

K=一個包括表面粗糙程度，接觸方式和彈性或塑性變形影響之系數

ρ ＝電阻系數

H=硬度

Fn=接觸正壓力

增加的正壓力對接觸電阻大小之必然影響是，接觸面積增加，則接觸電阻減小。另外，接觸阻力的穩定性同樣通過兩種影響隨著正壓力之增加而增加。首先，增加之磨擦力提高了接觸面的機械穩定性，以及隨之產生的對抗端子接觸面不穩定之阻力。其次，如將在 6.7.1 節進行討論的，在端子區域裡的這種增加同樣提高了接觸面之抗腐蝕能力。

從以上之闡述可以看出，正如 Whitley 和 Mroczkowski 所論述那樣，一個連接器的“最優化”正壓力來自於較高正壓力對機械性能所帶來的不利影響與端子磨擦力有利影響間之權衡。在大多數例子中，“最優化”被譯成“最小化”以著眼於使不利之影響最小化。要理解這種權衡需要考慮對接觸阻力

之影響。兩個因素必須加以考慮，正壓力需要建立接觸面，並且需要保持接觸面之穩定性。建立接觸面需要產生一個足夠的金屬接觸區，——如果必要，通過破壞或移走表面之氧化膜或污物。在通過要求數量之配合周期後仍保持表面保護層之完整性之前提下，接觸面之穩定性來源於通過增加磨擦力而保證之機械穩定性。

來自於 Whitley 和 Mroczkowski 二人之圖 6.6 顯示，對於鍍金之接觸表面保護層，10g 之正壓力已足夠產生 3Ω之接觸電阻，這對於實際中任何電訊裝置都能滿足需要。然而，這種“金屬”或貴金屬的最小力並不能解釋氧化膜被破壞或移走之原因。常規知識解釋說，對一個連接器“最小的”正壓力是 100g。這種常規知識之來源不爲人所知，但可以追溯到一篇 1970 年貝爾實驗室中的文章。不考慮這個來源，最小量也總是闡述成 10g 以上。所得到之結論是（如在參考 1 和 2 中所討論的），最小正壓力之剩余必須能夠保證氧化膜之破壞和端子接觸面在不同應用環境下之穩定性。

簡單說來，但不是簡單量化，正壓力之要求由在連接器操作環境中的機械及熱條件下保持端子接觸面完整性之要求所決定。

如果在一個連接器中，理想的情況是將正壓力“最小化″，那麼產生正壓力之機械就會變得令人感興趣。除此之外，對於在連接器應用過程和使用壽命中保證正壓力穩定性有重要作用之設計因素，是值得討論的。這些影響穩定性之因素將會進行一些細節討論，但爲了做這項工作，必須對在連接器中正壓力是如何產生的進行討論。

6.3 端子正常作用力及端子設計

在連接器裡，端子正常作用力主要來自於兩連接器插接時插座之端子梁因與插頭配合產生的位移，該位移產生的彈性恢複力就是端子正常作用力。

6.3.1 材料性能和端子正常作用力

材料性能是決定端子正常作用力的基礎，其性能指標是伸長（或稱彈性）系數和彈性極限或屈服強度。爲方便起見，圖 6.7 根據應力與應變曲線指出這幾個性能指標，伸長系數是應力與應變曲線線性部分或稱彈性變形區的斜率，因此其亦稱彈性系數；彈性極限強度是指某一臨界點，於該點之前應力

與應變停止線性關系，而此時塑性變形即將開始；屈服強度是使塑性變形進行到某一定程度時之作用力，在絕大多數情況下，屈服強度被指定爲產生 0.2%或其它定值之殘余變形所需的作用力。下面我們將要討論的是已知端子梁之幾何形狀如何將應力與應變曲線轉換成力與位移曲線。

假如把端子近似視爲一懸壁梁，遵循圖 6.8 之注釋，可得出有關端子正常作用力和梁設計參數之等式

F=(D/4)*E*[W*(T/L)3] ， (6.2)

其中 D==梁位移量

E==材料彈性系數

W==端子起拱處寬度

T==端子起拱處厚度

L==端子起拱處長度

該等式包括三個要素：梁位移(設計選擇)、彈性系數(材料參數)和端子拱起處之幾何形狀(亦爲設計選擇)，其中每個要素都是獨立的，且據不同之考量導出。

由 Lowenthal et al.報告的將上述等式運用於工程中，爲端子承受正常作用力之連接器設計或材料選擇提供了理論依據，該研究中端子之幾何形狀與圖 6.4d 所示相似，其具有兩個獨立端子梁，其中每一個端子梁可視爲簡單的懸壁梁，如 6.2 式所述。

圖 6.9 摘自參考 3，其爲銅合金之選擇提供了端子正常作用力和梁位移之關系(如 6.2 式所述)。以下討論將只限於下面三種材料：C51000(磷青銅)、C72500(銅鎳錫合金，725 合金)和 C17200(鈹銅)。這些合金的材料特性如圖 6.9 和圖 6.10 所示，其它合金材料特性均羅列於參考 3。

梁之彈性率和正常作用力與位移之比例由下式可看出

F/D=(E/4)*W*(T/L)3 （6.3）

該彈性率對應於圖 6.9 所示的正常作用力與位移曲線之初始斜率，且該斜率的變化趨勢與材料彈性系數的計算結果相類似，這就是早期將形狀一定的端子的作用力與應變曲線轉變成力與位移曲線的依據，此三種合金的斜率數 725 合金最大，鈹銅次之，磷青銅最小。

端子之工作範圍設計應包括位移從 0.0025 英寸至 0.05 英寸(0.0635 毫米至

0.127 毫米)之範圍內，如 6.2 式所示，與其它兩種材料相比，磷青銅端子所受的最小正常作用力(最小位移對應的力)較小，這主要取決於其較低的彈性系數，根據 6.2 式，端子梁的位移一定，如果要得到較大的正常作用力，可通過改變端子梁的幾何形狀而獲得，正常作用力與梁寬度呈線性關系，而與梁長度和厚度則呈立方關系，爲提高正常作用力可改變上述每一個參數。

提高梁寬度會有一負面影響，即難以保證連接器端子間間隔大小；而減小端子長度會使得端子柱的接觸長度變小，這也是一個潛在的消極影響；另一方面，提高端子梁厚度可減小整個端子的幾何變形，但對於相同的正常作用力，其卻受到最大的沖擊，比如在其它條件相同的情況下，梁厚度爲 0.0105 英寸(0.2667 毫米)的磷青銅端子將能彌補彈性系數的差距，而達成與梁厚度爲 0.010 英寸(0.254 毫米)的 725 和鈹銅端子相同的正常作用力和彈性率。

6.3.2 彈性變形之極限

公式 6.2 僅適用於端子梁之彈性變形。從圖 6.9 之數據中可以清楚地看到，情況不總是例證之端子那樣，725 合金之變形量隨力的變化曲線關偏離了線性方向，並且圖 6.10 表明了 725 合金在變形到達最大變形量 0.005 英寸(0.127 毫米)之前就存在永久變形。鈹銅與磷青銅保持"彈性"。725 合金之屈服強度較其它兩種材料稍微低一點，但其彈性極限比其它兩種低得多。因此，它在少量變形情況下就呈現塑性，在此設計中，其在未達到設計變形量 0.005 英寸(0.127mm)之前就已產生了一永久變形。

端子變形量超出其彈性變形量範圍，會對主應力產生兩方面之影響。在連接器首次裝配過程中(最初之彈性變形)，如果端子梁開始塑性變形，則主應力與變形量關系曲線將爲非線性。換言之，有效之彈性系數將下降，並且在一定塑性變形情況下之主應力要比在彈性變形下之主應力低得多。

另外，在隨之進行的裝配中，端子梁會產生永久變形，主應力也會因此減小。永久變形之結果是使端子梁之設計變形量減小。例如，圖 6.10 表明從連接器首次裝配到產生最大之梁變形過程中，725 合金將產生 0.001 英寸(0.0635mm)。這個變形意味著端子之變形範圍將減小 0.001 英寸。因此能產生最小主應力之最小變形量爲 0.0025 英寸(0.0635mm)，因此主應力會減小 40%。在最大變形量爲 0.005 英寸(0.127mm)時，主應力將減小 20%，這仍是一個可

觀之數字。在設計時如果假定爲彈性變形，不考慮永久變形，則主應力之實際值較期望值低 20-40%。

圖 6.11 中表明在首次裝配後，永久變形將繼續增長。由於變形過程中之端子彈性部硬化，永久變形將趨向於某一定值，這使得端子之屈服極限增大，如此則端子彈性部開始變形發生在其擴大了的彈性極限內。

6.3.3 應力松弛和正壓力

公式 6.4 敘述了懸臂梁上的正壓力 Fn 與懸臂梁的尺寸及懸臂梁上的應力 σ 間的聯系，它是有關表明端子之所受正壓力與其設計/材料參數間關系的第二個等式：

$$Fn=(\sigma/6)*(WT/L2) \qquad (6.4)$$

公式（6.4）表明了任何的應力減少都會導致正壓力的減少。雖然應力松弛在第四章討論過，但在這還是有必要複述其定義。

應力松弛是指應力在常應變的情況下會隨著時間的延續而減弱。

就連接器而言，對公式 6.4，我們可以更確切地定義爲在連接器使用期間，隨著時間的延續，正壓力會以一持續的偏差而削減。換句話說，僅僅是由於端子懸臂梁受到了因其配合偏移而產生的應力，而其所受正壓力的削減可看作是時間和溫度雙重作用和結果。當連接器的工作溫度升高，此時應力松弛就更爲重要了。圖 6.12 論證了其關系。當懸臂梁位於其最大偏差 0.005 英寸（0.127mm）時，在 96 小時內，正壓力會隨著溫度的升高而減小。在連接器處於其一種更爲典型的工作條件即恆溫的時候，時間對正壓力的作用類似於溫度對正壓力的作用。圖 6.13 出示了三種被選擇材料在 25℃到 105℃之間其應力松弛的數據。在室溫條件下，應力松弛對任何材料均只是稍微有影響，拿磷青銅的最糟糕的情形來說，在經過 100，000 小時（11.4 年）後，其應力變化小於 10%。然而在 105℃的時候，可以看出應力會有很大損失，因而正壓力會急劇減小。

圖 6.14 是以又一種不同方式即永久性變形隨溫度的變化關系來表示應力松弛引起的結果。

在應力松弛的過程中，該應力是來源於有助於加工硬化的彈性變形和允許尺度變化的塑性變形間的轉換。這種轉換的結果如圖 6.14 所示。很明顯的，

這種永久性變形隨著時間變化而變化的趨勢類似於正壓力的損失隨著時間變化而變化的趨勢。由應力松弛而引起的永久性變形同樣對正壓力有影響，如較早以前討論過的機械永久性變形：梁的可用偏差減小，正壓力伴隨著減小。

由於溫度應用的要求增加，如何控製永久性變形也變得更加重要了.雖然，正如附注 4 和附注 5 中所討論的，設計因素對永久性變形也會有影響，但是控製永久性變形的辦法主要還是通過對材料的選擇.第四章給出了一些供許多銅合金參考的永久性變形的數據。

・總結・

這種典型懸臂梁端子的特性反映了因端子所受正壓力而產生的梁的偏移和應力松弛的重要性。由機械加載或應力松弛所引起的永久性變形，其減小了梁的可用偏差，降低了正壓力。這使得我們更希望彈簧能一直在其伸縮範圍內工作，直到正壓力達到最大並還原。應力松弛可以靠操作的溫度對長期的正壓力產生重要的影響。正如第四章、附注 4 和附注 5 中所討論的，在處理應力松弛時，材料的選擇是主要的。

附圖說明:

圖 6.11 表示的是三種都做成典型端子幾何形狀的端子材料其端子永久性變形大小與其配合周期數的關系圖。其由 AMP 公司提供。

圖 6.12 表示的是三種都做成典型端子幾何形狀的端子材料其端子所受正壓力大小與其放置 96 小時之後所受溫度的關系圖。其由 AMP 公司提供。

圖 6.13 表示的是磷青銅、合金 725、鍍金銅三種材料在 25℃到 105℃間其永久性變形大小與時間的關系圖。其由 Olin 公司提供。

圖 6.14 表示的是三種都做成典型端子幾何形狀的端子材料其永久性變形大小與其放置 96 小時之後所受溫度的關系圖。其由 AMP 公司提供。

6.4 正常作用力和結合力學

如果說具有可分離性是我們使用連接器的主要原因，那麼很有必要了解結合力學及其如何影響結合點的壽命和結合力大小。結合力學中有三個主要因素，即端子正常作用力，端子幾何形狀和摩擦系數。

圖 6.15 所示是一條結合力與插入深度曲線，其將端子結合的兩階段裡插柱在插座的位置反映出來。

在第一階段裡，當端子正常作用力施加於插柱時，插入作用力快速增加，在該段曲線裡端子梁不斷發生偏移，此時曲線的斜率由結合的插柱或插座的表面幾何形狀、摩擦系數和端子梁的伸長率決定，亦即梁的位移與施加的作用力的比例；在第二階段，正常作用力達到最大值，端子梁的位移亦達到最大值，且插座之端子梁沿插柱滑動，並因此產生一個摩擦力，該摩擦力大小由摩擦系數和端子正常作用力決定，而最大插入力是最重要的參數，因爲它決定了施加多大的力可與連接器結合。下面分別對這兩階段作一討論。

6.4.1 第一階段：插入階段

當插柱開始進入結合區，插座的端子梁產生位移並承受端子正常作用力，同時，插柱開始頂著端子梁進行滑動，相對的會產生摩擦力，由於摩擦力的方向與運動的方向相反，因此使得插入力增大，故最大插入力主要取決於摩擦力的大小和方向，而摩擦力的大小取決於摩擦系數 μ 和端子結合接觸面的幾何形狀，所以，對一定的正常作用力，最大插入力取決於端子結合接觸面的幾何形狀和摩擦系數 μ 的原因是這些參數決定了摩擦力的大小和方向。

下面最大插入力的等式是將其簡化成施加於兩夾角爲 α 的平面上，這條件與圖 6.15 所述的結合面幾何形狀類似，但這是忽略端子梁位移而不是正常作用力。

$$Fi(max)=2Fn(max)[(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)/(\cos\alpha-\mu\sin\alpha)] \qquad (6.5)$$

其中　Fi==插入力

μ ==摩擦系數

α ==結合面的夾角，如圖 6.15 所示

在插柱插入過程中，結合面的角度隨著插座與插柱的幾何形狀變化而發生變化。

如圖 6.16 所示，對於 100 克的端子作用力和一定結合面夾角 α ，不同的摩擦系數對應於不同的最大結合力。在未加潤滑的情況下，鍍金端子末端的摩擦系數的公稱值是 0.3。圖 6.16 表明：在這個簡單的模型裡，當結合面夾角由 15°變至 30°將使得結合力增加 75%。

6.4.2 第二階段：滑移階段

一旦端子梁位移達到最大，亦即插柱已達到相對插座端子插柱表面的滑移點，此時插入力可簡單視爲摩擦力，如 6.6 式所述

$$Fi = \mu Fn \qquad (6.6)$$

其中　μ==摩擦系數

Fn==端子正常作用力

・總結・

最大端子結合或插入力取決於結合面端子的幾何形狀、端子的正常作用力和摩擦系數，且這其中每一個變量都是獨立的。可通過使用端子潤滑劑減小摩擦系數，從而大大減小結合力。另外，有關結合力學的研討可參閱參考 6 和 7。

顯然，連接器結合力不是簡單的各個端子結合力的累加。另外，如果在結合過程中發生端子不重合或對準不良，端子松動以及插頭與插干涉都會大大增加連接器的結合力，故當連接器的針數增加，端子插入力和結合力應重點設計。6.5　端子擦拭接觸效力

如第一和第二章所討論的，建立一個金屬接觸面對於低穩定接觸電阻來講是極其重要的要求。視接觸鍍層和應用環境而定，可能需要清除各類膜層、污濁以確保金屬接觸。擦拭接觸效力與在連接器配合過程中移走膜層、污濁之效率有關。

有關於連接配合的兩個術語經常被交換使用：接合長度與擦拭接觸。接合長度特別是指公端子插入母端子的全部距離。擦拭接觸通常指的是端子表面相對於另一面之運動。接合長度與擦拭接觸在大多數例子中從幾何學角度來講是一樣的，它們的功用卻明顯不同。接合長度之要求是需要保證端子在任何容許條件下進行配合；例如，殼體之形變部分導致連接器沿其長度方向彎曲。這種要求與特殊的端子尺寸有關。典型之接合長度可以是 100 mis 或更多。在另一方面，擦拭接觸效力要求保證有效轉移表面膜層與污濁，這些表面膜層與污濁產生於明顯少於 100 mils 之距離上。

擦拭接觸效力由接觸幾何形狀，接觸正壓力，擦拭接觸長度以及必須要被破壞或移走之該種污濁。在這一節將討論擦拭接觸效力中關於確保移走在

電路板上灰塵上的最小必要擦拭接觸距離的內容。這一節之內容是總結於 Brockman， Sieber， 和 Mroczkowski 的兩篇論文。

有兩種擦拭接觸方式被考慮過了。在第一種方式中，施加了全部的正壓力，這樣擦拭接觸動作就發生了。這種方式模擬典型的連接器配合條件，在這種條件裡，爲了進行配合接觸梁在一定之距離完全偏轉。在第二種方式中，擦拭接觸只在施加了正壓力的時候才發生，這種方式是要模擬在零角度力連接器中的動作。這裡的討論將限於第一種更典型之方式。第二種方式的結果在本質上一樣的。

三個幾何形狀與兩個正壓力值作爲獨立變量在擦拭接觸距離被用到。這些幾何形狀在圖 6.17 中進行闡述。這些幾何形狀分別被描述成半球形 H，橢圓形 E，圓柱形 C。半球形的半徑只有很小的 0.060 in(1.524mm)，半球的長軸與短軸是 0.040 和 0.020 in (1.016 和 0.508mm)，圓柱形的半徑也只有很小的 0.035 in (0.889 mm)。圓柱形與橢圓形在幾何形狀上是近似的，但在相對於端子長軸運動方向上有所區別。橢圓形之長軸平行於運動方向，而它對於圓柱形的長軸則是垂直的。所有的端子在鎳層上都鍍上了 50 μin(1.27 μm)金。

全部 50 或 120g 的正壓力施加於端子上，擦拭接觸運動由於在 X-Y 工作平台上之運動面產生。在所有的情況中擦拭接觸長度爲 0.025in(0.635mm)。

控製表面要模擬一種嚴重到不合實際狀況的污濁。在表面 50 μin(1.27 μm)的鎳上鍍有 50 μin 的磷銅試樣金上，爲保持灰塵而涂有油脂，其上被覆一層看的見的灰塵。其它的試樣在一個清潔及清潔涂油處理過的條件下進行評側，發現沒有擦拭接觸的現象，最初的電阻是較低的，在擦拭接觸過程中沒有改變。

主要結果總結於圖 6.18 與圖 6.19 中。這些圖在曲線開始平直部分表示實施接觸受力。50g 接觸受力線分爲接觸受力區及擦拭接觸區還有最後的由九個不同擦拭接觸部分組成的穩定狀態。接著擦拭接觸開始，接觸電阻的下降用以作爲擦拭接觸效力的衡量。接觸電阻的穩定狀態指示在接觸幾何形狀、正壓力等因素組合下，灰塵覆蓋表面上之有效力的擦拭接觸。

首先考慮 50g 接觸受力量(圖 6.18)。半球形狀的情況沒有顯示僅僅是實施接觸受力就足夠擦拭掉灰塵。當擦拭接觸開始後，大多數樣品的電阻經過幾 mil 的擦拭接觸後會迅速降至穩定狀態。橢圓形的狀況在轉移灰塵方面沒有如

此有效力。擦拭接觸的效力是邊際性的，只有一些樣品達到了一個穩定的電阻值。對這個有點奇怪的結果，一個可能的解釋是，橢圓形在擦拭接觸方向上的長度導致在端運動過程中，端子在灰塵上有上有下的滑動。圓柱形顯示出很差的擦拭接觸效力。

在 50g 的接觸受力上，半球的擦拭接觸效力看起來是很好的，在擦拭接觸區域的 0.010 範圍裡達到一個穩定狀態。橢圓形的擦拭接觸的效力是邊際性的，圓柱形是沒有效力的。

如預計的一樣，120g 接觸受力可以觀察到同樣的趨勢(圖 6.19)，但性能有所改進。橢圓形的性能也有所提高。事實上，在 120g 接觸受力的幾個樣品中半球不用擦拭接觸動作就移走灰塵。在所有的例子中，擦拭接觸的開端導致接觸電阻實際上迅速下降到一個低穩定電阻值。橢圓形的性能同樣也得到了提高，在許多樣品中在擦拭接觸時電阻固執地有所變化。圓柱形也改善了，但仍然在邊際的情況最好。

6.5.1 總結

這些數字核實了這樣的預測，即擦拭接觸依賴於接觸力各接觸幾何形狀。增加了的力和較尖銳較有穿透性的幾何形狀產生較高的擦拭接觸效力。然而由於較尖銳幾何形狀而提高之改善必須與由於磨損痕跡的位置而產生的損耗之可能性來平衡。另外，如 Antler 所述，接觸幾何形狀對產生和保持接觸面之穩定性能有不同的影響，尤其是對在錫鍍層而言。

6.6 耐久性

在第二章中我們曾討論過接觸正壓力與耐久性的關系，其可簡要概述爲接觸正壓力決定接觸區域及與此相關的表面損耗程度。大體上，隨著接觸正壓力的升高，耐久性將下降。正壓力的逐漸增加將使磨損機理發生變化。在應力較小時，摩擦損耗佔主要地位。當正壓力較大時，就會出現稠密的磨損，並且磨損速度將明顯變快。機械磨損速度的加快與接觸區域的增大和冷焊點的強度增加均有關。在 Bowde 和 Tabor11 中曾經介紹過，載荷變大將導致冷焊區域變大，強度增加，結果使其強度大於基體強度。在這種情況下，物料塊的內部會出現問題，將出現更大的磨損塊，這將使損耗過程加快。機構從

摩擦到磨損的轉換的載荷取決於表面的潤滑狀態，隨潤滑效果好而增加。

必須指出影響耐久性的其他接觸設計原因。例如，接觸區域的分布取決於接觸面的形狀，並且因此而產生固定的磨損痕跡。結合過程中預設的接觸長度也會影響耐久性。接觸正壓力和耐久性這種相互依賴使得難以準確給出二者的關系。所有的接觸面形狀和接觸動力對於確立耐久性能都很關鍵。

摘自 Mreczkowski12 的一個例子闡明了接觸正應力和接觸面幾何形狀的相互作用關系。該研究中所采用的物料系統是由不銹鋼球軸承組成，這些軸承具有 0.75 μ Co-Al 及超過 1.25 μ Ni 的鍍層。圖 6.20 和 6.21 爲一些研究結果，圖 6.20 爲接觸面形狀不變時不同正壓力之情況，而圖 6.21 爲正壓力不變時改變幾何形狀之情況。

在討論結果之前，先依次簡要說明一下實驗程序。圖 6.20 中，每個磨損痕跡均由經過大量不同磨損周期的片段組成。獲得具有大量磨損周期的單個痕跡的方法是在一定的周期數目給定之後改變磨損痕跡的長度。換句話說，250 個周期後的磨損痕跡長度要比前一個 250 個周期的要短，而再過 500 個周期就更短。這樣做僅僅是估測，長度的變化影響結果並非很可信。

由圖 6.20 可知接觸面形狀不變時，磨損隨正壓力增加而加劇。50 克和 100 克正壓力的磨損痕跡很淺，200 克和 400 克正壓力的磨損痕跡隨時間的增加從較淺的區域開始而轉變爲較寬較稠密的磨損痕跡，，這種轉變是由循環壓力、循環疲勞應力累積所產生的，這些應力最終導致鍍層的破壞並改變磨損機理。在 600 克壓力(這個數目對於金鍍層是相當高的)下，稠密的磨損痕跡在第一個 250 周期就可以觀察到，隨之而來的是在更長磨損時間裡的一系列的破壞。這當然是意料之中。當正壓力增加時從磨擦轉變爲磨損。

圖 6.21 與上類似，但產生的原因不同。這時，載荷及由此產生的摩擦是通過改變不銹鋼球的直徑而得到的不同結果。現在回顧一下第二章，增加正壓力的結果是引起接觸區域和冷焊的增加。在幾何形狀上集中載荷也會取得相似的結果，因爲總的接觸區域取決於應用載荷。正如 Willamson 和 Greenwood 13 所述的集中載荷分布會得到少數但較大較牢固的斑點。圖 6.21 則示出了較尖利的幾何形狀將會加劇稠密的磨損。

圖 6.20 和圖 6.21 所示也說明了接觸正壓力與接觸幾何形狀的相互作用關系。這種相互關系使人想到運用接觸壓力，該方案將在下一節中講到。

6.7 赫茲應力與連接器性能

1989 年，Kantner 與 Hobgood 根據業界經驗提出赫茲應力可以提供一與連接器性能有關的參數。Mroczkowski 與 Fluss 提交了對此提議的鑒定。爲理解此提議與鑒定，有必要作一簡單的總結。

6.7.1 赫茲應力

1881 年，赫茲提出了用於計算兩接觸物體接觸面上應力的模型。此模型假定有如下特徵:

＊ 光滑平面內的點接觸

＊ 與表面尺寸相比，接觸面可近似認爲一點

＊ 彈性變形

＊ 無摩擦

在這些假定條件下，赫茲推導出許多計算接觸應力的公式，適用於多種幾何形狀接觸表面。一簡化的球面對平面公式就可滿足本節討論的需要。

$$\sigma_H=[F_n * (E/D)^2]^{1/3} \qquad (6.7)$$

在這裡，σ_H==赫茲應力

F_n==爲所施加的外力

E==楊氏彈性模量

D==接觸區域半徑

此公式包括材料性能參數Ｅ、接觸區大小參數Ｄ及接觸力大小的設定參數Ｆ，上述幾項都是獨立變化項。

6.7.2 赫茲應力的理論"有效性"

赫茲公式用於分析彈簧的性能，並且上述的假定與此項應用有一定的關聯。但對於連接器插接，情況大不相同。如第二章所述，端子接觸面可以被認爲是宏觀接觸區域的許多小的接觸點。假定此描述成立的說，則假定１不成立，但接觸的宏觀尺寸可以滿足假定２。因爲獨立的接觸點很小，它們在標準法向力情況下就產生塑性變形，因此假定３不成立。假定４也是不成立的。出現這麼多理論上的問題，赫茲公式看起來好像不適用於連接器。拋開

理論上的難題，只考慮其基本思想是否可以提供某些指導。

Kantner 與 Hobgood 介紹對於複數柱狀端子所采用的最小赫茲應力值爲 150，000psi(磅/平方英寸)，此情況下，外力、連接器的典型尺寸及典型連接器材料的屈服極限都被賦予很高的值。對於高值赫茲外力(的產生)的理解存在兩個方面的限製：較小的外力與凹凸不平的接觸面幾何形狀，較大的外力與較平緩的接觸面幾何形狀。考慮這兩個極限是如何影響連接器的三個重要特性參數——接觸抗力、疲勞強度及抗腐蝕能力。

・赫茲應力與接觸抗力

假定端子接觸面宏觀尺寸可以被認爲一獨立點，則接觸抗力的 Holm 公式可以表示爲：

$$R_{contact} = \rho / d \qquad (6.8)$$

這裡， $R_{contact}$==接觸抗力

ρ==材料抗力

d==接觸區半徑

從赫茲應力觀點看，d 是重要的參數。用較小的外力與凹凸不平的接觸面將產生"高"的接觸抗力，因爲接觸面積相對於較小的外力會很小，同樣直徑相對於較小的半徑會很小。相反由較大的外力對較大的接觸面積將提供高應力和高應力分布區。換句話說，對於給定值的赫茲應力所產生的接觸抗力的大小依靠如何得到此赫茲應力。

・赫茲應力與疲勞強度

從參考文獻 12 中選取的圖 6.22 對於接觸疲勞強度同樣適用。每一疲勞軌跡曲線都顯示了相同的計算赫茲應力---115000 psi，一個比最小推薦值小得多的值。很清楚，如 6.5 節所討論的，疲勞行爲也依賴於接觸法向力與接觸面積對赫茲應力交叉影響。

・赫茲應力與接觸腐蝕

接觸面腐蝕之接觸抗力的理論分析是基於從參考文獻 12 中選取的圖 6.23。圖中所示兩接觸面處於相同的赫茲應力下，圖 6.23a 爲較小的外力與凹凸不平的觸面幾何形狀的情形，圖 6.23b 爲較大的外力與較大的接觸面積。原則上，由於兩個原因，圖 6.23a 中所示的接觸面較圖 6.23b 中所示的接觸面更容易腐蝕。第一，腐蝕性氣體必須經過一段較小的距離到達接觸區域。第二，

金屬接觸區域更小並且流動的更快。從上述可以看出，接觸面對於腐蝕的敏感性與通過何種方式達到定值赫茲應力有關。

・總結・

茲應前述的討論揭示了赫茲應力並不是連接器性能的良好體現者，因爲認識到雖然定值的赫力對於連接器的三個主要特性－接觸抗力、疲勞強度及抗腐蝕能力有著顯著的影響。連接器特性對於設計變量的敏感性已經在上一節的實驗研究中被著重強調了。

6.8 關於連接器設計/材料與連接器性能的實驗性研究

1990 年 Eammons 等人提出了一種饒有趣味的、稱之爲“微型系統連接器接頭穩定性測試”的研究。在此研究中，種種商用的微型系統連接器，其重要的樣品尺寸，會受到其所處環境即預先模擬成的工業應用環境中的那種混合流動氣體的製約。在其影響下的端子阻抗的變化被作爲一連接器穩定性的衡量尺度，10mΩ的變化量習慣上作爲是失穩的標準。此研究涉及到許多傳統設計/材料的變化及它們對連接器性能的影響這些要考慮的方面。這其中的有些資料在下面的部分會有概括。

6.8.1 孔隙率

如第三章中所討論的，孔隙率是端子老化的潛在因素，這是由於在無遮蔽的底層金屬上，其氣孔處會受到氣體的腐蝕。在前面研究所提及的環境下，其應該會促使氣體的腐蝕就象腐蝕的遷移或蔓延那樣。圖 6.24 和 6.25(說明書 18 中的圖 16 和 17)從兩個角度表示了孔隙率和性能之間的關系。在圖 6.24 中，孔隙率是用外觀上至少含有一個氣孔的樣品的百分率來確定的。例如，那些圖中突出顯示的數據點給出的是關於孔隙率的測試，進行測試的連接器樣品，將其暴露於氯蒸汽中，結果其 80%的端子外觀部位上至少有一氣孔。關於其穩定性，連接器樣品經驗定顯示近 99%的端子其阻抗的變化小於 10mΩ。這裡要注意的是：隨著孔隙率百分比的增加，穩定性會趨於減弱。一些高孔隙率百分比的樣品顯示，其阻抗變化均沒有高出前面所說的 10mΩ。此結論強調了前面關於孔隙率是一潛在的引起機構性能降低的因素的闡述。

以在每一端子上的氣孔數這個角度來考慮孔隙率（如圖 6.25），正如我們

預期的那樣，其結論更是否定的。然而仍有一些多氣孔的端子樣品，將其暴露於混合流動氣體中，其經針對於孔隙率所謂“降低”作用的嚴格測試，仍顯示其具有良好的性能。

爲什麼孔隙率不像預期的那樣被認爲是有害的，圖 6.2（說明書 18 中的圖 13）中的資料給出了其一個原因。這些資料圖解說明了用連接器的絕緣本體作端子接觸面的屏蔽的有效性，這正如第 1 章所說的。關於暴露於上述測試環境中的相配合的連接器組及連接器對的半邊連接器的測試資料也在此給出來了。暴露的插頭其受影響下降最大，正如預期的那樣，因爲在多數情況下端子區域會直接地暴露於該環境中。暴露的插座其受到的影響較少，這只是由於端子深入在絕緣本體內，屏蔽效果成熟。而相配合的連接器組其具有良好的性能。換句話說，絕緣本體的設計對處於腐蝕性環境中的連接器的穩定性有重要的影響。

6.8.2 端子常態力和赫茲應力

在這篇研究中，認爲端子常態力與赫茲應力是設計變量.圖 6.27 和圖 6.28(Ref.18 的圖 18 和圖 19)對這一注意很感興趣.當力或赫茲應力獲得高的結果時，所有的參數顯示性能得到了提高.不管是 100g 的力還是 150.000psi 赫茲應力在輻照下的保護特性，但是數據並沒有顯示每個參數的臨界結果.當認爲高壓力和高赫茲應力對耐久性及配合力有反面效果時，權衡和最適宜的重要性與設計參數的臨界結果相比就得顯而易見.這正是 Ref.18 結論所揭示的.

6.8.3 研究結論

引自 Ref. 18，研究的結果獲自於商業連接器系統的顯著變化.它們不能顯示性能，材料性能的傳統測量與機械設計參數之間的明確關系.這不應被解釋爲說明，當前規範或設計操作應當修改.就是說，它的解釋意味著變量之間的聯系是非常複雜.換句話說，理想上它應該是有差別的設計準則.連接器所面對的應用環境與性能要求的變化支配著設計/材料選項的獨特評估與既定申請的權衡.

6.9 總結

這一章從幾個獨立的方面評價了一些主要的設計思緒，重點是端子常態力和形狀以及它們對連接器的重要工作性能的影響，如機械穩定性、配合力、耐久性及端子保持力.有關對連接器設計的討論及對連接器性能的實驗室評估闡明了端子力、端子形狀和應用要求是高度地互相影響的自然狀態.連接器設計/選擇要求考慮許多複雜的相互作用，對材料和設計的選擇，對連接器重要工作性能如機械穩定性配合力耐久性端子保持力的權衡.這樣的思緒以及對端子最小常態力要求的考慮，從而得出的網狀結果可以通過重複先前的陳述作一個總結.

簡單地描述，並不是簡單地量化.連接器在機加工以及操作環境高溫條件下，常態力要求是被保持端子接觸面平直要求所決定的。

相似的注釋同赫茲應力或實際上任何最適宜的端子設計/材料參數是有關系的。連接器的應用環境以及所發揮的功能會區分性能要求、設計/材料選項的重要影響、權衡特定應用的最適宜性的優先次序。

第七章　永久性連接概述

正如在第一章所討論的，使用連接器的主要原因在於，出於組配、維護、輕便和/或改良的目的，在兩個電子次系統之間提供一個可分離的連接。除了可分離連接，對於被連接的次系統，連接器往往還包括永久性連接。這些連接被稱爲永久性是因爲一般情況下它們只連接一次。由於這個定義，它們不需要考慮結合要求間的權衡，比如耐久性和結合力這些在可分離接觸面上爲主導的考慮因素。正如將要被談到的，這種自由允許以較大的力和變形來機械永久變形。

有兩種基本的永久性連接：機械方式的和冶金方式的。機械方式連接是在端子上一個特殊設計的部分和與其直接或間接連接的次系統間建立和保持一個金屬接觸區域而形成的。如在第一章討論的，機械方式連接包括卷曲式，棄皮式，壓入式和包覆技術。卷曲和棄皮是線連接，而壓入和包覆連接是與印刷電路板(PWB)，或者是采用直接方式(壓入)或者采用間接方式(包覆連接)。

冶金方式的永久性連接的形成是通過一個液體媒介在接觸彈性部與次系統之間形成一個金屬接觸面。冶金方式連接包括低溫焊、銅焊和高溫焊連接。低溫焊和銅焊用一個中間媒介(焊料或銅)來產生液體。高溫焊連接是通過直接將接觸彈性部與所連接的元件熔化來形成的。

永久性連接將在這一章以及接下來幾章進討論。在這一章里，將回顧對

機械方式永久性連接的一些基本要求。在第八章將要討論導線與接頭的材料與結構問題，其重點是它們如何影響機械方式永久性連接的形成。第九章將對導線與接頭的機械方式永久性連接進行討論。在第十章將進行 PWB 技術的概述，對於印製電路板的機械方式與低溫焊方式永久性連接將在第十一章討論。

7.1 對於機械方式永久性連接的要求

在可分離接觸面上，必須考慮對於機械變形和作用力的限制，這是因爲它們對結合力與磨損的影響，然而正如所提及的，這些並不適用於永久性連接。這樣較高的作用力與變形度可以被引入到永久性連接中來。然而變形與接觸電阻、機械穩定性等性能特點之間的權衡必須又一次被考慮。由於這種連接是“永久性的”，它們也可能反而在電氣和機械方面比可分離連接遇到更爲爲苛刻的要求。由於機械方面的要求，期望永久性連接會在組裝與/使用期間承受較高等級的機械壓力是不切實際的。這種可能性使得對於變形權衡的考慮更加重要。對於接觸電阻的要求，無論是大小還是穩定性，也可能變得更加嚴格。

這些問題將會在以下對於永久性連接的基本要求的上下文中有討論。

*緊密的/足夠的接觸區域

*“氣密性的”接觸面

*機械穩定性

*得到控制的變形

對這些要求逐一進行詳細的考慮。

7.1.1 緊密的/足夠的接觸區域

出於在第二章所討論過的原因，對於緊密接觸區域的要求對建立一個金屬接觸面來說是一個基本的要求。只有通過在一個足夠的區域里建立和保持一個金屬接觸面才能保證接觸電阻的低穩定值。電阻的大小取決於所建立的接觸區域的大小。接觸電阻的穩定性取決於保持在所處的應用環境里金屬接觸面的完整性。

對於可分離接觸面，所述接觸區域沒有被賦予特別定量的值。相反，曾

經被提到過的是，組成表面接觸區域的粗糙分布應該包含足夠數量的粗糙端子，以此來保證分布的產生好像是整個表面區域在進行。這種形爲是因爲這樣一個事實，即如在第二章討論的，所有的粗糙端子在電性上是平行的。

對於永久性電阻，這里有兩個針對接觸電阻或接觸區域的經驗法則。對接觸電阻，一個準則是永久性連接電阻應和導體被連接的等效長度的電阻是同一個數量積。這種要求在一個碾壓連接上不費吹灰之力就能目測到，在這個碾壓連接上碾接桶的長度尺寸被定成“等效長度”。對於“接觸區域”，根據以下 Whitely 的理由，有時假設一個與導體被連接的面積相等的區域。如果這個“等效接觸區域”的要求滿足了，連接中被擠壓部分的電阻將達到一個最小值。圖 7.1 以圖示的方式解釋了在一個圓導體和一個金屬塊之間的連接，對於圖 7.1 的考慮可以理解這些理由。如果整個導體的橫截面與金屬塊相連接，在導體中的電流就不會被擠壓了。在這種條件下的擠壓電阻由公式

$R_{擠壓} = \rho / 2d$ (7.1)

其中 ρ =金屬塊的電導率，因爲擠壓僅發生在金屬塊上

d=導體的直徑

這是在這個幾何形狀里可得到的最小擠壓電阻。

如果碾接桶的厚度被認爲足夠可以使電流完全傳播，則考慮使用被近似爲這一相同幾何形狀的碾壓連接。如果足夠的接觸區域產生在導體和碾壓桶之間，導體/碾接桶的結合近似出導體和金屬塊的結合，因爲在導體上不發生擠壓。這是接觸區域設計目的基礎，這個接觸區域與導體橫截面相等的---最小擠壓電阻在這個區域內產生。其它的接觸區域可以提高接觸面的機電穩定性，但對於電阻的大小僅有很小的影響。

7.1.2 "氣密"的接觸界面

"氣密性"是用來描述接觸面本身的要求的，其通常的含義是要求接觸界面具有一定的抗腐蝕能力。依據上述描述，接觸面被認爲可以封堵氣體的進入，尤其是腐蝕性氣體.氣密性一般可通過以下試驗來證明校驗：將連接器外露於周圍環境中，而在這種環境中用於製造這些連接器的材料的表面會產生斑點或者失去光澤.如果接觸面保持沒有污點情況，上述試驗便證明了它的氣密性。這些要求並不會直接影響連接器的性能，而僅僅作爲抗腐蝕能力的一

個指數一種指示，當然，這種抗腐蝕能力對於保證接觸電阻的穩定是一個重要的考慮因素。

7.1.3 機械穩定性

在可分離連接中，機械穩定性是指連接器在應用載荷作用下防止移動而保持接觸界面穩定的能力，這些應用載荷是連接器可能面對的震動/沖擊或熱膨脹失調這兩種典型的應力。這種穩定性的要求對於減小磨損及減小腐蝕物的潛在影響是必需的，上述腐蝕物位於接觸界面上或其周圍。

在永久性連接中，一般來講，機械穩定性的要求要比可分離連接嚴格得多，原因是永久性連接器更易於濫用。例如，線纜的碾壓式連接部分可以直接拉長從而承受一定範圍內的拉力。而能夠實現的機械強度則取決於連接技術和連接器的整體結構。絕緣座的拉緊及定位的特點可以顯著地增加機械強度和永久連接的穩定性。這些特點對於應用 I.D.C(瞬時動作的偏移控制技術)技術的連接器來講尤爲顯著。

7.1.4 變形的控制

對於變形的控制的要求就是對以下二者之間的權衡：要求保證最小接觸電阻的接觸區域和要求具有足夠機械穩定性的接觸區域。這種敘述類似於可分離連接中關於最小正壓力的論述。在這種情況下，接觸電阻由於接觸面積的增大也就是變形的增大而變小.然而，較大的變形會減少導體的橫截面，這將降低連接器的機械強度。因此，在機械永久變形連接的過程中必須控製變形量。這種要求被稱爲個體連接技術。

7.2 焊接永久連接

爲便於全面理解，有必要就焊接永久連接作一些說明。當然，焊接永久連接也需要考慮接觸電阻和機械穩定性的要求。不過在這種連接中焊點的尺寸決定其性能.而焊點的尺寸和幾何形狀又取決於焊接技術和連接器本身的設計.通孔和表面粘著技術在這兩個方面都存在著明顯的差別，本書第十一章將對此作簡單說明。在連接器發展日益小巧的趨勢下，焊點及其性能(尤其是負載時機械強度和塑體變形度的性能)變得越來越重要。關於這一部分的詳細

說明讀者可以參考這方面的相關資料。

7.3 總結

對於機械永久連接的要求可以概括爲：這些連接和被連接的相同長度的導體而言，在接觸電阻的大小/穩定性和機械強度方面應該是相同的，或者說接近相同的，這種要求等於再一次強調了在第一章中曾經提到的永久性連接應該是線/纜或印刷電路板到它們所連接的實體的延伸。

第八章　電線與電纜

電線與電纜這兩個用詞很常見但卻不容易區分，根據 IEEE 的定義，電線是指導電體加上可有的絕緣體，因此一根露的電線與一個導電體是等同的.當然，電線的電氣連接點是導體製成的。這些連接點的終點操作在卷曲和遮蔽之前或在絕緣體挽置時，絕緣體會被移動。

電纜有兩種常見類型：對電線提供機械保護或便於電線處理的複選電纜，如加套和帶狀電纜；與傾向於提供特定的電氣工作性能的電纜，如防護傳輸線或同軸電纜。當然有些電纜構造混合了全部優點，如圖 8.1 所提供的電纜就是例子。圖 8.1a 顯示了一個雙層外套的導體電纜，圖 8.1b 顯示了帶狀電纜的形態結構。這些電纜並沒有提供很好的電氣工作性能。圖 8.1c 和圖 8.1d 所示的電纜提供了這些優點，圖 8.1c 所示的防護傳輸線狀電纜控製了阻抗，和非傳導性的材料一樣用於空間和導體直徑受到限製的地方，環繞在電纜周圍的防護套可保護其不受電磁干擾。圖 8.1d 所示的同軸電纜利用不同的形態結構提供了同樣的好處。

這一章根據用途和特性來組織，提供了電纜材料，構造和工作性能方面一個總的看法。它們同如同卷曲一樣形成固定的機械邊結和絕緣替代邊結發生聯系，更多的電線和電纜的細節討論可從 Refs.1-3 找到。

8.1 導體

當然，導體的功能是在兩個電氣系統或電系統之間提供一個傳導的路徑.

