

中國大陸核能發電廠發展及對我影響之研析

作者簡介



譚建翊上尉，中正理工學院91年班、國防醫學院藥學研究所94年班、化校正規班；曾任化學兵督導官、副連長、連長、教官，現任職於陸軍化學兵學校化學組。

提 要>>>

- 一、中國大陸為解決其經濟快速發展所造成能源嚴重不足與原本依賴之火力發電造成空氣污染等問題，決定以核能發電來作為其下一代能源主要來源，促成其能源轉型，並兼顧國際環保要求。
- 二、中共目前正以最快速度發展核能發電(現有4座核電廠、11組核反應爐，興建中9座核電廠、26組核反應爐)，預計2020年將取代美國成為世上最大核能發電使用國(預估有74座各型核能反應爐)。
- 三、從地理位置考量，長江下游至珠江下游區域與臺灣相近(共有9座核能發電廠、33組核能反應爐)，臺灣遭受該區域核子事故波及機率較大。當大陸發生核子事故時，對我國最具威脅輻射物質為核輻射塵；因此，有必要檢視我國現行之核災應變措施，儘早研擬相關因應對策。
- 四、因應大陸核輻射塵威脅，我國除應積極儲備防災能量外，也應參考國際核



災救援技術，研發或改良符合救災需求之防護裝備與救援機具，來建構符合任務需求之專業部隊。

關鍵詞：核電廠、輻射、大陸核電廠、複合式災害

前言

近年來地球溫室效應議題持續加溫，世界各國為兼顧節能省碳與經濟發展，紛紛重啟爭議極大之核能發電設施建設計畫；亞洲地區經濟起飛(尤其是大陸)促使能源需求量大增，東亞地區各國開始爭相興建核電廠，同時相對提高東亞地區核電廠事故發生機率。¹2011年3月11日日本福島核電廠因地震與海嘯，使反應爐冷卻系統相繼受損，進而造成第1、3號反應爐發生氫爆事故，大量輻射塵持續隨鋒面與氣流傳遍北半球；搶救過程所造成輻射污水也嚴重影響周圍海域生態，再次喚醒人們對於核能發電疑慮。在此事故之前，日本長久以來均以嚴謹之核能管控，成為核能發電界模範生，但面對巨大複合式災變，日本相關核災應變單位亦顯手足無措，飽受周邊各國關切與批評。我國地理上位於大陸東南隅，氣候因素很容易將大陸地區之污染物飄送到臺灣的上空；²且大陸在核能管控上仍屬起步階段，但卻計畫於2020年前，大舉興建龐大核能發電機組群，以取代燃煤火力發電廠。未來10年，我國所面臨之核輻射威脅，將不僅止於臺灣島內

目前正在運作中之3座核能發電廠，大陸核子事故影響也勢必無法置身事外。

中國大陸核能發電發展簡介

中國大陸早期將核能僅用於軍事用途上，因此，在民用核能發展上與其他核電技術先進國家，在管控與能力方面仍有明顯差距，亦為國際原能會所關切，針對中國大陸核能發電發展歷程介紹如下：

一、中國大陸核能發電演進

中國大陸在核能發電演進，大致可分為開始核電廠自主設計和引進、進一步自主研發和建設、長期自主研發技術發展規劃等三個階段，分述如下：

(一)自主設計與國外引進併行階段

1.大陸首座核能發電機組

中國大陸於1970年開始嘗試自製核能發電廠，於「六五計畫」中決定，首先由核工業部〔1999年4月改組為中國核工業集團公司(China National Nuclear Corporation, CNNC)，以下簡稱中核集團〕主導推進興建秦山核能發電廠(秦山一期)。核能發電廠於1985年動工，使用壓水式反應爐300 MWe(等於 300×10^6 We)發

1 李名揚，〈核能新思維〉《科學人月刊》，第76期，2008年6月，頁78～85。

2 張闊顯，〈鄰近國家嚴重核子事故之大氣長程輸送對臺灣的影響評估〉《國立中央大學大氣物理研究所碩士論文》，民國92年6月，頁55～57。

電機組(CNP300)，1991年12月首次實現併網發電，成為當時大陸第一套自製核電機組，機組在測試運行兩年後，正式投入商業營運(如圖一)；同時也是世界上第7個可自主建構核電廠的國家。

2. 第一座自法國引進核能發電機組

國務院國有資產監督管理委員會監管之清潔能源企業〔1994年9月註冊成立中國廣東核電集團(China Guangdong Nuclear Power Group, CGNPC)，以下簡稱廣核集團〕，為解決香港電力嚴重不足問題，決定以「以我為主，中外合作」模式引進法國核能發電機組(M310)，以強化自主建造核能發電廠能力，1987年於廣東省深圳市大鵬鎮大亞灣開工，使用壓水式反應爐技術，安裝2座900 MWe核能發電機組，分別於1994年2月及1994年5月併網發電。

(二) 自主研發與建設階段

1. 大陸改良第一代核能發電機組

1980年代末開始計畫在既有兩組核能發電機組(CNP-300與M310)技術基礎下，自行研究建造較大型核電廠，於1996

年在秦山核能發電廠建造2座650 MWe壓水式反應爐(CNP-650)，歷經6年建造，於2002年9月開始商業供電(秦山二期)。

2. 引進加拿大重水式核能反應機組

大陸「九五計畫」中決定與加拿大政府合作，採用加拿大提供的重水式反應爐技術，於秦山核電廠繼續興建2座700 MWe重水式發電機組(CANDU-6)，2003年建造完成並開始商業供電(秦山三期)。

3. 引進俄羅斯核能反應機組

大陸「九五計畫」中也決定與俄國合作，於1999年10月在江蘇省連雲港市連雲區田灣建造2座1,000 MWe壓水式核電機組(VVER-1000)，田灣核電廠2000年開工，於2007年建造完成並開始商業供電。

(三) 長期自主研發技術發展規劃階段

依「以核養核，滾動發展」的方針，³大陸於大亞灣附近，計畫在法國協助下，改良M310型核反應機組，由廣核集團自主建造2座1,000 MWe壓水式反應爐(CPR-1000)，場址另外定名為「嶺澳核電廠」，而CPR-1000是一座中國版的第二代改良型壓水式核能發電機組，嶺澳核

圖一 秦山核能發電廠(秦山一期)與大亞灣核能發電廠



資料來源：網路資料，<http://www.heneng.net.cn>

3 徐明德、鄧文俊、蘇軒銳、孫敬業、高莉芳等著，〈出席第十屆兩岸核能學術交流研討會與參訪相關核能設施〉《原子能委員會第10屆兩岸核能學術交流研討會》，2010年12月，頁3～9。



電廠內部布局與大亞灣核能發電廠十分相似。嶺澳核電廠建造過程中，廣核集團將核能發電廠國產自主化發展(如圖二)。

二、現況與未來發展

(一)現況

中國大陸從1985年開始於秦山核電廠組建核反應爐開始，目前約有4座核能發電廠(共計11個核能發電機組已在營運)(如表一、圖三)，合計裝置總發電量為9,108 MWe，占中國大陸總發電量僅2%。

(二)未來發展

從2004年開始，東南各省經濟特區持續發生能源短缺現象，2008年初雪災導致大陸多數省份供電網路與燃煤輸運系統嚴重癱瘓，凸顯出燃煤火力發電的問題。中國國家發展政策改革委員會於2007年公布「核能發電中長期發展計畫(2005～

2020年)」，「十一五計畫」(2006～2010年)中明確指示，「能源開發部分要「積極推進」核能發電，「十二五計畫」(2011～2015年)更是「加速發展」核能發電(如表二)。

2009年4月中國國家能源局計畫將大陸核能發電量，於2020年再擴大至75 GWe(75×10^9 WWe)，因此，將要更積極地再興建可提供30 GWe發電量之核能發電機組群，此一規劃若實現，將可使大陸核能發電占全國總發電量8%；同時中國國家能源局表示，因應未來發展需求，大陸預估至2030年時，中國核能發電總電量有很大可能會達到120 GWe～160 GWe(如圖四)。

