

# 捷運地下車站電線電纜之要求與測試方法

楊德雄

關鍵詞：低煙無毒，耐燃，防火，電線電纜。

## 摘要

本文主要介紹捷運地下車站電線電纜要求及國際測試電纜之標準方法作一表述。電線電纜在經過一連串嚴格的測試，使用於捷運地下車站。才能提供捷運乘客一個安全與快捷的乘車環境。

## REQUIREMENTS AND TESTING METHODS OF WIRE AND CABLE IN THE METRO STATION

De-Syung Yang

Key Words: low smoke fume and halogen gas, flame retardent  
, fire resistant, wire and cable.

## ABSTRACT

This article introduces the requirements and the international standard testing methods of wire and cable used in the metro station. For providing passengers a rapid and safe transport environment, all wires and cables in the metro station have to pass various standard tests. A series of strict tests would qualify wires and cables that we adopted.

## 壹、前言

台北都會區的土地取得日趨困難，為有效利用有限的土地發揮最大的效益。捷運工程之開發亦漸轉入地下，並以重運量幹線穿梭於都會區地下，配合都會大樓聯合開發，因此使捷運工程更具多元化。

然而地面下大量開發提供大眾使用，在安全上必是特別受到關注，尤以大型工程之公安事件頻傳下，

台北捷運對公共安全之要求日益嚴格。公安事件中又以火災造成的傷害最為嚴重。對於地下捷運車站建造所使用之材料，皆以防火與耐燃材料為主。

為使捷運系統達到快速、精確、舒適、便利與安全的目的，必須透過各種精密控制系統來完成。在各控制系統中之連結與傳遞訊息係以電線電纜來達成所需之控制功能。電線電纜之重要性有如人體血管般，無它則全身癱瘓。

本文主要探討電線電纜使用在地下捷運車站之要求及執行測試之計劃與方法。以南港線水電標執行測試為例，說明其測試內容。

## 貳、電線電纜的分類

以捷運工程要求之電線電纜的分類如下：

- 一、電線 ( WIRE )：由導體 (Conductor) 與絕緣層 (Insulation layer) 所組成。
  1. 導線：有單股及絞股銅線兩種。但捷運工程要求所有用於電力及控制、保護電路之導體均得為絞股銅線，其線徑不得小於 1.5 平方公釐。銅線應為具韌性之高導電鍛造銅線，須符合 IEC 228 2 級之規定。
  2. 絕緣層：有 PVC 及 LSFH (Low Smoke , low Fume and Halogen gas) 低煙低鹵素氣體絕緣兩種。捷運工程要求所有用於電力及控制、保護電路之電線絕緣層均得為耐燃 (Flame Retardant) 低煙低鹵素氣體 (LSFH) 絕緣，簡稱為低煙無毒 (無毒;未達傷害人體劑量) 耐燃電線。
- 二、電纜 ( CABLE )：由導體 (Conductor) 與絕緣層 (Insulation layer) 與被覆層 (Sheath layer) 所組成。
  1. 導線：以絞股銅線為導體，捷運工程要求所有用於電力及控制、保護電路之導體均得為絞股銅線，其線徑不得小於 1.5 平方公釐。銅線應為具韌性之高導電鍛造銅線，須符合 IEC 228 2 級之規定。
  2. 絕緣層：以交連聚乙烯 (XLPE) 作絕緣。

- 3.被覆層：有 PVC 及 LSFH (Low Smoke ,low Fume and Halogen gas) 低煙低鹵素氣體絕緣兩種。捷運工程要求所有用於電力及控制、保護電路之電線絕緣層均得為耐燃(Flame Retardant) 低煙低鹵素氣體 (LSFH) 絕緣，簡稱為低煙無毒(無毒;未達傷害人體劑量) 耐燃電纜。

三、裝甲電纜 ( ARMoured CABLE )：由導體 (Conductor) 與絕緣層 (Insulation layer) 與裝甲被覆層 (Armoured layer) 與被覆層 (Sheath layer) 所組成。

- 1.導線：同前項電纜。
- 2.絕緣層：同前項電纜。
- 3.裝甲層：由鍍鋅鐵絲組成，若為單芯裝甲電纜則以無磁力鋁線或鋁片組成。
- 4.被覆層：同前項電纜。

四、礦物質絕緣銅皮被覆電纜 ( PYROTENAX MINERAL INSULATED WIRING CABLE )：簡稱 MI 電纜。由導體 (Conductor) 與絕緣層 (Insulation layer) 與被覆層 (Sheath layer) 所組成。

- 1.導線：同前項電纜。
- 2.絕緣層：以氧化鎂作為絕緣材料。
- 3.被覆層：由堅固、韌性的無縫銅管組成。亦有於銅管外包一層橙色聚氯乙烯被覆或耐燃低煙低鹵素氣體 (LSFH) 被覆。

## 參、電線電纜的要求

- 一、對於捷運地下車站工程所使用的電線電纜之要求：
  - 1.主要電力電纜之安裝須提供電纜所需連接接頭及特別工具等。
  - 2.裝甲電纜須以交連聚乙烯 (XLPE) 絕緣，並以擠型阻焰低煙氣體放射材料及低鹵素氣體放射 (LSFH) 形成的被覆層材料 (簡稱為低煙無毒電纜)。
  - 3.可撓性電纜須以耐燃 LSFH 材料絕緣被覆。
  - 4.單芯電纜須以耐燃 LSFH 材料絕緣。
  - 5.電纜的導體為絞股銅線型。

