

低放射性廢棄物最終處置計畫
執行成果報告
修訂二版
(105年8月至106年1月)

台灣電力公司
106年6月

目 錄

第一章 前言	1
第二章 處置技術建置計畫	8
第三章 處置設施選址計畫	18
第四章 民眾溝通專案計畫	28
第五章 綜合檢討與建議	38
附錄一、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫 105 年度 執行成果摘錄	

第一章 前言

「放射性物料管理法」第 29 條規定：放射性廢棄物之處理、運送、貯存及最終處置，應由放射性廢棄物產生者自行或委託具有國內、外放射性廢棄物最終處置技術能力或設施之業者處置其廢棄物；產生者應負責減少放射性廢棄物之產生量及其體積。其最終處置計畫應依計畫時程，切實推動。「放射性物料管理法施行細則」第 36 條規定：低放射性廢棄物產生者或負責執行低放射性廢棄物最終處置者，應於本法施行後一年內，提報低放射性廢棄物最終處置計畫，經主管機關核定後，切實依計畫時程執行；每年 2 月及 8 月底前，應向主管機關提報上半年之執行成果。

台電公司依據上述規定於 92 年 12 月 25 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書」提報原子能委員會(以下簡稱原能會)審查，並於 93 年 1 月 16 日奉准核備。台電公司依據奉核之「低放射性廢棄物最終處置計畫書」(以下簡稱處置計畫書)所規劃時程與作業進行低放射性廢棄物最終處置計畫。

「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」(以下簡稱「場址設置條例」)於 95 年 4 月 28 日經立法院院會二、三讀完成立法，並於 95 年 5 月 24 日經總統公布施行，主辦機關(經濟部)於 95 年 6 月 19 日召開研商「場址設置條例」應辦事宜會議，依據該條例第 6 條規定會商主管機關同意，指定台電公司作為低放射性廢棄物最終處置設施選址之作業者(以下簡稱「選址作業者」)；並依該條例第 5 條規定，聘任相關機關代表及各專業領域專家學者組成「低放射性廢棄物最終處置設施場址選擇小組」(以下簡稱「選址小組」)，依條例規定執行處置設施之選址工作。鑑於「場址設置條例」對於選址作業之程序與時限有所規範，台電公司原報奉核定之處置計畫書亦配合修訂，並於 96 年 4 月 26 日奉准核備。

場址設置條例公布施行迄今 10 年餘，於執行過程中，因面臨實務上窒礙難行之情況，例如主辦機關經濟部曾於 98 年 3 月公開上網及陳列「建議候選場址遴選報告」，建議臺東縣達仁鄉南田村及澎湖縣望安鄉東吉嶼二處為建議候選場址，並規劃於 98 年底核定公告建議候選場址。惟因澎湖縣政府於 98

年 9 月將望安鄉東吉嶼劃為澎湖南海玄武岩自然保留區，致選址作業退回至潛在場址篩選階段重新辦理。台電公司因應此一情況，重新檢討處置計畫時程，並依據物管局 2 次審查意見及「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」審查會議紀錄修訂，於 101 年 4 月 23 日提陳「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.2」請主管機關核備，主管機關於 101 年 5 月 4 日來函同意核備處置計畫書(修訂二版)。

經濟部於 101 年 7 月 3 日核定公告金門縣烏坵鄉及臺東縣達仁鄉兩處建議候選場址後，於 101 年 8 月 17 日函請建議候選場址所在地方政府同意接受委託辦理公投選務工作。金門縣政府於同年 9 月 26 日函復經濟部，略以：該縣近年各項公職人員選舉之投票率大部分均未過 50%，檢討原因乃離島交通不便，影響外地工作者投票意願，故辦理「縣地方性」低放場址選址公投，恐因交通及投票率門檻因素而不利推動。又謂烏坵鄉投票率如涉鄉公職者高達七、八成，未涉鄉公職者不及 3 成，以該鄉是孤立於 70 海浬外之離島鄉，及人口不及縣總人口 1%，由「縣」公投決定低放場址選址事務，似與「住民自決精神」相背。為符合住民自決精神，為方便低放場址選址作業順遂，建請修法低放場址選址公投以鄉為範疇。另臺東縣政府於同年 10 月 9 日函復表示：「因本縣現階段法規訂定並不完備，且委託辦理地方性公民投票之內容不明確，另考量辦理地方性公民投票選務作業事項繁瑣，仍須與選舉委員會協商取得共識，故尚難協助辦理。」致尚未能完成候選場址之選址作業。後續台電公司參加經濟部於 102 年 3 月 4 日邀集原能會、內政部及中選會召開之「低放射性廢棄物最終處置設施場址公投評估研商會議」討論低放選址相關議題，台電公司將持續配合經濟部指示辦理相關事宜，並持續進行金門及臺東縣之溝通工作，以爭取該兩縣民眾支持。

為因應公投作業無法依預定時程辦理，主管機關於第 122 次放射性物料管制會議要求台電公司進行「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)第 10 章替代/應變方案」之強化修正。後續台電公司於 103 年 7 月 30 日將前述替代/應變方案提報主管機關及於 103 年 8 月 19 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」提送主管機關審查，並於 103 年 9 月 9 日獲主管機關

核備。另，主管機關亦多次函請主辦機關自行辦理公投，主辦機關評估自行辦理公投之可行性不高，於 103 年 7 月 5 日以經營字第 10500618530 號函，說明自辦公投有窒礙難行之處，原因包括有「球員兼裁判」之嫌，公投選務動員之人力、物力龐大，在無選務經驗情況下，稍有不慎極易衍生公投無效之議等。依據低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.4，台電公司本階段應已取得建造執照及進行施工階段等工作，由於選址主辦機關經濟部對於辦理公投時程仍未確定，台電公司依據主管機關 104 年 11 月 26 日召開之放射性物料臨時管制會議紀錄決議事項 1.(1)「台電公司應於 105 年 3 月底前提報低放處置計畫之強化執行措施，另應切實檢討修訂處置計畫書，依法持續進行選址作業」，於 105 年 3 月 29 日提送低放最終處置計畫之強化執行措施。主管機關則於 105 年 4 月 12 日發函要求台電公司參酌強化執行措施內容，依據放射性物料管理法施行細則第 36 條第 2 項規定，敘明理由及改正措施，檢討修正低放射性廢棄物最終處置計畫，並於 105 年 6 月 15 日前提報。台電公司考量選址公投時程仍具高度不確定性，重新審視時程規劃，將選址主辦機關經濟部依據「場址設置條例」辦理選址作業之時程，與核定候選場址後之作業時程分開規劃，於 105 年 6 月 15 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂三版)」，函請主管機關核備。主管機關於 105 年 6 月 28 日函復審查意見，不同意時程規劃採浮動方式呈現，並要求「自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，擬具明確時程規劃。」台電公司考量選址作業現況，因新增法規與現行法規修訂將造成後續選址作業時程增加，以審查意見規劃選址時程，將不切實際。故僅參照其它意見修訂后，於 105 年 7 月 26 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂版)」提送主管機關審查。主管機關於 105 年 8 月 19 日函復審查意見，仍是不同意採浮動時程規劃。惟台電公司考量選址作業現況，若依審查意見自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，即應於 105 年 10 月完成選址公投、場址調查、環境影響評估等任務，為不切實際之規劃，故仍以浮動時程規劃於 105 年 9 月 14 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 2 版)」。

主管機關於 105 年 10 月 5 日函復審查意見，要求台電公司於 105 年底前提報替代/應變計畫具體實施方案，並重新綜合檢討處置計畫時程後，併同提

報低放射性廢棄物最終處置計畫書(105年修訂3版)，台電公司考量選址作業現況，有關時程規劃仍維持修訂2版之規劃，並將替代/應變計畫具體實施方案納入「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105年修訂3版)」，於105年12月27日以電核能部核端字第1050018039號函提報原能會核備。

本計畫每半年執行成果報告係依「放射性物料管理法施行細則」第36條規定提報，及依原能會物管局審查101年2月~101年7月執行成果報告之意見，將半年執行成果報告之章節架構調整為「前言」、「處置技術建置計畫」、「處置設施選址計畫」、「民眾溝通專案計畫」及「綜合檢討與建議」等章節。

本階段(105年8月至106年1月)執行「處置技術建置計畫」部分，除延續各項執行中之計畫外，依據主管機關於104年10月29日召開之「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(104年版)」審查會議紀錄決議事項一「處置技術建置計畫請每年自主檢討內容，若未涉及重大內容變更，則請保留檢討紀錄備查。」台電公司已完成自主審查，並於105年11月24日完成「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(105年)」(定稿本)；及依第125次放射性物料管制會議第675議案，於105年5月9日至13日辦理「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」國際同儕審查，並依審查意見修訂該報告，另依據物管局103年12月12日召開「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD2016)章節架構」討論會議之決議事項(三)「…台電公司於報告完成後，應提出精簡版報告」，台電公司已於105年12月28日提報「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」及其精簡版報告。「處置設施選址計畫」部分，依據低放射性廢棄物最終處置105年度工作計畫(修訂版)及配合主辦機關經濟部辦理公投之民眾溝通工作，並依據主管機關核備之「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.4」，辦理「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究」案。「民眾溝通專案計畫」部分，則依據105年度「低放選址地方溝通工作計畫」執行相關工作，包括烏坵鄉及達仁鄉各村落逐戶拜訪、金門縣與臺東縣地方媒體溝通宣導與機關社團溝通宣導活動，以及辦理全國性廣告文宣製作等工作。另並說明低放射性廢棄物貯存設施所在地，包括第三核能發電

廠與蘭嶼貯存場相關公眾溝通工作等。本階段(105年8月至106年1月)相關工作及執行計畫項目與查核點表列如下：

一、主管機關指示事項

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放射性廢棄物最終處置計畫	105年9月	主管機關 105年8月19日發函，要求台電公司於文到一個月內重行提報低放射性廢棄物最終處置計畫書(105年修訂2版) / 已於時限內提送主管機關審查
	105年12月	主管機關 105年10月5日發函，要求台電公司於105年底前提報替代/應變計畫具體實施方案，並重新綜合檢討處置計畫時程後，併同提報低放射性廢棄物最終處置計畫書(105年修訂3版) / 已於時限內提送主管機關審查
	105年12月	依據主管機關 103年12月12日召開「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD2016)章節架構」討論會議之決議事項(三)要求台電公司於報告完成後，應提出精簡版報告 / 已於時限內提送主管機關審查
	105年12月	依據主管機關於105年12月20日召開之「低放射性廢棄物最終處置106年度工作計畫」審查會議會議結論，要求台電公司逐項敘明「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告章節架構」討論會議各項決議之辦理情形，說明資料請併同「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD2016)」，於105年底提報

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
		/已於時限內提送主管機關審查
	106年1月	主管機關於106年1月6日來函就「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」提出程序審查意見，要求台電公司於106年1月26日前提報「場址特性調查」、「處置設計與工程技術」及「安全評估」技術支援報告及「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」上網版/已於時限內提送主管機關審查

二、處置技術建置計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
(一)整合性計畫		
低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估	105年8月~106年1月	每月提報工作月報/承商每月均按時提出審查，符合工作要求
	105年10月	承商提送「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告-國際同儕審查總結報告」中、英文版、「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」中、英文版/承商已依計畫時程提送審查
(二)低放射性廢棄物資料庫系統精進案	105年8月~106年1月	每月提報工作月報/承商每月均按時程提出審查，符合工作要求
	105年10月	提送本案期末報告初稿及「低放射性廢棄物資料庫」系統操作手冊初稿/承商已依計畫時程提送審查

(三)場址調查評估		
場址特性調查計畫		併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」進行
(四) 安全/功能評估		
低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估		併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」進行

三、處置設施選址計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放選址作業資訊	105 年 10 月	提報選址作業資訊於 105 年 10 月 11 日提報 105 年第 3 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁
	106 年 1 月	提報選址作業資訊於 106 年 1 月 11 日提報 105 年第 4 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁

四、民眾溝通專案計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放選址地方溝通計畫	106 年 1 月	彙整地方公眾溝通紀錄

五、低放處置替代應變方案

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究	105 年 12 月	完成放射性廢棄物最終處置應變方案之投資可行性研究報告送經濟部審查/台電公司已依計畫時程提送審查

本階段依「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」規劃時程，應辦理項目之執行現況及改善說明於第五章、綜合檢討與建議中列表說明。

第二章 處置技術建置計畫

有關處置技術建置計畫之時程規劃，因主辦機關尚未選定候選場址，致後續相關任務包括處置技術建置之時程均需調整。台電公司已提送「低放射性廢棄物最終處置計畫(105年修訂3版)」尚待主管機關審核，目前則仍暫時延用「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」所規劃之時程，圖示如下：

識別碼	任務名稱	工作月	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
			H1	H2										
1	候選場址選定													
18	辦理地方性公民投票	17	■											
19	核定候選場址	2			■									
20	實施環境調查與環境影響評估	30			◆									
21	提出環境影響說明書送審	15			■									
22	提出環境影響評估書送審	15					■							
23	環境影響評估審查通過	-									◆			
24	辦理投資可行性研究及核定場址	25.5			◆									
25	辦理投資可行性作業(含初步安全評估)	24			■									
26	投資可行性報告陳報經濟部	-									◆			
27	陳報行政院核定場址及投資計畫	1									■			
28	行政院核定場址及辦理公告	0.5									■			
29	土地取得(含前置作業)	44			◆									
30	前置調查作業	12			■									
31	土地取得	12									■			
32	民眾溝通	171	◆											
33	民眾溝通	171	■											
34	場址精查、細部設計與安全分析	26			◆									
35	場址精查、細部設計與安全分析	26			■									
36	處置技術建置	96	◆											
37	廢棄物特性研究	60	■											
38	場址調查評估	24	■											
39	工程障壁材料調查研究	63	■											
40	安全/功能評估	84	■											
41	建造執照及相關執照申請與審查	27			◆									
42	建造執照及相關執照申請文件準備	15			■									
43	審查作業	12					■							
44	核發建造執照	-									◆			

目前低放射性廢棄物最終處置計畫仍屬選址階段，國內低放射性廢棄物處置場址概念設計規劃與初步安全評估技術已具雛形，後續將持續逐步精進所需技術與相關考量項目。

一、過往執行成果重點

低放處置計畫相關工作成果表列如下：

工作項目	辦理情形	成果
廢棄物接收規範	已完成廢棄物接收規範(0版)，並於97年6月6日奉主管機關備查。	將持續精進更新，配合處置場設計作業之執行，進行相關細節之修訂與增訂。
低放射性廢棄物最終處置設施概念設計	台電公司已於102年8月底前完成「低放射性廢棄物最終處置設施概念設計(C版)」報告更新版及自主管理審查，更新內容包括處置場接收廢棄物總活度與數量更新、重裝容器之廢棄物特性分析及重裝容器之處置概念設計更新等。	將持續精進更新，本報告已併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案執行。
低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估	台電公司已於102年8月底前完成「低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估(C版)」報告更新版及自主管理審查，更新內容包括處置場接收廢棄物數量更新、原安全分析成果更新、重裝容器之廢棄物特性分析等。	將持續精進更新，本報告已併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案執行。
低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫	「低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫(修訂6版)」已於105年4月14日主管機關物三字第1050000878號函同意備查。	「低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫(修訂6版)」已於105年4月14日獲主管機關同意備查，作為各相關技術發展計畫之品保作業依據 將每年定期檢討，若有修正時，將送主管機關審查，未來將於106年4月重新辦理檢討送物管局核備
低放射性廢棄物處置關鍵核種篩選報告	獲主管機關100年4月12日物三字第1000001063號函同意備查。	已備妥可應用，已將其成果納入「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」報告，後續將依主管機關第130次放射性物料管制會議議案720決議，重新檢視修正「關

		鍵核種篩選報告」，規劃於106年9月完成初稿
--	--	------------------------

有關台電公司過去(至105年8月)已完成之低放處置相關研究發展案表列如下：

計畫名稱	起迄年度	研究成果摘要
建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類	87.12~88.9	參考美、日核能先進國家法規與技術經驗，同時依物管局發函實施之「低放射性廢料分類補充規定」，衡量國內低放射性廢料產生、處理、貯存現況，研擬規劃作為日後履行法規及執行技術之藍圖，為未來低放射性廢料分類、最終處置建立執行模式。
建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類	91.2~94.12	本計畫內容涵蓋電腦篩選廢棄物源代表桶、蘭嶼貯存場大規模開蓋取樣計測廢棄物桶、核種放射化學分析、國內首座檢整廢棄物桶，並利用 Excel 試算表進行廢棄物桶的分類試算，建立諸多方法與技術經驗。
蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度評估計算與分類資料庫建立（第一期）	97.1~99.1	蘭嶼貯存場貯放早期產生之固化廢棄物，因核種資料欠缺或不完整，無法依法規要求進行分類，需配合檢整作業，完成整桶加馬活度計測、廢棄物桶分類。第一期完成 19,785 桶之核種分析及分類。
微生物對低放射性廢棄物最終處置之水泥固化體及工程障壁分解效應定量評估	97.12~99.12	本研究針對台灣之海島氣候環境，在微生物對低放射性廢棄物 (LLRW) 處置之水泥固化體及廢棄物桶材等工程障壁的分解效應進行量化評估，瞭解微生物對水泥固化體與廢棄物桶材之生物降解效應，以建立微生物對本土 LLRW 處置場工程障壁穩定性功能評估參數。
低放射性廢棄物最終處置射源項管理系統	98.11~100.11	參考 IAEA 標準與物管局建議規範，及配合最終處置場設計與功能評估工作需要，完成台電公司低放射性廢棄物相關單位(包括核一廠、核二廠、核三廠以及核後端處)資訊管理系統的建置，建立符合國內現況的低放射性廢棄物整合資料庫，可方便操作提高

		管理工作效率，以期順利完成申請建造執照作業。
低放射性廢棄物最終處置潛在場址特性資料分析管理系統規劃建置與應用	100.1~101.4	本計畫主要是利用已完成之相關研究與調查報告，建立符合物管局建議所需之場址地質調查技術及參數資料庫。為因應未來低放射性廢棄物最終處置候選場址選定後，適時銜接場址調查作業之準備。所建立之資料庫包含：地質資料庫、文件搜尋與管理系統設計與建置、地質資料 GIS 系統、三維地質模型建置分析與評估及展示系統等。
低放射性廢棄物難測核種分析技術精進	100.1~102.1	本計畫配合目標核種適合儀器之前處理技術開發及改良，搭配不同放射性核子儀器度量技術，進行方法開發、測試及實際樣品分析，並作相互比較以確認方法正確性及結果可信度，可應用於低放射性水泥固化體分析。
蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度評估計算與分類資料庫建立(第二期)	99.1~103.1	本計畫完成蘭嶼貯存場水泥固化桶、重新固化桶、柏油固化桶及固化重裝容器之分類工作，及建立蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度計算與分類結果電腦資料庫。
耐 100 年結構完整性之混凝土處置容器研究	99.9~102.9	本計畫以建立混凝土品質檢驗技術、耐久性評估技術、模具拆裝設計、容器結構完整性檢驗技術、混凝土雙軸式攪拌系統工程設計與建造能力，以及容器製作，達成一般容器使用申請及耐 100 年結構完整性之混凝土處置容器使用申請為主要工作成果。
低放射性廢棄物最終處置工程障壁中緩衝回填材料調查評估技術服務工作	102.1~104.1	本計畫完成後，可瞭解國際現有低放處置場之工程障壁材料之力學及化學等特性；並得到台灣本土可作為工程障壁材料之料源調查結果，提出適合台灣低放射性廢棄物最終處置場之工程障壁材料種類、力學、化學及回填材料與緩衝材之配比結果。
低放射性廢棄物潛在場址之微生物核種吸附與工	101.8~104.8	本工作計畫預期可就本土海島氣候環境，建立建議候選場址之本土微生物資料，進行微生物影響安全性評估。包括取得建議候選場

程障壁腐蝕安全影響評估		址之本土微生物、測試其對核種之吸附能力、於緩衝材料中之生長能力、對低放射性廢棄物水泥固化體及廢棄物桶等工程障壁之分解效應，以評估對低放射性廢棄物最終處置建議候選場址之使用年限安全穩定性及可能造成環境影響之衝擊性。
低放射性廢棄物最終處置設施功能評估	102.8.9~105.7.23	本案工作目標為對於放射性核種在低放處置設施近場混凝土障壁及緩衝回填材料，遠場處置母岩及地質圈所形成之多重障壁系統中的傳輸途徑，進行整體分析研究，進而評估生物圈所接收的輻射劑量與風險，以確保低放射性廢棄物最終處置場設立不會對周圍生物圈造成輻射影響。

台電公司執行中計畫前階段(105年2月至105年7月)執行成果重點表列如下：

計畫名稱	全案期程	工作成果概要
低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估	103.9~107.6	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依據主管機關於104年10月29日召開之「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(104年版)」審查會議紀錄決議事項一「處置技術建置計畫請每年自主檢討內容，若未涉及重大內容變更，則請保留檢討紀錄備查。」於105年2月24日完成「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(105年)」初稿，並辦理自主審查。 2. 105年3月4日完成「場址特性調查」、「處置設計與工程技術」及「安全評估」等3本技術支援報告，並於105年3月完成此技術支援報告國內同儕審查。 3. 完成「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」(英文版)，並於105年5月9日至13日進行「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」國際同儕審查。
低放射性廢棄物	103.12~105.12	主要為針對核電廠低放固化桶之難測核種比

資料庫系統精進案		例因數計算機制進行精進，並持續進行新資料庫之建置作業。
----------	--	-----------------------------

台電公司依主管機關審查「低放射性廢棄物最終處置 105 年度工作計畫」之審查意見，於 105 年 3 月 4 日完成「場址特性調查」、「處置設計與工程技術」及「安全評估」等 3 本技術支援報告，委請核能學會主辦「技術支援報告國內同儕審查」，並邀請場址特性、工程設計與安全分析領域之專家，於 105 年 3 月協助審查，審查結果詳執行成果摘錄。

亦完成「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」(英文版)，邀請美國、法國和日本等國際上具有低放射性廢棄物處置經驗之專家，於 105 年 5 月 9 日至 13 日進行「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」國際同儕審查，藉由評審小組的經驗與專業知識，就場址調查、工程設計、施工興建、營運、封閉與監管等階段之技術準備提出意見與建議，審查結果詳執行成果摘錄。

二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

台電公司本階段(105 年 8 月至 106 年 1 月)執行工作，主要為依據主管機關於 104 年 10 月 29 日召開之「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(104 年版)」審查會議紀錄決議事項「處置技術建置計畫請每年自主檢討內容，若未涉及重大內容變更，則請保留檢討紀錄備查。」完成自主審查，並於 105 年 11 月 24 日完成「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(105 年)」(定稿本)；及依第 125 次放射性物料管制會議第 675 議案，於 105 年 5 月 9 日至 13 日辦理「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」國際同儕審查，並依審查意見修訂該報告，另依據物管局 103 年 12 月 12 日召開「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD2016)章節架構」討論會議之決議事項(三)「…台電公司於報告完成後，應提出精簡版報告」，台電公司已於 105 年 12 月 28 日提報「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」及其精簡版報告。並持續辦理近年所規劃之低放處置技術相關研究發展案，包括：

1. 整合性計畫

「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」

2. 廢棄物特性研究

「低放射性廢棄物資料庫系統精進案」

前述各項計畫內容說明如下：

(一) 低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估

本案工作目標為針對我國低放射性廢棄物最終處置之廢棄物特性、場址特性調查、處置設施設計、設施營運、封閉監管與安全分析等處置相關工作項目，說明我國設置低放射性廢棄物最終處置設施所需之各項技術能力，完成「低放射性廢棄物處置技術評估」，並藉由國際同儕審查，提升處置技術評估之公信力，強化民眾與各界對於我國建置低放射性廢棄物最終處置設施之信心。

本案工作內容，主要將針對國內兩處建議候選場址，基於我國低放射性廢棄物最終處置相關法規規範及對於確保低放射性廢棄物最終處置場安全所進行之相關研究與規劃成果，並參考國外低放射性廢棄物處置技術與經驗，進行處置各項相關技術發展整合規劃與評估，應執行規劃與分析之工作項目包含：

1. 低放射性廢棄物種類與特性彙整分析
2. 場址特性與調查規劃
3. 處置設施概念設計
4. 處置場興建、營運與封閉作業規劃
5. 低放最終處置安全分析技術評估作業
6. 低放最終處置技術評估
7. 技術綜合評估與精進方向
8. 進行國際同儕審查作業

本案於 103 年 6 月辦理招標公告，103 年 9 月完成議價、決標。本案工作初期先就兩處建議候選場址之既有調查文獻資料，訂定各場址之特性參數，及依兩處建議候選場址特性研擬場址特性調查計畫，與檢討精進該兩處場址之概念設計，確保安全構想，說明其設計考量與設施功能、材料特性，以及其在確保長期安全性之考量與設計要求。另，為因應主管機關要求本案應彙整各相關技術報告為 3 種領域之技術支援報告及檢視更新關鍵核種篩選報告等相關意見，本案於 105 年 2 月辦理契約變更並延長工期至 107 年 6 月。

本階段(105 年 8 月至 106 年 1 月)之工作，主要為撰寫「國際同儕審查報告」及依據國際同儕審查意見與結果修訂「低放射性廢棄物最終處置技術評估(LLWD2016)」中、英文版報告，並於 105 年 12 月 28 日提報物管局「低放射性廢棄物最終處置技術評估(LLWD2016)報告」及其精簡版報告。本案至 106 年 1 月底已完成全案約 77.44%，工作項目及進度皆符合原訂目標。

(二) 低放射性廢棄物資料庫系統精進案

本案工作目標為依據「低放射性廢棄物最終處置計畫」需求，彙整低放射性廢棄物射源項相關資料(如放射源組成與分類計算結果等)並建立功能完備之低放射性廢棄物資料庫，以作為安全分析的基礎及配合最終處置場或替代/應變方案各階段的設計與功能評估工作。

本案工作內容，主要為本公司低放固化桶之分類計算精進，以及強化原有資料庫功能，包含提升資料即時性、納入貯位資料與整桶計測資料、修訂電廠難測核種比例因數計算機制等相關資料庫精進，完成「低放射性廢棄物資料庫系統」。本案主要工作範圍如下：

1. 精進蘭嶼貯存場固化廢棄物桶之核種分類計算方式。
2. 精進核電廠廢棄物桶之難測核種分類計算方式。
3. 查對核電廠與蘭嶼貯存場之固化廢棄物桶分類計算結果
4. 彙整核電廠與蘭嶼貯存場之固化廢棄物桶貯存位置資料。
5. 建立資料庫之即時更新環境。

6. 更新「低放射性廢棄物資料庫」功能，納入資料檢核制度，提升資料正確性。
7. 辦理「低放射性廢棄物資料庫」操作教育訓練。

本階段(105年8月至106年1月)之工作，主要為會同各電廠針對初步完成的新資料庫進行各項功能測試，完成兩階段測試作業後依據測試作業結果進行資料庫功能調整，並於105年底分赴各電廠進行新資料庫操作教育訓練。本案於103年12月17日完成決標，工期至105年12月16日為止，各項工作進度皆符合原訂目標，目前正進行本案期末驗收作業，待驗收完成後，新資料庫將正式啟用。

(三) 低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫

低放專案品質保證計畫本階段(105年8月至106年1月)工作計畫執行檢討如下：

1.本品保計畫係適用於「規劃階段」，而低放處置計畫目前仍是處於此階段，故本品保計畫仍適用。

2.主辦部門於執行低放處置計畫時，皆能依循本專案品質保證計畫，確保作業品質；本階段辦理公司內部稽查，提出3項建議事項，均已於105年9月底前完成改善。

3.本品保計畫已依第2章規定每年檢討1次，並依據物管局意見修訂完畢，修訂第6版物管局已於105年4月14日以物三字第1050000878號函同意備查，未來將於106年4月重新辦理檢討送物管局備查。

三、執行成效、檢討及下階段工作要項

本階段工作執行成效與檢討：

計畫名稱	執行成效與檢討
低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規	本計畫於本階段(105年8月至106年1月)依據國際同儕審查意見與結果修訂「低放射性廢棄物最終

劃與評估	處置技術評估(LLWD2016)」中、英文版報告，並於105年12月28日提報物管局「低放射性廢棄物最終處置技術評估(LLWD2016)報告」及其精簡版報告。及撰寫「國際同儕審查報告」。
低放射性廢棄物資料庫系統精進案	<p>本計畫目標為建立台電公司低放射性廢棄物固化桶資料庫系統，確保資料的即時性與正確性，提供詳細判定各核能電廠及蘭嶼貯存場各類低放射性廢棄物固化桶之數量及貯存位置，以利將來低放射性廢棄物之最終處置工作推展。</p> <p>目前本計畫之主要工項，包含本公司低放固化桶之分類計算精進、資料庫功能強化等作業，皆已完成，俟本案期末驗收作業於近期完成後，新資料庫便會正式啟用。</p>
低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫	本階段辦理公司內部稽查，就「低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫」提出3項建議事項，均已於105年9月底前完成改善。

台電公司下階段(106年2月-106年7月)，主要將持續辦理現階段執行之各項計畫，並將依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之規劃辦理相關技術精進作業。

第三章 處置設施選址計畫

低放射性廢棄物最終處置計畫於選址過程中，應執行之工作內容包括選址公投、場址調查及環境影響評估等工作。本階段(105年8月至106年1月)因尚無法辦理選址公投，未能選定候選場址，致相關後續作業仍無法執行。

一、過往執行成果重點

場址設置條例於95年5月24日公布施行後，主辦機關經濟部依條例第6條規定會商主管機關同意，於95年7月11日指定台電公司為選址作業者，依條例規定選址作業者須提供選址小組有關處置設施選址之相關資料，並執行場址調查、安全分析、公眾溝通及土地取得等工作，台電公司並配合主辦機關辦理選址相關事項及依條例第20條規定接續辦理原依放射性物料管理法等相關法規執行低放射性廢棄物最終處置計畫之選址工作。

場址設置條例第7條規定「選址小組應於組成之日起六個月內，擬訂處置設施選址計畫，提報主辦機關」，台電公司作為選址作業者乃依經濟部指示於95年10月31日研提「低放射性廢棄物最終處置設施場址選址計畫」草案陳報經濟部國營會，送請選址小組審查，並遵照選址小組審查意見於95年12月28日將修訂之選址計畫草案再送國營會，經濟部續於96年1月25日召開選址小組第2次委員會議進行討論，台電公司遵照委員意見修訂完成選址計畫，由選址小組依前述規定提報主辦機關經濟部，經濟部則於96年3月21日將選址計畫刊登於行政院政府公報並上網公告1個月，並經會商主管機關及相關機關意見後，核定於96年6月20日生效。

經濟部依據場址設置條例完成選址計畫公告與核定後，選址小組則依據場址設置條例與選址計畫，以台灣全部地區為範圍進行潛在場址篩選，首先依據場址設置條例第4條規定及原能會發布之「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」與其他法規規定之禁止與限制開發條件，篩選出符合之可能潛在場址，再由選出之可能潛在場址依環境接受度、接收港條件、陸運環境、處置場設施所需空間、特殊地質條件以及處置方式等因子進行評量，評選出較佳之可能潛在場址。台電公司除提供選址小組前述有

關處置設施選址之相關資料外，並執行選址小組 96 年 10 月 23 日第 4 次委員會議初步同意之可能潛在場址其地球化學條件(地下水體氫離子濃度指數與地質介質對鈷及銻之分配係數)調查及分析，以作為選址小組票選潛在場址之參考依據。

主辦機關經濟部於 97 年 8 月 19 日召開選址小組第 8 次委員會議票選潛在場址，選址小組針對評量較佳之可能潛在場址，再考量相關因子評量結果後，順利票選出「臺東縣達仁鄉」、「屏東縣牡丹鄉」及「澎湖縣望安鄉」等 3 處潛在場址，並將票選結果提報經濟部，經濟部於 97 年 8 月 29 日核定公告。

台電公司續依經濟部規劃之選址作業期程，積極辦理建議候選場址遴選作業相關配合工作，如配合辦理選址小組委員於 98 年 2 月 9、10 日赴臺東縣達仁鄉、屏東縣牡丹鄉等 2 處潛在場址現勘及依 98 年 1 月 20 日選址小組第 10 次委員會議結論修訂「建議候選場址遴選報告」，於 98 年 2 月 13 日完成「建議候選場址遴選報告(修訂版)」供選址小組委員參考，選址小組於 2 月 20 日召開第 11 次委員會議，票選結果建議以「臺東縣達仁鄉」與「澎湖縣望安鄉」為建議候選場址，台電公司並依票選結果及該次會議決議完成「建議候選場址遴選報告」定稿本送選址小組委員確認，選址主辦機關經濟部於 98 年 3 月 17 日依法將「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列 30 日(期間自 98 年 3 月 18 日起至 4 月 16 日止)。

公告期間經濟部共收到各界意見 140 件，其中有條件贊成者 1 件、涉及法律層面意見者 4 件、不具理由反對者 37 件及具理由反對者 98 件。主管機關原能會於 98 年 5 月 25 日發函經濟部洽前述各界意見之答覆情形，並請經濟部將各界意見答覆初稿會商相關機關，經濟部於 6 月 1 日函復原能會將督導台電公司積極辦理，故後續台電公司依據經濟部彙整各界意見之來函，研擬答覆初稿於 6 月 18 日函復國營會轉陳經濟部。經濟部於 7 月 9 日將各界意見會商主管機關原能會及相關機關，另指示台電公司研擬答覆原能會對建議候選場址遴選報告各界意見答覆初稿之評議意見並修訂答覆初稿內容，台電公司完成後於 7 月 30 日函復國營會轉陳經濟部。經濟部並於會商主管機關與各相關機關意見後於 11 月 12 日逐項答復意見採納情形。

台電公司於莫拉克颱風(98年8月8日)後，前往台灣本島東南部潛在場址與其他較佳可能潛在場址勘查，並於9月18日研提勘查評估報告陳報主管機關，經勘查確認場址範圍內未曾遭受地層崩塌滑動、侵蝕、洪水、土石流等災害，勘查評估結果顯示，前述場址地區環境相對穩定，並未受到豪雨之不利影響，場址評選時將地質、水文等因素納入考量，評估結果正確性獲得驗證。

經濟部原規劃於98年12月底前核定公告「建議候選場址」，惟因澎湖縣政府於98年9月15日公告將望安鄉東吉嶼大部分私有土地一併納入為「澎湖南海玄武岩自然保留區」，並經該管主管機關行政院農業委員會於9月23日核備。依「文化資產保存法」規定，該保留區禁止改變或破壞其自然狀態，造成僅存1處「臺東縣達仁鄉」場址之情況，嗣經經濟部函請原能會釋明應核定公告2處以上「建議候選場址」，方符合「場址設置條例」規定，致未能依原訂規劃期程於98年12月底前辦理核定及公告作業。經濟部於99年1月26日召開選址小組第12次委員會議，研商補足「建議候選場址」之處理方案，經委員決議將選址作業退回至潛在場址篩選階段重新辦理。後續選址小組於3月8日第13次會議，經檢視相關法規條文修訂及法規公告區域更動情形，確認其餘可能潛在場址仍符合資格，並同意新增1處較佳可能潛在場址；於5月31日召開第14次會議討論選址作業提報各較佳可能潛在場址之調查資料與評比說明，99年7月13、15日並至新增之較佳可能潛在場址勘查。

經濟部於99年9月1日召開選址小組第15次會議，經出席委員三分之二以上之投票同意，票選出「臺東縣達仁鄉」、「金門縣烏坵鄉」等2處潛在場址，經濟部並於9月10日公告。台電公司即就公告之2處潛在場址辦理場址遴選作業資料蒐集與彙整，並沿用或更新社經因素、場址環境因素與工程技術因素等評量因子之資訊，就各潛在場址特性進行評量，分析說明評估結果，並依100年2月25日選址小組第16次委員會議結論修訂「建議候選場址遴選報告」。經濟部續於3月21日召開選址小組第17次會議，經出席委員三分之二以上之投票同意，票選建議「臺東縣達仁鄉」與「金門縣烏坵鄉」為建議候選場址，台電公司則依票選結果及該次會議決議完成「建議候選場址遴

選報告」定稿本送選址主辦機關，經濟部於 100 年 3 月 29 日依法將「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列 30 日(期間自 3 月 29 日起至 4 月 27 日止)。

「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列期間，經濟部共收到 13 件(76 項)意見，其中具理由反對有 11 項，提出建議意見有 12 項，提出質疑意見有 53 項。台電公司依據經濟部彙整各界意見來函，研擬意見答復初稿於 100 年 5 月 23 日函復國營會，國營會於 6 月 1 日函示，鑒於日本福島核電廠事故後，社會各界關切核能安全議題，請台電公司就核安相關意見併同「核能電廠安全防護總體檢評估報告」重擬相關答復資料。台電公司遵照指示及參照「核能電廠安全防護總體檢評估報告」內容，補充相關答復資料於 100 年 7 月 8 日提報國營會，由國營會洽商主管機關與相關機關(包含選址小組票選建議之建議候選場址所在之地方政府)，至 101 年 2 月始獲得最後一機關之回復意見。經濟部參酌各機關回復意見，於 101 年 3 月 7 日正式答復各界對「建議候選場址遴選報告」所提意見，後續台電公司於 101 年 5 月 19 日陪同經濟部林前次長赴金門縣烏坵鄉現勘，並與烏坵鄉鄉長及當地居民溝通選址作業及後續公投工作，及於 101 年 5 月 8 日及 5 月 21 日陪同經濟部林前次長分別拜會臺東縣及金門縣地方首長，洽談有關核定公告建議候選場址相關事宜。國營會續於 101 年 5 月 24 日向經濟部長簡報低放選址作業核定公告建議候選場址議題，經濟部於 101 年 7 月 3 日核定公告建議候選場址。後續主辦機關於 101 年 8 月 17 日函請建議候選場址所在地方政府同意接受委託辦理公投選務工作。惟兩地縣政府分別於同年 9 月 26 日及 10 月 9 日函復對於選址公投尚有意見，均未同意接受委託辦理公投。

台電公司於 101 年 10 月 30 日提報「低放射性廢棄物最終處置 102 年工作計畫」送主管機關審查。主管機關於 101 年 11 月 27 日提出第 1 次審查意見，台電公司依據審查意見於 101 年 12 月 10 日研提修訂版函復主管機關，後續主管機關於 101 年 12 月 24 日召開「低放射性廢棄物最終處置計畫-102 年度工作計畫」審查會議，台電公司就會議紀錄及審查意見於 102 年 1 月 29 日研擬答復說明及計畫修訂 2 版提報主管機關，台電公司依據主管機關於 102 年 2 月 6 日就 102 年度工作計畫修訂 2 版函復之要求，應依 101 年 12 月 24 日之

審查會議決議事項，切實執行年度工作計畫，俾各項工作品質及成效能確保低放處置計畫依時程切實推動。該次會議決議有關請台電公司於 102 年 2 月底前提報充實低放最終處置專職人力之具體規畫部分，台電公司已於 102 年 2 月 22 日提報「最終處置專職人力具體規劃」送主管機關審查，主管機關於 2 月 27 日函復，請台電公司參酌國際處置專責機構之人力配置及規模，儘速加強充實，俾最終處置計畫依計畫時程切實推動。

台電公司依據國營會 101 年 12 月 17 日經國二字第 10100200630 號函，提報辦理選址公投選務工作所需人力、經費等資料，於 102 年 1 月 2 日送國營會。

台電公司於 102 年 2 月 26 日陪同經濟部梁政務次長等長官赴臺東縣達仁鄉建議候選場址現勘及簡報說明場址初步規劃設計(包括處置坑道佈置設計、低放廢棄物專用接收港配置設計、專用道路規劃設計、輔助區規劃與營運概念等)、場址地質等條件(包括處置區岩性及年代、斷層距離、地震與海嘯影響等)與周邊環境狀況。

台電公司於 102 年 3 月 4 日參加經濟部邀集原能會、內政部及中選會召開之「低放射性廢棄物最終處置設施場址公投評估研商會議」討論低放選址公投相關議題，但對於場址公投辦理方式尚未有具體結論，致處置計畫書之選址作業時程仍有不確定因素。台電公司爰提報修正處置計畫書，將主辦機關辦理之場址公投時程採浮動方式提報，惟未獲主管機關原能會同意。

台電公司於 102 年 10 月 29 日將 103 年度工作計畫提報主管機關審查，並於 102 年 11 月 14 日參加主管機關召開之「放射性廢棄物最終處置計畫-103 年度工作計畫」審查說明會會議簡報年度工作計畫內容。台電公司依據 103 年度工作計畫修訂二版及主管機關 102 年 11 月 18 日「放射性廢棄物最終處置計畫-103 年度工作計畫」審查說明會會議紀錄，與 102 年 12 月 26 日來函「低放射性廢棄物最終處置 103 年工作計畫」之審查結論辦理與選址計畫相關工作。審查結論其中有關「請強化處置計畫之「替代/應變」方案，並研提具體可行之方案。」部分，台電公司已於 102 年 10 月 1 日第 124 次放射性物料管制會議簡報「替代/應變方案」，並依第 125 次放射性物料管制會議紀錄，

「於送請經濟部審核及行政院民間與官方核廢料處理協商平台研討後，再行提報主管機關。」辦理相關簡報準備事宜。經濟部為順利推動低放射性廢棄物最終處置設施選址作業等業務，於 102 年 11 月 18 日以任務編組方式成立核廢料處理專案辦公室，主要負責辦理放射性廢棄物營運專責機構之籌設、研訂放射性廢棄物營運相關政策暨執行策略工作。台電公司於 103 年 1 月 24 日會同該專案辦公室赴物管局討論低放選址替代/應變方案。後續主管機關於 103 年 3 月 20 日第 126 次放射性物料管制會議第 661 議案決議「請台電公司妥善規劃本案，並於送請行政院民間與官方核廢料處理協商平台研討後，再行提報本局。」台電公司在經濟部核廢料處理專案辦公室督導下，準備行政院民間與官方核廢料處理協商平台第 4 次會議之簡報(低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案)。行政院原訂 4 月 30 日召開第 4 次協商平台會議，因民間團體召開記者會，聲明退出平台會議，故無法依據第 126 次會議決議辦理。

主管機關於 103 年 6 月 19 日召開第 127 次放射性物料管制會議，就第 661 議案決議「由於行政院民間與官方核廢料處理協商平台之後續運作尚難預測，請台電公司依第 124 次會議決議，於 7 月底前提報本局，提報之替代/應變方案，應有明確之規劃時程；可參考美國藍帶委員會(Blue Ribbon Committee, BRC)或台電公司高放處置計畫應變方案之作法。」台電公司依據此項決議，於 103 年 7 月 30 日以電核端字第 1038060805 號函向主管機關提出「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)第 10 章替代/應變方案之強化修正」後，主管機關於 103 年 8 月 12 日以物三字第 1030002133 號函，要求台電公司將前述替代/應變方案併入「低放射性廢棄物最終處置計畫書」，台電公司遂於 103 年 8 月 19 日以電核端字第 1030016757 號函將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」提報主管機關，並於 103 年 9 月 9 日獲主管機關核備。

台電公司已研定 105 年度溝通工作計畫，該計畫係規劃依照廣告文宣、議題管理、組織動員、調查研究、活動贊助、公益關懷等行動模組進行各類之行動方案。另，台電公司已協助主辦機關經濟部設置低放射性廢棄物最終處

置官方網站(<http://www.llwfd.org.tw>)，該網站已就世界上主要運用核能科技國家之成功經驗進行說明，並刊載低放平面文宣、宣導短片、場址動畫等文宣作為溝通工作推展之輔助資料，以釐清民眾疑慮與增強對處置工作之信心。

台電公司前階段(105年2月至105年7月)選址工作主要為依據「低放射性廢棄物最終處置105年度工作計畫(修訂2版)」及配合主辦機關經濟部，辦理公投之民眾溝通工作。

主管機關於104年12月25日依據立法院第8屆第8會期教育及文化委員會第11次全體委員會議議事錄，函請主辦機關經濟部與台電公司積極辦理低放射性廢棄物最終處置設施選址公投相關作業。台電公司依據國營會104年12月31日函示，於105年1月18日提出檢討說明，並參加經濟部105年3月24日召開公投專案檢討會議及配合經濟部辦理後續相關作業，安排次長拜會臺東縣與金門縣兩位縣長，主辦機關經濟部續於105年5月5日函請臺東及金門縣政府同意接受協助辦理法定低放場址地方性公民投票選務工作，金門縣政府於105年5月18日回函表示以「縣」公投決定其低放場址選址事務，似與「住民自決精神」相悖，故仍建議修法低放場址選址公投以鄉為範疇。臺東縣政府於7月29日函覆表示低放射性廢棄物最終處置設施場址乙案屬重大事項，須經議會審議，且該縣目前公投法制未備且未經議會審議，故無法協助辦理。

另，台電公司依據主管機關104年11月26日召開之放射性物料臨時管制會議紀錄決議事項1.(1)「台電公司應於105年3月底前提報低放處置計畫之強化執行措施，另應切實檢討修訂處置計畫書，依法持續進行選址作業」，於105年3月29日提送低放最終處置計畫之強化執行措施。主管機關則於105年4月12日發函要求台電公司「參酌強化執行措施內容，依據放射性物料管理法施行細則第36條第2項規定，敘明理由及改正措施，檢討修正低放射性廢棄物最終處置計畫，並於105年6月15日前提報。」台電公司考量選址公投時程仍具高度不確定性，重新審視時程規劃，將選址主辦機關經濟部依據「場址設置條條例」辦理選址作業之時程，與核定候選場址後之作業時程分

開規劃，於 105 年 6 月 15 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂三版)」，函請主管機關核備。

主管機關於 105 年 6 月 28 日函復審查意見，不同意時程規劃採浮動方式呈現，並要求「自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，擬具明確時程規劃。」台電公司考量選址作業現況，因新增法規與現行法規修訂將造成後續選址作業時程增加，以審查意見規劃選址時程，將不切實際。故僅參照其它意見修訂後，於 105 年 7 月 26 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂版)」提送主管機關審查。

二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

台電公司本階段依據低放射性廢棄物最終處置 105 年度工作計畫(修訂 2 版)，及配合主辦機關經濟部，辦理推動公投之民眾溝通工作。

有關處置計畫書修訂，主管機關 105 年 8 月 19 日會物字第 1050012237 號函審查意見，仍是不同意時程規劃採浮動方式呈現。台電公司考量選址作業現況，若依審查意見自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，即應於 105 年 10 月完成選址公投、場址調查、環境影響評估等任務，為不切實際之規劃，遂仍採浮動時程規劃於 105 年 9 月 14 日以電核能部核端字第 1050014781 號函提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 2 版)」。

後續主管機關於 105 年 10 月 5 日函復審查意見，要求台電公司於 105 年底前提報替代/應變計畫具體實施方案，並重新綜合檢討處置計畫時程後，併同提報低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)，台電公司考量選址作業現況，有關時程規劃仍維持修訂 2 版之規劃，並將替代/應變計畫具體實施方案納入「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)」，於 105 年 12 月 27 日以電核能部核端字第 1050018039 號函提報原能會。

針對替代/應變計畫具體實施方案，台電公司業已完成「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究報告」，並於 105 年 9 月 30 日函請經濟部國營會轉陳經濟部。國營會於 105 年 10 月 14 日函請台電公司就該報告釐清、補正相關資料後再報；另，主管機關原能會於 105 年 10 月 27 日就前開報告函送

意見予經濟部並副知台電公司，國營會爰於 105 年 11 月 2 日函請台電公司將原能會所提意見與該會前開 105 年 10 月 14 日函一併妥處。台電公司將遵照國營會指示辦理，將兩會所提意見一併妥處後，再將修訂後之報告陳報國營會。

台電公司依據主管機關 103 年 12 月 12 日召開之「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD2016)章節架構」討論會議之決議事項(三)「...台電公司於報告完成後，應提出精簡版報告」，於 105 年 12 月 28 日以核端字第 1058117804 號函，提報「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」及其精簡版報告，續依據台電公司於 106 年 1 月 6 日物三字第 1060000063 號函提出之程序審查意見，於 106 年 1 月 26 日以核端字第 1063061073 號函提報「場址特性調查」、「處置設計與工程技術」及「安全評估」技術支援報告及「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」上網版。

三、執行成效、檢討及下階段工作要項

現階段選址計畫主要工作為選址公投準備作業，因兩處建議候選場址縣政府尚未同意經濟部委託辦理公投選務工作，經濟部評估自辦公投確有困難事項待克服，致公投時程仍具有不確定性因素存在，台電公司除持續加強與縣政府、議會及地方民眾之溝通外，並依據「106 年度低放選址地方溝通工作計畫」進行公眾溝通。

第四章 民眾溝通專案計畫

一、選址溝通工作

「場址設置條例」於 95 年 5 月 24 日公布施行後，台電公司考量處置設施場址之產生須依地方性公投的結果來決定，於是成立「低放射性廢棄物最終處置場選址公投督導會報」，負責本項計畫重大決策之訂定，目前於總管理處核能後端營運處下成立「督導組」，負責規劃及推動選址公投溝通宣導事宜，並於建議候選場址所在縣設置「低放溝通宣導小組」，負責執行地方性溝通宣導工作。

台電公司為使民眾了解低放處置場設施之安全特性，以有效提升民眾對低放處置安全之信心，已製作有 2 種處置方式示意動畫及隧道處置之實體模型，應用於公眾溝通。該實體模型已擺設於台電公司核能三廠南部展示館，再配合 2 種處置方式之示意動畫播映，將有助於民眾瞭解處置概念與操作方式。

為提升建議候選場址所在鄉「金門縣烏坵鄉」及「臺東縣達仁鄉」民眾支持度，台電公司特針對地方民眾進行逐戶拜訪說明，使民眾充分了解低放射性廢棄物及選址相關資訊。

針對金門縣烏坵鄉，台電公司於 100 年 5 月 24 日至 6 月 3 日、100 年 9 月 15 日至 25 日、101 年 10 月 1 日至 15 日、102 年 9 月 1 日至 15 日、103 年 7 月 30 日至 8 月 16 日、104 年 4 月 15 日至 5 月 1 日及 105 年 5 月 1 日至 5 月 18 日 7 次登島，進行逐戶拜訪工作，支持度分別為 41%、54%、38%、30%、67%、65% 及 64%；因烏坵旅台鄉親甚多，故亦針對旅台家族成員進行座談以利說明低放公投事宜。

目前臺東縣達仁鄉已完成 6 輪逐戶拜訪工作，第一輪(99 年 1 月 11 日至 10 月 8 日)、第二輪(99 年 10 月 25 日至 100 年 4 月 22 日)、第三輪(100 年 8 月 1 日至 100 年 12 月 16 日)、第四輪(101 年 8 月 30 日至 102 年 2 月 8 日)、第五輪(102 年 7 月 22 日至 102 年 12 月 13 日)、第六輪(104 年 12 月 23 日至 105 年 1 月 30 日)，經深入耕耘，歷次民眾對設置處置場的支持度分別為 38%、

40%、57%、60%、61%及 61%，已有顯著提升。另場址所在達仁鄉之鄰近大武鄉，台電公司亦分別辦理逐戶拜訪工作，南興村(103 年 9 月 1 日至 103 年 10 月 2 日)、尚武村(103 年 9 月 9 日至 103 年 12 月 15 日)、大武村(103 年 10 月 13 日至 104 年 1 月 22 日)、大鳥村(103 年 12 月 15 日至 104 年 4 月 16 日)、大竹村(104 年 2 月 2 日至 104 年 4 月 9 日)。另達仁鄉之鄰近金峰鄉，分別為嘉蘭村(105 年 8 月 29 日至 105 年 11 月 30 日)、正興村(105 年 8 月 29 日至 105 年 9 月 30 日)、壠坵村(105 年 9 月 29 日至 105 年 10 月 31 日)、賓茂村(105 年 11 月 1 日至 105 年 11 月 30 日)、新興村(105 年 11 月 1 日至 105 年 11 月 30 日)及鄰近之太麻里村金崙村(105 年 11 月 1 日至 106 年 1 月 26 日)、北里村(105 年 12 月 1 日至 106 年 1 月 26 日)，為使民眾更了解設置處置場的必要性，台電公司將持續進行溝通宣導工作。

本階段(105 年 8 月至 106 年 1 月)在全國及建議候選場址所在縣辦理之溝通工作計畫表述如下：

***全國性—105 年 8 月-106 年 1 月**

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	低放處置或應變方案(短片、平面文宣、懶人包、四格漫畫、帽子、扇子)	105.8-106.1 本項製作於本期間完成辦理短片 2 式、平面文宣 2 式、懶人包、四格漫畫、帽子、扇子及三角桌曆相關廣告文宣物之製作驗收工作。	目前在金門及臺東地區利用辦理地方溝通說明會期間，適時播放前階段製作之遠景規劃宣導短片及發送立體書、漫畫式文宣等，均獲得當地居民認同，對台電公司低放溝通宣導方面達到良好效果。
調查研究	電話民調	105.8-106.1 本項電話民調已完成驗收工作。	本年度支持設置最終處置場之民調結果皆微幅上升。
組織動員	專家學者、民間團體拜會	本階段陸續就「建構核廢	增進社會大眾對

		料管理共識平台」議題進行專家學者、民間團體拜會工作，共拜會 2 個機關團體 3 場次。	台電公司的認知，並徵詢公民參與機制建立之意見。
--	--	---	-------------------------

***金門縣—105 年 8 月-106 年 1 月**

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	縣市應用製作物 (三角桌曆) 縣市廣播廣告 金門資訊中心	105.8-106.1 辦理 106 年低放選址業務宣導三角桌曆 1 式。 105.7.20-105.10.20 辦理金馬之聲廣播廣告。 105.8-106.1 本期間辦理金門資訊中心建物評估及空間配置設計工作。	透過媒體廣告及文宣發放，讓民眾對何謂低放射性廢棄物、處理及處置流程、低放射性廢棄物最終處置場安全概念及回饋項目更為了解。
組織動員	縣府及地方機關首 長拜會 議會議員拜會 村里說明會 機關團體說明會 逐戶拜訪 烏坵旅台鄉親家族	105.8-106.1 辦理 1 輪。 105.8-106.1 辦理 1 輪。 105.8-106.1 辦理 12 場。 105.8-106.1 辦理 14 場。 105.8-106.1 辦理金城鎮珠沙里及金寧鄉榜林村逐戶拜訪 204 人次。 105.10.22 辦理旅居高	1.對於縣市首長及鄉鎮長民代等由溝通小組採單獨拜會面對面方式報告建議候選場址篩選過程、何謂低放射性廢棄物及處理流程、低放射性廢棄物最終處置場安全概念及回饋項目，即時答覆疑問，建立溝通管道並尋求支持，蒐集建議作為訂定地方性溝通策略參考。 2.村里、機關社團及本處辦理之各項集會，以播放投影片方式說明宣導，並發放低放文宣、資料給現場參加人員，

	<p>說明會</p> <p>烏坵旅台鄉親參訪活動</p> <p>烏坵仕紳赴金門協助溝通</p> <p>製作業務宣導品(如茶葉禮盒、環保袋、環保筷等)</p>	<p>雄烏坵鄉親 1 場， 105.11.19 辦理旅居桃園烏坵鄉親 1 場。</p> <p>105.9.24 辦理旅居花蓮烏坵鄉親參訪銅門電廠 1 場。</p> <p>105.8-106.1 辦理 5 場。</p> <p>105.8-106.1 辦理 2 式</p>	<p>現場參加人員疑慮即時答覆、意見蒐集。</p> <p>3.烏坵鄉民溝通除以登烏坵本島說明以外，另旅台鄉親溝通方式，則以家族說明會，並透過參觀相關設施以瞭解鄉民看法及意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率。</p>
活動贊助	節慶、宗教、文化及體育等	105.8-106.1 辦理 9 場。	藉由金門地方人文活動，本處溝通小組為持續辦理低放選址宣導業務，特配合於活動期間安排辦理低放宣導，以擴大宣導層面與成效。

***臺東縣—105 年 8 月-106 年 1 月**

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	<p>縣市廣播廣告</p> <p>縣市燈箱廣告(航空站)</p> <p>縣市應用製作物 (三</p>	<p>本階段持續辦理委託廣播電台播放低放選址公投宣導廣告，其中包含正聲、臺東之聲、警廣、中廣及大寶桑，共 5 家廣播公司。</p> <p>全年持續辦理。</p> <p>105.8-106.1 辦理設計</p>	讓低放宣導擴及全縣每一角落，使更多的縣民了解低放處置之安全資訊。

	角桌曆)	106 年低放選址業務 宣導三角桌曆 1 式。	
組織動員	<p>縣府及地方機關首 長拜會</p> <p>議會議員拜會</p> <p>村里及社區發展協 會說明會</p> <p>機關團體參訪及說 明會</p> <p>臺東旅外鄉親參訪 及說明會</p> <p>製作業務宣導品</p>	<p>105.8-106.1 辦理 1 輪。</p> <p>105.8-106.1 辦理 1 輪。</p> <p>105.8-106.1 辦理 27 場。</p> <p>105.8-106.1 辦理 15 場。</p> <p>105.8.21 辦理達仁旅 高鄉親說明會 1 場， 105.11.13 辦理達仁旅 鶯歌鄉親說明會 1 場。</p> <p>105.9.26 辦理環保袋 採購 1 式。</p>	<p>1.對於縣市首長及鄉鎮 長等採面對面方式報 告建議候選場址篩選 過程及選址公投進 度，即時答覆疑問， 建立溝通管道並尋求 支持，蒐集建議作為 訂定地方性溝通策略 參考。</p> <p>2.村里及機關團體參訪 或說明會進行宣導工 作，說明場址篩選過 程、低放廢棄物之內 涵、處理及處置方 式、國外成熟技術經 驗、地方公投規定、 回饋經費與地方未來 願景。</p> <p>3.民眾及教會人士等輔 以核能設施參訪活 動，讓民眾正確認識 低放射性廢棄物，匯 聚足夠民意基礎及互 信感。</p>
活動贊助	節慶、宗教、文化及 體育等	105.8-106.1 辦理 5 場。	現場辦理低放處置宣 導，透過低放射性廢棄物 最終處置場未來設置的 藍圖和安全性之宣傳，以 降低民眾心中的疑慮和 提高相關設施之接受度。
公益關懷	急難救助及老人弱 勢	105.10.27 辦理完成發 放 12 場。	增進民眾對台電公司的 認知與好感，進而達到敦 親睦鄰的目標，提升公司 形象有所助益，俾利低放 選址公投作業之推展。

金門地區民風純樸，目前因政府政策利多，生活條件良好，對政府政策相當配合。對於金門地區，將使烏坵民眾的意願能適切傳遞予金門民眾，並透

過各種溝通管道，讓金門鄉親瞭解處置場的設置不但是支持政府的政策，還可以提供烏坵鄉民一個新的發展契機。另烏坵常住人口尚不及設籍人口之5%，烏坵鄉旅台鄉親仍列為溝通重點，溝通方式則以家族說明、個別拜訪及辦理電力活動營方式進行。另依據 102 年委託金門大學完成之烏坵鄉遠景規劃報告，持續與烏坵鄉民說明規劃辦理成果，以瞭解鄉民看法或意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率。

因 101 年 7 月烏坵鄉才被公告為「建議候選場址」，故金門地區的溝通作業啟動時程較晚，為加速溝通廣度，亦針對金門縣民眾編製宣導文宣，以夾報方式寄送。烏坵現仍為軍管地區，設籍人口卻漸增至 669 人(105 年 12 月)，惟除冬季收割紫菜時返鄉人口較多外，常住人口僅約 30 餘人，故仍須持續加強對旅台鄉親的溝通說明。

對於臺東地區之溝通工作，除針對全縣各鄉鎮(市)村里民辦理低放業務宣導說明會外，將持續辦理鄰近鄉之逐戶拜訪工作。臺東縣青壯人口離鄉率頗高，將持續辦理旅外鄉親選址溝通宣導座談會，使鄉民能增加對國家政策之了解。

未來工作將配合經濟部依據「場址設置條例」之作業期程，於相關場址所在縣進行溝通宣導工作，加強廣度及深度，主要策略目標為讓民眾了解民生用途的核能應用設備均會產生低放射性廢棄物，有必要在國內興建一處低放最終處置場，以加強低放選址公投的政策之正當性、增進社會大眾對政府及台電公司的信任感。

溝通宣導重點分為運用全國性媒體循序宣傳，尋求聚集全國民眾焦點，並形成正面輿論，普及低放射性廢棄物最終處置場公投資訊，推廣活動識別系統，加強與民代、公職、媒體、環團及意見領袖溝通，對於場址所在鄉及週邊鄉鎮持續深化溝通，爭取認同，並疏通反對聲浪。

另為因應經濟部尚未確定公投選址時程，台電公司已訂定「106 年低放選址地方溝通工作計畫」並據以執行中。期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

二、放射性廢棄物貯存所在地方溝通

(一) 蘭嶼貯存場溝通工作

台電公司自 79 年營運蘭嶼貯存場以來，均持續辦理敦親睦鄰之公眾溝通活動，本階段(105 年 8 月至 106 年 1 月)之敦親睦鄰業務及業務宣導活動，羅列如下：

1. 敦親睦鄰

(1) 急難救助

補助蘭嶼鄉民赴島外轉診就醫，扶助無人照料長者、弱勢家庭及殘障貧病鄉民，並致贈慰問金，105 年 8 月至 106 年 1 月之轉診醫療補助，共發放 402 人次，補助金額共計約 105.6 萬元；專案補助共發放 16 人次，補助金額共計約 5.5 萬元。

(2) 獨居老人及弱勢家庭持續關懷

對蘭嶼鄉之弱勢群體，除財物上之補助外，亦自生活中給予陪伴、慰問，以做到持續關懷。105 年 8 月至 106 年 1 月完成關懷人數為 324 人次。

(3) 襄助地方事務

於本場人力資源範圍內，量能襄助鄉政運作及協助地方事務，協助鄉民吊卸船隻及搬運大型建材物料。105 年 8 月至 106 年 1 月完成協助鄉民吊卸船隻、物料 70 件。

(4) 公益關懷

台電公司聘用自蘭嶼招募之 6 位部落服務員，投入各部落服務，主動關懷社區各項需求，主辦或協辦部落體育文康及民俗節慶各項活動。105 年 8 月至 106 年 1 月貯存場主辦活動有「蘭嶼鄉民全身計測活動」、「105 年度中秋節歌唱比賽暨業務宣導晚會」、「獨居老人暨弱勢家庭持續關懷計畫」、「低放貯

存安全業務宣導參訪活動」等活動，並配合蘭嶼鄉公所、地方機關及民間立案社團辦理「105 年臺東縣蘭嶼鄉海洋盃第六屆拼板舟競賽暨傳統舞蹈比賽」、「105 年度第三十一屆蘭嶼旅台青年雙十節籃球排球聯誼賽活動」等全鄉性活動，並於中秋節慶、跨年及蘭嶼鄉傳統文化節慶時期受邀參與活動。

(5) 睦鄰補助

補助並參與機關、學校及社團辦理地方藝文、民俗節慶及具地方文化特色活動，如補助居家關懷協會辦理「105 年度九九重陽節敬老活動」及「105 年聖誕節報佳音暨傳唱文化歌謠送愛到部落活動」、椰油社區發展協會辦理「105 年主委盃慢速壘球錦標賽」及「105 年度臺東縣 C 級壘球裁判講習活動」、文化創意發展協會辦理「蘭嶼鄉獨居老人義剪活動」、婦女防火宣導協會辦理「106 年用火用電安全暨節能減碳宣導活動」等活動。105 年 8 月至 106 年 1 月補助總額共計約 10 萬 8 仟元。

2. 宣導與溝通

- (1) 接待鄉民、民間團體、機關單位蒞場參訪，主動積極邀請蘭嶼鄉民蒞場參訪，說明貯存場目前之業務狀況，並於參訪結束後召開座談會回答鄉民之疑問。105 年 8 月至 106 年 1 月共計接待約 2,014 人(含自台灣參訪之遊客)。
- (2) 自 101 年 9 月擴大辦理「蘭嶼鄉全體鄉民全身計測活動」，除全身計測外，亦安排相關生態、文化學習等富教育意涵相關活動行程，俾利蘭嶼鄉之觀光發展，105 年 8 月至 106 年 1 月已辦理計約 725 人次。
- (3) 核後端處招募自蘭嶼鄉 6 個部落之部落服務員共 6 位，除協助社區服務工作，亦協助相關業務之說明宣導，並陪同台電人員拜訪地方人士。
- (4) 核後端處同仁每月發行 500 份「蘭嶼貯存場敦親睦鄰花絮」，宣導相關業務、核後端處主辦或協辦之活動、急難救助報導等，並由部落服務員至各社區挨家挨戶發送，截至 106 年 1 月止共發行 66 期。

(二) 各核電廠之溝通工作

各核能電廠內均有貯存放射性廢棄物，台電公司亦不斷利用各種管道向當地鄉民溝通宣導貯存設施之安全性，目前核一廠主要就乾式貯存議題進行溝通宣導，核二廠亦就乾式貯存議題進行溝通宣導，核三廠則就放射性廢棄物及核能安全等核能相關議題進行溝通宣導，茲將核三廠對地方溝通說明活動與核能安全、放射性廢棄物有關者表列如下：

核一廠、核二廠：無低放射性廢棄物議題之溝通工作

核三廠：

編號	執行民眾溝通工作項目	目的	執行成效	備註
1.	恆春鎮大光國小	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	
2.	恆春鎮水泉國小(龍泉分校)	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	
3.	恆春鎮僑勇國小(3 梯次)	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	
4.	恆春鎮恆春國小(8 梯次)	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	
5.	恆春鎮瑯嶠老人會	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	
6.	恆春鎮早覺會	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	
7.	屏東縣議會李志偉縣議員及服務處	回饋金應用範圍及低放廢棄物議題	良好	
8.	屏東縣縣長特別助理-張清彬	回饋金應用範圍及低放廢棄物議題	良好	
9.	立法院莊瑞雄委員服務處主任等	回饋金應用範圍及低放廢棄物議題	良好	
10.	恆春鎮公所	回饋金應用範圍及低放	良好	

編號	執行民眾溝通工作項目	目的	執行成效	備註
		廢棄物議題		
11.	車城鄉公所	回饋金應用範圍及低放廢棄物議題	良好	
12.	滿州鄉公所	回饋金應用範圍及低放廢棄物議題	良好	
13.	恆春高級工商職業學校	環境生態及低放廢棄物處理議題	良好	

三、執行成效、檢討及下階段工作要項

在溝通過程中，民眾關心的事項，主要包括回饋金的分配與管理、地方遠景規劃、電力相關設施改善、處置場設置利弊、公投門檻及投票行政區域界定等。民眾意見均回饋至相關作業，以利達成處置場的選定。另於低放處置場址及基本設計確立後，將進行規劃製作低放處置設施 3D 數位展示模型，使民眾能更清楚了解處置場的配置及運作狀況。

對於臺東地區，除將辦理全縣各鄉鎮(市)村里民低放業務宣導說明會外，將持續辦理鄰近鄉之逐戶拜訪工作。臺東縣青壯人口離鄉率頗高，將持續辦理旅外鄉親選址溝通宣導座談會，使鄉民能增加對國家政策之了解。對於金門地區，將使烏坵民眾的意願能適切傳遞予金門民眾，並透過各種溝通管道，讓金門鄉親瞭解處置場的設置不但是支持政府的政策，還可以提供烏坵鄉民一個新的發展契機。另烏坵常住人口尚不及設籍人口之 5%，烏坵鄉旅台鄉親仍列為溝通重點，溝通則以家族說明會及個別拜訪之方式辦理，另並持續與烏坵鄉民在說明會時將烏坵鄉遠景規劃向鄉民進行說明，以瞭解鄉民看法或意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率。

未來工作將依據「場址設置條例」之作業期程，配合經濟部公告核定建議候選場址，於相關場址所在縣進行溝通宣導工作，加強廣度及深度。主要溝通策略目標為讓民眾了解民生用途的核能應用設備均會產生低放射性廢棄

物，有必要在國內興建一處低放最終處置場，以加強低放選址公投的政策之正當性、增進社會大眾對政府及台電公司的信任感。

溝通宣導重點分為運用全國性媒體循序宣傳，尋求聚集全國民眾焦點，並形成正面輿論，普及低放射性廢棄物最終處置場公投資訊，推廣活動識別系統，加強與民代、公職、媒體、環團及意見領袖溝通，對於場址所在鄉及週邊鄉鎮持續深化溝通，爭取認同，並疏通反對聲浪。

另為因應經濟部尚未確定公投選址時程，台電公司已訂定「106年低放選址地方溝通工作計畫」。期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

第五章 綜合檢討與建議

本階段工作計畫之執行進度，處置技術建置計畫部分，包括整合性計畫及廢棄物特性研究、安全/功能評估等項目，各子項工作均照年度工作計畫進度執行中。

有關處置設施選址計畫部分，台電公司依據低放射性廢棄物最終處置 105 年度工作計畫(修訂 2 版)及配合主辦機關經濟部辦理推動公投之民眾溝通工作，以及提報主辦機關例行之低放選址作業資訊，以期順利達成選址目標；另依據主管機關 103 年 9 月 9 日核備之「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」，於 104 年 9 月 3 日開始辦理「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究」案，於本階段持續辦理中，已於 105 年 12 月完成放射性廢棄物最終處置應變方案之投資可行性研究報告陳報經濟部審核。

有關民眾溝通專案計畫部分，因應經濟部尚未確定公投選址時程之不明確，台電公司已訂定「106 年低放選址地方溝通工作計畫」並據以執行中，期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

下階段(106 年 2 月至 106 年 7 月)工作，台電公司除持續辦理相關技術建置計畫及公眾溝通工作外，亦將積極配合主辦機關經濟部指示辦理選址計畫相關配合工作，並遵照主管機關指示辦理處置計畫相關準備工作，相關工作及執行計畫查核點表列如下：

一、處置技術建置計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
(一)整合性計畫		
低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估	106 年 2 月 ~106 年 7 月	每月工作月報彙整查核
	106 年 2 月	完成「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(106 年版)」(初稿)

(二)場址調查評估		
本階段相關工作併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案辦理。		
(三)工程障壁材料調查研究		
長期環境演化對膨潤土功能影響之定量分析試驗(暫定)	預計於 106 年開始辦理	
(四)安全/功能評估		
岩層裂隙與地下水傳輸模擬技術評估(暫定)	預計於 106 年開始辦理	

二、處置設施選址計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目
低放選址作業資訊	106 年 4 月	提報 105 年第 1 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁
	106 年 7 月	提報 105 年第 2 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁

三、民眾溝通專案計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
低放選址地方溝通計畫	106 年 7 月	地方公眾溝通紀錄

最終處置計畫現階段面臨之困難主要來自非技術性層面，調查評估工作之推動完成有賴地方民眾與民意機關之同意接受及各相關主管機關之配合支持。台電公司將持續戮力與地方民眾及相關機關等溝通說明，加強宣導處置場興建營運安全、繁榮地方建設及社會福利之遠景規劃，俾提高社會接受度，使選址作業順利。

附錄一、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫

105 年度執行成果摘錄

總目錄

- 壹、「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合案」
- 貳、「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估案」
- 參、「低放射性廢棄物資料庫系統精進案」

壹、 「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合案」

目錄

第一章 序論.....	1
1.1 低放射性廢棄物與來源.....	1
1.2 低放射性廢棄物處置簡介	2
1.3 國際低放射性廢棄物處置設施設計概述	3
1.4 國內低放射性廢棄物處置作法	5
1.5 我國低放射性廢棄物相關管理法規	7
1.6 國內低放射性廢棄物處置推動現況	8
1.7 計畫範疇與目標.....	8
1.7.1 計畫目標	8
1.7.2 低放處置安全技術評估方法	9
1.7.3 本報告之技術評估方法	10
第二章 低放射性廢棄物處置安全	11
2.1 低放射性廢棄物處置之運轉安全管理	11
2.2 低放射性廢棄物處置之長期安全功能	12
第三章 場址特徵化	15
3.1 場址特徵化分析工作概述	15
3.1.1 達仁鄉建議候選場址既有調查文獻彙整	16
3.1.2 烏坵鄉建議候選場址既有調查文獻彙整	17
3.2 達仁鄉建議候選場址特徵化	19
3.2.1 地質環境概念模型	19
3.2.2 水文地質概念模型	22
3.2.3 地球化學概念模型	27
3.2.4 生物環境概念模型	27
3.3 烏坵鄉建議候選場址特徵化	28
3.3.1 地質環境概念模型	28
3.3.2 水文地質概念模型	31
3.3.3 地球化學概念模型	36
3.3.4 生物環境概念模型	36
3.4 場址特徵化不確定性研判與調查規劃	37
3.4.1 場址特徵化不確定性來源	37
3.4.2 達仁鄉建議候選場址特徵化不確定性研判與調查計畫調整	37

3.4.3 烏坵鄉建議候選場址特徵化不確定性研判與調查計畫調整	39
第四章 處置設施概念設計與作業規劃	41
4.1 處置設施概念設計要求	41
4.1.1 處置設施規劃需求	41
4.1.2 工程障壁系統設計需求	42
4.1.3 處置設施封閉規劃需求	44
4.1.4 輔助區規劃需求	45
4.2 達仁鄉建議候選場址概念設計	46
4.2.1 處置設施與輔助區規劃	46
4.2.2 工程障壁系統設計	48
4.2.3 處置設施封閉設計	50
4.3 烏坵鄉建議候選場址概念設計	52
4.3.1 處置設施與輔助區規劃	52
4.3.2 工程障壁系統設計	53
4.3.3 處置設施封閉設計	55
4.4 階段作業時程與興建施工規劃	57
4.4.1 處置場選址與建造階段作業時程規劃	58
4.4.2 設施興建施工規劃	62
4.4.3 施工安全對策	64
4.5 運轉階段作業規劃	65
4.5.1 運轉基本作業流程	65
4.5.2 運轉階段之排水與防滲考量	69
4.5.3 輻射屏蔽考量	70
4.6 封閉階段作業規劃	72
4.7 處置場費用初估	73
第五章 最終處置安全分析技術模擬	75
5.1 建議候選場址之安全分析技術模擬	75
5.1.1 安全分析技術模擬之基本假設	75
5.1.2 低放射性廢棄物描述	75
5.1.3 處置系統描述	76
5.2 建議候選場址設計情節之安全分析技術模擬	78
5.2.1 參考演化發展	79
5.2.2 發展設計情節	82
5.2.3 分析模式與參數設定	86

5.2.4 設計情節分析結果	91
5.2.5 敏感度及不確定性分析	94
5.3 建議候選場址替代情節之安全分析技術模擬	102
5.3.1 發展替代情節	102
5.3.2 替代情節分析結果	103
5.3.3 敏感度及不確定性分析	104
5.3.4 人類入侵情節分析	107
第六章 綜合分析與結論	110
6.1 法規符合性分析	110
6.2 處置安全性分析	110
6.3 結論	112
國際同儕審查總結報告結論	114
技術支援報告國內同儕審查報告結論	115
參考文獻	117

表目錄

表 1.1-1	低放射性廢棄物預估總量	2
表 2.2-1	低放射性廢棄物處置設施安全功能需求與評估指標	13
表 3.1-1	場址特性項目與特徵模型	15
表 3.1.1-1	達仁鄉建議候選場址特徵模型參考文獻彙整	16
表 3.1.2-1	烏坵鄉建議候選場址特徵模型參考文獻彙整	17
表 3.2.3-1	達仁鄉建議候選場址地球化學環境演化	27
表 3.3.2-1	烏坵鄉建議候選場址地球化學環境演化	36
表 4.1.1-1	低放射性廢棄物最終處置設施法規需求	41
表 4.1.2-1	工程障壁各構件之安全功能需求及評估指標	43
表 4.5.3-1	輻射防護之法規依據及劑量限值	70
表 4.5.3-2	放射性廢棄物之表面劑量率及屏蔽厚度關係(處置窖) ..	71
表 5.1.2-1	A 類與 B、C 類低放廢棄物之核種濃度初始值設定表 ..	76
表 5.2.5-1	評估參數之不確定性來源評估及目前處理方式	94
表 5.2.5-2	金屬核種釋出率之影響(達仁鄉建議候選場址)	96
表 5.2.5-3	金屬核種釋出率之影響(烏坵鄉建議候選場址)	96
表 5.2.5-4	不同分配係數設定下對於劑量評估結果之影響(達仁鄉建 議候選場址)	98
表 5.2.5-5	工程障壁擴散係數之影響(達仁鄉建議候選場址)	99
表 5.2.5-6	工程障壁擴散係數之影響(烏坵鄉建議候選場址)	99
表 5.3.1-1	2 處建議候選場址分析情節之考量條件	102
表 5.3.2-1	各分析情節下之劑量分析總表(達仁鄉建議候選場址) ..	103
表 5.3.2-2	各分析情節下之劑量分析總表(烏坵鄉建議候選場址) ..	104
表 5.3.3-1	採用既有核種活度資料庫下之劑量評估總表(達仁鄉建議 候選場址)	105
表 5.3.3-2	不同母核種初始活度下之劑量評估結果比較表(達仁鄉建 議候選場址)	105
表 5.3.3-3	採用既有核種活度資料庫下之劑量評估總表(烏坵鄉建議 候選場址)	106
表 5.3.3-4	不同核種初始活度下之劑量評估結果比較(烏坵鄉建議候 選場址)	106

圖目錄

圖 1.1-1	低放射性廢棄物來源及活度衰變示意圖	1
圖 1.3-1	放射性廢棄物最終處置深度概念	4
圖 1.3-2	日本六個所村近地表低放處置場鳥瞰圖	4
圖 1.3-3	瑞典 SFR1 及 SFR3 中低放處置場立體透視圖	5
圖 1.4-1	低放射性廢棄物最終處置多重障壁概念圖	6
圖 1.7.2-1	安全論證核心架構示意圖	9
圖 1.7.3-1	低放射性廢棄物處置技術之關聯示意圖	10
圖 3.2.1-1	達仁鄉建議候選場址地體構造剖面圖	19
圖 3.2.1-2	達仁鄉建議候選場址地質環境模型示意圖	20
圖 3.2.1-3	海水面變化推演示意圖	22
圖 3.2.2-1	達仁鄉建議候選場址區域水文地質模型邊界與水文地質 單元示意圖	23
圖 3.2.2-2	達仁鄉建議候選場址區域地下水模型與流場	24
圖 3.2.2-3	達仁鄉建議候選場址上游山區質點追蹤流線圖	25
圖 3.2.2-4	達仁鄉建議候選場址尺度水文地質分界示意圖	26
圖 3.2.2-5	達仁鄉建議候選場址地下水模型與流場模擬示意圖	27
圖 3.3.1-1	烏坵鄉建議候選場址區域地質平面圖	29
圖 3.3.1-2	烏坵鄉建議候選場址地質環境模型	30
圖 3.3.2-1	烏坵鄉建議候選場址區域水文地質概念分區示意	32
圖 3.3.2-2	烏坵鄉建議候選場址區域水文地質概念分層示意	32
圖 3.3.2-3	烏坵鄉建議候選場址區域地下水數值模型網格	33
圖 3.3.2-4	大陸地區海水與淡水交界面	34
圖 3.3.2-5	烏坵鄉建議候選場址尺度水文地質分界示意圖	35
圖 3.3.2-6	烏坵鄉建議候選場址地下水模型與流場模擬示意圖	35
圖 4.2.1-1	達仁鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃 示意圖	47
圖 4.2.1-2	達仁鄉建議候選場址輔助區平面布置圖	48
圖 4.2.2-1	達仁鄉建議候選場址 A 類低放射性廢棄物處置坑道工程 障壁設計	49
圖 4.2.2-2	達仁鄉建議候選場址 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道 工程障壁設計	50
圖 4.2.3-1	達仁鄉建議候選場址封閉設計(1/2)	51

圖 4.2.3-1	達仁鄉建議候選場址封閉設計(2/2).....	51
圖 4.3.1-1	烏坵鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃 示意圖.....	52
圖 4.3.1-2	烏坵鄉建議候選場址輔助區平面布置圖.....	53
圖 4.3.2-1	烏坵鄉建議候選場址 A 類低放射性廢棄物處置坑道工程 障壁設計	54
圖 4.3.2-2	烏坵鄉建議候選場址 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道 工程障壁設計	55
圖 4.3.3-1	烏坵鄉建議候選場址封閉設計(1/2).....	56
圖 4.3.3-1	烏坵鄉建議候選場址封閉設計(2/2).....	57
圖 4.4.1-1	台東縣達仁鄉建議候選場址選址及興建作業流程圖.....	59
圖 4.4.1-2	達仁鄉建議候選場址各期施工內容及範圍.....	60
圖 4.4.1-3	金門縣烏坵鄉建議候選場址選址及興建作業流程圖.....	61
圖 4.4.1-4	烏坵鄉建議候選場址各期施工內容及範圍.....	61
圖 4.5.1-1	運轉期間基本作業流程.....	66
圖 4.5.1-2	達仁建議候選場址處置坑道運轉示意.....	67
圖 4.5.1-3	烏坵建議候選場址處置坑道運轉示意.....	68
圖 4.5.2-1	擋水遮罩設施概念示意.....	69
圖 5.1.3-1	台東縣達仁鄉建議候選場址地理位置圖.....	77
圖 5.1.3-2	金門縣烏坵鄉建議候選場址地理位置圖.....	78
圖 5.2.2-1	陸域生活型態之生物圈核種傳輸示意.....	86
圖 5.2.2-2	島嶼型地表生態系統核種傳輸示意.....	86
圖 5.2.3-1	A 類處置坑道放射性核種液體傳輸外釋途徑概念圖.....	87
圖 5.2.3-2	B、C 類處置坑道放射性核種液體傳輸外釋途徑概念圖	87
圖 5.2.3-3	GoldSim 整體評估數值分析模型	87
圖 5.2.3-4	達仁鄉建議候選場址粒子追縱監測點與其出流位置說明	90
圖 5.2.3-5	烏坵鄉建議候選場址粒子追縱監測點.....	91
圖 5.2.4-1	設計情節下之個人年有效劑量評估結果(達仁溪流域)...	92
圖 5.2.4-2	設計情節下之個人年有效劑量評估結果(塔瓦溪流域)...	93
圖 5.2.4-3	設計情節下之劑量評估結果(烏坵鄉建議候選場址).....	93
圖 5.2.5-1	設計情節之金屬廢棄物核種釋出率敏感度分析(達仁鄉建 議候選場址).....	97

圖 5.2.5-2 設計情節之金屬廢棄物核種釋出率敏感度分析(烏坵鄉建議候選場址).....	97
圖 5.2.5-3 設計情節之工程障壁擴散係數敏感度分析(達仁鄉建議候選場址).....	100
圖 5.2.5-4 設計情節之工程障壁擴散係數敏感度分析(烏坵鄉建議候選場址).....	100
圖 5.3.4-1 人類入侵情節下之個人年有效劑量評估結果(達仁溪流域).....	108
圖 5.3.4-2 人類入侵情節下之個人年有效劑量評估結果(塔瓦溪流域).....	109



第一章 序論

1.1 低放射性廢棄物與來源

國內低放射性廢棄物來源包括核能發電廠與小產源(醫學、農業、工業、教學、研究等)兩大產源類別，依其產生之作業方式，可再分為運轉廢棄物與除役廢棄物。

廢棄物依其類型會採用不同的處理方法，包括：濃縮、減容、安定化與固化等處理方式，再裝入盛裝容器中貯存。由於核種具衰變特性，因此其放射性活度會因為核種衰變而隨著時間逐漸下降，如圖 1.1-1 所示。

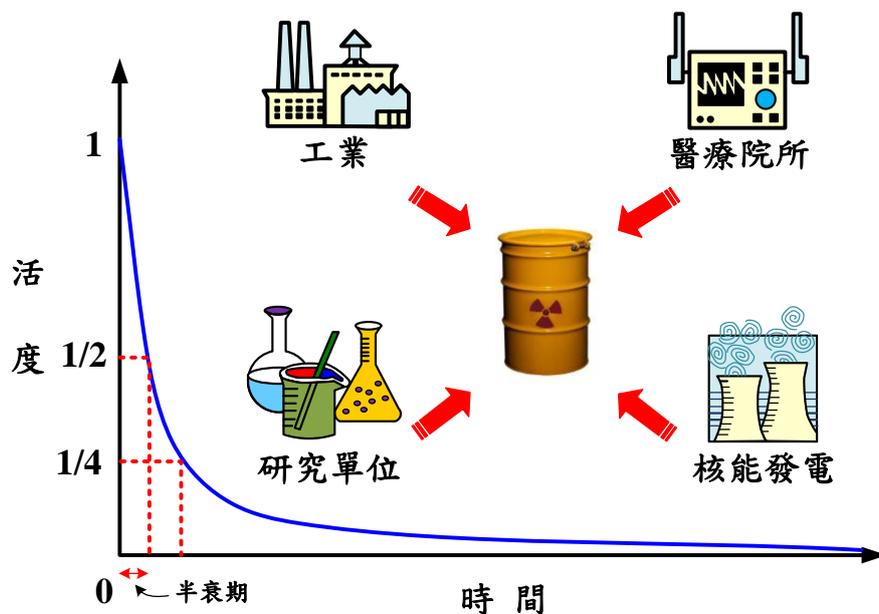


圖 1.1-1 低放射性廢棄物來源及活度衰變示意圖

以核能電廠放射性廢棄物營運管理年度運轉年報、核研所運轉廢棄物統計年報為基礎、核一廠除役計畫與美國 NUREG/CR-0130 報告(US.NRC, 1984, p2.3、p4.1)等為估算基礎，並以核一廠、核二廠與核三廠運轉 40 年為估算運轉廢棄物產生之時間，估算低放射性廢棄物總數量約相當於 59 萬桶 55 加侖桶，如表 1.1-1 所列。

表 1.1-1 低放射性廢棄物預估總量

核能設施	運轉廢棄物(桶)	除役廢棄物(桶)	總計(桶)
核一廠	49,300	61,800	111,100
核二廠	63,600	95,700	159,300
核三廠	10,600	144,600	155,200
減容中心	0	1,100	1,100
蘭嶼貯存場	100,277	11,000	111,277
小產源	19,500	32,400	51,900
總計	243,277	346,600	589,877

備註：表中僅蘭嶼貯存場運轉廢棄物之數量為實際統計值，其餘數量皆為預估值，並進位至百位數。

依前述數量估算分析，低放射性廢棄物中，運轉廢棄物約佔 40%，除役廢棄物約佔 60%。依「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第三條規定進行廢棄物分類後，A 類廢棄物約佔總數量之 95%。考量廢棄物數量預估的不確定性與盛裝容器選用的多樣性、廢棄物需分區處置、處置場的設計容量等因素，規劃處置坑道的長度與數量。當每條處置坑道內的所有處置窖皆裝滿廢棄物的情況下，處置場可容納的最大處置容量為 79 萬桶。保守起見，安全分析時係以 79 萬桶作為後續分析與計算的基準。

1.2 低放射性廢棄物處置簡介

我國與國際上使用核能之國家，對低放射性廢棄物處置均採用長期隔離低放射性廢棄物於人類生活環境外之處置策略。利用低放射性廢棄物具衰變的特性，在隔離於人類生活環境外之處置設施中，逐步降低其放射性強度。

此概念與垃圾掩埋場相似，垃圾掩埋場利用其設施提供隔離功能與足以讓垃圾分解之時間，來達成其垃圾掩埋目標。不同的是，低放射性廢棄物處置設施須提供更長的隔離時間。為了實現此功能需求，各國將視其國家自然環境特性，選擇其國內合適之自然環境並搭配處置設施設計，在外來長期隔離的時間中，儘量維持放射性

核種停滯於處置設施中，以及盡量降低未來可能流經處置設施的水量。此一由自然環境與工程設施所組成的處置系統，稱為多重障壁系統，也是國際上低放射性廢棄物處置設施之設計概念。

就技術層面而言，為了確認低放射性廢棄物最終處置場之多重障壁系統功能性，必須經過嚴密的場址選擇、場址特性調查、工程設計、安全分析、環境影響評估、興建與運轉、封閉與監管等程序之安全審核與把關。

1.3 國際低放射性廢棄物處置設施設計概述

依據國際原子能總署放射性廢棄物分類安全導則(IAEA, 2009, p7)，整理各類放射性廢棄物之處置深度概念，如圖 1.3-1 所示。建議基於核種半化期長短與活度大小，依放射性廢棄物分類可採用近地表處置、深地質處置以及介於兩深度間之中等深度處置方式。

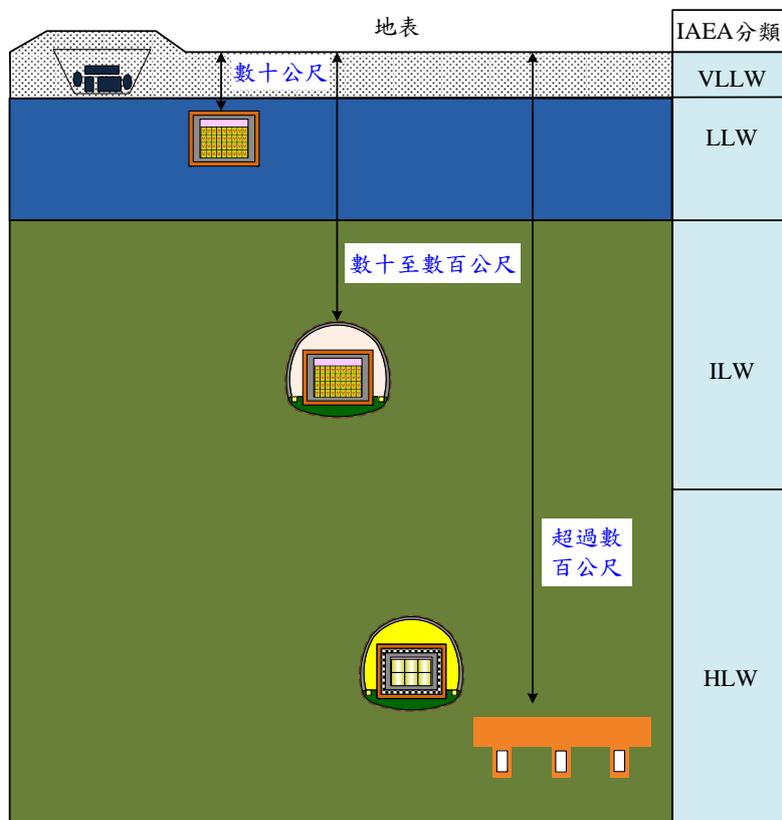


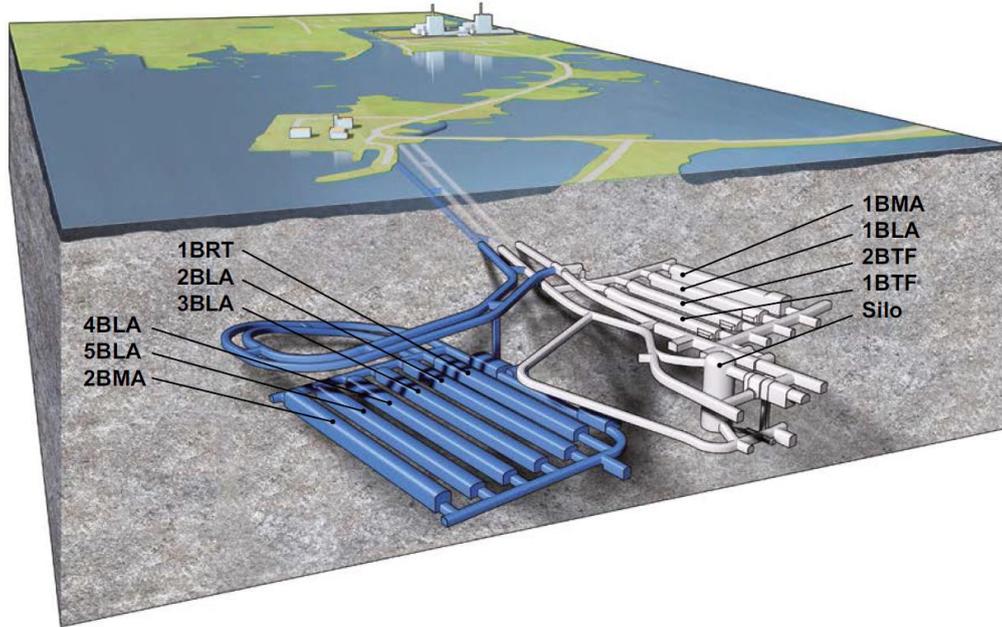
圖 1.3-1 放射性廢棄物最終處置深度概念

除了處置深度之考量外，針對低放射性廢棄物處置方式的選擇，亦須配合當地自然、社會、環境與廢棄物特性等進行通盤考量，所以各國採取的作法不盡相同。目前包括法國、美國、日本、瑞典、英國、西班牙及芬蘭等幾個國家，已興建數座低放射性廢棄物最終處置場，且持續運轉中。而目前已興建運轉之低放射性廢棄物最終處置的型式可略分為地面處置窖式與坑道處置型式，例如日本六個所村近地表低放處置場即是採用地面處置窖式，如圖 1.3-2 所示。坑道處置型式則是將廢棄物放置於相對較深的岩層中，其型式可為坑道型態或豎坑型態，例如瑞典 SFR1 及 SFR3 中低放處置場，如圖 1.3-3 所示。各國的處置設施設計雖因其所在環境條件而有所差異，但都以建構「多重障壁」系統為設計原則。



資料來源：<http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/llw/llw-center.html>

圖 1.3-2 日本六個所村近地表低放處置場鳥瞰圖



資料來源：SKB(2014a, p11)

圖 1.3-3 瑞典 SFR1 及 SFR3 中低放處置場立體透視圖

1.4 國內低放射性廢棄物處置作法

- 國內低放射性廢棄物最終處置概念為坑道式，其設計原則與國際上常見之「多重障壁」概念相同。目前國內針對多重障壁之考量包括：廢棄物固化體、盛裝容器、緩衝與回填材料、工程結構物，以及地層等工程和天然障壁之多重組合。低放射性廢棄物最終處置多重障壁概念如圖 1.4-1，下面就多重障壁各構件之功能簡述如下：
- 一、廢棄物固化體：將廢棄物與固化劑混合固化，使放射性核種被緊密地侷限在固化體中不易移動。
 - 二、盛裝容器：在容器的有效年限內，具有隔絕廢棄物固化體與外部滲流水接觸的功能。
 - 三、工程結構物障壁：用以堆置廢棄物盛裝容器之工程結構物，具有隔絕廢棄物盛裝容器與外部滲流水接觸的功能，另運轉階段於處置區域周圍需有完善的排水系統，使滲流水在未進入填充材料障壁前就被排水系統隔絕。

四、緩衝與回填材料：緩衝與回填材料具備低滲透性及高吸附等特性，可使外部滲流水不易入侵到工程設施，即使外部滲流水與廢棄物接觸，放射性核種仍會被緩衝與回填材料緊密的吸附住，而不易遷移。

五、天然障壁：利用處置場附近的地質條件，遲滯核種遷移，使核種遷移至人類生活環境時，放射性已衰減到無害的程度。

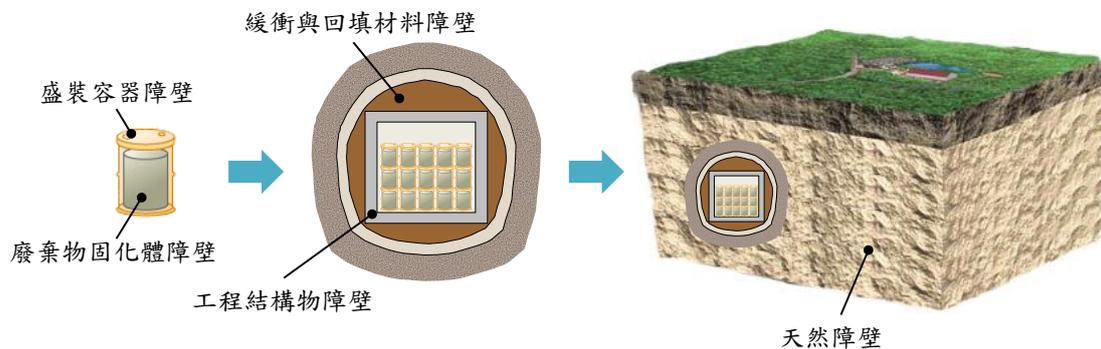


圖 1.4-1 低放射性廢棄物最終處置多重障壁概念圖

低放射性廢棄物最終處置設施設計之主要功能考量如下：

- 一、降低處置單元之水滲透量。
- 二、多重障壁系統具圍阻、遲滯與隔離之安全能力。
- 三、運轉階段具備避免廢棄物與水接觸設計。
- 四、運轉階段處置設施須具備足夠之排水功能。
- 五、封閉後處置單元需具備長期力學穩定設計。
- 六、處置設施須採分區處置設計。
- 七、減少長期維護需求。
- 八、合理抑低職業曝露。
- 九、防止無意者闖入處置場之障壁設計。

1.5 我國低放射性廢棄物相關管理法規

依據「放射性物料管理法」(簡稱物管法)第 2 條，管理放射性物料之主管機關為行政院原子能委員會，並依物管法第 21 條規定，訂定「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」。在管制作為方面，涵蓋前置作業、設施興建、運轉與封閉等各階段作業，在公開透明且安全無虞的條件下逐步展開，確保低放射性廢棄物最終處置之安全。針對低放射性廢棄物最終處置各項管理作業，可供依循之國內相關法規包括：

- 一、放射性物料管理法。
- 二、放射性物料管理法施行細則。
- 三、低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例。
- 四、低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準。
- 五、低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
- 六、放射性廢棄物處理貯存最終處置設施建造執照申請審核辦法。
- 七、低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範。
- 八、低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則。
- 九、低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則。
- 十、放射性廢料管理方針。
- 十一、游離輻射防護法。
- 十二、游離輻射防護安全標準。

依我國「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，對於低放處置設施最終處置之廢棄物、不得設置場址地區、設施設計原則、輻射防護，以及處置設施安全系統與組件設計規定等項目，均有其要求。其中第 9 條規定，低放射性廢棄物最終處置設施應採多重障壁設計，並依廢棄物分類特性分區處置。而第 8 條則規定，低放處置設施之設計，應確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 毫西弗，並應符合合理抑低原則。此外，

依據「游離輻射防護法」第 15 條，需確保輻射工作人員所受的職業曝露不超過劑量限值並合理抑低，而依據「游離輻射防護安全標準」第 7 條，輻射工作人員的職業曝露劑量限值為每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，任何單一年之有效劑量不得超過五十毫西弗。

1.6 國內低放射性廢棄物處置推動現況

低放處置作業可概分為選址公投階段、選址調查與申照階段、興建、運轉、封閉、監管以及免於監管等階段。我國自 101 年 7 月依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」公告台東縣達仁鄉與金門縣烏坵鄉 2 處建議候選場址後，受到政治、社會、環境及地方民意等因素影響，導致選址作業仍未能順利進行。也因此，目前 2 處建議候選場址均尚未正式進場調查，後續之設施設計、安全分析與環境影響評估工作亦尚未正式展開。

1.7 計畫範疇與目標

1.7.1 計畫目標

「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」（以下簡稱本報告）利用既有場址調查文獻資料，配合推論與假設之方法，研判 2 處建議候選場址可能之場址特性，研擬因應環境特性之處置概念，並進行最終處置安全分析技術模擬。藉此方式，說明低放射性廢棄物最終處置場規劃與設計所應用之技術與執行流程，以及概念設計與場址環境所組成之多重障壁系統，可達成其功能目標。

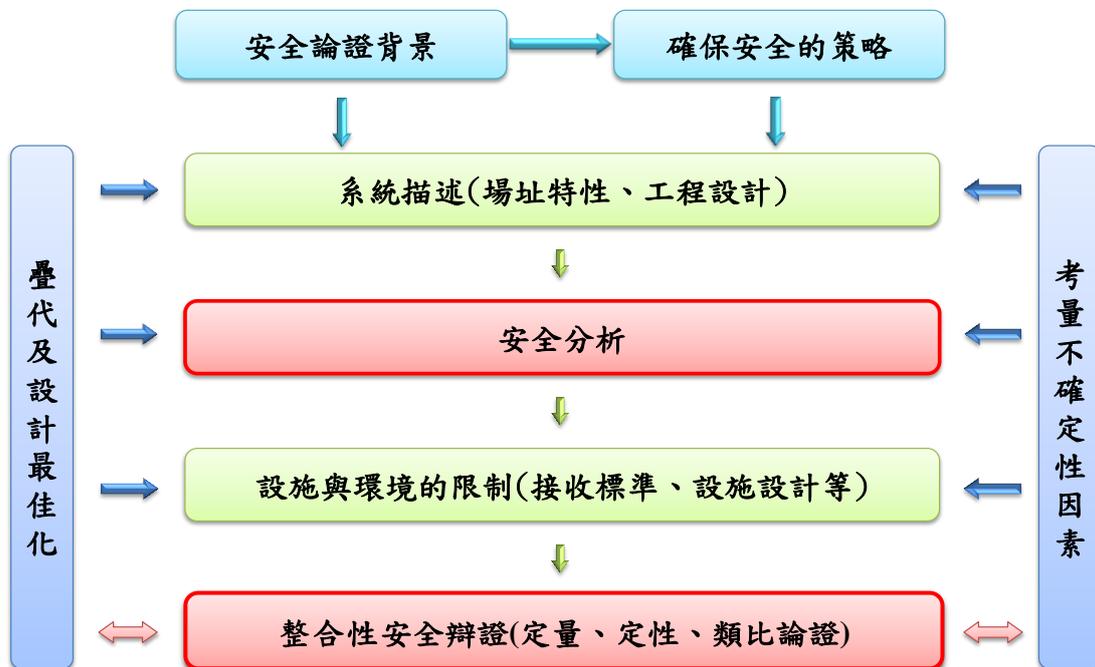
由於本報告係依現有法規、技術及資料，對我國的低放射性廢棄物最終處置技術進行評估，未來如法規修訂，國際上處置概

念或技術改變，區域或場址之環境資料新增、修正等，足以影響評估結果時，應適時重新進行評估。

此外，本報告雖以 2 處建議候選場址作為分析對象，然礙於場址特性調查工作尚未推動，故本報告產出之成果僅能作為初步檢視多重障壁系統設計安全性與所需分析技術是否符合實務需求之用。在未經法定程序確定前，此 2 處建議候選場址將不會直接成為最終處置場址。

1.7.2 低放處置安全技術評估方法

國際上，為確認處置安全與建立對分析結果之信心，IAEA(2012)發布 SSG-23 安全導則，說明了安全論證的執行架構，如圖 1.7.2-1 所示。安全論證主要是利用 1.定量的安全評估；2.其他定量與定性的證據支持；3.設施健全性與可靠性度評斷；4.安全評估相關之設施設計邏輯與成果的評斷等，進行綜合論證。



備註：修改自 IAEA(2012, p16)

圖 1.7.2-1 安全論證核心架構示意圖

1.7.3 本報告之技術評估方法

針對處置設施之安全確認及信心建立，將依 IAEA(2012)發布之 SSG-23 安全導則所建議之安全論證執行架構與精神，研擬本報告對於處置安全技術評估之架構，如圖 1.7.3-1 所示。

首先利用既有文獻資料為依據，建置地質環境、水文地質、地球化學與生物環境等 4 類場址特徵化模型。據此，加入規劃處置之低放廢棄物數量與特性，進行多重障壁系統之工程障壁系統概念設計，再進行安全評估以瞭解處置設施安全性。

其中安全評估則是依 IAEA(2004a, p17)所建議之評估流程，分為評估內容、描述處置系統、建立及界定情節、建置概念及數學模型、分析結果與建立信心等過程。最後，除據以檢視是否符合國內安全管制法規規定，另由敏感度與不確定性分析工作，綜合論證設施安全性，藉以確認我國已具備執行低放射性廢棄物最終處置所需技術。

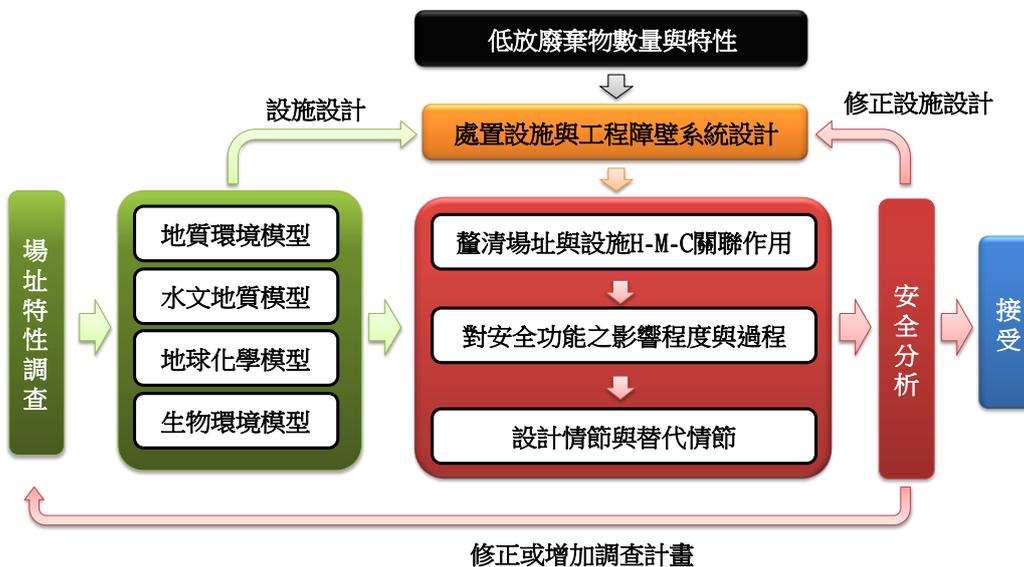


圖 1.7.3-1 低放射性廢棄物處置技術之關聯示意圖

第二章 低放射性廢棄物處置安全

2.1 低放射性廢棄物處置之運轉安全管理

低放射性廢棄物處置設施於設計時，將針對各階段之安全考量納入規劃設計，藉以確保處置系統、工作人員、公眾與環境之安全，並藉由環境監測確認成效。因此，本節針對未來處置設施運轉時，其重要運轉安全管理方式進行簡介。

規劃運轉安全管理策略時，將會針對處置場環境、處置設施設備，以及處置場自運轉至封閉前之各項作業運轉方式等，進行潛在意外事件與危害分析。針對各項作業研擬運轉安全管理方式，以確保設施符合相關規範要求，同時保護工作人員、公共大眾與環境安全。參考美國處置場運轉安全管理相關文獻(DOE, 2016a, p14~p15; DOE, 2016b, p5-14, p5-17~p5-19, p5-21~p5-23)，其管理項目包含運轉期間之輻射防護、危險物品防護、放射性與危險廢棄物管理、檢查與維護、運轉與消防安全、作業程序與訓練、品質保證、緊急應變、組織與管控、廢棄物接收管理等 10 項主要管理考量。其考量項目可略分為：確保運轉安全之相關作業與檢查程序、安全管理組織與權責、人員資格與作業品質管控，以及緊急應變等。

依運轉安全管理對象區分，其管理法規概分為一般作業之「職業安全衛生法」，以及與放射性廢棄物處置相關之管理法規(詳見 1.5 節)。如：遵循「游離輻射防護法」之輻射防護作業管理、其主要基於輻射曝露合理抑低原則，除設施輻射屏蔽設計外，運轉作業藉由人員訓練、使用輻射防護設備、輻射監測、輻射曝露控制等管理作為確保其安全性。依「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」之規範，則包含：放射性廢棄物管理、檢查與維護、運轉安全、作業程序與訓練、品質保證、緊急應變、組織與管控、廢棄物接收管理等作業規範。而危險物品防護與危險廢棄物管理則屬於「職業安全衛生法」管理範疇。

依「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」之低放射性廢棄物處置作業安全要求規定，低放處置設施作業，應符合該設施安全分析報告及輻射安全防護之相關規定。於提出設施安全分析報告時，其內容將包含：輻射安全設計之安全限值、職業曝露合理抑低；廢棄物接收、暫存、處置作業與其監測及查驗；設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫；品質保證計畫；消防防護計畫；設施之保安等與運轉安全管理相關項目。通過審查後，各項運轉安全管理將納入低放處置場作業程序書，納入品質保證系統進行管理。

2.2 低放射性廢棄物處置之長期安全功能

由於低放射性廢棄物具有放射性活度隨時間增加而遞減之特性。在經過一定時間以後，低放射性廢棄物終將衰變至對人類無害之程度。因此，在合理的情況下，盡量延長低放射性廢棄物外釋到人類生活圈所需時間，為低放射性廢棄物處置安全之核心對策。而實現處置安全對策則有賴發揮以下兩項主要安全功能：

一、圍阻(containment)核種外釋

圍阻功能係指防止處置廢棄物與處置設施遭受外力直接破壞、維持設施力學穩定、運轉階段防止水接觸廢棄物等功能。

二、遲滯(retardation)核種傳輸

遲滯功能是當水突破圍阻功能後，藉由工程障壁及天然障壁來降低通過廢棄物的流量，以及遲滯核種傳輸到生物圈的時間，並藉由其吸附性來減少核種傳輸至生物圈的活度。

依照安全功能作用之時間順序，圍阻功能主要藉由 1.選擇不易導致處置設施被外力所破壞之場址環境，2.以工程設施設計來避免低放射性廢棄物於運轉階段與水接觸，3.考量減緩工程材料劣化設計與工法，以延後低放射性廢棄物體於封閉後與水接觸的發生時

間。於封閉後，當低放射性廢棄物體與水接觸後，核種將逐漸自廢棄物體溶解至水中，隨著地下水流動方向緩慢往處置設施外滲出，再流至地下水可能的出滲位置，如：河川、海洋，或經由抽水而到達地表面。因此，遲滯功能主要藉由工程障壁設計減緩核種傳輸速度，包含：1.低透水性與低擴散性設計、2.選擇具核種吸附性之材料、3.降低地下水滲入設計等，再搭配於場址選擇階段已納入考量有利於抑制核種傳輸之場址特性，形成低放射性廢棄物處置設施之多重障壁系統。

我國低放射性廢棄物處置以多重障壁系統為概念，其障壁單元包含：廢棄物固化體、盛裝容器、工程結構物、緩衝與回填材料，以及天然障壁等。以下彙整各障壁單元與人類活動等評估項目，以及考量前述安全功能下，所需功能與評估指標，如表 2.2-1 所列。

表 2.2-1 低放射性廢棄物處置設施安全功能需求與評估指標

項目	安全功能需求	評估指標
廢棄物體	限制平流傳輸	固化體的水力傳導係數
	限制擴散傳輸	固化體的擴散係數
	固化體與盛裝容器圍阻功能	封閉後喪失圍阻功能
	核種溶解度	無限制
	活化金屬核種溶出率	核種釋出率
	其他廢棄物核種溶出率	瞬間溶出
	吸附性	分配係數
盛裝容器	限制平流傳輸	假設無效果
	限制擴散傳輸	假設無效果
	力學穩定	假設封閉後即失效
	吸附性	假設無效果
工程結構物	限制平流傳輸	水力傳導係數
	限制擴散傳輸	擴散係數
	力學穩定	材料強度
	吸附性	分配係數
緩衝與回填材料	限制平流傳輸	水力傳導係數
	限制擴散傳輸	擴散係數

項目	安全功能需求	評估指標
	力學穩定	材料強度
	吸附性	分配係數
天然障壁	限制平流傳輸	水力傳導係數
		環境水力梯度
	限制擴散傳輸	擴散係數
	吸附性	分配係數
人類活動	生活形態	海岸線推移
	避免封閉後無意闖入	設計岩覆深度

第三章 場址特徵化

3.1 場址特徵化分析工作概述

我國 2 處經場址篩選出之低放射性廢棄物建議候選場址，已避開可能影響處置安全之自然環境區域，以及因社會環境與法規限制而無法設置處置場之區域。不利於設置處置場之自然環境條件，包括主要火山活動區、活動斷層影響範圍、地質敏感區、崩坍面積過大之區域、洪氾區與不利核種遲滯之環境等；而社會環境則考量避免鄰近重要民生經濟、國防軍事設施，並依相關土地使用管理法規限制條件檢視場址合宜性。

為瞭解場址特性，將影響處置安全主要環境因素區分為地質環境、水文地質、地球化學與生物環境等 4 種場址特徵模型，場址特徵模型與特性關聯如表 3.1-1 所列。建立場址特徵模型之目的，在於特徵化場址特性以提升對於場址的認知，以作為設施設計與安全分析等相關工作之基礎。此外，隨著場址調查、工程興建等不同階段之場址調查與監測資料更新與累積，場址特徵模型亦需隨之更新與確認場址特徵。受限於未進行建議候選場址之場址特性調查工作，現階段以蒐集既有文獻調查資料作為基礎，用以建立 4 種場址特徵模型，未來待進場調查後再予以更新。

表 3.1-1 場址特性項目與特徵模型

場址特徵模型	場址特性主要關聯項目
地質環境	地質與地震、地形與地貌、氣象、地表水、大地工程
水文地質	氣象、地質、地形與地貌、地表水、地下水
地球化學	地球化學、地質、地貌、地表水、地下水
生物環境	天然資源、生態、輻射背景偵測、社會與經濟、交通、其他

備註：場址特性主要關聯項目依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」及「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第 0 版)」中「場址之特性描述」

3.1.1 達仁鄉建議候選場址既有調查文獻彙整

各項場址參數主要參考自 LLWD2-SI-2014-01-V06-場址特性參數評估報告-台東縣達仁鄉(台灣電力公司, 2016d, p29~p166)所述。該報告所蒐集之既有調查文獻來源, 涵蓋學術界研究論文、產業界研究報告以及政府機關相關研究計畫, 依 4 種場址特徵模型分別列出參考之主要文獻, 如表 3.1.1-1 所列。

表 3.1.1-1 達仁鄉建議候選場址特徵模型參考文獻彙整

場址特徵模型	關鍵特性項目	主要文獻
地質環境	場址地質特性	Chang et al.(2009, p395)
		Lin et al.(2009, p28)
		Lu et al.(2001, p213)
		Malavieille and Trullenque (2009, p391)
		McIntosh et al.(2005, p24)
		台灣電力公司 (2006, p3-1~p3-11)
		台灣電力公司 (2007, p3-1~p3-6)
		台灣電力公司 (2009, p3-19~p3-22)
		林偉雄等(1993, p7~p10、地質圖幅)
		宋國城(1991, p20~p21、p50~p51、地質圖幅)
	陸地隆升沉降	Ching et al.(2011, p7, p10)
		經濟部中央地質調查所(2012, p115)
	陸地剝蝕	Dadson et al.(2003, p649)
	海水面變化	Shinn(2001)(間接引用自行政院原子能委員會放射性物料管理局, 2013, p265~p266)
IPCC(2013, p1204)		
楊任徵(2002)(間接引用行政院原子能委員會放射性物料管理局, 2013, p268)		
海嘯	國家災害防救科技中心-災害潛勢地圖網站	
水文地質	地下水流場	Auckland Transport (2014, p11)
		Blümling and Konietzky (2002, p91)
		Golder Associates Ltd. (2014, p7.2-B-2 ~ p7.2-B-3)
		Heath (1983, p9)
		Johnson (1967, p22)

場址特徵模型	關鍵特性項目	主要文獻
		Martin and Lanyon (2002, p6-23)
		NWMO (2011, p35)
		Rieke and Chilingarian (1974, p7)
		Schwartz and Zhang (2003, p76)
		台灣電力公司 (2016c, p31~p34)
		交通部公路總局 (2011, AD-59 地質鑽探土壤試驗一覽表: p16)
		台灣電力公司 (2006, p3-1~p3-11)
		台灣電力公司 (2007, p3-1~p3-6)
		宋國城 (1991, p23)
		宋國城與林偉雄 (1993, p9)
		經濟部水利署(2015b, p463)
地球化學	地化環境條件	行政院原子能委員會(2010, p8~p10)
		台灣電力公司(2008, p B-11~p B-16)
	分配係數	JAEA(2013, p54~p56)
生物環境	生活型態	台東縣政府主計處網站
	關鍵群體分布	台東縣太麻里戶政事務所網站

3.1.2 烏坵鄉建議候選場址既有調查文獻彙整

各項場址參數主要參考自 LLWD2-SI-2014-02-V06-場址特性參數評估報告-金門縣烏坵鄉(台灣電力公司, 2016e, p14~p181)所述。該報告所蒐集之既有調查文獻來源, 涵蓋學術界研究論文、產業界研究報告以及政府機關相關研究計畫, 依 4 種場址特徵模型分別列出參考之主要文獻, 如表 3.1.2-1 所列。

表 3.1.2-1 烏坵鄉建議候選場址特徵模型參考文獻彙整

場址特徵模型	關鍵特性項目	主要文獻
地質環境	場址地質特性	工研院能資所(1999a, p22~p30、p44、p48~p49)
		工研院能資所(1999b, 圖版四~七)
		工研院能資所(2000b, 圖版二~四)
		工研院能資所(2000d, p7-1)
		工研院能資所(2001a, 附錄 A-1~附錄

場址特徵模型	關鍵特性項目	主要文獻
		A-7)
		福建省地質礦產局(1985, p465、p481、p487、附圖之一)
		劉以宣等人(1989)(間接引用自工研院能資所, 2000c, p2-2)
	陸地隆升沉降	工研院能資所(1999a, p13)
		工研院能資所(2000a, p3-3)
		李寄嶼(1998)(間接引用自工研院能資所, 1999a, p13)
		黃玉昆等人(1992)(間接引用自工研院能資所, 2000a, p3-3)
		鄧國雄及黃發明(2001, p3)
	陸地剝蝕	福建省國土資源廳(2013, p1)
	海水面變化	IPCC(2013, p1024)
		Shinn(2001)(間接引用自行政院原子能委員會放射性物料管理局, 2013, p265~p266)
		行政院原子能委員會放射性物料管理局(2013, p265~p266、p268)
楊任徵(2002)(間接引用行政院原子能委員會放射性物料管理局, 2013, p268)		
海嘯	台灣電力公司(2011, p17、p197)	
水文地質	地下水流場	Ahlbom et al.(1983, p2)
		Domenico and Schwartz (1997, p14)
		Paces et al.(2010, p411~p414)
		Park et. al (2009, p479~p481)
		Popov and Pusch (2006, p77)
		Schwartz and Zhang (2003, p44, p76)
		USGS(2001, p14)
		工研院能資所(2000a, p3-6~p3-23、p5-17~p5-25)
		工研院能資所(2001b, p3-24)
		林軍(2006, p446、p449)
		福建省地質礦產局 (1985, p140)
地球化學	地化環境條件	工研院能資所(2000a, p7-11、p7-24)
		台灣電力公司(2002, p3-48)
	分配係數	JAEA(2013, p54~p56)
		SKB(2008, p240)
生物環境	生活型態	台灣電力公司(2002, p3-56、p3-58、p3-71)
	關鍵群體分布	金門縣政府民政處網站

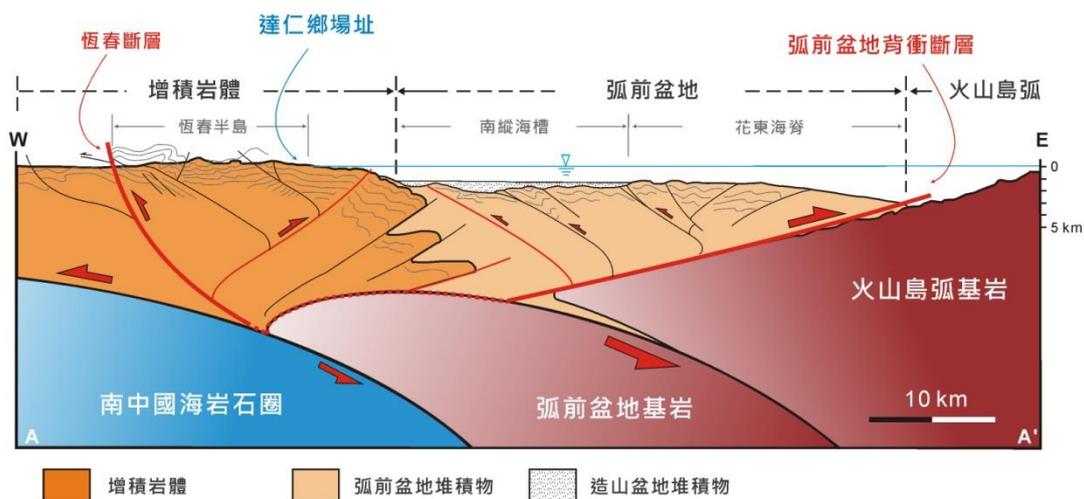
3.2 達仁鄉建議候選場址特徵化

3.2.1 地質環境概念模型

地質環境的現況與演化，為評估處置場封閉後長期安全的重要參數，安全分析的遠場核種傳輸與情節設定，將以此作為評估依據。

一、地質環境特性與模型範圍

達仁鄉建議候選場址位於台灣島東南側，地質環境屬於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的聚合帶，由於菲律賓海板塊持續向西北方推擠，造成北北西走向的呂宋島弧與東北向的歐亞大陸邊緣產生斜碰撞。斜向的碰撞使弧陸碰撞的位置由北而南發育(Suppe, 1984, p21)，位於中央山脈南段的達仁鄉建議候選場址，則屬於初期弧陸碰撞之構造環境(McIntosh et al., 2005, p24; Chang et al., 2009, p395; Lin et al., 2009, p28)。在南中國海岩石圈隱沒至菲律賓海板塊的作用下，形成了增積岩體及向西伸向的褶皺逆衝帶(Malavieille and Trullenque, 2009, p391)，如圖 3.2.1-1 所示。



資料來源：修改自 Malavieille and Trullenque (2009, p391)

圖 3.2.1-1 達仁鄉建議候選場址地體構造剖面圖

場址地質環境模型以達仁溪與塔瓦溪集水區水域分水嶺以及海岸線作為邊界。依野外地質調查結果顯示，場址區域範圍內皆屬於潮州層，岩性以砂岩、砂頁岩互層、頁岩、泥岩以及局部的礫岩構成(宋國城，1991，p20~p21；林偉雄等，1993，p7~p10)。區域地層因受多期的構造活動，地層走向多變，常見小規模之褶皺與斷層構造。此外，藉由不連續面的變化及地表地形特徵，配合折射震測與地電阻等前人之地球物理調查結果(台灣電力公司，2006，p3-1~p3-11；台灣電力公司，2007，p3-1~p3-6)，推測區域內可能有高角度裂隙帶，如圖 3.2.1-2 所示。



圖 3.2.1-2 達仁鄉建議候選場址地質環境模型示意圖

二、地形演繹

(一)陸地隆升沉降趨勢

陸地隆升沉降趨勢依時間尺度可分為短期(short-term)與長期(long-term)兩種，短期陸地隆升沉降趨勢是參考場址附近的水準測量資料而得，地殼垂直變動速率約在-3.87~0.96 mm/yr。長期陸地隆升沉降趨勢則依據 Ching et al. (2011, p7, p10)中央山脈與雪山山脈地殼垂直變動速率進行推估，場址的長期地殼垂直變動速率約在 0~5.2 mm/yr。

(二)陸地剝蝕速率

綜整 Dadson(2003, p649)磷灰石核飛跡定年結果，估算場址附近的陸地剝蝕速率約為 2.0~3.0 mm/yr。

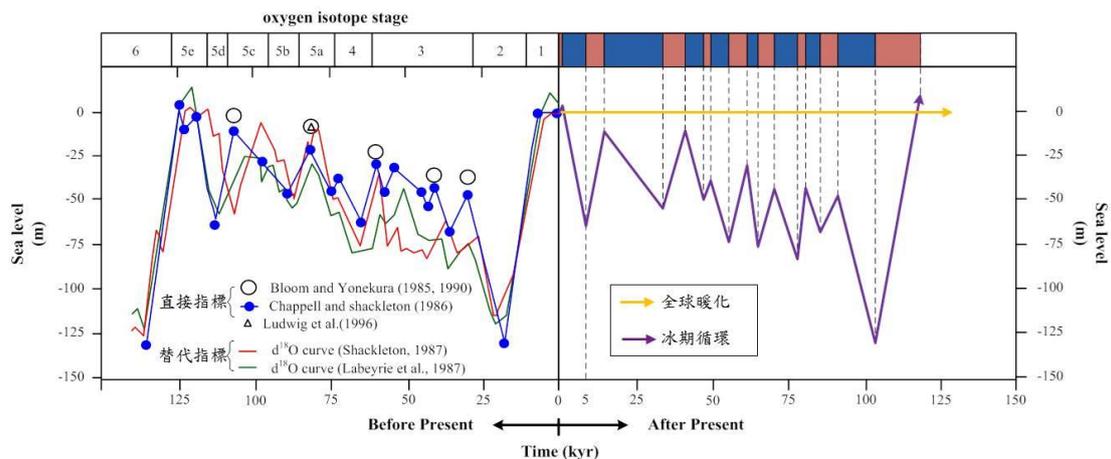
綜整前述陸地隆升沉降趨勢與陸地剝蝕速率之評估結果，達仁鄉建議候選場址一萬年內的抬升速率採 2.6 mm/yr (0~5.2 mm/yr 之平均)，侵蝕速率採 2.5 mm/yr (2.0~3.0 mm/yr 之平均)。因此一萬年內的平均地表高程變化速率為 0.1 mm/yr，研判處置設施位置所在區域的地表長期屬於抬升趨勢。

三、海水面變化

海水面變化受到全球暖化現象與冰期循環影響，以 Shinn(2001; 間接引用自行政院原子能委員會放射性物料管理局，2013, p265~p266)對過去 15 萬年來海水面變化趨勢評估結果做為預測基準，如圖 3.2.1-3 所示，並考量長期氣候變遷的可能發生情境，假設未來長期海水面變化趨勢主要包含以下兩種可能性：

(一)海水面變化依循冰期循環的變化：

假設現在處於間冰期末期，並於間冰期結束後隨即進入冰期，進入冰期後的海水面變化趨勢，將與 12.5 萬年前開始之冰期相同。在此情況下，海水面將會在 5,000 年後下降至最低海水面 EL-61 m。



資料來源：改繪自 Shinn (2001) (間接引用自行政院原子能委員會放射性物料管理局，2013，p265)

圖 3.2.1-3 海水面變化推演示意圖

(二)海水面變化受全球暖化影響：

假設全球暖化將影響冰期的發生時間，導致 10 萬年內都不會進入冰期，且在未進入冰期前，海水面不會發生變化。故在 10 萬年內都不會進入冰期的情況下，海水面將設定為不變(EL0 m)。

3.2.2 水文地質概念模型

根據地質與水文特性，分別針對區域尺度及場址周邊建立水文地質模型，並分析其地下水流場。

一、區域尺度水文地質模型

區域尺度水文地質模型的範圍，跨越恆春半島東西兩岸，以海岸為東西側邊界，南北側邊界設於集水區分界，垂直向則是以 EL-2,000 m 為界，在此範圍內之地質特性可概分為 3 個單元，如圖 3.2.2-1 所示。降雨量及海水潮位為水文地質模型之基本設定，場址的降雨量採用距場址最近的壽卡雨量站(經濟部水利署，2015a，p230)，年平均降雨量為 3,396.2 mm(西元 1980 至西元 2014 年)。潮位資料則參考大武站(東海岸)與東港站(西海岸)(中央氣象局)，平均潮位分別為 0.193 m 與 0.288 m(西元 2003 至西元 2014

年)。各水文地質單元之相關參數，主要是參考既有調查資料與相關研究文獻進行設定(台灣電力公司，2016c，p31~p34)。

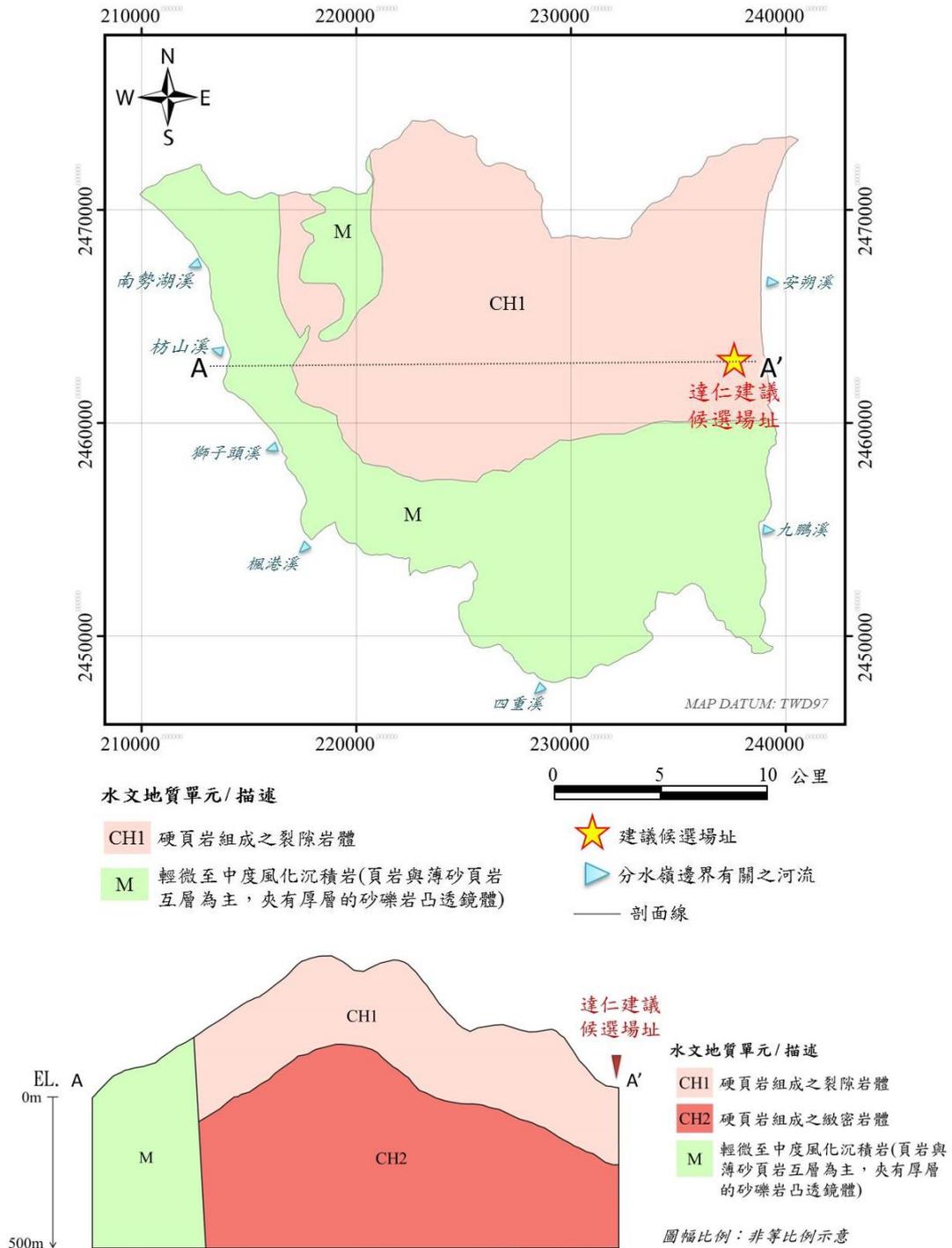
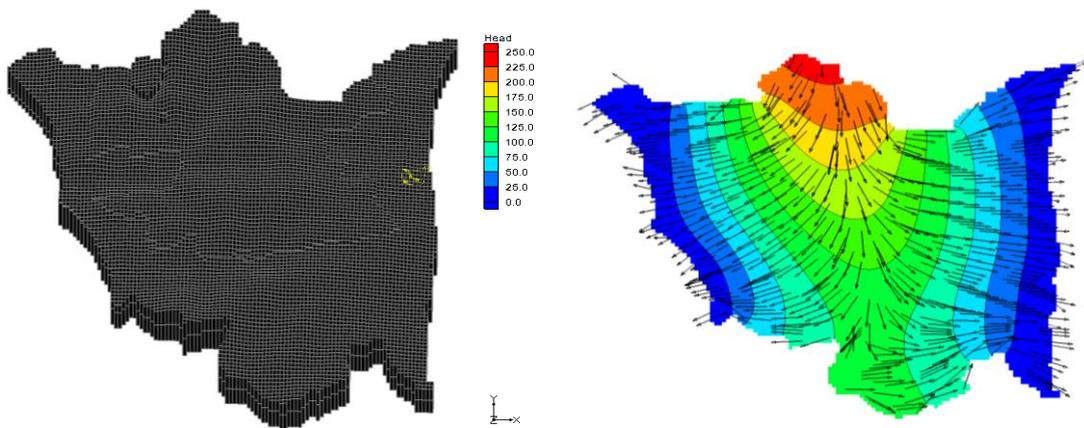


圖 3.2.2-1 達仁鄉建議候選場址區域水文地質模型邊界與水文地質單元示意圖

地下水流場分析利用上述水文地質模型與參數，以及場址附近測站之降雨量及海水潮位統計資料，以 HYDROGEOCHEM 之地下水模式設定邊界條件與建立網格模型，進行三維度流場分析模擬。區域地下水模擬結果如圖 3.2.2-2 所示，顯示區域地下水流場以中央山脈為界往西邊與東邊海岸流動。

另為了解中央山脈至場址間的地下水流對場址之影響，以質點追蹤方式進行分析，模擬結果如圖 3.2.2-3 所示，圖中沿流線分布之箭頭，反映場址地下水流動深度與方向，因此來自中央山脈的地下水流深度可達約 EL -700 m，而場址所在區域一定深度以內(約 EL -50m 內)的地層中，其地下水流不會受到中央山脈地下水流場影響。



(左)模型網格，(右)地下水頭流場向量分布圖(單位: m)

圖 3.2.2-2 達仁鄉建議候選場址區域地下水模型與流場

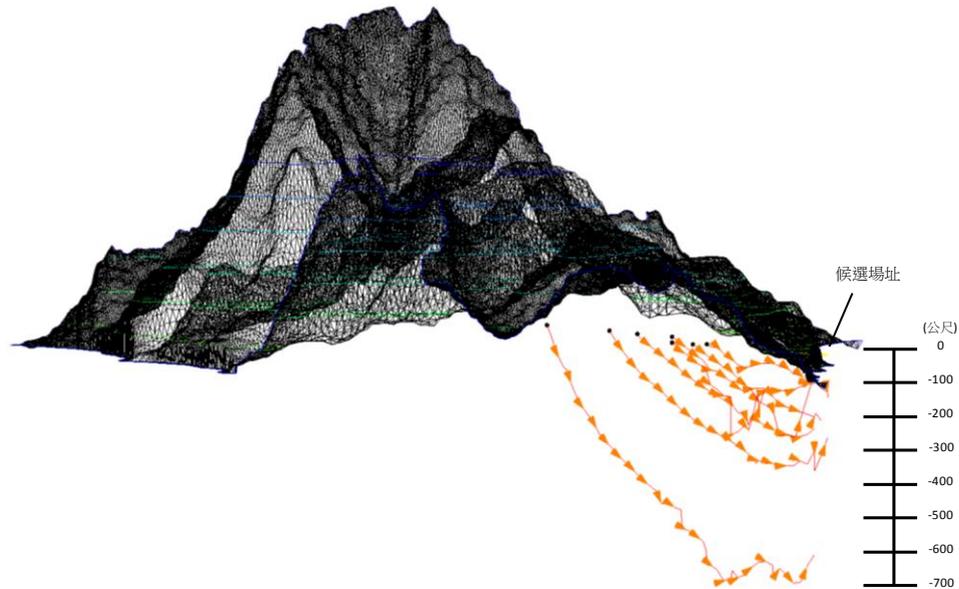


圖 3.2.2-3 達仁鄉建議候選場址上游山區質點追蹤流線圖

(二)場址尺度水文地質模型

場址尺度水文地質模型涵蓋達仁溪與塔瓦溪流域，模型分為硬頁岩組成之可能導水構造帶(PCZ)與可能導水構造帶以外之硬頁岩區(AZ1、AZ2 與 AZ3)，如圖 3.2.2-4。模型深度參考區域模擬顆粒追蹤(particle tracking)的測試結果，將場址尺度模型的底部深度設定在 EL -600 m。

經地表地質調查發現，水文地質單元 AZ1、AZ2 與 AZ3 的裂隙發達，考量現階段僅有初步的野外露頭調查記錄可供參考，略將此區設定為均質之孔隙介質。此外，鑒於鑽孔資料尚待補充的情況下，依一般學理依據推測裂隙發達程度隨深度加深而減少，設定水文地層參數隨深度加深而有所不同，各水文地質單元的水力傳導係數參考區域尺度之設定及數值模擬測試結果進行調整。

水文地質單元 PCZ 的深度設定，考量地質構造的發生不一定只限於近地表處地層，水力傳導特性對深度的反應(depth dependency)可能不具規律性。因此在資料精度尚待提升之現狀前提下暫不予以分層造區。可能導水構造帶傾角暫以 90 度做設定，

寬度則參考地球物理調查結果(台灣電力公司, 2006, p3-1~p3-11; 台灣電力公司, 2007, p3-1~p3-6)皆設定為 200 m 寬之均質帶。

場址尺度地下水模擬結果如圖 3.2.2-5 所示, 場址所在範圍之地下水將分別流向北側達仁溪與南側塔瓦溪, 出滲至河川中。另有部分則是直接往太平洋方向出滲至海水中。

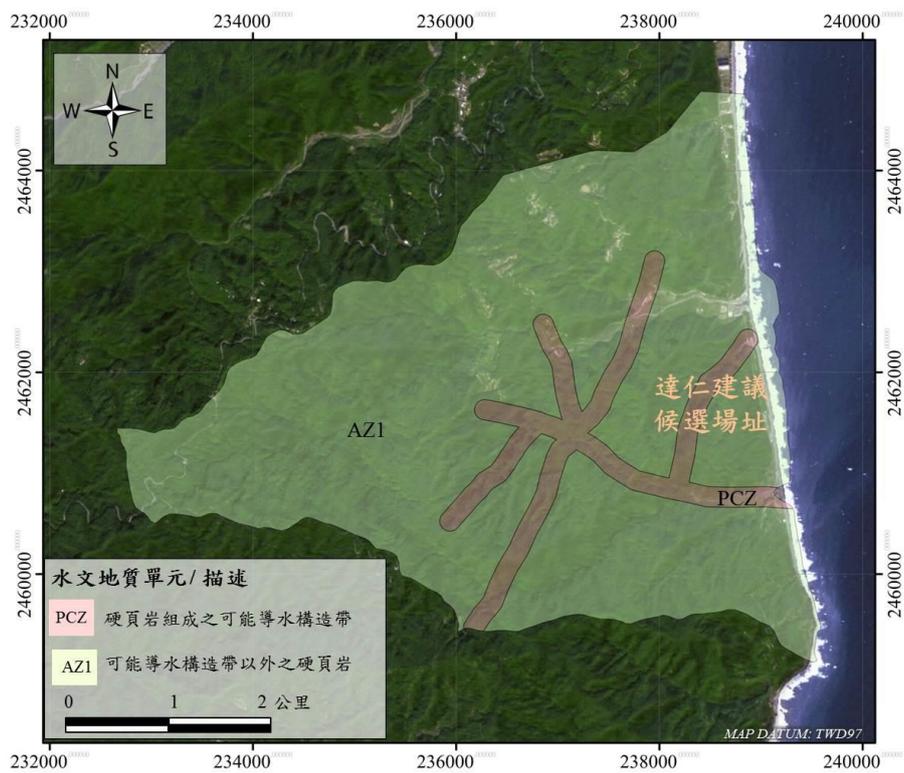
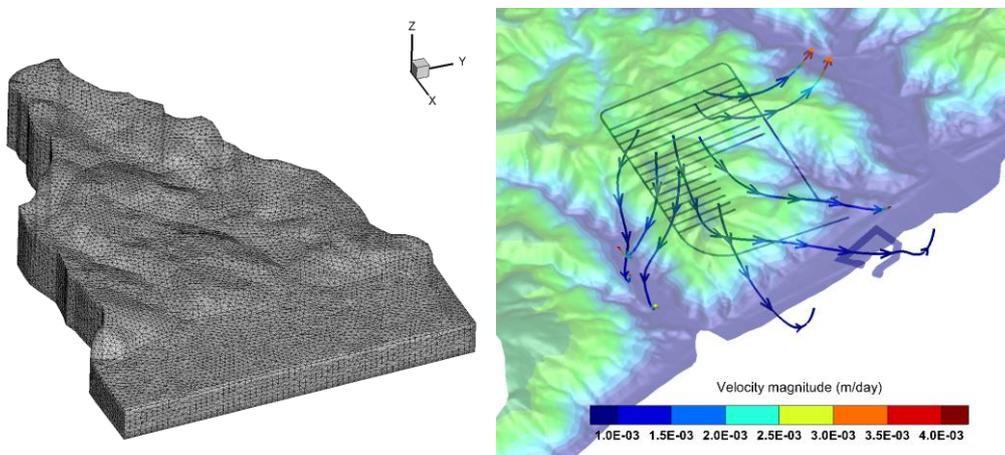


