

第10章 消防防護計畫

10.1 消防工作之組織及行政管理

三號低貯庫之消防工作組織將依循並納入核一廠既有之消防工作組織與管理規定進行。

依據核一廠消防工作之組織及管理程序書，三號低貯庫之消防管理行政組織依權責將由運轉組、儀控組、電氣組、修配組、除役工程管理組、工業安全衛生組、政風組、品質組及除役訓練組落實。而執行實際消防作業組織則為管理權人(廠長)、防火管理人(廠長遴派)及消防班與緊急消防隊，以下針對實際執行消防作業之組織與權責分工進行概述。

一、管理權人

- (一)管理權人由廠長擔任並負責全廠防火管理業務之責任。
- (二)選任管理或監督層次之防火管理人，使能適當公正地執行防火管理業務，推動防火管理業務。
- (三)指導及監督防火管理上必要業務之推動。
- (四)申報消防防護計畫書及防火管理人之遴用、異動及解任。
- (五)督導防火避難設施及消防安全設備之檢查維護之實施，以及相關設施(備)缺失時之改善作為。
- (六)在防火管理人製定或變更消防防護計畫書時給與必要之指示。

二、防火管理人

- (一)消防防護計畫之製定、檢討及變更。
- (二)滅火、通報及避難訓練之實施。
- (三)防火避難設施、用火用電設備器具、危險物品設施之檢查實施及監督。
- (四)電氣配線、電氣機器、機械設備之管理及安全確認。
- (五)消防安全設備檢查維護之實施及監督，以及法定檢修之會同檢查。

- (六) 施工中消防防護計畫之製作及安全措施之建立。
- (七) 火源使用或處理有關之指導及監督。
- (八) 對內部員工消防訓練之實施。
- (九) 防火管理業務相關人員之指導及監督。
- (十) 對管理權人提出消防業務改進事項。
- (十一) 廠區避難通路、樓梯、避難路線圖等避難設施之管理。
- (十二) 推動防止縱火之預防措施。
- (十三) 各項防火管理相關書面資料之保管與整理。
- (十四) 其他防火管理上必要之事項。

三、消防班

消防班為獨立消防專職人員，其人力、裝備均比照消防機關消防隊之設置，24 小時均有消防人員值勤待命。消防班總計 36 人，正常班設總領班 1 人、消防設備士 1 人、消防機動支援人員 2 人；其他 32 人為 4 班 3 輪值制，每班 8 人，不論例假日或其他因素，均有 3 班消防人員值勤待命，一班輪休或接受工安組有關消防業務之調派。每班設 6 名司機擔任消防車駕駛，並由 2 名具初級救護員合格證照之班員擔任救護車駕駛。主要任務為本廠各廠房各防火對象物發生火災時，發現火災者無法立即撲滅時，以最短時間、最快速出動消防救災設備器材趕往火場先行滅火，期以地方消防機關之消防隊到達火場前先行滅火活動。

另當發生複合式災變或機組緊急狀況時，消防班在廠值勤人員一半人力支援事故機組，其餘組員應再緊急通知另一組消防班人員進廠支援。

四、緊急消防隊

屬於本廠緊急計畫中之消防救災任務組織。組織人力約 10 人由各組派員參加，設隊長 1 人、副隊長 2 人、組員分二隊每隊 4 人，接受緊急計畫應變中心指揮官指揮調度。主要任務為緊急

情況時在技術支援中心成立緊急應變計畫中心支援電廠消防隊及外界消防隊滅火。

10.2 火災災害分析及影響評估

本分析是以三號低貯庫為主要評估對象，考量低貯庫的結構、貯存的廢棄物與盛裝容器皆非可燃物，而低貯庫內的各項電氣設備亦須符合核電廠相關防火與耐火規定，故低貯庫發生火災的可能性極低，將以假想情境進行火災危害分析。

經評估低貯庫所在位置及運送路徑沿線可能發生火災之地點或情境，主要有運送車輛在低貯庫外的道路上故障及運送車輛在低貯庫內故障，以及 85 萬加侖儲油槽所產生之火災。分別針對上述假想情境計算火場環境溫度與熱輻射，評估火災對低貯庫之影響。

10.2.1 火災模擬計算工具

本分析所進行之火災模擬，將採用美國國家標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)開發的 FDS 6.7.9 (Fire Dynamics Simulator 6.7.9)軟體，其可以用來模擬火災發生時的火勢蔓延、火災成長情形以及氣體流動狀態。並可設置溫度、氣流速度、流量、氣體與固體表面之間的輻射熱、對流熱等偵測設備，取得所需參數。

FDS 程式之設計遵循質量守恆(Conservation of Mass)、物種守恆(Conservation of Species)、動量守恆(Conservation of Momentum)以及能量守恆(Conservation of Energy)等原理。主要是以大渦流模擬法(Large Eddy Simulation, LES)為基礎，將建築物空間切割為多格細小之格點，利用數值法求得各守恆方程式之解，可以用來模擬火災發生以及氣體流動之狀態等情境。

一、質量守恆

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0$$

二、物種守恆

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_l) + \nabla \cdot \rho Y_l u = \nabla \cdot \rho D_l \nabla Y_l + \dot{W}_l^m$$

三、動量守恆

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right) + \nabla p = \rho g + f + \nabla \cdot \tau$$

四、能量守恆

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u - \frac{D_p}{D_t} = \dot{q}^m - \nabla \cdot q_r + \nabla \cdot k \nabla T + \nabla \cdot \sum_l h_l (\rho D)_l \nabla Y_l$$

其中

ρ =流體密度

u =流體速度

Y_l =物種 l 的質量分率

h =流體熱焓

D =擴散係數

$\dot{W}_l^m$ =單位體積內化學種 l 的產生率

g =重力向量

f =外力向量(重力向量除外)

τ =黏性應力張量

$\dot{q}^m$ =單位體積內的釋熱率

q_r =輻射熱通率向量

k =流體熱導度

T =流體溫度

P =流體壓力

t =時間

10.2.2 火災情境

依據低貯庫的設計、運貯作業與周遭環境，設定三種火災假想情境，分別說明如下。

一、運送車輛在低貯庫外的道路上故障

因運送車輛油箱中有柴油，故考量於運送過程中，萬一發生運送車輛在低貯庫外圍道路上機械故障，造成柴油油箱洩漏引發火災。因此，針對火災造成之輻射熱和溫度，對於容器和低貯庫之影響進行評估。為降低柴油引發火災之影響，雖然運送車輛油箱容量大於 50 加侖，但將以行政管制措施控制油量小於 50 加侖。FDS 模擬軟體之參數設定如下：

