

# 印表機的科學淬煉

現今的印表機，結合 20 世紀的電腦，經過科學的淬煉後，把印刷術提升到嶄新的境界，使得個人製作書籍、文件與小量印製變成可能，成為大眾化的消費性電子產品。

■ 許逸堯、楊智惠、黃耿祥

## 文書複印技術的演進

古人把文字、符號記錄在龜甲、獸骨、竹簡等上面，使知識得以保存。但是在這些材料上製作文字或符號相當困難，因此知識與訊息的傳遞十分有限。

相傳先秦時期（西元前 3 世紀以前）已有印章，可說是最早用於複印的工具。不過印章上刻的是姓名、官銜或機關名稱，主要用於認證，並非在傳播知識。

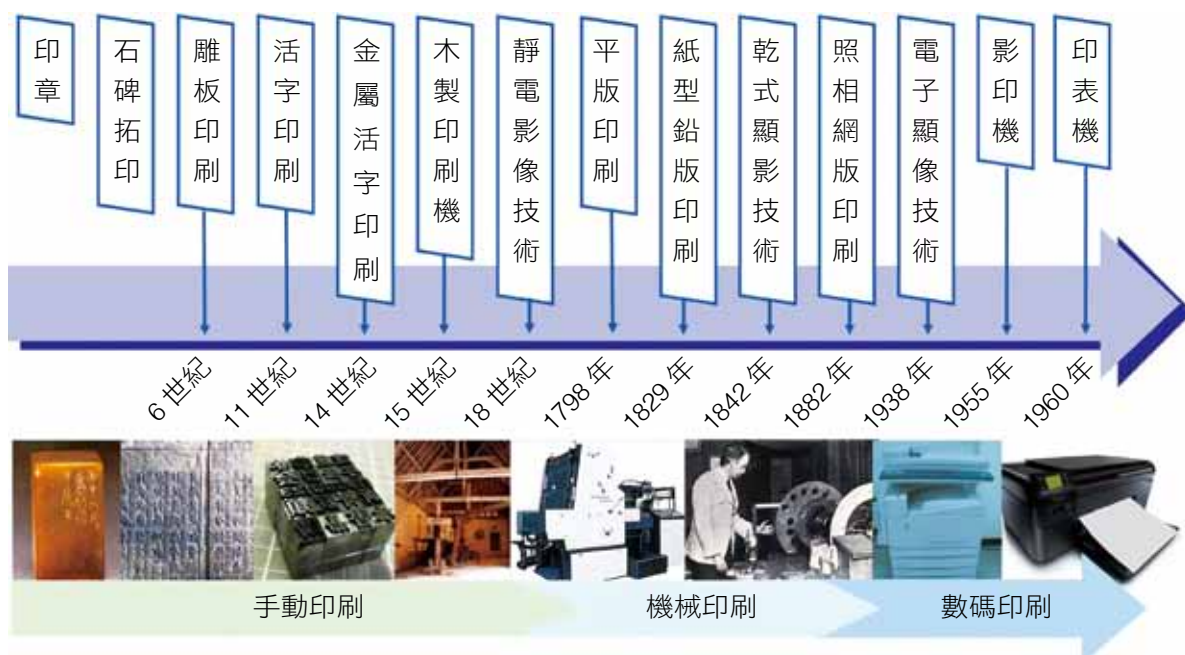
東漢時期（西元 105 年），蔡倫改良造紙技術，雖然帶來很大的便利，但知識的傳播還是窒礙難行，因為書冊仍用手抄的方式生產，不但耗時費力，也容易發生錯誤。

石碑拓印術是用紙在石碑上墨拓，是最早可以一式多份地複印書籍、文件的方法。它的起源在歷史上沒有記載，一般認為始自東漢熹平年間（172 ~ 178 年）比雕版印刷早。拓印出來的成品是黑底白字，不夠醒目，而且幅面大，拓碑的過程也較複雜，用來印製書籍速度慢而且不方便。

隋唐時期（600 年左右），由於雕刻與造紙技術成熟，以及儒家、佛學思想興盛帶來複製書籍的需求，因而發展出雕版印刷術，其中最著名的是 868 年雕印的《金剛經》。但是，雕版印刷必須一頁一版，有了錯字就必須整版重雕，如果刻一本大書，要花費許多時間和木材，不僅費用龐大，也很占空間。

