

# 淺談低煙無毒電纜

丁寶明

## 壹、前言

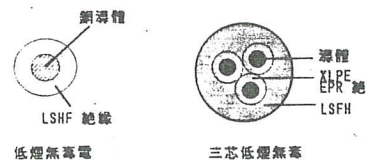
不論是在公共場所或是一般建築物，火災所造成之損毀皆令人談之色變，深恐自己是火場的受害者，單就最近發生於中國大陸新疆省的一家電影院大火為例，據聞因意外電線走火所造成的火災已使數百位中小學生喪生，如此可怕的災難實在值得各界投入相當心力以預防再發生。據火災鑑定專家表示，因電線電纜材質或使用不當所造成的火災，已佔各類火災發生的重要原因。以建築安全來衡量電線電纜應有的三個議題，第一是防火性能，第二是發煙量，第三是毒氣性。在許多特殊之大型公共場合或獨立設施，如地下隧道、鐵道、車站、醫院、電影院、船舶，意外發生火災時，首先發生的就是致命的濃煙，雖然有些電線電纜採用耐燃材料，但是其所釋放出來的濃煙或毒氣卻造成許多生命財產嚴重的傷害。對於人命傷害，以國內近來發生許多公共場合（KTV、三溫暖…）火災為例，許多不幸的受害者都是因煙毒而致命；對於設備財產而言，火災發生後，不僅設備財產直接受回祿損毀，因電線電纜於火災中釋放

之諸多有毒氣體，造成許多腐蝕效應，使得火災影響層面深入無法預估的程度。1988年美國伊利諾州西那達(Hinadals)電話交換所的大火便是一例。因機件腐蝕造成用戶停話所導致之損害賠償高達美金十億元。雖然許多建築材料皆使用發煙材料，如乙烯地板、覆蓋物、傢俱、塑膠及纖維素物質等，但是非鹵素、低煙的防火性電線、電纜則可用來減低火災的危害。

本局工程參考先進國家公共工程設計理念，並考量前述諸多因素，於木柵線、淡水線地下段、南港線，新店線等設計使用低煙無毒電線電纜，更為配合使用功能、場合、防火等級等因素，採用低煙無毒之防火或耐燃電纜，亦既兼顧電線、電纜發生火災之三大特性—防火性、發煙量及毒氣性。雖然國內不論法規或觀念上仍未能與先進國家齊步，然因本局對捷運工程之品質要求及對市民生命財產之保障，採用低煙無毒電線電纜可謂國內大型公共工程之首例，亦盼其它重大建設及相關建築、消防法規能引為效尤，以提昇、保障國人之安全。

## 低煙無毒材料及構造

基本上，低煙無毒電線、電纜之結構與一般電纜並無不同，如下圖所示：



其主要差異點僅是使用不同之絕緣或被覆材料。低煙無毒材料（Low Smoke and Free-Halogen）與一般含鹵素（如氟、氯等）材料最大優劣點差別在於 LSFH 材料不會產生濃煙及釋放毒氣（如 HCl、HF 等），不同於一般材料（例如 PVC）在火災發生時因濃煙及毒氣的產生，阻礙逃生及救災工作，更造成人命之傷亡及機器設備之腐蝕。下表顯示數種常用電線、電纜材料經 ASTM E662 煙霧測試後之發煙量結果

材 料 名 稱	發 煙 量
PVC	350
烏坡林	345
海巴隆	360
天然橡膠	365
一般 EPR	240
LSFH	100

由以上結果顯示 LSFH 材料

之發煙量降至一般 PVC 之 30% 以下，且其產生之煙霧極淡，無產生公害及妨礙視線之虞。在毒性氣體釋放方面，含鹵素材料在燃燒時會產生 HCl 或 HF 等毒性氣體，一般空氣中如 HCl 之含量超過 1300 ppm 時，在極短的時間便會對動物產生致命的危險。下表依 IEC 754-1 試驗結果，紀錄各種不同材料所產生毒性氣體之比較。

