

國立臺灣大學工學院應用力學研究所



碩士論文

Graduate Institute of Applied Mechanics

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

單點繫泊離岸天然氣儲存設施設計與分析

Design and analysis of single point mooring offshore natural gas
storage

蕭志傑

Zhi-Jie Xiao

指導教授：陳發林 博士

Advisor: Falin Chen, Ph.D.

中華民國 106 年 6 月

June, 2017

誌謝

一篇論文的完成需要感謝的人有很多，首先，必須要感謝我的指導教授 陳發林教授，由於我的資質較為駑鈍，要是沒有老師一步一步耐心的指導，在我面對題目不知所措，不知從何下手時給我適時的提點，這篇論文並不會如此順利的完成。

接著要感謝這兩年碩士班生涯中相處的所有人，實驗室學長姊們，江政融學長、張庭岳學長、學其妙學姊、吳顯佑學長，實驗室學弟們，江建龍、鄭盛尹、黃昱翔，不管是在研究或者研究之餘的休閒，因為有他們使得研究的生活十分的多采多姿，再來就是實驗室同學李祖宏、林子覲，要是沒有他們在我受挫時給予鼓勵，懶散時給予督促，閒暇之餘一起吃喝玩樂，我想碩士人生一定相當枯燥乏味。

另外就是他間實驗室同學周士凱、葉晉男、吳宣祺、郭彥良、郭恆暉以及其他因篇幅關係無法提及的同學，感謝他們在課業上的幫助、人生上的指引、幫補臥推、一起亂吃宵夜，讓碩士的生活充滿歡笑與樂趣。

最後，要感謝我的家人支持我攻讀碩士，不管在經濟方面或是心靈方面，他們一直都是最支持我的人，讓我能夠無後顧之憂的完成我的學業及研究。

僅以此為數不多的文字表達我心中對所有相遇的人最大的感謝。

志傑

摘要



由於環保政策的推廣，傳統發電廠使用天然氣替代燃煤發電、核電廠拆除等，使得台灣近年來對於天然氣的使用逐漸增長。根據能源局統計台灣對天然氣的消費量自 1996 年至 2016 年，年平均成長率為 10.47%，而台灣天然氣主要是由國外進口，因此建設天然氣的儲存設施為現存的問題之一，近幾年本應在桃園大潭電廠旁建設台灣第三座天然氣接收終端站，由於環保的關係導致計劃無法順利執行。本論文提出在離岸建設一座天然氣終端站，目的在於遠離保育區、節省土地利用。

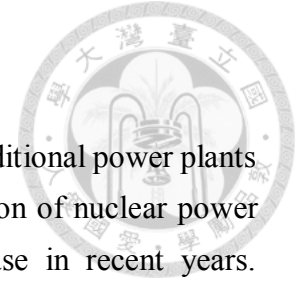
本論文主要分為三個部分，第一個部分為資料的蒐集，包含台灣能源使用、海上巨大浮體結構、陸上儲罐結構、LNG 運輸船結構、繫泊系統、台灣海域地形等等，將以上資料納入本論文儲存設施設計之參考。第二部分為將儲罐需使用之相關資訊整理並設計出本論文儲罐結構，並利用 COMSOL 計算結構是否具有絕熱效果，同時利用經驗公式配合假設條件計算本設計所受之環境力並估計所需之錨定力。第三部分透過蒐集到的海岸地形圖，評估此設施是否能建設在台灣離岸並做一個簡單的區域規劃。

結論中，本設計之絕熱效果在天然氣使用週期(15 天)內具有相當好的表現，而在環境力的部分計算值與線有 LNG 運輸船或其他油輪的錨定力相去不遠，因此本設施可錨定在海床上不致偏移。

此論文僅設計一個簡單之結構，並不包含氣化設備以及運輸管線配置、施工方法，而在計算部分並未考慮此設施位於海上是否會處於平穩狀態不致傾倒，僅提供一個解決現有問題的方案。

關鍵字：能源、離岸設施、液態天然氣儲存槽、環境力、巨大浮體結構

Abstract



Due to the promotion of environmental protection policies, traditional power plants use natural gas to replace coal-fired power generation, the demolition of nuclear power plant, etc., making Taiwan's use of natural gas gradually increase in recent years. According to the statistics of the Energy Bureau, Taiwan's consumption of natural gas has averaged 10.47% annual growth rate from 1996 to 2016, and natural gas in Taiwan is mainly imported from abroad, the construction of natural gas storage facilities is one of the existing problems. Recent years, the third natural gas receiving terminal station in Taiwan should be built next to the Taoyuan Datan Power Plant, due to environmental protection, the plant cannot be implemented smoothly. This paper proposes to build a natural gas terminal station offshore to separate it from the conservation area and to save land use.

This paper is divided into three parts. The first part is the collection of data, including the use of energy in Taiwan, the huge floating structure on the sea, the onshore storage tank structure, the LNG carrier structure, the mooring system, the terrain of Taiwan's sea areas, and so on. The above information is incorporated into the design of the storage facility of this paper. The second part is to organize and design the storage tank structure of this paper by using the relevant information needed for storage tanks, and use COMSOL to calculate whether the structure has adiabatic effect. At the same time, using empirical formulas and assumptions to calculate the environmental forces on the design and estimates the anchoring force. The third part assesses whether the facility can be built offshore in Taiwan and make a simple regional plan through the collected topographic maps of the coast.

In conclusion, the adiabatic effect of this design has a fairly good performance within the life cycle of natural gas (15 days), and the calculated value of the environmental force is not far from the value of the anchorage force of the LNG carrier or other tanker. Therefore, the facility can be anchored on the sea floor without deflection.

This paper only designs a simple structure that does not include gasification equipment and transportation pipeline configuration and construction methods. However, in the calculation part, it does not consider whether the facility will not be dumped on the sea. It only provides a solution to the existing problems

Keywords:

Energy, Offshore facilities, Liquid natural gas storage tank, Environmental force, Very large floating structure

目錄



誌謝.....	i
摘要.....	ii
Abstract	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 前言	1
1.2 研究背景.....	4
1.3 文獻回顧.....	5
1.4 研究方法.....	6
第二章 現有的發明及應用.....	7
2.1 非常巨大的浮動結構.....	7
2.1.1 沿海型.....	7
2.1.2 離岸型.....	8
2.1.3 現有的 VLFS 介紹.....	9
2.2 液態天然氣及其儲罐.....	10
2.2.1 液態天然氣特色	10
2.2.2 液態天然氣儲罐種類及其結構.....	11
2.2.3 液態天然處理及運送流程.....	15
2.3 現有專利介紹.....	18
2.3.1 橢球型浮式儲存槽	18
2.3.2 具滑軌之球型冷凍液化氣體儲存設施.....	19
2.3.3 具再氣化系統之單點繫泊駁船式 LNG 終端.....	21
第三章 單點繫泊可移動式浮式 LNG 儲存槽.....	22
3.1 設計結構示意圖	22
3.1.1 海下平台	23



3.1.2 繫泊系統.....	24
3.1.3 儲罐本體.....	24
3.2 儲罐容量計算.....	25
3.2.1 本設計所需容量計算.....	26
3.2.2 儲罐數量計算.....	27
3.3 液態天然氣輸送方式.....	27
3.4 本設計之儲罐結構.....	27
3.4.1 儲罐內層材料選用.....	28
3.4.2 儲罐外殼材料選用.....	29
3.5 估計本設計儲罐所需之浮力.....	30
3.6 作業流程.....	33
3.7 儲罐熱傳分析.....	36
3.7.1 模擬之幾何模型與設定參數.....	36
3.7.2 熱傳導方程式.....	38
3.7.3 模擬結果.....	41
3.8 儲罐所受環境力估算.....	43
3.8.1 風力.....	43
3.8.2 海流力.....	44
3.8.3 海浪力.....	44
3.8.4 總環境力.....	45
第四章 可行性與成本分析.....	46
4.1 台灣周圍海域深度調查.....	46
4.2 本設計適用海域以及規劃地點.....	48
4.3 成本計算.....	49
第五章 結論與未來展望.....	58
5.1 結論.....	50
5.2 未來展望.....	50
參考文獻.....	51

圖目錄



圖 1	台灣天然氣消耗量(1996-2016)[1]	1
圖 2	台灣民國 105 年發電結構[1]	2
圖 3	台灣發電量表(燃料區分)[1]	2
圖 4	台灣人口數(1997-2016)[2]	3
圖 5	Mega-Float[5]	8
圖 6	Mobile Offshore Base[6]	8
圖 7	Pneumatically Stabilized Platform[33]	9
圖 8	地下式儲罐結構圖[17]	12
圖 9	單容罐結構示意圖[17]	13
圖 10	雙容罐結構示意圖[17]	13
圖 11	全容罐結構示意圖[17]	14
圖 12	薄膜罐示意圖[17]	15
圖 13	LNG 運送流程[15]	16
圖 14	LNG 船裝卸流程[10]	17
圖 15	橢球形浮式儲槽結構圖[11]	18
圖 16	具滑軌之球形冷凍液化氣體儲存設施結構圖[12]	19
圖 17	球形儲罐結構圖[12]	20
圖 18	具再氣化系統之單點繫泊駁船式 LNG 終端[13]	21
圖 19	整體系統示意圖	22
圖 20	LNG 船將 LNG 卸載至儲槽	23
圖 21	用拖船將儲罐拖至岸邊並卸載儲存之 LNG 至下游發電廠	23
圖 22	海下平台示意圖[18]	24
圖 23	LNG 船之分類[19]	25
圖 24	儲罐設計圖(左圖為海上配置，右圖為儲罐本體含轉塔)	28
圖 25	儲罐尺寸標示及結構(單位 m)(絕熱箱材質為膨脹珍珠岩)	28
圖 26	在液面下之任一物體	31

圖 27	改良過後儲罐之結構：(a)不含繫泊系統之儲罐剖面圖；(b)含繫泊系統內外圖	32
圖 28	儲罐繫泊於海下平台(僅顯示一座儲罐).....	34
圖 29	LNG 船停靠在儲罐旁並卸下 LNG.....	34
圖 30	用拖船將儲罐拖至近海陸地旁.....	35
圖 31	透過 LNG 船輸送過來之 LNG 將分配至 4 個不同儲罐(紅圈處為管線出口，a 為前視圖，b 為上視圖).....	36
圖 32	模擬之幾何模型.....	37
圖 33	網格圖	38
圖 34	三維空間內的材料.....	39
圖 35	取一微小體積為系統.....	39
圖 36	儲槽內溫度變化.....	42
圖 37	儲槽外殼溫度變化量.....	42
圖 38	儲槽及外殼溫度分布圖	43
圖 39	台灣海域深度圖(虛線範圍內為台灣海峽)[24]	46
圖 40	西部海域圖 [24].....	47
圖 41	大潭電廠與保護區以及天然氣接收站預定地相對位置 [25].....	48
圖 42	本設施預計規劃位置	48

表目錄



表 1	台灣天然氣進口量及消費量.....	26
表 2	儲罐需求數量.....	27
表 3	材料比較	29
表 4	各物質參數表.....	37
表 5	參數設定(波高與週期參考氣象局龍浮標測得之值[20]，風速為氣象局統計台灣年平均風速[21]，海流速度為黑潮表面流速之最大值[22]。).....	44
表 6	總環境力隨高度及吃水量變化.....	45
表 7	各式材料價格(2018/4/14).....	49

第一章 緒論



1.1 前言

全球由於工業與科技的高速發展以及人口的大量增長，導致能源需求的增加，而常見的能源包括可再生能源、水電、核能、煤炭、天然氣以及石油。其中燃煤是最具污染性的燃料，也曾經是全球成長最快的能源來源，但因為全球努力邁向巴黎氣候協定的減碳目標，燃煤逐漸成為許多國家和企業主要減少使用的目標，取而代之的是石化燃料中較為清潔的天然氣，天然氣對於世界各國將步入低碳化能源體系上屬於不可或缺的替代能源，根據「2017 世界能源統計」顯示，近年來全球天然氣的使用量屬於成長的狀態，全世界總使用量由 2006 年的 2850.6 十億立方公尺成長到 2016 年的 3542.9 十億立方公尺，成長幅度高達百分之 24，而儘管使用量增加，蘊藏量並沒有因此而減少，從 2006 年的 158.2 兆億立方公尺成長到 2016 年的 186.6 兆億立方公尺，其中蘊藏量最多的為中東地區，佔全世界天然氣蘊藏量的百分之 42.5。

而台灣能源使用率也逐年的增加，其中液化天然氣由於台灣是個天然氣產量不多的國家，自民國 85 年以來逐年減少，進口量則從民國 85 年的 3436 百萬立方公尺成長到民國 105 年的 19744 百萬立方公尺，年平均成長率為百分之 9.14；消費量從民國 85 年的 2544 百萬立方公尺成長到民國 105 年的 18651 百萬立方公尺，年平均成長率為百分之 10.47，由圖 1 可知天然氣的需求逐年的增加，且主要使用在發電與氣電共生。

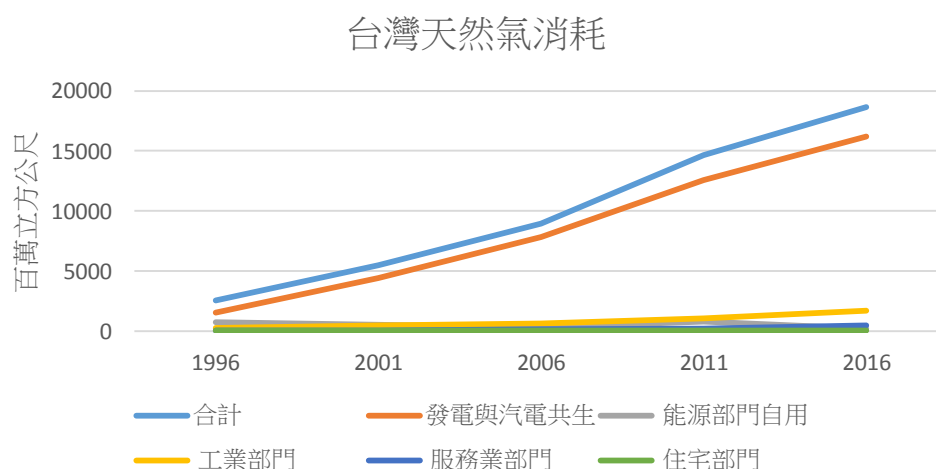


圖 1.台灣天然氣消耗量(1996-2016)[1]

台灣總發電量從民國 85 年的 1420 億度成長至民國 105 年的 2641 億度，從圖 2 可以看出近年來台灣發電主要靠的是燃煤以及燃氣火力發電，為了面對能源問題、氣候變遷以及環保議題，台灣於 2006 年訂定「永續能源政策綱領」，以能源(Energy)、環境(Environment)、經濟(Economy)，3E 並重，致力於生產潔淨的再生能源以及低碳技術發展，未來應將二氧化碳主要排放的燃煤火力發電的比例下降，取而代之的是提升燃氣發電的比例，從圖 3 可以看出自 2006 年開始，雖然用電總量上升，但燃煤、燃油及核能發電比例下降，取而代之的是燃氣發電量的上升。而台灣天然氣多半來自進口，故能夠長期儲存來自國外的液態天然氣的儲存槽興建成為了問題之一。

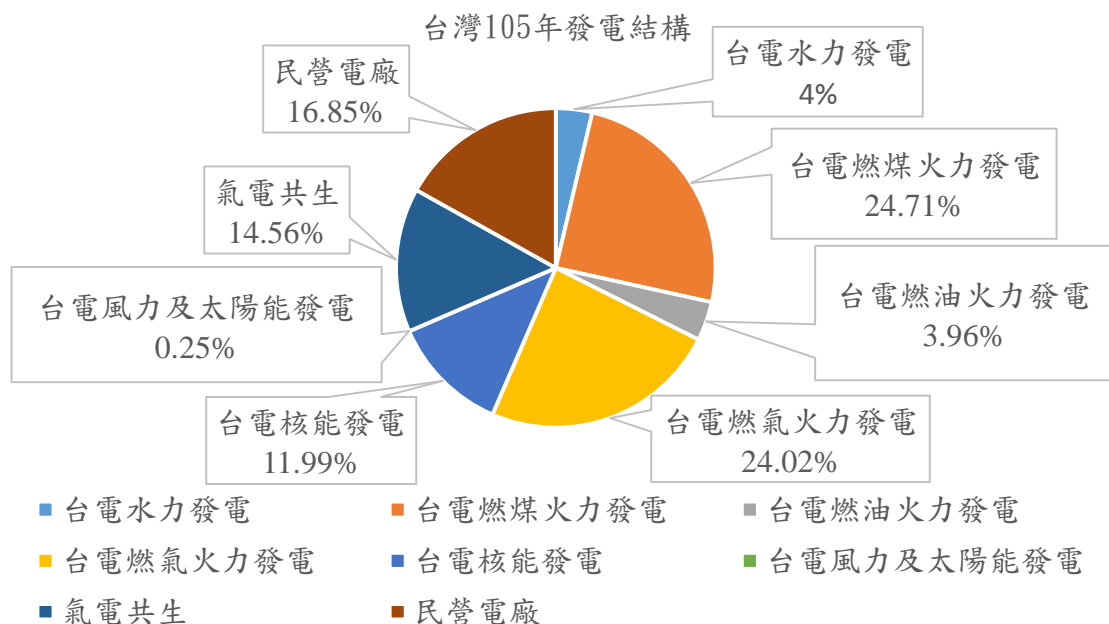


圖 2.台灣民國 105 年發電結構[1]

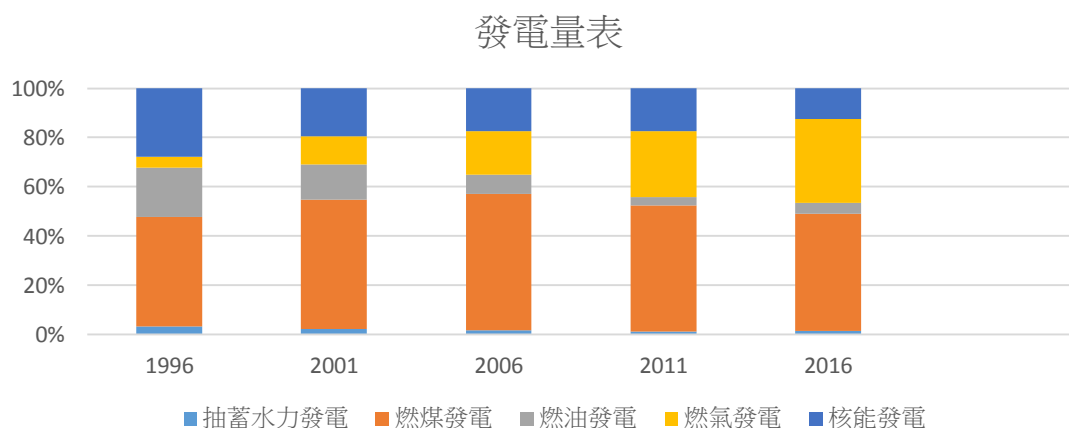


圖 3.台灣發電量表(燃料區分)[1]

另一方面由於人口的增長導致土地的利用變成極為重要的議題，在地球上陸地僅佔 510,100,000 平方公里，大約是整個地球的百分之 29 而已，且此數據並不包含沙漠、南極、北極及高緯度上等不適合人類居住的環境，因此在許多能使用土地因地層下陷或是海平面上升而減少，亦或是一些海島國家，提出一種有別於填海造陸的另一種海上土地利用的方式，稱之為 Very Large Floating Structure(VLFS)。

現在將目光放至台灣，由於台灣屬於海島型國家，四面環海且人口密度不斷增加，由圖 4 可以看出台灣人口逐年遞增，且未來沿海地區將會受到海平面上升的影響而減少可利用之土地，這使得台灣必須重視土地利用問題。

