

離岸風電之水下基礎生產簡介與地熱發電 /CCS(碳捕捉+封存)之管材應用需求

(屏東大學資工系碩士班專題演講)

中鴻公司 技術處
徐正恩

2023年9月18日

講師介紹

姓名：徐正恩

Email：157818@mail.csc.com.tw

學/經歷	時間
台灣大學_材料所_碩/博士	2000.09~2006.06
德國Aachen大學GFE電子顯微鏡中心研究	2005.01~2005.12
中鋼公司 研究員	2007.02~迄今
興達海基 生產助理副總	2020.05~2020.12
中鴻公司 技術處處長	2021.01~迄今

簡報大綱

一、離岸風電

- (A)離岸風電之基礎概念
- (B)水下基礎之產製介紹
- (C)短結

二、地熱發電

- (A)地熱能源及地熱井之簡介
- (B)管材國產化之推動過程
- (C)短結

三、碳捕捉、碳封存(CCS)

- (A)CCS概述
- (B)CCS管材需求
- (C)短結

四、總結

CCS: Carbon Capture and Storage

CCUS: Carbon Capture Utilization and Storage

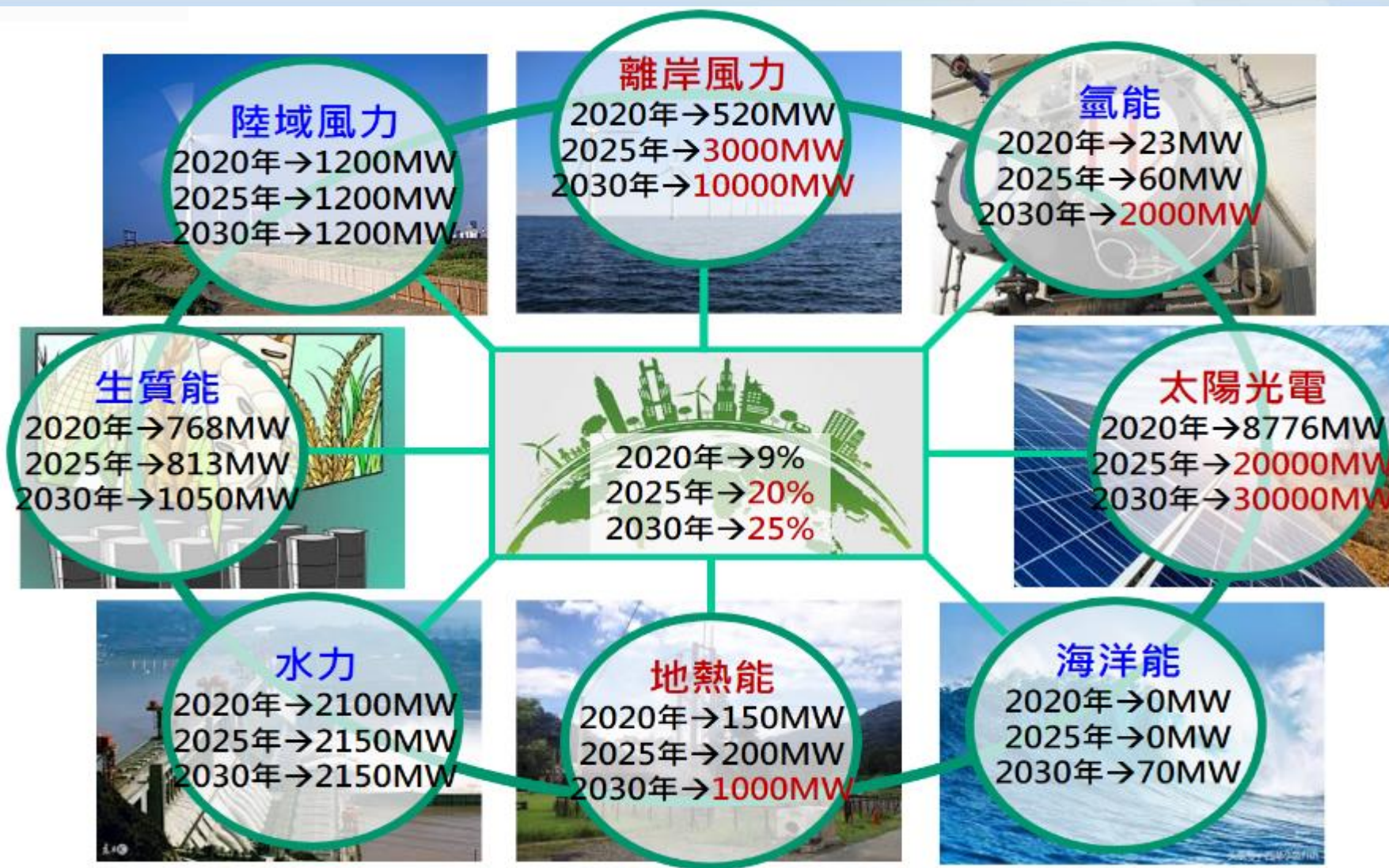
一、離岸風電: (A)離岸風電之基礎概念

(A)離岸風電之基礎概念(1/16) → 什麼是潔淨能源？



網路資訊

(A)離岸風電之基礎概念(2/16) → 臺灣有那些可發展的潔淨能源？



離岸風電、太陽光能、地熱能是經濟部能源局評估高潛力的綠能開發項目

(A)離岸風電之基礎概念(3/16) → 全球離岸風電的發展趨勢？



- (1) 目前主要集中在歐洲，尤其是德國與英國，其次為法國、丹麥、比利時。
- (2) 中國為主要發展潛力國家，預估2030年設置11.5GW後將成為全球最大。
- (3) 在亞洲，台灣、韓國、日本、越南亦積極投入開發。
- (4) 美國預計2030年設置10GW，將成為全球第二大。

2019~2030年全球離岸風電發展預估 (Make Consulting 2018.5/GWEC)

(A)離岸風電之基礎概念(4/16) → 臺灣適合發展離岸風電嗎？

◆ 據國際機構統計，全球前 20 處離岸風能最佳場址多位於台灣海峽。

■ 淺海區 (水深 5 - 20 m)

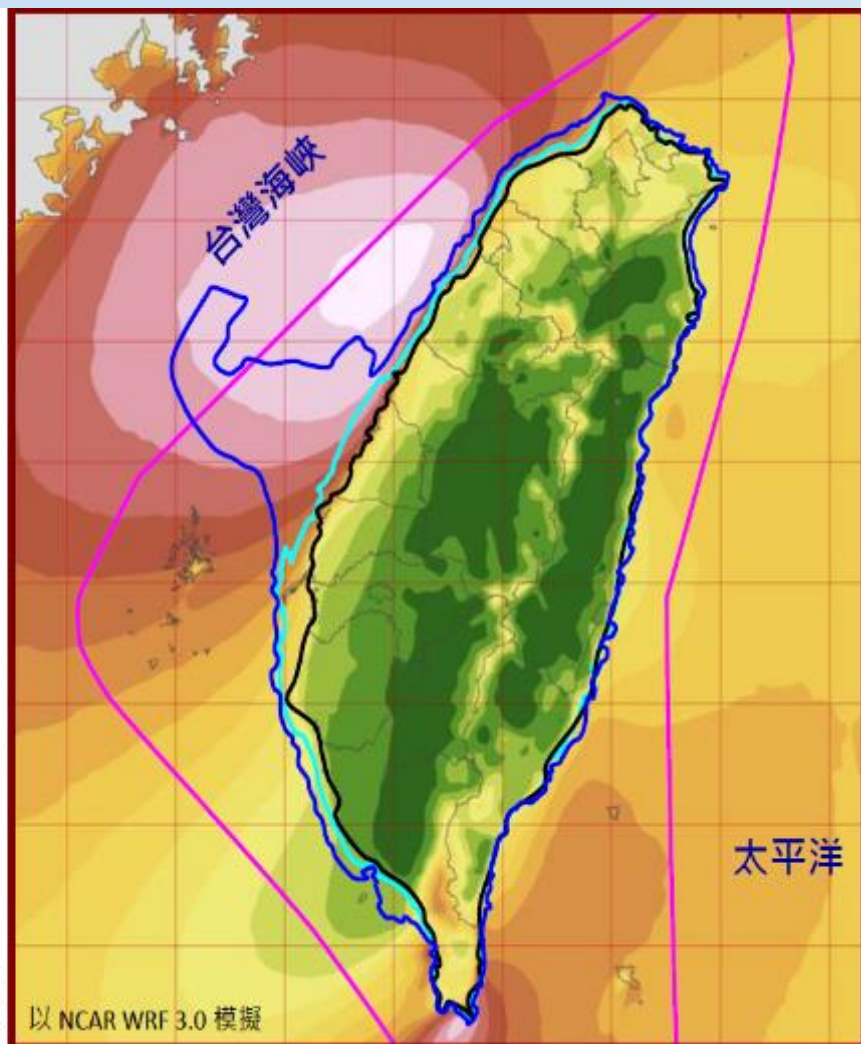
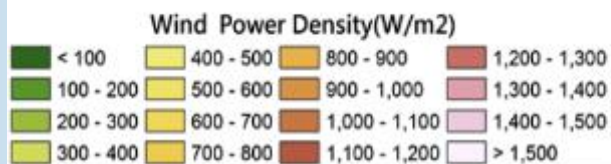
- 面積 1,779.2 km²
- 潛能 9 GW、可開發 1.2 GW

■ 深海區 (水深 20 - 50 m)

- 面積 6,547 km²
- 潛能 48 GW、可開發 10 GW

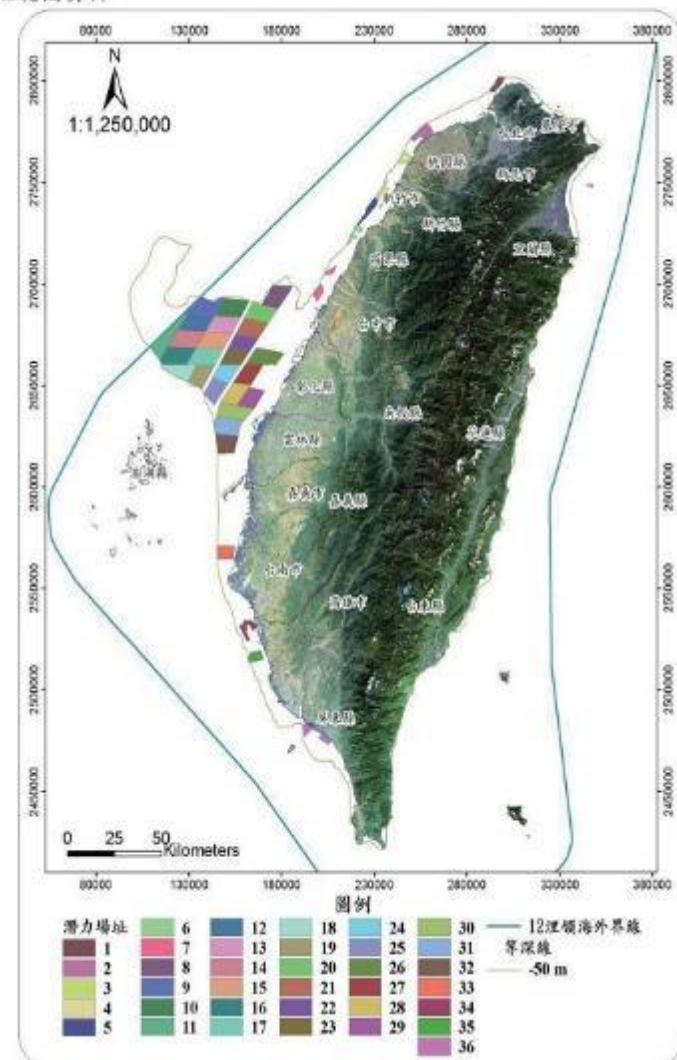
■ 極深區 (水深 50 m - 領海邊界)

- 潛能 90 GW
- 可開發 > 10 GW



資料來源：臺灣風能評估手冊，工研院綠能所，2011

潛力場址範圍資料



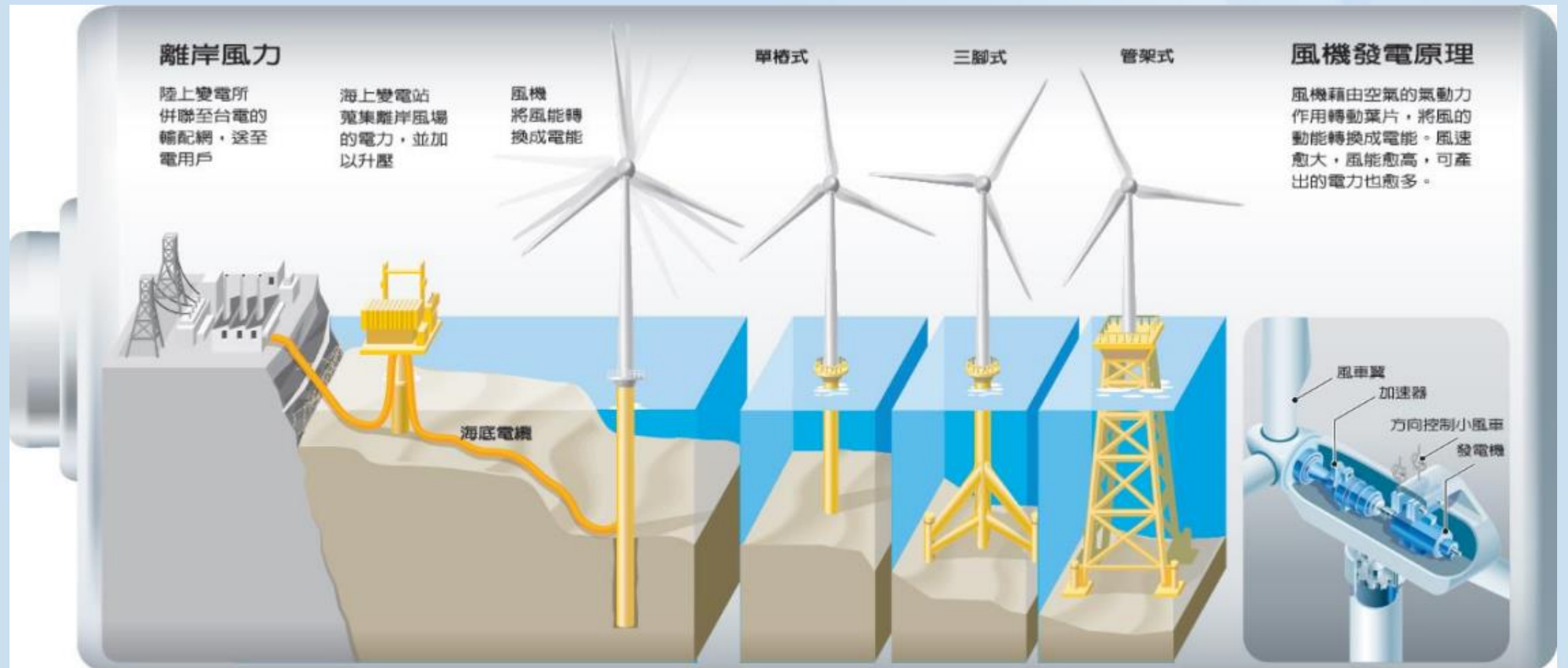
台灣風場分佈狀況與標定之待開發潛力場址

(A)離岸風電之基礎概念(5/16) → 臺灣在離岸風電的發展目標？



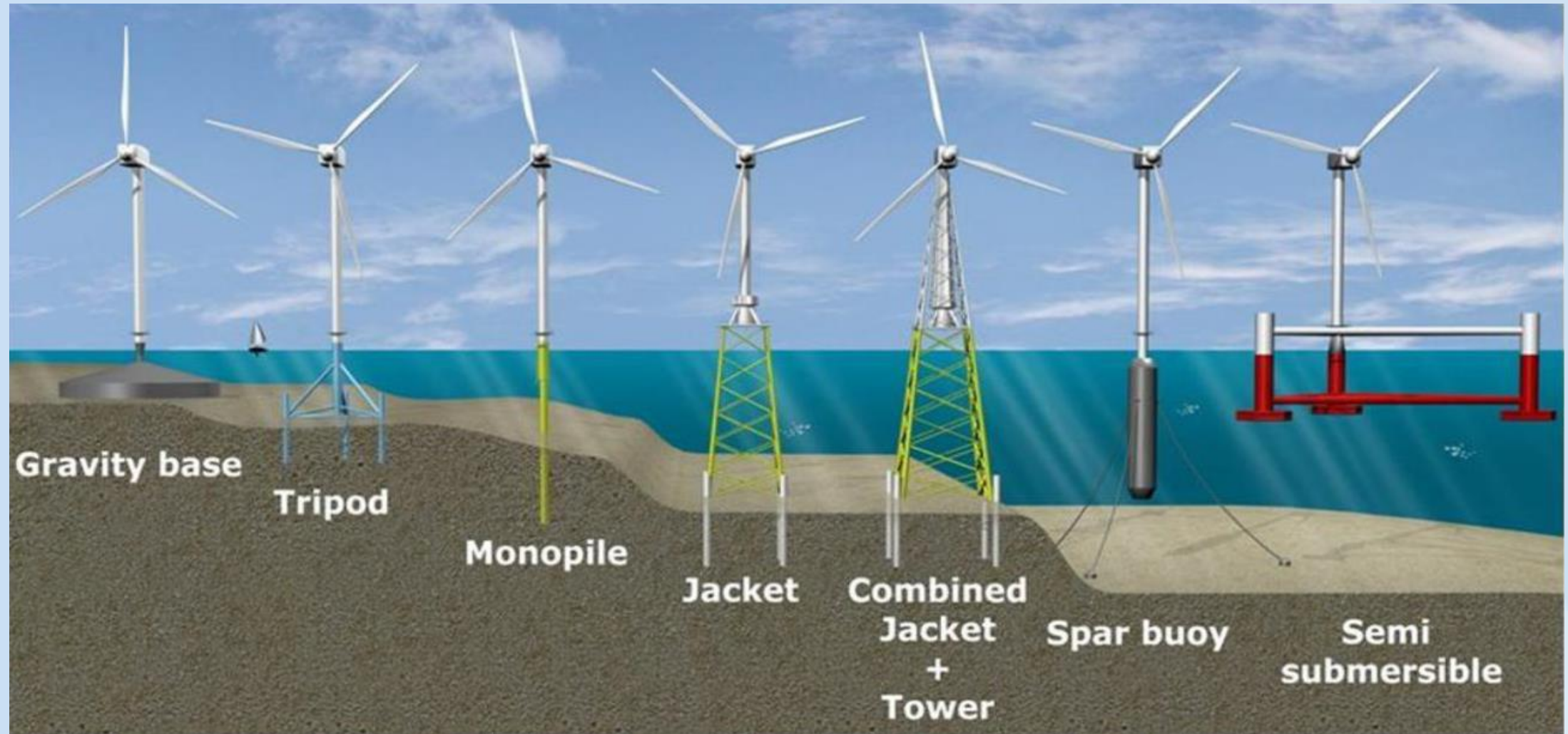
國家風電政策 (經濟部能源局)

(A)離岸風電之基礎概念(6/16) → 如何取得離岸風電的電力？



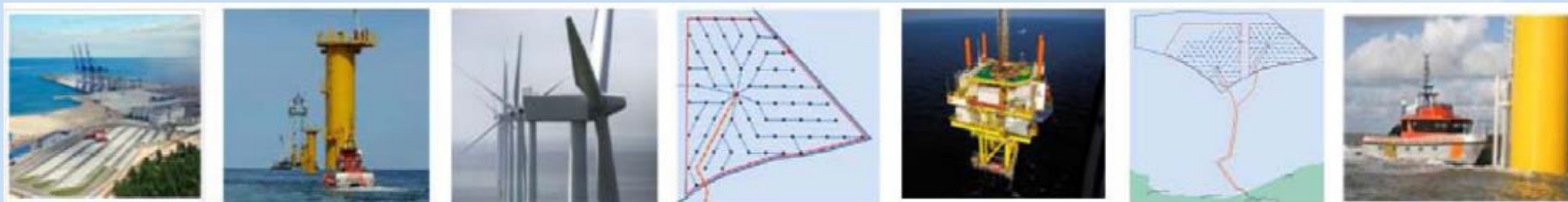
離岸風場示意圖 (聯合報2014/03/21)

(A)離岸風電之基礎概念(7/16) → 如何選擇合適的水下基礎？

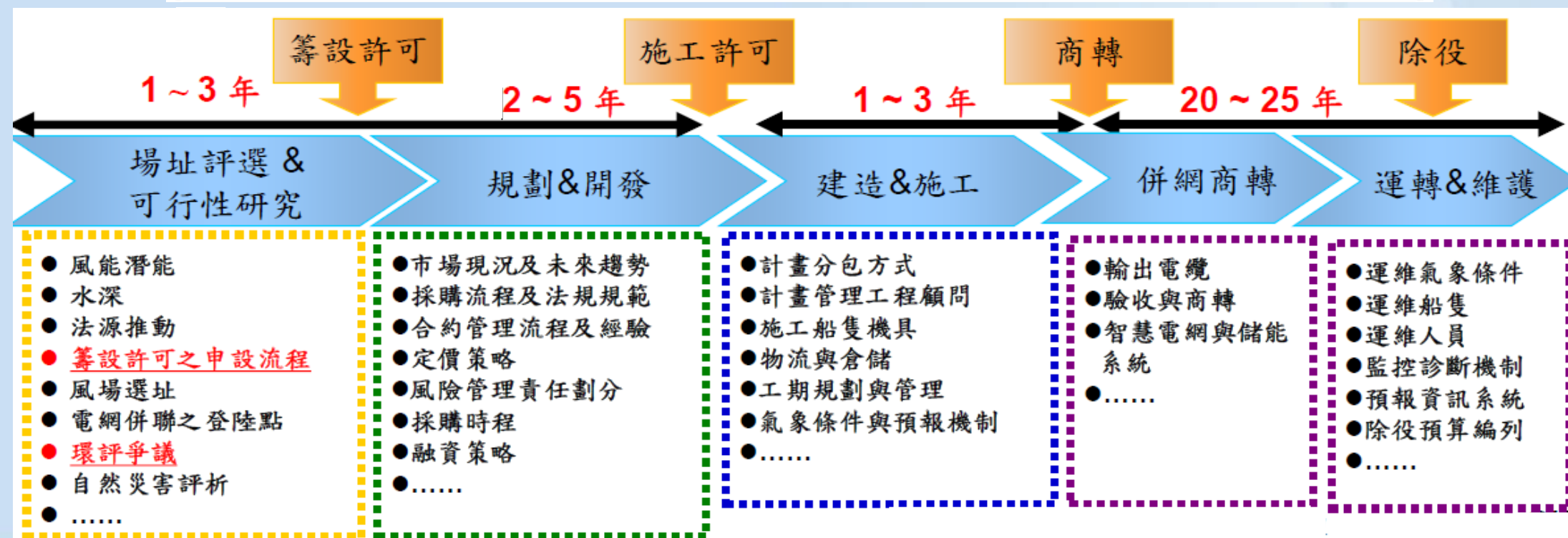


依據水深及風機發電量，會有不同之水下基礎設計 (MacAskil)

(A)離岸風電之基礎概念(8/16) → 如何建立一個離岸風電場域？



港埠碼頭 水下基礎 風力機 陣列電纜 變電站 輸出電纜 施工服務



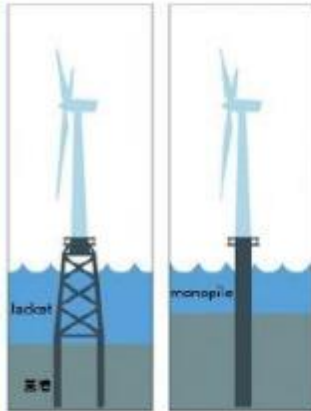
離岸風場示意圖 (金屬中心 黃聰文組長簡報 2019/06/12)

(A)離岸風電之基礎概念(9/16) → 臺灣建構離岸風電產業之前置期

前置期
2021(110)年

水下基礎

單樁式、套筒式
水下基礎



套筒式 (世紀)
(興達)

單樁式 (台朔)

電力設備

陸上電力設施
變壓器、開關設備、配電盤



變壓器(華城)



開關設備(華城)



配電盤(南亞、華城)

風力機組

塔架



塔架

(金豐/CSWIND)

海事工程

調查、支援、整理、交通、鋪纜類船隻
新建或改裝

• 支援船



• 交通船



• 佈纜船



• 探勘船



• 挖泥船



• 駁船

臺灣推動離岸風電產業之階段性規劃 (能源局報告)

(A)離岸風電之基礎概念(10/16) → 臺灣建構離岸風電產業之第一階段

第一階段
2023(112)年

風力機組

機艙組裝、變壓器、配電盤、不斷電系統
鼻錐罩、電纜線、輪轂鑄件、扣件



機艙組裝廠(SGRE、MVOW)



變壓器(華城)



配電盤
(華城、南亞)



電纜(大亞、華新麗華)



鼻錐罩
(先進複材)



不斷電系統(台達電)



輪轂鑄件(永冠)



扣件(恆耀)

電力設備

海纜



海纜(大亞)

海事工程

運輸、安裝類船隻
新建或改裝



• 風力機安裝船TIV



• 大型浮吊船

臺灣推動離岸風電產業之階段性規劃 (能源局報告)

(A)離岸風電之基礎概念(11/16) → 臺灣建構離岸風電產業之第二階段

第二階段
2024(113)年
風力機組

齒輪箱、發電機、功率轉換系統、葉片及其樹脂、機艙罩、機艙底座鑄件



發電機(東元)



齒輪箱(台朔重工)



功率轉換系統(台達電)



機艙罩(先進複材)



機艙底座鑄件(永冠)



葉片及其樹脂(葉片：天力；樹脂：上緯)

112年第一階段

機 艙 組 裝

- 1.西門子歌美颯SGRE；
- 2.三菱重工維特斯MVOW



- 鼻錐罩(先進複材)
- 輪殼鑄件(永冠)
- 扣件(恒耀、泰西)
- 變壓器(華城/亞力)
- 配電盤(士林/華城)
- 不斷電系統(台達電)

