

---

# 離岸風電之施工概述



中興工程顧問股份有限公司

林伯峰

中華民國107年5月24日

# 內容介紹

- 前言
- 實務之規劃
- 陸上之製造
- 港口進出準備
- 施工船隊組織
- 工件、工法、工序
- 海事保固鑒定
- 海事出航作業
- 海事工程事故
- 結語



# 前言

## 離岸風電之基本安全條件

### 法規及監督之要求

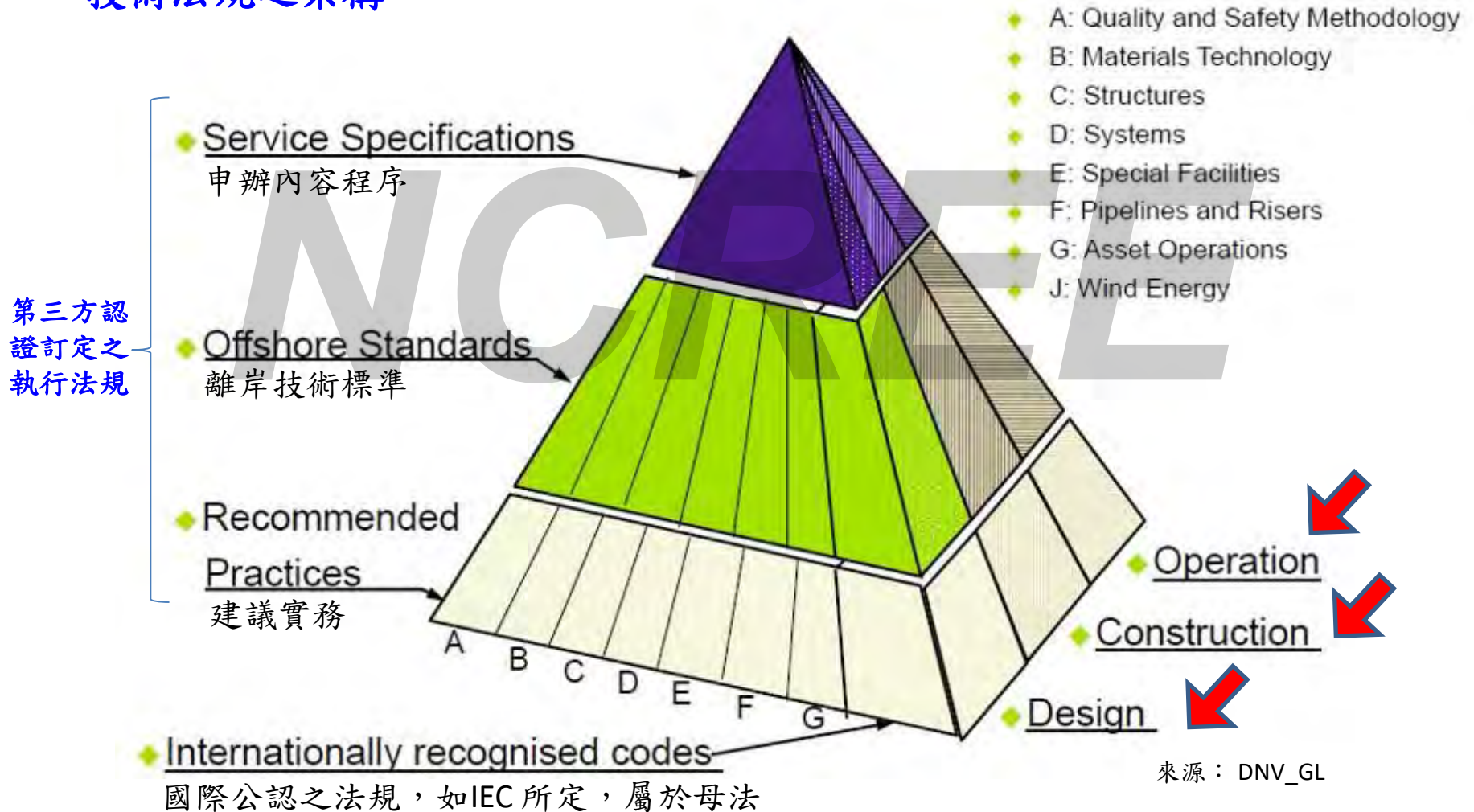
針對各適用法規：

1. 在國內當然遵守國內法規，為確認滿足國內法規，應請技師監督簽認，以符合本國環境。國內若無適用法規，則依循適用性之國際法規，避免與國際脫節。
2. 針對個別案件依循國際法及國外法(IEC、ISO、IMO)者，如風力機、風場(專案認證)或海事操作(海事保證鑑定MWS)、船舶與設備等，通常搭配執行法依循，則洽具國際公信力且被保險公司認可之第三者認證公司進行審查、監督、發證。
3. 要求各工程承包商(Construction Contractors)除滿足國內法規外，資格上至少應遵守如下國際法規：
  - ISO 9001 (Quality)
  - ISO 14001 (Environmental)
  - OHSAS 18001 (Occupational Health and Safety)
4. 器材裝備供應商(Supply Contractors)資格上至少要遵守如下國際法規：
  - ISO 9001 (Quality)

採用國際法或循用國外法而聘第三者認證公司監督之方式，對保險公司有其必要性。 3

# 前言

## 國際法規之認證與設計、施工、操作 技術法規之架構



# 前言

## 國際法規之認證與設計、施工、操作

### 各式認證之避險對象

認證目的除避風險外，最重要是“可保險”，通常以國際母法為基準，細則上仍需執行法供為依循，執行法可能由認證單位頒布、或特定方指定、或其他，依據專業，各種認證關係之對象與內容將有所不同，出面審查監督者及其頒發證書之公信力須獲得保險公司及相關業者之認同。與風電及海事相關之各種國際認證的運作需求將發生在不同區段，種類如下：

- **元件認證**(Component Certification)係針對單一元件(如電纜、發電機、變壓器、葉片等)之安全、品質、合格而為。
- **型式認證**(Type Certification)係針對單一系統(如風力機)之安全、品質、合格而為。
- ➔ **專案認證**(Project Certification)係針對風電場資產(如風力機與基礎、變電站、海纜)之安全而為，含**設計、製造、安裝、試運轉、運維**。
- ➔ **海事保固鑑定**(Marine Warranty Survey, MWS)係針對海事載貨之安全而為，認可場址內之**海事操作**(Marine Operation)。
- **船級認證**(Class Certification)係針對人命、船舶(資產)及環境之安全而為，認定諸等合格之船級。
- **船籍認證**(Flag, 政府管轄)係向國籍政府登記、註冊、繳稅，之後判定合法身份。

# 前言

## 國家政府之工安規定

### 對現場未知風險之排除

如果當地沒有完善之工安規定，現場之風險將較難判定與預防，作法因國而異。

在英國，離岸作業之安全大多受到發展完善並建立良好基礎之立法系統保護，基本上沒有問題。業者必須遵守法律規定，否則將面臨刑事制裁，而該等法律並非前述之技術法規，具備一般性簡要特色，以英國為例，有如下相關規定：

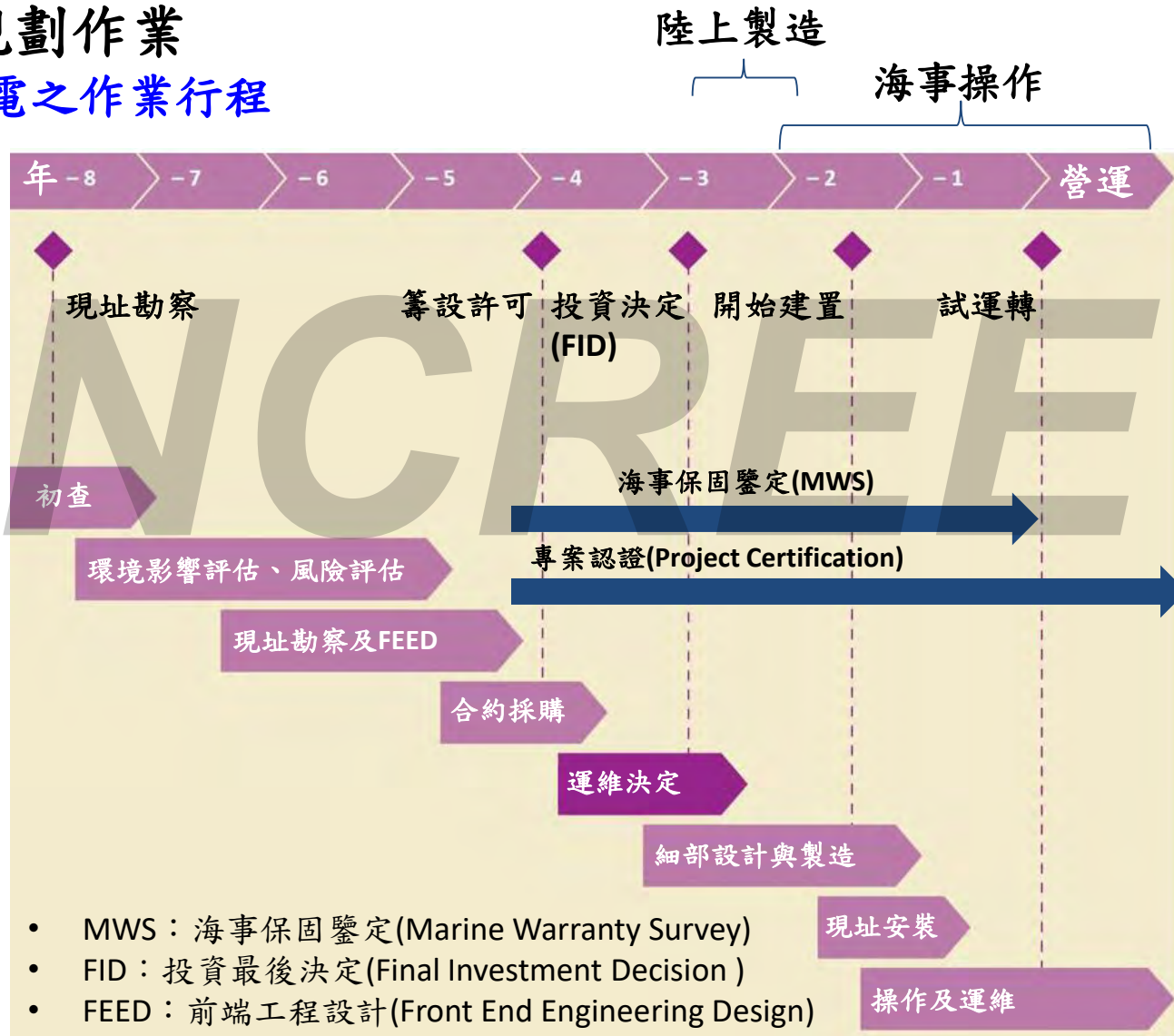
- **HSE**法案(有多條相關)
- **Acts & Regulations – HSAWA** (Health and Safety at Work Act (UK) )
- **Merchant Shipping, CDM** (The Construction Design and Management Regulations)
- **LOLER**(Lifting Operations and Lifting Equipment Regulations)
- **PUWER**(Provision and Use of Work Equipment Regulations 1998 (UK))

其他如EU、EWEA、BWEA、Renewable UK等相繼訂定不少指引，官方會要求業者遵循最佳指引及建議實務，確保離岸作業平安無事。有些案例係依循屬於第三者認證之MWS，由其對保險公司負責，將受到海事操作之實務標準所引導。

# 實務之規劃

## 風場規劃作業

### 離岸風電之作業行程



# 實務之規劃

## 風場規劃作業

### 對風場第三方認證之認證程序與項目

■ Mandatory    ■ Optional

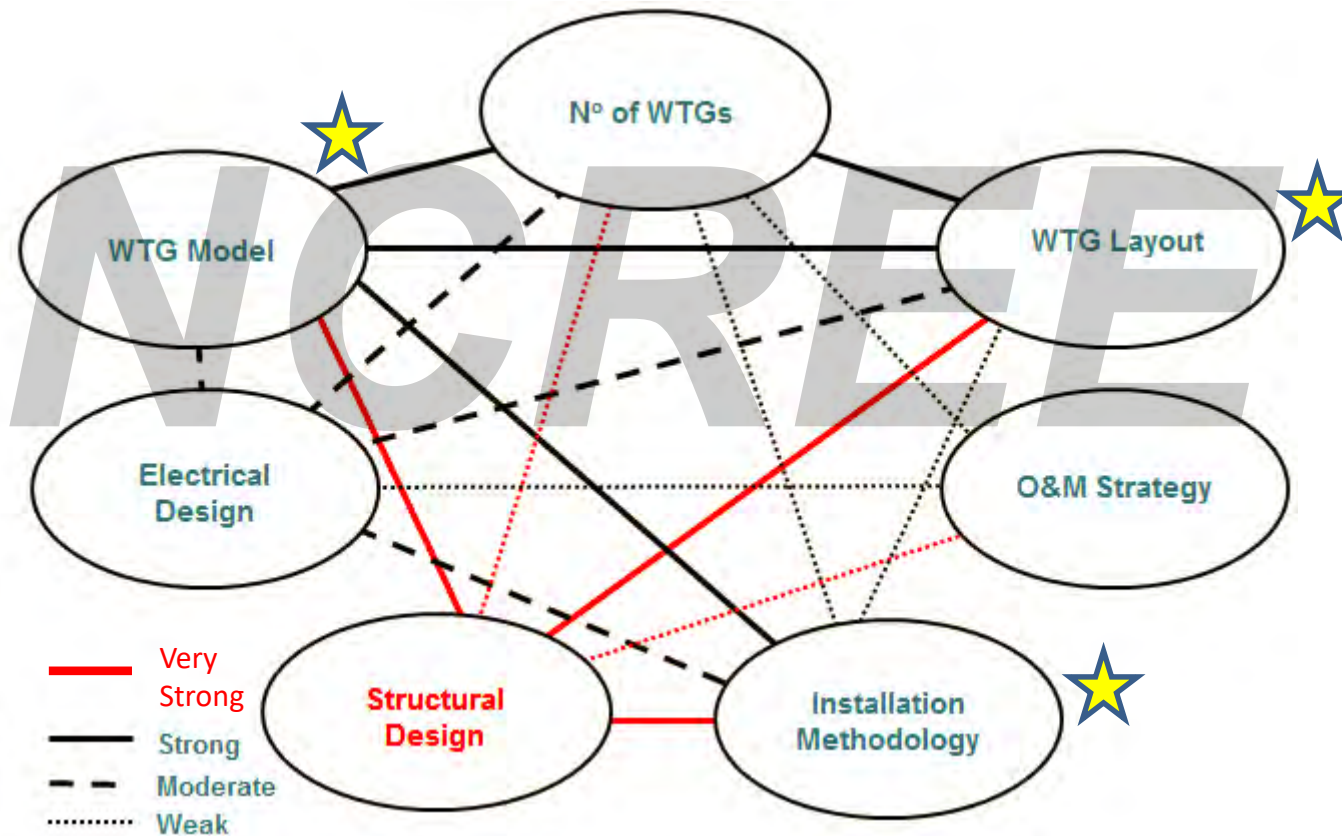
Modules in IEC 61400-22	Phases in DNV-GL-SE-0073	Project Certificate Wind Farm			Deliverables
		Wind Turbines	Substations	Power Cables	
Site Conditions Evaluation	I	Design Basis	Design Basis	Design Basis	Conformity Statements
Design Basis Evaluation					
Integrated Load Analysis	II	Design	Design	Design	
Design Evaluation					
Manuf. Surveillance	III	Manufacturing	Manufacturing	Manufacturing	
Transport. & Install. Surveillance	IV	Transport & Installation	Transport & Installation	Transport & Installation	
Commissioning Surveillance	V	Commissioning	Commissioning	Commissioning	
Project Charact. Measurements					
Final Evaluation		Final Evaluation Report	Final Evaluation Report	Final Evaluation Report	Final Evaluation Report
Project Certificate		Project Certificate Wind Turbines ⊕	Project Certificate Substations ⊕	Project Certificate Power Cables ⊕	Project Certificate Wind Farm = - Wind turbines - Substations - Power Cables
Operations & Maint. Surveillance	VI	In-Service Ⓞ	In-Service Ⓞ	In-Service Ⓞ	Conformity Statement



# 實務之規劃

## 風場規劃作業

### FEED設計外部協調



FEED - Interconnectivity between Engineering Design Elements

來源：DNV\_GL

# 實務之規劃

## 風場規劃作業

### FEED設計內部協調

單機風力機容量與數量之決定，指定風力機廠商提供風力機單機型號與介面條件

環境條件、適用法規與業主要求

成本估算、除役費用及經濟分析

風場初部佈置

回饋風力機廠商負載整合至第三者認證公司認可之初階設計(Design Basis)

電力產出估算

**風險評估與對策(環境影響評估、籌設許可申請、取得性、可造性、可拆性等)**

整合水深、海床地貌、地質等匹配，確認基礎型式

電力系統之初部設計並取得當地電網併接同意

整合風力機基礎造型與初部尺寸決定

負載及強度計算分析、重量初估

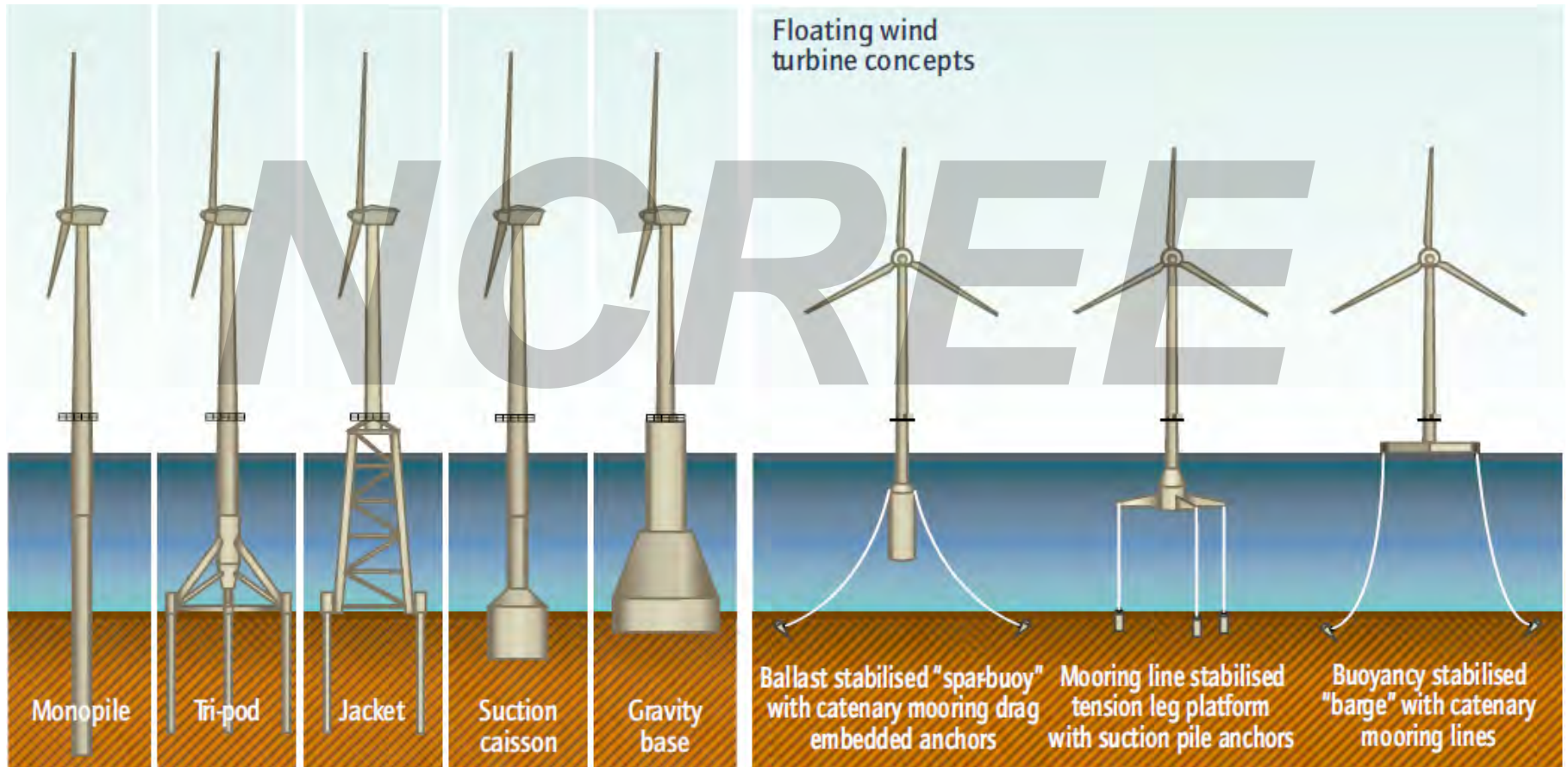
支撐基礎之初部結構繪設、**工法方案與評估**

設計完成

# 實務之規劃

## 基礎設計之功能考量

風力機基礎種類 - 水下基礎隨著風力機而大型化



Jacket較適合巨型化，但有人不放棄Monopile

Source: Wiser et al., 2011.