中國大陸各核電廠簡析

圖二 中國大陸核能發電發展進程示意圖



資料來源：網路資料，<http://www.heneng.net.cn>

4 大陸國家核應急辦公室，《國家核應急工作「十一五」規劃綱要》，2006年8月，頁1、2。

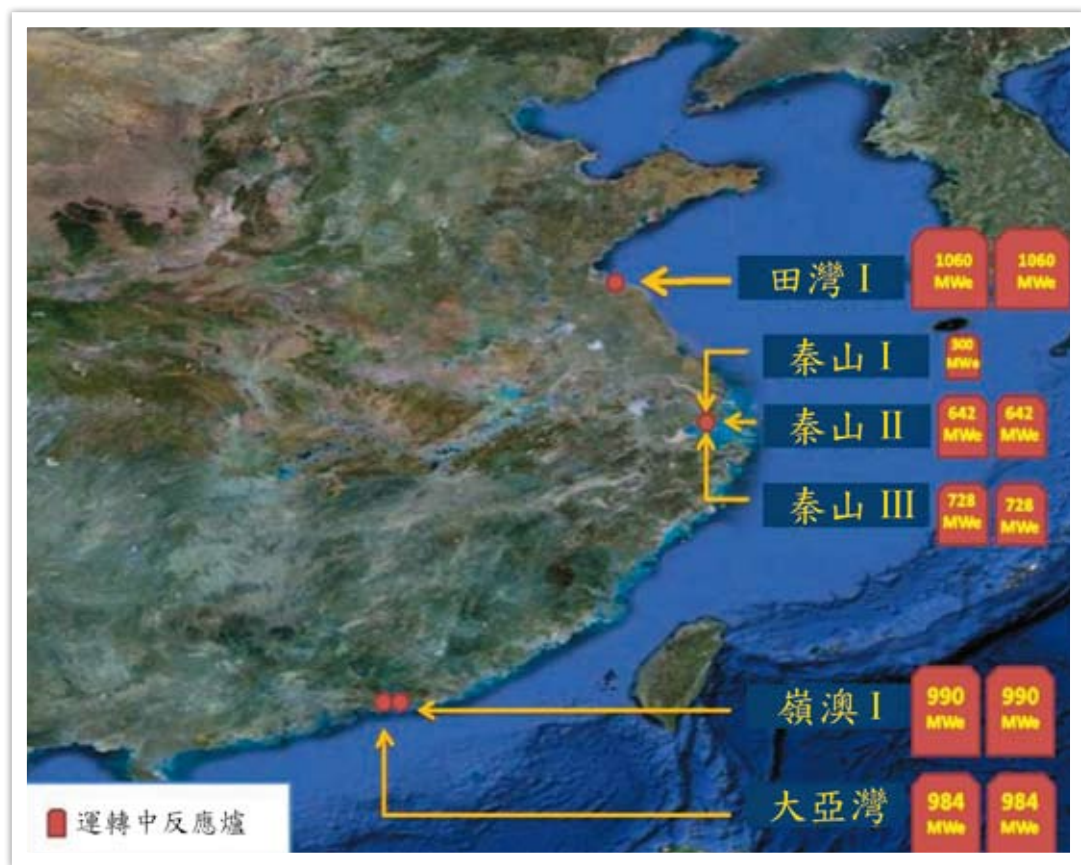
表一 中國大陸現有核電廠統計表(資料時間：2011年5月止)

核能發電廠	反應器型式	發電量	開工時間(年份)	運轉時間(年份)	投資公司 (機組型)
秦山核能發電廠(一期)	壓水反應爐	300 MWe	1985	1994	中核集團(CNP-300)
秦山核能發電廠(二期)	壓水反應爐	650 MWex2	1996	2004	中核集團(CNP-650)
秦山核能發電廠(三期)	重水反應爐	728 MWex2	1998	2003	中核集團(CANDU-6)
田灣核能發電廠(一期)	壓水反應爐	1060 Mex2	1999	2007	中核集團(VVER-1000)
大亞灣核能發電廠	壓水反應爐	984 MWex2	1987	1994	廣核集團(M310)
嶺澳核能發電廠(一期)	壓水反應爐	990 MWex2	1997	2003	廣核集團(CPR-1000)

資料來源：1.作者自行整理。

2.馮克林，〈大陸核能組件國產化進程概述〉《工業材料雜誌》，278期，2010年2月，頁88～94。

圖三 中國大陸現有反應爐分布圖(2011年5月止)



圖片來源：作者參考<http://zh.wikipedia.org>資料整理。



表二 大陸興建中核電廠統計表(2011年5月止)

核 能 發 電 廠	反應器型式	發 電 量 反 應 爐 數	開 工 時 間	運 轉 時 間	投 資 公 司 (機組型)
嶺澳核能發電廠(二期)	壓 水 式 反 應 爐	1080 MWe×2	2005	2011	廣核集團 (CPR-1000)
秦山核能發電廠(二期)擴建工程	壓 水 式 反 應 爐	650 MWe×2	2006	2011	中核集團 (CNP-650)
福建寧德核能發電廠	壓 水 式 反 應 爐	1080 MWe×4	2008	2012	廣核集團 (CPR-1000)
遼寧紅沿河核能發電廠	壓 水 式 反 應 爐	1080 MWe×4	2007	2012	廣核集團 (CPR-1000)
浙江三門核能發電廠	壓 水 式 反 應 爐	1250 MWe×2	2009	2013	中核集團 (AP-1000)
廣東台山核能發電廠(一期)	壓 水 式 反 應 爐	1750 MWe×2	2009	2013	廣核集團 (EPR)
秦山核能發電廠(一期)擴建工程	壓 水 式 反 應 爐	1080 MWe×2	2008	2013	中核集團 (CPR-1000)
廣東陽江核能發電廠	壓 水 式 反 應 爐	1080 MWe×4	2008	2013	中核集團 (CPR-1000)
山東海陽核能發電廠(一期)	壓 水 式 反 應 爐	1250 MWe×2	2010	2014	中國電力投資集團 公司(AP-1000)
福建福清核能發電廠	壓 水 式 反 應 爐	1080 MWe×2	2008	2012	廣核集團 (CPR-1000)

資料來源：1.作者自行整理。

2.同表一註。

一、中國大陸核能發電反應爐種類

核能發電廠至2015年預計將達37座核能發電機組，其機組種類區分如下(如圖五、表三)：

(一)重水式反應爐

大陸於1998年開始興建2座重水式反應爐，並於2009年開始使用回收鈾燃料裝入重水反應爐反應發電，成為國際上將回收鈾燃料裝入商用重水堆上進行發電之首例，目的要使鈾燃料能做更有效利用。

(二)壓水式反應爐

大陸大多數核反應爐為壓水式反應機組(興建或運轉中，共計35座)，可再

細分如下：

1.俄製反應爐(VVER-1000)

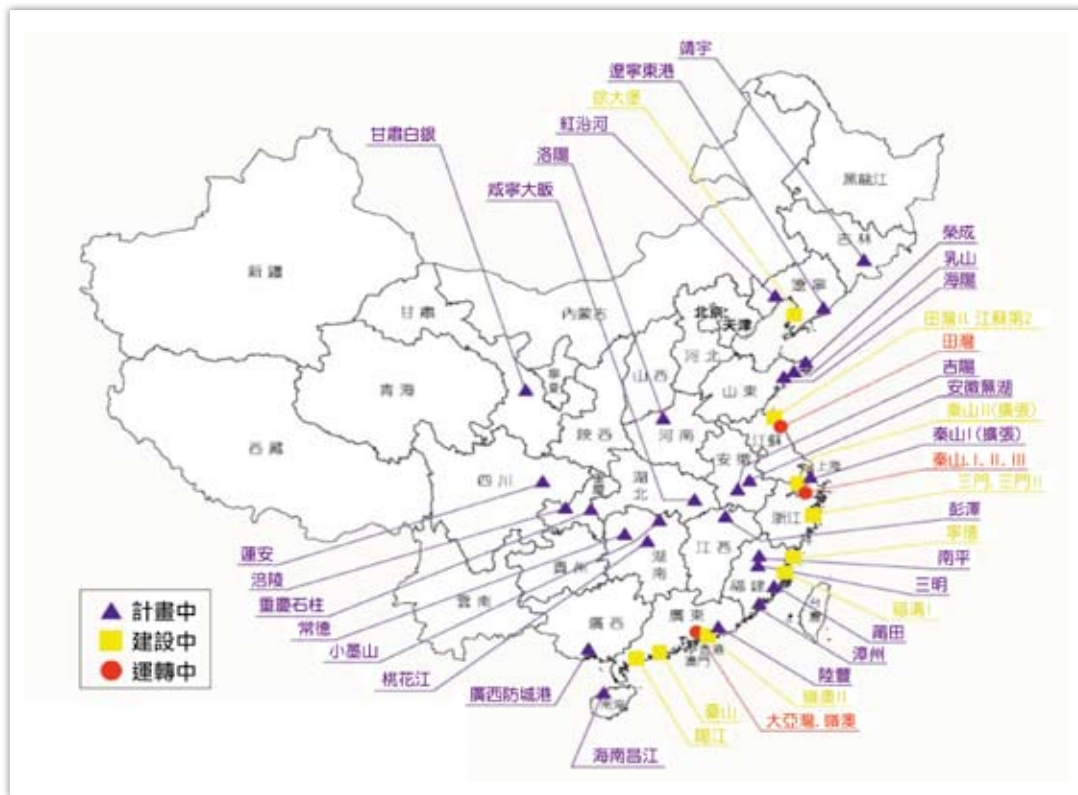
1999年開始興建，目前有2座同型反應爐，目標為大陸首部核燃料自主之核能發電機組，因此，於1997年開始由俄羅斯方面協助大陸於四川宜賓的壓水式反應器燃料工廠發展自主生產核燃料能量。

