

船上油槽俯仰傾斜液位校正之研究

The Study of Trim and List Level Calibration for Oil Tanks on Ships

胡明森

Ming-Sen Hu

航空通訊電子系副教授 空軍航空技術學院

Department of Aviation Communication & Electronics

Air Force Institute of Technology

摘要

油槽主要用來儲放或載運石油化學品，一般油槽由於體積過於龐大，無法直接量測內容物之容積(或質量)，通常須利用液位計之量測值結合溫度與壓力來計算容積，或以液位量測值查詢油槽之容積報表，求得對應之容積值，以作為買賣交易之依據。對船上油槽而言，必須考量在量測油品液位高度時，船體可能因傾斜或俯仰現象所造成之液位誤差，此種液位誤差必須進行俯仰角與傾斜角之修正，以獲得正確液位高度值，方能作為計算油槽載運容積之依據，本研究針對海上船舶油槽油品液位之俯仰角與傾斜角修正問題進行探討，我們研製一個包含左右側槽體之油槽量測實驗系統，並開發一套具備俯仰角與傾斜角校正功能之油槽液位校正計算系統。藉由此油槽量測實驗系統之液位校正過程，可驗證所開發軟體系統之俯仰角與傾斜角修正及其容積計算功能。

關鍵字：油槽校正、容積計算、數據量測、俯仰角/傾斜角修正。

Abstract

The oil tanker contains many oil cabin tanks in the vessel for transport various oil products. The capacity of each tank is usually designed as tabled form in order to obtain oil volume by using the measured ullage height. But the measured ullage must be corrected when the vessel is other than on an even keel longitudinally and transversely. In this paper, we will perform an oil tank level and volume calibration study. The trim correction formula and list correction formula for various ullage range are proposed. A tank volume calculation and calibration system with trim and list correction is developed for the verification of level and volume calibration.

Keywords: Tank calibration, volume calculation, data measurement, trim/list correction

一、前言

油槽主要用來儲放或載運石油化學品，一般油槽由於體積過於龐大，無法直接量測內容物之容積(或質量)，通常須利用液位計之量測值結合溫度與壓力來計算容積，或以液位量測值查詢油槽之容積報表，求得對應之容積值，以作為買賣交易之依據[1,2,3,4]。對船上油槽而言，必須考量在量測油品液位高度時，船體可能因傾斜或俯仰現象所造成之液位誤差，此種液位誤差必須進行俯仰角與傾斜角之修正，以獲得正確液位高度值，方能作為查詢油槽載運容積之依據[5,6,7]。

本研究擬針對海上船舶油槽油品液位之俯仰角與傾斜角修正問題進行探討，在國內運送各類油品之油輪中，其船艙內部皆配置數量眾多之油槽，以供裝載油品[1,8,9]。以中油公司載運輕質油之德運油輪為例，其船艙內配置有左側(Portside)與右側(Starboard side)各六個油槽，編號(Tank No.)分別為 1P、1S、...、SLOP-P 與 SLOP-S 等 12 個油槽，如圖 1 所示。

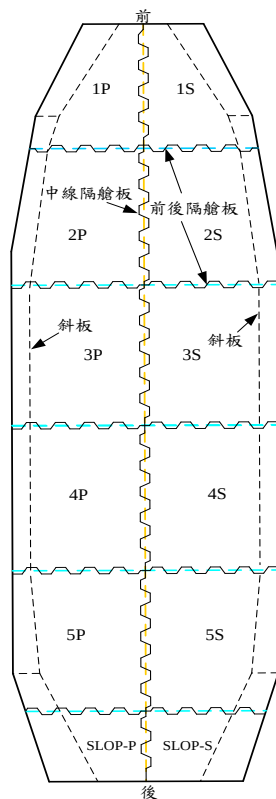


圖 1. 中油德運輪船艙油槽配置結構圖

圖 1 中各油槽前後之間與左右之間皆以梯形金屬隔艙柱區隔，油槽外側則設有金屬上下層斜板，皆用以強化油槽結構；各油槽內亦皆建置有進油管、吸油管、隙尺圓管及可供人員進出之金屬階梯等障礙物[8]。當油輪進行運油作業時，對於各油槽所裝載的油品容積之計算，主要是透過一量油隙尺量測出油品液位高度(UTI ullage)，再據以查詢容積報表以換算出裝載容積值[2,10]。

在本研究中，我們將研製一個包含左右側槽體之油槽量測實驗系統，並開發一套具備俯仰角與傾斜角修正功能之油槽液位校正計算系統[6,11]。藉由此油槽量測實驗系統之容積校正過程，可驗證所開發軟體系統之俯仰角與傾斜角修正及其容積計算功能。

二、實驗系統設計

為進行油槽容積計算與俯仰角、傾斜角液位修正功能之研究與驗證，在本研究中我們先行研製一套油槽量測實驗系統，如圖 2 所示。此實驗系統之組成單元與功能分述如下：

- (1) 油槽模型：以強化玻璃與鋼板製作包含兩個油槽之長方形槽體，各槽體皆具有進油口與排油口可供油品進出，在兩油槽上方分別設置五個不同位置之量油口，可供液位計量測油品之液位高度。
- (2) 溫度偵測單元：P 槽與 S 槽內各建置一溫度偵測器，用於量測槽體內部溫度，所擷取之溫度訊號可傳送至訊號轉換單元。
- (3) 液位偵測單元：P 槽與 S 槽上方各配置一個液位偵測器，皆可經由五個不同位置之量油口，進行槽內油品液位高度(Ullage)之量測，所擷取之液位訊號可傳送至訊號轉換單元。
- (4) 加壓泵：可驅動儲油槽中的油品通過流量計後進入 P 槽或 S 槽。
- (5) 手動俯仰角控制單元：可供使用者調整控制槽體之前後俯仰狀態。
- (6) 俯仰角偵測單元：用於偵測槽體之前後俯仰位移，所擷取之俯仰角位移訊號可傳送至訊