圖 3.2.2-4 達仁鄉建議候選場址尺度水文地質分界示意圖



(左)模型網格，(右)地下水流場分布圖

圖 3.2.2-5 達仁鄉建議候選場址地下水模型與流場模擬示意圖

3.2.3 地球化學概念模型

處置設施的地球化學環境，將隨著設施興建階段、運轉階段、以及封閉後的長期環境演化階段而改變，近場工程障壁及母岩地球化學環境演化之推估如表 3.2.3-1。

處置設施建造前，圍岩推估為還原狀態，當處置坑道開挖後，隨著大氣進入坑道中，擴大設施周邊岩盤的氧化範圍。而當處置設施回填後，因再灌水或再飽和使地下水流動產生變化，處置設施周邊岩盤可能再回復為還原狀態。達仁鄉建議候選場址因未來海水位呈現下降趨勢，因此場址的地下水將仍然維持淡水系統，其 pH 值及化學特性應與現況相近。

表 3.2.3-1 達仁鄉建議候選場址地球化學環境演化

階段	工程障壁	開挖擾動區母岩	非開挖擾動區母岩
興建運轉階段	氧化態	淡水、氧化態	淡水、還原態
設施回填後	還原態	淡水、還原態	
設施回填後一定時間	淡水、還原態	淡水、還原態	

備註：地下水之 pH 值約為 7

由於目前國內尚無各種材料於不同狀態下之線性分配係數資料庫，因此暫時參考日本 JAEA(2013, p54~p56)所提供針對水泥類材料、膨潤土材料以及岩盤等障壁材料，在不同環境條件下之分配係數(K_d)。

3.2.4 生物環境概念模型

達仁鄉戶籍登記人口共有 3,616 人，其中處置場所在的南田村僅 363 人，屬臨海聚落。產業發展多以一級產業為主，但全鄉

90%以上均為丘陵山坡地，耕地面積僅有 1,855 公頃且耕地貧瘠，農業發展頗受限制。根據台東縣政府主計處統計資料，達仁鄉生產的農產品以甘藷、芋、釋迦和梅的產量較多。達仁鄉無漁港，因此漁業並不發達。另外，經現場實際勘查，養殖漁業主要分布於台 26 線沿線以及達仁溪出海口附近，養殖水源來自海水，另外加少許的淡水，淡水主要則來自地下水。

3.3 烏坵鄉建議候選場址特徵化

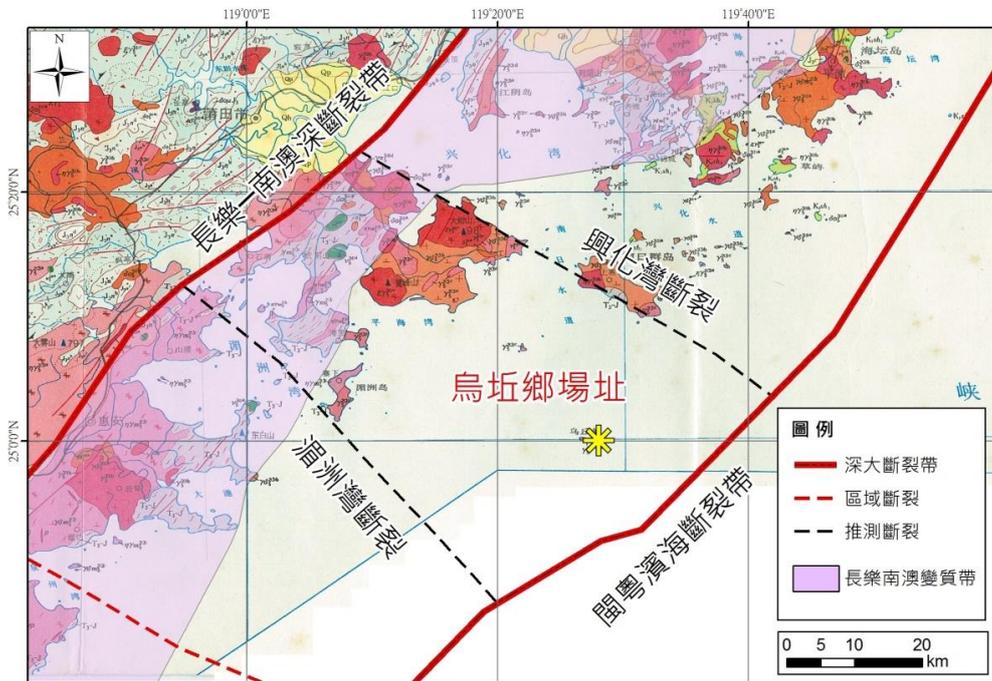
3.3.1 地質環境概念模型

一、地質環境特性與模型範圍

烏坵鄉建議候選場址所處的福建沿海位於華夏陸塊之東南地區，屬於「閩東南沿海燕山變質地帶」，而以東北西南向之「長樂—南澳深斷裂帶」為界，再區分為西北側的「福清—雲霄變質岩帶」和東南區的「平潭—東山變質岩帶」(以下簡稱平東變質帶)(福建省地質礦產局，1985，p465)。平東變質岩帶界於閩粵沿海的平潭島至東山島之間，呈東北西南走向分布，長約 500 km，寬約 40 至 60 km，烏坵鄉建議候選場址約位於其北段。劉以宣等(1989；間接引用自工研院能資所，2000c，p2-2)認為平東變質帶內東北向的斷裂系統以壓性(compressive)為主，強烈活動主要於中生代時期發生，目前屬於老年期演化階段的斷裂系統，以長樂—南澳深斷裂帶與閩粵濱海斷裂帶兩條主要構造為代表。西北向的斷裂系統則以剪力(shear)或轉換拉張(transtensional)為主，在新生代的活動跡象明顯，屬少年期演化階段的斷裂系統，其中有海潭北斷裂、興化灣斷裂、烏坵斷裂、湄洲灣斷裂、泉州灣斷裂等。

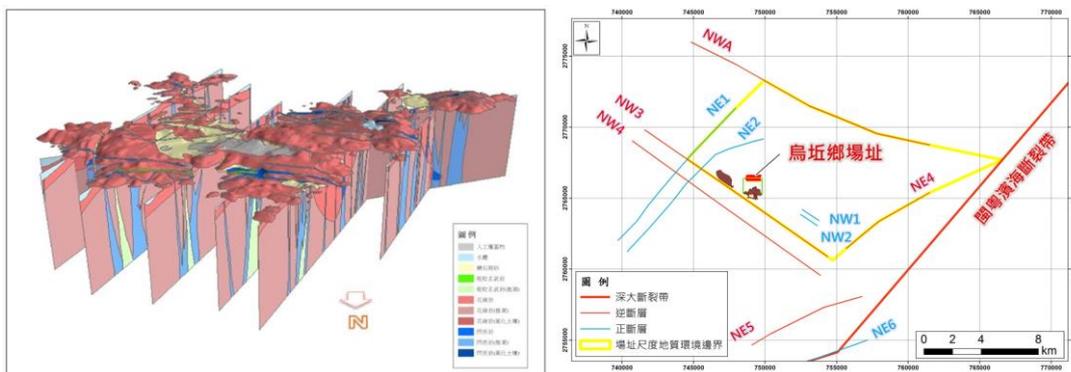
場址地質環境模型則以長樂—南澳深斷裂帶、閩粵濱海斷裂帶、興化灣斷裂、湄洲灣斷裂為邊界，如圖 3.3.1-1 所示。由地表地質調查成果顯示(工研院能資所，1999a，p22~p30)，烏坵嶼及小

坵嶼岩性以基性的輝長岩以及酸性的花崗岩為主，岩體內節理發達，但無顯著的斷層構造。局部具侵入岩脈，岩脈於小坵嶼分布較多，以西北走向為主，多為閃長岩脈。由海域地球物理探測成果顯示(工研院能資所，2000c，p5-3；工研院能資所，1999b，圖版四~七)，場址周邊海域存在多條基盤斷層(basement fault)，鄰近場址的基盤斷層 NW3、NE1、NWA 與 NE4 形成主要的地質邊界，而斷層的延伸線於場址周邊劃分出來的岩體，內部即為受斷層作用影響較為輕微的處置母岩區，如圖 3.3.1-2 所示。



資料來源：底圖引用自福建省地質礦產局(1985，附圖之一)

圖 3.3.1-1 烏坵鄉建議候選場址區域地質平面圖



(左) 小坵嶼三維地質模型，(右) 場址區域地質構造分布

資料來源：(a)彙整自工研院能資所(2000b，圖版二~四)；(b)彙整自工研院能資所(1999b，圖版四~七；2000c，p5-3)。

圖 3.3.1-2 烏坵鄉建議候選場址地質環境模型

二、場址地形演繹

(一)陸地隆升沉降趨勢

本場址位於歐亞大陸板塊邊緣，屬於被動大陸邊緣的穩定環境。依據鄧國雄及黃發明(2001，p3)研究湄洲島的海階與斷層地形，推估 10 萬年以來地盤的抬升速率約為 0.48 mm/yr。而李寄嶠(1998；間接引用自工研院能資所，1999a，p13)也以銩石進行核飛跡定年及其冷卻溫度，推估 80 萬年來長期的地形隆升速率約為 0.075 mm/yr。

(二)陸地剝露速率

根據福建省國土資源廳委託中國地質大學所做的研究發現(福建省國土資源廳，2013，p1)，福建省區域花崗岩體的平均侵蝕率約在 0.1 mm/yr，研判本場址之陸地侵蝕速率應亦在此範圍內。

綜整現階段彙整成果，烏坵鄉建議候選場址的一萬年內抬升速率採 0.48 mm/yr，侵蝕速率採 0.1 mm/yr。因此一萬年內的平均地表高程變化速率為 0.38 mm/yr，研判處置設施位置所在區域的地表長期屬於抬升趨勢。

三、海水面變化

相關之說明請參見本報告 3.2.1 節「三、海水面變化」。

3.3.2 水文地質概念模型

一、區域尺度水文地質模型

假設地下水分水嶺與地表水分水嶺一致，區域尺度水文地質模型遂以位於福建沿海且大致平行長樂—南澳斷裂帶的分水嶺作為西側的東北-西南向的陸域邊界，其餘邊界則分別依照區域的主要斷裂帶劃分。模型依各地層的特性分為不同的水文地質單元，根據相似地質條件的調查文獻擬定初始數值模擬的參數，並依據學理給定參數校正範圍，區域水文地質特性分布示於圖 3.3.2-1 與圖 3.3.2-2。烏坵鄉建議候選場址的降雨量採用馬祖站(中央氣象局設立，距離場址 72 海浬)，平均年雨量 1,182.4 mm(西元 2006 至西元 2014)。因區域尺度範圍無完整潮位記錄，鑒於區域尺度範圍約達數千平方公里，潮位高度對模擬結果影響不明顯，因此在不影響區域尺度模擬結果的前提下，假設潮位高度為 0 m。

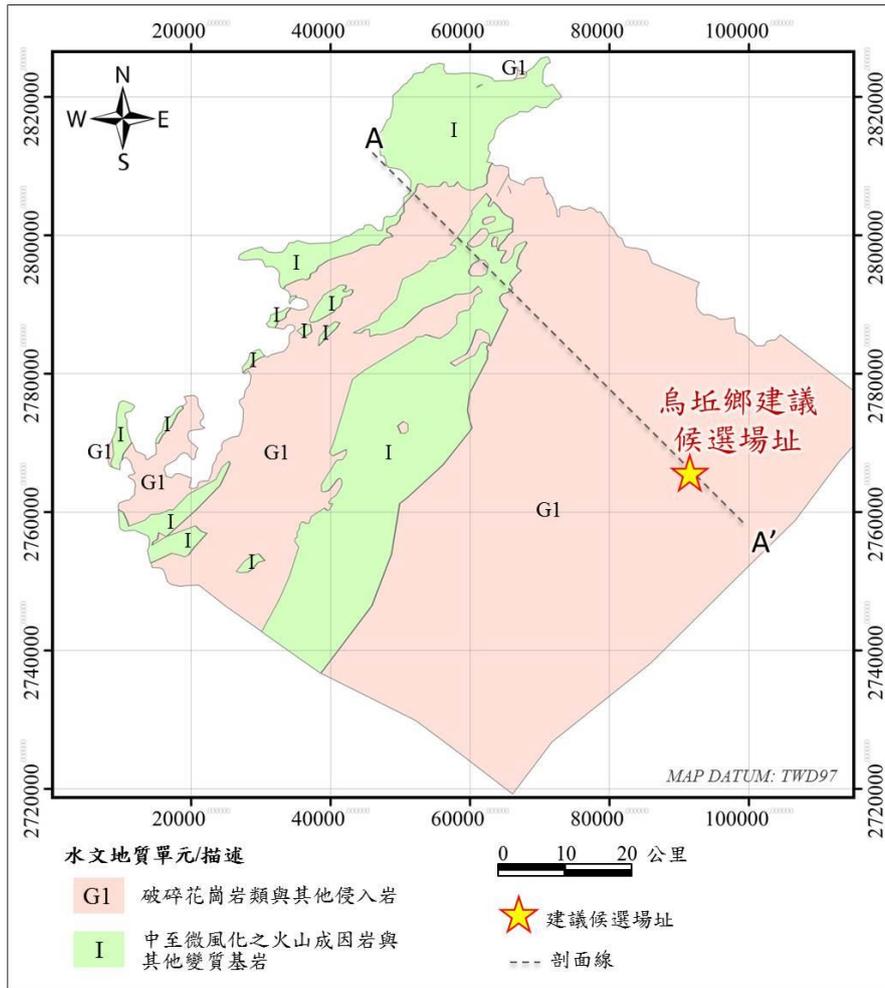


圖 3.3.2-1 烏坵鄉建議候選場址區域水文地質概念分區示意

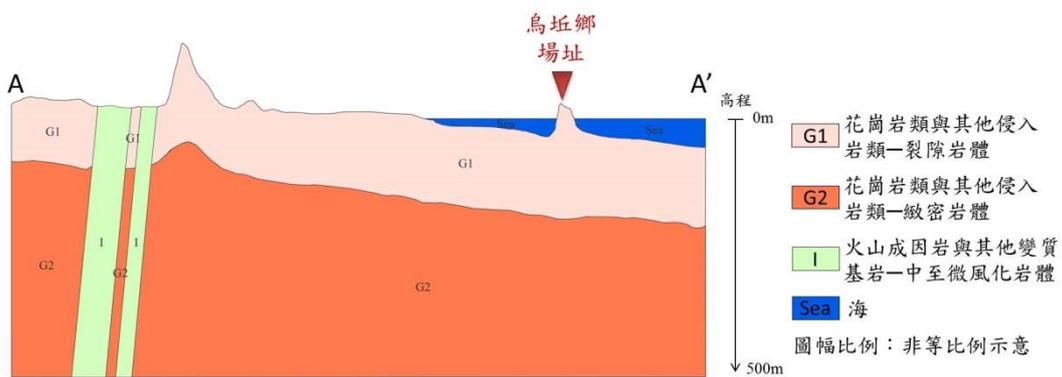


圖 3.3.2-2 烏坵鄉建議候選場址區域水文地質概念分層示意

區域地下水數值模型以長寬皆為 500 m 之網格製作，模擬區域東邊為海洋，以海底地形等高線作為分界依據，其餘為集水區邊界線。設定東邊海岸為定水頭邊界條件(Dirichlet boundary condition)，總水頭為高程 EL0 m，集水區邊界線則定為無通量邊界條件(no flux boundary condition)。垂直模擬範圍為自地表面延伸到高程 EL-2,000 m，數值網格如圖 3.3.2-3 所示。

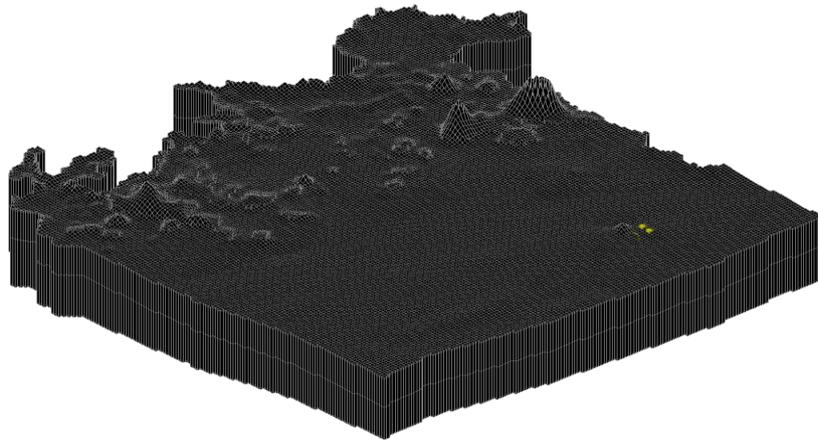


圖 3.3.2-3 烏坵鄉建議候選場址區域地下水數值模型網格

區域模擬結果以海淡水交界面呈現，以淡水平均密度 $1,000 \text{ kg/m}^3$ 與海水平均密度 $1,025 \text{ kg/m}^3$ 作為初始條件設定，模擬結果如圖 3.3.2-4 所示。圖中顯示，區域海淡水交界面距離烏坵鄉建議候選場址尚有相當距離，並且不會明顯受到長期的自然環境演變(如氣候、地形地貌)影響，研判烏坵鄉建議候選場址附近地下水流場應不受大陸地區地下水流場影響，主要的影響因子係來自烏坵鄉建議候選場址與其周邊區域。

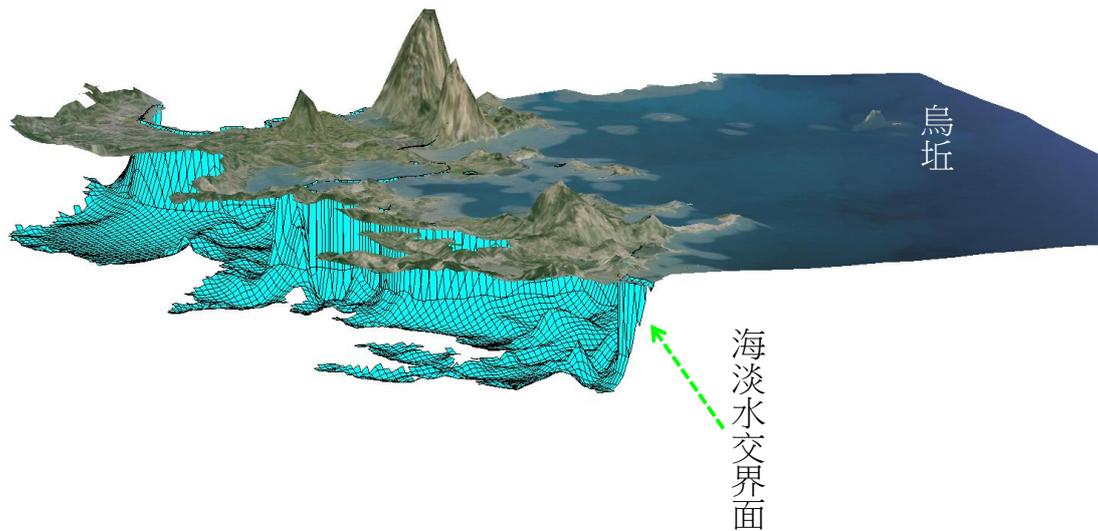


圖 3.3.2-4 大陸地區海水與淡水交界面

(二)場址尺度水文地質模型

場址尺度水文地質模型以區域水文地質模型為基礎，考量模型地形精度採既有海域地形調查範圍為邊界(工研院能資所，2000a，p3-6~p3-23)，邊界條件則依區域地下水模擬成果進行設定。水文地質模型垂直向的深度參考大區域模擬分析結果，場址尺度模型底部設定為 EL-600 m，岩性則區分岩脈侵入帶與花崗岩，分區架構如圖 3.3.2-5 所示。

參數以區域水文地質模型參數為基礎，利用數值模擬結果檢驗參數的合理性後進行調整。岩脈侵入帶以外的花崗岩區水文地質架構分為 3 個水文地質單元(GZ1~GZ3)，各水文地質單元以等效均質概念考量。彙整岩脈侵入帶分布趨勢後，劃分為 5 條西北-東南向、2 條東北-西南向，寬 40 m 的岩脈侵入帶之水文地質單元(DZ)。各水文地質單元的水力傳導特性假設為均質。

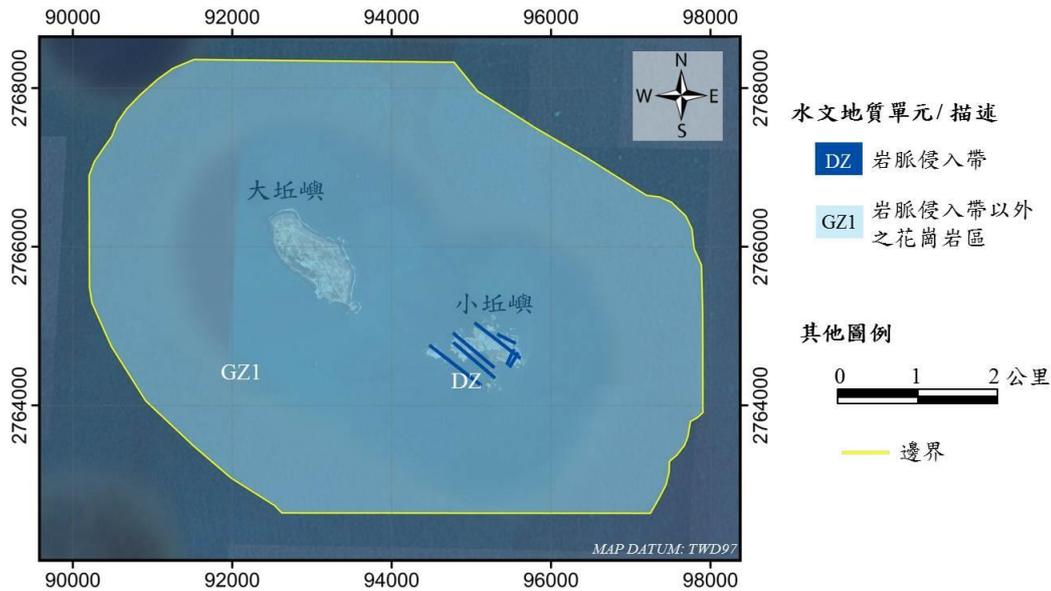
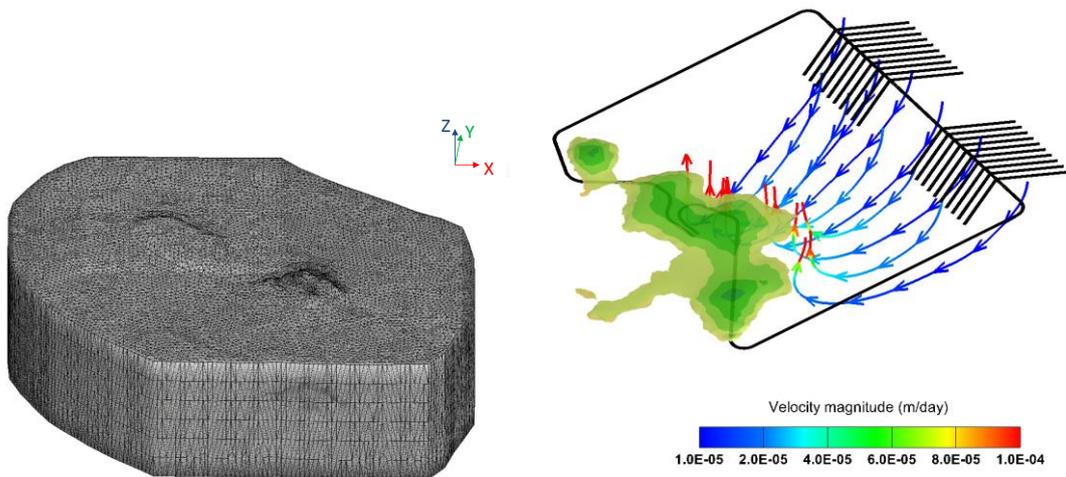


圖 3.3.2-5 烏坵鄉建議候選場址尺度水文地質分界示意圖

場址尺度地下水模擬三維度模型網格採用非結構化網格，如圖 3.3.2-6(左)所示。烏坵鄉建議候選場址地下水流場模擬如圖 3.3.2-6(右)所示，受鹽水分布變化的影響，地下水流向於靠近島嶼的區域受海淡水交界面影響而改變流向。由於烏坵鄉建議候選場址處置設施將位於海床下，因此設施附近之地下水流速相當緩慢，水流方向為朝向小坵，流動流速約 $1.0E-05$ m/d~ $1.0E-04$ m/d 之間。



(左)模型網格，(右)地下水流場

圖 3.3.2-6 烏坵鄉建議候選場址地下水模型與流場模擬示意圖

3.3.3 地球化學概念模型

處置設施興建與封閉對於地球化學環境影響與 3.2.3 節之地球化學環境演化相似，近場工程障壁及母岩地球化學環境演化之推估如表 3.3.3-1。此外，烏坵鄉建議候選場址處置設施將位於海水水位以下，故處置設施將長期處於海水系統，惟有在冰期造成海水面劇烈下降並轉為陸地環境後，方有可能轉為淡水系統。

表 3.3.2-1 烏坵鄉建議候選場址地球化學環境演化

階段	工程障壁	開挖擾動區母岩	非開挖擾動區母岩
設施興建前	-	-	鹽水*、還原態
興建運轉階段	鹽水、氧化態	鹽水、氧化態	
設施回填後	鹽水、還原態	鹽水、還原態	
設施回填後 一定時間	鹽水*、還原態	鹽水*、還原態	

*-冰期造成海水高程大量下降時，處置系統將轉為淡水系統。

烏坵鄉建議候選場址分配係數選用，暫時參考日本 JAEA(2013, p54~p56)所提供針對水泥類材料、膨潤土材料以及岩盤等障壁材料，在不同環境條件下之分配係數(K_d)，如表 3.3.2-2 所列。需注意的是，工程障壁在鹽水條件下均不考慮其吸附特性，針對在不同水質條件下花崗岩體之分配係數(K_d)，則參考瑞典 SKB(2008, p240)的資料。

3.3.4 生物環境概念模型

烏坵鄉建議候選場址戶籍登記人口為 671 人，其中大坵有 310 人，小坵有 361 人，當地居民多以外出就學就業，小坵的常住人口僅有 10 餘人(金門縣政府民政處網站 104 年 5 月份人口數統計資料)。

由於烏坵鄉屬於軍事管制區，且物產資源不豐富，物資補給全賴軍方定期船艦，對外交通較不方便。根據金門縣統計年報資

料，烏坵鄉未登錄有農業人口或漁業從業人員，亦未登錄有飼養家禽或家畜，故無農、漁和畜牧等產業活動。小坵島上居民僅在住家附近貧瘠土地種植蔬菜自用，或是採集紫菜、釣魚、拾取風螺、抓螃蟹和小章魚等，作為日常食物的來源之一(台灣電力公司，2002，p3-56、p3-58、p3-71)。

3.4 場址特徵化不確定性研判與調查規劃

3.4.1 場址特徵化不確定性來源

一、特徵化概念不確定性

特徵化概念不確定性源自於對作用(Process)的認知不夠完全，或數學模式無法正確描述，因而造成特徵模型與自然環境有所差異。如地質構造演化、長期海水面變化，導水裂隙分布概念化，長期的氣候、地球化學環境與生物環境預測等。

二、資料不確定性

資料不確定性可能由樣本代表性與調查方式而產生。樣本代表性所產生之不確定性源自於環境異質性、採樣位置與樣本數等影響。而調查方式所造成之不確定性則來自調查方式本身之適用性、分析方式以及採用參數之代表性。

3.4.2 達仁鄉建議候選場址特徵化不確定性研判與調查計畫調整

現階段受限於設施所在位置之關鍵特性參數缺乏實際調查資料所致，場址特性概念模式特徵化不確定性分析如下：

一、地質環境概念模型：區域尺度地質環境概念模型的不確定性，主要在於長時間尺度預測之變化量，如：地形抬升量隨時間之變化量、地形剝蝕率與空間特性等，特徵趨勢則相對較可靠。而需要較多處置母岩與周圍環境調查資料之場址尺度概念模型，雖已利用周圍地區資料輔以學理研判，但受限於現地調查資料不足，難

以驗證與確認其準確性，故在概念特徵與參數選用上均具有不確定性。

二、水文地質概念模型：水文地質概念模式與地質環境概念模型相似，在缺乏現地鑽孔、地下水位監測與水力試驗等資料之現況下，場址尺度概念模型亦具有不確定性。

三、地球化學概念模型：由於目前安全分析規劃採用線性吸附模式，就地球化學特性而言，其較大的不確定性來自於相關線性分配係數數據均參考國外試驗資料庫，而非使用國內場址現地樣品試驗資料。

四、生物環境概念模型：基於達仁鄉建議候選場址具備較不利經濟開發之因素（例：臨海地區且地勢陡峭、交通較鄰近地區不便），在假設人類生活行為與周圍經濟發展均與現況相似之前提下，推測長期環境差異可能不大，研判關鍵群體生活型態之不確定性較低。

現階段之場址特性調查規劃請參見台灣電力公司(2016a，p25~p120) LLWD2-SI-2015-01-V06-台東縣達仁鄉場址特性調查計畫。依場址特徵化不確定性研判調整調查計畫說明如下：

一、地質環境特性調查：鑽孔深度與位置已調整部分鑽孔深度需低於處置設施底部高程，現階段概念模型中高角度裂隙帶特徵仍未完全掌握，規劃以鑽孔調查搭配多種地球物理探測方法以釐清其特徵。

二、水文地質特性調查：因缺乏較多之現地調查資料，故須先進行初步之鑽孔、水力試驗與水位監測，再視其特性調整與增設監測與調查項目。

三、地球化學特性調查：規劃須針對關鍵核種進行現地樣本之線性分配係數試驗，並與國外資料庫數據進行比對。

四、達仁鄉建議候選場址之生物環境特性調查則按場址特性項目進行調查，未依不確定性做調整。

3.4.3 烏坵鄉建議候選場址特徵化不確定性研判與調查計畫調整

現階段受限於設施所在位置之關鍵特性參數缺乏實際調查資料所致，場址特性概念模式特徵化不確定性分析如下：

- 一、地質環境概念模型：雖然區域尺度地質環境概念模型在長時間尺度預測變化量之準確性較低，考量場址所在地質環境演化相對較為穩定，故其不確定性亦較低。另由於處置設施所在母岩位於海床下且離島嶼陸地已有一段距離，雖已採用過去於島嶼陸域與近岸之調查資料輔以學理研判，但受限於場址母岩所在位置調查資料不足，難以驗證與確認其準確性，故在概念特徵與參數選用上均具有不確定性。
- 二、水文地質概念模型：水文地質概念模式與地質環境概念模型相似，雖處置母岩位於海床下，研判其地下水流場特性應相對單純，但在缺乏現地鑽孔、地下水位監測與水力試驗等資料之現況下，場址尺度概念模型亦具有不確定性。
- 三、地球化學概念模型：由於目前安全分析規劃採用線性吸附模式，就地球化學特性而言，其較大的不確定性來自於相關線性分配係數數據均參考國外試驗資料庫，而非使用國內場址現地樣品試驗資料。
- 四、生物環境概念模型：若考量冰河期海水下降特性，烏坵鄉建議候選場址現況之島嶼生活環境將可能因海水退去後，周圍出現廣大陸地而轉變，其外來生活環境型態預測具有較高之不確定性。

現階段之場址特性詳細調查規劃請參見台灣電力公司(2016b, p25-p120) LLWD2-SI-2015-02-V06-金門縣烏坵鄉場址特性調查計畫。依場址特徵化不確定性研判調整調查計畫說明如下：

- 一、地質環境特性調查：依現階段處置設施布置，規劃增加海上鑽孔以釐清場址母岩特性，另搭配進行地球物理探測以釐清場址鄰近區域，部分有疑慮之地質構造特性。

-
-
- 二、水文地質特性調查：因缺乏較多之現地調查資料，故須先進行初步之鑽孔、水力試驗與水位監測，再視其特性調整與增設監測與調查項目。
- 三、地球化學特性調查：規劃須針對關鍵核種進行現地樣本之線性分配係數試驗，並與國外資料庫數據進行比對。
- 四、生物環境特性調查：雖然烏坵鄉建議候選場址生物環境預期會由島嶼生態環境轉變為陸域生活型態，但特性調查亦規劃按場址特性項目進行調查，而陸域生活型態特性則以類比方式進行。

第四章 處置設施概念設計與作業規劃

4.1 處置設施概念設計要求

4.1.1 處置設施規劃需求

低放射性廢棄物最終處置設施設計時，應符合之法規要求彙整如表 4.1.1-1 所示。低放處置設施應採多重障壁系統，利用多層障壁阻滯核種外釋，或延緩核種釋出到生物圈的時間。此外，進行處置設施空間規劃時，需搭配地下水流場分析結果，將處置坑道布置於地下水流速較緩區域，且需避開明顯破碎帶與地下水流速較高區域。

表 4.1.1-1 低放射性廢棄物最終處置設想法規需求

項目	法規需求	法規依據
處置區容量	放射性廢棄物最終處置設施應接收全國所產生之放射性廢棄物。(本低放處置設施目前僅考量 A、B、C 類低放射性廢棄物)	放射性物料管理法
處置安全	低放處置設施應足以保障公眾之健康及安全。	
廢棄物包裝	廢棄物分類包裝應符合低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則第 4、5、6 條之要求。	低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則
分區處置	低放處置設施應依廢棄物分類特性分區處置。	
設計原則	低放處置設施應採多重障壁概念進行設計。	
設施外輻射限值	低放處置設施之設計應確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 mSv，並應符合合理抑低原則。	
排水與防滲設計	低放處置設施封閉前，其排水與防滲設計，應能防止廢棄物與積水或滲漏水接觸。	
保安與警示設計	低放處置設施之保安與警示設計，應能防止人員誤闖或占用。	
工作人員輻射防護	<ul style="list-style-type: none">每連續 5 年週期之有效劑量不得超過 100 mSv，且任何單一年內之有效劑量不得超過 50 mSv。眼球水晶體之等價劑量於 1 年內不得超過 150 mSv。皮膚或四肢之等價劑量於 1 年內不得超過 500 mSv。	游離輻射防護安全標準

處置設施保守預估可處置 A 類低放射性廢棄物至少 67.5 萬桶，B、C 類低放射性廢棄物至少 7.5 萬桶。處置坑道應區分為 A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道兩種，且坑道內的低放射性廢棄物不可混合放置，亦即 A 類低放射性廢棄物不可放置於 B、C 類坑道內。

4.1.2 工程障壁系統設計需求

工程障壁系統包括廢棄物體、盛裝容器、填充材料、處置窖、緩衝材料、回填材料、二次襯砌、基礎層、開挖擾動區等構件，其所需具備之安全功能，彙整如表 4.1.2-1 所列。處置場封閉後的長期安全功能主要與圍阻與遲滯核種釋出有關，運轉期間的安全功能則以力學穩定性和輻射防護為主。以下分別就工程障壁構各構件說明其設計要求。

一、廢棄物體：

廢棄物體應符合「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第 5 條、第 6 條之規定，以確保廢棄物體的穩定性。

二、盛裝容器：

廢棄物盛裝容器包括 55 加侖桶(熱浸鍍鋅塗裝鋼桶)、83 加侖桶(熱浸鍍鋅塗裝鋼桶)、混凝土盛裝容器以及蘭嶼貯存場之 3x4 與 3x1 桶裝之重裝容器(表面熱浸鍍鋅塗裝之鋼材)，但在概念設計階段，先暫以 55 加侖桶(熱浸鍍鋅塗裝鋼桶)作為設計考量，待處置場可接收之盛裝容器確定後再行調整。此外，未來處置場可接收之盛裝容器需符合「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 8 條及 9 條規定。

三、填充材料：

填充材料主要填充於廢棄物盛裝容器與處置窖內空隙。填充材料目前以水泥砂漿為考量，其目的在於增加運轉期間處置窖內

廢棄物堆疊之力學穩定性，避免廢棄物體因外力而傾倒或損壞，並於處置場封閉後遲滯核種釋出。

表 4.1.2-1 工程障壁各構件之安全功能需求及評估指標

階段	安全功能需求	評估指標	廢棄物體	盛裝容器	填充材料	處置窖	緩衝材料	回填材料	二次襯砌	基礎層	開挖擾動區	天然障壁
運轉期間	力學穩定	材料強度	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●
		坑道幾何、配置	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●
	廢棄物定置	廢棄物定置與填充材料施工性	-	●	○	●	-	-	-	●	-	-
	防止污染擴大	防止核種釋出	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-
封閉後	限制平流傳輸	水力傳導係數	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●
	限制擴散傳輸	擴散係數	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●
	限制核種溶解	溶解度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	活化金屬核種溶出	核種釋出率	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	其他廢棄物核種溶出	溶出率	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	核種吸附	分配係數	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●
	工程障壁劣化	水力傳導係數比	-	-	●	●	●	●	●	●	●	-
	防止人類入侵	設施材料強度、岩覆	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●

- ：具有此安全功能，且列入設計考量。
- ：具有此安全功能，但不列入設計考量。
- ：無此功能

四、處置窖：

處置窖之結構物材料以鋼筋混凝土為考量。其目的在於運轉期間承載窖內廢棄物及回填材料之重量，提供輻射屏蔽確保作業安全，並於處置場封閉後可長期遲滯核種釋出。

五、緩衝材料：

因 B、C 類低放射性廢棄物含有較高濃度之長半化期核種，應盡量使核種釋出工程障壁的時間延後，以確保其長期安全性。

故針對放置 B、C 類低放射性廢棄物的處置窖，周圍將使用緩衝材料以抑制地下水滲流量。緩衝材料以膨潤土(Bentonite)為主要考量，利用膨潤土遇水膨脹可填充空隙之特性，降低地下水流入之水量。

六、回填材料：

回填材料主要填充於處置坑道內，處置窖或緩衝材料(僅 B、C 類廢棄物)施工後剩餘的空間。在處置場封閉後，應能長時間遲滯核種釋出。回填材料以混凝土為主要考量材料。

七、基礎層：

基礎層設置在處置窖下方，以鋼筋混凝土材料為主要考量。主要功能為提供廢棄物盛裝容器、填充材料、處置窖等構件在力學上的支撐作用。基礎層在運轉期間須能承載來自於緩衝材、處置窖、回填材料以及廢棄物之重量；在處置場封閉後，應能長時間遲滯核種釋出。

八、二次襯砌：

二次襯砌主要功能為運轉期間承載處置坑道周圍岩體荷重，以及減少圍岩地下水入滲。考量材料以鋼筋混凝土為主。

九、開挖擾動區：

處置坑道圍岩將因開挖擾動而增加裂隙。為確保處置設施之長期安全功能，處置坑道在開挖時應採用對於圍岩擾動較小之開挖工法，例如機械開挖、平滑開炸等。於斷面開挖後應針對開挖擾動區進行固結灌漿，以盡量降低其透水量。灌漿範圍則視開挖擾動範圍而定。

4.1.3 處置設施封閉規劃需求

處置場接收低放射性廢棄物達到預定處置容量後，即依「放射性物料管理法及」其施行細則規定擬訂封閉計畫及監管計畫，經報請主管機關核准後實施封閉與監管作業。封閉之概念係為了

確保工程障壁能確實發揮遲滯核種遷移的功能，避免處置場封閉後形成核種遷移的快速路徑，以及減緩工程障壁的功能退化。

4.1.4 輔助區規劃需求

處置場附屬輔助設施，主要提供處置場運轉所需之支援設備與人力空間，輔助區之主要設施包括：運轉大樓、工安大樓、行政大樓、空調室及通風機室、污水處理廠、維護工廠、警衛室及接收港等。各設施之需求分別說明如下。

一、運轉大樓

運轉大樓的主要功能，包括做為放射性廢棄物桶之暫存倉庫、檢查站及保健室等。暫存倉庫區之設計存量需考慮碼頭區毀損時之運送調節量。運轉大樓內之空調排放水及廢棄物檢整暫存區之排放水均須導入獨立的集水坑中，坑內廢水應經取樣確認後，由排水泵排至廢水收集容器內，再以移動式放射性污染廢液處理設備處理。

二、行政大樓

本大樓內設有場長、副場長辦公室，處置場運轉、封閉及監管期間相關行政事務之辦公場所。

三、污水處理廠

污水處理廠提供輔助區運作所產生之工業廢水、生活污水之處理，並將處置區內所排放之廢流水導引至污水處理廠處理。規劃依各廢水類型獨立設置對應之工業廢水、生活污水與處置區廢水處理系統。

四、維護工廠

維護工廠負責輔助區內機電設備、車輛之維護修理，以維持場區內之正常運轉。

五、空調室

空調室設置於通行隧道入口附近，其主要功能為提供輔助區及地下處置設施內之空氣調節。空調機需具有控制溫度、濕度及空氣流動方向之功用，同時於通風設備之進出口，偵測空氣中輻射劑量。

六、通風機室

通風機室設置於通行隧道入口附近，其主要提供地下處置場通風加壓所需設施，使冷空氣適當分佈於坑道內每一個角落。通風機室應裝設風機設備以達到最佳冷房效果。

七、工安大樓

工安大樓主要負責場區運轉、車輛運輸人員進出管理，並負責所有人員之勞工安全教育訓練、環境保護。

八、接收港

接收港主要用以停靠運輸低放射性廢棄物以及各項物資之船舶。

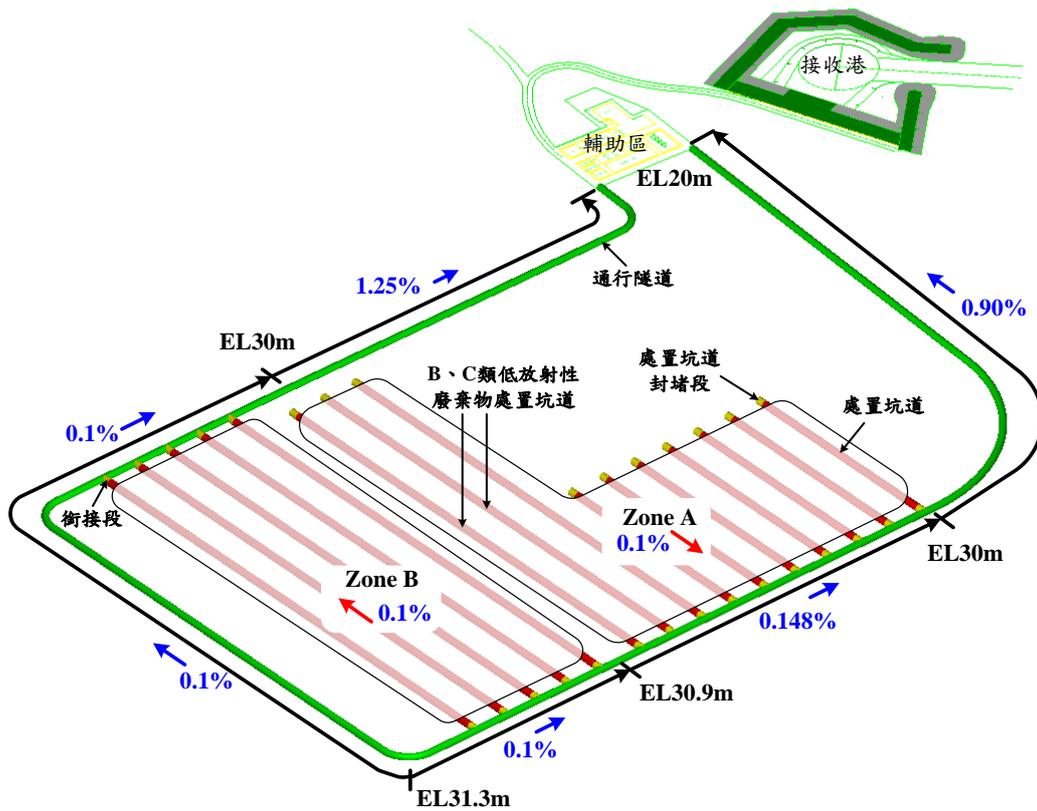
九、警衛室

警衛室主司輔助區及處置場進出車輛及人員之登記、檢查，以策安全。

4.2 達仁鄉建議候選場址概念設計

4.2.1 處置設施與輔助區規劃

考量台東縣達仁鄉建議候選場址之場址特性、處置容量需求與設計要求，處置設施的空間配置參見圖 4.2.1-1。處置坑道位於高程 EL30 m~EL31.2 m 之間，共有 13 條 A 類低放射性廢棄物處置坑道，以及 2 條 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道，處置坑道總長度為 8,938 m。A 類低放射性廢棄物處置坑道岩覆深度大於 62.2 m；B、C 類低放射性廢棄物處置坑道岩覆深度大於 76.4 m。



備註：箭頭方向為重力排水方向。

圖 4.2.1-1 達仁鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃示意圖

達仁鄉建議候選場址輔助區，規劃於進出通行隧道之出入口處，需藉由開挖、回填及整地等以達到需求之面積。有關之山坡開挖、回填、擋土、護坡、排水及設置滯洪沉砂池等設施，除需符合水文、降雨強度及道路標準等相關規定外，亦須符合水土保持技術規範之規定。整個輔助區及接收港平面布置圖參見圖 4.2.1-2。

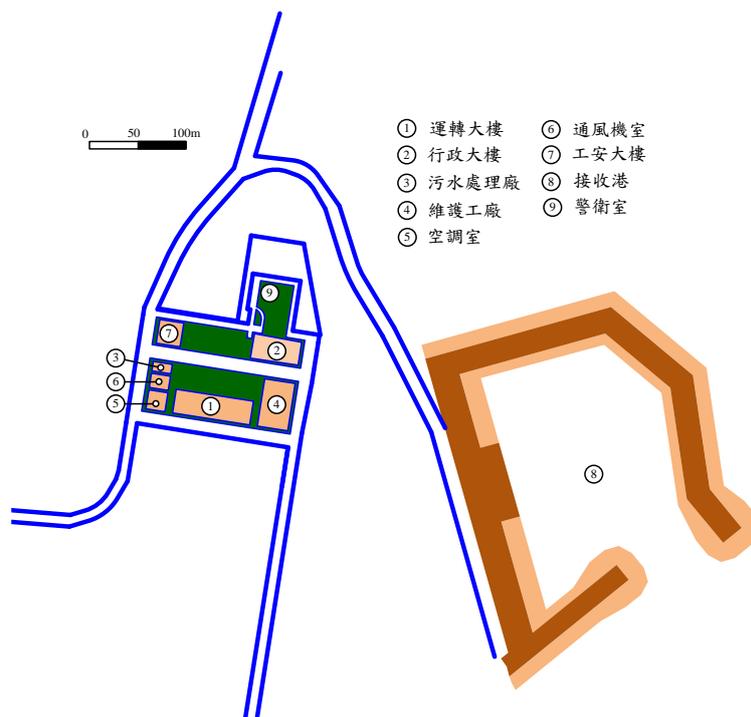


圖 4.2.1-2 達仁鄉建議候選場址輔助區平面布置圖

4.2.2 工程障壁系統設計

考量台東縣達仁鄉建議候選場址為硬頁岩，內含許多地質弱面，為提升坑道與圍岩之安定，整體輪廓將以近似圓形設計。坑道內空斷面則考量到工程障壁之尺寸，以及運轉期間之維護、裝載設備、排水設施所需預留之空間，處置設施所需之淨寬度至少 12.1 m。另依照「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，分別針對 A 類低放射性廢棄物和 B、C 類低放射性廢棄物，設計對應之「多重障壁」系統，如圖 4.2.2-1 及圖 4.2.2-2 所示。其中，針對 B、C 類低放射性廢棄物，因其廢棄物活度較高，故加厚處置窖之厚度，並另外配置緩衝材料，以確保處置設施內，核種傳輸特性可長期維持擴散主導，降低核種藉由移流傳輸而快速釋出之可能性。

A 類低放射性廢棄物處置窖之寬約為 8.5 m、高約為 5.9 m、深度為 16 m，每個處置窖內可堆放 1,500 桶之 55 加侖桶。B、C

類低放射性廢棄物處置窖之寬約為 7.2 m、高約為 5.5 m、深度為 16 m，每個處置窖內可堆放 900 桶之 55 加侖桶。

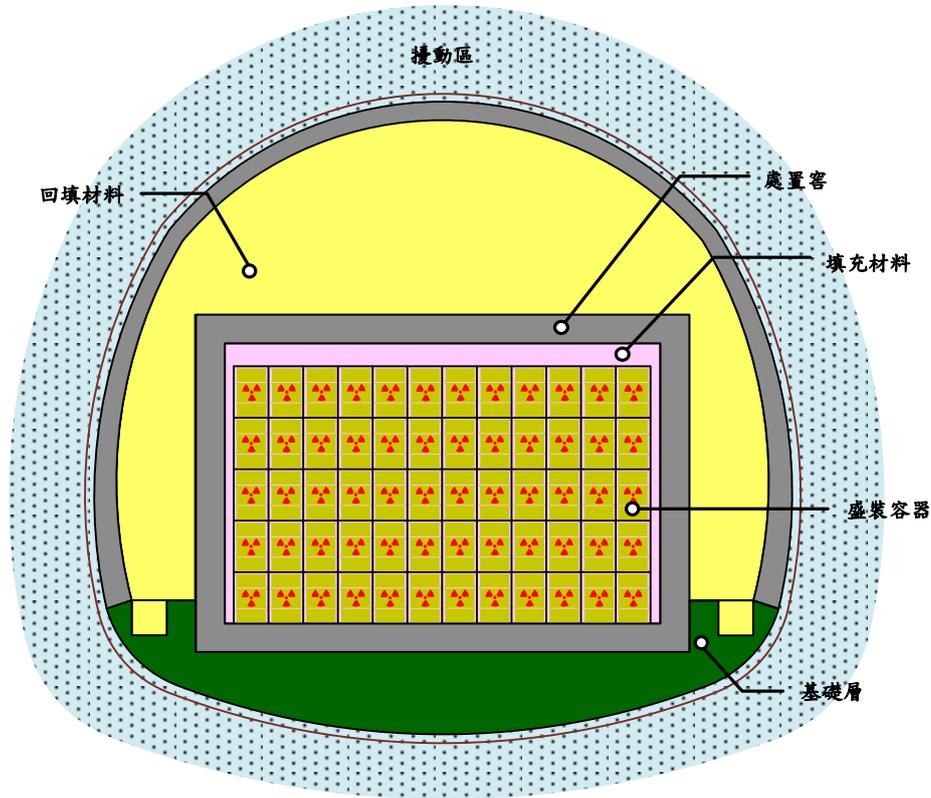


圖 4.2.2-1 達仁鄉建議候選場址 A 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計

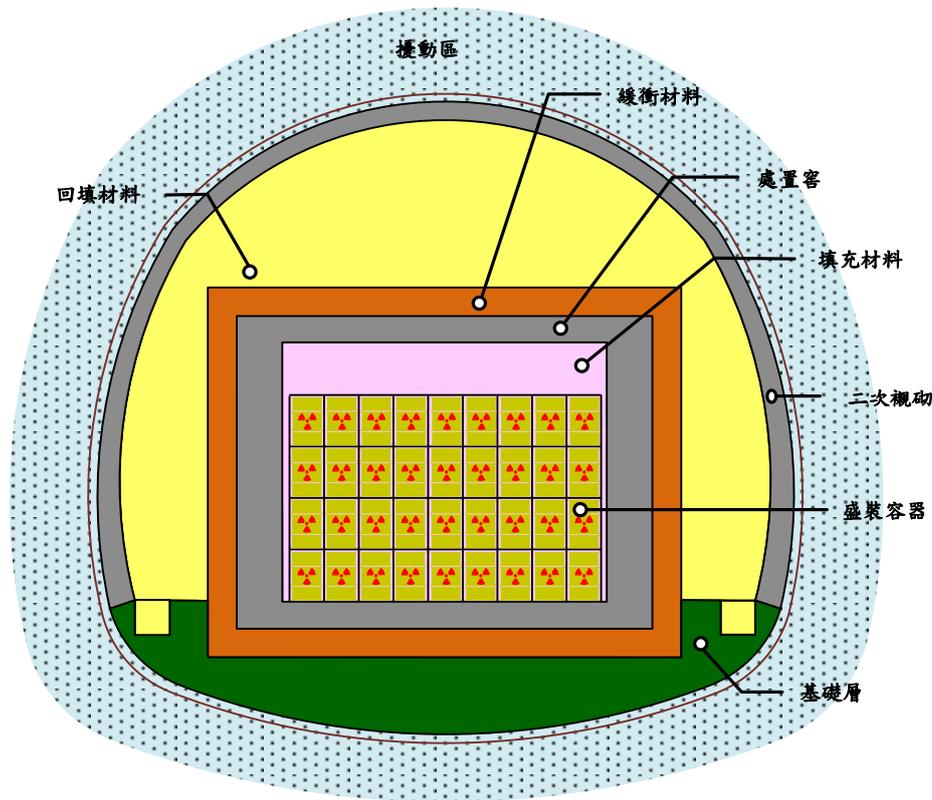


圖 4.2.2-2 達仁鄉建議候選場址 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道
工程障壁設計

4.2.3 處置設施封閉設計

針對達仁鄉建議候選場址的概念設計與環境條件，並參考瑞典、日本等國際上之作法，規劃處置坑道及銜接段之回填材料與封塞概念設計，如圖 4.2.3-1 所示，其中回填材料須達到維持與周邊岩盤相當的低透水性；水力封塞須達到與緩衝材料相同之性能；力學封塞則應提供進行回填及水力封塞施築過程之力學穩定，並具備低透水性之特性。回填材料、水力封塞與力學封塞需視運轉後之設施與環境狀況，依此功能目標調整設計尺寸與型式，故於概念設計階段僅先訂定其設計功能。

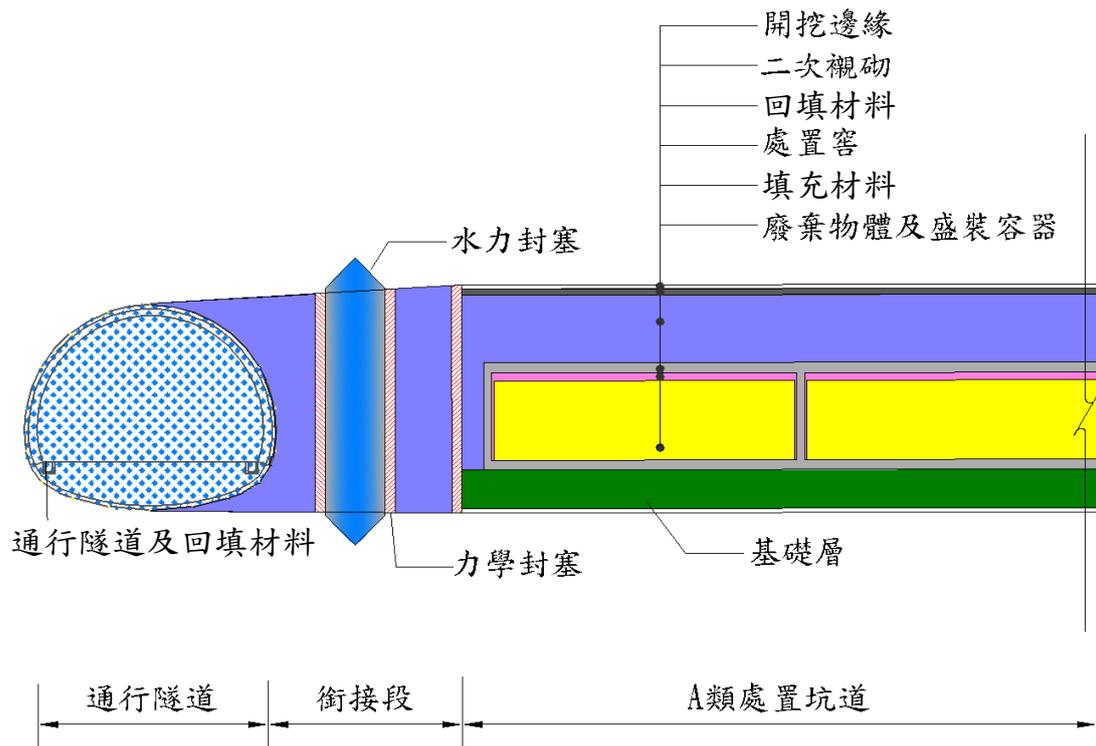


圖 4.2.3-1 達仁鄉建議候選場址封閉設計(1/2)

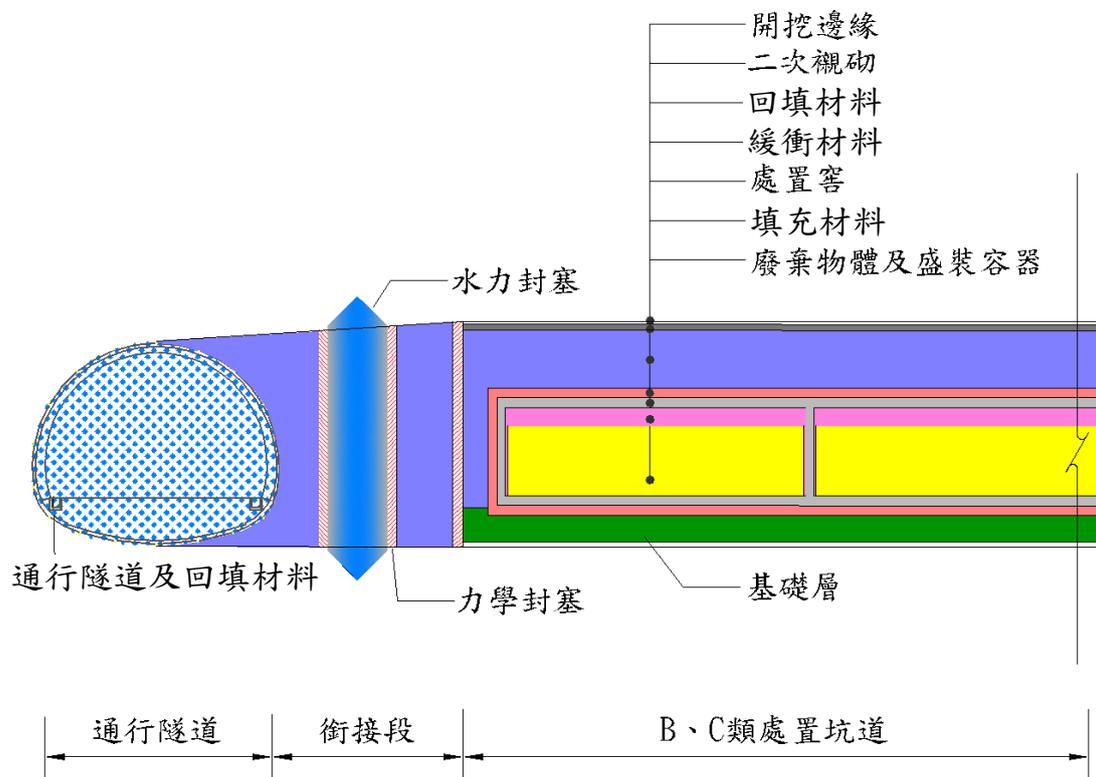


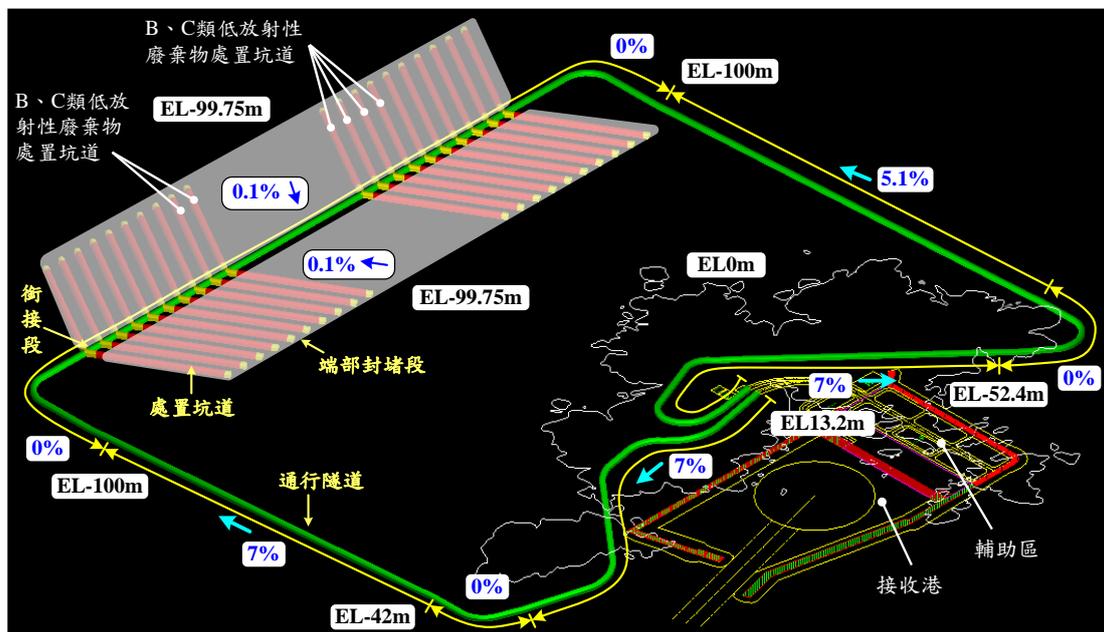
圖 4.2.3-1 達仁鄉建議候選場址封閉設計(2/2)

4.3 烏坵鄉建議候選場址概念設計

4.3.1 處置設施與輔助區規劃

考量金門縣烏坵鄉建議候選場址之場址特性、處置容量需求與設計要求，處置設施的空間配置參見圖 4.3.1-1。處置坑道位於高程 EL-99.7 m 至 EL-100 m 之間，共有 34 條 A 類低放射性廢棄物處置坑道，以及 6 條 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道，處置坑道總長度為 8,800 m。處置坑道上方岩覆為 58.8 m~59.0 m。

烏坵鄉建議候選場址輔助區規劃於進出通行隧道之出入口附近，需藉由開挖、回填及整地等以達到需求之面積。有關之回填、擋土、護坡、排水及設置滯洪沉砂池等設施，除需符合水文、降雨強度及道路標準等相關規定外，亦須符合水土保持技術規範之規定。整個輔助區及接收港平面布置圖參見圖 4.3.1-2。



備註：箭頭方向為重力排水方向。

圖 4.3.1-1 烏坵鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃示意圖

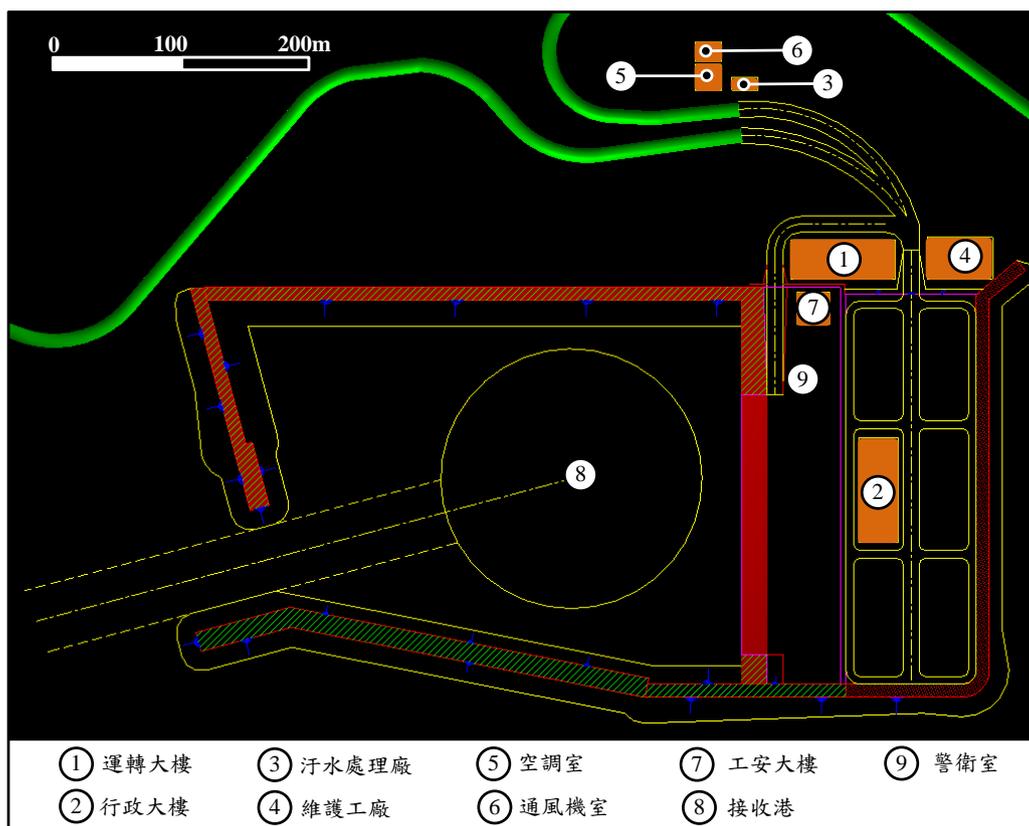


圖 4.3.1-2 烏坵鄉建議候選場址輔助區平面布置圖

4.3.2 工程障壁系統設計

考量烏坵鄉建議候選場址母岩屬岩性堅實之花崗岩，因此整體輪廓以方便運轉考量之倒 D 型設計。坑道內空斷面則考量到工程障壁之尺寸，以及運轉期間之維護、裝載設備、排水設施所需預留之空間，處置設施所需之淨寬度至少 10.73 m。另依照「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，分別針對 A 類低放射性廢棄物和 B、C 類低放射性廢棄物，設計對應之「多重障壁」系統，如圖 4.3.2-1 及圖 4.3.2-2 所示。其中，針對 B、C 類低放射性廢棄物，因其廢棄物活度較高，故加厚處置窖之厚度，並另外配置緩衝材料，以確保處置設施內，核種傳輸特性可長期維持擴散主導，降低核種藉由移流傳輸而快速釋出之可能性。

A 類低放射性廢棄物處置窖之寬約為 8.5 m、高約為 5.9 m、深度為 16 m，每個處置窖內可堆放 1,500 桶之 55 加侖桶。B、C 類低放射性廢棄物處置窖之寬約為 7.2 m、高約為 5.5 m、深度為 16 m，每個處置窖內可堆放 900 桶之 55 加侖桶。

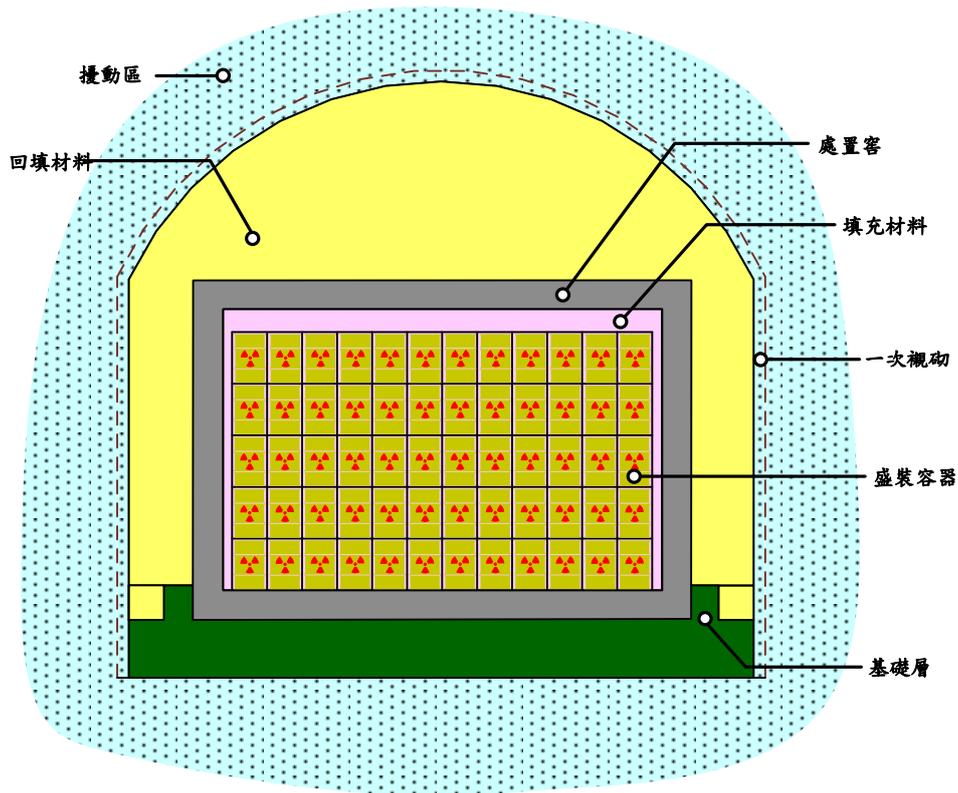


圖 4.3.2-1 烏坵鄉建議候選場址 A 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計

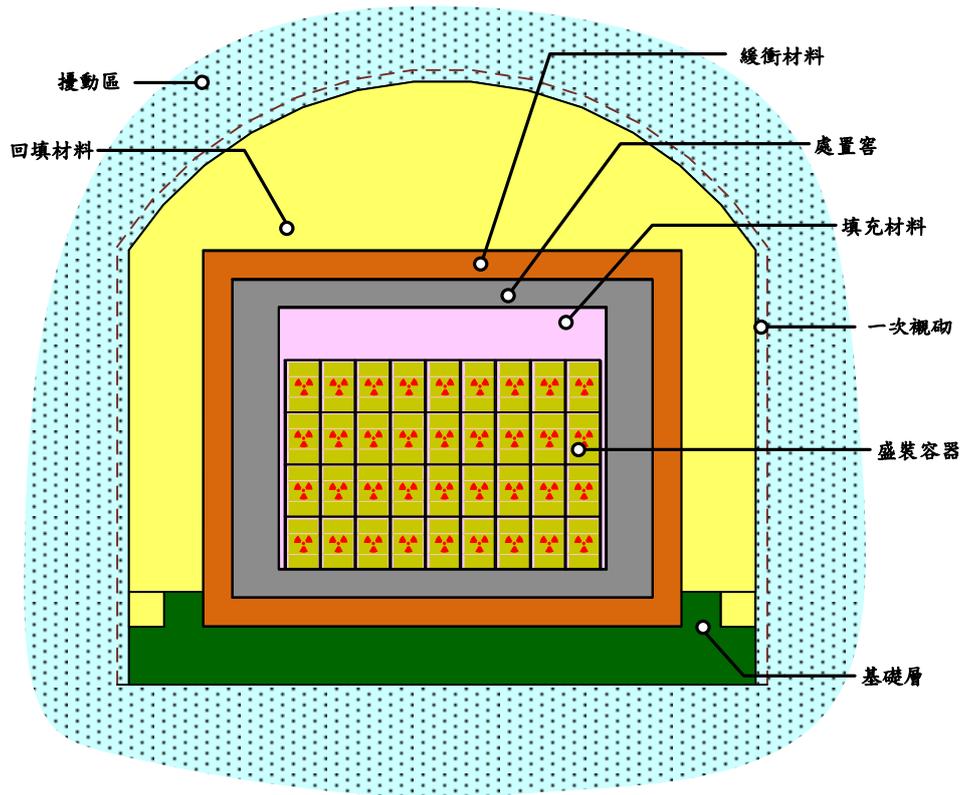


圖 4.3.2-2 烏坵鄉建議候選場址 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道
工程障壁設計

