

核能電廠用過核子燃料貯存之安全與保安報告摘要

黃肇基摘譯

美國國會於 2004 年預算年度要求國家研究院(National Academies)對核能電廠用過核子燃料貯存之安全與保安，提供獨立的評估建議，這項研究針對下列四項議題進行評估：

- (1) 恐怖份子攻擊用過核子燃料的風險，以及用過核子燃料可能被不當利用於製造放射性散布裝置(髒彈)的風險。
- (2) 目前貯存在核能電廠燃料池的用過核子燃料，可能的安全與保安風險。
- (3) 比較單一、雙重及多重功能的護箱設計，可能的安全與保安優點。
- (4) 核能電廠內，乾式貯存與溼式燃料池貯存的安全與保安優點。

國家研究院為此特地組成研究團隊進行研究，由核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)及國土保安部(Department of Homeland Security, DHS)共同資助，完成之報告定名為「核能電廠用過核子燃料貯存之安全與保安」(Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage)，共發行兩種版本，機密版及公開版，機密版於 2004 年 7 月完成，公開版於 2006 年出版，公開版內的發現與建議與機密版完全一樣，只是改寫一些敏感資訊，以防止被恐怖份子利用，其目錄如下：

1. 引言與背景
 - 1.1 本研究的緣由
 - 1.2 研究的策略
 - 1.3 報告內容概要
 - 1.4 用過核子燃料及其貯存的背景
2. 恐怖份子對用過燃料貯存的攻擊
 - 2.1 風險的背景

- 2.2 恐怖份子攻擊的情節
- 2.3 恐怖份子對用過燃料貯存設施攻擊的風險
- 2.4 發現與建議
- 3. 用過燃料池貯存
 - 3.1 用過燃料池貯存的背景
 - 3.2 以往對燃料池貯存安全與保安的研究
 - 3.3 燃料池貯存可能的風險評估
 - 3.4 發現與建議
- 4. 乾式護箱貯存及風險比較
 - 4.1 乾式護箱貯存的背景
 - 4.2 乾式護箱貯存可能的風險評估
 - 4.3 乾式貯存比燃料池貯存的優點
 - 4.4 發現與建議
- 5. 執行議題
 - 5.1 時機議題
 - 5.2 溝通議題
 - 5.3 發現與建議

參考文獻

附錄

公開版報告的要點如下：

- (1)用過核子燃料剛從核反應器退出時，必須貯存於用過燃料池。
- (2)恐怖份子成功地攻擊用過燃料池雖然有困難，卻是可能的。
- (3)如果攻擊導致擴大的銦護套火災(銦護套因過熱而起火)，可能造成大量放射性物質釋出。
- (4)需要額外的分析，以澈底瞭解有關之脆弱點及可能導致擴大的銦護套火災事件的後果。
- (5)即使燃料池或其建築物嚴重受損，重新安置水池中之用過燃料元件

位置，可降低銼護套火災發生之可能性，且可利用噴水系統以冷卻燃料，是可行的措施。

(6)乾式護箱貯存比用過燃料池貯存具有先天的保安優點，但受限於祇能用來貯存較老的用過燃料。

(7)不同的護箱設計，其保安差異不大。

(8)恐怖份子要從貯存設施偷竊足夠的用過燃料，以製成大量的放射性散布裝置是有困難的。

以下是本報告針對四項研究議題的發現與建議：

議題 1：恐怖份子攻擊用過核子燃料的風險，以及用過核子燃料可能被不當利用於製造放射性散布裝置(髒彈)的風險。

研究團隊對本項議題提出的發現與建議如下：

發現 1：恐怖份子攻擊用過燃料貯存的機率，無法定量評估。但不排除用過燃料貯存設施可能成為恐怖攻擊的目標，由於無法精準預測恐怖份子的行為與動機，其發生機率無法量化。另外，因為民眾畏懼輻射的心理，可能吸引恐怖份子將用過燃料列為攻擊的目標。

