

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：考察)

「電力防衛系統」赴美國考察報告

計畫編號：NSC 90-2217-E-110-004
NSC 90-2217-E-036-001
NSC 90-2217-E-002-008
NSC 90-2217-E-033-001
NSC 90-2217-E-102-004

出國地點：美國

出國期間：2001/05/06~2001/05/16

報告時間：2001/06/30

行政院研考會／省(市)研考會 編號欄

「電力防衛系統」美國考察團成員

參加人員					
職稱	欄名	姓名	服務機關及單位	職稱	附註
團長		盧展南	中山大學電機系	教授	
團員		陳斌魁	大同大學電機系	教授	
團員		李甘常	台灣電力公司	副總經理	
團員		劉運鴻	台灣電力公司調度處	資深工程師	
團員		劉志文	台灣大學電機系	副教授	
團員		洪穎怡	中原大學電機系	教授	
團員		宋國明	國科會工程處	副研究員	

目次

一、前言	3
二、重要活動日程紀要	5
三、訪問單位紀要與心得	6
(一) 華盛頓大學電機系	6
(二) Bonneville 電力管理局 (BPA)	11
(三) 美國能源部	21
(四) 維吉尼亞理工大學電機系	25
(五) 電力研究所(EPRI)	29
四、檢討與建議	33
五、結語與誌謝	35

一、前言

本次組團赴美國參觀考察「電力防衛系統」的研究現況，其主要目的在於瞭解美國在政府部門、研究單位、電力公司及大學中對「電力防衛系統」的政策及研究趨勢，做為國科會工程處電力學門未來規劃研究方向之參考，同時希冀可以加強雙邊的研究合作與學術交流，最後並能整合國內大學與電力公司之人力、物力來完成國內自己之「電力防衛系統」，以避免729及921類似之大停電。

依行程安排，本次參訪日期自九十年五月六日起至五月十六日止，共計十一天，其中成員包括中山大學電機系盧展南教授（團長）、大同大學電機系陳斌魁教授、台灣大學電機系劉志文副教授、中原大學電機系洪穎怡教授及國科會工程處宋國明博士等五人。此外，本次行程中較特別的是有台電公司李甘常副總經理及調度處劉運鴻博士的參與，使得本團全程倍受禮遇，不管是在考察項目，抑或是討論內容，接待單位均是用心準備，相當深入，使本團獲益良多。

本團的主要任務依受訪單位之不同而有不同之任務：

（一）、學術研究單位

- (1) 瞭解大學鼓勵學生從事電力研究之方法。
- (2) 瞭解不同學校進行研究群整合之方法。
- (3) 瞭解「電力防衛系統」所含蓋之層面，含所欲解決之技術、人員之運用與財務之分配等項。
- (4) 分享國內台電在729大停電之防衛措施與經驗交流。
- (5) 參觀實驗室之研究設備，並瞭解其設備使用情形。

(二)、政府與電力公司（局）部份

- (1) 瞭解政府對電力防衛系統重視程度（政策及財務支持規劃）。
- (2) 瞭解電力公司對「電力防衛系統」之期望及參與研究程度。
- (3) 瞭解電力公司對美西大停電之處理方法，以做為國內借鏡。
- (4) 分享國內台電在729大停電之防衛措施與經驗交流。
- (5) 參觀電力公司的輸電部門在調度與規劃之工作情形與配置之相關設備，以提供國內在防衛措施上之新思維。

二、重要活動日程紀要

日期	活動紀要	接待單位	接待人員
2001/05/07	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞭解 UW 如何鼓勵學生從事電力研究。 2. 瞭解 UW 如何加強與產業界合作。 3. 聽取「電力防衛系統」架構簡報。 4. 參觀「電力防衛系統」之初期軟體展示。 5. 參觀各實驗之設備及使用情形。 6. 台電 729 停電經驗分享。 	華盛頓大學電機系	Professor Chen-Ching Liu Professor Jeng-Neng Hwang Professor Mark J. Damborg
2001/05/08	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電業自由化之理論分享。 2. 電力防衛系統觀點交流。 	華盛頓大學電機系	Professor Chen-Ching Liu Professor Jacques Lawarree
2001/05/09	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參觀電力調度及規劃研究設備。 2. 參觀調度中心之作業情形及硬體設施。 3. 分享美西大停電之處理情形。 4. 分享台電 729 大停電之處理情形。 5. 聽取 BPA 最新對電暈消除之新技術。 	Bonneville Power Administration (BPA)	William A Mittelstadt, P.E. John M Haner, P.E. Carson W Taylor, P.E. Tzuhui Liu , P.E.
2001/05/10	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞭解 DOE 對「電力防衛系統」之支持與規劃。 2. 瞭解 DOE 與國外研究單位合作之可行性。 3. 瞭解 DOE 目前支持美國國內不同研究群進行研究概況。 	美國能源部 (DOE)	Philip N. Overholt, P.E. Lee H. Gebert, Officer Frank Y. Chen, P.E.
2001/05/11	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞭解相向量測在防衛系統之應用。 2. 瞭解計算機在防衛系統之應用。 3. 瞭解保護電驛在「隱藏性失敗」之因果。 4. 參觀研究室之設備及研發狀況。 5. 分享台電 729 大停電之處理情形。 	VP	Profssor Arun G. Phadke Jaime De La Ree, Ph.D. Professor Yilu Liu
2001/05/14	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞭解 EPRI 在分配經費支援電力防衛計畫情形。 2. 瞭解 EPRI 在核能研究之狀況。 3. 瞭解加州電力市場失敗的原因。 4. 瞭解 EPRI 對礙子污染的處理技巧。 5. 分享台電 729 大停電之處理情形。 	電力研究所 (EPRI)	Ahmad Faruqui, Ph. D. Massoud Amin, D.Sc. Sound-Nan, Liu, P.E. Theodore U. Marston, VP Richard Lordan, P.E. Hung-Po Chao, Ph.D.

