

出國報告（出國類別：其他）

赴大陸訪問中國核電工程有限公司、中  
科華核電技術研究院、上海交通大學及  
加拿大聯合顧問有限公司北京分公司  
公差報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：荆軍安 副研究員  
趙椿長 副研究員

派赴國家：大陸

出國期間：100年11月9日~100年11月19日

報告日期：100年11月22日

## 英文摘要

The purpose of this trip is to participate the seismic safety analysis meeting in Beijing which was hosted by China Nuclear Power Engineering Company. The meeting was focused on the technology of seismic margin analysis (SMA) and seismic probabilistic safety assessment (SPSA).

In order to broaden the international technical cooperation in the field of nuclear safety technology, several visits of nuclear associated organization were arranged during this business trip. Future international cooperation was discussed with those organizations including the China Nuclear Power Technology Research Institute (CNPRI) in Shenzhen, Shanghai Jiao Tong University in Shanghai and the JWPC in Beijing.

## 中文摘要

本次公差因應大陸中國核電工程有限公司之邀請，至該公司進行研發經驗之交流，該公司隸屬於中國核工業集團，主要從事核能電廠及一般民用工程設計、諮詢、工程總承包及工程監理等工作，本次訪問與該公司從事核能電廠安全度評估分析之相關人員討論雙方未來在核能電廠地震分析相關研究的可行合作方式。

為促進核能研究所核能安全技術的應用及拓展核電產業相關研究，本次公差順道赴深圳訪問中科華核電技術研究院、上海交通大學及加拿大聯合顧問公司北京分公司等核能安全研究相關機構，討論未來有關核安科技、熱水流分析、及安全度評估等相關領域的應用，以及雙方進一步交流與合作之可行性。

# 目 次

	頁碼
英文摘要 .....	i
中文摘要 .....	ii
一、目的 .....	1
二、過程 .....	2
三、心得 .....	15
四、建議事項 .....	17
五、參考資料 .....	18

## 一、目的

本次公差的主要目的為應大陸中國核電工程有限公司之邀請，至該公司進行研發經驗之交流，該公司隸屬於中國核工業集團，主要從事核能電廠及一般民用工程設計、諮詢、工程總承包及工程監理等工作，本次訪問與該公司從事核能電廠安全度評估分析之相關人員討論雙方未來在核能電廠地震分析相關研究的可行合作方式。

核能電廠熱水流分析為核能電廠設計與安全分析的重要依據，本次公差順道訪問中科華核電技術研究院流體系統與安全分析研究所，進行技術交流與研發經驗分享的相關討論，由於這是兩岸負責熱水流分析主要團隊的第一次正式接觸，希望能藉此促進兩岸在熱水流分析方面的合作，以有限的研究資源創造更大的研發成果。

因應日本福島地區核能電廠發生嚴重事故，各國核能安全管制單位、營運業者以及研究單位，均體認來自核能電廠外部的複合式災害對與核能安全的重大影響，也陸續針對可能遭受地震影響的核能電廠，規劃不同程度的安全分析工作。本次公差訪問中科華核電技術研究院概率安全與可靠性研究所，討論兩岸在核能電廠地震分析的規劃與研究需求，希望能藉由技術與人力合作的方式，以最符合經濟效益的方式完成合於分析標準的地震安全度評估模式，以保障運轉中或興建中核能電廠的營運安全。

上海交通大學核科學與工程學院為大陸華東地區唯一設有核工程專業的大學，主要從事核工程領域方面的教學與研究工作，除了建立有教學培訓中心外，還有實驗設施及軟體平台等基礎設施。本次訪問該院梁國興教授所領導的熱水流分析團隊，除了交換雙方研究相關資訊之外，同時也安排參觀仿真實驗室與超臨界水冷堆實驗室。

核能研究所與國內包括原子能委員會、清華大學、核能資訊中心、核協會等核能安全相關單位與組織，將於 2012 年 9 月在高雄舉辦核能電廠熱水流與運轉安全國際會議，本次公差訪問包括中科華技術研究院、上海交通大學以及中國核電工程有限公司期間，也同時轉知這項訊息給所有核能安全相關研究人員，除了邀請大家踴躍投稿及參加會議外，也詳細說明邀請大陸人士來台訪問所需的相關作業程序。

核能研究所於 98 年 4 月與加拿大聯合顧問有限公司簽訂「提供全球核電廠風險評價及可靠性等市場情資與推廣」相互委託通案性合約，就全球核電廠風險評價及可靠性等市場情資與推廣相互委託，本次訪問該公司北京分公司，與該公司市場總監吳曉珞小

姐討論未來相互合作之方向。

## 二、過程

此次公差自 100 年 11 月 9 日起至 100 年 11 月 19 日止，共計 11 天，詳細行程如下：

行程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
11	9	三	台北	深圳	大陸	深圳	去程
11	10	四			大陸	深圳	訪問中科華核電技術研究院流體系統與安全分析研究所
11	11	五			大陸	深圳	訪問中科華核電技術研究院概率安全與可靠性研究所
11	12	六	深圳	上海	大陸	上海	路程往上海
11	13	日			大陸	上海	資料整理
11	14~15	一~二			大陸	上海	訪問上海交通大學
11	16	三	上海	北京	大陸	北京	路程往北京
11	17	四			大陸	北京	訪問中國核電工程有限公司
11	18	五			大陸	北京	訪問加拿大聯合顧問有限公司北京分公司
11	19	六	北京	台北			返程