材 料 名 稱	毒 氣 (HCl mg/g)
PVC	200-300
烏坡林	100-200
海巴隆	50-150
耐燃 PE	150-200
一般 EPR	10-50
LSFH	0

由上表可知低煙無毒材料完全不產生 HCl 之毒性氣體，自然也不會對人體或設備造成任何損傷。除了以上兩項低煙無毒材料最主要的特性外，該類材料在延緩火災時火勢之蔓延，既耐燃特性上亦表現非凡。下表數據係依 ASTM D2863 材料之氧指數 (Oxide Index) 試驗而得，其中氧指數數值越大既表示在同樣氧氣環境下較不容易燃燒，亦既會阻擋火燄延燒之速率。

材 料 名 稱	含 氧 指 數
PVC	33
烏坡林	32
海巴隆	40
天然橡膠	18-20
一般 EPR	18-20
LSFH	34

## 貳、檢試驗方法

近年來，世界各先進國家因安全考量，使得低煙無毒材料之使用量不斷增加，在研究發展具防火性之低煙無毒材料之同時，對低煙無毒電纜之檢測標準也一一出爐。本文並打算深入研究比較各國、各規範間之差異，僅就本局工程合約所列低煙無毒電

纜規範略作說明。根據美國國家標準暨技術院 (NATIONAL Institute of Standards and Technology, NIST) 對電線電纜耐燃試驗大致可分以下九類：

一、點燃難易度  
(ease of ignition)

二、火燄延燒  
(flame spread)

三、釋熱速率  
(heat release rate)

四、最低氧濃度  
(minimum oxygen requirement)

五、發煙程度  
(smoke evolution)

六、腐蝕性  
(corrosivity)

七、毒性氣體釋出  
(toxic gas emission)

八、滅火難易度  
(ease of extinguishment)

九、耐火試驗  
(fire endurance)

其中第一至第八類以測試的性質而言，都是屬於燃燒試驗，測試材料或成品遇到火的反應，通常在一定的火源及周圍環境下進行。這裏面包含了諸如火燄延燒、發煙程度、腐蝕性燃燒物等等，一般用來評估電線電纜耐燃特性的試驗項目。至於第九類以測試的性質而言，屬於耐火試驗，常用於結構性成品，測試其阻絕火燄傳播或火燒情形下承受負載的功能。本局工程合約指定應

用之試驗包括第二、四、五、六、及九類，分別介紹如下：

一、火燄延燒類試驗

(一) UL 1581 Flame Test

UL 1581 中共有八種耐燃試驗法，都是火燄延燒試驗。其中與通信線纜有關者為 1080 VW-1 燃燒試驗；1160 垂直架燃燒試驗 (Vertical-Tray Flame Test)；及 1164 CSA FT-4 垂直架燃燒試驗。這幾項試驗都是美國國家電氣法規 (National Electrical Code, NEC) 引用為通信線纜之標準耐燃試驗。

(二) IEEE 383 Test

IEEE 383 試驗規範的全名是 IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electrical Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations (ANSI/IEEE Std 383-1974)。由此可知該規範是為核能電廠之安全而制訂，該規範是以寬 0.31m 高 2.4 m 之垂直架燃燒試驗。這幾項試驗都是美國國家電氣法規 (National Electrical Code, NEC) 引用為通信線纜之標準耐燃試驗。

(三) IEC 332 Part 3 試驗

這是 International Electrotechnical Commission (IEC) 制訂的 Test on electric cables under fire conditions Part 3: Test on bundled wires or cables (IEC 332-3)。IEC 規範一般被視為國際標準，其主要起草成員國家多屬歐體國家，

其制訂主因係為使歐洲共同體內各國標準統一化。當然歐洲共同體的經濟實力強大，為了市場理由，IEC 也可能成為國通用的標準。本規範之測試方法與 IEEE 383 有許多顯著不同之處（下表）因 IEC 332-3 規範設計使用一特製燃燒室，其樣品架設位置與燃燒室內空氣流動方式較符合一般建築真實狀況。嚴格的說，IEC 332-3 試驗規範訂的比 IEEE 383 嚴謹。