113年第二階段

- 齒輪箱(風力機系統商/台朔重工)
- 機艙罩(先進複材)
- 發電機(東元)
- 底座鑄件(永冠)
- 功率轉換系統(台達電)
- 電纜線(大亞/華新/信邦)

葉片及其樹脂

塔架(金豐/CSWIND)

110年前置期

- 1.葉片(天力)；2.樹脂(上緯)；3.碳纖板(台塑+上緯)

臺灣推動離岸風電產業之階段性規劃 (能源局報告)

(A)離岸風電之基礎概念(12/16) → 離岸風電產業之成本結構為何？

成本占比

33%



離岸風力機

19%



水下基礎

14%



傳輸變電

34%



海事工程及運維

產業趨勢

- 大型化風力機及區塊風場開發
- 朝經濟規模、增加可靠度及產業化發展

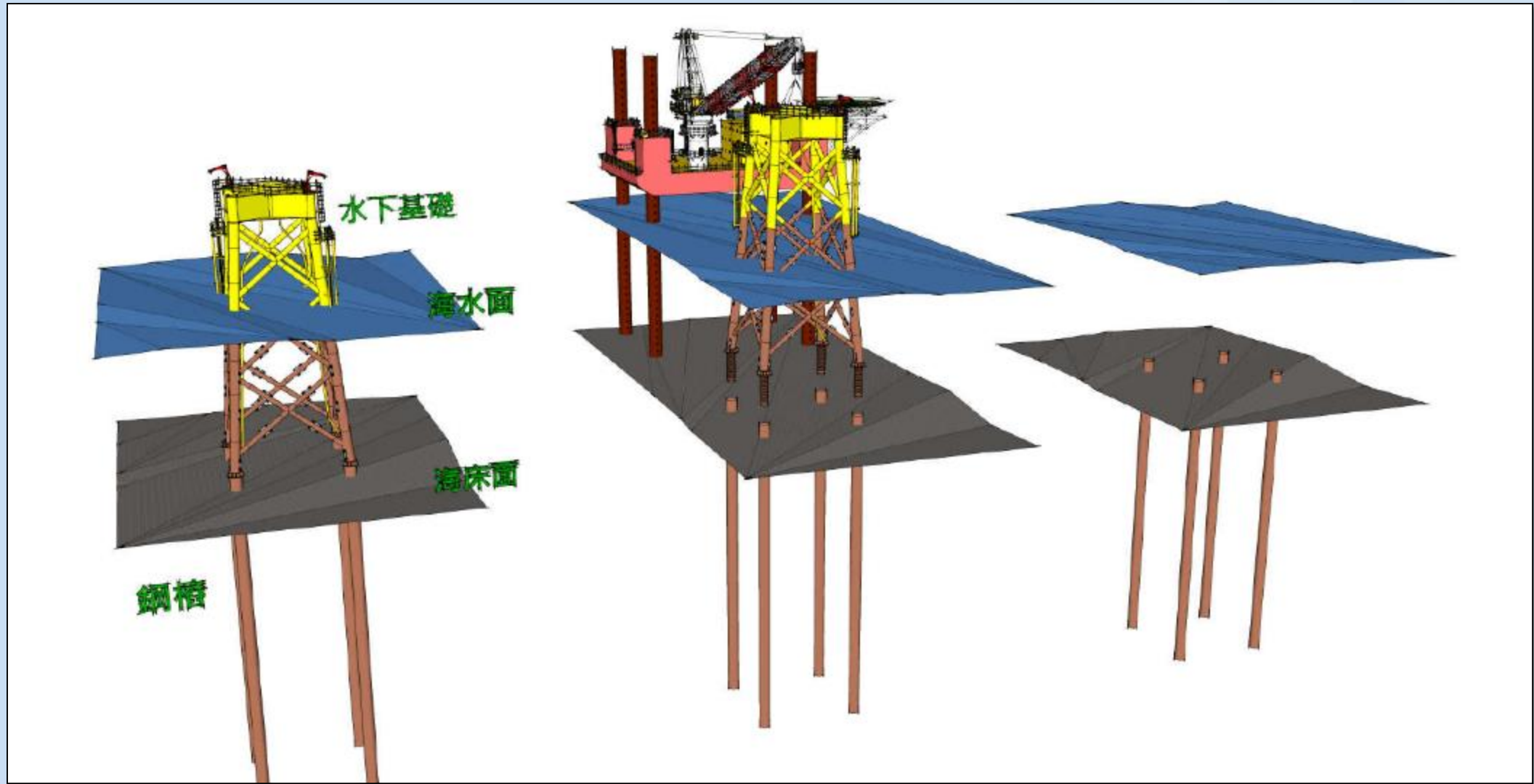
- 標準化及最適化設計準則
- 產業化生產

- 變電站及電力傳輸成本最適化
- 創新傳輸方案
- 併網介面的改良

- 高品質風力機傳動系統及零件以降低運維成本
- 運轉之監控、診斷及預防性維護

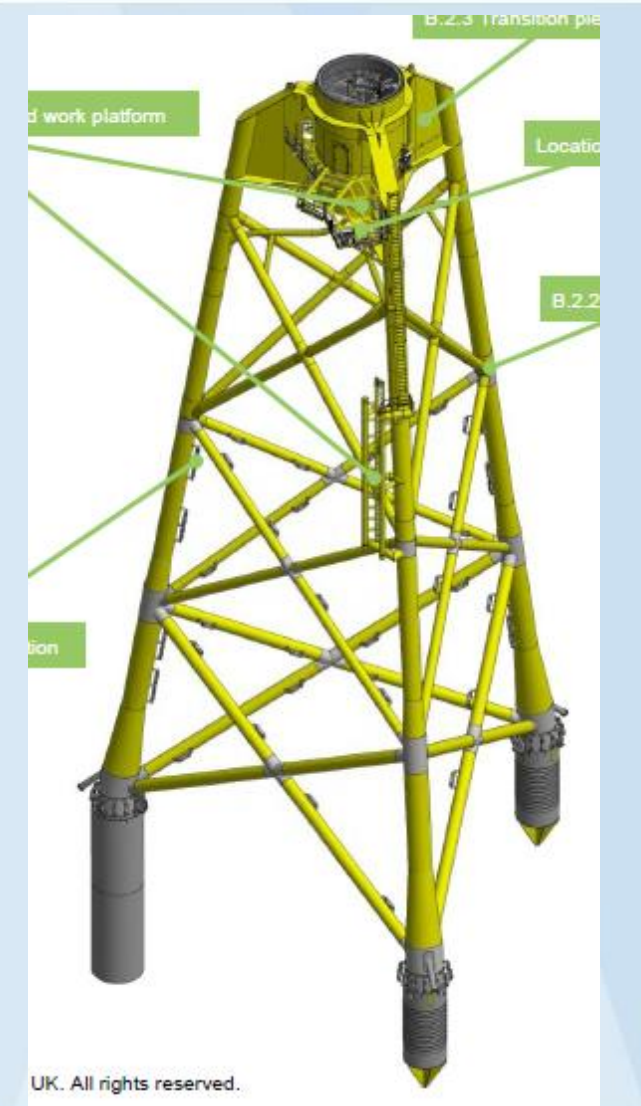
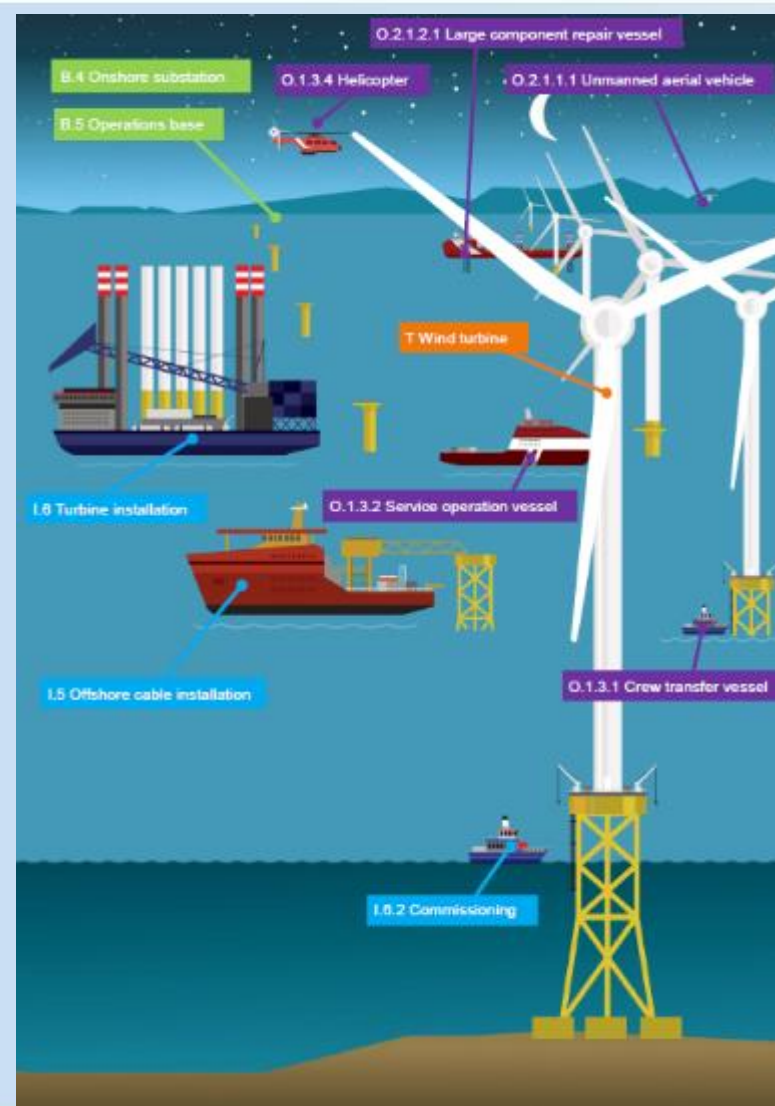
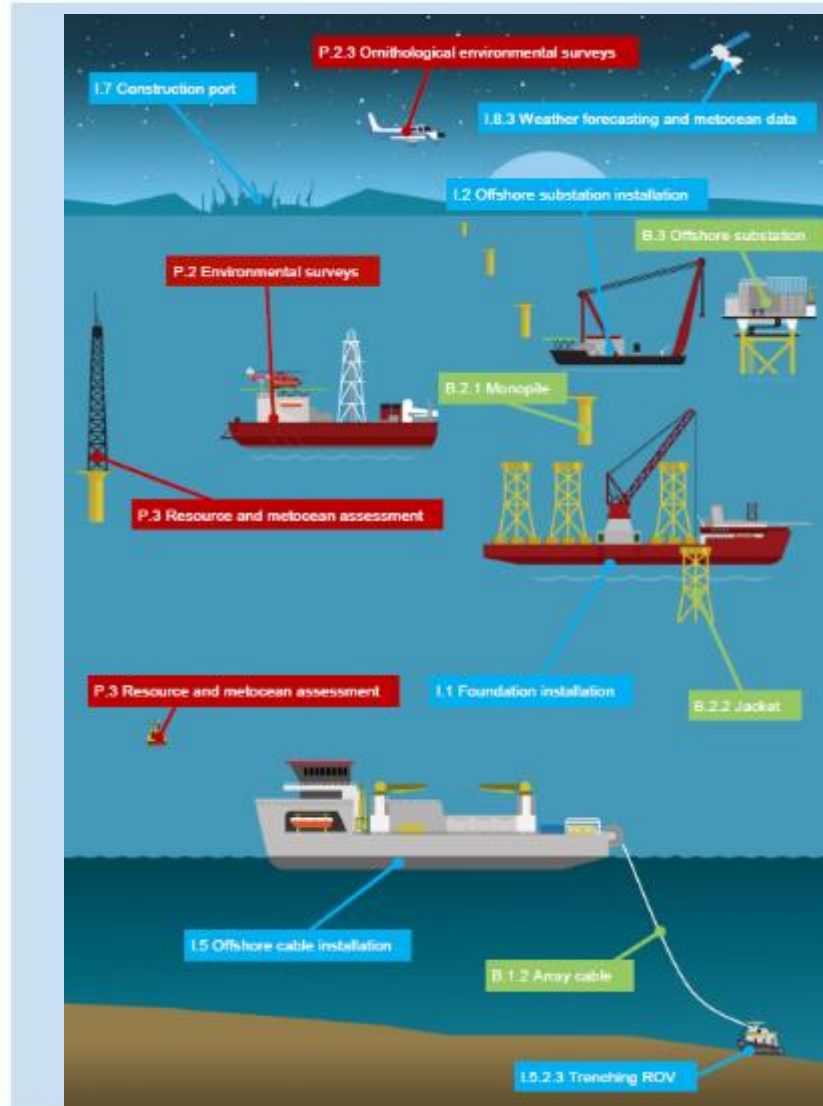
離岸風電之成本與技術 (金屬中心 黃聰文組長簡報 2019/06/12)

(A)離岸風電之基礎概念(13/16) → 水下基礎(以Jacket為例)如何安裝？



套筒式(Jacket)水下基礎之安裝示意圖

(A)離岸風電之基礎概念(14/16) → 離岸風機的安裝工程為何？



套筒式(Jacket)離岸風機之安裝工程 (Jan. 2019 The Crown Estate))

(A)離岸風電之基礎概念(15/16) → 離岸風電使用那些海事工程船？



拖船

a) Tugboat



起重船

b) Crane barge



重載船

c) Heavy lift vessel



風機安裝船-A

d) Jackup barge



風機安裝船-B

e) Purpose-built jackup vessel



風機安裝船-C

f) Semisubmersible construction vessel

安裝離岸風機之工作船 (OFFSHORE WIND (IRENA, 2016))

(A)離岸風電之基礎概念(16/16) → 海事工程船的費用如何？

Type	Specifications	Day rate ^a
Tugboat	Diesel engines; large power-tonnage ratio (2.2–9.5)	\$ 1000–5000
Crane barge	Sheerleg or rotating crane; large crane capacity (1000–4000 tonnes)	\$ 80,000–100000
Heavy lift cargo vessel	Loading and discharging of heavy objects; spacious main deck area.	\$ 30,000–50000
Jackup barge	Non-self-propelled; medium to large crane capacity (200–1300 tonnes); dynamic positioning or mooring sytem;	\$ 100,000–180,000
Purpose-built jackup vessel	Self-propelled; jacking system; dynamic positioning; large working deck; large crane capacity (800–1500 tonnes)	\$ 150,000–250,000
Semi-submersible crane vessel	Self-propelled; large lifting height and crane capacity (3000–20000 tonnes).	\$ 280,000–500000

^a
Not necessarily representative of the present market rates.



重載船租賃費用：約150萬台幣/日

各種工作船之租賃費用 (OFFSHORE WIND (IRENA, 2016)

一、離岸風電: (B)水下基礎之產製介紹

(B)水下基礎產製現況(1/15) → 臺灣規劃之離岸風電生產專區



(台中港務公司簡報資料)

(B)水下基礎產製現況(2/15) → 臺灣規劃之離岸風電維運基地

彰化漁港、台中港成為離岸風場運維基地

彰化漁港

彰濱運維基地計畫

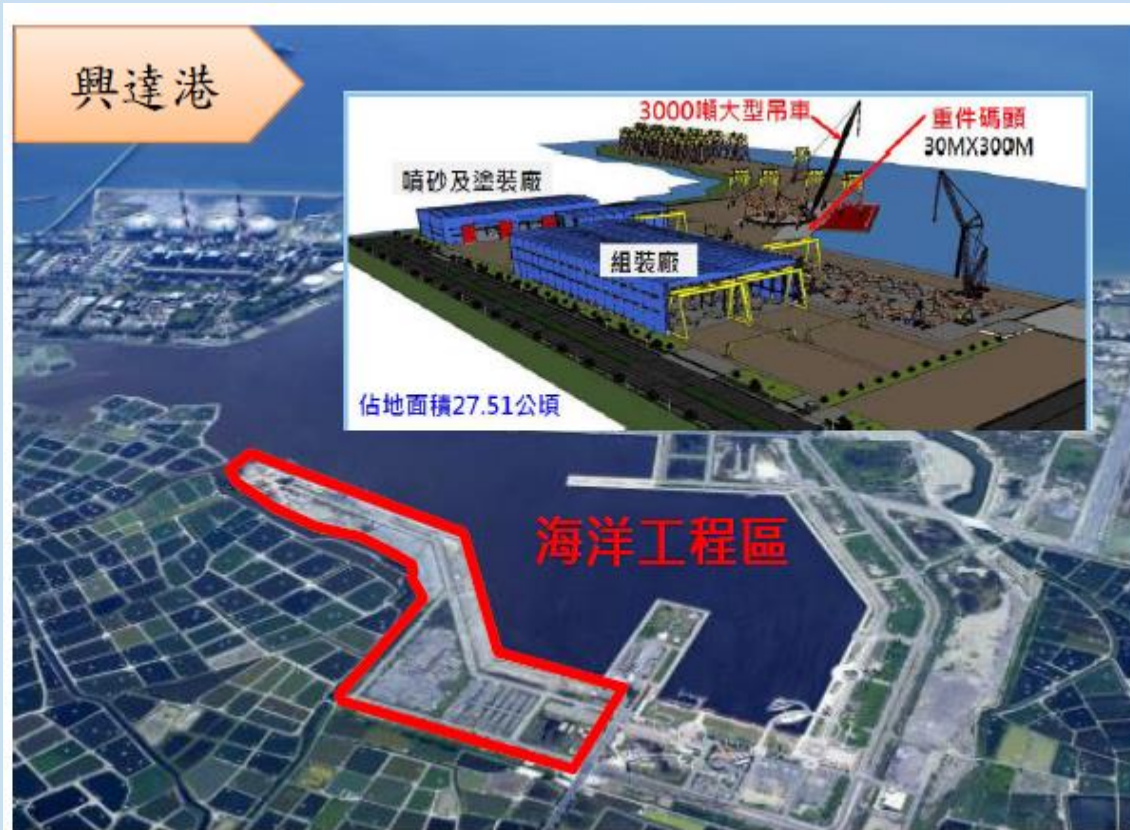


台中港



(台中港務公司、彰化縣政府簡報資料)

(B)水下基礎產製現況(3/15) → 臺灣規劃之水下基礎生產基地



(Wind Team、台北港務公司_基隆分公司簡報資料)

(B)水下基礎產製現況(4/15) → 興達海基公司之廠區位置圖



(B)水下基礎產製現況(5/15) → 興達海基廠房配置圖



室內噴塗廠
2棟

室內組裝廠
2棟

室外冷作電銲區
2處

成品儲放區
105,000M²

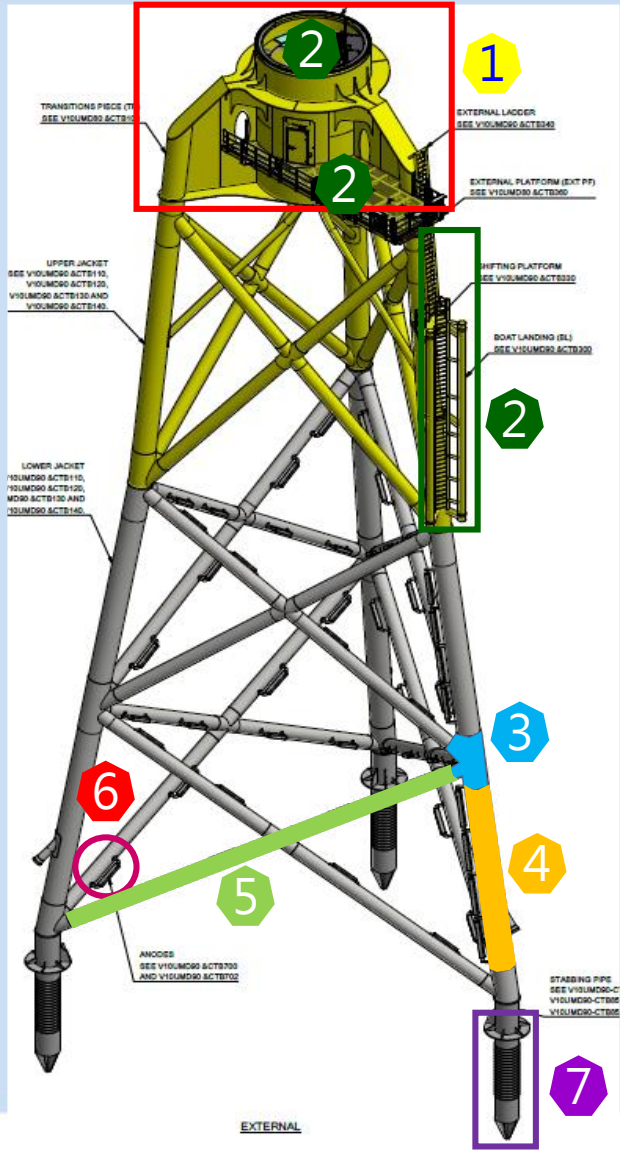
室外大組區與
重件碼頭

物料儲放區

室外冷作電銲區

行政大樓

(B)水下基礎產製現況(6/15) → Jacket之各項零組件

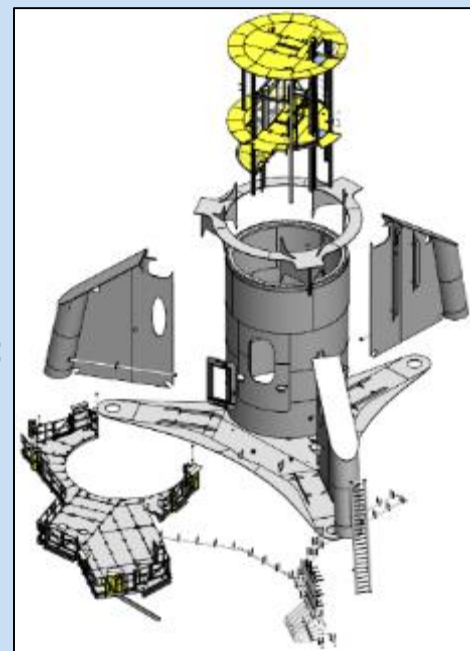
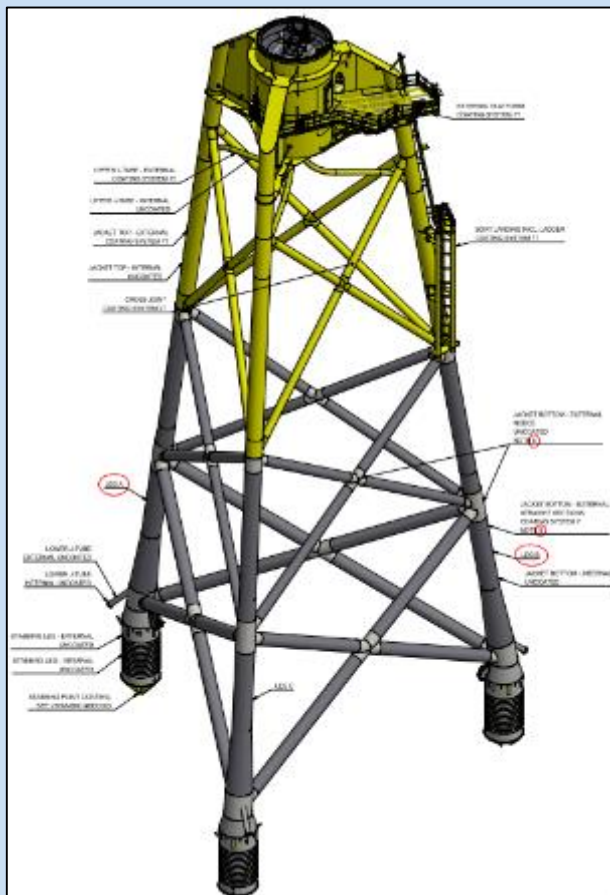


1	構件/項目
2	轉接段(TP)
	靠船鋼管(Boat landing)
	內平台(Int.platform)
	外平台(Ext.platform)
3	J-tube/G-tube
	接頭(Node)
4	柱腳管件(Leg)
5	斜撐(Brace)
6	犧牲陽極(Anode)
7	插樁總成(Stabbing Pin)
	噴塗(Coating)

(B)水下基礎產製現況(7/15) → 套筒式(Jacket)水下基礎之拆解圖

JACKET 型式之水下基礎分解說明

- 可依水深調整高度，一座Jacket的高度約69~79M，重量1162~1237噸。



轉接段 TP
(Transition Piece)



上部區塊 - UB
(Upper Block)



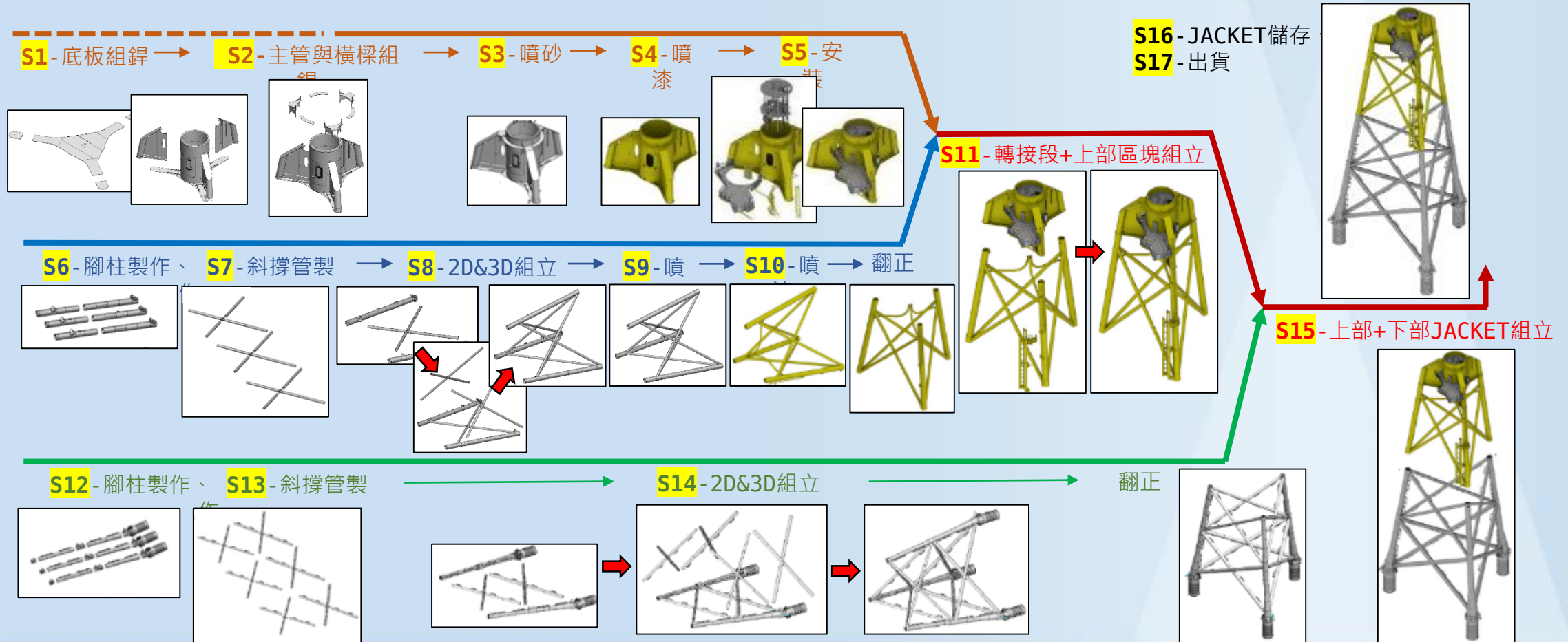
下部Jacket - LJ
(Lower Jacket)

