



# 低溫儲槽施工工法探討

中鼎工程股份有限公司建造營運部品管經理 / 張宗霖

關鍵字：LNG、Cryogenic Tank、Dome Roof、銲接程序、SAW、ISO 3834、Special Process

## 摘要

低溫儲槽於工業及能源領域有許多使用案例，尤其近年來臺灣及國際上許多先進國家，對液化天然氣（LNG）之類的潔淨能源有快速需求成長，因此有大量興建此類儲放設備之需求，但此類設備具有超低溫、易燃、易爆及體積龐大等諸多危險特性，於國際上亦曾發生過多起因設備或系統失效致人員、環境及設備遭受嚴重傷害或財物損失之案例[1]，因此如何安全妥善的建造及使用此類設備，便成為一重要課題，必須有特別嚴謹之風險評估[1]與設計及製造上之考量。

本文主要以大型雙層穹頂（Double dome roof）LNG地上型超低溫儲槽（Cryogenic tank）為案例，對其槽體結構之土木、保冷及機械等工項之建造工法流程及施工重點做一介紹及探討。

## 一、前言

近年來全球對於LNG能源資源的需求有非常快速成長，為符合此需求，大量的

運輸、接收、儲存、製程及傳送設施不斷建立，臺灣亦預計至2025年以天然氣進行發電將占總發電結構50%比例[2]，同時國家潔淨能源政策亦持續積極推動中，因此除已完成之台灣中油永安天然氣接收站、北部液化天然氣接收站一、二期工程與目前執行中的第三期工程外，可以預見後續至少有台灣中油及台電之天然氣接收站擴建及新建案將陸續積極推展，類似LNG液化氣體能源之運輸、接收及儲存設施之大量建造需求，已是國內外必然趨勢，然此類設施屬高度易燃易爆之危險性設備，於安全風險評估、施工程序控管、品質確保與操作安全防範，皆須有相對較高之要求標準，對於工程施工技術、經驗、程序控管及人員要求，當然需有嚴謹之確認及控管才能確保其品質及安全性。

因低溫儲槽通常啟用後即不易再進行開槽維護，故於施工過程中必須由具優良技術、經驗及合格之人員，進行周全規劃、嚴密控管與落實執行，始能確保所建設之儲槽無所失誤達到設計要求之性能及品質，中鼎公司於此領域亦已有很長一段時間之涉略與

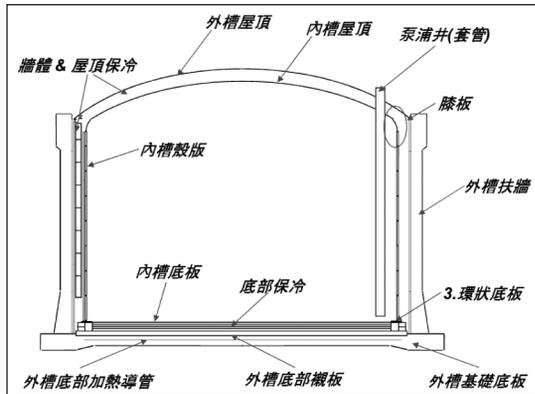


圖 1 槽體結構

研究，於海內外已成功承攬過多座低溫儲槽與接收站設施之EPCC興建案，於此以實際建造完成之案例做槽體建造施工之介紹及探討。

### 一、槽體結構

以雙層穹頂地上型超低溫儲槽主體結構而言，可簡要分類成三大部分，即混凝土結構外槽、金屬結構內槽及內外槽間之保冷層，主要結構配置（如圖1）。

### 二、施工應用法規

臺灣一開始建造地上型LNG儲槽是依據API-620（內槽）及BS 7777（外槽）法規進行設計及建造，但EN-14620發表後有取代BS-7777趨勢，而勞動部亦認可以EN-14620標準進行LNG儲槽外槽檢查，故後續興建地上型LNG儲槽之應用法規已修正為API-625（內槽）及EN-14620（外槽）。

### 三、低溫儲槽施工流程及執行概況

以低溫儲槽本體施工而言，其建造施工主要項目可概略分為土木（夯實、地改、基樁打設、基礎、外牆）、機械（外槽底襯板、外槽襯板、內外槽頂、內槽底板、殼板、泵浦井、內部管線）及保冷（底部、殼側及槽頂保冷）、儀電（儲槽底部加熱系統、儲槽基礎傾斜追蹤系統、電力供應系統、照明系統、溫測系統、液位量測系統）及附屬設備（輸送泵浦、安全閥、消防設備）等，圖2為相關之建造施工流程圖，以下將對相關施工作業流程進行介紹。

#### （一）土木施工工項

土木施工工項可概略分為地質改良及基樁打設、外槽底板施工、外牆施工及臨時開口封閉等四個主要工序，其在施工過程會與機械及保冷施工有所介面，故會配合機械工項執行外襯板、槽頂結構、臨時開口封閉及保冷等，安排分段移交或同步協調作業工序規劃流程（如圖3）。

##### 1. 地質改良及基樁打設

大型低溫儲槽所占面積廣大，單一槽體而言其基礎底板直徑超過數十米，於臺灣地區常以臨海填海造陸之新生地進行建造，因建造完成後之沉陷量及土壤液化等條件對低溫儲槽使用壽命及安全性有重大影響，故於設計規劃階段除對低溫儲槽所處地質充分鑽探調查外，亦以地質改良工法進行必要改善，以確保日後所完成之低溫儲槽具備安全承載、側向地震力及土壤液化之完備抵抗能力。