6. 消防幫浦之電力電纜須具防火功能，承受溫度在 750 時最少三小時，能維持電路完整無缺而能達到消防幫浦緊急救援的功能要求。
7. 動力電纜須為 600/1000V，控制和號誌電纜須為 300/500V 之耐壓等級。
8. 所有的導體須為具韌性之高導性銅線，符合 IEC 228 2 級。
9. 每一卷電纜線外層絕緣需以下列規定之顏色加以標識。
  - 各相線：紅、黑、藍。
  - 中性線：白。
  - 接地線：綠。
10. 多芯電纜之被覆層須用黑色。
11. 當耐燃電纜線完成時，必需符合下面之規範要求：
  - (1). 依美國 IEEE 383 標準之延燒規範，其在 IEEE 383 之標準試驗中短路時間最小為五分鐘。
  - (2). 依 IEC 332：第 1 節和第 3 節，B 類級，測試火中單線及成束電纜之狀態。
  - (3). 依 ASTM D2863，限制其氧化指數值最少為 30。
  - (4). 依 ASTM D2863，溫度指數 (T.I) 為 260。
  - (5). 倫敦運輸系統使用光學量測設備以 3 立方公尺的正方體內進行發煙量試驗，其量測限值須依 UITP/APTA 之建議及下列電纜外徑 D：
    - $D < 3\text{mm} : A0 < = 0.4$
    - $3\text{mm} < D < 9\text{mm} : A0 < = 0.8$
    - $D > 9\text{mm} : A0 < = 1.2$
  - (6). 美國國家標準局房間含煙實驗，用煙估算樣本物之材料及標準厚度 (NFPA 258，生煙固體材料)。量測限值如下：
    - $D_m < = 250$
    - $VOF4 < = 100$
  - (7). 當纜線之樣本決定進行鹵素酸氣體總數之燃燒試驗時與氟氫酸不同，如 IEC754 第一節所定，其釋放鹵素酸之總數必需少於 0.5%。
12. 所有的絕緣體於正當使用狀態下，溫度不低於 90 時須能抗濕及抗熱。
13. 除了上述各項規定外，防火電纜尚需符合 IEC331 之電氣電纜防火。

14. 所有的電纜須防白蟻及抗蟲害以免危及電纜安裝時及安裝後之機械及電氣性質以符合本規範之規定。
15. 絕緣體為交連聚乙烯擠壓成型被覆最少二層合適膠布而成，裝甲須由鍍鋅鐵絲組成。用於單芯電纜之裝甲須由無磁力鋁線或片組成，且須在電纜之末端作搭接處理。
16. 在電纜線路中，各彎曲處及轉彎處之半徑不得小於電纜外徑之 10 倍。

捷運地下車站電纜係依據國際 IEC 及美國標準為主，其電纜耐燃測試種類分為耐燃 (Flame Retardant)、耐火 (Fire Retardant) 及防火 (Fire Resistant) 等。一般測試電纜其通過 IEC 332-1 試驗者謂之火焰延阻電纜 (Flame Retardant Cable)，通過 IEC 332-3 及 IEEE 383 試驗者謂之耐火電纜 (Fire retardant Cable)，通過 IEC 331 試驗者謂之防火電纜 (Fire Resistant Cable)。以下提供電纜執行測試之國際各國標準一覽表參考：





1. 執行 IEC 332-3、IEEE 383 垂直電纜槽燃燒測試得知低煙無毒耐燃電纜與一般電纜比較（如圖一所示）
2. 執行 NFPA 258/ASTM E662 發煙量測試其低煙無毒耐燃電纜與一般電纜比較（如圖二所示），一般 PVC 電
3. 執行 IEC 754-1 鹵酸氣體測試其低煙無毒耐燃電纜與一般電纜比較（如圖三所示），一般 PVC 電纜鹵酸氣
4. 執行 VITP/APTA E8 腐蝕性氣體測試其低煙無毒耐燃電纜與一般電纜比較（如圖四所示），一般 PVC 電纜呈強酸，PH 值低於 4 以下。



## 伍、電線電纜執行測試檢查之項目及方法

本章以南港線水電標執行電線電纜廠驗測試為例，列舉一種電纜尺寸  $2\text{ m m}^2 \times 4\text{ C XLPE}$  絕緣 LSFH 被覆電纜表述測試項目及方法如下：

一、構造檢查：以分釐卡、測微計量測 XLPE 絕緣及 LSFH 被覆電纜樣品尺寸規格。

1. 印字標示：

參照 IEC 502 之規定，電纜表面以凸字標印製造年、尺寸、電壓、製造者標示。

例：600/1000V 2.0m m<sup>2</sup> X 4C

LSFH FLAME RETARDANT

HUA ENG 1996 4 MRT

CN340F/D KAILAY

2. 外徑 (mm)：

參照 IEC 502 之規定，其標準約 13.4mm。

3. LSFH 被覆厚度 (mm)：

參照 IEC 502 之規定，其標準最小厚度 1.43 mm，平均厚度 1.8 mm 以上。

4. LSFH 充實被覆厚度 (mm)：

參照 IEC 502 之規定，其標準最小厚度 0.6 mm

5. 4 C 集合外徑 (mm)，絞向，絞距：

參照 CNS 3301 C2058，4.4 節規定，4 C 集合外徑其標準為 8.2 mm，絞向為右向，絞距為層心徑的 30 倍以下。

6. XLPE 絕緣厚度 (mm)：

參照 IEC 502 4.2 節之規定，平均厚度依 Table ，最小厚度為平均厚度的 90%-0.1mm。其標準最小厚度 0.53mm，平均厚度 0.7 0.9mm。

7. 軟銅絞線外徑 (mm)，絞向，絞距，線徑：

導體依 CNS11359 C2167 附表一規定。絞向及絞距依照 CNS 668 第 4.2 節規定，其標準外徑 1.8mm，絞向為右向，絞距為層心徑的 20 倍以下，標準線徑  $7/0.6 \pm 0.006\text{ mm}$ 。

二、電氣性能：

1. 耐電壓 (KV/分)：以電壓試驗器測試捲軸電纜耐電壓性能。參照 IEC 502 第 14.4(C)及(D)節規定，

於水中及空氣中測試其耐壓性能。額定電壓 600V /1000V 耐電壓試驗為 A.C.3.5KV/5 分鐘，不擊穿。

2. 導體電阻 ( /Km) :

依照 IEC 228 First Edition 第 5 節導體電算法

$$R = (1 / A) \times K1 \times K2 \times K3$$

其標準為 9.43 /Km。

3. 絕緣之最小體積電阻 ( -cm) :

依照 IEC 502 Table , Item 1b, XLPE 規定, 其標準為  $10^{12}$  -cm 以上。

### 三、材料試驗

1. XLPE 絕緣體 :

(1) 抗張強度 (N/m<sup>2</sup>) :

依照 IEC502 Table , XLPE, Item 1.1 規定, 其標準為 12.5 N/m<sup>2</sup> 以上。

(2) 伸長率 (%) :

依照 IEC502 Table , XLPE, Item 1.2 規定, 其標準為 200 % 以上。

(3) 劣化試驗 (135 /168hr) :

