

用過核子燃料最終處置 計畫書

(2006年7月核定版)

7.1.5節 (修訂二版)

台灣電力公司

中華民國九十七年四月

目 錄：

1. 修訂理由及改正措施說明
2. 原有之7.1.5節內容
3. 修訂後之7.1.5節內容

修訂理由及改正措施說明

修訂之理由：

近幾年來，國際能源發展趨勢為減少對於化石燃料的依賴，俾抑制全球暖化做出貢獻，並且擴大對安全、潔淨和經濟的核能之利用以及加強國際合作進行用過核子燃料之再處理或最終處置。而為因應國際此一發展的新趨勢，台電公司遵照經濟部核能後端基金管理會96年3月16日第30次委員會議決議，在所核可之97年度預算額度範圍內，基於維持於2009年提出「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」之原定目標及充分應用核能先進國家對用過核子燃料最終處置技術發展經驗之原則下，擬修訂「用過核子燃料最終處置計畫書」(2006年7月核定版)之第七章部分規劃工作及所需經費估計額，以保留因應未來國際發展新趨勢之彈性，並依法繼續推動國內用過核子燃料最終處置設施籌建所需之技術發展。

鑑於前述考量，並為使預算做最有效應用，實有必要調整部分經費，從經濟觀點(調查成本)、安全觀點及國際發展趨勢等方面綜合評估，保留花崗岩類的調查評估，而泥岩與中生代基盤岩類僅彙整以往調查研究及96年度完成之空中磁測所得資料進行綜合分析之方式最符合現階段的經費需求，故擬修訂原能會2006年7月核定之最終處置計畫書中第七章的部分規劃內容，以符合法律規範及兼顧因應國際發展趨勢之需求。

改正措施：

依據原能會核備之計畫書(2006年7月核定版)原規劃內容，國內潛在母岩包含花崗岩、泥岩及中生代基盤岩等三類，而由經濟觀點(調查成本)、安全觀點及國際發展趨勢等方面綜合評估，顯示若照原規劃內容，同時執行三種潛在母岩的調查研究，在經費之有效應用上已無法兼顧調查品質，實務面上確有必要採取若干改正措施。本計畫若將原規劃之三種潛在處置母岩縮減為僅對花崗岩潛在處置母岩進行調查，在有限之經費資源下，可充分應用國際上對花崗岩處置母岩所累積的相關技術發展經驗，而縮減國內所需經費與所需技術發展時間。

綜上所述，本計畫之改正措施，係在有限經費及維持原訂於2009年提出「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」之目標下，充分應用國外相關發展經驗及技術，對國內迄今最具調查評估廣度及深度之潛在處置母岩(花崗岩類)繼續進行調查研究，而泥岩及中生代基盤岩等二類潛在母岩，則就96年度完成之空中磁測所取得之數據與資料，以及以往已執行之調查研究結果進行綜合評估，並納入原計畫書所規劃預定於2009年提出之「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」內，而原計畫書中第7.1.5節之近程工作經費內容亦一併配合修訂。

原有之7.1.5節內容

7.1.5 經費與人力需求評估

近程工作之項目及經費概算表列於表7-2，表中工作項目將依不同潛在處置母岩之調查難易，或依各年度進行調查與分析之深度與廣度所需，視時空條件進行必要的調整。

表7-2：近程工作經費概算表

工作項目	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年**
潛在處置母岩特性調查					
地表調查(萬元)	500	500	1500	3000	9000
鑽探與取樣 (萬元)	2000	2000	3000	4000	
孔內調查(萬元)	1200	1000	2000	2000	
潛在處置母岩功能評估					
處置概念模式技 術建立(萬元)	2000	2000	2400	2900	3000
潛在處置母岩初 步功能/安全評估 (萬元)	1500	2000	2000	2000	2500
核種傳輸與工程 障壁(萬元)	600	600	600	600	
技術發展與國際技術合作					
地質長期穩定性 與演化建構技術 (萬元)	1200	5000	2000	3000	5500
	(含三年期空中磁測之國際合作)				
跨孔量測與孔內 長期量測技術 (萬元)	500	500	2000	2000	
室內試驗(萬元)	500	400	500	500	
人力概估(人)	80	80	90	100	100
經費預算概估 (萬元)*	10,000	14,000	16,000	20,000	20,000

