

出國報告（出國類別：開會）

參加「第八屆兩岸核能學術交流研討會」、
「第二屆中國國際核電工業展覽」
暨「2008年兩岸PSA交流研討會」

服務機關：核能研究所

出國人職稱：核研所副所長、法規室主任
核安中心副主任、輻應中心副主任
綜計組副組長、核工組副研究員

姓名：邱太銘、吳瑞堯
高梓木、陳家杰
莊俊、林家德

出國地區：中國大陸秦山、上海、蘇州、南京、北京、深圳

出國期間：97年11月17日至97年12月3日

報告日期：98年1月21日

中文摘要

本次公差主要目的赴中國大陸秦山參加「第八屆兩岸核能學術交流研討會」及參觀訪問大陸相關之核電產業設施；赴北京參加「2008 第二屆中國國際核電工業展覽會」及至深圳參加「2008 年兩岸安全度評估(PSA)交流研討會」。

2008 年 11 月 19 至 20 日第八屆兩岸核能學術交流研討會在大陸浙江海鹽縣舉辦。兩岸專家近百人出席了研討會，發表報告 23 篇，涵蓋核電廠運轉、核燃料循環、安全監管、定量風險評估、人才培育等內容。

我國代表團一行 25 人，共推核能科技協進會董事長歐陽敏盛為團長，除在中核集團秦山核電基地舉辦研討會外，代表團還訪問了海鹽縣核電關聯產業園、中科院上海光源大科學工程、上海電氣臨港核電設備製造基地、中廣核蘇州熱工院等單位，沿途趁便與中核建設集團、國核技、中國核電工程公司、中廣核設計公司、中科院上海分院、上海核電辦、上海核學會、江蘇核學會等單位人員見面，交換專業心得。

此行中國核學會理事長李冠興院士特別撥冗全程陪同，副理事長穆占英、楊長利也在不同場合參與討論進行交流。此次大陸之行，全團成員對大陸核電的快速發展留下了深刻的印象。

2008 年第二屆中國國際核電工業展覽於 11 月 25 至 27 日於北京國際展覽中心舉行，除我方代表外，共有來自法國、德國、義大利、日本、南韓、比利時、香港與大陸等 300 多家企業與科學研究單位參加展覽。本所應國內核協會之邀請參展，主要參展項目為本所開發之輻射偵測儀器與安全度評估(又稱「定量風險評估」，簡稱 PRA 或 PSA)軟體與工具。

2008 年兩岸 PSA 交流研討會於 12 月 1 日與 2 日於深圳市舉行，交流對象為中廣核集團下之中科華核電技術研究院概率安全與可靠性研究所，雙方就 PSA 相關議題進行研討。

本次出訪大陸核能機構相互交流中，許多技術領域都顯現有進一步合作的空間與相互之初步意向，兩岸核能學術團體及機構的交流有機會從單純的學術研討逐步邁向建立實質之技術合作平臺，未來發展則有待雙方更大程度之配合與參與。

目 次

	頁碼
中文摘要	i
一、目的	1
二、過程	2
三、心得	22
四、建議事項	32
五、參考資料	34

一、目的

本次公差主要目的為赴中國大陸秦山參加「第八屆兩岸核能學術交流研討會」及參觀訪問大陸相關之核電產業設施；赴北京參加「2008 第二屆中國國際核電工業展覽會」及至深圳參加「2008 年兩岸安全度評估(PSA)交流研討會」，分述如下：

第八屆「海峽兩岸核能學術交流研討會」本次大會係由中國大陸核學會、我國核能科技協進會(簡稱核協會)主辦，承辦單位為中國核工業集團秦山核電基地，地點於浙江省海鹽市秦山核電廠秦山國光賓館，研討會會期由 97 年 11 月 19 日至 11 月 20 日。

2008 第二屆年中國國際核電工業展覽於去(97)年 11 月 25 至 27 日於北京國際展覽中心舉行，主辦單位主要為中國動力工程學會核電委員會與中國科學技術投資有限公司，除我方代表外，共有來自法國、德國、義大利、日本、南韓、比利時、香港與大陸等 300 多家企業與科學研究單位參加展覽。本所應國內核協會之邀請參展，主要參展項目為本所開發之輻射偵測儀器與安全度評估(又稱「定量風險評估」，簡稱 PRA 或 PSA)軟體與工具。

2008 年兩岸 PSA 交流研討會於 12 月 1 日與 2 日於深圳市舉行，交流對象為中廣核集團下之中科華核電技術研究院概率安全與可靠性研究所，雙方就 PSA 相關議題進行簡報與討論。

二、過程

此次公差自 97 年 11 月 17 日起至 97 年 12 月 3 日止，共計 17 天，行程如下：

行程			地點		公差地點		工作內容	出國人員
月	日	星期	出發	抵達	國名	地名		
11	17	一	桃園	杭州	中國	杭州	去程	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	18	二	杭州	秦山	中國	秦山	參訪秦山核電有限公司	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	19	三			中國	秦山	參加第八屆兩岸核能學術交流研討會	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	20	四	秦山	上海	中國	上海	參加研討會、參訪秦山一、二、三期及秦山核電產業園區	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	21-22	五-六			中國	上海	參訪「中科院上海光源第三代同步輻射」、「上海臨港產業區」及「上海電氣核電製造廠」	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	22	六	桃園	北京	中國	北京	去程	林員
11	23	日	上海	蘇州	中國	蘇州	整理會議相關資料	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	23-24	日			中國	北京	準備展覽會相關展品及佈置會場	林員
11	24	一	蘇州	南京	中國	南京	參訪蘇州熱工所(莊員先赴北京佈置展覽會會場)	邱員、吳員、高員、陳員、莊員
11	25	二			中國	南京	參訪南京大學物理系	邱員、吳員、陳員
11	25	二	南京	北京	中國	北京	路程	高員
11	25	二			中國	北京	參加2008年第二屆中國國際核電工業展覽會	莊員、林員
11	26	三	南京	桃園	中國	南京	回程	邱員、吳員、陳員
11	26~27	三~四			中國	北京	參加2008年第二屆中國國際核電工業展覽會	高員、莊員、林員

行程			地點		公差地點		工作內容	出國人員
月	日	星期	出發	抵達	國名	地名		
11	28	五			中國	北京	拆除展覽會相關展品及清理會場	高員、莊員、林員
11	29	六	北京	桃園	中國	北京	回程	莊員
11	29	六			中國	北京	整理資料	高員、林員
11	30	日	北京	深圳	中國	深圳	路程	高員、林員
12	1~2	一~二			中國	深圳	參加 2008 年兩岸 PSA 交流研討會	高員、林員
12	3	三	深圳	台北	中國	深圳	回程	高員、林員

以下茲將各行程細部內容分述如下：

2.1 參加「第八屆兩岸核能學術交流研討會」活動紀要

第八屆海峽兩岸核能學術交流研討會於 2008 年 11 月 19 至 20 日在秦山核電基地召開，會議的主題是「加強核能交流，增進核能安全」。我國方面由核能科技協進會邀請產官學界組團與會。共推核能科技協進會歐陽敏盛董事長為領隊，參加單位包括核協會、行政院原子能委員會(簡稱原能會)、放射性物料管理局、核能研究所、台電公司、工研院材化所及相關核能學術機構與產業界等團體共 25 人，中國大陸方面有約 65 人出席，與會人士共約 90 人。核研所邱副所長率領吳員、高員、陳員、莊員共計 5 員加入我方代表團。中國核學會新任理事長李冠興院士全程陪同，副理事長穆占英、楊長利也在不同場合與我方團員進行交流。

對於此次大陸之行，團員對大陸核電建設處處呈現出的欣欣向榮的景象留下了深刻的印象，特別是核電的快速發展更是令人驚訝。歐陽敏盛團長在「向自強自立的核能工程師致敬」的開幕致辭中，對中國大陸核電建設取得的成就給予了由衷的讚揚。

研討會議題涵蓋(1)核能電廠興建與運轉 (2)核燃料管理及廢物處理 (3)核安全文化及安全管制 (4)核能人才培育與宣導 (5)核技術在非電領域的應用。參加人員包括兩岸雙方代表，共約 90 人與會。本次台灣代表團發表論文 13 篇；中國發表論文 10 篇，研討會相關議程、與會人員與活動相關照片請詳見表 2.1 及附圖 1 與 2。

本所由高員及吳員發表 2 篇論文；邱副所長為第五場次之共同主持人。會中發表之文章相當多，計有 23 位專家上台發表論文，雖然本次在大陸舉辦我方代表佔 13 位，

加上主辦的核協會董事長歐陽敏盛上台致辭，共有 14 位我方代表上台報告，比例略高於大陸。

高員此次報告的題目為「台灣核電風險告知應用與成效介紹」(摘要詳見附錄一)，核研所建立量化風險評估技術(PRA)已逾 25 年，除了在發掘核能電廠系統安全上潛在的弱點、提出因應與改善之道方面著有成效之外，也積極應用於核能管制決策制訂，提出具體量化的風險指標與風險洞見，供管制單位作為核電廠監管與法規合理化的參考，並兼顧核電廠運轉績效與安全考量。由於量化風險評估具備科學、量化與客觀的優越特性，對於輔助大型複雜系統如石化廠、液化天然氣廠，乃至於台灣之重要基礎建設、國土安全等相關的風險管理決策，均極具應用的潛力，高員簡報後並獲秦山第三核電有限公司 PSA 項目宋明海主管熱切提問並希爾後能作進一步交流。陳員此次報告的題目為「腦中樞神經核醫藥物技術平台之建立與運用」(摘要詳見附錄二)，主要是將核能研究所近年來在腦中樞核醫分子影像藥物應用於中西藥物篩選的技術平台作一簡要之介紹。

原能會由核能管制處陳宜彬處長與張欣科長及放射性物料管理局鄭維申組長代表參加，共發表三篇論文，分別介紹：核三廠壓水式核電廠最近幾年發生或可能發生問題及原能會採取的管制作為；台灣集集地震和恆春地震及日本中越沖地震對核能電廠耐震措施影響經驗回饋；極低微放射性廢棄物解除管制辦法與相關作業規範訂定之探討與相關經驗。台電後端處蔡顯修處長發表「蘭嶼貯存廠廢棄物桶整檢計畫」相關報告，並與核安處張茂雄處長分別擔任第一與第二場次的共同主持人。針對研討會中國大陸方面之簡報，擇要摘述如下：

一、 中國核燃料循環前端產業的現狀和展望

中國核學會理事長李冠興院士以中國核燃料循環前端產業的現狀和展望為題，說明中國在天然鈾的保障供給、鈾轉化和鈾濃縮、燃料製造等方面之現況與發展。依據李院士之說明，若以 2020 年中國的核電裝機總量從現在的 8.4GWe 提高到 40GWe，則今後每年需要天然鈾約 10000 噸。但若依據中國最新的核電中長期規劃，到 2020 年，中國大陸核電總裝置容量將達到 70GWe，到那時，中國發展核電每年所需之天然鈾將更高。以國際經濟開發合作組織之核能署 (OECD/NEA) 和國際原子能總署 (IAEA) 聯合出版的紅皮書《鈾 2007：資源，生產和需求》中估計：中國在 2006 年生產了約 750 噸鈾。可見中國目前天然鈾的生產規模還是很小，為滿足中國核電快速發展的需求，中國現正在做第二輪鈾資源潛力預測評價，李院士說以目前掌握的資訊來看，中

國具有相當數量的鈾礦資源，新資源量將超過 200 萬噸，不過要到 2010 年方能獲得最新的評估結果資料。針對未來天然鈾的需求，中國在其核電中長期發展規劃(2005-2020 年)中指出，要透過建立國內生產、海外開發、國際鈾貿易三方面並進的方式，來確保未來需求無虞。

此外，中國於 2007 年建成一座 3000 噸/年的新鈾轉化廠，已開始試車和生產。而在核燃料製造部分，中國亦積極引進並建立自主的製造技術能力。針對目前運轉中壓水式核電廠使用的燃料元件包括 AFA 燃料元件、VVER 燃料元件、秦山一期燃料、CANDU-6 型燃料，係分別由中核建中核燃料元件公司及中核北方核燃料元件公司引進相關製造技術。此外，中核北方核燃料元件有限公司已與國家核電技術有限公司、中核建中核燃料元件有限公司共同組建了中核集團包頭核燃料元件股份有限公司，負責建立 AP1000 核燃料元件製造技術。而中廣核在引進法國 EPR 核電站時，據報導也引進了相應的燃料製造技術。

