

經濟部幕僚單位及行政機關人員從事兩岸交流活動報告書

出席第 14 屆兩岸核能學術交流研討會暨
參訪大亞灣及嶺澳核電廠並與之技術交流

研提人單位：台灣電力公司

職稱／姓名	核能發電處	簡福添	處長
	核能發電處	魯經邦	組長
	核能安全處	蔡正益	副處長
	第二核能發電廠	杜博文	副廠長
	第三核能發電廠	張學植	廠長
	第三核能發電廠	張梓喬	經理
	第三核能發電廠	黃朝丁	課長

參訪期間：103 年 11 月 30 日至 103 年 12 月 6 日

報告日期：104 年 1 月 5 日

(本報告請檢送 1 式 3 份)

目 錄

壹、出國目的.....	01
貳、出國行程.....	01
參、出國任務過程摘要	
一、第 14 屆兩岸核能學術交流研討會.....	01
二、與大亞灣核電營運管理有限責任公司、大亞灣核電站及嶺澳核電站 I 期及 II 期技術交流	14
肆、心得與建議	
一、心得與感想	16
二、建議	18

壹、出國任務

赴大陸出席第 14 屆兩岸核能學術交流研討會暨參訪大亞灣及嶺澳核電廠並與之技術交流。出國期間自 103 年 11 月 30 日至 103 年 12 月 6 日，共計 7 天。

貳、出國行程

日期	地點	工作內容
103 年 11 月 30 日		往程(臺北→福州→福清市)
103 年 12 月 1~2 日	福清市	兩岸核能學術交流研討會
103 年 12 月 3 日	福清市/ 深圳市	一、參訪福清核電站。 二、福清市→福州→深圳。
103 年 12 月 4 日	深圳市	參訪大亞灣核電站及技術交流
103 年 12 月 5 日	深圳市	參訪嶺澳核電站二期
103 年 12 月 6 日		深圳→臺北（表訂返程）*

*奉准自費澳門觀光 1 天，實際返程為 12/07 自澳門→臺北(桃園機場) /高雄(小港機場)

參、出國任務過程摘要

一、第 14 屆海峽兩岸核能學術交流研討會

(一) 概述

“海峽兩岸核能學術交流研討會”始於 1990 年，由中國核學會和臺灣核能科技協進會共同主辦，在大陸和臺灣輪流舉行，是海峽兩岸核能界進行核能科技交流和產業研討合作的重要平臺。

第 14 屆海峽兩岸核能學術交流研討會於 2014 年 11 月 30 日至 12 月 3 日在福建省福清市舉行，由中國核學會和臺灣核能科技協進會共同主辦，福清核電有限公司承辦。國內計有財團法人核能科技協進會、行政院原子能委員會、清華大學、本公司、財團法人核能資訊中心、核能研究所、台灣核能級產業發展協會及其他民間業者共 25 人組成代表團與會，由財團法人核能科技協進會歐陽敏盛董事長領隊。其中本公司 7 人與會，由核能發電處簡處長率隊。大陸方面則有中國核學會、中國核電有限公司、中核建華興建設有限公司、國家核電技術有限公司、中廣核集團、中國華能集團、環境保護部核與輻射安全中心、福清核電有限公司、中國核工業北京地質研究院、中科院蘭州近代物理研究所、中國同興核技術有限公司、北京大學第一醫院、中國電力投資有限公司等多個機關（構）之代表與會，出席的兩岸學者專家多達 116 人。

研討會之主議程自 12 月 1~2 日共進行 2 天，兩岸主辦單位認為現階段大陸核電產業發展正蓬勃展開，臺灣也有近 40 年的核電發展歷史，在核電建造、營運、公眾溝通等方面有著豐富的經驗，希望借此機會兩岸核能同行相互借鑒學習，共同推動兩岸核科技的進步和發展。因此議題範圍甚廣，涵蓋了核電站設計、建造、運行、安全監督、核能安全文化、放射性廢棄物管理、核醫學、公眾溝通等內容，兩岸與會學者專家進行了深入的交流與討論。

會議議程、各篇報告摘要詳如附件一。其中我方包括原能會、核能研究所及本公司共提出 11 篇專題報告，陸方共提出 13 篇專題報告。

（二）103 年 12 月 1 日議程紀要

第一天 (12/1)研討內容共 13 項議題包含：

- 1.華龍一號的安全措施
- 2.核電站核島土建施工管理與關鍵施工技術介紹
- 3.台電核電廠安全文化精進作為
- 4.大陸核電設備國產化及 CAP1400 自主創新

- 5.核三廠耐震餘裕評估與強化
- 6.大亞灣核電基地安全生產管理
- 7.臺灣核能電廠圍阻體排氣功能強化措施現況
- 8.核電產業發展及高溫氣冷堆工程建設
- 9.臺灣沸水式核能電廠斷然處置措施面面觀
- 10.核能電廠發生事故時斷然處置之人員訓練與做法
- 11.臺灣核能電廠重要運轉經驗之管制案例
- 12.有關福島核事故後一些新的核安全理念和核安全要求的探討
- 13.緊急應變民眾防護之規劃與準備

上述專題報告中陸方所提較受與會學者專家矚目且熱烈討論的有〈華龍一號的安全措施〉、〈大陸核電設備國產化及 CAP1400 自主創新〉及〈有關福島核事故後一些新的核安全理念和核安全要求的探討〉等 3 篇。茲簡要分述如下：

1.華龍一號的安全措施

中核集團作為大陸最主要的核電研發、建設和營運企業，始終堅持走在引進、消化吸收基礎上進行自主研發再創新的技術發展路線，先後經歷十餘年，2011 年福島核事故後，中核集團在 CP1000 的基礎上，消化吸收美國 AP1000、歐洲 EPR 和俄羅斯 AES-2006 等三代核電技術，汲取日本福島核事故經驗回饋，開發出以能動和非能動安全系統相結合為特徵的具有自主智慧財產權的壓水式反應器華龍一號。

華龍一號的設計理念有：

- 依據大陸最新核安全法規要求和國際、大陸最先進的標準要求，同時參考國際先進輕水式核電廠用戶要求（URD 和 EUR）；
- 採用了確定論與概率論相結合的分析方法，在系統全面地開展事故分析的基礎上，採用風險指引的概率安全分析技術來支援設計決策，使安全性得到保障的同時，保證經濟性；
- 充分汲取三哩島、車諾比和福島核事故經驗教訓，考慮完善的嚴重事故

預防和緩解措施，強化“縱深防禦”，提高系統與設備多樣性、多重性和獨立性；

- 充分借鑒引進的 AP1000 先進安全設計理念，採用“非能動”技術作為能動安全措施的補充；
- 兼顧安全性、成熟性、先進性和經濟性，採用成熟經過驗證的技術。

華龍一號的總體技術特徵有：

- 三迴路壓水式，單堆佈置，177 組 12 英尺燃料元件；
- 反應器額定功率：3050MWt, 機組額定電功率> 1150MWe；
- 60 年設計壽命；
- 18 個月換料週期；
- 電廠平均可利用率≥90%；
- 爐心熱餘裕≥15%；
- 能動與非能動相結合的安全措施；
- CDF<1.0×10⁻⁶/反應器·年, LRF<1.0×10⁻⁷/反應器·年；
- 大自由容積雙層圍阻體：> 80000m³；
- 抗大型商用飛機撞擊；
- 運轉員不幹預時間 30 分鐘；
- 全數位化儀控系統；
- 完善的嚴重事故預防和緩解措施；
- 安全停機地震 0.3g；
- 採用堆頂測量系統
- 破前漏（LBB）技術；
- 放射性固體廢棄物年產生量小於 50m³/反應器·年；
- 職業曝露集體劑量小於 1 人·Sv/反應器·年。

華龍一號的整體評價為：

- 華龍一號採用國際最高安全標準，滿足大陸核安全局已頒發的現行有效的核安全法規和核安全導則的要求；

- 華龍一號設計以縱深防禦原則和設計可靠性原則為指導，採用了能動與非能動相結合的先進設計理念，汲取了福島核事故經驗回饋，具有完善的嚴重事故預防和緩解措施；
- 針對華龍一號總體技術方案進行概率安全分析結果顯示，CDF 低於 10^{-6} /反應器·年，LRF 低於 1.0×10^{-7} /反應器·年；
- “華龍一號”具有良好的經濟性，其發電成本與國際同類三代核電機型相比具有競爭性；
- “華龍一號”是具有完全自主智慧財產權，適合大陸電力發展需要並具有國際市場競爭力的自主創新三代百萬千瓦級壓水式反應器。

由這篇專題報告，可以見證大陸推展核能發電及核能相關產業的前瞻性，華龍一號的研發完成，代表大陸對於核反應器採引進、消化吸收基礎上進行自主研發再創新的技術發展策略在努力多年後，已獲得豐碩的成果。

2.大陸核電設備國產化及 CAP1400 自主創新

CAP1400 的研究開發是以大陸 40 多年的核電技術研究、工程設計、設備製造、工程建設經驗、20 多年核電安全營運經驗為基礎，消化和吸收 AP1000 先進的技術和經驗以及透過國際國內廣泛合作與共同努力進行。CAP1400 是世界上技術領先的大型先進壓水式反應器，具有自主智慧財產權和獨立出口權，是大陸核電產業在更高層次上參與國際競爭的基石，是結合政產學研用相努力下產生國家品牌。

