

安全審查報告

送審單位	台灣電力公司
報告名稱	「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核一廠部分之成果報告

核能安全委員會核安管制組

中華民國 114 年 6 月

摘 要

2011 年日本東北地震引發海嘯造成福島電廠事故，有鑑於地質事件所造成之影響與地質條件之更新，以及國際核能管制規範對核能電廠詳實地質資料之要求，核能安全委員會(組改前為行政院原子能委員會，以下簡稱本會)成立福島管制案，要求台電公司需調查與評估核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之海、陸域火山活動的可能性及其對核能電廠之潛在威脅，藉以強化核能電廠運作安全性與深度防禦。

美國核管會(U.S. Nuclear Regulatory Commission, USNRC)管制指引(Regulatory Guide, RG 1.208, 2007)規定廠址之地震危害分析方法，並就廠址周圍不同距離之調查資料精度提出定義說明。參考此管制指引，本案執行核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之火山調查與評估，並蒐集核能電廠周圍半徑 320 公里範圍內既有火山之相關資料文獻。

台電公司針對可能影響核能一、二、三廠之陸域火山與海域火山島以及台灣南部地區泥火山進行地質調查、分析及評估，並建置模型模擬各種條件對核能電廠之可能危害及其程度，進而建立核能電廠火山危害度曲線或假想最大可能危害情節，作為修訂及改進各核能電廠對火山危害之防範、保護與應變之依據，以達成福島管制案之要求。

台電公司依本會福島管制案要求提交「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核一廠部分之成果報告，經本會邀請專家學者組成專案審查小組進行審查後確認：大屯火山群調查成果顯示，各項數值仍位在各監測項目背景正常範圍內；基隆火山群調查成果顯示，其再活動之機率甚低，其對核能電廠應無致災之虞；台灣北部三島(彭佳嶼、棉花嶼及花瓶嶼)調查成果顯示，已不具有火山活動潛能。但保守假設未來若火山活動，僅需考量火山灰漂移模式對核能電廠之影響；基隆嶼調查成果顯示，對核能電廠之衝擊有限；龜山島調查成果顯示，除火山灰不受地形限制，傳播媒介為風場外，其餘火山危害主要沿

著地形流動，直接流入海中，對電廠影響甚微，因此假設未來龜山島火山活動，應僅需考量火山灰漂散模式對核能電廠之影響。依上述調查成果進行危害情境模擬結果，針對與核能安全相關結構物可能遭遇火山灰之衝擊影響，進行結構安全評估，其既有構件強度皆符合強度之需求。

總結台電公司「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核一廠部分之成果報告的審查結果，審查小組認為可以接受。

目 錄

第一章 前言	1
第二章 北部陸域火山調查與評估	3
第三章 北部海域火山島調查與評估	8
第四章 火山危害模擬、機率式危害分析與核一廠危害評估	12
第五章 審查總結	29
參考文獻	32

第一章 前言

一、本案緣起

2011 年日本東北地震引發海嘯造成福島電廠事故，有鑑於地質事件所造成之影響與地質條件之更新，以及國際核能管制規範對核能電廠詳實地質資料之要求，核能安全委員會(組改前為行政院原子能委員會，以下簡稱本會)成立福島管制案，要求台電公司需調查與評估核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之海、陸域火山活動的可能性及其可能對核能電廠之潛在威脅，藉以強化核能電廠運作安全性與深度防禦。

美國核管會(U.S. Nuclear Regulatory Commission, USNRC)管制指引(Regulatory Guide, RG 1.208, 2007)[1]規定廠址之地震危害分析方法，並就廠址周圍不同距離之調查資料精度提出定義說明。參考此管制指引，本案執行核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之火山調查與評估，並蒐集核能電廠周圍半徑 320 公里範圍內既有火山之相關資料文獻。

台電公司針對可能影響核能一、二、三廠之陸域火山與海域火山島以及台灣南部地區泥火山進行地質調查、分析及評估，並建置模型模擬各種條件對核能電廠之可能危害及其程度，進而建立核能電廠火山危害度曲線或假想最大可能危害情節，作為修訂及改進各核能電廠對火山危害之防範、保護與應變之依據，以達成福島管制案之要求。

「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作-核一廠部分之成果報告(以下簡稱核一廠成果報告)」，係彙整核一廠周圍之陸域火山及海域火山島之各項調查成果，包括北部陸域火山(大屯火山群及基隆火山群)及北部海域火山島(彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼及龜山島)，釐清火山作用之地質過程，分析核一廠可能遭遇之火山活動種類與影響範圍，推演火山活動時相對應之情境，並擬定可能產生該情境之火山來源位置，亦彙整火山模擬所需的各項參數，最後進行各項火山危害模擬危害分析及研擬電廠因應對策。

二、審查過程

台電公司提出「核一廠成果報告」，函請經濟部中央地質調查所協助審查此成果報告，並依該所審查意見進行修訂後，台電公司將修訂版成果報告提交至本會。本會邀請國內相關領域專家學者及本會同仁組成專案審查小組，進行專業實質審查作業。台電公司完成審查意見答覆並提出定稿版報告，經本會審查小組審查後，確認已無後續意見。

經完成上述審查過程後，本會提出台電公司「核一廠部分之成果報告」的安全審查報告。本安全審查報告分為五章，第一章為前言，第二章為北部陸域火山調查與評估，第三章為北部海域火山島調查與評估，第四章為火山危害模擬、機率式危害分析與核一廠危害評估，最後第五章說明審查總結。

第二章 北部陸域火山調查與評估

一、概述

本章說明台電公司核一廠成果報告第四章北部陸域火山調查與評估之審查內容。依據火山地形特徵判釋，大屯火山群為臺灣北部火山岩區中，分布最廣、噴發量最大的火山，係由一群安山岩和安山岩質火山碎屑岩的火山錐體所組成，包括五個火山亞群：竹子山亞群、大屯山亞群、七星山亞群、磺嘴山亞群和丁火朽山亞群，具明顯火山地形之火山錐體計 29 座，其中具火山口形貌者計 15 座。

另依野外露頭及鑽探岩心岩象鑑定，主要出露之火成岩包括安山岩及火山碎屑岩（含再積性火山碎屑岩）。根據野外岩石組構特徵、地質鑽探成果、配合地形（熔岩流階地）判釋，並彙整前人研究文獻，依岩層疊置及截切原理研判大屯火山群各亞群之火山產物之空間分布。

全岩化學分析結果，顯示大屯火山群之玄武岩質安山岩及少部分安山岩，屬次鹼性岩漿特性，部分含高鋁玄武岩，係結晶分化作用所致。而斜長石因含水狀況下受到抑制，說明非原始岩漿造成，顯示岩漿源區曾受到流體為主的隱沒組分影響。另各亞群之火成岩微量元素含量一致性高，代表可能為同一岩漿來源。而由鋁-鈹同位素與二氧化矽無相關性之特性，代表大部分岩樣之岩漿源區並無顯著地殼混染之特徵。

空中磁測三維逆推成果，顯示與大屯火山群噴發活動有關的高磁火山岩體，與光學雷達（Light Detection And Ranging, LiDAR）地形判釋及地表調查的火山體位置相符，火山岩體僅呈現於表層約 1 至 2 公里厚，排列走向大致與地下深部 2 條脈狀火成岩體一致，深度可達 4 公里，且其下未見明顯低磁區，代表此深度火成岩體已冷卻而低於居里溫度。