因Jacket之建置造價是Monopile的兩倍。

適合深水的大型風力機

# 實務之規劃

## 水下基礎

### 設計迴圈

風力機規格(含塔架)、環境條件、適用法規與合約要求

FEED建立之初階設計，宜徵詢第三者認證公司之認可，全場功能佈置含電纜路徑

依照個別水深、海床地貌與地質、基礎形式等，確立造型、主要尺寸、入出海纜、二次結構與方位、防掏刷保護佈設

操作與維護之需求  
**工法方案確認**

自然頻率、貫入海床深度載重組合分析(ULS、FLS、ALS、SLS等)、結構強度、疲勞、地震、意外等檢核

將建模、循環計算及分析之檢核介面與風力機廠商交流回饋，並徵詢第三者認證公司之意見

圖文送審第三者認證公司與業主

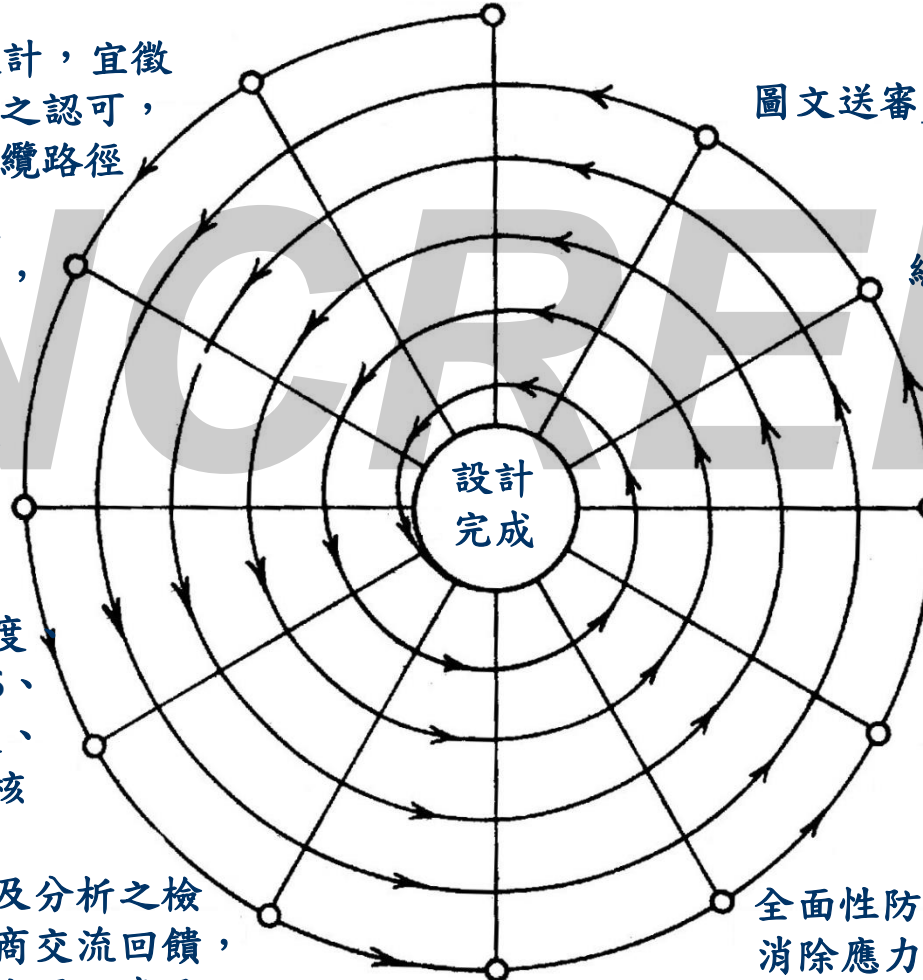
總成本估算、除役費用及經濟分析

**風險評估與對策**(取得性、可製性、可檢驗性、可吊性、可載運性、可安裝性、可靠性、可用性、可維護性、可拆性、工安防災等)

用料之重量估算及確認重力負載

全面性防蝕措施，含造型、焊接、消除應力、治標對策之設計檢核

確認各式基本結構尺寸

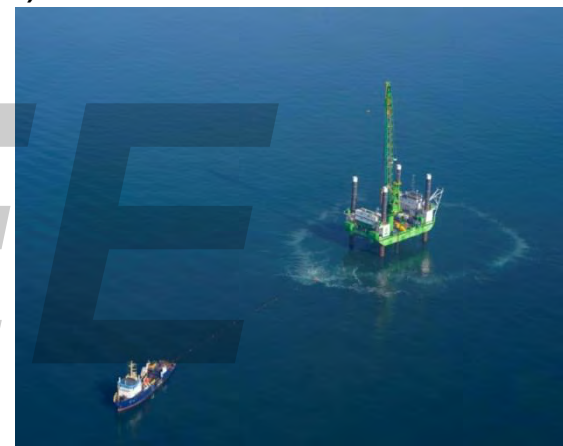


# 實務之規劃

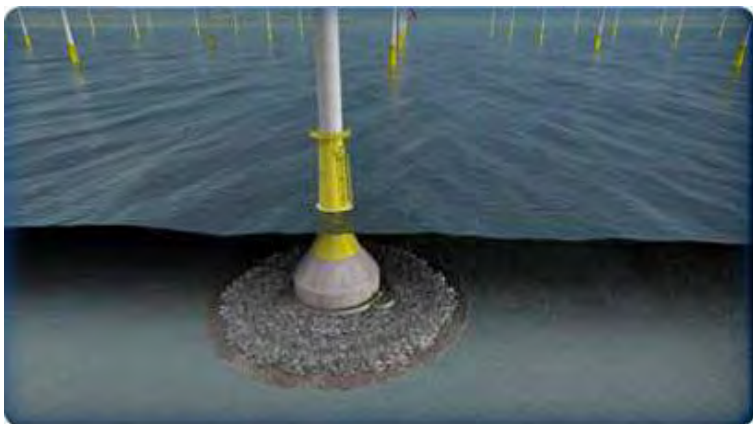
## 防範之討論

### 降低打樁噪音之對策

**工法選擇：** (1)震動錘工法 (2)鑽掘工法 (3)油壓錘加防音罩 (4)油壓錘加氣泡幕/防音網



**基礎選擇：** (1)重力式基礎



(2)吸筒式基礎



**驅離選擇：**

德國採油壓錘加防音罩及氣泡罩共用處理效果仍然有限，

或如英國所實行JNCC允許之驅離鯨豚方式為之亦可。

# 實務之規劃

## Monopile打樁作業 兩種打樁趨勢

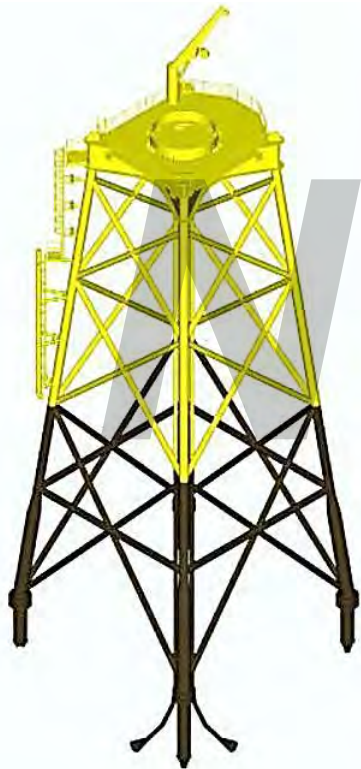


兩段式安裝(平口基樁後接裝TP)，一段式打樁(法蘭單樁，現場外掛二次結構)。

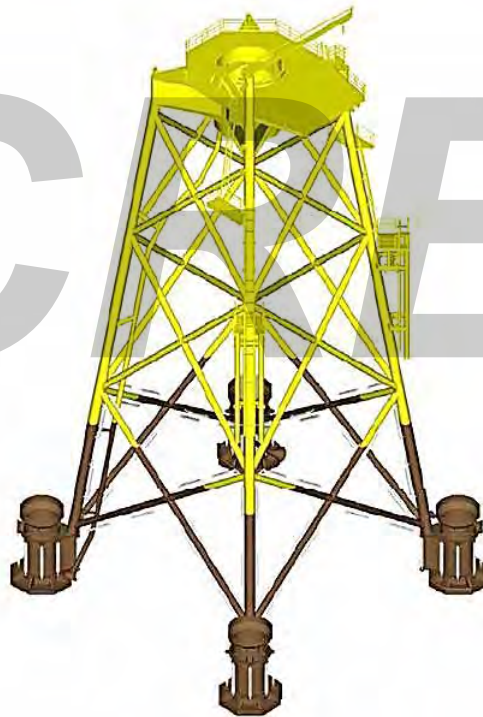
# 實務之規劃

## Jacket打樁作業

Jacket基礎pre-piling、post piling及 through the leg 等工法



預打樁  
Pre-piling



後打樁  
Post-piling

來源：IHC, Netherlands



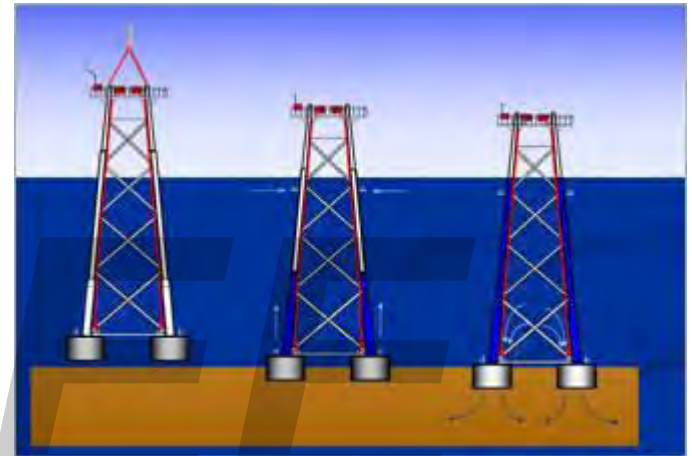
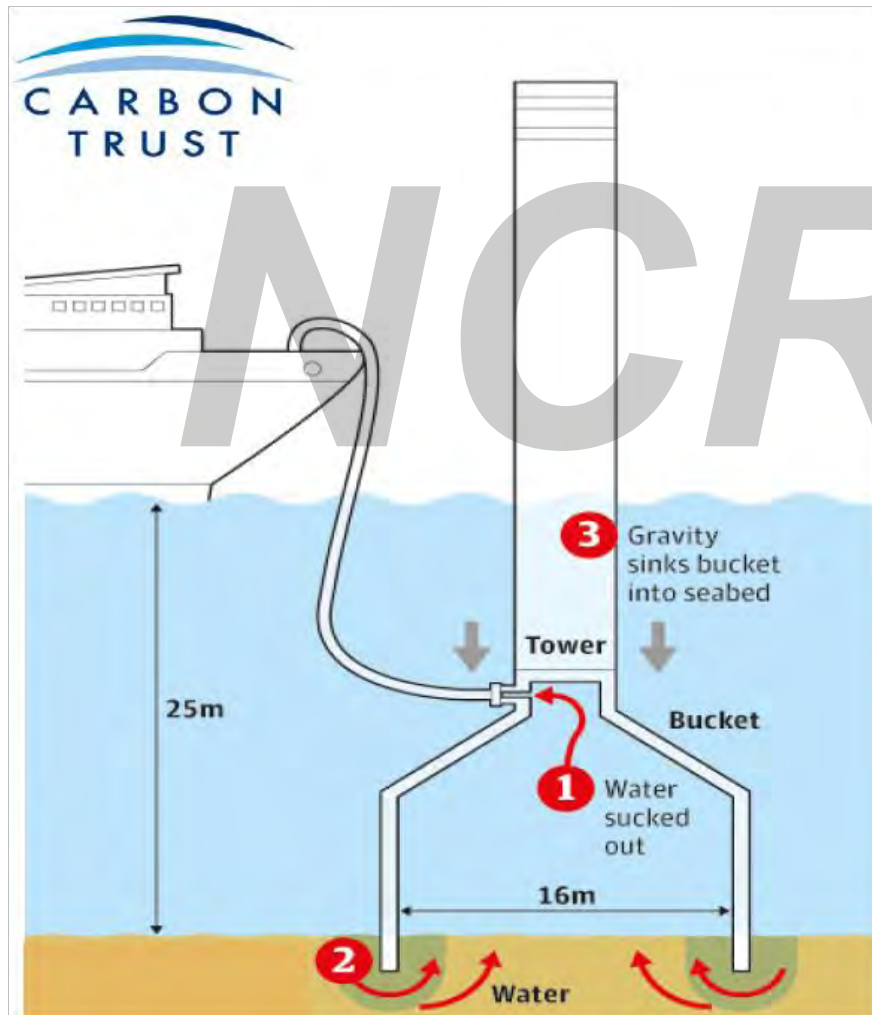
穿腳打樁  
through the leg

來源：Keystone, USA

# 實務之規劃

## Jacket吸筒定位

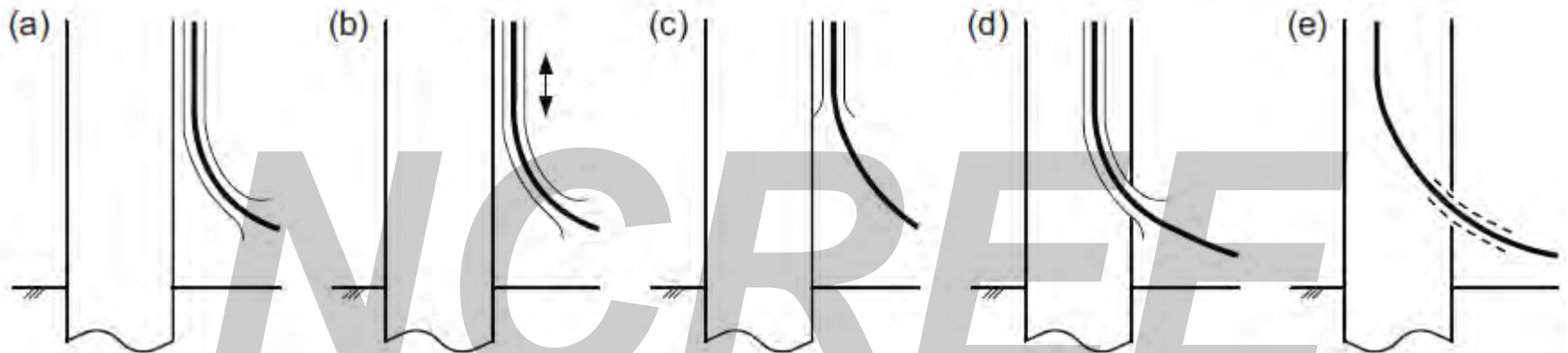
基礎誤差可控制在 $0.04^\circ$



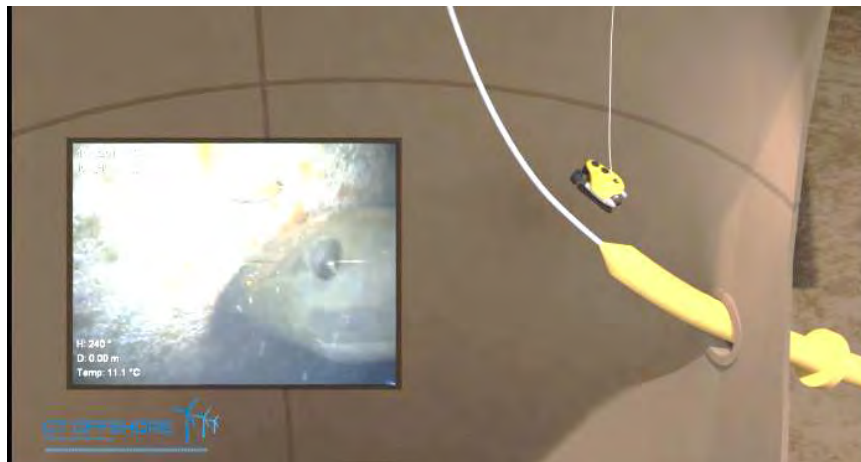
# 實務之規劃

## 鋪纜工程(Cable Laying)

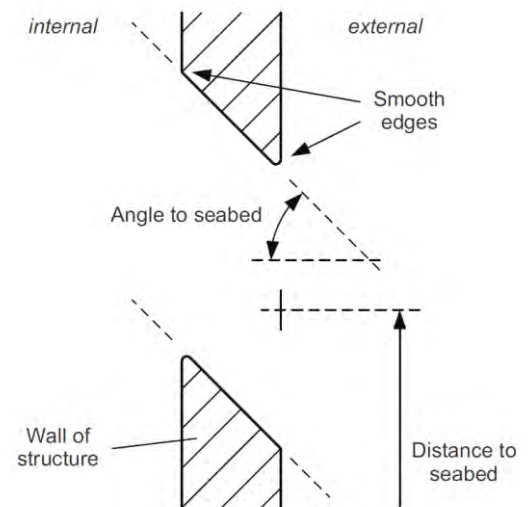
### 機間鋪纜工程(Cable paths at offshore units )



(a) External J-tube, (b) moveable J-tube, (c) I-tube, (d) internal J-tube, (e) J-tube-less



J-tube-less cable interface with structure



# 實務之規劃

## 打樁方式

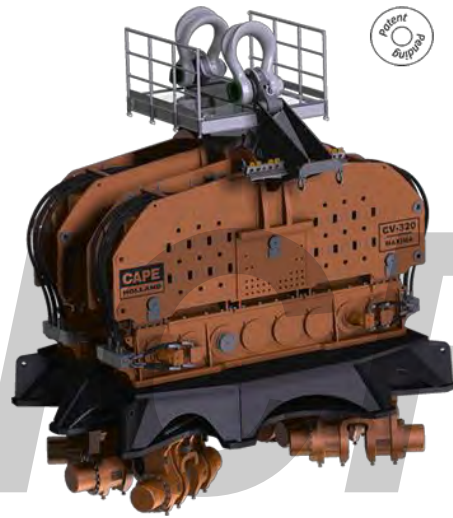
單樁 - 油壓樁錘



# 實務之規劃

打樁方式

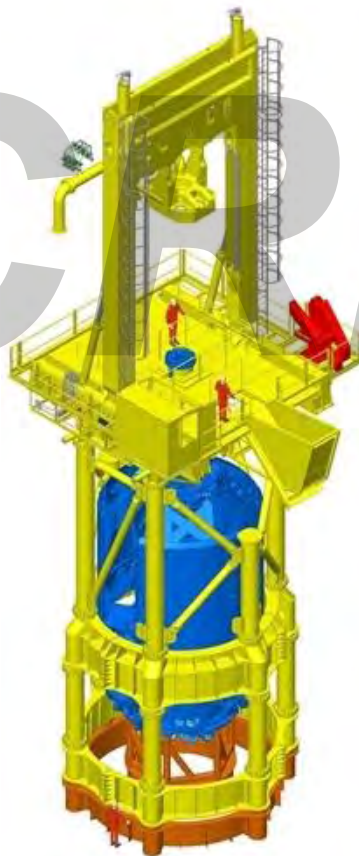
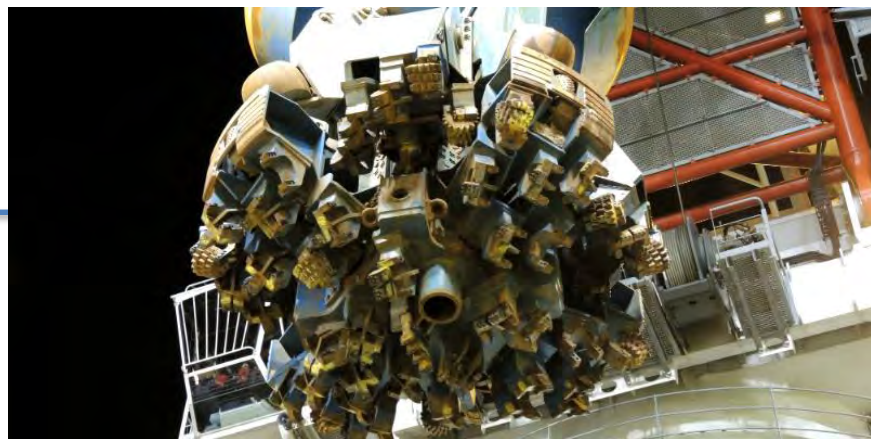
單樁 - 震動錘



# 實務之規劃

打樁方式

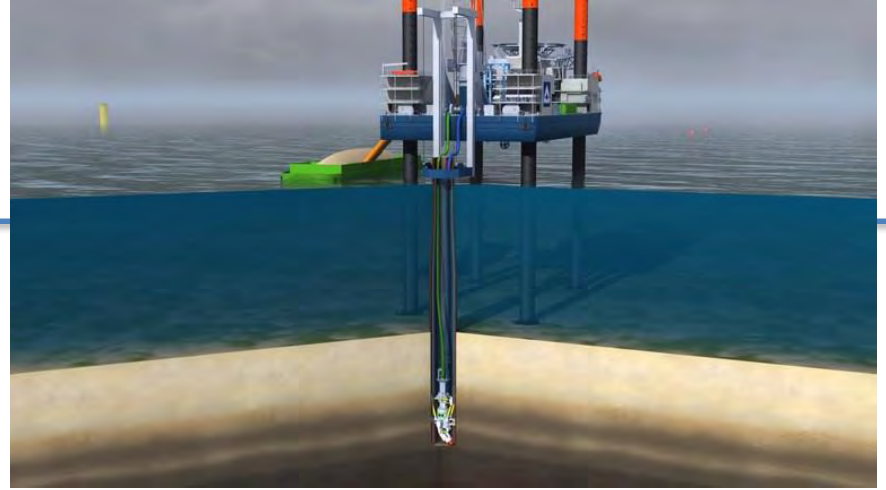
單樁 - 大管鑽孔機



# 實務之規劃

打樁方式

單樁 - 大管擴孔機



# 實務之規劃

打樁方式

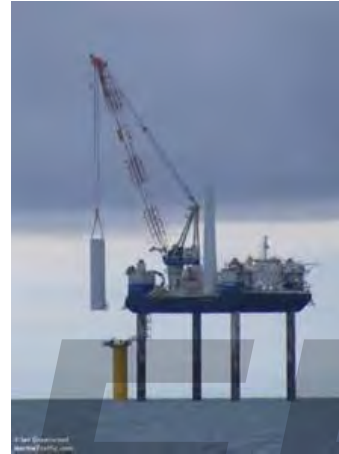
Jacket腳樁 - 小管鑽孔機



# 實務之規劃

## 吊裝之討論 不同吊裝狀況

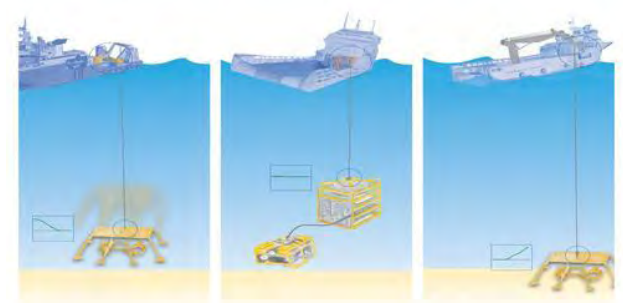
- 工件在空中  
受風影響



- 工件在水面間  
受波浪影響

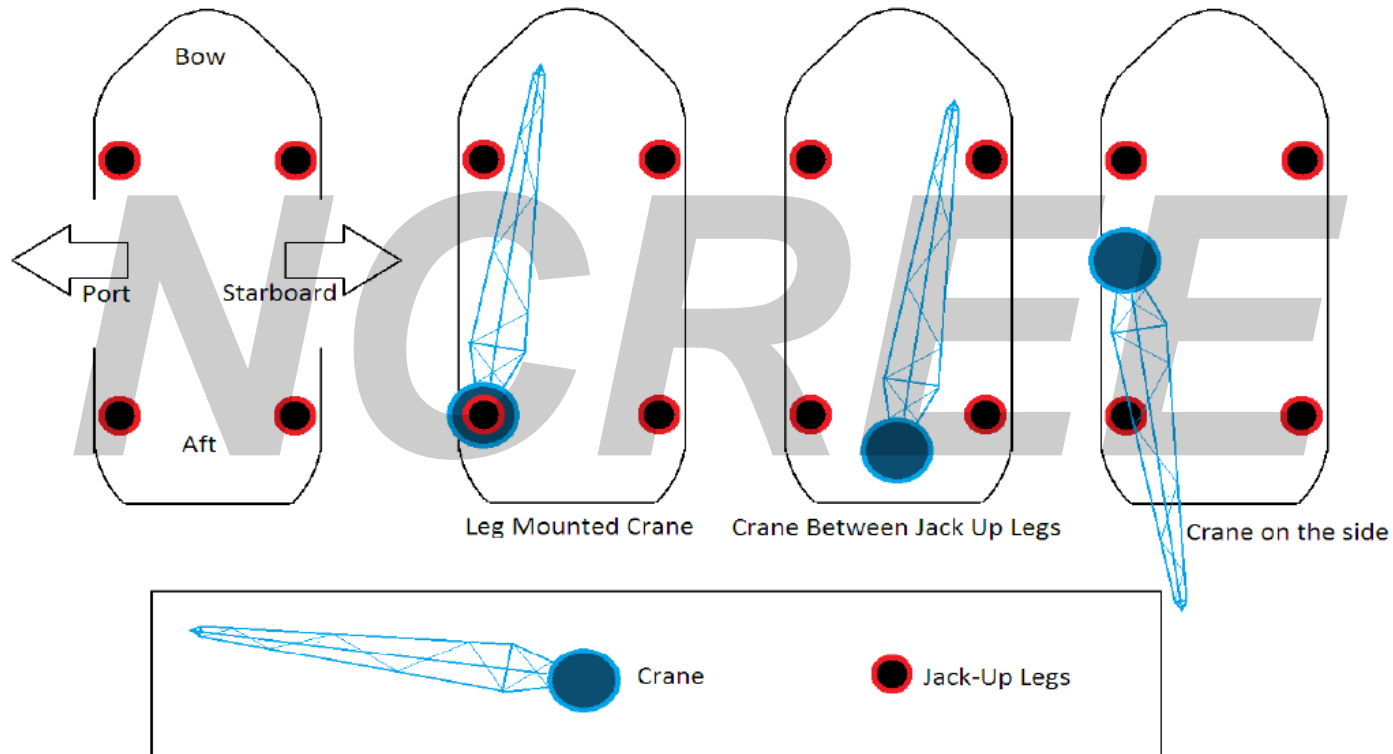


- 工件在水面下或在海床  
受海流或海床影響



# 實務之規劃

## 吊裝之討論 不同吊裝狀況

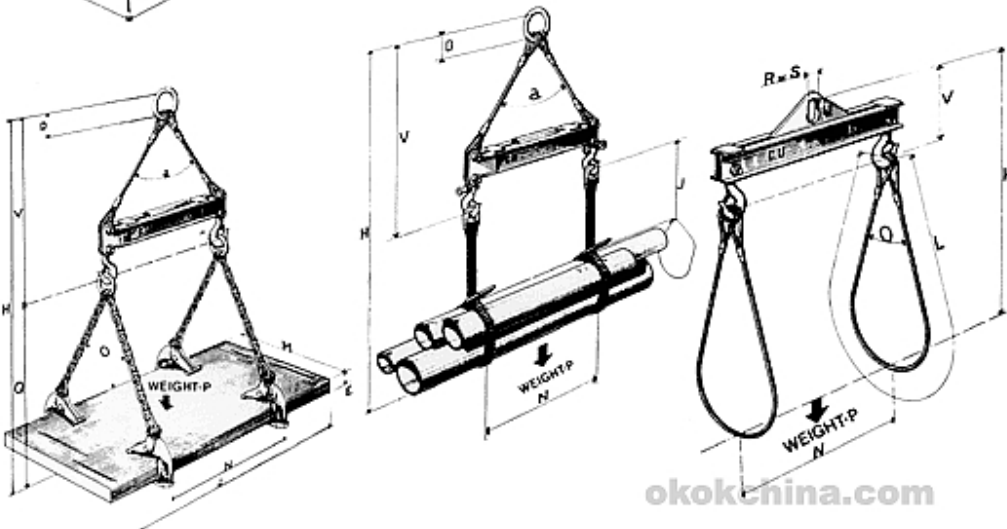
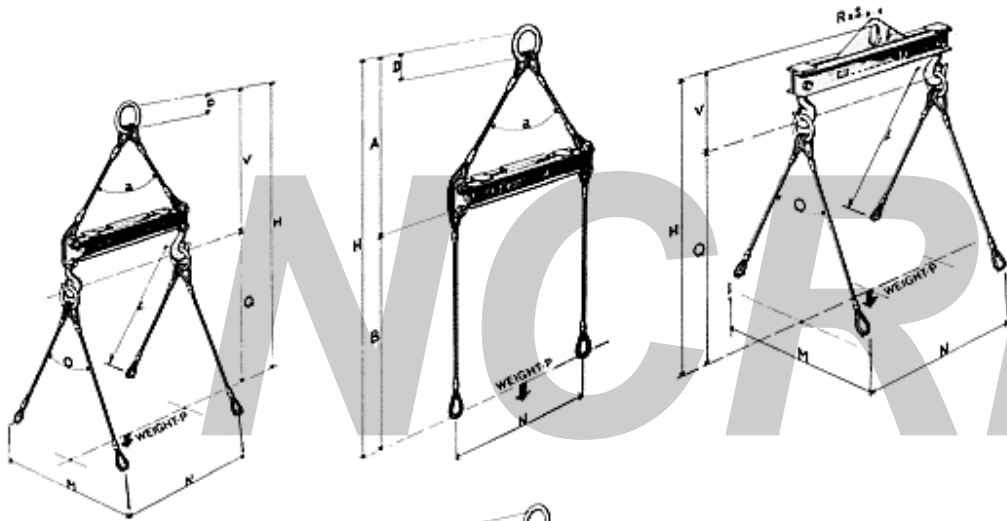


抱腿式吊車先天較有利。風電安裝船若採獨立吊車，吊車往艙外靠的佈置，購機便宜，吊車抬高後與後兩樁腳發生衝突的機會少，放棄前兩樁腳後區就不發生衝突，甲板使用面積完整仍高，艙艙兩組樁腳要分得夠寬，以舷側向進行安裝，不易踏壞 Scouring Protection，其吊車工作旋轉角度較艙置吊車小很多，工作效率較艙置高。

# 實務之規劃

## 吊裝之討論

### 下擺穩定機構 - 平衡吊架與吊索



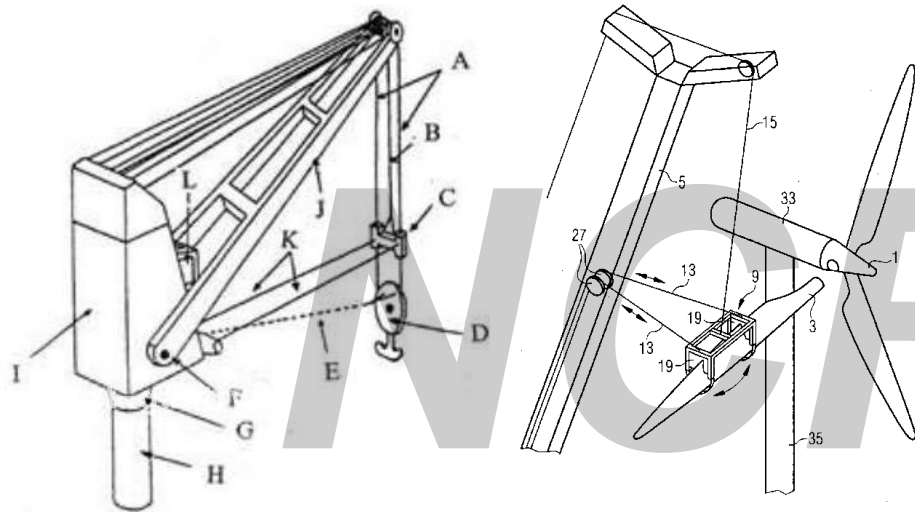
OX-SB 400 / 170 / 50  
OX MODULAR SYSTEM  
EXAMPLE



