

加拿大核能管制架構、核電使用與民意趨勢

2020/05/04

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

加拿大的核能管制機構為加拿大核能安全委員會(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC)，以下簡稱核安會，隸屬於自然資源部 (Department of Natural Resources)，透過自然資源部長向加拿大國會報告，其位階如圖 1 所示。核安會之任務為管制核能以保障健康、安全及環境；實踐加拿大核能和平使用的國際承諾，對大眾傳播科學、技術與管制資訊，管制加拿大的核能產業以確保加拿大及其國民之安全。核安會藉由在政府與核能產業間保持超然中立，以維持委員會之獨立性。核安會的工作內容包含公眾溝通(涵蓋政府、利害關係人、原住民等)並發布管制的行動與相關報告；設定相關法規、澄清特定事項以及尋求回饋等；核照 (Licensing) 與認證 (Certification)，例如審查及評估申請案件以確保符合法規，確保執行人員具備資格且有能力可安全地執行核能相關活動；監督合規 (Overseeing Compliance) 等。在此架構下，另一與核能相關的機構為加拿大原子能公司(Atomic Energy of Canada Limited, AECL)，其任務是藉由履行加拿大政府在放射性廢棄物及除役的責任，實現核子科學技術及環境保護。

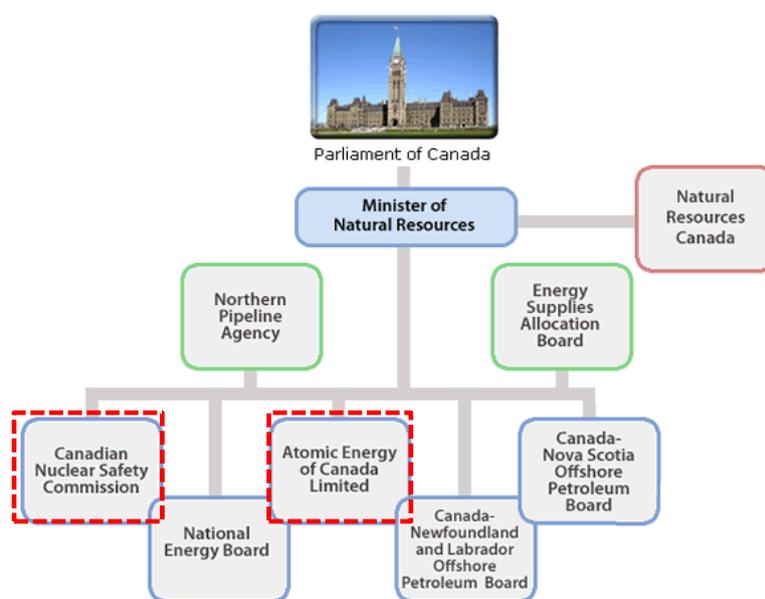


圖 1、加拿大自然資源部組織架構

資料來源 <https://www.nrcan.gc.ca/nrcan/about-us/natural-resources-portfolio/10864>

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

核安會係於 2000 年根據核能安全與管制法案(Nuclear Safety and Control Act, NSCA)成立，取代於 1946 年所成立的原子能管制委員會(Atomic Energy Control Board)，並透過自然資源部長(Minister of Natural Resources) 向加拿大國會報告。核安會為一透明、以科學為基礎的決策單位，並具有以下性質：

- 準司法行政法庭
- 具官方代理諮詢責任
- 透過自然資源部長向國會報告委員會成員為獨立且兼任
- 委員會聽證會為公開並網路直播
- 決策可受聯邦法庭所檢視

核安會管制範圍涵蓋加拿大境內所有核能設施、核能活動以及核燃料循環等項目。所謂核燃料循環從鈾礦開採到將鈾礦轉變為核電廠燃料的製程，直到核子反應器的用過燃料等一系列過程，核安會亦規範核廢料的安全管理；除此之外，核安會進行監督並確保核物質應用在醫學、研究及其他產業之安全。



圖 2、受 CNSC 管制之相關核設施與活動

資料來源:Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) Annual Report 2017-18

<http://www.cnscc.gc.ca/eng/resources/publications/reports/annual-reports/index.cfm>

