

出國報告（出國類別：實習）

# 海底輸電電纜線路器材定型試驗及品質查證

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處

姓名職稱：余維文 線路技術二課課長

派赴國家：日本

出國期間：101年12月16日至101年12月21日

報告日期：102年02月05日

# 目錄

摘要.....	IV
壹、出國目的.....	1
貳、出國行程.....	3
叁、實習心得.....	5
一、台灣~澎湖 161kV XLPE 海底電纜結構.....	5
二、台灣~澎湖 161kV XLPE 海底電纜製程.....	14
三、簡述台灣~澎湖 161kV XLPE 海底電纜(含器材)定型試驗.....	21
四、器材定型試驗及品質查證紀實.....	27
肆、建議事項.....	32

## 摘要

台澎海纜計畫，係依據民國 94 年由本公司系統規劃處完成之【台灣澎湖間海底電纜供電可行性初步研討報告】及輸變電工程處先期工程調查，分別就工程、系統、及經濟等方面檢討不同輸電方案，並與擴建柴油機組案進行經濟比較後所擬定，其目的在滿足澎湖地區於 101 年後之用電需求。當時考量海纜 20 年之經濟壽齡，並以負載預測案推估澎湖之負載成長，選定「交流 161KV 系統二回線，每回線送電容量 200MW」之興建方案為經濟可行。

台澎海纜計畫，原是為了解決澎湖地區即將面臨尖山電廠機組退休、電源不足之問題。自 94 年起即展開相關規劃作業，惟近年來全球景氣受到金融海嘯影響，澎湖地區負載成長不如預期，台澎海纜計畫執行期程亦配合修訂為 99 年至 103 年。

本計畫線路工程經本公司輸變電工程處細部評估後，海域部份確定採用單芯 XLPE 630mm<sup>2</sup>電纜，分為南北兩路徑，長度約為 58.8 公里。台灣側海纜上岸點以 XLPE 2000mm<sup>2</sup>陸纜引接至口湖一次配電變電所(以下簡稱口湖 D/S)，距離約為 7.3 公里，澎湖上岸點至澎湖一次變電所(以下簡稱澎湖 P/S)則尚有約 0.3 公里之陸纜，全線長度共約 66.4 公里，路徑如圖 1 所示。

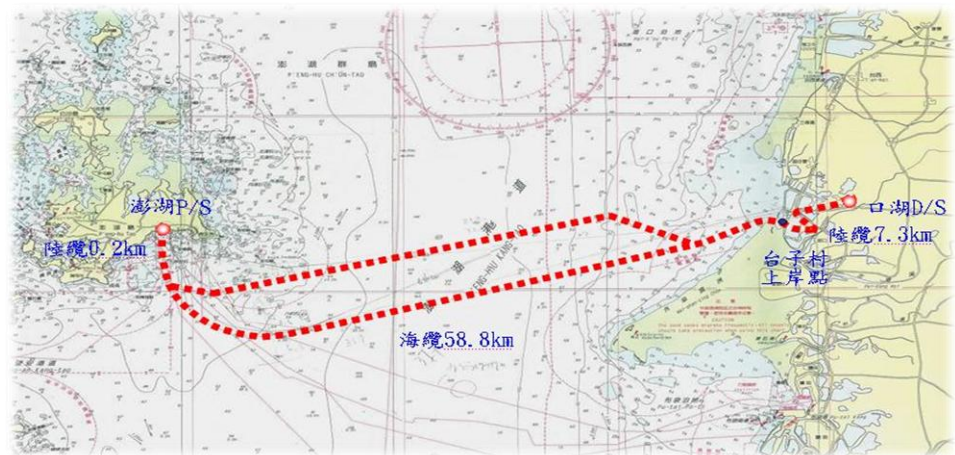


圖 1 台澎海底電纜引接示意圖

98 年 4 月舉辦之全國能源會議達成建立「我國溫室氣體減量目標」共識，

確立了低碳能源發展方向。同年 6 月「再生能源發展條例」完成立法，政府將可運用再生能源收購機制、獎勵示範、及法令鬆綁等加強設置再生能源誘因，落實「節能減碳」之政策方針。隨後同年 7 月行政院決定 99 年起投入預算推動綠能，由經濟部能源局規劃「建置澎湖低碳島專案計畫」。

其中澎湖低碳島計畫中之再生能源開發部分，主要項目包括：(1)總容量 96MW 大型風力機之設置，32MW 的風場將由本公司負責，其餘 64MW 由縣政府採促進民間參與公共建設法來推動(2)總容量 0.22MW 小型風力機之設置，大規模美觀造型小型風力機設置在跨海大橋以及風力公園，可增加民眾對於綠色能源發展之印象，鼓勵一般民宅設置小型風力機減少家庭用電(3)總容量 2.085MW 太陽光電之設置，以太陽光電整合指標性建築、觀光景點及交通設施，提供當地民眾及觀光客接觸太陽光電、培養再生能源使用意識，除呈現太陽光電節能減碳意象外，亦具達成促進觀光發展提升效益。

依據行政院 99 年 2 月 9 日院臺經字第 0990007300 號函令：「有關台灣—澎湖海底電纜工程部分，方向原則同意。請經濟部考量配合澎湖再生能源及綠色能源島計畫，儘速報院核定。」，因此台澎海纜除了主要為滿足澎湖地區供電之目的外，配合政府政策必須擔負輸送澎湖地區再生能源之任務。隨後經濟部能源局於 99 年 3 月 16 日能技字第 09900050810 號函示本公司「已研擬將低碳島規劃案執行期程修正為 99 年至 103 年…，請併需配合澎湖地區風力機等再生能源之設置期程，掌握台澎海纜線路工程進度，俾利達成低碳島規劃案之再生能源供應比例目標」。經濟部能源局提報行政院之「設置澎湖低碳島專案計畫」，其中台澎海底電纜之鋪設，就是未來澎湖低碳島之再生能源占比能達到 55%以上的重要關鍵。

基於上述規劃檢討需求，本海纜工程已於 100 年 11 月 30 日決標，若一切順利，依約第一回線商轉時程預定於 104 年 11 月 9 日完成竣工試驗後加入系統，第二回線則預定於 105 年 10 月 19 日完成竣工試驗後加入系統，屆時將可擔負輸送澎湖地區再生能源之任務及平衡台灣與澎湖間供電調配。

關鍵詞：

海底電纜 (Submarine Cable)  
國際規範 IEC 62067、IEC 60840  
光纖單元(Optical Fiber Unit)  
廠內接續匣 (Factory Joint)  
預鑄型轉換接續匣(Transition Joint)  
維修接續匣(Repair Joint)  
試驗終端(Testing end)  
定型試驗 (Type test)  
導體 (防水) Conductor (Water-tight)  
絕緣層(Insulation)  
交連 PE 聚乙烯(Cross-linked polyethylene)  
絕緣體遮蔽層(Insulation Shielding)  
膨脹止水層(Water-blocking Swelling Layer)  
鉛合金遮蔽層(Lead Alloy Sheath)  
墊層(Bedding Tape)  
回流導體層(Return Conductor)  
繃紮帶(Binder Tape)  
PE 押出型墊層(Polyethylene Extruded Bedding Layer)  
墊層(Bedding Tape)  
光纖單元(Optical Fiber Unit)  
分隔線(Separation Spacer)  
繃紮帶(Binder Tape)  
鎧裝墊層(Armour Bedding)  
鍍鋅鋼線鎧裝(Galvanized Steel Wire Armour)  
鎧裝墊層(Armour Bedding)  
鍍鋅鋼線鎧裝(Galvanized Steel Wire Armour)  
外層被覆(Armour Serving)  
聚丙烯線(Polypropylene yarns)

## 壹、出國目的

海底電纜之規劃設計依其特性可概分為電力系統與土建設施二大部分，其中電力系統為主要決定因子，係需先選定電力網之引接點後，方能決定後續之纜線路徑及電纜型式。而土建設施包括上岸點、上岸人孔、冷卻散熱等附屬設備，則須配合工址當地之環境條件與環境影響評估結果進行設置。有關電力系統及土建設施之規劃設計準則及重點摘要如下。

### 一、電力系統評估部分：

依目前國際上常用之海纜電力系統包括直流DC系統與交流AC系統，其選擇方式係以傳輸容量、線路長度作考量，通常傳輸容量達200MW且線路長度達60公里以上者，可能以選擇DC系統較多，但因國內電力傳輸系統以AC為主，在操作上工作同仁之熟悉度較高。其次，如採DC系統在海纜二端上岸人孔附近必須再設立AC-DC之轉換器(convertor)，在土地成本與維修成本等經濟考量下，本案仍採AC系統。故為與本公司既有電網聯結並降低風險，採二回線進行規劃。

### 二、海纜選用種類評估：

海纜規格種類可分為單芯與三芯二種，本案需求為傳輸電壓161kV、傳輸容量200MW，經評估考量目前國際常用之三芯電纜最大電壓等級仍132kV為主，161kV等級以上之海纜僅歐洲地區之ABB公司及Nexans公司有開發，且多用於近距離之案例，較少有長達50公里以上距離使用三芯電纜之案例，故本案以單芯電纜為第一優先選擇，亦如上述二回線單芯海纜，則需佈設六條方能滿足。其次，雖然XLPE交連電纜及OF充油電纜在電氣特性均沒有問題，但在環境方面、維護性以及成本方面，考量O.F.充油式之海纜萬一因故發生漏油時，容易在沿海地區產生油污染，導致沿海漁業生態及養殖業之損失，也易成為引發漁民抗爭之原因，因而經評估後以交連XLPE電纜較合適本案之

設置。

### 三、海纜選用規格評估：

為保護海纜免受錨害與底拖漁業損傷，海纜內之被覆層內通常會使用金屬物質，因此亦會造成傳輸容量損失。在與佈設條件(埋設深度、佈設間隔)、環境條件(基礎溫度、土壤熱阻抗)等相關因子併同考量後，本案海纜之導體尺寸設計為630mm<sup>2</sup>。其外圍再用2層鋼絲線鎧裝加以保護。且為確保海纜營運期間之穩定及安全性，在電纜線路中加設12芯光纖，並於上岸人孔二端設計分光儀、光譜辨識設備等，以監測分析海纜營運期間之溫度、外傷、事故地點等。另外亦設置保安通信光纖，以利本公司內部(台灣-澎湖)通訊之用。

