

# 中國燃料電池研發及其環境溝通

陳 世 榮

(中國文化大學行政管理學系副教授)

李 河 清

(國立中央大學通識教育中心教授)

## 摘 要

在國內外壓力下，近年來中國對氣候變遷之回應轉趨積極，並以新能源技術開發為解決經濟與環境衝突的主要策略，尤其對於燃料電池研發特別加以標榜，以擡高其綠色形象。然而技術研發是否就能彰顯環境意義？本文利用新華網的相關報導，進行語意網絡與三螺旋指標分析，藉以釐清中國燃料電池開發所反映的議題框架與環境溝通。研究發現，伴隨技術進展固然引發環境議題的討論，但聚集層次的分析顯示市場與經濟才是核心主題，燃料電池的環境意義隨著技術開發受到稀釋，轉趨模糊，其中產官部門間的環境共識更曾發生逸散現象，可見長期而言，技術投入本身並不能確保環境意義的伸張，中國的氣候回應必須回歸決策承諾。

**關鍵詞：**中國、燃料電池、環境溝通、語意網絡、三螺旋指標

\* \* \*

## 壹、環境技術與溝通

2008年北京奧運會場內外，中國所展現的不只是經濟、國力與體育技能的增長，它似乎也向世人展現其追求環境價值與遵循國際氣候規範的決心，其中，新能源車系的試營運更被視為「綠色奧運」的表徵，最引人矚目的莫過於利用氫能發電的燃料電池車款。<sup>①</sup>由於這種先進技術在未來數年內仍難以全面商業運轉，因此，愈發凸顯中國政府發展綠色能源同時滿足經濟、能源、環境、產業等多重目標的企圖。

對這一發展，吾人可以有許多不同的解讀與觀察，本文從環境溝通的角度加以檢

---

註① 「我國自主研製氫燃料電池轎車駛進奧運會場」，新華網，2008年7月7日，[http://www.bj.xinhuanet.com/bjpd\\_2008/2008-07/07/content\\_13738718.htm](http://www.bj.xinhuanet.com/bjpd_2008/2008-07/07/content_13738718.htm)。

視。現階段燃料電池的開發屬於一項「前市場」的技術投入，其經濟與環保價值往往是不確定的，任何相關評估與預測只能成為社會溝通與議題建構的元素，這也就留給話語論述與意象營造極大的空間，中國政府藉由燃料電池技術極力營造綠色形象，但實際的論述發展與社會實踐則有待釐清，公共領域中的「溝通」因此成為觀察現階段技術投入的重要平台。本文藉由環境溝通的觀察，企圖掌握中國燃料電池研發過程中究竟哪些相關議題被提出，又發生何種變化，環境議題能否在眾多相關議題中獲得平衡的描述，相應的環境關懷是否獲得提升，亦或埋沒在其他議題之中，特別是國家創新部門間能否取得一致的環境與永續共識，亦或淪入不同論述框架中，進而影響環境技術的發展。這一探究不僅反映中國社會對燃料電池技術的思維與行動的聚集性趨勢，更可以評估中國「以科技解決環境問題」途徑選擇的正當性。

不過，新興技術的溝通並不是單向而直接的，有時也很難運用詮釋方法探察其潛在趨勢與意義，本文因此以中國燃料電池研發為個案，藉由媒體報導的詞彙共現，進行語意網絡 (semantic network) 分析，觀察議題結構的分布與變化，最後並聚焦中國產、官、學三部門，運用三螺旋指標，探測其彼此間環境共識的建立情形。燃料電池技術作為新能源技術，直接源起於環境改善的需求，在中國，燃料電池研發因此與氣候回應決策產生關聯。在進行主要分析前，以下先就「技術研發」在中國氣候變遷回應中的定位以及中國燃料電池的發展做分析。

## 貳、中國的氣候變遷回應與挑戰

國際間對溫室氣體減量的規範帶給中國極大挑戰，迫使中國從過去的消極回應，轉向目前的積極因應。2009 年在哥本哈根氣候變化綱要公約締約國大會 (COP15/CMP5) 前夕，<sup>②</sup>中國國家主席胡錦濤在聯合國氣候變遷高峰會上宣布中國為回應氣候變遷，訂定 2020 年單位國內生產總值二氧化碳排放相較於 2005 年明顯下降，森林面積增加 4000 萬公頃，非化石能源占一次能源消費比提升至 15%，並致力研發氣候友善技術，大力推動綠色經濟。<sup>③</sup>此一訊息獲得國際高度重視，加上美國總統歐巴馬的積極態度，一時之間國際對於哥本哈根會談抱以高度期待。未料，會談終究陷入僵局，訂出沒有約束力、沒有減量目標的「哥本哈根協議」(Copenhagen Accord)。會後，部分英美媒體怪罪中國從中作梗，帶頭「劫持」(hijack) 會談，對任何明確的溫室氣體排

註② COP15 指聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, 簡稱 UNFCCC) 第十五次締約國會議 (Conference of the Parties)，該會議同時即為 CMP5，CMP5 即京都議定書 (Kyoto Protocol) 的第五次締約國會議 (Conference of the Parties Serving as the Meeting of the Parties)。

註③ 胡錦濤，「胡錦濤在聯合國氣候變化峰會開幕式上的講話 (全文)」，新華網，2009 年 9 月 22 日，[http://news.xinhuanet.com/world/2009-09/23/content\\_12098887.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2009-09/23/content_12098887.htm)。

放減量目標均加以否決，破壞協商的進行。<sup>④</sup>中國氣候回應政策的主軸為何，又面臨哪些挑戰，新能源技術在這一決策系絡的定位又是如何，有必要先加以檢視。

中國的氣候變遷回應雖然在各個不同時期有不同的態度與強調重點，<sup>⑤</sup>但迄至目前始終保持以下政策主軸，並反映在其國際氣候協商立場與政策工具的偏好。首先，中國強調氣候回應措施必須納入國家總體發展與利益下衡量。1990 年初期，當消除貧窮與生活品質提升仍然占據決策考量核心時，中國 21 世紀議程便明白指出：「可持續發展的前提是發展」，亦即經濟與社會發展考量必須優先。<sup>⑥</sup>其後，中國對於氣候變遷衝擊有更深刻的體認與重視，但仍強調「氣候變化是環境問題，也是發展問題，歸根到底是發展問題」。<sup>⑦</sup>正如溫家寶所言，中國「正處於工業化、城鎮化快速發展的關鍵階段，能源結構以煤為主，降低排放存在特殊困難」。<sup>⑧</sup>這同時也深刻地表達了當前中國在發展與環境價值間的衝突，並力圖尋求可以兼顧經濟與環境雙贏的工具與策略。延續上一點，中國經常強調的另一個論述主軸是「共同但有區別的責任」，認為這是氣候變化綱要公約的主要精神，因此一方面強調貫徹京都議定書與峇里島路線圖（Bali Roadmap），反對以碳交易全面取代法律約束的協議，要求先進國家負起責任，率先訂定更高、可行的減排目標，另一方面則反對過快地、武斷地制定對後進國家排放權限制，主張給發展中國家更多的彈性與空間。<sup>⑨</sup>第三、要想顧及環境保護而不影響經濟發展，技術開發與運用成爲重要選項，但發展中國家無力投入，因此中國對外主張北方已開發國家應提供資金與技術以協助包含中國在內的發展中國家，這樣的主張也同時提升中國對南方發展中國家的影響力，對內則發展環境友善技術，積極投入能源先進

註④ Mark Lynas, "How Do I Know China Wrenched the Copenhagen Deal? I Was in the Room," *The Guardian*, December 22, 2009, <http://www.guardian.co.uk/environment/2009/dec/22/copenhagen-climate-change-mark-lynas>; Ed Miliband, "The Road from Copenhagen," *The Guardian*, December 20, 2009, <http://www.guardian.co.uk/commentisfree/2009/dec/20/copenhagen-climate-change-agreement>.

註⑤ Ho Ching Lee, "China and the Climate Change Agreements: Science, Development and Diplomacy," in Paul Harris ed., *Confronting Environmental Change in East and Southeast Asia* (New York: United Nations University Press, 2005), pp. 135-150; 施奕任，「中國大陸對全球氣候暖化問題的因應－環境政治學的觀點」，*政治學報*，第 45 卷（2008 年 6 月），頁 156-159。

註⑥ Paul G. Harris and Chihiro Udagawa, "Defusing the Bombshell? Agenda 21 and Economic Development in China," *Review of International Political Economy*, Vol. 11, No. 3 (August 2004), p. 628; Robert D. Perlack, Milton Russell and Zhongmin Shen, "Reducing Greenhouse Gas Emissions in China: Institutional, Legal and Cultural Constraints and Opportunities," *Global Environmental Change*, Vol. 3, No. 1 (March 1993), pp. 86-87; 中華人民共和國國務院，*中國 21 世紀議程：人口環境與發展白皮書*（北京：中國環境科學出版社，1994 年），頁 4。

註⑦ 中國國家發展和改革委員會，*中國應對氣候變化國家方案*（北京：中國國家發展和改革委員會，2007 年），頁 2。

註⑧ 溫家寶，「溫家寶總理在哥本哈根氣候變化會議領導人會議上的講話（全文）」，*新華網*，2009 年 12 月 19 日，[http://news.xinhuanet.com/world/2009-12/19/content\\_12668033.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2009-12/19/content_12668033.htm)。

註⑨ 中國國家發展和改革委員會，*中國應對氣候變化國家方案*，頁 24。

技術，並營造綠色環保的公共形象。<sup>⑩</sup>從其「應對氣候變化國家方案」中所揭櫫的四大目標也可以證實，無論是控制排放、增強適應、加強研究、提升公共意識與管理，其內容無一不與科技之研發、運用與傳播緊密扣連。<sup>⑪</sup>

然而隨著國內外情勢轉換，中國的氣候對應政策也面臨若干新的挑戰。首先，中國無法再迴避實質減量的責任。近期分析數據指出，中國已成為全球最大的二氧化碳排放國，而且這一趨勢仍將持續。<sup>⑫</sup>其次是中國減排力道遭受質疑。中國雖然訂定在 2020 年單位國民生產總值二氧化碳排放相較於 2005 年明顯下降 40%~50%，但它所強調的是能源利用率的提升，不是基準 (business as usual) 減量，因此意味著未來溫室氣體將持續攀升。<sup>⑬</sup>也因此，部分觀察家批評，中國的上述目標僅僅延續當前政策便可以輕易達到，也就說該目標徒具形式。<sup>⑭</sup>話雖如此，中國迄至目前所付出的努力仍不可忽略，代價也相當高。例如，為提升能源效率，中國陸續關閉小型火力電廠，估計至 2010 年總量將超過 7000 萬千瓦，衝擊龐大，目前已造成 40 萬人失業，GDP 損失 5000 億人民幣。<sup>⑮</sup>可惜的是，這些努力與代價也不能保證兌現上述遭人質疑的減排目標。<sup>⑯</sup>一般認為中國能源結構過份依賴煤 (70%) 是主要原因之一，為了滿足工業需求，中國無法降低對於煤的依賴，能源利用率提升困難，中國官員與學者也不得不對於 40~50% 目標表示憂慮，這便構成第三個挑戰。<sup>⑰</sup>第四個挑戰來自發展中國家的質疑。

註⑩ 中國國家發展和改革委員會，中國應對氣候變化國家方案，頁 25；萬剛，「科學技術是應對氣候變化的關鍵手段」，中國科技投資 (北京)，第 7 期 (2008 年 7 月)，頁 25；顧海波、樓成武，「氣候變化與中國的技術政策」，東北大學學報 (瀋陽)，第 4 卷第 3 期 (2002 年 7 月)，頁 199~201。

註⑪ 中國國家發展和改革委員會，中國應對氣候變化國家方案，頁 25~28。

註⑫ Netherlands Environmental Assessment Agency, *Global CO2 Emissions: Increase Continued in 2007* (Bilthoven, The Netherlands: Netherlands Environmental Assessment Agency, 2007), p. 158.

註⑬ 根據中國科學院的估計，2000 年至 2005 年能源消耗就由 13 億倍增至 22 億噸煤當量，參考 Jiahua Pan, Ying Chen, Guiyang Zhuang and Xingshu Zhao, *Understanding China's Energy Policy: Economic Growth and Energy Use, Fuel Diversity, Energy/Carbon Intensity, and International Cooperation* (Beijing: Research Centre for Sustainable Development, Chinese Academy of Social Sciences, 2006), p. 4. 而根據國際能源總署估計，到 2030 年全球與能源相關二氧化碳增量有四分之三來自中國，若以 2005 至 2020 年區間計算，中國將增加 75~91% 的二氧化碳排放，參考 International Energy Agency, *World Energy Outlook 2009: Executive Summary* (Paris: International Energy Agency, 2009); Michael A. Levi, "Assessing China's Carbon-cutting Proposal," *Council on Foreign Relations*, November 30, 2009, [http://www.cfr.org/publication/20862/assessing\\_chinas\\_carboncutting\\_proposal.html](http://www.cfr.org/publication/20862/assessing_chinas_carboncutting_proposal.html).

註⑭ Michael A. Levi, "Assessing China's Carbon-cutting Proposal," *op. cit.*

註⑮ 「中國實現 45% 減排目標，GDP 損失或超 5000 億元」，人民網，2009 年 12 月 16 日，<http://env.people.com.cn/GB/10590783.html#>。

註⑯ Joanna I. Lewis, "China's Strategic Priorities in International Climate Change Negotiation," *The Washington Quarterly*, Vol. 31, No. 1 (Winter 2007), p. 156; Jiahua Pan, Ying Chen, Guiyang Zhuang and Xingshu Zhao, *Understanding China's Energy Policy*, p. 18; Carmen Richerzhagen and Imme Scholz, "China's Capacities for Mitigating Climate Change," *World Development*, Vol. 36, No. 2 (February 2008), p. 312.

