

345KV地下電纜設計施工與維護技術

廖吉義

台灣電力公司高屏供電區營運處

摘 要

隨著電纜技術及製造方法的不斷演進提昇，已經逐漸打破傳統印象中超高壓線路只能以架空方式出現的窠臼。也由於社會的進步變遷，讓人們越來越無法接受輸電線路以架空橫越的方式出現在人們的生活環境週遭。電力電纜的問世，無疑是此問題的最佳解決方案。電力電纜一直在先進國家中扮演著十分重要的角色，由於它對環境所造成的衝擊最小、纜線佈設都在道路或涵洞中減少土地取得的困難外，更因為它在標準條件下運轉其平均壽命約可達到20—30年之久，而不須像以往架空線路般須時常投入大量的人力物力來從事維護的工作，而廣為一般民眾所接受。隨著345KV電力電纜在日本及其他國家使用的普遍化，將來勢必會引進國內甚至是在國內生產製造。因此了解345KV電纜的設計施工與維護技術便成為當務之急，本文即以此次赴日見習所聞關於這些方面之技術來加以探討；文中針對設計、施工及維護三方面做介紹，藉著新技術的刺激進而能瞭解目前癥結所在。以期讓將來345KV電纜能迅速的為公司同仁所接受並發揮其最大的效能。

*作者

誌謝

本次出國計畫得以順利成行，首應感謝高屏供電區營運處經理、副理給我這個機會，特別是供電處的鼎力協助，沒有您們的幫忙與支持，實在不敢想像此次的出國實習計畫可否達成。此外也要謝謝課長及股長的悉心指導與鼓勵，從出國研習題目的訂定、架構之建立至各項聯絡事宜，均蒙其不憚其煩剴切指導，在此，謹對您們致上最深的謝忱與敬意。

在此完成報告時刻，心中百感交集難以言喻。尤其對一路走來不斷地對我適時幫助的所有朋友，沒有您們就不會成就今天的我，除了謝謝，我還是要再向您們說聲：「謝謝您」。

「人生有夢，逐夢踏實」，願以這句座右銘和所有在生命過程中曾經幫助和鼓勵過我的朋友們。

目錄

第一章 緒論	1
1.1 計畫動機	1
1.2 本文架構	1
第二章 345KV 地下電纜之構造及設計技術	2
2.1 前言	2
2.2 345KV 交連 PE 地下電纜的構造及其附屬器材	2
2.2.1 交連 PE 地下電纜	2
2.2.2 交連 PE 地下電纜附屬器材	4
2.3 345KV 交連 PE 地下電纜設計技術	5
2.3.1 345KV 交連 PE 電纜絕緣設計	5
2.3.2 345KV 交連 PE 電纜人孔尺寸設計	7
第三章 345KV 地下電纜之維護技術	11
3.1 前言	11
3.2 現有的地下電纜維護概要	11
3.3 345KV 交連 PE 電纜維護概要	13
第四章 結論	16
4.1 前言	16
4.2 建議事項	16
5.2.1 設計部份	16
5.2.2 製造部份	16
參考文獻	18

圖目錄

圖 1、345KV 交連 PE 電纜剖面圖	3
圖 2、電纜之 OFF-SET 圖	9

表目錄

表 1、345KV 鋁金屬被覆、防火 PVC 被覆交連 PE 電纜構造表	4
表 2、週期性維護表	14
表 3、選擇性維護表	15

第一章 緒論

1.1 計畫動機

有鑑於國內已可生產的 69KV、161KV 交連 PE 電纜的使用越見普遍，無形中也增加了將來更可創造高輸電效益的 345KV 電纜的引進國內，甚至在國內即可生產此一高技術的電力設備之可行性。

針對此一趨勢的到來，無疑須對國內環境予以評估，研擬全面採行 345KV 地下電纜於供電系統之可行性。尤其是將來直接面對電纜設計及維護工作的我們，更是需要及早對 345KV 電纜的相關技術預做準備。面臨我國即將加入 WTO，勢必有更多的相關電力產品引入我國，進而為公司所採用。基於以上種種因素都促使我們要預先認識 345KV 地下電纜產品及其技術。

