

比利時邁向非核之電力供應情況分析

—目前核電占 48%，若 2025 年廢核，能源安全將面臨巨大挑戰

劉家豪、許雅音

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

比利時的天然資源有限，能源多依賴進口，目前核電占比仍高達 48%，並決定在 2025 年成為零核電國家，此外自 2016 年 3 月起已不再使用燃煤發電，預期電力供給結構的轉型將面臨非常巨大的挑戰與困難。國際能源總署(IEA)則建議比利時應制訂長期的跨聯邦能源願景和能源協議，加強能源供給多樣性和管制能源需求，將電力容量不足視為優先處理事項，並從電力安全、減緩溫室氣體排放、發電成本的觀點，評估廢核是否可行與合理，釐清核能發電在能源配比中的定位，提出穩定和長期的政策藍圖，並應持續建立和落實放射性廢棄物長期管理和高放射性廢棄物最終處置的國家政策。我國也提出 2025 年達成非核家園的目標，因此未來比利時政府提出之相關因應政策，可做為我國未來邁向非核家園之參考。

關鍵字：比利時、核能政策、電力供應

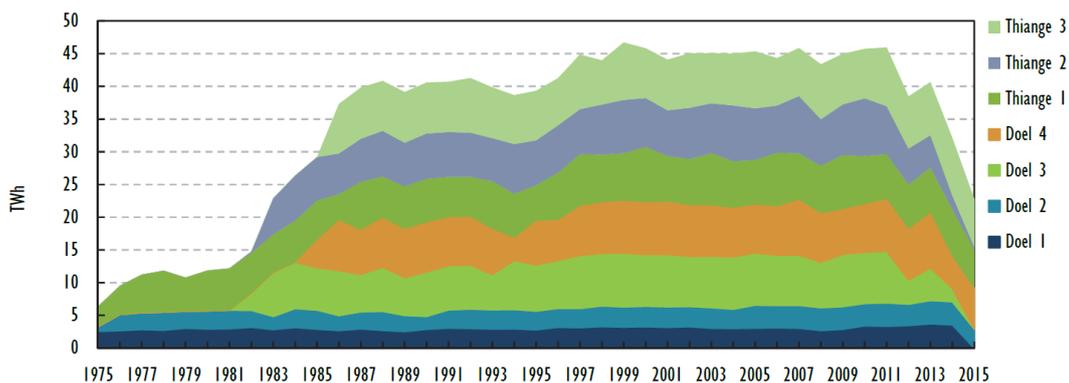
一、前言

根據國際能源總署(IEA)資料顯示，比利時初級能源總供給為 5,280 萬公噸油當量，自 2004 年以來減少 9.9%，以原油（42.3%）及天然氣（23.9%）為主，而人均初級能源消費量達到 4.7 公噸油當量，比 IEA 會員國的平均值（4.4 公噸油當量）略高。比利時和臺灣有著不少相似的地方，諸如，比利時與臺灣的國土面積相仿狹小，本身的天然資源有限，因此能源多依賴進口，而核能發電機組數目也相似（比利時 7 部、臺灣 6 部），不過，2014 年比利時核能發電占比仍高達 48%

(遠高於臺灣的 14%)，並決定在 2025 年成為零核電國家，電力供給結構的轉型預期將面臨非常巨大的挑戰與困難，非常值得深入剖析。本文將摘述比利時的核能政策演變、電力供應現況、預期面臨之困難與挑戰、未來電力供應之因應作法及我國可參考借鏡之處。

二、比利時核能政策演變

比利時有 7 部核電機組，近 40 年的發電量變動趨勢如圖 1 所示。2003 年國會通過禁止新建核能機組且既有機組運轉至多 40 年的「核能除役法」(nuclear phase-out law)，但若危急未來國家電力供應，皇家法令有權予以駁回。根據 2003 年的法案內容，所有比利時的核電機組應該在 2015-2025 年間永久地關閉。



資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

圖 1、1975-2015 年比利時核能發電量變動趨勢

比利時於 2009 年原訂協議將 3 部較老舊核電機組的運轉時間延長 10 年，其他 4 部機組則是延長 20 年的運轉時間。然而，在國會批准此協議之前，比利時於 2010 年 4 月進行國會大選，在選後，新國會於 2011 年 12 月決議將境內的核電機組依 2003 年廢核法案的相關時程予以關閉，推翻之前延役運轉的決議。2013 年，由於電力供應安全的考量，核能政策又再次轉彎。國會批准 Tihange 1 機組延役 10 年，前提是必須通過核能管制局(Federal Agency for Nuclear Control, FANC)的批准同意，但同時仍維持 Doel 二部老舊機組的除役決定。

