

日本福島核災的省思

歐陽敏盛教授

財團法人核能科技協進會董事長

2011.6.14.

前言

天災地變釀成了核能發電史上的第三次大災難。在 2011 年 3 月 11 日下午二時許，於日本東北宮城岩手縣外海發生了九級地震，隨後引發了十二米高以上的海嘯，使日本福島第一發電廠六部機組相繼發生包括爐心融毀及燃料池乾涸燃料損毀的大意外，形成了繼天然災變之後的複合式肇因核能災變。全世界在蘇聯車諾堡核災之後又一次的大傷痛。舉世運轉中的電廠立即安排停機進行安全檢查，全球爆發了反核風潮並檢討現有的能源與相關產業結構。臺灣緊鄰日本南方，亦因此引起社會的極大緊張，視訊媒體更是時刻不停的進行災變情勢的報導，如此經歷幾近月餘，專家與名嘴連番上陣大肆議論。現在也到了我們該靜下心來檢視臺灣在這一事件上學到了那些，又有些什麼該改善的，以備萬一有任何災變來臨時，如何求得生存並降低損失至最小程度，俗話說：多一分準備，少一分災禍。

歐洲的德國、意大利、瑞典、芬蘭、荷蘭等國家，因車諾堡事故從用核走向廢核，但是二氧化碳與溫室效應造成地球氣候巨大的變遷，又把這些國家拉回到使用核能的議題。現在福島核災之後，世人應該如何面對核能與能源問題是大家的共同挑戰。臺灣應有共同的心理準備是我們可能從核能走向非核，再從非核走回讓人安心的核能使用，這一切的共同焦點是核能安全。

核能常被專家強調其安全措施，但是從三哩島事故、車諾堡事故及福島核災都是發生在核能技術先進的國家，姑不論其發生的緣由為何，這些事故充分顯示一個事實，那就是，核能安全不純粹是核能技術的問題，核能安全應包含安全監督體制、運轉的安全文化及人類對大自然劇烈變化及歷史記錄應有謙虛的態度。

核能電廠的安全設計的首要便是不能使核反應器失控產生爐心爆炸，其次是停止核分裂反應之爐心必需持續冷卻。最後是，萬一有放射性物質從爐心洩漏出來，則必使其存留在圍阻體或反應器廠房內，不使污染環境及危害四周居民健康。

在災變初發生時，最重要的事情便是如何防止爐心內部大量的放射性物質洩出場區之外。電廠運轉者這時的工作是讓運轉中的反應爐停止核分裂反應，也是一般所謂的插控制棒停機（簡稱急停），以立即降低爐心的熱源。停機後的爐心尚有大量的反應爐餘熱，必需利用持續運轉的冷卻水系統予以移除。

核能發電的基本原理和一般傳統的火力發電最大差異的地方是核燃料在分裂反應之後會遺留下分裂產物（又稱分裂碎片）具有極高放射性，其放射出射線的巨大能量會持續在核燃料內轉變成熟，若不以冷卻水將熱帶走，則其熱能會累積致使燃料棒會達到二至三千度的高溫，以致使爐心融毀釋放出放射性物質。

這次日本 311 地震一發生時，所有福島附近運轉中的機組均立即自動停機，算是為安全作了最必要的把關，並且緊急備用電源也啟動進行爐心冷卻，使系統維持安全狀態，但不幸的緊接而來的海嘯把所有的安全系統摧毀。海嘯過後的福島一廠的狀況是危急的，對外交通及電訊全部中斷，孤立無援的運轉人員在電廠全黑，無任何電源可持續運轉冷卻系統的情況下只能眼睜睜的看到爐心溫度與壓力持續升高，終致爐心內部融毀，氫氣外洩產生氫爆事件變得不可收拾。

福島核災是追隨著地震與海嘯而來的，若不是有巨大天災起頭導引，是不致於產生如此重大核能巨變，全世界沒有人可以指責日本應付如此災變的能力的低下。因為，目前所有的核電設計並未涵蓋這樣的情況，誰又能保證能全然無恙的渡過福島危機，這是全世界的核能人必需重新學習的功課。

