

出國報告（出國類別：實習）

智慧型電力系統設備應用

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：業務處九等主辦配電技術專員 宋資倫

派赴國家：美國、日本

出國期間：97 年 9 月 8 日~97 年 9 月 20 日

報告日期：97 年 12 月 4 日

目 錄

一、摘要	3
(一)出國計畫	3
(二)報告主題	4
二、智慧型電力系統(Smart System)發展現況	5
(一)未來趨勢	5
(二)智慧型電力系統	6
(三)電機電力及網路資訊業界之投入	8
(四)舊金山潔淨能源法案	9
三、智慧型泛用變壓器	11
四、參訪美國電力研究協會 EPRI	14
(一)參訪 EPRI 機構探討 2009 年研究案	14
(二)配電系統	14
(三)分散型再生電源之整合	15
(四)智慧型電網	15
(五)智慧型配電系統之應用及技術	16
(六)地下配電系統	17
五、內置型避雷器(Built-in type Surge Arrester)	17
六、加州風場(San Gorgonio Pass Wind Farm)	22
七、心得與建議	24

智慧型電力系統設備應用返國報告

一、摘要

(一) 出國計畫：

- 1.出國人員：業務處技術組九等工程師 宋資倫
- 2.計畫編號：97 年度出國計畫第 83 號
- 3.計畫名稱：智慧型電力系統設備應用
- 4.出國期間：97 年 9 月 8 日~97 年 9 月 20 日合計 13 天
- 5.參訪國家：美國、日本
- 6.計畫摘要：

- (1)第六配電計畫自 94 年底開始編列至 96 年 12 月行政院審查通過，
於 97 年開始執行，鑒於計畫審查期間，經濟部國營會及行政院經建會等上級單位均要求，配電計畫應與現行產業政策、世界技術潮流相互結合，應更具有其特質及重點工作。第五配電計畫（92 年~96 年）發展重點為「配電線路地下化」及配合六輪計畫辦理「新擴建配電饋線」，第六配電計畫（97 年~100 年）發展重點則為「配電線路自動化」及「推動電子式電表」，因應第七配電計畫即將於 98 年底開始編列作業，必須及時進行廣泛資料收集、技術實習及經驗觀摩，以利七配計畫發展重點之建立。
- (2)因應當前全球能源供應短缺及價格上漲，以及節能減碳、降低溫室氣體之國家政策，未來將會有許多再生能源系統，熱能電能共生系統及能源儲存系統連結至配電系統，目前配電電網的設計與架構已延用多年，「智慧型電力系統（Smart System）」可提供改善配電系統電網架構，必將成為未來七配計畫審查期間之審查議題及討論重點，其相關技術如（1）整合需求端管理、負載控制、即

時自動讀錶及分散式能源系統以抑低尖峰負載，可提高配電線路乃至配電計劃之投資效益。(2) 配合配電系統中之分散式電源進行動態系統重組，可降低線路損失。(3) 於重要區域內建立微型供電系統(Microgrid)，可提高供電可靠度。目前研發中先進設備(分散式能源與資源,Distributed Energy Resource, DER)則為智慧型泛用變壓器(Intelligent Universal Transformer, IUT)。

(二) 報告主題：

1. 智慧型電力系統 (Smart System) 發展現況
2. 智慧型泛用變壓器 (Intelligent Universal Transformer)
3. 參訪美國電力研究協會 (EPRI)
4. 內置型避雷器(Built-in type Surge Arrester)
-VSP5-12 Pole-mounted Vacuum Load Break Switch
5. 加州風場(San Geronio Pass Wind Farm)
6. 心得與建議

二、智慧型電力系統（Smart System）發展現況

（一）未來趨勢

因應全球能源供應短缺及價格上漲，以及節能減碳、降低溫室氣體之潮流，世界各先進國家已紛紛研發及裝置各種再生能源，大型太陽能電場、風場等已不再是新聞，如本次出國參訪之 San Geronio Pass Wind Farm（如圖 2.1、圖



2.2，加州三大風場之一，3,500 座風機，發電量 13 億度/年、裝置容量 615MW）。但是，再生能源的有效整合及長程輸送的問題，開始浮現，正如美國總統 Obama 於 2008.10.30 接受 MSNBC 電視專訪時表示，他希望重建美國的基礎建設，尤其是建置一個智慧型電網，以利將再生能源例如風力發電，從美國中西部北達科他州，遠送至用電密集的大都市如舊金山。（原文：I wants to focus on rebuilding the nation's infrastructure, including the construction of a "smart grid" to get wind power from places like North Dakota to metropolitan areas like Chicago.）



圖 2.1 San Geronio Pass 風場



圖 2.2 San Geronio Pass 風場

在智慧型電力系統被建置之前，絕大多數的再生能源的好處及效益，將僅只於好看的書面報告上。就能源需求大國-美國而言，沒有智慧型電力系統或智慧型電網，就無法將建置於全國各地的清潔電力做有效率的遠距移動，更別提有效地儲存巨大的再生能源電量。

例如，就風力發電而言，依據美國能源政策研究所（Energy Policy Institute）Lester Brown 教授表示，美國三大風力豐富的州（北達科他州、堪薩斯州、德州），合計的發電潛力將足以滿足全美需求；又如太陽能發電，美國大型太陽能電場 Ausra 公司發展部首席主管 Rob Morgan 表示，以該公司的太陽能發電技術，以 92 平方英哩的太陽能電場，就足可供應全美的電力需求，而這個面積尙還未達美國沙漠面積的 1%。

然而，對於將如此龐大的再生能源電力自幾千英哩之外，透過電力網路輸送至人口密集的負載中心，以目前的輸配電網路而言，是一個巨大的挑戰。因應如此的需求，智慧型電力系統-

電力的高速公路，正由國際間的研究機構全面研發中，當然，智慧型電力系統的革命性優點，不僅於此。

(二) 智慧型電力系統

近年來，由於資訊及通信網路的急速發展，其所應用層面已擴及電力系統，就配電系統而言，初期發展的是配電自動化，使電力系統管理者可遙控、監測及收集系統及線路上裝置之資訊。繼而，隨著資訊網路技術的持續進展，在網路速度及頻寬的不斷推進下，自動化系統已可做到雙向傳遞資訊的階段。簡言之，智慧型電力系統就是將電力系統(圖 2.3)架構於通信及資訊系統(圖 2.4)之上，如圖 2.5 及圖 2.6。

