

行政院及所屬各機關因公出國報告  
(出國類別：開會)

赴美國參加 EPRI 舉辦之「Program 36 -  
Underground Transmission Task Force  
Meeting」出國報告

服務機關：台灣電力公司

服務單位：嘉南供電區營運處

台中供電區營運處

出國人員：

單位	姓名	職稱
嘉南供電區營運處	謝鋒勳	處長
台中供電區營運處	張模基	經理

派赴國家：美國

出國期間：101 年 9 月 24 日至 101 年 9 月 30 日

報告日期：101 年 11 月 12 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加 EPRI 舉辦之「Program 36 - Underground Transmission Task Force Meeting」

頁數 29 含附件  是  否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

謝鋒勳	台灣電力公司	嘉南供電區營運處	處長	06-6563711
張模基		台中供電區營運處	經理	04-23335627

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：開會

出國期間：101 年 09 月 24 日至 101 年 09 月 30 日 出國地區：美國

報告日期：101 年 11 月 12 日

分類號／目

關鍵詞：美國電力研究院 (EPRI)，美國紐約市，押外型介電質電纜，高壓鋼管型充油電纜，交連 PE (XLPE) 電纜

內容摘要：

- 一、本次參加 EPRI 邀請各地會員於美國紐約市舉行之「Program 36 - Underground Transmission Task Force Meeting」(P36 地下輸電線工作成果會議)，會議討論主題有地下輸電系統之設計、施工及運轉、押外型介電質電纜系統、纏繞型介電質電纜系統、電纜動態額定及增加電力潮流指引、超導體技術之發展及部署與地下輸電線教育研討會等，對地下電纜技術、現有維護運轉問題及未來計畫發展等議題進行討論，確有助於規劃輸電電纜運轉與維護工作。
- 二、本公司交連 PE 電纜約於民國 71 年底起開始陸續加入系統，先加入運轉者已接近原預估使用 30 年壽命，惟業界對 XLPE 電纜尚無有效之方法供判斷其絕緣性能作為汰換準則，由於地下電纜事故所需修復時間較長，故對此項之發展亦應特別關心，必要時亦可建議 EPRI 列入研究重點項目及加速辦理。

# 赴美國參加 EPRI 舉辦之「Program 36 - Underground Transmission Task Force Meeting」出國報告

## 目 錄

	頁數
壹、出國目的-----	1
貳、出國行程-----	1
參、會議概要-----	2
肆、會議內容概述-----	7
一、會議目的-----	7
二、2012 年 P36 研究案內容-----	8
三、2013 年 P36 研究案內容-----	14
四、LADWP 專題:介紹該公司近期輸電系統工程及計畫-----	20
伍、工廠參觀-----	23
陸、綜合結論-----	24
柒、心得及建議-----	28

# 赴美國參加 EPRI 舉辦之「Program 36 - Underground Transmission Task Force Meeting」出國報告

## 壹、出國目的

### 一、出國動機

本案係依據 100 年度 EPRI CF 017490-19764(Project ID No.072730)契約書辦理。「Program 36-Underground Transmission Task Force Meeting」(P36 地下輸電線工作成果會議)訂定於 2012 年 9 月 25~27 日於美國紐約市舉行，EPRI 邀請各地會員參與討論及交流，就地下電纜創新技術、軟體應用及未來計畫發展藍圖等議題進行研討，為能充分運用會員權益並觀摩 EPRI 及電力業界有關地下電纜創新技術及未來計畫發展，裨益本公司輸電電纜運轉與維護工作，故而派員出國參加會議。

### 二、出國人選及計劃

本出國計畫奉派由嘉南供電區營運處謝鋒勳處長及台中供區營運處張模基經理等 2 名，赴美國紐約市參加為期三日之開會。

### 三、出國預算

本次出國預算(保險及出國手續費除外)由 EPRI P36A Set-aside fund 項下支應(已經 EPRI 同意)。保險及出國手續費依人力資源處通知於本公司國外旅費-輸電預算下列支。

## 貳、出國行程

本出國計劃，自 101 年 09 月 24 日起，至 101 年 09 月 30 日止，前後為期共計 7 天。詳細行程如下表一：

表一：赴美國參加 EPRI 舉辦之「Program 36 Underground Transmission Task Force Meeting」行程表

日期	天數	起訖地點	活動內容
09 月 24 日	1	台北→美國紐約市	往程
09 月 25~27 日	3	紐約市	開會
09 月 28~30 日	3	紐約市→洛杉磯→台北	返程

## 參、會議概要

- 一、主題：EPRI Underground Transmission Task Force  
(美國電力研究院地下電纜專案小組)
- 二、會議時間：2012年9月25~27日
- 三、主辦機構：EPRI 及美國紐約市 Consolidated Edison 公司 (圖1)
- 四、地址：4 Irving Place, New York, NY 10003
- 伍、參加機構：P36 研究案工作小組之成員 (如下表及圖2)

No.	P36研究案工作小組機構/公司
1	Arkansas Electric Cooperative Corp.
2	CenterPoint Energy
3	Central Hudson Gas & Electric Corp.
4	Consolidated Edison, Inc.
5	Detroit Edison
6	Great Plains Energy
7	Great River Energy
8	Hawaiian Electric Company, Inc.
9	Hetch Hetchy Water & Power
10	Hoosier Energy Rural Electric Coop., Inc
11	Hydro One Networks, Inc.
12	LG&E and KU Services Company
13	Lincoln Electric System
14	Long Island Power Authority (LIPA)
15	Los Angeles Dept. of Water & Power (LADWP)
16	Nebraska Public Power District
17	New York Power Authority
18	PowerSouth Energy Cooperative
19	Salt River Project
20	San Diego Gas & Electric Co.
21	South Carolina Electric & Gas Company
22	Southern Company
<b>23</b>	<b>Taiwan Power Company (本公司)</b>
24	Tri-State Generation and Transmission Assoc.
25	United Illuminating



圖 1： Consolidated Edison 公司

註：美國紐約市 Consolidated Edison 公司為紐約地區一家民營能源公司，其主要業務含電力、瓦斯及蒸氣之供應，其電力約有 330 萬個客戶，服務範圍內約有 930 萬人口。



圖 2：在美國紐約市 Consolidated Edison 公司內部會議室研討會進行情形

#### 六、會議議程

日期：2012 年 9 月 25 日

Time(時間)	Topic (議題)	Presenter (報告人)
8:00 a.m.	Welcome and Introduction (歡迎及介紹)	EPRI
8:10 a.m.	Education Session (講習會) <ul style="list-style-type: none"> <li>● Grounding &amp; Bonding (地下電纜接地)</li> <li>● Condition Assessment of HPPF Cables (高壓鋼管型充油電纜狀況評估)</li> <li>● Overhead vs. Underground issues (架空線路與地下電纜問題)</li> </ul>	EPRI Staff
10:00 a.m.	BREAK (休息)	Catered
10:20 a.m.	Education Session, Cont'd. (續,講習會) UTW software tutorial	EPRI Staff

