

捕蚊燈針燄試驗及高壓電路檢測重點

台南分局技士 吳福正

台南分局課長 蕭水來

台南分局技正 林昆平

前言

去年市場上捕蚊燈發生燃燒事故，本局特別市購予以檢測，其中不符安規 CNS 3765 第 30 節耐燃試驗為最大宗，耐燃試驗依產品屬性可採用熾熱線試驗或針燄試驗，此在 CNS 3765 附錄 0.2 有明文規定，但對一般產品而言，要用到針燄試驗(CNS 14545-8)的機率不多，實有必要介紹。另一個問題是，捕蚊燈電子基板上的高壓電路零組件規格，較常被安規工程師所忽略，例如電阻值 R_{1-4} 如何選定，才能避免電容 C_{1-4} 的充電電流過大？高壓電容 C_{1-4} 額定電壓如何選取，才不致被高電壓擊穿燃燒？二極體 D_{1-12} 順向與逆向偏壓規格如何決定，才能避免崩潰？由於高壓電路是捕蚊燈心臟，有其危險性存在，安規工程師實有必要再作確認，本文藉由分析電路暫態與穩態，提出判斷準則，希望對從業人員有所助益。

壹、針燄試驗

針燄試驗可驗證產品於故障狀態下冒出火燄，是否足以引起電器絕緣材料燃燒，其試驗程序規範於 CNS14545-8，特點整理如下(詳圖 1~圖 4)：

1. 試驗前，先將試驗樣品(捕蚊盒及電擊網支撐座)、白木板及包裝棉紙等，放置於溫度 $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 及相對濕度 45%~75%大氣中 24 小時。
2. 試驗時，將試驗樣品置於固定架上，並在樣品待測點下方垂直 $20\text{cm}\pm 5\text{mm}$ 處，放置一承接落燃物厚度 10mm 之白松木板，木板上包裹單層包裝用棉紙，此棉紙需符合 ISO 4046 第 6.86 節規定，為具有強度 $12\text{g}/\text{m}^2\sim 30\text{g}/\text{m}^2$ 之柔韌質輕包裝紙，通常用於保護易脆物品及禮品包裝上。
3. 將針燄燃燒器調整與水平成 45° ，針燄噴頭距離樣品待燃點下方保持 8mm(調整待測物高度)，針燄燃燒器燃料需採用純度至少 95%之丁烷氣體為之。
4. 確認待測物燃燒點、針燄燃燒器、承接燃燒掉落物白松木板擺設相對位置後，留下針燄燃燒器，其它依相對擺設位置暫時移出。
5. 將針燄燃燒器傾倒成垂直，點燃針燄噴頭並調整瓦斯出口量，控制火燄高度為 $12\text{mm}\pm 1\text{mm}$ (可以開口 12mm 治具量測確認)，恢復針燄燃燒器擺設位置。

6. 將 4. 暫時移出之待測物，再度移入針燄噴頭上方燃燒，馬錶計時 30 秒(容許+0 秒及-1 秒之誤差)，時間終了，移出針燄燃燒器並關閉火燄。

7. 觀察現象：

- a. 於針燄移出後，捕蚊盒或電擊網支撐座若繼續起火 30 秒以上，無法自動熄滅。
- b. 於針燄移出後，白松木板出現燒焦痕跡。
- c. 於針燄移出前，0~30 秒燃燒過程中，棉紙承接燃燒掉落物，發生著火現象。