宋慶曆年間（1041 ~ 1048 年），畢昇以膠泥為原料發明活字版。用膠泥刻字，一個字一塊膠泥，可以重複排版使用，一本書因而可以比較快速地印製數十百千本，俗稱為活字印刷術。

大約 1453 ~ 1456 年間，德國的古騰堡（Johannes Gutenberg）改良合金活字，並發明了半自動化的木製印刷機，出版了著名的《古騰堡聖經》（*Gutenberg Bible*），又名《四十二行聖經》（*42-line Bible*）。它結合了自動化與活字印刷技術，為印刷技術的發展奠定了重要的基石。



複印技術的發展，從最早的印章和石拓，到現代的數位印刷，每項發明都對知識的傳播、文明的發展與人類的生活產生重大的影響。

1938年，美國的卡爾遜（Chester Carlson）根據物質間的摩擦生電、光電效應等原理，使用一個附有硫磺的鋅板發展出影印技術，今日已廣泛用於各辦公室及圖書館中。

現今的印表機，結合 20 世紀的電腦，經過科學的淬煉後，把印刷術提升到嶄新的境界，使得個人製作書籍、文件與小量印製變成可能，成為大眾化的消費性電子產品。但是，如果要印製大量的書籍與文件，還是由印刷廠印製比較經濟與快速，品質也較好。

印表機依照運作時是否直接接觸紙張，可分為撞擊式與非撞擊式兩種類型。撞擊式又可細分為菊輪式、點矩陣式與行列式印表機；非撞擊式則包含熱敏感式、噴墨式、雷射式印表機等。

## 印表機演進簡史

- 1951 年—發展液態墨滴技術。
- 1960 年—第 1 台針點式印表機問世。
- 1964 年—第 1 台商用小型印表機產生。
- 1969 年—第 1 台菊輪式印表機出現，是當時最普遍的印表機。
- 1971 年—發表雷射印表機雛型。
- 1976 年—商業化噴墨印表機、壓電式噴墨技術問世。
- 1978 年—改良點矩陣印表機，列印速度超越當時的菊輪式印表機。
- 1979 年—發展出熱泡式噴墨技術。
- 1980 年—開發雙向列印點矩陣印表機，列印速度是當時菊輪式印表機的兩倍。
- 1980 年—把熱泡式噴墨技術應用於印表機。
- 1983 年—發表全球第 1 台 LED 印表機。

印表機的構造依照種類、規格的不同而不同，主要架構包含連接裝置、處理訊息的主機板、列印引擎與送紙裝置。

- 1984 年—發展熱泡式噴墨印表機。
- 1994 年—第 1 台事務機問世，開啟多功能印表機的時代。
- 1998 年—發展出彩色雷射印表機。
- 2001 年—藍牙印表機問世，無線列印時代來臨。
- 2002 年—開發 In-Line 技術，使彩色雷射印表機列印速度與黑白雷射印表機相近。

