

「龍門電廠圍阻體分析方法論」
安全評估報告

行政院原子能委員會核能管制處
中華民國 103 年 2 月 10 日

目 錄

頁次

摘要	i
第一章 簡介	1
第二章 分析模式建立	4
第三章 分析結果與比較.....	17
第四章 總結	32
附件 審查意見及答覆.....	33

摘 要

台電公司依「核能電廠安全分析技術運轉支援應用」計畫之規劃，發展一系列TITRAM專題報告。此份專題報告係因龍門電廠終期安全分析報告，敘述於事故分析時，其圍阻體乾井溫度會短暫超過設計值，本會因此要求台電公司應利用更新分析程式，重新執行龍門電廠圍阻體暫態分析，以確認終期安全分析報告之正確性，台電公司因此於今(102)年4月24日以電核安字第1028036513號函，將編號為TITRAM/LM-THT-MHD-01「龍門電廠圍阻體分析方法論」專題報告送原子能委員會(以下簡稱本會)審查。

為達此安全分析報告審查任務，本會成立專案審查小組，小組成員包括學者、專家與本處各專案小組，經4次審查會議，共提出55項審查意見，根據台電公司所提供之安全分析報告與各次回覆意見，撰寫此安全評估報告。本報告敘述本會對台電公司「龍門電廠圍阻體分析方法論」之審查結果，內容分龍門電廠ABWR型圍阻體與GOTHIC程式簡介、龍門電廠圍阻體分析模式建立、龍門電廠圍阻體短程分析與長程分析之分析模式建立與平行驗證及總結等四章，除簡介及總結外，其餘各章均包含概述、審查發現及審查結論三部份。

送審報告於第一章中簡述報告各章節內容項目，第二章說明如何利用GOTHIC程式，建立龍門電廠ABWR型圍阻體分析模式；第三章說明依據GOTHIC程式，建立ABWR型圍阻體短程與長程分析模式後，分別針對終期安全分析報告(FSAR)假設之事故進行短程與長程分析，並與原FSAR分析模式進行比較；第四章結論乃說明分析驗證之結論。上述各章經台電公司依據本報告所述審查意見修訂後，可以接受，惟有後續管制要求事項共計3項，詳見本報告第四章總結。

第一章 簡介

一、概述

台電公司於龍門電廠圍阻體分析方法論專題報告第一章敘述台電/核研所暫態分析方法論(TITRAM)中在圍阻體分析方面，使用通用性圍阻體熱水流分析程式 GOTHIC 發展 ABWR 圍阻體熱水流分析技術。此方法論之主要目的是發展自主之圍阻體申照分析技術，協助澄清圍阻體相關的安全疑慮，並確保國內核能自主分析技術能滿足未來核能安全分析之所需。報告主要項目包括龍門電廠 ABWR 型圍阻體與 GOTHIC 程式簡介、龍門電廠圍阻體分析模式建立、龍門電廠圍阻體短程分析與長程分析之分析模式建立與平行驗證。

二、審查發現

原終期安全分析報告(FSAR)分析程式為 M3CPT 及 SHEX，送審方法論之分析程式則為 GOTHIC 程式，審查時主要針對兩者分析假設是否相同，若不同則要求台電公司說明差異之原因及其影響。

台電公司所提之專題報告的分析假設大多與 FSAR 一致，包括反應爐初始熱功率、MSIV 完全關閉時間、雙相臨界流模式(Homogeneous Equilibrium model)、BOP 沖放條件、ECCS 系統與 RHR 可用程度等條件皆與 FSAR 分析相同，圍阻體初始條件(壓力、溫度與相對濕度)亦相同。

依據台電公司專題報告與 FSAR 分析最明顯之差異，即 FSAR 中的 M3CPT 分析使用單一節點模擬上下乾井，專題報告的 GOTHIC 模式依照實際的圍阻體構型則將上乾井、下乾井與乾井連接通道皆分成數個控制體積處理，亦較能表現上下乾井兩空間暫態反應的差異。台電公司說明其與單一體積分分析之差異：單一乾井模式等同與上下乾井一起承受沖放流量，但實際的主蒸汽管與飼水管皆位於上乾井，上乾井會先獨自承受沖放流量，故雙乾井

模式的上乾井最高壓力與溫度會比單一乾井模式結果來得高。審查小組認為專題報告的分析模式較接近實際的上下乾井構型，也具有合理保守性。

其次便是在短程主蒸汽管斷管事故的沖放條件計算方式，FSAR 分析是將斷管兩側破口整合為單一的 RPV 側破口，專題報告則是模擬斷管兩側破口。此外，FSAR 之分析中假設 MSIV 壓損係數為 2.1，專題報告之分析中除假設 MSIV 壓損係數為 $\frac{1}{2}$ ，亦考慮了實際主蒸汽管路的摩擦效應。此差異在本報告之 3.4 節將有進一步討論與評估。

審查小組請台電公司澄清飼水管與蒸汽管斷管之差異。台電公司表示兩種喪失冷卻水事故（LOCA）除了面積之外，主要差異在於斷管位置的高度。主蒸汽管位置較高，飼水管位置較低，此外主蒸汽管斷管事故之沖放流體以蒸汽為主，飼水管斷管事故之沖放流體以液態水為主。

審查小組請台電公司澄清採用 GOTHIC 程式進行分析，是否有將緊急爐心冷卻水系統（ECCS 系統）系統延緩注水變因，納入考量，若有則應補充說明延緩注水對於圍阻體最高壓力及溫度之影響。台電公司表示(1)圍阻體短程分析並未考慮 ECCS 系統系統作用，不會對分析結果造成影響。(2)長程分析目的是要求得抑壓池最高溫度，在長程分析中，ECCS 系統會從抑壓池中取水注回反應爐本體（RPV），水泵在運作時產生的泵運轉所產生之熱源（pump heat）最終會被抑壓池水吸收，ECCS 系統運作時間越長，產生的 pump heat 越多，抑壓池水溫度會越高。

GOTHIC 分析結果顯示高壓爐心灌水系統（HPCF）

，在到達池水最高溫之前皆維持運轉；而餘熱移除系統（RHR/LPFL）則於 $\frac{1}{2}$ 秒啟動，運轉直至 1800 秒切換至其它模式。HPCF 的 time delay 由 46 秒改為 51 秒，RHR/LPFL 則由 56 秒改為 82 秒。在到達抑壓池最高溫之前，HPCF 的運作時間差異為 $\frac{1}{2}$ 秒，