2.大陸自製反應爐

(1)CNP-300：大陸第一代自行研發核反應爐，目前已成功改良並擴大發電量成為CNP-650型核反應爐(目前大陸有5座正在運轉或興建中)。

(2)CPR-1000：為改良大亞灣核電

圖四 中國大陸規劃各核能發電廠位置圖



資料來源：中國核能行業協會，www.china-nea.cn

廠M310型核反應爐機型，目前大陸已達70%自製率(目前大陸有22座正在運轉或興建中)。

3. 第三代壓水式反應爐(AP-1000)

大陸目前正在興建4座AP-1000型核能發電機組(浙江三門核電廠與山東海陽核電廠)，並計畫接下來以此型核反應爐為大陸核電發展主軸，並規劃將自製率提高至80%。

4. 歐製反應爐(EPR)

大陸於2010年，在廣東台山核能發電廠興建2座第三代符合歐洲核能安全規

格之EPR壓水式核能反應爐。⁵

(三) 第四代高溫氣冷式反應爐(HTGR)

由中國清華大學主導，計畫於山東榮成核能發電廠，嘗試自行興建第四代高溫氣冷式反應爐(HTGR)。

(四) 第四代快中子式反應爐(BN-800)

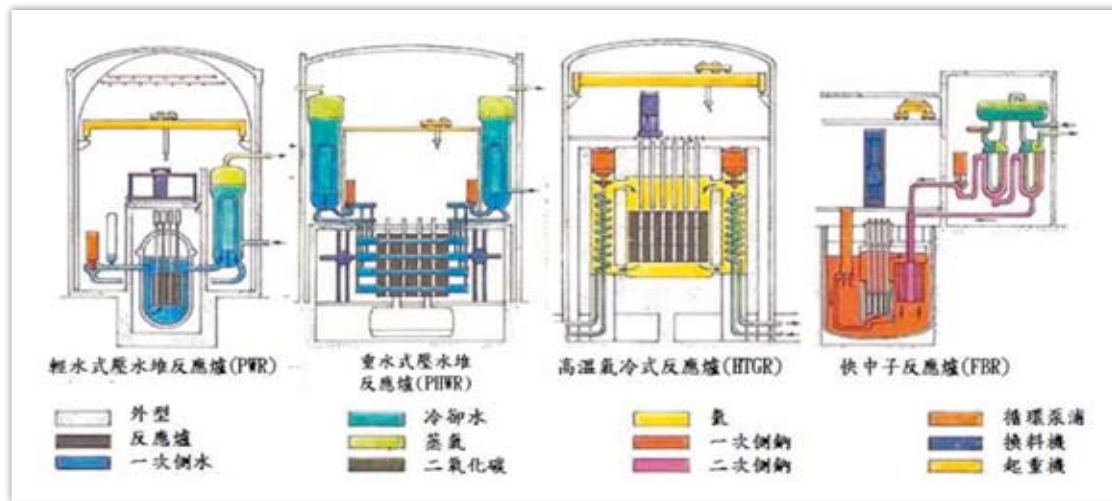
大陸將與俄羅斯合作，計畫於福建省三明核能發電廠(距臺灣約370公里)興建2座快中子式反應爐(BN-800)，將使用鈾-氧化鈾(MOX)混合物為核反應燃料。

二、中國大陸核能發電潛在問題

5 徐明德、鄧文俊、蘇軒銳、孫敬業、高莉芳等著，〈出席第十屆兩岸核能學術交流研討會與參訪相關核能設施〉《原子能委員會第10屆兩岸核能學術交流研討會論文集》，2010年12月，頁4～9。



圖五 中國大陸主要核能反應爐示意圖



資料來源：網路資料，<http://zh.wikipedia.org>

表三 我國與中國大陸現有(興建中)核能發電機廠比較表

國別	核反應爐形式	核電廠	發電量 (MWe)	數量	核反應機型	優點	缺點
我國	沸水式	核一廠	635	2	沸水式第4型	1.結構較為簡單，建造成本較低，且維護容易。 2.沸水式反應爐作功發電時，所需爐內壓力(約70atm)與溫度(約280℃)較低。 3.每年舉行大規模核安演習儲備核災救援能量。	1.沸水式核反應爐，體積較大。 2.核燃料僅使用鈾235，但使用率約4%。 3.北部核電廠位置與政經中心(臺北市)距離不足20公里。
		核二廠	985	2	沸水式第6型		
		核四廠	1350	2	進步型沸水式		
	壓水式	核三廠	985	2	壓水式3迴路		
中國大陸	壓水式	秦山核電廠	300	1	CNP-300	1.爐內冷卻系統，分為兩個循環迴路，避免爐內水直接污染發電系統。 2.壓水式核反應爐內迴路，壓力約150atm，溫度316℃。 3.發展時間較久，技術核能發電技術較成熟，廣為各國所使用。 4.持續發展更大發電量之核能發電機組，可有效解決中國大陸能源與環保問題。	1.因爐內水與發電循環迴路實體分離，故發電效率僅33%。 2.壓水式核反應爐結構較為複雜，建造成本與維修不易。 3.核燃料僅使用鈾235，但使用率約4%。 4.中國大陸興建與發展速度極快，惟其安全性仍為全球所擔憂。 5.每5年舉辦一次聯合演習，其救災統合能量，令人質疑。 6.新型歐規EPR與美規AP-1000型核能發電機組，雖為新型機組，但目前世界上無國家使用，真實安全性無從考證，但中國大陸卻貿然引
			650	4	CNP-650		
			1080	2	CPR-1000		
		田灣核電廠	1080	2	VVER		
		大亞灣核電廠	1080	2	M310		
		嶺澳核電廠	1080	4	CPR-1000		
		寧德核電廠	1080	4	CPR-1000		
		福清核電廠	1080	2	CPR-1000		
		紅沿河核電廠	1080	4	CPR-1000		

中國	壓水式	陽江核電廠	1080	4	CPR-1000		進與大量興建。
		臺山核電廠	1400	2	EPR		
		海陽核電廠	1250	2	AP-1000		
		三門核電廠	1750	2	AP-1000		
大陸	重水式	秦山核電廠	728	2	CANDU-6	1.可使用鈾235與鈾238為其核反應燃料。 2.可使用1.5%低濃縮二氧化鈾與0.5%鈾239、天然濃縮鈾所製成之混氧化物(MOX)，增加核燃料再使用率。	1.重水式核反應爐造價昂貴，目前世界各國使用率不高。 2.核反應爐所使用重水，取得來源不易。 3.使用鈾239增加事故發生環境污染程度。

資料來源：1.作者自行整理。

2.馮克林，〈大陸核能組件國產化進程概述〉《工業材料雜誌》，第278期，2010年2月，頁88～94。

3.網路資料，<http://zh.wikipedia.org>

4.徐明德等合著，〈出席第十屆兩岸核能學術交流研討會與參訪相關核能設施〉《原子能委員會第10屆兩岸核能學術交流研討會論文集》，2010年12月，頁2。

大陸國家發展改革委員會於2007年11月提出中國核電發展中、長期計畫(2005～2020年)中明確表示，係因應未來國際能源發展趨勢；但在看似暴衝之核能發電發展過程中，仍有潛在問題值得我國觀察注意。

(一)施工品質迭有瑕疵

中國大陸工程品質，一直為國際所詬病，而核能發電廠也是為了因應近期國家發展之供電需求，計畫在5年內迅速興建28座核能發電機組，研判可能肇生潛在危安因素如下：

1.核電廠興建計畫時效短促，嚴重縮短完工時程。

2.同時大量核能發電機組興建，造成

核能發電機組料件供需失衡，恐有劣質品摻雜其中。

3.大陸包商壓低成本並在施工期間偷工減料，其中以2009年中核集團黨書記兼總經理康日新，因涉及一筆總金額18億人民幣核能發電工程招標弊案遭解職收押令人震驚，⁶令人懷疑大陸核電廠安全性。

(二)人力素質不足

大陸目前快速擴大其核能發電建設規模，但卻輕忽人才不足之事實，將直接影響到未來核能發電廠運行安全。正如近日大陸動車於溫州發生追撞事件，日本媒體即發現其駕駛培訓僅10日，因此，核能設施之人力素質提升，也為國際所持續關注之處。所以，國際原子能總署

