

出國報告（出國類別：洽公）

赴中國核工業集團公司
交流運轉經驗與核安文化

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：徐懷瓊 副總經理

梁天瑞 核能發電處組長

派赴國家：中國大陸

出國期間：99年7月4日 - 99年7月7日

報告日期：99年7月28日




99-5065-9

出國報告審核表

出國報告名稱：赴中國核工業集團公司交流運轉經驗與核安文化		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
徐懷瓊 等 2 人	副總經理	台灣電力公司
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>洽公</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間： 99年07月04日至99年07月07日		報告繳交日期：99年07月28日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <u>中核集團之「安全文化推動策略」值得本公司參考</u> <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

說明：

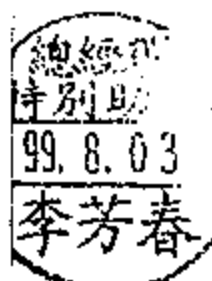
- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。


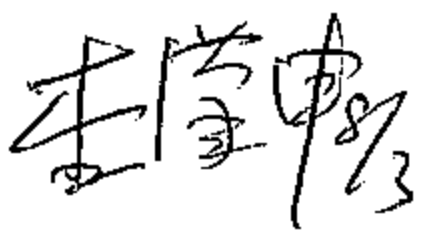
報告人		審核人		單位 主管處 主管	總經理 副總經理 <u>徐懷瓊 8/2</u>
					

出國報告審核表

出國報告名稱：赴中國核工業集團公司交流運轉經驗與核安文化		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
徐懷瓊 等 2 人	副總經理	台灣電力公司
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>洽公</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間： 99年07月04日至99年07月07日		報告繳交日期：99年07月28日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input checked="" type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	


 99.8.03
 徐豪傑


 說明：
 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位主管	主管處 主 管	總經理  副總經理
-----	---	-----	------	------------	---

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

赴中國核工業集團公司交流運轉經驗與核安文化

頁數 21 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

徐懷瓊/台灣電力公司/副總經理/23666251

梁天瑞/台灣電力公司/核能發電處/保健物理組長/23667074

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他（洽公）

出國期間：99/07/04 - 99/07/07

出國地區：中國大陸

報告日期：99/07/28

分類號/目

關鍵詞：運轉經驗，核安文化

內容摘要：(二百至三百字)

中國核工業集團公司於 99 年 6 月 10 日來函，邀請徐副總經理赴該公司就核電機組運營與核安文化推動經驗等交換意見。

核能安全無國界。鑒於近年大陸核能工業發展蓬勃、擴張迅速，對於核能電廠長期營運品質與核能安全之影響尚待瞭解。因此共同攜手提昇電廠安全與營運績效，實為兩岸核能業界互利互惠的合作目標，亦為此行最重要目的。

台灣與大陸核能發展方向不同，各有優點：台灣方面核能電廠營運品質穩定，績效屢受國際肯定；大陸方面核能工業基礎深厚，重機設備製造與建廠經驗豐富。若兩岸核能業界能深入交流合作，共同確保核能安全與提升營運績效，將是互利雙贏局面。

以往兩岸核能技術設備多依賴境外輸入，限於語言、地域及政治文化不同，於時程、成本、風險等方面均大幅增加；若兩岸核能電廠能針對成熟技術、設備項目進行交流合作，對於提昇核能營運績效與降低成本效益上應甚可觀。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

赴中國核工業集團公司交流運轉經驗 與核安文化出國報告

目次

行政院及所屬各機關出國報告提要	1
目次	2
圖目次	3
一、行程	4
二、交流報告	4
2.1. 中國核工業集團公司簡介	4
2.2. 中國大陸核能發電趨勢	6
2.3. 中國大陸未來核能發展策略	13
2.4. 中核集團安全文化制度	16
三、參訪心得與建議	20

圖目次

圖 1	中國大陸核電開發計畫與電廠位置	11
圖 2	中國首座大型核融合實驗設備 HL-2A	15
圖 3	中核集團企業文化內涵	18
圖 4	台電公司徐副總經理與中核集團餘副總經理留影	21

赴中國核工業集團公司交流運轉經驗

與核安文化出國報告

一、行程

7月4日：離台北抵北京

7月5-6日：赴中國核工業集團公司訪問，會見餘副總經理等人，交流兩岸核能營運與安文化推動之經驗與展望

7月7日：離北京返台北

二、交流報告

2.1. 中國核工業集團公司簡介

2.1.1. 歷史沿革

中國核工業集團公司 (China National Nuclear Corporation, CNNC) 前身為中國大陸為發展核武與相關軍工產業所成立的「第三機械部」(1956年11月)，以宋任窮為首任部長，名義雖屬國務院，但實際由中央軍事委員會管理。1958年2月，第三機械部改名為「第二機械部」，直至1982年4月始更名為「核工業部」。

1988年8月，「核工業部」正式由極神秘的核武軍工產業部門轉型為發展軍、民核能科技的「中國核工業總公司」，簡稱為「中核總」，由蔣心雄擔任首任總經理。該公司除傳統發展核武軍事工業外，也跨入民用核能科技，從事核能發電等原子能和平用途科技的開發。

1999年4月，國務院核准將中國核工業總公司改組為企業集團，而中國核工業總公司也分割為中國核工業集團公司（以下簡稱：中核集團）與中國核工業建設集團公司 (China Nuclear Engineering & Construction Corp, CNECC)，分別由李定凡與穆占英擔任首任總經理。

目前中核集團為國務院國有資產監督管理委員會管轄的第一位中央企業（央企），雖屬國營企業，但組織與管理均具有極大自主彈性。集團旗下有 100 多家企事業單位和研究院，現有員工約 10 萬人，其中專業技術人才約 5 萬人，陣容有中國科學院、工程院院士 20 位，現任總經理孫勤，於 2009 年 8 月接任。本次參訪與該公司餘劍鋒副總、陳樺特助（兼中核核電公司總經理）等高階經理人晤談。

