

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 覆土式壓力儲槽取代球型儲槽之可行性研究—熱效應分析

### Feasibility Study on Earth-Covered Tanks in Substitution for Spherical Storage Tanks: Thermal Response Analysis

計畫編號：NSC89-2214-E-032-008

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：陳錫仁 淡江大學化工系

計畫參與人員：宋振奇 林頌評 淡江大學化工系研究生

#### 一、中文摘要

國內地狹人稠，一般工廠內製程區、儲槽區、綠帶間之安全距離普遍不足，是故目標明顯的高壓液化氣球型儲槽，常成為社區民眾抗爭的對象，以覆土式壓力儲槽取代目前的球型儲槽或可成為離島工業區、內陸工業區新建高壓液化氣儲槽的參考。本研究提出覆土式壓力儲槽取代球槽的可行性探討，其目的主要在建立覆土式壓力儲槽之熱效應模式，利用此模式可分析覆土式壓力儲槽受外界熱源（如製程區內外之火災）侵襲時，其本質上之安全性能。

**關鍵詞：**覆土式壓力儲槽、高壓液化氣貯槽、熱效應模式。

#### Abstract

Most often, safety distances between storage tank farms and process area are not separated enough in chemical process plants of Taiwan. The present project has conducted a feasibility study on earth-covered tanks in place of the more traditional spherical storage tanks. We have focused on the comparison of the thermal response analysis between the earth-covered tanks and tank spheres; the results have shown the inherently superior feature for the earth-covered tanks.

**Keywords:** Earth-Covered Tanks, Pressure-Liquefied-Gas Storage, Thermal Response Analysis.

#### 二、緣由與目的

化學工業利用儲槽貯存暫時性的原料、中間原料、半成品或成品，是化工廠內極為重要的容器。一般而言，儲槽可分球型、臥式圓筒型、立式圓柱型等不一而足。化學工廠內儲槽比起其它製程設備似乎脆弱許多，常因過壓、真空、附屬管線破管等等因素造成化學品外洩而引起嚴重災害。地下儲槽 (Underground Storage Tank) 與地上儲槽 (Aboveground Storage Tank) 同樣的作貯存液體、流體及氣體之用。地下儲槽與地上儲槽有不同的應用價值，如何選擇適當的儲槽及其附屬設備作為特殊用途，則需周詳考慮許多因素。

具體而言，地上儲槽較易建造及偵漏，地上儲槽具較低之外洩風險，且較少維修、記錄之需求；然而，地上儲槽較易受火災的侵襲，地上儲槽亦需較大之土地面積，地上儲槽需設置在工廠之特別安全區，地上儲槽較易受無心或有意的破壞，地上儲槽也受貯存總量的限制。相對於地上儲槽，地下儲槽具較低之火災侵襲風險，地下儲槽亦具較大之固定土地面積的應用；然而，地下儲槽需較多的維修保養，地下儲槽亦具較易外洩之風險，地下儲槽如洩漏亦可能污染到土壤與地下水 [1]。覆土式壓力儲槽 (Earth-Covered Tank) 可說是屬於地下儲槽的一種。覆土式壓力儲槽除可取代球型儲槽外，更具提高安全性、節省土地面積，並符合環保要求及降低建造成本之優點。覆土式壓力儲槽若能克服腐蝕、沉陷、保養、地震、

豪雨、土石流、水災等等問題，或可成為明日之星。

本研究提出覆土式壓力儲槽壓力取代球型儲槽的可行性探討，其目的乃在建立覆土式壓力儲槽之熱效應模式，藉此模式吾人可分析覆土式壓力儲槽遭受製程區內外火災侵襲時，其本質上較球型儲槽之安全優越性。此研究對我國在化學工業的高壓液化氣之儲存應用上具有參考價值。