6 參考〈中國大量建造核電廠引起核安疑慮〉《紐約時報》，2010年1月21日；馮克林，〈中國大陸核能組件國產化進程概述〉《工業材料雜誌》，第278期，2010年2月，頁94；以及〈中國核工業集團總經理康日新遭調查〉《華爾街日報中文網》，<http://www.cn.WSJ.com>，2009年8月5日。



(IAEA)核設施安全部部長賈梅也表示「大陸核能發電廠工作人員數量與需求相比，顯得少了一些」，因此，將於2011年派遣專家小組至大陸進行人員評估與培訓工作，以避免因核電人才缺乏，衍生核能發電危機。

(三)核安紀錄不透明

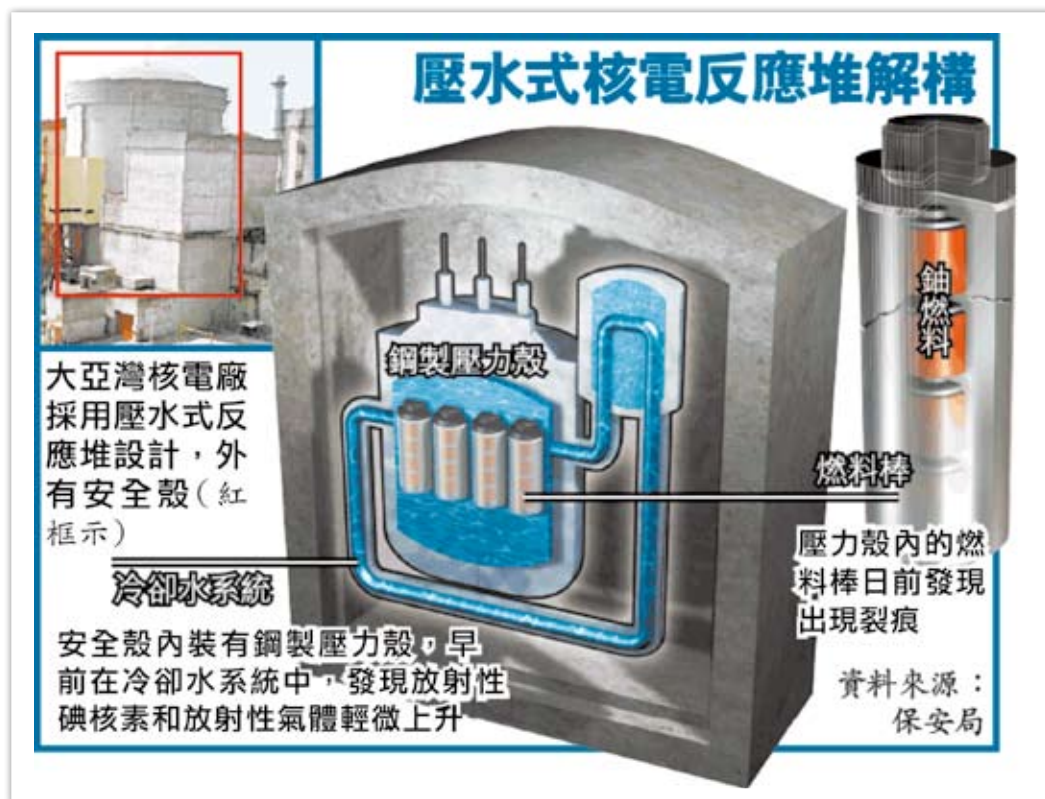
大陸目前為止，對於核能相關資訊並不公開透明，因此，大眾很難瞭解實況為何，但我們仍可從最近在大亞灣發生之核電廠事故，來推斷大陸對於核能事故之處理態度：2010年6月15日美國華爾街日報報導，大陸大亞灣核能發電廠於同年5月23日發生核燃料棒輻射洩漏事件，肇因為反應爐內一枝法國製燃料棒，經中國大陸國內核能零件工廠整修，重新啟用後

卻因焊接瑕疵導致燃料棒於反應爐內發生外洩事件；同年11月17日中國大陸大亞灣核電廠再被媒體報導，1號機組於同年10月23日例行性大修檢查時發現，餘熱排出系統之一段管道有硼結晶，同月26日經確認原因為冷卻水鋼管有三條裂紋，同時裂紋處滲出帶有放射性一次側硼酸液冷卻水(如圖六)。

歸納出其核能事故處理方式如下：

- 1.中國大陸核能事故通報系統不完善，以致中央主管單位及鄰近地區無法立即瞭解狀況，並做出妥善核災處置措施。
- 2.中國大陸於核能事故發生時，未立即啟動核災應變措施，相關權責單位也未見成立核災緊急應變中心來統籌掌握事故狀況。

圖六 中國大陸大亞灣核電廠燃料棒輻射外洩示意圖



資料來源：蘋果日報，<http://www.appledaily.com.tw>

3.中國大陸於核能事故後，未對周遭環境與居民立即實施相關監測訪查，企圖大事化小、小事化無。

4.這幾次核能事故若非經媒體揭露，否則中國大陸當局絕不會主動公布核能事故發生經過。

由此可看出中國大陸對於核安管理方面，仍以經濟發展為主軸，卻漠視核能發電廠周遭環境被輻射污染風險之心態。

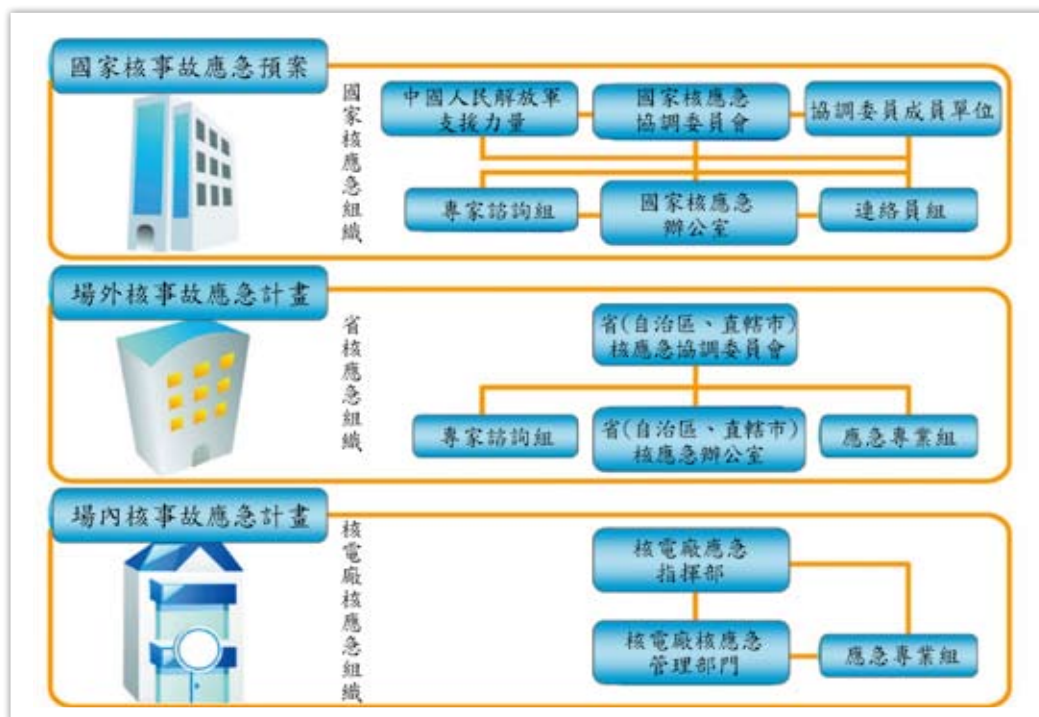
(四)核能事故應變能力不足

大陸核子事故緊急應變作業是從

1986年前蘇聯車諾比核電廠事故後開始規劃，直到1995年方成立「國家核子事故應急協調委員會」。而各省及核能設施執行單位依法也建立了各自的緊急應變作業組織，配備相關的人員。⁷大陸核子事故緊急應變作業由國家、省和核能電廠應變組織，組成三級管理體系(如圖七)。

大陸對核子事故準備與應變作業是依據《突發事件應對法》(2007年11月1日施行)與《放射性污染防治法》(2003年10月1日起施行)，核能電廠緊急應變計畫區分

圖七 中國大陸核子事故緊急應變組織圖



資料來源：徐明德、鄧文俊、蘇軒銳、孫敬業、高莉芳合著，〈出席第十屆兩岸核能學術交流研討會與參訪相關核能設施〉《原子能委員會第10屆兩岸核能學術交流研討會論文集》，2010年12月，頁2。

