

離岸風力機組傳動鏈運維發展趨勢概況

The overview of drive train O&M for offshore wind turbine

作者 1.林榮貴 工研院綠能所 資深工程師(稿費受款者)

2.張家銘 工研院綠能所 經理

* 投稿「機械月刊」 * 本文為「自撰」

* 關鍵字：離岸風力發電機、傳動鏈、運維

摘要

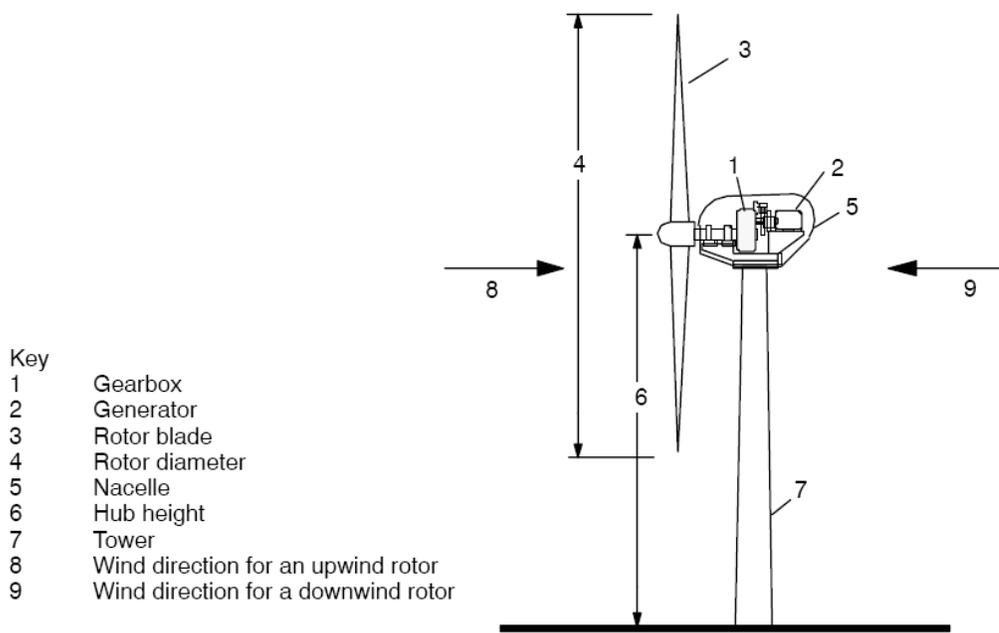
離岸風力發電機為長壽命及高效能發電產品，可用率為風力發電機效能中之重要指標，而傳動系統則為提高風力發電機可用率極其重要關鍵部份，其需要有非常高的可靠度設計與運維建置，其相關傳動運維研究更是相當重要的一環。本文乃依全球主要離岸風力發電機組相關技術文獻與規範如 IEC、ISO 等相關現況與實際投入經驗來進行分析。其內容包含離岸風力發電機簡介、離岸風力發電機傳動鏈運維要求、離岸風力發電機傳動鏈運維特性、離岸風力發電機傳動鏈運維發展概況、離岸風力發電機傳動鏈運維專利分析概況等。

前言

國內自 1980 年起開始投入風力發電相關技術研究，為引領國家風能發展，發揮創造自有、乾淨綠色能源之功效，經濟部能源局積極推動風電開發應用，並帶動台電公司及民間業者相繼投入陸域及離岸風能開發；與過去陸域風電相較，離岸風電面臨較多的開發技術的挑戰和風險。世界上的原油等能源正在快速減少當中，風力發電為一綠色環保的新興能源最有效能之一。可用率為風力發電機效能中之重要指標，風力發電功能為將葉片轉動之能量透過傳動系統傳輸至發電機，其動力傳遞過程為機械能轉換為電能，將葉片主軸輸入之機械能傳動到發電機轉換為電能，施以控制使風力發電機能夠以最高效能運轉發電。離岸風力發電機為長壽命及高效能發電產品，其需要有非常高的可靠度設計與運維建置，其傳動運維研究更是相當重要的一環。本文乃依全球主要離岸風力發電機組相關技術文獻與規範如 IEC、ISO 等相關現況與實際投入經驗來進行分析。其內容包含離岸風力發電機簡介、離岸風力發電機傳動鏈運維要求、離岸風力發電機傳動鏈運維特性、離岸風力發電機傳動鏈運維發展概況、離岸風力發電機傳動鏈運維專利分析概況等。