CAP1400 的創新特點為：

- 自主設計蒸汽產生器，採用擁有專利的經驗證的乾燥器，確保高蒸汽品質；
- 反應器設計先進採用低洩漏裝載方案，爐心採用 193 組高性能燃料元件核設計裕量增強具有 MOX（鈾鈮混合）燃料裝載能力；
- 採用並自主研發 50Hz 的反應器主冷卻劑泵，避免變頻器長期運轉提高

- 主泵運行可靠性減少能耗；
- 優化設計主系統和輔助系統，優化總體參數，提高機組性能，機組出力達到 1500Mwe；
- 重新設計鋼圍阻體，自由容積和承載能力裕度較大，安全裕量較高，系統佈置確保可達性；
- 自主設計 SC 結構（鋼板混凝土）遮罩廠房，具備抗大型商用飛機惡意撞擊能力；
- 採用基於 FPGA（現場可程式設計閘陣列）技術的反應器保護系統，具有更高安全性；
- 使用自主開發的大型半速汽輪發電機，長葉片的使用使得機組效率進一步優化；
- 按最新標準設計放射性廢物處理系統，改善工藝實現廢物最小化；
- 進一步增強核電站抗擊地震、外部水淹等極端自然災害的設防，非能動安全系統具備 72 小時後的補給能力確保電站安全；
- 完善事故管理規程，增強事故後監測，提高電廠應急能力；
- 自主開展試驗驗證，採用自主開發的 COSINE 軟體系統進行設計校核。

2009 年 9 月國家核電與華能合資組建國核示範電站有限責任公司，擬在榮成石島灣廠址建設 CAP1400 示範核電站。2010 完成概念設計，2011 完成初步設計，2013 年 4 月核安全局啟動 PSAR 審查，迄今全面審查已經完成進入收尾，CAP1400 示範核電站預定 2018 年併網發電。

由這篇專題報告，可知 CAP1400 是在世界先進的 AP1000 技術的基礎上，自主創新、開發出的世界上技術領先的壓水式核電反應器機組。熱功率為 4040MWt，淨電功率大於 1350Mwe，經濟性將更好於 EPR。可以見證大陸核電產業在更高層次上參與國際競爭的基石，將成為有競爭力的國際品牌。

3.有關福島核事故後一些新的核安全理念和核安全要求的探討

福島核事故後，在國際核工業界和各安全監管機構之間提出和探討了許多新的核安全理念和核安全要求。這篇專題是由大陸環境保護部核與輻射安全中心總工程師柴國早所提報，代表大陸官方對核能安全理念與法規變革的立場，有指標性的意義。本文闡述了這些新的核安全理念和核安全要求，包括：

-實際消除大量放射性釋放，並訂定了核電廠的定量安全目標

_對緊鄰核電廠的正常個體成員來說，由於反應器事故所導致立即死亡的風險不應該超過其所面對的其它事故所導致的立即死亡風險總和的千分之一；

_對核電廠鄰近區域的人口來說，由於核電廠運行所導致的癌症死亡風險不應該超過其它原因所導致癌症死亡風險總和的千分之一。

-核安全合理可達到的儘量高(AHARA, As High As Reasonably Achievable)

_借鑒輻射防護的 ALARA 原則，英國的風險 ALARP 要求

_核電廠安全在達到法規要求水準的基礎上，應採取一切合理可行現實有效的措施，使核電廠達到更高的安全水準。

_在 IAEA 於 2012 年發布的 SSR-2/1 《核電廠安全：設計》第 2.2 條中也有類似表述“達到可合理實現的最高水準”

_提倡核安全 AHARA，有利於利用最新技術和研究成果持續提高核安全、有助於核安全監管部門及其技術支持機構更主動地促進核安全水準的提高及通過核安全改進實踐和經驗提升核安全要求。

-吸取福島核事故經驗教訓，核電廠設計中需要做到三個方面的並重：

_內部事件與外部事件並重：重視小概率事件，充分考慮和應對極端自然災害，加強對地震、水淹、火災和飛機撞擊等事件的設防。

_預防和緩解並重：對於選定的嚴重事故，作為設計擴展工作，要採取不同於應對設計基準事故的附加安全措施，控制嚴重事故的後果。即使分析結果表明能預防圍阻體超壓，但作為補充安全措施，要採取極端情況下圍阻體超壓的過濾排放措施。

_確定論和概率論並重：開展全範圍的確定論事故分析和概率安全分析，必要時也可採取壓力測試和裕量分析等方法，盡可能發現設計中可能

存在的安全薄弱環節，採取合理可行的安全措施，進一步提高核電的安全水準。

-核電廠工況（operating states or accident conditions）分類

設計擴展工況：包括：選定的系統設備多重故障，如 SBO、喪失全部 SG 給水、喪失最終熱阱；選定的嚴重事故，包括相應的嚴重事故現象及選定的極端外部事件。

設計擴展工況(DEC, Design Extension Condition, 亦稱超設計基準工況)的設防：在設計中應採取附加安全設施來應對 DEC 工況，如附加交流電源、水源避免高壓爐心熔毀的措施、氫氣控制措施滯留及冷卻爐心熔融物的措施；這些附加安全設施應不同於專設安全設施，承擔專設安全設施的縱深防禦功能。

-安全功能和安全分級

所有的安全重要物項均需根據其功能和安全性重要性進行分級

安全功能：

在各種運行狀態下、在發生設計基準事故期間和之後，以及在發生所選定的超設計基準事故的工況下，都必須執行下列基本安全功能：

- (1)控制反應性；
- (2)排出爐心熱量和用過核燃料熱量；
- (3)包封放射性物質和控制運轉排放，以及限制事故釋放；

在 DBA 範圍內執行安全功能的系統設備，應為安全級；在超設計基準事故工況下執行安全功能的系統設備，可為非安全級，但可能有特定的要求。

用於緩解 DBA 的專設安全設施，應為安全級；用於緩解超設計基準事故的附加安全設施和補充安全措施，可為非安全級，但應有特定要求：抗震、可用性、質保、定期試驗等。此外，對於一些執行關鍵安全功能的能動設備，應考慮適當的多重性和多樣性。

-縱深防禦理念的擴展和提升

縱深防禦的概念：縱深防禦是實現核能與輻射安全的一項基本原則。

縱深防禦的三個目標：

- (1)補償或糾正設備故障或人因失誤；
- (2)維持屏障本身的有效性並防止故障傳播到全廠；
- (3)在屏障本身的有效性不能完全保持時，保護從業人員、公眾和環境不致受到輻射傷害。

縱深防禦的兩個策略：

- (1)預防事故發生；
- (2)在一旦事故發生時，限制其後果，並防止它向更嚴重的情況發展。

對放射性物質外洩的連續多級實體屏障：壓水堆的三道實體屏障：燃料包殼、反應堆冷卻劑系統壓力邊界和圍阻體。

縱深防禦在設計中的基本實施方法，縱深防禦的五個層次為：

- (1)預防-防止偏離正常運行及防止系統失效。
- (2)檢測-檢測和糾正偏離正常運行狀態，以防止預計運行事件升級為事故工況。
- (3)保護-設置應對設計基準事故的專設安全設施和應急操作規程，將核設施引導到可控狀態。
- (4)包容-設置應對嚴重事故的事故管理導則，盡可能將放射性物質包容在核設施內部。
- (5)應變-制定緊急應變計畫，減輕放射性物質釋放造成的放射性後果。

縱深防禦各層次之間應保持獨立，每個層次內部各子層之間也應盡可能獨立

應特別關注預防措施和緩解措施的獨立

縱深防禦層次之間的獨立性要求不適用於非能動的屏障（如圍阻體）。

專設安全設施：專用於應對設計基準事故，如 ECCS，安全級，抗震 I 類，保守分析。

附加安全設施：專用於應對設計擴展工況，如嚴重事故快速卸壓閥，非安全級，SSE 後可用，現實分析

補充安全措施：用於工程搶險和減輕剩餘風險的後果，指用於核電廠大範圍損傷狀態後果緩解的電廠專門配置的移動電源、移動泵、貯水池等，核電集團和國家層面設置的必要時用於支援核電廠工程搶險的

移動設備。也包括核電廠的圍阻體過濾排放措施和放射性廢液貯存、處理設施。

專設安全設施和附加安全設施可執行類似的安全功能，發生縱深防禦的作用。

在 DBA 分析中，僅考慮專設安全設施的作用，而不考慮附加安全設施的緩解作用。在 DEC 分析中，則僅考慮附加安全設施的緩解作用。

縱深防禦理念的應用擴展

應對剩餘風險，包括極端外部事件：地震、水淹、火災、飛機撞擊。

這篇專題的結論，提示了幾個重點：

- 應提倡**合理可達到的儘量高**的核安全理念（AHARA）；
- 核電廠設計**應考慮設計擴展工況**（DEC，Design Extension Condition），應採取附加安全設施來應對設計擴展工況
- 剩餘風險不能被忽略**，應考慮由極端外部災害導致的核電廠構築物系統部件大範圍損傷的狀態。通過採取設計餘裕、加強安全措施、縱深防禦措施等減輕剩餘風險的後果。
- 實際消除大量放射性釋放**是新的更高的安全目標；
- 基於 AHARA 核安全理念，**在核電廠設計中應同時採用確定論和概率論安全分析方法**，釋別核電廠設計中可能存在的安全薄弱環節，並採取**合理可行的措施減輕剩餘風險的後果**，以達到實際消除大量放射性物質釋放的安全目標。