11 月 10 日訪問中科華核電技術研究院流體系統與安全分析研究所，與該所負責核能電廠熱水流分析之研究人員，針對雙方在設計基準事故以及嚴重事故下，爐心與圍阻體相關的熱水流計算進行研發經驗之交流。

11 月 11 日訪問中科華核電技術研究院概率安全與可靠性研究所，與該所負責核能電廠地震安全評估之研究人員，討論兩岸核能管制單位對核能電廠地震安全分析的要求以及未來的研發需求，同時也針對規劃中或進行中的核能電廠風險告知應用，交換研究

心得。

11 月 14 日至 11 月 15 日訪問上海交通大學核科學與工程學院，與該院梁國興教授所領導的研究團隊，討論核能電廠熱水流分析的相關議題，同時也在該團隊的引領之下，參觀仿真實驗室與超臨界水冷堆實驗室。

11 月 17 日訪問中國核電工程有限公司，與該公司負責核能電廠安全評估的團隊，討論核能電廠地震分析相關議題，並研擬未來在研發技術交流與分享的課行方案。

11 月 18 日訪問加拿大聯合顧問公司北京分公司，與該公司總經理吳曉珞小姐討論未來相互合作的方向。

## **2.1 訪問中科華核電技術研究院**

中科華核電技術研究院隸屬於大陸中廣核集團，成立於 2006 年 11 月，院內約有近 1000 名技術人員，研發範圍包括爐心設計、燃料管理、安全分析、輻射源項計算分析、環境影響評估、嚴重事故分析、核燃料循環研究、定量風險評估、緊急計畫管理、營運前與營運期間檢測、設備監造、材料取樣、肇因分析、運轉與維修最佳化、熱水流分析、儀控技術、模擬器開發、風能及太陽能等新能源技術開發。

該院成立之目的主要為解決中國核集團所屬核能電廠在建設及營運過程中，所產生在應用技術方面之需求，因此該院共有在役檢查中心、電站運行技術研究中心、信息技術中心、電站工程改造研究中心、反應堆工程設計研究中心、核燃料研發設計中心等幾個與核能相關的專業研究中心，各中心皆以核能發電技術本土化與創新作為研究的主要目標。

### **2.1.1 訪問流體系統與安全分析研究所**

中科華核電技術研究院反應堆工程研究中心的研發工作，主要著重於運轉中核能電廠燃料管理與嚴重事故分析，以及新建核能電廠的爐心設計與安全分析，現有人力約 130 人。該中心內與反應器安全研究相關的單位共有 4 個研究所，堆蕊設計與燃料管理研究所主要從事運轉中電廠爐心燃料佈局設計相關的工作；熱工水力與燃料設計研究所

主要從事新型反應器爐心燃料設計與熱限值評估計算；流體系統與安全分析研究所主要從事運轉中電廠爐心熱水流相關的安全分析；嚴重事故研究所主要從事與嚴重事故相關之研究，包括二階安全度評估、輻射源項計算、嚴重事故處理導則指引。

本次應流體系統與安全分析研究所(以下簡稱熱工所)蔣曉華所長之邀請，至熱工所位於深圳的辦公室進行訪問，由於是雙方初次進行研發技術的資訊分享，因此主要的目的就在於介紹各自過去與現在的研發工作，並討論未來可行的合作方向與方式。會議共有與熱水流分析相關的研究人員共 18 人參加，首先由熱工所蔣所長介紹反應堆工程研究中心以及所屬各研究所的研發重點，熱工所現有研究人員約 26 人，進行中的研發項目主要包括大亞灣電廠爐心燃料設計變更、CPR1000 爐心燃料獨立設計、嶺澳電廠嚴重事故導則指引之發展、CPR1000 嚴重事故分析精進，此外也針對寧德、陽江、嶺澳等電廠執行爐心燃料填換由 12 個月一次延長到 18 個月的燃料設計相關分析。

隨後由核能研究所的荆員介紹核能研究所在核反應器熱水流分析的研究狀況，荆員為核能研究所熱水流分析分組的分組長，該分組現有研究人員 24 人，主要任務為建立完整的核能電廠事故模擬與熱水流安全分析技術，並有效支援核能電廠安全管制及提昇營運品質。關鍵技術包括熱平衡計算、反應器系統暫態分析、反應器系統事故分析、反應器爐心熱水流分析、反應器圍阻體熱水流分析、反應器中子動態分析、沸水式反應器爐心安全熱限值計算、沸水式反應器穩定性分析、沸水式反應器爐心熱通道模式分析等技術，近期的研究重點包括國內各電廠小幅度及中幅度功率提升、核三廠圍阻體再循環集水池濾網改善、支援管制單位核能電廠安全分析技術、龍門電廠圍阻體熱水流分析方法應用。

