



泰國 Nong Fab 液化天然氣接收站 統包工程專案

中鼎工程股份有限公司專案經理 / 趙汝康
中鼎工程股份有限公司專案工程師 / 葉佳典

關鍵字：液化天然氣（LNG）接收站、低溫儲槽、氣化設施、冷能利用

摘要

「Nong Fab液化天然氣接收站」係為泰國能源龍頭PTT集團旗下PTTLNG Company Limited（PTTLNG）投資建造的第二座液化天然氣接收站工程，工作內容包括近6公里長棧橋卸收碼頭設施、兩座250,000立方公尺液化天然氣儲槽、年供應750萬噸LNG的氣化設施及智能化行政大樓建築等。本案於2018年簽約，由CTCI中鼎集團與歐洲統包商SAIPEM聯合承攬設計、採購、建造及試車工作，預計2022年完成試車商轉，屆時每年將可提供750萬噸的液化天然氣處理量，穩定泰國的能源供應。

一、前言

隨著世界致力於減少碳排放和減緩全球暖

化，亞洲國家已經對減少碳做出了回應，並朝著淨零排放邁進。以液化天然氣發電取代傳統燃煤發電，是許多國家積極推動能源轉型的重要政策，不論公部門或私人企業紛紛投資液化天然氣接收站的興建，以滿足日益成長的供氣需求。根據國際能源總署（IEA）的資料，全球擁有液化天然氣接收站的國家從2000年的9個增加至2020年的42個[1]，其中增加的部份主要集中在亞洲各國，包含日本、中國、南韓、印度、臺灣及泰國等。越南，印尼、菲律賓和孟加拉等其他國家也致力於實現LNG接收站的發展計劃。亞洲地區主要LNG接收站氣化能力及年總氣化量如圖1所示[2]。

泰國於2019年進口LNG約5百萬噸，主要來自於卡達、馬來西亞、澳洲等國家。根據泰國能源部2018-2037電力發展計畫（Power Development Plan, PDP），預計在2037年

