

# 連接器之技術發展

林欣衛  
工研院工業材料研究所  
電子金屬元件實驗室 工程師

## 摘要

台灣連接器產業隨個人電腦產業而成長，從一般小型家庭工廠發展到今日眾多的上市公司，期間的改變非常的大。一般認為連接器屬於傳統製造業，但由於跟隨著資訊工業的腳步，技術的發展和事業的經營也跟著調整。工研院在這過程當中與連接器產業一同努力，見證了這些過程。本文即以工研院的經驗來分享台灣連接器產業的技術發展過程，由於連接器的市場律動很快，在某種程度也反映了國際的發展趨勢。台灣連接器技術發展大致可分三階段，同時代表三個不同的技術平台。這些技術迄今正服務著台灣的連接器產業。

今天連接器已逐漸嶄露頭角，在後PC時代面對的是不同於以往的環境。為了未來的挑戰，可從應用及前瞻技術的方向來思索可能的技術演進及因應策略。

## 關鍵詞

連接器(Connector)、高頻(High Frequency)、接觸電阻(Contact Resistance)

## 前言

台灣的連接器產業經過筆路藍縷的經營，從早期克勤克儉的加工廠逐漸成為經濟發展中的一顆新星。鴻海公司達到千億的經營傳奇是近年來為眾人所津津樂道的明星，而其他連接器後起之秀如正崴電子、連展公司、崑翔公司、佳必琪公司等等也有亮麗

的表現，還有許多默默耕耘的精兵正伺機發光。經過長時間的發展，連接器產業已發展成和昔日製造加工廠不同的樣貌。除了市場的演進外，其伴隨的技術發展更新也是造成樣貌改變的原因之一。本文擬就筆者在工研院多年從事連接器技術研發及對產業的觀察，對連接器之技術發展分享個人的心得。

## 台灣的連接器產業

台灣的連接器產業基本上是因個人電腦產業的發展而形成的，因此幾乎每個廠商都是以電腦主機板及輸出入介面的連接器起家的。工研院大約在90年代開始接觸連接器技術，當時對連接器的印象是一個以製造為核心技術的產業。所謂的製造技術就是沖壓及塑膠射出技術。業者關心的是插拔耐久性以及射出技術等機械特性及製造等問題。因此初期工研院投入少許人力協助業者解決一些機械及塑膠射出設計技術。在這個階段，業者在技術與市場的關聯性較低，主要原因是當時產品的週期長且著重於生產品質，而客戶對產品的功能品質要求不高。所以業者得以集中力量於生產技術的提升，譬如製造的品質及量產成本的控制。基本上，在價格談判及交貨時是與客戶主要的互動機會，是較單純的買賣關係。換句話說，這時候的連接器產業是很單純的機械製造業，雖然客戶大多是電子業。由於這種製造業的本質，使得在台灣本來就以製造為主的傳統產業環境下投入的人越來越多。

然而，這種與客戶不同特性的關係終究還是發生了微妙的變化，也衝擊了連接器產業的製造業本質。90年代末期展開了所謂的「後PC時代」，很明顯的影響到連接器產業。最直接的是利潤壓縮，導致生產成本控制的壓

力增加，這個問題源自於生產技術已相當成熟，以致於難以產生價值；於是只有具備大量生產的競爭者得以在這環境下獲利。然而這並非單純的景氣衰退；而是環境已產生「質」的變化，可歸納為以下幾點：

(1) 後PC時代是一個不可逆的轉變。在末期提出平價電腦的議題後，就是宣告個人電腦低獲利的開始，至今已可用早期桌上型電腦的價格買到筆記型電腦。這直接壓縮到零組件的利潤空間，然而這是有前提的：PC主架構已到了相當程度的成熟。在既有的架構下，廠商憑藉既有的技術下很難再創造新的價值。而PC核心CPU的競速比賽不再是刺激消費的主要議題，應用技術才是未來主戰場。這似乎不再是以景氣循環可以解釋的改變。對於連接器產業來說，主要的問題在於PC的連接器幾乎都沒什麼大的更新，尤其是在板內使用的，價格隨著時間及增加的競爭敵手而愈來愈低。很明顯的，在技術門檻不高的情況下，加上製程技術成熟，愈來愈難產生價值。

(2) PC的技術進化已到了世代更新的階段。在前文提到主戰場是應用技術，主要是因為單依靠CPU競速已經難以產生價值刺激消費。在所謂平價電腦議題提出後，衍生出的「網路電腦」議題開始發酵。大家意識到要擴大消費市場，是要針對大多數的資訊消費者，而不僅是應用快速計算的高

階消費者。然而資訊的傳遞重點在於高速傳輸（非高速計算）及寬頻，這都不是原來PC的技術重心。當然網路最重要的就是資訊內涵，多媒體資訊傳輸技術勢必要解決。對於PC而言，它包括了多媒體資訊的處理、展示及輸出入傳輸技術。這些都影響到PC技術的走向，像是Centrino針對行動網路的投入、USB及1394高速化IO的發展、PCI-Express快速週邊界面等，都是在進行市場價值的更新。