1.2 本文架構

本文共分為四章。第一章為緒論。簡述計畫之動機及預期目標。

第二章為 345KV 地下電纜之構造及設計技術。介紹 345KV 電纜之構造及附屬器材與絕緣設計及人孔尺寸決定方式等設計觀念。

第三章為 345KV 地下電纜之維護技術。係針對 345KV 交連 PE 電纜提出相關的維護方式。

第四章為結論。乃是總結此次計畫中值得我們借鏡的部份。

第二章 345KV 地下電纜之構造及設計技術

2.1 前言

345KV 或更高電壓等級的交連 PE 地下電纜在日本及其他國家均已使用有一段時間，然在國內仍屬於首見的電力產品。因此本章先介紹 345KV 交連 PE 地下電纜的構造及其附屬器材。其次對於此一新電力產品究竟有何設計技術的不同，也是我們所要瞭解的。在此我們將針對其內部的絕緣設計部份提出介紹，並探討其差異性。

2.2 345KV 交連 PE 地下電纜的構造及其附屬器材

2.2.1 交連 PE 地下電纜

345KV 交連 PE 地下電纜主要可分為下列 7 個部份(如圖 1)：

1. 導體 (Conductor)

導體必須是電氣用無鍍錫軟銅線所絞合成之分割壓縮圓形形狀。

2. 導體遮蔽層 (Conductor Shielding)

導體遮蔽係包含導體上之半導體性帶及黑色押外型半導體性交連 PE。半導體性帶須介於導體與押外型半導體性交連 PE 間。

3. 絕緣體 (Insulation)

絕緣體須為押外型交連聚乙烯。其平均厚度不得小於表 1 所列標稱值。任意點之厚度不得小於標稱值之 90 %。

4. 絕緣體遮蔽 (Insulation Shielding)

絕緣體遮蔽係為絕緣體上之一黑色押外型半導體性交連

PE。導體遮蔽、絕緣體與絕緣體遮蔽須以三層連續押出機同時押出。

5. 基礎層 (Bedding Layer)

位於金屬被覆下，由銅編織帶及半導體性帶所組成，附著於絕緣體遮蔽之上。

6. 金屬被覆 (Metallic Sheath)

金屬被覆須為波紋狀金屬層，其金屬組成可分為鉛、鋁及不鏽鋼等三種。

7. 被覆 (Outer-sheath)

