DOI: 10.6653/MoCICHE.202404_51(2).0006

我國浮式風機繫泊系統與錨錠基礎選型考量初探

郭玉樹* ／國立成功大學 水利及海洋工程學系 教授
張上君 ／台灣世曦工程顧問股份有限公司港灣部 副理
曾玉修 ／超島環能有限公司 工程師
許惠婷 ／國立成功大學 水利及海洋工程學系 研究助理
紀昭銘 ／逢甲大學土木工程學系 助理教授

我國離岸風場開發已逐漸自近岸朝向水深接近百米之區域，目前已有數家離岸風電開發商規劃採用浮式風機爭取發開機會。由於我國尚無浮式風機水下錨錠基礎安裝經驗，本文參考目前國際常用之浮式錨錠基礎型式：表面重力式錨錠、吸力樁錨或吸力沉箱錨、嵌入式拖錨、板錨、動力安裝魚雷錨、打擊樁錨或鑽掘樁錨等，配合我國浮式風場潛在場址之水深條件，評估單柱浮筒式、駁船式、半潛式、張力腿平台式等浮式平台型式於我國之適用性。經與內專家學者會議討論，初步認為懸垂式錨繫系統、緊拉式錨繫系統或半緊拉式錨繫系統可能最適用於我國浮式離岸風場開發。上述繫泊系統其對於錨錠基礎施加之作用力方向均不相同，若將我國海域土壤條件納入評估，以打擊樁錨搭配懸垂式或緊拉式錨繫系統，結合半潛式浮動平台，可能適用於我國浮式風機之保守設計考量水下基礎型式選擇。然而，於施工成本考量下，採用懸垂式錨繫系統搭配嵌入式拖錨，亦可為浮式風機水下基礎之選型方案。此外，吸力錨或板錨亦可能於施工減噪等其他工程考量下，成我國浮式風機水下錨錠基礎之候選型式。

前言

我國天然環境條件嚴苛，高度仰賴進口能源，為了降低進口能源比例，同時因應國際《巴黎協定》（Paris Agreement, PA）減少碳排放量，發展再生能源為台灣能源政策首要目標之一。我國規劃再生能源配比於 2025 年達到我國能源供給 15.1% 之目標，其中風能佔 5.3%。考量我國陸域風場開發逐漸飽和，離岸風電將是我國於 2025 年達成碳減排目標的關鍵開發項目之一。

考量離岸風電開發具備高成本及高技術門檻之困難，經濟部參考國際風電開發經驗，秉持先陸域後離岸、先示範後區塊及先淺海後深海之推動策略，循序開發我國離岸風力發電。依 2012 年 7 月公告實施之「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，評選台電公司、福海公司及海洋風電限公司投入示範風場開發。而 2018 年 1 月公告之「離岸風力發電規劃場址容量分配作業要點」則採先遴選後競價的模式分配 5.5 GW 之潛力場址併聯容量，共計 8 家業者，13 個潛力場址獲選。上述離岸風場因所在區位水深均小於 50 m，故具有成本優勢之固定式水下基礎為其主要使用基礎型式。

承接示範及潛力場址開發，經濟部能源局陸續於 2020 年 6 月及 2020 年 8 月辦理離岸風電區塊開發規劃說明暨意見徵詢會議，邀集開發商、系統商等利害關係人共同研商第三階段離岸風場區塊開發機制，並於 2021 年 8 月 19 日正式公告「離岸風力發電區塊開發場址容量分配作業要點」。我國規劃於 2026 年至 2035 年

* 通訊作者，kuoyushu@mail.ncku.edu.tw

間逐年釋出 1.5 GW 開發量，累計完成 15 GW 之離岸風場區塊開發，開發場址將涵蓋 50 m 至 70 m 之過渡深水區，如圖 1 所示。

依據經濟部工業局提供之離岸風電區塊開發產業關聯規劃說明資料，浮式風機採用之浮動式平台及水下基礎均為國產化均為產業關聯方案在地化之項目。考量過渡深水區所在場址水深範圍，目前已有部分開發商表示可能採用浮式風機進行離岸風場開發。表 1 為目前我國各離岸風場開發商規劃投入第三階段區塊開發之進度現況。