號轉換單元。

- (7) 手動傾斜角控制單元：可供使用者調整控制槽體之左右傾斜狀態。
- (8) 傾斜角偵測單元：用於偵測槽體之左右傾斜位移，所擷取之傾斜角位移訊號可傳送至訊號轉換單元。
- (9) 訊號轉換單元：採用 Advantech USB-4704 多功能資料擷取控制卡[12]，可將各偵測單元所擷取之類比訊號轉換為數位資料，再傳送至監控主機進行處理。
- (10) 監控主機：執行以 LabVIEW 圖控式語言開發之監控軟體[13,14]，此軟體可接收訊號轉換單元所傳送之溫度、液位、俯仰位移與傾斜位移等各項偵測資料，據以進行液位修正與油品容積之計算處理。

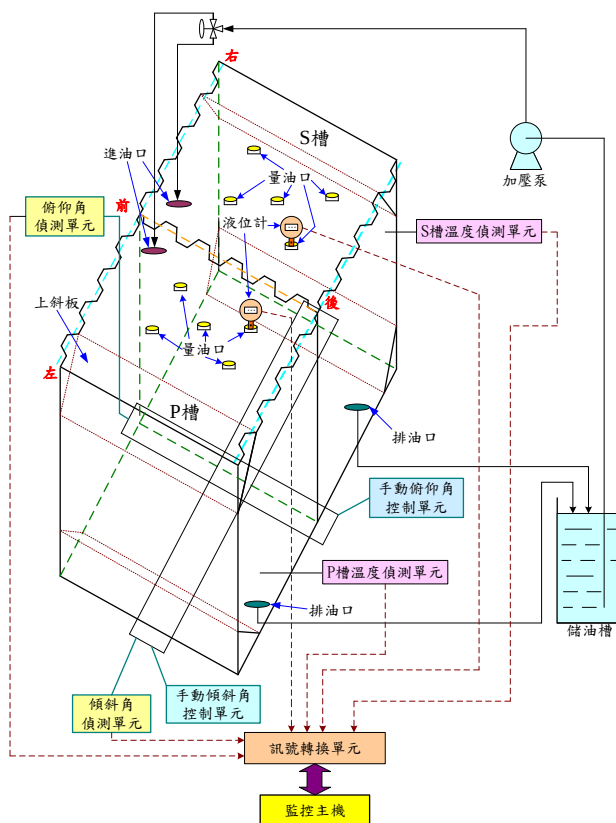
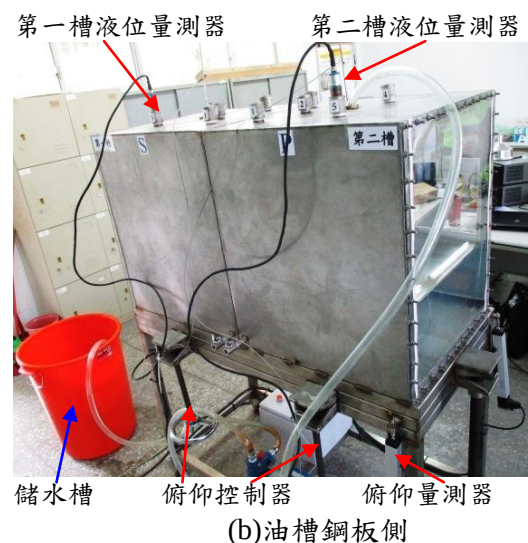
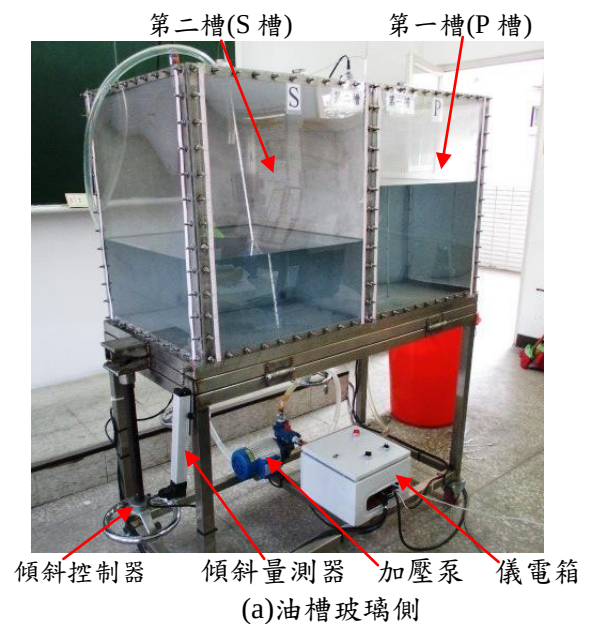


圖 2. 油槽量測實驗系統架構圖

本研究中已完成油槽量測實驗系統之開發製作，其系統實體如圖 3 所示。此實驗系統之油槽模型包含兩個槽體(第一槽與第二槽)，每個槽體四

邊皆包含兩面透明玻璃與兩面銅板，可提供「透明在前」與「銅板在前」等兩種觀測模式，圖 3(a)所示為「透明在前」之觀測模式，此時第一槽為 P 槽而第二槽為 S 槽；圖 3(b)所示則為「銅板在前」之觀測模式，此時第一槽為 S 槽而第二槽為 P 槽。圖 3(c)顯示在兩油槽槽頂皆各有 1 個進油口可供輸入油液，並各設置 5 個量油口可供使用者在不同位置量測油槽內之液位高度。



