

他山之核

從全球續建核反應爐案例看核四



目錄

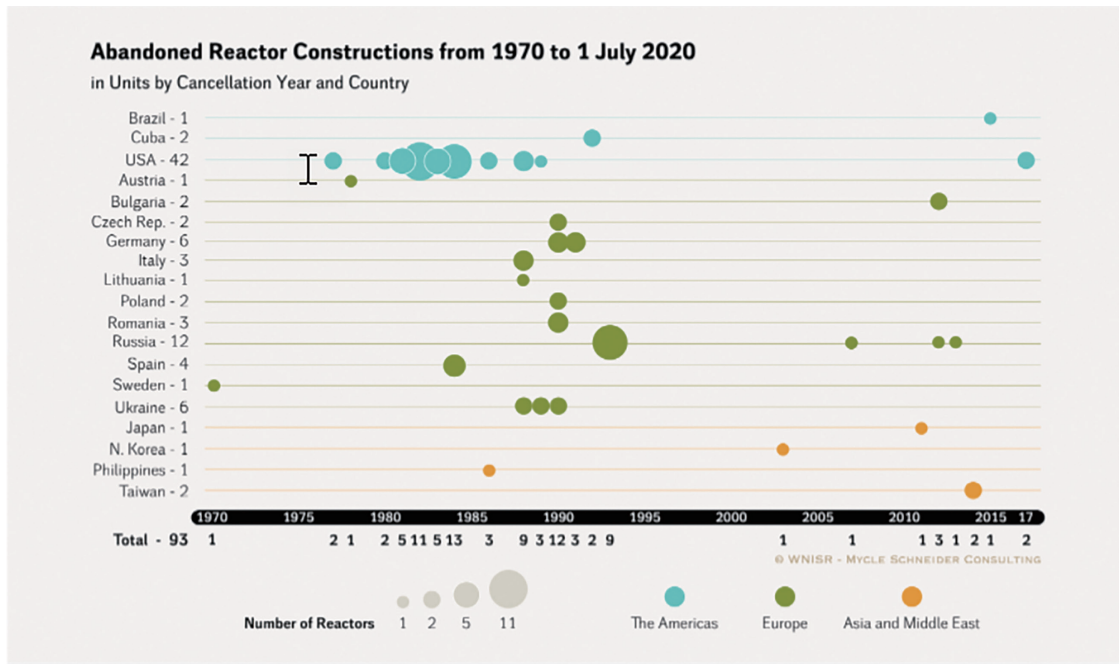
前言	01
全球續建核電廠案例量化分析	03
續建時間	03
續建預算	05
量化分析小結	07
續建核電廠案例深入分析	08
商轉中 - 美國的Watts Bar 2號機組	08
續建中 - 斯洛伐克的Mochovce 3及4號機組	10
續建核電個案分析小結	12
核四同機型ABWR的發電表現	13
結論	15
附註	16



一 前言

將於2021年12月18日舉行的公民投票第17案，即「您是否同意核四啟封商轉發電？」不應簡化為「重啟」。國際上所謂重啟(Restart)核電，一般是指已經完成併網(Grid Connection)、臨界(Criticality)且商轉發電的反應爐，進入停機狀態(Shutdown)後，再次啟動反應爐發電。例如日本在2011年福島核災後，將已經商轉的反應爐全面停機並重新評估其安全性，耗時約一至兩年，經不同政府層級決定是否重啟發電，日本核電廠「重啟」是純政策的討論。

然而，核四廠尚未完工，目前是中止施工 (Construction Suspension) 的狀況，要達到商轉發電，仍有進行續建(Construction Resume)的必要。在國際原子能總署 (IAEA) 的指引中，亦會將停機狀態(Shutdown)及中止施工 (Construction Suspension) 分開處理。因此，民眾在討論核四存廢時，必須充份了解續建核電廠的成本及回報，更能做出合理的投票決定，不應與重啟反應爐混為一談。依據2020年A Mycle Schneider Consulting Project出版的〈全球核工業行業報告2020〉¹，1970年至2020年間，全球中止施工的核反應爐共有93座，其中86座中止施工的核反應爐(92.5%)沒有續建，可見中止後續建核反應爐的技術與現實困難。



圖一：自1970年至2020年7月1日全球中止施工反應爐數量。臺灣在2014年回報2座反應爐中止施工。
(圖片來源：WINSR, IAEA)

根據國際原子能總署資料²，全球193座已停機及443座運行中的反應爐中，就只有4座反應爐(0.6%)曾經歷中止施工，完成續建並商轉發電，包括巴西Angra-2、伊朗Bushehr-1、俄羅斯Kalimin-4及美國Watts Bar-2。目前全球51座興建中的反應爐，根據世界核能協會（WNA）的資料³，同樣中止施工而復續建的只有3座反應爐(5.8%)，分別為韓國的Shin Kori-5及斯洛伐克的Mochovce-3&4。

為了協助釐清續建核四爭議，並向臺灣民眾提供更多續建核電廠的案例，綠色和平東亞分部整理全球為數不多、共7座反應爐的續建案例，並歸納其續建資料進行量化分析。針對當中兩個較具參考價值的個案，包括在福島核災後完成續建的美國Watts Bar 2號機組，以及和核四一樣有兩個反應爐需要續建的Mochovce 3&4號機組，另有質化整理於此說明文件之中，期盼建構續建核四可能涉及的預算和時間，讓續建核四的成本得以獲得全面考量。