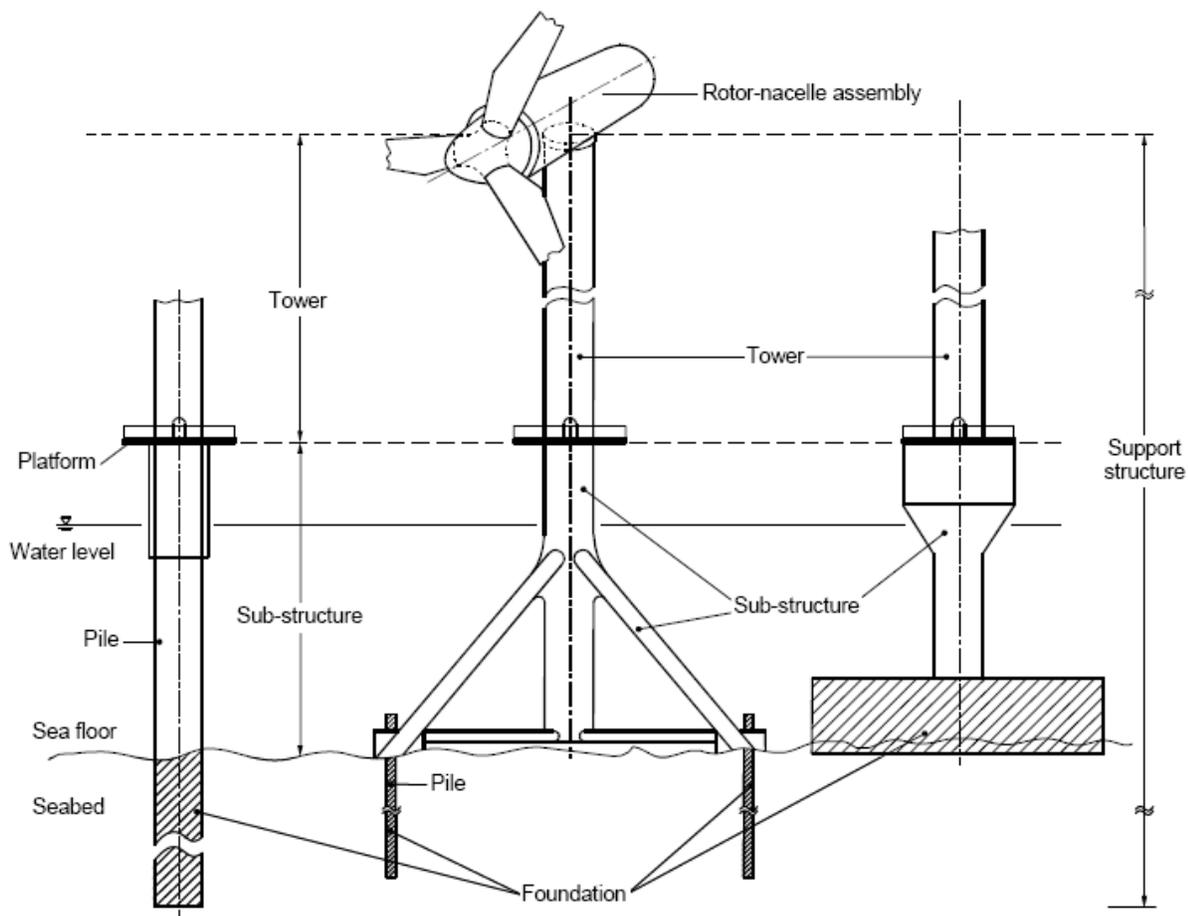
離岸風力發電機簡介

離岸風力發電機(offshore wind turbine)主要為水平軸式(horizontal axis)發電機。其透過風吹轉動葉片(rotor blade)而帶動主軸(main shaft)旋轉，經由機械能(mechanical energy) 傳動轉換為電能(electrical energy)，將葉片主軸輸入之機械能傳動到發電機(generator)轉換為電能，施以控制(control)使能以最高效能運轉發電。離岸風力發電機設備示意圖依 ISO 81400-4 如圖 1、離岸風力機系統示意圖依 IEC61400-3 如圖 2。離岸風力發電機大多配置於環境較為惡劣場所；其重量多達約兩百噸、配置又高維修不易，故其傳動可靠度極為重要；當然其傳動鏈運維要求，更須與一般設備的作法不同了。