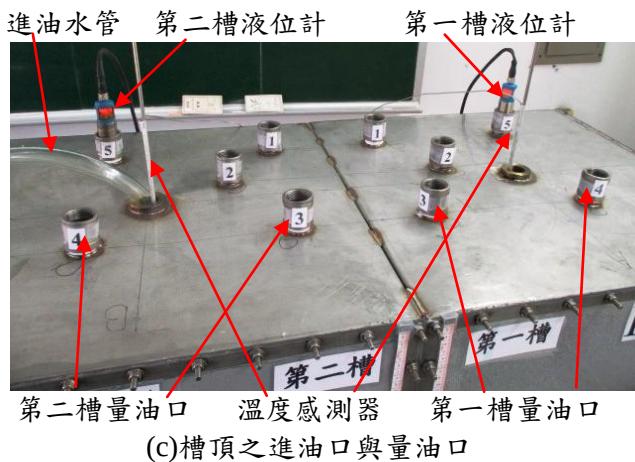
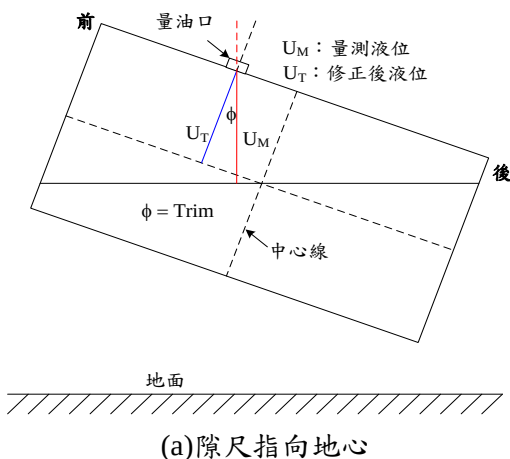


圖3. 油槽量測實驗系統實體

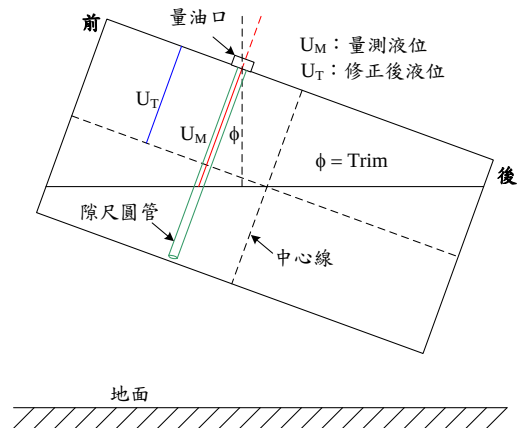
三、俯仰角與傾斜角修正

3.1 油槽量測架構

在進行油槽液位量測時，若船隻並非處於真正水平狀態，而是前後端出現俯仰角(Trim)或左右側出現傾斜角(List)，則以隙尺所量測之液位將會存在誤差，必須先經過俯仰角和傾斜角之修正，才能獲得正確的液位值。在油槽俯仰角和傾斜角之修正方面，國外的研究主要針對量油隙尺直接垂入油槽中，隙尺方向指向地心之量測架構[9]，如圖 4(a)所示；本研究將探討國內多數船上油槽建置之量測架構，即隙尺液位計伸入一隙尺圓管中，沿著隙尺圓管方向指向槽底，如圖 4(b)所示。本研究將針對圖 4(b)之隙尺量測架構，提出各階段高度之俯仰角計算公式與傾斜角計算公式，以解決船隻出現俯仰角或傾斜角之液位修正問題。



(a)隙尺指向地心

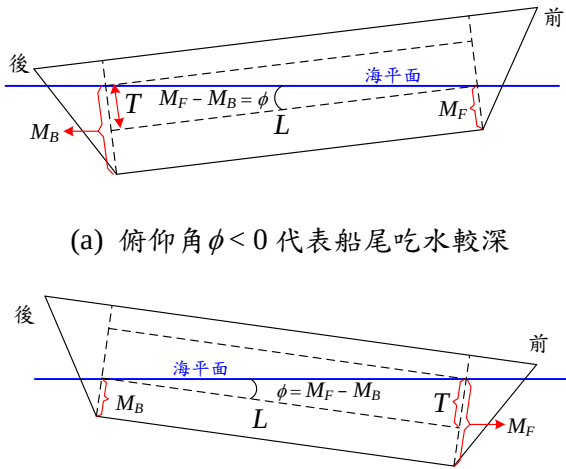


(b)隙尺沿著圓管垂直槽底

圖 4. 隙尺沿著圓管垂直槽底之量測架構

3.2 俯仰角修正

本研究中，船隻的俯仰角 ϕ 定義為船頭水尺深度 M_F 與船尾水尺深度 M_B 之差異，即「 $\phi = M_F - M_B$ 」，可再區分為「 $\phi < 0$ 」(即 $M_F < M_B$ ，代表船尾吃水較深，如圖 5(a)所示)與「 $\phi > 0$ 」(即 $M_F > M_B$ ，代表船頭吃水較深，如圖 5(b)所示)等二種情況。當俯仰角 $\phi < 0$ 時之液位修正情況如圖 6 所示，表 1 所示為「 $\phi < 0$ 」($M_F < M_B$)之俯仰角修正公式(Trim correction formula)，在此公式中的楔形區(wedge region)是指液體(油品)與氣體的界線只接觸到三面隔艙板之高度區，可再分為上方楔形區與下方楔形區，且若(1)式中初步計算之 $U_T > U_{Mmax}$ ，則處在下方小楔形區(參閱圖 6)。當俯仰角 $\phi > 0$ 時之液位修正情況如圖 7 所示，表 2 則為「 $\phi > 0$ 」($M_F > M_B$)之俯仰角修正公式，在此公式中同樣可再分為上方楔形區與下方楔形區，且若(2)式中初步計算之 $U_T < 0$ ，則處在上方小楔形區(參閱圖 7)。透過表 3 與表 4 之修正公式，皆可先將 U_M 修正為 U_T ，再計算裝載油品之實際高度 $S_h = U_{Mmax} - U_T$ 。