以所舉案例而言，其對基樁外圈以動力

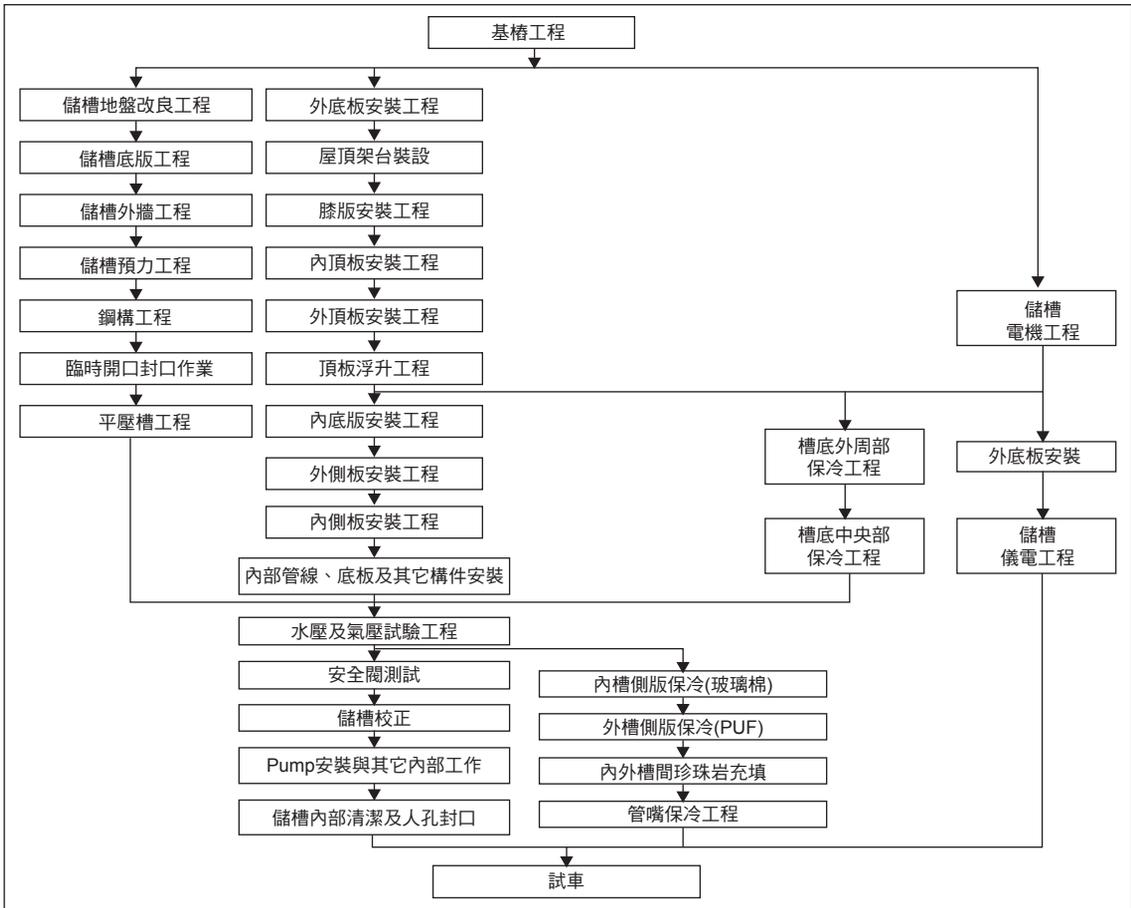


圖 2 低溫儲槽施工流程

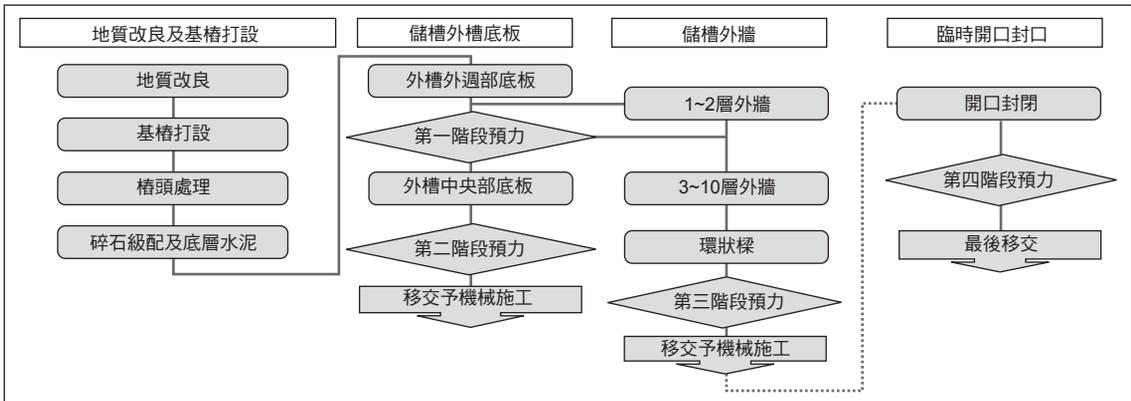


圖 3 土木施工工項

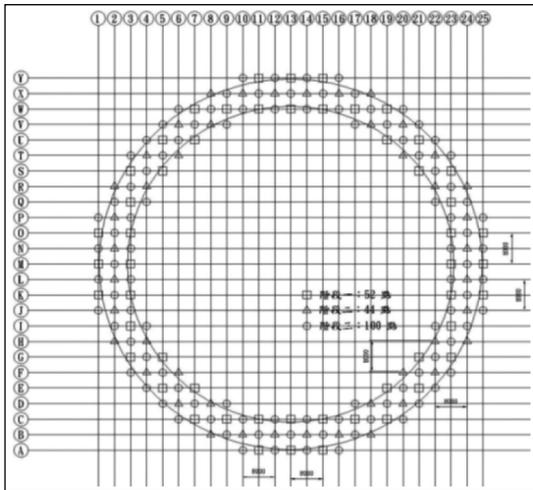


圖 4 動力夯實區夯實點配置

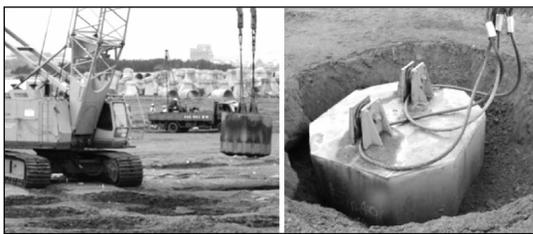


圖 5 動力夯實區夯實點施工

壓密法進行動力夯實地質改良（如圖4及圖5），使用大型夯錘、採高落距、設定夯點距離、每點多次夯擊、經由主搗實及搭配補強搗實於各次搗實點間靜置數日觀察，並進行驗證試驗至達到設計要求為止。