	(地下電纜檢討程式說明)	
11:00 a.m.	Travel to Okonite factory in Paterson, New Jersey (bus from Con Ed office) (赴Okonite新澤西州電纜工廠參觀)	Okonite
12:00 p.m.	Lunch (午餐)	Okonite
1:30 p.m.	Okonite Presentation (Okonite電纜廠簡報)	Jim Fitzgerald, Okonite
2:00 p.m.	Plant Tour, Okonite cable factory (Okonite電纜工廠參觀)	Okonite
6:00 p.m.	Return from Okonite (bus to ConEd office) (回程)	Okonite

日期：2012年9月26日

Time(時間)	Topic (議題)	Presenter (報告人)
8:30 a.m.	Welcome & Introduction (歡迎及介紹)	Con Edison: TBD Task Force Chairperson: Erich Schoennagel, CenterPoint
9:00 a.m.	P36 - Underground Transmission, Program Status Review (P36地下輸電線方案辦理情形審查)	Steve Eckroad, EPRI
9:30 a.m.	2012 Project Reviews (方案審查) 36.001, 36.002, 36.003, 36.004, 36.005	EPRI Staff: S. Eckroad Tom Zhao

		Bernie Clairmont
10:00 a.m.	BREAK (休息)	
10:30 a.m.	2012 Project Reviews, Cont'd.(續,方案審查) 36.001, 36.002, 36.003, 36.004, 36.005	EPRI Staff
12:00 p.m.	LUNCH (午餐)	Catered
1:00 p.m.	Member Presentations (會員簡報) LADWP (LADWP公司代表) NYPA (NYPA公司代表)	Kishan Kasondra, LADWP Robert Schwabe, NYPA
2:00 p.m.	Project Technical Deep Dive (技術深入探討) Thermo-Mechanical Bending Testing at Charlotte Lab (在Charlotte試驗室進行之溫度 與機械彎曲試驗)	S. Eckroad
3:00 p.m.	BREAK (休息)	
3:30 p.m.	Project Technical Deep Dive (技術深入探討) DTS Application Guide (地下電纜線上測溫系統應用指引)	Bernie Clairmont
4:00 p.m.	Vendor Presentation (廠商簡報) J-Power Systems:(日本電纜公司) - Pipe-type replacement XLPE Cable (鋼管型電纜更換交連PE電纜) - Latest activities in Extra High Voltage DC XLPE Cable (超高壓直流交連PE電纜近展)	Shoji Mashio, Sumitomo
5:00 p.m.	ADJOURN (休會)	

日期：2012年9月27日

Time(時間)	Topic (議題)	Presenter (報告人)
8:30 a.m.	Round Table Discussion (會員討論) What are you working on? Member needs (各會員目前工作內容及需求報告)	Facilitated by Task Force Chair: Erich Schoennagel
10:00 a.m.	BREAK (休息)	
10:30 a.m.	Member Presentation(會員簡報) Corrosion research at Con Edison (腐蝕研究在Con Edison公司)	Adrian Santini, Con Edison
11:00 a.m.	P36 Plans for 2013 (2013年 P36計畫) P36.006 P36.001 - 004	
12:00 p.m.	LUNCH (午餐)	Catered
1:00 p.m.	Member Presentation (會員簡報) Static Feeder Leak Detection System (靜態補油器漏油偵測系統)	Con Edison
2:00 p.m.	Review P36 R&D Roadmap - Future Needs (P36未來研究需要研討)	
3:00 p.m.	Wrap-Up (總結報告)	
3:30 p.m.	ADJOURN (休會)	

## 肆、會議內容概述

### 一、會議目的

本次會議內容為美國電力研究院就其負責之 P36 地下輸電線工作研究案 2012

年辦理成果邀集各地會員討論及交流，並就 P36 研究案於 2013 年擬續研究議題提會說明及討論。

## 二、2012 年 P36 研究案內容

P36研究案分爲36.001、36.002、36.003、36.004及36.005共5大類：

研究案類別編號	主 題	說 明
36.001	地下輸電系統之設計施工及運轉(Design, Construction and Operation of UT Systems)	本研究案針對地下輸電系統之規劃、設計、施工、運轉及維護提供一些方法、指引及資源。
36.002	押出型介電質電纜系統 (Extruded Dielectric Cable Systems)	本研究案針對押出型介電質電纜系統各種性能因素、設計程序及改善檢驗方法提供深入了解，並提供促進此種電纜發展及運轉之技術。
36.003	纏繞型介電質電纜系統 (Laminar Dielectric Cable Systems)	本研究案針對纏繞型介電質電纜系統老化及壽命因素做了解，並提供維持電纜部件良好性能之有效方法、加強其可靠性及管理其壽命之方法與技術。
36.004	電纜動態額定及增加電力潮流指引(Cable Dynamic Rating and Increased Power Flow Guidebook)	本研究案提供科學化參考及訓練資料，使經由地下電纜及整體輸電回路之電力潮流最佳化及增加。它亦提供軟體使電纜系統即時傳輸能力最佳化，可供預期性評估及辦理停電時額定容量研究。
36.005	超導體技術之發展及部署 (Develop and Deploy Superconducting Technologies)	本研究案支持各種超導體電力技術發展市場之硬體說明、宣導重要科技發展資訊及促進所有重要參與者互動。

(一)第一類：36.001 地下輸電系統之設計、施工及運轉(Design, Construction and Operation of UT Systems)含括下列 5 個研究案件：

1. 地下輸電系統之電力安全(Electrical Safety Practices of Underground Transmission Systems)：本案針對工業電力安全問題在接地系統、感應電壓及電流上，將自 2010 開始研究迄今 3 年來已有之結論出版最後技術報告，內容亦將含括電力設備安全之一致性、有效性及發展能力與改善安全方案之確認。
2. 地下輸電系統之保護(Underground Transmission System Protection)：針對地下及混合架空與地下輸電線路系統保護之挑戰與經驗的多年調查，對計算與測量增加複雜性施工配置的地下輸電電纜及回路參數有效方法之發展，中期研究成果將於記錄上更新。
3. 輸電電纜附屬器材施工品管指引(Guide for Specifying Quality Installation of Transmission Cable Accessories)：本研究案係對輸電電纜附屬器材施工及安裝問題做深入了解，俾供附屬器材事故原因之調查，及評估供加入系統與診斷測試之方法及程序、與施工品質檢驗技術。這是一個新的、2 年工作俾產生供輸電電纜附屬器材施工品管指引，2012 年中期研究成果將於記錄上更新。
4. 地下輸電系統工作軟體(UT Workstation: Functional and Technical Enhancements)：繼續 2011 年執行新的項目來計算感應電壓及電流與估算接續人孔之電位升。第 6.1 版地下輸電系統工作軟體(UTW)將於 2012.12 發行並提供會員。
5. 輸電電纜之延放(Pulling of Extruded and Laminar Dielectric Transmission Cables)：針對不同電纜結構、特別是長距離電纜現行及創新的延拉技術(圖 3)、規定及限制之調查。本項成果將納入「美國地下輸電電纜系施工及安裝實務手冊(EPRI Underground Transmission Cable System