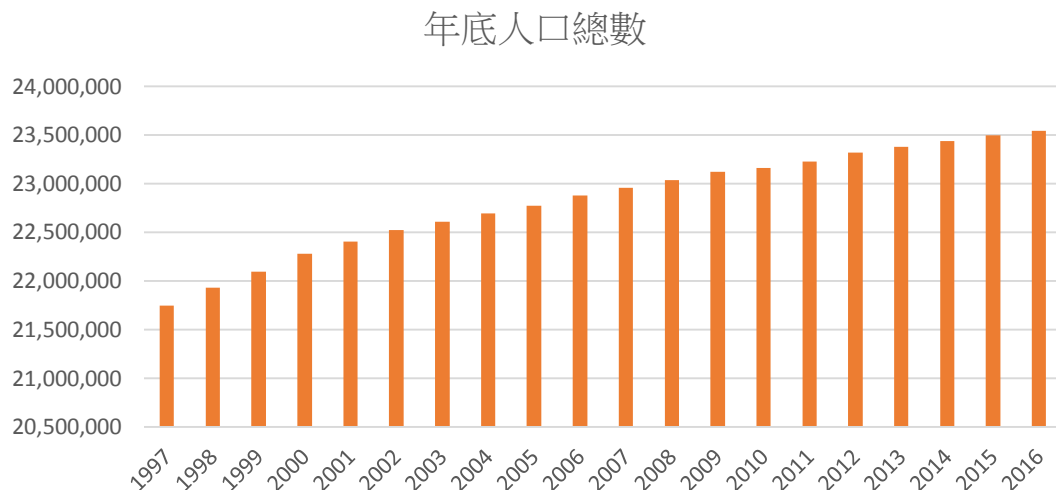


圖 4.台灣人口數(1997-2016)[2]

總合以上，台灣目前面臨的主要問題為人口數的增長所導致的土地利用問題，以及為了兼顧環保和逐漸增加的能量消耗而使用的大量天然氣，為了使主要靠進口的天然氣節省運輸成本而增加台灣接收天然氣的終端站儲存槽，必須善用台灣四面環海具有較多海洋面積能夠使用的優點，本論文提供了將海上平台結合天然氣儲存槽的構想，目的在於同時解決天然氣儲存以及土地利用的問題。本論文依照蒐集來的資料以及專利取其所需之部分納為本論文設計之參考。

1.2 研究背景

本篇論文的研究建立在海洋工程以及天然氣的相關常識上，海洋工程方面由於地球 70%為海洋加上海洋所蘊藏的資源極為豐富，為了有效善用海洋中的資源，在海洋上的工程已發展多年，現有的海上設施包括海上鑽油井、離岸風力發電機以及各類大型船隻，在工業發達的年代，海上的工程發展以相當成熟。

而天然氣的發現約在公元前 6000 年至公元前 2000 年間，於伊朗發現從地表滲出的天然氣，而在公元前 900 年中國開始利用天然氣，並在公元前 211 年建造第一座天然氣氣井，根據相關資料記載深度約 150 米，隨著時間已及技術的發展氣井深度可達 1000 米，至 1900 年已超過 1100 口氣井，這可以看出天然氣的迅速發展，而將天然氣液化的技術可追溯至 19 世紀初期，因當初並沒有良好的儲存設施及運輸裝置，開挖油井時只能選擇先燒光天然氣後在取出石油，後來英國科學家邁克·法拉第(Michael Faraday)發展將天然氣液化的方式，利用此方法可將天然氣液化，使得儲存及運輸的方式得以發展並多元化，而世界第一座天然氣接收站於 1957 年在英國坎威爾島上建立，用於彌補煤氣的不足。

將眼光放至台灣，台灣第一座接收站位於高雄市永安區，名為永安天然氣接收站，又稱第一液化天然氣接收站、永安天然氣廠，其建造目的是為了接收來自中東卡達的液化天然氣，並利用管線送至北台灣發電廠發電，為台灣天然氣產業的基礎，永安天然氣接收站總共可接收 450 萬噸之液化天然氣，為全台灣最大天然氣接收站。截至目前為止，台灣共有兩座天然氣接收站，除了上述提到高雄永安接收站外還有位於台中港之台中液化天然接收站，由於台灣天然氣需求逐年增長，故擬定增設第三座天然氣接收站，原應建設在桃園觀塘，但因其施工會影響生態環境而延宕。

在義大利外海有座離岸天然氣接收站 Adriatic LNG，此天然氣接收站為世界第一座離岸天然氣儲存設施，僅以一條 30 英吋寬的管線與陸地連接，其施工過程皆在陸地上完工，並不影響海上生態，且儲存量高達八十億立方公尺，由此項創舉可構想在台灣興建一座離岸的液態天然氣接收站。

1.3 文獻回顧

在近幾年，由於人口成長迅速以及海平面上升的問題，沿海的住宅以及工業和物流業的設施開發需求大幅增加，因此將土地利用的問題將海上發展成了主要的研究目標，因此 Wang & Tay (2011) [3]針對了 VLFS 做了一些討論，包括現在世界上有的海上設施以及未來海上城市的規劃，而 VLFS 的概念其實最早出現在 19 世紀，以法國小說家 Verne(1866)在小說中描述的浮島為雛形，隨後在 1924 年由 Armstrong Seadrome 大力推廣，並測試了其穩定性且提出不同的平台形式，雖然提案不斷被否決但也因此促使工業界和學術界開始對 VLFS 進行研究，而 VLFS 是一個獨特的海上結構概念，其一些特定的參數，如排水量、長度及造價等於早些年由 Suzuki et al.(2006) [4]提出，而 Andrianov, 2005；Watanabe et al., 2004a；Wang & Tay, 2011 提出根據其幾何形狀或是位置可分為墊狀、半潛式和沿海、離岸。Remmers et al.(1998)[6]在 1994 年日本成立了 Megafloat 技術研究協會 (TRAM)，建立了基本施工技術也進行了實驗，利用長度為 1000 米的模形測試了其穩定性(Suzuki, 2015[5])。與日本提出這種墊狀結構不同的是美國海軍提出了海上移動基地(MOB)的概念，其結構整體由許多模塊組成，總長長達 5000 公尺。

液態天然氣已發展多年，儲罐的建造也已相當成熟，呂娜娜等人(2010)[7]整理了各型式儲槽，而最早採用的是單壁形式的儲罐，此種儲罐的頂不與底部使用整塊絕熱，但有許多缺點，像是沒有防潮、易受風災危害等，為了改善這些缺點發展出了雙壁雙頂的儲罐類形，其原理是將乾燥氣體充入兩壁之間做為絕熱用途且能保持定壓力防止濕氣的進入，但隨著儲罐的大小增加充入的氣體亦需增加，隨之增長的即是建造的成本，且內部儲存之氣體為接近沸點，故易形成蒸氣讓罐內壓力增加，為了避免這種情形發展了懸掛頂的形式並逐漸演變成雙壁單頂的儲罐類形。袁及閔，2007[8]表示由於儲罐內的液體為 -162°C 的液態天然氣，因此儲罐內層與液體接觸之材料需耐低溫，且因此溫度相當接近液態天然氣之沸點，為了防止過多的液體蒸發，儲罐的絕熱也相當重要，另一方面是內部的液體一旦洩漏會隨即蒸發且體積迅速膨脹分佈在儲罐周遭，一旦引燃會有相當大的危險，因此儲罐的設計上應考慮到洩漏的問題。施及馬(2010)[9]提到除了儲罐本體外，輸送過程以及液化過程也是十分重要，液化按照制冷方式有三種形式：**a.**串聯蒸發冷凝液化流程；**b.**混合制冷劑液化流程；**c.**具有膨脹閥的液化流程，而輸送管

道上，雖還沒有長距離的液態天然氣管線，但隨著低溫材料和技術的發展，建設長距離的輸送管線是符合經濟效益且合理的，且隨著海底低溫管線設計的出現，液態天然氣的有效輸送距離到達了 32 公里。李及崔(2001)[10]表示而 LNG 船方面，卸貨時會造成貨艙內部分真空，對於貨艙的結構會造成損害，因此可以透過岸上的蒸氣返回管提供蒸氣或是船上的蒸發氣來維持艙內的正壓力。

離岸的天然氣儲存槽目前世界上唯一一座為位於義大利的 Adriatic LNG terminal，這個設施為重力結構的 LNG 儲存槽，主要目的地是接收來自卡塔爾開採的 LNG 並將其氣化送至義大利的天然氣管線，整個工程從 2003 年 10 月開始於 2008 年 8 月完工，耗時約 5 年，具有 2 個 125,000 立方米的儲槽(Terminale GNL Adriatico S.r.l.)。其實在早些時間許多專利已提出各種形式的海上儲存設施，如 Cook et al.(1980)[11]發表的 US4,232,983，為一個球形具有滑軌的結構；I.W.ALCORN(1949)[12]發表的 US2,655,888，為一個橢球形漂浮在海上並利用兩邊的繫泊系統繫泊在海床上的結構；近期的為 Frimm et al.(2003)[13]發表的 US6,546,739 B2，整體是使用退役之 LNG 船做改造，是一個船形結構。

1.4 研究方法

本文設計參考各方文獻及專利，將其優點整合設計出一個離岸式液態天然氣儲存槽的概念，設計之主要目標為結構的確定以及浮力的可行性，結構部分參考薄膜罐的設計形式以確保保溫效果及安全性，浮力則是利用流體力學中的浮力原理，計算本設計之負重並求得排開液體重以確定結構在海面上浮起的可行性，最後利用 Google earth 在台灣附近規劃設置地點並確定遠離珊瑚礁生態保護區。計算的部分熱傳是利用 COMSOL 內的固體熱傳做運算，環境力的部分從文獻中使用經驗公式配合本論文設定之環境參數來做估算。

第二章 現有的發明及應用

本章節將介紹 Very Large Floating Structure(VLFS)以及 Liquefied Natural Gas(LNG)特色及其儲存槽種類，並舉出文獻中和世界上存在的發明及應用，內文中會提及幾種不同種類的 VLFS 的特色和世界上現有的 VLFS 以及 LNG 儲存槽現有的種類介紹和 VLFS 及 LNG 的結合在專利中提及的幾種形式介紹。

2.1 非常巨大的浮動結構(Very Large Floating Structure)

Very Large Floating Structure(VLFS)是一個獨特的概念，長度介於 1,000m 至 10,000m 之間，排水量介於 10^6 噸至 10^7 噸之間[2]，除了以上參數定義外還有壽命長、低維護成本、耐久性和耐疲勞性等特色，主要應用在機場與港口以及土木工程、能源、軍事、娛樂及住宅區等用途。

根據不同的區分方法能分成不同的種類，根據幾何分為浮船式和半潛式，根據設置位置分為沿海型和離岸型，不管如何分類最重要的都是適用於何種水域，這對 VLFS 的結構會造成的很大的影響。

2.1.1 沿海型

沿海型 VLFS 通常適合在平靜的水域，像是海灣、湖泊或是海岸邊，此種類型的建議使用浮船式結構，因為其結構較簡單且適合平靜水域，大型的稱為 Mega-Floats，相對小尺寸的稱為墊狀 VLFS。不管尺寸大或小都具有結構簡單、高穩定性、低製造/維護成本、容易維修等特色，設計的關鍵在於水彈性分析，因其結構具有較高彈性。

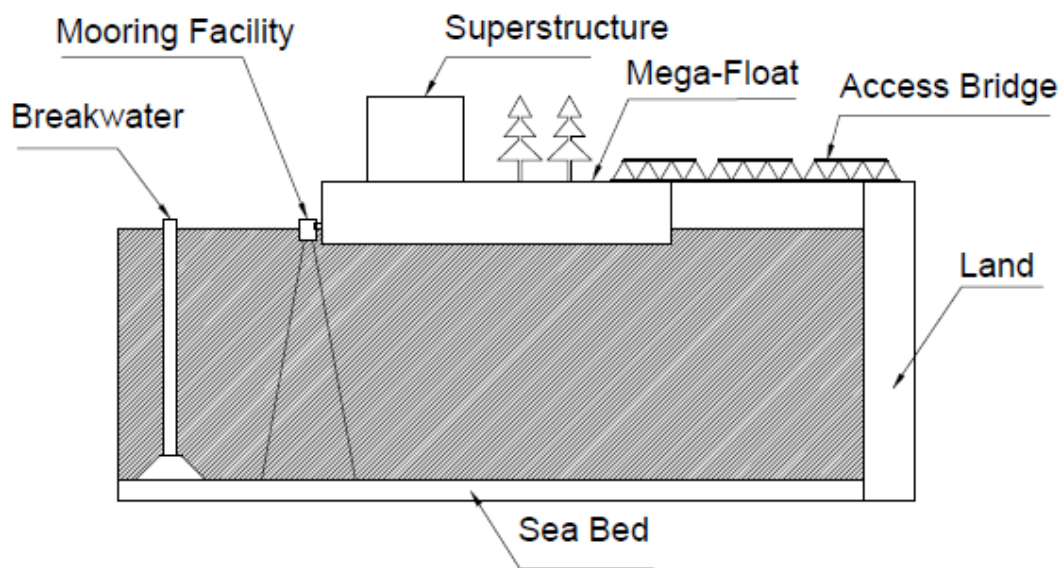


圖 5.Mega-Floats[5]

Mega-Floats 結構如圖 5 所示，具有一個連接陸地的連接橋以及穩定浮動結構的錨定系統，如有需要還可加裝破水擋塊，適合用在平靜水域、強度高、重量輕、可在陸地上建造模塊後在海上進行施工，其製造和組裝簡單且便宜、大小無限制且負載能力佳，但無法用在離岸邊較遠的位置且無法隨意移動。

2.1.2 離岸型

離岸型與沿岸型結構上有非常大的不同，由於離岸的海況較為險峻，無法使用浮船式結構，與之比較下半潛式更為合適，半潛式結構下的 VLFS 目前有 Mobile Offshore Base(MOB)和 Pneumatically Stabilized Platform(PSP)。

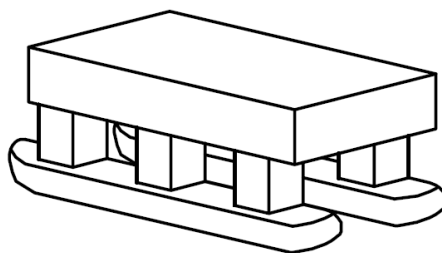


圖 6. Mobile Offshore Base[6]

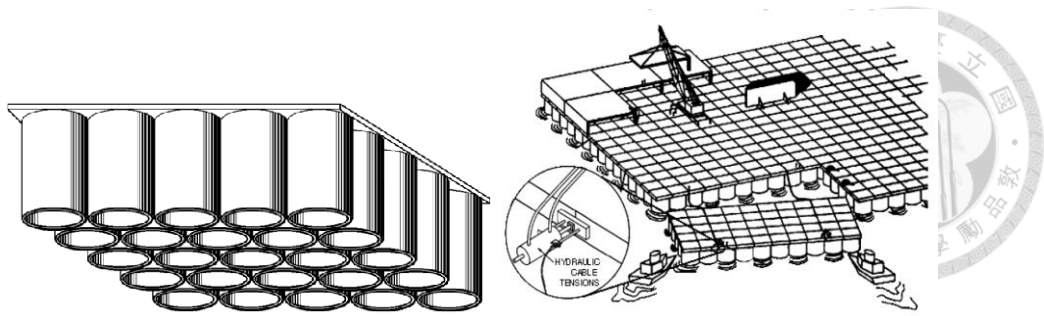


圖 7. Pneumatically Stabilized Platform[14]

MOB 的結構如圖 6 所示，圖 2 所表示的為單一模塊，一般而言一個完整的 MOB 約有 3-5 個模塊，通常做為軍事基地提供起飛/著陸的區域以及維護等後勤服務，所有模塊組合可長達 2km 並藉由動態定為推進器保持對準，跟 Mega-Floats 不同在於 MOB 具有移動性，就像是軍艦一樣，且適用於各種不同的海況，但跟所有的半潛艇一樣有效負荷是有限的且連接的技術仍在實驗中，而建設與營運的成本較高。

PSP 的結構如圖 7 所示，這種設計最早在 1990 年代被 Float 公司提出，單一模塊為數個圓柱部件密封成一個矩形，圓柱底部是空的面向大海，是透過空氣造成浮力讓整個結構能夠浮在上，除此之外還能減弱海浪產生的波浪力，並利用張緊的電纜連結各部件，且和 MOB 一樣適合各種不同的海況、和 Mega-Floats 一樣不限大小(模塊)、製造的過程簡單且便宜並具有非常低或沒有維護成本，但移動性有限，且各項技術都仍在實驗中。

2.1.3 現有的 VLFS 介紹

本小節將介紹現今已存在之 VLFS，沿岸應用 Mega-Floats 概念的像是浮動跑道、浮動儲存設施、浮動緊急逃生平台和浮橋等。而離岸方面，MOB 和 PSP 由於為較新的設計想法故當今並無實際應用，將舉例一般半潛式的海上平台，例如海上鑽油平台，浮動風力發電機等等。

海上跑道最初在 1998 年於日本東京灣進行一個簡單的實驗，並將實驗成果用於羽田機場 D 跑道上，而此跑道為了風雨來臨時不會造成河川水量上升回淹陸地的情形又故及結構強度，使用部分填海造陸，部分利用沉箱基樁上架棧橋的方式。

而浮動的儲存設施是為了將易爆的燃料從人口稠密的地上轉往海上儲存，日本有兩個較大且主要的浮動儲油系統，兩座油廠的共通點都是建造在由島嶼形成的盆地中，這提供了一個天然的屏障，而為了防止油槽受到波浪的影響，利用了 Dolphin Mooring Systems 和 Fenders 去抑制縱向和橫向移動。

浮動緊急逃生平台通常設置於地震好發國家，能夠在不受本地地震影響的情況下，製造一個臨時運送物資、假設救護站的空間，在日本設置好幾個這樣的設施，平時使用錨和鏈、錨和繩的組合繫泊，緊急情況發生時使用錨和線的組合，設計水深約為 3m 到 70m。

浮橋最有名的就是位於挪威長達 1246m 的 Nordhordland 浮橋，於 1994 年建造，建造處之峽灣深度達 500m，橋梁設計灣區更好抵抗波浪、水流和風力。整座橋的結構由三部分組成，一條斜拉橋，一條浮橋並利用高架橋將浮橋與斜拉橋連結，浮橋的部分除了兩端錨定外其餘為浮筒支撐。

2.2 液態天然氣及其儲罐

液化天然氣(Liquefied Natural Gas，簡稱 LNG)被公認是地球上最乾淨的能源，製造的過程是將由天然氣田開採的天然氣做淨化的處理去除多餘的雜質，經過超低溫(約攝氏-162 度)液化處理後，利用液化天然氣船由產地運送至需求國家。

由於需求國家通常並非自產天然氣之國家，為了減少 LNG 船運運送次數進而節省成本，儲存就變成了最大的重點，本節將討論 LNG 之特色以及一般陸地上的 LNG 儲罐種類、建造及儲存技術。

2.2.1 液態天然氣特色

LNG 主要成分為甲烷，常溫常壓下為氣態且比空氣輕，當不慎洩漏時只要濃度不高不致於造成重大的危險，是一種相對安全的能源，且在液化過程中將硫、二氧化碳及水份等雜質去除，因此燃燒時不會因為硫而造成空氣污染，是一種乾淨的能源，液化後體積可達原本的 1/600，利於儲存與運輸，又可以利用海水簡單的將之氣化，又因具有高熱值(約 10000kcal/m³)，是一種方便且高效率的能源。

與液化石油氣(LPG)相比有許多不同之處，成分上 LNG 以甲烷為主，而 LPG 為丙烷及丁烷混合氣；除了成分外，狀態上也不同，LPG 在常溫下以高壓維持液

態，LNG 則以低溫維持；來源方面 LNG 為天然氣冷凍液化後的成品，LPG 為原油煉製過程的副產品。

LNG 主要的運輸管道為船運，而 LNG 船的種類根據儲存槽分為 Moss 型及 Membrane 型，在早期幾乎所有的 LNG 船都採用球型儲存槽，也就是 Moss 型，將複數的球體儲存槽排放在甲板上，使用球型的好處在於因超低溫會造成儲存槽本身會有收縮的現象，而球體的收縮較為平均且構造較簡單，可球型會有不必要的空間浪費，因此研發了非球型的儲存槽，採用讓平面也能承受收縮的技術，節省了因球型所浪費的空間，此種就稱為 Membrane 型。