### 結構及運作原理

使用列印功能時大多是透過連接線把印表機與電腦主機相連，當印表機接收到從電腦傳送過來的指令時，會先把資訊保

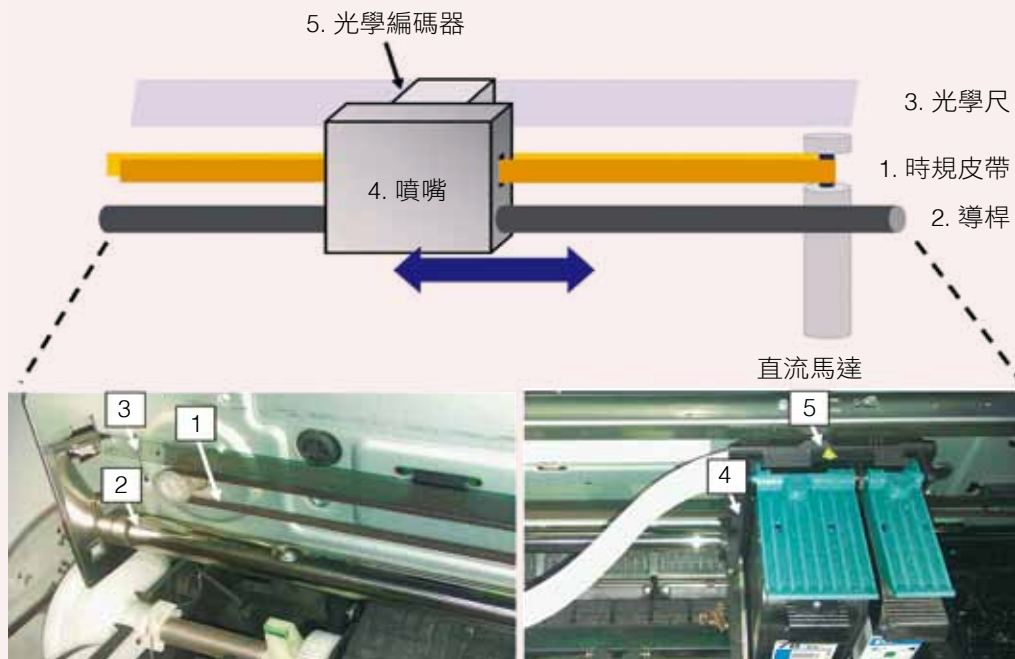
存在暫存記憶體中，等待訊息完整接收後便進入解譯的程序。

解譯是一個可以簡化資料量並提高後續輸出效率的程序。訊息經由排線傳送到輸出硬體，驅動印表機的字印裝置列印。

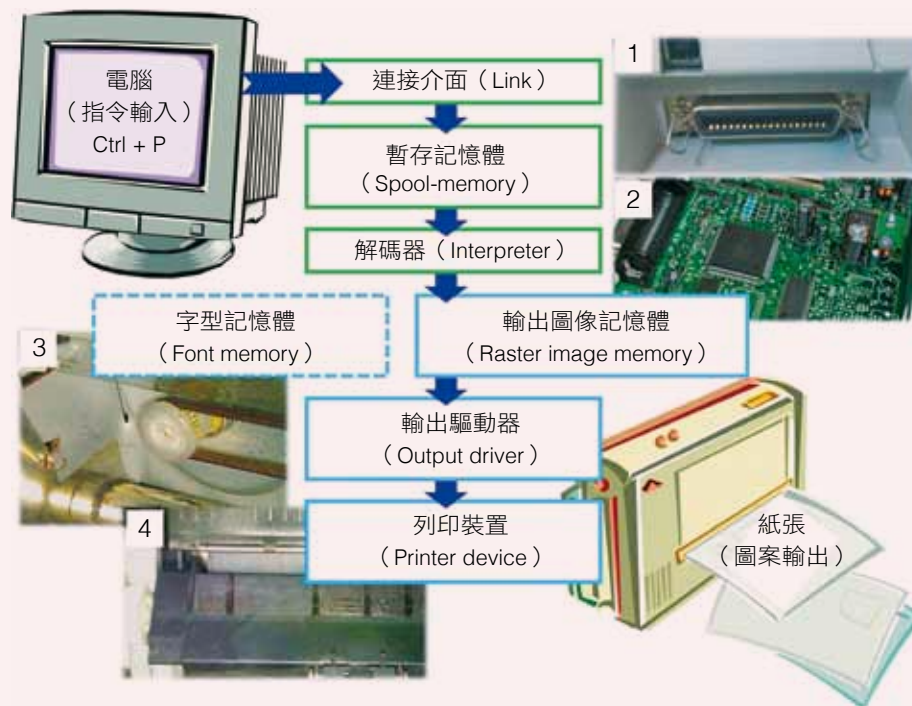
解碼器把列印設定，透過印表機內建的字型記憶體翻譯成印表機的語言，並存入輸出圖像記憶體中。