依照 IEC502 Table , XLPE, Item 2 規定。

a. 抗張強度變化率 (%) : 依 IEC502 Table , XLPE, Item 2.1.b 規定, 其標準為 75 ~ 125 %。

b. 伸長率變化率 (%) : 依 IEC502 Table , XLPE, Item 2.2.a 規定, 其標準為 75 ~ 125 %。

(4) 加熱固定伸長試驗 (200 /15 分) :

依照 IEC502 Table , XLPE, Item 2 規定。

a. 加重力時伸長率 (%) : 依 IEC502 Table , XLPE, Item 2.2 規定, 其標準為 175 % 以下。

b. 冷卻後伸長率 (%) : 依 IEC502 Table , XLPE, Item 2.3 規定, 其標準為 15 % 以下。

(5) 加速吸水 (85 /14 天) mg/c m<sup>2</sup> :

依照 IEC502 Table , XLPE, Item 3.3 規定, 其標準為 1 mg/c m<sup>2</sup> 以下。

(6) 加熱收縮 (130 / 1hr) % :

依照 IEC502 Table , XLPE, Item 4.3 規定, 其標準為 4 % 以下。

2. LSFH 被覆體 : 依照 BS6724 Table 9 規定。

(1) 抗張強度 (N/m<sup>2</sup>) , 其標準為 5 N/m<sup>2</sup> 以上。

- (2)伸長率 (%) , 其標準為 100 % 以上。
- (3)劣化試驗 : 依照 BS6724 Table 9 規定, 係將 LSFH 被覆體樣品置於加熱固定伸長老化箱內, 以恆溫 100 加熱 168 小時後, 做以下各種測試。
- 抗張強度 (N/m m<sup>2</sup>), 其標準為 5 N/m m<sup>2</sup> 以上。
  - 抗張強度變化率 (%), 其標準為 70 130 %。
  - 伸長率 (%), 其標準為 100 % 以上。
  - 伸長率變化率 (%), 其標準為 70 130 %。
- (4)加熱變形 : 依照 BS6724 Table 9 規定, 係將 LSFH 被覆體樣品置於加熱變型試驗機內, 以恆溫 80 溫度加熱 4 小時後, 紀錄其變形率, 其標準為 50 % 以下。
- (5)低溫伸長 (-15 /4hr) (%), 其標準為 20 % 以上。
- (6)低溫衝擊 (-15 /4hr), 其標準為不破裂。

#### 四、耐燃試驗

- 單線電纜耐燃試驗 : 依據 IEC332-1 (如圖五所示), 取長度 600 ± 25mm 之電纜試樣, 垂直固定於 450X300X 1200mm(長、寬、高)的燃燒室內, 電纜上方以夾具夾住, 火焰在夾具下方 475mm 處於電纜保持 45 度燃燒, 燃燒 T 秒後, 火焰不可蔓延至離上方夾具 50mm 處。  
 $T = 60 + m / 25$ , m 為 600mm 的電纜重量(克)
- 成束電纜耐燃試驗 : 依據 IEC332-3, Category B (如圖六所示), 電纜試樣取 3.5 M, 依據電纜外徑選擇試樣條數以符合 Category B, 3.5 公升/米 的要求, 將試樣排在寬 300mm 的梯子上, 梯子垂直固定於 2000 X 1000 X 4000 mm(長、寬、高)的燃燒室內, 火焰噴嘴置於電纜尾端上方 500mm 處開始燃燒, 燃燒 40 分鐘後關掉火源, 等電纜擦拭乾淨, 其火焰蔓延的高度從火焰噴嘴頂端算起不得超過 2.5 M。
- 多芯電纜耐燃試驗 : 依據 IEEE383 (如圖七所示), 在排煙良好的密室中, 取試樣長 8 英尺之電纜, 條數以電纜外徑決定使能排滿 12 英尺寬的鐵盤中央部份 (6 英尺) 且電纜與電纜間之間距為 1/2 電纜外徑。將燃燒器置於離電纜試樣 3 英尺且離底部 2 英尺的地方燃燒, 調整燃燒點之溫度在 1500 (816 ) 燃燒 20 分鐘後關掉火源隨其自然熄滅, 但延燃之高度不可

到達電纜之頂端 (8 英呎或 243 公分)處。

4. 電路完整性試驗：依據 IEC331 規定 (如圖八所示)，電纜試樣取 1200mm 長，兩端各去除 100mm 被覆或外表，一端通電，另一端將電纜分開，將電纜平放於兩個近 300mm 寬之鐵環支架上中央位置。鐵環支撐架須接地，由一 3 相電力變壓器供應不低於 3 安培容量的測試電壓，變壓器連接於 3 相經 3 安培 FUSE 保護線路至電纜一端及中性極線經 5 安培 FUSE 保護線路至接地端，以一支管形長 610mm 之燃燒器平行置於電纜 75mm 以上距離，加熱至 750℃，通電 3 安培之額定電壓維持 3 小時，在此狀態下可維持穩定額定電壓而能正常操作，此電纜即為防火電纜。
5. 氧化指數：依據 ASTM D2863 規定 (如圖九所示) 將樣品截成長 70~150mm，寬  $6.5 \pm 0.5$ mm，厚  $3.0 \pm 0.5$ mm 置於恆溫箱 23~48 小時乾燥後將樣品置氧化指數儀內，調整氧氣及氮氣的含量，然後以燃燒器點燃樣品，依據 ASTM D2863 規定以樣品燃燒 3 分鐘且不超過 50mm 為標準，將符合此標準試驗時的氧氣及氮氣含量經氧氣分析儀分析，所得的氧氣含量即為氧化指數 (O.I.)。依規定 O.I 須大於 30。
6. 溫度指數：依據 ASTM D2863 規定 (如圖九所示) 將樣品截成長 70~150mm，寬  $6.5 \pm 0.5$ mm，厚  $3.0 \pm 0.5$ mm 置於溫度指數儀內，試驗當中 O.I 值定在 20.8% (大氣中氧的濃度)，不斷的升高溫度並試著點燃樣品，依 ASTM D 2863 規定以樣品燃燒 3 分鐘且不超過 50mm 為標準，不斷的測試及記錄試驗溫度，取最高的試驗溫度且符合 NES 715 之規定者即為該試樣的溫度指數。依規定 T.I 須大於 260℃。
7. 發煙量測試 (試片)：依據 NFPA258/ASTM E662 之測試規定 (如圖十所示)，取面積 76.2 X 76.2mm，厚度 25.4mm 以下之試樣 (LSFH)，以無火焰燃燒方式在計器下燃燒 4 分鐘記錄其透光密度  $V_{of4} = 100$ ，及燃燒完後其最大透光密度  $D_m = 250$ 。
8. 發煙量測試 (電纜)：依據 UITP/APTA E4 之測試規定 (如圖十一所示)，在 3 立方米之燃燒室內取樣品長度 1 米，條數規定依照 5.2 節使至少能排 45mm 寬，而以一公升之酒精在試樣下方燃燒至酒精完全燒完為止。此時以光透計測其透光率，