資料來源：ISO 81400-4

圖 1 離岸風力發電機設備示意圖



資料來源：IEC61400-3

圖 2 離岸風力發電機系統示意圖

離岸風力發電機傳動鏈運維要求

依離岸風力發電機標準 IEC61400-3 要求，離岸風力發電機傳動鏈運維一般要求如下：

- 須確保製造(manufacture)、安裝(Installation)及操作維修(operation and maintenance)所需之手冊(manuals)，均符合當地法規、安全與 ISO9001 標準品管要求；其傳動鏈運維要求範圍包括安全等級(safety classes)、品質確保(quality assurance)、轉子與機艙(rotor-nacelle assembly)傳動。
- 須確保外在條件(external conditions)如環境及電的條件(environmental and electrical conditions)符合離岸風力發電機應用要求，環境條件包含風力條件、海洋(marine)條件及其他條件如腐蝕(corrosion)等，電的條件如電網條件(network conditions)；控制及保護系統運維要求須確保符合 IEC 61400-1 要求；此傳動鏈(drive train)運維包括齒輪箱(gearbox)、傳動軸 shafts)、聯結器(couplings)及輔助裝置如煞車(brakes)、旋翼驅動(pitch drive)、轉向驅動(yaw drive)。
- 須符合 IEC 61400-1 相關要求；同時，也須作防腐蝕(corrosion protection)如材料選用(material selection)及採用防腐蝕系統(corrosion protection system)。

依離岸風力發電機認證單位 GL 要求，離岸風力發電機傳動鏈運維要求如下：

- 須確保傳動鏈運維要求之相關執行(Implementation of the design-related requirements in production and erection)、品質管制系統(Quality management system)及驗證測試(Related test or witnessing of the commissioning)，均符合當地法規、安全與 ISO 9001 標準品管要求；其傳動鏈運維要求範圍包括安全系統(safety system)、防護及監控裝置(protection and monitoring device)、製造商(manufacturers)、品質管制(quality control)、材料及生產(materials and production)、傳動零組件(transmit parts)、文件(manuals)、測試(test)與定期監控(periodic monitoring)。
- 齒輪運維之齒部品質，須符合 ISO 1328-1 要求；對外齒部而言，須至少 ISO 1328-1 規範之品質等級 6；對內齒部而言，須至少 ISO 1328-1 規範之品質等級 8。
- 齒輪箱之潤滑油油位，須以如油位計、油尺等設備來監視；其油溫，須被監控；具循環潤滑之齒輪箱，須監控潤滑油進入齒輪箱及離開冷卻器之油壓。
- 齒輪箱在運轉測試期間，其潤滑油與軸承溫度，須密切被監視；其冷卻與潤滑系統，須保持穩定運轉。風機齒輪箱監控檢驗內容包括漏油、噪音、腐蝕狀況、潤滑功能、螺栓鎖緊扭力及潤滑油質。

依風力發電機驗證標準 IEC61400-22 要求，除了上述相關要求外，傳動鏈運維要求如下：

- 離岸風力機主要傳動零件如齒輪箱、傳動軸 shafts)、聯結器(couplings)及輔助裝置如煞車(brakes)、旋翼驅動(pitch drive)、轉向驅動(yaw drive)等須被認證。
- 離岸風力機齒輪箱須符合 ISO81400-4 要求；配置齒輪箱之風力機之測試，亦須符合 ISO81400-4 要求。
- 須確保運維包含定期維護(scheduled maintenance)、安全相關操作程序及維護方式、環境保護計畫、必要工具及維護設備、認可之維護人力、認可之操作及維護手冊、認可之修理及修改與更換(RMR)以及符合 ISO9001 標準品管要求。

依風力發電機標準 IEC61400-1 要求，除了上述相關要求外，傳動運維要求如下：

- 須確保傳動要求之相關風力機外在環境狀況(external conditions)、風力機等級(wind turbine classes)均符合當地法規、安全與 ISO9001 標準品管要求；所有製造偏差等相關之表面負荷分佈參數(the face load distribution factor)採用，則須依循 ISO 6336-1；對軸用軸承而言如主軸、齒輪箱，軸承壽命(90%存活機率)須至少 20 年；在執行指定維修程序下，須在齒輪箱操作溫度範圍內，能夠確保齒輪箱之冷卻及過濾系統，可維持齒輪箱相關之潤滑功能。