中國在大量興建核能電廠的同時，亦積極建立本身設備、燃料元件的製造能力，其不但致力於核電產業的自主化，尚欲躋身核能工業大國的企圖心，可見一斑。

二、核安全監管體系與廢物管理概述

中國環境保護部核安全管理司放射性廢物管理處馬成輝處長說明近年來中國方面的核電發展速度較快，其主要原因在於調整能源結構的需求，通過增加核電規模，使得核電在能源領域扮演更加重要的角色，提昇能源供應的可靠性和安全性；另一方面，也是降低溫室氣體的排放；此外，還有一個因素就是因應金融危機，大規模的核電建設需要大量的投資，投資必然帶動內需，帶動核電產業鏈的上下游發展，增加就業機會等。

中國國家核安全局為核電之核安全監管機構，負責統一監督管理全國和平利用核能中的核安全事務，承擔民用核設施的核安全監管職能，成立於 1984 年 10 月，由原國家科學技術委員會督導，1998 年 6 月國務院機構改組後，並入國家環境保護總局，內設機構為核安全與輻射環境管理司(國家核安全局)。中國國家環境保護總局，於 2008 年 3 月 27 日改組為國家環境保護部後，不再使用環境保護總局的名稱。但國家環境保護部核安全管理司對外仍保留國家核安全局的名稱。

核安全管理司負責中國核安全和輻射安全的監督管理，目前總部有十三處共 40 人左右，包括：核電一處、核電二處、核電三處、研究堆處、核燃料與運輸處、核安全設備處、放射性廢物管理處、綜合處、人員資質管理處核安全國際合作處、核技術利用

管理處、應急與環境監測處、電磁與礦業管理處。另設有 6 個地區輻射安全監督站，包括：北京（北方地區）、上海（華東地區）、深圳（華南地區）、成都（西南地區）、大連（東北地區）、蘭州（西北地方），總計有 100 人左右。技術支援單位則包括：核與輻射安全中心（北京）、核安全設備與可靠性中心（北京）、輻射環境監測中心（杭州）、核與輻射應急中心（北京）及相關研究所與大學，共約 200 人。

針對放射性廢物的處理、處置，中國所採取的相關政策包括：閉合核燃料循環、高放射性廢棄物採集中的深地質處置、中/低放射性廢棄物採區域處置、極低放射性廢棄物採就近填埋處置；另外，為減輕高放射性廢棄物處置的壓力，在開展深地質處置研究、開發的同時，也在開展分離與演化等技術研發工作。

三、 磁約束核融合研究的進展與展望

中國核學會新任秘書長潘傳紅博士以其多年獻身於核融合研究之經驗，深入淺出地介紹了融合之發展與中國現況。發生受控高溫核融合反應必備的三個條件為：上億度高溫度的電漿、足夠高的電漿密度、足夠長的能量約束時間。半個世紀以來人們在探索受控核融合的過程中，形成了兩種不同的研究途徑，即磁約束核融合（MCF）和慣性約束核融合（ICF）。

磁約束核融合有許多不同的設計，其中以“托卡馬克”型裝置獲得較大的進展。由中國、歐盟、美國、俄羅斯、日本、韓國和印度等七方共同出資的國際核融合實驗反應爐（ITER）計畫，已於 2006 年 11 月 21 日在法國巴黎訂定協議書，成立 ITER 國際組織，負責核融合反應器建造、運轉及除役等所有項目。該計畫自 1985 年戈巴契夫提出想法一直到現在，20 年間經歷多次變動：1999 年美國的退出，2003 年中國的加入，歐洲法國與西班牙選址之爭，後來法國卡達拉什與日本六所村預定場址之爭，最後，終於在 2005 年將場址決定在法國卡達拉什。ITER 裝置建設時間約 10 年，預計運轉 20 年，所需費用約 50 億美元，將近一半由歐洲出資，中國約佔 8%。ITER 計畫實施的結果將決定人類能否迅速地、大規模地使用核融合能源，提供人類從根本上解決能源問題的途徑。

中國目前在兩個實驗基地陸續建成了兩大實驗裝置，主要的研究成果如：反剪切磁場位形（RS）、內部輸運壘、電漿帶狀流、魚骨模不穩定性、以及超導托卡馬克長脈衝放電和離子伯恩斯坦波（IBW）加熱等。

四、 核運輸業務的發展狀態

中核清原公司劉振河總經理說明清原公司為中國核工業集團旗下專門從事核設施

退役、放射性廢物處理、低中放廢物處置場建設運行和放射性物質運輸的子公司。並從核工業需求、技術核心、安全管制等方面分析了核運輸業務的基本特點及相關作業運作情形。

五、 AP1000 依托(委託)項目管理模式及工程進展狀況

中國國家核電技術公司(SNPTC)成立於 2007 年 5 月 22 日，係由中國國務院和中國核工業集團公司、中國電力投資集團公司、中國廣東核電集團有限公司、中國技術進出口總公司等四家大型國有企業共同出資組建的有限責任公司；為中國引進第三代核電技術、工程建設和自主化發展的主要平台。而其子公司國核工程有限公司(SNPEC)，則負責第三代核電 AP1000 機組的建設管理。以核島區之管理而言，基本上係採西屋及中國人員共同組成之管理架構，期先以西屋為主，中國人員為副的影子培訓模式，逐步過渡到由中國自己為主的管理模式。目前，首批 AP1000 機組將於浙江及山東興建，其中浙江三門核電廠規劃建造 6 座百萬千瓦級壓水式反應器機組，一號機組計劃於 2009 年 3 月澆注第一罐混凝土，2013 年 11 月投入商轉；山東海陽核電廠規劃建設 6 座百萬千瓦級壓水式反應器機組，一號機組計劃於 2009 年 9 月澆灌第一罐混凝土，目前已超前兩個月，預計 2014 年投入商轉。此外，會議中中國方面也介紹了秦山二期的運轉管理制度、壓水式核電廠的輻射監測與污染控制技術、秦山核電廠反應器保護系統及其相關設備數位化規劃和實施策略以及探討風險告知的核安全理念在中國萌芽的現況。

11 月 19 日晚上 8 時至 10 時，陳衛里執行長與中國核能行業協會馮毅副秘書長(馮副秘書長當時率領 20 多位專家至秦山核電站進行為期 10 天之「運行評估同行專家審查工作」)會晤，研商合作事宜；其後因事涉 PRA 專業技術領域，邀請高員加入討論並約定於 26 日上午拜會該協會在北京之總部。

表 2.1 第八屆海峽兩岸核能學術交流研討會議程

日期	時 間	活動內容	發言人	主持人	
11 月 19 日 (星 期 三)	08:30--09:10	中國核學會理事長致辭 臺灣核能科技協進會董事長致辭	李冠興 歐陽敏盛	陳衛國	
	09:10--09:30	大陸核燃料循環前端產業的現狀與展望	李冠興	潘傳紅 張茂雄	
	09:30--09:50	壓水式核能電廠安全管制現況及展望	陳宜彬		
	09:50--10:10	大陸核安全監管體系和放射性廢物安全管理基本現狀	馬成輝		
	10:10--10:30	蘭嶼貯存場廢棄物桶檢整計畫	蔡顯修		
	10:30--11:00	休 息 合 影			
	11:00--11:20	台灣管制機關於原子能領域之溝通宣導及人才培育	陳衛里	鄭本文 蔡顯修	
	11:20--11:40	磁約束核聚變研究的進展與展望	潘傳紅		
	11:40--12:00	腦中樞神經核醫藥物技術平臺之建立與運用	陳家杰		
	休 息				
	14:00--14:20	大陸核電站放射性廢物處理實踐	范 仲	何小劍 陳宜彬	
	14:20--14:40	極低微放射性廢棄物解除管制策略說明	鄭維申		
	14:40--15:00	核運輸業務的發展狀態	劉振河		
	15:00--15:20	壓水式反應爐燃料破損判讀經驗	黃秉修		
	15:20--15:30	休 息			
	15:30--15:50	AP1000 依託項目管理模式及工程進展	夏志定	楊蘭和 林建昌	
	15:50--16:10	台灣核電風險告知應用與成效介紹	高梓木		
	16:10--16:30	秦山二期特色的運行管理制度	肖小春		
	16:30--16:50	核能電廠防震安全經驗回饋	張 欣		
	16:50--17:10	壓水堆核電廠的輻射監測與污染控制技術	李愛武		
17:10--17:30	設備可靠度在新建核電廠中的角色	蔡慎明			

表 2.1 第八屆海峽兩岸核能學術交流研討會議程

日期	時間	活動內容	發言人	主持人
11 月 19 日 (星 期 四)	08:30--08:50	核能電廠輔助與發電系統之延役評估技術	賴玄金	魏國良 邱太銘
	08:50--09:10	核四廠訓練用模擬器籌建與測試過程	梁天瑞	
	09:10--09:30	秦山核電廠反應堆保護系統及其相關設備數字化改造規劃和實施策略	蔣祖躍	
	09:30--09:50	核能電廠執照更新	陳慶鐘	
	09:50--10:10	淺論核安全技術現狀及未來發展展望	宋明海	
	10:10--10:30	核燃料破損之偵測與評估	林建昌	
	10:30--12:00	參觀核電廠		秦山基地
	休 息			
	14:00--17:30	秦山核電產業園區參觀與座談		海鹽縣

2.2 參訪秦山核能電廠

秦山核能電廠位於浙江省海鹽縣秦山鎮，南臨東海杭州灣，並且向東鄰近上海、向西接近杭州等大城市。其水源充沛、交通便利，又靠近華東電網樞紐，是建設核電廠理想之地。20 日下午參訪秦山一、二、三期核電廠及秦山核電產業園區（海鹽縣）。秦山核電基地擁有中國各式反應器機組，目前已完成秦山一期 1 部機組(CNP-300)、秦山二期 2 部機組(CNP-650)與秦山三期 2 部機組(Candu-6)，秦山二期核電擴建工程建造中(CNP-650)，方家山擴建工程(秦山一期)準備建造(CNP-1,000)。中國核工業集團公司在 CNP300 與 CNP600 基礎上，開發出第二代半 CNP1000。CNP1000 係由中國核動力研究設計院負責 NI 與 NSSS 設計、上海核工程研究設計院負責電廠總體設計、第二研究設計院參與前期電廠總體設計、及華東電力研究設計院—常規島設計。

秦山三期(重水堆)核電坐落於浙江省海鹽縣秦山東南之麓，與秦山一期、二期工程

毗鄰，是中國和加拿大兩國迄今最大的貿易項目。它採用加拿大坎社 6 (CANDU-6) 重水堆核電技術，裝機容量 2x65 萬瓩，設計壽命 40 年，設計年容量因子 85%，投資 25.7 億美元。中核集團秦山第三核電有限公司(簡稱“秦山三核”)是秦山三期(重水堆)核電站的業主單位，全面負責秦山三期工程建設和生產營運管理。公司成立於 1997 年 1 日，由中國核工業集團公司，中電投核電有限公司、浙江省電力研發公司、申能股份有限公司、江蘇省國信資產管理集團有限公司共同出資，中國核工業集團公司控股。該工程於 1998 年 6 月 8 日開工。兩台機組分別於 2002 年 12 月 31 日和 2003 年 7 月 24 日投入商業運行。秦山核電站位於浙江省海鹽縣秦山鎮，瀕臨東海杭州灣，並且鄰近上海、杭州等特大城市。在起初的規劃中，秦山核電站一期採用了當時國際上成熟的壓水型反應爐技術，建設單台 30 萬千瓦發電機組，並由中國自主承擔整個電站的設計、建造、設備提供和營運管理工作。一期工程由中國核工業部主導推進，1985 年動工，1991 年 12 月首次實現併網發電，成為當時中國大陸投產的唯一核電機組。測試運行兩年之後，正式投入商業營運。二期工程安裝兩台 60 萬千瓦發電機組，2004 年建成，並正在籌劃繼續擴建。三期工程由中國和加拿大政府合作，採用加拿大提供的重水型反應爐技術，建設兩台 70 萬台千瓦發電機組，2003 年建成。目前秦山核電站的總裝機容量為 290 萬千瓦，為中國一大型的核電基地。

在起初的規劃中，秦山一期核能電廠採用了法國的壓水型反應爐技術，建造單台 30 萬瓩發電機組，並由中國自主承擔整個電站的設計、建造、設備提供和運營管理工作。一期工程由中共核工業部主導推動，1985 年動工，1991 年 12 月 15 日首次實現併聯發電，設計壽命 30 年，總投資 12 億元。廠區主要包括七個部分：核心部分、廢物處理、供排水、動力供應、檢修、倉庫、廠前區等。全廠設備約 28,000 餘件，由中國國內 585 個工廠和 10 餘個國家（地區）供貨，汽輪機、發電機、蒸汽產生器、爐內構件、核燃料元件等重要設備都由中國自行製造，進口設備主要有反應爐廠房環形吊車、壓力容器、主幫浦等，電廠動力裝置主要由反應爐和一、二回路系統三部分組成，成為當時中國大陸投產唯一的一套核電機組，結束了中國大陸無核電的歷史，經過兩年測試運轉之後，正式投入商業運轉，也成為中國自力更生和平利用核能的典範。