綜合各定年方法所得之火成岩年代顯示，各火山亞群之活動年代，以丁火朽山亞群之定年紀錄最老，約 2.6 百萬年前即有火山活動，近代

活動時間則可年輕於 0.35 百萬年前；大屯山亞群於 0.75 百萬年前開始火山活動，於 0.4-0.2 百萬年前左右活動頻繁，近代活動時間則可年輕於 0.11 百萬年前；竹子山亞群於 0.7 百萬年前左右火山活動頻繁，近代活動時間則約集中於 0.3 百萬年前；磺嘴山亞群於 0.7 百萬年前左右火山活動頻繁，近代活動時間則至少可分為 0.3 百萬年及 0.15 百萬年左右等兩段年代；七星山亞群則約於 2.5 百萬年前即有零星的火山活動，於 0.7~0.1 百萬年間持續火山活動。

綜整各監測成果，顯示大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，如地形變動較大、微震頻繁、高地溫梯度、氬同位素值高等。整體大屯火山群各監測數值參考前人資料與計畫成果，各數值仍位在各監測項目背景正常範圍內，顯示本地區仍相對穩定。

基隆火山群主要由包括基隆山、牡丹山、本山、草山及雞母嶺等五個分散的火山岩體所構成。基隆山、牡丹山及本山等火山體為不規則產狀之侵入岩體(岩鑄體)，而草山及雞母嶺為噴出岩體，地形判釋並未發現火山作用形成之火山口及火山岩流等地形特徵，僅基隆山、草山具有錐狀山體之特徵，未見熔岩流疊置，惟空磁探測結果可見這些火山體的磁力特徵。

全岩分析成果顯示，基隆火山群主要為玄武岩質安山岩，少部分為安山岩。岩漿來源屬於相對中鉀之鈣-鹼質岩漿，僅部分屬於相對高鉀之鈣-鹼質岩漿，由微量元素分析顯示具有隱沒帶岩漿特性，且微量元素含量呈一致性，代表可能為同一岩漿來源，且鋁-鉍同位素與二氧化矽則無相關性，代表大部分岩樣之岩漿源區並無顯著地殼混染之特徵。

岩象分析成果顯示，基隆火山群安山岩以含石英普通角閃石安山岩及含石英普通輝石角閃石安山岩為主，由石英顆粒之晶形推測其石英顆粒應捕獲於圍岩，非源自於岩漿，因此將以往文獻稱之石英安山岩標示為「石英」安山岩。

基隆火山群之鋯石鈾鉛定年法分析結果，其火成岩形成年代為 $1.095 \pm 0.049 \sim 0.987 \pm 0.047$ Ma，表示更新世至今並無新的火山活動，又不具後火山作用(溫泉、噴氣孔現象)，且岩漿活動後即已冷卻，無岩漿庫低磁的特徵，監測結果亦顯示，無火山型地震，井溫無異常高溫現象，氦同位素與一般空氣中所含之氦同位素比例相近，代表其再活動之機率甚低，對核能電廠應無火山危害之虞。

二、審查情形

台電公司核一廠成果報告的第四章北部陸域火山調查與評估之內容，主要是描述北部陸域火山的地形地質調查成果、試驗分析成果、監測分析成果與成果綜合評估。針對本章內容，審查小組審查情形彙整如下：

審查委員提出審查意見：部分野外調查照片所附資訊不足，請台電公司補上如座標、方位、地點等資訊。報告書中海域火山的部分資訊呈現較佳，如基隆嶼及龜山島，皆在底圖上標示各照片的露頭位置，照片的說明也較完整。陸域火山則明顯較缺乏，亦請台電公司改善。

台電公司答覆說明：已將陸域野外調查露頭照片資訊參照海域火山島呈現方式，於露頭照片說明中補充調查位置參照圖及標註露頭流水號，以方便閱讀。

審查委員提出審查意見：大屯火山群之七星山 TTVG-BH12 孔號採樣火成岩定年分析顯示無平坦年代，請台電公司補充說明。

台電公司答覆說明：平坦年代係指火成岩樣本進行氫-氫定年時，將樣本礦物做階段性加溫，藉以得到不同階段之年代，當各階段所得年代呈現一致性，表示該樣本年代具有代表性，若各階段所測得年代分布零散，則表示其無統計上之意義。

審查委員提出審查意見：請說明中央研究院之大屯火山群最新調查研究成果(如岩漿庫構造、岩漿庫深度、可能的火山噴發點…等)，與本

案調查成果之差異性，並藉以說明火山噴發規模的假設合理性。

台電公司答覆說明：有關中央研究院之大屯火山群調查研究成果，自 2016 年起中央研究院在北部地區逐步設置超高密度的寬頻觀測網——臺灣陣列，約有 140 個測站，安裝有寬頻地震儀並即時蒐集傳送地震資料，並由中央研究院地球科學研究所與大屯火山觀測站共同執行調查研究計畫。

藉由中央研究院臺灣陣列取得遠震震波資料及中央氣象署與中研院原有的地震觀測網獲取之近震震波資料，可利用震波層析成像描繪出大屯火山群地底下模樣。中央研究院並將該研究成果於 2021 年 3 月刊登於國際頂尖期刊《科學報導》(Scientific Reports)，論文名稱為“Unveiling Tatun volcanic plumbing structure induced by post collisional extension of Taiwan mountain belts.” (Huang et al.,2021)。依中研院研判大屯火山群可能噴發地點以大油坑的機率最高，一旦岩漿流出，依地形、地勢分析之結果，對位於金山平原西北側之核一廠或東南側之核二廠，均無影響。

本案調查計畫運用空中磁測的模型顯示，大屯火山地表下 13 公里都有磁力紀錄，未見圈狀高磁(火成岩體)伴生對應低磁區(岩漿庫)的現象，無明顯岩漿庫的特徵，比較可能屬於低溫岩層有高溫流體的地熱系統。

本案調查計畫監測結果顯示，目前大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，並已利用機率式危害分析及定值法模擬探討各火山危害(火山灰、火山泥流、熔岩流等)對核能電廠之影響，及提出相關因應措施。

審查委員提出審查意見：不同噴發類型形成的火山灰具有不同密度，如浮石火山灰密度在 $700\sim1200\text{ kg/m}^3$ ，玻璃質碎片火山灰的密度 $2350\sim2450\text{ kg/m}^3$ ，晶體火山灰密度 $2700\sim3300\text{ kg/m}^3$ ，岩屑火山灰密度

在 2600~3200 kg/m³。由於火山灰沉降載重與火山灰密度有關，請台電公司說明本案模擬引用火山灰密度數據來源之適切性。

台電公司答覆說明：經大屯火山群地質調查結果尚未發現火山灰露頭，因此相關火山灰模擬參數主要參考同樣位於環太平洋火山地震帶之日本。火山灰密度係依據日本霧島新燃岳 2001 年噴發數值模擬研究成果，利用各種火山灰參數模擬 2001 年實際火山噴發時煙柱高與風場的關聯性；並參考日本島根電廠 2 號機火山影響評估報告及日本柏崎刈羽核電廠 6 號及 7 號機火山影響評估，火山灰模擬假設密度為 700kg/m³~1500 kg/m³。另外，火山灰之擴散受火山噴發煙流與大氣風場相互作用影響，較重的粒子將下沉降到火山口四周地面上，質量較輕的粒子則向上飛揚，並隨著大氣流動往四周擴散，因此考量上述文獻與原則，本案所使用之火山灰密度應符合學理與實際案例。

三、審查小結

綜合審查小組對本章之審查，確認台電公司核能電廠周圍半徑 160 公里範圍距離內之火山調查與評估，及蒐集核能電廠周圍半徑 320 公里範圍內之既有火山相關資料文獻，綜整各調查成果顯示大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，但各觀測數值仍在各監測項目正常背景範圍內，顯示仍相對穩定；而基隆火山群沒有後火山作用(溫泉、噴氣孔現象)，且岩漿活動後即已冷卻，無岩漿庫低磁的特徵，代表其再活動之機率甚低，研判其對核能電廠無火山危害之虞。