導體通常是金屬，這樣可以利用金屬固有的高導電性及機械強度與製造方面的優點，導體可以由兩部分組成，導體的基體金屬及在許多情況下可以提供防蝕保護或特定工作性能的末端或外套。每一部分都認爲是分開的。

銅是在導體廣泛應用的金屬，這是因爲它在導電性，成形性和價格上擁有不可比擬的組合優勢。其它的導體材料包括有銅合金和鋁，之所以選擇這些材料，是因以它們在導電性，拉伸強度，重量和成本方面的組合特性，使之作出應用決定，因以這些因素是非常重要的。

末端包括錫，銀和鎳，末端的選擇主要是依據在溫度，頻率和細節方面的應用要求。

8.1.1 銅

銅易於延伸，從而有廣闊的形狀範圍，能提供在安裝方面必需的柔韌性，能應用於各種不同的要求.導體直徑的較高限製是由柔韌性要求來決定的，較底的限製則是根據電線的拉伸強度的降低來變化，通常是一些製造或處理方面的原因。通過一些普通的方法(如機加工或焊接)得到的銅導體的終點是明確可信賴的。銅常被用來退火或快速回火，這樣會對拉伸強度，導電性和易彎曲缺點帶來的電阻產生重大原影響。

8.1.2 銅合金

銅合金用於對拉伸強度有應用要求時，但它通常會造成導電性能的降低，即便是低含量合金，高強度合金的例子包括銅-鎘合金(C16200)和鎘-鉻-銅合金。合適的導體合金的選擇是一項複雜的工作，包括了對成本，重量，導電性，治金性及終點工藝需求的適宜性的考慮。8.1 節包含了對電線和電纜中應用的銅合金的電氣性能與機械性能的編輯，電氣特性可以用兩種方法列出：根據Ω/cm 的材料電阻和國際退火銅標準所規定的導電性，即 IACS 的百分比。

8.1.3 鋁

鋁有良好的導電性與較輕的重量，但是與銅相比，其較難接到終端上.。這些特性使得鋁應用在對於重量減輕要求比較嚴格的地方，例如航空、汽車等行業，然而對於終端連接技術的發展給予了較強的重視。鋁及鋁合金的一

些電氣與機械性能在表 8.1 中已給出。

從終端連接角度來看，導體鋁連接終端有困難歸結於兩個原因。第一，鋁的表面形成致密的氧化物保護膜，導致連接終端的許多焊接及機械方面的工藝問題。焊接需要在焊錫與表面有難去除有氧化層的金屬導體間形成金屬間化合物。氧化層由於其厚度與附著力會影響機械電連接。第二，，鋁對於潛伸是敏感的，潛伸-材料在壓力下的流動-此因素在設計機械連接工藝時必須要考慮到。這樣就需要在鋁線端頭處存在一彈性體，使得在金屬流動時其殘余應力可維持連接的穩定性。

鋁有低的疲勞強度與有限的彎曲能力。這些負面特性限製了鋁導體的應用。鋁導體應用最廣是在大功率輸電線、地下電纜及高空電纜(高空線纜中有鋼製增強線芯)、內部連通和 buss bar。

8.1.4 導體鍍層

銅導線通過涂、電鍍或包覆幾種金屬來增加其對於腐蝕及升溫的抵抗力。絕大部分金屬是錫、銀及鎳。錫與銀爲銅提供保護，當某處不可避免地出現高溫及影響絕緣性的情況，從而導致銅的絕緣性能下降與銅的腐蝕。鎳基本上用於提高抗高溫性能。

錫鍍層提供抗腐蝕保護是由於第三章所討論的錫自身限製氧化的特性。錫也能提高端頭性能在焊接方面，因爲錫是焊料的一部分，在機械式永久連接中，如第三章所討論的，卷邊與 IDC 存在較容易的氧化物轉移，增大了所需要有金屬接觸表面。鍍錫導體被應用在許多商業設施，但與 bare 導體相比有價格上的損失。然而，錫的高電阻率限製了其在低頻設施上的應用，這些低頻設施其表面效應可以忽略。表面效應是指隨著電流頻率的增加，導體中電流會靠近導體邊緣流動。

相比之下銀用在高頻設施上是有利的，它的高導電率增加了導體的導電性。銀在同軸導線及線纜設備中屬於普通導體鍍層，因爲它有價格較高。

鎳能提高銅導體的抗高溫能力通過其直到 250℃ 時的氧化保護膜。鎳鍍層對於焊接與機械連接端頭的簡便性均會產生負面的影響，盡管此兩影響可通過適當的處理得到解決。

8.1.5 導線的結構

導線是由單束或多束純金屬絲組成，或者由成束的導體組成。每一種組成都有其優點和缺點。

“實心導線”. 實心導線比起搓合導線來，成本低並且在相同的橫截面上體電阻較低。較低的電阻再加上較高的熱導性，使實心導線對於給定的導線尺寸有較高的額定電流。但是它們的撓性和抗彎曲性不高，在脫剝絕緣體時，要比搓合導線更易受到損壞。實心導線表面上的一個刻痕或擦痕，經過持續受力可以傳到整個橫截面，從而導致導線的損壞。對於搓合導線，這種損壞只局限在受損壞的單個導線中。

“搓合導線”. 搓合導線的應用主要是跟實心導線相比，它們出眾的撓性及抗彎曲性。這些益處得益於用在一個導線上搓合結構，在圖 8.2 和圖 8.3 中展示了這樣一些導線。

搓合結構中束狀搓合與繩狀搓合在複雜性個不一樣。在束狀搓合中，所有的導線被當成一個單位，在單獨一股的相對位置上沒有任何控製(圖 8.2a)。束狀搓合導線呈現了最高的撓性，在製造中可能會也可能不會進行螺旋式纏繞或是捻合。在很多種搓合結構中，一個中心導線被外面的導線層所包覆(圖 8.2.b)；在這種結構中，每一層的線股數增加六個。在用於高股數的繩狀結構中，單獨導線股被多導線束所代替，這些導線是以相似的結構束狀搓合成的(圖 8.2c)。

圖 8.3 是所選擇的同心導體之結構示意圖：（a）單層（b）等邊層（c）完全同心分布。由 AMP 公司提供。

成束的金屬成同心的排列方式，如圖 8.26 所示，可以通過層和另一種層區分。如圖 8.3 所示，若導線在加工時是彎曲的，那也能曲分。在單層結構中（圖 8.3a）導體層只有單一的間距。在等邊的結構中（圖 8.3b）導體層也只有單一的間距。但是導體層在扭曲的方向上是交替變換的。在完全同心結構中（圖 8.3c）導體層扭曲的方向和間距，每一層都有不同。

導體層每一層的間距和方向都變換是爲了導體間相互距離和導體的全部尺寸及穩定性。單層結構最具有柔韌性但控製導體的穩定性和尺寸的能力最差。完全同心結構控製所有要素的能力最強。顯然，這種尺寸控製包含面本的增加，更複雜的導體結構只有在成本劃算時才用。增強尺寸的控製能力

對於計劃發展電纜在 IDC 的應用特別重要，這正如第 9 章所述。

成束的結構對柔韌性和電阻也有影響。例如減小層間的間距，結果柔韌性降低，但電阻卻有提高，這是由於導體的彎曲了導線的總長度。

成束的導體可以由一層能夠包覆整個導體長度的錫鉑外被將其捆在一起。如果此種外被用在預先包有錫鉑層的金屬導體束中，這稱作雙外被的銅。如果在裸銅導線中，則稱作具有頂層外被的銅。這種做法稍微經濟些。所有敘述表明了柔韌性減弱以及由於振動和機械濫用而更易折斷的趨勢。其也展現了更強的尺寸控製能力，以及導體位置在導線中更加穩定，這兩點能推動 IDC 的進程。

8.2 絕緣

導線絕緣有機械和電子的功能，各自的主要性取決於應用的場合。絕緣的要求也有變化，取決於電線或電纜應用是否須考慮。除了以上因素，絕緣體的化學和熱學穩定性也要著重考慮。這些特性自然是取決於絕緣體的材料、結構及尺寸。各式各樣的高分子材料被用作電線和電纜的絕緣體。

8.2.1 機械考量

電線和線纜絕緣體的機械性能要求是能避免導線磨損以及減小導線的使用應力。絕緣體的材料特性，即硬度、抗拉強度、剛度和磨擦系數會影響其使用性能。對於單線，僅因其導線的尺寸和數量與線纜不同，其承受的機械應力一般比線纜小，因此將對線纜的機械性能比對電線作更重要的討論。對於小規格電線，絕緣體主要是承受搞拉應力。

對於永久性機械連接，絕緣體的機械性能可以從多方面進行討論。對於卷邊連接，可重複且可靠地剝去導線上是一個側重點，而對於絕緣體斷層連接（IDC），當電線插入絕緣體斷層連接（IDC）的狹縫時，絕緣體的斷層處於臨界狀態。這將在第九章討論。

8.2.2 電的考量

根據使用的頻率不同，電線與線纜的電性絕緣可分爲兩類，一是低頻絕緣，其乃通常所說的絕緣，以確保導線間或設備的導電元件間不會產生短路；

一是高頻絕緣，因其絕緣性能會影響信號的傳播和電線及線纜本身的阻抗而使其顯得比較重要，這將在往後的第十二章進行討論。這些性能取決於絕緣體的非導電性系數和尺寸參數（猶指厚度），在高頻領域，泡沫絕緣體通過其間夾雜的空氣可降低非導電性系數，故多用於提高信號傳播速率。

8.2.3 化學/熱量的考量

化學考量包括清潔劑的穩定性、高溫氧化、除添加劑的氣體和易燃物，絕大部分的這些材料特性取決於材料的生產。熱量考量包括溫度對絕緣體的硬度和伸長性或彎曲性的影響，以及焊接時短時間高溫輻射的穩定性。由於這些影響主要由聚合體結構決定，亦即主要由材料決定。

8.2.4 絕緣材料

根據絕緣材料的用途，可將其分爲基本的兩類：一級絕緣和二級絕緣，其中一級絕緣直接裹住導體以提供電性絕緣，而二級絕緣以覆被的形式存在，可提供線纜內部導線以機械保護並有助於電線操作。據此用途對它們的要求是相似的但側重點不同。圖 8.4 表示一個具有所說的一級絕緣和二級絕緣的帶覆被線纜的例子。由於絕緣材料的種類很多用途很廣，在此僅選擇數種材料進行說明。

一級絕緣：主要一級絕緣材料包括聚乙烯胺（PVC）、聚烯烴和氟化碳化氫，其中聚乙烯胺（PVC）於商業和低頻運用領域佔有優勢，而聚烯烴和氟化碳化氫，尤其是其泡沫型號多用於高頻運用領域。

聚乙烯胺（PVC）：到處存在的聚乙烯胺因其具有合理的價格和可由多種製程獲得的優良整體性能而興起，製程材料可是 50%的可塑劑和添加劑，可形成一系列不同的柔韌度、強度和耐磨度，另外，一些 PVC 絕緣體爲提高耐磨度而采用放射性交叉連接，PVC 具有很強的非導電性和絕緣性，但非導電性或電容性損失限製了它於高頻領域的運用，盡管 PVC 常用的操作溫度範圍是-20℃至 80℃，但據其製程其可於-55℃至 105℃的溫度範圍內操作。

聚烯烴：其包括聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）和這些材料的共聚物，通過改變 PE 聚合體的密度可獲得不同的 PE 絕緣性能，其高密度和低密度成品均被廣泛使用，低密度聚乙烯（LDPE）是一種強度大韌性好的聚合體，其具

低非導電性系數，這使它很適於高頻運用領域，尤其是以泡沫形式進一步減小有效的非導電性系數，高密度聚乙烯比 LDPE 具有更高的耐磨度和強度以及與 LDPE 的最高常用溫度 80℃相比其可承受到 90℃。

氟化碳化氫：用於一級絕緣的三種主要氟化碳化氫分別是聚四氟乙烯（PTFE）、多糖鐵（PFEP）和聚乙烯胺（PVDF），與前述材料相比，所有這幾種材料具有更廣的溫度適用範圍以及強導電性能和機械特性，然而這些優點的獲得是以材料成本和製造成本的提高爲代價的，這使得它們僅用於需要特別高性能的地方。

表 8.2 總結了這些一級絕緣材料的一些主要性能，這些所給計算結果是公稱值，製造者於製造過程中可能會發現實際獲得的數值與這些數值相差很大。

8.2.5 二級絕緣材料

下面材料主要用於線纜的二級絕緣或作覆被用，有時在一些場合它們也可能是大尺寸導線的一級絕緣。

聚二氟氯乙烯：聚二氟氯乙烯（說其商標「合成橡膠」倒更熟悉些）可用不同的製程生產以適應不同使用要求，和 PVC 一樣，其聚合體可包括 50%的添加劑以促進交叉連接和提高機械特性，該添加劑包括增強劑、增塑劑、防老劑和硫化劑，聚二氟氯乙烯具有很多優良機械特性，尤其是硬度以及作爲防燃劑和耐油抗腐蝕性。

聚乙丙烯橡膠：聚乙丙烯橡膠（EPR）是一種具良好電與機械性能的聚烯烴共聚物，另外，它能適應不同天氣以及不被酸鹼和其他溶劑腐蝕。

聚胺酯：聚胺酯的熱塑塑料和合成橡膠常用作覆被材料，聚胺酯的電性能不足以用作一級絕緣，但其機械性能，尤指抗拉和防震，使其成爲很好的機械絕緣體，當給小直徑導線提供很薄的絕緣時，聚胺酯也可用來作一級絕緣。

熱塑橡膠：熱塑橡膠（TPES）具有提供材料性能和加工性能的塊狀共聚體結構，以使其成爲一種有用的覆被材料，TPE 具有良好的低溫彈性、低而穩定的非導電性系數和很好的伸長特性。

尼龍：用不同的製程可產出性能相似的尼龍，尼龍的優點包括低摩擦系

數、高強度和耐溶劑，而缺點在於吸收水份和降低線纜柔性。

表 8.3 總結所述二級絕緣材料的一些特性。

8.3 導線及電纜的製造程序

導線及電纜的製造程序已達到一種高科技與自動化的成熟水平，使之能夠高品質低成本。所有目前高產的技術及設備都是持續運行工作，許多還有聯機操作控製及品質測試。

8.3.1 導線

對導線的綜述是從原料開始的。壓倒性的選擇的銅，有時攙入合金以提升機械性能。通過在合適的退火階段反覆通過拉絲模，使得原料被拉成想得到的導線尺寸。

對於特殊應用的導線根據不同的需要，可一個或多個地進行絞線。當需要較大的彎曲耐久性與減小的成型力時，如前面所討論過的，以一個很小的成本損失，可在一個很大的絞線方式範圍裡建立相等的橫截面，即相等的載流量及電阻率。

8.3.2 絕緣體

大多數導線絕緣本體是采用射塑成型，一種可適用於較大範圍尺寸，形狀及材料的低成本方法。這種方法的操作具有很高的速度及很好的控製能力。裸露的導線，或者導線束，從塑模的中部被送過。在一個汞的作用驅使下灼熱的塑膠以包圍狀通過模具，從而使呈現的導線完全被絕緣體包覆。多個導線可以被送過一個特殊形狀的模具以產生多心電纜。這樣，射塑過程即將導線進行了絕緣又把這些導線固定在一個預設想要的布局上。射塑成型僅能采用熱塑性的塑膠。因爲這個原因，這種方法趨向於使用在有溫度限製要求的低成本產品上。不象其它方法，射塑成型對橫截面的形狀沒有限製。因此，射出的絕緣體要被仔細地檢測它的同心性以及最小壁厚。

一些成型用塑膠隨後進行處理以提高其熱性或抗磨損性。用後射塑技術以提高初級絕緣體的例子是熱或電子的(注：此處原書中有遺漏)梁部通過浸或是攪的方法與次級絕緣體進行聚合物的交連和涂刷。應用別的一些涂層可

以改善其抗磨損能力以及提高它的介電能力。

在射塑成型中一個重要的製造考慮是成圓率或是導線或是導線束直徑的一致性。不一致的導線很難通過射塑成型以覆蓋持續一致的絕緣厚度。絕緣厚度在多導線電纜中尤其重要，爲了達到它的最好控製，采用同心搓成或是實心導線是比較令人滿意的。不一致絕緣本體厚度的影響可在扁平線纜的寬度上被積累並且使終接過程變得複雜，尤其是對預加了 IDC(棄皮連接)的連接器。

另外絕緣導線的方法是浸入涂層、絕緣帶包覆以及編織。浸入涂層的方法所用的聚合物是可在一種溶劑中溶解的，以產生一種所謂的“光澤面”。一旦包覆在導線上並且干燥，這種聚合物能夠產生聚合交連或是凝固以提升其抗熱及抗化學性能。用以進行浸入涂層的聚合物包括聚酯、聚　亞胺及聚氨基甲酸乙酯。除了操作控製容易和低成本外，浸入涂層的主要優勢包括產生被控製的薄絕緣體的能力，以及對於焊接的可適應性(因爲薄絕緣體被焊接熱量氣化)。浸入涂層對於實心導線最有效力，因爲提取一種可在搓合導線上產生無孔絕緣體的載溶劑是很困難的。

對於諸如聚　亞胺和碳氟化合物這樣性能高，不可溶或是不可擠壓的電介質，絕緣帶包覆是一種常用方法。在這種應用技術上，包覆絕緣帶以螺旋方式包在導線或是電纜上，隨後進行熔合，或者不然進行粘合以形成絕緣層。絕緣帶包覆能提供很細(0.02mm)但具有良好介電能力的，一致的絕緣體。

編織絕緣體同樣包括多個螺旋包覆絕緣體，在表層/底層的進行包覆的方式中一般用纖維面不是絕緣帶。各式各樣的材料(包括綿布和亞麻布)和編織方式被用於商業用導線中。編織的絕緣體被射塑外皮套入或是被包覆，比如是橡膠以獲得更好的抗磨損能力，加附標誌以及提升加工特性。當玻璃纖維被應用時，能獲得極高溫度性能的絕緣體。

8.3.3 遮蔽

金屬罩因爲兩種原因被應用在被絕緣處理過的導線上。第一，該金屬罩可能只是一個遮蔽體，用以接地和防止外部的電磁干擾。除了防止外部電磁干擾外，該遮蔽體也用以控製內部的電磁輻射，如果聽任這種電磁從電纜上發射出去，將對別的導線或設備產生干擾。

第二，遮蔽過的電纜會產生一個得到控製的阻抗(一種同軸電纜的情況下)，以提升其在高頻應用中的的電特性。遮蔽同軸電纜的橫截面在圖 8.5 以圖解方式闡明。所有的同軸電纜都是被遮蔽的，但不是所有的被遮蔽電纜都是同軸的。，對於這兩種結構，同軸電纜的由於在同心度與尺寸長度上有更嚴格的公差面與被遮蔽的電纜有所不同。

8.4 專門用途電纜

每一種導線和電纜都有一個唯一的成本、機械及壽命要求。當一種應用產品變得足夠大時，這些要求就達到一種普遍的情況，導線的形式就被稱爲“專門用途的”。這些專門用途包括工作溫度，絕緣和導體類型，電纜結構以及可能的用途。這種類型以及它們的大多數關鍵性的性質，其典型例子在下面將給出。

8.4.1 軍用

這一種類的特點是，在惡劣環境條件諸如高溫低溫、彎曲、輻射和機械壓力下的承受能力。導體，一般是銅，上面有鍍層以提升其磨損能力。絕緣材料將經過挑選以提供高水平的化學及熱的穩定性，和機械保護與支持。導線尺寸應用在所有範圍裡。

8.4.2 電氣方面

電氣方面的應用包括家用電器。這種應用一般有高電壓(110/220V)以及從幾安培到幾十安培的較高的電流。這些考慮影響著電絕緣體的必要厚度和導體尺寸。成本是也是一個重要的因素，各種射塑成型的乙烯基和聚乙烯成分被用到。一些電氣方面的應用有焊接，而機械式連接在一些應用上佔主導地位。卷曲式連接在永久性連接技術中佔主導地位已經有很多年了，因爲大多數應用用的是分離導線，但是 IDC 的應用卻穩步增長，使分離導線被扁平電纜所代替。

扁平電纜使用的增多得益於幾個原因，其中有改善了導線的加工、消除了接線錯誤、節約了空間，以及應用 IDC 技術達到的多線端接能力，所有這些使得製造成本得到降低。

兩種總的扁平電纜類型是帶狀電纜和扁平撓性電纜(FFC)。帶狀電纜一般通過一些方法由圓形的導體構成，這些方法包括射塑成型、碾壓及編織結構，而 FFC 電纜一般是采用一些技術通過將碾壓過的銅導有聚合物包覆構成的。圖 8.6 提供了帶狀和 FFC 電纜的例子。這種電纜被用在電氣方面，主要是帶狀電纜，像在兩個部件間的跳接線，以及在應用中有撓性要求。

8.4.3 電子設備

由於需要傳輸大量的輸入／輸出信號，在電子設備中線纜的運用遠超過單根電線的運用，然而，許多電子設備運用需要考慮電子特性，如串音干擾和可控阻抗，這也是多觸點的需要。

當線纜裡並聯導線傳輸信號時，環繞導線周圍的電磁場會影響相鄰的導線，從而產生串音、在接地導線有不需要的信號或相鄰電線信號失真的現象。

當信號頻率增大，線纜和連接器作爲傳輸線必須把可控阻抗作爲重要考慮，要藉阻抗不重合和聯合信號反射使信號振幅衰減最小化，可控阻抗是必要的考慮。

串音和可控阻抗將在第十三章作更詳細的討論，本章僅討論一些有關線纜結構方面的內容。

串音．據使用頻率需要，串音保護可有多種方式，一些用以減少線纜串音的常用技術包含:

* 物理分離
* 雙扭線
* 編織屏蔽
* 覆帶屏蔽
* 封閉屏蔽

有效的物理分離：僅取決於減小的電磁場力的倒轉正方形規律。當空間夠用，物理分離是有效的。但隨著導線間距持續降低，現代的設計限製了這種技術的運用。

雙扭線結構：通過簡單兩根電流載線彼此相互纏繞即可實現。這種簡單的結構可以抵消一部分圍繞導線的磁場，從而減少相鄰導線間的干擾。然而，一個更有效的方法是分隔導線間的信號，並轉化它們的極性，創造一對平衡

線，以使該兩導線的磁場很好的抵消。雙扭線和隔離相鄰邦導線之屏蔽雙扭線都能提供可接受電氣性能直至頻率達到數兆赫甚至數吉赫。

編織屏蔽：好的標準度量導線於絕緣體上被子以不同的形狀編織，經由編織的絕緣體覆層取決於怎樣進行編織的編織導線的規格。編織屏蔽限製了其最大頻率通過編織導線間的縫隙。當適用頻率增高，電磁場能通過編織導線的縫隙泄漏出來。正改良的編織覆層具有一負面影響於線纜的彈性，這可能也會限製它的使用。

覆帶屏蔽：導電帶（常用金屬化的麥拉）通過一些覆蓋重疊被纏繞在絕緣體上，比起編織覆層得到巨大改善，多數帶層提供改良性能以更高的成本，隨成本增加，性能得到更多的改善。

對於很高的頻率，即使覆蓋提供的是優良覆層，那也是不夠。在這種場合使用封閉屏蔽，封閉屏蔽很難製成導線以及終端密封。這限製了它們用於最大性能需要的場合。

可控阻抗：在這討論中，電子設備使用的線纜局限於那些頻率很高且必須作爲傳輸線的線纜。在這樣的運用中，同軸線纜作爲考慮重點的例子。圖 8.5 所示爲下面討論提供參考。兩個性能參數起主要影響作用：即傳播速度和線纜特性阻抗。傳播速度對應信號傳輸速度，而特性阻抗從電力傳輸的觀點看對有效偶合電力和減小反射波是很重要的。

對這些參數一般有兩種表達關於線纜結構的。

傳播速度 VP 如下式所示：

$$VP= \varepsilon -1/2 \qquad (8.1)$$

其中 ε 爲絕緣體的非導電性常數。

特性電阻 Z0 如下式所示：

$$Z0=60\ \varepsilon\ 1/2\ln(D/d) \qquad (8.2)$$

其中 ε 爲絕緣體的非導電性常數

D 爲外層導線的內徑

d 爲內層導線的外徑。

該兩參數取決於絕緣體的非導電性常數。特性阻抗還取決於幾何參數。

絕緣材料顯然是很重要的。低非導電性常數從信號傳播的觀點看是很重要的。這就是爲何泡沫絕緣常用於發揮空氣低非導電性常數的優勢。

控製配合公差需要也是重要的。在式 8.2 假設其兩導線是同心的，並且Ｄ和ｄ的變化會影響特性阻抗。由於小型化持續降低線纜規格，公差配合控製變得愈加重要。導線規格影響另外一個參數即信號衰減。小導線比大導線承受更大的衰減（日電阻性衰減）。正確的線纜選擇唯一取決於應用需要。同樣的裝置將用到不同的可控電阻或傳輸線線纜，例如圖 8.7 和 8.7a 所示的天線線纜、圖 8.7b 所示的微波傳輸線線纜和圖 8.7c 所示的雙股線纜的可控阻抗結構。

8.4.4 汽車

在嚴重的環境和需求成本的壓力下，熱性能和機械將汽車電線和線纜分爲單獨一類。趨向於用於電池和負載間的電線具有很粗的導線，可降低溫度壓力，下罩運用例如點火導線和傳感引線會暴露在外界高溫。（150℃是正常需要）和高機械應力，特別是搖擺和振動。在這樣的場合卷曲式連接會變形。乘務室運用有低電壓和環境需要並趨向於帶狀線纜和 FFC 線纜以易於製造。

8.5 電線和線纜的選用指標

關於線纜選用指標的一些問題，對於高頻運用前面已給出。對於低頻運用，其他指標更加是相關的。如：額定電壓、最大電流和額定溫度。

電線或線纜的額定電壓主要由絕緣導體的非導電性、耐壓和它的厚度決定。然而，對於高壓運用，必須考慮幾何參數即可能會導致電暈放電。

電線或線纜的額定電流總體由額定電流產溫升來決定。這樣的話，額定電流取決於焦耳熱，其變化如式子 I2R，因此，取決於導線阻抗，而導線阻抗主要取決於導線材料和尺寸以及幾何上更小的延伸。電流容量隨著導線橫截面的增大而增大。然而，對一給定的橫截面積，平形或方形的導線比圓形具有更高的電流容量，由於較多的熱量更易散發，而對影響電流的溫升產生相關的影響。

散熱也取決於絕緣體的材料和厚度，沿著線纜的衰減或電壓點取決於同樣的因素。

8.6 總結

本章提供對電線與線纜材料、結構和運用的總體概述，細節內容請參閱參考 1.3。

第九章　電線和線纜的機械永久連接

本章將回顧兩種機械永久連接技術：卷曲式連接和棄皮式連接(IDCs)。卷曲連接用來連接單個電線或從線纜結構中分離出來的離散的電線的。IDC 技術則主要應用於單個工具製造過程(tooling stroke)中扁平線的大量的連接(mass termination)中。這兩種技術將分別予以討論。

9.1 卷曲連接技術

卷曲連接是將要討論到的技術中最古老的一個，它可以追溯到十九世紀四十年代。卷曲連接要求一個卷曲的連接系統，其包括：

*導線

*端子

*卷曲工具

卷曲連接技術出現之後，對於這樣一個系統的需求變得十分明顯(apparent)。

圖 9.1 示出了卷曲連接的一個橫斷面。由提示可知，該橫斷面包含了卷曲連接技術的基本原理。(note 未做翻譯)所有的導體束在其他導體束或卷曲桶作用下都發生了變形。這些大量的接觸面積包含了金屬接觸面，而這種金屬面對於產生低接觸電阻是必需的。接觸面完整性的維持是通過對包圍導體束的卷曲桶的變形的控製來達到的，以達到建立有壓縮力(compressive)的殘余應力的分布。這種變形是由導體和端子的尺寸及卷曲工具的幾何形狀決定的，

這就是卷曲系統爲何如此重要的原因。

圖 9.1 所示的卷曲連接是由圖 9.2 所示的手工卷曲工具完成的。圖中所示的卷曲連接的橫斷面及卷曲工具可以追溯到 1941 年。注意(note)卷曲工具具有兩個向內彎曲(machined into the tool)的不同的卷曲 dies，以接收該工具爲電線所設計的兩種不同的尺寸。對於兩個導線尺寸中的任何一個，兩個 dies 對於確保導體/卷曲桶進行適當的變形是必要的。卷曲系統的每一部分都將予以分別討論。

9.1.1 導線

本節討論的重點在於：爲達到較佳(properly)卷曲操作所需的特殊導線的準備要求。

由於卷曲連接的大部分是由束狀導體形成的，以後的討論中將假設(assumed)這種導線的結構。實質上，有兩種要求：選擇卷曲端子所用的適當的導線尺寸，以及從導線上剝去適當長度的絕緣皮以露出導線且不會破壞導體束。導體束的損壞包括導體束的緊縮、斷裂和帶狀導體束(stranded conductor bundle)的磨損、張開(splaying)。維持導體束的完整對於確保所有的導體束在卷曲過程中被卷入(capatured)卷曲桶內很重要。導體的束狀結構對於卷曲技術來講並不重要，而其在就要討論到的 IDC 結構中卻起著重要作用。控製棄皮長度以確保只有導體進入端子的卷曲桶內。如圖 9.3 所示的例子，這些要求在卷曲連接的檢測標準中很重要。

大多數卷曲端子都設計成可以接收兩個或三個不同的電線尺寸.卷曲工具／過程必須考慮選擇電線尺寸以保證變形得到控製，這種控製對於 repeatable 卷曲連接是必需的.

9.1.2 卷曲終端

卷曲終端有兩種主有形式：開口圓筒和閉合圓筒。圓筒，更準確是指卷曲或金屬絲卷曲形成的圓筒，它們在卷曲過程中供電線插入和並示在導體周圍成形的終端形態。圖 9.4 包括了閉合和開口和圓筒形卷曲終端，並顯示了對應和電線插入操作。

它們的不同點是明顯的，閉合圓筒形終端要求電線沿軸向插入，開口圓筒形終端則是垂直插入。這種不同點導致了開口圓筒形終端的操作速度有明顯的提高，因爲它供電線插入的區域比較大，而且垂直放置比較容易實現。開口圓筒形終端廣泛應用於自動卷曲過程，閉合圓筒形終端也用於自動設備，但通常比例很小。閉合圓筒形終端通常在半自動設備中當作中空片使用。這兩種類型在手動曲操作時都有應用。

它們在製造過程中也有一個不同點。開口圓筒形終端通常沖壓成型而成，反過來說，閉口圓筒形終端有好幾種製造方法，但沖壓成開型還是常用的方法。機加工製成的閉合圓筒形終端被指定用於軍事或空間天體中，沖壓成形和機加工所得到的閉合圓筒形終端如圖 9.5 所示。在圖 9.5a 所示的沖壓成形得到的卷曲圓筒在成形時產生了一條縫隙，這可能在成形或焊接後下來。而如圖 9.5b 所示的機加工卷曲圓筒就沒有這情況。

根據應用要求卷曲圓筒可能裸露或鍍有錫，鎳或金-鎳。在卷曲圓筒的未端鍍錫是比較常見的，尤其是在商業領域。這樣的未端對卷曲圓筒終端的基體金屬上的銅合金有保護作用，如同經過相同的機械設備使卷曲過程變得容易一樣，這已經在第三章對端子的未端和分開的連接點講述過。

有關卷曲終端的附加提高值得注意：塑膠支持或夾緊，閉合卷曲終端的前端絕緣。

塑膠支持圓筒(圖 9.6)的功能正如它的名字所提示的一樣準確。使塑膠支持圓筒變形，圍在電線的周圍，塑膠伸出來長的部分被剝落，去支持或夾緊，以及提供了相等的應變荷，尤其在小型電線方面塑膠支持和可以加強拉伸強度一樣，在高震動環境下可以極大地提高卷曲連接點的性能。

在閉合卷曲圓筒終端，塑膠支持圓筒通常是卷曲圓筒的延伸，而在開口圓筒終端看起來則是分開的情景。分別如圖 9.6a 與 9.6b 所示。在這兩情況下，塑膠的支持與卷曲通常和電氣/機加工卷曲一樣用同一種工具製造和沖印。塑膠支持的卷曲端與電線圓筒的卷曲端的不同之處在於塑膠支持的卷曲端僅僅是去包住電線，而不會產生如導電端子卷曲端結構造成的同等變形。圖 9.7 典型地顯示了這兩種結構在導體變形方面的區別。還需在指出的是對於開口圓筒終端其塑膠支持的曲端形狀有好幾種設計，包括圖 9.8a 所示的折層狀和圖 9.8b 所示的包覆設計。

雖然有些開口圓筒設計可以提供易於裝配的優點，在閉合圓筒結構中塑膠前端卷曲成圓筒還是比較常見。重要的是，塑料絕緣體通過不同的方式接觸終端，並對絕緣體進行卷曲操作。當然，這要求絕緣體的材料有足夠的延展性來應付卷曲過程的變形。絕緣體的一個重要功能是在應用的連接點中區分開短路卷曲的連接點與其它卷曲連接點或系統中的導體元件。

9.1.3 卷邊工具

卷邊系統的最後一部分爲卷邊工具。存在相當多的各種卷邊工具以滿足各種不同應用的需要。工具包括從簡單的手工工具到自動機械，它們用來測量所需導線長度、剝掉所需長度的絕緣皮，以及每小時卷 4000 個接頭 [with a 3 in (7.6mm) lead lengeth]當監視卷邊過程、卷邊力和在連續基礎上的卷邊高度。

圖 9.9 中提供了開放式柱狀接頭的卷邊過程。如前述，裸導體從上部插入開放式柱狀接頭以利用其大的目標面積。對於封閉式柱狀接頭，導線的聚集和導引發生在軸向－最一般的是用手。實際上，卷邊工具的作用是確保裸導體在卷邊筒中的正確位置並且控製導體與接頭的變形以保證卷邊連接的永久性。變形的控製依靠導線及接頭的正確對接、工具尺寸、工具動作的控製－特別是壓罰機的閉合高度。

卷邊尺寸在諸多設計中存在，其值爲實際應用值或商業上所說的推薦值。例如，圖 9.10 中所示的開放式柱狀接頭卷邊尺寸廣泛地應用在 white goods 和其它商業應用方面。這個尺寸被稱爲 F－卷邊，因爲在卷邊的過程中，將未成型的卷邊筒被折彎、卷曲、壓入導線中。也許應該叫做 B－型卷邊，因爲它更類似過程的幾何形狀。

軍事或航空上四凹槽或四－八型凹槽型卷邊來檢驗用機器卷邊的接頭的品質之優劣。圖 9.11 表示了在接頭處的四－八型凹槽卷邊，並插入了一幅通過四個凹槽部分的橫截面圖。如圖示，四個獨立的凹槽可以成一條直線，或者每一組凹槽相互偏離爲 45℃。圖 9.12 表示了 W 型卷邊，還有其它許多不同封閉式柱狀卷邊的橫截面圖。

9.1.4 卷邊系統總結

多年卷邊連接的經驗顯示，可大量生產且安全的接頭依賴於卷邊系統的每一個組成部分：導線、接頭及工具。在爲導體範圍和卷邊工具考慮的設計中，適當長度的導線對於卷邊的永久性來講是必要的。對於卷邊筒與卷邊工具的尺寸與公差的控製，必須在沖壓／成型以及卷邊過程中獲得。如 Whitelyd 1964 年提出的：好的卷邊不是隨便發生的－它們是設計出來的！

下一節將討論支持卷邊過程的一般機械裝置。

9.2 卷邊過程的一般機械裝置

下面的關於卷邊機械的討論，來源於 Whitely，將說明控製導線和接頭變形的重要性及這種變形對於卷邊連接的機械與電特性的影響。

9.2.1 在卷邊過程中卷邊連接的特性及變形

圖 9.13 與圖 9.15 表示了導體／接頭的變形與卷邊連接的某些電及機械特性之間的一般關系。圖示的電與機械性能曲線的形狀及相對位置具有代表性，曲線的每一個細節的變動與卷邊系統有著很大的關系－特別是導體的尺寸與材料及卷邊工具的幾何形狀有關。此討論的目的在於將變形與卷邊期間所形成的性能建立一普遍意義上的聯系。

9.2.2 卷曲式連接的機械性能

首先考慮機械性能和變形的關系，其中機械性能是通過卷曲式連接的拉伸強度來監控的。一旦導線上的卷曲圓管（crimp barrel）開始變形，導線內部的導體束（conductor strands）與該卷曲圓管間的磨擦力就會增大。即（在彎曲變形開始起）該拉伸強度的值會因這些被增大的磨擦力而降低。

在卷曲過程中，導線的變形會導致其橫截面的變形，且會導致導體束和卷曲圓管在長度方向上被擠出。在發生磨擦時、發生變形時及接觸表面金屬區域的形成過程中，前述兩種情況（即橫截面的變形、導體束和卷曲圓管在長度方向上被擠出）均會導致接觸表面薄膜的破裂。正是由於一根根的導體之間及導體與卷曲圓管之間，在它們接觸時所形成的前述接觸表面金屬區域，因而產生了機械接點（mechanical junction）。拉伸強度會持續增大，直到該變形導致總的橫截面面積的減小量低於原導體橫截面面積的減小量，這時

拉伸強度減小（因爲原面積保留了計算中的參考數據）。圖 9.13 中給出了隨著拉伸強度升到最大值的過程中變形的情況。

卷曲式連接的拉伸強度值與變形前的導線有關，其因導線尺寸的不同而不同。典型的是在導線快要斷裂時的強度值。圖 9.14 給出了一些導線尺寸的典型數值。圖 9.14 還給出了一些依不同工業標準而對卷曲拉伸強度作出的要求。

此處對拉伸失敗的機理作個說明。一般說來，卷曲變形低於拉伸強度曲線最大變形值時，該卷曲式連接會在導線分開時失敗，而卷曲變形高於拉伸強度曲線最大變形度值時，該卷曲變形又會導致導體的斷裂。如歷史所記錄的，早期卷曲習慣於在機械曲線的斜上方，從而緩解用戶所擔心的卷曲過程會“切斷”導線裡的金屬絲。分離的失敗說明這種切斷並沒有在卷曲式連接中發生。

9.2.3 卷曲式連接的電氣性能

如圖 9.15 所示，卷曲阻抗監控的電氣性能相對於變形的曲線與機械性能相對於變形的曲線有非常明顯的不同。二者最大的區別在於很大一個範圍內的變形對應的彎曲阻抗變化很小，即所謂有一個較寬的“平台”（plateau）。

關於可分離界面，正如第二章所述，卷曲連接阻抗和變形的關系建立在諸多接觸面上，這些接觸面電卷曲圓管和導體形成。在變形的初始階段，接觸面積很小，與那些可分離界面相似，它將隨著金屬結合數量和範圍的增大而增大。在卷曲阻抗相對於變形的曲線中，該曲線的“平台”類似於如圖 2.3 所討論的接觸阻抗相對於正常接觸力曲線中的“平台”。如圖 9.16 所複述的，當有足夠數量的金屬接觸面積產生以至接觸阻抗已由接觸界面的全部分布的區域所決定時，接觸阻抗的“平台”就產生了。對於卷曲式連接也可做類似的說明。

一旦導體束與卷曲圓管之間的金屬交接處達到足夠的數量和面積，則導體對管的結合就形成了。至少在電氣上是一同一性質的物質了。當這個條件實現後，導體不再發生收縮，如第七章所述（圖 7.1），在卷曲阻抗中的寬域的平台反映了這一條件。如果有附加的接觸面積產生，超過了爲使卷曲連接在電氣上表現出同一介電性所需的面積，根據建議的模式，這將對卷曲阻抗

的大小產生一些影響。這種模式有其局限性，（嚴格地說，同一物質的假定就是不確定的）這顯然是由於隨著變形阻抗會稍微地降低的緣故，這意味著隨著變形接觸面的這種同一介電性會在其邊際上（marginally）持續得到改善。

這並不是說增加面積在聯結的電氣穩定性方面沒有好處的。顯然，附加接觸面積的產生將提供過剩和保護，以防止在腐蝕中或機械振動中接觸面積的減少。然而，繼續變形將導致橫斷面的減少，那正如有關於拉伸強度的討論，以及還將伴隨著卷曲連接阻抗的增加。

還有一點需要說明，一般來說，電阻的最小值所對應的變形（通常很高）與導致最大拉伸強度的變形不一致。

9.2.4 卷曲變形和卷曲高度

圖 9.13 和圖 9.15 的變形尺度涉及到導體和終端的綜合變形的面積指數面積指數是指卷曲後的橫截面積與卷曲前電線及 crimp barrel 的原始橫截面積總和的比值，它通常用一個百分數來表示。由經驗可以得知， 當面積指數在百分之 65 到百分之 85 範圍內時，其可以提供符合機械及電氣要求的最佳工作性能。一個好的面積指數是建立在卷曲系統組成部分基礎上的，工具的類型都可以產生影響，例如自動工具與手動工具。在有些情況下，當電氣工作性能比機械強度要求更爲重要時，這種特定的要求使面積常數被限定在範圍內的較低值，從而在劇烈變形下充分利用加強的電氣性能。

當卷曲連接點的形狀由電線/終端/工具綜合而確定時，面積指數受到卷曲連接點的高度的控製和監視。圖 9.17 顯示了一個典型的卷曲高度的測量方法，卷曲高度和其它卷曲操作參數一起在 9.4.4 節討論。

9.2.5 變形的總結

圖 9.13 和圖 9.15 是下列關於導體/終端在決定卷曲連接性能方面作用的總結的圖形說明。卷曲操作在芯線內許多股之間及 crimp barrel 之間產生了許多金屬接觸面，已經在第二章討論過的這些金屬接觸面包括能使卷曲連接點的機械與電氣牢固性的冷焊點。當進行卷曲時，導體的終端會產生接觸和摩擦動作，從而造成表面變形，使得表面之間相互有機地流動，並最終導致表面薄膜的分解，這很容易產生冷焊過程。這裡常討論一個問題就是卷曲連接點

的堅固性結果與表層薄膜(或表層平面)的分解及這些薄膜在冷焊過程中的影響的變異的不同。一般來說，爲得到合適的機械連接而采取的變形要遠大於爲達到很好的電氣工作性能而必需的變形，盡管在進行很大的變形時會產生最小的電阻值　正如所提到的，這種額外的變形可以提高連接點的導電性能。