由於雙方不管在研究能力、研究資源以及研究任務上都非常相似，因此雙方在詳細了解研究近況後，開始進行細部分析的討論以及分享研究經驗，這部分的討論由熱工所蔣所長以及核能研究所荆員共同主持，除了來自熱工所的研究人員之外，亦有來自中科華技術研究院其他與反應器熱水流分析的研究人員參加。

首先討論的議題是功率提升的安全分析工作，大陸因為目前仍有非常多機組陸續投入選址、興建、燃料裝填或商業運轉的程序，因此未來 10 年內核能機組的發電量成長，

主要為新機組投入商業運轉，對於中小幅度功率提升的需求並不如國內來的迫切。不過中廣核集團近年著眼於發電效率的實質提升，陸續開始進行各種幅度功率提升與效能改進的可行性研究。國內各核能發電廠不僅已完成中小幅度功率提升的相關研究、計算與設計工作，且部份成果亦已投入實際運轉，所投資的成本已在 1 年內回收，不僅提高發電量，且對二氧化碳排放減量亦有實質幫助。在荊員簡單介紹各種幅度功率提升作法後，隨即開始相當熱烈的討論，由於時間及分析資料有限，因此並未針對分析方法進行細部討論，不過熱工所已體認我國在這個研究項目上已具有成熟的研究經驗，未來將針對壓水式反應器功率提升相關研究，與我國核能研究所進行技術支援與合作。

有關安全分析的評估範圍討論，除了功率運轉狀況之外，雙方在低功率運轉、停機及大修期間是否納入分析範圍，以及可行的分析方式，雙方交換過去研發的心得與經驗。在零功率運轉安全分析相關計算，主要觀注於電廠爐心燃料瞬間的功率分佈變化，其與功率運轉有顯著不同，因而增加了分析困難度。現行安全分析的範圍已包括功率運轉至安全停機，再由餘熱移除系統接手進行爐心熱移除為止。至於停機大修期間的安全評估是否應納入評估範圍，雙方針對可能浮現的新研究領域以及可行的研究方法進行討論。

在冷卻水流失事故(LOCA)中，大量高能量的爐心冷卻水流出，會對於圍阻體內的壓力與溫度變化產生極大的影響。因此，在圍阻體分析方面，雙方均利用 RELAP 5 程式計算結果當作圍阻體的輸入資料。爐水流失發生的位置以及破口大小，對於分析結果亦有相當顯著的影響，在雙方進行技術上的討論與意見交換後，均認為在圍阻體細分次隔間(Sub-Compartment)的作法有其必要性，不過此舉將會增加原有反應器熱水流的計算負擔，如何在研究資源與計算不準度中取得一個可以接受的平衡點，將是未來研發的重要方向之一。

在日本福島地區核能電廠發生重大事故後，各國研究單位開始注重用過燃料池的評估，會議中雙方也針對評估方法與所需工具進行討論，熱工所提到利用 CFD 程式進行分析的可行性，核能研究所說明多年前引進 CFD 程式 FLUENT，目前已具有紮實的研究經驗，過去曾協助國內進行壓水式反應器爐頂控制棒導管冷卻水流場的相關分析，以

澄清硼酸結晶的疑慮；以及主蒸汽管破裂事故發生後，爐心燃料冷卻水進口溫度場分佈計算。荆員在會中表示，利用 CFD 程式進行用過燃料池相關計算在技術上雖可行，不過分析的困難在於如何選用正確的模式與其適用性。由於用過燃料池並未涵蓋在設計基準事故(DBA)內，故其相關的規範與要求並不明確，這也讓所有與會人員開始討論有關用過燃料池相關法規要求制定的狀況。趙員以過去持續參加國際經濟合作組織(OECD)核能安全相關會議的經驗，說明各果管制單位對於用過燃料池法規要求制定的進度，以往國際間普遍認為用過燃料池的風險低，因此並未以法規要求執行用過燃料池的安全分析與風險評估，美國現有超過一百座運中電廠，相關運轉經驗與數據資料庫豐富，研發資源也相對充足，因此各國除了自行以自己國內現況研擬研究需求與法規要求之外，也持續關注美國核管會的資料蒐集狀況，預期各將透過國際合作，先執行用過燃料池的風險評估，並確認用過燃料池的肇始事件，然後進行細部的安全分析，最後再以風險評估及安全分析的結果，作為研發建議或法規要求的依據。

會議的最後，雙方討論有關燃料自主設計以及爐心燃料佈局的相關議題，國內核能電廠所需的核燃料均透過招標程序向國外採購，由於各競標廠商的燃料成分與濃度可能有些微的不同，導致每次新燃料週期開始前的燃料佈局計算，都具有相當程度的重要性與複雜性，以往國內均由國外廠家進行計算，再由核能研究所進行審查與確認，除了所需費用較高之外，同時也缺乏自主性，在核能研究所逐漸建立自主計算能力後，透過核能級品質保證程序的嚴格把關，現今已有取代國外廠家計算的能力。大陸的狀況則與國內有所不同，由於核能工業規模比國內大上許多，因此大陸具有燃料製造與分析能力，有關燃料佈局的計算則尚未成熟，雙方均認同在核燃料計算與評估領域，各自都有不同程度的研發能力，未來的合作將朝向截長補短的方向進行。