7 參考蘋果日報，<http://www.appledaily.com.tw>及徐懷瓊、梁天瑞，〈赴中國核工業集團公司交流運轉經驗與核安文化〉，臺灣電力公司，民國99年7月，頁1~21。



為煙羽緊急應變計畫區和食入緊急應變計畫區。

1.煙羽緊急應變計畫區：以核電廠為中心、半徑為7~10公里劃定的區域，可能需要採取撤離、掩蔽和服用碘片等緊急防護行動。煙羽緊急應變計畫區又可分為內、外兩區，內區的半徑為3~5公里，撤離(包括預防性撤離)準備在內區進行。

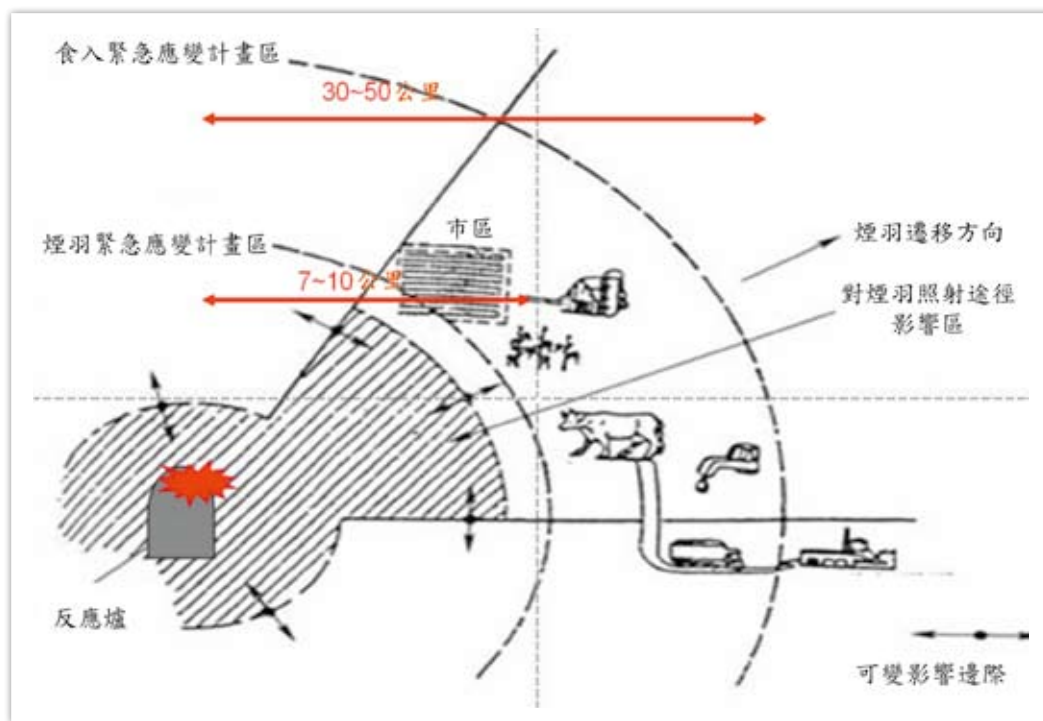
2.食入緊急應變計畫區：以核電廠為中心，半徑為30~50公里劃定的區域。在這個區域內要做好事故情況下食物和飲水的輻射監測和控制的應急準備。食入緊急

應變計畫區的範圍包括煙羽緊急應變計畫區的範圍在內(如圖八)。

3.各級應變組織定期舉行不同形式和類型的演習，主要包括單項應急演習、綜合應急演習(每2~4年一次)及聯合應急演習(每5年一次)等三種類型。

但在大陸「國家核子事故應急協調委員會」成立以來，僅於2009年11月10日舉行國家級大型核子事故應變演習(代號「神盾-2009」)(如圖九)。模擬項目：⁸田灣核能反應爐管線破裂，造成放射性物質外洩，來測試中央與地方核災應急措施；可是大陸將在2015年，即擁有37座反應爐，

圖八 中國大陸核子事故緊急應變計畫區劃分圖



資料來源：徐明德、鄧文俊、蘇軒銳、孫敬業、高莉芳等著，〈出席第十屆兩岸核能學術交流研討會與參訪相關核能設施〉《原子能委員會第10屆兩岸核能學術交流研討會論文集》，2010年12月，頁9。

8 康慧，〈核災應急簡介〉《中國核電》，第3卷第2期，2010年6月，頁180~185。

圖九 中國大陸首次核子事故應急演習(神盾-2009)



資料來源：網路資料，<http://www.cqnews.net>

面對如此大量之核能發電機組群，卻只專注於可提供經濟持續發展之龐大供電量，卻忽視對核電廠維安管理上之嚴重不足問題，尤其是在大型聯合防核災應變訓練上仍顯不足(我國每年均舉辦一次大型核安演習；但中國5年才舉行一次)，畢竟，在核災發生時，並非僅靠核電廠內技術人員或地方政府可以進行搶救，大多須傾全國之力方可有效解決；大陸官方卻以「核電洩漏概率10億年一遇」⁹來灌輸人民核能發電之安全性，但民眾對相關核能安全教育或公開核能相關資訊十分缺乏。

三、中國大陸核電廠事故對我之影響評估

2015年大陸距我國最近之核能發電廠為福建省福清核能發電廠(2座CPR-1000型核能發電機組)，距臺灣本島約160公里，我國位於大陸東南方外海，雖有臺灣

海峽阻隔及地理上仍有相當距離，但兩地在氣候上仍有相當大的關連性。如果大陸核能發電廠發生核子事故，產生之輻射塵研判對我國影響最鉅。依據案例：1986年4月26日烏克蘭車諾比核能發電廠核子事故，前蘇聯當局於事故後設定30公里為撤離範圍，但事後西歐各國仍可測得出環境輻射異常狀況，因當時僅考量地理因素，卻漏判天氣條件，導致忽略防範部分輻射粉塵隨著東南風飄向北歐各國，甚至再隨著東北風飄向波蘭、德國與法國等地，使大眾暴露在高輻射粉塵環境中。

研究發現放射性雲通過時，是否下雨視當時鋒面造成相對性差異。而事後統計車諾比核能發電廠核能災害所產生各式輻射物質，2/3散布在20公里以內的範圍，其餘的1/3落在20公里以外之處。時至今日，有學者針對相關地區再次進行輻射值檢測作業，居然發現在歐洲部分地區偵測出輻射劑量，至今仍然超過正常值(如圖十)。

此可顯現核電廠輻射污染並非在短短25年間即可藉由大自然力量還原消弭，因此，恐加深我們對於大陸核電廠發展之擔憂。畢竟，如果大陸發生核災，其所產生之輻射塵將會隨鋒面侵襲我國。因此，國內曾有學者針對大陸現正運轉中核能發電廠，於氣候方面研究分析我國可能受其核子事故輻射塵影響，首先針對大