9.3 卷曲連接變形，冷焊及殘余應力

根據上述可知，金屬接觸區域以及它們對電氣及機械性能的影響方面的發明背景主要考慮卷曲連接。在應用中，當連接點受到外力時，卷曲連接點的性能便依賴於金屬接觸區域的完整性。這種影響會帶來兩種不同的現象，金屬接觸區域的發明的實現需要靠已在第二章中所揭示端子表面的嚴格結構的冷焊來實現。分布在卷曲連接點的合適的殘余應力使保持冷焊點的完整性變爲可能。各個相互聯系的獨立的冷焊點很小，因而其強度也受到限製。當所有的焊點能保持其受到的力時，它們的整體強度就很巨大了。殘余應力通過使冷焊連接點一起發生作用可以實現卷曲連接的這種性能，爲了理解殘余應力及殘余應力對卷曲連接的作用，仔細地去了解卷曲過程中變形的機理是必要的。

9.3.1 卷曲過程中的變形機理

從簡單的觀點來看，芯線束和 crimp barrel 在卷曲時其直徑及長度方向都發生變形。在變化過程中，直徑方向變形的結果是，芯線束的橫截面從圓形變成了先前圖 9.1 所顯示的變形形狀，由於表層薄膜的分解從而暴露出的完全新的表層，在這種導線束結構變化的變形過程中輔助產生了冷焊。芯線束之間及芯線束與 crimp barrel 之間存在著力及微量位移，這些新的表層產生了期望的冷焊。

長度方向變形的結果是導線沿 crimp barrel 長度方向延伸的結果，這些變形的同時會產生冷焊，因爲接觸區域的表層薄膜會延伸及分解並產生了新的自由表層。

這些可能在設計時就存在的同樣的變形特性可以使期望的殘余應力之分布得到改善並能保持冷焊點的完整性。當卷曲變形結束及拿走製造工具後會

產生回複彈性，利用它可以控製殘余應力的分布。由於在卷曲時產生了大量的塑性變形，因而通常有一個變形的彈性組成部分，其在變形後拿走治工具時會生回複及回彈。這兩點機械特性在很大程度上決定了卷曲連接的性能，當然它們也可以獨立地去考慮。

9.3.2 冷焊

如第二章所討論的，冷焊發生當金屬表面十分接近以致於在接觸的表面形成原子鍵來提供相互的粘著力。由於這些原子鍵，金屬表面膜會被破壞和轉移。前述討論的徑向與軸向的變形產生這種破壞。冷焊可能是由於此種原因而產生的。在卷邊連接過程中的冷焊連接已經被 Labonney 注意到並由 Mroczkowski 與 Geckle 所檢證。

在參考文獻 4 中，論證了冷焊可以通過記錄在導體和導體與卷邊間之間的材料轉移來驗證。如此的轉移要求其表面與原始接觸表面分開，這被認爲表明了連接形成於相互接觸的材料之間，而不是基體金屬上，如第二章所討論磨損過程。爲了論證卷邊過程中的轉移，以銅與銀導體的複合導線被卷邊，運用標準的接頭與工具，卷成一黃銅卷邊接頭。在此系統中，轉移的機會存在於銅、銀及黃銅之間。參考文獻 4 中給出了許多冷焊的例子，其中的一個例子就已經夠了。圖 9.18 中顯示了銅和黃銅對於銀導體的轉移。之所以這個例子被選中是由於它顯示出了較硬材料(銅與黃銅)對於系統中最軟部分(銀)的轉移。此項例子表示出冷焊確實在卷邊連接中發生。這樣就順序地驗證了所要求金屬接觸表面的存在。

9.3.3 殘余應力

如前面所提到的，殘余應力的作用是維持在外加載荷作用下冷焊處的穩定性。殘余應力卷邊筒／導體所組成的系統之徑向與軸向變形所產生。圖 9.19 大略地表示了這些應力，盡管真實的應力分布要比圖中所示複雜的多。徑向與軸向的殘余應力的大小與分布有很大不同，這可能是由於不同變形運動所導致的。

盡管在卷邊過程中導體與卷邊筒都會產生塑性變形，但變形中也存在彈性的部分。卷邊連接之殘余應力是卷邊工具移走後卷邊筒與導體在徑向及軸

向的不同彈性回複或回彈所產生的結果。

在徑向，當卷邊筒發生彈性回複時產生殘余應力分布，在自由狀態，卷邊筒比導體的回彈量小一些。如果是這樣，則卷邊筒會產生對導體的壓力以保持冷焊處完整與協作性。理論徑向殘余應力分布依賴於材料性能，特別是彈性模量與屈服彈度，以及卷邊筒的幾何形狀。卷邊筒的幾何尺寸和其厚度都對回彈性能有影響。導體的回彈由導線的尺寸和其股數決定。

軸向殘余應力比徑向殘余應力更容易解釋。軸向應力由於導體與卷邊筒的相互擠壓而產生。當卷邊力移除後，導體與卷邊筒將產生彈性回複。再次，理想條件是卷邊筒的彈性回複比導體小。在這種情況下，有一個附加的設計選項可用。卷邊工具可以設計成鋸齒狀，所謂的 Bell-mouth (如圖 9.20 所示)通過由鋸齒產生的高值磨擦力來限製導體的回縮。這就在 Bell-mouth 處位於導體與接頭之間產生了一個殘余應力。

在卷邊中的殘余應力的計算很複雜，涉及彈性變形、高值磨擦力和複雜的幾何形狀。然而，隨著有限元模型程序的應用能力在不斷增強，模擬簡單卷邊連接和卷邊過程已成爲可能。Mroczkowki、Gecklet 和 Ling 直接 address 模型的殘余應力。圖 9.21，是參考文獻 5 中的第 15 圖，表示了卷邊連接中殘余應力的存在狀況。最低的等應力線代表的應力值爲 4000psi。這些應力通過卷邊連接模型的變形計算得到，根據當卷邊筒和導體移走後發生的回彈模型。計算應力由兩種回彈量不同所獲得。這些應力的大小與位置以及相關的殘余應力，依賴於前述卷邊筒與導體的特性，也包括卷邊的幾何形狀。

因爲其複雜性，所以只有在卷邊中須保持冷焊的完整性時才會去創造一些殘余應力，這一點是須特別聲明。圖 9.21 顯示了在卷邊筒中壓縮殘余應力的分布。在 bell mouth 附近的殘余應力如預期的一樣，得到了前述的磨擦效果。

9.3.4 卷曲變形和卷曲連接性能的總結

卷曲連接在電和機械方面的性能取決於對導體和卷曲桶的變形的控製。變形的控製是卷曲系統的一個結果：(a result)導體，卷曲桶和卷曲工具。在變形過程中，產生的微小的冷焊金屬結點提供了導體和卷曲桶間的電導率。冷焊也提供了機械強度，不過有利的(favorable)殘余應力分布對於確保冷焊的機械完整性是必需的。殘余應力的分布也取決於卷曲系統。

9.4 卷曲連接的其他考慮因素

除了上面所述，卷曲連接在設計和應用方面仍有一些影響因素值得考慮。

9.4.1 卷曲桶的鋸齒狀凸起

卷曲桶內 incorporating 鋸齒狀凸起爲卷曲連接中提高冷焊和機械穩定性提供了一種可能。鋸齒狀凸起是一些卷曲桶內小的壓痕(indentations)或者皺痕(corrugations)。圖 9.2.2 示出了卷曲桶內的鋸齒狀凸起。源自 Ref.4 的圖 9.23 說明了導體到鋸齒狀凸起的流動模式。該微觀照片是通過小心地打開卷曲連接並將導體束移出而得到的。進入鋸齒狀凸起的導體束的變形顯而易見。在變形過程中，導體束被固定於大量鋸齒狀凸起的內部，這提高了卷曲連接機械穩定性。

鋸齒狀凸起同時通過提供一個邊緣(edge)也提高了冷焊工藝(process)，在這個邊緣上，導體被磨損，這促進了 film disruption 且將作用力集中於鋸齒狀凸起/導體的接觸面上。

由經驗知鋸齒狀凸起可以明顯提高最初的卷曲電阻(表現在冷焊的增強)和卷曲連接的長久性能(體現在增強機械穩定性上)。

9.4.2 "沒有空隙"的卷曲連接

卷曲連接的橫斷面的 Optical evaluation 有時被指定(specified)爲一個與卷曲連接等效的 monitor，其具有一個平常(common)的要求，那就是卷曲連接應該是沒有間隙的，也就是說在導體之間或導體與端子之間都沒有間隙。這種要求趨向於保證兩種卷曲特性：氣密性和足夠的接觸區域。事實上，卷曲連接的兩項要求中任何一項都不需要滿足沒有間隙這一點。如果那些可能存在於卷曲區域的空隙不被互相連接，氣密性就將存在。A full area contact，from the contact interface perspective， will be obtained at deformations far less than those required to create a voidless crimp.

9.4.3 焊接卷曲連接

爲了提高可靠性，卷曲連接有時會采取焊接方式。事實上，焊接會降低

已經 properly 的卷曲連接的性能。這種降低可以是焊接溫度的影響，也可以是焊接熔液清理不當或者在導體上產生焊接芯帶來的影響。

在焊接過程中不可避免地暴露於高溫使得導線絕緣部分遭到破壞，同時也是因爲銅導體和焊料間過量的金屬間化合物的產生，這些化合物可以使連接變得脆弱。焊接芯使得在震動下具有高韌性、高穩定性的大量導體束成爲液體。這降低了所述的操作性能。如果腐蝕 fluxes 是用於促進焊接的，那麼它們必須被清理掉以防殘余 fluxes 引起卷曲連接的腐蝕。因此，卷曲連接的焊接方式並不被推崇.

9.4.4 卷邊連接檢驗

卷邊連接可用三種方法進行檢驗：

* 目測
* 卷邊高度測量
* 卷邊連接推力

卷邊連接目測標準如圖 9.3 所示，在這裡重複如圖 9.24 所示，標準既針對電線也針對整個卷邊連接。

電線標準包括電線的剝皮長度和剝皮的導線在卷邊套的位置。之些要求趨向於確保剝皮導線全部穿過卷邊套（超過卷邊套）沒有絕緣體在卷邊套裡（電線和絕緣體在卷邊套和絕緣柄之間可見）。低效插入導線和在卷邊套裡夾雜絕緣體都會影響加工變形／動力學，也因此影響卷邊性能。

開口需要能增加縱向保留殘余力以及增加相同摩擦力下的卷邊連接推力。

卷邊高度測量可視爲卷邊加工的參照物，其基本原理是假設卷邊系統不變，從而確定卷邊連接達到的變形量。卷邊高度測量過程如圖 9.17 所示。當測量值直線上升，應對細節加以注意，因爲卷邊高度公差可能是 0.01 in（0.254mm）那麼小，對於卷邊高度的選擇，提倡用伸出卷邊套的長度作爲加工參照。類似的不同方法可以將卷邊高度用於這道工序。

卷邊連接的推力是對完整連接的另一種測量。然而，推力是一個破壞性測驗，僅用作次要加工參照。圖 9.14 所示包含一些推力需要以供參考。

9.5 卷邊連接和材料考量總結

可重複、可靠的卷邊連接取決於卷邊系統:

* 電線
* 卷邊終邊
* 卷邊設備

卷邊系統的重要性在於其能通過導線與卷邊套間微冷接合部控製卷邊過程中的變形以產生一個金屬接觸面，並產生一個適當的保持力以確保使用應力下冷接合部的完整性。

適當保持應力分配的產生取決於材料和設計，這是由於卷邊套／導線系統的回彈取決於材料性能，如彈性系數和屈服極限，也取決於設計參數，如面積指數和卷邊幾何形狀。

9.6 斷層連接（IDC）

第二種電線／線纜永久連接技術是斷層連接（IDC），正如該名稱所說的，與卷邊連接相比，斷層連接不用去掉導線的絕緣體，相反，當電線插入終端，絕緣體被端子梁切開。這一微小的區別滿足低連接力的需要，使得 IDC 技術在連接器組裝和在這領域的運用具有很大的優勢。IDC 技術主要用於線纜運用中，在這些運用中大量線纜終端預插入線纜連接器以提供高效經濟的終端，比起卷邊技術可降低接錯，卷邊電線需要分別放進設置好的連接裝置，對接失誤的可能性顯然很大，避免電線操作、剝皮和插入座體使得 IDC 技術有經濟價值，如 9.25 提供 IDC 線纜連接的範例。

9.7 IDC 系統

IDC 連接也可視爲一個系統，該系統包含

* 電線
* 終端
* 設備／連接器

類似於卷邊連接，電線／終端連接通過控製變形去形成並維持完整的永久連接表面。插入設備和連接器也有一些設計特點以保護承受使用與握持應力的整個端子接觸面。

9.7.1 IDC 工藝

圖 9.266 顯示了 IDC 工藝的表面視圖。在這個例子中，IDC 狹縫具有兩段不同寬度的狹縫組成。上段狹縫用於放置絕緣體而下段狹縫則產生電性端子接觸面。電線插入 IDC 狹縫是帶有完整的絕緣體的。當電線滑過上段狹縫，絕緣體被劃破。因此，當導線在滑行到最後位置時，導線是貼著下段 IDC 狹縫的邊緣滑入的。在此過程中，狹縫的滑道和導線間沒有因滑動摩擦而損壞表面，在此將金屬端子表面的設計與導線橫截面變形--IDC 工藝的兩個階段--分別進行討論。

插入／絕緣斷層過程。顯然，絕緣體必須像導線移開以得到導線和終端間所設計的金屬表面。絕緣體一移動，伴隨著電線的插入，當電線沿著終端梁滑入過程中承受摩擦力和剪切力的合力，如圖 9.27 所示.

摩擦力取決於電線與終端的特性。對於電線，重要影響因素包括絕緣體材料／厚度和導線橫截面積。絕緣體材料重要特性包含硬度、摩擦系數，和其它能出現在導線與絕緣體間的熱壓焊。絕緣體的硬度影響絕緣體被割破的難易程度，而摩擦系數影響絕緣體滑入 IDC，這些摩擦力可握緊絕緣體以開始切斷工序。絕緣體斷層的容易和可重複性隨絕緣體材料和加工過程而變化。一種普遍的做法是用給定的絕緣體去選用 IDC 終端。如果使用其他種類的絕緣體，可用新絕緣體的樣品去選用 IDC 終端。

從兩個方面來說，絕緣體的厚度是重要的。第一，厚絕緣體由於它們的體積和相對柔度而更難以切斷。第二，如果絕緣體沒被切斷，端子梁可能會發生超出設計經驗的偏移以及可能在塑性變形點承受過大的應力。如果這種現象發生，導線上殘余正應力可以被中和。對於導線，導線橫截面之尺寸和穩定性很重要。導線的尺寸影響梁的變形特性，對於實心導線，導線橫截面的尺寸和穩定性都是原有的，然而，對於絞線，導線橫截面的穩定性必須被考慮。相關的本質如圖 9.28 所示。導線束裡每一根導線的相對運動將導致每股導線的重新排列，從而減小每一根導線的變形，這將影響接觸面的形狀。另外，導線束有效直徑的減小導致梁位移的減小，這將減小最後的正應力和能影響連接的穩定性。電線橫截面的穩定性取決於導線的股數和絞合方式，集中絞合和低絞合線數在 IDC 連接中具有最持久的尺寸性能。

相對於終端，有幾個因素是重要的。入口坡道的角度、表面鍍層和接觸電線絕緣體的梁表面的硬度對摩擦力具有影響。摩擦力也取決於梁的作用力，而梁的作用力取決於梁的尺寸和原始勾槽。這兩個因素在決定絕緣斷層工藝的有效性中充當一個主要角色，但它們也因此導致更高的插入和設備作用力。在許多場合，在電線插入時，如果絕緣體很難割斷，梁的最大應力可能出現。

在棄皮過程中插入工具的設計同樣也是很重要的。其中兩個因素尤其重要。第一是在插入過程中保持導線束的穩定性，第二是在線槽的終端部分確保被連接導線的最終位置。爲了達到第一個目的，在插入過程中采用環繞式固定絕緣體的方法以有助於保持橫截面的完整性。第二個目的實現是通過尺寸控製和在插入工具/連接器的組合體上的止動裝置。

接線頭的設計也是很重要的。比如在接線頭斜面上的導引部，它可以具有可控的特性以 V 型槽設計夾住絕緣體，從而輔助棄皮過程。然而必須格外小心，以確保導線不受到損傷，否則會降低機械強度。

終線位置 當導線到達它在接線頭裡的最終位置時，兩個設計參數就變得很重要：在導線和接線頭臂體兩側產生的接觸面積，和用以保持接觸面積完整性的殘余正壓力。圖 9.2 用圖例闡明了這些重要性。

接觸面積 A，影響著連接電阻的大小。根據棄皮連接接線頭的設計(特別是，是否它有一個或兩個接觸槽)，可能會產生兩個或是四個接觸面積。如圖 9.29 所指出的，接觸面積取決於導線擠靠接線頭臂體的變形程度，以及該臂體的厚度。

在導線上的合成殘余力由臂體偏移以及接觸臂體上的幾何形狀所決定。臂體偏移，反過來，是由導線在插入槽中時其自身的變形來決定的。

導線的預測與控製在棄皮連接技術中是主要的設計考量之一。在棄皮連接技術中變形過程沒有象卷曲式那樣大，但是它們的基本作用原理是一樣的。變形和擦滑動作產生了金屬接觸分界面。一旦建立起了接觸面積，它的完整性就會由棄皮連接臂體變形所產生的殘余正壓力來保持。

爲確保接觸面積的完整性須施加足夠的力，而過大的力會對導線變形有所影響，又一次，這兩者之間的平衡必須得到保持。與可分離分界面的正壓力相比，棄皮連接的正壓力以千克而不是十克百克來衡量。由於這個原因，

在論證中導線變形比在棄皮連接中施加足夠的力更爲重要。

圖 9.30 引自於參考 8，它圖示出導線變形、臂體偏移及接觸正壓力之間的關系。導線的變形與接觸臂體的變形分開來指示，其中在這個例子中導線被假定爲是一股的。每一曲線中的實線相應代表臂體間隙或導線直徑的公稱值。點線代表圍繞這些公稱值的容許偏差。

導線變形，特別是捻搓成的導線在棄皮連接過程中是很複雜的。在圖 9.31 裡實心導線變形的曲率指示導線的塑性變形。圖 9.31 顯示了在一個棄皮連接槽中被連接的實心導線的橫截面部分。在導線橫截面上的變化，即導線的徑向變形，是很清楚的。然而在橫截面上看得不明顯的是，除了徑向變形導線在縱向上也已被擠壓了。又一次，導線變形必須被控製，以防止導線強度被降低或是在多股搓合導線中的一股被過大的損傷。

對於一個給定的間隙，臂體的偏移，再加上臂體的幾何形狀就決定了正壓力的大小。和可分離式分界面的方式一樣，棄皮連接臂體的彈性率取決於臂體的幾何形狀，但如將要討論到的，棄皮連接接觸臂的幾何形狀總的說來比單個的懸臂梁要更複雜。臂體偏移的大小，進而接觸正壓力的大小是由內部間隙尺寸及公差和導線的尺寸及公差來控製的，接線頭的設計正是爲了配合該導線的尺寸及公差。棄皮連接臂體的彈性率要比可分離連接臂體高得多，這在很大程度上是與臂體的有效厚度有關。這導致了棄皮連接比可分離連接有更大的正壓力，也就是幾千克而不是幾百克的力。這種較大的力導致較大的導線變形和較大的接觸面的機械穩定性，正如永久式連接所要求的。

9.7.2 棄皮連接接頭/連接器的設計

棄皮連接的過程可通過一些接頭的設計來實現。低插入力被認爲是棄皮連接技術的一個潛在優勢，但這個“優勢”有它不利的一面。低插入力意味著低拔出力。這需要爲防止與槽口平行的導線低拔出力而提供一些保護。正如將要被討論的，這些需要的滿足著眼在接頭或者絕緣體或者通過分開的絕緣殼。

接頭的設計 圖 9.32 表現了在棄皮連接接頭中的三種不同設計。單槽臂(圖 9.32)在帶狀線纜中有很大的應用。在多線連接中，單槽臂能很容易地穿透帶狀線纜導線間的絕緣部分。很多種雙槽臂設計被采用，其中一個例子如圖

9.32b 所示。許多種如圖 9.32c 所示的槽盒設計同樣提供雙槽之功能。雙槽口可以提供雙多個電性接觸，或者其中一個可以提供冒口。雙電性接觸因爲兩種原因對絞線的棄皮連接來說尤其有益。第一，同時在兩點抓住電線可以固定電線束，減少對電線直線性的可能影響。第二，如圖 9.33 所示，其中一個的槽口會與不同的導線股接觸，增加接觸面積，減小各股之間電導率的影響。

棄皮連接槽口的幾何形狀可以是單槽口，或者它在尺寸上有所改變，比如圖 9.32a 所示的單槽臂。爲了棄皮，槽口尺寸和接線頭頂部的斜面角度都做到了最佳設計，其中較低槽的最佳設計用以確保合適的導線變形和殘余力。

另一個槽口幾何形狀的選擇是所謂的“零縫”槽，從 Key 中改選的圖 9.34 中可見其中的一個例子。零縫槽的幾何形狀可以連接小尺寸的電線，因爲這裡就沒有線槽設計。臂韌性取決於與常規槽口設計類似方式的幾何形狀。

正如所提到的，單槽口臂體主要用於帶狀線纜中，因爲臂體能夠很輕易地在每個電線之間穿過。這些臂體同樣優勢，即它們具有沒有成型要求的扁平沖壓結構。單槽口臂體接頭的韌性取決於臂體的幾何形狀，------特別是，組成槽口擋牆的臂體尺寸。這些臂體經常被近似成懸臂梁以便於模擬和接觸力的計計。在這種情況下，臂體彈性率可以由公式（9.1）來近似。

$$F/D=(E/4)t(w/l)3 \qquad (9.1)$$

其中　F/D==力/變形的關系或彈性率

E==製造接線頭材料的彈性系數

t，w 和 l==厚度，寬度，和接觸臂的長度，如圖 9.35 所示

l 的尺寸是一個變量，因爲它取決於電線在槽內的位置。

公式（9.1）顯示接線頭的彈性率由臂體部分寬度和長度來決定。這些幾何形狀的變量控製著臂體的韌性。臂體的韌性，反過來，對電線的變形有很大的影響。韌性的臂體提升導線的變形度，而堅硬的臂體可能產生切割銷磨而不是變形。這種影響的程度取決於電線的尺寸，這裡較小的電線對損傷更具敏感性。

雙複臂(圖 9.32b)應用在離散的電線中，或是單線可以從線束中分離出來的線纜中。在這兩種情況裡，需要處理其它的電線。雙槽臂體的韌性和偏移特性比扁平壓製單臂體更複雜。偏移在兩槽口的連接處分布，因此出現了一些扭力現象的影響。

帶槽盒(圖 9.32c)同樣有複雜的臂體變形，因爲偏移是沿著盒的擋牆和底部分布的。在雙槽臂體上，在典型的情況下，擋牆的厚度要比雙臂體的厚度小，並且擋牆和底部扭力的韌性同樣產生更高韌性的結構。

冒口的考量. 前面說過，棄皮連接技術的低插入力使電線的穩定性易受到干擾或者在平行於槽口的低作用力下被拔出。因此棄皮連接器應該防止電線的拔出。冒口和電線的保護能從幾個方面給予提供。

棄皮連接接頭自身通過雙槽口和常規的絕緣支持部能夠提供這種保護，如圖 9.36 中的例子所示。在這種雙槽設計(圖 9.36a)其中的一個槽要是一種“絕緣夾”槽而不能是導電槽。如圖 9.36b 所示的，也有可能在接觸部上給絕緣夾提供一種常規包覆。

除了在第一章討論過的對連接器絕緣殼體通常的要求，棄皮連接器的絕緣殼體經常包括冒口特徵以保證在棄皮連接槽中固定電線。這種特徵的一些例子如圖 9.37 所示。圖 9.37a 顯示了成型在絕緣本體上的冒口，這個冒口的幾何形狀與連接槽的幾何形狀近似。圖 9.37b 顯示了由兩個叉腳組成的冒口，叉腳彎曲而使電線插入連接槽，然後彈性回覆以在所要的位置上固定電線。另一種設計也同樣是爲在連接器內保持電線的合適位置。

如圖 9.38 所示，一些特殊的蓋體也可以被用來保護電線的機械穩定性。在一些情況裡，蓋體有接線工具與絕緣蓋兩重作用。這個蓋體可以被由接線頭上的扣勾來緊固(圖 9.38a)或是通過在連接器本體上的外在鎖扣機構(圖 9.38b)。

總之，電線必需加以保護以防止在槽內的機械攪動和移動。這種保護可以由接線頭(雙槽口和絕緣支持部)，絕緣殼體(槽或是固持叉)，或是保護蓋體來提供。合適的機構隨連接器設計與應用的不同而不同，但有一些保護機構得到大眾的肯定。參考 10 和 11 討論了其它棄皮連接性能。

9.7.3 IDC 的其他考慮因素

本節將從幾個方面論述固體和絞線的 IDC 連接的區別及其原因。其次是接觸鍍層在 IDC 技術中的作用。

固體和絞線　圖 9.28 清楚地示出了固體和絞線的 IDC 技術的區別。固體導體的變形由於其幾何形狀不變而比較簡單且 REPEATABLE，絞線的變形則

更易於變化，且其變化取決於束的數目，絞合方式，及 IDC 端子的設計和插置工具。

絞線束的數量的影響是顯而易見的。對於一個給定的導線尺寸，絞線束的數目越多，其直徑就越小，較小的束易於被破損、切斷，並且在端子成形過程中易於相對另一束而移動。這兩個因素對於 IDC 性能的主要影響都是減小了殘余正壓力，而該正壓力可以維持接觸面的完整性。如圖 9.28 所示，導體束的相對移動，減小了梁的傾斜。切斷絞線具有相同的效果。依作者之見，這些因素對接觸區域的影響不如對正壓力大，因此也就不如對連接的機械完整性的影響大。

可以通過導線的結構及插置工具的設計減小產生於大量導體(MULTICONDUTOR)中的相對移動或 CORD WOOD 影響。導線結構的影響主要歸因於絞合方式尤其是絞線束的層(LAY)。TIGHTER LAY IMPROVES DIMENSIONAL RIGIDITY。

如圖 9.33 所示，DUAL-BEAM 的設計通過提供更多的接觸面接觸更多導體也提高了絞線 IDC 連接的性能。

固體導體的要求相對於 IDC 端子則低得多。但是必須注意絞線的潛在問題(相對移動和極易破損)可以導致絞線和固體導體產生可接受的性能。

圖 9.39 的數據輔證了這一點。這些數據表明絞線連接相對於線連接顯示了稍高的意義且有背離，不過二者的性能都是可靠的。作爲最大的單體應用，線纜 IDC 連接一般用於束狀導體。

端子和導體的界面鍍層. 在較大的作用力下，當導體滑入 IDC 槽中最終位置時，導體的變形和磨損導致膜破損，由經驗知，在特殊導體鍍層中，界面鍍層可以提高 IDC 連接的耐久性(REPEATABILITY)和性能。

第十章　印刷電路板

印刷電路板(PWB)的歷史能被追溯到 1936 年。今天這項發明一般認爲是來自於 Paul Eisner 博士，而他恐怕怎麼也想不到 PWB 在 60 年後會占有 200 億美元的市場。(請參閱圖 10.1 和 10.2)

將 PWB 與它們對現代連接器的影響分開來是不可能的，反過來也一樣。一種技術與另一種術相互推動與限制達到如此的程度，以至於它們就象是一個硬幣的兩面。在這一章，我們就來看一下在電子插組件中的兩個基本方面是怎樣相互影響與推動的。

10.1　PWB 製作技術

PWB 工業是被不斷增長的來自於插組件工程技術人員對要求所推動的持續發展之一(圖 10.3 和圖 10.4)。爲了滿足這些需要，在過去的大約 50 年中發展了許多製作方法和基體材料。有些人找到了再生基材，比如攝影的感光膠片、環氧/玻璃基體材料，另一些人在 PWB 中用銀做材料，結果以失敗而告終。在這一章僅會討論現代主要的製作技術。

在考慮 PWB 與連接器的關係如何，很重要的一點就是，對 PWB 的設計與製作如圖 10.5 所示的做一個一般的理解。PWB 的產生源於將分離的電子插組件連接在一起以形成電路的需要。這無論在過去還是現在都是 PWB 的唯一作用。在它發展歷史的開始階段，“板”的稱謂是名副其實----一個扁平的，絕緣的平面，其硬度足以支持電路的元件，這些元件與實際的導線是連在一起的。很快，分離的導線被傳導訊號的的銅接腳所代替。在實際中將銅接腳剪切下來再粘在板上的想法顯然對於大量生產電路來說行不通，于是，照相製板工藝被采用了。

最簡單的 PWB 當然是單層板(SSB)。這種類型的電路仍然爲消費電子市場中的低級電路的需求而大量生產，也就是電視搖控之類的。它們的製作是通過在石碳酸樹脂紙或環氧/玻璃基材上加銅薄片的疊片結構。銅薄片，如圖 10.6 所示，用一些抗蝕刻物質按照一定形式去製作成電路銅線。

爲了製作一個電路格局，抗蝕刻物質可由自動网板印刷機施加，如果這

種抗蝕刻物質是可攝影成像的，則可以有滾涂機，隔板涂層器，或者甚至是感光膠片。這一工序一般指的是印製與蝕刻。這一類型的電路生產一般是用可网板印刷的抗蝕刻物質，在現在已幾乎全部實現自動化。

很快顯然易見的，如果板的兩側被利用了(一種雙層板)，在板表面上設置的電路密度就變成子兩倍。如果兩個電路被安置在一塊板上，那么就需要在二者之間建立一種連接。這種電性連接明顯的安排是用元件孔來裝配被導引的元件。但，這樣就產生了一個嚴重的製作問題：如何使介電材料金屬化，比如說最近才出現的爲電鍍銅腳而使用的環氧和玻璃纖維的合成物。

10.1.1　鍍通孔技術

鍍通孔技術(PTH)，根據現在所知道的，產生於 1953 年摩托羅拉公司。現代膠體錫鉛催化劑與穩定的無電鍍銅溶液的發展可上溯到六十年代。C. Shipley，現代生產鉛/錫催化劑 shipley 公司的創始人，Brenner 和 Riddell 以及其他人使無電鍍銅系統變得穩定，這些成果的結合爲現代 PTH 技術奠定了基礎。現代雙層板(DSB)生產工藝如圖 10.7 所示。

10.1.2

當無電解銅工藝問世以后，爲通孔配合一個合適的電鍍基板的問題就解決了。然而把 PHT 圓孔的電解鍍層達到其預定的厚度仍需要如圖 10.8 所示意的模板電鍍操作。而這會導致整個模板（包括 PHT 圓孔與銅箔）被鍍上多餘厚度的電解銅。

顯然，只有固體薄層成像方法才能被使用，基板的任何破損都會導致 PHT 孔的銅鍍層被侵蝕或者鍍層厚度變薄。任何形式的定位不正都是有的，以及環狀圓形尺寸必須能夠應付因材料的運動，工藝的變更，鉆孔位置不正等造成的工具的錯位。典型的環狀尺寸要求約在 20 條左右。

由於 tent 需要基準點，爲充分使固體層粘著而要求環狀最小。隨著孔尺寸的變小及電路密度的提高，此基準點的尺寸會成爲高密度布線的限制因素。

爲了保証充分的粘著，好線的應用要求通常進行良好的表面預處理。如果環狀過小，偏移和侵蝕就不可避免。

板鍍對於高密度的 PWB 有一個不利點。相比較單面的電路板箔而言，它

外層銅的侵蝕變的非常困難。這是因爲它在表層的厚度是基體銅和附加的電鍍銅混合的結果，即要侵蝕雙層銅的厚度才能形成 PWB 的信號線，如圖 10.10 所示。

在線較寬或空間區域，這不是最重要的。然而在 1990 年，由於外層線和空間在 5/5 條標準及 3/3 條水平標準，侵蝕就成爲板鍍應用中一個重要的不利。

此外，由於整個板都鍍了銅，因而電路線成型就失去了銅的重要性。這導致了成本問題，不但有電鍍工作及化學應用，而且還有額外侵蝕的消耗及處理銅垃圾的成本。因而希望圖案鍍的出現。

在基板鍍工藝中，每一個基板在一個寬的電鍍架上。單個的板上無銅電鍍且立即鍍到最后的銅的厚度，無論是圓柱孔還是整個表面。這樣的過程不會產生圖案鍍的情況。

在從基板鍍到圖案鍍轉變的過程中有一個基本的問題，是由於無電鍍銅的沉積而使其更加堅固。普通的 lo-dep 成形在板的表面及孔內會沉積 30 條厚度的無電鍍銅。這對后面的電鍍步驟來說太薄了，不足以承受任何突然的撞擊。

固體層光致抗蝕劑的優點使它成爲照相制版工藝的主要方法，正如 PCB 工業所要求的，對圖案鍍工藝來說，無電鍍銅可能成爲粘著催化劑和一個重要步驟。而無鍍銅預處理的要求被一個發展中的事實所驅動，固體層光雲霧坑蝕劑能在銅的表面導致一個薄層的粘著催化劑。如果這層粘著催化劑不能移動，無電鍍銅和電鍍銅中銅與銅的粘著劑就會脫落。

爲避免上述情況，開始的電鍍過程如圖 10.11 所示。在固體層光致抗蝕劑的應用中分成了兩個獨立的步驟。第一步驟提供了 0.1 條厚度的銅，製造堅固性較簡單，第二步操作時對 PTH 鍍上 1 條的厚度。我們知道這個 lo-dep & flash 操作自 19 世紀 70 年代成爲標准以來一直延繼至今。

在 19 世紀 70 年代后期出現了 hi-dep & hi-build 無電鍍銅成型工藝。因此全部最初 1 億個銅從化學電鍍槽中被沉淀出，使得 10.11 所示的第一電解熔銅變得多餘。依然有一些較淺的熔化方法的擁護者，因爲對於第一較深的銅存在著揮之不去的懷疑，現在在世界範圍內的大多數 PWB 生產者采用較深化學/電解電鍍的模仿板的方法來建立 PTH 板。如圖 10.12 所示的，這現在成爲工業標準的方法。

10.1.3　減少與添加劑的工藝

在 1964 年由 CC-4 TM Kollmorgen 公司如圖 10.12 和圖 10.13“添加劑技術”所提出的挑戰，這種挑戰是針對對於在 PTH 和印刷蝕刻雙層電路板變形可靠生產方法而進行。

和圖 10.12 和圖 10.13 的比較顯示添加劑工藝在化學鍍步驟中添加劑全部的銅，並且不須要蝕刻操作。

今天大多數 PWB 變形過程總得被看成由 CC-4 所工藝範圍所代表或是直接的派生物。當這些工藝策略產生出很好的表面共面性，可焊性以及穿孔的一致性，它被使用在這個技術範圍的低端(比如說自動推進)以及大多數在環太平洋國家。然而必須指出的是在市場中全部添加劑產品大約每個月一百萬。爲與美國的市場形成鮮明對比，在那裡完全添加劑技術的可接受性變得江河日下。

自從它從 30 年前開始的那一刻起，一些普遍的擔心周而復始地妨礙著對於西方 PWB 工業這種添加劑技術的發展與它的接受性。如果我們回顧歷史，我們將會發現，當一項添加劑技術要過時的時候，它可能已經代表了一種 PWB 產品的可行方法，每一個工序也都受到來自主流 PWB 生產者一些相似的主要的批評。這些批評總結如下：

長久以來直到現在，即存在一種根深柢固的對於銅淀薄片的化學性質的懷疑。然而，通過作者最近的一系列的書籍和別人的一些著作，很清楚地顯示出現代的完全結構的銅可與 ED 薄片的物理性質相媲美，甚至超過它。

直到最近對銅鍍槽的實際過程控制存在一種有理由的擔心。然而最近引進的一個新一代的以石英微量天平爲基礎的對於添加化學品的攝相控制器，解決了這一擔心。

這種工藝方案需要底受催化作用的薄層。對於大多數多層 PWB 客戶來說這是不可接受的。此外，這種底層金屬幾乎使潛在客戶對於物資結構的控制蕩然無存。盡管有很多出版的著作來支持這種材料，反對它的勢力依然存在。

隨著工業生產的普遍“綠色環保化”，以及在“第一世界”中對於廢物部問題的日益關注，CC-4 工藝以及它們的衍生物(由於它們對於鉻酸，溶劑類保護膜系統，以及以溶劑爲基礎的粘著層的要求)以這種形勢下，在新的處產

設備中不太可能被重新建立起來。

除了這些關注，不得不被指出的是這種類型的工藝在傳統上有“整個車間”的概念。簡而言之，生產者從一開始就要麼采用添加要麼采用減少的設備。據筆者所知，沒有一家是試著在同一設備中采用平行的線。

這種類型的工藝需要加入一種特別的粘著助催化劑。對於這種類型的電路板這種材料是獨一無二的，而且不用象對傳統銅覆層材料那種水平的附著。

沒有一種添加的方案達到對於主流 PWB 生產者來講是普遍接受的。我們在後面即將看到，在遠東以外這種技術還沒被接受，而現在由於九十年代後期的連接器和包裝的要求而產生了一種復興的興趣。

10.2 多層板

當集成電路出現時，在七十年代雙面板的連接密度性能達到了它的極限。所需要的是更多的層，以及有不同功能的層比如電源和接地。解決這個問題的答案就是多層 PWB。

多層 PWB 開始於四層結構，已經發展到象日立等公司做出的 46 層底板。由於增加的層數、孔密度和減少的線與空間的寬度，PWB 的功能在過去 30 年得到了惊人的提升。圖 10.14 引証出，在這一階段多層 PWB 的發展，圖 10.15 顯示出這一技術在美國市場的分佈。

多層結構在 PWB 工業界開創了一個新時代，產生了一種新的生產挑戰。在很多 PWB 生產工藝領域，今天這項技術仍在發展。

多層 PWB 的生產如圖 10.16 所示。這一工藝開始於兩層被顯相的銅芯，然後被蝕刻以形成傳輸信號或是電能/接地的片板。用介電層在各邊以及一個銅薄片在外部，這種內層之後被碾壓成四層的三明志夾層。六或八層的結構以非常相似的方法被製造。被碾壓的包裝現在是指外層。外層的製造，比如鉆，電鍍和印相，或多或少與前面所說的兩層板的情況相同。

在多層結構工藝次序的細微差別，這里必須著重突出。

10.2.1　黑色氧化物和半固化物

一旦電路被蝕刻在內層芯上，銅片的表面必須有一定的粘性，以使與另一個介電層粘著。在內層間被碾壓的介電物質通常是一片同樣的基層材料如

芯，但它部分固化。這種 B 階段物質被稱作半固化物的。爲了將半固化物相結合，要在內層銅結構特性的表面上化學產生一個銅氧化粗糙面。在碾壓過程中，部分硬化的介電樹脂在壓力與熱量下流入這個粗糙面結構，再硬化成 C 階段。這一界面的典型剝落力對於 FR-4 而言是六到八磅，而對於聚　亞胺和 BT 物質來說是四到五磅。

10.2.2　重合

當 PWB 的兩外層影像形成時，在每一邊蝕刻電路板方式必須彼此正確排列，這種從邊到邊的每個影像和鉆孔方式分別排列的影像重合是很重要的。對於一個多層結構，形勢就更復雜了，不僅外層影像必須正確排列，而且每個內層的正確連接及間隔都必須保證。例如，對於四層結構，四個銅層均能接觸到 PTH，是否一個特定銅層用一個特定孔連接取決於設計。在一些層中，對來自信號層的孔的連接很重要，其它來自電力層或接地層的孔要求清晰。爲達到此目的，通孔的接觸墊和電力／接地層的間隔必須正確排列。通常采用一些工藝孔或狹槽圍繞每一層之外圍來實現，這些孔的位置可先於電路之整體操作或電路柱蝕而確定。

柱蝕鉆孔工藝是更進一步之精確排列方法，也是高層數平面的需要。該工藝包括有蝕刻銅箔以先形成內層電路和緊接著用自動光學排列設備基於每層兩個蝕刻銅參照物布置鉆孔機。柱蝕鉆孔工藝的使用緣由如下：當銅箔架設於玻璃或別的非導電性基層時會產生固有應力，當絕大多數的銅箔在內層操作的電路板化工序中被腐蝕掉，材料變得松動並產生位移，這種材料移動從原始位置處帶走了蝕刻銅材很像地球表面的持續運動。

顯然，移動是可預測的，但其固有獨立於實際每層銅軌跡，由于層數增加，如果沒有這種技術，層與層間的累積誤差將使得高層特征與特征重合很困難。

正如將要討論的內層不重合能在元件組裝時引起嚴重的問題（參考 10.5.2）。

10.2.3　敷層與積層

隨著合適的組合設備和催化劑如黑氧化物之應用，單個元件能被組入多層 PWB。敷層由銅箔夾層、預浸料丕和蝕刻信號或電源／接地層和爲實際積

層工藝而作的手冊。

積層工藝包括開始的壓製元件間初始端子和其次的熱加工預浸丕料及測量各個電路層堆集高度。然而對於積層主要的工業應用採用熱水蒸汽壓力，對大面積、高密度、多層數之多層 PWB 的阻抗控制設備也採用蒸壓製板機。

蒸壓製校技術之優點在於壓施均衡，也就是說在各個方向上各個點上所受氣體壓力相等。顯然，對於均衡壓力，大尺寸平面的移動和絕緣厚度控制比起水壓性能好。

10.2.4　機械鉆孔公差

40%的 PWB 外層表面積用於 PTH，一個加工完畢的 PTH 占用的空間包括實際鉆孔直徑、重合穩定性及工藝圖的照相平板誤差、鉆頭的跑偏、鉆孔工藝圖的讀數及工藝圖公差和孔壁與其它內連接間所需絕緣設置。很難控制每一個參數對整個大面積、高密度和大 PTH 系數的平面公差產生的影響。對於鉆孔操作，變化來自鉆孔單元位置精度，這由已定義的 X-Y 鉆孔坐標位置精度和自身的鉆孔單元。鉆一個深孔需要長鉆頭，而知事短鉆頭不會像長鉆頭一樣彎曲變形很大，這樣當偏移的弧度很微小，一個小環形的環或間隙面積就會產生。如圖 10.19 所示，較薄的板能具有更小的孔，因其具有更小的跑偏和更好的公差控制。

10.2.5　沉積

不像雙面板，多層結構在孔內具有銅材內連接。在 PTH 套和內層銅軌跡間作可靠的銅材對銅材連接點是多層結構的基礎。在每個孔表面所做的每層連接都是必不可少的，只要在內連接中有一個失效或存在可靠性問題，都將引起板的廢棄。內層污點是機械鉆孔的結果，其出現在鉆孔操作過程中鉆頭進入與退出時灼熱鉆頭尖熔化了一些環氧基樹脂並將這些樹脂沉澱在內層銅材表面上，如圖 10.20 所示，這種薄的退化非導電性材料必須從銅材去除以形成一個可行的內層基架。現在，這可在無導電銅材沉澱工藝前通過使用過錳酸鹽的方法解決。對一多層 PWB 產品，一些通孔沉澱操作必須執行，內連接失效的原因通常可追溯到沉積物／非導電製圖操作。

