

達成我國節能減碳目標並填平核能缺口可考慮的

能源效率方案

楊日昌

工業技術研究院資深顧問，行政院政務顧問

中華民國 100 年 6 月 16 日

我們國家已經有既定的能源效率目標要把能源密集度每年降低百分之二。不論在馬總統已經宣示的我國節能減碳目標（2020 年減至 2005 年）或是我國已經在哥本哈根協定的框架下承諾的 NAMAs（Nationally Appropriate Mitigation Actions）目標裡，能源效率都是最大也是最舉足輕重的一塊，百分之 40 以上的總減碳量需要來自它。現在我們又面臨後福島，核一核二要退場的關鍵時刻，所有供應面的替代 options（主要是天然氣）都有很高的困難度，怎麼提高能源效率，降低電力的需求相形之下也就變得更為重要了。

我們能夠做出足夠的能源密集度下降來達成我們的節能減碳目標並且填平核能的缺口嗎？這答案應該是肯定的，只要我們願意嘗試世界上已經證實有效的 best practices。下面就一一量化的敘述我們能做哪些事來達成這目標。

前提

任何一個可以執行的措施或方案都需要嚴謹的策畫和可行性評估。在模仿國外 best practices 的時候尤其重要的是要充分參考國內的情況。這份報告的重點是提出能夠在我國產生機及節能效果的想法（ideas），當然不會達到那個地步。說明這些 ideas 時所用的數據有的是根據國外 best practices 的經驗，有些是我對國內狀況的瞭解，有些是我的 best guesses，主要是要 demonstrate 和 assure 這些 ideas 的 validity。這些 ideas 如果值得參考，可以請工研院專業團隊用更精確的數據做細部的 due diligence 使研擬的做法更可行，估算的結果更準確。

除此之外，這篇文章 address 的只是能源效率。事實上能源密集度的提升有兩個 elements，一個是能源效率的提升，另一個則是產業結構向低能耗方向的調整。根據國際能源總署（IEA）的分析，這兩個 elements 裡能源效率的貢獻約佔三分之二，產業結構調整約佔三分之一¹。因此我下面提出的這幾個能源效率方案加總之後，還應該要再加上工業局估計 2020 年之前產業結構調整能做出的貢獻，

才是我們總共可以把能源密集度提升多少的全貌。

需要節多少能？

我們節能需要節多少才能達到國家節能減碳的目標？圖一是我根據去年環保署沈署長領導各部會做的 Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) 的結果做的一個彙整。這裡面「GDP 高案」和「GDP 低案」是在未來十年經濟成長率高和低的假設之下，如果要達成政府 2020 年回到 2005 年排放量的目標需要減多少碳，以及這些減量都需要從哪裡來。基本上，如果經濟成長率高（GDP 高案），能源密集度需要每年減 3.1 % 才行。我們現行的百分之二的政策目標只能在 GDP 低案的假設下恰好達成。至於我們對聯合國和哥本哈根協定承諾的減量（NAMAs 目標）則是依據聯合國 IPCC 專家團推薦開發中國家的最高建議目標，其實比這兩個案都低（高案要比 business as usual (BAU) 減 46 %，低案 40 %，NAMAs 則是 30 %）。這比較低的目標如果完全反應在需要降低的能源密集度上，則我們承諾出去的 NAMAs 目標只需要每年能源密集度降低百分之 1.2（高經濟成長率）和 1.0（低經濟成長率）就可以做得到。

	「GDP 高案」 (比 2020 BAU 減低 46%)	「GDP 低案」 (比 2020 BAU 減低 40%)	我國NAMAs承諾 (經濟成長「高案」)	我國NAMAs承諾 (經濟成長「低案」)
20101~2020 年 總需減碳量 (Mton/yr)	213.0	166.0	139.5	125.4
能源密集度降低 所需做之貢獻	59.6 %	45.9 %	38.3 %	31.3 %
能源密集度降低 需要造成的降低量 (Mton/yr)	127.0	76.2	53.4	39.3
2011~2020年 能源密集度 需要年平均降低率	3.1 %	2.0 %	1.2 %	1.0 %

圖一：各減碳情景需要達成的年能源密集度降低目標

以上的分析當然是在以前核一和核二都要延役的假設之下算出來的。核一和核二代表的減碳量大約是 16 百萬 ton CO₂ eq.。如果這缺口用能源效率來補，上面所提的百分之 1.2 和 1.0 就大約需要提高到百分之 1.6 和 1.4。這是達到 NAMAs 目標（比 BAU 減百分之 30）需要做到的。至於政府 2020 回歸 2005 的目標（比 BAU 減百分之 46 或 40），在我們沒有核一和核二這缺口前就已經是每年能源密集度降低百分之 2 達不到的了，再加上核一和核二的缺口就更不可能了。因此