核安會的管制目標為確保核能安全及和平使用，並讓民眾充分了解加拿大核能管制法規的有效性。核安會主要透過以下五個管制計畫來達成上述目標。

- 核燃料循環計畫
- 核反應器計畫
- 核物質與規定設備計畫
- 防止核蓄衍計畫
- 科學、管制與公眾資訊計畫

另外，核安會對核能產業之規範文件與計畫係根據圖 3 的架構來進行分類。

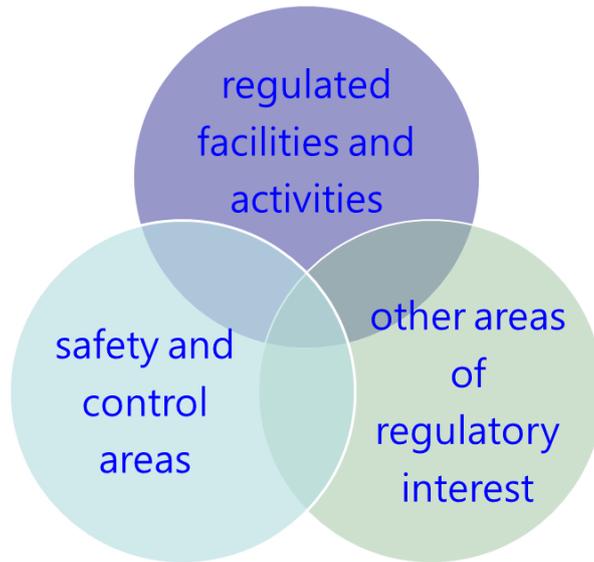


圖 3、管制架構分類

資料來源:

<http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/acts-and-regulations/regulatory-framework/regulatory-framework-plan.cfm#sec1>

二、核電使用現況

目前加拿大境內有 Bruce、Pickering、Darlington、Point Lepreau 4 座核電廠，共 19 個反應器(主要位於安大略省)，總裝置容量為 13.5 GWe，占全國電力供應的 15%。加拿大原先計劃在未來十年內再建造兩個新反應器來擴大其核能力，但這些計畫已被推延。目前營運中的 19 個反應器，共有 7 座機組為延役使用，分別為 (Pickering A1、A4，Bruce A1、A2、A3、A4 以及 Point Lepreau 1) 延役執照時間至 2022~2037 年。因 Pickering A1 及 A4 兩部機組翻新的費用過高，超過原先估計的兩倍，故 A2 及 A3 兩部機組已於 2007~2008 年屆齡停機；目前另有 Bruce A 的兩部機組正在翻新中。



圖 4、Darlington 核能發電廠

依據加拿大自然資源部電力來源統計顯示，加拿大 67% 電力來自於可再生能源(包含水力、風力及太陽能發電)，82% 非溫室氣體排放源，也是世界第二大水力發電國家。2017 年加拿大總發電量約為 652 TWh (如圖 5 所示)，其中水力發電 393 TWh(60%) 占比最高，其次是核能發電 101 TWh(15%)，燃煤發電 60 TWh(9%)，天然氣/燃油/其他發電 (10%)，非水力之再生能源如風力、太陽能等發電約占 7%。

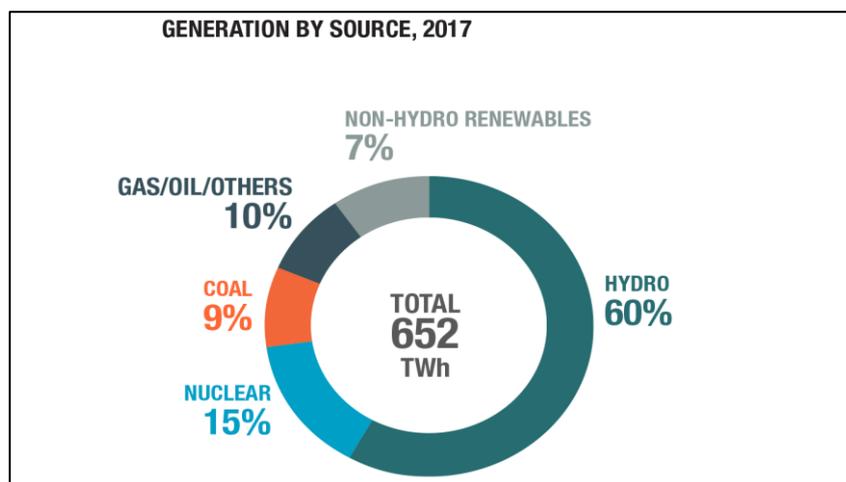


圖 5、2017 年加拿大電力來源占比

資料來源:

<https://www.nrcan.gc.ca/science-data/data-analysis/energy-data-analysis/energy-facts/electricity-facts/20068>

加拿大政府為減少發電所產生的溫室氣體排放，逐年增加天然氣(natural gas)使用，依據圖 6，國際能源總署(International Energy Agency, IEA) 2019 年統計，加拿大燃煤及燃油發電近年來逐漸下滑，風力、太陽能等非水力再生能源微幅增長，核能發電則是持平。

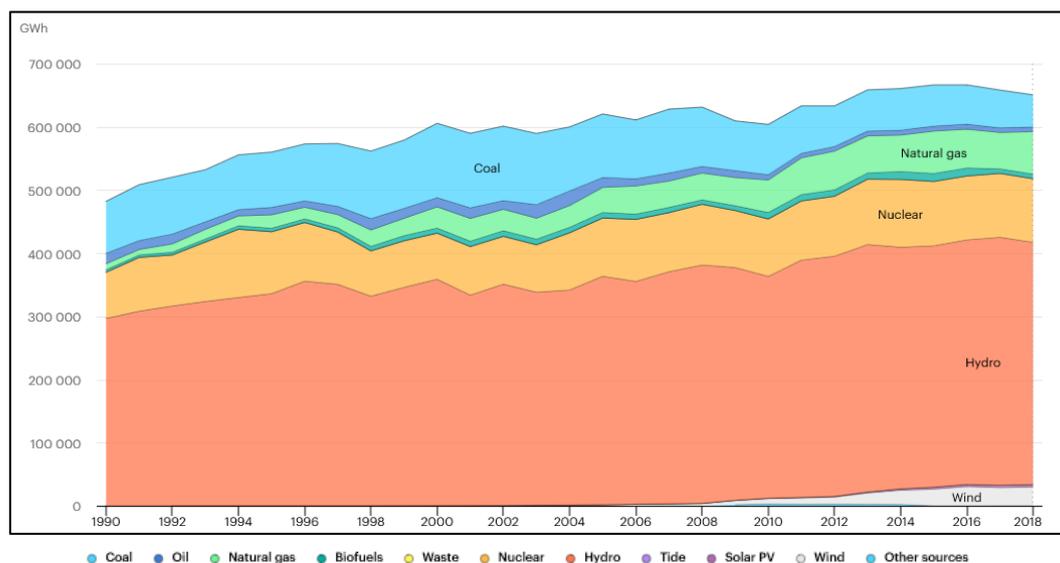


圖 6、1990-2018 年加拿大發電結構

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

加拿大原子能公司(AECL)認為小型模組化反應器 (Small Modular Reactors, SMR) 在加拿大可成為安全、乾淨、取代煤炭、綠化採礦業(green mining)及解決偏遠社區和工廠之能源需求的解方。為維持 SMR 方面的國際領導地位並履行減碳等氣候變化承諾，加拿大自然資源部於 2018 年建立了 SMR 的路線圖 (Roadmap)。內容為：在加拿大境內適當的地點設置 SMR 示範；需要政府、公用事業、工業和國家實驗室技術的支持；建置初期應由政府、公用事業、工業透過適當的財務與資金機制分擔風險；立法並建立合宜的法規保障政府與合作夥伴等。2019 年 10 月加拿大核安會已經通過第一階段 ARC Nuclear Canada 的 ARC-100 小型模組化反應器的供應商設計審查。根據加拿大核協會(Canadian Nuclear Association, CNA)資料，加拿大開發的重水式反應器系統 (CANDU) 已出口到中國、印度、巴基斯坦、韓國、阿根廷和羅馬尼亞，全球現有 31 個 CANDU 反應器在運行。加拿大一直是核能研究與技術的領導者，對於醫學診斷和癌症治療的放射性同位素也是世界上最主要的供應國。

三、核電民意趨勢

加拿大核協會委託加拿大民意調查與市場研究公司「Abacus Data」於 2019 年 2 月 8 日至 12 日進行了一項民意調查，旨在探討核能是否為減少碳排放的能源解方。調查對象為 2,500 名 18 歲以上的加拿大人，抽樣誤差範圍為正負 1.9 百分點。調查結果顯示 87% 的受訪者認同「減少使用化石燃料並增加再生能源和低碳能源的使用」是重要的，且在減少碳排放、可靠供電的前提下，86% 的受訪者對於 SMR 表達支持或開放的態度。調查亦指出只有 38% 的受訪者認知到核能是較燃油低碳的能源，認知程度遠低於太陽能、風能及水力發電，如圖 7 所示。