4.3.3 處置設施封閉設計

針對烏坵鄉建議候選場址的概念設計與環境條件，並參考瑞典、日本等國際上之作法，規劃處置坑道及銜接段之回填材料與封塞概念設計，如圖 4.3.3-1 所示，圖中回填材料須達到維持與周邊岩盤相當的低透水性；水力封塞須達到與緩衝材相同之性能；力學封塞則應提供進行回填及水力封塞施築過程之力學穩定，並具備低透水性之特性。回填材料、水力封塞與力學封塞需視運轉後之設施與環境狀況，依此功能目標調整設計尺寸與型式，故於概念設計階段僅先訂定其設計功能。

地表

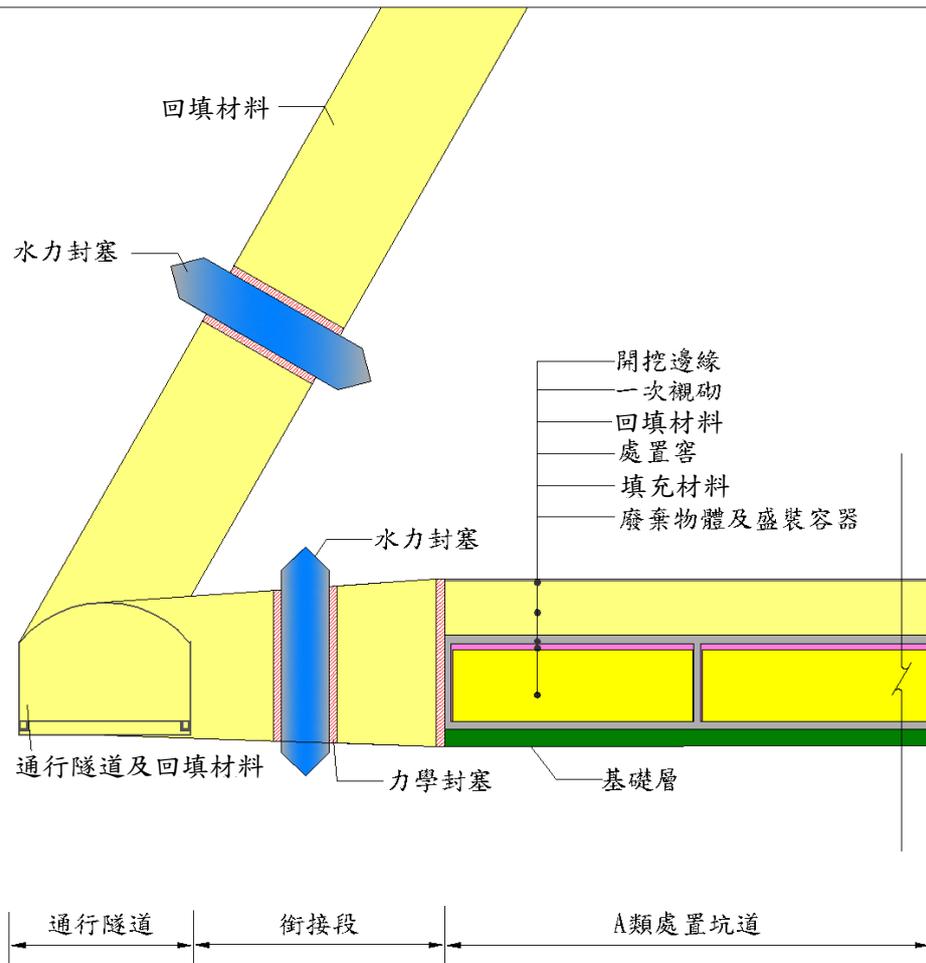


圖 4.3.3-1 烏坵鄉建議候選場址封閉設計(1/2)

地表

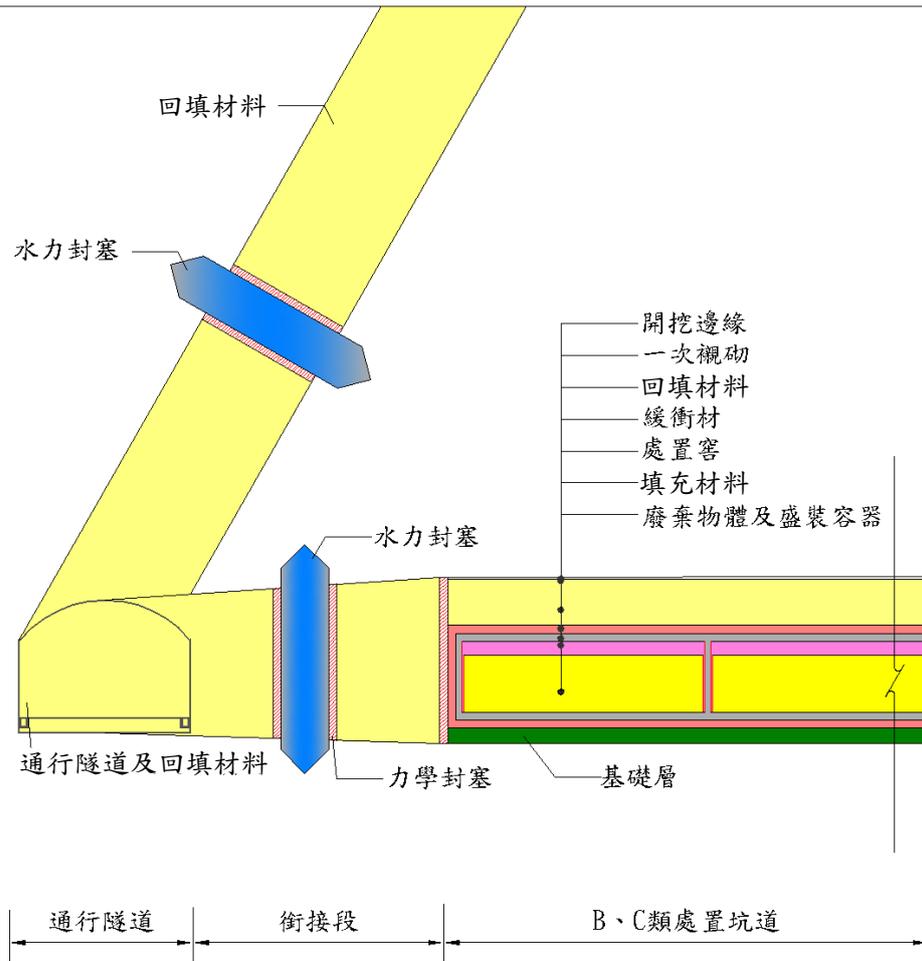


圖 4.3.3-1 烏坵鄉建議候選場址封閉設計(2/2)

4.4 階段作業時程與興建施工規劃

低放射性廢棄物最終處置計畫依其階段性目標與任務概分成四個階段，以下分別說明各階段預期辦理工作內容：

一、處置場選址階段

本階段之待辦事項包含：辦理地方性公民投票(決定候選場址)、投資可行性研究報告審查、實施環境調查與環境影響評估、行政院核定場址、辦理土地取得、執行工程設計、建造執照及相關執照申請與審查等。

二、處置場建造階段

(一)施工階段：包括發包作業及辦理工程契約簽定等施工前置作業及施工，處置場之施工大致分為整地排水、處置坑道與處置窖(包含暫時性的結構物，以輔助處置坑道與處置窖的建造)、接收港及輔助區建築施工等四大部份。

(二)申請核發運轉執照：擬定試運轉計畫，報經主管機關核准進行試運轉。完成試運轉後，向主管機關申請核發運轉執照。

三、處置場運轉階段

第一期將接收核能電廠運轉廢棄物及蘭嶼貯存場之除役廢棄物。第二期接收核一、二及三廠陸續除役拆廠之除役廢棄物，預計最大接收量可達 75 萬桶廢棄物，整體運轉時程暫定為 60 年。

四、處置場封閉監管階段

處置場完成接收低放射性廢棄物後，即依「放射性物料管理法」及其施行細則規定擬訂封閉計畫及監管計畫，經報請主管機關核准後實施封閉與監管作業。封閉作業包括處置場回填封塞等作業及綠化工程等。另依「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，完成封閉後，應對處置管制地區之穩定性，進行至少 5 年之觀察及監測，並依主管機關核准之監管計畫進行監管。

4.4.1 處置場選址與建造階段作業時程規劃

一、達仁鄉建議候選場址

若達仁鄉建議候選場址通過公投成為候選場址，將開始進行場址調查與基本設計，並提送投資可行性研究報告至經濟部審查，經行政院核定後，方能進行土地取得作業，亦須提送安全分析報告與建造申請，以取得原能會核發之建造許可。期間亦須提交環境影響評估說明書、開發計畫、海岸利用管理說明書、水土保持規劃書、變更「高雄港未來發展及建設計畫(106-110年)」給各主管機關，以取得開發許可。相關執照申請完成後，即可進行整地排

水、處置坑道、港灣及輔助區建築等施工作業，考量到處置場投入運轉之時效性，茲將處置坑道分為 2 期施作。處置場第一期坑道與處置窖完工後，擬定試運轉計畫，報經主管機關核准進行試運轉。完成試運轉後，再向主管機關申請核發運轉執照，開始進入處置場運轉階段。作業流程規劃如圖 4.4.1-1 所示，各期施工內容及範圍如圖 4.4.1-2 所示。

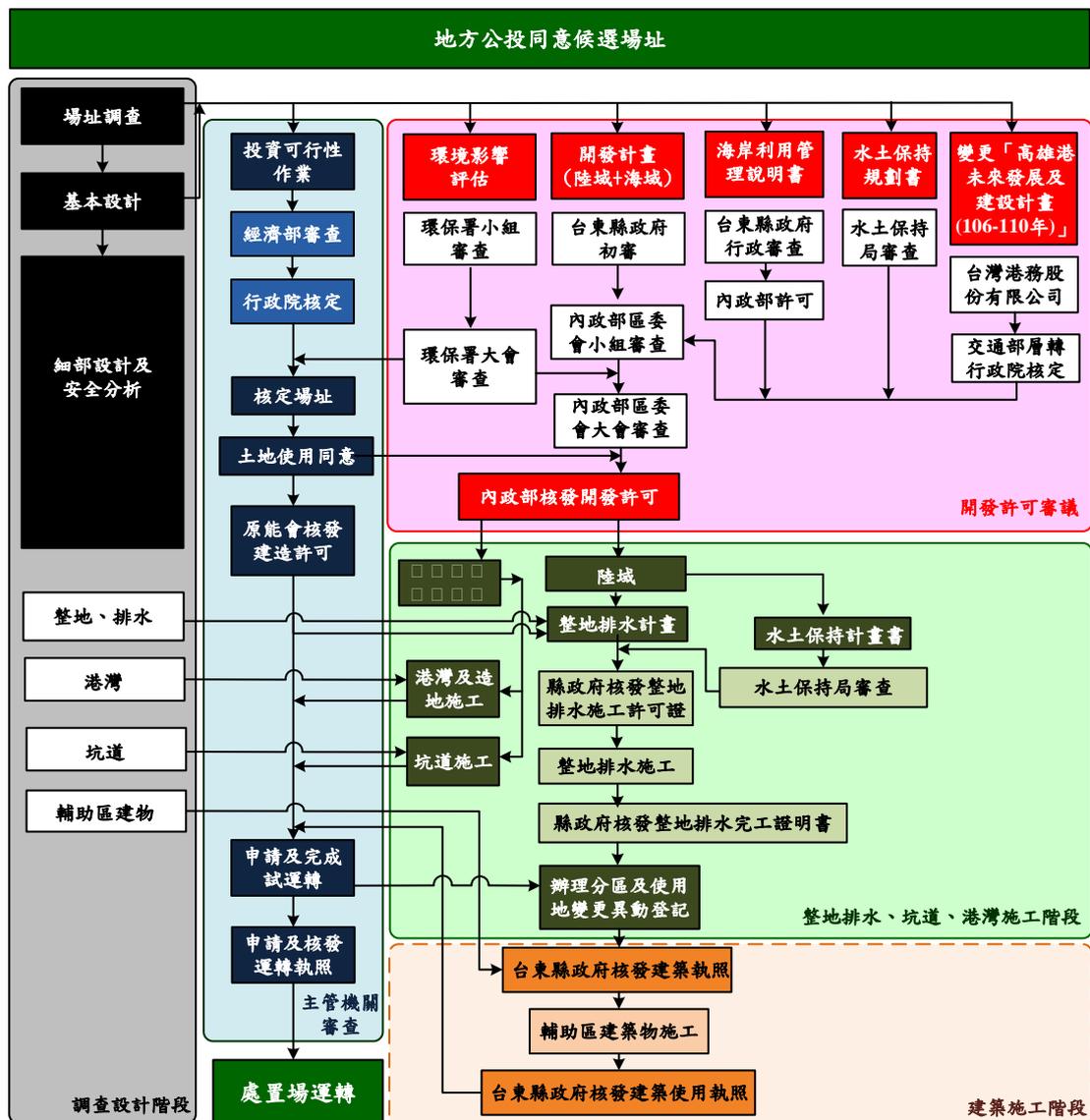


圖 4.4.1-1 台東縣達仁鄉建議候選場址選址及興建作業流程圖

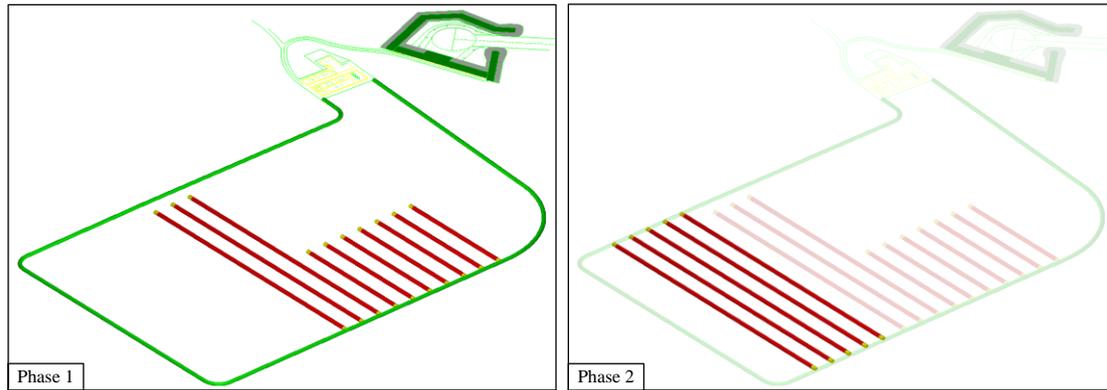


圖 4.4.1-2 達仁鄉建議候選場址各期施工內容及範圍

二、烏坵鄉建議候選場址

若烏坵鄉建議候選場址通過公投成為候選場址，其作業流程大致與達仁鄉建議候選場址近似。辦理流程中，因場址並非屬山坡地，無須辦理水土保持計畫，僅須辦理二階段之排水計畫及相關審查，另開發計畫中應包含海埔新生地造地之相關規劃評估。處置坑道分為 2 期施作，其中第 1 期施工包含所有通行隧道及部分處置坑道；第 2 期之施工內容及範圍主要包括第 1 期施工範圍以外之處置坑道。作業流程規劃如圖 4.4.1-3 所示，各期施工內容及範圍如圖 4.4.1-4 所示。

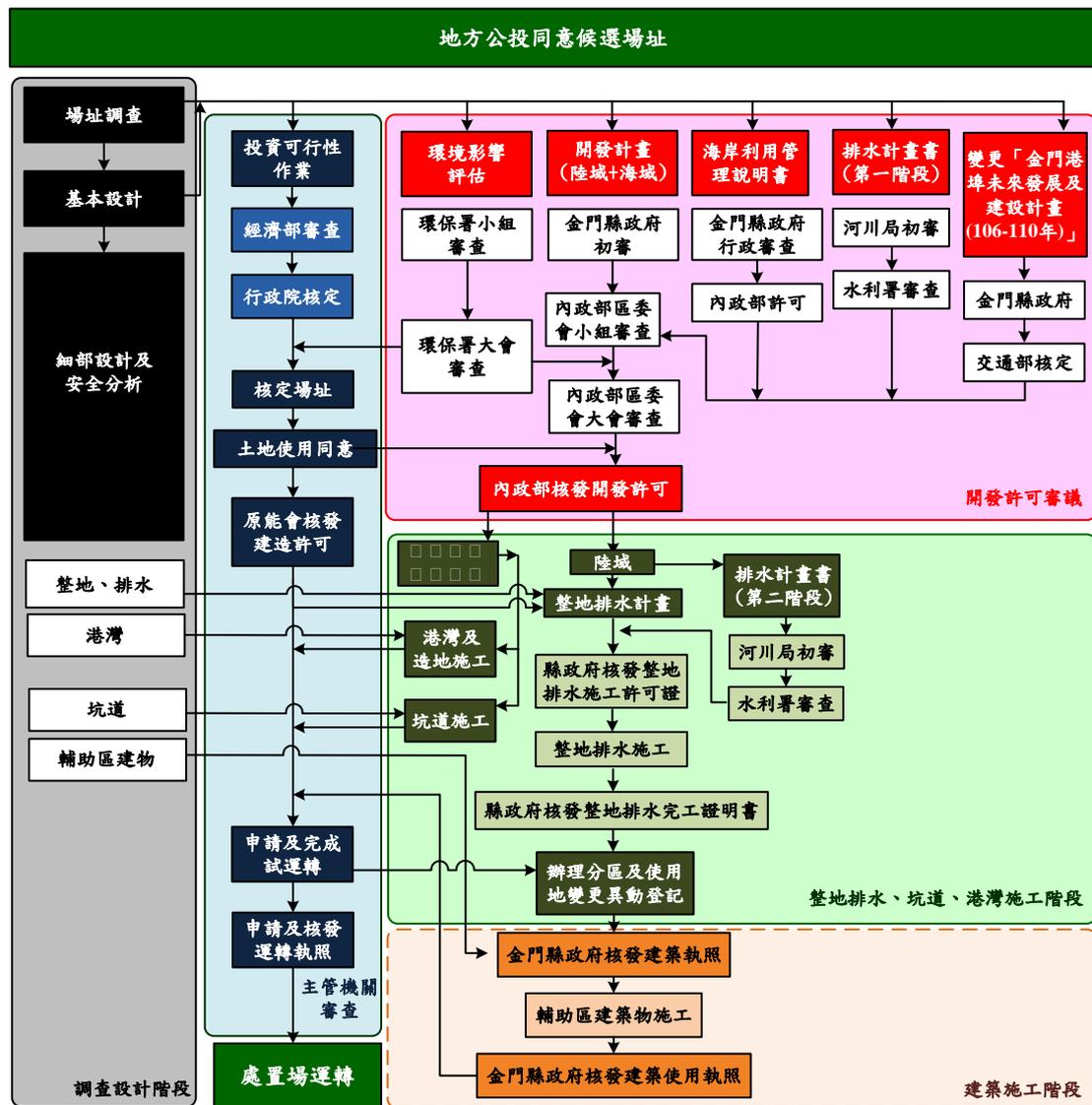


圖 4.4.1-3 金門縣烏坵鄉建議候選場址選址及興建作業流程圖

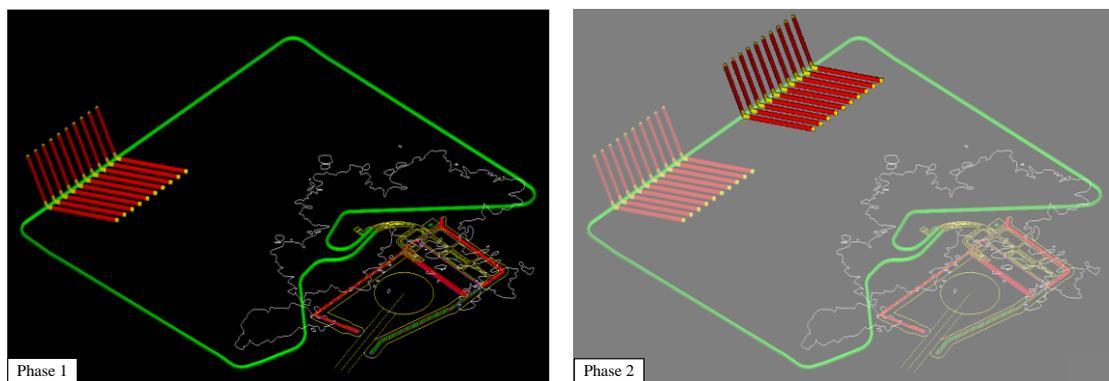


圖 4.4.1-4 烏坵鄉建議候選場址各期施工內容及範圍

4.4.2 設施興建施工規劃

設施興建工程之主體在於處置坑道及接收港灣施工，以下將就此二項主體工程說明其施工規劃與方法。

一、坑道開挖施工

依目前坑道概念設計，通行隧道與處置坑道接近直交，受限於轉彎半徑，初步排除隧道鑽掘機全斷面開挖工法，另依目前掌握之達仁鄉建議候選場址地質資料，岩體單壓強度小於 50 MPa，初步研判坑道開挖應採局部斷面開挖工法，例如懸臂式掘削機 (roadheaders)、開挖機 (excavators) 為主，如遭遇強度較高之岩體，考量採用鑽炸法 (drill and blast) 為輔。烏坵鄉建議候選場址依目前掌握之地質資料，初步研判坑道開挖應採採用鑽炸法為主，如遭遇強度較低或較破碎之岩體，可採局部斷面開挖工法為輔，例如懸臂式掘削機、開挖機等。

坑道開挖過程所使用之支撐系統，主要參考新奧工法之理念進行，將岩石本身視為支撐構件的一部分，亦即充分考量岩石本身的力學性質及變形行為，使其發揮自有的支撐能力，利用應力重新分布之時間依附性 (time-dependent)，尋求二次應力平衡所需的安全又經濟之最小支撐。

施工時將藉由監測以瞭解隧道開挖之地盤變化、變形及支撐狀況等及因施工對周邊環境造成的影響，大致包括以下類別：

- (一)坑道洞內監測：開挖面使用之監測儀器包括收斂觀測點、伸張計等；隧道襯砌使用之監測儀器包括荷重計、計測岩栓、鋼支保及襯砌應變計；處置窖結構監測儀器包括鋼筋應變計、傾斜計等。各監測儀器原則採自動紀錄系統。
- (二)坑道洞外監測：坑道外使用之監測儀器包括沉陷點量測、地中傾度儀、層別沉陷計及傾斜計(針對結構物)；水文狀況監測包括地下水位井及水壓計等。各監測儀器原則採自動紀錄與傳輸系統。

(三)環境監測：著重於坑道施工對環境的影響，主要監測項目包括空氣、水質及噪音等。

二、港灣興建施工

接收港工程之主要工程項目包括防波堤、專用碼頭、消波護岸、港池浚挖及填地等，茲就其施工方法及程序加以說明。

(一)防波堤

接收港外廓防波堤之淺水段及深水段分別規劃為拋石堤與沉箱合成堤。

(二)專用碼頭

達仁鄉建議候選場址接收港專用碼頭為重力式砌方塊結構型式。烏坵鄉建議候選場址接收港因其潮差大且碼頭設計水深較深，地盤承载力良好可採重力式結構，加上材料須由台灣供應，考量縮短施工工期，專用碼頭型式可採重力式沉箱碼頭。

(三)消波護岸

達仁鄉建議候選場址接收港專用碼頭南、北兩側之消波護岸，採拋石堤心外覆消波塊保護，依施工進度分段施築保護，基本上其施工程序與防波堤及專用碼頭同。烏坵鄉建議候選場址接收港專用碼頭南側與淺水段防波堤銜接段，以及北側貯存場下方之護岸為消波式護岸，其結構型式為斜坡式拋石堤，其施工程序同斜坡式拋石堤。

(四)港區浚填

達仁鄉建議候選場址接收港之港池浚挖數量不大，初步規劃以挖斗式挖泥船機，搭配受泥船運至棄方區，部份至港區填築，施工作業程序包括船隻動員、挖區海上標定、挖泥船開挖及裝船、受泥船運棄或港區填築等。烏坵鄉建議候選場址之港池浚挖為其先期工程，除將浚深船舶操航所必須之航道及迴船池外，其浚方可作為填築臨時碼頭後線及上岸道路之材料，以利運輸人員、機具、材料，展開貯存場開挖整地工程施工面，利用整地開挖石料

逐步擴大碼頭後線基地及延長拋石段防波堤，形成具規模之施工場地及遮蔽水域，以便利後續人機料等之補給運輸，使工程能順利進行。

4.4.3 施工安全對策

一般營造工程為確保作業人員與場所之安全，將進行危害控制程序，如安全施工方法、安全裝置、警告裝置、教育訓練等。而針對本設施主體工程(坑道開挖與港灣施工)之安全對策，說明如下。

一、坑道施工之安全對策：

- (一)施工時應採取一切合理適當之措施，以維護工地之安全，若發生任何事故、火災、傷亡等，設施管理單位應立即依相關規範處理（例：事故分類判定程序、事故處理程序等），包含依循回報機制，向所規定的對象呈報（例：特定層級的主管機關、應變機構、應疏散對象等），並作適當善後處理，以確保公共安全及施工安全。
- (二)爆炸物之儲存、運送及使用應依照相關法令規章妥善處理。
- (三)工地應備妥簡易醫療設備，並詳細瞭解工區鄰近醫療資訊。
- (四)不同標別之承包商應互相協調工作，以期工程順利。
- (五)遵照政府頒佈之職業安全衛生法及其施行細則、勞動檢查法及其施行細則等相關法令確實辦理工地安全衛生。
- (六)落實出入管制，未經核准人員不得進入隧道，隧道洞口須設置名牌或出入紀錄，隨時確定停留洞內之人員。洞內正進行中之作業（如鑽孔、開炸、出渣、噴凝土等）應標示於洞口，以維進出人員與機具之安全。
- (七)坑道內應設有適當之通風、照明、消防及有毒氣體偵測等設備，以維護施工人員安全。

(八)嚴格管制坑道內所有電器、切割或電焊火焰、打火機、爆裂物和其他任何引發火源的來源，並應禁止在隧道中吸菸，需另在隧道外規劃吸菸區。

(九)隧道內之機具、設備及施工人員的工作服需採用不會產生靜電之材料製成，以防止因靜電而產生火花，並且工作人員應定時將兩手觸碰開挖岩面以消除靜電；進入隧道車輛應加掛適當之靜電消除裝置。

二、港灣施工溺斃之預防措施：

(一)水上作業勞工有落水之虞時，應穿著救生衣，並設置監視人員及救生設備。

(二)水上動力船隻應設置滅火器及堵漏設備、急救設備，於夜間作業時，應依國際慣例懸掛燈號及有足夠照明。

(三)水上作業時，應先查明鋪設於水下之電纜管路及其他水下障礙物位置，經妥善處理後，再行施工。

(四)有水上、岸上聯合作業情況時，應設置通訊設備或採行具聯絡功能措施，並選任指揮聯絡人員。

4.5 運轉階段作業規劃

4.5.1 運轉基本作業流程

運轉階段是指低放射性廢棄物的運送、接收、檢查與放置等作業。將低放射性廢棄物裝在運輸容器中，自各電廠與相關核能設施，由專用運輸車送達專用運輸船停泊港，再由專用輸送車送到運轉大樓之接收與檢查設施，進行廢棄物盛裝容器檢整。檢整工作主要為廢棄物盛裝容器外觀檢視、容器標示與編號查驗、放射線強度檢測、必要時進行容器表面除銹補漆，廢棄物桶如有破損或不符合規定，則需再送回電廠或其他核能設施處理。經檢查完成之廢棄物盛裝容器，先送至廢棄物盛裝容器暫時貯存區，等

待運出至地下設施進行處置。考量到廢棄物包件的輻射曝露，上述檢整工作應儘量採取遠距操作為原則，其流程詳圖 4.5.1-1。

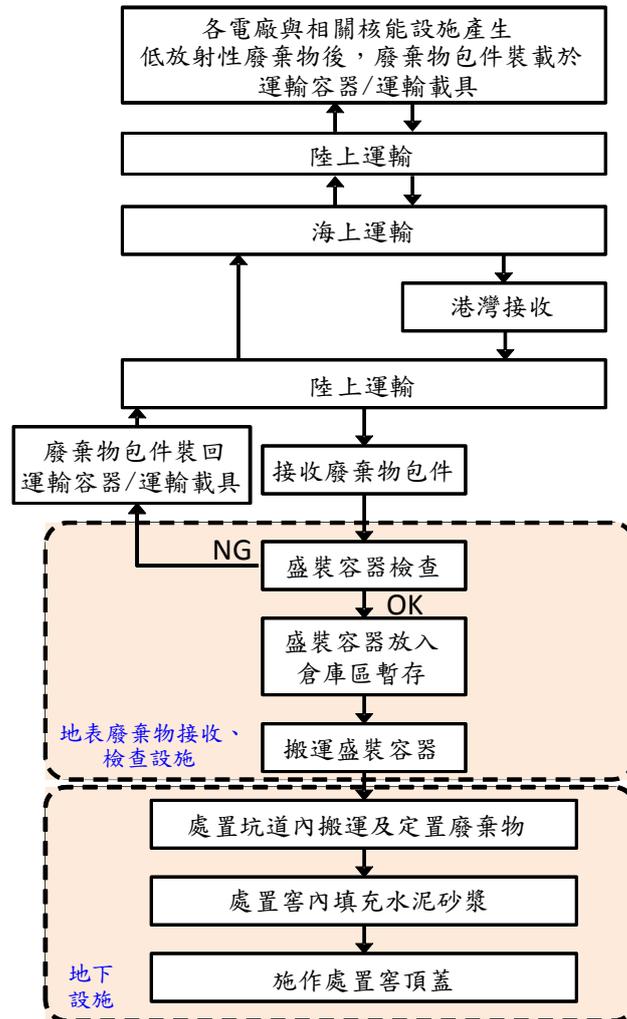
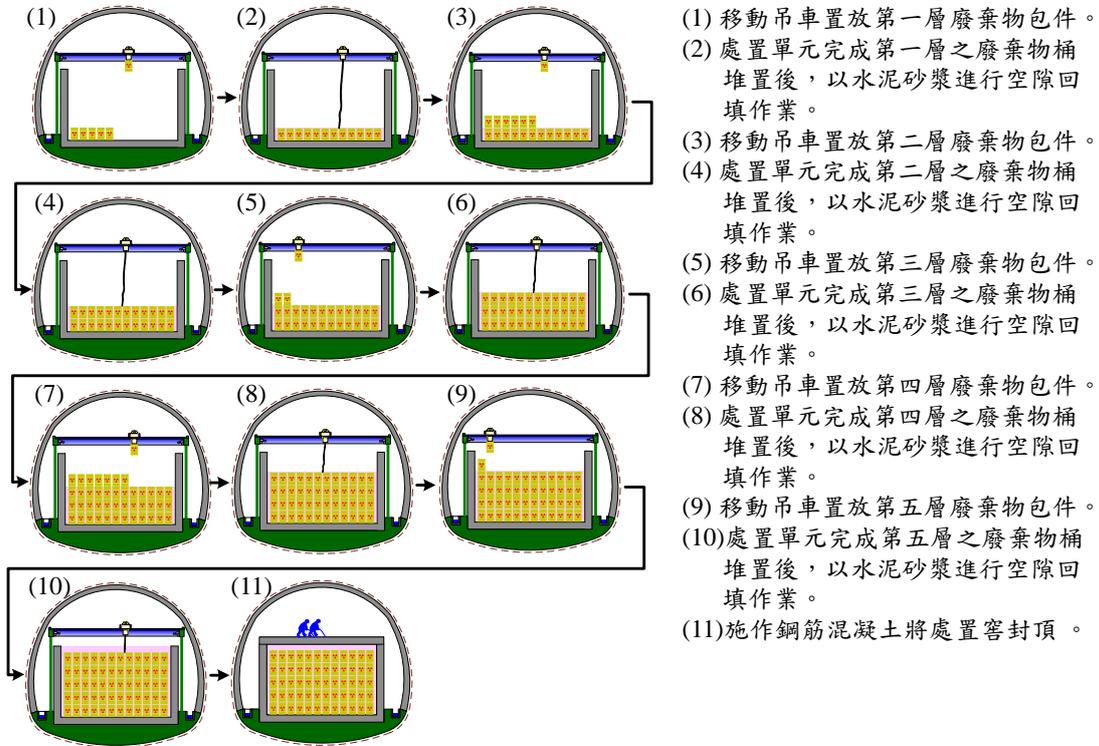


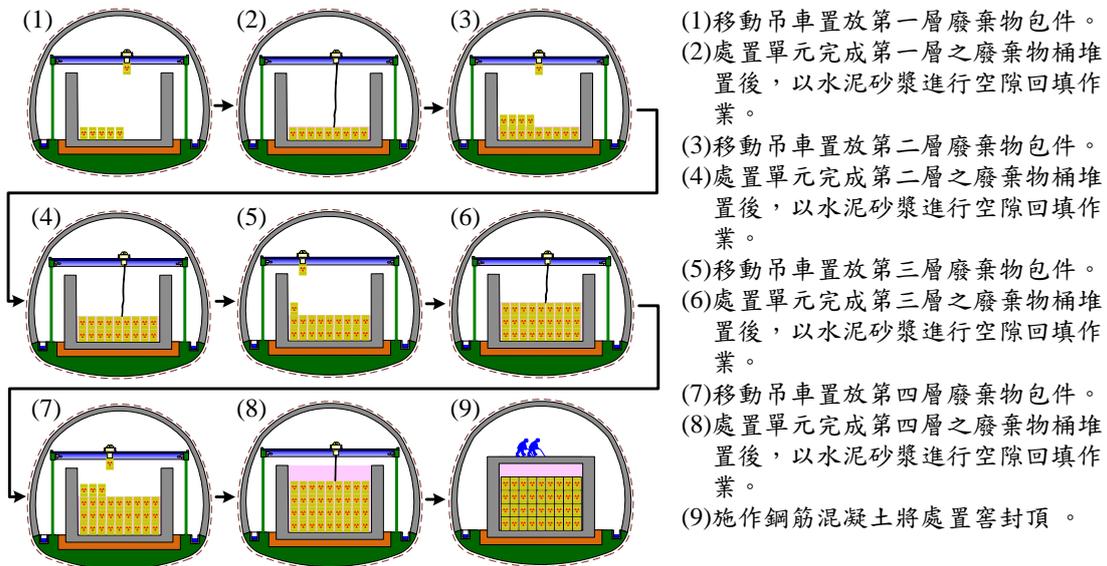
圖 4.5.1-1 運轉期間基本作業流程

運轉階段於地下設施內之運送、定置、窖內填充及封頂作業，是利用通行隧道的專用運輸車拖運，將廢棄物盛裝容器運到處置坑道之處置單元周邊後，再以軌道吊車搬運至定點進行吊裝置放。每堆疊完一層廢棄物盛裝容器，即進行水泥砂漿澆置，以填充盛裝容器間之孔隙。施工應採用遠距操作的方式，須注意水泥砂漿的流動性、材料離析性、壓送管的設置等施工問題。待處置窖內廢棄物盛裝容器堆疊完成後，再以水泥砂漿填充處置窖內剩餘之空間，並進行處置窖封頂作業。

達仁鄉建議候選場址不同類型處置窖所規劃之作業流程示意如圖 4.5.1-2 所示，烏坵鄉建議候選場址不同類型處置窖所規劃之作業流程示意則如圖 4.5.1-3 所示。

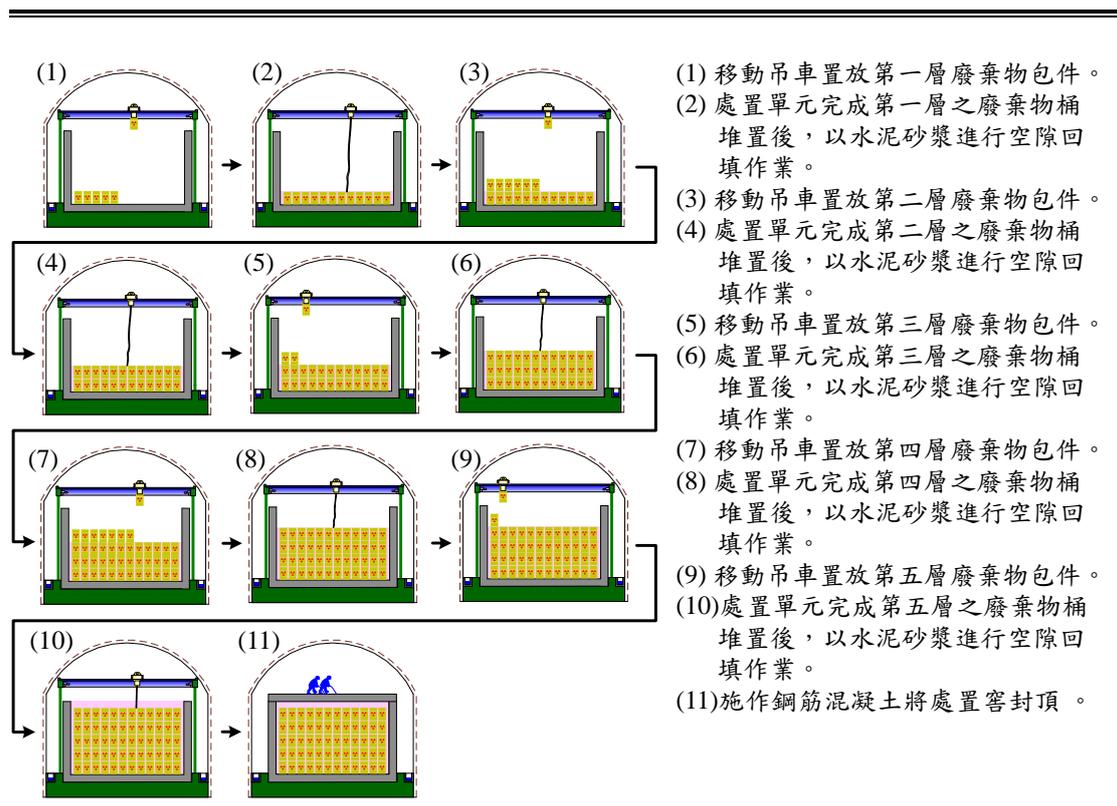


(a) A 類處置坑道

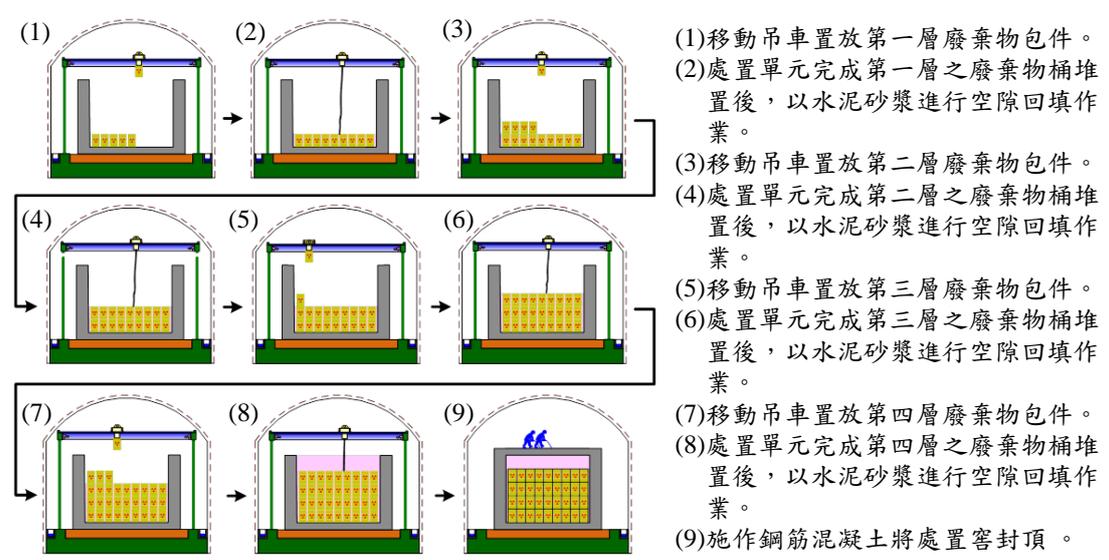


(b) B、C 類處置坑道

圖 4.5.1-2 達仁建議候選場址處置坑道運轉示意



(a) A 類處置坑道



(b) B、C 類處置坑道

圖 4.5.1-3 烏坵建議候選場址處置坑道運轉示意

4.5.2 運轉階段之排水與防滲考量

運轉期間處置坑道採重力排水設計，並視需要於處置窖上方配置臨時擋水遮罩，設置概念如圖 4.5.2-1 所示。將滲入處置坑道之水體，引導至兩邊側溝(縱向坡度為 0.1%)，再經由通行隧道，並藉由抽水設施排至污水處理廠進行處理後再排出。此外，針對處置窖所排出之收集水，應先經過取樣、偵測確定無污染後才能排放。



資料來源：Skogberg, M. and Ingvarsson, R., 2011, p15

圖 4.5.2-1 擋水遮罩設施概念示意

達仁鄉建議候選場址因通行隧道高於隧道洞口，整個處置系統匯集於通行隧道之地下水，應經查核點檢查後將以重力排水方式排出。

烏坵鄉建議候選場址因本場址通行隧道高程低於隧道洞口，整個處置系統匯集於通行隧道之地下水，應經查核點檢查後，以抽水機抽排至地表排放。

4.5.3 輻射屏蔽考量

運轉時之輻射安全遵循輻射防護之法規及劑量限值要求，詳表 4.5.3-1。輻射安全應以合理抑低為原則，儘量就時間、距離、屏蔽三原則降低工作人員及場界外民眾所曝露之劑量。並依據「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」與「環境輻射監測規範」規定，在實施環境輻射監測前檢具環境輻射監測計畫，報請主管機關核准後實施。

表 4.5.3-1 輻射防護之法規依據及劑量限值

一、參考法規、資料		
名稱	發行/頒行機關	發行/頒行日期
游離輻射防護安全標準	行政院原子能委員會	2005/12/30
放射性物質安全運送規則	行政院原子能委員會	2007/12/31
低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則	行政院原子能委員會	2012/7/9
二、劑量限值		
對象	要求	
工作人員	連續五年週期之有效劑量不得超過 100 mSv	
工作人員	單一年內之有效劑量不得超過 50 mSv	
場界外民眾	年有效劑量不得超過 0.25 mSv	

針對輻射屏蔽，應考量之項目包括施工及運轉界面、運轉過程以及封閉階段等三個部分。針對運轉過程以及封閉階段，輻射屏蔽之考量將反應在屏蔽厚度設計。對於施工及運轉界面則需考量到人員進出動線以及排水系統之區隔。茲就上述考量說明如下：

一、屏蔽厚度

處置窖為地底處置設施，故僅探討工作人員之直接輻射曝露。依據「游離輻射防護安全標準」第 7 條，工作人員的年有效劑量限值為 50 mSv，五年平均不超過 20 mSv，因此保守以 20 mSv 為參考限值。假定工作人員在此工作區一年工作 2,000 小時(一年工

作 50 週，一週工作 5 天，一天工作 8 小時)，放射性廢棄物源項核種以 Co-60 作為代表核種，核種濃度由放射性廢棄物(55 加侖桶)之表面劑量率推算，評估不同表面劑量率之放射性廢棄物所需的屏蔽厚度，以符合工作人員之輻射劑量限值，MicroShield 分析結果詳表 4.5.3-2。依表 4.5.3-2 之分析結果研判，處置窖已具有足夠之輻射屏蔽設計，且依輻射防護之合理抑低原則，貯存或於處置窖定置放射性廢棄物時，會把高表劑量率的放射性廢棄物堆疊於內圈，藉由廢棄物與廢棄物間之自屏蔽效應，降低直接輻射曝露，達到合理抑低之效。

表 4.5.3-2 放射性廢棄物之表面劑量率及屏蔽厚度關係(處置窖)

放射性廢棄物之表面劑量率(mSv/h)	20	10	2	1	0.5	0.2
屏蔽厚度(cm)	61	55	43	37	32	25

註：屏蔽厚度係以工作人員年劑量不得大於 20 mSv 為考量進行評估。

二、施工與運轉界面之考量

由於處置場址之興建分為二階段。興建第一階段完工後，該區域即開始運轉。然此時第二階段之興建工程尚在進行，為避免施工與運轉之動線重疊，增加運轉風險。因此應於施工及運轉界面，設置臨時阻隔牆，以分離排水系統及行進動線。

三、運轉中之監測

處置場址運轉階段之監測包括坑道內外之穩定監測及環境輻射監測等。其中坑道內外之監測，原則上將沿用施工中之部分監測儀器，可選取施工中監測結果變化較明顯或較具代表性之點位加以沿用。環境輻射監測則包括直接輻射(加馬劑量)、空氣(空氣微粒、空氣碘及落塵等)、水質(海水、河水、地下水及雨水等)、生物(植生、農作物、淡水生物及海水生物等)、陸地土壤及海底沉積物等。

4.6 封閉階段作業規劃

處置場接收低放射性廢棄物達到預定處置容量後，即依「放射性物料管理法」及其施行細則規定擬訂封閉計畫及監管計畫，經報請主管機關核准後實施封閉與監管作業。封閉之概念係為了確保工程障壁能確實發揮遲滯核種遷移的功能，避免處置場封閉後形成核種遷移的快速路徑，以及減緩工程障壁的功能退化。

封閉作業包括處置場回填封塞等作業及綠化工程等，預定工作期程為 32~36 個月。低放處置設施完成封閉後，應對處置管制地區之穩定性，進行至少 5 年之觀察及監測，並依主管機關核准之監管計畫執行監管。監管計畫應載明之事項包括：執行單位之組織、場址保安作業、環境輻射監測作業、品質保證方案、紀錄及檔案管理、其他經主管機關指定之事項。

處置場封閉階段之監測，因坑道內已進行回填，原則上坑道內不進行監測；坑道外之穩定監測，將沿用運轉階段之部分監測儀器，可選取運轉階段監測結果變化較明顯或較具代表性之點位加以沿用。環境輻射監測則包括直接輻射(加馬劑量)、空氣(空氣微粒、空氣碘及落塵等)、水質(海水、河水、地下水及雨水等)、生物(植生、農作物、淡水生物及海水生物等)、陸地土壤及海底沉積物等。

處置坑道進行封閉時，於處置窖兩側及頂部以澆置混凝土方式施工，澆置時將分區塊進行，每一區塊之長度約 25 m，高度約 2.5 至 3.0 m。針對 B、C 類處置坑道，澆置前須以系統模板預留緊接處置窖壁體之緩衝材料之空間，待拆模後再放置緩衝材料，依此順序進行至回填完成。

以下將針對台東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉 2 處建議候選場址之封閉作業進行說明。

一、達仁鄉建議候選場址之封閉階段作業規劃

根據暫擬之施工程序進行封閉期程估算，考量模板拆裝、緩衝材料排放等施工程序，以澆置速率 250 m³/day 加以估算。通行

隧道則以夯實碎石等高透水性材料予以前封閉，考量材料運送與壓實能量，以壓實速率 450 m³/day 加以估算。依據概算之處置坑道與通行隧道之回填量體及施工速率加以推算，處置坑道回填約需 20.1 月；通行隧道之回填約需 12.4 月，總計約 32.5 月。

二、烏坵鄉建議候選場址之封閉階段作業規劃

考量模板拆裝、緩衝材料排放等施工程序，以澆置速率 250 m³/day 加以估算。通行隧道則以夯實土料或澆置法予以封閉，考量材料運送與壓實能量或澆置速率，以澆置速率 300 m³/day 加以估算。依據概算之處置坑道與通行隧道之回填量體及施工速率加以推算，處置坑道回填約需 15.3 月；通行隧道之回填約需 19.9 月，總計約 35.2 月。

4.7 處置場費用初估

一、達仁鄉建議候選場址之費用估算

達仁鄉建議候選場址第 1 期興建費用初步估算為 15,665,909(仟元)，其中包括施工費為 11,466,776(仟元)；勞工安全衛生及環境保護費 917,342(仟元)；施工管理費 1,238,412(仟元)及預備金 2,043,379(仟元)。第 2 期興建費用初步估算為 5,904,719(仟元)，其中包括施工費 4,322,002(仟元)；勞工安全衛生及環境保護費 345,760(仟元)；施工管理費 466,776(仟元)及預備金 770,181(仟元)。

二、烏坵鄉建議候選場址之費用估算

烏坵鄉建議候選場址第 1 期興建費用初步估算為 20,634,864(仟元)，其中包括施工費為 15,103,838(仟元)；勞工安全衛生及環境保護費 1,208,307(仟元)；施工管理費 1,631,215(仟元)及預備金 2,691,504(仟元)。第 2 期興建費用初步估算為 6,562,052(仟元)，其中包括施工費 4,803,142(仟元)；勞工安全衛生

及環境保護費 384,251(仟元)；施工管理費 518,739(仟元)及預備金 855,920(仟元)。

第五章 最終處置安全分析技術模擬

5.1 建議候選場址之安全分析技術模擬

5.1.1 安全分析技術模擬之基本假設

- 一、在保守考量的前提下，分析時採用的低放射性廢棄物數量為處置場的容納上限。亦即達仁鄉建議候選場址為 A 類低放射性廢棄物 70.2 萬桶，B、C 類低放射性廢棄物 8.8 萬桶，共 79 萬桶。烏坵鄉建議候選場址為 A 類低放射性廢棄物 71.4 萬桶，B、C 類低放射性廢棄物 7.6 萬桶，共 79 萬桶。
- 二、安全評估僅分析處置設施封閉後之長期安全。
- 三、安全評估僅分析對人類的影響，開發行為對環境影響屬環境影響評估分析範疇。
- 四、僅針對放射性影響進行評估，則於依廢棄物接收標準已排除化學或生物毒性影響之可能性。
- 五、基於土地利用現況與社會發展趨勢，研判此地區將來不可能發展成為都市或工業區。
 - (一)台東縣達仁鄉建議候選場址未來之民眾生活形態以小型農業或魚蝦養殖為主。
 - (二)金門縣烏坵鄉建議候選場址未來之民眾生活形態以漁業及採集海菜為主。
 - (三)不考量當地居民及社會結構轉變。
- 六、不考慮封閉後的處置設施可恢復性與補救措施。

5.1.2 低放射性廢棄物描述

安全評估將假設處置設施封閉後，除活化金屬以外之放射性廢棄物所含核種瞬間釋出，故廢棄物體之力學特性並非長期安全主要考量。達仁鄉建議候選場址的處置容量上限為 A 類低放射性

廢棄物 70.2 萬桶，B、C 類低放射性廢棄物 8.8 萬桶。烏坵鄉建議候選場址的處置容量上限為 A 類低放射性廢棄物 71.4 萬桶，B、C 類低放射性廢棄物 7.6 萬桶。依其分類保守考量其封閉後之初始活度如表 5.1.2-1 所列。

表 5.1.2-1 A 類與 B、C 類低放廢棄物之核種濃度初始值設定表

核種		濃度值(TBq/m ³)	
		A 類低放射性廢棄物	B、C 類低放射性廢棄物
C-14		0.03	0.3
C-14 (活化金屬內)		0.3	3
Ni-59 (活化金屬內)		0.81	8.1
Nb-94 (活化金屬內)		0.00074	0.0074
Tc-99		0.011	0.11
I-129		0.0003	0.003
TRU (半化期大於 5 年之超鈾阿伐放 射核種)	以 Pu-238 為代表核種	0.37 kBq/g	3.7 kBq/g
Pu-241		13 kBq/g	130 kBq/g
Cm-242		74 kBq/g	740 kBq/g
H-3		1.5	9.9
Co-60		26	270.4
Ni-63		0.13	26
Ni-63 (活化金屬內)		1.3	260
Sr-90		0.0015	260
Cs-137		0.037	170

5.1.3 處置系統描述

一、達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之處置母岩岩性以砂岩、砂頁岩互層、頁岩、泥岩以及局部的礫岩構成。處置設施之地理位置及處置設施平面布置及分區處置概念詳見圖 5.1.3-1。本設計係以坑道式之多重障壁概念進行設計，其處置深度超過 62.2 m，整個設施預計容納國內所有 A、B 及 C 類低放射性廢棄物。處置坑道共 15 條，

其中 2 條用以處置 B、C 類低放射性廢棄物，其餘坑道則用以處置 A 類低放射性廢棄物。

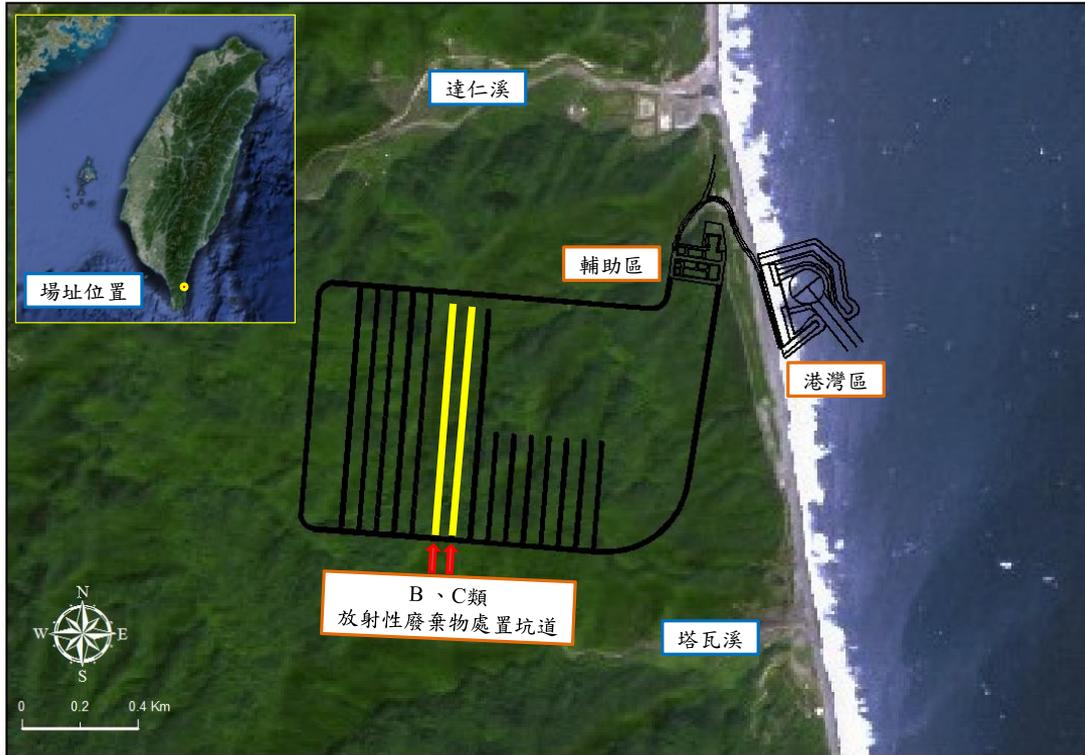


圖 5.1.3-1 台東縣達仁鄉建議候選場址地理位置圖

二、烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址之場址岩性以基性的輝長岩以及酸性的花崗岩為主，岩體內節理發達，但無顯著的斷層構造。整個處置設施之地理位置、處置設施平面布置及分區處置概念詳見圖 5.1.3-2。本設計係以坑道式之多重障壁概念進行設計，處置設施位於海床下 58m 處，整個設施預計容納國內所有 A、B 及 C 類低放射性廢棄物。處置坑道共 40 條，其中 6 條用以處置 B、C 類低放射性廢棄物，其餘坑道則用以處置 A 類低放射性廢棄物。

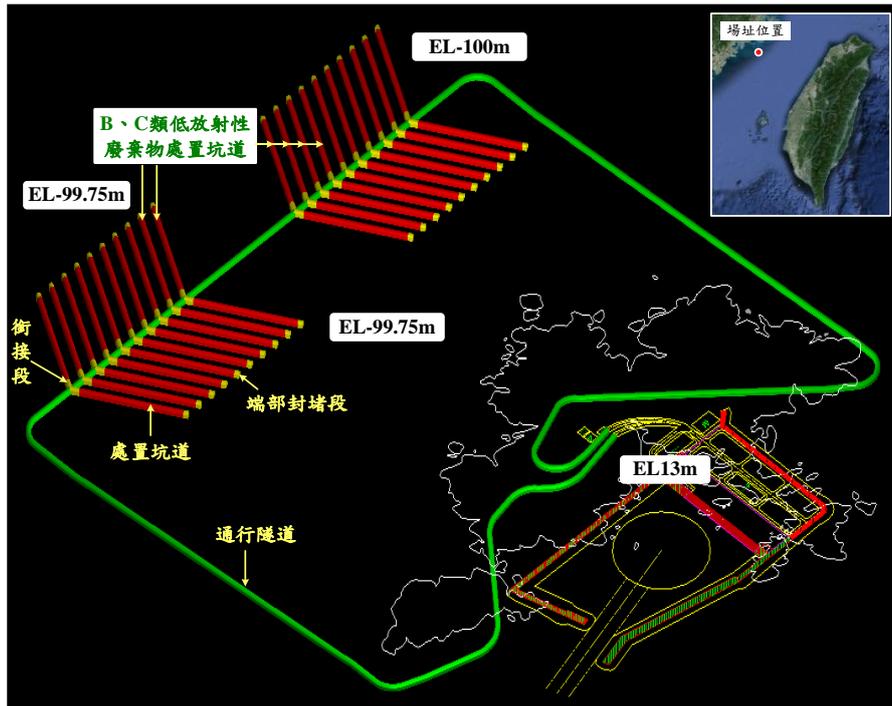


圖 5.1.3-2 金門縣烏坵鄉建議候選場址地理位置圖

5.2 建議候選場址設計情節之安全分析技術模擬

情節設定為安全分析之考量要項。參考 IAEA(2014)，低放處置設施安全分析應考量之時間尺度長達數千年，甚至長達數萬年。因此在處置設施演化之考量上，需要進行情節分析，以評估未來演化之不確定性。對此，需先就未來可能之演化，以及處置系統各單元可能面臨之事件及作用，進行適度考量。爾後再進行 FEP 表單分析，選定設計情節，再依交互作用矩陣分析，識別各個特徵、事件、作用，並量化安全評估之分析數據。最後則是依建置之模型進行安全分析，並針對不確定性參數進行敏感度及不確定性分析。

5.2.1 參考演化發展

針對參考演化之描述，將先參考過去氣候演化以及溫室效應之影響，綜合推估未來氣候之演化。氣候演化所考量條件，包括冰期循環因全球暖化而推遲至 100,000 年後，以及處置設施封閉後馬上進入冰期循環。

一、參考演化一(冰期循環推遲 100,000 年)

(一)氣候演化

根據 IPCC(2013, p132)評估未來高碳排放量的趨勢，瑞典 SKB(2014a, p143)依此結論推估處置設施(SFR)所在地 Forsmark 將因大氣中二氧化碳濃度無法有效降低，冰期循環推遲至十萬年後才開始，據此推測參考演化一情境，在 100,000 年內皆不會進入冰期循環。

在此氣候環境演化狀況下，受溫室氣體影響其海水位與降雨量應呈上升趨勢。惟經分析後，此海水面上升程度對於達仁鄉建議候選場址與烏坵鄉建議候選場址之地下水流場影響並不明顯，故均假設海水位維持現況平均潮位高程(達仁鄉建議候選場址為 EL0.193 m；烏坵鄉建議候選場址為 EL0 m)。

此外，對於 2 處建議候選場址之降雨量採年降雨量增加 10% 之設定，代表受溫室氣體影響下之降雨量變化。

(二)地表生態系統演化

在此氣候演化狀況下，氣候與海岸線並未劇烈變化，推估 2 處建議候選場址之地表生態系統不會明顯變化。

(三)力學作用演化

1.達仁鄉建議候選場址

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的聚合帶，受到菲律賓板塊持續以 8 至 9 cm/yr 的速率向西北方推擠(Yu et al., 1997, p41-p59)，造成北北西向的呂宋島弧與東北向的歐亞大陸邊緣產生斜碰撞。

2.烏坵鄉建議候選場址

金門縣烏坵鄉建議候選場址自第三紀晚期至今，區域應力方向大致維持不變，主應力方向為西北西向，應力軸傾角平緩，顯然此一應力場與太平洋板塊向歐亞板塊的俯衝有關(黃玉昆等人，1992；間接引用工研院能資所，2000a，p3-3)，因此，處置場封閉後仍有可能受到構造運動影響。

(四)水文地質演化

考量海水面高程維持現況，場址尺度地下水流場邊界範圍內並無活動斷層，以及採用抬升與剝蝕率設定之分析，2處建議候選場址所在區域之地形地貌並無明顯改變。預期場址之水文地質特性僅受降雨量增加而使其地下水水力梯度微幅增加，其餘水文地質條件則無明顯變化。

(五)地球化學演化

處置母岩現應屬還原狀態，當坑道開挖後，空氣接觸被開挖之處置母岩後，隨著氧氣擴散與溶氧水體移動，皆會使氧化範圍擴大。當處置設施回填後，因圍岩地下水補注之再飽和過程，以及鐵製材料腐蝕作用，皆會使處置設施周邊處置母岩再回復為還原狀態。根據 SKB(2014a, p159)之推估，SFR 處置場在封閉後 5 年，處置場周圍會從氧化態轉變為還原態。

處置場地球化學條件之改變，主要發生於建造至封閉後 1,000 年內期間。當處置設施回填後，因地下水入滲而再飽和，使處置設施周邊岩體再回復為還原狀態，故在封閉後 1,000 年至 10,000 年期間，處置場周圍之地球化學條件將維持還原態。

此外，在此氣候演化條件下，烏坵鄉建議候選場址之處置設施將保持位於海床下之狀態，因此處置設施附近之地下水均屬海水。

(六)工程障壁演化

工程障壁的演化，需考量處置設施所在岩體、土壤和地下水中所含之硫酸鹽、氯離子和鎂離子將與混凝土材料交互反應，以及混凝土溶出之失鈣效應的長期影響，導致膨潤土障壁可能因而鈣型化，使其遲滯功能受到影響。此外，因混凝土材料所造成之高 pH 值環境亦將使膨潤土中的蒙脫石溶解，而影響其回脹性能。

二、參考演化二(處置設施封閉後即進入冰期循環)

(一)氣候演化

本情節假設溫室效應影響有限，自處置設施封閉後即進入冰期循環，推估海水面將在設施封閉後持續下降。對於達仁鄉建議候選場址，海水面將於封閉後 5,000 年降至 EL-61 m 後再回升；對於烏坵鄉建議候選場址，海水面將於封閉後 1,000 年時約下降至 EL-10 m 左右，至封閉後 5,000 年時降至 EL-61 m 後再回升。

2 處建議候選場址之降雨量特性假設維持與現況相同。

(二)地表生態系統演化

進入冰期循環後，達仁鄉建議候選場址的東部海岸線受海水面下降影響，將會往東側移動，惟處置場東部海底地形較為陡峭，故因海平面下降而出露之地表面積不大，對地表生態系統影響有限。烏坵鄉建議候選場址之處置設施封閉後 1,000 年至 10,000 年，因海平面將下降至 EL-61 m，處置設施上方海床因缺少海水披覆而出露，進而改變當地的植被與生態系統，但仍屬亞熱帶生態系統，生物圈活動也將從島嶼型態改為陸域型態。因此推估 2 處建議候選場址之產業發展仍以一級產業為主。

(三)力學作用演化

相關說明參見參考演化一之論述。

(四)水文地質演化

考量海水面將在處置設施封閉後持續下降，因此，設施所在區域之地下水水力梯度受到海水面下降之影響，將使地下水流速

持續增加，至封閉後 5,000 年達到最大，而後再隨著海水面上升而使地下水流速趨緩。

針對烏坵鄉建議候選場址，需特別注意隨著海水面下降，處置設施周圍地下水流場將由具海淡水交界且覆蓋海水之緩慢流場，逐漸轉變為由海水位邊界與降雨入滲控制，地下水流速相對較快之地下水流場。

(五)地球化學演化

相關說明參見參考演化一之論述。惟針對烏坵鄉建議候選場址，當該場址之處置設施上方所覆蓋之海水退去後，設施所在區域之地下水將由海水轉為淡水。

(六)工程障壁演化

由於本場址位於熱帶地區，故進入冰期循環後之環境仍與現況相似，亦不會發生永凍土現象。相關說明參見參考演化一之論述。

5.2.2 發展設計情節

一、參考演化之選擇

根據 IPCC(2013, p132)評估未來高碳排放量的趨勢，故就各參考演化中，以參考演化一為最可能發生之演化條件。因此在設計情節中，將採用參考演化一作為情節設定之參考。

二、FEP 表單篩選

安全分析採用 IAEA(2004a, p1~p413)針對近地表處置設施所發展之通用 FEP 表單，依據前述參考演化一之氣候、地表生態系統、力學作用、水文地質、地球化學與工程障壁演化推測，以及處置場址特性及概念設計，進行 FEP 篩選。

三、交互作用矩陣分析

參考 IAEA-ISAM 建議之交互矩陣方法進行系統性分析。首先依據傳輸形態與系統特性訂定交互矩陣主對角線元素，再依系統各元素間之傳輸特性訂定非對角線元素，藉此完整描繪出分析情節中需考量之交互作用。

四、建置設計情節

情節發展需考量地質及氣候之作用與影響、處置設施的長期演化以及未來人類的活動，以未來較可能發生之條件進行假設，設計情節所考量為參考演化一(冰期循環推遲 100,000 年)。針對設計情節之描述，以下將先就外部條件包括氣候演化、海水位變化及地層抬升及地表侵蝕進行說明，然後再分別描述地質圈、處置設施及地表生態系統。

(一)外部條件

1.氣候演化

參考演化一之氣候演化，預期冰期循環受溫室氣體影響，將推遲至處置設施封閉後 100,000 年後才開始。亦即在未來 100,000 年內氣候形態大致與現在相似，但受溫室氣體影響推估降雨量可能增加 10%。

2.海水位變化

在本設計情節下，依參考演化一之氣候演化推測，海水面上升程度對於 2 處建議候選場址之地下水流場影響並不明顯，故海水位均假設維持於現況平均潮位高程(達仁鄉建議候選場址為 EL0.193 m；烏坵鄉建議候選場址為 EL0 m)。

3.地層抬升及地表侵蝕

依據場址特徵化成果，達仁鄉建議候選場址假設地層平均抬升率為 2.6 mm/yr，平均剝蝕率為 2.5 mm/yr；烏坵鄉建議候選場址，假設地層平均抬升率為 0.48 mm/yr，平均剝蝕率為 0.1 mm/yr。

目前依資料精度採用平均抬升與剝蝕率方式推估，故地表地貌特徵將與現況相同。

(二)地質圈

1.地下水流場特性

由於地形、地貌與海平面高程均與現況相似，僅年平均降雨量提高 10%，故推測於分析期間內之受補注量增加影響，地下水流速將會微幅提升，其餘地下水流場特性如：流向與流徑等，將與初始狀態相似。

針對烏坵鄉建議候選場址，處置設施所在位置地下水流場受海水位控制，故地下水流場特性應與初始狀態相似。

2.地球化學

依參考演化一之地球化學演化推測均屬還原狀態。因此，在整個分析之時間尺度下，地質圈之地球化學條件將維持與初始狀態相近。

3.力學作用

本場址為坑道式處置，由於選址時已避開活動斷層直接影響區域，故推測地震對於地質圈之影響，主要位於分析邊界以外之區域。在工程障壁具有良好施工品質的前提下，地震對於工程障壁系統之影響有限，故於設計情節中不考慮地震對於地質圈之影響。

4.核種傳輸

核種傳輸過程將考量之機制包括核種衰變，以及平流、延散、擴散及吸附等，影響空間中核種濃度分布之機制。

(三)處置設施

針對處置設施內之水文條件，以及工程障壁在設計情節下之演化說明如下：

1.水文條件

處置設施周圍之地下水流場與初始狀態相似，處置設施將採回填方式封閉，受設施回填範圍之水力傳導特性設計影響，推估處置設施之地下水流場特性於分析期間內，仍將與初始狀態相似。

2.工程障壁

工程障壁材料可概分為混凝土材料及膨潤土材料，茲就其劣化考量說明如下：

- (1) 混凝土材料劣化將產生裂縫及增加孔隙，進而提高水力傳導度、孔隙率及擴散係數，而吸附功能仍可長時間維持。
- (2) 鈉型膨潤土會因為其周圍混凝土材料之溶出失鈣現象而導致蒙脫石溶解並鈣型化，使其滲透係數增加且降低其回脹性，進而降低其遲滯功能。

3.核種傳輸考量

核種傳輸過程將考量之機制包括核種衰變、非金屬放射性廢棄物溶解度、金屬放射性廢棄物釋出率、平流、延散、擴散及吸附等，影響空間中核種濃度分布之機制。

(四)地表生態系統

在本設計情節下，處置場封閉後 100,000 年內之氣候形態與現況差異不大，推估未來地表生態系統與現況相差不大，產業發展多以一級產業為主。圖 5.2.2-1 與圖 5.2.2-2 分別為達仁鄉建議候選場址(陸域生活型態)與烏坵鄉建議候選場址(島嶼生活型態)之核種傳輸示意圖。