 (a) 俯仰角 $\phi < 0$ 代表船尾吃水較深

 (b) 俯仰角 $\phi > 0$ 代表船頭吃水較深

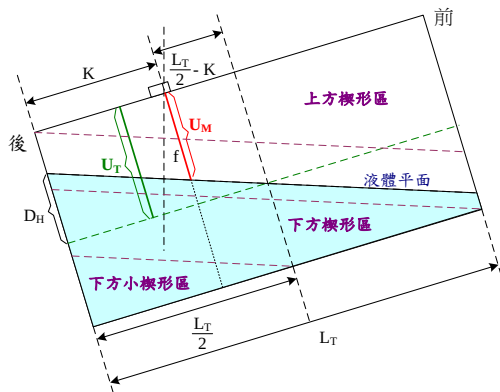
 圖 5. 船隻俯仰角 ϕ 之意義

 圖 6. 俯仰角 $\phi < 0$ 之液位修正圖

 表 1: $\phi < 0$ 之俯仰角修正公式

 Case 1: $\phi = M_F - M_B = -T < 0$

$$D_H = \frac{L_T}{2} \tan \phi = \frac{L_T}{2} \cdot \frac{T}{L}$$

$$U_T = U_{T2} = U_M + \frac{T}{L} \left(\frac{L_T}{2} - K \right)$$

(1)

 if $U_T < D_H$: // 上方楔形區

$$U_{T2} = U_T + \left(\frac{1}{2} - \frac{U_T}{L_T} \cdot \frac{L}{T} \right) (D_H - U_T)$$

 if $U_T + D_H > U_{Mmax}$: // 下方楔形區

$$U_{T2} = U_{Mmax} - \frac{1}{2L_T} \left[(U_{Mmax} - U_M) \frac{L}{T} + \frac{L_T}{2} \right]^2 \frac{T}{L}$$

 if $U_T > U_{Mmax}$: // 下方小楔形區

$$U_{T2} = U_{Mmax} - \frac{1}{4D_H} \left[D_H - \left(\frac{L_T}{2} - K \right) \frac{T}{L} + (U_{Mmax} - U_M) \right]^2$$

$$U_T \leftarrow U_{T2}$$

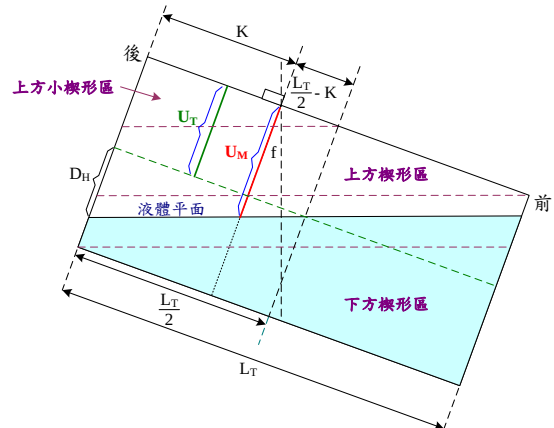

 圖 7. 俯仰角 $\phi > 0$ 之液位修正圖

 表 2: $\phi > 0$ 之俯仰角修正公式

 Case 2: $\phi = M_F - M_B = T > 0$

$$D_H = \frac{L_T}{2} \tan \phi = \frac{L_T}{2} \cdot \frac{T}{L}$$

$$U_T = U_{T2} = U_M - \frac{T}{L} \left(\frac{L_T}{2} - K \right) \quad (2)$$

 if $U_T < 0$: // 上方小楔形區

$$U_{T2} = \frac{1}{4D_H} \left(D_H - \left(\frac{L_T}{2} - K \right) \frac{T}{L} + U_M \right)^2$$

 if $U_T < D_H$: // 上方楔形區

$$U_{T2} = U_T + \left(\frac{1}{2} - \frac{U_T}{L_T} \cdot \frac{L}{T} \right) (D_H - U_T)$$

 if $U_T + D_H > U_{Mmax}$: // 下方楔形區

$$U_{T2} = U_{Mmax} - \frac{1}{2L_T} \left[(U_{Mmax} - U_T) \frac{L}{T} + \frac{L_T}{2} \right]^2 \frac{T}{L}$$

$$U_T \leftarrow U_{T2}$$

3.3 傾斜角修正

船隻的傾斜角是以角度儀量測左右傾斜的角度 θ , 可分為 $\theta < 0$ 代表向右傾斜, $\theta > 0$ 則為向左傾斜; 另外, 由於左右油槽之量油口皆非位於油槽中央, 而是較為靠近船艙中線處, 故必須再針對左側油槽與右側油槽分別發展其修正公式。如圖 8 所示為槽體向右傾斜 ($\theta < 0$) 之液位修正圖, 表 3 則為 $\theta < 0$ 時左側油槽與右側油槽之傾斜角修正公式, 在此修正公式中亦可再分為上方楔形區與下方楔形區, 且若 (3) 式中初步計算之 $U_L > U_{Mmax}$, 則處在下方小楔形區, 而若 (4) 式中初步計算之 $U_L < 0$, 則處在上方小楔形區 (參閱圖 8)。