若基樁周圍施作無受影響之設備或設施，則可使用打擊式預力混凝土基樁工法，以所舉案例每座儲槽使用數百支以上大直徑之預鑄混凝土預力基樁打入深度近數十米之承載層，結合樁底承載力及樁身摩擦力達到



圖 6 基樁打設情形

基樁設計要求承載力（如圖6）。

## 2. 儲槽外槽底板施工

儲槽外槽底板施作分為外槽中央部底板及外周部底板（環繞於中央部底板外側），底板施工過程依序為碎石級配回填、無筋混凝土澆置、防水膜塗敷、樁頭處理、鋼筋綁紮、錨帶安裝、熱導管安裝、沉陷監測系統安裝、預力鋼鍵套管安裝、預埋件安裝、模板組立最終進行混凝土澆置（如圖7）。

## 3. 儲槽外牆施工

案例儲槽是採用系統模板進行牆身施工，區分為數層及環狀樑進行施工，系統模板以每層依設計規劃之方式進行漸次升模（如圖8），當外牆施工至頂層時會與頂層預埋件及襯板結構進行連結，以利做為外槽槽頂結構之固定及組立銲接，其會在最頂層牆身綁筋前進行安裝（如圖9）。

## 4. 臨時開口封閉

儲槽臨時開口主要作為施工期間之材料、機具、人員及槽頂升頂之出入及設備架設之臨時預留通道，對建造施工而言有其重要及便利之功能，其封閉時機為內槽機械施工完成及夾層保冷施工開始之前，亦是土庫

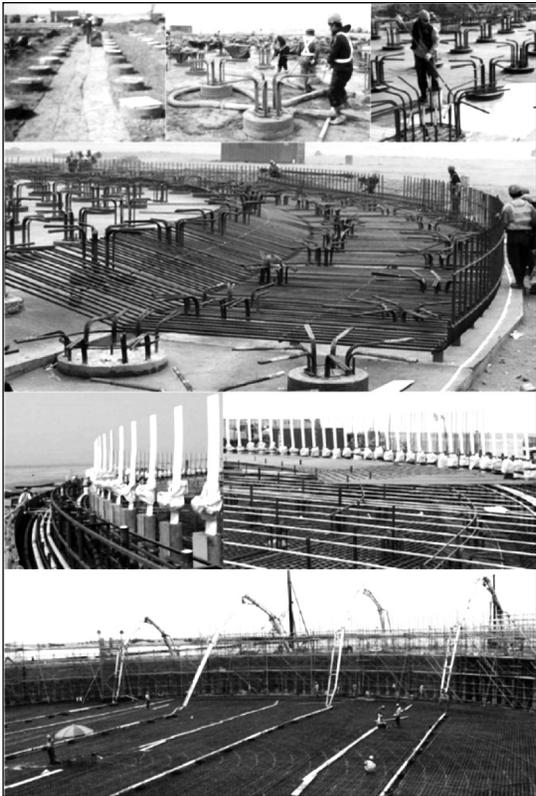


圖 7 儲槽外槽底板施工

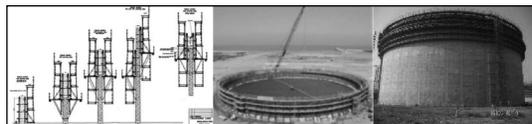


圖 8 外牆系統模板升模施工

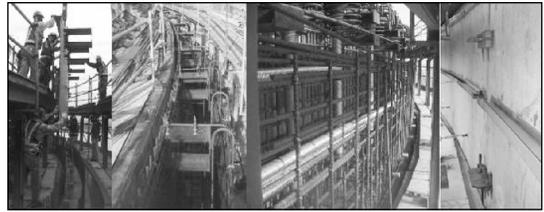


圖 9 頂層預埋件及襯板結構安裝及綁筋



圖 10 臨時開口封閉

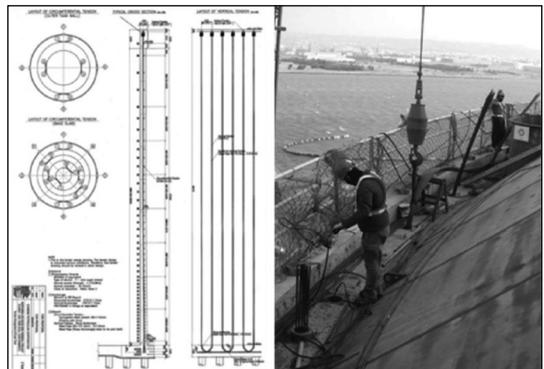


圖 11 預力鋼鍵佈置作業

施工之最後施工收尾階段，封閉臨時開口時一樣需安裝外牆碳鋼內襯板、預力套管及以續接器進行鋼筋連結，然後再進行組模及混凝土灌漿，臨時開口封閉施工狀況如圖10所示。

#### 5. 儲槽外牆預力作業

外槽底板及牆身完成後會對牆身進行預力施加作業，主要對牆身進行混凝土之水平及垂直方向施行預力，首先進行鋼鍵佈置（如圖11），再行預力施加，水平預力為將鋼鍵錨定於外槽4座扶牆上施行預力，垂直預力則是將鋼鍵穿過底板U型套管後錨定於牆身環樑之頂部，並於施作預力後以砂漿注入套



管內封填（如圖12）。

## （二）機械施工工項

低溫儲槽之機械施工工項可概略區分為四項，即內槽槽體、外槽襯板及屋頂結構、



圖 12 垂直及水平預力與封填作業

保冷及內部管線/泵浦/儀表/電機/底板加熱系統等附屬設備施工，其中保冷施工會另外交由專業保冷施工團隊執行，於工序中土木、保冷及內外槽體機械工項會交錯執行，例如土木之外槽臨時開口與頂層預埋件須配合機械工項進行，而外槽底部襯板施作完成交予底部環狀部保冷施工，然後再接續執行內槽環狀板安裝…等，各工種間於施工公差要求及保護措施有極重要及密切關聯性，任一環節失誤可能導致儲槽無法達到設計要求，彼此間之作業要求重點及協調溝通必須正確及緊密流暢，如圖13為機械施工流程。