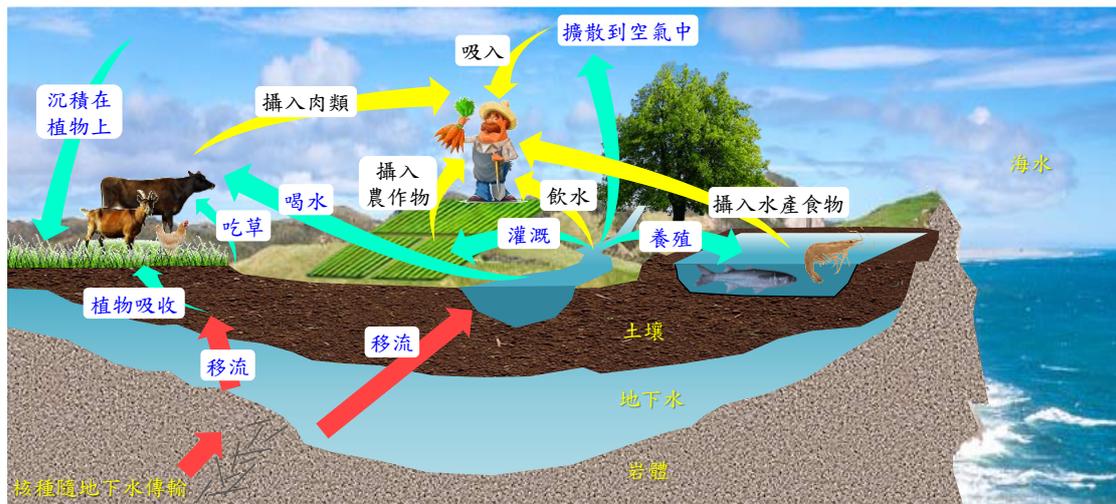


圖 5.2.2-1 陸域生活型態之生物圈核種傳輸示意

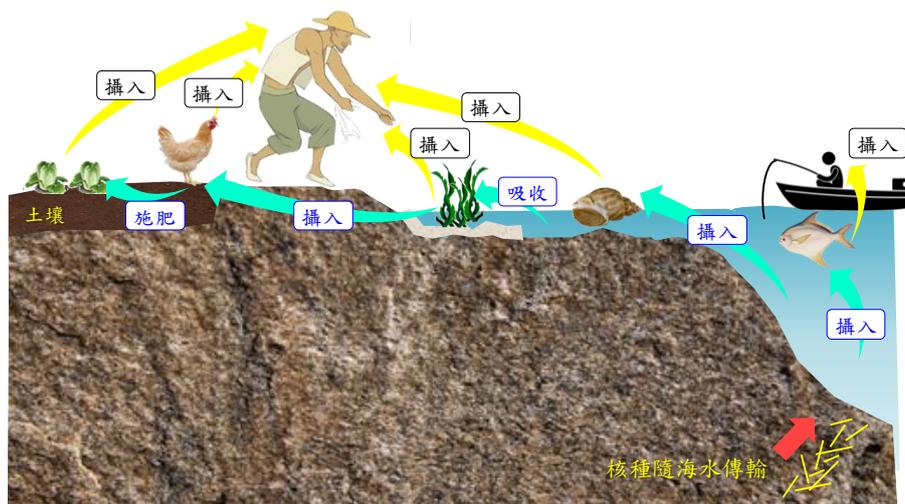


圖 5.2.2-2 島嶼型地表生態系統核種傳輸示意

5.2.3 分析模式與參數設定

本評估擬利用 GoldSim 軟體進行此場址的安全評估模擬。該程式為 IAEA 所推薦之整合性評估程式，其評估結果在國際上深具公信力，已廣泛運用於美國、日本、法國、西班牙、匈牙利等國。圖 5.2.3-1 與圖 5.2.3-2 為處置場址之整體分析概念模擬模型，圖 5.2.3-3 為 GoldSim 處置場之數值分析模型。

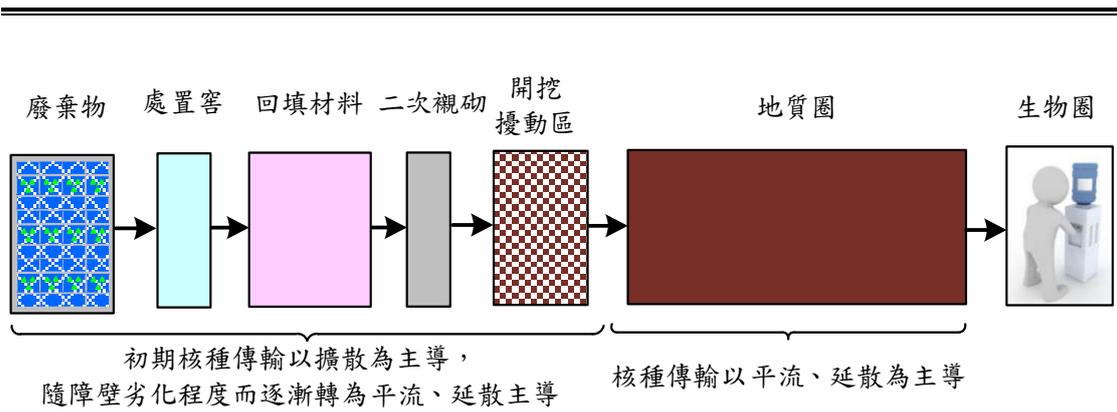


圖 5.2.3-1 A 類處置坑道放射性核種液體傳輸外釋途徑概念圖

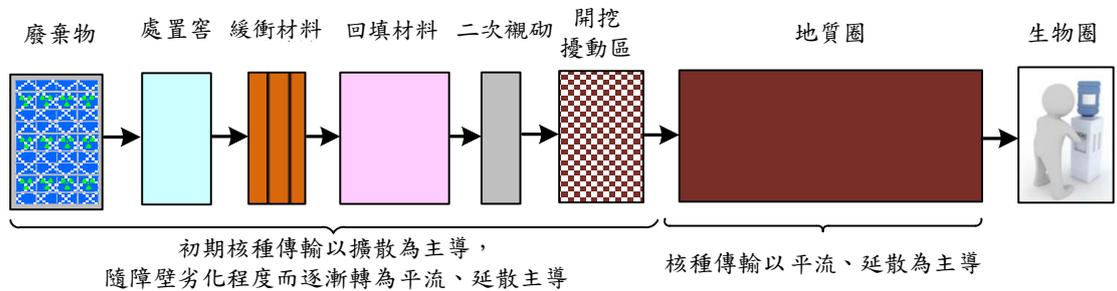


圖 5.2.3-2 B、C 類處置坑道放射性核種液體傳輸外釋途徑概念圖

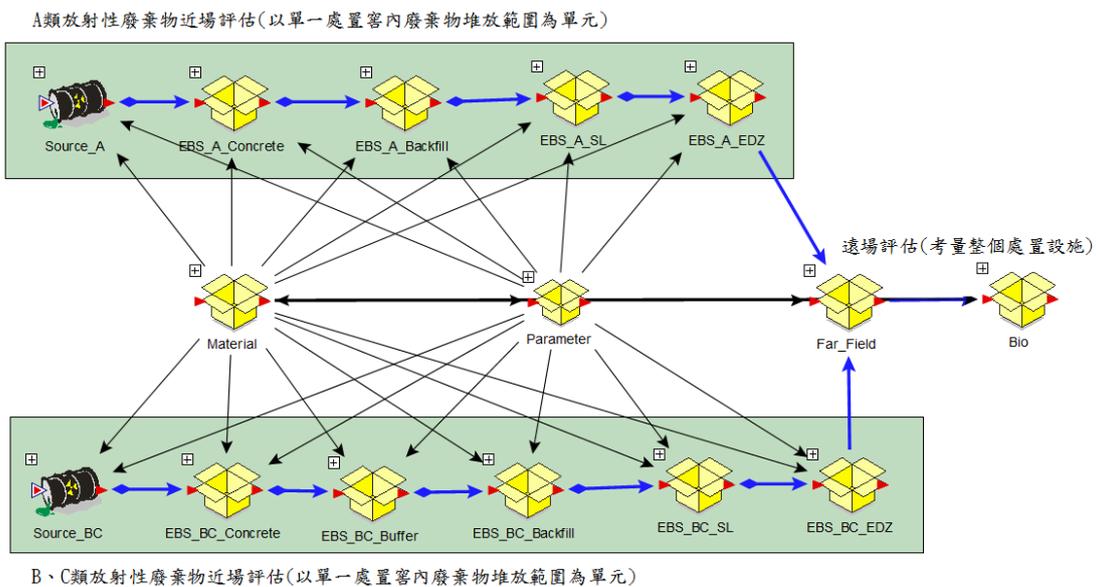


圖 5.2.3-3 GoldSim 整體評估數值分析模型

一、廢棄物

安全評估假設 A 類、B 類和 C 類廢棄物皆以 55 加侖桶盛裝，每個 55 加侖桶內含之母核種濃度詳表 5.1.2-1。

分析的起點設定為處置場封閉後，假設此時廢棄物體內孔隙充滿水，55 加侖桶內未利用之空間亦充滿水。非金屬廢棄物內之核種完全溶解於孔隙水中，金屬廢棄物依 JAEA(2013, p48)建議之金屬釋出率進行設定。

本源項評估係以處置窖內堆放廢棄物之範圍為分析單元，因此對於 A 類低放射性廢棄物，所考量之廢棄物為 1,500 桶 55 加侖桶；對於 B、C 類低放射性廢棄物，所考量之廢棄物為 900 桶 55 加侖桶。

二、處置窖

分析時以一個處置窖內堆放廢棄物之範圍為分析單元，對於平流傳輸之截面積以處置窖之縱剖面為考量，擴散之面積則以處置窖之周長面積為考量。

地下水中的氯離子將會藉由擴散作用入侵至混凝土鋼筋表面，並破壞鋼筋保護膜造成鋼筋腐蝕，羅欣蕙(2011, p87~p92)以海水中的氯離子濃度進行鋼筋腐蝕推估，其結果顯示，當處置場封閉後約 300 年，混凝土中鋼筋將會因氯離子影響而開始腐蝕。因此，隨著處置窖劣化程度的發展，核種傳輸之機制由擴散逐漸轉變為平流與延散效應。此外，參考 IAEA 的分析案例(IAEA, 2004b, p292)，設定工程障壁之吸附功能將在分析時間超過 500 年後，折減至原設定之 10%。

綜合考量上述工程障壁材料的劣化評估，以及處置場概念設計、材料特性等因子後，參考 SKB 於 2014 年發行之 R14-14 報告(SKB, 2014b, p27)，以調整處置窖水力傳導係數之方式，再配合不同時期下之流場條件，評估處置窖在不同劣化條件下的滲入流量。

三、緩衝材料

針對緩衝材料(膨潤土)劣化之考量，本研究將參考 SKB 於 2014 年發行之 R14-14 報告(SK B, 2014b, p27)，以調整緩衝材料水力傳導係數之方式，再配合不同時期下之流場條件，評估緩衝材料在不同劣化條件下的滲入流量。

四、回填材料

針對回填材料(混凝土)劣化之考量，本研究將參考 SKB 於 2014 年發行之 R14-14 報告(SK B, 2014b, p27)，以調整回填材料水力傳導係數之方式，再配合不同時期下之流場條件，評估回填材料在不同劣化條件下的滲入流量。

五、二次襯砌

二次襯砌以鋼筋混凝土材料為主要考量，考量材料隨著時間劣化等因子後，設定二次襯砌在不同時間下，因劣化造成水力傳導係數改變之比例。而烏坵鄉建議候選場址之處置坑道設計並未使用二次襯砌，故烏坵鄉建議候選場址不考慮此因素。

六、開挖擾動區

坑道斷面開挖後，開挖擾動區會以混凝土材料進行固結灌漿。針對開挖擾動區劣化之考量，本研究將參考 SKB 於 2014 年發行之 R14-14 報告(SK B, 2014b, p27)，以調整開挖擾動區水力傳導係數之方式，再配合不同時期下之流場條件，評估開挖擾動區在不同劣化條件下的滲入流量。

七、地質圈

外釋核種離開工程障壁(近場)後即進入遠場地質圈，並在地質圈中受到地下水流場之驅動而進入生物圈，以下將分別對 2 處建議候選場址進行說明。

(一)達仁鄉建議候選場址

圖 5.2.3-4 為針對達仁鄉建議候選場址設定之粒子追蹤監測點以及流出位置說明。圖中每個監測點間隔 30 m 至 80 m。圖中

紅色圓點為流往達仁溪流域之區域；綠色圓點為流往東側太平洋之區域；藍色圓點則是流往塔瓦溪流域之區域。進行遠場評估時，將依各出流區域特性，再分別針對各流域關鍵群體進行生物圈劑量評估。其中針對流往太平洋之區域，因為出流位置接近具有快速稀釋特性之海水，且地下水與海水混合後，因鹽份較高，無法直接飲用，亦難以作為農業用途，因此分析時僅考量達仁溪流域與塔瓦溪流域之關鍵群體。

(二) 烏坵鄉建議候選場址

圖 5.2.3-5 為針對烏坵鄉建議候選場址設定之粒子追蹤監測點。圖中藍色圓點即為粒子追蹤監測點，每個相鄰追蹤監測點間距離為 44 m。

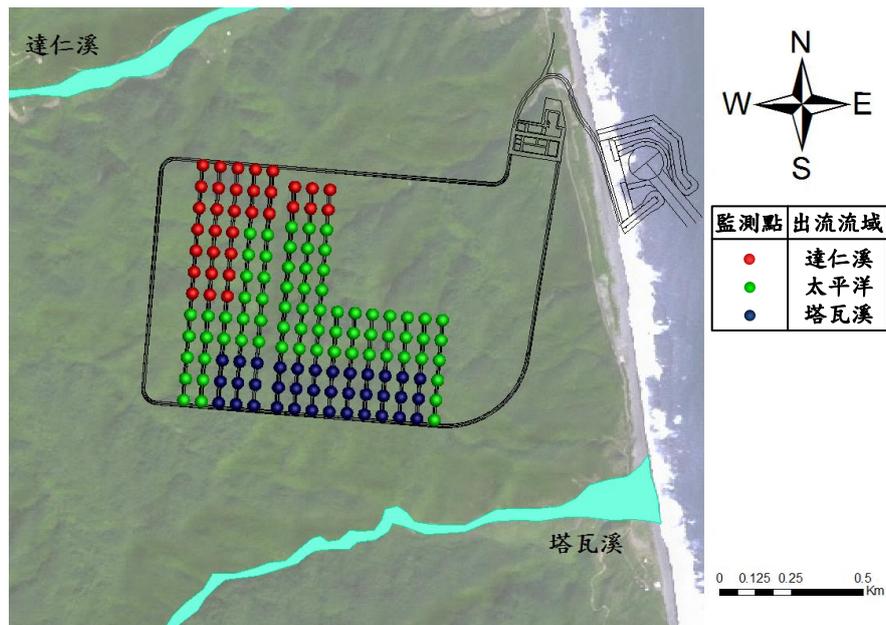


圖 5.2.3-4 達仁鄉建議候選場址粒子追蹤監測點與其出流位置說明

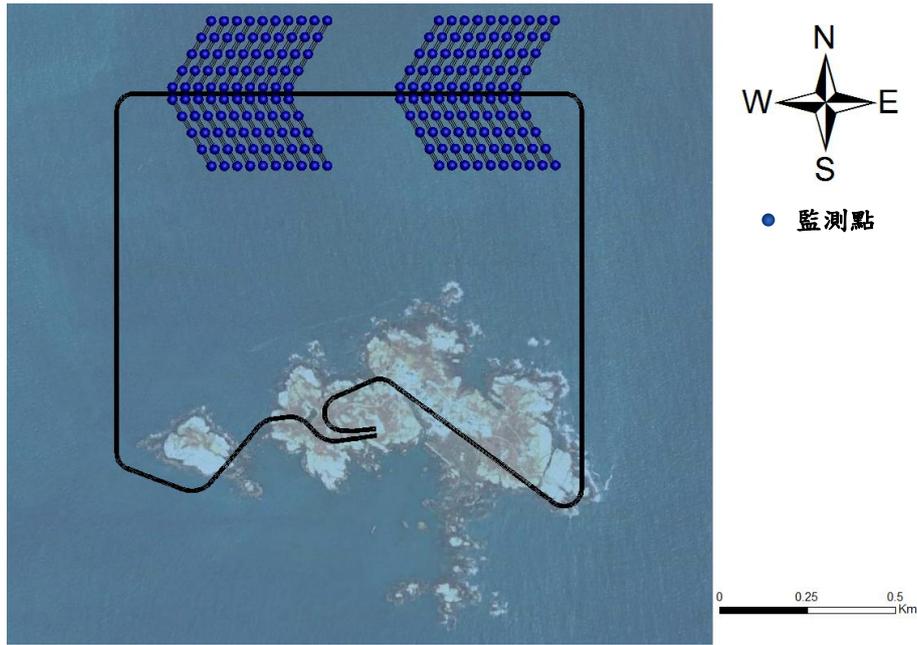


圖 5.2.3-5 烏坵鄉建議候選場址粒子追縱監測點

八、生物圈

依據 2 處建議候選場址之地質圈特性與人類生活型態，評估關鍵群體之輻射劑量。

九、處置設施與地質圈之地下水流場

各情節之處置設施與地質圈地下水流場分析均採用 HYDROGEOCHEM 模式模擬，再將其流量與流徑等成果，作為 GoldSim 使用之輸入參數。

5.2.4 設計情節分析結果

一、達仁鄉建議候選場址

設計情節依核種釋出至達仁溪流域或塔瓦溪流域之區別，分別考量關鍵群體之劑量估算，不同流域下各核種之劑量分析結果如圖 5.2.4-1 及圖 5.2.4-2 所示，圖中橫軸代表時間，縱軸則代表年有效劑量。由分析結果顯示，不同位置之關鍵群體個人年有效劑量均遠低於法規要求(0.25 mSv)。達仁溪下遊之關鍵群體在此情節下最大個人年有效劑量為 2.55E-04 mSv，發生時間為場址封閉後

5,130 年；塔瓦溪下遊之關鍵群體在此情節下最大個人年有效劑量則為 $1.01\text{E-}03$ mSv，發生時間為場址封閉後 5,470 年。

二、烏坵鄉建議候選場址

設計情節之海水位沒有明顯下降，因此關鍵群體均以島嶼型生活形態為考量，並據以評估其年有效劑量。各核種之劑量分析結果如圖 5.2.4-3 所示，圖中橫軸代表時間，縱軸則代表年有效劑量。如圖所示，關鍵群體在此情節下最大年有效劑量為 $4.99\text{E-}06$ mSv，發生時間為場址封閉後 17,950 年。

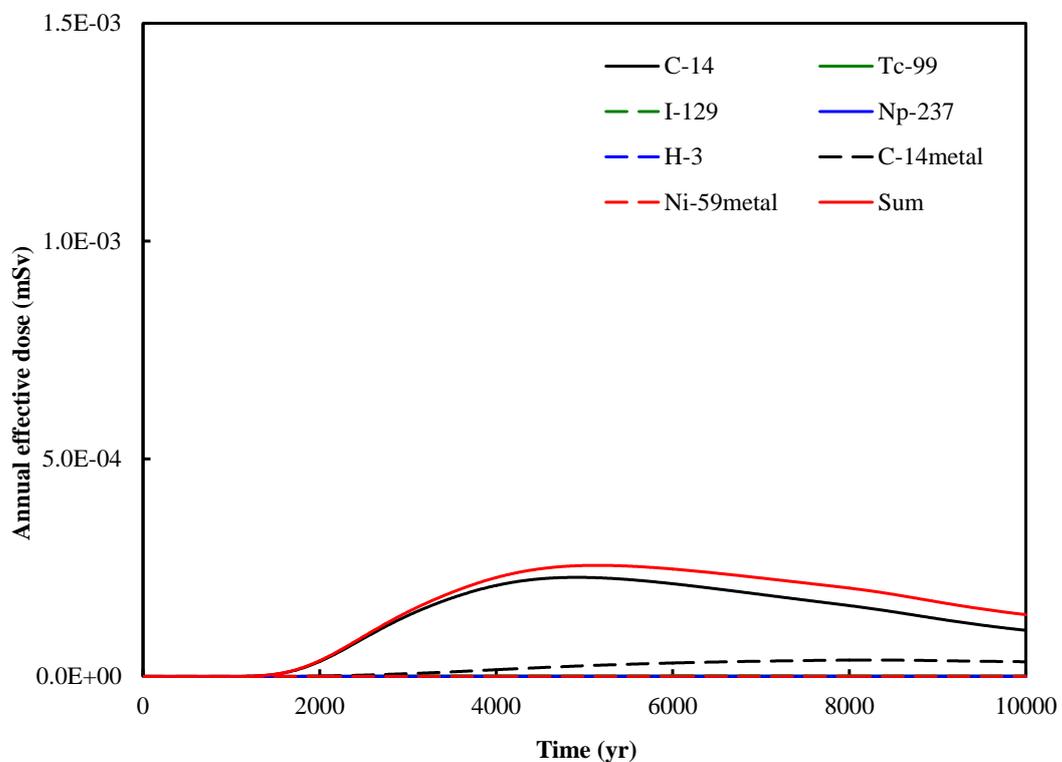


圖 5.2.4-1 設計情節下之個人年有效劑量評估結果(達仁溪流域)

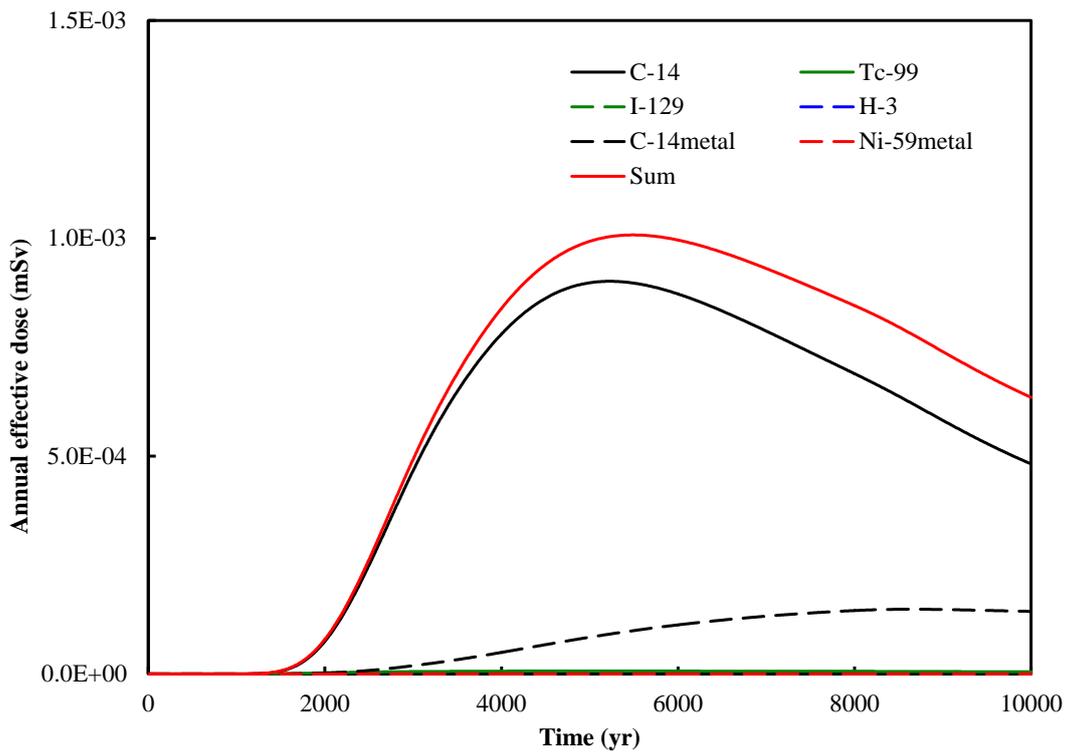


圖 5.2.4-2 設計情節下之個人年有效劑量評估結果(塔瓦溪流域)

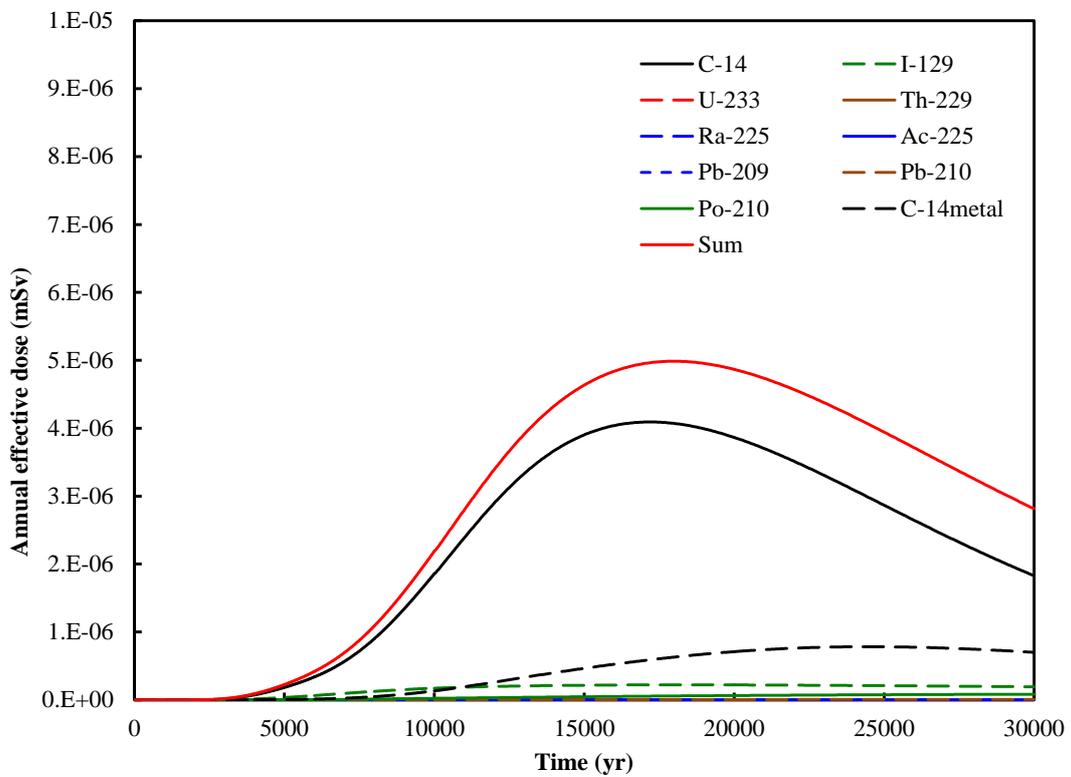


圖 5.2.4-3 設計情節下之劑量評估結果(烏坵鄉建議候選場址)

5.2.5 敏感度及不確定性分析

安全評估的架構包括源項、近場、遠場及生物圈，針對各分析域所涵之各分析參數，以及其對應之不確定性來源探討與目前處理方式詳表 5.2.5-1。以下將就各分析域之不確定性來源之處理說明如下：

表 5.2.5-1 評估參數之不確定性來源評估及目前處理方式

項目		不確定性來源	處理方式
源項	核種活度	母核種及其活度資料庫尚未完成	以法規核種活度上限值進行評估，並以蘭嶼貯存場實測結果進行敏感度分析
	溶解度	受環境特性影響	假設核種無限溶解(不包括活化金屬)
	釋出率	受環境特性影響	參考相關文獻進行設定，並進行敏感度分析
近場	水力傳導係數	已設定功能需求，惟施工後仍會些微差異。障壁長期劣化影響難以準確掌握。	參考相關文獻進行設定，並於不同情節考量不同程度劣化後之影響
	擴散係數	已設定功能需求，惟施工後仍會些微差異。障壁長期劣化影響難以準確掌握。	參考相關文獻進行設定，並進行敏感度分析
	分配係數	等溫吸附特性易受場址特性影響。	參考相關文獻進行設定，並進行敏感度分析
	坑道及處置窖內流量	評估所需之流場條件缺乏實測資料驗證。障壁長期劣化所增加之流量難以準確掌握。	根據有限元素數值分析所得之流場條件進行評估。障壁劣化之影響係以調整水力傳導係數方式進行設定，並以替代情節考量加劇劣化之情況。
遠場	水文地質單元	未進行現地調查	以假設條件進行水文地質單元分區
	水力傳導係數	未進行現地調查	參考既有文獻進行參數假設
	分配係數	吸附特性易受場址特性影響。	參考相關文獻進行設定，並進行敏感度分析
	流徑長度及速度	處置設施範圍廣泛，不同位置所得流徑長度及速度不一	設定多個粒子追蹤監測點，並分別計算

項目		不確定性來源	處理方式
	地下水流場	地下水流場分析結果缺乏實測資料驗證	待現地調查工作推動後，藉由現地鑽孔、地下水位監測與水力試驗等，驗證分析結果
生物圈	關鍵群體生活方式及曝露途徑	核種外釋之位置可能位於不同流域	評估時已針對核種可能外釋之各流域進行關鍵群體劑量評估

一、源項

(一)核種活度

本安全評估所採用之母核種活度將以法規上限值進行分析，然由既有之資料庫顯示，實際核種平均活度約低於法規限值二個數量級。為釐清兩者差異，故本研究分別針對兩種核種初始活度條件下，進行設計情節下之安全評估。

1.達仁鄉建議候選場址

評估結果顯示，在以核種實測平均值之條件下，關鍵群體之最大年有效劑量為 $1.23\text{E-}05$ mSv，遠小於法規限值(0.25 mSv)，亦低於採用法規活度上限值所得之結果($1.01\text{E-}03$ mSv)約二個數量級。顯示採用法規活度上限值作為源項輸入相當保守。

2.烏坵鄉建議候選場址

評估結果顯示，關鍵群體之最大年有效劑量為 $6.37\text{E-}08$ mSv，遠小於法規限值(0.25 mSv)，亦低於採用法規活度上限值所得之結果($4.99\text{E-}06$ mSv)約二個數量級。顯示採用法規活度上限值作為源項輸入相當保守。

(二)非金屬廢棄物之核種溶解度

源項資料中，非金屬廢棄物之核種溶解度為另一個不確定性參數。由於缺乏進一步之試驗資料，因為評估時保守假設核種可於水中無限溶解。由於此假設已為最保守之條件，且目前尚無其他資料可供參考，因此不針對核種溶解度作進一步之分析與探討。

(三)金屬廢棄物之核種釋出率

金屬廢棄物之核種釋出率因無相關資料可供參考，因此本安全評估先採用文獻資料。為釐清此參數之影響，在此分別假設金屬廢棄物之核種釋出率為原設定值之 10 倍及 100 倍，並以設計情節之條件進行分析。

1. 達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之分析結果整理如表 5.2.5-2 及圖 5.2.5-1。由分析結果顯示，尖峰個人年有效劑量值與核種釋出率呈正相關，當核種釋出率提升至原設定 100 倍時，尖峰個人年有效劑量為 7.95E-03 mSv，約為原設定之 7.9 倍，主要劑量來源核種為金屬廢棄物釋出之 C-14_{metal}。

2. 烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址之分析結果整理如表 5.2.5-3 及圖 5.2.5-2。由分析結果顯示，個人年有效劑量尖峰值與核種釋出率呈正相關，當核種釋出率提升至原設定 100 倍時，尖峰個人年有效劑量為 3.24E-05 mSv，約為原設定之 6.5 倍，主要劑量來源核種為金屬廢棄物釋出之 C-14_{metal}。

表 5.2.5-2 金屬核種釋出率之影響(達仁鄉建議候選場址)

金屬廢棄物核種釋出率	年有效劑量尖峰值(mSv)	發生時間(yr)	流域	主要劑量來源核種
原設定	1.01E-03	5,470	塔瓦溪	C-14
放大 10 倍	2.05E-03	7,540	塔瓦溪	C-14 _{metal}
放大 100 倍	7.95E-03	6,870	塔瓦溪	C-14 _{metal}

表 5.2.5-3 金屬核種釋出率之影響(烏坵鄉建議候選場址)

金屬廢棄物核種釋出率	年有效劑量尖峰值(mSv)	發生時間(yr)	主要劑量來源核種
原設定	4.99E-06	封閉後 17,950 年	C-14
放大 10 倍	1.05E-05	封閉後 20,850 年	C-14 _{metal}
放大 100 倍	3.24E-05	封閉後 19,300 年	C-14 _{metal}

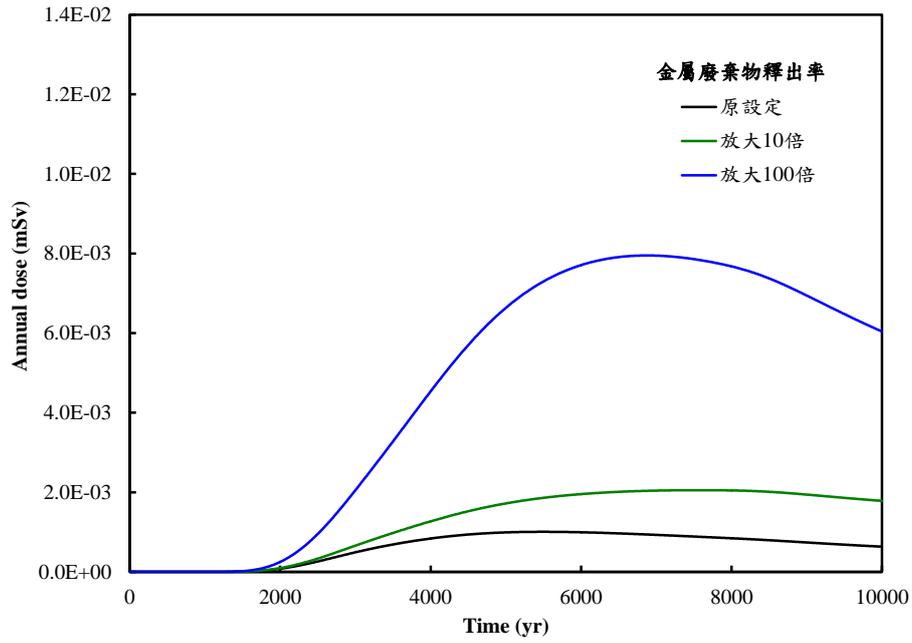


圖 5.2.5-1 設計情節之金屬廢棄物核種釋出率敏感度分析(達仁鄉建議候選場址)

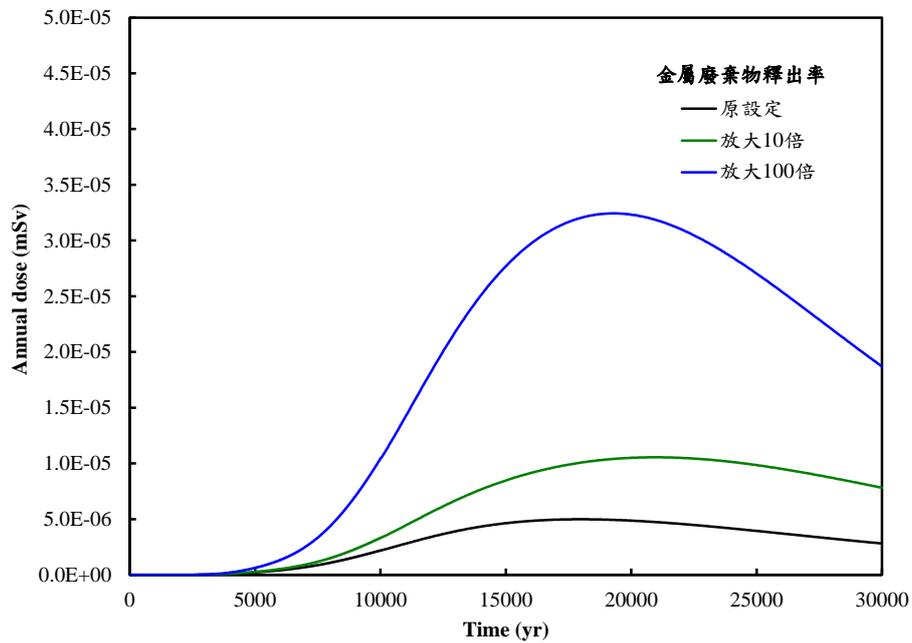


圖 5.2.5-2 設計情節之金屬廢棄物核種釋出率敏感度分析(烏坵鄉建議候選場址)

二、近場

(一)分配係數

1.達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之安全評估對於近場材料分配係數之設定係參考自文獻資料，並假設於處置設施於封閉後 500 年後，吸附功能僅剩初始狀態之 10%。為釐清分配係數之影響，在無進一步資料下，在此將以保守為原則，分別設定不同障壁失效條件如表 5.2.5-4 所示。再依表中各分配係數設定條件，針對設計情節重新進行安全評估。由分析結果(表 5.2.5-4)顯示，在所有分析條件下，關鍵群體之最大年有效劑量均低於法規限值(0.25 mSv)。

表 5.2.5-4 不同分配係數設定下對於劑量評估結果之影響(達仁鄉建議候選場址)

分配係數設定		年有效劑量尖峰值 (mSv)	發生時間 (yr)	流域	主要劑量 來源核種
工程障壁	天然障壁				
如預期	如預期	1.01E-03	5,470	塔瓦溪	C-14
如預期	不考慮	1.16E-03	4,580	塔瓦溪	C-14
不考慮	如預期	1.46E-03	4,590	塔瓦溪	C-14
不考慮	不考慮	1.67E-03	3,820	塔瓦溪	C-14

備註：(1)如預期：有吸附功能。

(2)不考慮：沒有吸附功能。

2.烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址之處置設施位於海床下，因此工程障壁之吸附功能在初始設定時即採用最保守之考量。在無其他資料可供參考下，將不再針對近場工程障壁之吸附功能，進行參數敏感度分析。

(二)擴散係數

為釐清擴散係數之影響，在此分別假設工程障壁之擴散係數為原設定值之 10 倍及 100 倍，並以設計情節之條件進行分析。

1.達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之分析結果整理如表 5.2.5-5 及圖 5.2.5-3。由分析結果顯示，個人年有效劑量尖峰值與擴散係數呈正相關，當擴散係數提升至原設定 100 倍時，尖峰年有效劑量為 2.45E-02 mSv，約為原設定之 24 倍級，個人年有效劑量尖峰值發生之時間亦由處置設施封閉後 5,470 年提早至 2,260 年。

2.烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址之分析結果整理如表 5.2.5-6 及圖 5.2.5-4。隨著個人年有效劑量尖峰值與擴散係數呈現正相關，當擴散係數提升至原設定 100 倍時，尖峰個人年有效劑量為 5.67E-05 mSv，約為原設定之 11 倍，個人年有效劑量尖峰值發生之時間則因場址流速較慢而無明顯差異。

表 5.2.5-5 工程障壁擴散係數之影響(達仁鄉建議候選場址)

工程障壁擴散係數設定	年有效劑量尖峰值(mSv)	發生時間(yr)	流域	主要劑量來源核種
原設定	1.01E-03	5,470	塔瓦溪	C-14
放大 10 倍	5.48E-03	3,290	塔瓦溪	C-14
放大 100 倍	2.45E-02	2,260	塔瓦溪	C-14

表 5.2.5-6 工程障壁擴散係數之影響(烏坵鄉建議候選場址)

工程障壁擴散係數設定	年有效劑量尖峰值(mSv)	發生時間(yr)	主要劑量來源核種
原設定	4.99E-06	封閉後 17,950 年	C-14
放大 10 倍	2.89E-05	封閉後 15,550 年	C-14
放大 100 倍	5.67E-05	封閉後 14,550 年	C-14

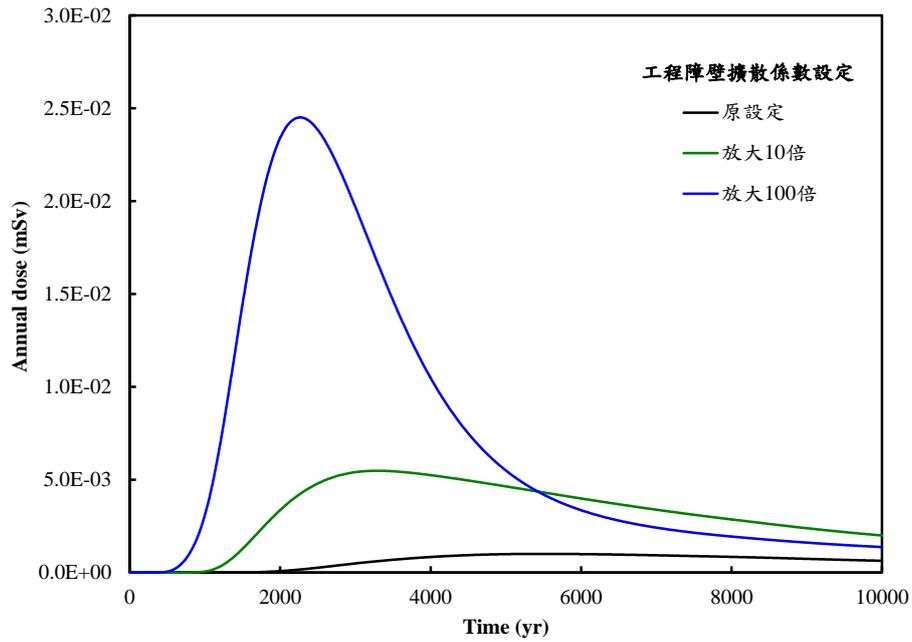


圖 5.2.5-3 設計情節之工程障壁擴散係數敏感度分析(達仁鄉建議候選場址)

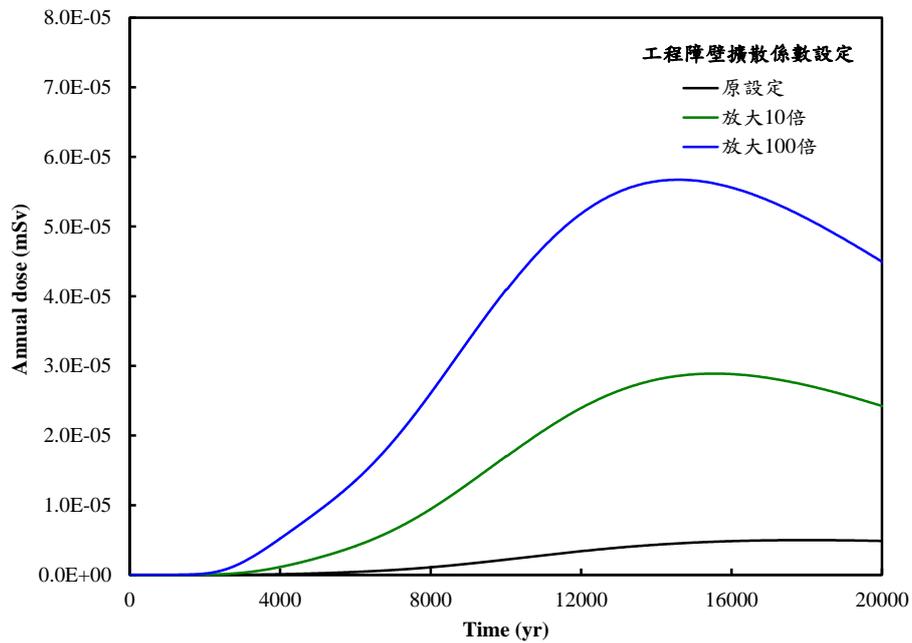


圖 5.2.5-4 設計情節之工程障壁擴散係數敏感度分析(烏坵鄉建議候選場址)

(三)坑道及處置窖內流量

本評估針對近場流量評估，係考量工程障壁在不同時間點之劣化條件，以及不同時期之近場邊界條件，再配合有限元素法進行評估，整個方法應屬合理。然由於遠場之流場評估結果無實際試驗資料可供佐證，未來待場址進場試驗後，應進一步率定流場評估成果，並重新評估坑道內初始流量。至於因工程障壁劣化而改變近場流量之現象，本評估參考 SKB(2014b, p27)，以調整水力傳導係數之作法，量化工程障壁劣化之影響，並以替代情節考量加劇劣化之情況，已可掌握不同劣化程度對於分析結果之影響。在無更合理之數據下，暫不再作評估。

三、遠場

由於處置設施不同位置均有不同流徑長度及流速，因此在安全評估中，粒子追蹤所得之流徑長度及速度為重要輸入參數。為合理考量此現象，本評估已於處置設施各位置設定粒子追蹤點，求得各位置之流徑長度及流速，以考量處置設施各位置傳輸特性。至於粒子追蹤長度及速度，則需參考場址流場條件。然由於目前無完整之現場調查成果，因此流場評估所需之參數均參考自相關文獻。未來待場址進場試驗後，應進一步率定流場評估成果。

四、生物圈

對於 2 處建議候選場址之場址特性，本評估已針對核種可能外釋之各流域進行關鍵群體劑量評估。

5.3 建議候選場址替代情節之安全分析技術模擬

5.3.1 發展替代情節

依據氣候演化推測於 5.2.1 節分別針對冰期循環推遲 100,000 年以及處置設施封閉後即進入冰期循環，發展出 2 種參考演化。替代情節設定依據 2 種參考演化推估，設定其地表生態系統演化、力學作用演化、水文地質演化、地球化學演化與工程障壁演化等演化過程。另針對影響安全功能較明顯之工程障壁劣化與地震等因素，採保守考量並列入替代情節中。

本安全分析所考量核種傳輸介質均以液體為主，主要影響情節設定之考量為參考演化與工程障壁劣化是否加劇，所有分析情節共 5 個，各情節之考量條件如表 5.3.1-1 所示。

表 5.3.1-1 2 處建議候選場址分析情節之考量條件

情節		氣候演化	降雨量設定	障壁劣化程度
設計情節	維持氣候暖化情節	冰期循環推遲 100,000 年	增加 10%	如參考演化
替代情節	維持氣候暖化且工程障壁劣化加劇情節	冰期循環推遲 100,000 年	增加 10%	劣化加劇
	進入冰期循環情節	封閉後立即進入冰期循環	同現況	如參考演化
	進入冰期循環且工程障壁劣化加劇情節	封閉後立即進入冰期循環	同現況	劣化加劇
	地震後嚴重劣化情節	冰期循環推遲 100,000 年	增加 10%	地震後嚴重劣化

5.3.2 替代情節分析結果

由於處置場址未來演變不易完整掌握，造成安全評估結果具不確定性。因此，本安全評估發展出 4 種替代情節並進行劑量評估，以下將針對 2 處建議候選場址之安全評估結果進行說明。

一、達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之分析結果如表 5.3.2-1 所示。表中顯示，在各情節下處置設施自封閉後關鍵群體之年有效劑量均低於法規上限值(0.25 mSv)，主要之劑量來源核種為 C-14。就設計情節(維持氣候暖化情節)中，關鍵群體之最大年有效劑量為 1.01E-03 mSv，所對應之時間為設施封閉後 5,470 年。各替代情節之分析結果顯示，考量為地震事件所造成之工程障壁劣化之地震後嚴重劣化情節為最關鍵之替代情節。該情節下關鍵群體之最大年有效劑量為 3.77E-03 mSv，所對應之發生時間則為 3,340 年。由於場址特徵化未經實測數據驗證，現階段僅適宜做為趨勢分析應用。

表 5.3.2-1 各分析情節下之劑量分析總表(達仁鄉建議候選場址)

情節		主要劑量來源核種	最大個人年有效劑量(mSv)	最大個人年有效劑量發生時間	個人年有效劑量(mSv)
設計情節	維持氣候暖化情節	C-14	1.01E-03	封閉後5,470年	
替代情節	維持氣候暖化且工程障壁劣化加劇情節	C-14	1.50E-03	封閉後5,050年	
	進入冰期循環情節	C-14	8.82E-04	封閉後5,620年	
	進入冰期循環且工程障壁劣化加劇情節	C-14	1.28E-03	封閉後4,970年	
	地震後嚴重劣化情節	C-14	3.77E-03	封閉後3,340年	

二、烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址之分析結果如表 5.3.2-2 所示。表中顯示，在各情節下關鍵群體之年有效劑量均低於法規上限值(0.25 mSv)，主要劑量來源核種為 C-14。就設計情節(維持氣候暖化情節)中，關鍵群體之最大年有效劑量為 4.99E-06 mSv，所對應之時間為設

施封閉後 17,950 年。分析結果顯示，進入冰期循環且工程障壁劣化加劇情節為最關鍵之替代情節，關鍵群體之個人最大年有效劑量為 5.71E-03 mSv/y，所對應之發生時間為 5,020 年。由於場址特徵化未經實測數據驗證，現階段僅適宜做為趨勢分析應用。

表 5.3.2-2 各分析情節下之劑量分析總表(烏坵鄉建議候選場址)

情節		主要劑量來源核種	最大個人年有效劑量(mSv)	最大個人年有效劑量發生時間	個人年有效劑量(mSv)
設計情節	維持氣候暖化情節	C-14	4.99E-06	封閉後 17,950年	
	維持氣候暖化且工程障壁劣化加劇情節	C-14	4.99E-06	封閉後 17,950年	
替代情節	進入冰期循環情節	C-14	5.59E-03	封閉後 5,020年	
	進入冰期循環且工程障壁劣化加劇情節	C-14	5.71E-03	封閉後 5,020年	
	地震後嚴重劣化情節	C-14	4.99E-06	封閉後 17,950年	

5.3.3 敏感度及不確定性分析

本安全評估之不確定性分析已於 5.2.5 節說明。該節另以設計情節為前提，針對金屬核種釋出率、分配係數及擴散係數，進行敏感度分析，並釐清以上參數之影響趨勢，故此處不再評估。在此僅以既有核種活度實測成果進行各情節下之劑量評估。

表 5.3.3-1 及表 5.3.3-2 顯示達仁鄉建議候選場址各情節下使用實測核種活度之劑量評估結果；表 5.3.3-3 及表 5.3.3-4 顯示烏坵鄉建議候選場址各情節下使用實測核種活度之劑量評估結果。達仁鄉建議候選場址與烏坵鄉建議候選場址之分析結果顯示，關鍵群體之最大個人年有效劑量遠小於法規限值(0.25 mSv)，而關鍵群體之最大個人年有效劑量低於採用法規活度上限值所得之結果約二個數量級。顯示採用法規活度上限值作為源項輸入相當保守。

表 5.3.3-1 採用既有核種活度資料庫下之劑量評估總表(達仁鄉建議候選場址)

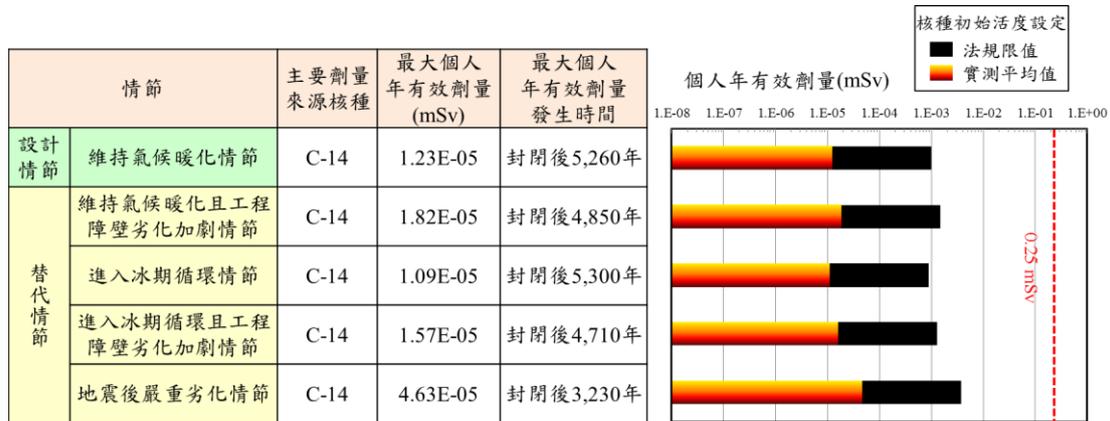


表 5.3.3-2 不同母核種初始活度下之劑量評估結果比較表(達仁鄉建議候選場址)

情節		採用台電資料庫平均值		採用法規上限值		劑量比(%)
		最大個人年有效劑量(mSv)	最大個人年有效劑量發生時間	最大個人年有效劑量(mSv)	最大個人年有效劑量發生時間	
設計情節	維持氣候暖化情節	1.23E-05	封閉後5,260年	1.01E-03	封閉後5,470年	1.22%
替代情節	維持氣候暖化且工程障壁劣化加劇情節	1.82E-05	封閉後4,850年	1.50E-03	封閉後5,050年	1.21%
	進入冰期循環情節	1.09E-05	封閉後5,300年	8.82E-04	封閉後5,620年	1.23%
	進入冰期循環且工程障壁劣化加劇情節	1.57E-05	封閉後4,710年	1.28E-03	封閉後4,970年	1.23%
	地震後嚴重劣化情節	4.63E-05	封閉後3,230年	3.77E-03	封閉後3,340年	1.23%

表 5.3.3-3 採用既有核種活度資料庫下之劑量評估總表(烏坵鄉建議候選場址)

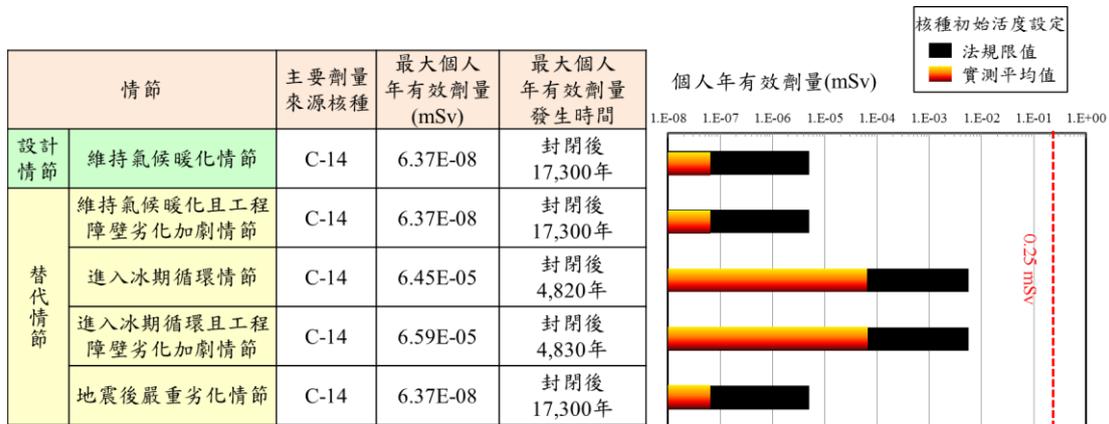


表 5.3.3-4 不同核種初始活度下之劑量評估結果比較(烏坵鄉建議候選場址)

情節		採用台電資料庫平均值		採用法規上限值		劑量比 (%)
		最大個人年有效劑量(mSv)	最大個人年有效劑量發生時間	最大個人年有效劑量(mSv)	最大個人年有效劑量發生時間	
設計情節	維持氣候暖化情節	6.37E-08	封閉後 17,300年	4.99E-06	封閉後 17,950年	1.28%
替代情節	維持氣候暖化且工程障壁劣化加劇情節	6.37E-08	封閉後 17,300年	4.99E-06	封閉後 17,950年	1.28%
	進入冰期循環情節	6.45E-05	封閉後 4,820年	5.59E-03	封閉後 5,020年	1.15%
	進入冰期循環且工程障壁劣化加劇情節	6.59E-05	封閉後 4,830年	5.71E-03	封閉後 5,020年	1.15%
	地震後嚴重劣化情節	6.37E-08	封閉後 17,300年	4.99E-06	封閉後 17,950年	1.28%

綜合評估 5.2 節與 5.3 節之分析結果，基於目前之場址特徵化、工程概念設計與安全分析設定，影響最大年有效劑量最明顯之因素為核種初始活度設定，其次依序為工程障壁擴散係數、金屬廢棄物之核種釋出率、設施劣化演化、分配係數與氣候演化等。

5.3.4 人類入侵情節分析

一、達仁鄉建議候選場址

依據 NUREG-2175(NRC, 2015, p4-9)，人類入侵的情節設定可根據場址特性，合理性預測人類未來活動。台東縣達仁鄉建議候選場址位於中央山脈南段延伸，地勢由東往西逐漸升高，高程可爬升至 200 m，場址地形坡度約為 1:0.3~1:0.8，此坡度一般不適合作為建築物興建，故初步排除未來於場址區域有建物開發行為。觀察過去類似生活環境居民之飲水習慣，受限於山區鑿井位置、深度與施工均不易，致使當地居民慣於利用簡易設施取用山泉水或溪水，故初步排除未來有鑿井取水的行為。針對場址周邊交通，已具有台 9 線、台 26 線與南迴鐵路作為主要運輸，故研判未來無開發新交通路線或交通隧道之需求。此外，選址過程中已排除具有地質資源價值區域，故研判未來無資源探勘之行為。此外，考量處置設施已具一定深度岩覆且坑道設施、坑道與處置窖間之回填，應具有一定程度之防止無意入侵作用。綜上所述，研判場址應無發生直接人類無意闖入的可能性。

因此，另假設處置設施封閉 100 年後，相關警示設施已完全損毀且無法辨識，民眾於處置設施附近進行鑽探作業而導致核種傳輸路徑減半，作為人類無意侵入情節設定。

分析成果如圖 5.3.4-1 與圖 5.3.4-2 所示，分析結果顯示，不同位置之關鍵群體所之個人年有效劑量均遠低於法規要求(0.25 mSv)。達仁溪下游之關鍵群體在此情節下最大個人年有效劑量為 $3.02E-04$ mSv，發生時間為場址封閉後 4,170 年；塔瓦溪下游之關鍵群體在此情節下最大個人年有效劑量則為 $1.20E-03$ mSv，發生時間為場址封閉後 4,380 年。

二、烏坵鄉建議候選場址

依據 NUREG-2175(NRC, 2015, p4-9)，人類入侵的情節設定可根據場址特性，合理性預測人類未來活動。金門縣烏坵鄉建議候

選場址之處置設施位於海平面以下，在設計情節之情境下，設施鄰近區域均覆蓋海水，故初步排除場址未來有任何開發行為，例如建物開發、鑿井取水等。於選址過程中已排除具有地質資源價值區域，故研判未來無資源探勘之行為。此外，考量處置設施已具一定深度岩覆且坑道設施、坑道與處置窖間之回填，應具有一定程度之防止無意入侵作用。綜上所述，研判場址應無發生直接人類無意闖入的可能性，故不另評估人類入侵情節。

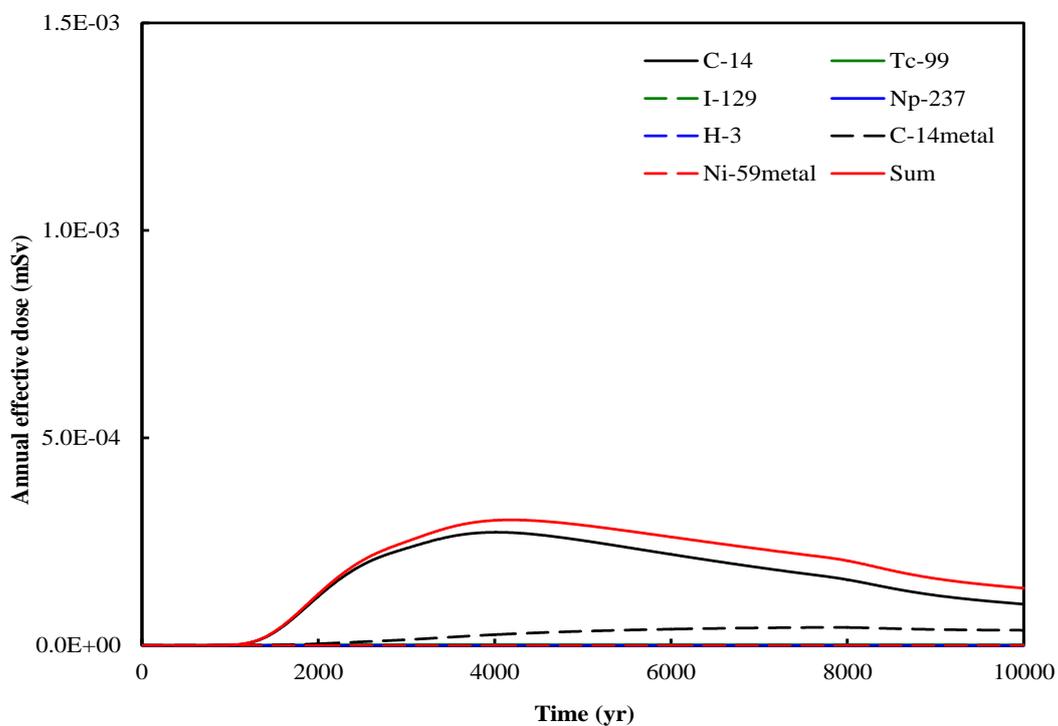


圖 5.3.4-1 人類入侵情節下之個人年有效劑量評估結果(達仁溪流域)

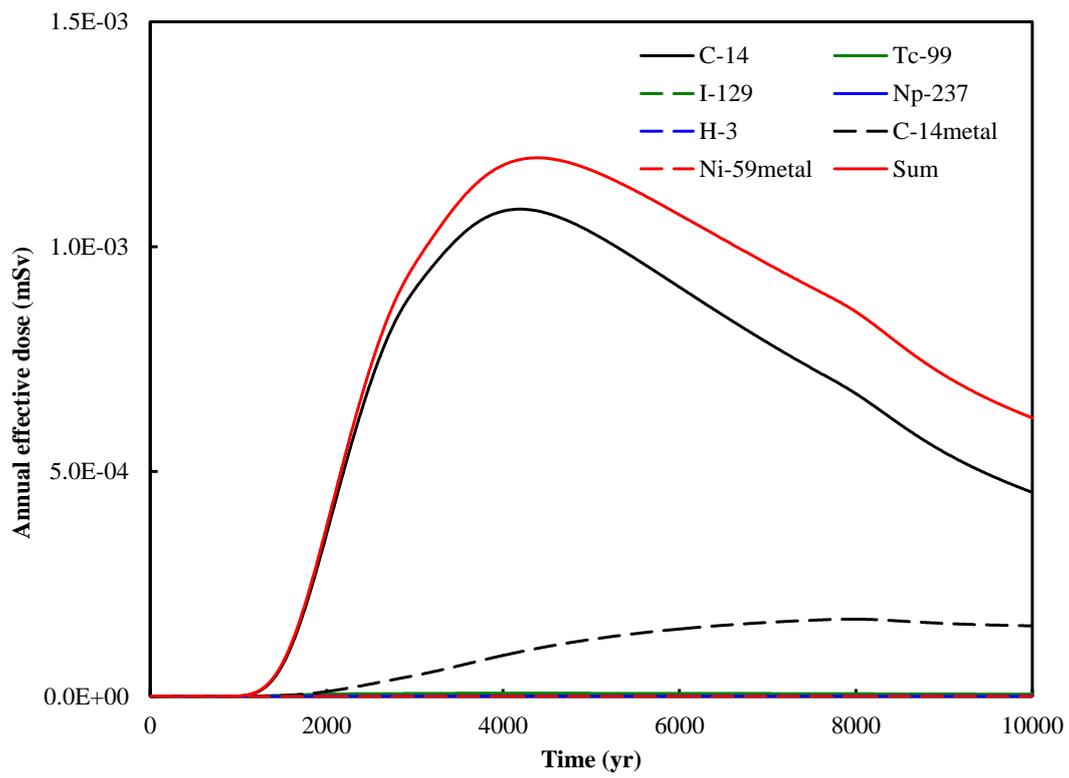


圖 5.3.4-2 人類入侵情節下之個人年有效劑量評估結果(塔瓦溪流域)

第六章 綜合分析與結論

6.1 法規符合性分析

由於本報告採用既有文獻或推論方式進行分析，且目的在於論述處置安全相關技術之可行性，故在法規符合性分析主要評估是否已具備達成法規要求之相關技術。

針對低放射性最終處置技術評估，可供依循之國內相關法規包括「放射性物料管理法」、「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」、「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」。本報告基於接收全國所有核能設施產生之低放射性廢棄物為設計容量考量，依廢棄物分類採用不同之工程障壁系統設計之分區處置規劃。處置系統設計經過場址特徵化與安全分析作業顯示，已具備執行場址特徵化、工程概念設計與安全分析情節所需技術。安全分析各情節之評估過程與結果，可供評斷低放處置設施之設計，是否可確保其對設施外一般人所造成之個人有效劑量不超過 0.25 mSv/yr 之安全限值。

6.2 處置安全性分析

低放射性廢棄物最終處置場之場址與設施設計確認，必須經過嚴密的場址選擇、場址特性調查、工程設計、安全分析、環境影響評估、興建與運轉、封閉與監管等程序之安全審核與把關。

現階段因 2 處建議候選場址均尚未正式進場調查，後續之設施設計、安全分析與環境影響評估工作亦尚未正式展開。但為檢視現階段低放處置設施規畫之安全性，針對 2 處建議候選場址利用既有文獻與理論推估等方式進行場址特徵化、工程概念設計與安全分析等技術評估。除藉以檢視分析技術適宜性，同時也可初步研判 2 處建議候選場址其處置設施概念設計之安全性。

由於本報告採用既有文獻成果進行場址特徵化、工程概念設計與安全分析參數設定之方式執行相關分析。使得場址尺度之場址特徵化結果具有較高之不確定性。而為了降低不確定性對於處置長期安全研判之影響，在分析過程中採用較保守之假設與設定來降低其影響，分別說明如下：

一、廢棄物考量

就廢棄物考量而言，較保守的設定包含：

- (一) 初始活度採用法規分類濃度限值作為初始條件設定之參考：依分析結果可能會使最大年有效劑量上升兩個級數。
- (二) 忽略非金屬類廢棄物體之溶出率：即核種於封閉後立即溶至水中。
- (三) 假設無溶解上限：即假定核種瞬時全數溶解於水中，開始進入傳輸過程。

二、近場考量

就近場考量而言，較保守的設定包含：

- (一) 忽略盛裝容器之圍阻與遲滯功能：進行安全分析時，盛裝容器無法減緩流速或吸附核種。
- (二) 工程障壁劣化演化採用較大劣化程度與較快發生劣化行為之設定：設定時參考各國對於障壁劣化程度與發生時間之考量，採用較保守之封閉後 700 年即完全劣化。意即此時近場已有較多水流通過，增加核種藉由平流作用傳輸之總量。整體而言，也將會使核種在較早的時間即有可能傳輸至地質圈。
- (三) 吸附功能折減設定：假設工程障壁之吸附功能將在分析時間超過 500 年後，折減至原設定之 10%，意即核種可遲滯於近場之總量將降低。

三、遠場考量

就遠場考量而言，由於場址尺度之特徵化具有較高之不確定性，故其較保守的設定僅包含：

-
- (一)在海水面下降之替代情節中，採用較快速地下水流場時段代表海水位下降之影響，而不另再區分出較緩慢之地下水流場時段
- (二)地質圈水力傳導係數設定不採用較佳條件。3.假定具有較破裂區域，局部流場將會增速。

在前述保守條件考量下，不論是在設計情節或替代情節，2處建議候選場址之最大年有效劑量仍低於 0.25mSv，可初步研判其多重障壁系統具有確保安全之功能。惟未來取得場址特性調查與相關試驗資料後，仍需更新分析並再次確認其確保安全之功能。

6.3 結論

本報告依循國內低放處置之相關法規，並參考國際相關文獻 (IAEA, 2012、IAEA, 2014)，瞭解當前國際上針對近地表放射性廢棄物處置設施開發、運轉、封閉、與管制措施的指引與建議，以符合 IAEA 訂定的安全要求。在確認安全與建立信心之部分，則是參考 IAEA 於 2012 年發行之 SSG-23 「The safety case and safety assessment for the disposal of radioactive waste」，已掌握國際最新趨勢。並以「台東縣達仁鄉」及「金門縣烏坵鄉」2處建議候選場址為分析對象，逐一檢視低放處置所需之各項技術，藉以論證處置技術之可行。

依規劃與分析結果，處置設施採用 A 類廢棄物與 B/C 類廢棄物分區處置，並分別採用不同工程障壁系統之設計概念。經由安全分析、不確定性與敏感度分析，說明多重障壁系統各單元之安全功能敏感度。以目前之場址特徵化概念、處置設施概念設計，在設計情節與不同替代情節之氣候與設施劣化評估下，仍初步可達成最大年有效劑量低於 0.25mSv 之法規限值，並符合相關法規與安全要求。

因此，可初步推論於達仁鄉及烏坵鄉 2 處建議候選場址推動低放射性廢棄物最終處置場相關作業進行之可行性。然國內低放射性

廢棄物最終處置事業自民國 101 年 7 月，經濟部公告「台東縣達仁鄉」及「金門縣烏坵鄉」2 處為低放射性廢棄物最終處置設施建議候選場址後，即無明顯之進展。在未選出候選場址的現況下，場址特性調查工作亦無法順利推動。因此，文中所述之場址特性資料仍待未來現場調查後方能確認，屆時本報告中各項評估成果仍需依調查結果予以更新。

國際同儕審查總結報告結論

依台灣電力公司(2017, p93) LLWD3-OD-2016-04-V03-國際同儕審查總結報告之結論，摘錄如下：

整體而言，台灣電力公司擁有一個優良的 LLRW 計畫團隊，包含稱職和積極的團隊人員。該技術評估報告針對安全性議題展現出適當的重點說明，並展現了持續推進計畫的能力。中興工程顧問公司和台灣電力公司具有根據國家法規、監管要求和國際安全標準，進行低放射性廢棄物處置場可行性研究的技術能力與優秀經驗。

技術評估報告中所討論的技術議題，被同儕審查小組視為在場址選定後，將能夠成功完成低放射性廢棄物處置場技術研究之指標。

長期安全策略和安全評估方法整體而言具有可信度和健全性。處置計畫採納了國際建議和最佳做法，並參考中華民國法規所規定的條件。

同儕審查報告中重點意見包含：

- 一、因應此領域之國際間最新做法，應對人類入侵情節進行分析；
- 二、應增加廢棄物性質和特徵之詳細資料以及廢棄物存量；
- 三、記錄已經完成的不確定性和敏感性分析，並解釋所考慮參數和假設的重要性及其可能的後果；
- 四、採取結構化的方法來紀錄和執行營運安全評估，結構化的方法將帶來更大的透明度，並有助於建立對所獲結果的信心；
- 五、為提高技術評估報告的透明度和明確性而提出了許多建議；
- 六、應將風險訊息和風險告知判斷於數個領域中納入。

本審查團隊確認所有經審查過程之後保留下來的意見，均已獲得所有委員的同意。

技術支援報告國內同儕審查報告結論

本案係台灣電力公司委請中華民國核能學會籌組審查小組，針對場址特性調查、處置設計與工程技術、及安全評估等技術支援報告，執行國內同儕(專家)審查作業。依審查內容與審查目標，各份報告之審查結論如下：

場址特性調查報告：雖受限於無法進入兩處建議候選場址進行現地調查、但報告中已針對兩處建議候選場址進行既有文獻蒐集，並對地層、構造、可能的地質災害及其影響提出完整的資料彙整與評估，基本已能滿足低放射性廢棄物最終處置技術評估報告的需求。但考量未來最終處置場址的不確定性，報告中若能詳列規劃未來執行現地地質鑽探調查所需要的工作項目、以及相對應的調查分析方法，相信會讓本報告更具價值。

處置設計與工程技術報告：雖然目前囿於無法現地執行場址特性調查而存在許多不確定性，但本報告從設計概念、低放廢棄物處置之長期安全之功能考量、處置區概念設計、工程障壁系統、隧道及輔助區之規劃、以及處置場興建營運與封閉作業規劃、處置坑道力學穩定分析等均有討論，已具備先期性之設計雛形，值得肯定。惟本報告比較偏重於設計概念之陳述，有關工程技術之技術支援部分及可行性與實際施作之討論則較少。因此，候選場址選定後，除了應實地進行地質鑽探之外，對於處置設計亦應另案進行細部規劃。

安全評估技術報告：報告中經由地質情況與工程設計的考量，並在氣候變化與工程障壁材料可能劣化情節下推演所得之設計情節與替代情節，透過程式分析，進行水文地質模型建構與地下水模擬，估測核種經外露途徑傳輸下，最後被人體所吸收或暴露所造成之劑量進行量化分析。本報告內容豐富，且分析邏輯亦屬合理。但是，由於欠缺現地調查資料，本報告的評估、計算引算數據有相當程度使用過去的舊資料、參考國外資料、或以假設方式為之。雖然

中興工程顧問公司對此表示：應是以最大保守度的假設進行分析。但對於所引用的相關數據仍應清楚交待其參考依據、並說明具保守度，此對本報告之可信度相當重要。

參考文獻

1. 工研院能資所，1999a，烏坵地區地表地質調查報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-2015-R.1，共 82 頁，p13、p22~p30、p44、p48~p49。
2. 工研院能資所，1999b，烏坵地區海域地球物理探測報告。附冊：震測剖面圖。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-4016-R.0，圖版四~圖版七。
3. 工研院能資所，2000a，小坵優先調查候選場址-場址調查報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RS-2100-R.1，共 275 頁，p3-3、p3-6~p3-23、p5-17~p5-25、p7-11、p7-24。
4. 工研院能資所，2000b，小坵嶼地質圖(1/1000)說明書。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-2101-R.0，圖版二~圖版四。
5. 工研院能資所，2000c，烏坵地區海域地球物理探測。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-4015-R.1，共 94 頁，p2-2、p5-3。
6. 工研院能資所，2000d，地工調查大地應力量測分析報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3502-R.0，p7-1。

-
-
7. 工研院能資所，2001a，小坵嶼孔內地球物理探測孔內攝影工作報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-4601-R.1，共 109 頁，附錄 A-1~附錄 A-7。
 8. 工研院能資所，2001b，小坵嶼地下水文調查工作報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-5510-R.1，p3-24。
 9. 中華民國總統府，2002，放射性物料管理法。
 10. 中華民國總統府，2002，游離輻射防護法。
 11. 中華民國總統府，2013，職業安全衛生法。
 12. 中華民國總統府，2015，勞動檢查法。
 13. 台東縣太麻里戶政事務所網站，
<http://tmh.taitung.gov.tw/bin/home.php>
 14. 台東縣政府主計處網站，<http://www.taitung.gov.tw/Accounting/>
 15. 台灣電力公司，2002，小坵場址初步安全分析報告，台灣電力公司-低放射性廢料最終處置計畫，p3-48、p3-56、p3-58、p3-71。
 16. 台灣電力公司，2006，低放射性廢棄物最終處置場可行性研究技術服務工作，地電阻探查野外作業報告(0 版)，p3-1~p3-11。
 17. 台灣電力公司，2007，低放射性廢棄物最終處置場可行性研究技術服務工作，折射震測野外作業報告(B 版)，p3-1~p3-6。
 18. 台灣電力公司，2008，可能潛在場址地質介質核種分配係數量測與地下水氫離子濃度測量報告，p B-11~p B-16。
 19. 台灣電力公司，2009，低放射性廢棄物最終處置場可行性研究技術服務工作—地質評估報告八號場址(B 版)，p3-19~p3-22。
 20. 台灣電力公司，2011，核能發電廠海嘯總體檢評估，p17、p197。
 21. 台灣電力公司，2016a，LLWD2-SI-2015-01-V06-台東縣達仁鄉場址特性調查計畫，p25~p120。
-
-

-
-
22. 台灣電力公司，2016b，LLWD2-SI-2015-02-V06-金門縣烏坵鄉場址特性調查計畫，p25~p120。
 23. 台灣電力公司，2016c，LLWD2-SA-2015-03-V07-低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(台東縣達仁鄉)，p31~p34。
 24. 台灣電力公司，2016d，LLWD2-SI-2014-01-V06-場址特性參數評估報告-台東縣達仁鄉，p29~p166。
 25. 台灣電力公司，2016e，LLWD2-SI-2014-02-V06-場址特性參數評估報告-金門縣烏坵鄉，p14~p181。
 26. 台灣電力公司，2017，LLWD3-OD-2016-04-V03-國際同儕審查總結報告，p93。
 27. 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處，2011，台9線南迴公路拓寬改善後續計畫-安朔至草埔段新闢四車道工程委託設計委外地質探查工作-隧道段地質鑽探工程報告，AD-59地質鑽探及土壤試驗一覽表：p16。
 28. 行政院原子能委員會，1997，放射性廢料管理方針。
 29. 行政院原子能委員會，2003，放射性物料管理法施行細則。
 30. 行政院原子能委員會，2005，游離輻射防護安全標準。
 31. 行政院原子能委員會，2006，低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例。
 32. 行政院原子能委員會，2006，低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準。
 33. 行政院原子能委員會，2009，放射性廢棄物處理貯存最終處置設施建造執照申請審核辦法。
 34. 行政院原子能委員會，2010，低放射性廢棄物最終處置地質材料對核種遷移之參數研究，p8~p10。
 35. 行政院原子能委員會，2010，低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範。

-
-
36. 行政院原子能委員會，2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
 37. 行政院原子能委員會，2016，低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則。
 38. 行政院原子能委員會放射性物料管理局，2013，低放射性廢棄物坑道處置核種遷移參數評估技術之研究，p265~p266、p268。
 39. 宋國城，1991，五萬分之一臺灣地質圖及說明書—恆春半島，中央地質調查所，p20~p21、p23、p50~p51、地質圖幅。
 40. 宋國城與林偉雄，1993，五萬分之一臺灣地質圖及說明書—枋寮，中央地質調查所，共 37 頁，p9。
 41. 李寄嶼，1998，烏坵地區火成活動與區域地質構造研究。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置計畫報告。[間接引用自工研院能資所，1999a，烏坵地區地表地質調查報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-2015-R.1，共 82 頁，p13。]
 42. 林軍，2006，臺灣海峽西岸城市群地質環境特徵研究，中國地質，第 33 卷，第二期，p446、p449。
 43. 林偉雄，林啟文，高銘健，1993，五萬分之一臺灣地質圖及說明書—大武，中央地質調查所，p7~p10、地質圖幅。
 44. 金門縣政府民政處網站，http://www.kinmen.gov.tw/Layout/sub_A/index.aspx?frame=3。
 45. 國家災害防救科技中心，災害潛勢地圖網站，<http://satis.ncdr.nat.gov.tw/Dmap/102news.aspx>。
 46. 黃玉昆、張珂、王明峰、邵和平，1992，閩南粵東沿海北西向斷裂構造的近代活動性與應力場的探討，中國廣州中山大學學報論叢，No.1，p19-p39。[間接引用自工研院能資所，2000a，小坵優先調查候選場址-場址調查報告。財團法人工業技術研究院能源與

-
- 資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RS-2100-R.1，共 275 頁，p3-3。]
47. 楊任徵，2002，我國用過核廢料長程處置潛在母岩特性調查與評估階段-潛在母岩特性調查計畫-海水面變遷情景分析及不確定性探討報告，台灣電力公司委辦計畫，SNFD-ERL-90-167，工業技術研究院。[間接引用自間接引用自行政院原子能委員會放射性物料管理局，2013，低放射性廢棄物坑道處置核種遷移參數評估技術之研究，委託研究計畫研究報告，p268。]
 48. 經濟部中央地質調查所，2012，斷層活動性觀測研究第二階段-斷層監測與潛勢分析研究 第二階段總結報告，共 422 頁，p115。
 49. 經濟部水利署，2015a，民國 103 年台灣水文年報第一部分—雨量，p230。
 50. 經濟部水利署，2015b，中華民國 103 年台灣水文年報第二部分—河川水位及流量，p463。
 51. 福建省地質礦產局，1985，福建省區域地質誌，地質出版社，p134~p492、附圖之一。
 52. 福建省國土資源廳，2013，福建省花崗岩地貌對比研究，p1，<http://www.fjgtzy.gov.cn/cms/html/fjsgtzyt/2013-05-23/1499177562.html>。
 53. 劉以宣、邱學林、陸成斌、李趕先，1989，台灣海峽西部石油地質地球物理調查研究，海洋出版社，共 134 頁。[間接引用自工研院能資所，2000c，烏坵地區海域地球物理探測。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-4015-R.1，共 94 頁，p2-2。]
 54. 鄧國雄、黃發明，2001，福建湄洲島的海階與斷層地形，福建地理，16，3，p3。
-

-
-
55. 羅欣蕙，2011，低放射性廢棄物障壁混凝土受氯離子入侵之劣化及預估研究，碩士論文，國立中央大學，中壢，p87~p92。
 56. Ahlbom, K., Albino, B., Carlsson, L., Nilsson, G., Olsson, O., Stenberg L. and Timje, H., 1983, Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Gidea, p2.
 57. Auckland Transport, 2014, Penlink - Hydrogeology Assessment, p11.
 58. Blümling, P. and Konietzky, H., 2002, Feasibility study Opalinus clay - geomechanical aspects, International Meeting ,Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement", 9.-12.12.2002, Reims (Frankreich), p91.
 59. Chang, C.P., Angelier, J., Lu, C. Y., 2009, Polyphase deformation in a newly emerged accretionary prism: folding, faulting and rotation in the southern Taiwan mountain range, *Tectonophysics*, 466, p395.
 60. Ching K.E., Hsieh M.L., Johnson K. M., Chen K- H, Rau R- J, and Yang M., 2011, Modern vertical deformation rates and mountain building in Taiwan from precise leveling and continuous GPS observations, 2000–2008, *Journal of geophysical research*, 116, B8, p7, p10.
 61. Dadson, S.J., Hovius, N., Chen, H., Dade, B., Hsieh, M.L., Willett, S.D., Hu, J.C., Horng, M.J., Chen, M.C., Stark, C.P., Lague, D., and Lin, J.C., 2003, Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen, *Nature*, 426, p649.
 62. DOE, 2016a, Waste Isolation Pilot Plant: Documented Safety Analysis, DOE/WIPP-07-3372, Waste Isolation Pilot Plant, Carlsbad, NM, p14~p15.