這篇報告非常完整且精闢，雖然是大陸官方對於核能安全法規修正及精進的立場表達，但因為整合了國際間對核能安全精進趨勢的共識，對於我國核能營運安全的精進與提升，亦有高度的啟發作用。

（三）103 年 12 月 2 日議程紀要

第二天(12/2)研討內容共十一項議題包含：

- 1.福清核電核安文化建設實踐與探索

- 2.福島事故後災應變的強化措施
- 3.大陸高放廢物地質處置地下實驗室的定位和功能
- 4.核能電廠放射性廢棄物減量管制
- 5.大陸 ADS 研究進展
- 6.利用重水堆生產鈷 60 技術研發和產業化工程
- 7.核技術在醫學領域應用與輻射安全
- 8.做好公眾宣傳的手段
- 9.與反核團體的溝通
- 10.核電公眾科普宣傳的實踐與探索
- 11.媒體溝通

第二天的議程較受與會學者專家矚目且熱烈討論的是公眾溝通的議題，陸方所提的〈核電公眾科普宣傳的實踐與探索〉值得參考。茲簡要說明如下：

核電公眾科普宣傳的實踐與探索

本篇專題的報告人為中國電力投資有限公司的王有志先生，重點如下

-核電公眾科普宣傳的現狀與形勢

民意在民主進程中彰顯出越來越大的力量，核電已不僅僅是一個企業的決策，更是一項政府、投資方和公眾在基本社會共識基礎上的多贏之舉。福島核事故後，社會公眾高度關注核安全，質疑、評價的熱情不斷升溫，參與和表達欲望愈發強烈。

資訊傳播的手段和形式正發生著革命性的變化，主流媒體資訊傳播進入到以微博等社交類媒體為主的自媒體時代，微博圍觀、網路圍攻層出不窮，傳播媒介的變革對核電科普宣傳工作提出了新的要求。

-影響公眾對核電接受度的因素：

對安全的質疑：對於普通公眾來說，對核電的關注集中於核電是否安全？會不會發生事故？會給百姓的生活安全帶來多少影響？

對資訊的獲取：由於核的特殊性，公眾獲得的核電方面的資訊非常有

限。公眾的直觀判斷，容易受到外界環境影響，這使得其中的負面資訊很容易被強化和放大。

對政府的信任：當政府的公信力不夠的時候，百姓就會產生質疑，特別是發生核事故後，這種信任感急劇下降。

對核電的瞭解：調查表明，已經運行的核電站周邊的公眾，對核電站的運行和安全有了較多瞭解，這些公眾對核電的接受性往往較其他地區公眾接受度高。

除以上因素外，生活背景、世界觀、價值觀、性別、經濟地位、職業等因素均會不同程度地影響公眾對核電的接受度。

-核電公眾科普宣傳存在的問題

宣傳力度缺乏匹配性：科普宣傳管道、模式、投入、輿情處理以及危機公關等方面與國外核電同行相比都還有較大差距。

媒體宣傳缺乏導向性：大眾傳媒科技傳播品質不高、導向性不強、透明度不夠，公眾對核的接受度較低。福島核事故前，媒體對核能利用的原理及核電廠運行的報導較少，福島事故後的負面報導很容易讓公眾對“核”產生消極的負面情緒，難以讓人們支持並信任核能。

宣傳方式缺乏創新性：對於“核”的宣傳中，宣傳的內容並沒有做到簡單易懂，加上宣傳形式的單一，說教式、灌輸式、被動式的多，參與式、互動式、體驗式的少，容易讓公眾覺得宣傳內容枯燥乏味，難以理解，從而影響宣傳效果。

科普隊伍缺乏專業性：科普人員沒有經過專業的選拔、系統的培訓，知識面、表達力欠缺，直接影響科普知識的傳播效果。

-核電公眾科普宣傳的思考與探索

_ 方法探索

(1)機制統一化：目標是形成一套資源分享、優勢互補、資訊互通、成果共建的核電科普宣傳工作機制，打造一支素質優良、業務精通、能夠滿足公眾需求的專業化和普適化的隊伍，重點解決科普宣傳缺乏整體性、科普人才缺乏專業性的問題。

(2) 產品標準化：目標是形成一套能夠體現中國核電特色、內容與方

- 式基本固化、具備品牌優勢和品牌效應的標準化核電科普宣傳產品。重點解決科普宣傳缺乏整體性、宣傳方式缺乏創新性的問題。
- (3) 傳播廣泛化：目標是形成一套運行機制靈活、傳播途徑廣泛、具有專業化水準、與市場接軌的核電科普宣傳傳播管道。重點解決宣傳力度缺乏匹配性、媒體宣傳缺乏導向性的問題。
- (4) 受眾精細化：目標是形成一套能夠有效減消公眾“恐核”心理、與公眾生活和工作契合度高、具有人文特色的核電科普宣傳品牌。重點解決媒體宣傳缺乏導向性、宣傳方式缺乏創新性的問題。
- (5) 組織保障：要進一步加強各單位核電科普宣傳教育的職能，建立相應的領導機構和工作機構，做到組織上有領導，工作上有計劃，職責上有分工，行動上有骨幹，落實上有隊伍，使核電科普宣傳逐步邁入規範化、長效化的軌道，形成強有力的工作合力。
- (6) 制度保障：要理順公眾科普宣傳的工作程式，明確工作責任，推進公眾科普宣傳工作日常化、制度化、規範化。
- (7) 投入保障：各單位要將公眾科普宣傳規劃投入納入發展的整體規劃，詳細制定公眾科普宣傳投入方案，在人力、財力、物力上為公眾科普宣傳提供有力的支援和保證，並隨企業發展和經濟效益的提高逐年增加對公眾科普宣傳的投入，使之在總體上與企業的發展水準相適應。

這篇報告從核電公眾科普宣傳的現狀、影響公眾對核電接受度的因素、核電公眾科普宣傳存在的問題到核電公眾科普宣傳的思考與探索有條理得做了深入且精闢的探討，其中許多的問題同樣也是我國所面臨的，所作的策略思考對本公司也甚具參考價值。

(四) 103 年 12 月 3 日議程紀要

研討會主辦單位在 12 月 3 日安排的活動是參訪福清核電站，紀要如下：

1.福清核電站簡介

- 位置**：福清核電廠位於中國福建省福州市的縣級市福清市三山鎮前薛村岐尾山前沿
- 規劃裝機容量**：6 部 100 萬千瓦壓水式核電機組
- 機型**：1 號機至 4 號機使用 CP-1000 反應爐（1、2 號機組已商轉），5 號機和 6 號機將使用大陸自行設計之華龍一號反應爐。
- 發電量**：未來福清核電 6 台機組全面營運後，年發電總量預計可達 450 億度。

2.福清核電站參訪重點：

與會學者專家參觀福清電廠模擬訓練中心及三/四號機組工地，福清電廠的控制系統採用全數位化，所以控制室之配置類似本公司龍門電廠，早期龍門電廠控制室之操作螢幕會有眩光之問題，後來是以減少燈泡的方式因應，而核三廠在執行 EHC 數位化時，其操作盤面也遇到類似的問題，在參觀福清電廠模擬器時，特別請教現場的負責人，經其告知這些操作螢幕表面都有鍍一層膜，可以防止眩光。

福清核電廠正處於多機組分階段在運轉測試與施工的重疊狀態，因此特別重視核安文化的推展，主要著重在人因防範與品質觀念的宣導及內外經驗回饋的檢討與改善：如管理講堂、專題活動及查找人因陷阱活動等。強調人人都是一道安全屏障、設置人因實驗室提升人因意識與習性。

本公司代表團一行於參訪福清核電站結束後，於當日下午赴福州機場搭機前往深圳。

二、與大亞灣核電營運管理有限責任公司、大亞灣核電站及嶺澳核電站 I 期及 II 期技術交流

(一) 103 年 12 月 4 日

上午雙方在大亞灣核電基地牡丹閣會議室交流，雙方分別由大亞灣核電營運管理有限責任公司高志剛總經理助理和本公司核三廠張梓喬經理介紹各自公司的組織架構、生產狀態和管理情況等概況。

大亞灣核電營運管理有限責任公司成立於 2003 年 3 月，由廣東核電合營有限公司（簡稱合營公司，大亞灣核電站的業主公司）和嶺澳核電有限公司（簡稱嶺澳公司，嶺澳核電站（一期）的業主公司）共同投資設立。2009 年 9 月，經股權結構調整，香港中電核電運營（中國）有限公司和廣東核電投資有限公司分別擁有運營公司的 12.5%和 87.5%的股權。

該公司是大陸核電行業第一個專業化的運行管理公司，是借鑒國外核電運行管理良好實踐的基礎上建立，目的是對中廣核集團的核電站實施專業化、集約化和科學化管理。目前，運營公司負責營運大亞灣核電站和嶺澳核電站（一期及二期）共六台百萬千瓦級壓水式核電機組。

下午則參觀大亞灣基地培訓中心以及培訓用燃料更換池、嶺澳觀景平臺以及公關展覽廳（相當於本公司的南、北展館）。1:1 MOCKUP 培訓用燃料更換池是灌滿水的，包括爐心、吊燃料的台車、吊反應爐上內部組件的吊架、蒸汽產生器及爐蓋螺栓 TENSION 及 DE-TENSION 自動操作的設備，雖然未參觀儀控及電氣設備方面的訓練設備，但由上面看到的，大陸核電廠對於人員的訓練的用心可見一般。