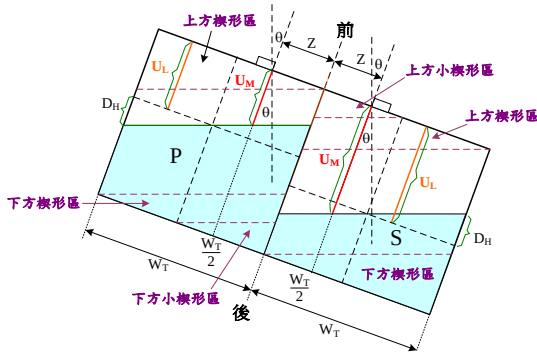

 圖 8. 槽體向右傾斜($\theta < 0$)之液位修正圖

 表 3: $\theta < 0$ 之傾斜角修正公式

Case 1-1: Portside when $\theta < 0$

$$D_H = \frac{W_T}{2} \tan \theta$$

$$U_L = U_{L2} = U_M + \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta \quad (3)$$

 if $U_L < D_H$: //上方楔形區

$$U_{L2} = U_L + \frac{(D_H - U_L)^2}{2W_T} \cot \theta$$

 if $U_L + D_H > U_{Mmax}$: //下方楔形區

$$U_{L2} = U_{Mmax} - \frac{1}{2W_T} \left[(U_{Mmax} - U_L) \cot \theta + \frac{W_T}{2} \right]^2 \tan \theta$$

 if $U_L > U_{Mmax}$: //下方小楔形區

$$U_{L2} = U_{Mmax} - \frac{1}{4D_H} \left[D_H + (U_{Mmax} - U_M) - \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta \right]^2$$

$$U_L \leftarrow U_{L2}$$

Case 1-2: Starboard side when $\theta < 0$

$$D_H = \frac{W_T}{2} \tan \theta$$

$$U_L = U_{L2} = U_M - \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta \quad (4)$$

 if $U_L < 0$: //上方小楔形區

$$U_{L2} = \frac{1}{4D_H} \left(D_H - \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta + U_M \right)^2$$

 if $U_L < D_H$: //上方楔形區

$$U_{L2} = U_L + \frac{(D_H - U_L)^2}{2W_T} \cot \theta$$

 if $U_L + D_H > U_{Mmax}$: //下方楔形區

$$U_{L2} = U_{Mmax} - \frac{1}{2W_T} \left[(U_{Mmax} - U_L) \cot \theta + \frac{W_T}{2} \right]^2 \tan \theta$$

$$U_L \leftarrow U_{L2}$$

圖 9 所示為槽體向左傾斜($\theta > 0$)之液位修正圖, 表 6 則為 $\theta > 0$ 時左側油槽與右側油槽之傾斜角修正公式, 在此修正公式中同樣可再分為上方

契形區與下方契形區, 且若(5)式中初步計算之 $U_L < 0$, 則處在上方小契形區, 而若(6)式中初步計算之 $U_L > U_{Mmax}$, 則處在下方小契形區(參閱圖 9)。透過表 3 與表 4 之修正公式, 皆可先將 U_M 修正為 U_L , 再計算裝載油品之實際高度 $S_h = U_{Mmax} - U_L$ 。

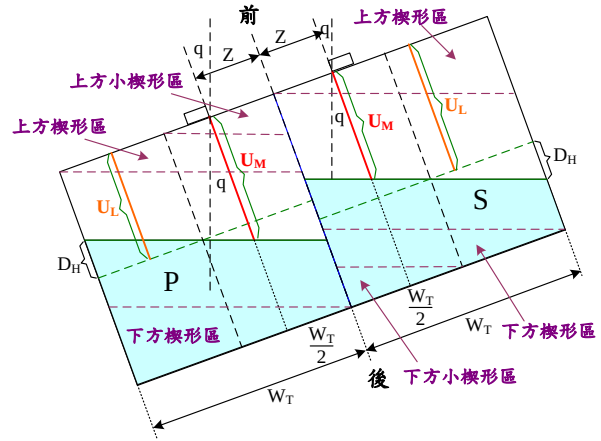

 圖 9. 槽體向左傾斜($\theta > 0$)之液位修正圖

 表 4: $\theta > 0$ 之傾斜角修正公式

Case 2-1: Portside when $\theta > 0$

$$D_H = \frac{W_T}{2} \tan \theta$$

$$U_L = U_{L2} = U_M - \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta \quad (5)$$

 if $U_L < 0$: //上方小楔形區

$$U_{L2} = \frac{1}{4D_H} \left(D_H - \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta + U_M \right)^2$$

 if $U_L < D_H$: //上方楔形區

$$U_{L2} = U_L + \frac{(D_H - U_L)^2}{2W_T} \cot \theta$$

 if $U_L + D_H > U_{Mmax}$: //下方楔形區

$$U_{L2} = U_{Mmax} - \frac{1}{2W_T} \left[(U_{Mmax} - U_L) \cot \theta + \frac{W_T}{2} \right]^2 \tan \theta$$

$$U_L \leftarrow U_{L2}$$

Case 2-2: Starboard side when $\theta > 0$

$$D_H = \frac{W_T}{2} \tan \theta$$

$$U_L = U_{L2} = U_M + \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta \quad (6)$$

 if $U_L < D_H$: //上方楔形區

$$U_{L2} = U_L + \frac{(D_H - U_L)^2}{2W_T} \cot \theta$$

if $U_L + D_H > U_{Mmax}$: //下方楔形區

$$U_{L2} = U_{Mmax} - \frac{1}{2W_T} \left[(U_{Mmax} - U_L) \cot \theta + \frac{W_T}{2} \right]^2 \tan \theta$$

if $U_L > U_{Mmax}$: //下方小楔形區

$$U_{L2} = U_{Mmax} - \frac{1}{4D_H} \left[D_H + (U_{Mmax} - U_L) - \left(\frac{W_T}{2} - Z \right) \tan \theta \right]^2$$

$$U_L \leftarrow U_{L2}$$

四、量測校正軟體開發

4.1 軟體系統架構

為進行油槽液位校正與容積計算之實驗探討，本研究中利用 LabVIEW 圖控式語言[13,14]開發一套油槽量測校正軟體系統，圖 10 所示為此量測校正軟體之模組階層圖。圖中主要包含參數設定與量測校正計算等兩項主要功能，參數設定功能中包含量測參數設定與儀表參數設定等兩個模組，量測校正計算功能則包含油槽自動量測以及液位校正與容積計算等兩個模組。

