

李敏： 台灣不能 放棄核能



台灣該不該使用核能發電，是爭論已久的議題，但支持與反對核電的人士一向各說各話，少有交集。支持核電的清華大學工程與系統科學系教授李敏，以及堅定反核的台灣環保聯盟會長、清華大學社會所教授王俊秀，在4月27日清華大學所舉辦的「台灣的未來——擁抱還是拒絕核電」公開辯論會中，理性探討核電政策的各個面向。《科學人》採訪節錄其中要點，提供讀者不同角度的思惟。

採訪整理／李名揚

日 本福島第一核電廠剛剛發生核災，在這個當下，我不呆、不傻、不瘋，為什麼還支持核能發電？

能源是近代文明的基石，能源穩定供應是國家持續發展的命脈，而能源政策也必然是國家政策的一環。每個國家的能源政策，會因客觀條件和主觀認知不同而有所不同。

台灣的人口佔全世界的0.3%，電力消耗佔1.3%，超過99%的能源依賴進口，僅有的自產能源是水力發電和少量天然氣，我們的能源政策必須考量這些限制。

核能發電有什麼好處？

首先，核燃料的能源密度極高，燃料體積小、重量輕、運輸儲存方便，安全儲量可長達18~36個月；我們一年進口6500萬噸煤，76%用於發電，安全儲量卻少於45天。再來，核電廠建廠成本很高，相較之下，採購燃

料鈾的費用非常少，只佔發電成本的4%；所以核電廠一旦建好，發電成本不易受到國際能源價格波動的影響。

第三，核能發電不會排放二氧化碳。未來國際上可能對二氧化碳排放進行管制，產品也可能依碳足跡課進口稅，使用核電可以因應這些狀況。以我們的主要競爭對手韓國來說：韓國的核電佔了35.6%，台灣為20.4%；韓國發一度電產生0.445公斤二氧化碳，我們卻產生0.57公斤，將來碳足跡變成競爭力時，我們要怎麼辦？最後，我們身為地球村一員，有義務與責任為減少碳排放盡一份心力。

台灣使用核電已30年，根據核子工程國際組織2009年的評比，台灣的績效（包括安全績效）在全世界排名第四，僅次於芬蘭、荷蘭、羅馬尼亞，這三國的核電規模都小於我們，顯示我們有能力使用核能發電。

再看看國際現況：目前全世界共有436部核電機組，其中烏克蘭有15

關於與談人

李敏是清華大學工程與系統科學系教授、中華民國核能學會理事、美國麻省理工學院核工博士，長期關注能源議題。

部，2009年核電佔比為48.6%，排名世界第五。烏克蘭是受車諾比核災衝擊最大的國家，但他們現在仍大量使用核電。瑞典高喊廢核已20年，現在核電比例37.4%，遠高於台灣的20.4%，因為在「不應增加溫室效應氣體排放」的理念下，核能和水力成為其主要的電力來源。法國在1970年代就決定了核能是唯一的路，日本則把核能當做選項之一，另外的選項是水力和天然氣。你若問我福島核災之後，日本會不會放棄核能？我可以很肯定地講：「不會。」因為他們幾乎沒有別的選擇。

事實上，到目前為止，福島災變中，包括電廠的工作人員在內，尚沒有任何人出現輻射傷害症狀。我也不認為福島會有一塊區域將來長時間不能住人。福島第一核電廠善後與核電廠的除役相似，看願意花多少成本，可以決定恢復到何種程度。以全世界第一座壓水式反應器的美國西濱港（Shippingport）核電廠為例，甚至可以做到用途不受任何限制，蓋住宅、學校都可以。

有人主張核四蓋好了不要用，核四裝置容量2700百萬瓦，佔台灣總裝置容量的6~7%，投資3000億元以上，是我們大家的錢，若蓋好不用，成本轉嫁到哪裡？電價嗎？

用再生能源替代不行嗎？

核能有的好處再生能源都有，因此全力發展再生能源是無悔的政策，但是必須認知下面的事實：

再生能源發電的「裝置容量」不等

於「發電量」，風力發電在沒風的時候就沒電，太陽能板則無法在晚上供電；風力和太陽能的瞬間發電能力無法預測，幾乎無法調度，比例過高時，會衝擊到電網供電的穩定性，必須搭配其他的發電方式，才能維持電網的穩定。發展風力發電最有名的丹麥，其實主要是靠挪威的水力發電維持電網的穩定：電力不足時向挪威與瑞典購電，而瑞典的部份電力來自核能；風力發電量太多時，則把多餘的電賣給德國等鄰國。售電價格有時是負的，因為停止發電對機組不好，只好付錢拜託別國幫忙用電。