8. 試片規定及判定：

於捕蚊盒或電擊網支撐座，擇三處分別點燃(此舉相當採取三試片分別測試)，點燃處應考慮實際可能著火點，例如蚊蟲掉落在捕蚊盒可能位置，支撐座固定電擊棒的絕緣支撐座處。

第 1 處點燃後，觀察現象 a, b, c：

[狀況 1] 若無任一現象發生，則判定產品合格。

[狀況 2] 若出現任一現象，續作第 2 處點燃。

第 2 處點燃後，觀察現象 a, b, c：

[狀況 1] 若無任一現象發生，則判定產品合格。

[狀況 2] 若出現任一現象，續作第 3 處點燃。

第 3 處點燃後，觀察現象 a, b, c：

[狀況 1] 若無任一現象發生，則判定產品合格。

[狀況 2] 若出現任一現象，則判定產品不合格。

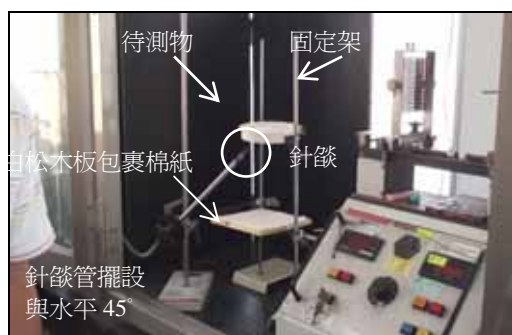


圖 1 針燄試驗擺設(右側為熾熱線設備)



圖 2 針燄高度調整量測



圖 3 針釵就位後，將待測物移入燃燒



圖 4 捕蚊盒及電擊網支撐座起火燃燒 (不合格例)

貳、高壓電路解析

圖 5~圖 8 顯示市售捕蚊燈電路圖、等效電路、倍壓電路實體、充電電容、電擊網輸出電壓實測，欲對電路穩態及暫態解析，需具備下列觀念，才能決定零組件安全規格。

1. 電路二極體當作開關 On/Off。
2. 電容 $C_1 \sim C_4$ 不管被安置在二極體正端或負端，只要導通，回路即接受半週期直流脈波流過，因此電容器呈現脈波峰值電壓，沒所謂交流均方根值問題，量測電容電壓，應將高壓電表切換直流模式。
3. 導通之回路以柯西荷夫電壓定律為之，據以判定電容 C_3 及 C_4 電壓極性。
4. 捕蚊燈變壓器規格一般採用 CLASS E 60Hz 110V/630V，電源電路交互幾週期後，分別量測變壓器二次側交流電壓與峰值電壓、 C_1 與 C_2 端電壓、 C_3 與 C_4 端電壓、電擊網電壓(圖 8)，量測與理論對照(表 1)，比例關係符合理論。
5. 蚊子遭電擊後，電容 C_3 及 C_4 放電結束，倍壓電路從頭開始，交互幾週期，再度恢復電擊電壓。
6. 圖 5 是市售捕蚊燈通用電路，輸出電擊電壓可達 3000V 左右，但為節省成本，也有業者僅採單側設計，即左右側對稱倍壓電路僅選一側，那麼輸出電壓就只剩下 1500V 左右，但原理均相同。

(1) 穩態電路解析(圖 6)

■ 電源負半波輸入時

- a. 左側電路： D_{7-9} 導通(短路)， D_{10-12} 斷路(開路)

電流由 B 點 $\rightarrow R_1+R_2 \rightarrow N \rightarrow D_{7-9} \rightarrow C_2 \rightarrow R_3+R_4 \rightarrow A$ 點

電源脈波峰值($V_m = \sqrt{2}V_s$)，對電容 C_2 充電

$\rightarrow V_{C_2} = V_m$ 。

- b. 右側電路： D_{4-6} 導通(短路)， D_{1-3} 斷路(開路)

電流由 B 點 $\rightarrow R_1+R_2 \rightarrow N \rightarrow C_3 \rightarrow D_{4-6} \rightarrow C_1 \rightarrow R_3+R_4 \rightarrow A$ 點

電源脈波峰值($V_m = \sqrt{2}V_s$)及電容 C_1 ($V_{C1} = V_m$)，**對電容 C_3 充電**
→ $V_{DN} = V_{C3} = -2V_m$ 。

■ 電源正半波輸入時

a. 左側電路： D_{10-12} 導通(短路)， D_{7-9} 斷路(開路)

電流由 A 點 → $R_3 + R_4$ → D_{10-12} → C_4 → N → $R_1 + R_2$ → B 點
直流脈波電源($V_m = \sqrt{2}V_s$)及電容 C_2 ($V_{C2} = V_m$)，**對電容 C_4 充電**
→ $V_{CN} = V_{C4} = +2V_m$ 。

b. 右側電路： D_{1-3} 導通(短路)， D_{4-6} 斷路(開路)

