

美國核能管制架構、核電使用與民意趨勢 2020/10/06

核能研究所 袁正達¹

核能研究所 謝珍妮²

核能研究所 郭宛儀³

一、核能管制架構

美國的核能管制機構為核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC；以下簡稱核管會)，核管會係由美國國會於 1974 年所創設的獨立機關，該組織成立的任務係以確保民生用途放射性物質的使用安全並保護人民與環境。同時，核管會亦管制核電廠的商轉與其他核物質的用途，例如核醫藥物、發照、監管以及相關規範的執行等。核管會主要由五位委員組成的委員會(The Commission) 所領導，委員由總統提名並經由參議院通過，任期為五年，其中一位委員由總統指定為主席並擔任核管會的官方發言人。核管會委員會採合議制形成政策，以管制核子反應器與核物質的安全，並可向持照人發出命令與裁決法律事務(adjudicates legal matters)等；以下再設置委員會(Committees and Boards)、委員會職員辦公室(Commission Staff Offices)、運轉執行主任辦公室(Office of the Executive Director for Operations, EDO Offices)、視察長辦公室(Office of the Inspector General)所組成，其中委員會包含反應器保防、同位素醫療用途兩個顧問諮詢委員會及原子能安全及發照小組；委員會職成員辦公室包含上訴裁決、國會事務、總法律顧問、國際計畫、秘書及財務等辦公室；而運轉執行主任辦公室則包含核物料安全與保防、核反應器管制、管制研究、調查、核安與事故應變等辦公室；視查長辦公室主要提供審計與調查的設計指引以促進核管會的效率及有效性等。⁴

核管會的願景為展示優良的管制原則，這些原則包含獨立(independence)、開放(openness)、效率(efficiency)、透明(clarity)、信賴(reliability) 等原則，並透過有效、務實及即時性的管制行動來執行上述原則，以達到組織目標。圖 1 呈現核管會的整體管制架構與流程，主要可分為(1)管制與指導、(2)核發執照、除役與認證、(3)監督、(4)營運經驗以及(5)決策支援等 5 個部分，以下針對個別項目分別說明。⁵