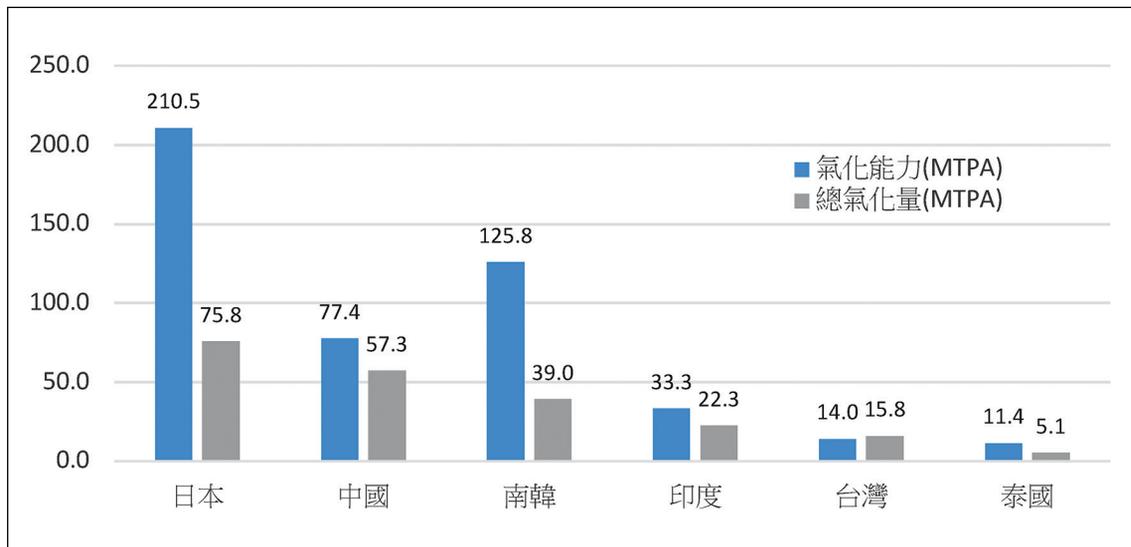


圖 1 2019 年亞洲地區主要 LNG 接收站氣化能力及年總氣化量（本報告整理）

以前將天然氣進口量提升至30 MTPA，並成為東協國家LNG的交易中心[3]。為了有效提升市場競爭力，泰國能源監管委員會（Energy Regulatory Commission, ERC）自2019年起陸續開放更多國營/私營企業進口LNG，目前已獲得運輸許可（shipping license）的企業包括：(1) PTT Pcl., (2) Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), (3) Gulf Energy Development (Gulf), (4) Hin Kong Power Holding Limited, (5) B.Grimm Power，其他業者包含 Electricity Generating (Egco) Group, Siam Gas & Petrochemical (SGP), PTT Global LNG Pcl. (PTTGL) 及 Global Power Synergy Pcl. (GPSC) 也已提出申請並等待審核中 [4]，許可證核發年份及許可進口量詳見

表1。

泰國能源龍頭PTT集團希望成為全球液化天然氣投資組合的參與者並建立液化天然氣價值鏈，由集團子公司PTT Exploration and Production Plc. (PTTEP) 負責開採及收購優質資產，其他集團子公司如PTTLNG Co., Ltd. (PTTLNG) 負責興建及營運LNG進口接收站、PTT Natural Gas Distribution Co., Ltd. (PTTNGD) 負責燃氣輸送管線至產業終端用戶。此外，為了實現泰國成為「區域性液化天然氣交易中心（regional LNG hub）」的目標，PTT集團已於2017年成立PTT Global LNG Pcl. (PTTGL)，待泰國能源監管委員會（ERC）核發新的LNG運輸許可（shipping license）後，負責LNG進口及銷售[5]。



表 1 泰國取得 LNG 進口許可證企業及最大進口量 (本報告整理)

企業名稱	許可證核發年份	許可進口量 (TPA)
PTT Pcl.	2011	11,400,000
Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)	2019	1,500,000
B. Grimm Power	2020	650,000
Gulf Energy Development (Gulf)	2020	300,000
Hin Kong Power Holding Ltd.	2020	1,400,000
Electricity Generating (Egco) Group	(申請中)	250,000
Siam Gas & Petrochemical (SGP)	(申請中)	(待定)
PTT Global LNG Pcl. (PTTGL)	(申請中)	(待定)
Global Power Synergy Pcl. (GPSC)	(申請中)	(待定)

二、泰國 Nong Fab 液化天然氣接收站概述

「Nong Fab 液化天然氣接收站」位於泰國羅勇省 (Rayong)，距離 Map Ta Phut 工業區大約五公里，總占陸地面積超過 30 公頃，是泰國第二座液化天然氣接收站。第一期工程包括興建兩座 250,000 立方公尺液化天然氣儲槽、年供應 750 萬噸的氣化設施、近 6 公里長棧橋卸收碼頭設施，以及生態友善的智能化行政大樓等。

液化天然氣接收站的作業程序可分為四個主要階段：(1) 用液化天然氣運輸船進口國外 LNG，靠泊於卸料碼頭；(2) 用船艙內 LNG 泵透過 LNG 卸料臂將液化天然氣輸送至兩座 250,000 立方公尺架高式地上 LNG 儲槽儲存；(3) 液化天然氣再氣化，將全廠 Boil Off Gas (BOG) 回收後經由 BOG 壓縮機先送至再冷凝器 (Re-condenser)，並與來自 LNG 儲槽內低壓輸出泵輸送的 LNG 進行熱交換，將 BOG

回收氣體冷凝為液體，再與儲槽輸出 LNG 混和後，利用高壓輸出泵輸送至 ORV 氣化器 (Open Rack Vaporizers)，利用海水澆淋進行熱交換，使 LNG 升溫氣化；(4) 氣化後的天然氣經過計量站，再利用陸上管線輸送至燃氣管網。

