

出國報告（出國類別：洽公）

赴接收站設備 BOG 壓縮機、開架式 氣化器製造廠家(KOBELCO)及大阪 瓦斯公司觀摩及工程技術研討

服務機關：台灣中油股份有限公司

天然氣事業部 工務室

液化天然氣工程處 安環組

液化天然氣工程處 專案組

液化天然氣工程處 站區所

姓名職稱：陳俊明 組長 (安環組)

遲毓熙 工程師(工務室)

施並良 工程師(專案組)

王連財 技術員(站區所)

林志偉 工程師(專案組)

派赴國家：日本

出國期間：102/11/27~102/12/3

報告日期：103/2/26

摘要

本公司為供應台電公司通霄電廠105年起每年新增100萬噸用氣需求，以及台電公司大潭電廠提高燃氣發電容量因素後，每年100萬噸之新增用氣需求，規劃「L10101天然氣事業部台中廠二期投資計畫」（簡稱台中廠二期計畫），主要工作包括新建3座160萬公秉LNG地上儲槽、300噸氣化設施、及26吋陸上管線。為順利推動及執行台中廠二期計畫，派員赴主要設備(BOG壓縮機、開架式氣化器)製造商(神戶製鋼KOBELCO)及負責儲槽設計工作之廠商 OSAKA GAS ENGINEERING CO.(OGE)進行相關設備及儲槽設計原理、審查重點、檢驗技術等項目技術研討及交流。

本出國報告內容主要包括下列三大部份:

- 一、 目的
- 二、 過程
- 三、 開架式氣化器(Open Rack Vaporizer, ORV)、蒸發氣(Boil-Off Gas, BOG)壓縮機設計原理、檢驗技術，以及液化天然氣(LNG)儲槽簡介及材料檢試驗技術。

目次

壹、目的.....	4
貳、過程.....	5
參、心得及建議.....	6

壹、目的

本次行程主要目的為下列兩項:

- 一、 赴 BOG 壓縮機及開架式氣化器製造廠商-株式會社神戶製鋼所現場觀摩及工程技術研討，以利後續工程進行。
- 二、 至 OSAKA GAS ENGINEERING CO.(OGE)研討台中廠二期擴建 LNG 儲槽建案履約期間，審查廠商所提細部設計工作及相關材料及設備之檢驗重點及注意事項。

藉與大阪瓦斯工程公司進行技術、經驗上進行諮詢及多方面聯繫，有利「台中廠二期投資計畫」地上式 LNG 儲槽技術服務工作與日後儲槽統包工程及冷能利用之進行及推動；透過與開架式氣化器(ORV)設備廠商交換 ORV 工程技術經驗，並實地觀摩其製造過程，可增進本公司工程人員瞭解氣化設備目前發展趨勢，對於未來提供使用單位作為訂定氣化設備性能及標準，及現場操作人員使用、維護等技術層面將具有實質助益。

貳、過程

起迄日期	起迄地點	工作紀要
102/11/27	起:台灣桃園機 迄:大阪關西機場	起程
102/11/28 ~102/12/2	神戶、大阪	<p>至株式會社神戶製鋼氣化器部門:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 聽取神戶製鋼公司報該公司相關業務。 2. 聽取氣化器之設計原理及應用簡報並請教其設計理念。 3. 與設計人員針對氣化器之冷能利用議題進行討論。 4. 至氣化器生產工廠參訪製造流程。 <p>至株式會社神戶製鋼壓縮機部門:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 聽取壓縮機之設計原理及應用簡報並請教其設計理念。 2. 針對壓縮機出廠前位移及震動測試議題進行討論。 3. 至壓縮機生產工廠參訪製造流程。 <p>大板瓦斯泉北第二基地:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 聽取大板瓦斯簡報該公司相關業務。 2. 針對細部設計審查重點進行討論。 3. 參訪大板瓦斯公司 LNG 製程及冷能利用設施。 <p>大板瓦斯泉北第一基地: 觀摩興建中之 23 萬公秉 LNG 儲存槽施工。</p> <p>參訪資料彙整及討論</p>
102/12/3	起:大阪關西機場 迄:台灣桃園機場	返程

參、心得及建議

一、 神戶製鋼公司(KOBELCO)氣化器部門

(一) 前言:

赴神戶製鋼公司參訪第一站為該公司氣化設施部門，本次台中廠二期投資計畫中預計增建兩台 150 噸/時氣化能力之開架式氣化器，本次實地參訪氣化器設備製造商，透過原廠現場技術人員簡報及會中請益相關設計原理，提升本公司與會人員專業知識，有助於日後二期計畫之執行，茲將該公司簡報內容摘述如下:

天然氣(Natural Gas，簡稱 NG)為了方便儲存及運輸，其狀態通常會由氣體狀態(NG)轉換為液體狀態(液化天然氣，Liquefied Natural Gas，簡稱 LNG)，並透過船運方式由產地端送達市場端，在使用前暫時存放儲存槽中，需要使用時需先經氣化裝置氣化再行輸送至使用者。因此，天然氣廠之效能及氣化能力主要由氣化器決定。大型天然氣廠使用之氣化器主要有開架式氣化器(OPEN RACK VAPORIZER，簡稱 ORV)、中間介質式氣化器 INTERMEDIATE FLUID VAPORIZER、及沉燃式氣化器(SUBMERGED COMBUSTION VAPORIZER)等三種，本公司台中液化天然氣廠及永安液化天然氣廠主要採用 ORV 型式作為主要氣化設備，該形式氣化器直接使用海水作為氣化熱源，除不需額外加熱裝置且可降低 CO₂ 之排放量。神戶製鋼公司於 1997 年建置第一台氣化器，迄今已輸出超過 150 台 ORV 至全球各地。在 1998 年該公司與大阪瓦斯一同合作，開發出新一代之氣化器，名為 SUPERORVTM，較傳統式 ORV 具有較佳之的氣化效率。

(二) 有關 ORV 之結構概述、運作概述、及 Super ORV 概述(包括與傳統式 ORV 之比較)分段敘述如後:

ORV 結構概述:

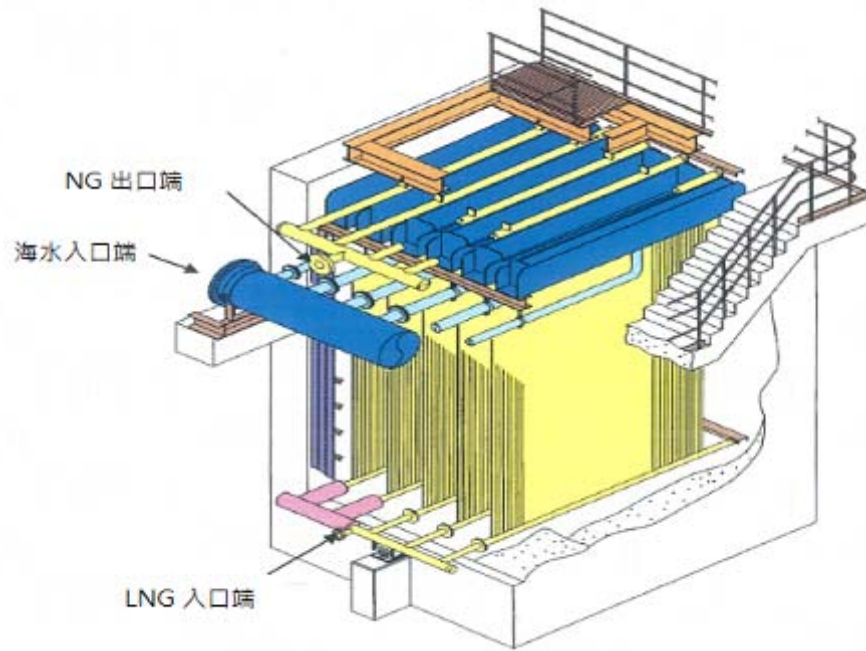


圖1-1 ORV結構說明

ORV 結構如圖 1-1 所示，包括結構物、加熱鰭管、海水分配系統、及其他附屬配件，其位置及材質分別以顏色標記說明如下：

灰色部分：結構體，由混凝土及鍍鋅碳鋼管組成

黃色部分：加熱鰭管，由鋁合金組成

藍色部分：海水分配系統，管線由 FRP 組成；海水槽則由鋁合金組

紫色部分：浪板，由 FRP 組成

棕色部分：鰭管支撐結構，由油漆之碳鋼管組成

粉紅部分：保冷

ORV 運作概述:

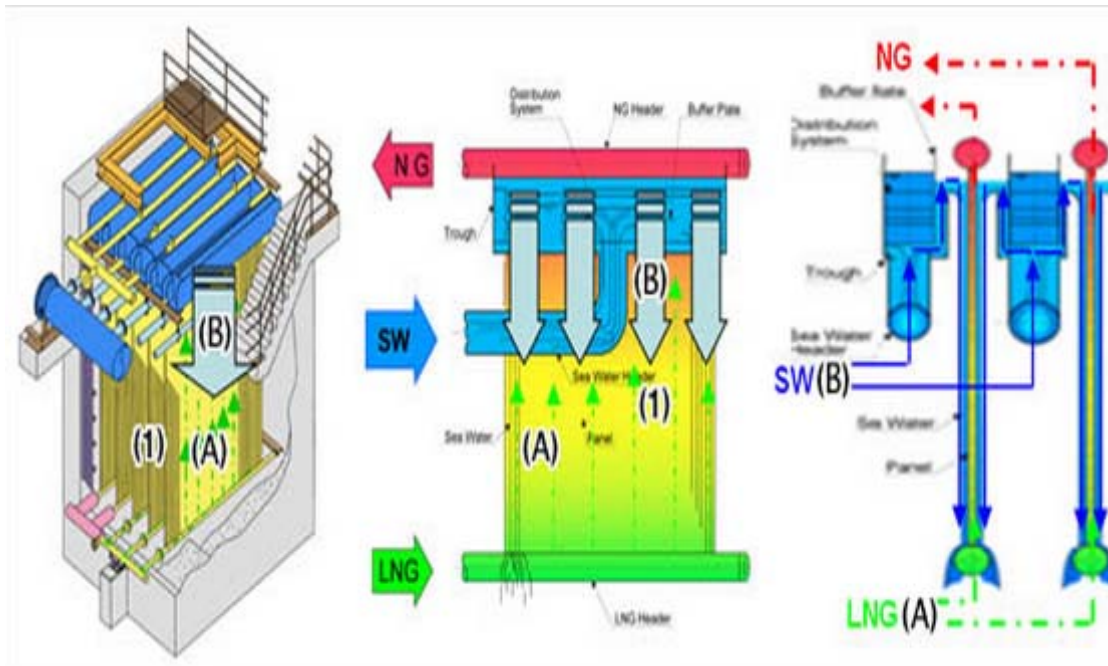


圖 1-2

ORV 主要部分為鋁合金材質所製造之換熱交換鰭管，如圖 1-2 中標示(1)處，以海水作為熱源。LNG 由 ORV 底部進入鰭管(A)，海水則透過配水盤由上而下藉由重力平均淋灑於鰭管外側(B)，透過換熱鰭管 LNG 吸收海水熱源，由液態轉為氣態。

SUPERORV 概述

ORV 具有操作及維護上之便利性，廣泛使用在較具規模之天然氣廠，然而由於鰭管外側易有結冰現象，該結冰層將降低鰭管氣化能力、增加海水用量，且需要較大的裝建基地面積。因此，大阪板瓦斯(Osaka Gas)及神戶製鋼(KOBELCO)發展較高效能之 ORV(Super ORV)，其下半部鰭管主要有雙層管結構，該結構可增加熱傳效率，抑制鰭管表面結冰現象。依原廠提供數據，Super ORV 可較傳統形式 ORV 增加 3 倍氣化能力、減少 15%海水使用量及減少 40%裝建基地面積。

Super ORV 之換熱鰭管，可分為下半部分之氣化區(Vaporizing Zone)

及上半部分之加熱區(Heating Zone)兩大部份。其中，氣化區之結構如下圖 1-3 所示，鰭管內部為螺旋結構，可增加 LNG 在鰭管內擾動進而提升熱傳效率。此外，鰭管具有星狀結構亦可提高接觸面積，提升氣化效率。