秦山一期與二、三期核電基地之間以隧道連接。二期工程是中國大陸所稱國家「八五」(亦即第 8 個五年)期間的重點工程，係由當時的中國核工業總公司、浙江省、上海市等投資聯營建設的，規模為兩台 60 萬瓩核電機組的商用核電廠，已分別於 2002 年 2 月 6 日和 2004 年 5 月 3 日完成併聯發電。秦山三期總裝機容量為兩台 65 萬瓩核電

機組，是中國與加拿大聯營建設的，二台機組分別於 2002 年 12 月 31 日和 2003 年 6 月 12 日完成併聯發電。目前秦山核電站共有 5 台發電機組，總裝機容量 290 萬瓩。已成為總裝機容量為 300 萬瓩的中國核電基地。但在組織架構上，因中國之政策每一期核電廠分由三個實體公司營運，秦山核電站一期的企業所有人為秦山核電公司，該公司的主要股東有中國核工業集團公司（100%）。秦山核電站二期的企業所有人為核電秦山聯營有限公司，該公司的主要股東為中國核工業集團公司及相關企業。秦山核電站三期的企業所有人為秦山第三核電有限公司，該公司的主要股東為中國核工業集團公司、中國電力投資集團公司等。其目的是要各公司自負盈虧，並可造就多方面就業與提高工作機會。

11 月 21 日參訪「中科院上海光源-第三代同步輻射」、「上海臨港產業園區」及「上海電氣核電製造廠」。

2.3 參訪「上海臨港產業園區」

11 月 21 日參觀位於臨港產業園區的上海電氣重工集團重裝備基地，該重裝備基地以熱加工與大型鑄鍛件技術為基礎，以核電、船用裝備、煤礦機械等為重點方向。核電方面以上海電氣為代表的上海核電裝備企業正逐步形成包括核島、常規島、控制系統、核電材料、輔助設備五大板塊在內的核電產業鏈；能生產水蒸汽產生器、蒸發器、壓力容器、穩定器、爐內結構物等。中國國務院擴大內需決策以來的首張固定資產大單在「上海臨港新城」投資 180 億美元，將建成中國重要的重工業設備產業基地，是上海國際航運中心建設的重要載體和核心功能區。「臨港新城」位於長江口與杭州灣交匯處，地理位置是臨海運輸重要樞紐，中國重點突破的 16 個設備製造業發展領域中，臨港產業區的開發項目已到達 8 個，包括「中國核電設備」、「交通行業可持續發展的乘用車整車及零部件」、「大型船舶關鍵件」、「發電及輸變電設備」、「海洋工程設備」、「民用航空產業配套」等設備產業基地以及支撐設備製造業發展的工程機械、物流機械、精密機床等製造基地，同時，「大飛機發動機項目」也將在此開發。

上海臨港新城 2003 年正式啓建，規劃面積 311.6 平方公里，人口 80 萬。到目前為止，臨港新城固定資產投資已有 86.7 億美元，其中基礎設施投資 33.58 億美元，引進外資總額 12 億美元，生產總值年增長 60.4%，工業總產值年增長 48.1%，稅收收入年增長 34.9%。臨港集團目前已和中船集團、中船重工集團、中國商用飛機公司、中航集團、上汽集團、上海電氣集團、中集集團、三一重工、華儀電氣、開山集團、卡特

彼勒、沃爾沃、三井造船、蒂森克虜伯、西門子、科尼、卡爾瑪、瓦錫蘭、韓國東和恩泰等國內外著名設備製造企業集團建立戰略伙伴聯盟。中國最完備的核電設備基地也將設立在臨港新城。2008年7月，長21米、最大直徑4.4米、重3350噸的60萬瓩核電機組蒸汽產生器已由上海電氣集團生產並運往秦山核電廠，中國大陸是繼美國、英國、法國、前蘇聯、加拿大、瑞典之後成為世界上第七個能夠自行設計與建造核電廠的國家。20年前中國大陸第一座大型核能電廠大亞灣核電站國產化率僅有1%；嶺澳核能電廠在核電自主化、國產化方面取得較大突破，核島平均國產化率達11%，常規島為23%，輔助設施達50%，相較大亞灣核電站中國國產化率僅佔1%；2008年11月21日開工建造的福建福清核能電廠自製率已增加至75%。

通過聯合大集團、引進大項目、建設大基地的方式，引進大批龍頭性、指標性的先進設備製造項目，形成產業鏈和專業配套體系，在比較短的時間內實現空間集聚和集中開發，上海臨港新城將成為未來中國實現核能機組全面國產化的重要基地，未來具有之工業潛力不容忽視。

2.4 參訪中國中科院同步輻射「上海光源」

上海光源是世界上同能區正在建造或設計中性能指標最先進的第三代同步輻射光源之一，現階段與之可比的有英國的DIAMOND光源、法國的SOLEIL光源和西班牙的ALBA光源。包括一台150MeV電子直線加速器、一台周長180米的全能量增強器、一台周長432米的3.5GeV電子儲存環和沿儲存環側分布的光束線與實驗站，座落在上海浦東張江高科技園區。上海光源工程是中國科學院與上海市人民政府共同向國家申請建造的國家重大科學工程，同時被列為上海市重大工程和首批“科教興市”重大產業科技攻關項目，由中國科學院上海應用物理研究所承建。工程於2004年12月25日正式破土動工，於2007年12月24日成功實現出光，將於2009年4月完成調試和向用戶開放。

中國中科院同步輻射「上海光源」，其同步輻射光源能量居世界第四，具有60條以上的光束線和上百個實驗站，可提供用戶的供光機時每年將超過5000小時，每天能容納數百名來自全國或全世界不同學科、不同領域的科學家在此進行基礎研究和技術開發。是世界上同能區正在建造或設計中性能指標最先進的第三代同步輻射光源之一，其性能經最佳化於用途最廣泛的X射線能區，設備壽命大於30年，並可展開自由電子鐳射等下一代光源的研究。這一工程是由中國大陸中科院與上海市政府聯合申

請，總投資 12 億元(人民幣)，中國、上海市和中科院各出資 4 億元。按建造計畫，此工程將於 2009 年完成試營運。依“上海光源”工程總工程師劉德康研究員介紹；上海光源是一台高性能價格比的中能第三代同步輻射光源，它的 X 射線能量僅次於世界上僅有的 3 台高能光源（美、日、歐各一台），設計性能超過同能區現有的第三代同步輻射光源，是目前世界上正在建造或設計中性能最好的中能光源之一；「上海光源」是一台高性能的中能第三代同步輻射光源。同步輻射光源是繼電光源、X 光源、激光光源之後的第四種光源，跟常規光源相比，更筆直、頻譜範圍更廣，光譜耀度也更高，在醫療、材料科學、環境研究等方面都有極高的價值。

2.5 參訪「上海電氣核電製造廠」

上海電氣旗下有電廠、輸配電、重工、軌道交通、機電一體化、機床、環保、電梯、印刷機械等多個產業集團，該公司集工程設計、產品開發、設備製造、成套工程和技術服務為一體，並形成了總成套設備、總承包工程和為客戶提供現代綜合服務的核心競爭優勢。該公司擁有上海機電股份有限公司等上市公司和上海三菱電梯有限公司等 50 多家合資企業。主要產品長期居於中國領先地位，並在國際市場上佔有一定的份量。

上海電氣曾建造中國第一套 6000 瓩火力發電機組、第一套 30 萬瓩核電機組、中國最大的 12000 公噸水壓機、第一根大型船用曲軸、第一套百萬瓩等級超臨界火力發電機組；世界第一台鏡面磨床、第一台雙水內冷發電機等。該集團以自主創新形成國際品牌，以重點突破高科技產業，自動化提升傳統工業，持續增強核心競爭力，努力實現振興中國裝備製造業，躋身世界先進裝備的目標。

中國上海電氣成立重工集團，主攻核電市場，投資 60 億人民幣建設「閔行基地」和「臨港基地」。2008 年 4 月在核電領域取得中國百萬瓩級核電常規島(BOP)最大訂單與陽江核電公司簽訂 6 套常規島汽輪機發電機組製造合約；9 月，秦山二期擴建工程 3 號機組反應器構件出廠；10 月，首台百萬瓩級核電機組關鍵設備——嶺澳二期 3 號機組反應器構件驗收，到目前為止，上海電氣核電項目訂單已突破 150 億人民幣。

上海電氣的核電構想是以不分散生產，打造專業化的產業群體。投資 50 多億元興建的臨港基地，首台核電主設備已出廠，將成為中國核電設備生產的重要基地，可製造 100 萬瓩級壓水式反應器的核島設備、170 萬瓩第三代壓水式反應器(EPR)常規島部份機組等。

2.6 參訪蘇州熱工院

11 月 24 與 25 日分別參訪「蘇州熱工研究院」。蘇州熱工研究所位於「江南水城、魚米之鄉、人間天堂」的蘇州西古運河畔，占地面積 18450m²，總建築面積 22000 m²。蘇州熱工所為中國電力工業部直屬科研院所之一，始建於 1978 年 5 月，當時定名為「水利電力部核電科學研究所」，是中國電力行業第一個從事核電科學研究的機構。後改名為「電力工業部蘇州熱工研究所」，並經電力部批准於 1995 年初進入中國廣東核電集團，是中國廣東核電集團公司唯一的高科技企業型研究院，2003 年變更註冊，公司註冊資本金 1,365 億元，中國廣東核電集團公司占 90% 股份，深圳市能之彙投資有限公司占 10% 股份。

蘇州熱工院現主要從事核電規劃、建設、生產運轉技術方面和火電建設，生產技術方面的研究、開發、服務。該所同時又是電力工業部的核電培訓中心，鍋爐壓力容器監測檢驗中心、電力安全工器具品質檢驗測試中心，國家核安全局的蘇州核安全中心，也是聯合國開發計畫署（UNDP）人才培訓專案的執行單位。

熱工院本部員工約 300 人，另有控股企業南京新蘇熱電公司 103 人、深圳分公司 15 人、勞務及約聘人員近 100 人。其中科技研究人員占 85% 以上，約有 120 多名碩士研究生，10 多名博士研究生，其餘為管理部門人員不足 10%；45 歲以下人員占 90% 以上。

因熱工院是中國唯一具有核電設備監造經驗的核心技術隊伍，持有國家發展改進委員會和質檢總局頒發的甲級設備監理資格證書；近幾年於核能領域開展的主要工作有：

1. 嶺澳二期工程核島和常規島主設備、輔助設備的製造監督；
2. 秦山核電廠擴建工程（方家山項目）核電設備監造技術支援；
3. 老化管理體系的建立，開發老化管理數據庫軟體，對核電廠進行全程老化追蹤管理；
4. 進行核電廠 RPV 延壽技術研究，為中國核電廠由 40 年壽期延長到 60 年做技術準備；
5. 進行核電廠電氣儀控設備老化管理及評估研究技術，核電廠設備質量與可靠性技術研究；
6. 執行金屬材料性能評估、材料取樣、技術評定、設備監造、設備營運狀態

診斷與評估、運轉中檢測、壽命評估與老化管理等完整技術評定。率先建立核電廠全壽期質量與可靠性管理體系，為核電廠長期安全穩定營運提供技術支援。

另外在法規技術方面，該院承擔核安全局下達的核承壓設備審評與監督、民用核能設施（包括研究用反應器與核電廠）的核安全審評與監督、核設施品質保證、核安全法規體系建設等任務。在《民用核安全設備監督管理條例》等一系列新版法規頒佈以後，核安全技術研究中心在民用核承壓設備設計、製造、安裝活動資格申請的技術審查，以及針對核承壓設備活動的監督檢查承擔了大量工作。在環境影響評估方面，進行核電廠各個階段與執照申請相關的環境影響評估（包括環境影響報告書的編製和相關的大氣、水文、輻射劑量專題研究）及核電廠緊急應變技術之研究。

