

## 美國能源部選擇 mPower 小型模組化反應器計畫之綜合報導

2013 年 1 月 18 日

世界核能網路新聞(World Nuclear News)於 2012 年 11 月 21 日的報導指出<sup>1</sup>，美國能源部(DOE)已選擇 B&W(Babcock and Wilcox)公司之

mPower 小型模組化反應器(Small Modular Reactor, SMR)，做為第一階段經費援助的對象，以做為加速推動此(功率)等級之核能機組到市場中。根據國際原子能總署(IAEA)之定義，SMR 為電功率低於 700 MWe 之小型及中型反應器。從美國能源部網頁上的新聞發佈可以看出，DOE 在 2012 年 3 月時宣布將未來五年的時程內<sup>2</sup>，提供美金 4 億 5 千萬的經費，最多可以發展 2 個 SMR 的計畫，包括

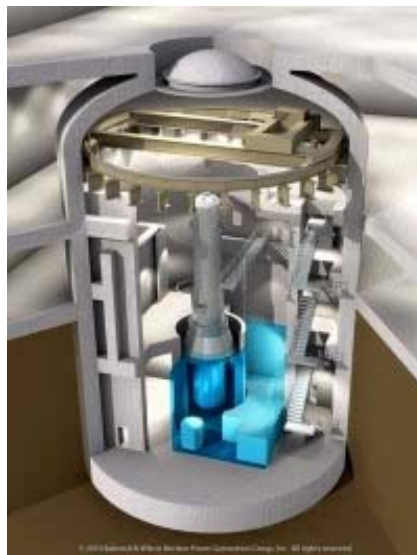


圖 1: B&W 公司 SMR 示意圖

創新之工程(First-of-a-kind Engineering)、設計認證、及申照作業，預計 2022 年達到商業運轉，這也是美國歐巴馬(Obama)總統政府能源政策中重要的元素之一。此項計畫的預算執行方式，與以往能源部推動其他核能計畫(如 Nuclear Power 2010) 類似，即經費分攤由政府與民間各出資一半。

美國能源部對於 SMR 計畫最新之新聞發布則指出<sup>3</sup>，除了決定將提供經費給 B&W 公司為首的合作團隊(含田納西流域管理局(TVA)及貝泰公司(Bechtel Power))之外，仍將繼續尋求其他公司及製造廠家之 SMR 設計，DOE 也引用朱棣文(Steven Chu)部長的談話，歐巴馬政府相信低碳的核能仍將在未來美國的能源中，扮演重要的角色，而小型模組化反應器將有助於製造本國就業及外銷海外的機會，同時也確保美國能源多樣化的政策(All-of-the Above Energy Approach)。對於 DOE 宣布後續的計畫。西屋公司合作團隊(含密蘇里電力聯合集團)則立即表達了高度的興趣。

至於第一階段雀屏中選之 B&W 公司團隊之 mPower 型小型模組化

反應器，為 Generation mPower LLC 公司設計，目前田納西流域管理局有意在 Clinch River 原快滋生反應器的廠址，興建六座 SMR，且預計 2013 年向美國核管會提出設計認證的申請。根據 Generation mPower LLC 公司在 2012 年能源部 EFCOG (Energy Facility Contract Group) 執行委員會下半年會議的報告內容<sup>4</sup>，單部 mPower SMR 之電功率為 180MWe，全廠配置設計包含下列特色：

| 設施地下化                                                                                                                                                 | 被動式安全設計                                                                                                                                                                   | 強化用過燃料池設計                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 保護來自外部之威脅</li> <li>● 保安告知 (security-informed) 的建築結構</li> <li>● 更有效的耐震設計</li> <li>● 具備有效維護空間之強力圍阻體</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 沒有安全相關之交流電源</li> <li>● 72 小時安全控制及監看之電池</li> <li>● 機組間沒有共用之安全動力系統</li> <li>● 14 天電廠全黑的因應能力</li> <li>● 沒有噴灑、集水池、或再循環之設計</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 位為地下反應器廠房內</li> <li>● 具有可維持 30 天熱沈的因應時間</li> </ul> |