〈功課一〉海嘯防範的問題應列為濱海地區核電安全的重要議題

很多核電站為了就近以海水作為最終冷卻而建在海邊，這次福島核災最

大的肇因是海嘯沿著平坦的海灘直接侵襲致使所有安全系統同時失效。檢視福島一廠之災難現場就可明瞭大自然是如何精準的給核電如此重擊。從事後檢討，安全系統可用擋水防水及提高其裝置之水平高度或位址等顯而易見的作為來防範海嘯的侵襲。

〈功課二〉核能機組在任何狀況下均必需具備孤軍作戰的能力

以下是幾項必需改進注意者：

- 備用外接式冷卻水水源，用以補充冷卻水的流失
- 爐心系統設有快速降壓機構使系統儘早冷卻
- 快速連結的緊急灌水注水管路以備管路破損之替代
- 機動式水泵系統作為備用冷卻聯結之用
- 建立機動外加式電源系統以輔助固定式備用電源
- 建立管路緊急止漏止洩的搶修技術，以減緩冷卻水流失

這一功課的目標是強化機組的獨立冷卻能力，雖然新一代的電廠有類似的思維和設計，但仍需再次的檢討，相信還有很多的應變措施可以加入。

〈功課三〉世人應打破對放射性污染過度渲染與恐懼的迷思

當核能機組在正常運轉時是可以讓所有的輻射污染被侷限管制區內極為少數地點，但是當機組在危急的情況之下應允許少量的放射性氣體外洩。這次福島的教訓是密不通風的機組廠房因氫氣爆炸而使廠房被爆掀，使大量放射性物質在毫無遮攔的情況下大量拋洩至外界。核能機組的廠房內設置燃氫器固然可解決部份問題，但其運轉仍需有電力，較為保險的作法應在廠房頂上設有排氫設施及燃氫器，在燃燒不及時允許氫氣快速排至廠房之外，以免氫爆。排氫設施難免有挾帶放射性氣體的可能，但畢竟是少量，不至危害四周環境。

〈功課四〉燃料池的安全應受高度重視

用過核燃料尚有很大量的具放射性的分裂產物，若無適當之冷卻其融毀的機會仍是很大，對四周環境的威脅並不亞於爐心內的燃料。這次福島

核災正警示世人，應儘早將此類高階廢料妥善處理。貯存密度過高的燃料池應立即設法疏散，包括乾式貯存及外送再處理都是可行的辦法，而燃料池的保固維護及冷卻系統的改善更是當務之急。

〈功課五〉媒體講述說明核災狀況對安撫民心極為重要

核能機組四周一定範圍內居民的生命與健康維護是政府的責任，但是就連遠在千里之外的民眾亦掀起一片熱潮搶購碘片或食鹽，雖然事後大家相互安慰嘲弄一番，但是這凸顯了一個很重要的議題。我們不能期望民眾能瞭解核能安全及輻射防護的精義，要民眾能不驚慌是不可能的，我們能作的事是讓很多精確瞭解核災的專家教授們儘快上媒體新聞向民眾說明清楚，以降低民眾的惶恐心情。只有正確的訊息快速傳播才能免除不正確的訊息誤導群眾。

〈功課六〉積極培訓年輕運轉團隊

核能發電運轉者實際上負擔了很重的社會責任。因此，運轉者應有良好的學識、品行再加上嚴格的培訓；在精神上運轉團隊應有與廠共榮辱的崇高精神和意志，其身心要年青，體魄應強壯，技術要熟練。在人事制度上應以年輕化加速新陳代謝。有良好品質的運轉團隊，才能在災難之時發揮救災的功能。

〈功課七〉科普教育的提昇是免去民眾恐慌的重要工作

福島核災引起世人密切關注的是使用鈾鈾混合氧化物為燃料的機組有融毀可能，並且在環境中疑有偵測到鈾的踪跡。大家對於鈾是否污染了環境深切疑慮，但是「鈾」是真的讓人恐怖嗎？