我建議我們先 focus 在 NAMAs 這個比要可行的目標上。更高的目標就在我們達到 NAMAs 以後再來探討吧。

財源

節能減碳絕不是免費的午餐。節能減碳的「政策」也絕對不是免費的午餐。在一個老百姓（和企業）當家作主的民主社會裡，有用的節能減碳政策需要三個支柱：一個是棍子（法規），一個是胡蘿蔔（誘因），第三個則是推動一切事情都需要的「財源」。這財源固然可以來自國家的稅收（如 tax credits 等），但是最好（也是最公平合理）的做法是從能源價格裡攤出（多用能源的人多負擔）。因此將來主要的來源將有兩個：一個是能源稅，一個是排放交易制度的收入。在這兩個之間，因為排放交易的設計比較複雜，時程看起來也比較晚，所以執行節能減碳政策的財源應該主要會來自能源稅。事實上，美國現任能源部部長朱隸文先生曾任職過執行長的 Lawrence Berkeley Laboratories (LBL) 和美國能源效率的權威智庫 American Council on an Energy Efficient Economy (ACEEE) 的研究都顯示以誘因做為達成節能減碳的做法要比能源稅以價制量的成本低七到八倍之多^{2,3}。

如果我們要探討大概需要多少錢來 drive 一個積極的節能減碳方案，我認為現在行政院正在探討的擬抽百分之 10 的能源稅只要拿一半出來用在有用的節能減碳措施上就已經是 more than enough 了。這原因是「誘因」政策如果做得好的話，它是一種「leverage」的機制。如果我們補助百姓和企業百分之 20（事實上多半的誘因措施可能不需要高到百分之 20 就已經可行了），激勵他們去做節能減碳的設備購置、改善工程或其他投資，我們每花一塊錢就誘發他們花四塊錢，因此我們如果每年花 200 億來做誘因（只需要提高能源價格百分之 2 以下），民間就會花 800 億做節能減碳。加起來是 1,000 億的效果。我們國家到現在都還沒有分析過我們執行節能減碳需要每年比 business as usual 多花多少錢才做得出來。我過去曾經用 IEA 450 Policy Scenario 裡估計的成本和減量 curve⁴ 和我們的減量 curve 比較，粗略的估計出我們一年大該需要花 1,000 億元上下。我可以很有把握的說，沒有誘因來 leverage，這 1,000 億是絕對出不來的。

建築

這一塊包括住宅和商業，佔我國能源總消耗的百分之 25，電力總消耗的百分之 44。它的節能標的分兩大塊：新建築和舊建築。

新建築

新建築的節能方案主要是建築法規。我們國家每年新增新建築大約百分之 3。為

了方便了解，lets say 我們國家現在有 100 棟建築。十年後就新造了 34 棟新建築（1.03 的 10 次方）。如果政府能通過新建築法規，可以比現在節能百分之 20，這 34 棟新建築就節約了相當於 6.8 棟舊建築的能源。

舊建築

舊建築的主要節能方案是提供誘因。這誘因有各種不同的方法。美國各州績效較優良的 Utility Efficiency Program 每年投入總電費收入的百分之 1.5 到 3.5，可以抑低用電百分之 0.7 到 1.8。十年下來就累積節省了每年總用電的百分之 6.8（1.0 減 0.993 的十次方）到 16.6。如果針對舊建築節能我們國家投入建築物總電費的百分之 2（我國總電費大約 5,000 億元，建築佔百分之 44，所以 5000 乘以 0.44 乘以 0.02 = 44 億），十年下來就可以節省能耗百分之 9.6。

再回到前面那 100 棟建築。在這十年裡，新建築每年增加百分之 3，舊建築則只減少了百分之 1.5（我的 guesstimate）。也就是說這十年裡棟舊建築減到了 86 棟。它們節約的百分之 9.6 就是相當於 8.3 棟舊建築用的能源（86 乘以 0.096）。

新建築 + 舊建築

從以上分析可以看出，如果我們新建築用積極的建築節能法規，舊建築用美國各州已經有三十幾年經驗的 Utility Efficiency Program 的誘因做法，十年後新舊建築總共 120 棟（34 + 86），總共省了 15 棟的電（6.8 + 8.3）。總節能率是百分之 12.5。等同每年百分之 1.3（0.875 的 0.1 次方）。這其實跟我們前面提到的百分之 1.4 到 1.6 的 NAMAs 目標已經相去不遠了。只需要把新建築的能源法規或給舊建築的獎勵補助比我上面做的還滿保守的假設提高一點就達到了。

要達成這目標有個必須做到的事，哪就是各種設備的能源效率標準（EER）必須要盡可能提升，才能發揮最大的效果。

以上這演算用的各個數值都可以改換調整，重點是建築物節能每年百分之 1.4 到 1.6 是有辦法做得出來的。這辦法包括三個主要的 elements：新建築的建築法規，舊建築的節能投資誘因，和高標的設備 EER。