* 預算根據過去執行情況概估，實際以立法院核定數為準；

** 2009年預算概估值會依據未來最終處置計畫書可能修訂內容作調整。

修訂後之7.1.5節內容

7.1.5 經費與人力需求評估

近幾年來，國際能源發展趨勢為減少對於化石燃料的依賴，俾抑制全球暖化做出貢獻，並且擴大對安全、潔淨和經濟的核能之利用，而為因應國際此一發展的新趨勢，台電公司遵照經濟部核能後端基金管理會96年3月16日第30次委員會議決議，在所核可之97年度預算額度範圍內，基於維持於2009年提出「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」之原定目標及充分應用核能先進國家對用過核子燃料最終處置技術發展之原則下，擬修訂「用過核子燃料最終處置計畫書」(2006年7月核定版)之第七章部分規劃工作及所需經費估計額，以保留因應未來國際發展新趨勢之可行性，並依法繼續推動國內用過核子燃料最終處置設施籌建所需之技術發展。

本次修訂內容係基於下列經濟(調查成本)、安全及國際發展趨勢等因素之考量：

(1) 經濟觀點(調查成本)：

由於國際上迄今尚無正式商業運轉之用過核子燃料或高放射性廢棄物最終處置場，除美國、芬蘭已確定最終處置場址，及瑞典、比利時、法國、瑞士、日本已有地下實驗室進行處置技術可行性驗證外，其餘使用核能發電國家均仍處於最終處置場處置技術研發階段。經參考各國不同處置母岩下所估算的調查經費需求(表7-2)，若仍依「用過核子燃料最終處置計畫書」(2006年7月核定版)之規劃內容來執行，則在有限經費資源下，勢必無法在維持相同品質下同時兼顧三種潛在處置母岩之調查評估。

在比較各國針對泥岩與花崗岩質母岩的調查技術發展及處置經費需求(表7-2)，顯示泥岩調查與技術發展的費用明顯較花崗岩的處置經費為高，以日本為例，花崗岩進行深達1000公尺所需調查經費，與500公尺的泥岩所需調查經費相當，依圖7-4可得1000公尺的鑽探費用約為500公尺鑽探費用的2.5倍，若假設調查技術的難度與施測費用亦隨之等比例增加，換算得表7-2在同樣

處置深度時，日本泥岩的技術發展費用約為2,720億日元，遠比花崗岩的1,088億日元高很多，故在同樣處置深度時，泥岩的處置費用相對較高。

法國、瑞士、比利時等國亦以泥岩質岩體，做為潛在處置母岩的考量對象之一，表7-2為目前國際相關泥岩研究經費彙整資料，綜合而言，泥岩的研究經費並不低於花崗岩類的研究費用，如果國內要同時展開泥岩與花崗岩的研究發展，在現有經費額度下，有其困難且不符經濟效益。考量芬蘭、瑞典等國已明確以花崗岩做為處置母岩，其中芬蘭已取得國會同意處置地點，其處置場功能安全評估報告經國際專家審查通過，因此其處置時程明確，相關調查、量測方法與花崗岩質處置功能安全評估模式技術發展成果及經驗亦較為成熟，均可做為後續本計畫的參考。

為達成於2009年提報「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」之重要目標，在有限資源需有效運用之經濟考量下，近程內(97~98年度)本計畫之處置技術發展工作將以花崗岩類之潛在處置母岩為主，而泥岩與中生代基盤岩類則彙整以往調查研究及96年度完成之空中磁測所得資料進行綜合分析。