另在執行儲槽機械工項施工時，銲接作業有其極重要角色，亦是低溫儲槽建造管制重心所在，因此對於銲接作業執行前之規劃、材料選用、檢試驗計畫、銲接設備配置、銲接程序檢定、銲接人員訓練及資格檢定、銲接中之銲接作業管制及銲接後之檢驗

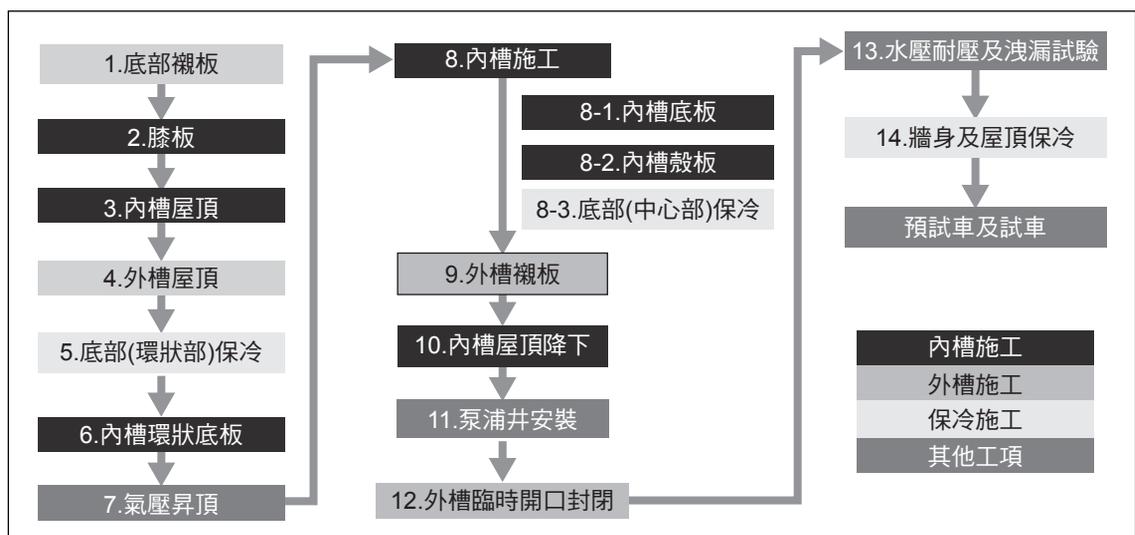


圖 13 機械施工流程

與文件驗證控管等，皆必須詳細規劃、確實執行。低溫儲槽之銲接作業要求重點及標準於內外槽間各有不同要求，外槽部位之銲接主要在提供混凝土外槽之底板牆及身內面襯板之水氣隔絕與氣密功能，及預埋件與槽頂結構之製作安裝，主要以碳鋼構件為主，雖為碳鋼構件，但因外槽構件於正常操作時須具備氣封氣密功能，且萬一內槽洩漏時將成為臨時阻絕洩漏之防液堤，因此在母材及銲材選用上可能會有別於一般碳鋼設計考量，故於銲接規劃時仍須留意有無特殊銲接要求，至於內槽銲接則是整個低溫儲槽銲接控管重點，目前常見超低溫儲槽內槽選用材質為不銹鋼或鎳鋼，其中鎳鋼銲接因具有異材質及高強度淬火回火鋼銲接特性，銲接技術要求及管制難度較高，需有更完整嚴謹之規劃、驗證及執行控管。

以下所述為低溫儲槽機械施工基本執行程序及工項：

1. 銲接程序檢定及銲工及銲接操作員檢定

(1) 銲接程序規劃及檢定

進行銲接程序規劃時，須參照規範、法規、設計圖面、技術資料等規定，依材料特性、成功經驗及適用銲接設備，進行規劃、送審及測試驗證，下圖為雙穹頂地上超低溫儲槽鎳鋼內槽之槽頂、膝板、殼板、環狀板及底板之銲接規劃（如圖14）。

以內槽銲接管理而言，有必要對各部位接頭之施工特性做詳實規劃及充分考量，依循ASME Section IX法規所發展出之銲接程序部份摘錄，實際執行所需控管銲接程序遠多於此，主要是須將所有執行銲接接頭之銲

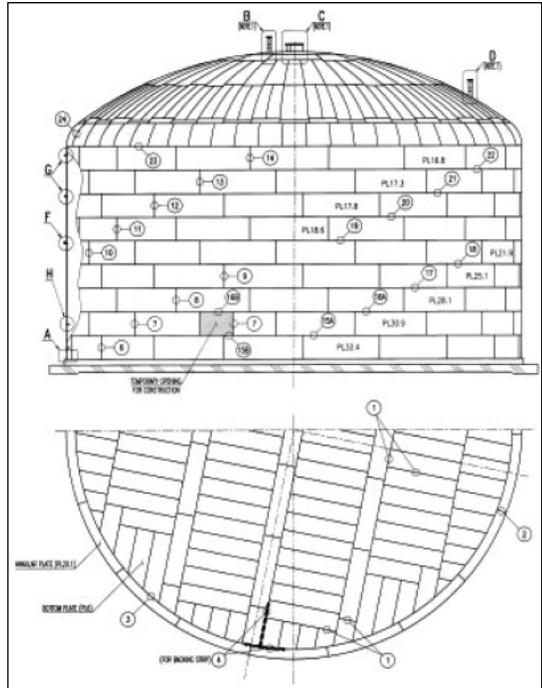


圖 14 內槽主要銲接規劃

接方法定義清楚，因銲接程序不僅是對銲接製程進行驗證，更重要的是須讓第一線之銲接領班及銲工，清楚明瞭相關細節並落實遵循。

銲接程序規劃完成後須再經程序檢定予以驗證銲道實際性能，以確認銲道非破壞檢驗完整性及機械性能皆符合設計要求，鎳鋼銲接具異種材質特性，且將銲道衝擊值及母材淬火回火性能維護列入考量時，則銲接入熱量控制就顯得非常重要，以下（圖15）所示為以立銲進行程序檢定之銲接與測試過程，及程序檢定機械性能測試過程。

