

論文

影印機為火災起火源之可能性分析

何三平¹ 黃馨平¹ 張慧蓓²

¹ 長榮大學職業安全與衛生學系

² 成功大學資源工程學系

摘要

本事件經火災鑑定委員判定影印機為起火點，本研究以實驗之方式證明影印機並非起火點。地方法院亦依本實驗鑑定報告判定其非起火點。證明以實驗數據佐證火災爆炸鑑定之重要性。其中本研究之實驗發現，當影印機內部電源線發生電線負載、電線短路時，並不會引燃影印機內部其他電線或是影印機之塑料外殼甚至是影印機周圍紙張等物品，證明不同披覆材料之電線，發生過負載之現象並不相同，研究結果發現某日本影印機所使用之難燃電線經過負載高電流通電後，內部銅線燒斷但其披覆僅發生熱膨脹及龜裂的現象，並未因高溫而起火燃燒；相對於一般家用常用電線（同樣為16AWG）則承受不了高溫整條電線起火燃燒，由此可知其電線披覆材料設計之重要性。當影印機周圍擺設如汽油等易燃性液體，使其影印機內部發生過負載，不管內部電源線材質為何材質，皆會將汽油引燃。結果亦顯示，易燃性液體與影印機等電器設備需有適當的安全距離因而不可擺設太近。

關鍵字：電線披覆、短路、過負載、耐燃性、安全距離

民國 103 年 5 月 30 日投稿，民國 103 年 7 月 30 日修改，民國 104 年 1 月 19 日接受。
通訊作者：何三平，長榮大學職業安全與衛生學系，71101台南市歸仁區長大路1號，
電子郵件信箱：sanpingho@gmail.com。

緒言

隨著都市化的結果，造成人口以及建築物越來越密集，因此建築物火災防治更形重要。國內火災起火原因包括人為縱火、電氣設備、化學物品、交通事故、天然災害等十九項，根據內政部消防署近五年的統計[1]，以「電氣設備」引起之火災為首。

電氣設備火災指的是電氣設備因電能引發之火災，主要原因為電氣設備之電能轉為熱能且又與可燃物接近，使得熱能將可燃物引燃之火災。電氣設備火災可能發生的情形包括插頭、延長線、電線、電器製品及其他不良習慣等部分所造成的問題，而引起火災之原因又可分為過負載、短路、半斷線、積汗導電等，其中以短路及過負載為主要原因。短路即表示其電線或電纜之絕緣披覆老化或破損，使得內部導線裸露互相接觸進而引發火花的現象，例如人為使用不當，高溫曝曬、雨淋以致披覆老化龜裂，抑或是老鼠咬破等。過負載即表示其電線之負荷電流高過其電線容許安培容量時，電線內部銅線溫度升高，其披覆因而起火燃燒之現象。

目前在台灣火災發生非常頻繁而其中電氣火災發生率最高，但是其火災發生之原因是電器設備所引起的火災，還是由於其他原因所造成的，常導致火災調查人員對於火災發生原因之誤判，因而無法還原火災發生前的實際狀況。火場勘查時發現短路熔痕，不能立即研判系為電線短路引燃的火災，只能確認起火時電線係通電狀態，但卻常常可以做為起火處研判的重要參考[2]。

通常火災調查人員可能碰到的電源設備為一般家用電源、商業用電源或工業用電源，這些起火點之電源線或電氣設備並不一定是起

火源，電線導線的損壞極有可能是因火災引起的，因而提供錯誤的訊息以致誤導為是電氣因素所引起之火災。YANG Wen-bing等人[3]透過分析家用冰箱、結構特點總結出可能造成火災的原因，並提及調查時應注意冰箱本身和周圍物體的燃燒特性以確認冰箱外殼火勢蔓延的痕跡及起火源，因此鑑識火場證物與環境非常重要，其本身的結構材質也需注意。