(一)火源面積

因考量最嚴重之情況，故假設 50 加侖油箱內之柴油完全洩漏，並計算出洩漏至地面的面積，以供設置 FDS 模擬火災之火源面積。先將 50 加侖換算成相對應的體積，故 50 加侖=189.3 公升=0.1893 m³，假設柴油洩漏至地面後之燃料厚度為 1 cm，則火源面積為 0.1893 m³/0.01 m = 18.93 m²。

(二)熱釋放率

火源面積 $A = 18.93 \text{ m}^2$ 、柴油燃燒熱 $\Delta H = 43,200 \text{ kJ/kg}$ 、單位面積質量損失率 $\dot{m} = 0.039 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 、燃燒效率因子 $\Phi = 0.7$ 。因此，柴油洩漏火災之熱釋放率 $HRR = \Phi \times \Delta H \times \dot{m} \times A = 0.7 \times 43,200 \times 0.039 \times 18.93 = 22,325 \text{ kW}$ 。

(三)燃燒時間

若 50 加侖柴油完全洩漏至地面後開始燃燒，為計算燃料之燃燒時間，可利用柴油的單位面積質量損失率 $\dot{m} = 0.039 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 進行換算。先將 50 加侖柴油以柴油密度 820 kg/m³ 換成單位面積質量，亦即 $820 \text{ kg/m}^3 \times 0.01 \text{ m} = 8.2 \text{ kg/m}^2$ ，燃燒時間則為 $8.2 \text{ kg/m}^2 \div 0.039 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} = 210 \text{ 秒}$ 。

因此，油箱內 50 加侖柴油完全洩漏，可燃燒之時間為 210 秒，故本情境將以 210 秒作為 FDS 模擬時間，探討火災對於容器或低貯庫的影響。

(四)分析模型設定

參考德國 GNS 公司所提供之低放射性廢棄物運輸車輛資料，板架全長 14.5 m，包括 10 m 的載物區和 4.5 m 的車頭銜接區，而油箱通常位於板架銜接區的最前端，故將火源的中心點設置於板架最前端。因運送車輛一次僅載運一個容器，假設容器與火源中心的距離為 9 m。另為評估火災對低貯庫的影響，在距離火源中心點 10 m 處設置一道厚度 0.9 m 的牆，代表低貯庫面對火源之牆體，模型規劃如圖 10.2-1 所示。

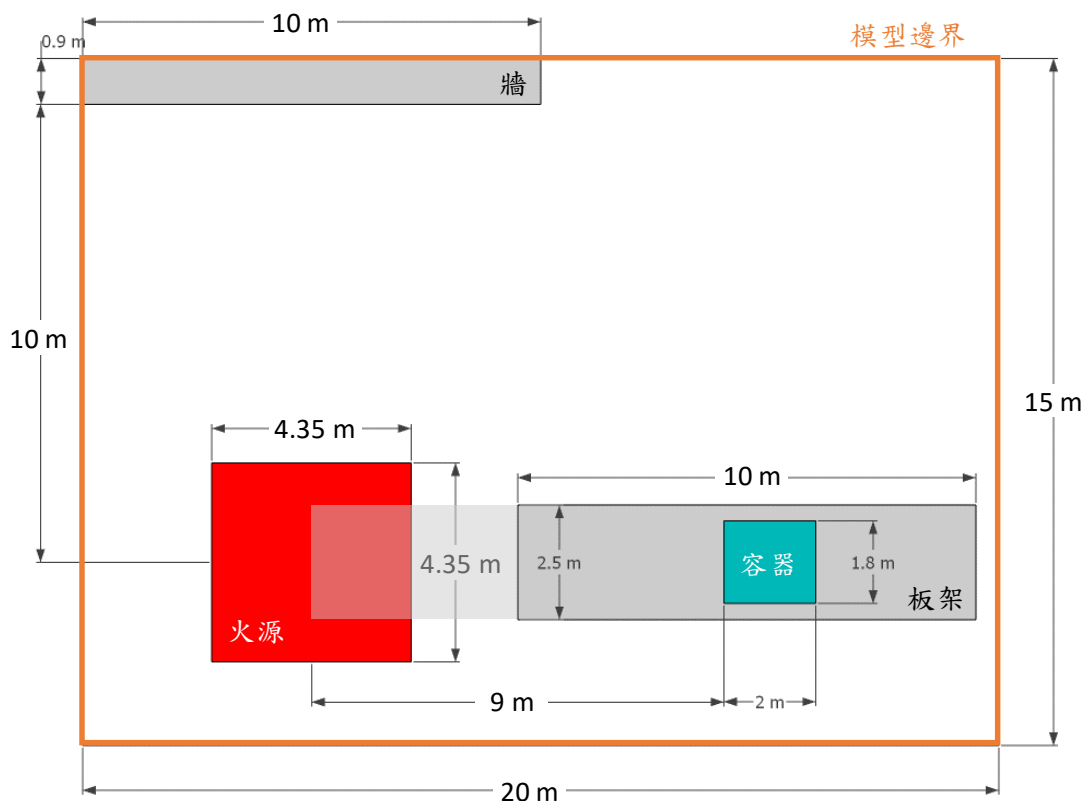


圖 10.2-1 運送車輛在低貯庫外發生火災之模型設定

此模型之空間尺寸為 20 m × 15 m × 20 m，其計算域分割為 100、75 及 100 格，每個網格之長寬高為 20 cm，合計含有 750,000 個網格，如此之網格密度已足夠使用 LES 的方法來模擬在燃燒過程中之火場變化情形。此外，FDS 在處理熱輻射時是用離散固體角方式進行，默認的固體角數設定為 100。為降低固體角數量不足造成的影響，將固體角數設定為 500。

二、運送車輛在低貯庫內故障

當運送車輛駛進低貯庫卸載區，準備進行卸載作業時，萬一發生運送車輛機械故障，造成 50 加侖柴油油箱洩漏引發火災。因此，針對火災造成之輻射熱和溫度，對於容器和低貯庫之影響進行評估。FDS 模擬軟體之參數設定如下：

(一)火源面積

計算方法與情境一相同，火源面積為 18.93 m²。

(二)熱釋放率

計算方法與情境一相同，柴油洩漏火災之熱釋放率為 22,325 kW。

(三)燃燒時間

計算方法與情境一相同，以 210 秒作為 FDS 模擬時間，探討火災對於容器或低貯庫的影響。

(四)分析模型設定

運送車輛開入低貯庫內後，因輻射屏蔽考量，車輛進出大門將隨即關閉，使低貯庫內形成密閉空間，並藉由空調系統維持室內溫度在 30 °C 以下。低貯庫規劃有自動排熱氣系統，當火災發生且空調箱 HEPA 上游回風箱段的溫度超過 60 °C 時，將關閉空調系統，並利用空調的回風口及回風管排放熱氣。