被覆須為黑色押出型防火材質之 PVC 複合物。且被覆外層須添加一層導電石墨做為電纜被覆完整性高壓測驗之電極。

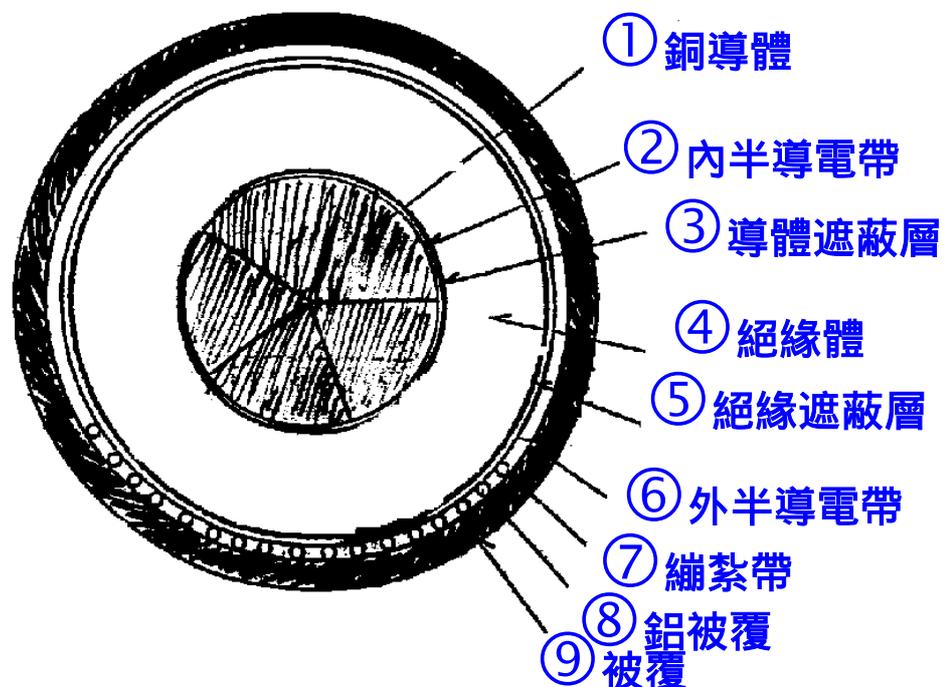


圖1、345KV 交連 PE 電纜剖面圖

導體數	-	1	
導體標稱值	mm ²	2500	
形狀	-	Compact segments	
導體直徑，近似值	mm	61.2	
導體遮蔽厚度，近似值	帶層	mm	0.5
	押出層	mm	1.3
絕緣體厚度，標稱值	mm	27.0	
絕緣體遮蔽/押出層厚度，近似值	mm	1.5	
基礎層厚度，近似值	mm	3.0	
金屬被覆厚度，標稱值	mm	3.3	
被覆厚度，標稱值	mm	6.0	
全部完成直徑，近似值	mm	165	
淨重，近似值	kg/km	41300	
20 直流導體電阻，最大值	/km	0.00746	
電容值，最大值	μF/km	0.23	

表1、345KV 鋁金屬被覆、防火 PVC 被覆交連 PE 電纜構造表

2.2.2 交連 PE 地下電纜附屬器材

1. 電纜終端匣 (Cable Terminations)

- 屋外型電纜終端匣 (Outdoor Type Cable Termination)
- 屋內型電纜終端匣 (Indoor Type Cable Termination)
- 氣封型電纜終端匣 (GIS Type Cable Termination)

2. 電纜接續匣 (Cable Joint)

- 普通接續匣 (Normal Joint)
- 絕緣接續匣 (Insulation Joint)

2.3 345KV 交連 PE 地下電纜設計技術

2.3.1 345KV 交連 PE 電纜絕緣設計

345KV 交連 PE 電纜絕緣設計目的主要在獲得其絕緣體厚度之計算方法及其結果，其中有關數據的取得部份係來自試驗結果、製造經驗及電氣協同研究第 51 卷第 1 號中之絕緣設計概要中，其計算方法如下：

1. 經由交流耐壓所獲得之計算公式

$$t_{ac} = \frac{E/\sqrt{3} \times K_1 \times K_2 \times K_3}{E_{L(AC)}} = \frac{362/\sqrt{3} \times 1.2 \times 2.3 \times 1.1}{35} = 18.1$$

其中

E 為相間最高額定電壓 (362KV)

K_1 為溫度係數 (1.2)

K_2 為劣化係數 (2.3)

K_3 為其他係數 (1.1)

$E_{L(AC)}$ 為最小平均交流破壞應力 (35KV/mm)

2. 經由雷擊突波電壓所獲得之計算公式

$$T_{imp} = \frac{BIL \times K_1 \times K_2 \times K_3}{E_{L(imp)}} = \frac{1300 \times 1.25 \times 1.0 \times 1.1}{75} = 23.8$$

其中

BIL 為系統的基本衝擊波基準值 (1300KV)

K_1 為溫度係數 (1.25)

K_2 為劣化係數 (1.0)

K_3 為其他係數 (1.1)

$E_{L(imp)}$ 為最小平均雷擊突波破壞應力 (75KV/mm)

3. 經由附屬器材交流耐壓所獲得之計算公式

$$E_{\min L} = \frac{2V}{(d + 2t) \times \ln \left[\frac{(d + 2t)}{d} \right]} \times k$$

其中

$E_{\min L}$ 為絕緣外緣之最小交流破壞應力 (24KV/mm)

V 為交流耐電壓 (709.8KV)