參訪當日，大亞灣核電基地亦同時舉行 2014 年度第二次廠內綜合緊急應變急演習。大陸國家核安全局對本次演習也進行全程監督檢查。本次演習以模擬核電站輔助廠房發生火災、電站失去外接電源時，逐級進入應急待命、廠房應急、場區應急、場外應急狀態等場景，檢視大亞灣核電基地應急報告制度執行、應急狀態決策及處置等方面的回應，綜合檢驗大亞灣核電基地的應變以及處置突發事件的能力。

(二) 103 年 12 月 5 日

參觀了嶺澳核電站 II 期的汽機廠房和 DCS 主控室，並對 DCS 提出的問題進行了現場交流。

嶺澳二期有幾個重要的特色：

- 1.門禁管制，遠比本公司各核能電廠嚴格。
- 2.控制室看不到其他維護人員，所有工作許可卡的發放都在另一個房間，減少運轉人員的受到干擾。
- 3.廠房清潔令人印象深刻。
- 4.高聲電話配置有點像公用電話亭，可隔離部分廠房噪音的干擾，有利於溝通的清晰性及正確性，值得我方參考。
- 5.廠方對於工作人員健康方面的照顧周到，陪同我們的人員儀控李副處長(相當於儀控組的副經理)配戴的耳塞是廠方特別為他訂製，只要檢查有聽力受損的情形，廠方都會針對個人為他們訂製屬於他們專屬的耳塞。

嶺澳核電站二期所用的 DCIS 主要採用 AREVA 公司的系統，與安全無關是採用 TELEPERM XP，與安全有關的採用 TELEPERM XS，控制室和我們龍門廠的配置是類似，全部採用工作站操作，警報也是顯示在大螢幕上。嶺澳二期從 2011 年 8 月 7 日開始商轉，商轉至今 2014 年 11 月，經過 4 個燃料週期，沒有發生跳機事件，從這裡初步可看出這套 DCIS 有一定的可靠度。

肆、心得與建議

一、心得與感想

(一) 兩岸核能發展比較

本次赴大陸出席兩岸核能學研討會及與大亞灣核電營運管理有限責任公司、大亞灣核電站及嶺澳核電站 I 期及 II 期技術交流，對於兩岸核能事業發展有下列基本的體認：

- 1.大陸近年來核能產業蓬勃發展，速度驚人。據了解，預計到 2020 年，大陸將取代美國成為世上最大核能發電使用國(預估有 74 座核能機組)；而到 2050 年，大陸的核能發電總裝置容量將達 500 GWe。另外，大陸近年來核電廠自主設計與施工能力的提升亦具顯著成效，華龍一號及 CAP 1400 的核子反應器的研發就是具體的例證。
- 2.在核能安全提升方面，在福島事故後，國際提出許多新的核能安全理念和要求。如：超出設計基準事故的預防與疏解、加強縱深防禦的應用、縱深防禦各層次之間的獨立性、增強安全設施的多樣化設計、核安全合理可行儘量高(AHARA)、實際消除大量放射性物質釋放等。大陸的核管機關，也積極參採這些新的核能安全理念納入法規體系，對提升核能安全有積極的意義。
- 3.而反觀我國，近年來核能發展遭逢重大的阻力，龍門發電計畫不但無法如期商轉，甚至封存；其他的核能相關計畫亦難以順利推動。惟面對這些險阻，本公司上下一心，在確保核能安全的前提下，仍然屢創營運佳績，以 103 年為例，核能總發電量為 408.01 億度 (歷史新高)、容量因數 93.75% (歷史新高)及急停：0 次/6 部機(歷年最佳)；而本公司核能電廠安全管制績效指標近 5 年皆全年綠燈，展現良好的核能安全績效。這個事實顯示本公司在核能營運及安全文化方面確實有深厚的經驗及專業基礎。
- 4.福島事故後，本公也進行核能總體檢，採行多項改善措施，大幅提升的核能機組的安全性，如 103 年各廠辦理耐震補強、研定斷然處置措施等，也都表現了良好的成效及獲得國際的肯定，展現了本公司創新的實力與潛力。
- 5.本公司在公眾及媒體溝通方面，有豐富的經驗，陸方對此有高度的興趣及交流的意願。

（二）其他

- 1.大陸在高階核廢料最終處理場址已在技術上開展，作為政策決定的前提作業。另一方面在加速驅動次臨界系統嘗試將長壽命放射性核種最終變為非放射性或短壽命核種的技術也有所進展。
- 2.大陸經濟高速發展給能源供應帶來巨大壓力，以煤炭為主的能源供應造成了環境的嚴重危機，截至 2013 年底中國大陸的燃煤發電占總發電量的 80.37%，核能只占 2.11%，發展核能是實現大陸能源可持續發展、緩解環境危機的重要舉措。為應對環境危機，中國大陸致力於減少溫室氣體排放，發展新能源、核能等非化石能源，目標在 2020 年實現二氧化碳排放強度相比 2005 年減少 40%-45%，其中由華能集團投資建設的高溫氣冷式反應器，由於具有各種優勢，未來可能取代火力發電，此部分的後續發展值得觀察。
- 3.大亞灣核電站的營運績效，在 WANO 各項指標都名列前茅，這主要來自於他們有一套完善的安全生產管理制度，他們稱之為核安全管理的八大“抓手”；日常生產管理、大修管理、設備管理、人員培訓、監督體系、程式體系、工程改造及經驗回饋等八大項，有些項目跟我們現在做法類似，但是大部分的做法遠超過我們，另外自大亞灣核電廠商運之初就設置了核安全技術顧問（STA）崗位，他們是進行電廠核安全監督的專職人員，對機組核安全狀態進行獨立評估和監督，類似我方大修時才設置的安全管制組。安全生產管理制度，此部分在爾後技術交流時可列為交流的項目。
- 4.大陸各階層核能從業人員的年紀平均較我國年輕，在工作態度上也普遍有高度的企圖心及願景。

二、建議

- 1.為了增進運轉中電廠的安全管制，可以考慮增設核安全技術顧問(STA) 崗位，他們是進行電廠核安全監督的專職人員，對機組核安全狀態進行獨立評估和監督，類似我們大修時才設置的安全管制組。
- 2.由於大陸推行國產化非常用心，近年來技術進步的成果也非常可觀，針對核一/二/三廠將來執行數位化改善工程時可多參考對岸的經驗與實績。
- 3.福島後國際上對核能安全的新理念值得本公司深入研究，尤其是「核安全合理可行儘量高(AHARA)」，是一個嶄新的觀念，強調在「合理可行」的前提下追求高標準，已經不是「無限上綱」的安全概念，“how safe is safe enough?”，是落實 AHARA 必需面對的核心課題，建議從這個角度去評價每一項涉及核能安全的措施與活動，它必須考慮社會與經濟的因素並與科技水平間取得平衡，使核能安全達到最優化，將更容易建立社會共識，獲得認同。

目 錄

學術交流研討會議程

論文摘要標題	主講人
華龍一號的安全措施	李 軍
核電站核島土建施工管理與關鍵施工技術介紹	龔振斌
台電核電廠安全文化精進作為	蔡正益
大陸核電設備國產化及 CAP1400 自主創新	鄭明光
核三廠耐震餘裕評估與強化	黃朝丁
大亞灣核電基地安全生產管理	趙福明
臺灣核能電廠圍阻體排氣功能強化措施現況	鄭再富
核電產業發展及高溫氣冷堆工程建設	崔紹章
臺灣沸水式核能電廠斷然處置措施面面觀	廖俐毅
核能電廠發生事故時斷然處置之人員訓練與做法	杜博文
臺灣核能電廠重要運轉經驗之管制案例	臧逸群
有關福島核事故後一些新的核安全理念和核安全要求的探討	柴國早
緊急應變民眾防護之規劃與準備	劉俊茂
福清核電核安全文化建設實踐與探索	顧 健
福島事故後輻核災應變的強化措施	鄭先佑

大陸高放廢物地質處置地下實驗室的定位和功能	王 駒
核能電廠放射性廢棄物減量管制	蘇凡皓
大陸 ADS 研究進展	徐珊瑚
利用重水堆生產鈷 60 技術研發和產業化工程	劉金祥
核技術在醫學領域應用與輻射安全	王榮福
做好公眾宣傳的手段	王有志
與反核團體之溝通	魯經邦
核電公眾科普宣傳的實踐與探索	陳 華
媒體溝通	張梓喬

第十四屆海峽兩岸核能學術交流研討會

會議議程

時間	活動與議題	
12月01日		
09:00-09:30	1.中國核學會理事長 李冠興 致辭 2. (財)核能科技協進會董事長 歐陽敏盛 致辭 3.福清核電有限公司领导 致歡迎詞	
時間	活動與議題	報告人
09:30-09:55	華龍一號的安全措施 (中國核電工程有限公司)	李 軍
09:55-10:20	核電站核島土建施工管理與關鍵施工技術介紹 (中核建華興建設有限公司)	龔振斌
10:20-10:45	台電核電廠安全文化精進作為 (臺灣電力公司核能安全處)	蔡正益
10:45-11:10	休息、合影	
11:10-11:35	大陸核電設備國產化及 CAP1400 自主創新 (國家核電技術有限公司)	鄭明光
11:35-12:00	核三廠耐震餘裕評估與強化 (臺灣電力公司核三廠)	黃朝丁
12:00-12:25	大亞灣核電基地安全生產管理 (中廣核大亞灣核電運營管理有限公司)	趙福明
12:25-14:00	工作餐、午休	
14:00-14:25	臺灣核能電廠圍阻體排氣功能強化措施現況 (原子能委員會核能管制處)	鄭再富
14:25-14:50	核電產業發展及高溫氣冷堆工程建設	崔紹章