本案自 2018 年開始執行設計、採購、建造及試車工作，預計 2022 年完成試車商轉，屆時每年將可提供 750 萬噸的液化天然氣處理量，穩定泰國的能源供應。第二期的擴建工作依市場需求，可再擴建 750 萬噸 LNG 的氣化設施以及兩座 250,000 立方公尺液化天然氣儲槽。

三、海事工程設施簡介

(一) 卸收碼頭及棧橋

液化天然氣接收站卸收碼頭是從陸上岸邊向水上投射棧道的建築。它通常由樁、棧

橋、管道、通道，卸料/回料臂以及靠泊船設施（breasting/mooring dolphins）組成。基於經濟性及消防安全考量，液化天然氣接收站碼頭一般採用繫靠船台式碼頭結構，利用棧橋通道與後線土地岸邊連接。棧橋的長度會根據當地條件，例如港區規劃、海床深度、環保要求等，可能從幾十米到幾公里不等。

LNG船型與LNG接收站裝卸、儲存、整體營運及碼頭繫靠設施之規劃息息相關，故LNG接收站初期可行性研究階段，即應對LNG供氣市場上既有船型及各國大造船廠計畫生產船型進行調查，表2為常見LNG運輸船型及規格。LNG碼頭則應符合各種可能採用船型之繫靠及卸料需求，以利接收站之長期營運[6]。

「Nong Fab液化天然氣接收站」的船席及卸料臂設計可提供目前市場上大型的液化天然氣載運船停靠，船型包括Prismatic LNG carrier（170,000立方公尺），以及Q-Max

LNG carrier（Max代表能停靠在卡達液化天然氣出口碼頭的最大尺寸），其規格為：345公尺長，53.8公尺寬，34.7公尺高，吃水深度大約為12公尺，液化天然氣的裝載容量為266,000立方公尺（大約為161,994,000立方公尺的天然氣），Q-Max最大的特點是船上配備了再液化系統（Re-liquefaction system），能夠將蒸發氣（BOG）液化後再重新回收到儲存槽中。總體而言，Q-Max比傳統液化天然氣運輸船的能源需求和碳排放量估計都要少40%以上，它是世界上最大的液化天然氣運輸船，比傳統的運輸船運量平均要大上2倍（第一艘Q-Max運輸船Mozah於2008年下水服役，液化天然氣的裝載量為266,000立方公尺，是第一艘商用液化天然氣運輸船甲烷公主號Methane Princess的9.7倍）[8]。

基於泰國灣（Gulf of Thailand）的海岸地形及海床深度，本案在海事工程的部分配合LNG運輸船船型需求，將棧橋（trestle）及碼頭（jetty）往外延伸近6公里（如圖2）。配

表 2 常見 LNG 船型 [7]

LNG 運輸船等級 (classes)	尺寸 (m)	運輸量 (m ³)
Small	B: up to 40 L: up to 250	Up to 90,000
Small Conventional	B: 41-49 L: 270-298	120,000 – 149,999
Large Conventional	B: 43-46 L: 285-295	150,000 – 180,000
Q-Flex	B: approx. 50 L: approx. 315	200,000 – 220,000
Q-Max	B: 53-55 L: approx. 345	More than 260,000

註：B 為運輸船寬度，L 為運輸船長度。



合長跨距的棧橋設計，施工上採用定製化的懸臂橋設備，將工作前線從已完成的棧橋向前推進，可避免水深及波浪等因素對施工的影響。此外，由於泰國的環保意識很高，業主特別要求控制排放海水的餘氯含量，以降低對近海漁業的衝擊。

中型及大型船舶常用的卸料臂主要有兩種形式，分別為轉動配重卸料臂（Rotating Counterweight Marine Arm, RCMA）（如圖3）和雙重配重卸料臂（Double Counterweight Marine Arm, DCMA）（如圖4）。RCMA係利用配重來同時控制卸料臂在舷內及舷外的平