9 〈我國舉行核電事故演習核電洩漏概率10億年一遇〉《新華報並網—楊子晚報》，2009年11月11日。



陸現正運轉中之大亞灣核能發電廠與秦山核能發電廠為範本，以大氣擴散模式進行發生核子事故對我國影響之研究，發現影響層面如次：

(一)秦山核能發電廠與大亞灣核能發電廠輻射塵預估平均約25~48小時會抵達臺灣上空。

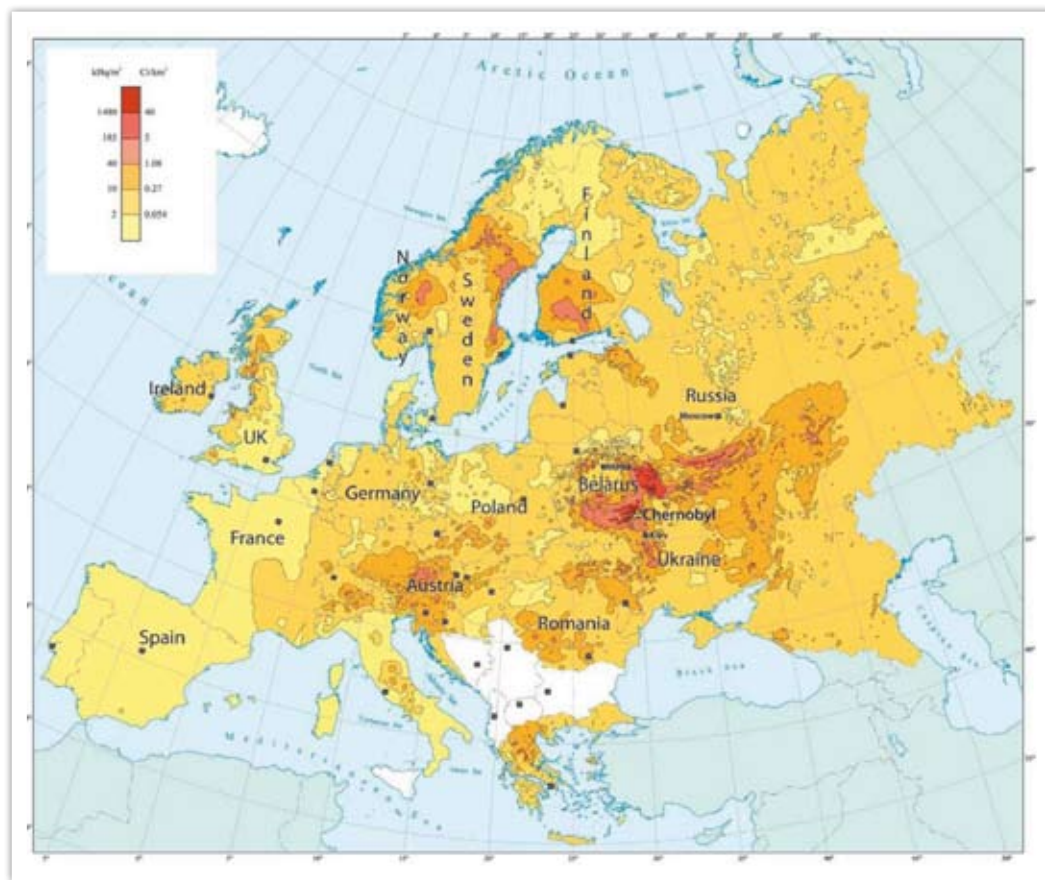
(二)大亞灣核能發電廠於春、夏兩季對臺灣影響頻率高達96%；秦山核能發電廠於冬季東北季風時，影響頻率約為50%

(如圖十一)。

(三)梅雨鋒面通過臺灣期間，大亞灣核能發電廠輻射塵預估約24小時可抵達，警戒範圍涵蓋臺灣中部以北及中部外海，預估最嚴重狀況為臺灣中部平均輻射塵沉降量為 105 Bq/m^2 左右，已達車諾比核子事故之輻射防護永久管制標準(車諾比核子事故之輻射防護永久管制標準為 $5.55 \times 10^5 \sim 1.48 \times 10^6 \text{ Bq/m}^2$)。¹⁰

(四)東北季風影響臺灣期間，秦山核

圖十 車諾比核災輻射塵擴散示意圖



資料來源：David Sumner, "The Other Report on Chernobyl" (TORCH), 2006, pp2~6.

10 彭啟明、劉啟文、張闊顯、林能暉等著，〈境外核子事故擴散對臺灣影響之探討〉《前瞻科技與管理》，特刊，2010年11月，頁15~28。

能發電廠輻射塵預估約24小時內可抵達，預估最嚴重狀況為臺灣約60%土地平均輻射塵沉降量為 104 Bq/m^2 左右，已達環境輻射防護警戒值標準(臺灣警戒值為 $1.258 \times 10^3 \text{ Bq/m}^2$)。

我國因應能力檢討與興革意見

一、現況檢討

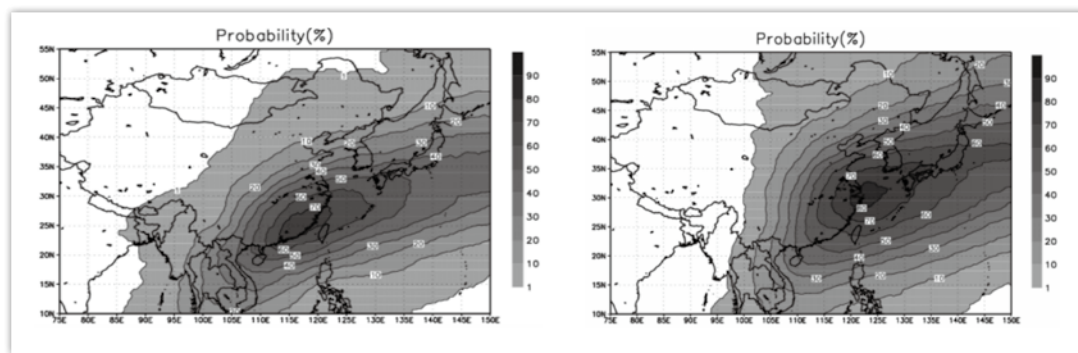
中國大陸預計於2020年擁有74座各型核能反應爐，因此，我們必須在既有大陸

核武威脅與國內核能發電廠事故之反應能量上，重新謀求大陸核子事故因應之道，相關事項如下：

(一)我國現有核能輻射預警機制不足

目前原能會輻射偵測中心於民國78年起逐年於核一廠、核二廠、核三廠及龍門等4座電廠，各設置5座輻安預警自動監測系統，臺灣都會區臺北、宜蘭、龍潭、臺中、臺南、高雄、臺東、金門、蘭嶼及阿里山等地區亦設置輻射監測站。截至

圖十一 大亞灣與上海秦山核電廠輻射落塵全年頻率分布



資料來源：彭啟明、劉啟文、張闊顯、林能暉等著，〈境外核子事故擴散對臺灣影響之探討〉《前瞻科技與管理》，特刊，2010年11月，頁15~28。

表四 大陸與我國鄰近核電廠威脅統計表

核電廠 (與臺灣距離)	反應爐型號 (數量)	核燃料	預估輻射塵 抵達臺灣時間 (平均風速，風向)	備考
秦山核電廠 (585公里)	CNP300x1 CNP650x4 CPR-1000x2	鈾	16小時左右 (10公尺/秒，東北)	東北季風
	CANDU-6x2	鈾鈾混合		
浙江三門核電廠 (410公里)	AP-1000x2	鈾	11小時左右 (10公尺/秒，東北)	東北季風
福建寧德核電廠 (240公里)	CPR-1000x4	鈾	6小時左右 (10公尺/秒，東北)	東北季風
福建福清核電廠 (184公里)	CPR-1000x2	鈾	5小時左右 (10公尺/秒，東北)	東北季風
			10小時左右 (5公尺/秒，西南)	西南氣流



福建三明核電廠 (200公里)	BN-800x2	鈾鈾混合	11小時左右 (5公尺／秒，西南)	西南氣流
福建漳州核電廠 (260公里)	AP-1000x4	鈾	14小時左右 (5公尺／秒，西南)	西南氣流
廣東陸豐核電廠 (480公里)	CPR-1000x2	鈾	26小時左右 (5公尺／秒，西南)	西南氣流
廣東嶺澳核電廠 (550公里)	CPR-1000x6	鈾	30小時左右 (5公尺／秒，西南)	西南氣流
廣東大亞灣核電廠 (550公里)	M310x2	鈾	30小時左右 (5公尺／秒，西南)	西南氣流

資料來源：作者參考彭啟明、劉啟文、張闊顯、林能暉等著，〈境外核子事故擴散對臺灣影響之探討〉《前瞻科技與管理特刊》，2010年11月，頁15～28。

目前為止，全國環境輻射監測網路系統已建構30個監測站；各輻射監測站均全天候24小時運作，自動記錄當地環境直接輻射狀況，立即將記錄結果透過網路傳送至原能會輻射偵測中心及核安監管中心；¹¹但中國大陸距離我國最近之福清核能發電廠(如圖十二)，與臺灣本島之間並無任何輻射監測裝置。

(二)現有核災防護能量不足，無法應付大陸核輻射塵侵襲

我國每年舉辦大規模核能安全演習，以防止核子事故發生，以現行核安演習僅於核能發電廠周圍5公里進行防護與疏散演練；依據核子事故緊急應變法施行細則第12條規定，緊急應變計畫區半徑不得小於5公里，並以村(里)行政區域為劃定基礎。因此，3座核能電廠「緊急應變計畫區」均訂為以電廠為中心周圍半徑5公里的區域。¹²

但輻射塵散布範圍遠大於我國現有核災防護範圍，如將緊急應變計畫區半

徑擴大到20公里，以核一廠為中心涵蓋範圍將包括石門、三芝、金山、萬里、淡水及臺北市士林、北投區，緊急應變計畫區人口數將由13,326人增為745,286人，緊急應變計畫區人口增加約56倍；另以核二廠為中心涵蓋範圍將包括萬里、金山、石門、三芝、淡水、汐止、瑞芳及臺北市士林、北投、內湖區與基隆市(全)，緊急應變計畫區人口數將由41,325人增為1,623,481人，緊急應變計畫區人口與現行疏散人數增加約39倍；再加上面對大陸核子事故時，所產生輻射塵造成影響範圍與時間並非我國所能控制，因此，我國應認真考慮以下問題：