10.2.6 嵌入通路和封閉通路

由於相互連接的密度的增加，有必要介紹一下嵌入通路(有時稱爲可控通路)，其大致如圖 10.21 所示。這個第二名稱來源於這些通路一般是由自動 CAD 程序決定的。這些連接一般都非常小。它們的應用僅僅受鑽孔機器提供這樣一個微小孔徑的能力和並肩對准問題的限製。然而，必須重視這種技術，目前，世界上還有不到 3%的電路板使用這種技術。

10.3 SMT 的 BOARDS

在 SMT 中，元件是直接焊接於電路板表面的。這有別於 PTH 技術，在 PTH 技術中元件導引端貫穿 PWB。爲了承受插入過中的物理壓力，它們的端子尺寸必須相對較大。這些常用的導引端的直徑一般在 0.032 英寸(0.813mm)，由於實際應用的限製，一般在 0.015 英寸(0.381mm)。當采用組在一起的高密度輸入輸出元件時；PTHs 要求這些裝置佔據電路板空間的 40%到 50%。

除了顯著降低表面爲穿孔和它們圓形的環狀設計而設置的固定元件，SMT 技術使得電路板的另一面沒有端子凸出。這提高了電路板的另一面的利用率。雙層 SMT 技術可以將電路板表面的使用率提高 70%。SMT 是那些小型化很重要的領域也就是軍事和醫學領域中最早的一種技術，目前，SMT 已成爲較新的、手提的便攜式和 PCMCIA 式。

從圖 10.22 可以看到，應用 SMT 時，通孔，或者說現在所謂的通路，可以小到方便地鑽孔。借助於使用小孔徑而節省下來的空間，SMT 相對於孔中的端子可以使用更稠密的信號連接。

表面粘著技術提供了顯著的小型化，尤其是電路板表面固定元件的利用率，且簡化了裝配，如圖 10.23 所示。它爲較細的線和在密度較大的電路板上鑽更小的孔提供了機會，這對於熱載荷和電子性能都產生了有益的影響。

10.4 到 PWB 的機械連接

大的，高密度的，多層 PWB 是非常昂貴的，它把重點放在製造工藝和對下一級到板的封裝連接的應用要求上。由於涉及到成本及製造工藝，因此連接器的工藝過程在過去幾年里受到了相當多的關注。

原先這一章的內容比較詳細地描述了 PWB 的基本的製造工藝。任何習知的 PCB 的設計都是製造能力與設計者期望之間的折衷。就這一點，折衷案的影響通過它們對下一級連接器互連的關係的調查而得到驗證。

下一級包裝的典型的連接器是用接腳插入通孔。當然，由於離散的元件，相同的驅動力，在最近幾年 SMT 對連接器應用的適應受到了更多的關注。此外，對板對板連接的連接器而言，通常考慮 IC socket。這些重新利用在了 PTH 和 SMT 類型的連接器。典型的連接器終端工藝的例子容後述。

10.4.1　端子焊接連接器

這種方法采用一個緊固機械配合，即在端子元件與卡孔之間的緊配合。焊接提供一種機械和電氣連接。波峰焊技術在電路板生產中占主導地位有很多年了，隨著所要求層數與電路密度的增加，這種要求推動了焊接工業向至少一個混合 SMT 單元發展，焊接技術的局限

也明顯起來。其中的幾個問題是焊接的高溫度以及必須將輔助焊接的化學助焊劑移走。

10.4.2 壓入式連接

PWB 對於這種連接的最重要的影響是：

・PTH 之幾何尺寸
・端子的幾何尺寸與類型
・穿孔在熱擴散作用下沿 z 軸的膨脹
・銅的厚度與耐用度
・焊接厚度與分布
・板的厚度
・板的材料類型

在壓入式連接器中有兩種主要的端子類型：剛性端子與柔性端子。

剛性端子要求較高的插入力以及爲控制這些力和避免對電路板產生損壞所要求的較嚴之配合公差。剛性端子所形成之彈性張力全部存儲於電路板上，導致 PTH 之失敗。

柔性端子爲少焊劑連接，其在十九世紀七十年代後期廣泛應用於電及電

子方面。因爲它們是柔性的，在插入時引起極少 PTH 損壞，這特別適合於多層 PWB 結構。

現代端子工藝的一個例子如 Fig10.24 中所表示的 AMP 公司 Action Pin 端子。它可以解釋如下：當柔性部分插入 PTH 時，兩彈性部分被壓縮，產生對於此氣密性連接之反力。孔的直徑比端子的斜向尺寸小的多。兩個彈性部分可以根據孔的公差壓縮到不同的程度。與剛性端子相比柔性端子可以減小板上的應力。

因爲剛性端子不須焊接於電路板上，通常與焊接有關的問題也就沒有了，這些問題包括：

・焊接點的不完善

・PCB 與其組件的熱應力

・PTH 的消磁

・焊接點－印刷電路板短路

・接觸區的殘留氣體

・10.4.3 表面結合連接

盡管爲無焊連接，柔性端子一般插入熔化的焊劑與熱空氣焊接水平鍍層孔。當幾何公差限制其與剛性端子相比在有些方面小，比較差的 PTH 尺寸可引起顯著問題。

當不連續的部分從孔的連接處到表面的連接處，創造一個表面連接是符合邏輯的。今天，許多連接器類型可用在傳統端子型式或表面焊接型式。

10.4.4　集成電路插座

由於小型化的趨勢，表面連接型連接器所佔的市場份額會持續上升。PCMCIA 連接器在這方面走在了前面。另外，表面連接之 IC Sockets 爲滿足 end-customer 要求以便於容易地進行 PC 機及便攜式電腦之 CPU 升級，這就要求系統板上有高密度的連接處。

10.5　對印刷電路板(PWB)的機械連接

包裝技術飛速進步對 PWB 和與 PWB 相配的接杆件都已產生深遠的影響。電路板的厚度從經典的 0.093 英寸增加到 0.125 英寸(2.36mm)甚至到 0.200 英寸(5.1mm)。雙層電路已被多層電路板所代替，並且底層金屬也不再是完全

的老式 FR-4。屈服端子是爲 PR-4 所設計的，盡管它們被大量使用在聚　亞胺和 BTs 中。

當端子插入孔中時，有三外與電路板的損壞有關，底座提升，痕跡變形，和纖維破裂。在裝配時，實際的插入力是最主要的，因爲這個力直接與插入時的磨擦力有關，因此，也就和電路板的損壞有關。因此，PTH 的物體幾何形狀和機構的活力就相當重要。

同樣，表面裝配接杆必須經受兩個表面裝配技術反復熱試驗。在這個方面，底層金屬的行爲能力最值得關心。在這一部分將要直接影響與 PWB 連接的接杆件的因素。

10.5.1　電路板的材料和熱處理

不管 PWB 的最終功能，一塊完成的 PWB 一般要經過幾個熱處理步驟。熔焊操作意味著典型的最終裝配的電路板上將至少有 2 個，至多 5 個熱沖擊。

總之，全部的印刷電路板必須有現代的，高品質的銅做基材，這樣才能承受多次熱沖擊。然而，對於完成了流程的電路板，由於銅和不同層金屬之間的熱膨漲系數很大(由表 10.1 可以看出)，於是焊接操作產生拉伸壓力。

由於玻璃布在 XY 平面的壓迫影響，熱膨脹系數的不相配更加惡化。這種壓力在 PTH 桶的 Z 軸方向更加明顯。整個板越厚，在 PTH 桶累積的熱壓力越大。因此，比如給定一個孔徑，而板越厚，PTH 桶越可能在熱沖擊中遭到失敗。相似地，給定一個面板厚度，孔徑越小，失敗發生得越早。

厚的多層結構的出現和 PTH 縱橫比的增加將導致諸如聚　亞胺和 BT(Bis malimide trazone)等可替代的高性能的材料的找尋。但是當這些材料的電子性能更適合高頻應用，許多軍用和民用客戶要求他們的多層板建立在這些底層材料上。這些材料每種的熱膨脹系數都比 FR-4 小，並且結合它們的低介電常數，被認爲是對於大型底板 FR-4 的要求。

許多屈服端子的接杆件都用 FR-4，象聚　亞胺材料比 FR-4 更脆弱且易受到更大的在端子插入微小變形。由於高成本，它們在加工相對困難，以及軍用市場上的下降，聚　亞胺市場在迅速縮小。

10.5.2　內層對准不良，鉆孔和油漬

前面曾經提到過，內層連接的位置與品質在很大程度上取決於在多層結構上準確定位與鉆孔。很明顯對准不良的孔，鉆頭的滑動對於針狀連接器的最終整個可靠性有不利的影響。這種對於連接器的影響總結如下；

- 在信號層的內層對准不良是一個固有的弱點。
- 在內層銅表面大量的油漬會使內層對准不良發展成在內層銅表面的“移出”。
- 如果在電源/接地層周圍的間隙得不到保持，那麼內層的對准不良會產生短路(見圖 10.16)。在組裝時，對准較差的間隙會產生變形並短路。
- 油漬使記號端子與 PTH 銅桶的粘著不好。
- 眾所周知，因爲油漬是熱性能差的環氧物質，化學鍍層在油漬上的作用效果很差。
- 在油漬上的淀銅層品質較差，在任何的熱或機械影響下，例如端子插入或波峰焊，將導致其作用的失敗。

10.5.3 PTH 的電鍍和幾何形狀

對於任何一種穿孔端子連接器，不考慮它的系統功能，其對裝配最大的一個影響是 PTH 孔的幾何形狀。任何 PTH 的品質和幾何形狀與三個因素密切相關：即鉆孔的品質，電解銅鍍的整齊性，以及表面鍍層的類型。如圖 10.14 所示，爲了實現在 PWB 功能上的惊人提升，其中必要重大的技術上發展之一是能電鍍有很高縱橫比的穿孔。

如果假定鉆孔的公差與品質給定，另一主要考慮的領域就是銅鍍的整齊性。對於任何電鍍工藝，在 PHT 孔上銅電鍍層的厚度將最終取決於穿過鉆孔的每一點所承受的電流密度。鉆孔象一個電阻，電流密度隨離中心的長度而下降。因此在孔口處的厚度要比中間的大。如圖 10.25 所示，這種現象有不同的稱謂，如狗骨，砂漏現象等等。對同一縱橫比的孔(也就是孔長與孔直徑之比)，電路板越厚，表面與孔中間的電鍍厚度就越不一致。

對於 PWB 的生產廠商，電鍍工藝的目的是爲了達到最小電鍍銅厚度的要求，即 PTH 的公差，對客戶來說的整體的可靠性。這會成爲在電鍍的化學性及可靠性規範間選擇的一個平衡動作。在電鍍線上，PWB 生產廠商會用端子標準尺來測量鍍孔尺寸的大小，因此將在最大曲率處測量最大的鍍銅厚度。

更爲重要的最小鍍銅厚度將在孔的中部用橫截面顯微照相來測量。

對於很高的縱橫比(>10:1)，電鍍要采用高電鍍槽，(也就是高的酸與金屬比)和緩慢的電鍍率(低的整體電流)以使 PTH 及其表面的電鍍變化最小。然而這種高縱橫率電鍍的經濟性並不那麼具有吸引力，因爲通常需要進行緩慢的電鍍率以及特殊的化學添加劑。基本的方式是將一塊板在 50 安培的電流中電鍍 17 個小時，以產生可接受的 PTH 的整體性。

任何形式的“狗骨”現象將導致 PTH 的銅幾何形狀的不整齊。這種電鍍形狀顯然對一個適當的插入端子過程有不利的影響。並且較差的電鍍分布不僅由於較高的插入力而對最終的穿孔的結構有害，而且在收容於孔後，對端子的固持以及殘余合應力都不利。

除了以上所講之外，如果元件孔達到了整體尺寸公差，卻在中部存在較薄電鍍層，則它將對 PTH 的長期穩定性有害。不但較薄的電鍍層是一個弱點，而且現在一般所接受的觀點是在 PTH 桶的銅層厚度的整齊性越好，則其熱循環的可靠性越高。這樣，面對孔的電鍍率越接近 1:1，則 PTH 的整體品質越好。

在前面的部分，回顧了面板電鍍，印刷電鍍以及電鍍 PTH 桶的“添加劑”的方法。按照 1:1 的面對孔電鍍率是合乎要求的條件，這些工藝的可分別依此目的來檢驗。

在面板電鍍中，在面板上沒有遮掩的區域，而對於印刷電鍍操作，必須要將線路和孔的部位分隔開。當然準確的數目取決於各個線路的布局情況。在印刷電鍍槽中電流密度集中在面板分隔的區域，在鍍層的厚度上有很大的差別。爲了平衡印刷電鍍，面板的“自盜”特性，其典型的方法是采用檔板方格，被印在表面上作爲“電流盜賊”。

相比較而言，在面板電鍍操作中，沒有分隔的區域，因此電鍍的分佈將更加整齊。對於高縱橫率的電鍍，尤其是對分隔連接器的設計，面板電鍍的操作是首選。但對於高密度的線路，這種選擇必須在和細線的蝕刻問題相平衡，這個問題在前面已討論過了。

10.6 添加劑技術的更新

前面已經提過，采用完全的添加劑技術有很顯著的優勢。對於那些相同

的目的，經過了三十年 PWB 工業應該在充分發展的化學電鍍技術領域不再有什麼興趣了。然而如前面所提過的，這些目的已向所要得到的產品發展，而不是製造面板的製作。對這些目的實施帶來如下的好處：

- 對於 SMT 的客戶，沒有別的技術能象化學鍍銅系統這樣能達到共面性。
- 對於屈服端子連接器，沒有別的工藝能保證要求在厚底板上的 25μm(0.001in 公差的一致孔洞的尺寸。
- 與半添加劑方法不同，完全的添加劑方法產生一個受控制的細形狀，並將 SMT 墊的尺寸限制在實際印相的尺寸。與傳統的蝕刻的技術不同，信號線幾何形狀的限制提供給 PWB 製造者在電路板鍍層的阻抗上以不同的控制。

在半添加劑方法中，對於很小距離的 SMT 有一個潛在的限制因素。在電鍍時，SMT 的墊底與信號線路的銅層尺寸不僅在高度上有增加，而且在 X 軸上也有增加。與完全添加劑方法相比，這種沿墊底側的增加不會令人滿意地固定在由薄片構成的物質上。如此，這種特性越好，沒有邊界區域的比例也越大，也就越容易失敗。

也許最令人感興趣的優勢就是所說的一體結構銅自身的可焊性。不斷有人申明，化學鍍銅的可焊性好於典型電鍍的。這可能因爲這幾個原因，比如對一體結構銅較好的顯微照相的表面，以及添加劑銅有較少的有機污物，因爲在鍍的過程中它有較少的步驟。

令人感興趣的是，由添加劑方法製造的 PWB 對其物理分布還沒有過異議。

- 沒有一個客戶曾經明確地要一個不是平面的電路板。
- 沒有一個客戶埋怨過一致的穿孔鍍銅厚度或是能符合極度嚴格穿孔公差的能力。
- 沒有一個客戶對阻抗的嚴格控制，在 SMT 墊底間或電鍍板物理限制間用以焊接遮掩的擋塡提出過異議。

只有對這種方法或其本身固有的要求有過異議，而對實際產品的物理分佈卻從來沒有。

在過去 30 年里，添加劑和半添加劑的方法已經在“西方”PWB 工業背

景下衰退。今天在世界上產生了化學鍍銅技術的復興。

10.7 PTH 的表面鍍層和幾何形狀

在上一章我們討論過，不平的銅鍍層會產生嚴重的穿孔公差和/或端子插入的可靠性問題。表 10.2 顯示了對於屈服端子連接器在公差要求。

然而，有鍍層的孔通常是形成一個被覆來保護銅不受氧化，以及提升它可焊性的壽命。傳統上，易熔化的錫鉛合金被覆是一種鍍層選擇。這種焊接鍍層的應用方法可以是電鍍鉛錫防蝕刻劑熔化以形成易熔的合金，而不是通過焊接遮掩，也可以在對裸銅加上焊接遮掩物(SMOBC)後通過烘箱焊接(HASL)操作。

HASL 工藝對於嚴格的公差沒有傳導性，比如象需要±0.002 in (±0.051 mm)鍍孔尺寸的連接器(見表 10.2)。對於有很多孔尺寸的產品(許多混合孔穿孔，SMT 元件，以及 SMT 連接器在單板上的混合)，很難達到即滿足 PTH 又滿足 SMT 特性的焊接要求。在最大最小電鍍厚度對裝配而言是一個必要條件時，很難去滿足帶有 HASL 工藝的焊接高度要求。加上一個嚴格的鍍孔規範，使得 HASL 幾乎不可能去實現。爲了解決這些問題，在最近幾年用化學鉛錫被覆的方法被采用。相比較而言，熔化的鉛錫具有更大的控制，但其不能應用在 SMOB 中。

對於易熔的焊料有一些替代品，它們日益受到更多的重視。較新的被覆主要是一些化學鎳金被覆或以 benzotriazole 或咪唑爲基礎的有機焊料保護(OSP)。

鎳金合金或是 OSP 鍍層具有類如很薄、等角度以及對 PTH 桶幾乎沒有增加厚度等優勢。與 HASL 或熔化的鉛錫合金不同，這些鍍層在應用中不需要加熱。因此它的另一個巨大優勢在於在使用這些鍍層時裝配卡所產生的一些熱的移動被減少了。

10.8 總結

PWB 和連接器將相互影響地發展。可成像技術的出現（例如 IBM 的表面薄片電路，球柵排列技術，PCMCIA 形式，快速發展的多塊模組技術）將會保證每一技術未來的發展以及它們所帶來的市場的繁榮。

第十一章　至印刷電路板的永久性連接

這一章里，我們將對至電路板(PWBs)的機械式和焊接式兩種永久性連接方式進行討論。PWB 的設計與制造過程在第十章中已經討論過了，這就爲以后討論各種永久性連接技術提供了上文，近年來，微處理器之處理功能及記

憶 IC 技術之記憶功能的飛速提高，已經在深刻影響著 PWB 技術的發展.而這些功能的飛速提高就對 PWB 制造施加了壓力，以求達到電路板功能的整體提高，特別是可以通過改善多層線网，並結合孔的密度的提高和行寬及其間距的縮小來獲得。這些容量的提高現在是通過擴大線板的大小來實現的。實現這些改善必要的一個主要技術改進是以高面率進行通孔焊的能力(板厚/孔徑)。大型、高密及多層線网的 PWB 是非常昂貴的，因爲它強調的是制造工藝和連接至線路板過程的可靠性要求。出於對上述成本及制造的考慮，近幾年來 PWB 的連接技術已經受到了相當的重視。

焊接技術，特別是使用波峰焊的通孔焊技術(THT)，多年來已經一直在電路板的制造中占主導地位。在 THT 中，一元引線插入一電路板的通焊孔中，再進行波峰焊。然而，隨著高密多層線网 PWB 技術的改進，人們已經認識到 THT 焊接的局限性，其表現爲：

1. 焊接溫度引起的對線板的損害；
2. 殘留於線板上的助焊劑引起的腐蝕；
3. 因元件數量的增加及行密度的提高而使焊接空間縮小。

隨著線板尺寸及其厚度的加大，由于焊接時會產生溫度梯度現象，故其焊接溫度的上升會導致電路板的潛在危險有所增加。對遠程通訊設備所用之電連接器，人們就助焊劑之潛在腐蝕已作了深入的研究，並將該助焊劑的腐蝕性定爲一主要的損害機理。這些發現清楚地表明了，消除用于促進焊接的化學助焊劑的優點。正是出於這樣的考慮，人們將彈性壓入式插頭設計成，一種能提供 PWB 板上之 PTH 通孔的機械式無焊連接方式。更近些時候，隨著孔徑的縮小以及電線間的行間距不斷縮小的趨勢，焊接技術又一次使昂貴而有限大的電路板的真實價值得以體現。表面粘接技術(SMT)，提供一種墊附在電路板上的焊接連接方式，已經受到越來越多的注意。由於在理想狀態下可以消除通孔結構，SMT 就在電路板的密度及工藝方面有著顯著的優點，這就使電路板的既有價值得以體現並可降低其生產成本。

11.1 至印刷電路板的機械式永久連接

下面將就兩種機械式永久性連接方式進行討論：壓入式和包覆式連接，如圖 11.1 所示。壓入式連接是直接插入到電路板的 PTH 中(圖 11.1a)。壓入式

連接可能有兩個或三個接觸帶，這取決於其事先的設置，如圖 11.2 所示。圖 11.2a 所示爲有兩個接觸帶的連接：其中一接觸帶連接至 PWB 板上的 PTH 孔，還有一導柱活動連接至子板或線纜上之插座．圖 11.2b 所示爲一有三個接觸帶的的連接，此情形下端子壓入帶兩端都有一延伸導柱。一般來說，端子的一端用於活動連接，而另一端既可用於固定連接亦可用於活動連接。最常用的固定連接是包覆式連接，或者，某些情況下，復合包覆式連接也可用于導柱上，但這取決於導柱的長度。然而，連接端子的活動端並不局限於是導柱，正如圖 11.2 c 和 11.2 d 所示的，也可以單獨是板緣和盒體插座。

壓入式連接端子的活動端的設計及對材料的要求當然和第 6 章所討論的是一致的。但是，壓入式和包覆式連接的設計主題和參數是不相同的，我們將單獨地討論。

11.2 壓入式連接

壓入式連接可以定義爲這樣一種連接，在此種連接中金屬對金屬的接觸區域可以通過將一端子的壓入帶插入一 PTH 中，這樣壓入帶的直徑應比 PTH 的直徑要大。接觸區是通過壓入帶與 PTH 的內表面互相擠壓變形而成的。當然，壓入帶和 PTH 有關的變形是取決於設計和單個接觸元的尺寸。

壓入式連接有兩種類型：剛性和柔性連接。正如名稱所提示的，剛性壓入帶基本上是剛性的，當被插進 PTH 內時僅會產生最小量的變形。也正如將被討論的那樣，這些特點限制了其在許多方面的應用。另一方面柔性壓入帶即設計于當插入至 PTH 內時會產生可控制的變形量。有幾種柔性壓入帶的設計分別使用了好幾種方式提供柔性接觸變形。

11.2.1 剛性壓入式端子

如圖 11.3 所示爲一剛性連接。這種連接包括一剛性端子插入至一個剛性幾乎一樣的電路板中。在這種情況下，端子的變形可以忽略，電路板的塑性變形也是很小的。這種連接將產生殘余有彈性變形力以保持該機械連接的完整性。在插入過程中，PTH 內表面的鍍層會產生很大的變形，這是影響電路板性能的一個主要因素。

如圖 11.4 所示，爲直徑大約是 1mm(0.040 inch) 、與剛性端子配合之的

PTH 成孔尺寸的插入力和保持力示意圖。注意，插入力隨 PTH 的尺寸會有很大的變化。正如下文將討論的，壓入式連接最重要的孔的尺寸就是鉆孔的尺寸。爲了將最大插入力降至最小以方便裝配，并維持最小保持力 (以爲連接提供機械穩定性)，要求 PTH 尺寸是過盈配合公差。且盡管是高插入力，與殘余彈性變形力有關的保持力，仍受限於前述之原因。當然，在裝配過程中，當導柱插入連接時或者連接裝置進行連接時；且其易受到機械擠壓或震動時，保持力與壓入式連接的穩定性、及與之相對的機械干擾都是有關系的；在某些情況下，剛性壓入端子在殘余應力方面的局限， 正逐漸通過焊接的方式來得以避免。當然在這樣的情況下，如前所述的機械式連接的優點就喪失了。彈性端子幾何學正被進一步應用以消除這些剛性端子壓入式連接的缺陷。

11.2.2 柔性壓入式端子

圖 11.4 也包括 ACTION PIN 之柔性端子的插拔力及保持力的數據以說明柔性變形的影響。在這些數據中與剛性插頭相比照有三個顯著的差別：插入力下降的同時，對應于該插入力的保持力也在提高，這樣可帶來意外的優點：即 PTH 的公差可以得以放寬些。這些差別使得柔性壓入式端子的性能有很大的提高。減小插入力對於 PTH 破壞的控制要求和治具壓力的要求是相當重要的；而保持力增加則意味著更高的殘余應力，以增強分界面的機械完整性及連接器電阻的穩定性。對於給定範圍之插入力，若 PTH 放寬其公差，可以降低電路板的制造成本，特別是可以降低多層線网電路板的成本。

除了這些成本及制造上的優點外，柔性接觸還對其性能及可靠性有影響，它可減少在插入過程中對 PTH 孔的損害。正如第二章所討論的，在端子互配時產生的插入力和磨損過程，取決於表面間的接觸及其摩擦力，同樣的基本原理也與壓入式連接有關。在此情況下，壓入帶的柔性變形類似於接觸面的面跳動率，其與壓入帶的插入幾何角度結合起來會對插入力及可能發生在端子插入部分的磨損或對 PTH 的損害有很大的影響.對這些變形控制的重要性可以從兩個方面來看：積極面，變形可促進金屬接觸區域的改善，以保證必要的一個穩定且較低的接觸電阻；但是過量的變形會損害 PTH 孔，且更重要的是會損害 PTH 與多層線网電路板內部元件之間的連接。對這種損害的概要說明如圖 11.5 所示，其在 PWB 裝配領域及對其可靠性的考慮當中都是

一個重點。內部元件的略微彎曲是允許的，但內部元件與 PTH 分界面上的裂紋或斷折是不允許的。另外，當端子完全插入 PTH 孔時，如端子保持力所示之柔性變形元提供的殘余應力，可保持接觸表面的機械完整性。

現已開發出幾種形狀的柔性帶來控制柔性壓入帶和 PTH 插入部分的變形，使得既降低其插入力又提高固定連接的機械完整性。圖 11.6 概要描述了所選之壓入帶的幾何形狀方案，每一方案都從不同的角度提供柔性接觸。

有縫眼的端子或者說針眼式柔性部分(如圖 11.6a)包括一對雙重支撐橫條，該橫條在柔性帶插入 PTH 時會斜向讓開。C 壓入式壓入帶(如圖 11.6b)使用的是彎曲的(弧形)支撐橫條，其在端子插入 PTH 孔時也會斜向讓開。ACTION PIN 彈性端子的壓入帶包括一有縫眼的橫條，它在柔性插入部分插入時會被壓縮。在回顧壓入式連接接觸區域的產生以及保持機理以后，每一幾何設計方案都會更詳細地加以討論。

如第七章所述，所有的固定式連接都必須產生並保持一個金屬接觸區以確保一低值且穩定的連接阻抗，關于柔性端子如何實現這些要求將會順序作一簡要討論。在所有情況下，接觸區都是由于在端子插入過程中其柔性帶與 PTH 孔壁的變形而產生，這些變形是如何產生的，以及產生多少接觸帶取決於彈性部分的幾何形狀.接觸帶取決於 PTH 孔軸心的縱向和橫向兩方向的變形特征，橫向接觸帶取決於柔性接觸帶的外緣是如何與 PTH 的孔壁接觸的，也取決於彈性接觸帶橫向交叉帶的宏幾何形狀；縱向接觸帶取決於橫臂在端子插入電路板過程中斜向變形時是如何與 PTH 孔壁保持接觸的。

插入力是由柔性部分插入電路板時，其幾何形狀及彈性部分橫條之斜向變形特點決定的。因此，該連接的機械完整性和連接電阻的穩定性，是由柔性部分抵在孔壁上產生斜向變形時的彈性恢復產生的殘余應力來維持的。此殘余應力與保持力有關，但在因摩擦力和幾何形狀影響下的直接方式中卻並不是必要的。下面就這些要點來考慮每一種柔性端子。

縫眼式柔性端子：一個縫眼式柔性壓入帶(圖 11.6a)包括有一對雙重支撐的橫臂。原則上，當柔性部分壓入 PTH 時這些橫臂的斜向變形是一樣且一致的；但實際上，其斜向變形將取決於其與 PTH 孔及 PTH 孔的幾何形狀公差相關的端子結構；當然，該理由也適用於其它形狀的壓入帶的情況。圖 11.7 顯示的是插在 PTH 中的一縫眼式壓入帶縱向(右)和橫向(左)交叉部分的情況。正

如所提及的那樣，產生的整個接觸區取決於其與 PTH 孔縱向和橫向的接觸.縱向接觸取決於其橫臂是如何斜抵住 PTH 孔壁的，而橫向接觸取決於其橫臂的外表輪廓。圖 11.7a 顯示的是一穿過電路板、且跨距很大的縱向接觸帶；圖 11.7b 所示爲決定橫向接觸帶之諸因素中，壓入帶部分半徑範圍的重要性。

維持接觸區完整性的殘余應力，決定於雙重橫臂的柔性變形率以及該橫臂的斜向變形；反過來，該橫臂的柔性變形率及其斜向變形，又取決於柔性部分的原始直徑及柔性部分和 PTH 孔的公差。

“C”Press 式彈性端子.“C”Press 式端子之壓入帶包括一 C 形柔性部分，該彈性部分插入到孔里時會向內彎曲變形.圖 11.8 顯示的是插於 PTH 孔內的“C”Press 式柔性部分的縱向(右)和橫向(左) 交叉部分。C 形體的變形決定於制成 C 形體的彎曲橫臂的長度及厚度有關尺寸。盡管 C 形體和 PTH 孔在交叉部分都是圓形的，一般情況 C 形體的曲率和公差與孔是不一樣的，故 C 形體和孔的橫向接觸就不是連續而是集中的。而縱向接觸是由橫臂偏斜之特點，以及橫臂在插入過程中，是否因摩擦力而發生任何旋轉決定的。

ACTION PIN 式柔性端子. ACTION PIN 式柔性端子的變形比前述例子要復雜得多，因爲摩擦力對其橫臂變形有影響，如圖 11.9 所示。縱向交叉部分(左)顯示了 ACTION PIN 式柔性端子插入電路板的接觸長度；橫向交叉部分(右)顯示了插入后彈性帶部分的重疊情況、及其外表面與孔的接觸情況，虛線所示爲橫臂大致的原始形態，橫向接觸帶取決於柔性部分表面的半徑範圍。

其它幾何形狀的柔性帶. 當然，除了在前幾節中討論的柔性帶之外，還有其它類型的柔性帶。在所有情況下，柔性所要實現的意圖是最重要的設計特點。柔性恢復力，或者說是反彈，是保持接觸表面完整性所要求的。

11.2.3 柔性帶設計特點及其插入力

縫眼式柔性帶的幾何形狀是影響壓入式插入力的重要因素。在活動分界面配插力中重要的因素，在壓入式插入過程中一樣重要，其在進一步考慮到正常的力是以很大的單位公斤力來衡量而不是幾十或幾百克力。然而，入口處的幾何角度仍是很重要的尺寸將影響著摩擦力，并且，通過摩擦力，在插入過程中還有對 PTH 孔造成損害的可能。

如圖 11.10 所示，爲一縫眼式柔性部分縱向視圖。一般來說，插入角度因縫眼部分在成形時有彎曲而有各種變化。柔性帶的外表面輪廓，也對插入

力和對 PTH 有損害的可能有很大影響。因此，外表面的半徑決定了與 PTH 孔的接觸面積及接觸力在孔壁的分布。一小曲率半徑，在大外力作用下，可能會劃削孔壁，而不是產生對焊接的完整性、或接觸區域、或其殘余應力有負面影響的變形。影響連接電阻的整個接觸區域，是沿每一橫條的縱向接觸長度、及抵住孔壁的放射狀接觸帶的產物。

同樣對 ACTION PIN 式和“C ”PRESS 式端子的柔性部分也可以同樣地來說明。然而，在這兩種情況下，變形過程會更復雜。對縫眼式柔性部分的一般性討論，是有助於找出有關要點的：柔性部分的設計與公差，特別是插入角度及決定 PTH 孔壁上橫向接觸區的特征點，這些要點對插入力及對 PTH 孔可能的損害會有很大影響。仔細觀察其制造過程，對於在該領域的裝配和使用都是至關緊要的。必須注意的是， PTH 的尺寸和公差，在控制其扭曲變形和潛在損害時，也是至關緊要的。

11.2.4 柔性帶特點及其保持力

有關保持力兩個優點的討論：第一個是關於影響保持力大小的因素，第二個是關於保持力在多大程度上，對爲確保在裝配過程中達到要求的機械穩定性是必要的。

影響保持力的因素。正如上面所提到的，保持力是由隨其柔性部分插入 PTH 時的變形、而殘余的彈性恢復力決定的。反過來，該殘余彈性恢復力也取決於柔性帶的幾何形狀，因其決定了有效彈跳率、及可能發生的彈性和塑性變形的有關數量、與斜向變形之數量。柔性帶與 PTH 孔壁間的摩擦系數與這些殘余應力相結合，將決定壓入式連接的保持力大小。一般來說，其對保持力的幾何影響，會比插入力的潛在影響更小得多。

需要多大的保持力？保持力的重要性是基于以下事實產生的：雖然在某些情況下的某種復雜的型式里，就正常的接觸力礬而言，它包括了與機械力相持之接觸內表面的完整性，該機械力會干擾或使接觸內表面開裂，從而影響該連接的電阻。以此角度，需要多大的保持力在多大程度上對于柔性端子連接可接受的性能是必要的，這個問題包括兩個方面的內容。從接觸的完整性的角度來看，設計討論所期望的正常力是落在公斤力的範圍內，這遠遠比前述那些自由表面上的力要大得多。

然而，正如第一章所提及的，固定連接的手動壓力比活動連接的要高。有幾點特別要注意的是，柔性端子連接適用於高端子數連接器控制其正確位置的直接操作。連接端子插配力、及包覆式連接過程中的壓入力可能是非常重要的。以一實際的眼光來看，保持力的要求決定於端子在裝配過程中所預設的是何種壓力。考慮一下圖 11.11 及圖 11.11a 所示內容，導柱並不都適合於從電路板底面施加的任何形式的壓力。保持力對此組裝的要求，會比對那些要求以更高壓入力插入至插座連接器的延伸導柱的要求更低。包覆式連接的延伸導柱，或者甚至是復合包覆式連接，都必須支持以更高的壓入力。當然，保持力隨端子尺寸而變化，且由連接制造工藝來設定的。

11.2.5 PWB 板的構造和柔性端子

PWB 板的構造(特別是設有通孔焊的 PWB 板)也會影響柔性端子的性能。有爭議的是柔性端子性能中最重要的電路板的參數是否是鉆孔的尺寸。圖 11.12 所示描述的是 PTH 孔及與柔性端子性能有關尺寸的情況。鉆孔尺寸的重要性是至關緊要的，因其決定柔性部分會發生變形的外圍部分。正是 PWB 板柔性部分之斜向變形平面的相對硬度，提供斜向變形之橫臂以電阻。不幸的是，只有成孔的尺寸才可以方便地進行測量。介紹彈性端子的制造工藝、及其相關之鉆孔尺寸，並輔之以電路板的制造工藝是非常重要的。

銅及錫鉛鍍層 (最常用的 PTH 焊接系統) 的厚度也必須是可控的，盡管其對於正常力的影響是次要的。然而， 其通過相關摩擦力對于插入力的影響卻是重要的。PTH 鉆孔和爲所選 ACTION PIN 式柔性端子的鍍層厚度在圖 11.12 中已有插入指示。連接器制造工藝所標示之尺寸和公差必須加以實施以確保壓入式連接的性能及其完整性。

11.2.6 前景

柔性端子設計正被修改以適應 PWB 板更大範圍孔的尺寸和大多數更小孔的尺寸，此項技術尚在開發之中。孔徑範圍從 0.55 到 1.6mm 現正在使用之中；PTH 通孔焊技術正進一步發展；裸銅或金/鎳/銅 PTH 通孔焊的應用正在逐漸推廣之中。

11.3 包覆式連接

包覆式連接，通常指其商用名的電線包覆式連接，之所以被包括在這部分，是因爲這種連接主要應用於將端子插入 PWB 電路板。在傳統的包覆式連接中，繞在導體上的所有線纜都被剝去了絕緣層(圖 11.13a)；而改進了的包覆式連接(11.13b)中，至少導柱頭三個轉角的線纜是有絕緣層包覆的，而其它線纜則是無絕緣層包覆的。改進后的包覆式連接用更小的導體。包覆式連接的主體是由自動包裝設備制造的。

包覆式連接的內接觸表面是當導體被沿著其導柱邊緣包覆上線纜時產生的。導柱邊緣的半徑采用緊公差，以使沿著導體之導柱產生變形來使其接觸面最大。圖 11.14 所示爲當繞著導柱給導體包線時產生接觸區域的情況。

包覆式連接的正常力來自於，當導體在可控拉力作用下繞其導柱包線時殘余的張力。通過位於其導柱轉角處的將導體鎖到位之接觸區域，使張力得以殘余於導體中。

絕緣線纜繞數的最小量取決於導體尺寸，該尺寸範圍從 1.0~0.16mm 分別對應於繞數 4~6 圈。包覆式連接也是可維修的，只要更換一新的導體即可。

在遠程通訊和計算機設備中，主要是在底板上，包覆式連接素以其可靠性能而著稱。其可靠性能部分在于產生的復合接觸帶。由于平行的導體繞線軌道以及因過剩而增加的穩定性，使得復合接觸可產生很低的電阻。

11.4 關于至 PWBs 板之機械式連接的小結

發展至 PWB 板的機械式連接，是用來取代焊接工藝，并消除溫度梯度、及電路板元件與接觸界面之化學性能退化的潛在可能。多年來柔性連接在這些裝置中都已得到成功的應用。然而，隨著電路板密度的不斷提高，機械式連接和聯合公差已漸漸難以實現了，此時，永久性連接中焊接式連接的使用便應運而生了。

11.5 焊接式連接

對于那些對詳細討論焊接這個課題有興趣的人士來說，可以找到許多有關於焊接技術的參考資料；本章僅限于對有關連接技術之焊接的有關方面作一回顧性討論。焊接技術有兩種主要的連接類型，它們是在連接器之焊接端

子與電路板界面以及焊料的來源如何等方面有所不同。舊技術，即 THT 通孔焊技術，就在于利用波峰焊焊源將端子焊入 PTH 中；表面粘接技術(SMT)，正如其名字所揭示的，在于如何將焊好的連接器粘著到 PWB 板表面或墊塊上，且通常還要求第二焊源。在更詳細地討論這些區別之前，先順序扼要地回顧一下用於連接器的焊接工藝。

11.5.1 焊接工藝

焊接工藝包括四個要素：

- 焊料
- 助焊劑
- 焊接溫度/時間
- 焊面清潔度

今年(1997)，所有這些要素都處在變動狀態之中，其大都是由于環境原因。

焊料. 錫鉛焊劑，特別是共熔的或近共熔的成分（比如說，錫 63-鉛 37 或錫 60-鉛 40），是最常用的焊料，也是本章討論的唯一一種焊料。在當前除鉛的環保潮流下無鉛焊接劑已受到越來越多的矚目。然而，大多數眼下考慮的焊料系統中，錫的混合金屬在焊接過程中，能保持著良好的粘著成型作用，這與下文是相關的。圖 11.15 所示爲錫鉛相位圖。從圖中我們可以清楚地看出，共熔焊料爲什么會更受青睞。除了共熔成分之低熔點/低凝固點，使其可適于低溫焊接外，這些成分是在一相當窄的溫度範圍內凝固，這就使在焊接一完整焊點過程中，其活動所含能量最少。而其它焊料成分包括一系列溫度範圍，如圖 11.15 所示在此過程中焊料會經歷一個熔融狀態過程。當焊料還處於熔融狀態時，部分能量被撤走是不利的，比如說鉛就會導向冷焊點。冷焊點的可靠性比沒有能量流動而形成的焊點更差。

助焊劑. 助焊劑的目的是清除表面污垢以便焊接。在大多數情況下，這一點就意味著清除表面氧化物。該助焊劑的活力取決於其化學組成。高效助焊劑在清除污垢時很有效，但如果焊接后不及時清除其殘余物的話，對其基體金屬也會有腐蝕作用。電子制造業的趨勢是向著低活性的助焊劑或該可溶於水的助焊劑或無需清除的助焊劑，即所謂無需清潔之助焊劑。降低活性是爲環境所驅，而清潔過程的取消又是環境和經濟都要求的。然而，助焊劑活

性的這種變化對連接器端子的可焊接性，及對焊接層壽命的要求就更爲嚴格。

建立一個焊點 在焊接式連接的變形中一定會有幾個連續的過程，其焊接溫度必須使助焊劑能夠清潔焊接表面，并且焊接劑應是易流動的液態，以濕潤已清潔的焊接表面。助焊劑的活性溫度，比熔化焊接劑所要求的溫度要低，且在該活性溫度上必須提供充足的時間，以完全激活助焊劑的活性及充分讓揮發性物質完成除氧。若除氧時間不充足可能會導致焊接劑外溢及產生氧氣孔，此情況尤其多見于表面粘接式焊接工藝。

當熔融的焊料，特別是焊料中的錫成分，與連接端子表面接觸（通常是以銅爲基體的合金）時，發生的化學反應取決於接觸表面的化學性質。如果端子有一被錫表面，那么原先存在的銅-錫金屬混合物是否仍存在，這取決于錫或錫合金成型的方法。在此情況下，焊料僅僅是熔化或融化其表面的錫即可建立焊接帶。如果以金或鈀爲結束層是用來獲得其可焊接性的話，那么錫是可以溶解這些成分的；而且對于被金的表面，則金會完全被溶解掉，于是焊接帶將位于銅合金或鎳表面的下面。鈀在錫中溶解要慢得多，故其焊接帶可能是錫-鈀合金帶。如果不考慮冶金學和動力學的話，焊接帶的完整性則取決於錫與焊接之接觸表面的某一混合物成分之間的變形。

時間-溫度曲線. 用于焊接的時間-溫度曲線是由所用焊接工藝/技術決定的。對于電子制造業來說，有兩種主要的重要焊接工藝：波峰焊和軟熔焊。正如其名字所暗示的那樣，波峰焊是使用熔融的焊劑波來提供焊接劑和必要的焊接熱量；軟熔焊，其名字也有生動的暗示，恰好適用於僅需要外部熱源就可再熔化或再回流的焊接。

波峰焊比軟熔焊更古老，但在線路行間距較大且完全能夠建立焊接橋的情況下，仍得到廣泛地應用。

軟熔焊工藝中所用的熱源更加富于變化，其中主要的技術點有：

- 熔融的焊劑波
- 蒸氣階段
- 紅外線熱源
- 對流/熱空氣流

對于成功運用這些熱源非常要緊的工藝控制的細節，已經超出了本章討論的範圍，有關這些信息請參閱 8-10。

人們一直想要限制焊接的最大溫度，以及在此溫度下使溫度梯度對電路板上元件(包括電連接器在內)的影響最小的暴露時間，這也就是爲什么焊接工藝的時間-溫度曲線會如此重要的原因。焊接熱量對于激活助焊劑的活性是必要的，也有助于熔融的焊接劑濕潤待焊的元件；通常采用預熱的方式來預先激活助焊劑的活性、使熔融焊料及/或助焊劑中的揮發性物質揮發完全、以及降低溫度梯度對電路板和電子元件的影響。對于 THT 和 SMT 焊接中溫度梯度的細節，在很大程度上是針對具體工藝各異的，在此就不再深入討論了。