運送車輛僅能於卸載區內的車道行駛及暫停，因此將柴油洩漏位置設定於暫停處，火源中心位置與卸載區四周牆體表面

的距離為 6 m、4.75 m、10.25 m 和 34 m，與貯存區容器的最近距離為 17.25 m，模型規劃如圖 10.2-2 所示。

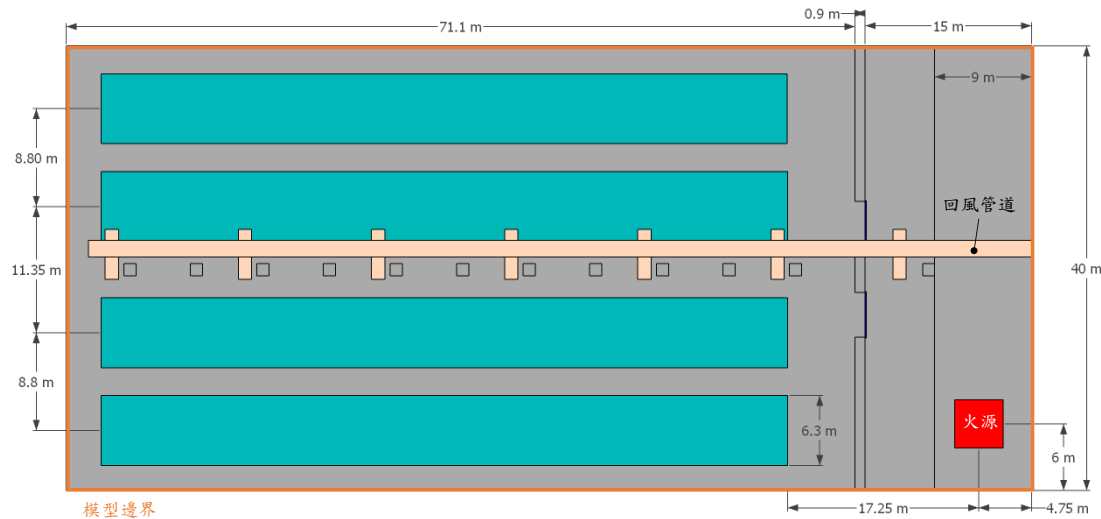


圖 10.2-2 運送車輛在低貯庫內發生火災之模型設定

此模型之空間尺寸為 90 m × 40 m × 20 m，其計算域區分為火源空間和非火源空間，火源空間內每網格之長寬高為 25 cm，非火源空間內每網格之長寬高為 50 cm，合計含有 2,663,480 個網格，如此之網格密度已足夠使用 LES 的方法來模擬在燃燒過程中之火場變化情形。此外，FDS 在處理熱輻射時是用離散固體角方式進行，默認的固體角數設定為 100。為降低固體角數量不足造成的影響，將固體角數設定為 500。

三、85 萬加侖儲油槽

三號低貯庫南方約 30 m 處有一座 85 萬加侖柴油貯槽，做為核一廠兩部機組在緊急狀況下供緊急柴油發電機使用之油源。當用過核燃料自反應爐內移至乾貯設施後，緊急柴油發電機即不需保持可用，85 萬加侖油槽就可拆除，因此其影響時機只在用過核燃料無法自反應爐內移至乾貯設施時，才會對三號低貯庫具有火災危害影響。

針對上述三號低貯庫可能受 85 萬加侖柴油貯槽火災影響的期間，假設火災情境為儲油槽發生洩漏，柴油流入防溢堤內，進而發生火災，使防溢堤和儲油槽內的柴油燃燒。因此，針對火災造成之輻射熱和溫度，對於低貯庫之影響進行評估。FDS 模擬軟體之參數設定如下：

(一)火源面積

油槽直徑為 19 m，防溢堤內徑為 25.3 m，儲油槽火災之火源面積為 502.5 m²。

(二)熱釋放率

火源面積 $A = 502.5 \text{ m}^2$ 、柴油燃燒熱 $\Delta H = 43,200 \text{ kJ/kg}$ 、單位面積質量損失率 $\dot{m} = 0.039 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 、燃燒效率因子 $\Phi = 0.7$ 。因此，防溢堤火災之熱釋放率 $HRR = \Phi \times \Delta H \times \dot{m} \times A = 0.7 \times 43,200 \times 0.039 \times 502.5 = 592,628 \text{ kW}$ 。

(三)燃燒時間

若 85 萬加侖柴油全部燃燒完約需 37 小時。考量核電廠內的消防應變量能，並不會讓火災持續這麼長的時間，故本情境將以 600 秒作為 FDS 模擬時間，探討火災對於低貯庫的影響。