RHR/LPFL 的運作時間差異為 秒。相較於抑壓池水最高溫發生時間(1 萬秒之後)，ECCS 系統對於 RPV 沖放以及加入圍阻體的 pump heat 之影響不明顯。經更改 ECCS 系統 time delay 重新執行 GOTHIC 長程飼水管斷管分析，抑壓池最高溫由 ，其對於圍阻體長程分析之影響輕微。

龍門電廠濕井與下乾井之連通，設計有可融栓塞，審查小組請台電公司澄清，GOTHIC 程式分析是否有將此設計納入考量。台電公司表示專題報告係針對圍阻體的設計基準事故(Design-Basis Accident)進行分析。下乾井與濕井間的可融栓塞是針對嚴重事故(Severe Accident)，並非針對設計基準事故而設計，其融解溫度高達 260°C，遠高於圍阻體設計溫度，故在 FSAR 6.2 節以及專題報告的圍阻體分析皆不考慮此部份之影響。

三、審查結論

此方法論之主要目的是發展自主之圍阻體申照分析技術，報告主要項目包括龍門電廠 ABWR 型圍阻體與 GOTHIC 程式簡介、龍門電廠圍阻體分析模式建立、龍門電廠圍阻體短程分析與長程分析之分析模式建立與平行驗證。台電公司對於本節報告內容與審查提問的答覆，經審查已提出適當評估說明，其結果可接受，至於第 2、3 章之審查結論於本報告各章中說明。

第二章 分析模式建立

一、概述

台電公司於龍門電廠圍阻體分析方法論專題報告第二章描述如何利用 GOTHIC 建立龍門電廠 ABWR 型圍阻體分析模式。

(一)GOTHIC 程式控制體積與接節的質量、能量與動量守恆

GOTHIC 程式中的控制體積分為積總體積(lumped volume)與被進一步切割之次體積(subvolume)。積總體積會針對內部的氣相、液相與液滴相的質量與能量守恆進行計算，次體積則會針對各相流體的質量、能量與動量守恆進行計算，接節則可連接兩個控制體積，或是一個控制體積與一個邊界條件(boundary condition)，且會依據接節兩端之條件，進行動量守恆的計算。積總體積僅針對質量與能量守恆進行計算，在專題報告 2.1 節中列出了積總體積之質量與能量守恆方程式、接節的動量守恆與次體積的質量、能量與動量守恆方程式。龍門電廠在正常運轉時，圍阻體內會充氮氣，使氧氣體積比例低於 3.5%，避免氫爆發生。故圍阻體壓力與溫度分析，亦需考慮非凝結氣體之存在，在分析模式中亦有考慮氮氣與氧氣兩種非凝結氣體。

(二)龍門電廠圍阻體壓力與溫度分析模式

圍阻體分析時使用短程與長程分析模式之目的不同，為得到保守的分析結果，其分析假設也有所不同。短程分析之目的主要為得到圍阻體的最高壓力及溫度，其最高值一般發生於事故後數十秒內，所以短程分析時間僅需分析至圍阻體內管路斷管後 100 秒即可；長程分析則是為得到抑壓槽的最高壓力與溫度，其溫度變化較氣體緩慢許多，抑壓池水最高溫度常在斷管後數千秒至數萬秒後才出現。在龍門電廠 FSAR 中，原廠家採用

M3CPT 程式進行短程分析，而採用 SHEX 程式進行長程分析。專題報告則是採用 GOTHIC 程式建立短程與長程之圍阻體分析模式。因龍門電廠 ABWR 採用爐內泵(RIP)取代傳統 BWR 的再循環管路，因此不需考慮再循環管路斷管事故，專題報告係針對飼水管與主蒸汽管兩種齊頭式斷管事故進行分析。

1. 短程分析

由於龍門電廠圍阻體乾井可區分為上乾井與下乾井，其間以乾井連接通道連接，並不直接相鄰，為反映實際圍阻體構型，專題報告中之 GOTHIC 分析模式係採用上下乾井分開的方式來處理乾井空間；然而為了與 FSAR 進行比較，亦另建立一分析模式，以單一控制體積模擬乾井。

為保守起見，FSAR 短程分析只考慮一半的下乾井體積，在專題報告的分析模式中，下乾井亦只考慮一半體積。垂直通洩管為一直徑 1.2 公尺的管路，共有 10 根，連接於乾井連接通道下方，垂直通洩管下端會與三根高度不同的水平通洩管相連，沖放流體再經由水平通洩管導入抑壓池進行冷凝。10 根垂直通洩管中僅有 5 根有抑壓池回流道

抑壓槽週圍主要有四種熱結構要列入考慮：外圍壁面、內側壁面、抑壓槽底座以及上乾井的隔膜地板(diaphragm floor)，並用 GOTHIC 程式的熱導體 (thermal conductor)功能處理固體與液體之間的熱傳效應。

飼水管是龍門電廠 ABWR 面積最大的高能液體管路，對於飼水管斷管事故而言，RPV 側與電廠發電端 (BOP) 側的沖放條件皆需考慮。FSAR 6.2 節中，係採用包含完整 BOP 系統模式之 RELAP5 飼水管斷管分析結果來提供 RPV 側與 BOP 側的質能沖放數據，作為圍阻體分析的邊界條件。因此，專題報告的短程飼水管斷管分析亦採用相同之沖放條件。短程飼水管斷管分析採用 RELAP5 所提供之沖放條件，故無需模擬 RPV。

主蒸汽管斷管分析則採取與 FSAR 類似方式計算沖放質能數據，即是以單一控制體積來簡化模擬 RPV，並用 Homogenous Equilibrium Model 臨界流模式計算沖放流量。當主蒸汽管發生斷管，除了 RPV 會直接由破口進行沖放，蒸汽也會經由其餘 3 根完整的主蒸汽管到達主蒸汽集管(main steam header)，接著逆流回斷管處，此為主蒸汽集管側的沖放。FSAR 分析係以改變 RPV 側的破口面積大小，來涵蓋主蒸汽集管側的沖放。主蒸汽集管側的沖放會在 MSIV 完全關閉才停止，分析假設 MSIV 於斷管事故發生 0.5 秒後開始關閉，並保守假設 MSIV 完全關閉需 4.5 秒，即是在斷管後 5 秒完全關閉，以增加初期蒸汽沖放流量。

主蒸汽管斷管會造成 RPV 內部水位因降壓而膨脹，FSAR 分析假設斷管 2 秒後水位即達主蒸汽管高度，反應爐內的液態水因此被沖放至乾井內，原本的蒸汽沖放即轉變為雙相流體沖放。因液態水的流體焓較蒸汽低許多，故此現象可減緩乾井溫升狀況。