清潔　導柱之焊接清潔就是，清除殘余于電路板和電子元件上任何具有腐蝕性的助焊劑，以避免對該區域產生任何腐蝕作用。清潔過程取決于助焊劑的成分，能從有機溶劑與水漂洗相結合變化到根本沒有清潔作用。然而，如果清潔是必要的，那么必須對其進行有效的控制，以確保在清潔表面時不會被清潔制程本身所污染。

11.5.2　通孔技術

正如前面所提及的，THT 的焊接連接通常是在其孔壁上進行，而 PWB 則通常是在銅體上鍍一層錫膏。波峰焊最常用於 THT 通孔焊工藝，其焊接劑和焊接熱源都由波峰焊本身提供。THT 的焊接點貫穿整個 PTH，並延伸至高於或低於電路板表面的一個帶狀區域，如圖 11.16 所示。但是，除了焊接點之外還應注意的是，焊接導柱也是由 PWB 板機械式支持的；與 SMT 相比其對 THT 的設計和材料要求會有更大的影響，因 SMT 中其機械式接點只是位于表面墊塊而已，如圖 11.16 所示。

11.5.3　表面粘接技術

SMT 焊接， 即是通過一系列技術將其連接器的焊腳置于焊接墊塊上，然后再進行軟熔焊以建立焊點。其焊接源、所用焊接劑數量、焊接的熱源以及焊點的結構都與 THT 焊接方式有很大的差別。焊接源是個典型的焊接軟塊，該焊接軟塊即在一媒介中包含了焊接顆粒及助焊劑，這在二次處理中會反映或印刷至 PWB 板上。控制焊料的數量對 SMT 性能是至關重要的；焊料過少會影響其機械強度，過多又會導致焊料橫溢產生架橋及接觸墊塊不夠大的問題。通常其焊接熱量是通過前述一種方法另外提供的， 即利用回流焊接劑軟

塊。在 SMT 焊接方式中，焊點是在元件端子和墊塊或板表面之間建立的。

SMT 工藝可用于多種電子元件，比如電阻器和電容器的晶片以及的 IC 端子/外包裝。這些元件主要從兩個方面與其它連接器有所不同：尺寸及所需壓力。連接器比上述元件要大得多，這一點也就引起了這樣的爭議，即在對大量的端子進行軟熔和連續焊接時，電路板上的電連接器會比其它元件更具有優勢。電連接器同樣也適用於更大的機械式裝載，特別是有配對要求的情況。

這些不同點產生了許多新的、富有挑戰性的材料、設計和工藝要求，以確保 SMT 焊接連接的可靠性。

11.5.4 SMT 式電連接器

在眾多設計/材料及工藝中，必須特別注意其中能確保電連接器 SMT 焊接工藝可重復性的技術點，如下所示：

＊對接至墊塊的端子的標注；

＊確保與墊塊接觸的端子的共面性；

＊對端子適當的控制(以得利於焊接)；

＊端子的可焊接性；

＊焊接劑的供源；

＊絕緣體對溫度梯度的穩定性(以承受工藝過程中產生熱量)；

＊對焊接點的檢查；

＊焊接帶承受插配力及其它可能產生的壓力的能力；

＊與經濟制造自動插拔機構的兼容性。

SMT 技術以其高密度的行間距，典型應用於高密度的 PWB 板中。將連接端子標注于電路板墊塊上，對于保證正確的焊點區域及其幾何形狀都是很重要的；端子的共面性對于確保所有端子與對應之焊接墊塊的接觸是必要的，典型的共面度公差爲 50~100。

對于高端子數的連接器來說，機械控制有三個實施的必要性：首先，焊接熔塊可能不夠大，無法保證焊接過程中電連接端子的保持力；第二，機械控制可以將端子預裝入，並抵住電路板表面以調節其共面性；第三，機械控制能提供插配過程中支持連接端子的壓力。

成功的 SMT 焊接要求適當的焊接劑供源及連接端子的可焊接性。應正確控制焊接劑的噴印，以確保焊接處全區域接觸、及接收帶有充足的焊接劑，應無因焊接劑多余而可能導致，在兩間隔較近的墊塊間會產生焊橋的情況。而且連接端子的可焊接性、及其可焊接之外殼的壽命，都應能確保得到高密焊接區域。

SMT 焊接工藝一般相對波峰焊來說，會使連接端子以更長的時間暴露於更高的溫度中，這就會對連接器絕緣體的耐高溫能力和溫度梯度的穩定性要求更嚴格，特別是對在焊接過程中抵抗扭曲變形及歪曲變形的能力，要求會更嚴格。另外，還要控制絕緣體里的濕氣以防產生水泡。

對 SMT 焊接點的檢查可能也是困難的，對于有多行端子的插頭及插座來說，只有外圍的端子可以方便地檢查到，這種局限性的檢查就使得高密區的焊接成爲必要。

一旦電連接器焊接至電路板上，就會因與其它 SMT 元件相比照，有其端子的物理尺寸及連接器配對要求，而產生其它的問題。正如前面所說過的，在 THT 焊接中插配力是由 PWB 電路板提供的。在 SMT 中並不是這樣，而是焊接點必須提供插配所需的所有的力；且其焊接劑不是一種機械性能很強的物質，因其會限制連接端子的插配力大小。這一事實可能會導致對通過機械控制來予以支持有所要求。然而，除了這些插配壓力之外，還有因電路板與絕緣體間上升熱氣流的膨脹導致發生結合錯誤，而產生的額外壓力；這個壓力的大小取決於其隨塌連接器長度的增加、而增大的電連接器大小。又因爲焊接劑在低溫下也會流動或蔓延，所以在該壓力作用下的失敗機理是很復雜的。這種循環蔓延/疲勞之失敗機理非常復雜，近幾年來已經有人對其作了大量的實驗研究。有一種減小此壓力的設計觀點，就是增加連接端子的彈性，并且還輔以一系列端子的幾何形狀，其中包括鷗翼狀和 J 狀的配置(如圖 11.16 所示)。

SMT 式電連接端子的經濟及性能優點，就在于其能使連接器及其工藝不斷發展.其經濟上的優點包括因無 PTH 結構而具有更小體積更高價值的電路板；其性能上的優點也是由于更小體積的電路板而實現的更短的信號通道，以及對電路板上導體路徑的改善、以提高信號傳送的質量和速度。

11.5.5 小結

焊接技術將一直在電連接器/PWB 裝配工藝中得到廣泛的應用。當講求經濟和性能時，THT 技術就被 SMT 技術取代了，但這兩種技術在可見的將來都還會共同存在；只是，SMT 技術對連接器有關的設計和材料要求更加的嚴厲。

第十二章　連接器的應用

在這一章中，從上文中我們知道連接器是應用於傳輸信號和電力。這種應用彼此有幾點區別，兩個最主要的區別是電流/電壓的應用和連接器的溫度經驗升高值。

關於電流和電壓，一般采用電流做信號應用，但更普遍的是采用電壓，其更“低耗”。例如，小於 1 安培的應用電流，通常被認爲是信號應用，而把超過 10 安培的電流被認爲是電力應用。然而這種“定義”是很局限的。例如對於小型連接器相關的電流的流速爲 1 安培或更小這是由於有接觸交叉部分，這種接觸會使溫度升高 1 安培這個經驗值，這樣就會引起第二點不同，溫度升高。

通常有一個標準，就是溫度升高（T-rise）到 30℃就被當作是電力應用了。這個標准雖是任意作的，但是確是基於保險公司對於家庭使用器械安全來作指導路線的。在這篇討論中，溫升（T-rise）將被用於判斷電流速度的標準。

然而，依照應用需求，較高的溫升（T-rise）還是可以被接受的。根據這種判斷標準，如果相關的溫升（T-rise）小於 10℃被認爲是信號應用，而溫升大於 20℃就被認爲是電力應用。

對於電力應用來說，電流／電壓和溫升（T-rise）的標準是重要的。然而有爭議的是它們對於信號應用是否特別重要。另有一套判斷標準，也就是電流／電壓的頻率對於信號連接器的應用變得更加重要。信號應用將以頻率作爲背景下來討論。

在信號應用中，信號應用的焦點將是維護信號的完整性——特別是信號的上升時間和波形。對於電力應用，連接器關於電力分布的結果是求在系統中最相關的電流的最小參數值。

12.1　信號應用

信號連接器的應用是電流或電壓的波形在兩點之間被傳輸。在增幅或滿足頻率中沒有不可接受的損失之外，增幅和波形的形狀必須被維護，二者擇一，波形是不可接受變化的。因爲這些電壓和電流的大小通常相對來說比較低（在巨大的信號應用中，很典型的幾伏特和幾毫安培），通過互相聯絡，可以引起一些衰減，這是非常有害的。信號連接器的特性可以引出兩個廣泛的話題，信號傳輸質量（STQ）和電磁兼容性（EMC）。

信號傳輸質量（STQ）是指在連接器和互相聯絡系統中信號波形中沒有因損失而引起不可接受的變化的的高速信號的傳輸。損失組成特別包括串擾，增值延遲和關於信號傳播和反射的特性阻抗變化的結果。STQ 指在電子系統中，傳輸和所需信號波形的保護。

另一方面，EMC 有關排除或兼容外來電磁波，噪音和干擾以防止信號的衰減。當 EMC 在交互聯絡裝置中檢測時，包括屏蔽，濾波和接地等措施來控制電磁干擾(EMI)和無線電頻率干擾(RFI)，這些就共同構成 EMC。

信號應用可以是模擬量或是數字量。模擬量的應用需要特別注意波形，因爲波形本質上傳輸的是信號。只要波形是統一的，就可以允許波形增幅中稍有損失，正如所知道的，交叉頻率邊界包括在波形中。如果缺少兩個標准中的任何一個，信號將會被扭曲。

在本篇討論中，之所以著重於數字信號的應用，是因爲連接器對數字式

應用通常比對模擬式應用的需要更迫切。在數字式應用中，信號頻率對有關連接器的需求及出於設計的考慮具有決定性的作用。

上述頻率包括兩方面內容：信號脈沖產生的頻率，指時鍾脈沖，以及有關脈沖本身的上升時間的頻率。通常，脈沖上升時間將被作爲支配性的因素，因爲快速上升脈沖包含的頻率比時鍾脈沖的頻率高。其最大頻率值，Vm，脈沖的上升時間 Tγ ，可近似的表示爲：

$$Vm = 0.35 / T\gamma \qquad (12.1)$$

對應上升時間爲 1 納秒，其頻率的最大值爲 350MHZ，這個頻率值超過了典型的時鍾頻率。在 1996－舊式、160 MHZ 的個人電腦的訂單中，脈沖上升時間將被應用來作爲考慮的重要問題。在這種情況下，連接器必須能夠無波形衰減地傳輸脈沖波形，而脈沖波形則包括對上升時間和電壓／波幅的考慮。

當連接器的尺寸可與電子脈沖的長度相比時，信號應用就會以這些考慮問題作爲條件。換句話說，在這些條件下，連接器可以被認爲成是一傳輸通道。有很多方法來選取一適當的電磁波長度去做這種決定。在這篇討論中所采用的方法與連接器的尺寸和脈沖的電磁波升高長度相比較有關。脈沖的電磁波升高的長度就是信號從零增加到滿壓過程中，沿導體的距離。下面給出其公式：

$$Lr = Vp \times T\gamma \qquad (12.2)$$

信號傳播速度通過下式給出:

$$Vp = C\,(\varepsilon\,eff)\,1/2 \qquad (12.3)$$

其中， C＝光速

ε eff＝傳播介質的有效介電常數

有效介電常數要考慮材料的組成變化，諸如泡沫絕緣體中空氣的量或連接器絕緣體的聚合體／空氣腔的幾何形狀。在此情況下，單個介電常數適當的平均值是必要的。

本篇討論中的主導思想即，在信號傳輸的方向里，連接器的長度大於 0.3Lr，連接器可以被認爲是傳輸通道。對於連接器和印刷電路板來說，有效介電常數值大約爲 4 是適當的。個別地，針對上升時間分別是 1 和 10 納秒的脈沖，組件的臨界長度分別是 2 和 20 ㎝。

依據這種標準，很清楚印刷電路板和線纜，其長度一般爲 10 cm，應認爲是快於 10 納秒的脈沖的傳輸通道。事實上，近幾年來傳輸通道的設計規則已經應用於 PWB 和線纜上了。在 PWB 和可控阻抗線纜上，其幾何形狀通常采用微型塊狀和微型帶狀。在現有技術下，當信號上升時間突破小於 10 納秒的規范時，連接器將必須被認爲是一種信號傳輸通道。在這樣的應用中，傳輸通道的參數，諸如特性阻抗和串擾，將會取代接觸電阻作爲“關鍵”的性能方面的考慮。

12.2 傳輸通道的基礎

在討論傳輸通道之前，我們先簡單討論一下電磁波的順序傳播。圖 12.1 概要地表示出電磁波的情況。電磁波由彼此傳播方向成直角的電和磁兩個區域組成。有關波的特性的相等關系如下:

$$C = \lambda \upsilon \qquad (12.4)$$

此處 C＝光在真空中的速度

λ ＝波長

υ ＝波的頻率

當這種波沿導體方向傳播時，電和磁的區域從導體向外延展，這就引出信號傳輸中很重要的兩個基本的電特性：傳輸導體或互連絡裝置中的電容 C 和電感 L。

電容的產生，是兩相鄰激活狀態的體導上的電磁場互相作用的結果；電感亦是一種相似的結果，即是一激活狀態導體的磁場與其鄰近導體磁場間的相互作用的結果。

電容和電感的大小取決於導體系統的物理幾何形狀和在導體之間的絕緣介質。電感和電容將隨導體分離、導體相關交叉部分及其表面的面積而變化。這些基本特點或性質將決定信號波形接觸系統的效果。

在此前提下，來考慮由兩個被電介質分開的導體組成的傳輸通道。對于理想的情況，導體的交叉部分和分離部分以及電介質的性能，在導體的全部長度上都保持一致，且通道上各電性參數都是一致的。正如將要被討論的，此種理想的情況很少能獲得，至少在連接器中，傳輸波導線的這種電子性能是不確定的。

如圖 12.2 所示，爲有一具有單一來源及單一負載、雙線纜的傳輸波導線的示意圖，該傳輸波導線理想的相當電路（假設無損失）也有部分顯示。特性阻抗用 Z_0 表示，見下式：

$$Z_0 = (L_0 / C_0)^{1/2} \qquad (12.5)$$

L_0 是單位長度的自感系數（單位:亨利）；C_0 是單位長度的電容（單位:法拉）。

除了影響特性阻抗外，電容和電感也影響導線的其它重要的電子特性:串擾。串擾是由激活狀態下之導體的電磁場向外延展，並與其相鄰導體電磁場的相互作用產生的（無論其爲信號還是接地導體）。串擾及其對信號波形的影響將在下一章討論。

以一實際的眼光來看，公式 12.5 的應用價值有其局限性，因爲 L_0 和 C_0 是一個混合名詞因而在實踐中難以確定。更確切地說，特性阻抗可根據材料和幾何參數得出，如式(12.6):

$$Z_0 = 120\varepsilon - 1 / 2 \, Ln[D/d + (D/d)^2 - 1] \qquad (12.6)$$

D 和 d：參閱圖 12.2

ε ：被導線環繞的介質常數

從公式 12.6 中可以看出，如前所提到的那樣，幾何參數決定其電感和電容。

有關信號傳播的特性阻抗和串擾的問題將在下面章節將繼續進行討論，在此必須提出傳播波導線的另一特性:傳播延遲。

首先考慮到線纜或連接器中的傳播延遲取決於信號在其絕緣介質中的傳播速率 υP。如式(12.3)中指出的，傳播速率取決於包圍在導體周圍的絕緣介質的有效介電常數。除此之外，傳播延遲也取決於在傳播方向上的長度分量；它是一種對時間折測量，即在波形上取一特殊點，測量其走過線的長度所用的時間。

傳播延遲，τd，線的給定長度給出：

$$\tau d = L / \upsilon p \qquad (12.7)$$

其中 L：線的長度

υp：傳播速率[式.(12.3)]

在真空中，一個電磁波的傳播延遲率是 85ps/in。因幾何量的變化而使介

電常量也在變化，正如在波的傳播方向上，沿連接器的長度發生的變化，也會影響其傳播延遲率。例如，對於一 1 in(25.4 毫米)長的連接器，其傳播延遲率大約爲 170ps，因爲有效絕緣介質常數（其由于包括各絕緣介質/氣體交叉部分）的數量級爲 4，其會因因素２而降低傳播速率。

依原理，由線纜或者是連接器引起的增值延遲，可以從材料和元件的幾何量中算出，因此，可以在系統設計中預先進行估算。

對於導線的展開討論和高頻率的電子應用，請查閱 Katy1 和 Simed1 和 Cang2。上文中已給出一些基礎知識，討論了連接器在高速電子學中的一些概況。

12.3 有關信號的傳輸質量

對於任何連接器的信號傳輸質量(STQ)所需求的，是保持信號傳輸的完整。該完整包括上升時間、電壓以及持續的脈沖；換句話說，就是保持波形完整。爲了提高信號的傳輸質量，連接器或任何其它的互連設備，可通過延遲脈沖(其可影響信號時間)或通過扭曲脈沖的波形(其可影響信號觸發需求裝置的能力)來影響脈沖的完整性。采用信號衰減和反射等手段可使其發生扭曲。記住這些信號中的每一個信號衰減機理是變化的這一點，是非常重要的，其一般隨著以脈沖上升時間來表示的系統速度的變化而更加嚴格.

12.3.1　互連延遲

互連延遲即互連體（連接器）內增值延遲的總量，再加上脈沖通過互連絡體的時間。正如早些討論的那樣，增值延遲是傳輸路徑設計、特別是路徑的長度及絕緣介質的一個函數。系統設計者必須考慮，在系統傳輸路徑設計中這些互連體的作用。系統的速度也是由系統設計者決定，特別是通過對信號上升時間的選擇來決定。高性能系統需要高質量、低噪聲且快速、穩定的信號。當上升時間減少時，要獲得如此的穩定性，其困難就增加了。當給予選擇和電路界面形狀及互連系統的設計足夠的重視時，高質量的信號傳輸還僅是可能的.

隨著系統操作速度的上升，在互連系統中的增值延遲就成爲全部信號延遲的重要部分。爲了在系統水平中實現最大速度，必須優化互連系統的響應；

也就是互連體的增值延遲和不匹配的阻抗必須最小化。如此下去，信號線必須保持盡可能短，且每一小段必須保證都有響應，這樣在界面的多種反射及其它的擾亂就可以快速平息。

12.3.2　信號的變形

正如上述提及的那樣，由於特性阻抗不匹配，或，甚至所謂的無損耗的傳輸導線，其串擾和反射導致了信號變形。

串擾和特性阻抗都取決於元件的材料和幾何形狀，所以設計／材料的變化將影響這兩個特性，但並不必要達到相同的程度或在相同的方向上。這種被認可的信號還將會被優化，這取決於串擾或特性阻抗是否是非常重要的參數，在這樣考慮下就隨元件而巒化。

在線纜中，因典型線纜的長度和控制線纜材料(特別是絕緣介質常量和幾何常量)的最小公差的能力相異，串擾是否更加重要還是有爭議的。在印刷線路板上，串擾和特性阻抗可根據板的尺寸、層數、線路圖樣和應用需要，來作爲重要的考慮。

在連接器中，對阻抗的控制是占主導地位的。這是有兩個原因：首先，對特性阻抗的控制，因沿連接器長度方向的幾何形狀和材料的變化而變得復雜。第二，串擾作用的最小化，是由于在信號傳播方向上、連接器相對短的長度。必須注意的是，特性阻抗的作用並不是主要的。通過對元件或交叉元件界面內之特性阻抗的控制，還有待爭議，至少與連接器相關垢，還要討論更重要的問題。

當傳輸波導線出于數學上的原因而被定義成無損耗的，但，實際上其並不是真正意義上的無損耗。分散的損失存在於導體和傳輸波導線的絕緣介質之間，其對信號變形的促進作用將分別進行討論.

串擾引起的信號變形。嚴格地講，串擾不是傳輸導線的參數，但是因爲它會對系統性能有重要作用，并且與特性阻抗一樣取決於相同的幾何因素故其值得在本節進行討論。

激活狀態的導體(即主動導體)，其周圍的電磁場與相鄰導體的電磁場(亦稱受動導體)進行耦合，便產生了串擾。該耦合的強度取決於兩導體的分離及主動導體和受動導體截面的幾何形狀。串擾可通過增加兩個導體間的距離來

達到最小，減小兩導體的交叉部分及保持導體的長度盡可能短。因爲連接器傾向於在信號傳播方向盡量短，所以通過連接器可以限制串擾，這是第二個特征。

控制串擾有兩個重要垢原因:首先，串擾會導致傳輸波導線源信號的衰減。過度的衰減將導致信號無法觸發所需裝置；第二，如果受動導體也是一傳輸信號波導線，則串擾會扭曲受動波導線的信號，其將作爲元件觸發器來影響受動波導線的性能.

減少串擾的另一種方法是在兩個信號導體之間引入接地線，並減少主動導體和受動導體之間電磁場的耦合區域。由於接地線很長，其可適當的用於連接器甚至用於線纜中。爲了訪問線纜串擾，線纜可以遮蔽起來、並包括其內部的接地線或接地板及負載線。事實上，接地端子和接地板在連接器中的應用，更經常地傾向於作爲控制連接器特性阻抗的一種手段。

圖 12.3 所示，爲影響主動導線和受動導線之間的串擾的因素。兩導線彼此之間共同的電容和電感是兩個主要因素，而導線的長度也有關系。正如圖中所示，影響串擾最重要的參數是兩導體之間共同的電容和互感系數、及導體本身的自感系數；其互相作用的效果取決於兩導體之間的距離、其幾何形狀及周圍絕緣介質的組成，且從圖中很清楚的可以看出:材料／設計取決於串擾。此外，串擾取決於導體相互作用的長度。

在低速系統中計算的這些參數，常規的電路分析方法包括塊狀的電阻，電感和電容 (R，C，L)。在 R，L，C 的大小中可以注意到頻率的效果，這對於給定的應用是適當的。而對於高速傳輸系統，可應用傳輸導線分布元素分析法。從這些分析中，可以預知串擾的大小；更重要的是可以估計出互聯體對系統特性的影響。這些因素取決於原料的選擇， 記住這一點是非常重要的，因爲材料直接影響系統的基本傳輸特性。

當互連系統中的串擾超出了系統對出錯預算所允許的最大值時，信號的完整性將會有被破壞的危險。串擾是信號線間的分離和彼此平行的信號線之間的線性距離的函數；而且它也是導體到地或其它參考面的函數。這樣，信號在哪里彼此相互耦合(作用)是一個重要的問題，信號應以一適當角度彼此作用，應盡可能地接近接地板，或通過接地板和適當選擇互連絡裝置的參考面來達到彼此隔離的目的。

大多數高性能系統要求很多線路板和母板。在信號互連體需要提高信號密度，一些信號線必然彼此挨得很近，并且與其它信號線平行排列。在這種情況下，存在兩種串擾的形式：前向和后向。前向串擾存在於耦合線上，並與附近受動線上一處激活狀態中的波的前沿同時存在，且存在於受動線邊緣的轉換期間。耦合導線上之后向串擾從鄰近導線波的前沿流走，並會維持兩倍的該線長度上的增值延遲。前面兩種串擾能引起線路故障，但后向的串擾更有害，因爲它在很長時間一直是很高的增幅到最后。所以在互相連絡裝置中控制串擾必須注意來源。

線纜和連接器中的串擾來自於兩方面：接地的配置和平衡線的應用.在傳輸導線中，通常對阻抗和串擾控制實行間隔信號和接地導引。當減少串擾接地板也可以維持主要的信號密度。平衡線是成對的線在其上信號對稱地分布，可是有相反的傾向，促進取消互連絡區域從而減少成對的串擾。平衡線有很高的噪音免疫力，因爲噪音影響兩條線的極性轉化。因而當信號在線路上結合時噪音被取消。

扭曲歸因於特性阻抗。對於高速系統控制特性阻抗是很重要的需求其致少有兩個原因。首先不巒的阻抗保護信號延線上傳輸的質量是非常必要的。第二，在界面上對比阻抗，例如連接器，急速減少到最小信號反映。正如即將討論的，在互聯絡介面的信號反映有重要的關於信號波形衰減和扭曲結果的影響。在數字應用中錯誤觸發或錯誤的觸發設備能發生歸因於反映，錯誤的阻抗結合可引起正、負極接反，因而控制信號完整特別重要。

在界面上錯誤的阻抗結合，比如在連接器與印刷線路板之間，信號反映的結果。反映系數 ρ 通過下式給出 $\rho = Z - Z_0 / Z + Z_0$ 其中 Z_0 導線或連接器的特性阻抗，Z 成功的居線或器的特性阻抗。

如果 Z 大於 Z_0 反映朝正向；也就是說一部分信號被反射而沒有轉化。如果 Z 小於 Z_0，反應是負向的；也就是說，信號反映了同時也轉化了。如果牡性阻抗相等（傳輸導線的正確配合），就沒有反映損失，因此就沒有信號扭曲和衰減。

在大多數情況下，對特性阻抗應用希望價值的選擇要依據電容來選擇。互相連接的選擇，特別是連接器的選擇，因爲連接器的阻抗的設計既要根據頻率又要依據給出的設計。

元件的特性阻抗依據其幾何量及材料來決定。常量阻抗需要常量的幾何量和一致的材料。在線纜中的阻抗控制比較的明確，也就是其材料和幾何尺寸都一致。隨電纜小型化，維持尺寸公差和材料的同一性更加困難。

連接器的位置很不同。連接器中的阻抗控制需要考慮絕緣體（連接器絕緣體中空氣和聚合體的大量混合）和導體幾何量的變化穿過橫截面和曲率的改變。在這種條件下，“常量阻抗”連接器在本質上是不可能的。

在連接器中控制阻抗涉及到兩個很困難的事情，其依據加接地來節制特性阻抗的變化。涉及到的兩件事是連接器要致力於加接地端子與接地板。圖 12.4 和 12.6 就是加接地裝置的良好事例。

在開放端子連接器中有大量的端子用於接地，如圖 12.4 所示，是控制板對板連接器的首選方法。有很多因素，主電路和相關的應用，影響大量的接地必須保證所需信號的完整。大量的接地需要通過信號／接地系數表示出來。隨信號／接地系數的減少，電子特性增加，但連接器中大量的端子對滿足輸入輸出需要的減少是適用的。接地安排上也要考慮信號線也是很重要的。信號端子與靠近的接地端子間的距離最小化可以改善性能。在信號端子周圍提供接地端子也可以減少串擾。通過接地接觸信號完全的被屏蔽串擾達到了最小化。

接地板引入連接器是減小關於大量端子接地需要的一種方法。在印刷線路板上細線帶和微條幾何線已經用了許多年了，現在它也適用於連接器上。在連接器形態中的微條和帶狀線的幾何幾何尺寸簡單圖示如圖 12.5 和 12.6 所示。這種連接器采用 50Ω的電阻和上升時間低於十億分之一秒的應用。開放端子區域和接地板連接器的各種特性各如圖 12.7 已簡要的介紹了。Following southard3 aujla and lord4 and sucheski and glover5 很重視的討論開放端子區域和連接器接地板。

接地板連接器對其特性和密集度有利。特性的好處來自阻抗控制與減少串擾和接地端子相此相當於通過接地板提供了一個更好的屏蔽。所有的端子可用於信號應用這個事實可提高其密集度。對於一 100 個端子的連接器傳遞信號和接地的此例是 1:1 只有 50 個端子傳遞信號。接地板連接器將用 100 個端子作信號端子有同樣的效果，或許僅僅是體積有點大，足跡作爲開放端子區域連接器。另一個潛在的好處是接地板也可以用於電力分配裝置，提供有

效的密度增加。除了分配接地端子和／或加入接地板，其它的重要設計被認爲包括保持導引的長度盡可能短，幾何尺寸盡可能小。

導線上的損失．兩個主要的機械損失被簽定過。首先，損失發生在絕緣體中，相當於磁和電通過絕緣體本身互相連接。這些損失主要是熱的形式。在導體中也發生抵抗的損失。實際上，這種損失我們已經在前面以很高的頻率提到過由於表面作用傳導僅在導體交叉部分表面深度下面發生。正如所提到的，這種被叫作表面深度的隨頻率的增加而減小，其導致了高抵抗損失。這些損失決定於材料的選擇。絕緣體的損失源於絕緣組成在被迫交叉區域原子振動。這些振動導致了熱是浪費的。抵抗損失取決於材料通過材料抵抗在表層深度上的作用，因此抵抗損失取決於導體抵抗。

12.4　電磁兼容（EMC）

電磁兼容（EMC）電子設備或系統在沒有導致電磁干擾（EMI）在其所涉及的電磁環境中也就是沒有干擾其它設備或通過 EMI 導致對其它設備不利的影響的一種操作能力。在內部或外部需要控制或撐握 EMI 來獲得 EMC。

電子設備在臨近其它的可限定電磁環境的設備中操作。這種環境是電磁能的力量或嚴格的取決於物理環境和種類的電子設備自然狀態中操作。這種電磁能不是自然產生的就是人爲發生的，可引起不良的反應，故障或電子設備失靈。電子電路導致應用電磁能，其大部分是傾向於要應用。一些能量，可干擾其它設備甚至同一設備中的其它電路。此種干擾是指作爲 EMI 電磁干擾，有時也被叫作 RFI 傳播頻率干擾。EMI 通常是通過傳導或傳播不分類的。傳導 EMI 是通過傳導路徑例如導線成爲系統的一部分。傳播 EMI 是通過空氣例如傳播信號成爲系統的一部分。

EMI 可以從兩個角度觀察到。一是認爲設備作爲源頭或可傳播 EMI；另一種是把設備看成接收器或受 EMI 影響的犧牲品。干擾的強大來源也受 EMI 的影響。例如，一條天線作爲傳輸天線傳播 EMI 也有助於成爲一個好接收天線。

可利用一些技術幫助獲得 EMC 包括接地，屏蔽，平衡線，和過濾器。由於它們放置位置的限製，取決於應用和 EMC 問題的嚴重性。然而大部分重要的技術要工程實踐。注意 EMC 從成品定義到最終的產品都被測試過。懂得如

何和爲什么 EMI 被導致遵守設計決定產生其在最小內部導致 EMI。注意工程在前部分末端減少導致 EMI，後來就需要保護對抗它。例如，邏輯體，系統速度，和印刷電路板中的布局在數字系統對 EMI 產生顯著的影響。適當的設計基本上適用。

12.4.1 接地

正確的接地是必要的，而且要精心注意接地系統。不合適的接地首先意味雙重噪音和傳導干擾。理想的接地是正常的電壓關聯點在此點上其潛能當電流替代它或從中獲得它也不會改變。正確的接地設計，特別地包括高頻在內，對 EMC 來說是非常有用的一步。適當的接地對其它技術的應用也是非常重要的，例如屏蔽和過濾器。

12.4.2 遮蔽體

遮蔽體能屏蔽保護來自電磁的輻射干擾。即通過限製使電磁輻射反在其產生的區域內，或屏蔽來自外部的電磁干擾。

遮蔽體一般采用殼體和纜布等。屏蔽包含反射和吸收 EMI。屏蔽的有效性決定於蹤接波的頻率及阻抗，屏蔽體材料的特性，以及屏蔽中中斷的形狀及數量。

最好的屏蔽電纜體是一種穩固的管狀的屏蔽體持久地接入地面。然而，對易變形的線纜和連接器可與線纜連接或不充許與線纜連接的希望阻礙了這種途徑。連接器屏蔽的目的就是提供一個從屏蔽體到大地的低阻抗的途徑，而連接器之不連續性也將會盡可能的少。

通常有一種關於屏蔽連接器的誤解關係到它們的屏蔽效果。一個連接器／如線纜一樣僅僅可與其所使用的配合連接。一個連接器／適當地完成其工作，且它並不降低電纜的性能。如果電纜的屏蔽效果在連接器使用時變差了，那麼此連接器就難以充分地達到其功能目標。這樣，連接器的性能在不考慮其被測試後就不能被確定。在不考慮被測試，而試圖指定連接器的屏蔽作用是沒能理解連接器的所起的作用。

屏蔽連接器通常要求於高速信號線路，在很多情況下，屏蔽體的作用體現在減少來自外部的可能會注入連接器中的雜訊及電磁波或無線電波頻率干

擾（EMI/RFI），等等。

配套連接器會較理想地安裝於一塊可看爲接地板的一部分的壁板上，這樣的安裝其阻力是最低的，而安裝屏蔽體至一印刷電路板則不易達到滿意的程度。

總之，在一個互相連絡的系統中，要達到滿意的電磁屏蔽控制，則須保持本書 12.1 節所述之指導方針。

在選擇線纜／連接器恰當的線纜殼體的終點是很重要的考慮。在連接器屏蔽體中不適當的終點或不合適的連接器接地可嚴重的緩解互相連絡的屏蔽效力。

12.5 信號傳輸應用概述

信號傳輸應用，特別是每十億分之一秒或更短時間內的數字脈沖信號的應用，需要把電連接器作爲一種傳輸線.接地機構就變得非常重要，各種設計方案必須從應用要求的角度上評估。另外，還必須考慮屏蔽與電磁幹擾的問題。許多文獻從一個系統設計者的角度提供了關於以上內容的詳細說明。

12.6 電能傳輸的應用

電能傳輸應用對於端子與連接器的要求與信號傳輸應用是有很大差異的，電能的分布主要由電壓/電流與熱量因素決定。這裡主要討論電流，絕大多數應用場合中伴隨電流的流動都會產生焦耳熱(I2R)，電連接器的設計中需要考慮電壓以解決主要材料選擇及最高電壓允許值的問題。例如，當電壓升高時，絕緣材料性能、厚度及觸體與電路板線路的間隙就成爲電連接器設計的重要參數。高電壓的影響與王冠一樣，不是這裏所要討論的問題。我們還應註意到當電信號的頻率低於 1kHz 時，將不會對端子產生影響。

電連接器的要求首先圍繞其電阻的大小及穩定性，必須盡可能把散熱影響與電壓降低的因素減至最少.另外還有焦耳熱能，對於分流式電連接器必須其對系統的紅外輻射熱減至最低。紅外包括電連接器內部電阻及端子電阻。高導電率的銅合金經常作爲一種彈性材料用以降低端子的內部電阻。隨著 PWB 的功能日益增強以及對板內電流需求的增加，電能分配系統中的毫伏壓降的安排問題變得日益緊迫。電流在 PWB 系統內的分配是一種比較重要的電連接器應用，在這裡會系統地討論。當然，同樣地可延伸到其它系統，如線

纜。

有兩種從根本上不同的方式可實現電能的分配:使用一個或幾個專門的可允許較大電流通過的端子，或用較多條平行的低額定電流值的信號端子。多端子式電連接器的發展已促進了增加第二種可選用性，然而，隨著電路板功能的延伸，電流的大小與 I/O 的數量隨之增加，因此用於電能分配的可用端子數變得十分有限。包括信號與電流觸體的混合式電連接器的用途有明顯的增加。

12.6.1 接觸電阻

正如 1.3 節中提及的圖 1.7 所述，在作爲信號應用的端子中，端子的體電阻通常比永久式與可分離式的層間電阻高得多。端子體電阻處於 10mΩ等級，而永久式與可分離式連接電阻會分別達到 1 mΩ與上千 uΩ的等級。因而，焦耳熱，即 I2R，體電阻產生的熱量會由溫升所決定。對於電能傳輸端子而言，必須盡量使體電阻最小化以減少焦耳熱與接觸毫伏降，這樣，才能減小可分離式接觸電阻與體電阻間的差值。對於電能傳輸端子，必須考慮體電阻與層間電阻。

體電阻

體電阻是由製造材料及端子的幾何形狀決定。導體的電阻可由下式計算:

$$R = \rho L/A \qquad (12.9)$$

式中: R＝電阻

ρ ＝導電材料的電阻系數

L＝導體的長度

A＝導體的截面積

當然，這個簡單的等式必須進行修正以適應端子的幾何形狀。

參閱插圖 12.9 中對端子的描述，在組裝之前端子的幾何形狀爲扁平狀，端子的電流是通過通過圖中的陰影部流動的，從公式(12.9)的組成結構來講，此插座中端子的內部電阻是由製成端子材料的電阻系數與電流通過的導體幾何形狀決定。其中幾何形狀包括端子橫梁部的長度與橫截面積，及，端子基

部的長度與橫截面積。另外，幾何形狀的修正系數要求適應電流通過部分的不同分布及幾何形狀的變化。然而，任何端子的電阻都可得用本公式或有限元法計算出來。

必須把溫升降低至最小，因而必須增大電流的容量，端子的體電阻也必須降到最小。爲達到這一目的，就必須使用具有高導電率的材料，同時，增大端子的橫截面積，並盡量縮短電流通過端子路徑的長度。其中材料的導電率是尤爲重要的，因爲電阻會隨導電率的變化而發生線性改變。例如，向青銅 C511 中加入一些具有高導電率的合金如 C195，這使電阻降低了 60%，這是效果明顯的一個降低。

端子材料的導熱率也是個重要的因素，因爲端子的溫升來自一種熱量產生(導電率)與熱量散發(導熱率)的平衡。具有較高導電率的合金也會具有較高有導熱率，因而利用這種相互關係所合成的端子材料是有益處的。在第四章中講述了關於連接器中常用銅合金的導熱率與導電率的內容。銅合金 C194 和 C195 主要使用於電能端子中，它們較高的導熱率的重要性超過了其相關機械性能差與抗壓能力不強的消極因素。

接觸層間電阻

如前所述，在永久式連接與可分離式連接中，單獨一個導電端子的接觸面電阻要小於其體電阻。可是，對於一個設計合理的電連接器而言，這個小小的差異是值得考慮的。若忽略這個因素，接觸界面會產生一個對導電端子的附加影響。在下面主要討論可分離式的接觸面的性質，但如第二章所述，類似的影響也會存在於永久的機械式連接器的接觸面中。

正如上所討論的，涉及到端子接觸面的溫度是接觸面本身的溫度，這與端子的內部溫度是有差異的，事實上有三種不同的溫度必須要考慮:

1.環境溫度(Ta)— 連接器所在的空間或附件的溫度。

2.端子內部溫度(Tb)— 端子本身的溫度，它由焦耳熱所產生並高於環境溫度。

3.超高溫度(TS)— 由於粗糙度引起的端子接觸面之溫度。

雖然環境溫度與內部電阻是易於理解的，而超高溫度的價值有待討論。更詳盡的討論可參閱 Corman 與 Mroczkowski.引起溫度上升至超高溫度的粗糙

度的性質在 12.10.節中做了概述。端子表面的單個粗糙點的尺寸是導致接觸界面發熱狀況不同於體積內部的原因。由於粗糙點極端細微的尺寸，使它具有極短的反應時間。一個粗糙點會在持續時間爲一微秒或更短的脈沖內達到溫度平衡。粗糙點尺寸也會導致電流的集中，以及會引起局部發熱產生超高溫，也就是， 粗糙點接觸部本身的溫度。

另一個引起註意的特性是接觸界面上所有的粗糙點具有相同的電勢，因爲金屬都具有等電位的外表面。單個粗糙點的電阻取決於其尺寸大小，可由下式求出:

$$Ra = \rho / da \qquad (12.10)$$

這里 Ra＝粗糙點的電阻值

ρ ＝材料的電阻率

da＝粗糙點的直徑

由於所有粗糙點具有相同的電勢並且取決於其大小的電阻各不相同，因此通過粗糙點的電流也會隨它們的大小而各不相同。超高溫度是電壓的一個函數，故所有的粗糙點具有相同的溫度。

超高溫度與接觸電壓的關係如下式:

$$Vc2 = L(Ts2 - Tb2) \qquad (12.11)$$

這里 Vc＝粗糙點的電壓

L＝常量;它(對於純淨的金屬)是洛倫茲(Lorenz)常量，與電阻率及導熱率有關

Ts＝超高溫度

Tb＝體積溫度

Vc 可由下式求出:

$$Vc = IRc \qquad (12.12)$$

這里 I＝電流

Rc＝接觸面電阻

必須注意，超高溫度對於體積熱量(contact bulk heating)的增加並沒有多大的作用，因爲粗糙點的體積與超高溫產生的熱量是很小的.值得考慮的是，超高溫會影響一個端子所能負載的最大電流值，因爲超高溫會導致粗糙點甚至

接觸面的熔化.接觸面熔化並變得不可分離(相當於電阻焊)，在這以後當接觸面被強制分開時，接觸面的組織極有可能被明顯地破壞掉，導致耐久性與性能的問題。

接觸電阻概述

如第 1 章，公式 1.1 所討論的，所有接觸部分的電阻由三部分組成.它們是永久式的層間電阻、可分離式的層間電阻及端子本身的體電阻，其描述可參見圖 12.11 與公式(12.13)。

$$R_o = R_{pc} + R_b + R_c \qquad (12.13)$$

這里 R_o＝接觸部分的總電阻

R_{pc} ＝兩個永久連接部分的層間電阻

R_b＝兩個接觸彈片的體電阻

R_c＝接觸面的層間電阻

接觸部分的總電阻是端子溫升的重要參數，因此，它也是一個端子連續電流額定值的重要參數。另一方面，可分離式接觸電阻，根據超高溫度的概念,可在接觸面無熔化狀況的前提下確定一個端子所允許通過的最大電流值。

12.6.2 連續、超載、與瞬時電流能力

接觸部必須至少有兩項電流的能力應得至認可:連續性與瞬時性。這里討論的目的，瞬時被認爲是電流持續一毫秒的狀態。另外，超載電流–比瞬時電流的能量低但具有較長持續時間的暫時超額電流–也是必須考慮的。額定連續電流值是基於體積溫升爲 30℃的標準上的。瞬時電流是基於接觸面的與熔化相關的超高溫度基礎上而定。考慮超載就必須考慮其超載脈沖形態，最大電流值，以及持續時間，所有這些都是應用的依據。

連續電流額定值與溫升

電能端子通常具有一額定電流值以指示端子所允許通過的最大連續電流。確立一個最大電流值的標准雖是任意的，但建立於體積溫升基礎上的電流標準被經常使用。最普遍的應用標準是把端子的電流確定爲導致 30℃溫升的電流。

30℃的標準是由商業電子產品所認可的 UL 標準中產生出來的，不論它是否來源一個"標準"的組織，它的這種任意必須得到丞認。30℃並沒有固定的含義，事實上，連接器可以在較高的允許溫升內使用與額定。有一點很重要，接觸電流額定值與確保額定標準值相比較是相當的，額定值的組成因素由以下構成：

- 導體的尺寸
- 暴露或裝於殼體中
- 標準的或有條件的
- 條件作用的類別

以上考慮因素在以後的部分討論。

端子溫升是由電流流動產生的焦耳熱與從接觸部散發熱量的平衡所導致。焦耳熱產生於端子的輸入電能，對於直流電，其產生的熱量通常只與 I2R 有關。對於交流電或脈沖電流，溫升會取決於脈沖傳輸的頻率與持續時間。在這樣條件下的電流額定值會取決於這此因素，但無論如何， 電流額定值會比直流電應用時大，Wise 得出這樣的結論:

熱量的散發會通過三種方式:

- 通過導線與 PWB 的傳導
- 周圍環境的對流
- 對殼體與周圍環境的輻射

通過輻射散發的熱量隨第四能的絕對溫度的變化而變化，并且當與其它兩種散熱方式相比較時一般顯得不那么；然而，在復合式端子能量的分配中或許是一個影響因素，事實上相鄰的端子之間會存在輻射現象。

對流取決於溫度與端子周圍的空氣流動。之所以要考慮空氣流動，原因在於端子暴露或裝於絕緣殼體中時額定電流值會有不同。對於多重接觸的應用，對流的產生會由於遮蔽體而減弱，由於絕緣本體而增強。但，從另一方面來講，如果建立一條空氣通道的話，對流會提供一種在本體中的接觸部間轉化熱量的方式。

端子的熱量向一個接觸的導體、導線，或 PWB 線的傳導是個前後一致的熱量散發源，它取決於周圍環境溫度，導線/板線的傳導率與其橫截面的幾何

形狀與導線/板線長度。通常在電能傳輸接觸中傳導是個很重要的因素。

在圖 12.12 描述了傳導對額定電流的作用效果.根據這些數據，相同的端子終止於三種不同尺寸的導線，因而，有三種不同的熱量吸收能力。額定電流值隨導體尺寸的增加而上升。在以後的部分中會對這一特徵的細節進行講述。但在圖 12.13 中提供了對平行多重接觸的重要作用效果的基本、有意義的描述。描述了一個單獨接觸和裝滿程度分別爲 50%及 100%時的溫升數據，其中接觸部均一分布。當本體內完全裝滿時，單獨接觸的額定電流值下降了近 50%。

瞬時電流額定值與超高溫度

按通常的原則，接觸的瞬時電流能力與接觸部表面發生局部熔化時的電流相關聯，此熔化由超高溫所導致的。如前所述，超高溫取決於接觸電壓，IRc，這里 Rc 是接觸面層間電阻而不是接觸總電阻，Ro。因此瞬間電流的能力完全取決於接觸面的設計，鍍層，幾何形狀與接觸正壓力，這在第 2 章中已討論過。接觸面的熔化出現在一個取決於接觸面鍍層的特殊電壓下，錫、銀與金的熔化電壓分別是 130、370 與 430mV，必須註意的是該等電壓是在熔化溫度下電壓，因而，它受接觸電阻溫度的影響.