德國在這方面的誘因措施比美國更積極⁵。德國政府一方面有法律規定舊建築的任何改建都必須符合新的耗能標準（棍子），一方面則提出激勵措施（蘿蔔），這激勵措施除了由政府開發銀行提供低利貸款之外，一旦改建後達到了節能減碳的指標，還款的本金可以減少百分之 15，由政府吸收（從誘因操作的角度來看，這等於是政府出一塊錢來 leverage 老百姓五塊半錢的節能投資）。這是跟美國略

為不同的做法。美國是補助設備的購買，德國則是補助整個 project（含設備），效果可能比較好，但是驗證可能比較麻煩，應該是各有千秋吧。德國政府這個做法在 2001～2005 年間是花 15 億歐元。大概成效很好，2006～2009 年提高到了每年 40 億歐元。用德國和我國 GDP 的比例換算，這等於在我國每年花 60 億元台幣，全用在舊建築物的節能上。

工業

工業是節能成本最高的一個耗能部門，而工業在我們國家總能源使用的佔比高達百分之 50 以上，比世界平均（百分之 27）幾乎要高一倍，用電也佔全國總用電的百分之 54，可以說是我們國家節能減碳最大的挑戰。

要克服這個比大部分國家都大的挑戰當然要全力推動一些耳熟能詳的措施如排放交易（我國溫室氣體減量法的中心思想），行業別的 sectoral best practice benchmarking，強化廢熱回收再利用等等，不過我們國家的工業排放也有一個會使得節能減碳政策比別人容易推的特點：那就是我們工業的溫室氣體排放是 heavily concentrated 在數個大用戶上，前十大加起來就已經是全工業的百分之 80 以上。只要這前十大每年減百分之 2，我們國家那百分之 1.4 到 1.6 的目標就已經 more or less 達到了。因為這個原因，大排放源的「專案管理」必須是我們國家工業節能減碳政策的重點項目。以這為中心，我們國家的工業節能減碳政策還可以考慮以下幾個做法，使它更為可行：

誘因

對建築節能有效的誘因措施（如上述美國和德國的做法）對工業會同樣的有效。我在十幾、二十年前去加州訪察他們電力公司的 Demand Side Management（DSM）programs 的時候留下了一個很深刻的印象就是他們說雖然獎勵補貼是從大到小點點滴滴的電力用戶都可以受惠，但是從他們公司經營 DSM 成效的角度看來，真正重要的是要策動一些比較大的工業和商業，為他們專案設計節能方案，一下子可以省一大塊電。因此誘因政策用在工業是至少一樣有效的。

這個措施的執行可以每年設定一個年度的補助上限（如 100 億元），開放企業去提出它們公司的節能減碳計畫，批准後開始進行，完工經過驗證然後支付補助款。每年全部最多只補助到上限為止。

Offset

Offset 的 concept 是如果 B 公司減某一個量的碳比 A 公司便宜，A 公司可以花錢

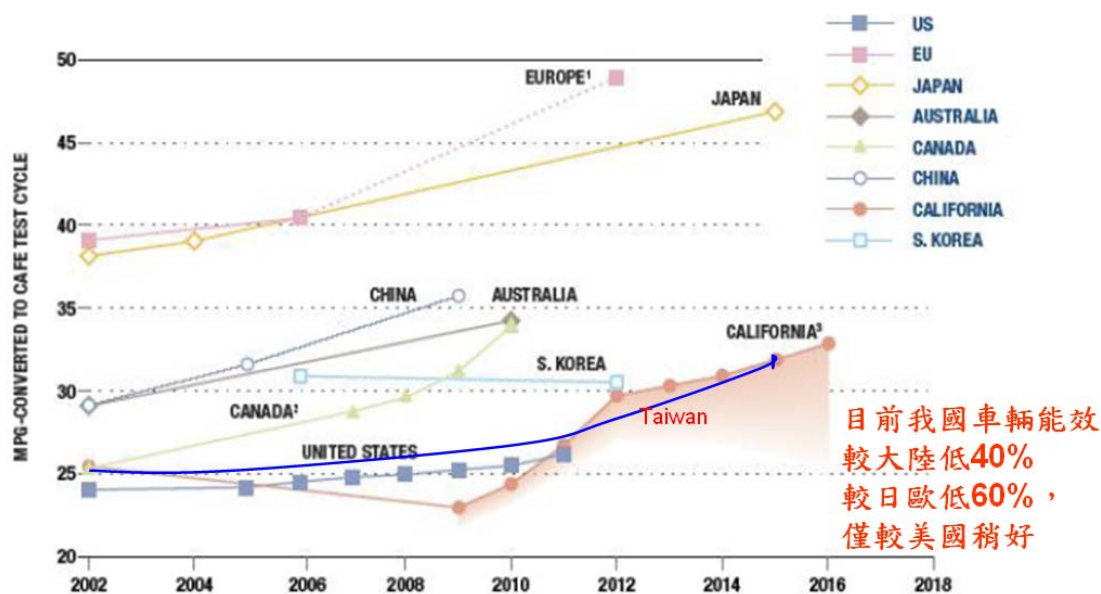
讓 B 公司去節能，成果算 A 公司的 credit。這 Offset 的 concept 對我們的大排放源的專案管理會特別有意義。這些大企業可以主動結合它們的供應商以至價值鏈裡的其他廠商形成減碳群聚，如果在這群聚裡有些公司做減碳比帶頭的大排放源公司便宜，我們就鼓勵它出錢在那減碳便宜的公司做減碳，減的碳可以當作是大排放源公司的 credit。這樣的做法可以使這大排放源公司的減碳成本透過 offset 達成最小化。

