

美國核除役及核廢料貯存創新作法及其經驗對台灣的參考價值

15 September 2020

核除役領域現正經歷重大變革，而美國是這一領域創新的先行者。1964 年至今，美國有 36 座核反應爐已停止運轉，¹目前另有 21 座核反應爐已進入除役階段²，有 10 座核反應爐已成功完成除役。³美國在核除役及核廢料管理方面擁有豐富經驗，故其他國家借鑒美國經驗及教訓將有助推動本國核除役及核廢料處置的進程。儘管各國對核反應爐的監管及實際處置情況迥異，但安全有效的除役模式以及核廢料處置方法仍可廣泛的被各國使用。我們的團隊在美國境內乃至歐洲及亞洲均有參與核除役計畫（例如執照頒發及核廢料貯存）的經驗。我們善於克服監管障礙，為客戶提供解決錯綜複雜的核除役問題的可靠方案。

本文將探究美國在核除役領域的經驗，並提出如何將相關經驗應用於已擁有成功完成核能電廠除役所需的諸多資源，但仍可借鑒全球其他國家經驗及洞見的國家（例如台灣）。具體而言，本文涉及的內容包括：(i) 除役模式的創新作法；(ii) 核廢料貯存的創新作法；以及(iii) 在台灣應用美國的執照模式及核廢料貯存作法。

(i) 美國在除役領域的創新作法

2000 年代後期起至近十年，核除役技術及方法已取得了很大進步。例如，美國的除役服務商引入了諸如鑽石線鋸切割及機器人等創新工具，並開發了新的流程加快除役進度，其中包括反應爐切割

¹ Nuclear Energy Institute, *Decommissioning Status for Shutdown U.S. Nuclear Plants* (Apr. 2016), <https://www.nei.org/resources/statistics/decommissioning-status-for-shutdown-us-plants>.

² U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Locations of Power Reactor Sites Undergoing Decommissioning* (May 4, 2020), <https://www.nrc.gov/info-finder/decommissioning/power-reactor/>.

³ U.S. Energy Information Administration, *Decommissioning nuclear reactors is a long-term and costly process* (Nov. 17, 2017), <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=33792#:~:text=As%20of%202017%2C%20a%20total,stages%20of%20the%20decommissioning%20process.>

方面的創新作法。這些非公用事業供應商還與監管機構聯合開發及引入新的除役模式，從而減少工作人員接受的放射性物質劑量，以更高效的方式將核廢料運至廢料處置設施。這些模式可使核除役過程更有效率、簡化，並增加過程中與除役專家多溝通交流的機會。儘管公用事業企業具備反應爐運作方面的專業經驗，但並不一定有除役相關的專科知識。上述模式使美國許多州的公用事業企業得以在借用專業除役公司的專業知識的同時，保留足夠的監管及合約控制權，從而保護納稅人以及環境、公共衛生及安全。⁴

傳統上，核能電廠的業主 / 營運商會雇用專業除役承包商，同時仍在很大程度上保持對除役過程各項細節工作的管控，包括與監管機構的溝通、管理除役資金財產等。但是，2008年，EnergySolutions 在錫安 (Zion) 核能電廠的除役作業中引入了一種全新的除役模式，即「執照托管」模式，為除役承包商、公用事業營運商及公眾承諾一定的利益。該模式中，承包商承接了電廠執照持有人的責任，並負擔傳統上由公用事業業主 / 營運商承擔的法律及技術職責，包括履行核監管的責任、確保核除役信托基金 (「NDT」) 資金充足並在除役作業完成後將場地退還業主 / 營運商。⁵ 採用該執照托管模式，監管機構得以直接與除役供應商溝通交流，提高除役過程的透明性。

從最初在 Zion 除役項目中應用，執照托管模式與美國引入的其他創新性除役模式在各地取得了成功。而隨著「收購」模式的推出，承包商現在可在收購美國核電廠後再進行除役。承包商通常還會取得使用過的核燃料的產權，並購買反應爐場址的不動產。總體而言，執照托管及「收購」模式在保護公眾安全的同時，加快了美國核除役的進度及效率。美國核能管制委員會 (「NRC」) 現今的監管框架鼓勵執照靈活轉讓，並要求為除役預留資金。監管框架較為僵化或監管框架已確立的國家 (例如台灣)，不妨參考更傳統的除役模式，例如由電廠營運商雇用承包商參與電廠的除役作業，並與律師討論如何更好的利用美國及其他國家的除役經驗，在本國監管框架範圍內對相關過去經驗進行調整後加以利用。