電流由 A 點 → $R_3 + R_4$ → C_1 → D_{1-3} → N → $R_1 + R_2$ → B 點
電源脈波峰值($V_m = \sqrt{2}V_s$)，**對電容 C_1 充電**
→ $V_{C1} = V_m$ 。

(2) 暫態電路解析(圖 9)

捕蚊燈高壓電路從圖 5 來看，為一左右對稱但方向相反的倍壓電路組成，因此左右側電路運作是相同的，探討單側即可，下面以左側電路解析充電之暫態效應。

a. 電源負半波輸入時

脈波峰值 V_m 對電容 C_2 充電，電容 C_2 最後達成飽和 V_m 。

- 導通瞬間 $t=0$ ： $V_{C2}(0)=0$ ， $i(0)=(\sqrt{2}V_s/R)=(V_m/R)$
- 導通穩定 $t=\infty$ ： $V_{C2}(\infty)=V_m$ ， $i(0)=0$

b. 電源正半波輸入時

脈波峰值 V_m 與電容 C_2 端電壓 V_m ，共同對電容 C_4 充電，電容 C_4 達成飽和 $2V_m$ 。

- 導通瞬間 $t=0$ ： $V_{C4}(0)=0$ ， $i(0)=2(\sqrt{2}V_s/R)=2(V_m/R)$
- 導通穩定 $t=\infty$ ： $V_{C4}(\infty)=2V_m$ ， $i(0)=0$