綜合上述，經海纜引接之系統、規劃之送電容量、選用之種類及規格等分析檢討確定後，同時參照國際海纜之製造、測試、施工執行等國際規範(如IEC、ISO、IHO及CIGRE等)，決定本海纜規格將採用交連PE聚乙烯(Cross-linked polyethylene)為絕緣體、鉛被覆為遮蔽層、附12芯監測光纖、雙層線鎧裝及聚丙烯線(Polypropylene yarns)為被覆之單芯銅導體複合電纜，主要用途是使用於本公司台灣~澎湖三相三線、60HZ、中性點接地之海底輸電系統。

本海底電纜為本公司客制化之產品，立約商依約須重新辦理海纜之定型試驗，且定型試驗需依照IEC60840規範，結合本海纜工程實際系統銜接情況(含實際使用之關鍵接續及終端器材)，進行導體截面積、額定電壓及構造等試驗，上述之試驗過程需經由獨立試驗室認證通過，該定型試驗方能符合契約規範要求。

海纜定型試驗為確認立約商所製造海纜品質之關鍵作業，本公司除依契約之相關規定由獨立試驗室認證外，亦特別要求監造單位亦必須提送海纜製程之查證計畫，辦理製程及定型試驗查證作業，另預編本次出國計畫至現場實施重點查證，以確保海底電纜及附屬器材之品質，提高海底輸電電纜線路品質。

## 貳、出國行程

本次出國行程及實習內容如下：

一、101年12月16日：往程（台北－日本東京）

二、101年12月17~20日：（宿於東京）

1. JPS & Smitomo Head Office Meeting(包含JPS公司的規模、技術、產品等)
2. 本海纜生產進度及海纜定型試驗辦理情形
3. 本海纜生產製程及品質檢驗之介紹
4. 海纜定型試驗及循環老化試驗之說明
5. 生產檢驗儀器及校正有效期限之核對
6. 參觀海纜定型試驗場地及高壓試驗設備介紹
7. 工廠之參觀
8. 海纜構造尺寸檢測
9. 熱循環試驗(Heating-Cycle)
10. Final Meeting

三、101年12月21日：返程（日本東京－台北）

四、實習及參訪照片（照片1－照片8）





照片 1:海纜生產進度及定型試驗辦理情形



照片 2:海纜成品結構及解剖後各層材料



照片 3:與參訪及會議人員合照



照片 4:定型試驗及循環老化試驗說明



照片 5:海纜定型試驗場



照片 6:海纜定型試驗之測試



照片 7 海纜構造尺寸檢測



照片 8:海纜構造尺寸檢測

## 叁、實習心得

### 一、台灣~澎湖 161kV XLPE 海底電纜結構

本海纜規格為 161KV 1×630mm<sup>2</sup> 銅導體，交連 PE (XLPE)絕緣鉛合金遮蔽層，銅回流導體，聚乙烯被覆及雙層鍍鋅鎧裝鋼線，內含 12 芯光纖之海底電纜。其製造及試驗係依據採購規範、IEC60840、ITU-T G.652D、ITU-T G.651 或製造廠商之標準規範辦理。

#### 1.海纜組成之材料及結構如下：

電纜結構	材質
導體(Conductor)	純銅絞線，壓縮圓形，符合 IEC 60228 規定。 絞線填充半導體防水材料。
導體遮蔽層(Conductor Shielding)	押出型半導體填充材料
絕緣層(Insulation)	押出型交連 PE(XLPE)
絕緣遮蔽層(Insulation Shielding)	結合半導體填充層與絕緣體押出
膨脹止水層	半導體止水帶
不透水層	押出型鉛合金 (Cu+Te)
墊層	半導體帶
回流導體層	單層平直銅導線
繃紮帶	適當之繃紮帶
押出型墊層	押出型黑色聚乙烯
墊層	適當之束帶
光纖單元	每根光纖採充膠填充再以不鏽鋼管包覆後並以 聚乙烯被覆，2 條多模光纖單元及 10 條單模光纖 單元(i.e.共 12 條)須以螺旋間隔線加以分隔。
繃紮帶	適當之束帶

鎧裝墊層	單層聚丙烯線
鎧裝	雙層鍍鋅鋼線附防蝕填充料，雙層鎧裝配置方向需相同
外層被覆	雙層聚丙烯線層及合成填充料

附註 1：導體遮蔽層、絕緣層及絕緣遮蔽層需在乾式交連之製程環境下，採一次三層押出製成。

附註 2：

(1) 絕緣層:任一點最小不低於附表所示標準值之 90%。絕緣層之偏差率不超過：

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0.15$$

其中,

tmax 為絕緣體之最大厚度

tmin 為絕緣體之最小厚度

tmax 及 tmin 為相同斷面之量測值

(2) 鉛合金遮蔽層: 任一點之最小厚度不低於附表所示標準值之 95%再減 0.1mm。

(3) 回流導體層:回授導體層外徑不低於附表所示之標準值 5%。

(4) 押出型墊層:任一點之最小厚度不小於附表所示標準值之 85%再減 0.1mm。

(5) 電纜被覆標識:海底電纜外被覆每隔 1,000m 須有高明視度之 PVC 標示帶，而在靠近海纜兩端 1,000m 範圍內，PVC 標示帶的間隔縮小為 100m 出現一處。標示帶上應依規範規定註記。

(6) 電纜測試（於工廠）以下測試需在載運前完成，並依據 IEC 60840, CIGRE Electra NO.189, ITU-T G.652, ITU-T G.651 及 / 或製造廠之標準。

(6.1) 每捲電纜生產後未進行工廠接續前之測試

a) 部份放電試驗：最大. 5pC at 140kV (於 lead 押出後)

- b) 高壓試驗：A.C 233KV / 30 分鐘 (於 lead 押出後)
- c) 押出型墊層電氣試驗：交流 15KV / 1 分鐘 (押出時 SPARK 試驗)

#### (6).2 工廠接續組裝後之測試

- a) 押出型墊層電氣試驗：直流 25KV / 1 分鐘 (於潮濕條件下)

#### (6).3 整條電纜之試驗

- a) 高壓試驗：交流 150KV / 60 分鐘 (於 20-300Hz)
- b) 押出型墊層電氣試驗：直流 25KV / 1 分鐘
- c) 衰減測試 (OTDR test):

SM 光纖; 最大. 0.40dB/km at 1310nm ; 最大. 0.26dB/km at 1550nm

GI 光纖; 最大. 1.0dB/km at 1300nm

#### (6).4 樣品測試

- a) 導體檢查
- b) 導體直流電阻量測：最大 0.0283 $\Omega$  /km 於 20°C (每條海纜長度)
- c) 量測絕緣層及押出型墊層厚度
- d) 量測金屬 (鉛合金) 遮蔽層厚度
- e) 量測直徑
- f) XLPE 絕緣層熱堆測試(Hot Set Test)
- g) 靜電容量量測：最大 0.209 $\mu$  F/km (每條海纜長度)
- h) 衝擊電壓試驗： $\pm 750$ kV x 10 次 $\rightarrow$  交流 186kV/15 分鐘
- i) 防水試驗

為確保導體之防水，自整卷電纜裁取 5m 之樣品，並於電纜一端施以連續 24 小時 13.5kgf/cm<sup>2</sup> 之水壓，24 小時後，於電纜另一端必須無水分洩漏出來。

#### (6).5 包裝

電纜兩端以遮蔽套保護，避免水氣滲入，並提供適當之牽引頭供拉線時使用。  
每一卷完整電纜需循序直接盤繞至載運船。

2.161kV XLPE海底電纜構造表

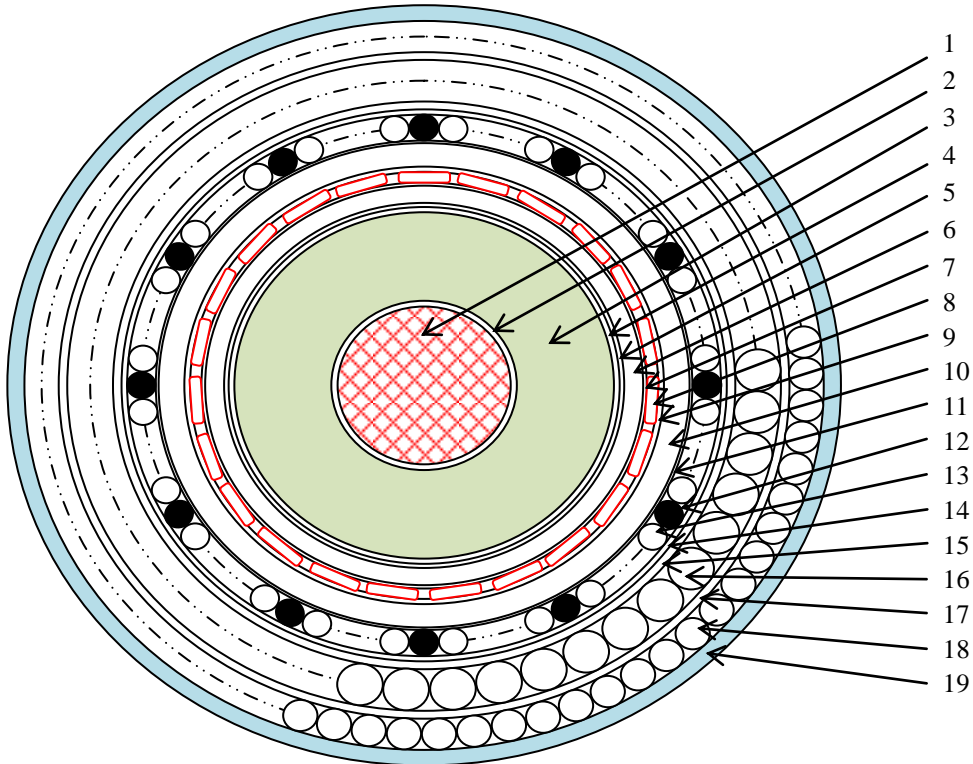
額定電壓		kV	161
芯數		-	1
導體	材料	-	高純度鍛造銅
	型式	-	銅圓壓縮成銅絞線附防水填充材料
	尺寸	mm <sup>2</sup>	630
	直徑	mm	約 30.0
導體遮蔽層厚度		mm	約 1.1
		mm	最小 0.85
		mm	最大 1.7
XLPE 絕緣層厚度		mm	標稱 17.0
絕緣遮蔽層厚度		mm	約 1.0
止水層厚度		mm	約 0.8
鉛質遮蔽層厚度		mm	標稱 3.3
回流導體層	材料	-	高純度平直銅線
	平直銅線寬度	mm	標稱 9.0
	平直銅線厚度	mm	標稱 2.0
	平直銅線數量	-	23
	直徑	mm	標稱 82.0
繃紮帶厚度		mm	約 0.5
PE押出墊層厚度		mm	標稱 4.5
墊層厚度		mm	約 0.25
光纖單位	光纖型式及數量	-	SM x 10cores, GI x 2cores
	不銹鋼管內徑	mm	約 1.4
	不銹鋼管外徑	mm	約 1.8
	平均外徑	mm	約 5.0
分隔線	材料	-	Polyethylene terephthalate (PET)
	分隔線外徑	mm	約 5.0
聚丙烯線層厚度		mm	約 1.5
鎧裝線外徑 (第一層)		mm	標稱 8.0
聚丙烯線層厚度		mm	約 1.5
鎧裝線外徑 (第二層)		mm	標稱 6.0
聚丙烯線外層被覆厚度		mm	約 3.0
電纜外徑		mm	約 146