根據Ji Wang等人[4]以阻燃塗料對於PVC電纜絕緣故障的保護進行研究並提出，一般電纜即使具有防火塗料的保護，也不適合於著火條件下提供安全設備電力，為實現對燃燒性能具有抵抗力，正確的方法是使用專門針對抗火設計的電纜或電力系統。吳鴻鈞等人[5]於電線披覆材料熱性質實驗當中提出PVC熱裂解溫度為280.31°C。張宏祥等人[6]表示電子電器產品的耐燃材料已朝向符合環保需求的低煙、無鹵耐燃技術進行發展，而應用在電線電纜外層的披覆材料也由先前的聚氯乙烯（PVC）材料逐漸走向較為環保的基材，如聚烯烴樹脂（PE、PP、EVA等）。LIU Shu-jun[7]等人，在火災事故調查PVC電線絕緣材料殘留量熱分析中，對聚氯乙烯PVC絕緣層中過載和火災狀態下的特性進行熱分析研究。Catherine Henrist[8]等人也對市售耐火電纜的熱裂化進行研究。

本事件經火災鑑定委員判定影印機為起火點，並研判影印機起火後將距離影印機30cm處之A4紙張引燃。本研究將探討同樣為16AWG影印機所使用之耐燃電線與一般常用家用電線之差異性，並藉由模擬實驗影印機設備之電源線發生電線短路或過負載兩種電線火災情境，觀察分析其影印機內部火焰及塑料外殼之燃燒情形與火災溫度變化及影響，並量測火苗是否有足夠能量由排風口竄出，進而影響影印機周圍之易燃物，或是塑料外殼滴落熱熔物而造成

二次燃燒。

研究方法

本實驗於電線火災測試時，於火源周遭及通風口排風口外部設置熱電偶(Thermocouple)，利用資料擷取器(Data Acquisition)與電腦連結，記錄電線火災過程中火源溫度變化情形，在實驗過程中，利用紅外線熱顯像儀(IR Camera)錄製火災過程火源之溫度分布變化狀況。

為了解影印機內部電源線發生短路或是電線負載時，是否會引燃影印機周圍紙張、易燃性液體等物品，於距離影印機排風口及通風口0cm、10cm、30cm處分別放置油盤。

為探討其披覆材料的重要性，利用線徑1.25mm²之銅線（一般常用家用電線）以及影印機內部電源線分別進行電線短路及過負載實驗，以觀察其電線短路及電線過載是否有足夠的能量可引燃影印機外部之易燃或可燃物。線徑1.25mm²之銅線（一般常用家用電線），又稱為無鉛聚氯乙烯電力電纜，內部導體為軟銅絞線，16AWG每股0.18mm共50股，外部絕緣與披覆為無鉛聚氯乙烯材質，適用於電路電力系統配電，於本研究稱此種電線為T電線；某日系廠牌影印機內部之電源線，為無鹵架橋聚氯乙烯絕緣電線，內部導體為鍍錫軟銅線，16AWG每股0.18mm共54股，外部絕緣為架橋聚氯乙烯材質，此種電線經美國UL758難燃測試，適用於各類電器和電子設備內部配線，於本研究稱此種電線為P電線。

由於本次電氣火災測試是位於影印機內部進行，因此無法觀看其電線於影印機內部發生電線火災之情形，為了解其燃燒之情境，本實驗先於影印機外部進行電線短路以及過負載之前測試，再於影印機內進行電線火災實測試驗。

1. 電線短路

首先將影印機電源線置於鐵板上，採用先短接再通電的方式導入一般常用家用插座之110V交流電，將影印機內部電源線末端裸露的導線彼此接觸，再通電造成末端接觸點短路。實測為同樣方法，但架設在影印機內部。

2. 過負載

將影印機電源線末端接上銅片使其形成一個迴路，為避免電流過大產生跳電故以發電機導入電流並將電流調整至最大，使之電線產生高溫過熱形成過負載。

結果與討論

本實驗分別利用T電線及P電線於影印機內部進行電線短路及過負載實驗，實驗結果如表1所示：

表1 實驗結果總表

	實驗方式	實驗架設		實驗結果			
		於通風口及排風口黏貼A4紙張	通風口及排風口黏貼之A4紙張並無任何燒黑及起火燃燒的現象	通風口及排風口黏貼之A4紙張燒黑	內部鍍錫軟銅線斷裂其披覆僅冒煙龜裂並未起火燃燒	內部軟銅線斷裂其披覆冒煙起火燃燒	電線披覆無明顯起火之現象
P 電源線	短路	前測					√
		實測	√	√			√
	過負載	前測			√		
		實測	√	√	√		
T 電線	短路	前測					√
		實測					
	過負載	前測					√
		實測	√		√		√