### 三、研究方法與成果

#### 研究方法

本研究首先提出覆土式壓力儲槽之受熱模式：圖一表示覆土式地下儲槽受鄰火侵襲的狀況示意圖，由於土壤乃是自然界的一種天然絕熱材料，覆土式儲槽顯然比暴露於外的球型槽更可以避免 BLEVE 的發生。覆土式儲槽埋藏在土壤之下受到鄰火輻射熱侵襲時，土壤表層與槽體會因溫差的關係，而產生輻射熱的傳導模式，一般我們可以利用單維 (one dimension) 的偏微分熱傳導方程式描述，配合適當的邊界條件，可以計算出在不同狀況下，覆土式儲槽槽體表面上之土壤的溫度，進而作為評估儲槽安全性的參考。

覆土式儲槽受外部火災侵襲之物理現象，藉用單維的偏微分熱傳導方程式描述：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\text{I.C. : } T(x,0) = T_i$$

$$\text{B.C.1 : } T(x,t) \rightarrow T_i \quad \text{當 } x \rightarrow \infty$$

上式中  $T$  為土壤之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )， $\alpha$  為土壤之熱擴散係數 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )， $x$  為儲槽埋藏在地表下之深度 ( $\text{m}$ )， $t$  為接收外部火災侵襲的時間 ( $\text{s}$ )。在初始條件方面， $T(x,0) = T_i$  為接收外部火災侵襲前土壤表面的初始溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，而在邊界條件方面可分為兩個，第一個邊界條件為，離地面無窮遠的地方，土壤溫度仍為地表的初始溫度  $T_i$ ，第二個邊界條件若考慮表面恆溫時，即

$$\text{B.C.2 : } T(0,t) = T_s$$

在此邊界條件下，上述之偏微分方程式之解為：

$$\frac{T(x,t) - T_i}{T_s - T_i} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \quad (2)$$

式中， $\text{erf}$  為誤差函數 (error function)。圖二為覆土式儲槽在地表恆溫不同持續時間之土壤溫度與埋藏深度變化圖，由圖中得知，在表面溫度恆定為  $1,000^{\circ}\text{C}$  的狀況下，恆溫時間愈長在同樣深度下之土壤溫度亦愈高，但由於土壤本身的热傳效果很差 (熱傳導係數僅  $1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )，大部分由外界所提供的熱量幾乎都被土壤所阻擋；簡言之，土壤扮演一種天然的隔熱材料，由圖看出即使是連續五小時表面為  $1,000^{\circ}\text{C}$  的狀況下，僅僅  $0.31 \text{ m}$  的埋藏深度對覆土式儲槽而言已可說是一個安全的埋藏深度。圖三為覆土式儲槽在固定時間下，不同地表溫度時之土壤溫度與埋藏深度變化圖，由圖中得知，在固定一小時的恆溫時間下，表面溫度愈高儲槽所需要埋藏的安全深度亦愈深，由圖亦可看出在一小時的恆溫時間下，即使表面溫度為  $1,000^{\circ}\text{C}$ ，僅僅  $0.15 \text{ m}$  的埋藏深度對覆土式儲槽而言，已可說是一個安全的埋藏深度。

第二個邊界條件若考慮表面恆定有限熱通量時，即

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_s$$

在此邊界條件下，配合上述之偏微分方程式、初始條件，我們可得到此偏微分方程式的解如下：

$$T(x,t) - T_i = \frac{2q_s \sqrt{\alpha t / \pi}}{k} \exp\left(\frac{-x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{q_s x}{k} \left(1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right) \quad (3)$$

圖四為覆土式壓力儲槽在固定熱輻射量下不同時間之土壤溫度 vs. 埋藏深度比較圖，由圖中得知，在固定外在熱輻射量 ( $13,740 \text{ W/m}^2$ ) 下，接受熱輻射時間愈久儲槽所需要埋藏的安全深度亦愈深，但在接受熱輻射量為  $13,740 \text{ W/m}^2$  的情形下，即使是接受五小時的固定外在熱源後， $0.28 \text{ m}$  的埋藏深度亦已可說是安全深度。圖五為覆土式壓力儲槽在固定時間下不同熱輻射量之土壤溫度 vs. 埋藏深度比較圖，由圖中得知，在固定接受一小時的熱輻射量下，熱輻射量愈大儲槽所需要埋藏的安全深度