¹作者為綜計組能策室副工程師

²作者為綜計組綜合科秘書

³作者為綜計組綜合科工程助理員

⁴ 各辦公室主要業務職掌可參考 <https://www.nrc.gov/about-nrc/organization.html>

⁵ 相關資訊可參考 <https://www.nrc.gov/about-nrc/regulatory.html>

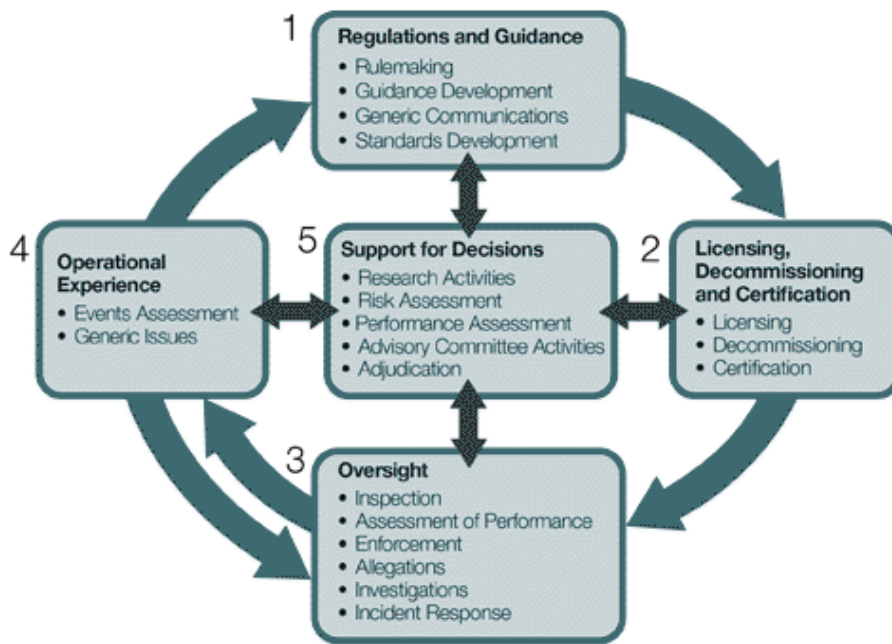


圖 1. 核管會管制架構

首先，在(1)管制與指導方面，包含制定持照者必須遵守的法規，以維持執照的繼續持有或能夠使用核物質、核設施等；修訂相關指導文件與標準，例如核管會的檢查手冊以協助持照者符合安全規範；與工業標準組織(industry standards organizations)合作，針對用於核子設施的系統、設備、材料制定具有共識的標準，並可作為核管會制定相關規定的參考。(2)核發執照、除役與認證，核發執照包含授權以運輸核物質或營運核設施等；除役係指安全地移除到達使用年限的核設施，並降低殘餘的放射性以符合終止執照的許可；認證則包含授權申請人製造貯存用過核子燃料的燃料桶，核物質的運輸包裝及密封等項目(3)監督，涵蓋檢查持照者的作業安全並符合核管會的規範、對營運中設施的性能評估、違反核管會管制的執法、對於持照者瀆職的調查；同時肩負災害應變能力，例如維持核管會總部營運中心與區域事故應變中心對於事故發生時的協調、監督及資訊掌握等能力以確保核設施的安全。(4)營運經驗，採取事件評估法(Events Assessment)，透過日常的審核檢視以及長期趨勢分析來決定相對應且適當的監管方式；針對超過一項設備以上的共同安全問題，則透過識別與解決的程序以維護安全。最後，(5)決策支援部分，主要是由研究活動、風險評估、性能評估以及顧問活動所組成。研究活動包含實驗、技術研發、分析以協助核管會於潛在相關技術議題能做出務實的安全決策；風險評估係採取風險分析的方法以支持管制過程的決策；性能評估主要是針對用過核子燃料與除役，衡量潛在輻射釋放到環境或評估除役後核設施的輻射劑量是否符合規定。顧問活動指審閱並評估由核管會委員會所特許的獨立顧問公司所提供的管制計畫。

美國核電現況

截至 2020 年 9 月，美國擁有 95 座正在運轉中的核能發電機組，是世界最大的核電生產國，法國有 56 座，中國第三有 48 座。美國預計到 2020 年之後將會有另外兩部新機組（Vogtle 3 & Vogtle 4）加入商業運轉。美國的核能發電在 2019 年產生 809 TWh 的電能，約占總電力供給的 19.7%；占全球核能發電量的 30% 以上。

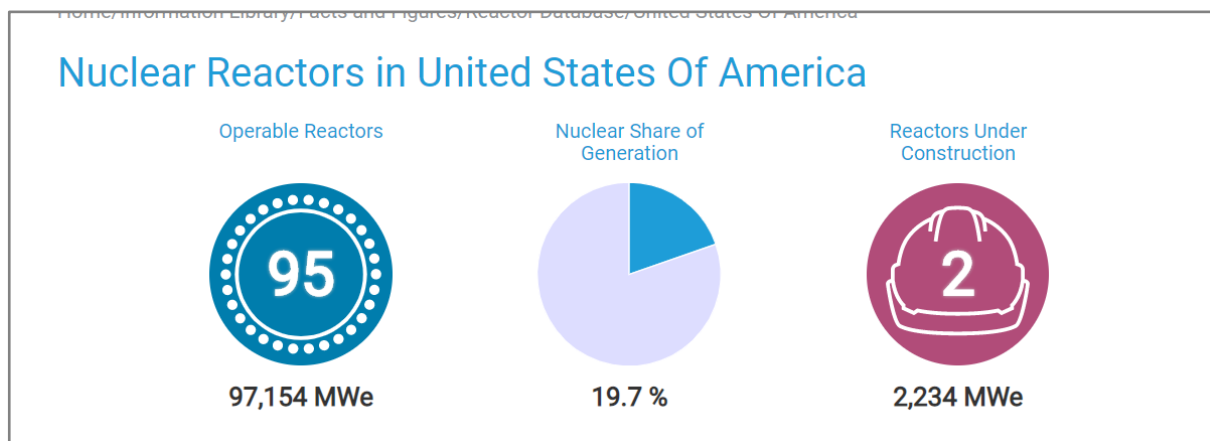


圖 2、2020 年美國核能發電統計

資料來源：<https://www.world-nuclear.org/country/default.aspx/United%20States%20Of%20America>