三、訪問單位紀要與心得

3.1 華盛頓大學 (University of Washington)

參訪機構：華盛頓大學電機系

主訪對象：Professor Chen-Ching Liu (劉鎮欽)

Professor Jeng-Neng Hwang

Professor Mark J. Damborg

Professor Jacques Lawarree

地址：356 Loew Box 352180

Seattle, Washington 98195-2180

電話：(206) 543-8590

傳真：(206) 616-8554

電子郵件：liu@engr.washington.edu

訪問記要：

1. 訪問單位簡介

華盛頓大學位於美國西北部華盛頓州之西雅圖，全校學生約有 3 萬人。電機系是工學院中最大的系，共有 79 名教師，其中有終身職(tenure)者共 45 名，得過 NSF 總統青年研究獎(NSF Presidential Young Investigator Awards)者共 8 名，IEEE Fellow 共 16 名，期刊之最佳論文共 18 篇，期刊之主編、副編或委員共有 35 人次。

電機系外來之研究經費在 1997~1999 年有 1350 萬美元，至 1999~2001 年約 1800~2100 萬美元，平均每年約 1100 萬美元。目

前約有 270 位研究生；每年約有 180 位大學部學生、80 位碩士班學生及 20~25 位博士班學生畢業，研究生每年每 quarter 約有 35 個教學助教獎學金（TA）名額及 130 個研究助理獎學金（RA 或 RF）名額。

在電機系之電力組中，主要由劉鎮欽教授領導成立 EEIC（Electric Energy Industrial Consortium）以鼓勵大學部學生從事電力方面之發展，EEIC 之廠商有 Bonneville Power Administration、Puget Sound Energy、Seattle City Light、ConneXt、Snohomish PUD、ALSTOM ESCA 及 Tacoma Power。EEIC 每年舉辦海報論文比賽，並在比賽當天在教室公開講演，最後分個人及團體獎。EEIC 在 2000-2001 之收入經費為 57500 美元，大部份支出在獎助學金上，其餘用在廠商（電力公司）參訪，講演及其他活動項目上。

劉鎮欽教授另外在研究上亦組織一個 APT（Advanced Power Technologies Center），此中心開始於 1997 年，組成的伙伴有 Arizona State, Iowa State 及 Virginia Tech, 學校以外的組織有 ALSTOM ESCA、CESI（義大利）、Mitsubishi Electric（日本）及 LG Industrial Systems（韓國）。

APT 目前正執行 5 個研究計畫，其中最大的是由國防部及 EPRI 支持的電力防衛系統計畫（Strategic Power Infrastructure Defense, SPID）最大，此計畫開始於 1999 年，經費為 470 萬美元。

2. 訪問心得：

(1). 華盛頓大學電機系聯合 Arizona State、Iowa State 及

Virginia Tech 三所大學進行四年期之 SPID 電力防衛系統研究，並以華盛頓大學為首進行整合，各單位彼此分工合作，形成一個跨校之研究群，避免單打獨鬥，值得學習。

- (2). 劉鎮欽教授利用 EEIC 鼓勵大學部學生從事電力方面之研究，以使學生對該電力領域發生興趣，進而參與成為電力界之一員，其中提供獎助學金、演講及辦理 field trip 都是很好的賣點。
- (3). 電力系統已被視為國防防衛之一項，它保障了民生、經濟、交通及通訊之電力來源，早先電力只被視為民生之基礎建設，現在防衛系統之觀念更提昇到國防之層次，此一概念應向國內多宣導，以讓國內重視電力系統之研究。
- (4). SPID 電力防衛系統採用三層之結構：Reactive Layer、Coordinated Layer 及 Deliberated Layer，這三層包含不同之 Agents，這些 Agents 共有十幾位教授及廿幾位研究生共同分工合作研究。由此可見在研究分同及軟體發展架構上，「階層」(Hierarchical) 之方式是較佳的方式。
- (5). 通訊及電腦網路在 SPID 上扮演一重要之角色，亦是整合各 Agents 之重要方法及工具。
- (6). SPID 之所以能快速且具有適應性之能力，乃有藉於人工智慧及通訊之能力，故發展強健之人工智慧及通訊技術為未來電力系統研發之重要基礎研究。
- (7). SPID 中有幾個重要觀念，即 Vulnerability Index 及 Hidden Failure Analysis 及 Islanding Scheme，其中 Vulnerability Index 有別於傳統之穩定度指標及安全性指標，因尚在研究中，故華大僅提供一個演算法概念，未提供