印表機的構造依照種類、規格的不同而不同，主要架構包含連接裝置、處理訊息的主機板、列印引擎與送紙裝置等。

印表機在列印時，是透過「列印引擎」處理列印的工作，它是整個印表機的核心，



印表機的核心—列印引擎，包含：(1)時規皮帶、(2)導桿、(3)光學尺、(4)噴嘴、(5)光學編碼器。

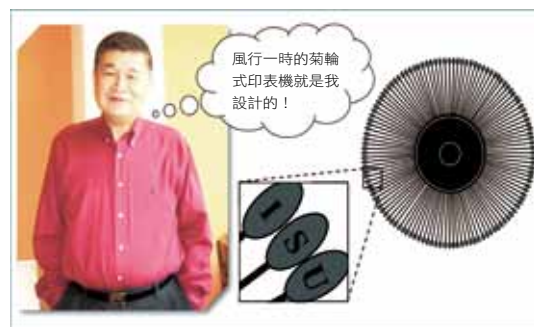


印表機的構造大致分為：(1) 連接裝置、(2) 主機板、(3) 列印引擎、(4) 送紙裝置。當電腦輸出指令後，印表機經過訊息轉換而印出所要的資料。綠色部分表示訊息是電腦語言，經過解碼器轉換為印表機語言後進行後續的步驟。

其結構包含時規皮帶、光學尺、噴嘴、光學編碼器、馬達等。另一個重要的部分是「送紙系統」，整個列印步驟進行到輸出階段時，經由送紙系統把紙張送進去，列印就完成了。

**撞擊式印表機** 撞擊式印表機是利用不同排列組合的撞針，撞擊色帶留下不同點狀圖形，由這些點狀圖形組成圖案。噪音與列印品質不佳是最大缺點，不過由於可進行多層紙的複印，加上列印成本較低，仍常見於表單列印較頻繁的場所。

菊輪式印表機可說是撞擊式印表機最早期的代表，原理與打字機十分類似。這種印表機只能輸出印字模上的字體，字模排列在圓輪的邊緣，透過打擊色帶把字模上的圖案印到紙上。它的列印速度較慢，列印文字受限於字模且無法列印圖案，但是具有鉛字品質的列印效果。



左圖：1969年，李信麟發明了第1台每秒可以輸出30個字體的菊輪式印表機，速度是當時打字機的兩倍，解決文字處理作業效率不彰的困境，也成為當時最普遍的印表機。（圖片來源：中國新聞網，<http://www.chinanews.com/hr/hrgs/news/2008/01-24/1144438.shtml>）右圖：菊輪式印表機，上面排列著許多根字模，每個字模各代表一個符號，方框內是印字頭的部分。其印字頭是鑲在如菊花形的圓碟上，因而得名。

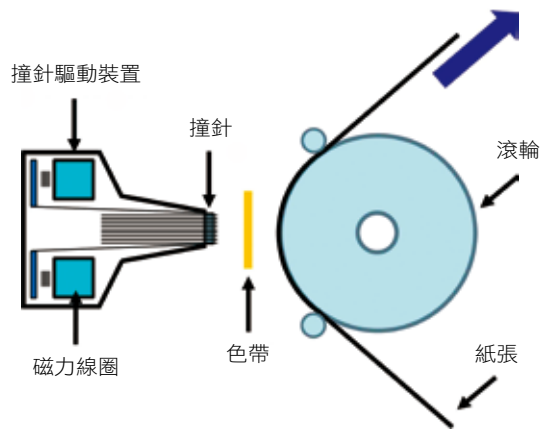


行列式印表機是把許多字模同時排列在長型滾輪上（如箭頭所示），一次可以列印一整行。（圖片來源：維基百科 [http://en.wikipedia.org/wiki/Line\\_printer](http://en.wikipedia.org/wiki/Line_printer)）

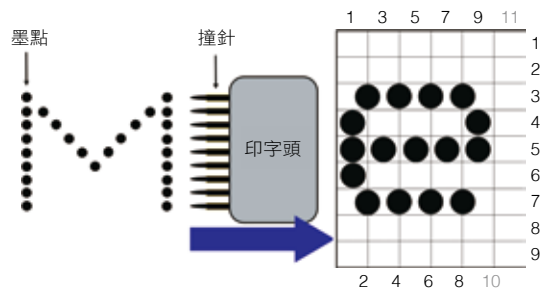
點矩陣印表機的原理與菊輪式印表機很相似，只不過點矩陣印表機是由無數個小點組成所要列印的圖像，印字頭上排列著許多很細的撞針，每一根撞針都具有磁簧的結構，藉由通過電流的方式使撞針受磁力彈出，進而撞擊色帶把無數個墨點打印到紙上。撞針的數目又分為 8 針、9 針和 24 針，撞針數越多，印出的印點越密集，輸出的字或圖案就越精細平滑，解析度越高。