2.2.2 液態天然氣儲罐種類及其結構

在建造 LNG 儲罐有幾個要求，一般 LNG 選擇低溫常壓儲存，故須要求耐低溫(約攝氏-160 度)，此種方式與高壓常溫相比可以大大降低罐的厚度提高安全性能，由於要長期使罐內保持在極低溫的狀態以避免 LNG 蒸發成氣態，故保溫措施嚴格，需在內罐和外罐間填充高性能保冷材料(通常使用聚氨酯泡沫噴塗在內外罐間)，罐底的材料還要能夠承受高壓，而一般的建築物規範在發生地震時裂而不倒，而儲罐必須規定不倒也不裂，故抗震要好，且建造需避開地震斷裂帶，除了上述要求外，施工上面還有需多要求。

而 LNG 儲罐具有許多種類，根據設置方式可分為地下儲罐及地上儲罐，地下儲罐主要有埋置式和池內式；地上儲罐有球型罐、單容罐、雙容罐、全容罐及薄膜罐，其中單容罐、雙容罐和全容罐都屬於雙層罐，所謂雙層罐就是整個儲罐由內、外罐組成，在內、外罐間充填保冷材料。

地下儲罐除了罐頂外，罐內儲存的 LNG 最高液面在地面以下，整個罐體座落在不透水且穩定的地層上，因罐內極低溫為了防止周圍土壤受到低溫影響而凍結，在罐底加裝加熱器，有的儲罐周圍留有約 1m 左右的凍土，以提高土壤強度和水密性，其結構如圖 8 所示。

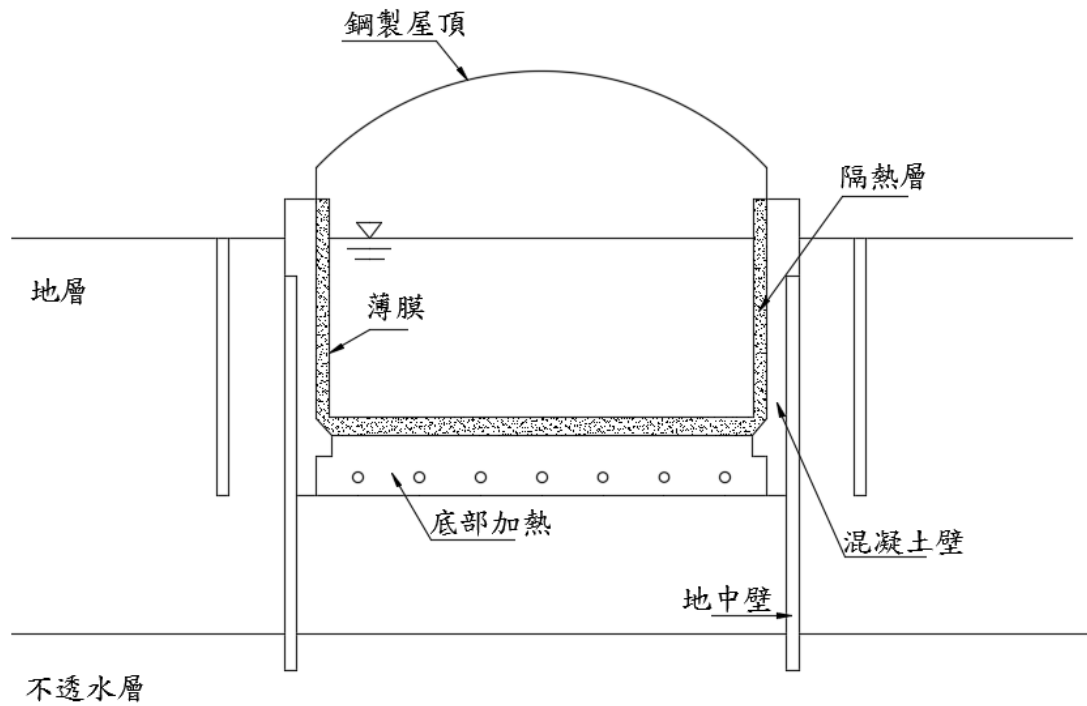


圖 8.地下式儲罐結構圖[17]

單容罐的投資比起其他形式較便宜，施工週期短，但容易洩漏的是他的最大問題，根據規範要求安全距離較大，故須遠離人口稠密的地方，並設置防火堤，從而增加占地及防火堤的投資，周圍也不能有其他重要的設備，對安全檢測及操作也要求較高，由於安全性較低，近期已不使用在 LNG 生產廠及接收站了，其結構如圖 9 所示。

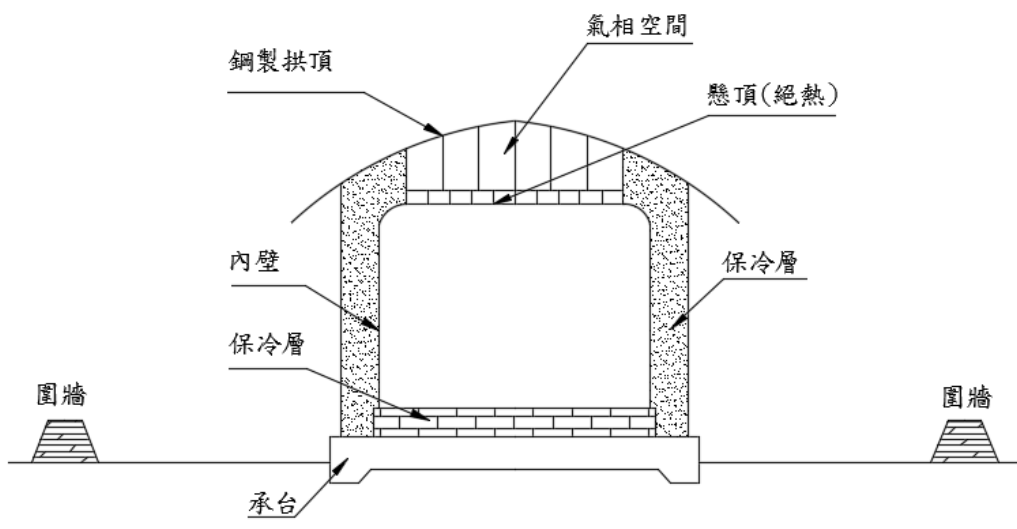


圖 9.單容罐結構示意圖[17]

雙容罐具有耐低溫的金屬材料或混凝土的外罐，當發生洩漏的時候，氣體雖會洩漏，但液體不會洩漏，大大提升了外界的安全性，而當外界發生意外時，外部混凝土牆也有一定的保護作用，相比單容罐安全性較高，規範上雙容罐不須設置防火牆，但仍需要較大的安全距離，其結構如圖 10 所示。

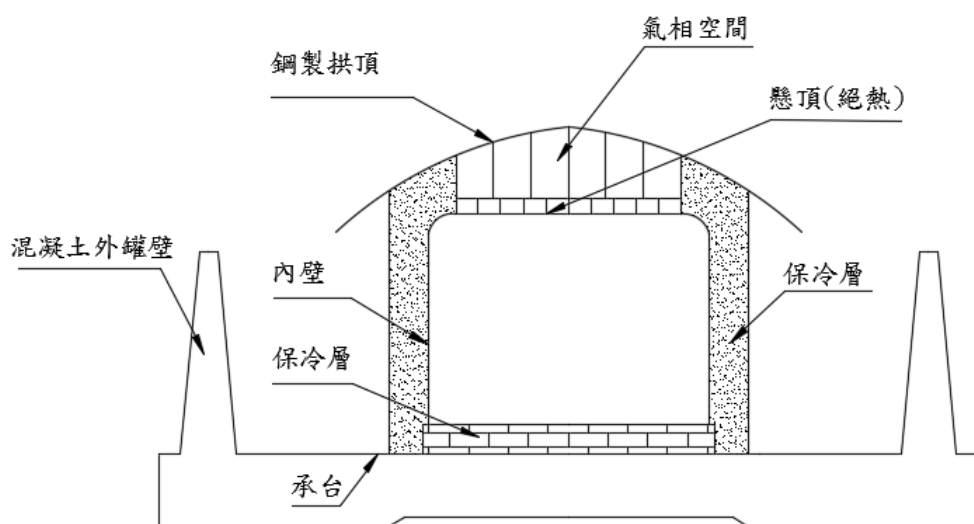


圖 10.雙容罐結構示意圖[17]

全容罐的結構採用 9%鎳鋼合金的內罐，鎳鋼或混凝土的頂蓋、底板，外罐或混凝土牆距離內罐大約 1-2m，允許 LNG 內的氣體洩漏到內外罐之間，而全容罐因可以阻止液體及氣體的洩漏，故安全距離也較小，其結構如圖 11 所示。

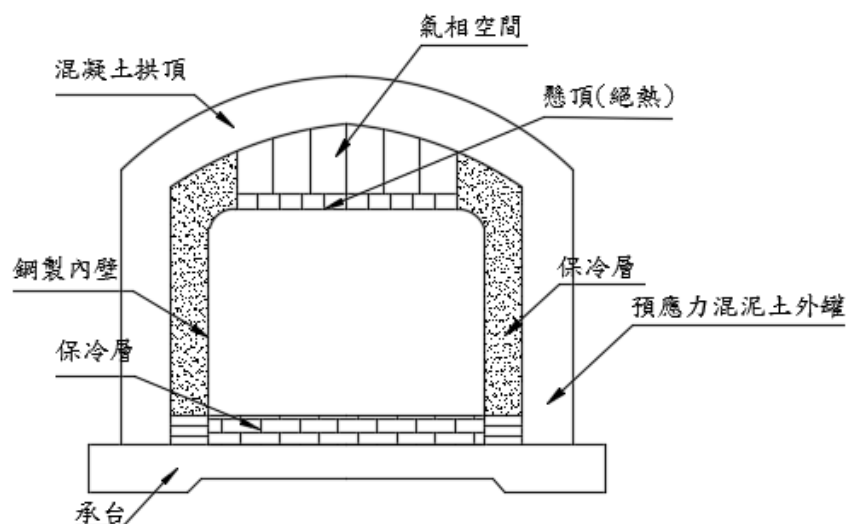


圖 11.全容罐結構示意圖[17]

薄膜罐使用不鏽鋼內膜和混凝土除罐外壁，對防火和安全距離的要求與全容罐相同，該類型的儲罐可用在地上或地下，當建設在地下時，只要資金與工期允許，可選用較大的容積，此種結構適合在地震活動頻繁及人口稠密的地區使用，但由於結構特點仍會有些微量的洩漏，如圖 12 所示。

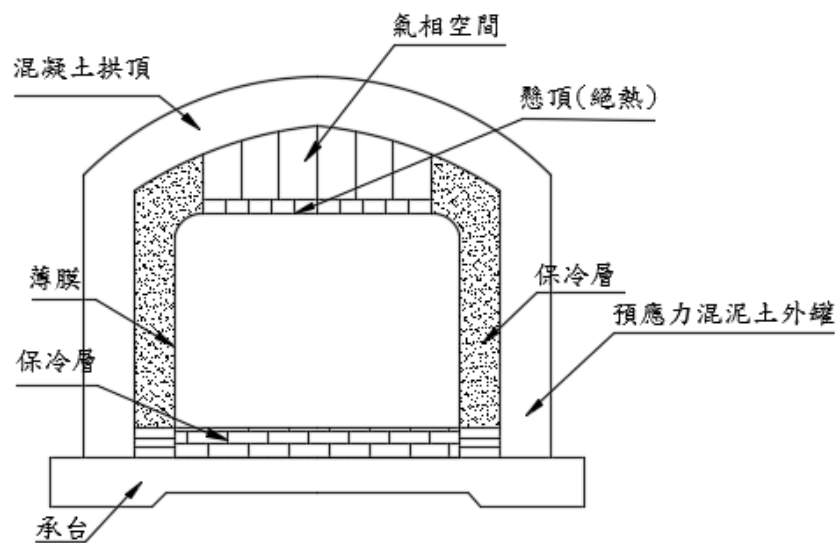


圖 12. 薄膜罐示意圖[17]

總上所述，地下罐由於投資成本高，施工週期常，除非有特殊要求，像是地震多國家，例如日本，否則一般不選用；而在資金及施工週期差不多的情況下，雙容罐安全相較全容罐低，現在的設計都偏向使用全容罐；雖然全容罐、薄膜罐的投資成本較高，但實際的安全性遠大於其他種類，是現今接收站普遍採用的形式，但薄膜罐的製造商目前仍然較少。

2.2.3 液態天然氣處理及運送流程

目前 LNG 的長途運輸還無法透過管線實現，為防止超低溫製程中因雜質凝固造成管路堵塞，被開採後必須先送至液化場做淨化處理，將較重的碳氫化物以及水份、二氧化碳、硫化氫等雜質去除，將這些雜質去除後進入液化的流程，而使天然氣液化的基本要則在於降低所含之熱能，方法大致分為三種，階串法 (cascade process)、混合冷媒法以及膨脹法，其中階串法及混合冷媒法類似，階串法是利用單一成分冷媒冷凝與蒸發，一步一步的把天然氣的熱能移至空氣或水等溫度較高的熱池(heat sink)中，使天然氣液化，而混合冷媒法是將階串法改良而成，基本構想為將階串法中的單一冷媒個別循環改為混合冷媒單一冷卻循環，優點在於可以簡化管路，降低成本，膨脹法是將高壓天然氣經過膨脹機膨脹後與熱

交換器冷卻後將之液化，整個天然氣的流程包括液化、運送、儲存如圖 13 所示。

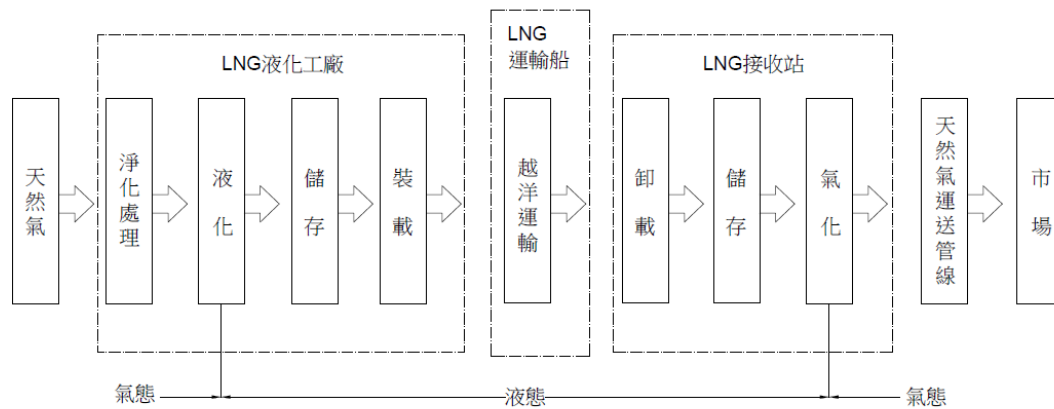


圖 13.LNG 運送流程[15]

為了運輸過程的安全，在裝載到 LNG 運輸船上之前必須先經過幾個程序，已經驅氣的 LNG 船之貨艙必須先利用惰性氣體替換掉 75% 的空氣，此時的氧氣濃度低於 7%，不足以達成燃燒的條件，此步驟稱為惰化。由於 LNG 比空氣重，應從下方充入貨艙，惰性氣體和惰性氣體與 LNG 的混合物則從頂部排出。裝貨時從岸上輸送 LNG，並在貨艙內噴淋使之降溫，降溫的速度應控制在每小時攝氏 5 度左右，當貨艙底部出現冷凝液時表示已達裝貨溫度，此時可以開始裝貨程序，但需要注意的是當裝貨量達到貨艙 95% 左右時需減緩裝貨速度，且在卸除裝貨運輸管前需將裝貨軟管及甲板管線內的剩餘 LNG 裝入貨艙，通常裝至貨艙容量的 98%，當過載時會自動關閉裝貨軟管的閥門；如未經驅氣直接開往裝貨港，則貨艙內會留有液體和蒸氣，在途中就能充氣循環降低貨艙溫度，抵達裝貨港時可以直接進行裝貨作業。

在抵達卸貨港前，必須先預冷甲板之管線，以減少抵達裝貨港時的作業時間。抵達裝貨港後，連接好卸貨軟管後由船岸雙方檢查貨物壓力、溫度和液面高度，當準備就緒後會短暫打開一下卸貨閥使 LNG 循環一下確認管線是否有洩漏，無洩漏時則開始卸貨，卸貨的同時應進行壓載作業，使船在任何時候都能維持平衡及一定的吃水量，而在卸貨時有可能造成貨艙內真空，這會造成貨艙的損壞，因此，通常會將接收站的蒸發蒸氣返回船上保持船艙內的正壓力。

在卸貨後，將殘留在貨艙內的液體用蒸氣加熱的方式氣化，原理大致上是利用在貨艙底部的加熱盤管，通入蒸氣後，蒸氣因外界的低溫凝結成液體，此凝結為放熱反應，則外部的低溫液體吸收此放熱反應所產生的熱蒸發為蒸氣，再利用壓縮機將蒸發的蒸氣引入加熱盤管，而加熱盤管內凝結的液體經由貨艙底部的液體輸送管送到岸上或甲板的儲液槽，此步驟循環直到貨艙內達到環境溫度為止，加熱到環境溫度後，從頂部通入惰性氣體，蒸氣從底部排出，整個貨艙惰化後再利用空氣置換直到艙內氧氣含量為 21%，以上稱為驅氣作業，以上所有流程簡化為流程圖如圖 14 所示。

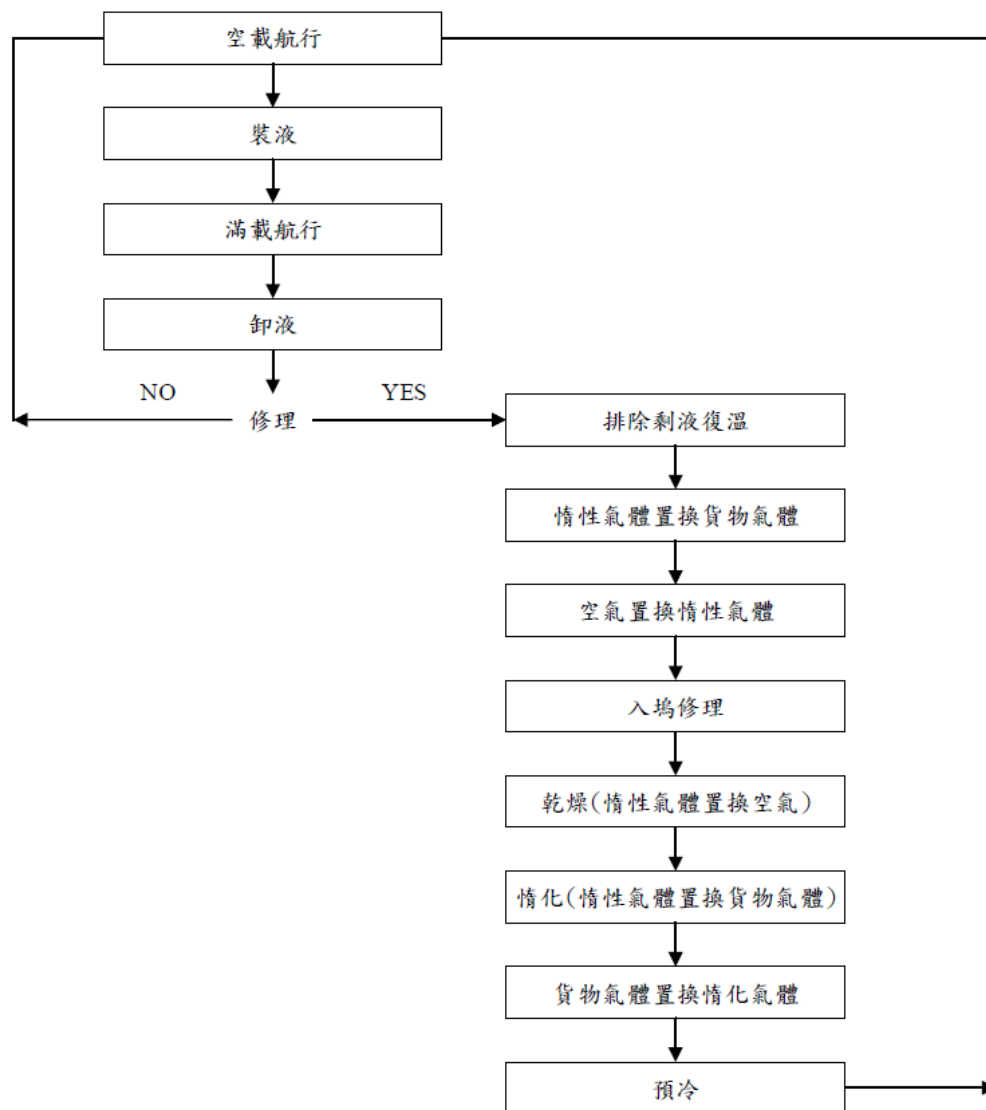


圖 14.LNG 船裝卸流程[10]