在臺灣社會考慮續建核四時，除了評估續建時間及經費成本，亦要評估核四的未來表現。因此，本文亦將會分析核四同類型機組（先進沸水式反應爐 - ABWR）的發電表現；目前全球只有4座ABWR機組曾經在日本商轉發電，可作為臺灣民眾評估續建核四投資回報的重要參考。

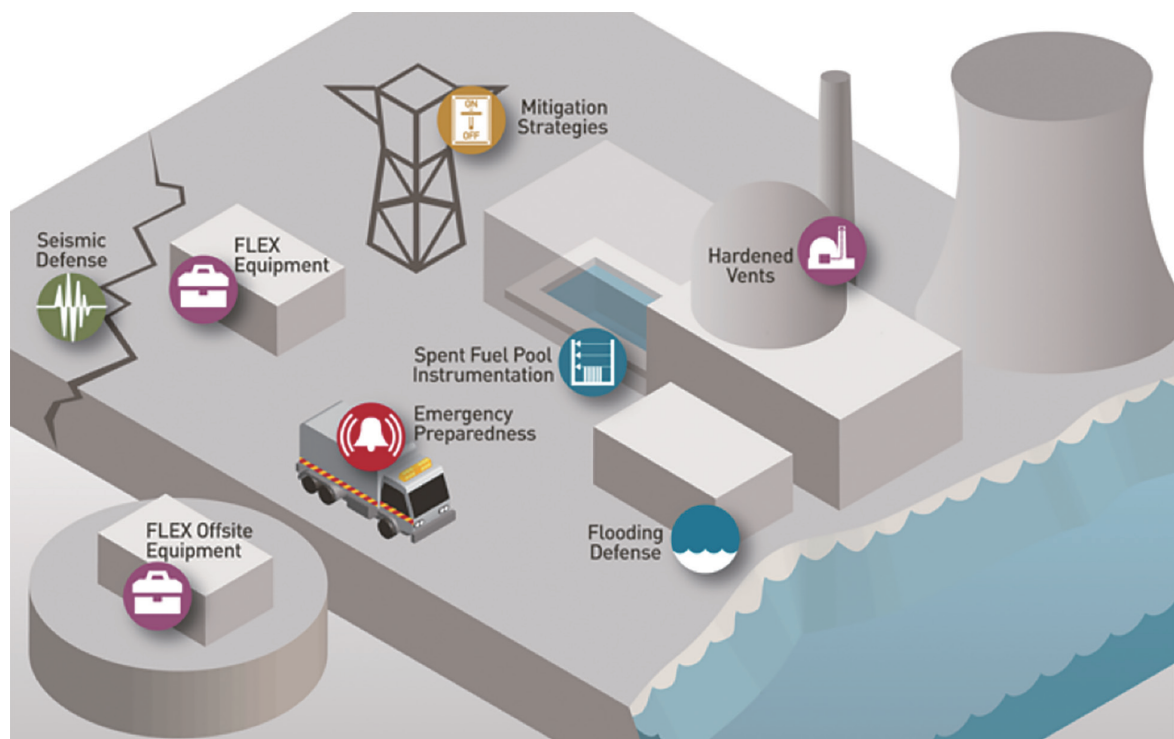
希望本文能讓每位臺灣民眾了解若公投共識續建核四，整體臺灣社會必須共同承擔的代價和挑戰，以及正確地評估核四的發電潛力。

一 全球續建核電廠案例量化分析

續建時間

有關續建核四所需時間，有關單位及公投領銜人黃士修各執一詞。經濟部表示基於測試未完成、牌照過期，以及施工未完成為由，需要N+7年的時間才可以重啟核四；而黃士修則聲稱依前核四廠長、前原能會主委、第一線核電工程師等評估，核四一號機組續建只要1到2年就可商轉發電，3到4年後二號機組可重啟⁴，公投意見發表會上稱需要5年。以下統整全球7座反應爐從中止施工到續建所需的時間。

在全球7座續建的反應爐中，並非全部均有加裝後福島安全措施(Post-Fukushima Safety Enhancements)。福島核災為複合性災害，亦是國際原能總署最高等級第七級的核能事故，後福島安全措施即參考福島案例，包括多個反應爐同時發生事故，乏燃料池失去冷卻功能等，各個核能監管機構對反應爐新增的安全設備要求。以美國核能管理委員會（NRC）為例，就提出了八大範疇要求核電廠改善，包括：整全的防災策略，改善排氣閥、流動安全設備、加固堤防等。



圖二：後福島安全措施之設備需求建議（U.S. NRC）
（圖片來源：U.S. NRC）

表一：全球商轉中的續建反應爐之續建時程與後福島安全措施一覽

所在國家或地區	反應爐名稱	初次動工	中止施工	續建日期(停工期)	商轉日期(續建需時)	後福島安全措施
巴西	Angra-2	1976年1月1日	1986年1月1日	1996年1月1日 (120個月)	2001年2月1日 (61個月)	NO
伊朗	Bushehr-1	1975年5月1日	1978年1月1日	1996年1月1日 (216個月)	2013年9月23日 (212個月)	NO
俄羅斯	Kalimin-4	1986年8月1日	1991年6月1日	2007年11月12日 (198個月)	2012年12月25日 (61個月)	NO
美國	Watts Bar-2	1973年9月1日	1985年9月17日	2007年10月15日 (265個月)	2016年10月19日 (108月)	YES