$A_m = \log ( I_o / I_t )$ , 其中

$A_m$ : 吸收因數

$I_o$ : 起始照度

$I_t$ : 測試時照度

, 而後以如下公式換算其  $A_o$  值 :

$A_o = ( A_m \times V ) / ( n \times l )$ , 其中

$V$ : 燃燒室體積 (27M)

$l$ : 光發射與接收路徑長度 (3M)

$n$ : 樣品的條數

, 依第 5.2 節規定 (4 條), 此電纜外徑  $> 9\text{mm}$ ,

$A_o \geq 1.2$  為合格。

9. 腐蝕性氣體測試 : 依據 UITP/APTA E8 之測試規定 (如圖十二所示), 取 500mg 之樣品 (LSFH) 在  $23 \pm 2$

乾燥 48 小時後將樣品置於計器火爐中燃燒, 燃燒溫度  $800 \pm 10$  燃燒 20 分鐘後將收集瓶內容物全部注入計量瓶中再以 PH5-7 導電率小於  $10 \mu\text{s/cm}$  之蒸餾水稀釋至 500ml, 在 20 的溶液溫度下測其 PH 值及導電率。判定結果若 :

PH  $< 4$  及導電率  $> 100 \mu\text{s/cm}$  為有腐蝕性氣體

10. 鹵酸氣體測試 : 依據 IEC754-1 規定 (如圖十三所示), 取試樣 (LSFH)  $0.5 \sim 1.0\text{g} \pm 0.1\text{mg}$  並將其切碎置於計器火爐中燃燒, 溫度  $800 \pm 10$  燃燒 20 分鐘後將收集瓶拆下以蒸餾水沖洗並稀釋至 400ml, 取稀釋液 100ml 注入空容器內並加入 2 ml 濃  $\text{NH}_3$ , 20ml 之 0.1M  $\text{AgNO}_3$  和 1 ml 之 6M  $\text{HNO}_3$  之  $\text{Fe}_3(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)$  之水溶液並充分混合。鹵酸含量以每 g 樣品所含 HCL 之 mg 量表示如下:

$[3.65 \times (B-A) \times F \times 400 / 100] / m \geq 0.5 \%$  為合格。

其中 A: 做樣品測試時所需 0.1M  $\text{NH}_4\text{SCN}$  溶液滴定量

B: 做空白測試時所需 0.1M  $\text{NH}_4\text{SCN}$  溶液滴定量

F: 0.1M  $\text{NH}_4\text{SCN}$  溶液滴定因子。

m: 樣品重量以 g 表示。

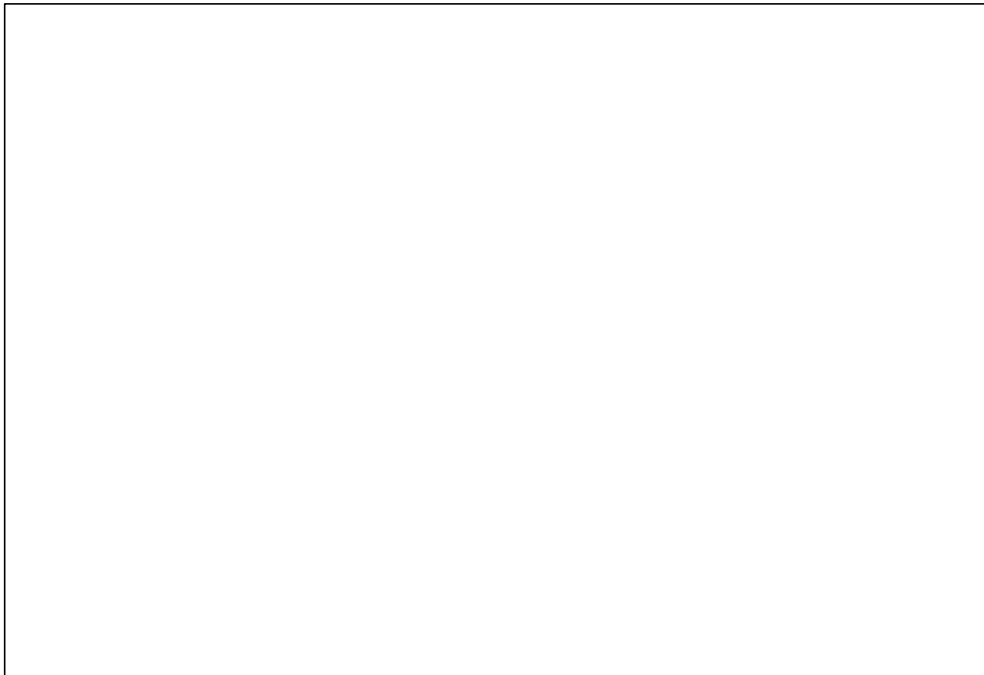
## 陸、結論 :

由以上論述捷運地下車站使用之電線電纜係經過一完整嚴格測試過程, 在今日社會輿論對公共工程之品質及防火安全上之要求, 應可提供相對安全與保障。此有賴於本局前輩

同仁的努力及對捷運技術研討，移轉累積寶貴經驗，使執行  
鑑於捷運工程係提供快速、安全的乘載環境，對本文論  
及電線電纜在防火電纜要求上，為因應發生火災時的複雜環  
境，在火災中防火電纜係處於噴水及受外力衝擊之處所，須  
能維持其供電功能。對防火電纜之測試要求，應可考量依據  
BS 6387 規定，防火試驗 (Fire Test)、燃燒中噴水試驗  
(Fire Test with Water Spray)、燃燒中外力衝擊試驗 (Fire  
Test with Mechanical Shock) 三種測試標準進行測試，對  
安全性上可有多一層保障。對本文疏漏之處，尚請諸位前輩  
同仁不吝指教。