綜合審查小組對本章審查結果，北部陸域火山調查成果及評估結果，經審查可以接受。

第三章 北部海域火山島調查與評估

一、概述

本章說明台電公司核一廠成果報告第五章北部海域火山島調查與評估之審查內容。海域火山島調查範圍係以各核能電廠外海已露出水面並有文獻記載之火山島嶼為主，包括北部外海之彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼(北方三島)、基隆嶼及龜山島。調查目標為瞭解各火山體地形形貌、火成岩體之分布範圍、歷史噴發層序、岩體深度分布、火山危害類型及噴發活動潛能等特性，以評估可能對核能電廠造成之影響。

海域火山島調查內容依工作項目性質可分為地形地質調查、地球物理調查、試驗分析及地表變形監測分析。分別說明如后：

(1)地形地質調查工項內容包含 LiDAR 地形測繪與判釋，單音束、多音束水深探查與分析產製火山島島上地形與周圍海域海底地形以進行火山形貌判釋，執行地表地質查核以了解各火成岩體分布範圍，深潛調查與攝影及地質鑽探以了解岩性分類、地層層序等。

(2)地球物理調查包含大地電磁探測及空中磁力探測資料分析，大地電磁探測於各火山島島上施測 1 點(除花瓶嶼無法登島外)，空中磁力探測於北方三島進行大面積空載拖鳥施測，基隆嶼及龜山島係整合地調所既有資料納入處理分析，以了解火成岩體於地下大範圍之分布，岩體隨深度之變化及其是否具有熱液存在等。

(3)試驗分析主要利用地質鑽探提取之岩心選取適當樣本進行相關分析，包括碳十四定年分析、火成岩定年分析、全岩分析、岩象分析及岩石一般物理性質試驗。

(4)地表變形監測分析之監測時間自 105 年 11 月至 108 年 8 月，共 34 個月，以全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)資料來求得各測站間基線長度的變化，將各自方向的線性應變轉換成區域性的面積應變與剪斜應變。

二、審查情形

台電公司核一廠成果報告的第五章北部海域火山島調查與評估之內容，主要是描述北部海域火山島的地形地質調查成果、地球物理調查成果、試驗分析成果、地表變形監測分析成果與成果綜合評估。針對本章內容，審查小組審查情形彙整如下：

審查委員提出審查意見：報告提到因火山震動或火山口塌陷所造成的間接情境如地震及海嘯不在本計畫中進行，是否有其他的計畫會進行相關工作。

台電公司答覆說明：核管案 JLD-10117 要求釐清海、陸域火山活動之可能性及評估火山活動所致之直接危害(如熔岩流、火山彈、火山灰、火山泥流等)可能對核能電廠之潛在威脅；有關評估因火山震動或火山口塌陷所造成的間接情境如海嘯，目前依本案調查評估結果，海域火山島之北方三島(彭佳嶼、棉花嶼及花瓶嶼)火山活動以寧靜式的火山熔岩溢流為主；空磁結果顯示，三島地底下岩漿庫已冷卻固化形成高磁岩體。

另依綜整之定年成果，其近期噴發年代應為萬年以上，以國際火山學會所定義之活火山條件，皆未見北方三島具活火山之跡象，應已不具有火山活動潛能。而龜山島依定年結果認為可能於 7 千年前噴發過，屬於全新世火山，空磁探測資料證實龜山島深處具岩漿庫之存在，符合國際火山學會所定義之活火山條件，其火山活動潛能相對高。因此若要考量海域火山島可能引發海嘯，其來源機制可假設龜山島火山噴發震動，造成海島邊坡崩落滑入海中，引發海嘯，目前已著手分析龜山島邊坡可能崩塌量體，並由另一核管案 JLD-10102 執行後續海嘯模擬分析評估。

審查委員提出審查意見：核一廠報告之機率式火山危害度分析 (Probabilistic Volcanic Hazard Analysis, PVHA) 僅模擬大屯火山群，而北方三島及龜山島等未整合納入分析，請台電公司說明此分析結果之合理性及適切性。如其他可能危害類型亦有類似情形，請參考上述意見提出

澄清說明。

台電公司答覆說明：本案依據國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA) SSG-21 [2]核設施廠址火山危害評估流程，執行火山來源篩選及評估可能影響電廠之火山危害，由於北方三島經本案調查評估後，非屬於活火山，且未來應不具有火山活動潛能，因此篩選為非火山來源。龜山島符合活火山條件，本案調查評估發現未來具有火山活動潛能，主要火山危害以火山灰為主，惟因其位於核一廠東南方約 60 公里海域，火山灰傳播對電廠影響甚小，因此以定值法保守評估龜山島可能之火山活動噴發之火山灰累積厚度。

審查委員提出審查意見：請說明海域火山島調查項目之地形判釋未單獨陳列之原由。

台電公司答覆說明：陸域火山調查之工作項目包含「地形判釋」係因部分數值地形資料為申請既有資料後進行判釋，而海域火山島調查未單獨將「地形判釋」列為工項，係因該地形數值資料為本案自行測量產製，因此包含於下列地形測量工項內，如「LiDAR 地形測繪與判釋」、「單音束水深探查與分析」及「多音束水深探查與分析」。地形判釋成果內容可詳各火山島章節之「地形地質調查成果」。

三、審查小結

綜合審查小組對本章之審查，確認台電公司調查與評估北部海域火山島，北方三島依定年成果，其近期噴發年代應為萬年以上，以國際火山學會所定義之活火山條件，北方三島皆未有活火山跡象，應已不具有火山活動潛能。基隆嶼空中磁測顯示斷層為主要岩漿源流體的通道，而斷層造成之裂隙出口多處於海底，噴出之灰、氣等皆有海水緩衝，對核電廠之衝擊有限。龜山島依定年結果認為可能於 7 千年前噴發過，若龜山島火山活動，僅有可利用風場傳播之火山灰，可能對核能電廠造成影響，但因距離核一廠 60 公里，評估火山灰累積厚度對電廠影響甚小，

其餘火山危害如熔岩流、火山碎屑流、火山泥流因直接流入海中，對電廠應無影響。

綜合審查小組對本章審查結果，北部海域火山島調查成果及評估結果，經審查可以接受。

第四章 火山危害模擬、機率式危害分析與核一廠危害評估

一、概述

本章說明台電公司核一廠成果報告第六章火山危害模擬、機率式危害分析與核一廠危害評估及因應對策之審查內容。

火山噴發作用與產物所造成的熔岩流、火山泥流及火山灰等，為危害與衝擊的來源，因此火山危害的評估即需要綜合各種地質資料以推演每一類型的火山危害模式，進而評估潛在性危害。本章係整合各項地質調查成果，以釐清火山作用之地質過程，分析核一廠可能遭遇之火山活動種類與影響範圍，推演火山活動時相對應之情境，並擬定可能產生該情境之火山來源位置，亦彙整火山模擬所需的各項參數，最後進行各項火山危害傳播模擬、機率式危害分析及研擬核一廠因應對策。

二、審查情形

台電公司核一廠成果報告的第六章火山危害模擬、機率式危害分析與核一廠危害評估及因應對策之內容，主要是描述初始火山源生成與火山情境評析、火山源參數產製、機率式火山危害度分析、定值法火山危害模擬、核一廠危害評估及因應對策。針對本章內容，審查小組審查情形彙整如下：

審查委員提出審查意見：請更詳細描述如何計算火山泥流的量體？報告中雖有提到計算厚度是依據地質鑽探分層厚度及地層剖面所評估，這些鑽井得到的點資訊在空間上會有所不同，差異量有多大？是採用平均值厚度嗎？還是利用其它方法。碎屑岩厚度面積是由計畫判釋的火山泥流料源區，如何判釋？可能誤差有多大？在定值法火山危害模擬只考慮平均坡度 25 以上之岩體是否適切？該經驗是源於國內土石流，不過由於材料特性不一樣，是否有相關國外案例經驗可供參考。