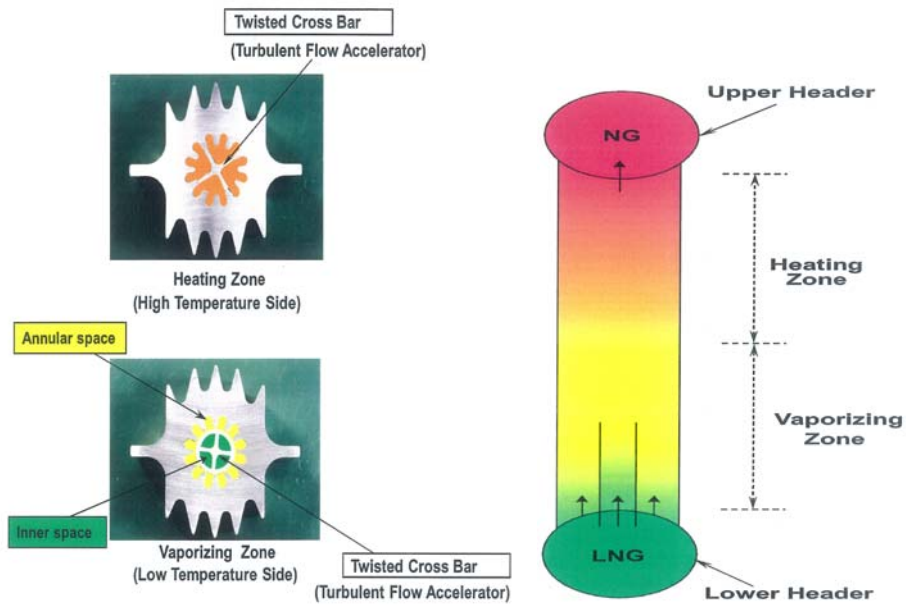


圖 1-3

LNG 由鰭管下部進入，分別進入內管(Inner Tube)及環狀通道(Annual Channel，內管與外管間空間)，位於環狀通道之 LNG 直接由海水加熱後立即氣化，而位於內管之 LNG 由已氣化之 NG 加熱逐漸氣化，如下圖 1-4 所示。

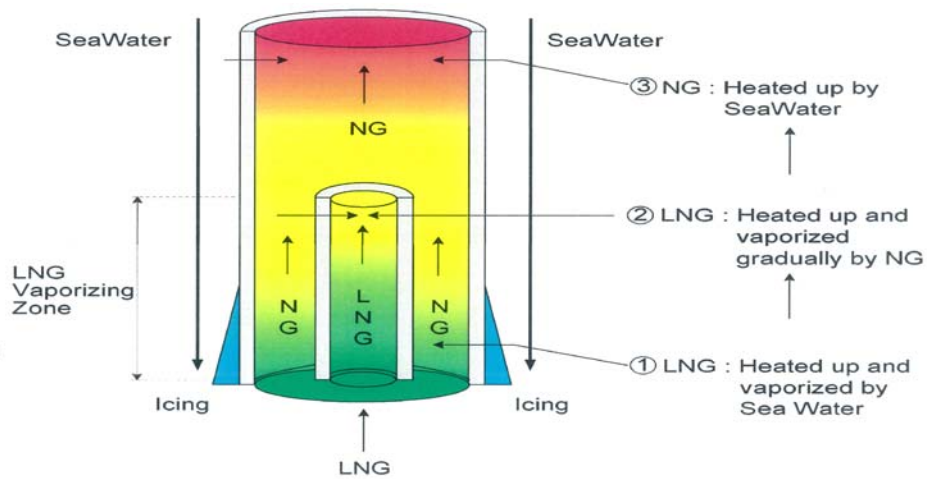


圖 1-4

下圖 1-5 展示傳統 ORV 與 Super ORV 操作時鰭管氣化區鰭管之溫度曲線，傳統 ORV 之鰭管外壁溫度較低，因此結冰層厚度較大，造成換熱面積減少如圖 1-5 所示，故換熱效率不佳。Super ORV 採用雙層管結構，可提高鰭管外壁溫度，結冰層將被抑制，可達較佳之換熱效率。

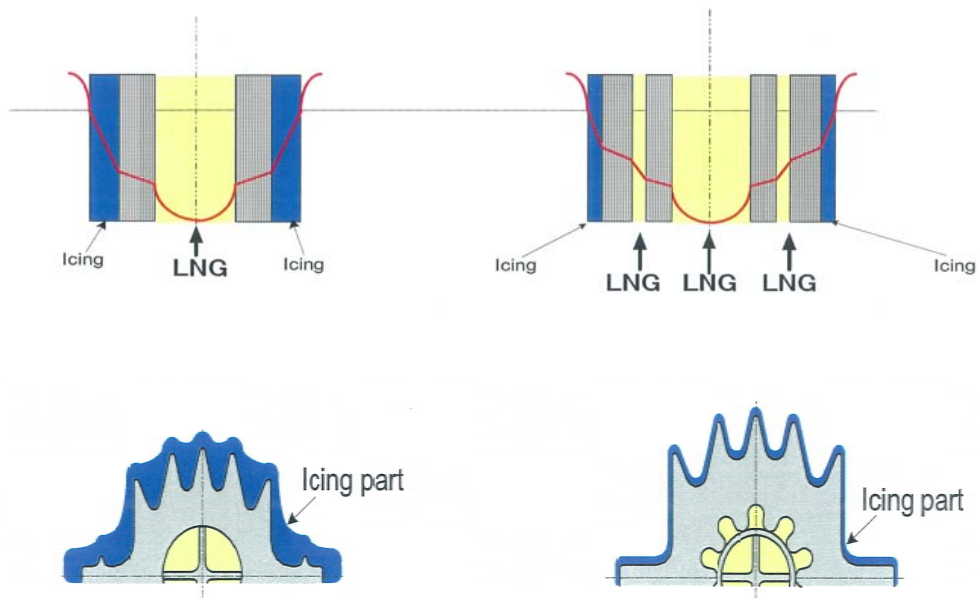
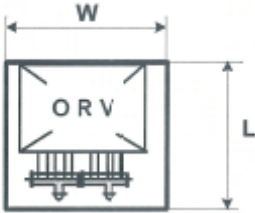


圖 1-5 傳統 ORV 與 Super ORV 鰭管溫度曲線及結冰層比較

茲整理在 170 Ton/H 氣化量及海水溫度 15°C 條件下，傳統 ORV 與 Super ORV 規格比較表如下：

ORV型式	傳統ORV	6m-Super ORV
鰭管長度(m)	6	6
鰭管數量/Panel	100	90
Panel/座	12	8
海水用量(Ton/H)	3,600	3,000
ORV 大小(LxW: m)	7.7x11.9	7.7x10.1
占地面積(m ²) *1	91.7(1)	77.8(0.85)
	Parallel Fin HPT	Vaporizing & Heating Zone
節能		15%
 <p>*1</p>		

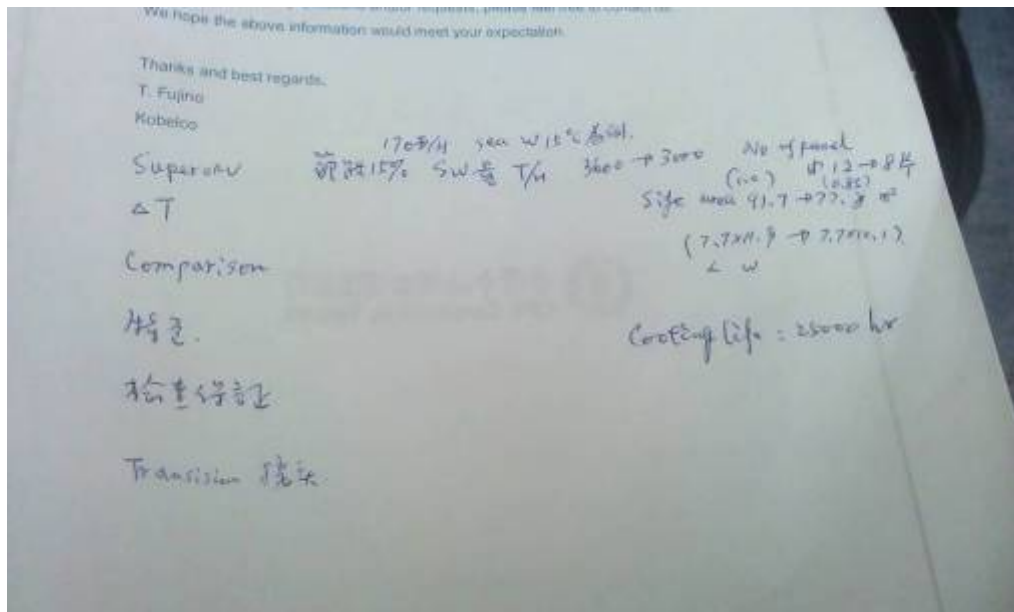
(三) 開架式氣化器檢查:

DESIGN PRESSUER : 120KG/CM²

ASME U STAMP ; AI 簽認檢驗

TRANSACTION JOINT—AL/SS CLAD ; HELIUM LEAKING TEST REPORT

Leaking 氣密	Test pressure 氣壓
1.1	1.25
132 KG/CM2 30MIN	150KG/CM2 30MIN



二、 神戶製鋼公司(KOBELCO)壓縮機部門(Reciprocating Compressor)

(一) 前言:

神戶製鋼公司參訪的第二站，首到之處先聽取神戶製鋼之簡報，了解該公司之發展沿革，及該製鋼所生產現有天然氣往復式壓縮機採用之通用技術，進而互相交換意見，探討本公司前台中廠一期設備驗收及操作時之相關問題，以作為台中廠二期計畫站區氣化設施 BOG 壓縮機設備之規格選用參考，茲將該公司壓縮機部門提出簡報內容摘述如下：

(二) 神戶製鋼所沿革及天然氣往復式壓縮機簡介：

日本神戶製鋼所創立於 1905 年，目前員工約員工人數約 34,000 餘人，擁有材料、電力、機械等三大事業群，該公司主要業務含括鋼鐵、焊接、鋁、銅及機械等，其中機械業務部分屬空壓機、工程機械最為突出；神戶製鋼公司是日本最大的空壓機製造廠商，主要生產往復式壓縮機、螺旋式壓縮機及離心式壓縮機，各依其工作流體之物理性質適用。日本第一台高壓往復式空壓機，即是該公司於 1915 年開發成功，發展至今已生產 2,300 餘種往復式壓縮機設備，處理工作流體之設備能力可達 1000bar@-162°C。由於天然氣蒸發氣(BOG)工作溫度

條件極低之流體(約-155°C)，該公司為拓展低溫天然氣業務市場，自1973 即製造出第一台的天然氣 BOG 往復式壓縮機，截至目前全世界 LNG 接收站已有 22 組天然氣 BOG 往復式壓縮機採用該公司產品，且各 LNG 接收站使用該公司生產之 BOG 壓縮機在國際上已有長期安全操作經驗，足以證明該公司生產足以達到設計需求及安全操作指標。

(三) 天然氣 BOG 壓縮機處理原理：

BOG 壓縮機是液化天然氣接收站重要 BOG 回收處理設備，主要作用係處理過量的蒸發氣，將其送入再凝器冷凝，以維持 LNG 儲槽內壓恆定，一般而言 BOG 處理量的大小係考量站區 LNG 儲槽及 LNG 製程管線熱傳產生 BOG 規劃，依據接收站製程設計之特性，在考量工作流體溫度、流量、壓縮比的特性，多採往復式壓縮機型式，然而在 LNG 船卸收期間，可能因為儲槽內壓變化改變造成較大量 BOG 產生，一般除了 BOG 回收設備外，常以切換儲槽進液方式輔助調控。BOG 壓縮機的流量控制可在自動或手動兩種模式下運行。壓縮機處於自動模式時，通過 LNG 儲槽壓力調節器自動選擇 BOG 壓縮機的負荷。如果 LNG 儲槽內壓持續升高，調節器轉換更高一級負荷，提高壓縮機的操作負荷；如果 LNG 儲槽內壓力持續降低，調節器轉換較低一級負荷，降低壓縮機的操作負荷，如圖 2-1。通過 BOG 壓縮機操作負荷的變化，LNG 儲罐的壓力穩定在正常操作壓力值之間。在手動模式時，操作人員可以根據 LNG 儲槽壓力監測的資料，手動選擇 BOG 壓縮機的負荷。

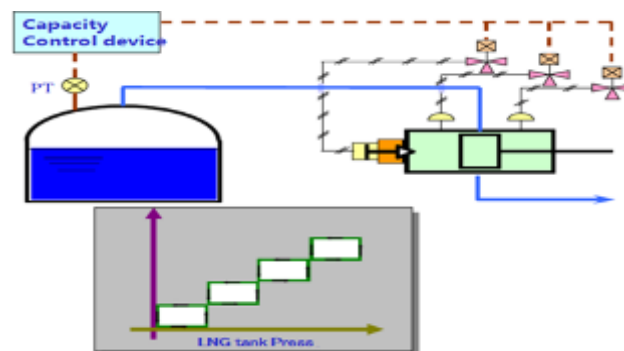


圖 2-1

如果蒸發氣流量高於壓縮機或再冷凝器的處理能力，儲槽和蒸發氣總管的壓力將升高，當壓力超過壓力控制閥的設定值時，過量的蒸發氣將排至燃燒塔燃燒。

(四) 天然氣 BOG 壓縮機機構及型式：

本公司台中液化天然氣廠目前配置 3 部 KR20-4 650KW 低溫往復式-臥式 BOG 壓縮機 (圖 2-2)，主要分為汽缸、間隔間、主構件三區，如圖 2-3 所示：