對短程分析而言，因乾井最高溫度與壓力常發生在斷管後數十秒內，此時 ECCS 系統系統可能尚未啟動，或是剛啟動不久，短時間內不會對圍阻體造成明顯影響，因此短程分析可以不考慮 ECCS 系統系統注水效應。

2. 長程分析

如前述，長程分析的目的是為了求得抑壓池的最高溫度，因水的比熱遠大於氣體，抑壓池水最高溫度出現時間會遠在初期沖放初期之後，為保守計，其分析模式及假設與短程分析略有不同。例如長程分析假設抑壓池初始水位處於低水位，以降低池水作為熱沉之能力，也因抑壓池初始水位與短程模式不同，長程模式並非接續短程分析後之計算，而仍是由斷管發生之時間點作為長程分析之起始時間。

因初期沖放流量的變化(100 秒內)對長程池水溫度變化幾無影響，在實際應用上，無需投入過多資源求得較精確的初期沖放流量。因此長程模式直接使用 GOTHIC 程式建立一個簡化的控制體積代表 RPV，採用 Homogenous Equilibrium Model 臨界流模式計算斷管沖放流量。事故過程中，抑壓池的主要熱源為爐心衰變熱，以及泵運作產生之熱，包括 ECCS 系統與 RHR 的泵；而抑壓池的熱是靠 3 串 RHR 熱交換器移除。與短程分析相較，長程分析需加入 RPV、RHR 與 ECCS 系統模式：(1) RPV 模式：長程分析並不著重初期沖放造成之影響，且事故後期沖放流量會幾乎與 ECCS 系統注水流量達到平衡，因此長程分析採用簡化的 RPV

用於計算 RPV 側的沖放質能數據。(2) RHR 系統：為避免池水溫度過高，導致圍阻體抑壓能力喪失以及各水泵淨正吸水頭不足，需依賴 RHR 系統進行抑壓池冷卻模式，以降低池水的溫度。保守起見，長程分析假設 RHR 在斷管後 30 分鐘後由運轉員手動啟動，並假設 1 個 RHR 熱交換器失效，僅 2 個 RHR 熱交換器能進行移熱，但 3 個 RHR 泵皆在運作發熱，藉此以保守求得較高之抑壓池溫度。(3) ECCS 系統：但對長程分析而言，ECCS 系統仍會持續由抑壓池取水，再向 RPV 注水，注入 RPV 的液態水吸收爐心釋放的衰變熱後，再經由破口沖放進入圍阻體，把吸收的能量帶至抑壓池，形成一個水流循環。

為保守起見，即使長程分析假設抑壓池初始水位設於低水位，水面上之自由氣體空間卻仍假設是高水位以上的自由氣體體積，用以縮小抑壓槽空間。

FSAR 之長程飼水管斷管事故分析考慮了安全釋壓閥 (SRV) 開關之影響。但在主蒸汽管斷管事故中，因 RPV 蒸汽直接由處斷管外洩，壓力即隨之降低，故 SRV 在主蒸汽管斷管事故中不會開啟。

龍門電廠的 ECCS 系統包括：反應爐爐心隔離冷卻系統(RCIC)、兩串高壓爐心灌水系統(HPCF)以及三串餘熱移除系統(RHR)的低壓灌水模式(LPFL mode)。

RCIC 會在 RPV 水位低於 L-2 時啟動，到達 L-8 時停止。因 RCIC 補水流量較小，且事故後期會因 RPV 壓力降低而無法運作，對長程分析之影響極微。

FSAR 之長程飼水管斷管分析中假設 RCIC 不可用。而專題報告之分析模式則無此限制，故仍在飼水管斷管分析中雖仍假設 RCIC 可用，但對於分析結果影響甚小。

龍門電廠有兩串功能相同之 HPCF，當圍阻體高壓力或 RPV 低水位 L-1.5 訊號產生時，HPCF 便開始運作，到達高水位 L-8 時會停止注水，為保守起見，分析亦假設 HPCF 只從抑壓池取水。在圍阻體長程分析中，2 串 HPCF 皆假設可用。龍門電廠有三串獨立之 RHR 系統，RHR 有七種主要運轉模式，其中在圍阻體分析中會使用到的模式，除了 LPFL 之外，還有抑壓池冷卻模式與圍阻體噴灑模式。

LOCA 發生後，為避免抑壓池水溫過高，將啟動 RHR 抑壓池冷卻模式。RHR 泵由抑壓池取水，接著經過熱交換器，與反應器廠房冷卻水(RBCW)進行熱交換而降溫，再將降溫後的池水注回抑壓池。RHR 抑壓池冷卻模式的流量為 $954 \text{ m}^3/\text{hr}$ (4200 gpm)，其抑壓池冷卻模式屬安全功能，可自動啟動(LPFL 模式為優先運轉)，但分析時仍保守假設運轉員在斷管事故發生 30 分鐘後啟動 RHR 抑壓池冷卻模式。

RHR 圍阻體噴灑模式需運轉員手動啟動，同樣是由抑壓池取水，流經熱交換器，再由乾井與濕井頂部噴嘴進行噴灑，冷凝圍阻體空間中的蒸汽

以避免圍阻體空間壓力過高。RHR 可同時對乾井與濕井進行噴灑，亦可單獨針對乾井或濕井噴灑，噴灑流量亦為

長程水管斷管分析有考慮圍阻體噴灑模式之作用，同樣假設運轉員在飼水管斷管發生 30 分鐘後，啟動乾井噴灑模式(濕井仍無噴灑作用)。

在圍阻體長程分析中假設 3 串 RHR/LPFL 在斷管發生 30 分鐘內可用，30 分鐘後假設運轉員手動至抑壓池冷卻模式或是圍阻體噴灑模式運轉，在斷管事故後期僅剩 HPCF 負責向 RPV 注水。3 串 RHR 系統各有一個水泵與熱交換器，考慮單一失效準則，假設其中一台 RHR 熱交換器失效，但該串之水泵仍會運作，以得到較高的抑壓池水溫度與更保守之分析。

飼水管斷管事故可參見以下之示意圖，其中長程飼水管斷管 BOP 側飼水質能沖放數據包含兩部分，分別為 BOP 側斷管沖放質能數據與 BOP 側經由完整飼水管向 RPV 注水的質能數據。

BOP 側斷管沖放質能數據部分，由 RELAP5 計算提供，經廠家評估約在 430 秒後，飼水溫度會低於事故當時的抑壓池水溫，若仍持續 BOP 側的沖放，對抑壓池反而有降溫作用，故 FSAR 分析假設 BOP 側之飼水會在斷管後 430 秒停止，而台電分析亦採用相同假設。