2.7 參訪南京大學物理系

南京大學是直屬中國國家教育部的重點綜合性大學，坐落在古都南京。自 1902 年創建以來，先後經歷三江師範學堂、兩江師範學堂、南京高等師範學校、國立東南大學、第四中山大學、國立中央大學等時期；1949 年 8 月 8 日，由國立中央大學更名為國立南京大學；1950 年 10 月按中國教育部規定，去掉「國立」二字，更名南京大學；1952 年全國高校院系調整，南京大學調整出工學、農學、師範等部分院系後與創辦於 1888 年的金陵大學的文學院、理學院等合併，仍名南京大學，並將校址從四牌樓遷至鼓樓金大原址。南京大學物理學系是中國高等院校中建立最早的物理學系之一，其歷史可追溯到南京高等師範學校於 1920 年建立的物理學系。經歷了八十多個春秋，南京大學物理學系持續發展、不斷壯大，現已發展成為國際上有一定影響的物理系之一。物理學系名家輩出，培養了許多傑出人物，為中國的教育、科學研究和國家建設以及物理學發展做出了卓越的貢獻。曾在物理學系求學或工作的系友中有老一輩傑出物理學家如吳健雄、朱光亞、蔣樹聲、郭金龍、李國鼎等政治家和社會活動家。

物理學系具有一流的基礎研究實力和水準，其國際競爭力不斷增強，在國際上有較大影響的基礎研究成果逐年增加，與國際上二十多個國家和地區保持著密切的科技研究合作、學術交流和聯繫。主要研究方向和領域有：理論物理、核物理、高能物理與宇宙學、凝聚態物理、光物理與光子技術、原子分子和團簇物理、生物物理與軟物質科學、新能源材料物理與技術、微電子與固體電子學、應用電子學與技術物理學等，值得兩岸之交流學習。

2.8 與中國「國家核電技術公司」人員討論

中國的核能電力事業投資，由國務院指定 3 家國家企業掌控，分別為「中國核工業集團」、「中國廣東核電集團」和「中國電力投資集團」。由國務院國資委控股和上述 3 家國家企業，共同投資組建的中國「國家核電技術有限公司」(簡稱「國核技」)於 2007 年初在北京成立，目的在實現第三代加(三代⁺，或稱三代 PLUS)AP1000 的自我設計與製造目標。

2007 年 5 月 14 日，「國家核電技術公司」與第三代加核電技術首批技術轉移公司；包括「三門核電有限公司」、「山東核電(海陽電廠)有限公司」與「美國西屋電氣公司」、「紹爾公司」在美國芝加哥聯合簽署了三代核電技術轉移最終合同談判備忘錄。中國須從美國西屋電氣公司引進四台 AP1000 機組：浙江三門兩台 AP1000 機組；山東海陽電廠兩台 AP1000 機組；西屋電氣公司負責三門、海陽各一台 NSSS 興建與四台 AP1000 機組的所有設計、技術轉移與監造，合約金額 53 億美元；中國則負責其他部份之施工。

此公司主要從事第三代加核電技術(AP1000)的技術引進、工程建設和自主化發展的主要載體和研發平臺，在不轉移西屋公司責任的條件下，由國家核電技術公司組織西屋公司、三門核電有限公司和山東核電有限公司成立項目聯合管理機構，負責核電自主化 NSSS 技術轉移及其 BOP 等相關工程設計、設備採購和工程建設。之前，核電技術引進均以主投資之企業為主體，業界人士認為，國家核電技術公司的成立，表明中國核電技術引進體制發生重大變化。

AP1000 Passive Safety Reactor 第三代加核電技術是目前國際上最先進的核電技術之一。中國將這一技術用於核電建設，是世界上首次將這一技術商業化。依國家核電技術公司副總經理孫漢虹介紹，中方經過引進技術、參與設計、至自行減建造後，在第五台核電機組建造時，即可實現 AP1000 的自我設計目標，未來中國將有能力自行興建 25 部以上的 AP1000 機組。

2.9 參加「第二屆中國國際核電工業展覽」

林員於 11 月 22 日偕同核協會李副執行長搭機前往北京，近傍晚時下榻住宿飯店，晚偕同核協會與參展的亞炬公司代表，與泰豐公司北京分公司竇清松總經理會面，討論參展攤位搭建的細節。11 月 23 日上午前往北京中國國際展覽中心，瞭解參展攤位設計單位田野公司的搭建情況。11 月 24 日下午參展攤位大致已完成架設，本所的展示輻射偵測儀器與海報亦從北京泰豐分公司送達會場，並協調完成海報的架設位置與安

裝，參展準備作業並已就緒。

11 月 25 日展覽開幕，隨即展開兩天半的展覽。此次台灣以「核電產業聯盟」的名義設攤，參加展覽的國內單位除了主辦的核協會之外，本所展示的項目主要為本所自力開發的快速輻射偵測儀(FS-99)，以及 PRA 評估相關軟體工具包括故障樹分析程式 INERFT(簡體版)、視察風險顯著性確立工具 PRiSE、整體維護排程暨風險評估工具(MIRU)與台灣中油公司液化天然氣儲槽的量化風險評估實績。聯盟另外的參加單位尚有亞炬公司展出廢料固化程序與超臨界製程，以及新亞建設公司展出其基礎建設工程之成功案例，另承接本所機動環境偵測系統組裝的網際威龍公司亦派一位代表，與林員共同解說本所開發的「FS-99 輻射偵查儀」與「環境輻射監測信息系統」。總計兩天半共約近 100 人次進入本所攤位參觀(附圖 3~6)，其中約有 70%的參觀人次對輻射偵測系統表示興趣，特別是環保單位，對於可以機動偵測輻射源的功能，普遍希望可以應用於尋找遺失射源。目前本所偵查儀的靈敏度相較於大陸自製者較佳，而據側面了解，相對於其他先進國家製造者，在價格上也佔有優勢，也因此有數家業者表示可考量代理或合作。

在 PRA 應用工具方面，由於參觀來賓的背景大多屬於原本非核電組件製造業、但想跨足核電的工業零組件製造廠家，大多不熟悉 PRA 技術；展覽期間並有來自廣東陽江核電公司生產部的賈國安經理、核工業第二研究設計院核安全研究中心主任趙博博士及若干代理商等，表達對於 PRA 相關應用工具的興趣。陽江電廠賈經理表示該電廠也有維護排程作業風險評估的需求，而他感覺目前該廠所使用的風險監視器仍有改善的空間，因此希望將來有機會可以進一步瞭解本所 MIRU 的相關應用情形。核工業第二設計研究院的趙博博士本身亦為該院 PSA 的負責人，他表示該院的 PSA 小組曾經解散過一段時間，後為因應 PSA 研發需要以及秦山電廠增設新機組的評估需求，又再度於 2005 年重組，目前已完成秦山電廠的各階 PSA 模型建立。林員與趙博士也交換彼此在 PSA 應用上的研發現況。

2.10 拜訪中國核能行業協會

11 月 26 日上午，核協會執行長陳衛里博士與本所高員與莊員一行 3 人訪問中國核能行業協會。中國核能行業協會是經中國大陸國務院同意、民政部批准成立的全國性非營利社會團體，於 2007 年 4 月 18 日正式成立。協會的宗旨是貫徹中國大陸關於核能發展的方針政策，推動行業自主創新和技術進步，為提高核能利用的安全性、可靠

性和經濟性提供服務，促進核能行業發展。協會的中心任務是做好政府與會員單位之間、會員單位之間、國內與國際之間的溝通與交流，維護全行業和會員的合法權益，向中國政府建言獻策，為企業排憂解難，發揮橋梁和紐帶作用。

中國核能行業協會的會員來自核設施建設、營運、研究設計、建築、建築安裝、設備製造、核燃料循環、技術服務、人才教育培養等領域的 182 家企事業單位。協會現任理事長由中國大陸國家原子能機構前主任張華祝擔任。

此次參訪是由中國核能行業協會副理事長兼秘書長馬鴻琳接待，馬副理事長兼秘書長向參訪人員介紹了中國核能行業協會的基本情況；陳衛里執行長則介紹了臺灣核能科技協進會有關情況，及該會與大陸核能界進行交流合作的有關情況；雙方就開展兩個協會間的交流合作的進行了探討，希望能建立深層次、長期的合作關係。另協會綜合管理部、國際合作部有關負責人參加了會見。(附圖 7)

2.11 拜訪清華大學核能技術設計研究院

11 月 26 日下午，本所高員、莊員與核協會陳執行長至清華大學核能技術設計研究院拜訪薛大知與童節娟兩位教授，首先由高員就 PSA 在台灣近五年之發展作一扼要說明，清大童教授就 PSA 在大陸發展現況作一說明；敘及現行大陸核電廠設計安全規定，要求新建電廠必須完成 PSA；核電廠十年定期安全評審，PSA 作為單獨的安全要素。對 PSA 技術政策，大陸國家核安全局提出「在核安全活動中應積極推進 PSA 方法的應用……應用的重點在於識別核動力廠的薄弱環節、加強核安全決策的科學性、更有效地利用核安全監管資源和減營運單位不必要的負擔」，並明確表示要「積極地並且有步驟地推動概率安全分析技術在國內核安全領域中更深層次的應用」。

清大薛教授並提到 2008 年 11 月 7 到 8 日由中國核能行業協會在深圳舉辦，約 150 位 PSA 專家與會的「2008 年核能 PSA 研討會」；近期將由中國大陸國家核安局發佈正式採用「風險告知管制」的政策白皮書，使 PSA 的應用將更具體而落實。

2.12 參加「2008 兩岸 PSA 交流研討會」

高員與林員偕同核協會李副執行長，於 12 月 1 日與 2 日參加由中科華核電技術研究院於深圳市主辦之「2008 兩岸 PSA 交流研討會」，陪同參加的人士尚包括我國原能會前主委、目前擔任中廣核設計工程公司綜合管理部首席顧問的夏德鈺博士與加拿大電力公司(AECL)的吳潔顧問。研討會由該院「電站運行技術研究中心」璩存有主任主

持，該中心主要的 PSA 研究人員概率安全與可靠性研究所所長陳捷飛先生、首席工程師兼副所長郭建兵先生、資深工程師張寧女士另包括中廣核工程設計公司兩位 PSA 同仁共 16 員均全程參與。(附圖 8~10)

本所由高員於簡報會中簡報本所研發現況、台灣 PSA 近五年應用現況以及未來的應用規劃三項議題，林員則簡報本所 PRA 分組在風險監視器相關應用(含風險顯著性確立工具 PRiSE)、維護法規資料庫工具(MRDB)以及風險告知營運期間檢測先導研究等的研究成果三項，大陸則應本所報告題目提出六篇簡報，該公司目前的 PSA 專業主要服務中廣核集團下的各電廠運行需求，也曾針對大亞灣電廠的柴油發電機延長維修時間，向中國核安局提出風險告知應用的申請，另在風險監視器是該公司較早開發的風險應用工具，現在也應用在風險顯著性判定(Significance Determination Process，簡稱 SDP)。本次交流研討會的議程如表 2.2。

陳捷飛所長於會議結束前的討論時間表示，該所未來幾年在安全度評估(PSA)主要研發重點在：

- (1) 2009 年包括風險指引型在役檢查(亦即風險告知營運期間檢測，RI-ISI)。需求希望包括美國核管會(USNRC)資料、培訓、階段問題監督、結果審查等與淹水 PSA。
- (2) 2010 年主要為地震 PSA。
- (3) 2011 年包括維護法規(Maintenance Rule)與火災 PSA。

表 2.2 2008 年兩岸 PSA 交流研討會議程

時間	日期	題目	報告人
12 月 1 日	0900 0940	CNPRI 近年 PSA 應用現況	郭建兵
	0940 1020	台灣最近五年(2003 至 2008 年)PSA 應用現況	高梓木
	1040 1120	CNPRI 風險監視器發展與應用	希海音
	1120 1220	風險監視器應用簡介：PRiSE 與 TIRM	林家德
	1320 1350	中科華核電技術研究院簡介	璩存有
	1350 1420	核能研究所研發現況	高梓木
	1420 1540	CNPRI 之 LERF 計算模式發展 (NUREG/CR-6595 作法)	張 寧
	1600 1700	風險告知營運期間檢測(RI-ISI)評估 先導應用	林家德
	1700 1800	大亞灣電廠「救援系統績效指標」 (MSPI)之應用發展	張 寧
12 月 2 日 上 午	0900 0940	維護法規資料庫流程工具之發展與 應用	林家德
	0940 1020	CNPRI 未來 5 年 PSA 發展規劃	陳捷飛
	1040 1120	台灣未來 5 年 PSA 發展規劃	高梓木
	1120 1220	討論：CNPRI 與 NUSTA(INER)於 PSA 領域合作展望	全體與人員

陳所長表示希望能藉助本所在 PSA 方面的經驗與技術，協助該所未來幾個研發案的進行。雙方在討論後，暫定彼此連絡人大陸方面在 PSA 部分與郭建兵副所長，其他部分連絡人則為該中心璩存有主任；本所則由高員擔任聯絡員。