圖 2 棧橋施工示意圖

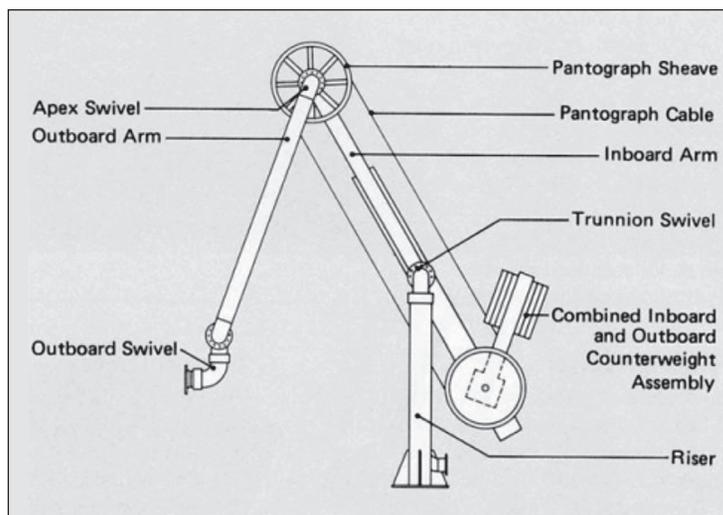


圖 3 轉動配重卸料臂（RCMA）構造示意圖

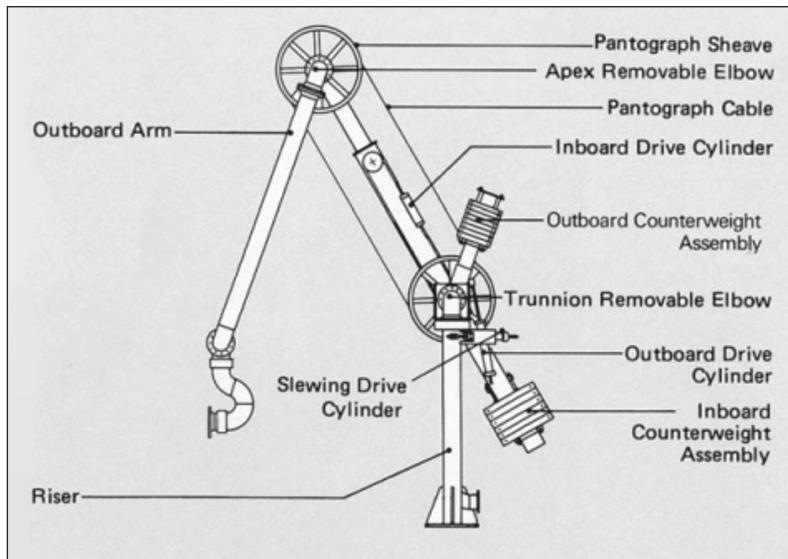


圖4 雙重配重卸料臂 (DCMA) 構造示意圖

衡，與DCMA相比，設備較為輕便，但卸料臂後方動作範圍大，空間規劃上需要注意。DCMA則是利用兩個獨立配重和驅動鋼纜轉盤的結構，可以在任何操作位置上保持平衡，方便操作與控制，設備與RCMA比較則相對複雜。本案裝卸平台裝設多組RCMA型式卸料臂，包含LNG卸料臂、蒸發氣回氣臂及氣/液兩用卸料臂，可提供大型液化天然氣載運船卸載。

除了碼頭及卸料臂，棧橋上部結構 (top-side) 的大管徑 (42") 管線工程也是具有挑戰的工作，包含設計階段必須進行管線應力分析及管線湧浪分析 (surge analysis) 並考慮緊急排淨LNG時所需的管線坡度 (slope)，建造階段在長棧橋上的管線安

裝、試壓 (pressure test)、保溫工程與清管 (flushing)，以及試車階段LNG管線在輸送LNG之前的預冷 (pre-cooling) 及冷卻 (cooling down) 工作等。