2.3 現有專利簡介

為了能夠更加理解 VLFS 概念應用在儲槽上的幾種基本架構，本節將介紹數種離岸之儲存設施的專利，並列出其各構造作用以及作動的原理、優點評估以作為本論文設計的參考。



2.3.1 橢球形浮式儲存槽

本篇專利將儲存槽設計成橢球狀且大部分沒入海中，將儲槽設計在海中主要目的是由於一般的油井取出之油通常直接運送至鄰近油輪上，而油輪本身就是一項成本極高之設施，為了減少此高成本於是此專利設計一個設置於油井旁之浮式儲存槽以利開採之石油能暫時儲存，結構如圖 15 所示。

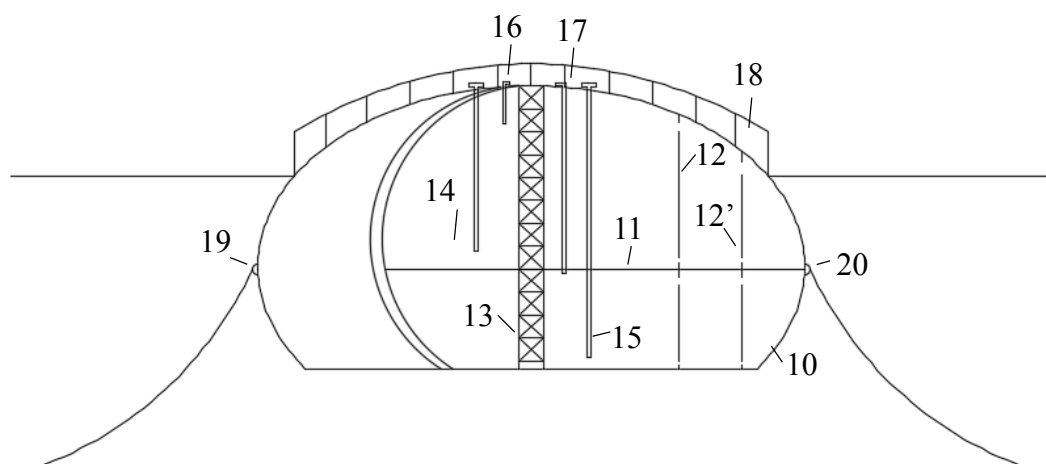


圖 15.橢球形浮式儲槽結構圖[11]

11 為形成橢球長軸之隔壁，12、12' 為縱向隔壁，13 為中央支撐件，其中隔壁之作用是為了使槽內分成很多隔室，且每個隔室互相連通。14、15 為分別為上下槽進排氣之進排氣管，16、17 為在裝滿的情況下為槽排氣之排氣管，19、20 用以繫泊。

此設計的第一個特點在第一段中有提出為設置在油井旁的海下儲槽，此儲槽為漂浮的，因此它必須是穩定的，且只需固定在某一位置並不需要隨時移動。第

二個特點為此儲槽具有入出口能夠調節儲槽之浮力使其能夠沒入水中。

在圖 20 中從此儲槽的形狀可以看出它飄浮在水中時重心總是較低，浮心相對較高，此條件有利於穩定飄浮不易翻滾，且儲槽的任何一個面都以圓形面去面對波浪產生的波動力，這樣使波浪對儲槽的影響較小。在使用時水箱中有許多閥門使水箱各隔室間可以互通，為了在使用中保持穩定，在最初時下半部充滿水，使水在儲槽中使儲槽維持一個穩定的浮動位置，當油箱上半部充滿油時，可以將下半部的水替換成油，這種使用方式可以使儲罐在整個使用期間保持穩定。

2.3.2 具滑軌之球形冷凍液化氣體儲存設施

本篇專利設計了一個具有滑軌的球形儲槽結構，主要目的是將高度冷凍液化氣體儲存在海中，利用海中的環境來克服現有儲存設施和陸地環境的限制，另一個目的是將外部因深度造成的壓力傳遞至槽內使槽內之液化氣體能穩定保持液態，且保持內外壓力相等，這樣能在洩漏時不致於快速擴散，另外設置滑軌可利用深度的不同所造成的壓力差來控制槽內的溫度變化，結構如圖 16 所示。

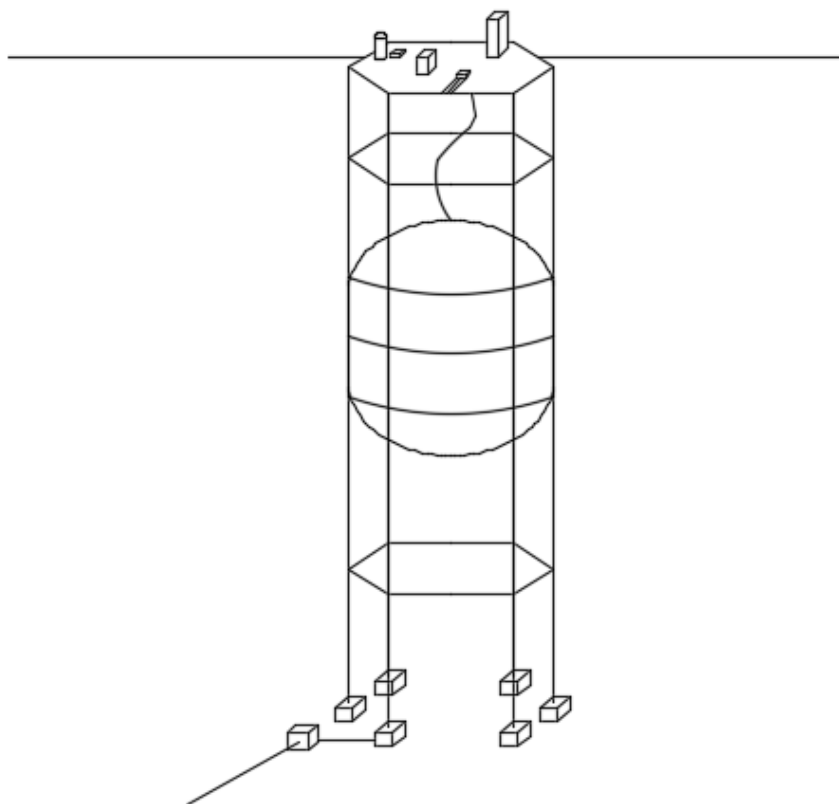


圖 16.具滑軌之球形冷凍液化氣體儲存設施結構圖[12]

整個設備，包括了具有 6 個垂直構件的框架，這 6 個垂直構件使整個設備在水平截面呈現六邊形，好處在於有足夠的結構支撐且面對潮汐及其他的洋流有較強的抗負載能力；框架也對平台提供了支撐，平台上有著整個設備所有的操作設施且有著提供貨船繫泊的船塢，而球形儲存槽的結構如圖 23 所示。

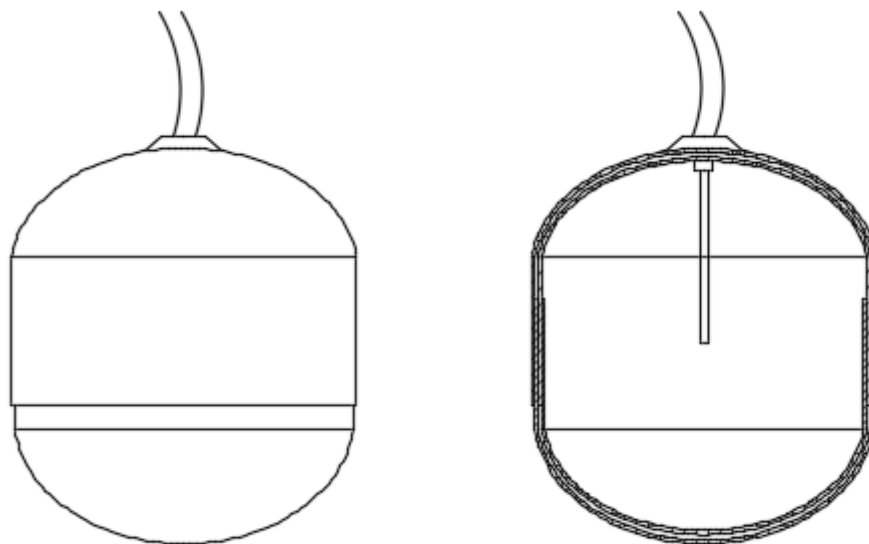


圖 17.球形儲罐結構圖[12]

從圖 17 中可以看出此球形儲罐的伸縮式雙壁結構使其體積可以進行改變；其圓頂中的壓艙室透過可開關之閥門使水流入或排出來調整球狀儲罐的浮力；絕緣軟管則負責液態能量氣體的進出，此連接管從平台連接至儲槽；圓頂內還具有截止閥配合洩壓閥當槽內壓力因蒸發氣體過高時提供洩壓的功能；且由於液化天然氣的密度低於海水，故在儲罐中液態天然氣的量越大浮力則越大，因此儲罐所處的深度會根據液態天然氣的量不同而進行調節，也因為儲罐內溫度的不同為了透過壓力去調節也會改變所處之深度，故整個儲罐的位置是動態的。

而液態天然氣的運送到陸地上流程大致上是從透過絕緣管線經由運送設備沿著框架到海床上的輸送站，並透過非絕緣管線在運送過程中利用海水的溫度氣化並送至陸地，此流程並不包含在這篇專利的設計中。

若在更加險峻的水域中可以設計成不具有平台的形式，並將絕緣軟管裝置在

浮標使其浮在海面上，也可以透過多框架提供多個儲槽以供使用。透過這篇專利可以得知此種方式所建造的儲罐可以大大降低陸上儲罐的風險以及降低成本且洩漏時也較安全不易發生爆炸或火災等重大災難。



2.3.3 具再氣化系統之單點繫泊駁船式 LNG 終端

本發明將舊有的 LNG 運輸船加上再氣化裝置繫泊在離岸以做為離岸 LNG 終端使用，一般的 LNG 再氣化流程大致上為將 LNG 從運輸船上卸載至 LNG 儲存之終端，需要使用時藉由再氣化設施將之氣化並輸送至下游廠，與此不同的是上述設施除了運輸船均在陸地上，本發明的儲存終端以及再氣化設施都在離岸，其結構如圖 18 所示。

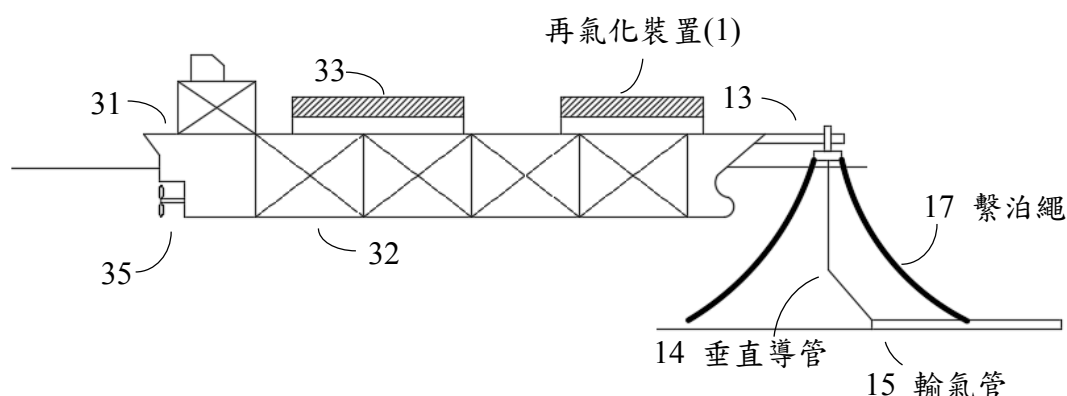


圖 18.具再氣化系統之單點繫泊駁船式 LNG 終端[13]

33 為再氣化設施，31 為 LNG 儲存槽，13 為轉塔繫泊系統，14 為連結輸氣管 15 之垂直導管，其中轉塔 13 可用浮標(未示出)代替，並將 14 帶至海面再利用繫泊線 17 固定位置，在此情況下整個駁船繫泊在浮標上。

此項發明的最大優點在於具有移動性且改善了傳統了離岸 LNG 儲槽的問題就是整體系統可以不需要儲槽只需再氣化設備，當 LNG 運輸船連接上此設施時可直接進行氣化並透過輸送管輸送至陸地上所需的地方，而可移動性即是此設施可隨時移動至需氣化之場所，該場所只需具備輸送設備即可，省去了製造多個再氣化設施所需的成本以及儲槽建造的成本，具有經濟效益且因遠離人群而較安全。

第三章 單點繫泊可移動式浮式 LNG 儲存槽

本章節將介紹具有幾項特點之發明，利如具移動性、穩定及適合各種水域等特色，並詳細說明其整體運作流程以及如何選定儲槽容量之計算，除了整體發明外還介紹海下平台及儲槽本身之設計考量。

3.1 設計結構示意圖

整體設計如圖 19 所示，包括海下平台、繫泊系統以及儲槽本體，整體結構如圖所示，將繫泊系統安裝在海下平台上，此一方法好處在於因平台的關係所以於任何深度海域都不受限，且由於繫泊點位於海平面上方或下方不深處使得儲槽的平台繫泊方便，而儲槽方面可配合陸地上所需藉著拖曳船拖至岸邊供給陸上天燃氣需求方(如發電廠、工廠或民生用途)，圖 20、圖 21 為作業流程示意圖。

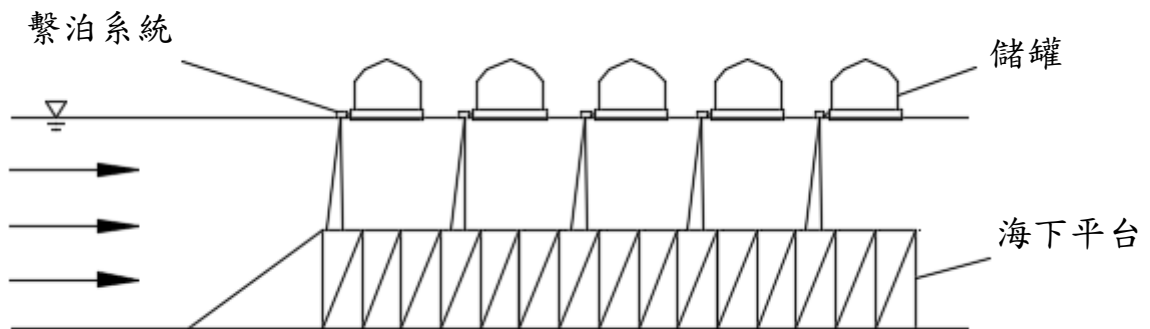


圖 19. 整體系統示意圖

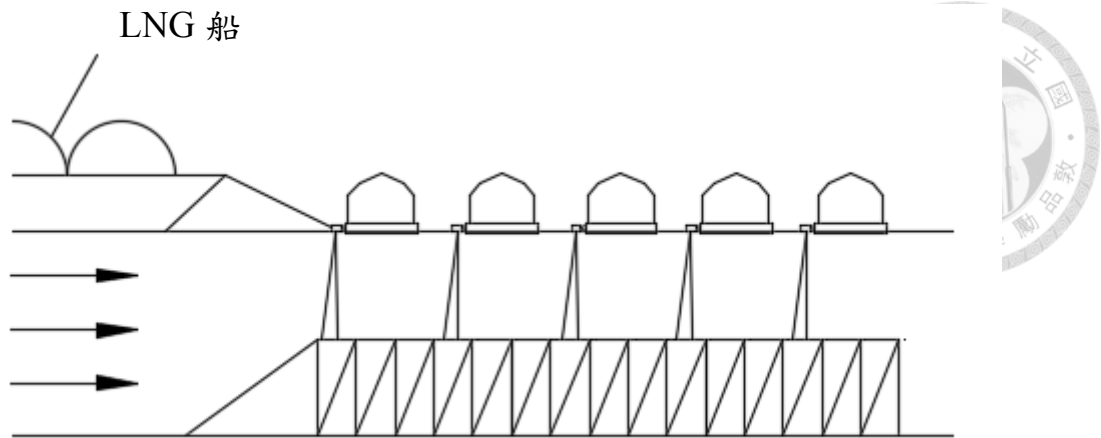


圖 20.LNG 船將 LNG 卸載至儲槽

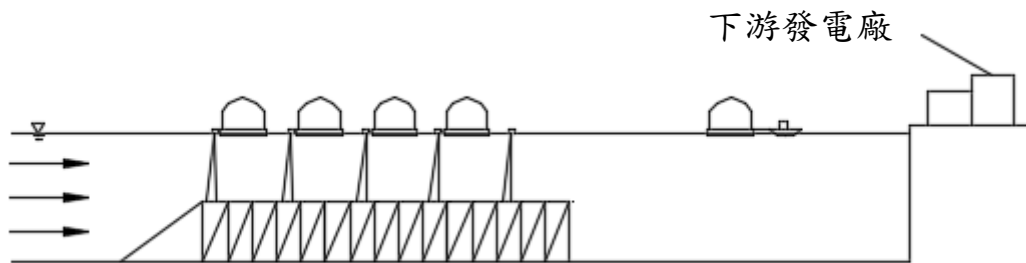


圖 21.用拖船將儲罐拖至岸邊並卸載儲存之 LNG 至下游發電廠

3.1.1 海下平台

由於本論文之設計擬定設置在台灣西部海域，而台灣西部海域受到複雜的海流影響使得海象變化劇烈，由於本設計需繫泊在海床上而繫泊技術將受到海流及海深的影響，故我們擬將建立一個海下平台使本設施可直接繫泊在平台上，而平台除了繫泊本設施外亦可繫泊其他海上設施作為多用途之平台，此平台之設計引用自 Falin Chen, *The Kuroshio Power Plant*, Springer(P.87~P.120), 2013，由於平台之設計不在本論文討論範圍內，故只節錄此書中的結果做為本設計之應用，根據內容描述設計了三種平台並做模擬結果可以得到第三種類型的平台受力後水平及垂直位移均最小且平均分佈，從此結果我們判斷第三種類型之平台設計較適合本論文之需求，故選用第三種平台做為此論文之海下平台，平台外觀如圖 22 所示。

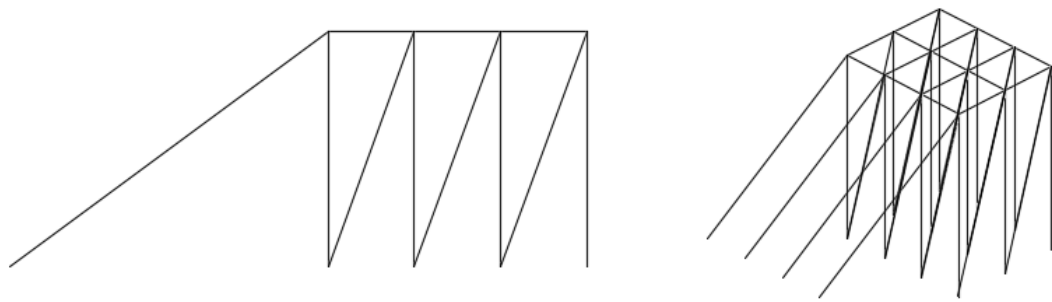


圖 22.海下平台示意圖[18]