註⑰ 張冠榮，「我國溫室氣體減排矛盾及其解決途徑」，安慶師範學院學報 (社會科學版) (安徽)，第 27 卷第 8 期 (2008 年 8 月)，頁 12；「國家能源局與 26 省分簽訂 2010 年關停小火電責任書」，新華社，2010 年 5 月 21 日，[http://big5.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/jrzg/2010-05/21/content\\_611098.htm](http://big5.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/jrzg/2010-05/21/content_611098.htm)。

國際氣候協商對其國內利益及國際地位的影響一直是中國的核心考量，發展中國家聯盟 G77 的具體運作便是實例。但是，隨著經濟快速成長與排放量加劇，中國立場愈來愈顯得尷尬，過去共同強調的「北方國家歷史責任」或是反對「限制南方國家排放權」等立場逐漸鬆動。例如，聯合國「減少森林濫伐及消退造成的溫室氣體排放」計畫 (Reduction in Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD)，已吸引愈來愈多的赤道雨林國家在自願減排的前提下參與計畫。<sup>⑱</sup>哥本哈根會談也顯示，愈來愈多發展中國家對於減排實質進展顯得態度殷切，尤其是受到氣候暖化衝擊較大的國家，諸如貧窮、島嶼、低地國家均表達與中國推遲減排設限的不同立場。<sup>⑲</sup>中國未來將同時面臨南北二方的壓力，無可避免地，更具體與實質的減量將成爲中國維繫國際氣候政治地位的重要表徵。

以上挑戰均顯示實質減排已然是中國必須嚴肅面對的問題，然而在「發展所衍生的問題必須在『發展』中解決」的認知邏輯下，<sup>⑳</sup>中國對實質減排始終抱持疑慮，相反地，「科技」則被視爲是解決困境的優先對策與工具，而再生能源這樣的先進技術，自然地視爲是一種兼具經濟戰略與綠色形象的重點項目。<sup>㉑</sup>但是，「以技術解決環境問題」的思維，容易將技術與市場的不確定性委之於未來的可能解決，卻可以立即汲取與利用技術的綠色意象，中國期待留給外界的正是這樣一種樂觀前景與環境友善形象。本文無意否定中國新能源技術的開發，而是要究明技術的環境意義是否真可以在社會實踐與溝通中獲得提升。

## 參、中國燃料電池技術的發展

### 一、燃料電池與氫能技術

自 1839 年「燃料電池」被正式命名以來，氫能發電的組成與周邊技術已有長足的發展，當前燃料電池之所以獲得重視，與能源枯竭、石油價格飆升，以及減少溫室氣

註 ⑱ Joanna I. Lewis, "China's Strategic Priorities in International Climate Change Negotiation," p. 163; UN-REED (Reduction in Emission from Deforestation and Forest Degradation Programme), *2009 Year in Review* (Geneva: FAO, UNDP, UNEP, 2009).

註 ⑲ Mark Lynas, "How Do I Know China Wrenched the Copenhagen Deal? I Was in the Room," *op. cit.*; Ed Miliband, "The Road from Copenhagen," *op. cit.*

註 ⑳ 90 年代以來，若干中國知識分子已對舊有的發展思維提出深刻批判。請參考孫立平，*斷裂：20 世紀 90 年代以來的中國社會*（北京：社會科學文獻出版社，2003 年）；鄭易生、錢慧紅，*深度憂患：當代中國的可持續發展問題*（北京：今日中國出版社，1998 年）；盧風，「經濟主義批判」，中國社會科學院環境與發展研究中心主編，*中國環境與發展評論*（第 2 卷）（北京：社會科學文獻出版社，2004 年），頁 472-481。

註 ㉑ 中國環保之父曲格平先生也有相同的看法，參考「曲格平：科技進步是環境實現跨越式發展的基礎」，新華網，2004 年 5 月 31 日，[http://news.xinhuanet.com/st/2004-05/31/content\\_1499330.htm](http://news.xinhuanet.com/st/2004-05/31/content_1499330.htm)；Carmen Richerzhagen and Imme Scholz, "China's Capacities for Mitigating Climate Change," p. 311.

體排放之想望有直接關聯，燃料電池因此是以環境友善之姿，被視為未來替代能源的一種選擇。<sup>②</sup>燃料電池其實是一種發電裝置，它與傳統電池最大不同在於燃料電池可以持續供電，它主要是以氫氣為燃料，氫、氧透過電化學反應產生氧化作用並釋出電能與熱能，其中廢熱加以回收，純水便成為唯一的排放物，一般估計可以降低二氧化碳排放 28~40%，理論上以化學能直接轉化為電能有較高的能源轉化率，再加上噪音小、污染少、燃料多元化來源等優點，成為極具潛力的新能源，它不僅有取代化石燃料的前景，其發電的多樣特性也可滿足分散性發電、移動式電源、運輸工具電源、離島發電等不同需求，並可支援太空及軍事任務，各國政府無不爭相投入研發。<sup>③</sup>不過，燃料電池技術成熟度尚未到達量產或商業應用，無論是技術研發或產品試營運仍處於「實驗」，或是「前市場」(pre-commercialization) 階段。<sup>④</sup>

燃料電池技術從研發到應用，基本上涉及二大技術，一是電池本身，二是氫的供給。電池可依電解質性質做區分，質子交換膜燃料電池 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) 與磷酸型燃料電池 (Phosphoric Acid Models Fuel Cell, PAFC)，二者均使用酸性電解質，而鹼性燃料電池 (Alkaline Fuel Cell, AFC) 與熔融碳酸鹽燃料電池 (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) 則以鹼性電解質運作，另外尚有利用陶瓷電解質者，稱固態氧化物燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)。<sup>⑤</sup>不同的燃料電池，基於不同的功率密度、能源轉換率、運作溫度，形成不同的應用類型。PEMFC 質輕，使用溫度低，啟動迅速，而 AFC 因為所使用觸媒種類多且價格便宜，因此這二種被認為適用於交通工具，以及攜帶或微型應用。PAFC、MCFC、SOFC 三種，因為操作溫度高，比較適用於常駐型發電。在技術層面上燃料電池仍有諸多待克服的地方，PEMFC 與 PAFC 使用觸媒白金，成本高且有引發中毒風險，AFC 電解必須為高純度氫，成本高，MCFC 與 SOFC 須於高溫下工作，所用材料受限。現將燃料電池之種類特性及其優缺點和用途列表說明如表 1，以利後續分析。

註② Jingjing Qian, Barbara Finamore and Tina Clegg, "Fuel Cell Vehicle Development in China," *Toward a Clean Energy Future in China: In-depth Policy Papers and Analyses from NRDC's China Clean Energy Project*, March 2003, pp. 34-40, <http://www.nrdc.org/air/energy/chinadocs/fcv.pdf>.

註③ 尹安東、趙韓、張炳力，「燃料電池汽車開發及產業化的關鍵技術研究」，*合肥工業大學學報（自然科學版）*（合肥），第 29 卷第 7 期（2006 年 7 月），頁 801-804；曲新生，「氫能源應用與燃料電池發展現況」，*經濟前瞻*，第 100 期（2005 年 7 月），頁 113-121。

註④ Hanna L. Hellman and Robert van den Hoed, "Characterising Fuel Cell Technology: Challenges of the Commercialisation Process," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, No. 3 (March 2007), pp. 305-315.

註⑤ 目前有關不同燃料電池特性的介紹已相當充分，國內系統性的資訊可參考「FC 介紹」，*臺灣燃料電池資訊網*，2010 年 2 月 2 日，<http://www.tfci.org.tw/index.asp>。燃料電池基本原理參考 James Larminie and Andrew Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, 2<sup>nd</sup> ed. (Chichester, UK: Wiley, 2003)；毛宗強，*氫能：21 世紀的綠色能源*（新北市：新文京開發出版公司，2008 年）。

表 1 燃料電池種類與特性

| 燃料電池種類 | 磷酸 (PAFC)                              | 熔融碳酸鹽 (MCFC)  | 固態氧化物 (SOFC)              | 鹼性 (AFC)                   | 質子交換膜 (PEMFC)                                       |
|--------|--|---|---------------------------|----------------------------|---|
| 電解質    | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>         | Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | ZrO <sub>2</sub>          | KOH                        | 含氟質子交換膜   |
| 陽極     | 碳 (含鉑)                                 | 鎳 (含鉻, 鋁)   | 金屬 (鎳、鉛)                  | 碳 (含鉑)                     | 碳 (含鉑)  |
| 陰極     | 碳 (含鉑)                                 | 一氧化鎳  | 金屬氧化物如 LaMnO <sub>4</sub> | 碳 (含觸媒)                    | 碳 (含鉑)、鉑黑   |
| 操作溫度   | 180~200°C                              | ~650°C  | ~1000°C                   | 室溫~100°C                   | 室溫~80°C   |
| 優點     | 廢熱可予利用                                 | 可用空氣做氧化劑、廢熱可利用  | 可用空氣做氧化劑、高溫反應不需依賴觸媒、廢熱可利用 | 啓動快、室溫常壓下工作、低腐蝕性、低溫、較易選擇材料 | 體積小, 重量輕、壽命長、易選擇材料、可用空氣做氧化劑、室溫工作、功率大、啓動迅速、輸出功率可隨意調整 |
| 缺點     | 進氣中一氧化碳會導致觸媒中毒、工作溫度高、成本高、低於峰值功率輸出時性能下降 | 工作溫度較高  | 工作溫度過高                    | 需使用高純度氫氣做燃料、需以純氧做氧化劑、成本高   | 對一氧化碳非常敏感、反應物需要加濕                                   |
| 系統效率   | 40%                                    | 50%   | 50%                       | 40%                        | 40%   |
| 用途     | 汽電共生、分散型發電、離島地區發電、移動式電源、運輸工具之電源        | 汽電共生、分散型發電、取代大規模火力發電  | 汽電共生、分散型發電、取代中規模火力發電      | 太空船、潛水艇                    | 小型發電機組、分散型發電、移動式電源、運輸工具之電源                          |

資料來源：作者整理自「FC 介紹」，前引文。

由於氫在自然界中含量豐富，加上其低污染、零排放、熱回收等特點，若只考慮發電運作，燃料電池相較其他再生能源似乎最具前景。但是，氫在大自然中多以化合物形態存在，欲獲得大量氫必須經歷一系列生產、儲存、輸送過程，於是有所謂「氫能」技術的開發。基本上，製取氫氣有從化石能源與非化石能源二種途徑，中國目前仍多以煤、石油、天然氣等化石能源製氫，非化石能源則是利用風力、水力、生質能等途徑。<sup>⑥</sup>顯然，燃料電池要能回應全球暖化問題，真正成為潔淨能源，發揮減碳效果，必須在製氫階段就使用再生能源，壓縮碳足跡，但是，再生能源製氫或現場製氫均屬複雜的關鍵技術。<sup>⑦</sup>目前儲氫技術，主要有高壓儲氫、液態儲氫、金屬氫化物儲氫、以及吸附儲氫等方法，仍存在提高儲氫體積密度、壓縮成本、提高氫化物儲氫密

註⑥ 北京中經天縱經濟研究中心，2008-2010 中國可再生能源發展分析報告（下）（北京：北京中經天縱經濟研究中心，2007年），頁352。

註⑦ J. Hall and R. Kerr, "Innovation Dynamics and Environmental Technologies: The Emergence of Fuel Cell Technology," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 11, No. 4 (June 2003), p. 468.

度等問題；運輸所面臨困難則在占用體積過大、容易洩漏以及安全意外等問題；在加注站方面最大的問題則在於成本過高，目前建造一座相當於 100 萬桶石油的加氫站要價約 1000 億美元。<sup>⑧</sup>

儘管如此，「氫經濟」時代仍成爲倡議者爭相標榜的口號，尤其是將燃料電池應用在大眾運輸工具時，更容易迅速獲取國內外的關注，達到宣傳效果。不過，從溝通的觀點看，由於燃料電池與氫能技術仍舊存在能否完整實現減碳效果的問題，因此在聚集資料中若干細微差異仍值得重視。例如，如果減碳效果問題未被提出，意味著燃料電池的環保意義並未獲得徹底表達。事實上，要完整實現燃料電池汽車的減碳效果，未來仍必須投入大量資源，它往往與柴油車或油電混合車 (hybrid cars)，構成途徑選擇與優先開發的矛盾或競爭，雖然其間未必有絕對的互斥效應，但相對地來說，環境考量優先性愈受到阻撓，完整減碳的困難就愈容易受到遮掩，或者將這些困難當作選擇其他替代策略的口實。

## 二、中國燃料電池技術的發展進程

對中國而言，燃料電池在替代能源與潔淨能源的意義上極具吸引力，而燃料電池對現有動力系統的取代效果，更隱含著龐大的工業與商業利益。

中國基於太空任務需要，早於 1957 年就投入相關研究，此後要到 90 年代才有進一步發展，在國民經濟第九個五年計畫 (1996~2000) 期間，科技部與中國科學院將燃料電池列爲重點發展項目，中國科學院長春應用化學所著手 PEMFC 研究，中科院大連化學物理研究所發展出一列 1~5kW PEMFC 原型，不過這一階段仍以科技開發爲主。<sup>⑨</sup>正式系統研發投入要到「十五計畫綱要」才實現，該計畫九個重點專項建立起科技—產業—生態—環境—能源的系統性連結。<sup>⑩</sup>整個燃料電池技術研發是在發改委的支持下，由科技部以經費補助研發與示範計畫，並由國家研究機構及大學執行，另有私人企業與外商的配合，當然在扶植私人企業與工業推動上，發改委也扮演著關鍵性角色。除前述大連化學物理研究所等官方研究機構外，合計有 200 多家整車及零附件廠商、大學和科研機構，以及 3000 多名科技人員直接參與電動汽車專案研發。<sup>⑪</sup>此外，北京與上海市政府以及湖北省政府也共同參與計畫投資。2003 年中國簽署加入了「氫

註⑧ 王曉蕾、馬建新、鄔敏忠、楊代軍、林瑞、張存滿，「燃料電池汽車的氫安全問題」，中國科技論文在線 (北京)，第 3 卷第 5 期 (2008 年 5 月)，頁 1~5；北京中經天縱經濟研究中心，2008-2010 中國可再生能源發展分析報告 (下)，頁 367~358；陳專、呂洪、劉湃、馬建新，「燃料電池電動車商業化中存在的問題」，公路與汽運 (長沙)，第 1 期 (2009 年 1 月)，頁 11。

註⑨ Jingjing Qian, Barbara Finamore and Tina Clegg, "Fuel Cell Vehicle Development in China," pp. 36~37.

註⑩ 中國國家發展和改革委員會，國民經濟和社會發展第十個五年計畫綱要 (北京：中國國家發展和改革委員會，2001 年)。

註⑪ 另據「中國燃料電池網」企業名錄，登記有案企業有 416 家之多，請參見「企業名錄」，中國燃料電池網，2010 年 8 月 25 日，<http://www.cnfuelcell.com/project/>。



能經濟國際夥伴計畫」( International Partnership for the Hydrogen Economy, IPHE)。<sup>②</sup>在下節的分析中，本研究將依據國家創新系統概念，<sup>③</sup>把上述單位以產、官、學部門加以區分，以利分析。

在「十五」期間，與燃料電池研發最有關的就是國家 863 電動汽車計畫，該計畫陸續投入近 3 億美元發展各型電池與電動車，是科技部前所未見的研發補助，燃料電池研發及其系統整合也因此獲得較大的經費補助，另有 973 計畫著重燃料電池原件的開發，中國預期在 2020 年前使 1000 輛燃料電池相關車種導入商業化。<sup>④</sup>由於此時國內氣候回應政策已納入發改委主導，發改委做為中國經濟發展的總舵手，燃料電池研發自此也有明顯的商業化與市場化導向，在國家的強力輔導下，燃料電池研發的重點導向車用市場，並且進展快速。燃料電池汽車、油電混合車、純電動汽車共同成為中國電動汽車開發佈局的所謂「三縱」，另有所謂「三橫」指的是動力總成、電機控制與蓄電池管理等三種共通技術。2006 年所宣布「國家中長期科學和技術發展規畫綱要 (2006-2020)」中，再將燃料電池汽車整車設備列為重點領域，表明中國持續開發燃料電池技術的決心。<sup>⑤</sup>整體看來，在 2000 年後的十年間，中國燃料電池研發進程，從驅動 20km/h 高爾夫球車的 5kW PEMFC 系統，經歷開發「超越」一、二、三號轎車，2007 年上海燃料電池車已備有 55kW 燃料電池系統，以及 300 公里的續航里程 (見表 2)。

表 2 中國燃料電池汽車發展進程

| 性能 \ 類型                         | 超越1號<br>S2000 | 超越2號<br>S3000 | 超越3號<br>S3000 | 上海<br>燃料電池車 |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 動力/燃料電池                         | 30 kW/30 Ah   | 35 kW/15 Ah   | 40 kW/15 Ah   | 55 kW/8 Ah  |
| 極速 (km/h)                       | 105.8         | 115           | 122           | 150         |
| 加速 (seconds)                    | 36.6          | 26.7          | 19            | 15          |
| 續航里程 (km)                       | 231           | 217           | 230           | 300         |
| 電池效能 (kgH <sub>2</sub> /100 km) | 1.394         | 1.132         | 1.12          | 1.2         |

資料來源：Jianxin Ma, "R&D Progress of FCVs and Hydrogen Infrastructure in Shanghai," p. 6; 「上海牌燃料電池轎車」，上海燃料電池汽車動力系統有限公司，2011 年 1 月 10 日，<http://www.fcv-sh.com/ProductShow.asp?ArticleID=146>。

燃料電池公車是另一技術應用的重點項目，它一方面依循著 863 計畫，另一方面

註 ② Global Environmental Facility, *Full Project-demonstration for Fuel Cell Bus Commercialization in China (Phrase II)* (Beijing: United Nations Development Programme, 2007), p. 33.