明確之計算方式；Islanding Scheme 之計算與考慮因素，經討論尚有很多爭議，或許國內學者可以與 APT 研究群共同合作研究。

3. 檢討與建議

- (1). 台電系統在經歷 729 及 921 停電事件，突顯電力防衛系統需求之必要性。建議學術界及台電共同從事電力防衛系統研究。
- (2). 國內在電力防衛系統之研究，在台大電機系有初步之成果，可與國內其他大學共同合作，以期與世界並駕齊驅。此外，大同大學電機系亦曾與日本富士電機公司合作，進行汽電共生廠之電力防衛系統開發，並在 729 及 921 電力事故中，成功地達成保護自己電廠之目的。
- (3). SPID 目前仍在觀念及架構上處理，唯美國國防部仍能大力支持，反觀國內則較重視短期效益，對 SPID 此種需較長期，且風險較大之研究案，則乏人問津，甚為可惜。
- (4). 華盛頓大學電機系電力組在教學及研究均有業界之財務支援，特別對大學部學生有鼓勵之作用，這些十分值得國內學習。反觀國內環境，國內之電力公司及其他電力業者對學校之支持（包括研究及獎學金）並不熱衷，使得學生學習電力之興趣不高。
- (5). 國內教授應實際整合研究之力量，才能完成實際可成之研究成果。華大如 APT 之整合研究群值得我們學習。
- (6). 國內整合型計畫欠缺完整規劃，目標不夠清楚，無法完成特定功能與目標，其實如果能針對特定明確目標完成一個完整

系統，整合型計畫才能得到實際效果，只有透過整合性強的子計畫彼此密集地討論，才能完成具有實用價值的系統與研究。

3.2 Bonneville 電力管理局(Bonneville Power Administration)

參訪機構：Bonneville Power Administration (BPA)
at Vancouver , WA

(網址)：<http://www.bpa.gov>

主訪對象：1. William A Mittelstadt
2. John M Haner
3. Carson W Taylor
4. Tzuhui Liu (劉祖惠)

地 址：5411 NE Highway 99
P.O.Box 491
Vancouver , WA 98666-0491

電 話：(360) 418-8647

傳 真：(360) 418-8646

E - mail：1. wmittelstadt@bpa.gov
2. jmhaner@bpa.gov
3. cwtaylor@bpa.gov(個人網址:cwtaylor@ieee.org)

訪問紀要：

1. BPA 簡介

BPA (Bonneville Power Adminsrtation) 最早成立於 1937 年，它是源於 Bonneville 水壩產生電力的一個臨時機構，在 1940 年時，BPA 的市場擴展到包含華盛頓州中心的 Grand Goulee 水壩，

最後 BPA 成為一個永久政府機構，首先隸屬於美國內政部，然後在 1977 年隸屬於美國能源部，為美國少見的公營電力公司。

BPA 大部分電力是由美國西北部哥倫比亞河的 29 個聯邦水壩所產生，小部分電力由一個非聯邦隸屬的核能電廠供給，然而 BPA 並不擁有任何水壩及其運轉權，其中 Bonneville 水壩是隸屬於美國軍事工程部。在今天，BPA 供應美國西北 46% 的電力需求，供電範圍廣及三十萬平方英哩，屬於 WSCC (Western Systems Coordinating Council) 電網系統。



Bonneville Dam

在傳輸線方面，BPA 擁有美國西北地區大約四分之三的高壓輸電網路，是一個具有世界最大的高壓傳輸線系統的公司，它可透過一萬五千英哩的輸電線將電力從水壩和變電站送到客戶。此關，BPA 輸電系統亦連結到其他地區，北從加拿大，南到加州，東到蒙大拿州，最長的一條是 Pacific Intertie 從西北到加州。



BPA 傳輸線圖

BPA 的服務地區包含奧勒崗州、華盛頓州、愛達荷州與部分蒙大拿西部，它也直接供電給小部分加州、內達華州、猶他州、懷俄明州等區域。此外，它還可將過剩的電力賣給加州和西南部各州，其服務區域廣達 77 萬 5 千平方公里。據統計指出，BPA 的員工數大約有 3200 人，目前約有三百萬人及超過一百二十萬個工作機會依附在 BPA 相關工作或服務上。



BPA 服務地區圖

西北部地區的公用事業及一些大型工業均向 BPA 買電，而公用事業也向其買電後再將電力轉售給家庭、商業及其他消費者。身為公用事業機構，BPA 除了供應高品質穩定電力外，尚必須對美國西北部和國家大眾負起保育責任；同時，當一個自給自足的電力事業，BPA 仍需保持收支的平衡，這實在是一個不容易的工作。

BPA 每年收入大約有二十億去支付它的成本及實行它的公共政策（低價格、保育計劃的基金、建立可靠及環保的完整電力系統、實行節約能源及再生能源等計劃），這些成本包含公共債款，BPA 一年付超過七億美金給美國國庫去投資在水壩及電力傳輸系統。雖然如此，BPA 在電力市場解除管制後，並沒有得到任何的優待，BPA 已不能再以提高電價來應付成本支出。相反地，BPA 必須成為一個效率高的機構，它必須大幅降低成本、減小規模、大幅改造經營模式和以低價供給客戶用電。為此，BPA 自 1980 年起，即積極開發新能源供給客戶，其第一選擇是節約能源，其次為再生能源；在最近 15 年中，BPA 經由節約能源及鼓勵使用高效能節能技術，獲得將近 600MW 的電力，足以提供史匹堪市 (Spokane) 和波伊西市 (Boise) 的用電需求，成效卓著。