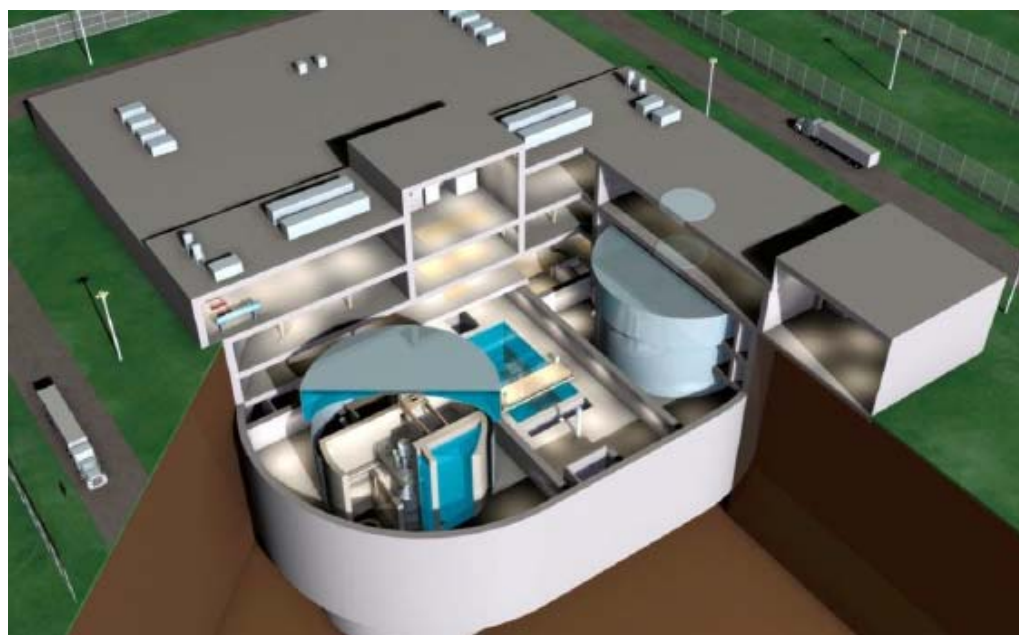


圖 2: mPower SMR 全廠設計概念圖

反應器設計的特色部分則包括：

1. 整合式的核能蒸汽系統(NSSS)

- 內部控制棒驅動機構、調壓器、冷卻水泵
- 最低反應器的穿越器點仍高於燃料 13 英尺
- 二次側蒸汽為 50°F 超臨界熱(superheat)
- 60 年設計壽命
- 可利用軌道來運輸

2. 下一代被動式安全設計概念

- 在任何假設的事故中，爐心都被水覆蓋住
- 使用非安全系統做為深度防禦的一環
- 多層深度防禦使得爐心受損率低於  $10^{-8}$ /year

3. 四年之壓水式反應器燃料週期

- 共使用 69 支低濃縮鈾燃料
- 使用高燃耗燃料且無挪移之需求
- 使用可燃性反應度毒物(burnable poison)
- 使用 69 根控制棒組來控制反應度

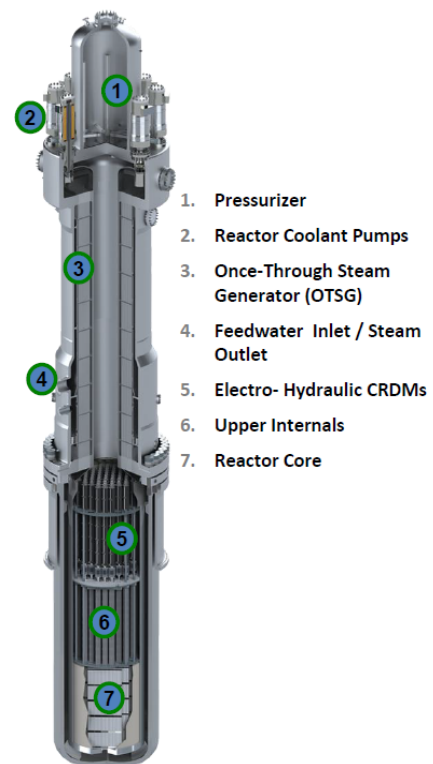


圖 3: mPower SMR 核反應器及蒸汽產生器

基於以上所述之設計，Generation mPower LLC 公司表示 mPower SMR 絕對可以應付類似日本福島事件所帶來包括：地震、水災、喪失電源、全黑事件、喪失緊急冷卻水系統、圍阻體完整性、和喪失燃料池冷卻的威脅。

為了符合 2022 年能達到商業運轉的目標，B&W 公司團隊(含 TVA, Bechtel Power)訂出了兩階段的申照計畫，第一階段為 TVA 所屬 Clinch River 電廠廠址，利用聯邦法規 10 CFR 50 建廠許可(CP)及運轉執照(OL)分別申請的方式來裝置 mPower，並希望在建廠許可的過程中，就可以確認出美國核管會的安全考量。至於後續興建的新電廠，則將採用 10 CFR 52 結合式申照作業(COL)的方式，將在 2013 年第 4 季向美國核管會申請設計證(Design Certificate)，並期望在 2017 年得到 NRC 的認證許可。下圖是本計畫實施時程之規劃。