亦愈深，在模擬的三種固定熱輻射劑量中，埋藏深度大約只需 0.14 m 幾乎就可以說是安全深度。

第二個邊界條件若考慮表面有對流時，即

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h[T_\infty - T(0,t)]$$

在此邊界條件下，配合上述之偏微分方程式、初始條件，我們可得到此偏微分方程式的解如下 [2]：

$$\frac{T(x,t) - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) - \left[ \exp\left(\frac{hx}{k} + \frac{h^2 \alpha t}{k^2}\right) \times \left[ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} + \frac{h\sqrt{\alpha t}}{k}\right) \right] \right] \quad (4)$$

圖六為覆土式壓力儲槽在固定對流熱傳係數，不同熱暴露時間下之土壤溫度 vs. 埋藏深度比較圖，由圖中得知，在環境溫度 1,000°C，對流熱傳係數為 20 W/m<sup>2</sup>.K 下，熱暴露時間愈久儲槽所需要埋藏的安全深度亦愈深。圖七為覆土式壓力儲槽在固定熱暴露時間下不同對流熱傳係數之土壤溫度 vs. 埋藏深度比較圖，由圖中得知，在環境溫度 1,000°C，對流熱暴露時間一小時下，對流熱傳係數愈大儲槽所需要埋藏的安全深度亦愈深，在模擬的三個對流熱傳係數中，埋藏深度大約只需 0.15 m 幾乎就可以說是安全深度。

本研究其次提出球槽之受熱模式：液化石油氣球型儲槽遭受外在熱源侵襲之受熱模式，一般可藉幾個耦合的微分方程式描述之，若將球槽 lump 成四個溫度節點，分別為受熱液體壁、受熱蒸氣壁、受熱蒸氣壁與槽內蒸氣、受熱液體壁與液體四個部份，則藉由各節點與流體間之能量平衡，吾人可分析球槽在火焰直接侵襲下，大約 10~30 分鐘球槽即有破裂引發 BLEVE 之虞 [3]。

### 成果

應用熱傳導模式提出覆土式壓力儲槽之受熱數學模式，由模擬的結果可以歸納出以下兩點：

(1) 由於土壤是不良的熱傳介質，故外界鄰火侵襲的熱輻射劑量幾乎被土壤完全吸收，因此

得以確保覆土式壓力儲槽的安全性。

(2) 由三種不同邊界條件模擬結果，我們大致可以評估出覆土式壓力儲槽在埋藏深度為 0.5 m 的情形下，已足以應付大部分的火災狀況。

### 四、結果與討論

高壓液化氣儲槽除了球型槽外，目前先進國家如德國於 1959 年首次採用 30 套 200 m<sup>3</sup> 覆土式壓力儲槽，1971 年應用於儲存 LPG、丙烷等高壓常溫液化石油氣。基於安全理由，德國計畫 1,000 m<sup>3</sup> 以上之球型槽，禁止發照，法國則禁止 500 m<sup>3</sup> 以上球型槽建造。目前國外使用覆土式壓力儲槽有 BASF、Shell、Esso、Mobil Oil、Bayer 等公司，共超過 200 套，國內台塑企業自德國引進此技術，已於六輕廠區建造 92 套供碼槽區、煉油、石化製造區使用。以覆土式壓力儲槽取代目前的球型槽或可當作國內一些石化公司新建高壓液化氣儲槽的參考。