BOP 側經由完整飼水管向 RPV 注水的質能數據，亦是由 RELAP5 計算提供，為保守起見，同樣假設事故 430 秒後，BOP 即停止供應飼水。

GOTHIC 程式會個別計算氣相、液相與液滴相的能量方程式，以求出三種相的個別溫度

專題報告將上乾井與下乾井分為兩控制體積，由 GOTHIC 程式計算分別求得上、下乾井之等效溫度。

(三)分析模式採用假設

專題報告之分析假設係參照 FSAR 6.2.1.1.3.3.1. (飼水管斷管)與 6.2.1.1.3.3.2 節(主蒸汽管斷管)所述之假設，重要假設依短程飼水管斷管、短程主蒸汽管斷管、長程飼水管斷管、長程主蒸汽管斷管分別敘述其分析假設，詳細說明請參閱專題報告。

(四)初始條件

- 乾井初始壓力為 15.45 psia (106.52 kPaA)。
- 乾井初始溫度為 135°F (57.2°C)。
- 乾井初始相對濕度為 20%。
- 濕井空間初始壓力為 15.45 psia (106.52 kPaA)。
- 抑壓池與濕井(抑壓槽)空間初始溫度為 95°F (35°C)。
- 濕井初始相對濕度為 100%。
- 圍阻體內自由體積初始時充氮氣，並有體積比例 3.5%的氧氣。
- 濕井(抑壓槽)壁之熱結構與二次圍阻體內之氣體在 LOCA 發生前已達到熱平衡，初始溫度皆為 95°F (35°C)。
- 短程分析的抑壓池初始水位為運轉技術規範的高水位，即水面離抑壓槽底部 7.1 公尺；其濕井空間體積則對應於運轉規範高水位以上之空間體積。
- 長程分析的抑壓池初始水位為運轉技術規範的低水位，即水面離濕井(抑壓槽)底部 6.9 公尺；但其濕井空間體積則是對應於運轉規範高水位以上之空間體積，即離抑壓槽底部 7.1 公尺以上之空間體積。

二、審查發現

專題報告方程式 (2-3a) 次體積質量守恒方程式中有氫氣燃燒造成的各相質量源項，但在積總體積質量守恒方程式 (2-1a) 中沒有，經審查提問與答覆，澄清式 (2-1a) 應是漏列了氫氣燃燒造成的 source term。方程

式(2-1a)與(2-1b)現已分別修正，將漏列之氫氣燃燒造成的源項補回，可以接受。

經審查提問與答覆，台電公司提供了乾井連接通道(Drywell Connecting Vent，簡稱 DCV)與垂直通洩管(vertical vent)之標高示意圖(如下圖)，說明在 DCV 尾端除了與垂直通洩管連接，還有一側向開口與下乾井空間相連，並根據這些高度與通道，解釋如何計算空氣體積。台電公司之答覆澄清了垂直通洩模式相關之審查提問。

經審查提問與答覆，台電公司澄清了下列保護系統之動作：(1) 長程飼水管斷管事故中，反應器壓力會頂到 SRV 之開啟設定點。SRV 約在事故後因 RPV 壓力下降而關閉，此後再也不曾開啟，由於發生時間在事故初期，且維持時間，對長程圍阻體分析之影響極微。(2) 長程主蒸汽管斷管分析將 3 串 RHR 均假設運轉於抑壓池冷卻模式，由於 2 台 HPCF 即可維持 RPV

另外，圍阻體長程分析會假設所有的 ECCS 系統都可用，由

於抑壓池水溫度將因吸收的 ECCS 系統 pump heat 隨之增加，因此較為保守。

龍門電廠有 2 條飼水管，每條飼水管分流 3 條飼水噴管(每條飼水噴管有左右 2 端)，每端 3 個噴嘴，因此，1 條飼水噴管共 6 個噴嘴，如下圖所示。當飼水管斷管發生齊頭式斷管時，RPV 內的流體會先經飼水噴嘴逆流至飼水噴管再逆流至斷裂的飼水管，再沖放至乾井。其流量會被下列面積中最小者所限制(1)3 路合計 54 只飼水噴嘴面積(2) 3 路(每路 2 端)合計飼水噴管面積(3) 3 路合計升管(riser)面積(4) 1 條飼水管面積。在專題報告 2.2 節，飼水管路齊頭式斷管分析的假設為：飼水管路面積 0.24 m^2 ，3 個飼水噴嘴(feedwater sparger)開口總面積為 0.0839 m^2 ，後者為飼水管斷管分析的沖放面積。由於飼水噴嘴不只 3 個，因此，請台電公司澄清。台電公司答覆顯示：

(1)3 路合計 54 只飼水噴嘴面積： $0.0839 \text{ m}^2(0.90 \text{ ft}^2)$

(2) 3 路(每路 2 端)合計飼水噴管面積： $0.13 \text{ m}^2 (1.43 \text{ ft}^2)$

(3) 3 路合計升管(riser)面積： 0.21 m^2

(4)1 條飼水管面積： 0.24 m^2

因此，流量確實會被飼水噴嘴面積所限制，專題報告修正後，台電公司之答覆可以接受。

專題報告 2.2.1.1.2 節顯示頂部水平通洩管的壓損係數與中間水平通洩管的壓損係數不同，由於所有水平通洩管的幾何形狀都相同，因此請台電公司解釋為何兩者之壓損係數公式不同。台電公司表示水平通洩管的壓損係數是藉由 I.E. Idel' chik 的 Handbook of Hydraulic Resistance 中，該公式和分流比例有關。垂直通洩管中的沖放流體會先到達和頂部水平通洩管的交界處，有 的沖放流體流往抑壓池 延著垂直通洩管繼續往下流；到達中間水平通洩管的交界處，再有 的沖放流體流往抑壓池，剩下 的沖放流體再往下經由底部水平通洩管到達抑壓池。對頂部水平通洩管而言，有 的沖放流量由此分流；對中間水平通洩管而言， 的沖放流量由此分流。由於分流比例不同，頂部與中間水平通洩管的壓損係數也會不同。台電公司的解釋澄清了此項疑點，可以接受。

專題報告 2.2.1.4 節與 2.3.2 節顯示短程主蒸汽斷管分析的假設之一為：假設斷管 2 秒後水位膨脹至主蒸汽管高度。由於進行主蒸汽斷管分析時，斷管處沖放流體的乾度會影響圍阻體在事故過程之尖峰壓力與溫度。因此請台電公司說明(1)2 秒如何獲得(2)2 秒前為蒸汽沖放，2 秒後轉變為雙相流體沖放，如何模擬。台電公司表示 2 秒為 FSAR 分析的假設。另外，為了模擬 RPV 於 2 秒後水位膨脹至主蒸汽管高度對於沖放流體乾度之影響，台電公司採用兩條接節來模擬 RPV 側的破口，此兩條接節的設定