(3) 連接器因技術進化受到連動。顯然技術重點將是高速及寬頻，訊號連結的技術變得更重要。台灣的連接器產業既然是與電腦產業緊密相關，當技術提升到一個階段時，連接器對客戶的支援就顯得很重要。這種影響不僅是在市場的應對節奏上，而且是在技術上要有根本的調整。這不僅是為了客戶市場的需要，而是為了創造未來的價值。以台灣現有的連接器業界幾乎都是由製造組裝進入市場，人力結構當然是以此為主。但在新的戰場卻是一個不同的競爭技術—電子，這是個挑戰。從技術來看，電子技術與原來機械製造技術的整合很重要，它產生與競爭對手的障礙以及價值。如何在原有的人力架構做調整並提升能力以建立新技術能量，成為業界亟需克服之課題；另外很重要的是設計技術的影響將凌駕製造技術，換言之，產品價值將被重新定義，而不再是單純地由製造人力及物料成本來決

定。從經營文化上看，技術更新帶來了不同的價值、人力結構及客戶需求，如何調整管理模式以因應市場需求將是個特殊經驗。PCI-Express、Serial ATA及未來的HDMI開發將會為產業提供一個不同的經驗。不過，努力會有代價的，這種技術更新也代表著市場的擴大。從大的方向來看，個人電腦及數位家電的整合似乎已開步走了，高速及寬頻是他們一個共通技術平台，連接器產業應該也要起跑了。

從以上的觀點來看，台灣的連接器產業確實發展到一個成熟的階段。面對新世代的挑戰，需要更多的努力來創造新價值。

## 連接器的技術研發

工研院在連接器的研發工作主要專注於設計及測試技術，採取與產業製造互補的角色。雖然工研院並不直接介入產品開發，但依據產品發展的技術走向來訂定技術發展目標。從過去工研院在連接器的技術開發經驗中，大致可以區分出下列幾個階段或者重要技術平台。

### 一、連接器機械設計

早期在訊號傳輸速度不高時，對連接器的功能要求僅止於直流電導通特性確認而已。而其他的要求則多集中於機械性能，例如插拔力、接觸

力、耐久性等，及這些因素對導電度（電阻）的影響。雖然初期的產品要求不高，大致以試誤法(Try and Error)可以得到需要的性能；但隨著產品的精度要求提高及週期縮短，試誤法的不可預測性便無法滿足市場的競爭。因此在90年代中期開始針對機械設計技術的開發，主要有下列重點。

### 1. 端子力學設計

針對連接器金屬端子作結構力學設計，以達到結構強度、耐插拔性、接觸力的要求。基本上，透過一般應力分析及電腦輔助設計即可達到目的（圖一）。然而連接器不同於一般機械，乃是應用於精密電子產品上，因此設計理念是不太一樣的。如何達到又快、又準是主要訴求，所以技術重點在於提供快捷有力的設計理論及工具。

### 2. 端子接觸設計

端子的性能主要決定於接觸點的特性。以往的開發多以接觸力的經驗設計來應付產品開發，然而這種模式會在產品精細化後逐漸失效。工研院材料所針對端子的接觸性能進行了一連串的實驗，發展出一套端子接觸特性的設計理論，並透過實驗作了實證。在這個技術中，端子接觸力與接觸電阻(Resistance)的關係被確立，更重要的是赫茲（接觸）應力在接觸性

能的影響首次被具體的解釋及理解。這在後來的IEEE1394連接器設計上已顯出其重要性。

### 3. 連接器接觸性能測試

連接器的測試是在於機械力及電阻兩種行為的影響，它的測試自有其特殊之處。工研院針對業者需求開發出結合拉伸試驗及微歐姆量測的測試平台（圖二），一方面驗證產品設計，一方面可作為產品量產品管的測試儀器。由於測試設備的配合使得設計技術更容易受到肯定。

## 二、高頻連接器設計

2000年跨世初，DDR、RAMBUS新世代記憶體模組相繼問世，宣告高頻連接器時代展開，之後IEEE1394、USB也都達到100Mbps傳輸速度以上。這時候連接器業者手中的產品規範內不再只有拔力和接觸電阻，而加入了



▲圖一 端子應力分析（彩色圖片請參見目錄頁）

電容、電感、串音(Crosstalk)、阻抗(Impedance)等電子名詞。因此在設計上開始要對連接器結構的電磁場分析，以了解結構對上述電子特性的影響。當然電腦輔助設計不可少，典型的設計工具有ANSOFT公司的SPICELINK™。工研院在2000年經同仁的努力建置完成測試軟硬體—TDR和VNA(圖三)，並開始為業者提供測試方面的技術轉移及服務。基本上，連接器的高頻設計與一般高頻電子的設計技術本質無異，例如封裝設計，甚至連接器可能更複雜。這來自於連接器端子的結構同時擔負起傳送及連接的功能，必須有較特別的結構設計。因此一個高頻連接器設計工程師最好有電磁及機械設計的專長，才能勝任產品開發。