2. BPA 的功能分類：

依功能區分，BPA 可分成四個主要部門：

(1). The Power Business Line (PBL):

大規模的電力，主要是賣給西北大眾公用事業，然後再轉售給農業、商業及家庭用。此外，BPA 也直接賣電給 15 個大型工業，大部分是煉鋁廠。

(2). The Transmission Business Line (TBL):

本部門主要是負責傳輸部份，由 Bonneville 或其它電力漿司所銷售的電力，會經由 AC 和 DC 輸電線連接供電至加州及美國西北部地區；該輸電部門主要有超過 300 個變電站和將近有 24000 公里橫跨西北的輸配電線路。

(3). The Energy Efficiency Group :

該部門的工作內容主要是節約成本、提高效率。其目標是努力轉變市場，朝向高效能的新產品發明。如精細的省電燈泡、新型的冷氣機及超高效率的馬達等產品。

(4). Corporate:

該部門主要是負責監督並提供策略給前面三個部門。其中也包括提供野生環境保護或履行公眾義務等方面的建議。

3. BPA 面臨的挑戰及其對策

隨著電業的解制，電力產業迅速從傳統的架構朝向多樣化與分散的結構，這是 BPA 在未來所要面臨的重大變化之一。此外，尚有三項主要的發展正集中挑戰 BPA，那就是新的競爭、新的保育絕種動物計劃需求、及政府地位的改變等，每項均對 BPA 產生極大的影響。而除了上述的挑戰外，還有其他議題刻正困擾著 BPA，包含高固定成本、核能投資、非由 BPA 運轉水壩的水力系統之維持及不可預知煉鋁業的電費收入等，均對 BPA 的不確定收入，造成不小的困擾。

(1). 新的競爭:

因電業解制，大型電力公用事業正在經歷一歷史時刻，由於輸電線市場的開放、燃料價格的下降及新競爭對手的出現，BPA 必須面對它的客戶可能選擇其他電力供應競爭者的窘態，

尤其是當 FERC (Federal Energy Regulatory Commission) 計劃開放傳輸線並鼓勵競爭後，在美國西部的供電競爭將更形激烈，經營更是困難重重。

(2). 新的保育絕種動物計劃需求:

當 BPA 面臨競爭者的增加，它同時也有一項新成本增加。最近，在保育計劃的成本上有急速增加的趨勢，從 1991 年到 1995 年，BPA 每年投資在保育計劃的成本由一億五千萬美金提升到四億美金，預估在 2001 年將增加至六億七千五百萬美金，而這計劃將會使水力發電系統的操作彈性降低，並進而使未來收入減少。其中，最大的影響是原 BPA 的用電客戶會因保育計畫成本的提高，進而轉向其他電力公司買電，造成 BPA 的實質損失。

(3). 政府地位的改變：

隨著電力事業的轉變，大眾期望政府機構能更有效地利用能源和更好的服務品質，惟當政府預算已使用至上限時，公家機關就必須尋找創新的方法去達成任務，而不是一味地追加預算，這正是 BPA 所面臨的窘境。近六十年來，在美國西北地區並沒有大型電力公司與大型企業和 BPA 競爭，這主要是由於 BPA 使用乾淨、穩定、低成本的水力發電，因此 BPA 能提供大眾低廉的電價。但在今天，西北部電力市場有許多的大型電力公司，而它們的電價是依市場決定之，但 BPA 仍需保持低電價策略，所以 BPA 必須思考是否能用低成本的優勢繼續保持低電價。因此，為了在市場上能成功，BPA 建立了七個目標以面對挑戰：

a. 提高服務品質，滿足客戶需求 (Customer Satisfaction) 。

- b. 增加事業的重要性與分享擴展的優勢(Increased Value)。
- c. 當低成本的電力製造者和傳輸服務(Lowest-cost Producer)。
- d. 達到與保持財務健全(Financial Integrity)。
- e. 保持電力系統的安全性與可靠度(Safe&Reliable)。
- f. 維持競爭力在環境投資上(Environmental Investment)。
- g. BPA 轉變成為重要執行者和以企業經營為目標的組織(High Performance)。

4. 訪問感想與心得

- (1). 本次參訪的單位為 BPA 的 TBL(Transmission Business Line)，為 BPA 傳輸線規劃及運轉單位，相當於台電公司電力調度處，系統規劃處及電力研究所電力室合在一起，電力系統的權責集中，有助於防衛系統的研發、建置、運轉維護及聯繫等工作之推行。
- (2). BPA 的 Defense System, 從上游的規劃(Planning studies)到中下游的運轉、調度(Dispatching)全部涵蓋，為預防其電力系統因系統內或外界之重大事故拖垮，採用 RAS(Remedial Action Scheme) 其內容包括低頻及低壓卸載、發電機跳脫、電感/電容之投入及切離及獨立運轉(islanding operation)等整套系統防衛，並已在調度中心運轉，考慮周到，值得學習。
- (3). BPA 之 WAMS(Wide Area Measurement Systems)已設置 12 套 PMU (Phasor Measurement Unit)來監測系統，系統即時(real time)相量可隨時看到，此設備目前主要提供事故後原因分析