(2) 安全觀點：

國內之泥岩特性依本計畫過去已獲得的調查資料顯示，國內泥岩特性如：含水量、含砂量均比瑞士、法國、比利時等國高，同時國內泥岩的膠結程度也不如這些國家。若以泥岩為最終處置母岩，在處置安全上會有必要比花崗岩為處置母岩使用更多的工程障壁設施，若如此也將增加額外的工程施工與技術上的不確定性，在功能安全評估的複雜性將不如花崗岩處置母岩之單純，也就是說，在處置場安全評估精準度上，國內泥岩會比花崗岩處置母岩困難許多，此亦意謂泥岩需投入較多人力、經費與時間。此外，國內西南部泥岩地質之砂泥質分布不均、活動構造多、災害性地震頻率高、又有泥火山噴發，且人口密集

度高，調查難度高。

反之，國內花崗岩特性方面，依據本計畫在K區之野外調查數據初步分析結果(表7-3)，顯示K區花崗岩特性比起瑞典、日本、瑞士的花崗岩特性毫不遜色；也就是說，芬蘭、瑞典的花崗岩能通過處置場的安全評估需求，則國內花崗岩若作為潛在處置母岩調查對象的規劃，在後續完整調查數據分析下，其安全性很值得期待。此外，本計畫除了驗證離島地區花崗岩體已具備千萬年來的長期地質穩定特性外，對過去認為位於板塊邊界較不穩定之本島花崗岩體也進行初步的地表踏勘與資料分析，而根據最新文獻資料顯示，此一花崗岩體可能近百萬年來亦已邁入穩定地塊條件。

綜合國內花崗岩的初步調查分析數據，顯示其特性並不遜於國外同類岩性，加上國外這類花崗岩已有進行最終處置功能與安全評估之案例，故國內花崗岩類作為潛在處置母岩的選擇，其安全性無論就岩體特性或是岩體穩定性方面均值得期待，並進一步加以深入調查。

綜上所述，本計畫初步推論國內花崗岩質潛在處置母岩具有比泥岩較高的可行性，進一步調查花崗岩質的岩體規模、分布與主要構造帶延伸等資訊，有其必要性，同時透過引進國外花崗岩處置母岩功能安全評估模式，進行本土地質環境調查數據之案例分析後，其安全性可進一步獲得驗證。因此，本計畫近期將以過去所累積的花崗岩質潛在處置母岩特性資料為基礎，並參考國際經驗，進行初步案例分析後，做為初步評估本土花崗岩質潛在處置母岩安全性之依據，以達成於2009年提報「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」之重要目標。另，考量國內泥岩位處活斷層、地震、泥火山及高侵蝕率之地區，而地形平緩之低侵蝕率地區又多為人口稠密區域，欲取得民眾同意調查之時程與困難度較高，加上依本計畫89~92年所進行之泥岩深層地質特性調查之試驗井鑽探經驗顯示國內泥岩不

僅鑽探不易，且因含沙量、含水量均高相對於花崗岩類時，泥岩的井孔易崩塌、維護困難；因此，擬暫緩泥岩區的深層地質特性現地調查工作。

另一方面，考量中生代基盤岩分布多位於超過地下2千公尺深處(圖7-5；Lin et al., 2003)，鑽井越深對應之費用將倍數成長(圖7-4)，在尚未取得相關國外這類岩性及足夠規模與構造分布解析資訊，以利針對這類岩體特性調查與試驗工作進行必要的規劃之前，亦擬暫緩此區域的深層地質特性調查工作。

基於前述，為對用過核子燃料最終處置場的功能與安全評估有較充分與具體之參考經驗與資料，本計畫近程內(97~98年度)關於處置場功能與安全評估，擬以目前國際上最具相關經驗之花崗岩類為主。而對泥岩與中生代基盤岩潛在處置母岩，將僅就國內外現有相關資料進行蒐集與分析，並將成果呈現於2009年「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」的相關章節內容上。

(3) 國際發展趨勢：

國際上高放射性廢棄物處置技術發展至今，花崗岩為處置母岩的技術發展資訊較為完整，目前國際上已有近十個國家將花崗岩納為調查研究的對象，例如加拿大、英國、芬蘭、日本、西班牙、瑞典、瑞士等國，在經驗的累積、調查技術的建立、或成果資料(例如地質、構造、地下水、地球物理、地球化學、工程特性等)的交流上，均有相當程度的進展(IAEA, 2003a)。