超載電流能力

超載電流與瞬時電流的區別首先在於額外電流的持續時間。涌入電流與電機啓動電流是超載電流的兩個典例.根據定義，超載電流在應用上高於連續電流，並且可能高於接觸電流。與額定連續電流值一樣，超載電流能力也受體電阻的支配。同時超載電流也基於接觸熱量的影響之上。雖然額定連續電流值的標準是任意而定，但在有超載電流時的狀況不是很清楚。還沒有一個普遍接受的標準存在，因此必須個別應用個別考慮。

由於熱量的產生取決於能量，因而超載電流的電流/時間是重要的參數。運用這一觀點考慮的超載電流示例也許是有意義的。

圖 12.14 是一種典型的感應電機啓動時的電流/時間的圖解說明。該圖是由三個明顯不同的區域組成，以上必須在選擇適當的額定接觸電流值的前提下考慮。區域 A 是當鎖定的轉子最終被給予能量時的涌入電流值。這個電流可認爲是瞬時的，因爲通常它比一個電流周期的持續時間短.一般地，這個處

於最高點的涌入電流值是滿載連續電流值的十倍。對於一個設計合理的電接觸而言，瞬時電流值是連續電流值十倍的情形是常可見到的。

區域 B 描述了當電機在負載了比滿速運轉時更多電流的情況下加速的超載狀況。這個區域的持續時間是設計的依據。通常要求接觸電流額定值達到超載電流的持續時間是沒有必要的:首先，超載電流的持續時間可能不足夠長以達到熱量平衡，因而可能達不到 30℃的溫升。其次，即使超過 30℃，在較高溫度下如此短的時間內通常不會引起單一啓動接觸的任何老化。但如果要求有很多次的啓動周期，這樣溫度輻射下的累積影響則須考慮。當電流是額定電流的五到十倍時，將取決於超載時間，用一根引線攜帶那樣的電流是不合乎情理的。標準選擇的關健在於確定接觸表面溫升對其產生的影響及相關的因熱而導致其機能失效的相關情況。例如：應力的松馳及腐蝕，接觸表面的運行情況和壽命周期。

額定電流之總結

在電接觸表面選擇及額定電流中，通常必須考慮三個應用的方面。從應用的觀點出發，持續性的額定電流是指其直流電與交流電/脈沖電流不會引起高於 30℃的溫升。過載電流的能力也必須包括過載電流/時間及脈沖波的形成。相反，瞬變電流的能力僅僅根據其電流的峰值來判定，因爲接觸表面對超高溫的反映是非常快的。

12.7 額定電流法

本章的前幾節已闡述了關於接觸額定電流的比較，本節將提出一種廣爲推薦的額定電流法及其基本原理。

一個確定的最小額定值計劃由組成，並決定著在游離氣體中接觸時溫升與電流之曲線。在增加電流時溫度須保持穩定，而穩定的標準是不確定的，舉個例子說，在給定的電流下溫度的變化在讀數上不超過 1 ℃。接觸額定電流值一般取在溫升爲 30℃時產生的電流值，正如前面所提及的一樣。這樣的額定電流法僅僅檢驗最初的接觸電阻，而並不提供接觸電阻的穩定性指標，這個穩定性指標在 High-current 性能中是一個關鍵的因素。此外，它也並不考

慮接觸中所使用絕緣本體的構造。在游離氣體中得到的接觸電阻一般會較高，且在很大程度上要比設於其原定絕緣本體中的接觸電阻要高。

顯示於圖 12.15 中之下列方式，將分別對其進行闡述。

12.7.1 產品的檢驗

第一步是要保證適當的接觸部件與絕緣本體的組合是可用的。端子/絕緣本體的設計將會影響作爲檢驗對象之連接器的溫度值的產生原因及產生部位。

12.7.2 小功率電路電阻

小功率電路電阻大小是限製在電壓與電流的範圍內，而且它並對可能會出現在接觸界面上的任意膜狀物不產生影響。典型的小功率電路之電壓值及電流值在 20 至 50mV 及 10 至 100Ma 範圍內，這種小功率電路之大小。

12.7.3　溫升與毫伏降的關系曲線電流

當連接器負載滿壓時，得出了溫升曲線電流的數據。當建立了 30℃溫升電流，在電流中測得了 MVD。這些數據將用於調整作用的參考。

*12.7.*4　調整

調整在任意的但可被選擇實現所期望的連接器可被暴露出來的應用條件下逐步進行。在大多數條件下，將應用"水平"暴露可以或不可以實現一個給定的應用。如果這個水平條件在應用中太異常，對這個想要的應用可適當的作個補充的程序。

12.7.5　耐久性

連接器被聯接或不聯接到大量的操作過程中認爲對想要的應用是適當的。耐久的操作是以確保接觸面的涂層能耐得住在沒有影響生產執行下的所須的大量的聯接操作的能力爲條件的。

12.7.6　腐蝕

適當的腐蝕揭示取決於接觸涂層，對於錫和錫合金涂層，溫度／濕度操作是可取的，而暴露被混合的流動氣體使銀基和金基涂層是可取的。揭露的嚴格性與耐久性可通過所期望的應用條件來實現。

12.7.7　溫度條件下的壽命

揭示其在溫度條件下壽命主要是通過揭示其在溫度條件下正常力松馳及在正常力松馳情況下伴隨著端子保持力之損失來實現的，它主要用來評估其端子接觸表面在應用時穩定性效果如何，再者，溫度與壽命之間的關系也將反映出其在即將應用的那種環境中的壽命。

１2.7.8　振動

揭示振動與其壽命之間關系的目的在于評估其端子因電阻調節而使其端子機械性能穩定性喪失的情況，如果端子機械性能穩定性降低，則該端子的接觸表面將被認爲受移動及有可能受端子電阻退化的影響。

12.7.9　測試的頻率

所謂測試的頻率主要是指在廠商或用戶定義條件下的電連接器壽命終止時所需測試的次數.其測試的順序通常是很重要的，因爲下面的測試表明各步驟中的條件對整個系統的質量降低都是非常敏感的。

例如:在其耐用性的循環測試中，(wear of the finish)其鍍層的破壞受腐蝕性影響增長速率比其直接暴露在外面的情況下其對受腐蝕性影響的增長速率快，在溫度條件下其因機械性能穩定性的降低而導致其壽命縮短比其受振動的影響可能更大，盡管振動能驅使端子移動進而導致其接觸表面受其內部及外圍腐蝕性的產品的影響。

12.7.10　干燥條件下的電路電阻

正如前面所述的，干燥條件下的電路電阻測試主要是用來評估其端子原有的電阻，電阻調節所允許變化的幅度主要是根據當前端子的等級及即將應

用的那種環境的要求來決定的。

12.7.11　溫升(T-Rise and MVD versus Current)

如果干燥條件下電路電阻的測試結果表明可以接受一個允許的電阻變化幅度，則該步驟對于那些被認爲沒有以 T-Rise and MVD 方式變化的測試來說是多余的，然而，如果干燥條件下電路電阻不允許有一個變化幅度的話，那樣的確認有助于進一步了解電連接器在額定電流和電壓下該電連接器的運行情況。在該步驟中推荐采用設備規定使用的額定電流。

12.7.12 總結

在這章節裡所介紹額定電流方法學的用法表明額定電流同電連接器即將應用的場合具有一個非常緊密的聯系.

12.8　電力端子/連接器應用

電流分配的兩個基本方式是指:一個(或幾個)信號專用電力端子的使用或大量平行信號端子的使用，其中每一種方式都有其優點和缺點。

12.81　專用電力端子

專用端子或離散端子主要的缺點就在于其尺寸的限制.爲了傳輸幾十或幾百安培的電流要求很大物理尺寸的端子;而且除了尺寸的限制外，隨著對電流的要求越來越高，至金屬導線或線纜的大尺寸電力端子的端點也越來越受到挑戰。

然而，離散端子在對特定應用場合中卻具有分析過程簡單的優點，但必須考慮導體的尺寸及應用時的溫度。

圖 12.12 所示，爲相同尺寸的導體的影響也適用於更大尺寸的金屬導線.請回憶一下:導體尺寸的影響主要是導體熱量散發差別的一個反映.導體的加熱是獨立於其尺寸的，但導體的溫度及離開端子的熱導體則取決於導體的尺寸。導體尺寸的減額因素可以矩陣的形式列出，如圖 12.13 所示，其所示數據僅僅是用作舉例而已，其參考價值會隨端子及連接器的幾何形狀而有所不同。

應用時周圍的溫度對電流減額法的影響如圖 12.16 所示，這個例子中端子的電流率將保持在 20 A，除非特別指明了周圍溫度爲 75℃對于周圍溫度高于 75℃的情況，電流率必須予以降低，因爲 20 A 的 30℃T-rise 會導致連接器溫度超出 105℃。所以必須降低電流容量，以保證 T-rise 加上周圍溫度不會導致連接器溫度高於 105℃。

總而言之，離散式電力連接器具有應用規則相對簡單的優點，但亦有一與其尺寸和端點要求相關的缺點。

12.8.2　彼此平行的復合信號端子

離散式電力端子尺寸上的局限性已經得到了改進，而端點方面的難題，也可通過采用彼此平行的復合低電流容量的端子得到解決.平行端子的另一個優點，是指其通過改變所使用的端子數量、來滿足電流要求範圍的能力。簡單地或許不太正確地舉例來說，要求分配 100 A 電流的應用，其可由一個專用電力端子、或者 10 個電流爲 10 A 的端子、或者 50 個電流爲 2 A 的端子來實現。

這個簡單的方式是不正確的，因爲其沒有考慮當端子用于平行設置時，端子電流必要的衰減;且必須考慮溫度梯度和電路間的相互作用以避免錯誤的應用。電路間的相互作用即:如果復合端子平行式電路應用中的一單個端子，因某些原因而其阻抗有所提高的話，電流將會再分配一次至低阻端子上；這次電流再分配可能會使其余端子過載，并且如果額外有端子性能衰弱了的話，那么可能會導致溫度梯度失控。這種失控的潛在可能可以通過另外使用平行電路中的端子的辦法來防止過載。

平行式信號端子的另一個缺點在於，連接器信號密度的降低；隨著 PWB 板功能的不斷提高，這一點正受到越來越多的重視。

溫度梯度的衰減，對于考慮溫度梯度在載流復合端子中的作用是必要的。每一單個的端子都會產生焦耳熱，且所有端子產生的總熱量會使其溫度升高；當然，這樣的效果取決於絕緣體的設計及端子本身溫度梯度的特點。圖 12.13 提供了一范例端子的衰減矩陣，其包括了導體的尺寸及絕緣體的負載密度。在絕緣體內端子排配的重要性反映在:在絕緣體中端子的排配必定是一

致的。當然，使端子成簇將溫度梯度的相互作用，并且對于實際原因來說也更有可能會是此情況。注意，對于該范例端子，其電流率會因導體尺寸影響而減少百分之五十，亦會因溫度梯度影響而減少 50% 。這些數據清楚地表明了：在復合式端子電力分配中注意溫度梯度設計的必要性。

作爲所期望電流分布設計，其取決於端子的總體的電阻的分布。對於電路和電阻的分布必須認真思考。隨期望所有的電流，在 PWB 板上的不相等的跡線或從一根纜線穿過線纜長度分開導體中都可以引出各種電流的電阻。隨期望接觸，和以前一樣，必須考慮塊狀的和界面電阻的作用。

體電阻的各種變化是以幾何形狀爲根據的。體電阻變化的簡單例子是一個成直角的連接器其示意圖如圖 12.17 所示。成排的直角腿的體電阻和由此而來的端子體電阻在每排上都不同。因此，成排的能量水平間距，在整個端子上電流是不相等的。在整個電流設計中，這個效果必須被考慮。

端子界面電阻變化是可能的（例如，端子接觸壓力變化）且需要被考慮到。這種影響的重要性取決於界面電阻對塊狀電阻的相對作用，其隨端子的設計而變化。對於電力端子，此處的塊狀電阻很低，其影響將被更多的提到。

12.8.3 舉例說明

接下來的例子來自 Corman and Mroczkowski. 10 一個三排的 96 位的直角連接器，3A 的一個單一端子額定電流將被用於分配成 36A，電路的設計如圖 12.18 所示。設計有 24 個端子負擔並反回負荷。在 PWB 板上兩套的 12 個端子用於維持電力，每一個端子被直接連接於電源或回路板上。在板上的電流分布如圖如圖所示，36A 流過給定的電流設備的板上的三個不同部分。相同的跡線沒有給出，提供接地回路。

在這個設計中認爲有以下的潛在問題：

・熱（累積的熱量）的作用怎樣被考慮到？

・電路電阻通過端子影響電流分布嗎？

・怎樣考慮到端子電阻的變化？

在此例中，存在三條平行電路，一條是 24A（8 個端子），其它兩個是 6A（在每個回路中有 2 個端子）。每一個電路必需被認爲是分開的。

選擇 96 位的直角連接器來應用，（如圖 12.7）。最初的設計被稱作 24 個端子要輸入和輸出，對於連接器來說是 25% 的負荷因素。在這種分析中，將被設定減少 50% 的負荷，因爲正如所知道的一些的減速少必須發生。這樣的減少是守恆的，最後將導至重新考慮減少的因素。從 12.13 的數據中連接器系統適當的被設定，對於 50% 的減少一致的負荷連接器是 17% 。這種應用，在成組的安排中采用這種端子，可以設定有 20% 的減少。養活的電流是 2.4A，以致於是 10 個端子，而不是 8 個端子 24A 的電路，和 3 個端子而不是 2 個 6A 的電路，或總共是 32 個端子：16 個輸入，16 個輸出。

電路阻抗（PWB 上線路的阻抗）可以通過 PWB 的設計來控製。拿這個例子來說，我們會假定電路板的設計能夠使每種電路的線路電阻相同。假如情況不是這樣，接下來也必須對電路板的少數端子的相似性進行分析。

由於選擇了直角連接器，所以在兩排連接器之間存在變化的接觸電阻。這種電阻的變化將會影響電流的分配，那就是低阻抗端子上流過較大的電流。由於流過最小阻抗端子上的電流不能超過 2.4A，所以必須到另外的端子。對電流分布的分析可以采用合適的電阻網。針對這種分析，24A 的電路就需要 16 根端子，這樣每四根端子分到 6A 的電路。這種結果就是輸入與輸出各用 24 根端子，或者說總共 48 根端子每根端子上的平均電流是 1.5A。這僅僅是端子額定電流的 50%。

過度的減小電流可以通過端子的重排來實現，電流的減小是由成排端子插腳電阻的變化所引起的電阻分布帶來的。僅用兩排連接器分配電源就可減小？。電路板線路電阻也可用於減小相關的電阻差異，特別在增加電路板電阻的時候要注意其對 MVD 預算的影響。這種方案將會大大減少所需的端子數目。對這個例子來說，采用適當的電路板和端子分布，30 個端子就可滿足應用需要。？？

12.8.4 電源分布概述

通常連接器設計所有要考慮的因素是電源分布，另外再加少量其它。特別要關注的是端子電阻的大小和穩定性，以確保電壓降和溫升最小。端子阻抗的大小決定了連接器所能承受的峰值電流的大小，而整體阻抗的大小則決

定了溫升。對於電源端子的平等分布也必須考慮電路設計，以確保電源分布的統一，或者增加多余的端子以解決不無均勻性。

第十三章　　連接器類型

13.1　總 述

電連接器類型可以從不同的角度劃分。一種方法是互連絡標準（LOI），這是根據連接器所應用的系統來劃分的。根據連接的設計特點也可以定義分類方法。從可分離的界面角度考慮，連接器通常可分爲 pin/socket 或 post/receptacle 兩種連接器。由所使用的永久性連接技術定義連接器較常用的方法是根據電路板和線纜來進行的，其包括：板對板、線對板和線對線。根據插座的形狀也可將連接器分爲矩形的、D-sub 和其他。在本章中將對每一種分類方法逐一介紹。

13.2 互連絡類型

在種類繁多的出版物裡 LOI 有不同的定義。這裡使用的是 Granitz 的。應該注意到互連絡標準定義連接器重要的是根據所接觸的那一點，而不是連接器本身。連接器類型根據其連接的功能可能有不止一種的劃分。圖 13.1 概要的說明了電連接及電連接類型。

13.2.1　標準 1：初級連接

所有電子系統的中心是產生基本電功能的電路元件。集成電路晶片是一種典型的例子。其他的例子有電阻器中的電阻元件和晶體管中的半導體元件以及電池中的電流電極。把這些元件連接到線纜或者框架上是連接的第一步或第一種標準。在許多情況下，標準 1 連接器由沖壓，焊接或焊接的複合工藝製成。這種類型的連接器不需要再分。

圖 13.1　六種連接類型的概要說明

1.基本電路元件與其包裝的連接，如半導薄片和外殼的連接。

2.電路板和包裝的連接，如 chip carrier sockets，DIP sockets 和開關。

3.兩個或多個電路板之間的連接。最典型的是母/子電路板之間的連接。

4.次系統和次系統的連接，如電源供應器和相關次系統的連接。

5.組裝體對完整系統的 I/O 端。

6.位置上分開的系統與系統的連接，如計算機和打印機或其它周邊設備，或者局部網元件。

13.2.2　標準 2：元件外包裝與電路板

第二種標準，用於連接外包裝與電路板或者是能夠相應插接的基座。外包裝與電路板的連接可以通過焊接或者組接來完成。表面組裝的 Chip carrier sockets 證實了這種連接類型可以應用於複雜的大規模集成電路(VLSI)。一種替換套接的傳統方法是把電路元件直接焊接到電路板上，但這樣脆弱的電路元件存在傷害的危險，同時更換有毛病的或是壞的元件也很困難。

13.2.3　標準３：電路板對電路板

接下來的標準３，是用於連接次系統上的兩個電路板。當連接器密度（每英寸長度上的端子數目）和工作環境適合印刷電路板邊緣作爲連接系統的一半時，單片連接器諸如卡緣連接器就可用作連接系統的另一半。雙片連接器系統適用於高密度、高穩定性的情況。

13.2.4　標準４：次系統對次系統

標準４是指連接一個普通外殼中的兩個不同次系統的。板對板連接器，

包括堆疊式連接器和線對板連接器就屬於這種標準。當機箱中需要不止一個次系統時，裝配線覽就被經常使用。這種互連絡標準包括次系統加裝配線鑒之間的連接器。這種裝配線覽可以是平線、彈性扁平線、或者是不連續的彎曲線。RF 裝配線覽、sing-wire jumpers with terminals、fiber optic links 都屬於標準 4 互連接。

13.2.5 標準 5：次系統對 I/O

標準 5 指連接機箱或者外殼中的次系統和機箱表面或隔壁的輸入／輸出連接器。這種互連接使用了很多標準 4 連接的相同技術。但是必須進一步考慮環境保護、屏蔽、方便的插入和拔出、穩定性和兼容性與這種類型的工業標準的聯系。

13.2.6 類型 6：系統對系統

對兩個分離的系統進行空間上的連接通常需要裝配線覽。在數據偉輸中最常用的是環形插座和屏蔽線覽。在局域網中最常用的是屏蔽或非屏蔽的彎曲多對線覽。這種類型也包括粗的電源裝配線、RF 和帶狀同軸線纜、fiber-optic asemblies 和其他能夠滿足電的、物理的、外形的互連接需要的產品。

13.2.7 總結

互連接標準的概念有助於確定針對應用於一個系統的連接器應用需要。例如，對連接器在機械和電方面的功能要求，這種標準就不一樣。個人定義的互連接標準也在發生變化（訓練有素的用戶集中於標準 2-5，而變通用戶則使用標準 6），盡管這種情況在一些領域得到迅速改變，諸如普通用戶正在努力“升級和維護”的個人電腦上。這種情況可能會影響到如連接器必須提供的極性和組接一樣需要的耐用性。電方面的功能要求，特別是信號傳輸速度更迫切的要求互連絡向這種標準靠攏。

盡管每一種電的/電子的系統可以劃分爲不同的標準，但並不是每一種系統都具備所有的標準。大多數組裝在單個電路板上的電子系統尤其這樣，在這種情況下類型 2-4 的劃分標準也模糊起來。同時也應該注意到一種連接器可能被用成不止一種標準。

13.3 端子與連接器的類型

端子兩個方面可以用於定義連接器類型：可分離的界面幾何形狀和用於永久連接的末端處理技術。

13.3.1 分離界面的連接器類型

可分離的接觸界面包括很多重要的決定連接器性能的材料和設計因素，如第三章和第六章所述的那樣，同時也會影響到連接器類型。當端子基材金屬和鍍層系統對連接器的功能產生重要影響時，組接界面的幾何形狀將決定連接器類型。圖 13.2 出示了兩種常見的可分離的端子幾何形狀。圖 13.2a 出示了一個與對應雙接觸臂插座端子插接的方形插頭端子示意圖，圖 13.2b 出示了一個與對應柱形 socket 端子插接的圓形插頭示意圖。這種公端子幾何形狀的不同帶來了連接類型的不同。具有正方形或矩形公端子的連接器通常被稱作 post/receptacle 連接器。具有圓形橫截面公端子的連接器通常被稱作 pin/socket 連接器，盡管兩種插座的幾何形狀很相似。然而，應該注意到，不同幾何形狀的插座可與同一種類型的插頭連接。

端子基材金屬和鍍層的選擇取決於連接器的使用情況，連接器的使用也會影響到與絕緣本體材料和幾何形狀有關的連接器類型。通常應用情況下，黃銅或磷青銅基的金屬佔多數，錫金或者金鍍鈀的合金也會被采用。插頭和插座端子可以用不同的金屬來製作，因爲插頭端子通常沒有彈性變形，但是必須有合適的鍍層。特別值得一提的是，貴金屬加錫不能被使用，因爲正如第三章所述的那樣，其抗腐蝕退化能力太差。

POST/RECEPTACLE 和 PIN/SOCKET 端子形狀廣泛應用於多種不同材料和幾何形狀的連接器插座之中。依據插座幾何形狀對連接器的劃分要到第 13.6 才討論。

13.3.2 永久連接及連接器類型

如第九章和第十一章所述的，永久連接可分爲兩種：冶金的(最初爲焊接的)和機械的。相反，機械連接根據其是否應用於線纜或線路板進行區分。大多數焊接式連接器是面向 PWB 的。這種差別又導致以永久連接來描述連接器類別。存在三種類型：板對板，線對板，線對線。圖 13.3 提供了每一種的例圖.板對板連接器可以是插座這一半直接插在電路板上（13.3A），也可以是連

接器的兩半都插在電路板上（13.3B），每一種都可以用焊接或沖壓的工藝生產。線對板連接器的一半與電路板連接，另一半與導線或電纜連接(圖 13.3C).IDC 和彎曲連接都經常使用這種線對板式的，而在線纜使用中 IDC 連接最常見。線對線連接器當然是連接器的兩半都與導線或電纜連接(圖 13.3D)。

根據端子成形工藝劃分連接器類型也是常用的方法，例如 IDC，crimp snap 和壓入式連接器。然而，更常用的是根據連接器插座的幾何形狀來劃分連接器類型。

13.4 連接器絕緣本體與連接器類型

與端子一樣，隨著製造材料，幾何形狀和組裝工藝的不同，連接器本體也變得不一樣。材料的選擇很大程度上依賴於將連接器一體組接於電系統的組裝工藝。組裝焊接工藝尤其重要。如第十二章所討論的那樣，連接器絕緣本體要求溫度的穩定性，這更加需要在裝配工作中應用 SMT 工藝而不是波峰焊工藝。第四章已經描述了 SMT 對材料的要求。絕緣本體的幾何形狀是另外的一個問題，它與系統的控製和裝配需要有更大的關系。如 13.5.5 所討論的那樣，許多不同連接器類型的命名來源於絕緣本體的幾何形狀。

13.5 連接器類型的描述

下面的部分將重點對永久性連接的連接器類型給予一般性描述，並根據連接器絕緣本體的幾何形狀作進一步劃分。板對板連接器將被特別對待，但是線對板和線對線連接器將在一塊討論。

13.5.1 板對板連接器

板對板連接器也被稱作 PWB 連接器。從定義來看，標準 3 連接屬於板對板的，但是一些標準 4 的連接也是板對板的。這一部分將討論標準 3 連接，標準 4 連接中的板對板連接將在後續部分討論。標準 3 連接器必須滿足較好的性能需要，因爲在高速傳輸中它們不可避免要起到如 12 單討論過的受可控陰抗和串音影響的傳輸線纜一樣的作用。它們又必須滿足高密度的需要，因爲印刷電路板功能的增加導致了給定的線路板尺寸要有更多的輸入/輸出設備，而小型化也需要連接器維持或減小尺寸。標準 3 的板對板連接在端子數超過 1000 pins 時仍舊有效，而且端子間距可以小到 1.0mm。標準 4 的板對板連接器一樣要滿足良好的性能需要，但是端子數一般在 200 pins 以下，多數

端子間距在 1.27 和 1.0mm 之間。

標準 3 連接器典型的組裝結構如 13.4 圖所示，子卡與母板連接時，子卡垂直插入母板，且子卡與子卡之間相互平行。這裡，母板通常是一個總線系統。由於標準 3 板對板連接器具有較多的端子數，所以它們通常包括導正機構，極性和鎖定機構。

板對板連接器主要有兩種類型：單層或卡緣連接器和雙層連接器。卡緣連接器是第一種板對板連接器，雙層連接器的出現則是因爲高密度和高端子數的需要。

單層或卡緣連接器．

單層或卡緣連接器的主要優勢在於價格。既然印刷電路板形成了連接器的插頭部分，如 13.5 圖所示，那麼僅僅還需要插座這半部分。卡緣連接器的主要局限在於印刷電路板在厚度和彎曲度方面較大的公差範圍，特別是在電路板尺寸增加的情況下。電路板在厚度和彎曲度方面的變化要求母端子的設計必須適應較大的偏差範圍。而這反過來又會嚴格要求彈性端子的設計，以確保在板厚爲尺寸下限時能實現最小的接觸力，而在板厚尺寸爲上限時，保持力不會超過常規情況太多。從使用者的觀點來看，另一個與組裝有關的缺點在於該種連接器僅能組裝於板緣。

卡緣連接器與母板最常用的永久連接方式是利用通孔組接方式把連接器插入電鍍通孔中。焊接和 compliant pin connections 也是較常用的方法。

對於分離的界面，卡緣連接器通常由兩個彈性端子組成，它們與印刷電路板兩邊的扣持機構相卡扣。典型的卡緣連接器的端子也中心線間距是 2.54mm(0.100in)。絕緣本體的材料主要多元酯，聚苯硫化物，或者液晶聚合體，這是依據連接器長度來決定的，端子材料是含金的磷表銅加上鍍鈀的金鍍層。鍍錫的界面在電方面受到限製，但仍然在商業上得到應用。

如前所述，卡緣連接器的主要限製之一是來自於對印刷電路板公差範圍的適應。印刷電路板厚度與邊緣彎曲度的變化，會極大地引起連接器系統裝配尺寸的變化。更嚴重的是公差引起的彈性錯位和由此帶來的正常插入力的變化。這些會導致插接力和耐久性(壽命周期)的變化。隨著卡緣連接器尺寸的增加，板子公差對連接器性能參數的影響更加明顯。爲了解決公差和插入力的問題，人們已經發展了低插入力(LIF)和零插入力(ZIF)的樣式。

雙層連接器.

對於雙層連接器，情況正好相反。與卡緣連接器相比，雙層連接器的價格要昂貴。雙層連接器的主要優勢是控製分離界面公差的能力。雙層連接器的推廣應用至少有三個原因。

・適應了強化電性能的需要，包括控製陰抗和串音的能力

・適應了 I/O 密度增加的需要

・面向 SMT 技術的趨勢

除了 I/O 密度以外，應用雙層連接器的主要驅動力是它對公差的限製大大減少了，這可通過連接器的兩半部分使用沖壓成形端子實現。這種減少使得連接器的插入力和保持力能夠得到更好地控製。雙層連接器還有一個優點就是能夠實現 I/O 的高密度和其使用性能，這將在以後討論。

絕緣本體材料與卡緣連接器一樣，液晶聚合體適也適合於 SMT 連接器。端子材料也一樣，含金的銅也適合高性能需要。鍍層的應用與卡緣連接器也是相同的。

標準 3 連接器的發展趨勢是增加端子數目，減少端子尺寸，已經形成了高密度(HD)連接器這個術語。這樣的連接器在超過 50.8mm(20 in)，端子數超過 1000pins 的情況下仍能發揮作用。有些連接器具有 2-或 4-beam 的端子，端子的安置從兩排到八排，這樣仍舊有效。13.6 圖是 HD 連接器的例子。最流行的配置方式是在板上插入垂直的端子，在子卡上插接適當角度的插座連接器。高端子數的連接器可能由連續的標準系列組成。這些標準構成端子係列，它們能夠連續組接，絕緣本體也可以容納導引端子，RF 端子或電源端子的混合形式。圖 13.7 是一種混合連接器的示意圖。

特別是 HD 連接器通過面板來控製阻抗是有效的，並且特別設計出能夠控製陰抗對連接器影響的端子。在端子領域，設計者能夠控製 reference/ground 端子(the signal/ground ratio)的數目和布置，而接地面板提供真正的微條和帶狀線的作用，如第十二章所述。

13.5.2 線對板和線對線連接器

在這一部分裡，線對線和線對板連接器放在一塊兒討論，因爲每一種主要的線對線連接器都以線對板的形式存在。兩種類型的連接器在標準 4，5，和 6 中都非常常用。線對線連接器主要集中於標準 5，而線對線式則集中於標準 6。線對板連接器的主導工藝是 25-square post and receptacle，其在一面使

用 0.625mm(0.025 in)的 post。線對線連接器也使用 25-sequare 工藝，但是各式各樣的 pin 和 socket 連接器也更加常見。

在線對板連接器中，連接器的一半連到線或導線上，另一半連到印刷電路板上，這如同卡緣連接器或組裝於板上的雙層連接器。雙層的線對板連接器使線覽或導線更安全也更容易與電路板聯絡，如同討論過的板對板連接器那樣。連接器的一半，特別是插頭連接器這一半通過焊接或壓入式工藝與電路板連接。插座連接器這一半所包含的端子是通過卷曲連接或 IDC 工藝與線覽或導線連接。

正如要討論到的那樣，線對線連接器的兩半部分都是與線覽或導線連接的。同一廠家生產的兩種類型的連接器，其分離的接觸界面可能是相同的。但線對板連接器仍有很多應用，它的趨勢是面向線覽對板連接器，以利用先前討論過的 IDC 的優勢。

既然典型的線對線連接器(標準 6)不能滿足高速傳輸的需要，那麼除了那些能夠控製陰抗和串音並能保證連接器重要參數的 coax 連接器和高速“engineered”型裝配線覽以外，剩下的線對線連接器傾向於能夠提供在非電環境下能經得起考驗的 ruggedness 和接地/屏蔽。

13.5.3 標準 4 連接器

至於標準 4，一些線對板連接器面對高還傳輸的需要，這會影響到連接器和線覽的設計。然而，有些線對板連接器使用在一些速度並不重要的場合。由於 I/O 密度有增加的趨勢，超過 100pin 的連接器就變得很普通。標準 4 連接器包含了較多的連接器形式和配置方式。應該注意到一些標準 4 的連接也使用板對板連接器。圖 13.8 用圖示的方式表示了很多不同方式的連接器配置方式。

首先考慮到連接器插頭這一半。如介紹過的，連接器插頭一半在這種應用下通常被稱作 header，其被組裝於板上。圖 13.8 出示了幾種類型，包括遮蔽和無遮蔽插頭的單排和雙排端子，這些端子是垂直的和彎折 90 度的。電功能加強的更多排的這種端子也能夠使用。圖中也出示了一些插座的配置方式，包括線接式的板接式的插座。鎖定裝置和極性不合適導致配合不當圖中也有。

25-Square Technology.

與 25-Square post 組配的插座連接器代表了標準 4 電連接器在良好性能和

工業應用上的絕大部分。這些應用的主要條件是端子中心線間距是 2.54mm。隨著小型化發展的需要，建立於 0.31mm(0.015in) sequare posts(15-sequare)基礎之上的相似的中心線間距爲 1.27mm(0.050in) and 1.0mm 的連接器系統出現了。

25-sqrare 工藝可用於標準 4 中的線對線，線對板和板對板連接器。它們除被應用於電源裝置以外，還被應用於系統和次系統的信號傳輸上。類型多樣是這種連接器流行的基礎。

25-sqrare 連接器的優點如下：

- 能夠迅速實現模塊化。
- 普通的 post 提供互插接性能。
- 連接器的貴金屬材料和錫鍍層能夠有效使用，彈性端子和塑膠材料也多種多樣。
- 自動組裝設備使價格低廉。
- 不同應用條件下板子的使用性能是可靠的。

不連續線覽的 25-sqrare 連接器可以使用 crimp-snap 和 IDC 端子。在 crimp-snap 的應用中，不連續的或彎曲的單根導線，在自動設備上被展平並被彎成規則的端子，然後被插入絕緣本體中。把不連續或彎曲導線的 IDC 端子預裝入絕緣本體中是常用的末端處理方法。

插座端子的幾何形狀包括多種設計形式，諸如 single and multiple cantilever beams with twin-beam box-style contacts。端子通常由磷青銅或者磷青銅居多的金銅做成的。貴重金屬，金或鈀基的合金以及鍍錫均被用到。在分離界面上雙層鍍金或者在永久連接部分鍍錫是通常的結合形式。

絕緣本體根據使用的不同，可以由不同的聚合體製成，而多元酯是最常用的本體材料。絕緣本體在頂端和義底部開口都是可以的，它使產品也能應用於層疊式板對板連接器上。這些各式各樣的連接器通過組裝成水平的，垂直的和彎折 90 度的端子和插座來加強功能。如同大多數連接器家族一樣，這些產品可以用作有極性的或無極性的。

裝於板接式的 post 可能是不連續的 and machine applied，但是大多數端子被組於稱作 post headers 的裝置上。post headers 可以是遮蔽的或裸露的，單排的或是雙排的。端子的長度可以變化，以適應 feed-to 應用 (也就是，僅僅一個插座可與其組配)，也可以適應 feed-thuough 應用，該種使用條件下端子穿透 PWB，使另一個連接器可從 PWB 的另一面插入，甚至可應用於包覆式線覽上。黃銅和磷青銅是最常用的端子材料，根據使用也可以組合使用金(或鈀

合金)和錫鍍層。雙鍍層現象也非常常用。

一種 post headers 被稱作 breakaway headers.這種產品是在一個長的連續帶板上插置單排的或雙排的端子。這種端子的設計方式能夠使用戶插入包含任何端子數的組合部分。例如，一個包含 40 個端子的 post headers 可以插入兩部分分別包含 20 個端子的組合部分，或者是一部分包含 30 個端子，另一部分包含 10 個端子，甚至可以四部分都包含 10 個端子。當然，用戶僅僅買了一種數目的端子就可以與任何尺寸的 post headers 相接。

eurocard connects.

標準 4 連接器的另一家族是 eurocard connects。這種連接器的名字來原於它的起源，然後在歐洲傳播開來。Eurocard 是以 IEC 603-2 來定義的。真正的 Eurocard 連接器在 32，64 和 96 pin 的情況下都是可以的，端子可排成行間距是 2.54mm 的標準 32 pin 陣列，其可以是單排，雙排或三排。端子系統是一個 25-square post and a twin-beam 插座。盡管反轉的 Eurocard 也有使用，但是標準的 Eurocard 使用垂直的插座和彎折 90 度 的連接器。 這種連接器根據插接周期，端子陰抗和所需要的合格性測試條件可定義爲三種作用形式。圖 13.9 出示了 Eurocard 連接器的例子。

最近幾年，最初的 Eurocard 連接器已以發展出多種形式，以滿足日益擴充的應用領域。特別是用於提供電子屏蔽的外殼出現了，如圖 13.10 所示。

13.5.4 標準 5 和標準 6 連接器

雖然標準 5 和標準 6 連接器中存在有線對板的使用情況，但是最常用的還是線對線連接器。線對線連接器通常被分爲兩種類型:pin and socket 或者 post and receptacle，劃分的標準就是根據連接器中所用插頭端子的形狀，即是圓形的或者是方形的端子。與 25-square 端子相反，這種端子很少被直接插入到電路板上。取而代之的是，包含 pins 的連接器以前述所討論過的工藝組接到電路板上。

13.5.5 線對線連接器

除了端子的形狀以外，線對線連接器通常以絕緣本體的幾何形狀來描述。線對線連接器家族包含矩形，圓形，soft-shell， 超小型-D 和帶狀連接器。同軸連接器也屬於這種係列，但是將在以後另行討論其針對高頻使用的設計特點。

該連接器家族包含很多普通的元件，而且混合電力和訊號端子的混合連接器也被采用了。大多數訊號端子設計成 pin/socket 樣式的，沖壓成形和 screw machined。商業應用上多用沖壓成形式的端子，而在軍事和航天領域則主要應用 Screw machined 式的端子。母端子材料包括磷青銅和鈀銅合金，公端子材料包括磷青銅和黃銅。貴金屬和鍍錫分別被應用於軍事/電子和工業領域。Screw machined 式通常是鍍金的。該種連接器家族的插座更加複雜，因爲插座要有插入過程。塑膠材料包括 PBT 和 PPS，而有絕緣插入的金屬外殼依據其是應用於工業還是軍事領域材料可從聚炳烯到熱固性。

還有幾種功能性的線對線連接器也可能適用於線對板系列。我們首先看看 pin 和 socket 型連接器(矩形，圓形，soft-shell 和 subminiature-D)，然後再看看 post 和 receptacle 連接器(25-square and ribbon)，接下來是最小帶狀連接器。

矩形連接器.

從標準 4 到標準 6 矩形連接器都很普遍。它們的特徵是矩形和模塊化。這種模塊化使得端子在數目和類型上都表現出可以理解的差異，也包括對 pin/socket 和其它幾何形狀如 power，coax，和 fiber optic 端子。這些端子中的標準 5 和標準 6 是屏蔽的，有金屬外殼的，對標準 4，標準 5，標準 6 來說是純塑膠的。

矩形連接器家族的不同之處在於構架和面板的變化。這種連接器的特殊之處在於這種矩形連接器在可移動的部分和扣架部分提供電連接。通常還有一個導正機構以保證正確的組接。這種連接器的例子在圖 13.11 中。正常條件下耦合機構是不需要的，僅僅把 classis and rack 置於一起就可把它們組接起來。對於連接器的構架和面板的正確應用，需要具備該種應用所需要的尺寸，重量和導引方面的基本知識。

圓形連接器.

種類繁多的圓形複合端子連接器使得在功能，包裝和可靠性方面都有較大的選擇余地。劃定這種連接器最顯著的標準是電和機械方面的應用需求。這些必然受到最終產品在組裝，包裝，維護和操作環境方面要求的限製。圓形連接器的圖例在圖 13.12 中。

圓形連接器能夠依據特定的絕緣本體/插接件材料和極端的環境條件對高密度端子在較大範圍內的電壓和電流進行控製。這種連接器其他的優點包括快速的組裝和拆卸，各種各樣的輔助設置和良好的密封性能。方便的組裝來自於連接器的兩半利用扣環扣合起來的能力。殘余應變也迅速得到緩解。

金屬扣環和界面封條使連接器的密封能夠經得起液體和氣體環境的考驗。

圓形連接器可由絕緣插件加金屬外殼或純塑膠絕緣本體組成。每一種都有它的優點和缺點。有些應用和環境條件要求金屬外殼的粗糙度，電子屏蔽或環境適應的能力。在連接器設計上，當減輕重量成爲首要或每二設計因素時，塑膠比金屬具有更明顯的優勢。模塑塑膠連接器絕緣本體生產起來比相應的金屬本體便宜得多，更便於提供價格低廉的連接器。當前塑膠在很多情況下具有金屬的強度和耐久性，也能經受得起許多較惡劣的環境條件。

很多工業上和商業上用的連接器需要具備那些 soft-shelled 連接器所不能提供的更優良的性能，而對 metal-shelled 連接器的強度無更多要求。這裡，純塑膠圓形連接器專門應用於高可靠性的商業和工業領域。圓形連接器的主要缺點是當成排使用時浪費板面空間。這些缺點通常沒有它們的優點重要。

圓形連接器有很多種尺寸(包括直徑和端子數)和端子排列方式。正如所介紹過的，圓形連接器通常是電源和信號端子的組合。

soft-shell connects.

soft-shell 連接器適應了小型化，輕型，低價位連接器的需求，這種連接器應用於白色產品，計算機，機械設備和自動化產品的標準 4 和標準 5 連接器上時，每根端子所容納的電流達到 15 A。爲了滿足使用上的多樣性，多種設計和配置方式已經出現了，其中一部分出示在圖 13.13 中。

這種連接器通常有較少的端子數(最高達 36pin)，而且要適應製造商和用戶的多次插接。與到目前爲止所討論的連接器和接地端子的狀況相比，這種連接器在安全性和抗干擾性方面要設計得更加嚴格。基於這種考慮，廠家又添加了許多輔助裝置組成一個整體，其包括鎖定機構，極性系統，線覽/導線的應變松馳和端子保護。

當前的 soft-shell 連接器具有許多獨一無二的特點。每根端子有能力連續傳輸 10 到 15 A 的電流，對消費者/商業應用領域振動的抵抗能力，方便的插入與拔出，承受循環插接的能力，被 Underwriters Labouatories 鑒定的抗燃燒和抗沖擊的能力。它們屬於小型的，低價位的，輕型的，與用戶友善的連接器系統。

該種端子通常配置成 pin/socket 結構，由黃銅或磷青銅製成(爲了在高溫和潮濕的環境下使用)，最常見的 pin 直徑是 2.13mm(0.08in)。有一些類型的端子直徑是 1.60mm(0.063in)，2.28mm(0.084in)，3.56mm(0.140in)。這些端子能夠與 10 到 30AWG 的線覽相接。在商業領域主要應用錫鍍層，但在計算機和機

械領域常用選擇性金附加於鎳鍍層上。

尼龍是最常用的絕緣本體材料，UL 94V-0 也經常使用。端子周圍的絕緣本體形狀通常是 D-shaped 地窖式的，不僅有保護作用，而且可產生極性和鎖扣，以防止連接器之間不適當的或錯誤的插接。

D-Subminiature Connectors.