及驗證模型準確性(model verification)。

- (4). 電力防衛計劃(Defense System)之主要負責人為 Willian A. Mittelstadt 及 Carson W. Taylor ，年紀均已甚大，但仍從事專業工作，令人欽佩。
- (5). WAMS 可看到系統內 reactive resource margin，提供調度人員即時參考，系統內各變電站之角度差，亦能隨時按人員指令顯示，角度差較台電大甚多(因台電南北距離相對較短)。
- (6). BPA 有兩個調度中心，主調度中心在 Vancouver, Washington，副調度中心在 Spokane。當主調度中心因火災，地震或其他原因不能使用時，可立即轉由副調度中心繼續調度運轉；主調度中心值班人員有六位，一位主管，兩位負責輸電系統，兩位負責排程(Schedule)，一位負責通訊，副調度中心有四位，每班共計十位，分工較台電細緻。
- (7). 因美國鼓勵競爭，在 1996 年將電業管制解除，研發經費亦從此遽降，研發已傾向短程一年至三年能回收之項目，且集中於成本降低及結合概率之研發，須較長期及風險較高的研發項目及經費已成首先裁減對象。
- (8). 目前 BPA 研發方向及重點為
 - a. 發展模式(models)及系統規劃分析工具，使輸電系統能更有效利用。
 - b. 成本降低之研發，如考慮機率之規劃，變壓器礦物絕緣油等。
 - c. 減輕事故問題之研發，如光纖表皮受電暈破壞問題之解決等。
- (9). BPA 是美國少數在研究發展上有優異成就的公司，此與 BPA 和美國電力研究院及學術界互動交流頻繁有關，值得國內學習。

(10). 台電與 BPA 早期有合作關係，目前則較少，台電擬發展之防衛計劃，BPA 應能提供許多經驗與協助。

5. 檢討與建議

- (1). 電力系統在美國亦被認為與國防有密切關連，此可由美國國防部提供研究經費給予電力系統防衛研究看出。然而，國內在歷經 1999 年 729 及 921 大停電仍未注意到此點，值得與國防單位檢討。
- (2). 英、美、澳等國之電力調度中心皆有兩個，以防第一調度中心失效時，仍有後備調度中心可用，然台電僅有一調度中心，萬一出狀況，後果將相當嚴重，為使系統安全調度及國內工業民生用電及國防考慮，建議儘速在南部另設一備用電力調度中心。
- (3). 此次參訪單位 BPA，將電力運轉及規劃部門視為一體，預防權責不清，此與台電部門組織架構不同，建議台電參考 BPA 架構，避免調度及規劃之模糊地帶。
- (4). 目前台電並無 WAMS，而 RAS 亦僅有最基本的低頻卸載，並不足以應付重大事故，此可由 1999 年 729 及 921 大停電得証。建議台電儘速加強 PAS 防衛計劃，而 WAMS 內之 PMU，因目前仍在發展階段，鑒於其未來潛在的功能，建議台電考慮做監測用，待技術成熟時，才用來做控制。
- (5). 自 1996 年電業解制(deregulation)後，電力公司研發經費遽降，此亦造成近年來停電次數遽增，可靠度降低，但 BPA 仍持續投入研究於短程內(1-3 年)能看到成果的研發。反觀國內在未來電業民營後，電力業者在商言商，亦必面臨相同問題，建議有關需長程，風險較高的研發經費由政府提供(如國科會、國防部、經濟部、環保署等)；而較短程(1-3 年)研發，則建議台

電結合國內工業，學術研究單位等一起合作，集思廣益，將較有成功的機會。

- (6). 台電地區負載及發電機組分佈問題，造成大量電力南電北送，此與美國西部夏天北電南送，冬天南電北送有相似之處，如何限制過量的電力輸送造成不穩定，如何於危急情況下，卸載跳機，甚至分割成幾個供電區(獨立運轉區)皆是未來台灣電力防衛系統應努力的方向。
- (7). 理論與實務的結合，才能使研發真正落實。未來台電系統防衛計劃及其他相關研發，若能有學界相關專長人士參與，將與台電形成互補，學術界可免於閉門造車，做紙上文章，而台電則可避免當局者迷，獲得另外觀點，互補所長，對台灣社會進步將具正面意義。
- (8). 隨著台灣電業自由化，台電面臨的挑戰將與 BPA 類似，宜速謀對策，此方面相信學術界有相當多能貢獻的機會。

3.3 美國能源部 (DOE)

1. 簡介

訪問團所拜訪的部門是美國能源部 (DOE) 能源效率及再生能源單位下的一個辦公室，稱為 Office of Power Technology (OPT)。此次訪問由 Dr. Philip Overhalt 安排，該單位的主管 R. K. Dixon 及 Deputy Assistant Secretary 亦出面接見本訪問團。由於幾次大停電及美國政府的建議，美國國會於 1999 年要求 DOE 贊助國家實驗室及工業界進行電力基礎系統之可靠度的加強，進而成立電力可靠度技術方案聯盟 (Consortium for Electricity Reliability Technology Solutions, CERTS)，該組織的主要成員如下：

- Lawrence Berkeley National Laboratory
- Electric Power Group
- Oak Ridge National Laboratory
- Power Systems Engineering Research Center (PSERC)
- Sandia National Laboratories
- Pacific Northwest National Laboratory

而 PSERC 的成員中正執行 DOE 計畫的學校如下：

- Cornell University
- University of Illinois at Urbana-Champaign
- University of Wisconsin-Madison
- University of California-Berkeley
- Washington State University
- Georgia Institute of Technology