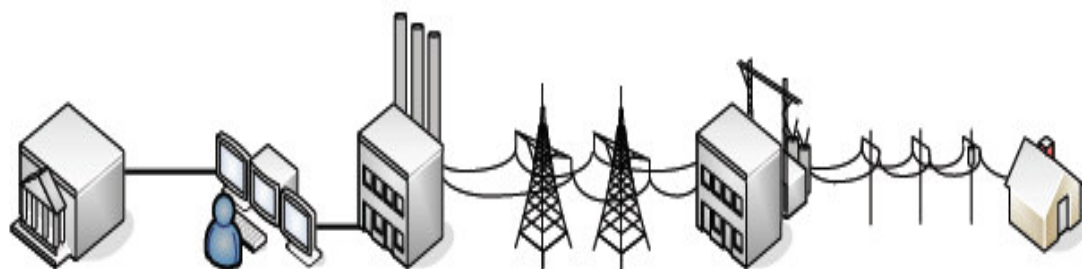


圖 2.3 電力系統

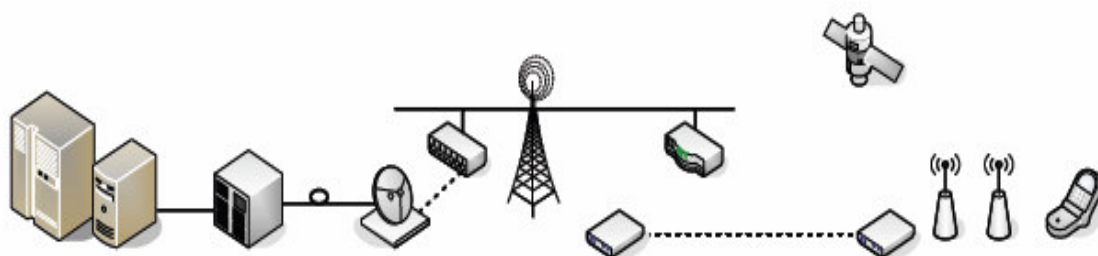


圖 2.4 通信及資訊系統

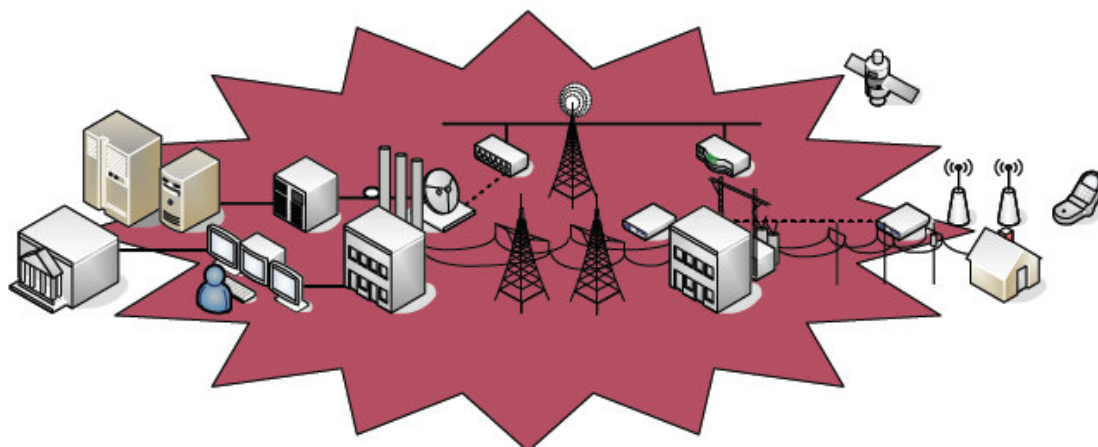


圖 2.5 智慧型電力系統

SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.

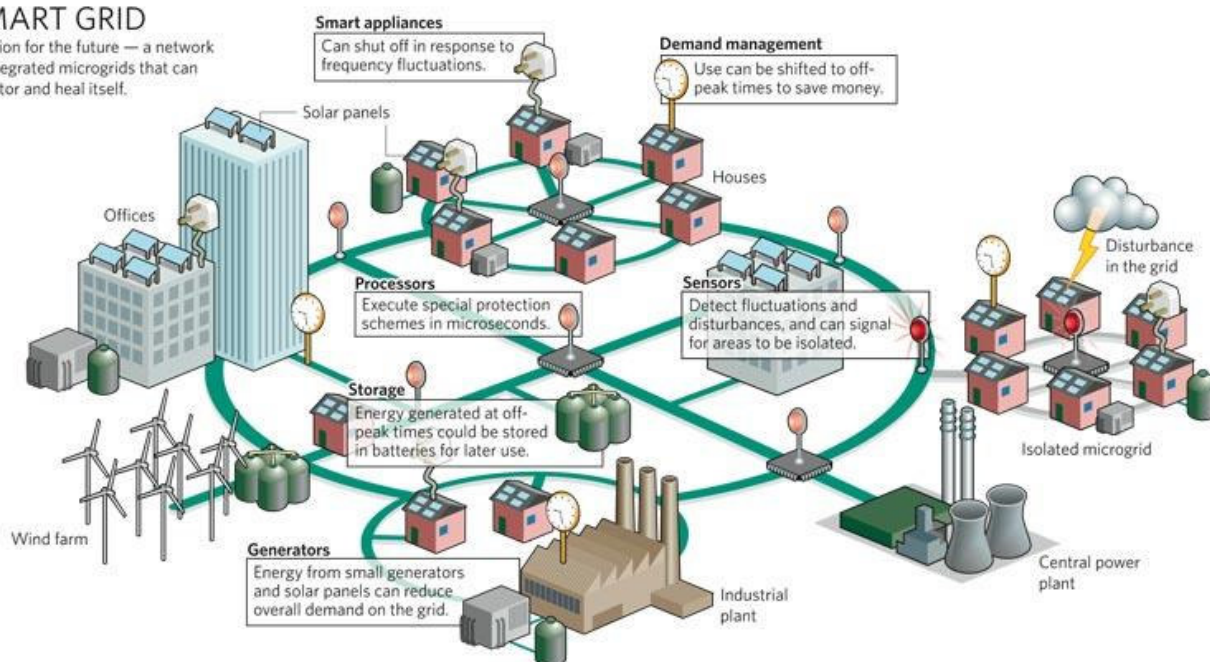


圖 2.6 智慧型電力系統

(三) 電機電力及網路資訊業界，競相投入智慧型電力系統發展

本次出國前夕，美國電機業、資訊網路業兩大龍頭-GE 公司及 Google 公司，基於再生能源之技術及政策日趨成熟，宣佈將合作發展智慧型電網（Smart Grid）。