比利時 Electrabel 電力公司的 Doel 1 和 Doel 2 兩部核反應爐原先



規劃將分別在 2015 年 2 月與 12 月除役；2015 年 6 月比利時國會同意，如果 Doel 1 與 Doel 2 可以獲得 FANC 的安全規範要求認可，則允諾將兩部核反應爐的除役時間延長至 2025 年。2015 年 12 月 FANC 批准此二部核反應爐的延役申請，宣布原先預計於 2015 年屆期除役的 Doel 1、2 號機組將允許延役 10 年，然仍在原定 2025 年廢核期程中。2025 年全面廢核，惟「核能除役法」保留彈性條款，在能源供應發生危險或不可抗力情況下，可重新檢討廢核。

表 1、比利時核能電廠現況

Unit	Original design capacity, MW	Net capacity, MW	Lifetime production, TWh	In commercial operation since	Years of operation	Projected shutdown*	Owner
Doel 1	392	433	121	1975	40	2025	Electrabel 100%
Doel 2	392	433	119	1975	40	2025	Electrabel 100%
Doel 3	890	1 006	224	1982	33	2022	Electrabel 89.8%, EDF Luminus 10.2%
Doel 4	1 000	1 033	223	1985	30	2025	Electrabel 89.8%, EDF Luminus 10.2%
Tihange 1	870	962	270	1975	40	2025	Electrabel 50%, EDF Belgium 50%
Tihange 2	900	1 008	223	1983	32	2023	Electrabel 89.8%, EDF Luminus 10.2%
Tihange 3	1 020	1 038	236	1985	30	2025	Electrabel 89.8%, EDF Luminus 10.2%
Total		5 913	1 416		35		

註：『Projected shutdown』：預期除役的年份包含機組的延役。

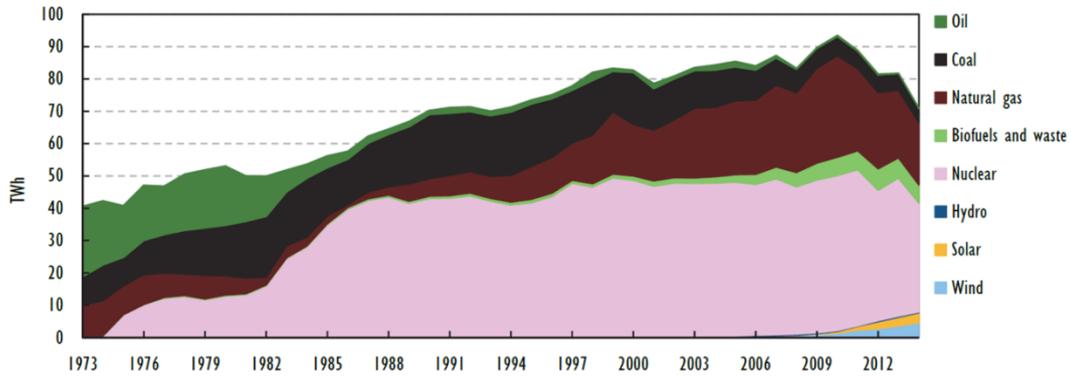
資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

三、比利時電力供應情況分析

比利時的燃料別發電量、電力裝置容量、電源結構及電力進出口情況，分別說明如下：

(一)發電概況

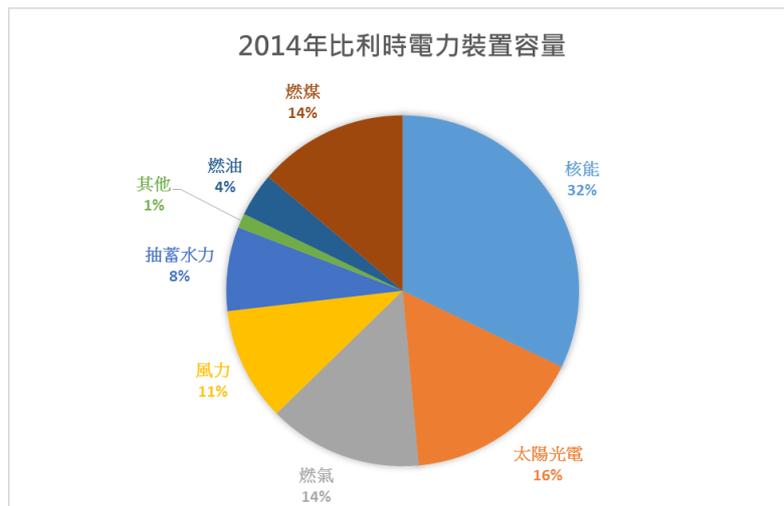
1. 1973~2014 年燃料別發電量趨勢（圖 2）：1973 年的發電結構以燃油、燃煤、燃氣為主，1982 年起核電占比大幅攀升。再生能源部分，比利時自 1985 年開始發展生質能，且從 2007 年開始發展太陽光電和風力發電。