註 ③ Christopher Freeman, *The Economics of Industrial Innovation* (Harmondsworth, UK: Penguin, 1983).

註 ④ Jianxin Ma, "R&D Progress of FCVs and Hydrogen Infrastructure in Shanghai," presented for IEA/IPHE Seminar (Paris: IEA/IPHE, July 12, 2007), p. 31; Pingwen Ming, Jingguang Lun and Lynn Mytelka, "Hydrogen and Fuel-cell Activities in China," in Lynn K. Mytelka and Grant Boyle eds., *Making Choices about Hydrogen: Transport Issues for Developing Countries* (Tokyo: UNU Press/IDRC, 2008), pp. 294-296, 300.

註 ⑤ 中華人民共和國國務院，*國家中長期科學和技術發展規畫綱要* (北京：中國國務院，2006 年)。

則藉助國際援助進行合作實驗。在 863 計畫下，清華大學執行混合型燃料電池公車的開發，並陸續完成清能一號、二號及三號公車（100kW）。<sup>⑳</sup>另一方面，西方先進技術的引進，以及國際合作與援助的爭取，也是中國進行燃料電池研發的重要策略。2002 年「全球環境基金」（Global Environment Facility, GEF）通過對北京與上海燃料電池公車示範計畫，目的不僅在發展技術，也著重管理與規畫能力的提升，這也包含加氫站設置與整體系統營運的測試，該計畫由 GEF 提供 1100 萬美金，加上中央、地方政府及民間合資，投入經費總計至少超過 3200 萬美金，Daimler-Chrysler 與 Ballard 被遴選為公車與燃料電池提供的合作商，規畫於 2002-2004 年發展原型燃料電池公車，2005 年後在北京及上海試營運，2006-2010 年為該計畫的第二階段。<sup>㉑</sup>2008 年奧運以及 2010 年上海世界博覽會上的展示與運載，均屬 GEF 以及中國「節能與新能源汽車示範推廣試點工作」的一環。此外，為能抑制二氧化碳排放，確保新能源汽車的推廣，中國政府也不斷運用相關政策工具加以扶植，例如自 2000 年開始即持續提升汽機車排放標準，加速舊車汰換，開拓國內市場，迄 2010 年已適用「國四」排放標準（等同於歐盟 IV）。<sup>㉒</sup>

### 三、應用市場與技術瓶頸

隨著技術經驗的累積，中國已然成為全球最大燃料電池市場之一，基於車用市場導向，目前五分之四生產能力都集中在 PEMFC，60%研究人力與機構集中在北京與上海，2010 年參與上海世界博覽會各型燃料電池車計有 169 輛。可以說，經過多年努力與國內外龐大的經費挹注，中國燃料電池技術與應用已相當可觀。2010 年 5 月更啟動「中美可再生能源夥伴關係」，其中燃料電池研發、投資、生產、推廣同屬於重點項目，雙方同意「共同研究、共擔風險、共享成果」。<sup>㉓</sup>

不過，中國燃料電池技術與應用仍然面臨諸多挑戰。首先，燃料電池本身還有諸多技術瓶頸，例如必須縮小體積、放大功率、尋求高電流觸媒與低溫啟動，催化劑的再利用與替代，以及降低製氫、儲氫、加氫成本等問題。<sup>㉔</sup>此外，也有論者指出，由於中國政府採購與補助規模仍嫌不足，以致市場過小，加上油價抑制政策，新能源車款無法取得市場優勢。<sup>㉕</sup>燃料電池最大前景就是取代舊有的燃料與動力系統，中國的積極

註 ⑳ Pingwen Ming, Jingguang Lun and Lynn Mytelka, "Hydrogen and Fuel-cell Activities in China," p. 298; Jingjing Qian, Barbara Finamore and Tina Clegg, "Fuel Cell Vehicle Development in China," pp. 37-38.

註 ㉑ Global Environmental Facility, *Full Project-demonstration for Fuel Cell Bus Commercialization in China (Phrase II)*, p. 21.

註 ㉒ Pingwen Ming, Jingguang Lun and Lynn Mytelka, "Hydrogen and Fuel-cell Activities in China," p. 293.

註 ㉓ 「中美能源安全合作聯合聲明（全文）」，新華網，2010 年 5 月 25 日，[http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/2010-05/25/c\\_12141526.htm](http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/2010-05/25/c_12141526.htm)。

註 ㉔ 陳專、呂洪、劉湃、馬建新，「燃料電池電動車商業化中存在的問題」，頁 10。

註 ㉕ 吳瓊，「三大因素束縛中國新能源車市場」，*輕型汽車技術*（南京），第 5 期（2008 年 5-6 月），頁 70。

投入正是看準這一點，但這同時也是燃料電池商業化的最大瓶頸所在。目前燃料電池壽命只有 2000 小時，系統製造成本為每千瓦 3000-5000 美元，由於實際上消費者對電池壽命的要求（例如運作 4000 小時，保固 2 年），將使上述成本攀升至每千瓦 1 萬美元，而根據 2004 年美國能源局的估算，要想取代化石燃料，理想商用成本必須降低至每千瓦 50 美元以下（等同於汽油引擎價格），功率密度 2500w/l，低溫 -30°C 起動，持續 5000 小時，目前看來差距仍然不小。<sup>⑳</sup>總結說來，燃料電池仍有安全性問題、技術瓶頸、外部性環保效果，以及運轉成本過高等問題。<sup>㉑</sup>

就市場特性而言，燃料電池成功商轉之實現，必須有製氫、儲氫、輸送、加氫、燃料電池運作，以及燃料電磁系統與外部系統連結等技術的配合，這不僅涉及各階段的技術穩定性，也涉及與外部社會系統的連結。當然，在商業運轉前後，更必須有能源、交通、租稅、環保、工業等相關政策配合，方能建立完整的經濟規模。<sup>㉒</sup>像這樣新興類型的產業，將發生典型的「自力效應」(bootstrap effect)，亦即必須從龐大的投資與基礎建設中造就市場，可以想見其耗費時間與金錢之巨大。<sup>㉓</sup>最後，從研發到商轉還須承受國際市場的競爭，目前先進燃料電池技術專利仍多握於美日車商手中，後進國家在各方條件不足的情況下，投入效益極容易在國際分工下被稀釋，研發投入與市場利潤是否可以回收均不確定。

面對以上困境，2009 年中國終於推出《節能與新能源汽車示範推廣財政補助資金管理暫行辦法》，期望從需求面拉大市場，穩定新能源汽車推廣效果，在 13 個示範城市中對於購買節油率達 100% 的燃料電池汽車給予一次人民幣 25 萬元的補助，10 公尺以上公車給予最高 60 萬元的補助。<sup>㉔</sup>

## 肆、研究途徑與方法

如此說來，燃料電池開發在技術與市場上仍存有許多變數，而且耗資費時。中國國務院科技部曾在美國能源局的協助下，建立「中國氫發展路線圖」(Chinese

註 ㉑ Global Environmental Facility, *Full Project-demonstration for Fuel Cell Bus Commercialization in China (Phrase II)*, p. 6.

註 ㉒ Hanna L. Hellman and Robert van den Hoed, "Characterising Fuel Cell Technology: Challenges of the Commercialisation Process," pp. 305-315; 北京中經天縱經濟研究中心, 2008-2010 中國可再生能源發展分析報告(下), 頁 381-389; 曲新生, 「氫能源應用與燃料電池發展現況」, 頁 117-118。

註 ㉓ J. Hall and R. Kerr, "Innovation Dynamics and Environmental Technologies: The Emergence of Fuel Cell Technology," p. 466; 蕭代基, 「最佳的、次佳的與不佳的再生能源發展政策」, 經濟前瞻, 第 112 期(2007 年 7 月), 頁 35-37。

註 ㉔ Brian W. Arthur, "Competing Technologies: An Overview," in Giovanni Dosi, Christopher Freeman, Richard Nelson, Gerald Silberberg and Luce Soete eds., *Technical Change and Economic Theory* (London: Pinter Publishers, 1988), pp. 590-607.

註 ㉕ 中國財政部, 「節能與新能源汽車示範推廣財政補助資金管理暫行辦法」, 中國節能減排網, 2009 年 1 月 23 日, <http://www.chinajnjpw.com/html/1/FG/200902/06-7356.html>。

Hydrogen Development Roadmap)，設定在 2020 年之前為技術發展階段，至 2050 年之間為準備進入市場階段，2050 年才能完成所有基礎建設，進入全規模商業運轉。那麼在這漫長的研發與試驗階段，燃料電池開發的合理性相當程度必須依託在環境關懷的論述，亦即從開發替代能源，提升能源效率，減少空氣污染，降低溫室氣體排放等議題中尋求正當性，這便留給語言及論述極大空間，中國政府自然希望藉由燃料電池技術的投入，營造綠色形象，但究竟技術的環境意義可否在社會實踐與溝通中獲得提升則有待釐清，公共領域的「溝通」成為技術合理化的平台，但同時也成為觀察評估的重要對象。

### 一、公共領域的環境溝通

「溝通」這個社會學概念，凸顯了論述、文本、媒體、或其他媒介反映與建構社會實體的功能。透過論述的建構，個人、社會與國家才能取得自我認同與世界觀，但溝通不只是觀念、思維、認知的交流，藉由溝通所衍生的議題框架也界定了行動的可能性。<sup>④</sup> 聚焦環境的溝通活動，Robert Cox 將「環境溝通」(environmental communication) 定義為，人們認知環境以及人與自然關係的務實性與建構性工具 (vehicle)，它是種象徵媒介，藉此人們建構環境問題，並妥協出不同的社會回應方案；環境溝通具有務實性功能，因為環境溝通目的在教育、提醒、說服、動員，以及協助人們解決環境問題，它同時也是建構性的，環境溝通根據人們的認知，以微妙的方式建立、組成以及再現環境問題與自然。<sup>⑤</sup> Niklas Luhmann 則從其系統理論出發也提出同樣的看法：任何對環境的溝通，都企圖引起社會這個溝通系統結構的變化。<sup>⑥</sup> 溝通的重要性足以說明何以政策學界也興起「語言轉向」(linguistic turn)，開始重視「議程設定」(agenda setting) 的問題。<sup>⑦</sup>

溝通做為意義與行動的叢集，既是社會行動者有意識的語言策略，也是媒體對現實決策或事件的解讀與反映，因此它同時包含著意象營造與客觀行動，它會在歷時性的資料中累積出一定的變化與趨勢。從溝通的角度看，中國燃料電池技術的環境溝通

註④ John A. Hannigan, *Environmental Sociology: A Social Constructionist Perspective* (London: Routledge, 1995), pp. 32~38; Carl George Herndl and Stuart C. Brown, "Introduction," in Carl George Herndl and Stuart C. Brown eds., *Green Culture: Environmental Rhetoric in Contemporary America* (Madison, WI: University of Wisconsin Press, 1996), p. 3.

註⑤ Robert Cox, *Environmental Communication and the Public Sphere* (Thousand Oaks: Sage Publications, 2006), pp. 20~21.

註⑥ 湯志傑、魯貴顯譯，Niklas Luhmann 著，*生態溝通：現代社會能應付生態危害嗎？*（臺北：桂冠圖書公司，2001年），頁47。

註⑦ Frank Fischer and John Forester, *The Argumentative Turn in Policy Analysis and Planning* (Durham, NC: Duke University Press, 1993); John Kingdon, *Agendas, Alternatives, and Public Policies* (Boston: Little Brown, 1984); Giandomenico Majone, *Evidence, Argument, and Persuasion in the Policy Process* (New Haven, CT: Yale University Press, 1989); Louise G. White, "Policy Analysis as Discourse," *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 13, No. 3 (Summer 1994), pp. 506~525.

便是在自我論述與被論述中建構起有關技術研發與環境的關聯，它因此足以作為反思性考察的平台，其中所涉及的議題、詞彙與框架等就成為有用的分析單元與評估指標，並受到環境研究學界的重視。<sup>⑤</sup>基於此，對於中國燃料電池的環境溝通，本研究聚焦以下提問：在研發投入歷程中，中國燃料電池的公共溝通在多大程度上能確保環境意涵，尤其在創新系統的部門之間，可以提升多大程度的環境共識，以顯示「以科技解決環境問題」的合理性。

當然，溝通必須在公共領域之中才能產生影響，也才有分析的意義。<sup>⑥</sup>為能掌握歷時性的變化，同時考慮語言文字的穩定性，本研究以媒體文本為分析對象。媒體向來為公共溝通的主要分析素材，從溝通概念切入，研究者專注的不是新聞製作與傳播效果，而是新聞報導在參與社會建構時，文字意義的賦予以及論述的發展。<sup>⑦</sup>對於媒體的論述，大致區分詮釋與計量二種分析途徑，基於對議題演變的探究需求，本文採用計量內容分析，<sup>⑧</sup>以求在複雜系絡與多元議題中探索燃料電池的環境主題變化，如此，較單一論述詮釋更為有用，也符合實際的媒體溝通樣態。<sup>⑨</sup>

為評估中國燃料電池研發在公共溝通中所展現的合理性，依據前述提問，本文特別針對二個面向進行分析：(1) 中國燃料電池技術發展反映在歷時性媒體報導中，環境主題是否能在整體議題結構中占有支配性地位，並隨時間發展得以維繫技術中所蘊含的環境意義；(2) 創新系統部門間的訊息傳播是否因著研發投入，更能反映環境保護的共識與體認。

## 二、資料來源

以媒體報導做為環境溝通的觀察媒介，可獲得長時間的觀察尺度，避免過大的人

註⑤ 相關研究已有相當累積，例如稍早的 Niranda A. Shreurs, William. C. Clark, Nancy M. Dickson and Jill Jager, "Issue Attention, Framing, and Actors: An Analysis of Patterns across Arenas," in The Social Learning Group ed., *Learning to Manage Global Environmental Risks* (Vol. 1) (Cambridge, MA: MIT Press, 2001), pp. 349-364。近期文獻可參考 Huge Doulton and Katrina Brown, "Ten Years to Prevent Catastrophe? Discourses of Climate Change and International Development in the UK Press," *Global Environmental Change-human and Policy Dimensions*, Vol. 19, No. 2 (May 2009), pp. 191-202; Elizabeth H. Essary, "Speaking of Globalization: Frame Analysis and the World Society," *International Journal of Comparative Sociology*, Vol. 48, No. 6 (December 2007), pp. 509-526；陳世榮，「探究環境治理中的知識溝通：臺灣氣候變遷研究的網絡分析」，*公共行政學報*，第25卷（2007年12月），頁1-30。

註⑥ Robert Cox, *Environmental Communication and the Public Sphere*, p. 26.