(2) 銲工及銲接操作員檢定

銲工及銲接操作員檢定須依據檢定核准



圖 15 程序檢定及機械性能測試過程



圖 16 焊工及銲接操作員訓練及檢定

完成之銲接程序執行，所須檢定之材質、厚度、姿勢及人員數量，須依實際施工需求及人員穩定性進行考量，鎳鋼銲接操作難度及技能要求較高，於檢定考試之前通常會執行先期訓練及評量，對應試之銲工進行鎳鋼特性解說、訓練及技能評估，若於訓練階段無法達到評量標準即予以汰除，以維持鎳鋼銲工基本技能水準及服從管理與穩定性，鎳鋼之外之不銹鋼及碳鋼亦須依程序進行妥善管制，通過檢定之合格銲工須對其正式銲接過程之穩定度進行考核，以目視及非破壞檢驗結果進行銲道品質追蹤，違規或不良率過高之銲工應立即取消銲工資格，如圖16。

## 2. 銲接作業管制措施

銲接作業的成功與否，除程序及人員檢定外，銲接管制扮演著極重要角色，自母材準備、下料、治具選用、組立、變形防止、機具配置、人員管制、天候控管、防護措施、清潔、銲材管制、銲接參數控制、缺陷管制及鏟修、檢試驗、紀錄文件…等，舉凡與銲接前、中、後相關及確保銲接施工所有步驟皆符合既定程序規劃要求之管制，皆屬於銲接作業必要管制措施。為達到完善管制目的，亦可能發展出許多必要管制程序書，例如銲接作業管制程序書、銲材管制程序書、施工作業及品質管制程序書、檢驗程序書、檢試驗計畫書、安全管制程序書…等，以做為銲接作業管制必須遵循之依據。

除了相關規定之制定外，有經驗合格之足夠管制人員配置與落實執行，更是銲接作業管制成敗與否的關鍵，因此有適當經驗之銲接專家、銲接工程師、銲接檢驗師、非破壞檢驗人員、監工、銲接領班、銲材管理員甚至安衛環人員，皆是銲接作業成功與否的重要管制成員，需以團隊的方式緊密結合運作，進行必要訓練、聯繫溝通及對實際銲接作業狀況評量討論。

## 3. 底部襯板施工

於土木外槽基礎底板完成後，隨即進行外槽底部襯板鋪設施工，如圖18為底部襯板鋪設及銲接概況，施工過程中較須注意之事項為銲接變形及殘留應力防範，須妥善規劃銲接工序，例如由中心開始、由內向外、平衡銲法、跳銲等，使銲道均勻收縮避免橫向收縮變形，及使用配重塊與拘束治具壓制銲接角變形產生，以期讓底部襯板銲道熔合完整及伏順平貼，而於銲道交錯處應使其完整



圖 17 底部襯板鋪設、銲接及檢驗

熔合與平順疊銲，銲接完成後則依相關規定執行目視及相關非破壞檢驗，如圖17。

#### 4. 槽頂組立及施工

雙層穹頂儲槽槽頂施工工法，會將內外槽槽頂先行於槽外預製及槽內組裝，於組裝、銲接及檢驗完成後，再以氣壓吹浮方式將整體槽頂結構浮升至混凝土外槽頂部，與外槽頂預埋件進行銲接固定，升頂完成後槽內施工作業可不再受天候影響。內槽頂結構可大致區分成膝板（Knuckle Plate）、槽頂結構模組（Roof block）及槽頂中心頂冠（Top Crown）三大部分，設計上彼此可獨立進行預製再行連結，為爭取時間及降低槽內現場施工負荷量，基本上會先行於其他適當場地進行預製，再移至內槽做最後組銲。

##### (1) 內槽膝板預製、組裝及銲接

內槽槽頂膝板因位於槽頂最下端之與殼板接合轉折處，厚度最厚且形狀複雜具急遽應力受力變化特性，由於材質、厚度及形狀的特殊條件，致其板材成型及加工須於國外完成再運至國內組銲，為槽體組裝及銲接施工難度最高之構件，以全滲透雙邊開槽對接

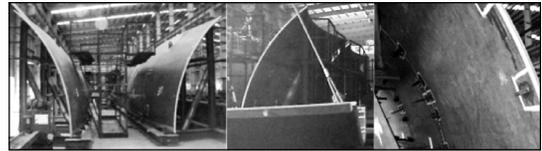


圖 18 內槽頂膝板預製組銲

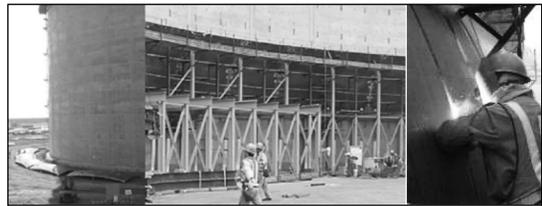


圖 19 內槽膝板於現場進行組銲

方式接合成一圈，內側銲道又屬4G（仰銲）銲接姿勢，銲接完成後執行100% RT，其耗費組立、銲接與檢驗最多人力與時間，膝板之預製組銲接會選擇於天候遮蔽良好之室內預製場地進行，將已成型之膝板以三片一組之方式進行組銲（如圖18），降低於現場槽內組立難度及減少現場銲道數量，以穩定品質及增加施工效率。

預組銲完成之膝板，會於外槽襯板施作完成後運至現場進行槽內組裝，組裝前須先於槽內架設整圈支撐架台，以利膝板置於架台上進行組立銲接，圖19所示為內槽膝板於現場組立及銲接概況。