2018 年美國的總發電量為 4178 TWh，其中天然氣 1468 TWh（35%），煤電 1146 TWh（27%），核電 807 TWh（19%），水力發電 292 TWh（7.4%），風能 275 TWh（6.6%），太陽能 67 TWh（1.6%），生質能 63 TWh 以及地熱和其他來源 60 TWh 共 3.4%（美國能源資訊管理局 EIA）。

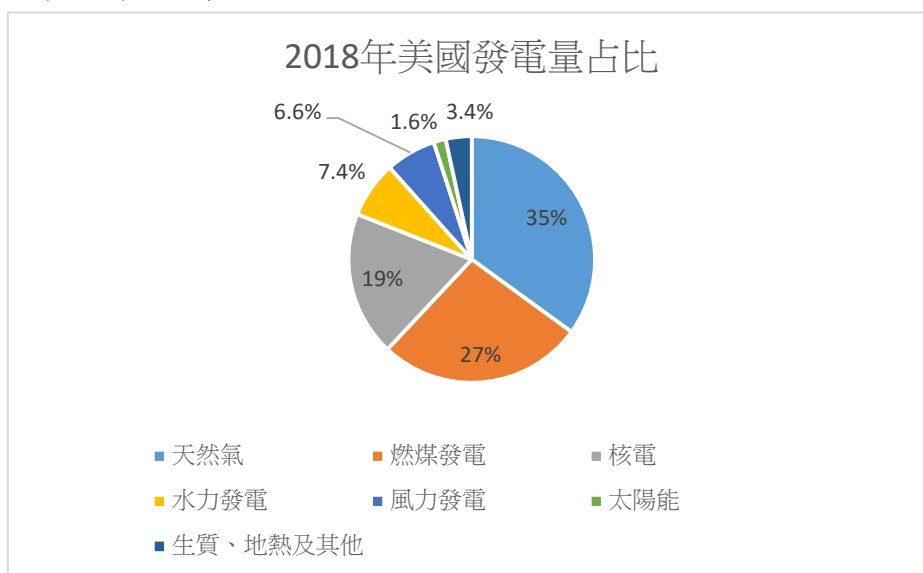


圖 3、2018 年美國發電量占比

資料來源：

<https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-power.aspx>

美國是世界上最大的商用核電生產國，在 30 個州有 95 座許可的核反應器在運行，由 30 個不同的電力公司營運。幾乎所有的核電廠都是在 1967 年至 1990 年之間建造的。自 1977 年至 2013 年為止都沒有新建施工，主要是多年來人們一直認為天然氣發電在經濟上更具吸引力，而 1979 年的三哩島事件更加深了人們對核電安全的擔憂。