這個合作案充分說明了智慧型電力系統的技術來源和基礎架構（GE 公司同時也是世界最大的風力發電業者之一），也說明了智慧型電力系統發展的急迫性及市場價值。Google 公司將負責智慧型電力系統自用戶端至電業或控制中心的相關程式及系統研發。



圖 2.7

Google CEO Eric Schmidt



圖 2.8

GE CEO Jeffrey Immelt

(四) 本次參訪地之一，舊金山市正對於「舊金山潔淨能源法案」爭議準備由公投方式解決，PG&E 電力公司持反對該法案之立場

本次出國於舊金山參訪 PG&E 公司期間，於收集相關資時，恰遇當地著名之免費週報

「The San Francisco Bay Guardian」，於

2008.9.10 當期以頭版及封面報導評論「舊金山潔淨能源法案」

(又稱 H 提案、PROP.H)，該法案主要內容是要求舊金山市在 2040 年 100%使用可再生能源，例如太陽能，風能等，用以降低全球暖化風險。而要達到這一長遠目標，舊金山市府可能要自己成為能源提供者，而且自己



圖 2.9 舊金山潔淨能源法案剪報



圖 2.10 舊金山潔淨能源法案剪報

花錢來建設可再生能源設施。但是這些建設所需要的錢將會來自於收益債券。院

PG&E 電力公司持反對該法案之立場，依據報導，

PG&E 花費 5 百 4 十萬美元製作廣告反對 H 提案，H 提案通過將迫使民眾使用 40 億美元購買債券完成市府對 PG&E 的收購。

支持方意見則始終認為，

PG&E 目前的電費收入並不完全用於舊金山當地建設，亦未以用戶權益為最優先，PG&E 究竟還是營利公司，支持方更以「配電線路地下化工程」為例子，認為架空線路是醜陋的、危險的，但 PG&E 卻仍以效益為考量，未把線路地下化當做優先建設。所以，就算必須收購 PG&E 公司，市政府畢竟到時可以將電費收入都用於舊金山當地建設，並且擁有降低電價的主權。

註：最後投票結果，H 提案遭否決。



圖 2.11 PG&E Energy Center

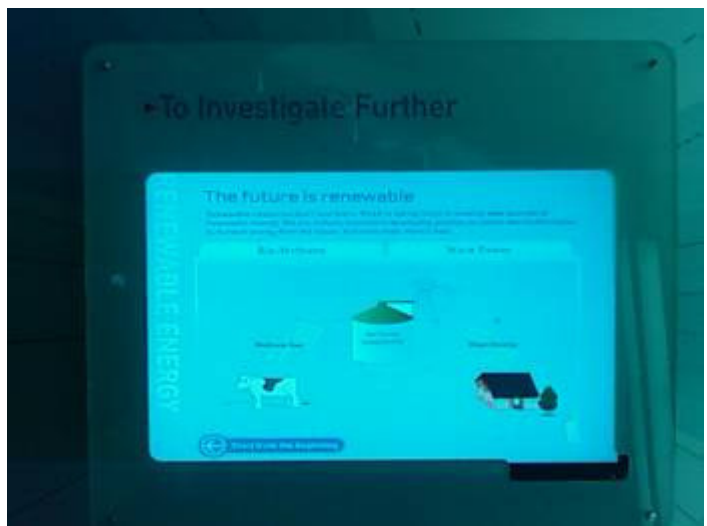


圖 2.12 PG&E Energy Center
再生能源展

三、智慧型泛用變壓器

(一) 智慧型電力系統中，配電網路必須供應多元化的電力，同時也必須傳遞與交換各用戶端及分散式電源端之即時資訊或控制信號，配電變壓器於是不僅只是在配電系統中轉換及供應電力，還必須成為系統監測控制的重要設備，傳統鐵心變壓器因結構及功能上無法因應，無法避免將必須被智慧型泛用變壓器取代。

(二) **傳統變壓器（圖3.1）之許多缺點亦同時將被智慧型泛用變壓器徹底改善，如：**

1. 因原物料飆漲導致傳統變壓器之製造成本和交貨時間均急劇上升。
2. 傳統變壓器於負載率不高時之能量轉換效率不佳。
3. 為避免傳統變壓器使用之液態絕緣油成為污染來源，電業必須負擔昂貴的洩漏清理成本。
4. 僅提供單一不可調變之電壓，無法提供real-time的電壓調變。
5. 不具監測能力，無法成為智慧型配電系統監測節點的一部分。
6. 不允許由單相電源供應三相電力。

(三) **相對的，智慧型泛用變壓器的功能及優點為：**

1. 架構上與傳統變壓器完全不同，運用先進電力電子元件及技術（如圖3.2、圖3.3），取代傳統變壓器依賴鐵心的電壓轉換功能，同時也不須使用有毒害的絕緣油，大幅降低了原物料上漲對於變壓器的成本的影響。
2. 透過智慧型泛用變壓器本身的通信及監測介面，達到診斷內部故障的功能。
3. 提供直流、單相轉三相及電力品質改善功能(如諧波濾波、電

壓驟降矯正、功率因數控制)等。

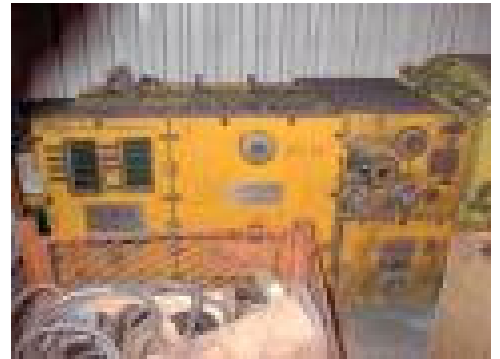
4. 因為其輸出電壓可視需要調變，可達到設計標準化，同時減少庫存及備品。
5. 其體積大小及重量，亦均大幅低於傳統變壓器。



pole-mounted canisters
桿上變壓器



ground-level metal boxes
亭置式變壓器



underground transformers
地下變壓器

圖 3.1 傳統變壓器(美國)

(四) 目前發展現況

智慧型泛用變壓器僅是以電力電子技術取代傳統配電變壓器的第一代成果，EPRI對於智慧型泛用變壓器的研究，除了持續以原型成品試運轉及商業化研究外，還將制訂一個商業化評估計畫，及對於未來市場的成本及效益評估。目前EPRI及其合作研究單位正進行100 kVA、15 kV等級的智慧型泛用變壓器研究，並由Silicon Power Corporation 發展原型成品，預計於2009年將進行廠內測試及試運轉。