2.13 參訪中廣核工程設計公司

12月2日下午，本所參加PSA交流研討會的高員等人在夏前主委安排下，順道前往其任職高級顧問的中廣核工程設計公司參訪，由該公司總體所副總工程師劉寶亭博士代表接待，陪同人員尚包括AECL公司吳潔顧問，該公司朱曉春高級工程師、總體技術室吳繼偉主任、PSA小組負責人黃飛先生、屏蔽設計工程師熊軍先生等。該公司主要業務為有中廣核集團下參與之所有核電站的設計與興建工程，目前主要業務包括：各新建電站的總體技術方案與總體技術報告、環保設計、屏蔽設計，及其他建廠事宜，現在進行中的電站設計與工程包括嶺澳二期的兩部機組、遼寧紅沿河電站的四部機組、福建寧德的四部機組、廣東陽江電站的六部機組，也參與廣東台山電站的EPR(European Pressurized Reactor)設計與工程，牽涉的核電經費與業務可說極為可觀。

在討論過程中，該公司表示在PSA的需求主要在設計上的應用，具體而言包括：

- 事故規程SOP(Symptom Oriented Procedure)對PRA模型的影響。
- 數位儀控風險
- 火災PSA
- 水淹PSA
- 源項二階PSA，(L-2)分析(目前由蘇州熱工院負責)與應變計畫三階PSA(L-3)

而目前該公司覺得比較迫切需要台灣方面的技術與經驗的部分為：

1. 核電站消防設計(在廠房設計已定的前提下)
2. 水淹(危害)分析
3. 設計階段之屏蔽計算
4. 系統整合、設計、分析及相關規範的技術基礎

在前述第1項的消防設計方面，夏前主委推薦前台電工安處消防課長、目前退休後於吳鳳技術學院任教的林文興教授兼系主任，在第3項的屏蔽設計方面，夏前主委推薦本所施建樑研究員、清大江祥輝教授、慈濟大學林威廷教授等共同做為該公司未來參詢的對象。

該公司希望將來能與核協會簽訂GSA(General Service Agreement)，服務項目包括講學開訓練課程、人員至大陸短期工作、或帶回台灣作的純技服項目。

三、心得

此次參加「第八屆兩岸核能學術交流研討會」及「第二屆中國國際核電工業展覽」與「2008年兩岸PSA交流研討會」心得可歸納下列幾項：

3.1 第八屆兩岸核能學術交流研討會

本次大會除了本所陳員發表之論文屬於核醫領域之外，其餘之論文皆偏重於核電研發。核協會謝牧謙博士表示前幾次擴大會議上有各相關核能應用主題之提出，且由於海峽兩岸核能學術交流研討會已舉辦至第八屆，若能趁此機會擴大會議規模，對核能應用領域進行全領域之技術交流，則對兩岸原子能和平用途之開展將有相當大之助益，故建議於明年度在台灣舉辦年會時能擴大舉辦，廣邀更多領域之學者專家共襄盛舉。

綜合而言，此研討會確實成功地提供與會成員瞭解中國在核能應用與發展及安全監督之實務狀況、分享兩岸技術經驗及深耕兩岸核能交流互動良好的平台。特別在這次會議中，可以充分感受到核能在中國的蓬勃與快速的開展，在如此龐大的人力、技術需求下，資深人力明顯不足，勢必須先借助外力。但若中國後續能成功建立其自主之技術、製造及管理能力，未來之核能產業市場版圖可能將大幅改觀；另一方面，中國在採用如此多樣的核子反應器設施設計情況下，其安全管制之技術與人力明顯薄弱，且其安全管制雖已具雛形，但監督的實質制衡力量，尚未能充分發揮。由於中國與台灣毗鄰的地緣關係，及中國未來在核能產業市場可能佔有的比重，其在核能安全管制監督的策略與作為，攸關兩岸核能安全，值得密切注意，並應逐步促進兩岸共同致力維繫核能安全之長遠目標。

在我國核四廠仍被反核人士抗爭與非核家園意識型態所延遲之際，對岸的中國已在秦山電廠、大亞灣電廠陸續商轉後，於2006年3月經中國國務院審議通過了《核電中長期發展規劃》，確定到2020年中國的核電裝機總量將從現在的8.4GWe提高到40GWe，在2008年底更一舉將2020年中國的核電裝機總量提高到70GWe，即今後每年需要開工建設3-4座百萬瓩(1GWe)的核電機組，共約31機組，資本投資超過4000億元人民幣。中國表明這將是亞太地區最巨大的核電市場，將對世界的核電技術、核電產業產生重大的影響。2008年11月，中國國家能源管理署(National Energy Administration NEA)表示：中國原先規劃於2020年以前完成40GWe核能發電機組之部署，但目前考慮提高至70GWe，以因應「溫室氣體抑減」與「中國冬天燃煤運輸的

困難」兩大議題。截至 2008 年 11 月，目前運轉、興建或規劃中的廠址包括：大亞灣、秦山、秦山 II 期、嶺澳、秦山 III 期、田灣、嶺澳 II 期、紅沿河、寧德、三門、海陽、陽江、福清、方家山、台山、石島灣共 38 部機組；2020 年前將增建 25 部以上之 AP1000 機組，World Nuclear Association (WNA) 更報導中國已規劃於 2050 年將完成 100 部核電機組。

當全世界聚焦於中國核電產業的希望時，雖然中國從 CPR-1000 到 AP-1000 將致力核電產業的自主化，但全世界則對於中國核電“能力不足之處”仍視為全球核工業之重要商機，均極力爭取。

3.2 中國國際核電工業展覽會

本次本所參加第二屆「中國國際核電工業展覽會」，參展單位大都屬於零組件的製造商，雖有如 ABB 等國際電氣設備大廠，但為數甚多廠家為想轉型進入核電業的零組件製造廠家，因此對於本所展出之 PRA 應用工具均較感陌生；本所另外展出的輻射偵測儀器，由於也可應用在環保用途，吸引較多參展人士的關注。

由於核電前景看好，大陸很多傳統工業爭相投入核電產業的組件設備製造，態度積極而冒進，此可由幾個核電相關國際展覽的名稱幾乎十分雷同的情況看出。目前大陸較大的核電展覽有二，中國核能學會主辦之「中國國際核工業展覽」（西年雙數年舉辦）及中國核能行業協會主辦之「國際核電工業展覽會」（西年單數年舉辦），後者將在 2009 年 4 月於北京配合第二次世界部長級核能大會期間舉辦第八屆展會，此展覽會預期會有國際幾個重要核能廠家如 AREVA、西屋等公司參與，參展人士也較能集中在核能產業。

3.3 2008 年兩岸 PSA 交流研討會

本次 PSA 研討會主要的交流對象為中科華研究院，屬於中廣核集團的核電運行技術研究單位，院內的 PSA 研究所人員以原大亞灣電廠的 PSA 資深人員為主幹，該所人員的 PSA 專業承襲自北京清華大學與二院系統，相較於大陸原先自美國與德國引進 PSA 的人員，因接觸較新的 PSA 研發現況與風險告知運轉與管制等環境，對於 PSA 的推廣十分積極，目前大亞灣核電站所實施的風險告知應用項目，與我國發展方向頗為接近；包括風險監視器、風險顯著性確立程序(SDP)、救援系統績效指標(MSPI)等，但該所的 PSA 研究目前尚缺所謂的廠外事件部分，如地震、颱風、廠內水災、廠內火

災等，根據該所提出的簡報內容，預計在未來兩三年內逐步補齊。中廣核集團由於採購機組均屬壓水式反應器(PWR)，一旦建立了某個廠的 PSA 模型之後，在短時間內經過修正調整，也許就可以應用於其他同類型的電廠，例如大亞灣電廠之於嶺澳與陽江電廠的例子；不過，未來幾年隨著大陸核能的快速擴充，核電各方面的人力需求將激增，PSA 的人力由於並非大學或學院普遍的養成項目，其需求亦十分殷切。

該所 PSA 人員於交流研討會中表示，希望本所同仁能透過適當形式，協助介紹暨審查該所 2009 年規劃進行之風險告知營運期間檢測(RI-ISI)評估與介紹淹水 PSA 模型建立方法論。唯該所人員傳達出的態勢，均傾向希望以審查或技術轉移的方式，一次(one-shot)即從台灣取得相關 PSA 應用的知識經驗或技術，以便供其後續爭取大陸其他核電廠的 PSA 應用與技服商機，此點可能與本所屬於公部門的角色與服務宗旨似乎未能十分契合，本所應審慎思考如何能兼顧我國本身技術智財保護與技術推廣之間的平衡。

3.4 中國大陸核電產業發展現況觀察

中國大陸具有資格建造核能電廠的公司包括中國核工業集團公司、中國廣東核電集團公司及中國電力投資集團公司。目前中國大陸具有核電廠總體設計資格的機構包括核工業第二研究設計院(簡稱核二院)、上海核工程研究設計院(簡稱 728 院)及中廣核研究設計院。其中核工業第二研究設計院屬於中國核工業集團公司；上海核工程研究設計院屬於負責引進國外先進核電技術的中國國家核電技術公司(簡稱國核技)；及中廣核研究設計院屬於中國廣東核電集團公司。

中國大陸決定發展核電工業始於 1978 年，最初成立的核能國企公司為中國核工總公司(簡稱中核總)，並開發秦山一期機組，是大陸最早的核電機組。中核總後來分成兩個主要的集團：「中國核工集團」與「中國核工業建設集團」，各負責核電廠設計、工程與興建的業務，也投入俄羅斯 VVER 機型以及高溫氣冷堆機型的引進與研發。秦山一號機組之後，隨著改革開放、香港用電需求以及核電發展的需求，大陸自當時的法國法碼通引進壓水式電廠，1994 年成立了廣核電集團，興建大亞灣與嶺澳核電廠，廣核電現稱為「中廣核集團」，由於廣東省核電廠興建與規劃容量甚大，加上成立時期引進西方國家的新核電技術，使中廣核集團的核電實力目前可謂領先大陸其他國企。近幾年來，大陸決定加快核電開發並引進第三代加核電機組，遂由西屋公司的 AP1000 機型與法國 AREVA 公司的 ERP 機型競標，最後 AP1000 勝出。在 AP1000 引進過程，

中方除了規格審查之外，也要求技轉，2007 年由此衍生出另一家具規模的核電國企：國家核電技術公司(國核技)，投資主力為中國電力投資集團，而由於 AP1000 後市看好，也讓國核技成為大陸核電的主力企業之一。AREVA 雖然未能順利取得先機，但其 EPR 機型也被規劃由中廣核公司在廣東台山興建。

中國大陸 2007 年共有四座核能電廠 11 部機組在運轉，總裝置容量為 8.4 GWe，占全國總電力裝置容量約 1%。中國大陸於 2007 年底將核電指導方針由「適度發展核能」轉變為「積極推進」，依據大陸「國家核電發展專題規劃(2005-2020 年)」，將 2020 年核能電廠運轉裝置容量提高至 40 GWe。中國大陸能源局長張國寶最近表示，2020 年核電裝置容量占電力總裝置容量的比重將稍作修正，規劃將比重提高至 5%。如果依 2020 年核電裝置容量占電力總裝置容量的 5%，屆時核電裝置容量將達到 70 GWe 以上。

上述三個中國主要核電國企成立相關的緣由、主要設計工程主力的關係請詳圖 3.1。由圖 3.1 可看出，大陸三個主要國企之下，近幾年來也規劃自己成立工程設計部門，也遂有中核總體系下的北京二院為主體的「中國核電工程公司」、中廣核集團成立的「中廣核工程設計公司」，國核技則主要大幅仰賴上海原來一般所稱 728 院的「上海設計院」，均打算發展核島乃至於常規島(BOP)的設計、工程與整合能力。

上述三個主要核電國企包括中核總、中廣核與國核技目前在中國現有運轉、興建與規劃中的核電容量與機型詳如表 3.1 與表 3.2。表 3.2 敘及之 CPR1000 全名為「中國改進型壓水式反應器」核電技術，由中國核動力研究設計院與中國廣東核電集團公司合作改進法國法馬通 M310 技術所得自主品牌的核電技術。中國大陸國家核電技術公司王炳華董事長表示中國大陸從美國引進的第三代核電 A P 1000 自主化實績項目—浙江三門核電站兩台機組和山東海陽核電站兩台機組，已於 2007 年 12 月 31 日下達開工令，工程設計、設備採購、現場工程建設準備全面展開。第一台核電機組將於 2009 年 3 月澆注第一罐混凝土。按照工程安排，三門核電站一號機組 2008 年 3 月核島負控開工，計畫於 2009 年 3 月澆注第一罐混凝土，2013 年 8 月首次並聯發電。屆時將成為世界上第一台使用 A P 1000 核電技術的核電站。其餘三台機組陸續將在 2009 年 9 月、2010 年 1 月和 2010 年 7 月澆注第一罐混凝土，並分別於 2014 年 2 月、2014 年 6 月和 2014 年 12 月並聯發電。去年 5 月成立的中國大陸國家核電技術公司，由中國大陸國務院授權代表中國大陸對外簽約，受讓美國第三代先進核電技術，通過消化吸收再創新形成中國核電技術品牌。