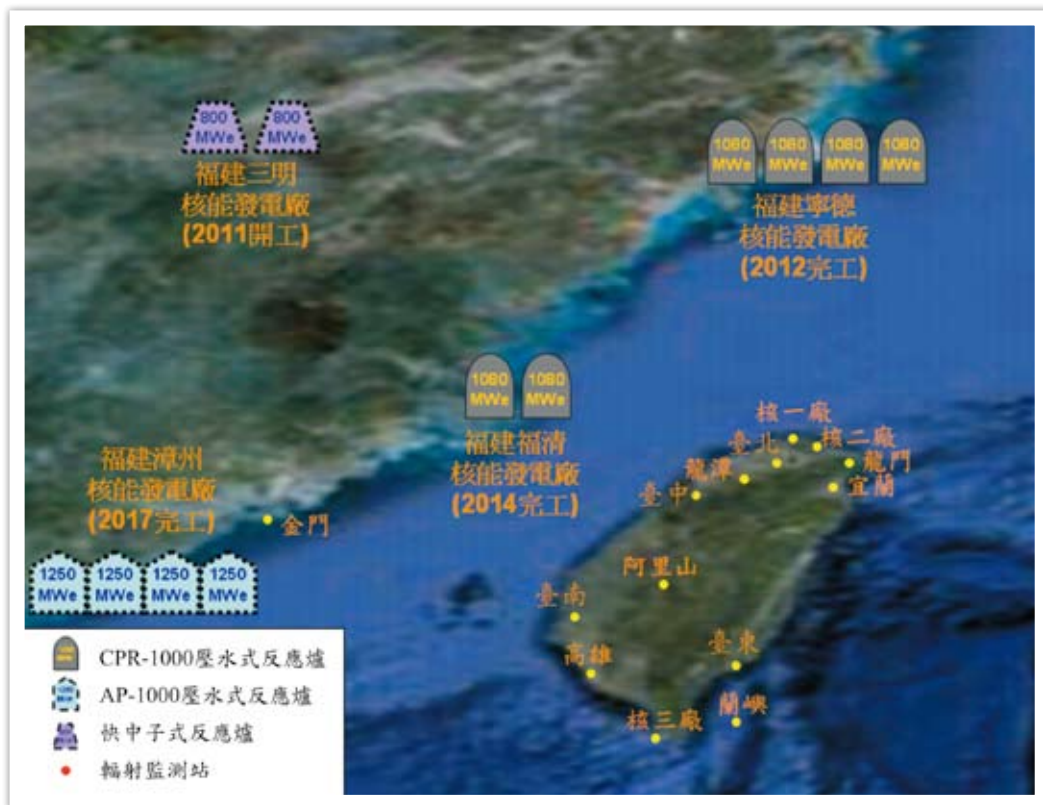
1.目前我國僅有新北市與屏東縣有核災防護能量，其他縣市仍十分缺乏，因此，應先就現有公共室內或防空避難設施，先行調查上述設施是否可滿足民眾於核子事故時緊急掩蔽時之需求。

2.我國尚未規劃出因應輻射塵降臨時民眾疏散方式、集結點及收容站等相關議

11 輻射偵測問答集，中華民國原子能委員會網站<http://www.aec.gov.tw/www/service/qna/index>

12 汪子文，〈核子事故與輻射攻擊事件緊急應變輻射防護原理〉《核能研究所》，2005年10月，頁3～6。

圖十二 大陸福建省福清核能發電廠與臺灣輻射監測站相關位置示意圖



資料來源：作者自行整理，<http://www.aec.gov.tw/www/service/qna/index>

題；如果未經規劃，疏散時道路必定會因突然湧入大量車潮造成交通阻塞，譬如此等因素均會加重輻射污染範圍；此外，也要考量如果部分區域因遭受輻射塵污染嚴重時，應及早規劃可供該區人員暫時或永久疏散之地。

3.核能災變應急用藥——碘化鉀藥劑，僅針對核能緊急應變計畫區內(各核電廠周圍5公里)控存兩日發放數量，視情況再發予民眾服用，但對於核能緊急應變計畫區外，目前並沒有相關計畫。

4.化學兵核子事故救援：國軍執行核子事故救援任務，由第三(四)作戰區負責成立核子事故支援中心，由作戰區指揮官

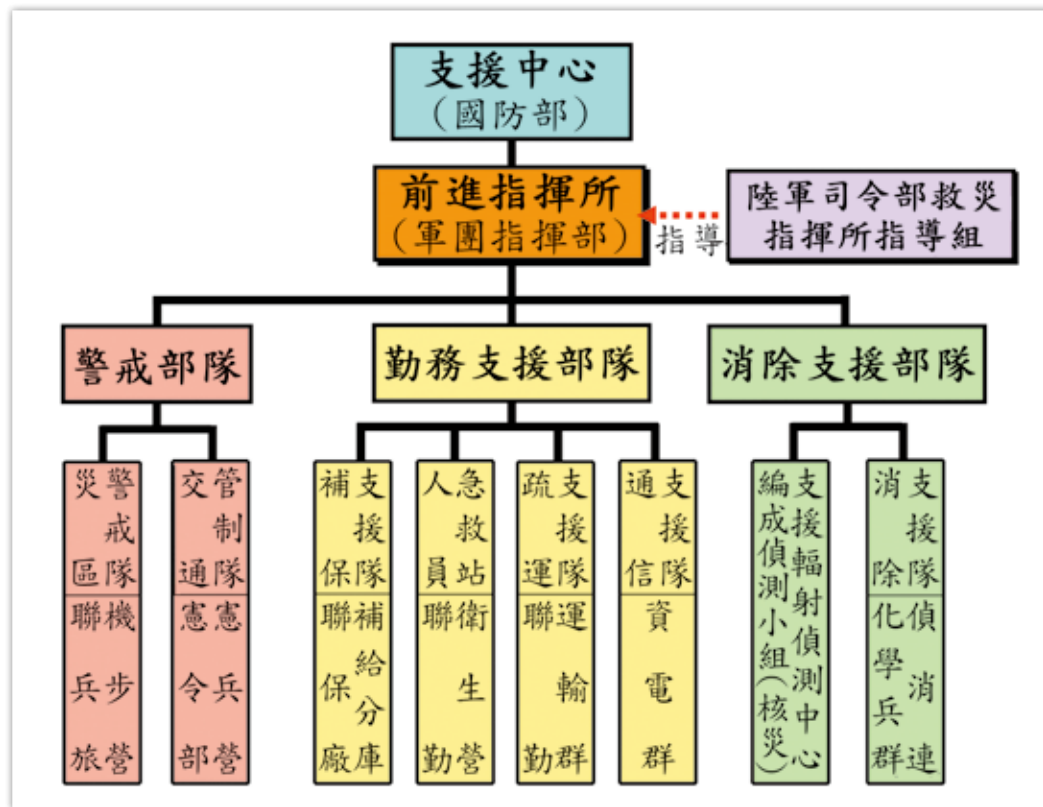
任組長，編成指導組、救災應變組、安全維護組、新聞管制組及前進指導組，下轄現場指揮所暨所屬勤務支援部隊(補保支援隊、疏運支援隊、人員急救站、通信支援隊)、警戒部隊(災區警戒隊、交通管制隊)及消除隊等任務部隊(如圖十三)。下轄之現場指揮所由臺北(潮屏)作戰分區編成，受支援中心指揮，配合新北市或屏東縣政府、原能會北(南)區輻射監測中心等單位，指揮、管制陸軍第33、39化學兵群等支援任務部隊執行實際支援任務。

二、興革意見

面對中國大陸核能發電迅速發展，我



圖十三 支援中心編組體系圖



資料來源：林裕翔，〈非戰爭軍事行動中化學兵執行毒性化學物質災害救援作業程序之研究〉《陸軍化學兵100年戰法研討會論文集》，頁2-12。

國除持續加強監測其各核能機組狀況外，也因應這項全新環境威脅，持續強化緊急應變設施與通報機制，建立永續發展的緊急應變機制，相關建議如下：

(一)加強對鄰近核能發電廠偵測

我國應於外島(如連江縣、烏坵鄉等)加設輻射偵測站，或藉由海、空軍於臺灣海峽執行巡弋任務時，監測周圍輻射值，期能及早發現異狀，以爭取反應時效；甚至與大陸完成核安通連機制，俾於核子事故發生第一時間獲得預警。