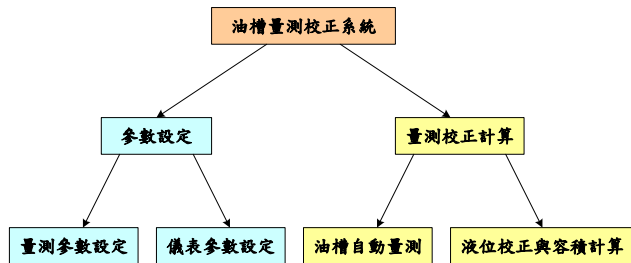


圖 10. 軟體系統模組階層圖

4.2 量測參數與儀表參數設定

在進行油槽自動量測及液位校正作業之前，使用者可先進行油槽量測參數與儀表參數之設定。圖 11(a)所示為定義油槽量測參數之畫面，此畫面中可供使用者分別輸入第一槽與第二槽之油槽長度、寬度與最大高度，以及對於兩個油槽各包含的 5 個量油口，每一個量油口與中線、與玻璃及與鋼板之距離，這些長度、寬度及距離資料可用於俯仰位移與傾斜位移之校正以及由槽容積之計算中。

第一槽				第二槽			
油槽長度	603 mm	油槽寬度	606 mm	油槽長度	602 mm	油槽寬度	606 mm
最大高度	690 mm			最大高度	690 mm		
量油口	距中線	距玻璃	距鋼板	量油口	距中線	距玻璃	距鋼板
1	98 mm	476 mm	129 mm	1	98 mm	472 mm	131 mm
2	181 mm	352 mm	249 mm	2	180 mm	354 mm	249 mm
3	98 mm	204 mm	397 mm	3	100 mm	204 mm	398 mm
4	370 mm	204 mm	399 mm	4	372 mm	206 mm	396 mm
5	370 mm	471 mm	130 mm	5	367 mm	473 mm	131 mm

(a) 定義油槽量測參數

第一槽				第二槽			
起始溫度	0 °C	起始電壓	0 V	起始溫度	3 °C	起始電壓	0 V
終止溫度	200 °C	終止電壓	10 V	終止溫度	202 °C	終止電壓	10 V
起始液位	205 mm	起始電壓	0.28 V	起始液位	210 mm	起始電壓	0.28 V
終止液位	1275 mm	終止電壓	10 V	終止液位	1270 mm	終止電壓	10 V
傾斜角位移				俯仰角位移			
起始位移	0 mm	起始電壓	0.03 V	起始位移	0 mm	起始電壓	0.02 V
終止位移	200 mm	終止電壓	9.66 V	終止位移	180 mm	終止電壓	8.68 V

(b) 定義儀表參數

圖 11. 參數設定畫面

圖 11(b)所示為定義儀表參數之畫面，此畫面上方可供使用者分別輸入第一槽與第二槽的溫度偵測器和液位偵測器之量測基準參數，如起始溫度、終止溫度與其對應之起始電壓、終止電壓，起始液位、終止液位與其對應之起始電壓、終止電壓；畫面下方則可供輸入整個油槽模型的俯仰角位移與傾斜角位移之量測基準參數，如俯仰角的起始位移、終止位移與其對應之起始電壓、終止電壓，傾斜角的起始位移、終止位移與其對應之起始電壓、終止電壓等。藉由上述這些儀表參數之定義，可供系統進行溫度、液位、俯仰位移與傾斜位移之精密量測。

五、油槽量測與液位校正實驗

在本研究中，我們將利用俯仰角控制器與傾斜角控制器分別調整由槽模型之俯仰位移(產生俯仰角)與傾斜位移(產生傾斜角)，並透過量測校

正軟體進行各項油槽數據之量測，再根據量測結果執行傾斜角液位校正與俯仰角液位校正，最後計算出兩油槽中之液體容積。

5.1 起始量測校正計算

首先在油槽完全平衡(無俯仰角亦無傾斜角)狀態下(如圖 3(a)(b)所示)，進行油槽之起始量測與校正計算，執行的畫面如圖 12 所示。此畫面中顯示目前採用「玻璃在前」之觀測模式，兩個油槽皆經由第 5 量油口進行液位量測。畫面上半部為系統量測區，顯示第一槽與第二槽所量測到的溫度與 Ullage 液位(U_M)，其 Sounding 液位(U_M)亦一併顯示($S_M = \text{最大高度} - U_M$)，此處第一槽之 $U_M = 283.7 \text{ mm}$ ，而 $S_M = 690 - 283.7 = 406.3 \text{ mm}$ ，第二槽之 $U_M = 435.6 \text{ mm}$ ，而 $S_M = 690 - 435.6 = 254.4 \text{ mm}$ 。

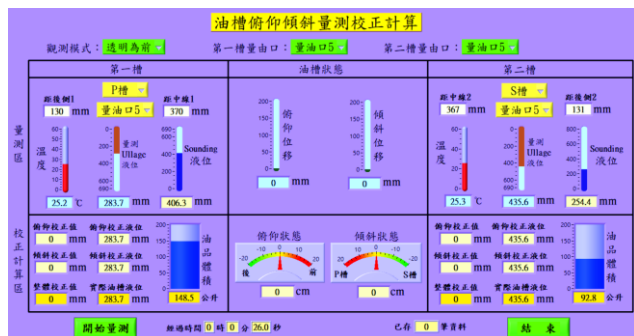
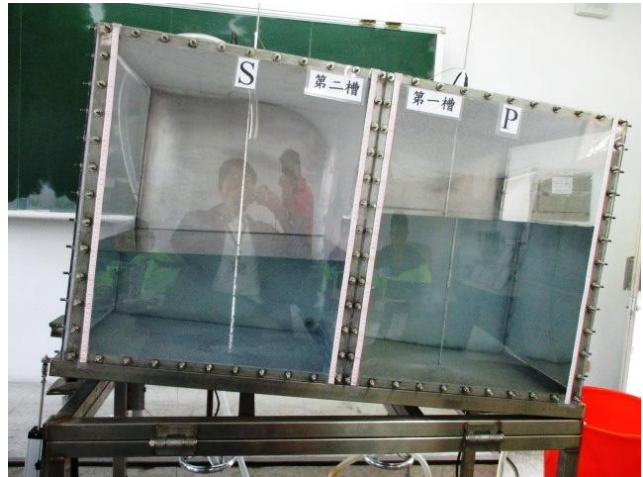