Construction and Installation Practices Manual)」中做為附錄及送出更新手冊。



圖 3：電纜施工延放情形

(二)第二類：36.002 押外型介電質電纜系統(Extruded Dielectric Cable Systems)

含括下列 3 個研究案件：

1. 押外型介電質電纜在導管中之熱機械效應模型實驗驗證(Experimental Verification of Thermo-Mechanical (TM) Models for Extruded Dielectric Cables in Ducts and Pipes)：這是一個自 2009 年開始已進行多年之方案，安裝於美國電力研究院夏洛特市(Charlotte)實驗室之管路式交連 PE 電纜裝置所產之效應將被用來證實現有之模型及研究系統設計基礎。2012 年此裝置可以做得到的初次測試結果將記錄於中期研究報告。
2. 更有效的加入系統試驗(More Efficient and Effective Commissioning Tests)：對中壓電力系統使用極低頻(VLF)電源進行現場測試已成為可接受之方法，此技術開始被用來測試較高電壓之輸電電纜系統，針對下列議題之研究結果將提出報告：
  - 對可使用極低頻電源(圖 4)進行高壓電力系統測試發展之最新水準。
  - 使用極低頻電源進行測試，其測試電壓、時間與能力來檢出缺陷之關係。
  - 對輸電系統使用傳統共振測試設備執行部份放電量測與極低頻兩者間之關係，此一新的 2 年研究方案結果將被記錄於中期研究報告。



圖 4： 200kV 極低頻耐壓暨部分放電測試車

3. 押出型介電質輸電電纜系統之先進感應器及檢驗技術 (Advanced Sensors and Inspection Techniques for Extruded Dielectric Transmission Cable Systems)：先進感應器及監視技術對運轉中之電纜系統情況檢測的研究與發展，自 2010 年開始，此多年研究案將包括在主辦機構之電力設備回路現場測試來評估商業診斷技術及決定研究需要，最新結果將被記錄於中期研究報告。

(三)第三類：36.003 纏繞型介電質電纜系統(Laminar Dielectric Cable Systems)

含括下列 3 個研究案件：

1. 纏繞型介電質電纜系統於送電及停電中情形評估新技術(New Techniques for On-line and Off-line Condition Assessment of Laminar Dielectric Cable Systems)：自 2011 年開始對纏繞型介電質電纜系統情形做連續性評估及新技術之特性描述，技術包括於送電及停電中。送電中評估包括使用感應器、遙測裝置及易於電纜系統即時監測之必要通訊，最新結果將被記錄於中期研究報告。
2. 鋼管型電纜系統之腐蝕影響及預防(Corrosion Effects and Prevention in Pipe-Type Cable Systems)：自 2011 年開始使用美國電力研究院設於

夏洛特市(美國北卡羅來納州)最先進的鋼管型電纜(圖5)腐蝕實驗室展開連續多年研究案。此研究將引導深入了解在老舊鋼管上塗層消失、腐蝕產生及速率與環境(內在及外在因素)之關連，及改進對鋼管型電纜系統腐蝕偵測及預防方法。

3. 纏繞型介電質電纜系統情形評估技術指引(Guide to Condition Assessment Techniques for Laminar Dielectric Cable Systems)：這是一個根據最新工業知識之情形評估技術對廣受引用且美國電力研究院已發行之指引做更新，各種技術如消散因素及油中氣體分析之硬體、應用及其限制情形將被討論。



圖 5：鋼管型電纜斷面(鋼管內為纏繞型介電質電纜)

(四)第四類：36.004 電纜動態額定及增加電力潮流指引(Cable Dynamic Rating and Increased Power Flow Guidebook) 含括下列 3 個研究案件：

1. 增加電力潮流指引(Increased Power Flow Guidebook - 2012)：「增加電力潮流指引」將依最科學及最佳範例之新內容在既設回路增加及最佳化的電力潮流持續性擴編，針對地下電纜之議題含管路式電纜之強制冷卻及放緩絕緣油循環、超導體電纜狀況更新彙編、耐腐蝕熱管路的擴展研討、以控制損壞及更新設備弱點來增加電力潮流方法指引、有效載流容量之方法及其他被美國電力研究院會員工作小組所建議之議題。一個增加電力潮流精靈(Increased Power Flow Wizard 2.2)將包含在指引內構成一套工

具。

2. 輸電額定容量工作軟體(Transmission Ratings Workstation (TRW) 1.0) :  
輸電額定容量工作軟體將於 2012 年發行，此將包含美國電力研究院的動態熱回路額定軟體(Dynamic Thermal Circuit Rating software)及其他同項目之額定相關軟體單元，此項軟體被設計來執行對地下電纜及整體輸電回路進行額定研究、評估及最佳化靜態額定、即時額定及額定預估。
2. 電纜額定的線上溫度感應器之規範及應用 (Specifications and Applications for Distributed Temperature Sensing for Cable Ratings) : 這一技術研究將提供記錄使用在地下電纜額定應用線上溫度感應器技術演進情形，議題內容將包括系統型式、不同系統之好與壞、如何運作、製造商是誰、費用及隱藏的費用是多少、如何施工、使用上有何困難、精確度及速度、資料如何完整傳至 SCADA(supervisory control and data acquisition)，及額定方案、維護問題、預期可靠性、遙測技術及資料庫、安全問題、詮釋結果及其他更多項目。

(五)第五類：36.005 超導體技術之發展 (Develop and Deploy Superconducting Technologies)

1. 高溫超導電纜、故障電流限制器及電力設備-技術觀察(HTS Cables, Fault Current Limiters & Power Equipment - Technology Watch) : 高溫超導電力設備之系列觀察報告年度演進情形，此報告記錄世界各地實地試驗方案之結果及對工程師及經理人員提供類似指導教育以追蹤此一科技。
2. 超導體電力設備之投資者研討會 (Stakeholder Workshop on Superconducting Power Equipment) : 超導體電力設備之投資者研討會、包括電力設備、設備供應商、標準委員會成員及公共/私人研究機構。美國電力研究院將尋找贊助本項工作研究基金組織(例如國家的機構)並共