在到達 RPV 水位膨脹時間(2 秒)之前，

台電公司之答覆詳細解釋了模擬分析的作法，可以接受。

專題報告 2.2.1.3 節顯示初始爐心熱功率為 102% 額定功率，台電公司表示採用 102% 額定功率初始爐心熱功率，與龍門 FSAR 6.2 節的圍阻體分析假設一致，其目的是為涵蓋爐心熱功率的不準度。這意味著龍門電廠圍阻體分析方法並非使用 2% 來涵蓋未來運轉需求。如果未來打算提升功率，相關參數必須另作檢討，例如 ECCS 系統與 RHR 泵運轉所產生之熱須重新估算。

專題報告 2.3 節顯示飼水管斷管事故中，MSIV 需 3 秒完全關閉，主蒸汽管斷管事故中，MSIV 需 4.5 秒完全關閉，兩者不一致，因此請台電公司澄清。台電公司表示，龍門電廠 MSIV 的完全關閉時間介於 3 至 4.5 秒之間，主蒸汽管斷管分析為了增加進入圍阻體的蒸汽沖放，故假設 MSIV 較慢關閉；然而飼水管斷管事故剛發生時，RPV 內的蒸汽沒有流失，假設 MSIV 較快關閉，會增加 RPV 壓力，進而增加斷管沖放流量，對圍阻體分析較保守。台電公司的解釋顯示：在兩個不同事件分析中採用不同之 MSIV 關閉時間，其目的是為了讓兩個事件分別得到較保守的分析結果，此作法將使安全餘裕增加，可以接受。

三、審查結論

台電公司對於本節報告內容與審查提問的答覆，經審查已提出適當評估說明與修正，其結果可接受。

在分析時有許多保守的假設，例如，短程分析只考慮一半的下乾井體積，這些假設項目較多，在此不一一列舉。這些保守的假設均視為方法論的一環，未來如要放寬其中之假設，須先證實其正當性。

另外，值得注意的是，台電公司表示採用 102%額定功率初始爐心熱功率進行分析，其目的是為涵蓋爐心熱功率的不準度。這意味著龍門電廠圍阻體分析方法並非使用 2%來涵蓋未來運轉需求。如果未來打算提升功率，相關參數必須另作檢討，例如 ECCS 系統 與 RHR 泵運轉所產生之熱須重新估算。

第三章 分析結果與比較

一、概述

依前述所建立之 GOTHIC 短程與長程分析模式，分別針對短程與長程分析之結果進行探討。

（一）短程分析結果

短程分析的目的是為求得乾井最高壓力與溫度，龍門電廠乾井最高溫度是由主蒸汽管斷管事故造成，乾井最高壓力是由飼水管斷管事故造成。

1. 主蒸汽管斷管事故

GOTHIC 之 total blowdown flow rate 遠小於 FSAR 之 total blowdown flow rate，專題報告解釋是由於考慮主蒸汽管摩擦壓降以及採用較合理的主蒸汽管隔離閥（MSIV）壓損係數（FSAR 採用 2.1），故初期的沖放蒸汽會低於 FSAR 分析的沖放流量。相關之討論請參閱本報告 3.4 節。至於 RPV 壓力變化，則與 FSAR 結果相當一致。

主蒸汽管斷管分析包括單一乾井模式分析與雙乾井模式分析。FSAR 中的 M3CPT 分析使用單一節點模擬上下乾井，專題報告的 GOTHIC 模式依照實際的圍阻體構型則將上乾井、下乾井與乾井連接通道皆分成數個控制體積處理，亦能表現上下乾井兩空間暫態反應的差異。但是為了與 FSAR 比較，也採用單一乾井模式進行靈敏度分析。

在單一乾井模式之分析中，GOTHIC 所計算出的圍阻體壓力與溫度變化皆與 FSAR 趨勢一致，因為使用較實際之 MSIV 壓力係數以及考慮主蒸汽

管的摩擦壓降，初期的蒸汽沖放流量減少，使得乾井最高溫度較 FSAR 結果低，也低於設計值 171.1°C 。在雙乾井模式之分析中，上、下乾井的溫度出現不同的反應，2 秒時因蒸汽沖放轉變為雙相流沖放，上乾井開始有液態水進入，使得上乾井溫度明顯下降，而下乾井因為處下游，才開始有液態水進入，使得下乾井溫度明顯下降。

雙乾井模式將濕井分為數個控制體積，可將濕井氣體溫度與抑壓池水溫度分開，被擠入池中的非凝結氣體尚未與池水達到熱平衡，即上浮至濕井氣體空間中，故所得之氣體溫度會明顯高於抑壓池水溫度。計算結果另外顯示，將上下乾井分為兩個控制體積，所得之乾井與濕井壓差，亦會較單一乾井模式保守，但由於使用較實際之 MSIV 壓力係數以及考慮主蒸汽管的摩擦壓降，初期的蒸汽沖放流量減少，乾井與濕井壓差仍小於 FSAR 的最大壓差值。

2. 飼水管斷管事故

飼水管斷管的主要沖放流體為液態水，其沖放流量明顯大於主蒸汽管斷管事故，會造成較高的乾井增壓效應，所以乾井的最高壓力係由飼水管斷管分析來決定。FSAR 短程飼水管斷管圍阻體分析亦採用 M3CPT 程式進行，但不使用該程式的 RPV 模式計算沖放流量，而是採用 RELAP5 飼水管斷管分析所得的沖放質能條件(包括 RPV 與 BOP 兩側的沖放)，來作為圍阻體分析的邊界條件。

飼水管斷管分析包括單一乾井模式分析與雙乾井模式分析。FSAR 中的 M3CPT 分析使用單一節點模擬上下乾井，專題報告的 GOTHIC 模式依照實際的圍阻體構型則將上乾井、下乾井與乾井連接通道皆分成數個控制體積處理，亦能表現上下乾井兩空間暫態反應的差異。但是為了與 FSAR 比較，也採用單一乾井模式進行靈敏度分析。

在單一乾井模式之分析中，GOTHIC 所計算出的圍阻體壓力與溫度變化皆與 FSAR 趨勢一致，但是，FSAR 分析結果的乾井最高壓力為 278.5 kPaG，GOTHIC 所計算出的乾井最高壓