上部Jacket - UJ (Upper Jacket)

(B)水下基礎產製現況(8/15) → 套筒式(Jacket)水下基礎之組裝流程

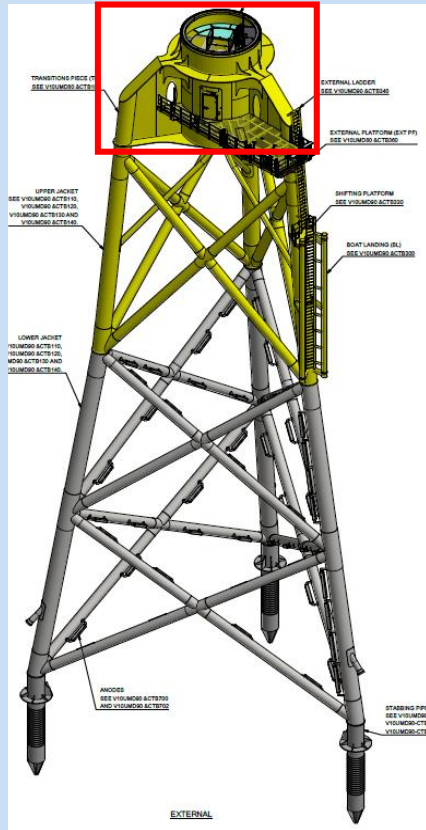
JACKET水下基礎之大組製程

- 興達海基的Jacket組裝分為**15個工序**，一個**生產週期約需3.5個月**。



(B)水下基礎產製現況(9/15) → Jacket之各項零組件 – TP

轉接段(TP) 每座水下基礎含包含1個轉接段(上接風機、下接水下基礎、內含電氣設備)，由法蘭鋼冠、工字樑、桶身等構件組成，是產製技術門檻很高的零組件。



工字樑之半自動銲接



轉接段桶身製造

TP總重量：210噸
銲道熔填量：約5噸



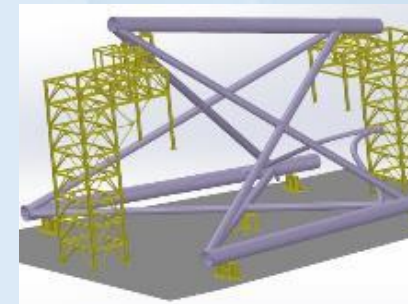
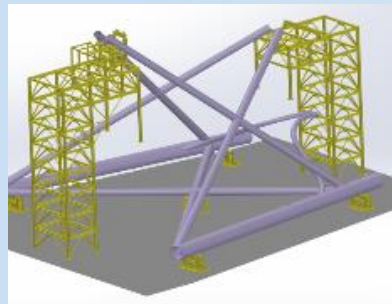
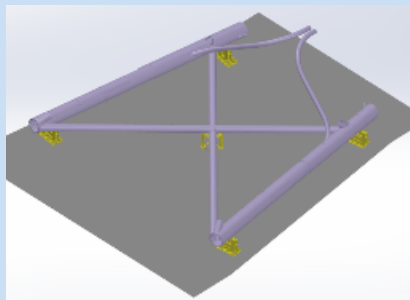
轉接段法蘭面修整



轉接段銲道缺陷修補

(B)水下基礎產製現況(10/15) → 上部結構之組立

上部結構(UB)之2D與3D組裝



上結構2D組鐸中



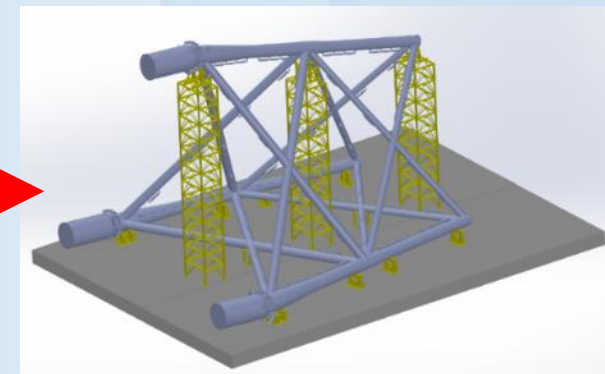
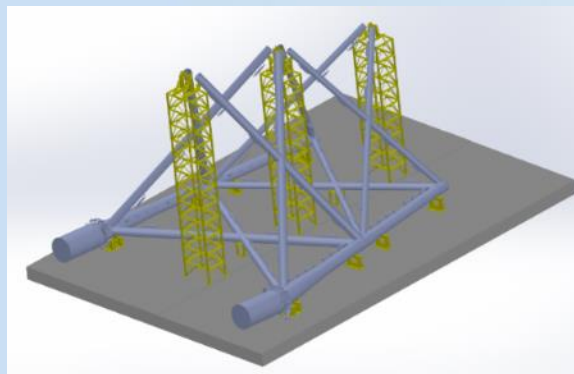
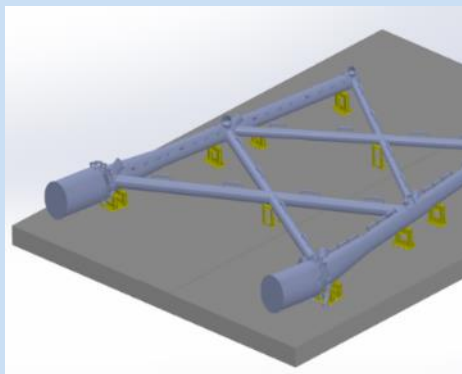
上結構3D組鐸中



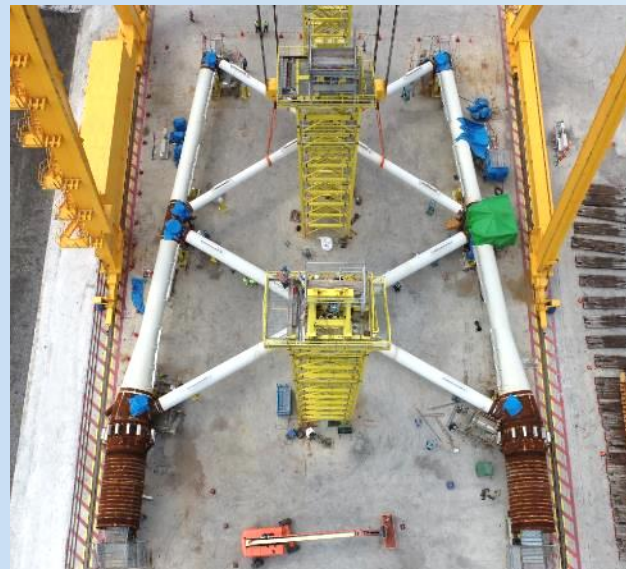
上結構3D組鐸完成

(B)水下基礎產製現況(11/15) → 下部Jacket之組立

下部Jacket(LJ)之2D與3D組裝



斜撐運至下部結構組鋸區定位



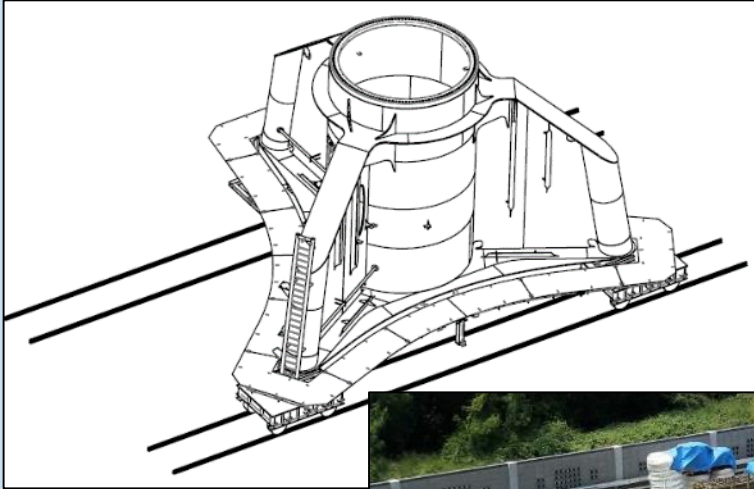
下部結構2D組鋸中



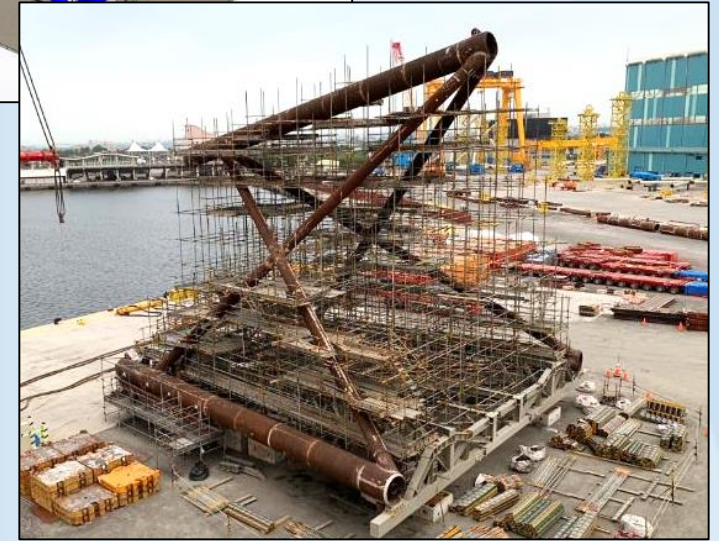
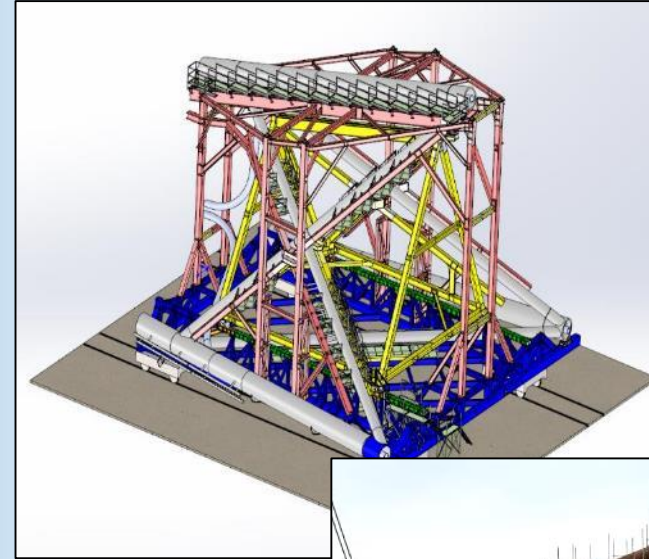
下部結構3D組鋸中

(B)水下基礎產製現況(12/15) → 轉階段(TP)及上部結構(UB)之噴塗

轉階段(TP)與上部結構(UB)之噴塗



轉接段之移動式噴塗治具



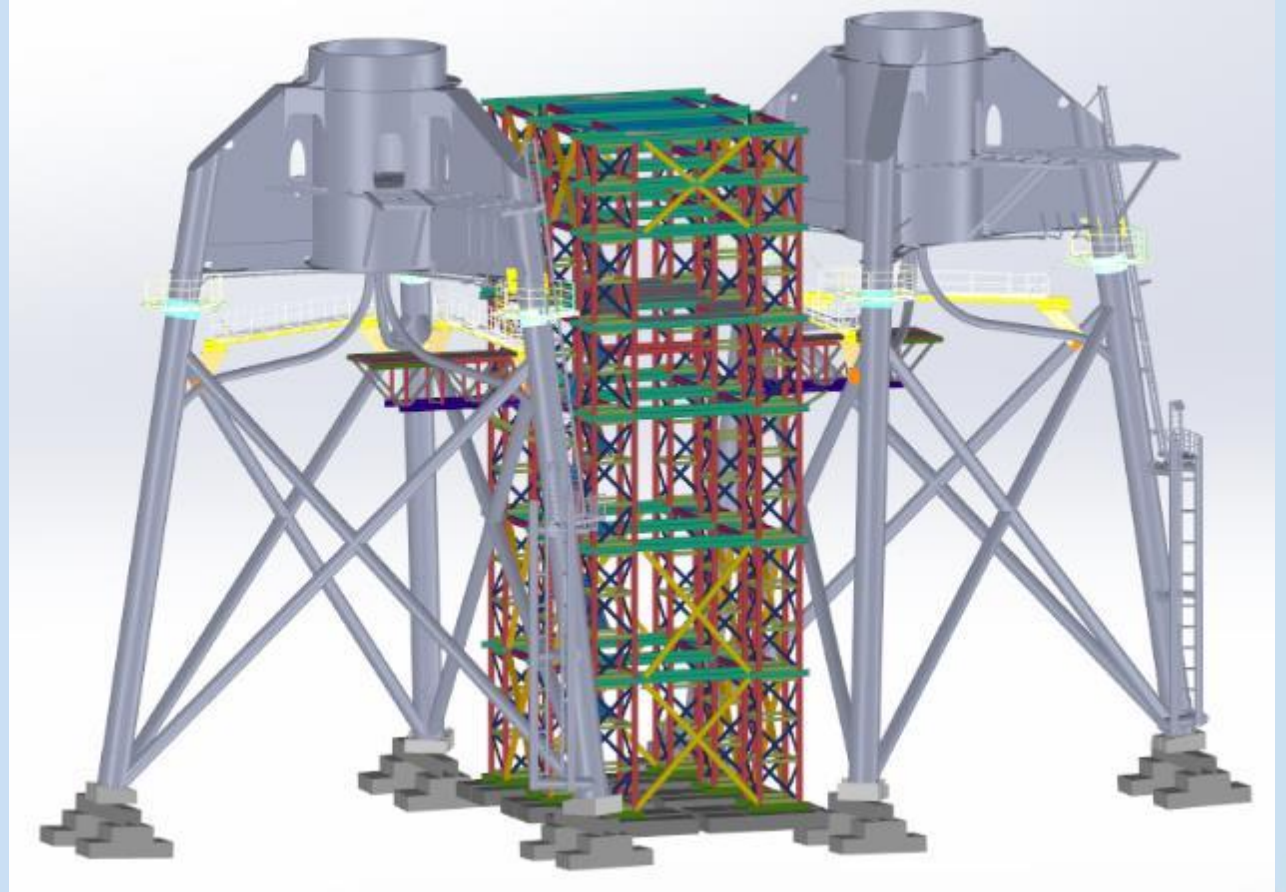
上部結構之噴塗搭架

(B)水下基礎產製現況(13/15) → Jacket之大組立1

大組1：轉接段(TP)與上部結構(UB)組裝



大組1施工塔架



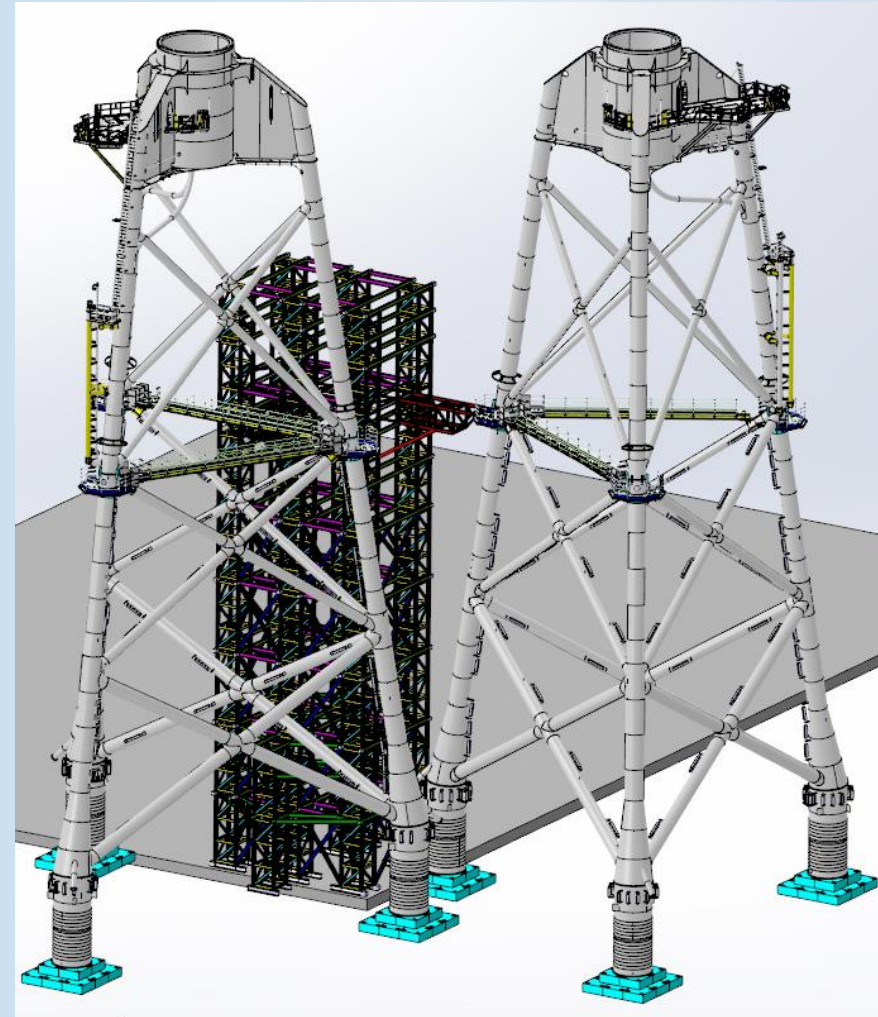
大組1施工示意圖

(B)水下基礎產製現況(14/15) → Jacket之大組立2

大組2：上部Jacket與下部Jacket組裝



大組2施工塔架



大組2施工示意圖

(B)水下基礎產製現況(15/15) → Jacket之竣工照



大組2施工中



大組2施工中



Jacket 製作完成

一、離岸風電: (C)短結

(C)短結(1/2) → 水下基礎製造的關鍵技術



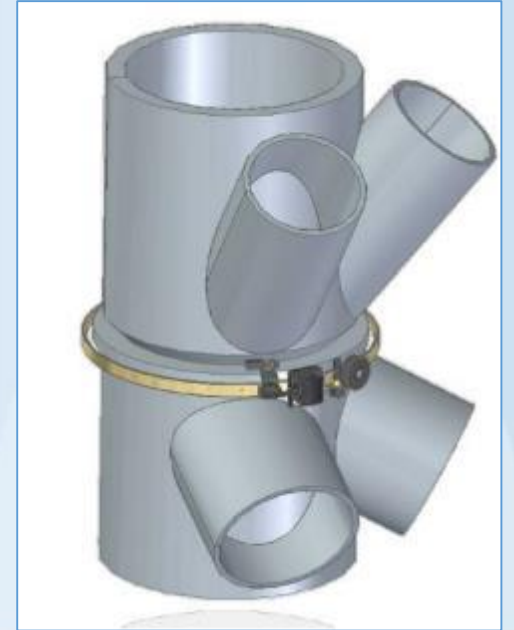
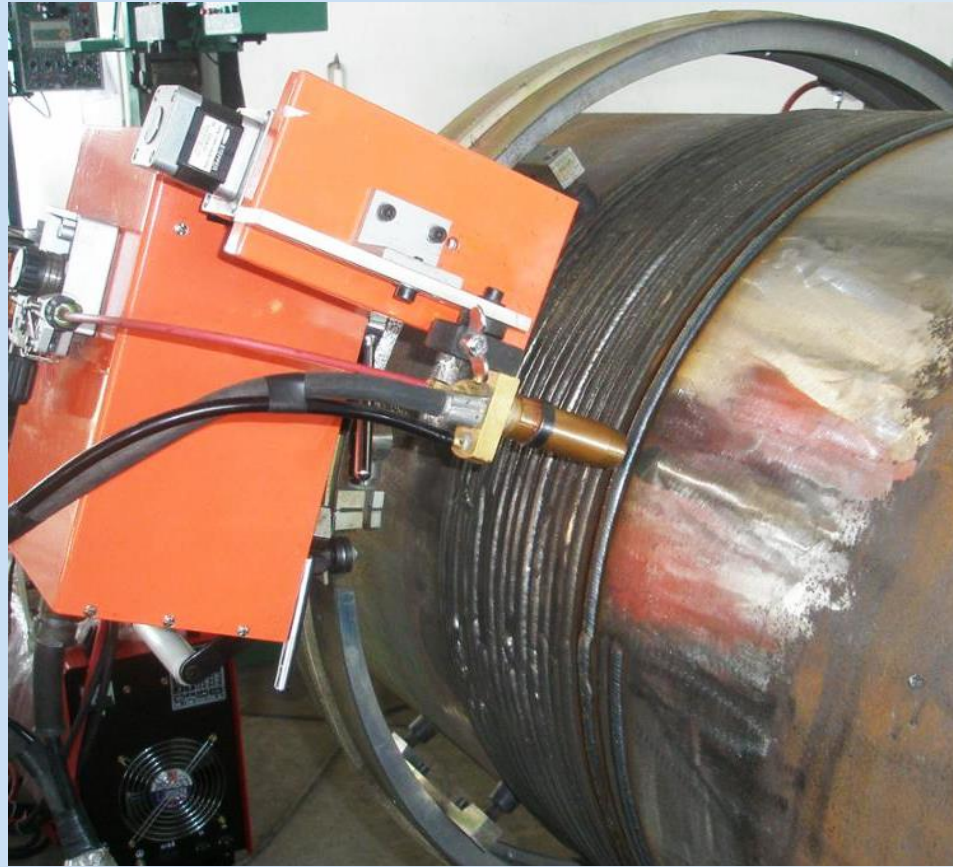
銲工

≠



專業銲接技師

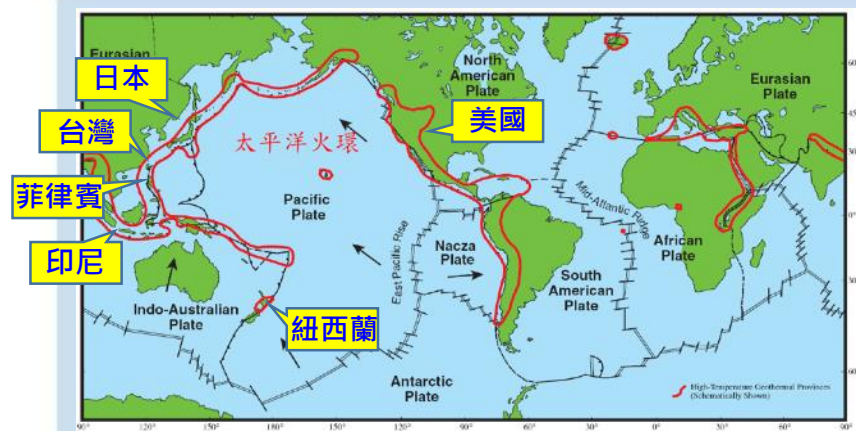
(C)短結(2/2) → 智能化銲接技術Orbital Machine(軌道式自動銲接設備)



- 以智能化自動銲接設備取代銲工人力，需考慮干涉模擬、銲接環境、異況處置、銲接變形量、銲接品質預估...等搭配技術。

二、地熱發電: (A)地熱能源及地熱井之簡介

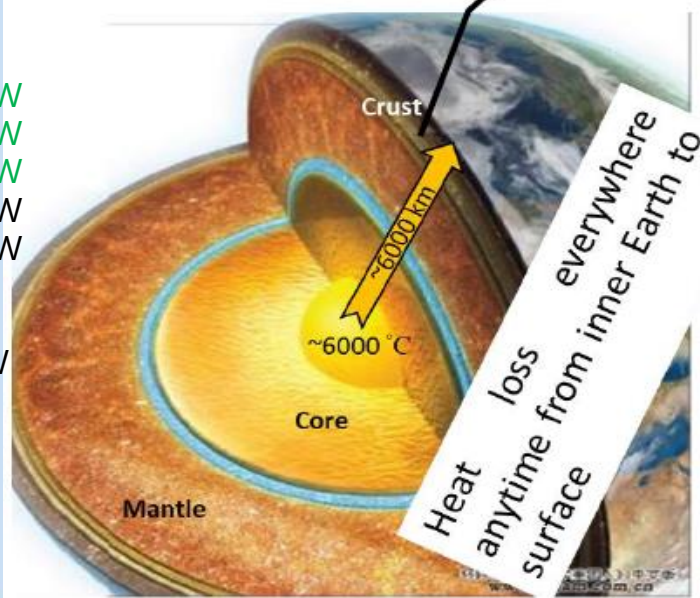
(A)地熱能源及地熱井之簡介(1/6) → 地熱潛能的蘊藏方式



- (1)美國MIT研究顯示，深層地熱潛能約等於300倍化石能源。
- (2)板塊交界帶為地熱潛能區域，臺灣正好位於太平洋火環帶。
- (3)US_EIA_2016報告表示，地熱發電成本低於風電及太陽光能，且不需備載電力及儲能設備，可作為基載電力。

2022年全球地熱發電排名

- (1)美國3.79GW
- (2)印尼2.36GW
- (3)菲律賓1.93GW
- (4)土耳其1.68GW
- (5)紐西蘭1.04GW
- (6)墨西哥963MW
- (7)義大利944MW
- (8)肯亞861MW
- (9)冰島754MW
- (10)日本621MW



