

第六章第二節審查意見

編 號	6.2-01-115	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S14	6.2		結案
第 1 次審查意見						
核一廠乾貯設施採用混凝土護箱作為反應器廠房至貯存場址之作業設計，但核二廠乾貯設施則以傳送護箱作為運送至貯存場址的方式，請台電公司提供美國採用相同護箱型式之乾貯設施以傳送護箱作為運送工具之案例，以及異常或意外事件之經驗回饋。						
第 1 次審查意見答復說明						
許多 NUHOMS 的電廠皆是以傳送護箱運送並在 ISFSI 混凝土基座上以傳送護箱傳送密封鋼筒至混凝土護箱，這些電廠包括 Calvert Cliffs, Davis-Besse, Fort Calhoun, Oconee, Oyster Creek, Palisades 與 Point Beach 電廠。此外，加拿大兩座電廠的 TN- AECL/CANDU MACSTOR 系統以及在科羅拉多 Ft. St. Vrain 電廠的 Foster Wheeler MDVS 系統皆以垂直護箱傳送，不曾發生困難。						
第 2 次審查意見						
請台電公司確實提供美國採用直立式傳送護箱(vertical transfer cask)作為運送工具之案例，以及異常或意外事件之經驗回饋。						
第 2 次審查意見答復說明						
NUHOMS 的設計適用於水平傳送，該設計在密封鋼筒自傳送護箱傳送至混凝土護箱時有擦傷密封鋼筒的風險，所有其他貯存系統使用垂直傳送(NAC、Holtec、Sierra/BNFL、Westinghouse 與 Foster Wheeler)。各個電廠的特殊性諸如建物空間、吊車能力與門廊尺寸等條件決定建物中或貯存場址的鋼筒傳送方式，沒有法規規定傳送密封鋼筒的操作一定要在廠房中進行。當電廠除役後，場址中混凝土護箱內的密封鋼筒必須垂直傳送至運送護箱內，NAC 累積超過 300 次的傳送經驗中，未曾出現任何異常或意外的事件。廠房外的垂直傳送例子有：						

- Maine Yankee-- #51 VCC 之垂直傳送情況



- Yankee Rowe—在 Rowe 之護箱固定與密封鋼筒傳送情形



- Big Rock Point –護箱之垂直裝填



- Hanford INEL – Hanford 燃料貯存區域



- Humbolt Bay – 地下貯存場垂直傳送情況



- Dresden – Dresden 垂直傳送情況



Dresden Cask Transfer Facility - Completed

典型的操作是將傳送護箱固定在多軸板車(Dolly)上，待多軸板車駛出廠房外再將密封鋼筒傳送至混凝土護箱中，然後將混凝土護箱送到貯存場址之混凝土基座(Pad)進行貯存。只有 Dresden 與 Humbolt Bay 有在混凝土基座上執行垂直傳送的經驗，並且截至目前為止沒有任何報導顯示有任何異常或意外發生，更值得注意的是在這操作的過程中沒有任何護箱使用防撞緩衝器(Impact Limiter)。這類似核一廠廠內燃料之跨機組傳送與核二廠乾式貯存之傳送護箱的操作，將傳送護箱固定在多軸板車上，但此二者在傳送護箱頂部設置防撞緩衝器預防運送期間非預期的負載衝擊，再者，對於運送過程執行不符合力學原理(non-mechanistic)的傾倒撞擊分析，證實即使在運送過程中發生傳送護箱自多軸板車傾倒意外時，防撞緩衝器仍然可確保密封鋼筒的結構完整性。

LS-DYNA 對於傳送護箱傾倒意外事故評估中保守計算出密封鋼筒在撞擊時的加速度值為 25.7g。以 LS-DYNA 計算得到 25.7g 後，再以 ANSYS 程式進行密封鋼筒提籃與提籃結構靜力評估，評估時則採用更保守加速度負載(密封鋼筒使用 40g；燃料提籃使用 35g)來涵蓋 25.7g，證實 40g 與 35g 加速度下的密封鋼筒與燃料提籃仍可保持其結構完整性。核二乾貯系統的密封鋼筒設計與 MAGNASTOR 系統的密封鋼筒相同，其安全評估包括了保守的側向與軸向撞擊評估(除了以上所提的 40g 側向負載之外，亦保守評估 60g 的軸向負載)，以證實貯存設施結構的安全性。

第 3 次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-02-116	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S14	6.2		結案

第 1 次審查意見

1. 報告中應補充說明傳送護箱傾倒或混凝土護箱傾倒等意外事件最大加速度如何計算，不應只列出結果。另運送作業中 2 英尺高度的要求係指為何？混凝土護箱重心位置大約在 3 公尺左右，傾倒事件僅分析 2 英尺高度，似嫌不足。
2. 核二廠乾式貯存計畫雖採用美國管制機關核准之貯存護箱系統，但由於場址特性與社會環境差異，建議台電公司妥為規劃實體墜落測試(Drop test)，採更嚴謹的態度，全面檢視乾貯設計的安全性。

第 1 次審查意見答復說明

1.
 - a. 混凝土護箱或傳送護箱傾倒時的撞擊加速度是經由有限元素計算獲得，有限元素模型及計算過程陳述於安全分析報告六.二.A.3.(2)節與六.二.A.7 節，其加速度評估結果則陳述於六.二節結構評估本文中，混凝土護箱傾倒對密封鋼筒與混凝土護箱之結構影響評估陳述於六.二.(六).4.(1).C，六.二.(六).4.(2).B 與六.二.(六).4.(3).F 節，其中六.二.(六).4.(3).F 節對於加速度有最完整的說明。

以混凝土護箱傾倒評估說明，考慮裝載燃料的混凝土護箱重心高度為 2,817 mm，護箱在混凝土基座傾倒前後的重心高度落差為 1,577 mm (62.1 in)，將混凝土護箱傾倒前後的位能差轉換成傾倒的動能，故獲得混凝土護箱傾倒時的角速度。在傾倒過程中，護箱不同高程的位置與基座的撞擊速度為高程與角速度的乘積，所以護箱不同高程的位置有不同的撞擊速度，該撞擊速度對混凝土護箱或是密封鋼筒的不同高程的位置也造成不同的撞擊加速度。六.二.(六).4.(3).F 節中除了

驗證六.二.A.3.(2)中的混凝土護箱傾倒角速度在不同的混凝土基座上所產生的撞擊加速度的差異並不大(靈敏度分析)之外，內容中也詳細說明後續的結構評估如何採用更保守的加速度值對密封鋼筒與燃料提籃進行評估，故報告中對加速度的評估除了有詳細的有限元素模型說明外，對加速度的獲取與採用也有詳細說明。

傳送護箱傾倒的有限元素模型說明於六.二.A.7節，加速度評估則說明於六.二.(六).4.(4)節中，其論述方式與混凝土護箱傾倒意外相同。

- b. 核二乾貯計畫中對系統貯存與運貯操作過程並無 2 ft 高度的要求。在核一乾貯計畫中有混凝土護箱底部頂舉或頂部吊舉的需求，故有混凝土護箱吊舉高度不可超出 24 in 的要求。並且因為吊舉元件/設備無防止單一失靈功能(single failure proof)，故必須進行 24 in 墜落評估。在核二乾貯工作中，因為混凝土護箱在混凝土基座上灌製，再使用多軸油壓板車與傳送護箱將密封鋼筒載運至混凝土基座，並將密封鋼筒傳送至混凝土護箱中，故整個核二乾貯操作過程中，皆無搬動混凝土護箱的操作。
2. 核二系統的最大的衝擊負載狀況為假設性的混凝土護箱傾倒與傳送護箱傾倒意外事故，此二意外事故之評估首先以 LS-DYNA 程式進行混凝土護箱與傳送護箱傾倒分析，計算出裝載用過核子燃料的密封鋼筒與燃料提籃的最大加速度，再以較計算值高的保守加速度值進行密封鋼筒與燃料提籃的結構靜力分析。

應廠家要求：

本部分涉及廠家商業機密，屬其智慧財產權，

不予公開。

應廠家要求：

本部分涉及廠家商業機密，屬其智慧財產權，
不予公開。

LS-DYNA對於混凝土護箱傾倒與傳送護箱傾倒意外事故評估保守計算出密封鋼筒的加速度值分別為29.6 g 與25.7 g。密封鋼筒與提籃則使用ANSYS程式進行結構靜力評估，評估時則採用更保守的加速度負載(密封鋼筒使用40 g；燃料提籃使用35 g)來涵蓋29.6 g與25.7 g。核二乾貯系統的密封鋼筒設計與MAGNASTOR系統的密封鋼筒相同，其安全評估包括了保守的側向與軸向撞擊評估(除了以上所提的40 g側向負載之外，亦保守評估60 g的軸向負載)。

綜合以上說明，MAGNASTOR系統的密封鋼筒與提籃之設計足以承受較計算值為高的撞擊負載且仍保有良好的安全餘裕，用於MAGNASTOR系統的分析方法為美國工業界普遍採用並經美國NRC嚴密審查並已獲得認可證明系統足以勝任貯存與操作過程的各種負載狀況。核二乾貯系統的設計是將混凝土護箱置放在混凝土基座(ISFSI Pad)上，設計上並無混凝土護箱的吊舉操作；傳送護箱/密封鋼筒的吊運與裝填皆依據ANSI N14.6與NUREG-0612的Critical Load要求；並且，使用防止單一失靈吊車操作裝載用過核子燃料的傳送護箱/密封鋼筒，確保吊舉時不會發生墜落意外。

第 2 次審查意見

1. 請台電公司補充說明四分之一尺寸備有防撞緩衝器的護箱實體墜落測試結果，以及如何 scale-up 至全尺寸護箱，該測試結果報告亦應列為補充文件，俾供主管機關審閱。
2. 若發生傳送護箱傾倒意外事故，請說明如何安全運回反應器廠房。

第 2 次審查意見答復說明

1. 實際護箱在墜落時的撞擊加速度為四分之一之測試模型量測所得加速度的四分之一。例如若由四分之一之測試模型量測所得的加速度為 240 g，則實際護箱的撞擊加速度應為 60 g。請參見附件 6.2-02-B。附件 6.2-02-B NAC internal 公司對於 UMS(核一系統之技術轉移護箱)護箱所進行的四分之一模型的測試與分析，UMS 護箱包含 impact limiter 的重量為 260,000lb，其四分之一模型的重量為 4,060lb。UMS 護箱的 Design Basis Acceleration 為 60g(核一乾貯護箱垂直墜落時的端部加速度負載為 60g)，其四分之一模型的 Design Basis Acceleration 為 240g。由附件 6.2-02-B 之 2.10.3-2 頁之表中知道四分之一模型的端部墜落測試所得的端部加速度為 207g，以 LS-DYNA 程式進行模擬墜落分析所得的撞擊加速度為 226g，顯示 LS-DYNA 墜落分析所得的撞擊加速度比較保守，足以涵蓋實際的測試加速度。所以實際護箱在墜落時的撞擊加速度約為四分之一測試模型量測所得加速度的四分之一。
2. 使用多軸板車與傳送護箱將密封鋼筒由燃料廠房運送至貯存場址，以八條鋼索將傳送護箱固定在多軸板車上，在傳送護箱底部再以保護塊(restraining block)防止傳送護箱滑動。分析此配置在運送過程中遭逢地震來襲時，裝載燃料後的傳送護箱不會傾倒。另一項額外的安全評估是假設傳送護箱傾倒時，傳送護箱頂部的防碰器(impact limiter)也對傾倒時的傳送護箱提供充分的安全保護，可確保傳送護箱與密封鋼筒的結構完整性。若在以上種種保護的情況下仍發生假設性的傳送護箱傾倒意外事故，將迅速進行現場管制，並使用商用吊車將傳送護箱回復至多軸板車，再回送至燃料廠房進行後續相關操作。