(四)分析模型設定

由於火災的影響會隨距離增加而減少，考量低貯庫的尺寸及其與防溢堤的最近距離已有 28.35 m，故僅將部分低貯庫建於模型內，模型規劃如圖 10.2-3 所示。

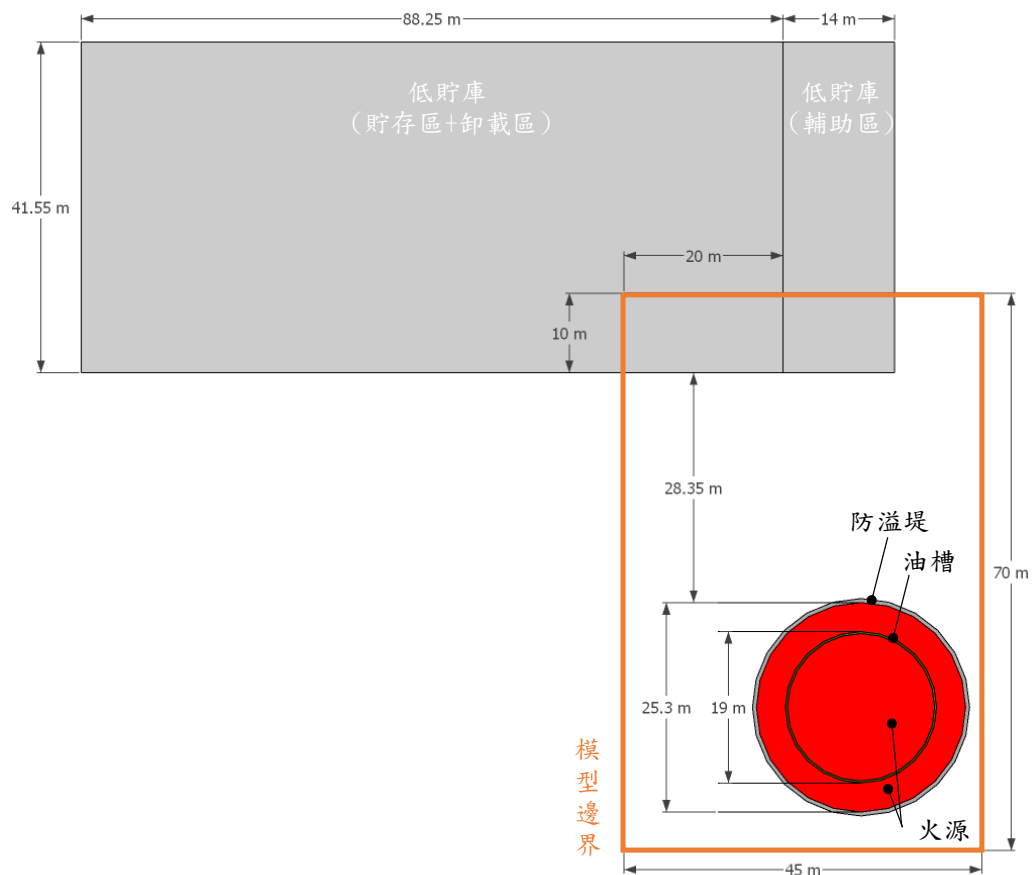


圖 10.2-3 85 萬加侖儲油槽發生火災之模型設定

此模型之空間尺寸為 $45\text{ m} \times 70\text{ m} \times 20\text{ m}$ ，其計算域區分為火源空間和非火源空間，火源空間內每網格之長寬高為 25 cm ，非火源空間內每網格之長寬高為 50 cm ，合計含有 1,848,000 個網格，如此之網格密度已足夠使用 LES 的方法來模擬在燃燒過程中之火場變化情形。此外，FDS 在處理熱輻射時是用離散固體角方式進行，默認的固體角數設定為 100。為降低固體角數量不足造成的影響，將固體角數設定為 500。

10.2.3 火災分析結果

前節所述三種火災情境之分析結果，分別說明如下：

一、運送車輛在低貯庫外的道路上故障

運送車輛在低貯庫外因 50 加侖油箱洩漏引發火災之情形，如圖 10.2-4 所示，容器與低貯庫所受輻射熱與溫度變化模擬結

果，如圖 10.2-5 和圖 10.2-6。由 FDS 模擬結果可知，在環境溫度 32 °C 的情況下，距離火源 10 m 之低貯庫牆，其最高溫度為 44.7 °C，最大平均輻射熱為 1.58 kW/m²。距離火源 9 m 之容器則是以面對火源表面的溫度較高，最高溫度為 34.6 °C，最大平均輻射熱為 2.02 kW/m²。不論是低貯庫牆體或容器，其溫度上升幅度輕微，不會對設施或容器功能造成影響。

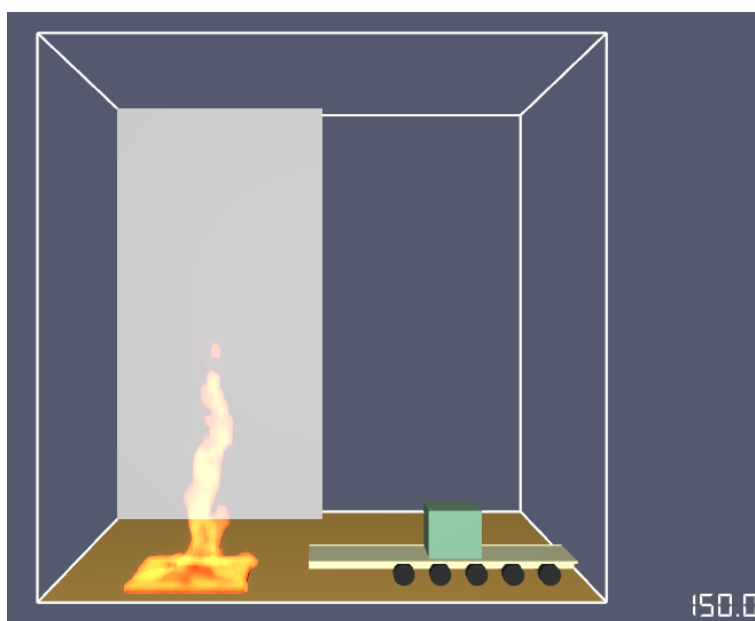


圖 10.2-4 運送車輛在低貯庫外發生火災之情形

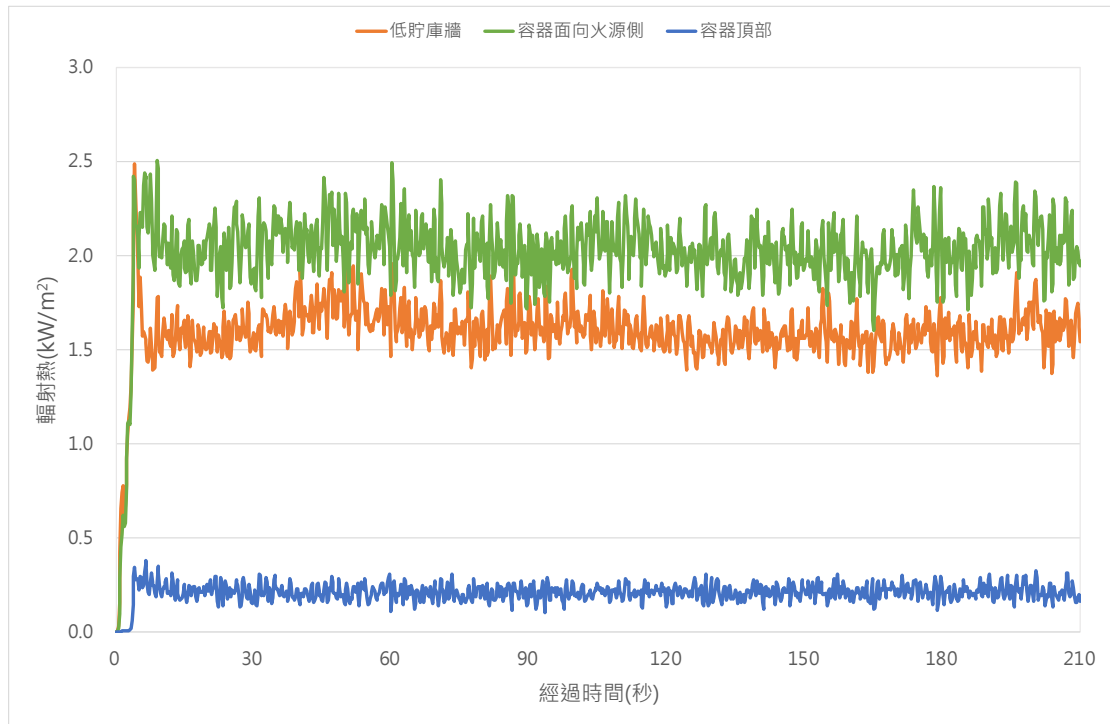


圖 10.2-5 容器與低貯庫所受輻射熱(運送車輛在低貯庫外發生火災)