行列式印表機一次可以列印出一整行的文字，通常可以分為兩種：一種是鼓式印表機，即在圓柱型的滾筒上並排許多環，每個環上都裝有要列印的字元；另一種是鏈式印表機，是把所有字元放在許多條可以自由滑動的鏈子上，再把需要的字模滑動到要列印的行上。行列式印表機在列印的過程中，是利用擊槌擊打紙的背面，字模和色帶位在紙的上方，和一般撞擊式印表機利用字模往紙上打不太一樣。

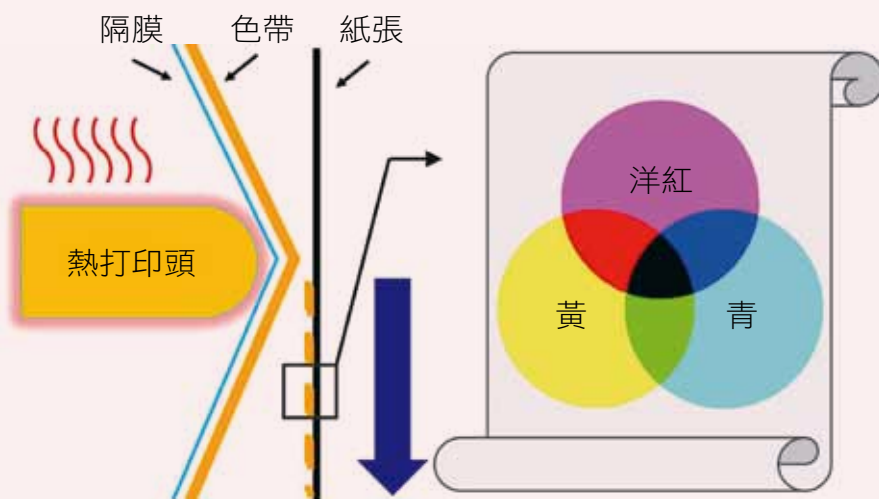
這類印表機可以說是所有撞擊式印表機中列印速度最快的，過去常用於大型計算機中心的海報列印，但運作時噪音大，字體有所限制是其受詬病的地方。



點矩陣印表機是利用撞針打出許多密集的点，並排列成所要列印的圖像。



左圖：點矩陣印表機的字元方式，透過撞針打出的點排成圖案。右圖：9 根撞針組成的  $9 \times 9$  方格，包含 5 個格子內的點 1、3、5、7、9 與 4 個線上的點 2、4、6、8。



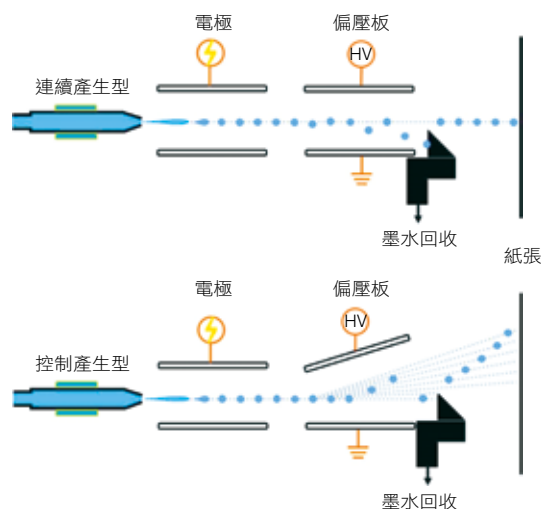
熱敏感式印表機的特色在於利用加熱方式，讓固體墨料揮發至列印面上，可以達到高品質的印刷效果。大多利用洋紅、青、黃三原色，以疊色的方式產生其他不同的顏色。