第 3 次審查意見

1. 參照台電公司補充文件(附件 6.2-02-B)，30ft 墜落撞擊加速度之設計值為 240g，經 1/4 模型實際狀及量測之加速度為 207g，如 scale-up，則實際護箱之撞擊加速度應為 51g，尚符合 60g 設計值。
2. 台電公司答覆內容有關傳送護箱傾倒意外事故所需之吊車，會是事故處理所需時間的關鍵，台電公司應補充說明吊車提供廠商、到廠時間要求

等，相關應變處理措施應納入意外事件應變計畫中。

第 3 次審查意見答復說明

1. 敬悉。
2. 有關傳送護箱傾倒意外事故發生時所需之吊車調度，廠商可在運貯操作時提供 400 噸與 200 噸大吊車各一部。萬一發生傳送護箱傾倒意外事故發生時，最遲應於事故發生後 24 小時內抵達事故現場處理，相關應變處理措施將納入意外事件應變計畫中。初步調查目前國內吊車狀況，北部約有四家吊車公司擁有 400 噸以上之移動式起重機，中部以北約有 8~9 台。

第 4 次審查意見

同意答復。答復內容請增補於意外事件應變計畫中。

編號	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
6.2-03-117	結構	S15/S17	6.2	6.2.3-4	結案
第 1 次審查意見					
本節計算安全係數時，各種材料降伏強度與極限強度數值的採用溫度不一，舉例而言：					
1.P6.2.6-4：SA240 Type 304/304L，在 149°C(300°F)的溫度下之降伏強度；極限強度					
2.P6.2.6-21：密封鋼筒殼體材料 SA240, Type 304 不銹鋼降伏強度(200°F)					
3.P6.2.6-29：400°F (204°C) SA240 Type 304 不銹鋼之降伏強度					
4.P6.2.6-12：204.4°C (400°F) A350 LF2 材料之降伏強度；極限強度					
5.P6.2.6-14：保護環材料 A588, Type A, B 碳鋼在 93.3°C (200°F)下之設計應力強度					
6.P6.2.6-16：螺栓材料 A193, Grade B8 不銹鋼在 93.3°C (200°F)下之降伏強度					

- 7.P6.2.6-27：燃料方管材料 725°F (385°C) SA537 Class 1 之設計應力強度
- 8.P6.2.6-28：500°F (260°C) SA537 Class 1 之燃料方管材料降伏強度
- 9.P6.2.6-30：700°F (371.1°C) SA193 Grade B6 之螺栓設計應力強度
- 10.P6.2.6-31：700°F (371.1°C) SA193 Grade B6 螺栓之設計應力強度
- 11.P6.2.6-33：700°F (371.1°C) SA240 Type 304 之墊圈設計應力強度
- 12.P6.2.6-35：700°F (371.1°C) SA516 Grade 70 之設計應力強度
- 13.P6.2.6-36：SA240 Type 304 750°F (399 °C)之設計應力強度
- 14.P6.2.6-38：350°F(176.7°C)混凝土抗壓強度
- 15.

age	設計應力強度	材料@參考溫度
6.2.6-27	21.13 ksi (145 69 MPa)	燃料方管材料 725°F(385°C) SA537 Class 1
6.2.6-28	35.4 ksi (244.08 MPa)	500°F (260°C) SA537 Class1 之燃料方管材料降伏強度
6.2.6-29	Sy = 20.7 i	400°F (204°C) SA240 Type304 不銹鋼之降伏強度(密封鋼筒底板)
6.2.6-30	Sm = 23.3 ksi (160.65 MPa)	700°F (371.1°C) SA193Grade B6 之螺栓設計應力強度

設計應力強度選用參考溫度不同，請說明選用標準，或列表提供各組件溫度分布，以評估選用設計應力強度之保守性。

第 1 次審查意見答復說明

貯存護箱的密封鋼筒與混凝土護箱或是傳送護箱皆是由許多元件所組合成的結構物。經由熱傳分析結果顯示，結構物各部位有不同的溫度值，即使是同一元件，因為元件體積龐大，元件各部位仍有不同的溫度值，例如密封鋼筒外殼是由相同材料製成，在密封鋼筒外殼頂部與底部就有很大的溫差，結構評估時會採計評估部位的溫度值所對應的材料強度作為參考值，故對同一材料在不同的評估會有不同的材料容許應力。以表 6.2.A.2-1 說明，表 6.2.A.2-1 為密封鋼筒在正常貯存壓力(保守以 110 psig 計算)加操作時的薄膜應力(P_m)，表中鋼筒應力截面 2 至應力截面 10 同屬鋼筒外殼元件，因為所處位置的溫度不同，所以有不同的容許應力值(S_{allow})。

因為高溫度時的容許應力值較低，所以對於各元件的容許應力值的採計會

保守地採用較高溫度時的容許應力值來涵蓋較低溫度時的容許應力值。整理審查意見中所列之元件結構評估溫度，與該元件之熱傳評估溫度及其參考資料如下表。結構評估所採用的溫度皆高於熱傳評估結果，所以結構評估之材料強度的採計方式具保守性。

項次	頁次	元件	材料	熱傳評估 之最高溫度 (°C/°F)	結構評估 參考溫度 (°C/°F)
1.	P6.2.6-4	密封上蓋	SA240 Type 304/304L	148/299 ^a	149/300
2.	P6.2.6-21	密封鋼筒 蓋支撐	S 240 Type 304/304L	48/119 ^b	3/200
3.	P6.2.6-29	密封鋼筒底板	SA240 Type 304/304L	65/149	204/400
4.	P6.2.6-12	傳送護箱滑軌	350 LF2	90/194 ^a	204/400
5.	P6.2.6-14	保護環	A588, Type A, B	82/180 ^a	93/200
6.	P6.2.6-16	螺栓	A193, Grade B8	82/180 ^a	93/200
7.	P6.2.6-2	燃料方管	S 537 Class 1	260/500	85/72
8.	P6.2.6-28	燃料方管	SA537 Class 1	102/216 ^c	260/500
9.	P6.2.6-30	螺栓	SA193 Grade B6	211/412	371/700
10.	P6.2.6-31	螺栓	SA193 Grade B6	211/412	371/700
11.	P6.2.6-33	墊圈	SA240 Type 304	211/412	371/700
12.	P6.2.6-35	殼	SA 16 Grade 70	211/412	371/700
13.	6.2.6-6	保護板	SA240 Type 304	260/500	399/750
14.	P6.2.6-38	混凝土護箱	混凝土	103/217	177/35
15.	6.2.6-27	燃料方管	SA537 Class 1	260/500	385/725
16.	6.2.6-28	燃料方管	SA537 Class 1	102/216 ^c	260/500
17.	6.2.6-29	密封鋼筒底板	SA240 Type 304/304L	65/149	204/400
18.	6.2.6-30	螺栓	SA193 Grade B6	211/412	371/700

- a. 以 17kW 進行保守熱傳穩態評估(詳 6.3.6-4 頁之熱傳評估)，實際核二乾貯工作的最大燃料熱負載為 14.6 kW。
- b. 在密封上蓋完成封銲前，由密封鋼筒殼體頂部處內側之密封鋼筒上蓋支撐承載密封上蓋重量。密封上蓋完成封銲前，密封鋼筒與傳送護箱之間有循環冷卻水，此時的密封鋼筒上蓋支撐溫度低於 119°F。
- c. 燃料方管底部與連結插銷的接觸面。

第 2 次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-04-118	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.3-4	結案
第 1 次審查意見						

密封上蓋的材料可為 SA336 Type 304/304L 不銹鋼或 SA240 Type 304/304L 不銹鋼；若使用 SA336 不銹鋼，其降伏強度和極限強度必須等於或大於 SA240 不銹鋼之降伏強度和極限強度。一般 SA336 機械強度略低於 SA240，上述要求請明定於現場作業程序書或設計規範中。

第 1 次審查意見答復說明

目前已在安全分析報告 6.2.B.1(6.2.B-2 頁)節中加註明定密封上蓋材料之降伏強度與極限強度必須大於或等於 SA240, Type 304 不銹鋼。依審查意見處理，將若使用 SA336 不銹鋼，其降伏強度和極限強度必須等於或大於 SA240 不銹鋼之降伏強度和極限強度的要求，明定於設計規範中。

第 2 次審查意見

同意答復。請台電公司提供增修內容。

第 2 次審查意見答復說明

依審查意見辦理。修正如附件 6.2-04-B，將詳載於安全分析報告內。

第 3 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-05-119	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S16	6.2	6.2.6-2	結案

第 1 次審查意見

當密封鋼筒內部填充 9.98 atm 氬氣後，如何確保注氣孔(或排氣孔蓋)密封時內部氬氣不會洩漏，又如何知道密封完成後內部氬氣仍為 9.98 atm 之壓力，請加以澄清。

最終銲接之銲道採用液體滲透測試 PT，此種方式僅能檢測表面裂縫且必須於平整乾淨之表面進行(銲道需要磨平)，無法測得銲道品質，是否能用於根部銲接及中間層銲接之檢測，需加以確認，另檢測時之密封鋼筒溫度是否適合檢測人員辦理 PT 檢測，仍應加以考量。

建議本密封鋼筒可考慮採壓力容器之測試方式，增加銲道超音波檢測為宜

第 1 次審查意見答復說明

1. MAGNASTOR 密封鋼筒設計正常壓力為 100 psig，核二系統實際之正常壓力在 80 psig 以下，並未達議題所提 9.98 atm(146.71 psig)之程度。氦氣注入後，會立刻將排水孔與排氣孔之內孔蓋封鐸，完成封鐸後會對內孔蓋進行氦氣測漏，測漏標準為達到相關法規 N14.5 漏密 (leak tight)之要求，即洩漏率低於 2×10^{-7} std cc/sec。每組鋼筒於出廠前即已執行過洩漏率檢測，而在氦氣回填後，至孔蓋完成封鐸作業時間僅約 2~4 小時，故可確定筒內氦氣可保設計規範之要求。
2. 漸進式液滲檢查(Progressive PT)經 US NRC 同意可用以取代在密封上蓋對密封鋼筒密封鐸道之 PT+RT 或 PT+UT 的檢測(請參見 ISG-15)，且 PT 檢測為業界常用之探傷方式，針對不同之作業溫度區間有不同之藥劑可供執行。本案將依據 ASME code Sec. V 對鐸道進行漸進式液滲檢查，除根部與最終鐸接面一定要執行 PT 檢查外，每填料不超過 0.33 in 還需進行 PT，鐸後尚有水壓測試以及內孔蓋的氦氣洩漏測試，就實務上已可達確保無洩漏之要求。故不需另行增加 UT 檢測。