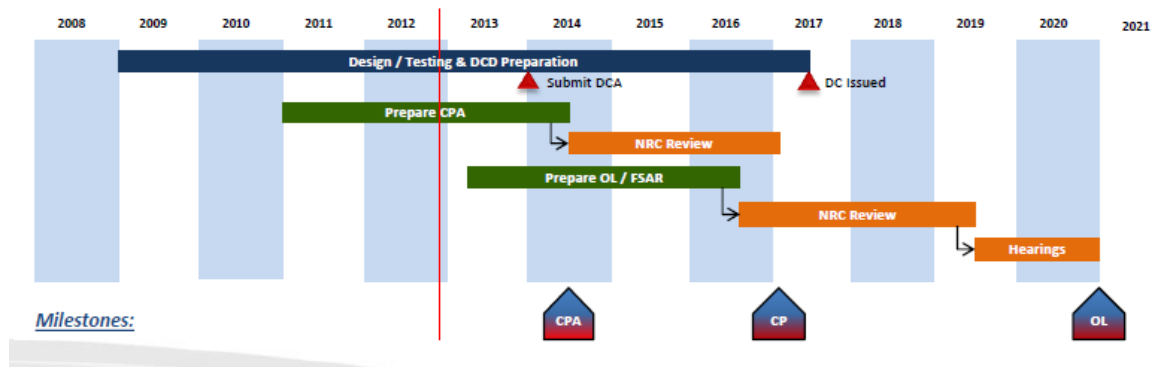


圖 4: mPower SMR 核反應器興建及申照計畫

從美國核管會(NRC)的網頁上<sup>5</sup>，則可以看到 TVA 於 2010 年就已向 NRC 提出會在 Clinch River 廠址上興建 6 部 SMR 機組的申照先期作業，而且正是採用前述 10 CFR 50 建廠許可(CP)加上運轉執照(OL)的方式，B&W 公司之 mPower 反應器設計則會採用 10 CFR 52 的方式申請認證。核管會收到 TVA 信函之後，召開了數次公眾會議，基本上認為，並沒有法規或執照審查上的問題，來阻止 TVA 打算採用的申照方式。至於 mPower SMR 的事先認證溝通作業方面(pre-application interactions)，則早已從 2009 年 7 月即已展開，NRC 也鼓勵這種在正式申請前之相互討論的方式。B&W 則已送出包含：mPower 反應器爐心設計程式及方法品質報告、儀控設定點方法論、設計認證品保計畫等文件，與 NRC 展開對話。

有鑑於未來可能日漸增多 SMR 之申照案件，美國核管會在 2012 年 12 月 28 日出版的管制資訊摘要(RIS 2012-12)中<sup>6</sup>，對於廠家擬申請 SMR 有關之建廠許可(CP)、早期廠址許可(ESP)、結合式申照(COL)、設計認證(DC)等作業，將建立一套較為統一的做法，要求有意願的廠家或持照者，要在 RIS 2012-12 發出後 45 天內，提供「設計及執照申請所需資訊」及「設計、測試、申請準備」等兩大方面的資料給核管會，以做為進一步規劃後續審照作業之參考。

自從美國能源部宣布選擇 B&W mPower 小型模式反應器做為合作開拓未來核能本土及海外市場後，美國國內也引發各種不同的討論聲



浪，其中富士比雜誌之網路作者 Ken Silverstein 於 2013 年 1 月 15 日的專文中指出<sup>7</sup>，這種裝置容量在 100MWe 上下的反應器，首先將在美國本土興建，然後可輸出到其他沒有大型電力傳輸網路的國家。而 SMR 可以在工廠內製造，再運到需要的廠址組裝，而且可以依電力的需求來決定廠址內所需機組的數目，由於新式 SMR 的高效率及內建(模組)式的設計，投資者可以預期可觀的回收。Silverstein 另引用聖迪亞國國家實驗室(SNL)的說明，由於 SMR 的工廠製造及組裝之便易性，預期大量生產可達每年 50 部機組，而標準化的設計則比傳統大型核電廠更易於取得執照及開始使用，另大量生產的成本可使得每部機組的平均建造成本降低至 2.5 億到 5 億美元左右，不到傳統電廠的一半。