**非撞擊式印表機** 熱敏感式印表機可分為熱昇華式與熱轉印式兩種。熱昇華式印表機利用特殊的熱打印頭加熱色帶上的固體墨料，墨料會因高溫氣化並顯現在紙上。色帶包含顏料的三原色，透過滾輪來移動。它的優點在於輸出色彩品質很高，可以達到近於照片的連續色調。不過列印速度很慢且成本昂貴，因此較常見於專業的列印廠或列印中心。

熱轉印式印表機原理與熱昇華式類似，但其中所用的顏料與紙的材質不同。熱轉印式的色帶是由完全不含水分的樹脂原料組成，紙張也必須使用特殊的熱轉印紙。由於墨料不含水，也可以說是一種乾式列印的技術，因此顏料不易暈開，能理想呈現所要的顏色。此外，利用特殊的金屬色帶也可以做出燙金的效果。

噴墨印表機依照噴墨的連續與否，可分為連續產生型與控制產生型。連續型是使墨滴不斷從噴嘴噴出，再以回收盒回收部分的墨水；控制型則是在需要的時候，利用壓力噴出墨滴。

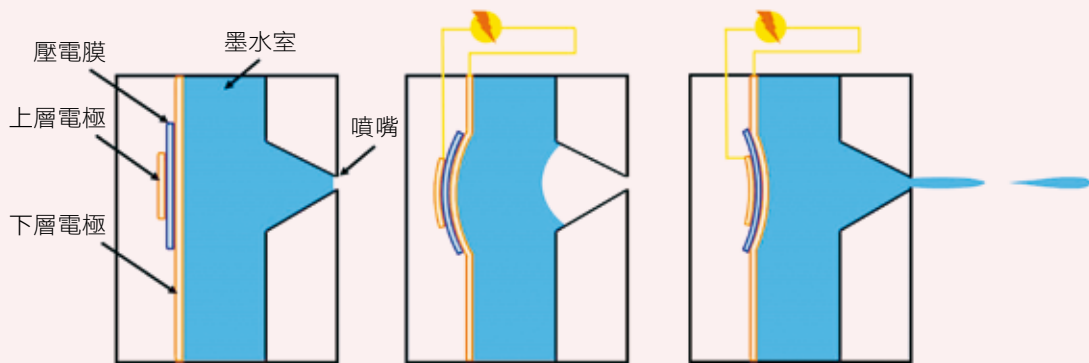
在連續產生的模式中，墨滴不斷產生，並且通過電極控制它帶電或不帶電。帶電



噴墨式印表機依照噴墨連續與否分為連續型與控制型。連續型是屬於比較早期的技術，由於墨滴一直噴出，不易控制成像的精準度，因此有控制型噴墨技術的發明。兩者最大的差異在於控制型發展出可調控電壓的偏壓板，對控制墨滴偏移的程度更加顯著且精確。

墨滴受偏壓板作用而可以朝紙張前進，不帶電墨滴則會因為重力往下掉，最後落入回收槽。因為印刷速度快，所以多用於大型海報的印刷。

連續產生型會不停噴出墨滴，不利於控制墨滴量，造成解析度偏低。控制產生



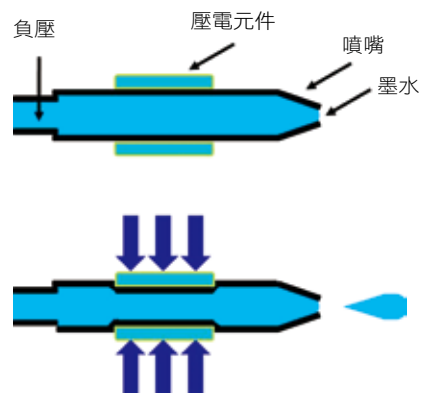
微針點壓電噴墨技術是利用晶體的壓電性發展出來的，可以更精準地控制墨滴大小，達到比其他噴墨技術更高的精準度。

型一樣透過電極產生帶電或不帶電的墨滴，可以調節偏壓板電壓大小，產生大小不同的位移，而不帶電的墨滴最後一樣落入回收槽中，可以更精確地控制墨滴，不但節省墨水，解析度也提高。依照噴墨方式的不同，又分為壓電式、熱泡式與音波式，前兩種是目前市場的主流。