第 2 次審查意見

1. 請澄清檢測時之密封鋼筒溫度為何？是否適合檢測人員執行 PT 檢測？
2. 請台電公司加強說明如何確保密封完成後內部氦氣壓力可維持 9.98atm？
3. 在洩漏率低於 2×10^{-7} std cc/sec 下，50 年後密封鋼筒內所剩的氦氣量為何，請詳載於安全分析報告內。

第 2 次審查意見答復說明

1. 如編號 6.2-03 回覆表之註釋 1 與 2，以 17kW 進行保守熱傳穩態評估(實際核二乾貯工作的最大燃料熱負載為 14.6 kW)。密封上蓋完成封鐸前，密封鋼筒與傳送護箱之間有循環冷卻水，此時的密封鋼筒上蓋支撐溫度低於 119°F (48°C)，所以密封鋼筒上蓋支撐上方之密封鋼筒上蓋溫度將更低於該溫度，仍適合檢測人員辦理 PT 檢測。PT 檢測後的整體氦氣洩漏率應小於或等於 2×10^{-7} cm³/s。
2. 依據 NUREG-1536 的說明，不銹鋼的密封鋼筒如利用鐸接方式作密封

邊界，且相關密封邊界依據 ANSI N14.5 執行氦氣測漏並符合漏密的要求（氦氣洩漏率不大於 $2 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s}$ ）或符合 ISG-15 的說明，則該密封邊界銲道視為無洩漏發生。本案的密封邊界的銲道皆符合上述法規要求，故沒有洩漏發生，所以可維持其內部的氦氣壓力 5.5 atm 而非 9.98 atm。

3. 密封鋼筒生產過程皆依照法規嚴格製作及檢驗，因此不會有洩漏的現象發生。密封鋼筒滿足 ANSI N14.5-1997 對於洩漏率必須低於 $2 \times 10^{-7} \text{ std cm}^3/\text{sec}$ 的要求，若以此標準進行氦氣洩漏量計算，密封鋼筒使用 50 年間的洩漏總量將不超過 $1,706 \text{ cm}^3$ ， $(2 \times 10^{-7} \times 50 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \times 79.5 / 14.7 = 1,706 \text{ cm}^3)$ ，約佔原氦氣總量($6.315\text{E}+6 \text{ cm}^3$ ，79.5 psig)的 0.027 %，並且系統貯存 50 年後的燃料溫度已明顯低於貯存初期，因此微量氦氣質量差異不足以影響系統熱傳特性。事實上，鋼筒已經符合 ISG-15 的要求，則該密封邊界銲道應視為無洩漏。修正如附件 6.2-05-B，將詳載於安全分析報告內。

第 3 次審查意見

同意答復

編 號	6.2-06-120	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	F06	6.2	6.2.6-2	結案
第 1 次審查意見						
傳送護箱於核二廠用過燃料池內或燃料裝載區域吊運，或是傳送護箱於用過燃料池操作樓板上方吊運與移動等結構設計分析資料缺漏。安全分析報告應切實考量核二廠操作條件，加以評估分析，不應僅原則性描述或將此安全議題拖延至運貯前。						
第 1 次審查意見答復說明						
按核一乾貯的經驗，安全分析報告中詳述貯存系統(密封鋼筒與混凝土護箱)與主要相關設備(傳送護箱)的安全性，與電廠或場址相關的輔助設備(吊鈎或吊軌)則屬於系統操作時的附屬設備，應在於系統試運轉前提出運轉許可申請時，再送輔助設備的結構評估報告至主管單位審查。故審查意見中						

所列之用過燃料池操作樓板上方吊運與移動等結構設計分析資料皆屬系統操作之附屬設備，應在試運轉前提出審查。況且用過燃料池操作樓板上方吊運與移動等結構及場址吊車機具都還在規劃階段，尚未確定使用之機具，故無法陳述在目前安全分析報告中。

第 2 次審查意見

同意答復。台電公司應於試運轉作業申請前提送傳送護箱於反應器廠房內操作之結構評估報告，並列為本案追蹤管制事項。

第 2 次審查意見答復說明

依審查意見辦理。

第 3 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-07-121	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.6-23&24	結案
第 1 次審查意見						
F. 密封鋼筒疲勞分析						
本節的目的在於評估密封鋼筒在週期負載下，是否必要進行疲勞評估。對於密封鋼筒的週期性操作的要求說明於 ASME Code, Section III, Subsection NB, Article NB-3222.4 [6]與 Subsection NG, Article NG-3222.4 [7]。是否需要進行疲勞負載分析，則視系統滿足以下六項要求。倘若滿足以下六項要求，則可排除進一步的疲勞分析。						
1.大氣壓力到運轉壓力循環						
2.正常運轉壓力波動						
3.溫差效應—啟動與停機情況						
4.溫差效應—正常與異常運轉情況						
5.溫差效應—相異材料						
6.機械負載						

情況 5—溫差效應—相異材料

密封鋼筒內部包含了不同材料的組件。在分析設計過程中，均考慮了不同材料組件的熱膨脹係數，因此排除未經過分析而產生的熱應力集中效應。

情況 5 之說明語意不清，且按照 ASME III, NB-3222.4 如下之說明應有所評估動作，建議比照情況 4，按照如下說明來評估疲勞計算是否可排除！

(5) *Temperature Difference — Dissimilar Materials.* For components fabricated from materials of differing moduli of elasticity or coefficients of thermal expansion, the total algebraic range of temperature fluctuation, °F, experienced by the component during normal service does not exceed the magnitude $S_g/2(E_1\alpha_1 - E_2\alpha_2)$, where S_g is the value obtained from the applicable design fatigue curve for the total specified number of significant temperature fluctuations, E_1 and E_2 are the moduli of elasticity, and α_1 and α_2 are the values of the instantaneous coefficients of thermal expansion at the mean temperature value involved for the two materials of construction given in Section II, Part D, Subpart 2, Tables TE and TM. A temperature fluctuation shall be considered to be significant if its total excursion exceeds the quantity $S/2(E_1\alpha_1 - E_2\alpha_2)$, where S is defined as follows.

(a) If the total specified number of service cycles is 10^6 cycles or less, S is the value of S_g obtained from the applicable design fatigue curve for 10^6 cycles.

(b) If the total specified number of service cycles exceeds 10^6 cycles, S is the value of S_g obtained from the applicable design fatigue curve for the maximum number of cycles defined on the curve. If the two materials used have different applicable design fatigue curves, the lower value of S_g shall be used in applying the rules of this paragraph.

第 1 次審查意見答復說明

密封鋼筒包含了不同材料的組件，主要為燃料方管與支撐鉸件的 ASME SA537, Class 1 碳鋼，頂部/底部聯結插銷組件 ASME SA564 17-4PH 不銹鋼，與鋼筒外殼 ASME SA240, Type 304/304L 不銹鋼。燃料提籃置於密封鋼筒之中，兩者之間在半徑方向並無因為熱膨脹而引起的相互關係，燃料提籃的燃料方管，支撐鉸件與頂部/底部聯結插銷組件，在密封鋼筒中的軸心方向自由膨脹，不因不同的熱膨脹係數而產生熱應力集中現象。裝載燃料後的密封鋼筒本身為一穩定熱源，具有很大的熱慣性，其系統溫度不易隨輕微的環境溫度變化而劇烈起伏。

第 2 次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-08-122	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S16	6.2		結案
第 1 次審查意見						

MAGNASTOR 密封鋼筒之氬氣測漏係依據 ANSI N14.5 標準，惟依據 ANSI N14.5 測漏標準設計製造之容器均應進行 Design leakage rate test (subclause 7.2), Fabrication leakage rate test (subclause 7.3), Maintenance leakage rate test (subclause 7.4), Periodic leakage rate test (subclause 7.5)及 Preshipment leakage rate test (subclause 7.6)等各項測試，請說明核二廠將如何規劃執行上述各階段洩漏測試？

第 1 次審查意見答復說明

密封鋼筒殼體洩漏測試係依據 ISG-18 所規定之製造時的洩漏率測試 (fabrication leakage rate test)而實施，而該項洩漏率測試係按照 ANSI N14.5 來執行。按 NRC 的規範(ISG-18)，如果在工廠內的密封鋼筒洩漏測試(shop test)是按照 ANSI N14.5 進行，則在密封鋼筒的壽限內無需再作定期的 (periodic)，組裝與維護的洩漏測試。設計洩漏測試主要是為了證明複雜或新設施的密封性，但是 MAGNASTOR 密封鋼筒的形狀與封釐是由 STC 與 UMS 系統的技術發展而來，並非新的複雜設計的鋼筒(指鋼筒外殼)，所以 MAGNASTOR 的密封鋼筒不需另外實施設計測試(design leakage test)。運送前測試(pre-shipment test)(或組裝測試(assembly test))只適用於螺栓組裝的密封容器的測試，不適用於核二乾貯。

第 2 次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-09-123	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S15/S16	6.2	6.2.6-58	結案
第 1 次審查意見						
Su = 40 ksi (中子吸收板 500°F抗拉強度)，經查表 6.2.B.3-16 中子吸收物機械性質應為 4.0ksi 之誤，請澄清說明。						
第 1 次審查意見答復說明						
應為4.0 ksi，將於報告進版時修正，多謝指正。						

第 2 次審查意見	
同意答復。請台電公司提供修訂內容。	
第 2 次審查意見答復說明	
修訂內容。如附件 6.2-09-B。	
第 3 次審查意見	
同意答復。	

編號	6.2-10-124	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S16			結案
第 1 次審查意見						
為防止吊裝及運送過程中，傳送護箱之屏蔽門不會滑開，應檢核屏蔽門固定插銷(第 3.A-23 頁 Detail E-E 之編號 20)在傳送護箱發生傾倒意外事件中之應力。另傳送護箱吊運於混凝土護箱上時，如何將傳送護箱之吊裝轉換至密封鋼筒？開啟傳送護箱屏蔽門之動力來源為何？請說明如何操作，以評估是否容易發生意外事故。						
第 1 次審查意見答復說明						
1. 傳送護箱每一片屏蔽門各由兩支固定銷固定，避免傳送護箱在垂直或水平吊運時因為固定銷鬆脫造成屏蔽門開啟的事故。固定銷經由人力上鎖，並且鎖入的方向與屏蔽門滑動方向相互垂直，可避免意外的作用力造成固定銷與屏蔽門同時開啟。依據圖號 630075-060 R0，固定銷直徑 19 mm (截面積 $A=284 \text{ mm}^2$)，材料為不銹鋼；屏蔽門重量 22,240 N (5,000 lb, Calc. No. 71160-2008 R2, page 4)。因為屏蔽門與固定銷位於傳送護箱底部，故傳送護箱倒時之固定銷只承受屏蔽門自身的重量(1 g)。固定銷承受剪力為 $22,240/(2 \times 284)=39.15 \text{ MPa}$ ，容許應力值為 $0.42S_u = 0.42 \times 441.28 = 185.34 \text{ MPa}$ (SA240 Type 304 @ 204°C)，安全係數 $FS=185.34/39.15=4.73$ 。故固定銷具足夠強度，使傳送護箱傾倒時屏蔽門依然可保持關閉狀態。						