(二) 海水進 / 出水口管道

對於使用海水進行氣化 (ORV設施) 的液化天然氣接收站來說，海水進出水口 (seawater inlet/outfall) 也是海事工程的重要工作之一。值得注意的是，本案中海水進 / 出水口管道 (單根長度超過1公里、內徑大於3公尺)，因為環保要求都必須採用潛盾施工，雖然可以降低對環境的衝擊，但成本和時程風險上比傳統明挖式施工要來的高很多，施工機具也相對比較複雜。由於海水對



金屬具腐蝕性，海水進/出水口管線採用混凝土材質。

採用300系列不銹鋼板，內外槽間設置絕熱材料。

四、儲槽工程設施簡介

LNG儲槽是一種特殊類型的儲槽，用於在-162°C (-260°F)的極低溫度下存儲LNG。近年來，許多LNG接收站都採用地上型全容式密閉儲槽，由9%鎳鋼板內槽和預力混凝土外槽組成。地上型儲槽槽體之主要結構在地表面上建造，主要分為(1)雙重金屬槽槽體、(2)預力混凝土(PC wall)外槽及金屬內槽槽體及(3)薄膜槽體等三大類。雙重金屬槽槽體的內槽採用9%鎳鋼板，外槽採用碳鋼，內槽與外槽間設置絕熱材料，底部基礎版下以基樁支撐，四周圍設防溢堤。預力混凝土外槽金屬內槽槽體的內槽與雙重金屬槽槽體相同，外槽為預力混凝土牆與底板結合預力混凝土槽體之防溢堤。內外槽環形夾層內設置LNG低溫偵測器。由於LNG儲槽高度，PC外槽施作多採滑模(slip form)或跳模(jump form)等系統模板方式完成。薄膜槽體內槽

LNG儲槽內頂有懸吊板(suspended deck)及拱型頂(double dome)兩大類型。懸吊板類似輕鋼架天花板構造，輕柱固定於屋頂，橫樑加上平板，形成水平懸吊板，懸吊板未與金屬內槽側壁緊密固定。拱型頂類似半球或半橢圓形，與側壁連接處設置膝板(knuckle plate)，避免直線和曲線焊接處之應力集中。儲槽內頂型式比較如表3所示。臺灣早期發展LNG接收站是參考日本的設計，因此儲槽設計皆為拱型頂。Nong Fab液化天然氣接收站則是採用懸吊板式的設計。值得注意的是，由於泰國羅勇省(Rayong)屬於地震規模相對非常低的區域，因此在容許液位高度的計算上，與拱型頂的差別較小。

LNG儲槽的興建是整個接收站耗時久且造價高的分項工程之一，而昇頂工程又是儲槽裝建的成敗關鍵所在。昇頂吹浮的過程是一種不可逆性程序，重新昇頂可能造成密封

表 3 儲槽內頂型式比較

內頂型式	懸吊板	拱型頂
內頂材質	鋁	9% 鎳鋼
結構型式	外懸吊支撐	自撐式
液位高度	較低	較高
耐震類型	加速型	週期型
建造成本	較低	較高

材金屬網折損破裂氣壓外洩，導致儲槽屋頂不平衡而卡在預力混凝土外槽上動彈不得，實務上承包商都會安排預昇頂及正式昇頂兩個步驟；氣象條件也是昇頂吹浮時必須考慮的重要因素，下雨及強風時不可施工。

本工程採用吹浮工法（air raising）進行LNG儲槽的升頂，係以圓弧形槽頂及預力混凝土外牆所構成的封閉空間，將空氣由槽底注入後在槽頂內形成額外的空氣壓力，利用槽頂內外的氣壓差將其由槽底升起至設計高度。過程中，需嚴格控制槽頂之位置及斜度的容忍誤差（僅允許數公分），以避免槽頂結構與外牆接觸碰撞，極具挑戰性。本專案已分別於2021年初成功執行兩座容量皆為250,000立方公尺LNG儲槽升頂工作（如圖5