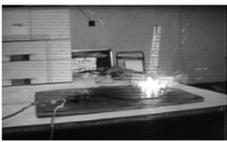
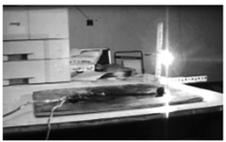
1. 電線短路測試

(1) 實驗室電線短路前測

將T電線以及P電線分別置於測試用鐵板並導入110V交流電之電流後，短路瞬間皆隨即產生火花並使得無熔絲開關跳脫，其實驗後之電

線披覆均無明顯起火燃燒之現象。實驗結果整理如表2所示：

表2 T電線以及P電線分別進行電氣短路前測結果

電線種類	T 電線	P 電線
短路瞬間		
實驗後末端短路情形		

(2) 於影印機內部進行電線短路實測

由前測實驗可得知T電線及P電線短路測試結果相似，其電線披覆均無明顯起火燃燒之現象。為探討實際火場情形，僅將P電線進行電線短路實測，導入110V交流電之電流後，短路於影印機內發生，並使得無熔絲開關跳脫，其實驗後之電線披覆並無起火燃燒之現象。實驗結果整理如表3所示。

表3 P電線於影印機內部進行電線短路實測結果

照片	說明
	影印機內部電源線於影印機內部架設情形。
	於電線末端進行短路實驗後，電線末端之情形，電線披覆並無任何起火燃燒之現象。

將P電線於影印機內部短路後，於影印機內部量測到之溫度以及左下通風口及右上排風

口量測到溫度對時間作圖，由溫度曲線圖可得知其影印機內部因電線短路附近環境溫度(20.4°C)有稍微上升至23°C(因瞬間產生火花即熄滅)，如圖1所示，惟並無造成影印機起火燃燒之情形。

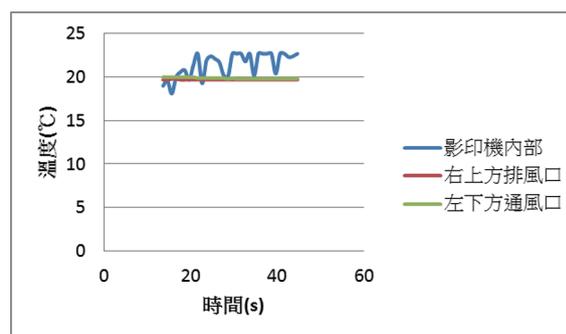


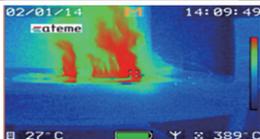
圖1 於影印機內部進行P電線短路實測之溫度曲線圖

2. 過負載測試

(1) 實驗室過負載前測

將T電線以及P電線分別以發電機導入電流並將電流調至最大。T電線因高電流過熱冒煙起火燃燒，最高溫度達到389°C，待電線燒斷後關掉發電機停止電流供應。燃燒過後其電線呈現焦黑並且斷裂，實驗結果整理如表4所示。

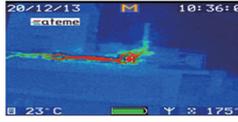
表4 T電線進行過負載前測結果

照片	說明
	T 電線披覆因高溫而起火燃燒之情形
	由紅外線熱顯像儀測得局部最高溫度 389°C
	燃燒過後其電線呈現焦黑並且斷裂之情形

P電線因高電流過熱冒煙分解，最高溫度

達到175°C，但其難燃披覆並未起火燃燒，待高溫將電線內部錫銅軟線燒斷後，關掉發電機停止電流供應。實驗後其電線披覆因高溫呈現膨脹且燻黑，部分披覆龜裂但未有起火燃燒之現象，並可看出其錫銅軟電線斷裂之情形。前測結果整理如表5所示。