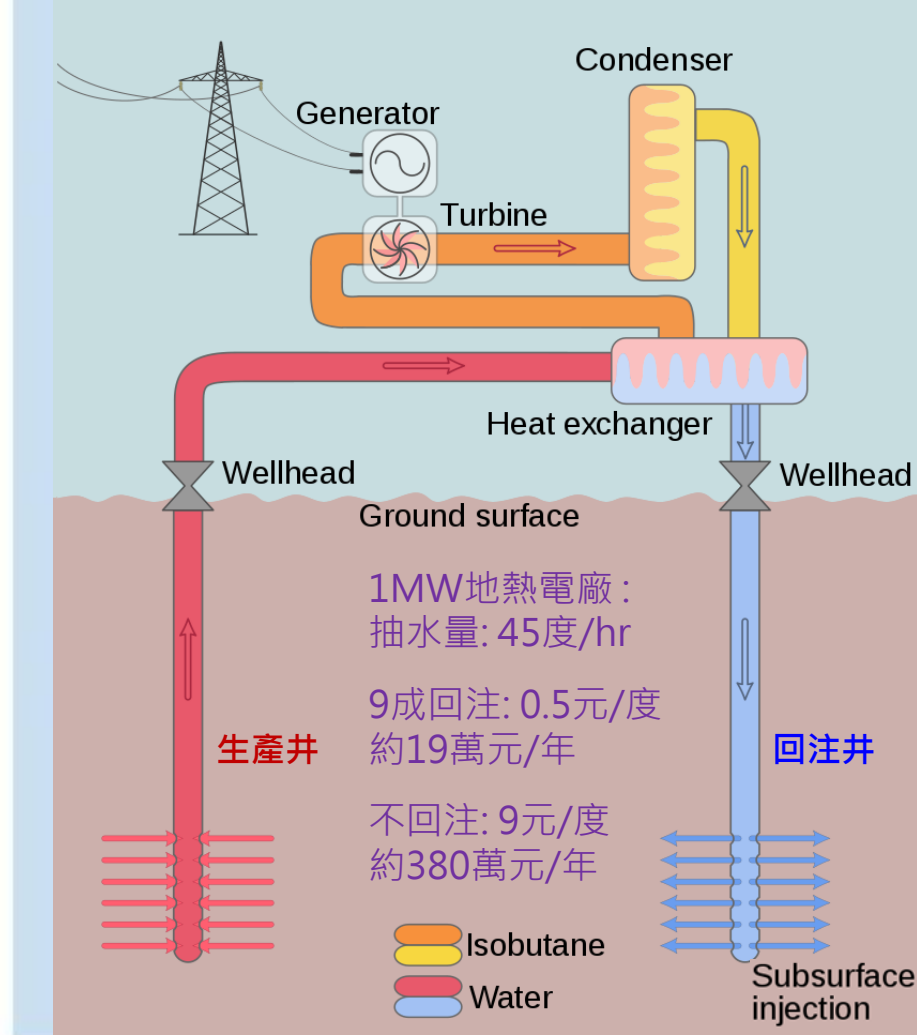
- 目前開採深度 < 10 km，國際一般 ~2 km
- 地熱流體經熱岩石加熱後，若上升的熱水遇不透水岩層，被限制在地層的孔隙及裂縫中，形成所謂的「地熱儲集層」(geothermal reservoir)，一般 < 350°C。



參考資料：Think GeoEnergy Research(2023)、工業技術研究院簡報 李伯亨

(A)地熱能源及地熱井之簡介(2/6) → 地熱發電的方式及其應用

雙循環式發電 (Organic Rankine Cycle, ORC)



一座1MW地熱電廠(2個生產井、1個回注井)，建置成本約2.5億元新台幣，以目前二階段躉購電價計算(前10年7.32元、後十年3.64元)，10年約可完成攤提，之後扣除基本維運費之

獲益2000萬元/年，若規劃其他商業用途，效益將可持續擴大。(宜蘭已有種稻、種蔥、養蜂等應用案例，國外則以養魚、養鰻、及溫室種植為主)



參考資料：工業技術研究院簡報 柳志錫

(A)地熱能源及地熱井之簡介(3/6) → 臺灣核能發電資訊

核一廠 (金山發電廠)



新北_石門區

發電量：636 MW $\times$ 2 = 1.27 GW

1號機：67年12月~107年12月

2號機：68年07月~108年07月

核二廠 (國聖發電廠)



新北_萬里區

發電量：985 MW $\times$ 2 = 1.97 GW

1號機：70年12月~110年12月

2號機：72年03月~112年03月

核三廠 (馬鞍山發電廠)



屏東_恆春鎮

發電量：951 MW $\times$ 2 = 1.90 GW

1號機：73年07月~113年07月

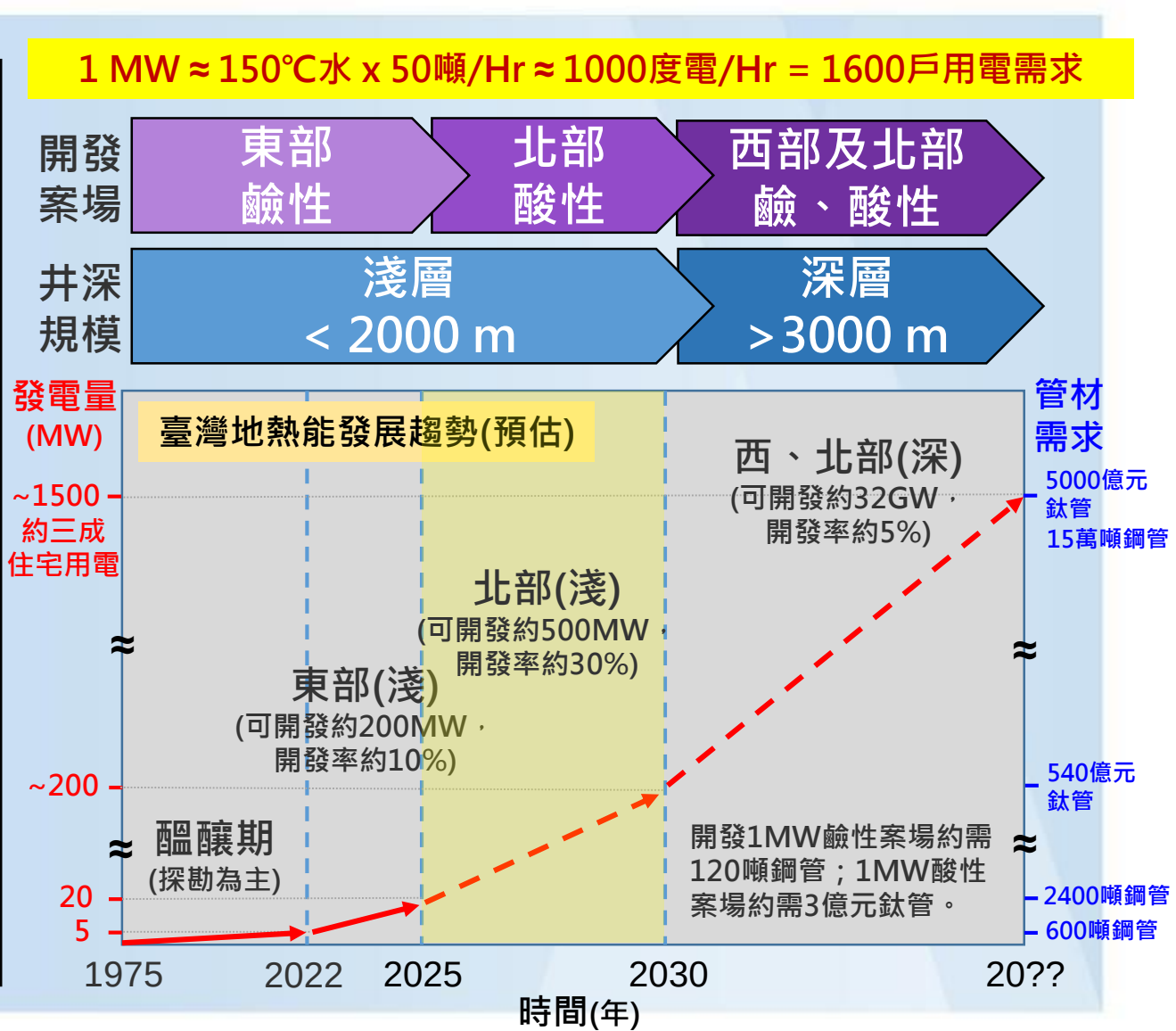
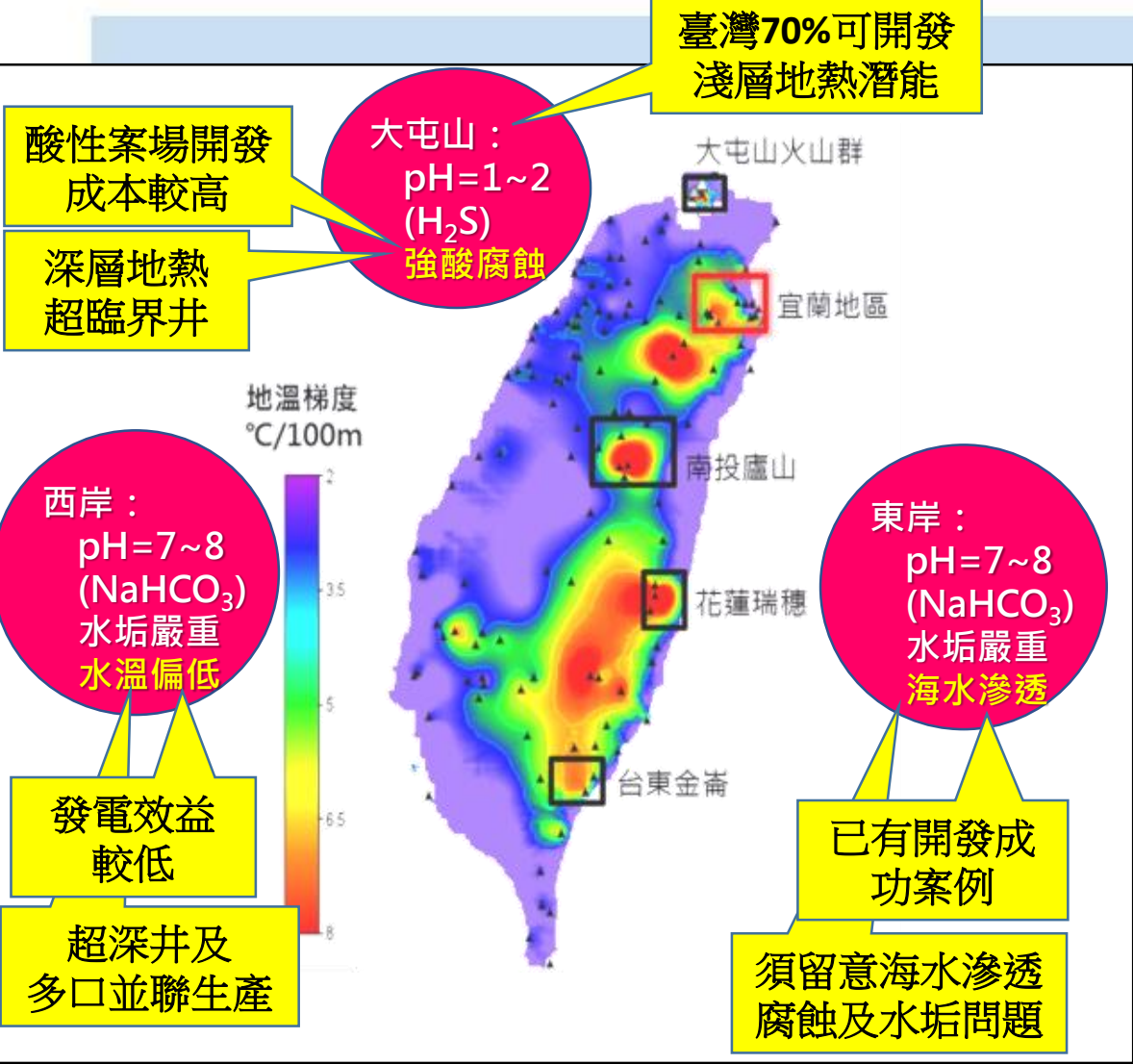
2號機：74年05月~114年05月

2022年菲律賓地熱發電量：1.93 GW，相當一座台灣核二或核三發電量。

2022年 臺灣 地熱發電量：5.0 MW，約0.25%核二發電量。

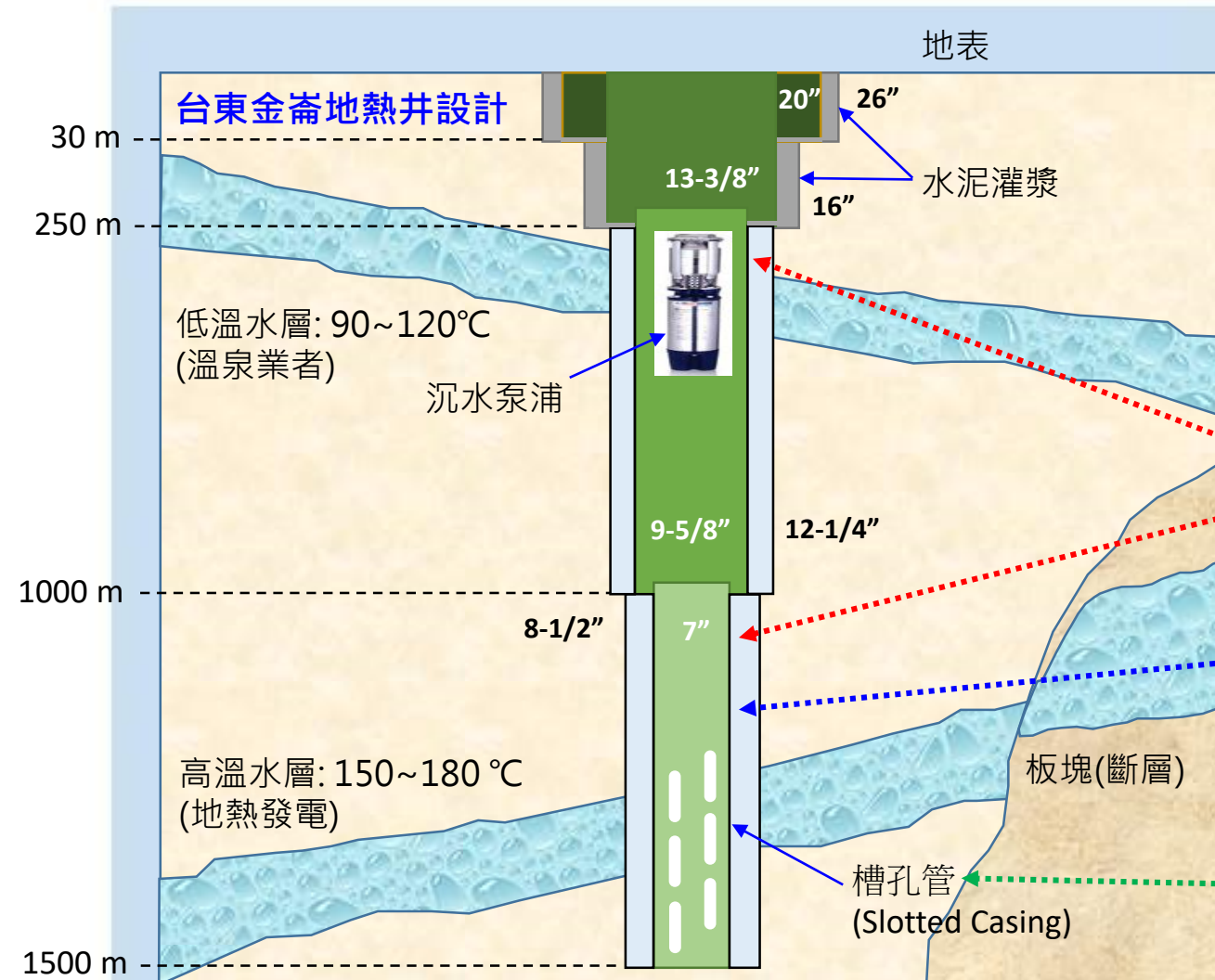
註：1979年 美國三哩島核洩漏、1986年 蘇聯車諾比核災，驅使菲律賓投入地熱能源開發

(A)地熱能源及地熱井之簡介(4/6) → 臺灣的地熱潛能及其開發預估



註：2022年台灣地熱發電量(5.0 MW)=宜蘭清水地熱電廠(4.2 MW)+清水試驗案場(0.3 MW)+台東金崙地熱電廠(0.5 MW)

(A)地熱能源及地熱井之簡介(5/6) → 地熱井之結構設計



台東金崙地熱發電廠 地熱井(生產井)設計

顏色	名稱		使用管徑	距地表深度 (m)	鋼管長度 (m)	重量 (kg)	合計 (kg)
	地表錨孔	Surface Conductor	20"	0-30	30	4,654	88,040
	生產套管	Production Casing	13-3/8"	0-250	250	22,135	
	生產套管	Production Casing	9-5/8"	240~1,000	760	44,072	
	生產套管	Production Casing	7"	990~1,500	510	17,186	

鋼管+Coupling 的吊掛強度需求

鋼管抗壓強度的需求

地層倍壓 = 每英尺增加0.45 psi
1500 m : 4921" x 0.45 = 2215 psi (API水壓試驗 = 3979 psi)

開篩管(槽孔管)挫曲強度的需求

(A)地熱能源及地熱井之簡介(6/6) → 地熱管材非採用無縫鋼管不可之迷思

為什麼國內鑽井業者非用無縫鋼管不可？

製管技術

鐸道容易破裂

鐸道容易腐蝕

鐸管機性不均勻

工程需求

無API 5B 車牙技術

需保證吊掛強度

需提供篩管挫屈強度

商業模式

是否有運用實績

國外系統業者是否認可

國內最大鑽井業者認可

調查與詢問對象：

- (1)成大資源系教授
- (2)中油探採事業部
- (3)中油鑽井大隊
- (4)經濟部中央地質調查所
- (5)久大機械鑿井有限公司
- (6)池加久地熱鑽井股份有限公司
- (7)全陽地熱股份有限公司
- (8)台泥綠能公司
- (9)倍速羅德股份有限公司
(Baseload Power Taiwan Inc.)

二、地熱發電: (B)管材國產化之推動過程

(B)管材國產化之推動過程(1/10) → 地熱鋼管之銲道品質提升

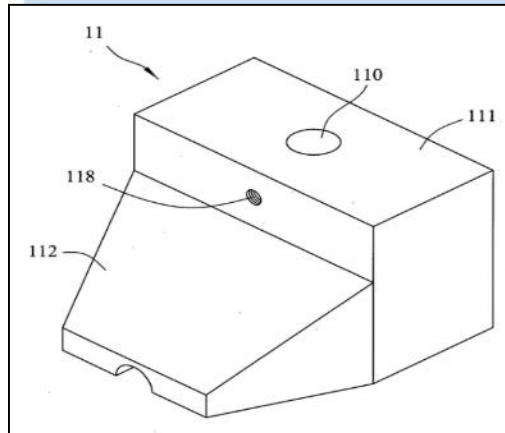
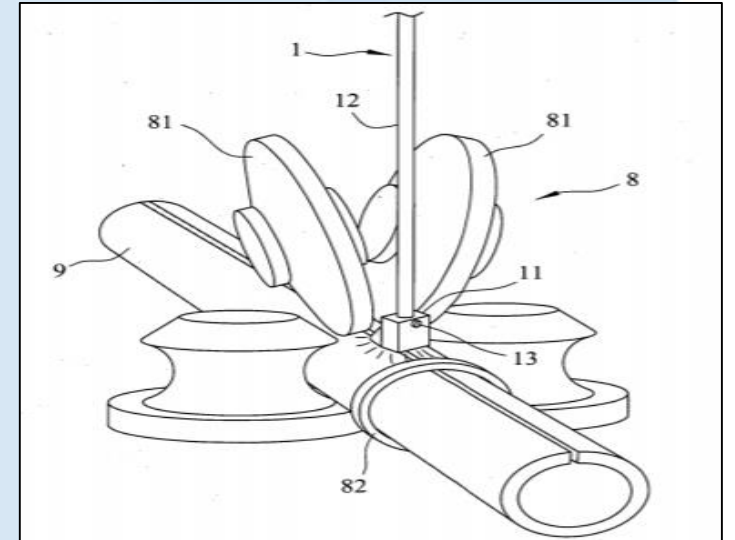
→ 改善銲道容易破裂問題(1/2)

銲接保護氣氛

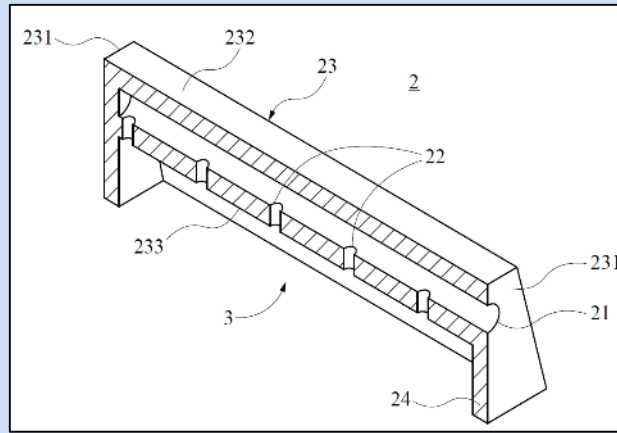
1. 銲道氧化物↓，銲道壓扁試驗能力↑。
2. 選用比空氣重之Ar或CO₂氣體，藉氣體沉降方式達保護效果。

保護裝置

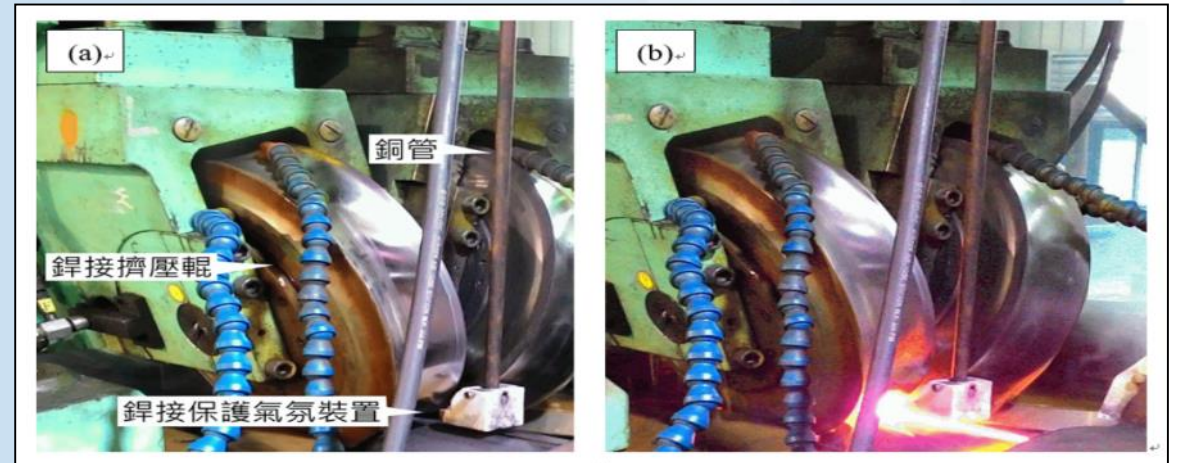
1. 頂端插入5/8英吋銅管並通入保護氣氛，隔絕冷卻水噴濺。
2. 集中保護氣氛與平均分布於加熱區域。
3. 保護裝置採鐵氟龍材質，具備耐高溫、防感電及防感磁等優點。



專利號：M531875



專利號：M625845

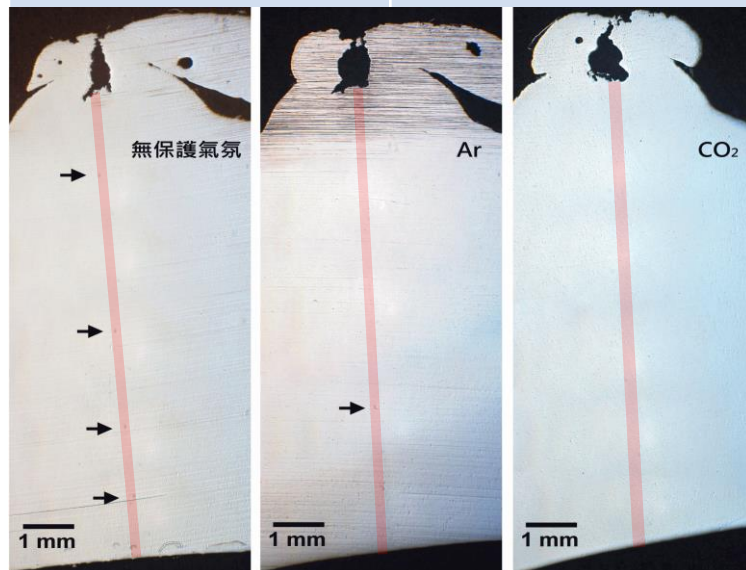


(B)管材國產化之推動過程(2/10) → 地熱鋼管之銲道品質提升

→ 改善銲道容易破裂問題(2/2)

清淨度試驗

改善前(介在物較多) 改善後(介在物較少)



Weld (Fusion Line)

銲道壓破試驗

改善前(脆斷)

改善後(韌斷)



壓破試驗：

觀察銲道斷面狀況，表面越粗糙呈現撕裂狀態，表示銲道熔接性越佳，反之，則呈現光滑情況，表示銲道熔接性較差。

銲道壓扁試驗

改善前(0.5D)

改善後(0.2D)