##### (2) 內槽中心頂冠預製及組裝

中心頂冠位於內槽頂最高位置，做為槽頂結構頂部連結支撐，故安裝施工時會於內槽中央處先架設槽頂中心頂冠支撐架台，以利頂冠安裝及進行槽頂結構模組聯結，圖20

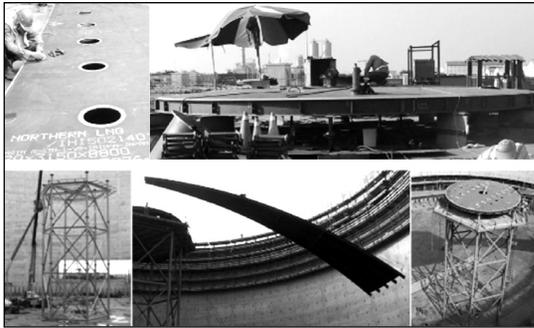


圖 20 內槽中心頂冠預製及安裝

為中心頂冠預製、支撐架台安裝及與槽頂結構模組聯結概況。

### (3) 槽頂結構模組預製、組裝及銲接

槽頂結構模組亦須依吊裝時程完成預製，於頂冠及膝板於內槽安裝組銲完成後，以對稱平衡方式進行模組連結安裝固鎖，及完成模組間結構連結與頂板鋪設銲接，圖21為槽頂結構預製、安裝、連結及組銲概況。

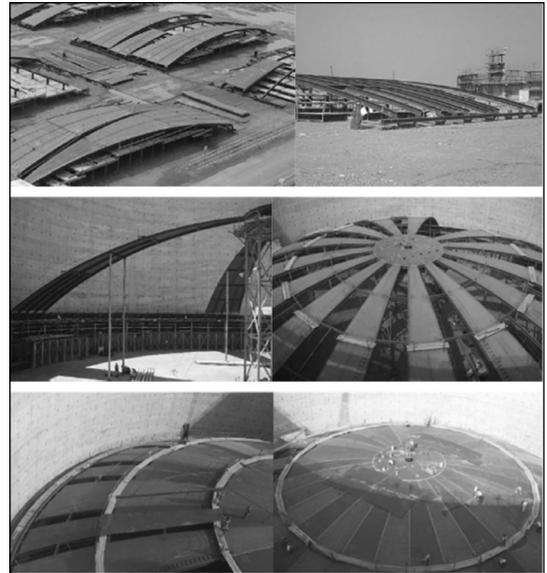


圖 21 內槽槽頂預製、安裝及銲接

### (4) 外槽頂結構預製及組裝

外槽槽頂於內槽槽頂施工完成後同樣以模組方式進行組立安裝，於內外槽間以臨時支撐予以連結固定以利同時進行升頂，其施作方式較內槽容易，於此同時亦安裝夾層吊具單軌軌道及內頂板降下支撐（圖22）。



圖 22 外槽頂及附屬結構組立及銲接

## 5. 底板環狀部保冷施工

底板保冷施作會先自最外緣環狀部開始施工，依序為材料驗料及施工準備、外槽襯板底漆及接合面處理、鋼絲網配置、輕質珍珠岩水泥澆置、玻纖鋪設、珍珠岩水泥塊、隙縫填塞、防水層、保護材、耐火板…等保溫材安裝，施工過程中對於材料之拌合比、

坍度及試體取樣、混凝土塊定位、縫隙填塞、介面層、保護層施做及檢試驗等皆須依核准之程序執行，圖23為底板環狀部保冷施工概況。

## 6. 環狀底板（Annular Plate）施工

底板環狀部保冷施作完成後即可接續內槽環狀底板組立及銲接，環狀板為單邊開槽全滲透銲接，安裝過程借用膝板組立之架台結構將環狀底板架高，待銲道全滲透銲接及RT檢驗完成後再將之降下坐於底部環狀保冷



圖 23 底板環狀部保冷施工概況

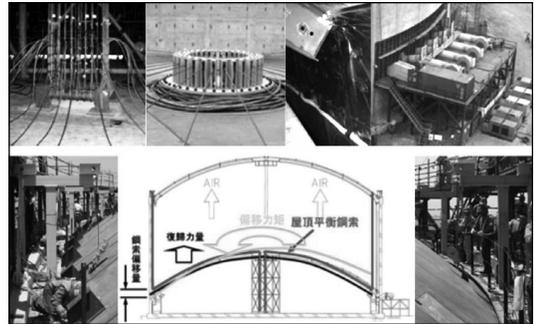


圖 25 槽頂升頂之力量復歸機制及配置



圖 24 環狀底板安裝及銲接

材之上，施工概況如圖24。

### 7. 槽頂氣壓升頂

為確保升頂順利完成，有許多準備事項須事先規劃確認完成，例如實際建造重量分佈與重心偏移數據取得、平衡及舉升力量計算、平衡塊及平衡鋼索設計、平衡力量監控規劃、緊急應變計畫、施工材料及機具撤離、平衡裝置及鋼索架設、開口封閉、風機架設、人員訓練編組、吹浮前模擬測試及修正、正式吹浮執行監控、到達定位之固定…等，這些一連串程序及執行事項須經不斷訓練、溝通、模擬及驗證。

欲舉升儲槽槽頂，須考慮自重平衡壓力及上浮須提供之需求壓力，依槽頂結構總重、外槽內徑等條件，可估算出平衡壓力，

而上浮需求壓力會略高於此，再將舉升速度、允許洩漏量、總升程等列入計算則可算出送風機需求，除計算所須提供之風壓及風量外，仍須藉助輔助平衡機構及平衡力量監控系統，來維持屋頂上浮之穩定性，以防槽頂重心傾倒及位置偏移，確保整個槽頂能穩定上升至設計位置，待上升至目標位置時立即以臨時固定塊將槽頂進行銲接定位，概略設施及過程如圖25所示。[3]