台電公司答覆說明：火山泥流之量體係依據泥流料源區面積與厚度

相乘所得，其中厚度係由鑽探岩心資料分層後所得，於不同地區有所不同，以火山來源竹子山為例，其料源區面積為 341,813 平方公尺，厚度範圍為 4 至 50 公尺，因此火山泥流之量體上下限值為 1,367,252 ~17,090,650m³。

另火山泥流係為火山碎屑材料往下游或低處流動之類似土石流行為，主要材料為火山碎屑和暴雨之混合流體，因此考慮其量體時係依土石流評估經驗為之。料源區面積判釋係利用解析度 1m 之數值高程模型資料進行坡度分析，參考環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則及土石流潛勢溪流劃設作業手冊，針對不同坡度可能造成的山崩地滑或土石流災害定義，說明如下：

(1)參考環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則，依據 10m 網格之數值地形製作坡度圖，坡度分成四級：

- (a)平均坡度 < 25 度(低潛勢岩屑崩滑)；
- (b) 25 度 ≤ 平均坡度 < 40 度(中潛勢岩屑崩滑)；
- (c) 40 度 ≤ 平均坡度 < 55 度(高潛勢岩屑崩滑)；
- (d) 均坡度 ≥ 55 度(落石)。

(2)參考土石流潛勢溪流劃設作業手冊，土石流潛勢溪流發生潛勢因子配分表之坡度因子分為三類：

- (a) 上游區坡度 > 50 度，分數 25；
- (b) 上游區坡度 30~50 度，分數 15；
- (c) 上游區坡度 < 30 度，分數 5。

故本計畫料源區面積之坡度篩選綜合上述以 25 度以上為界線並配合地形進行圈繪。

審查委員再提出後續審查意見：指出火山泥流和土石流行為不完全相同，可能含有氣體，只考慮平均坡度 25 以上之岩體可能不足以反應

實際可能產生的危害。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：火山泥流係為火山碎屑和水體混合之土石流，且其易發生在坡度高火山地區，另 IAEA 技術文件提及一般常發生之火山泥流量體體積為 $10^3 \sim 10^5$ 立方公尺，更大體積規模之火山泥流事件極少，而本案考量坡度 25 度以上之火山泥流量體，其體積大於 1×10^5 立方公尺，應足以或趨於保守考量反應可能造成之火山泥流情境。

審查委員提出審查意見：請說明大屯火山及龜山島岩漿應評估其容量及其活動所誘發地震之最大潛能規模/震度及對核一廠之影響。

台電公司答覆說明：本案目標為釐清陸域及海域火山島之火山活動潛能及評估火山活動所致之直接危害(如熔岩流、火山彈、火山灰、火山泥流等)可能對核能電廠之潛在威脅。另有關火山活動(含大屯火山及龜山島)所可能誘發地震已於美國「地震危害分析資深專家委員會(Senior Seismic Hazard Analysis Committee, SSHAC)」所訂定第 3 層級(以下簡稱 SSHAC Level 3)之系統、結構及組件(System, structure, and component, SSC)參數中納入評估，依 SSHAC Level 3 之地震危害度分析輸入文件摘要報告指出，火山活動於核一廠地震危害度之貢獻約占 5.5%~7.6%。

審查委員提出審查意見：火山灰堆積對核電廠造成的影響，除了結構上的檢核，亦須考量對重要設備功能上(甚至於取水結構)的影響，並借鏡日本 JEAG 4625 [3]最新版的相關因應對策。

台電公司答覆說明：參考 JEAG 4625 篩檢火山灰可能產生影響的重要設備為緊要海水泵、緊要海水過濾器、冷凝水儲存槽、緊急柴油發電機(EDG)燃油儲存槽、空調通風設備(反應器廠房空調通風系統和主控制室通風系統)、廠房排氣煙囪、主煙囪、緊急柴油發電機、移動式救援設備及其貯存場所。已說明火山灰對緊要海水系統、冷凝水儲存槽、

EDG 燃油儲存槽、空調通風設備、排氣煙囪和主煙囪之影響，其他重要設備說明如下：

(1)緊急柴油發電機：其進氣口開口向下，上方有圓弧狀遮蔽物，降低火山灰吸入的機會，進氣口裝設有過濾網，濾網堵塞可以適時輪流停機清理或更換(約 2 小時可清理或更換完成)，程序書 D1454 為緊急柴油發電機之因應對策；

(2)循環水系統：假設火山灰落入進水口，落下的火山灰的粒度小於網目尺寸，不會造成循環水系統阻塞。由於火山灰易破碎，硬度低，因此火山灰造成的磨損對設備影響不大。由於化學腐蝕為緩慢的效應，一般可藉由定期內部檢查和日常維護管理，並根據實際之損害情況進行維修，故其影響不大；

(3) 移動式救援設備：核一廠已進入除役過渡階段，用過核子燃料衰變熱已相當低，有充裕之時間應變；消防車及油罐車於大屯火山或鄰近海域有火山噴發的徵兆或警訊時，先駛至建築物內避免火山灰影響，待火山事件過後再駛出。事件期間若需使用則須注意水箱及油箱上方火山灰堆積情況視需要清理。貨櫃型氣冷式柴油發電機於火山噴發時暫不運轉，火山灰不影響其結構安全；若需運轉時其進氣口裝有濾網，可先於濾網前再加裝不織布過濾網，減少火山灰進入，不織布過濾網堵塞可快速更換。移動式救援設備貯存場所在火山灰落下時不影響其結構安全，後續視火山灰堆積情形再清理。

審查委員再提出後續審查意見：請補充說明火山灰對戶外開關場的影響。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：69kV 及 345kV 開關場為屋外型設計，火山灰可能會累積在輸電設備及礙子上，造成絕緣礙子絕緣變差致喪失廠外電源。喪失外電期間，廠內電源由緊急柴油發電機供電。

審查委員提出審查意見：(1) IAEA 之特別安全導則 SSG-21 (Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, 2012)第 6 章節「Site Specific Volcanic Hazard Assessment」，針對火山灰(Tephra Fallout)之危害評估，建議應考量火山灰二次效應(Secondary effects)或間接危害，例如火山灰污染及化學腐蝕(chemical corrosion)，請增加火山灰對系統功能影響之對策。核一廠報告於第 6.6.4 章節「因應對策」，針對火山灰之間接危害，提出 13 項因應建議，請補充說明核一廠目前研辦或採行狀況。(2)承上項，其他可能的危害類型，請參考上項意見提出澄清說明。

台電公司答覆說明：

(1) IAEA SSG-21 之火山灰二次效應(Secondary effects)提及，火山灰顆粒表面可能吸附之化學離子 (如 SO_4^{2-} , F^- , Cl^-)，造成化學腐蝕及污染，僅原則性說明對電廠之影響，未提及實際處置方法與對策。另參考日本 JEAG-4625 [3]之「關於火山灰的腐蝕作用(火山灰による腐食の影響について)」，說明以櫻島火山之火山灰為案例，在不同溫度、濕度及持續時間等條件下，火山灰在不同材質表面上所造成的腐蝕情況，顯示在經過 216 小時之後，受到腐蝕的金屬表面厚度僅約十幾微米；因核能電廠設備與管線系統於設計時皆已考量自然腐蝕狀況(毫米等級)，認為櫻島火山灰所造成的金屬表面腐蝕作用不影響整體結構強度，故可篩濾火山灰造成之二次效應危害。

化學腐蝕為緩慢的效應，一般可藉由定期內部檢查和日常維護管理，並根據實際之損害情況進行維修，故其影響均不大。

核一廠安全有關設備皆設置在廠房室內，受火山灰影響較小。火山灰污染主要為發電廠周圍的空氣污染及水污染，由於控制室通風系統採閉路循環，因此對控制室人員操作沒有影響；電廠周圍的空氣污染則採減少戶外作業，人員盡可能待於室內，避免吸入過多懸浮顆粒，並將門窗及相關對外通風系統關閉，戶外工作人員則配戴消防面罩或口罩及戴