K 為其他係數 (1.1)

d 為導體遮蔽外徑，當導體尺寸為 2500 mm² (64.8 mm)

t 為絕緣厚度 (mm)

4. 經由附屬器材雷擊突波電壓所獲得之計算公式

$$E_{\min L(imp)} = \frac{2V_{imp}}{(d + 2t) \times \ln \left[\frac{(d + 2t)}{d} \right]} \times k$$

其中

$E_{\min L(imp)}$ 為絕緣外緣之最小雷擊突波破壞應力 (53KV/mm)

V_{imp} 為突波耐電壓 (1625KV)

K 為其他係數 (1.1)

d 為導體遮蔽外徑，當導體為 2500 mm² (64.8 mm)

t 為絕緣厚度 (mm)

5. 絕緣厚度之計算結果

經由電纜部份所決定之厚度	由交流耐電壓所決定	18.1
	由雷擊突波電壓所決定	23.8
經由附屬器材部份所決定之厚度	由交流耐電壓所決定	21.0
	由雷擊突波電壓所決定	25.6

經由以上所示之計算結果可知，我們乃取 27 mm 為 345KV 交連 PE 電纜之絕緣標稱厚度。

2.3.2 345KV 交連 PE 電纜人孔尺寸設計

當瞭解到 345KV 交連 PE 電纜各部份構造尺寸後，如何能在經濟上達到最節省的状态又可以將電纜及其附屬器材全部放置於人孔中便成了第二個重要的課題。在此即將針對此問題介紹其人孔尺寸的設計，讓設計人員往後也能藉由此方法的檢閱，認識到如何設計出所謂的標準化人孔。其計算方法如下：

1. 設計假設條件：

額定電壓：345kV

導體尺寸：2,500mm²

佈設方式：管路式

區間長度：200 公尺

2. 假設人孔尺寸大小：

依據既有的 161KV 交連 PE 電纜人孔大小，假設新的 345KV

交連 PE 電纜人孔大小為寬 2400 mm，高為 2200 mm

3. 電纜 OFF-SET 值計算：

一般設定電纜 OFF-SET 值主要是利用它來吸收電纜的熱擴

散值。此外亦需考慮預留足夠的空間做接續及放置接頭，因此須將此部份額外計入人孔尺寸計算內。

(1) 交連 PE 電纜的熱擴散值計算方式如下

a. $t_c \geq t$

$$m = \frac{1}{4 \times E \times A \times \mu \times W} \times (E \times A \times \alpha \times t - 2 \times K)^2$$

b. $t_c < t$

$$m = \frac{1}{E \times A} \times \left\{ \frac{1}{2} (E \times A \times \alpha \times t - 2 \times K) - \frac{\mu \times W \times L^2}{4} \right\}$$

其中

$$t_c = \frac{\mu \times W \times L + 2 \times K}{E \times A \times \alpha}$$

m 為交連 PE 電纜之熱擴散值

μ 為電纜與管路間之摩擦係數 (=0.4)

W 為電纜之單位重量 (40 kg/m)

K 背抵抗力 (=100 kg)

E 年輕係數 (3000 kg/mm²)

A 導體截面面積 (2500 mm²)

L 區間長度 (m)

α 軸向熱擴散率 (=20×10⁻⁶ 1/)

t 導體每年最大溫度差 (=65)

t_c 臨界溫度 ()