本次國內核能研究所與大陸中廣核集團熱工所的資訊交換會議，為我國與大陸在反應器熱水流分析研發領域首次進行的研發資訊分享會議，討論雖僅止於研究發展方向的意見交換，不過雙方均了解雖然研究方向大致相同，但由於雙方核能工業發展的歷史與規模存有顯著的差異，導致各自均有研發方面的優勢以及待努力的方向，未來無論在分析工具的使用、人才培育、分析經驗的分享均有相當大的合作空間，會議結束時雙方確

認未來仍有進一步研發資訊交流的必要性，也期許未來透過密切的交流，能讓雙方均具有領先國際的研發能力。

會後荆員邀請熱工所以及中心所有研究人員，踴躍參加 2012 年 9 月在高雄舉行的第九屆核能電廠熱水流與運轉安全(NUTHOS-9)國際會議。第一屆 NUTHOS 國際會議於 1984 在台北舉辦，後續幾屆會議由台灣、日本、韓國及大陸輪流舉辦。本次第九屆會議在論文方面由核能研究所負責籌畫，將於 2012 年 9 月 9 日至 13 日在高雄舉辦，熱工所蔣所長表示，這是在日本福島地區發生過後，國際運轉安全相關專家共聚一堂討論的重要場合，已經彙整近期研究成果，並進行參加會議的規劃工作。由於大陸專業人士來台訪問或參加會議，兩岸在申請入台或赴台的程序均相當嚴謹，蔣所長也相當關切參與會議大陸人士訪台的各項申請程序，荆員表示 NUTHOS-9 國際會議的行政部門已經充分了解這個問題，並且已經做好相關準備，待大陸各專家確定有意來台參加會議後，即可起動申請來台的各項程序。

### 2.1.2 訪問中科華技術研究院概率安全與可靠性研究所

中科華核電技術研究院電站運行技術研究中心的主要任務，為解決核能電廠運轉應用技術相關的問題並提供可行的應用技術，該中心負責執行 PRA 相關工作的概率安全與可靠性研究所(以下簡稱 PSA 研究所)，現有約 30 位專職技術人員，具有一階及二階 PRA 模式建立之能力，曾經為大亞灣、嶺澳、紅沿河、寧德、陽江等核能電廠建立 PRA 模式，此外亦為大亞灣及嶺澳核能電廠建立風險監視系統、救援績效指標及風險顯著性評估等風險管理應用工具。

PSA 研究所為了執行大陸大亞灣電廠的地震安全度評估，曾於 2009 年與我國財團法人核能協進會簽訂技術服務合約，同時也委託核能研究所具有核能電廠地震安全度評估經驗的專家，前往 PSA 研究所講授核能電廠安全度評估課程，並協助大亞灣電廠地震安全度評估的審查工作。

本次訪問 PSA 研究所，主要的目的為針對福島地區核能電廠發生重大事故後，兩岸核能管制單位在安全度評估研究上的因應作為，會議由 PSA 研究所陳捷飛所長主持，另

有郭建兵副所長以及其他 3 位研究人員參與。因應我國原子能委員會建議各核能電廠重新檢視地震安全度評估過程的合適性，台電公司已經著手進行核一、二、三廠地震餘裕評估(SMA)工作，目前也開始規劃進行核一、二、三廠地震安全度評估(SPRA)模式更新工作。在大陸方面，核能安全局已經正式要求大陸地區所有運轉中電廠，在 2013 年底前完成地震餘裕評估或地震安全度評估，興建中電廠則必須在燃料裝填前完成。

PSA 研究所負責中廣核集團所屬電廠的安全度評估相關工作，在地震分析方面選用的是較為精細的地震安全度評估，雖然中廣核集團所屬電廠均位於地震發生較不頻繁區域，地震危害相對較低，不過為了未來風險告知應用的需求，建立地震安全度評估仍有其必要性。地震安全度評估分為地震危害分析、設備耐震能力評估以及事故序列分析等三個重要步驟，依據 PSA 研究所表示，事故序列分析技術為該所的專業領域，地震危害評估則由大陸官方協調國家地震局協助，因此這兩個分析步驟現階段並無任何困難，而設備耐震能力評估的專業需求高，分析人員必須同時具備結構、土木以及核能等專業知識，才能作出合理的判斷與計算，現階段大陸地區尚未培養合適的專業團隊，因此分析中所採用的數據為廠家為了取得核能等級認證，在地震平台進行耐震測試的結果。我國在地震安全度評估上也有類似的問題，事故序列分析技術為核能研究所早已建立成熟的專業技術，地震危害評估則由國家地震中心提供，設備耐震能力則因國內沒有評估能力，而多半委由國外專業顧問公司協助進行相關計算。