# 實務之規劃

## 吊裝之討論

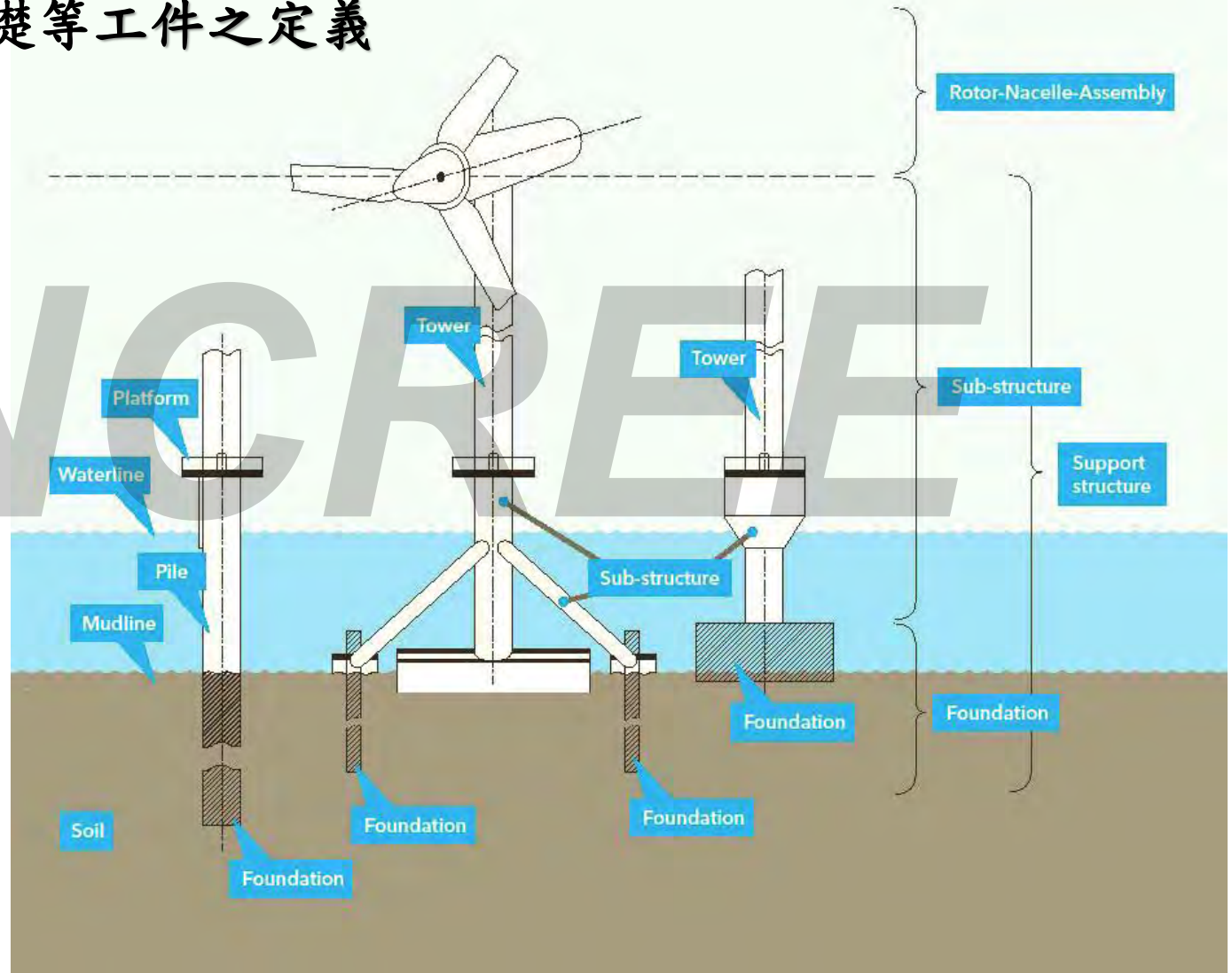
### 立面穩定機構 - 下擺吊索設置牽索(Tagline)



下擺吊索設置雙條配合上下之牽索，提供穩定立面，可在強風下進行各式吊裝。

# 陸上之製造

## 風力機與基礎等工件之定義



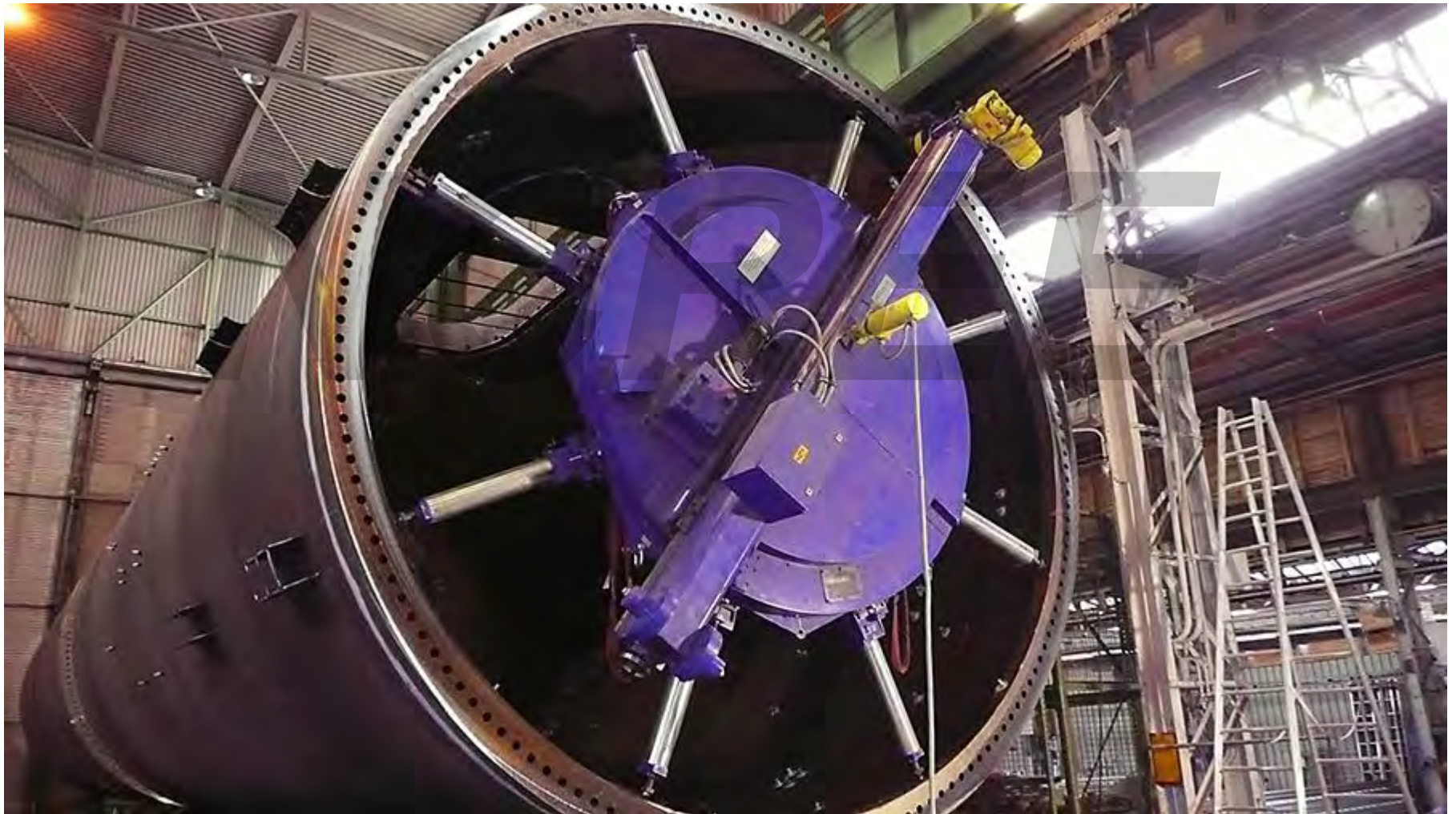
# 陸上之製造

風力機塔架法蘭裝上端邊後進行焊接



# 陸上之製造

風力機塔架之法蘭需俾製以得精確接面



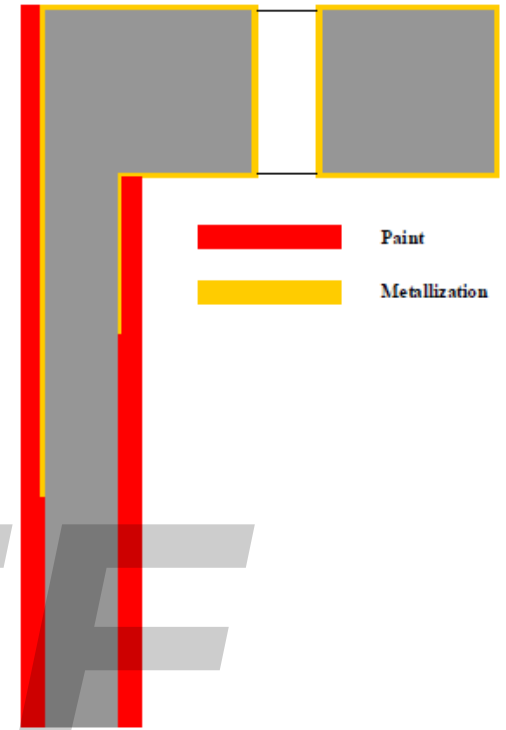
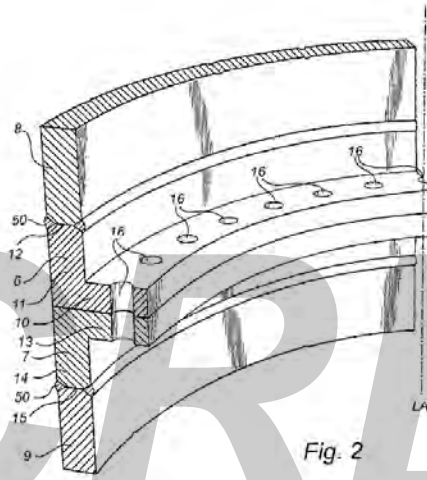
# 陸上之製造

風力機塔架進入封閉廠房內進行噴砂達Sa 2.5



# 陸上之製造

風力機塔架噴砂後速行鋁鋅熔射以打底



外部鋼構噴砂後，噴塗鋁鋅熔射打底，提高防蝕功能，施工全在室內。螺栓鎖固之法蘭，整面須施金屬熔射，但相對兩面之法蘭接觸面絕不准再塗漆。

# 陸上之製造

風力機塔架噴鋁鋅熔射後進行多層油漆塗裝

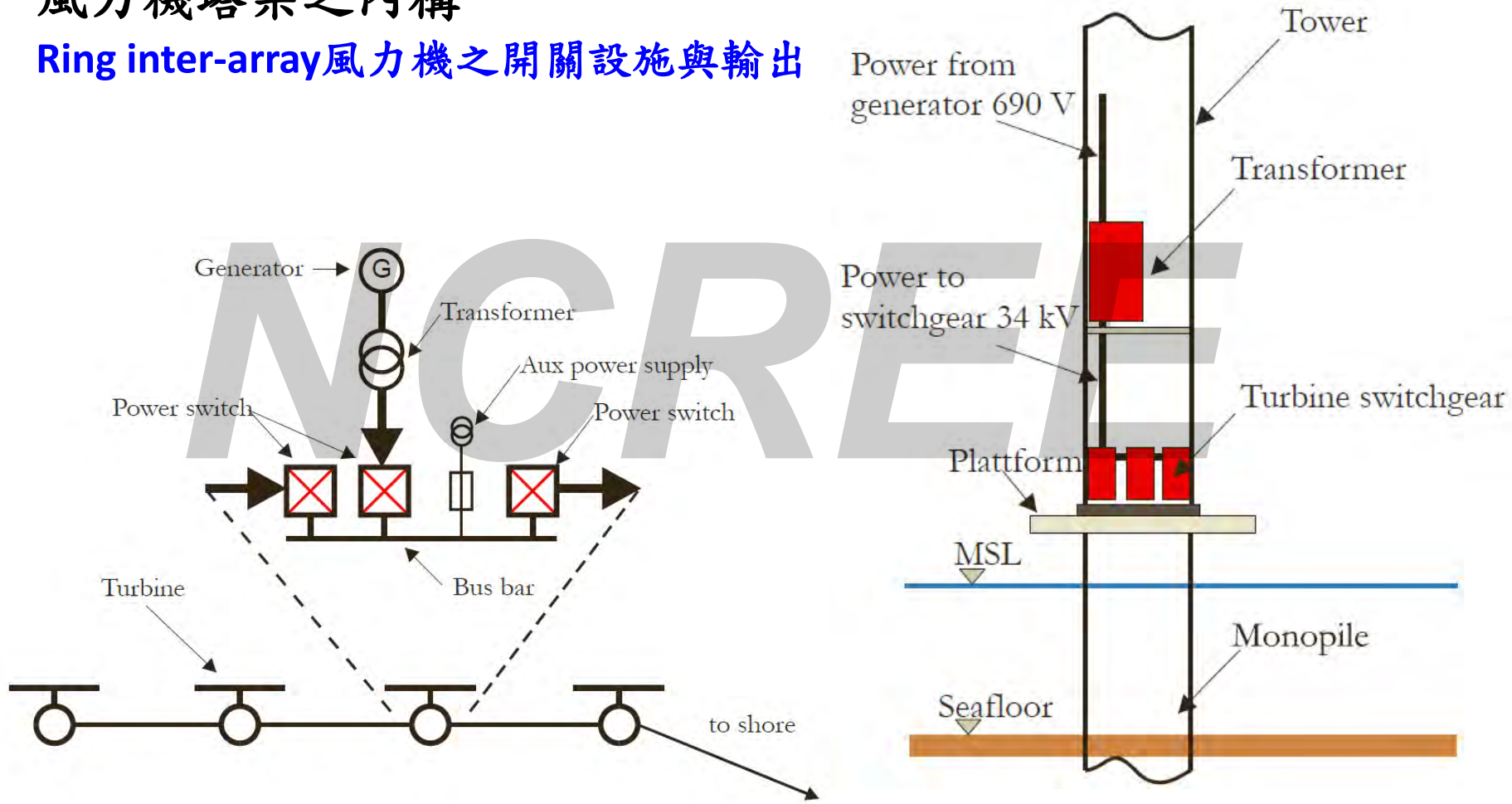


輔以電動滾輪，塔架內外塗漆中。

# 陸上之製造

## 風力機塔架之內構

### Ring inter-array 風力機之開關設施與輸出



來源：POWER CONNECTIONS FOR OFFSHORE WIND FARMS, by Josef Schachner, Section Wind Energy, Delft University of Technology, Netherlands