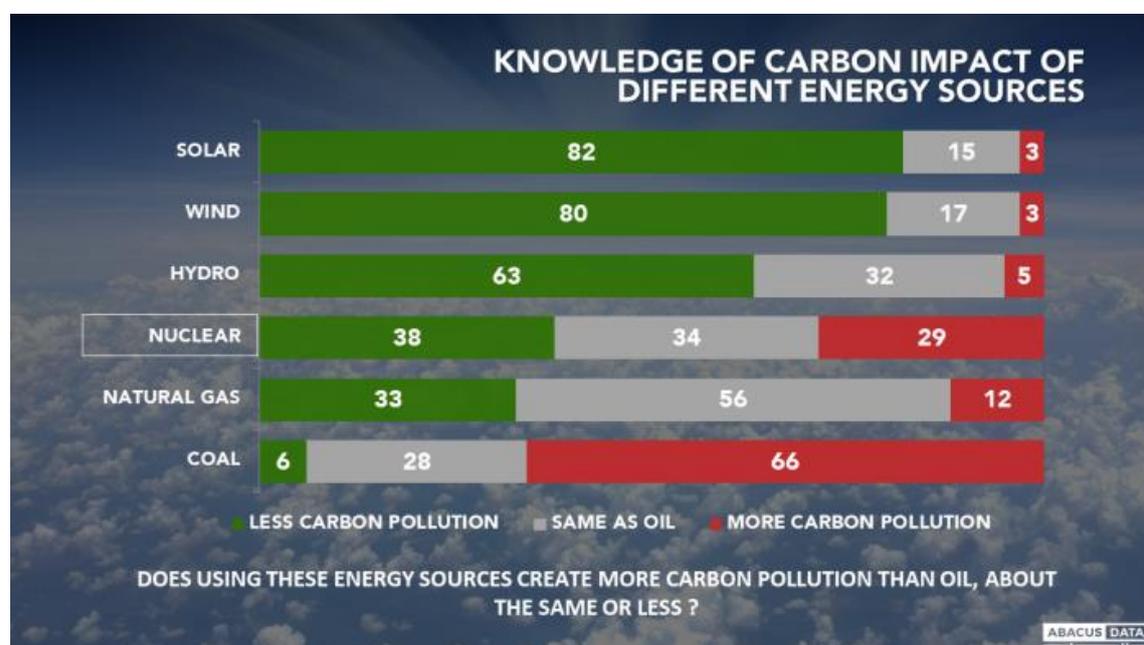


圖 7、受訪者對各種能源碳排和燃油比較的認知程度

資料來源: <https://abacusdata.ca/climate-change-worries-open-minds-to-modern-nuclear-technology/>

然而當受訪者得知核電的碳排放類似於太陽能、風能及水力發電時，對於核能作為高排碳燃料的替代能源，有 35% 的受訪者表達開放的態度，49% 的受訪者則表達支持，如圖 8 所示。本調查亦呈現受訪者支持 SMR 試運轉的理由，如圖 9 所示。本調查亦發現，有 82% 的受訪者認為，相較於核能，繼續使用化石燃料對地球的威脅更大；有 81% 的受訪者認為，因應氣候變遷，大眾需要對核電持開放的態度。