依風力發電機齒輪箱標準 ISO81400-4 要求，除了上述相關要求外，傳動運維要求如下：

- 須確保傳動運維要求之相關認證(certification)、操作環境(operating environment)、控制及監控(control and monitor)、認可測試(qualification testing)、啟動需求(startup requirements)、運輸及建造(transport and construction)、零件壽命(component rating)、齒輪元件(gear elements)、軸承(bearings)、傳動軸(shaft)與聯結鍵(keys)與栓槽(splines)、殼體(housings)、潤滑油種類(type of lubricant)、潤滑油粘性(lubricant viscosity)、潤滑方法(method of lubrication)、操作溫度(operating temperature)、潤滑油量(oil quantity)、溫度控制(temperature control)、潤滑油狀況(lubricant condition monitoring)、潤滑油潔淨度(lubricant cleanliness)、潤滑油過濾器(lubricant filters)、潤滑油管接頭(ports)、潤滑油位計(oil level indicator)、磁性檢視器(magnetic plugs)、呼吸器(breather)、潤滑油抽樣口(oil sampling ports)、密封件(seals)、介面(interfaces)、表面塗層(surface coatings)、品質確保(quality assurance)及分析與繪圖與資料(analysis, drawings and data) 均符合當地法規、安全與 ISO9001 標準品管要求。
- 齒輪箱之監控及控制感測器運維需求，須被規範包括潤滑油液位、溫度、油壓、振動、潤滑油過濾器、潤滑油油質感測。
- 齒輪箱之潤滑油池溫度如超過 85°C 持續 10 分鐘，或齒輪箱之軸承外環溫度如超過 105°C 持續 10 分鐘，則風力機須以控制令其停機。
- 離岸風力機齒輪箱運維須確保風力機齒輪箱之軸承之最小基本額定壽命(Minimum basic rating life, L_{h10})如表 1；亦須確保風力機齒輪箱之齒輪精度(gear accuracy)要求如表 2；也須確保風力機齒輪箱之齒輪齒面表面粗度(maximum roughness, Ra)要求如表 3；同時亦須確保風力機齒輪箱之潤滑油潔淨度(Lubricant cleanliness)要求如表 4。

表 1 風力機齒輪箱之軸承之最小基本額定壽命 資料來源：ISO81400-4

軸承位置(bearing position)	所需壽命(L _{h10})(小時)
高速軸(high speed shaft)	30,000
高速中間軸(high speed intermediate shaft)	40,000
低速中間軸(low speed intermediate shaft)	80,000
行星軸(planet)	100,000
低速軸(low speed shaft)	100,000

說明:
此表乃適用於風力機齒輪箱之 20 年軸承設計壽命；如有不同之軸承設計壽命，則須配合調整。

表 2 風力機齒輪箱之齒輪精度要求

資料來源：ISO81400-4

齒輪種類(gear type)	熱處理(heat treatment)	最大齒輪精度(maximum accuracy per, ISO 1328 - 1)
外齒輪(external gear)	滲碳(carburized)	6
內齒輪(internal gear)	滲碳(carburized)	7
內齒輪(internal gear)	氮化(nitrided)	7
內齒輪(internal gear)	硬化(through hardened)	8

表 3 風力機齒輪箱之齒輪齒面表面粗度要求

資料來源：ISO81400-4

齒輪(Gear)	建議製造最大齒面表面粗度(maximum roughness, R_a)(μm)
高速軸小齒輪與大齒輪(high speed pinion and gear)	0.7
中間軸小齒輪與大齒輪(intermediate pinion and gear)	0.7
低速軸小齒輪與大齒輪(low speed pinion and gear)	0.6
低速軸太陽齒輪與行星齒輪(Low speed sun and planet)	0.5