(2) 交連 PE 電纜的電纜 OFF-SET 值計算方式如下

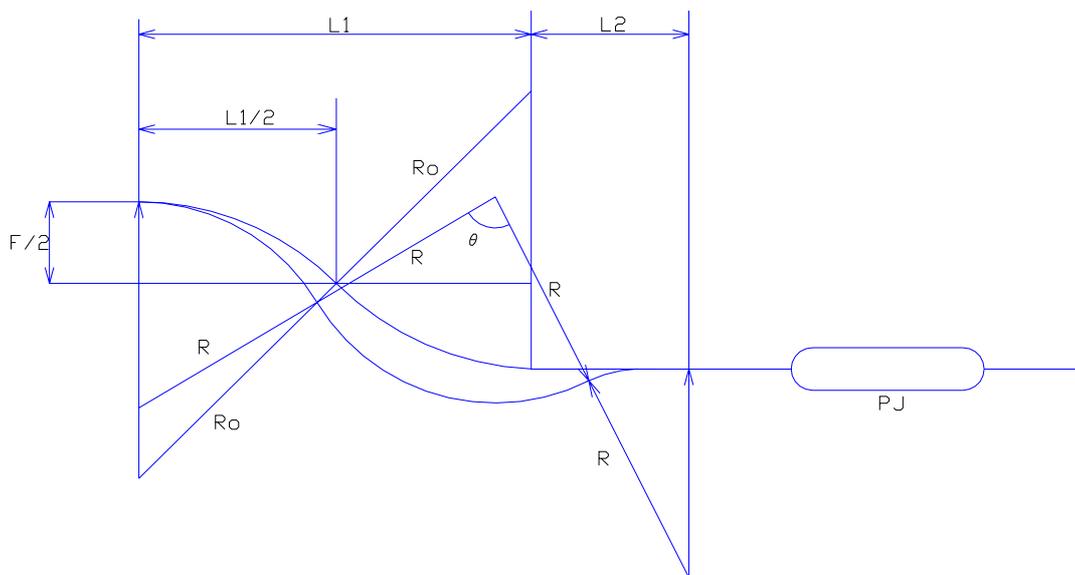
在此假設管路口與接續匣間最大垂直及水平距離分別為 290 mm 及 545 mm，其 OFF-SET 寬將如下

$$F^2 = 290^2 + 545^2 \rightarrow F = 617\text{mm}$$

當管路中的電纜溫度上昇時，電纜在人孔中將會因熱擴散而膨脹。因為熱吸收的緣故導致電纜 OFF-SET 之彎曲半徑將會比剛安裝好時的半徑 (R_o) 小，因此須使其彎曲半徑保持在電纜允許之最小彎曲半徑之上。

(3) 區間為 200 公尺時，如圖 2 示，OFF-SET 計算如下：

圖2、電纜之 OFF-SET 圖



取電纜 OFF-SET 長 $L_{OS} = 4000$ 為臨界值

一般 OFF-SET 長為 $L_{OS} = L_1 + L_2$

依據經驗 $L_2 = L_1 \times 0.4$

因此

$$L = L_1 + L_1 \times 0.4 = 1.4 \times L_1 = 4000 \rightarrow L_1 = 2850, L_2 = 1150$$

其中

L_1 為電纜彎曲長度

L_2 為 OFF-SET 直線長度

$$\text{初始電纜彎曲半徑 } R_o = \frac{(L_1^2 + F^2)}{(4F)} = 3500\text{mm}$$

最終電纜 OFF-SET 值

在熱擴散後，電纜最終彎曲半徑值 R 如下：

$$R = \frac{1}{2\theta} \left\{ \frac{L_1^2 + F^2}{2F} \cdot \sin^{-1} \left[2L_1 \times \frac{F}{L_1^2 + F^2} \right] + L_2 \right\}$$
$$\frac{[(L_1 + L_2 - m)^2 + F^2]^{1/2}}{1} \times \frac{1}{\left\{ \frac{L_1^2 + F^2}{2F} \cdot \sin^{-1} \left[2L_1 \times \frac{F}{L_1^2 + F^2} \right] + L_2 \right\}} = 2 \frac{\sin(\theta/2)}{\theta}$$

θ 為熱擴散後之 OFF-SET 內角值（徑度）

$$R = 2200\text{mm} \geq 2100\text{mm} \text{ (容許電纜彎曲半徑)} \rightarrow O.K.$$

人孔長度可得為

$$L_{MH} = 3000 + 200 \times 2 + (4000 + 150) \times 2 + 150 \times 2 = 12000\text{mm}$$