-
-
63. DOE, 2016b, Waste Isolation Pilot Plant: Technical Safety Requirements, DOE/WIPP 07-3373, Waste Isolation Pilot Plant, Carlsbad, NM, p5-14, p5-17~p5-19, p5-21~p5-23.
 64. Domenico P. A. and Schwartz F. W., 1997, Physical and chemical hydrogeology, p14.
 65. Golder Associates Ltd., 2014, Final Environmental Impact Statement (FEIS) – Meliadine Gold Project: Volume 7.0 Freshwater Environment, Prepared for Agnico Eagle Mines Ltd, p7.2-B-2~p7.2-B-3.
 66. Heath, R. C., 1983, Basic ground-water hydrology, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, p9.
 67. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2004a, Safety assessment methodologies for near surface disposal facilities, Vol. 1, IAEA, Vienna, p1~p413.
 68. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2004b, Safety assessment methodologies for near surface disposal facilities, Vol. 2, IAEA, Vienna, p292.
 69. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2009, Classification of radioactive waste, General Safety Guide No. GSG-1, IAEA, Vienna, p7.
 70. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2012, The safety case and safety assessment for the disposal of radioactive waste, Specific Safety Guide No. SSG-23, IAEA, Vienna, p16.

-
-
71. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2014, Near surface disposal facilities for radioactive waste, Specific Safety Guide No. SSG-29, IAEA, Vienna.
 72. IPCC, 2013, Climate change 2013: the physical science basis: summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p132, p1204. Available at: <http://www.ipcc.ch>.
 73. JAEA, 2013, Development of the assessment tool for groundwater scenario concerning sub-surface disposal, JAEA-Data Code 2013-015, p48、p54~p56.
 74. JNFL web site: <http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/llw/llw-center.html>
 75. Johnson, A. I., 1967, Specific yield-compilation of specific yields for various materials, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1662-D, p22.
 76. Lin A.T., Yao B, Hsu S.K., Liu C.S., and Huang C.Y., 2009, Tectonic features of the incipient arc-continent collision zone of Taiwan: Implications for seismicity, *Tectonophysics*, 479, p28.
 77. Lu, C. Y., Chang, K. J., Malavieille, J., Chan, Y. C., Chang, C. P. and Lee, J. C. , 2001, Structural evolution of the southeastern Central Range, Taiwan. *Western Pacific Earth Science* 1, p213.
 78. Malavieille and Trullenque, 2009, Consequences of continental subduction on forearc basin and accretionary wedge deformation in SE Taiwan: Insights from analogue modeling, *Tectonophysics*, 466, 3-4, p391.

-
-
79. Martin, C.D. and Lanyon, G.W., 2002, EDZ in Clay Shale, Mont Terri Technical Report TR 2001-01, p6-23.
 80. McIntosh et al., 2005, Crustal-scale seismic profiles across Taiwan and the western Philippine sea, *Tectonophysics* 401, p24.
 81. NRC, 2015, Guidance for Conducting Technical Analyses for 10 CFR Part 61, Draft Report for Comment, NUREG-2175, p4-9.
 82. NWMO, 2011, Excavation Damaged Zones Assessment, NWMO internal report DGR-TR-2011-21, p35.
 83. Paces, T., Buzek, F., Blaha, V., Pacesova, E., 2010, Long term chemical behavior of groundwater in granite with low permeability. In Birkle P., Rorres-Alvarado I.S: *Water-Rock Interaction*, 13th International Symposium Proceedings, Guanajuato, Mexico, 16-20 August 2010, p411~p414.
 84. Park, J. B., Jung, H. R., Lee, E. Y., Kim, C. L., Kim, G. Y., Kim, K. S., Koh, Y. K., Park, K. W., Cheong, J. H., Jeong, C. W., Choi, J. S., Kim, K.D., 2009, Wolsong Low- and Intermediate-level Radioactive Waste Disposal Center: Progress and Challenges, *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 4, p479~p481.
 85. Popov, V., and Pusch, R., 2006, Disposal of Hazardous Waste in Underground Mines, p77.
 86. Rieke H. H. and Chilingarian G. V., 1974, *Compaction of argillaceous sediments: Developments in sedimentology*, Elsevier Scientific Publishing Company, 424 p, p7.
 87. Schwartz, F. W. and Zhang, H., 2003, *Fundamentals of ground water*, p44, p76.

-
-
88. Shinn, E.A., 2001, Coral reefs and shoreline dipsticks, in Gerhard, L.C., Harrison, W.E., and Hanson, B.M., eds., Geological Perspectives of Global Climate Change: American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology No. 47, p251~p264. [間接引用自行政院原子能委員會放射性物料管理局，2013，低放射性廢棄物坑道處置核種遷移參數評估技術之研究，委託研究計畫研究報告，p265~p266。]
 89. SKB, 2008, Safety analysis SFR 1: Long-term safety, SKB R-08-130, Svensk Kärnbränslehantering AB, p240.
 90. SKB, 2014a, Safety analysis for SFR Long-term safety - Main report for the safety assessment SR-PSU, SKB TR-14-01, Svensk Kärnbränslehantering AB, p11, p143, p159.
 91. SKB, 2014b, Flow and transport modelling on the vault scale - Supporting calculations for the safety assessment SR-PSU, SKB R-14-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, p27.
 92. Skogberg, M. and Ingvarsson, R., 2011, Project website, p15, Available from <http://www.euronuclear.org/events/topseal/presentations/PP-Session-III-Skogsberg.pdf>.
 93. Suppe, J., 1984, Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan, Geol. Soc. China Mem., 6, p21.
 94. U.S.NRC, 1984, Technology, Safety and costs of decommissioning a reference pressurized water reactor power station, NUREG/CR-0130, Volume 1 and Addendum 3, p2.3, p4.1.
 95. USGS, 2001, Hydraulic-Property Estimates for Use With a Transient Ground-Water Flow Model of the Death Valley Regional Ground-

Water Flow System, Nevada and California, Water-Resources
Investigations Report 01-4120, p14.

貳、 「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估案」

目錄

第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目標.....	2
1.3 執行成果與應用.....	2
第二章 處置系統及場址特性描述.....	7
2.1 源項設定.....	7
2.2 水文條件.....	7
2.2.1 台東縣達仁鄉建議候選場址.....	7
2.2.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址.....	8
2.3 地質條件.....	9
2.3.1 台東縣達仁鄉建議候選場址水文地質概念模型.....	9
2.3.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址水文地質概念模型.....	10
2.4 地球化學特徵.....	11
2.4.1 台東縣達仁鄉建議候選場址.....	11
2.4.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址.....	11
2.5 生物圈.....	13
2.5.1 台東縣達仁鄉建議候選場址.....	13
2.5.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址.....	13
2.6 處置設施設計條件.....	14
2.6.1 台東縣達仁鄉建議候選場址.....	14
2.6.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址.....	17
第三章 建立地化傳輸與核種傳輸之數學模型.....	20
3.1 達仁鄉建議候選場址近場傳輸模擬.....	20
3.1.1 處置設施概念模型及網格劃分.....	20
3.1.2 障壁材料化學組成特性.....	21
3.1.3 障壁材料物理特性.....	21
3.1.4 地球化學模型.....	21
3.1.5 放射性核種.....	24
3.1.6 地下水初始及邊界條件.....	25
3.1.7 模擬時間.....	25
3.1.8 模擬成果與討論.....	26

3.2 達仁鄉建議候選場址遠場傳輸模擬	33
3.2.1 模擬區域及網格劃分	33
3.2.2 天然障壁化學組成特性	34
3.2.3 天然障壁材料物理特性	34
3.2.4 地球化學模型	35
3.2.5 放射性核種	36
3.2.6 地下水初始及邊界條件	36
3.2.7 模擬時間	36
3.2.8 模擬成果與討論	36
3.3 烏坵鄉建議候選場址近場傳輸模擬	39
3.3.1 處置設施概念模型及網格劃分	39
3.3.2 障壁材料化學組成特性	39
3.3.3 障壁材料物理特性	40
3.3.4 地球化學模型	40
3.3.5 放射性核種	41
3.3.6 地下水初始及邊界條件	41
3.3.7 模擬時間	41
3.3.8 模擬成果與討論	42
3.4 烏坵鄉建議候選場址遠場傳輸模擬	49
3.4.1 模擬區域及網格劃分	49
3.4.2 天然障壁化學組成特性	51
3.4.3 天然障壁材料物理特性	51
3.4.4 地球化學模型	51
3.4.5 放射性核種	51
3.4.6 地下水初始及邊界條件	51
3.4.7 模擬時間	52
3.4.8 模擬成果與討論	52
第四章 生物圈輻射劑量評估	57
4.1 達仁鄉建議候選場址劑量整合評估	57
4.1.1 陸域型態生物圈核種傳輸概念模型	57
4.1.2 Goldsim 生物圈輻射劑量整合評估	58
4.1.3 RESRAD 生物圈輻射劑量整合評估	62
4.2 烏坵鄉建議候選場址劑量整合評估	64
4.2.1 島嶼型態生物圈核種傳輸概念模型	64

4.2.2 輻射劑量評估數學模型	65
4.2.3 RESRAD 生物圈輻射劑量評估整合	67
第五章 結論與建議	69
參考文獻	

表目錄

表 2.1-1	分析核種基本資料	7
表 2.2-1	達仁鄉建議候選場址各情境入滲量	8
表 2.2-2	烏坵鄉建議候選場址各情境入滲量	8
表 2.3.1-1	達仁鄉建議候選場址區域場址水文地質模型參數表	9
表 2.3.2-1	烏坵鄉建議候選場址水文地質模型參數表	10
表 2.6.1-1	達仁鄉建議候選場址工程障壁材料參數之設計條件	14
表 2.6.1-2	達仁鄉建議候選場址處置設施之基本資料	16
表 2.6.2-1	烏坵鄉建議候選場址工程障壁材料參數之設計條件	17
表 2.6.2-2	烏坵鄉建議候選場址處置設施之基本資料	19
表 3.1.4-1	地下水水質	22
表 3.1.4-2	本模式之地化反應式	23
表 3.1.4-3	本模型的沉澱-溶解反應式	23
表 3.1.5-1	放射性核種地化反應式	24
表 3.1.7-1	模擬核種對應時間步大小	25
表 3.2.3-1	結晶岩體物理特性表	35
表 3.2.3-2	粉質砂岩非飽和特性資料表	35
表 3.3.4-1	海水水質	40
表 3.3.7-1	模擬核種對應時間步大小	42
表 4.1.2-1	劑量轉換因子	58
表 4.1.2-2	農作物和畜產品的遷移因子	58
表 4.1.2-3	水產品的濃縮係數	58
表 4.1.2-4	生物圈相關參數	59
表 4.1.2-5	達仁場址 GoldSim 核種濃度邊界條件輸入表	60
表 4.1.3-1	RESRAD 台東達仁場址使用參數	63
表 4.2.2-1	烏坵場址 GoldSim 核種濃度邊界條件輸入表	65
表 4.2.3-1	RESRAD 金門烏坵場址使用參數	68

圖目錄

圖 1.3-1	工作執行流程圖.....	6
圖 2.6.1-1	A 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計.....	15
圖 2.6.1-2	B、C 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計.....	15
圖 2.6.2-1	A 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計.....	18
圖 2.6.2-2	B、C 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計.....	18
圖 3.1.1-1	達仁鄉建議候選場址二維坑道網格圖.....	21
圖 3.1.6-1	達仁鄉建議候選場址地下水流場圖.....	25
圖 3.1.8-1	現況情境 A 類處置坑道地下水達西流速分布圖.....	26
圖 3.1.8-2	現況情境 A 類處置坑道各離子濃度分布圖.....	28
圖 3.1.8-3	現況情境 A 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖.....	29
圖 3.1.8-4	現況情境 B、C 類處置坑道地下水達西流速分布圖.....	29
圖 3.1.8-5	現況情境 B、C 類處置坑道各離子濃度分布圖.....	32
圖 3.1.8-6	現況情境 B、C 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖.....	32
圖 3.2.1-1	達仁鄉建議候選場址模擬區域範圍圖.....	33
圖 3.2.1-2	達仁鄉建議候選場址模擬區域三維網格圖.....	34
圖 3.2.8-1	現況情境處置設施處地下水流線圖.....	37
圖 3.2.8-2	現況情境 Sr-90 外釋濃度歷線圖.....	38
圖 3.2.8-3	現況情境 I-129 外釋濃度歷線圖.....	38
圖 3.3.1-1	烏坵鄉建議候選場址二維坑道網格圖.....	39
圖 3.3.6-1	現況情境地下水流場圖.....	41
圖 3.3.8-1	現況情境 A 類處置坑道地下水達西流速分布圖.....	42
圖 3.3.8-2	現況情境 A 類處置坑道各離子濃度分布圖.....	45
圖 3.3.8-3	現況情境 A 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖.....	46
圖 3.3.8-4	現況情境 B、C 類處置坑道地下水達西流速分布圖.....	46
圖 3.3.8-5	現況情境 B、C 類處置坑道各離子濃度分布圖.....	49
圖 3.3.8-6	現況情境 B、C 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖.....	49
圖 3.4.1-1	烏坵鄉建議候選場址模擬區域範圍圖.....	50
圖 3.4.1-2	烏坵鄉建議候選場址模擬區域三維網格圖.....	50
圖 3.4.8-1	現況情境處置設施處地下水流線圖.....	53
圖 3.4.8-2	現況情境 Sr-90 外釋濃度歷線圖.....	54
圖 3.4.8-3	現況情境 I-129 外釋濃度歷線圖.....	54
圖 4.1.1-1	達仁場址的生物圈核種傳輸概念模型.....	57

圖 4.1.2-1	達仁鄉建議候選場址之現況情境 Sr-90 劑量歷線.....	61
圖 4.1.2-2	達仁鄉建議候選場址之現況情境 I-129 劑量歷線.....	61
圖 4.2.1-1	烏坵場址的生物圈核種傳輸概念模型.....	64
圖 4.2.2-1	烏坵鄉建議候選場址之現況情境 Sr-90 劑量歷線.....	66
圖 4.2.2-2	烏坵鄉建議候選場址之現況情境 I-129 劑量歷線.....	66

第一章 前言

1.1 計畫緣起

台電公司自民國 67 年開始利用核能發電，迄今共有核能一、二、三廠 6 部核能機組，目前所產生的低放射性廢棄物均暫存放在核能電廠廢棄物倉庫與蘭嶼貯存場。國內之醫、農、工、學術及研究等機構亦產生一些低放射性廢棄物，目前均集中暫存於核能研究所。而這些低放射性廢棄物(以下簡稱低放廢棄物)具有核種半化期短之特性，只要進行妥善的掩埋處置，便可以藉著多重障壁系統達到與人類生活環境隔離的目的。

低放射性廢棄物最終處置設施(以下簡稱低放處置設施)是以多重障壁系統遲滯放射性核種之溶出與遷移，為其確保人類生活環境安全之主要策略。多重障壁系統主要由廢棄物固化體、盛裝容器、緩衝及回填材料、坑道等工程結構物組成人工障壁系統，以及坑道周圍岩層至地表人類生活圈間之天然障壁系統所組成。其主要功能目標為確保低放處置設施在封閉之後，藉由多重障壁系統來遲滯核種傳輸速度，利用核種衰變特性降低核種活度，藉以達成安全要求，讓周遭民眾及環境不會受到輻射影響。為確保低放處置設施可達成法規之安全管制要求，國際上均透過設施功能評估(或稱安全分析)來評估與證明其多重障壁系統設計可達到抑制核種傳輸之目標。

為建置國內低放處置設施功能評估技術，以及未來申請國內低放射性廢棄物最終處置設施之建造執照時，須向主管機關提出最終處置場之安全分析報告。其主要內容為針對處置功能進行評估，並針對放射性核種自處置設施外釋途徑進行分析，以評估其對環境與人類安全影響，故須先進行相關評估工作。

1.2 計畫目標

依招標規範所載相關工作內容規劃，「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」計畫之計畫目標可區分為以下幾項：

- 一、蒐集與彙整國際間低放處置設施功能評估之技術考量基準。
- 二、以地化模式取代分配係數，建立近場與遠場核種傳輸之解析技術。
- 三、建立包含近場、遠場與生物圈之整體功能評估技術。
- 四、利用前述技術建置成果，驗證烏坵鄉與達仁鄉兩處建議候選場址既有概念設計是否符合安全要求。

1.3 執行成果與應用

計畫主要目標在建立執行地化分析之技術，工作執行流程如圖 1.3-1 所示。各年度執行成果分述如後：

一、第一年度執行成果

第一年之工作重點主要在於功能評估相關內容之文獻蒐集，所涵蓋之項目包括國際間低放處置設施安全評估、設計基準及各項特徵、事件及作用(Features, Events, and Processes, 簡稱 FEPs)等。文獻資料整理後所得結論：

- 1.回顧 IAEA(2004)所提出之近地表處置場之安全評估，先就整體安全評估流程進行通盤瞭解，作為後續場址處置設施安全評估之參考。
- 2.針對 FEP 表單之意義及緣由進行重點式之介紹，可作為放射性處置設施安全評估之基礎教育與溝通素材之參考。
- 3.我國放射性處置設施之安全評估，因為相關場址資料尚未完整調查，因此仍在初步發展階段，不適合採用各國特定場址之 FEP 表單，故參考國際原子能總署及經濟合作暨發展組織所開發之國際 FEP 表單。考量本案標的為低放射性廢棄物處置設施，故經評估後，採用國際原子能總署所建議之 FEP 表單。

-
- 4.針對世界主要核能國家在進行低放處置場功能評估時，所需考量之主要關鍵要素進行回顧及整理，其中包括評估基準、FEP 表單概述及評估模式等，有助於本計畫後續工作之進行。
 - 5.整理之安全評估範例程式(IAEA, 2004)，包括本計畫擬採用之生物圈程式 Resrad，以及系統層級程式 GoldSim，顯示本計畫所採用之程式具國際公信力。
 - 6.地球化學模擬功能模式中，以 HYDROGEOCHEM 地化傳輸模式(以下簡稱 HGC)之功能較為完整，適合用以執行本案近場及遠場之地化分析。

二、第二年度執行成果

第二年工作重點主要在於發展地化模式分析技術，包含以地化模式取代分配係數，建立近場與遠場核種傳輸之解析技術，同時建立包含近場、遠場與生物圈之整體功能評估技術。

在報告中針對 HGC 地化傳輸模式之發展歷程與數學理論進行說明，透過 5 個不同驗證案例說明 HGC 模式的準確性以及可應用性，並針對低放射性廢棄物處置設施之近場及遠場，放射性核種受到地下水傳輸及揮發性核種氣態傳輸進行模擬分析。透過假設之概念模型，配合 HGC 地化傳輸模式可有效分析放射性核種在處置設施中，分別藉由地下水傳輸及透過空氣擴散之影響。最後進行整體放射性核種傳輸機制模擬評估，將 HGC 地化傳輸模式之模擬成果透過 GoldSim 模式，進行放射性核種由處置設施近場傳輸到遠場，最後到達生物圈之整體性評估。經由評估完成後所得結論如下：

- 1.透過一連串的模式檢定與驗證，說明 HGC 地化傳輸模式確實可以達到本計畫將分析之目標，同時透過分析模擬結果，可以推導出由 HGC 地化傳輸模式模擬短半衰期核種時其 Δt 的限制，以避免在分析時初期活度貢獻最大的短半衰期核種造成數值計算誤差，而影響模擬結果之合理性。

-
- 2.HGC 地化傳輸模式可以依據處置設施不同障壁材料，分別設定相對應之材料物理特性參數，並配合對應之邊界條件，提供合理之地下水流場資訊，同時配合地化模型設定化學特性參數，可以分析放射性核種傳輸之過程以及水中化合物之變化。
 - 3.揮發性核種會透過空氣擴散傳播，一般而言物種在空氣中的擴散速率約為水中的 1 萬倍(William, 2012)，因此必須考量揮發性核種透過空氣擴散的影響，本報告成功利用 HGC 地化傳輸模式模擬處置設施近場揮發性核種透過擴散，將揮發性核種外釋到工程障壁外之過程，同時也模擬揮發性核種透過地下水攜出後，在非飽和層內透過空氣傳播的現象。
 - 4.承上所述，經評估揮發性核種在地下水傳輸過程中 I-129 濃度會因為延散效應而被稀釋，因此產生之濃度甚低，HI 揮發性核種最高濃度可能達到 10^{-26} M；而 I2 揮發性核種可能生成最高濃度約落在 10^{-40} M，而揮發性核種傳播途徑需要藉由空氣為媒介進而暴露散播，故其地下水位面必須低於處置坑道才有此狀況發生，不然還是屬於一般液體傳輸，經查兩處建議候選場址，其處置坑道皆假設地下水位面高於處置坑道，故其核種傳輸過程無產生揮發性核種之情況發生。
 - 5.以解析案例進行 GoldSim 程式之驗證。由驗證結果顯示，GoldSim 程式可合理進行核種衰變及傳輸分析，適合用於建置本案之整體放射性核種傳輸模式。
 - 6.以 GoldSim 程式，整合近場及遠場分析條件與結果，建置一維整體放射性核種傳輸模式。針對相同位置之參考點，藉由比對不同模式之分析結果，可進一步評估簡化後之一維整合模式合理性。本建置過程可供未來進行類似工作之參考。
 - 7.以分析過程合理性及模擬結果是否符合概念模型之假設進行探討，可得知本案所採用之分析工具，包括 HGC 地化傳輸模式或是 GoldSim 模式其分析結果及流程均屬合宜。

三、第三年度應用分析

本年度主要工作為應用 HGC 模式進行我國現行兩處建議候選場址(台東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉)之功能評估分析。並以 HGC 地化傳輸模式所得之核種外釋歷線結合 GoldSim 模式與 RESRAD 模式進行生物圈輻射劑量評估。

在進行生物圈的數學模式計算時應包括介質的放射性核種濃度和人體的吸收劑量兩部分。在分析時，一般假設放射性核種濃度在提供核種之介質及生物圈介質內部達平衡，不考慮其內部反應，且提供核種介質中的濃度為一線性函數。例如，農作物的放射性核種濃度和灌溉水的放射性核種濃度達平衡。有關第三年度應用分析，相關成果如本報告所述。

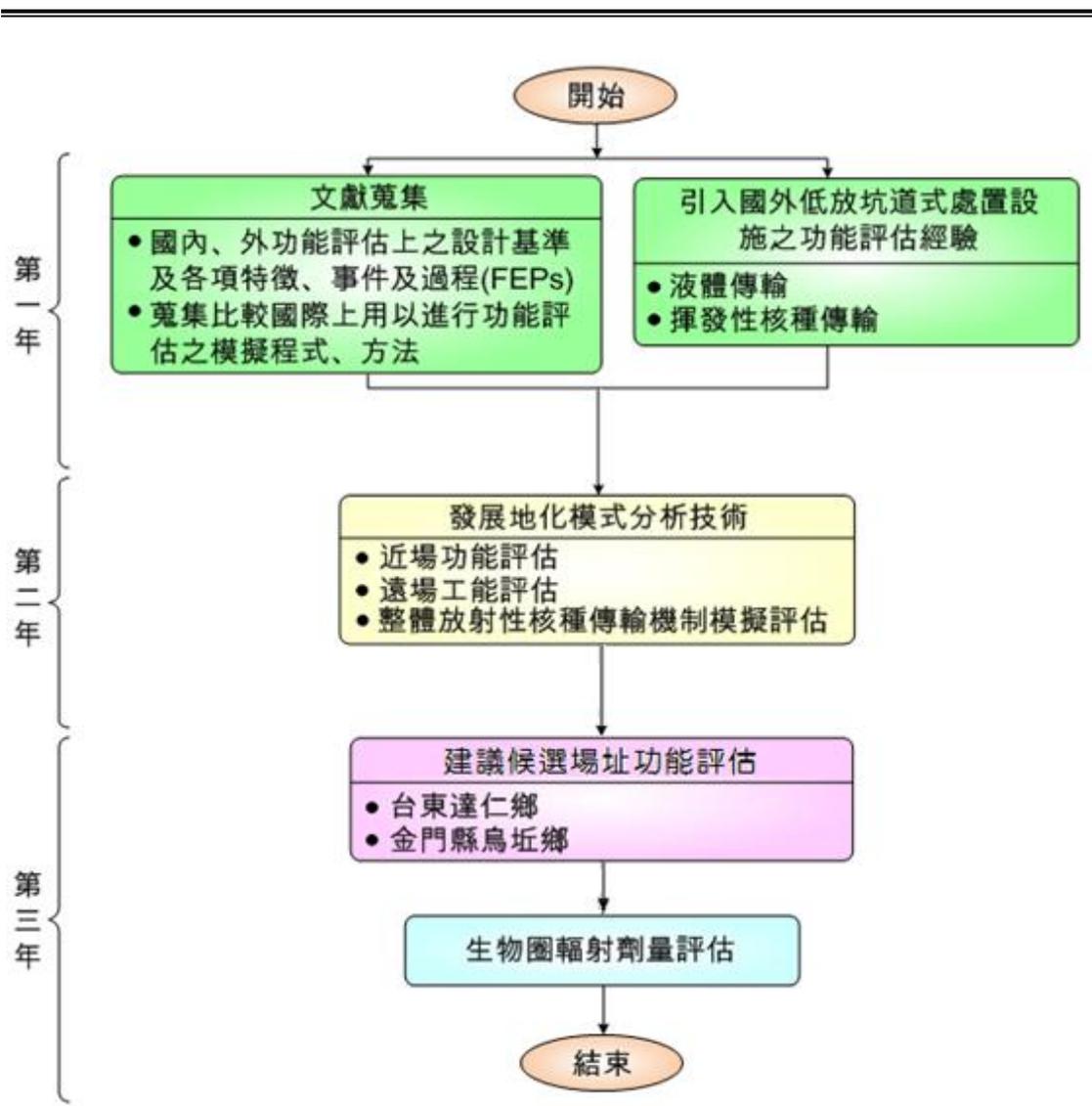


圖 1.3-1 工作執行流程圖

第二章 處置系統及場址特性描述

2.1 源項設定

為了能模擬短半化期及長半化期之影響，「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」所考量之母核種包括 Sr-90 及 I-129。依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第二章第三條對於低放射性廢棄物依其放射性核種濃度分類規定，A 類放射性廢棄物之 Sr-90 係參考第一行建議值，而 I-129 則是以法規上限濃度的 1/10 作為分析初始活度；B、C 類放射性廢棄物之 Sr-90 係參考第三行建議值，而 I-129 則是以法規上限濃度作為分析初始活度，相關分析核種之初始活度、半化期等基本資料整理如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 分析核種基本資料

放射性廢棄物種類	核種	初始活度	半化期
A 類	Sr-90	$1.5 \times 10^{-3} \text{ TBq/m}^3$	29.12yr
	I-129	$3 \times 10^{-4} \text{ TBq/m}^3$	15,700,000yr
B、C 類	Sr-90	260 TBq/m ³	29.12yr
	I-129	$3 \times 10^{-3} \text{ TBq/m}^3$	15,700,000yr

2.2 水文條件

2.2.1 台東縣達仁鄉建議候選場址

一、雨量資料

達仁鄉建議候選場址鄰近雨量站為經濟部水利署所建立之壽卡站，蒐集壽卡站雨量資料 1980 年至 2014 年，年平均降雨量為 3,396.2mm。

二、地表降雨入滲量

因無實際量測之地表降雨入滲量資料，故依據雨量資料取其十分之一做為達仁鄉建議候選場址入滲量，如表 2.2-1 所示。

表 2.2-1 達仁鄉建議候選場址各情境入滲量

情境	降雨量 (mm/year)	入滲量 (mm/year)
現況	3,396.2	339.62

三、潮位資料

達仁鄉建議候選場址採用大武站年平均潮位為 0.193m 作為模擬之邊界條件。

2.2.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址

一、雨量資料

烏坵鄉建議候選場址鄰近雨量站，採用中央氣象局所建立之馬祖站平均年雨量 1,182.4mm 作為降雨設定條件。

二、地表降雨入滲量

因無實際量測之地表降雨入滲量資料，故依據前節雨量資料取其十分之一做為烏坵鄉建議候選場址入滲量，如表 2.2-2 所示。

表 2.2-2 烏坵鄉建議候選場址各情境入滲量

情境	降雨量 (mm/year)	入滲量 (mm/year)
現況	1,182.4	118.24

三、潮位資料

烏坵鄉建議候選場址之潮位資料，因無佐證資料可知烏坵鄰近潮位高度，故在區域尺度模型以海平面高度 0m 作為條件設定。

2.3 地質條件

2.3.1 台東縣達仁鄉建議候選場址水文地質概念模型

由「低放處置設施功能模擬評估報告(台東縣達仁鄉)」(LLWD2-SA-2015-03-V08) 報告中可知，達仁鄉建議候選場址位於台灣島東南側，地質環境屬於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的聚合帶(Barrier and Angelier, 1986; Teng, 1990)。

由於本場址近地表處之裂隙岩體密集，因此水力傳導特性對深度變化的反應(depth dependency)不一定具規律性，經評估後各層水文地質參數如表 2.3.1-1 所示。

表 2.3.1-1 達仁鄉建議候選場址區域場址水文地質模型參數表

水文地質單元 ID	水文地質單元描述	水文地質單元厚度分布	Kx(m/s)	Ky(m/s)	Kz(m/s)	Sy	孔隙率
PCZ	硬頁岩組成之可能導水構造帶	地表至模擬深度 EL-600 m 處	1.736×10^{-5}	1.736×10^{-5}	5.208×10^{-5}	0.300	0.400
AZ1	可能導水構造帶以外的硬頁岩	地表至 200 m	3.472×10^{-7}	3.472×10^{-7}	1.042×10^{-6}	0.250	0.300
AZ2		AZ1 底部至以下 200 m 處	3.472×10^{-8}	3.472×10^{-8}	1.042×10^{-7}	0.250	0.300
AZ3		AZ2 以下，至模擬深度 EL-600 m 處	3.472×10^{-10}	3.472×10^{-10}	3.472×10^{-10}	0.020	0.050

註(1)：K=水力傳導係數；x、y、z=x、y、z 三個不同方向。水力傳導係數代表單位水力梯度(i)下的單位流量(q)，因次為[L/T]。

註(2)：Sy=比出水量，代表一個自由含水層在單位面積(A)內，降低一個單位總水頭(Δh)所釋放的水體積量(ΔV)，為無因次的水文地質參數。

2.3.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址水文地質概念模型

由「低放處置設施功能模擬評估報告(金門縣烏坵鄉)」(LLWD2-SA-2015-04-V08)報告中可知,烏坵鄉建議候選場址所處的福建沿海位於華夏陸塊之東南地區,屬於「閩東南沿海燕山變質地帶」,而以東北西南向之「長樂—南澳深斷裂帶」為界,再區分為西北側的「福清—雲霄變質岩帶」和東南區的「平潭—東山變質岩帶」(以下簡稱平東變質帶)(福建省地質礦產局, 1985, p465)。

由於本場址岩脈區之侵入岩多屬接近垂直的高角度分布,經評估後各層水文地質參數如表 2.3.2-1 所示。

表 2.3.2-1 烏坵鄉建議候選場址水文地質模型參數表

水文地質單元 ID	水文地質單元描述	水文地質單元厚度分布	K(m/s) (K _x = K _y = K _z)*	S _y	孔隙率
DZ	岩脈侵入帶	地表至模擬深度 EL-600 m 處**	1.450×10 ^{-08cf}	0.090 ^e	0.100 ^{dg}
GZ1	岩脈侵入帶以外的花崗岩	地表以下 200 m	7.700×10 ^{-08c}	0.090 ^e	0.100 ^{dg}
GZ2		GZ1 以下 200 m	7.700×10 ^{-10b}	0.072 ^e	0.080 ^g
GZ3		GZ2 以下至模擬深度 EL -600 m 處**	7.700×10 ^{-11a}	0.022 ^e	0.024 ^g

註(1): K=水力傳導係數; x、y、z=x、y、z 三個不同方向。水力傳導係數代表單位水力梯度(i)下的單位流量(q), 因次為[L/T]。

註(2): S_y=比出水量(specific yield), 代表一個自由含水層在單位面積(A)內, 降低一個單位總水頭(Δh)所釋放的水體積量(ΔV), 為無因次的水文地質參數。

註(3): 特性參數係參考自場址尺度模型範圍內既有調查資料與相關研究文獻進行設定。a: Ahlbom *et al.*, 1983, p2; b: Paces *et al.*, 2010, p411-p414; c: Park *et al.*, 2009, p479-p481; d: Schwartz and Zhang, 2003, p44; e: Schwartz and Zhang, 2003, p76; f: 工研院能資所, 2001, p3-24; g: 林軍, 2006, p446。

註(4): *: 現階段假設水力傳導係數為等向性。**: 參考自區域模擬成果訂定。

2.4 地球化學特徵

2.4.1 台東縣達仁鄉建議候選場址

多重障壁之吸附機制與其材料成分、地下水化學環境及核種有關。台東縣達仁鄉建議候選場址地球化學特徵詳述如後：

一、母岩材料組成

依據低放射性廢棄物最終處置地質材料對核種遷移之參數研究(行政院原子能委員會，2010，p8~10)，硬頁岩在利用 XRD (x-ray diffractometer)技術分析硬頁岩礦物組成。其主要成分為石英、雲母、高嶺石、綠泥石、長石、與葉臘石等。利用 EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer)技術分析則顯示硬頁岩表面化學組成為矽及鋁。

二、地下水質條件

針對達仁場址的水化學調查結果，分為現有水井水質及地層內地下水質，達仁鄉地下水之 pH 值分布在 6.3~7.13 間。

2.4.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址

多重障壁之吸附機制與其材料成分、地下水化學環境及核種有關。金門縣烏坵鄉建議候選場址地球化學特徵詳述如後：

一、母岩材料組成

依據財團法人工業技術研究院能源與資源研究所在「低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫(4ML1100-RS-2100-R.1)」，對於地球化學調查分項工作報告中針對全部(20 組)的岩心樣品而言，母岩材料組成可能之原生礦物為石英(quartz)、長石類(feldspar)、雲母類(mica)及角閃石類(amphibole)可能之次生礦物為水鈣沸石(gismondine)、針鐵礦(geothite)、綠泥石(chlorite)、伊來石(illite)、及高嶺石(kaolinite)。

針對花崗岩風化產物(樣本 SP4, SP5 及 SP6)而言，其陽離子交換能力的範圍在 4.81 至 9.24 之間，平均值 6.19，標準偏差為 1.62。

二、地下水質條件

小坵嶼上之鴛鴦湖(地表水)，其生態雖具多樣性，但因湖水淺且充滿藻類，其水質受氣候變化的影響極大。根據鴛鴦湖水試樣(水樣 SW1~SW3)之試驗分析結果，其 pH 範圍在 8.86~10.23 之間，屬於弱鹼性的水質。水樣中主要的陽離子為鈉離子，其範圍在 240~2,810 mg/L 之間。主要的陰離子為氯離子，其範圍在 291~1,030 mg/L 之間。大腸桿菌的含量及總細菌量偏高。

整體而言，小坵地區地下水(0 至 50 m 深)的 pH 值(7.41 ~ 6.21)，隨深度的加深而呈微酸性。各民用水井(淺井)其氧化還原電位介於 276~542 mV 之間，屬於高氧化還原電位水質。在地質鑽井(深井)部分，pH 值隨深度的加深而呈微酸性。鑽孔 BH3 的氧化還原電位介於 15.8~18.2 mV 之間；鑽孔 BH6 的氧化還原電位介於 220~338 mV 之間。

2.5 生物圈

2.5.1 台東縣達仁鄉建議候選場址

達仁鄉位於台灣臺東縣南端，北臨金峰鄉，東鄰大武鄉，東北連太麻里鄉，東南濱太平洋，西鄰屏東縣來義鄉、春日鄉及獅子鄉，南接屏東縣牡丹鄉。達仁鄉共有六個村，安朔、南田兩村靠海，森永、新化、土坂、台坂四村則在地勢較高的山地，鄉內居民以台灣原住民排灣族居多。根據台東縣太麻里戶政事務所網站之最新統計資訊，達仁鄉共有 3,616 人，其中處置場所在的南田村，為六個村中人數最少的村落，僅 363 人。達仁鄉的產業發展多以一級產業為主，分別為農業、漁業、畜牧業。

2.5.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址

根據金門縣政府 104 年 5 月份人口數統計資料(金門縣政府民政處網站)，烏坵鄉戶籍登記人口為 671 人，其中大坵有 310 人，小坵有 361 人，當地居民多以外出就學就業，小坵的常住人口僅有 10 餘人。

由於烏坵鄉屬於軍事管制區，且物產資源不豐富，物資補給全賴軍方定期船艦，對外交通較不方便。根據金門縣統計年報資料，烏坵鄉未登錄有農業人口或漁業從業人員，亦未登錄有飼養家禽或家畜，故無農、漁和畜牧等產業活動。小坵島上居民僅在住家附近貧瘠土地種植蔬菜自用，或是採集紫菜、釣魚、拾取風螺、抓螃蟹和小章魚等，作為日常食物的來源。

2.6 處置設施設計條件

2.6.1 台東縣達仁鄉建議候選場址

參考「低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(台東縣達仁鄉)」(LLWD2-SA-2015-03-V08)以處置坑道之「多重障壁」系統中之設計材料參數作為設定值，以下茲就達仁鄉建議候選場址之工程障壁設計與處置設施布置分述如後：

一、工程障壁設計

工程障壁各構件材料參數之初始設定條件包括飽和密度、孔隙率、水力傳導係數及擴散係數詳表 2.6.1-1。

表 2.6.1-1 達仁鄉建議候選場址工程障壁材料參數之設計條件

構件	飽和密度 (kg/m ³)	孔隙率 (-)	水力傳導係數 (m/s)	擴散係數 (m ² /s)
廢棄物體	1,900	0.35	2×10 ⁻⁹	7×10 ⁻¹⁰
水泥砂漿	2,100	0.30	1×10 ⁻⁹	4×10 ⁻¹⁰
處置窖	2,400	0.20	1×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹²
緩衝材	2,000	0.40	1×10 ⁻¹²	2×10 ⁻¹⁰
基礎層	2,400	0.20	1×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹²
回填材	2,100	0.30	2×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹⁰
二次襯砌	2,200	0.25	1×10 ⁻⁹	2×10 ⁻⁹
擾動區	2,300	0.25	1×10 ⁻⁹	2×10 ⁻⁹

A 類處置坑道區域主要障壁系統由裡到外有七層，依據其材料之特性可以簡化假設為 5 類，分別為廢棄物體、水泥砂漿、混凝土材料(包含有處置窖、基礎層及二次襯砌)、回填材以及擾動區等。BC 類處置坑道區域主要障壁系統由裡到外有 8 層，依據其材料之特性可以簡化假設為 6 類，分別為廢棄物體、水泥砂漿、混凝土材料、緩衝材、回填材以及擾動區等，圖 2.6.1-1 如圖 2.6.1-2 與所示。

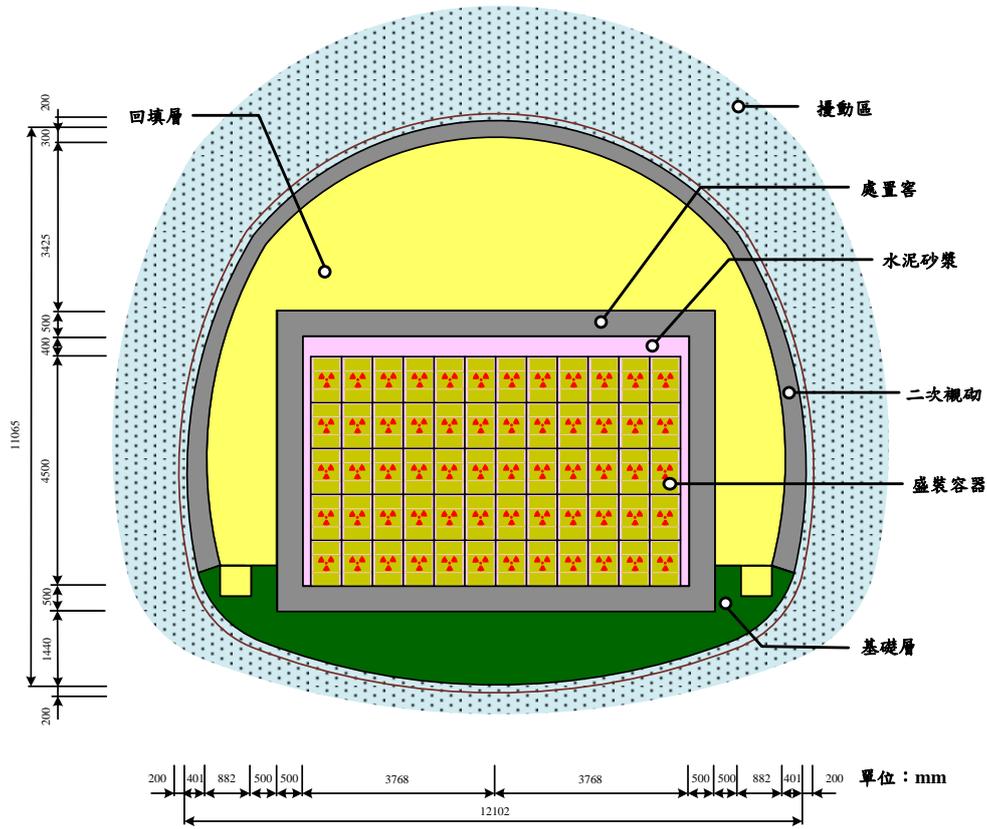


圖 2.6.1-1 A 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計

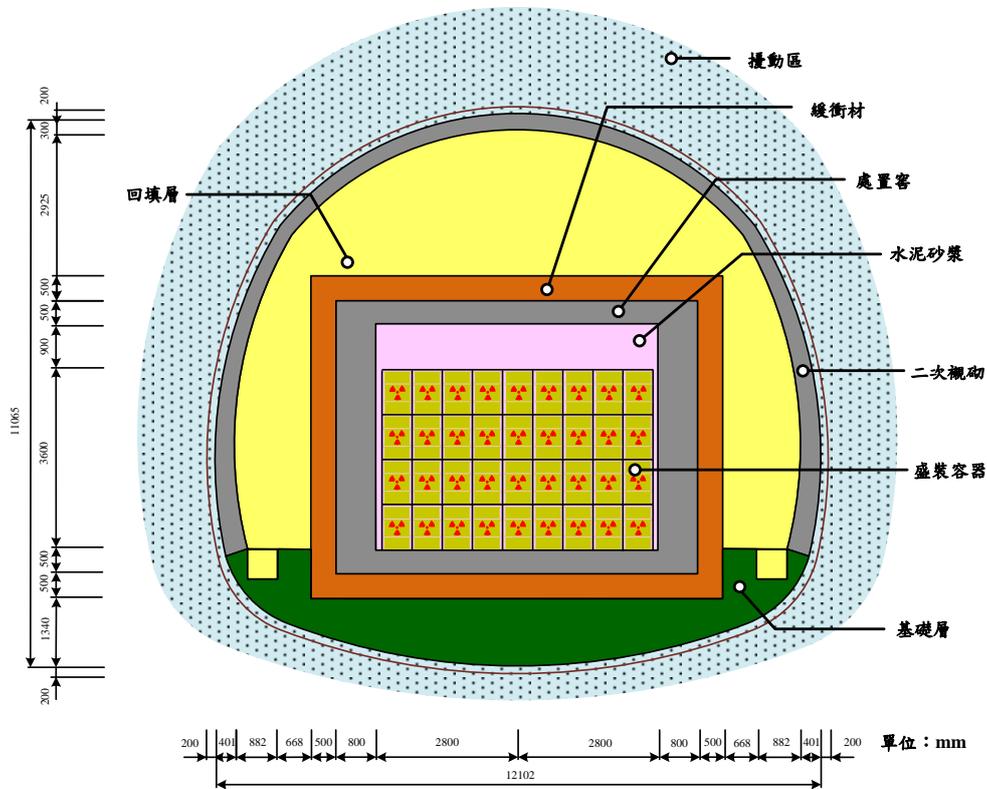


圖 2.6.1-2 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計

二、處置設施布置

考量台東縣達仁鄉建議候選場址之場址特性。其中，通行隧道洞口起拱線高程為 EL20m，洞口往處置區之通行隧道將以坡度 0.9~1.25% 向上，直至 EL30m 處後再以坡度 0.1~0.148% 向上，整個通行隧道起拱線最高為 EL31.3m。處置坑道之坡度為 0.1%，起拱線高程為 EL30m~EL31.7m，A 類低放射性廢棄物處置坑道岩覆深度大於 62.2m；B、C 類低放射性廢棄物處置坑道岩覆深度大於 76.4m。處置坑道總長度為 8,938m，坑道間中心距離為 61m，為 5 倍隧道寬度。整個處置系統之基本資料詳表 2.6.1-2。

表 2.6.1-2 達仁鄉建議候選場址處置設施之基本資料

設計項目	設計值
通行隧道進出口起拱線高程	EL20m
通行隧道坡度	0.1%~1.25%
處置坑道起拱線高程	EL30m~EL31.2m
處置坑道坡度	±0.1%
A 類低放射性廢棄物處置坑道上方岩覆	>62.2m
B、C 類低放射性廢棄物處置坑道上方岩覆	>76.4m
處置坑道間距	61m
處置坑道總長度	8,938m
處置坑道總數	15
長度 778m 之處置坑道數	3
長度 828m 之處置坑道數	5
長度 352m 之處置坑道數	7
通行隧道總長度	4,268m
銜接段及處置坑道端部封堵段	450m

2.6.2 金門縣烏坵鄉建議候選場址

障壁材料物理特性，參考台電公司「低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(金門縣烏坵鄉)」(LLWD2-SA-2015-04-V08)以處置坑道之「多重障壁」系統中之設計材料參數作為設定值，以下茲就烏坵鄉建議候選場址之工程障壁設計與處置設施布置分述如後：

一、工程障壁設計

針對 A 類低放射性廢棄物與 B、C 類低放射性廢棄物，分別設計對應之「多重障壁」系統如圖 2.6.2-1 及圖 2.6.2-2。工程障壁各構件材料參數之初始設定條件包括飽和密度、孔隙率、水力傳導係數及擴散係數詳表 2.6.2-1。

表 2.6.2-1 烏坵鄉建議候選場址工程障壁材料參數之設計條件

構件	飽和密度 (kg/m ³)	孔隙率 (-)	水力傳導係數 (m/s)	擴散係數 (m ² /s)
廢棄物體	1,900	0.35	4×10 ⁻⁹	7×10 ⁻¹⁰
水泥砂漿	2,100	0.30	2×10 ⁻⁹	4×10 ⁻¹⁰
處置窖	2,400	0.20	2×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹²
緩衝材	2,000	0.40	1×10 ⁻¹¹	2×10 ⁻¹⁰
基礎層	2,400	0.20	2×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹²
回填材	2,100	0.30	4×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹⁰
擾動區	2,300	0.25	2×10 ⁻⁹	2×10 ⁻⁹

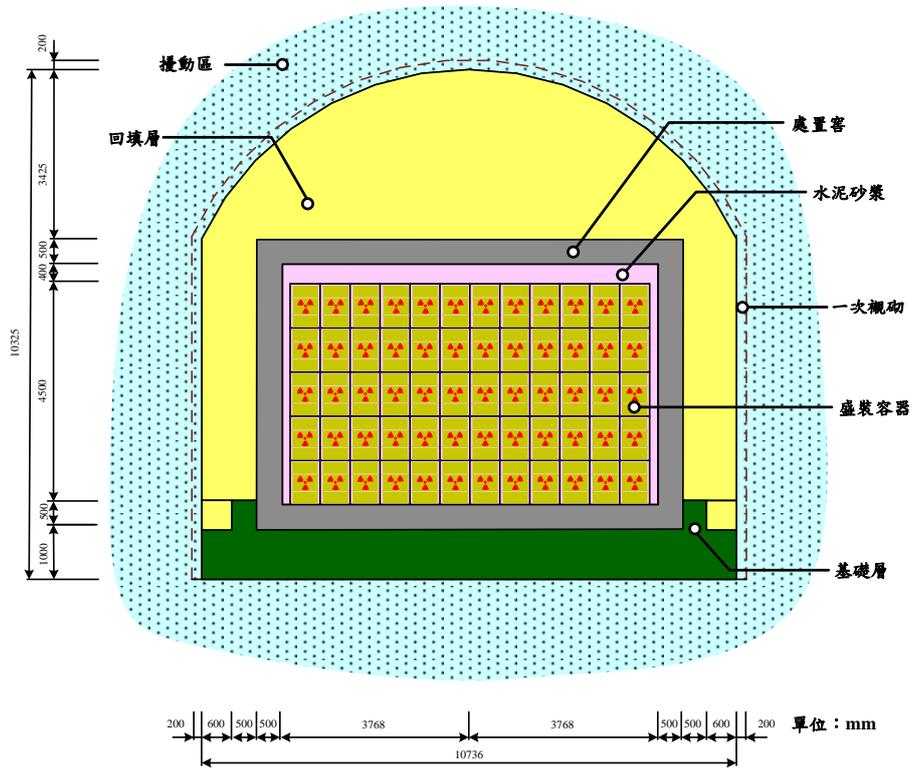


圖 2.6.2-1 A 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計

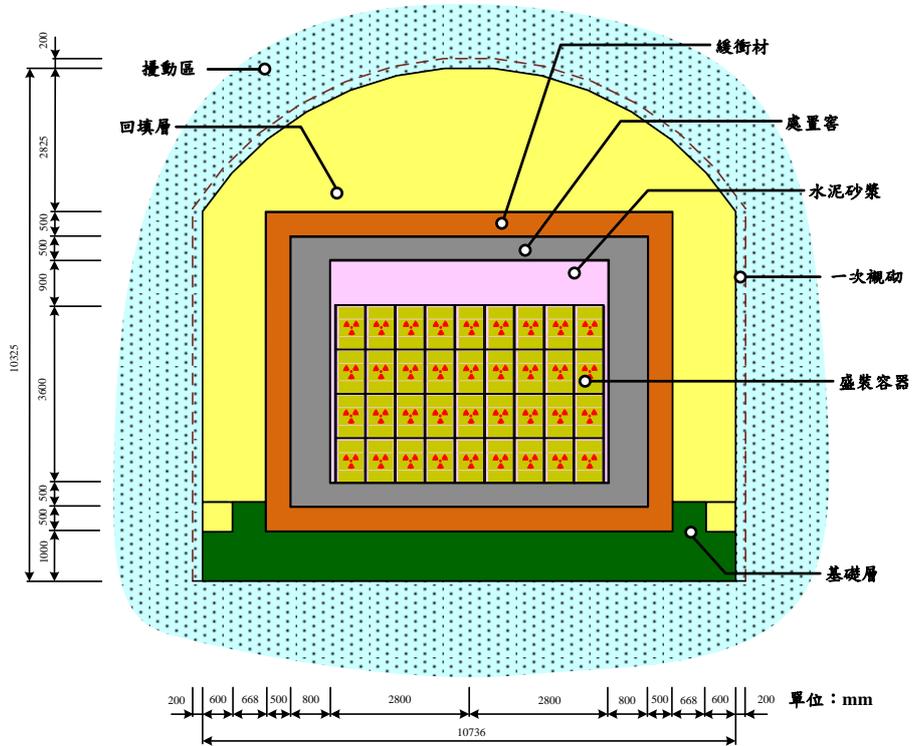


圖 2.6.2-2 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道工程障壁設計

二、處置設施布置

考量金門縣烏坵鄉建議候選場址之場址特性，其中，通行隧道頂拱圓心高程為 EL13.2m，洞口往處置區之通行隧道將以坡度 0~7% 向下，直至 EL-100m 處，爾後之通行隧道坡度則保持為 0。處置坑道之坡度為 0.1%，其頂拱圓心高程為 EL-99.75m~EL-100m，其上方岩覆為 58.83m~59.08m。處置坑道總長度為 8,800m，坑道間中心距離為 31.7m，約為 3 倍隧道寬度。整個處置系統之基本資料詳表 2.6.2-2。

表 2.6.2-2 烏坵鄉建議候選場址處置設施之基本資料

設計項目	設計值
通行隧道進出口頂拱圓心高程	EL13.2m
通行隧道坡度	0~7%
處置坑道頂拱圓心高程	EL-99.75m~EL-100m
處置坑道坡度	0.1%
處置坑道上方岩覆	58.83m~59.08m
處置坑道間距	31.7m
處置坑道總長度	8,800m
處置坑道(220m)總數	40
通行隧道總長度	5,432m
銜接段及處置坑道端部封堵段	1,200m

第三章 建立地化傳輸與核種傳輸之數學模型

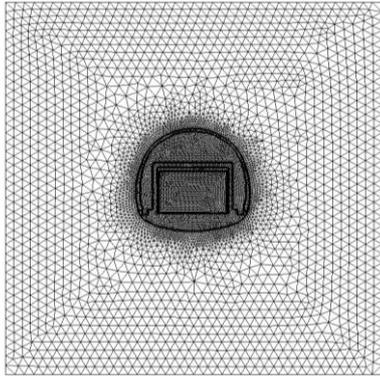
本章節以 HYDROGEOCHEM 地化傳輸模式(以下簡稱 HGC)，建立兩處低放處置設施之近場及遠場放射性核種傳輸模型。近年來隨著地化傳輸模式之演進，配合相關地化資料逐漸累積成長，國際上逐漸傾向建議採用地化傳輸分析來取代過去之 Kd 分配係數分析方式。因所有輸入之參數及條件均為假設之資料，故並不針對最後結果進行太多討論，而是將重點放在應用於兩處候選場址分析過程之建立，提供後續工作有一可參考之分析流程。

3.1 達仁鄉建議候選場址近場傳輸模擬

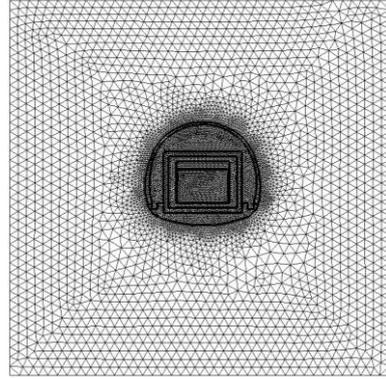
目前經濟部公告兩處建議候選場址，其一為台東縣達仁鄉建議候選場址，而相關之低放處置工作仍在持續推動中。因此本節以「低放處置設施功能模擬評估報告(台東縣達仁鄉)」(LLWD2-SA-2015-03-V08) 相關成果中之處置坑道設計，並依此坑道布置進行分析模型建立。因為現有資料缺乏，所有之輸入參數及條件均參考該報告以及瑞典核燃料暨放射性廢棄物營運公司(SKB)相關之報告內容。

3.1.1 處置設施概念模型及網格劃分

二維 A 類放射性廢棄物處置坑道採用非結構化網格，總點數 5,927，網格數目共計 11,692；二維 B、C 類放射性廢棄物處置坑道採用非結構化網格，總點數 6,025，網格數目共計 11,888，如圖 3.1.1-1 所示。



A 類放射性廢棄物處置坑道



B、C 類放射性廢棄物處置坑道

圖 3.1.1-1 達仁鄉建議候選場址二維坑道網格圖

3.1.2 障壁材料化學組成特性

由於建議候選場址的資料都不足以描述場址特徵，因此參考 SKB 相關報告進行障壁材料之推估。依據其材料之特性可以簡化假設為三類，分別為混凝土材料、膨潤土以及回填土等。

3.1.3 障壁材料物理特性

障壁材料物理特性，參考「低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(台東縣達仁鄉)」(LLWD2-SA-2015-03-V08)以處置坑道之「多重障壁」系統中之設計材料參數作為設定值，相關參數如表 2.6.1-1 所示，其中障壁材料的延散係數假設所有材料均相同，縱向延散係數為 1m，橫向延散係數為 0.1m。

3.1.4 地球化學模型

因為目前國內場址的資料不完全並不足以進行地化傳輸模擬使用，然而本計畫主要目標為建立低放射性廢棄物處置相關分析技術可行性，為了能順利完成計畫目標，故採用資料較完整的 SKB SFR 場址作為分析標的。地下水水質參考 SKB 資料(SKB R-07-51,2007, P.20)假設地下水質為淡水，其組成如表 3.1.4-1，酸鹼值為 pH=7.49。考量本節為近場傳輸模擬，因此不考慮地表水體水質之影響，所有入流均為地下水。

表 3.1.4-1 地下水水質

元素	含量 (mg/kgw)	莫爾濃度 (mol/L)
Ca ²⁺	35	8.73×10 ⁻⁴
Na ⁺	100	4.35×10 ⁻³
Cl ⁻	45	1.27×10 ⁻³
CO ₃ ²⁻	300	4.92×10 ⁻³
Mg ²⁺	9	3.70×10 ⁻⁴
SO ₄ ²⁻	50	5.21×10 ⁻⁴
K ⁺	4	1.02×10 ⁻⁴
Si as H ₄ SiO ₄	5.9	9.82×10 ⁻⁵

依據上述之障壁材料組成特性以及地下水質資料，配合 PHREEQC 熱力學資料庫(版本 3.3.3-10424)，將水相錯合反應式 (aqueous complexation reactions) 及 沉澱 - 溶解反應式 (precipitation-dissolution reactions) 等列如表 3.1.4-2 與表 3.1.4-3 所示。

表 3.1.4-2 本模式之地化反應式

	溶液相	地化反應式	平衡常數 (LogK)
1	Al(OH) ₄ ⁻	Al ³⁺ + 4 H ₂ O ⇌ Al(OH) ₄ ⁻ + 4 H ⁺	-22.70
2	Al(OH) ₃	Al ³⁺ + 3 H ₂ O ⇌ Al(OH) ₃ + 3 H ⁺	-16.90
3	Al(OH) ₂ ⁺	Al ³⁺ + 2 H ₂ O ⇌ Al(OH) ₂ ⁺ + 2 H ⁺	-10.10
4	AlOH ²⁺	Al ³⁺ + H ₂ O ⇌ AlOH ²⁺ + H ⁺	-5.00
5	AlSO ₄ ⁺	Al ³⁺ + SO ₄ ²⁻ ⇌ AlSO ₄ ⁺	3.50
6	Al(SO ₄) ₂ ⁻	Al ³⁺ + 2SO ₄ ²⁻ ⇌ Al(SO ₄) ₂ ⁻	5.00
7	AlHSO ₄ ²⁺	Al ³⁺ + HSO ₄ ⁻ ⇌ AlHSO ₄ ²⁺	0.46
8	CaHCO ₃ ⁺	Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ + H ⁺ ⇌ CaHCO ₃ ⁺	11.44
9	NaCO ₃ ⁻	Na ⁺ + CO ₃ ²⁻ ⇌ NaCO ₃ ⁻	1.27
10	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻ + H ⁺ ⇌ HCO ₃ ⁻	10.33
11	NaHCO ₃	Na ⁺ + HCO ₃ ⁻ ⇌ NaHCO ₃	-0.25
12	MgCO ₃	Mg ²⁺ + CO ₃ ²⁻ ⇌ MgCO ₃	2.98
13	MgHCO ₃ ⁺	Mg ²⁺ + H ⁺ + CO ₃ ²⁻ ⇌ MgHCO ₃ ⁺	11.40
14	CaOH ⁺	Ca ²⁺ + H ₂ O ⇌ CaOH ⁺ + H ⁺	-12.78
15	CaSO ₄	Ca ²⁺ + SO ₄ ²⁻ ⇌ CaSO ₄	2.25
16	CaHSO ₄ ⁺	Ca ²⁺ + HSO ₄ ⁻ ⇌ CaHSO ₄ ⁺	1.08
17	KSO ₄ ⁻	K ⁺ + SO ₄ ²⁻ ⇌ KSO ₄ ⁻	0.85
18	MgOH ⁺	Mg ²⁺ + H ₂ O ⇌ MgOH ⁺ + H ⁺	-11.44
19	MgSO ₄	Mg ²⁺ + SO ₄ ²⁻ ⇌ MgSO ₄	2.37
20	NaSO ₄ ⁻	Na ⁺ + SO ₄ ²⁻ ⇌ NaSO ₄ ⁻	0.70
21	NaOH	Na ⁺ + OH ⁻ ⇌ NaOH	-10.00
22	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻ + H ⁺ ⇌ HSO ₄ ⁻	1.99
23	H ₂ SiO ₄ ²⁻	H ₄ SiO ₄ ⇌ H ₂ SiO ₄ ²⁻ + 2 H ⁺	-23.00
24	H ₃ SiO ₄ ⁻	H ₄ SiO ₄ ⇌ H ₃ SiO ₄ ⁻ + H ⁺	-9.83
25	CaCO ₃	Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ ⇌ CaCO ₃	3.22
26	H ₂ O	H ₂ O ⇌ OH ⁻ + H ⁺	-13.99