雖然，最具有浮式風機設置經驗之萊茵再生能源已於 2023 年 5 月正式宣佈終止在我國之所有離岸風場投資計畫；目前仍有風睿能源、福廷綠能源、台亞風能、哥本哈根基礎建設金、貝富新能源（BlueFloat Energy）、伊比德羅拉（Iberdrola）表態考慮採用浮式風機投入第三階段離岸風場區塊開發。

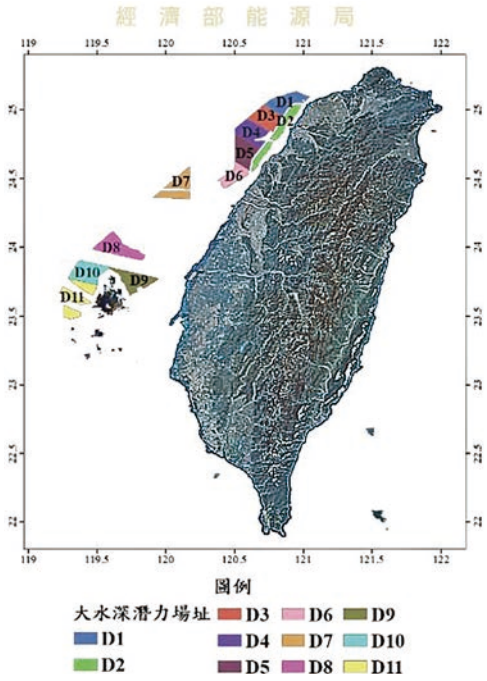


圖 1　過渡深水區可能開發場址 [1]

表 1　離岸風場區塊開發廠商投入現況

編號	開發案名稱	開發商	開發容量（MW）	獲配容量（MW）	水深（m）			目前進度
					max	min	mean	
	海妙	哥本哈根基礎建設金	1800	500	71	52	60	2027 年併網
	海佑		600		47	21		通過環評
	海汎		750		96	70		環評審查中
	海成		750		92	46	-	環評審查中
	海利		1800		88	42	-	環評審查中
#11	海鼎一	科理歐永續能源	548		50.7	21.9	32.6	通過環評
#16	海鼎二		732	600	48.8	19.1	28.9	2026 年併網
#17	海鼎三		720		44.9	34	39.3	通過環評
	加能	北陸能源	602	500	60	52	-	2027 年併網
	北能		1204		71	56	-	通過環評
	環洋	台亞風能	440	440	45	15	-	2027 年併網
	環澎一		1065		72	50	-	公開會議
	環澎二		1065		75	52	-	公開會議
	環澎三		1500		91.7	38	-	公開會議
#28	海峽	天豐能源	300	300	37.5	22.2	30.0	2026 年併網
#16	達天		700	165	48.8	19.1	28.9	2027 年併網
#17	又德		700		44.9	34	39.3	通過環評
	美森	德能集團	240		60	50	-	通過環評
#13	大彰化東北	沃旭能源	570		43.9	34	40.6	通過環評
	旭風二		750		48.8	19.1	28.9	通過環評
	旭風三		750		44.9	34	39.3	通過環評
	沃能一		2400		70	45	-	通過環評
	沃能二		600		70	45	-	通過環評
	海盛（Formosa 4）	風睿能源	1104	495	75	55	-	2027 年併網
	海碩（Formosa 5）		1536		80	55	-	通過環評
	竹廷	福廷綠能源	1200		90	60	-	公開會議
	偉娜	韋能能源	1204		78	52	-	公開會議
	韋龍		600		62	40	-	公開會議
	新風	萊茵再生能源	900		95	65	-	公開會議
	萊風		950		90	65	-	公開會議
	彰風		900		65	45	-	公開會議
	萊中		600		60	50	-	公開會議
	海安		2500		70	55	-	公開會議

浮式風機全球發展現況及趨勢分析

現階段全球離岸風力發電機多採用固定式基礎，隨著近岸水深較淺之場域已於近年陸續開發，離岸風機朝大容量機組發展。於追求更穩定的風況條件與發電效益之目標下，離岸風場已逐漸朝向水深更深、離岸更遠之區域開發。根據 DNVGL [2] 報告，截至 2020 年全球浮式風機總裝置容量約達到 100 MW，且預估於 2050 年浮式風機設置成本將比現今降低約 70%，使得固定式基礎離岸風機與浮式風機之開發成本逐漸接近，且浮式風機屆時之總裝置容量將超過 250 GW，佔離岸風電 20% 以上，約佔全球電力供應 2%。