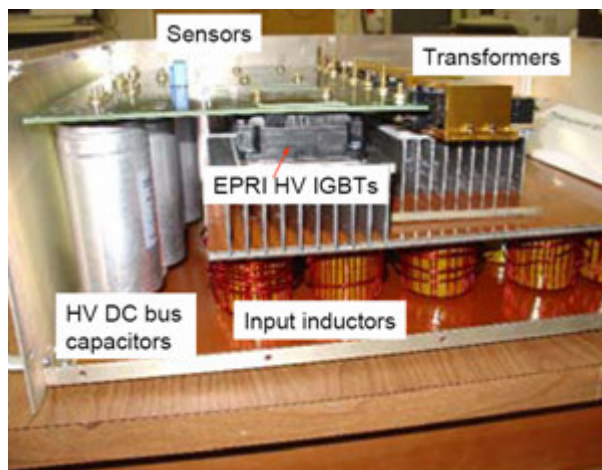


圖 3.2 智慧型泛用變壓器(IUT)

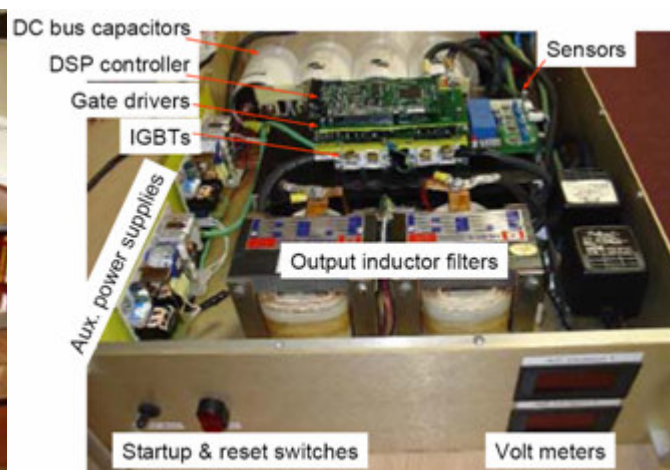


圖 3.3 智慧型泛用變壓器(IUT)

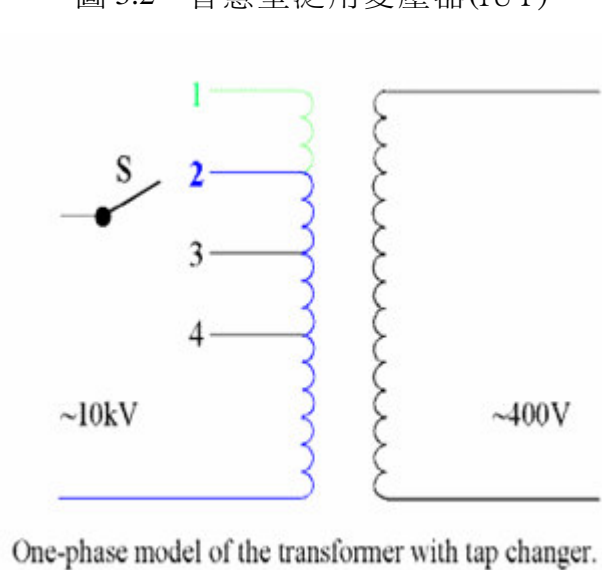


圖 3.4 智慧型泛用變壓器原理

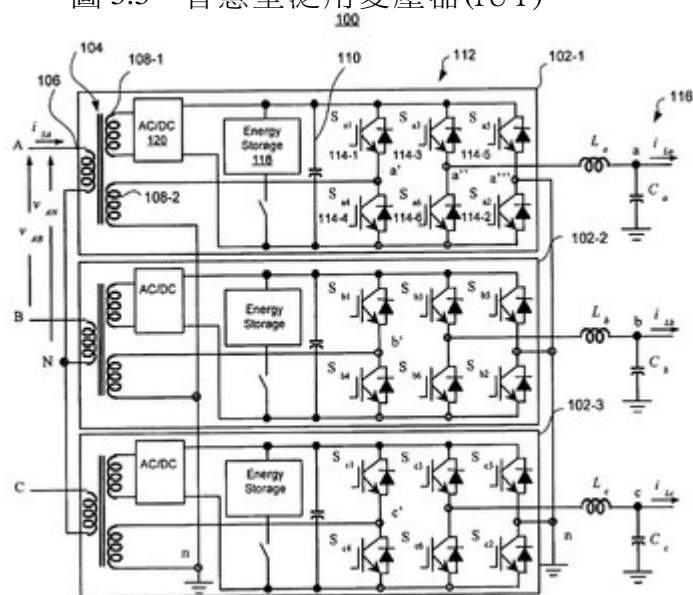
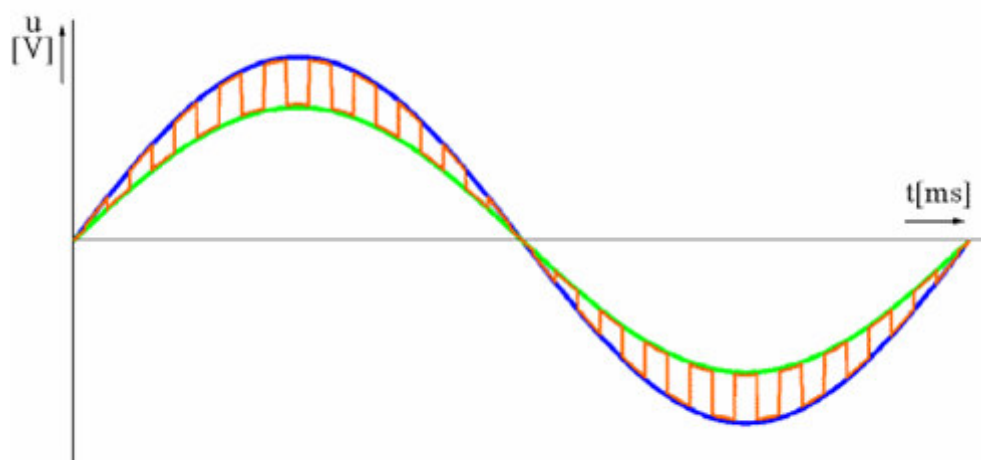


圖 3.5 智慧型泛用變壓器構造



Voltage of the PWM modulated tap changed transformer.