由於龍門電廠的乾井連接通道係連接於上乾井底部，液態水會較易先排出，故流經通洩管的流體組成比例，不會與乾井空間的組成比例相同。但

此假設會使通過通洩管的壓損較大，使得位於通洩管上游的乾井空間壓力較高，因此會得到較保守的乾井最高壓力值。

在雙乾井模式之分析中，GOTHIC 所計算出的圍阻體壓力與溫度變化皆與單一乾井模式趨勢一致。主蒸汽管斷管案例因沖放流體以蒸汽為主，上下乾井之間的壓力差異不明顯。但飼水管斷管的沖放流體以液態水為主，上乾井中的液態水可經由連接通道排出，但下乾井的液態水則須至累積液面高於抑壓池回流道才能排出，使得飼水管斷管分析的上下乾井壓力與溫度有差異。雙乾井模式將濕井分為數個次體積，可將濕井氣體溫度與抑壓池水溫度分開，被擠入池中的非凝結氣體尚未與池水達到熱平衡，即上浮至濕井氣體空間中，故所得之氣體溫度會明顯高於抑壓池水溫度。

為了解水平通洩管對乾井與濕井暫態壓力與溫度的影響，審查小組請台電公司提供 LOCA 後高能流體開始分別經 3 根水平通洩管到液壓池的時間，與其關閉時間，除了回復審查提問外，本節內容也進行增列修訂。相關之討論請參閱本報告 3.4 節。

(二)長程分析

長程分析的目的係為求得抑壓池的最高溫度，故其分析模式及假設會與短程分析不同，例如長程分析會採用較低的抑壓池初始水位，以降低

抑壓池作為熱沈的能力；ECCS系統與RHR系統對於抑壓池溫度具有重要影響，故不同於短程分析，長程分析模式需考慮其作用。長程分析無需針對初期的沖放現象進行詳細描述。另一方面，對於 RELAP5 程式而言，要執行數十萬秒的暫態計算，實務上不易達成，因此圍阻體長程分析是直接採藉此計算 RPV 側的沖放流量。

1. 主蒸汽管斷管事故

因長程分析無需對事故初期有較精確之描述
使得整個過程的沖放流體皆為飽和蒸汽。雖然長程模式也有考慮主蒸汽集管側的沖放，但 MSIV 於斷管後 5 秒即完全關閉，故以時間來看該側之沖放對於長程分析幾無影響。專題報告與 FSAR 皆以單一體積簡化處理 RPV，所得之 RPV 壓力與沖放流量變化相當一致。FSAR 分析的沖放流量約較 GOTHIC 結果多一次突增

不會對長程分析結果造成明顯影響。

在事故過程中，當 RPV 內水位低於 L-1.5 時，HPCF 會啟動補水，將抑壓池水注入 RPV 直至水位達 L-8 為止。在 HPCF 進行注水時，RPV 因加入較冷的抑壓池水，導致產生的蒸汽變少，沖放流量因此降低；當 RPV 內水位達到 L-8，HPCF 停止作用後，產生之蒸汽又逐漸增加。因 HPCF 的啟動與停止，導致沖放流量與 RPV 內水位的振盪，亦使得圍阻體壓力與溫度在事故後期會有振盪情形出現。

計算結果顯示，濕井氣體溫度在事故初期因大量蒸汽進入而明顯增加，接著因與外壁間的熱傳而降溫，抑壓池水則是持續吸收爐心衰變熱與

運作水泵發熱功率而逐漸增溫，直到 RHR 的移熱量大於抑壓池水所吸引的能量後，水溫才開始降低。

本分析模式因將濕井空間進行分層

故造成其壓力亦較單一濕井體積的壓力低。

為了與 FSAR 長程分析使用之 SHEX 模式比較，本分析亦另將濕井以單一控制體積模擬，並使用非熱平衡之假設，以允許濕井內的氣體與液體溫度不同

後期的濕井氣體溫度與抑壓池會較接近，因氣體壓力與溫度相關，使得後期的濕井壓力也較高。

長程主蒸汽管斷管分析所得之抑壓池水溫暫態趨勢與 FSAR 結果一致，最高溫也僅相差 。因本分析將濕井空間切割為數個體積，藉此顯示溫度分層的效應，但也因事故後期濕井氣體空間在垂直方向的混合效果減弱，造成平均氣體溫度與壓力明顯較 FSAR 結果低。然而，一次圍阻體事故時的最高壓力並非發生於濕井，而是位於沖放路徑上游的乾井。龍門電廠 FSAR 中乾井最高壓力 278.5 kPaG 由短程飼水管斷管造成，遠高於濕井最高壓力，電廠日後運轉技術規範中與圍阻體洩漏之測試壓力，亦是以此分析所得之乾井最高壓力為基準。

2. 飼水管斷管事故

飼水管斷管與主蒸汽管斷管最明顯的不同處，即是分析時需要 BOP 側的飼水流量、流體焓與壓力作為邊界條件，包括從斷裂飼水管直接沖放之質能數據，以及從完整飼水管注入 RPV 之飼水質能數據。BOP 側條件由 RELAP5 分析提供，廠家在進行 FSAR 圍阻體分析時，為避免事故後期有較

冷的飼水進入圍阻體，反而會幫助抑壓池降溫，故假設 BOP 側的沖放在斷管 秒即停止。

SRV 約在事故 左右即因 RPV 壓力下降而關閉，此後再也不曾開啟，由於發生時間在事故初期，且維持時間僅約 10 秒，對長程圍阻體分析之影響極微。FSAR 之長程分析並不考慮 RCIC 之作用，而 GOTHIC 模式中雖考慮了 RCIC 之作用，但因其流量較小

故 RCIC 對長程分析之影響不顯著。斷管事故初期，主要以兩串 HPCF 與三串 RHR/LPFL 向 RPV 補水，斷管 30 分鐘後，RHR/LPFL 切換至抑壓池冷卻模式與乾井噴灑模式作用，RHR/LPFL 因此停止

長程飼水管斷管的後期沖放流量振盪與 HPCF 再啟動直接相關

當達到 L-8 時，HPCF 便停止注水，沖放流量因此減少；直至 RPV 水位降到 L1.5，HPCF 再啟動補水，沖放流量再次增加，使得 FSAR 的沖放流量呈現振盪

但無論是 FSAR 或專題報告之結果，HPCF 再啟動造成的沖放流量振盪皆出現在抑壓池最高溫度發生時間之後，不會影響長程分析的評估結論。

本分析模式將濕井空間進行分層處理，可觀察到事故過程中溫度分層之狀況。抑壓池水位雖會在事故暫態過程中變化，但最低仍在最高的水平

通洩管之上，確保沖放流體在通過通洩管後，一定會與池水混合，維持抑壓效果

同樣如前 3.2.1 節「主蒸汽管斷管事故」，為了與 FSAR 長程分析使用之 SHEX 模式比較，本分析亦另將濕井以單一控制體積模擬，此模式計算所得之圍阻體壓力與溫度變化趨勢與 FSAR 結果類似。單一濕井體積模式所得之濕井氣體溫度與抑壓池水溫度較接近，如將濕井分為數個次體積，則因可顯示溫度分層之效應，濕井氣體溫度會與抑壓池水溫度有較大差異，與前 3.2.1 節之結果一致。