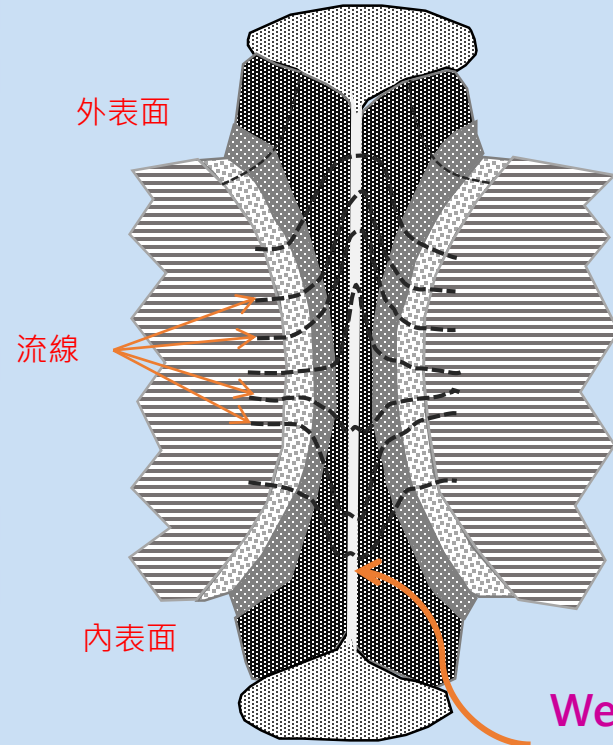


壓扁試驗：

將銲道置於3點鐘或9點鐘位置，從12點鐘位置將試片下壓，直至銲道發生點裂或線裂時，測量鋼管外徑垂直距離，距離越小表示鋼管銲道品質越佳。

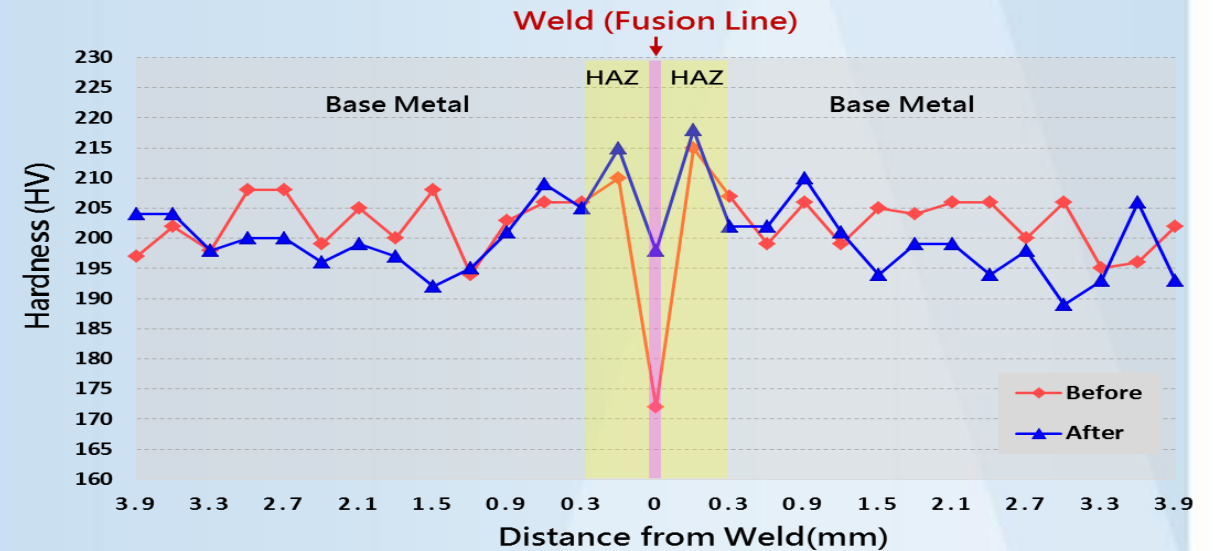
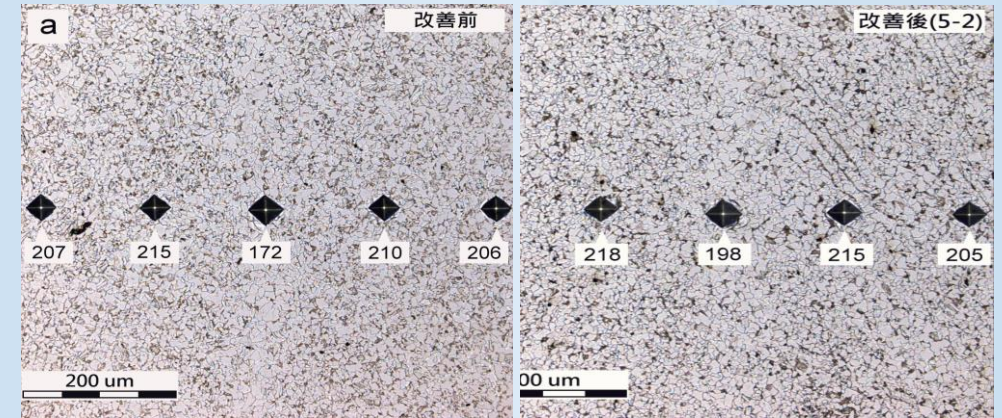
(B)管材國產化之推動過程(3/10) → 地熱鋼管之銲道耐腐蝕性提升

→ 證明銲道不具優先腐蝕行為(1/2)



減少銲接脫碳層的方法

1. 分條帶寬 ↑ ；
2. 調校為水平對銲 ；
3. 銲接擠壓量 ↑ 。

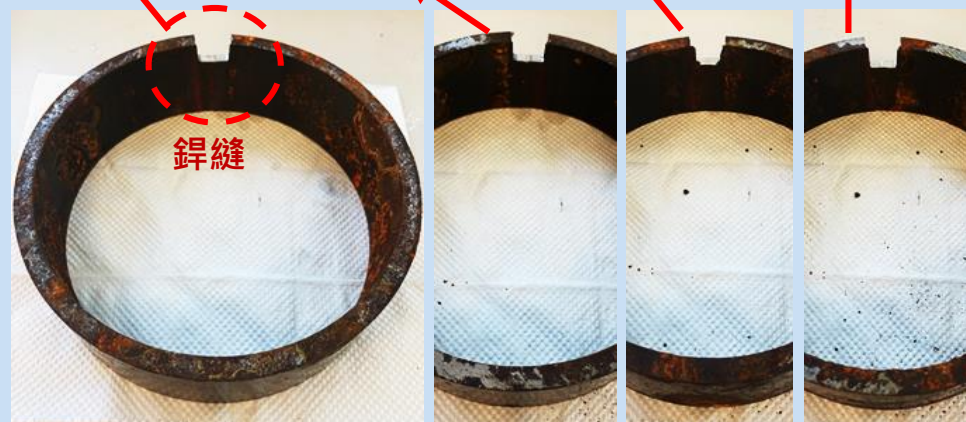
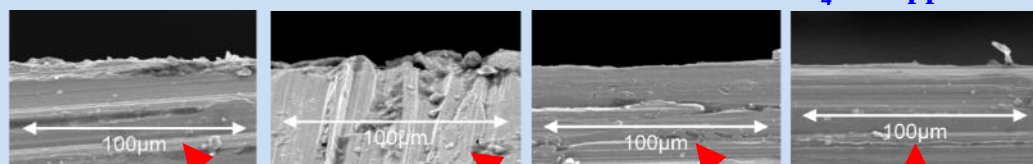


(B)管材國產化之推動過程(4/10) → 地熱鋼管之銲道耐腐蝕性提升

→ 證明銲道不會優先腐蝕(2/2)

金崙椰璽別莊(全陽地熱金崙案場旁)
(pH=8.9, 105°C, 鹼性高氯鹽流體)

Na⁺=653 ppm
HCO₃⁻=950 ppm
Cl⁻=331 ppm
SO₄²⁻=58 ppm



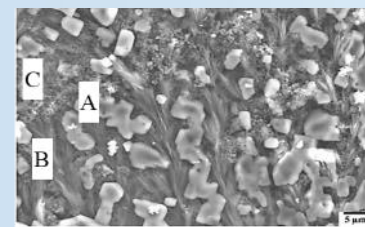
1週

2週

4週

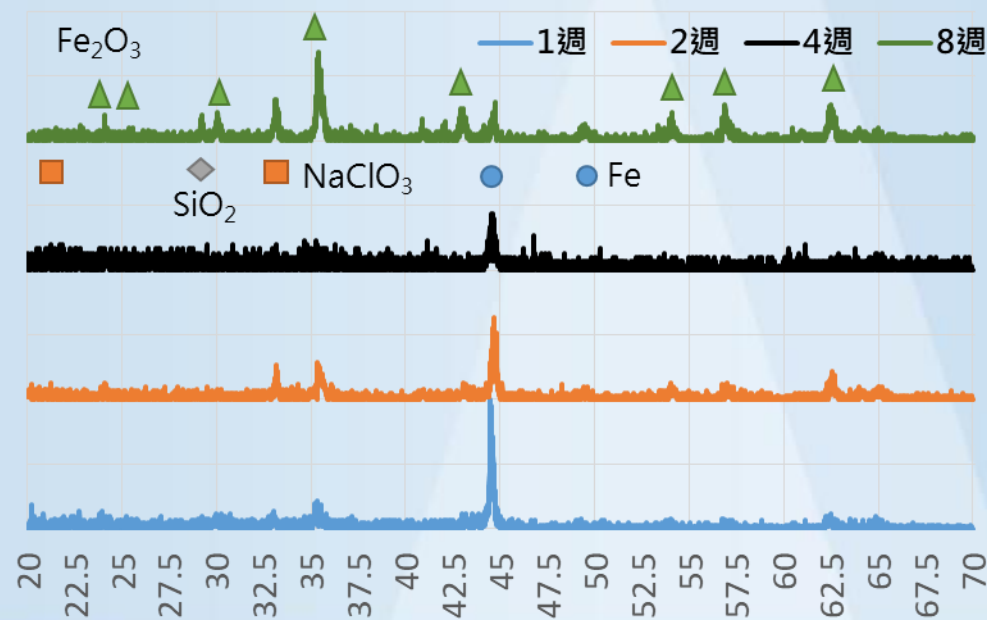
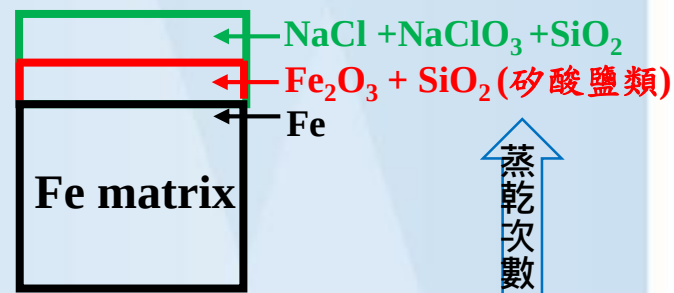
8週

吊掛試驗開始後，鋼管表面先氧化生成Fe₂O₃紅銹與矽酸鹽類之水垢附著混合物，隨著時間增加，觀察到氧化腐蝕現象逐漸趨緩，但水垢附著物反而持續增加。SEM觀察銲道相較周遭的HAZ及母材，並無特別明顯差異的腐蝕行為。



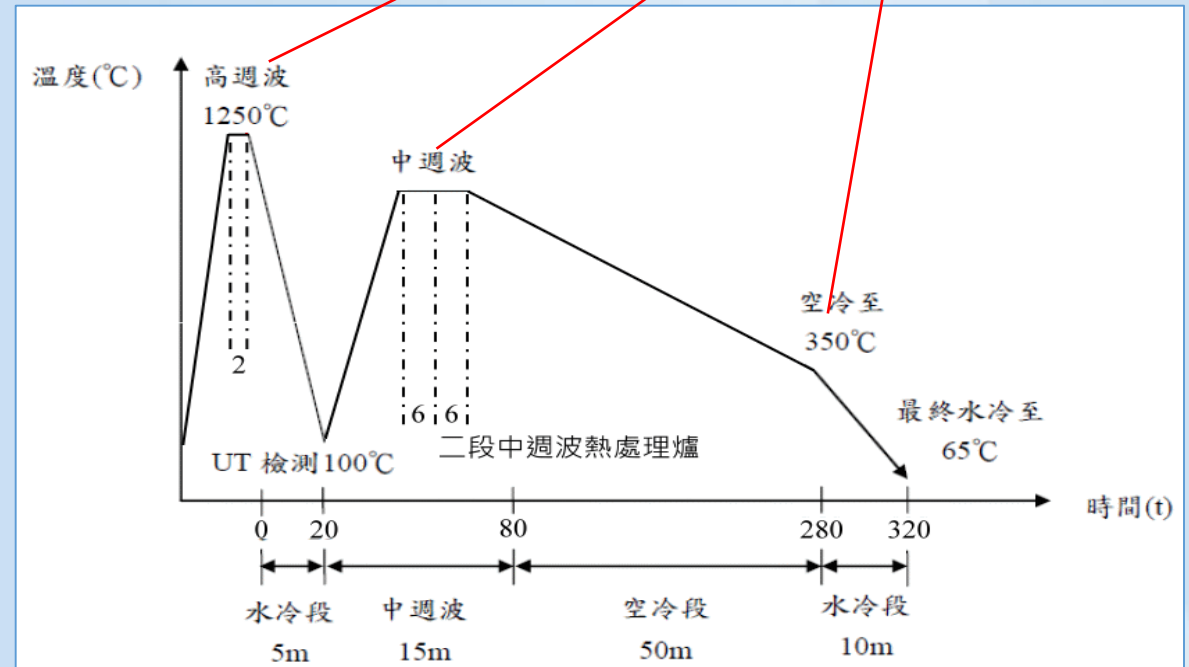
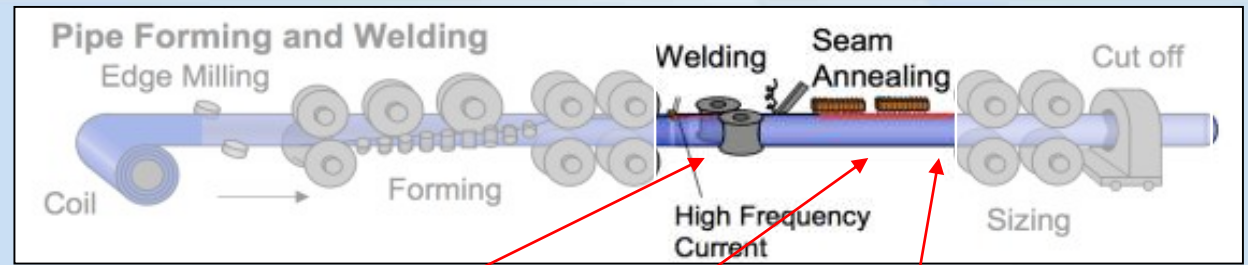
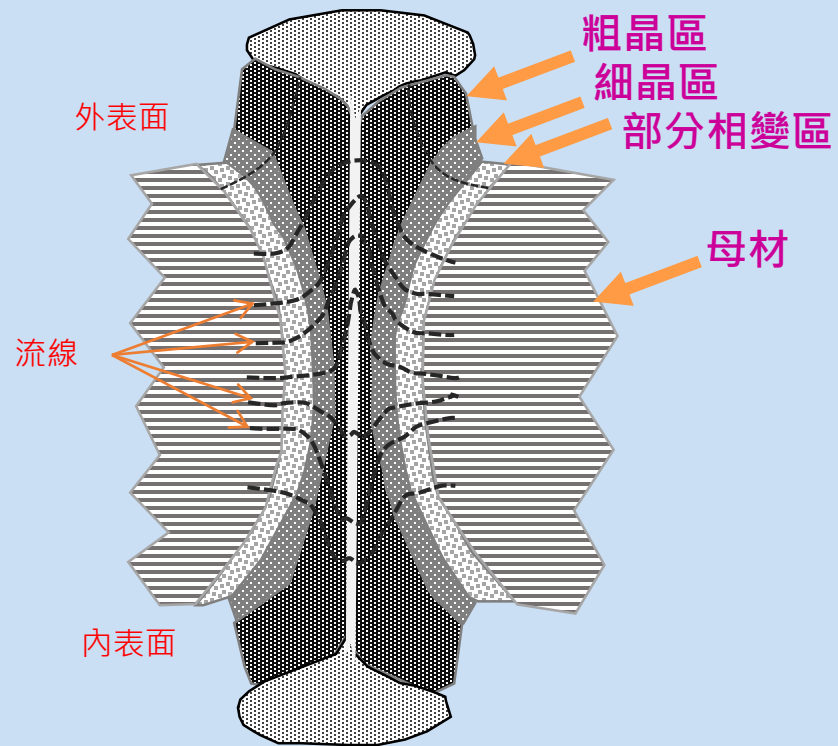
(A)氯化鈉 (>2µm)
(B)Na/Fe/Si/O化合物 (<0.5 µm)
(C)Na/Cl/Fe/Si/C/O化合物 (<0.5 µm)

水垢生成物



(B)管材國產化之推動過程(5/10) → 地熱鋼管之機性均勻性提升

→ 改善銲管機性不均勻(1/2)



銲道及HAZ之組織控制：銲後噴水急冷→較細叢聚狀麻田散鐵→中週波正常化→空冷or管內通水冷卻→獲得與母材相近組織(波來鐵或變韌鐵組織)。

(B)管材國產化之推動過程(6/10) → 地熱鋼管之機性均勻性提升

→ 改善銲管機性不均勻(2/2)

以外徑9-5/8" 之API_5CT_K55地熱鋼管，將銲道及熱影響區施以中頻正常化熱處理+空冷後，可獲得與母材相近之波來鐵組織，以鋼管之銲道為0度，每45度為間距分別取樣進行拉伸試驗，確認可獲得銲道及母材機性相近之結果，順利達成改善銲管機性不均勻之目標。

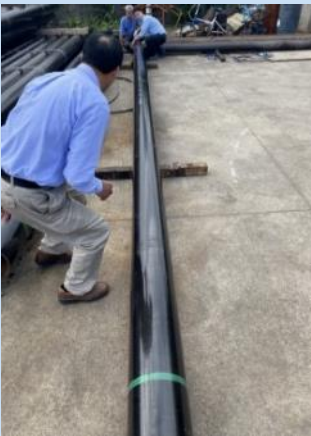
API_5CT_K55(9-5/8" -8.95t)鋼管機性試驗結果													
取樣 方向	原料			鋼管								差值 (鋼管-原料)	
	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	EL (%)	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	EL. (%)	Y.S/T.S (%)	平均值(Avg.)				Y.S (MPa)	EL (%)
								Y.S (MPa)	T.S (MPa)	EL. (%)	Y.S/T.S (%)		
L0	522	685	31.2	569	683	27.1	83.31	550.375	667.625	28.425	82.43656	47	-4.1
L45				545	669	28.9	81.46					23	-2.3
L90				550	664	28.8	82.83					28	-2.4
L135				545	665	28.4	81.95					23	-2.8
L180				549	669	29	82.06					27	-2.2
L225				547	660	28.7	82.88					25	-2.5
L270				551	664	28.4	82.98					29	-2.8
L315				547	667	28.1	82.01					25	-3.1
[注]L0之拉力試驗值,僅供參考用,未列入各項平均值計算。													

(B)管材國產化之推動過程(7/10) → 驗證加工精度與吊掛強度

→ 建立API_5B車牙技術

鋼管加工前的進料檢驗：進行三項檢查，分別為直度、外徑與圓度量測。

鋼管直度，10米以上的鋼管，車床加工夾持加工端另一側，會因鋼管直度不良產生離心力的晃動，當直度越差，晃動的幅度會越明顯。不僅晃動造成車刀破裂，更甚者須截斷重新定位加工。API規定直度為長度0.2%。



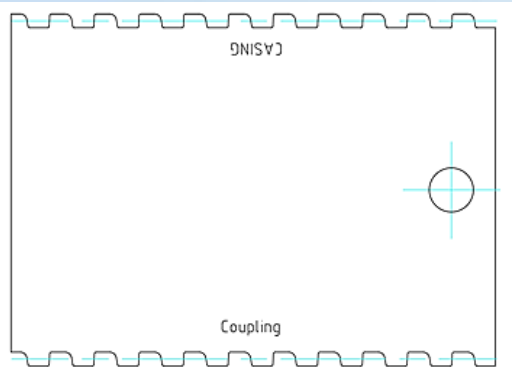
Buttress斜方形螺紋

鋼管外徑過大時，若欲避免鎖固時產生干涉，管壁厚度必須車削更多，為此鋼管會有變薄破裂之虞。反之，當外徑過小，與接頭產生間隙，有脫牙、掉管的疑慮。

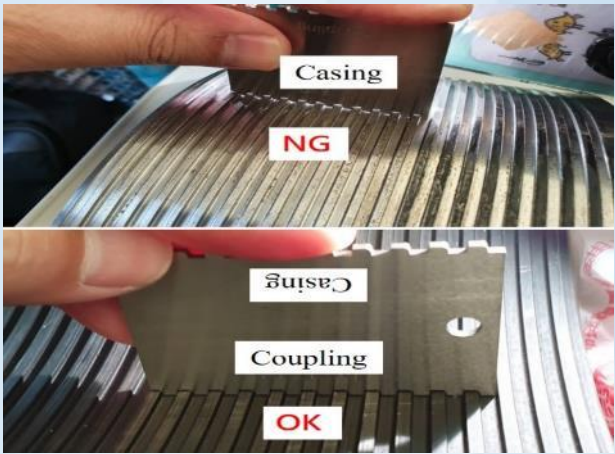
管外徑 D (mm)	管外徑公差 (mm)
< 114.3	± 0.79
≥114.3	+1 -0.5 % D

API 5CT外徑公差規定

鋼管圓度，鋼管兩端，當圓度差異越大，車削螺紋圓周方向會有一邊有效牙，另一邊是非有效牙，直接影響吊掛荷重，從外觀來看，一邊為加工的金屬色，一邊則為黑色的氧化鏽皮層。圓度管制值為外徑的0.75%倍。



自製螺紋牙規

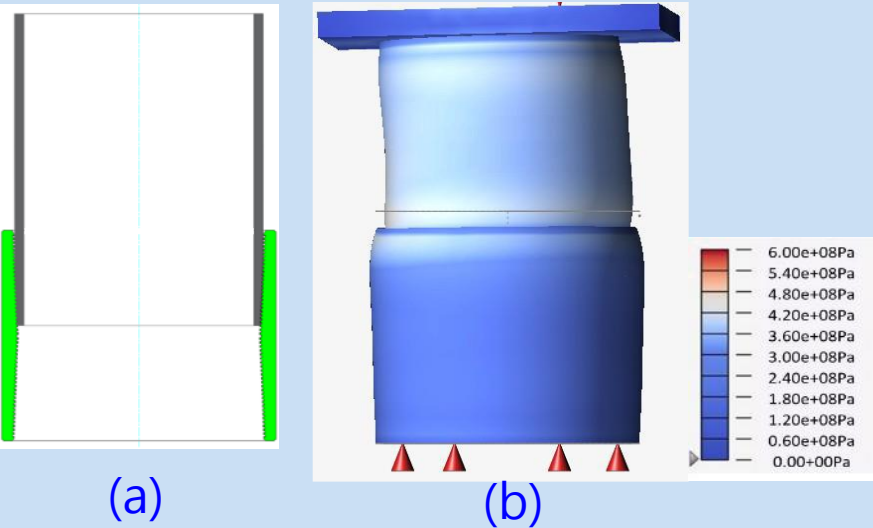


牙規量測

(B)管材國產化之推動過程(8/10) → 驗證加工精度與吊掛強度

→ 套管吊掛強度之測試

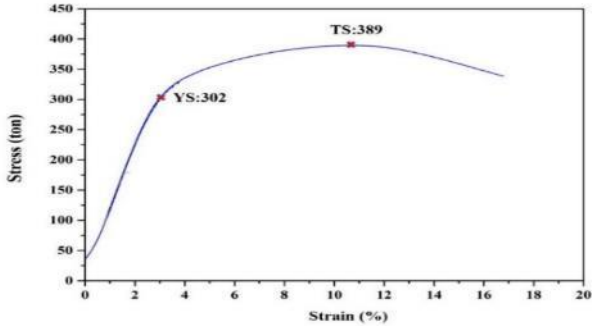
為確保確保鋼管+接頭的組合(以下簡稱**套管試片**)，是否足以支撐吊掛數十公噸的鋼管重量，故以Altair Simsolid 軟體進行壓縮模擬試驗。試驗結果降伏應力落在450~500 MPa區間，以鋼管截面積換算，吊掛荷重達274~304公噸。模擬之變形區域落在鋼管處。



套管試片(a)受力前與(b)受力後模擬結果



實際至成大土木系以500MT之萬能試驗機進行套管試片之壓縮試驗，變形區域落同樣在鋼管處，目視接頭處正常無變形。測試結果顯示降伏荷重與抗壓縮荷重分別為302與389 MT。



K55 9-5/8"鋼管	降伏荷重 (MT)	抗壓縮荷重 (MT)
組合試片	302	389

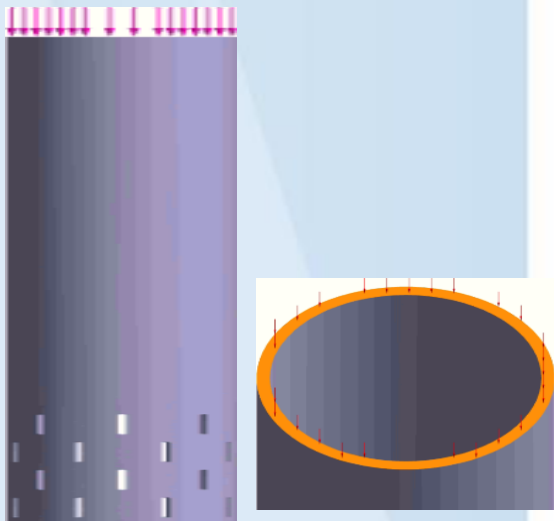
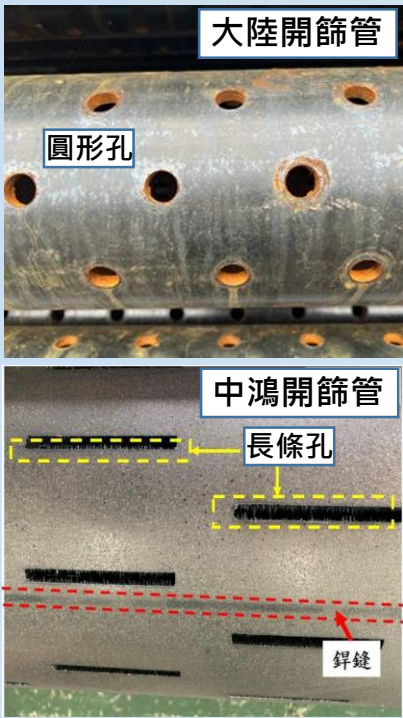