2.1.2. 公司現況

中國核工業集團公司是中國核能科技工業主體，擁有完整的核能科技工業體系，營業範圍涵蓋核子軍工、核能發電、核燃料循環、核能技術應用、核能環保工程等領域的研究開發、建設和生產經營，及對外經濟合作和進出口業務，是目前中國最大的核能發電廠投資方與業主，也是核電技術開發主體、最重要的核電設計及工程總承包商、核電廠營運技術服務商和核電廠技術出口商、大陸核燃料循環專營供應商、核環保工程專業力量和核技術應用骨幹。

中國核工業集團公司具有完整的核燃料循環工業體系與核電廠建設、營運能力，可謂獨步全球。集團分支單位遍及全國，主要包括：

1. 技術開發與研究設計：中國原子能科學研究院（北京，基礎科技主要研發單位）、核工業第二研究設計院（北京，主要工業設計單位）、中國核動力研究設計院（四川宜賓，主要研發單位）、核工業理化工程研究院（天津）、核工業第八研究所（上海，專責開發離心濃縮技術）、核工業西南物理研究院（四川成都，負責核融合技術研究開發）…等。其中上海核工程設計研究院亦為核反應器主要設計單位，2005 年改隸國核公司。
2. 核燃料循環：中國核工業地質局（北京）、中核北方鈾業有限公司（北京）、中核國際有限公司（負責海外鈾資源開發）、中核四〇四總公司（甘肅蘭州，主要鈾濃縮廠與用過核燃料再處理廠）、中核蘭州鈾濃縮廠（甘肅蘭州，主要鈾濃縮廠）、中核陝西鈾濃縮公司（西安，主要鈾濃縮廠）、中核北方核燃料元件公司（內蒙古包頭，核燃料主要製造廠）與中國核工業建中燃料元件公司（四川宜賓，核燃料主要製造廠）。
3. 核電營運與技術服務：中國核電工程公司（北京）、中核核電有限公司（北京，負責各核電廠營運服務）、中核遼寧核電有限公司（負責遼寧徐大堡核電站建廠，持股比例 50%）、秦山核電公司（秦山核電站業主）、核電秦山聯營有

限公司（負責秦山核電站營運）、秦山第三核電有限公司、三門核電有限公司（浙江三門核電站業主，持股比例 50%）、江蘇核電有限公司（田灣核電站業主，持股比例 50%）、福建福清核電有限公司（福清核電站業主，持股比例 51%）、海南核電有限公司（海南昌江核電站業主，持股比例 50%）。

4. 核工業支援與生產：中核清原環境技術工程有限公司（北京，負責低放射性廢棄物處理處置）、中國核儀器設備總公司（北京，核儀與儀控技術發展）、中國輻射防護研究院（山西太原，輻射防護與保健物理技術）。

事實上中核集團擁有每座營運中核電廠相當大部分的股權：如秦山一期核電站 100%、秦山 2 期核電站 50%、秦山 3 期核電站 51%、田灣核電站 50%；即使屬於中國廣東核電集團（China Guangdong Nuclear Power Holding Co., CGNC）旗下的大亞灣核電站與嶺澳核電站也各佔有 45% 股權。隨著這些機組營運績效漸入佳境，該集團來自電廠營運的獲利也迅速增長。今年 5 月，中核集團成立「中核核電有限公司」，負責所有電廠營運管理，類似俄羅斯的俄羅斯國營原子能電力公司（Russian State Concern for the Production of Electrical and Thermal Energy at Nuclear Power Plants, Rosenergoatom），由陳樺擔任總經理。

2.2. 中國大陸核能發電趨勢

2.2.1. 中國大陸核電規模

中國目前有 11 座營運中（operable）核能機組，總淨裝置容量 8,587 MWe，包括：大亞灣-1、2 號機（944 MWe×2）、秦山一期（279 MWe×1）、秦山二期-1、2 號機（610 MWe×2）、嶺澳一期-1、2 號機（935 MWe×2）、秦山三期-1、2 號機（665 MWe×2）、田灣-1、2 號機（950 MWe）。2009 年核能發電量 657 億度，發電量佔比為 1.9%。目前另有 25 座興建中（under construction）機組，總淨容量 25,501 MWe；計劃中（planned）機組 33 座，容量 36,910 MWe；規劃中（proposed）機組約 120 座，容量約 120,000 MWe。是目前世界核能建設規模最大、最活躍地區。大陸地區營運與興建中的核電機組統計如表 1、表 2 與圖 1。

近年中國大陸經濟發展迅速，帶動電力需求以高達 6% 左右的年複合成長率快速增加。但是中國大陸電力供應極度依賴火力發電，導致大陸在全球減碳潮流中面對強大壓力。2007 年 6 月，國務院國家發展與改革委員會（National Developmental and Reform Commission, NDRC）公佈《中國應對氣候變化國家方案，*China's Climate Change Strategy*》

中，將核能納為對抗氣候變遷的重要策略之一。為此，發改委隨後發表《核電中長期發展規劃，2005-2020年》，規劃2020年核電容量達到40 GWe、另有18 GWe興建中，核能供電比例為4%的目標。但2009年4月，國家能源局(National Energy Administration, NEA)計畫上調前述目標，將2020年發電容量規模擴大為75 GWe，另有30 GWe興建中機組，核能供電比例調高至8%目標。能源局還計劃在2030年達成發電容量120 GWe至160 GWe的目標，屆時中國將成為世界第一核能大國。

2.2.2. 中國大陸核電技術發展

中國大陸於1970年代末期開始發展核能發電技術，數十年來堅持「兩條腿走路」發展策略 – 即一面以引進國外先進技術為輔，一面則以發展獨立自主技術為主。在決定引進法國Framatome核能科技興建大亞灣核電站同時，也在秦山開始發展第一代自行研發的CNP-300型機組(秦山一期)，儘管後者設計水準遠不及前者，卻是中國大陸發展民用核能科技的濫觴；而秦山電廠也成為大陸核能發電人才培育的搖籃。CNP-300型機組也外銷至巴基斯坦Chasma核電廠第1、2號機。中核集團隨後在CNP-300基礎上，開發2迴路放大版-CNP-600，並在秦山二期-1-4號機與海南昌江電廠-1、2號機採用。