特性差異	IEC 332-3	IEEE 383
燃燒時間	20 min (Cat. C) 40 min (Cat. B) 40 min (Cat. A)	20 min
燃燒架寬度	0.5 m	0.3 m
樣品長度	3.5 m	2.4 m
最大炭化長度	3.1 m	2.4 m
樣品位置	梯前+梯後	梯前
樣品寬度	0.3 m	0.15 m
測試次數	1 次	3 次

濃度一般稱為氧指數 (Oxygen Index, OI )，或極限氧指數 (Limiting Oxygen Index, LOI )。ASTM D 2863 是其中最典型的測試工具及方法。通常一般材料之氧指數大約在 14 到 70 之間。氧指數越高代表越難在平常空氣中燃燒。空氣中氧氣濃度約佔21%，因此氧指數大於21時都是較難在空氣中燃燒的材料。不過實際經驗裏，以電線電纜耐燃外被材料而言，氧指數大約要在 27-28 以上，才有實用之耐燃功能。

試驗因在一固定箱體內進行，試驗箱內氧氣會隨試驗進行而減少，再加上產生的煙會迴流至火源再次被燃燒，這些因素都與實際火災情形大不同，所以試驗結果應僅供參考。

#### (二) UITP/APTA E4 (IEC 1034)

另一種測煙遮蔽程度的試驗通稱三米立方體試驗 (3M cube test)，屬於用成品測試的模擬試驗。最早是英國倫敦 London Transport Excute 發展出來的，後經英國標準協會 (British Standards Institute, BSI) 採用訂為 BS 6724的一部份，用來測量線纜之發煙量。目前這個試驗在歐洲很通行，並且成為 IEC 標準 IEC 1034 的基礎。試驗是在一個三米立方體之房間內，將規定之纜線數量樣品置於支架上，以94%濃度之酒精為燃料，並在房內設有擾動空氣之風扇及屏蔽火光使不影響光度計量測之屏風；在40min之試驗時間（酒精燃燒完後五分鐘）內，計算室內之最低透光度，並依規定計算公式求得判定試體是否合格之結果（暨發煙量是否過大）。

#### (四) IEC 332-1 試驗

IEC 332-1 試驗與 IEC 332-3 試驗之目的類似，皆為驗證纜線於火燄燃燒狀態下之延燒特性。IEC 332-1 規範全名 Test on A Single Vertical Insulated Wire or Cable，其試驗方法是以本生燈火燄對線徑 50 mm 以上之纜線以 45 度斜角噴火，在規定試驗時間內，若纜線炭化長度不超過 475 mm 即合格。雖然此試驗為歐體國家制訂，但亦為世界各大電纜製造廠採用。

#### 二、最低氧濃度類試驗

最低氧濃度是指在氧氣與氮氣混合氣體中，足以支持物體持續燃燒所須的最低氧濃度。這個

#### 三、發煙程度類試驗

##### (一) ASTM E 662 試驗(NFPA 258)

量測材料或成品燃燒時發煙量之試驗規範並不少，在實驗室試驗方面，常見的是 ASTM E 662，一般也稱之為 NBS Smoke Chamber Test，其全名應是 Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials。試驗是將一定面積，厚度與實際成品一致的樣品，置於固定熱源下，測試箱內透光程度的變化。測試時間是20min，或是最低透光率測到後再加三分鐘。測試方法可採用上述悶燒方式 (non-flaming) 或點燃樣品直接燃燒方式 (flaming)。此項

#### 四、腐蝕性類試驗

##### (一) IEC 754-1

IEC 754 試驗規範全名 Test on gases evolved during combustion of electrical cables。其中共有兩部份，第一部份是：Determination of the amount of halogen acid gas evolved during the combustion of polymeric material taken from cables。