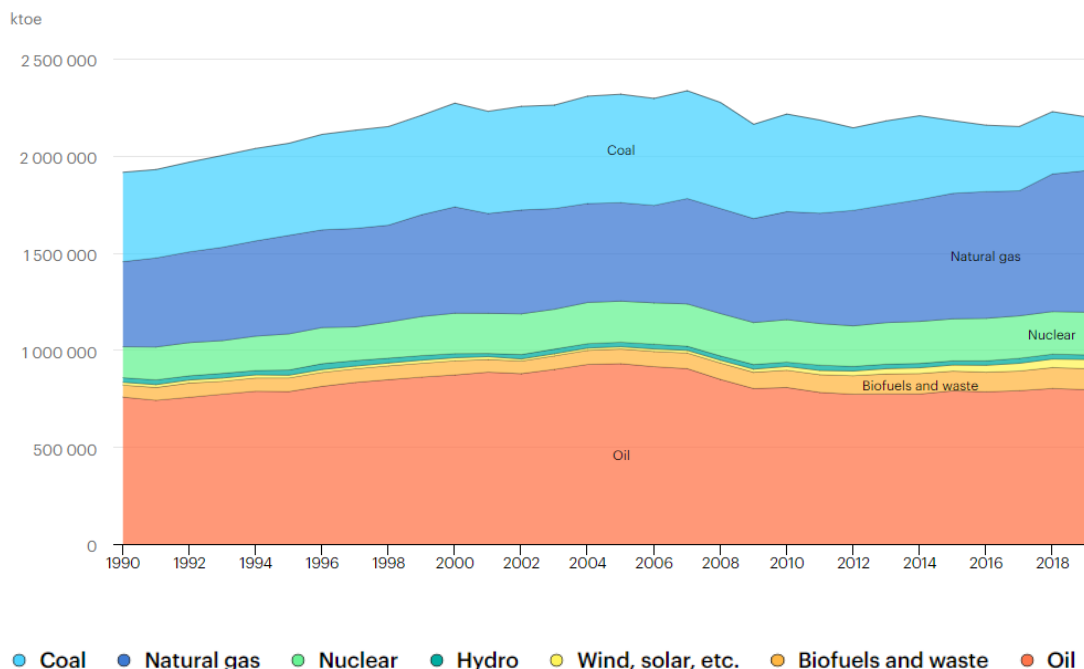


圖 4、1990～2019 年美國能源總供應量

資料來源：<https://www.iea.org/countries/united-states#data-browser>

過去二十年核能在經濟上貢獻了美國近 20% 的發電量。它仍然是美國非溫室氣體排放發電的最大貢獻者（超過 70%）。美國能源部計畫於 2021 年在愛達荷州國家實驗室（Idaho National Laboratory, INL）建立先導工廠，發展下一代核能電廠（the Next Generation Nuclear Plant, NGNP）。第四代高溫氣冷式反應器 (High-temperature Gas-cooled Reactor, HTGR) 將會是大規模生產電力和氫氣系統的一部分，總開發成本預估為 20 億美元。另一項發展重點則是小型模組化核反應器 (Small Modular Reactor, SMR)，這種小型反應器與以往核反應器不同之處在於，它可以批次在工廠大量生產，經由卡車載送到現場組裝起來就可以形成一個小型的核電廠，且單一反應器可產生約 60 百萬瓦的能源，足以提供 5 萬戶家庭的電力所需。SMR 被認為比過往的大型反應器來得更加安全，大型核反應器需要大量水作為冷卻劑，而 SMR 因為體積小不需要複雜的幫浦或水管設備，且因為小型反應器使用的燃料較大型機組少許多，即便機組處於故障狀態，需要移除的熱能較小，較能確保核反應器不會產生過熱的情況發生。2020 年 9 月美國核管會正式批准了位於波特蘭 NuScale Power 公司的 SMR 申請案，同時猶他州聯合市政電力系統公司，計劃採用 NuScale Power 的反應器，在愛達荷州東部的偏遠地區，建造 12 座反應器，以提供當地廉價與低碳的電力。

三、核電民意趨勢

根據美國蓋洛普民調公司(Gallup)於 2019 年 3 月 1 至 10 日所實施的年度環境民調結果，在美國賓州三哩島事件發生 40 年後，對於核能作為美國主要的電力來源，美國民眾的意見分歧，強烈支持者占 17%，些許支持者占 32%，反之，強烈反對者占 21%，些許反對者占 28%，也就是說，傾向支持與傾向反對的比例，各為 49%；傾向支持的比例較 2016 年度的 44%提升了 5 個百分點，但明顯低於 2010 年度的 62%，如圖 5 所示。