表5 P電線進行過負載前測結果

照片	說明
	P電線因高溫冒煙熱分解之情形
	由紅外線熱顯像儀測得局部最高溫度 175°C
	熱分解過後，其電線披覆膨脹龜裂之現象

(2) 於影印機內進行過負載實測

T電線因高電流過熱冒煙起火燃燒，其熱電偶量測之最高溫度為130°C，煙隨即從排風口及通風口竄出，從通風口即可看到影印機內部有火在燃燒並有些許火苗由排風口及通風口噴發出來的情形，但並未使難燃塑膠外殼燃燒或燒熔。待勾錶之電流不再維持大電流時隨即停止電流供應，煙持續從排風口、通風口及紙張出紙口竄出，靜待10min後影印機及A4紙張並未因高溫影響而起火燃燒。將影印機塑料外殼拆卸下來後可明顯看到T電線經過負載後電線呈現焦黑並且斷裂，實驗結果整理如表6所示。

將T電線過負載於影印機內部附近量測到之溫度以及左下通風及右上排風口量測到的溫度對時間作曲線圖，由溫度曲線圖可得知其影印機內部雖因電線起火燃燒使得電線附近之熱

電偶測得溫度最高達到130°C，但溫度隨時間慢慢遞減回室溫，並無足夠的熱能造成影印機起火燃燒之情形如圖2所示。

表6 T電線於影印機內進行過負載實測結果

照片	說明
	T電線於影印機內部進行過負載實測，火光竄出之情形
	實驗後黏貼於排風口之A4紙張燻黑，但其放置於影印機內部之紙張並未起火燃燒

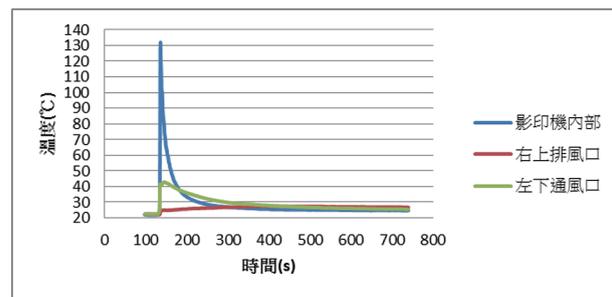


圖2 影印機內部各熱電偶溫度曲線圖

P電線因高電流過熱冒煙行熱分解，其熱電偶測得知最高溫度為28°C，煙隨即從通風口、排風口及紙張出紙口竄出。待勾錶之電流不再維持大電流時隨即停止電流供應，煙持續從排風口、通風口及紙張出紙口竄出，靜待10min後影印機及A4紙張並未因高溫影響而起火燃燒，而排風口、通風口之A4紙張也均未有燻黑亦或者是起火燃燒的現象。將影印機塑料外殼拆卸下來後可明顯看到P電線經過負載後其電線披覆膨脹且燻黑，內部錫銅軟電線斷裂之現象，可知其電線並未起火燃燒，實驗結果整理如表7所示。

表7 P電線於影印機內進行過負載實測結果

照片	說明
	P電線於影印機內部進行過負載實測，煙從排風口、通風口竄出之情形
 	實驗後，黏貼於排風口之A4紙張完全無燻黑之情形，其放置於影印機內部之紙張並未起火燃燒
 	電線披覆膨脹且燻黑並未起火燃燒，其內部軟錫銅電線斷裂之情形

將P電線過負載，電線附近量測到之溫度以及左下通風口及右上排風口量測到的溫度對時間作曲線圖，由曲線圖可得知影印機內部溫度並無明顯上升之情形，故判斷其影印機內部電源線並無起火現象。如圖3所示。