電纜淨重	在空氣中	kg/m	約 Wa=58
	在海水中	kg/m	約 Ww=41 (附註 1)
20°C時之直流導體電阻		ohm/km	最大 0.0283
電纜靜電電容		F/km	最大 0.209

(附註 1)

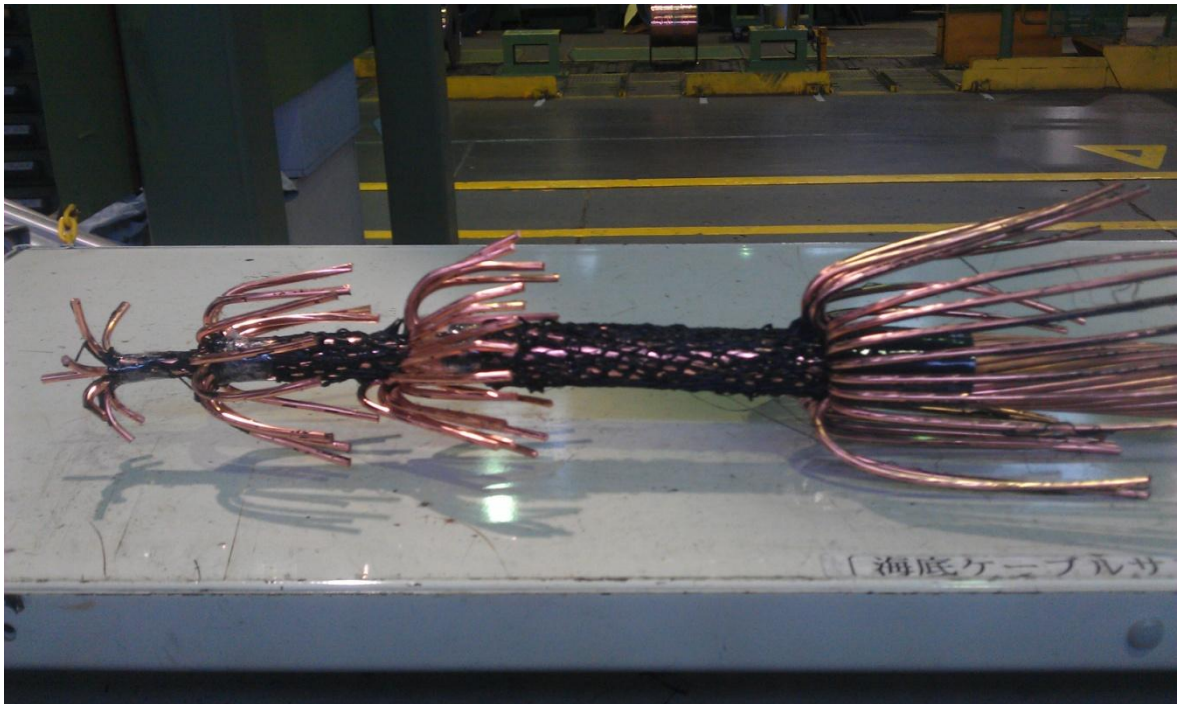
$$W_w = W_a - (D/2/10)^2 \pi \times 100 \times k$$

其中, Wa: 電纜在空氣中重量 (58kg/m)    D: 電纜外徑 (146mm), K: 相對密度

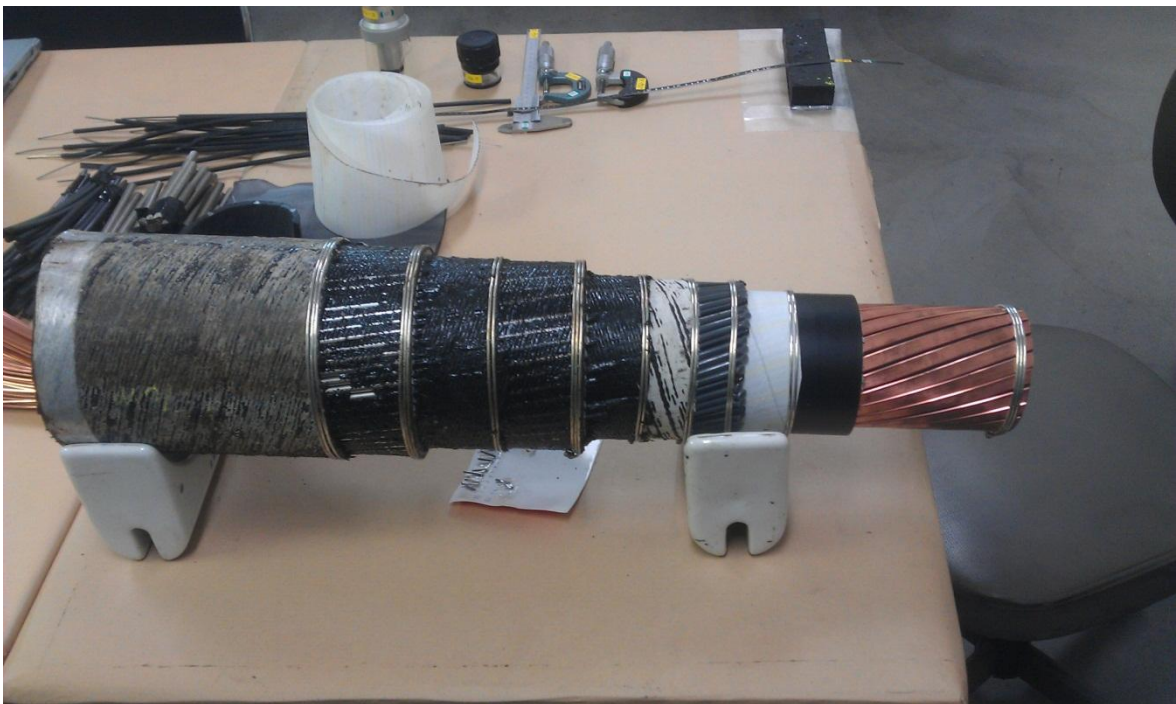


1. 導體 (防水) Conductor (Water-tight)
2. 導體遮蔽層 Conductor Shielding
3. 絕緣層 Insulation
4. 絕緣體遮蔽層 Insulation Shielding
5. 膨脹止水層 Water-blocking Swelling Layer
6. 鉛合金遮蔽層 Lead Alloy Sheath
7. 墊層 Bedding Tape
8. 回流導體層 Return Conductor
9. 繃紮帶 Binder Tape
10. PE 押出型墊層 Polyethylene Extruded Bedding Layer
11. 墊層 Bedding Tape
12. 光纖單元 Optical Fiber Unit
13. 分隔線 Separation Spacer
14. 繃紮帶 Binder Tape
15. 鎧裝墊層 Armour Bedding
16. 鍍鋅鋼線鎧裝 Galvanized Steel Wire Armour
17. 鎧裝墊層 Armour Bedding
18. 鍍鋅鋼線鎧裝 Galvanized Steel Wire Armour
19. 外層被覆 Armour Serving

3.161kV XLPE海底電纜特殊結構簡介（照片9—照片16）



照片 9:海纜絞線間之空隙填充水密化合物防止軸向水氣侵入



照片 10:解剖海纜三層押出止水膨脹帶外之各層結構

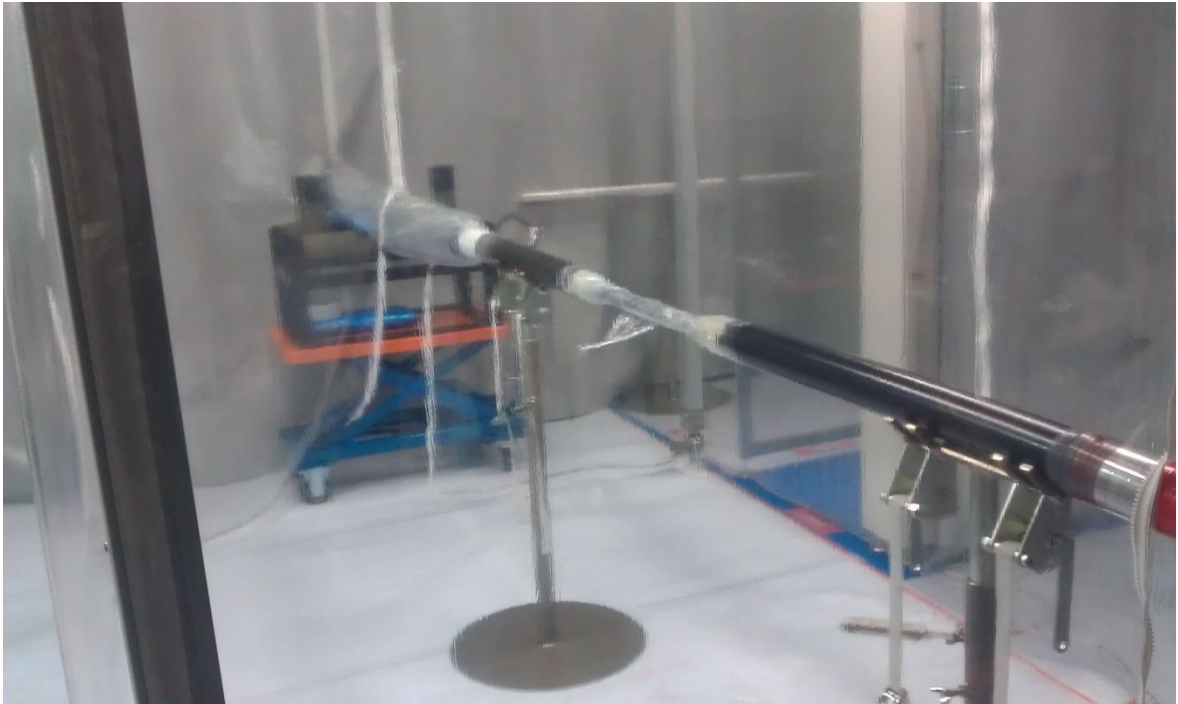


照片 11:解剖海纜結構及各層材料之種類及數量



照片 12:海纜光纖之繞捲生產製程  
(黑色為 12 芯之光纜、灰色為分隔線、白色為製程之辨識基準線)