在美國，三哩島 (Three Mile Island) 核電廠二號機組 (「TMI-2」) 的計畫除役可能是除役創新作法成功應用的另一個例子。1979年，因輔助冷卻水迴路發生小故障，導致 TMI-2 反應爐爐心熔毀，⁶ 該事故是美國歷史上最嚴重的核反應爐事故。⁷ 隨著執照轉讓模式的出現，這項擱置已久的修復工作將得以重啟。去年，負責錫安工廠除役的公司 EnergySolutions 同意收購 TMI-2 並對該電廠進行廠址除役。⁸ 預計 EnergySolutions 將以執照轉讓方式向業主 / 營運商購入 TMI-2，拆除

⁴ Energy Solutions, *Ken Robuck: The D&D business model* (Dec. 2017), <https://www.energysolutions.com/wp-content/uploads/2018/01/Dec-2017-NN-EnergySolutions-Reprint-1.pdf>.

⁵ *Id.*

⁶ World Nuclear Association, *Three Mile Island Accident* (Mar. 2020), <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/three-mile-island-accident.aspx>.

⁷ U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Backgrounder on the Three Mile Island Accident* (June 21, 2018), <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>.

⁸ First Energy, *FirstEnergy Subsidiaries to Transfer TMI-2 to a Subsidiary of EnergySolutions* (Oct. 15, 2019), https://firstenergycorp.com/newsroom/news_articles/firstenergy-subsiaries-to-transfer-tmi-2-to-a-subsiary-of-en.html.

並清理剩餘的核廢料。⁹ TMI-2 的經驗將有助我們更深入洞悉高度複雜的核電廠事故現場的除役作業。

(ii) 美國在核廢料貯存領域的創新作法

除役作業中，確認由誰負責處理使用過後的核燃料（「SNF」）及決定該過程如何執行乃是核除役中一項極為重要的程序。用過的核燃料的貯存及管理需要長遠的規畫及創新的解決方案，民營企業憑藉創新方法持續在這一個領域中領先於公家企業。開發綜合式的臨時貯存設施（「CISF」）即是其中一種解決方案。臨時貯存設施作用是將從全國各地電廠收購的用過的核燃料進行集中式貯存。臨時貯存設施可以推動場址除役，並幫助除役承包商更妥善地對用過的核燃料進行長期管理。2016 年和 2017 年，美國有多家公司申請建造臨時貯存設施。在考量了臨時貯存設施的種種應用所產生的環境影響後，美國核能管制委員會近期建議對臨時貯存合作廠商（「ISP」）頒發執照，在 40 年的執照有效期內建造及運營貯存量達 5,000 噸用過的核燃料臨時貯存設施。¹⁰ 臨時貯存合作廠商認為，臨時貯存設施將有助解決全美國國內日益增長的核反應爐除役需求。¹¹

核廢料的最終處置技術發展顯著，但相關政治共識仍未達成。美國一度計劃在內華達州的尤卡山場址進行用過的核燃料的最終處置，惟此舉遭遇了強烈的政治反對，目前處於擱置狀態。但與此同時，美國也在探索其他貯存方案，例如深鑽孔處置（「DBD」）。深鑽孔處置是指在地面 5,000 米下鑽孔，並將裝有核廢料的密封容器放置於該地下鑽孔中¹²。儘管相關工程問題仍待解決，但有國家 / 地區（例如丹麥、瑞典和瑞士）已開始了 DBD 技術的開發¹³。美國能源部也為 DBD 的研發及先前選定場址的實地測試提供了資助。該領域的發展於 2016 年一度停滯不前，¹⁴但民營企業近期正在努力推動相關工作，有望將概念轉化成現實。例如，一家名為 Deep Isolation 的公司正在與承包商聯合，利用水平井將核廢料貯存於地表深處，由地層中的頁岩石為其提供保護。¹⁵

⁹ Energy Solutions, *Energy Solutions in Negotiations to Acquire and Complete the Decommissioning of the Historic Three Mile Island Unit-2 Nuclear Power Plant* (July 23, 2019), <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/07/23/1886703/0/en/EnergySolutions-in-Negotiations-to-Acquire-and-Complete-the-Decommissioning-of-the-Historic-Three-Mile-Island-Unit-2-Nuclear-Power-Plant.html>.