這種類型的連接器名字的唯一來源是呈 D 形的組接界面，如圖 13.14 所示。通常所說的 D-sub 是今天最流行的連接器。在打印機，磁盤驅動器和其它周邊設備上常把它用作標準 5 連接器。這種連接器由於起源於軍事領域，所以在軍用類型連接器，商業上低價位的連接器以及純塑膠連接器上都有用到。D-subs 的流行有很多原因，包括一段具可靠性能的經厲，依其形狀容易分辨的極性，金屬外殼帶來的平整，關於設計的標準專著的大量庫存。當典型的 D-sub 應用於標準 5 和標準 6 連接器時，連接器的一半將被 bulkhead mounted 並且通過線覽連接器與 internal PWB 連接。

D-sub 包含多種端子和外殼尺寸。最常用的兩種端子尺寸被稱作 HD-20 和 HD-22，其指的是端子尺寸，20 指的是 1mm(0.040in)的直徑，22 指的是 0.76mm(0.030in)的直徑。HD-20 標準尺寸的端子被插入到端子數範圍從 9 到 50pin 的五種殼體中，HD-22 標準尺寸的端子則被插入到端子數範圍從 15 到 72pin 的殼體中。HD-20 系列的端子的列間距爲 2.77mm(0.109in)，行間距是 2.84mm(0.112in)。而 HD-22 系列的端子之列間距爲 2.28mm(0.090in)，行間距是 1.98mm(0.078in)。 HD-22 系列與 HD-20 系列相比，端子尺寸的減小以及所帶來的行間距的縮小使得相同尺寸的殼體大約能夠多容納 65%的端子。最常用的規格是 HD-20 系列的 9-和 25-pin 以及 HD-22 系列的 15-pin。圖 13.14 表明了不同的殼體尺寸和信號傳輸的端子排列方式。然而，與圓形連接器一樣，許多用 coaxal and contacts 混合配置的連接器也經常使用。圖 13.15 出示了 D-sub 連接器的例子。

控製這種產品的指引標準是 MIL-C-24308，它指明了連接器的尺寸，構造，材料和功能。商業用連接器要符合這種標準規格，但並不是要符合其他的所有規定。這使得這種產品從各種來源組件到內部組接方式不必蒙受象軍用連接器那樣的價格損失。

很多 low-和 medium-speed 數據通訊協定收集了這種連接器數據。RS-232，RS-449，RS-458 介紹了 HD-20 系列中的 9-，25-和 37-pin 的用途。諸如 CCITT V.2x 的調製解調器標準也提到了這種連接器。以太網標準 803.2 也收集了

15-pin 的連接器用於 LAN 的情況。CGA，EGA，VGA 的製圖界面也是建立在對這種連接器家族的使用上。

這種連接器也用到 screw machined and stamped-and-formed pin and sockets。公端子最常用的材料是黃銅，母端子最常用的材料是磷青銅。隨著金鍍鈀合金應用的增加，貴金屬鍍層已佔主導地位。對於與線覽連接來說，永久性連接包括：焊接，彎曲，IDC，而彎曲是最常用的連接方式。這種連接器的板接式包括最流行的通孔焊和 SMT 焊接方式，同其它一些端子的適當應用一樣。

這種連接器的構造是通過絕緣本體使金屬外殼內的端子固定。絕緣本體通常是 94V-0-或 94V-1-，商用連接器使用的是尼龍，軍用連接器使用的是 DAP 或多元酯。金屬外殼最常用的是鍍錫或鍍鋅，一低價位的連接器也使用塑膠外殼。

這種連接器中的線接式具有焊杯狀，彎曲，insulation displacement termination 型的端子。這些端子通常使對應導線的尺寸在 20 到 30AWG 之間。一些特殊的連接器也容許帶狀驪覽的中心線尺寸爲 1.27mm(0.05in) 。該種連接器在有防護罩和無防護罩情況下均能發揮效用。

這種板接式連接器以直的或彎折 90 度的扣接方式最常用，焊接到電路板上的端子半徑爲 0.66mm(0.026in)，或者正方形端子邊長是 0.62mm(0.025in)。適當的壓入式連接器端子也可用作板接導電端子，因爲此時不需要焊接。表面粘著連接器也可算作這種連接器家族。這種板接式連接器之一半的外殼依據應用的需要可以是整個金屬屏蔽殼，僅前端金屬屏蔽，或者沒有屏蔽。

帶狀連接器。

帶狀線覽連接器的特徵是：其較大末端多根連接器線覽通過 IDC 技術插入預置的絕緣本體中，與 crimp-snap 技術相比，這種技術允許導線動態縮減。除了大型末端的經濟性以外，帶狀線覽的使用也使得線覽差錯減少，這是由於個人線覽的處理，即個人導線與線覽組合於一起。即然 IDC 連接器可用於線覽的任何地方，那麼帶狀線覽連接器就可容易地，牢固地與線覽上任何地方的連接器組接，而勿需切繼線覽。帶狀線覽連接器的圖例在圖 13.16 中。

當今用的大多數帶狀連接器都是多股的，26 到 30AWG 的銅導線的平行中心線距離是 1.27mm(0.050in)。高達 64AWG 導線的較大末端通常也沒必要去掉任何導線。同軸遮蔽式帶狀線覽也是有效的並被廣泛使用，但是控製和處理外殼使尾部的處理過程變得複雜起來。

帶狀線覽有較多的優點。它的規則的幾何外形可以預告與幾何形狀有關

的項目，如容易發生的串音和阻抗，如第 12 章所討論的。通常它的重量也比彎曲過的不連續線覽輕，而且預製和包裝連續的，規則的導線比不連續的、彎曲的導線要容易。這種線覽通常使用 PVC 絕緣材料，也可能有不同結構的地線和遮蔽殼體。

插座用端子的幾何形狀包括彎鉤狀，twisted tulip，張開雙臂(懸臂狀)。插座絕緣本體的列間距爲 2.54mm(0.100in)，行間距也是 2.54mm(0.100in)，10 到 24 孔，與 25-square 工藝的 posts 組接。帶狀線覽的 IDC 連接技術主要是鎖定 beam。端子通常是由磷青銅或金銅合金，再加金和錫的雙鍍層或者全部是錫鍍層，兩者都經常使用。

帶狀連接器插座家族和板接式一樣，包括遮蔽式的和無遮蔽式的，有極性特徵和無極特徵的。如第九章所述的，在絕緣本體的設計中應變松馳作爲一個完整的設計部分，以保護連接器免受平行於 IDC 鎖定機構的力的傷害。插座材料通常是 94V-0 的熱塑性材料，以適應商業上和工業上的使用溫度。SMT 的板組連接器也是可行的。圖 13.17 表示了扁平線覽連接器的例子。

小型帶狀連接器.

小型帶狀連接器廣泛應用於通訊，計算機周邊設備，測量設備和醫學工業。連接 25 對電話線覽的 50-pin 連接器幾年前已經成爲工業標準了。對於這種連接器有很多的工業標準和 de facto 標準。

這種連接器的特徵是能通過絕緣 displacement 技術進行快速連接，而且提供一個適用的，可依賴的，方便的插接界面。這些特點使這種連接器家族不僅成爲電信工業的標準，而且成爲 IEEE488 的測試手段和連接 SCSI 高速總線的計算機周邊設備。

小型帶狀連接器家族包括遮蔽式的和非遮蔽式的板接連接器和線覽連接器。平常使用的還有很多特殊的連接器，如 gender menders，末端連接器和背對背連接器，它們都有著特定的作用。

行間距是 2.16mm 的端子，其標準端子數是 14，24，36，64。IDC 的端子組接於 22 到 28AWG 的線覽，額定電流爲 1A。標準的端子材料是銅合金，標準的端子鍍層爲選擇性金加鎳，其耐用周期爲 200 次或者更多。插座是由 94 V-0 規格的熱塑性材料作成的。插接界面是 keystone 形狀的，便於識別極性，同時也能提供把鎖，螺鎖或者回形鎖扣機構。

平角和直角應變釋放面除了對不連續線覽有用以外，對扁平線也是適用的。板接式連接器家族可以是直角式的，垂直式的和分叉組接式的。該種端

子可以是焊接式的(波峰焊或 SMT)或者是其它合適的方法。

當小型帶狀連接器廣泛應用於相關低速電信領域時，所設計出的遮蔽式的連接器應該能適合於脈沖上長時間下降到 3ns 的情況。小型扁平連接器的例圖出示在圖 13.18 中。

13.5.6 同軸連接器

同軸線覽提供一種封閉的，可控製陰抗的介質，以利於 RF 能量的傳輸。當然，它也具備在高頻環境下良好的電性能，自然也能提供固有的 EMI 控製和屏蔽。同軸線覽連接器應設計成能維持這些性能優勢，但以不同於以前討論過的滿足某種要求的連接器。同軸線覽和連接器應該能用於任何涉及高頻傳輸的領域和任何電接觸界面致密的地方。

理想情況下同軸連接器應被視作線鑒的延伸。然而在實際應用中，這種連接器總是在陰抗方面表現出非一致性，甚至可控製陰抗的連接器也是這樣。導致這種非一致性的根源包括端子橫截面積的變化，絕緣介質的差異，端子方向的不連續變化。這種不連續變化對頻率有依賴性，頻率的變化會加劇這種不連續性。VSWR 常常被用於度量連接器不連續性的參數。

同軸連接器外殼使用的材料在黃銅，金銅和不銹鋼之間變化。中心端子的鍍層通常是金或銀。連接器所用的絕緣材料是 PTEE 或聚炳烯。PTEE 首選應用於高溫環境和要求苛該的軍事領域，在這裡它的穩定性才能得以體現。圖 13.19 圖示了同軸連接器的各種組件。

連接器的選擇通常要綜合考慮頻率範圍，線覽尺寸和扣合方法。頻率範圍可以用當前的最大頻率或所需要的最小上長時間來表示。三種主要的扣合方式是插入式，捕捉式和螺紋式。插入式和捕捉式扣合僅需簡單的旋扭或推/拉運動就可完成快速的插拔過程。螺紋扣合提供良好的抗震性和優良的連續屏蔽能力。

三種主要的連接方式(線/外殼)是焊接/夾持，焊接/卷曲和卷曲/卷曲，分別用於中部導體和編織外殼。卷曲用作雙卷曲(也就是一種卷曲用於內部連接器，另一卷曲用於外部連接器，特別是在軍事領域)，用於兩個連接器的單一卷曲，hex crimp(通常是雙卷曲)，“O”形或常用的卷曲。用焊接的方法處理末端要實現可替換性可和修複性則要求操作工人對焊接有相當的熟悉程度

同軸連接器根據扣合方法，連接方式和它們所連接的線覽類型來定義。

BNC 連接器是插入式扣合連接器，這種連接器的大多數具有 50Ω的陰

抗，並能夠適合高達 4GHz 的應用。BNC 連接器主要應用在網路，儀器和計算機周邊、標準 5 的 I/O 連接器。

TNC 連接器與 BNC 連接器的不同之處在於其扣合方式是螺紋式的，這種方式提供了改善的性能(可達 11GHz)，並加強了抗震動能力。實際上 TNC 連接器與 BNC 連接器一樣具有多樣的類型。

SMA 連接器是面向超小型線覽而發展起來的，而且已在航空電子學，雷達和高性能測試儀器上得到廣泛應用。它們屬於 50Ω的螺紋扣合式連接器，並可適應高達 12.4GHz 的 MIL-C-39012。SMB 是 SMA 的插入扣合式連接器，但其性能較差，只有 4GHz。

SMC 也是 50Ω螺紋扣合式連接器，但是由於它的尺寸較小，所以其性能也較 SMA 差。這種使用性能的減弱，來自於與連接器尺寸減小成比例增加的公差範圍。這種變化導致 VSWR 的增加。圖 13.20 表示了同軸連接器的例子。

標準 2“連接器”或者 sockets.

複雜的電路板通常非常珍貴，所以不能經受來處焊接作業留下的潛在問題。隨著端子數的增加和中心線的減少，隨時會發生的潛在傷害不僅會危及到電路板，而且也會傷害到日益昂貴的集成電路晶片。socketing 提供了解決這些潛在問題的答案。雖然 socket 的使用顯然增加了額外投入，但同時它也帶來便利。

・修複。能夠撤掉奪接上的元件有助於障礙維修。

・更低的維護價格。替換損壞了的奪接上的元件顯然要比替換整個電路板經濟得多。

・功能重組。更換諸如 ROM 和 EOROM 的記憶 Ics 的便利使得系統能夠快速地重組成其它不同的功能或者修複代碼上的錯誤。

・未來功能拓展。sockets 爲電路板提供了未來添加功能性元件的空間，並能助於同一電路板升級。

・廠家測驗和老化。因爲假如測試是必要的，那麼裸露著的，沒有組接的 Ics 的測試就彎得困難了，所以 socketing 的使用成爲必要的了。

・早期損壞的更換。當產品在廠家能給人留下不可磨滅的印象時產品的質量已經改善了。如果晶片是奪接上的，那麼在老化期間發生損壞的產品就可盡早更換，這樣就會使價格降低。

・製造容易。通常，在生產期間不可能爲集成電路完全提供最新的組件。如果使用允許，sockets 可使早期的電路作替換。

sockets 可廣泛應用於集成電路組裝技術，包括 DIP and SIP，PLCC，LCCC，PQFP and CQFP，PGA and BGA，SIMM and DIMM。隨著技術的進步，這種應用範圍會不斷變化和擴大。特別是象 PGA 和 BGA 這種終端技術進步神速。

集成電路 sockets.

通常集成電路用的 sockets 端子數是 6 到 64pin，材料是金銅或磷青銅基的金屬加上錫或金鍍層。chip carriers 用的 sockets 在端子數達幾百的情況下仍然可用。socket 插座所用材料是適用於表面粘著技術的 V-0 材料。這種塑膠也適用於自動插接設備。Standoffs 負責焊後的清理工作。一些 sockets 的端子和絕緣本體具有在組裝和焊接過程中自動保持的功能。圖 13.21 出示了晶片 sockets 的例子。

SIMM/DIMM sockets.

sockets 提供的界面在 PWBs 和 SIMM 和 DIMM 之間的界面也是適用的。這些端子可能是標準的或者是根據需要自定的混合構造。這種元件的包裝方法增加了電路板上元件的密度，同時也使昂貴的電路的真正價值體現得更加多樣化。記憶模塊的 socketing 在焊接過程中保護了致密的記憶元件，使得日後的升級，設備的維護和系統的維修變得方便。厚度爲 1.27mm 的單排和雙排配置模塊，其行間距可以是 2.54 和 1.27mm(0.100 和 0.050in)。垂直的，小角度側面和大角度的設計都是可以的。錫鍍層最常見，有些產品用金鍍層。端子材料通常磷青銅或金銅，插座材料的選擇則要與所需的焊接工藝相適應。圖 13.22 和 13.23 分別提供了 SIMM 和 DIMM 的例圖。

13.6 連接器的附屬裝置

通常電連接器包括一些附屬元件，或者說附屬裝置，這取決於連接器的尺寸、連接方法及應用環境對其機械嚴格性的要求。下面將討論一些更常用的附屬設備。

13.6.1 定位 key 或端子

一個定位（Polarizing）key 或端子可設置于雙件式對稱連接器的一個單件上或 PWB 連接器上，它們所處的位置使得它們必須與另一半上適當的鍵槽或孔配合或對應排列成行，以防止與其它不配對的端子插配。單獨的一個鍵本身就可“定位”，從這個意義上來講這類端子可能是不對稱的，這樣一種端

子類型就可提供若干種定位的選擇，這種端子一般是由熱后可塑性材料製造的。

13.6.2 導引柱

導引柱凸設於雙件式連接器的對接面上，以提供接合前的對齊排列並簡化連接器的組接配合。這些導引柱也可起到定位裝置的作用以確保連接器正確的安裝配合。導引柱通常設置在 rack-and-panel 連接器之上，此處隱藏式接合是標準的。導引柱通常由金屬製成，其強度是主要的考慮因素。然而，進一步來說，導引柱也具有其它電性功能，其通常是用作接地柱。

13.6.3 聯接輔助裝置

聯接輔助裝置（coupling aids）爲連接器在組接條件下進行的組接和保持提供機械式的輔助。通常聯接輔助裝置的兩種形式是起重螺絲(jackscrews)以及矩形或圓形連接器的聯接環（coupling rings）.

起重螺絲通常設置在連接器上空余的部位，利用安裝螺栓將其固定在外殼上。聯接環則安裝在圓柱形連接器的遮蔽體上以將插頭與插座鎖扣在一起。一些高接觸密度的連接器要求較高的物理性接合力，通過其機械方式的優點,這些輔助裝置更便於對連接器進行組接操作而使其兩部分接合在一起。

13.6.4 線覽夾緊裝置(防止應變松馳)

這種夾緊裝置是線覽連接器組接中的必要設備。如果使用的是圓形連接器，那麼線覽就穿過此裝置與導電端子連接。這樣，適配器即可裝入連接器的外殼,並罩住導電端子,並給線纜提供一種附件以防止線纜產生應變松馳。對於其它類型的連接器，使用的是雙件式夾緊裝置/防應變松馳。

13.7 連接器的選擇

對於給定的應用條件，連接器的恰當選擇依賴於諸多性能上的考慮因素的綜合作用，此處將對其中一些因素作簡單回顧。

系統設計者必須考慮到(所需要的連接)屬於三種主要的功能標準中的哪

一種(亦即 B/B，W/B 或 W/W)，六種連接標準中的哪一種(也就是標準 1 到標準 6)，以及主要類型特徵中哪一項是合適的(也就是圓形，sub-D 等等)。接下來將根據以下考慮的幾個因素對連接器進行適當的選擇。

13.7.1 可分離性/耐久性

可分離性和耐久性並不適用於標準 1 中的永久性連接。由於端子數增加，標準 2 連接對其插接力的要求也越來越嚴格，但是其插接次數／壽命仍然很低。標準 3 連接是第一種考慮可分離性的連接類型。這種典型的連接器插接次數／壽命很低(幾十次)，所以耐久性並不是其主要的考慮因素。但是隨著端子數的增加，插接力彎得愈發重要。目前，已經發展了低插入力(LIF)和零插入力(ZIF)連接器以適應這種需要。標準 4 和標準 5 連接器把必須支持的插接次數放在了更加重要的地位。但另一方面，對插接力的要求放低了，因爲這種連接器的端子數要比標準 3 的少(幾十個對上百個)。標準 6 連接器對插接力的需要(與標準 4 和標準 5)有同樣的需要，但是對插接次數則要求更高。用於計算機周邊設備的連接器或者支持卡的，如 PCMCIA 卡就要求插接周期數達幾百次或幾千次。這種需要就對可分離界面的設計/材料提出了更嚴格的要求，特別是在考慮到連接在它們上的線覽的小型化和重量的情況下。

13.7.2 與普通的個人用戶的接近程度

標準 1 連接很難接近用戶。從標準 2 到標準 6 的應用，用戶與它們的接近程度則迅速增加。包裝(package)的置換／修補及升級影響著標準 2 插座及標準 3 連接器與用戶的接近程度。但在標準 4 與 5 中這種影響是不重要的.標準 6 的連接器，由於其自身的功能，它們是直接接近於用戶，因而更會受到用戶對連接器的適當使用或插接的熟悉程度的影響.這些對連接器的設計具有影響的條件（因素）首先在於針對使用不當提供定位特徵與耐用性的要求。

13.7.3 應用的考慮因素

基於以上所述，關於如何選擇一個合適的電連接器以及選擇適當的材料方面有許多問題要被提出。下面列出一些相關的問題，它們具有廣泛意義但

不全部涵蓋:

連接器類型　連接什么，也就是說，連接的標準是哪一級？連接器被使用的地點(室內，室外，腐蝕環境，等等)也會影響到是否要增強連接器的密封性或在絕緣本體之外加遮蔽殼體。連接器的類型決定采用何種端子(termination)，以及要安排多少個導電端子.

對於印刷電路板而言，確定電路板的公差是很重要的，它是卡緣連接器(card edge connection) 的臨界值，以及達到臨界的可行性。對於小功率電路，鍍層與底層材料必須指明與信號標準與環境等級相一致.

電性要求 要提出什么樣的電壓與電流要求？連接器是否用在小功率電路(信號) 應用或電能應用中？應該指明其它的一些電性條件：其中包括有電阻，允許的電阻變化量，毫伏降，最大電流值，最大電壓值，涌入電流值，特性阻抗，VSWR（電壓駐波比），插拔損耗與 EMI 遮蔽效率。

機械性能要求　對於連接器而言什么樣的體積與覆蓋面積（footprint）是有效的?可允許的尺寸公差是多少?端子的插入與撥出力是多少?連接器的耐用性(插拔配合的頻率)如何?

環境要求　溫度、濕度以及其它環境條件是由電連接器所處的位置決定的，因而應指明該位置及預期的環境。而其它相關貯存條件的適用期（shelf life）以及信息是什麼？對環境的闡述中也應當涵蓋有對沖擊與振動的要求，包括出自於海運方面的要求，以及生產環境條件例如焊接溫度與焊接周期持續時間的要求。連接器製造商表示，在連接器所導引的匯合型持續電流周圍就是最高溫度產生的區域。

端子技術　將采用哪一種永久性連接方式？在什麼時候需要采用哪一種預計體積的端子？什麼樣的操作技術是通用的？在（涉及）連接端子的問題中還要考慮到有可能要求的一些（對連接器進行）修補及更新／升級的能力。

規格　連接器製造商可采用大約 25 個測試機構（所製定的規格）作爲其連接器全部或部分測試規格的來源。必須考慮到在特定的應用情況下采用適當的測試規格，其中包括國際通用的情況。

【附】生詞短語：

Chip carrier sockets，DIP sockets ，termination technology，crimp snap，compliant pin connections，two-beam contacts，twin-beam box-style contacts，machine applied，bulkhead mounted，screw machined。

第十四章　連接器／插座測試

連接器／插座測試之目的是確認產品的功能是否已達成設計目標以及產品是否能夠達到應用要求。測試將作爲設計／產品開發階段的一個延續加以考慮。藉適當的測試選擇、排序以及嚴格的水準，測試具有如下效果：

・評定設計能力

・評定產品對一般的機能失效的敏感度

・顯示出本領域中的期望性能

・作爲失效模式分析的工具

・避免代價過高的領域更替(避免用於更高價值領域中的產品替換)

爲了實現測試的潛在作用（益處），一個意義長遠的測試計劃的設計與開發要求在整個過程中具有自始至終的細心和邏輯性，如同創作與設計該產品本身一樣。

14.1　測試程序的分類

有五種基本的測試程序是常用到的：

・設計校核測試

・驗收測試

・質量鑒定測試

・長期性能（品質）鑒定

・可靠性（強度）測試

每個程序都具有不同的目的，並且需要進行複雜程度不同的測試並應用特定的知識背景。

14.1.1 設計校核測試

如其名稱所表示的那樣，設計校核測試（DVT）通常是用於確認一個產品是否達到了其預期的性能標準。DVT 一般不包括順序測試，它只測試產品是否已達到了所設定的基本功能標準。例如，DVT 包括總的電阻測試、耐用周期(或循環測試)及插拔配合力的測試。DVT 是在產品開發過程中進行的，而且成爲一個廣爲認同的測試程序中必不可少的一部分。

14.1.2 驗收測試

驗收測試通常在生產加工過程進行並成爲終檢的一部分，它包括一個或兩個獨立的測試，藉這些測試以保證產品之特定屬性達到要求的性能品質的水平並符合產品運行要求。它是生產過程的一部份，其使用程度是由最終使用者自己來決定的，並基於品保的目的也可被采購部門加以利用。

14.1.3 質量鑒定

質量鑒定通常結合設計的需要進行一系列連續測試（也就是對電鍍類型及鍍層厚度，端子材料等的測試），這將使 Connector/Socket 有條件達到一個特定的規格要求，而這種規格也許來自於產品、最終使用者或工業標準。測試環境的保持時間一般是較短的或適度的（大約是 100 或 240 個小時），且其包括對類型廣泛的各種特性或運行特徵的監測。最普通的質量鑒定測試類型是以軍用的規格來要求的。這些測試不需要測定連接器系統的長期運行性能，但要確定是否有嚴重的問題存在。正常的質量鑒定測試僅僅在於解決已有技術和已知的材料體系問題。

14.1.4 長期性能（品質）鑒定

這種測試涉及以長期暴露方式進行、並且通常集中於對連接器系統的電氣穩定性評估方面的一系列連續測試，確定持續暴露時間以確定在該產品或體系的預計壽命內，其是否對與時間有關的失效機理敏感。（測試）持續時間長度的確定即依賴於經驗，也依賴於與本領域的測試條件／暴露時間有關的綜合因素。

從使用者的角度來看，所選擇的測試環境及（測試）持續時間只需要反映出所考慮的特定應用情況下的問題即可。而從製造商的角度來看，尤其對於一個普通意義的產品而言，測試程序必須多樣化以能夠反映出較大範圍的應用條件／要求。這類測試對於新技術，未確定的材料體系，以及全新的設計概念作出了很正規地評估。

14.1.5 可靠性測試

在傳統的觀念中可靠性測試是複雜的，也很少在連接器上進行，這種根據操作環境和應功能需要的測試在應用上是明確的。可靠性測試包括在預計的應用環境中進行的持續一定時間的耐久性測試，以及大尺寸樣品的大量數據采集點，而這需要對采集的數據進行深入地統計學上的處理。Mroczkowski and Maynard 對這方面進行了更詳細的闡述。

只有在考慮到批量和應用的長久性時，可靠性測試在經濟上才是可行的。確定了的可靠性僅能應用於最初流程中的相關的設計特徵及生產指數上。在確定了一個產品的可靠性級數（或程度）後設計／材料的變化會使可靠性評估毫無效果。在本章中將不對這類測試作詳細的討論。

14.2　測試方案的製定

在過去的幾年裡，電子工業的概念已在一般觀念中廣爲應用，然而對於連接器的測試和評估，這個概念的使用不再是有效的。（因爲）現在“電子工業”（這個學科）中分裂出許多的分支，這些變化使電子產品在性能及應用要求上有較大的不同。（因此）在製定一個測試方案時，認識到這些差別是十分必要的，以配合對連接器預定的市場段或應用段的狀況。

在對稍有混亂和重複的測試條件進行分類的嘗試中，源於 EIA 出版物 364 頁的表 14.1 指導性地詳細列舉了環境等級的定義和與之有關的一般操作條件。考察了表 14.1 以後，人們確立了測試方案製定的第一個步驟。一旦環境的等級明確了，基本測試的嚴格的標準界線就可劃定了。

表 14.1 在下文的的定義和指引中應被靈活對待：

- 良性環境（等級 1）利用一種過濾系統對溫度及濕度進行控製。其遮蔽區域是處於正壓力（作用）下。這類環境並不是常用的。
- 表 14.1 中所限製的溫度及濕度界限可認爲是其最大上限。而在一定環境等級中的特定應用若要求不同的標準，並且這個標準不如表中所列出的那麼嚴格，那麼，若有需要的情況下那些界限也是可以使用的。
- 一些產品可能會在很大的一個環境類別範圍內使用。例如，被用於膝上型電腦的連接器也許會在第一到第七種環境類別內使用。對於這種情況，要求（我們）考慮選擇適當的（嚴格）水平。選擇“典型的”或“最惡劣的”環境將會導致不同的測試程序，以及（極有可能的）不同的產品來滿足要求。另一方面，應用於主機中之連接器可能只要求達到第一種水平的測試。
- 特定等級的應用通常由連接器使用者對特殊環境或條件加以考慮才可以決定（支配），對電子工業的分支來說，這種環境或條件是獨特的。例如，汽車應用中振動的的要求就比一個所揭示的“典型的”振動要求要高得多。

此外，確定連接器的設計／材料測試組是否能代表習知的或是新的技術也是很重要的。這個問題定義如下：

習知的技術。采用材料體系及具有較廣的經驗基礎的設計思想（設計出來的）產品（與這些技術）有很大的聯系。例子包括：

- 在接觸端厚度爲 1.25 μm 到 2.5 μm 的鎳底層上鍍有 0.8 μm（或更大）的金錫(合金)鍍層厚度大於 3.75 μm
- 尼龍或多元酯(unfilled 或 glass filled)的絕緣本體材料黃銅，磷青銅，以及銅鈹合金等彈性材料
- 大於 100g 的法向（正交）力
- 傳統幾何形狀的接觸端

當然，以上列表是並不完整的；判斷習知技術的標準來自於與材料／設計體系相關的經驗基礎。

新的技術。即采用新材料及非傳統幾何形狀或結構的產品。在新的應用（情況）中或“非同尋常的”嚴格標準下采用的習知技術也可看成是新技術。

- 黃金鍍層厚度不超過 0.8 μm
- 新的鍍層體系或結構
- 絕緣本體材料中新的添加物或填充物
- 多頭接觸端(multiple tine contacts)
- 小於 100g 的法向(正交)力

這些考慮將會影響測試方案的複雜性及測試持續時間。對於采用已知的材料和結構（完成的）習知技術的合格條件，測試計劃也能夠使用“短的”持續時間水平來保證不會存在重大的問題，實質上，由於在本領域中設計/材料已得到證實，（因此）生產製造的過程已得以確認。而新技術則要求采用更長的持續時間和測試方法以確保敏感的或隨時間推移而產生的機能失效不會發生。

所有的連接器／插座系統都將會經歷特定環境範圍的熱(thermal)、振動(vibration)、沖擊(shock)、潮濕(humidity)、磨損(wear)及裸露於環境中（environmental exposures）等過程。所涉及的嚴格的測試標準要附從於環境等級，因爲產品的設計開發要特別考慮到環境因素。

基於以上所述，一個通常的測試程序可以通過綜合幾個嚴格的標準，環境和機械應力的測試，性能測試和附加的考慮因素建立起來。圖 14.1 所示就是這樣的測試方案。

每一個測試測試組或順序的設計都是用以使 device under test（DUT）(被測標的)顯示出不同類型的破壞模式。

・測試組１：運輸過程中的機械應力
　機械導致之磨損(mechanically induced fretting)
　機械之完整性
　對電力不連續性的敏感度
・測試組２，３：潮濕條件下氧化過程
　熱導致之腐蝕(thermally induced fretting)
　塑膠絕緣本體退化
・測試組４：腐蝕過程及磨損的影響
・測試組５：干燥條件下氧化過程

接觸端彈性之應力鬆弛（消除）

聚合物之熱完整性

・測試組６：此測試組可包含有追加的測試以順應生產製造過程，或爲產品性能確立參考數據。

圖 14.1 所示之測試方案可作爲一個靈活的計劃，對其可進行追加、刪除、或是擴大範圍等修正，但這要視其涉及的實際應用情況而定。舉例說，如果其實際應用並不涉及苛刻的環境，那麼測試組４則可刪減並且其耐用性測試可合並到另外一個測試組中。而對於其它情況，當在具有多種腐蝕因素的環境下應用時，則增加一些附加的測試組是可行的。

14.2.1　測試方案之指導方針

在開發（製定）一個普通的測試方案中，以下（幾條）基本的指導方針是非常有用的：

- 由於經常需要對端子進行監測以測定低標準電路電阻，所以不應將高電壓加到該端子上。因而：

  ・絕緣電阻（IR）及絕緣體所能承受的電壓即耐電壓（DWV）測試係在單個樣品上或未進行低標準接觸電阻（LLCR）測定的部位上進行。

  ・額定電流下的接觸電阻（CRRC）及 LLCR 的測試應在不同的端子上進行。

  ・可能的話，IR 及 DWV 測試應該在未組接的和無端子的的樣品上進行。

  ・推薦這類方法是爲避免測試台，導體等影響測試結果。

  ・破壞性測試（等效於焊接能力測試）係在單個的樣品上進行。
- 應該避免對焊接或可焊性有要求的性能測定以防止對 DUT 毫無影響的失效形式。
- 對於耐用性及／或插接-拔出力的測試，五金零件如起重螺絲及其它附件將被移除以利於進行測試。並采用自動定心技術以避免偏心載荷及由此帶來的過早磨損.而對於插接之速度則要認真選擇以避免不合

適的測試壓力值或摩擦熱。

- 在測試方案說明中對以下的項目／步驟（程序）進行適當的描述是很重要的，藉此以保證 DUT 得以適當的評估：
  - ・測試台種類及板面（多層測試板應當避免）
  - ・導體尺寸及類型要求
  - ・端子製造技術及／或過程，包括適當的工具製造
  - ・爲（測試）電阻值而設置的電壓探針
  - ・振動／沖擊設備
  - ・樣品是以配合狀態還是以非配合的狀態存在
  - ・將要進行測定的部位數及行業的性質。假如未顯示任何樣品之尺寸，那麼可假定所有的部位都將進行測定。這樣的話會導致在高 pin 數連接器中過多的測試費用。
- 一旦插接完畢，樣品將在不干擾連接器接觸介面的方式下進行測試操作，直到最終測試完成以後樣品才可以拔出。
- 在開始運行測試程序之前，很有必要指明連接器系統是否有必要在所謂標準的條件下(as-received condition)進行測試，或者是否允許對其進行清理（cleaning），或者是否有這類的要求。當樣品的預處理包括有焊接時，通常建議采用 cleaning 以清除殘余的焊劑。但是，一旦測試開始進行後，是不允許再進行 cleaning 的。

14.2.2 測試排序考慮(test sequencing considerations)

圖 14.2a 與 14.2b 列出了用於監測一系列性能的測試排序過程。這種排序可導致(產品)過早的失效，或者可能會掩蓋其失效。DWV 及 IR 測試要求采用高電壓，而且由於暴露在環境，因而會導致（表面）膜的電性故障或產品腐蝕。對接觸層干擾（contact interruptions）的監測也會導致同樣的問題。此外，對干擾的監測是通過創建（creating）一系列電路來完成的，而爲了完成 DWV 測試，這一系列電路必須是斷開的，而這樣則會導致過早的松動（unmating）及／或附加的可焊性／焊接（desoldering/soldering）操作。

圖 14.3a 及圖 14.3b 闡明了如何避免這些問題並製定一個 既節省又有效

(cost-effective)的適當的測試程序。采用圖 14.3a 中所列出的測試流程對單個樣品的特性(attributes)進行監測。如果單個的樣品不能被采用，則一個可接受的選擇就是排除任何使用高電壓進行測試的電路的電阻測試點。

一旦製定出一個測試方案，需要檢驗的每一個測試環境及測試性能必將涉及所製定的測試方案，或者必須確定一個測試方法以明了地、精確地闡明這個測試方案是如何完成的。此程序要求能保證測試在一種可控的方式下進行，並且能促進測試實驗室之間的可重複性操作（to facilitate repeatability between test laboratories）。

14.2.3 樣品尺寸

每一個測試程序或測試組對應於每一種測試條件至少需要備有兩個連接器。如圖 14.3 所示，兩個樣品是用於監測電阻，而另外兩個附加的樣品則是用於測定接觸干擾(contact interruptions) 及／或 IR 與 DWV。這種實際操作過程避免了 constant wiring 和 unwiring，以及接觸端子（contacts）中非必要的高電壓應用。

特性監測（attribute monitoring）(例如 LICR，CRRC 等等)是在至少 25 個端子或 25%的接觸端子上完成的，無論哪一種更多些。少於 25 端子(positions)的連接器則需要測量其所有的端子。而當涉及那些每排均具有不同幾何形狀的端子的多排連接器（例如直角連接器）時，此樣品中每排至少要包括 10 個端子。需要進行電阻測量的端子則包括端子樣品中部及末端的特定位置。
對於要進行其它特性（attribute）測試的樣品其尺寸則可能不同，通常隨其可察覺到的（perceived）重要性而定，並且在測試說明書中應該有清楚詳細的說明。如果沒有說明，則將假設其 100%的端子都要進行測量，而這會導致較高的測試及／或設備上的花費。這在高 pin 數連接器中已成爲一個十分重要的考慮因素。對所選擇的每一個要測定的特性（attributes）參數，推薦采用的樣品尺寸如以下所述：

- 正壓力：五個端子
- IR 與 DWV：所有端子的 20%
- 可焊性(solderability)：每種類型 10 端子

・接觸保持力(contact retention)：所有端子的 20%

・電容：十對相鄰近的端子（ten adjacent pairs）

・阻抗，感應系數（indutance）、串音（crosstalk）：每種結構中選擇 5 個測試點

在製定或編製數據文件中，實際的測量操作部位是需要指出的，並且如果需要的話，可對數據變化趨勢進行評估，這樣還可允許更進一步進行失效分析。

14.3 常用的測試環境

在電連接器測試中通常有幾種測試環境。通常根據電連接器應用的場合選擇適當的測試環境。

14・31 潮濕環境中的測試・

濕度是導致和加速腐蝕/氧化薄膜形成進程的三個主要因素之一，其它兩個因素是溫度及腐蝕性的顆粒或氣體微粒。現已形成兩種類型在潮濕環境下電連接器測試方法。

1・穩態潮濕環境下的測試。

2・溫度循環條件下潮濕環境中的測試。

穩態潮濕環境下的測試・穩態潮濕環境下的測試是指在恆溫和相對濕度(RH）不變的環境中進行的測試。它通常被認爲是一個靜態環境下的測試，這種測試所得到的效果是有限的。它主要表現在以下幾個方面：

1・確定塑膠材料對熱膨脹，吸濕性以及尺寸穩定性的敏感性；

2・通過有限的方法，確定電連接器系統在潮濕環境下受氧化進程的影響程度;

3・確定塑膠 housing 的表面變質的潛在可能性。

該種測試所常用的兩種測試條件爲 40℃的溫度和 95%的相對濕度（RH）相結合及 85℃的溫度和 85%的相對濕度（RH）相結合的測試環境。

在溫度循環條件下潮濕環境中的測試・

在溫度循環條件下潮濕環境中的測試是一種動態環境下的測試。它同穩態環境下測試的根本不同點在于它是在高濕度條件下其溫度在兩個極限之間循環。人們更常用這種測試方法來揭示或探測如下潛在的變質因素。

・確定 housing 材料對熱膨脹，吸濕性以及尺寸穩定性的敏感性。

・通過有限的方法，確定電連接器系統在潮濕環境下受氧化進程的影響程度。

・在熱循環環境中接觸表面受磨損（因爲潮濕的環境能加速氧化進程）腐蝕的影響程度。

・(在潮濕環境中接觸用材料及附在其表面上的磨損碎屑或顆粒的氧化進程。

更爲嚴格的電連接器測試所最常用的條件參見表 14・2。

表 14・2　溫度/濕度測試所常用更爲嚴格的測試條件

條件	溫度℃	RH，%	循環時間，hr
1	+25 到+65	90 到 95	24
2	+5 到+65	85 到 95	8
3	+5 到+85	85 到 95	8

條件 1 用于測試條件可控的且具有屏蔽的場合下的測試。條件 2 和 3 用在其測試條件不可控製但有屏蔽的環境中的測試。循環測試的時間通常是隨機的且在高溫和低溫駐留的時間基本上相等。如果測試過程中所用的設備(DUT)已經確立起對熱的反應規律，其循環可能以較快的速度進行。其有限的要求在于在每次循環中 DUT 能在預計的時間內達到熱平衡。

研究用于特殊場合下傳統循環由于所使用的實際環境難以符合而所需條件而可能受到限製，因爲當溫度低于 5℃或高于 100℃其濕度不存在，所以溫度上升的次數可能增加而溫度下降的次數將被減少。

根據所進行測試的目的的不同，其耐用性測試的方法可能也有所不同。標準的耐用性測試如下：

1・48 到 96 小時：在穩態潮濕環境中進行測試。

2・240 小時：在溫度循環條件下潮濕環境中測試。

3・500 到 1000 小時：在溫度循環條件下潮濕環境中測試。

其中，測試條件 1 用于對塑膠的評估，測試條件 2 用于對塑膠的評估及確定是否有重大災難性的問題存在。測試條件 3 用來確定所測試的產品是否受因時間的推移其機械性能失效的影響（如在潮濕環境下的氧化和/或磨損腐蝕現象）。如果其耐用時間低于 300 小時，則被認爲在這些溫度條件下隨著時間的推移可以促進其機能失效。

絕緣電阻（IR）被用來作爲塑膠 housing 性能的評估。電阻（CRCR 或 LLCR）被用來作爲接觸表面和電性能穩定性的評估。

14.3.2 熱的環境

通常有三種基本的熱環境需要加以考慮：

1・溫度條件下的壽命

2・在熱條件下的循環

3・在熱條件下的振動

在溫度條件下的壽命・

在溫度條件下的壽命測試是指在其溫度持續的升高的條件下，通常是指在電連接器（在正常情況下由所使用的諸如塑膠，鍍層及基本金屬等材料確立的）額定溫度條件下進行的，用戶可以選擇在電連接器的額定溫度條件下進行或選擇電連接器在運行時所觀察/預測到的周圍環境的溫度中進行測試，由于其周圍環境的溫度總是低于電連接器的額定溫度。因而在該種條件下進行測試絕不可能出現超過電連接器額定溫度。

另外還要考慮的是該種測試是否要在電連接器負電荷的情況下進行，如果某產品被估計爲以信號水平電流的條件下(mA 或更少)運行，則電負荷通常對溫度沒有影響，因而該測試步驟可以被忽略。但在電力應用中，在一定的環境中可能要考慮電負荷這一選項。

在電負荷應用時將導致溫度的上升，該的上升溫度是額外加給其運行周圍環境的。如果該測試環境和電連接器在額定溫度測試的環境一樣，則在負電荷時的電連接器溫度將超過電連接器的額定溫度。因而會撓亂電連接器運

行時所限定的條件。在這種情況下，測試的溫度將歸納爲其因電負荷而導致上升的溫度加上其運行時周圍環境的溫度之和不超過電連接器的額定溫度。另外，如果其測試溫度低于電連接器的額定溫度，則電負荷也可能被應用。