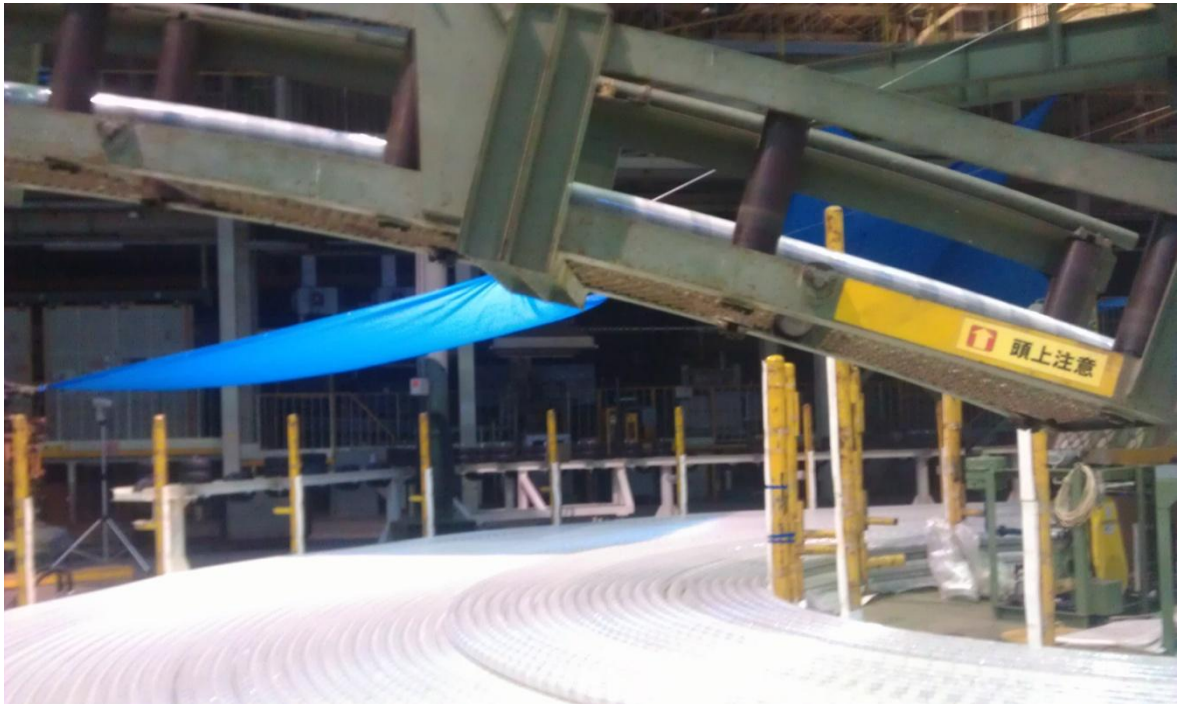




照片 13:海纜製程中之 Factory joint 之接續之無塵室(Jointing-Room)



照片 14:第一條海纜接續完成後之繃紮帶繞捲製程之轉盤引取情形



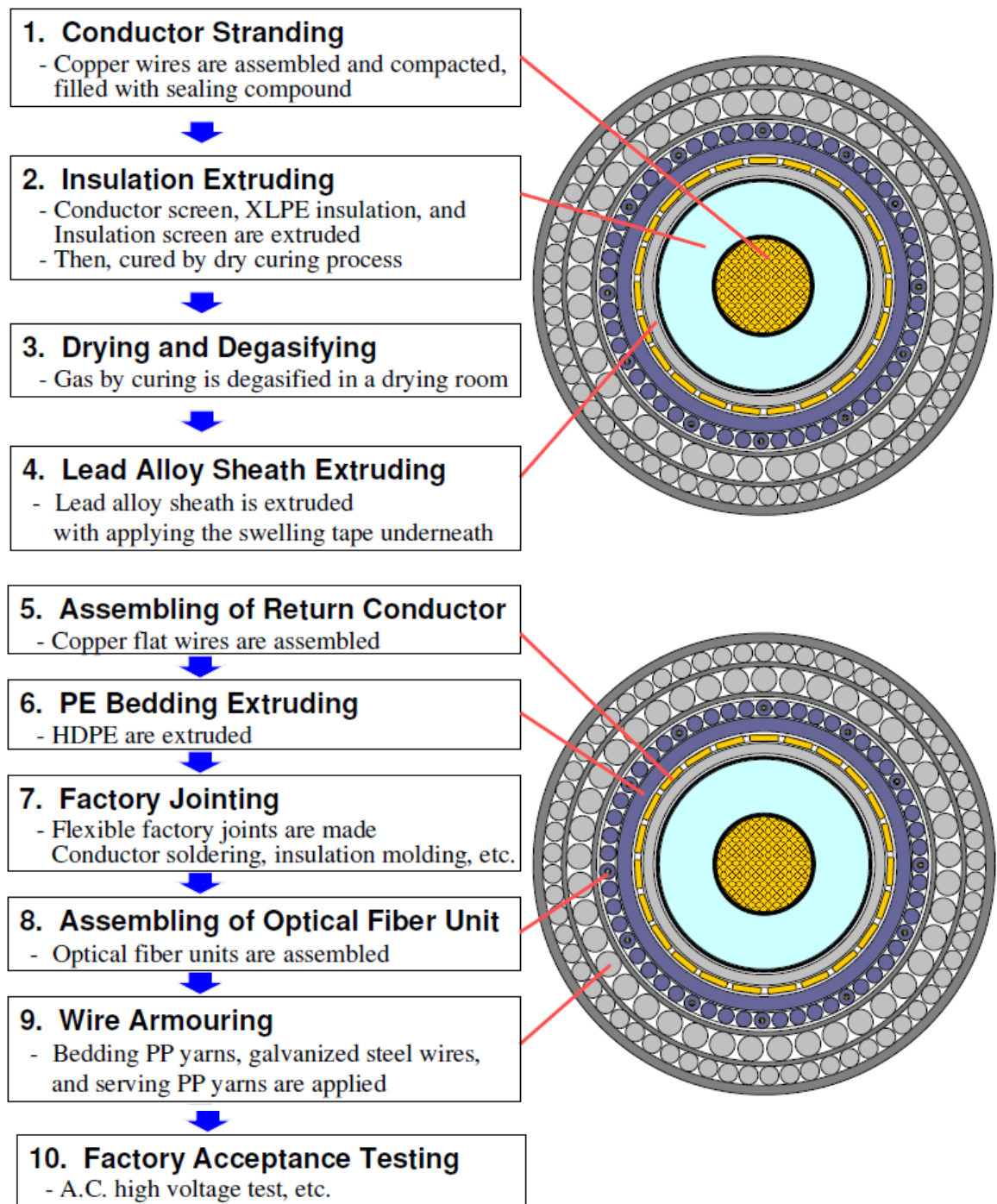
照片 15:第一條海纜接續完成後之繃紮帶之繞捲製程



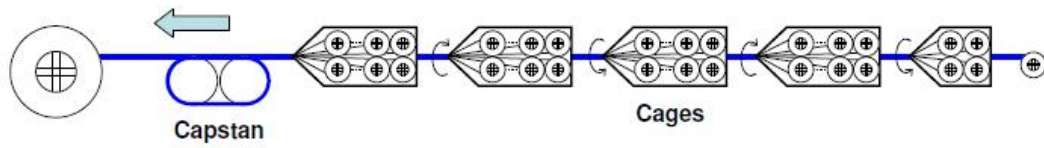
照片 16:第一條海纜接續完成 PE 押出型墊層後之光纖單元繞捲製程之轉盤引取情形  
(背後即為本海纜之輸出港口之及裝吊設備)

## 二、台灣~澎湖 161kV XLPE 海底電纜製程

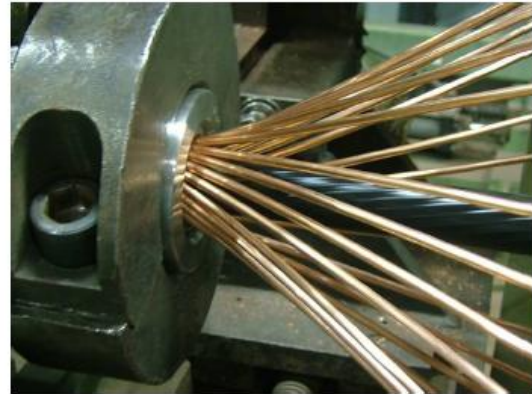
(一)海纜製造流程:1.導體絞合==2.三層押出==3.乾燥去除氣體==4.鉛合金遮蔽押出  
==5.回流導體組合==6.HDPE 墊層押出==7.海纜 Factory 接續  
==8.光纖單元組合==9.鍍鋅鋼線鎧裝及墊層==10.出廠試驗