試驗主旨是檢測線纜經燃燒後所釋放出之氣體是否含有鹵素族氣體 (F, Cl, Br...)，雖然乾燥之鹵族氣體如氯氣 (Cl<sub>2</sub>) 並不會腐蝕金屬表面，但是當該類氣體與水混合即成強酸性溶液，腐蝕設備器材，間接造成重大的損失。本試驗測試方法係藉由一套產生800°C之燃燒爐將試樣悶燒，使其釋放出氣體，並經由集氣瓶等過濾、收集，再以滴定法量測收集液中鹽酸溶液之當量，經滴定測定若未含鹵酸類氣體則合格。

#### (二) UITP/APTA E8 (IEC 754-2)

另一類試驗是公共交通聯盟 (Union of Public Transport, UITP) 規格 E8，煙腐蝕性 (Smoke Corrosivity) 試驗。試驗程序與 IEC 754-1略同，只是收集液並不經當量滴定測定，而以酸鹼值(pH)測定及溶液導電度 (conductivity) 試驗。當收集液之酸鹼值小於 pH 4 或其導電度大於100uS/cm時，認定纜線釋放煙霧具有腐蝕性。

#### 五、耐火類試驗

本類試驗，嚴格的說，與低煙無毒材料並無直接關聯，但應實際設備器材之功能性考量，當火災發生時，部份例如消防等緊急設備之功能須發揮，以減少火災之破壞；此類設備所須之電力需求，就須使用能抵擋火燄破壞而並不影響其輸電功能的耐火電纜。本局工程部份設計既採用該類特殊電纜。耐火電纜之所以能不受火災影響，最主要的原因係於電纜電纜生產過程，在銅導體

外部纏繞密實之雲母 (Mica) 帶，藉著雲母帶的保護，使得電纜線在長時間火燄燃燒下，各芯線間或芯線與地線間不會因絕緣層遭燃燒破壞而產生短路現象，因此可使特定設備如消防泵浦、緊急逃生設施等繼續維持其應發揮之功效。IEC 331是檢驗耐火電纜中，最常被應用的規範。其試驗過程係取一段一米左右耐火電纜，水平置於特製固定架上，以750°C明火直接燃燒，在三小時之試驗過程中，電纜通以規定電流，觀察燃燒時各通電導體間是否產生短路現象；並經12小時停火靜置後，再循前述程序再燒三小時。完成所有試驗程序後，若無不良短路現象則為合格。

#### 結語

低煙無毒電纜電纜在我國之應用，雖然才剛起步，但研析先進各國警政消防所發表之失火原因調查資料上可發覺，早期列為造成火災重要原因之電纜電纜，因採用低煙無毒等特殊電纜，已使因電纜走火而引發之火災案例日漸減少。如前言所述，國內因使用觀念及各類法規尚未健全，採用耐燃低煙無毒電纜之建築設施尚未普及，近年來因本局率先於工共公程中採用，而使低煙無毒電纜電纜產製品之使用量增加，不但因此促使國內各大電纜電纜製造廠，研發重視低煙無毒線材市場，並進而提昇相關廠商檢驗技術，同時亦喚起國內許多有識之士，加速推動使用耐火或耐燃等產品及相關法規之立法作業。除了於特定建築物推廣採用低煙無毒電纜電纜及立法規定使用該類安全性較高之產品外，目

前國內並無相關產品之中國國家標準以提供檢試驗依據，且相關公民營試驗機構 (商檢局、台電試驗所、電子檢驗中心...) 亦仍無提供該類產品之檢試驗服務，此二項工作急待政府及民間加速完成，如此才可能避免如82.5.5. 桃園平鎮文雅麗嬰兒房因電子鍋電纜走火，延燒附近嬰兒用品，造成祖孫三代十一人喪命火窟的慘劇再度重演。