表 2 彙整各國已開發之浮式風機離岸風場分佈、發電機容量、浮台型式、繫纜與錨錠基礎型式、水深條件等資料 [3-5]，顯示目前已有許多國家投入浮式風機測試，包括挪威、葡萄牙、日本及美國外海均有相關測試機組；而法國與英國亦將陸續建置浮式離岸風場。其中，又以日本及法國最為積極投入。全球現階段營運及規劃中之浮式離岸風力場計畫詳如圖 2 所示。

2009 年 Statoil 公司在挪威裝置全球首座實機等級（Full Scale）浮式風力機，並於 2016 年取得蘇格蘭政府許可，在蘇格蘭設置 5 座柱狀浮筒（Spar-buoy）浮式風機。葡萄牙 2011 年建置的浮式離岸風場（WindFloat）為全球最早採用浮式風機之離岸風場，隨後蘇格蘭也於 2016 年建置高風風場（Hywind Scotland）。葡萄牙的大西洋風浮風場（WindFloat Atlantic）與蘇格蘭的 Hywind Scotland 風場是少數採用浮式風機的商轉離岸風場。Hywind Scotland 風場裝置容量為 30 MW，搭載 Siemens

表 2　目前已開發之浮式風機離岸風場

計畫名稱	國家	開發容量	運轉年	風力機	浮動平型式	錨錠基礎	離岸距離 (km)	水深 (m)
Hywind Demo	挪威	2.3 MW	2009	Siemens 2.3 MW	Spar-buoy	嵌入式拖錨	10	220
WindFloat1 prototype	葡萄牙	2 MW	2011 ~ 2016	Vestas 2 MW	Semi-submersible	嵌入式拖錨	5	50
Kabashima	日本	2 MW	2013	Hitachi 2 MW	Spar	—	—	—
Fukushima FORWARD（福島未來）	日本	2 MW	2013 ~ 2021	Hitachi 2 MW	Semi-submersible	嵌入式拖錨	20	100 ~ 150
Poseidon P37 Floating Power Plant	丹麥	0.03 MW	2013	—	—	—	—	—
SEM-REV	法國	8 MW	2014	—	—	—	20	35 ~ 40
Fukushima FORWARD（福島新風）	日本	7 MW	2015 ~ 2021	Mitsubishi 7 MW	Semi-submersible	嵌入式拖錨	25	100 ~ 125
Fukushima FORWARD（福島浜風）	日本	5 MW	2016 ~ 2021	Hitachi 5 MW	Spar-buoy	—	—	—
Hywind Scotland	英國	30 MW	2017	Siemen 6 MW	Spar-buoy	吸力錨	25	95 ~ 120
FloatGen	法國	2 MW	2018	Vestas 2 MW	Semi-submersible	—	—	—
Kincardine Pilot	英國	2 MW	2018	MHI Vestas 2 MW	Semi-Submersible	—	—	—
Eolink Prototype	法國	200 kW	2018	Eolink 0.2 MW	Semi-Submersible	—	—	—
Kitakyushu NEDO t	日本	3 MW	2019	Aerodyn 3 MW	Semi-submersible (Damping Pool)	—	—	—
WindFloat-Atlantic Phase2	葡萄牙	25 MW	2019	MHI Vestas 8.3 MW	Semi-submersible	—	—	—
Windfloat Atlantic No. 3	葡萄牙	25 MW	2020	MHI Vestas 8.4 MW	Semi-submersible	嵌入式拖錨	20	100
SeaTwirl S2	瑞典	1	2020	—	—	—	—	—
Dounreay Tri	英國	10	2020	10 MW	multi-turbine	—	—	—
Kincardine	英國	50	2020	MHI Vestas V80-2.0 MW MHI Vestas V164-9.5 MW	semi-submersible	嵌入式拖錨	30	60 ~ 80