註⑦ John A. Hannigan, *Environmental Sociology: A Social Constructionist Perspective*, p. 60.

註⑧ Kathleen Carley, "Network Text Analysis: The Network Position of Concepts," in C. Roberts ed., *Text Analysis for the Social Sciences: Methods for Drawing Statistical Inferences from Text and Transcripts* (Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1997), pp. 79-100; M. Mark Miller, "Frame Mapping and Analysis of News Coverage of Contentious Issues," *Social Science Computer Review*, Vol. 15, No. 4 (Winter 1997), pp. 367-378.

註⑨ William A. Gamson and Andre Modigliani, "Media Discourse and Public Opinion on Nuclear Power: A Constructionist Approach," *American Journal of Sociology*, Vol. 95, No. 1 (July 1989), p. 2.

力與時間耗損，另考量網際網路普及化所帶來資訊傳播與訊息溝通的改變，以及公共領域的公開性要求，乃以含有紙本內容的線上新聞資料庫做為來源，選擇中國新聞發行最具代表性、報導最多元豐富、線上資料建置最完整的新華網作為內容分析的素材。

當然，使用新聞資料庫有若干挑戰。一般認為中國新聞自由化程度不足，因此相關新聞內容分析的效度遭到質疑。本文的立場是，中國新聞傳播向來視為行政權的延伸（或為黨的喉舌）確為事實，但須強調的是，不能因此否認中國傳媒在公共資訊傳播上的基本功能，尤其對於高新技術，沒有其他資訊來源較新聞報導來得更廣泛與平實。此外，對於中國新聞箝制的看法也有與時調整的必要，究竟在何種條件、為何種人充當喉舌其實是需要更細緻的探究，依據馮建三的分析，中國媒體的「輿論監督」其實也同樣發揮著「第四權」的效力，而且在諸如環境等議題上，甚至展現較西方新聞更為積極的角色。<sup>56</sup>如此，大陸新聞內容對於報導者、被報導者與一般閱讀者而言便存在著公共領域的意義。縱使，部分報導內容有政治操控之嫌，從環境溝通的意義看來，被操控、修飾、挾制的內容本身，也正顯示其意欲建構的特定象徵，不失其被分析的價值。當然，中國新聞內容終究有其特殊性，本文以報導量大、近用容易、具代表性、網頁建置完整為原則，探索性地選擇單一資料庫執行分析，以求簡明。

程序上，利用新華網（<http://www.xinhuanet.com/>）高級搜索引擎，配合其內建之 URL 設定（設為 [xinhuanet.com](http://www.xinhuanet.com/)），以「燃料電池」關鍵字執行檢索，主要對象是 2003 至 2009 年新聞全文資料，此一時間範圍能涵蓋中國燃料電池研發活動與重要背景事件，也兼顧資料庫新聞文本的穩定性，總計獲有效筆數 2543 筆。由於新華網是線上新聞資料庫，可排除在搜尋網站檢索所發生之重複、不完整、文件屬性不一致、檢索過分集中，以及搜尋結果不穩定等問題。<sup>57</sup>對於少數問題文件，已經藉由檢視、編碼與比對，加以修正與剔除。

### 三、語意網絡分析

第一階段分析整體上可稱之為語意網絡分析（semantic network analysis），其主要程序是先從媒體文本中萃取詞彙，建立不同時間點的議題網絡，再應用網絡分析技術，以圖示與指標呈現中國燃料電池技術發展在不同時間的議題結構，掌握不同議題

註<sup>56</sup> 馮建三，「考察中國輿論監督的論說與實踐，1987-2007」，*臺灣社會研究*，第 71 期（2008 年 9 月），頁 164~165。

註<sup>57</sup> Wallace Koehler, "A Longitudinal Study of Web Pages Continued: A Consideration of Document Persistence," *Information Research*, Vol. 9, No. 2 (January 2004), <http://informationr.net/ir/9-2/paper174.html>; Herbert Snyder and Howar Rosenbaum, "Can Search Engines Be Used as Tools for Web-link Analysis? A Critical View," *Journal of Documentation*, Vol. 55, No. 4 (July 1999), pp. 375~384; Liwen Vaughan and Mike Thelwall, "Search Engine Coverage Bias: Evidence and Possible Causes," *Information Processing & Management*, Vol. 40, No. 4 (July 2004), pp. 693~707; Christopher Weare and Wan-ying Lin, "Content Analysis of the World Wide Web-opportunities and Challenges," *Social Science Computer Review*, Vol. 18, No. 3 (Fall 2000), pp. 276~280.

的比重以及變化。

對於主題詞彙的選擇，目前計算語言學仍不斷尋求技術改良，不同的方法各有利弊。Robert M. Entman 主張新聞中的框架是基於「選擇」(selecting)與「凸顯」(highlighting)而呈現，<sup>⑤⑧</sup>詞彙之出現頻率因此成為意義傳達的重要指標，基於此，本文以總詞頻法，選擇詞頻出現 100 次的名詞作為分析對象，名詞一般具有較佳的意義承載能力，又由於以新聞全文為素材，其總詞彙數量極為龐大，因此以 100 詞頻為閾值所擷取主題屬超高詞頻詞彙，這些主題在不同文本間的分佈頻率也相當高，具有代表性。其次，再以詞彙共現 (co-occurrence) 原理，就對偶詞彙在同一文本中的共現程度賦予空間向量的相似性，以利意義相關之判斷，其基本概念係主張不同詞彙在一組文件中共同出現的頻率，不僅顯示某一詞彙與其他詞彙的關聯程度，更能反映出某一詞彙的重要程度。<sup>⑤⑨</sup>以上計量內容分析方法在議題萃取上能減少主觀影響，較傳統內容分析之事先決定編碼條件更為周全，且適用於電子資料分析，因此受到社會科學與資訊計量學界的重視與應用。<sup>⑥⑩</sup>

本研究以 ROST CM 軟體進行斷詞 (segmentation) 與詞頻計算。<sup>⑥⑪</sup>所獲之高詞頻主題利用 Atlas.ti 軟體執行詞彙共現編碼，經統計獲取共詞間的餘弦相似性後，轉化為矩陣數據導入網絡分析軟體 Pajek 與 Ucinet，這個以主題詞彙及其相互關聯所建立的網絡圖，本文以議題網絡稱之，代表圍繞中國燃料電池的關鍵性議題，該圖可運用網絡指標對之進行分析，主要指標包含點度、密度、集中性、接近中心性、居間中心性與結構對等，下文將依次說明。<sup>⑥⑫</sup>上述程序與分析，係以計量內容分析為基礎，映射出議

註 ⑤⑧ Robert M. Entman, "Framing: Toward Clarification of a Fractured Paradigm," *Journal of Communication*, Vol. 43, No.4 (December 1993), p. 53.

註 ⑤⑨ Kathleen M. Carley and David S. Kaufer, "Semantic Connectivity: An Approach for Analyzing Symbols in Sematic Networks," *Communication Theory*, Vol. 3, No. 3 (August 1993), pp. 183-213; Neil Jacobs, "Co-term Network Analysis as a Means of Describing the Information Landscapes of Knowledge Communities across Sectors," *Journal of Documentation*, Vol. 58, No. 5 (September 2002), pp. 548-562; M. Mark Miller, "Frame Mapping and Analysis of News Coverage of Contentious Issues," pp. 367-378.

註 ⑥⑩ Michel Callon, Jean-pierre Courtial and Françoise Laville, "Co-word Analysis as a Tool for Describing the Network of Interactions between Basic and Technological Research-the Case of Polymer Chemistry," *Scientometrics*, Vol. 22, No. 1 (September 1991), pp. 155-205; Neal Coulter, Ira Monarch and Suresh Konda, "Software Engineering as Seen through its Research Literature: A Study in Co-word Analysis," *Journal of the American Society for Information Science*, Vol. 49, No. 13 (November 1998), pp. 1206-1223; Ira Monarch, "Information Science and Information Systems: Converging or Diverging?" *Proceedings of the 28<sup>th</sup> Annual Conference of the Canadian Association for Information Science*, 2000, [http://www.caais-acsi.ca/proceedings/2000/monarch\\_2000.pdf](http://www.caais-acsi.ca/proceedings/2000/monarch_2000.pdf).

註 ⑥⑪ Yang Shen, *ROST Content Mining System: Software for Content Mining and Analysis* (Hubei, China: Wuhan University, 2008). ROSTCM 主要使用辭典 (lexicon) 作為斷詞依據，再局部運用回溯法 (backtrack matching) 修正歧異字，操作上另可結合自定義詞表、過濾詞表，及歸併詞表等輔助工具。

註 ⑥⑫ David Knoke and Song Yang, *Social Network Analysis* (Los Angeles: Sage, 2008); John Scott ed., *Social Network: Critical Concepts in Sociology* (Vol. 1-4) (London: Routledge, 2002); Stanley Wasserman and Kathrine Faust, *Social Network Analysis: Methods and Application* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994).

題網絡，並以網絡理論執行分析，統合稱之為語意網絡分析。<sup>⑬</sup>

上述所引用軟體，均內定以 ANSI 為讀入資料之文字編碼規格，惟當處理 Unicode 簡體中文原始資料時，存在編碼規格無法自由轉換的問題，影響少數文字的顯示，仍待未來軟體技術的開發與改善，本文在製圖時一律改以繁體來顯示。

#### 四、三螺旋指標測量

為評估跨部門間的環境共識建立，在前述語意網絡分析基礎上，融合訊息理論，運用「三螺旋指標」(Triple Helix Index) 就技術研發與環境關懷的契合程度做第二層次分析，Loet Leydesdorff 運用三螺旋指標測量產官學三部門間的研發綜效，本文則加以轉化應用。<sup>⑭</sup>三螺旋指標仍以詞彙共現為基礎，但卻奠基在訊息理論。訊息理論做為當前數位通訊的學理基礎，不直接觀察語意，而是強調總體訊息的統計特徵，認為只有在某事件發生機率不確定時，有關該事件的訊息價值或訊息含量才是高的，訊息熵 (information entropy) 就是維持資訊正確機率的平均訊息量，根據 Shannon，訊息熵表示為：<sup>⑮</sup>

$$H_i = -\sum_i p_i \log_2 (p_i)$$

當 H 通過二個維度時，會產生共同訊息 (mutual information)，設為  $H_{ij}$ ，共同訊息可以減少訊息的不確定性，又因為訊息量等效於不確定性的傳輸，設為  $T_{ij}$ ，則當訊息通過三個維度時 (例如產、官、學三部門，代碼設為 i、g、u)，可記為：

$$T_{uig} = H_u + H_i + H_g - H_{ui} - H_{ug} - H_{ig} + H_{uig}$$

$T_{uig}$  就是三螺旋指標，利用此一指標可衡量跨部門訊息流量，當技術與環境詞彙在跨部門訊息傳遞上具有較高的一致性，也就是溝通共識增強時，資訊不確定性的傳輸縮減，干擾或雜訊降低， $T_{uig}$  數值呈現負值或降低，一旦  $T_{uig}$  偏高或攀升，就代表不確定性傳輸增加導致訊息含量升高，此時跨部門溝通含有較高的干擾或雜訊，共識程度低。而本文所關心的訊息內容就是產官學部門對於燃料電池技術與環境問題的共同關懷程度。資料來源仍為前述新華網 7 年有關燃料電池的報導，環境意涵測定則選擇「環保」一詞。由於詞彙共現均基於在全文資料集的分配機率，因此以其他具有環境

註 ⑬ Kathleen M. Carley and David S. Kaufer, "Semantic Connectivity: An Approach for Analyzing Symbols in Sematic Networks," pp. 183~213.

註 ⑭ Loet Leydesdorff, *The Challenge of Scientometrics: The Development, Measurement, and Self-organization*, 2<sup>nd</sup> ed. (Leiden, Netherlands: DSWO Press, Leiden University, 2001); Loet Leydesdorff, "The Mutual Information of University-industry-government Relations: An Indicator of the Triple Helix Dynamics," *Scientometrics*, Vol. 58, No. 2 (October 2003), pp. 445~467.

註 ⑮ Claude E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication I & II," *Bell System Technical Journal*, Vol. 27 (1948), pp. 379~423, 623~656.