台灣的電網是獨立的電網，能夠承受的再生能源發電比例有限；就算不計成本發展，還是需要其他可以遞補的發電方法，也需要電池或水庫等儲能裝置。當然我們也可以建一條海底電纜連接中國的電網，就可以更有彈性地使用再生能源，但你不擔心能源安全被人家控制嗎？德國在福島核災後，立刻關掉七座核能機組，轉向法國買核電；未來若要關掉其他10部機組，還必須跟俄羅斯買天然氣。俄羅斯的天然氣輸送管路經過烏克蘭才到西歐，西歐國家每年都祈禱俄羅斯與烏克蘭不要因過路費起衝突，因為這關係到歐洲的能源安全問題。

反核的人總說我們留核廢料給後代子孫處理是違反世代正義，那若我們現在把石油、天然氣用光了，就不違反世代正義了？又說台灣出口許多太陽能發電設備，為什麼自己不用？因為台灣就這麼小一塊土地，而太陽能發電需要很大的面積。也有人說可用風力發電替代核電，事實是：一部5百萬瓦的風機，其葉片長度超過60公尺，

要在台灣海峽擺1600座才足以取代核四的發電量（風力發電機平均只有約1/3的時間可以發電），這要怎麼建造？怎麼維護？使用時如何維持電網穩定？不能只是空談，卻不講執行面和投資面的問題！

減少碳排放，非核電不可？

政府2008年提出的永續能源政策綱領規定：2025年低碳能源（包括再生能源、核能和天然氣）佔比要從40%提高到55%以上，二氧化碳排放要回到2000年水準，但從沒有人算過這要如何做到，我認為根本做不到！若捨棄核電，離目標就更遠了。

提高電價可以提升能源效率，提升能源效率和改變產業結構則可以節能減碳，若節省下來的電力用來替代燃煤發電，減碳的效果更可以彰顯。提升能源效率、改變產業結構、發展再生能源、持續使用安全的核能，是台灣能源政策的基石，就像是桌子的四支腳，缺一不可。

身為專業人士，我從來沒講過核電絕對安全，但其實人們對輻射的莫名恐懼才是核電發展的最大障礙！

核電可以維持能源供應與價格的穩定，又可減碳，是台灣不能放棄的能源選項。

1979年美國三哩島事故的肇因可以歸納為設備故障及人為疏失，經核電界徹底檢討與改善，32年過去了，全世界的核電廠都未因類似的原因，

發生相同等級的嚴重事故。福島核災的肇因為天災，日後的檢討一定可以提升核電廠因應天災的能力。

人活在世界上有些基本的需求，執政者應該設法在主客觀環境的限制下，滿足人民的需求。如何帶國家走在風險最低的道路上，是執政者的智慧與責任。

王俊秀： 我們還有 其他選項



我們處在風險社會，到處都是風險。例如開車，方向盤掌握在自己手裡，出了事自己負責，是「自願風險」；核電廠卻是「非自願風險」，這是我們不願意承擔的，當我們被迫選擇接受核電廠的風險，就很不安。

而且根據莫非定律：凡事可能出錯，就必定會出錯。汽機車都會出錯，核電廠也一樣，這更讓人恐慌。恐慌是沒有數據可以展現的，而恐慌的理由是「別人已發生問題」，車諾比和福島顯示了「科技產生的問題，科技沒辦法解決」的現象。若有替代方案，我們應否把核電廠全停掉？

核電風險有多高？

從車諾比到福島，核電廠危險的本質已經充份展現，包括機器設備的故障、人為操作的失誤，以及「不知天災何時會降臨」的恐懼。核能專家說福島核災是因為地震強度超乎核能工

業原本的想像，但未來規模9、10的地震會不會成為常態？這在社會學稱為「正常的意外」，即意外已經不是意外，這種情況更讓我們非常不安。

如果台灣遇到複合式災難，可能會跟福島一樣。台灣的核電廠附近有古斷層，而最近很多以前認為不會動的斷層都開始活動了。此外，成功大學水工所曾經在1983年做過模擬，認為台灣東北可能發生24公尺的海嘯，核一、二、四廠根本無法應付。

人禍也造成很大的問題，而且不是核能專家有辦法解決的，因為那不是核島區裡面的科技問題，例如圍阻體的興建等土木工程與台電的管理文化。核電廠計算風險概率被稱為「科技事實」，但是它可能明天就發生，稱為「社會事實」。號稱客觀計算出來的風險概率並不等於民眾主觀認定的風險認知。

另外在不同時間由不同的人進行工作，這種「作而不合」的過程也是一

種風險。核四還因為停了又建，產生擅改設計、偷工減料等問題。此外，核四從統包改成分包，由一家公司負責變成很多家公司各做各的，這些公司不知道工程目標為何，也不清楚自己這部份為什麼要這樣做，成為很大的風險來源。

核電廠可稱為「風險擴大器」，因為主導核電廠的人，包括原能會和台電的成員，都出自清華大學核子工程學系（現改名工程與系統科學系），只有一維觀點，這種科技獨裁會擴大風險。他們在同樣的框框裡，以為一些事情理所當然，忘記了核能問題已經不只是科技問題，而是政治問題，很多核電機組是受到美國的壓力而買的，所以也是社會問題、倫理問題、消費者問題。科技問題當然要尊重科技專家，但在做是否興建的決策時，核能專家的專業範圍就太狹小了。