(二)99.9%之銅圓壓縮絞合成導體之製程

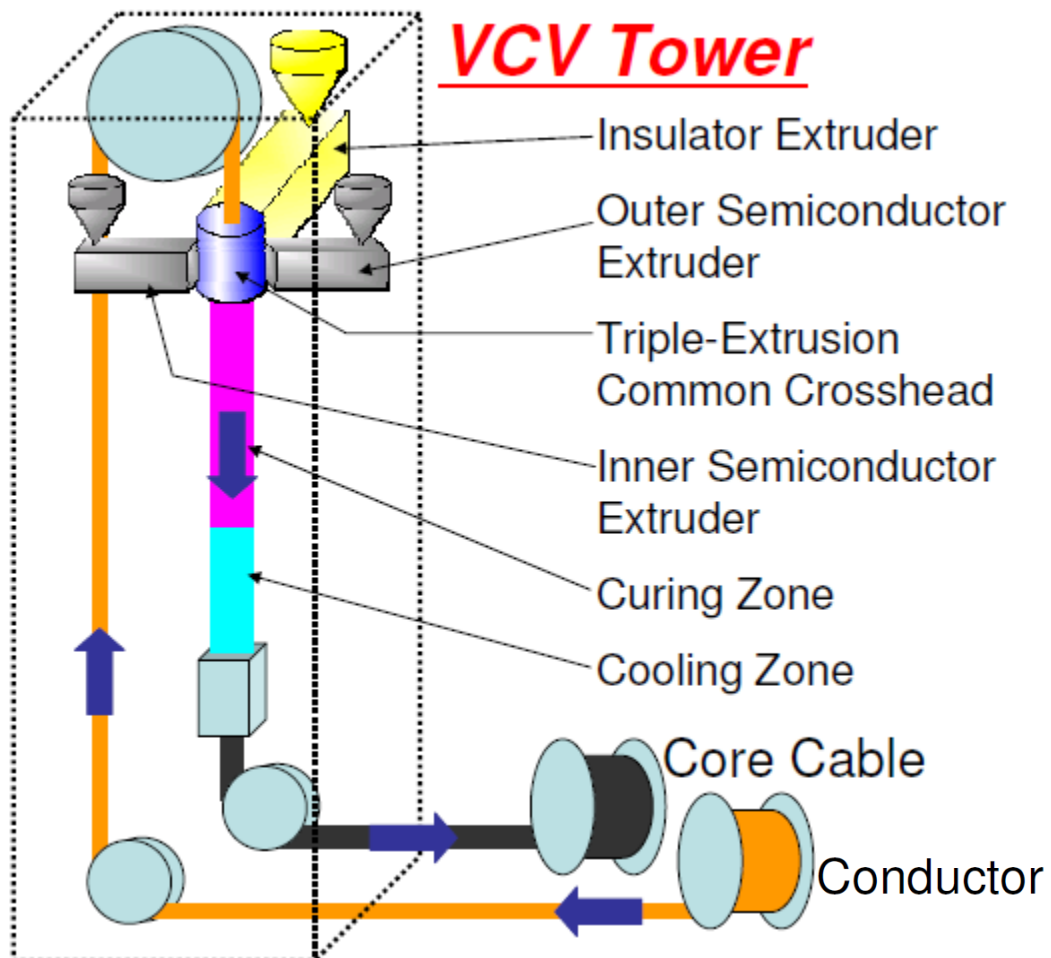


Stranding Line



Dies

(三)三層押出(含導體遮蔽層、絕緣體及絕緣體遮蔽層)採垂直塔(VCV Tower)之製程

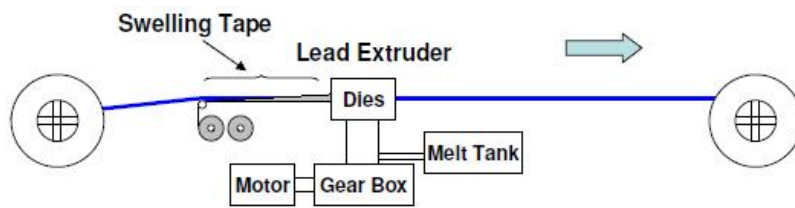


(四)置入乾燥式乾燥並去除交連 PE 層產生之氣體

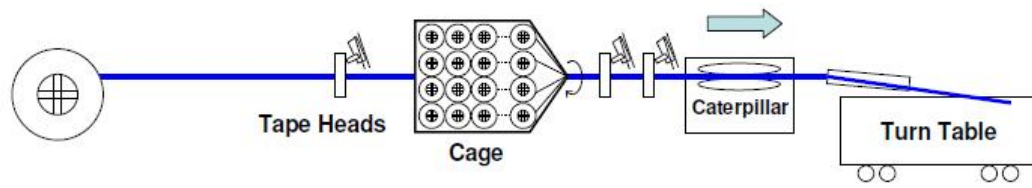


Drying Room

(五)鉛合金遮蔽層押出及膨脹止水帶之製程



(六)回流導體層及墊層之製程

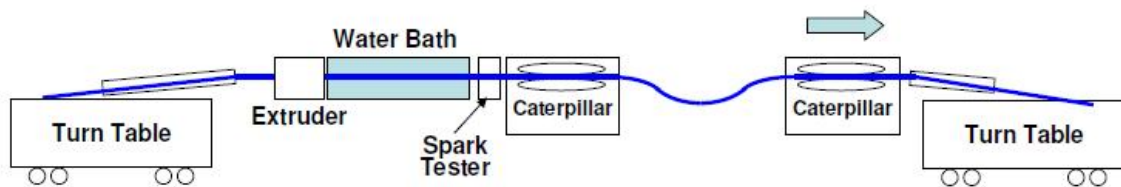


Tape Head

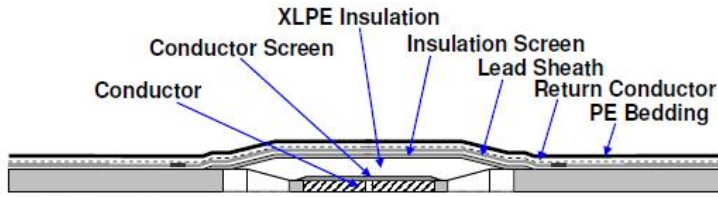


Return Conductor

(七)PE 押出型墊層之製程



(八) 海纜 Factory 接續之程序及交流耐壓(AC High Voltage Test)



< Jointing Process >

- 1) Conductor Jointing by Soldering
- 2) Applying of Conductor Screen (Tape Mold or Tube)
- 3) Molding of Insulation (Tape) & Insulation Screen (Tube)
- 4) Verification of Molding by X-Ray
- 5) Wrapping of Swelling Tape
- 6) Swaging of Lead Tube & Welding with Lead Sheath
- 7) Applying of Return Conductor & Welding
- 8) Applying of Heat Shrinkable Tube & Sealed

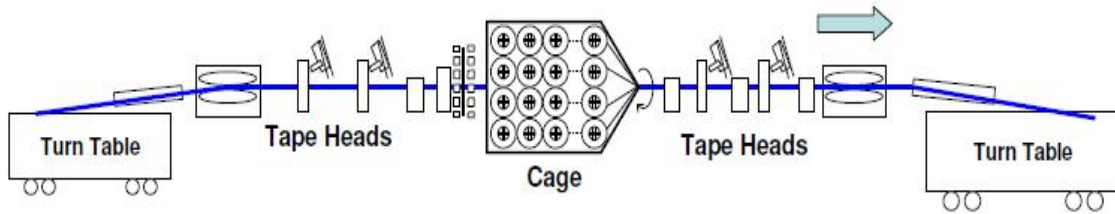


Conductor Jointing (Soldering)

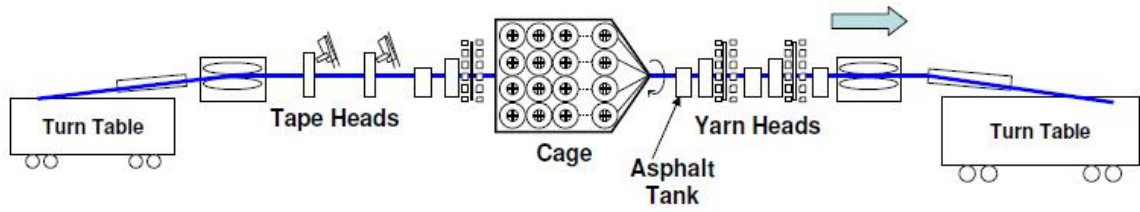


Molding of Insulation

(九) 光纖單元組合之製程



(十) 鍍鋅鋼線鍍裝及鍍裝墊層之製程



(十一) 常態性試驗及 OTDR 量測





## (十二) 海纜之運裝程序



## (十三) 海纜之繞捲試驗及彎曲抗張測試



### 三、簡述台灣~澎湖 161kV XLPE 海底電纜(含器材)定型試驗

定型試驗可計畫於電纜製造廠或獨立實驗室進行，其結果應符合本公司契約規範、IEC 60840 及 CIGRE Electra 171 之相關規定，定型試驗過程需由立約商依規範所列之獨立實驗室中選定日本中央電力(CRIEPI, Japan)試驗室見證認可。