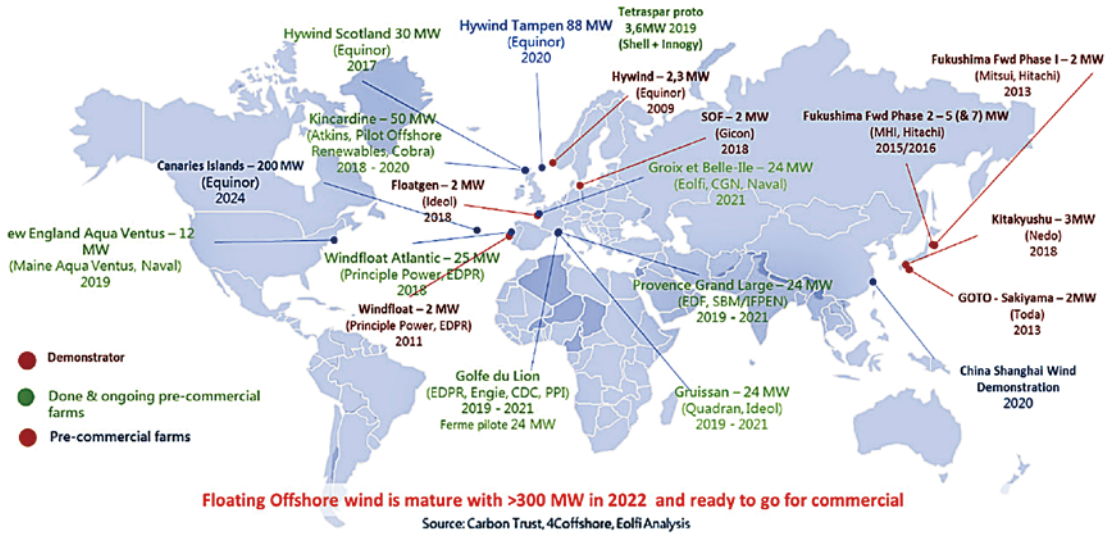


圖 2　全球浮式離岸風場新增裝置容量統計圖
資料來源：EOLFI, 2019 離岸風電工程技術服務交流國際研討會

公司 6 MW 風力發電機，於 2017 年啟用商轉。葡萄牙（WindFloat-Atlantic Phase1）則已於 2016 年完成除役。而積極建置先導型浮式風機的日本，其三座示範機組（福島未來、福島新風、福島浜風）均已除役，其原因在於三座風機之發電容量因數難以滿足商業開發目標至少容量因數達 30% 的經濟效益（2017 年 7 月至 2018 年 6 月福島新風的容量因數為 3.7%、福島浜風的容量因數為 18.5%、福島未來容量因數為 32.9%）[6]，經日本政府協尋產業界投入資金接手營運未果之狀況下，最終決定於 2021 年完成除役。

浮式風機於 2009 年在挪威（Hywind Demo）安裝的 Siemens 2.3MW 至今日將在法國（EFGL）架設的 MHI Vestas V164-10.0 MW，其製造技術日益成熟，且受益於浮式風場的大量開發，商業化和標準化程度的提高亦有助於實質降低建置成本。參考潛在浮式開發商業者之統計資料，目前全球浮式風場仍多以示範離岸風機或商業化前示範風場為主，後續全球可能新增浮式風機離岸風場之發展累積裝置容量如圖 3 所示，其中，2025 年後將陸續有多個浮式風場達到商業化運轉之階段。

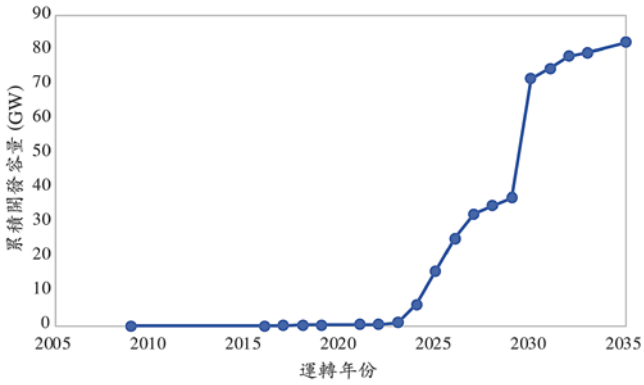


圖 3　全球浮式離岸風場累積開發容量

浮式風機之浮動平台、錨繫系統與錨錠基礎

浮式風機支撐結構包含塔架（Tower）、浮動平台（Floating Platform / Floater）、繫泊系統（Mooring System）與錨錠基礎（Anchor Foundation）。離岸風機之塔架主要由風力發電機系統商設計，浮動平台、繫泊系統與錨錠基礎則需視風場開發區為環境條件進行選定。以下針對浮式風機之浮動平台、錨繫系統與錨錠基礎進行說明。