同辦理研討會，此研討會將對超導體電力傳輸技術專注在提提升商業化介紹，一個或多個議題將從下列研究問題中被選出：增進了解及定義設備之設計與測試（圖 6）規定、對商業項目之發展發行指引以協助早日證明此項投資是正確的、及公用事業人員之教育。



圖 6：超導體試驗場

### 三、2013 年 P36 研究案內容

2013 年 P36 研究案分為 36.001、36.002、36.003、36.004 及 36.006 共 5 大類，其中 36.001、36.002、36.003、36.004 之主題與 2012 年相同，其子研究案略有增減，原 36.005 則改列為補充研究案，並增加 36.006 研究案：

研究案類別編號	主題	說明
36.001	地下輸電系統之設計施工及運轉 (Design, Construction and Operation of UT Systems)	本研究案針對地下輸電系統之規劃、設計、施工、運轉及維護提供一些方法、指引及資源。
36.002	押出型介電質電纜系統 (Extruded Dielectric Cable Systems)	本研究案針對壓出型介電質電纜系統各種性能因素、設計程序及改善檢驗方法提供深入了解，並提供促進此種電纜發展及運轉之技術。
36.003	纏繞型介電質電纜系統	本研究案針對纏繞型介電質電纜系統老化及壽

	(Laminar Dielectric Cable Systems)	命因素做了解，並提供維持電纜部件良好性能之有效方法、加強其可靠性及管理其壽命之方法與技術。
36.004	電纜動態額定及增加電力潮流指引 (Cable Dynamic Rating and Increased Power Flow Guidebook)	本研究案提供科學化參考及訓練資料使經由地下電纜及整體輸電回路之電力潮流最佳化及增加。它亦提供軟體使電纜系統即時傳輸能力最佳化，可供預期性評估及供辦理停電時額定容量研究。
36.006	知識彙集及技術移轉 (Knowledge Capture & Tech Transfer Coordination)	本研究案將彙集工業界知識並移轉，及教育從事高度可靠性與具成本效益地下輸電系統的工程人員。

(一)第一類：36.001 地下輸電系統之設計、施工及運轉(Design, Construction and Operation of UT Systems)含括下列 5 個研究案件：

1. 地下輸電洞道檢查使用機器人技術(Underground Transmission Vault Inspection Using Robotic Techniques)：此項為 2013 年新增研究案，為改善人員工作安全問題及減少線路停電，本方案研究在地下輸電洞道安裝或改善軌道系統及使用機器人檢查技術，探索各種觀念，諸如目視及測溫工具與能力，及軌道設計和材料；試驗人孔(圖 7)施作中。



圖 7： 實際施作試驗人孔及設備模擬現場作業評估

2. 地下輸電系統之保護(Underground Transmission System Protection)：繼續 2012 年研究案。
3. 輸電電纜附屬器材施工品管指引(Guide for Specifying Quality Installation of Transmission Cable Accessories)：繼續 2012 年研究案，將於本年度結案。
4. 輸電電纜終端匣使用聚合型礙子之研究(Study of Reliable Performance of Transmission Cable Outdoor Terminations with Composite Insulators)：此項為 2013 年新增研究案，本方案以電纜終端匣使用聚合型礙子及瓷礙子作比較研究其可靠性，它將研究在礙子上之電場應力及老化與故障、與 EPRI 在線路絕緣礙子之擴大研究作比較，根據目前所獲得知識，本方案將發展一個範圍去執行老化試驗及研究性能評估方法。
5. 地下輸電系統工作軟體(UT Workstation: Functional and Technical Enhancements)：繼續 2011 及 2012 年研究案。第 6.2 版地下輸電系統工作軟體(UTW)將被發行。

(二)第二類：36.002 押出型介電質電纜系統(Extruded Dielectric Cable Systems)

含括下列 3 個研究案件：

1. 押出型介電質輸電電纜系統之先進感應器及檢驗技術(Advanced Sensors

and Inspection Techniques for Extruded Dielectric Transmission Cable Systems)：此項為繼續 2012 年研究案。

2. 押外型介電質電纜系統內鍵光纜之先進使用(Advanced Use of Integral Fiber Optic Cables in Extruded Dielectric Cable Systems)：此項為 2013 年新增研究案，在 EPRI 進行研究前已有光纜內鍵(圖 8)或裝設於電纜外覆上，除了測溫外亦使用在以監測其電氣、機械或溫度情形來評估輸電電纜性能，本研究案將研究及報告光纜系統之設計及執行。研究範圍含括下列：

- 部份放電檢測及故障點找尋之方法及設計
- 適當之光電設計供新使用
- 安裝及運轉中光纜損壞檢測之有效方法

本研究案將進行多年，這是第一年，最後將可能發展及、或導正出新的診斷工具。

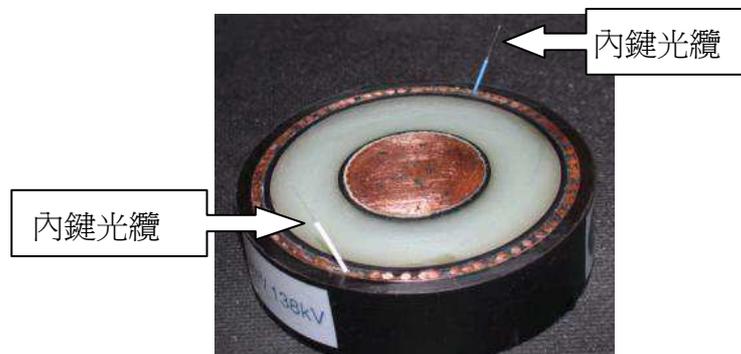


圖 8：光纜內鍵於交連 PE 電纜

3. 押外型介電質電纜在導管中之熱機械效應模型實驗驗證(Experimental Verification of Thermo-Mechanical (TM) Models for Extruded Dielectric Cables in Ducts and Pipes)：此項為繼續 2012 年研究案，將於 2013 年結案及提出最終報告。

4. 更有效的加入系統試驗(More Efficient and Effective Commissioning Tests)：此項為繼續前年度研究案，將於 2013 年提出最終報告。

(三)第三類：36.003 纏繞型介電質電纜系統(Laminar Dielectric Cable Systems)」

含括下列 3 個研究案件：

1. 纏繞型介電質電纜系統情形評估技術指引(Guide to Condition Assessment Techniques for Laminar Dielectric Cable )：此項為繼續 2012 年研究案，2013 年將著重在油中氣體分析及其可用的設備、取樣技術、儲存、樣品試驗進行及結果解讀。
2. 鋼管型電纜系之腐蝕影響及預防(Corrosion Effects and Prevention in Pipe-Type Cable Systems)：此項為繼續 2012 年研究案。
3. 纏繞型介電質電纜系統於送電及停電中情形評估新技術(New Techniques for On-line and Off-line Condition Assessment of Laminar Dielectric Cable Systems)：此項為繼續前年度研究案，將於 2013 年結案。
3. 迷失電流問題及高壓鋼管型充油電纜管路之陰極保護(Stray Current Issues and HPPF Pipe Cathodic Protection)：此項為 2013 年新增研究案，本方案將研究及紀錄對高壓管路型充油電纜系統之陰極保護引導措施，包括檢測及減輕迷失直流電來源如從鐵路、水管及瓦斯管線之策略。