2. 在傳送護箱吊運於混凝土護箱上方之前，必須先將銜接器(adaptor)架設於混凝土護箱上方，確保混凝土護箱與傳送護箱及其內裝的密封鋼筒軸心的一致性。將內裝燃料之密封鋼筒的傳送護箱吊運至混凝土護箱上方，並使傳送護箱座落於的銜接器上，再換裝密封鋼筒吊具並將吊具聯結密封鋼筒。在開啟傳送護箱屏蔽門之前，必須將密封鋼筒微微吊舉，使密封鋼筒底部離開屏蔽門，屏蔽門開啟後，即可將密封鋼筒傳送至混凝土護箱中。在密封鋼筒微微吊舉時，傳送護箱上方的保護環能防止密封鋼筒穿出傳送護箱的屏蔽保護，保護環結構已在安全分析報告中有詳細說明。以上所有操作皆有相關的操作程序書詳述各個操作細節。
3. 傳送護箱屏蔽門之動力來源為液壓缸所傳遞之動力。

第 2 次審查意見

1. 當傳送護箱傾倒或掉落時，固定插銷不止承受屏蔽門自身的重量，還承受加速度產生之慣性力，請再檢核固定插銷承受剪力之安全係數是否足夠。
2. 同意答復。
3. 同意答復。

第 2 次審查意見答復說明

當傳送護箱傾倒時，撞擊加速度值由傳送護箱底部(1g)向傳送護箱頂部增加，因為屏蔽門及屏蔽門插銷位於傳送護箱底部區域，該區域之加速度為1 g，故只承受屏蔽門自身重量。以上為保守評估，事實上若傳送護箱在於屏蔽門開啟方向因傾倒而撞擊地面，此時兩片滑動式屏蔽門與地面垂直方向成上下交疊，下面一片屏蔽門夾於地面與上面一片屏蔽門之間而無法開啟，上面一片屏蔽門受下面屏蔽門之支撐而不因重力作用而滑落，所以兩面屏蔽門皆不會因傳送護箱傾倒而開啟。

第 3 次審查意見

當傳送護箱發生傾倒時，燃料方管連結卡榫(pin)受力情形為何？如撞擊後彎曲或斷裂是否將造成燃料提籃結構不完整？

第 3 次審查意見答復說明

配備防撞緩衝器 (Impact Limiter) 之傳送護箱發生傾倒時之最大速度為 25.7g，小於混凝土護箱傾倒時的燃料提籃最大加速度值 28.5 g，所以混凝土護箱傾倒時的燃料提籃的受力分析可以涵蓋傳送護箱傾倒意外事故，在實際的燃料提籃元件分析中保守以 35 g 加速度涵蓋上述的 28.5 g。燃料提籃的組裝，以定位銷固定相鄰燃料方管的相對位置後，再以螺栓將側邊及彎角支撐桿件與最外圍的燃料方管中的轂作連結。委員審查意見中的所列之燃料方管連結卡榫(pin)所指應是安全分析報告中的燃料方管與燃料方管間的定位銷(6.2.6-59 頁)，在安全分析報告中已有詳細評估，結果顯示元件在 35 g 加速度作用下符合 ASME 規範要求，證明卡榫受力後不會斷裂，仍可維持燃料提籃結構完整。

第 4 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-11-125	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.6-104	結案
第 1 次審查意見						
核二廠BWR燃料棒以PWR燃料棒計算結果涵蓋(Bounding)，PWR燃料棒在底部受45g 加速度衝擊負載，請進一步說明45g 加速度之來源及根據。						
第 1 次審查意見答復說明						
45 g是經過選擇足以保守涵蓋BWR與PWR燃料棒挫屈(Buckling)最大軸向負載的加速度。評估中，因為PWR燃料棒比BWR燃料棒具有更大的細長比，更容易發生挫屈，所以以PWR燃料棒的挫屈分析來涵蓋BWR燃料棒。 在原MAGNASTOR系統的24 in垂直墜落分析結果得到混凝土護箱24 in垂直墜落時，混凝土護箱中的密封鋼筒的最大軸向加速度為25.2g，為了確認密封鋼筒中的燃料棒在此25.2g之軸向加速度下仍不會挫屈並且保持結構						

完整性，選擇一極保守的軸向加速度45g對PWR燃料棒進行挫屈評估，結果顯示45g軸向加速度作用下的PWR燃料棒不會挫屈，並且燃料棒護套受力小於護套的降伏強度。雖然核二乾貯系統無混凝土護箱吊舉設計，混凝土護箱不會有垂直墜落之虞，但安全分析報告中仍然需要說明燃料棒的結構完整性評估，故仍引用45g的軸向加速度來進行燃料棒挫屈評估。

第 2 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-12-126	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-4	結案

第 1 次審查意見

第一段第 3 行敘述”因為使用低溫的彈性係數會稍微有較高的應力結果，故保守地使用 38°C(100°F)之碳鋼材料性質”，若採保守原則，為何不用常溫 20°C(70°F)碳鋼材料性質較為保守？

第 1 次審查意見答復說明

經查計算書Calc. No. 630075-3002, R1 Table 6.8-1，在正常環境溫度(32°C)時的密封鋼筒底板週邊溫度為50°C(122 °F)；計算書Calc. No. 71160-3009, R2 Table 6.7-6與Table 6.7-7，在傳送護箱中的密封鋼筒底部外殼溫度為38°C(100°F)。燃料提籃為密封鋼筒內之元件，其溫度較密封鋼筒底板週邊與底部外殼溫度高(即大於38°C(100°F))，故評估中以38°C(100°F)為參考溫度。

第 2 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-13-127	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-44	結案

第 1 次審查意見

第三段第 5 行敘述”內部軸向鋼筋之性質根據 1/60th 模型比例(即 16/60 之比例)估算”，由於 1/60th 模型並無考慮整體結構之對稱性，請說明此估算可能所造成的計算誤差，以及為何不採用內外皆對稱模型(例如全模型計算)，以避免重新估算鋼筋性質。

第 1 次審查意見答復說明

分析模型中將混凝土護箱之內徑16支垂直鋼筋之強度等效成60支垂直鋼筋之強度，與60支外徑垂直鋼筋建構成1/60的有限元素模型，該模型與原混凝土護箱之整體鋼筋混凝土強度相同，所以等效計算造成的誤差應極微小，並且評估結果顯示，鋼筋應力皆有很高的安全係數，可涵蓋些微的計算誤差值。評估結果顯示，正常與意外狀況下的垂直鋼筋熱應力分別為127.56 MPa (18.5 ksi)與135.83 MPa (19.7 ksi)，安全係數為2.29與2.74。

第 2 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-14-128	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-63	結案

第 1 次審查意見

在做土壤結構互制分析有限元素模型時，作者認為："基座上的混凝土護箱在結構分析上可表示為樑的型態"。但其 stiffness 卻以桿件之伸長模態計算。事實上護箱只是放在基座上(未固定)，受到 4 根固定樁的拘束，故護箱在長度方向並無約束以致不易發生長度方向變形之桿件伸長模態，而發生左右搖擺模態較有可能。請解釋究竟使用何種模態當作剛性計算及其理由。

第 1 次審查意見答復說明

土壤結構互制分析有限元素模型中之土壤為一系列的無限的水平土層(infinite horizontal layers)，混凝土基座(Pad)為板元素(plate element)，護箱則以樑元素(beam element)與質量集中於重心位置的質量元素(lumped mass)模擬成柱元件(stick)。決定分析模型中混凝土護箱的機械性質(面積慣性矩

I，截面積A)，使第一彎矩模態(bending mode)與伸長模態(extensional mode)的最低頻率等於33Hz，混凝土護箱實際的彎矩與伸長模態都大於33Hz。混凝土基座上的混凝土護箱地震穩定性分析所用的模型與土壤結構互制分析模型不同。混凝土護箱地震穩定性分析模型中的護箱與基座是分開的，亦即護箱是自由站立在混凝土基座上，並且護箱週邊之基座豎立4支固定樁，在模型中輸入土壤結構互制分析所得的地震加速度(經線性放大)後，護箱在固定樁的拘束範圍內水平與垂直震盪。

第 2 次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-15-129	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-63	結案
第 1 次審查意見						
1. 第三段第一行敘述”對混凝土材料使用 5%的臨界阻尼係數(critical damping)，保守使用較小的臨界阻尼” …” ”，由於臨界阻尼係數 $C_c=2m\omega_n$ 是具有單位的，所以此臨界阻尼係數應改為阻尼比，且 5%阻尼比似乎不見得是最小的，在文獻中亦有 3%阻尼比甚至更小$<2\%$，請說明採用 5%阻尼比其保守合理之依據何在？ 2. 混凝土材料採用的阻尼為 7%，與頁數 6.2.A-63 所敘述則採用 5%相異，一般結構阻尼似乎都採用 5%較多，請說明採用 7%阻尼其合理性與依據？						
第 1 次審查意見答復說明						
1. 安全分析報告文中將阻尼比(damping ratio)名詞表示成阻尼係數(damping)。R.G 1.61 中 SSE 之阻尼比為 7%，因此使用 5%之阻尼比更為保守。此外，模型分析中忽略混凝土基座本身(pad)的阻尼效應，故當護箱撞擊混凝土基座時，混凝土基座所吸收的能量亦保守被忽略。 2. R.G. 1.61 對 SSE 事故中的鋼筋混凝土結構的阻尼比定義為 7%。安全分析報告中未使用最大的容許阻尼比(7%)，而以更保守的 5%的阻尼比進						

行評估。
第 2 次審查意見
頁數 6.2.A-56: 土壤結構互制分析中，有關混凝土基座、混凝土護箱及基樁設計等阻尼比均採 7%，若台電公司答覆內容確認 5%較為保守，即表示 7%不保守？請進一步澄清 7%合理性，並比較 5%及 7%對設施耐震的安全餘裕。
第 2 次審查意見答復說明
R.G. 1.61 對 SSE 事故中的一般鋼筋混凝土結構的阻尼比定義為 7%，對於其他如預力混凝土、以鉚接或以螺栓結合的鋼結構的阻尼比的定義則低於 7%。安全分析報告中以 5%的阻尼比來進行評估，不代表規範定義的 7%的阻尼比不保守，而是安全分析報告中以比規範要求之標準還要更嚴格的態度來進行評估。規範要求對於鋼結構中之多種不同結合方式的組合，應採用各種結合方式中的最低阻尼比進行評估，可見 5%的阻尼比比 7%來得保守，所以安全評估報告中的 5%阻尼比的評估結果，可涵蓋 7%阻尼比的評估結果。 (Note: For steel structures with a combination of different connection types, use the lowest specified damping value, or as an alternative, use a “weighted average” damping value based on the number of each type present in the structure. R.G. 1.61 Table 1. SSE Damping Values)
第 3 次審查意見
同意答復。