1990年代初期，中國大陸開始開發第二代自主設計的百萬瓦壓水式機組。其中最主要的是以中核集團為主的CNP-1000型機組(中國百萬千瓦級核電站)及以中國廣東核電集團公司(以下簡稱：廣核集團)為主的CPR-1000型機組(中國改進型壓水堆)。

中核集團的CNP-1000型機組以CNP-600為基礎，技術層次屬於國際2.5代。系統增設為3迴路，燃耗度(burnup)也增加到55 GWd/tU，更比法國原設計增加20束燃料(177束)，燃料週期也延長為18個月，額定容量為1,100 MWe，可用率提高為87%，壓力容器設計壽命為60年，建廠成本可降低至1,300美元/kW。但因大陸政策性決定引進AP-1000型機組，CNP-1000又尚未通過國家核安全局設計認證，前途並不明朗。最近中核集團重新推出CNP-1000改良型，稱為CP-1000，可望於明年通過核安全局的認證。

另一方面，廣核集團的CPR-1000型機組發展得相當順利。CPR-1000型反應器是廣核集團吸取大亞灣與嶺澳核電站的法式技術後自行研發的第2.5代PWR。以法國Areva技術為根基，參考大亞灣的M-320與嶺澳一期技術。壓力容器設計壽命為60年，可用率超過87%，電廠熱效率為36%，採全數位化控制系統，額定容量為1,080 MWe，自製

表 1 中國大陸地區營運中核電機組統計

編號	機組	位置	反應器種類	反應器型號	淨發電容量 (MWe)	建廠日期	商轉日期	主要投資者
1	大亞灣-1 號機	廣東省	PWR	M320	944	1987/08	1994/02	廣核集團
2	大亞灣-2 號機	廣東省	PWR	M320	944	1987/08	1994/05	廣核集團
3	秦山一期	浙江省	PWR	CNP-300	279	1985/03	1994/04	中核集團
4	秦山二期-1 號機	浙江省	PWR	CNP-600	610	1996/06	2002/04	中核集團
5	秦山二期-2 號機	浙江省	PWR	CNP-600	610	1997/03	2004/05	中核集團
6	嶺澳一期-1 號機	廣東省	PWR		935	1997/05	2002/05	廣核集團
7	嶺澳一期-2 號機	廣東省	PWR		935	1997/05	2003/01	廣核集團
8	秦山三期-1 號機	浙江省	PHWR	CANDU-6	665	1998/06	2002/05	中核集團
9	秦山三期-2 號機	浙江省	PHWR	CANDU-6	665		2003/07	中核集團
10	田灣一期-1 號機	江蘇省	PWR	VVER-428	1,000	1999/10	2007/05	中核集團
11	田灣一期-2 號機	江蘇省	PWR	VVER-428	1,000	2000/09	2007/08	中核集團

表 2 中國大陸地區興建中核電機組統計-1

編號	機組	位置	反應器 種類	反應器型號	淨發電容量 (MWe)	建廠日期	商轉日期	主要投資者
1	嶺澳二期-1 號機	廣東省	PWR	CPR-1000	1,037	2005/12	2010/10	廣核集團
2	嶺澳二期-2 號機	廣東省	PWR	CPR-1000	1,037	2006/05	2011	廣核集團
3	秦山二期-3 號機	浙江省	PWR	CNP-600	610	2006/04	2011	中核集團
4	秦山二期-4 號機	浙江省	PWR	CNP-600	610	2007/01	2012	中核集團
5	紅沿河-1 號機	遼寧省	PWR	CPR-1000	1,037	2007/08	2011	廣核集團
6	寧德-1 號機	福建省	PWR	CPR-1000	1,037	2008/02	2012	廣核集團
7	紅沿河-2 號機	遼寧省	PWR	CPR-1000	1,037	2008/04	2013	廣核集團
8	寧德-2 號機	福建省	PWR	CPR-1000	1,037	2008/11	2014	廣核集團
9	福清-1 號機	福建省	PWR	CPR-1000	1,037	2008/11	2014	中核集團
10	陽江-1 號機	廣東省	PWR	CPR-1000	1,037	2008/12	2014	廣核集團
11	陽江-2 號機	廣東省	PWR	CPR-1000	1,037	2009/08	2015	廣核集團
12	紅沿河-3 號機	遼寧省	PWR	CPR-1000	1,037	2009/03	2014	廣核集團
13	三門-1 號機	浙江省	PWR	AP-1000	1,154	2009/03	2013	中核集團

表 2 中國大陸地區興建中核電機組統計-2

編號	機組	位置	反應器 種類	反應器型號	淨發電容量 (MWe)	建廠日期	商轉日期	主要投資者
14	石島灣-1 號機	山東省	HTR	HTR-PM	200	2010/03	2013	華能集團
15	方家山-1 號機	浙江省	PWR	CPR-1000	1,037	2008/12	2013	中核集團
16	福清-2 號機	福建省	PWR	CPR-1000	1,037	2009/09	2014	中核集團
17	海陽-1 號機	山東省	PWR	AP-1000	1,154	2009/09	2014	中電投資
18	台山-1 號機	廣東省	PWR	EPR	1,650	2009/09	2013	廣核集團
19	三門-2 號機	浙江省	PWR	AP-1000	1,154	2009/12	2014	中核集團
20	台山-2 號機	廣東省	PWR	EPR	1,650	2010/04	2015	廣核集團
21	紅沿河-4 號機	遼寧省	PWR	CPR-1000	1,037	2009/08	2014	廣核集團
22	海陽-2 號機	山東省	PWR	AP-1000	1,154	2010/06	2015	中電投資
23	方家山-2 號機	浙江省	PWR	CPR-1000	1,037	2009/07	2014	中核集團
24	寧德-3 號機	福建省	PWR	CPR-1000	1,037	2010/01	2014	廣核集團
25	昌江-1 號機	海南省	PWR	CNP-600	610	2010/04	2015	廣核集團