## 風力機之開關設施(Switchgear in WT)

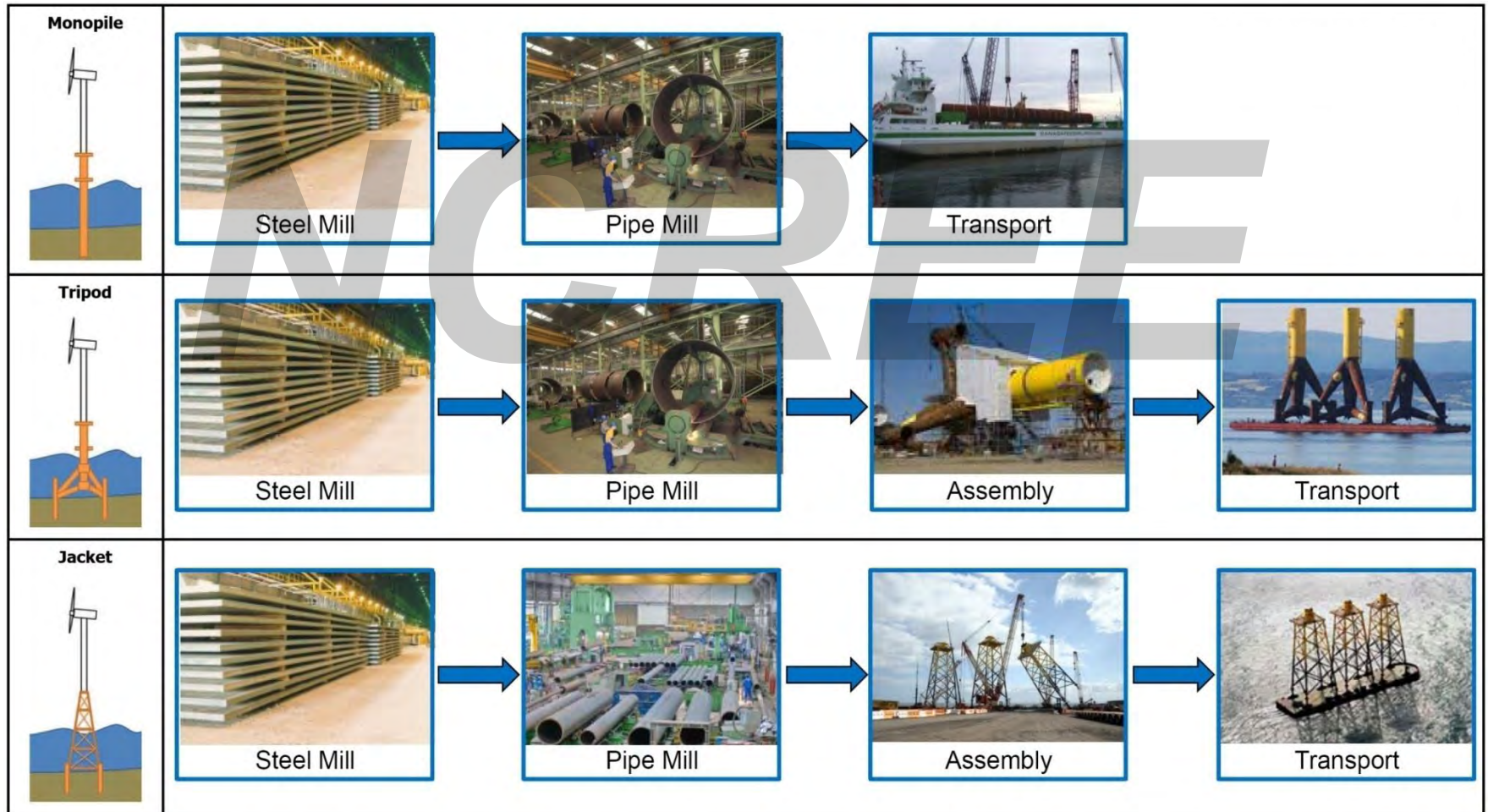
# 陸上之製造

風力機塔架內設平台、梯道、開關器、變壓器等



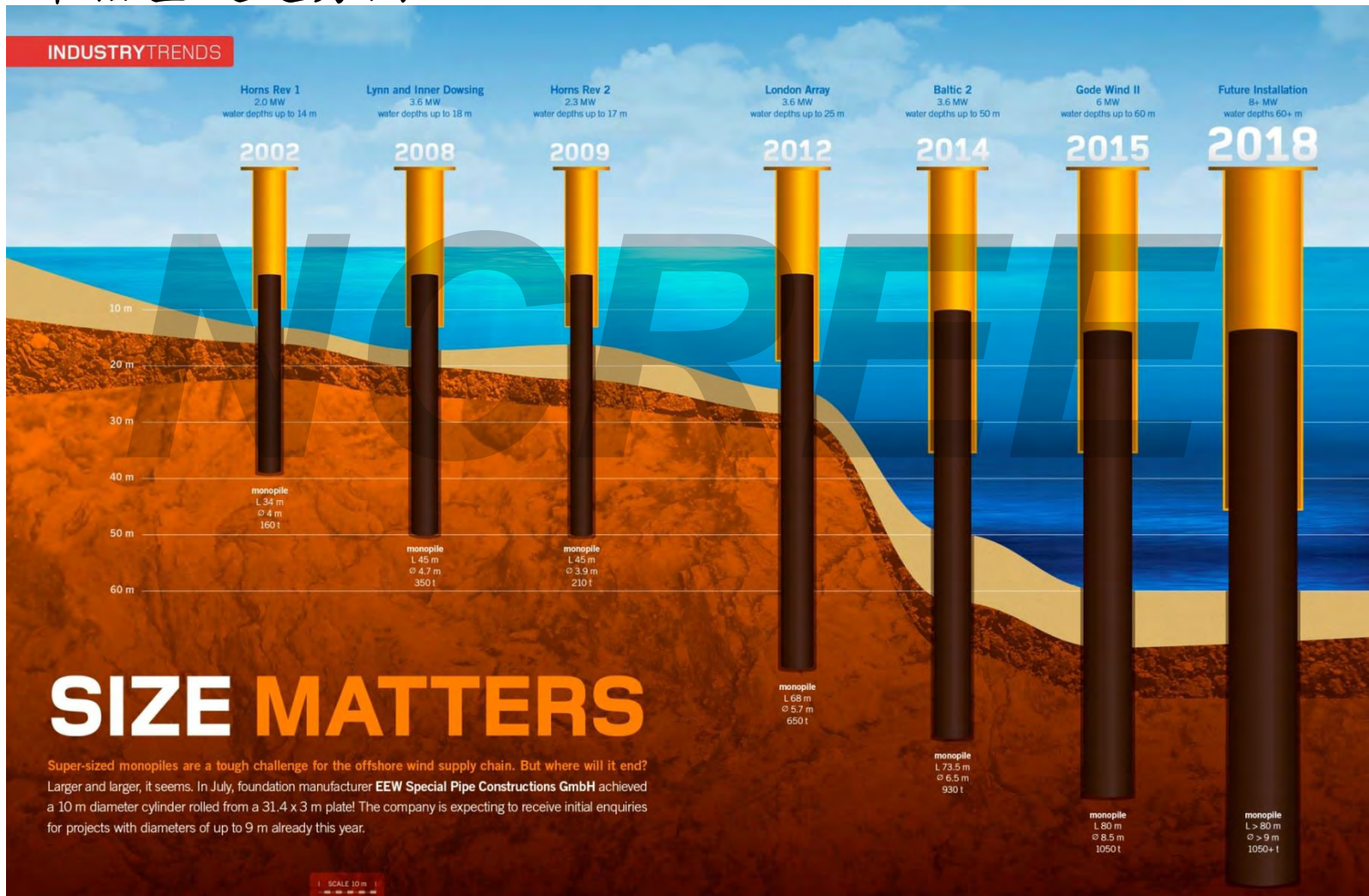
# 陸上之製造

## 離岸各式風力機基礎之產出程序 施工設計(備料、製造、組裝、運輸)



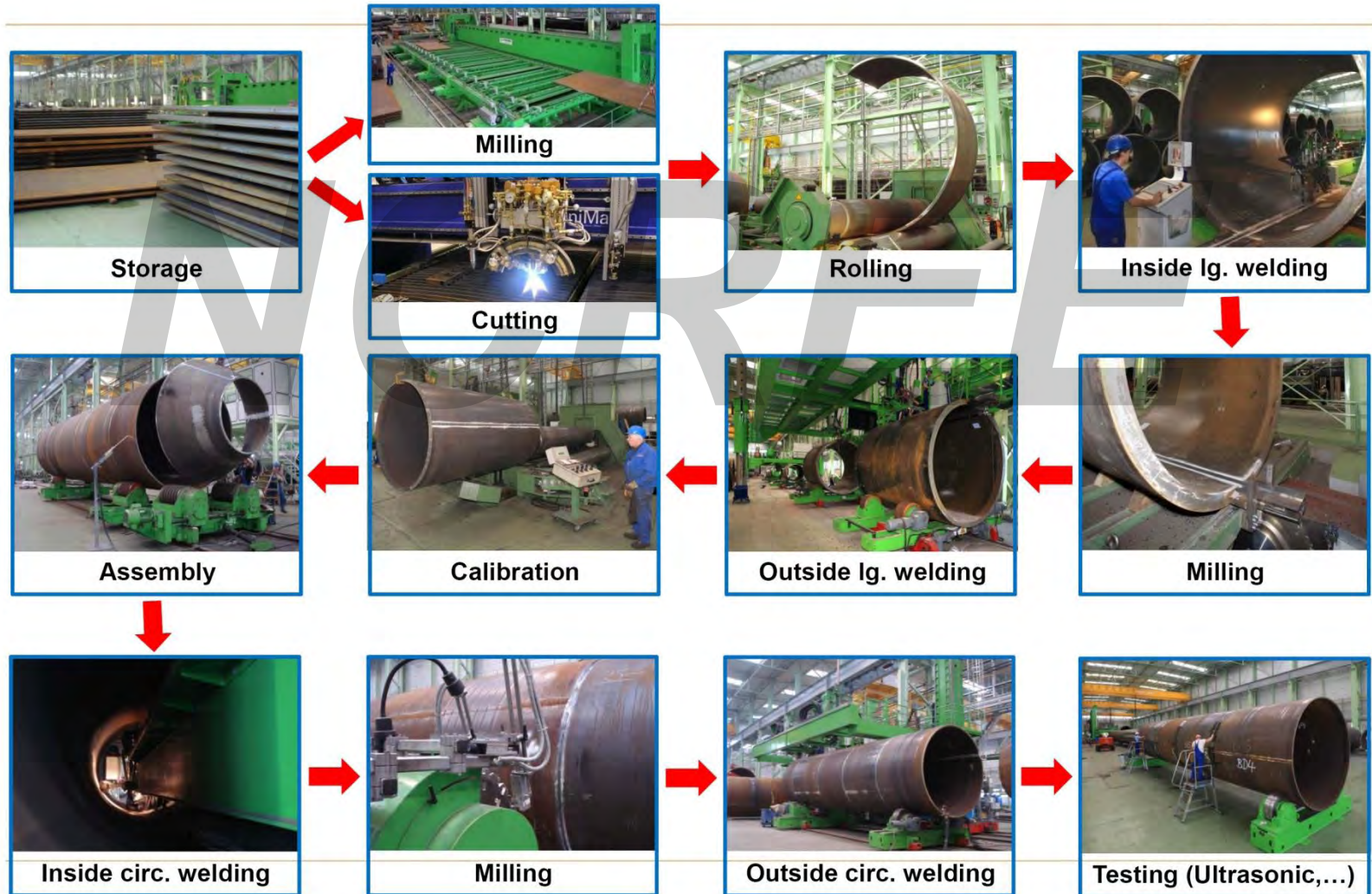
# 陸上之製造

## 單樁基礎趨勢圖



# 陸上之製造

## 單樁基礎之生產流程圖



# 陸上之製造

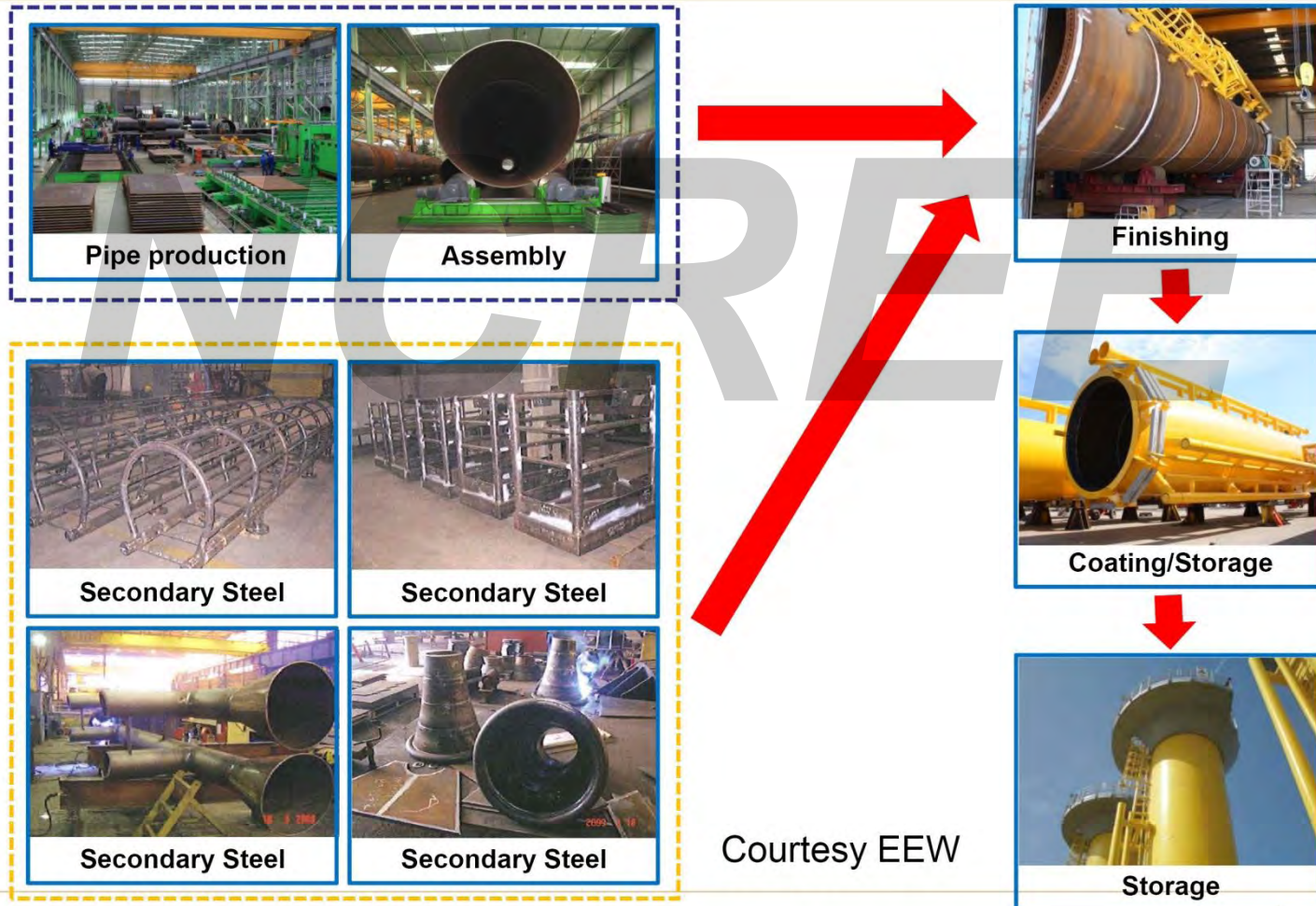
## 單樁基礎之生產

具充分採光及足夠吊運能量之生產線廠房



# 陸上之製造

## 單樁轉接件(TP)之生產流程圖

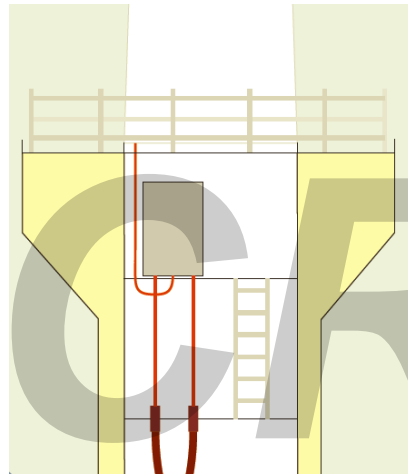
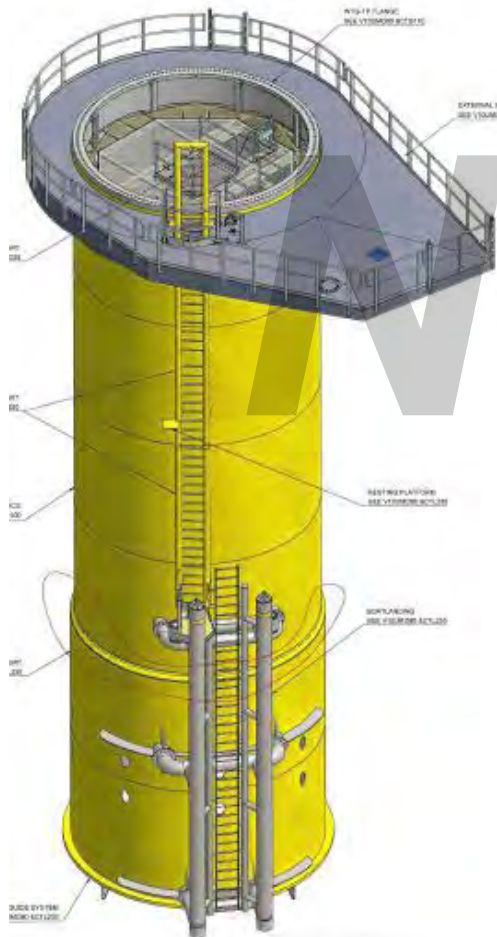


Courtesy EEW

# 陸上之製造

## 單樁轉接件(TP)

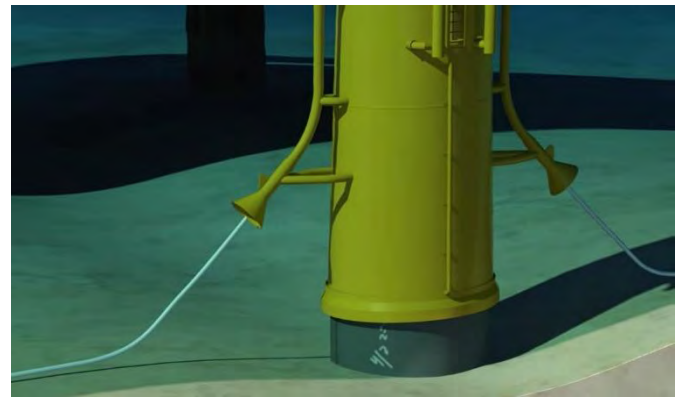
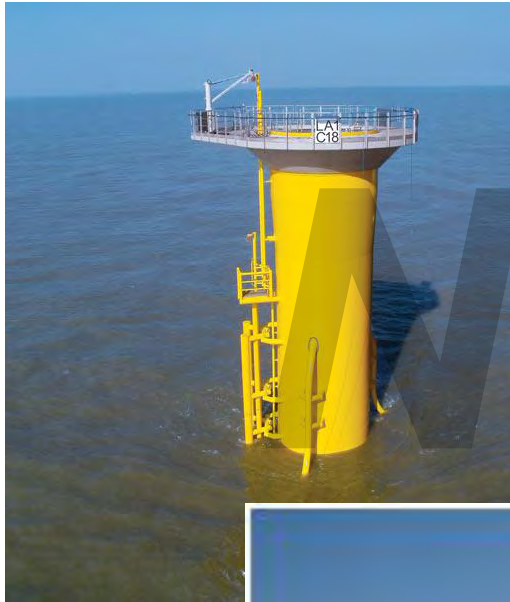
### 內構之套件



# 陸上之製造

單樁轉接件(TP)

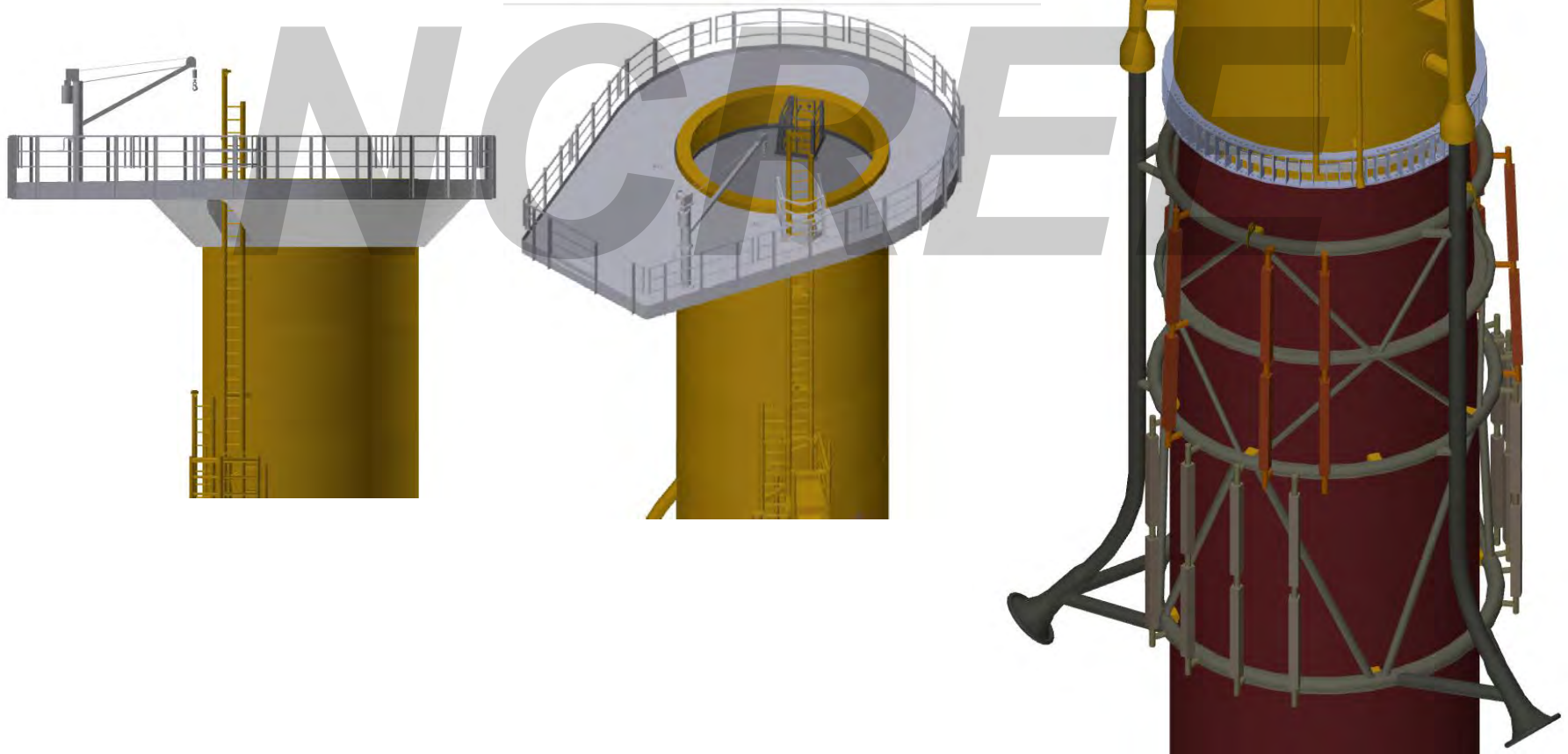
單樁式TP附垂直梯道與半露式J-Tube



# 陸上之製造

## 單樁轉接件(TP)

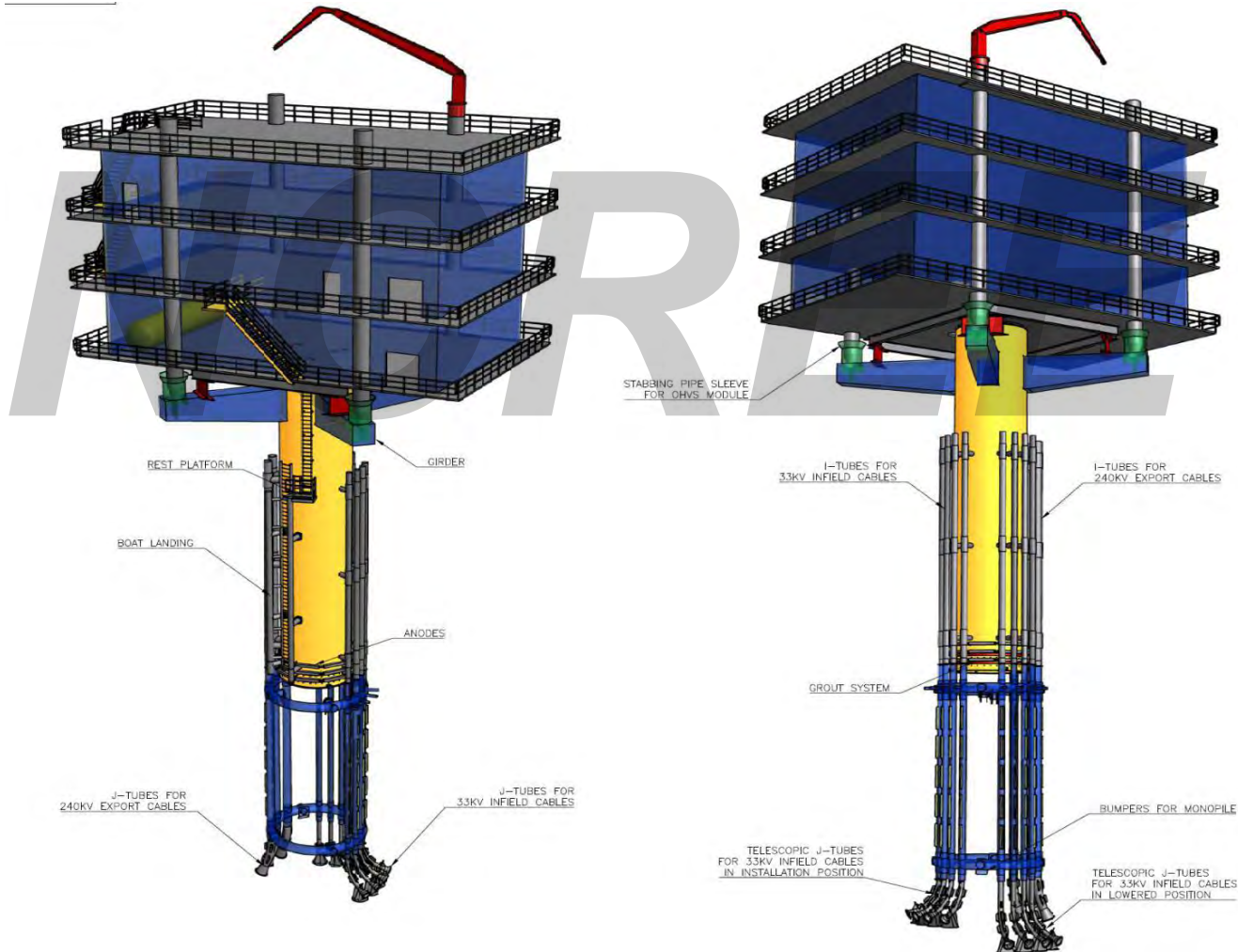
單樁式TP附垂直梯道與外部延長式J-Tube



# 陸上之製造

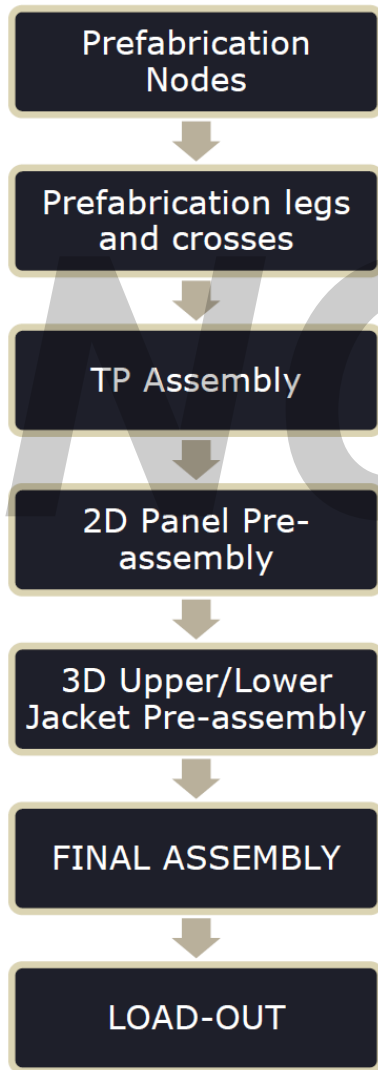
## 單樁轉接件(TP)

### 單樁式變電站TP附垂直梯道與外部延長式J-Tube



# 陸上之製造

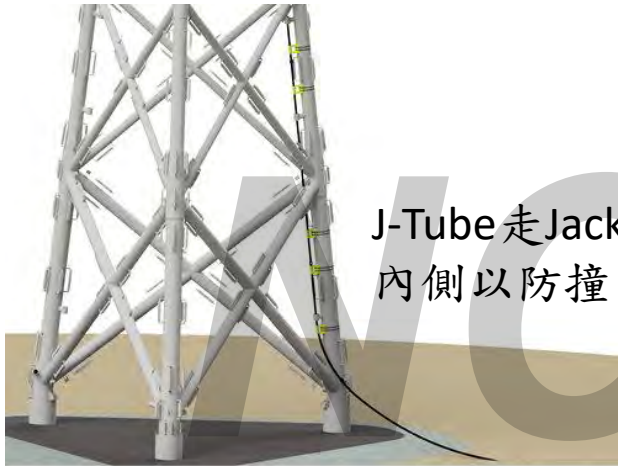
## Jacket生產之分段考慮及組裝程序



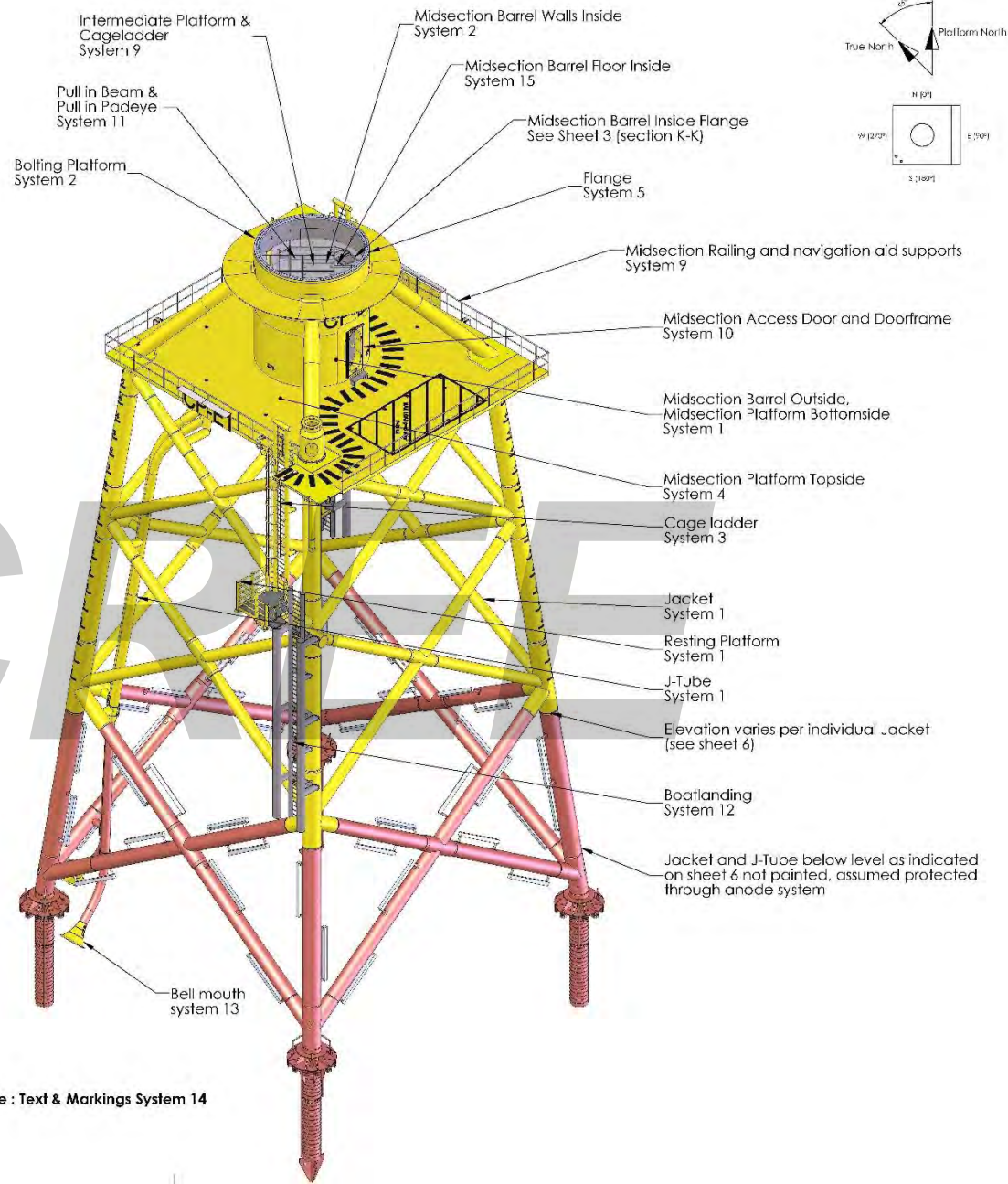
# 陸上之製造

## Jacket 基礎

### 四腳Jacket之功能佈置



J-Tube走Jacket  
內側以防撞。

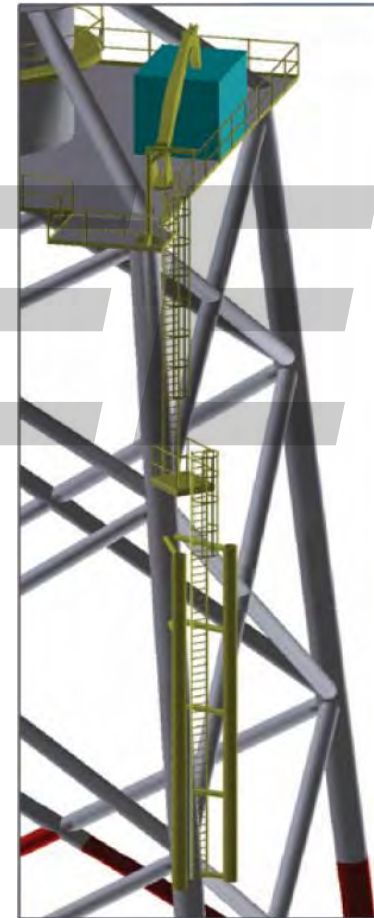
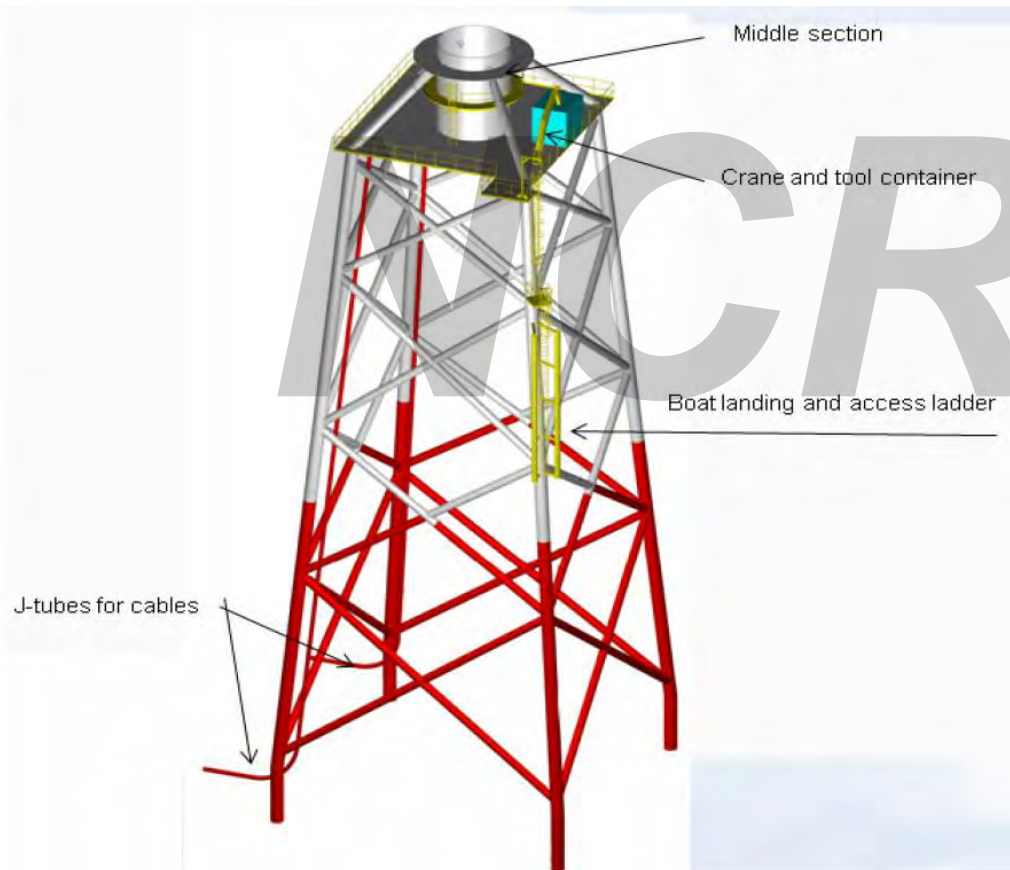