3.1.2 繫泊系統

繫泊系統根據不同結構有幾種主要的分類，多點繫泊、單點繫泊、動力定位系統等等。多點繫泊是指海上設置多個浮桶系統提供船隻繫泊並進行裝卸作業；單點繫泊故名思義是將船隻或其他海洋工程設施繫泊在一個固定的浮體上；動力定位系統屬於一種反饋式控制系統，利用推進器去抵抗外在環境所產生的力，使船隻或海上工程設施維持在一個固定的位置。

本設計之繫泊系統將使用單點繫泊(Single Point Mooring)系統，所謂單點繫泊系統是指海洋工程之船舶透過單一個點的形式在另一個固定或是漂浮的結構上繫泊，當船或是其他海上浮式結構繫泊在該結構上時可隨風浪進行 360 度的旋轉，因為風標效應，被繫泊之結構會停在受環境影響最小的位置上。而單點繫泊根據功能分為懸鍊腿(CALM)、單錨腿(SALM)、內轉塔(STP)、固定塔式(FTM)及軟鋼臂(SYM)，如此分類主要是由於回復方式不同。而單點繫泊碼頭的優點在於其全部建設的投資僅同樣等級的固定碼頭的 20%至 30%，每噸裝卸費用也可以節省 30%至 40%，建設時間也較同等級碼頭縮短 20%至 30%，穩定性方面可在 7 級大風、有效浪高 3.5 米的情況下作業，以上優點有利於本論文之設計，故在此設計內我們將採用旋轉塔式(STP)單點繫泊。

3.1.3 儲罐本體

本設計之浮式 LNG 儲罐將參考 LNG 運輸船之構造，而 LNG 船之構造分類在前一章節有簡單介紹，這一小節將詳細介紹各分類的優缺點以及本設計將參考

何種類型的 LNG 運輸船之儲罐設計，首先由圖 23.可知 LNG 船分為下列幾種。

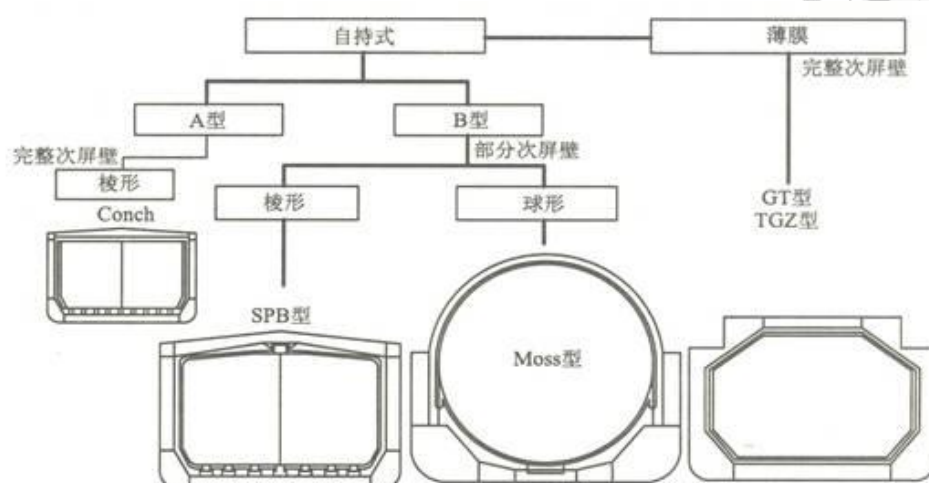


圖 23.LNG 船之分類[19]

分類上從儲罐的支撐方式分為自持式和薄膜式，自持式是指儲罐之負載並非由船體去支撐，而薄膜式(又稱非自持式)儲罐，其負載由船體支撐。而自持式 A 型全部在貨艙，B 型則是部分在貨艙，單論造價而言 B 型較 A 型高價位，因 A 型目前較難應用在 LNG 儲存上，故我們將討論較為常見的 MOSS 型、SPB 型和薄膜型，其優缺點整理如下。

MOSS 型具有操作靈活、晃動響應小、安全性能高等優點，但航行的風阻較大；SPB 型具有設計自由度高、空間浪費小、結構牢固、可靠性高、蒸發率低且任何液位的晃蕩效應皆較小；薄膜型具有主屏壁薄、絕熱性好、強度高、用材小且能耗小，但缺點是晃動效應的影響較大且裝載受到限制。

在此設計中將採用薄膜型，雖受到晃動影響較大，但因成本考量以及薄膜技術成熟已廣為使用，因此我們將參考薄膜型的結構來設計此論文之儲罐。

3.2 儲罐容量計算

儲罐的容量也是本論文需要去討論的地方，而儲罐的容量應包括兩方面，即每艘 LNG 船的卸載容量所需要之儲罐容量 V_1 和滿足 LNG 運送週期間下游所需用量的儲罐容量 V_2 。當船運送到接收站時，接收站的儲罐需要有足夠的容量容納運送來之 LNG，除了上述基本條件外，還需考量若運輸船受到天氣或其他因

素影響到站時間時，為了保障下游有足夠的 LNG 可使用必須穩定供氣。儲罐容量 V1 可由 3.1 式計算。

$$V=V_1(C)+V_2(X,Y,Z) \quad (3.1)$$

其中 V 為接收站儲罐容量(m³)

V1 為接收 LNG 船卸載的儲罐容量(m³)

C 為 LNG 船每艘卸載量(m³)

V2 為航行週期間隔所需供氣量之儲罐容量(m³)

X 為天然氣每日輸送量(m³/d)

Y 為日不均勻係數

Z 為接收站安全儲備天數(d)



3.2.1 本設計所需容量計算

根據經濟部能源局的統計台灣天然氣進口及消費量顯示民國 106 年之天然氣相關資料如下所示。

項目	天然氣
供給 進口量	15,165,123 噸(液態)
消費 公營民營電廠消耗量	16,273,529 千立方公尺(氣態)

表 1.台灣天然氣進口量及消費量

而台灣現有的陸上儲存罐總共有九座，高雄地區 6 座，總量為 69 萬立方公尺，台中地區 3 座，總量為 48 萬立方公尺，合計 117 萬立方公尺，主要用途為民營或公營天然氣發電，約能使用 16 天，而運輸船約每 1.5 天至 3 天會運送至接收站，估計一年會有 230 艘運輸船。

目前世界上的 LNG 運輸船有 12.5 萬立方公尺、14.7 萬立方公尺和 16.5 萬立方公尺等尺寸。近年來由於科技進步，也有 21.6 萬立方公尺和 27.6 萬立方公尺。

液態天然氣之密度為 0.46 噸/立方公尺，配合表 1 可以求得進口之液態天然

氣之體積為 3,296 萬立方公尺，則液態天然氣體積約為氣態的 1/600，將表一之消耗量轉換為液態消耗量為 2,712 萬立方公尺，再將進口體積除以每年來台之運輸船數可得 14.3 萬立方公尺，此為運輸船最小容納體積，因此假設 14.7 萬立方公尺之尺寸運輸船為來台之運輸船尺寸，因全台儲罐儲存的天然氣可使用 16 天，故我們假設 20 天為安全天數，每日消耗量為 7.43 萬立方公尺/天，故我們的儲罐容量應當設計在至少 192.7 萬立方公尺較為適合。

3.2.2 儲罐數量計算

若我們將陸上儲罐大小作為參考，要容納 192.7 萬立方公尺的液態天然氣需求儲罐數如下。

容積	需求數量
12 萬立方公尺	17 罐
16 萬立方公尺	13 罐

表 2.儲罐需求數量

3.3 液態天然氣輸送方式

LNG 從運輸船上卸載現有兩種方式，分為串聯輸送與並聯輸送兩種，串聯的方式是將運輸船之尾端透過轉塔連接終端，並透過軟管做輸送；而並聯則是將運輸船停靠至接收站旁，藉由防撞墊及纜繩繫泊並直接輸送至終端。

並聯輸送由於兩艘船十分的靠近，需要非常先進的監控系統來監控兩艘船的相對運動以調配最好的輸送速度；串聯輸送透過 LNG 船的定位系統和接收端的航向控制，可在任何天氣條件下做 LNG 輸送，且允許波高高達 4-5m。綜上所述，本設計將採用較符合本設計之需求的串聯輸送來做為主要的輸送方式。

3.4 本設計之儲罐結構

本設計之儲罐將採用薄膜型式，其結構如圖 25 所示，單個儲槽設定可儲存

16 萬立方公尺之液化天然氣，而一個浮式結構具有 4 個儲槽，意即總儲量為 64 萬立方公尺，尺寸如圖 25 所示

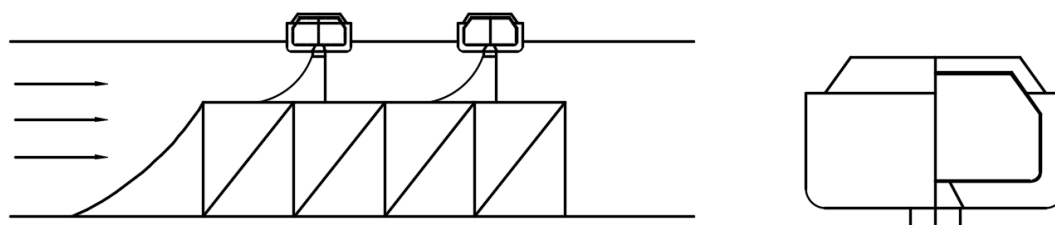


圖 24.儲罐設計圖(左圖為海上配置，右圖為儲罐本體含轉塔)

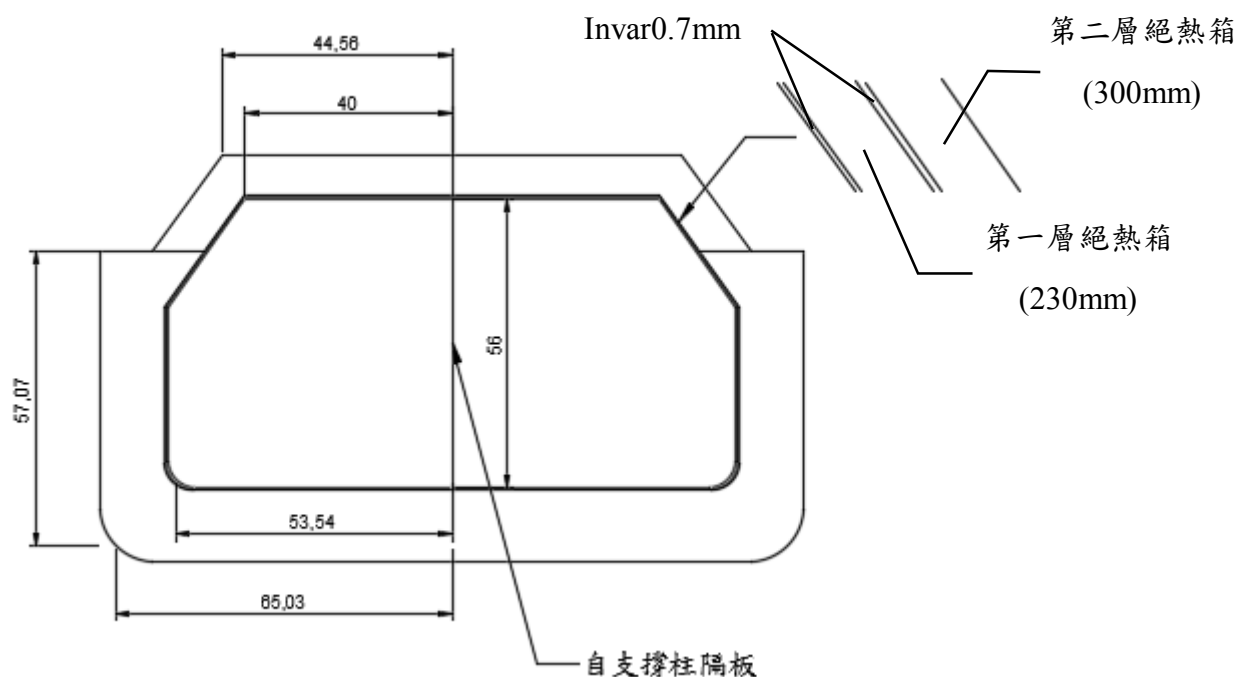


圖 25.儲罐尺寸標示及結構(單位 m)(絕熱箱材質為膨脹珍珠岩)

3.4.1 儲罐內層材料選用

由於儲罐內部儲存的為液態天然氣，必須是極低溫(攝氏-162 度)的情況下保存，故在選用儲罐外殼材料上需考慮其絕熱效果，在這我們參考薄膜罐的絕熱材料選用 Invar 及膨脹珍珠岩搭配做出多層的絕熱薄膜。

其中 Invar 即為含有 35.4% 鎳的鐵合金，其優點為膨脹係數在常溫(-80°C

~230°C)下平均為 $1.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，可以看出其膨脹係數相當小，而導熱係數為 10W/m.K ，僅為一般碳鋼的 25%左右，塑性、韌性、延展性、斷面收縮率及衝擊韌性都很高；缺點是機械強度較低。

而膨脹珍珠岩通常用在保溫用途上，常溫下的導熱係數為 $0.0245\sim 0.048\text{W/m.K}$ ，高溫導熱係數為 $0.058\sim 0.175\text{W/m.K}$ ，低溫導熱係數為 $0.028\sim 0.038\text{W/m.K}$ ，可以看出不管在何種溫度條件下其導熱係數皆相當低，故適合用做保溫材料，優點除了保溫效能好外還有施工便利、易於維修、耐撞擊及具有較好的防火性能；缺點為吸水率高，一但經過吸收水份會降低其保溫性能且易裂。

3.4.2 儲罐外殼材料選用

在儲罐的外殼材料選用上，我們參考幾種常用船體材料，軟鋼、鋁合金以及玻璃纖維強化塑膠，上述三種材料為船體工藝上較常選用之材料，其機械性質比較如表 3 所示。

材料 特性	軟鋼	鋁合金	玻璃纖維強化塑膠
極限應力(kg/mm^2)	41	28	15
降伏應力(kg/mm^2)	24	13	10
伸長率(%)	17	16	-
比重	7.85	2.65~2.70	1.33~1.80
彈性係數	21,000	7,200	1,400

表 3.材料比較

在強度上軟鋼>鋁合金>玻璃纖維強化塑膠，但在比重上玻璃纖維強化塑膠為三者中最小，使用以上材料建造具有相同尺度船支時鋁合金船重為軟鋼船重之 45%~50%，而玻璃纖維強化製造之船重僅為軟鋼船重的 37%~60%，在同樣強度及尺度下軟鋼船較其他兩者重約 1 倍，其載重能力較差，且同樣的移動速度下需要較大的推進馬力，因此近幾年來由鋁合金和玻璃纖維強化塑膠成為主流，以下

整理三者之優缺點並選出適合本設計之材料。

鋼船優點為便宜、高強度、冷熱作皆適宜且不損強度、容易焊接、耐碰撞及容易修復；缺點為容易生鏽需要定期漆油漆保養及重量相對其他兩者較重。鋁合金之優點為重量較鋼輕、耐腐蝕及容易擠壓成形；缺點為電銲上不容易，容易因為電焊導致缺陷產生進而影響強度。最後是玻璃纖維強化塑膠，其優點為不易生鏽、不易腐蝕、不會遭受蟲蛀、維修費用不高而且維修容易，但缺點上由於容易燃燒，頂多加工讓表面不易延燃，但不法像鋁合金那樣耐燃，且報廢沒有利用價值、不能焚化且不能掩埋，對環保會造成影響，且因玻璃纖維強化塑膠不易導電，設被需注意接地且需要避雷針。綜合以上敘述，本設計之目的在於保存液態天然氣，而在海上由於海風以及海水會對金屬造成侵蝕減短壽命，玻璃纖維強化塑膠具有耐腐蝕的特性且不生鏽，加上需進行移動，為了節省拖動所需的馬力減少拖船燃料使用，玻璃纖維強化塑膠具有較輕的特性也得以利用，故本設計將採用玻璃纖維強化塑膠。

3.5 估計本設計儲罐所需之浮力

由於本設施需設置在海面上，故浮力(buoyancy)為此設計重要的一環，而浮力一般是指物體在流體中(包括液體和氣體)中，各表面所受到流體的壓力差或是該物體排開該流體的重量，為了使一個船體亦或是海上設施浮起來，必須先知道設施重量以及載貨重，從上 3.2.2 節可以得知本設計所需之儲罐容量為 16 萬立方公尺，意即載重量為 16 萬立方公尺之液態天然氣，從密度的定義可得知：

$$\text{密度 } \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{質量 } M \text{ (kg)}}{\text{體積 } V \text{ (m}^3\text{)}}$$

將液態天然氣之密度 0.46 噸/立方公尺以及體積 16 萬立方公尺帶入上式可得：

$$\text{單一儲罐質量 } M_{S1} \text{ (t)} = 0.46 \text{ (t/m}^3\text{)} \times 16 \times 10^4 \text{ (m}^3\text{)} = 73,600 \text{ t}$$

此質量為單一儲罐內液態天然氣之質量，一個浮式結構上有 4 個儲罐，故總質量為：

$$\text{總質量 } M_S \text{ (t)} = 73,600 \text{ (t)} \times 4 = 294,400 \text{ (t)}$$

Invar 的密度為 8.1 噸/立方公尺，其第一層體積為 11 立方公尺，第二層體積

為 8 立方公尺，故質量為：

$$\text{第一層 Invar 質量 } M_{I1}(t) = 8.1(t/m^3) \times 11(m^3) = 89.1t$$

$$\text{第二層 Invar 質量 } M_{I2}(t) = 8.1(t/m^3) \times 8(m^3) = 64.8t$$

主絕熱箱(230mm 膨脹珍珠岩)的一般密度為 0.07 噸/立方公尺，其體積為約 2676 立方公尺，故質量為：

$$\text{主絕熱箱質量 } M_M(t) = 0.07(t/m^3) \times 2676(m^3) = 187.32t$$

第二層絕熱箱(300mm 膨脹珍珠岩)的一般密度如主絕熱箱為 0.07 噸/立方公尺，其體積為 3530 立方公尺，故質量為：

$$\text{第二層絕熱箱質量 } M_m(t) = 0.07(t/m^3) \times 3530(m^3) = 247.1t$$

以上皆為單一儲罐絕熱層結構之質量，一個結構為 4 個儲罐組成故總質量為：

$$\text{絕熱結構之總質量 } M_A(t) = (M_{I1} + M_{I2} + M_M + M_m) \times 4 = 2353.28t$$

通常在設計船體或是海上設施時，其船體本身重量約為載重量的 1/10，在上面計算中已求出貨物總重，因此船體重為：

$$\text{船體重量 } M_b(t) = 0.1 \times (294400 + 2353.28) \cong 30000t$$

根據力平衡為了使本設計之結構能浮在海面上，其浮力需等於貨大於船重加上貨物重，因此可以知道所需浮力為：

$$\text{浮力 } F = M_A + M_S + M_b = 2353.28 + 294400 + 30000 = 326753.28t$$

根據浮力的定義，其一為物體所受之浮力等於留體被排開同體積的重量，其二為各表面受到流體的壓力差，根據定義推導如下：

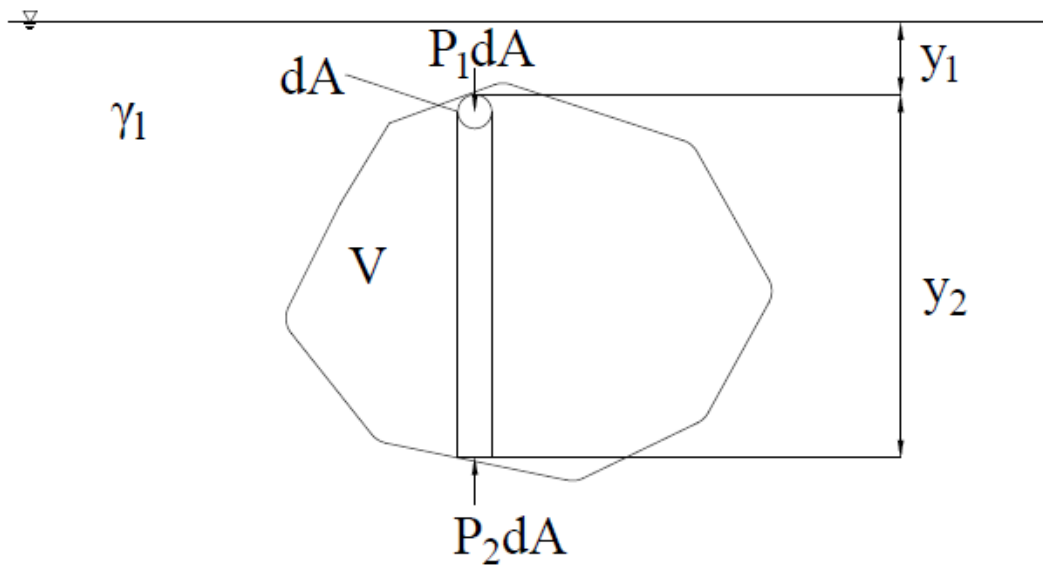


圖 26.在液面下之任一物體

$$\begin{aligned} \text{微小浮力 } dF_B &= P_2 dA - P_1 dA = (P_2 - P_1) dA \\ &= \gamma_l [(y_1 + y_2) - y_1] dA = \gamma_l y_2 dA = \gamma_l dV = dW_l \end{aligned}$$