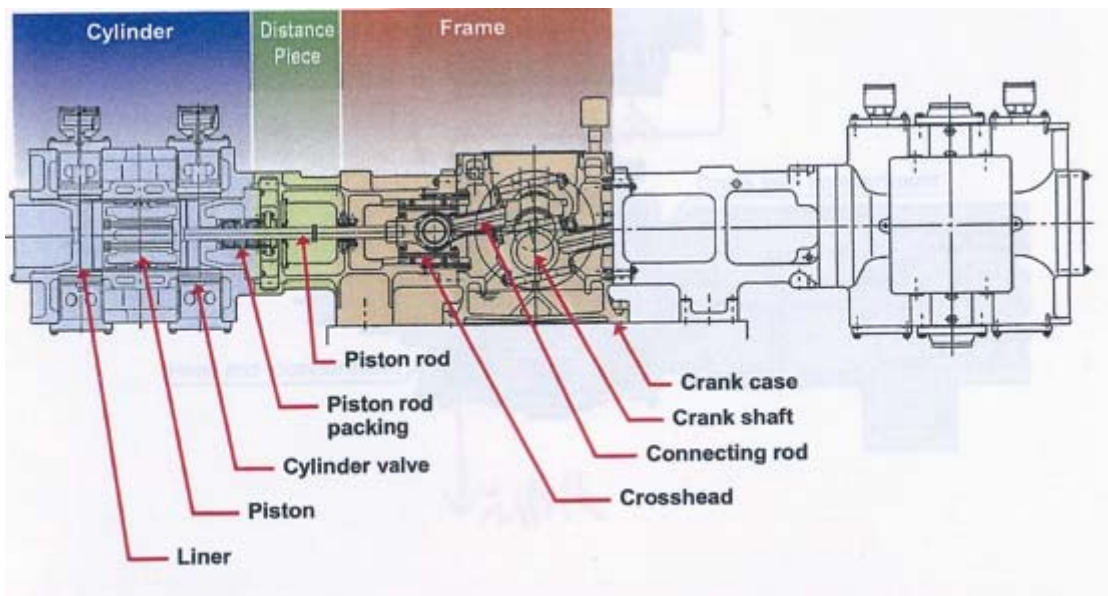


圖 2-2

650kW KR20-4 LNG BOG Compressor for LNG Receiving Terminal in Taiwan

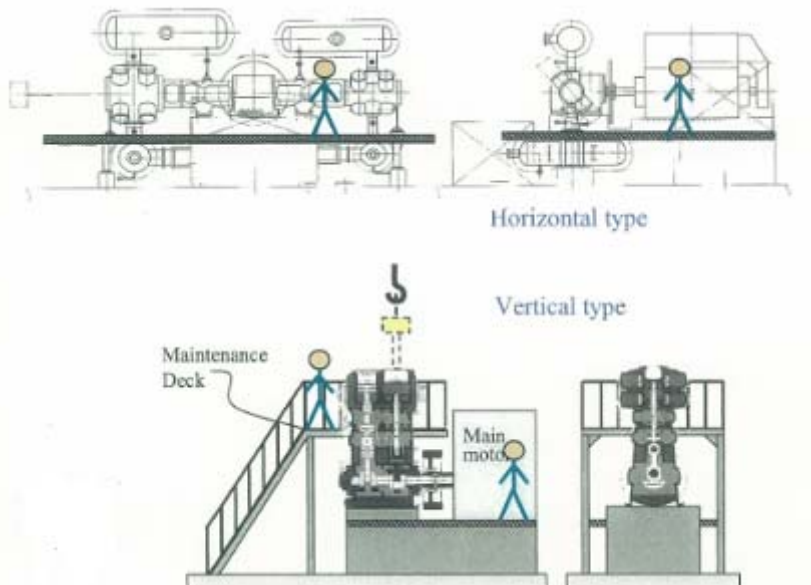


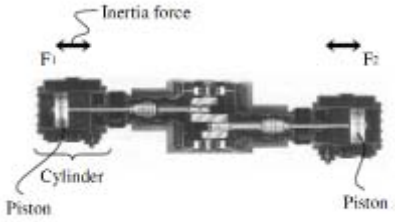
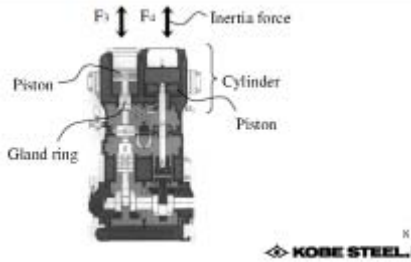
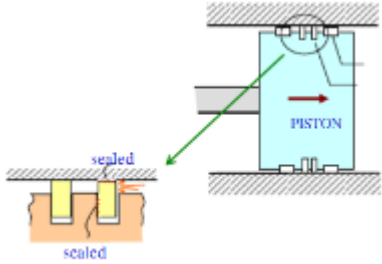
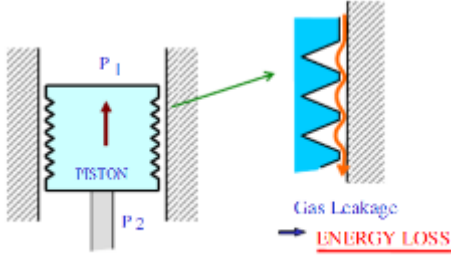
圖 2-3

註：活塞(piston)、活塞桿(piston rod)、曲柄軸(crankshaft)、活塞桿軸封

(piston rod packing) 、連桿軸(connecting rod)、十字頭(crosshead pin)

BOG 壓縮機一般為低溫無油往復壓縮機，依 API618 標準的要求設計、製造、試驗和檢驗。目前神戶製鋼公司生產之天然氣 BOG 低溫往復無油壓縮機，依活塞機構運動方向，主要有水平對置平衡式和直立式兩種。水平式之活塞利用特殊材料的鐵氟龍活塞環達到密封及潤滑要求，水平式氣缸與活塞支撐環和活塞環直接接觸，為儘量減少磨損壓縮機，一般在較低的運轉速度下運行，但其動力平衡性能較好。直立式屬於非接觸密封，它利用活塞與氣缸間迷宮槽的流阻來產生密封效果，此密封型式的採用，氣缸與活塞不直接接觸，工作表面也就沒有磨損壓縮機可以選擇在較高的速度下運行，沒有摩擦阻力下，氣缸與活塞等關鍵部件的材料選擇更加靈活，壓縮機在環境溫度下可以直接啟動，不需要預冷。未來台中廠二期計畫規劃增設 BOG 壓縮機設備，採用孰種較優，本次神戶製鋼公司亦提出說明，彙整兩者差異如下：

BOG 壓縮 機型 式	水平式	優 劣	直立式
市場 占有 率	85%	>	15%
維護 難易	水平式汽缸配置，維修時容易拆卸，容易更換活塞、支撐環，每個部份元件獨立分開，更換設備元件容易。	>	直立式汽缸需要高處維修平台，部份元件整體鑄造，維修時需整體汰換，設備元件更換困難，且活塞與汽缸間隙調整困難，不易維護。
冷卻 水需 求	不需要。	>	需要，增加設備空間及維護成本。
廠房 安裝 限制	<p>水平式占地面積較廣，但安裝所需垂直空間需求不高；垂直式廠房占地較小，但安裝所需垂直空間需求大。</p>  <p>The diagram illustrates two types of compressors. The 'Horizontal type' is shown as a long, low-profile machine with a person standing next to it for scale. The 'Vertical type' is shown as a tall machine with a 'Maintenance Deck' at the top and a 'Main motor' at the bottom, with a person standing next to the motor for scale.</p>		

<p>平衡性</p>	 <p>活塞運動內力相互抵消，平衡性較佳，震動較小，因此壓縮機運轉較為平穩，可提高壓縮機轉速，對於傳動元件影響較小。</p>	<p>></p>  <p>活塞運動內力相互抵消，平衡性較差，震動較大，影響元件使用壽命。</p>
<p>管線配置</p>	<p>管線位置低，較易配置，管線支撐穩固，震動因素小。</p>	<p>></p> <p>管線會有較大的震動問題產生，較難牢固支撐，引起振動因素多。</p>
<p>效率</p>	<p>間隙較小，氣體洩漏量就少，總體來說效率就大大提高</p>  <p>滑動磨損小，洩漏損失少，能量消耗減少。</p>	<p>></p> <p>活塞與汽缸間隙大，天然氣洩漏量就大，壓縮能量損失大，效率相對就低</p>  <p>活塞與汽缸間隙大，洩漏損失大，能量效率較低。</p>
<p>磨損</p>	<p>1.磨損部件：活塞環、支撐環(壽命約24,000小時) 2.缸襯、環槽為可以動結構(缸襯壽命約15~20年)</p>	<p>></p> <p>1.汽缸無滑動與磨損構件。 2.活塞杆上的填料環由於與活塞杆接觸造成磨損，由於填料環的磨損，造成氣缸與活塞直接接觸的危險。</p>

以上就兩者差別概略性描述，未來台中廠二期計畫 BOG 壓縮機實際選用時，仍需考量進排氣量、溫度、壓力，並作和評估設備可靠性、效率及成本因素。

(五) BOG 往復式壓縮機之流量控制：

神戶製鋼公司生產之天然氣 BOG 壓縮機依使用者操作需求，可提

供 STEP 控制及 STEP-LESS 控制兩種 BOG 進氣調整方式，其中 STEP 可 100%-75%-50%-25%-0%步階式調整 BOG 進氣量，而 STEP-LESS 可以 100%~0%線性調整 BOG 進氣量，惟電力需求亦比步階式制動元件更大；以台中廠操作而言，採用步階式調整即可滿足現有 LNG 槽壓控制之操作需求。一般而言，往復式壓縮機的流量調節均是減小流量的調節，常用的方法有以下幾種：

(1) 使用變頻調速

利用改變轉速的方法來調節壓縮機的出口量是一個非常理想的調節方法，但在多數情況下，變速調節的範圍不足以滿足全氣量的調節。由於大型變頻設備價格因素等，很少被採用。

(2) Bypass調節

往復壓縮機均設置回流設施，一般僅用於BOG壓縮機的啟動，由於在這種控制模式下能效比較低，所以正常操作時不採用。

(3) 進氣閥卸載調節法

此調節方法是在氣缸的進氣閥上安裝卸載器，對壓縮機進行流量調節，該調節方法的特點是可進行步階方式調節。該氣動卸載裝置，因儀錶氣的進入使進氣閥保持打開狀態，吸入的氣體不被壓縮並被排出而重新回到入口。這樣，若兩作動氣缸其中一端(氣缸端或曲軸端，一般為氣缸端)被卸載，則壓縮機的輸出流量變成50%，若兩端都被卸載，則變成0%。

(4) 餘隙容積調節法

改變壓縮機氣缸中的有效餘隙容積，可以改變汽缸室吸入的氣體量，在BOG從進氣閥進入壓縮腔室之前，殘留在餘隙中的氣體膨脹至進口壓力，當餘隙容積足夠大時，汽缸室最小排氣量可降至零。餘隙調節有固定餘隙容積法和可變餘隙容積法。對於氣動卸載裝置，儀錶氣的進入，餘隙閥保持打開狀態，吸入的氣體被壓縮後不被排出。這樣，若餘隙閥打開，壓縮機氣缸中的有效餘隙容積減少25%(相當於壓縮機的控制容量減少25%)若餘隙閥關閉，則不改變。

BOG壓縮機的流量控制一般通過餘卸載調節法共同實現多階調節的目的，詳圖2-4。

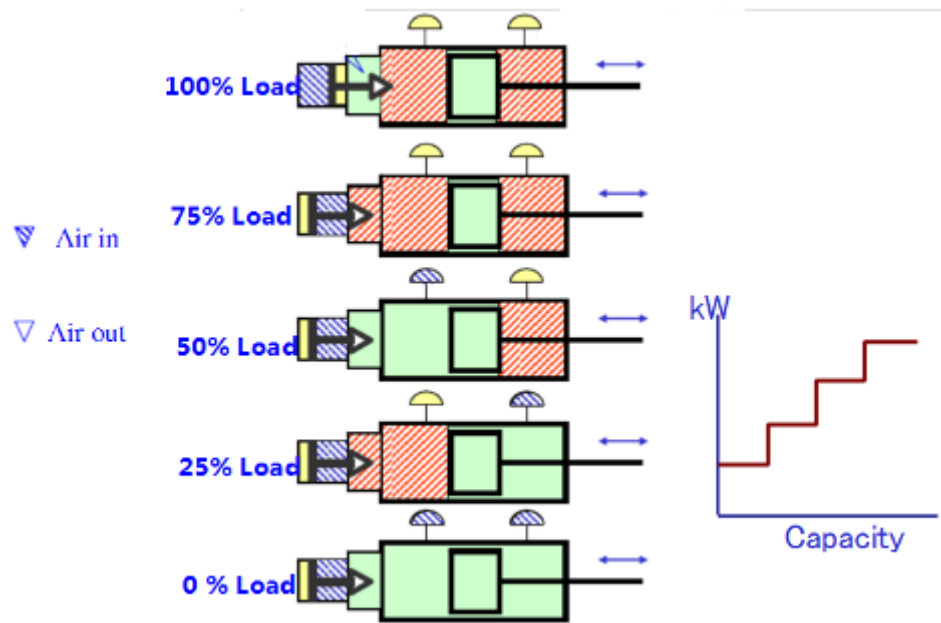


圖2-4

註:

100%負載時，餘隙閥關閉，進氣閥無卸荷;

75%負載時，餘隙閥打開，進氣閥無卸荷;

50%負載時，餘隙閥關閉，雙作用氣缸的一端進氣閥卸載;

25%負載時，餘隙閥打開，雙作用氣缸的一端進氣閥卸載;

0%負載時，餘隙閥關閉，雙作用氣缸的兩端進氣閥均卸載。

(六) BOG 壓縮機的壓力調節及警報設置:

往復式 BOG 壓縮機的排氣閥為自動排氣閥，所以壓縮機的出口壓力通常是由壓縮機的排氣背壓決定的，在一定範圍內，壓縮機可以自動跟蹤背壓的變化，不需人工調節，但需考慮出口的變化對壓縮機的影響。

(1) 出口壓力不變

如進口壓力升高，則總壓比降低，級間壓力重新分佈;一般排氣溫度降低，排氣量有所增加，但須校核新的進口壓力及級間壓力是

否超標;如進口壓力降低，則總壓比升高，級間壓力也重新分佈，一般排氣溫度有所升高，排氣量有所降低。

(2) 進口壓力不變

如出口壓力升高，則總壓比升高，級間壓力重新分佈;一般排氣溫度升高，排氣量有所降低，但須校核新的出口壓力及級間壓力是否超標;如出口壓力降低，則總壓比降低，級間壓力也重新分佈，一般排氣溫度有所降低，排氣量有所升高。

(3) 壓力變化對軸功率的影響。

壓縮比較小的壓縮機，進口壓力降低，軸功率一般會增加，反之軸功率會減小，對於壓縮比較大的壓縮機進口壓力降低，軸功率一般會減小。出口壓力增加，軸功率增加，排氣溫度升高;反之軸功率減小;排氣溫度降低。

(4) 對活塞受力的影響

壓縮機的進排氣壓力的變化，會使活塞負載發生變化;排氣壓力升高，一般會導致活塞受力增加;實際操作中應注意壓縮機的活塞受力不能超過許用值，否則將影響壓縮機的正常操作，甚至發生活塞杆斷裂及機器的損壞。

為了避免 BOG 壓縮機在設備運行時因外力或內在因素產生損害，因此設置報警和連鎖保護控制可確保壓縮機安全正常運行，壓縮機設備報警和連鎖保護包括壓縮機軸承溫度、電機軸承溫度、潤滑油壓力和溫度、空載執行時間等;此外，壓縮機操作報警和連鎖保護包括壓縮機一級進出口氣體壓力、二級出口氣體壓力、一級出口氣溫、二級出口氣溫等。

(七) BOG 壓縮機檢查:

(1) 設備運轉允許位移量

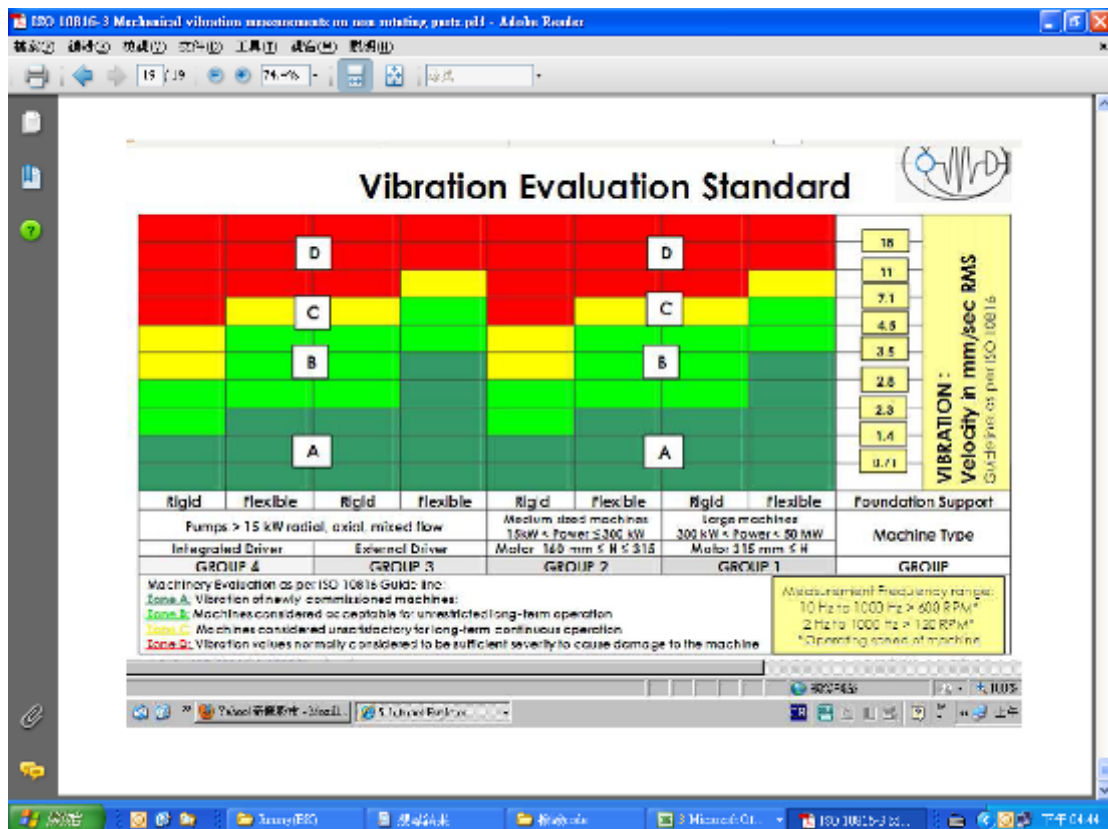
(Allowable displacement at mechanical running test.(以手持式測振器量測measured by portable vibrometer)

	displacement
曲軸箱 crankcase	80 micron
汽缸 cylinder	300 micron

(2) Vibration level during operation

曲軸箱 crankcase : 7 mm/s of pre-alarm, 9 mm/s of alarm, 11 mm/s of trip
 汽缸 cylinder : 13 mm/s of pre-alarm, 15 mm/s of alarm, 18 mm/s of trip (for reference no sensor)

	pre-alarm	alarm	trip
曲軸箱 crankcase	7 mm/s	9 mm/s	11 mm/s
汽缸 cylinder	13 mm/s	15 mm/s	18 mm/s



三、 冷能利用

(一) 前言:

台灣與日本均屬高度依賴進口能源的國家。近期日本福島核電廠

嚴重的核安事件，不但使日本緊急關閉境內多座老舊的核電發電機組，且終止新核電廠的建造計畫。這樣的思維深深影響到國內核四廠正式運轉的時程，以及核一、二、三廠更新機組的可能性。面對目前劇烈的改變，國內環保及廢核團體的反核態度一定會更強硬因此國內的能源政策也必定朝著開發多方綠色能源來源作考量。

此次參訪的大阪瓦斯公司是供應日本關西地區天然氣及相關業務公司，相較本公司最大不同處是除天然氣銷售業務外，另跨足發電廠、氣體銷售、天然氣設備及相關技術服務等領域。此次參訪重點除了儲槽、BOG 壓縮機、開架式氣化器外，另一項就是了解冷能應用情形。

冷能是指將 -162°C 液化天然氣(LNG)汽化成供應客戶端之常溫氣態天然氣所須釋出之能量。操作實務上為使氣化過程能在單相中進行，LNG 藉二級泵加壓到 $80\text{kg}/\text{cm}^2$ 臨界壓力以上再進行氣化。因下游用戶所需壓力遠低於此壓力，故在供應客戶用氣時尚需先調降壓力，降壓所釋放的能量稱之壓能。隨著天然氣發電所佔的比重提高，這些能再利用的能源愈多。上述能源在接收站內為數可觀，如未妥適利用任予拋棄誠屬可惜。

冷能的應用案例很多，常見的有冷能發電、空氣分離、空調冰水系統、低溫倉儲業及二氧化碳的液化與固化處理等。以大阪瓦斯為例，上述項目除低溫倉儲業因評估投資報酬率不高且不易掌握貨源而沒有投資外，其餘項目實際應用均有良好效益。這些成果將在以下的章節依序說明。

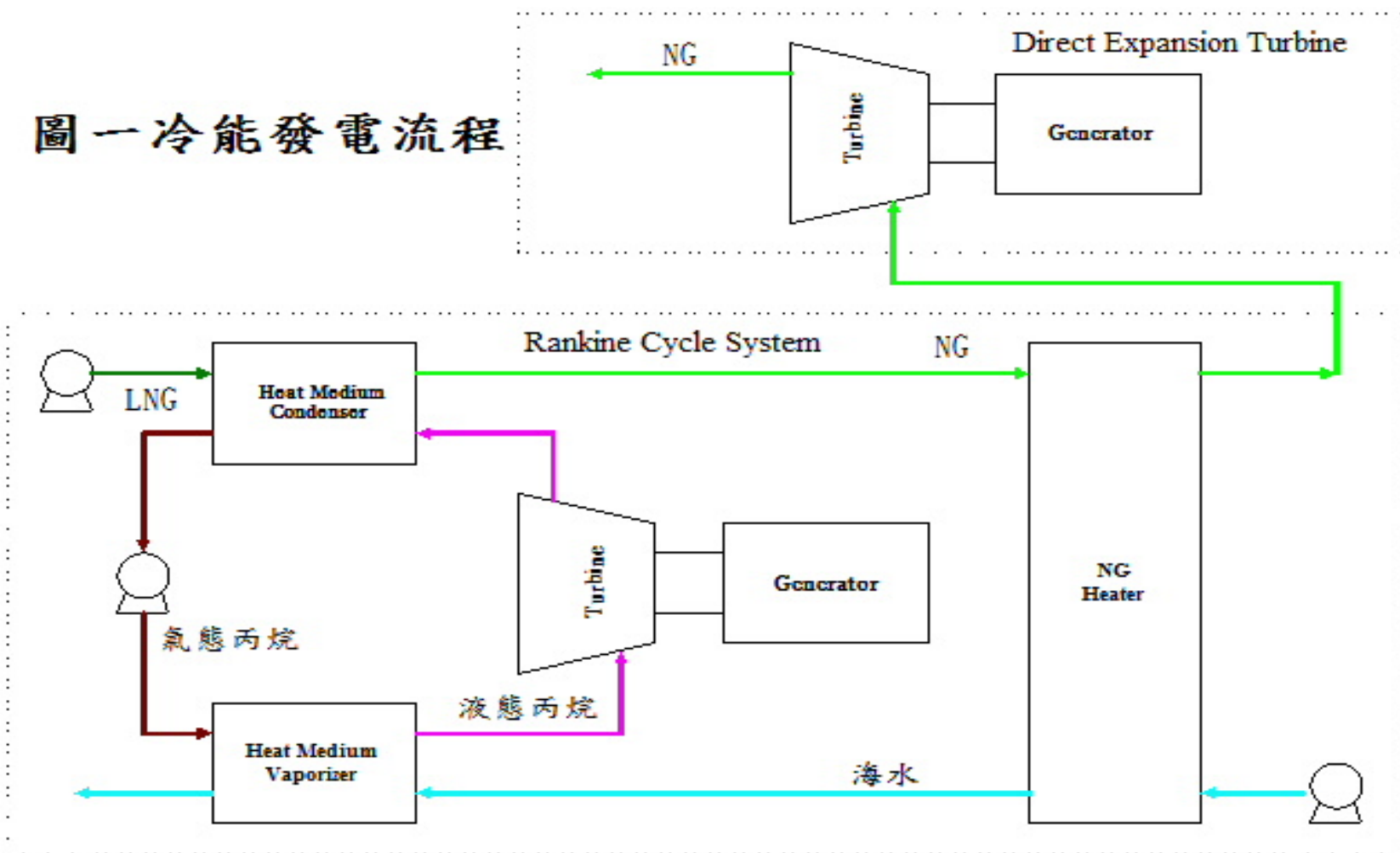
(二) 冷能發電原理說明：

目前商轉中的冷能發電系統的設計流程有利用低溫下媒介流體作功(Organic Rankine Cycle)、直接膨脹的壓力能作功(Direct Expansion)與上述兩種方式合併等三種(圖一)。