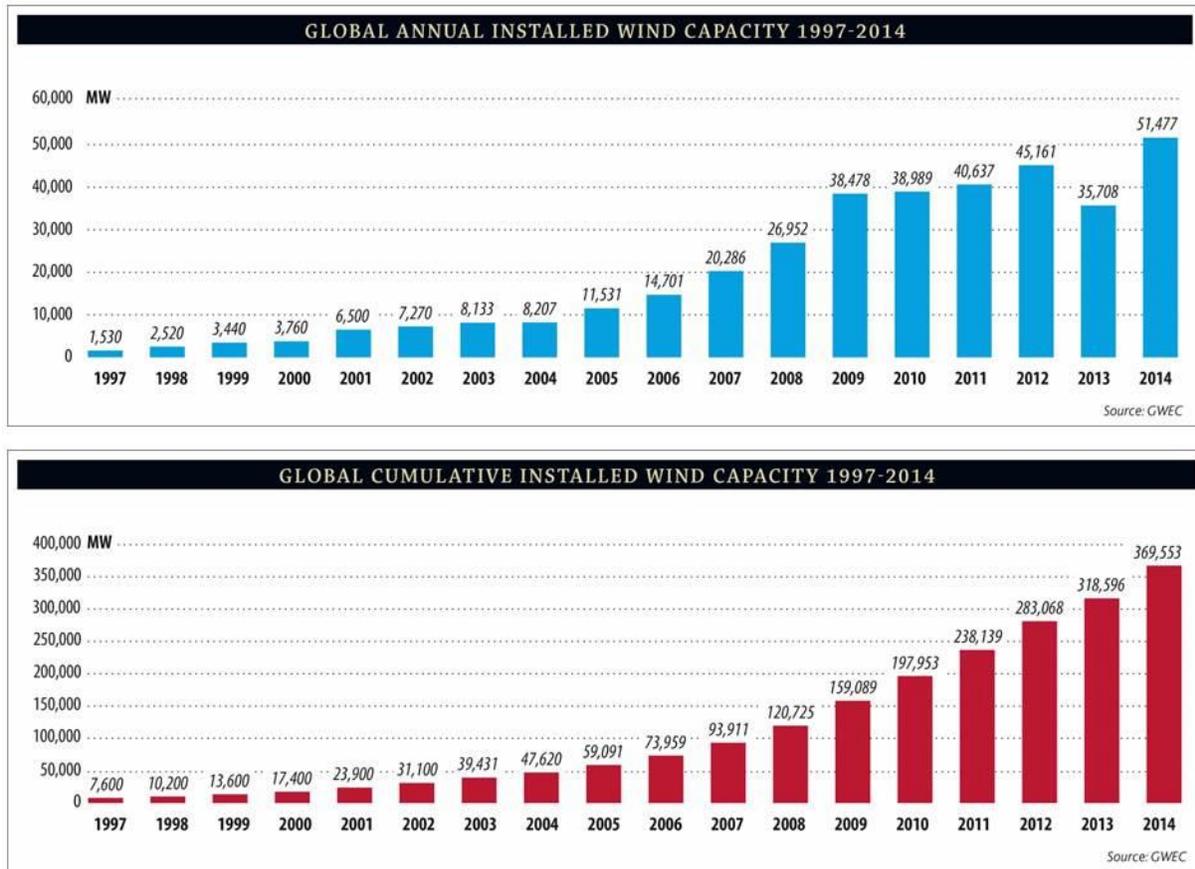
表 4 風力機齒輪箱之潤滑油潔淨度要求

資料來源：ISO81400-4

潤滑油樣品來源(Source of oil sample)	ISO 4406 所須之潔淨度(required cleanliness)
潤滑油加入齒輪箱之任一位置	-/14/11
廠內齒輪箱測試後齒輪箱內取出之潤滑油	-/15/12
風力機允收後再運轉 24 至 72 小時後，由齒輪箱內取出之潤滑油	-/15/12
依操作與維修手冊規定，由齒輪箱內取出之潤滑油樣品	-/16/13

離岸風力發電機傳動鏈運維特性

全球風力發電機裝置容量最新發展，依世界風能協會 GWEC(Global wind energy council)統計，截至 2014 年底，全球風力發電機累計裝置容量已高達約 370,000MW，近 5 年(2009 年至 2013 年)每年新增裝置容量更高達約 40,000MW 如圖 3；故全球風力發電機產業正在急速蓬勃發展，當然隨之而來的離岸風力發電機傳動鏈運維特性了解，則必然是相當重要的課題了。