(B)管材國產化之推動過程(9/10) → 汲水用開篩鋼管之挫屈強度計算

→ 開篩管之挫屈強度計算(1/2)

目標為外徑為244.48mm(9-5/8")、厚度8.95mm之開篩鋼管，同樣採用Altair Simsolid軟體進行兩自由端挫屈模擬分析，鋼管機性數值為：YS=550MPa，TS=668MPa，EL=28.4%，符合API_5CT_K55規格，模擬分析在0孔(無開篩)、852孔(大陸圓孔開篩管)及456孔(中鴻長條開篩孔)三種不同鋼管之挫屈強度。

開篩率計算為(開孔數×單孔面積)÷鋼管外表面積。其中852孔及456孔開篩管開孔率分別為6.21%與6.45%。



外徑	厚度	長度	鋼管外表面積	前端未開篩距離	後端未開篩距離	篩孔												開篩率
						兩半圓面積/孔	開篩長度	長(不含兩端半圓)	寬	水平間距	圓周間距	一圈孔數	水平總數	水平總數(整數)	篩孔總數	篩孔面積	總篩孔面積	
mm	mm	mm	mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	度	mm	pc	pc	pc	mm ² /孔	mm ²	
244.48	8.95	10,000	6,205,897	1,200	720	452.39	8,080	0	24	90	30	12	70.9	71	852	452.39	385,436	6.21%
244.48	8.95	10,000	6,205,897	1,200	720	33.18	8,080	130.0	6.5	80	30	12	37.3	38	456	878.18	400,451	6.45%

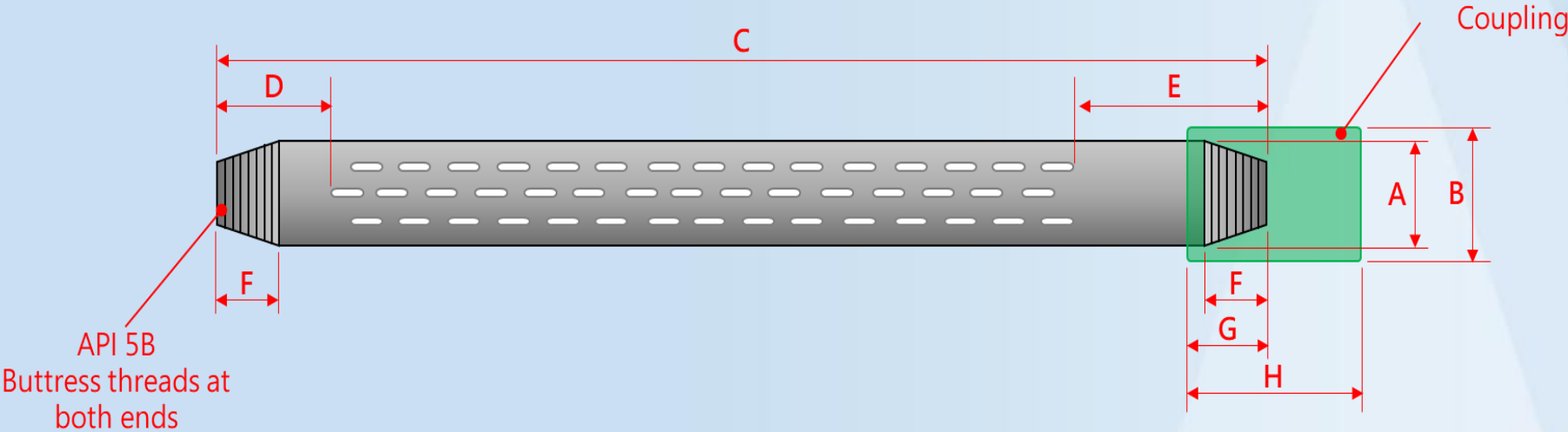
開篩率計算

(B)管材國產化之推動過程(10/10) → 汲水用開篩鋼管之挫屈強度計算

→ 開篩管之挫屈強度計算(2/2)

SI unit : mm

OD	A	B	C	D	E	F	G	H
7 inches	177.80	200.03	10,000	720	1,200	106.68	114.30	254.00
9 5/8 inches	244.48	269.88	10,000	720	1,200	114.62	122.24	269.88



中鴻地熱井之開篩鋼管設計圖

二、地熱發電: (C)結論

(C)結論 → 國產化地熱鋼管之應用實績(1/2)

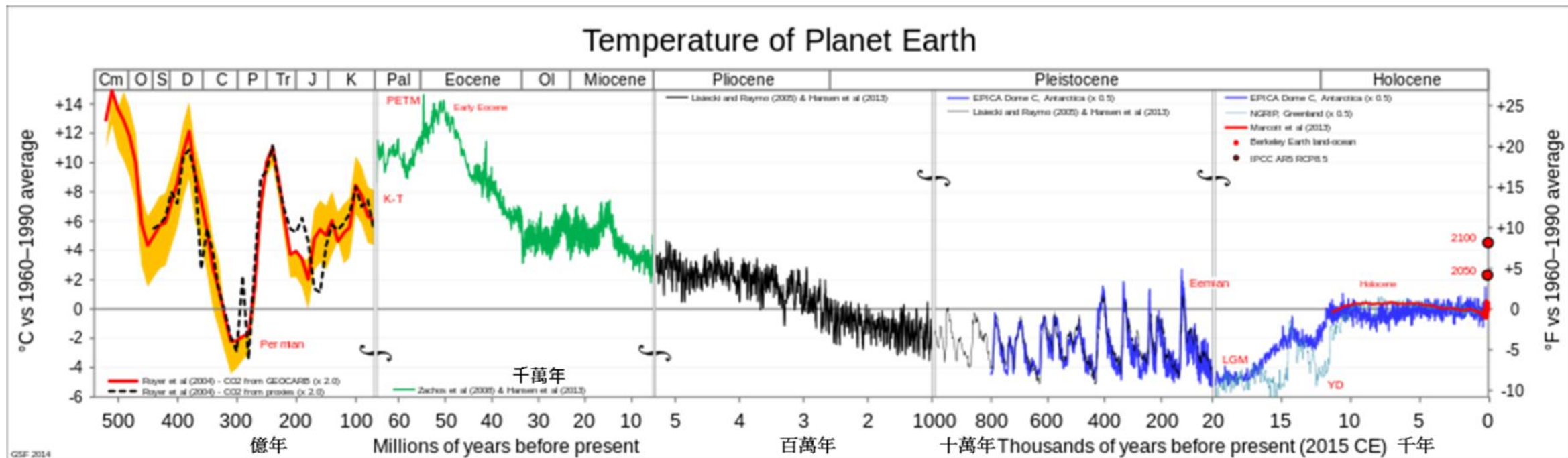
項目	第一案金崙場域	第二案紅葉場域
時間	109/10/08 完成交貨	109/10/21完成交貨
地點	全陽公司 – 台東金崙地熱發電廠	瑞典BaseLoad公司 – 花蓮紅葉地熱案場
說明	● 109/03開始下井工程，目前電廠硬體設備完成、發電測試中，已於111/1Q正式商轉。 ● 置入中鴻J55鋼管8M長9-5/8" 共71支、5-1/2" 共70支。目前井測出水穩定且量大，無異物產生，顯示井系統結構完整，無破損或堵塞。	● 中鴻公司7 " 12米有縫鋼管，共76支，已於110/07開始下井。 ● 池加久第一口井鑽井深度約1200米。 ● BaseLoad為比爾蓋茲投資基金之地熱公司，認可擁有API認證之中鴻地熱鋼管。
施工照片	 2號井施工下管 發電設備機房新建工程	 中鴻公司7" 12米 ERW鋼管 第一口井之鑽井工程

未來需求：地熱井之管材腐蝕智能監診系統

- (1) 井下管材外壁之腐蝕監控(環境腐蝕)
- (2) 井下管材內壁之腐蝕監控(沖蝕、水腐蝕)
- (3) 井液面之水結垢監控
- (4) 其他檢控項目：井下溫度、壓力、水流量 ...

三、碳捕捉、碳封存: (A)CCS概述

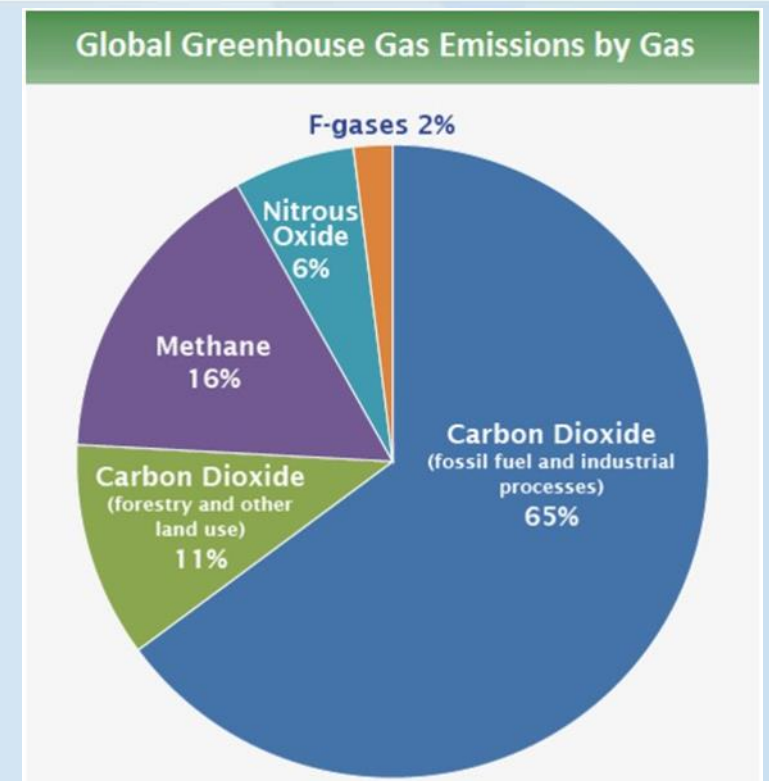
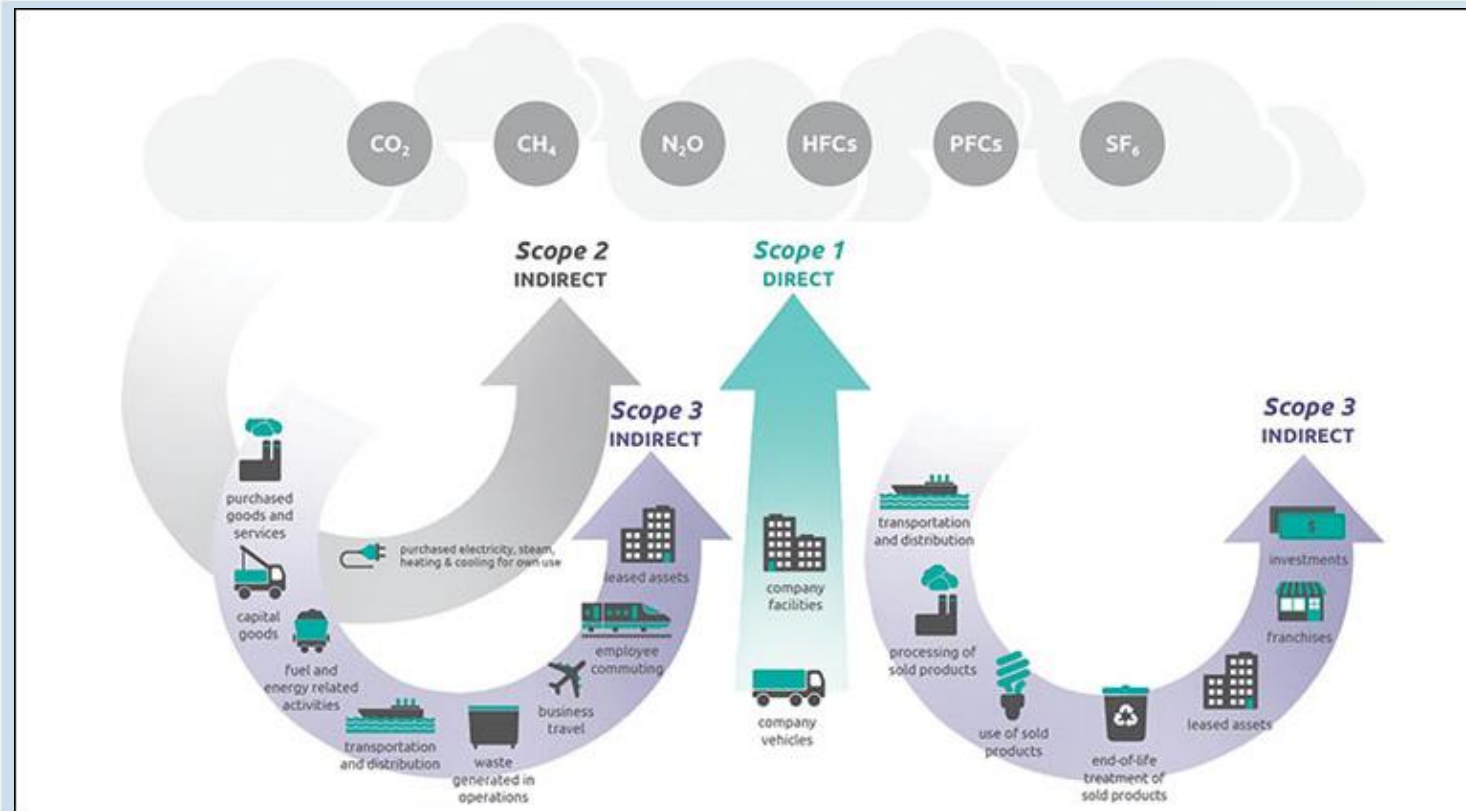
(A)CCS概述(1/19) → 我們的地球怎麼了? (1/4)



全球暖化：接近地面的大氣層平均溫度，在1906至2005年間上升了0.74攝氏度。科學界發現過去50年可觀察的氣候改變速度是過去100年的雙倍，推論是由人類活動所造成。

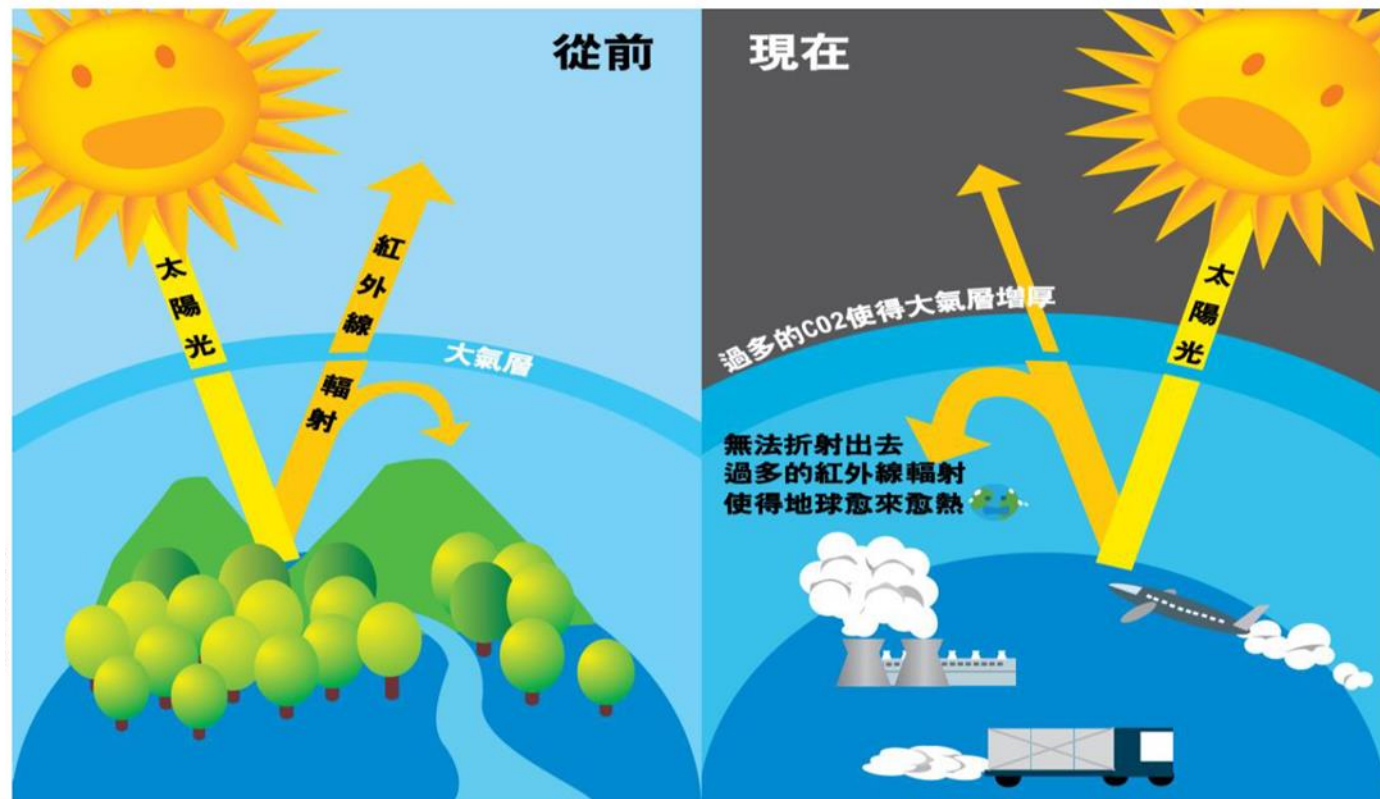
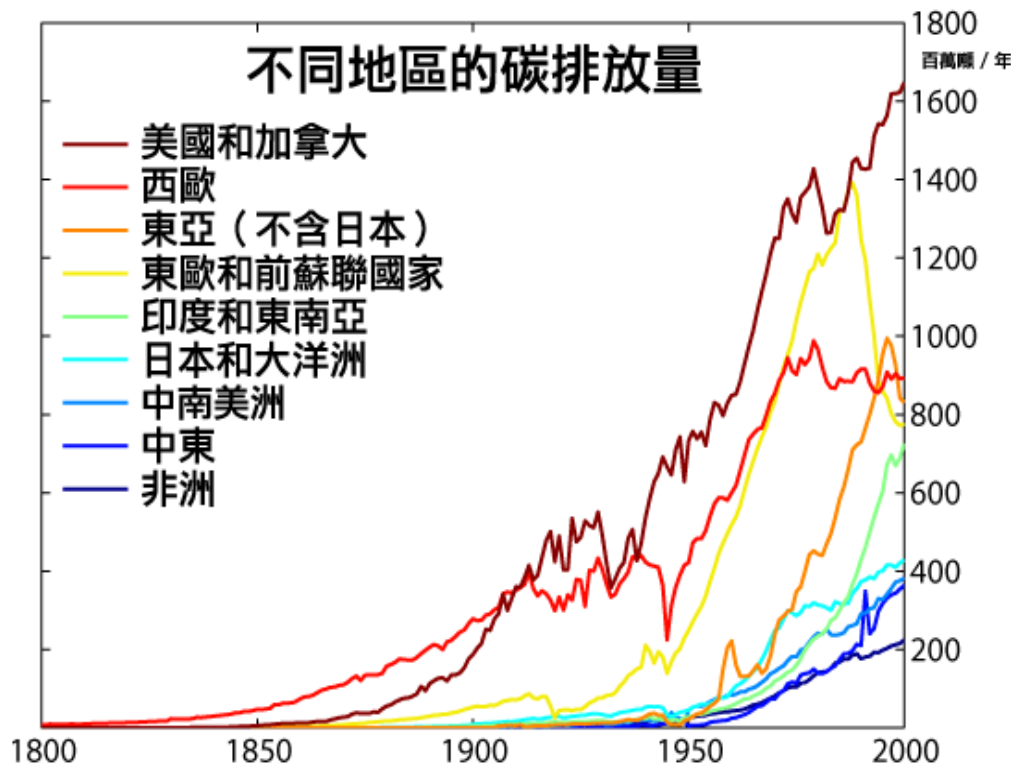
全球暖化之影響：包括北極、冰川、凍土和海冰不斷縮減造成海平面上升、降水變更及亞熱帶地區的沙漠擴張造成農作物減收、更頻繁的極端天氣及溫度變化引起的大規模物種滅絕。

(A)CCS概述(2/19) → 我們的地球怎麼了? (2/4)



溫室氣體 (GHG, Greenhouse Gas)：二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs) 及六氟化硫 (SF₆) 為聯合國氣候變化框架公約納入的6種要求減排的溫室氣體，其中以後三類氣體造成溫室效應的能力最強，但對全球升溫的貢獻百分比來說，**二氧化碳由於含量較多，所占的比例也最大，約為26%。**

(A)CCS概述(3/19) → 我們的地球怎麼了? (3/4)



臺灣的碳排放總量占全球的比例約0.8%，但人均排放量很高。依據國際能源總署2019年的資料顯示，台灣人均排碳量為10.77噸，為全球人均排碳量的2.45倍，全球排名第19。

(A)CCS概述(4/19) → 我們的地球怎麼了? (4/4)

2014年台灣主要排碳源

來源	Mt CO ₂	百分比
台電	84.59	37.36%
台塑石化	29.77	13.15%
中鋼	19.38	8.56%
麥寮電廠 (台塑集團)	11.86	5.24%
中龍鋼鐵 (中鋼集團)	9.76	4.31%

來源	Mt CO ₂	百分比
台中電廠	39.62	17.50%
興達電廠	20.02	8.84%
中鋼	19.38	8.56%
台塑石化麥寮一廠	16.83	7.43%
麥寮電廠	11.86	5.24%

資料來源：環保署國家溫室氣體登錄平台
ghgregistry.epa.gov.tw/examine/examine_fourth.aspx

臺灣的碳排問題 ~ 能源問題：台灣化石能源97.98%倚賴進口(106年中油資料)，其中50%以上用於發電，其中火力發電(燃煤、燃氣、燃油)又佔了88.87%。

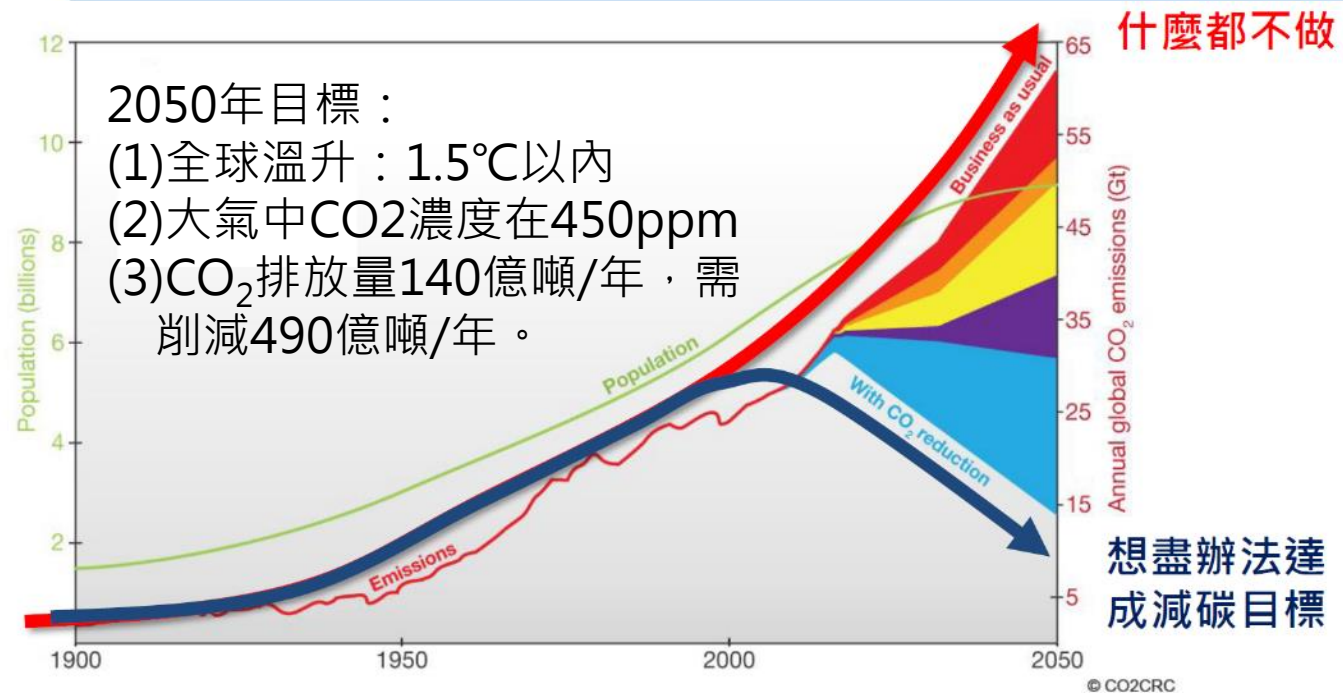
台灣主要排碳源公司：台電 > 台塑石化 > 中鋼。

(A)CCS概述(5/19) → 國際上的因應措施 (1/2)

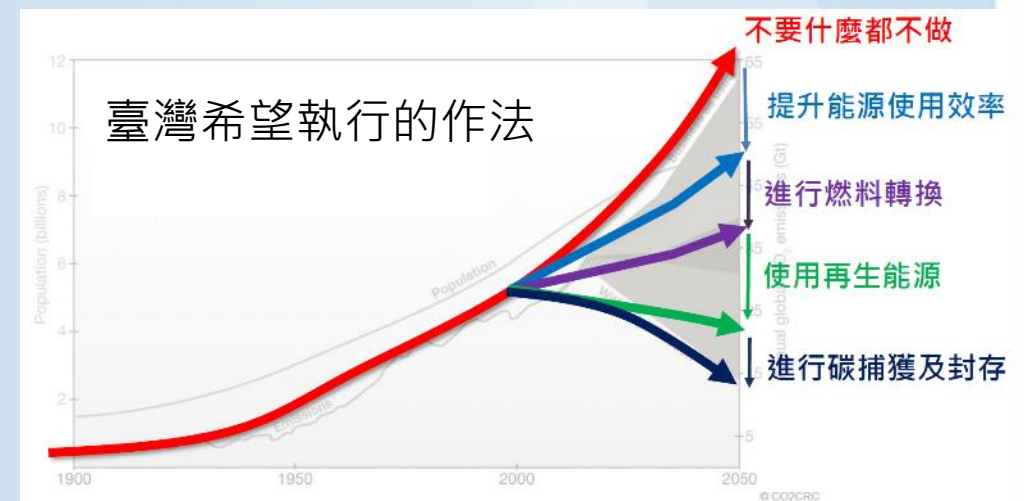
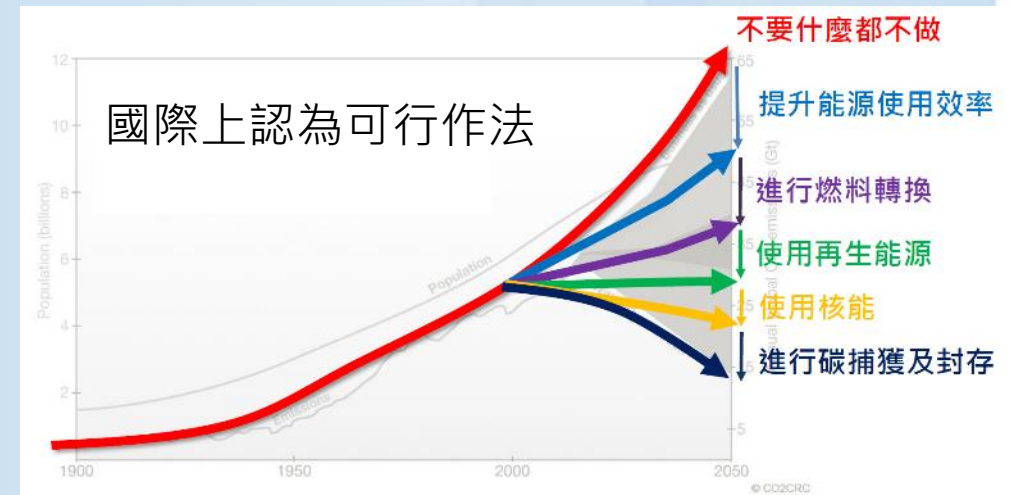
碳定價是各國減緩全球暖化的一種方法，通常採用**碳稅**或**碳排放交易**的形式，2021年隨著中國開始實行國家碳交易計劃，碳定價已覆蓋全球21.7%的溫室氣體排放量。目前實施碳排放交易有29國，使用碳稅、碳費有35國，加總為64國家或地區。

- 歐盟碳市場**：2020年12月7日這週因歐盟27國領導人就2030年減排55%的目標達成一致，受該消息影響，歐洲碳價應聲上漲，再破30 歐元/噸的關口，12月31日到32.08 歐元/噸(碳權交易)，**預估到2025年會超過75 歐元/噸**。
- 美國碳市場**：美國總統拜登於2021年2月26日宣佈將2021年碳排放社會成本**訂在每噸51美元**，取代川普政府所訂的每噸1美元。
- 中國碳市場**：**碳價的平均起價為50 元人民幣/噸**，預計到2025 年將升至71 元人民幣，到2030 預估會升至93 元人民幣；2018 與2019 年度的交易量達到21.9 億元人民幣。
- 韓國碳市場**：2020年12月11日，**韓國碳價上漲至22.1美元/噸**。韓國交易所稱，2020年1-9月，該交易所的碳排放權交易金額高達5,300 億韓元(約4.8億美元)，名列全球第二，較2015年開業時猛增48.8倍,日均交易量達到9.14萬噸，較開業時猛增16.9倍。
- 紐西蘭碳市場**：2020年12月7日至12月11日，**紐西蘭碳價上漲至26.9美元/噸**。

(A)CCS概述(6/19) → 國際上的因應措施 (2/2)



圖片來源：CO2CRC



(A)CCS概述(7/19) → CCS一詞如何而來?