Organic Rankine Cycle(有機朗肯循環)基本操作原理是使用丙烷作

為媒介流體，並利用 LNG 氣化過程產生的冷能將氣態的丙烷液化。液態丙烷經泵升壓後以海水為加熱介質而氣化，在上下游 6 kg/cm² 差壓的條件下推動膨脹機並帶動感應式發電機組發電，丙烷作功後減壓成 0.3 kg/cm² 氣體。經與 LNG 換熱後冷凝成液態丙烷完成朗肯循環。

圖一冷能發電流程



接收站二級泵輸出溫度 -150°C 、壓力為 $83\text{kg}/\text{cm}^2$ 的 LNG，經與丙烷氣體完成換熱後氣化為溫度 10°C 、壓力為 $61.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 的 NG。以永安廠為例， $61.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 的 NG 到僅需 $20\text{ kg}/\text{cm}^2$ NG 用戶端，存在約 $40\text{ kg}/\text{cm}^2$ 壓能。高壓 NG 氣體透過膨脹機作功後帶動發電機發電。膨脹機帶動的發電機為感應式發電機，因發電機轉速受到供電系統頻率限制，所以轉速必須維持恆定。膨脹機額定轉速遠高於發電機的轉速，兩者之間設有減速齒輪箱以做為緩衝。

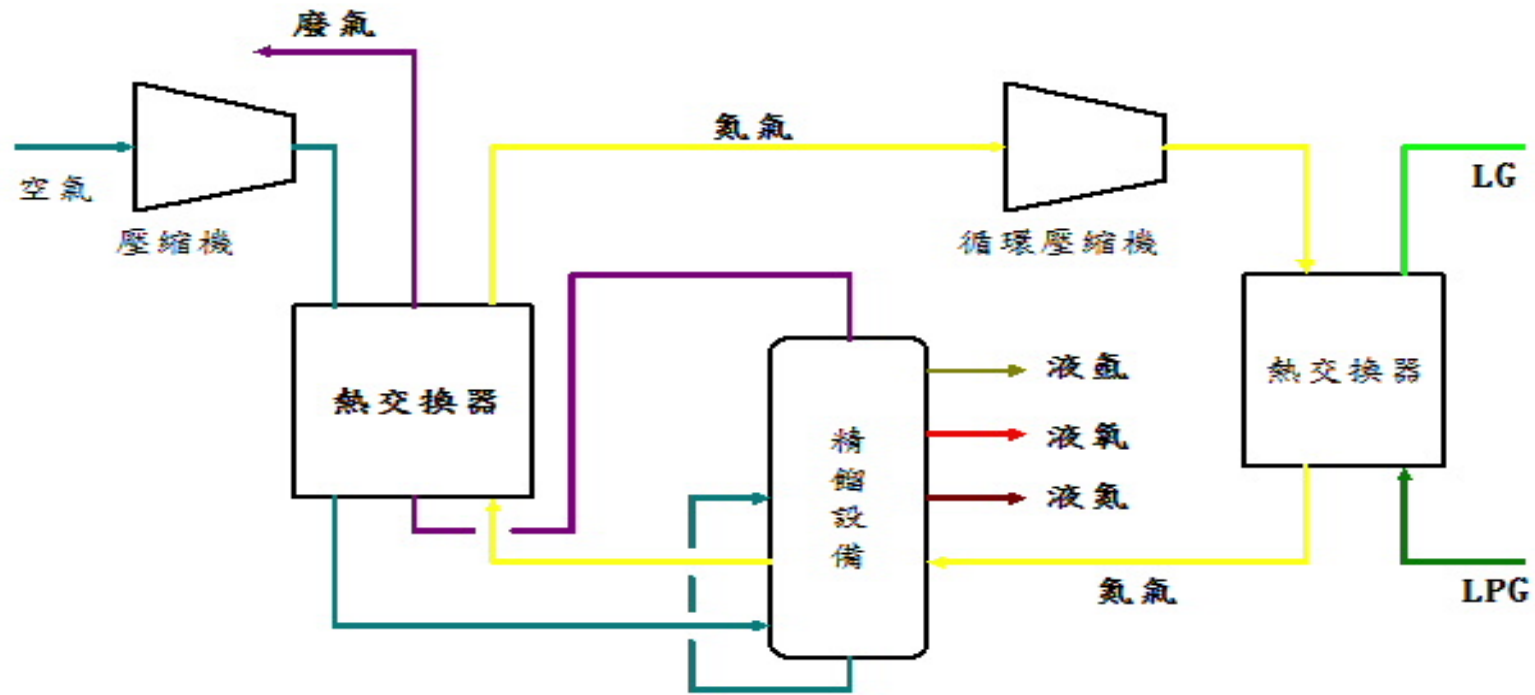
不過由於大潭電廠機組所需的燃氣壓力為 $55\text{kg}/\text{cm}^2$ NG，使得台中廠對於壓能的應用相對受限。

(三) 空氣分離原理說明：

空氣的成份約有 78% 的氮氣、21% 的氧氣以及 1% 的二氧化碳與氬氣。傳統空氣分離工廠蒸餾塔板數、冷凍壓縮設備及耗用能源的成本很高。

反觀引用 LNG 氣化成常溫 NG 所釋放的冷能，可有效減少冷凍壓縮過程能源的耗用，相關流程詳見圖二。LNG 冷能的使用，可大幅降低氮氣循環壓縮機及氮氣、氧氣與氬氣罐裝時能源耗用。

圖二空氣分離流程



(四) 二氧化碳液化與固化原理說明：

為抑制全球氣候暖化現象，京都會議書規定已開發國家必須限制且逐年減少二氧化碳等溫室氣體等的排放量，而二氧化碳捕捉技術也被視為最可行的方法之一。

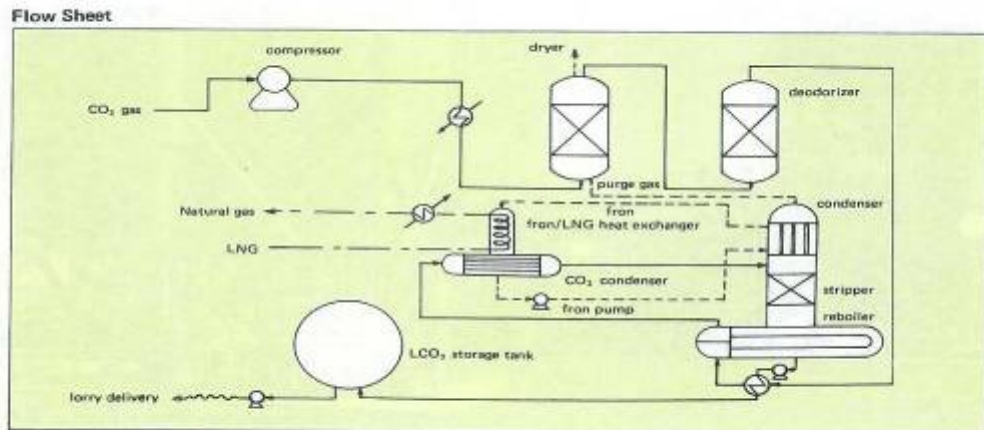
發電廠、煉油廠及石化廠排放煙道氣二氧化碳濃度約 12%，都可以做為進料氣體。但由於處理成本較高，大阪瓦斯公司另選擇鄰近氫氣製程廠二氧化碳濃度高達 90%的廢氣作為。相對上處理效率較高操作成本也較低。

相較於傳統製程，因引進冷能而少了冷凍設備。建造成本可減少 10%，工廠操作時耗電更節省高達 50%。製程的原理很簡單，進料氣體經壓縮機輸送經乾燥器除水及除臭器除硫，再利用 LNG 汽化的冷能將二氧化碳液化後，進入精餾裝置去除 N₂、O₂ 及 H₂ 等雜質(圖三)。

大阪瓦斯公司於泉北的兩座二氧化碳液化工廠大概每天可生產 300 噸純度 99.99%的乾冰，商業化的實際案例很值得我們的借鏡。

(五) 空調冰水系統原理說明：

此套系統原理是利用液態丙烷汽化所釋出之冷能，製造出空調所需的 7°C 冰水。以永安廠為例，經由三通控制閥使部分液態丙烷流至製造機。製冰機的丙烷量由冰水溫度控制，冰水製造量 500ton/hr，製好的冰水則儲存在冰水槽由冰水泵送至廠區各空調設備。



圖三 二氧化碳液化與固化流程

(六) 空調冰水系統說明：

丙烷由液態轉成氣態所釋放出的冷能，經由熱交換器換熱可將 13°C 的溫水冷卻至 7°C 的冰水，冰水製造量由丙烷蒸發量決定，冰水貯存於冰水槽中。

四、 大阪瓦斯 Senboku 第 1 接收站第 5 座天然氣儲存槽

大阪瓦斯公司為因應日本天然氣與日俱增之需求，於拆除該公司 Senboku 第一接收站既有第 1 座及第 3 座儲槽基地原址，興建 1 座 23 萬公秉之液化天然氣儲存槽，興建位置詳見 Senboku 第 1 接收站圖 4-1 中 New No.5 Tank 標示，該計畫於 2012 年開始興建工作，其計畫排程可參考下圖 4-2，預計 2015 年建造完成。



圖 4-1

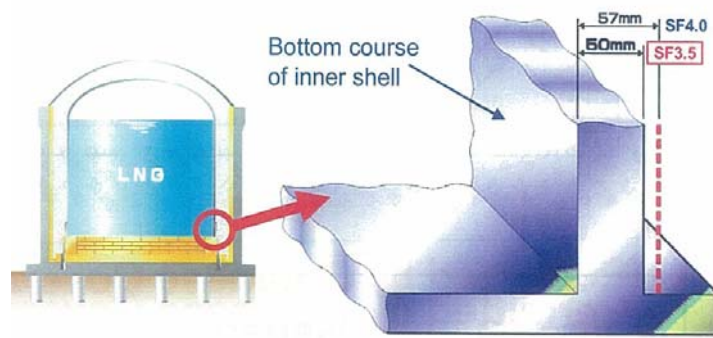
Calendar year	2011	2012	2013	2014	2015
No.1 tank Demolishing	██████████				
No.3 tank Demolishing	██████████				
No.5 tank Construction			██		

圖 4-2

此座 23 萬公秉儲槽具有下列特點:

(一) 目前世界上最大之LNG地上儲存槽

大阪瓦斯解釋，就製造品質 9%Ni 鋼之最大厚度為 50mm，以日本直到 2008 為止的法規 Safety Factor(SF)=4.0 規定下，9%Ni 鋼之 LNG 儲存槽最大容量為 18 萬公秉。在大阪瓦斯積極努力下，Safety Factor 由原定 4.0 調整為 3.5，因此 9%Ni 鋼所能建造最大容量提升至 23 萬公秉。如下圖 4-3 所示，建造 23 萬公秉儲槽壁板與環底板間之鋼板(Bottom Course)厚度在 Safety Factor 為 4.0 時須為 57mm，當放調整至 3.5 時，壁板與環底板間之鋼板厚度則只需 50mm，提升 9%Ni 鋼可建造最大容量。



Required Plate Thickness (9%Ni)

圖 4-3

(二)第一座採用7%Ni鋼作為內槽建造材料之LNG儲存槽

LNG 內槽除壁板與環底板間之鋼板(Bottom Course)部分採用 9%Ni 鋼外，其餘內槽均採用 7%Ni 鋼材料製造。大阪瓦斯說明採用 7%Ni 鋼之理由為近年來 Ni 金屬之價格波動幅度較大，藉由降低 Ni 之含量(由 9%降為 7%)可節省內槽建造成本。在不銹鋼之 Ni 含量減少下，透過 TMCP(Thermal Mechanical Control Process，又稱熱機處理製程)技術的運用，確保 7%Ni 鋼與 9%Ni 鋼具有相同的材料表現。前述 7%Ni 鋼是由大本瓦斯與新日鐵-住友鋼鐵共同研發之鋼鐵材料，透過下圖 4-4 之材料微結構可明顯發現透過 TMCP 技術運用後之鋼材平均 γ Grain Size 較傳統 QT 方式降至 $8\mu\text{m}$ ，使得 7%Ni 鋼能取代 9%Ni 鋼作為 LNG 儲槽內壁材料。