## 柒、參考資料

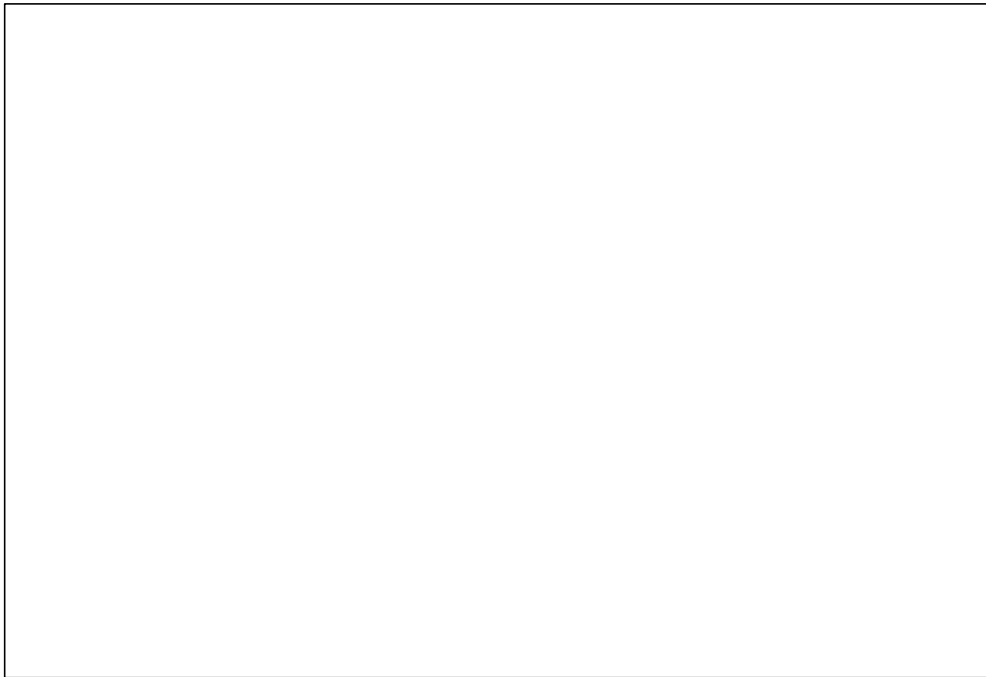
1. 台北市政府捷運局特別技術規範
2. 捷運南港線 CN340F/D 標電線電纜出廠檢驗報告