編 號	6.2-16-130	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-98	結案
第 1 次審查意見						
本報告有多處使用 CONTAC52 之接觸元素。 此元素為舊版 ANSYS 所用之元素。 ANSYS 已用 CONTAC170 系列之接觸元素取代 CONTAC52。本報告之作者設定 CONTAC52 的間隙勁度為 1.75E+6N/mm (106 lb/in)而並未交代前因後果。而 CONTAC170 系列以穿透容忍係數(default=0.1)較能表示穿透計算之品質。因此請台電公司提供 1.75E+6N/mm 在本報告中代表容許多						

少穿透，及對提籃穩定度分析結果的影響？

第 1 次審查意見答復說明

CONTAC173元素的發展主要是允許模擬的兩接觸表面可以有不同的節點排列的情況，並未取代CONTA52元素。CONTAC52仍然廣泛地使用於模擬兩接觸面有相同的節點排列的情況，並精確地模擬其接觸現象。CONTAC173元素的穿透容忍係數的使用是為了兩接觸面在非相同節點排列時，其節點間負載傳遞的內插計算；但使用CONTAC52元素的模型的兩接觸面有相同的節點排列，在所對應的兩節點間可以直接傳遞負載，故不需考慮穿透容忍係數。使用CONTAC52元素時，採取適當的間隙勁度如 1.75×10^7 N/mm (1×10^8 lb/in)(6.2.A-21頁)，可降低局部不正常的應力集中及兩接觸面的不正常穿透的情況。一般而言，接觸彈簧勁度必須夠大，以預防過度的接觸穿透；但不能太大以致於造成勁度矩陣ill-condition。間隙接觸勁度 1.75×10^7 N/mm就是以此原則而決定。

提籃穩定度評估(安全分析報告6.2.A.8節)使用LS-DYNA程式進行接觸分析，所用的接觸分析的技術與ANSYS程式不同。安全分析報告6.2.A.10節中密封鋼筒/提籃的分析模型以ANSYS分析僅計算密封鋼筒外殼之位移分佈，此位移分佈將為LS-DYNA提籃穩定度評估之模型邊界條件。

第 2 次審查意見

1. 「…接觸彈簧勁度必須夠大…但不能太大以致於造成勁度矩陣ill-condition。間隙接觸勁度 1.75×10^7 N/mm 就是以此原則而決定。」僅說明原則，但攸關密封鋼筒 設計安全，請進一步詳細說明如何決定間隙接觸勁度 1.75×10^7 N/mm 為合適數值，及以此係數所得之穿透品質(穿透量)為何?以利審查者之判斷。
2. 請台電公司評估 CONTAC52 所計算之結果其穿透品質為何。

第 2 次審查意見答復說明

1. 對於密封鋼筒的有限元素模型，在於密封鋼筒外殼的外表面使用CONTAC52元素，模擬混凝土護箱傾倒時的密封鋼筒外殼與混凝土護箱

鋼襯的相互作用現象。由撞擊面計算得到的半對稱模型，沿著圓周方向對密封鋼筒外殼與混凝土護箱鋼襯間的節點選擇一適當的間隙勁度，用於計算密封鋼筒與混凝土護箱間的接觸力，讓混凝土護箱的撞擊力得以傳遞至密封鋼筒。增加間隙勁度可以使得密封鋼筒與混凝土護箱間的接觸簡化為單一節點對單一節點的接觸，分析後觀察間隙元素(gap element)的穿透量大約是0.02 in，因為支撐混凝土護箱鋼襯的混凝土的彈性係數大約只有碳鋼的10%，此穿透量已經是很小的穿透量值，所以間隙接觸勁度 $1.75 \times 10^7 \text{ N/mm}$ 為合適數值。

2. 如第一項回覆內容，CONTAC52元素計算所得的穿透量大約是0.02 in，此穿透量已經是很小的穿透量值。

第 3 次審查意見

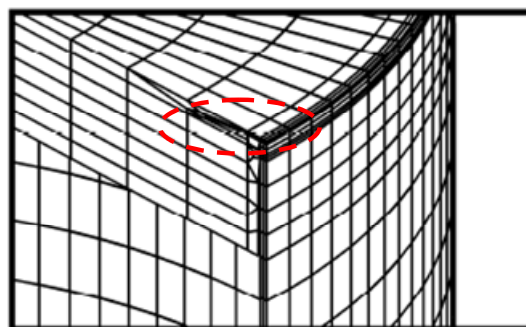
同意答復。穿透量約 0.02in，而鋼筒壁厚經查為0.5in。故本分析之穿透係數為0.04，小於一般的0.1，故此接觸分析品質可被接受。

編號	6.2-17-131	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-25	結案

第 1 次審查意見

虛線圈選處為模擬鉚接細節，此細節之討論應屬重要，但有限元素網格過於狹長與尖銳恐影響分析準確度，請說明此處之網格劃分對分析結果之影響。

密封鋼筒有限元素模型



第 1 次審查意見答復說明

ANSYS使用位移形狀函數(displacement shape functions)計算模型之位移量，而對於LS-DYNA軟體則要求更精細的網格模型進行計算。ASME 規範要求申請者使用應力線性化求得截面應力，應力線性化基本上會消除不理

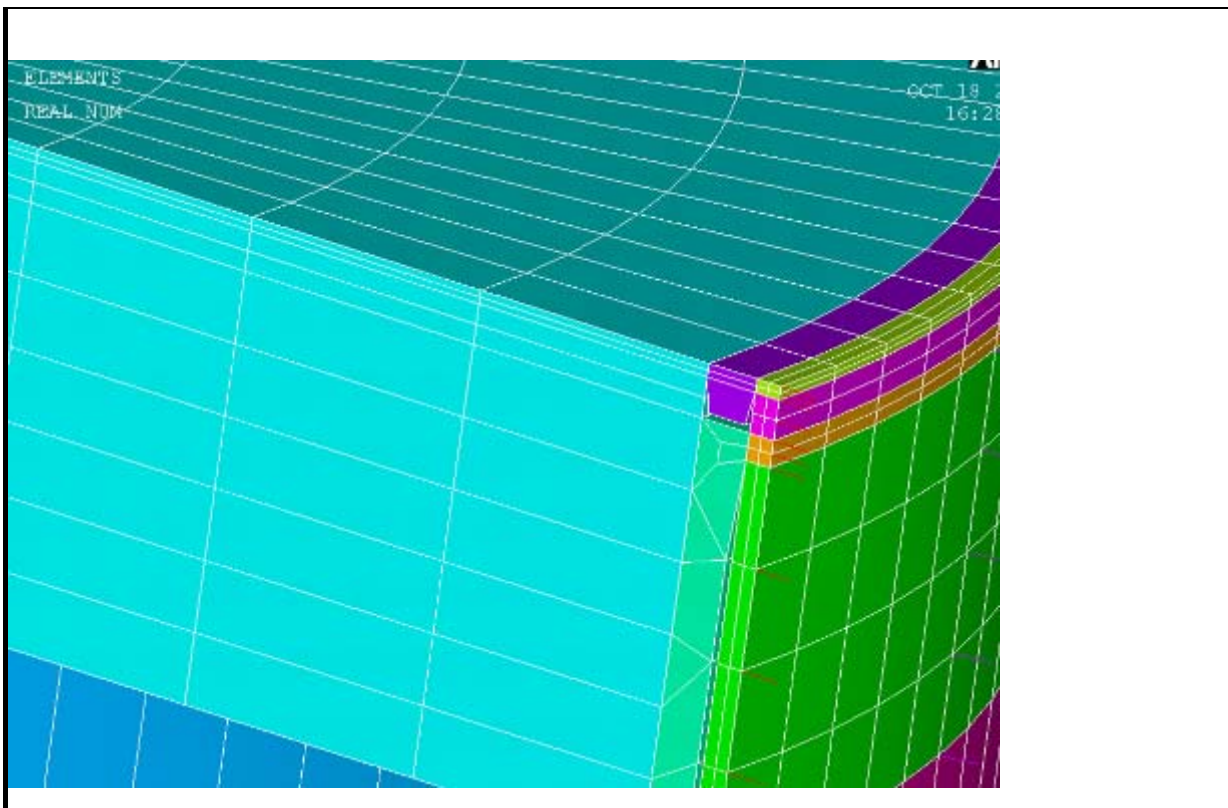
想的網格可能造成的局部的應力集中效應。又圖6.2.A.2-2之截面14為垂直截面(密封鋼筒軸心方向)，該元素只在半徑方向有較高的長寬比，所以對於截面14之軸向的應力線性化計算不會有顯著的影響。

第 2 次審查意見

「元素只在徑向有較高的長寬比，所以對於軸向應力計算不會有顯著影響。」審查意見為：元素只要形狀、角度不良，會影響整顆元素之品質，甚至影響全域剛性矩陣的品質，不會單單只影響徑向的應力計算，且後續的應力線性化須計算 principal stress，任一應力分量計算失準皆會影響應力線性化，也會影響安全評估的正確性。且應力線性化應在正確的應力結果中執行，然而回覆意見：「應力線性化基本上會消除不理想的網格可能造成的應力集中效應」並沒有回答原提問有關網格不良影響分析結果之關切。台電公司應評估在此模式分析下，誤差範圍是多少？

第 2 次審查意見答復說明

針對委員審查意見，建立另一具備理想元素切割之有限元素模型進行密封環周邊元素分割的靈敏度分析，模型的密封環周邊元素分割如下圖，圖中在密封上蓋已避免使用狹長尖銳的元素，並以密封環受力最嚴苛的護箱傾倒意外事故進行分析計算，分析結果顯示新模型在應力截面 10, 11, 14 與 15 的應力值相較於安全分析報告中的原有限元素模型的計算結果，最大應力增加量不超過 0.6 %，有些應力截面的應力值且有輕微降低的現象。所以新模型與安全分析報告中的原有限元素模型的計算結果並無顯著差異，此證明原分析數據的可靠性。



第 3 次審查意見

同意答復。元素形狀改善後"最大應力增加量不超過 0.6%"可被接受。

編 號	6.2-18-132	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-26	結案
第 1 次審查意見						
由後續之表 6.2.A.2-1 至表 6.2.A.2-17 可發現於斷面 1 至斷面 4 之間應力強度較大且變化較劇烈。為了保守評估起見，建議在這之間多取幾個斷面觀察應力強度之變化趨勢!						
第 1 次審查意見答復說明						
截面1(在鋼筒底板)是平行於軸向方向，而截面2-4(在鋼筒的外殼)是平行於半徑方向(或垂直於軸向)，因為截面面積與方向的不同，所以截面1與截面2-4的結果有明顯的差異。69.6 mm的底板厚度比12.7 mm外殼厚很多，底面的截面模數是殼體的30倍。截面2是底板與外殼的連接處，依ASME規範可將鄰近連接處的材料彎曲應力視為次要應力(secondary stress)，因此						

截面2的主要應力(Primary Load) 評估之中不必包含其彎曲應力。ASME Subsection NB-3213.10建議局部應力的可接受範圍為 $1.0 (Rt)^{1/2}$ ，其中R是到殼中面的半徑，t是殼的厚度。對密封鋼筒外殼而言，此局部區域範圍是107 mm。截面3(距底板與外殼的連接處76.5 mm)雖然位於此局部效應的影響範圍內，其分析卻保守地包括了彎曲應力。。因為彎矩及剪力負載所引起的密封鋼筒外殼應力隨與底板之距離而遞減，所以截面3之應力評估結果將可涵蓋截面3之鄰近殼體的應力狀態（並不需要使用更多的斷面作評估）。