積分可得浮力為

$$F_B = \gamma_l \int dV = \gamma_l V = W_l$$

其中 γ_l 為液體密度， dA 為物體上任意微小體積， V 為物體之體積， P_1 為物體上方壓力， P_2 為液體下方壓力， W_l 為排開同體積液體重量。從推導結果可得浮力即為排開同體積液體重量。

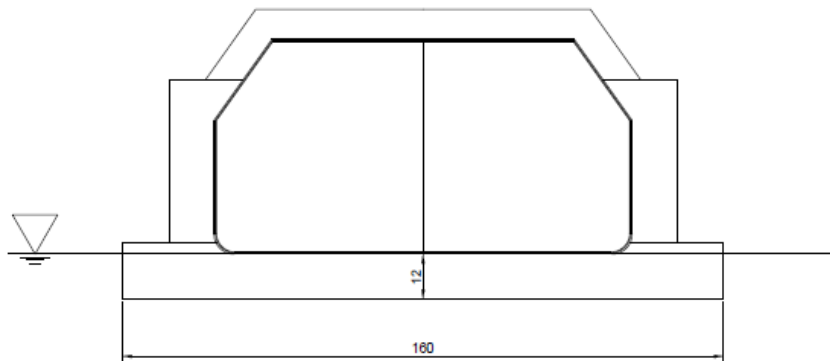
假設海水密度為 1.07 噸/立方公尺，浮力為 326753.28 噸，從浮力公式我們可以求得為了使本設計順利浮在海面上所需排開液體體積為：

$$\text{排開液體體積 } V_l = \frac{F_B}{\gamma_l} = \frac{326753.28}{1.07} \cong 305377 m^3$$

由於本設施需拖行至近海將儲槽內之液態天然氣卸載至陸地上下游工廠或是發電廠，因此吃水量不可太深，故將原本設計改良，增加一類似浮筒之平台構造，其材質如外殼使用玻璃纖維強化塑膠，構造如圖 27 所示。



a.



b.

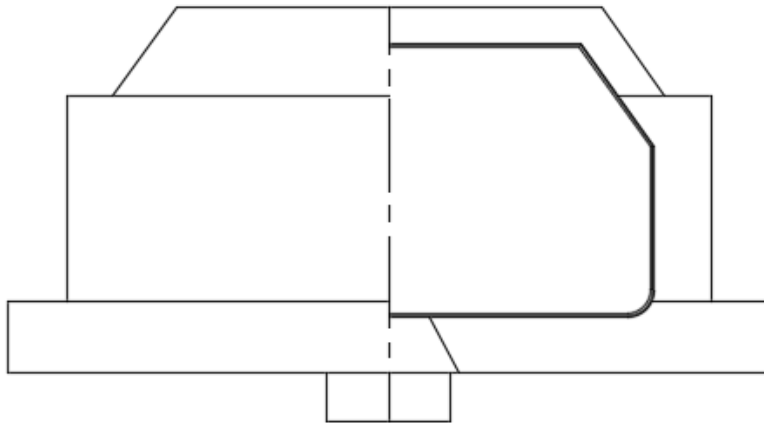


圖 27.改良過後儲罐之結構：(a)不含繫泊系統之儲罐剖面圖；(b)含繫泊系統內外圖

根據上述設計圖之尺寸，液面下體積為 307200 立方公尺，即滿足上述使結構浮起之排開液體體積，且吃水量最高至 12 公尺，目前全球第二大的液態天然氣運輸船停靠碼頭所需吃水深度即為 12 公尺，故本設計 12 公尺為理想範圍內。

3.6 作業流程

本設計整體作業流程有基本的幾個步驟，包括運輸船卸載至儲罐、將儲罐使用拖船拖至沿海並將儲罐內之液態天然氣輸送至下游發電廠，如圖 28 至 30 所示。

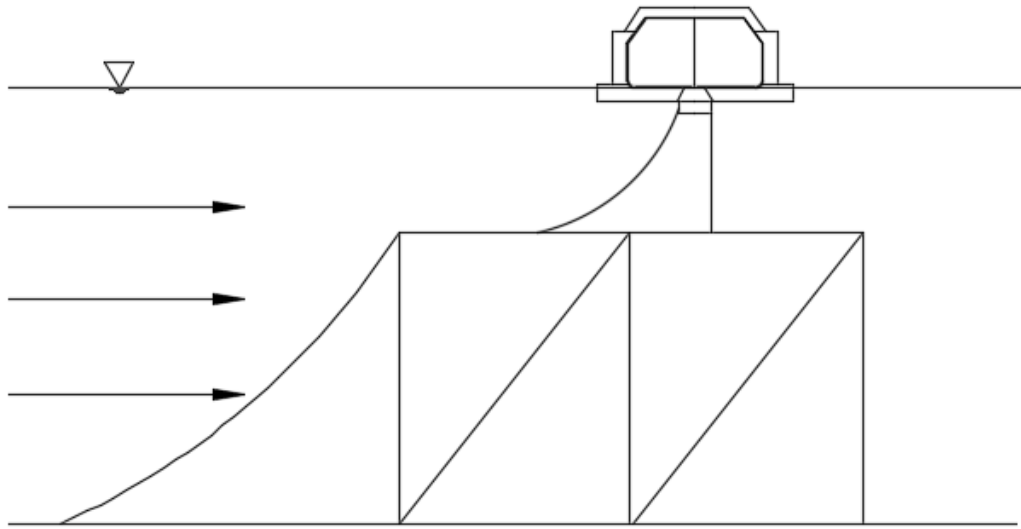


圖 28.儲罐繫泊於海下平台(僅顯示一座儲罐)

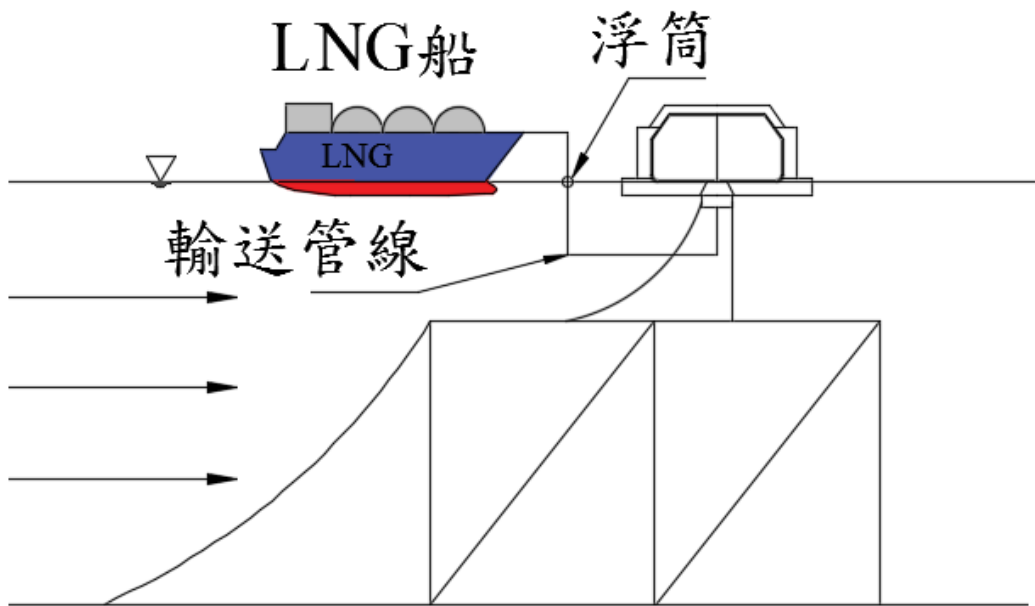


圖 29.LNG 船停靠在儲罐旁並卸下 LNG

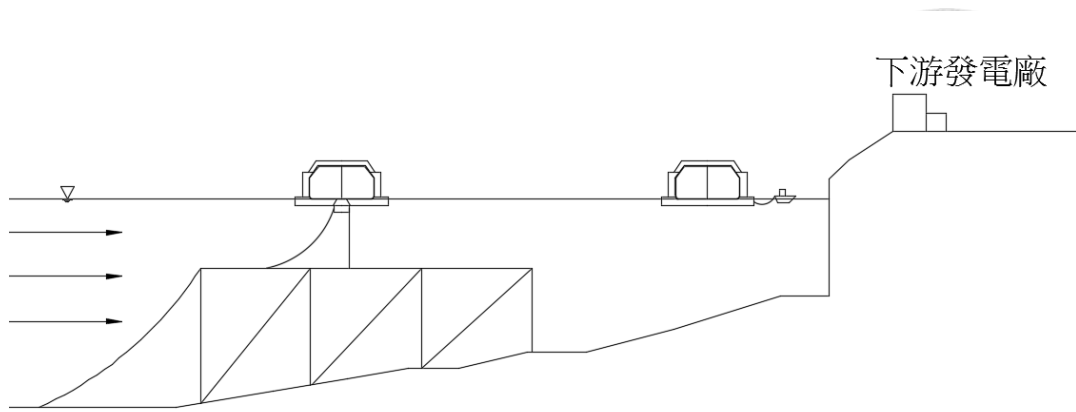
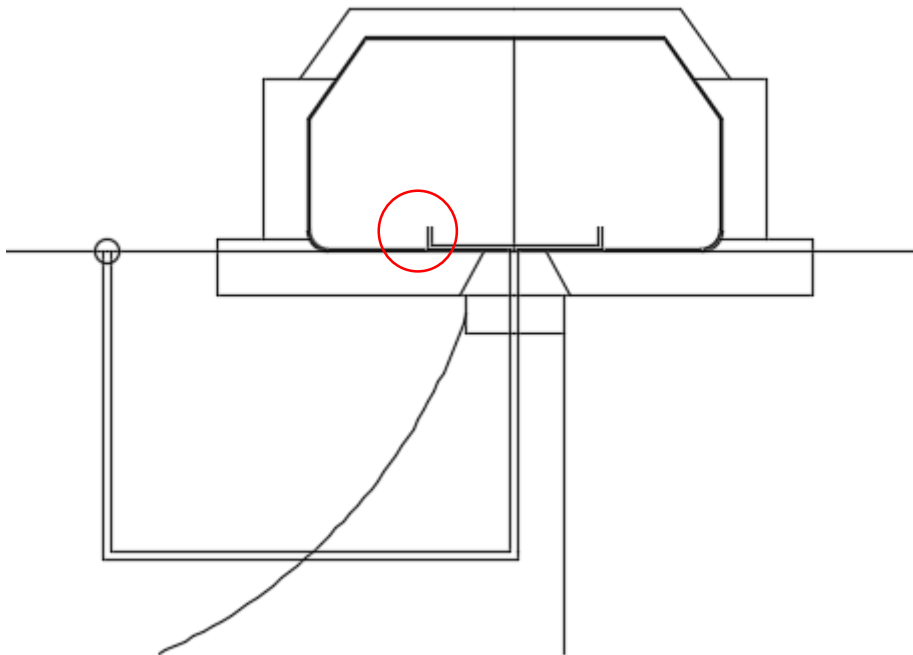


圖 30.用拖船將儲罐拖至近海陸地旁

其輸送至儲罐內的方式是透過轉塔系統將管線透過浮筒浮在海面，並經由 LNG 船端將管線接上並輸送至儲罐內，詳細結構如圖 31 所示。

a



b

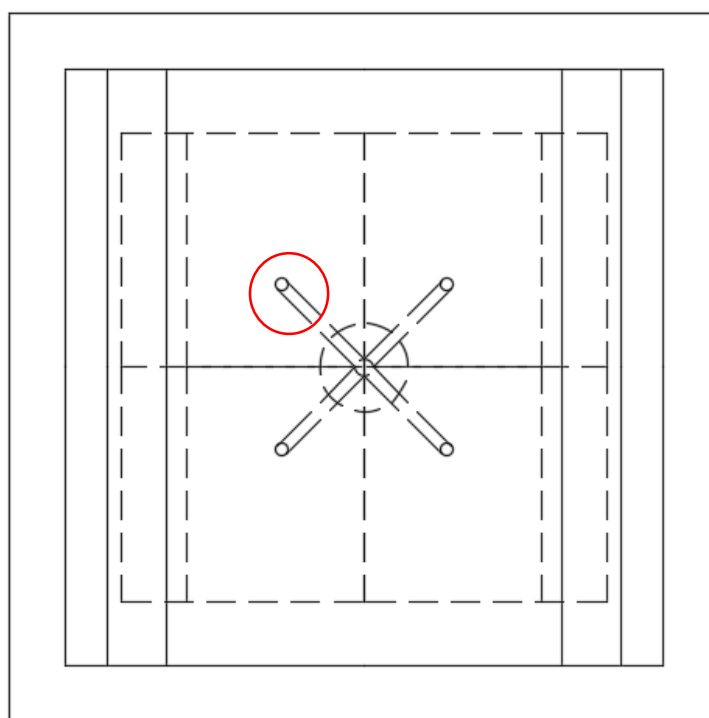


圖 31.透過 LNG 船輸送過來之 LNG 將分配至 4 個不同儲罐(紅圈處為管線出口，a 為前視圖，b 為上視圖)

3.7 儲罐熱傳分析

由於儲罐內部為常壓低溫之液態天然氣且其溫度相當接近其沸點，為了確保天然氣在儲存過程中不致蒸發太多而造成浪費亦或是造成內部壓力過大使薄膜罐產生破壞，通常會設計一部分回流蒸發氣體送至儲罐內透過源有的內部低溫液體重新冷卻，但為了蒸發速度不會太快，儲罐本身的絕熱效果也是相當重要，本章結將使用 COMSOL 模擬儲罐與外部空氣之間的熱傳，並繪製出其溫度在儲存 15 天內的分佈情形及變化量。

3.7.1 模擬之幾何模型與設定參數

模擬的模型參照本設計之外型，尺寸採用 1:1，因設計的幾何為對稱幾何，故只做二維的模擬，模型圖如圖 32 所示。

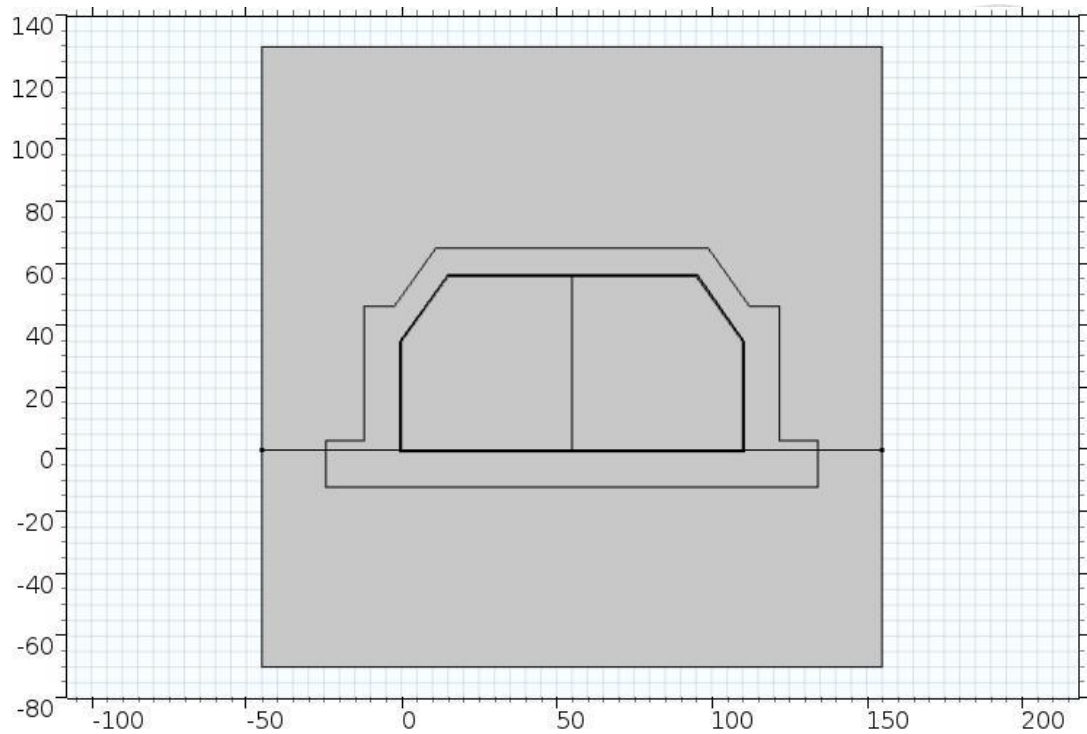


圖 32.模擬之幾何模型

將模擬需使用之參數，包括各材料之密度、導熱係數、等壓比熱整理如表 4 所示。

性質/材料	密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	等壓比熱 $C_p(\text{J}/\text{kg}\cdot\text{k})$	熱傳導係數 $K(\text{W}/\text{m}\cdot\text{K})$
Invar36	8.13×10^3	0.515	13.8
膨脹珍珠岩	80~120	0.67	0.028~0.038
LNG	460	344.8	8.3736
FRP	1600-2000	1170	0.325
空氣	1.205	1005	0.0257
海水	1070	3993	0.596

表 4.各物質參數表

除上述物理性質外，我們將設定海水及空氣、膨脹珍珠岩、FRP 等材料初始溫度為 25°C (298.15K)，儲罐內的液態天然氣初始溫度為 -162°C (111.15K)，以符合真實情況。

邊界條件設定為各材料之間溫度連續、熱通量連續，周遭假設為無限大故設為絕熱。

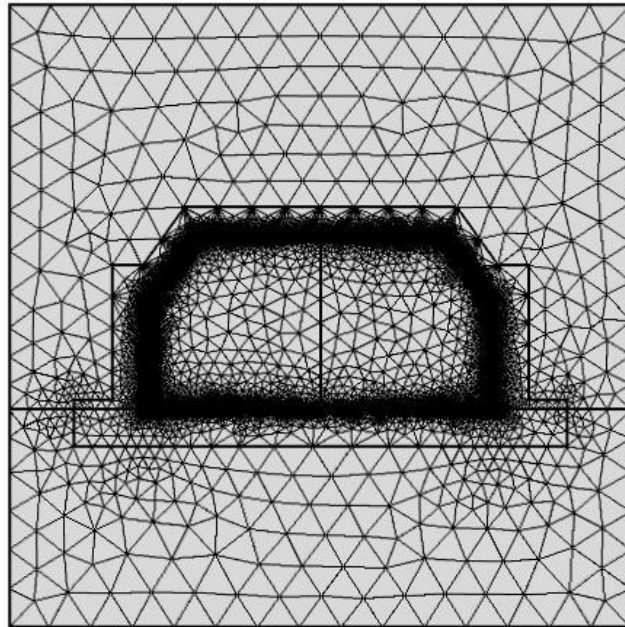


圖 33.網格圖

經測試後，網格極細化與極粗化結果相去不遠，為了節省計算時間且不失精準，此模擬採用一般大小之網格，如 33 所示。

3.7.2 熱傳導方程式

本模擬假設如下：

- (1)無熱源
- (2)每個材料交界處溫度連續
- (3)忽略輻射效應
- (4)材料為均質材料
- (5)材料之熱性質為常數
- (6)二維
- (7)靜止