當然要興建新的電廠，必須要取得廠址當地民眾的同意，同時也將面對核能管制委員會的嚴格審查，以取得在美國興建的許可，Silverstein 推論美國能源部也一起在推動小型模組化反應器的計畫(或可降低申照的阻力)之原因，是因為一般而言投資者不希望計畫審查時間拖得太長。至於安全性方面的考量，根據創建 NuScale 公司之 Pau Lorenzini，他認為 mPower SMR 的設計已可避免類似發生在日本福島任何型式天然事件所造成災害。

反對小型模組反應器(SMR)的聲音當然也出現在高度民主化的美國，美國科學家聯盟(Union of Concerned Scientists, UCS)成員之一 Ed Lyman 於 2012 年 12 月 21 日在 UCS 網站上發表專文指出<sup>8</sup>，SMR 的經濟效益是受到質疑的，即使現有大型核反應器的競爭力，都比不上天然氣發電，何況小規模設施的成本通常都高於大電廠，此外，TVA 目前打算在臨近橡樹嶺國家實驗室(ORNL)附近的 Clinch River 廠址興建電廠，其算盤之一是可以賣電給 ORNL，然而這卻充滿了不確定的因數。此外，不同於前述富士比雜誌作者 Ken Silverstein 之看法，Lyman 認為由於能源大力推動 SMR 計畫，有可能被廠家利用來說服核管會降低工作人員數目、保安、及縮小緊急應變範圍之管制標準，因而增加潛在的安全疑慮。

Ed Lyman 文章也提到 2011 年 7 月 14 日在美國眾議院的一場聽證會上<sup>9</sup>，他就曾經表達對 SMR 設計的疑慮，特別是反應器設施地下化的部分，雖然可以提昇耐震能力，但由日本福島事故的經驗，顯示地下化的備用電源及電氣設施均遭到海水的淹沒，且推斷運轉人員在某些嚴重天然事件的狀況下，難以接近位於地下的反應器設施。對於被動式安全設計，Lyman 也提出了他的質疑，他認為沒有任何一種被動式反應器設計，可以在毫無人為介入的情況下，自動的停機及冷卻，而且通常它們是需要運用某些設備(例如：閥)來自動操作，但這不代表百分之百的可靠。正因為此種論述，Lyman 認為至終還是會使用後備系統及相關的儀控設備，這將會造成建廠成本提高，而驅使供應商或電力公司去要求美國核管會降低管制標準，這也正是他們憂心的所在。

綜合以上的報導，負責美國能源政策走向的能源部，在核能發電的部分，除了持續以往支持第三、四代核子反應器(Nuclear Power 2010, GEN-IV)的研發及應用之外，目前正大力推動小型模組化的反應器，這顯示能源多樣性或考慮所有能源的可能性(All-of-the Above)，是美國未來能源政策的重要方針。能源部目前第一階段已選出 B&W 之 mPower 型 SMR 做為補助的對象，且即將開始第二階段徵選的作業，未來 20 年有關 SMR 設計審查、測試驗證、建廠申請、安全分析等後續時程規劃，將是美國核能界的重要大事，很值得我國加以留意。未來 SMR 之經濟性及安全性是否能如現在所構想，或是否能進一步推銷到海外，是一個可以接受檢驗的議題。當然，美國堅持能源多樣性的政策，對於缺乏天然資源的我國而言，是一個推動長期能源規劃的重要參考。至於反對 SMR 計畫者所提出之疑慮，特別是針對其設計上潛在的安全缺失，如地下化設施的佈置，未來可以藉由管制單位的審查，來瞭解相關因應及解決的方式，這將可以預期的觀察重點。

## 參考新聞報導

1. World Nuclear News, "mPower empowered by SMR funds", November 21, 2012
2. Department of Energy website, "Obama Administration Announces \$450 Million to Design and Commercialize U.S. Small Modular Nuclear Reactors", March 22, 2012
3. Department of Energy website, "Energy Department Announces New Investment in U.S. Small Modular Reactor Design and Commercialization", November 20, 2012
4. Generation Mpower LLC, "B&W mPower Small Modular Reactor - Creating the Future of Nuclear Power", December 5, 2012
5. Nuclear Regulatory Commission website:  
<http://www.nrc.gov/reactors/advanced.html>
6. NRC RIS 2012-12, "Licensing Submittal Information and Design Deployment Activities for Small Modular Reactors Designs", December 28, 2012
7. Ken Silverstein, After Fukushima, U.S. Seeks to Advance Small Nuclear Reactors, Forbes, January 15, 2013
8. Ed Lyman, Does DOE's Funding Announcement Mark the End of its Irrational Exuberance for SMRs, Union of Concerned Scientists, November 21, 2012
9. UCS news release, "Nuclear Expert Dispels Myths about Small Modular Nuclear Reactors in Senate Testimony", July 14, 2011