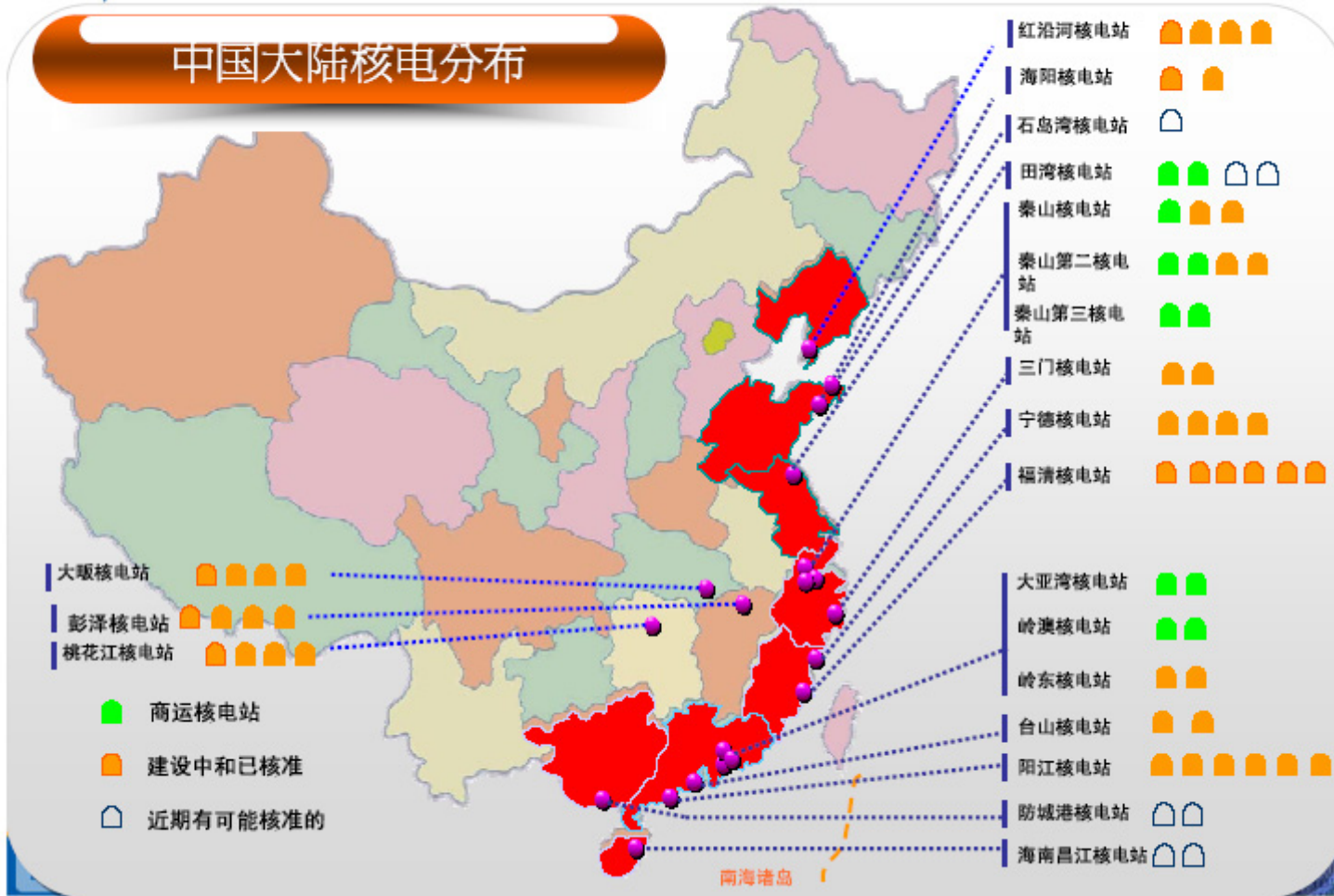


圖 1 中國大陸核電開發計畫與電廠位置

率已超過 90%，據稱建廠成本也在 1,300 美元/kW 以下。

目前興建中或確定採用 CPR-1000 的機組，包括：廣東嶺澳核電站二期工程 1、2 號機（2010 與 2011 年商轉）、遼寧紅沿河核電站 1-4 號機（2011、2012、2013 與 2014 年商轉）、福建寧德核電站 1-4 號機（2012、2013、2014 與 2015 年商轉）、福建福清核電站 1、2 號機（2013 與 2014 年商轉）、廣東陽江核電站 1-4 號機（2013、2014、2015 與 2016 年商轉）、浙江方家山核電站 1、2 號機（2013 與 2014 年商轉）、廣西防城港核電站 1-2 號機（2014 與 2015 年商轉）、福建福清核電站 3-6 號機（預計 2010 年動工）、山東紅石頂核電站 1-2 號機（2015、2016 年商轉）與福建寧德核電站 5、6 號機等共 28 座。

計畫採用 CPR-1000 型機組的電廠約有 16 座，包括：江蘇連雲核電站 1、2 號機；廣東天威（Tianwei）核電站 1、2 號機；遼寧紅沿河核電站 5、6 號機；廣東陽江核電站 5、6 號機；河南信陽核電站 1-4 號機與廣西防城港核電站 3-6 號機等，總數共 42 座。