四腳Jacket之全面性功能佈置立體圖。

# 陸上之製造

## Jacket 基礎

### 四腳Jacket之上下交通



四腳Jacket之登機設施及梯道沿著其一或二樁腳直上到平台，上方吊車須偏離登機設施。

# 陸上之製造

## Jacket 基礎

Jacket室內生產線之規劃

NCR



# 陸上之製造

## Jacket 基礎

Jacket之種類



中國珠海Gui-Shanghai之Prepiling Jacket

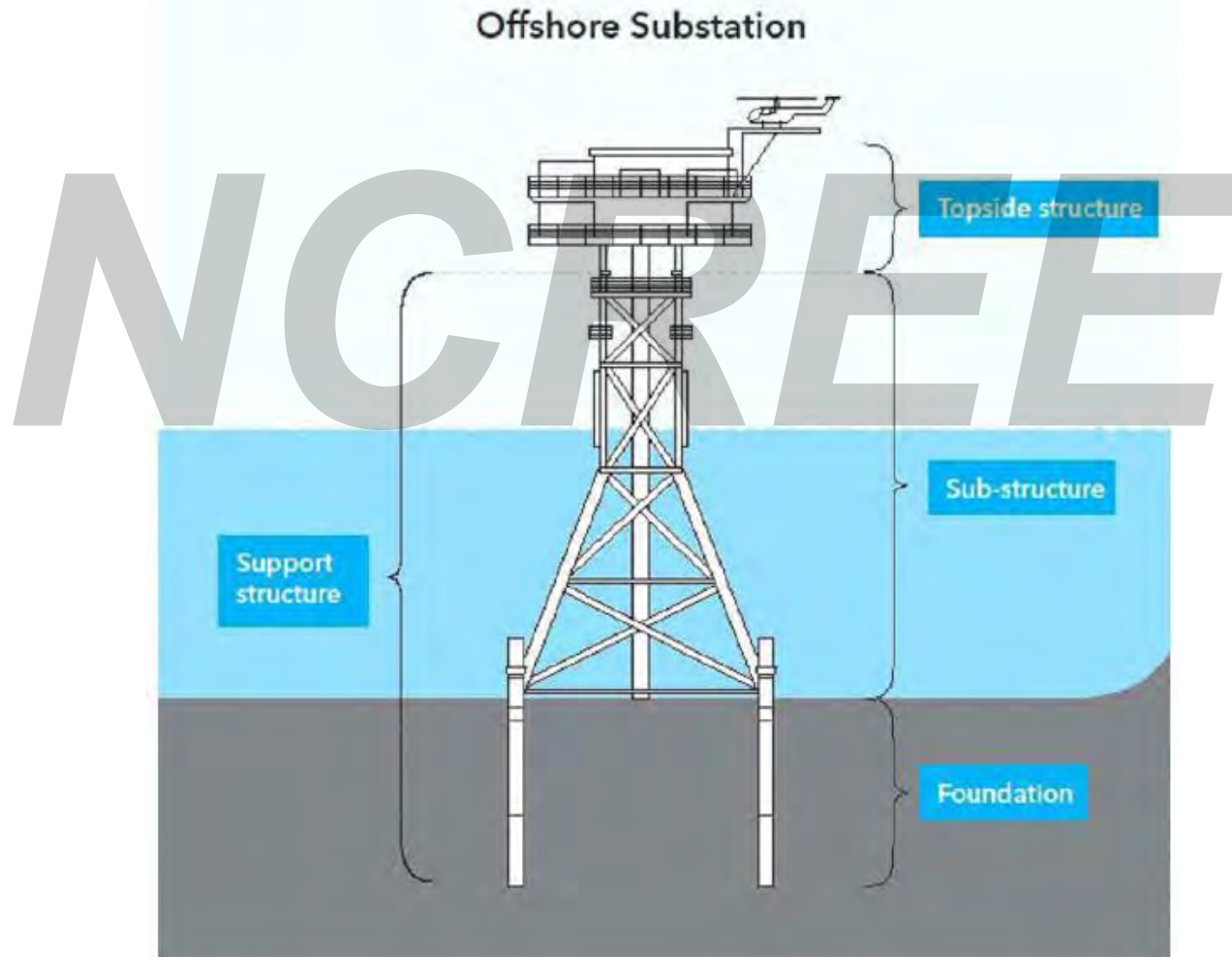


德國Nordsee Ost案之Postpiling Jacket

# 陸上之製造

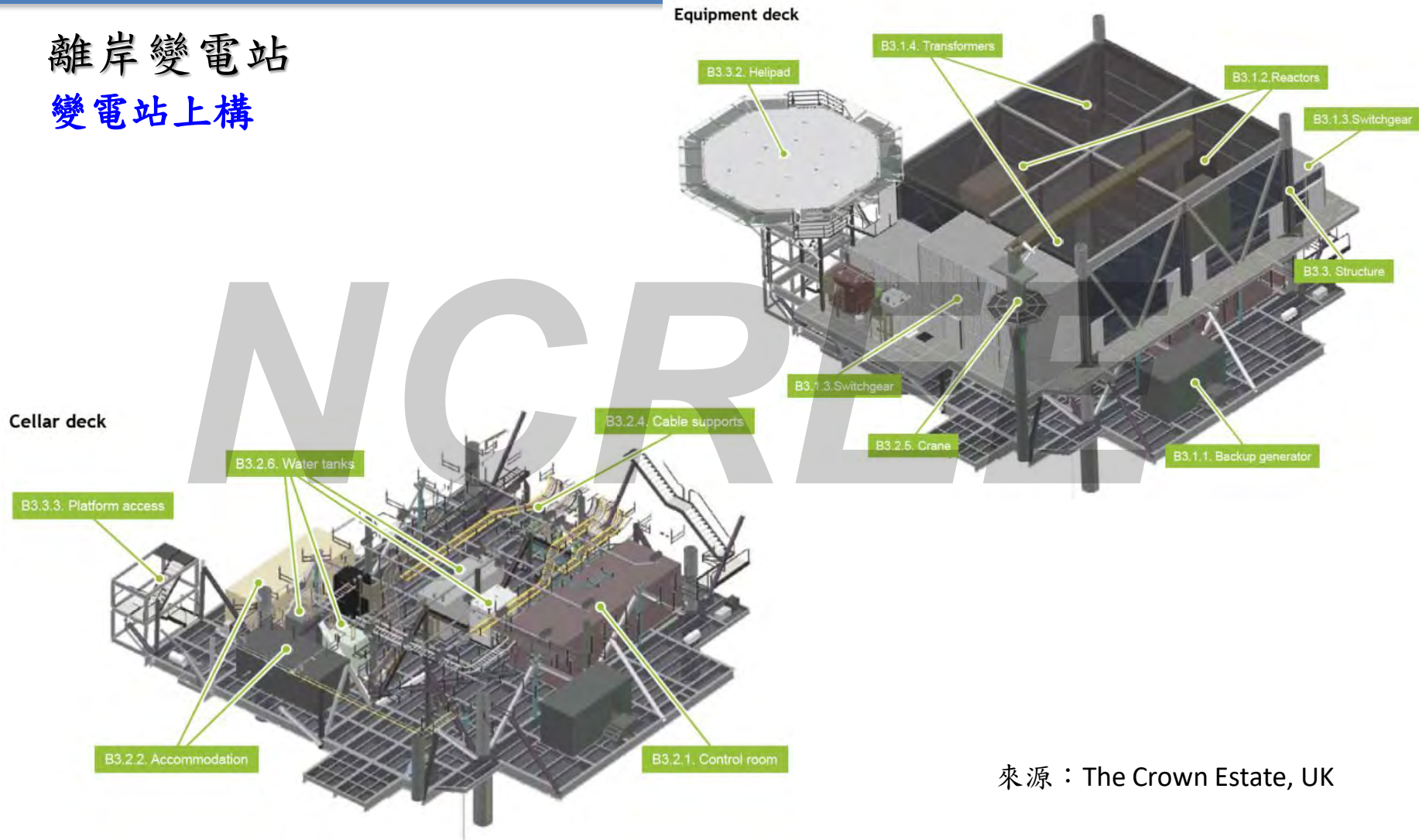
離岸變電站

離岸變電站與基礎



# 陸上之製造

## 離岸變電站 變電站上構

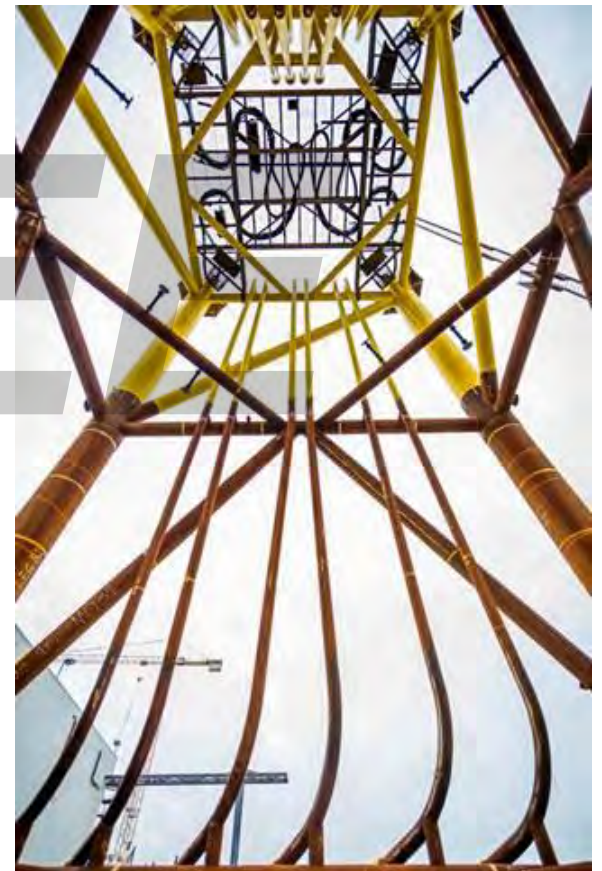


來源：The Crown Estate, UK

# 陸上之製造

## 離岸變電站

四腳Jacket變電站入纜之方式(沿著樁腳側多上一下)

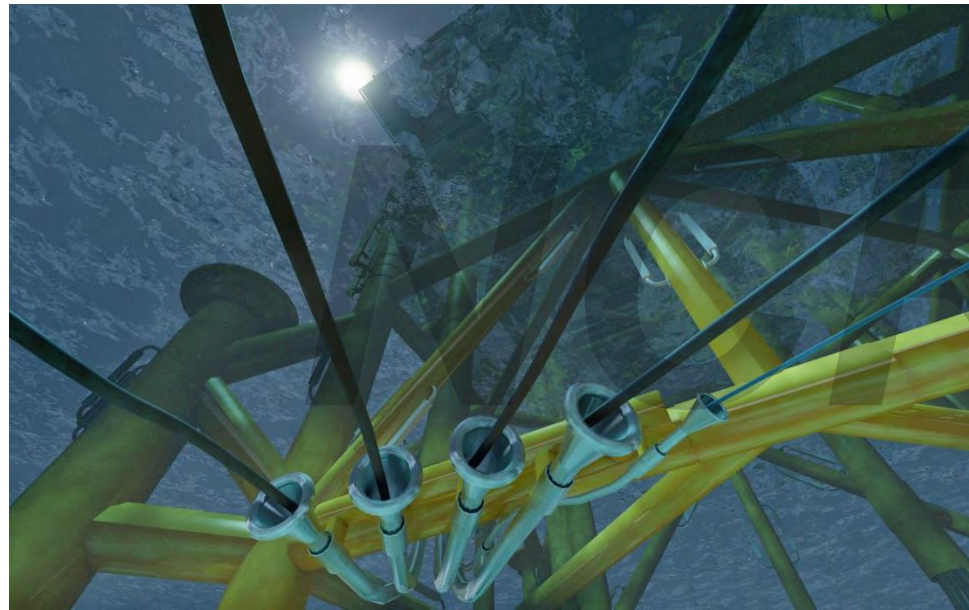


四腳Jacket變電站之外露J-Tube引導眾電纜到平台介面。

# 陸上之製造

## 離岸變電站

### 四腳Jacket變電站入纜之方式(沿著樁腳側多上一下)



四腳Jacket變電站，採用外露J-Tube沿著樁腳側面將眾方位水下而來之上下電纜引進結構。

# 陸上之製造

## 離岸變電站

### 變電站結構介面與鋪纜關係

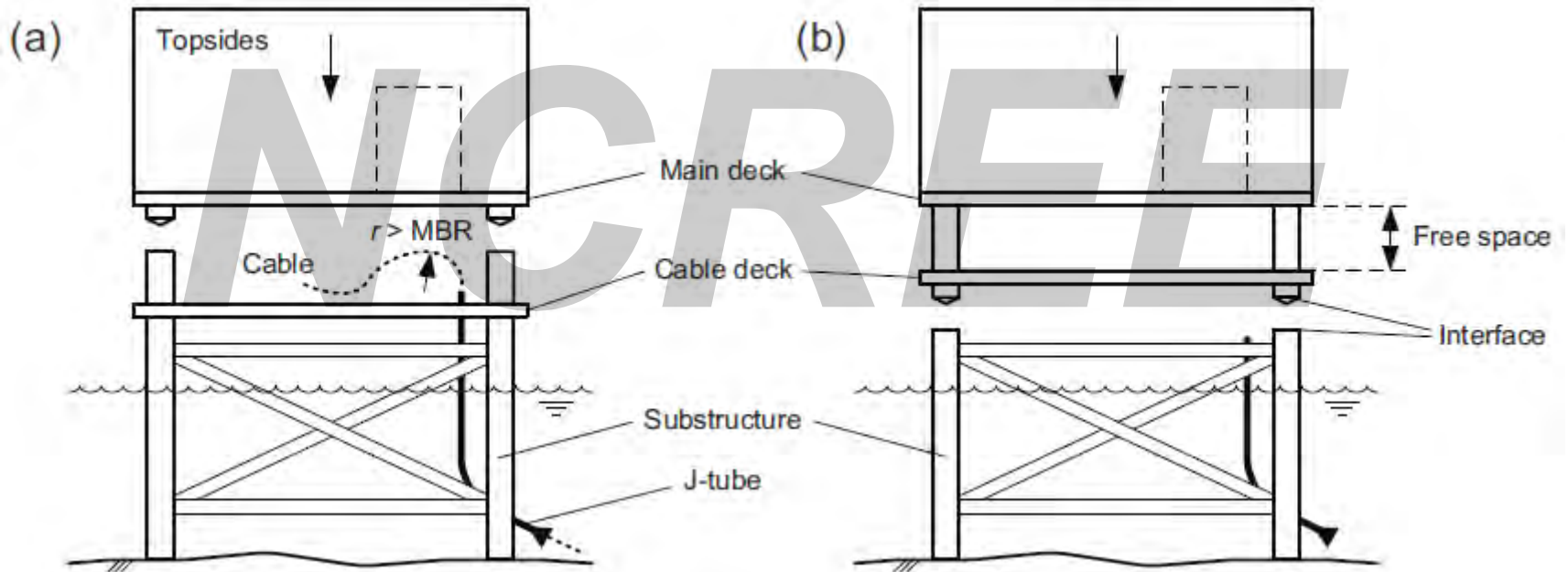


1. 基礎上方有Cable deck者，電纜完成後才吊裝變電站上構(Top Side)。
2. 基礎上方無Cable Deck者，吊裝變電站上構並串接J-Tube後，拉進電纜。

# 陸上之製造

## 離岸變電站

### 變電站結構介面與鋪纜關係



Offshore unit / substructure design and installation(兩種方式)

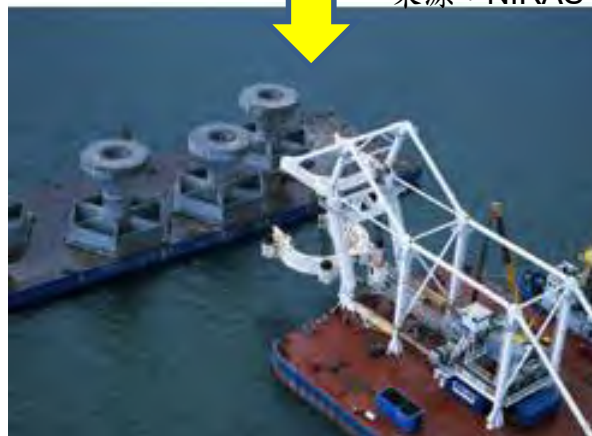
# 陸上之製造

## 重力式基礎

### 重力式基礎之生產與安裝



來源：Middelgrunden



來源：NIRAS



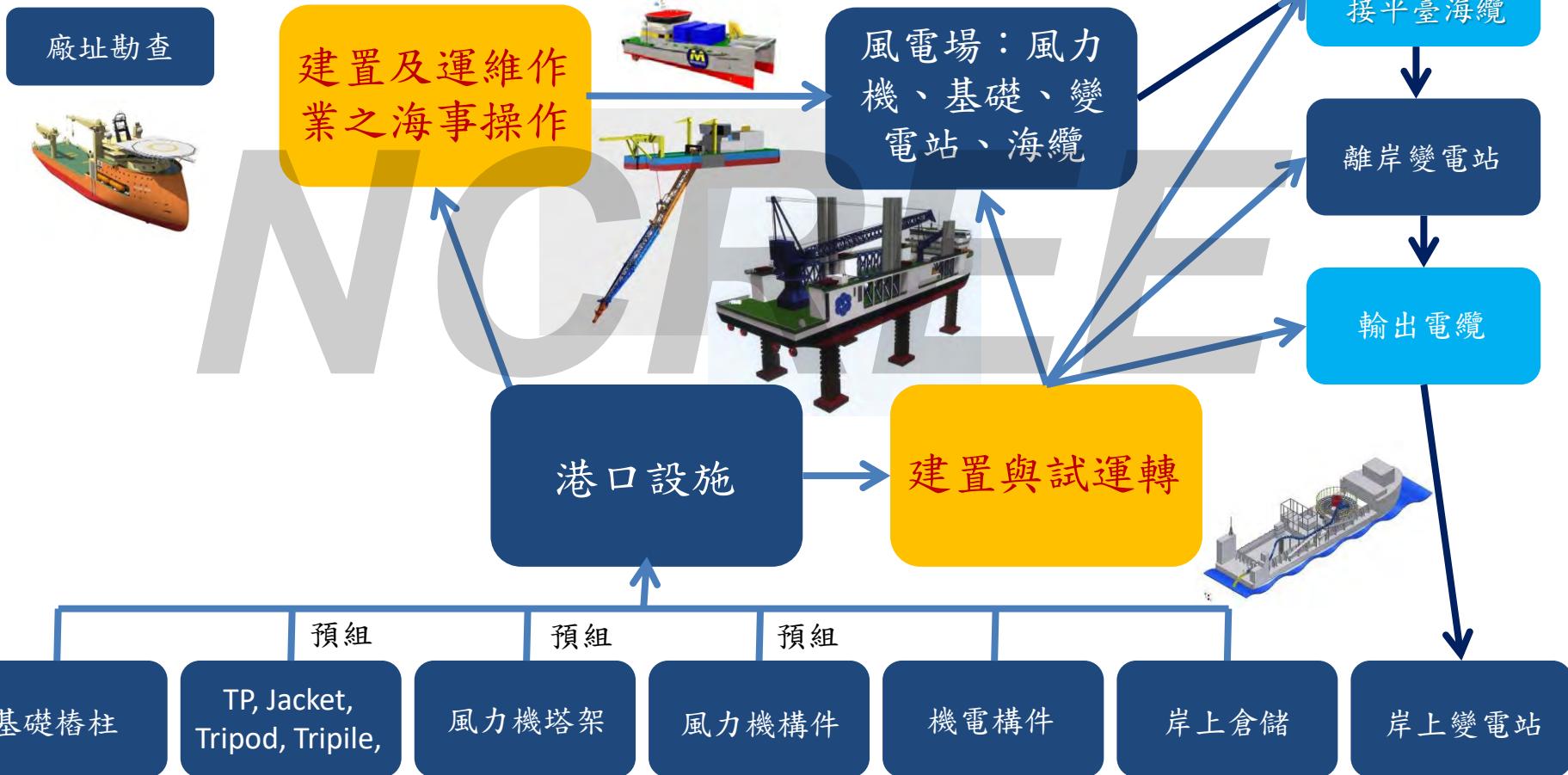
來源：GEOSEA

重力式之安裝工序是整地、吊裝基礎、裝塔架、裝風力機。

# 港口進出準備

## 施工、船舶、港口之配合

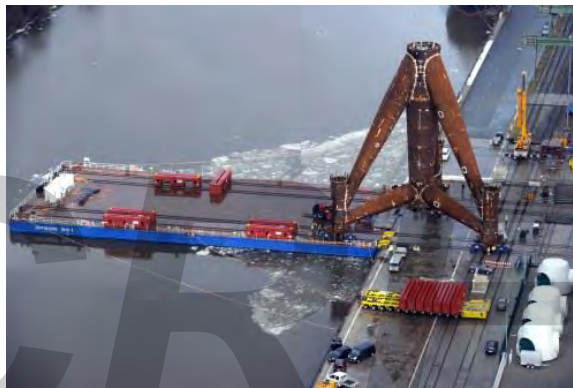
### 整體風電安裝運維之陸海空支援



物料集中各作業碼頭分類處理及就地預組，利用工作船載運或前往安裝、鋪纜與維護。

# 港口進出準備

施工、船舶、港口之配合  
不同上船方式



多輪車+壓艙水調整，SPMTs Transfer (Trailer or Skidding) & Ballasting



Lifting Foundation



Lifting Tower



浮進浮出，Float on – Float off

# 施工船隊組織

## 施工船隊之種類

- **調查船隊**  
勘查船、自升式鑽探船、浮動式鑽探船、觀測船、專業機具
- **支援船隊**  
拖船、MultiCat、操錨船、補給船、潛水支援船、戒護船、ROV
- **整理船隊**  
挖泥船、拋石船、扒床船、小型吊裝船
- **運輸船隊**  
駁船(搭配拖船)、自航貨船、半升式船、自升式船、半潛船(重件)
- **安裝船隊**  
起重船(浮式、半升式、自升式)、專業機具、ROV
- **交通船隊**  
人員運輸船、SOV、輔助人員機具、運貨設施
- **鋪纜船隊**  
Array Cable鋪纜船、Export Cable鋪纜船、專業機具、ROV