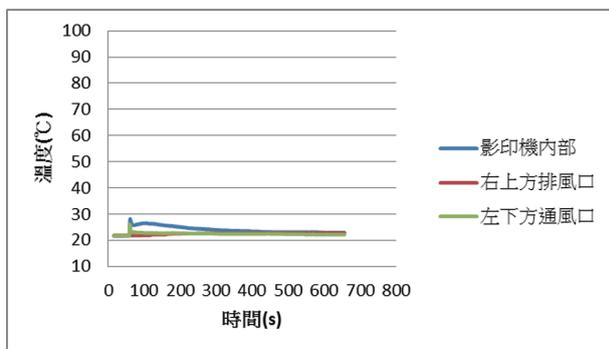


圖3 影印機內部各熱電偶溫度曲線圖

(3) 安全距離

由前面實驗得知，不管是以T電線或者是P電線進行短路、過負載實測，皆無足夠熱能將其張貼於排風口及通風口之A4紙張點燃。為了解影印機內部電源線發生短路或是電線負載時，是否會引燃影印機周圍易燃性液體等物品，於距離影印機排風口及通風口0cm、

10cm、30cm處分別放置一直徑10cm之油盤，因汽油為常用之易燃性液體，其閃火點為-40°C，因此本研究是以汽油進行實驗。

將T電線以及P電線分別於影印機內部進行短路實測，其實驗結果皆無足夠能量可將距離排風口及通風口0cm處之油盤點燃。故可判斷，當油盤距離影印機10cm甚至是30cm處時，更無引燃之可能。

將T電線以及P電線分別於影印機內部進行過負載實測。當其油盤分別距離影印機通風口及排風口30cm及10cm處時，以T電線及P電線進行實測皆未能將油盤引燃。而當油盤距離影印機通風口及排風口0cm處時，因易燃性液體蒸氣之擴散使得T電線及P電線過載後將油盤引燃，如圖4所示。

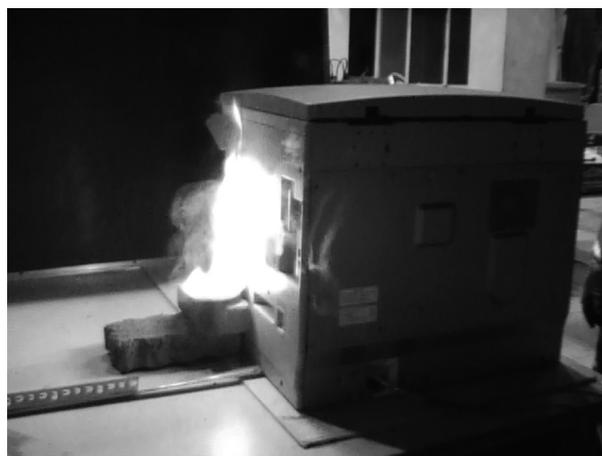


圖4 T電線與P電線過載引燃距影印機0cm之汽油

結論與建議

根據上述實驗結果可得知不管是用T電線或者是用P電線（日系電線）於影印機內進行電氣短路，其電線披覆均無明顯起火燃燒之現象。

利用T電線於影印機內進行過負載測試時，雖其披覆隨即因高電流過熱而整條電線起

火燃燒，其黏貼於通風口之A4紙張只有些許燻黑之情形並未因影印機內部高溫起火燃燒，也未造成難燃塑膠外殼燃燒或燒熔。而P電線於影印機內部進行過負載測試時，由於其電線披覆為難燃、耐熱材質，電線經高電流過熱情形下其披覆雖有膨脹且燻黑，惟並未起火燃燒，僅包覆於內部之銅線燒斷，其黏貼於通風口之A4紙張也未有燻黑之現象。因此輻射熱能無法引燃距影印機30cm處之A4紙張起火燃燒，更無塑料外殼熱熔物滴落而形成二次燃燒之情形。

由實驗結果得知，由於電線披覆材質設計之差異其實驗結果截然不同。電線披覆之材質為難燃、耐熱之電源線其外觀僅有熱膨脹龜裂並未起火燃燒，由此可知其電線披覆材料設計對於電器設備本身的保護及降低火災發生率很是重要，因此建議油漆行、辦公室、印刷行等地方，若設置相關電器用品如影印機、印表機，盡量多選用耐燃電線及耐燃材質之電器，以建立安全防護。