既然核四有可能出問題，為什麼不停建？已經花掉的錢，還是有辦法賺

關於與談人

王俊秀是清華大學社會學研究所教授、台灣環保聯盟會長、美國德州理工大學土地利用、管理及設計博士，長期關注環境與社會議題。

回來。1972年德國的卡爾特核電廠也是建好後不發電，改成遊樂場，大家可以不必穿防輻射衣，自由自在參觀核島區，了解核電廠的一切，是非常好的能源教育。若搭配今年6月上路的「環境教育法」，只要10年，當初投入的建廠經費就可以回收。

不用核電，怎麼發展經濟？

核電其實是被「努力發展經濟」這件事追著走的。許多人有一個迷思是「經濟不發展，毋寧死」，然而有時發展經濟會對環境造成破壞，我們應該把經濟與環境放在一起思考，才可以均衡地看見世界。台灣有80%都是工業用電，而且工業用電比民生用電便宜，結果是：為了要增加國民生產毛額（GNP），使得工業界的財富分配變成全民的風險分配，GNP也成為「國民污染毛額」（gross national pollution）。

還有，新北市是全世界核電廠最多的都市，新北市的市民會覺得光榮嗎？貢寮因為有一個「鄰避設施」，很多人對外不敢自稱是貢寮人，這種喪失故鄉光榮感所產生的社會成本，難道不應該算在成本裡面？另外，核電事故是集中型的災難，一旦出事，有太多人要逃命，這也會增加許多社會成本。

世代正義是另一個問題。核電廠除役後，高放射性核廢料要放一萬年以上，我們這一代用電，卻把核廢料交給下一代、下下一代處理！我們不應

只佔了發電利益，卻不管後面的事。

為了台灣的未來，我們應該創造一個新的典範，不要追著「價格」跑，而是有一個全新的「價值」，去追求國家的幸福力、快樂力（gross national happiness, GNH），來取代GNP。如果能有這樣的格局，後面的議題和能源政策將完全不一樣。

廢除核電，電夠用嗎？

另一方面，沒有核電其實我們也不會缺電。台灣的容量備載率為28%，離峰時備載率高達45%，而核電廠發電量只佔總發電量的18%，也就是說，把核電廠全部關閉了，也還有10%的備載率。

核電一直被認為可以節能減碳，其實核電廠排放的二氧化碳雖然少於燃煤電廠，但比再生能源高出三倍以上。而且，台灣在核電廠半徑30公里的逃命圈內居住了600萬人，是全世界第二密集的核電國家，僅次於巴基斯坦。在這種情形下，我們應該賭

「地震、海嘯造成核災總有一天會發生，因而不該使用核電」？或是賭「再生能源一直發展不起來，所以必須使用核電」？我會賭前者，因為危險確實有可能發生，而再生能源也確實有機會發展起來。

再說，萬一發生核災，事情無可轉圜，而再生能源即使真的發展不起來，至少我們還活著，還有機會做其他選擇。

我希望台灣的再生能源發電量能達到總發電量的20%，這很困難，但有機會。我們在核電廠投入了數千億元經費，若20年前拿200億元出來研發再生能源，現在台灣的太陽能板產業絕不只如此。我們已經錯失一次機

會，現在與其花錢蓋核電廠，不如投注在可以幫助台灣永續發展的科技，嘗試一些新創意，例如交通大學研發的壓電材料，裝在高速公路下讓車壓過就可以發電。掌握這些事情的機會成本，未來就可能成真。

另外還要推動社區型能源的概念，就是生產小型的風力或太陽能發電機，設立在大樓、社區；再搭配智慧型電網的建立，跟台電的系統併聯，有風用風、有太陽用太陽，都沒有時才用傳統電力，當然也可以賣電給台電。這種分散型發電機有國際市場，可以成為未來的產業。

除了大力發展再生能源，更重要的是「節約一度電比開發一度電容易」。很多人因為沒有水而死掉，但很少有人因為沒有電而死掉，這代表省電是可以選擇的。我們可以改變生活方式，自願回到儉樸的時代；也要加強能源意識，例如改在晚上上課，可減少冷氣用電。簡言之，就是啟動「人民發電廠」。

除此之外，還可建立「能源公民」的機制，這在很多國家已經出現，就是讓人民可以選擇「我用的電要不要包括核電」，這樣即使核電便宜，也有人願意多付一些錢不用核能發的電。同時，由於我們用電時不只考慮價格因素，自然願意節約用電，用這種方式來向科技民主的方向邁進。

地球是我們的家，若將地球歷史濃縮為一天，人類是在最後一分鐘才出現的，結果人類只用了200-300年的時間，就把地球搞成這樣！現在已經到了需要全面思考的時候，包括碳、核能，很多事情都需要檢討。既然知道天災不可測，人類不應該那麼驕傲，應該更謙卑面對所有的問題，包括能源政策。

SA

李名揚是《科學人》雜誌採訪部主任。