所示），完成本案LNG儲槽建造工作的重大里程碑。

五、氣化工程設施簡介

常見的LNG氣化設備有開架式氣化器（Open Rack Vaporizer, ORV）、殼管式氣化器（Shell & Tube Vaporizer, STV）、沉燃式氣化器（Submerged Combustion Vaporizer, SCV）、中間媒體式氣化器（Intermediate Fluid Vaporizer, IFV）等不同的形式，相關比較詳見表4。氣化器的選擇會依專案特性而有所不同，主要考量包括廠區條件、正常及調峰供氣要求、當地氣候、大氣溫度、海水溫度及潔淨度、能源效率、維修需求及成本等。考慮操作及維修成本，海水潔淨度高



圖 5 儲槽升頂施工照片



表 4 LNG 氣化器比較表 (本報告整理)

項目	開架式氣化器 (ORV)	中間媒體式氣化器 (IFV)	沉燃式氣化器 (SCV)
熱源	海水、河水、溫排水等		燃料氣
使用方式	基載	基載	尖峰支援
流量	中至大	中至大	小至中
特性	換熱面板內側為 LNG； 外側為海水	LNG 利用中間媒體氣化	壓差高於其他型式氣化器
操作	簡易 LNG 流量受天然氣 需求量控制	LNG 流量受天然氣 需求量控制 大修時，需先將 中間媒體介質移出	LNG 流量及燃料氣量 受天然氣需求量控制
維護	清潔海水分配系統 換熱片面板塗料	清潔殼內側	鼓風機及燃料系統
建置成本	高	高	低
營運成本	低	低	高

表 5 Nong Fab 液化天然氣接收站主要氣化器及相關設施一覽表

設施名稱	型式
高壓泵 (HP Pump)	離心式
BOG 壓縮機 (BOG Compressor)	往復式
BOG 再冷凝器 (BOG Re-condenser)	垂直式
開架式氣化器 (ORV)	開架式
中間媒體式氣化器 (IFV)	殼管式
廠內發電系統 (In-Plant Power Generation)	燃氣渦輪式
送氣壓縮機 (Send-out Gas Compressor)	往復式
海水供應系統 (Seawater Supply System)	-
地面燃燒塔 (Ground Flare)	直立式

的地區一般採用ORV於基載 (base load) 運轉。SCV適用於尖峰供氣補充及主要氣化器停車維修時備用。

基於上述考量，本案採用開架式氣化器 (ORV) 搭配中間媒體式氣化器 (IFV)，以

節省能源並最大程度地減少溫室氣體排放，海水泵輸送至ORV的海水管則選用HDPE或FRP材質。主要氣化器及相關設施詳見表5。此外，本案由於當地居民團體的要求，採用地面燃燒塔 (ground flare) 設計以降低對環境的影響。



管線保冷效果的好壞不僅關係到LNG的輸送效率，而且對裝置的安全生產也有至關重要的影響。在LNG工程建設中，超低溫管線常用的保冷材料主要有聚氨酯硬泡（PUR/PIR）、發泡玻璃、橡塑、改性酚醛泡沫等，這些材料相較於早期使用的珍珠岩材料，無論從性能還是施工方面看，都有了很大的改善。近年來，氣凝膠型保溫材料的出現，提供了一個降低能耗、易於施工，而且更符合環保要求的新選擇。傳統管線保溫與氣膠體管線保溫比較詳見表6。

本案管線採用氣凝膠型保溫材料，常溫熱導僅 $0.016\text{W/m}\cdot\text{k}$ ，超低溫時熱導率 $<0.01\text{W/m}\cdot\text{k}$ ，所需保冷層厚度大大減小，有效降低冷損失， -200°C 仍可長期保持保冷性能及良好柔性而不開裂，奈米級特殊結構可抵抗管道伸縮產生的內應力，無需設置伸縮縫，疏水性能好，可有效抑制水滲入金屬