資料來源：GWEC

圖 3 2014 年全球風力發電機裝置容量最新發展統計圖

離岸風力發電機傳動鏈內容包括轉子輪殼(rotor hub)、主軸承(main bearing)、主軸(main shaft)、齒輪箱(gearbox)、煞車盤(brake disk)、聯結器(coupling)及發電機(generator)。離岸風力發電機傳動鏈架構如圖 4；其經由風帶動而依序傳動給轉子輪殼、主軸承與主軸、齒輪箱、聯結器最終至發電機發電輸出。

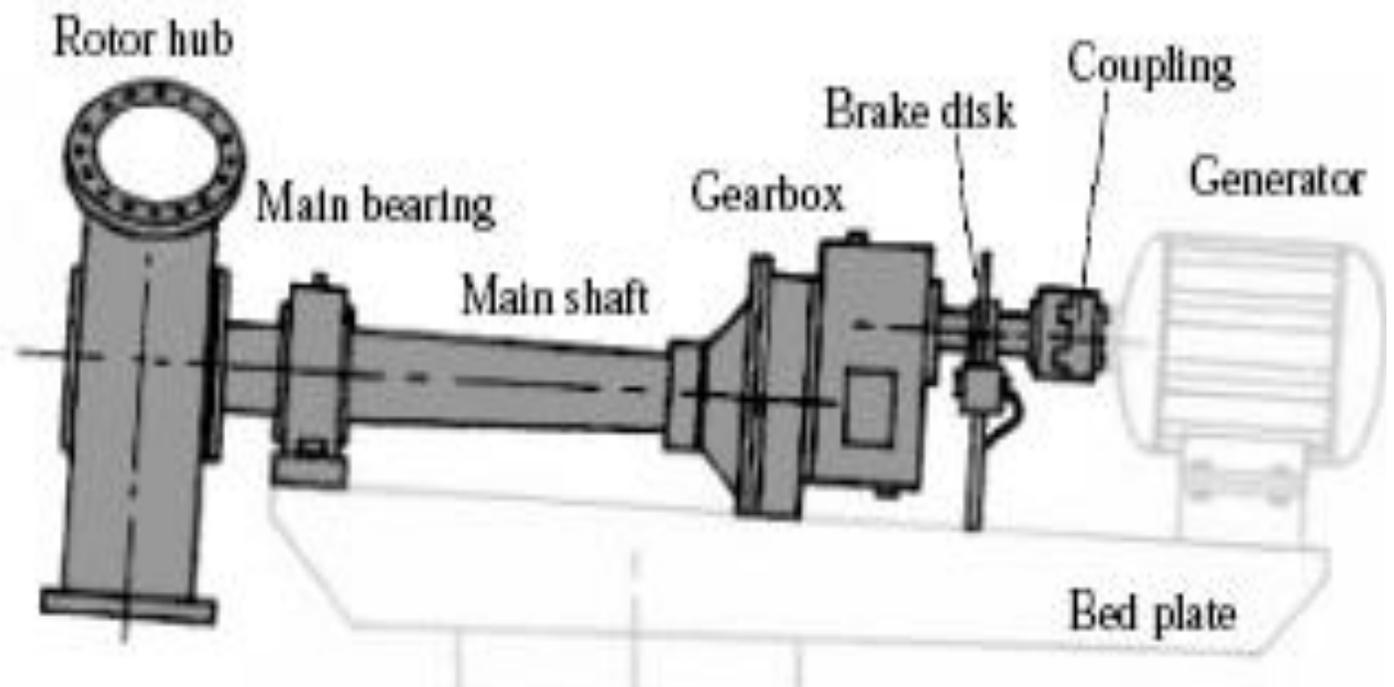


圖 4 離岸風力發電機傳動鏈架構

依據 kisssoft 研究，離岸風力發電機傳動運維特性，可分經濟面及問題面來探討。經濟面方面如下：

- 供應部份：具較小市場及較長訂製交期。
- 製造商與零組件供應商：合作緊密，不易取得備品。
- 品質或法規部份：須被認證。
- 維運部份：故障率高、維運成本高。

依據 kisssoft 研究，離岸風力發電機傳動運維特性之問題面方面如下：

- 負載部份：變動扭矩、振動過載、風場負載等。
- 環境部份：防鹽及防濕等腐蝕、防震及海浪大。
- 功率部份：低速高扭矩、高功率密度。
- 操控部份：溫度變異、冷機啟動、空轉、停滯負載及控制安全等。
- 尺寸/重量部份：佈置空間過大、重量過重、軸承、輸入端彎曲扭矩。
- 維修/拆裝進出部份：進出困難、維修/拆裝工具不易進出。