#### 1. 161kV XLPE海底電纜及附屬器材定型試驗電氣回路示意圖：

電氣定型試驗回路示意如圖 2 所示。電氣定型試驗順序係根據 IEC 60840 及 CIGRE Electra 171 之內容辦理。

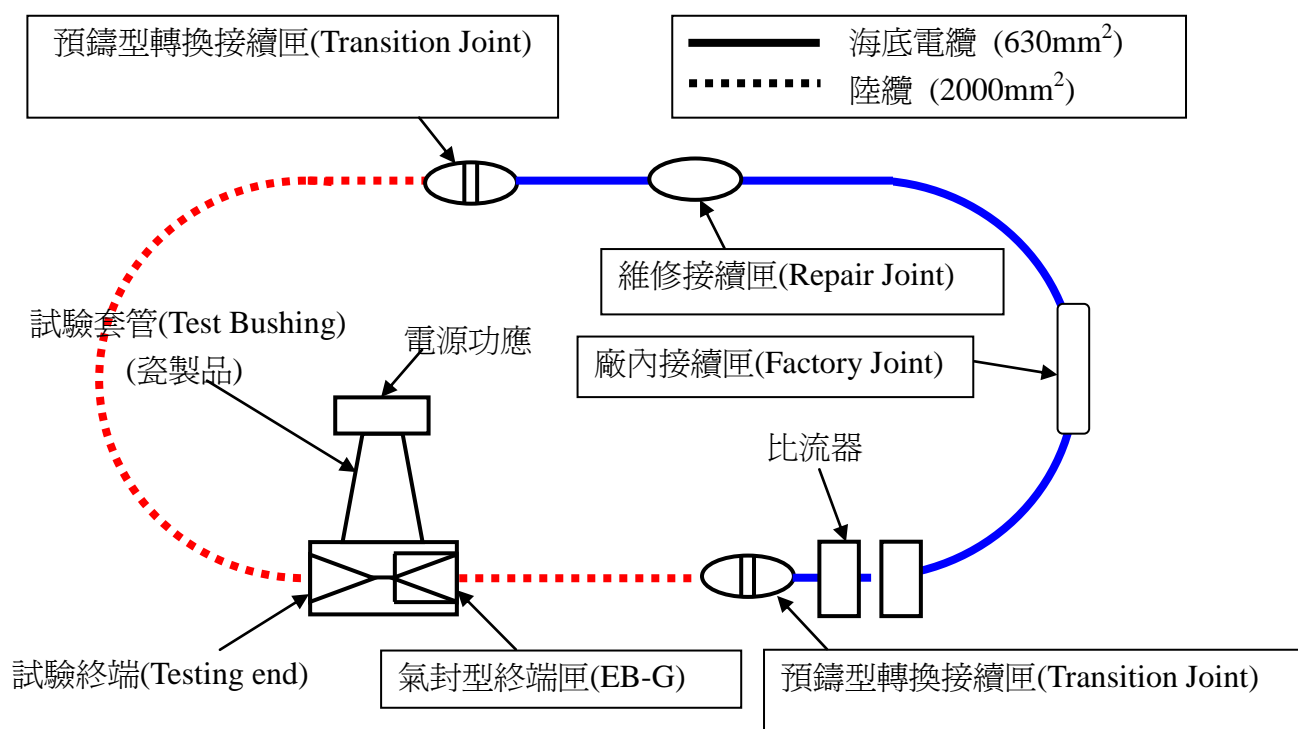


圖2. 電氣定型試驗回路示意圖

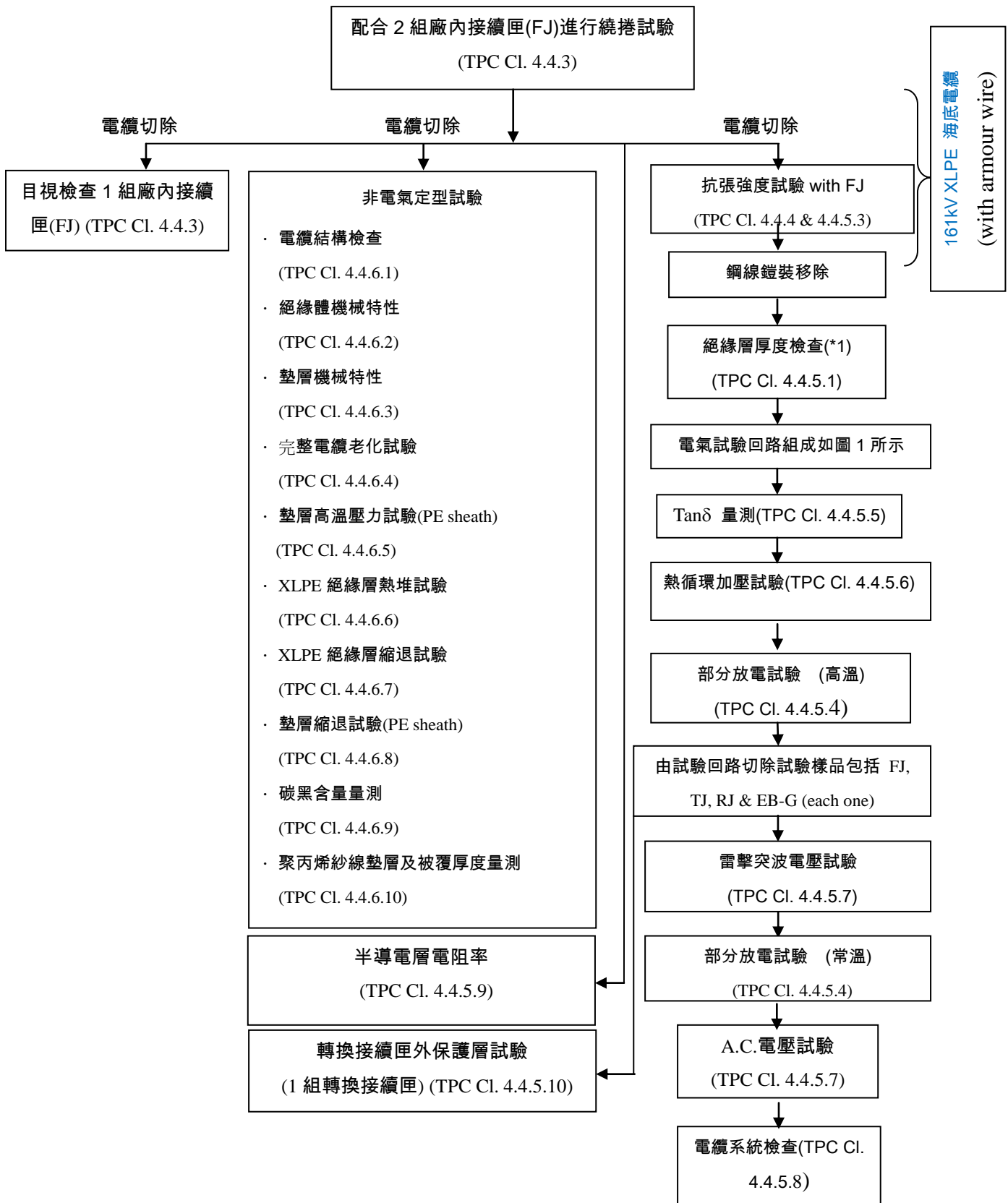
## 2. 定型試驗使用之電纜及器材規格數量：

項次	項目	規格	數量
1	海底電纜 (Submarine Cable)	161kV 1x630mm <sup>2</sup> (製造廠 ; JPS)	Approx. 36m
2	陸纜 (Land Cable)	161kV 1x2000mm <sup>2</sup> (製造廠 ; 華新)	Approx. 24m
3	氣封型電纜終端匣 (IEC-60859 Type)	SF6 氣封型終端匣(EB-G) (製造廠 ; 聯友機電)	1
4	轉換接續匣 (Transition Joint)	預鑄型絕緣接續匣 (製造廠 ; JPS)	2
5	維修接續匣 (Repair Joint)	橡膠止水接續匣 (製造廠 ; JPS)	1
6	廠內接續匣 (Factory Joint)	(製造廠 ; JPS)	1

## 3. 海纜定型試驗前準備作業

項次	項目	備註
1	試驗樣品製造	詳海底電纜之製程簡介
2	繞捲及彎曲抗張試驗	詳海纜電氣(繞捲及彎曲抗張)定型試驗 項目及規範標準
3	試驗回路組成	詳圖 2.電氣定型試驗回路示意圖
4	電氣定型試驗	詳海纜電氣(繞捲及彎曲抗張)定型試驗 項目及規範標準
5	非電氣定型試驗	詳非電氣定型試驗項目及程序
6	報告整理	

#### 4. 海纜定型試驗程序



## 5. 海纜電氣(繞捲及彎曲抗張)定型試驗項目及規範標準

項次	試驗項目	參照之規範標準	合格標準
a	繞捲試驗 (TPC Cl. 4.4.3)	依據 CIGRE Electra No.171 第 2.1 節, 包括 2 個廠內接續匣。 繞捲直徑：於試驗電纜製造後決定 捲繞圈數：8 圈 繞捲操作次數：3 次 註 1) 本試驗僅應用於如果電纜於運送或安裝時有繞捲情形。 註 2) 樣品取自電纜中間部份，包括一個廠內接續匣，必須通過目視檢查	a) 強化膠帶無斷裂 b) 導體或金屬鎧裝無永久變形
b	彎曲抗張試驗 (TPC Cl. 4.4.4 & 4.4.5.3)	依據 CIGRE Electra No. 171 第 2.2 節，包括 1 個廠內接續匣。 抗張彎曲次數：3 次 試驗張力：Min.81.4kN 試驗張力 (T) 計算如下： $T = (1.3 \times w \times d + H) \times 9.8 \div 1000 \text{ (kN)}$ 其中， w：電纜在海水中重量 (=41kg/m) d：水深 (=135m) H：H = 0.2 × w × d	於彎曲抗張試驗後，本電纜樣品將被送交進行後續電氣試驗
-	<b>電氣定型試驗回路構成及附屬器材組合</b>		
c	Tanδ 量測 (TPC Cl. 4.4.5.5)	依據 IEC60840 第 12.3.5 節規定 外加電壓：93kV 導體溫度：95-100°C 註) 依據技術規範 I 4.4.5.5 節之規定本試驗可能在不同的電纜樣品上進行	Max. 0.001
d	熱循環加壓試驗 (TPC Cl. 4.4.5.6)	依據 IEC60840 第 12.3.6 節規定。 外加電壓：186kV 熱循環導體溫度：95-100°C (至少 2 小時) 冷熱循環周期次數：20 次	絕緣無斷裂或無閃絡發生
e	部分放電試驗 (TPC Cl. 4.4.5.4)	依據 IEC60840 第 12.3.4 節 於常溫及 95-100°C 導體溫度下以 140kV 加壓 註) 本試驗可能在雷擊突波電壓試驗後進行	Max. 5pC
f	雷擊突波電壓試驗 (TPC Cl. 4.4.5.7)	依據 IEC60840 第 12.3.7 條規定。 外加突波電壓：±750kV 導體溫度：95-100°C 衝擊次數：10 正電壓 & 10 負電壓	絕緣無斷裂或無閃絡發生
g	部分放電試驗 (TPC Cl. 4.4.5.4)	依據 IEC60840.第 12.3.4 條 於常溫下以 AC 140kV 加壓	Max. 5pC

h	交流電壓試驗 (TPC Cl. 4.4.5.7)	依據 IEC60840 第 12.3.7 節辦理。 外加電壓：186kV 連續 15 分鐘	絕緣無斷裂或無閃絡發生
i	電纜系統檢查 (TPC Cl. 4.4.5.8)	依據 IEC60840 第 12.3.8 節。	無電氣退化、漏電、腐蝕或有損的縮退等現象
j	轉換接續匣外保護層試驗 (TPC Cl.4.4.5.10)	電壓試驗依據 IEC60840,附錄 H.4.2 外加 DC 電壓：20kV 連續 1 分鐘 外加突波電壓：75kV 加在絕緣層 ：32.5kV 加在外保護層	絕緣無斷裂或無閃絡發生
k	半導體遮蔽層電阻率 (TPC Cl. 4.4.5.9)	依據 IEC6084 第 12.3.9 節辦理 周圍溫度：90°C±2°C	導體遮蔽層； Max.1000Ω m 絕緣遮蔽層；Max. 500Ω m