(1) 提高石油採收率(EOR, Enhanced Oil Recovery)

- 1972年，美國德州Val Verde Gas Plants最先將CO₂注入地底，藉此提高石油採收率。

(2) 京都議定書(Kyoto Protocol)

- 1997年12月，日本京都召開“聯合國氣候變化綱要公約”，2005年強制生效。

(3) Clean Coal

- 因應京都協議書之要求，於2008年的流行用詞，是指“為了減緩溫室氣體效應，燃煤電廠需要將排放的CO₂捕捉回來，並深埋到地底下”，這便是CCS技術，藉此達到淨碳之目的。

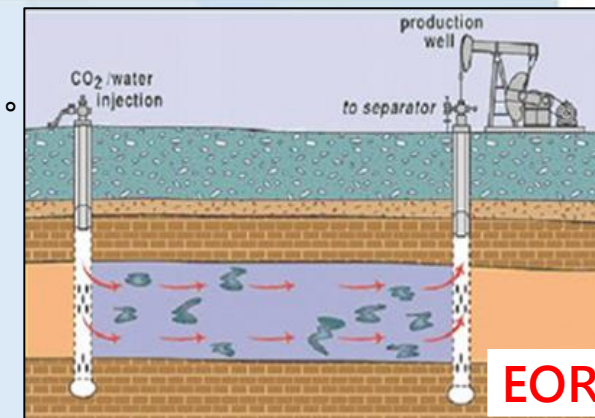
(4) CCS示範電廠

- 2008年9月，德國東南部一間試驗規模的CCS火力發電廠開始營運，以測試技術可行性和經濟效益。

(5) CCS正式工廠

- 2015年美國伊利諾州一間化學工廠，正式採用CCS技術，3年內將捕捉到的100萬噸CO₂注入地下深層鹽水層。

(6) 總結：目前全球有16個大型CCS計畫正在營運，另有5個大型計畫將於2017年結束之前展開運作，這21個計畫將可為全球每年封存近4千萬噸的CO₂，主要封存方式為EOR，大部分與石化產業有關。



(A)CCS概述(8/19) → CCS是否有危害風險? (1/4)

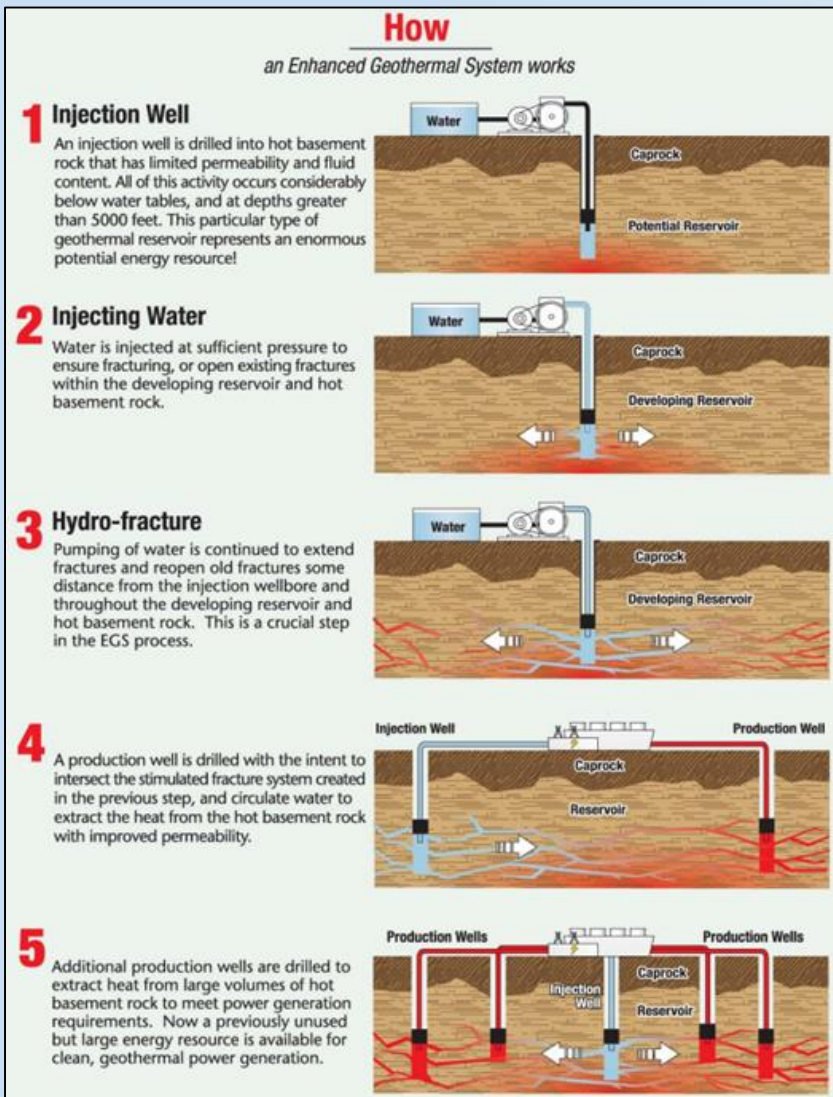
- (1) CO₂注入地底的過程中，會不會引發大型地震??
- (2) 注入地底的CO₂，會不會突然逸散出來讓人窒息??
- (3) CO₂封存井在我家附近，會不會影響地價??

(A)CCS概述(9/19) → CCS是否有危害風險? (2/4)

(1) CO₂注入地底的過程中，會不會引發大型地震?? → 不會



疑慮(1)：日本苫小牧CCS示範電廠

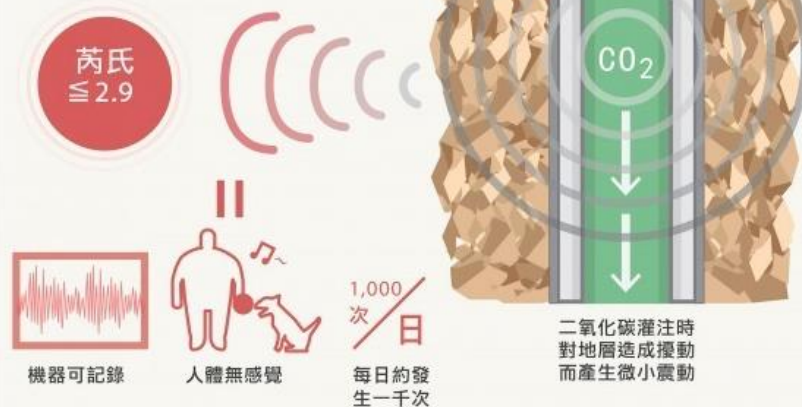


疑慮(2)：增強型地熱系統(EGS)

Q：CCS封存是否會誘發地震？

A：尚未有任何CCS封存示範項目有誘發中大型地震的紀錄。

● 二氧化碳注入地層時，會在地層內造成壓力擾動，而產生些微的震動，此種震動非常小，而且發生在很深的位置，人體完全不會有感覺。事實上，科學家就是利用這種地層內有擾動的特性，進行地層監測，以確認二氧化碳是有效的被封存在地層內。



● 持續監控可有效降低洩漏的風險。

● 根據美國國家能源實驗室（NREL）的調查研究，目前全球沒有任何因為CCS封存示範計畫而產生誘發中大型地震的紀錄。

● 在注儲工程的安全設計之下，向地層注入二氧化碳，不會使已經存在的斷層有再活動的可能。

結論：CCS不會引發有感地震

(A)CCS概述(10/19) → CCS是否有危害風險? (3/4)

(2) 注入地底的CO₂，會不會突然逸散出來讓人窒息?? → 不會

Q：西非喀麥隆尼歐斯湖的二氧化碳外洩真相為何？

A: 外洩不是因為封存二氧化碳所導致，而是該湖底本身因地層下柱活動累積大量的火山二氧化碳，後因天然的擾動，造成二氧化碳溢洩，沿著山壁外坡面下移，最終累積在山腳下的凹地，才造成山谷中的居民及牛羊因為地形無法讓二氧化碳發散而缺氧窒息。



<http://www.nepii.tw/KM/CCS/index.html>

● 喀麥隆尼歐斯湖 二氧化碳外洩		VS.	● 二氧化碳地質封存	
CO ₂ 來源	 火山活動		 自排放來源捕獲	
蓋層	 200m深湖水		 逾千公尺深岩層	
儲存層	 湖底		 地下岩層孔隙中	
封存場址	 湖水壓力聚集		 安全之地層壓力	
封存後	 無人監控		 嚴密監控	
一旦洩漏	 2-3億m ³ CO ₂ 瞬間噴發		 覆蓋岩層逾千公尺 無瞬間大量噴發可能	

CC BY NC ND NEPII 第二期能源政策科技計畫 能源政策之檢視與溝通小組
National Energy Program Phase II

<http://www.nepii.tw/KM/CCS/index.html>

主要疑慮：1986.08.21西非喀麥隆尼歐斯湖CO₂噴發，造成1746人及3500隻牲畜死亡

(A)CCS概述(11/19) → CCS是否有危害風險? (4/4)

(3) CO₂封存井在我家附近，會不會影響地價?? → 會

CCS計畫受民眾反對而受阻之案例



Schwartze Pumpe Project

- 德國Spremberg, Brandenburg
- 燃煤發電廠
- 金額9,600萬美金
- 民眾擔心二氧化碳逸氣而危害民眾健康



Midwest Regional Carbon Sequestration Project

- 美國Greenville, Ohio
- 乙醇工廠
- 金額9,280萬美金
- 民眾擔心不動產價格下跌與灌注可能引發地震

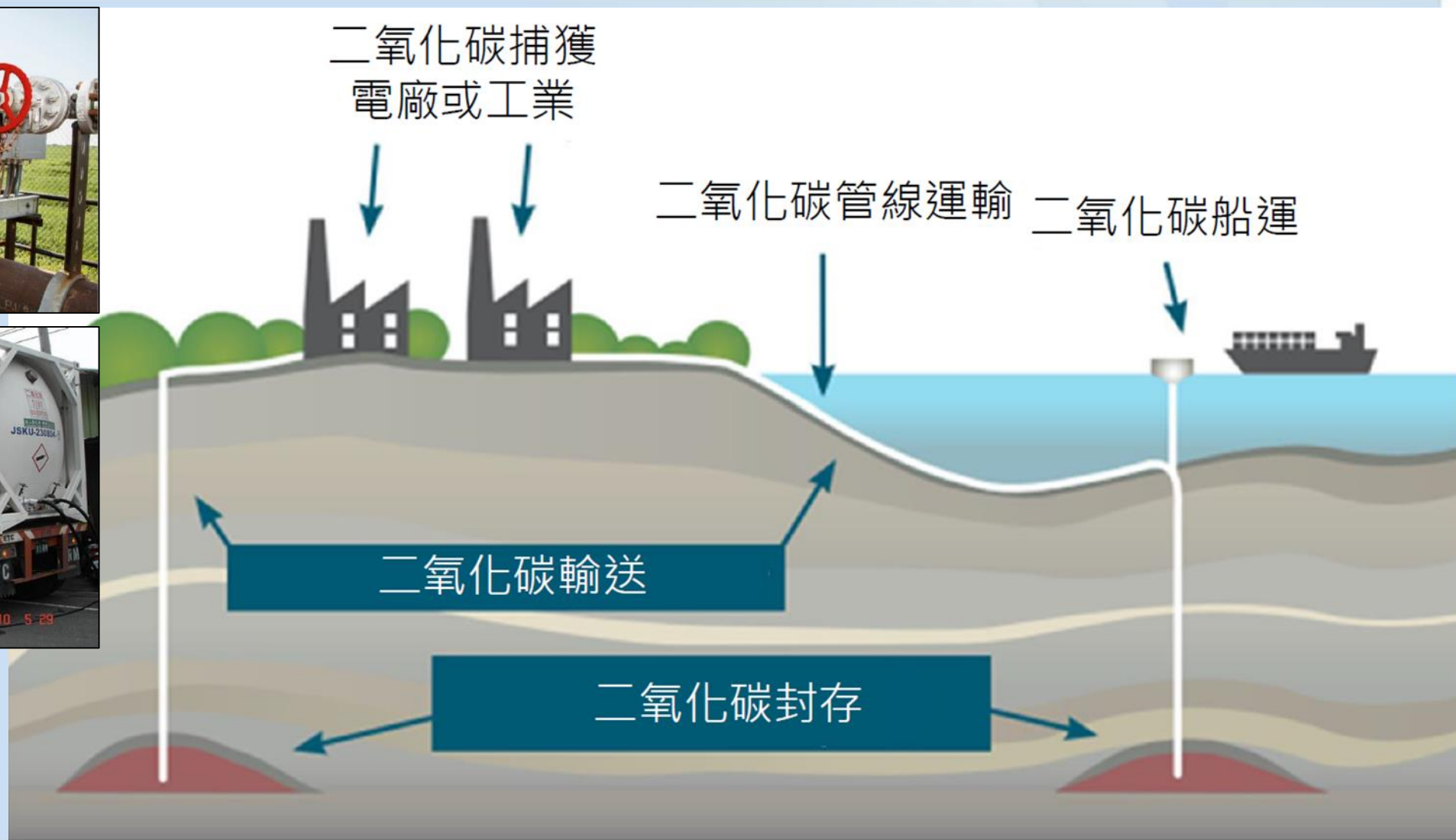


Barendrecht Project

- 荷蘭Barendrecht, South Holland
- 煉油廠
- 民眾擔心不動產價格下跌與公共安全
- Barendrecht市議會要求中止計畫



(A)CCS概述(12/19) → 碳捕捉、碳封存方法 (1/5)



碳捕集設施設計上的主要概念



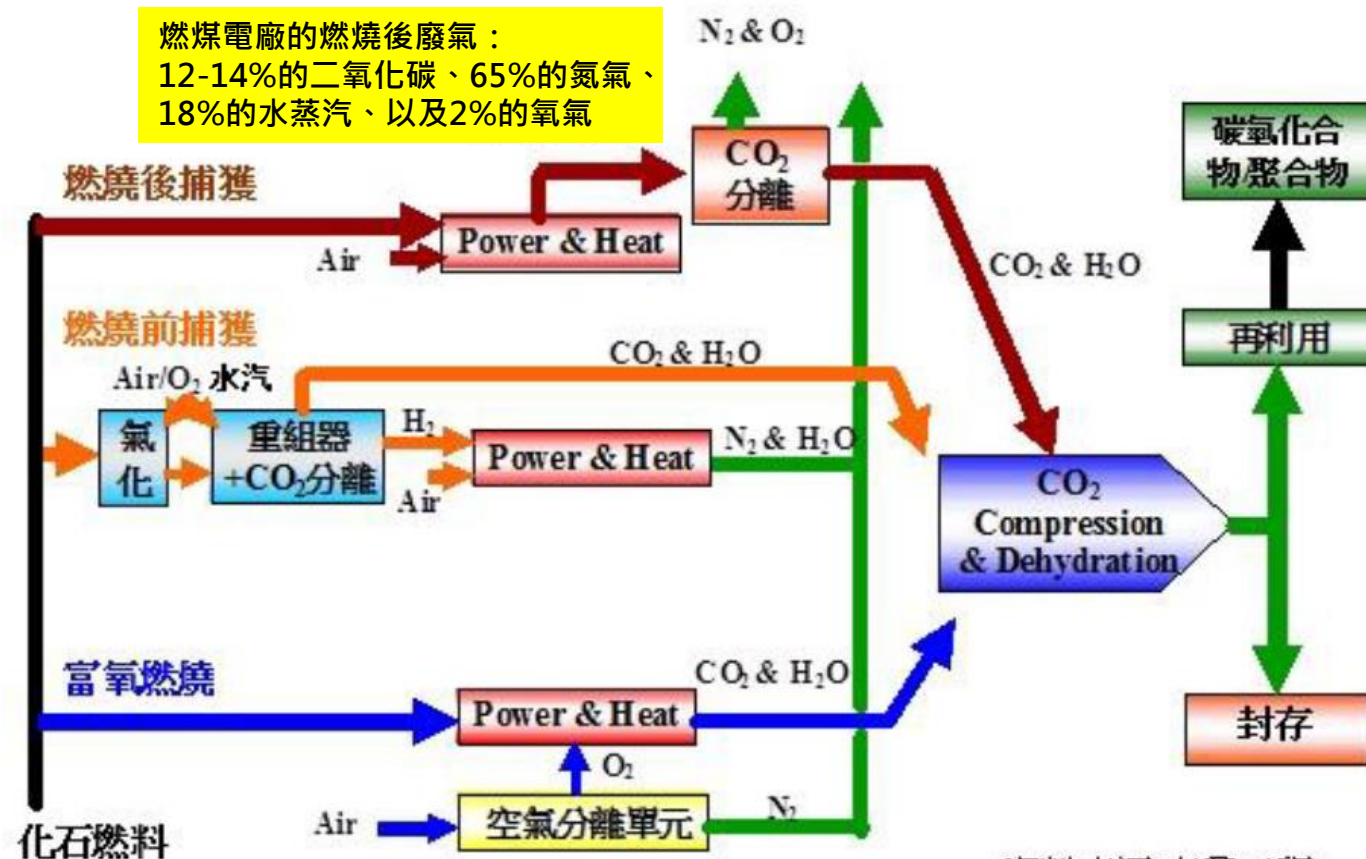
燃燒後捕集



燃燒前捕集



富氧燃燒

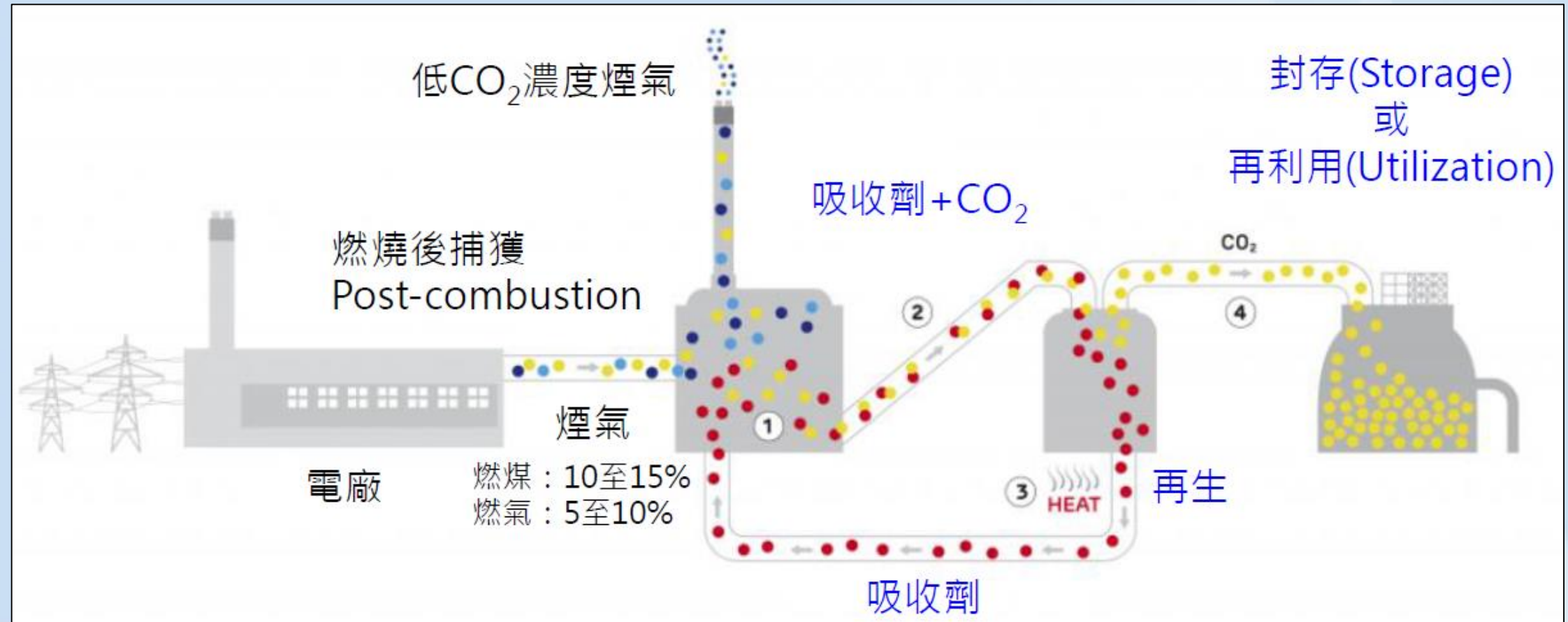


資料來源:吉興工程

(A)CCS概述(14/19) → 碳捕捉、碳封存方法 (3/5)

中鋼碳捕捉試驗工廠之規劃方式：燃燒後捕集 → 化學吸附法

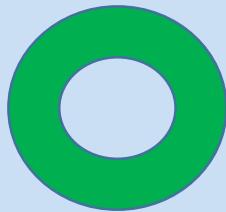
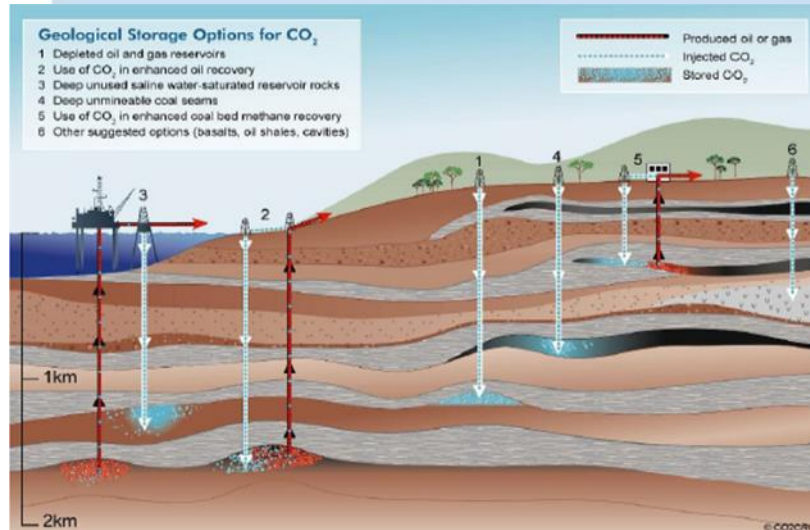
吸收劑採用乙醇胺(MEA)，易與 CO_2 結合成為液態，加熱至 $100\sim 140^\circ\text{C}$ 、加壓至 $1\sim 2$ 大氣壓後， CO_2 自溶液脫離MEA(可再利用)，將高純度 CO_2 加壓至近73大氣壓後成為超臨界流體，便於儲運。