資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

圖 2、1973~2014 年比利時燃料別發電量趨勢

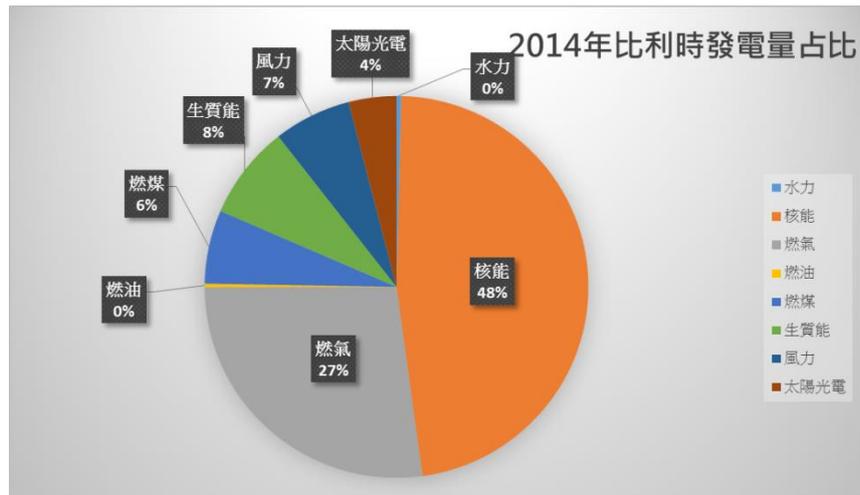
2. 2014 年電力總裝置容量為 20.92GW(209.2 億瓦) (圖 3)：其中核能發電占比為 32%；再生能源之中，太陽光電 16%、風力 11%，抽蓄水力占比 8%；火力發電方面，燃煤 14%、天然氣 14%及燃油 4%。



資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

圖 3、2014 年比利時電力裝置容量

3. 2014 年比利時總發電量達 715 億度 (圖 4)：核能占比 48%、燃氣 27%、燃煤 6.2%、燃油 0.3%、生質能 7.9%、風力 6.5%、太陽光電 4%、水力 0.4%。



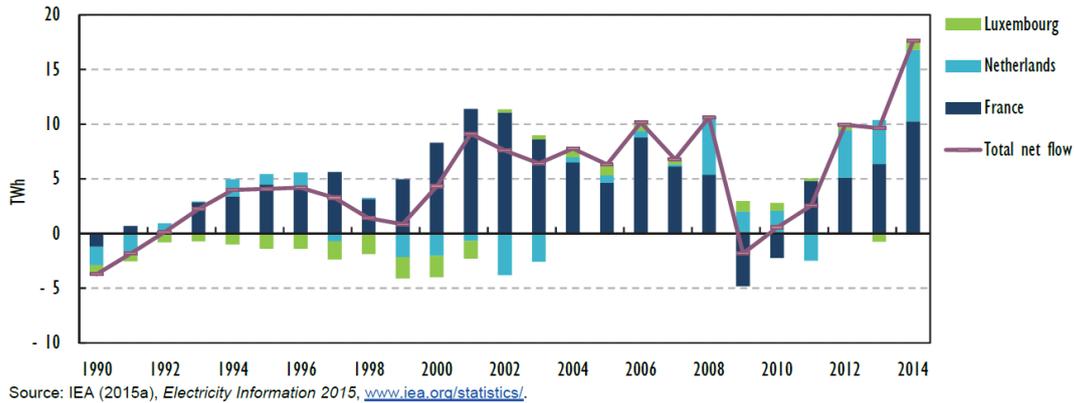
資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