而除了此三個主要國企集團外，原來中國的主要電力國企裡的「大唐」集團與「華

能」集團也有規劃與企圖投入核電產業。中國國務院選定日裔-東芝-西屋公司的 Passive Safety Reactor AP1000 作為未來第三代加核能電廠大量興建之設計，美國大部份電力公司亦選擇 AP1000 設計，目前全球規劃中第三代加核電廠之概況詳如表 3.3，可看出顯然 AP1000 將成為未來的主流機型。

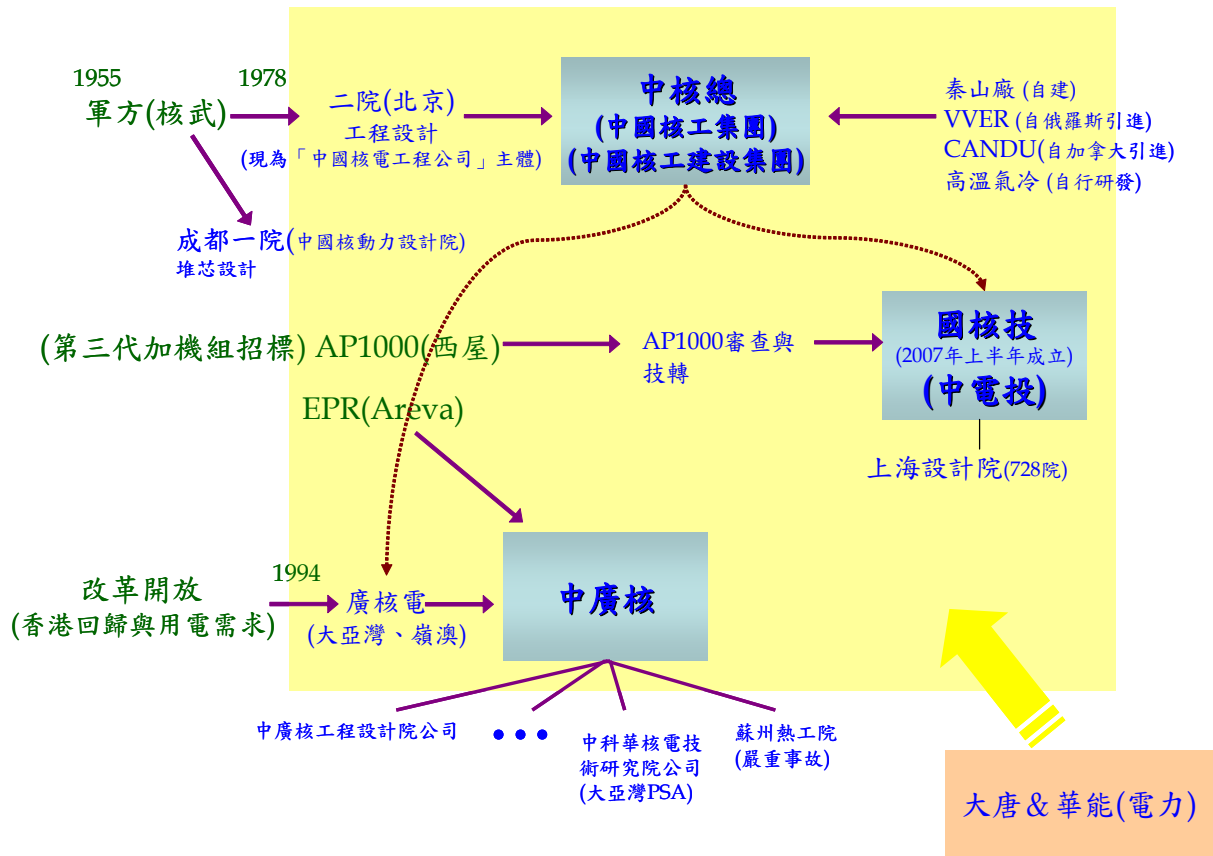


圖 3.1 中國核電產業主要國企淵源與關係圖

表 3.1 中國大陸運轉中機組

廠址	省別	型式	淨裝置容量	商轉西元年	經營者
大亞灣 1&2 號機	廣東	PWR	944 MWe	1994	廣核集團
秦山-1 期	浙江	PWR	288 MWe	1994	中核集團
秦山-2 期 1&2 號機	浙江	PWR	610 MWe	2002, 2004	中核集團
嶺澳-1 期 1&2 號機	廣東	PWR	938 MWe	2002, 2003	廣核集團
秦山-3 期 1&2 號機	浙江	PHWR	650 MWe	2002, 2003	中核集團
田灣-1 期 1&2 號機	江蘇	VVER	933 MWe	2007	中核集團
總計 11 機組			8,438 MWe		

表 3.2 中國大陸規劃中與興建中的核能機組(統計至建造日期 2010 年 9 月前)

廠址	省別	(MWe) 供電量	型式	經營者	建造起始日期 (月/西元年)	預定商轉 日期
嶺澳-2 期 1&2 號機	廣東	2x1080	CPR-1000	廣核集團	12/05, 8/06	2010, 2011
秦山--2 期 3&4 號機	浙江	2x650	CNP-600	中核集團	3/06, 1/07	2011, 2012
紅沿河-1 期 1~4 號機	遼寧	4x1080	CPR-1000	廣核集團	8/07, 4/08, 3/09, 7/10	2012, 2014
寧德 1 期 1~4 號機	福建	4x1080	CPR-1000	廣核集團	2/08, 11/08 2010, 2011	2012, 2013 2014, 2015
陽江 1 期 1&2 號機	廣東	2x1080	CPR-1000	廣核集團	12/08, 2/09	2013, 2015
福清 1 期 1&2 號機	福建	2 x 1080	CPR-1000	中核集團	11/08,?	2013, 2014
三門 1 期 1~4 號機	浙江	4x1100	AP1000	中核集團	3/09, 9/09 1/10, 7/10	2013, 2014 2014, 2014
海陽 1&2 號機	山東	2x1100	AP1000	中電投資 集團	9/09, 5/10	2014, 2015
台山-1 期 1&2 號機	廣東	2x1700	EPR	廣核集團	1/10, 7/10	2014, 2014
石島灣	山東	200	HTR-PM	中國華能 集團	9/09	2013
方家山 1&2 號機	浙江	1000/1080	CNP-1000 /CPR-1000	中核集團	4/09, 7/10	2013, 2014
總計 27 機組			28,700 MWe			

註：HTR-PM：球床模組式高溫氣冷式反應器。

表 3.3 世界現有第三代加機組規劃分佈狀況

機型 國家	日商-東芝 ABWR Active	法商 -AREVA EPR Active	日商-三菱 APWR Active	日商-東芝- 西屋 AP1000 Passive	奇異-日立 ESBWR Passive
美國	2	7	2	14	4
日本	9	0	2	0	0
法國	0	2	0	0	0
英國	0	4	0	5	0
中國	0	2	0	>26	0
其它	2	1	0	0	0
Total	13	16	4	>45	4

以下摘述我國代表團對大陸核電目前的觀察：

3.4.1 三大核電集團各自為政，其自主能力仍不足

2020 年前至少 2000 億美元的核電大餅，在眾人注目的同時，也引來無數「掠食者」，中國於短時間，投入如此大量的核電機組建設，其設備製造與能力仍有不足處，台灣核能相關產業應可積極找尋商機。

目前，中國擁有核電資產的共有 3 家企業，分別是「中國核工業集團公司」、「中國廣東核電集團」、「中國電力投資集團」。擁有 CPR-1000 技術的「中國核工業集團」和「中國廣東核電集團」，未來將繼續以 AP-1000 及 EPR 技術壟斷中國核電市場，但其核能設備製造和安裝能力目前仍不足以支應中國核電產業的長遠規劃；「中國電力投資集團」則剛剛跨入核電產業，是唯一提出火、水、核電全面發展的發電企業。

核電廠的利潤十分驚人，毛利率一般都維持在 30% 左右，遠高於石化電力行業的平均盈利水平。而隨著煤電價格的不斷上漲，環保要求的日益嚴格，核電的經濟優勢將進一步凸顯。

但即使是有了初步的自主化，中國只是較為完備地掌握了二代加核電技術，而目前世界核電強國的技術已經發展到了第三代加。因此，當 2004 年前後，在大量建設新一批核電廠時，中國在技術路線的選擇上曾經猶豫。在當時，以「中國核工業集團」和「廣東核電集團」為代表的一方主張採用第二代加成熟核電技術，另外國務院專家的觀點則堅持認為應該發展更為先進的第三代加核電廠。

3.4.2 強化中國核電之核能安全監管能力

中國目前還沒有全面掌握百萬瓦級核電廠(CPR-1000)設計技術(例如數位儀控、大組件如 RCP(反應器冷却泵)鍛造、模擬器...等)，一些關鍵技術設計目前仍處於模仿階段，多國標準規範混用的局面依然存在(法、美、蘇)；中國在核能安全技術的研發投入仍處於起步階段。

中國與外國廠商雙方在以委辦項目進行技術轉讓談判中，並無法取得進展。其根本原因是雙方目標相距太遠，絕對無法達成一致。中國設想要以陽江、三門的四台機組、或許稍高的代價，得到這些機組，以及先進的電站設計技術和設備製造技術，然後使之轉化成具有自主智慧產權的技術，在以後的核電站的建設中，應用這些技術自己設計核電站和製造設備。而國外廠商要得到的不僅僅是四台核電機組，而是中國的巨大的核電市場。市場競爭的激烈並不足以讓他們爲了四台核電機組而斷送以後的核電市場。因此，外國廠商以難以接受的報價，迫使中國望而卻步，從而進入他們的軌道。但中國又不可能把巨大的核電市場永久地拱手相讓；中外雙方的利益是完全對立不可調和的，無法取得進展。可見靠“市場換技術”所能起到的作用很有限，真正的核心技術是開放市場換不來的。

現今能夠稱得上第三代加技術的壓水式反應爐只有法國的 AREVA 公司掌握的歐洲先進反應爐 (EPR)、日本三菱 APWR、和美國西屋的 AP1000。因此，若干專家認爲，如果選擇二代加技術，則相對保守；而三代加技術卻爭議頗多，因爲目前世界上還未完成任何一座利用該三代加技術的 PWR 核電廠。

另外，如果要採用第三代加核電技術，巨額的引進費用不可避免。但以市場換技術，中國核電工業則可能重複汽車工業所走過的路，永遠落後最新一步。

直到 2007 年年底，始自 2004 年的中國第三代加核電技術國際招標塵埃落定。經過技術、經濟、國產化、融資條件等多方面的評審論證，中國決定斥資 53 億美元引進美國西屋公司 AP1000 技術建設浙江三門、山東海陽兩大核電技術轉移工程。爲了平衡中、法關係，另在廣東台山引進兩座 EPR 機組。

而按照既定規劃，中國第三代加先進核電技術的引進、消化、吸收和自主化工作分爲三個層面，分別是：設計技術、設備製造技術和施工與經營管理技術。中國引入第三代加核電技術的主要初衷，是選定一種國際先進的第三代加技術，統一中國大陸核電的技術路線，加快核電發展，實現 2020 年商轉核電裝置容量 7000 萬瓦的目標。但就中國擬定三代加核電路線圖時，國外已聯合研發第四代核電技術。儘管

到 2030 年前後，以 AP1000 為基礎的第三代加核電技術有望統領中國的核電發展，不過那時，核電發達國家研發的第四代核電技術已進入商業化應用階段。第四代核電技術在安全性、經濟性、防恐怖襲擊、防核武擴散等方面將更具競爭力。這或許意味著十多年後，中國又將面臨一次新的選擇；自主研發抑或是再次花費巨資全盤購買第四代技術。

因此若中國改採務實的心態，正確分析核電廠建設和設備製造技術研發之間的關係，實事求是地確定自己的技術路線。在中國還不能用國產的關鍵設備裝配核電廠時，應將核電廠的建設和技術研發分成兩件事，使之相對地分開，並按輕重緩急區分出近期和遠期的任務。如此才能更明確在什麼時候做甚麼和怎樣做，才會針對近期和遠期任務而採取相應的穩健對策。