上述幾個學校目前進行的研究工作主要集中於電力技術、經濟分析與法規的研究。OPT 的主要任務是在電力市場過渡為競爭市場

的過程中，發展可行的技術和政策以保持並加強國家的電力供電系統的可靠度。整個計畫的主要策略是訂定符合競爭性電力市場需求的可靠輸電基礎建設方案及政策，而方案及政策的建立需由下列各單位共同合作：

- Independent System Operators (ISO)
- Federal Energy Regulatory Commission (FERC)
- State Public Utility Commission (PUCs)
- North American Electric Reliability Council (NERC)
- Technology Manufactures and Suppliers
- Trade Associations
- Energy Service Provides

OPT 目前所贊助的主要研究工作如下：

- Real-Time Grid Reliability Management
- Reliability and Markets
- Distributed Energy Resource Integration
- Reliability Technology Issues and Needs Assessment

在即時電網可靠度管理的研究上主要工作項目為：

- 利用先進測量及控制技術、發展、測試、評估及展示新的即時運轉效能監視系統、安全分析模組、運轉程序及各種工具
- 改善電力系統運轉資訊的推廣應用及顯示功能
- 發展效能評估矩陣以測量及監視輸配電系統的可靠度
- 推廣發展完成之運轉工具及程序至工業界

目前完成之系統包括：

- 無效功率監視工具
- 輔助服務效能統計評估

- 相位 (pharos) 量測及安全性分析
- WSCC 系統分離之徵兆警示

在可靠度及市場的研究上，主要是擬提供系統輔助服務公司足夠的市場資訊並提供改善系統可靠度之誘因，工作項目包括市場機能及目前市場問題的檢討，及輔助服務市場之建立。

在分散式電源的整合上，主要是發展與可靠度相關之併聯技術以使分散式電源得以順利地加入現有配電系統中，利用分散式電源小型電網 (Minigrid) 或電力園區 (Power park) 的觀念可以改善電力供應之可靠度及品質，此部分研究亦強調可靠度經濟分析。

在可靠度技術及需求評估上，主要研究步驟包括：確認併聯系統可靠度的重要問題及排列研究發展的優先順序，目前已完成六份可靠度相關需求的白皮書，白皮書摘要如附件 1。目前 OPT 的預算約為 4.4 百萬美金。ODE 做事方法先明定目標 (object/mission) 再訂策略 (strategy)，最後再定執行方法 (implementation)。

2. 建議事項

- DOE 從 2001 及 2002 年大幅提昇其研究經費，並有清楚之研究目標，其中以「Real-time Grid Reliability Management」之投入最大，建議國內重視這點。
- DOE 對所著重之研究子題往往有不同研究單位以不同 approach 研究，此方式有助提供不同見解。
- 建議成立超然之可靠度委員會以監督電力系統之可靠度，並應付未來電業自由化之趨勢，釐清電力系統可靠度之相關權力義務歸屬。
- 台電可考慮結合國家實驗室，工研院，電力公司及大學成立整

合型研究團隊對從事可靠度改善之研究。

3.4 維吉尼亞大學電機系(Virginia Tech)

主訪對象：Professor Arun G.Phadke

Associate Professor Jaime De La Ree

Associate Professor Yilu Liu

地 址：The Bradley Department of Electrical Engineering

340 Whittemore Hall

Virginia Tech Blackbury, VA24061-0111

電 話：(054) 231-7029

傳 真：(054) 231-4303

電子郵件：agphadke@VTVMIL.cc.vt.edu

1. 訪問單位簡介

Virginia Tech. 電力組目前有教授 6 名、高級技術人員 2 名，其中 Professor Phadke 為召集人。Phadke 教授是國際電力界大師級教授，擁有美國國家工程院院士、IEEE Fellow、IEEE Trans. on Power Delivery 期刊主編等頭銜，其主要專長為電力保護系統，尤其是在電腦電驛研究方面，更是個中翹楚。目前，Virginia Tech. 電力組有四間實驗室，分別是 Power Systems Lab.、Power System Protection Lab.、Energy Lab.、Faraday Lab. 等。分別介紹如下：

(1) Power Systems Lab.

目前實驗室有高效能數位示波器、HP 電腦分析器、任意波形產生器、電力品質及諧波量測裝置、電磁場量測裝置及現代電力暫態模擬器等設備，可以進行各種電力實驗、數據量測及控制等工作。其中電力量測設備配有 GPS 接收器，可以執行同步精確的電力量測工作，相當先進。Lab. 內有數台 PC、Sun 工

作站及研究軟體，包括 EMTP、EMTDC、Saber、Ansoft、ETMSP、Matlab、Mathematica 等，是支持電力組研究生及大學部學生研究及學習的好環境。

(2) Power System Protection Lab.

本實驗室有足夠的軟硬體設施以從事電力系統保護實驗，它包括電流、電壓、功率等參數之量測裝置。

(3) Energy System Lab.

Energy System Lab. 含有電驛實驗測試裝置、數台電腦及一個小型的圖書館，其中 NASA/JPL 之電力模擬器可用來作為電力調度訓練之用。實驗室內的設備尚有 HP3561 Dynamic Signal Analyzer、Norma D5235 AC/DC Power Analyzer 等。

(4) Faraday Lab.