圖 4、2014 年比利時各類能源發電量占比

比利時的燃煤發電量占比在 1994 年曾高達全國總量之 27%，然而於 2016 年 3 月 30 日，其境內的最後一座燃煤發電廠（Langerlo）正式關閉，宣告比利時成為繼塞浦路斯、愛沙尼亞、拉脫維亞、立陶宛、盧森堡、馬耳他之後，歐盟第 7 個無燃煤發電的國家。Langerlo 電廠的除役可以替比利時每年減少 200 萬噸的二氧化碳排放，減碳幅度超過全國總量的 1%。

(二)近年電力進出口情形

1. **電力進出口情形**：2014 年比利時總進口電力為 218 億度，總出口電力為 42 億度（淨進口電力為 176 億度電，占總電力需求的 21.5%）。
2. **主要電力進、出口國**：2014 年比利時電力進出口國為法國、荷蘭、盧森堡。
3. **進出口趨勢**：綜觀比利時近十年來的趨勢，幾乎是淨進口電力，自 2009 到 2014 年進口電力成長了 120%，反之出口電力減少了 63%。



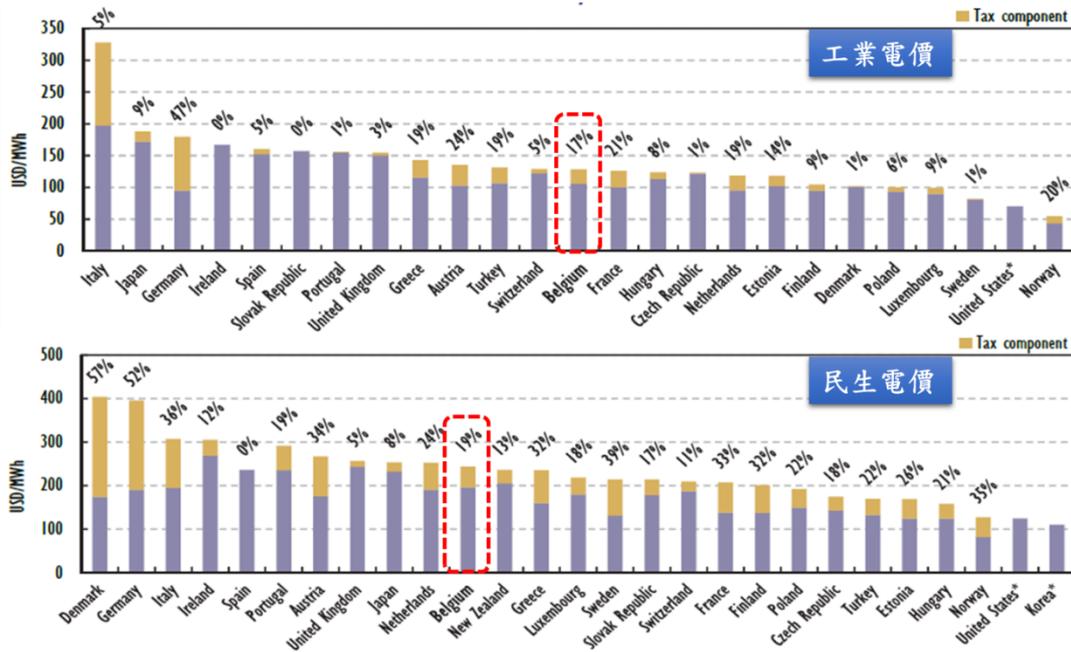
資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

圖 5、比利時電力進出口趨勢

四、比利時電力供應面臨之困難與挑戰

比利時目前核能發電占比仍高達 48%，要在十年內，達成 2025 年零核電的目標，而且已於 2016 年 3 月起不再使用燃煤發電，因此基載電力來源如何由其他發電方式遞補，已成為目前最需要克服的問題，穩定電力供應變成沈重的壓力。儘管比利時已延長 Doel 1、Doel 2、Tihange 1 三部核電機組的運轉許可至 2025 年，雖有助於緩解目前電力供給不足的急迫性，然而基載發電的裝置容量是否足夠的問題並沒有克服，2025 年全部核電機組除役後，中長期電力供應短缺的風險仍然存在。

2014 年比利時的工業與民生電價相較於其他 IEA 會員國屬於中等，如圖 6 所示，然而在燃煤發電廠已全部除役且邁向 2025 年非核目標的情況下，能源結構轉型過程中所需的投資經費及核電除役的代價高昂，恐大幅增加比利時的電力成本支出。除了安全考量的前提下，允許核電廠延役運轉以降低中期的發電成本及減少核能除役的成本，為了確保負擔得起的低碳電力供給，比利時有必要全面盤點各種能源組合之成本效益，提出可負擔的具體轉型方案，避免發電成本大幅波動。