其中

OFF-SET (L_{os}) 長為 4000 mm

接續匣長為 3000 mm

接續匣兩側直線部長度為 200×2 mm

管路側直線部長度為 150×2 mm

第三章 345KV 地下電纜之維護技術

3.1 前言

站在供電處的立場，除了對於地下電纜設計技術的瞭解外，另外一個重要的課題便是對於其維護工作的認識。近年來由於社會進步，民眾生活品質提高，對於電力之質與量需求均提高，相對地對於供電品質的要求也越來越嚴苛。也因民眾對於生活環境的要求及環保觀念的提昇，造成電力線地下化的聲音也越來越大。可預見的將來電力電纜會大幅成長，而維護電力電纜的工作也會投入更多的人力及技術，如何維護電力電纜將成為供電系統的主要工作之一。

3.2 台電公司現有的地下電纜維護準則

1. 充油電纜 (OF Cable)

- ◆ 電纜經過路徑每月最少巡視一次。
- ◆ 電纜防蝕外覆之絕緣電阻測試每二年一次。
- ◆ 電纜絕緣體之絕緣電阻測試配合停電及實際需要辦理。
- ◆ 金屬遮蔽層連續性及人孔、終端之接地電阻測試配合停電及實際需要辦理。
- ◆ 警報器動作試放每月一次。
- ◆ 電纜終端及人孔裝置物、電纜接頭等附屬設備點檢：
 - 特殊環境地區（人孔內重污染或有白蟻），每半年一次。
 - 新設一年內線路，每半年一次。
 - 一年以上線路，345KV、161KV 線路每年一次，69KV

線路每二年一次。

- 十年以上線路，每五年一次更詳細點檢。
- 電纜專用橋、橋樑附掛等管路外部點檢每年一次。
- ◆ 電纜油壓及溫度記錄，有值班人員變電所每日一次，無值班人員變電所，配合變電巡檢人員，每月至少一次。
- ◆ 電纜絕緣電阻小於 1000M 時，應配合停電及實際需要作直流高壓洩漏電流測試。
- ◆ 單電源線路應配合停電及實際需要作直流高壓洩漏電流測試。

2. 交連 PE 電纜(XLPE Cable)

- ◆ 電纜經過路徑每月最少巡視一次。
- ◆ 電纜防蝕外覆之絕緣電阻測試每二年一次。
- ◆ 電纜絕緣體之絕緣電阻測試配合停電及實際需要辦理。
- ◆ 金屬遮蔽層連續性及人孔、終端之接地電阻測試配合停電及實際需要辦理。
- ◆ 電纜終端及人孔裝置物、電纜接頭等附屬設備點檢：
 - 特殊環境地區（人孔內重污染或有白蟻），每半年一次。
 - 新設一年內線路，每半年一次。
 - 一年以上線路，161KV 線路每年一次，69KV 線路每二年一次。
 - 十年以上線路，每五年一次更詳細點檢。
 - 電纜專用橋、橋樑附掛等管路外部點檢每年一次。