圖 12. 起始量測校正計算畫面

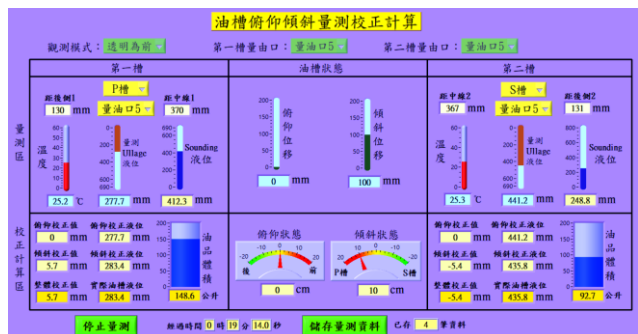
畫面中間顯示油槽狀態，目前整個油槽模型的俯仰位移與傾斜位移皆為零(表示無俯仰角亦無傾斜角)。畫面下半部為校正計算區，可分別顯示兩油槽之俯仰校正值 ΔU_T ($\Delta U_T = U_T - U_M$)、傾斜校正值 ΔU_L ($\Delta U_L = U_L - U_M$)與整體校正值，以及校正後之俯仰校正液位(U_T)、傾斜校正液位(U_L)與實際油槽液位(U_R)，此時 $U_R = U_T = U_L = U_M$ ，利用 U_R 可求得實際 Sounding 液位(S_R)，透過 S_R 則可計算出校正後之油品體積 $V = S_R * L_T * W_T$ ，其中 L_T 與 W_T 分別為油槽之長度與寬度。此處第一槽計算之體積為 $148.5 \text{ 公秉}(\text{m}^3)$ ，而第二槽計算之體積為 $92.8 \text{ 公秉}(\text{m}^3)$ 。

5.2 傾斜校正實驗分析

以傾斜角控制器調整油槽模型往 P 槽傾斜 10cm (透明在前之觀測模式)，如圖 13(a)所示，此時執行量測校正軟體之畫面如圖 13(b)所示。



(a)油槽向 P 槽傾斜



(b)向 P 槽傾斜之量測校正計算畫面

圖 13. 油槽傾斜量測校正實驗

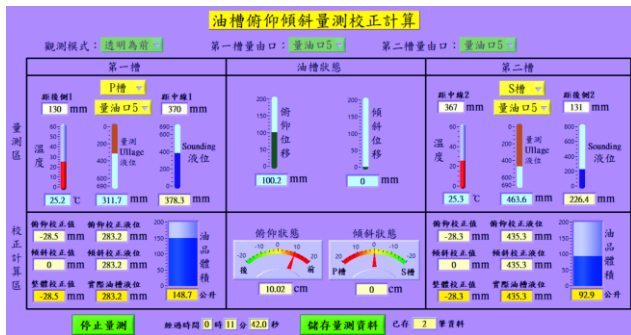
在圖 13(b) 畫面中顯示所量測之傾斜位移為 100 mm ，並向 P 槽傾斜，其俯仰位移仍為零，第一槽量測之 $U_M = 277.7 \text{ mm}$ ，校正所得 $\Delta U_T = 0 \text{ mm}$ ， $\Delta U_L = 5.7 \text{ mm}$ ，而 $U_T = 277.7 \text{ mm}$ ， $U_L = U_R = 283.4 \text{ mm}$ ，計算之容積 $V = 148.6 \text{ m}^3$ ；第二槽量測之 $U_M = 441.2 \text{ mm}$ ，校正所得 $\Delta U_T = 0 \text{ mm}$ ， $\Delta U_L = -5.4 \text{ mm}$ ，而 $U_T = 441.2 \text{ mm}$ ， $U_L = U_R = 435.8 \text{ mm}$ ，計算之容積 $V = 92.7 \text{ m}^3$ 。可知此油槽傾斜之液位校正誤差，第一槽為 $283.4 - 283.7 = -0.3 \text{ mm}$ ，第二槽為 $435.8 - 435.6 = 0.2 \text{ mm}$ ，其誤差率分別為 0.1% 與 0.04% 。

5.3 俯仰校正實驗分析

以俯仰角控制器調整油槽模型往透明玻璃方前俯 10cm (透明在前之觀測模式)，如圖 14(a)所示，此時執行量測校正軟體之畫面如圖 14(b)所示。



(a)油槽向玻璃方前俯



(b)向前俯之量測校正計算畫面

圖 14. 油槽俯仰量測校正實驗

在圖 14(b) 畫面中顯示所量測之俯仰位移為 100.2 mm，並向前俯仰，其傾斜位移為零，第一槽量測之 $U_M = 311.7$ mm，校正所得 $\Delta U_T = -28.5$ mm， $\Delta U_L = 0$ mm，而 $U_T = 283.2$ mm， $U_L = U_R = U_T$ ，計算之容積 $V = 148.7 \text{ m}^3$ ；第二槽量測之 $U_M = 463.6$ mm，校正所得 $\Delta U_T = -28.3$ mm， $\Delta U_L = 0$ mm，而 $U_T = 435.3$ mm， $U_L = U_R = U_T$ ，計算之容積 $V = 92.9 \text{ m}^3$ 。可知此油槽傾斜之液位校正誤差，第一槽為 $283.2 - 283.7 = -0.5 \text{ mm}$ ，第二槽為 $435.3 - 435.6$