台灣地處環太平洋中生代花崗岩帶(Mesozoic Circum-Pacific Granitic Belt)的西緣，分布許多花崗岩體。國際上對花崗岩類之處置技術發展經驗，例如瑞典、芬蘭等先進國家的調查研究成果顯示，其在花崗岩質潛在處置母岩的功能及安全評估方面，已有經國際專家會審通過之實用案例的豐富經驗及相關應用軟體，這些經驗與軟體對國內花崗岩質潛在處置母岩的安全評估將有極大助益。對國內發展這類處置母岩之處置概念、處置母

岩調查作業程序與分析技術、處置場設施配置及功能/安全評估技術等之研發助益最大，可大幅縮短自行摸索的時間，也可節省大量調查設備開發費用及評估模式的研發經費。

相對地，泥岩調查技術與部分設備自成一套系統，地下調查與工程技術甚為複雜(IAEA, 2003a)，國內若要同時發展不同處置系統，在資源有限條件下，實無法兼顧，若因經費排擠效應，甚至可能影響關鍵技術之研發，故建議近程內(97~98年度)僅針對花崗岩類之處置技術進行研發，以配合國際發展趨勢，並有效應用國際經驗。

基於上述(1)、(2)、(3)之考量，在近程內本計畫工作重點宜以國內迄今最具調查評估廣度與深度之花崗岩類為主，至於泥岩與中生代基盤岩質潛在處置母岩則以過去相關調查資料、文獻，及空中磁測所取得之數據與資料，進行綜合評估。因此建議調整部分近程工作之項目及修訂經費概算如表7-4所示，表中工作項目保留部分必要之長期監測調查工作，加強區域環境資料解析與空中磁測成果分析、處置技術概念發展及功能安全評估技術建立等工作，並據以完成2009年「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」所需內容；俟該報告完成後，再依整體評估結果，規劃後續年度必要進行之工作，屆時其所需經費亦配合做必要之調整。

基本上，花崗岩類處置母岩與泥岩等其它潛在母岩之最終處置技術研究上，具有下列互通之處：

- (1) 調查作業流程與分析流程及部份設備可相互引用。
- (2) 功能/安全分析流程及部分評估模式可相互引用。

，而不同之處在於：

- (1) 由於跨孔與水力等試驗，因岩性不同而有不同的試驗與取樣方法；相關孔內調查技術之施測，也因岩體密度、膠結程度差異而有不同。另外，因國內泥岩含沙量高且通常飽和含水，故其

探查孔易崩塌、維護困難，井內設備遭掩埋損失的風險高，其鑽探、施測成本與工安風險均會相對提高。

- (2) 功能/安全分析模式可能需配合泥岩特性，調整處置設施配置，故安全分析方法亦需配合再研究。

故現階段對花崗岩所建置的研究流程、技術發展成果及大部份調查設備，未來仍可直接或間接引用到其它潛在母岩之研究。另外，在功能/安全評估方面，目前發展中的評估模式是架構在類似瑞典KBS3的處置概念上，由於瑞士、比利時、法國的泥岩處置概念亦架構在類似的處置概念，故未來由花崗岩處置母岩之處置概念延伸應用到泥岩等其它潛在處置母岩時，在功能/安全評估程序上仍屬可行，其要克服的問題重點在於如何將國內泥岩等其它潛在母岩環境特性做充份反映，以修正本計畫現階段所發展的花崗岩類處置母岩功能/安全評估模式。過去本計畫在功能/安全評估模式的發展上，已有由虛擬母岩延伸應用到花崗岩類母岩的經驗，隨著計畫執行經驗的累積與技術的精進，未來可順利由花崗岩類延伸應用到其它潛在母岩的功能/安全評估作業需要。