3.4.3 鈾資源不足，需確保長期鈾來源之穩定

儘管目前中國是個僅次於美國的世界第二大礦業生產國，但因人口眾多，人均資源消費量不及世界平均水準的一半，未來可能會有較大增長。由於資源自產的特點，特別是能源礦產中的清潔能源石油生產不能滿足需求，供需缺口很大；可再生能源雖有較大發展潛力，但遠水無法解近渴，因此，大力發展核電是解決中國清潔能源長期短缺最重要的戰略選擇。在解決了核電技術發展路線之爭後，另一個問題為中國大陸核電產業所需鈾礦目前在中國還屬於短缺礦產，大陸產量最多只能滿足需求的三成。而且，無論是從軍事或是從民用考慮，按照最新的核電中長期規劃，到 2020 年，中國大陸核電總裝置容量將達到 70GWe。屆時大陸發展核電每年需要 12500 噸天然鈾，但目前大陸自產天然鈾產量僅每年 1000 噸。

到 2050 年，中國大陸核電裝置容量將達到 100GWe 以上，但中國大陸現在已確定的天然鈾儲量，最多能供 70GWe 裝置容量的熱反應爐商轉 6 年。根據國際原子能機構（IAEA）於 2005 年出版的「紅皮書」中的統計數據，全世界已確定的開採成本低於 130 美元/公斤鈾的天然鈾資源儲量約為 474 萬噸，預測和推斷鈾資源量為 1005 萬多噸。不幸的是，這些寶貴的資源與中國無緣。

世界上已確定的鈾資源量主要分布於澳大利亞、巴西、加拿大、哈薩克、尼日、南非、美國、納米比亞、烏茲別克斯坦等 9 個國家，占全球已確定鈾資源總量的 70.79 %。這其中又主要集中於澳大利亞、加拿大、哈薩克 3 個國家。資料顯示，中國的鈾資源量（成本低於 130 美元/公斤鈾）為 7.7 萬噸鈾，其中，成本低於 40 美元/公斤鈾的儲量約占 60%，主要分布在江西、新疆、廣東、遼寧等地。很顯然，在新的 2020 年

核電發展規劃目標下，中國大陸的鈾資源無法滿足需求。

爲了應對鈾資源不足局面，中國大陸在核電中長期發展規劃中對核燃料資源供應保障提出了明確要求：堅持內外結合，合理開發國內資源、積極利用國外資源的原則，適度超前發展核燃料產業，建立國內生產、海外開發、國際鈾貿易三管道並舉的天然鈾資源保障體系。

但所有的這些舉措都無法迴避中國鈾礦資源匱乏的事實。由於鈾礦資源的限制，大陸核電業專家對中國核電戰略的發展前景有些悲觀，「現在要求大力發展是對的，到了 2020 年到 70GWe 的時候可能會碰發展上的隱憂。

3.4.4 核電人才的大量需求

自 1980 年代建設大亞灣核電廠以來，經過二十多年的發展，在廣東省和中廣核集團的努力下，廣東省已經建成投產大亞灣和嶺澳一期共 4 GWe，興建中的嶺澳二期 2GWe 的核電發展規模，占全省發電裝置容量的 13%，與世界平均水平相差無幾，浙江則由「中核集團」的秦山、方家山與三門基地獨領風騷。另外，廣東近期擬建的核電項目包括陽江項目和台山項目。陽江項目按首批 6 台二代加改進型機組部署 CPR-1000，各項前期工作順利推進，項目一期工程核島已於 2007 年 9 月 26 日開工，按計劃於 2008 年下半年實現主體工程開工。台山計劃按照引進的 EPR 反應爐設計，與法國核電運營企業(Edf)及主供應商集團(AREVA)的協議或合同於 2007 年 11 月 26 日簽訂，按計劃項目主體工程將於 2009 年開工；福建「廣核集團」的「寧德核電廠」、「中核集團」的「福清核電廠」是福建省第一個核電項目，共規劃建設 8 台 1GWe 機組，總投資約 140 億美元，一期工程擬建設 4 台機組，爲中國核電第二代+改進型 CPR-1000，綜合國產化率達到 75%以上。一期工程投資約 76 億美元。

由於有經驗的核電人才嚴重不足，中國積極訓練新人，也將廣吸全球有經驗的從業人士投入其建設。就如同中國國家核安全局局長李干傑言：中國核電發展受到(1)核電建設人力資源總體短缺、(2)核電研發和設計能力尚不完備、(3)核設備製造和安裝能力不足、(4)核安全監管力量薄弱等四個方面牽制。

目前中國核電仍然處於大規模發展前的準備階段，一些薄弱環節顯而易見，在這一階段如果擴張過於快速，必然引發人力資源分發、國產化策略的推進、核安全監管組織與能力建立等方面的混亂，進而威脅到核電的建造質量和營運安全。中國核能政策展現無比的雄心壯志，但中國大陸如何按步就班，避免類似三哩島、車諾比事件的發生，將是大陸發展核電最大的考驗。

四、建議事項

1. **加強更深入且互惠性的核安技術合作：**「兩岸核能學術交流研討會」迄今已辦至第八屆，雙方認識已奠定了相當良好的基礎，在學術、技術交流上應從相互了解、誠摯互助、自由發表論文方式，改變為雙方互補性、設定特定主題方式的交流。例如：核廢料處理、PRA 技術、品質檢驗、核電廠建設工程(含重組件、土建等)、核電廠運轉及設計、核燃料設計製造等，建立雙方代表審閱機制，確保品質及深度，再進一步為雙方實質合作交流再往前推動。
2. **我方應慎選交流代表對象，重點合作：**大陸近年核能發展快速，在 2008 全球金融海嘯後之擴大內需推動經濟下，更是突飛猛進，僅中國核電工業集團下相關員工就有 30 萬餘人，其他之廣核電、中國電力投資集團公司亦相當龐大；反觀國內資源人力相對較小，官方交流目前以透過核協會協助為主，人力更顯單薄，故應慎選交流代表對象，重點合作。但大陸兩大集團轄下單位組織、名稱、負責人、重要職掌及業務，國內僅有片斷零星之資訊，建議我國宜委託專責機構(如核協會)加以蒐集整理並定期更新，以有助於我方日後技術之拓展、推廣與交流。
3. **可考量「低放射性廢棄物最終處置」與中國大陸之技術合作：**「低放射性廢棄物最終處置技術」可與中國大陸進一步技術合作。中國大陸已有低放射性廢棄物處置場之建造及運轉經驗，而我國低放射性廢棄物最終處置計畫尚在選址階段，建議經由「海峽兩岸核能學術交流研討會」之平台，與中國進一步技術合作，進行更具體之交流活動，為共享經驗、共促兩岸核能發展、造福兩岸民生，並作出積極的貢獻。
4. **密切注意中國大陸 AP1000 的技術發展：**中國大陸之核電開發，已由第二代轉向第三代加核電廠方向發展，我國未來增建核能機組開發電源，應密切注意中國 AP1000 的技術情況，並不斷收集全球第三代加核電廠之技術與資訊，供未來決策之參考。
5. **透過參展大型核電雙年展推廣本所核安技術：**北京核電工業展係本所首次參與，主要在了解大陸發展型態、方式、規模及展出單位，其規模較小，層次亦較低。未來應參加中國核學會主辦之「中國國際核工業展覽」展示(西年偶數年舉辦)，或中國核能行業協會主辦之「國際核電工業展覽會」展示(西年奇數年舉辦)，其效果可能更佳，此二單位舉辦之展示會，中國部長級或副總理級幹部將會出席，且媒體亦會採訪廣為宣傳，對推廣的成效可能更大。
6. **全盤規劃本所推廣技術及策略：**近年大陸核能成長快速，新建核電機組將達 60 部(即

共 70GWe，不包括已商轉 11 部機組)，技轉、合作有極大潛力，其中大陸方面有需求及意願來台學習，可先從提供訓練課程開始，課程內容可經由中介單位如核協會與本所協商，可將本所技術推向大陸，惟策略上應考量哪些符合社會安全及國家需求？哪些關鍵技術需要保護？以及人力資源之配置等，需有全盤的規劃。

7. **推動兩岸核電建廠人才之合作機制：**兩岸核能電廠之新建工程，在設備安全法規、設備製作監督、非破壞檢測及品質保證方面，每每受制於核能先進國家既有法規之限制，而不得不尋求可行之替代方案。專業人員因工作性質特殊，新建工程時嚴重不足，完工後又苦無出路，因此兩岸在此領域應有相當之合作空間，不論在法規編彙、技術創新、人員交流、制度建立各方面都可推動，中科華核電技術研究院及所屬蘇州熱工院是可以考慮之對岸對應機關。

五、參考資料

1. 第八屆海峽兩岸核能學術交流研討會(分光碟片與論文集)，主辦單位：中國核學會、台灣核能科技協進會；承辦單位：中國核工業集團秦山核電基地，2008 年 11 月，分存核安中心、輻應中心與綜計組。
2. 秦山三核介紹(中核集團秦山第三核電有限公司)，2008 年，分存核安中心、輻應中心與綜計組。
3. 中國海塩杭州灣大橋新區介紹(分光碟片與紙本簡介)，包括：中國長三角港口群新港、浙江環杭州灣產業帶新區及嘉興濱海新區新城，分存核安中心、輻應中心與綜計組。
4. 臨港制造、臨港物流介紹，分存核安中心、輻應中心與綜計組。
5. 中國科學院上海應用物理研究所，包括：同步輻射的相關實驗技術及其應用領域及同步輻射光源具有廣闊的應用前景，分存核安中心、輻應中心與綜計組。
6. 蘇州熱工研究院建設 30 周年介紹，2008 年 5 月，分存核安中心、輻應中心與綜計組。
7. 中國核能行業協會，「中國核能可持續發展壇文集(光碟片)」，分存核安中心與綜計組。
8. 第八屆國際核電工業展覽會(北京). 2009 年，分存核安中心與綜計組。
9. 「2008 年兩岸 PSA 交流研討會」論文集 2008 年 12 月，分存核安中心與核子工程組。
10. 中科華核電技術研究院(中國廣東核電集團技術中心)簡介資料，分存核安中心與核工組。
11. 概率安全與可靠性研究所(中科華核電技術研究院)簡介資料，分存核安中心與核工組。

附錄一

台灣核電風險告知應用與成效介紹摘要

高梓木

台灣核能研究所(以下簡稱核研所)建立量化風險評估技術(簡稱 PRA)已逾 25 年，除了在發掘核能電廠系統安全上潛在的弱點、提出因應與改善之道方面著有成效之外，也積極應用於核能管制決策制訂，提出具體量化的風險指標與風險洞見，供管制單位作為核電廠監管與法規合理化的參考，並兼顧核電廠運轉績效與安全考量。由於量化風險評估具備科學、量化與客觀的優越特性，對於輔助大型複雜系統如石化廠、液化天然氣廠，乃至於台灣之重要基礎建設、國土安全等相關的風險管理決策，均極具應用的潛力。

風險告知應用的基礎在於能夠詳細地量化風險，而核能界普遍是以 PRA 技術來獲取核能設施運轉的風險。核研所於 1983 年自美國引進建立 PRA 技術，依序完成核二廠、核三廠與核一廠的整廠量化風險評估。1987 年完成核三廠評估後的主要建議之一為各核電廠宜增設一台額外的柴油發電機(稱為第 5 台柴油發電機)，以加強電廠處理喪失外電的能力並降低風險。2001 年 3 月 18 日核三廠廠外輸電迴路因當地鹽霧害而喪失輸電功能，同時又遭遇廠內柴油發電機故障，致有喪失所有交流電源之虞，所幸當初設置的第 5 台柴油發電機及時發揮功效，化解事件繼續惡化的趨勢。此一例證正足以說明 PRA 發掘系統潛在弱點，提出改善建議及量化改善效益，並將有限資源花在刀口上的長處。

核研所 PRA 團隊，除建立 PRA 評估技術外，也積極開發各種風險評估與管理工具，例如協助台灣原子能委員會(以下簡稱原能會)於 2006 年元月起實施核安紅綠燈管制，採用風險告知與績效基準的作法，結合核電廠具體的運轉安全指標數值及駐廠視察員的視察評估結果，以量化、可測量與比較的方式衡量各核電廠的運轉安全表現，並以簡單的燈號顏色顯示，現已按季公布於原能會官方網站，提供民眾公開透明的施政資訊。此一現代化施政作為即是採用核研所開發的風險顯著性確立工具 PRiSE 來達成，其可快速計算核能管制駐廠視察員所發現之電廠績效缺失在風險上的重要程度，大幅縮短評估時間，爭取管制與矯正的時效。除了 PRiSE 之外，核能研究所近十年來亦自力開發中文化的故障樹分析程式(INERFT)、第一代與第二代核能電廠整體風險管理系統(Risk Monitors：TIRM 與 TIRM-2)等工具，目前已分別應用在大專院校的教學、產業界及核電廠日常運轉上。