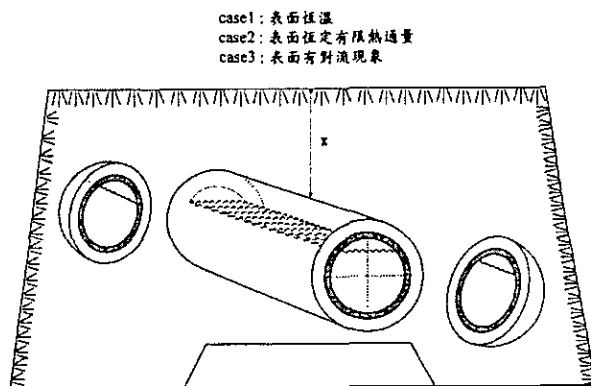
### 五、參考文獻

[1] Kilbourne, A.L. and K. Canning, 1998; "Selecting a Storage Tank," *Pollution Eng.* (30):38-40.

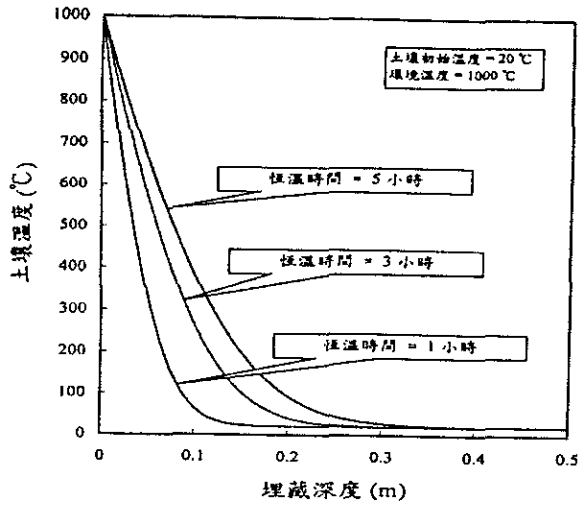
[2] Mills, A.F., 1992; *Heat Transfer*, Prentice Hall, New Jersey: 159-160.

[3] Chen, H.J., M.S. Lin and F.Y. Chao, 1999; "Thermal Response Analyses of Spherical LPG Storage Tank," *J. Chem. Eng. Japan* (32):153-157.