圖 3.6 智慧型泛用變壓器調變波形

四、參訪美國電力研究協會 EPRI

(一) 參訪 EPRI 機構探討 2009 年研究案：

1. 配電系統 (Distribution Systems - Program 128)
2. 分散型再生電源之整合 (Enabling Integration of Distributed Renewables - Program 174)
3. 智慧型電網 (IntelliGrid - Program 161)
4. 智慧型配電系統之應用及技術 (Smart Distribution Applications and Technologies - Program 124)
5. 地下配電系統 (Underground Distribution Systems - Program 30)

說明如次,

(二) 配電系統 (Distribution Systems - Program 128)

1. 現今配電系統正面臨轉型及過渡期的挑戰，如原有老舊的架構、傳統的設計及近年來持續增加的電力需求，配電公司或配電業持續地受到用戶要求增進電力品質及供電可靠度的壓力，必須積極研究更新改善計畫，這點與本公司每四年一期辦理之「配電計畫」相仿，必須以滾動式不斷運用新架構、新設計等新配電技術，以改善配電系統，迎合用戶的需求，增進服務的品質。然而，與此同時，各公司亦受限於預算及投資的限制，必須也同時提高配電系統的管控效能。
2. EPRI 針對前述的需求，擬訂了一套符合其未來 10 年研究目標的策略，這項策略亦同時提供了本研究案的基礎。
3. 本項研究案主要包含 4 項主題：
 - (1) 架空配電系統的重新評估
 - (2) 線路故障的預測分析及定位

(3) 潛在的感電事故的分析研究

(4) 配電技術的研發及轉讓

(三) 分散型再生電源之整合 (Enabling Integration of Distributed Renewables - Program 174)

這項研究案採用有關分散型再生能源最新的構想，運用現成可行的做法、規劃的準則，以既有及未來的配電系統架構，對於現今已陸續增加分散型再生能源之整合進行研究，研究內容包含介面裝置、系統分析、特殊應用之研究。

本項研究案主要包含 4 項主題：

- (1) 對於陸續增加的再生能源的併入未來或既有的放射狀或環路型配電系統，研究建立監測工具、標準及準則。
- (2) 對於現有先進的 AMI 系統與分散式電源 (DG) 之運作方式進行探討。
- (3) 對於相關裝置、系統及整合方案建立效能標準、測試及試驗標準。

(四) 智慧型電網 (IntelliGrid - Program 161)

這項研究案主要係發展智慧型電網的技術及方法，智慧型電網係架構於電子網路，透過通信及電腦網路系統控制，當這個智慧型電網的應用發展至可符合及涵蓋原有輸電、配電系統及用戶端資訊回饋的需求，則將使智慧型電力系統的研究有大幅的進展，尤其在提升供電可靠度提升供電能力即時反應用電需求及提供用戶附加價值。

這項研究的初步目標是建立智慧型電網的架構，該架構屬於開放性，並以需求為導向，研發可使系統與設備間可雙向交互運轉的整合性資訊網路及裝置。

本項研究案主要包含 2 項主題：

- (1) 提供方法、工具及建議，以利電業制定智慧型電網之標準及技術，用於規劃設計系統及建立裝置準則，以及用於採購智慧型電網所須的通信及資訊系統，如先進電表系統配電自動化系統及負載管理系統。
- (2) 與 Southern California Edison、Long Island Power Authority、Salt River Project 及 TXU Electric Delivery 等合作單位，完成智慧型電網的運轉及應用測試方案。

(五) 智慧型配電系統之應用及技術 (Smart Distribution Applications and Technologies - Program 124)

這項研究聚焦於將智慧型電網的技術應用於配電系統，前案則係專注於智慧型電網所須之通信及資訊網路架構。本項對於智慧型配電系統的研發，必須充分應用前項研究所得之技術。

本案並將針對智慧型配電系統的關鍵技術及裝置進行探討及研發，例如智慧型泛用變壓器 (IUT) 及模組化固態開關(modular solid-state switch)。

本項研究案主要包含 6 項主題：

- (1) 規劃建置智慧型配電系統的進程，並且每年依據國際間對於智慧型配電系統的研發進度，重新加以評定建置時程。
- (2) 探討用於智慧型配電系統之先進監測控制技術，如系統故障標定技術。
- (3) 配電系統事故之預測(Distribution Fault Anticipator，DFA)
- (4) 適用於高分散型電源區域的配電饋線設計
- (5) 智慧型泛用變壓器 (IUT) 的設計研發及原型品。

(6) 模組化固態開關(modular solid-state switch)系統的設計概念。

(六) 地下配電系統 (Underground Distribution Systems - Program 30)

1. 因應地下配電系統也正面臨轉型及過渡期的挑戰，原有老舊架構、傳統設計及持續增加的電力需求，配電公司或配電業也持續地受到用戶要求增進電力品質及供電可靠度的壓力，必須積極研究更新地下配電系統。
2. 對於前述的需求，EPRI 針對地下配電系統，也擬訂了符合未來 10 年研究目標的策略，這項策略亦同時提供了本研究案的基礎。
3. 本項研究案主要包含 2 項主題：
 - (1) 地下配電電纜系統及架構(PS30A)
 - (2) 都市地下配電系統(PS30B).

五、內置型避雷器(Built-in type Surge Arrester)

-VSP5-12 Pole-mounted Vacuum Load Break Switch

(一) 參訪地點

1. 東芝公司府中事務所

(Toshiba Fuchu Complex)

東芝公司之避雷器研發部門設立於府中事務所，同時府中事務所亦生產控制系統、電力系統設備及交通(高鐵)系統及設備，例如



圖 4.1 東芝公司府中事務所

台灣高鐵即由東芝公司提供動力馬達、電力及控制設備。

本次參訪即於府中事務所進行智慧型電力系統技術討論、內置避雷器型架空負載啓斷開關簡報、配電技術經驗交換等。

2. 東芝公司浜川崎工場

(Toshiba Hamakawasaki
Operations)

浜川崎工場主要生產設備
爲

- (1) Surge Arresters
- (2) Power Transformer
- (3) High-Voltage Switchgear

GIS/GCB(台電用 C-GIS 真空閥生產線)

- (4) Meter



圖 4.2 東芝公司浜川崎工場

(二) 內置型避雷器(Built-in type Surge Arrester)