(1) 浮動平台

常見的浮式風機浮動平台型式包含單柱浮筒式（Spar-buoy）、駁船式（Barge）、半潛式（Semi-submersible）、張力腿平台式（Tension Leg Platforms, TLP），如圖 4。

(2) 繫泊系統

搭配浮台之繫泊系統主要可分三種類型：懸垂式錨繫系統（Catenary Mooring System）、緊拉式錨繫系統（Taut Leg Mooring System）或半緊拉式錨繫系統（Semi-Taut Mooring System）、以及張力式錨繫系統（Tension Leg Mooring System），如圖 5 所示，各類錨繫系統之適用性與優缺點比較如表 3，各錨繫系統說明如下：

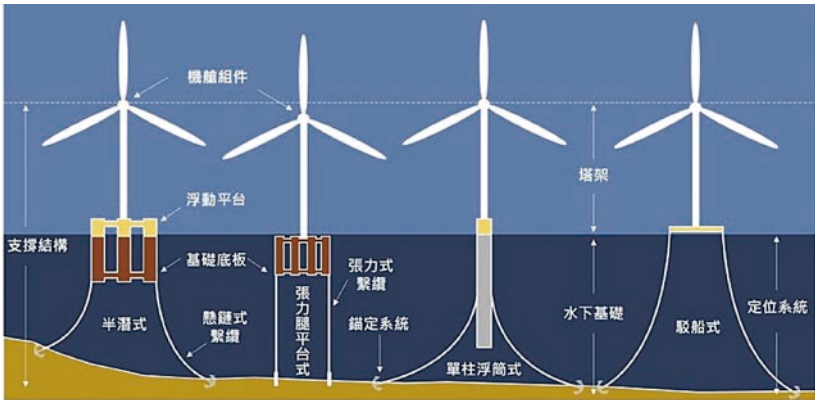
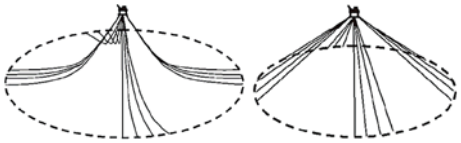


圖 4　浮式風機之各部元件（改繪自 Golightly [7]）



(a) 懸垂式錨繫系統　(b) 緊拉式錨繫系統　(c) 張力腿錨繫系統

圖 5　懸垂式錨繫系統、緊拉式錨繫系統、張力腿錨繫系統 [8]

(a) 懸垂式錨繫系統

懸垂式錨繫系統之繫纜連接離岸平台與錨錠基礎，其分部形狀為曲線形式，如圖 5(a)。繫纜接觸海床的位置距錨錠基礎仍具有相當之距離，故接觸海床之繫纜與海床的夾角為 0°，繫纜於海床面之平躺段則可長達百公尺至公里，水平接觸於海床之繫纜將對錨錠基礎施以側向力為主。若採用此類錨繫系統搭配拖嵌入式拖錨（Drag Embedded Anchors, DEAs）需特別注意，不可使拖嵌入式拖錨承受過大的垂直荷重，否則易造成流錨的現象。

(b) 緊拉式錨繫系統與半緊拉式錨繫系統

由於懸垂式錨繫系統的繫纜布置需有極大的水平空間，若應用於水深較大的條件時，懸垂之繫纜自重作用力條件可能導致須選用較大尺寸的繫纜，不利設計與施工。因此，對於水深較深之場址，可採用緊拉式錨繫系統，以減少錨繫系統之佔地面積。由於緊拉式繫纜採用單位質量較低之聚酯材料，因此浮動平台與緊拉式繫纜之錨錠基礎連接點（anchor attachment point）之夾角將隨繫纜長度些微變化，一般約介於 30° 至 45°，故錨錠基礎將受到傾斜拉拔力作用。緊拉式錨繫系統之錨錠基礎覆蓋範圍半徑與水深比值約為 2；半緊拉繫纜約為 3，懸垂式繫纜則約為 4，緊拉式與半緊拉式繫纜近似直線連接離岸平台與錨錠基礎之優勢可使離岸平台間的間距可更緊密排列，如圖 5(b) 所示。