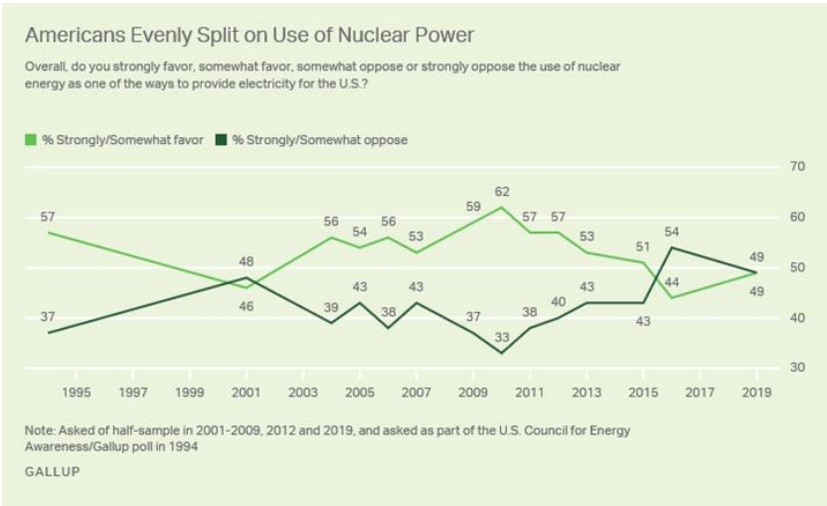


圖 5、1995 至 2019 年受訪者對於核能發電支持度的趨勢變化

資料來源: <https://news.gallup.com/poll/248048/years-three-mile-island-americans-split-nuclear-power.aspx>

根據蓋洛普公司的分析，2010 年當時油價飆升，核電的選項受到美國民眾青睞，惟在此之後美國國內原油及天然氣產量增加，帶動能源成本下降，美國民眾對於核電的支持也隨之滑落，2016 年更是創下新低。其次，以受訪者的政黨傾向來看，共和黨員(65%)支持核電的比例高於民主黨員(42%)；以受訪者的性別來看，男性(56%)支持核電的比例高於女性(39%)；以受訪者的教育程度來看，教育程度越高者，支持核電的比例也越高，大學畢業者的支持比例達 60%，如圖 6 所示。

Americans' Views on Use of Nuclear Power, by Subgroup		
Overall, do you strongly favor, somewhat favor, somewhat oppose or strongly oppose the use of nuclear energy as one of the ways to provide electricity for the U.S.?		
	Strongly/Somewhat favor	Strongly/Somewhat oppose
	%	%
U.S. adults	49	49
Gender		
Men	56	42
Women	39	58
Education		
College graduates	60	39
Some college	51	48
High school or less	37	59
Party ID		
Republicans	65	34
Independents	42	54
Democrats	42	57
GALLUP, MARCH 1-10, 2019		

圖 6、受訪者對於核能作為高排碳燃料替代能源的認同程度

資料來源: <https://news.gallup.com/poll/248048/years-three-mile-island-americans-split-nuclear-power.aspx>

再者，針對核電廠是否安全的提問，47%的受訪者認為是安全的，49%的民眾認為不安全，這是蓋洛普民調近 10 年來首見不安全的回答比例高於安全，即便在福島第一核電廠事故發生的 2011 年，當時大多數的受訪者仍認為核電廠是安全的，如圖 7 所示。