1. 本公司現行過電壓保護對策

電力系統過電壓有三種來源：雷擊、開關切換、接地故障，其中配電系統中雷擊造成之過電壓影響最大，爲防止因雷擊產生過電壓，本公司目前對於架空線路主要之防範措施爲：

- (1) 架空被覆線之相線上方裝設架空地線，減少直接雷擊機率。

- (2) 每具桿上普通型變壓器均附裝一具避雷器；每具桿上密封型變壓器則內含避雷器(與日本東京



圖 4.3 ZnO 元件

電力公司相同設計，且可遮蔽架空裸露帶電部分)。

2. Toshiba 公司因為具備 ZnO 元件之小型化專利技術，故予以運用於避雷器，將避雷器體積大幅縮小後，納入各式架空開關中，例如與本公司形式相仿之架空 LBS。

3. 實際參觀整廠相關生產部門及生產線，ZnO 元件製程中部份仍以人工作業(1 組 3 人，每天約 3,000 具)，但產製後之試驗則採全自動試驗。

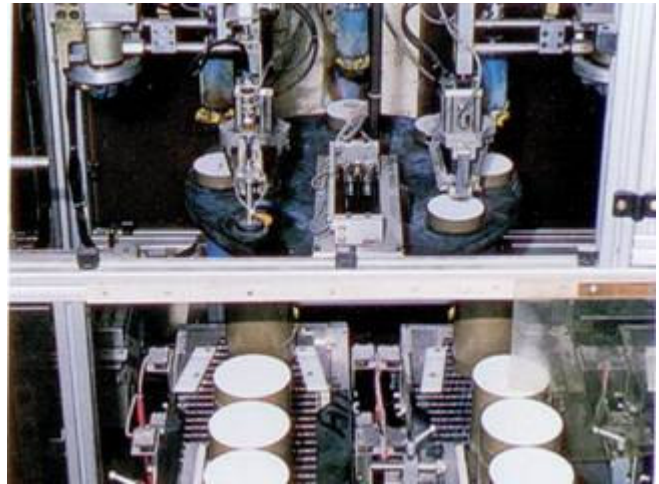


圖 4.3 ZnO 元件自動試驗設備

(三) 內置避雷器型架空負載啓斷開關內部構造

(VSP5-12 Pole-mounted Vacuum Load Break Switch)