註 1) 在電氣定型試驗之前(項次 c：部分放電試驗)，電纜之緣厚度必須被量測。如果絕緣厚度超過標稱值 5%但未達 15%，則試驗電壓應予調整以使導體遮蔽層之電壓應力符合標準條件下的規定。

註 2) 為精確控制溫度，本項電氣試驗須在電纜未裝設鋼線鎧裝情形下完成。由於鋼線鎧裝會產生很大的熱量，在電纜裝設鋼線鎧裝情形下將無法精確控制溫度。導體溫度需利用相同電流條件之模型電纜加以量測。

註 3) 在熱循環電壓試驗後，電纜樣品包括廠內接續匣、轉換接續匣、維修接續匣及 EB-G，可能被切除，以適合在不同的試驗室進行後續尚未完成之電氣試驗。因為雷擊突波試驗係在長期老化試驗場地之外進行。前述試驗將在試驗室內進行，故包括 FJ, TJ, RJ, EB-G 須由試驗回路上切除，以便可移入試驗室內進行試驗。

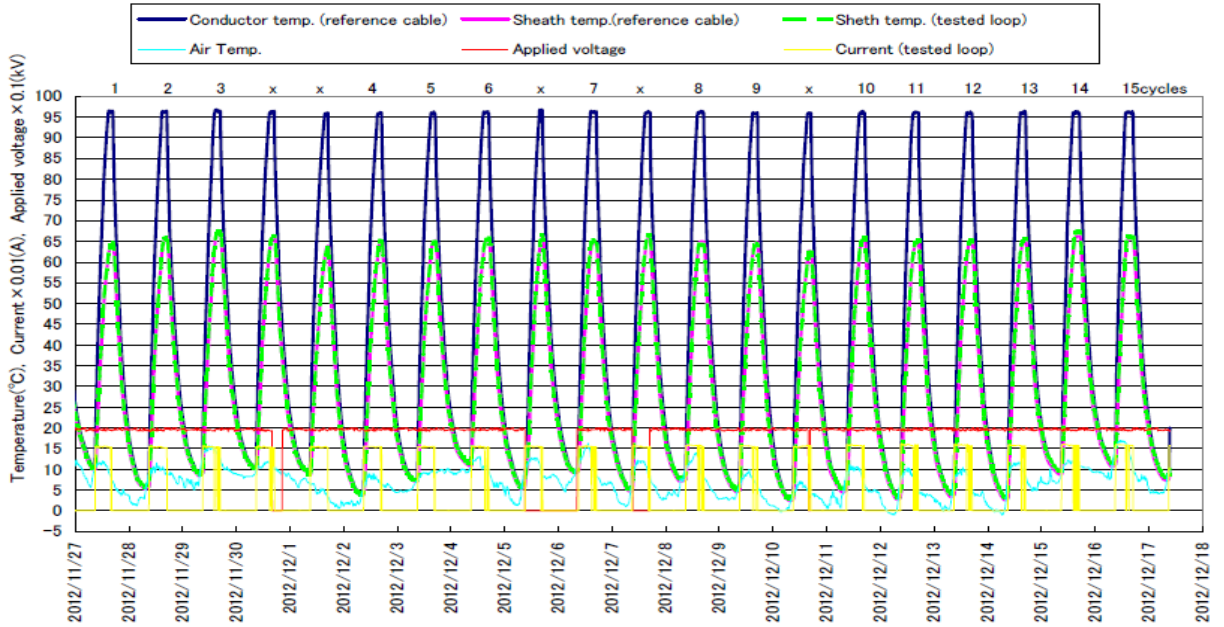
熱循環試驗海纜長度約為 36 公尺，陸纜長度約為 24 公尺，雷擊突波電壓試驗樣本依據 IEC60840 第 12.2 項規定，至少為 10 公尺(不含附屬器材長度)，附屬器材間之電纜長度至少應為 5 公尺。

## 6. 非電氣定型試驗項目及程序

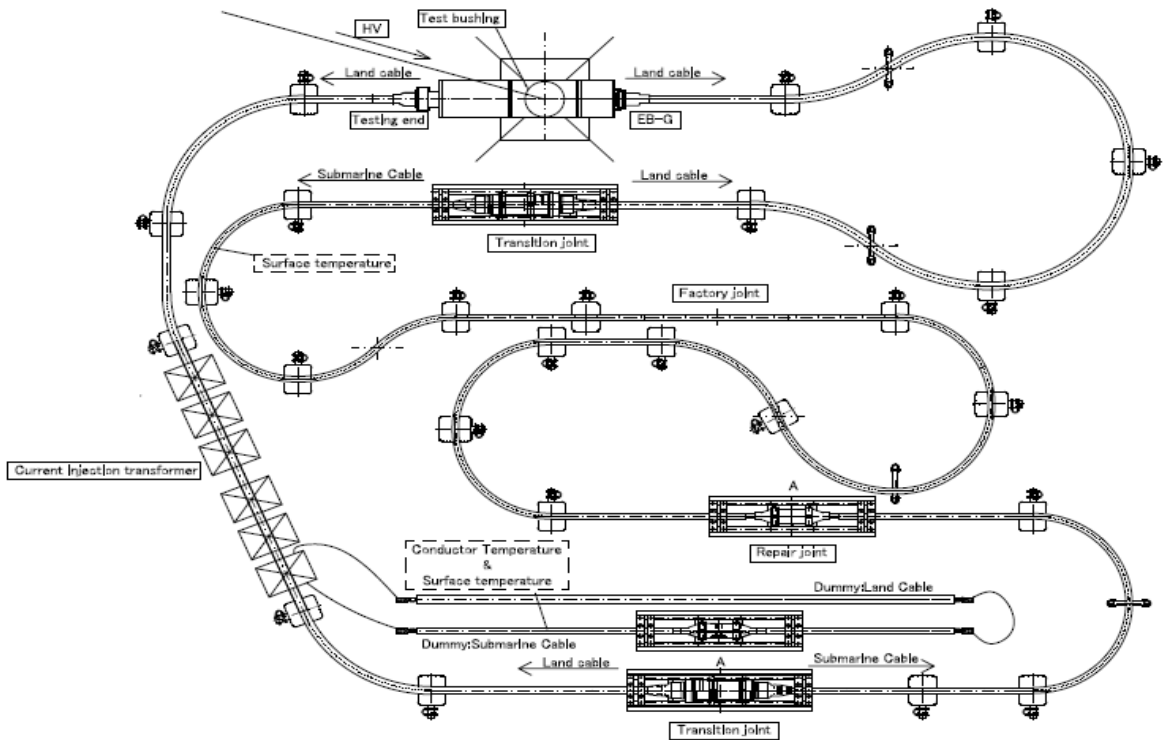
項次	試驗項目	參照之規範標準	合格標準
a	電纜構造之確認 (TPC Cl. 4.4.6.1)	依據 IEC60840 第 12.4.1 節	依據 No. JSP23-X1865 規範值
b	絕緣層機械特性 (TPC Cl. 4.4.6.2)	依據 IEC60840 第 12.4.2 節	老化試驗前 最小抗張強度：12.5N/mm <sup>2</sup> 最小拉斷延展率：200% 以 135°C±3°C 進行 7 天老化試驗後 抗張強度最大變化量：±25% 拉斷延展性最大變化量：±25%
c	墊層機械特性 (PE sheath) (TPC Cl. 4.4.6.3)	依據 IEC60840 第 12.4.3 節	老化試驗前 最小抗張強度：12.5N/mm <sup>2</sup> 最小拉斷延展率：300% 以 110°C±2°C 進行 10 天老化試驗後 最小拉斷延展率：300%
d	整卷電纜取樣 老化試驗 (TPC Cl. 4.4.6.4)	依據 IEC60840 第 12.4.3 節	以 100°C±2°C 進行 7 天老化試驗後 絕緣層 抗張強度最大變化量：±25% 拉斷延展性最大變量：±25% 墊層 最小拉斷延展率：300%
e	墊層高溫壓力 試驗 (PE Sheath) (TPC Cl. 4.4.6.5)	依據 IEC60840 第 12.4.6 節 溫度：110°C±2°C	最大 PE 被套厚度減低率：50%
f	XLPE 絕緣熱堆 試驗 (TPC Cl. 4.4.6.6)	依據 IEC60840 第 12.4.10 節 溫度：200°C±3°C, 加載時間：15min. 機械應力：20N/cm <sup>2</sup>	加載最大延展率：175% 冷卻後最大永久延展率：15%
g	XLPE 絕緣縮 退試驗 (TPC Cl. 4.4.6.7)	依據 IEC60840 第 12.4.13 節 溫度：130°C±3°C, 持續時間：6 小時	最大允許縮退量：4%
h	墊層縮退試驗 (PE Sheath) (TPC Cl. 4.4.6.8)	依據 IEC60840 第 12.4.14 節 溫度：80°C±2°C, 持續時間：5 小時 x 5 cycles	最大允許縮退量：3%
i	碳黑含量量測 (TPC Cl. 4.4.6.9)	依據 IEC60840第12.4.12節	碳黑含量：2.5%±0.5%
j	聚丙烯紗線墊 層及被覆層厚 度量測 (TPC Cl. 4.4.6.10)	依據 IEC60840第10.6.3節	墊層Min. 1.18mm 被覆Min. 2.45mm

#### 四、器材定型試驗及品質查證紀實

##### 1. 熱循環試驗(Heating Cycles)之有效週期統計



##### 2. 熱循環試驗(Heating Cycles)之加溫及測試連接示意圖





### 3.海纜構造検査(Construction Check)

#### Check of cable construction

(1) Test Detail

a) Date of test : Dec. 19, 2012

b) Place of test : Hitaka works

(2) Applicable Standard : TPC Cl. 4.4.6.1 (Clause 12.4.1 of IEC60840)