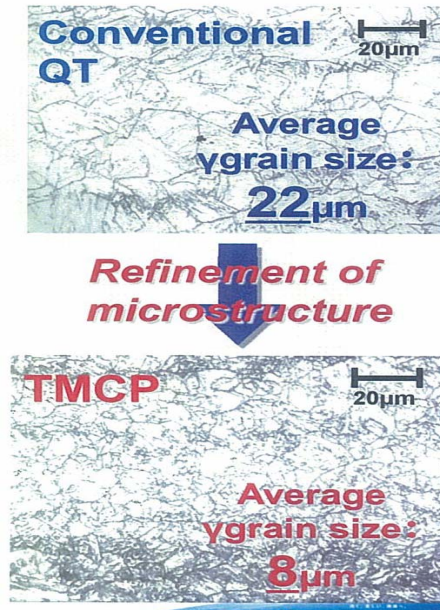


圖 4-4

(三)日本國內第一個採用Slip-Forming工法建造LNG儲存槽混凝土外牆

Slip-forming 已廣泛使用在具高度之建築物建造上，如橋梁、高塔、大壩以及水平之結構物建造上，如道路。然而應用在日本國內 LNG 儲槽外壁建造上卻是首例。大阪瓦斯利用 Slip-Forming 工法，透過 24 小時連續施作(混凝土以每小時 10 公分速度置入)，僅 20 天時間(4/11 開始施做，5/1 完成)就將直徑 90.8 公尺，高 43.6 公尺，0.8 公尺後之預立混凝土外牆建造完成，相關建造圖片可參見下圖 4-5。大阪瓦斯表示透過 Slip-Forming 工法對外牆而言可節省 7 個月的工期，對整體儲槽建造可縮短 2 個月的工期。



圖 4-5

五、 工程檢驗重點

(一) 前言:

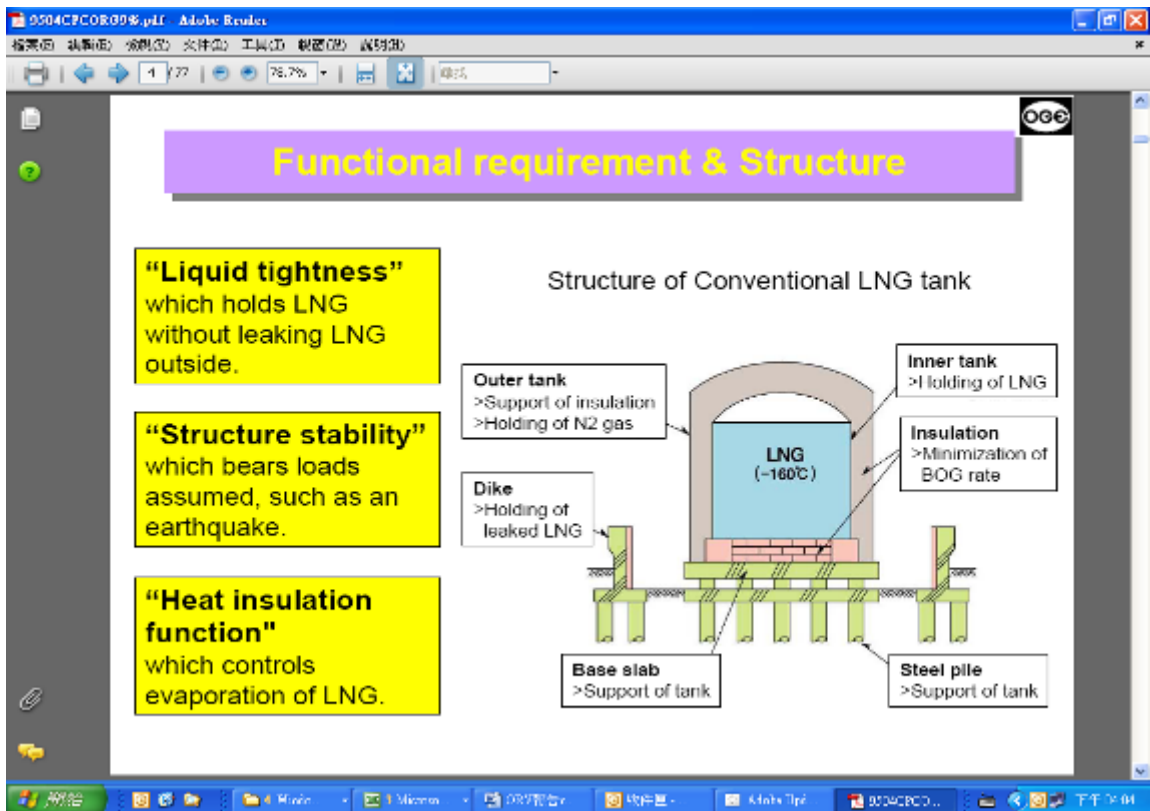
每 1 座 160000 噸儲槽約需 50 噸銲材，銲接工作無疑是建造關鍵項目之一，其電銲品質管理不容小覷。

儲槽材料由 ASTM A553M-TP1 9%鎳鋼板、ASTM A36 Mod2 低溫鋼板及 304 等級低溫不銹鋼材組成，其中主體材料為 ASTM A553M-TP1 9%鎳鋼板，其主要銲材為手銲用之 AWS 5.11 ENiCrFe-9 與打底用之 AWS 5.14 ERNiMo-8，若要確保電銲品質，從材料檢驗、開工前準備(WPS 檢定、銲工檢定、銲接前管理)、施工中銲接管理、施工中銲工管理、施工中 NDT 以至施工後 NDT 務必設定停留點(holding point) 檢查。(應 SET HT 表)

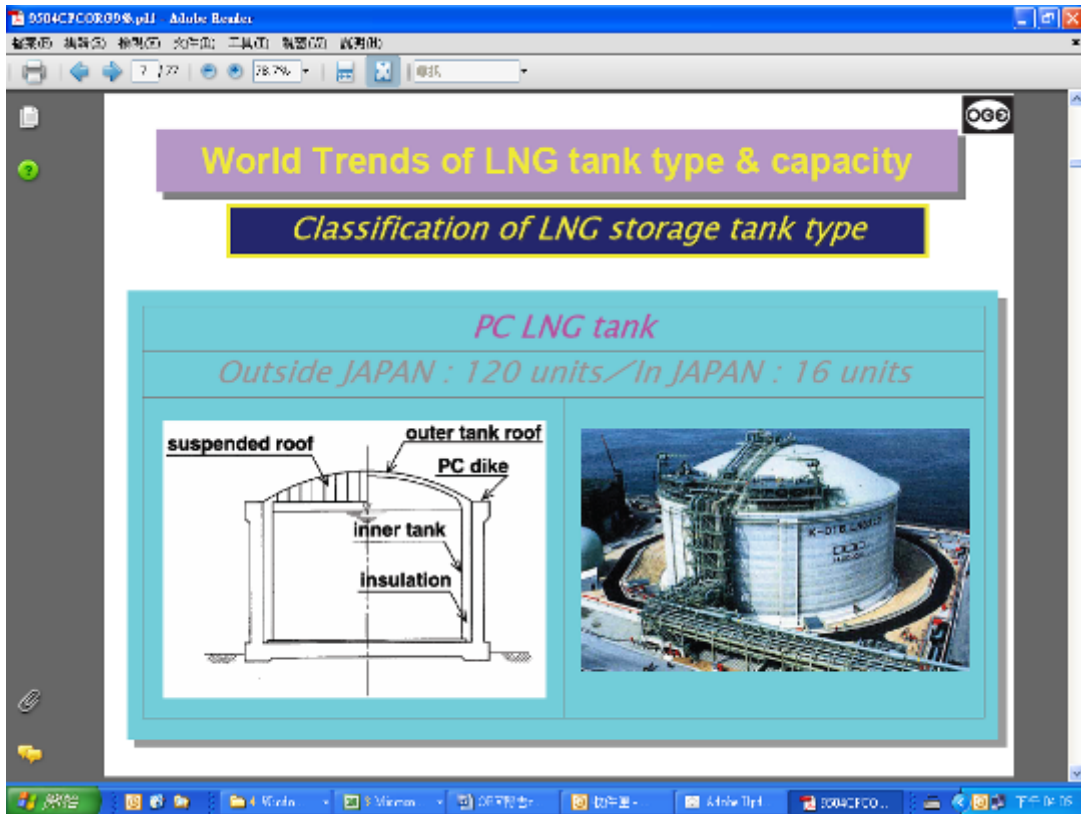
茲就地上式 LNG 儲槽材料檢驗、開工前準備、銲工檢定、銲接前管理、銲接中管理實務、施工後 NDT 檢查、BOG 壓縮機及 ORV 等檢查分敘如下:

(二) 地上式 LNG 儲槽相關示意圖:

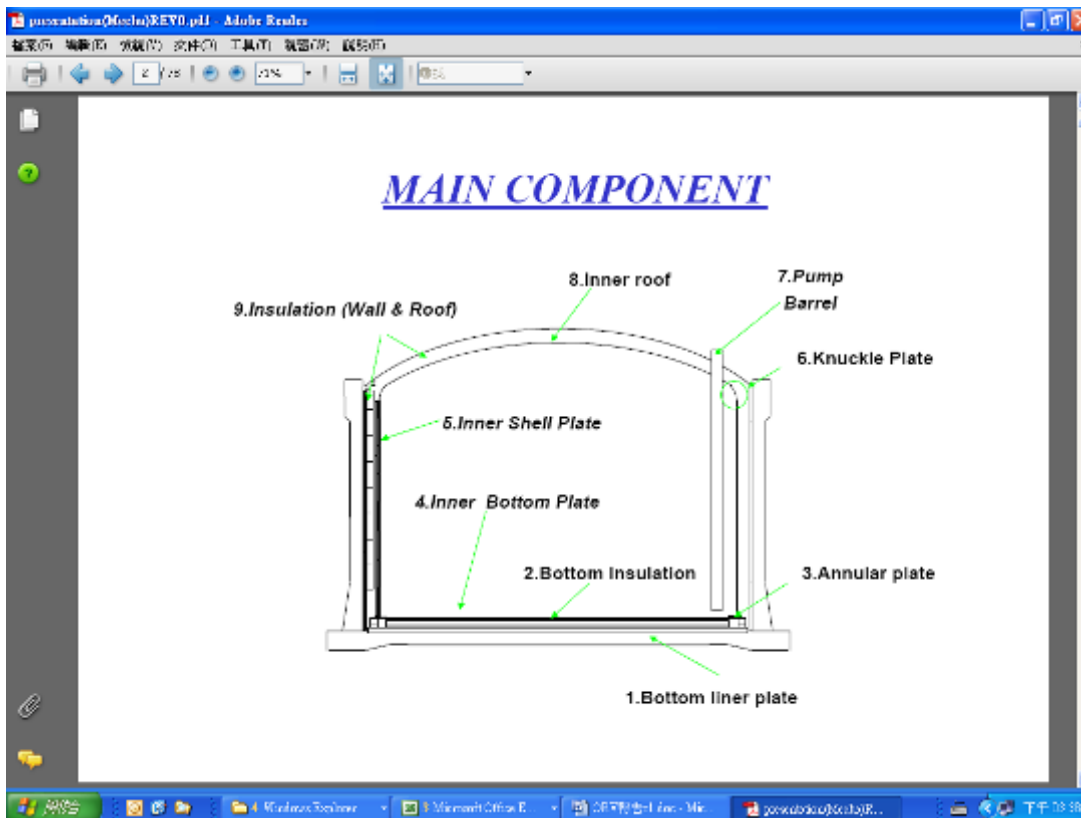
- 整體結構示意圖



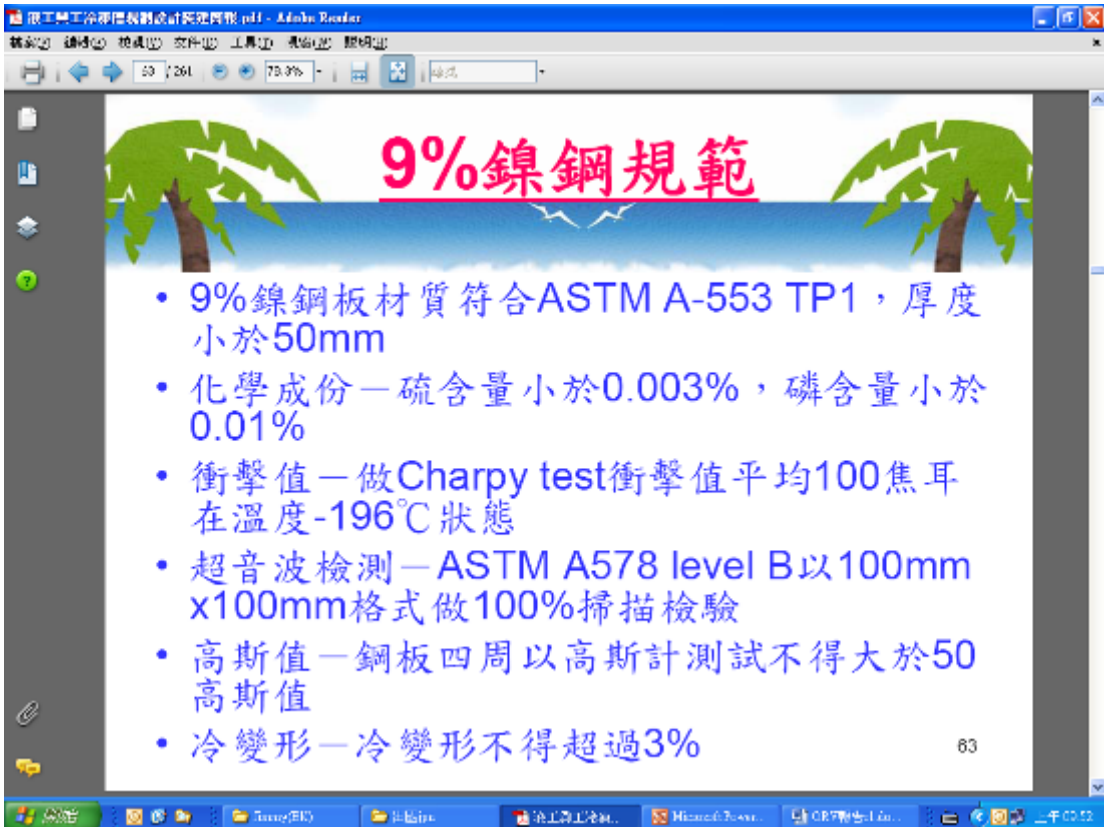
- 實體完成圖



- 主要構建圖



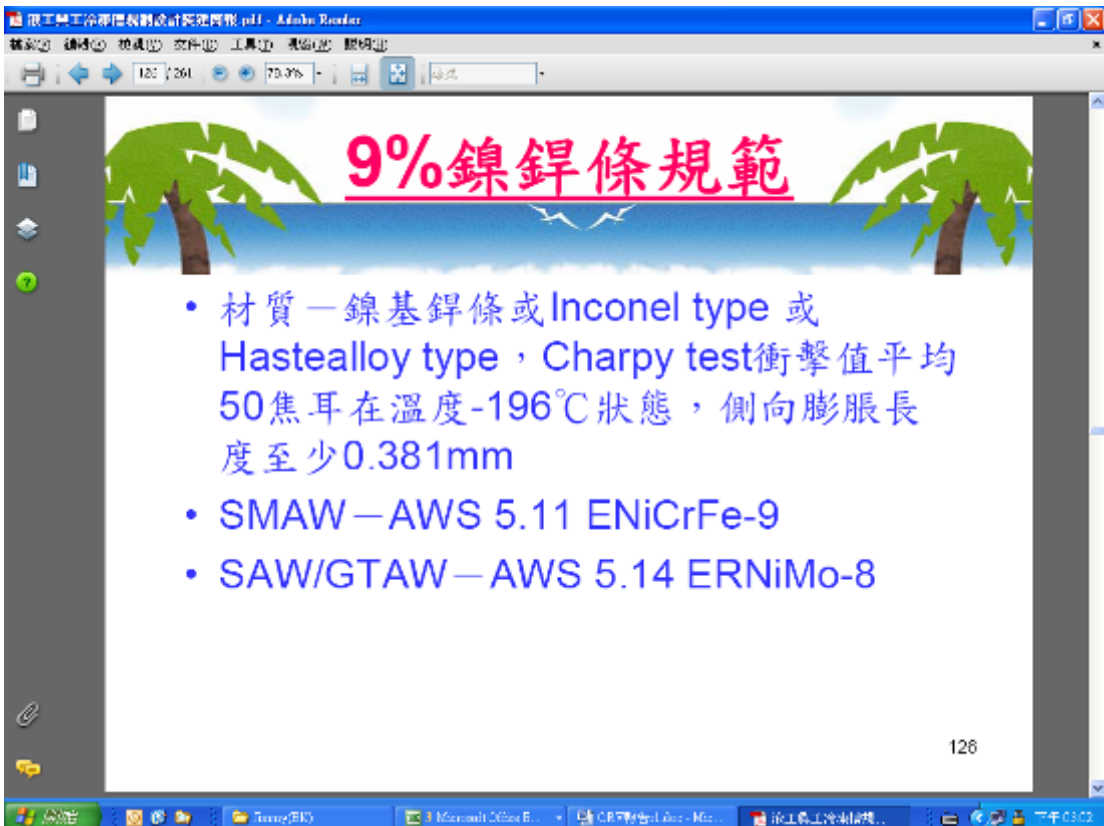
(三) 地上式 LNG 儲槽【材料檢驗】：9%鎳鋼板及鎳鉚條應納為檢查重點。



9%鎳鋼規範

- 9%鎳鋼板材質符合ASTM A-553 TP1，厚度小於50mm
- 化學成份—硫含量小於0.003%，磷含量小於0.01%
- 衝擊值—做Charpy test衝擊值平均100焦耳在溫度-196°C狀態
- 超音波檢測—ASTM A578 level B以100mm x100mm格式做100%掃描檢驗
- 高斯值—鋼板四周以高斯計測試不得大於50高斯值
- 冷變形—冷變形不得超過3%

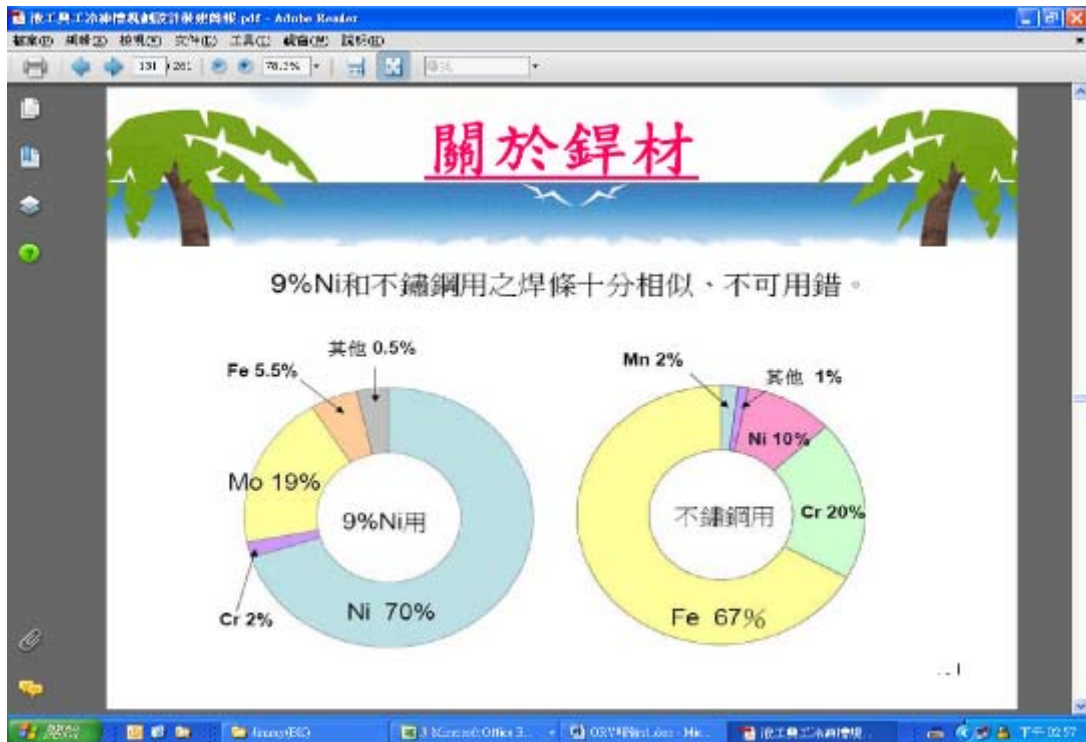
63



9%鎳鉚條規範

- 材質—鎳基鉚條或Inconel type 或 Hastelloy type，Charpy test衝擊值平均50焦耳在溫度-196°C狀態，側向膨脹長度至少0.381mm
- SMAW—AWS 5.11 ENiCrFe-9
- SAW/GTAW—AWS 5.14 ERNiMo-8

126



依據上表資料，歸納關鍵檢查項目如下：

檢查項目	內容	取樣	測點	標準	檢測方法
1.鋁條辨識	Ni 含量	同型每批	熔金	65±2%	PMI(or PAMI)
	衝擊值	同型每批	熔金	50J@-196°C	Charpy test
2.9%鎳鋼辨識	Ni 含量	同爐鋼板	抽樣	9±2%	PMI(or PAMI)
	殘磁	所有鋼板	鋼板四周	50 高斯	高斯計
	衝擊值	同爐鋼板	同爐鋼板	100J@-196°C	Charpy test

(四) 地上式 LNG 儲槽【開工前準備】 (Preparation Work before Starting):

WPS/PQR製作 (Preparation of WPSs/PQRs)

鋁工資格檢定(WQR)(Welders Qualification)

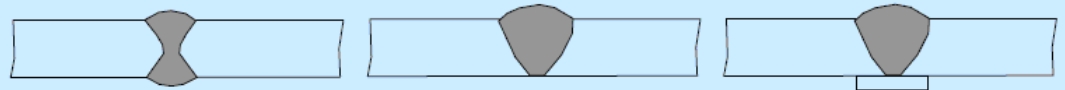
施工程序書編寫與訓練(Preparation and Training of Working Procedures)

(1) WPS/PQR製作 (Preparation of WPSs/PQRs)

應依鋁接型式完成 WPS/PQR 檢定 (Preparation of WPSs/PQRs): 包括鋁接試驗(Welding Test)、WPS/PQR 登錄表(WPS List)

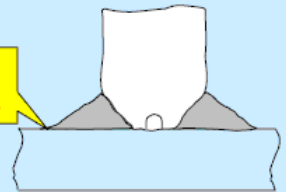
內槽普遍採用對銲，其中 shell 與 annular 採用 T-joint 銲接(如以下示意圖)，且每一層銲道都要作 PT。

(1) Butt weld joint that has high reliability is adopted for inner tank pressure parts



(2) Shell course to annular plate welded joint
T-joint : Liquid penetration examination at each layer after welded metal has been deposited.

R15 for Fatigue countermeasures



各部位詳細銲接型式如下表：

<p>ROOF</p>		
<p>KNUCKLE</p>		
<p>SHELL</p>		
<p>ANNULAR</p>		
<p>BOTTOM</p>		

歸納 WPS 主要有：

A533M Type1(9%Ni) to A533M Type1(9%Ni) with SMAW

A533M Type1(9%Ni) to A533M Type1(9%Ni) with SAW

(2) 銲工檢定

銲工資格檢定(WQR)

(Welders/Welding Operators Qualification)：

實作考試(Welders Qualification Test)、試片檢驗、合格銲工登錄表(Qualified

Welder List)

銲工應有以下認定資格資格

電銲工認定資格	銲接技能	銲接母材	備註
P11A-/F43/2,3,4G	SMAW	A533M TP1to A533M TP1	手銲
P11A-/F43/2,3,4G	SMAW+背板	A533M TP1to A533M TP1	手銲(須背鏟)
P11A-/F44/2G	SAW+背板	A533M TP1to A533M TP1	自動銲(須背鏟)
P11A-/F44/2,3,4,5,6G	GTAW	A533M TP1to A533M TP1	氬銲

說明：潛弧自動橫銲(SAW)施銲要領

管制事項：銲前準備(包括治具製作)、人員操作訓練以及銲層堆積技巧等。

Control Items: Preparation before Welding (Required Jigs on preparing, Operators Training (10 already passed Qualification Test) and Layer sequencing technique etc.

(五) 地上式 LNG 儲槽【銲接前管理】：

銲接工程師應先完成下列工作程序與規定：

- (1) LNG Storage Tank施工程序
- (2) Welders/Welding Operators Qualification 管理程序
- (3) 缺失修理程序
- (4) 9% Ni鎳鋼銲接規定事項
- (5) 電銲工資格識別規定
- (6) 銲接前銲件組立規定
- (7) 銲接前檢查程序
- (8) 銲接中檢查程序
- (9) 銲接後檢查程序

(10) NDE規定

(11) Horizontal SAW 訓練程序

(六) 地上式 LNG 儲槽【銲接中管理實務】：

銲接施工流程管制(Items to be controlled on Welding)

(1) 銲工管制事項：

甲、查證銲工對 9%鎳鋼顏色識別是否清楚

乙、彙製銲工資格登錄表(Qualified Welders List)，查驗銲工資格。

丙、RT 不良率管制(RT repair rate control)，銲工 RT 不良率目標控制在 5%以內合格，5~10%列為觀察對象，10%以上取消資格

(2) 銲接前銲件組立檢查(Weld Assembly/Plates/Parts Fit-up)

管制事項：鐵工點銲銲長、點銲工資格、母材傷痕等

(3) 銲前檢查 (Inspection before Welding)

管制事項：組裝精度、銲前清潔、銲工裝備
(手提乾燥筒/鋼絲刷/敲渣錘/銲材確認)

4.9%鎳鋼銲接特性與注意事項：

要防止過熱及偏磁

Since **toughness** and **strength** of 9% nickel steel is improved by **heat treatment** in manufacturing stage, **excessive heat input** by welding process causes decline of quality of 9%Ni steel.
> **Welding heat input shall be restricted strictly.**

Since 9%Ni steel is **easy to be magnetized**, **magnetic arc blow** often occurs at T junction between vertical weld joint and circumferential weld joint.