(四)第四類：36.004 電纜動態額定及增加電力潮流指引(Cable Dynamic Rating and Increased Power Flow Guidebook) 含括下列 3 個研究案件：

1. 增加電力潮流指引(Increased Power Flow Guidebook - 2012)：此項為繼續 2012 年研究案。
2. 輸電額定工作軟體(Transmission Ratings Workstation (TRW) 1.0)：此項為繼續 2012 年研究案，2013 年期許產生試用版。
3. 地下電纜增加電力潮流策略之應用(Applications of Increased Power Flow Strategies for Underground Cables)：此項為 2013 年新增研究案，

將研發更新地下電纜增加電力潮流技術包含成熟及及時線上溫度量測（圖 9）等創新觀念，此文件將對可實行策略之進展做確認及建議。



圖 9：溫度分佈系統量測儀器

(五)第五類：36.006 知識彙集及技術移轉(Knowledge Capture & Tech Transfer Coordination)：此為 2013 年新增案件，內容包括下列 2 個研究案：

1. 地下輸電線教育研討會 (Underground Transmission Education Workshop)：教育研討會將結合地下輸電工作小組會議每年舉辦 2 次，利用內部資源如 EPRI 地下輸電參考手冊(Green Book)及地下輸電工作設計軟體，議題包含地下電纜系統設計、施工、安裝、運轉及維護（圖 10）。  
例如：較大斷面之鑽管應考慮灌漿程序及相關技術，運用適當之隔版與灌漿之配方等（圖 11）；俾確保電纜之適當熱容量功能、減少施工風險與改進施工程序。



圖 10：教育訓練及研討會



圖 11：鑽管管線配置及隔版

2. EPRI 地下輸電設計及施工指引 (EPRI UT Design and Construction Guide)：此指引用來介紹有關地下電纜系統設計、施工及安裝之重點及觀念，更深

及詳細分析在其他 EPRI 參考資料如地下輸電參考手冊(Green Book)。

#### 四、LADWP 專題:介紹該公司近期輸電系統工程及計畫

專題由 LADWP (Los Angeles Dept. of Water & Power) 公司代表 Mr. Kishan Kasondra 就該公司近期輸電系統工程及計畫，簡報說明；茲摘要如下：

- (一)該公司將一條 1970 年施設迄今之一條 PDCI (Pacific DC Intertie)  $\pm 500\text{kV}$  交直流連絡線，Slymar Converter Station 南端地下電纜部分進行更換（線路經過概要圖、變流站及架空線路如附圖 12、13 及 14）；主要原因為運轉年久迄今有 14 次故障(2 次接續匣、12 電纜絕緣紙層故障)，尤其近 7 年已發生 6 次。為地區供電穩定與可靠，故進行汰舊換新工程。

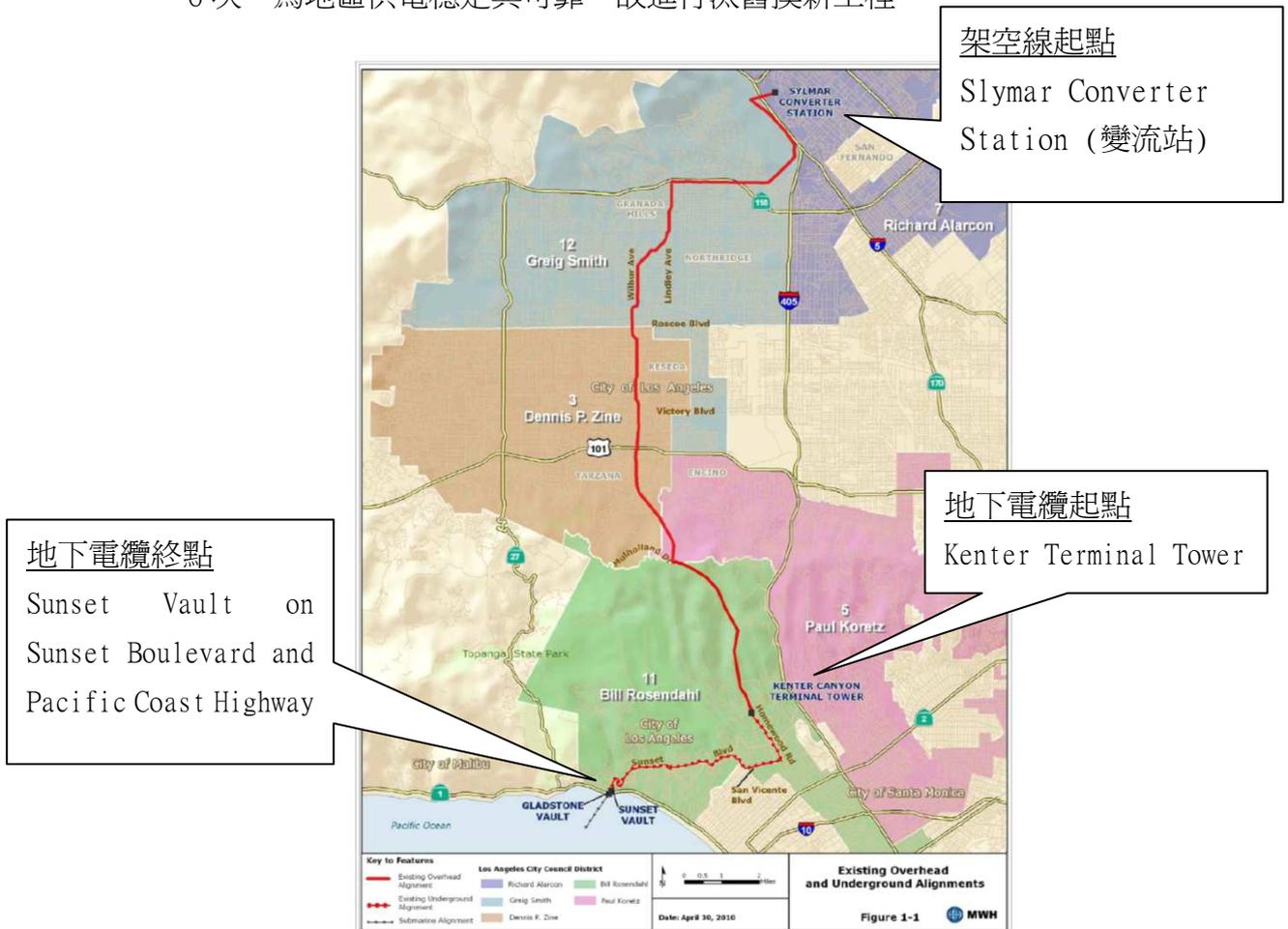


圖 12：線路經過概要圖



圖 13：變流站( Converter Station)