	(中國華能集團)	
14:50-15:15	臺灣沸水式核能電廠斷然處置措施面面觀 (核能研究所核安技支中心)	廖俐毅
15:15-15:40	茶歇	
15:40-16:05	核能電廠發生事故時斷然處置之人員訓練與做法 (臺灣電力公司核二廠)	杜博文
16:05-16:30	臺灣核能電廠重要運轉經驗之管制案例 (原子能委員會核能管制處)	臧逸群
16:30-16:55	有關福島核事故後一些新的核安全理念和核安全要求的探討 (環境保護部核與輻射安全中心)	柴國早
16:55-17:20	緊急應變民眾防護之規劃與準備 (原子能委員會核能技術處)	劉俊茂
18:00-20:00	晚宴	
12月02日		
時間	活動與議題	報告人
09:00-09:25	福清核電核安全文化建設實踐與探索 (福清核電有限公司)	顧健
09:25-09:50	福島事故後核災應變的強化措施 (原子能委員會核能技術處)	鄭先佑
09:50-10:15	大陸高放廢物地質處置地下實驗室的定位和功能 (中國核工業北京地質研究院)	王駒
10:15-10:40	核能電廠放射性廢棄物減量管制 (放射性物料管理局)	蘇凡皓
10:40-11:05	茶歇	
11:05-11:30	大陸 ADS 研究進展 (中科院蘭州近代物理研究所)	徐珊珊

11:30-11:55	利用重水堆生產鈷 60 技術研發和產業化工程 (中核同興(北京)核技術有限公司)	劉金祥
11:55-12:20	核技術在醫學領域應用與輻射安全 (北京大學第一醫院)	王榮福
12:20-14:00	工作餐、午休	
14:00-14:25	做好公眾宣傳的手段 (中國電力投資有限公司)	王有志
14:25-14:50	與反核團體之溝通 (臺灣電力公司核能發電處)	魯經邦
14:50-15:15	核電公眾科普宣傳的實踐與探索 (中國核能電力有限公司)	陳 華
15:15-15:40	媒體溝通 (臺灣電力公司核三廠)	張梓喬
15:40-16:00	總結發言	李冠興 歐陽敏盛
18:00-20:00	晚餐	
12 月 03 日		
上午	早餐后乘車前往參觀福清核電站	
午餐	賓館午餐	
下午	會議結束，大陸代表返程(送機時間為 14:30 16:00 18:00)	

1 華龍一號的安全措施

李 軍中國核電工程有限公司

報告首先介紹華龍一號的研發背景以及專案進展情況，從總體上介紹華龍一號研發的主要指導理念和總體技術特徵，並分以下幾個主要方面對華龍一號的方案進行闡述：

- 1、堆芯設計介紹
- 2、反應堆冷卻劑系統的主要技術方案
- 3、能動+非能動安全系統方案
- 4、嚴重事故預防與緩解措施
- 5、抵禦外部事件的能力以及福島事故經驗回饋等等。
- 6、三廢及輻射防護
- 7、控制及電源配置
- 8、試驗驗證情況

最後從法規標準層面、概率安全分析結果以及自主智慧財產權、經濟性等方面對華龍一號進行了一個總結性評價。

2 核電站核島土建施工管理與關鍵施工技術介紹

龔振斌 中核建華興建設有限公司

核工業華興建設有限公司（簡稱中核華興）隸屬於中國核工業建設集團公司（簡稱中核建）。中核華興承建核電站核島土建建造的過程和發展史，是中核建核電建造過程和發展的縮影，也是大陸核電站建造過程和發展的縮影，伴隨著大陸核電站引進、消化和吸收，到自主化設計，中核華興核電站建造施工和管理也逐漸趨於成熟。

本文通過對中核華興承建的大陸眾多不同堆型核電站建造的總結，歸納出目前核島土建工程施工、物資管理、人力資源管理、安全管理、品質管制、進度管理、技術管理和資訊管理等方面具有特點的專案管理模式，同時針對不同堆型核電站的結構形式、建造要求等，研發和應用了眾多的土建專項施工技術，並列舉其中部分關鍵施工技術進行介紹。

3 台電核電廠安全文化精進作為

蔡正益 臺灣電力公司核安全處

台電公司自1989年推動核能安全文化迄今，已逾20年，除最初系以國際原子能總署(IAEA)內部之國際核能安全諮詢小組(INSAG)於相關資料所作之定義與闡釋，作為推動核能安全文化之依據，另於推動過程中亦隨時注意國外核能業界推行安全文化狀況，參考其精神與作法，並考量本地核能電廠之實際狀況，據以制訂各項精進強化核安文化之執行策略、方案及具體改善對策。

一、台電安全文化推動過程

學習期（1988~1992）：讓全體員工瞭解安全文化的內涵。

培育期（1992~1997）：在全體員工的心中建立安全文化意識，並把安全文化的精神發揮在其工作上。

強化期（1997~2010）：繼續提升並強化全體員工的安全文化意識。

精進期（2010~現今）：進一步增強核能安全文化，輔以當責精神，提升管理效能，重視風險意識，展現『安全第一，使命必達』的團隊意志。

二、核能電廠安全文化的精進

為達核安應本著安全第一之精神，不容有絲毫之懈怠，台電於2010年底至2011年初，進行整體檢討，初步確認本公司各核能電廠安全文化績效，從經營績效、風險分析、安全管制、量化指標四個面向看來，並無鬆散跡象，但仍有相當空間可以持續精進。

日本福島核子事故發生後，本公司除了積極展開核能安全總體檢外，為堅守『沒有安全，就沒有核能』的最高指導原則，於精進核能安全文化過程中，考量輔以當責精神，提升管理效能，重視風險意識，防止人員作業疏失，塑造從業人員多層深度防禦的思維，認真學習核能安全的知識，積極找出弱點並予以補強，展現『安全第一，使命必達』的團隊意志。

2011年6月底完成「核安文化精進方案」草案，試行半年後，依試行結果檢討修訂安全文化量化指標目及績效評等，並於2012年正式實施，俾便電廠據以落實執行，期使透過修訂後之量化目標，續創核能安全營運佳績。

核能安全為本公司核能營運長期進步的基礎，核安文化推展系長期漸進的工作，期能達到潛移默化同仁的工作習性。爾後仍將持續搜集並瞭解國際核能業界安全文化之作法，作為推動安全文化之基礎，並持續推動核安文化落實至各階層同仁。

4 重大專項大型先進壓水堆 CAP1400 交流報告

鄭明光 上海核工程研究設計院

CAP1400 的研究開發基於大陸 40 多年的核電技術研究、工程設計、設備製造、工程建設經驗、20 多年核電安全運行經驗，基於 AP1000 先進技術的消化和吸收和依託項目經驗以及國際國內廣泛合作與共同努力。

CAP1400 是世界上技術領先的大型先進壓水堆，具有自主智慧財產權和獨立出口權，是大陸核電產業在更高層次上參與國際競爭的基石，是政產學研用相結合的國家品牌。

本交流報告從 CAP1400 的歷史背景、目前成果、技術特點與工程進展、能力與走出去四個方面進行了較為詳細的介紹。

5 核三廠耐震餘裕評估與強化

黃朝丁 臺灣電力公司核三廠

因應2011年3月11日日本東北發生芮氏規模9.0強震，引發海嘯造成重大核災事故；又恒春斷層已經地質調查所公佈為第二類活動斷層（在過去10萬年至1萬年內曾活動者，為第二類活動斷層），其斷層距核三廠最短距離約1.1公里，為了評估前述斷層對核能電廠結構、系統及元件（SSC）之影響，台電公司特案辦理核能電廠耐震安全餘裕評估（Seismic Margin Analysis，簡稱SMA），以了解目前核能電廠之耐震餘裕。

耐震餘裕評估（SMA）乃根據U.S. NRC Generic Letter 88-20, Supplement 4及U.S. NRC報告NUREG-1407規定容許之EPRI方法，篩選兩串安全停機路徑設備進行評估。根據EPRI NP-6041-SL，耐震餘裕評估須保證強震發生時電廠能安全停機（熱停機或冷停機）並維持穩定狀態達72小時，安全停機相關之系統設備只需涵蓋一組主要成功路徑（Success Path）及另一組候補成功路徑。

核三廠以0.72g為耐震餘裕評估基準地震，最終篩選未通過的機械和電氣設備共計23項次，並分別進行耐震補強措施，以符合法規耐震強度（0.72g）要求。

本報告包含說明上述設備耐震改善的做法及成果，以及施工過程的管制經驗。

6 大亞灣核電基地安全生產管理

趙福明 中國廣核集團大亞灣核電運營管理有限公司

1.大亞灣核電基地情況介紹。

1.1 地理位置

1.2 公司概況

1.3 人員構成營運業績

1.4 上網電量

1.5 能力因數

1.6 WANO（世界核營運者協會）9項指標達先進數

1.7 EDF 挑戰賽情況

2·安全生產管理經驗。

2.1 大亞灣核安全管理八大“抓手”