表二：未商轉的續建反應爐之續建時程與後福島安全措施一覽

所在國家或地區	反應爐名稱	初次動工	中止施工	續建日期(停工期)	商轉日期(續建需時)	後福島安全措施
韓國	Shin Kori-5	2017年4月1日	2017年7月24日	2017年10月25日 (3個月)	2023年3月 (65個月)	YES
斯洛伐克	Mochovce-3	1987年1月27日	1993年3月5日	2009年6月11日 (195個月)	2021年 (149個月) *計算至10月31日	YES
斯洛伐克	Mochovce-4	1987年1月27日	1993年3月5日	2009年6月11日 (195個月)	2023年 (168個月) *計算至6月16日	YES

續建施工時間平均歷時118個月

若將以上7座反應爐，包含未完工的3座反應爐若如期商轉的情況計算，平均每座續建反應爐歷時118個月、約10年方可商轉。而當中兩座最快進行商轉的反應爐（61個月），均未包含後福島安全措施，像是緊急應變策略⁵、乏燃料池改善項目⁶或排氣閥門等⁷。若需要加入後福島之安全措施的核電廠，續建商轉準備期則為65個月至168個月不等。

此外，上述的續建日期是指廠區正式開始施工當日，並非公投或政府公告續建之日。因此，臺灣民眾在考慮續建核四所需時間，還須評估公投結束後各項行政及立法程序，與台電重新招標的時間。依照業務主責機關台電公司估算，相關預算、審查完備至少須7+N年⁸。

續建預算

至於另一個臺灣社會同樣關心的焦點：續建經費，目前公投正反雙方的論點仍存有落差。2019年媒體報導指出⁹，經濟部評估續建經費約新臺幣600至700億元，而台電內部估為800億元，而公投領銜人黃士修則主張續建核四1號機組約100億元¹⁰，2021年11月13日公投意見發表會上則指完成核四需要500億元。以下統整全球7座反應爐續建所需的資金。

表三：全球商轉中的續建反應爐成本

所在國家或地區	反應爐名稱	續建前耗資	原訂續建預算	續建預算2020年等值 (約新臺幣)	最終耗資	續建經費超支率
巴西	Angra-2	13億美元	13億美元	31.6億美元 (931億新臺幣)	33.1億美元	54.6%
伊朗	Bushehr-1	28億美元	10億美元	24.3億美元 (716億新臺幣)	110億美元	720%
俄羅斯	Kalimin-4	欠缺公開資料	22億美元	32.7億美元 (963億新臺幣)	20億美元 (沒有計算續建前耗資)	-10%
美國	Watts Bar-2	17億美元	25億美元	37.1億美元 (1093億新臺幣)	47~61億美元	20% - 76%

表四：未商轉的續建反應爐成本

所在國家或地區	反應爐名稱	原預算	原訂續建預算	2020年等值 (約新臺幣)	最終耗資 (截至2020年)	續建經費 超支率
韓國	Shin Kori-5	37.9億美元	N/A	N/A	N/A	N/A
斯洛伐克	Mochovce-3	欠缺公開資料	16億歐元	21.2億歐元 (713億新臺幣)	32億歐元 (沒有計算續建前耗資)	100%
斯洛伐克	Mochovce-4	欠缺公開資料	16億歐元	21.2億歐元 (713億新臺幣)	32億歐元 (沒有計算續建前耗資)	100%

7成績建反應爐超過原訂預算

縱觀各續建反應爐的原訂預算與實際執行預算，唯一未編列續建預算的只有韓國的Shin Kori-5反應爐，主因是其停工3個月進行委員會討論，並未對管理團隊及施工團隊造成太大影響，因此無需重新編列續建預算。而俄羅斯Kalinin 4號機組及斯洛伐克Mochovce 3及4號機組，則由於蘇聯瓦解，欠缺停建前的公開資料，使得計算上未能一致。

在預算的安排上，各反應爐的續建預算以2020年匯率等值計算約為新臺幣713億至1093億元間，與目前台電提出的預算相近，只略高於經濟部的預測。7座反應爐中，有5座續建工程(71%)超出原訂續建預算，但超支比例差距極大(20% - 720%)，主因是伊朗Bushehr 1號機組由於受到戰火的破壞，修復的開支大幅超過續建預算，故伊朗有關的數值相對的參考價值亦較低。