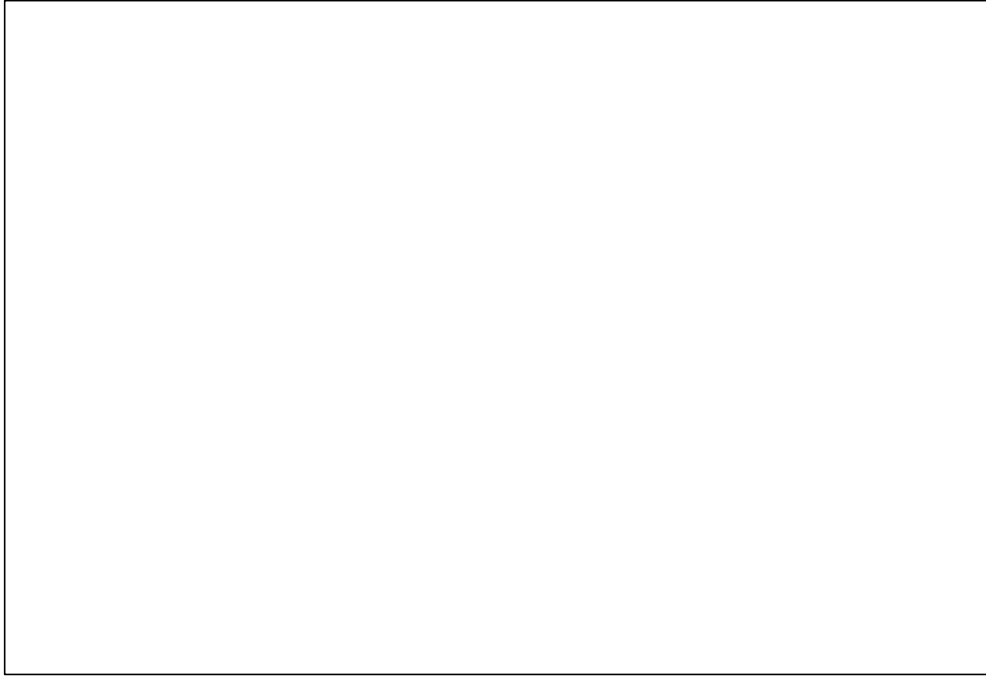
圖一、LSFH 電纜與 PVC 電纜延燒比較



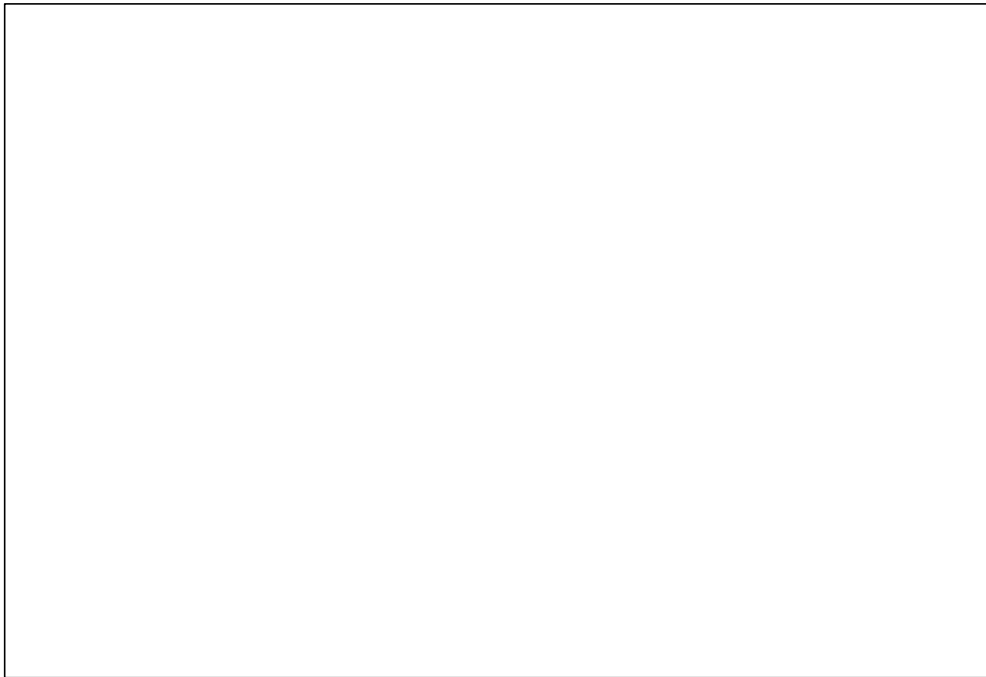
圖二、LSFH 電纜與 PVC 電纜發煙量比較



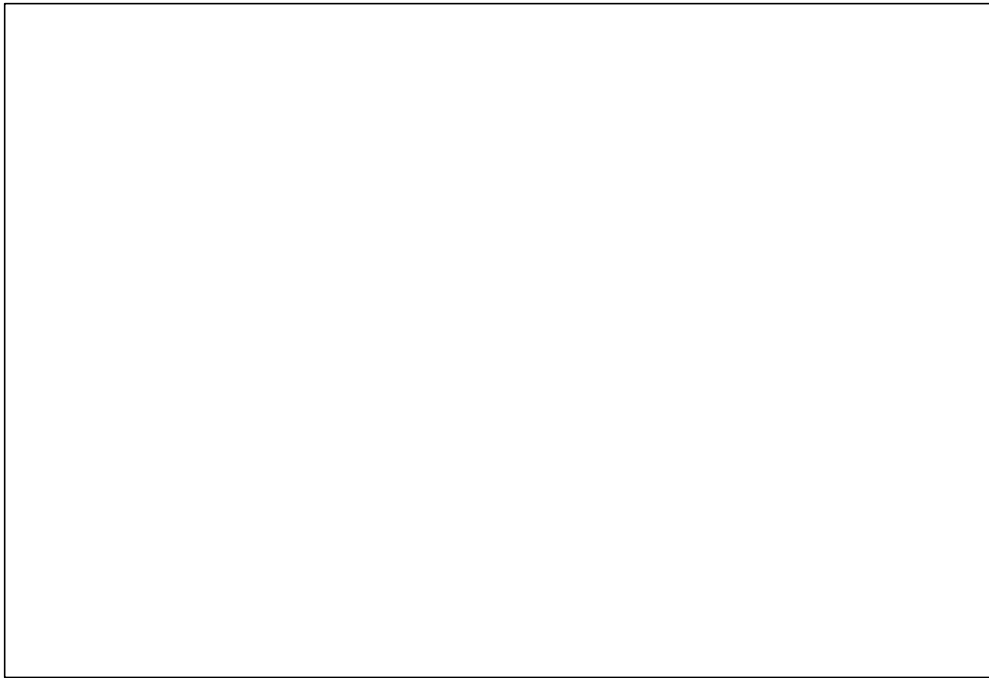
圖三、LSFH 電纜與 PVC 電纜鹵酸氣體產生量比較