兩岸未來均規劃建立符合分析標準的地震安全度評估模式，但同樣也遇到設備耐震能力評估自主化或本土化的困難，PSA 研究所現階段採用廠商測試數據的作法，不久之後將因為電廠改用大陸自主技術製造的設備而面臨沒有測試數據可用的窘境，由大陸自行製造的設備，因為沒有需滿足核能等級的要求，因此採購時多半不會要求必須經過地震平台的耐震測試。在經過討論後，趙員及 PSA 研究所的研究人員均認為建立耐震能力評估自主能力相當重要，鑒於兩岸互動逐漸頻繁，未來可思考以兩岸共同建立分析能力的方式進行技術合作，除了可以節省所需資源之外，未來也可以相互支援。

在安全度評估應用方面，國內除了持續進行維護法規的各項應用之外，也陸續完成風險告知運轉期間檢測(RI-ISI)計畫，PSA 研究所則致力於允許停用時間(AOT)放寬以及

運轉規範合理化的相關研究。針對核能研究所完成的 RI-ISI 計畫，PSA 研究所表示已與各電廠開始討論執行 RI-ISI 計畫的各項議題，並將於近期內開始規劃 RI-ISI 計畫的評估時程，未來希望能透過合作的方式，與核能研究所交換研發的心得。

最後在安全度評估模式中的成功準則制定方面，PSA 研究所規劃藉由 RELAP 5 程式進行各項運算，並說明未來執行的初步規劃，荆員在討論中表示，RELAP 5 程式的計算準確度高，非常適用於各項成功準則的制定，不過唯一的缺點是計算時間冗長，趙員則以過去執行龍門電廠安全度評估模式成功準則制定的經驗，提出除了大破口爐水流失事故的分析需要 RELAP 5 的精細計算之外，其他成功準則的制定，可以藉由手算或利用其他具有能量平衡計算能力的簡單熱水流分析程式來計算，除了可以大幅縮短計算所需時間之外，計算結果也能擁有在可接受誤差範圍之內的準確性。

會後荆員也邀請 PSA 研究所研究人員，踴躍參加 2012 年 9 月在高雄舉行的第九屆核能電廠熱水流與運轉安全(NUTHOS-9)國際會議，也向在場的陳所長說明大陸人士來台參加會議的相關手續，希望 PSA 研究所踴躍規劃投稿並派員參加，會議的工作人員已經做好相關準備，待各專家確定有意來台參加會議後，即可起動申請來台的各項程序。

## 2.2 訪問上海交通大學

上海交通大學核科學與工程學院位於上海市南方的閩行校區，下設核反應堆工程、核燃料循環與材料、輻射防護和核技術應用等 3 個科系，以及反應堆物理、反應堆熱工水力、反應堆安全、核電站儀控與仿真、先進反應堆系統、材料與水化學、核燃料循環、輻射防護、核技術等 9 個研究室。核科學與工程學院起源於 1958 年所成立的工程物理系，主要的目標為在自主發展核子武器與核反應器背景下，擔負培育人才與發展技術的重責大任。

本次訪問由梁國興教授所領導的熱水流分析團隊，梁教授過去在業界從事核能電廠爐心熱水流分析相關工作已有多年的經驗，獲聘擔任上海交通大學專職教授後，除了負責教學工作以及指導博碩士研究生進行研究之外，仍然持續過去核能電廠熱水流分析的工作之外，同時也協助該校仿真實驗室相關的研究發展工作。梁教授主要以 RELAP 5

程式進行大破口爐水流失相關的計算工作，用以驗證燃料、爐心及安全系統的設計符合要求，當然大破口爐水流失事故對於圍阻體設計有顯著的影響，這也是梁教授所領導團隊的主要研究工作。

仿真實驗室在我國稱之為模擬器實驗室，該實驗室由包含許多分析介面的核電廠工程模擬機組成，6 大分析介面包括控制保護功能模擬程序、流體網絡程序、人機介面程序、數據分析程序、熱工水力程序、仿真控制台程序，每個程序之間依靠網路系統與數據分享操控軟體進行數據交換，以達成模擬核能電廠主控制室內各項反應狀況的功能。該實驗室建立於 2007 年，主要目的在於建立模擬核能電廠主控制室的實境，包括主控制室的配置以及機組運轉參數變化，該實驗室強調逼真的實境模擬，除了引進需許多先進系統分析軟體之外，也針對所模擬機組的特殊設計發展計算工具，因此整個仿真系統內包含數量龐大的分析軟體群組，各群組的計算結果透過網路分享後，由 RELAP5/MOD3 進行核島區系統以及其他重要系統的熱水流反應計算。其計算速度在穩態時能達到即時反應的要求，但在發生事故的狀態下，由於事故序列計算時間間隔必須大幅縮小，因而有部分狀況無法達到即時反應的要求。總體而言，該實驗室成功結合許多原本單一運作的分析軟體，在硬體設計以及數據分享的軟體操控方面，的確相當的出色，分析人員可以在模擬控制室中隨意操控機組狀態變化，並觀察因應機組狀態變化後的相關反應，對於系統設計、嚴重事故分析、操作程序書建立與修訂等，具有相當大的助益，但也因為計算過程繁複，無法達成所有狀況都能即時反應的另一項需求，使得仿真系統無法作為運轉員操作訓練的工具，雖然是魚與熊掌不可兼得的艱困決定，但即時反應的問題在未來仍可能因為計算工具以及平行計算技術的升級而獲得解決。