### 8. 底板中心部位保冷施工

底板中心部保冷於槽頂升頂完成後執行，其與底板環狀部保冷所使用之材料有相當差異，例如於底部輕質珍珠岩水泥層完成後，將安裝發泡玻璃保冷材、珍珠岩板、保護材、防火材…等材料，與環狀部保冷有明顯不同，且每層鋪設之工法亦有不同要求標準，雖然在材料及程序上有所差異，但對程序之控管及檢試驗的嚴謹度仍須嚴格遵循，底板中心部位保冷施工概況如圖26所示。

### 9. 內槽底板組立及銲接施工

內槽底板組立接續於底板中心部位保冷施作完成後執行，以有背襯開槽對接方式進



圖 26 底板中心部位保冷施工



圖 27 內槽底板組立、銲接及檢驗

行安裝及銲接，內槽底板厚度較薄施工過程中之保護須更加謹慎，以確保完銲後之銲道及母材品質完整性，在鋪設過程中亦須對底下之保冷材做完善保護，而底板面積龐大且無任何剛性支撐，與外槽底部襯板一樣須進行銲接變形防止，防範變形措施類似但必須更小心執行，圖27為內槽底板組立、銲接及檢驗概況。

#### 10. 內槽殼板安裝及銲接

內槽殼板組立及銲接配置，以所舉案例其垂直立銲、環狀底板接頭、殼板施工臨時開口及最後兩層周向橫銲接頭，採用手工銲接（SMAW）外，其餘之周向橫銲接頭則以自動潛弧銲接進行，如圖28所示。

殼板組立時由臨時開口將板件運入，再

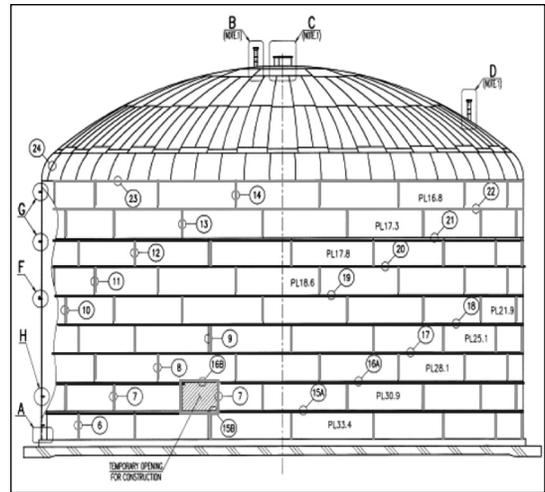


圖 28 內槽殼板銲接方式規劃



圖 29 內槽殼板組立及銲接

由槽內單軌吊車吊掛至安裝位置，進行定位組立，再由銲工或銲接操作員執行銲接，自動SAW銲接於每層殼板之立銲手工銲接完成後執行，過程中配合使用自動背剷及研磨機進行背剷及研磨工作，施工概況如圖29所示。

對於內槽第一層殼板而言，其直接組立於環狀底板之上，與環狀底板之銲道因位於

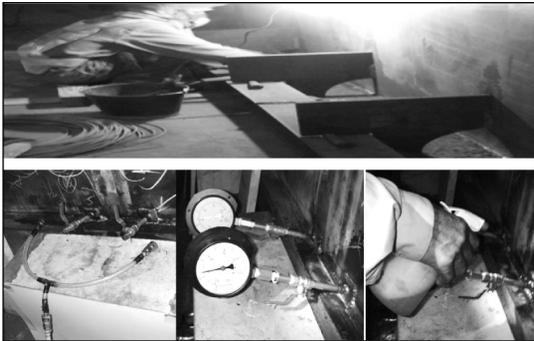


圖 30 內槽第一層殼板銲道及氣密測試



圖 31 外槽襯板安裝及銲接



圖 32 內槽頂降下、組立及銲接

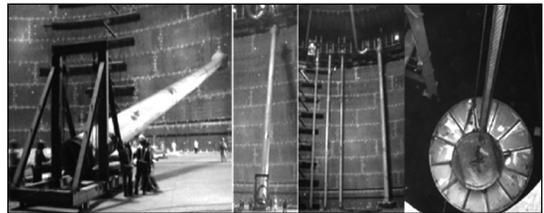


圖 33 內部泵浦井及大型管件舉升安裝

角隅，銲接完成後不易甚至無法以RT或UT進行銲道完整性檢測，但此銲道完整性對槽體洩漏防止相當重要，因此於殼板底緣中央部位有開一連續測試導氣溝槽，以利銲道完成後進行氣密測試，測試過程如圖30所示。

#### 11. 外槽襯板安裝及銲接

於組銲內槽殼板的同時即可同時安裝外槽襯板，外槽襯板由外槽臨時開口吊升入內，固定貼合於外槽壁內側預埋板上，再行搭疊銲接，安裝概況如圖31所示。

#### 12. 內槽頂降下及內部管件安裝

內槽殼板銲接完成後，須將內槽槽頂降下以利進行殼板與膝板連結及銲接，此一接合介面會受內槽膝板下緣及內槽殼板上緣之實際製造高程及周長所影響，故在膝板及殼

板組銲過程就須留意控制，尤其殼板最後一層組銲為最後調整之機會，須精準控制其總周長、高程及水平度，以確保接合順利。內槽頂降下須先於內槽全周連結下降支撐調整器，再切斷內外槽臨時支撐後緩慢均勻將內槽頂降至最後一層殼板上緣，再進行調整組立銲接，如圖32所示。

待槽頂降下且與殼板組立銲接完成後，則進行內部管件安裝，部分槽頂內部管件於升頂前即已安裝完成，此時主要針對如底部入料管、泵浦井等大型直立管線安裝，安裝過程吊車於槽外放入鋼索，槽內以特殊台車進行下端支撐及移位牽引，逐步將置放於槽底支大型管件進行舉升至定位，再將其固定，如圖33所示。