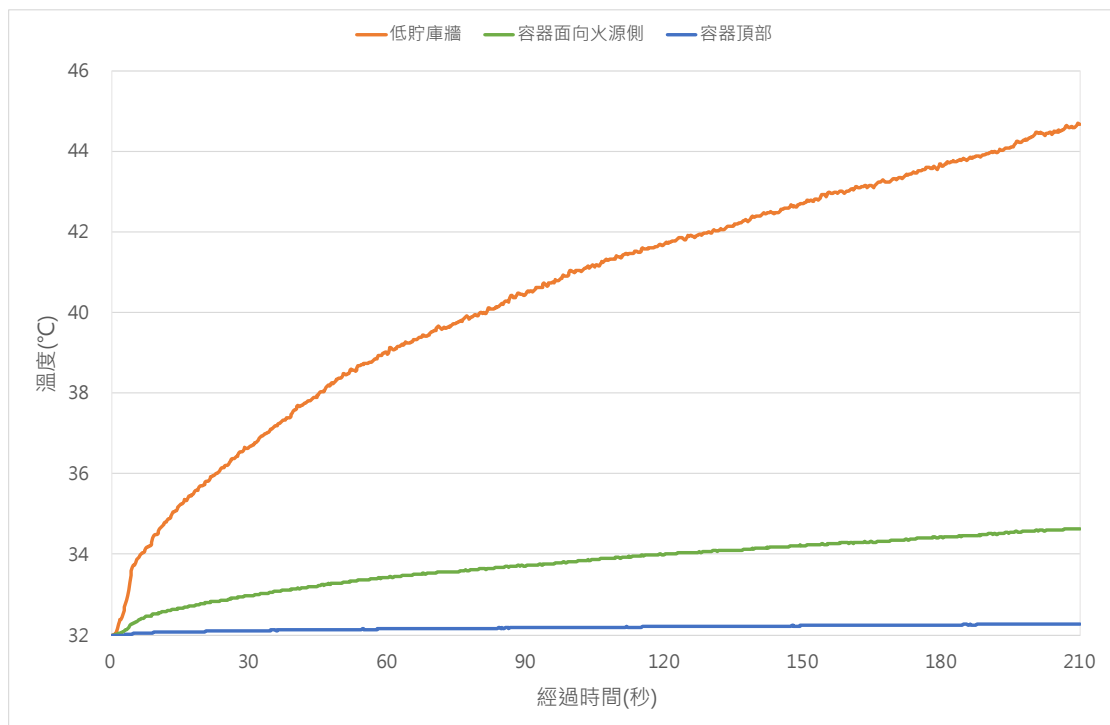


圖 10.2-6 容器與低貯庫之最高溫度曲線(運送車輛在低貯庫外發生火災)

二、運送車輛在低貯庫內故障

運送車輛在低貯庫內因 50 加侖油箱洩漏引發火災之情形，如圖 10.2-7 所示，低貯庫內容器與牆體所受輻射熱與溫度變化模擬結果，如圖 10.2-8 和圖 10.2-9。由 FDS 模擬結果可知，在環境溫度 30 °C 的情況下，卸載區內距離火源 4.75 m、6 m、10.25 m、34 m 之牆面以及天花板，其最高溫度分別為 166.1 °C、141.8 °C、35.8 °C、67.2 °C 和 46.7 °C，最大平均輻射熱則分別為 16.40 kW/m²、15.48 kW/m²、0.67 kW/m²、0.36 kW/m²、1.03 kW/m²。而位於貯存區之容器，其面相火源側和容器頂部的最高溫度分別為 30.3 °C 和 30.9 °C，最大平均輻射熱則分別為 0.04 kW/m² 和 0.15 kW/m²。