本實驗室主要是提供大學部必修課程—ECPE3354 所使用的 Lab., Lab. 內可提供各種電機機械的實驗，值得注意的是「實驗裝置均已電腦化」。此外，一些大學部的專題研究計劃，包括太陽能及混成電動機車計劃等，也都使用本 Lab. 的設施。

2. 訪問心得

- (1) VPI 電力組教授覺得選讀電力組學生數目有減少趨勢，目前正積極規劃吸引學生的有效方案，台灣目前也有類似情況，值得台灣電力界的教授門卓參。
- (2) 透過校際或與世界各地電力教授共同組成之大型研究計劃，可以提升電力研究領域的可見度。
- (3) VPI 在相量量測技術 (PMU) 的研究與應用上居世界牛耳，其主要的成果有 GPS base PMU、Adaptive Out-of-Step

Relaying、State Estimator by PMU 等技術。

- (4) Virginia Tech. 在電力系統方面有甚高的學術聲譽，並曾參與甚多的跨校或跨國研究計劃。目前仍有大型研究案正在進行中，如：Advanced Power Technology (Adaptive Relaying，能依系統狀況自動偵測、調整設定。)。此外，美國國防部及 EPRI 支持的 SPID 研究案，該校亦是重要的成員之一，足見其學術研究之卓越性。
- (5) Virginia Tech. 為 APT 成員之一，在美國電力界享有盛名，並且與台電公司有合作計劃。值得一提的是，Virginia Tech. 研究內容十分偏向實務，對未來學生之出路十分有幫助。
- (6) Prof. Liu 所發展的 PSIN 及 FNET 電腦網路系統，能有效整合電力事故的元件及軟體，有助於計算機於電力工程上之應用。

3. 檢討與建議

- (1) 建議台灣的大學與美國大學可以互相支援、合作執行專題研究計劃，當然主動權在台灣，可透過台電或國科會之經費支援來牽線。
- (2) 加強 PMU 之研究與應用。
- (3) 建議國科會加強電力防衛/保護系統方面的研究。
- (4) 跨領域合作將是日後的趨勢(如 SPID 及有通訊專長的人士)，國內整合型研究案應為此類型較為理想。
- (5) 國科會電力學門的未來研究方面可以參考 Dr. Phadke 的研究方向，包括 Synchronized Phasor Measurement、Advanced Protection Principle、Hidden Failure Analysis、Adaptive Relaying and Adaptive Remedial Action Schemes。

(6) 建議台電公司可以考慮加入國際電力系統研究策略聯盟。

3.5 電力研究所(EPRI)

1. 訪問心得

電力研究所 (Electric Power Research Institute, EPRI) 已成立 27 年，為一非營利機構，其研究經費為會員自願捐贈，研究經費目前約 3 億 5 千萬。主要的研究工作包括發電、環保、核能及電力市場相關項目，目前服務超過 1000 個世界各地的單位。電力相關公司及組織可以參與全部的項目或單獨參與所需要的 program，參與的單位包括：電力公司、電力市場參與者、能源服務公司、工程公司、天然氣公司、設備製造商、能源供應公司、獨立系統操作者 (ISO)、電力交易公司、輸電公司、配電公司和政府機構，參與者可以得到 EPRI 的研究成果報告及技術上的協助。EPRI 總部位於美國加州矽谷，有不同辦公室分布美國及世界各地。另外 EPRI 有多於 30 研究中心提供能源方面的相關服務，台電公司參與 EPRI 3 個 programs，分別是輸電、配電及環保三項。

此次訪問在 Dr. Massoud Amin 的安排下，聽取了下列簡報：

- EPRI 簡介
- 加州電力危機-政策及風險分析
- 未來的核能發電
- 分散式能源簡介
- EPRI 可靠度研究
- EPRI / DOD / CIN / SI program

美國加州由於市場無法反應需求面價格以至於供給面價格過高，電力公司無法負擔過高成本，發電業者不願意賣電而造成電源不足，輪流停電的結果，對產業的發展產生一定的影響。加州自由

化之結果與預期完全相反，此可為國內借鏡。

由於自由化後能源市場價格過高的結果，美國政府擬於未來推動各種電廠的建立，核能電廠得到新政府的支持，未來可能有新的訂單，而且有不少舊的核能電廠已得到延長運轉的執照，核能發電似乎有復甦的跡象。分散式電源配合天然氣管路及再生能源，用於提供接近用電場所的電源，可改善電源可靠度及電力品質，在有限電危機及電力品質問題的場所提供不錯的選擇，雖然價格而言，目前未具一定經濟規模的水準，但對需有高供電品質的用戶而言，已有很多公司採用。

EPRI 供電可靠度的研究則是配合 NERC 可靠度評估委員會應用機率風險評估方法於三大連結電網。風險可靠度的指標 = 發生機率*影響程度，而影響程度是由熱過載、電壓過高過低、電壓穩定度及動態穩定度造成之嚴重程度決定。目前正在發展之評估可靠度工具包括：使調度員觀察電力流動的顯示工具，電網穩定度及運轉效能最佳化工具，主要工作包括即時網路安全運轉之資料顯示 (Real-time Security Data Display)，含主要幹線及變電所之電力流量和電壓之監視及區域間資料傳送，以分析電力交易對不同區域系統安全運轉之影響。