### 13. 內槽槽體試壓

本文所介紹之超低溫LNG儲槽屬微壓槽，內槽試壓時槽體將同步進行水壓及氣壓測試，內槽體試壓時將水位注水至設計測試液位，注水過程中須對所注入之水進行取樣化驗，到達水位後將槽體密封並自槽頂插管打入空氣體加壓至設計測試壓力，由於灌滿大型儲槽之水量相當可觀，若遇枯水期有可能會面臨水公司無法提供大量潔淨水源之窘境，因此須及早做好規劃及協調確認。

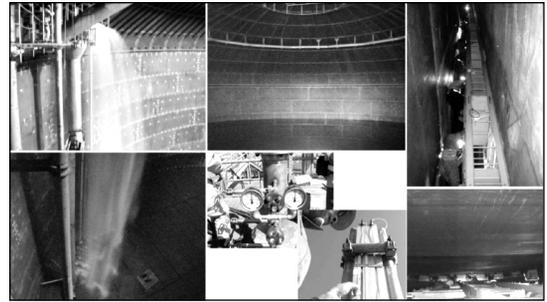


圖 34 內槽槽體試壓及目視檢查

試壓過程除壓力測試及洩漏檢視外，基礎沉陷觀測亦是驗證重點事項，須對儲槽自注水開始前至洩水完成進行完整沉陷觀測。試壓過程中當壓力達到需求壓力且穩定後，則派出足夠檢驗人員，依序對內槽殼板及槽頂板所有銲道與母材進行洩漏與異常變形觀察目視檢查，以如此巨大槽體欲於短時間內落實檢查完畢，對檢察人員會是一大挑戰，故適當之檢查輔助設施及安全防範為必要措施，以本文案例而言，於內外槽夾層間即架設一座可同時乘載十餘位檢查員之垂直檢查架台，架設於外槽槽頂單軌軌道，繞行整座槽體一周進行洩漏及變形檢視，圖34為內槽試壓及目視檢查概況。



圖 35 內外槽夾層間保冷施工

試壓完成後須盡速依核定作業程序，將水排空及對槽體表面進行清洗及保持乾燥，以避免或降低槽體銹蝕或受有害物質侵蝕風險。

### 14. 內外槽夾層間保冷施工

內外槽夾層及槽頂保冷施工，會於襯板鋼材表面進行表面處理、油漆塗層、噴塗PUF、鋪設玻纖毯，再將於現場進行珍珠岩

加熱發泡並填充於內外槽及槽頂夾層間，現場設有保冷材粒度、密度、熱傳導率…等量測機具及儀器，進行即時取樣測試，以利現場監控維護保冷材合格之品質及性能，待保冷材填充完畢及通過檢驗即行封閉所有外槽開孔，圖35為內外槽夾層間保冷施工概況。

因槽內施工環境不佳，槽內施工人員除須配置適當防護器材、通訊及偵測器外亦須接受完整槽內侷限空間作業訓練，同時架設

合乎規定之強制送風設施與看管人員，絕對確保作業人員安全及健康獲得最佳防護始得允許作業。

#### 四、結論

低溫儲槽建造工序繁雜且緊密連結，過程中任何失誤，對於品質、工期及成本皆可能造成重大衝擊，欲達到儲槽如期完工、符合設計要求與安全運轉目標，除須有周詳風險評估及縝密設計考量外，專業嚴謹的建造規劃與落實之程序管理，屬必要作為，然篇幅有限無法於此一一詳述所有程序及要求細節，本文主要對其施工流程及管控重點進行概述，期望有助於對低溫儲槽建造及執行重點之初步認識。實際上業界對低溫儲槽建造工法仍一直在持續進化之中，更高品質、更有效率、更低成本及更安全的施工方法，是其不斷追求進步的目標，但因低溫儲槽屬危險性設備，無論如何發展進化，皆須基於能確保整個建造品質被充分掌握之前提下進行，因此唯有被驗證過且最穩定之材料與工法才會被列入採用考慮，也是該堅持的原則。

若以直覺觀察低溫儲槽建造工法或許會覺得無特別之處，但若究其細節及以看待危險設備的角度來看，則會感受到許多細膩之處須妥善處理，因此較優秀及具責任感之廠商會持續不斷改良建造技術，亦會對每座已完成之儲槽進行檢討改善探討，而讓技術得以不斷突破成長，其必須讓參與之專業人員充分了解執行及要求細節，並具備可精準控管相關建造流程及解決各類問題的能力，進而達成所設定品質目標。就以其銲接施工規

畫及管理為例，於ISO 3834即將銲接製程定義為「特殊製程 (Special Processes)」[4]，主要是因銲接一但完成後，其確切品質並無法單以最終檢驗來確認，因此須對所有銲接製程進行妥善規畫及控管，才能確保其品質，低溫儲槽一旦建造完成，再度開槽檢修將付出極大代價，所以不願也不會輕易嘗試，因此不只單就銲接製程，對其他相關重要工項以「特殊製程」的角度建立控管機制及執行態度就相對重要，也是該努力確保之目標。

低溫儲槽之建造必須有經過驗證之程序、核准過之機具、檢定過之人員、詳實記錄及持續評量及改善，才足以確保產出符合要求，他山之石可以攻錯，中鼎在執行許多低溫儲槽EPCC興建案的過程中，曾攜手過許多於此領域之國際頂尖公司進行合作，且自身亦持續投入研發及訓練，不斷提升同仁專業執行能力，培養出許多實力堅強並具豐富經驗之專案、設計及建造人員，後續亦會對此低溫儲槽領域相關先進技術持續進行研究及開發。

#### 參考文獻

1. Isaac Animah, Mahmood Shafiee, Application of risk analysis in the liquefied natural gas (LNG) sector: An overview, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 63, January 2020.
2. 賴清德，能源政策專案報告，立法院第9屆第5會期，4<sup>th</sup> May, 107年。
3. 林坤滄、施亮輝、李瑞壙，大型液化天然氣(LNG)儲槽昇頂技術案例研析，台灣世曦工程顧問有限公司，中華技術，No. 81, pp.179~187, January, 98年。
4. ISO 3834-1:2005, 2nd Ed., International Organization for Standardization, Dec. 2005.