# 工件、工法、工序

## 工法工序之討論 海床-勘測與整理



銓日儀 Dragon Prince 1



環島鑽探平臺



大瀚711號



環島奧黛麗絲號測量船



銓日儀 M.V. Polaris



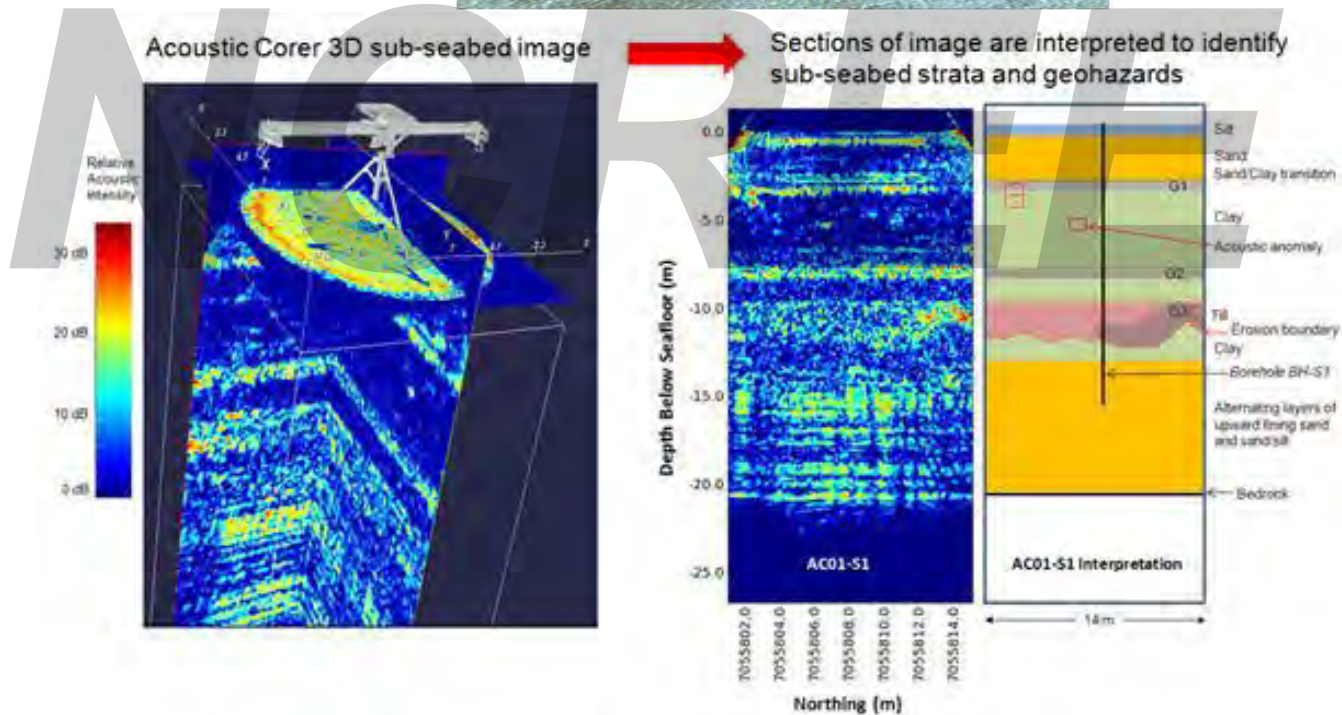
樺棋緯樺號挖泥船



樺棋合隆108號落管式拋石船

# 工件、工法、工序

## 工法工序之討論 施工前海床勘測

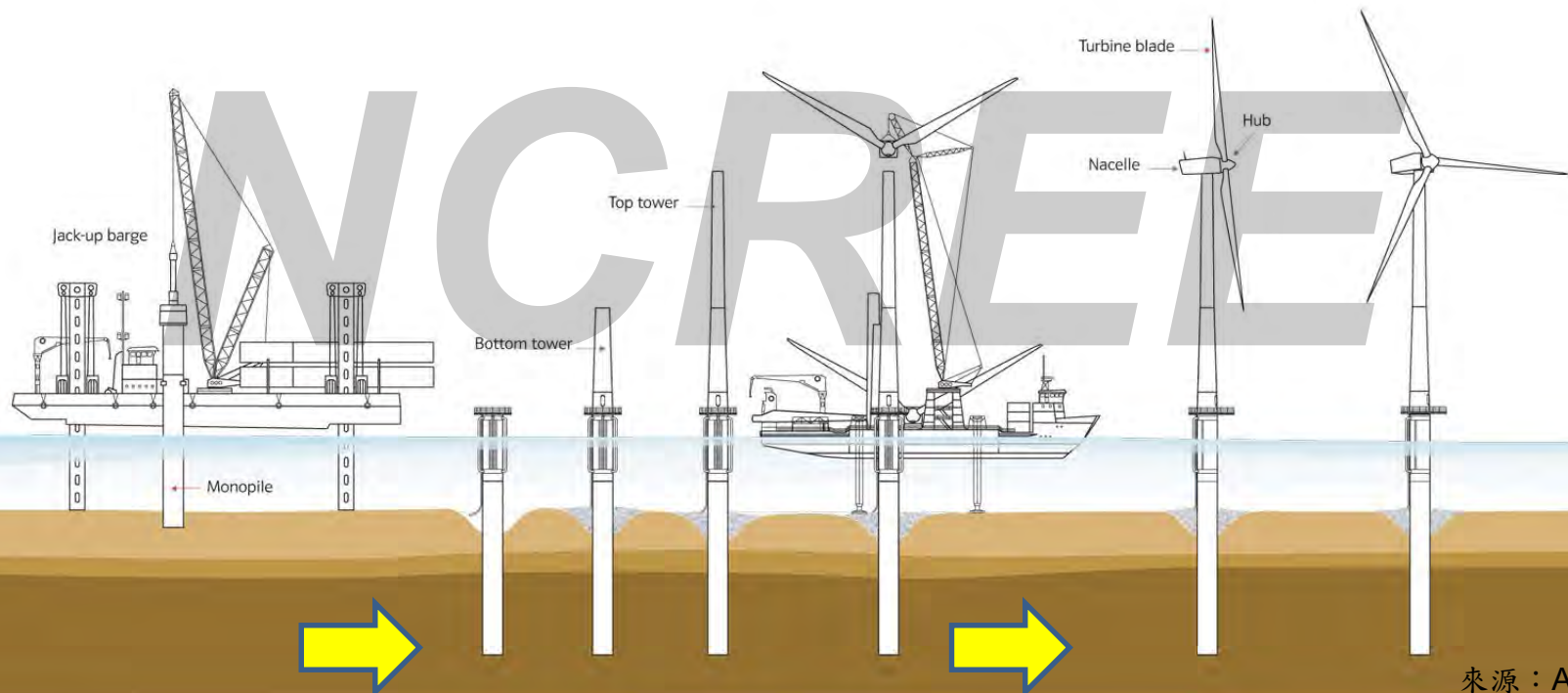


現址複雜情況下，可透過精確位置調查加強局部測量，對有巨石危險或地質快速變化下，特別有用。

# 工件、工法、工序

## 工法工序之討論

### 單樁式水下基礎風電安裝之工序



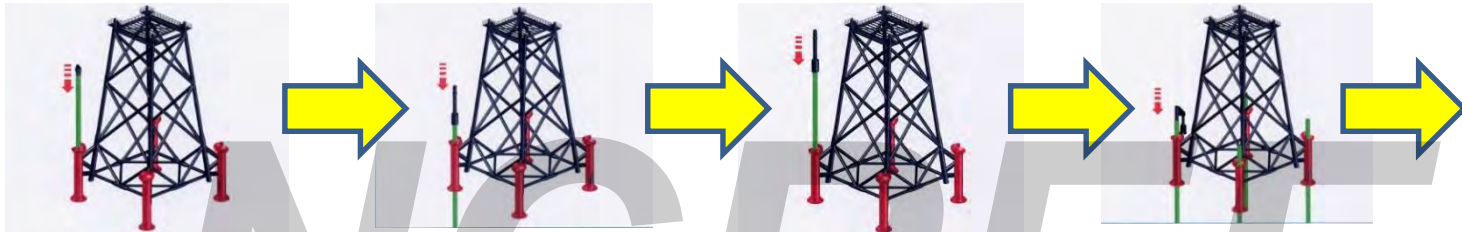
單樁式安裝之工序是預打樁、套轉接件、調整垂直度、漿固、裝塔架、裝風力機。

# 工件、工法、工序

## 工法工序之討論

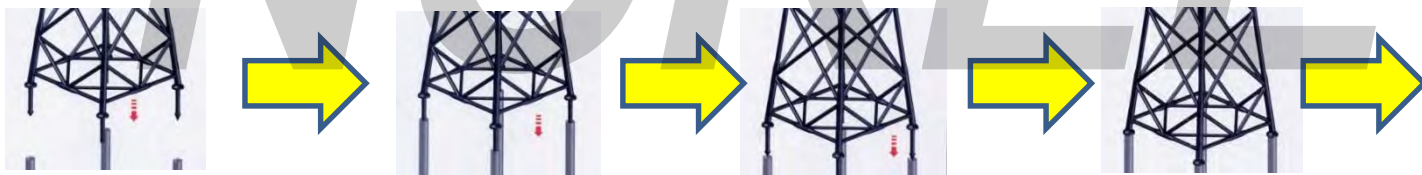
### 多樁式鋼構基礎安裝之工序

#### (1) 後打樁式安裝 ( Post-piling )



後打樁之工序是整地、裝水下基礎、打樁、調整漿固、裝塔架、裝風力機。

#### (2) 預打樁式安裝 (Pre-piling)



預打樁之工序是打樁、裝水下基礎、調整漿固、裝塔架、裝風力機。

#### (3) 群樁式安裝 (Multi-piling)



群樁之工序是打樁、鋼模圍堰、調整內構、平臺灌漿、裝塔架、裝風力機。 來源：東海大橋

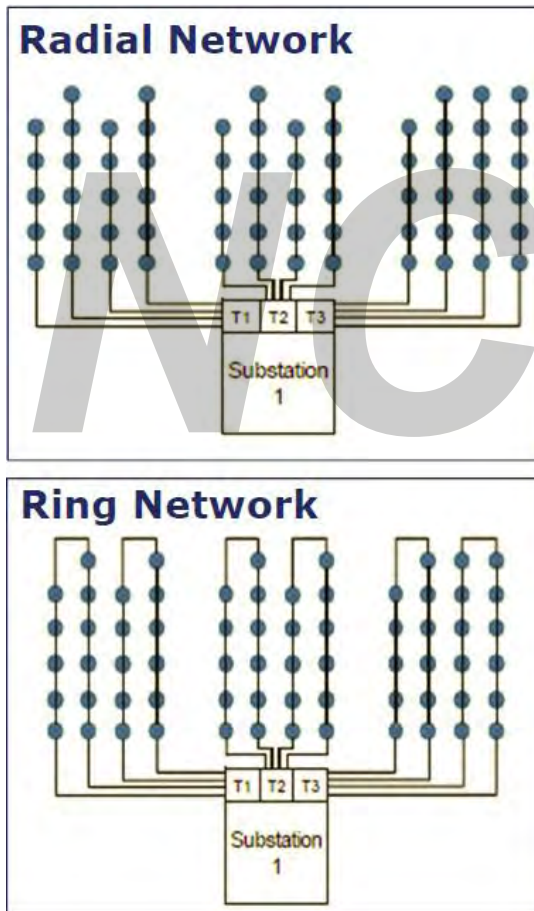


來源：Alpha Ventus

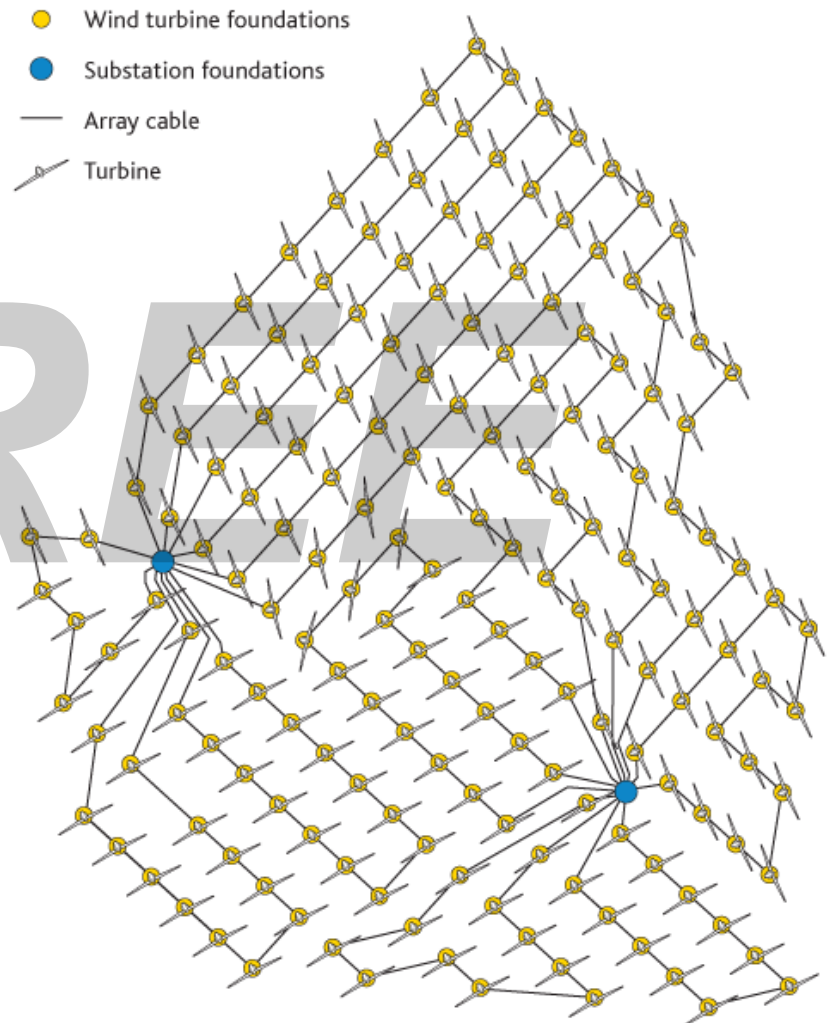
# 工件、工法、工序

## 工件之介紹

### 電網連結與輸出



來源：Carbon Trust



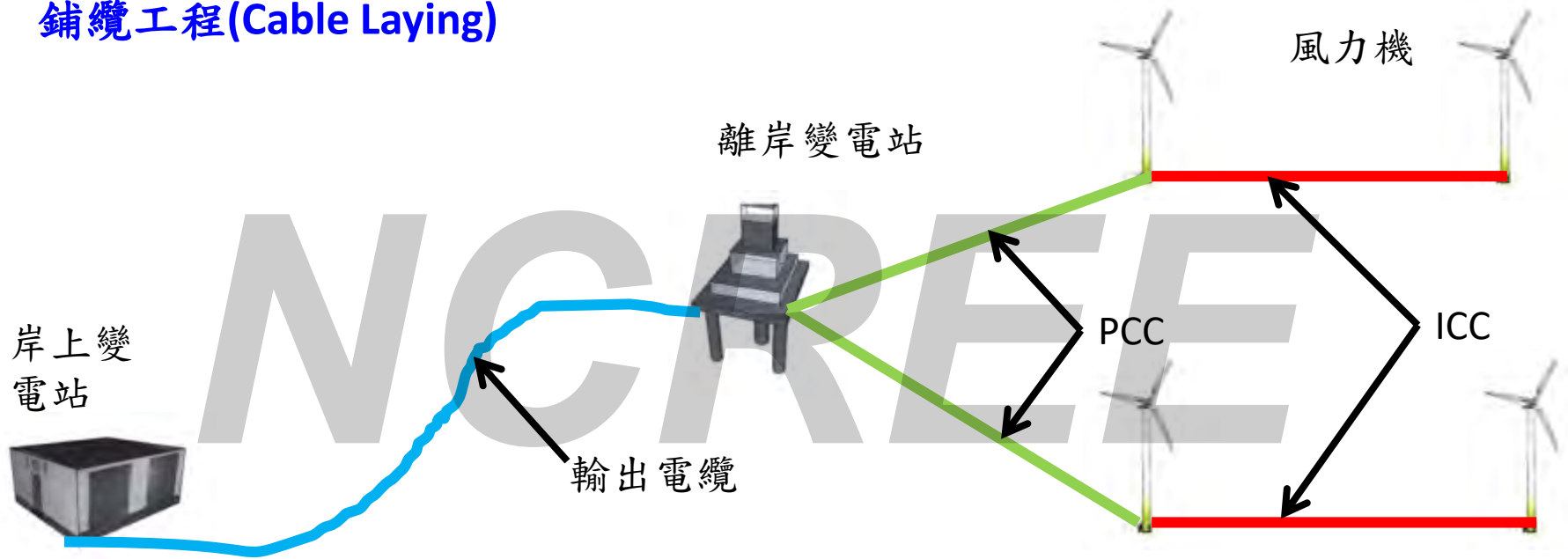
來源：London Array

Ring inter-array networks provide redundancy，但工料略長、另須設置多組開關。

# 工件、工法、工序

## 工件之介紹

### 鋪纜工程(Cable Laying)



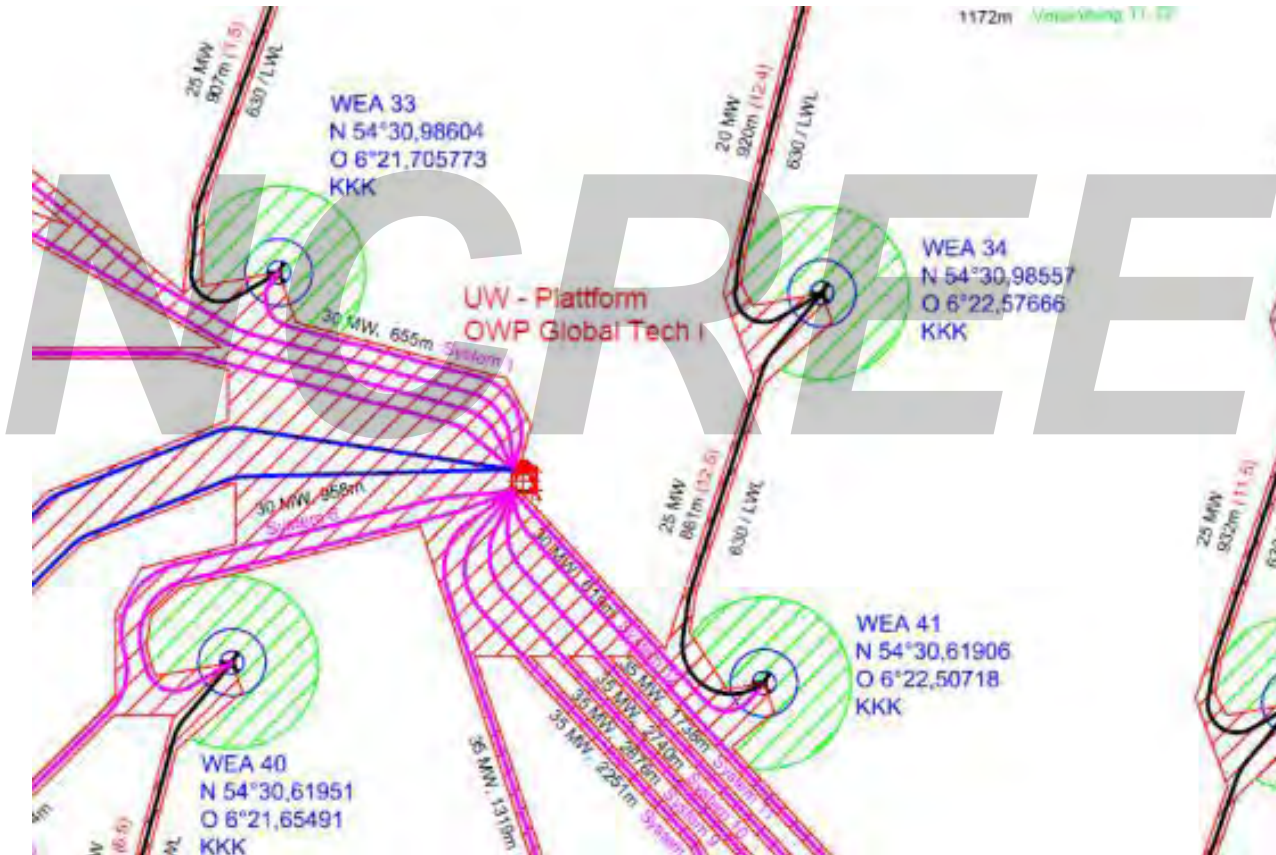
ICC：Inter Array Connecting Cables，連接風力機間之陣列海纜

PCC：Platform Connecting Cables，接到變電站之海纜

離岸風力機基礎安裝完成後，緊接進行鋪纜作業，藉適當之鋪纜船與工法來達成任務。

# 工件、工法、工序

## 工件之介紹 鋪纜之周邊需求



基礎佈置設計除要考慮工法、製造、運輸及安裝外，宜規則化鋪纜、交通、運維等空間。

# 工件、工法、工序

## 工法工序之討論

### 風力機安裝方式

- A. 塔架→機艙+輪轂→1組葉片→1組葉片→1組葉片
- B. 塔架→機艙+輪轂+2組葉片→1組葉片
- C. 塔架→機艙→3葉轉輪
- D. 半機
- E. 整機



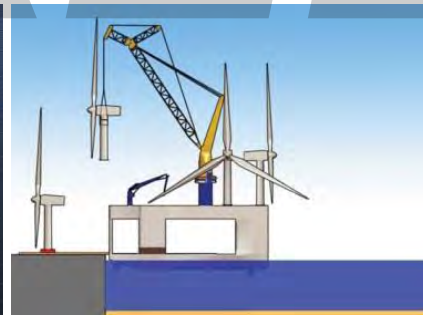
A 模式



B 模式



C 模式



D 模式



E 模式

目前狀況： 定腳式安裝

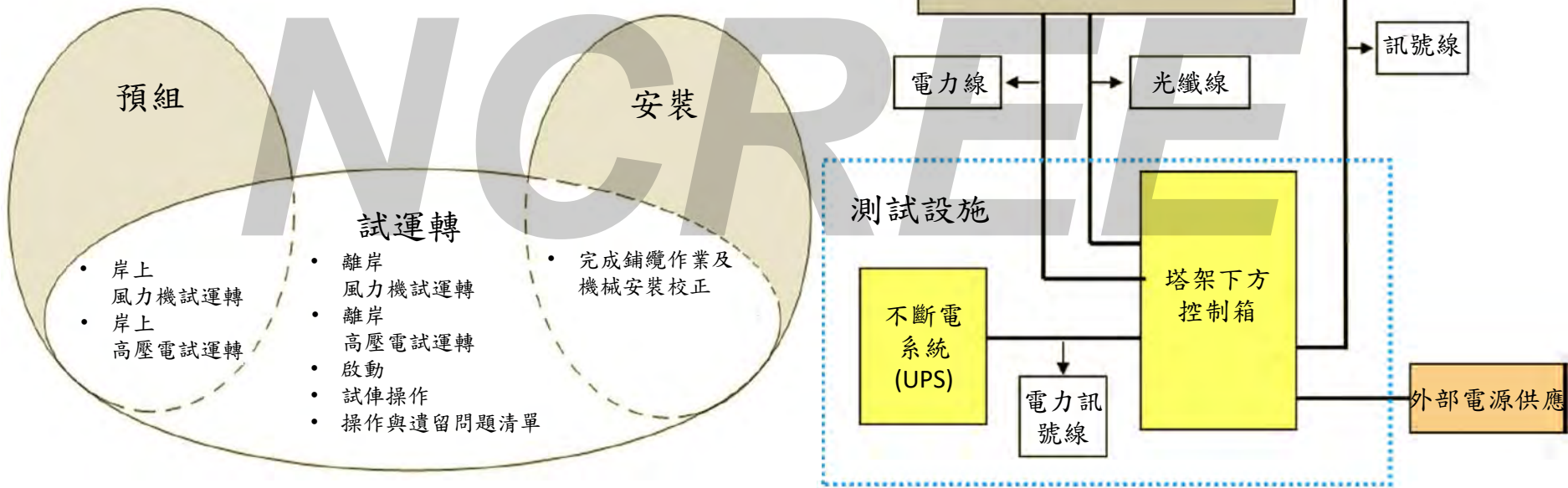
浮動式安裝

來源：A2SEA x3、Brearley, OLC

# 工件、工法、工序

## 風力機及風場之試運轉

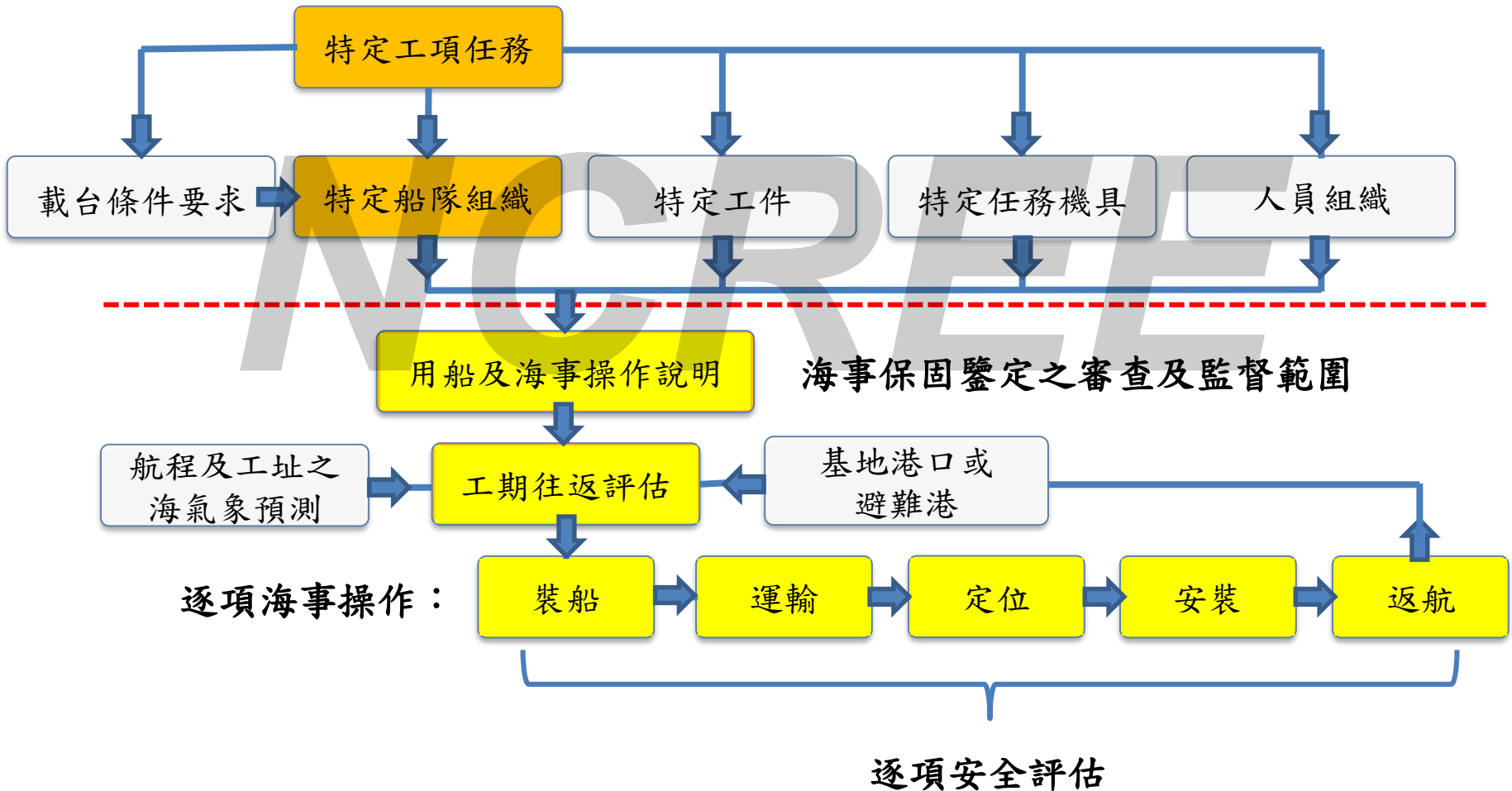
### 預組、安裝之試俾



在岸上進行風力機試運轉，岸邊交運前越接近整機完成狀況越好，儘量利用岸電測試。

# 海事保固鑒定

## 離岸風電之安全檢核要項



# 海事保固鑒定

## 傳統之海事保固鑒定

### 海事保固鑒定之相關聯

- 從**保險公司**的角度看，主要目標就是減少理賠事件。
- 從**開發商**的角度看，希望對投資者之安全疑慮有所交代。
- 從**專案經理/主管**的角度看，不要造成工程進度干擾。
- 從**船長**的角度看，全船之航行安全是其責任。
- **MWS**注重聲譽，從5S的角度看待載具上之載貨。
  - Stability (穩度)
  - Safety (安全)
  - Sound (健全)
  - Security (保全)
  - Survival (存活)

# 海事保固鑒定

---

## 離岸風電之海事保固鑒定

### 重點審查作業項目：

- 人員進出 (Access)
- 裝載(Load-out )
- 吊裝(Lifting)
- 運輸方法(Transport methods) 包含拖曳
- 運動反應(Motion response)
- 系固設計考慮(Seafastening Design Considerations )
- 定位操作(Positioning)
- 自升操作(Jacking)
- 浮裝操作(Float Over)
- 海纜鋪設(Submarine Cabling)
- 工作期探討(Working Period)

# 海事保固鑒定

## 離岸風電之海事保固鑒定

### 重點審查作業載具：

- 平臺駁船(Barge)
- 拖船或操錨補給船(Tug or Anchor Handling Vessel)
- 起重船(Crane ship)
- 風電安裝船(Work Ship, WTIV)
- 鋪纜船(Cable Layer)
- 人員運輸船(CTV或SOV)
- 水下無人載具(ROV)



# 海事保固鑒定

## 離岸風電之海事保固鑒定

### 海事保固鑒定之執行

#### 專案時程與MWS對應動作之關係



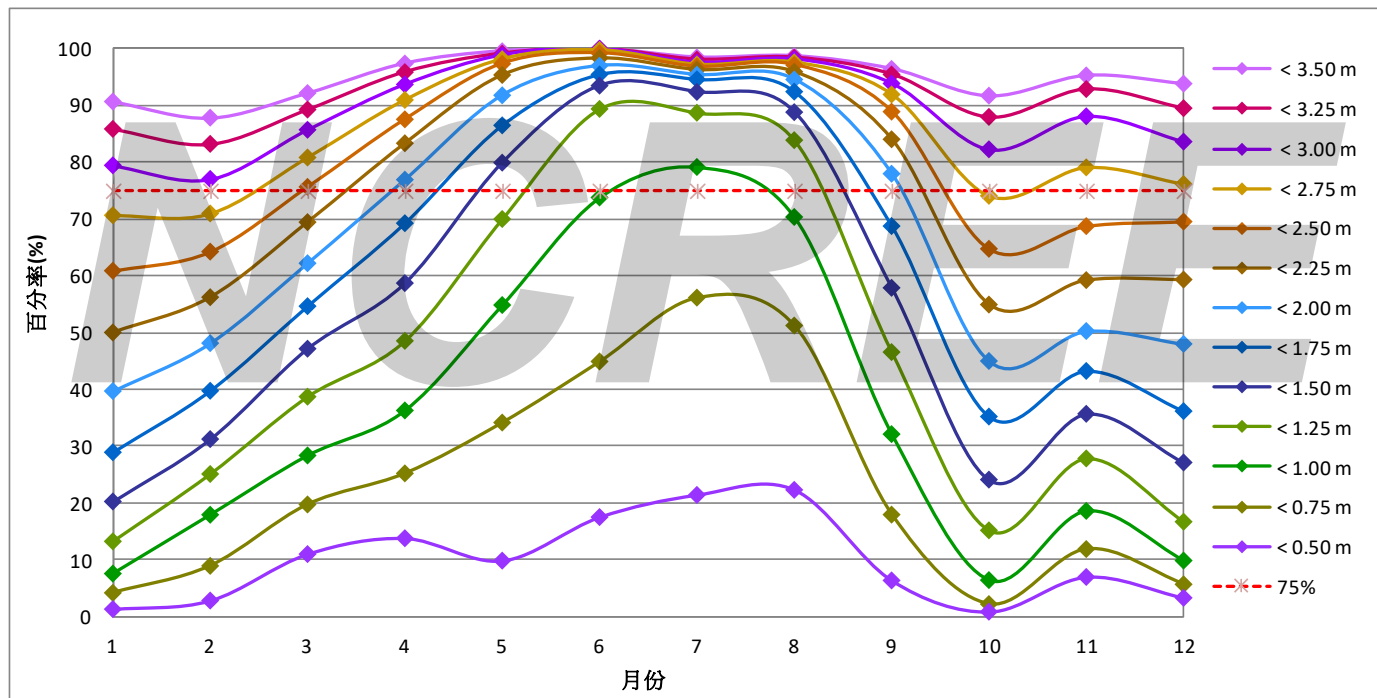
#### 五個主要步驟：

- 大致核准(前端工程設計(FEED，Front End Engineering Design)階段)
- 檔審查(規劃階段)
- 適宜性調查(動員階段)
- 參加見證並核准(離岸建置階段)
- 頒發許可證書(完成階段)