但對飼水管斷管事故而言，主要沖放流體為液態水(特別是 BOP 側之飼水)因此，有必要針對乾井積水效應進行討論

本分析模式

將上乾井與下乾井分開，上乾井因位置較高，且積水能藉由其底部之乾井連接通道排出，故上乾井的氣體體積分率亦接近於 1；但下乾井因位處低處，進入下乾井的液態水，必須要累積到能經抑壓池回流道的高度才能排出。在 GOTHIC 模式中已經將這部分納入，分析結果顯示，下乾井因內部積水使得氣體體積分率會逐漸縮小，而後因液面高度到達抑壓池回流道，其氣體體積分率亦趨於穩定。GOTHIC 分析因考慮下乾井積水效應

但應較接近實際情況。

FSAR 與專題報告的分析結果皆顯示，抑壓池水溫度之最嚴重案例為長程飼水管斷管事故。抑壓池最高溫度除了有圍阻體結構完整性之考量，因 ECCS 系統與 RHR 亦會由抑壓池取水，所以池水最高溫亦對 ECCS 系統與

RHR 水泵之可用淨正吸水頭(NPSH)有影響。依龍門電廠 FSAR 所述，為保守起見，ECCS 系統 與 RHR 水泵之可用 NPSH 係以池水 100 °C 與圍阻體壓力 1 大氣壓(不考慮事故時圍阻體之壓力增加效應)評估，而龍門圍阻體抑壓池最高溫度之設計值為 97.2°C，本分析所得之抑壓池水最高溫

，且池水暫態溫度變化亦相當一致，計算結果顯示 ECCS 系統 與 RHR 水泵有足夠之可用 NPSH。

FSAR 分析之濕井氣體最高溫度明顯高於 GOTHIC 分析結果，然而，FSAR 分析的濕井氣體最高溫出現時間在長程飼水管斷管案例中之事故初期，但此並非長程分析評估之重心。本模式雖所得之濕井氣體溫度較低，但可觀察到濕井空間溫度分層效應，亦可呈現下乾井積水現象，應較接近實際情況。

(三)龍門 FSAR 短程圍阻體分析結果修訂

因專題報告送審時 FSAR 尚未修訂，故仍與現行 FSAR 6.2 節的分析結果比較

本節則說明 GOTHIC 分析結果與廠家新修訂結果之主要差異(GOTHIC 分析結果不變，FSAR 分析結果則修訂改變)。

龍門電廠圍阻體乾井的最高壓力與溫度皆由短程分析決定，乾井溫度之最嚴重案例為主蒸汽管斷管事故。乾井在主蒸汽管斷管初期所承受的沖放流體仍為蒸汽，初始反應爐壓力亦無變動，斷管事故造成之乾井最高溫

度也僅從 176.3°C 略增，修訂後的乾井溫度仍與現行 FSAR 結果沒有明顯差異。

乾井壓力之最嚴重案例為飼水管斷管事故，分析此事故時，若改用非熱平衡方式處理濕井氣體空間，事故初期的濕井氣體空間的溫度與壓力會較高，上游的乾井壓力也因此而增加。現行 FSAR 的乾井最高壓力 278.5 kPaG，改用非熱平衡方式處理濕井後則增，其暫態變化趨勢仍相同

(四)分析所得之圍阻體最高壓力與溫度

各案例的圍阻體壓力與溫度最高值如專題報告表。有關 FSAR 短程主蒸汽管斷管造成乾井溫度過高之爭議，專題報告在 GOTHIC 模式中建立 RPV 來計算沖放條件，並避免過度保守，採用較合理之假設以取得初期蒸汽沖放流量，計算所得的乾井溫度小於設計值，而乾井與濕井間壓差原本已接近設計值，經過重新計算壓差減少，與設計值之間有較大之餘裕。

二、審查發現

FSAR 採用單一乾井，沒有下乾井，但在專題報告 3.1.1 短程主蒸汽管斷管事故中，FSAR 的乾井溫度在 5 秒時卻明顯下降，因此請台電公司說明。台電公司表示在 FSAR 主蒸汽管斷管分析中(參照廠家的短程圍阻體分析 Design Record File 3.2 節)，M3CPT 設定在事故 5 秒後乾井內的氣體與液體才會完全混合，造成溫度明顯下降，台電公司之答覆可接受。

在專題報告圖 3-1 中 GOTHIC 之 total blowdown flow rate 遠小於 FSAR 之 total blowdown flow rate，專題報告解釋是由於考慮主蒸汽管摩擦壓降以及採用較合理的 MSIV 壓損係數（FSAR 採用 2.1），故初期的沖放蒸汽會低於 FSAR 分析的沖放流量。由於缺乏量化數據，因此請台電公司提供靈敏度分析，佐證上述說法。台電公司之靈敏度分析考慮不同之 MSIV 壓損係數以及有無主蒸汽管摩擦效應，另進行 3 案例如下表所示：

由下圖可知，MSIV 壓損係數與主蒸汽管摩擦效應，主要影響在於主蒸汽集管側的沖放，RPV 側的沖放流量之變動極輕微。

主蒸汽集管側的沖放流量變化顯示，有考慮摩擦效應或採用較高的 MSIV 壓損係數，皆可抑制主蒸汽集管側的沖放流量，其中對於蒸汽摩擦效應之效應相對飼水管路來說較不明顯。

由於 MSIV 壓損係數之效應很明顯，因此請台電公司補充說明 MSIV 壓損係數

一條主蒸汽管上有 2 只 MSIV，故其壓損係數。審查小組認為專題報告所考慮之主蒸汽管摩擦壓降以及所採用之 MSIV 壓損係數均屬合理有據。

在長程主蒸汽管斷管事故中，從專題報告顯示在 HPCF 啟動與停止的時間，GOTHIC 分析與 FSAR 有相當差異，因此請台電公司解釋。台電公司表示在事故後期 HPCF 再啟動時間略有差異，是因 RPV 水位到達 L-1.5 或 L-8 的時間略有不同所造成，但分析所得之 RPV 壓力與沖放流量(專題報告之圖 3-15)並無顯著差異。台電公司之答覆可接受。