離岸風力發電機傳動鏈，目前主要有AREVA、winergy及enercon等廠商。AREVA及winergy主要著重在混合型傳動(hybrid drive)；enercon則主要著重在直驅傳動(direct drive)。

離岸風力發電機傳動鏈運維發展概況

離岸風力發電機傳動鏈運維發展概況，主要參考歐美風力發電機傳動專業廠商如 M.ragheb、romax、ALSTOM、NREL、AREVA、alpha ventus、MERVERNTO、ECN、ACADIAN、AMSC、trillium power、iea wind、PC control、hansen、winergy、darmstadt university 及 EES kissoft 等、相關技術文獻與規範如 IEC、ISO 等相關現況與實際投入經驗來探討。

依據 winergy 研究，離岸風力發電機傳動鏈運維主要包含供應(Sourcing)、組裝及測試(Assembling & Testing)與後續服務(Service)。供應則包含確認供應容量(Identify sourcing Capacity)、尋求國際供應鏈(Develop international supply chain)以及零組件來源(Sourcing of Components)；組裝及測試則包含組裝(Assembly)、負載測試(Load test)及補漆(Paintings)；另後續服務則包含維護(Maintenance)、修理(Repair)、備品(Spare parts)以及狀況監控(Condition Monitoring)如圖5。

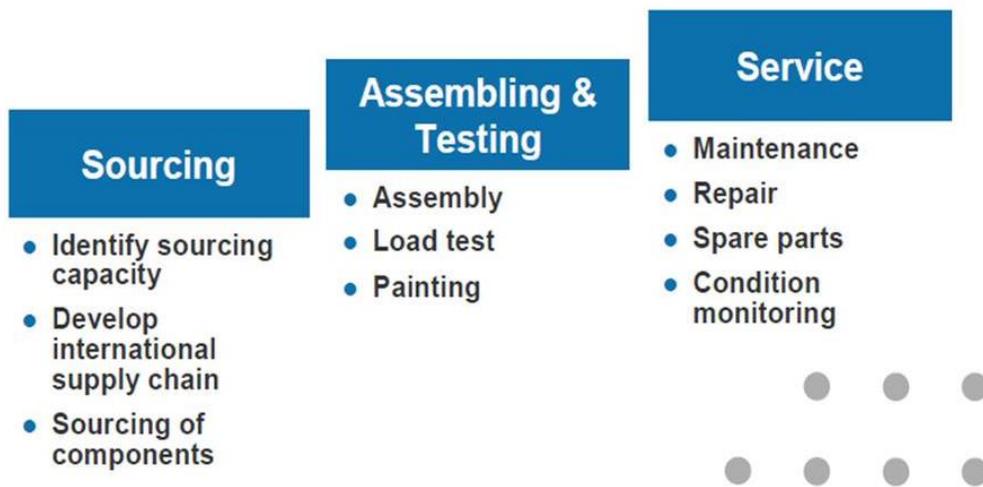


圖5 離岸風力發電機傳動鏈運維示意圖

離岸風力發電機傳動鏈混合型傳動測試及維修概況方面，主要有 AREVA 及 winergy 等廠商。目前 AREVA 離岸風力發電機傳動鏈混合型傳動之測試概況如下：