保護意義的詞彙替代，也會有相同測量效果，但必須確認所選詞彙有明確的環境關懷意義，經反覆檢視新聞全文資料，本研究認為「環保」一詞的意義最為穩定。對於產官學三部門行動者的認定，則因為文字敘述的變異性大，採人工閱讀判定，以二人一組，三人共分三組，針對資料集中同時有「電池燃料」、「環保」的全文，就其部門屬性，亦即學界、政府與產業進行鑑別。其中依據中國創新系統特性，將國有企業列為產業部門，將政府研究單位列為政府部門。同一新聞全文可以只涉及單一部門，也可以有多重部門，如此即有產學、產官、學官、產官學等組合。當二位編碼者同意部門屬性，即加以認列，未取得任何一組共識，即視為無效全文。依據 Holsti 的信度評定方法，<sup>66</sup>經計算部門屬性認列信度，如表 3，編碼信度均在可接受範圍。

表 3 編碼信度檢測

|         | 研究   | 企業   | 政府   |
|---------|------|------|------|
| 平均相互同意度 | 0.67 | 0.74 | 0.77 |
| 信度      | 0.86 | 0.89 | 0.91 |

資料來源：本研究統計。

如此，即可獲得各篇新聞中，產、官、學部門與「電池燃料」、「環保」的不同共現頻率組合，帶入前述三螺旋指標的求算公式，得出不確定性的傳輸值 T，藉以評估產官學三部門在新華網長期間報導中的環保共識程度。若 T 值持續遞減，表示燃料電池研發在環境溝通上確實符合政策宣稱的效果，反之則否。

## 伍、分析與發現

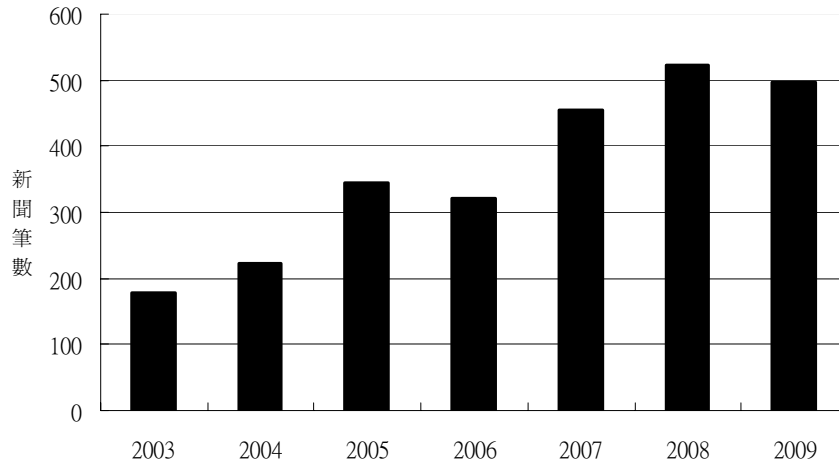
根據前述對新華網 2003-2009 年新聞全文的檢索，其中含有「燃料電池」之分年新聞報導筆數從 2003 年的 179 筆，逐年提升至 2009 年的 496 筆，如圖 1 所示。分析結果顯示對於燃料電池的相關報導有逐年增加趨勢，但報導量卻存在起伏波動，表示燃料電池的熱潮仍然受到其他議題或事件牽連的影響。

### 一、燃料電池的議題網絡發展

由於所擷取資料為新聞全文，內含主題詞彙數據量龐大，決定採前後年份之議題網絡對照比較，以達到簡潔的分析效果，其中特別值得觀察的是 2008 年的資料，該年中國舉辦奧運，燃料電池報導不僅量大且涉及議題多元，因此對稱性地採擇 2004 及 2008 二年資料進行比對。依據前述主題詞彙的擷取方法，2004 年獲得 54 個主題詞彙，2008 有 138 個詞彙，可兼顧這兩年的議題結構分布以及分析效果，主題詞彙在議

註<sup>66</sup> Ole R. Holsti, *Content Analysis for the Social Sciences and Humanities* (Reading, MA: Addison-wesley, 1969), pp.138-141.

圖 1 新華網燃料電池相關報導分年筆數



資料來源：於 2010 年 5-6 月以「燃料電池」關鍵詞，自新華網檢索獲得，並經過濾校對整理。

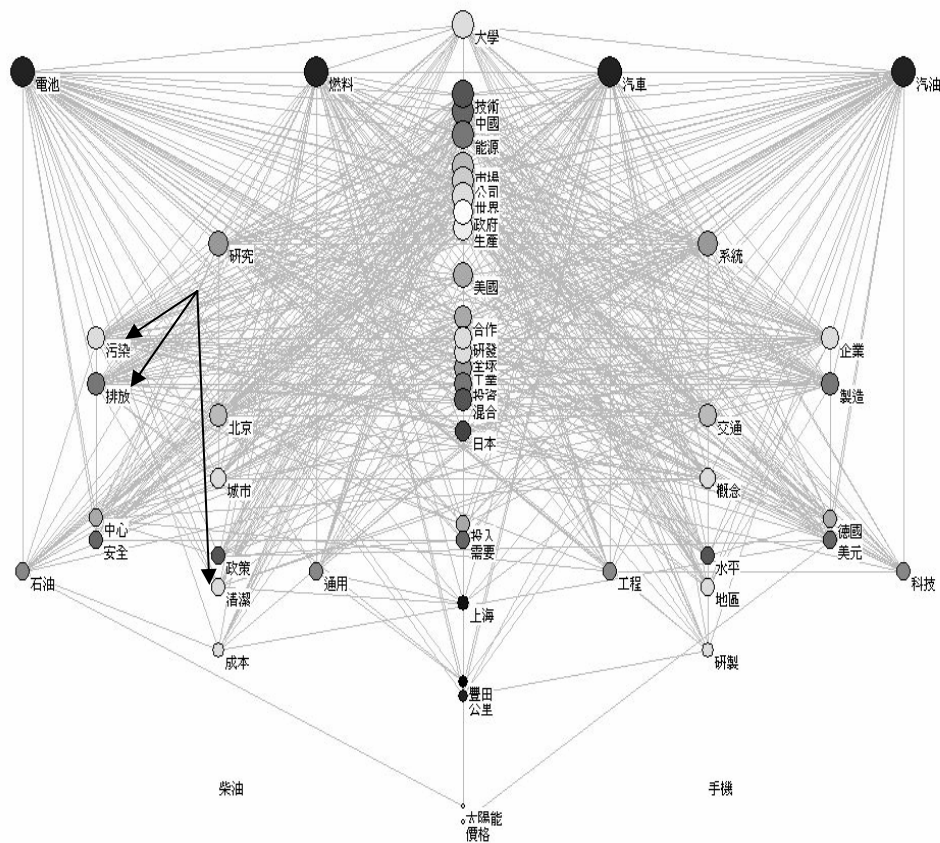
題網絡中以「點」來表示。其次運用前述詞彙共現原理，先建立主題詞彙對新聞全文資料集的對應矩陣，再轉置為詞彙對詞彙的對稱矩陣，其中對偶詞彙間的餘弦相似性反映某一詞彙與其他詞彙在同一全文的共現程度，藉以表達對偶詞彙的關聯程度，此一數值將代表點與點間連線的「值」。將前述點線資料匯入 Pajek 與 Ucinet 後，建立 2004 與 2008 年的議題網絡。網絡分析強調藉助視覺圖示與網絡指標進行判別與分析，考慮這二個議題網絡所含資訊量大，製圖後肉眼辨識不易，本研究取各年對半矩陣的相似性平均值（分別為 0.424 與 0.29）為閾值，留存平均值以上連線，以獲得較清晰的圖示，並利用網絡的總體、個體與結構指標，就 2004 與 2008 年關鍵議題進行比較分析。

圖 2、3 是以鄰接點多寡的簡單概念，亦即「點度」(degree) 大小，沿 Y 軸將網絡節點區隔出不同系譜 (genealogy)，以呈現 2004 及 2008 年新華網燃料電池報導之議題結構。總體衡量上，圖 2 密度 (density) 為 0.503，圖 3 密度為 0.464，顯示隨著相關報導增加，總體的字詞關聯密度略有下降，但若觀察總體議題網絡的互動程度，亦即二圖的總體集中性 (centralization)，卻發現 2004 年為 0.438，2008 年為 0.492，表示隨著議題增加雖然字詞間密度下降，但部分議題顯然構成聚集核心，反而使總體集中性有提升效果，需要做細部觀察。以下先就圖 2、3 的視覺化系譜做總體性的語意網絡分析，然後再以個體網絡指標加以論證。

在 2004 年的議題網絡中 (見圖 2)，「大學—燃料—電池—汽車—汽油」構成最高「點度」集群，除了「燃料—電池」是基於檢索的關係，「大學」所代表研發投入議題占最大比重，點度 (degree) 達 0.83，顯示此時技術引進與研發最受到注目。「汽車—汽油—中國—技術—能源—市場」所構成主流議題，代表中國透過燃料電池的技術研發，積極投入替代能源市場。整體而言，議題網絡已包含有技術、產業、政策、能

源、環境等構面的詞彙，技術與研發顯然占重要位置，但經濟與市場議題隱然成爲另一個重要主軸。環境議題是由「排放－污染－清潔」等詞彙所框架，位於圖的中間偏左段落（以箭頭標示），顯然與主流議題有區隔，重要性也相對低於技術與市場構面，從點度數值看，「排放－污染－清潔」的點度各爲 0.547、0.604、0.302，未能成爲主導性議題，與一般期待有落差。從連結的系譜上看，研發、市場、能源、政策等議題，相互串連形成主流，其中，經濟性議題的構成詞彙已相當多元豐富，包含有「公司、市場、生產、工業、企業、投資」等。這一時期重要研發或銷售廠商主要有「通用、豐田」等，但均屬國外廠商。雖然「北京」、「上海」等地方城市的參與已顯示其分量，但國外與世界趨勢報導比重仍較突出。整體而言，燃料電池相關的議題都已在 2004 年的報導中被提呈出來，只是比重各有差異。圖 2 中「價格」與「太陽能」列屬最低層級，二者各自表徵市場下游與技術上游議題，被討論機會相對較低，「手機」是由材料所牽連的附帶話題，「柴油」替代性的討論仍不多，二者在網圖中成爲孤立點。

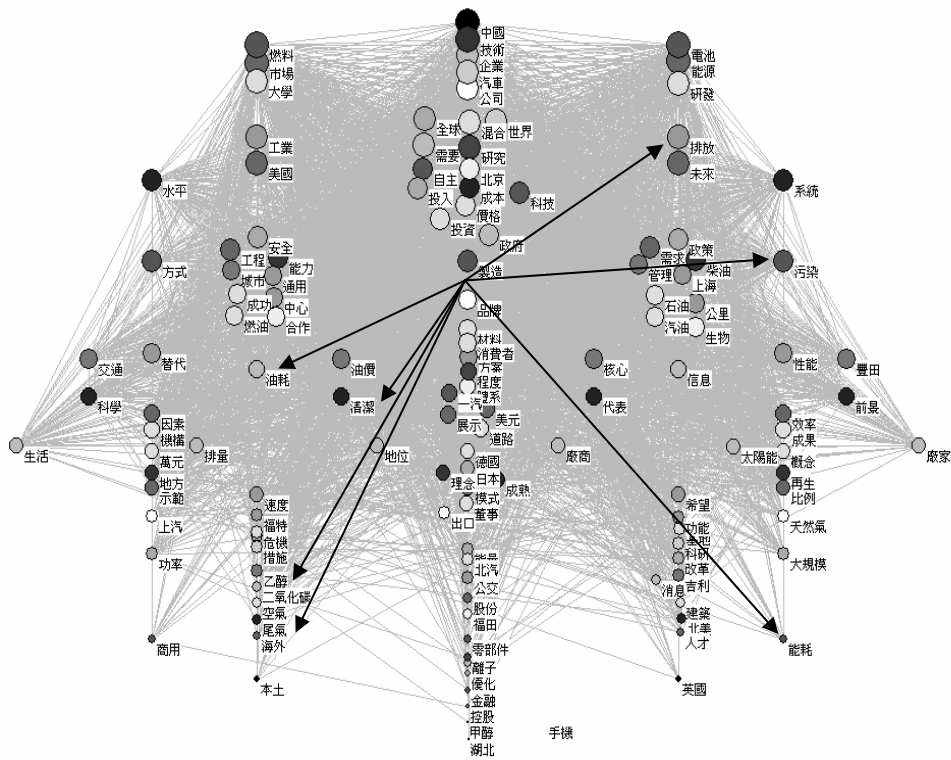
圖 2 2004 年燃料電池報導之議題網絡



資料來源：本研究分析製作。

2008 年的議題網絡隨著報導量激增 (見圖 3)，有多於一倍的主題詞彙出現，其中高「點度」集群，發生若干變化，除了「燃料－電池」之外，「中國－技術－能源－研發－市場－大學」所引領的技術、經濟議題已成為支配性主題。「中國」一詞「點度」達 0.949 為最高，顯示隨著國內研發、展示與試運轉，燃料電池話語已經本土化，與其他類似的「自主」、「本土」等詞彙凸顯研發與生產的國內實踐，研發廠商也出現國內企業集團與品牌，如「上汽、一汽、北汽、吉利、福田」等。環境議題仍由「排放－污染－清潔」主要詞彙所框架 (以箭頭標示)，「點度」各為 0.803、0.635、0.453，比重仍有維持；在較低點度群中並有新的環境主題出現，諸如「二氧化碳、尾氣、能耗、油耗」等，顯示燃料電池與氣候變遷之間的關聯性有了更細緻的描繪與框架。「手機」仍為附帶性議題，在圖 3 中為孤立點。值得注意的是，原本在圖 2 點度較低的主題或孤立點，如「柴油」、「價格」與「太陽能」三詞，在圖 3 已躍居中、上段集群，顯示議題已觸及較深度的市場與技術問題。2008 年最低集群中「湖北」表徵新的地方研發參與，但與各點連結的頻次仍低，「甲醇」、「控股」、「金融」等新議題則代表隨著商業化進程，若干原本潛伏的市場與技術問題也進入高詞頻主題的範疇。2004 年與 2008 年的總體比較中，顯示若干值得注意的趨勢：(1) 燃料電池所牽連議題極為廣

圖 3 2008 年燃料電池報導之議題網絡



資料來源：本研究分析製作。

泛，(2) 隨著技術發展進程，經濟性議題明顯竄升，(3) 環境意涵能維持一定比重，但非支配性語言，並隨著經濟性議題質量的升高，有被稀釋的可能。以下從網絡個體分析指標，做進一步分析。

首先，利用網絡的「權力」衡量工具進行解析。網絡中心性 (centrality) 以不同的網絡特性，例如點度、連結或距離，測定一個點在網絡中的凝聚性 (cohesion)。<sup>⑦</sup> 其中，接近中心性 (closeness centrality) 是常用指標之一，它主要觀察某主題與其他議題的距離，短距離的關係愈多代表該主題的控制力大，因此，接近中心性愈高，該主題的影響力愈高。而居間中心性，則是觀察節點的另一個特性，它衡量某一主題占據其他兩詞彙捷徑通道的程度，居間中心性高未必有許多連結，也未必以較短距離與其他議題取得連結，但它卻表示占有較好的訊息傳遞位置，對於溝通效率發揮著中介與催化的影響。

以 2004 及 2008 議題網絡數值，計算接近中心性列於表 4。依據之前總體分析結果，表 4 選擇部分詞彙，顯示 2004 與 2008 年在接近中心性上的明顯差異。從表 4 可知，大部分重要議題都隨時間取得更高的接近中心性，顯示強者愈強的趨勢，例如「中國—技術—能源—市場」等重要性主題，其接近中心性已從 2004 年的 0.8 區間，躍升至 2008 年的 0.9 區間，顯示較此前取得更大的影響力與集中效果。此外，經濟性議題表現極為突出，重要詞彙也相對多樣，例如「企業」由 0.692 提升至 0.906，「工業」由 0.673 提升至 0.828，「成本」由 0.546 提升至 0.794，「價格」由 0.369 竄升至 0.794，「投資」由 0.673 攀高至 0.767，顯示燃料電池的經濟利基隨時間推移引起更大的關注。相反地，「大學」維持在 0.8 區間，「政策」一詞雖然伴隨提升，但「政府」一詞卻維持在 0.7 區間。環境議題的連結描繪有隨同升高，並有新的主題出現，不過沒有較明顯的表現，唯有「排放」一詞表現較佳，由 0.663 提升至 0.828，結合下文將發現，「排放」一詞因與汽車工業有較大連結，可以架接環境與工業二構面，所以能獲得較大的論述權力，而這也是源於經濟與市場議題轉趨重要之故。此外，2008 年產生諸多新的議題值得重視，例如「自主、能力、品牌、本土」指涉技術發展過程有關產業自主性問題，其中「自主與能力」具有較高的接近中心性，各為 0.79 與 0.73，可見隨著中國燃料電池技術開發，技術自主與產業前景問題愈發受到重視，當然「人才」議題也浮上檯面。而「材料、生物、乙醇、甲醇、離子」所涉及技術與原料的新議題，應該可以聯繫到二氧化碳實質減量的憂慮與解決，亦即如何以綠能完整取代化石能源，但以經濟利基占有支配性地位看來，這樣的討論都沒有強調柴油或混合動力開發來得凸顯，2008 年「柴油」與「混合」接近中心性各達 0.73 與 0.844。正如前述，這種途徑選擇基本上意味著對燃料電池開發構成排斥作用，未來是否進一步影響中國燃料電池研發的發展進程或是投資比重有待持續觀察。

註⑦ Linton C. Freeman, "Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification," *Social Networks*, Vol. 1, No. 3 (Winter 1978), pp. 215~239.