2.1.1 精細化的日常生產管理

2.1.2 專業化的大修管理

2.1.3 日趨完善的設備管理

2.1.4 完善的人員培訓體系

2.1.5 全方位的監督體系

2.1.6 嚴謹全面的程式體系

2.1.7 追求卓越的工程改造

2.1.8 防微杜漸的經驗回饋

7 臺灣核能電廠圍阻體排氣功能強化措施現況

鄭再富 原子能委員會核能管制處

2011年3月11日在日本福島一廠發生核子事故後，國際間，各主要核能組織乃相繼針對該事故進行研究分析及提出後續之檢討改善，其中針對福島電廠在喪失冷卻能力狀況下，發生嚴重核子事故並導致圍阻體嚴重受損之事件，各國即紛紛針對現有核能電廠安裝強化圍阻體排氣管道是否增設具高效率過濾裝置之議題進行討論。

在發生福島事故後，美國核管會（NRC）乃於2012年3月及2013年6月分別頒佈行政命令EA-12-050及EA-13-109，要求使用Mark I與Mark II圍阻體之BWR核能機組，除應強化長期電廠全黑之圍阻體排氣系統可靠性外，尚應加強因應嚴重核子事故之能力。至於是否要求核能電廠圍阻體排氣管道增設具高效率過濾裝置，將于完成立法後，發佈最終決定。而在歐盟各國執行壓力測試後，歐盟執委會核能安全管制者組織（EC/ENSREG）在所提出之行動計畫，則已要求采具過濾圍阻體排氣之功能。日本安全機構原子能規劃廳（NRA）亦於2013年6月頒佈「實用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」，其中第50條有關防止原子反應爐圍阻體過壓導致損壞之保護設備要項中，則要求核能電廠機組安裝具過濾功能之圍阻體洩壓裝置，以減少圍阻體排氣過程中放射性物質之外釋。

由於台灣核能電廠具備週邊人口稠密之特性，在確保降低圍阻體失效發生機率之事故狀況下，同時考量增設具過濾功能之圍阻體排氣系統對於圍阻體完整性及緊急計劃區域之控制均甚有助益，因此，在

發生福島事故後，原子能委員會（簡稱原能會）乃參考美國 NRC 評估報告 SECY-12-0157 Enclosure 7B、行政命令 EA-13-109 及日本 NRA 於 2013 年 6 月頒佈之「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第 50 條，制定具備過濾功能之圍阻體強化排氣系統設計要求，包括操作性能目標、設計特點、品質標準及作業程序要求等，並要求台電公司依據相關設計要求規劃執行，以強化核能電廠圍阻體排氣設計及可靠性，確保民眾生命財產安全。

8 核電產業發展及高溫氣冷堆工程建設

崔紹章 中國華能集團

大陸經濟高速發展給能源供應帶了巨大壓力，以煤炭為主的能源供應造成了環境的嚴重危機，發展核能是實現大陸能源可持續發展、緩解環境危機的重要舉措。福島核事故以後，對核電的安全提出了更高的要求，華能集團投資建設的具有自主智慧財產權高溫氣冷堆具有固有安全性、提供高溫工藝熱、靈活性等優勢，商業化推廣符合國家“走出去”戰略，其技術先進成熟，具有廣闊的應用前景，高溫氣冷堆示範工程已取得重要進展，給高溫堆的商業推廣帶來了機遇，但是為實現高溫氣冷堆商業化推廣，需要應對審評標準、公眾接受性和經濟性等諸多挑戰。

9 臺灣沸水式核能電廠斷然處置措施面面觀

廖俐毅 核能研究所核安技支中心

一、緣起說明

福島一廠事故雖起因於異常天災，但事故處置因應措施不夠嚴謹與完善，也是造成事故後果惡化的重要因素之一；核能電廠若能提升硬體防範措施，讓電源與水源供應無虞，並藉更新程式書強化因應能力，在遭遇類似福島一廠事故(超過設計基準的複合式天然災害)的挑戰時，將仍可維持反應爐、圍阻體及用過燃料池的冷卻能力及完整性，並可避免嚴重事故發生和防止大量放射性物質外釋。

二、「斷然處置指引」與國外類似措施

斷然處置指引(URG)是台電公司在福島事故後，因汲取經驗所提出之緊急應變作為，也是整體改善強化安全防護措施的一環，乃搭配核能電廠在硬體設備上之改善，兩者相輔相成，為核能電廠的安全提供多一層防線。本報告將以沸水式核能電廠為例，介紹斷然處置措施。

斷然處置措施是一個特殊的緊急降壓注水程式，為正常設計爐心注水系統功能恢復前之應變措施。其主要目的在因應類福島事故(加長型的電廠全黑事故)，發展出適合替代方式注水的降壓策略，俾使替代方式注水能確實有效執行。透過斷然處置措施提早進行設備列置、建立排氣路徑及果決斷然執行反應爐二階段降壓和注水將可避免爐心熔毀事故之發生。

斷然處置措施的主要啟動條件是，除蒸汽帶動注水系統(如 RCIC)可以撐一段時間外，所有固定式緊急電源以及緊急注水系統均喪失功能，只剩替代方式注水可用。

核能電廠有多重水源，各種水源的冷卻效果相當，所以在注水時優先採用乾淨的廠內除礦水、凝結水，其次再採用淡水(生水池、溪水等)，在淡水全部用盡時才採用海水，所以將海水注入反應爐是最後的一個手段。在最後必要時，斷然處置措施基於保護民眾和環境安全為先的精神，犧牲了核電廠未來仍可恢復運轉發電的可能性而將海水注入反應爐，乃著眼于海水水源可以無限供應不虞匱乏，此刻將完全摒棄傳統保護反應爐之經濟效益考慮。

斷然處置措施「緊急降壓」在發展過程中，針對反應爐排氣降壓的策略進行反復分析、辯證並利用各種國內外技術研討會的機會與國際專家進行深入技術研討。此外，並廣泛研讀報告與吸收國際(特別是日本與瑞士)經驗，在既有基礎上持續精益求精。

三、結語

日本福島一廠事故發生後，民眾對核電廠的安全性產生很大的疑慮。台電公司提出之斷然處置措施作為各項改善的一環，若能搭配電廠在硬體設備上之其它改善，即使在發生類似福島一廠型態事故狀況下，也能夠維持反應爐與用過燃料池燃料適當冷卻，確保反應爐與圍阻體完整進而避免發生嚴重事故。

10 核能電廠發生事故時斷然處置之人員訓練與做法

杜博文 臺灣電力公司核二廠

311 日本福島核電一廠事故，帶給核能電廠業界的震撼與衝擊無可言喻，台電公司進行了核安總體檢，建立防護屏障，從根本防止核災事故發生的可能性，而斷然處置措施係以上種種防護屏障再進一步假設被突破時，台電公司更深一層用以保障人民安全之緊急應變救援措施。

台電公司因應日本福島核子事故，擬訂「核能電廠機組斷然處置程式」指引，針對來自電廠外部危害造成大規模損害之複合式災害，建立完整的處置流程，提供核能電廠第一線人員迅速反應的準則，在事件惡化演變成「嚴重事故」前，能即時中斷事件狀態之繼續惡化。也可以說斷然處置措施是在現行緊急操作程式中(EOP 及 SAMG)，為防止機組狀況惡化到「嚴重事故」所新增之「深度防禦(Defense-in-Depth)」處置程式。此與美國在福島事故後新提出之 NEI 12-06 Diverse and Flexible Coping Strategies (FLEX) Implementation Guide 之概念相仿。

核二廠依據公司訂立之「核能電廠機組斷然處置程式」指引，明確建置多重救援電源、建置多重救援水源、建立救援器材與設備之儲放機制、制定三階段救援策略、以及斷然處置各階段之通報與決策機制等的處置流程，提供電廠人員在電廠遭遇嚴重複合式災害情況下，在演變成「嚴重事故」之前，中斷事件狀態之持續惡化。

核二廠有兩部機組，當發生類似福島之複合式災害時，”雙機組”如何在既有之人力建置下，運轉團隊如何在第一階段能有效的指揮操作，有系統的執行各階段之救援策略，落實「電廠機組斷然處置程式」，唯有經事先明定各處置策略及處置程式之人力點檢，及處置策略之工作方法點檢表等才得以達成。並透過不斷的演練，尤其是雙機組之聯合演練，持續在演練後檢討與改善，使處置策略能更趨於完善。

斷然處置程式是以維持反應器爐心冷卻、維持控制室監控功能、確保圍阻體完整抑制放射性物質外釋、維持燃料池冷卻及用過燃料的淹蓋、積極建制救援之爐心注水與長期冷卻之能力，以達成防止無法控制之輻射外釋，避免大規模之民眾疏散的最終目的。

11 臺灣核能電廠重要運轉經驗之管制案例

臧逸群 原子能委員會核能管制處

本簡報針對「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂管制案例」及「核二廠中幅度功率提升計畫(SPU)管制案例」議題進行說明。

一、核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂管制案例

(一).錨定螺栓斷裂狀況

核二廠 2 號機於 2011 年 10 月大修期間發現位於裙板外側 1 根螺栓斷裂。核二廠 1 號機於 2012 年 3 月於大修期間發現支撐裙板內側有 1 支錨定螺栓斷裂，另檢測訊號顯示 2 支斷裂，4 支有輕微裂紋。