鈾是密度很高的重金屬，其主要同位素是鈾-239，半衰期為2萬4千多年，很多反核團體常拿其長半衰期及具有極大毒性來作為其立論基礎，又鈾-239又是可作為組裝核彈的材料，更顯其恐怖了。

在一般的生活裏我們可能遭遇到的毒物很多，這些有賴政府相關的部門盡責的幫我們把關，我們才可能安心的生活。同樣的核能安全與輻射防

護是政府核安管制機關的職責，但是這一方面的工作和一般民生相關的食品藥物等管制工作極大不同的地方是核能與輻射相關的作業均是由專業人員執行，一般人是不容易直接碰觸，使得這方面的作業不易為一般人所瞭解。神秘的事情總會令人猜忌害怕的，解決之道是科普教育的推廣，提高一般人對核能與輻射的正確認識。

〈功課八〉輻射傷害是有一定的範圍和途徑的

打破輻射造成無限傷害的迷思是輻射防護專家們必要再努力的重要工作。一般民眾是無法瞭解深奧的學術理論，尤其是輻射防護專業所用的單位（侖目、侖琴、西弗、居里、貝克……等等）。有時一些簡單的事實的揭露更顯真理的簡單易懂。以下僅舉一些簡單的事例：

- 輻射對人體的傷害分成體外照射與體內污染兩種，只要遠離照射源及避免攝入有輻射污染的物質即可保平安。
- 鈾在西元 1975 年前由於核子試爆已有近六千公斤進入大氣，污染了地球，幸好鈾粒子密度比鉛還大，很快就沉降在地表為泥土所吸附或沉降海底。鈾是受嚴密管制的物質，一般人是無緣和鈾接觸的，這次輻島核災縱使有鈾外洩，應已沉降於當地。
- 輻射的傷害在於其放射的粒子或射線具有高能量，若進入人體則易破壞細胞之正常功能。幸好人體的細胞新陳代謝使其具有相當程度的免疫力。放射性元素的半衰期是其放射性存在的時間因素，並不代表其毒性的強弱。在人體內有天然的放射性元素鉀-40 其半衰期長達十三億年比鈾-239 還長很多，只不過鉀-40 的衰變釋放 β 粒子及 γ 射線，較不易傷害細胞，而鈾-239 衰變會釋出 α 粒子，對細胞較具殺傷力。
- 射線和粒子對於細胞的殺傷力是由其沿途所轉移能量的多寡所決定，轉移能量愈快愈多則具較大殺傷力。 α 粒子因其能移轉的路徑很短，會把其所具能量在極短的時間和距離內交付出去，因此，單一細胞所接受的能量就很多，對細胞就有很大的傷害。由此推論，因 β 粒子及 γ 射線的路

徑很長，所交付給細胞的能量就少很多，因此殺傷力就明顯的遠少於 α 粒子。

〈結論〉

在天災地變的極端情況下，核反應器運轉者首要之務是將反應器爐心降壓冷卻，圍阻體及反應器廠房應釋壓排氣，在最緊急的關頭，微量或少量放射性氣體排放是被許可的，受污染之水必須設法收集以降低對環境的污染。無論耐震設計如何，地震損毀冷卻系統管路是極為可能的。但這次福島核災的致命傷卻是海嘯同時損毀了多重防護的冷卻水系統，尤其是運轉這些系統所需的電力供應系統最先失效。為了防止核災發生，我們設計了多重冷卻防護，又以多重電力供應來運轉，但卻毀於單一的海嘯襲擊。對於電廠的安全設計是到了一個設計基本理念該反思，甚或反轉的時代了。為了在任何急難的情況下均能求得存活之路，核能運轉者應向作戰艦艇戰士學習緊急救護作業技術。運轉員應提昇團隊精神，如同戰場上的戰士，把與廠共榮辱當作團隊精神的重要信念來加強安全運轉的品質。