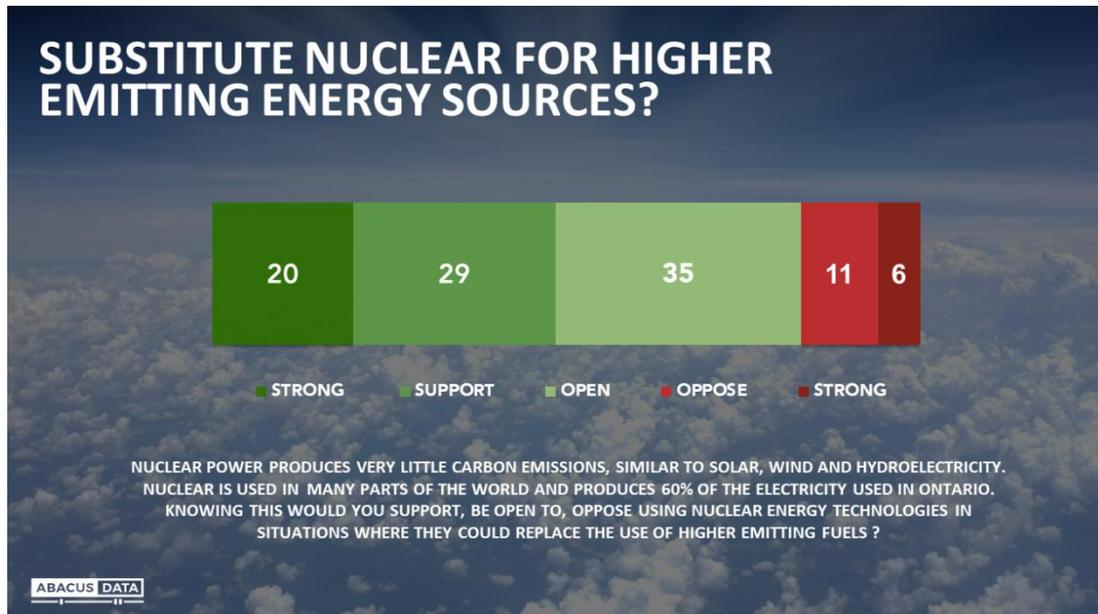


圖 8、受訪者對於核能作為高排碳燃料替代能源的認同程度

資料來源: <https://abacusdata.ca/climate-change-worries-open-minds-to-modern-nuclear-technology/>

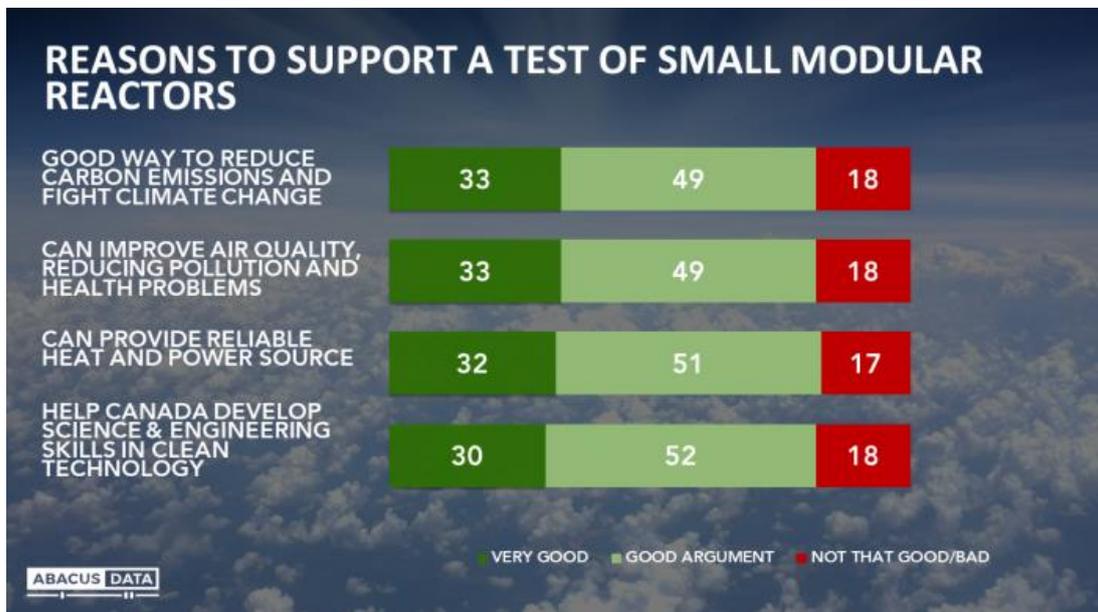


圖 9、受訪者支持 SMR 試運轉的理由

資料來源: <https://abacusdata.ca/climate-change-worries-open-minds-to-modern-nuclear-technology/>