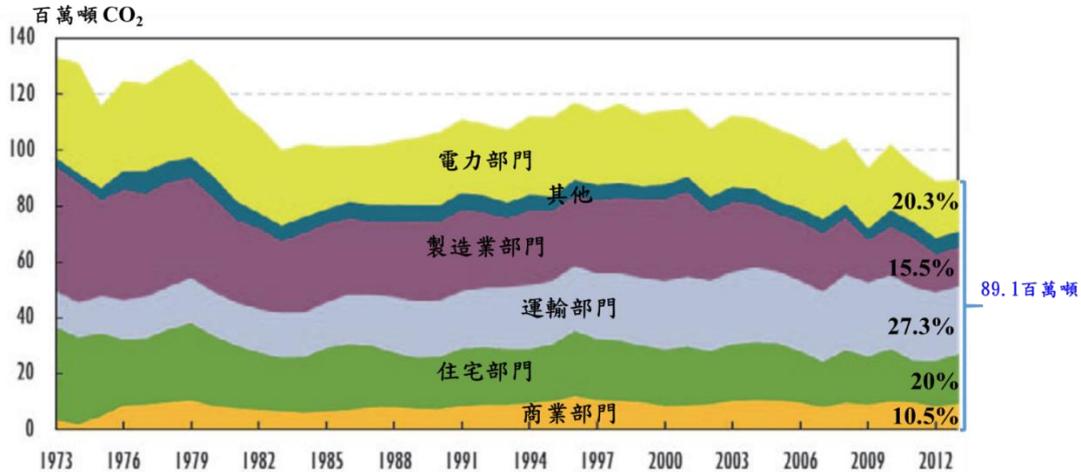


資料來源：Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review

圖 6、IEA 會員國之 2014 年工業與民生電價

歐盟於 2015 年底在巴黎氣候峰會中提出其氣候貢獻目標，將於 2030 年以前將溫室氣體(GHG)排放較 1990 年水準削減至少 40%，歐盟要達到這至少 40%的氣候目標，主要將借重於歐盟排放交易制度 (EU-ETS)，歐盟的排放交易系統部門將需較 2005 年減量 43%，且交易系統必須改革及強化。非排放交易系統部門則必需較 2005 年減量 30%，這部份則需轉化為各會員國自訂具約束力的目標。根據上述歐盟的規範，比利時身為歐盟的會員國，自然必須履行國際氣候變化制度下的義務，有必要在歐盟架構下，提出邁向 2050 年的低碳發展策略。由圖 7 可知，2013 年比利時的燃料燃燒二氧化碳排放量為 8,910 萬噸，較 1990 年和 2003 年分別降低 16.1%與 20.7%，主要的減碳貢獻來自電力部門和製造業部門，然而核電 2025 年全面除役的目標，可能會讓中長期二氧化碳的排放量升高，而增加達到減碳目標的困難度。此外，運輸部門的排碳量亦逐漸成長，從 1990 年的 2,030 萬噸增加到 2013 年的 2,430 萬噸。IEA 報告 (Energy Policies of IEA Countries - Belgium 2016 Review) 指出，比利時的重工業與電力業在 EU-ETS 的規範下，因此這些產業的排碳量主要受到歐盟排放交易制度的約

束。而在 EU-ETS 規範以外的產業，因目前仍無有效管理化石燃料的使用，故應推廣非化石燃料來源的熱能應用，特別是作為建築及運輸部門的中期（2020 年後）二氧化碳排放減量手段。



資料來源：CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2015, IEA

圖 7、1973-2013 年比利時二氧化碳排放趨勢

五、比利時未來電力供給因應作法

面對 2025 年非核目標，比利時如何達成減碳目標及電力供給之因應規劃彙整如下：

- (一) 擴大再生能源發電占比：比利時各種再生能源的研究和推廣屬於區域政府的職責，為了達到 2020 年再生能源發電量占電力供應 20.9% 的目標，比利時自 2007 年起積極推展太陽光電與風力發電，2014 年太陽光電與風力發電量合計占比已經超過 10%。關於再生能源的推動方式，歐洲國家多數皆以補貼的方式進行推廣，比利時也是如此，然而卻發生補貼金額的成長幅度超過預期。2013 年再生能源補貼金額達到 17 億歐元，相當於補貼再生能源發電達到 157 歐元/MWh(約每度新臺幣 5.6 元)，已經成為歐盟第 4 高的國家，主要以大量太陽光電為主。然而，隨著太陽光電建置成本的降低，導致再生能源的過度補償和裝置容量需求過大，比利時的補貼金額已在 2012-2014 年數次調降，改為聚焦在確保