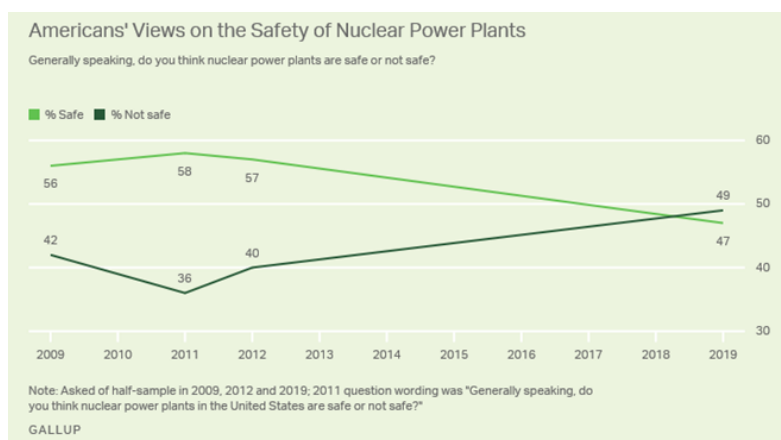


圖 7、受訪者對於核電廠是否安全的看法

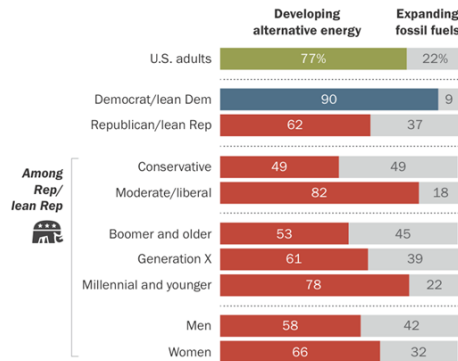
資料來源: <https://news.gallup.com/poll/248048/years-three-mile-island-americans-split-nuclear-power.aspx>

蓋洛普的民調並指出，美國民眾對於核電廠是否安全的看法，隨著政黨傾向、教育程度、性別的不同，有著顯著的差異，共和黨員認為安全的比例為 69%，遠高於民主黨員的 33%；大學畢業者認為安全的比例為 57%，高中以下學歷者則為 38%；男性認為安全的比例為 59%，女性則為 37%。

另外，美國智庫皮尤研究中心(Pew Research Center)於 2019 年 10 月 1 至 13 日實施「美國大眾對於氣候與能源的看法」相關民意調查，共有 3,627 名美國成年人受訪，民調結果顯示，有 77% 的受訪者認為較重要的能源優先政策，應是發展風力、太陽能、水力等替代能源，而非增加美國的化石能源，進一步就政黨傾向來看，對於是否應發展替代能源的提問，民主黨員有高達 90% 的受訪者表示同意，共和黨員表示同意者為 62%。在共和黨員之中，對於是否應發展替代能源的提問，保守派表示同意的比例為 49%，溫和派及自由派表示同意的比例則為 82%，此外，該調查亦針對不同的性別及世代進行提問，如圖 8 所示。

Most in U.S. prioritize renewables over fossil fuels, but there are differences among Republicans

% of U.S. adults who say the more important priority for U.S. energy supply should be ...



Note: Full response options were "Developing alternative sources, such as wind, solar and hydrogen technology" and "Expanding exploration and production of oil, coal and natural gas." Respondents who did not give an answer are not shown.

Source: Survey conducted Oct. 1-13, 2019.
"U.S. Public Views on Climate and Energy"

PEW RESEARCH CENTER

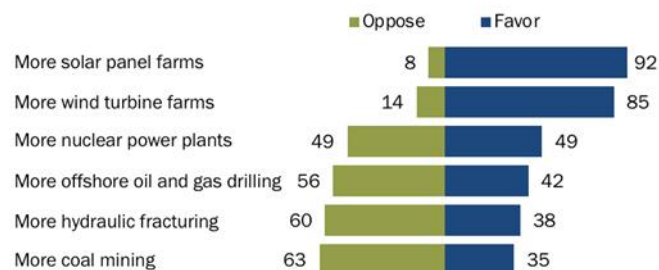
圖 8、受訪者對發展替代能源或增加化石燃料的看法

資料來源: <https://www.pewresearch.org/science/2019/11/25/u-s-public-views-on-climate-and-energy/>

皮尤研究中心的民調，亦針對受訪者對於擴增各種能源的偏好提問，調查結果顯示，關於太陽能發電，支持的比例為 92%，反對的比例為 8%；關於風力發電，支持的比例為 85%，反對的比例為 14%；關於核能發電，支持及反對的比例各為 49%；關於海洋石油及天然氣鑽探，支持的比例為 42%，反對的比例為 56%；關於水力壓裂，支持的比例為 38%，反對的比例為 60%；關於煤礦採掘，支持的比例為 35%，反對的比例為 63%，如圖 9 所示。

Most Americans favor expanding solar or wind power; half or fewer support expanding fossil fuels

% of U.S. adults who say they ____ expanding each energy source



Note: Respondents who did not give an answer are not shown.