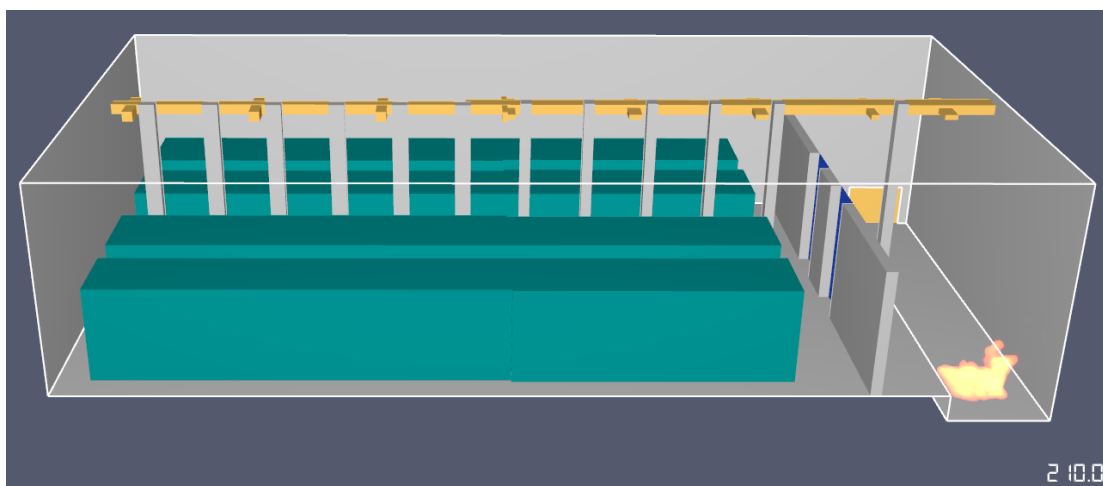


圖 10.2-7 運送車輛在低貯庫內發生火災之情形

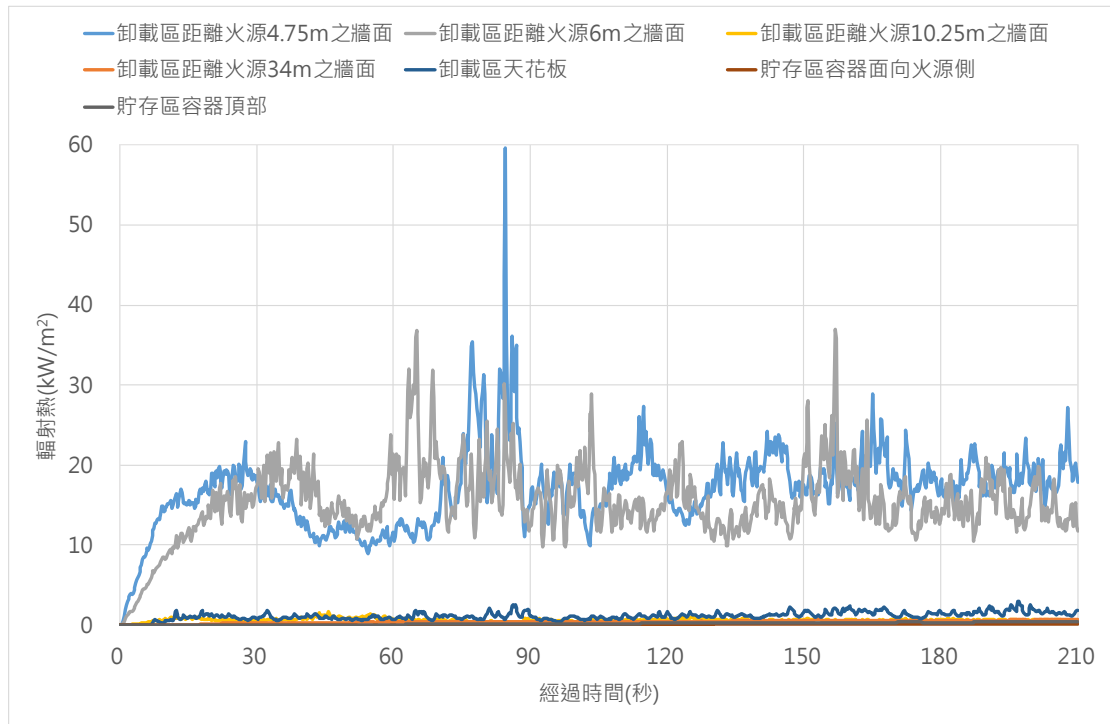


圖 10.2-8 容器與低貯庫所受輻射熱(運送車輛在低貯庫內發生火災)

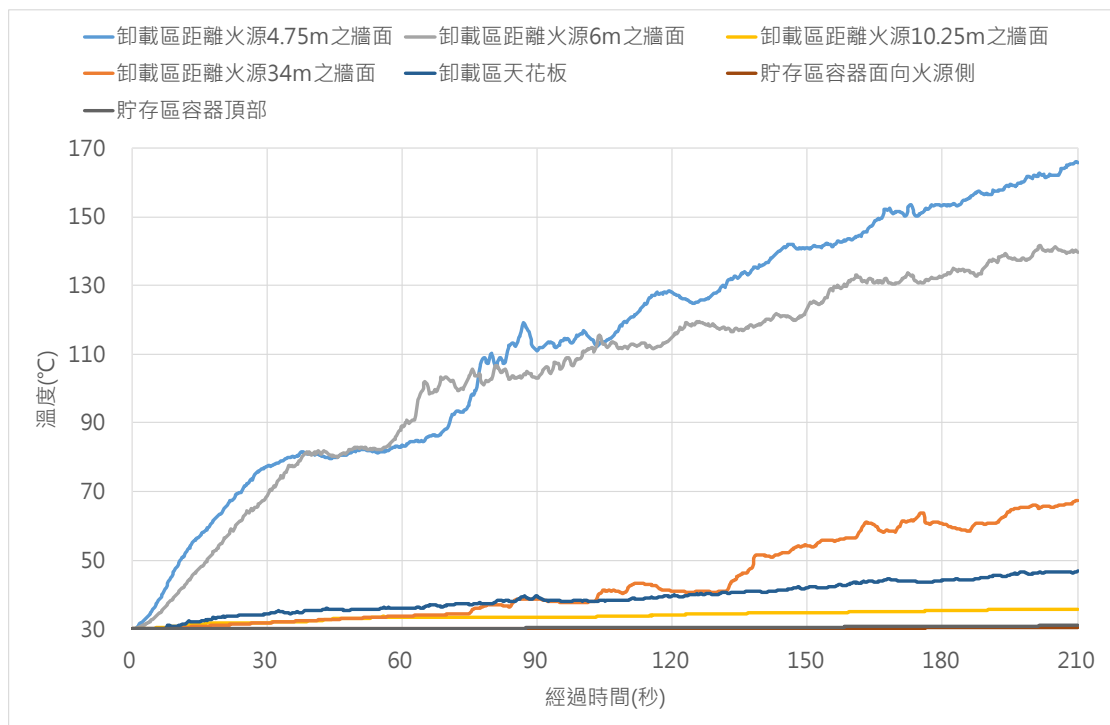
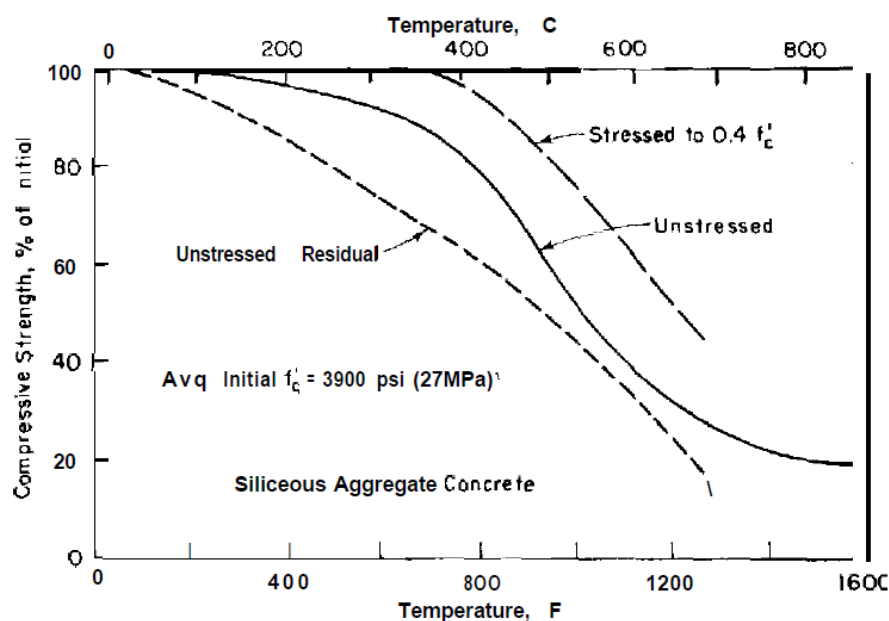


圖 10.2-9 容器與低貯庫之溫度曲線(運送車輛在低貯庫內發生火災)

低貯庫的牆體為鋼筋混凝土構成，參考 ACI Committee 216 對於混凝土耐火性的研究^[84]，矽質骨材混凝土抗壓強度與溫度之關係如圖 10.2-10 所示。由圖中可發現混凝土加溫至 400 °C 後，抗壓強度才會有較明顯的衰減現象。另外，歐洲標準委員會(European Committee for Standardization, CEN)制定之 Eurocode 2^[85]，將受溫度影響之混凝土抗壓強度與常溫混凝土抗壓強度之比值做為折減係數，其隨溫度變化之關係如表 10.2-1 所列，混凝土溫度達 400 °C 時，抗壓強度折減係數約為 0.75~0.85。考量運送車輛在低貯庫內發生火災時，對周圍牆體造成的最高溫度約為 155 °C，對照表 10.2-1 可知，抗壓強度折減係數介於 0.95~1 之間。此抗壓強度折減幅度小於 5%，應不至於對設施功能造成影響。而貯存區之容器受到屏蔽牆阻擋，容器表面溫度上升未超過 1 °C，故火災亦不會影響容器之功能。