¹⁰ U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Environmental Impact Statement for Interim Storage Partners LLC's License Application for a Consolidated Interim Storage Facility for Spent Nuclear Fuel in Andrews County, Texas – Draft Report for Comment (NUREG-2239)* (May 2020), <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2239/>.

¹¹ Orano USA, *Interim Storage Partners submits renewed NRC license application for used nuclear fuel consolidated interim storage facility in West Texas* (June 11, 2018), <http://us.oreva.com/EN/home-4216/orano-orano-usa--interim-storage-partners-submits-renewed-nrc-license-application-for-used-nuclear-fuel-consolidated-interim-storage-facility-in-west-texas.html>.

¹² J. Winterie, et. al, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, *Regulatory Perspectives on Deep Borehole Disposal Concepts* (May 2011), <https://www.nrc.gov/docs/ML1114/ML111470719.pdf>.

¹³ World Nuclear News, *US company demonstrates innovative waste disposal concept* (Jan. 18, 2019), <https://world-nuclear-news.org/Articles/US-company-demonstrates-innovative-waste-disposal>.

¹⁴ Science Magazine, *Protests spur rethink on deep borehole test for nuclear waste* (Sept. 27, 2016), <https://www.sciencemag.org/news/2016/09/protests-spur-rethink-deep-borehole-test-nuclear-waste>

¹⁵ Forbes, *Deep Borehole Nuclear Waste Disposal Just Got A Whole Lot More Likely* (Jun. 24, 2019), <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2019/06/24/deep-borehole-nuclear-waste-disposal-just-got-a-whole-lot-more-likely/#8d203b867c84>.

除了用過的核燃料的處置外，低階核廢料的處置的重要性也日益凸顯，主要因為尋找合適的處置設施並非易事。在美國，除役過程中的創新作法（包括固化、分類及壓縮等）可以整體減少放射性核廢料的產生，而移除後對其進行後續處理可以減少需要專門處置的放射性核廢料的整體數量。這些流程已在全球為其他國家使用，各國可以針對自身需求及具體的核廢料貯存要求加以調整利用。¹⁶

(iii) 台灣如何參考美國的經驗

台灣共有 6 座核反應爐，截至 2019 年，4 座仍在運轉中的反應爐為台灣貢獻了約 15% 的能源供應，其中兩座位於國聖發電廠，兩座位於馬鞍山發電廠，其他兩座反應爐則位於金山發電廠，但已於 2018 年和 2019 年相繼停止運轉。執政黨已承諾 2025 年前關閉台灣的所有核電廠，同時計畫不再辦理執照延期，運轉執照有效期限結束後不延役。¹⁷ 2019 年 7 月，行政院原子能委員會（AEC）正式批准了金山電廠的除役。根據台灣法律的規定，該除役計畫於 2016 年（電廠計畫關閉前三年）提交。除役工作將在 25 年內分四個階段進行，包括：停機及燃料退出階段、除役拆廠階段、偵測階段及廠址復原階段。¹⁸

對如何應對核除役方面的挑戰，台灣已經做好充足準備。但是，在展開這項台灣史無前例的計畫時，台灣不妨借鑒國外項目中的經驗及教訓，效仿美國在除役項目中的創新作法，提高台灣除役工作的效率。此外，儘管在除役之前，台灣現有的核廢料貯存及處理可選方案充足，但是一旦所有六個反應爐均進入除役階段，核廢料管理需求將極大增加。目前台灣的核廢料主要貯存在 1982 年於蘭嶼島（亦稱蘭花島）上建造的蘭嶼核廢料貯存場中。然而，早在台灣政府決定進行核電站除役¹⁹前，由於民衆曾於 2019 年上街抗議，要求遷出逾 10 萬餘桶核廢料，蘭嶼島的核廢料貯存能力已開始逐步下降。²⁰