管線表面，防止管線腐蝕，防止保溫材料因滲水而導致保溫效果下降。目前的缺點是價格極其昂貴，且該類型的保冷支撐供應商太少，成本及交期掌控極具挑戰。

六、建築工程簡介

Nong Fab液化天然氣接收站有許多建築物（包含行政、維修、變電站、控制室及警衛室等），其中行政區域由行政大樓，兩棟輔助建築物和大型景觀區組成（詳見表7），設有教育區、展覽廳、廠內發電設施以及液化天然氣冷能利用系統，利用氯化過程中所產生的冷能產製冷風，再吹進種植冬季花朵的氣候圓頂維持其所需的生態環境。特別的是，PTTLNG採用不同的策略，將行政大樓從封閉的廠區設施轉變為公共教育中心，開放市民、學生和機關團體參訪，並提供電動車巡視廠區內的綠建築、屋頂太陽能發電、

表 6 傳統管線保溫與氣膠體管線保溫比較表（本報告整理）

	氣膠體	PUR/PIR	發泡玻璃類
導熱係數（W/mk）	0.01-0.02	0.03-0.04	0.05-0.08
重量（kg/m ³ ）	190	50-180	150-240
保冷厚度	約 1/2	1	2
吸水率	0.36	1.5	2
防水性	整體防水	需外加防水措施	需外加防水措施
可施工性	柔性好易施工	普通	差（損耗高）
超低溫穩定性	優	差	一般
預計壽命	3-5 年	半年到 1 年	2 年
重複利用性	可重複利用	拆卸易碎	拆卸易碎
價格	4 ~ 5	1	1.5 ~ 2



表 7 Nong Fab 液化天然氣接收站主要建築工程一覽表 (本報告整理)

建築物名稱	主要材質
行政大樓 (Administration Building) —辦公室 (Office) —中央控制室 (CCR) —餐廳 (Canteen) —會議室 (Meeting rooms) —大廳 (Hall) —中庭 (Atrium)	複合式材質
行政大樓附屬建築 (Supporting Building) —消防站 (Fire station) —實驗室 (Lab) —維修倉庫 (Maintenance warehouse)	鋼筋混凝土
儀表 / 變電站建築 (Instrument/Substation Building)	鋼筋混凝土
柴油引擎室 (Diesel Engine House)	鋼筋混凝土
碼頭控制建築 (Jetty Control Building)	鋼筋混凝土
碼頭警衛室 (Jetty Guard House)	鋼筋混凝土

風力發電等設施，以教育大眾各種能源的型式、生產過程以及液化天然氣這類潔淨能源的益處。

七、冷能利用

在液化天然氣再氣化過程中，會釋放出大量的冷能。在某種程度上，進口液化天然氣的同時也取得大量的冷能。依據液化天然氣接收站本身與鄰近區域之產業發展環境及條件，可將冷能利用分為自主應用與整合應用兩大類別，自主應用項目包含BOG再液化、冷能發電、冰水空調3項，整合應用項目則包含空氣分離、低溫物流、製程、鍋爐與燃氣進氣冷卻、海水淡化、低溫養殖及低溫遊憩等項目[9]，如圖6所示。

複循環發電系統主要之組成元件可區分為燃氣渦輪機、熱回收鍋爐、蒸汽渦輪機等三大部分，一般單循環系統是以燃氣渦輪機組為主，而複循環則增加熱回收鍋爐系統與蒸汽渦輪機，其目的為回收燃氣渦輪機熱量產生蒸汽，用於推動蒸汽渦輪機，所以複循環效率可達50%以上，單循環渦輪機效率則約35%。在LNG接收站可用LNG冷能降低進氣溫度至15°C以下，則可有較佳的發電效率。為了將冷能做最有效的應用，本案將冷能導入接收站內的建築空調（包括行政大樓、控制室、植栽及溫室、儀表及變電站），以及冷卻廠內發電（In-plant Power Generation）的進氣溫度以提高其運轉效率，未來可能進一步拓展應用範圍，將冷能輸出給鄰近的冷凍倉儲使用。詳細應用範圍詳見表8。