### 三、高速連接器設計

2002年開始出現像InfiniteBand的Gpbs傳輸連接器。在2003年出現了Serial ATA及PCI-Express高速連接器。而預期在2004年將展開HDMI高品質數位電視連接器。基本上，電氣上的考量與高頻連接器並無太大差異。在筆者的定義下，高頻連接器的傳輸速度在數百Mbps左右，而高速連接器在Gpbs以上。這樣的區別主要是根據分析設計的技術。在高速傳輸下，大致已進入所謂的微波工程技術領域，必須採取馬克斯威爾方程式(Maxwell's

Equations)全波解析的方法來計算電磁場(圖四)；而在高頻領域則是因速度不是極高，可以採用靜電磁場的原理計算電容、電感，得到連接器的等效電路，再以SPICE作電路性能模擬。在高速連接器設計時，既然採取電磁波全場分析，自然會引用微波分析的各樣分析指標來描述連接器特性，如S參數等。在測試方面，有關測試板阻抗匹配及材料衰減性能的影響，也是較高頻連接器來的複雜。

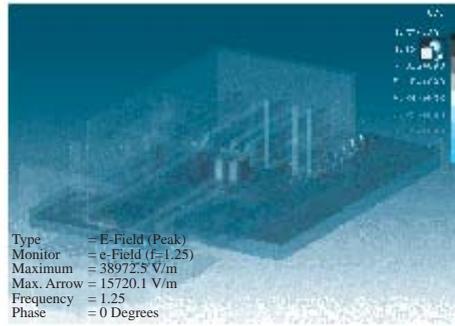
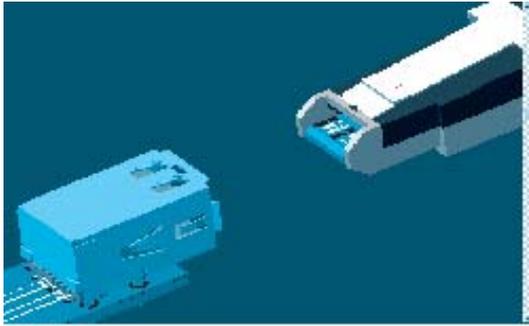
這三階段的技術研發構成目前工研院在連接器設計技術的主要平台，也代表著台灣連接器產業與工研院自90年代開始到今天共同努力合作的成果。



▲圖二 連接器多功能試驗機



▲圖三 高頻連接器測試軟硬體TDR(左)與VNA(右)



◀圖四 高速  
連接器微波全  
場模擬分析

## 展望

從台灣連接器的發展可以發現，連接器產業已從製造專業導向設計專業的方向。設備的投資固然持續，但由專業設計帶來的利基市場卻形成不同的經營策略。看來似乎技術發展也到了一個成熟階段，即現有技術已能應付傳統製程的能量。展望未來，連接器會是什麼面貌呢？就筆者觀察的心得就是：應用與前瞻技術。

在上述的技術經驗下，工研院開發的連接器技術已可滿足現有型態的產品。然而大家也都了解，技術門檻固然帶來一些利基市場，現有製造成本主導的市場仍然是很艱苦的競爭。為提高產品價值，擴大連接器的功能價值是必然的發展。或者具體說，功能模組化的發展是未來的可能發展，也就是在連接器上附加功能。這將會引入封裝、電子、晶片等技術，換言之，除了設計製造技術，還必須具備整合的技術能力。當然這就意味著連接器產業必須比以前更敏感於應用市場的走向或開發。汽車電子化就是一

個新應用市場的例子，值得持續的關注。樂觀的是台灣在電子產業分工相當細且環節完整，業者是有機會去整合這些資源來產生新價值。不論工研院或產業都應該思考這樣的發展。

另一方面，前瞻技術似乎很難跟連接器聯想在一起；但反過來，從電子技術的發展或許可以看到一些曙光。SoC(System on Chip)和SiP(System in Package)都是近年積極發展的技術，從技術觀點來看，他們勢必導入細間距的封裝。在可靠度未臻成熟之前，將會使用精密的連接器。由國際半導體協會的預測，0.3mm的封裝將會出現。如此已經達到傳統連接器的製造極限，下個問題是什麼樣的製造技術才能達到這樣的要求？是微機電還是奈米呢？若製程技術更新的話，整個產業的價值就必須重新評估。因為除了技術成本改變外，技術所帶來的產品價值更新，可能更超乎想像。至於奈米化的電子世界，連接器的樣貌更是無法想像。