透過「大排放源專案管理 + 補助 + Offset」的做法，我國工業每年減百分之 1.4 到 1.6 是可以做得到的。

交通運輸

交通運輸主要是汽油和柴油，用電幾乎是零，功效只在節能減碳，對填平核一核二缺口不會有什麼用處。從國家總能源使用來看，交通運輸約佔百分之 13.2，要比工業和建築（包括住和商）都小很多，重要性也比較小。

在交通運輸這百分之 13.2 裡，公路上的大小客車和輕重型貨車是大宗（百分之 95 以上）。因此車輛油耗標準是這一部門節能減碳的主要關鍵所在。圖二是世界各國車輛油耗標準的比較，從這份資料可以看出我們國家的車輛油耗標準可以提升的空間很大。尤其車輛的壽齡並不長，汰換起來比建築物快得多，因此 2020 年之前要在這部門裡做出百分之 20 的效率提升應該是比建築和工業都容易。



圖二：世界各國車輛油耗標準。

資料來源：我國 - 工研院機械所，國際 - APEC Energy Workshop Report, March 2009

電力需求的降低

透過以上的方案減低的電力用量當然也就會降低我們將來對新增電力裝置容量的需求。這對紓解核一核二退場後發電容量的可能不足的問題會有很大的幫助。前面的分析顯示我們在建築物和工業的能源效率方案（新建築法規、舊建築能補助、大排放源專案管理、工業節能減碳補助、排放 offset 等）可以每年降低總用電量的百分之 1.5，如果產業結構調整可以再每年貢獻百分之 0.4（IEA 估計每年百分之 0.8 的一半¹），則每年的尖峰用電就大約可以降低百分之 1.9。百分之 1.9 是多少？我們現在總裝置容量是 40 GW，百分之 1.9 就是 780 MW（根據美國各州的經驗，如果我們能降低用電量百分之 1.9，能抑低的尖峰用電量會大於百分之 1.9，因此 780 MW 是保守的估計），只需要不到兩年就可以填平核一的缺口，四年半就把核一和核二都填平了。十年之後總共可以削減尖峰 7.8 GW。比用天然氣能替代的量還大，而且做起來方便可靠得多。做出這樣的成果，如前所述，需要 both 棍子和胡蘿蔔。胡蘿蔔部分需要多少錢？大概只需要調高電價百分之 3 來支應就行了。比太陽能、風力能的躉購價格誘因便宜太多了。用這種做法減一度電的耗用（也就是可以少發一度電）要多少錢？美國過去三十幾年累積的經驗是發一度電的二分之一到三分之一，比燃氣、燃煤、以致核能都便宜得多。

參考資料

1. International Energy Agency (IEA), *Energy Technology Perspectives 2008*, pages 71 – 76
- 2: Krause, F. and Eto, J., *Least Cost Utility Planning Handbook for Public Utility Commissioners, Volume 2, the Demand Side: Conceptual and Methodological Issues*, National Association of Regulatory Utility Commissioners, December 1988
3. Cowart, R. “Carbon Caps and Efficiency Resources: How Climate Legislation Can Mobilize Efficiency and Lower the Cost of GHG Reduction”, Testimony given by American Council on an Energy Efficient Economy (ACEEE) at the Select Committee on Energy Independence and Global Warming. U. S. House of Representatives Hearing on Efficiency and Climate Policy, May 8, 2008, pp. 8 – 10
<http://globalwarming.house.gov/tools/2q08materials/files/0024.pdf>
4. IEA, *World Energy Outlook 2009*, Page 211 and 259
5. 時紅秀，歐盟的節能減排戰略，*節能與環保月刊*（中華人民共和國刊物），2009 年 06 期