(二).原能會管制方向

針對此事件，原能會邀請專家學者組成審查小組，分別從「螺栓斷裂肇因分析」、「結構安全分析」、「周邊元件運轉安全」、「機組起動運轉之安全」、「全面移出爐心燃料」等各方面進行技術性審查。

(三).肇因分析及修復作業

起始肇因經台電公司分析結果是①階段性腐蝕性環境②以前之施工方法較為老舊造成的應力集中或表面缺陷③敏感性材料加上材料瑕疵三個條件下而產生應力腐蝕龜裂(SCC)。1 號機依照奇異公司提供之檢修計畫，循原設計規範要求完成 7 支螺栓更換作業。2 號機由奇異公司提供 1 支特別設計之 EAS (Engineered Anchoring System)螺栓完成修復作業。

(四).錨定螺栓管制現況說明及總結

根據原能會審查肇因分析的結果、電廠採取的改正措施、JCO 評

估及提出監測計畫，核准 1 號機重新啟動，隨後的大修進行的振動監測和 UT 檢查結果顯示並無異常。原能會將繼續對核二廠實施 RPV 支撐裙板錨定螺栓的監測計畫進行監督。

二、核二廠中幅度功率提升計畫(SPU)管制案例

(一).核二廠中幅度功率提升計畫

台電公司「核二廠中幅度功率提升」是以 3%功率提升(3030 MWt)為評估依據，不過實際施行時，為因應 BWRVIP-182-A 準則對於蒸汽乾燥器最小交變應力之要求，因此修正為兩階段之功率提升，實際僅申請執行第一階段 2%功率提升(2943 MWt 至 3001 MWt)。

(二).原能會審查管制及電廠提升狀況

原能會由放射性物料管理局、輻射防護處、核能管制處及聘請之三位專家，成立專案審查小組完成 SPU 安全評估報告審查。台電公司於 2013 年 11 月 29 日向原能會提出 SPU 設計變更 DCR 案，經原能會核准後，2 部機組執行 2 次 PAT 測試，結果汽機控制閥 GV1&GV4 開度已達限值附近而停止測試。電廠目前以行政管制限制兩部機組熱功率運轉時不超過 2971 MWt (99% RTP)。

(三). SPU 管制案後續管制說明及總結

核二廠 2 部機之 PAT 測試結果，均未能達成原 SPU 申請案之功率提升目標值 3001 MWt，故核二廠 SPU 案尚未向原能會申請結案。另原能會 2014 年 3 月 5 日已針對提高爐壓以增加節流餘裕的方案，宣告需重新提出 SAR 與申照檔之管制要求。

12 福清核電核安全文化建設實踐與探索

顧健 福清核電有限公司

介紹了福建福清核電有限公司的組織機構、專案管理、1-6 號機組建設進展，著重對福清核電在核安全文化建設方面的實踐進行了介紹，包括經驗回饋、人因管理、觀察指導、內外部評估、公眾宣傳等，最後根據實踐回饋對核安全文化未來工作方向進行了規劃。

13 緊急應變民眾防護之規劃與準備

劉俊茂 原子能委員會核能技術處

「核災風險雖然小、有備無患沒煩惱」。日本福島核災後，原能會在核子事故應變及平時整備上進行了多項改善措施，在緊急應變規劃方面，原能會於 2011 年 10 月擴大緊急應變計畫區範圍為 8 公里，後續於 2013 年 7 月完成「核能一、二、三廠緊急應變計畫區內民眾防護措施分析及規劃檢討修正報告」審查，並於 2014 年 9 月前完成「核子事故區域民眾防護應變計畫」審查與核定公告，並持續進行後續細部應變之整備作業，以確立事故預警通知、疏散路線規劃、交通載具安排及收容所選定等執行計畫，使萬一事故發生時民眾防護行動能實行順遂。保護民眾安全，必須未雨綢繆，有效之應變作為應首重民眾防護規劃與準備，為此近 3 年來，透過應變計畫、報告的審查及參考國內外資訊進行應變作業調整，包括民眾預警檢討精進、碘片區域性換發與臺灣地區南北部碘片儲存庫建置維護及分眾含預防性疏散規劃措施(如學童優先保護之「接待學校」疏散規劃)等，以確保民眾生命及財產安全為唯一優先。

多一分瞭解，多一分準備，為加強民眾防護行動之認知及能力，除年度核安演習外，原能會整合資源，以「演練從『裡』做起」規劃，並以虛心傾聽、誠懇面對的態度，採取主動公開、深入地方之策略，善加運用多元有效之管道與方式，期將核能安全與緊急應變專業知識轉化為淺顯活潑的資訊傳達給地方民眾，如改用「民眾防護月曆」替代過往之「防護手冊」，藉月曆之懸掛及使用一年的性質，持續傳達應變防護資訊，讓民眾對政府在防災應變的整備施政上更有感。

14 有關福島核事故後一些新的核安全理念和核安全要求的探討

柴國早 環境保護部核與輻射安全中心

福島核事故後，在國際核工業界和各安全監管機構之間提出和探討了許多新的核安全理念和核安全要求。本文闡述了這些新的核安全理念和核安全要求，如：設計擴展工況、加強縱深防禦的應用、縱深防禦各層次之間的獨立性、增強安全設施的多樣化設計、核安全合理可行儘量高、實際消除大量放射性物質釋放等。同時，本文中提出，基於核安全合理可行儘量高的考慮，在核電廠設計中應同時採用確定論和概率論安全分析方法，識別核電廠設計中可能存在的安全薄弱環節，並採取合理可行的措施減輕剩餘風險的後果，以達到實際消除大量放射性物質釋放的安全目標。

15 福島事故後核災應變的強化措施

鄭先佑 原子能委員會核能技術處

「防災重於救災，離災優於防災」，緊急應變是核能安全深度防禦最後一道防線，東日本 311 大地震、海嘯引發核子事故，進行大規模民眾疏散作業，更證實緊急應變整備規劃的重要性。

核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案，除了針對核能電廠防海嘯、防洪、耐震等強化措施，執行安全防護的升級外，原能會亦針對「輻射防護及緊急應變機制」召集核子事故緊急應變之地方主管機關及相關單位，對於應變機制與法規、平時整備及緊急應變作業能力進行檢討並提出相應對策。包括核能電廠緊急應變計畫區由 5 公里修正擴大至 8 公里，同時要求核子反應器設施經營者針對緊急應變計畫區內民眾防護措施分析及規劃進行檢討與相關安全防護之強化，地方政府並也進行區域民眾防護應變計畫研修訂。

此外，原能會亦檢討複合式災害應變機制、境外核災監控機制、相關機關任務分工與作業、支持及改善方案等相關整備應變作為與能量，包括碘片儲存庫建立、規劃臨時及較長期收容所、增購防護裝備、擴大輻射偵測範圍、溝通宣導及核安演習等。保護民眾安全，必須未雨綢繆，核子事故發生的機率很低，但基於保護民眾安全的決心，原能會仍抱著戒慎恐懼的態度進行緊急應變機制之檢討與精進規劃，並針對檢討結果進行列管追蹤，確保改善措施能如期達成，應變計畫從民眾的角度出發，以安全為第一優先考慮，採取當機立斷的應變措施，

讓損害降至最低。

16 大陸高放廢物地質處置地下實驗室的定位和功能

王 駒 中核集團北京地質研究院

為安全處置高水準放射性廢物，大陸提出了 2020 年左右建成高放廢物地質處置地下實驗室的目標，目前，大陸正在推進地下實驗室的規劃工作。這個地下實驗室的總體定位是：建設在高放廢物處置庫重點預選區有代表性的岩石（花崗岩）之中、位於 500 米深度左右、功能較為完備且可擴展，為高放廢物地質處置研究開發服務與場址評價服務國際先進的科研設施和平臺。

地下實驗室應當具備以下六大基本功能：（1）評價場址深部環境（地質、水文、地球化學、地應力、岩石力學特性等）。（2）開展 1:1 工程尺度驗證實驗，在真實的深部地質環境中考驗工程屏障（如廢物體、廢物罐、回填材料等）的長期性能。（3）開發處置庫施工、建造、回填和封閉技術以及相應的設備，完善概念設計，優化工程設計方案，全面掌握處置技術，估算建庫的各種費用。（4）通過現場調查和試驗，驗證和修改安全評價模型，為未來的處置庫安全評價、環境影響評價提供各種現場資料（包括核素遷移資料、核素水化學性能參數等）。（5）為公眾參觀地下實驗室、瞭解地質處置技術的安全性能、提高對高放廢物安全處置的信心提供視窗。（6）為國際合作提供地下實驗巷道和學術交流場所。為開展地下現場實驗提供深部實驗巷道和水、電、通風、通訊、安全和應急等後勤保障，為科研人員提供住宿、飲食等後勤保障。

圍繞這一地下實驗室的相關前期工作已經開展。

17 核能電廠放射性廢棄物減量管制

蘇凡皓 放射性物料管理局

臺灣核能電廠原來的設計並未設置放射性廢棄物貯存庫，且目前也沒有低放射性廢棄物最終處置場，導致初期運轉期間產生的大量放射性廢棄物，對倉貯造成極大的壓力。

為解決核能電廠放射性廢棄物產量過多的問題，並紓緩廢棄物貯存設施的壓力，原能會物管局自 1991 年起，針對固化廢棄物產量，積極推動「低放射性廢棄物減量策略」。其中的減量措施包括「操作管理」、「水質與材料改善」、「技術提升」、「再使用」與「回收再利用」等五項方法。經過三階段減量策略的推動及各核能電廠的配合，到了 2010 年，每年的固化廢棄物產生量，由原先的 6440 桶抑低至 234 桶，減量成效將近 30 倍。回顧這 20 年間的差異，固化廢棄物減量的成效非常良好。