在長程飼水管斷管事故中，從專題報告圖 3-20(b)顯示 GOTHIC 分析之沖放流量與 FSAR 有相當差異，因此請台電公司解釋。台電公司表示在事故後期

當 RPV 水位到達 L-1.5 或 L-8，因 HPCF 的啟動與停止，導致沖放流量的振盪，而在 GOTHIC 的結果

中，直到事故後才會出現沖放流量振盪的現象。但無論是 FSAR 或專題報告之結果，HPCF 再啟動造成的沖放流量振盪皆出現在抑壓池最高溫度發生時間之後，不會影響長程分析的評估結論。

另外，在長程飼水管斷管事故中，從專題報告顯示 FSAR 在後壓力與溫度皆呈現下上振盪走勢，因此請台電公司解釋。台電公司表示 FSAR 的分析顯示 HPCF 的啟動與停止，造成水位變化。

故 FSAR 後期的圍阻體壓力振盪與沖放流量振盪直接相關，GOTHIC 結果至事故才出現第 1 次的沖放流量振盪，所以圍阻體壓力振盪較不明顯。台電公司之答覆可接受。

在長程飼水管斷管事故中，從專題報告未見 RCIC(GOTHIC)流量，台電公司檢討發現該圖之 RCIC 與 HPCF 流量均有誤植，專題報告一併修正，故不會對圍阻體長程分析結果有明顯影響。台電公司之修正與答覆可以接受。

為了解水平通洩管對乾井與濕井暫態壓力與溫度的影響，審查小組請台電公司提供 LOCA 後，高能流體開始分別經 3 根水平通洩管到液壓池的時間，與其關閉時

附表 1 短程分析之水平通洩管排清時間

M3CPT 程式中對於 vent clearing 現象有其特殊模式處

然而 GOTHIC 程式並無針對 vent clearing 現象建立特殊模式

GOTHIC 則藉由計算每個
體積中的質量、動量與能量守恆，來呈現 vent clearing 效應。由於理論
模式不同，不易直接比較。

此外，讓 GOTHIC 與 M3CPT 有差異的因素包括：GOTHIC 模式將上下乾
井分開，上乾井內的流體可能會先到下乾井，再到達垂直通洩管，與
M3CPT 單一乾井節點模式不同；

在長程分析中，事故後期可能會因為液態水沖放或是抑壓池水逆流，導致水平通洩管內再次充滿水

MSLB

事故中，若蒸汽沖放停止，抑壓池水逆流導致通洩管內充滿水；再開始蒸汽沖放則會使通洩管內液體比例下降。然而在 FWLB 事故中，後期的沖放流量以液態水為主，故通洩管維持充滿水的狀況。台電公司之答覆可接受。

沖放質能數據之計算，為圍阻體分析方法論之輸入邊界條件，以下分別針對各不同案例，討論其沖放質能數據之計算之審查情形。

在短程主蒸汽管斷管分析中，專題報告採取與 FSAR 類似方式計算沖放質能數據，即是模擬 RPV，並用 Homogenous Equilibrium Model 臨界流模式計算沖放流量

專題報告則是模擬斷管兩側破口。此外，FSAR 之分析中假設 MSIV 壓損係數為 2.1，專題報告之分析中除假設 MSIV 壓損係數亦考慮了實際主蒸汽管路的摩擦效應。審查小組認為專題報告模擬斷管兩側破口，假設 MSIV 壓損係數同時考慮了實際主蒸汽管路的摩擦效應之模擬方式符合實際狀況，藉此方式所計算之沖放質能數據可接受。短程主蒸汽管斷管分析之沖放質能數據計算，可視為圍阻體分析方法論之一環。

在短程飼水管斷管分析中，FSAR 係採用 RELAP5 飼水管斷管分析結果來提供 RPV 側與 BOP 側的質能沖放數據，作為圍阻體分析的邊界條件。專題報告直接採用 RELAP5 所提供之沖放條件，故無需模擬 RPV。審查小組認

為此作法可以接受，但是，因為短程飼水管斷管分析並未自行產生沖放質能數據，未來當事故情境超出目前分析條件時，必須另行利用 RELAP5 或其他相當之程式產生沖放質能數據。

在長程主蒸汽管斷管與長程飼水管斷管分析中，因初期沖放流量的變化(100 秒內)對長程池水溫度變化幾無影響，因此長程模式直接使用 GOTHIC 程式建立控制體積代表 RPV，採用 Homogenous Equilibrium Model 臨界流模式計算斷管沖放流量。審查小組認為此模擬方式合理，可以接受。

三、審查結論

台電公司對於本節報告內容與審查提問的答覆，經審查已提出適當評估說明與修正，其結果可接受。

沖放質能數據之計算，在 3.4 節中已經審查，其中短程主蒸汽管斷管、長程主蒸汽管斷管與長程飼水管斷管分析均由 GOTHIC 程式計算產生沖放質能數據，然而短程飼水管斷管分析並未自行產生沖放質能數據，而是直接採用 FSAR 中 RELAP5 所提供之沖放條件。未來當短程飼水管斷管之事故情境超出目前分析條件時，必須另行利用 RELAP5 或其他相當之程式產生沖放質能數據。

第四章 總結

一、審查結論

此方法論之主要目的是發展自主之圍阻體申照分析技術，報告主要項目包括龍門電廠 ABWR 型圍阻體與 GOTHIC 程式簡介、龍門電廠圍阻體分析模式建立、龍門電廠圍阻體短程分析與長程分析之分析模式建立與平行驗證。台電公司對於報告內容與審查提問的答覆，經審查已提出適當評估、說明與修正，其結果可接受。

二、後續管制要求

此次之分析方法與模式，於未來欲應用至其他分析時，應注意下列幾點差異：

- (一)在分析時有許多保守的假設，例如，短程分析只考慮一半的下乾井體積，這些假設項目較多，在此不一一列舉。這些保守的假設均視為方法論的一環，未來如要放寬其中之假設，須先證實其正當性。
- (二)另外，值得注意的是，台電公司表示採用 102%額定功率初始爐心熱功率進行分析，其目的是為涵蓋爐心熱功率的不準度。這意味著龍門電廠圍阻體分析方法並非使用 2%來涵蓋未來運轉需求。如果未來打算提升功率，相關參數必須另作檢討，例如 ECCS 系統與 RHR 泵運轉所產生之熱須重新估算。
- (三)短程飼水管斷管分析並未自行產生沖放質能數據，而是直接採用 FSAR 中 RELAP5 所提供之沖放條件。未來當短程飼水管斷管之事故情境超出目前分析條件時，必須另行利用 RELAP5 或其他相當之程式產生沖放質能數據。

註：本案之相關附件因涉及廠家商業機密因此不公開上繳。