護目鏡，以防止吸入造成喉嚨和眼睛不適。

有關水污染，因電廠安全有關注水水源為抑壓池，當火山灰來襲時無需立即補充水，因此水污染不影響電廠安全功能。有關火山灰之間接危害 13 項因應建議，已列於 D1454 程序書。

(2)依成果報告顯示核一廠之其他可能的危害類型為火山泥流，因評估結果並不影響廠區，可能造成生水泵取水渠溝堵塞。若取水渠溝堵塞，則待事件結束後，對乾華溪河道進行清淤，移除大型石塊，以恢復河道正常水量供給；生水泵室取水渠溝則將依程序書 D309.6 沖洗清汙排除泥砂。

審查委員再提出後續審查意見，由於火山灰之影響期間可能較長，請台電公司：(a)提出較「減少戶外作業、將門窗及相關對外通風系統關閉」更積極的作法並納入程序書，(b)說明在喪失外電(因火山灰積聚在電塔或電纜線)時，抑壓池水源及其後備水源(僅不會受火山灰污染者)可使用之期長，(c)說明氣冷式發電機之防塵設施是否需加裝。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：

(a)戶外作業除火山灰清除工作(建物屋頂、EDG 進氣及道路)，需視火山灰積聚情況清理外，其餘戶外工作於火山噴發前先行完成或噴發結束後清理，火山噴發期間人員戶外工作已盡可能減少。核一廠已進入除役過渡階段，設備產生熱源較低，關閉門窗及停用相關對外通風系統，避免火山灰進入廠房。重要設備廠房進氣均有安裝中效率過濾網，高效率過濾串必要時才在前置過濾網前加裝不織布濾網，視需要再起動通風系統，適合目前機組現況。

(b)核一廠已進入除役過渡階段，爐心餘熱約 1.08 MW，以表壓 1.5 bar 蒸發熱焓為 2181.7 kJ/kg，每分鐘約需 29.7kg 補水。抑壓池低水位警報水量約 1,924 噸，計算結果可使用 44.9 天。

(c)戶外氣冷式發電機防塵設施於火山噴發前才安裝。戶外氣冷式發電機

為貨櫃型，其進氣通風口為百葉窗型，葉面朝斜下方，未運轉時火山灰不易進入內部，可於進氣通風口前增加不織布濾網防止火山灰進入。

審查委員再提出後續審查意見：(1)(a)針對日本川內核電廠廠房、緊要海水泵、輔助廠房排氣筒、圍阻體排氣筒、海水過濾器（含下游端設備）、槽車等外部塗裝，說明核一廠對應之情況；(b)針對防汙對策塗裝及異物排出溝槽，說明核一廠對應之情況。(c)日本電廠過濾器過濾效率可達 85% 以上，說明核一廠對應之情況。(2)針對火山灰之影響期間可能較長(數日)，提出廠內作法已可因應之澄清說明。(3)說明第五台緊急柴油發電機之防塵設施，以及提出有關戶外氣冷式發電機防塵設施備品之準備情形及數量之說明。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：

(1) (a)廠房外部塗裝：各廠房屋頂均有鋪設聚氯乙烯防水毯，具有優良的耐候性及抗酸鹼等特性，不會有因為降下火山灰造成化學腐蝕而直接影響功能的情事。化學腐蝕效應屬長期效應，短期結構物不受影響，附著於廠房外部牆面火山灰在未造成腐蝕效應前會受風、雨天候移除，後續視實際狀況再使用消防車噴水清除。輔助廠房排氣筒、圍阻體排氣筒外部塗裝：廠房煙囪及主煙囪外層均有油漆塗裝。海水濾網（含下游設備）外部塗裝：緊要海水泵出口濾網、CSCW 熱交換器及 RHR 熱交換器均位於耐震一級建築物內，且外層均有油漆塗裝，不會因火山灰造成化學腐蝕而直接影響其功能。槽車外部塗裝：槽車外層有烤漆，不會因降下火山灰造成化學腐蝕而直接影響其功能。

(b)緊要海水泵位於耐震一級建築物內(非露天)，且緊要海水泵有外層塗漆可抗酸，不會因火山灰造成化學腐蝕而直接影響功能。ESW 泵軸軸承處為陶瓷包覆，其陶瓷成分主要為 Cr_2O_3 ，莫氏硬度約為 8~8.5，其特性為耐研磨及耐腐蝕，因此不會因火山灰侵入而影響泵軸承之運轉。

(c)核一廠廠房通風濾網為中效率過濾網，過濾 $1\mu\text{m}$ 以上粒子過濾效率

約 60~65%，過濾 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以上粒子過濾效率約 80~85%，本案調查火山灰粒徑約為 0.063-2mm($63\sim 2,000\text{ }\mu\text{m}$)，參考 ASHRAE 52.2 過濾器分級約為 10~11， $3.0\sim 10.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上粒徑過濾效率可大於 85%。

(2)核一廠已進入除役過渡階段，設備產生熱源較低，可關閉門窗及停用相關對外通風系統，避免火山灰進入廠房影響設備運轉，說明如下：各安全系統其所在位置有區域空調箱作為空間冷卻，空調箱熱量由 CSCW 或緊急寒水移除，如 RHR 區域、CSCW 區域、4.16kV 緊要匯流排區域、控制室通風區域及緊急寒水機區域，因此不會造成區域溫度過高影響設備運轉。另反應器廠房及聯合廠房通風進口均有安裝中效率過濾網，配合廠房通風系統停用必要時才起動運轉。EDG 進氣有空氣過濾器，發電機為氣冷式設計，用不織布蓋住發電機的空氣進氣口，控制盤通風口使用不織布濾網封住，空間熱量由排風扇移除，火山灰進入 EDG 室，不影響 EDG 運轉，於事後再配合清理。電池室通風設有中效率過濾網，配合通風系統停用必要時才起動運轉，也依 D504.16 打開電氣設備及蓄電池室門，使其自然通風。緊急泵室通風並無設置過濾網，電源室及操作室通氣窗進風口視需要安裝不織布濾網，室內空氣由排風扇排放到外部大氣中。

(3)第五台緊急柴油發電機為氣冷式設計，使用不織布濾網作為發電機的防塵設施，減少火山灰進入發電機內。戶外氣冷式發電機進氣通風口前可增加不織布濾網，防止火山灰進入，不織布濾網庫存 10 捲以上(每捲寬 1 米，長 100 米)。

審查委員提出審查意見：有關核一廠風險評估流程，請增列 IAEA SSG-21 詳細評估流程，並依原立案要求納入日本 JEAG-4625 方法論及業界實際個案。

台電公司答覆說明：IAEA SSG-21 火山危害評估流程及日本 JEAG-4625 方法論及業界實際個案分別已於報告闡述，節錄內容如下：

(1)本案係參考 IAEA SSG-21 火山危害評估流程，篩選火山來源及其可能影響電廠之火山危害，其評估共分為 4 個階段，包括第 1 階段為初步評估：場址周圍之火山是否於 10 百萬年內活動過；第 2 階段為未來具有活動潛能特徵之火山：包括近期是否活動過、全新世也就是 1 萬年以來是否活動過及未來是否具有再活動趨勢；第 3 階段火山危害篩濾：在進行危害評估前，應先進一步的篩濾掉不具備在評估場址內產生火山危害之火山；第 4 階段火山危害評估：評估能動火山所產生之火山危害是否對場址造成影響。