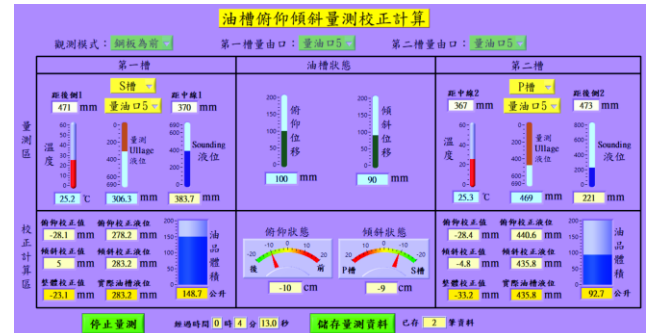
$= -0.3 \text{ mm}$ ，其誤差率分別為 0.17% 與 0.06%。

5.4 俯仰傾斜校正實驗分析

同時以俯仰角控制器與傾斜角控制器調整油槽模型往玻璃方後俯 9cm 且向 S 槽傾斜 10cm (採鋼板在前之觀測模式)，如圖 15(a)所示，此時執行量測校正軟體之畫面如圖 15(b)所示。



(a)油槽向玻璃方後俯且向 S 槽傾斜



(b)同時俯仰傾斜之量測校正計算畫面

圖 15. 油槽同時俯仰傾斜量測校正實驗

在圖 14(b) 畫面中顯示所量測之俯仰位移為 100 mm，並向後俯仰，其傾斜位移為 90 mm，第一槽量測之 $U_M = 306.3$ mm，校正所得 $\Delta U_T = -28.1$ mm， $U_T = 278.2$ mm， $\Delta U_L = 5$ mm，而 $U_R = U_L = 283.2$ mm，計算之容積 $V = 148.7 \text{ m}^3$ ；第二槽量測之 $U_M = 469$ mm，校正所得 $\Delta U_T = -28.4$ mm， $U_T = 440.6$ mm， $\Delta U_L = -4.8$ mm，而 $U_R = U_L = 435.8 \text{ mm}$ ，計算之

容積 $V=92.7\text{m}^3$ 。可知此油槽傾斜之液位校正誤差，第一槽為 $283.2-283.7=-0.5\text{mm}$ ，第二槽為 $435.8-435.6 = 0.2\text{mm}$ ，其誤差率分別為 0.17%與 0.04%。

六、結論

本文中開發一套可因應油輪在海上常出現俯仰或傾斜狀態之船上油槽液位校正實驗系統，此系統中包含 P 槽與 S 槽等兩個油槽模型，可供使用者選擇「透明在前」或「鋼板在前」之觀測模式進行俯仰或傾斜之液位校正實驗，同時在每個槽頂皆建置五個不同位置之量油口，可提供使用者在不同位置進行油槽液位之量測。本研究分別進行油槽俯仰、油槽傾斜與既俯仰又傾斜等三項液位校正實驗，每次實驗皆由系統自動量測兩油槽之溫度、液位、俯仰位移與傾斜位移，系統可依據本文所提出之俯仰角校正公式及傾斜角校正公式，計算其俯仰校正值、傾斜校正值、再據以計算出實際油槽液位高度，最後求出兩油槽之液體容積。經由與油槽在平衡(即無俯仰與無傾斜)狀態之液位值進行比較分析，三項實驗之液位誤差率皆可達 0.2%以內，具備極高之精確性與正確性，同時可以驗證本研究提出之俯仰角校正及傾斜角校正功能。

參考文獻

- [1] 台塑油流量校正系統，
<http://www.fpcc.com.tw/flow-o/index/index.htm>。
- [2] ISO 4266-2:2002(E), Petroleum and liquid petroleum products— Measurement of level and temperature in storage tanks by automatic methods—Part 2:Measurement of level in marine vessels.
- [3] Portable level gauging & sampling equipment,
<http://www.tanksystem.com>.
- [4] McGuire and White, Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals, 2nd Edition, 1996, Published by Witherby & Company limited.
- [5] Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 2—Tank Calibration, Section 8A — Calibration of Tanks on Ships and Oceangoing Barges, First Edition, Mar. 1991, Reaffirmed, Feb. 2007, American Petroleum Institute.
- [6] Ship Cargo Tank Calibration, TGC global/Tomojit Ghosh Calibration, 2010,
<http://www.tankcalibration.in/shiptank.htm>.
- [7] Manual of Petroleum Management Standard, Chapter 2-Tank Calibration, Section 2A-Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the manual Tank Strapping Method, 1st Ed. Feb. 1995.
- [8] 孫火杉、李天河，輸油儲油業務，中油公司員工訓練中心教材叢書。
- [9] 趙煜華、韓佐樑，油料儲運安全，中油公司員工訓練中心教材叢書。
- [10] Enraf B. V., The Art of Tank Gauging, The Netherlands,
http://enraf.ru/userfiles/File/4416650_rev4.pdf.
- [11] 胡明森、簡欣詠、陳美智，臥式傾斜槽自動液位校正及質量計算系統研發，2008 中華民國系統科學與工程研討會，97 年 6 月 6-7 日，第 242-247 頁。
- [12] USB-4711A User Manual, 150 KS/s, 12-bit Multifunction USB Data Acquisition Module, Advantech.
- [13] 蕭子鍵、王智昱、儲昭偉，虛擬儀控程式設計-LabVIEW 8X，高立圖書 (2014)。
- [14] 陳璋琪，LabVIEW 應用篇(含自動量測、遠端監控)，全華科技 (2014)。