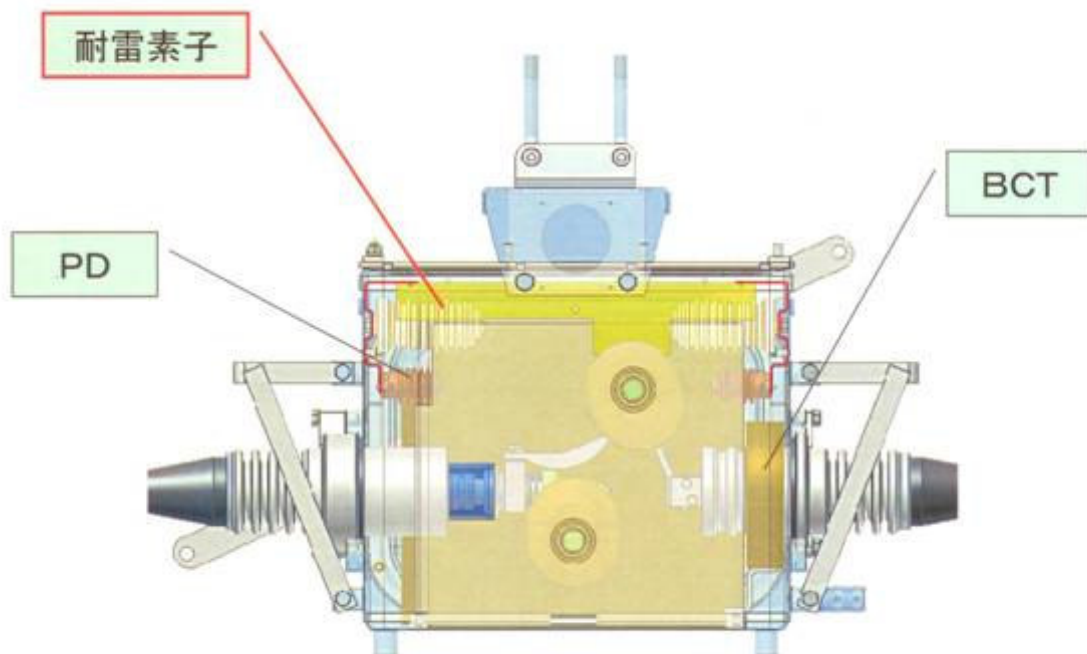


圖 4.4 架空負載啓斷開關內部構造

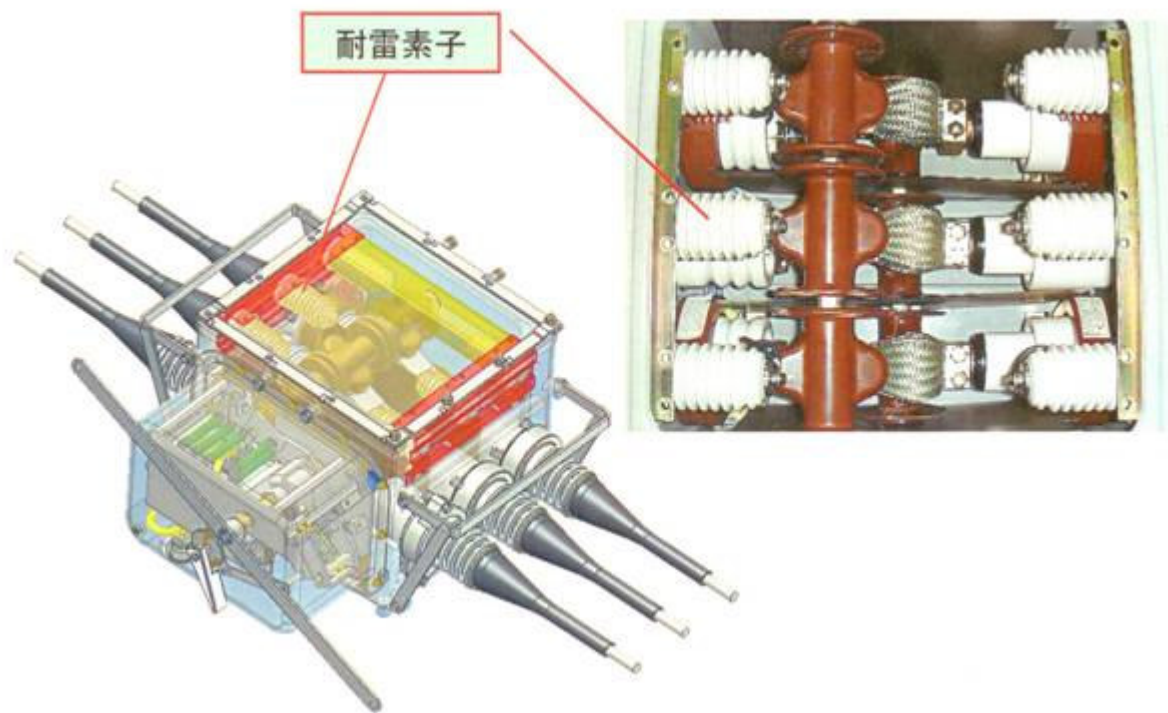


圖 4.5 架空負載啓斷開關內部構造

(四) 生產線現場開蓋及內部構造照片

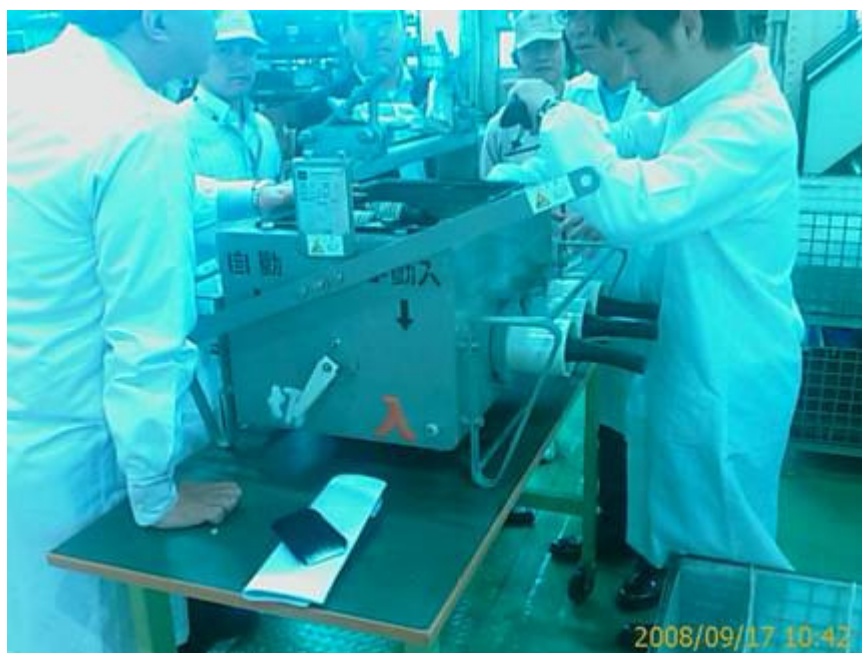


圖 4.6 生產線現場開蓋



圖 4.7 開蓋後內部構造

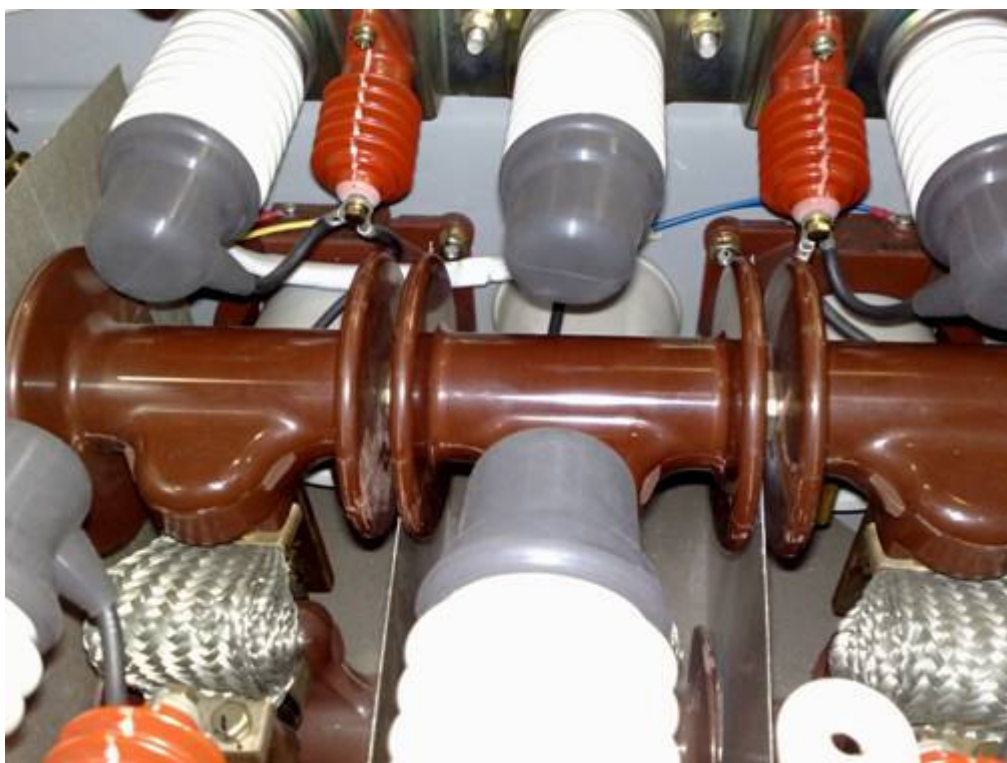
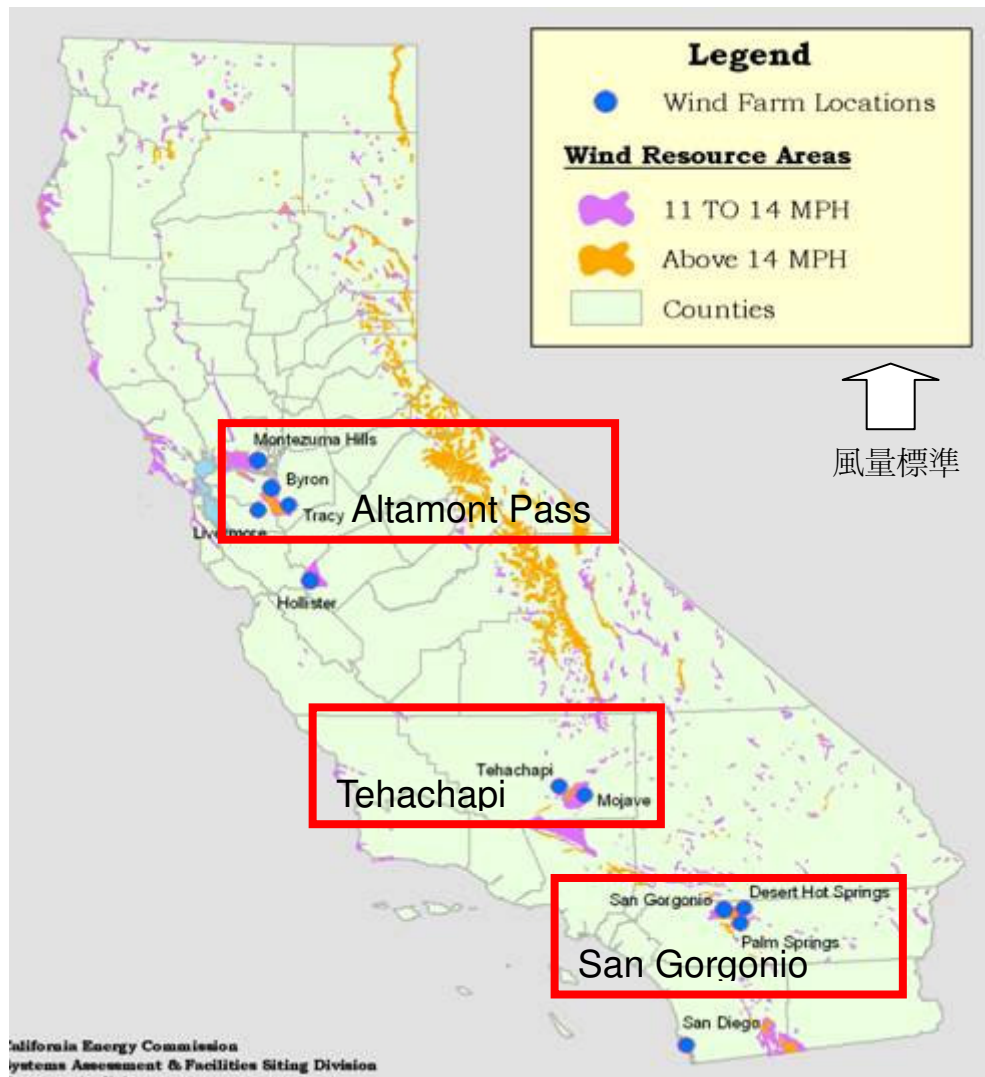