EPRI 與 DOD 正推動一全國性的計畫名為 Complex Interactive Networks / System Initiative (CIN / SI)。這裡所謂的複雜互動網路包括能源（電力網路、水、油、天然氣管路）、通信、交通、物流經濟、交易市場等之基礎網路系統。此計畫由美國政府、工業界和學術界共同努力，擬發展出使上述相互影響之基礎網路，安全可靠運轉，並具自我復原能力之輔助工具。學術界的參與主要有下列六個團隊，他們研究的內容如下所示：

U Washington, Arizona st., Iowa st., Virginia Tech	避免重大事故之防衛系統及事故發生之潛在可能性評估
Purdue, U. Tennessee, Fisk U, TVA, ComEd	電網之智慧型管理
Harvard, UMass, Boston U, MIT, Washington U.	模式建立及系統診斷方法研究
Cornell, UC-Berkeley, GWU, Illinois, Washington st., Uwisconsin	保持系統效率並降低事故發生/系統效能隨機分析
CMU, RPI, UTAM, Minnesota, Illinois	功能內容相依之網路代理人系統研究 (Context dependent network agents)
Cal Tech, MIT, Illinois, UC-SB, UCLA, Stanford	分散式系統效率與強韌性分析之數學基礎研究

以上各項研究內容簡介請參閱附件 2。

EPRI / DOD CIN / SI 計畫共有 26 所大學 108 位教授參與詳

細資料由下列網站可看到：<http://www.epri.com/target ST.asp?>

Program=83

該計畫預期成效為：

- 建立事故發生程序之鑑別，特性化及數據化分析。
- 對各種基礎網路個體間之相依及因果關係之了解。
- 發展預測模式。
- 發展降低或免除事故發生之運轉程序及策略。
- 設計自我復原及適應性結構。
- 在強韌性與效率間取得平衡。

EPRI 目前著重短期實用性研究，此次訪問中 Dr. Hung-Po Chao 對加州電力危機做了一個深入淺出的評論，加州電力市場經驗值得參考。

2. 建議事項：

- 建議電力公司及國科會能加入參與 EPRI 各種不同的 programs 以獲得更多研究相關之資料。
- 電力防衛系統需結合通訊，天然氣管路及交通等基礎建設之防衛系統以達成完整的防衛體系，建議台電應及早召開相關會議訂定研究目標及時程。
- 國科會宜結合其它政府單位推動大型前瞻性防衛計畫以降低系統遭到破壞時所造成之衝擊。

四、檢討與建議

1. 加強與美國各大學合作關係：「電力防衛系統」目前在美國方面仍在初期開發階段，尚未成熟步入實用期，但有零星的文獻發表在國際期刊與國際會議上，國科會應鼓勵國內學者，儘量與國外大學有密切的聯繫，以隨時掌握發展趨勢。
2. 美國的電力防衛系統是由美國柯林頓總統提出，經由國防部及能源部大力支援，可見美國在這方面的投入層級甚高，反觀國內在電力重大事故發生後，往往譴責聲浪大，並要求在極短時間內提出事故調查報告，往往檢討完畢只求責任歸屬，沒有提出具體改善之策略，國內亦應將電力系統納入國防整體安全考量。
3. 不同大學應盡其所能形成整合型研究群：「電力防衛系統」有別於一般整合型的研究計畫，因為「電力防衛系統」之每一子計劃 (Agent) 均有定義通用的軟體或硬體之介面，以便彼此的資訊可以互相通用，以達資訊分享之目的，而且僅有一個共同目標，就是掌握即時資訊，使所有電力設備（尤其是保護電驛）能有最新的資訊，以便做正確的判斷，達成保護系統的目的。
4. 電力公司應積極介入研究發展電力防禦系統：電力公司相關單位應提撥足夠的人力與適當的經費，結合國科會、國防部、能委會及國內大學之人力，積極開發國內自己的電力防禦系統，當中電力公司占有舉足輕重的地位，它必須領導規劃整體國內防禦系統之藍圖，以便參與之學術界可以提供適當之技術。
5. 鼓勵適當之人才投入電力系統研究：華盛頓大學電機系成立 EEIC 鼓勵人才投入電力研究，其經費來自電力顧問公司、電力公司及電力設備公司，而這些公司因提供經費給 EEIC，所以每年有新血輪可

以加入自己的公司服務，以達雙贏的目的，反觀國內電力相關之企業，常常面臨人才難求的困境，國內各大學應學習華盛頓大學積極向電力相關產業招手，使產官學研真正能結合為一體。

五、結語與誌謝

在本次的參訪活動中，本團要感謝團長盧展南教授在事前與所有單位的聯絡工作，使得各單位極樂意撥出時間與本團交換意見。本團亦要感謝華盛頓大學劉鎮欽教授從中穿針引線，使本次參訪活動順利成功。

在此，特別要感謝國科會駐舊金山科學組周仁章組長及駐華盛頓 DC 科學組邵副組長在波特蘭、聖荷西及華盛頓 DC 之住宿、接機與交通等熱心安排，使本團能一切順利，厥功甚偉。

最後，我們要再次感謝所有受訪單位的協助與悉心安排，由於他們的細心與合作，使本團倍受禮遇，行程順暢，相信本次參訪活動對學門未來的研究發展與規劃會有宏益。