第 2 次審查意見

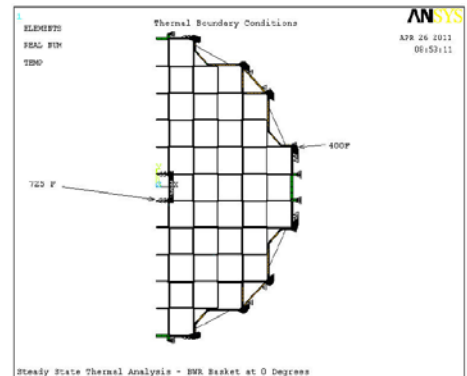
同意答復。

編 號	6.2-19-133	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-4、14	結案

第 1 次審查意見

B 熱應力之邊界條件

根據六.二.A.1.(2).B 節敘述之三維模型，計算因熱膨脹產生的熱應力。考慮提籃之軸向與徑向最大溫度梯度(ΔT)，以涵蓋所有貯存與運送情況。提籃之熱分析邊界條件為提籃中間部位 385°C (725°F)，邊緣部位為 204.4°C (400°F)，如圖 6.2.A.1-10 所示，並藉由這些溫度邊界條件以熱傳導分析計算模型內之溫度分佈，再由這些溫度分佈計算模型之熱應力。將對稱邊界條件施加於對稱之平面上，但僅在模型任一末端予以軸向方向拘束。



為模擬最大溫度梯度，提籃中間邊界條件給定為 385°C 而外圍給定為 204.4°C ，請問此些邊界條件如何而來？若是經由 FLUENT 計算而來，何不以 FLUENT 計算結果來當作邊界條件？或是提供 FLUENT 計算結果以利審查者判斷報告目前給定之邊界條件是否為最嚴苛之條件？

第 1 次審查意見答復說明

選擇一保守的邊界條件涵蓋貯存與運貯狀態下的燃料提籃的溫度梯度。除了以FLUENT程式進行貯存狀態及運貯狀態下的熱傳評估之外，ANSYS程式也用於運貯預備的真空乾操作業(SAR 6.3.6-2頁)的保守熱傳評估。評估結果顯示貯存與運貯狀態下的燃料提籃最大熱梯度分別小於60°C與152°C，所以分析時所用的180.6°C (385-204.4)的燃料提籃溫度梯度足以涵蓋貯存與運貯狀態下的燃料提籃的最大溫度梯度。

第 2 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-20-134	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	S17	6.2	6.2.A-44~45	結案
第 1 次審查意見						
因為混凝土傾倒時產生的 impact 力量很大，混凝土材料線性行為無法描述 impact 產生的巨大應力值。且拉應力值無法由 f_c' 表示。對於分析時混凝土材料的非線性行為未考慮，請說明並解釋目前以混凝土材料線性行為分析是正確與足夠的？						
第 1 次審查意見答復說明						
混凝土護箱傾倒意外事故是使用 LS-DYNA 進行分析。分析模型中採用 LS-DYNA 材料庫裡的 MAT-PSUEDO TENSOR 材料模型建構混凝土護箱與混凝土基座，該材料模型是特別設計用於模擬混凝土的線性行為及一些混凝土材料局部損傷的現象。混凝土基座的動態響應(dynamic response)與混凝土局部損傷(極有限)及混凝土基座的彎曲(線性彎曲)有關，在 LS-DYNA 分析模型中輸入混凝土抗壓強度 f'_c ，此種材料模型的使用方法係依據 NUREG/CR-6608(“Summary and Evaluation of Low-Velocity Impact tests of Solid Steel Billet Onto Concrete Pads”)。						
第 2 次審查意見						
同意答復。						

編 號	6.2-21-135	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		密封	F05	6.2.B	6.2.B-29	結案
第 1 次審查意見						
p.6.2.B-29 有關 6.2.B.8 中子吸收物覆材，「所有限制與接收條件皆遵照 NAC International 公司的品保計畫。」						
惟 NAC International 公司的品保計畫中何處列有中子吸收物覆材的限制與接收條件，請說明。						
第 1 次審查意見答復說明						
中子吸收物覆材的限制與接收條件寫在NAC International公司品保計畫中的71160-S-11報告書中，其技術相關內容皆已說明於安全分析報告第五章附錄A.1.1.6.4節中。						
第 2 次審查意見						
1.請提供 71160-S-11 報告書。						
2.請說明台電公司對於中子吸收物覆材的接收作業。						
第 2 次審查意見答復說明						
1. 依照審查意見提供如附件 6.2-21-1-B。						
2. 請參考 6.1-21 審查意見回復，簡要如下：						
中子吸收劑相關測試與接受標準已於 5A 1.1.6 小節中說明。中子吸收劑需經 B10 面積密度、尺寸、熱傳導性(如有需要)、機械強度(如有需要)及目視檢查等項目之檢查，並滿足該小節內容說明之要求，始可判斷合格。而相關測試皆於中子吸收劑製造工廠內進行，本公司將審查相關測試報告，確保所有測試結果符合 5A 1.16 小節所述的要求。						
在燃料提籃組裝前，中子吸收板在工廠中使用鉚釘(銲接釘)銲接方式固定至各相關燃料方管上。這鉚釘銲接的程序須被仔細的檢查，以確保銲接品質符合要求。QC 人員將確認此製造程序符合相關要求，並簽署相關製造文件。在燃料提籃組裝前，這些製造文件將會被製造部經理審查、許可。製造時之檢查與測試計畫表(Inspection and testing plan)也會特別強化中子吸收板安裝與確認。有此一完整的安裝程序與確認步驟，可保證中						

子吸收板安裝符合圖面或相關文件之要求。

第 3 次審查意見

同意答復。

編號	6.2-22-136	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		密封評估	F05	6.2.B		結案
第 1 次審查意見						
核二廠乾式貯存設施安全分析報告材料評估使用的材料種類與規格與 NAC MAGNASTOR 安全分析報告材料評估不相同處如下，請說明其相關評估結果及變更理由。(CH6.5 移過來的)						
	核二乾貯 SAR	MAGNASTOR SAR			備註	
1	6.2.B-28 燃料提籃的 ^{10}B 最小有效面積密度為 0.02 g/cm^2	P8.8-2 0.027 g/cm^2 ^{10}B for the BWR basket			數值不一致	
2	6.2.B-2 密封上蓋(Closure Lid) ASME SA240/ SA336	8.1-1 Closure Lid ASME SA240/SA 182			材料不一致	
3	6.2.B-2 密封環(closure ring) ASME SA479/SA240, Type 304/304L 不銹鋼(dual certified)	8.1-1 Closure ring ASME SA276, Type 304 stainless steel			材料不一致	
4	無	8.1-1 Corner Support Bars			核二 SAR 未列該項材料	
5	P6.2B-2 孔蓋(Port Covers) ASME SA240, Type 304/304L 不銹鋼(dual certified)	P8.1-1 Port Covers ASME SA240, Type 304 stainless steel			材料不一致	
6	P6.2B-2 頂部/底部連結銷(Top/Bottom Connector Pins) ASME SA564 17-4PH 不銹鋼	P 8.1-1 Connector Pins ASME SA695, Type B, Grade 40 or SA696, Grade C Carbon Steel			材料不一致	
7	P 6.2.B-2 Concrete cask	P8.1-1 Concrete cask 缺 Lift Lug and Anchors 缺 Lift Lug bolts			核二 SAR 未列該項材料	

8	P 6.2.B-3 保護環(Retaining Ring) ASTM A588 低合金鋼	8.1-2 Retaining Block Pins ASTM A5 16, Grade 70	材料不 一致															
9	P 6.2.B-3 沒有 Retaining Block	8.1-2 Retaining Block ASTM A6931A564 17-4 PH stainless steel	核二 SAR 未 列該項 材料															
10	P 6.2.B-3 底部(Bottom Forging) ASTM A516, Grade 70/A350 Grade LF 2 低合金鋼	P 8.1-2 Bottom Forging ASTM A5 16, Grade 70	材料不 一致															
11	P 6.2.B-3 頂部(Top Forging) ASTM A516, Grade 70/A350 Grade LF 2 低合金鋼	P8.1-2 Top Forging ASTM A5 16, Grade 70	材料不 一致															
12	P6.2.B-17 表 6.2.B.3-22 中子吸收物覆材料 最小有效熱傳導 - BTU/(hr-in-°F) 應廠家要求， 本部分涉及廠家商業機密，屬其智慧財產權， 不予公開。	P 8.3-13 Table 8.3-22 Neutron Absorber Material Minimum Effective Thermal Conductivity - BTU/ (hr-in-°F) Table 8.3-22 Neutron Absorber Material Minimum Effective Thermal Conductivity - BTU/(hr-in-°F) <table><tr><th>Fuel Basket Type</th><th>180°F</th><th>600°F</th><th>100°F</th><th>800°F</th></tr><tr><td>PWR</td><td>4.505</td><td>4.151</td><td>4.870</td><td>4.794</td></tr><tr><td>BWR</td><td>4.887</td><td>4.335</td><td>5.054</td><td>5.017</td></tr></table>	Fuel Basket Type	180°F	600°F	100°F	800°F	PWR	4.505	4.151	4.870	4.794	BWR	4.887	4.335	5.054	5.017	數據不 一致
Fuel Basket Type	180°F	600°F	100°F	800°F														
PWR	4.505	4.151	4.870	4.794														
BWR	4.887	4.335	5.054	5.017														
13	P 6.2.B-22 保護環由 ASTM A588 低合金鋼製 作	P 8.5-2 The retaining blocks are fabricated from ASTM A6931A564 17-4 PH stainless steel.	材料不 一致															
14	P 6.2.B-23 塗裝的厚度遵循服役狀態(service condition)SC3 與 Alloy Type IV 或 V 規定，無須後續熱處理。	P 8.6-1 The coating thickness will be in the range of coating classifications SC1 to SC3, allowing thickness from 0.0002 inch to 0.001 inch. Alloy Type V, 10% minimum weight percent phosphorus, will be specified with no post-heat treatment invoked.	條件不 同															
15	P6.2.B-23 這兩種塗料皆已經測試與認可， 可在核能用途的服役等級 1 (Service Level 1)的情況下使用，	P 8.6-2 Both coating systems are tested and approved for use in Nuclear Service Level 2 conditions, which include immersion in spent fuel pools.	條件不 同															