而當影印機周圍放置汽油等易燃性液體時，由於其易燃性蒸氣擴散之原理，當其影印機內部發生過負載，不管其內部電源線材質為何皆會將距影印機0cm處之汽油油盤引燃而不會引燃10cm及30cm處之汽油，因此建議易燃性液體與電器設備於無通風狀態下應至少保持10cm，才不易被油氣引燃。

綜合上述結果，火場之鑑定結果應依照現場採集之證物利用各種機器分析測試並鑑定，或是尋找過去相關火災案例加以佐證，勘查人員亦可模擬火災現場或是以實驗的方式加以証實，進而綜合判定起火原因。

誌謝

感謝長榮大學職業安全衛生與職業醫學研究中心各位同仁的支持與幫助，由衷感謝。

參考文獻

- [1] 內政部消防署全球資訊網站。2014/4/18，取自：<http://www.nfa.gov.tw/main/List.aspx?ID=&MenuID=342>。
- [2] 廖茂為：火災調查與鑑識實務。鼎茂圖書出版股份有限公司；2006。
- [3] Yang Wen-binga, Ling Si-yangc, Mo Shan-juna, Liang Donga, Wang Yuea. Research of Trace Analysis and Investigation Method for Refrigeratorcaused Fire. *Procedia Engineering* 2013; 52: 526-31.
- [4] Wang J, Shu Zhong-Jun, Chen Zhen. The protective effect of a fire-retardant coating on the insulation failure of PVC cable. *Engineering Failure Analysis* 2013; 34: 1-9.
- [5] 吳鴻鈞、歐新榮、張日誠、唐繁：塗覆環氧樹脂玻璃纖維工程火災預防研究。勞工安全衛生研究季刊2009；17(4)：480-94。
- [6] 張宏祥、王建中、黃進光：高溫無鹵電線之披覆塑膠複材開發研究。龍華科技大學學報第32期；2012。
- [7] Liu Shu-jun, Di Man, Yu Li-li, Zhao Chang-zheng, Gao Wei, Liu Xiaolua. Thermal Analysis of PVC wire Insulation Residues in Fire Investigation. *Procedia Engineering* 2011; 11: 296-301.
- [8] Catherine Henrist, Andre' Rulmont, Rudi Cloots, Bernard Gilbert Alain Bernard, Guenter Beyer. Toward the understanding of the thermal degradation of commercially available fire-resistant cable, *Materials Letters* 2000; 46 : 160-8.

Commentary

Analysis on Possibility of Photocopier as Ignition Source

San-Ping Ho¹ Shin-Ping Huang¹ Hui-Pei Chang²

¹ Department of Occupational safety and Health, Chang Jung Christian University

² Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University

Abstract

This case had been judged by the fire assessment committee that the photocopier was the ignition point; and the court of first instance determined it not to be the ignition point based on the report of this research. This case showed that the experiment data are very important to prove the fire origin during fire investigation and this research discovered that neither overloading nor short-circuiting of the cables of the photocopier would result in ignition of the wire on the interior, the plastic casing, or the paper around the photocopier. When using cables with various coatings, the results caused by overloading were drastically different. Under an overload to the cables of a Japanese photocopier, the copper interior snapped and the outer coating only expanded and cracked, but there was no fire nevertheless the high temperatures. In contrast, when using standard household cables (16AWG), they could not withstand the high temperatures and ignited, which explains the importance of the design for the outer coatings of electric cables. When combustible liquids such as gasoline were placed beside the photocopier, the gasoline would ignite if the photocopier was overloaded regardless of the type of outer coating. Results show that combustible liquids should be placed at a safety distance from electric appliances such as photocopiers.

Keywords: Coating, Short-circuit, Overload, Flammability, Safety distance

Accepted 19 January, 2015

Correspondence to: San-Ping Ho, Department of Occupational Safety and Health, Chang Jung Christian University, No.1, Changda Rd., Gueiren District, Tainan City 71101, Taiwan(R.O.C), Email address: sanpingho@gmail.com