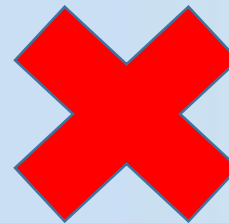
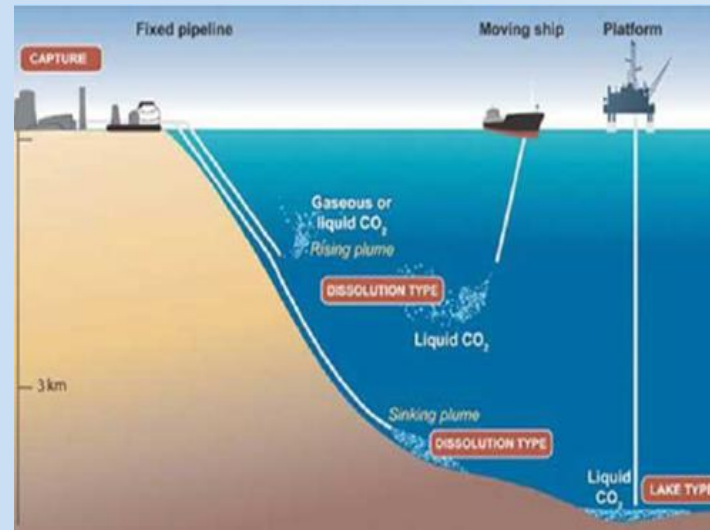
(A)CCS概述(15/19) → 碳捕捉、碳封存方法 (4/5)

三種CO₂封存方法：

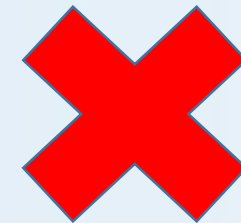
地質封存 (Geological Storage)



海洋封存 (Ocean Storage)

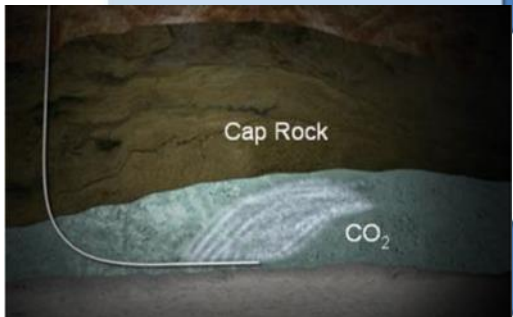


礦石封存 (Mineral Storage)



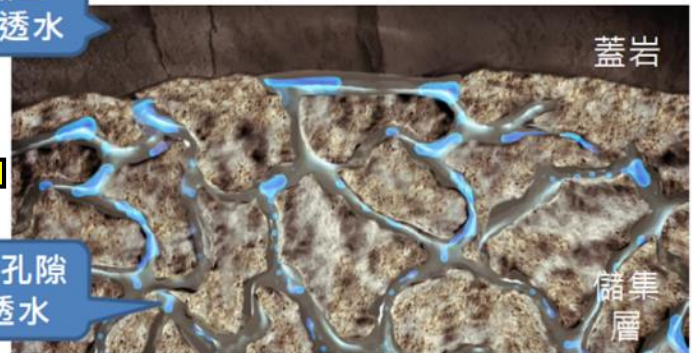
(A)CCS概述(16/19) → 碳捕捉、碳封存方法 (5/5)

碳封存機制



緻密
不透水

具孔隙
透水



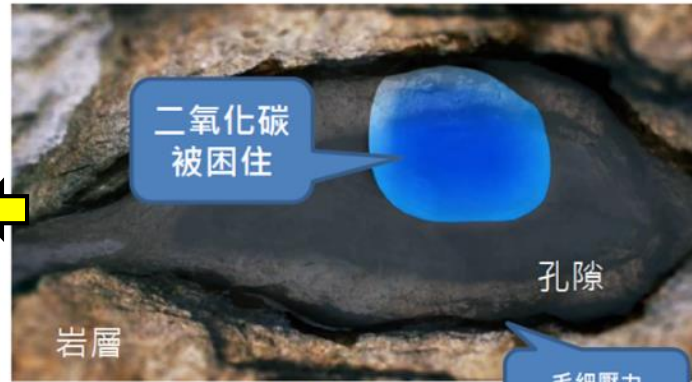
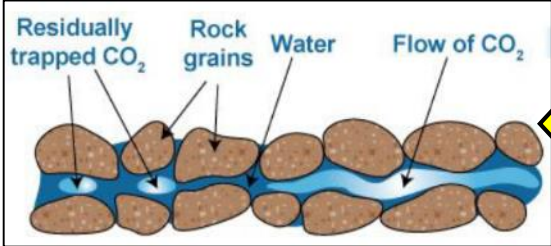
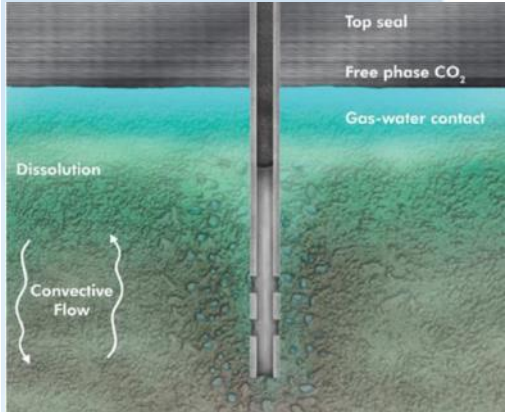
構造封存機制



緻密
不透水

溶解後密度高
向下遷移

溶解封存機制

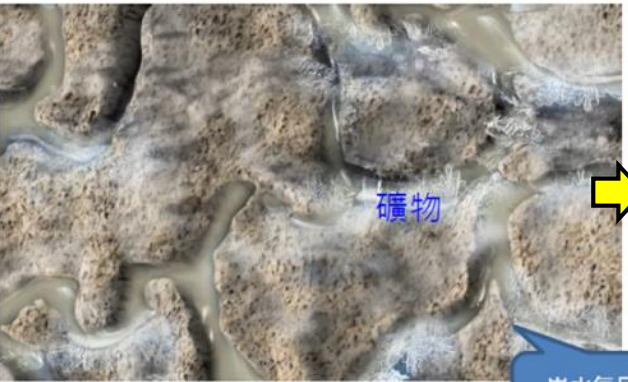


二氧化碳
被困住

孔隙

殘餘封存機制

毛細壓力
困住氣泡



礦物

礦化封存機制

岩水氣反應
形成礦物

地層礦物成分	地球化學反應方程式	
鈉長石 (Anorthite)	$CO_2(aq) + H_2O \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$	Aqueous Phase
伊利石 (Illite)	$CO_3^{2-} + H^+ \leftrightarrow HCO_3^-$	
綠雲母 (Annite)	$Anorthite + 8H^+ \leftrightarrow 4H_2O + Ca^{2+} + 2Al^{3+} + 2SiO_2(aq)$	Mineral Phase
方解石 (Calcite)	$Illite + 8H^+ \leftrightarrow 5H_2O + 0.6K^+ + 0.25Mg^{2+} + 2.3Al^{3+} + 3.5SiO_2(aq)$	
白雲石 (Dolomite)	$Annite + 10H^+ \leftrightarrow 6H_2O + 3Fe^{2+} + K^+ + Al^{3+} + 3SiO_2(aq)$	
菱鐵礦 (Siderite)	$Calcite + H^+ \leftrightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$	
高嶺石 (Kaolinite)	$Dolomite + 2H^+ \leftrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2HCO_3^-$	
玉髓 (Chalcedony)	$Siderite + H^+ \leftrightarrow HCO_3^- + Fe^{2+}$	
	$Kaolinite + 6H^+ \leftrightarrow 5H_2O + 2Al^{3+} + 2SiO_2(aq)$	
	$Chalcedony \leftrightarrow SiO_2(aq)$	

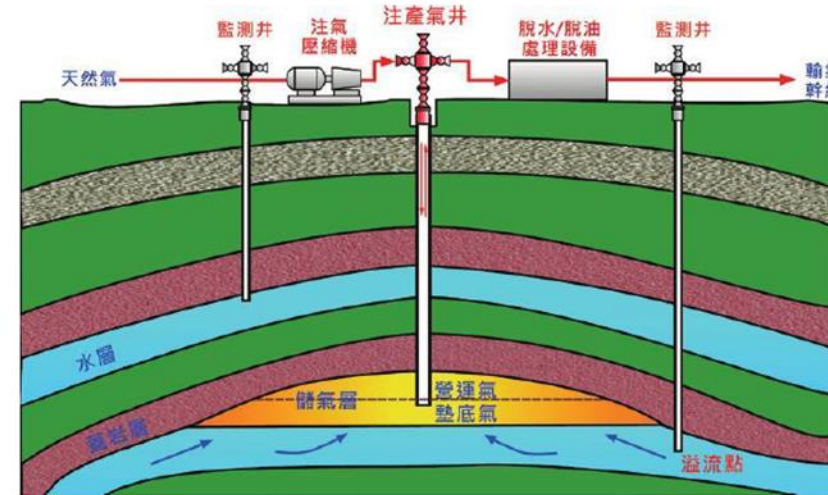
沉積岩層(蓋岩 + 儲集層組合)及滷水層，是最好的碳封存地質環境

(A)CCS概述(17/19) → 臺灣未來的實施規劃 (1/3)

鐵砧山地下儲氣窖

民國79年，中油公司將鐵砧山氣田轉為地下儲氣窖，進行進口液化天然氣尖離峰調控

- 當離峰用氣量較少時，利用注產氣井將多餘的天然氣注入到地下地層（地下儲氣窖）內
- 尖峰時段市場需要用更多的氣時，將天然氣經由注產氣井生產出來，經過地表處理而輸送到用氣戶。
- 鐵砧山氣田為良好地質儲氣之工程典範因為對地下地質有良好的調查及瞭解。
- 在儲氣層上方，有一封阻性非常好的蓋岩層，可以阻絕地下儲存的氣體不致向上洩漏。
- 儲氣層本身也具有良好的孔隙率及滲透率，可儲存大量的氣體，並在需要產氣時可有效的利用注產氣井進行生產
- 此外，完善的環境監測系統則長期監測地下儲氣窖之近地表環境，確保沒有儲存氣體之洩漏。



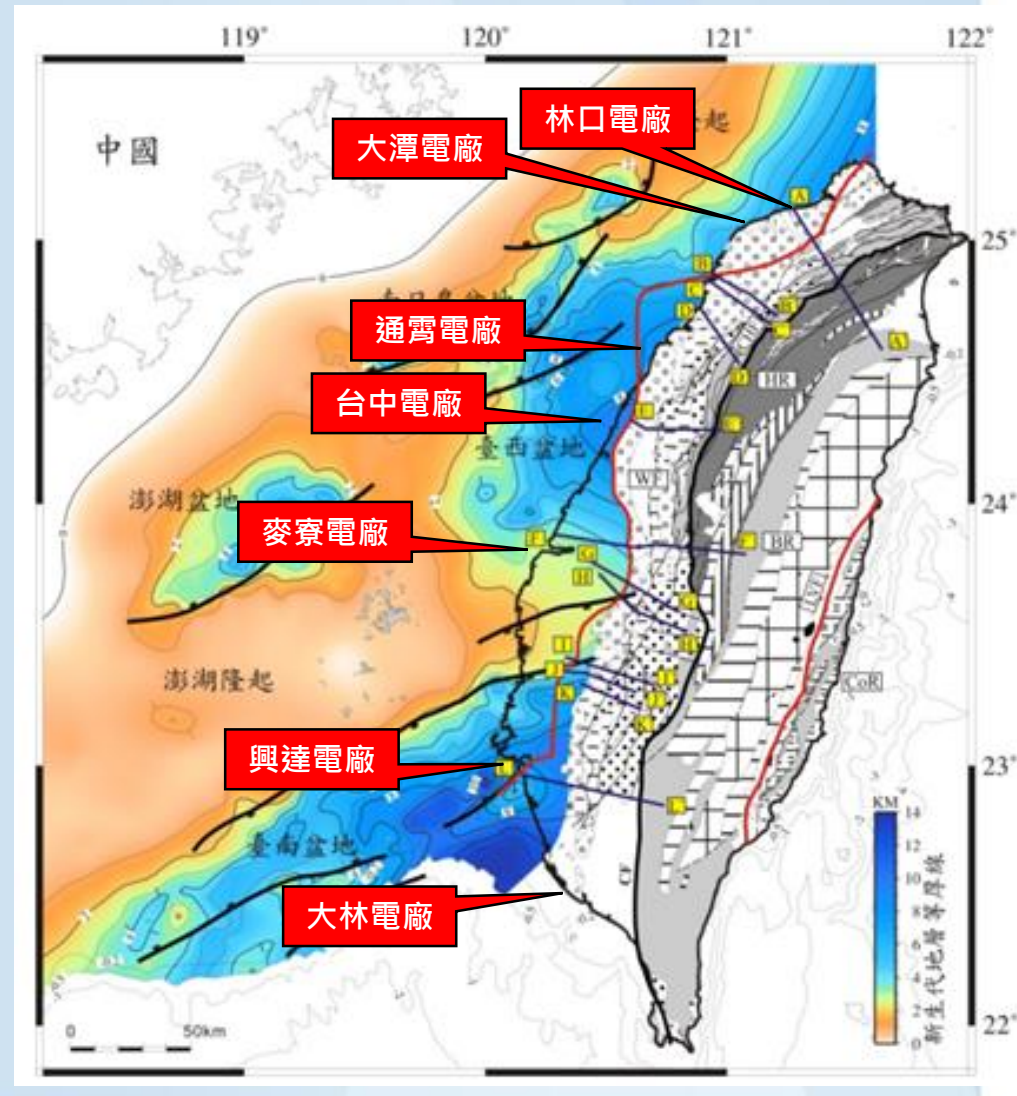
(A)CCS概述(18/19) → 臺灣未來的實施規劃 (2/3)



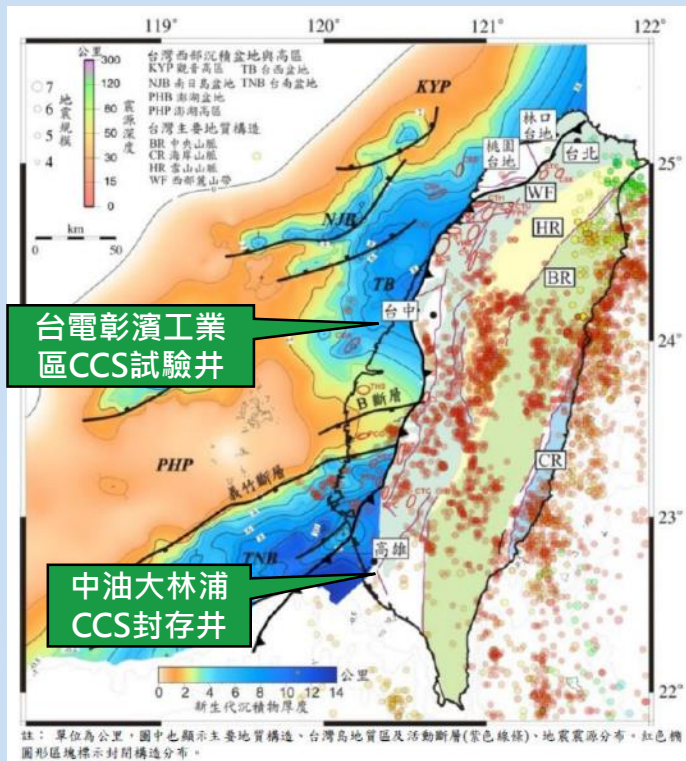
台灣陸域油氣構造(28億噸)



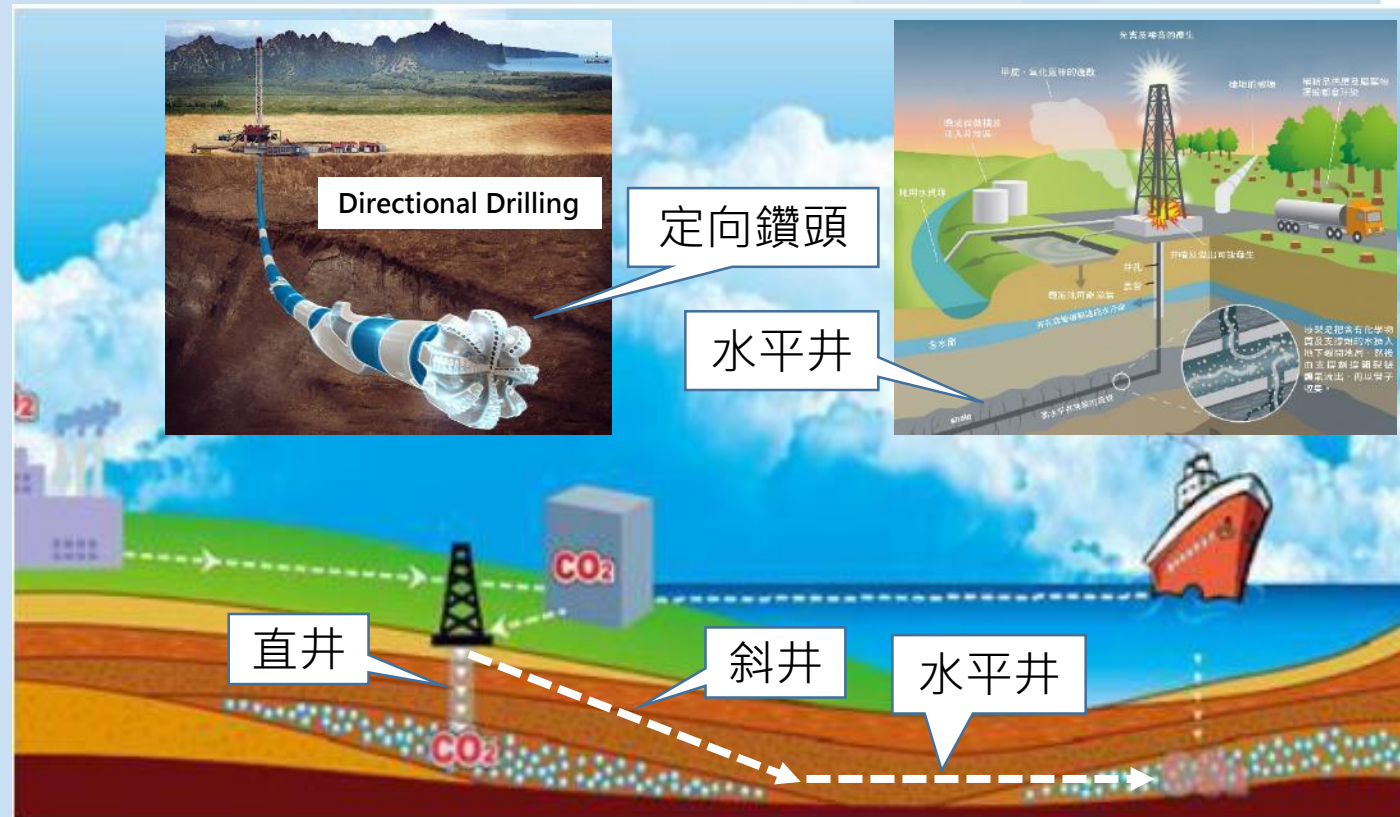
台灣陸域深地下鹽水層潛在分布(459億噸)



(A)CCS概述(19/19) → 臺灣未來的實施規劃 (3/3)



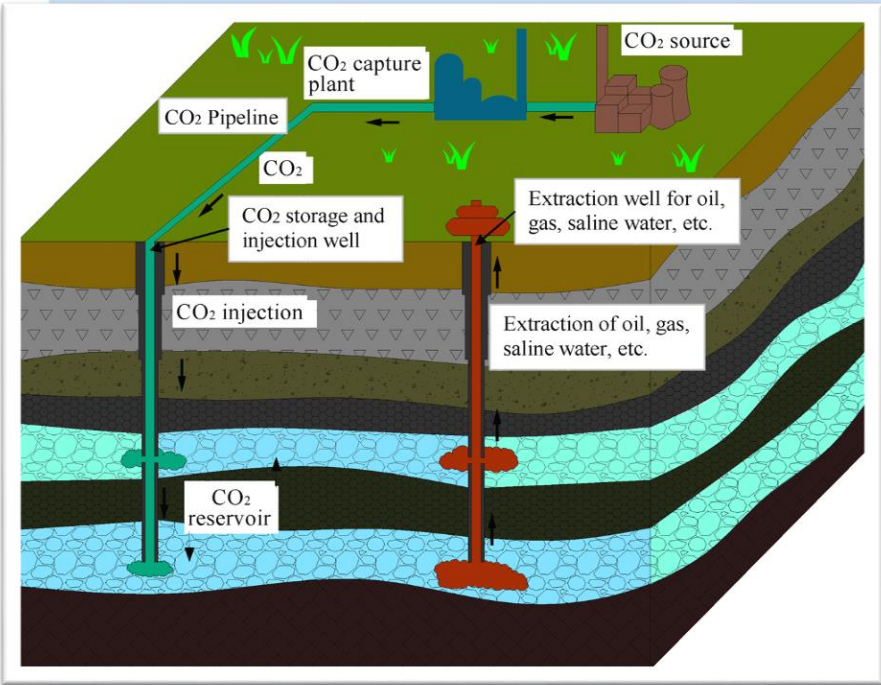
臺灣西部有8公里厚沉積岩及459億噸陸域地下鹽水層



- (1) 方案一：鄰近沿海地區，3000公尺直井 → 例如彰濱工業區之台電測試井(豐字鑽井，全FRP管材)。
- (2) 方案二：鄰近沿海地區，1500公尺深_斜井+2公里長_水平井 → 中油大林浦碳封存井(規劃中)。
- (3) 方案三：海上鑽井平台，以海底管路輸送或船舶運送後進行注入封存。

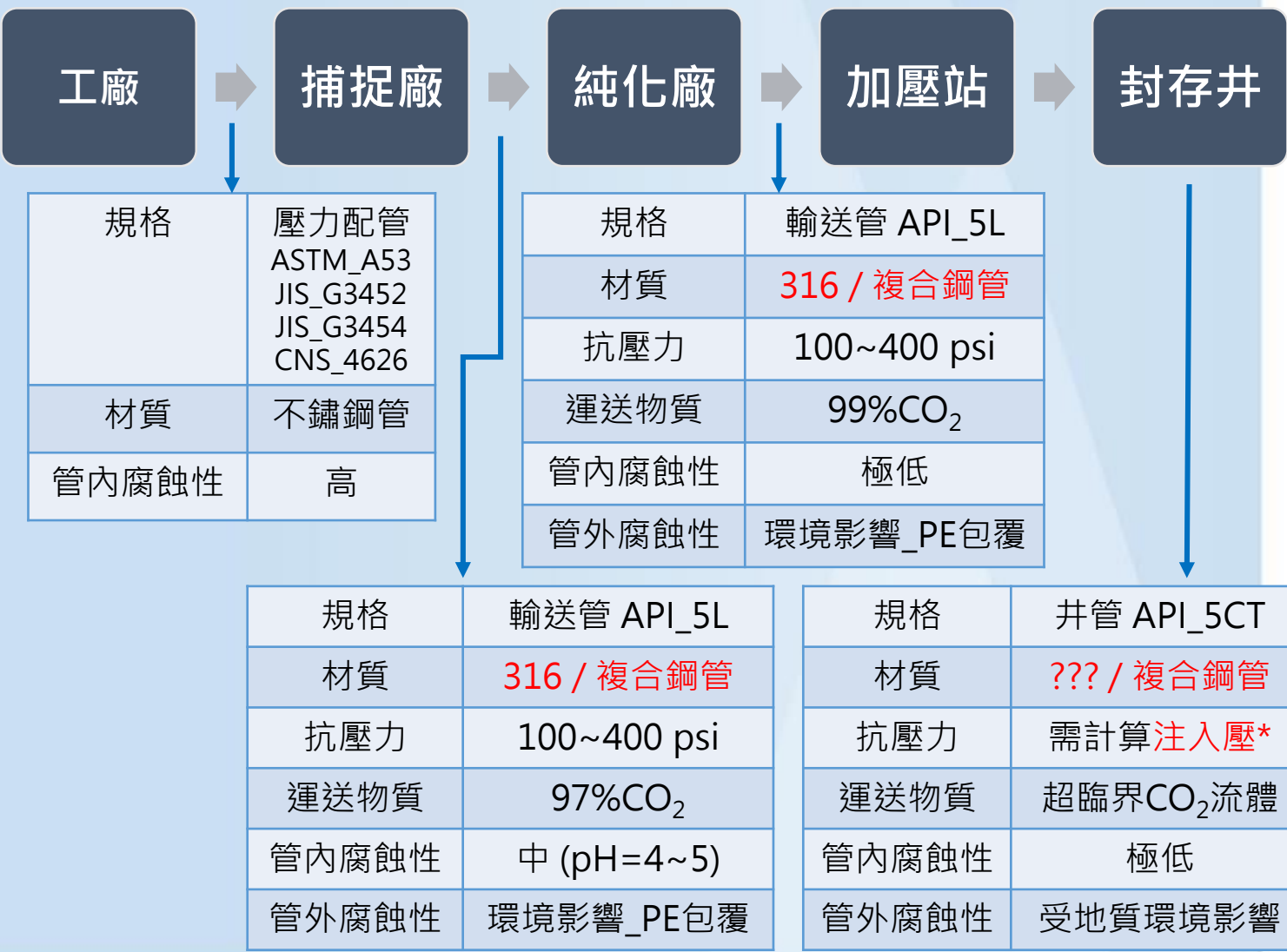
三、碳捕捉、碳封存: (B)CCS管材需求

(B)CCS管材需求 → CCS各站之輸送物質盤點



*注入壓 = 1.1~1.2 x 地層倍壓
地層倍壓 = 每英尺增加0.45 psi

封存井深度		地層倍壓	注入壓
公尺	英尺	psi	psi
1,500	4,921	2,215	2,657
3,000	9,843	4,429	5,315



註：CO₂於31.1 °C及1071 psi可達超臨界點

三、碳捕捉、碳封存: (C)短結

- (1) CCS輸送管線之腐蝕智能監診系統
- (2) CCS注入井之管材腐蝕智能監診系統
- (3) CCS周遭環境之智能監診系統

四、總結

- (一) AI運用於製造業與系統工程之未來需求
- (二) AI專案需要跨領域的知識與協調能力
- (三) 專業性 + 廣泛領域持續學習 的重要