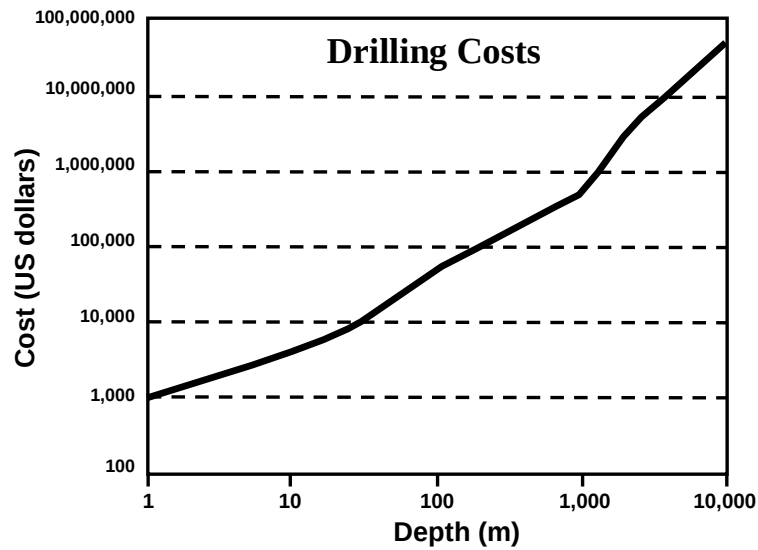


圖7-4：鑽探費用隨深度遽增

(資料來源：<http://www.deepscience.org/>)

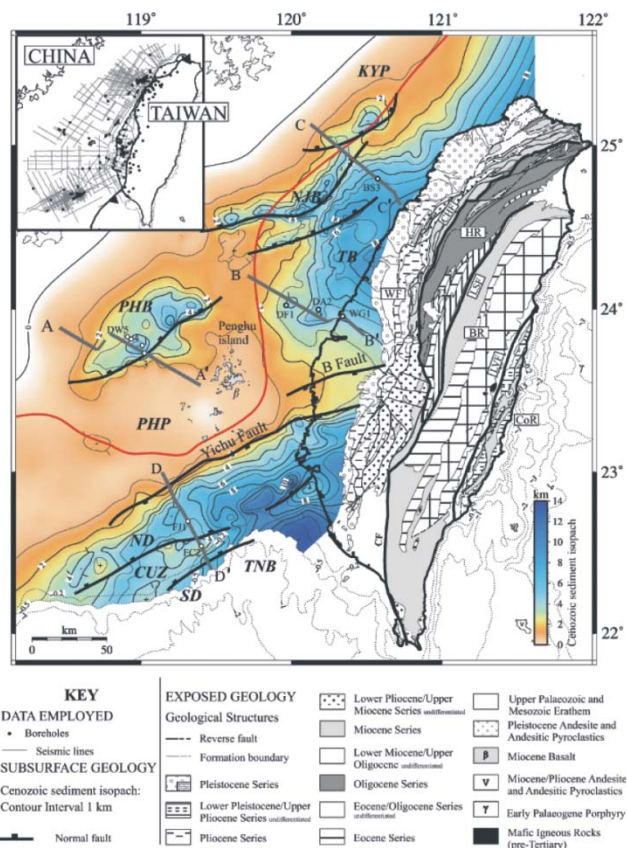


圖 7-5：中生代基盤岩分布深度圖

(資料來源：Lin et al., 2003；圖示為中生代基盤岩上覆新生代沈積層厚度分布，即中生代基盤岩頂部之深度)