圖 14：500kV 直流 (DC) 架空線路

1. 該線路包括有架空線路 35.6 公里、路纜 12 公里及海纜 1.6 公里。
2. 計畫更新為 2 條 2000 Kcmil (約 1000mm<sup>2</sup>) 直流交連 PE 電纜(DC XLPE Cable)，額定電壓等級待確定；更新後除強化原有系統使其更具彈性外，亦減少充油電纜絕緣紙發生混合物劣化及漏油故障時對環境之衝擊。
3. 電纜延放施工情形：

利用專用車軸架及吊車輔助框架施工（如附圖 15 及 16），避免電纜受損。



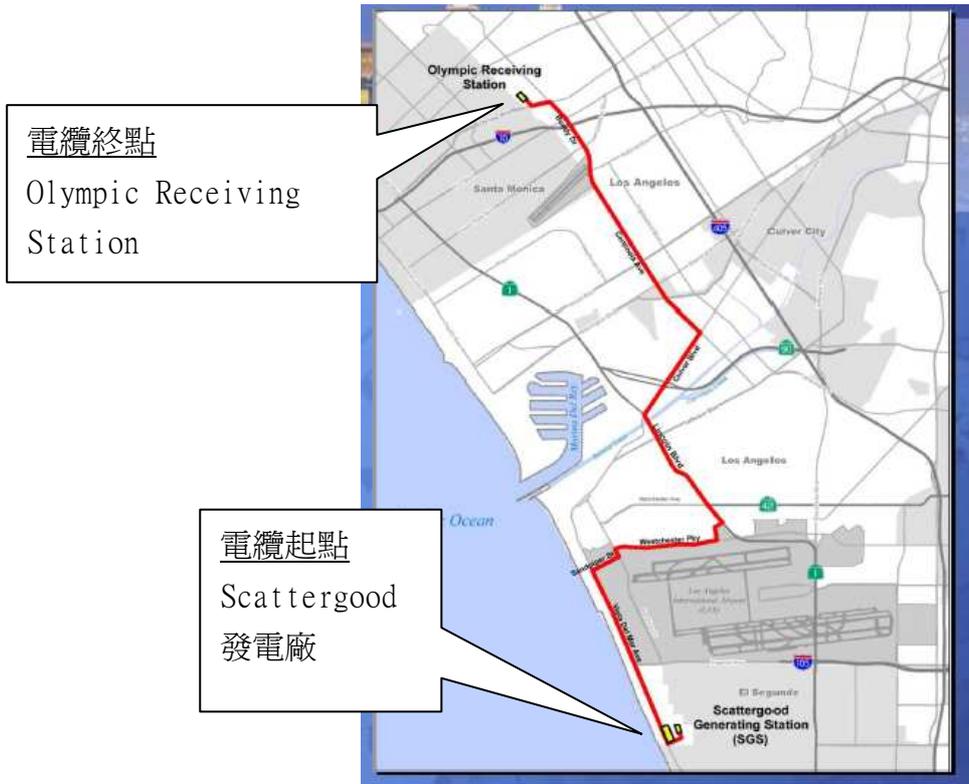
圖 15：專用車軸架施工

圖 16：吊車輔助框架施工

(二)近期為強化 Scattergood Transmission System 提高洛杉磯西區供電可靠度。

另計劃進行一 230kV 地下電纜工程（工程路徑及計畫圖示如附圖 17 及 18），設計概要如下：

圖 17： 工程路徑



## Scattergood-Olympic TRANSMISSION LINE PROJECT

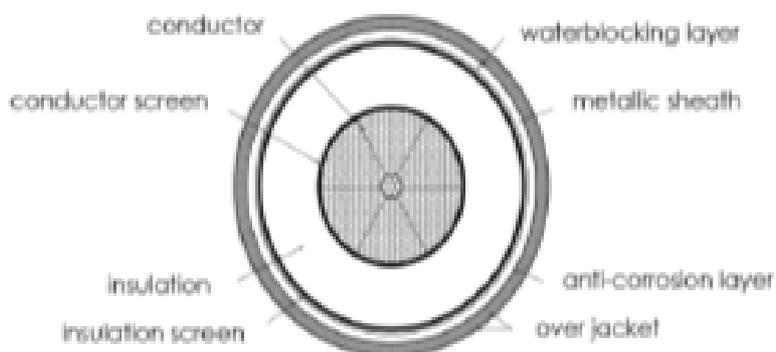
Los Angeles  Department of Water and Power

圖 18： 計畫圖示

1. 全長約 18 公里，電纜最大區間約 800 公尺（長尺化/可減少接續施工及故障風險）。
2. 5000 Kcmil（約 2500mm<sup>2</sup>）銅導體（斷面如附圖 19），額定容量：656 MVA。
3. 特殊管路排列設計（如附圖 20）以降低電磁場（EMF）；設計最大容許值：

200 mG，實際值：約 40 mG。

4. 目前工程設計階段（2012 年 12 月完成），預定 2014 年 10 月辦理完工。



圖： 19 電纜斷面示意

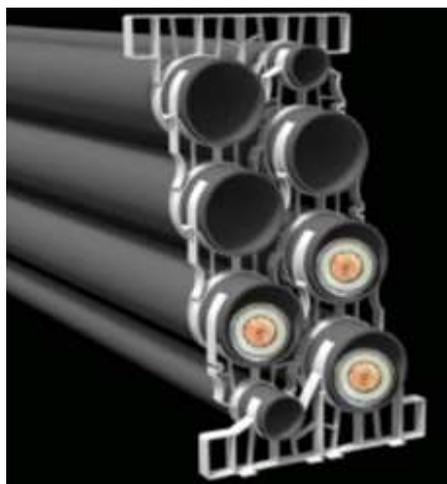


圖 20： 特殊管路排列設計

R、S、T 三相電纜採三角排列

## 伍、工廠參觀

9 月 25 日下午 EPRI 安排參觀 Okonite 公司設於美國新澤西州之專門生產鋼管型充油式電纜工廠，交連 PE 輸電電纜係近 30 年來較新採用之產品，而美國之地下輸電電纜施設甚早，當時交連 PE 輸電電纜尚未發展應用，故美國大部份地下電纜皆使用此種型式，充油式電纜使用至今其性能甚為穩定可靠，惟需要有絕緣油補油設備之設置空間及較易造成環境污染，故已漸被交連 PE 輸電電纜所取代，國內地下電纜近來年皆使用交連 PE 輸電電纜，早年雖有安裝充油式電纜(OF- Cable)，然與美國管路充油式電纜不同，美國管路充油式電