資料來源：ACI, 1994, p.18

圖 10.2-10 高溫中矽質骨材混凝土抗壓強度遞減之關係

表 10.2-1 混凝土抗壓強度折減係數隨溫度之變化

混凝土溫度(°C)	矽質骨材混凝土	鈣質骨材混凝土
20	1.00	1.00
100	1.00	1.00
200	0.95	0.97
300	0.85	0.91
400	0.75	0.85
500	0.60	0.74
600	0.45	0.60
700	0.30	0.43
800	0.15	0.27
900	0.08	0.15
1,000	0.04	0.06
1,100	0.01	0.02
1,200	0.00	0.00

資料來源：CEN, 2004, p.20

三、85 萬加侖儲油槽

85 萬加侖儲油槽火災之情形如圖 10.2-11 所示。低貯庫輔助區和貯存區外牆所受輻射熱與溫度變化模擬結果，如圖 10.2-12 和圖 10.2-13。由 FDS 模擬結果可知，距離火源 28.35 m 之低貯庫，在環境溫度 32 °C 的情況下，輔助區面向火源牆體表面最高溫度為 32.23 °C，最大平均輻射熱為 1.75×10^{-2} kW/m²；貯存區面向火源牆體表面最高溫度為 32.18 °C，最大平均輻射熱為 1.30×10^{-2} kW/m²。由於低貯庫距離火源甚遠，溫度上升幅度輕微，不會對設施功能造成影響。

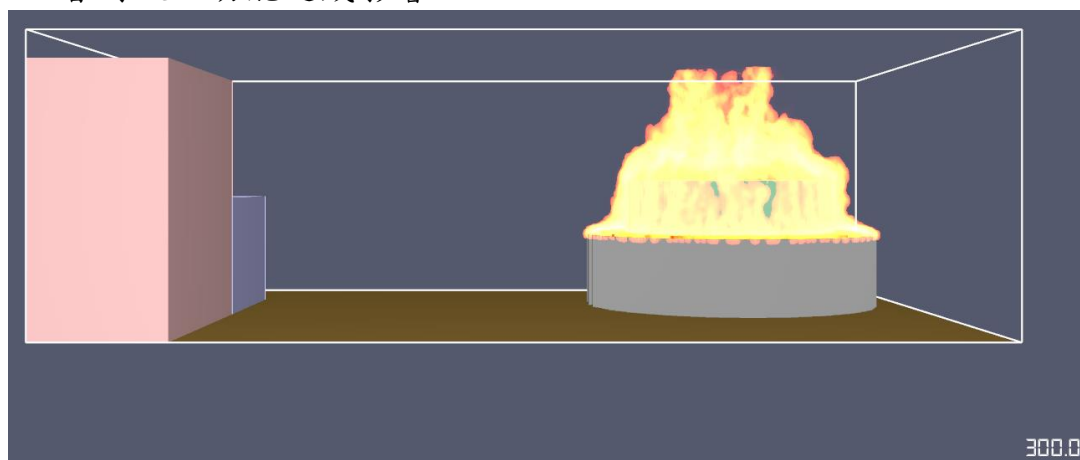


圖 10.2-11 85 萬加侖儲油槽發生火災之情形

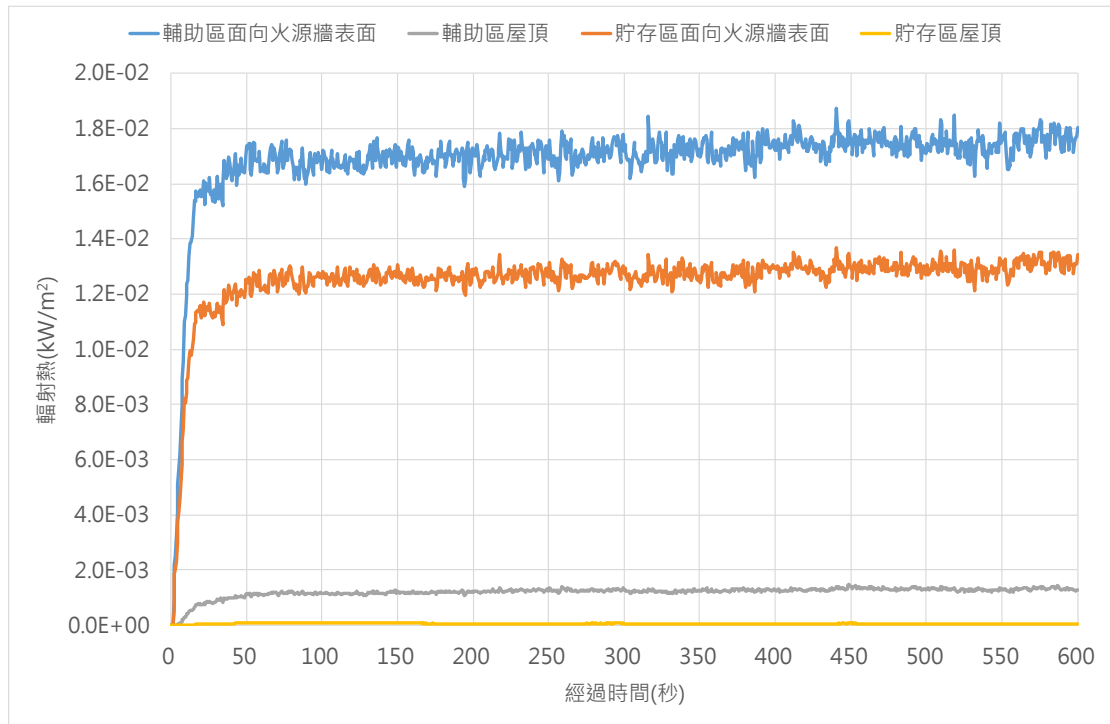


圖 10.2-12 低貯庫所受輻射熱(85 萬加侖儲油槽發生火災)