(c) 張力腿錨繫系統

由於張力腿錨繫系統之錨錠基礎位置幾乎於離岸結構的正下方，此錨繫系統可使離岸平台最緊密的排列，如圖 5(c)。由於此種配置將使錨錠基礎受較大的垂直拉力作用，一般張力平台錨繫系統多搭配樁錨；雖然張力腿錨繫系統亦可採用採用重力式安裝的 VLA（Vertical Load Anchor）錨錠基礎，但須審慎控制平台的尺寸與受力條件。

表 3　各錨繫系統之適用性與優缺點

繫泊系統	懸垂式	緊拉式	張力腿
佔地面積	大	大	小
擺動幅度	大	中	小
安裝成本	中	中	大
錨錠基礎受力方向	側向	側向及軸向（傾斜）	軸向
適用錨錠基礎	1. 重力式基礎 2. 樁錨基礎 3. 嵌入式拖錨 4. 吸力沉箱錨	1. 樁錨基礎 2. 吸力沉箱錨	1. 樁錨基礎 2. VLA 3. 板錨
優點	適用水深條件廣泛	風機排列可較懸垂式錨繫系統緊密	1. 結構較輕 2. 平台穩定性高，不需要動態穩定系統
缺點	佔地面積大、風機排列密度低	錨纜尺寸較大不利設計與施工	1. 安裝過程複雜，通常需要特殊設計之安裝船隻 2. 金屬錨鍊受反覆拉力易產生疲勞

懸垂式錨繫系統由三個部分組成，分別是懸浮在水中的懸浮段（suspended line）、在海床上的平躺段（lying line）、以及沒入土中的沉埋段（embedded line）。此三段長度與受力會隨著安裝的進度或外力條件改變而有所不同，但維持適當長的平躺段是必要的，因為在沒入點（dip-down point/mudline point）的角度會影響拖錨的埋置深度，越大的沒入點角度將使得拖錨貫入深度變淺。因此，嵌入式拖錨不適合作為張力平台錨繫系統之錨錠基礎；若緊拉式錨繫系統擬以嵌入方式安裝錨錠基礎，則應審慎考量嵌入式錨錠基礎之安裝深度足以提供足夠之垂直抗拉力。

綜合浮動平台與錨繫系統之特性，表 4 整理浮動平台與錨繫系統之匹配性與適用水深條件。

(3) 錨錠基礎

一般常見之浮式結構錨錠基礎包括表面重力式錨錠（surface gravity anchor）及嵌入式錨錠（Embedded anchor）。表面重力式錨錠以錨體自重與海床接觸摩擦力固定繫纜，常見之型式為包括箱狀錨錠 / 箱錨（Box anchor）及格柵式錨錠（Grillage and berm anchor）；嵌入式錨錠則利用錨體貫入海床中，藉由錨體自重、接觸介面摩擦力或凝聚力及被動土壓力固定繫纜，包括打擊樁錨或鑽掘樁錨（Driven or drilled and grouted pile anchor）、吸力樁錨或吸力沉箱錨（suction anchor/caisson）、嵌入式拖錨 DEA（Drag Embedded Anchor）、板錨 VLA（Vertical Load Anchor）或 SEPLA、動力安裝魚雷錨等，各類錨體型式如圖 6 所示，其優缺點整理如表 5。

我國浮式風機繫泊系統與錨錠基礎選型考量

我國離岸風場第三階段區塊開發對應場址水深條件多小於 100 m；因此，難以使用單柱浮筒及張力腿平台等需要大水深條件提供足夠浮力之浮台型式。因此，半潛式平台為我國西部離岸風場較適用之浮動平台型式。