核能研究所過去曾協助台電公司建立適用於運轉員訓練的模擬器系統，由於系統建置的主要目的為運轉員操作訓練，因此必須達到穩態計算與事故分析均能即時反應，因此相關參數的計算技術與上海交通大學所發展的技術完全不同，有關參數的傳遞方式也有很大的差異，透過現場的技術分享與討論，雙方均留下深刻的印象。核能電廠模擬器為運轉員訓練的重要設備，隨著資訊科技不斷創新以及電腦運算能力以倍數的快速成長，模擬器的相關技術的確在短時間內就會有很大的變化，不管是計算平台的建置以及

軟硬體設施的相互支援，設計時都應考慮未來大幅更新的潛在需求，以使模擬器能與時俱進，符合運轉員訓練的各項需求。

超臨界水綜合試驗迴路為大陸國家重點基礎研究發展計畫“超臨界水堆關鍵科學問題的基礎研究”的一個實驗迴路，整個計畫由上海交通大學為首，參與的單位包括清華大學、華北電力大學、北京科技大學、上海核工程研究設計院、中國核動力研究設計院、中國原子能科學研究院、中科華核電技術研究院。整個計畫分為材料分析、中子物理及流動熱傳等三大領域，而超臨界水綜合試驗迴路則是了解超臨界水熱傳現象及蒐集實驗數據的一個實驗設施，由該校核科學與工程學院程旭院長統籌規劃，由顧漢洋教授負責建置、測試、實驗及維護等相關工作。這個超高壓實驗環路的運作壓力為 12~30Mpa、出口溫度 550°C，執行實驗期間的耗費功率為 1000kW，實驗所得的量測數據除了支援發展超臨界水熱傳理論之建立外，同時也作為流場分析應用軟體之校正依據。

### 2.3 訪問中國核電工程有限公司

核工業第二研究設計院(簡稱核二院)隸屬於中國核工業集團之中國核電工程有限公司，主要從事核能電廠及一般民用工程設計、諮詢、工程總承包及工程監理等工作。該集團成立於 2006 年 7 月，主要由原有的核工業第二、第四及第五研究設計院合併而成，集團內簡稱這三個研究設計院為核二院、核四院及核五院。核二院主要從事核子工程相關的設計研發工作，核四院主要從事鈾礦開採及燃料相關研發工作，核五院則從事一般工程相關設計工作。目前中國核工業集團約有 5,000 名員工，其中有 4,000 名為工程師，平均年齡約為 34 歲，工程師中有 21% 具有研究所以上的學位，大學畢業則為 64%。

中國核工業集團目前的主要研發工作為 K1000 及 CNP1000 反應器及研究用反應器的設計、核化工、核燃料設計、儀控系統安全審查、法規與標準規範之建立、鈷 60 運輸容器設計等，相關研發過程亦積極與英國、加拿大、日本、韓國、德國、法國以及國際原子能總署合作。在核能電廠建廠方面則已經具備選址、設計及採購相關能力，未來在完成硬體建設與設備安裝等能力建立之後，則可具備完整的核能電廠建廠能力。

本次訪問與核二院從事核能電廠地震安全度評估分析之相關人員討論研發狀況以

及未來技術交流的可行性，核二院共有 13 位參與地震安全分析的工程師參加，其中包括項目管理部霍建明副主任以及總體所趙博所長。首先由核能研究所趙員介紹我國核能電廠地震安全度評估的現況以及未來工作的方向，隨後由安全度評估總負責人孫鳳女士介紹該團隊在安全度評估的工作現況。

核二院的安全評估團隊現有 26 位專職研究人員，因應計畫執行的需要，陸續有該公司其他專長人員支援包括熱水流分析、圍阻體計算等細部分析工作，該團隊的主要工作為發展安全度評估模式以及建立嚴重事故處理指引，同時也進行緊急計畫的相關評估工作，現階段已具有發展與維護一階安全度評估模式以及早期輻射大量外釋頻率之計算，目前正進行二階以及廠外事件安全度評估模式發展的工作。在安全度評估的應用方面，主要為設備老化評估、大修排程優化、風險監視系統建立等一般性研究工作，此外也協助集團所屬核能電廠建立管制相關工具，包括風險顯著性評估以及支援系統功能指標等。在嚴重事故的研究方面，主要運用 MELCORE 及 MAAP 兩個程式進行相關計算。綜觀該團隊的研究狀況，其研發方向於我國核研所的風險評估團隊大致相同，不過核二院因集團所屬的核能電廠主要為法國設計的系統，因此在適用法規方面多半依循國際原子能總署所建立的導則，國內則因核能電廠均為美國設計，因此在進行研究時完全參考美國核管會所發佈的各項研發成果與建議。