(3) Test Result : Satisfactory

Item		Unit	Spec. Value	Measurement Value
Conductor	Shape	-	Compact round stranded with water-tight sealing compound	Compact round stranded with water-tight sealing compound
	Overall diameter	mm	Approx. 30.0	30.63
Thickness of conductor shielding		mm	Min. 0.85	1.00
			Max. 1.7	1.30
			Min. 15.3 ( $T_{min}$ )	16.80
Thickness of XLPE insulation		mm	Max. — ( $T_{max}$ )	17.60
			— ( $(T_{max} - T_{min}) / T_{max} \leq 0.15$ )	0.05
Thickness of insulation shielding		mm	Approx. 1.0	1.32
Thickness of water-block swelling layer		mm	Approx. 0.8	0.75
Thickness of lead alloy sheath		mm	Min. 3.04	3.11
Return conductor	Width of copper flat wire	mm	Nom. 9.0	9.0
	Thickness of copper flat wire	mm	Nom. 2.0	2.0
	Number of copper flat wire	mm	23	23
	Overall diameter	mm	Nom. 82.0	82.0
Thickness of binder tape		mm	Approx. 0.5	0.47
Thickness of polyethylene extruded bedding layer		mm	Min. 3.73	4.58
Thickness of bedding layer		mm	Approx. 0.25	0.22
Optical Fiber Unit	Type & Number of optical fiber	-	SM x 10cores, GI x 2cores	SM x 10cores, GI x 2cores
	Inner dia. of stainless steel tube	mm	Approx. 1.4	1.46
	Overall dia. of stainless steel tube	mm	Approx. 1.8	1.85
Overall dia. of unit		mm	Approx. 5.0	4.95
Separation spacer	Overall dia. of spacer	mm	Approx. 5.0	5.03 × 43
Thickness of polypropylene yarn bedding		mm	Min. 1.18	1.60
Diameter of armour wire (1st layer)		mm	Nom. 8.0	8.02 × 40
Thickness of polypropylene yarn bedding		mm	Min. 1.18	1.70
Diameter of armour wire (2nd layer)		mm	Nom. 6.0	5.97 × 64
Thickness of polypropylene yarn serving		mm	Min. 2.45	2.65
Overall diameter of Cable		mm	Approx. 146	142.6
Net weight of cable in air		kg/m	Approx. 58	-

(4) Test Equipments

Equipment	Manufacturer	No.	Expiry date of calibration
Calipers	Mitsutoyo	JQ-3	Oct.31.2013
Micrometer	Mitsutoyo	JQ-4	Jun.31.2013
Micrometer	Mitsutoyo	JQ-6	Jun.31.2013
Microscope	Peak Loupe 10 ×	JQ-7	Jun.31.2013
Microscope	Peak Loupe 60 ×	JQ-3	Jun.31.2013
Diameter Tape	TOKYO	JQ-6	Jun.31.2013

#### 4. Tanδ 量測之查證

### Electrical type test

#### Tan δ measurement

(1) Applicable Standard : TPC Cl. 4.4.5.5 (Clause 12.3.5 of IEC60840)

(2) Test Detail

- a) Date of test : Nov. 15, 2012
- b) Place of test : Hitaka works
- c) Tested length : 60m
- d) Conductor temp. : 95.4°C
- e) Test voltage : 93kV
- f) Test requirement : Max 0.001 at conductor temperature 95-100°C


(3) Test Result

Satisfactory ( 0.00008 ( 0.008% ) )

(4) Test Equipments

Equipment	Manufacturer	No.	Expiry date of calibration
Voltage meter	YOKOGAWA 2013	3SHOU108	Aug. 31, 2013
Temperature Recorder	YOKOGAWA DR230	28-39396	Mar. 31, 2013
Schering Bridge	SOKEN	X6-000076	Sep. 30, 2013

Witnessed by

  
T. Hayajama  
J-POWER SYSTEMS

  
Takashi Kuraishi  
CRIEPI

Witnessed by

  
Takashi Kuraishi  
CRIEPI

## 5. 半導電遮蔽層電阻率量測之查證

### Electrical type test

### Resistivity of Semi-conducting screens

(1) Applicable Standard : TPC Cl. 4.4.5.9 (Clause 12.3.9 of IEC60840)

(2) Test Detail

- a) Date of test : Nov. 15, 2012
- b) Place of test : Hitaka works
- c) Ambient temperature :  $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- d) Test requirement : Max.  $1000 \Omega\text{m}$  for conductor screen  
Max.  $500 \Omega\text{m}$  for insulation screen

(3) Test Result      Satisfactory

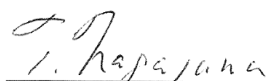
Unit:  $\Omega\text{m}$

Item	Measurement Value
Conductor screen	147.53
Insulation screen	2.45

(4) Test Equipments

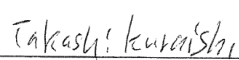
Equipment	Manufacturer	No.	Expiry date of calibration
Multimeter	ADVANTEST R6451A	1shou-36	Aug.31,2013
Multimeter	YOKOGAWA 7555	JQ-6	Aug.31,2013
Temperature Recorder	YOKOGAWA	1shou-10	Apr.31,2013

Witnessed by

  
T. Kojima  
J-POWER SYSTEMS

  
Takashi Kuroishi  
CRIEPI

Witnessed by

  
Takashi Kuroishi  
CRIEPI

## 6. 半導電遮蔽層電阻率量測之查證

### Electrical type test

#### Insulation thickness examination

(1) Applicable Standard : TPC Cl. 4.4.5.1 (Clause 12.3.1 of IEC60840)

(2) Test Detail

- a) Date of test : Oct. 10, 2012
- b) Place of test : Hitaka works

(3) Test Result

Cable	Item	Insulation thickness for no adjustment test voltage	Unit:mm
			Measurement Value
161kV 1 × 630mm <sup>2</sup> (Manufacturer:JPS)	Insulation thickness	14.45~17.85	17.00
161kV 1 × 2000mm <sup>2</sup> (Manufacturer:華新)		19.55~24.15	22.21

The measured insulation thickness does not exceed the adjustment test voltage value,  
Therefore no adjustment of the voltage is applied.

(4) Test Equipments

Equipment	Manufacturer	No.	Expiry date of calibration
Microscope	Peak Loupe 10 ×	JQ-7	Jun.31,2013

(3) Test Equipments

Equipment	Manufacturer	No.	Expiry date of calibration
Tensile tester	TS-700	HSS-1004	Sep.30,2013
Thermometer	-	2shou-1014	Apr.30,2013
Stop watch	SEIKO	JQ-9	Aug.31,2013
Microscope	Mitsutoyo	06-08885	Oct.31,2013
Scale	-	2shou-37	Jun.31,2013
Scale	-	3shou-6	Jun.31,2013

(4) Test Equipments

Equipment	Manufacturer	No.	Expiry date of calibration
Calipers	Mitsutoyo	JQ-3	Oct.31,2013
Micrometer	Mitsutoyo	JQ-4	Jun.31,2013
Micrometer	Mitsutoyo	JQ-6	Jun.31,2013
Microscope	Peak Loupe 10 ×	JQ-7	Jun.31,2013
Microscope	Peak Loupe 60 ×	JQ-3	Jun.31,2013
Diameter Tape	TOKYO	JQ-6	Jun.31,2013

## 肆、建議事項

- 一、本台澎海纜案為本公司首次辦理之 161KV 輸電級之海上傳輸網路，其整體工作要項，除海纜本身之製造品質外，尚含其他甚多過去本處不曾接觸過之相關工程，例如佈纜之海事工程，總覺得海洋是如此之浩瀚深澀，且處處充滿了無法抗拒之變化，確認及掌控難度相當高，目前僅能透過各類儀器之監測。精確的海域調查(底床剖面、磁力探測調查、側掃聲納測量及多音束水深測量)、佈設路徑海岸間之海域資料之蒐集(包括海、氣象資料、海域地層(有否斷層)資料、作為海纜路線選定(海纜之上岸點選擇尤其重要)之依據要項。而海纜之佈纜設計及施工作業，則依據上述海域調查及線路選定來辦理，雖契約就本海纜工程之勘測及監測規劃分別採施工前、中、後及保固期間之勘測與監測，已有相當完整之安排。但不論如何，適切確實施工埋設才是將來海纜安全運轉之關鍵要因，故再次強調施工過程務必透過 GPS 定位點 ROV 探勘、攝影或其他有效之勘查方式，確認海底電纜之於各種海域條件之詳實埋設情形，以避免因沖刷或位移損及海纜。
- 二、高壓電力海纜工程，國際中除歐洲國家以外，日本的技術應是相當先進的，且目前已有甚多不同規模之線路完工安全運轉中，實績相當豐富。站在取經學習的角度，應多用心於技術方面學習，主動的發現問題、提出問題，也惟有透過這提問及解答過程當中，才能真正充分的理解及學習。依自己過去與日本立約商之互動經驗，所提問題愈多，學習愈多。職期盼並敦促自己透過此次參與台澎海纜專案之機會，能於契約執行過程多發現問題、提出問題、學習解決方案，同時學習日本立約商面對問題嚴謹以對之處理態度。
- 三、依據立約商先前規劃之電纜定型試驗之計畫排程，因試驗設備(加壓變壓器故障)問題，造成進度些許落後，且受限於出國之年度計畫執行期限，本次前往日本辦理器材定型試驗及品質查證，並無法完整就原希望之各項作業辦理查證，謹就上

述之查證內容提出報告，至於無法查證之項目已移轉監造單位台灣世曦協助辦理，且海纜相關之生產製造及定型試驗依約均須由 A 級公證公司及獨立第三試驗機構見證，故並不影響海纜試驗及製造品質。

四、本次出國之另一收穫，除較深入了解海纜結構之各項製程外，再次見識國際之電力電纜領導廠商之一的國際大廠(J-Power-Systems)，不論就試驗設備場地、超高壓試驗設備之容量、生產線、生產產品項目、物性或化性之試驗室及試驗設備、三層押出設備 VCV Tower 及港口運輸等，本契約立約商之生產工廠規模遠大於台灣當地的電纜製造廠，結合以上所述之海纜器材及海事佈纜施工等面向，審慎用心精確落實契約所訂之各項作業，必能圓滿順利完成台灣~澎湖 161kV 海纜線路。