(二)檢討國軍救援能量

臺灣目前除新北市與屏東縣因境內有核電廠，故有較豐富核災救援經驗，

但其他縣市，如與大陸核電廠鄰近之連江縣(距福建省福清核電廠僅184公里)或人口密集之新竹縣、桃園縣等地卻極度缺乏核災救援能量，如突然遭受大陸核子事故波及，將因人心恐慌而加深災害所帶來之傷害，對此相應措施如下：

1.提升輻射偵檢能量

建議應增購輻射門框偵測器或快速輻射偵檢器(如圖十四)，增加輻射篩檢能量，以免因偵測儀器不足，延宕人員輻射消除時間。

2.執行消除人力不足

當北部核子事故發生時，可緊急調撥化學兵36、39群跨區增援，相對其他

區域也以相同模式辦理；甚或將消防隊、中華民國救難協會或後備動員等民間單位納入協助人員除污偵檢工作，以爭取人員輻射消除作業時間。同時，為了因應國軍精實案人員編組持續減少，往後勢必更需仰賴後備動員加入救災或環境復原等工作，以彌補救援人員數量不足之罅隙，故平時教召、點召時，應加強後備人員相關核災救援教育之訓練，以備不時之需。

3.強化個人防護裝具

救災視同作戰，但國軍官兵健康也十分重要，目前輻射個人防護裝備以輻射防護鉛衣防護效果較佳，因此，平時也應儲備適當數量，以確保救災人員生命安全。

4.統合救災部門能量

日本福島核災時日本全國總動員，畢竟複合式災難發生，不僅是專業化學兵的责任，且許多裝備原本並非化學兵部隊所配屬裝備(如74式戰車、CH-47直升機等)，但因應需求也投入救災行列，甚至在投入高壓水車與高空灌漿車等諸多裝備，也非專業化學兵部隊所配屬制式裝備(如圖十五)；因此，就目前國軍核安演習方面應加強三軍聯合救災與軍民聯合救災項目，以強化國家整體救援能量。

5.研發救災專業機具

(1)提升核生化偵檢車防護能力

我國可參考日本改裝82式裝甲偵察車，成為化學防護車(如圖十六)，改裝自主研发雲豹裝甲車，成為新一代核生化

圖十四 輻射門框偵測器



資料來源：蘋果日報，<http://www.appledaily.com.tw>

偵檢車，於事故時不僅可機動指揮調度核災搶救作業，也可充當人員或裝備進出災區載具使用。

(2)建構精準輻射塵擴散模擬系統

國軍現今輻射塵擴散模擬系統，僅針對核爆落塵予以推測模擬，但面對大陸核電廠輻射塵，以現有模擬系統無法準確提供相關數據；因此，建構精準輻射塵模擬系統，讓我國能在輻射塵來襲時，能實施有效之救災措施。

(3)積極研發遙控機械救災設備

由福島核災可知許多先進遙控機械救災設備，值得我國加以研發，以提升我救災能量，相關裝備如下：

A.空中遙控偵測技術

參考美軍使用全球之鷹無人載具(如圖十七)，對福島核電廠進行監測，國軍可利用現有中科院研發UAV無人飛行載具，裝載相關監測儀器，以取得空中或遠距相關資訊。

B.新型機械人



圖十五 日本自衛隊參與核反應爐灑水降溫示意圖



圖片來源：蘋果日報，<http://www.appledaily.com.tw>

美國現役機器人 (Packbot)(如圖十八)，於日本福島核災時，代替作業人員前往高輻射區域實施偵測作業，於4月20日成功接近反應爐周圍，並測得福島核電廠各反應爐輻射數據。

6. 爭取國際技術交流

此次日本福島核災美國與日本投入許多高科技設施外，日本自衛隊與美軍也有許多核生化專業部隊，在此次核災中，發

圖十六 日本化學防護車



資料來源：朝日新聞，<http://www.ANNnews.com.jp>

圖十七 美國全球之鷹無人載具



資料來源：蘋果日報，<http://www.appledaily.com.hk>

圖十八 美國機器人(Packbot)進入核反應爐機組廠房



資料來源：日本NHK新聞，<http://www.NHKworld.com.jp>

揮其專業使災情獲得有效地控制，諸如日本中央特殊武器防護隊、美國海軍陸戰隊生化特種部隊(CBIRF)等，應在日後爭取交流機會，提升我整體救災效能。

結語

由於中國大陸對於能源需求與日俱增，所以對於核能發電抱著極高度期待，因此，刻意淡化核能災變所造成之後續影響，如此容易造成漠視核能安全之後遺；正如前蘇聯就是將車諾比核子事故中石墨水

冷式核能反應爐，在設計時就過分彰顯其軍事與民生兼顧之特性，卻忽視其核能安全考量方面的問題，最後釀成極嚴重核災事故。且大陸核能發電計畫，大部分坐落於人口密集地區或與我國鄰近省份，並有逐步沿長江流域往內陸發展趨勢；因此，我國在面對大陸核能發電發展之際，應先行擬定相對應之應變方案。特別是大陸東南沿岸各核能發電機組之掌握，將是我防範大陸輻射污染必要作為；就以往我國對於輻射防護方面，僅著重於臺灣島內核電廠為主，也應因時制宜加入大陸輻射塵之應變作為，以減少其核子事故對我國之衝擊。

參考文獻

- 一、李名揚，〈核能新思維〉《科學人月刊》，76期，2008年6月。
- 二、馮克林，〈中國大陸核能組件國產化進程概述〉《工業材料雜誌》，278期，2010年2月。
- 三、張闊顯，〈鄰近國家嚴重核事故之大氣長程輸送對臺灣的影響評估〉《國立中央大學大氣物理研究所碩士論文》，民國92年6月。
- 四、彭啟明、劉啟文、張闊顯、林能暉，〈境外核子事故擴散對臺灣影響之探討〉《前瞻科技與管理特刊》，2010年11月。
- 五、汪子文，〈核子事故與輻射攻擊事件



- 緊急應變輻射防護原理》《核能研究所》，2005年10月。
- 六、「國家核應急工作"十一五"規劃綱要」，中國大陸國家核應急辦公室，2006年8月。
 - 七、輻射偵測問答集，<http://www.aec.gov.tw/www/service/qna/index>
 - 八、Hideo KUBOTA，China's Nuclear Industry at a Turning Point，E-Journal of Advanced Maintenance，Vol.1,No.3,GA6。
 - 九、陳志宏，〈日本首度裝填MOX燃料奠定未來核燃料循環基礎〉《臺電核能月刊》，2009年。
 - 十、徐懷瓊、梁天瑞，「赴中國核工業集團公司交流運轉經驗與核安文化」，臺灣電力公司，民國99年7月。
 - 十一、Beloyarsk Nuclear Power Sation，維基百科http://en.wikipedia.org/wiki/Beloyarsk_Nuclear_Power_Plant。
 - 十二、朱鐵吉，〈中國快速擴大核電建設〉《財團法人核能資訊中心簡訊》，123期，2010年3月。
 - 十三、〈兩岸交流核安美方關切〉，自由時報電子報，<http://www.libertytimes.com.tw2009newoct28today-p1.htm.mht>。[2009/10/28]
 - 十四、〈國際核能最新發展情勢——2010年十月〉《中華民國核能學會核能新聞》，2010年10月。
 - 十五、〈中國：採購2座快滋生反應爐〉《中華民國核能學會核能新聞》，2009年10月。
 - 十六、〈中、比核能合作核燃料製造廠及研發計畫〉《財團法人核能資訊中心簡訊》，127期，2010年12月。
 - 十七、徐明德、鄧文俊、蘇軒銳、孫敬業、高莉芳，〈出席第十屆兩岸核能學術交流研討會與參訪相關核能設施〉《原子能委員會第10屆兩岸核能學術交流研討會》，2010年12月。
 - 十八、康慧，〈核災應急簡介〉《中國核電》，第3卷第2期，2010年6月。
 - 十九、張建興，〈我國災害防救體系之研究——以地方政府核子事故緊急應變為例〉《國立中山大學公共事務管理研究所在職專班碩士論文》，民國93年6月。
 - 二十、施建樑、陳明輝、高良書、田景光、馬殷邦、郭木進，〈赴大陸與核安全局、中核集團及廣核集團設計院、中科華研究院與北京廣核利公司討論技術交流合作〉《核能研究所》，2010年2月。
 - 二一、〈中國核工業集團總經理康日新遭調查〉，華爾街日報中文網，<http://www.cn.WSJ.com>，2009年8月5日。
 - 二二、〈國際核能最新發展情勢——2010年十一月〉《中華民國核能學會核能新聞》，2010年11月。
 - 二三、World: Asia-Pacific Chinese nuclear accident revealed，BBC line network，<http://www.bbc.co.uk/>，1999年7月5日。
- 收件：101年2月29日
修正：101年3月1日
接受：101年3月2日