我們考慮一三維空間內存在某種材料，此材料內的溫度分佈為 $T(x,y,z,t)$ ，如

圖 34 所示。

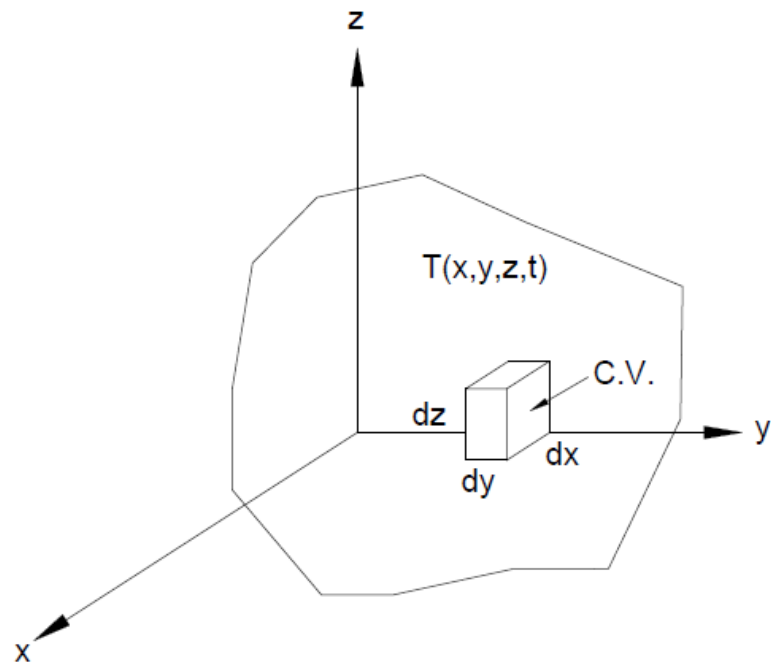


圖 34.三維空間內的材料

任取一微小的控制體積(C.V.)如圖 35.所示。

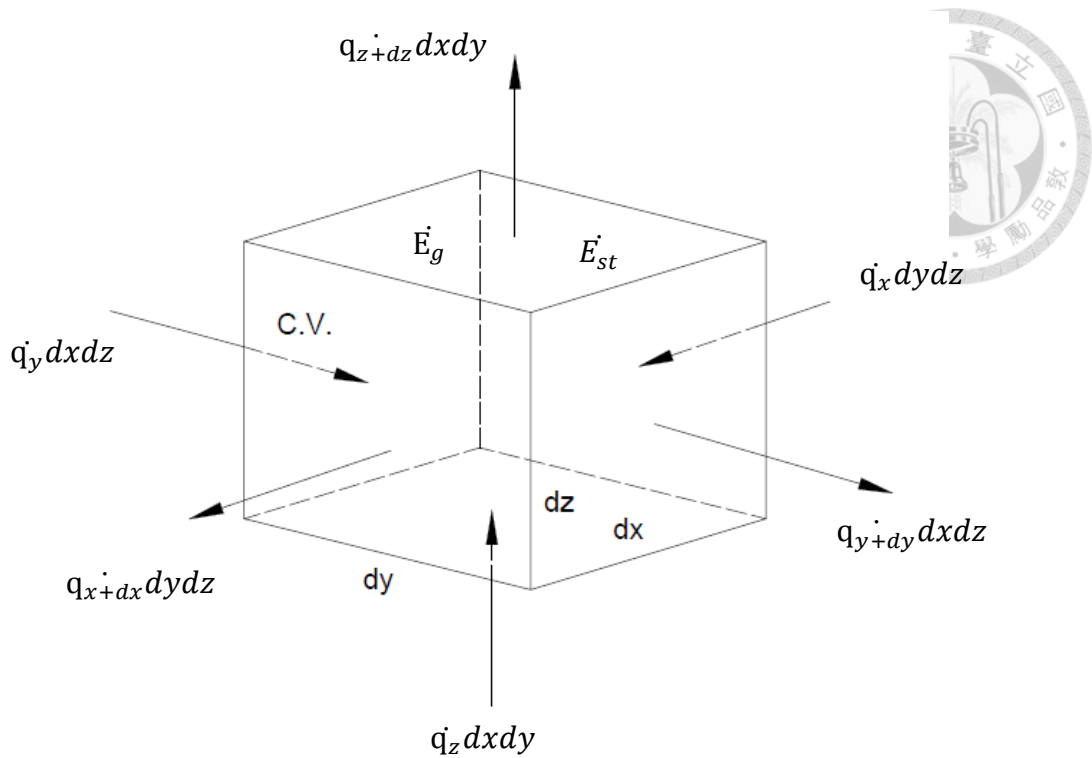


圖 35.取一微小體積為系統

由能量守恆方程式可得：

$$\sum \dot{Q}_{in} - \sum \dot{W}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} \quad (\text{其中由於系統靜止故 } \dot{W}_{out} \text{ 為 } 0)$$

$$\rightarrow (\dot{Q}_x - \dot{Q}_{x+dx}) + (\dot{Q}_y - \dot{Q}_{y+dy}) + (\dot{Q}_z - \dot{Q}_{z+dz}) + \dot{E}_g = \dot{E}_{st}$$

$$\rightarrow (\dot{q}_x - \dot{q}_{x+dx})dydz + (\dot{q}_y - \dot{q}_{y+dy})dxdz + (\dot{q}_z - \dot{q}_{z+dz})dxdy + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} \quad (1)$$

由泰勒級數展開可得：

$$\dot{q}_{x+dx} \approx \dot{q}_x + \frac{\partial \dot{q}_x}{\partial x} dx$$

故：

$$(\dot{q}_x - \dot{q}_{x+dx})dydz = \left[\dot{q}_x - \left(\dot{q}_x + \frac{\partial \dot{q}_x}{\partial x} dx \right) \right] dydz = -\frac{\partial \dot{q}_x}{\partial x} dxdydz$$

將 Fourier's law 代入上式可得，x 方向之淨輸入熱傳率為：

$$(\dot{q}_x - \dot{q}_{x+dx})dydz = -\frac{\partial}{\partial x}\left(-k\frac{\partial T}{\partial x}\right)dxdydz = \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)dxdydz(2.1)$$



同理可得 y 及 z 方向之淨輸入熱傳率為：

$$(\dot{q}_y - \dot{q}_{y+dy})dxdz = -\frac{\partial}{\partial y}\left(-k\frac{\partial T}{\partial y}\right)dxdydz = \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)dxdydz(2.2)$$

$$(\dot{q}_z - \dot{q}_{z+dz})dxdy = -\frac{\partial}{\partial z}\left(-k\frac{\partial T}{\partial z}\right)dxdydz = \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)dxdydz(2.3)$$

在微小控制體積(C.V.)內，能量產生率為：

$$\dot{E}_g = \dot{g}V_{c.v.} = \dot{g}dxdydz(3)$$

其中 \dot{g} 為單位體積之能量產生率。

由於物體處於靜止狀態，因此儲能變化率與內能變化率相同，即：

$$\dot{E}_{st} = \frac{\partial}{\partial t}(U)_{c.v.} = \frac{\partial}{\partial t}(mCT)_{c.v.} = \frac{\partial}{\partial t}(\rho CTdxdydz)_{c.v.} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}dxdydz(4)$$

將(2)~(4)代入(1)，並同除以 $dxdydz$ ，可得在直角坐標下之熱擴散方程式為：

$$k\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)\right] + \dot{g} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}$$

因無熱源故 $\dot{g} = 0$ ，將上式轉為向量形式可得本模擬之統御方程式為：

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k\nabla \cdot \nabla T$$

3.7.3 模擬結果

台灣液態天然氣的儲存量約能提供 16 天的使用量，故應當在 16 內儲罐內的溫度不會上升過多導致蒸發過多的氣體造成使用量的不足，因此我們模擬當空氣與海水及儲罐皆為常溫 25° C，內部之液態天然氣為-162° C，在 15 天內的溫度變化情形，圖 36 為儲槽內之溫度在 15 天內之變化(以小時為單位劃分 360 小時)。

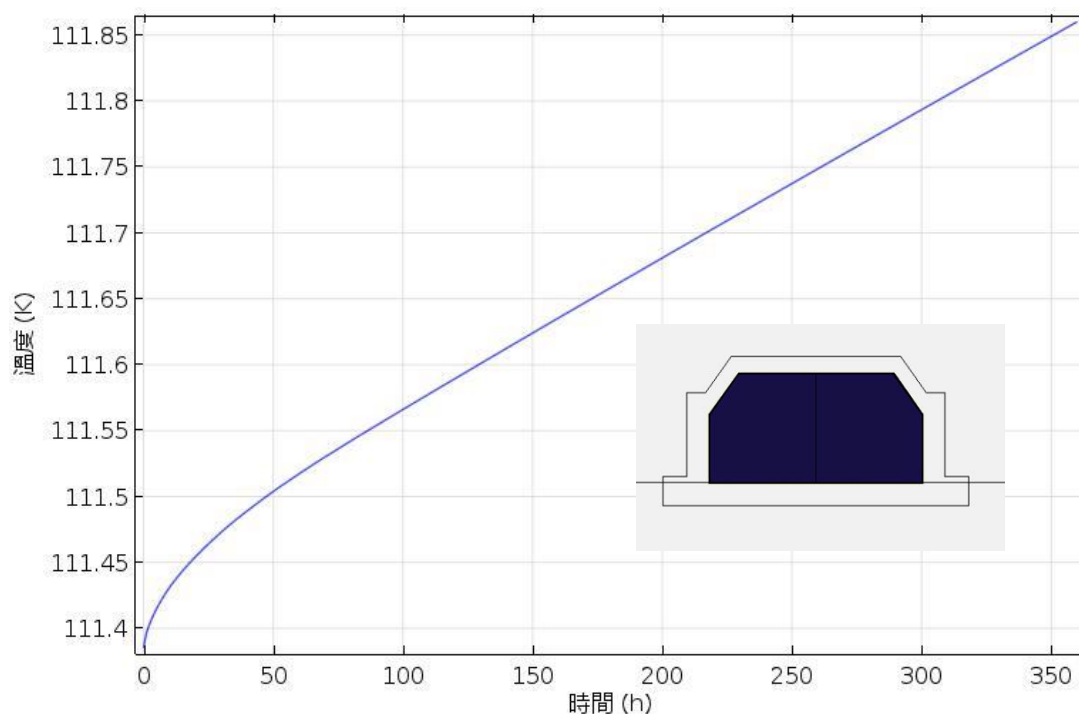


圖 36.儲槽內溫度變化(小圖深藍色為計算範圍)

從此溫度折線圖可以看出 15 天內僅上升 0.4° C 左右，此上升溫度不致影響儲槽內的液態天然氣氣化過多，表示此設計之絕熱效果相當有效，而在儲槽外殼的溫度折線圖，圖如 37 所示，其溫度變化量在 15 天內約下降 0.4° C 左右，此變化量表示內部儲存之低溫液體不會使儲槽外殼的結構受到低溫影響而產生結構上的危害。

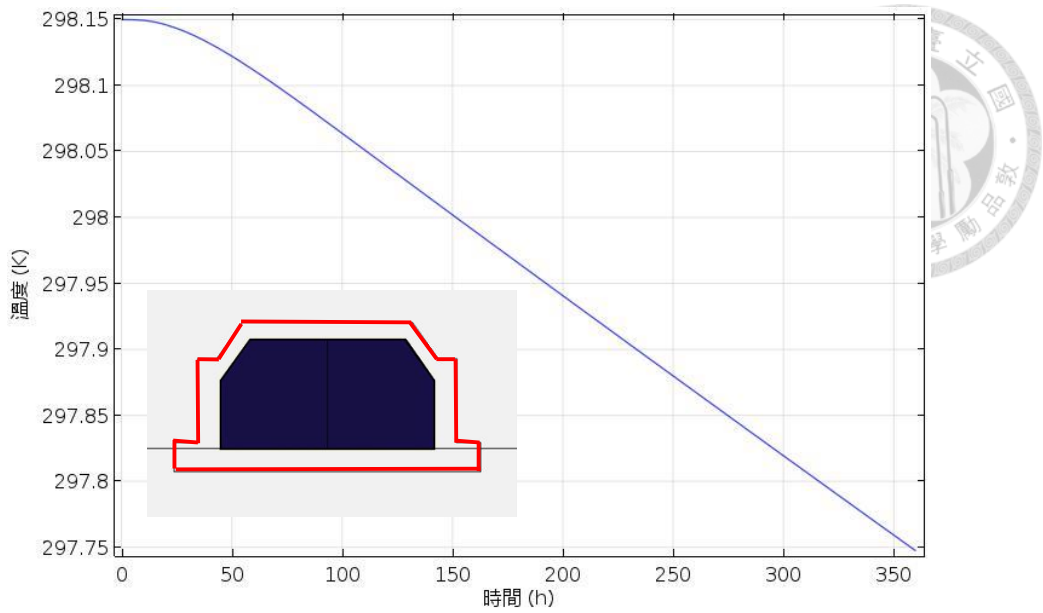


圖 37.儲槽外殼溫度變化量(小圖紅框內除深藍色部分為計算區域)

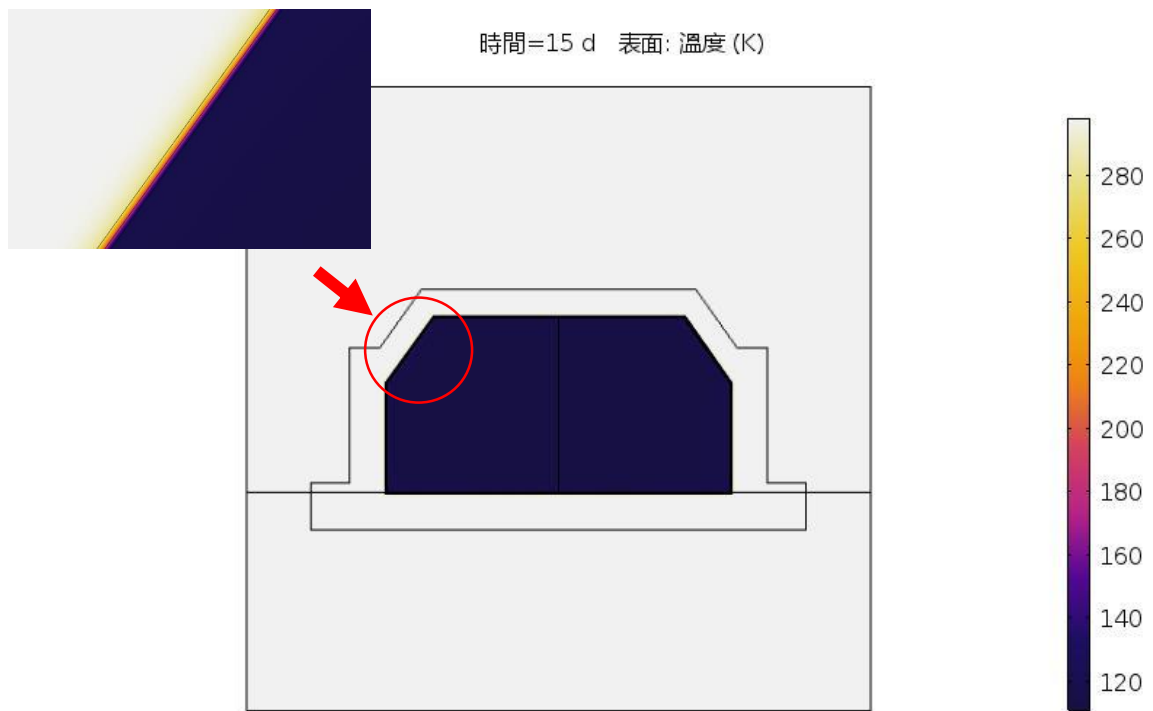


圖 38.儲槽及外殼溫度分布圖

從圖 38 可以看出溫度下降的部分僅儲槽外殼內層接近隔熱層的部分，而並非整個外殼，這表示外殼的材料熱傳導並不明顯，因此並不會使外在的環境受到低溫的影響。

3.8 儲罐所受環境力估算

計算出環境力可幫助建立在不同環境下作用於繫泊系統上的力，而環境力包括風力、波浪力、海流力，在這裡為了計算的方便，我們有以下幾點假設：

(1)在此列出的皆為靜態數據，若為動態(如偏移、傾倒)的情形，實際上的受力可能為靜態受力的 2 倍至 3 倍。

(2)不考慮力之間的交互作用。

(3)系統處於穩定位置，錨定作用方向沿著主導力的方向或達到平衡位置。

(4)錨鏈平行於船的中心線，故僅需考慮風力、波浪力和海流力的垂直分量。

(5)不考慮懸鏈效應。

參數設定如表 5 所示

波高(m)	週期(s)	風速(m/s)	海流流速(m/s)
4.7	10.4	7.36	1.5

表 5.參數設定(波高與週期參考氣象局龍浮標測得之值[20]，風速為氣象局統計台灣年平均風速[21]，海流速度為黑潮表面流速之最大值[22]。)

3.8.1 風力

計算風力如以下公式所示：

$$F_{XW} = \frac{1}{2} \times C_{XW} \times \rho_W \times V_W^2 \times A_T(N)$$

其中 C_{XW} 為風力係數，其值與風和結構夾角、船舷外型有關，在此我們根據文獻[23]與本論文參數設為 0.78。； ρ_W 為風之密度，其值為 1.28 kg/m^3 ； V_W 為風速，其值根據氣象局統計台灣平均風速為 7.36 m/s ； A_T 為受風面積，與結構高度、長寬有關，上述公式計算之值除以 10000 將單位換算為 T。

3.8.2 海流力

計算海流力如以下公式所示：

$$F_{XC} = \frac{1}{2} \times C_{XC} \times \rho_C \times V_C^2 \times L_{BP} \times T(N)$$

其中 C_{XC} 為海流力係數，其值與海流和結構夾角、船艙外型有關，在此我們根據文獻[23]與本論文參數設為0.05； ρ_C 為海水之密度，其值為 1025 kg/m^3 ； V_C 為海流速度，其值根據洋流調查資料為 $1.0 \text{ m/s} \sim 1.5 \text{ m/s}$ ； L_{BP} 為結構接觸水之長度； T 為吃水量，上述公式計算之值除以10000將單位換算為T。

3.8.3 海浪力

由於海浪力較為複雜，無法由經驗公式求得，但根據文獻其值與波高、週期有關，故我們由文獻中的三維圖配合本論文給定條件可以查得符合本結構之海浪力大小，其值為65T。

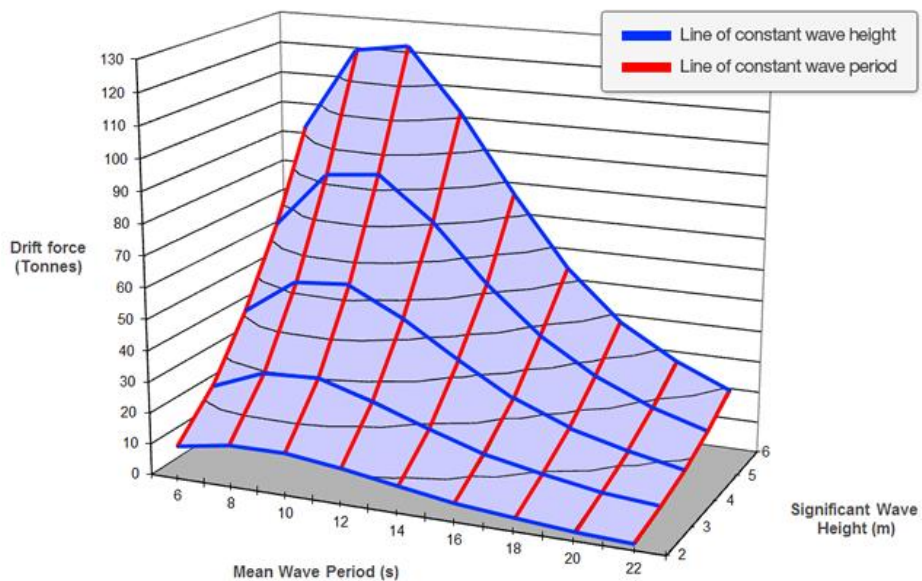


圖 39.波浪力三維圖[23]