在溫度條件下的壽命測試主要用來評估如下導致機械性能降格的潛在因素：

・在干燥條件下的氧化作用機理。

・金屬化合物內部的擴散，移動和形成。

・考慮接觸保持力及正壓力可能損耗的條件下其外力導致塑膠發生蠕動的潛在趨勢。

・接觸應力的松馳，其將導致正壓力的損耗及一定時間之后其機能穩定性的喪失。

在測試程序中列出各種不同的測試溫度，可以分成如下幾類：

・65℃：設備正常運行時的周圍環境溫度。

・85℃：高能量設備運行時的周圍環境溫度。

・105℃：不可控製的區域和熱點（錫及其合金溫度測試的界限）。

・125℃：不可控製的區域和熱點（鈷金合成物溫度測試的界限）。

・125/200℃：用于軍事用途及進行老化方面的測試。

關于耐用性測試的方法有多種可供選擇，它們也被列成具體的操作程序。現推荐兩種關于耐用性測試的方法：

1. 240hr：該種測試對可能產生大幅度的應力松馳有效。但它對隨時間的推移其機械性能失效可能沒有效果。
2. 1000hr：該種測試通常對評估以上所提到的潛在變質因素有效。

可能被監視的屬性如下：

・LLCR：該種屬性用來確定電性能的穩定性同因時間的推移而發生變化的機械性能之間的相互關系。當其耐用性測試時間超過 500hr 時，推荐采用每隔一段時間測試一次，進而找出它們之間的趨勢。

・CRRC：它僅僅用在其電力應用方面。

・正壓力及端子尺寸：它用來確定應力松馳的幅度。

・非焊錫端末端保持力：它用來確定蠕動是否對保持力有影響。

・快速旋轉：它也是用來確定蠕動是否對保持力有影響。

這些測試通常是產品在實際應用的場合等周圍環境的影響下進行的，在一定的溫度下可能也進行其電性能方面的測試。但在這種情況下，由于接觸材料電阻率及端子體電阻隨著溫度的提高而增大，因而需對其電阻作相應的調整。

電連接器通常是以配合的狀態出現，以確保其施加的配合力與所應用的環境相符，而且諸如電纜，導體鍍層，測試台等測試附件必須要和其所使用的熱環境相適應。空氣流通爐的使用及工作場所沒有被用于如機加工處理等其它目的也是很重要的。因爲它可以減少一些無關的雜物污染。

熱循環的測試．

所謂熱循環測試是指在連續的時間內其溫度在兩個極限點之間不斷發生變化而進行的測試。如果在潮濕條件下溫度循環的測試在其測試過程中除掉濕度這一因素，則它們的測試效果是一樣的。通常這種環境下的測試是用來評估前面所提及到的那些因素以及在溫度作用下因磨損而導致質量降格的情況及連接器系統中因發生與熱相關的膨脹而導致其非配合狀況，如果評估有潛在的腐蝕因素存在，則通常其耐用性測試的時間被延長，因爲在這種情況下，能夠加速電連接器氧化進程的潮濕這一因素沒有起作用。正如前述的溫度/濕度條件下的循環一樣，在這裡也要特別注意確立連續進行測量的次數。並通過電連接器所預計的運行條件來確立其溫度極限。

在溫度條件下的影響其壽命的同一屬性就其測試方法來講一般都很相近，至今仍沒有對這種測試形成一套固定的程序，盡管在同一條件下的溫度/濕度測試已經采用了一定的程序。目前，除了通過液態氮來獲得意外低的溫度不能應用在微處理器控製下的標準爐外，在其它場合下該標準爐都已得到采用。

熱振動的測試．

如果熱循環測試不在連續時間內進行，則熱振動的測試同熱循環測試效果完全相同。在兩個溫度極限內其轉變時間越快則熱震動測試越受到影響，

熱震動主要是通過模擬其貯存，運輸及應用的極限條件來確定電連接器在極限溫度內不停轉換時對損壞的忍耐力。這種測試通常用于研究的目的以及探測如下方面：

・電連接器受磨損腐蝕的的影響・

・SMT 焊接點的完整性。

・不同材料的特性及接觸用或裝配用的材料之間的重要區別。

・IDC，卷曲及相應 pin 的末端。

這種測試通常是在由設定的程序自動的將環境的溫度控製在所期望的溫度水平上及預計停留在每個溫度極限點多長時間的條件下進行。溫度與時間之間的關系圖可以用來確定 DUT 在多長時間內達到具體的溫度。那樣的知識可能允許減少其循環的時間。具有冷，熱兩個系統且能瞬時發生冷，熱轉變的實驗室內可以進行兩分鐘內人工改變其溫度高低的測試。

14.3.3 嚴厲環境下的測試

嚴厲或腐蝕性的環境通常用來確定電連接器系統受如下幾個方面的影響：

・毛孔的腐蝕。

・邊緣的蠕動。

・接觸表面因沾有小顆粒或污染物而導致的腐蝕。

・非高品質材料系統的腐蝕。

導致變質的關鍵性環境包括：

◆ 一定溫度條件下的環境可以影響干燥條件下的氧化進程）。

◆ 一定濕度條件下的環境可以影響潮濕條件下的氧化進程）。

◆ 一定腐蝕性氣體條件下的環境可以影響電連接器上各部件的有毛孔，邊緣蠕動及小顆粒存在的情況）。

◆ 具有塵埃條件下的環境如沉積在電連接器表面上的小顆粒）。

常用的氣體環境具體是指：

◆ 鹽霧環境。

◆ 二氧化硫或硫化氫單一氣體環境。

◆ 二氧化硫與硫化氫混合氣體環境。

◆ 混合流動氣體環境。

鹽霧環境：鹽霧環境主要是指用在軍隊及特定的自動化設備及海洋上的電連接器的環境。在正常情況下的鹽霧環境是指由 5%鹽溶液形成的鹽霧環境，通常用該環境能有效的評估設備或元件直接暴露在海洋及陸面等鹽霧環境中的時間，正常的暴露時間爲 48 小時到 96 小時之間。

單一腐蝕性氣體測試環境：諸如二氧化硫或硫化氫那樣的單一腐蝕性氣體環境現已証明對模擬其腐蝕條件並沒有多大的效果但因其能方便的測試電連接器及指示器的抗腐蝕能力而仍然被應用。盡管暴露在這樣的環境中可以探測到一些問題，但它同實際環境並沒有多大的聯系。通過在該環境下測試的電連接器系統可能在實際場合並不能應用甚至正好相反。該種測試環境中腐蝕性氣體濃度范圍爲其體積占整個體積的百萬分之三到百分之二十。

二氧化硫與硫化氫混合氣體環境：二氧化硫與硫化氫混合氣體環境用于上述相同的目的，該種測試方法主要在歐洲使用（IEC 測試程序）其測試的時間爲 4 小時到 20 天之間，美國則沒有在那樣的混合氣體下測試的標準。

混合流動的氣體：相對嚴厲的環境下的最常用的測試環境是混合流動的氣體環境，那樣的測試環境在過去二十多年裡一直被研究，它是以確定在真實的環境中各元件的情況及在相關的環境中產品受到的腐蝕的情況等廣泛領域爲基礎的，在實際測試及以那種環境下的數據爲基礎實驗室中的該種測試之間也有一個加速的因素存在。

在使用的過程中通常有幾種混合流動氣體的組成，這一點在包括諸如 IEC，EIA 及 ASTM 等標準許多文獻中已有描述。其特征表現爲其溫度，濕度可控及其氣體主要由氯，二氧化硫，二氧化氮，硫化氫及臭氧等組成，它們所占比例通常爲十億分之幾。表 14．3 列出了混合流動氣體的組成成分及各種氣體在該氣體中所占的比例范圍。那樣低的濃度當然需要進行嚴歷的控製。所有的諸如溫度，濕度，及氣體的濃度等測試變量在不同運行的環境下都被詳細的進行說明。在一定的溫度、濕度環境中用于各種目的的混合氣體

當組成及濃度即使作微小的變化時其測試方式都是不相同的。

表 14・3 混合流動氣體測試環境中的測試參數（其精確的組成在測試顯示劑中將顯示出重要的不同）

表格 1

溫度，℃	25 到 30，+1
相對濕度，%	70 到 75，+2
Cl2，ppb	10+3，20+3。
H2S，ppb	10+5，200+20
SO2，ppb	N/A
	100+20，200+20
NO2	200+50

當可能涉及在整個壽命期間(例如:插卡的能力)保持著非配合狀態的電連接器（尤其那些安裝于底板或母機板上的電連接器）的應用時則在混合流動的氣體中進行測試特別的有效。在這個例子中，用于插接母機板上的電連接器將被處于一個非配合狀態以用于測試其耐用性的一部分，其處于匹配的狀態主要用于測試其達到平衡時的情況，典型的非配合狀態下的測試時間爲 5-10 天，而處于匹配狀態下耐用性測試時間通常爲 5-20 天，其典型的測試順序參見表 14・4。

由于在混合流動的氣體中進行測試是非常昂貴的並且也是相當複雜的，最初使用一種所謂的不漏氣測試的 sanity ｃ ｈ ｅ ｃ ｋ 測試可能被用來評估這種測試與實際情況相符的可能性，該種測試通常將電連接器暴露在真正用于那種測試的氣體中。如果電連接器通過了不漏氣的測試。則其與實際環境相符的可能性較高（但不能保証），相反也是同樣的真實。

灰塵：灰塵測試是最近流行采用的一種測試方法，它主要用來確定電連接器在運行過程中其接觸表面沉積的灰塵和\或纖維顆粒對其所造成的影響，通常有五種基本的灰塵環境。

- "Arizona"路面式的灰塵
- 滑石粉
- 砂粒和灰塵
- 工業灰塵(主動的)
- 工業灰塵(被動的)

前兩種測試是良性的且主要測試小顆粒，這兩種測試對于評估電連接器在配合期間去除其接觸區域內的這些顆粒的能力來說是必不可少的．

圖 14．4 典型的混合流動氣體中的測試順序

順序	說明
LLCR 調節前 LLCR MFG 匹配 LLCR MFG 非匹配 LLCR	1．調節前:在設備製造程序中進行 10-25 次匹配循環以用于模擬次系統進行檢查 2．僅僅測試其底板，因爲其相匹配的部分通常受密封封裝的保護 3．匹配及非匹配的耐用性是間接測試其質量的一部分指標

沙粒和灰塵中的測試主要是用于模擬在沙漠中或沙粒及灰塵非常盛行的地方進行軍事用途的測試。

兩種工業灰塵的環境主要是指其用在小顆粒及纖維顆粒結合非常好的混合氣體中的環境，其中自動的灰塵主要在工業區出現，非自動的灰塵測試主要是用于輕工業或政府機關的環境中的測試。

工業灰塵測試主要是用于對直接暴露于環境中的電連接器的測試，例如:接插口區域，母機板檢測器，選卡機構及沒有封裝的設備。

灰塵測試主要是用于其速度在某一具體的時間（例如：1 小時）內可以控製的場合下，當速度降低時，由于重力的作用，灰塵將會落下來。DUT 處于匹配的狀態且其電阻受到監視。該種測試通常是在具有濕度且溫度進行循

環及處于匹配狀態的條件下進行的．通常的測試順序參見圖 14．5。

這種測試順序對于其評估開路設計是極其有效的(卡緣式電連接器，DIP 插座，標準組件電連接器)，溫度/濕度環境和腐蝕性的灰塵顆粒相互作用能夠大大的降低其電性能運行情況。目前，該種測試對于前述場合下的電連接器的測試受到限製，在當代仍沒有一個工業標準，盡管關于 EIA 已研究出一個用于特定目的的測試程序．

圖 14．5 典型的灰塵測試順序

順序	說明
LLCR 調節前 LLCR 非配合狀態下的灰塵測試 LLCR 配合狀態下濕度循環測試 LLCR	調節前:在設備製造程序中進行 10-25 次匹配循環以用于模擬次系統進行檢查

14.3.4　機械力的測試

電連接器/插座（socket）可能暴露三種基本的具有機械力環境中，每種環境都被設計成用來確定對電連接器關于特定的基本機能失效的影響程度:通常機械力的測試包括：振動、機械沖擊、耐用性的循環測試。

振動：振動測試主要用于：

・確立電連接器的機械完整性。

・確定是否有電力不連續性存在。

・確立電氣穩定性的影響。

・確定電連接器系統對因受磨損而導致其質量降格（即可以是磨損損壞又可以是磨損腐蝕）的影響程度，這種情況可能由機械方式而引起。

振動測試在三個坐標軸方向進行，如圖 14．6 所示，其中特別感興趣的

兩個坐標軸方向爲 Y 坐標軸和 Z 坐標軸方向，Y 坐標軸方向與電連接器的長度方向垂直，在一定類型的設備或電連接器中，它能引起其相配合的兩半之間發生晃動，因而導致磨損而使其機能降格，它也能在一定場合下根據其設備的結構施以最大程度的影響。Z 坐標軸方向是指上下移動方向。如果在電連接器兩半之間的進行移動其結果也將造成該方向的機械磨損，特別是在外力很低的系統內。

如果電連接器/插座（socket）系統沒有發生共振或作相對的移動，則該系統將不會受到上述潛在機能失效的影響，在一定的應用場合下，如果系統的共振頻率和電連接器的共振頻率相當的話，則將會有機能失效產生。從某種意義上來說，如果出現共振頻率不相當的情況，則其機能失效也是不可能的，在許多例子中，在可能引起共振的應用場合中塑膠 housing 將被除去。

通常有三種振動測試方法可供選擇，具體如下：

正弦振動：該種類型的振動是指通過在給定的幅度及預定的頻率下預定的時間內所作的上、下波動。

隨機振動：在這種振動主要表現爲在一個給定的頻率范圍其產生的，其頻率的大小及振動的幅度是隨機的。

振動掃描：振動掃描主要是用來確定其發生共振的頻率，被測試的部件在特定的時間內以共振的頻率相振動。

正弦振動是最常用的一種測試方法，然而，它和現實世界中的振動條件並沒有多大的關聯。另一方面，在一定的場合下產生的隨機振動則更具有代表性。振動掃描及共振條件下的振動測試則是當在運行時振動之間的影響具有一定的關聯時進行的，尤其是在其運行的條件不知道的情況下進行。

通常振動的環境最難恰當的定義，眾所周知，系統的振動通常以較低的幅度進行（少于 5G）。然而，由于各種封裝概念的存在，其振動的水平至始至終可能要遵守其系統振動的水平，其中包括系統其它部分相當高的振動水平及置于這些區域的（100 次以上）元件。那么，爲了建立有效的振動測試就不得不考慮以下幾種情況：

・嚴格水平下的振動測試（頻率和振幅）

・耐用性測試

・監視的屬性

・定義的固定物

標準嚴格的測試水平可以從已存在的正弦及隨機振動關系圖中選取，以系統的要求爲基礎，用戶掃描測試也可能被研究。

就其在正弦振動條件下測試其耐用性推荐采用沿各坐標軸方向的時間不少于 4 小時，根據系統的需要及工程判斷可能建立起隨機振動測試的時間，如果該振動產生了，則其所表現出來的微觀移動將具有共振的功能。因爲正弦振動是在預定的時間跨度內，特定的頻率范圍進行的振動，且由于發生共振的時間很短，因而要求其在因微觀運動而導致其磨損腐蝕條件下，仍具有一個較長的使用壽命並不是一個很困難的問題，另外還要考慮的是在正弦振動條件下產生的共振不可能存在于現實中。選擇適當的隨機振動以同設備設計適當的相結合，也許能夠糾正這一點不足並能真正的評估在某種應用場合下電連接器的相關情況。時下，隨機振動爲更受人喜歡應用的一種測試方法。

電連接器在運行的過程中其振動的效果通過兩種不同的方法來監視：找出其電阻的中斷點或監視其接觸電阻較微小變化的幅度，也可能兩種類型的接觸中斷點都被監視。

1. 0us：這是過去常用的監視屬性。對于探測接觸時產生的響聲來說，它是必不可少的，因爲對于孔數少于 100pos 規格的電連接器來說，所有的這些 pos 都可能在一系列的電路上通過一條干線相連接，對于其孔數大于 100pos 規格的電連接器來說將需要多條干線。

低于十億分之一秒的觀測(LNSE):該項技術用于觀測諸如因數字式邏輯觸發器早發而導致電壓發生變化之類的微妙問題．該項技術趨向于觀測因其高電阻的失效或在極短的時間內其能量爆破時其對數據位元的損失的影響程度，Dunwood、Bock 及 Sofia 對該種測試方法提供了介紹，對突發事件測試的時間間隔通常爲 2.0、5.0、10.0、20.0 及 50.0ns。

LNSE 所要求的水平通常通過在一個給定的時間跨度內形成的允收電阻變化幅度(例如：在 10ns 內其電阻變化的幅度爲 10 歐姆)來說明，其測試電流

在正常情況下設定爲 100mA，如果 DUT 沒有使用高速度邏輯觸發器，則 LNSE 將不被使用，通常只使用 1.0us 的標準測試．

LNSE 沒有特殊的處理及特別的考慮的要求。

- 它不可能監視許多端子/干線情況(隨著時間及電壓的變化，其監視的數目從 2 到 10 不等)。
- 經過特殊屏蔽的設備及要求不同不相配合的觸發器相連接的電纜。
- 校準繪圖盡寸以論証其儀器的能力及在適當的位置可以測試其樣品中相關的屬性．
- 如果干線的數量受到一定的限製，被監測的 pos 則要仔細的進行選擇(例如:選擇其末端及中間位置的 pos．)。

其次需要被監視的重要屬性爲 LLCR，該種屬性對因磨損而導致其質量降低及由于電阻發生較大的變化(可能有 50 多毫歐的變化幅度)具有敏感性。如果在小功率電路電阻觀測其中的 pos 情況，則要么從這一系列監視的接觸中斷點的電路中刪除要么在附加的樣品中運行，這對防止高電壓出現在其接觸表面上是必要的，盡管該高電壓可能消除氧化膜及二氧化物的產生。在沿每個發生振動的坐標軸方向都要考慮監視其 LLCR 這一因素，通常的測試方法爲在其測試結束時優先使用 LLCR 測試。這種方法可能測試不到其潛在的問題，因爲在每個坐標軸方向振動的動態效果是不同的且和在每個坐標軸方向的測試順序相關。如果在沿每個坐標軸方向其 LLCR 測試的結果不切合實際的話，那么在振動測試時首先進行 X 坐標軸方向測試，然后根據其已經存在的關系進行 Z 和 X 坐標軸方向測試或進行 Y 和 Z 坐標軸方向測試。

如何固定其樣品是一個極其重要的因素，但在測試條件中一般很少被規定出來。模擬的固定情況與其實際應用的場合盡可能的相近。設備可能須被評估以確保其自身不會產生導致其測試失敗的共振及具有足夠的粗糙度以支撐其所使用的嚴格水平。在一些例子中，如 DIP 插座(socket)，PGA 插座(socket)式電連接器等，這些相配合的設備必須毫無保留的留下來，其它的一些元素，如果它們是這些相配合的設備構成整體的一個部件，可能也不得不被使用(例如:PGAs 插座式電連接器的加熱槽)。

總之，當詳細說明振動測試時則下列的參數將必須作規定

- ◆ 振動的頻率和幅度(或來自適當測試程序的測試條件)。
- ◆ 測試其耐用性。
- ◆ 固定情況的規定。
- ◆ 需要測試的屬性。
- ◆ 接觸的中斷時間(1．0，10．0ns)。
- ◆ LNSE 觀測(2．0，5．0，10．0 或 20．0ns)。
- ◆ LLCR 測試。
- ◆ 物理損壞。
- ◆ 其它要求進行測試的屬性。

機械沖擊：機械沖擊用于模擬交通運輸的條件及對于說明其設計的機械特征必不可少的。根據其具體的耐用時間，其振動的水平可在 30G 到 300G 之間選擇。因爲該種測試是用于模擬其交通運輸的條件，同其它振動(可操作測試中進一步的測試)測試相比較，該種測試將優先采用而不是在其后才用。用于振動測試的固定物也有可能用于該種測試，其中被監視的屬性可能與振動這一節中所討論的相同．

配合的耐用性．耐用性測試主要用來預料電連接器在其預期壽命內其鍍層正常磨損情況的測試，該種測試通常在速度可以進行控製調節及具有計數系統的自動循環設備中進行。自我校正特征將被用來評估其早期磨損的原因．在使用自動循環測試技術中，jackscrewst 和其它一些特征將不得不從電連接器中去掉。而根據其電連接器的類型(例如:零插入力類型及具有耦合 nut 的環形電連接器)或如果人工循環在成本上具有更高的有效利用，則人工循環也可能被需要．

爲防止磨擦生熱其循環的速率(包括人工循環和自動循環)必須被控製，每小時不超過 500 次循環的速率將對該種測試有效，進行該種測試所需要的循環次數至今仍有爭論，在 90%的應用場合下，有兩種基本的循環測試次數:25 次和>1000 次。其中，循環次數爲 25 次的測試用于模擬工廠系統核查及許多服務性領域的循環測試，循環次數超過 1000 次主要是用于諸如計算機輸出端

互聯絡體或一定的可編程序的應用場合中，爲了確立起設計的界限，其循環的實際數量有可能增加。

在其測試的過程中，有兩個基本的屬性被監視著，第一次/最后一次循環中的配合力/非配合力，測試結束時將進行 LLCR 或 CRRC 的測試。它將確定:

- 外力是否符合規定。
- 電性能穩定性的保持情況。
- 機械的整體性保持的情況。
- 磨損是否構成一個問題。
- 是否存在由于探針經常的探測而使接觸力過大的問題。

耐用性測試就其本身來說並不是很有效的一項測試。它通常在調節前按一定順序暴露在特定的環境裡(例如:暴露在潮濕的環境中，混合流動的氣體環境中等等)。繼在該類環境中使用之后，可以確立磨損是否是影響其耐用性的因素之一及其對于薄鍍層厚度是否是一個需要重要的考慮因素或對于其新的及仍沒有被証明的接觸材料來說是否一個需要考慮的因素。

該種測試本身就可確定主要鍍層在何時被破壞以露出其鍍層以下的金屬或基本金屬。在這種情況下，根據材料體系的情況，可能使用到化學補救措施或光學檢查。其中的一些列舉如下:

- 電子顯微鏡的掃描分析。
- Dimethylglioxemespot 測試。
- 暴露在 SO2 中的測試。
- 酸鹼中和反應測試。

由于對這些作說明的評估報告稍微略顯主觀因而要求受過訓練的人進行仔細的測試。

14．4 末端測試

根據可分離的接觸表面的情況通常有四種末端不得不被測試，它們分別是:卷曲(crimped)，棄皮(insulationdisplacement)，相應的 pin 頭及焊接連接情況．在許多例子中，其末端測試都被作爲電連接器質量評估程序中一個重要的組

成部分．在這類情況下，爲完成測試則不得不製定一些規則。

卷曲連接測試

電連接器末端基本的功能特性爲其抗卷曲性，通過使用 LLCR 或 CRRC 測試程序可以獲得該特性的情況。當評估其卷末端的情況時，其測試系統將確立預防或最低限度的降低作用到末端機械力而應采取的措施。圖 14．7 說明了一項典型的使系統穩定的技術。

對于其電阻性測試，通常用四線技術來測試，並盡可能利用最低的開路電壓(最好在毫伏范圍內)來進行測試·引線從導體的卷曲處開始在導體上焊接至少長達 75mm 的長度，當使用一束線纜時，應特別注意操作以確保焊接劑完全分布在導體的周圍，電壓的一根引線可以不受其卷曲接觸表面的干擾而與線纜相接觸。

另一根電壓引線將形成一探針並與卷曲接觸表面的另一面相接觸，該引線沒有被焊接在接觸表面上是爲了不改變導體/卷曲末端(尤其是以錫合金作爲其主要的鍍層金屬)的情況。

質量測試包括當使用馬鞍形設計時測試其卷曲高度在最小，正常及最大的情況下它們對卷曲連接的影響。在機械拉伸測試中，另一個有用的屬性是卷曲張力．該張力必須根據其電線的規格及有關文件中的詳細說明來獲得。其截面部分用于評估導體在卷曲連接時自身的扭曲變形情況。基本的卷曲連接評估測試順序見圖 14.8。

在電連接器質量評估期間，如果其卷曲連接令人懷疑，則可能還要采用一個簡單的擺動測試，即電連接器作簡單的東/西/南/北方向移動。如果電壓下降或電阻發生了重大的改變，則表明其可能不穩定並有待于進一步的評估。

IDC 末端測試．

IDC 末端測試的基本屬性是 LLCR，因爲 IDC 各種不同的設計及 IDC 末端接觸到測試探針的情況不同，每種產品就其如何測試都需要分別的加以考慮，當不考慮其體積的大小及接觸電阻對測試有影響時，對 IDC 末端的評估將在非配合的狀態下進行，其基本的測試程序概要的列在圖 14.9 中。

彎曲測試通過固定電連接器並將其中的一部分重量(0.5 到 1.01b)加到電纜

的自由端來進行，承受了重量的電纜通過在預定數量的循環次數下進行包括直角在內一定角度的彎折情形下來進行，在該測試程序期間，其電連續性或 LLCR 可能都被監視，該種測試程序主要用來評估其末端的機械完整性。

特別推荐進行截面部分測試以用于兩種目的。就其多股線束的導體而言，其末端截面圖將呈現出多股線束的形狀，由于多束線的校直使其呈現出更多的橢圓形形狀，這樣其潛在問題存在的可能性則大大增加了。對于高 pin 數的電連接器來說，其截面形狀則表明所有的導體(尤其是終端的 pos)在它們的 IDC 位置中是否合適，這是檢查關于其帶狀電纜同接觸區域處于非配合條件下其可能承受的能力。

14・4・3 相應 pin 的末端測試

相應 pin 的末端對于使用在具有多層線通過底板（厚度大于 0.125）的應用場合下或其焊接性在實際中不能應用的情況下正變的日益重要，其較爲普遍的測試方式爲根據與它們相配合的 housing 來評估相應的 pin，機械力(插入力和保持力)及相應 pin 的電阻是最主要的測試因素，典型的測試方案概要參見圖 14.10。

對插入力作規定以確保不會因過大的外力而干涉其裝配操作過程。對保持力作規定以確立相應區域的機械完整性及確定是否有因在機械外力或環境外力的作用下而導致接觸正壓力產生任何不可接受的或重大的損失。

相應的電阻測試以確立其末端電性能的完整性，小功率電路電阻參數在這裡將被使用到，圖 14.11 概要的列出了典型的探針測試安排順序。

小孔調節主要用于模擬具有鍍層的通孔重複使用時潛在的相互聯系及接觸區域的取代問題。其中以上順序進行的變化測試包括沒有小孔調節的情況。PTH 的完整性通過主機板的水平截面部分及底板垂直的截面部分來評估・進行該種測試主要用來確定其損壞的程度，對 PTH 來說，如果有諸如小孔變形等情況發生，則通常認爲多層線路板內部已損壞或墊板發生升高等情況。在表 14.12 中列出了其概要的圖例。在整個小孔調節期間，如果考慮到端子的方位則對其將會有所描述。

用于測試相應 pin 的測試台通常以最少三層線厚度及在外層最少有一環形扣的形態出現，且內層通常對所有的測試孔來說是通用的．

焊接連接情況測試。

通常用來評估其焊接末端的焊接性的測試主要是沾-看測試(Mil-Std-202，Method208)。該種測試通常在蒸汽老化(8 小時)的條件下進行。盡管沾-看測試仍然很流行，但其到底具有多大的效用現在仍在爭義之中，因爲其與當今所使用到的焊接製程並沒有直接的相互關聯。經驗已經表明通過該種測試的元件並不一定具有在一定環境下所必需的焊接性，甚至實際情況和所測試的結果正好相反。這種不一致性是由于在各種不同的焊接製程中不同的動態情況所造成的。表 14.4 則表明了這些典型的不同點。

因而，目前較受人喜歡的測試方式爲測試其在焊接過程中使用到的元件。然而，由于特定設備所應用的不同，該種測試所獲得的結果可能不切合實際。在這個例子中，沾和看測試通過改變如下程序來使用：

- 焊接過程中的所需的溫度．
- 調整相應的駐留時間．
- 采用適當的方式進行預熱．
- 在焊接過程中使用助焊劑．

蒸汽老化過程通常爲用來測試其鐵殼的壽命。這聽起來是乎是不可能的，因爲我們不能獲得足夠多的資料。然而，通過它確能確定其鍍層是否受可能干涉其焊接過程的附件或（和）末端的約束，它通常是一個非常有用的進行預調的環境（8 小時就足夠了）。

通常也在完全負荷的情況下對連接器進行測試。但當其端子的數量超過大約 100 之后，這也有一個潛在的問題存在。隨著高 pin 數電連接器的出現，經過沾焊的金屬末端可能產生熱匯的影響。由于要求焊接的時間爲一定的（5 秒），當末端在一定的溫度下不能保持足夠的時間時，則有可能使它們自身處在一定的濕度環境中，進而影響其焊接的質量。爲避免這種情況的出現，推荐在裝配之前即對其端子進行單獨測試的方法。

14.5　測試過程中所需觀測/測試的屬性

在電連接器的質量測試期間，需要測試/觀測許多的屬性。在這一節裡只僅僅討論比較常用的一些特性測試程序。在隨后的一節裡將引証文獻中記載的詳細測試程序。這一節裡主要討論爲確保獲得相同的測試結果和/或引起最小的爭議所必須采取的一系列預防措施。通常所觀測的屬性主要有：

- ◆ 電阻
- ◆ 配合力和非配合力
- ◆ 端子的插拔力

14.5.1　電阻

相配合接觸表面的總電阻包括：

- ◆ 端子材料體電阻
- ◆ 末端電阻（例如：卷曲、IDC 等情形下的電阻）
- ◆ 可分離的接觸表面電阻

端子材料體電阻由所使用的材料及端子的幾何形狀來決定。該電阻占信號端子中所測試的總電阻中的 85%到 90%，但其在設計用作通高電流的端子中則其體電阻較前述體電阻所占總電阻中的百分率要低的多，如果端子材料自身或與電阻相關的溫度（因爲隨著溫度的升高，其端子材料的電阻率將發生變化進而導致其端子材料的體電阻發生變化）不發生變化，則其總電阻中的一部分將不發生變化。

末端電阻爲所使用到的末端質量及類型的函數屬性。從測試的角度來看，尤其當測試可分離式的電連接器時，其末端必需要進行特別注意以確保能觀測到適當的電阻。通常永久性連接接觸界面的穩定性比可分離式連接要大的多且永久性連接電阻的變化幅度通常都少于 1mΩ。在絕大多數情況下，可分离式電連接器端子的電阻變化幅度比永久式電連接電連接器的電阻變化幅度要大得多，當進行破坏性的實驗時，永久性的連接其穩定性將需要進一步的進行驗證。并在該种情況下，永久性連接的電阻也單獨的進行驗證。另外，永久性連接的穩定性在其質量測試程序中有可能被詳細的說明。如果是那樣的話，則永久性連接的電阻也必定被單獨地測試。爲避免額外的影響，

下列的測試情況應被考慮到。

對于卷曲末端測試來說，需要校驗卷曲工具、卷曲末端及導體規格的兼容性。正如第九章所討論的那樣，檢查其卷曲末端主要是爲了驗証線纜與導體與筒狀卷曲及其高度相適應。

對于相應的端子末端測試來說，其中有關鑽孔的情況將被元件製造廠商詳細的說明及通孔（PTH）的直徑將會被確認，相應的截面尺寸也同樣需被確認。如果有插入工具停在端子上，則在插入過程后，應避免其和通孔相接觸。

對 IDC 末端測試來說，應確認電線的連接是否與相關的元件製造廠商所作的說明相符合。

對于焊接末端測試來說，將需要檢查其焊接點的情況及觀測助焊劑是否被剔除。

在這點上關于樣品預備所附加的幾點說明是其測試的順序。

- PWB 板電連接器將被安裝到相應的主機板上進行測試，並驗証測試台的質量/適用性。
- 如果沒有作特殊說明的話，電纜夾持部、使產生的應力松馳的裝置及其它的附件都將會被應用。
- 一旦處于配合狀態，則處于該狀態下電連接器通常以不干擾界面的形式進行。因爲即使小於 0．001in（0．025mm）的擾亂也會帶來很大的變化。在一個具體的諸如耐用性測試，或當進行失效模式分析等測試中如果沒有對其作特別的要求時，則處于配合狀態電連接器在連續的測試中應該保持配合的狀態，

在這幾點說明之後，所討論的話題就又轉到電阻測試上了。通常進行兩種類型的電阻測試：用于信號傳輸的 LLCR 及用于電力應用的 CRRC。

小功率電路電阻(LLCR)：LLCR 的測試是在所謂的“干電路”測試條件下進行，其所使用電壓和電流不會使與氧化進程及薄膜相關的物理接觸界面改變，這些氧化進程及薄膜會降低電穩定性。所用的測試條件如下：

- 開路電壓:50mV 或 20mV(常用的開路電壓)。

◆ 測試電流:100mA。

其中開路電壓是影響 LLCR 的關鍵性的因素，應對其進行控製。所使用的電流的大小則並不是很重要。電壓探針將被置于靠近端子處以符合實際要求，例如將其置于靠近端子 0。06in（1．5mm）的范圍以內，對于安裝在電路板上電連接器來說，可能使用特殊的測試線路，在每個測試點均引出兩條兩條線路(其中的一條用于控製其電壓，另一條用于控製其電流)．圖 14．13 列出了典型的測試探針的布置位置．在所有情況下，外電路、導體等所具有的體電阻在電路中不管其本身長度爲多少均忽略不計．在數據一覽表中，具有相同設計結構的所有端子都被分成若干組，列如在直角型端子中，每一排將有相互分離的銼刀。因爲隨著引線長度的不同其體電阻發生變化。在該種情況下所獲得的數據可能略顯主觀，因而需要進行如下的測試程序。

◆ 對有問題的位置重新進行測試。

◆ 用不同的探針重新測試有問題的位置。

◆ 檢查其探針是否損壞。

◆ 檢查其探針所放置的位置以確保其接觸表面干淨(只要其接觸表面不發生擾亂即可)。

額定電流下的接觸電阻(CCRC)：除了在將端子的額定電流作爲其測試電流的情況外，CCRC 正如小功率電路電阻那樣以相同的方式進行測試是必不可少的，然而其所應用的電壓也將被說明。

在如下附加的考慮情況下，同樣的規則適用于 LLCR：

◆ 在熱穩定性獲得之后，應製定出相應的測試程序，在一定的電流水平下，溫度將會增加。反過來，這也將導致其電阻的增加。在早期的測試中其所產生的電阻比達到平衡進要低。

◆ 如果 CCRC 在同 LLRC 相同的測試程序中進行測量，則該測試所對端子測試獲得的測試情況將不同于 LLCR 中的測試情況，如果這是不可能的話，則將在測試的開始程序中及測試結束時的程序中進行測試。它將從來不在 LLCR 所采用的測試條件或所暴露的環境之前進行測試，其相應的測試程序爲 CRRC，LLCR，調節/暴露在特定的環境，

LLCR，CRRC。

對于 LLCR 及 CRRC，正如前面所述的電壓探針之間的距離將會被減小的最短，則其探針將被置于端子接觸表面盡可能近的距離，在一些例子中，這可能不可能，這將會產生高電阻(例如：線纜總成，PWB 板的電路等)。在那樣的情況下，可能產生極度體電阻，由于溫度的補償可能要求使數據正常化，其中溫度補償的例子參見表 14.5。

實驗室環境中的例子表明在最初的顯示器表明溫度爲 20℃而在最后的測試中，則其溫度所顯示的數據爲 26℃，這表明因溫度的不同將會有 2.4%的誤差存在。最終的將會補償到 20℃時的情況，因而該數據將會正常化。

配合/非配合狀態下測試．

在品質測試期間，除了早期所提及的機械方面的測試外，也經常要求進行其配合力/非配合力測試。這些外力是指那些電連接器在裝配完畢之后要求其處于配合/非配合時的外力，並在電連接器在相關的線纜或端子被組入時進行測試。而諸如 Jackscrew 這樣的硬件將被剔除．且其插入的速度將被控製(0.1in/min，max)。且在設備上設置一些輔助設施以使其自身具有自我定心作用以防止不重合的現象發生，該種情況主要是由相關的測試固定物而引起的。除了這些電連接器外力作了規定外，關于單個端子相似的信息也作了相應的限定。

對電連接器來說，其插拔力與配合力/非配合力都是相對應的術語。測試插入力從本質上來說是無意義的，然而測試其配合力則通常有意義的多，單獨的插入力通常不考慮端子插入塑膠外殼時其端子孔所能承受的能力，其將導致該插入力將發生 25%的上升。

分離力測試是指將公端子從母端子中拔出時的滑動磨擦力測試。有時它也作爲端子正壓力的測試的依據。然而，這樣對分離力進行闡釋由于幾個原因而令人懷疑，雖然分離力確實由產品端子的正壓力及磨擦力系數來給出，但是這裡存在磨擦力系數要么不知道，要么是如此多變以致產生相關問題的問題，尤其是在低壓力系統中。如果產生總變化的話，則分離力可能也是端子應力松馳的指示器。在測試有問題的情況下，將采用 deadweight 這項技術。

該方法將一特定的重量加到一需測試端子上。承受了重量的端子在沒有滑離母端子之前應提升一定的距離。

所測試的分離力爲下列因素的函數：

- 表面粗糙度。
- 相關表面的潔淨程度。
- 正壓力。
- 設備的精度。
- 操作者的熟練程度。
- 退出的速度。
- 端子的幾何形狀。
- 接觸區域。

進行這些測試采用何種方法通常要進行如下的考慮：

・速度控製：1.0in/min，maximum。

・距離控製：防止其從底部露出。

・是否具有自我定心/校直特性。

・控製尺寸精度在大約 0.0001in(0.0025mm)之間。

・控製其表面鍍層厚度在 4-8uin 之間。

・壓力轉換器。

測試的端子或刃部每進行 5-10 次測試后將用異丙基酒精或端子可以適用的其它溶液清洗一次，這對去掉測試樣本表面的臟物來說是必不可少的。

14.6 有關連接器測試方面的文獻與測試報告的撰寫

正如本章至始至終所提到的那樣，現在已出現關于測試程序方面的文獻以供參考。這些文獻詳細地描述了這些複雜的測試程序。如果在測試說明中適當的參考這些文獻，則其細節部分不必反複重複。其中許多的測試程序都有不同嚴格標準的測試條件規定。但在這些測試程序中都沒有對其作具體規定。這是因爲如果它成爲製造廠商、用戶及工業組織所依據的標準時，這些不同的質量檢驗機構所選擇的測試條件便不相同。

如果其應用場合要求采用下表所列的文獻所規定之標準的其它標準進行測試的話，則這些文獻即不推荐采用更爲嚴格的測試標準也不要求采用參考的測試標準。通常在美國所使用的文獻有:

・MIL-LTD-202（主要規定了有關元件測試方面的標準）

・MIL-STD-1344（主要規定了有關連接器/插座測試的標準）

・EIA364（主要規定了有關連接器/插座測試的標準）

・EIC 期刊 512（主要規定了有關連接器/插座測試的標準）

・EIC 期刊 68(主要規定了關于連接器測試的環境方面的標準)

當然美國的其它一些用于軍事或國家方面的相似標準在其它國家也被使用。

MIL 文獻及 EIA364 文獻包括常用的測試程序，尤其對鏡象測試來說是必不可少的。其中 EIA364 是所有文獻中最具綜合性的文獻。關于連接器測試方面它就有 67 個測試程序而在研發階段則具有更多的測試程序。這些程序至始至終都被考察以符合時代的變化。

IEC 文獻是國際通用的標準。在一些情形下，在這些文獻中關于 MIL 與 EIA 測試程序有很大的不同，這反映在最初製定這些標準的幾個不同的國家裡。在電連接器測試程序中通常交叉參考表 14.6 所列出的 IEC，MIL 及 EIA 測試程序。

在測試說明準備過程中最后一步是確保所有的相關的細節都包括到。下面列出了實現該目的的清單：

1. 測試之排序已列出了嗎？
2. 在應用段中對測試過程進行詳細說明了嗎（例如 EIA，TP28）？
3. 測試的標準與／或條件指明了嗎？
4. 每組的測試樣品數指明了嗎？
5. 如下各種性能測試的測試數據點數目指明了嗎？
   a. LLCR，CRRC，阻抗等。
   b. IR、DWV、電容等性能測試的測試位置數。
   c. 插拔力測試的測試位置數。

d. 接觸中斷(contactinterruptions)或低于十億分之一秒(low-nanosecondevents)實驗所需測試的位置數。

e. 用于焊接、產生正壓力、形成多孔及具有接觸保持力等的樣品(端子)數目。

6. 用於測定電阻的電壓探針的位置描述了嗎及概要的表示出來了嗎？
7. 在 T-rise 測試中，電熱偶的位置描述了嗎，其中包括電源是供一個端子還是更多的端子的電力應用？
8. 在振動／沖擊測試中的固定物被定義清楚了嗎?
9. 連接器是以配合的狀態還是以非配合的狀態暴露在環境中?
10. （對於電力應用及接觸電阻類型測試，）電流之大小規定了嗎？
11. 對於具有焊接端的連接器，測試板用到了嗎？如果用到，則對于需要進行電鍍的一定大小的孔徑相對應的孔洞形狀作規定了嗎?相應的測試板也作了規定嗎(如測試板的厚度、材料等)？
12. 對於卷曲及 IDC 末端測試，是否應當在斷開(terminated)狀態下完成測試？如果是那樣的話，對所使用的導體（例如，AWG 尺寸，焊接情況(sold)，線纜(strsnded)，導體鍍層，導體長度）進行說明了嗎？
13. 對於相應(compliantpin)的端子測試來說，測試板使用到了嗎？如果用到的話，對測試板作規定了嗎?（板的層數，如果對孔洞作要求的話，還應規定出孔洞的形狀、鑽孔及需要進行電鍍的孔徑、厚度、材料等）？

測試報告除了包括測試結果外，還應包括有足夠的信息以使質量檢驗機構能充分理解在各種特定條件或準備狀態下如何進行測試。如果測試過程所用的詳細資料與既有的工業標準相一致，則這些資料無需再作重複報告（例如，MIL，EIA，IEC）。以下是列出了在測試報告中應當包括哪些信息（內容）：

1. 測試范圍（scope）．
2. 所應用的相關文獻．
3. 樣品配備，其中包括使用到的測試板、清潔（清洗）技術、端子生產過程及材料等
4. 數據歸納總結．

5. 每個測試過程應該照如下內容（信息）分別的加以報告：

a. 樣品尺寸：樣品及測試數據點的數目．

b.（進行測試的）技術員的(姓名)．

c.（測試）開始與完成日期．

d.（測試）空間周圍的溫度與濕度．

e. 所使用的設備，其中包括校準信息．

f. 所使用的測試程序包括在該測試過程中嚴格等級的概述、測試所進行的時間、進行插接的速度及其它特殊的條件等．

g. 說明內容所參考的文獻(包括參考的段落及進行說明的數據)．

h. 測試時相關的規定．

i. 測試結果包括可適當的數據表單．

j. 如果可應用的話，則應對其特殊的草圖及圖片或特殊的設置及設備進行說明。

對于報告的表格可能被指明采用一定形式的表格也可能自由的選擇表格的形式，但其至少應包括以上所列出的那些信息。