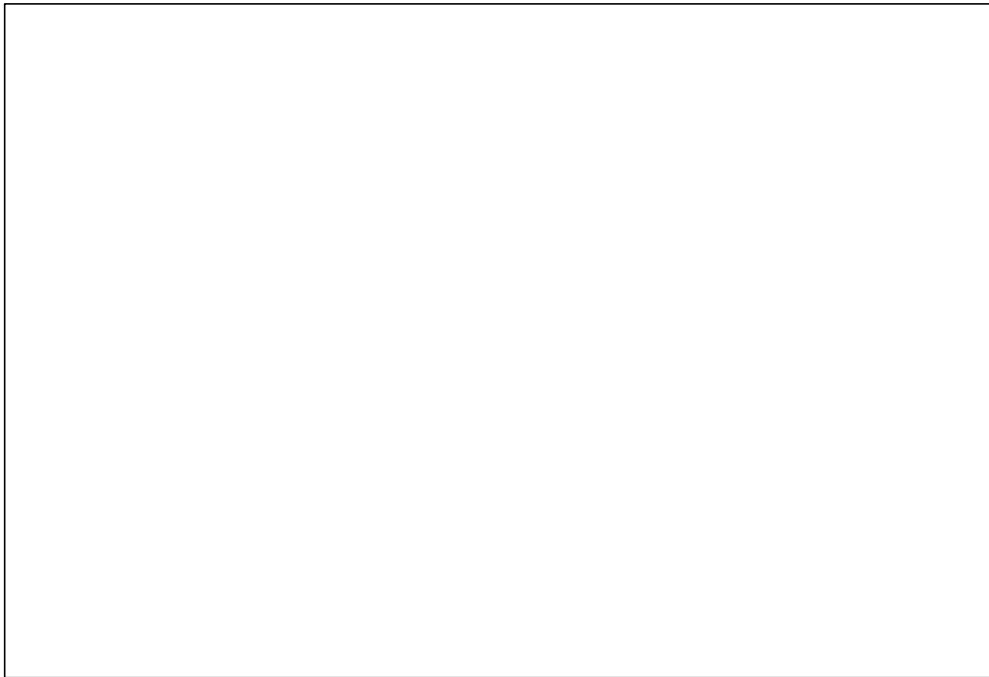
圖四、LSFH 電纜與 PVC 電纜產生腐蝕性氣體 PH 值比較



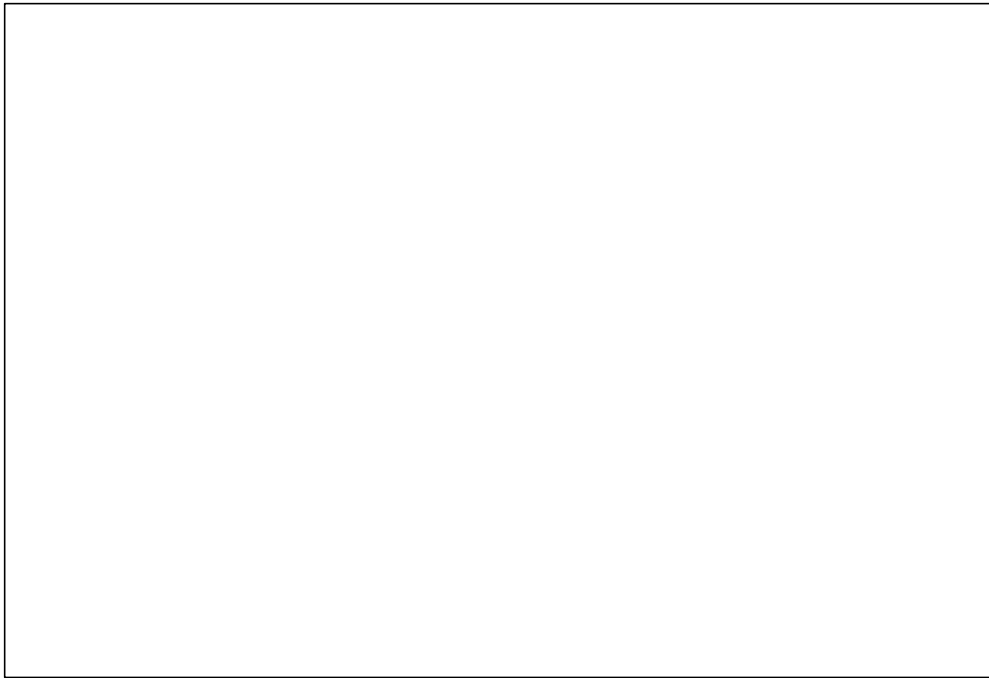
圖五、單線電纜耐燃試驗



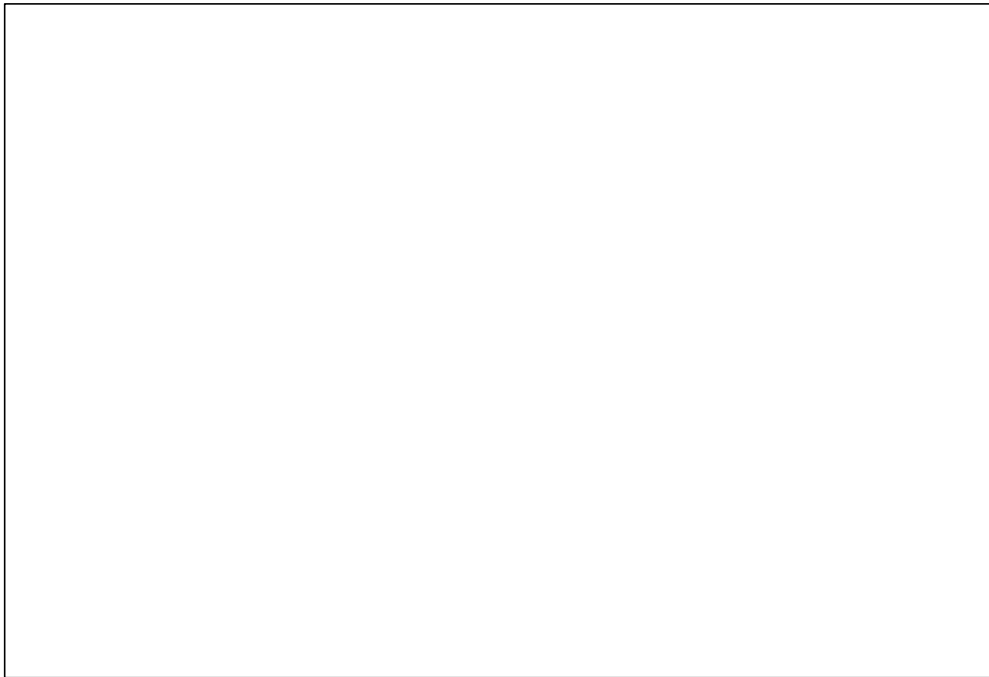
圖六、成束電纜耐燃試驗



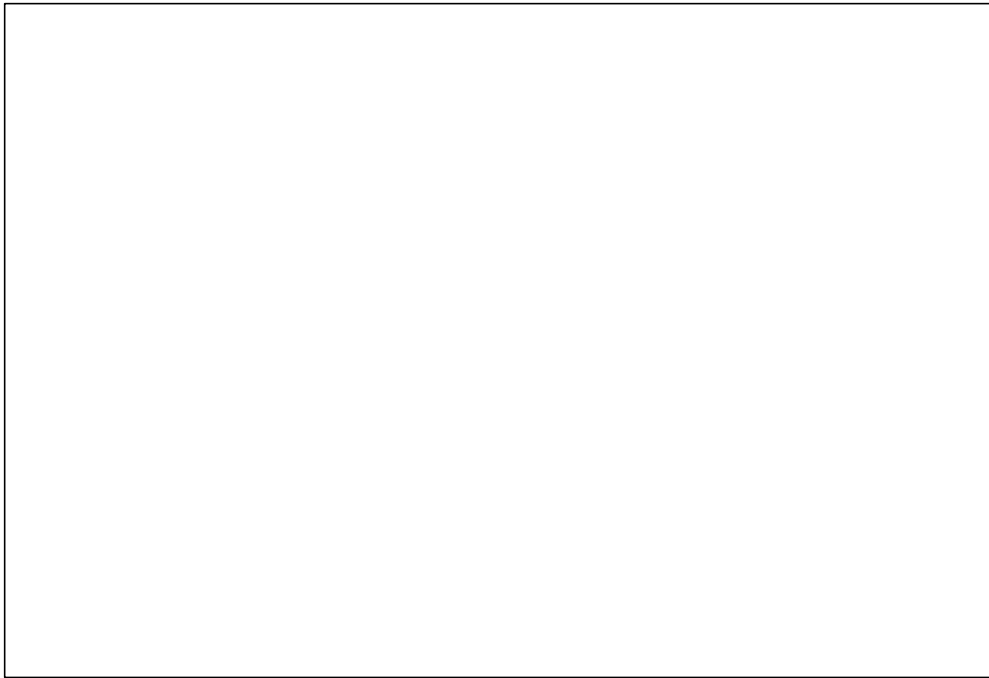
圖七、多芯電纜耐燃試驗