3.8.4 總環境力

總環境力為風力、海流力與海浪力值之和，在此我們將改變整個設施的高度，受風面積與結構接觸水之長度、吃水量也會因此而受到影響，並計算總環境力並比較不同高度的值，其結果如表6所示。

力	高度			
	60m	40m	20m	10m
$F_{XW}(T)$	23.9	20.74	18.75	20.28
$F_{XC}(T)$	11.07	9.59	8.75	6.05
Wave Drift Force(T)	65	65	65	65
Total(T)	99.97	95.33	92.5	91.33

表 6.總環境力隨高度及吃水量變化

可以看出為了保持總體積相同，將高度下降時在 10m 時因結構長寬增加受風面積因此增加，故風力較 20m 時為高；而因接觸水的長度增加，浮力保持相同，液面下體積因此相同，故吃水量變小，海流力量隨之變小；而波浪力因只受波高與週期並與幾何參數無關，故值皆保持不變，僅管風力在 20m 變為 10m 時增加，但總環境受力的值是下降的，因此可得之結構在海面上面積增大高度變小可降低錨鍊固定結構所需之張力。

第四章 可行性與成本分析



4.1 台灣周圍海域深度調查

本小節將調查台灣四周海域的深度，以利於選出本論文之設計擺放之最佳位置，整體台灣海域如圖 39 所示，西部海域如圖 40 所示。

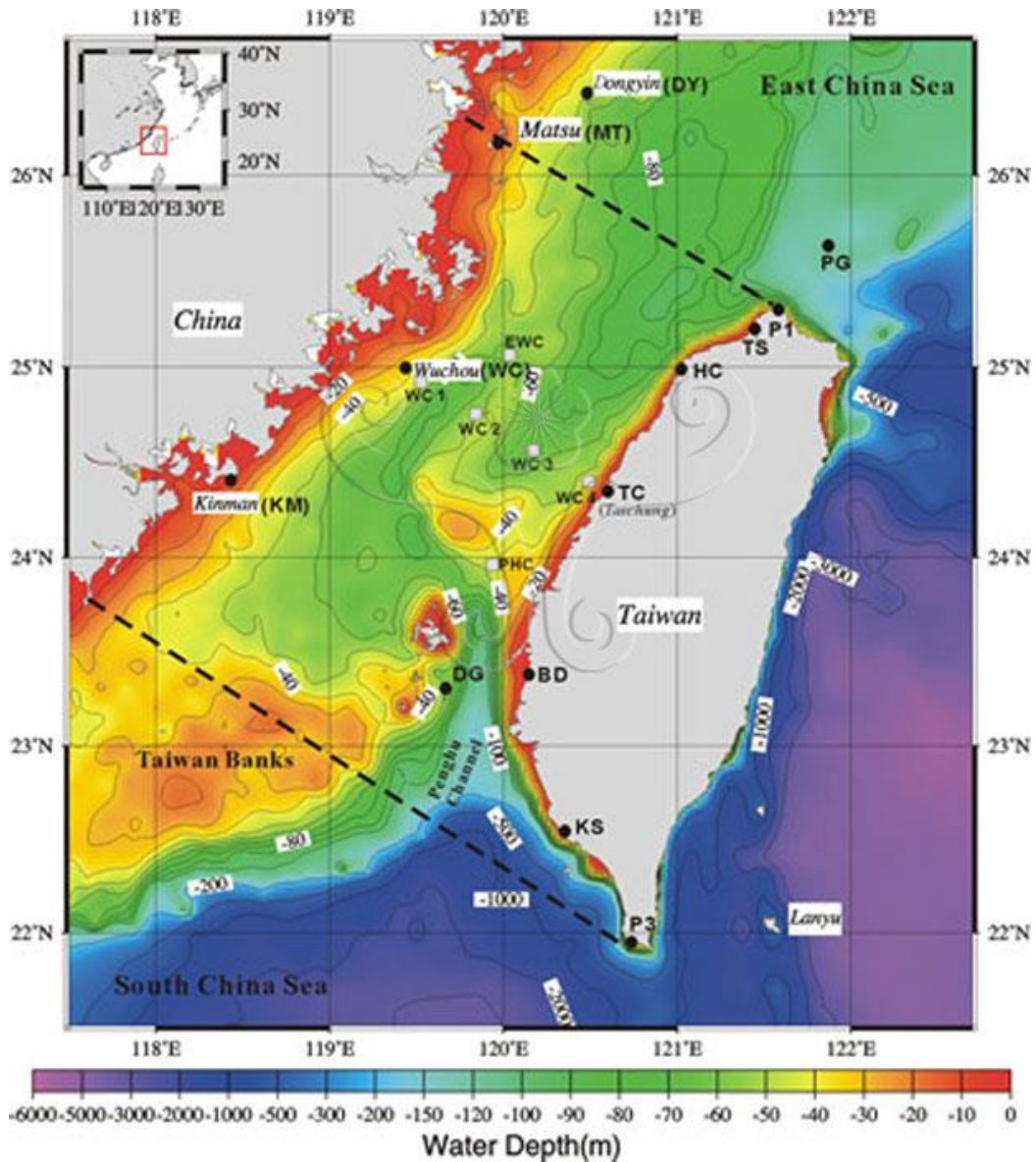


圖 40.台灣海域深度圖(虛線範圍內為台灣海峽)[24]

圖片來源：<https://kknews.cc/society/jzreavy.html>

台灣海峽海底地形圖

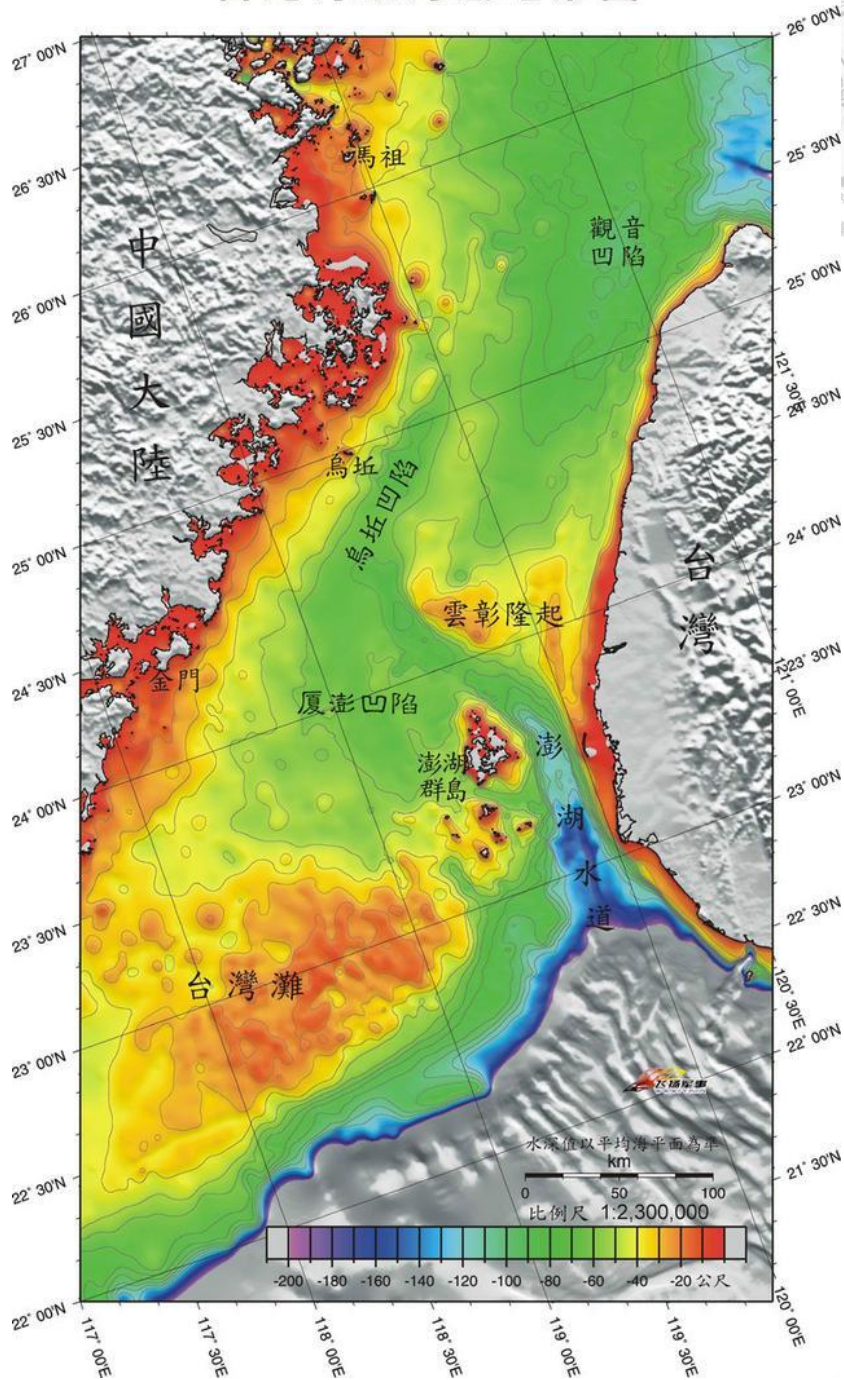


圖 41. 西部海域圖 [24]

圖片來源：<https://kknews.cc/society/jzreavy.html>

從圖 39 可以看出西部海域深度不超過 100 米，東部海域為 200 米以上，圖 40 的西部海域圖可以看出約莫在中南部地區的海域在海外 20 公里內深度為 15 至 20 米。

4.2 本設計適用海域以及規劃地點

從上一節台灣海域圖可以看出西部海域的海深在海外 20 公里內平均為 15 至 20 米，而本設計最大吃水量為 12 米，可得知本設計位於西部海域皆適用。而現今台灣具有兩座液態天然氣接收站，一座位於中部地區，一座位於南部地區，原擬定在大潭電廠外海設置第三座天然氣接收站，但由於填海造陸規劃地與藻礁保護區距離較近，會影響生態環境導致保育團體的反對，故本論文之設施將規劃在海外，無須填海造陸，且施工過程皆在陸地上進行，防止了對藻礁保護區的威脅。



圖 42.大潭電廠與保護區以及天然氣接收站預定地相對位置 [25]

圖片來源：<http://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/1126326>

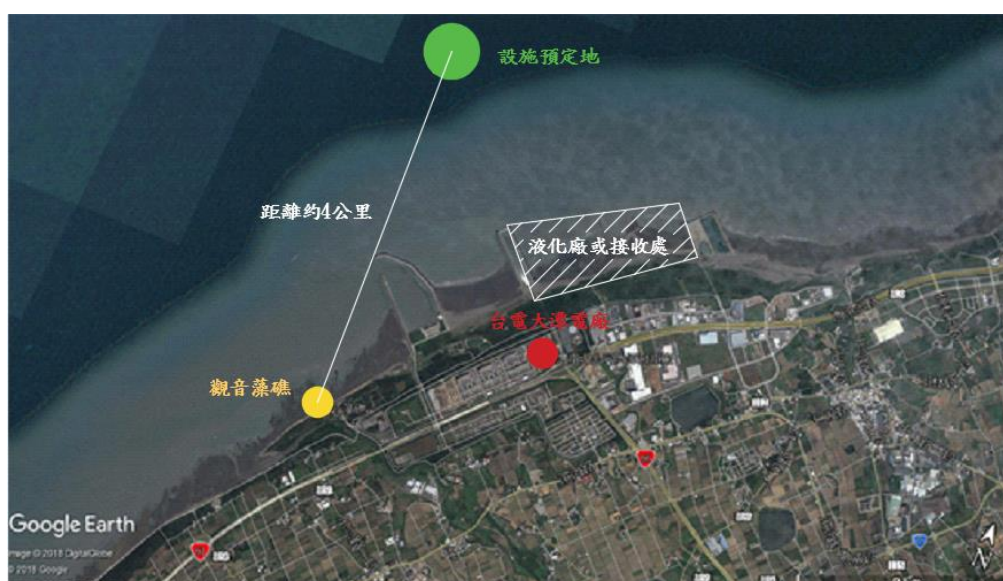


圖 43.本設施預計規劃位置

4.3 成本計算

本論文成本計算將著重在儲罐本體的材料花費，根據工程上的經驗材料成本應為總成本的一成，由於本論文之施工成本難以估計，故僅以材料成本做為基礎，並根據經驗將總成本估算出。

本論文之設計主要材料為 Invar、膨脹珍珠岩、玻璃纖維強化塑膠，以上材料價格如表 4 所示。

材料	價格
Invar	約 1475 元/公斤
膨脹珍珠岩(板)	1940-3000 元/立方米
玻璃強化纖維塑膠(原料)	5.7 元/公斤

表 7.各式材料價格(2018/4/14)

(Invar 來源：<https://detail.1688.com/offer/547457165922.html?spm=a261b.2187593.0.0.de004443nSd5Fd>；

膨脹珍珠岩來源：<http://www.xykwb.com/html/xwzx/gsxw/1482.html>；

玻璃強化纖維塑膠(原料)來源：<https://detail.1688.com/offer/529050517250.html?spm=a261b.2187593.0.0.6db4256bUKUuHX>)

根據上表以及第三章計算所得之材料重量與體積計算成本如下：Invar 價格為 227,002,500 元；膨脹珍珠岩(板)價格為 12,039,640 元至 18,618,000 元；玻璃強化纖維塑膠(原料)價格為 171,000,000 元，材料總成本約為 4 億 1 千萬元台幣，並根據上述條件推算出建造一個儲罐所需之成本約為 40 億元台幣，此價格不包含液化廠、轉塔及管線設置。

第五章 結論與未來展望



本章主要為本設計與其他設計的優缺點比較，以及設計上的缺失和本題目未來發展的討論性。

5.1 結論

本設施最終設計結果是建立一個可移動、穩定且適合各種水域的結構，而結果是本設施可移動，但穩定性上的考慮上缺乏數據驗證，適合各種水域上由於有平台的建設，即使在海況較為劣勢亦或是海流較強的情況下理應能維持海上結構不至位移過於劇烈，在與其他設計的比較上，與 US4,232,983 及 US2,655,888 比較本設計優點在於具有移動性，且後者需調節內部載重以穩定設施在海中浮動的位置，本設計無論內部是否有載重都是浮在海面上無須進行為了裝卸貨進行調節，與 US6,546,739 B2 比較本設計優點在於儲存容積較大，可以裝載較多的液態天然氣以維持下游供氣量的充足並因此專利需 LNG 船做並聯式卸液，需要較精準的定位系統，本設計採用串聯式卸液較為便利，在與 Adriatic LNG terminal 比較上是無須接觸海床，不用去考慮到對海底環境的影響，與陸地上各種儲槽的比較上，優點在於因設施在海上，安全上的考量較優於陸上儲槽，且因陸上儲槽須在周圍無人或其他建築的情況下建造大大製造了土地利用的浪費，本設施因在海上雖亦須考量到周圍環境但並不會造成土地利用上的浪費，且成本上陸地儲罐需 40 億台幣，與本設施相去不遠，但在後續的效益上本設施回收利益優於陸地上的儲罐。

5.2 未來展望

本論文主要是簡單的結構的設計、材料成本以及浮力計算、熱傳導模擬，然而在儲槽的設計上還有許多需要改善的地方，例如結構的強度、儲槽內液體翻騰現象、整體設施受海浪影響及天氣影響，未來可將本設計做為模型進行應力應變的分析亦或是結構受到海浪力的影響等等，並進而改進本設計的缺點發展一個較為可行的設計並實施到生活中以改善陸地上儲存設施對於土地利用及環境的影響，成本方面需考量到海上施工部分技術層面的問題，如能加強這方面的學識及經驗亦可評估較為準確的成本計算以做為未來建設的考量。

參考文獻



1. 經濟部能源局. 能源統計手冊, 2016;
https://www.moeaboe.gov.tw/ECW_WEBPAGE/FlipBook/EnergyStaHandBook/mobile/index.html#p=1
2. 內政部戶政司.”人口年增加及出生死亡率.”
3. C. M. Wang & Z. Y. Tay, *Very Large Floating Structure: Applications, Research and Development*. Procedia Engineering, 2011. **14**: p.62-72.
4. H. Suzuki, B. Bhattacharya, & M. Fujikubo, *very large floating structures*. Proceedings of the 16th International Ship and Offshore Structures Congress. Southampton, UK, vol.2., 2006.
5. H. Suzuki, *Overview of Mega float: Concept, design criteria, analysis, and design*. Marine Structure, 2005. **18**(2): p.111-132.
6. G. Remmers, R. Zueck, P. Palo, & R. Taylor, *Mobile offshore base*. Paper presented at the International Offshore and Polar Engineering Conference, International Offshore and Polar Engineering, Montreal, Canada, May, 1998.
7. 呂娜娜, 謝劍, 楊建江, *大型低溫儲罐建造技術綜述*. 特種結構, 2010. **27**(1): p.105-108.
8. 猿中立, 闫倫江, *LNG 低溫儲罐的設計及建造技術*. 石油工程建設, 2007. **33**(5): p.19-22.
9. 施林圓, 馬劍林, *LNG 液化流程及管道輸送工藝綜述*. 天然氣與石油, 2010. **28**(5): p.37-40.
10. 李品友, 崔益嵩, 韓厚德, *LNG 船液或裝卸系統的研究*. 上海海運學院學報, 2001. **22**(4): p.53-56.
11. I. W. Alcorn, *Floating storage tank*. U.S. Patent No 2,655,888, 1953.
12. F. S. Cook, *Offshore submarine storage facility for highly chilled liquified gases*. U.S. Patent No 4,365,576, 1982.
13. C. F. Frimm ; J. R. K. DE LAENDER, ; L. F. L. CAPPOEN, *Method and apparatus for offshore LNG regasification*. U.S. Patent No 6,546,739, 2003.
14. http://tmp2.wikia.com/wiki/Pneumatically_Stabilized_Platforms_-_PSP
15. 陳宏市, *液化天然氣輸送工程—液化與氣化*, 科學發展, 2011. **465**:p.54-57.
16. 台灣中油天然氣事業部; <https://new.cpc.com.tw/division/lngb/information->

- [text.aspx?ID=12](#)
17. 許潤能源, *LNG 接收站儲罐形式及儲罐大型化發展趨勢*; http://www.xurun-nengyuan.com/html/2016/jishu_0612/320.html
18. F. Chen, *The Kuroshio Power Plant*, Springer International Publishing Switzerland 2013.
19. 聞名不如見面—小編帶你走進 LNG 船; <https://news.hsdhw.com/505976>
20. 交通部氣象局.”波浪統計.”, 1998-2017.
https://www.cwb.gov.tw/V7/climate/marine_stat/wave.htm
21. 台灣濱海地區風速估算, <https://www.swp.energy/zh-hant/wind-speed-estimation-for-coastal-area-around-taiwan/>
22. 莊文傑, 廖建明, 台灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流影響之評估 (1/4)—POM 海洋數值模式應用於台灣鄰近海域之洋流模擬, 2010.
23. OCIMF Oil Companies International Marine Forum Estimating The Enviromental Loads On Anchoring Systems, Oct, 2010.
24. 京口岩, 台灣海峽介紹—台灣海峽地型, 每日頭條, 2017-07-13;
<https://kknews.cc/society/jzreavy.html>
25. 黃佩君, 譚偉晟, 劉力仁, 謝武雄, 觀塘接氣站環差 9 月底補件, 2017-08-12; <http://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/1126326>