除自力開發之外，政策中另一條腿就是引進國際先進核電技術。中國於 2006 年底確定引進西屋設計的 AP-1000 型第三代壓水式機組。2007 年 2 月，西屋公司與中國核工業集團公司（China National Nuclear Co, CNNC）及中國國家核電技術公司（China's State Nuclear Power Technology Co, SNPTC，以下簡稱：國核公司）簽署合作框架協議，選定 AP-1000 機組為技術基礎，並至少供應給浙江三門核電站與廣東陽江核電站各 2 部機組，前者將該型反應器技術轉移予中方，合約總價超過 80 億美元。簽訂首批 4 部機組採購合約，將標準化設計技術轉移予國核公司，未來新建機組將優先選用 AP-1000。

目前興建中或確定採用 AP-1000 型機組，包括：浙江三門 1、2 號機（2013、2014 年商轉）與山東海陽 1、2 號機（2014、2015 年商轉）、湖南桃花江核電站 1-4 號機、湖北咸寧核電站 1-4 號機、江西彭澤核電站 1-4 號機、湖南小墨山（Xiaomoshan）（又稱九龍山 Jiulongshan）核電站 1、2 號機、安徽蕪湖（Wuhu）核電站 1、2 號機、山東海陽核電站 3、4 號機等 22 座。

計畫採用 AR-1000 型機組電廠約有 46 座，包括：浙江龍游（Longyou）核電站 1-6 號機、福建漳州（Zhangzhou）核電站 1、2 號機、海陽 5、6 號機、湖南小墨山核電站 3-6 號機、廣東汕頭（Shaoguan）核電站 1-4 號機、浙江三門核電站 3-6 號機、重慶涪陵（Fuling）核電站 1-4 號機、吉林景谷（Jinggu）核電站 1-4 號機、安徽蕪湖核電站 3-6 號機、廣西平南（Pingnan）核電站 1-4 號機、遼寧恆仁（Hengren）核電站 1-4 號機、湖南湘潭（Xiangtan）核電站 1-4 號機等，全部共 68 座。

2.3. 中國大陸未來核能發展策略

中國核電技術發展的路線圖 (roadmap)，大致分為 3 階段：

1. 近程 (2005-2020 年) 目標：引進具備被動式安全特性 (passive safety features) 的第三代先進壓水式反應器，經過技術消化後，發展大型機組 (單機容量 1,400 - 1,700 MWe)。
2. 中程 (2020-2050 年) 目標：自俄羅斯與法國分別引進快滋生反應與封閉燃料循環技術，達成核能自主目標。
3. 長程 (2050 年之後) 目標：與世界先進國家同步發展核融合技術。

2007 年 6 月，發改委公佈的《中國應對氣候變化國家方案，*China's Climate Change Strategy*》正式將「研究並掌握快堆設計及核心技術，相關核燃料和結構材料技術，突破鈉迴圈等關鍵技術，積極參與國際熱核聚變實驗反應堆 (即「國際核融合實驗反應器 (International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER)」) 的建設和研究。」列為大陸核能發展的中、長程目標。

2.3.1. 近程目標：以 AP-1000 為基礎發展大型機組

國核公司引進 AP-1000 型先進壓水式核電機組後，也逐步將消化技術並計畫興建更大型機組。2010 年，國核公司與上海核工程研究設計院 (Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute, SNERDI) 共同設計更大型的 CAP-1400 型中國先進壓水式反應器機組，容量達 1,400 MWe，並在山東省威海榮成石島灣核電站，興建首座示範廠。該機組仍採模組化設計以縮短建廠工期。這座示範機組預計從 2013 年 4 月動工興建，2017 年底商轉。更大型容量 1,700 MWe 的 CAP-1700 機組設計工作也已展開。

國核公司與中國華能集團公司 (China Huaneng Group, CHG) 以 55% 和 45% 比例投資 3 億人民幣，成立國核示範電站有限責任公司，由前者負責 CAP-1400 機組建設管理與營運。

2.3.2. 中程目標：發展快滋生反應器

大陸自 1995 年起透過與俄羅斯技術合作方式，引進快滋生反應技術 (fast breeder reactor)。中國首座實驗型快滋生反應器 (中國實驗快堆, China Experimental Fast Reactor, CEFR) 是中國原子能科學研究院 (China Institute of Atomic Energy, CIEA) 在俄羅斯提供技術協助下設計建造，投資額近 14 億人民幣 (約 1.8 億美元)，是中國 863 計劃中投

資最大專案之一。該實驗反應器以鈉為冷卻劑，首次設置被動式餘熱移除系統，於 1995 年底核准，2000 年 5 月 30 日澆灌混凝土，2002 年 8 月核島區廠房封頂，2005 年 8 月 11 日開始安裝反應爐內組件。並在今年 7 月 21 日首度臨界，預計明年商轉。

CEFR 的反應器壓力容器由波多爾斯克（Poldosky）機械製造廠設計、製造；關鍵設備，如反應器安全系統、熱交換器、控制系統都由俄羅斯下新城機械製造試驗局（опытное конструкторское бюро машиностроения, ОКБМ）提供。

CEFR 重要營運參數摘要如表 3。最大意義在於與現有多座輕水式反應器形成完整的燃料循環體系，將鈾燃料利用率由目前的 0.7 % 大幅提升 100 倍到 60 %-70%。

表 3 中國實驗快堆（CEFR）關鍵營運參數

營運參數	數值
1. 熱功率 (MWt)	65
電功率 (MWe)	25
熱效率 (%)	38.5
2. 爐心 (高度×直徑, cm)	45 × 60
燃料 總 Pu / Pu-239 重量 (kg)	150.3 / 97.7
燃料 U-235 重量, kg / (濃縮度)	42.6 / (19.4%)
中子通率 (n/cm ² /s)	3.7×10 ¹⁵
燃耗度 (GWd/t)	100
鈉冷卻劑進入爐心溫度 (°C)	360
鈉冷卻劑離開爐心溫度 (°C)	530
線性熱功率 (W/cm)	430
3. 一次側鈉冷卻劑重量 (t)	260
一次側鈉冷卻劑流率 (t/h)	1,328.4
4. 二次側鈉冷卻劑重量 (t)	48.2
二次側鈉冷卻劑流率 (t/h)	986.4
5. 蒸汽溫度 (°C)	480
蒸汽壓力 (MPa)	14
蒸汽流率 (t/h)	96.2