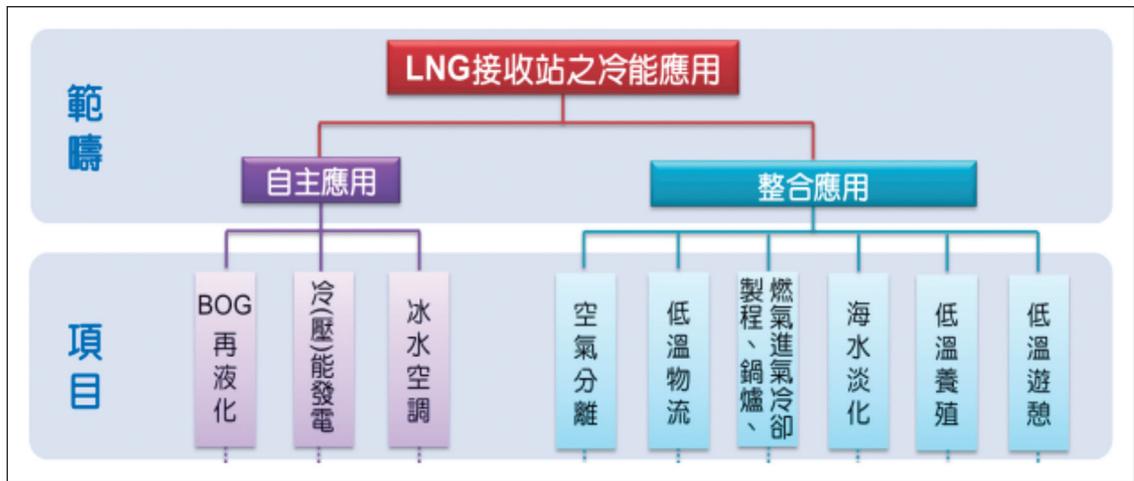


圖 6 常見 LNG 接收站冷能應用範圍 [9]

表 8 Nong Fab 液化天然氣接收站冷能應用範圍 (本報告整理)

應用範圍	自主應用	整合應用
BOG 再液化	○	
行政大樓及附屬建築冰水空調	○	
中央控制室冰水空調	○	
植栽溫室冰水空調	○	
儀表及變電站冰水空調	○	
廠內發電進氣冷卻		○
廠區周邊冷凍倉儲 (規劃中)		○

八、結語

以潔淨的液化天然氣發電取代傳統高污染的燃煤發電，是許多國家積極推動能源轉型的重要政策，從長遠來看，亞洲對液化天然氣需求增長的期望將激勵現有的進口國以及新進國家通過擴建或新建液化天然氣接收站以滿足日益成長的天然氣需求。泰國

「Nong Fab 液化天然氣接收站」是近年來相當具有指標性的國際專案之一，對於承包商來說，不論是液化天然氣儲槽的容量、超長棧橋卸收碼頭、海水進/出水口管道潛盾施工，以及生態友善的行政大樓等設施，都是非常具有挑戰性的工作。儘管液化天然氣接收站的興建工程不像液化出口站那樣複雜，但如何確保接收站建設的安全性，減少施工



活動對環境的影響，獲得環保團體的支持與政府相關單位的許可，透過政府政策和產業參與的綜效來實現冷能利用，向公眾開放設施以獲得對清潔能源政策的支持等，都是業主和承包商在建設液化天然氣接收站時必須妥善處理的重要課題。

參考文獻

1. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), Asia's record gas prices underline the need to make its markets more resilient, 2021.
2. International Gas Union (IGU), 2020 World LNG Report, P.80, 2020.
3. Executive Summary, Thailand-Oil & Gas, Energy Resource Guide, International Trade Administration (ITA), 2021.
4. Egco applies for LNG shipping licence, 2020/11/30, Bangkok Post.
5. PTT eyeing additional licence, 2021/3/8, Bangkok Post
6. 第 27 屆海洋工程研討會論文集，天然氣接收站專用碼頭工程特性之探討，94 年。
7. MAN Diesel & Turbo, Propulsion Trends in LNG Carriers, P.8, 2010.
8. 瓦斯季刊 112 期，淺談天然液化氣船，p.49，104 年 7 月。
9. 財團法人中技社專題報告，提升臺灣液化天然氣冷能利用之研析，p.25，105 年。