- ◆ 電纜絕緣電阻小於 1000M 時，應配合停電及實際需要作直流高壓洩漏電流測試。
- ◆ 單電源線路應配合停電及實際需要作直流高壓洩漏電流測試。

3.3 日本電纜公司建議之 345KV 交連 PE 地下電纜維護準則

1. 週期性維護：如表 2
2. 選擇性維護：如表 3

週期性維護內容

裝置地點及部位	項目	檢查部位	檢查內容	檢查重點	檢查方式	檢查週期
洞道中之電纜	1	電纜蛇型佈設段狀況	檢查蛇型段尺寸	每200公尺區間中量測蛇型段寬度	鋼尺檢查	每3個月1次
	2	電纜固定套狀況	固定套需完全固定電纜	檢查電纜有無位移	目視檢查	每3個月1次
	3	電纜支持物結構	外觀及鏽蝕檢查	檢查有無彎曲、受損及鏽蝕	目視檢查	每3個月1次
	4	接續匣	外觀及支持物結構狀況檢查	檢查接續匣固定套有無鬆脫及鏽蝕	手及目視檢查	每3個月1次
	5	避雷器	外觀及支持物結構狀況檢查	檢查接地棒有無鬆脫及鏽蝕	手及目視檢查	每3個月1次
屋外終端側	1	終端匣支持物結構	外觀及鏽蝕檢查	檢查有無彎曲、受損及鏽蝕	目視檢查	每3個月1次
	2	電纜固定套狀況	固定套需完全固定電纜	檢查電纜有無位移	目視檢查	每3個月1次
	3	差動保護系統預鑄室狀況	確定冷卻器正常運轉且無雨水浸入	冷卻器溫度約在25 且地面無積水	目視檢查	每個月1次
GIS終端側	1	終端匣支持物結構	外觀及鏽蝕檢查	檢查有無彎曲、受損及鏽蝕	目視檢查	每3個月1次
	2	電纜固定套狀況	固定套需完全固定電纜	檢查電纜有無位移	目視檢查	每3個月1次
	3	差動保護系統預鑄室狀況	確定冷卻器正常運轉且系統無灰塵覆蓋	冷卻器溫度約在25	目視檢查	每個月1次
	4	溫度監控系統	外觀及灰塵覆蓋檢查	檢查有無覆蓋灰塵	目視檢查	每個月1次

表2、週期性維護表

選擇性維護內容

應用系統	維護目的	量測事項	檢測週期	備註
345KV電纜系統	故障偵測	利用位於兩側的GPS裝置藉由故障點傳來之衝擊波時間差快速位及偵測故障點	持續安置於系統中並時時檢測	
預鑄型接續匣及終端匣	接續匣絕緣之部份放電檢測	利用可攜式部分放電量測系統檢測部分放電信號	商業運轉後初期	
分散式溫度監控系統差動保護系統	運作功能	功能及系統狀況檢查	每2-3年1次	
差動保護系統	因為本裝置有自我偵測維護系統所以不需要做維護工作			

表3、選擇性維護表

第四章 結論

4.1 前言

隨著 345KV 交連 PE 電纜的普遍化，此一高品質及高技術的電力產品絕對會引進國內。這次有機會能夠赴日本參與見習實在是一個相當難得的經驗，除了體認當前國外對於超高壓線路採用地下化的變革，未來也期望能加以應用在提高供電的可靠性及電力品質的改善方面。日本在地下電纜方面的技術及研究精神值得我們參考，但見習過後才深切瞭解不僅如此，他們對工地現場環境的保持及工作安全上落實的程度更是令我們自嘆不如。也唯有知道自己的不足才有繼續改進的空間。

4.2 建議事項

4.2.1 設計部份

1. 本公司目前 345KV 地下電纜係由輸工處辦理設計及購料中，故有關電纜及設計規範尚未制定。隨著時代的進步，民眾對供電安全要求水準提高，將來 345KV 地下電纜勢必增加，故本公司應制定電纜及設計規範，以供設計人員遵循。
2. 將來公司辦理設計訓練課程時，應將 345KV 電纜納入，讓現場設計人員能得到相關之技術。

4.2.2 維護部份

1. 故障檢測設備的購置須先評估實用情況並於購置後訓練專人負責操作，以減少人為失誤發生。
2. 本公司目前之電纜維護準則，對 345KV 地下電纜部份並無

詳細規定，將來配合 345KV 電纜加入系統實有必要增訂。本報告中日本電纜公司所建議之維護準則可供參考。

3. 將來 345KV 電纜加入時，應同時對現場維護人員訓練，以確保電纜能良好運轉。

參考文獻

- [1]. 飯塚喜八郎,「新版電力電纜技術」,電氣書院.
- [2]. 電氣協同研究會,「CV電纜線路之布設設計與施工」,電氣協同研究,第47卷第3號,Oct 1991.
- [3]. 電氣協同研究會,「地中送電線之送電容量設計」,電氣協同研究,第53卷第3號,Oct 1997.
- [4]. SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO.,LTD. 技術資料。
- [5]. THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD. 技術資料。
- [6]. Barry Clegg, “Underground Cable Fault Location”, McG RAW-HILL, 1993.
- [7]. 蔡其蜂,“地下電纜維護”,電機月刊,第7期,Jul 1996.