而唯一成功在預算內完成的Kalinin 4號機組，俄羅斯當局指出是在排除大型設備製造商的壟斷，以及為承建及服務商引入競爭投標，而成本下降。

量化分析小結：



1. 高風險

放眼全球相當罕見的核電機組續建案例中，每個反應爐續建所需時間由最短61個月，至最漫長的203個月，平均為118個月；而續建資金則由低於預算10%至高於預算720%均有出現，但基於資金差異極大，難以歸納出一個可信度高的平均數據作為核四續建的參考。然而，此現象亦充份反映續建反應爐的風險，當中存在大量的不確定因素，包括：經濟變化、資金供應、地方民眾反對等，導致無法在續建前預測確切的時間及預算。因此，臺灣民眾必須為其中各種風險預先準備，包括更多的人力、預算，以及可能延誤的備案，即使決定續建核四，也不代表能準時完工。



2. 長時間

除了高風險以外，全球至今沒有出現過在5年內完成的反應爐續建工程，公投領銜人黃士修認為5年可完成續建兩個反應爐的說法，明顯悖於全球核電機組續建工程經驗。參考國際原子能總署的續建反應爐指引¹¹，在續建前先要檢查維護狀況，再進行機電工程及儀控系統12項檢查項目、土木工程8項檢查項目，而且要求全面檢查所有系統是否已經過時。

不僅國際原子能總署的續建指引工作，全球續建工程尚未包含行政機關、立法部門程序所需的時間，因此，於5年內，即2025年前重啟核四無疑是過份樂觀的臆測。如果以現行續建案例平均為118個月的施工期計算，核四最早在2032年才有望完工，對於解決臺灣的電力短缺並無實質幫助。



3. 缺預算

面對能源轉型及電力短缺的雙重挑戰下，臺灣政府正規劃未來10年不同能源投資與發電項目，並不包含核四續建的800億預算。再者，與歷史上7座反應爐的續建預算相比，為核四續建保留的800億預算仍可能超支。若續建核四將增加發電項目的額外財政負擔，對節電、輸配電、儲電等政府預算會構成財務壓力。

—— 續建核電廠案例深入分析

續建核電廠除考慮時間及預算，本文將進一步對核四續建背景相似、較有參考價值的案例進行資料整理，務求更全面地讓民眾了解核電廠續建的過程與問題。

由於核四已在2014年中止興建，如果公投決定續建核四，屆時必須加入「後福島安全措施」才能商轉發電。而在商轉中的續建反應爐，只有美國的Watts Bar核電廠有加設後福島安全措施，其餘三座均不具備以上措施。

而在續建中的反應爐，雖然都設有後福島安全措施，但韓國Shin Kori-5 停工期只有三個月，對比核四已經停工七年，參考價值不高；相較之下，斯洛伐克Mochovce 第3、4號機組均停工數年，而且同樣涉及兩個反應爐，較接近核四的情況，故以下將會集中說明Watts Bar 2號機組及Mochovce 第3、4號機組的續建經驗。

1

商轉中 - 美國的Watts Bar 2號機組

基本資料

初次動工年份：2號機(1973年)

反應爐設計：WH 4LP (ICECND)

裝機容量：1164 MW

所屬企業：Tennessee Valley Authority

續建年份：2007

商轉日期：2號機(2016年)

續建過程：

Watts Bar 2 號機組於1973年興建，於1985年因電力需求預算超支(新台幣)¹³。最後Watts Bar 2 號機組於2015年完成續建，但Bar 2 號機組續建超支及延誤問題，主要因為老舊設計、施工執照的報告¹⁵，總結在Watts Bar 2 號機組續建期間共發現的問題中，已加入後福島安全措施的工程項目，包括緊急應變策略及人員培訓項目。

在2016年3月、Watt Bar 2 號機組正式商轉前，美國核能管理委員會遭到報復或安全意見不受採納，讓營運部門員工傾向不對管理委員會員工了解委員會已介入釐清管理層缺失。但上述各項檢查，僅針對1號機組，但Watt Bar 2 號機組在2017年3月、即商轉後5個月，才獲得執照¹⁸。

隨後在2019年，美國核能管理委員會的調查團隊發現廠外的安全設施在2015年申請運行執照期間，提供不完整及不實的資料供廠外使用。

美國Watts



Watts Bar 核電廠外觀，圖片攝於1995年。© Al Levenson / Greenpeace

測下降而中止興建¹²；直到2007年，2號機組開始動工續建，原訂2012年完成續建，預算為25億美元(約700億元)，並於2016年10月商轉，耗資47億-61億美元(約1,316億-1,708億新台幣)方完工。根據當地團體的資料¹⁴，Watts Bar 核電廠存在品質問題，以及達到後福島安全措施的設計調整。參考2015年10月，美國核能管理委員會（NRC）批准運行執行560項改善項目，處理包括歷史品質控管問題、通訊問題，及待改進和翻新工程等，報告當中亦指出在續建工程及乏燃料池改善項目，以回應2012年美國重新修訂核電廠安全標準，但這份報告也列出了續建工程21項待改進項

目。核能管理委員會又發表另一份工作環境的調查報告¹⁶，指出有足夠的證據證明Watt Bar 核電廠內工作環境有著「擔心管理階層提出安全建議。」委員會提出一系列的改進措施以外，更明確要求管理層向員工發布此調查報告，讓營運商能確保的核電廠穩定運作。即便美國核能管理委員會續建指引已要求廠方完成續建前檢查，先評估及翻新機組，就因為一個更新的凝固器故障而停機近半年¹⁷，當年度整個夏季無法發電，全年發電時數幾乎砍半、下降至4421

小時。由於發電所缺乏足夠容量，無法在意外期間為核電廠安全設施提供足夠電力，因而發現在Watt Bar核電廠在2010至2011年進行安全設施後備電源的審查，委員會最終決定向Watt Bar核電廠罰款 14萬5千美元（約406萬新台幣）¹⁹。

2

續建中 - 斯洛伐克的Mochovce 3及4號機組

基本資料

初次動工年份：3號機及4號機 (1987年)

反應爐設計：VVER²⁰ V-213

裝機容量：440MW

所屬企業：SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE, AS.