纜係使用鐵管，將三相電纜皆置於同一管路中，管路表外表面加以防鏽處理，惟幾十年運轉下來，管路已常產生鏽蝕及漏油現象，由於管路埋設於地下，找尋漏油點為一大挑戰，此也是美國電力公司較頭痛之問題，故而委請 EPRI 列入研究，期能研究較佳之防鏽措施及找尋漏油點方法。

工廠參觀前安全告知程序暨設施概要（如附圖 21~24）

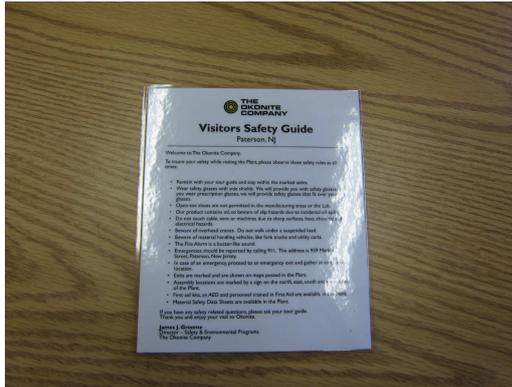


圖 21：參觀前安全告知說明單

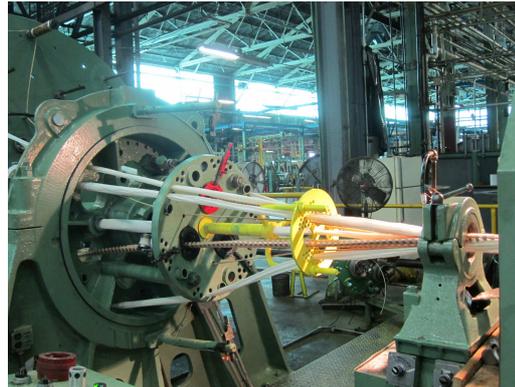


圖 22：絕緣包紮機頭



圖 23：電纜乾燥處理



圖 24：急救包標示明顯易處

## 陸、綜合結論

一、研究案與本公司地下電纜工作關連性：本次會議研討議題中，在 2012 年及 2013 年共有下列 6 類研究案：

(一)36.001 地下輸電系統之設計施工及運轉(Design, Construction and

Operation of UT Systems)：本案皆與本公司經常性電纜工作相關，其

研究成果皆具參考價值。2012.05.30~31 EPRI 派員來台辦理 Workshop

時，曾僅就 UTW(Underground Transmission Workstation / 2011 version 6.0)做功能介紹，近日以其會後提供之軟體就 161kV 安南~南科一二路為例模擬，使用 UTW(採用 IEC-60287 and IEC-60853)計算結果之常時容許運轉電流 1231Amp，此與使用供電單位現行 EXCEL(依日本電線工會規格 JCS No.168 B 號)計算，常時容許運轉電流為 1228 Amp 比較，2 者相近。惟 UTW 除具有容許運轉電流計算外，尚結合其他電磁場 (EMF)、延放線拉張力、感應電壓及經濟效益評估等功能，故確有必要做進一步瞭解及運用。

(二)36.002 押出型介電質電纜系統(Extruded Dielectric Cable Systems)：

本公司目前所安裝之 XLPE 電纜係屬於此類，本研究案中使用極低頻電源測試方法對電纜性能較不具傷害性，其對中壓電力系統進行現場測試已成為可接受之方法，惟對較高電壓之輸電電纜系統測試尚待進一步研究，至於使用感應器及監視技術對運轉中之電纜系統情況檢測，目前本公司亦正試辦中，故其研究成果亦具參考價值。

(三)36.003 纏繞型介電質電纜系統(Laminar Dielectric Cable Systems)：

此研究案主要係針對美國大量使用之高壓管路型充油電纜而辦理，對本公司之關連性較無，惟其油中氣體含量分析之技術可略作參考。

(四)36.004 電纜動態額定及增加電力潮流指引|(Cable Dynamic Rating and

Increased Power Flow Guidebook)：本研究案中主要內容對管路式電纜之強制冷卻增加電力潮流，由於本公司並無此類管路式電纜，故本案對本公司較無參考價值。惟近期 (2010~2011) 亦增加 345kV 及 525kV 交連 PE 電纜現場量測運用，未來將整合 DTCR (回路額定動態熱容量)、PTLOAD (變壓器載荷)、OHLOAD (架空線負載)、STLOAD (變電所終端設備負載)、UGLOAD(地下電纜負載)等模組，成為 TRW(Transmission Rating Workstation) 軟體，故可做進一步瞭解及作為未來智慧電網規劃運用作

業參考。

(五)36.005 超導體技術之發展 (Develop and Deploy Superconducting Technologies)：超導體電力傳輸技術尚在研發階段，真正要付諸商業使用可能還要一段很長時間，也需要甚多研究經費，故 EPRI 亦於 2013 年研究案中將其改列為補充研究案，本案對本公司目前並無助益。

(六)36.006 知識彙集及技術移轉(Knowledge Capture & Tech Transfer Coordination)：EPRI 為研究機構，會中其說明需要研究經費，故其擬利用現有資源對各電力公司技術人員辦理訓練講習課程以增加收益，本公司技術人員之電纜設計及維護能力亦達一定水準，且大多參考日本電纜系統，故本案對本公司目前助益有限。

二、本次會議交流中亦就供電處關心之下列議題提出討論：

(一)電纜加入系統施行 5 次 On-Off 商頻耐壓試驗：經與 EPRI 本研究案工作小組負責人及部份電力公司之技術人員討論，並未聽聞有對地下電纜執行類似試驗要求。

(二)海纜施工及維護問題：

1. 有關海陸纜交接處之電位腐蝕、海底岩盤之電纜埋設及海纜維護等問題，EPRI 本研究案工作小組負責人表示 P36 研究案小組成員並無此項共同之問題，若本公司希望本議題列入討論，則需另成立研究案。建議本公司亦可向有經驗之電纜廠商或電力公司請益。

2. 本研究案工作小組之成員加拿大 BC hydro 電力公司代表 MR. Hon Suen 亦提供下列 4 個海底電纜的保護措施資料供參考：

(1)Transpower New Zealand, 350kV 海纜（長度 40 公里）建設於 1991 年，設有電纜警示區 CPZ(Cable Protection Zone，圖 25)，CPZ 大約寬度有 7 公里，越接近岸邊則漸縮寬度，CPZ 區域禁止漁業活動