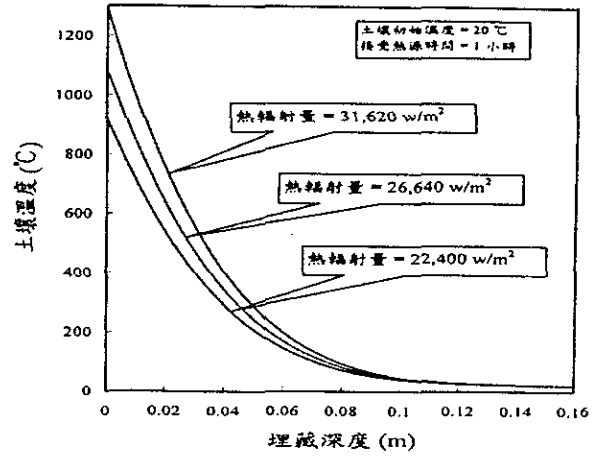
### 六、圖表



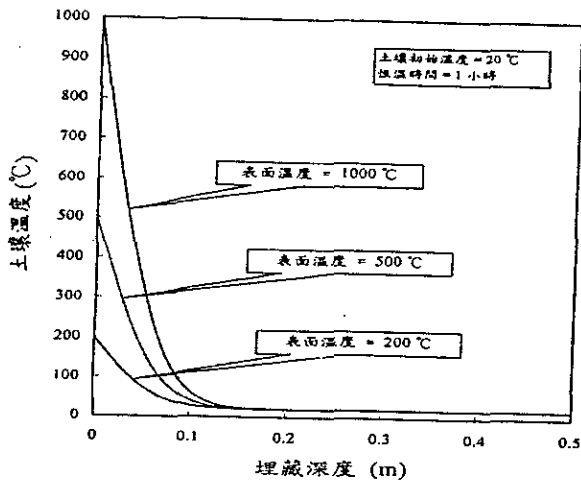
圖一 覆土式壓力儲槽受外在熱源侵襲之示意圖



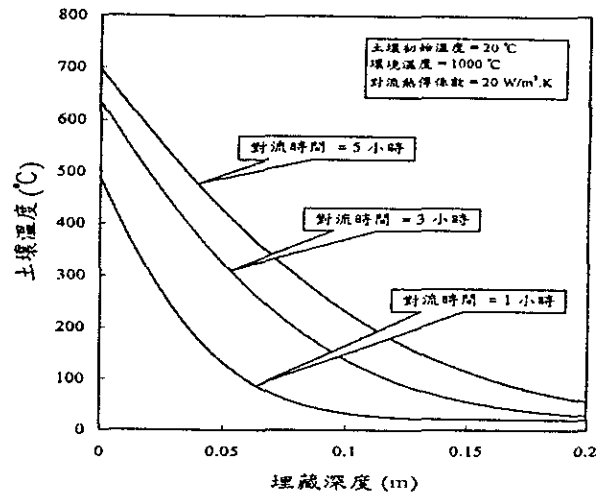
圖二 表面恆溫下，不同持續時間之熱暴露，土壤溫度與埋藏深度變化圖



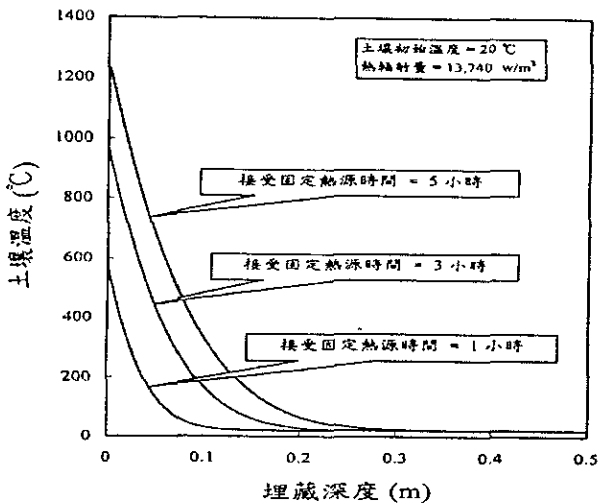
圖五 固定時間下，不同熱輻射劑量之暴露，土壤溫度對埋藏深度的變化圖



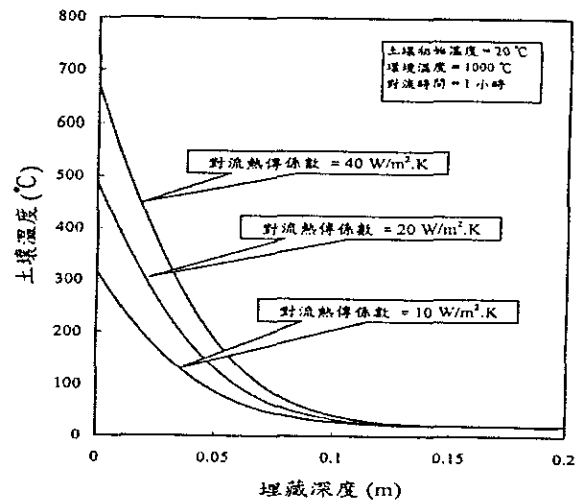
圖三 固定時間下，不同表面溫度之熱暴露，土壤溫度對埋藏深度的變化圖



圖六 固定對流熱傳係數下，不同熱暴露時間，土壤溫度對埋藏深度的變化圖



圖四 固定熱輻射劑量下，不同之熱暴露時間，土壤溫度對埋藏深度的變化圖



圖七 固定時間下，不同對流熱傳係數之熱暴露，土壤溫度對埋藏深度的變化圖