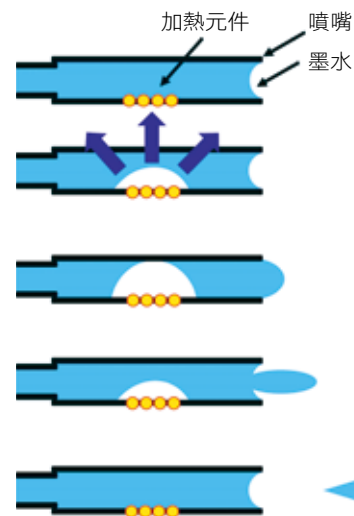
壓電式印表機於 1978 年量產。壓電式噴墨技術是把許多小型壓電材料置於噴嘴出口附近，利用它在電壓作用下會變形的原理，適當的電壓就可對噴嘴產生擠壓力而使墨滴噴出。透過控制電壓的強度與頻率可調節墨滴的大小，從而獲得較高的解析度和效果。

1979 年，發展出熱泡式噴墨技術，這技術是讓墨水通過管徑較細的噴嘴，在加熱電阻的作用下，使管道中局部的墨汁氣化形成一個氣泡後，把靠近噴嘴處的墨水壓擠出去。熱泡式技術的缺點是過程中會加熱墨水，高溫下容易發生化學變化，影響墨水的色彩。

1960 年間，伴隨著半導體光電效應理論的發表，以及電腦、半導體技術發展漸趨成熟，科學家嘗試以光線取代傳統電擊的方式產生電流，利用光電管控制電子束強度，使帶電粉末吸附於紙張上，稱為電



壓電式噴墨技術是透過對壓電元件通電，使其變形，進而擠壓噴嘴使墨滴噴出。



熱泡式噴墨技術是利用加熱元件對部分區域的墨水加熱而產生氣泡，生成的氣泡便會造成壓力使墨滴噴出。

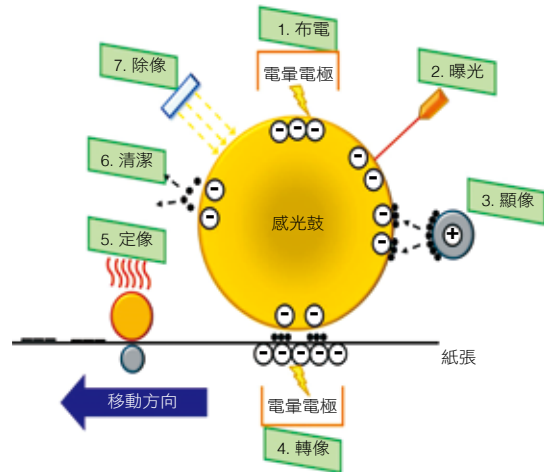
子顯像。科學家發現，光導體能更有效地控制列印面的帶電分布，當把圖片影像投射到光導體後，透光區域會產生電流而中和靜電，只留下不透光區域帶有靜電，這也促使卡爾遜發明了第 1 台影印機。

在這些研究與設備的基礎下，美國工程學家史塔克威爾（Gary K. Starkweather）嘗試改造影印機，以可以短暫發光的雷射光取代傳統使用的光源，把電腦的影像輸出至紙上，而於 1971 年發明了第 1 台雷射印表機。

雷射印表機的原理和影印機很相似，影印機是使用可見光，而雷射印表機是使用很細的雷射光，解析度與精準度較高。在列印過程中，雷射二極體會產生雷射光束打到感光滾筒上，感光滾筒未被雷射光束照射的區域會帶靜電而吸附碳粉，最後滾筒把碳粉壓印至紙張上，再經熱處理固定。

雷射印表機的分印過程：

布電—利用電暈電極使感光鼓表面布滿均勻高壓電荷。電暈電極受到電壓作用後會使周圍空氣電離產生電暈（帶電的空氣），而負電荷會聚集到感光鼓上。感光鼓是半導體材質，在特定光線照射下會變成導體。  
 曝光—感光鼓受雷射光照射的區域會因曝