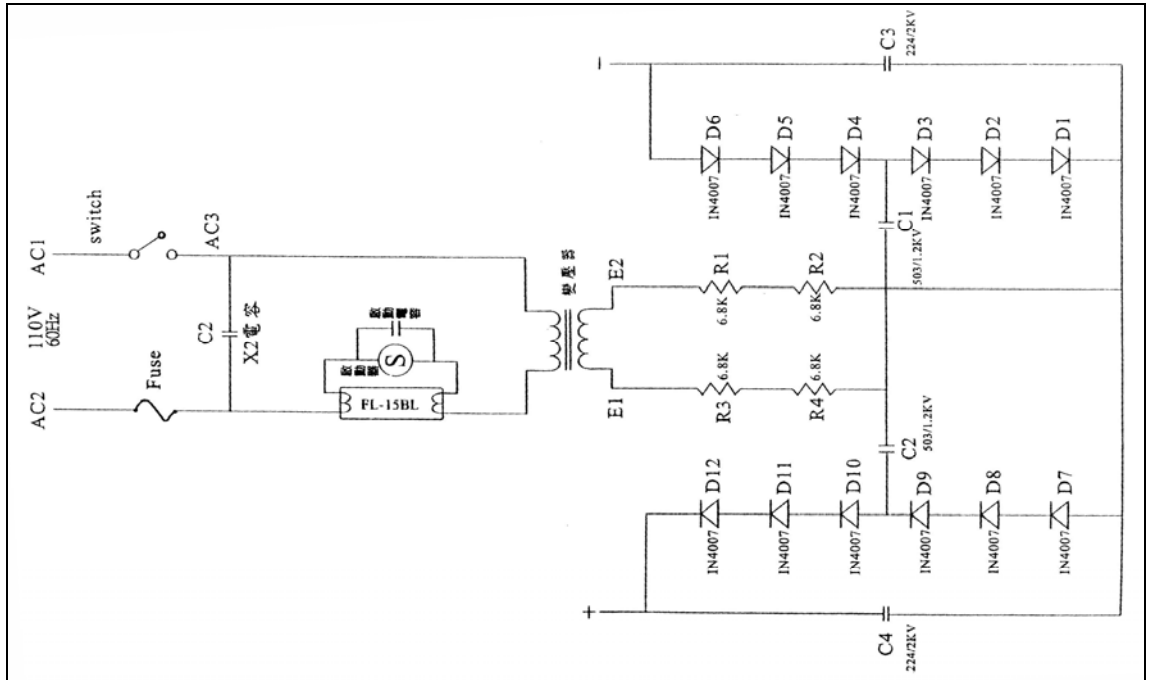


圖 5 典型捕蚊燈電路圖

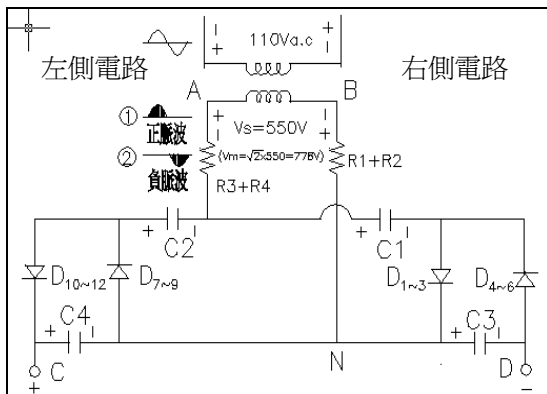


圖 6 倍壓電路運作

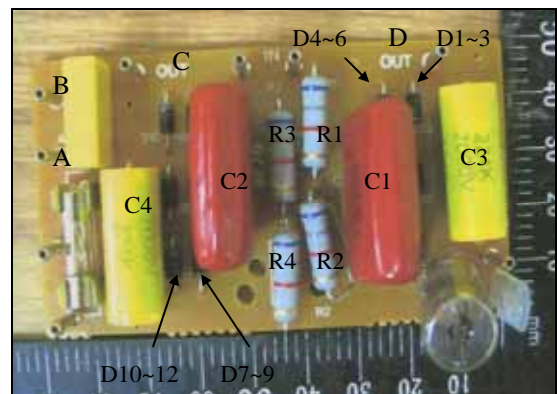


圖 7 倍壓電路實體



圖 8 實測電擊網及 C₁₋₄ 端電壓

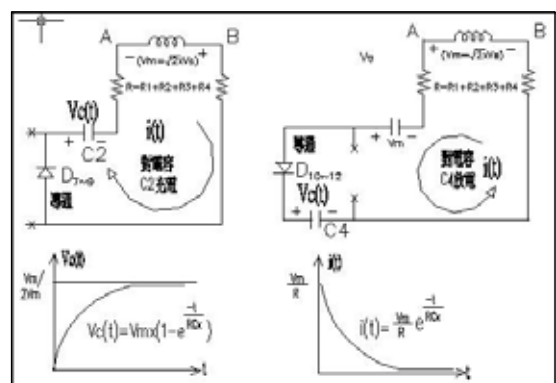


圖 9 電容 C₂ 與 C₄ 的充電暫態

測試項目	理論值	實測值
變壓器二次側交流電壓	630Vac	550Vac
變壓器二次側峰值電壓	890Vdc	774Vdc
電容 C ₁ 與 C ₂ 端電壓	890Vdc	774Vdc
電容 C ₃ 與 C ₄ 端電壓	1780Vdc	1557Vdc
電擊網電壓	3560Vdc	3090Vdc

表 1 理論值與實測值比例關係存在

參、高壓電路零組件安全規格準則

經由第二節穩態及暫態電路運作分析，零組件安全規格可由下列準則決定。

1. 電容 C₁ 與 C₂

高壓聚丙烯膜電容(代號 MEE/MEF)，電容值 0.01~4.7 μ F，能承受大電壓，工作電壓規格常見有 1000V、1200V、1600、2000V 及 2000V~4000V，交直流均適用，需經 IEC664 認證，常應用在捕蚊燈或電視機的高壓脈波電路。由於電容 C₁ 與 C₂ 穩態電壓為 V_m，暫態電壓為 0，故規格電壓應選擇

$$V_{\text{spec}} > \text{變壓器二次側交流電壓峰值}(V_m)$$

2. 電容 C₃ 與 C₄

由於電容 C₃ 與 C₄ 穩態電壓為 2V_m，暫態電壓為 0，故規格電壓應選擇

$$V_{\text{spec}} > 2 \text{ 倍變壓器二次側交流電壓峰值}(2V_m)$$

3. 二極體 D₁₋₁₂

市售二極體規格常見如表 2，由於電路暫態或穩態時，四組二極體(D₁₋₃、D₄₋₆、D₇₋₉、D₁₀₋₁₂)