然而，核能電廠產生的廢棄物中並非僅有固化廢棄物，為了將核能電廠產生的廢棄物全數納入減量管制的範圍內，自 2011 年起開始實施「總產生量管制措施」。針對不同電廠、不同的大修次數，制定對應的固化廢棄物與非固化廢棄物之年度管限制值。

總產生量管制措施實施兩年後，為要求各核能電廠加強廢棄物減量、減容處理，修訂新的減量策略，並於 2013 年開始實施。新的減量策略針對各電廠的總貯存增加量進行管制，制定單一管制目標(即三個電廠的年度貯存增加量不得超過 2000 桶)，如此一來，將使各核能電廠加強廢棄物的後續處理、安定化處理及符合最終處置場接收標準，進而抑低未來核能電廠除役與最終處置的成本，減少放射性廢棄物對環境的衝擊，達到環境保護與永續發展之目的。

18 大陸 ADS 研究進展

徐珊珊 中科院蘭州近代物理研究所

如何妥善處置核電運行產生的乏燃料特別是其中的長壽命高放廢料，是國際核能界無法回避的重大問題，也是尚未解決的世界性難題。加速器驅動次臨界系統(Accelerator Driven Sub-critical System 簡稱 ADS) 具有強大的嬗變能力、良好的中子經濟性、優良的系統安全性，被國際公認為最有前景的利用嬗變安全處置長壽命核廢料的技術途徑。

ADS 是由加速器、散裂靶和反應堆三大分系統組成的嬗變裝置，其工作原理是利用加速器產生的高能強流質子束轟擊重核產生寬能譜、高通量中子作為外源來驅動次臨界堆芯中裂變材料發生持續的鏈式反應，使得長壽命放射性核素最終變為非放射性的或短壽命的核素，並維持反應堆運行。

中科院根據大陸先進核能科學技術發展重大需求和國際上 ADS 發展態勢，從技術可行性出發，提出大陸 ADS 發展從原理驗證到試驗裝置建設，最終實現工業示範的三步走戰略，並於 2011 年 1 月啟動戰略性先導科技專項“未來先進核裂變能-ADS 嬗變系統”。ADS 專項主要由中科院近代物理研究所、高能物理研究所、合肥物質科學研究院承擔，院內及大陸其它相關研究單位參與，目前專項隊伍總規模 950 人。

自專項啟動以來，不斷優化總體設計，完成了 ADS 系統總體設計方案，在超導直線加速器、重金屬散裂靶、次臨界反應堆及核能材料等關鍵技術研究方面取得了重要進展和突破，一些關鍵

核心技術達到國際領先或先進水準。專項完成了兩台目前國際上正在運行的連續束流最高流強的 RFQ 加速器,並在 HWR 型和 Spoke 型低 β 超導腔等核心關鍵技術方面有所突破,改變了以往跟蹤的局面,達到了目前世界的先進水準並略有領先;在重金屬散裂靶方面創造性提出了新型流態固體顆粒靶(簡稱顆粒流靶)概念並完成了初步設計,原理性實驗獲得成功,開闢了一條新的技術路徑並引致國際同行跟蹤研究;完成了 10MWt 的鉛鈹冷卻反應堆概念設計並開展了初步設計,完成了零功率裝置的工程設計,大型鉛鈹綜合實驗回路實現試驗運行;核能裝置用新型結構鋼候選材料研究取得重要進展,有望在核工業工程中得到應用。

19 利用核電重水堆生產鈷 60 技術研發及產業化工程

劉金祥 中核同興（北京）核技術有限公司

報告介紹了利用中國核電站重水堆生產鈷 60 放射源的研發及產業化工程實施情況，包括專案的背景、關鍵技術、創新點、與國外同類技術的比較和產業應用情況。

20 核技術在醫學領域應用與輻射安全

王榮福 北京大學第一醫院

核技術是一把“雙刃劍”，其在醫學領域應用造福人類健康已得到公認，但醫療輻射安全不容忽視。利用核技術在醫學研究和疾病診治的新興學科—核醫學發生日新月異的變化，核醫學在臨床疾病診治研究中發揮越來越重要的作用。他可給人類帶來了巨大前進動力，如核技術在醫學應用可造福人類健康，但核子射線或核輻射造成的電離輻射導致的輻射危害不容忽視。為此，權衡利弊，取捨定奪，應與時俱進，順應人類社會的長遠利益來考慮。據聯合國原子輻射影響問題科學委員會發表的一份報告指出，醫療輻射是人類接觸電離輻射的主要來源。在全世界人口遭受的由自然或人為因素導致的各種輻射中，有20%來自醫療輻射；而在所有人為因素導致的輻射中，醫療輻射所占的比例高達98%。

利用放射性核素及其標記化合物用於臨床醫學疾病診治和基礎醫學研究的核醫學在醫療照射中的份額儘管遠不如X射線診斷，但近年來核醫學診斷藥物和儀器（SPECT/CT、PET/CT）的不斷發展，其應用越來越普及。

目前醫療機構主要存在問題：（1）部分醫院對放射防護工作不夠重視，在財力和人力上的支援不夠，許多需要大劑量放射性核素治療的患者沒有因沒有特殊防護病房不能住院接受治療，輻射防護規章制度執行不夠嚴格。（2）部分醫院放射防護宣傳欄流於形式，受檢

者很難能通過宣傳欄來瞭解輻射危害和如何使用防護用品；受檢者防護用品使用情況不容樂觀等。需要接受治療的患者對核輻射認識不足，有恐懼害怕的心理或“無所謂”等現象存在。

因此，要大力加強對新建、改建和擴建放射性工作場所，必須進行環境評價（保障環境安全）、職業病預評價和最終效果評價（保障職業人員安全），同時做好核技術利用和核輻射安全等科普宣傳工作。保證核技術在醫學領域應用發揚光大，造福人類。

21 做好公眾溝通的手段

王有志 中國電力投資集團公司

第一章、中電投集團簡介。簡要介紹中電投集團公司的總體情況、業務範圍、資產分佈、發展戰略。

第二章、中電投集團核電發展概況。主要介紹中電投集團公司的核電管控模式及管理架構、核電發展規劃、控股核電專案現狀。

第三章、海陽核電廠一期工程進展情況。介紹中電投集團公司海陽核電廠一期專案 AP1000 工程進展情況，包括海陽核電廠的管理模式、組織架構、專案規劃、發展歷程、AP1000 技術簡介及項目實際進展等。

第四章、中電投集團核電公眾宣傳工作。介紹中電投集團公司的核電公眾宣傳工作，包括開展的公眾宣傳活動、取得的成效及重大意義、以及未來的公眾宣傳規劃等。

第五章、中電投煙臺核電基地概況。介紹中電投煙臺核電基地的建設情況，主要介紹宣傳展示中心（即科技館）的概況、主要功能、舉辦的展示活動、科技館展項設置等。

22 與反核團體之溝通

魯經邦 臺灣電力公司核能發電處

沉默的大眾，反應的是社會大多數人不願意站出來表達立場的現象；相反地，活躍的反核團體雖然人數有限，但在日本福島核災後所展現的影響力，實不容忽視。

反核團體的反核動機不盡相同，有的是為理念而反對核電，有的是因為恐懼而反對，有的是為了利益而反對。針對不同反對目的，應有不同的溝通方法。舉例而言，為了理念而反對者，若其主因在於對環境的關懷，則核電不排碳的特性，即可作為溝通之開端。美國知名紀錄片導演羅伯·史東(Robert Stone)，便是藉由拍攝「潘朵拉的承諾(Pandora's Promise)」一片，使得許多反核的環保人士轉而支持核能。

人為疏失所造成的日本福島核災，造成許多反核團體的恐懼感，再加上外界難以參與或深入理解高度專業且複雜的核電，進而轉為不信任或產生反感。因此，針對此類反核人士，必須以誠心及耐心，針對其反對或擔憂之理由逐一說明，並提供完整資訊，切勿因對方不瞭解而有不願或不屑說明的態度。

23 核電公眾科普宣傳的實踐與探索

陳華 中國核能電力有限公司

通過對大陸核電公眾科普宣傳現狀與形勢的分析，探討在核電公眾科普宣傳過程中存在的問題，提出核電公眾科普宣傳的創新思路與工作方法，為核電公眾科普宣傳實踐提供理論依據和實施參考。

24 媒體溝通

張梓喬 臺灣電力公司核三廠

媒體是民眾接收資訊最直接的管道，尤其是在電視、網路普及化的現代社會，任何消息一經媒體揭露，所引發之討論及後續效應，皆不容忽視。因此，針對媒體之溝通，是核電事業重要的經營課題之一。

以普及率最高的電視媒體而言，臺灣以有線電視臺為民眾接觸最多者，其政論節目影響民眾觀感甚深。

媒體溝通首重資訊傳播之速度及正確性，並且與各電子及平面媒體之電力專業記者保持良好互動。平時即應主動提供相關訊息予媒體朋友，包括深入淺出之資料及影音檔案，並且安排記者參訪核電設施。此外，提升資訊透明化程度可讓外界感受到電力事業對外揭露訊息之誠意，已成為網路時代重要的對外溝通基礎。