2008 年 10 月底，俄羅斯與中國在北京舉行的中俄第 12 屆雙邊核能合作會議中簽署合作協定，由俄方提供 Beloyarsk-4 號機技術，興建 2 座容量 800 MWe 的實驗型快滋生反應器。這兩座反應器未來可能建於福建省三明核電站。北京原子能科學研究院並計畫分別在 2020 與 2030 年分別完成 600 MWe 與 1,500 MWe 的實驗型反應器。

2.3.3. 長程目標：發展核融合技術

中國大陸發展核融合技術也是秉承「兩條腿走路」策略，透過自行發展相關技術與積極參與國際核融合實驗反應器（ITER）計畫獲得國際先進技術。

2002 年 12 月，中國首座自行研發的核融合研究設備 – 中國環流器（即 Tokamak 機）二號 A（HL-2A）開始運轉。HL-2A 位於四川成都市郊核工業西南物理研究院（Southwestern Institute of Physics, SWIP），構造源於 1980 年德國 Max Planck 電漿物理研究所設計的軸對稱偏濾器實驗裝置（axially symmetric divertor experiment, ASDEX）。HL-2A 由中核集團承製，環流器電漿電流已可達到 0.4 MA，並能穩定運轉近 3 秒鐘，最高溫度可達 2,000 萬度。HL-2A 是中國第一座裝有偏濾器（divertor）的環流器。可將自電漿中分離雜質與融合產物，HL-2A 的外徑為 1.64 公尺、內徑 0.5 公尺。

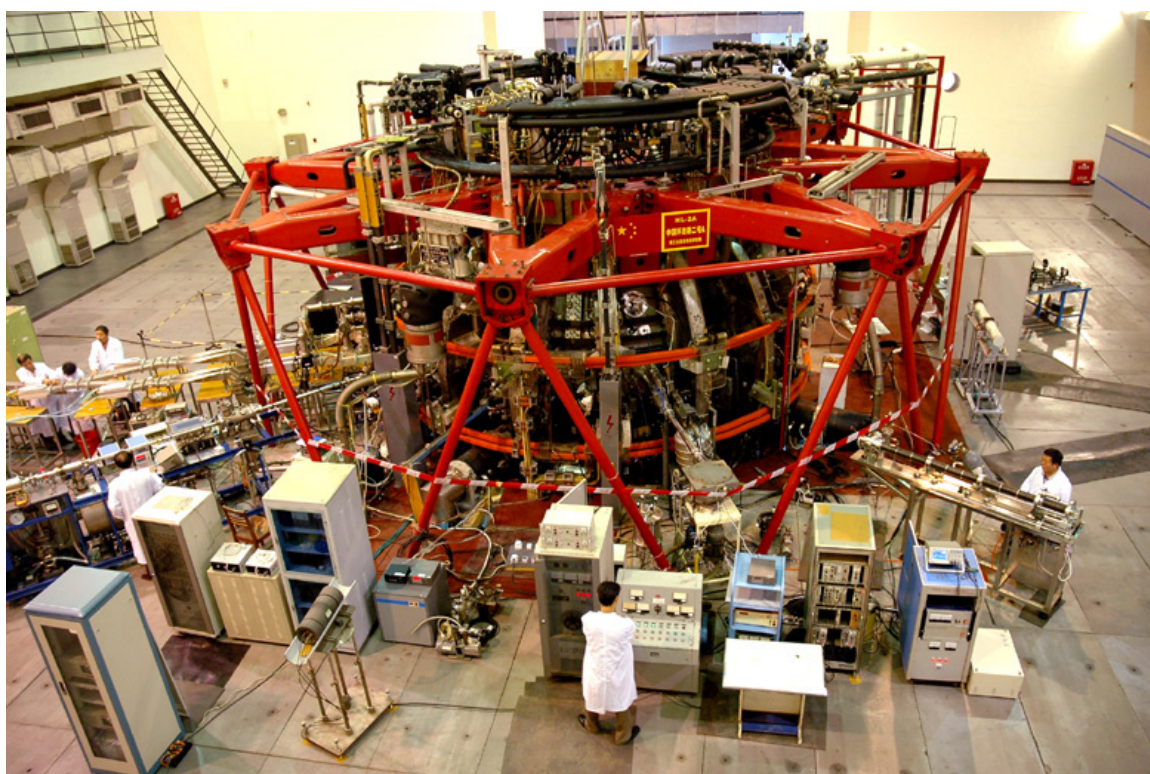


圖 2 中國首座大型核融合實驗設備 HL-2A

核工業西南物理研究院是中國核融合研究最大基地，HL-2A 用於研究軸偏濾器放電和物理研究、分子束加料過程中的輸運現象、大破裂的研究和控制、電漿邊緣物理以及先進的壁處理技術研究等。HL-2A 的關鍵設計參數為：電漿電流 0.32 MA，放電持續時間 1.58 秒，線平均密度 $4.2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ，環向磁場 2.2 T。

另一方面，中國於 2003 年正式加入國際核融合實驗反應器 (ITER) 計畫，並於 2008 年初宣布大手筆投資 14 億美元 (相當於計畫總經費的 10%)，負責製造包括加熱系統、電腦診斷系統與遙控維修系統關鍵組件等。ITER 已於 2008 年在法國南部 Cadarache 動工興建、預計於 2016 年開始營運，營運期長達 30 年。中國大陸藉積極投入 ITER 計畫，展現在能源科技上追趕國際先進國家的旺盛企圖心。

2.4. 中核集團安全文化制度

2.4.1. 安全文化是企業文化的一環

中核集團推動核安文化的特色，是仿照中國傳統「修齊治平」由內而外的文化培養模式，建構一套涵蓋企業文化、安全文化與核安全的體系，其中核安全屬於安全文化的一環，安全文化則屬於企業文化的一部分。