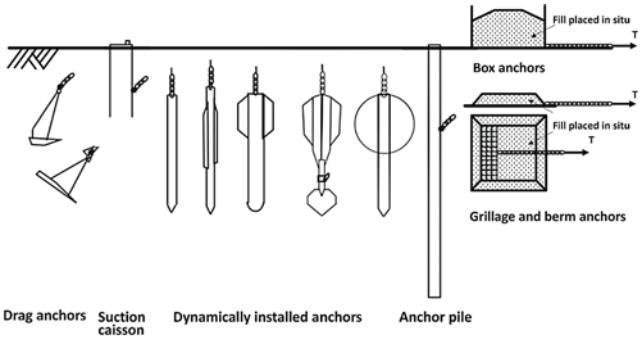


圖 6　常見離岸浮動平台錨錠基礎型式（改繪自 Randolph and Gourvenec [8]）

若浮式風機採用半潛式平台，可搭配懸垂式錨繫系統或緊拉式錨繫系統；由於懸垂式錨繫系統之繫纜主要對於海床面施加水平拉力，而緊拉式錨繫系統則對海床面施加傾斜拉力；因此，當選用懸垂式錨繫系統或緊拉式錨繫系統時，可搭配嵌入式拖錨、板錨、吸力樁錨或吸力沉箱錨、打擊樁錨或鑽掘樁錨等錨錠基礎型式。由於嵌入式拖錨安裝簡易，於施工成本考量下，懸垂式錨繫系統搭配嵌入式拖錨可為浮式風機水下基礎之選型方案。

目前國際既有浮式風機亦多採用嵌入式拖錨，如葡萄牙的 WindFloat Atlantic 與日本福島離岸風場均採用 Vryhof 公司設計之拖錨基礎。如同石油天然氣工業，嵌入式拖錨最常用安裝於軟弱之均質黏土海床。然而，我國西部離岸風場表層海床土壤多為疏鬆無凝聚性土壤 [9-12]，或砂土與黏土互層之軟弱土層；由於砂質海床面地形易受海流作用而改變，我國西部彰化近海砂波運動活躍。郭玉樹等人 [12] 及 Liao [13] 以中能離岸風場提供之海床地形實測資料進行分析研究，於一年期間之彰化近海砂波運動引致海床高程變化可能高達 6.7 m，且砂波運動為週期性自然現象。由於嵌入式

表 4　浮式平台與繫泊系統之匹配性與優缺點

浮動平台	Semi-submersible Platform 半潛式平台	Spar-buoy 單柱浮筒式	Tension Leg Platform（TLP） 張力腿平台
搭配錨繫系統	懸垂式 / 緊拉式	懸垂式	張力腿
適用水深	60 m ~ 300 m	80 m ~ 300 m	50 m ~ 200 m
結構複雜度	中	低	中
優點	1. 淺水域至深水域均可裝置 2. 安裝僅需拖船 3. 可拖回港口進行維修	1. 結構簡單，易於大量製造 2. 平台穩定性高，不需要動態穩定系統	1. 結構較輕 2. 平台穩定性高，不需要動態穩定系統
缺點	1. 平台結構較複雜 2. 可能需要動態穩定系統（active ballast systems）導致成本較高	1. 安裝地點需具備足夠水深 2. 需要具起重能力之安裝船隻 3. 不易拖回港口進行維修	1. 安裝過程複雜，通常需要特殊設計之安裝船隻 2. 金屬錨鍊受反覆拉力易產生疲勞

表 5　錨錠基礎適用性與優缺點

錨錠	表面重力式錨錠	吸力樁錨或吸力沉箱錨、嵌入式拖錨、板錨、動力安裝魚雷錨	打擊樁錨或鑽掘樁錨
適用海床土壤條件	適合應用的土壤條件廣泛	軟弱黏土、均質土壤、砂質土壤（應用案例較少）	砂土、黏土
適用受力條件	垂直力	水平力、傾斜力（須審慎評估）：吸力錨、嵌入式拖錨、板錨 垂直力：動力安裝魚雷錨	水平力、垂直力、傾斜力
優點	1. 適合應用的土壤條件廣泛 2. 可提供較大之軸向反力且可以縮短繫泊纜繩之範圍 / 佔地面積 3. 施工材料易於獲得且具經濟性 4. 可容易配合案場條件進行現地施工 5. 繫泊纜繩連結處易於檢查和維修	1. 於石油天然氣工業已有大量使用經驗 2. 安裝簡易快速 3. 部分錨錠基礎型式可完全移除 4. 可搭配懸垂式、半緊拉式、緊拉式之錨纜	1. 可準確安裝基礎位置、方向與貫入深度 2. 可利用打擊樁之設計經驗 3. 已具完善的設計和安裝程序 4. 可搭配懸垂式、半緊拉式、緊拉式、張立腿之繫泊系統
缺點	錨錠基礎尺寸受搬運設備限制 側向阻抗能力低於其他錨錠基礎	1. 同時抵抗垂直作用力與水平作用力之能力較差 2. DEAs 大部分僅配懸垂式一起使用，因此所需的纜線布放範圍極大，此可能降低風機排列的密度，且適用水深、條件與環境等需與錨繫系統共同考慮。 3. 營運過程中可能影響鄰近海床的纜線、輸油管 4. 在互層土壤中的行為較不易精確掌握	1. 基礎體積與重量大，運輸與碼頭可能需要井架駁船。 2. 工程費用可能較高 3. 需注意分層土壤特性與較深之土壤鑽探資料