雷射印表機的分印過程

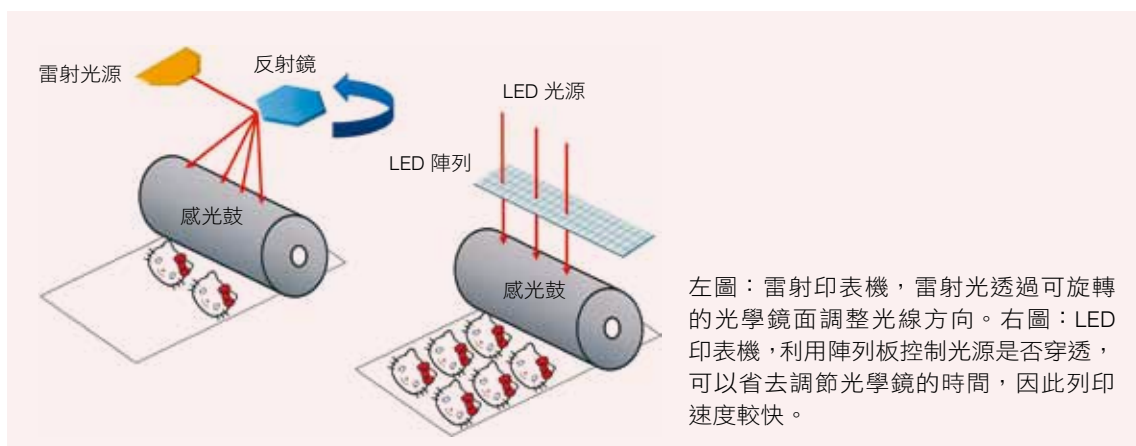
光導電而使電荷中和，並使感光鼓表面上產生沒有電荷的靜電隱像。  
 顯像—感光鼓上的負電荷分布會吸引帶正電的碳粉，使靜電隱像產生碳粉的影響。  
 轉像—在紙張上附加負電荷，吸引感光鼓上的碳粉，使碳粉從感光鼓轉移到紙張上。  
 定像—利用加熱滾筒，以熱與壓力使碳粉溶於紙上。  
 清潔—以刮板去除感光鼓上殘留的碳粉。  
 除像—利用光源照射在感光鼓上，清除殘留電荷並為下一次循環步驟做準備。



史塔克威爾改造影印機，以雷射光源取代傳統光源，做出了雷射印表機的雛型，奠定往後雷射印表機發展的基礎，被譽為「雷射印表機之父」。



透過印表機，電腦內繽紛多元的數位世界得以與現實世界連接，更加速了知識的普及與訊息的流通，也豐富了我們的生活。



LED 印表機則是應用介於雷射和可見光之間的 LED 光源，有許多優勢。在結構上，可減少雷射印表機所需的複雜光學鏡體結構，成本更低、體積更小、暖機時間也縮短。而除去了透鏡、折射鏡的微調步驟，列印速度也比雷射、噴墨等印表機快。目前的缺點是較難提升解析度，不過已有許多 LED 印表機的字印品質超越了雷射印表機，在不久的將來，其列印提供更快速、低價的字印服務。

### 印表機是大家的好伙伴

美國《生活》(Life) 雜誌曾評選出近一千年內改變世界歷史的百件重大事件，合金活字印刷術的發明列為首位。對歐洲而言，印刷術帶來的是快速、大量、平價的知識傳播，不只打破上下階級的知識藩籬，也加快各族群間的文化交流，對於宗教改革、文藝復興，甚至工業革命，都有巨大的影響。

一個世紀前，大型印刷機械與工廠轟轟作響。但是，經過科技不斷的提升與淬

煉，使得複印技術能夠藉由印表機的設計與電腦結合。透過印表機，電腦內繽紛多元的數位世界得以與現實世界連接，更加速了知識的普及與訊息的流通，也豐富了我們的生活。

時至今日，印表機不但在品質、速度上力求突破，它的功能也越來越多元，例如無線列印、插卡列印，還有結合多種文書功能為一機的事務機、外加各種功能的擴充設備等。

此外，複印的原理更廣泛應用在周遭的生活用品上，像學生的班服、馬克杯上的圖案、打火機上的小廣告、毛巾上的圖案等。透過複印技術把文字烙印在商品上，豐富了產品的色彩，也提高了生活的品質。

許逸堯、楊智惠

義守大學生物科技學系

黃耿祥

義守大學學士後中醫學系