表 4 2004 與 2008 年主題詞彙之接近中心性比較

| 接近中心性<br>區間 | 2004主題<br>詞彙   | 2008主題詞彙   |  |
|-------------|--|--|--|
|             |  | 舊詞   | 新詞   |
| ≥0.9        |  | 中國0.9508063<br>技術0.9376006<br>市場0.9247568<br>能源0.9247568<br>企業0.9061375                                |  |
| ≥0.8        | 技術0.8929293<br>中國0.8769841<br>能源0.8615984<br>大學0.8467433<br>市場0.8323917                  | 研發0.8941357<br>大學0.8941357<br>混合0.8438406<br>排放0.8283098*<br>工業0.8283098                               |  |
| ≥0.7        | 政府0.7921147  | 價格0.7942029<br>成本0.7942029<br>投資0.7671278<br>政府0.7500805<br>政策0.7418379<br>柴油0.7298081<br>污染0.7258844* | 自主0.7895584<br>能力0.7298081   |
| ≥0.6        | 企業0.6917058<br>污染0.6917058*<br>工業0.6727549<br>投資0.6727549<br>排放0.6636637*<br>混合0.6548148 | 清潔0.6398791*   | 品牌0.699557<br>生物0.6784648<br>材料0.6683886<br>油耗0.6554102*   |
| <0.6        | 政策0.5846561<br>清潔0.5644955*<br>成本0.545679<br>價格0.3692565<br>柴油 0                         |  | 乙醇0.5510796<br>二氧化碳0.5466174*<br>尾氣0.5336541*<br>人才0.5294686<br>能耗0.5253482*<br>離子0.5153225<br>本土0.5094887 |

說明：\*表示與環境相關主題。

資料來源：本研究分析製作。

表 5 摘錄居間中心性具明顯差異的主要詞彙，可以發現 2008 年所有議題中介能力均明顯偏低，這表示無論何種主題詞彙，到 2008 年其跨領域溝通效果已大不如前，換言之，若干支配性主題趨向集中，彼此間形成區隔，印證前述集中性與接近中心性的觀察。2004 年以「能源」所涉報導最具串聯溝通效果，居間中心性達 0.053，若能善用「能源→燃料電池」這個議題軸線，可以帶動更多的環境溝通，可惜到 2008 年其中介效果已減低至 0.021。不過，當 2008 年議題中介能力普遍下降之際，「市場—工業—企業—投資—成本—價格」等經濟性議題的中介傳播能力卻有顯著提升，相反地，「大學」、「政府」、「政策」等角色持平，環境議題中「清潔」的中介力僅微幅上揚，「污染」則呈下降，透顯燃料電池在開發過程中其環境意涵遭到稀釋。唯有「排放」一詞

由 0.003 提升至 0.011，研判應是與新能源汽車的描繪有較大連結之故（見下文），若能持續獲得媒體與社會行動者的關注與描繪，可促進環境意涵的擴張。值得注意的是，「柴油」一詞在 2004 年語意網中因與其他議題連結過於薄弱，居間中心性判為 0，但到 2008 年時已達 0.015，細究中國有關柴油的相關報導，多數涉及新能源發展困境，並倡議以柴油或混合動力來源彌補燃料電池技術之不足，以因應現實需求與產業競爭，如此，「柴油」傳播效果的提升也代表對燃料電池支持度的退卻。綜合表 4、5，可以確證，燃料電池議題發展至 2008 年，已為經濟與市場討論所支配，環境意涵的比重漸弱，或至少已被稀釋。本研究另執行 2009 年議題網絡分析，發現其語意分布也大體反映 2008 年的發展軌跡，限於篇幅不做細部呈現與說明。

表 5 2004 與 2008 年主題詞彙之居間中心性比較

| 居間中心性<br>區間 | 2004主題詞彙  | 2008主題詞彙  |   |
|-------------|---|---|---|
|             |   | 舊詞  | 新詞  |
| ≥0.03       | 能源0.0525116<br>美元0.0369081<br>電池0.0342606<br>汽車0.0342606<br>汽油0.0342606<br>燃料0.0342606                  |   |   |
| ≥0.02       | 技術0.0260454<br>中國0.0239017  | 中國0.0278282<br>技術0.0227877<br>市場0.0218547<br>能源0.0214549<br>電池0.0211604<br>燃料0.0211604<br>企業0.0202744 |   |
| ≥0.01       | 大學0.0196282<br>市場0.0178157<br>政府0.0126231   | 大學0.0166378<br>汽車0.0163018<br>柴油0.015335<br>投資0.0147899<br>混合0.0131246<br>排放0.0107961*<br>工業0.0104687 | 股份0.0154981                               |
| ≥0.001      | 政策0.0008667<br>污染0.0046882*<br>工業0.0043859<br>企業0.0042642<br>投資0.0042207<br>混合0.0038344<br>排放0.0035488* | 價格0.007116<br>成本0.0071158<br>政府0.0046766<br>政策0.0039614<br>污染0.0037588*<br>清潔0.0006039*               | 自主0.0077382<br>能力0.0043188<br>品牌0.0038818 |
| <0.001      | 清潔0.0003053*<br>成本0.000157<br>柴油0<br>價格0  |   |   |

說明：\*表示與環境相關主題。

資料來源：本研究分析製作。

那麼，環境意涵的稀釋是否直接與經濟議題有關呢？基本上，依據網絡分析理論，這樣的推論是可以成立的。下文再以網絡結構分析加以印證。在網絡分析中，「結構對等性」( structural equivalence ) 概念藉詞彙間的相似性，可對「凝聚性」( coherence ) 與「對等性」( equivalence ) 同時進行觀察，它一般以區塊模型 ( Blockmodel ) 進行分析。<sup>88</sup>本研究所處理議題網絡密度高，可執行區塊模型，但因為資料量大，在分析結構對等性時必須藉助大幅收斂分群，屬於結構性觀察。為此本文做如下策略性安排，由於空間向量無法進行統計操作，乃將原始對偶詞彙關聯改以相關係數表達以利統計分析，就資料量小的 2004 年資料進行集群分析，此時分群判準強調節點連線之有無，以獲得較明確的分群效果；2008 年資料在時間上對未來具參考性，因此進行區塊模型分析，分群判準兼顧詞彙共現的機率分配，以反映議題結構的複雜度。

圖 4 為 2004 年的集群分析結果，以五分群最能清晰表達整體議題的分布，所關心的環境構面落在第二集群 ( 以虛線方框圈示 )，前述所指環境主題詞彙都在本群之中，並顯示與經濟類詞彙形成較大的區隔，表示二者間關懷內涵確有不同；但另一方面又可以發現「排放」一詞與新能源汽車議題較親近，得以解釋其以高中心性串聯各議題的原因，印證前述論證。結合上述二個現象以及前述分析，指出一項燃料電池社會溝通的基本特性，它的環境意義一方面是與經濟意涵有區隔的，另一方面，即便在技術開發初期，其環境意義又必須藉重其應用面才能獲得與其他主題框架更多的聯繫，說明在社會溝通中燃料電池所蘊涵環境意義並不如一般設想那麼直接而強韌，一旦應用面問題趨於複雜並受到更多關注，其環境價值是容易被模糊、淡化，甚或扭曲的，對照 2008 年「能源」與「汙染」等主題中介性減弱等現象，證實這種模糊與淡化已表露在中國的相關議題結構中。

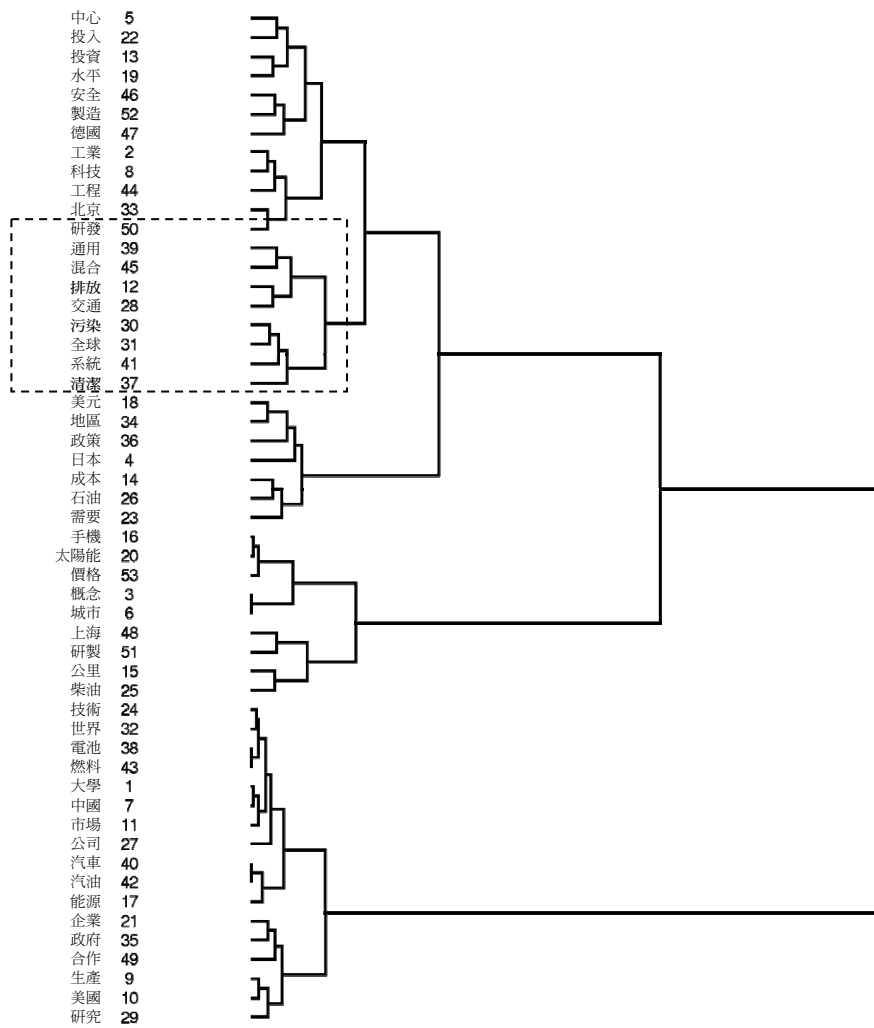
2008 年資料經階層集群分析，以區塊矩陣表示，如圖 5 所見。經選擇，以八個次集群表達 137 個主題詞彙的收斂構面，製成像矩陣 ( image matrix )，如圖 6，圖 6 第五橫列「改革與環境」是主要關心所在，由左至右分別與其他七個構面形成是否結構對等之表示，空白細格表示議題區隔較大，其中出現「市場與企業」構面，表示二者不對等，因此若發生結構失衡，有相互排斥可能，證實前述分析。此外，細格中的灰階顏色表示議題間存在結構對等程度，本資料以共詞機率為基礎，因此在區塊模型中以灰階表達位置的對等程度。依圖 6，與「改革與環境」有結構對等關係者，依序分別為「計畫與政策」、「世界投入」、「投資與管理」，表示這些構面與「改革與環境」有較大的對等性，亦即相互替代較不影響整體網絡結構，可見燃料電池環境意義伸張與政策管理層面的關聯度極大；但依據結構對等性的特點，這種替代性也表示政策管理面

註<sup>88</sup> 在區塊模型中，「集群」被視為網絡中的「位置」，當位置關係從整體網絡中被界定，節點即依所處位置決定其角色，因此節點是其所在位置的函數，參見 Harrison C. White, Scott A. Boorman and Ronald L. Breiger, "Social Structure from Multiple Networks I: Blockmodels of Roles and Positions," *American Journal of Sociology*, Vol. 81, No. 4 ( January 1976 ), pp. 730~780.



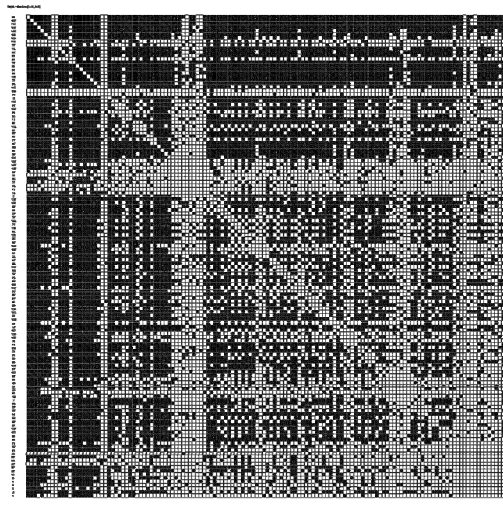
的現實考量也可能取代真正環境關懷的伸張，申言之，政策管理行動者可能以環境之名，選擇具有市場效益的發展途徑，從而縮減或放慢實現燃料電池減排效能的研發挹注。在下文第二階段的分析中，將納入企業、政府、研發部門的行動者因素，進一步探究部門間環境共識的一致性。

圖 4 2004 年議題集群之樹狀圖



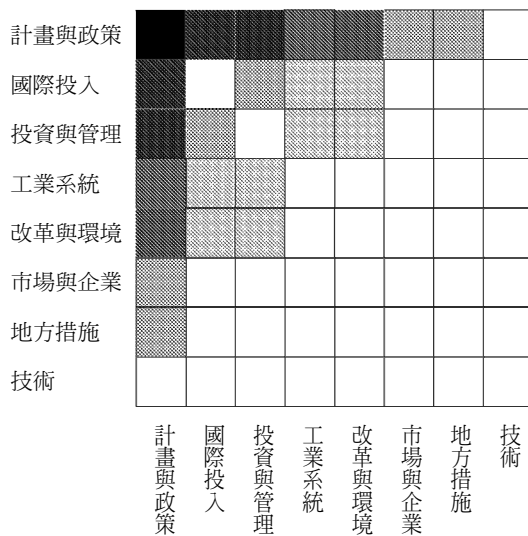
說明：使用 Ward 集群法。  
資料來源：本研究分析製作。

圖 5 2008 年議題集群之區塊模型



說明：使用 Ward 集群法  
資料來源：本研究分析製作。

圖 6 2008 年議題集群之像矩陣



資料來源：本研究分析製作。

## 二、產官學部門間的環境共識

在第二階段分析中，本研究以相同資料集，藉由三螺旋指標，就新華網之長期報導，審認涉及產官學三部門的文本，再尋求具有「燃料電池」與「環保」共詞的機率，如此可以針對部門間的差異進行分析，其目的在藉由跨部門溝通時所產生訊息干