中核集團的企業文化，分為 4 個層次：

1. 核心層：精神文化—信奉價值，要點包括：

- (1) 最高管理層對安全的承諾「安全第一、品質第一」
- (2) 對待安全的態度—安全享有高的優先權
- (3) 對待業績的態度—持續改進，追求卓越
- (4) 對待交流的態度—開誠佈公，「坦誠、融合、開放」
- (5) 對待學習的態度—學習型組織、學習型員工
- (6) 對待錯誤的觀點—學習的機會
- (7) 對人的觀點—尊重、信任、寬容
- (8) 兩個永遠：永遠不要認為自己最好，永遠將安全放在第一位

2. 第二層：制度文化，要點包括：

- (1) 凡事有人負責，凡事有章可循，凡事有據可查，凡事有人監督
- (2) 職責及分工

- (3) 檔和程式的品質
- (4) 檔和程式的遵守
- (5) 對工作過程的關注
- (6) 獎勵和處罰等

3. 第三層：行爲文化，要點包括：領導行爲、經理們的角色、經理與員工的關係、矛盾與衝突處理、團隊合作與員工行爲規範等。具體作爲則包括：

- (1) 明確的工作目標
- (2) 質疑的工作態度
- (3) 審慎的工作方法
- (4) 清晰的溝通表達
- (5) 嚴格地遵守程式
- (6) 細緻地自我檢查
- (7) 認真的工前會議
- (8) 進取的和諧團隊

4. 外表層：物質文化，其具體體現就是企業形象，即員工、產品、環境形象的綜合反映。

其具體內涵，由內而外包括：企業價值、精神、道德、習俗、禮儀、榜樣、制度與形象各面向，說明如圖 3。

中核集團的企業價值定位爲：「興核救國、服務社會」。核工業的文化精神包括「4個一切」，即：「事業高於一切、責任重於一切；嚴細融入一切、進取成就一切」。

中核集團核電發展理念包括「4大放心」，即：「確保核安全，讓國人放心」、「發展民族核電，讓國家放心」、「發展清潔能源，讓後代放心」與「構建和諧集團，讓職工放心」。

中核集团企业文化的内涵

- ✦ 企业价值（价值观,是基石是核心）
- ✦ 企业精神（是灵魂）
- ✦ 企业道德（社会道德、职业道德，是行为标准）
- ✦ 企业习俗（是习惯性的行为趋向）
- ✦ 企业礼仪（如仪式、典礼是价值和精神的反映，是企业行为准则的体现。）
- ✦ 企业榜样（强调模范人物、企业的导向和教化作用）
- ✦ 企业制度（是强制性的行为规范）
- ✦ 企业形象（员工、产品、环境形象，是综合反映，具有凝聚和激励作用）



圖 3 中核集團企業文化內涵

2.4.2. 安全文化推動策略

該集團認為推動安全文化不僅是個人的責任，更依賴決策階層的強烈意志與管理階層的妥善規劃。只有在凝聚各階層共識、設定明確目標後，同心協力推動才克全功。

1. 決策階層應展現強烈自我完善的意志，透過公布安全政策、建立管理體制，並提供充分的人力、物力資源等措施，宣示持續改善的企圖心。
2. 管理階層應透過完善的執行規劃、管考措施，以確保政策與制度順利推動。這些措施包括：明確的責任分工、安排與管理安全作業、人員資格審查予充分訓練、公平透明的獎懲措施以及獨立的管考稽核制度等。
3. 在員工個人方面，應具有質疑的態度、嚴謹的作業方法與工作態度、培養確實遵守程序書與良好溝通的工作習慣。

在安全文化發展過程，該集團認為安全文化的落實與深化可分三階段進行：

1. 第一階段主要依賴法治與監督，員工心態停留在僅僅滿足遵守規則和條例。
2. 第二階段則仰賴員工的自我約束，由員工制訂自我約束性的安全目標。
3. 第三階段仰賴員工的自我完善，達到持續改進並追求卓越安全績效的目標。

該集團另以淺顯易懂的口訣加深員工印象，也是一項值得借鑑的作為，例如：

1. 交流三字經

欲溝通，禮先行。通電話，先報名。詞規範，言清晰；備紙筆，以記錄。
細聆聽，謹複誦。誦無誤，始執行。幹核電，重協作；勤溝通，無差錯。

2. 操作四字文

工前會：明確任務，分析風險，預想事故，審查規程，分派工作，把握要點。
操作中：規程在手，工具有效，操作監護，密切配合，明星自檢，確保無誤。
操作後：查看參數、檢查響應，發現異常，設法糾正，確認打勾，即時匯報。