續建年份：2009年

商轉日期：3號機 (預計2021年) 及4號機 (預計2023年)



斯洛伐克的Mochovce 外觀，圖片攝於2007年© Greenpeace / Juraj Rizman

續建過程：

斯洛伐克的Mochovce 3及4號機組是Mochovce 核電廠的第二期工程，於1987年開始施工，但在1992年因為蘇聯瓦解、缺乏資金而停建。斯洛伐克獨立後，當地政府2004年決定續建，但在續建前檢查卻發現²¹，17,700件零件中，有大概4,000件(22.5%)遭評為「不合適」及「無法使用」而廢棄，直至2009年才開始續建工程，預計以32億歐元續建兩座反應爐，並計劃於2013年開始商轉。然而，續建工程並沒有按原定計劃完工，直至2021年，Mochovce 3才逐步完工及進行測試，目前預計3號機組可於2021年底商轉，4號機組則可於2023年完工，而預算也因超支，預期將上漲至62億歐元²²；比原訂預算多出近一倍。

除了續建工程超時超支以外，Mochovce 3及4號機組的續建過程一波三折，起初於2007年宣布續建之時，聲稱將會是符合當時最高的核安全要求之第三代核電廠²³，但隨後歐盟專家就確認基於續建設計的限制，Mochovce 3及4號機組並未達至當時最高的核能安全要求²⁴，其中包括欠缺反應爐防護外殼²⁵。由此可見，停工再續建核反應爐並不代表可以全面改建，核電廠安全標準會受到停工時期所新增的項目而限制，政府及民眾在評估續建時必須要有所認識。

續建過程中，不同的行政程序也是爭議之一²⁶，Mochovce 3及4號機組是在1986年蘇聯時期獲得施工許可，但續建時能否使用80年代的施工許可也備受挑戰。Mochovce 3及4號機組的續建工程的重新招標，卻趕在不同的行政程序前，就與多個供應商簽訂新合約²⁷，其中與Skoda JS、Russia's AtomStroyExport (ASE)

、Slovak suppliers Výskumný Ústav Jadrovej Energetiky (VÚJE), Enseco 及 Inžinierske Stavby Košice 簽訂核島部份零件的供應合約，及與西門子簽訂儀控系統的合約，當時甚至還未進行社會溝通。Mochovce 3及4號機組的環境影響評估，也直到2010年才真正完成²⁸。

而在施工階段，截至2015年，新供應商共提出170項重大變更設計。隨著眾多的變更設計作業，導致及後的施工不斷延誤，特別是對中止前完成程度較高的機組。據官方的進度紀錄，Mochovce 3號機組²⁹於2014年底已81%的工程，但直至2021年3月，也只是完成99.95%，7年時間僅增加18.95%進度；4號機組則由2014年底的63%，至2021年3月完成的88%，在同一時段的施工進度為25%。

在一再延誤的施工中，工程的融資也成為一個重要的問題。2018年7月義大利企業Enel Produzione為Mochovce 3及4號機組，提供2025年到期的70億歐元貸款。但於2020年12月，為確保有足夠的資金完成Mochovce 3及4號機組工程及企業整體的資金流動性，營運商Slovenské elektrárne 再次與Enel Produzione簽下總值57億歐元、為期12年的新貸款合約，反映續建反應爐對企業財務會構成沉重壓力，處理相關財務安排也是一項挑戰。

續建核電個案分析小結：

1. 續建反應爐的安全限制

不論是Watts Bar 2號機組或Mochovce 3及4號機組，都面臨機組設計安全要求與續建年代不符的問題，除了硬體上的設備要求以外，亦包含安全文化的改變。為滿足新的安全要求，續建反應爐往往只能如Watts Bar 2號機組透過更改設計及改建，或如Mochovce 3及4號機組調整安全要求，以求完成續建工序。而且，停工前完成度越高的反應爐，續建時更改設計的難度就越高，也往往降低續建的效率。

若決定續建核四必然會面對同樣的問題，臺灣需要討論符合2022年社會期望的安全要求，以及國際規範、法規等限制，包括新設後福島安全措施等，方可評估核四現有設計需要改動的幅度。

2. 完善行政監管程序

續建反應爐放眼全球也是少見案例，因此，不同政府對於續建反應爐的行政程序缺乏經驗，當中包括對已完成機組的維護評估及翻新要求，美國Watts Bar 2號機組沒有在續建程序中提早發現問題，因而導致商轉後停機半年，之後又因提供不完整及不實資料備受爭議；Mochovce 3及4號機組另遭遇施工許可、環評，以及招標同時進行的程序爭議。