可喜的是，台灣已建立了核廢料處理的監管基礎架構，這有利於創新核廢料管理技術的整合。與美國類似，對高放射性核廢料長期管理，台灣採取的核廢料管理策略是在考量環境影響及地質構造等因素的基礎上，將核廢料貯存在「地下貯存設施」中。面對這一棘手的問題，我們應該研究綜合貯存或地下貯存設施以外的創新方法。具體而言，除役工作需要制定明確的核廢料貯存計畫，其中須包括核廢料處理、貯存以及適當處置的內容。雖然美國在核廢料管理領域的專業技術可轉讓給台灣等有類似核廢料處理需求但卻缺乏一些必要技術（例如貯存場地及正確執行核廢料處理計畫所需的經驗）的國家。在除役架構，尤其是核廢料貯存問題上，台灣大可借鑒美國的經驗及教訓，這有助

¹⁶ Westinghouse Nuclear, *Waste Treatment Overview* (Feb. 2015), <https://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/D&D/Waste-Management/DDR-0109%20Waste%20Treatment%20Overview.pdf>.

¹⁷ World Nuclear News, *Taiwan government maintains nuclear phase-out* (Feb. 1, 2019), <https://world-nuclear-news.org/Articles/Taiwan-government-maintains-nuclear-phase-out>.

¹⁸ World Nuclear Association, *Nuclear Power in Taiwan* (July 2019), <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/nuclear-power-in-taiwan.aspx>.

¹⁹ Enformable, *Taiwan looks globally for help managing spent nuclear fuel* (Mar. 6, 2015), <http://enformable.com/2015/03/taiwan-looks-globally-for-help-managing-spent-nuclear-fuel/>.

²⁰ The Diplomat, *Tao Indigenous Community Demands Removal of Nuclear Waste From Taiwan's Orchid Island* (Dec. 6, 2019), <https://thediplomat.com/2019/12/tao-indigenous-community-demands-removal-of-nuclear-waste-from-taiwans-orchid-island/>.

台灣解決貯存設施不足及核廢料處理不當等常見難題。從一開始就為這些問題一一制定計畫，有助安全、高效地完成除役工作。

美國在核除役方面擁有寶貴經驗，其各項作法均值得台灣參考，在制定除役計畫等初期階段尤其重要。選擇適合的除役模式，鼓勵創新思維，是有效完成除役計畫的決定性因素。對減少、處置核廢料的新方法持開放性態度，有助解決未完成的放射性核廢料管理計畫。儘管核除役工作看似艱巨，但倘能夠借鑒相關的成功經驗，精心設計並執行除役計畫，即可有助推進核除役工作，使台灣在正處於急速發展中的核除役領域占據全球先導地位。

Contacts



Daniel F. Stenger
Partner
Washington, D.C.
T +1 202 294 1310
daniel.stenger@hoganlovells.com



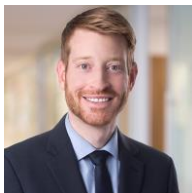
Amy C. Roma
Partner
Washington, D.C.
T +1 202 536 8229
amy.roma@hoganlovells.com



Sachin S. Desai
Senior Associate
Washington, D.C.
T +1 347 735 3008
sachin.desai@hoganlovells.com



William Wu
Registered Foreign Lawyer
Hong Kong
T +852 6321 6564
william.wu@hoganlovells.com



Rob Matsick
Associate
Washington, D.C.
T +1 202 804 7787
rob.matsick@hoganlovells.com



Juliya Grigoryan
Knowledge Lawyer
Washington, D.C.
T +1 202 637 5709
juliya.grigoryan@hoganlovells.com

www.hoganlovells.com

"Hogan Lovells" or the "firm" is an international legal practice that includes Hogan Lovells International LLP, Hogan Lovells US LLP and their affiliated businesses. The word "partner" is used to describe a partner or member of Hogan Lovells International LLP, Hogan Lovells US LLP or any of their affiliated entities or any employee or consultant with equivalent standing. Certain individuals, who are designated as partners, but who are not members of Hogan Lovells International LLP, do not hold qualifications equivalent to members. For more information about Hogan Lovells, the partners and their qualifications, see www.hoganlovells.com. Where case studies are included, results achieved do not guarantee similar outcomes for other clients. Attorney advertising. Images of people may feature current or former lawyers and employees at Hogan Lovells or models not connected with the firm.
© Hogan Lovells 2020. All rights reserved.