圖 4.8 開蓋後內部構造

六、加州風場(San Geronio Pass Wind Farm)



(一) 風量標準

1. 11 哩/時=4.9 公尺/秒，屬 3 級風。
 2. 14 哩/時=6.3 公尺/秒，屬 4 級風，和風、塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。
- ※ 輕度颱風－中心附近最大風速 17.2~32.6 公尺/秒，相當於 8 至 11 級風。

（二）加州三大主要風場

1. Altamont Pass 風場

6,000座風機，據稱全球數量最多，每年發電量12億度、裝置容量576MW、平均發電量125MW。

2. Tehachapi 風場

5,000座，每年發電量13億度，據稱全美發電量最大，SCE公司2006年合約增建至1,500MW裝置容量。

3. San Geronio 風場

3,500座，每年發電量13億度、裝置容量615MW。

（三）現場勘查情形



七、心得與建議

1. **建議於本公司各展示據點（如北部、南部展示館）或各區營業處之節約能源展示區，增加再生能源及未來智慧型電力系統等相關先進技術之展示。**

推展再生能源及建設智慧型電力系統除已是國際間重要的發展議題，也是政府積極推展之國家政策（如「新兆元能源產業旗艦計畫」），國內於 97 年 12 月召開之第 29 屆電力工程研討會中，所討論議題亦均與智慧型電力系統技術直接相關；董事長則於 96 年 11 月 21 日經營管理演講會，即就「面對不確定世代- 漫談電業經營之道」提及本公司未來推展智慧型電網之遠景。

建議參考 PG&E 公司舊金山能源中心(Energy Center)為推廣再生能源及智慧型電力系統等先進議題及技術所展示之多元互動系統，於本公司相關展示據點及網頁加強提供相關展示及資訊，並定期參考國際相關技術發展及成功案例加以檢討更新，這是一個可明確展現本公司服務用戶誠意、關懷環境永續、持續創新等經營理念的絕佳機會。

2. **智慧型電力系統之發展涵蓋電力、通信、資訊等領域之技術，建議應加強整合及共享本公司相關研究成果及資源。**

對於本公司各部門關於智慧型電力系統之研究，例如本處目前進行之「整合分散型電源建構優質配電網」及先前配合綜研所辦理之電力線通訊（Power Line Communication；PLC）研究，建議加強整合及共享，例如可於公司首頁成立專題網頁，或運用台電智庫之知識社群，分享研究成果、資源，增加跨系統、部門間之共同討論及意見交換。

3. **對於發展中之先進軟硬體設備，將持續關注國內外研究機構或相關業界之研發成果，除進行資料收集外，並視需要辦理技術說明或研討會。**

國內外對於智慧型電力系統軟硬體設備之研究開發，均結合產官學研各單位持續努力進展，硬體方面如智慧型數位能源感測儀錶、智慧型泛用變壓器（Intelligent Universal Transformer；IUT）等；軟體方面如具備系統監控和資料管理功能之能源資訊專家決策監控系統、智慧型居家節能管理系統等，本公司除自行或委外研究相關技術外，亦應關注國內外研究機構或業界之研發成果，除進行資料收集外，並視需要辦理技術說明或研討會。

4. **對於內置型避雷器(Built-in type Surge Arrester)之應用，將依攜回之資料做進一步討論及檢討其適用性及使用效益。**

本項設備於日本之使用經驗，對於架空線路之雷擊事故有降低之效果，惟經過本處初步討論後，因日本電壓等級與我國不同、裝置規則及外在環境也有所差異，將影響設備內部之構造設計，本處將依攜回之資料做進一步分析檢討其適用性及使用效益，並視需要與日本中部電力公司及東芝公司連絡及交換意見。

5. **本公司對於配電網路之建設，係以配電計畫予以規劃及執行，配電計畫編列，應符合智慧型電力系統發展之趨勢。**

第六配電計畫（97年~100年）發展重點為「配電線路自動化」及「推動電子式電表」，屬智慧型電力系統之基礎建設，第七配電計畫（101年~104年）則將於98年第4季開始籌編，本次出國心得及攜回資料有助於七配計畫的編列，並將參考美日等國電業為建立智慧型配電網，依序辦理之各階段配電網路建設，作為未來配電計畫發展方向之參考。