16	P 6.2.B-30 表 6.2.B.8.1 中子吸收物覆材最小 10B 裝填 表 6.2.B.8-1 中子吸收物覆材最小 10B 裝填: <table><tr><th>中子吸收物</th><th>最小有效面密度要求 (10B g/cm²)</th><th>臨界分析時的有效百分比%</th><th>製造時最小面密度要求 (10B g/cm²)</th></tr><tr><td>硼合金</td><td>0.02</td><td>90</td><td>0.022</td></tr><tr><td>硼酸複合材料 BAC</td><td>0.02</td><td>90</td><td>0.022</td></tr><tr><td>Boral</td><td>0.02</td><td>75</td><td>0.027</td></tr></table>	中子吸收物	最小有效面密度要求 (10B g/cm²)	臨界分析時的有效百分比%	製造時最小面密度要求 (10B g/cm²)	硼合金	0.02	90	0.022	硼酸複合材料 BAC	0.02	90	0.022	Boral	0.02	75	0.027	P8.8-4 Table 8.8-1 Neutron Absorber Material Minimum 10B Loading Table 8.8-1 Neutron Absorber Material Minimum 10B Loading: <table><tr><th rowspan="2">Neutron Absorber Type</th><th colspan="2">Required Minimum Effective Areal Density (10B g/cm²)</th><th rowspan="2">% Credit Used in Criticality Analysis</th><th colspan="2">Required Minimum As-Fabricated Areal Density (10B g/cm²)</th></tr><tr><th>PWR Fuel</th><th>BWR Fuel</th><th>PWR Fuel</th><th>BWR Fuel</th></tr><tr><td>Borated Aluminum Alloy</td><td>0.026</td><td>0.027</td><td>90</td><td>0.04</td><td>0.03</td></tr><tr><td>Borated MMC</td><td>0.026</td><td>0.027</td><td>90</td><td>0.04</td><td>0.03</td></tr><tr><td>Boral</td><td>0.036</td><td>0.027</td><td>75</td><td>0.048</td><td>0.028</td></tr></table>	Neutron Absorber Type	Required Minimum Effective Areal Density (10B g/cm²)		% Credit Used in Criticality Analysis	Required Minimum As-Fabricated Areal Density (10B g/cm²)		PWR Fuel	BWR Fuel	PWR Fuel	BWR Fuel	Borated Aluminum Alloy	0.026	0.027	90	0.04	0.03	Borated MMC	0.026	0.027	90	0.04	0.03	Boral	0.036	0.027	75	0.048	0.028	數值不一致
中子吸收物	最小有效面密度要求 (10B g/cm²)	臨界分析時的有效百分比%	製造時最小面密度要求 (10B g/cm²)																																												
硼合金	0.02	90	0.022																																												
硼酸複合材料 BAC	0.02	90	0.022																																												
Boral	0.02	75	0.027																																												
Neutron Absorber Type	Required Minimum Effective Areal Density (10B g/cm²)		% Credit Used in Criticality Analysis	Required Minimum As-Fabricated Areal Density (10B g/cm²)																																											
	PWR Fuel	BWR Fuel		PWR Fuel	BWR Fuel																																										
Borated Aluminum Alloy	0.026	0.027	90	0.04	0.03																																										
Borated MMC	0.026	0.027	90	0.04	0.03																																										
Boral	0.036	0.027	75	0.048	0.028																																										
17	P 6.2.B-33 在鋼襯與空氣進出口的碳鋼暴露表面，將塗裝 PPG Silicone Enamel 矽琺瑯漆塗料，隔絕環境中的溼氣 缺 PPG Silicone Enamel 矽琺瑯漆塗料規格資料		缺資料																																												
18	P 6.2.B-38 如果發生環狀間隙水冷系統 (ACWS)失效，則密封鋼筒要回填氬氣至 5.5 bar	P 8.11-2 If the dryness criteria are not met, the canister is backfilled to 7 bar gauge with helium, and the canister is cooled by the annulus cooling water system,... This backfill with helium may be performed when the temperatures in the mid to upper regions of the fuel basket are in the range of 700°F and the fuel local to the bottom plate is in the range of 250°F.	描述不一致也不完整																																												
19	P 6.2.B-38 填充氮氣後，最大以流率 17.3 l/min (5 gpm)的水填灌進密封鋼筒中，此最大水流率是基於密封鋼筒回注水的熱工水力分析 (thermal hydraulic analyses)計算	P 8.11-3 Following the nitrogen flush, water is introduced into the canister at a maximum rate of 8 gpm. The maximum flow rate is based on reflood thermal hydraulic analyses of a bounding canister configuration.	描述不一致																																												
第 1 次審查意見答復說明																																															

項目	回覆
1	NAC 公司 MAGNASTOR 護箱系統第二次增修(Amendment 2) 於 2012 年 1 月 30 日生效 新增 B10 面密度 0.02g/cm^2，KS-DSS SAR 已經考量：最小 B10 材料的裝填，陳述於 SAR 表 6.2.B8-1 臨界分析中有使用 Neutron absorber 10B areal density 0.02 g/cm^2 作不同設置條件下的靈敏度分析，以及正常、異常及意外情況下的最大反應度計算，可涵蓋設計基準及待貯存最高面平均鈾濃縮度之燃料。另有使用 0.0225、0.027 g/cm^2 作"傳送護箱最大反應度與可容許最高濃縮度"的分析。
2	密封上蓋(Closure Lid)材料在 MAGNASTOR FSAR R1 時已變更為 ASME SA240, Type 304/304L 或 SA182/SA336, Type F304/F304L 核二系統的密封上蓋(Closure Lid)材料與其一致。 ASME Section II SA-182 規定，在元件重量超過 10,000 lb 時，需改採 SA336 替代，密封上蓋重量為 10,500 lb(核二 SAR 表 6.2.3.2-1)，故採 SA336。
3	ASME SA276 為 MAGNASTOR FSAR R0 版所用的密封環(closure ring)材料，該材料在 MAGNASTOR FSAR R1 時已改用 ASME SA479/SA240, Type 304/304L，與核二系統的密封環(closure ring) 材料一致。
4	Corner Support Bars 元件是使用於 PWR MAGNASTOR 的設計，核二系統為 BWR 系統，無 Corner Support Bars 元件。
5	MAGNASTOR FSAR R0 版所用的孔蓋(Port Covers)材料為 ASME SA240 Type 304，但在 MAGNASTOR FSAR R1 時已變更為 ASME SA240, Type 304/304L，以與其他密封鋼筒元件一致。 SA240, Type 304 與 SA240, Type 304/304L 屬同等級不銹鋼材料。
6	NAC MAGNASTOR 系統 BWR 燃料提籃的頂部/底部聯結插銷(Top/Bottom Connector Pins)材料已變更為 ASME SA564 17-4PH 不銹鋼，與核二系統的頂部/底部聯結銷材料一致。
7	核二系統的混凝土護箱不作吊舉操作，護箱無吊舉設施的設計，故不需列舉混凝土護箱吊舉元件材料。
8	原 MAGNASTOR TFR 有 Retaining Block 與 Retaining Block Pins 的設計，但核二系統變更 Retaining Block 為保護環(Retaining Ring)的設計，以適用傳送護箱防撞緩衝器的使用。變更後的設計方式與核一乾貯 TFR 的設計相同，選用材料亦皆為 ASTM A588 低合金鋼。
9	同本審查意見項目 8 之回覆。

10	NAC MAGNASTOR 傳送護箱底部(Bottom Forging)材料除 ASTM A516, Grade 70 外已加上 A350 Grade LF 2，與核二系統的材料一致。
11	NAC MAGNASTOR 傳送護箱頂部環(Top Forging)材料除 ASTM A516, Grade 70 外已加上 A350 Grade LF 2，與核二系統的材料一致。
12	目前核二系統安全分析報告的內容中子吸收物覆材料熱傳導係數係採用 MAGNASTOR FSAR R1，Table 8.3-26 中的 PWR 的最小有效熱傳導係數。該表中 BWR 的有效熱傳導係數也將於 FSAR 進版時變更為與 PWR 相同之數值，與核二系統安全分析報告使用之係數一致，使用 PWR 有效熱傳導係數較為保守。
13	同本審查意見項目 8 之回覆。
14	委員本審查意見內容為 MAGNASTOR FSAR R0 版的資料，該內容已於 MAGNASTOR FSAR R1 版修正成目前核二系統安全分析報告的內容。修正後原文如下： The electroless nickel coating process applied to the basket components and shield plate of the TSC composite closure lid assembly will use ASTM B733 for guidance. The coating thickness shall be in the service condition SC3, and Alloy Type IV or V will be specified with no post-heat treatment invoked.
15	應為 Service Level 1。MAGNASTOR FSAR 8.6.2 節已經修正為 Service Level 1 (FSAR Rev. 1 with DCR(L) 71160-FSAR-1AL)，如附件 6.2-22-15-A。塗佈在傳送護箱外部碳鋼表面的 Carboline Carboguard® 890N 或 Keeler & Long KLE 系列的環氧化物琺瑯漆(epoxy enamel)或者其同級品，皆已證實可用於服役等級 1 (Service Level 1)的情況，參考附件 6.2-22-17-A。此處的服役等級(Service Level)為 Reg. Guide 1.54 所規定之等級分類，與本審查意見項目 14 中 ASTM B733 規定之服役狀態(Service Condition)不同。
16	同本審查意見項目 1 之回覆。
17	PPG 公司已經併購 Keeler & Long 公司，所以修正 6.2.B-24 頁之"施以 Keeler & Long 抗熱矽氧烷琺瑯漆(heat-resistant silicone enamel)或同級品塗料"為"施以抗熱矽氧烷琺瑯漆(PPG silicone enamel)或同級品塗料"，以與 6.2.B-33 頁一致。 PPG Silicone Enamel 矽琺瑯漆塗料規格資料已經陳述在 6.2.B.13 節材料供應商文件中(如附件 6.2-22-17-A)。

18	原 SAR 內容 “If the dryness criteria are not met, the canister is backfilled to 7 bar gauge with helium, and the canister is cooled by the annulus cooling water system or by returning the canister to the pool as stated in Section 1.3.1.4. This backfill with...”。 MAG 的 FSAR 是指當 TSC 真空乾燥未達要求，又將達 LCO 運轉限制時間時，必須在 TSC 灌入 7 bar 壓力之氦氣，利用 annulus cooling water system (ACWS) 去冷卻 TSC。 核二乾貯的熱負載較低，所以在 ACWS 失效時，只要灌入 TSC 5.5 bar 氦氣壓力(少於 MAGNASTOR (33 kW)所用的 7 bar)並拔除 ACWS 塞管，此時環狀間隙內只要有空氣自然對流即不會有運轉時間限制。 5.5 bar 的氦氣壓力已經由 TSC 穩態穩流時的 CFD 分析證實符合核二乾貯所需。
19	MAG 的 FSAR 第 P 8.11-3 中，所描述的是再取出作業，所以是以 Nitrogen 作為沖流氣體，與核二 SAR CH5 內容一致。 有關水流量，核二 SAR CH5 描述為 “將清潔水或是過濾之池水注入密封鋼筒中。水溫需高於 21.1°C (70°F)，壓力約 25 psig，水流量約 5 gpm。” 與 MAG Operating manual 描述一致 “Initiate clean or filtered pool water flow (minimum temperature of 70°F) through the TSC drain connector at a rate of 5(+3/-0) gallons per minute at a pressure of 25(+10/-0) psig.。所以此處之 8 gpm 為上限(5+3=8)。 核二乾貯 SAR 將修正注入鋼筒的水流量為 17.3~27.7 l/min (5~8 gpm)。
第 2 次審查意見	
1. 第一項：本項併入問題 6.1-09。 2. 第二項：同意答復。 3. 第三項：同意答復。 4. 第四項：同意答復。 5. 第五項：同意答復。 6. 第六項：請問燃料提籃的頂部/底部聯結插銷(Top/Bottom Connector Pins)材料已變更為 ASME SA564 17-4PH 不銹鋼之理由為何？ 7. 第七項：同意答復。	