擾，評估部門間的環境共識程度。經編碼統計，2003 至 2009 年新華網詞彙共現組合次數如表 6。

表 6 2003-2009 年新華網含有「燃料電池」與「環保」的新聞中  
同時涉及產官學部門之共現組合次數

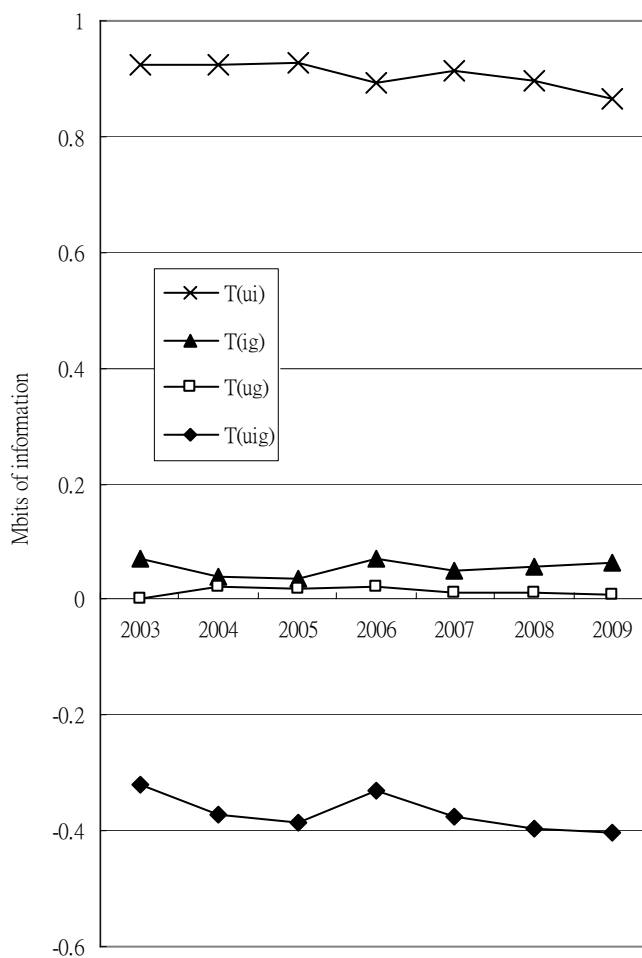
| 部門         | 學界 | 產業  | 政府  | 學界+產業 | 學界+政府 | 產業+政府 | 學界+產業+政府 |
|------------|----|-----|-----|-------|-------|-------|----------|
| 部門<br>組合代號 | u  | i   | g   | ui    | ug    | ig    | Uig      |
| 2003       | 15 | 20  | 17  | 2     | 8     | 4     | 6        |
| 2004       | 29 | 43  | 40  | 5     | 6     | 15    | 15       |
| 2005       | 44 | 70  | 64  | 8     | 7     | 26    | 26       |
| 2006       | 26 | 46  | 50  | 4     | 8     | 18    | 13       |
| 2007       | 62 | 140 | 104 | 15    | 6     | 50    | 42       |
| 2008       | 55 | 135 | 104 | 10    | 4     | 50    | 38       |
| 2009       | 47 | 142 | 125 | 4     | 1     | 71    | 40       |

資料來源：本研究分析製作。

將上述數據代入三螺旋指標，並以圖 7 顯示。圖 7 之中， $T_{(uig)}$  的跨年數值變化表示產官學三部門在燃料電池研發過程中對於環境認同的調和程度，除 2006 年發生回升之外，溝通干擾係數的減緩顯示整體趨勢對環保意識發展是有益的。不過從 7 年的長期資料來看其減緩趨勢卻極為緩慢。正如第一階段分析所指出，燃料電池研發往往伴隨多元的論述與討論，環境意象的塑造相對而言並非是最突出者。尤其，2006 年產官學部門的訊息干擾有不降反升的逆向發展，特別值得注意，換言之，即便是在綠色能源的開發中，環境共識的營造也不是可以持久不衰的。這個雜音回升的現象，若參考前述對中國燃料電池發展的分析，研判可能原因是由於對未來發展與市場開拓的討論增加所造成，經濟性對話沖淡了環境意義的溝通。2006 年中國燃料電池在汽車運用上已獲得試營運的初步結果，但是距離 2008 年奧運展示以及 2009 年中國政府加碼刺激燃料電池汽車內需都有一段距離，因此媒體也好，其他參與部門也好，不得不對未來技術與市場發展做更多的敘述與描繪，從而偏離環保議題。圖 7 顯示， $T_{(ig)}$  所代表的產業與政府間對話發生極為類似的回升點，依此判斷，產業與政府政策溝通不一致是導致產官學總體干擾回升的主因。此外，正如前階段的分析，大學研究與政府部門往往是燃料電池研發中環境意義的重要推動者， $T_{(ug)}$  的下降趨勢正顯示研究與政府部門間環境共識有較為穩定的進展，是帶動整體  $T_{(uig)}$  下降的助力，可惜，訊息規模與曲線下探幅度都不大。而與預期相去不遠的是，研究與產業部門間的環境共識建立似乎最難， $T_{(ui)}$  數值一直維持 0.8 以上，與其他部門間的溝通顯有不同，所幸尚能表現出遞減現象，對整體環境溝通有助益，但參考表 6 可知，其訊息規模不大，影響有限。如果，2006 年  $T_{(uig)}$  數值表徵環境共識的逸散，其後又如何再下降？推斷應該是 2008 年強力塑造綠色奧運形象，2009 年推出後續的採購獎勵，這一系列事件使得燃料電池

的環境正當性又再次成爲媒體與產官學部門的溝通主題。如此說來，政府政策導正了原本由企業部門所引發環境共識的逸散，對照前述結構對等性分析，初步判斷目前政策管理面與環境關懷面之間尙未發生明顯的負面性模糊替代，政府部門仍設法扮演維繫環境價值的角色，未來發展則有待持續觀察。

圖 7 中國燃料電池環境溝通的三螺旋指標趨勢



資料來源：本研究分析製作。

總結而言，中國產官學部門在燃料電池上的研發投入，雖然整體而言有促進環境共識的效果，但效果並不顯著，也未必持續，甚至有共識逸散的情形，可見技術投入本身不能確保環境意涵的持續彰顯，中國環境溝通趨勢的改善有賴於不斷的重點政策投入，一旦新能源技術必須面臨量產與市場競爭，環境關懷難免遭到經濟與利潤議題的稀釋。中國燃料電池研發在環境溝通的發展正足以表明技術投入與環境意識的弔詭情境：原本做爲環境回應的技術投入，最後必須以更多資源投入，以維繫技術研發的

環境意涵，陷入不斷技術投入的迷思之中。

## 陸、討論與結論

擺在中國眼前溫室氣體減量的課題極為艱巨，國內能源效率提升與國際形象維護都為中國平添諸多壓力，發展與環境間的兩難在中國顯得格外尖銳，在如此壓力下，中國轉而強調甚至標榜新能源技術。中國對於燃料電池技術的研發投入，正是一種回應氣候變遷的策略選擇。亦即，遵循「以科技解決環境問題」的思維原則，一方面掌握新燃料與新動力的技術，一方面營造綠色環保的形象。然而，由於燃料電池發展的特性與侷限，其技術應用與市場利潤充滿不確定性，這似乎留給意象營造極大的空間。表面上看，中國決策者可以不待技術與市場的成熟，更早地汲取利用燃料電池的綠色意涵，並加以宣傳放大。若果真如此，燃料電池終究在公共溝通上獲得正當性。但本文論證卻表明，在事件、想像、言說所交織的媒體公共論述中，燃料電池本身所承載的環境意義卻是有限的。以下謹就本文的分析論證加以歸納說明。

### 一、燃料電池環境溝通有其侷限

本文以新華網 2003 至 2009 年新聞文本，首先進行語意網絡分析，此一分析指出燃料電池所涉及議題相當廣泛而多元，其中環境議題從來就沒有成為支配性的核心主題。在初期，當政策仍必須照顧多方面研發條件時，環境意義伴隨研究成果、政策宣示、廠商跟進等事件，環境議題獲得較多彰顯，因此在較為均衡的議題結構中，對燃料電池的論述有較多環境意涵的連結，但是隨著試運轉與商業化，經濟相關議題暴增，不同主題間也各自形成關心的焦點，環境主題的擴張能力隨之減弱，環境關懷論述遭到稀釋，或必須仰賴議題網絡中具支配性的經濟性議題取得較大的論述關聯與影響，這不僅揭示燃料電池本身所能支架的環境意義並不如一般設想那麼直接而強韌，而且一旦技術應用面問題趨於複雜，市場維繫議題引發更多關注，環境價值便容易被模糊與淡化，並與經濟議題發生互斥的效果。如此看來，中國所謂「以技術解決環境問題」的思維與倡議是過於樂觀的，燃料電池的個案顯示，技術投入所形成的議題框架並不以環境為主軸，而是向市場議題傾斜，這樣的發展甚至可能影響未來對燃料電池與氫能技術的投資比重，遲滯燃料電池實現完整減碳效能的時程。

### 二、創新部門間環境共識存在差異

在第二層次的分析上，本文就上述文本資料進行部門間的訊息探勘，從而發現隨著燃料電池的研發投入，整體產官學三部門間的環境共識雖有進步，但幅度不大，其間甚至出現逸散現象，換言之，即便是綠色能源的開發，環境共識的營造也不是可以持久不衰的，隨著對燃料電池未來技術與市場的憂慮，經濟性考量沖淡了環境保護的共識。其中，最大問題出在企業與政府間關注與立場的差異，二者隨著技術發展進程

產生矛盾，造成環境共識的逸散與分歧。燃料電池研發部門間這種環境共識的緊張，顯示出一項弔詭：原本做為環境回應的技術投入，最後必須以更多資源投入，以維繫技術研發的環境意涵，陷入不斷技術投入的迷思之中；也就是說，技術開發經歷一段時日後，技術投入本身並不如預期帶動環境溝通，還必須有政府的介入以支撐技術的環境意義。中國燃料電池技術發展表明，技術並沒有大幅提升環境溝通與共識，而是政策投入穩定了技術的環境意義。

本文的論證不在否定中國燃料電池的研發投入，更不是主張環境技術不能有經濟誘因與利得。而是要指出，燃料電池所引發的高度關注絕不僅止於「環境友善」，而是與其所烘托出的「技術想像」與實際面對的「經濟考量」有密切關聯。忽略這一點，就容易在不斷湧現的市場與利潤議題中受到牽引而不自知，甚至在樂觀自滿的錯覺下，持續以環境永續之名，掩蓋其對市場壓力的屈從，移轉或遲緩燃料電池的支持強度，最終喪失燃料電池研發政策的正當性。中國決策者必須警覺，「以技術回應環境問題」的思維承載著模糊環境意識的風險，宜認知技術開發是承擔環境責任的開始，必須以更堅定的環境永續決策承諾，突破技術瓶頸與商轉限制，而不能陶醉於燃料電池名利雙收的錯覺中。

\* \* \*

(收件：99年10月15日，修正：100年6月21日，接受：100年8月14日)

# China's Fuel Cell R&D and its Environmental Communication

*Shih-jung Chen*

Associate Professor, Department of Administrative Management  
Chinese Culture University

*Ho-ching Lee*

Professor, Center for General Education  
National Central University

## Abstract

In recent years, China has become active in addressing and responding to climate change. In particular, green energy technology is regarded as a crucial strategy to ease the tension between economic development and environmental protection. Among others, fuel cell research and development have been overly highlighted in order to construct China's green image. Does technological initiative foster environmental meaning in public sphere? This paper aims to clarify the issue as well as environmental communication surrounding China's fuel cell research and development by way of semantic network analysis and quantitative text analysis on Xinhuanet news documents. Results of this study find that the environmental implication of fuel cell is diluted along with the process of the technological development. At the aggregate level, it is the market and economic issues that construct the core frames of the media communication. Furthermore, the environmental consensus between the industrial and governmental sectors had confronted dissipation and disruption. In the long term, the technological initiative is incapable of maintaining its environmental meaning. China ought to restore its focuses on policy commitment rather than technological hype in responding to climate change.

Keywords: China; fuel cell; environmental communication; semantic network;  
Triple Helix Index

### 參考文獻

- 「FC 介紹」，臺灣燃料電池資訊網，2010 年 2 月 2 日，<http://www.tfci.org.tw/index.asp>。
- 「上海牌燃料電池轎車」，上海燃料電池汽車動力系統有限公司，2011 年 1 月 10 日，<http://www.fcv-sh.com/ProductShow.asp?ArticleID=146>。
- 「中美能源安全合作聯合聲明（全文）」，新華網，2010 年 5 月 25 日，[http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/2010-05/25/c\\_12141526.htm](http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/2010-05/25/c_12141526.htm)。
- 「中國實現 45% 減排目標，GDP 損失或超 5000 億元」，人民網，2009 年 12 月 16 日，<http://env.people.com.cn/GB/10590783.html#>。
- 「企業名錄」，中國燃料電池網，2010 年 8 月 25 日，<http://www.cnfuelcell.com/project/>。
- 「曲格平：科技進步是環境實現跨越式發展的基礎」，新華網，2004 年 5 月 31 日，[http://news.xinhuanet.com/st/2004-05/31/content\\_1499330.htm](http://news.xinhuanet.com/st/2004-05/31/content_1499330.htm)。
- 「我國自主研製氫燃料電池轎車駛進奧運會場」，新華網，2008 年 7 月 7 日，[http://www.bj.xinhuanet.com/bjpd\\_2008/2008-07/07/content\\_13738718.htm](http://www.bj.xinhuanet.com/bjpd_2008/2008-07/07/content_13738718.htm)。
- 「國家能源局與 26 省分簽訂 2010 年關停小火電責任書」，新華社，2010 年 5 月 21 日，[http://big5.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/jrzg/2010-05/21/content\\_1611098.htm](http://big5.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/jrzg/2010-05/21/content_1611098.htm)。
- 中國財政部，「節能與新能源汽車示範推廣財政補助資金管理暫行辦法」，中國節能減排網，2009 年 1 月 23 日，<http://www.chinajnpw.com/html/1/FG/200902/06-7356.html>。
- 中國國家發展和改革委員會，中國應對氣候變化國家方案（北京：中國國家發展和改革委員會，2007 年）。
- \_\_\_\_\_，國民經濟和社會發展第十個五年計畫綱要（北京：中國國家發展和改革委員會，2001 年）。
- 中華人民共和國國務院，中國 21 世紀議程：人口環境與發展白皮書（北京：中國環境科學出版社，1994 年）。
- \_\_\_\_\_，國家中長期科學和技術發展規畫綱要（北京：中國國務院，2006 年）。
- 尹安東、趙韓、張炳力，「燃料電池汽車開發及產業化的關鍵技術研究」，合肥工業大學學報（自然科學版）（合肥），第 29 卷第 7 期（2006 年 7 月），頁 801~804。
- 毛宗強，氫能：21 世紀的綠色能源（新北市：新文京開發出版公司，2008 年）。
- 王曉蕾、馬建新、鄔敏忠、楊代軍、林瑞、張存滿，「燃料電池汽車的氫安全問題」，中國科技論文在線（北京），第 3 卷第 5 期（2008 年 5 月），頁 1~5。
- 北京中經天縱經濟研究中心，2008-2010 中國可再生能源發展分析報告（下）（北京：北京中經天縱經濟研究中心，2007 年）。
- 曲新生，「氫能源應用與燃料電池發展現況」，經濟前瞻，第 100 期（2005 年 7 月），頁 113~121。
- 吳瓊，「三大因素束縛中國新能源車市場」，輕型汽車技術（南京），第 5 期（2008 年 5-6 月），頁 70。