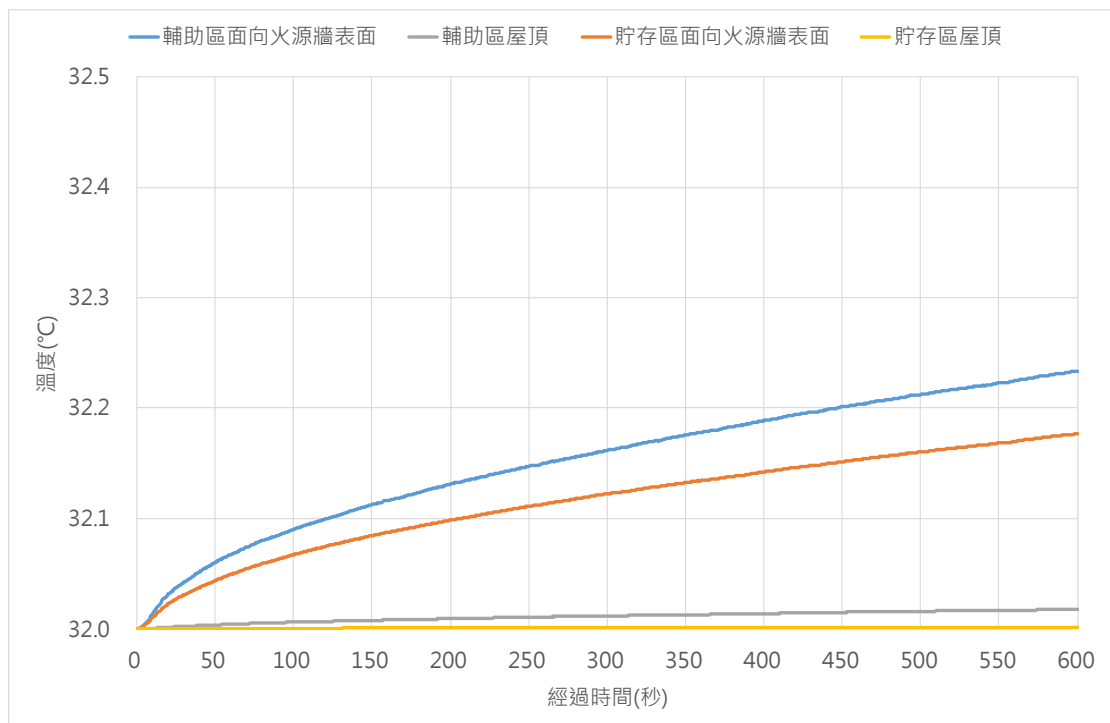


圖 10.2-13 低貯庫之溫度曲線(85 萬加侖儲油槽發生火災)

10.3 防火設計及措施

三號低貯庫之防火設計依據「建築技術規則」^{[44][45][46][47]}及「各類場所消防安全設備設置標準」^[48]設計，說明如下：

一、防火設計

三號低貯庫結構之防火時效如表 10.3-1 所示。

表 10.3-1 三號低貯庫主要結構防火時效表

樓層	結構	防火時效	承重牆	梁	柱	樓板
1F	RC	法規要求	1 hr	1 hr	1 hr	1 hr
		設計時效	≥ 1 hr	≥ 1 hr	≥ 1 hr	≥ 1 hr
2F	RC	法規要求	1 hr	1 hr	1 hr	1 hr
		設計時效	≥ 1 hr	≥ 1 hr	≥ 1 hr	≥ 1 hr
屋頂層	RC	法規要求	-	-	-	0.5 hr
		設計時效	-	-	-	≥ 1 hr

二、防火措施

三號低貯庫設施內依據「各類場所消防安全設備設置標準」^[48]配置室內外消防栓、消防水箱、火警受信總機、火警偵測器、緊急照明及逃生指示。

10.4 火警偵測及消防能力評估

一、火警偵測

三號低貯庫設施內部依據「各類場所消防安全設備設置標準」^[48]設置火警偵測系統，各區域選用型式如表 10.4-1 所示。

表 10.4-1 三號低貯庫各區域火警偵測器選用形式

場所	火警探測器形式
操作室	偵煙式
電氣室	
保健物理管制站	
運貯作業參觀區	
空調機室	
消防泵浦室	
貯存區	定溫式
檢整區、卸載區	
茶水間	
緊急柴油發電機室	
自來水泵浦室	

二、消防能力評估

(一)組織/人員

1. 消防班：每天 24 小時分四班三輪值制；每輪值 6 人。
2. 緊急消防隊：緊急指揮中心成立時召集約 20 人。

(二)設施/設備

1. 消防水車四輛：水箱容量 12,000 L。
2. 多效能化學消防車一輛：泡沫容量 4,000 L、水箱容量 8,000 L。
3. 消防器材車一輛及消防附屬必要之器材等。
4. 救護車一輛。
5. 三號低貯庫內消防設施
 - (1) 室外消防栓 6 組
 - (2) 室內消防栓 5 組
 - (3) 消防泵浦 1 組
 - (4) 乾粉滅火器 19 只
 - (5) 二氧化碳滅火器 3 只

10.5 相關單位之消防及救護支援

三號低貯庫消防及救護支援計畫將依據 2019 年 12 月 1 日與新北市消防局簽訂之消防救災支援協定書內容辦理。重要之協議如下：

- 一、第一核能發電廠遭受火災、風災、水災、震災、爆炸、複合式災害及其他緊急事故等災害，其本身能量不足以有效救災或第一核能發電廠辦理消防救災演練或緊急計畫演習時，得請求支援。支援人員、車輛、機具、器材等，依實際需求而定。
- 二、新北市政府消防局支援第一核能發電廠財產區所轄範圍，惟進入輻射管制區之支援人員，應事先經輻防管制人員同意後，並提供適當之防護裝備，始得進入。

三、核一廠每年將行文新北市政府消防局，為緊急計畫區內消防單位舉辦 3 小時以上之輻射防護教育訓練。另配合消防救災聯合演練或電廠緊急應變計畫演習等時機，實施定期搭配演練。

10.6 防火及消防有關設備之維護及管理

核一廠在工安衛生組下設有消防課，專司消防設備之維護及管理，依核一廠消防防護計畫書^[86]內容分項執行，遵照消防法及施行細則規定，執行外觀、性能、綜合檢查，並向新北市政府消防局作檢修申報。

10.7 防火及消防有關之人員訓練

人員訓練將依據核一廠消防訓練計畫及消防班人員體技能訓練程序書進行。執行方式如下

一、防火管理人

依據消防訓練計畫程序書每 3 年應至內政部認可之專業機構講習訓練一次。

二、消防班人員

依據消防班人員體技能訓練程序書進行學科、體能、技能、救災及現場作業環境認知等訓練，依據訓練周期不同又可分月、季、半年訓練。

三、緊急消防隊

依據消防訓練計畫程序書進行每年至少一次，每次不得少於 3 小時之訓練。另緊急消防隊員每年須配合消防班定期演習乙次。

四、核一廠員工

依據消防訓練計畫程序書進行每半年至少辦理一次，每次不得少於 4 小時，並於事先通報當地消防機關。

五、承攬商動火員及監火員

動火員依據消防訓練計畫程序書應至專業訓練單位接受訓練，並領有結業證書，且每 3 年應至專業訓練單位接受 3 小時之在職教育訓練，才能於核一廠從事動火作業。監火員則應每 3 年須接受 3 小時講習。

本頁空白。