(2)日本原子力規格委員會(NUSC)之原子力發電所火山影響評價技術指針 JEAG-4625-2014 規範主要針對位於火山附近的核能電廠，詳細說明火山活動調查方式與內容、廠內各項設施的設計考量及火山活動事件的因應對策。以日本川內核電廠為例，該電廠針對未來可能活動之火山納入評估，若以可能對川內核電廠安全性造成影響之火山活動而言，需考量櫻島-薩摩的噴發產生之火山灰危害(12,800 年前，火山灰噴出量 11 立方公里)，預期廠址可能堆積的火山灰厚度，評估結果為火山灰堆積不會對廠房及設備造成損害，但仍規劃配套措施及裝設過濾網，以避免火山灰飄進電廠設施內部等措施。

審查委員提出審查意見：請說明 Yucca Mountain 計畫之機率式火山危害度分析(PVHA)做法，與本報告 PVHA 方法論之異同。另提供分析火山不同危害類型之邏輯樹，以及專家小組討論之會議紀錄，並彙整為核一廠報告之附錄。

台電公司答覆說明：

(1)本計畫機率式火山危害度分析(PVHA)之核心概念為假設火山的發生及傳播係具有特定機率分布，計算特定場址在火山危害事件發生後，與火山產物交錯、接觸或者覆蓋特定厚度的可能機率，與 Yucca Mountain 火山危害度分析計畫之做法無異。惟報告中提到，因 Yucca Mountain 計畫係考慮火山岩脈入侵對核廢料儲存庫影響之可能性，而本計畫係考慮

火山灰、熔岩流、火山泥流對核電廠之危害，無法直接使用 Yucca Mountain 之邏輯樹，因模擬使用之參數不同，並非 PVHA 做法不同。

(2)本計畫參考 Yucca Mountain 計畫、Conner et al. (2012)及 IAEA TECDOC-1795 等文獻，針對不同的危害類型進行分析並建立本計畫使用之參數邏輯樹及模擬方式。另火山泥流則是針對各別可能影響到電廠之火山源搭配不同火山錐的垂直高度(H)及火山口至末端堆積區之水平距離(L)之兩比值 H/L 及泥流量體體積做上下限進行分析，進行多次模擬後再以年發生率分析危害度，故無邏輯樹圖。

(3)PVHA 專家會議紀錄已彙整於報告附錄三專家會議記錄-機率式火山危害度分析(PVHA)。

審查委員提出審查意見：核一廠報告中採用 FALL 3D 程式進行火山灰傳播分析，請補充說明與其他模式比較驗證之過程或結果。若有針對火山灰之地質調查資料，亦請於報告中說明對核一廠模擬結果之比對驗證，以佐證分析模擬之適切性。其他可能的危害類型，請參考上述意見提出澄清說明。

台電公司答覆說明：核一廠評估可能遭受之火山危害為火山灰及火山泥流，其中火山灰之模擬(FALL 3D)係考量在多種動力機制與不同的氣象條件下，火山灰擴散與沉降過程中對核能電廠的影響，故選擇能與氣象資料相容性高，再現性佳且能預測火山灰沉降量之 FALL 3D 三維網格模式進行本計畫案例模擬與評估。

國外已有許多研究使用 FALL 3D 模式預測不同垂直高度下的火山灰濃度、沉降量，以提供安全的航行高度及危害分析，並進行實際案例模擬，與觀測值進行比對，驗證模式本身的再現性或預測能力，其結果皆顯示模擬值與觀測值有良好的一致性，案例包括 Costa et al.(2006)以 2001 年 7 月義大利的埃特納火山(Mt. Etna volcano)噴發為案例，將模擬值與觀測值繪製散佈圖，驗證兩者具有良好的一致性；Corradini et

al.(2011)以 2002 年 10 月埃特納火山(Mt. Etna volcano)噴發為案例，利用 MODIS 衛星資料與 FALL 3D 模擬結果進行驗證比較，其分布情形相似，顯示 FALL 3D 模擬火山灰的擴散、沉降機制具有再現性與可信度；Costa et al.(2013)利用 FALL 3D 模式研究大型火山噴發考慮重力流影響之敏感度參數測試，發現考慮重力流模式的火山灰模擬擴散分布較佳等。

火山泥流(SEC-HY21)則因其運動機制為土石塊體伴隨水體流動，機制與土石流一致。國內中興工程顧問社已開發一泛用型二維地表水分析模擬系統(SEC-HY21)，係採用二維淺水波方程式做為控制方程式，SEC-HY21 土石流模組整合國內外常用之 Takahashi、Egashira 以及 FLO-2D 方法，給予使用者更多模擬之彈性，可依案例加入不同流變關係與沖淤速率經驗式，SEC-HY21 歷經長期驗證，累積眾多應用實例，且皆有良好評價。各驗證案例說明已納入報告。

本案於調查過程中未能發現完整火山灰露頭，推測與台灣氣候環境不易保存火山灰沉積物及台灣火山危害以寧靜式噴發之熔岩流為主，火山灰非主要產物，因此無歷史資料可進行比對驗證；另本案野外調查及鑽探結果，雖於電廠周圍發現火山泥流產物，但難以確認該次火山泥流堆積為單一事件或多次事件累積而成，且火山泥流主要沿著地形運移，萬年以前與現今之地形已有所差異，目前調查成果難以重現當時單一火山事件造成之火山泥流情境，本案模擬係以合理推估之火山泥流產量，配合水理條件，以現況地形模型，模擬若未來火山泥流發生時可能的影響範圍。

審查委員提出審查意見：請說明核一廠火山灰垂直沉降載重計算表中，火山灰密度 D 是乾密度還是濕密度？倘若結合水氣，是否密度更大？對於建物結構屋頂載重的影響又為何？請進一步分析後再提出補充說明。

台電公司答覆說明：本案採用之火山灰密度為乾密度，然而在活載

重(Live Load, LL) 中，除原設計之設備活載重外，屋頂層尚有額外考量屋頂積水載重，將空氣中含水量達飽和之情境進行保守考量納入分析模式中，而由本案結構強度檢核分析結果顯示，結構分析採用係數化載重組合後，結構系統能承受之載重仍有餘裕，火山灰荷重累積對各項結構安全無影響。

審查委員提出審查意見：(1)針對竹子山火山泥流模擬分析結果，進一步評估對核一廠外圍的乾華溪圍堰及相關取水設施的影響。(2)承上，若乾華溪取水設施將受到影響，則說明核一廠的對策為何？

台電公司答覆說明：

(1)依竹子山火山泥流模擬成果，顯示 100 年重現期距以上之降雨，產生之泥流有足夠之量體及動量抵達核一廠廠界，當泥流到達乾華溪生水泵室取水渠溝時，將造成生水泵取水渠溝堵塞，吸水坑無法取水。

(2)當大屯火山群或鄰近海域有火山噴發的徵兆或警訊時，依程序書 D1454 將 10 萬噸生水池補滿水，並維持滿水狀態直到火山噴發的徵兆或警訊解除為止。10 萬噸生水池主要提供二個 3000 噸日用槽用水，3000 噸日用槽除供應除礦水水源外，另供應廠區生活用水、洗衣房用水及消防用水；以每月平均最大用水量 2.4 萬噸至少可用 3 個月無缺水之虞。電廠安全有關注水水源為抑壓池，當火山噴發時無需立即補充水，不影響安全功能。取水渠溝堵塞待事件結束後，乾華溪河道將進行清淤，移除大型石塊等工作，以恢復河道正常水量供給；生水泵室取水渠溝將依程序書 D309.6 沖洗清汙排除泥砂。

審查委員再提出後續審查意見：若 10 萬噸生水池遭受火山灰侵襲佈滿水池表面，請台電公司提出因應對策(含池上設備之處置)。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：若 10 萬噸生水池遭受火山灰侵襲佈滿水池表面，基於作業人員安全，並參考近期日本小笠原火山浮石核一廠因應做法及成功經驗，利用適當工具打撈或使用漂浮式