至於續建核四，肯定會面對施工許可、環評及招標的困難。目前臺灣沒有公開續建核反應爐的標準行政程序，在招標程序，也會面對沿用舊有承建商或重新公開招標程序公義上的兩難。

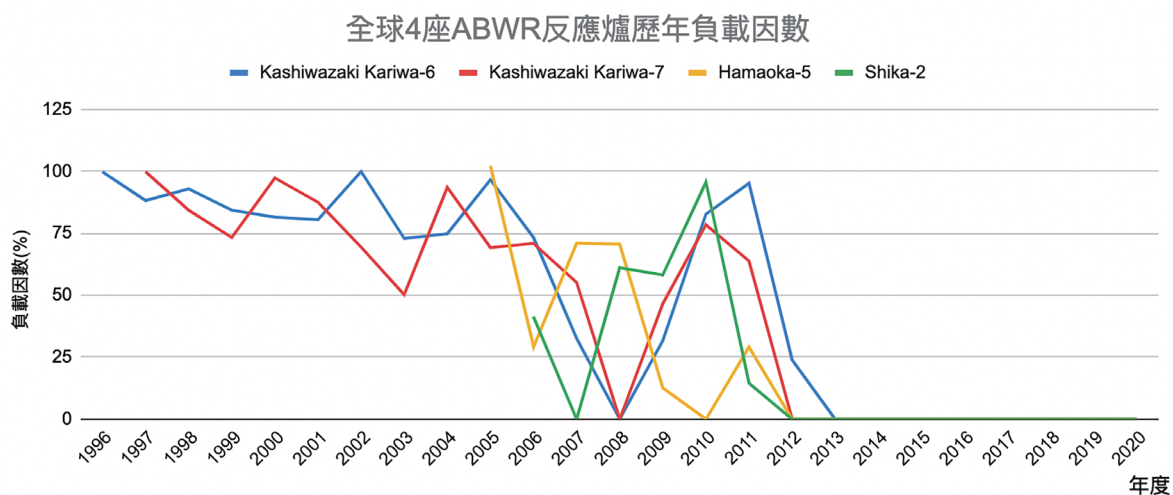
3. 預算極可能超支

Watts Bar 2 號機組及Mochovce 3、4號機組都同樣超支，營運單位就需要利用自身的營利、流動資金或融資方法處理，兩者均沒有以公帑補貼反應爐續建。Watts Bar 的母公司受惠於其聯邦政府擁有的身份，可利用優惠利率舉債；Mochovce的母公司則以短期貸款增加流動資金，否則同樣會影響續建的進度，甚至決定最終能否完成續建。

台電身為核四的營運單位，若公投決定續建核四，編列續建預算時必須有超支及工程延期的準備，對台電的財政狀況肯定會構成重大壓力。此外，由於台電公司為經濟部所屬事業單位，相關預算將再牽動中央政府預算分配與編列。