表 3.1.4-3 本模型的沉澱-溶解反應式

	結晶岩組成	地化反應式	平衡常數 (LogK)
1	鈉長石(Albite)	NaAlSi ₃ O ₈ + 8 H ₂ O ⇌ Na ⁺ + Al(OH) ₄ ⁻ + 3 H ₄ SiO ₄	-18.00
2	氫氧鈣石(Portlandite)	Ca(OH) ₂ + 2H ⁺ ⇌ Ca ²⁺ + 2H ₂ O	22.81
3	方解石(Calcite)	CaCO ₃ ⇌ CO ₃ ²⁻ + Ca ²⁺	-8.48
4	鉀長石(K-feldspar)	KAlSi ₃ O ₈ + 8 H ₂ O ⇌ K ⁺ + Al(OH) ₄ ⁻ + 3 H ₄ SiO ₄	-20.57
5	鈉蒙脫石 Montmorillonite-Na	Na _{0.34} Mg _{0.34} Al _{1.66} Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ + 6H ⁺ + 4H ₂ O ⇌ 1.66Al ³⁺ + 0.34Mg ²⁺ + 0.34Na ⁺ + 4H ₄ SiO ₄	3.28
6	石英(Quartz)	SiO ₂ + 2 H ₂ O ⇌ H ₄ SiO ₄	-3.98

3.1.5 放射性核種

參照 2.1 節核種基本資料，Sr-90 及 I-129 模擬在 A 類放射性廢棄物處置窖內，孔隙水中 Sr-90 及 I-129 的放射性核種初始活度分別為 0.0015 TBq/m³ 及 0.0003 TBq/m³，經轉換後分別為 3.276×10⁻⁹ 及 3.56×10⁻⁴ mol/L；B、C 類放射性廢棄物處置窖內，孔隙水中 Sr-90 及 I-129 的放射性核種初始活度分別為 260 TBq/m³ 及 0.003 TBq/m³，經轉換後分別為 5.679×10⁻⁴ 及 3.56×10⁻³ mol/L。

選定 Sr-90 及 I-129 為分析核種後，便可在 PHREEQC 熱力學資料庫中找尋相關之地化反應式，結果如表 3.1.5-1 所示，一共有 8 條反應式，其中 2 條為沉澱-溶解反應。

表 3.1.5-1 放射性核種地化反應式

編號	地化反應式	平衡常數 (LogK)
水相錯合反應		
1	$\text{Sr}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{SrSO}_4$	2.29
2	$\text{Sr}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{SrCO}_3$	2.81
3	$\text{Sr}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SrOH}^+ + \text{H}^+$	-13.29
4	$\text{Sr}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{SrHCO}_3^+$	11.509
5	$\text{Na}^+ + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{NaI}$	-1.54
6	$\text{K}^+ + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{KI}$	-1.598
沉澱溶解反應		
7	$\text{SrCO}_3 \rightleftharpoons \text{Sr}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-9.271
8	$\text{SrSO}_4 \rightleftharpoons \text{Sr}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	-6.63

3.1.6 地下水初始及邊界條件

假設模擬之低放處置設施位於地下水面以下之飽和層，因此主要核種遷移途徑為地下水傳輸為主。藉由模擬場址區域的地下水流場，瞭解水流方向及水頭差，模擬成果如圖 3.1.6-1 所示。依據場址區域的地下水流場模擬成果，現況情境之水頭坡降為 0.07623，自西往東下降，坑道周遭假設受到開挖時擾動透水性較高，而底部距離坑道數公尺外岩層則未受到擾動，維持良好低透水性，因此地下水流場方向為由西往東方向流通。

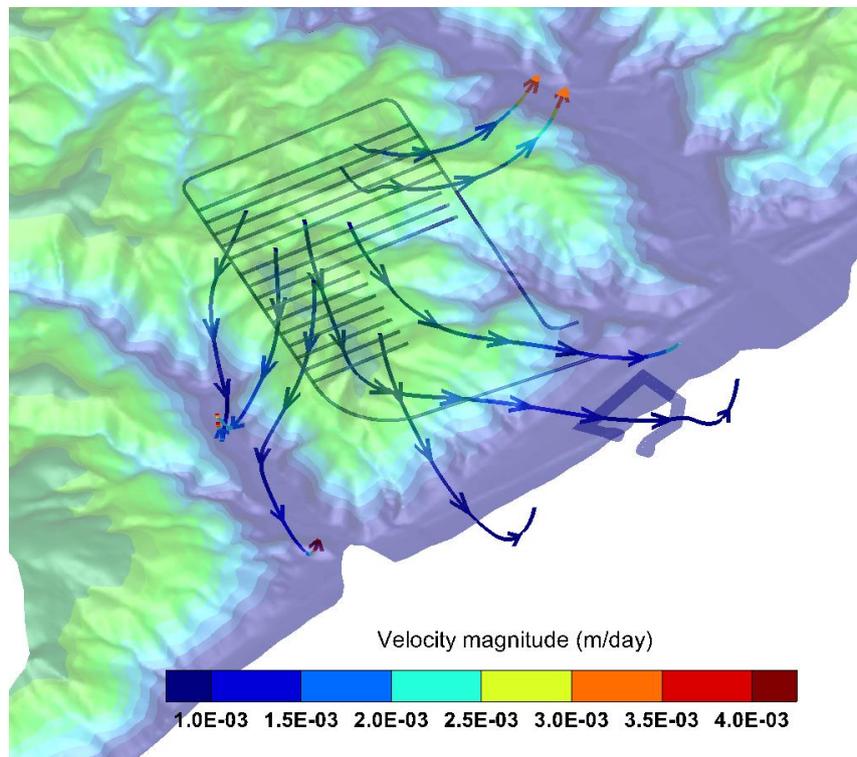


圖 3.1.6-1 達仁鄉建議候選場址地下水流場圖

3.1.7 模擬時間

考慮在模擬時間 1,000 年時，核種衰變反應精確度可以維持在 3% 誤差以內，計算結果如表 3.1.7-1 所示，最小時間步限制為流場控制，因此模式中時間步設定為 30 天。

表 3.1.7-1 模擬核種對應時間步大小

Sr-90	I-129	C.F.L.
39 天	>1,000 年	~52 天

3.1.8 模擬成果與討論

利用 HGC 模式模擬放射性廢棄物於低放處置設施內地化傳輸現象，本節所討論之模擬成果圖為了讓模擬成果易於瞭解，對於部分區域當濃度值遠低於平均時會忽略，用以強調主要產生地化反應之區域，以下敘述現況情境之模擬成果。

模式考慮流場並不受到地化反應之影響，因此模擬結果為穩態解如圖 3.1.8-1 所示，由模擬結果顯示受到邊界條件影響，水頭自西往東下降，因此整體地下水水頭也依據邊界條件影響而自西往東逐漸下降，在受到處置坑道較不透水影響，因此大多數的地下水均由坑道四周通過，因此最大流速約可到達 0.00035 m/day，坑道內的流速均小於 5×10^{-5} m/day。

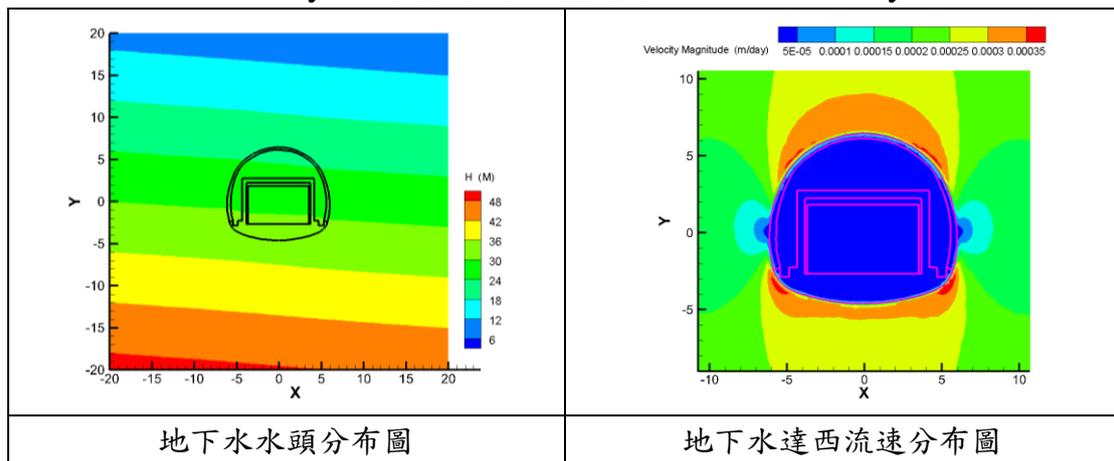


圖 3.1.8-1 現況情境 A 類處置坑道地下水達西流速分布圖

圖 3.1.8-2 為 A 類處置坑道內各離子於 1,000 年之濃度分布情形，以下分述各離子之傳輸情況。

- (一) 鈣離子(Ca^{2+})的濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年後，因地下水侵入工程障壁系統，最外層二次襯砌中的鈣離子會被析出，逐漸地處置窖內鈣離子濃度也逐漸下降。
- (二) 鈉離子(Na^+)濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年後，因地下水入侵之後，大多數的鈉離子會被析出工程障壁之外，致使多重障壁(或處置窖內)的鈉離子濃度下降。

-
- (三) 鉀離子(K^+)濃度分布成果可知，處置坑道在 1,000 年後，隨著地下水進入後，大多數的鉀離子受到擴散效應與移流影響，隨著地下水於工程障壁內逐漸析出至工程障壁外向右流出。
- (四) 酸鹼值(pH)分布，處置坑道在隨著時間到達第 1,000 年時，處置窖內 pH 值約為 12。
- (五) 方解石因鈣離子(Ca^{2+})擴散到水泥與水之交界處，形成方解石沉澱。而氫氧鈣石呈現溶解狀態，因地下水流速緩慢溶解速度降低，故溶解情況不明顯，在時間前進到第 1,000 年時僅剩下處置窖內溶解情況較緩。
- (六) 放射性核種 Sr-90 的傳輸顯示在第 1,000 年時，Sr-90 於障壁系統內之最高濃度為 $3.2 \times 10^{-15} M$ 。其濃度降低主要係因 Sr-90 核種衰變造成。
- (七) 放射性核種 I-129 的傳輸結果可以看到，在第 1,000 年時，處置窖內濃度約 0.0001M 左右，其主要係因為達仁建議候選場址之流速較快，進而影響擴散效應與移流。

就上述之模擬成果可以觀察到，在工程障壁系統中，二次襯砌、回填層以及基礎層均會受到地下水之影響，造成其孔隙水中的鈣、鈉、鉀離子濃度產生較大的變化，另藉由氫氧鈣石濃度分布圖可看出，於處置窖中其第 1000 年濃度與初始濃度相當，主要係因處置窖內部則受到多重障壁系統的保護，故可得知透過多重障壁系統之層層保護，能延緩處置窖內之障壁系統材料退化。

圖 3.1.8-3 為在地下水通過處置設施後流出之區域位置，擷取核種 (Sr-90 及 I-129) 之外釋濃度歷線。結果顯示 Sr-90 在第 100 年時外釋濃度即達到高峰 $9.1 \times 10^{-12} M$ ，之後便以極快的速度衰減。而 I-129 則是在第 350 年時濃度達到高峰 $2.51 \times 10^{-5} M$ 。

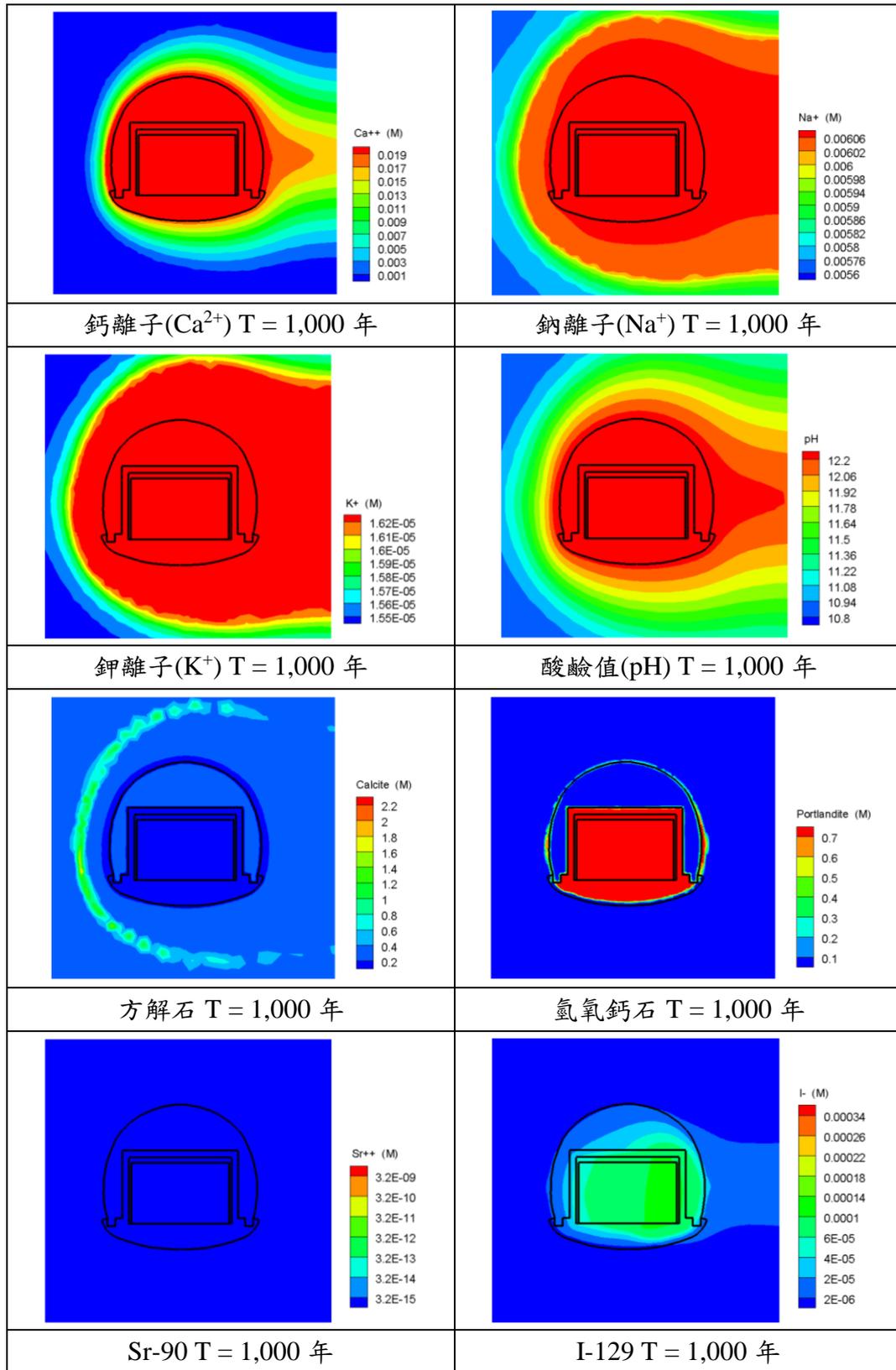


圖 3.1.8-2 現況情境 A 類處置坑道各離子濃度分布圖

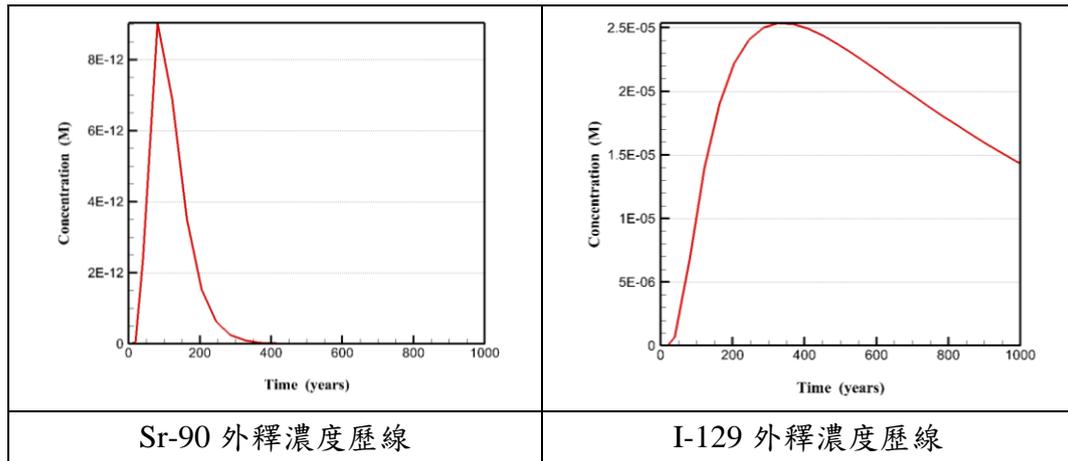


圖 3.1.8-3 現況情境 A 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖

模式考慮流場並不受到地化反應之影響，因此模擬結果為穩態解如圖 3.1.8-4 所示，由模擬結果顯示受到邊界條件影響，水頭自西往東下降，因此整體地下水水頭也依據邊界條件影響而自西往東逐漸下降，在受到處置坑道較不透水影響，因此大多數的地下水均由坑道四周通過，因此最大流速約可到達 0.00035 m/day，坑道內的流速均小於 5×10^{-5} m/day。

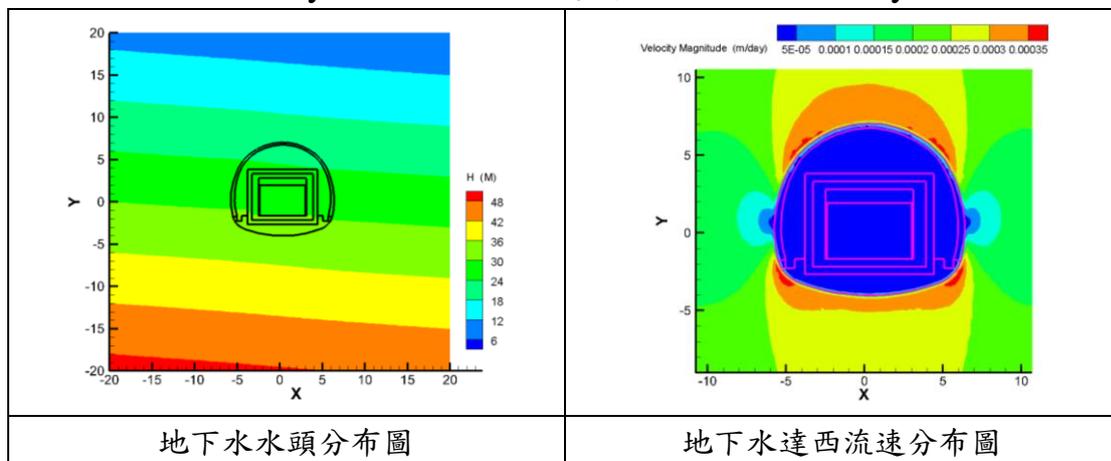


圖 3.1.8-4 現況情境 B、C 類處置坑道地下水達西流速分布圖

圖 3.1.8-5 為 B、C 類處置坑道內各離子於 1,000 年之濃度分布情形，以下分述各離子之傳輸情況。

- (一) 鈣離子(Ca^{2+})的濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年時，因地下水侵入工程障壁系統後，最外層二次襯砌中的鈣離子會被析出，而處置窖內鈣離子濃度因受到緩衝材保護，故仍可維持高濃度。

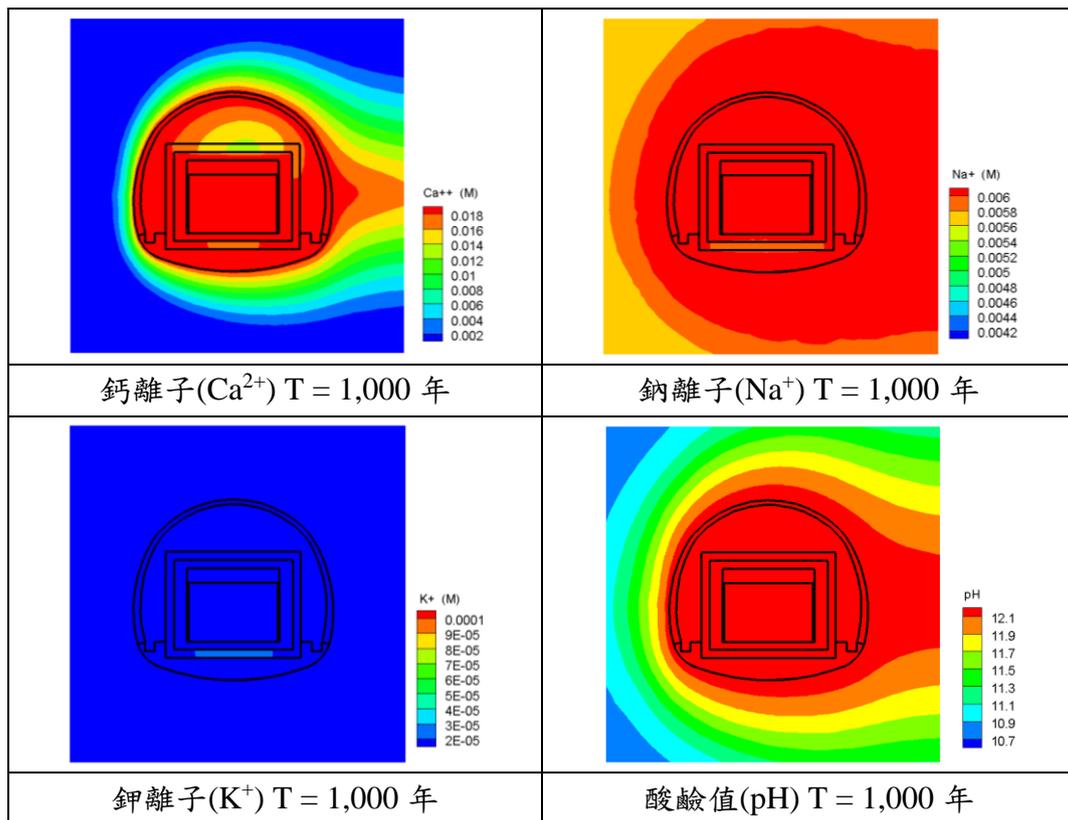
-
- (二) 鈉離子(Na^+)濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年時，因地下水入侵之後，大多數的鈉離子會被析出工程障壁之外，致使多重障壁(或處置窖內)的鈉離子濃度下降。
- (三) 鉀離子(K^+)濃度分布成果可知，處置坑道在 1,000 年時，隨著地下水進入後，大多數的鉀離子受到擴散效應與移流影響向右流出。
- (四) 酸鹼值(pH)分布，處置坑道在隨著時間到達第 1,000 年時，處置窖內 pH 值約為 12.2。
- (五) 方解石因鈣離子(Ca^{2+})擴散到水泥與水之交界處，形成方解石沉澱。氫氧鈣石呈現溶解狀態，因地下水流速緩慢溶解速度降低，故溶解情況不明顯，在時間前進到第 1,000 年時，可看出二次襯砌中之氫氧鈣石溶解消失，但處置窖內之氫氧鈣石第 1000 年濃度與初始濃度相當。
- (六) 放射性核種 Sr-90 的傳輸顯示在第 1,000 年時，Sr-90 於障壁系統內之最高濃度為 $5 \times 10^{-13} \text{M}$ 。其濃度降低主要係因 Sr-90 核種衰變造成。
- (七) 放射性核種 I-129 的傳輸結果可以看到，在第 1,000 年時處置窖內濃度約 0.0022M 左右，其主要係因為達仁建議候選場址之流速較快，進而影響移流與擴散效應，惟 B、C 類處置坑道有緩衝材保護，故外釋濃度較 A 類處置坑道小。

圖 3.1.8-6 為在地下水通過處置設施後流出之區域位置，擷取核種 (Sr-90 及 I-129) 之外釋濃度歷線。結果顯示 Sr-90 在第 100 年時外釋濃度即達到高峰 $4.44 \times 10^{-11} \text{M}$ ，之後便以極快的速度衰減。而 I-129 大多數被滯留在障壁系統內，因此僅少數 I-129(約 $7.48 \times 10^{-6} \text{M}$)，因其半化期為 1.57×10^7 年故濃度仍持續上升，經推估約 6,600 年可達峰值。

以近場處置坑道傳輸模擬成果觀之，比較 A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道之 Sr-90 及 I-129 兩條濃度歷線，可發現

在 B、C 類處置坑道之 Sr-90 因為初始活度遠高於 A 類處置坑道，故 Sr-90 外釋之濃度皆高於 A 類處置坑道，造成此差異主因為 Sr-90 於 A 類放射性廢棄物之初始活度為 $1.5 \times 10^{-3} \text{TBq/m}^3$ ；而 B、C 類放射性廢棄物之初始活度為 260TBq/m^3 ，故 B、C 類外釋濃度較 A 類高，而 I-129，A 類與 B、C 類初始活度差異僅 10 倍，相較之下 I-129 受到緩衝材料(膨潤土)，以其低透水性及回脹性可遲滯核種外釋，故遲滯效果較明顯。

由模擬結果可得知，A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道之多重障壁系統，皆有發揮遲滯核種濃度及延緩流出功能。顯示在目前分區處置之原則下，工程障壁設計均可符合法規要求。



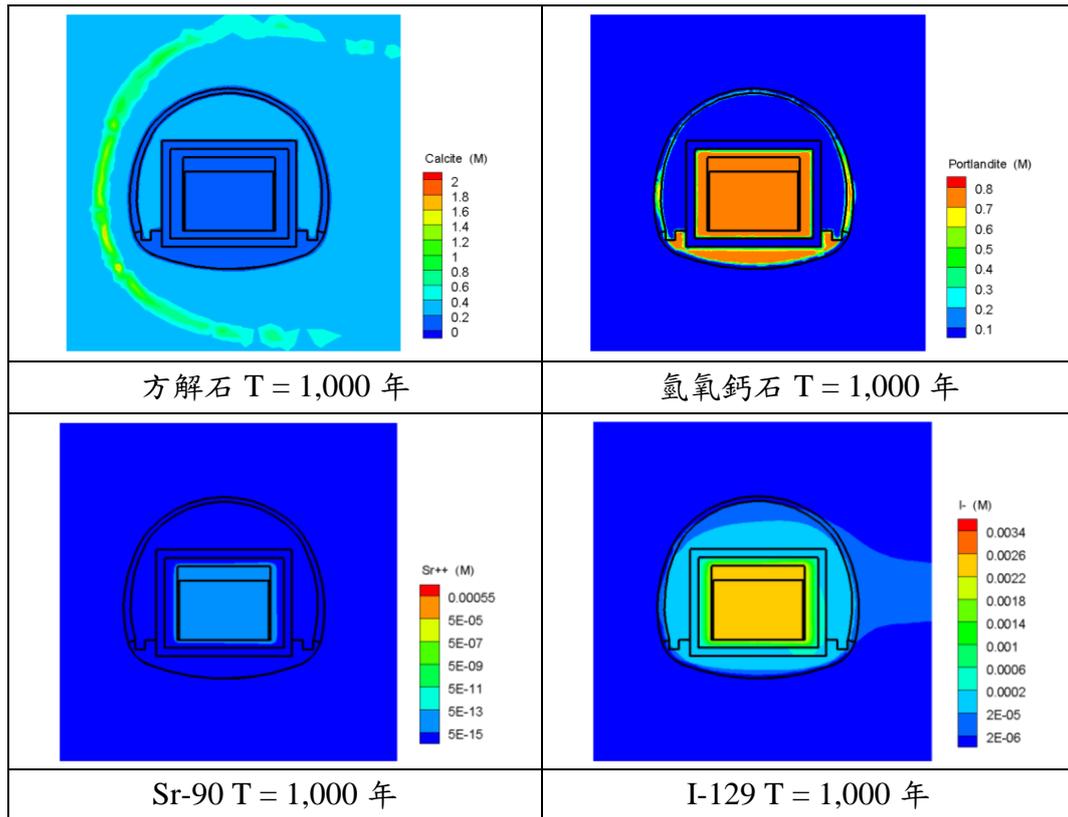


圖 3.1.8-5 現況情境 B、C 類處置坑道各離子濃度分布圖

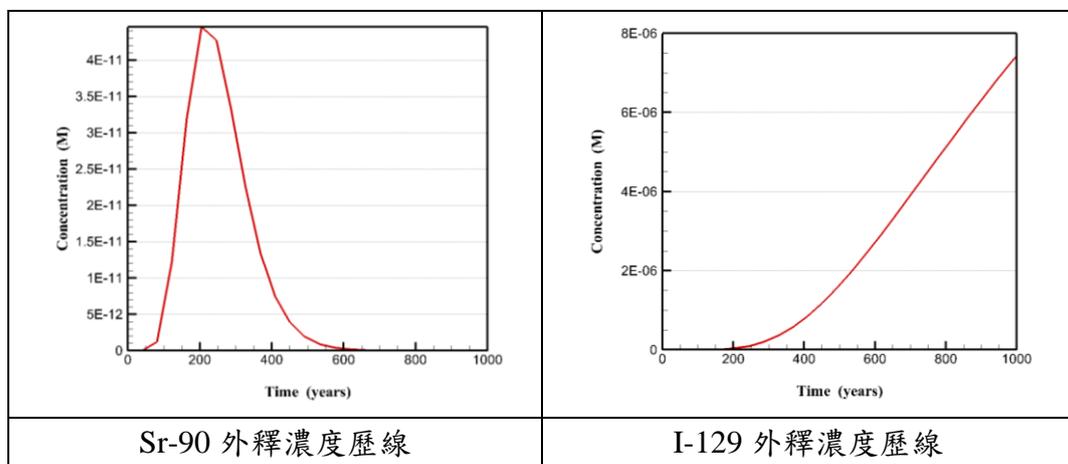


圖 3.1.8-6 現況情境 B、C 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖

3.2 達仁鄉建議候選場址遠場傳輸模擬

本章 3.1 節透過 HGC 地化傳輸模式，模擬低放處置設施核種傳輸，求得放射性核種傳輸的途徑及時間。完成近場核種傳輸模擬後，便可將核種外釋歷線作為分析條件，進行低放處置設施遠場傳輸模擬，藉以了解低放處置設施位置對於核種外釋遲滯之能力。

3.2.1 模擬區域及網格劃分

依照台東縣達仁鄉建議候選場址區域型態進行模型建構，區域型態如圖 3.2.1-1 所示，由圖上可看出其鄰近太平洋四周被河川包圍，圖 3.2.1-2 為達仁鄉建議候選場址模擬區域三維網格圖，採用非結構化網格計算總點數 32,323，網格數目共計 150,053。

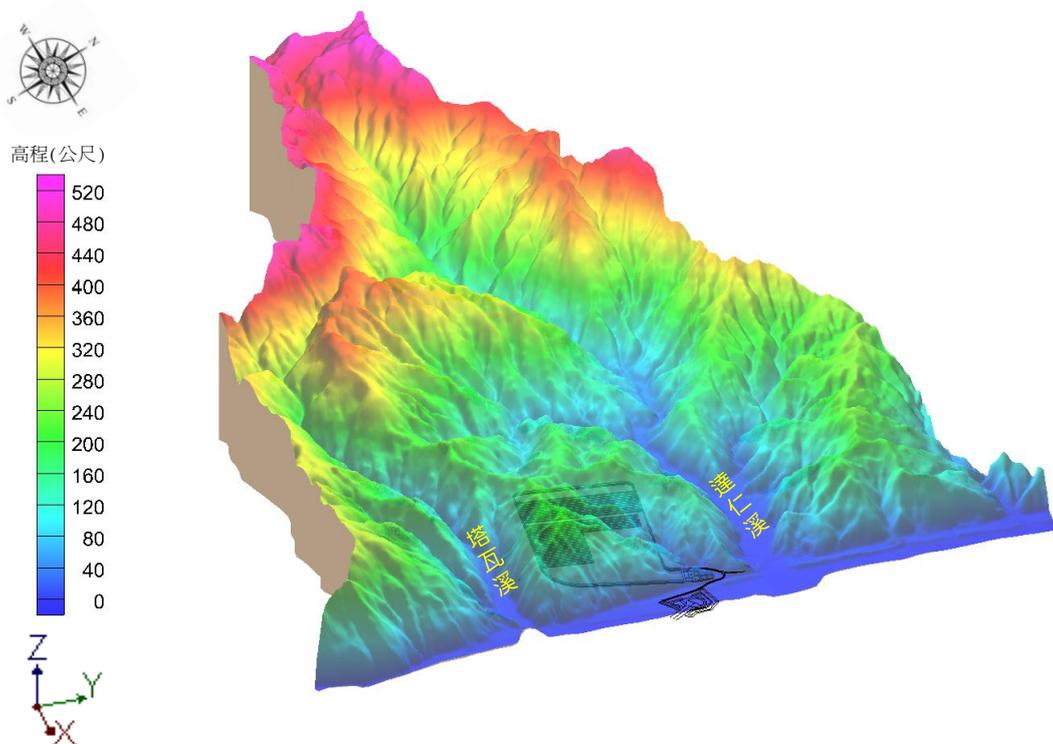


圖 3.2.1-1 達仁鄉建議候選場址模擬區域範圍圖

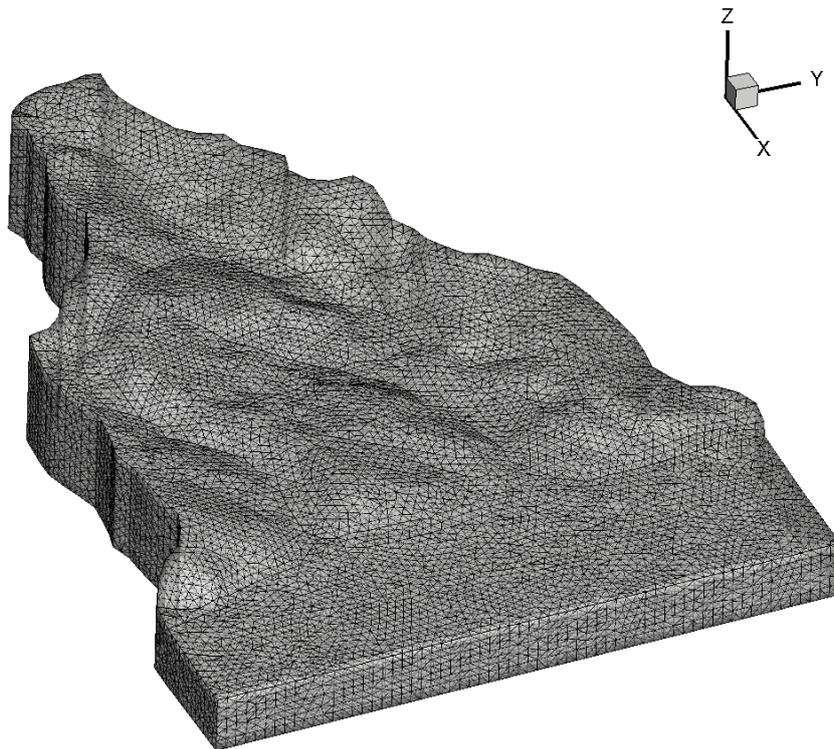


圖 3.2.1-2 達仁鄉建議候選場址模擬區域三維網格圖

3.2.2 天然障壁化學組成特性

在遠場地化傳輸模擬中，目前雖有達仁鄉建議候選場址相關的研究，就所蒐集之硬頁岩相關地化分析資料並不足以進行地化傳輸模擬使用，然而本計畫主要目標為建立低放射性廢棄物處置相關分析技術可行性，為了能順利完成計畫目標，故採用資料較完整的 SKB SFR 場址岩體作為分析標的，以 SKB SFR 場址主要岩性作參考 Gaucher et al. (2005) 成果。假設場址地質主要為結晶岩體，因此本節同樣假設模擬區域範圍內為均質材料，其化學組成、地化反應式、系統沉澱-溶解反應皆與 3.1 節相同。

3.2.3 天然障壁材料物理特性

遠場模擬時，需考慮周遭岩體的物理特性，各分層相關之參數如表 3.2.3-1。另外考量在遠場模擬可能遭遇到非飽和層，因此必須提供材料非飽和時之材料特性，因此參考

GeoStudio(2004)土壤資料庫，以粉質砂岩非飽和特性資料作為本次模擬設定參數，相關之參數如表 3.2.3-2 所示。

表 3.2.3-1 結晶岩體物理特性表

水文地質單元 ID	孔隙率	水力傳導係數 (m/s)			延散係數 (m)		擴散係數 (m ² /s)
		Kx	Ky	Kz	縱向	橫向	
PCZ	0.40	1.736×10^{-5}	1.736×10^{-5}	5.208×10^{-5}	20	10	1.157×10^{-9}
AZ1	0.30	3.472×10^{-7}	3.472×10^{-7}	1.042×10^{-6}	20	10	1.157×10^{-10}
AZ2	0.30	3.472×10^{-8}	3.472×10^{-8}	1.042×10^{-7}	20	10	1.157×10^{-10}
AZ3	0.05	3.472×10^{-10}	3.472×10^{-10}	3.472×10^{-10}	20	10	1.157×10^{-10}

表 3.2.3-2 粉質砂岩非飽和特性資料表

壓力水頭 (m)	水力傳導係數修正因子	壓力水頭 (m)	飽和度
-0.01	1.0000	-0.050	1.000
-0.06	1.0000	-0.266	0.992
-0.36	0.9902	-0.542	0.982
-2.15	0.3001	-0.750	0.977
-12.92	0.0003	-1.200	0.947
		-1.631	0.881
		-2.000	0.757
		-2.839	0.562
		-3.758	0.423
		-4.745	0.339
		-6.242	0.286
		-10.000	0.217
		-31.718	0.139

3.2.4 地球化學模型

由達仁鄉建議候選場址近場分析結果中，顯示 Sr-90 和 I-129 並不會在結晶岩體中產生沉澱和吸附現象，另考慮遠場區域皆為均質材料並不會改變地化環境，故不會影響放射性核種

傳輸。故簡化遠場的地化系統，只考慮地下水流動和核種衰變反應。

3.2.5 放射性核種

在 3.1 節中為了模擬短半化期及長半化期核種之影響，因此分別選了 Sr-90 及 I-129 進行分析，並且得到 1,000 年間 A 類及 B、C 類坑道之核種外釋濃度歷線，因此本節將以近場核種傳輸模擬結果作為條件，模擬核種隨時間逐漸外釋。

3.2.6 地下水初始及邊界條件

達仁鄉候選場址在最東側區域為海岸線區域，水頭高程以大武站年平均潮位為 0.193m 進行設定，其餘四周為零通量邊界條件，假設地下水不會由四周穿透出去，地表受到降雨影響，年平均降雨量分別為現況情境 3,396.2mm，入滲量取其十分之一進行設定。

3.2.7 模擬時間

在低放處置設施遠場模型初步建立之後，便先行模擬地下水穩態流場，模擬結果顯示在地表附近最大流速約可達到 0.004 m/day，考量滿足 Courant-Friedrichs-Lewy condition $\Delta t \leq \Delta x/V$ (C.F.L. condition)，網格最小約 40 m，因此建議之時間步大小約為 10,000 天。另考量 Sr-90 及 I-129 核種濃度於模擬時間達 1,000 年時誤差之控制，因此設定模擬時間步長為 160 天。Sr-90 及 I-129 在第 1,000 年時期最大可能誤差分別為 12.28 % 及 4×10^{-11} %，由於 Sr-90 半化期為 28.79 年，因此在第 1,000 年時，其濃度值已經降到 10^{-12} 以下，因此考量到計算格網較多的情形下，選擇較大的時間步長有助於模擬工作有效縮短。

3.2.8 模擬成果與討論

考量放射性核種在現況情境條件下，受到地下水影響而被析出處置設施外，因此主要傳輸路徑為地下水流動之路徑，因

此透過地下水流場資訊便可以得知放射性核種可能移動的路徑，圖 3.2.8-1 為現況情境處置設施處地下水流線圖，模擬結果顯示在處置場址區域地下水均往鄰近的達仁溪、塔瓦溪以及太平洋流動，最後在低窪處出滲，因此便可在出滲點位置設置一觀測點，觀測點位置如圖 3.2.8-1，以便量測放射性核種濃度歷線資料。

往達仁溪流動的觀測點所觀測到之濃度歷線如圖 3.2.8-2 所示，濃度峰值出現在約第 100 年左右，最高濃度落在 3.07×10^{-13} M，與近場模擬結果相比，其濃度變為原先的三十分之一。

圖 3.2.8-3 為觀測點上 I-129 濃度歷線圖，濃度在第 50 年後明顯提高，並隨著時間一直上升濃度仍持續上升，到第 400 年時濃度達到 3.75×10^{-6} M，與近場模擬結果相比，其濃度變為原先六分之一，另由 1,000 年時間點之濃度分布亦可看出存放在 B、C 類處置坑道之濃度延後滲出，顯示 B、C 類處置坑道阻絕設計發揮成效。

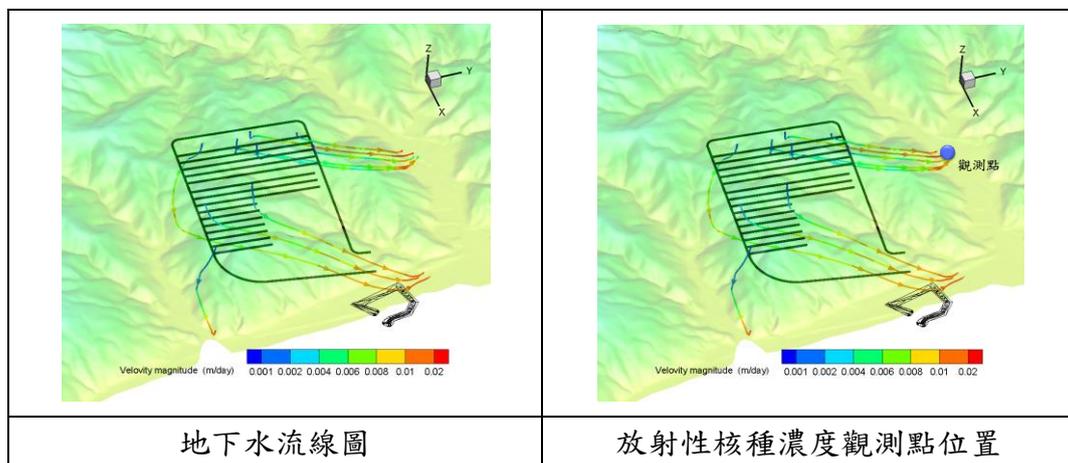


圖 3.2.8-1 現況情境處置設施處地下水流線圖

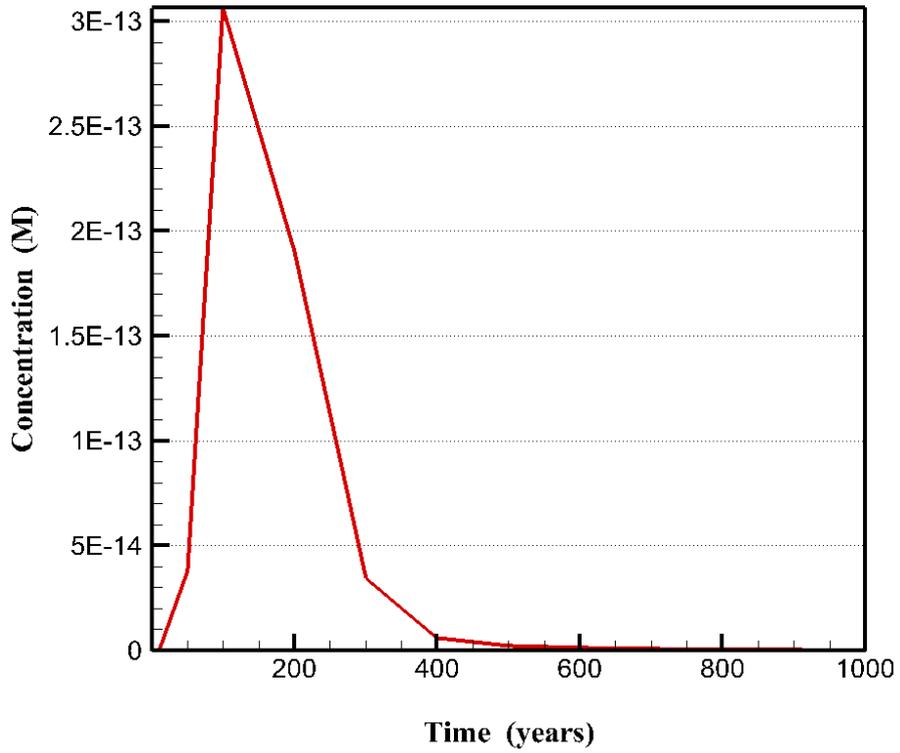


圖 3.2.8-2 現況情境 Sr-90 外釋濃度歷線圖

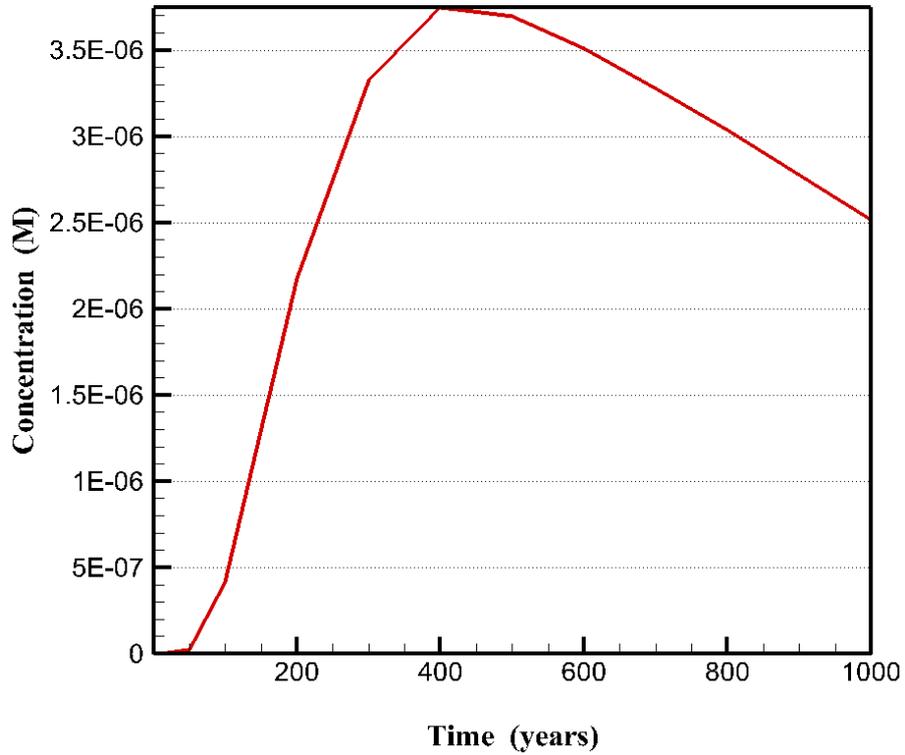


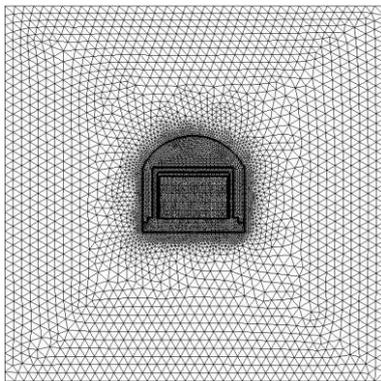
圖 3.2.8-3 現況情境 I-129 外釋濃度歷線圖

3.3 烏坵鄉建議候選場址近場傳輸模擬

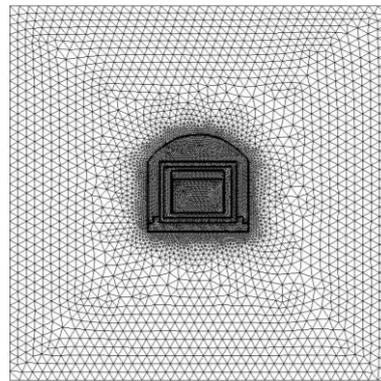
目前經濟部公告兩處建議候選場址，其一為金門縣烏坵鄉建議候選場址，而相關之低放處置工作仍在持續推動中。因此本節以「低放處置設施功能模擬評估報告(金門縣烏坵鄉)」(LLWD2-SA-2015-04-V08)相關成果中之處置坑道設計，並依此坑道布置進行分析模型建立，因為現有資料缺乏，所有之輸入參數及條件均參考該報告以及瑞典核燃料暨放射性廢棄物營運公司(SKB)相關之報告內容。

3.3.1 處置設施概念模型及網格劃分

二維 A 類放射性廢棄物處置坑道採用非結構化網格，總點數 5,713，網格數目共計 11,264；二維 B、C 類放射性廢棄物處置坑道採用非結構化網格，總點數 5,839，網格數目共計 11,516，如圖 3.3.1-1 所示。



A 類放射性廢棄物處置坑道



B、C 類放射性廢棄物處置坑道

圖 3.3.1-1 烏坵鄉建議候選場址二維坑道網格圖

3.3.2 障壁材料化學組成特性

台灣目前已公告的建議候選場址的資料都不足以描述場址特徵，故本節參考 SKB 相關報告進行障壁材料之推估。依據其材料之特性可以簡化假設為三類，分別為混凝土材料、膨潤土以及回填土等。

3.3.3 障壁材料物理特性

障壁材料物理特性，參考「低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(金門縣烏坵鄉)」(LLWD2-SA-2015-04-V08)以處置坑道之「多重障壁」系統中之設計材料參數作為設定值，相關參數如表 2.6.2-1 所示，其中障壁材料的延散係數假設所有材料均相同，縱向延散係數為 1m，橫向延散係數為 0.1m。

3.3.4 地球化學模型

因為目前國內場址的資料不完全並不足以進行地化傳輸模擬使用，然而本計畫主要目標為建立低放射性廢棄物處置相關分析技術可行性，為了能順利完成計畫目標，故採用資料較完整的 SKB SFR 場址作為分析標的。海水水質參考 SKB 資料 (SKB R-07-51,2007, P.20)，其組成如表 3.3.4-1，酸鹼值為 pH=7.15。考量本節為近場傳輸模擬，因此不考慮地表水體水質之影響，所有入流均為海水。

表 3.3.4-1 海水水質

元素	含量 (mg/kgw)	莫爾濃度 (mol/L)
Ca ²⁺	430	1.07×10 ⁻⁴
Na ⁺	2500	1.09×10 ⁻³
Cl ⁻	5000	1.41×10 ⁻¹
CO ₃ ²⁻	100	1.64×10 ⁻³
Mg ²⁺	270	1.11×10 ⁻²
SO ₄ ²⁻	500	5.21×10 ⁻³
K ⁺	20	5.12×10 ⁻⁴
Si as H ₄ SiO ₄	5.66	9.42×10 ⁻⁴

依據上述之障壁材料組成特性以及海水水質，配合 PHREEQC 熱力學資料庫(版本 3.3.3-10424)，列出之水相錯合反應式 (aqueous complexation reactions) 及沉澱 - 溶解反應式 (precipitation-dissolution reactions) 皆與 3.1 節相同。

3.3.5 放射性核種

相關之核種地化反應式皆與 3.1 節相同。

3.3.6 地下水初始及邊界條件

假設模擬之低放處置設施位於地下水面以下之飽和層，因此主要核種遷移途徑為地下水傳輸為主。藉由模擬場址區域的地下水流場，瞭解水流方向及水頭差，模擬成果如圖 3.3.6-1。依據場址區域的地下水流場模擬成果，現況情境水頭坡降為 0.00086，坑道周遭假設受到開挖時擾動透水性較高，而底部距離坑道數公尺外岩層則未受到擾動，維持良好低透水性，因此地下水流場方向為由北往南方向流通。

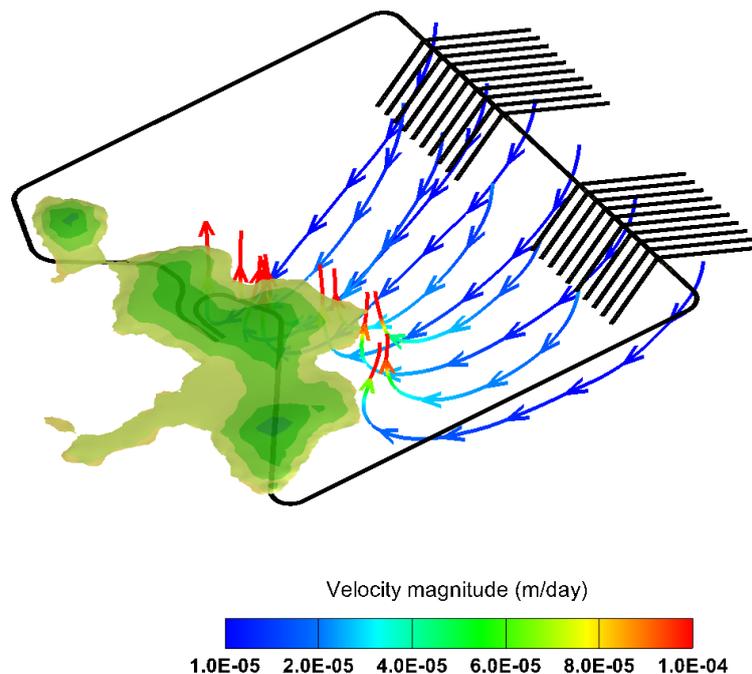


圖 3.3.6-1 現況情境地下水流場圖

3.3.7 模擬時間

低放處置設施通常至少需要維持 300 年，「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」分析時間為 1,000 年，而模擬的時間步大小則為同時滿足 Courant-Friedrichs-Lewy condition $\Delta t \leq \Delta x/V$ (C.F.L. condition) 以及保證最後模擬之結果落在所設定之

誤差範圍內其計算方式與台電公司「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估(第三次期中報告)」相同，考慮在模擬時間 1,000 年時，核種衰變反應精確度可以維持在 3% 誤差以內，計算結果如表 3.3.7-1 所示，最小時間步限制為流場控制，因此模式中時間步設定為 30 天。

表 3.3.7-1 模擬核種對應時間步大小

Sr-90	I-129	CFL
39 天	>1,000 年	>1,000 天

3.3.8 模擬成果與討論

利用 HGC 模式模擬放射性廢棄物於低放處置設施內地化傳輸現象，本節所討論之模擬成果圖為了讓模擬成果易於瞭解，對於部分區域當濃度值遠低於平均時會忽略，用以強調主要產生地化反應之區域，以下敘述現況情境之模擬成果。

模式考慮流場並不受到地化反應之影響，因此模擬結果為穩態解如圖 3.3.8-1 所示，由模擬結果顯示受到邊界條件影響，水頭自西往東下降，因此整體地下水水頭也依據邊界條件影響而自西往東逐漸下降，在受到處置坑道較不透水影響，因此大多數的地下水均由坑道四周通過，因此最大流速約可到達 1.5×10^{-5} m/day，坑道內的流速均小於 1×10^{-6} m/day。

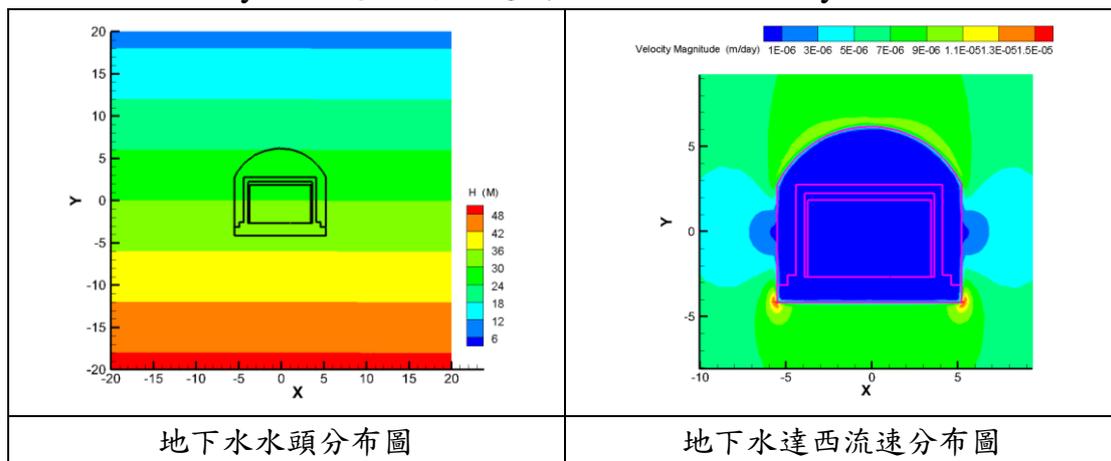


圖 3.3.8-1 現況情境 A 類處置坑道地下水達西流速分布圖

圖 3.3.8-2 為 A 類處置坑道內各離子於 1,000 年之濃度分布情形，以下分述各離子之傳輸情況。

- (一) 鈣離子(Ca^{2+})的濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年時，因地下水侵入工程障壁系統後，底部基礎層中的鈣離子會被析出，逐漸地處置窖內鈣離子濃度也逐漸下降。
- (二) 鈉離子(Na^+)濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年時，大多數的鈉離子受到擴散效應與移流影響，隨著地下水於工程障壁內逐漸析出至工程障壁外向右流出。
- (三) 鉀離子(K^+)濃度分布成果可知，處置坑道在 1,000 年時，因地下水進入後，大多數的鉀離子將被帶出。
- (四) 酸鹼值(pH)分布，處置坑道在隨著時間到達第 1,000 年時，處置窖內 pH 值約為 12。
- (五) 方解石因鈣離子(Ca^{2+})擴散到水泥與水之交界處，形成方解石沉澱。而氫氧鈣石呈現溶解狀態，因地下水流速緩慢溶解速度降低，故溶解情況不明顯。
- (六) 放射性核種 Sr-90 的傳輸顯示在第 1,000 年時，Sr-90 於障壁系統內之最高濃度為 $3.2 \times 10^{-17} \text{M}$ 。其濃度降低主要係因 Sr-90 核種衰變造成。
- (七) 放射性核種 I-129 的傳輸結果可以看到，在第 1,000 年時，因受到擴散效應與移流影響，緩慢的隨著地下水往右流出，處置窖內濃度約 0.00026M 左右。

就上述之模擬成果可以觀察到，在工程障壁系統中，二次襯砌、回填層以及基礎層均會受到地下水之影響，造成其孔隙水中的鈣、鈉、鉀離子濃度產生較大的變化，另藉由氫氧鈣石濃度分布圖可看出，因地下水流速緩慢溶解速度降低，故溶解情況不明顯，於工程障壁中其第 1000 年濃度與濃度相當。

圖 3.3.8-3 為在地下水通過處置設施後流出之區域位置，擷取核種 (Sr-90 及 I-129) 之外釋濃度歷線。結果顯示 Sr-90 在第

200 年時濃度達到高峰 $9.2 \times 10^{-14} \text{M}$ ，之後便以極快的速度衰減。而 I-129 同樣大多數被滯留在障壁系統內，因此僅少數 I-129(約 $2.6 \times 10^{-5} \text{M}$) 因其半化期為 1.57×10^7 年，故濃度仍持續上升。

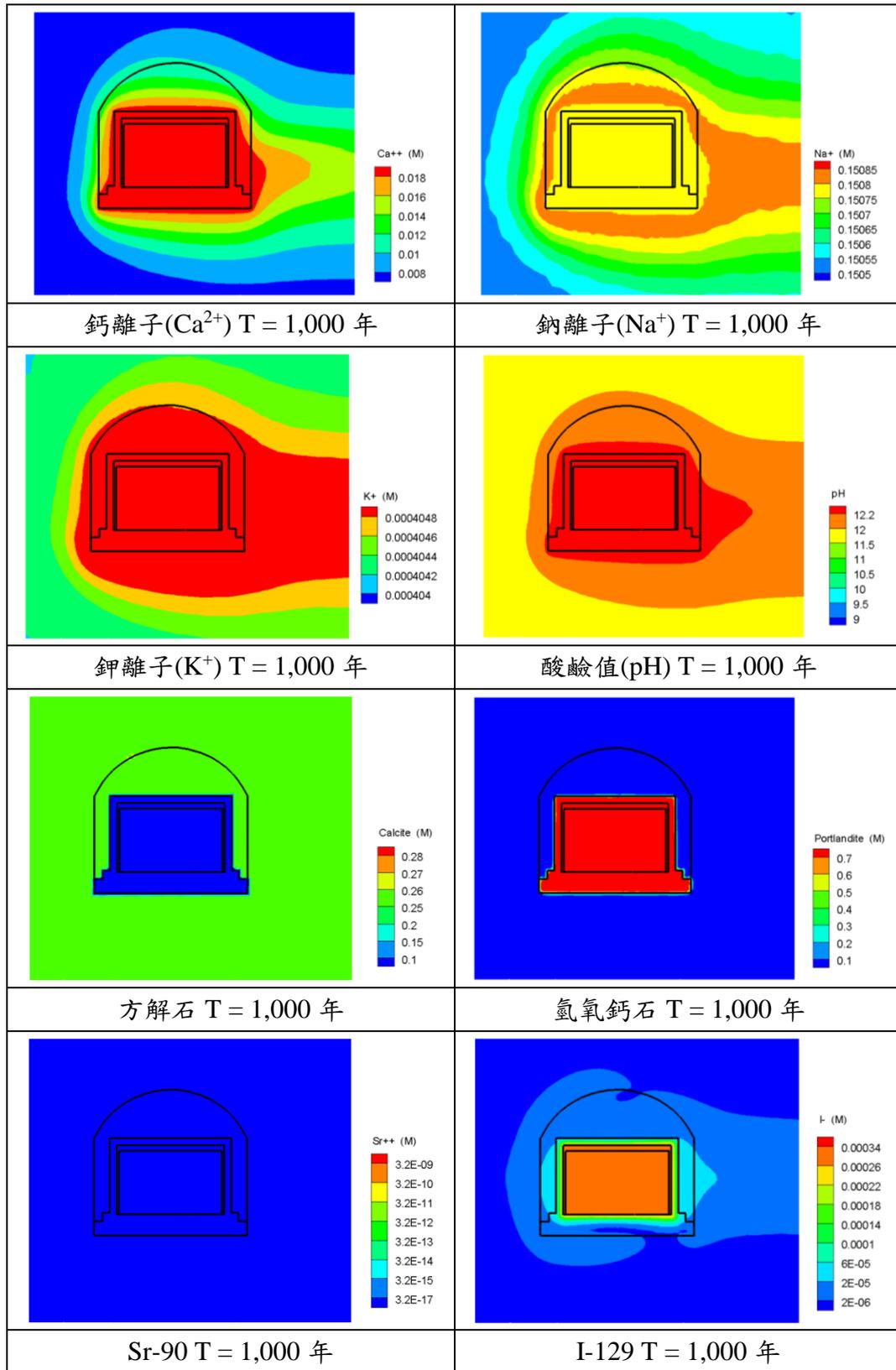


圖 3.3.8-2 現況情境 A 類處置坑道各離子濃度分布圖

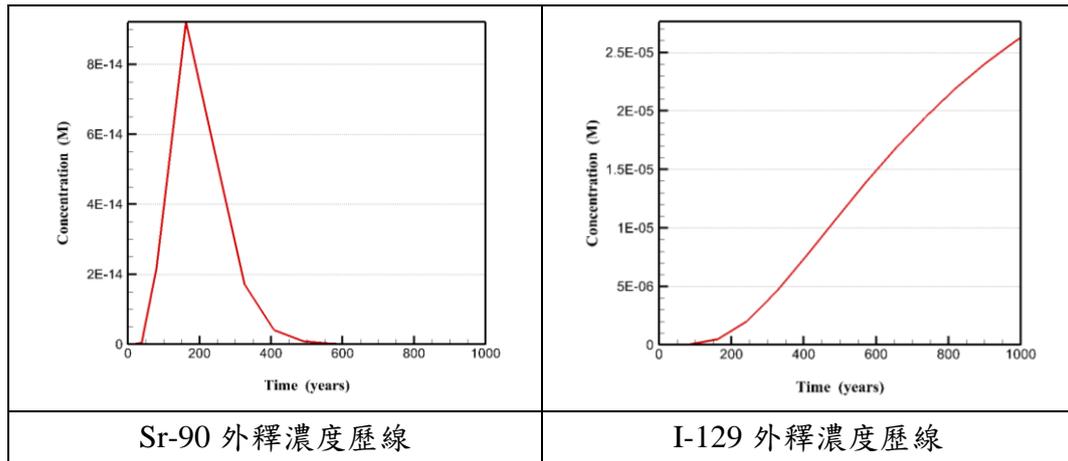


圖 3.3.8-3 現況情境 A 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖

模式考慮流場並不受到地化反應之影響，因此模擬結果為穩態解如圖 3.3.8-4 所示，由模擬結果顯示受到邊界條件影響，水頭自西往東下降，因此整體地下水水頭也依據邊界條件影響而自西往東逐漸下降，在受到處置坑道較不透水影響，因此大多數的地下水均由坑道四周通過，因此最大流速約可到達 1.3×10^{-5} m/day，坑道內的流速均小於 1×10^{-6} m/day。

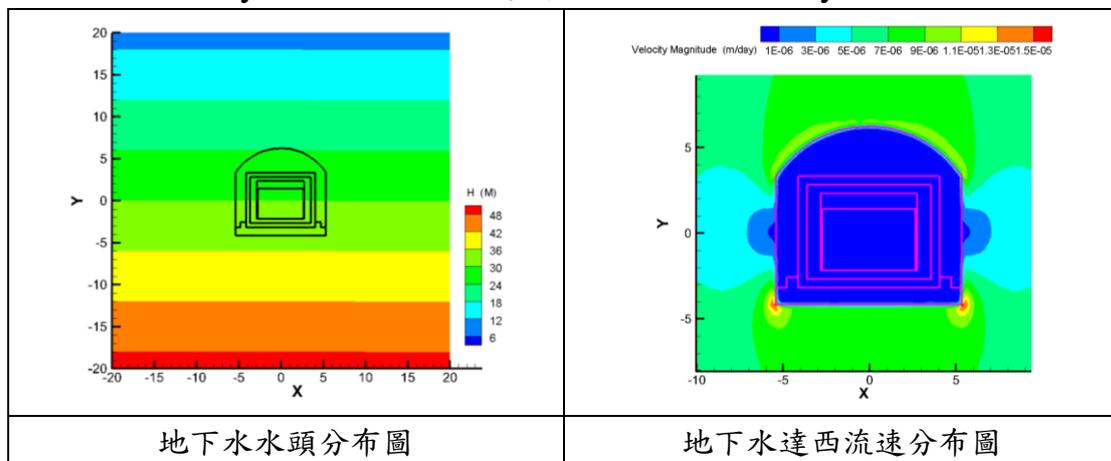


圖 3.3.8-4 現況情境 B、C 類處置坑道地下水達西流速分布圖

圖 3.3.8-5 為 B、C 類處置坑道內各離子於 1,000 年之濃度分布情形，以下分述各離子之傳輸情況。

- (一) 鈣離子(Ca^{2+})的濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年時，因地下水侵入工程障壁系統後，底部基礎層中的鈣離子會被析出，而處置窖內鈣離子濃度因受到緩衝材保護，故仍可維持高濃度。

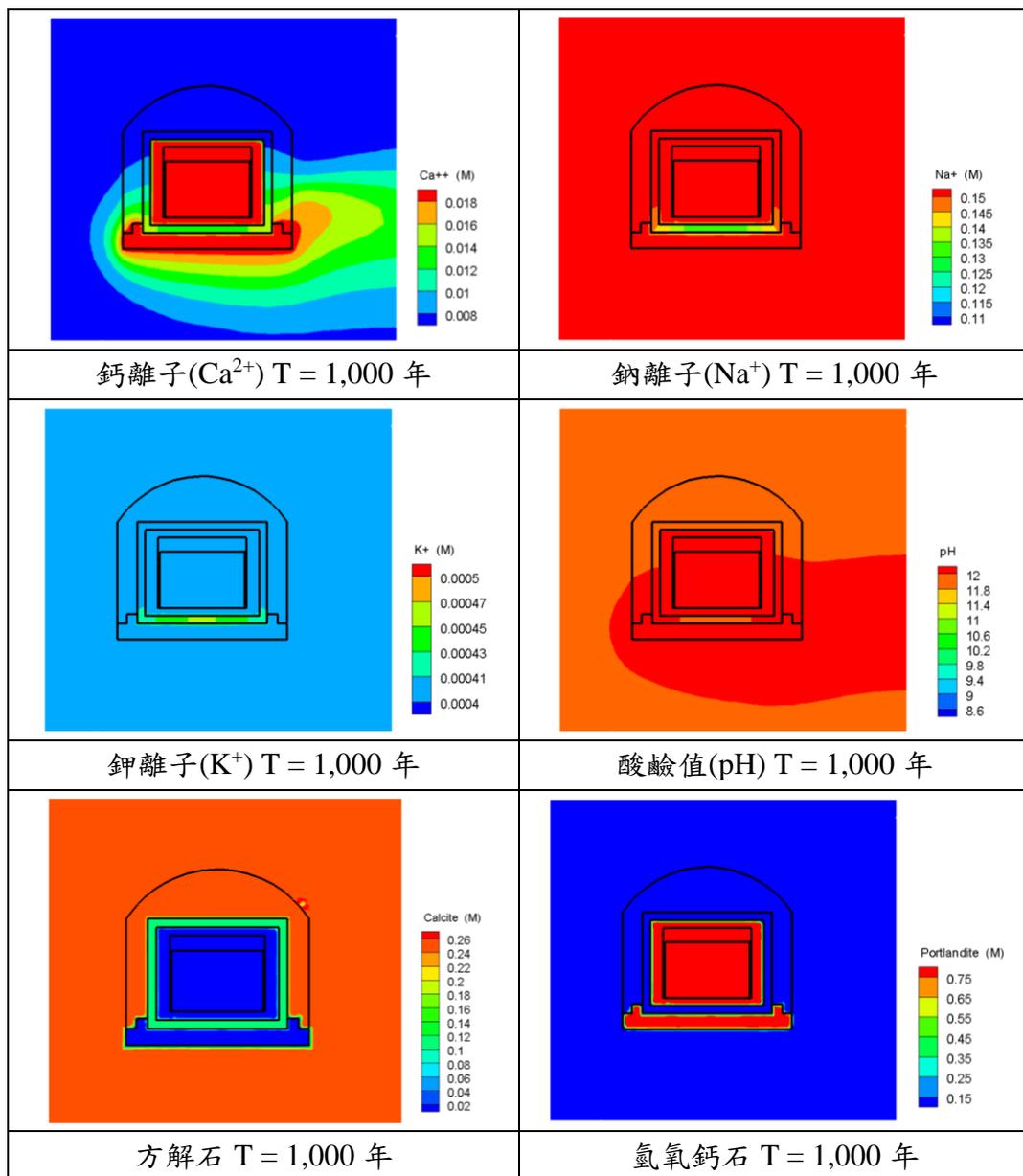
-
-
- (二) 鈉離子(Na^+)濃度分布可知，處置坑道在 1,000 年時，因地下水入侵之後，大多數的鈉離子會被析出工程障壁之外，致使多重障壁(或處置窖內)的鈉離子濃度下降。
- (三) 鉀離子(K^+)濃度分布成果可知，處置坑道在 1,000 年時，隨著地下水於工程障壁內逐漸析出至工程障壁外向右流出。
- (四) 酸鹼值(pH)分布，處置坑道在隨著時間到達第 1,000 年時，處置窖內 pH 值約為 12。
- (五) 方解石因鈣離子(Ca^{2+})擴散到水泥與水之交界處，形成微量方解石生成沉澱。而氫氧鈣石呈現溶解狀態，因地下水流速緩慢溶解速度降低，故溶解情況不明顯，在時間前進到第 1,000 年時，可看出溶解情況仍不明顯。
- (六) 放射性核種 Sr-90 的傳輸顯示在第 1,000 年時，Sr-90 於障壁系統內之最高濃度為 3×10^{-15} M。其濃度降低主要係因 Sr-90 核種衰變造成。
- (七) 放射性核種 I-129 的傳輸結果可以看到，在第 1,000 年時受到擴散效應與移流影響，逐漸流出工程障壁外向右流出，此時處置窖內濃度約 0.0026M 左右。