# 海事出航作業

## 出航之條件

臺中港2005~2011逐月有義波高百分比分布(含颱風資料)：



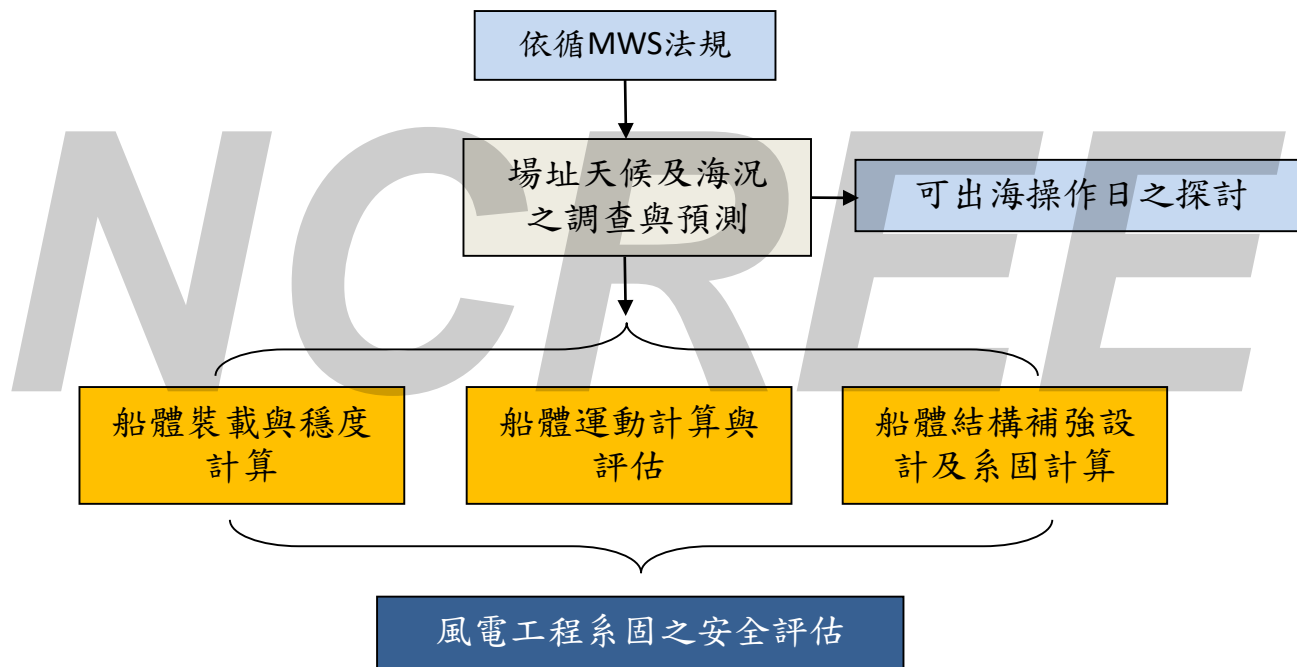
來源: SOIC

1. 有義波高若為1.5m：4月底至8月底Weather Window將達75%可操作百分比。
2. 有義波高若為2.0 m：4月至9月初Weather Window將達75%可操作百分比。
3. 有義波高若為2.5m：3月至9月中 Weather Window將達75%可操作百分比。
4. 有義波高若為3.0 m：全年Weather Window將達到75%可操作百分比。(較北歐嚴點)

# 海事出航作業

## 出航之條件

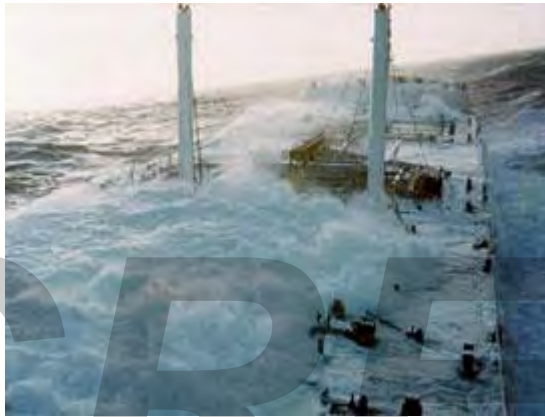
### MWS規劃設計之依據



允許拖航或運輸之檢查流程

# 海事出航作業

## 運輸載具之安全問題



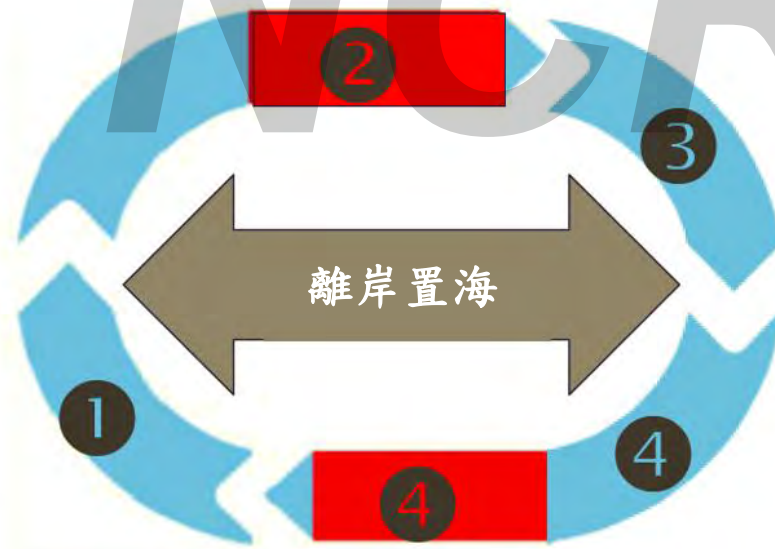
工作船的寬/深比大，乾舷不高，橫搖易觸水，尤其大幅運動會產生上浪現象 (Green water effect) 影響航行作業之安全，除應注意船型、尺寸、船艙及艙間外，其出海時機及裝載條件也需得當，以維安全並保護載貨，避免受損。

# 海事出航作業

## 出航之條件

### 工作船之操作限制、海氣象條件及來回估算

1. 港內裝載 (Loading in Port)
2. 從港口前往風場航程 (Port to Wind Farm Voyage)
3. 安裝構件 (Install Component)
4. 從風場返回港口航程 (Wind Farm to Port Voyage)



在任何階段，天氣視窗是所有最長的預期時間的總和，所有操作具備達到下一個安全的條件。

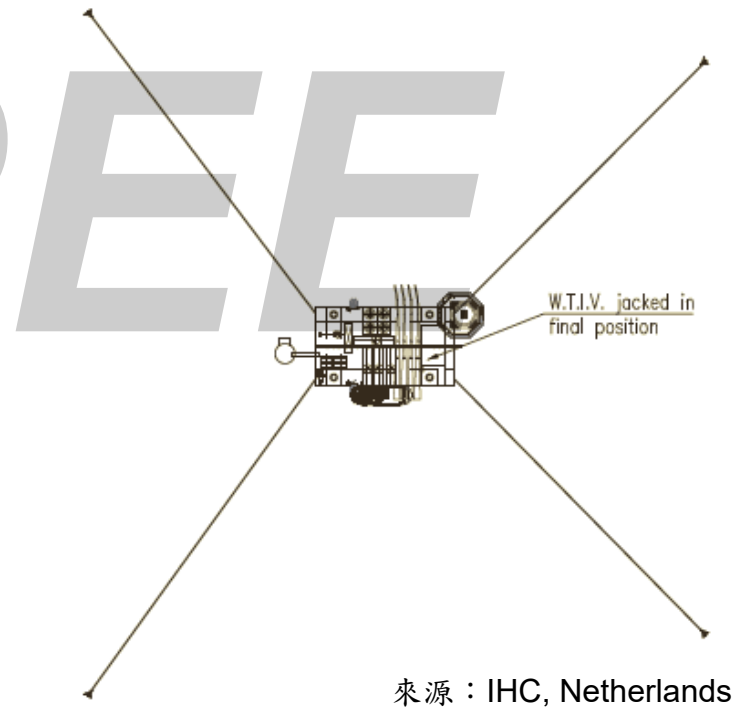
# 海事出航作業

## 浮船之定位

### 無動力船之操錨定位



多艘操錨船采多向拖曳定位

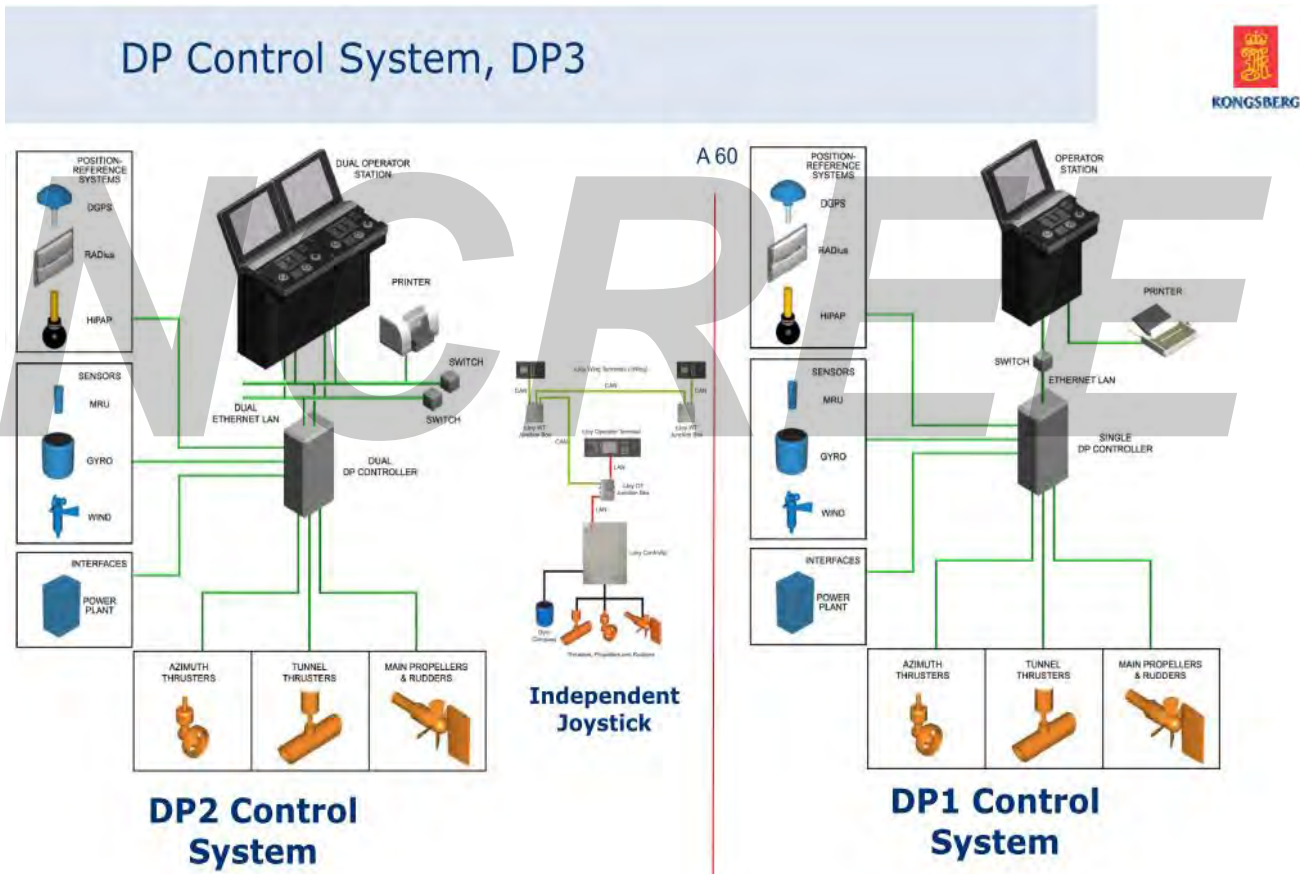


作業船采多向下錨收放定位

# 海事出航作業

## 浮船之定位

### 動態定位(Dynamic Positioning, DP)

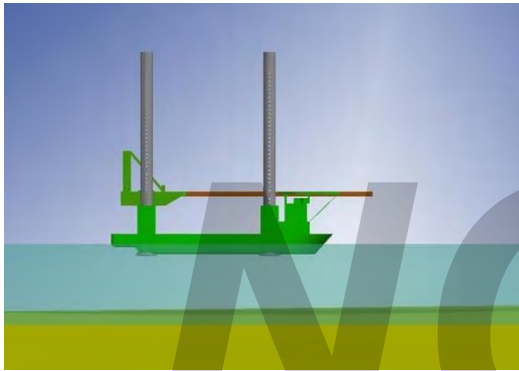


來源：Kongsberg Maritime, Norway

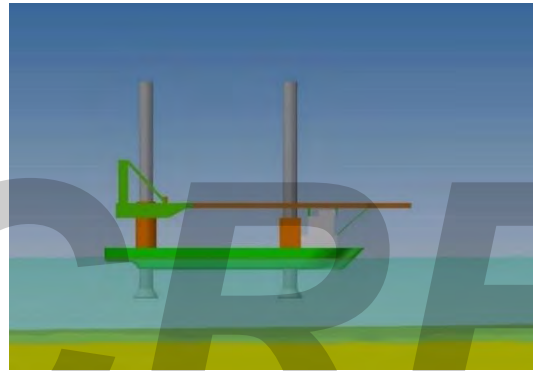
# 海事出航作業

## 自升船之下腳定位

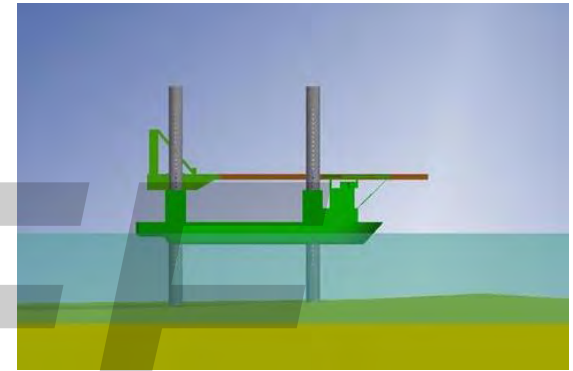
### 自升船與預載之操作



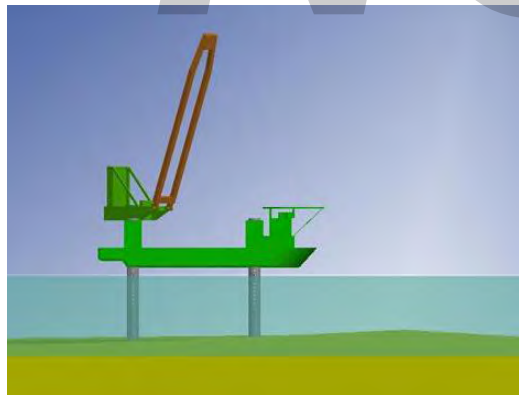
浮起(Floating)



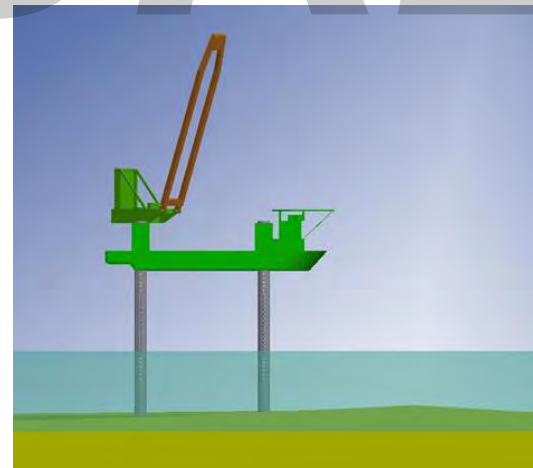
定位、伸腳(Lowering Legs)



爬升(Jacking)



預載(Preloading)



升起就位站立(Jacked)

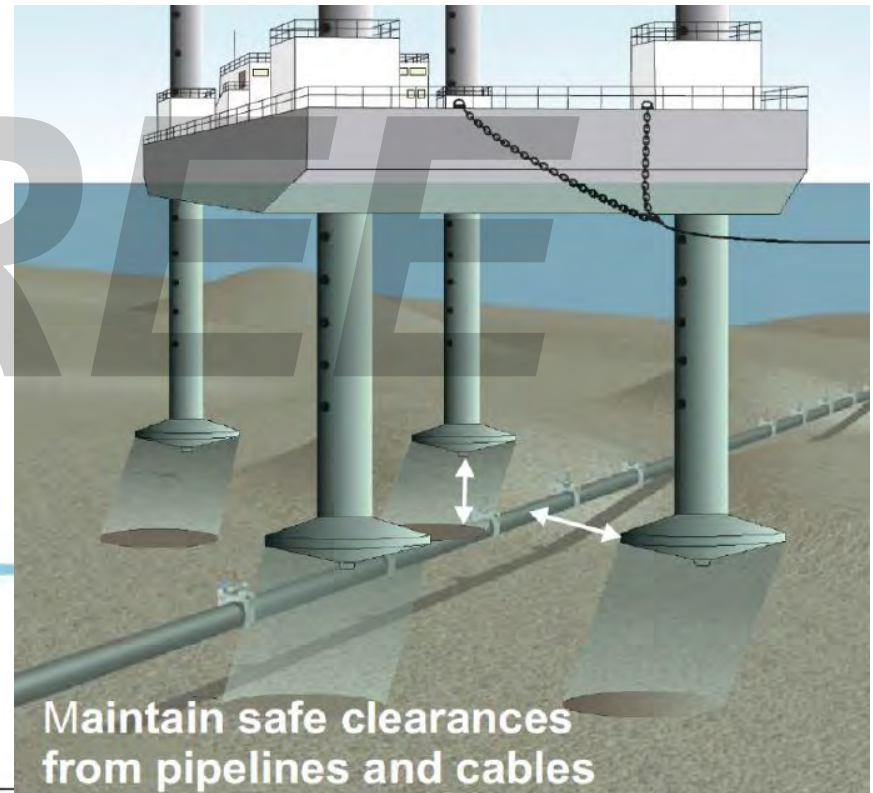
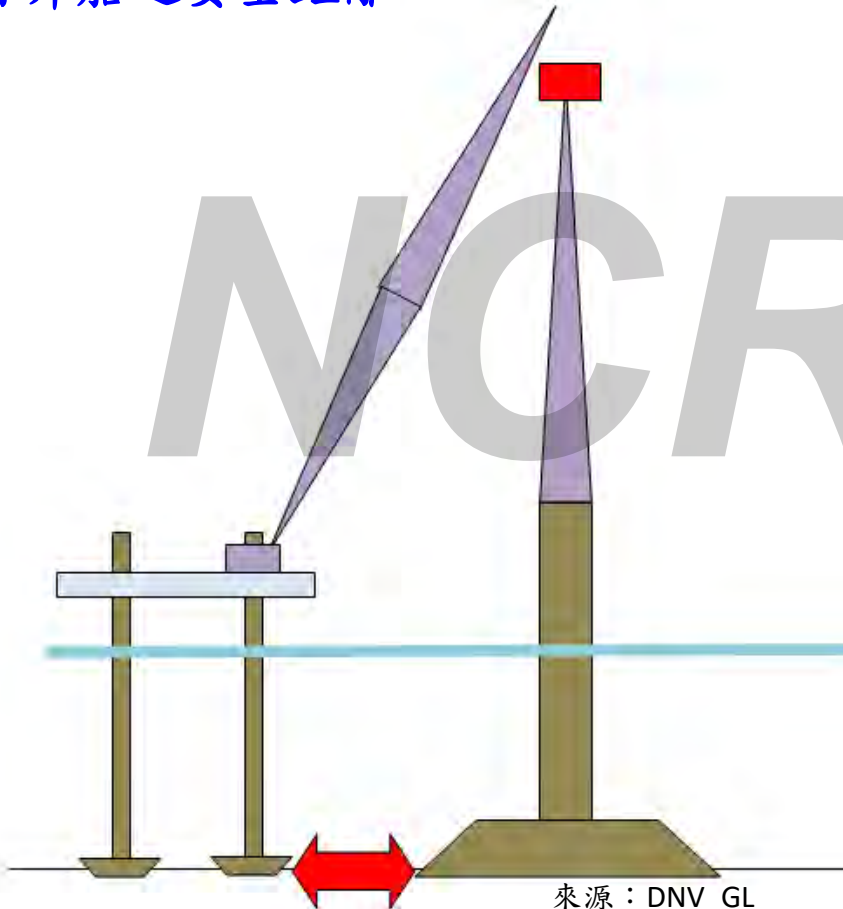
自升式船之升起操作流程，從拖航、定位、伸腳、爬升水面、預載(水面上一公尺內之高度進行對角樁腳交錯施力，直至確認穩定才進行升起)、升起、站立運作等。

來源：MUNS, Netherlands

# 海事出航作業

自升船之下腳定位

自升船之安全距離



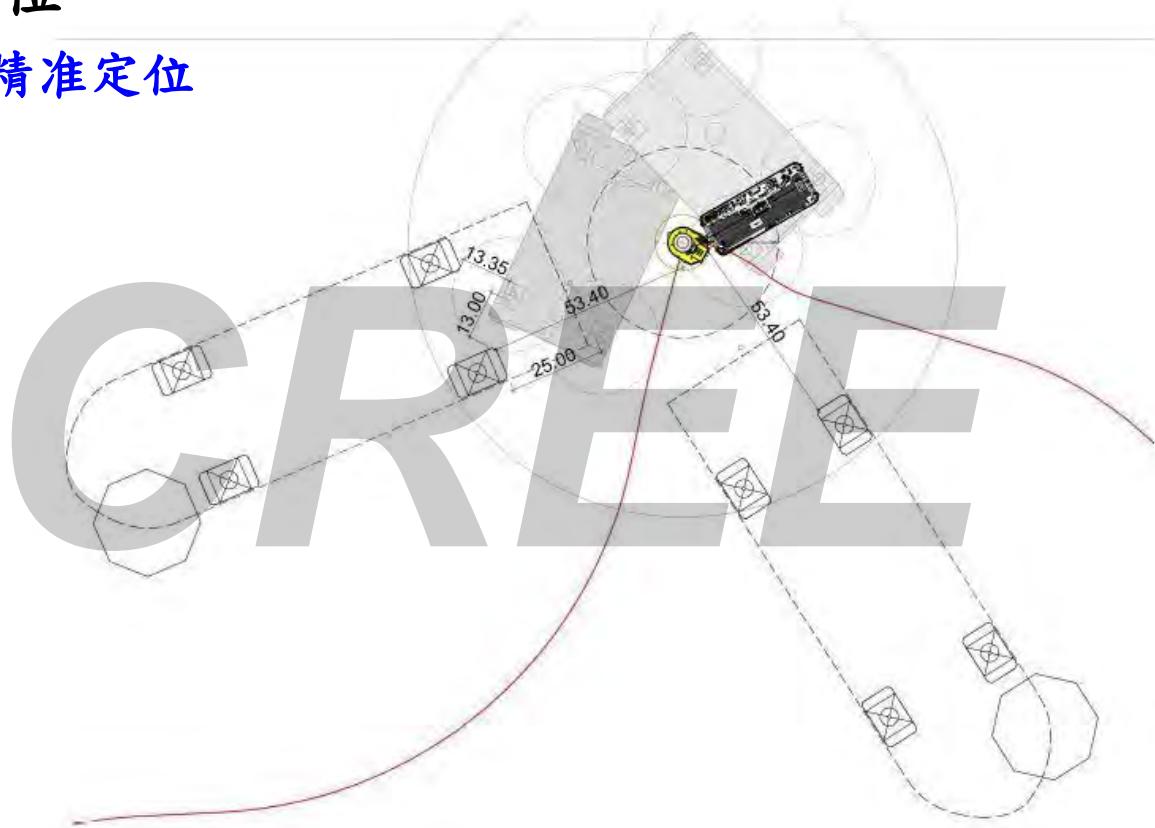
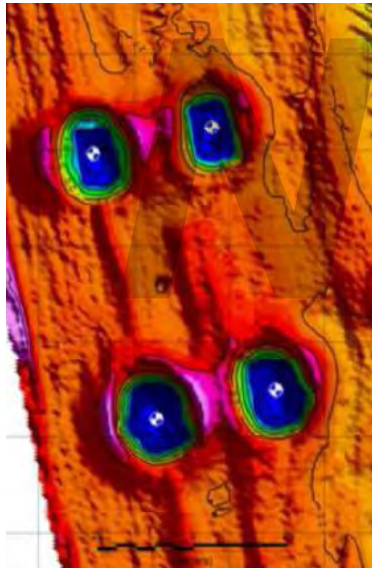
來源：DNV\_GL

來源：Renewable UK

# 海事出航作業

自升船之下腳定位

自升船之腳印→需精准定位



來源：HOCHTIEF

不同自升船及個別作業階段之腳印記錄與相互閃位元

# 海事工程事故

## 海事場址之調查失真 打樁遇阻事件



來源：MTHojgaard

Gunfleet Sands案發生打樁遇阻，往上切除7m，海床架高7m，再裝轉換件。

# 海事工程事故

## 海事操作之失誤險象

地質資料不正確或判讀錯誤



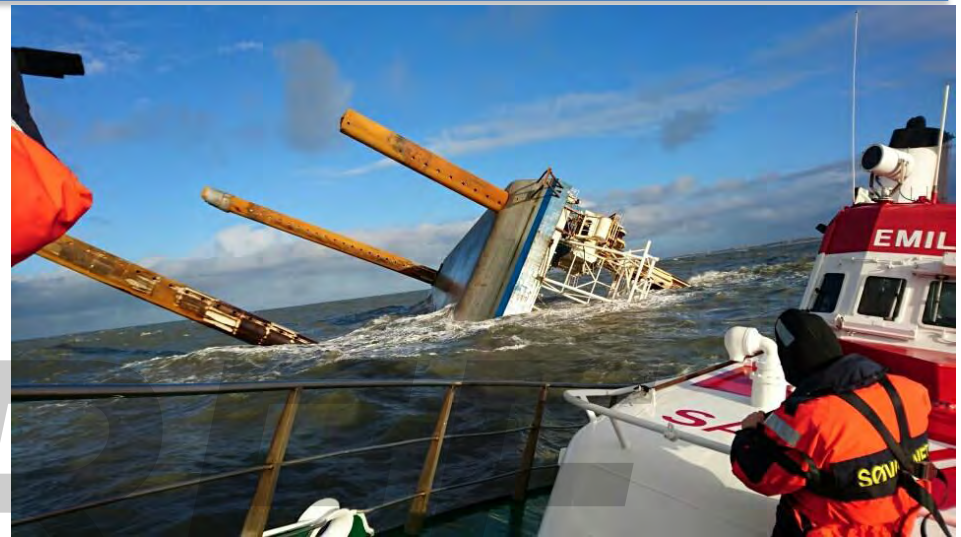
地質不明或操作不當致使自升船發生穿傾事故，其中，調查用自升船最容易發生。 83

# 海事工程事故

海事操作之失誤險象  
穩度作業缺失而致傾斜或沉沒



靠碼頭裝貨船體穩度不當而傾斜翻覆。



丹麥Sea Worker穩度不當而翻覆沉沒。



日本浮動式離岸風電變電站穩度不當而傾斜 84

# 海事工程事故

海事操作之失誤險象  
作業船失火而致沉沒



Langeland外海，Umoe Ventus 號失火沉沒



Lowestoft外海，15 m船長人員運輸船 ECC Topaz號失火沉沒

# 海事工程事故

## 吊車操作之失誤險象 自升船大吊車之損毀事故



SEAJACK因人員操作錯誤造成吊車損壞，連帶吊車修護取得認證總共延誤長達8個月！

# 海事工程事故

## 吊車操作之失誤險象

海上吊車強度不足與操作不當



計算錯誤造成吊臂損壞，連帶工件落海，此活動式吊車組合造成延誤也將遭停用。

# 海事工程事故

## 吊車操作之失誤險象

海上吊裝失手致使樁柱墜落



上端夾具鬆脫，發生工件下砸損毀之事件。



# 海事工程事故

## 吊車操作之失誤險象

### 岸邊吊車操作事故



A crawler crane, rigged with 51.8 metre boom and 30.4 metre fly jib, lifted three men in a man basket up to inspect a newly fabricated offshore wind turbine jacket. As the crane's boom was lowered to provide the required radius the jib came into contact with the nearside top of the jacket causing it to buckle. When the top of the jib came down on the far side edge of the jacket it caused a second distortion and this time the basket became detached and it dropped to the ground.