- 施奕任，「中國大陸對全球氣候暖化問題的因應－環境政治學的觀點」，*政治學報*，第 45 卷（2008 年 6 月），頁 139~164。
- 胡錦濤，「胡錦濤在聯合國氣候變化峰會開幕式上的講話（全文）」，*新華網*，2009 年 9 月 22 日，[http://news.xinhuanet.com/world/2009-09/23/content\\_12098887.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2009-09/23/content_12098887.htm)。
- 孫立平，*斷裂：20 世紀 90 年代以來的中國社會*（北京：社會科學文獻出版社，2003 年）。
- 張冠榮，「我國溫室氣體減排矛盾及其解決途徑」，*安慶師範學院學報（社會科學版）（安徽）*，第 27 卷第 8 期（2008 年 8 月），頁 10~13。
- 陳世榮，「探究環境治理中的知識溝通：臺灣氣候變遷研究的網絡分析」，*公共行政學報*，第 25 卷（2007 年 12 月），頁 1~30。
- 陳專、呂洪、劉湃、馬建新，「燃料電池電動車商業化中存在的問題」，*公路與汽運（長沙）*，第 1 期（2009 年 1 月），頁 10~19。
- 湯志傑、魯貴顯譯，Niklas Luhmann 著，*生態溝通：現代社會能應付生態危害嗎？*（臺北：桂冠圖書公司，2001 年）。
- 馮建三，「考察中國輿論監督的論說與實踐，1987-2007」，*臺灣社會研究*，第 71 期（2008 年 9 月），頁 157~195。
- 溫家寶，「溫家寶總理在哥本哈根氣候變化會議領導人會議上的講話（全文）」，*新華網*，2009 年 12 月 19 日，[http://news.xinhuanet.com/world/2009-12/19/content\\_12668033.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2009-12/19/content_12668033.htm)。
- 萬剛，「科學技術是應對氣候變化的關鍵手段」，*中國科技投資（北京）*，第 7 期（2008 年 7 月），頁 25。
- 鄭易生、錢慧紅，*深度憂患：當代中國的可持續發展問題*（北京：今日中國出版社，1998 年）。
- 盧風，「經濟主義批判」，中國社會科學院環境與發展研究中心主編，*中國環境與發展評論（第 2 卷）*（北京：社會科學文獻出版社，2004 年），頁 472~481。
- 蕭代基，「最佳的、次佳的與不佳的再生能源發展政策」，*經濟前瞻*，第 112 期（2007 年 7 月），頁 35~37。
- 顧海波、樓成武，「氣候變化與中國的技術政策」，*東北大學學報（瀋陽）*，第 4 卷第 3 期（2002 年 7 月），頁 199~201。
- Arthur, Brian W., "Competing Technologies: An Overview," in Giovanni Dosi, Christopher Freeman, Richard Nelson, Gerald Silberberg and Luce Soete eds., *Technical Change and Economic Theory* (London: Pinter Publishers, 1988), pp. 590~607.
- Callon, Michel, Jean-pierre Courtial and Françoise Laville, "Co-word Analysis as a Tool for Describing the Network of Interactions between Basic and Technological Research-the Case of Polymer Chemistry," *Scientometrics*, Vol. 22, No. 1 (September 1991), pp. 155~205.
- Carley, Kathleen M. and David S. Kaufer, "Semantic Connectivity: An Approach for Analyzing Symbols in Semantic Networks," *Communication Theory*, Vol. 3, No. 3

- ( August 1993 ), pp. 183~213.
- Carley, Kathleen, "Network Text Analysis: The Network Position of Concepts," in C. Roberts ed., *Text Analysis for the Social Sciences: Methods for Drawing Statistical Inferences from Text and Transcripts* ( Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1997 ), pp. 79~100.
- Coulter, Neal, Ira Monarch and Suresh Konda, "Software Engineering as Seen through its Research Literature: A Study in Co-word Analysis," *Journal of the American Society for Information Science*, Vol. 49, No. 13 ( November 1998 ), pp. 1206~1223.
- Cox, Robert, *Environmental Communication and the Public Sphere* ( Thousand Oaks: Sage Publications, 2006 ).
- Doulton, Huge and Katrina Brown, "Ten Years to Prevent Catastrophe? Discourses of Climate Change and International Development in the UK Press," *Global Environmental Change-human and Policy Dimensions*, Vol. 19, No. 2 ( May 2009 ), pp. 191~202.
- Entman, Robert M., "Framing: Toward Clarification of a Fractured Paradigm," *Journal of Communication*, Vol. 43, No. 4 ( December 1993 ), pp. 51~58.
- Essary, Elizabeth H., "Speaking of Globalization: Frame Analysis and the World Society," *International Journal of Comparative Sociology*, Vol. 48, No. 6 ( December 2007 ), pp. 509~526.
- Fischer, Frank and John Forester, *The Argumentative Turn in Policy Analysis and Planning* ( Durham, NC: Duke University Press, 1993 ).
- Freeman, Christopher, *The Economics of Industrial Innovation* ( Harmondsworth, UK: Penguin, 1983 ).
- Freeman, Linton C., "Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification," *Social Networks*, Vol. 1, No. 3 ( Winter 1978 ), pp. 215~239.
- Gamson, William A. and Andre Modigliani, "Media Discourse and Public Opinion on Nuclear Power: A Constructionist Approach," *American Journal of Sociology*, Vol. 95, No. 1 ( July 1989 ), pp. 1~37.
- Global Environmental Facility, *Full Project-demonstration for Fuel Cell Bus Commercialization in China (Phrase II)* ( Beijing: United Nations Development Programme, 2007 ).
- Hall, J. and R. Kerr, "Innovation Dynamics and Environmental Technologies: The Emergence of Fuel Cell Technology," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 11, No. 4 ( June 2003 ), pp. 459~471.
- Hannigan, John A., *Environmental Sociology: A Social Constructionist Perspective* ( London: Routledge, 1995 ).
- Harris, Paul G. and Chihiro Udagawa, "Defusing the Bombshell? Agenda 21 and Economic Development in China," *Review of International Political Economy*, Vol. 11, No. 3 ( August 2004 ), pp. 618~640.

- Hellman, Hanna L. and Robert van den Hoed, "Characterising Fuel Cell Technology: Challenges of the Commercialisation Process," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, No. 3 ( March 2007 ), pp. 305~315.
- Herndl, Carl George and Stuart C. Brown, "Introduction," in Carl George Herndl and Stuart C. Brown eds., *Green Culture: Environmental Rhetoric in Contemporary America* ( Madison, WI: University of Wisconsin Press, 1996 ), pp. 3~20.
- Holsti, Ole R., *Content Analysis for the Social Sciences and Humanities* ( Reading, MA: Addison-wesley, 1969 ).
- International Energy Agency, *World Energy Outlook 2009: Executive Summary* ( Paris: International Energy Agency, 2009 ).
- Jacobs, Neil, "Co-term Network Analysis as a Means of Describing the Information Landscapes of Knowledge Communities across Sectors," *Journal of Documentation*, Vol. 58, No. 5 ( September 2002 ), pp. 548~562.
- Kingdon, John, *Agendas, Alternatives, and Public Policies* ( Boston: Little Brown, 1984 ).
- Knoke, David and Song Yang, *Social Network Analysis* ( Los Angeles: Sage, 2008 ).
- Koehler, Wallace, "A Longitudinal Study of Web Pages Continued: A Consideration of Document Persistence," *Information Research*, Vol. 9, No. 2 ( January 2004 ), <http://informationr.net/ir/9-2/paper174.html>.
- Larminie, James and Andrew Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, 2<sup>nd</sup> ed. ( Chichester, UK: Wiley, 2003 ).
- Lee, Ho Ching, "China and the Climate Change Agreements: Science, Development and Diplomacy," in Paul Harris ed., *Confronting Environmental Change in East and Southeast Asia* ( New York: United Nations University Press, 2005 ), pp. 135~150.
- Levi, Michael A., "Assessing China's Carbon-cutting Proposal," *Council on Foreign Relations*, November 30, 2009, [http://www.cfr.org/publication/20862/assessing\\_chinas\\_carboncutting\\_proposal.html](http://www.cfr.org/publication/20862/assessing_chinas_carboncutting_proposal.html).
- Lewis, Joanna I., "China's Strategic Priorities in International Climate Change Negotiation," *The Washington Quarterly*, Vol. 31, No. 1 ( Winter 2007 ), pp. 155~174.
- Leydesdorff, Loet, "The Mutual Information of University-industry-government Relations: An Indicator of the Triple Helix Dynamics," *Scientometrics*, Vol. 58, No. 2 ( October 2003 ), pp. 445~467.
- \_\_\_\_\_, *The Challenge of Scientometrics: The Development, Measurement, and Self-Organization*, 2<sup>nd</sup> ed. ( Leiden, Netherlands: DSWO Press, Leiden University, 2001 ).
- Lynas, Mark, "How Do I Know China Wrenched the Copenhagen Deal? I Was in the Room," *The Guardian*, December 22, 2009, <http://www.guardian.co.uk/environment/2009/dec/22/copenhagen-climate-change-mark-lynas>.
- Ma, Jianxin, "R&D Progress of FCVs and Hydrogen Infrastructure in Shanghai," presented

- for IEA/IPHE Seminar ( Paris: IEA/IPHE, July 12, 2007 ).
- Majone, Giandomenico, *Evidence, Argument, and Persuasion in the Policy Process* ( New Haven, CT: Yale University Press, 1989 ).
- Miliband, Ed, "The Road from Copenhagen," *The Guardian*, December 20, 2009, <http://www.guardian.co.uk/commentisfree/2009/dec/20/copenhagen-climate-change-accord>.
- Miller, M. Mark, "Frame Mapping and Analysis of News Coverage of Contentious Issues," *Social Science Computer Review*, Vol. 15, No. 4 ( Winter 1997 ), pp. 367~378.
- Ming, Pingwen, Jinguang Lun and Lynn Mytelka, "Hydrogen and Fuel-cell Activities in China," in Lynn K. Mytelka and Grant Boyle eds., *Making Choices about Hydrogen: Transport Issues for Developing Countries* ( Tokyo: UNU Press/IDRC, 2008 ), pp. 290~302.
- Monarch, Ira, "Information Science and Information Systems: Converging or Diverging?" *Proceedings of the 28<sup>th</sup> Annual Conference of the Canadian Association for Information Science*, 2000, [http://www.cais-acsi.ca/proceedings/2000/monarch\\_2000.pdf](http://www.cais-acsi.ca/proceedings/2000/monarch_2000.pdf).
- Netherlands Environmental Assessment Agency, *Global CO2 Emissions: Increase Continued in 2007* ( Bilthoven, The Netherlands: Netherlands Environmental Assessment Agency, 2007 ).
- Pan, Jiahua, Ying Chen, Guiyang Zhuang and Xingshu Zhao, *Understanding China's Energy Policy: Economic Growth and Energy Use, Fuel Diversity, Energy/Carbon Intensity, and International Cooperation* ( Beijing: Research Centre for Sustainable Development, Chinese Academy of Social Sciences, 2006 ).
- Perlack, Robert D., Milton Russell and Zhongmin Shen, "Reducing Greenhouse Gas Emissions in China: Institutional, Legal and Cultural Constraints and Opportunities," *Global Environmental Change*, Vol. 3, No. 1 ( March 1993 ), pp. 78~100.
- Qian, Jingjing, Barbara Finamore and Tina Clegg, "Fuel Cell Vehicle Development in China," *Toward a Clean Energy Future in China: In-depth Policy Papers and Analyses from NRDC's China Clean Energy Project*, March 2003, pp. 34~40, <http://www.nrdc.org/air/energy/chinadocs/fcv.pdf>.
- Richerzhagen, Carmen and Imme Scholz, "China's Capacities for Mitigating Climate Change," *World Development*, Vol. 36, No. 2 ( February 2008 ), pp. 308~324.
- Scott, John ed., *Social Network: Critical Concepts in Sociology* ( Vol. 1-4 ) ( London: Routledge, 2002 ).
- Shannon, Claude E., "A Mathematical Theory of Communication I & II," *Bell System Technical Journal*, Vol. 27 ( 1948 ), pp. 379~423, 623~656.
- Shen, Yang, *ROST Content Mining System: Software for Content Mining and Analysis* ( Hubei, China: Wuhan University, 2008 ).
- Shreurs, Niranda A., William C. Clark, Nancy M. Dickson and Jill Jager, "Issue Attention,

- Framing, and Actors: An Analysis of Patterns across Arenas,” in The Social Learning Group ed., *Learning to Manage Global Environmental Risks* ( Vol. 1 ) ( Cambridge, MA: MIT Press, 2001 ), pp. 349~364.
- Snyder, Herbert and Howar Rosenbaum, “Can Search Engines Be Used as Tools for Web-link Analysis? A Critical View,” *Journal of Documentation*, Vol. 55, No. 4 ( July 1999 ), pp. 375~384.
- UN-REED ( Reduction in Emission from Deforestation and Forest Degradation Programme ), *2009 Year in Review* ( Geneva: FAO, UNDP, UNEP, 2009 ).
- Vaughan, Liwen and Mike Thelwall, “Search Engine Coverage Bias: Evidence and Possible Causes,” *Information Processing & Management*, Vol. 40, No. 4 ( July 2004 ), pp. 693~707.
- Wasserman, Stanley and Kathrine Faust, *Social Network Analysis: Methods and Application* ( Cambridge: Cambridge University Press, 1994 ).
- Weare, Christopher and Wan-ying Lin, “Content Analysis of the World Wide Web-opportunities and Challenges,” *Social Science Computer Review*, Vol. 18, No. 3 ( Fall 2000 ), pp. 272~292.
- White, Harrison C., Scott A. Boorman and Ronald L. Breiger, “Social Structure from Multiple Networks I: Blockmodels of Roles and Positions,” *American Journal of Sociology*, Vol. 81, No. 4 ( January 1976 ), pp. 730~780.
- White, Louise G., “Policy Analysis as Discourse,” *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 13, No. 3 ( Summer 1994 ), pp. 506~525.