Source: Survey conducted Oct. 1-13, 2019.

"U.S. Public Views on Climate and Energy"

PEW RESEARCH CENTER

圖 9、受訪者對於擴增各種能源的偏好

資料來源: <https://www.pewresearch.org/science/2019/11/25/u-s-public-views-on-climate-and-energy/>

其次，以政黨傾向而言，關於太陽能發電，自由派民主黨的支持比例高達 98%，保守派共和黨的支持比例也有 81%；關於風力發電，自由派民主黨的支持比例高達 94%，

保守派共和黨的支持比例有 71%；關於核能發電，自由派民主黨的支持比例為 39%，保守派共和黨的支持比例有 63%；關於海洋石油及天然氣鑽探，自由派民主黨的支持比例為 12%，保守派共和黨的支持比例有 76%；關於水力壓裂，自由派民主黨的支持比例為 13%，保守派共和黨的支持比例有 66%；關於煤礦採掘，自由派民主黨的支持比例為 9%，保守派共和黨的支持比例有 66%，如圖 10 所示。

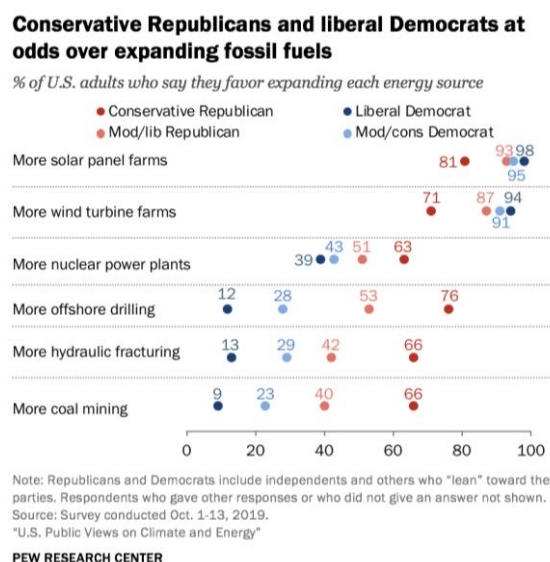


圖 10、不同政黨傾向的受訪者對於擴增各種能源的偏好

資料來源: <https://www.pewresearch.org/science/2019/11/25/u-s-public-views-on-climate-and-energy/>

四、結語

本篇簡析除說明美國之核能管制機構架構，以了解其運作體系外，並蒐集彙整美國的核電使用現況與民意趨勢供各界參考。過去二十年，核電為美國經濟貢獻了近 20% 的發電量，且核電迄今仍是美國非溫室氣體排放發電的最主要來源，比重超過 70%。根據蓋洛普民調的數據分析，2019 年度核電的支持度回升，或許可歸因於當年度的油價回升，也可能反映出美國民眾認同核能有助於減少化石燃料所產生的溫室氣體排放現象。如前所述，依據蓋洛普的民調結果所示，對於核能作為美國主要的電力來源，傾向支持與傾向反對的比例，各為 49%，另一方面，皮尤研究中心的民調中對受訪者對於擴增各種能源的偏好提問，亦是支持與反對核能的比例各為 49% 的結果，亦即兩份民調不約而同地呈現出美國民眾意見分歧的現象。再者，受訪者的政黨屬性，在這兩份民調中均是重要的分析標的，且就政黨傾向與核能支持度的關聯性來看，不論是蓋洛普或是皮尤研究中心的民調，均可看出共和黨派支持者對於核電的接受度高於民主黨支持者的趨勢，而美國總統及國會選舉預定於 2020 年 11 月舉行，兩大黨的政策對於美國能源走向的影響，值得持續關注。