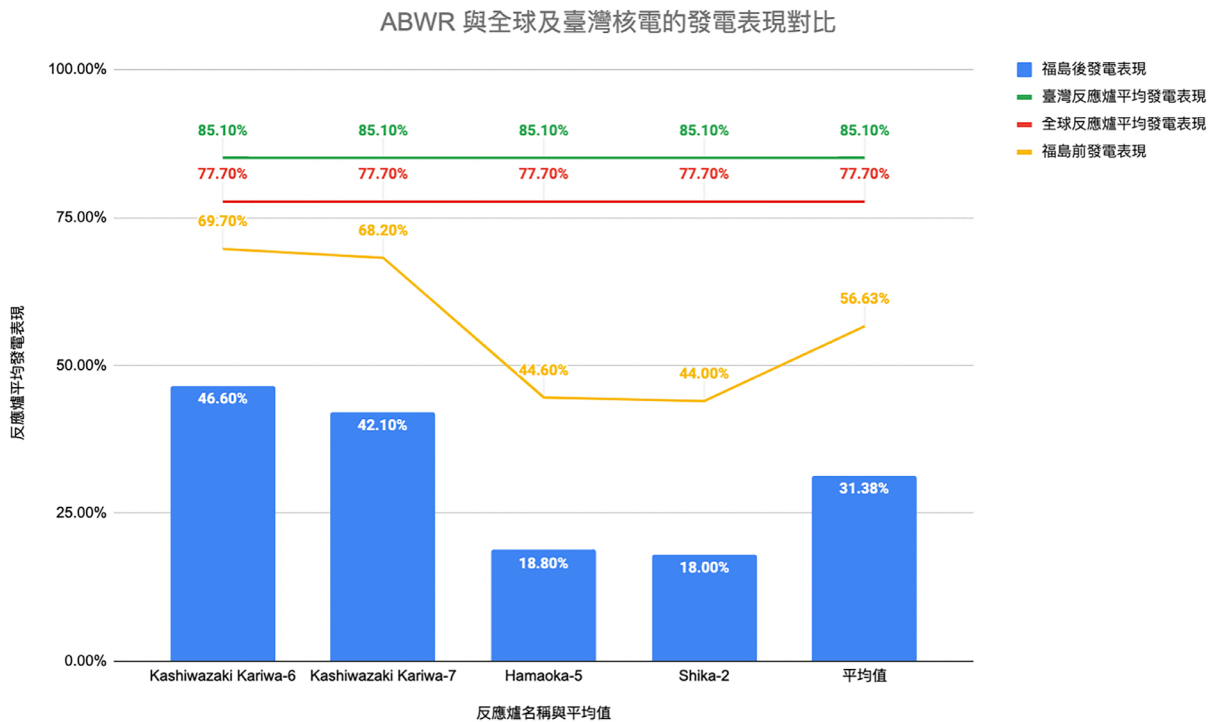
核四同機型ABWR的發電表現

核四選用的先進沸水式反應爐（ABWR）機型在全球核電市場並不受歡迎，自1990年代推出，至今30年只有4座反應爐在日本商轉發電，分別為KASHIWAZAKI-6&7、HAMAOKA-5及SHIKA-2。4座反應爐先後於1996、1997、2004及2006年商轉發電，並在福島核災後陸續停機以下將依據國際原子能總署對4座反應爐的紀錄³⁰，分析自商轉以來的發電表現。



圖三：日本4座ABWR核電廠歷年發電表現圖。
(圖:Greenpeace)

日本的4座ABWR發電表現非常不穩定，從上圖可見，就算在福島核災前，四座ABWR均先後出現核電廠負載因數(Load factor of nuclear power)降至零的情況，代表至少一年未能發電。這是在正常核電廠運作上非常罕見。Kashiwazaki 6及7號機組是因為地震而停轉，而Hamaoka 5號及Shika 2號機組卻是因為渦輪機異常³¹而停轉。同樣使用ABWR設計的核四，若至少一年的停轉期對於電力缺乏的臺灣社會而言，絕對是難而承受的。



圖四：ABWR與全球及臺灣核電發電表現對比。
(圖:Greenpeace)

再者，在福島核災之後，4座ABWR雖然屬第三代設計，理論上的安全係數較高，但卻未能獲准重啟，ABWR機型不穩的表現是其中重要因素。除了渦輪機異常外，ABWR的抗震能力屢遭質疑。同樣使用ABWR的Hamaoka 5號機組，卻比第二代反應爐Bwr的Hamaoka 3及4號機組，受地震的影響規模大2至3倍³²，日本原子力產業協會指出「有更顯著影響」(Greater Observed effects)³³，至今仍沒有重啟。

在長時間停轉的影響下，ABWR整體的發電表現也比全球反應爐的發電表現為差。4座ABWR在福島前的平均負載因數(年實際發電量/年最高發電量)為56.6%，對比全球反應爐的平均負載因數77.7%³⁴、以及臺灣現有核電廠85.1%，核四裝載的ABWR機型發電表現遠低於平均值。

由於日本一直未有任何ABWR獲准重啟，負載因數持續下跌，截至2020年4座ABWR的累計負載因數更跌至31.4%，因此其累計發電量只達理論上的三成。如果是核四年發電量210億度推算，則只有每年65.9億度電。故臺灣民眾，必須在公投時需要考慮是否支持過去發電表現甚差，目前也沒有任何一座正常運作發電的ABWR反應爐，在未來續建作為穩定電力供應的解決方案。

— 結論

續建核四的公投，是影響臺灣未來至少80-100年的重大能源決策，包括至少10年的續建工程、40年的營運期、20至30年的除役程序，以上尚未包含核廢料的時程。因此，臺灣民眾必須了解續建所需要投入的時間、資源，以及當中尚未釐清的安排及風險，和可能為臺灣帶來的效益及後果，才能基於事實作決定。

本研究整理全球核電廠歷史資料，說明續建反應爐並非常見的規劃，全球92.5%中止施工的反應爐均沒有續建，只有7座反應爐是已經完成或正在續建。而這7座續建反應爐平均耗時118個月，均無法證明公投領銜人黃士修所提出短時間內完成續建的時程，反而印證官方評估續建工程N+7年的說法；意味即便續建核四，難以在10年內解決缺電問題。

此外，超過70%續建反應爐工程超支，對照目前公投正反雙方提出的預算，仍十分可能難以支應續建核四的實際成本。在龐大預算及超支風險下，公投正反雙方也應該提出核四的融資方案供公眾評估，單以中央政府預算作為解決方案，顯然未研究全球續建反應爐經驗。

參照兩個續建反應爐的案例，若公投共識續建核四，臺灣社會必須著手討論核四續建應滿足的安全標準，以及制定續建反應爐的行政程序。上述兩項在臺灣均是一片空白，然而將決定所有續建核四的時程及運作風險。

最後，臺灣民眾也需要預先評估核四的發電表現及可靠度，核四採用的ABWR機型和臺灣其他三座核電廠有根本性的差異，發電表現亦有極大的落差，累計表現只有理論上的3成表現，理論上核四每年發電210億度，以3成表現推估則只有65.9億度電，仰賴核四供電將可能因低落的發電效率，造成未來臺灣更大的用電缺口。而且，ABWR在目前全球均處於停運的狀態，續建核四的決定，可能讓臺灣成為現今全球唯一應用ABWR發電的試驗品。