在雙方完成介紹後，開始進行研發相關的討論工作，主要討論的議題包括：

- 地震餘裕分析與地震安全度評估的合適性
- 廠外事件篩濾分析的執行建議
- 用過燃料池安全評估的可行性
- 嚴重事故指引導則的相關計算過程
- 熱水流分析所使用的工具
- 核能電廠設備耐震能力評估
- 地震餘裕分析中有關審查級地震之選取
- 地震安全度評估的現場巡查需求
- 風險顯著性評估方法

- 風險監視系統的功能與執行現況

在地震分析方面，核二院希望以執行地震餘裕分析方式，滿足大陸核安管制單位的要求，雖然引進幾位具有結構分析專長的研究人員進行設備耐震能力評估，不過也深刻體認到評估過程所需的專業能力出超乎原有的想像，要符合美國機械工程師學會所發展的標準有其困難度，由於大陸也沒有從事核能電廠設備耐震能力評估的經驗與能力，因此希望能藉由國際合作來建立相關技術能力。

會後荊員也邀請核二院以及集團所有研究人員，踴躍參加 2012 年 9 月在高雄舉行的 NUTHOS-9 國際會議，也說明 NUTHOS-9 國際會議的行政部門已經，並且已經做好相關準備，將盡力協助進行大陸專業人士來台參與會議所需的各項程序。

## 2.4 訪問加拿大聯合顧問公司北京分公司

核能研究所曾於 2009 年 4 月與加拿大聯合顧問有限公司簽訂「提供全球核電廠風險評價及可靠性等市場情資與推廣」相互委託通案性合約，就全球核電廠風險評價及可靠性等市場情資與推廣相互委託，本次訪問該公司北京分公司，與該公司總經理吳曉珞小姐討論未來相互合作之方向。

加拿大聯合顧問有限公司北京分公司目前正積極與大陸核能相關機構洽談核能安全研發工作之技術合作，部分技術合作案可能必須透過第三方技術交流，引進核能研究所已開發成熟的安全分析技術或委託核能研究所專家進行諮詢及審查等工作。

此外加拿大聯合顧問有限公司與大陸的中國石油化工集團公司，於 2011 年 10 月簽訂有關政治風險與民眾溝通的研究計畫，該計畫主要因應中國石油化工集團在非洲地區的石油探勘與開採過程中，經常遭遇非技術相關的政治干擾與民眾抗爭，導致相關工作無法依時程完成，對於該公司的經濟損失影響極大，因此加拿大聯合顧問有限公司規劃運用核能電廠已發展成熟的風險告知相關技術，提供當地政府與民眾各項工程的風險來源，並依據不同的風險狀況與當地政府規劃計畫執行方式，同時也給與當地民眾合理的補助，這個方式已初步獲得當地政府的支持，也期望能藉由系統化的風險評估方式，協助當地政府創造就業機會與增進經濟繁榮，當然中國石油化工集團也希望能透過先期的

風險研究做爲是否投資開發的重要依據。吳總經理也提到該公司正在進行文化因素在大型跨國合作計畫中所扮演角色的相關研究，大陸幾個跨足海外事業的集團都對研究的內容與成果表示相當的興趣，未來加拿大聯合顧問有限公司除了將與中國石油化工集團持續合作之外，也希望能協助國際間各個跨國集團公司，以融入當地文化的方式，進行各項開發與合作計畫，無論對於集團本身或是當地政府與民眾，都會有正面的幫助。

由於核能研究所亦具有石化業相關設施的風險評估能力，吳總經理亦期望能藉由核能研究所的研發經驗，與大陸石化業者合作進行鑽油平台與液化天然氣廠相關設施之風險評估，除了可以藉由評估結果了解風險來源並保障工作人員與民眾安全之外，還可以藉由相關改善降低風險後，透過與保險業者協調後可望降低營運相關保險費用，對於業者節省營運成本亦有相當的助益。

### 三、心得

此次國外公差訪問中科華技術研究院、上海交通大學、中國核電工程有限公司及加拿大聯合顧問有限公司之心得分述如下：

1. 在日本福島地區核能電廠發生嚴重事故後，各國均針對喪失廠外電源、地震、海嘯以及各種可能發生的複合式災害進行細部研究工作，尤其在嚴重事故相關分析上，更是投注數倍於以往的研究資源，以期能及時改進核能電廠軟硬體設計，確保運轉中核能電廠的安全。本次公差訪問大陸深圳、上海及北京等核能相關單位後，深刻體認積極拓展核能發電的大陸，官方與業者也投注龐大的人力於嚴重事故的分析上，兩岸共同推廣核安文化的努力，對於兩岸民眾都有正面的助益。
2. 中科華核電技術研究院反應堆工程研究中心，負責集團所屬核能電廠有關爐心燃料以及熱水流分析工作，現行各項研究工作偏重於新建核能電廠的設計驗證，以及運轉中核能電廠爐心燃料設計變更相關的熱限值評估工作。核能研究所的核能電廠熱水流分析工作，近年來則集中於自主化安全分析能力的建立以提升機組功率。兩岸在核能電廠熱水流分析上，雖然研究的方向不同，不過所使用的工具與分析方法則大致相同，各自所累積分析經驗均相當寶貴，未來應積極推動更廣泛的技術交流與研究經驗分享，以期能充分運用有限的研究資源，共同促進經濟發展與保障核能安全。
3. 大陸官方的核能管制單位，要求各運轉中電廠在 2013 年前完成地震安全分析，並在地震安全餘裕分析以及地震安全度評估兩項分析方法中，擇一完成個廠的分析工作，興建中的核能電廠也必須再燃料裝填之前完成地震安全分析。本次訪問的中科華技術研究院以及中國核電工程有限公司的安全度評估團隊，均認同現階段執行地震安全分析的重要性，不過無論是地震安全餘裕分析或是地震安全度評估，均需進行核能電廠設備耐震能力評估工作，兩岸對於核能電廠設備耐震能力評估技術均尚未發展成熟，主要原因在於評估工作必須同時結合地震、結構以及核能機組運轉等各種專業知識，才能得到具有高度信心的評估結