及船隻拋錨。

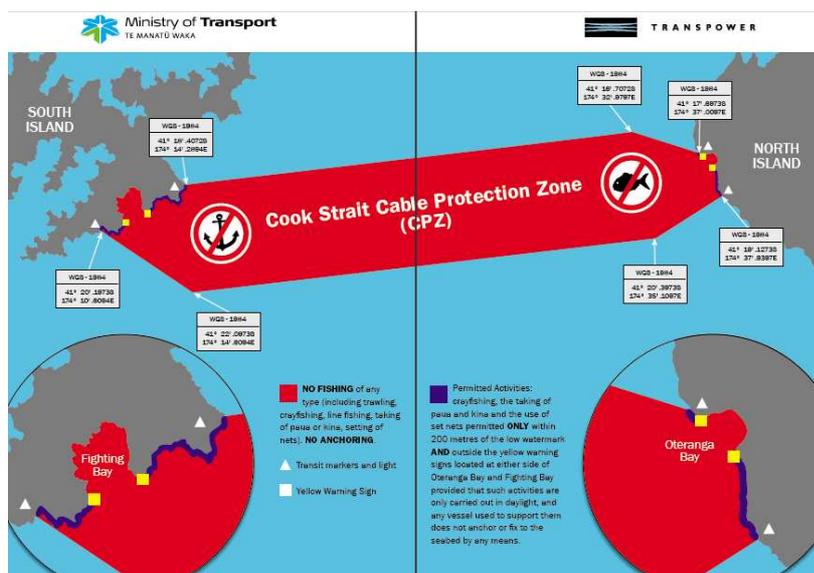


圖 25：電纜警示區 CPZ

(2) San Francisco Trans-Bay, DC 200kV 海纜（長度 85 公里）建設於 2010 年，建立一套 AIS (Automatic Identification System) 船舶自動辨識系統（圖 26），當船舶行為可能危及海纜時即自動發出警告。

(3) BritNed Subsea CABLES, United Kingdom：450kV DC 海纜（長度 260 公里）建設於 2011 年，提供漁民海底電纜座標(Cable Coordinates)，並請漁船將其紀錄在航海圖或輸入至捕釣航行繪圖儀(fishing plotter)，下錨時應盡可能避開電纜路徑，如果疑似拖行到海纜，亦提供 24 小時緊急聯絡電話(24hr Emergency Number) 及後續處置因應方式，以減少海纜遭受更嚴重的損傷，另外亦建置 AIS 監視系統，可掌握船隻方向與海纜相對位置。

AIS representation of ships and correlation with position of submarine cables.

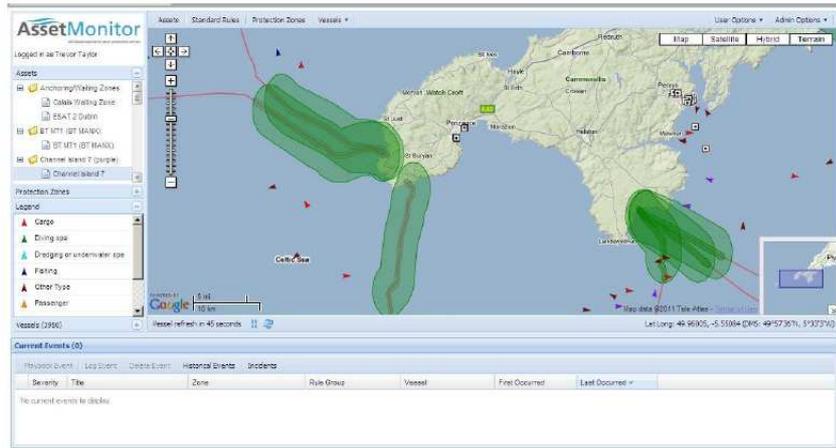


圖 26： AIS 船舶自動辨識系統

(4) 中國 Hainan 500kV submarine cable (長度 32 公里，中間沒有接頭)：建設於 2009 年，資料提及海纜鋪設後將在海南島與廣東兩處終端站附近建立檢測站或雷達裝置等監測系統，並且將在海上建立燈塔或警示標識，防止海纜被破壞造成巨大事故。

三、會中亦就本公司 161kV 文心~中西線地下電纜接續匣一再發生事故問題作簡略報告，與會人員亦表示未聽聞有類似案例，故皆無意見。

### 柒、心得及建議：

#### 一、建議 2013 年持續參與 P36.001 及 P36.002 研究計畫

本公司交連 PE 電纜大約於民國 71 年底起開始陸續加入系統，已接近原預估使用 30 年壽命，會中亦就如何檢測其絕緣性能是否劣化俾汰舊換新提出討論，所得到回答是目前亦無可靠之檢測方法，以充油式電纜在美國使用至今而言，部份皆已超過原預期 40 年壽命仍然運轉良好，故建議繼續觀察交連 PE 電纜在世界各國後續使用情形。

#### 二、加速辦理極低頻測試設備之引進評估

本公司所使用之輸電地下電纜含 OF 電纜及 XLPE 電纜，OF 電纜已訂有油中氣體含量分析法供判斷其絕緣性能作為汰換準則，惟對 XLPE 電纜尚無有

效之方法，由於地下電纜事故所需修復時間較長，尤其科學園區之電纜事故將引起較大之責難，故對此項之研究發展亦應特別關心，例如極低頻測試設備之進展及適用效益評估，亦應持續辦理；必要時亦可建議 EPRI 列入研究重點項目及加速辦理。

### 三、與 EPRI 洽商委託海纜維護作業專案研究

針對海纜施工及維護問題，EPRI 表示若本公司需要，需另成立專案研究及委請有經驗之專家協助，建議由本公司先提相關研究項目需求，EPRI 就需求項目委請有經驗之專家研擬蒐集資料與解決方案，本公司先就提供之資料研討後，並安排雙向討論會議。故若擬委請 EPRI 研究亦應考慮其效益，另亦可利用每年出國機會向有經驗之國外電纜廠商及電力公司請益。

### 四、研討管路排列設計，以抑低 EMF

EMF 議題各電力公司亦皆朝儘量抑制降低為原則，故 LADWP 公司作法(如附圖 20)，應可作為未來管路設計觀念之參考。

### 五、建議安排 UTW 教育訓練

參加此次會議，對了解地下電纜技術及發展確有助益，並可與各地參與會員討論及交流，惟其研究內容較偏重於美國電力業界之需求及關心議題，故本公司若有必要，亦可就所關心議題適時邀請 EPRI 專家來台進行研討。建議 2013 年可就 UTW( 2012 version 6.1)安排教育訓練，俾瞭解軟體程式操作及其功能運用。