核研所 PRA 團隊並完成台電公司委託核能電廠電纜防火包覆替代安全方之風險告知應用計畫，協助台電公司向原能會提出申請，於 2005 年 12 月獲原能會正式審查核准；在

兼顧核能安全的前提下，此核能管制案件之決議，使台電公司核一廠透過替代方案之實施可符合最新防火法規之要求，兩部機組直接成本節省共逾 4 億元台幣，若計入因施工而造成停機的發電營收損失，成效將數倍於直接成本。核二、三廠亦在 2006 年 12 月獲得原能會審查通過，其成效與核一廠相仿。

PRA 技術除了在核能工業外，我們也逐漸可以看到風險量化的觀念在石化產業上的應用，例如在液化天然氣儲槽系統量化風險評估方面也有相當不錯的成效。

附錄二

腦中樞神經核醫藥物技術平台之建立與運用摘要

陳家杰

臨床上核子醫學部門使用的藥物與一般的藥品不同，它最大特色即是含有放射性同位素；利用放射性同位素結合上大分子或小分子化合物後，以注射、吸入或口服等給藥方式，利用化合物之特性將同位素運送至特定器官或組織，依同位素之特性可應用於疾病之診斷或治療。

核能研究所於 1993 年建立台灣第一台中型迴旋加速器(compact cyclotron)，產製短半衰期醫用放射性同位素，並研製成核醫藥物提供國內各醫院臨床應用，在放射醫療科技研發，核研所經常與研究單位及教學醫院相互交流，共同合作研究，期能對國人健康品質之提升有所助益。

核研所依藥事法及藥物工廠設廠標準，向衛生主管機關及中央工業主管機關登記之，完成台灣唯一合法且具有 GMP/cGMP 之核醫藥物製造機構，擁有「藥商許可證—西藥製造類」(省桃縣衛藥西字第 047 號) 及「製造業藥商許可執照」(桃縣藥製字第 6132090018 號)，並已成功研發上市 15 種核醫藥物，每年造福近 20 萬人次病患以上。

核研所利用己身研發能力建立腦中樞神經分子影像技術平台，以研發之早期診斷老年化及神經/精神疾病之核醫藥物，包括巴金森氏症、阿茲海默氏症、憂鬱症、精神分裂症及過動症，之分子影像核醫藥物，配合己身擁有之 microPET、micrpSPECT、及相關影像實驗室，開發對外服務之技術平台，提供藥動、療效等之非侵入式動物影像服務，如 I-123 ADAM、I-123 MIPP、I-123 IBZM、F-18 FDG、Tc99m-HMPAO 等等核醫分子影像藥物，進行相關之 Dopamine、Serotonin、norepinephrine transporter 非侵入是動物活體之分子影像服務。數年來為台灣唯一可提供相關研發之單位，深受台灣當地公私立研發或藥廠單位之重視。

本報告將提供相關腦中樞神經分子影像技術平台建立後在台灣服務之相關技術成果，同時也檢討該項技術對將來服務全球化之可行性。



附圖 1. 第八屆海峽兩岸核能學術交流研討會參加人士合影



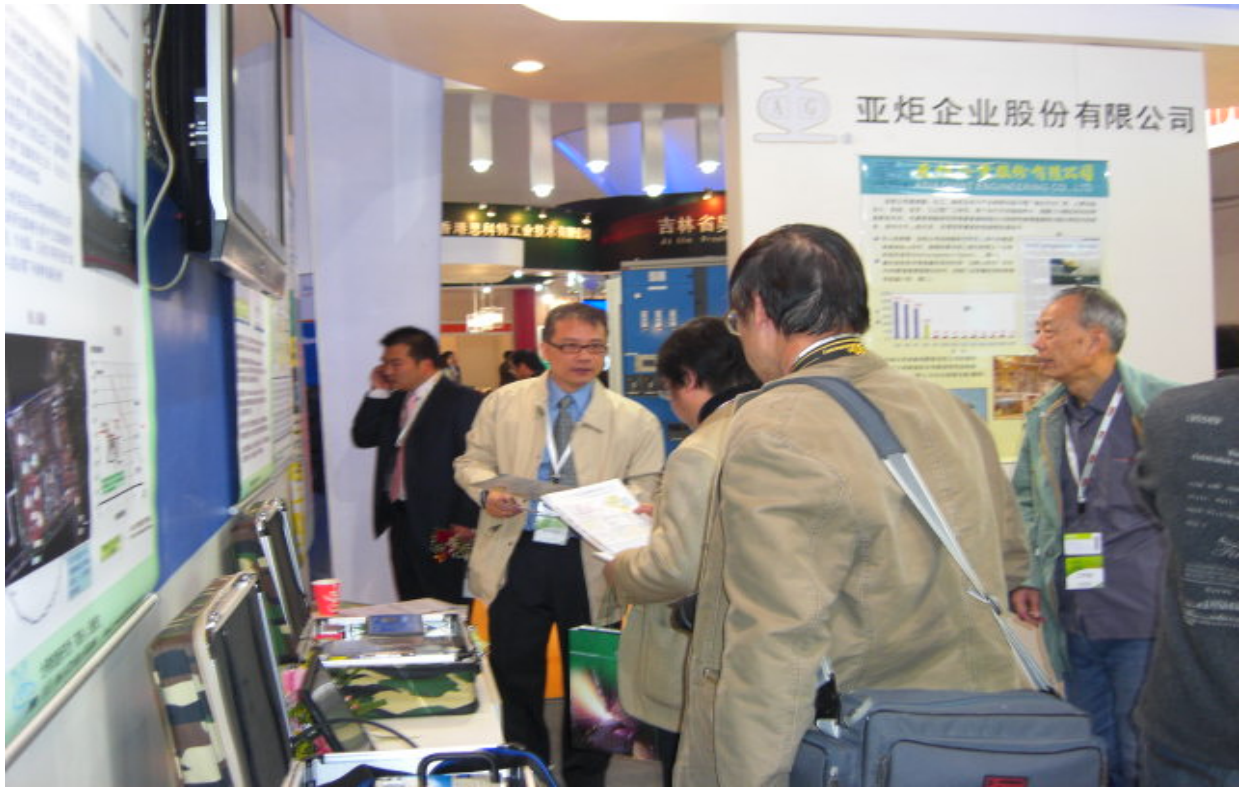
附圖 2. 第八屆海峽兩岸核能學術交流研討會議場



附圖 3. 核研所於第二屆中國國際核電工業展會場攤位 I



附圖 4. 核研所於第二屆中國國際核電工業展會場攤位 II



附圖 5. 第二屆中國國際核電工業展會場展覽解說



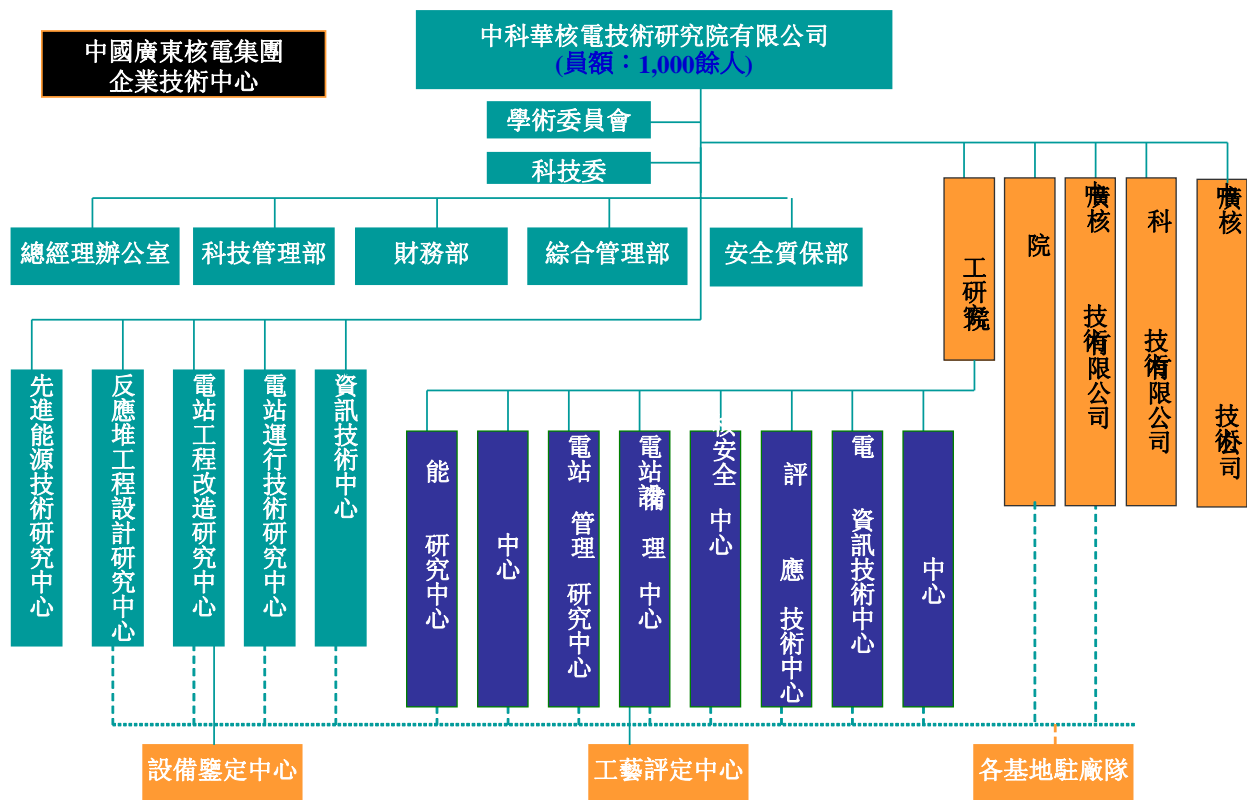
附圖 6. 核研所與核協會人員合影



附圖 7. 核研所與核協會人員參訪中國核能行業協會合影

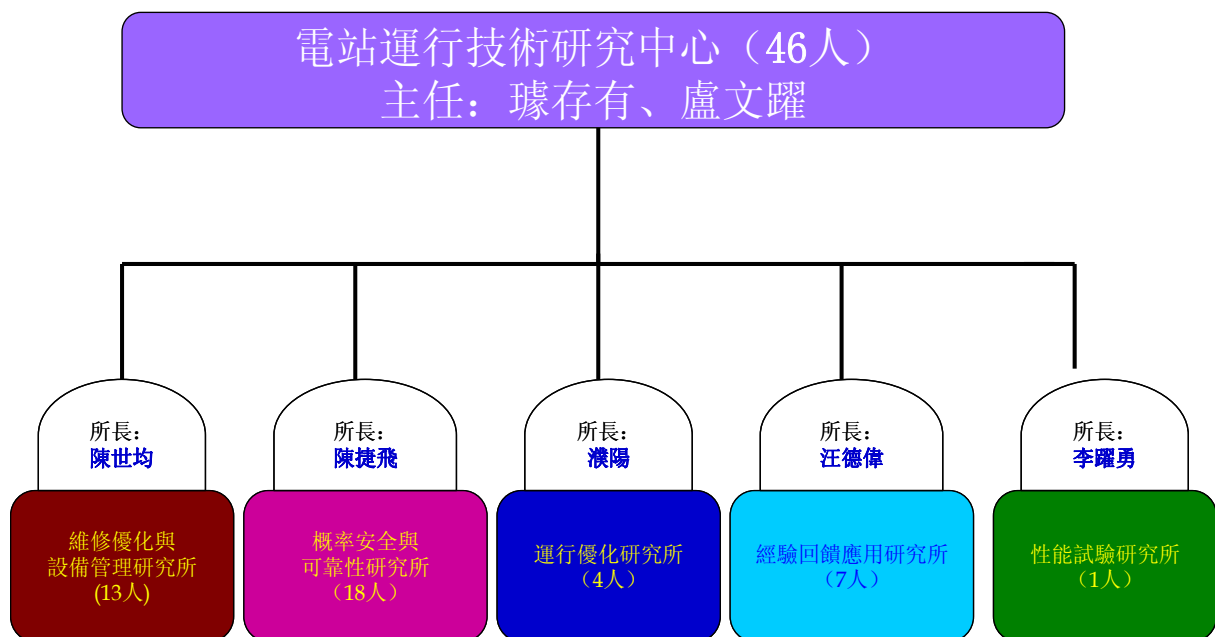


附圖 8. 核研所與核協會人員參加 2008 兩岸 PSA 研討會合影



附圖 9. 中科華核電技術研究院公司組織圖(2008)

電站運行技術研究中心 (OTRC)



附圖 10. 中科華技術公司「電站運行技術研究中心」組織圖(2008)