發現 2：研究團隊判斷，恐怖份子能夠偷竊足夠的用過燃料，以製造一個能造成大量放射性散布的裝置，其可能性很小。

建議：必要時，NRC 應審查並更新其保安要求，以保護拆散的燃料元件不會被內部人員偷竊，特別是設施中個別的燃料棒或貯存於燃料水池中的部分燃料棒。

發現 3：自從 2001 年 9 月 11 日發生 911 事件後，核能電廠已提出了許多保安改善措施。

建議：有關用過燃料貯存之監視與保安等改善措施，研究團隊並未針對其有效性與適當性進行調查，建議由另外獨立的組織(獨立於 NRC 及核能工業界之外)，評估現有方法的優劣點。

議題 2：目前貯存在核能電廠內燃料池的用過核子燃料，可能的安全與保安風險。

研究團隊對本項議題提出的發現與建議如下：

發現 1：所有運轉中的核能電廠，都需要用燃料貯存池來冷卻新退出的用過燃料。

發現 2：研究團隊發現在某些狀況下，恐怖份子的攻擊會造成用過燃料池部分或所有池水流失，其後果可能導致鍍護套火災(鍍護套因過熱而起火)，並釋出大量的放射性物質到環境中。機密版報告中有詳細的分析。

發現 3：在冷卻水流失事件中，以適當措施降低鍍護套火災是可行的，例如重新安排用過燃料在水池中的排列位置，並提供緊急噴水系統以冷卻用過燃料。

發現 4：用過燃料池受恐怖份子攻擊可能存在的脆弱點，依不同的電廠設計而有所差異。因此，祇有審視每一個電廠用過燃料池貯存的特性，才能瞭解其特定的脆弱點。

發現 5：由 NRC 及獨立分析者之觀點，在瞭解用過燃料池受到恐怖份子攻擊的脆弱點，以及評估這些攻擊造成放射性物質釋出到環境的後果，目前已有一些進展。然而，針對特定的議題，仍需要做額外的分析。

建議：NRC 應該執行額外的評估與分析，以澈底瞭解可能造成冷卻水流失事件而引發鍍護套火災的脆弱點及其後果。NRC 應該就這些分析結果，採

取適當的因應對策。

建議：NRC 正進行前項建議之評估與分析，在獲得解決對策前，仍應督促核能電廠經營者立即採取有效的防範措施，以降低因燃料池冷卻水流失事件而引發擴大燃料鎊護套火災的風險。

議題 3：使用不同乾式護箱貯存設計，可能的安全與保安優點。

研究團隊對本項議題提出的發現與建議如下：

發現 1：以護箱破裂造成核種釋出的數量來進行比較，雖然各種乾式護箱設計有所不同（例如裸燃料與密封鋼筒），但綜合評估結果，其差異性不大。

發現 2：可以採取額外的防範方法，使乾式護箱較不容易受到恐怖份子攻擊的破壞。

建議：NRC 應該考慮使用脆弱點分析的結果，提高法規對乾式護箱的安全要求，並改善其對恐怖攻擊的承受能力。

議題 4：核能電廠內，乾式貯存與溼式燃料池貯存的安全與保安優點。

研究團隊對本項議題提出的發現如下：

發現 1：對運轉中的核能電廠，乾式護箱貯存並無法完成取代電廠對燃料池貯存的需求。

發現 2：與燃料池貯存相較，對冷卻一段時間的用過燃料，使用乾式護箱貯存，有兩項先天的優點：(1)它是被動性的系統，靠空氣循環冷卻；(2)它把用過燃料分散存放在獨立且堅固的容器中。這些特點使得在同一時間造成用過燃料被大量破壞的恐怖攻擊行爲，變得更困難，而且能降低這些攻擊的影響。

發現 3：依研究團隊機密版報告，核電廠對特定脆弱點的分析結果，NRC 可能會要求提前將用過燃料從燃料池移入乾式護箱，這種做法有利於降低恐怖份子攻擊核能電廠燃料池的風險。

執行議題

執行研究團隊所提出的相關建議，需要許多配合行動，國會對下列兩項議題可能有興趣：時機議題及溝通議題。

發現 1：基於保安的要求，限制資訊與評估分析結果的分享使用，可能延緩防止用過燃料貯存受恐怖攻擊相關改善工作的進展。

建議：NRC 應該與核能電廠經營者及乾式護箱系統供應廠商合作，針對用過燃料貯存脆弱點與後果分析提出改善措施，並提供相關資訊即時分享。

參考文獻

Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage, Public Report, National Academy of Sciences, Washington, D. C. (2006)