排渣泵吸取，以清除 10 萬噸生水池表面火山灰。另可分析生水水質濁度，若水質濁度會增高，將加入聚氯化鋁降低濁度，並增加壓力式過濾器反洗頻率，以去除水中火山灰。10 萬噸生水池池上設備處置，參考程序書 D1454 於火山噴發前將水面上之設備(泵)掩蓋、巡視及量測水深，火山噴發後檢查相關設備及量測水深，做必要之清理及檢修。

審查委員提出審查意見：請說明火山灰之粒徑，火山灰顆粒之硬度，並確認火山灰對緊要海水系統(Emergency Chilled Water, ECW)可能之影響。

台電公司答覆說明：本案調查火山灰粒徑約為 0.063-2mm；另，根據美國地質調查局網站資訊，火山灰顆粒之莫氏硬度約為 5-6。火山灰對 ECW 可能之影響，討論如下。

(a)對堵塞的評估：核一廠緊要海水泵位在室內，有耐震一級建築物防護，其取水口位於建物下方，取水坑在海平面 2 公尺以下，泵取水口在水泥底座上方約 36 公分，火山灰落塵若在水底堆積較不影響海水之取用，不會引起堵塞。緊要海水泵出口濾網孔徑為 1/4 英吋(6.25mm)，CSCW 熱交換器管徑為 3/4 英吋(19mm)，RHR 熱交換器管徑為 1 英吋(25.4mm)，皆遠大於火山灰微粒的 2mm，火山灰很容易隨海水通過熱交換器回到大海，故火山灰不會造成濾網及熱交換器阻塞，必要時濾網及熱交換器亦可停用一串進行清理。

(b)對磨損的評估：參考日本 JEAG-4625 內容，說明沙子和火山灰“易粉碎性”差異的調查結果(武若(2004)による調査報告があり)，火山灰之“易粉碎性”與沙子相比相差 10 倍以上；由於沙子較火山灰更不易粉碎，其侵入泵軸承導致泵軸承磨損參考業界經驗，在運行 7,000 小時約為 0.2 毫米。綜上所述，即使假設火山灰侵入泵軸承，軸承也不會在短時間內損壞，後續可以經由日常維護進行維修。

(c)對化學影響(腐蝕)的評估：緊要海水泵位於室內，外表並有塗漆，

因此，腐蝕效應不會影響緊要海水泵的功能。由於海水管路有襯裡，因此不會立即腐蝕，不影響其功能。另外，熱交換器（傳熱管）由耐腐蝕性優異的材料構成，且水不斷流動，不會導致嚴重腐蝕。

審查委員再提出後續審查意見：(1)雖然 ECW 取水口在海平面 2 公尺以下，但因火山灰掉落底部堆積前，仍可能被抽汲進入管線，影響泵軸承之運轉。(2)所參考引用日本 JEAG-4625 內容，請說明其考量設備與核一廠差異性，以及結果適用性。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：

(1)對於可能漂浮於海面之火山灰，參考海底火山浮石入侵經驗，於暗渠進水口前設置固定攔油索，可阻擋漂浮於海面火山灰被汲入。緊要海水泵取水暗渠約 69 米，火山灰經此距離到達緊要海水泵吸入口前，部分火山灰應已沉降掉落取水暗渠底部或於集水池沉降，被吸入的火山灰已大幅下降，因 ESW 泵軸軸承耐研磨，軸承不會在短時間內損壞，不影響泵軸承之運轉。

(2) JEAG-4625 內容係日本業界海水泵抽取到海砂，不會導致泵軸承磨損的經驗。海水泵設計上應已考慮可能因海水混濁抽取到海砂，須避免影響軸承運轉，因此應可適用各海水泵。核一廠 ESW 泵軸軸承處為陶瓷包覆，其陶瓷成分主要為 Cr_2O_3 ，莫氏硬度約為 8~8.5，其特性為耐研磨及耐腐蝕。火山灰較海砂易碎且硬度低於海砂，故 ESW 泵若抽到火山灰，軸承並不會有明顯損傷；且 ESW 泵運轉時，軸承處皆有海水流動，進行冷卻並帶走雜物，因此即使火山灰侵入泵軸承，軸承也不會在短時間內損壞，後續可以經由日常維護作業進行維修。

審查委員提出審查意見：請說明火山灰對反應器廠房、汽機廠房、控制廠房及廢料廠房之影響及因應措施。

台電公司答覆說明：考量廠房屋頂結構之安全承載重，備有清理火山灰專用圓鋤 100 支，並存放於核一廠耐震貨櫃內，以備火山灰堆積於

廠房屋頂時，緊急剷除作業之需。

審查委員再提出後續審查意見：請說明火山灰沉降過程的溫度對人員、設備之影響，及因應措施。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：核一廠部份成果報告中火山灰模擬參數所需之噴發口初始溫度，係因高溫使體積膨脹，密度降低，與噴發的煙柱高度相關。而一般火山灰模擬不考慮最後沉降溫度，依據 Pierre et al. (2018)指出，火山噴發時(岩漿溫度 800-1200°C)，岩漿伴隨氣體噴發後形成煙柱，快速冷卻凝結成火山灰顆粒，而其火山灰顆粒極小(小於 2mm)，其熱擴散率一般很高(約 $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)，因此使火山灰熱能透過熱傳導與對流轉移至煙柱內氣體。

另由 Ayris et al. (2014)火山灰於火山噴發煙柱中的熱能狀態三維模擬結果，顯示火山灰分別在 13 秒與 60 秒情境，隨後即以 -50 和 -5 °C/s 的冷卻速率，分別以 7 秒和 110 秒平均冷卻時間，與煙柱氣體溫度平衡。因此火山灰透過風場傳播經過數公里後，其溫度應與大氣溫度達到平衡，不需考量火山灰溫度對電廠之影響。

審查委員提出審查意見：核一廠程序書應結合交通部中央氣象署 109 年底發佈之「火山噴發訊息」燈號，明確定義「有火山噴發的徵兆或警訊」。

台電公司答覆說明：交通部中央氣象署之「火山噴發訊息發布作業要點」，以等級 0 級（正常）、等級 1 級（注意）、等級 2 級（警報）三種警戒等級提供火山噴發訊息。核一廠程序書 D1454 已將交通部中央氣象署提供之等級 1 級（注意）、等級 2 級（警報）列入程序書之判斷依據中。

審查委員提出審查意見：核一廠結構強度檢核分析之鋼筋需求量，請再檢核混凝土結構設計規範之最小鋼筋量要求。

台電公司答覆說明：本案依據竣工圖說之原設計尺寸進行建模，並

以美國混凝土學會之 ACI 349-13 規範及美國鋼構協會之 LRFD-99 規範進行檢核，經再次確認核一廠 3 棟結構物之構件強度均通過分析檢核。

審查委員提出審查意見：核一廠結構強度檢核分析，火山灰沉降載重檢核結果顯示均符合強度需求，請台電公司加以說明解釋，並說明分析時是否已考慮各結構物屋頂上之既有活載重。

台電公司答覆說明：核一廠結構構件檢核分為鋼筋混凝土結構及鋼結構兩大類，鋼筋混凝土梁、柱、板、牆之 $A_s, \text{request}/A_s, \text{design} \leq 1.0$ ，代表該混凝土構件檢核通過，以"OK"表示；反之，則以"N.G."表示。鋼結構梁、柱之容許應力比 ≤ 1.0 ，代表該鋼結構構件檢核通過；反之，則以"N.G."表示。上述檢核結果說明補充備註於報告。

核電廠結構物在原始設計時均考量靜載重、活載重等載重之係數化組合，取係數化組合中最大者進行結構設計。本案分析檢核時，除屋頂活載重外，屋頂層尚有考慮靜載重等其他因素之係數化載種組合，而呈現在報告中之組合為眾多載重組合中對重要結構物個別構件(梁、柱、版、牆等)之影響最大者。報告原內容描述易有誤導之虞，修正內容為「…。分析時，除規範所規定之載重(如靜載重、活載重…等)外，將依據火山危害模擬結果，額外加入火山灰之垂直沉降載重(ASH)於結構之屋頂板…。」。