資本投資的回報率，對於融資成本及開發成本有直接衝擊，因此略微影響到整體再生能源容量的發展進度。比利時的再生能源潛力不如歐洲其他國家豐富，然而，其仍有不錯的離岸風力及生質能資源，IEA 建議未來應該持續聚焦在強化再生能源熱能和運輸燃料的發展上。

- (二) **仰賴電力進口**：比利時與荷蘭、法國、盧森堡三國電網銜接密切，總容量估計約 3,500 MW（冬季），自 2009 年起電力進口量持續成長，面對未來電力可能短缺的風險，政府已推動跨國電網計畫，擴大與鄰國電網連結容量，確保電力進口。

六、IEA 對比利時整體能源政策和核能政策之建議

比利時是目前國際上決定廢核的三個國家之一（另二為德國及瑞士），且核能發電仍為該國主要電力來源，IEA 於 2016 年對比利時的未來能源政策方向，特別是核能政策，提出以下的思考建議：

(一) 整體能源政策建議

1. **制訂以市場為基礎的長期跨聯邦能源願景和能源協議**，以確保政策清晰與一致性及投資安全；確實遵循透明度、可預見性及監管方面的確定性原則，使所有政黨和利益相關者共同規劃能源願景和能源協議，以增加其合法性。
2. **加強能源供給多樣性和管制能源需求**，特別是透過再生能源、能源效率及加強與鄰國的合作。
3. **將電力容量不足視為優先處理事項**，並從電力安全、減緩溫室氣體排放、發電成本的觀點，評估在目前規劃的短期時程內，提早廢核是否可行與合理，釐清核能發電在能源配比中的定位。

(二) 核能政策建議

1. **從電力安全、減緩溫室氣體排放、發電成本的觀點**，評估在目

前規劃的短期時程內，廢核是否可行與合理。如果評估結果顯示有必要調整廢核政策，建議盡快行動，透過釐清核能發電的角色，提供穩定和長期的政策藍圖。

2. **持續建立和落實放射性廢棄物長期管理和高放射性廢棄物最終處置的國家政策**，確保在廢核期間有足夠的合格核電專業人力和充分的資金供監管機構使用，審查核燃料管理所需的資金是否備妥，確保資金來源的多元化。

七、我國可參考借鏡之處

比利時和臺灣有個很大的不同點，在於臺灣是個島嶼，電網獨立沒有與他國銜接，而比利時為歐洲能源市場的一部分，因此，即便比利時關掉核電廠，還是可以依賴進口電力來渡過難關，而我國無法自他國購入電力，面對電力供給不足的風險承受力與應變方法相對較少，宜滾動檢討中長期能源政策與電力供給策略，加強電力基礎設施的佈建，適度擴大天然氣發電與各類再生能源發電，保持電力來源多樣性，降低缺限電風險。

雖然我國核能發電占比僅 14%，不同於比利時高核電占比的情形，但 IEA 給比利時的參考建議，包含以不同觀點探討核能政策的影響，以及核廢棄物的管理，仍然頗值得相關單位參考與關注。

我國政府目前積極主張『2025 年達成非核家園』，包含既有核電機組屆期不延役，核四不商轉。比利時也設定 2025 年全面廢核的目標，然而目前比利時政府尚未提出具體的能源策略來因應廢核所造成的能源缺口，我方可持續追蹤未來比利時政府提出之相關政策，以做為我國未來邁向非核家園之參考。

**參考文獻：**

- [1] IEA, 2015. CO₂ Emissions from Fuel Combustion.
- [2] IEA, 2016. Energy Policies of IEA Countries-Belgium 2016 review.
- [3] Latvian Presidency of the Council of the European Union, 2015. Intended Nationally Determined Contribution of the EU and its Member States, submission by LATVIA and the European Commission on behalf of the European Union and its member states.
- [4] WNA, 2016. Nuclear power in Belgium. <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/belgium.aspx>
- [5] Belgium quits coal power with Langerlo plant closure, 2016. <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/belgium.aspx>