此外，「加拿大地球之友」(Friends of the Earth Canada)委託加拿大民意調查研究公司「Oracle Poll Research」於2020年1月2日至12日代表進行了一項全國性的電話調查。「加拿大地球之友」為環保組織網絡「國際地球之友」(Friends of the Earth International, FOEI)的成員，長年致力於推動環境保護與永續發展教育、保護生物多樣性及減緩氣候變遷的活動。調查對象為2,094名18歲以上的加拿大人，抽樣誤差範圍為正負2.1百分點。訪談時，首先向受訪者說明安大略省(Ontario)，薩斯喀徹溫省(Saskatchewan)和新不倫瑞克省(New Brunswick)發展SMR計畫相關背景⁴—安大略省最近提撥2.37億加幣用以關閉758個再生能源專案、薩斯喀徹溫省拒絕允許更多的住戶安裝太陽能板，以及安大略省、薩斯喀徹溫省和新不倫瑞克省的省長最近宣布支持一項270億加幣的計畫，該計畫擬投入生產數百個以鈾為燃料的SMR，並進一步詢問「政府在能源生產及因應氣候變遷政策上，走的是正確或是錯誤的道路？」調查結果顯示，62%的受訪者認為政府走的是錯誤的道路，如圖10所示；次就年齡層而言，18至34歲受訪者認為錯誤的達70%，35至64歲受訪者認為錯誤的達65%的，65歲以上受訪者認為錯誤的則有49%。調查結果亦指出，68%的受訪者擔心投注大量資金於SMR，可能導致延遲採用立即可行的再生能源技術。

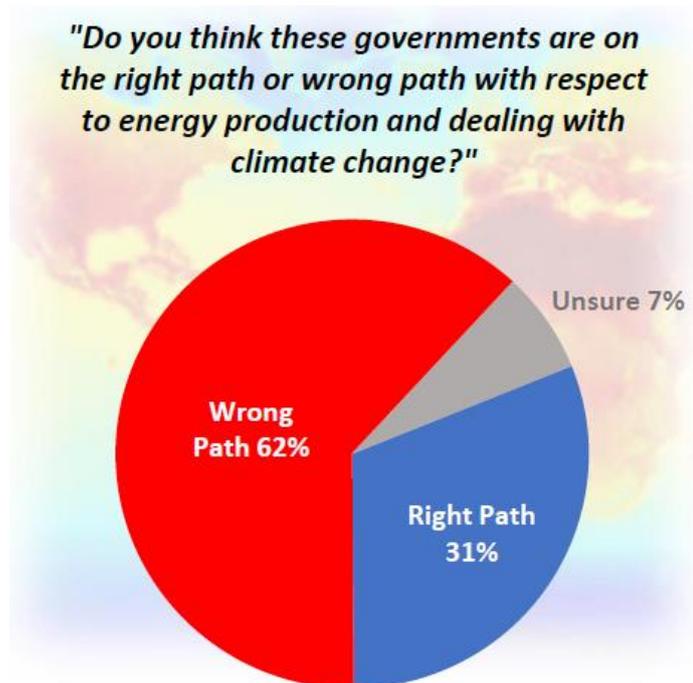


圖 10、受訪者對 SMR 相關政策的認同程度

資料來源:

<https://foecanada.org/2020/01/new-poll-finds-canadians-do-not-trust-nuclear-energy-and-reactors/>

⁴受訪者被告知的背景資訊原文如下:「Ontario has recently paid \$237 million to shut down 758 renewable energy projects, while Saskatchewan is refusing to allow any more homeowners to install solar panels. Recently, Ontario, Saskatchewan and the New Brunswick Premiers announced support for a \$27 billion plan to produce hundreds of uranium fueled Small Modular Nuclear Reactors.」更多調查結果可參考 https://foecanada.org/wp-content/uploads/2020/01/FOE-Omnibus-Report_Jan13.pdf

四、結語

本篇簡析除說明加拿大之核能管制機構架構，以了解其運作體系外，並蒐集彙整加拿大的核電使用現況與民意趨勢供各界參考。近年加拿大政府持續發展及部署 SMR 計畫，而上述兩份民意調查均徵詢受訪者對於發展 SMR 計畫的看法。Abacus Data 的調查結果顯示在減少碳排放、可靠供電的前提下，民眾對發展 SMR 表達支持或開放的態度。另一方面，Oracle Poll Research 的調查結果指出有高比例的民眾，尤其是年輕族群並不支持政府以發展 SMR 作為氣候變遷對策，然而在問卷的設計上，提問者預先向受訪者告知：政府有哪些支持發展 SMR 計畫的作為？又有哪些看似凍結再生能源計畫的作為？無形中，受訪者的回答可能會受到提問者的引導。儘管如此，如何說服更多民眾認同發展 SMR 因應氣候變遷的策略，仍是加拿大政府在推動核能政策上尚待解決的議題。