為維持品質，電流、電壓、銲接速度、層溫等 WPS 規定都應隨時查對。

In order to satisfy welding quality and design dimension, following items shall be checked.

- > Management of **welding conditions**, especially management of **heat input**(= current x voltage / speed)
- > Keep interpass temperature.
- > Keep **welding sequence**. In addition, confirm countermeasures against **welding distortion**.
- > Manage dimension at assembly stage.
 - >> Circumferential length of shell course shall be confirmed before welding, and be prepared for welding shrinkage.
- > Take care not to reduce plate thickness of base metal area.
 - >> The part where welding jig is removed.
 - >> Overlaying repair welding part.
 - >> Near the seams of multilayer welding joint.

9%鎳鋼板與鎳基銲條因成分不同、熔點不同，銲接作業之入熱量控制、防止 crater(凹陷)cracks 及熟練銲接技術是成敗關鍵。

● Components of 9%Ni steel and welding rod are different. (Transition joint) So welding of 9%Ni steel is difficult.



(1) Prevention to decrease the weld metal strength by the **dilution**.

- Administration of heat input (current, voltage, velocity)

>> Heat input and administration methods are described by WPS and procedure.

Max 45kJ/cm
(SAW 35kJ/cm)

(2) Prevention and removal of **crater cracking** of the weld metal

- The melting points of 9%Ni steel and welding rod are different, so the crater cracking occurs easily.

>> Treatment of crater is described by procedure.



API620 7.15.5.2.a
No crater cracks

(3) Difficulty of **welding operation**

- The melting points of welding rod is 100 degrees lower than that of 9%Ni steel. So the welder's capability is important.

>> Qualification test of welders is executed.

提高銲接品質有下列 3 點防治對策：

- (1) 為防止dilution(稀釋效應)，務必檢定WPS、控制入熱量 $\leq 45\text{kJ/cm}$ ，電銲作業務必遵照WPS/PQR之電壓、電流(線徑4mm最大容許電流145A)、銲接速度、層間溫度檢查等條件，可參照下2表調整。

Table 5 Maximum heat input for inner Tank (Unit: kJ/mm)				
	Flat	Horizontal	Vertical	Over Head
SMAW (AWS A5.11)	4.5	3.5	4.5	4.5
SMAW (AWS A5.11)				
SAW(AWS A5.14)	-----		-----	-----
GTAW (A5.14)	4.5		4.5	4.5

Heat input of each pass shall be calculated with following formula.

$$H = 60 \times E \times I / v$$

H : Heat Input (J/mm)
E : Welding Current (Amp)
I : Voltage (V)
v : Traveling Speed (mm/min)

9%鎳鋼銲接施工管制事項

- 銲前清潔、除銹、必要時需烘烤去除水氣
- 銲後收尾與接頭研磨；並需依施工規範做銲中 PT 檢查
- 入熱量控管：入熱量計算式 = $\frac{A(\text{電流}) \times V(\text{電壓}) \times 60}{\text{銲接速度}(\text{mm/min.})}$
 - 銲姿 - F、V、OH：4.5 KJ/mm
 - 銲姿 - H：3.5 KJ/mm
 - 4[#]手銲條：電流 ≤ 145A 且最短可接受銲道(珠)長度必須 ≥ 6cm(目標 ≥ 8cm)
 - 5[#]手銲條：電流 ≤ 180A 且最短可接受銲道(珠)長度必須 ≥ 7cm(目標 ≥ 9cm)

- (2) 為防止凹陷裂痕(crater)，應落實層間 VT&PT 檢查、去除瑕疵。
- (3) 電銲工應重新檢定，確認合用。

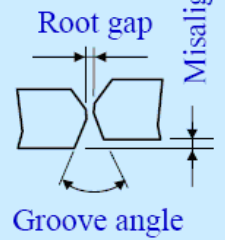
其他應注意事項：

銲口間隙(root gap)、開槽角度、避免加工磁化、環境溼度、防風沙及銲條保存條件。

(1) Environmental administration

- Rain, Wind, Snow : No influence because of completion of outer tank
- **Humidity** : Checking item

>> Administration method is described by procedure.



(2) **Groove inspection**

- Groove angle, Misalignment, Root gap

>> Inspection method is described by procedure.

Humidity \leq 90%

(3) Keeping of welding rod in site - **Moisture** is not put into.

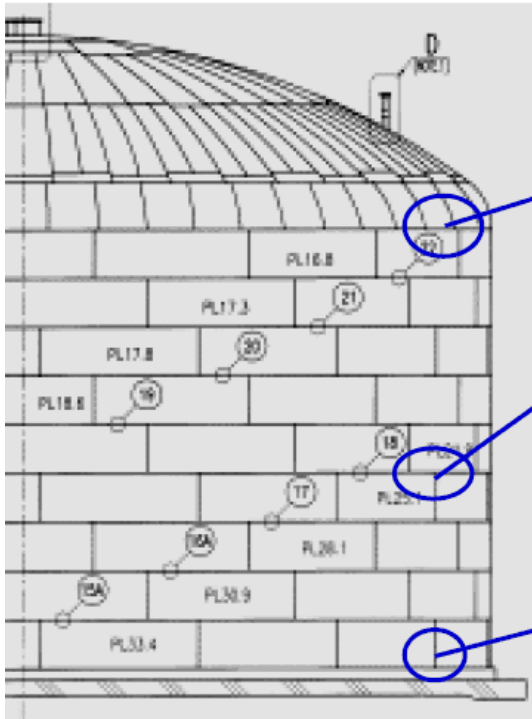
>> Keeping method is described by procedure.

Temperature \geq 20°C
Humidity \leq 40%

彙整重要檢查項目如下表：

時機	檢查項目	規範之檢查標準
銲接前	環境溼度 humidity	≤90%
	銲條溫度	≥20°C
	銲條溼度 humidity	≤90%
	銲工資格確認	銲工編號
	母材規格確認	ASTM 編號
	銲條規格確認	AWS 編號
	保溫筒確認	50°C~100°C (TIG 不需要)
	銲道表面清潔	無生鏽及油污
	對接間隙	0~10mm(*應依照詳細銲道圖填寫)
	對接角度	50~80°±5°(*應依照詳細銲道圖填寫)
	misalignment	
	預熱溫度	≥10°C
	氬器純度	99.99%
銲接中	層間溫度	<150°C
	銲接電流	<input type="checkbox"/> 4mm φ , 145Amp <input type="checkbox"/> 5mm φ , 180Amp
	銲接電壓	<input type="checkbox"/>
	銲接速度	<input type="checkbox"/> (*應依照詳細銲道圖填寫)
	背鏟後 PT	合格
	層間 PT	合格
銲後 VT 檢查	銲冠檢查	1.6mm Max
	銲淚(搭疊)	無
	勾邊(下陷)	無
	修磨處理	完好

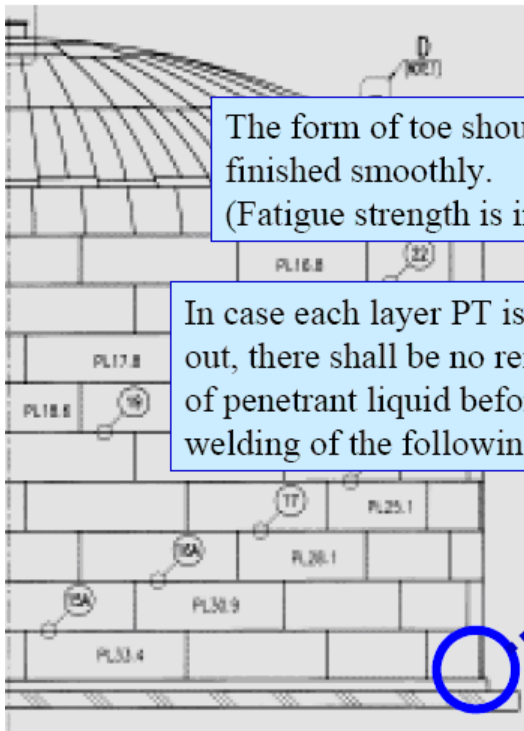
應特別注意之銲接處:



Knuckle-to-shell plate joint
 > Groove fitting of shell-to-knuckle joint is difficult, because it is carried out after inner roof lift-down.

T junction
 > Magnetic arc blow often occurs at T junction between vertical weld joint and circumferential weld joint.

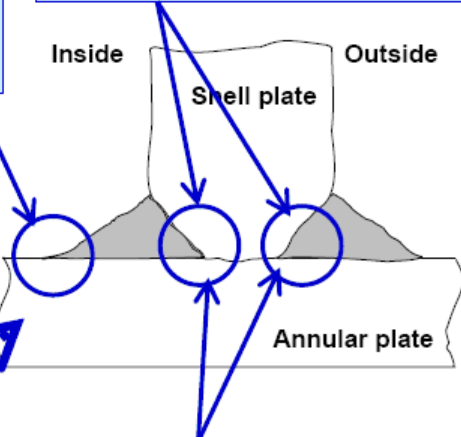
Vertical joint of 1st course of shell plate
 > Welding from the lowest end to a height of about 300mm is difficult.



The form of toe should be finished smoothly.
 (Fatigue strength is influenced.)

In case each layer PT is carried out, there shall be no remnants of penetrant liquid before welding of the following layer.

Welding position is not good.
 Note : Especially applied to internal side.



Difficult to confirm welding groove.
 Note : Especially, applied to internal side.

(七) 地上式 LNG 儲槽【施工後 NDT 檢查】：

管制事項：VBT、PT 及 RT 以控管銲工施銲不良率

9% Ni 鋼槽體壓力件及超低溫(-162°C)管線壓力件，放射線檢查 100%

VBT for Tell Tale Hole(for LNG Tank)，測試壓力 3.1kg/cm²(min)，10 sec min

壓力測試持壓時間至少 1 小時，洩漏測試持壓時間至少 10 分

(1) **Visual inspection**

- Bead form

>> Inspection method is described by procedure.

(2) Non destructive inspection of butt weld

- Full **liquid Penetration Examination**

- First layer, back gouging parts, last layer

- Full **radiograph examination** (in case without backing strip)

(3) Non destructive inspection of T-joint between shell course and annular plate

- **Liquid penetration examination** at each layer of welded metal

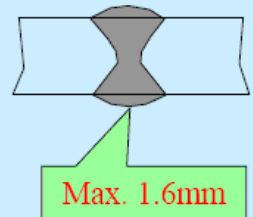
- As taking the place of radiograph examination

(4) **Solution Film Testing**

- The inner tank bottom plate

- Shell course to annular plate

(5) **Gas Tightness Test**



PT : Liquid penetrant testing

> PT is applied to 1st (or 2nd) layer, Back-chipping part, and Final layer of the weld joint.

> In addition, PT is applied every layer of shell-to-annular joint.

>> In case each layer PT is carried out, there shall be no remnants of penetrant liquid before welding of the following layer.

> It is better in SMAW and SAW, to finish up the surface of welding bead so that the quality of PT may not deteriorate.

RT : Radiographic testing

- > Since RT for 9%Ni steel is very difficult, the inspection process and inspection conditions should be confirmed in advance.
- > Especially, confirm the inspection process for the tapered part and the part where plate thickness became change.
- > Since RT film for 9%Ni weld joint is very difficult to judge, inspector shall practice checking film.
- > It is better in SMAW and SAW, to finish up the surface of welding bead so that the quality of RT may not deteriorate.

Inner Tank 100%檢查項目彙整表

	底板	環板	環板與壁板	壁板	膝板	內槽頂板
1.材料確認	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.PMI(or PAMI)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.目視檢查	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4.PT (in process)	✓ 2 nd layer or 2 beads	✓ 1 st layer	✓ Each layer	✓ 1 st layer , 背鏟後	✓ 1 st layer , 背鏟後	✓ 2 nd layer or 2 beads
5.PT(after completion)	✓ Before&after HT	✓ Before&after HT	✓ Before&after HT	✓ Final layer/both side	✓ Final layer/both side	✓ Final layer
6.AirT	--	--	✓	--	--	--
7.VBT(SFT)	--	--	✓ Before&after HT	--	--	--
8.RT	--	✓	--	✓	✓	✓ (top crown)
9.尺寸檢查	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(此份報告資料部分引述來源為 KOBELCO ; OSAKA GAS ENGINEERING CO.等公司會議簡報及面交之參考資料。)