# 海事工程事故

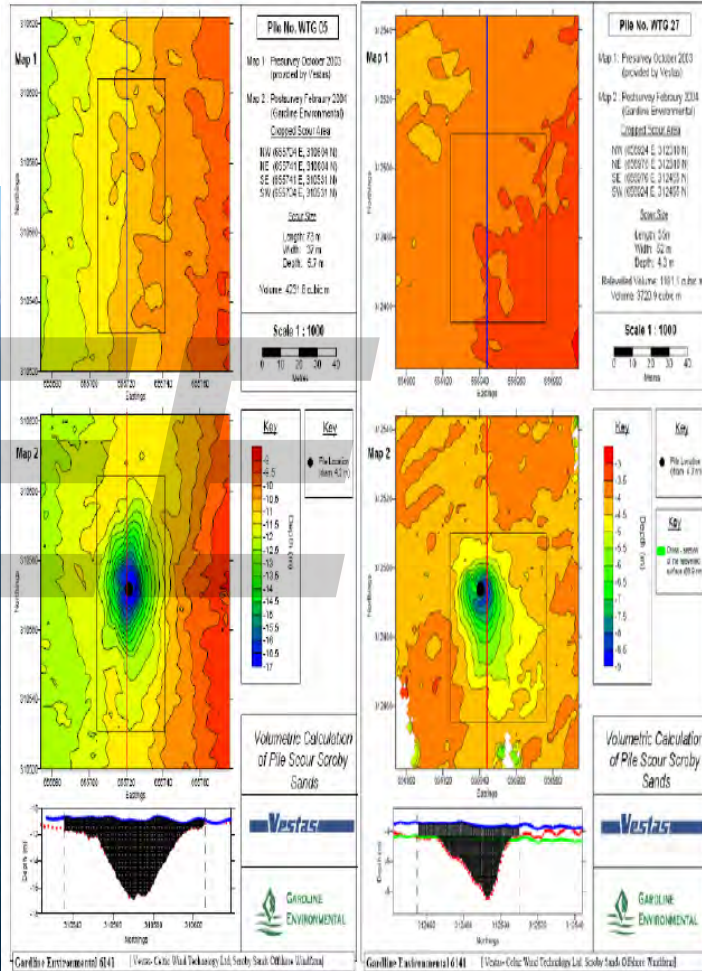
## 結構設計之失誤

### 歐洲離岸測風塔崩壞



# 海事工程事故

## 海事場址之設計缺失 單樁基礎海床嚴重沖蝕



來源： offshore-power

來源： Vestas

英國Round 1 第一個專案因為某些區塊水深過淺，造成施工船隻無法前往施工，因而風力機之分佈不平均，如圖示。另一個現象是強烈的海流造成沖蝕嚴重，導致電纜懸空。

# 海事工程事故

## 設計不良之風險

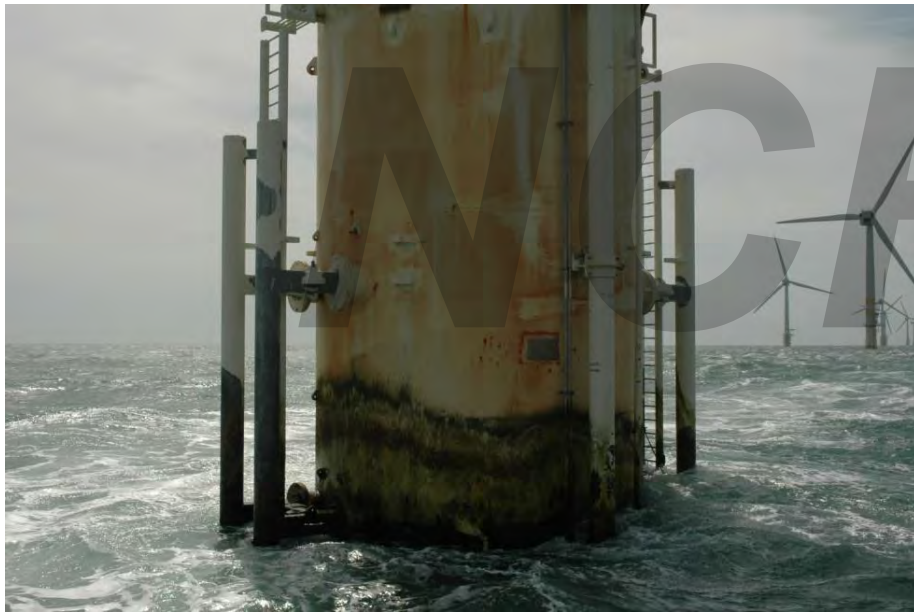
### 運轉風險，如Horns Rev風場之大災難

- Horns Rev離岸風場從2003年2月起1.5年期間內，80台風力機一齊併聯發電僅半個小時，實際上顯示此起彼落地跳機停擺。
  - 1.5年期間內，總共出動75,000次維護航次。
  - 平均每天每台風力機有兩次修理航次。
  - 出航倘發現需另種把手或新的電路板，若緊急，有時呼叫直昇機前來支援。
- 從2003年8月起，風力機上的變壓器開始技術性的失效。
- 發電機也發生問題，但趟次少於變壓器，很顯然主要係供應商出的錯誤。
- VESTAS雖提供5年的可靠度保固，但Elsam決定全部換掉風力機，以直升機調換機艙，後來全場轉賣出去。



# 海事工程事故

## TP外之油漆失敗



愛爾蘭 Arklow Bank Offshore Wind farm，TP之高效型油漆徹底失敗，剛開張不久已發生銹蝕或剝落。



英國 Scroby Sands Offshore Wind farm 迎風面TP的油漆被強風刮掉而嚴重銹蝕，焊道出現銹跡，可知光靠油漆不牢靠。

# 海事工程事故

## TP內之油漆失敗

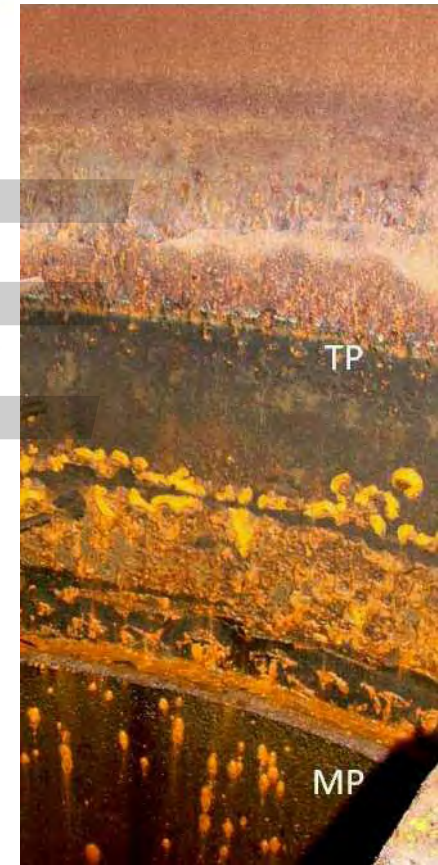
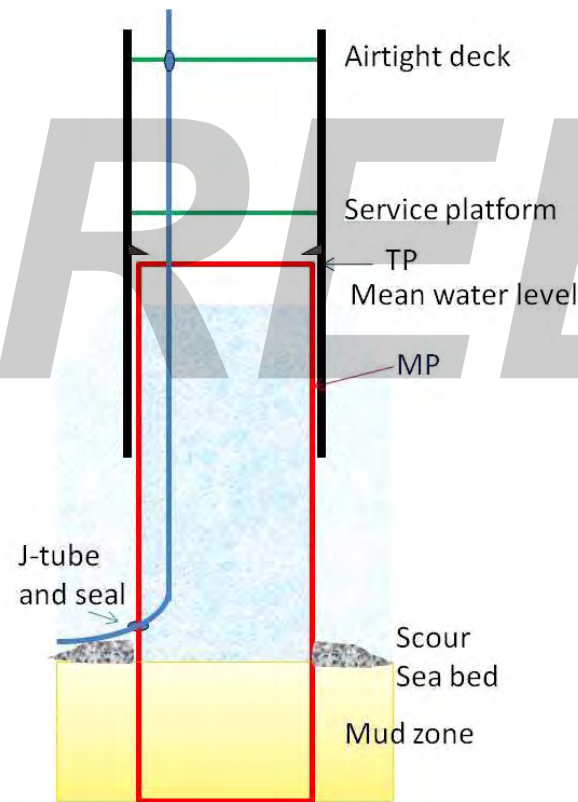
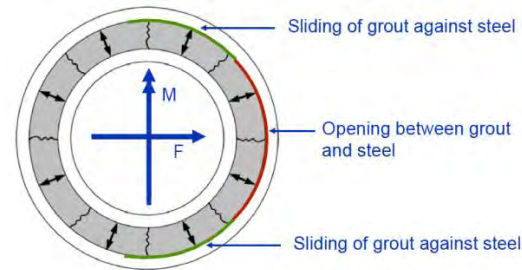


TP內封水變酸，其內結構及艙品之油漆或鍍鋅幾乎吃光，足見封閉濕氣的厲害。

# 海事工程事故

## TP灌漿失效而下滑 超過600座出現問題

- 時間：2009年
- 地點：丹麥 Denmark
- 風場：Horns Rev 1 Offshore Wind Farm, etc.
- 事件：單樁接頭混凝土灌注處損壞滑動
- 發展：2010年IHS Emerging Energy Research警告歐洲建置948處風機中可能有600座有問題，需要檢查處理。
- 原因：設計問題，風力及海洋力週期作用



TP下滑後，腐蝕問題就跟著來，尤其是間隙腐蝕，難以補救。

# 海事工程事故

## 腐蝕加大浪



歐洲離岸風電平台遭遇大浪侵襲，平台連接件腐蝕，導致鬆脫，平台格架大批被掃走。

# 海事工程事故

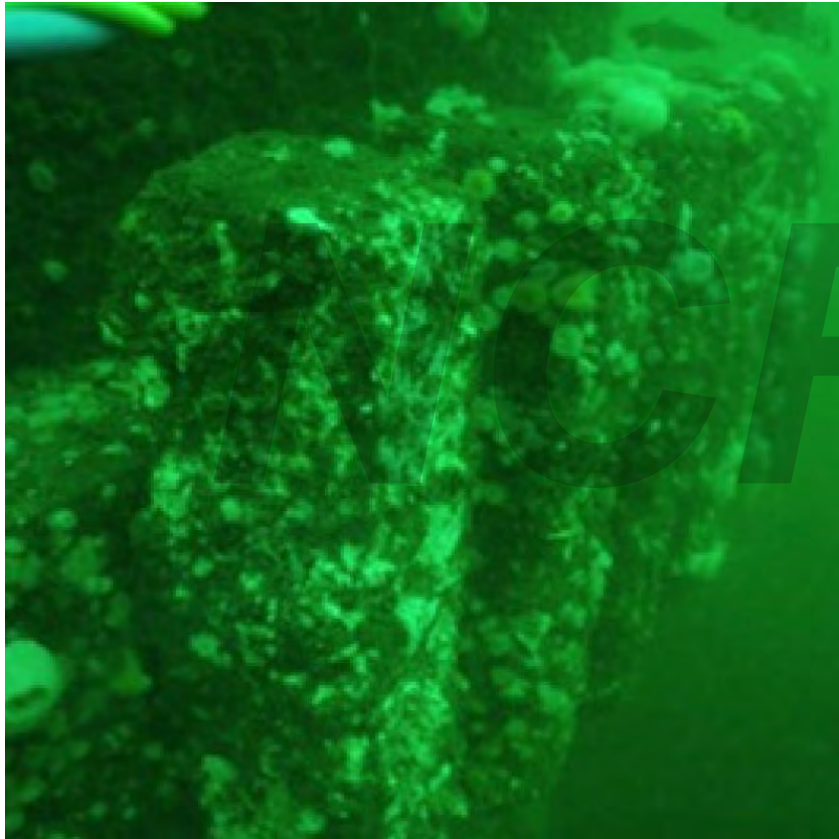
封閉空間結露積水致內部腐蝕而出



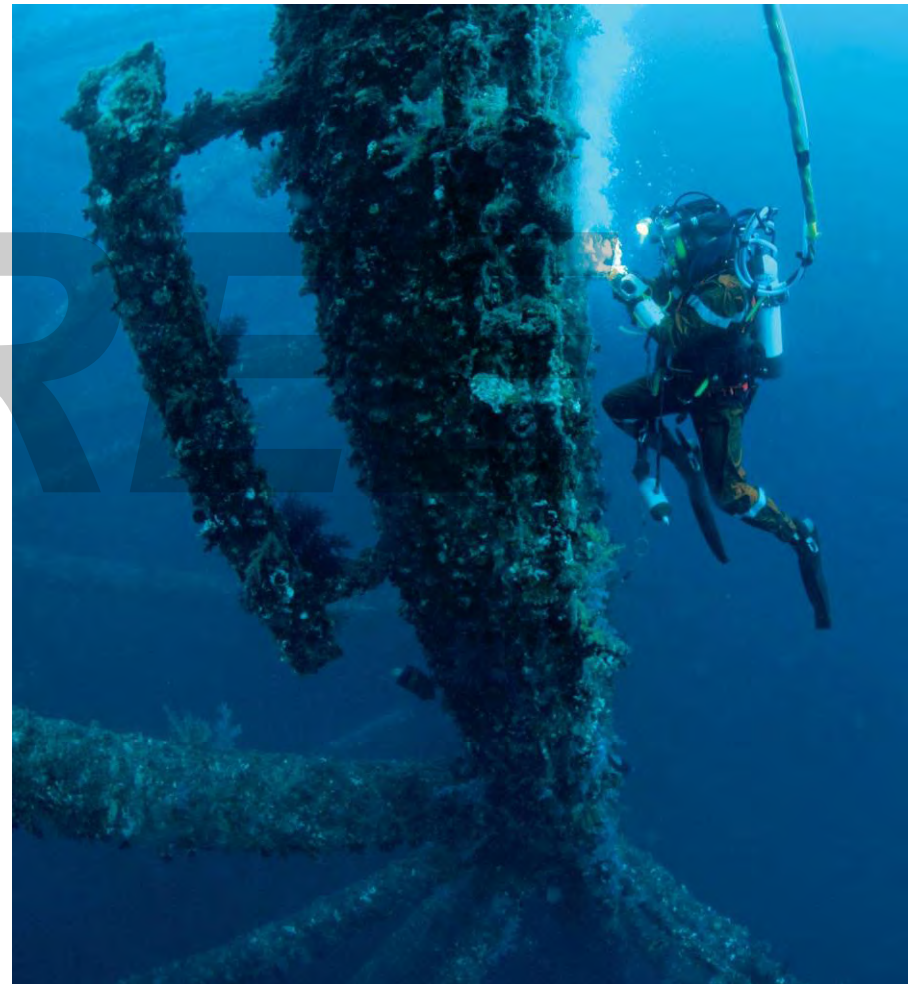
離岸空心柱結構之斜撐從內部銹蝕出來，內外交加地發生在水面上之交叉結構。

# 海事工程事故

海生物蓋住犧牲陽極致沒有作用



Walney風場之Anodes被Marine Growth覆蓋



油氣生產結構被Marine Growth全面覆蓋

# 海事工程事故

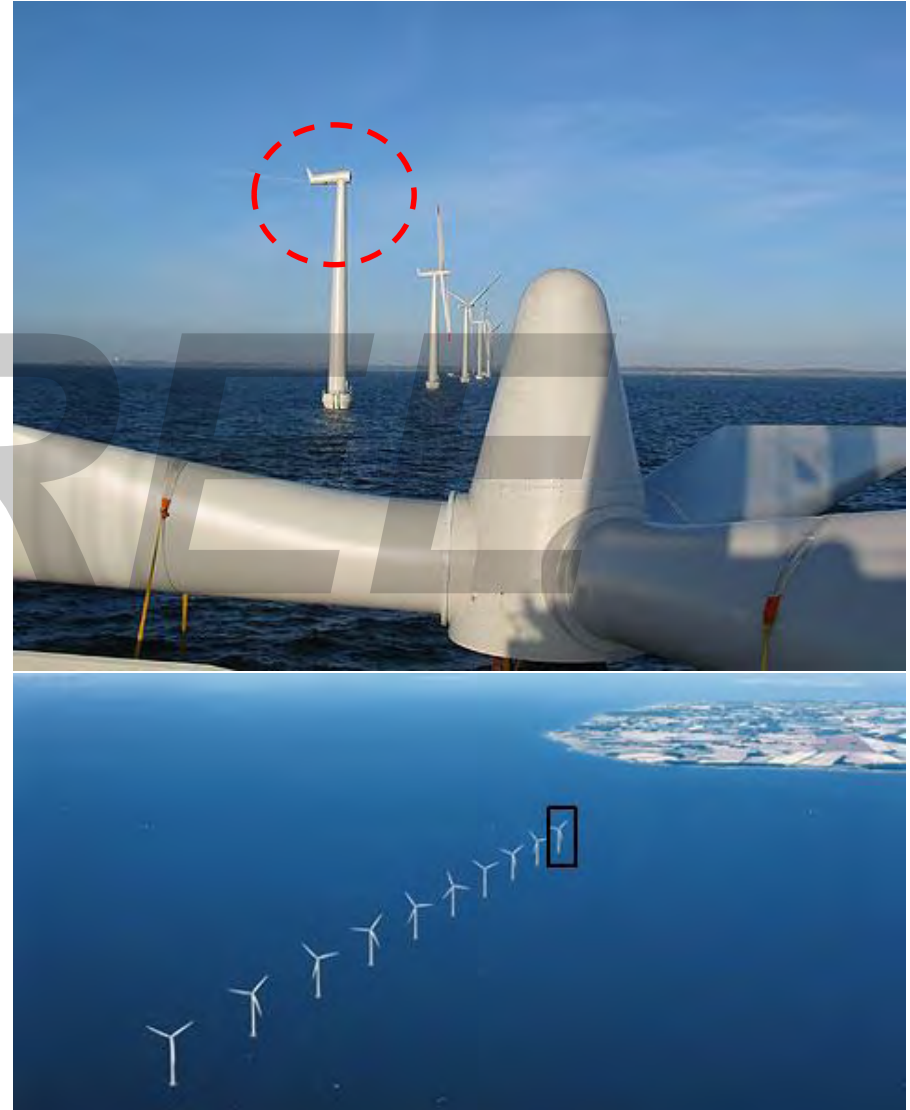
## 安裝及產品瑕疵

### 鼻錐及葉輪掉落

- 時間：2015年11月28日
- 地點：丹麥 Denmark
- 風場：Paludans Flak Offshore Wind Farm
- 風機：Siemens SWT-2.3-82 turbine
- 原因：

連接機艙及塔筒的法蘭焊道裂縫瑕疵及未預期的外力與振動，導致機艙及葉片掉落海中。(a fracture in the welding connecting the tower top flange with the tower)

- 之後Siemens啟動檢查另外750個風機的工作。



# 海事工程事故

## 離岸變電站之火災

### 德國BARD：髒電(Dirty electricity)致火災事故



#### 案例說明

- 時間：2014年3月某日
- 地點：北海區
- 風場：BorWin1風電場
- 施工方：ABB、Tennet
- 事故原因：  
髒電(Dirty electricity)致火災而燒毀。
- 無人死亡。



# 海事工程事故

## 離岸變電站之火災

### 中國案例

#### 案例說明

- 時間：2017年7月14日
- 地點：江蘇省濱海縣濱海北區
- 風場：H2#400MW海上風電場
- 施工方：華電重工
- 事故原因：  
35KV電纜爆燃，導致220KV海上升壓站起火燒毀。
- 19人跳海，18人生還，1人死亡。



# 海事工程事故

## 海事場址之操作失誤

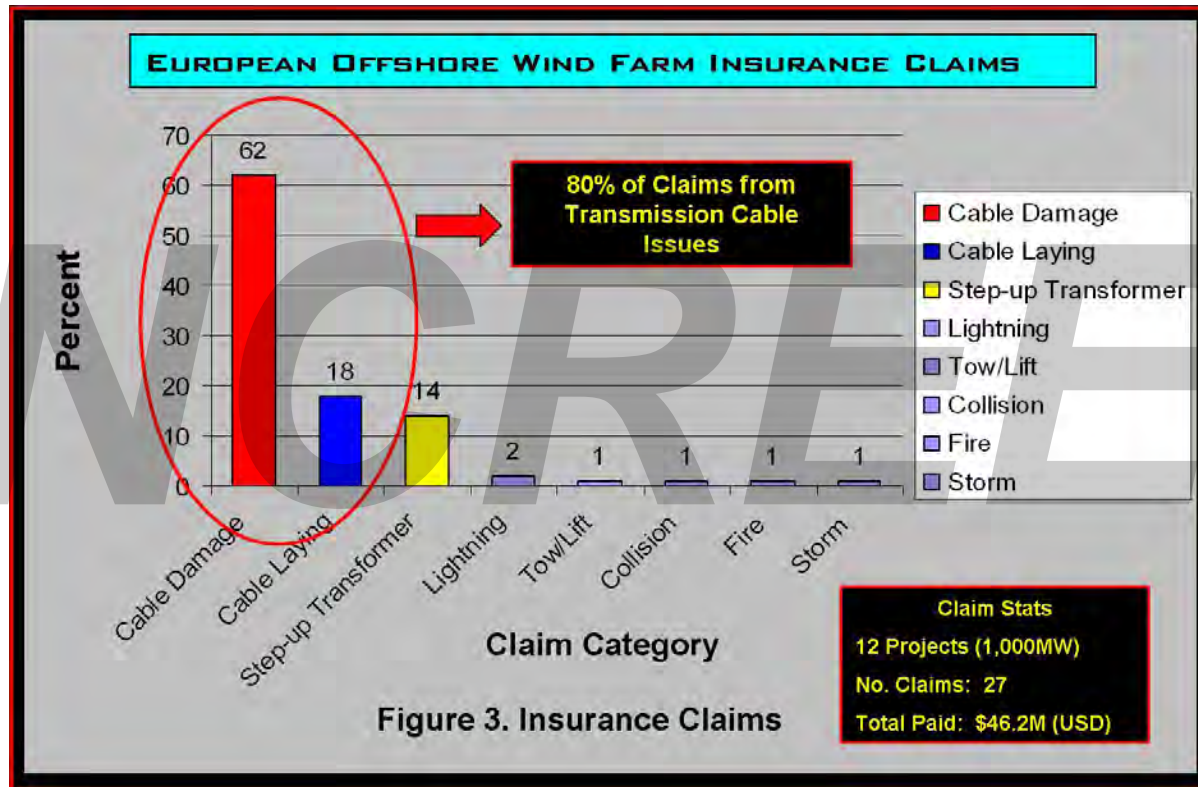
### 齒輪箱缺失致機艙吊換之事件



德國**Alpha Ventus**離岸風場，六台AREVA 5MW風力機因齒輪箱出問題也全部吊下更新，另外又發生風電安裝船落腳壓損了海底電纜之事件。

# 海事工程事故

## 海底電纜損壞之投訴統計



來源： Don Welch (3U Technologies, LLC) and Tim Axelsson (3U Technologies, LLC)

- Middelgruden, Horns Rev, Burbo Bank and Thanet等風場都曾發生過海纜受損的事件。
- Bligh 離岸風電示範前導計畫(英國的第一個案子)：接近 j-tube 的海纜沒固定好以致每當海浪海流來時，海纜就被沖到去撞擊海床，最後就斷裂掉。

海底電纜受外力拉扯、施工不當等，問題層出不窮，有80%保險投訴屬於海纜事故。 103

# 結語

## 歐洲離岸風電施工之寶貴教訓

- 離岸風電絕不是僅將風力機放置在水中而已
- 各離岸之狀況都不一樣，無法複製
- 進出離岸深受**WWW ( Weather, Wind and Waves )**之限制
- 離岸現地的**天候**與**海象**變化多端，不易預測，時常**WOW ( Waiting on Weather )**
- 工程延宕耗時比原估計更**冗長**
- 過程遠比原先所預期的**複雜**
- 絕大部分事項存在著**不確定因素**
- 工欲善其事，必先利其器，若欲足以對應天候與作業，就請使用適當的**船機**
- 若要對**設備**有信心－出發前，請每樣多多試用看看！
- 設法在陸上作完工作，儘量減少離岸工作
- **腐蝕**每天24小時持續性耗損，是結構壽命的殺手，補救代價高、效果差。
- **除環境外，人為的財務能力、製造供應鏈、工程介面的風險顯為嚴重**
- **Key Plans and Plants are the Key Issues for success!**

敬請指教

謝謝!!

NCREE