審查委員提出審查意見：依據美國 USGS 報告，濕灰層的重量是乾灰層的兩倍重，應考量基隆鄰近區域氣候多雨陰濕，又因應對策要求清除火山灰前需用水噴濕，均會增加火山灰載重量。請台電公司說明核一廠結構強度檢核分析，對於火山灰均佈載重含水程度之考量，以及飽和火山灰情況下之結構安全性。

台電公司答覆說明：本案結構分析採用之火山灰密度為乾密度，而在活載重中，除原設計之設備活載重外，屋頂層尚有額外考量屋頂積水載重等，已將空氣中含水量達飽和之情境保守考量納入分析模式中，而

由本案結構強度檢核分析結果顯示，結構物於承受不同係數化組合載重後，結構系統能承受之載重仍有餘裕，火山灰荷重累積對各項結構安全無影響。

三、審查小結

綜合審查小組對本章之審查，確認台電公司利用調查成果如地形判釋、地表地質查核及地質鑽探等工項研析過去調查區域曾經發生過之火山危害種類及分布，並依地球物理調查成果、文獻定年資料及監測分析等探討各火山群再活動之潛能，及參考 IAEA SSG-21 之火山危害評估流程與火山源篩選原則，評析核一廠可能遭遇之火山危害情境，進行定值法與機率式火山危害度分析。危害度評估係著重於核一廠在火山危害發生時，基於電廠功能及安全性考量，與核能安全相關之結構物進行分析模擬，包括緊急抽水機廠房(廠用海水泵室)、一號機聯合結構廠房及新燃料儲存庫等 3 棟結構物，並依危害情境模擬結果，針對上述重要結構物可能遭遇火山灰之衝擊影響，進行結構安全評估。檢核結果，3 棟結構物於火山灰沉降作用下，其既有構件強度皆符合強度之需求，各項火山危害模擬分析結果皆符合可接受準則。

綜合審查小組對本章審查結果，火山危害模擬、機率式危害分析與核能電廠危害評估及因應對策等，經審查可以接受。

第五章 審查總結

綜合審查小組針對台電公司所提交的「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核一廠部分之成果報告內容與結果進行全面性檢視與審查，審查結論總結如下：

核一廠成果報告已針對核能電廠周圍 160 公里範圍距離內之火山進行調查與評估，並蒐集核能電廠周圍 320 公里範圍內之既有火山相關資料文獻，綜整各調查成果顯示大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，但各項數值仍位在各監測項目背景正常範圍內，顯示仍相對穩定，而基隆火山群沒有後火山作用(溫泉、噴氣孔現象)，且岩漿活動後即已冷卻，無岩漿庫低磁的特徵，代表其再活動之機率甚低，研判對核能電廠無致災之虞。北部陸域火山調查成果及評估結果皆符合可接受準則，經審查可以接受。

核一廠成果報告就北部海域火山島(彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼及龜山島)進行調查與評估，彭佳嶼及棉花嶼島上各具 3 座火山錐體形貌，兩島熔岩流平台平緩；花瓶嶼島上地勢險峻，海底下具熔岩流成平台形貌。彭佳嶼、棉花嶼組成岩性包括玄武岩、玄武岩質安山岩及火山碎屑岩，而花瓶嶼則為玄武岩。岩漿性質歸類於中鉀或中-高鉀的鈣-鹼質岩漿範疇，岩漿源區受到隱沒帶作用影響。井下監測結果顯示不具高溫現象、微震數量少、氬同位素無地函訊息。北方三島火山活動屬於寧靜式的火山熔岩溢流為主，且空磁結果顯示，三島地底下岩漿庫已冷卻固化形成高磁岩體。另依綜整之定年成果，其近期噴發年代應為萬年以上，以國際火山學會所定義之活火山條件，北方三島皆未有活火山跡象，應已不具有火山活動潛能。

基隆嶼為侵入岩體，地表及海域均不見熔岩流、火山錐或火山口等火山地形特徵。岩性為灰色含石英安山岩夾早期灰綠色安山岩包裹體，屬於中鉀的鈣-鹼值系列岩漿，明顯受到地殼混染影響。井下監測結果顯示，溫度變化小，呈穩定狀態；區域地震甚少，甚至無地震事件；溶解氣化學成分穩定，

變化小，且無岩漿源氦同位素訊號。

龜山島地形上具有兩處火山口，位於龜甲與龜首(已不復見)，島上可判釋 5 道主要熔岩流，而島周圍海底則形成直徑最大約 8,970 公尺的熔岩流平台。岩性以安山岩為主，外觀具斑狀組織，屬於中鉀的鈣-鹼質岩漿，並無明顯受到地殼混染影響。井下監測結果顯示，溫度具有逐漸下降趨勢，水位受潮汐影響，而水位的變化使溫度具有潮汐變化，區域地震頻繁，溶解氣化學成分穩定，無岩漿源氦同位素訊號。

依定年結果認為龜山島可能於 7 千年前噴發過，屬於全新世火山，且空磁探測資料證實龜山島深處具岩漿庫之存在，符合國際火山學會所定義之活火山條件，因此其火山活動潛能相對高，若龜山島火山活動，僅有不受地形限制而可利用風場傳播之火山灰，可對核能電廠造成影響，其餘火山危害如熔岩流、火山碎屑流、火山泥流則直接流入海中，對電廠應無影響。

依既有文獻及本案所完成之調查結果，給定核一廠可能遭遇之火山情境、可能之火山源位置及參數，參考國外火山危害傳播模擬相關案例，進行各火山危害傳播模擬對核一廠影響程度，可符合火山危害度評估之需求。北部海域火山島調查成果及評估結果皆符合可接受準則，經審查可以接受。

核一廠成果報告利用調查成果如地形判釋、地表地質查核及地質鑽探等工項研析過去調查區域曾經發生過之火山危害種類及分布，並依地球物理調查成果、文獻定年資料及監測分析等探討各火山群再活動之潛能，並參考 IAEA SSG-21 之火山危害評估流程及火山源篩選原則，評析核一廠可能遭遇之火山危害情境，進行定值法與機率式火山危害度分析。

危害度評估係著重於核一廠在火山危害發生時，基於電廠功能及安全性考量，與核能安全相關之結構物進行分析模擬，包括緊急抽水機廠房(廠用海水泵室)、一號機聯合結構廠房及新燃料儲存庫等 3 棟結構物，並依危害情境模擬結果，針對上述重要結構物可能遭遇火山灰之衝擊影響，進行結構安全評估。檢核結果，3 棟結構物於火山灰沉降作用下，其既有構件強度

皆符合強度之需求，各項火山危害模擬分析結果皆符合可接受準則，經審查可以接受。

總結台電公司「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核一廠部分之成果報告的審查結果，審查小組認為可以接受。

參考文獻

1. U.S. Nuclear Regulatory Commission U.S.NRC. (2007). A PERFORMANCE-BASED APPROACH TO DEFINE THE SITE SPECIFIC EARTHQUAKE GROUND MOTION. REGULATORY GUIDE 1.208.
2. International Atomic Energy Agency IAEA.(2012). Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, SSG-21.
3. 原子力規格委員會，(2014)，原子力發電所火山影響評價技術指針，JEAG-4625。
4. 台電公司，(2012)，營運中核能電廠補充地質調查工作成果總結報告。
5. 台電公司，(2016)，營運中核能電廠擴大地質調查工作成果總結報告。
6. 台電公司，(2010)，核一廠終期安全分析報告第十七修訂版 (FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT，AMENDMENT No.17，CHINSHAN NUCLEAR POWER STATION)。
7. 台電公司，(2022)，核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作核一廠部分之成果報告(定稿版)。