#### 參考文獻

- 1.耐燃電纜電纜材料之應用與開發，卓錦德 博士，建築材料耐燃、防火性能研討會，台北 (1994)
- 2.電纜防火性測試研究，嚴定萍、張明長、彭福明，中山科學研究院第四研究所防火實驗室，建築材料耐燃、防火性能研討會，台北(1994)
- 3.評估報告—全球電纜電纜防火安全測試方法及趨勢，卓錦德 博士，建築材料耐燃、防火性能研討會，台北(1994)
- 4.電纜電纜耐燃性評估方法(部份)，徐希白 博士，電信研究所
- 5.太平洋電纜電纜股份有限公司，低煙無毒電纜型錄
- 6.華榮電纜電纜股份有限公司，低煙無毒耐燃電纜型錄
- 7.IEEE Standard for type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations (ANSI/IEEE Std 383-1974). The Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA(1974)
- 8.Test on Electric Cables under Fire Conditions. Part 3: Tests

on Bunched Wires or Cables (IEC 332-3). International Electrotechnical Commission, Geneva(1992)

9. Standards Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials (E662), American Society for Testing and Materials (ASTM), USA

10. Test on Gases Evolved during Combustion of Electric Cables, Part 1: Determination of the Amount of Halogen Acid Evolved during the Combustion of Polymeric Materials taken from Cables (IEC 754-1). Part 2 : Determination of Degree of Acidity of Gases Evolved during the Combustion of Materials taken from Electric Cables by Measuring pH and Conductivity (IEC 754-2). International Electrotechnical Commission, Geneva(1982,1991)

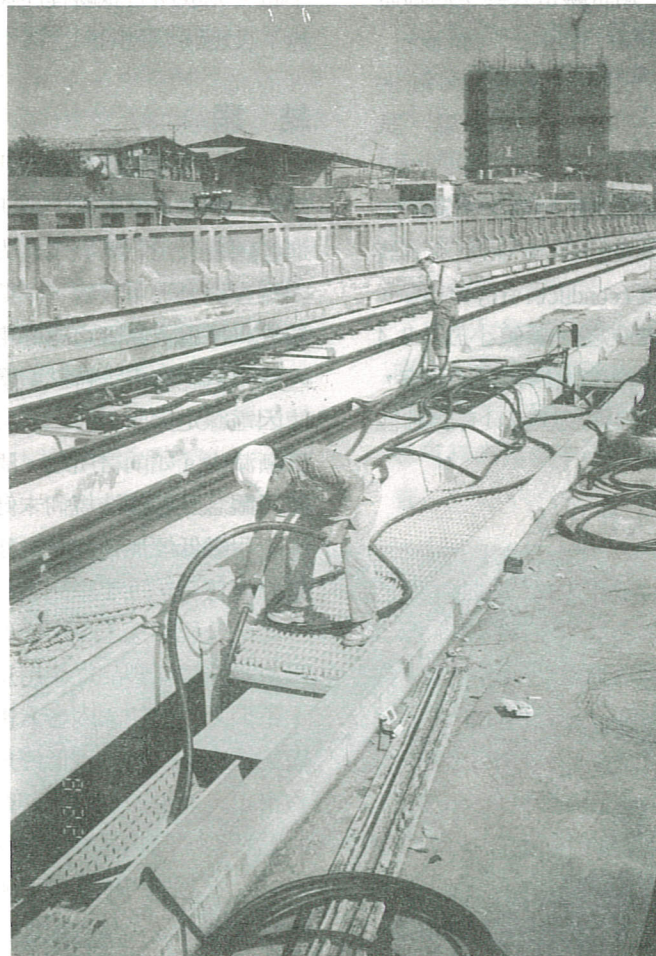
11. Measurement of Smoke Density of Electric Cables Burning under Defined Conditions. Part 1 : Test Apparatus (IEC 1034-1), Part 2: Test Procedure and Requirements (IEC 1034-2). International Electrotechnical Commission, Geneva(1990,1991)

12. 捷運工程局工程合約，特別技術規範 PTS 16120 章。

本稿經由品保中心周主任筑昆審查



焊接點的軌道研磨



R23 站佈纜