因此，在考慮續建核反應爐的時間及成本的風險，以及核四所用的ABWR設計在發電回報上的不確定性，綠色和平並不建議續建核四，希望臺灣民眾可以在核四公投中，投下「不同意」票，集中社會資源及時間投放於節電及再生能源等更快捷、更便宜、更可靠的能源設施。

— 附註

- 1 <https://www.worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2020-.html>
- 2 <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>
- 3 <https://www.world-nuclear.org/Information-Library/Facts-and-Figures/Reactor-Database.aspx>
- 4 《經長反重啟核四 黃士修調禁不起驗證》，許昌平，中時新聞網，2021/02/03 <https://www.chinatimes.com/newspapers/20210203000403-260118?chdtv>
- 5 <https://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/japan-dashboard/mitigation-strategies.html>
- 6 <https://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/japan-dashboard/spent-fuel.html>
- 7 <https://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/post-fukushima-safety-enhancements/containment-venting-system.html>
- 8 <https://lungmen-info.taipower.com.tw/TC/pages.aspx?mid=92>
- 9 <https://ec.ltn.com.tw/article/breaking-news/2726903>
- 10 《經長反重啟核四 黃士修調禁不起驗證》，許昌平，中時新聞網，2021/02/03 <https://www.chinatimes.com/newspapers/20210203000403-260118?chdtv>
- 11 P.10, Ageing Management of Nuclear Power Plants during Delayed Construction Periods, Extended Shutdown and Permanent Shutdown Prior to Decommissioning, IAEA <https://www.iaea.org/publications/14808/ageing-management-of-nuclear-power-plants-during-delayed-construction-periods-extended-shutdown-and-permanent-shutdown-prior-to-decommissioning>
- 12 <https://www.reuters.com/article/utilities-tva-belle-fonte-idUSL2E8EG37920120316>
- 13 美國能源資訊管理局 (EIA) <https://www.eia.gov/today-in-energy/detail.php?id=26652>
- 14 <https://thebulletin.org/2015/10/watts-bar-unit-2-last-old-reactor-of-the-20th-century-a-cautionary-tale/>
- 15 READINESS OF WATTS BAR UNIT 2 TO RECEIVE AN OPERATING LICENSE <https://www.nrc.gov/docs/ML1528/ML15288A305.pdf>
- 16 CHILLED WORK ENVIRONMENT FOR RAISING AND ADDRESSING SAFETY CONCERNS AT THE WATTS BAR NUCLEAR PLANT, <https://www.nrc.gov/docs/ML1608/ML16083A479.pdf>
- 17 <https://www.enr.com/articles/41952-watts-bar-2-nuclear-plant-shut-down-after-failure>
- 18 <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=700>
- 19 <https://newschannel9.com/news/local/nrc-proposes-145000-civil-penalty-for-tva-for-violations-at-watts-bar-plant>
- 20 Vodo vodinoj energeticeskoj reactor (pressurized water reactor; water-cooled, water-moderated)
- 21 P.70 Ageing Management of Nuclear Power Plants during Delayed Construction Periods, Extended Shutdown and Permanent Shutdown Prior to Decommissioning, IAEA <https://www.iaea.org/publications/14808/ageing-management-of-nuclear-power-plants-during-delayed-construction-periods-extended-shutdown-and-permanent-shutdown-prior-to-decommissioning>
- 22 <https://www.neimagazine.com/news/newsnew-agreement-provides-more-funding-for-mohovce-completion-8436428>
- 23 Opinion of UJD on the completion of Mochovce, 3/4, Translation from Slovak: Patricia Lorenz, FOEE
- 24 <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1143&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>
- 25 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_08_1143
- 26 https://unece.org/fileadmin/DAM/press/pr2010/10env_p06e.htm
- 27 <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/slovakia.aspx>
- 28 <https://www.seas.sk/environmental-impact-assessment>
- 29 <https://www.seas.sk/Mochovce-3-4-npp>
- 30 <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=JP>
- 31 <https://www.neimagazine.com/news/newshamaoka-5-and-shika-2-off-line-after-turbine-vane-failures>
- 32 <https://cnic.jp/english/?p=2155>
- 33 <https://www.nucnet.org/news/japan-s-hamaoka-5-restarts-following-18-month-shutdown>
- 34 <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/Life-TimeUnitCapabilityFactor.aspx>



2021年11月出版

著作權及免責聲明

本報告為綠色和平東亞分部臺北辦公室（以下簡稱「綠色和平」）於環保公益工作中形成的資料。閱讀本報告即表示您已閱讀、理解並接受下列著作權和免責聲明條款的約束。請認真閱讀。

著作權聲明

本報告由綠色和平發佈，綠色和平是本報告的唯一合法著作權所有人。

免責聲明

本報告作環保公益和資訊分享目的使用，不做為公眾及任何第三方的投資或決策的參考，綠色和平亦不承擔因此而引發的相關責任。

本報告為綠色和平於研究期間內基於公開訊息獨立調查研究產出的成果。綠色和平不對報告中所涉及的資訊的及時性、準確性和完整性做擔保。

綠色和平是一個獨立的全球性環保組織，

致力於以實際行動推動積極的改變，保護地球環境與世界和平。

如您有任何問題或建議，請聯繫

10045 臺北市中正區重慶南路一段109號

+886 2 2361 2351

inquiry.tw@greenpeace.org