拖錨之貫入軌跡與海床土壤條件有關，一般嵌入式拖錨貫入砂質海床深度有限，台灣西部海域劇烈之砂波運動極可能使嵌入式拖錨之埋置深度淺化，造成承載力下降。

此外，由於我國位於強震區，考量我國西部離岸風場之海床表層均為無凝聚性土壤，故各風場均依照 CNS 15176-1 [14] 之要求，進行海床土壤液化潛勢分析。分析結果顯示，各離岸風場之表層 30 m 海床砂質土壤，於設計地震條件下，均可能具有厚度不等之可液化土層。若嵌入式拖錨、板錨、吸力沉箱之安裝深度小於可液化土層深度，則均可能於地震土壤液化後產生錨錠基礎埋置深度改變之狀況。

基於水深條件及海床土壤條件之考量，以打擊樁錨搭配懸垂式或緊拉式錨繫系統，結合半潛式浮動平台，將為我國浮式風機保守設計考量之水下基礎型式選擇。然而，安裝打擊樁錨所造成之水下噪音遠大於安裝嵌入式拖錨、板錨與吸力錨。因此，可提供足夠埋置深度與水平承載力之吸力樁錨，將為搭配懸垂式錨繫系統之另一可行之工程方案。而對於砂波運動與土壤液化影響程度較小之浮式離岸風場潛在區位，仍可能採用成本較低之嵌入式拖錨作為錨錠基礎。

考量懸垂式錨繫系統之佔地面積較廣，而我國第三階段過度深水區之離岸風場面積有限，若考慮達成國家再生能源發展政策之發電容量需求目標，則可能需採用緊拉式錨繫系統，以增加浮式風機設置數量；則吸力錨、板錨將是較為合適的選擇。此時，需特別考量吸力錨與板錨於砂質土壤之安裝難度遠高於目前國際鑽油平台所處之凝聚性土壤海床條件。

參考文獻

1. 張欽森、李信志、劉新達、張上君（2018），「離岸風場區塊開發海域環境建構計畫（1/3）」成果報告，經濟部能源局。
2. DNVGL (2020), New Report - Floating Wind: The power to Commercialize.
3. Fukushima Offshore Wind Consortium, http://www.fukushima-forward.jp/
4. Quest Floating Wind Energy, https://questfwe.com/
5. 4C Offshore, https://www.4coffshore.com/
6. 松本真由美（2019），「福島・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業 のいま」，国際環境経済研究所。
7. Golightly. C.R. (2017). “Anchoring for Floating Wind Turbines Future Offshore Foundations, Brussels.” Paper presented at Offshore Future Foundation Windpower Monthly, Brussels, 8th November 2017.
8. Randolph, M.F. and Gourvenec, S. (2011). “Offshore Geotechnical Engineering,” Spon Press.
9. 郭玉樹（2017），「區域地質模型建構及環境資料庫雛型建置－區域工程地質比對、模式建置、應用與災害風險分析」成果報告，財團法人工業技術研究院。
10. 郭玉樹（2018），「區域地質模式建構與大水深區海域環境資料庫建置－區域工程地質模型建置與應用」成果報告，財團法人工業技術研究院。
11. 郭玉樹、柴駿甫（2018），「離岸風場地工設計參數資料庫建置與應用」成果報告，科技部與中國鋼鐵股份有限公司。
12. 郭玉樹、劉家瑄、蘇志杰、張懿、苗君亦、呂宗行、蕭士俊、董東璟、李心平、許泰文、許丁友、徐子圭、柴駿甫、盧恭君（2018），「科技部第二期能源型國家科技計畫－離岸風機水下基礎設計暨維護決策資料庫與展示平台開發」成果報告，科技部。
13. Liao, Y.-H. (2020). “Sand Wave Migration and Evolution in Nearshore Area of Central Taiwan Strait,” Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taiwan, 138p.
14. 經濟部標準檢驗局（2021），「CNS 15176-1 風力機－第 1 部：設計要求」，中華民國國家標準。