8. 第八項：請確認「核二系統變更 Retaining Block 為保護環(Retaining Ring)的設計，以適用傳送護箱防撞緩衝器的使用。變更後的設計方式與核一乾貯 TFR 的設計相同。」
9. 第九項：同意答復。
10. 第十項：請問傳送護箱底部(Bottom Forging)材料除 ASTM A516, Grade 70 外已加上 A350 Grade LF 2 之理由為何？
11. 第十一項：請問傳送護箱頂部環(Top Forging)材料除 ASTM A516, Grade 70 外已加上 A350 Grade LF 2 之理由為何？。
12. 第十二項：本項併入問題 05-23。
13. 第十三項：同意答復。
14. 第十四項：請將 ASTM B733 列入第一章之引用法規則設計準則。
15. 第十五項：同意答復。
16. 第十六項：本項併入問題 6.1-09。
17. 第十七項：同意答復。
18. 第十八項：同意答復。
19. 第十九項：第一點併入問題 05-34，其餘同意答復，請提供安全分析報告修正內容。
20. 請說明本案整體材料選用的邏輯為何？

第 2 次審查意見答復說明

1. 本項已併入問題 6.1-09。
2. 同意答復。
3. 同意答復。
4. 同意答復。
5. 同意答復。
6. 委員所提之核二乾貯 SAR Page 6.2B-2 所列之頂部/底部聯結銷 (Top/Bottom Connector Pin) 與 MAGNASTOR FSAR Page 8.1-1 之

Connector Pin 係不同之元件。核二乾貯 SAR 所列乃設置在燃料提籃頂部與底部的聯結插銷組件(Connector Pin Assembly)，由間隔桿(Top/Bottom Spacer) 與驅動銷(Drive Pin)組成，材料為 ASME SA564 17-4PH 不銹鋼，與 MAGNASTOR 系統的 Connector Pin Assembly 之材料相同。MAGNASTOR FSAR Chapter 8 列出之 Connector Pin 為設置在燃料方管中間段用以固定各相鄰燃料方管的定位銷 (ASME SA695, Type B, Grade 40 或 SA696, Grade C 碳鋼)，MAGNASTOR 的 Connector Pin 有兩種截面設計：圓形的定位銷材料為 ASME SA695, Type B, Grade 40 碳鋼，方形的定位銷材料為 SA696, Grade C 碳鋼。為使 SAR Ch 6.2B 所列元件材料更完整，將加列核二乾貯燃料提籃所採用的方形定位銷 (Square Pin)，其材料為 SA696, Grade C 碳鋼，詳如附件 6.2-04-B。

7. 同意答復。

8. 經確認核二乾貯所用傳送護箱為保護環之設計。

9. 同意答復。

10.

10.1 經查 MAGNASTOR FSAR Rev.1 傳送護箱底部(Bottom Forging)材料除 ASTM A516, Grade 70 之外，已加上 A350 Grade LF 2，核二乾貯系統之傳送護箱底部(Bottom Forging)材料與 MAGNASTOR FSAR Rev.1 及 Rev.2 一致。

10.2 ASTM A516, Grade 70 與 A350 Grade LF 2 屬同等級不銹鋼材料。增補 A350 Grade LF 2 主要理由係增列可供替代的同級品，以避免製程受到市場現貨材料供應的影響。

11.

11.1 經查 MAGNASTOR FSAR Rev.1 傳送護箱頂部環(Top Forging)材料除 ASTM A516, Grade 70 之外，已加上 A350 Grade LF 2，核二乾貯系統之傳送護箱頂部環(Top Forging)材料與 MAGNASTOR FSAR Rev.1 及 Rev.2 一致。

11.2 ASTM A516, Grade 70 與 A350 Grade LF 2 屬同等級不銹鋼材料。增補 A350 Grade LF 2 主要理由係增列可供替代的同級品，以避免

製程受到市場材料現貨供應的影響。

12.本項併入問題 05-23。

13.同意答復。

14.同意將 ASTM B733 列入第一章之引用法規則設計準則。

15.同意答復。

16.本項已併入問題 6.1-09。

17.同意答復。

18.同意答復。

19.第一點已併入問題 05-34，其餘同意答復。提供安全分析報告內容如附件 6.2-22-19-B。

20.整體核二廠用過核子燃料乾貯系統之材料選用與 MAGNASTOR FSAR Rev. 2 內容一致。核二 SAR 編寫邏輯係依照 2011 年 1 月已發行之 MAGNASTOR FSAR Rev. 1 (CoC Amendment 1, 請參閱本報告第一章圖 1.2-1) 加上當時(2011 年)NRC 正在審核的 Amendment 2(FSAR Rev. 2) 之內容。而 MAGNASTOR Rev. 2 與 Rev. 1 之不同，僅在於 Rev. 2 中 BWR 系統的中子吸收材料可有三種 ^{10}B 面密度 (Rev. 1 只限一種 0.027 g/cm^2)。

第 3 次審查意見

同意答復。20.併 6.1-10 處理。

第 4 次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-23-137	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	F06	6.2	6.2.A-56	結案
第 2 次審查意見(新增)						

台電公司結構評估平行驗證報告指出：混凝土護箱在受震時，其護箱底部外緣最大可能抬升高度約34.74公分，超出位移限制器之高度(30公分)。同時位移限制器因抵抗混凝土護箱移動所承受之剪力亦趨近於容許剪力等，台電公司需再澄清位移限制器之高度、間距與設計強度是否安全保守。

第2次審查意見答復說明

1. 在於安全分析報告中所述之混凝土護箱的地震行為，最大護箱傾斜角度4.0度，最大抬升高度29.72 cm稍低於固定樁高度(30 cm)；基於安全起見，台電公司嘗試更保守的假設進行結構平行驗證，用以檢覈安全分析報告數據的合理性，所以得到更保守的護箱傾斜角度與34.74 cm的最大抬升高度，此種以更保守的計算參數進行評估而得到更保守的結果，此現象應屬合理，但是無論是安全分析報告或是更保守的結構平行驗證報告，都已證明固定樁的直徑與高度設計、安裝位置及其與護箱的間距，在於地震過程中都成功地使混凝土護箱限制在貯存位置上，都滿足核二乾貯的安全需求。
2. 固定樁抗剪之安全係數已達1.1倍，亦即固定樁已具備超出法規要求10%的安全餘裕。

第3次審查意見

同意答復。

編 號	6.2-24-138	分組	審查代碼	章節	頁碼	狀態
		結構	F06	6.2	6.2.A-63	結案
第 2 次審查意見(新增)						
審閱「VCC Stability Analysis At the Pad, cal. No. 630075-2003」在貯存護箱傾倒加速度反應分析中，係採用 200 Hz 截斷頻率(cut-off frequency)進行濾波，再得到加速度歷時曲線，請說明考量理由。						
另護箱與基座間摩擦係數設定為 0.7，根據相關文獻結果顯示應為混凝土材質之護箱底座與基座混凝土版間之摩擦係數，但 Magnastor 為內填混凝土之鋼材底座，此處假設 0.7 是否適當？請台電公司提出佐證文件。						

第 2 次審查意見答復說明

1. 截斷頻率選用

截斷頻率(cut-off frequency)是經由評估後選取的。(參考文獻：”Advanced Strength of Materials”, Enrico Volterra, Prentice-Hall Inc, Engewood Cliffs, N.J., pp 172)

混凝土基座的勁度 $K=EEH/(1-\nu)$

其中

E = 基座彈性係數=3.6E6psi

ν = Poisson's ratio =0.15

H = 基座厚度=39.6 in

$K=2*3.6E*39.6/(1-0.15)=3.354E8$ lb/in

頻率 $f=(1/2\pi)(K/M)^{1/2}=(1/2\pi)(3.354E8/(521500/386.4))^{1/2}=79.3$ Hz

其中 M =混凝土護箱質量= 521500/386.4 lb-s²/in

所以選用200Hz足以涵蓋79.3 Hz.

2. 摩擦係數選用與佐證文件

以下文獻1.所建議的鋼與混凝土的摩擦係數為0.5；文獻2.對核二乾貯之護箱與基座之壓應力21 psi時的摩擦係數建議值約為0.47；文獻3. Duke McGuire對護箱與基座的摩擦力測試，結果顯示摩擦係數約為0.394~0.576，平均約為0.5，這些數據為基座表面經過粗造化處理之摩擦係數數據，核二乾貯基座表面未經粗造化，故應低於0.5；文獻4.建議值為0.484；文獻5. 提出兩種不同的測試方法與結果，一種是混凝土表面有經過細化處理的摩擦係數較低，介於0.21~0.46之間；另一種經噴砂粗造化處理之混凝土表面，摩擦係數介於0.61~0.72之間，因核二乾貯基座表面未經粗造化，故文獻5之高摩擦係數之結果並不適用於核二乾貯；文獻6.為鋼與混凝土結合面剝離後的摩擦係數測試，數據介於0.57~0.7，但亦不適用於核二乾貯。

以上所舉文獻所列之鋼與混凝土的摩擦係數約介於0.4~0.5之間，所以評估時採用涵蓋式的保守評估。核二乾貯使用0.35與0.7兩種摩擦係數，因為較低的摩擦係數較易造成護箱滑動，所以對於颱風與洪水的滑動評估使用0.35的摩擦係數；較大的摩擦係數則較易造成護箱的搖晃，進而導致護箱傾倒，所以地震評估時採用0.7的摩擦係數。不論是颱風、洪水的護箱滑動評估所用的0.35，或是地震的護箱傾倒評估所用的0.7，都是一種保守的涵蓋性分析，用以涵蓋碳鋼與混凝土介於0.4~0.5之間的真實的摩擦係數。

1. Shirai, K., et al., "Experimental Studies of Free Standing Spent Fuel Storage Cask subjected to Strong Earthquakes", Proc. of P A TRAN 2007, Miami, Florida, 2007.
2. Baltay P. and A. Gjelsvik, "Coefficient of Friction for Steel on Concrete at High Normal Stress", Journal of Material in Civil Engineering, ASCE, Vol. 2, Issue 1, February 1990.
3. Duke Power Company, McGuire Nuclear Station, Modification Engineering, "Steel on Concrete- Coefficient of Friction Testing for Dry Cask Storage Project", January 20, 1999.
4. USNRC, NUREG/CR-6865 "Parametric Evaluation of Seismic Behavior of Freestanding Spent Fuel Dry Cask Storage Systems", February, 2005.
5. Tennessee Valley Authority. "All Projects, Steel to Concrete Coefficient of Friction Preliminary Tests." Report No. CEB 77-46. December 5, 1977.
6. Rabbat, B.G., and H.G Russel, "Friction Coefficient of Steel on Concrete or Grout." Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 111, No.3 pp. 505-515: March 1985.

第 3 次審查意見

同意答復。