每組最大承受逆向偏壓均為 2V_m，順向偏壓小於 V_m 均可導通，故每顆二極體

逆向偏壓應選擇

$$V_{\text{reverse}} > 2 \text{ 倍變壓器二次側交流電壓峰值}/3 \text{ 顆 (即 } 2V_m/3)$$

順向偏壓應選擇

$$V_{\text{forward}} < \text{變壓器二次側交流電壓峰值}/3 \text{ 顆 (} V_m/3)$$

代號 IN	4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007
最大順向偏壓	35V	70V	140V	280V	420V	560V	700V
最大逆向偏壓	50V	100V	200V	400V	600V	800V	1000V
額定電流	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A

表 2 市售二極體常見規格及編碼

4. 電阻 R_{1-4} 與電容 C_{1-4} 值選定

由於市售二極體導通電流規格為 1A，且 $R_1+R_2+R_3+R_4$ 電阻承受最大電壓為 $2V_m$ ，故每只電阻歐姆值應選擇如下，其中 R 值取越大，充電電流越小，對零組件較不會毀損。

$$R_i > (2V_m/1A) / 4$$

市售捕蚊燈電路 RC 參數設定值，通常設定如下：

$$R_1=R_2=R_3=R_4=6.8K\Omega$$

$$C_1=C_2=0.05\mu F \text{ (工作電壓 } V_m)$$

$$C_3=C_4=0.22\mu F \text{ (工作電壓 } 2V_m)$$

由於電容器容量為 $Q=CV^2$

充電時間常數為 $\Gamma=RC$

故 C_{1-2} 較 C_{3-4} ：容量達 16 倍，充飽時間慢 4 倍，這使得 C_{1-2} 與 C_{3-4} 間維持一安全充放電關係，電阻原選擇 0.445 K Ω 即可，卻選擇 15 倍的 6.8 K Ω ，大大降低充電電流對各零組件的衝擊。

肆、實例解析

例如 捕蚊燈變壓器二次側電壓標示值 630Vac

計算變壓器二次側電壓峰值為

$$V_m=1.414 \times 630V = 890Vdc$$

則代入第 3 節各公式得：

1. 電容 C_1 與 C_2 之規格電壓

$$V_{spec} > 890V$$

選 1000V、1200V、1600V、2000V 均可(通常選同 C_3 與 C_4)。

2. 電容 C_3 與 C_4 之規格電壓

$$V_{spec} > 1780V$$

選 2000V。

3. 二極體 D_{1-12} 順向及逆向偏壓

$$V_{\text{reverse}} > 593.4\text{V}$$

$$V_{\text{forward}} < 296.7\text{V}$$

選 型號 IN4007

4. 電阻 R_{1-4} 與電容 C_{1-4} 值選定

$$R > 0.445\text{K}$$

伍、結論

本文針對捕蚊燈較常被安規工程師忽略的針箝試驗及高壓電路零組件規格，進行介紹與解析，除教導如何執行針箝試驗，也點出試樣選取與試驗判定重點。高壓電路必需審察二極體適用型號，查閱其逆向偏壓規格，而採取三顆二極體串聯為一組的目的，也就在防止逆向崩潰；電容值採取內小(C_{1-2})外大(C_{3-4})設計，導致內外電容充電時間不同，電容間的充電協調因而受到保護；電阻取大可抑制充電電流衝擊，確保高壓電路零組件運作安全；而電路時間常數雖變大，充電時間會被拖慢，但這並不影響捕蚊燈工作成效，因為蚊子也不是時時刻刻往捕蚊燈竄；電容器工作電壓因倍壓電路關係，需承受更高的電壓，所以其規格電壓選取，需格外小心。