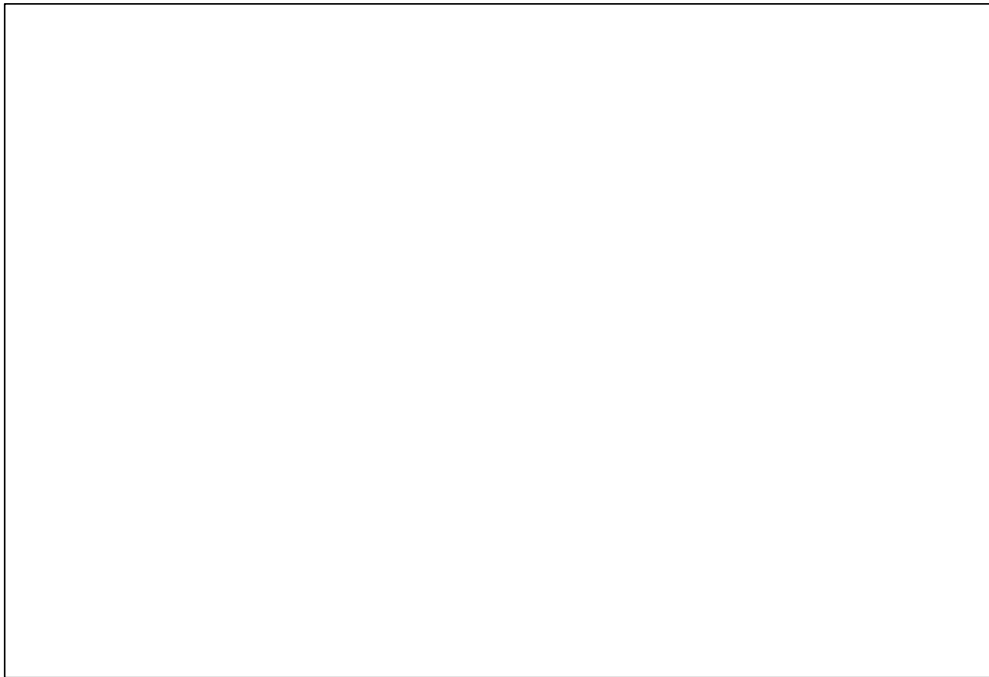
圖八、電路完整性試驗



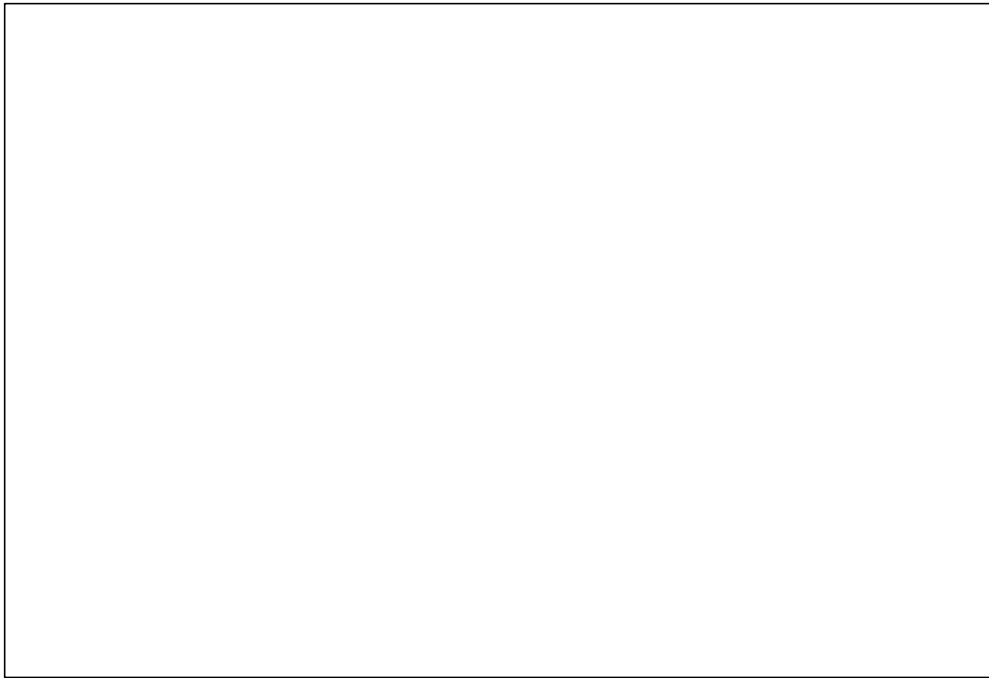
圖九、氧化指數及溫度指數試驗



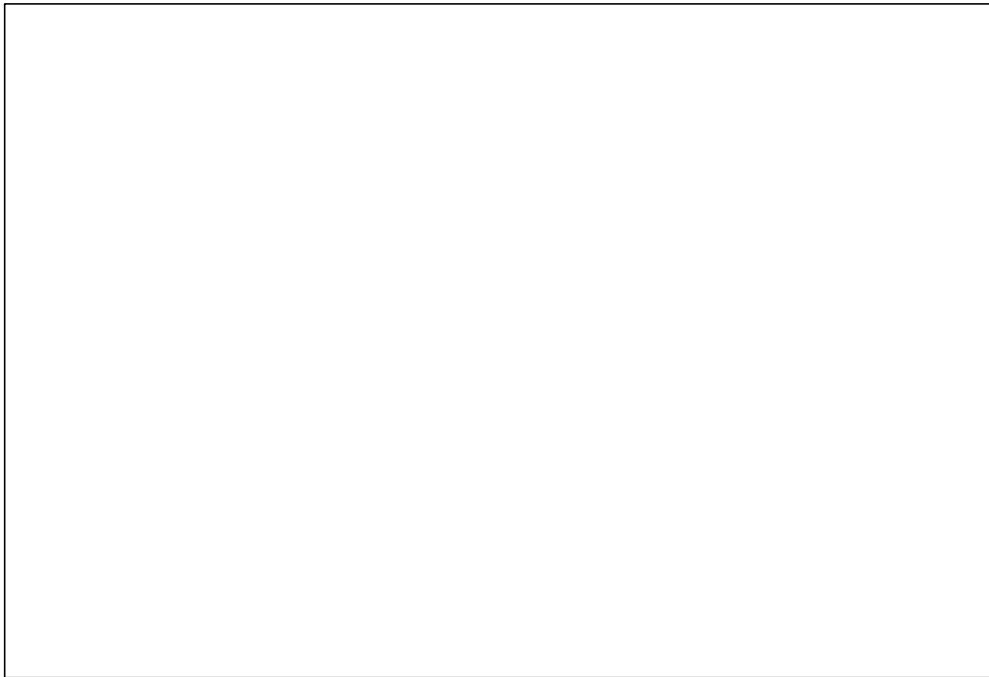
圖十、發煙量測試(試片)



圖十一、發煙量測試(電纜)



圖十二、腐蝕性氣體測試



圖十三、鹵酸氣體測試