表7-2：花崗岩與泥岩深層地質最終處置調查經費比較表

	比利時	法國	瑞士	瑞典	芬蘭	日本	
預定處置母岩類型	泥岩	泥岩	泥岩/花崗岩	花崗岩	花崗岩	泥岩	花崗岩
預估處置深度(m)	250	400~1000	850/1,000	500	500	500	1,000
技術發展經費	1974~2000年間 花費約NT70.8 億(1.5億歐元)	(註1) 2001~2007 年間泥岩研究花 費約NT 193.6億 (4.1億歐元)(含 URL建造費用)	(註2) 1996~2006年 間泥岩研究花費約 NT 11.3億 (0.24億 歐元)(未含URL建造 費用)	NT246.9億(48.6億 瑞典克朗)	(無資料)	NT328.2億 (1,088億日元)	NT 328.2億 (1,088億日元)
選址	(無資料)	(無資料)	(無資料)	(無資料)	(無資料)	654.1億NT (2,168億日元)	729.5億NT (2,418億日元)
資料來源	摘自表1-4	摘自表1-4	摘自表1-4	摘自表1-4	摘自表1-4	IAEA (2002)	IAEA (2002)

註1：美國SNL國家實驗室卓鴻年博士提供；

註2：<http://www.mont-terri.ch/ids/default.asp?TopicID=85>；

註3：匯率換算基準（97年3月4日匯率）：1 歐元= 47.23 NT；1 瑞士法郎= 29.85 NT；1 瑞典克朗=5.08 NT；1 日圓=0.3017 NT。

表 7-3：花崗岩類試驗結果比較表

試驗項目	本計畫試驗 (註1)	國內過去研究 (註2)	瑞典SITE94 (註3)	日本H12 (註4)	瑞士NTB 87 (註5)
比重	2.62~2.68	2.69~2.75	--	2.70	--
乾密度 (g/cm ³)	2.60~2.66	2.64~2.68	2.70	2.67	2.66±0.23
單軸壓縮 強度(MPa)	58.97~106.56	62.88~149.83	128~250	115	169.1±37.1
凝聚力 (MPa)	34.92	14.43~19.41	5~10	15	--
摩擦角(度)	57	57.03~62.73	20~40	45	33
抗張強度 (MPa)	6.43~10.72	5.64~9.83	10	8	9.06±1.48
靜彈性模數 (GPa)	28.50~35.64	31.49~42.89	35.71~65	37	53.3±11.0
卜松比	0.14~0.18	0.20~0.23	0.32	0.25	0.37±0.12
動彈性模數 (GPa)	30.20~37.90	36.97~48.49	--	48.06	--
動態卜松比	0.21~0.26	0.17~0.25	--	0.315	--

註1：本計畫試驗結果整理以K區花崗片麻岩為主。

註2：尤崇極等6人(1991)；岩石種類以K區的花崗片麻岩及花崗岩為主。

註3：SKB(1999)；岩石種類以瑞典Aspo花崗岩為主。

註4：JNC(2000)；日本H12之岩類為Hard rock system，其岩石種類包括：felsic crystalline rock、mafic crystalline rock、Pre-Neogene arenaceous sedimentary rocks (such as sandstone)、Pre- Neogene argillaceous / tuffaceous sedimentary rocks (such as mudstone and tuff)。

註5：NAGRA(1989)；瑞士NTB87之岩類為Grimsel Test Site (GTS) 北部之Central Aare granite。

表7-4：近程工作經費概算表

工作項目	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
潛在處置母岩特性調查					
地表調查(萬元)	500	500	1500	500	500
鑽探與取樣 (萬元)	2000	2000	3000	0	0
孔內調查(萬元)	1200	1000	2000	1000	0
潛在處置母岩功能評估					
處置概念模式技 術建立(萬元)	2000	2000	2400	500	1000
潛在處置母岩初 步功能/安全評估 (萬元)	1500	2000	2000	1000	1500
核種傳輸與工程 障壁(萬元)	600	600	600	500	500
技術發展與國際技術合作					
地質長期穩定性 與演化建構技術 (萬元)	1200	5000	2000	500	1500
	(含三年期空中磁測之國際合作)				
跨孔量測與孔內 長期量測技術 (萬元)	500	500	2000	1000	1500
室內試驗(萬元)	500	400	500	500	1000
人力概估(人)	80	80	90	55	60
經費預算概估 (萬元)*	10,000	14,000	16,000	5,500	7,500

* 預算根據過去執行情況概估，實際以立法院核定數為準。