圖 3.3.8-6 為在地下水通過處置設施後流出之區域位置，擷取核種 (Sr-90 及 I-129) 之外釋濃度歷線。結果顯示 Sr-90 在第 250 年時外釋濃度即達到高峰 3.1×10^{-13} M，之後便以極快的速度衰減。而 I-129 同樣大多數被滯留在障壁系統內，因此僅少數 I-129(約 8.8×10^{-7} M)，因其半化期為 1.57×10^7 年，故濃度仍持續上升，經推估約 18,250 年可達峰值。

以近場處置坑道傳輸模擬成果觀之，比較 A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道之 Sr-90 及 I-129 兩條濃度歷線，可發現在 B、C 類處置坑道之 Sr-90 因為活度高，故外釋之濃度皆高於 A 類處置坑道之 Sr-90；而 B、C 類處置坑道之 I-129 雖然初始濃度高過 A 類處置坑道之 I-129，惟 B、C 類低放射性廢棄物處置坑

道因活度較大，故處置設計時加入膨潤土層，其低透水性及回脹性可遲滯核種外釋，故 I-129 外釋濃度低於 A 類低放射性廢棄物處置坑道。

由模擬結果可得知，A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道之多重障壁系統，皆有發揮遲滯核種濃度及延緩流出功能。顯示在目前分區處置之原則下，工程障壁設計均可符合法規要求。



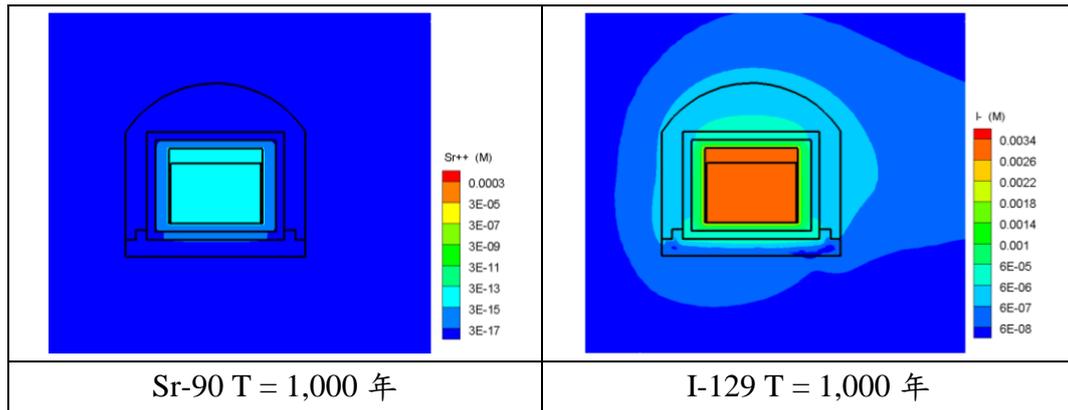


圖 3.3.8-5 現況情境 B、C 類處置坑道各離子濃度分布圖

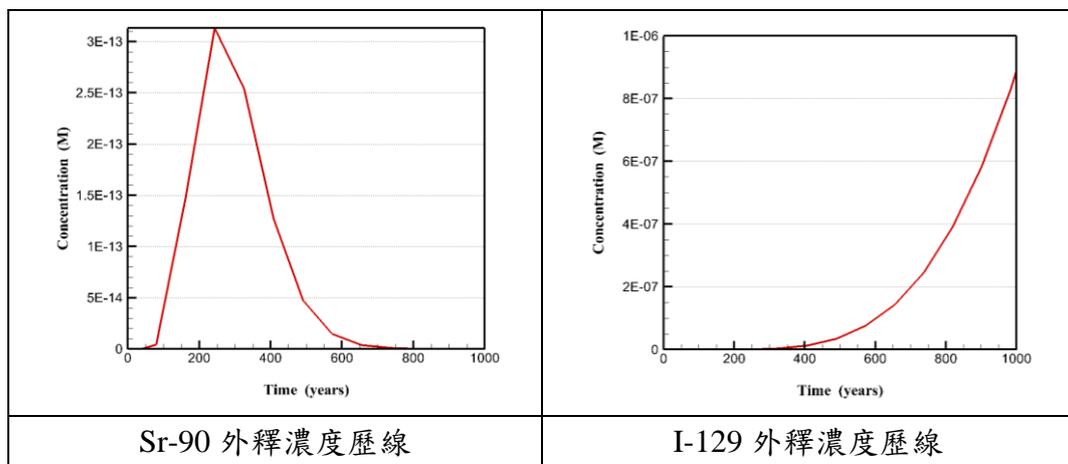


圖 3.3.8-6 現況情境 B、C 類處置坑道核種外釋濃度歷線圖

3.4 烏坵鄉建議候選場址遠場傳輸模擬

本章 3.3 節透過 HGC 地化傳輸模式，模擬低放處置設施核種傳輸，求得放射性核種傳輸的途徑及時間。完成近場核種傳輸模擬後，便可將核種外釋歷線作為分析條件，進行低放處置設施遠場傳輸模擬，藉以了解低放處置設施位置對於核種外釋遲滯之能力。

3.4.1 模擬區域及網格劃分

依照金門縣烏坵鄉建議候選場址區域型態進行模型建構，區域型態如圖 3.4.1-1 所示，由圖上可看出小坵嶼四周被海水包圍處置設施設置在海床底下，圖 3.4.1-2 為烏坵鄉建議候選場址

模擬區域三維網格圖，採用非結構化網格計算總點數 49,181 網格數目共計 247,592。

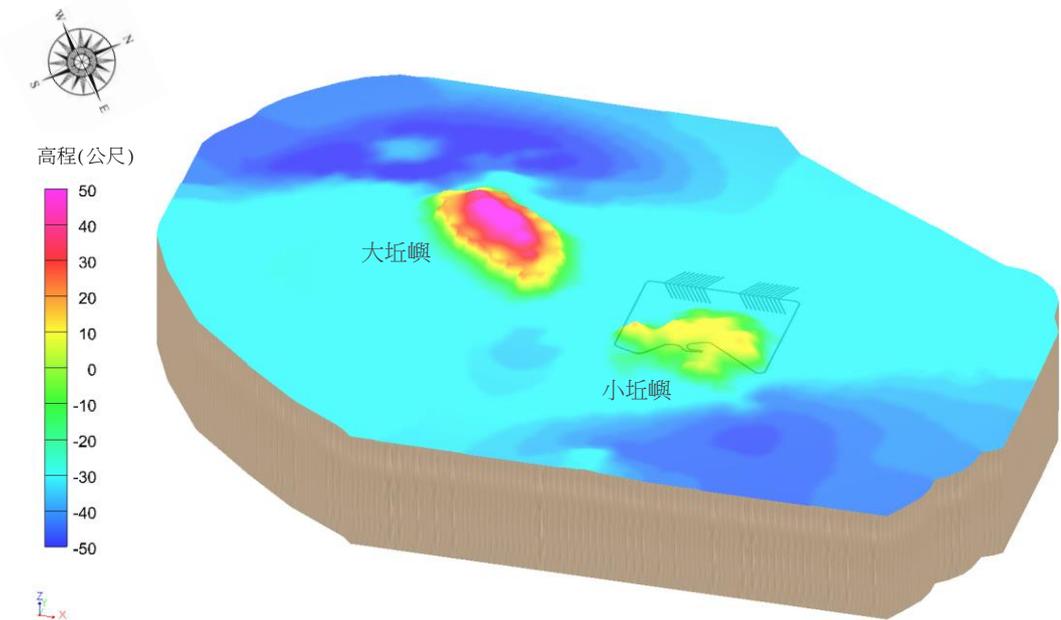


圖 3.4.1-1 烏坵鄉建議候選場址模擬區域範圍圖

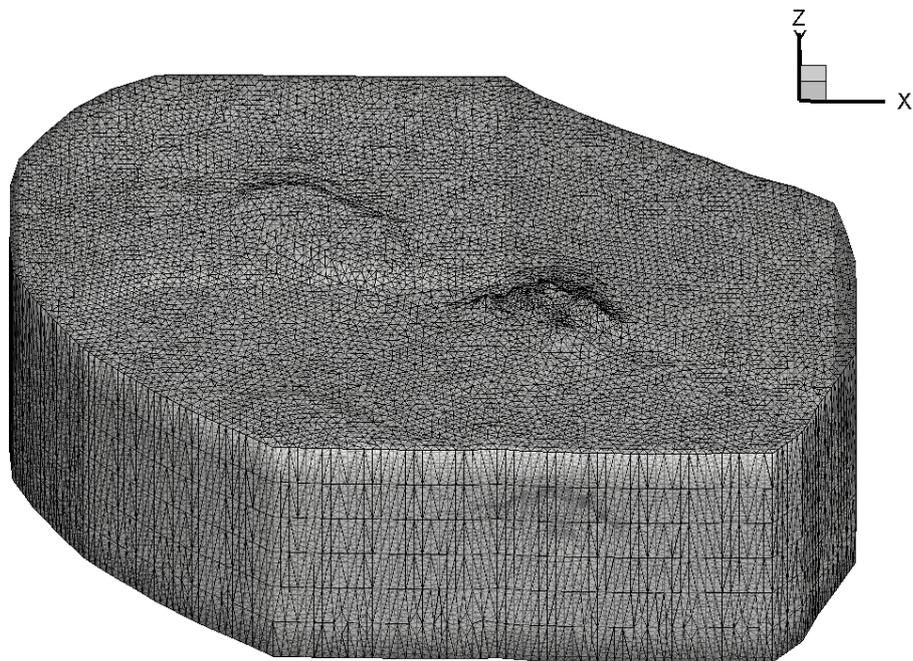


圖 3.4.1-2 烏坵鄉建議候選場址模擬區域三維網格圖

3.4.2 天然障壁化學組成特性

在遠場地化傳輸模擬中，以 SKB SFR 場址主要岩性作參考 (SKB R-05-80, P.14) 之成果，假設場址地質主要為結晶岩體，因此本節同樣假設模擬區域範圍內為均質材料，其化學組成、地化反應式、系統沉澱-溶解反應皆與 3.1 節相同。

3.4.3 天然障壁材料物理特性

有關烏坵鄉建議候選場址進行遠場模擬時，需考慮周遭岩體的物理特性與 8.3.2 節相同皆以結晶岩體相關之參數進行模擬。

3.4.4 地球化學模型

由烏坵鄉建議候選場址近場分析結果中，顯示 Sr-90 和 I-125 並不會在結晶岩體中產生沉澱和吸附現象，另考慮遠場區域皆為均質材料並不會改變地化環境，故不會影響放射性核種傳輸。故簡化遠場的地化系統，只考慮地下水流動和核種衰變反應。

3.4.5 放射性核種

在 3.3 節中為了模擬短半化期及長半化期核種之影響，因此分別選了 Sr-90 及 I-129 進行分析，並且得到 1,000 年間 A 類及 B、C 類坑道之核種外釋濃度歷線，因此本節將以近場核種傳輸模擬結果作為條件，模擬核種隨時間逐漸外釋。

3.4.6 地下水初始及邊界條件

烏坵鄉候選場址四周區域皆為海洋區域，假設水頭為高程 0 m，即假設地下水可由四周穿透出去，地表受到降雨影響，年平均降雨量分別為 1,182.4 與 1,300.6 mm，入滲量取其十分之一進行設定。

3.4.7 模擬時間

在低放處置設施遠場模型初步建立之後，便先行模擬地下水穩態流場，模擬結果顯示在地表附近最大流速約可達到 0.004 m/day，考量滿足 Courant-Friedrichs-Lewy condition $\Delta t \leq \Delta x/V$ (C.F.L. condition)，網格最小約 40 m，因此建議之時間步大小約為 10,000 天。另考量 Sr-90 及 I-129 核種濃度於模擬時間達 1,000 年時誤差之控制，因此設定模擬時間步長為 160 天。Sr-90 及 I-129 在第 1,000 年時期最大可能誤差分別為 12.28 % 及 4×10^{-11} %，由於 Sr-90 半化期非常短，因此在第 1,000 年時，其濃度值已經降到非常低，因此考量到計算格網較多的情形下，選擇較大的時間步長有助於模擬工作有效縮短。

3.4.8 模擬成果與討論

考量放射性核種在現況情境條件下，受到地下水影響而被析出處置設施外，因此主要傳輸路徑為地下水流動之路徑，因此透過地下水流場資訊便可以得知放射性核種可能移動的路徑，圖 3.4.8-1 為現況情境處置設施處地下水流線圖，模擬結果顯示在處置場址區域地下水均往小坵嶼方向的海洋流動，最後在淡水與海水交界面處出滲，因此便可在出滲點位置設置一觀測點，觀測點位置如圖 3.4.8-1，以便量測放射性核種濃度歷線資料。

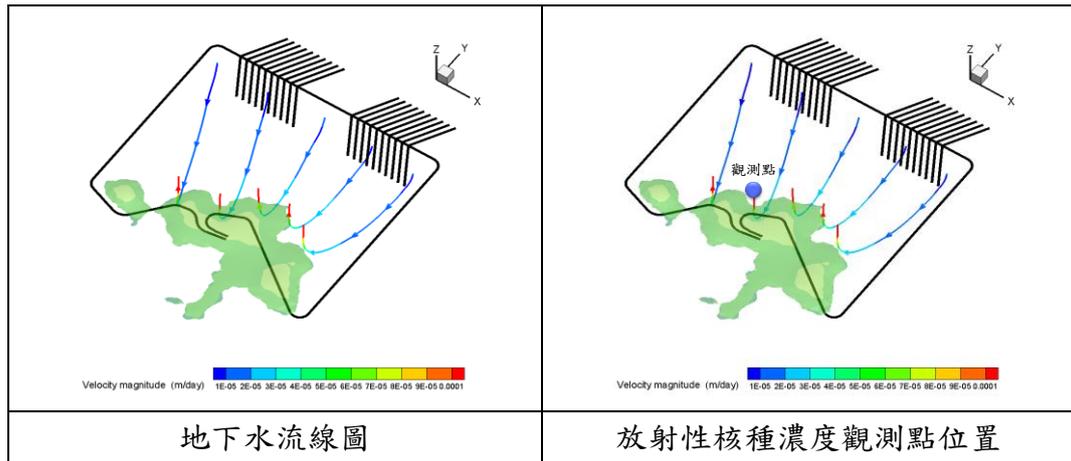


圖 3.4.8-1 現況情境處置設施處地下水流線圖

往小坵嶼方向流動的觀測點所觀測到之濃度歷線如圖 3.4.8-2 所示，濃度峰值出現在約第 400 年左右，最高濃度落在 3.79×10^{-21} M，與近場模擬結果相比，峰值出現時間延遲了 200 年左右，濃度變為原先的千萬分之一。

圖 3.4.8-3 為觀測點上 I-129 濃度歷線圖，濃度在第 400 年後明顯提高，並隨著時間一直上升濃度仍持續上升，到第 1,000 年時濃度達到 6.82×10^{-9} M，與近場模擬結果相比，其濃度變為原先三千分之一，另由 1,000 年時間點之濃度分布亦可看出存放在 B、C 類處置坑道之濃度延後滲出，顯示 B、C 類處置坑道阻絕設計發揮成效。

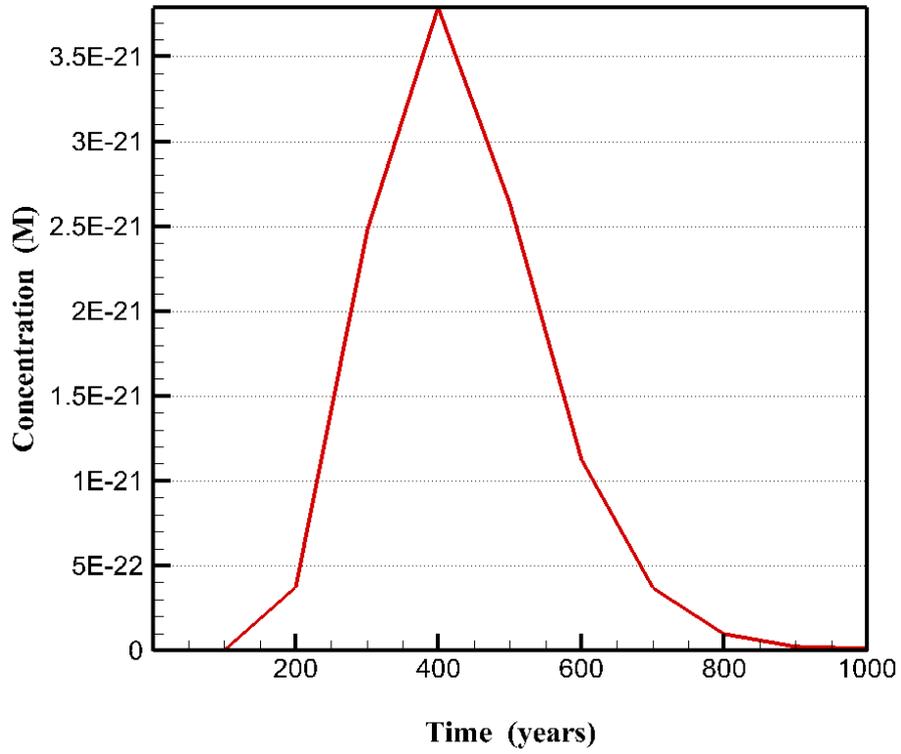


圖 3.4.8-2 現況情境 Sr-90 外釋濃度歷線圖

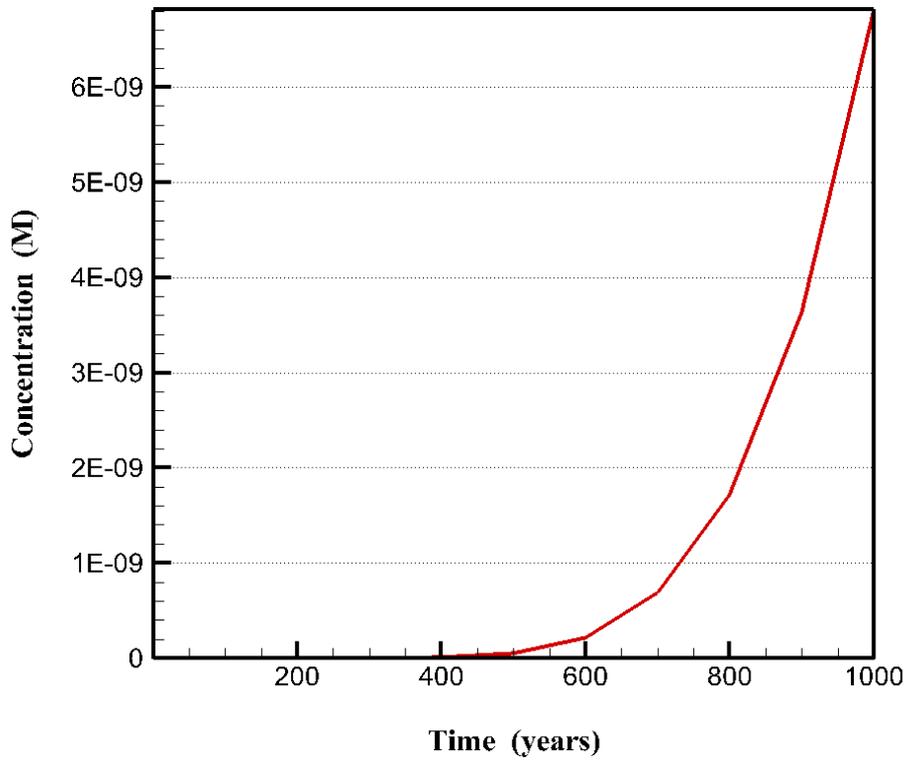


圖 3.4.8-3 現況情境 I-129 外釋濃度歷線圖

3.5 模擬結果分析

為以 2 處建議候選場址模擬成果，比較分析可能造成差異之原因，選擇近場模擬結果進行比較分析，以適度降低參數差異對於模擬結果差異原因研判影響。

一、地下水流場模擬結果比較

達仁鄉建議候選場址現況情境 B、C 類處置坑道地下水流速分布模擬結果（如圖 3.1.8-4），可知當水流流經處置坑道時，坑道周圍流速約為 $1 \times 10^{-4} \text{m/day} \sim 3.5 \times 10^{-4} \text{m/day}$ ，而於坑道內部流速約為 $5 \times 10^{-5} \text{m/day}$ 以下，計算其處置窖內平均約為 $1.94 \times 10^{-7} \text{m/day}$ 。比較現況情境之 A 類處置地下水流場模擬成果，可比較多重障壁系統有無緩衝材料之差異。經計算 A 類處置坑道之處置窖內平均流速為 $5.18 \times 10^{-6} \text{m/day}$ ，與前述 B、C 類處置坑道地下水流速差異約為 26 倍。

烏坵鄉建議候選場址現況情境 B、C 類處置坑道地下水流速分布模擬結果（如圖 3.3.8-4），可知當水流流經處置坑道時，坑道周圍流速約為 $3 \times 10^{-6} \text{m/day} \sim 1.3 \times 10^{-5} \text{m/day}$ ，而於坑道內部流速約為 $1 \times 10^{-6} \text{m/day}$ 以下，計算其處置窖內平均約為 $2.31 \times 10^{-9} \text{m/day}$ 。比較現況情境之 A 類處置地下水流場模擬成果，可比較多重障壁系統有無緩衝材料之差異。經計算 A 類處置坑道之處置窖內平均流速為 $1.54 \times 10^{-7} \text{m/day}$ ，與前述 B、C 類處置坑道地下水流速差異約為 66 倍。

二、工程障壁系統對流場影響比較

由於 2 處建議候選場址採用相同工程障壁系統設定，故其處置窖內流速差異主要來自於環境流場差異。比較其 A 類處置坑道之處置窖內平均流速分別為達仁建議候選場址 $5.18 \times 10^{-6} \text{m/day}$ ，烏坵建議候選場址 $1.54 \times 10^{-7} \text{m/day}$ 。以坑道周圍流速反應環境流場特性分別為達仁建議候選場址 $1 \times 10^{-4} \text{m/day} \sim 3.5 \times 10^{-4} \text{m/day}$ 與烏坵建議候選場址 $3 \times 10^{-6} \text{m/day} \sim 1.3 \times 10^{-5} \text{m/day}$ 。

顯示此工程障壁系統約可降低環境流速約 2 個級數，但會隨著環境流場流速下降而效果趨緩，單就處置窖內平均流速而言，烏坵建議候選場址之 1.54×10^{-7} m/day 其流速相對較為緩慢，有利於遲滯核種傳輸。

緩衝材料對於抑制流量進入處置窖之效果，依 2 建議候選場址流速模擬結果比較分別達仁鄉建議候選場址的平均流速降低 26 倍與烏坵鄉建議候選場址的平均流速降低 66 倍，顯示環境流場流速越慢，亦即水力梯度較緩其效果越佳。惟此處均以工程障壁初始參數進行評估，並未討論緩衝材料受海水降低膨脹性之影響。

三、核種傳輸模擬結果比較

考量所選擇之 I-129 與 Sr-90 核種，其中 I-129 之半化期較長，濃度不易受核種衰減而產生影響，故以其作為 2 處建議候選場址相同工程障壁系統於不同流場下，對於核種傳輸結果之影響比較。

達仁鄉建議候選場址 I-129 近場傳輸模擬，於現況情境之 B、C 類處置坑道其觀測點於 1,000 年之核種濃度為 7.48×10^{-6} M。烏坵鄉建議候選場址 I-129 近場傳輸模擬，於現況情境之 B、C 類處置坑道其觀測點於 1,000 年之核種濃度為 8.8×10^{-7} M。兩者濃度差約為 8.5 倍，而其兩者之處置窖內平均流速約差了 84 倍。顯示出流速較高之流場其核種傳輸受平流影響較明顯。

第四章 生物圈輻射劑量評估

4.1 達仁鄉建議候選場址劑量整合評估

4.1.1 陸域型態生物圈核種傳輸概念模型

台東縣達仁鄉建議候選場址位於達仁溪南側，屬於達仁鄉南田村的一部分，場址附近的聚落有南田村落、安朔村落和森永村落。根據 104 年 7 月之統計資料，南田村、安朔村和森永村的人口數分別為 363 人、735 人和 458 人。

依台東縣達仁鄉建議候選場址核種傳輸模擬結果可知，處置區核種大部分往太平洋方向傳輸入海，部分核種將隨著地下水流出滲至達仁溪。考量南田村聚落位置距離核種出滲點尚有約 2~4 公里遠的距離，生活中不易在核種出滲點與達仁溪區域活動。故假設離場址 1 公里內且位於達仁溪出海口附近的白蝦養殖場位置，為關鍵群體所在之生活區域。

根據台東縣政府主計處料，假設關鍵群體之產業行為包含農耕行為、養殖與畜牧。

核種自岩體裂隙釋出至河水後，關鍵群體遭受曝露的途徑，推估如圖 4.1.1-1 所示。



圖 4.1.1-1 達仁場址的生物圈核種傳輸概念模型

4.1.2 Goldsim 生物圈輻射劑量整合評估

一、生物圈劑量評估參數

基於第九章模擬採用 Sr-90 與 I-129，依生物圈核種傳輸途徑，選用劑量評估所需使用參數分別列於表 4.1.2-1~表 4.1.2-4 所列。

表 4.1.2-1 劑量轉換因子

核種	劑量轉換因子		
	攝取[Sv/Bq]	吸入[Sv/Bq]	體外輻射[(Sv/s)/(Bq/m ³)]
I-129	7.46×10^{-8}	4.69×10^{-8}	1.10×10^{-15}
Sr-90	3.85×10^{-8}	3.51×10^{-7}	9.20×10^{-15}

資料來源：

- 1.攝取和吸入的劑量轉換因子之資料來源為 US EPA Federal Guidance Report No.11。
- 2.體外輻射的劑量轉換因子之資料來源為 US EPA Federal Guidance Report No.12。

表 4.1.2-2 農作物和畜產品的遷移因子

核種	土壤與農作物間的遷移因子	畜產品的遷移因子		
	農作物[(Bq/g-wet)/(Bq/g-dry soil)]	羊[d/kg]	豬[d/kg]	雞[d/kg]
I-129	2.00×10^{-2}	3.00×10^{-2}	3.30×10^{-3}	1.00×10^{-2}
Sr-90	3.00×10^{-1}	1.50×10^{-3}	4.00×10^{-2}	8.00×10^{-2}

資料來源：

- 1.土壤與農作物間的遷移因子：US DOE, 2001, User's Manual for RESRAD Version 6
- 2.羊的遷移因子：IAEA, 2010, Technical Reports SeriEs No. 472
- 3.豬、雞的遷移因子：JAEA, 2013, GoldSim による余裕深度処分を対象とした地下水シナリオ評価ツールの作成

表 4.1.2-3 水產品的濃縮係數

核種	水產品的濃縮係數	
	魚[L/kg]	甲殼動物、軟體動物[L/kg]
I-129	4.00×10^1	5.00
Sr-90	6.00×10^1	1.00×10^2

資料來源：US DOE, 2001, User's Manual for RESRAD Version 6

表 4.1.2-4 生物圈相關參數

參數	單位	設定值	資料來源
飲水量	m ³ /yr	1.1	國家網路醫院網站 http://hospital.kingnet.com.tw/essay/essay.html?pid=24138
戶外活動時的粉塵濃度	g/m ³	5.00×10 ⁻⁴	JAEA, 2013, GoldSim による余裕深度処分を対象とした地下水シナリオ評価ツールの作成
呼吸量	m ³ /h	0.6	(1) 國家網路醫院網站 http://hospital.kingnet.com.tw/service.php?mob=modload&name=diyonline&file=3-2 (2) 台北榮民總醫院網站 http://www.tyvh.gov.tw/index.php?mo=HealthInfo&ac=health1_print&sn=113
戶外活動時的遮蔽係數	-	1	JAEA, 2013, GoldSim による余裕深度処分を対象とした地下水シナリオ評価ツールの作成
戶外活動的時間	h/yr	500	JAEA, 2013, GoldSim による余裕深度処分を対象とした地下水シナリオ評価ツールの作成
畜產品的年攝取量	羊肉	kg/yr	1
	豬肉	kg/yr	36.4
	雞肉	kg/yr	30.6
禽畜的每日飲水量	羊	L/d	12
	豬	L/d	10
	雞	L/d	0.3
水產品的年攝取量	魚	kg/yr	17.9
	蝦、蟹	kg/yr	4.1
農作物(穀類、薯類、蔬菜類、果品類)的年攝取量	kg/yr	337.3	行政院農委會糧食供需年報(102年)
市場稀釋係數	-	1	JAEA, 2013, GoldSim による余裕深度処分を対象とした地下水シナリオ評価ツールの作成

二、GoldSim 整合評估

GoldSim 軟體是由美國 Golder Associates Inc. 公司為因應高、低放射性廢棄物處置安全評估之模擬，所開發之軟體。GoldSim 具有高度圖形視窗介面，可提供複雜系統之動態或機率式模擬，以支援工程上、科學上或金融上的決策者於管理決策時之參考依據。本計畫採用 GoldSim 軟體進行整合評估工作，利用 3.2 節 HGC 模式模擬評估所得之核種出滲濃度為初始條件，連接 GoldSim 設定之生物圈劑量分析，進行整合性評估。

將前節之外釋濃度歷線換算為 Goldsim 模式設定之時間區段與核種濃度值，如表 4.1.2-5 所列。劑量模擬結果分別如圖 4.1.2-1~圖 4.1.2-2 所示。

表 4.1.2-5 達仁場址 GoldSim 核種濃度邊界條件輸入表

年	Sr-90(mg/l)	I-129(mg/l)
	現況	現況
0	2.64×10^{-19}	2.47×10^{-12}
10	7.33×10^{-13}	7.94×10^{-6}
50	3.44×10^{-9}	3.30×10^{-3}
100	2.76×10^{-8}	5.37×10^{-2}
200	1.71×10^{-8}	2.80×10^{-1}
300	3.11×10^{-9}	4.29×10^{-1}
400	5.33×10^{-10}	4.83×10^{-1}
500	2.12×10^{-10}	4.77×10^{-1}
600	1.24×10^{-10}	4.53×10^{-1}
700	8.46×10^{-11}	4.22×10^{-1}
800	5.99×10^{-11}	3.92×10^{-1}
900	3.73×10^{-11}	3.58×10^{-1}
1,000	1.44×10^{-11}	3.24×10^{-1}

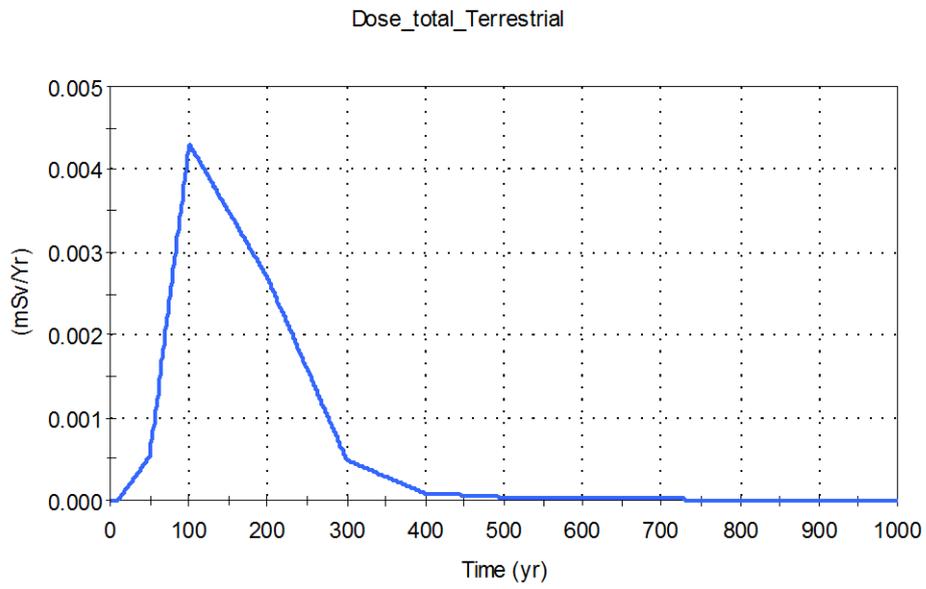


圖 4.1.2-1 達仁鄉建議候選場址之現況情境 Sr-90 劑量歷線

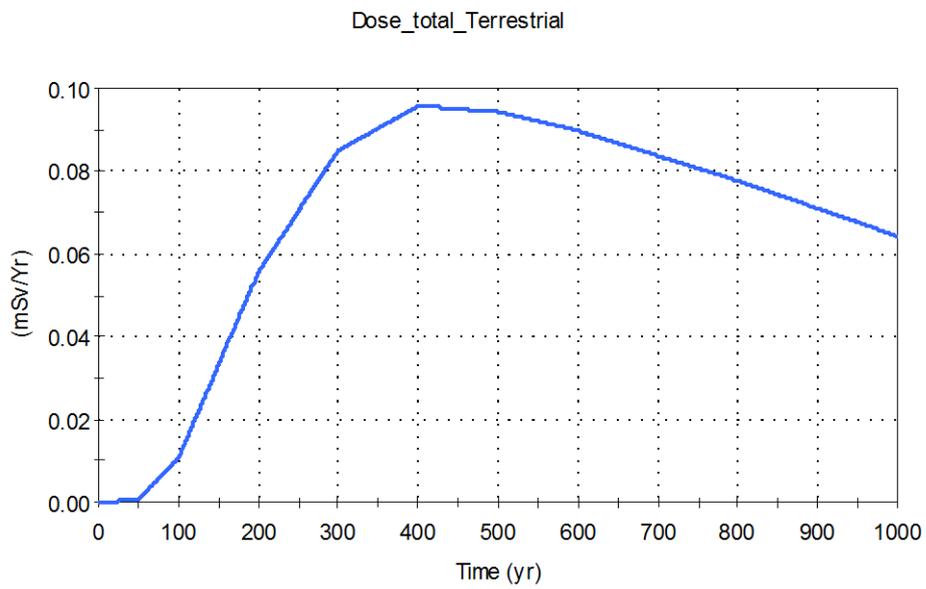


圖 4.1.2-2 達仁鄉建議候選場址之現況情境 I-129 劑量歷線

4.1.3 RESRAD 生物圈輻射劑量整合評估

基於第三章模擬採用 Sr-90 與 I-129，依前述生物圈核種傳輸途徑，選用劑量評估所需使用參數列於表 4.1.3-1。

RESRAD 為美國阿岡實驗室(Argonne National Laboratory, ANL)發展之整合性劑量評估軟體，整合體外曝露模式、體內曝露模式與地下水傳輸模式等，經由曝露途徑情節之設定，計算生物圈輻射劑量，並可進行參數靈敏度與不確定度之分析。

本計畫採用 RESRAD 整合 HGC 的出滲範圍、核種濃度與水文模擬資料，以及 RESRAD 的生物圈型態進行整合性的評估。藉由 3.2 節 HGC 模式模擬評估結果作為 RESRAD 的污染區的源項設定，然後依 RESRAD 內建之生物圈模組分析生物圈劑量。受限於 RESRAD 之靈活性與可變性，故僅使用 RESRAD 評估尖峰核種濃度造成之生物圈劑量。

利用 RESRAD 建立之生物圈核種傳輸劑量評估模型，現況情境造成之 Sr-90 劑量為 3.34×10^{-5} mSv/yr，I-129 劑量為 0.19 mSv/yr。

表 4.1.3-1 RESRAD 台東達仁場址使用參數

參數	單位	設定值	說明
I-129	Bq/g	8.6×10^4	依 HGC 出滲尖峰濃度設定
Sr-90	Bq/g	3.79×10^3	
污染區面積	m ²	2.24×10^6	出滲污染面積
污染區厚度	m	12	處置坑道高
污染區平行地下水的距離	m	1498	污染區面積開根號計算而得
覆蓋厚度	m	76.4	坑道上方覆蓋厚度
風化速率	m/yr	0	假設不受風化
污染區密度	g/cm ³	1.9	廢棄物體密度
水力傳導係數	m/yr	36.3	2.3 節地質條件(表 2.3.1-1)
降雨量	m/yr	3.3962	2.2 節水文條件
水力坡降	-	0.08	HGC 設定(表 3.1.6-1)
戶外活動時的粉塵濃度	g/m ³	5.00×10^{-4}	參考日本 GoldSim 餘裕深度處置分析中，農作期間的粉塵濃度進行設定
呼吸量	m ³ /h	0.6	依據國家網路醫院網站的呼吸評估資料，一位健康的成年人每次呼吸量為 500 毫升，而依據台北榮民總醫院網站的生命徵象測量資料，成年人每分鐘呼吸次數為 20 次，因此呼吸量設定為依據成年人每小時之呼吸量計算
戶外活動時間	h/yr	500	參考日本 GoldSim 餘裕深度處置分析中，年農作時間進行設定
水果、蔬菜類	kg/yr	310.2	依據行政院農委會糧食供需 102 年年報，國人每人每年食用的糧食蔬果類共 337.3 kg，依據 RESRAD 預設比例，果菜糧食類約佔 92%，葉菜類約佔 8%
葉菜類	kg/yr	27.1	
牛奶	L/yr	43.8	國民營養調查統計資料，國人每日奶類平均攝取量為 0.5 杯，一杯為 240 cc，因此每年的奶類攝取量為 43.8 L
水產品的年攝取量	魚	kg/yr	依據行政院農委會糧食供需 102 年年報，國人每人每年攝取魚類為 17.9 kg，蝦蟹類為 4.1 kg，因此設定上將蝦蟹類歸類於其他水產
	其他	kg/yr	

4.2.2 輻射劑量評估數學模型

一、生物圈劑量評估參數

基於第三章模擬採用 Sr-90 與 I-129，依前述生物圈核種傳輸途徑，選用劑量評估所需使用參數與 4.1.2 節相同，詳見表 4.1.2-1~表 4.1.2-4 所列。

二、GoldSim 整合評估

「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」計畫採用 GoldSim 軟體進行整合評估工作，利用 3.4 節 HGC 模式模擬評估所得之核種出滲濃度為邊界條件，連接 GoldSim 設定之生物圈劑量分析，進行整合性評估。

將前節之外釋濃度歷線換算為 Goldsim 模式設定之時間區段與核種濃度值如表 4.2.2-1 所列。劑量模擬結果分別如圖 4.2.2-1~圖 4.2.2-2 所示。

表 4.2.2-1 烏坵場址 GoldSim 核種濃度邊界條件輸入表

年	Sr-90(mg/l)	I-129(mg/l)
	現況	現況
0	6.57×10^{-36}	1.09×10^{-28}
10	6.21×10^{-28}	1.22×10^{-20}
50	2.98×10^{-22}	1.23×10^{-14}
100	1.14×10^{-19}	4.89×10^{-12}
200	4.80×10^{-17}	1.64×10^{-9}
300	3.20×10^{-16}	7.64×10^{-8}
400	4.89×10^{-16}	1.02×10^{-6}
500	3.40×10^{-16}	6.80×10^{-6}
600	1.45×10^{-16}	2.87×10^{-5}
700	4.78×10^{-17}	8.93×10^{-5}
800	1.29×10^{-17}	2.22×10^{-4}
900	3.31×10^{-18}	4.69×10^{-4}
1,000	1.24×10^{-18}	8.79×10^{-4}

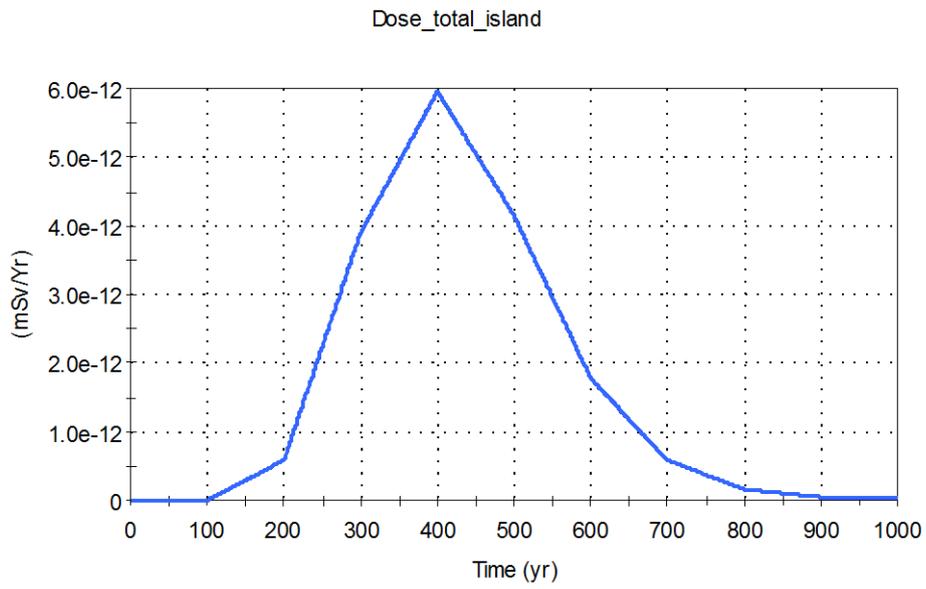


圖 4.2.2-1 烏坵鄉建議候選場址之現況情境 Sr-90 劑量歷線

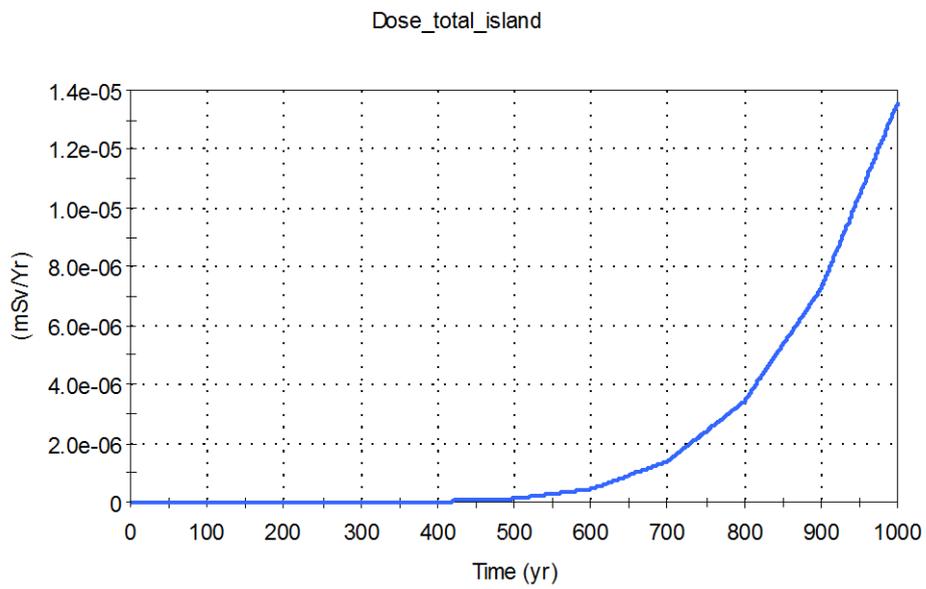


圖 4.2.2-2 烏坵鄉建議候選場址之現況情境 I-129 劑量歷線

4.2.3 RESRAD 生物圈輻射劑量評估整合

基於第三章模擬採用 Sr-90 與 I-129，依前述生物圈核種傳輸途徑，選用劑量評估所需使用參數如表 4.2.3-1。

「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」計畫採用 RESRAD 軟體進行整合評估工作藉由 3.4 節 HGC 模式模擬評估之參數與相關調查資料作為 RESRAD 設定之生物圈參數，受限於 RESRAD 軟體之靈活性與可變性，故僅使用 RESRAD 評估尖峰核種濃度造成之生物圈劑量。

利用 RESRAD 建立之生物圈核種傳輸劑量評估模型現況情境造成之 Sr-90 劑量為 7.37×10^{-15} mSv/yr，I-129 劑量為 4.02×10^{-6} mSv/yr。

表 4.2.3-1 RESRAD 烏坵鄉建議候選場址使用參數

參數	單位	設定值	說明	
I-129	Bq/g	4.6	依 HGC 出滲尖峰濃度設定	
Sr-90	Bq/g	1.98×10^{-6}		
污染區面積	m ²	9.18×10^5	出滲污染面積	
污染區厚度	m	12	處置坑道高	
Length parallel	m	958	污染區面積開根號計算而得	
覆蓋厚度	m	58.83	坑道上方覆蓋厚度	
風化速率	m/yr	0	假設不受風化	
污染區密度	g/cm ³	1.9	廢棄物體密度	
水力傳導係數	m/yr	1516.6	2.3 節地質條件(表 2.3.2-1)	
降雨量	m/yr	1.1824	2.2 節水文條件	
水力坡降	-	0.00077	HGC 設定(3.3.6 節)	
水產品的 年攝取量	魚	kg/yr	17.9	依據行政院農委會糧食供需 102 年年報，國人每人每年攝取魚類為 17.9 kg，蝦蟹類為 4.1 kg，因此設定上將蝦蟹類歸類於其他水產(行政院農委會，2013)
	其他	kg/yr	4.1	

第五章 結論與建議

- 一、本計畫在參數完整性的考量下，以瑞典案例之參數為基礎，應用 HGC 模式可合理反應地球化學特性，未來在資料足夠條件下，能完整描述 2 處建議候選場址之核種遷移情況。
- 二、藉由台東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉 2 處建議候選場址之地化模擬結果，比較放射性核種在 A 類低放射性廢棄物處置坑道以及 B、C 類低放射性廢棄物處置坑道之遷移特性如後：
 - 1.比較 2 處建議候選場址之地下水流速，可知達仁鄉建議候選場址地下水流速高於烏坵鄉建議候選場址，主要原因為達仁鄉建議候選場址位於海平面以上，受到地形影響，地下水流速較快；而烏坵鄉建議候選場址因位於海平面以下 100 公尺處，因海床地形變化較小，故地下水流速較緩慢。
 - 2.藉由比對近場模擬結果，A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道中之鈣、鈉、鉀離子擴散流出情況，可知 A 類處置坑道所流出之各離子濃度皆大於 B、C 類處置坑道，其主要原因係 B、C 類處置坑道有緩衝材料，因發揮阻水效果坑道內流量也較少，故 B、C 類處置坑道中各離子流出之濃度較小。
 - 3.比對現況情境與氣候變遷情境(表 3.1.8-1 與表 3.3.8-1)，可看出因氣候變遷情境之入滲量大於現況情境入量 10%，故氣候變遷情境流出之核種濃度略高於現況情境。於遠場模擬結果亦符合此趨勢。
 - 4.承上所述比較 2 處建議候選場址流出之核種濃度，可知達仁鄉建議候選場址因地下水流速快，故處置坑道中所流出之核種濃度高於烏坵鄉建議候選場址；而 A 類處置坑道與 B、C 類處置坑道之多重障壁系統，皆有發揮遲滯核種濃度及延緩流出功能，顯示在目前分區處置之原則下，考量廢棄物之特性，

分別進行處置坑道工程障壁設計，並依地質特性配置坑道位置，均可符合法規要求。

5.經由此次模擬可知，應用 HGC 模式模擬評估之技術可行，可適度反應工程障壁系統對於核種遷移之移流、擴散、吸附等特性。故本報告所作之假設案例條件下，處置設施之功能皆有發揮其設計之成效，故在假設案例條件下其安全性應屬合宜。

三、由於 GoldSim 模式具有較佳之設定彈性，可以配合欲分析之核種與活度、場址特性、氣候情節與工程障壁設計差異進行調整。但也因其具有較大設定彈性，利用其進行安全分析作業時需要做較大量之設定。經過本計畫執行經驗顯示，後續工作適合選用 GoldSim 做為整合 HGC 模擬結果之安全分析軟體。

四、RESRAD 模式曾運用於國外低放射性廢棄物處置場之安全評估作業，分析不同曝露途徑與情節之輻射劑量。其評估之處置設施與環境概念模型是以美國低放處置設施系統為基礎，具有完整的核種參數資料庫、圖形化的使用者介面、與可快速評估輻射劑量之特性。

五、本計畫以台東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉 2 處建議候選場址為對象，研究應用 RESRAD 模式與 HGC 模式之整合評估方式。受限於 RESRAD 模式在近場與遠場參數設定僅能以輸入單一數值，故在取得可代表空間與時間變化特性之單一參數，以及將特定場址處置系統概念以其內定之處置系統架構描述之合適性，為是否適合選用 RESRAD 模式作為整合評估之重要考量。由於 2 處建議候選場址之場址特性與處置系統與 RESRAD 模式設定不盡相同，且其參數設定不具時變性，故不建議後續工作以 RESRAD 模式作為 HGC 模式之整合評估工具。

參考文獻

1. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw>
2. 台北榮民總醫院網站
http://www.tyvh.gov.tw/index.php?mo=HealthInfo&ac=health1_print&sn=113
3. 台東縣太麻里戶政事務所網站 <http://tmh.taitung.gov.tw/files/11-1002-346-1.php>
4. 台東縣政府主計處網站 <http://www.taitung.gov.tw/Accounting/>
5. 台灣電力公司，2008，可能潛在場址地質介質核種分配係數量測與地下水氫離子濃度測量報告，間接引用自[建議候選場址遴選報告]。
6. 台灣電力公司，2015a，場址特性參數評估報告-台東縣達仁鄉，LLWD2-SI-2014-01-V05。
7. 台灣電力公司核能後端營運處，2015，低放射性廢棄物最終處置設施功能評估第三次期中報告。
8. 台灣電力公司核能後端營運處，2017，低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(台東縣達仁鄉)，LLWD2-SA-2015-03-V08。
9. 台灣電力公司核能後端營運處，2017，低放射性廢棄物最終處置功能模擬評估報告(金門縣烏坵鄉)，LLWD2-SA-2015-04-V08。
10. 行政院原子能委員會，2010，低放射性廢棄物最終處置地質材料對核種遷移之參數研究，p8-10。
11. 行政院原子能委員會，2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
12. 行政院農委會，2013，糧食供需年報。
13. 行政院農業委員會網站 <http://kmweb.coa.gov.tw/>。
14. 林軍，2006，臺灣海峽西岸城市群地質環境特徵研究，中國地質，第33卷，第二期，p446。

-
15. 金門縣政府民政處網站
http://www.kinmen.gov.tw/Layout/sub_A/index.aspx?frame=3。
 16. 海峽西岸城市群協調發展規劃，2000，大氣環境研究專題。
 17. 財團法人工業技術研究院能源與資源研究所，2000a，小坵優先調查建議候選場址-場址調查報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RS-2100-R.1，共 275 頁，p5-25。
 18. 財團法人工業技術研究院能源與資源研究所，2001，小坵嶼地下水文調查工作報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100 - RG - 5510 - R.1，p3-24。
 19. 國民營養調查
<http://agrkb.angrin.tlri.gov.tw/modules/icontent/index.php?op=print&page=4727>。
 20. 國家網路醫院網站 - 飲水量
<http://hospital.kingnet.com.tw/essay/essay.html?pid=24138>
 21. 國家網路醫院網站 - 呼吸量
<http://hospital.kingnet.com.tw/service.php?mob=modload&name=diyonline&file=3-2>
 22. 國家災害防救科技中心，2011，台灣氣候變遷科學報告，p281。
 23. 國家網路醫院網站 <http://hospital.kingnet.com.tw/essay/>。
 24. 經濟部水利署水文年報電子書 <http://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/>。
 25. 福建省地質礦產局，1985，福建省區域地質誌，地質出版社，共 671 頁，p465。
 26. 劉以宣、邱學林、陸成斌、李趕先，1989，台灣海峽西部石油地質地球物理調查研究，海洋出版社，共 134 頁。

-
27. Ahlbom, K., Albino, B., Carlsson, L., Nilsson, G., Olsson, O., Stenberg L. and Timje, H., 1983, Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Gidea, p2.
 28. Barrier, E., Angelier, J., 1986, Active collision in eastern Taiwan: the Coastal Range, *Tectonophysics*, 125, p39-72.
 29. Chang, C.P., Angelier, J., Lu, C. Y., 2009, Polyphase deformation in a newly emerged accretionary prism: folding, faulting and rotation in the southern Taiwan mountain range, *Tectonophysics*, 466, p395-408.
 30. Cronstrand, P., 2007, Modelling the long-term stability of the engineering barriers of SFR with respect to climate changes, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., SKB R-07-51.
 31. Gaucher, E., Tournassat C., and Nowak, C., 2005, Modelling the geochemical evolution of the multi-barrier system of the silo of the SFR repository, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., SKB R-05-80.
 32. Gelhar L W, et al.,(1992) A critical review of data on field-scale Dispersion in aquifers., *Water resources research*, Vol.28 ,no.7, p1996.
 33. GEO-SLOPE, 2004, GeoStudio 軟體土壤特性資料庫。
 34. Golder Associates Ltd., 2014, Final Environmental Impact Statement (FEIS) – Meliadine Gold Project: Volume 7.0 Freshwater Environment, Prepared for Agnico Eagle Mines Ltd, p7.2-B-2~p7.2-B-3.
 35. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2004, Safety assessment methodologies for near surface disposal facilities, IAEA, Vienna.
 36. IAEA(International Atomic Energy Agency), 2010, Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments, Technical reports series No. 472, IAEA, Vienna.

-
37. JAEA, 2013, GoldSim による余裕深度処分を対象とした地下水シナリオ評価ツールの作成, JAEA-Data/Code 2013-015.
 38. Lin A.T., Yao B, Hsu S.K., Liu C.S., and Huang C.Y., 2009, Tectonic features of the incipient arc-continent collision zone of Taiwan: Implications for seismicity, *Tectonophysics*, 479, p28-42.
 39. Malavieille and Trullenque, 2009, Consequences of continental subduction on forearc basin and accretionary wedge deformation in SE Taiwan: Insights from analogue modeling, *Tectonophysics*, 466, 3-4, p377-394.
 40. McIntosh et al., 2005, Crustal-scale seismic profiles across Taiwan and the western Philippine sea, *Tectonophysics* 401, p23-54.
 41. Paces, T., Buzek, F., Blaha, V., Pacesova, E., 2010, Long term chemical behavior of groundwater in granite with low permeability. In Birkle P., Rorres-Alvarado I.S: *Water-Rock Interaction*, 13th International Symposium Proceedings, Guanajuato, Mexico, 16-20 August 2010, p411-414.
 42. Park, J. B., Jung, H. R., Lee, E. Y., Kim, C. L., Kim, G. Y., Kim, K. S., Koh, Y. K., Park, K. W., Cheong, J. H., Jeong, C. W., Choi, J. S., Kim, K.D., 2009, Wolsong Low- and Intermediate-level Radioactive Waste Disposal Center: Progress and Challenges, *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 4, p479-481.
 43. Parkhurst, D. L. and Appelo, C. A. J., 2013, Description of input and examples for PHREEQC version 3-A computer program for speciation batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, U.S. Geological Survey, p6.
 44. PHREEQC, 2015, Version 3.3.3-10424, U.S. Geological Survey.
 45. Schwartz, F. W. and Zhang, H., 2003, *Fundamentals of ground water*, p44, p76.

-
-
46. Suppe, J., 1984, Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan, Geol. Soc. China Mem., 6, p21-33.
 47. Teng, L.S., 1990, Late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan, Tectonophysics, 183, p57-76.
 48. US DOE, 2001, User's manual for RESRAD version 6, Environmental Assessment Division Argonne National Laboratory.
 49. US EPA, 1988, Limiting values of radionuclide intake and air concentration and dose conversion factors for inhalation, submersion, and ingestion, Federal Guidance Report No.11.
 50. US EPA, 1993, External exposure to radionuclides in air, water, and soil, Federal Guidance Report No.12.
 51. William M. Haynes, 2012, CRC handbook of chemistry and physics, CRC Press, 93rd Edition.

參、 「低放射性廢棄物資料庫系統精進案」

目錄

第一章 前言	1
1.1 計畫緣起	1
1.2 計畫目標	2
1.3 工作範圍	2
第二章 本案工作成果	3

圖目錄

圖 2-1	LRWDS 資料庫架構	3
圖 2-2	LRWDS 雲端資料庫	4
圖 2-3	LRWDS 檢核機制	5
圖 2-4	電廠與蘭嶼貯存場之固化桶貯位座標格式	5
圖 2-5	操作事件查詢-異動姓名	6

第一章 前言

1.1 計畫緣起

台電公司自民國 67 年開始利用核能發電，迄今共有核能一、二、三廠 6 部核能機組，目前所產生的低放射性廢棄物均暫存放在核能電廠廢棄物貯存庫與蘭嶼貯存場。國內之醫、農、工、學術及研究等機構亦產生一些低放射性廢棄物，目前均集中貯存於核能研究所。而這些低放射性廢棄物(以下簡稱低放廢棄物)衰變至天然背景輻射值所需的時間較短，只要進行妥善的掩埋處置，便可以藉著多重障壁系統達到與人類生活環境隔離的目的。

低放射性廢棄物最終處置設施(以下簡稱低放處置設施)是以多重障壁系統遲滯放射性核種之溶出與遷移，為其確保人類生活環境安全之主要策略。多重障壁系統主要由廢棄物固化體、盛裝容器、緩衝及回填材料、坑道等工程結構物組成人工障壁系統，以及坑道周圍岩層至地表人類生活圈間之天然障壁系統所組成。其主要功能目標為確保低放處置設施在封閉之後，藉由多重障壁系統來遲滯核種傳輸速度，利用核種衰變特性降低核種活度，藉以達成安全要求，讓周遭民眾及環境不會受到輻射影響。為確保低放處置設施可達成法規之安全管制要求，國際上均透過設施功能評估(或稱安全分析)來評估與證明其多重障壁系統設計可達到抑制核種傳輸之目標。

配合台電公司需陳報物管局之「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」，以及申請國內低放射性廢棄物最終處置設施之建造執照時，須向主管機關提出最終處置場之安全分析報告。其主要內容為針對處置功能進行評估，並針對放射性核種自處置設施外釋途徑進行分析，以評估其對環境與人類安全影響，故須進行相關評估工作及建立台電公司技術審查能力。緣此，台電公司遂有「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」之議。

1.2 計畫目標

「低放射性廢棄物資料庫系統精進案」（以下簡稱本計畫，英文簡寫為 LRWDS），匯整更詳細之低放廢棄物固化桶資料，如固化桶貯存位置、整桶計測資料等，建立資料檢核機制與雲端資料庫，提升資料正確性與即時性，並進一步精進電廠固化桶難測核種比例因數計算機制，增加分類計算結果的可靠度。

1.3 工作範圍

本計畫為期 2 年（自 103 年 12 月 17 日至 105 年 12 月 16 日止），主要精進工作如下：

- (一)建置雲端伺服器，以強化資料即時性；
- (二)建立資料檢核制度，以強化資料正確性；
- (三)擴增固化桶貯位資料、整桶計測資料、整桶計測與小樣品- γ 核種活度比對、資料履歷及資料庫系統操作事件紀錄等功能與資料欄位；
- (四)將蘭嶼低放固化桶資料匯入資料庫內；
- (五)精進電廠固化桶之難測核種比例因數計算機制。

第二章 本案工作成果

本次精進案所建置之 LRWDS 資料庫架構如圖 2-1 所示，另針對 1.3 節所述各項主要精進工作之執行成果，逐項於本章詳述。

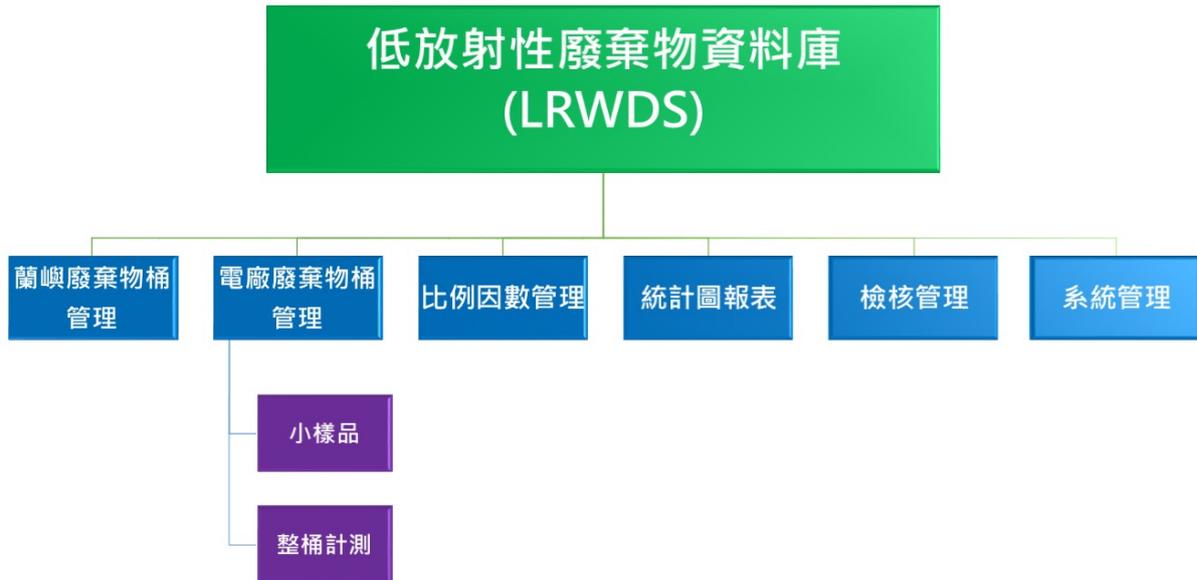


圖 2-1 LRWDS 資料庫架構

(一) 建置雲端伺服器，以強化資料即時性

於本公司總處台電大樓建置 LRWDS 資料庫，供本公司各相關單位登入雲端連線使用，未來資料異動以及資料庫系統功能更新，皆會即時同步反應在使用者端，不需使用實體裝置(如光碟、隨身碟等)傳輸檔案，確保資料即時性。



圖 2-2 LRWDS 雲端資料庫

(二)建立資料檢核制度，以強化資料正確性

LRWDS 內部資料區有兩類，分別為暫存區與正式資料區。任何異動新增的資料都會先寫入暫存區內，待資料操作人員確認資料正確性後，將檢核文件掃描檔上傳至 LRWDS 後，由核後端處進行檢核，若確認檢核文件具備該筆異動資料之原始資料證明與用印後之檢核表，則通過檢核，該筆異動資料正式寫入正式資料區，供其他使用者查詢使用。

因檢核文件可用以確保資料正確性，未來也規劃將檢核文件納為最終處置交運文件的一部分。

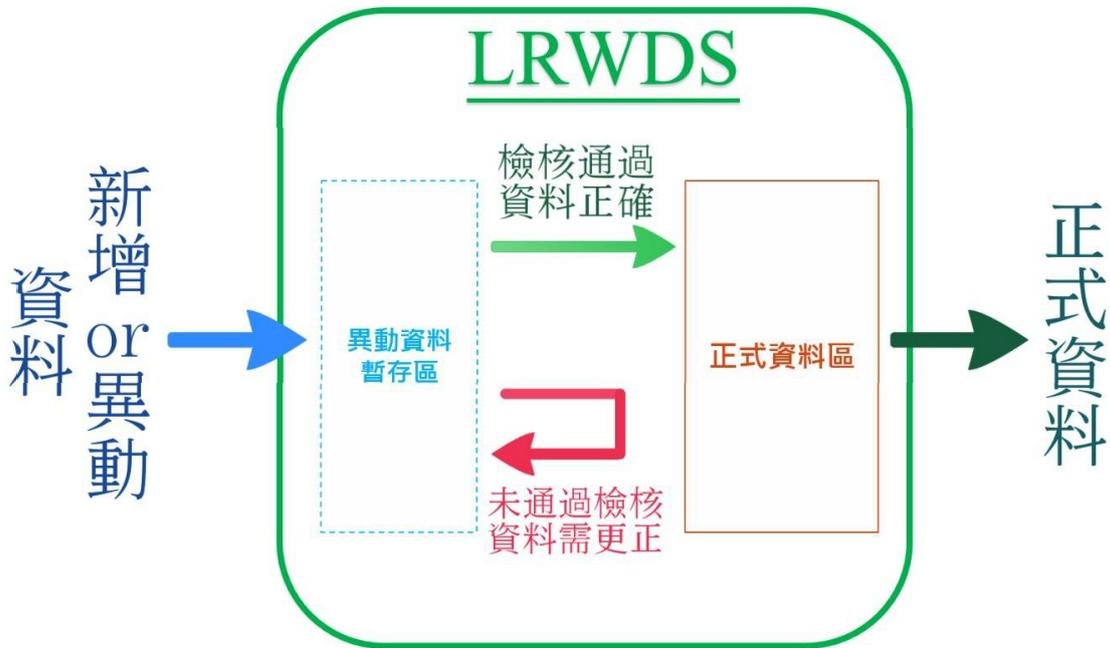


圖 2-3 LRWDS 檢核機制

(三)擴充資料庫欄位與功能

本項精進工作分為四個子項，分述如下：

- (1)新增貯位欄位，可將電廠與蘭嶼固化桶之貯位資料匯入，貯位資料格式如圖 2-4 所示

電廠固化廢棄物桶							
貯位資料格式							
電廠	貯庫	樓	區	行	列	層	棧板孔位
貯位資料長度							
1	1	2	1	2	2	1	1 (共11碼)
蘭嶼固化廢棄物桶							
貯位資料格式					範例：		
壕溝	面向	行列	行列	層	005-1-0417-0445-4		
貯位資料長度					(共18碼，含-符號)		
3	2	4	4	1			

圖 2-4 電廠與蘭嶼貯存場之固化桶貯位座標格式

- (2)將蘭嶼貯存場 100,277 桶固化桶資料匯入 LRWDS 中，以利查詢使用；
- (3)匯入電廠整桶計測資料，並新增整桶計測資料與小樣品資料之 γ 核種活度比對功能；
- (4)新增資料履歷及系統操作事件查詢功能。履歷記錄了 LRWDS 中每筆低放廢棄物資料(如桶重、核種活度、貯位等)每一次的新增/異動內容，而操作事件查詢則是記錄系統功能(如參數設定、樣品資訊等)。因 LRWDS 資料庫採實名制登入，故履歷與操作事件皆會將每次異動的執行者記錄下來，以利追蹤，如圖 2-5 紅框所示。

台灣電力公司低放射性廢棄物資訊管理系統(LRWDS)

首頁 > 檢核管理 > 操作事件查詢

查詢確定

資料表名稱	操作事件	桶號/樣品編號	異動姓名	異動時間	檢核文件	
樣品資訊	新增	107Q202	核二廠測試帳號	2017/01/20 10:51:00	20170120131722.pdf	明細
樣品資訊	新增	107T978	核一廠測試帳號	2017/01/20 09:00:00	20170120093611.pdf	明細
整桶計測	新增	10075687	核一廠測試帳號	2017/01/20 08:57:00	20170120092544.pdf	明細
小樣品資料	新增	10075289	核一廠測試帳號	2017/01/20 08:55:00	20170120092448.pdf	明細
小樣品資料	新增	10078564	核一廠測試帳號	2017/01/17 11:06:00	20170117111942.pdf	明細
小樣品資料	新增	10079999	後端處檢核員-王柏宇	2017/01/12 15:00:00	20170112150123.pdf	明細
樣品資訊	新增	103T202	核二廠-張益豪	2017/01/12 10:43:00	20170112151552.pdf	明細
樣品資訊	新增	103T205	核二廠-張益豪	2017/01/12 10:43:00	20170112151446.pdf	明細
樣品資訊	新增	103T206	核二廠-張益豪	2017/01/12 10:43:00	20170112151740.pdf	明細
樣品資訊	新增	103T203	核二廠-張益豪	2017/01/12 10:43:00	20170112151647.pdf	明細
比例因數	新增	88T109	後端處檢核員-莊明德課長	2016/12/16 15:45:00		明細

圖 2-5 操作事件查詢-異動姓名

(四)精進電廠固化桶之難測核種比例因數計算機制

為解決電廠低放固化桶難測核種活度的計算值與樣品分析值差異程度過高的問題，針對電廠難測核種比例因數計算機制進行研究精進。本次精進作業所完成的新版電廠難測核種比例因數計算機制，修正了舊版比例因數計算機制中會強迫弭平計

算值與人因影響的問題，並將比例因數應用區間自每年建立一組修訂為每次取樣建立一組，進一步提升分類計算結果的可靠度。本項精進作業，主要係依據各電廠運轉逾 30 年期間所累積的難測核種樣品分析結果來修訂比例因數計算機制，而蘭嶼貯存場仍有超過 40% 的比例因數係套用而來，缺少實際取樣分析結果，故並不適用新版比例因數計算機制。

LRWDS 資料庫的主要功能業已建置完成，現正進行細部的系統調整與效能優化工作，待驗收完成後近期便會正式啟用。