果，未來兩岸應共同建立成熟的核能電廠耐震能力評估技術，以期能自主完成符合標準的地震分析模式。

4. 大陸許多核能相關研究單位，數十年來在國家有關核能研究的任務需求變動下，不斷的進行小單位組織獨立以及合併，以期能滿足倍數擴張的龐大研發需求，即便是學校所屬的研究單位，也在國家政策支持下，負責執行一般專業研究單位才有資源進行的大型專案研究計畫，一般研發單位從國家所屬機構轉型為企業化經營後，多數也都有相當不錯的研發績效。核能研究所為國內唯一的大型核能相關研發機構，近年來政府積極進行組織再造，期望核能研究所能以全新的面貌繼續支援國家能源政策的推動。
5. 我國各核能相關單位將於 2012 年於高雄舉辦第九屆核能電廠熱水流與運轉安全國際會議，本次公差也同時邀請大陸各核能相關研究單位共同參與，不過兩岸對於大陸專業人士來台訪問的審查程序相當嚴格，為能讓有意參與的大陸人士也能順利來台共同參與會議的各項討論，主辦單位應積極了解兩岸專業人士互訪的相關規定，儘早進行邀請及申請審核相關作業，以使這次的國際會議能發揮功能並達成促進國際研發成果交流的目的。
6. 大陸近期積極增建核能機組，對於運轉安全也相當重視，這使得各種安全分析的需求大幅增加，由於大陸各研究單位現階段在安全分析技術建立及人才培訓各方面，呈現供不應求的狀況，因此尋求國際間技術合作的案例相當多。核能研究所從事核能安全相關研究已經有非常厚實的基礎，而大陸在機組設計與建造則有豐富的經驗，在兩岸關係逐漸緩和的今天，應重視核能安全無國界的既存事實，積極與大陸相關研究單位建立合作關係，透過技術合作的方式分享兩岸在核能方面的相關經驗，共創兩岸雙贏的新契機。

## 四、建議事項

### 1. 拓展兩岸核能技術交流

能源需求成長快速的大陸，近年來積極增建核能機組，同時也致力於核能相關技術的發展，在機組設計、建造與設備安裝方面，擁有相當豐富的經驗，在相關人才培訓方面也獲致相當好的成果。台灣比大陸早 20 年發展核能，因此對於機組運轉及核能安全相關分析技術皆有厚實的經驗。現階段兩岸在核能技術方面各自擁有不同的長處及待加強之處，日本福島地區核能電廠發生重大事故後，所因應而生的研究資源需求龐大，透過持續性的技術交流與合作，將有助於兩岸核能相關研發人員擴展研發範圍，有效保障核能安全。

### 2. 持續關注國際間地震相關研究成果

日本福島地區核能電廠發生重大事故後，各核能發電廠在核能管制單位的要求下積極進行地震風險分析相關工作，我國與日本均處於地震活動比大陸頻繁的地帶，對於核能電廠的耐震能力均有相當嚴格的要求，但由於現行地震相關分析技術的不準度較大，因此國際間不斷提出最新地震相關的研發技術，建議國內各地震相關研究單位，持續透過參與國際間地震相關研討會，蒐集最新的地震研究方法與成果，以作為規劃未來研發計畫的參考。

### 3. 加強核能相關研發人才之培育

本次公差在中科華核電技術研究院、上海交通大學及中國核電工程有限公司的討論過程中，對於大陸核能研發人員的年輕程度留下相當深刻的印象。在過去 20 年核能不景氣的狀況下，世界各國都有核能研究人員老化的現象，近年來由於國際間減少二氧化碳排放的沉重壓力，各國均重拾核能科技，但也同時必須面對人才斷層的問題。類似的問題均有可能發生各種研究領域，國內各研究單位應立即重視研究人員老化的現象，在制度面作長遠的思考，重視經驗傳承及持續新生代研究人員的培育工作，先期預防人員老化問題的發生，以期使研究工作能不斷的向前邁進。

## 五、參考資料

1. 中科華核電技術研究院反應堆工程研究中心簡介簡報資料(存核能研究所核子工程組)。
2. 中國核電工程有限公司簡介(存核能研究所核子工程組)。