3. 紀錄五字令

有令即有行，有行必有痕；急事下口令，錄音查有根；
紀錄五要素，人時地事因；字跡要清晰，內容需完整。

4. 巡檢六字言

準備巡檢工具，掌握設備狀態；耳鼻眼手齊用，質疑態度常在。

巡檢按時進行，項目內容不漏；即時報告缺陷，隱患不讓溜走。

5. 監盤七字歌

在役設備嚴監視，明察秋毫弦不鬆；參數趨勢勤分析，設備異常早得知。

報警清單常翻閱，報警響應需及時。報警功能慎屏蔽，保守決策不忘記。

6. 交接八字曲

交班準備井然有序，狀態不穩先行處理；缺陷隱患逐一說明，交接無誤工況清晰。

接班前後仔細檢查，連續工作現場交班；班前會議主動參與，機組狀況瞭如指掌。

三、參訪心得與建議

1. 中國大陸早年為發展核武軍工產業，建立堅實的核能工業基礎與龐大的專業人才。近年來積極轉型發展核能和平用途，因此核電產業發展迅速。目前已營運機組達 11 座，興建中機組 25 座，未來每年將以 3-5 座機組速度動工興建，因此維持優良建廠工程品質、培育充分運轉與維護人才就成為目前維持電廠安全運轉最重要課題。
2. 核能安全無國界。鑒於近年大陸核能工業發展蓬勃、擴張迅速，對於核能電廠長期營運品質與核能安全之影響尚待瞭解。因此共同攜手提昇電廠安全與營運績效，實為兩岸核能業界互利互惠的合作目標。
3. 台灣與大陸核能發展方向不同，各有優點：台灣方面核能電廠營運品質穩定，績效屢受國際肯定；大陸方面核能工業基礎深厚，重機設備製造與建廠經驗豐富。若兩岸核能業界能深入交流合作，共同確保核能安全與提升營運績效，將是互利雙贏局面。
4. 以往兩岸核能技術設備多依賴境外輸入，限於語言、地域及政治文化不同，於時程、成本、風險等方面均大幅增加；若兩岸核能電廠能針對成熟技術、設備項目進行交流合作，對於提昇核能營運績效與降低成本效益上應甚可觀。

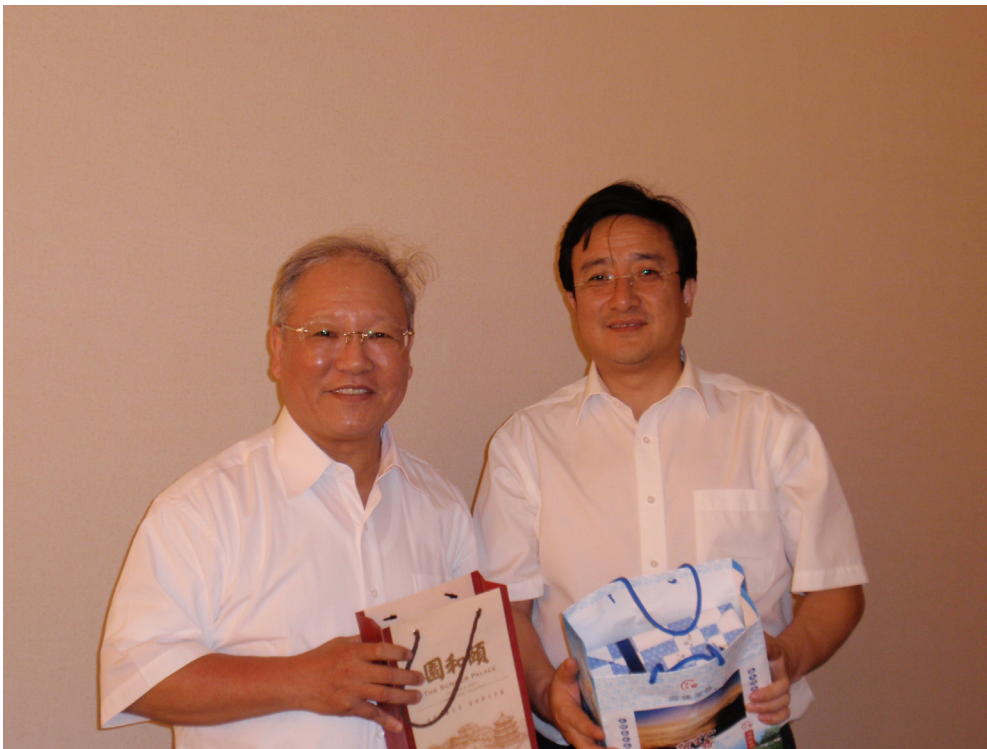
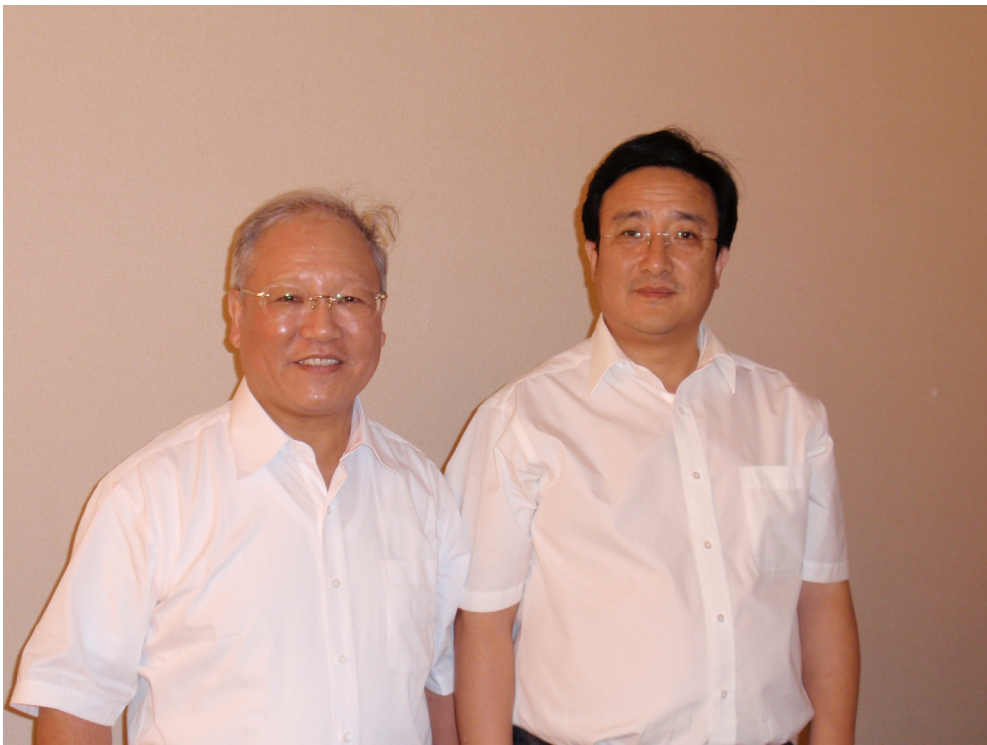


圖 4 台電公司徐副總經理與中核集團餘副總經理留影