- 目前 AREVA 已針對組裝好 5MW 風力機「機艙(Nacelle)(內含 Drivetrain)建置完成測試設備」如圖 6。

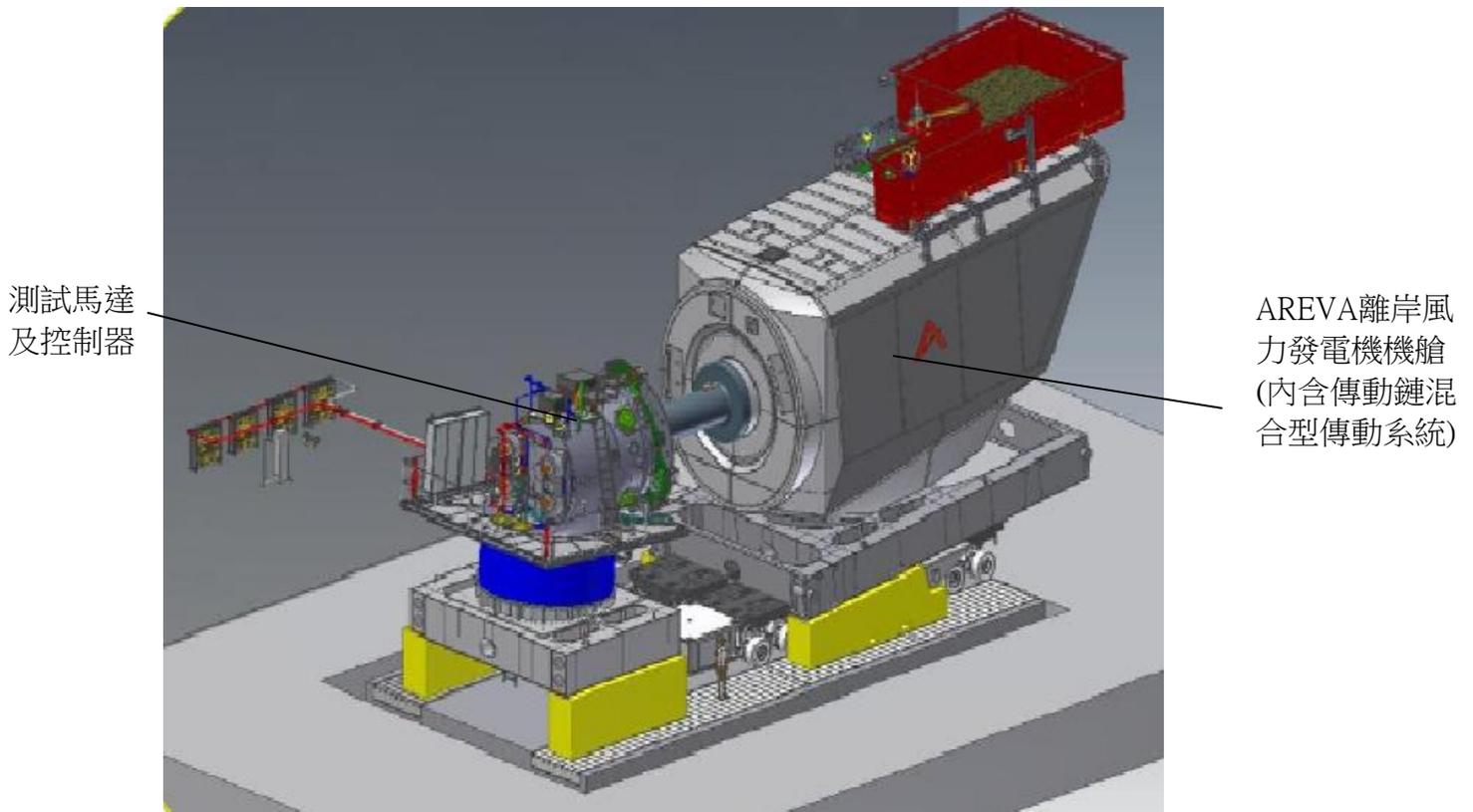


圖 6 離岸風力發電機機艙(內含傳動鏈混合型傳動系統)之測試系統示意圖

- 在風力機允收前，須先通過「3,700kNm 全負載、2 天測試期」之機艙測試(nacelle test)。
- 廠內「額定功率測試」。

AREVA 離岸風力發電機傳動鏈混合型傳動之維修概況如圖 7 說明如下：

- 風場維修之拆裝步驟極少。
- 在配置兩種狀況監控系統(CMS)監控傳動鏈混合型傳動後，風力發電機之主軸軸承與齒輪系統與發電機故障，可改善 80%。
- 兩定期維修間隔時間可較久。採用空氣過濾鹽份及濕氣方式防腐蝕以提高可靠度。
- 重要零組件備品交期可縮短且採用安全庫存部品(redundant components)方式。
- 維修方式採用：檢驗(Inspection)、預防性維修(Preventive Maintenance)、修理(Repair) / 矯正性維修(corrective Maintenance)與最佳化(Optimization)。檢驗包含振動(oscillation level)監控、自動潤滑系統及即時檢驗；預防性維修則包含詳細檢核表之定期保養、更換齒輪油及液壓油及檢查安全配置；修理/矯正性維修則即時故障排除；另最佳化則為完成修改及更新(modifications and updates)。

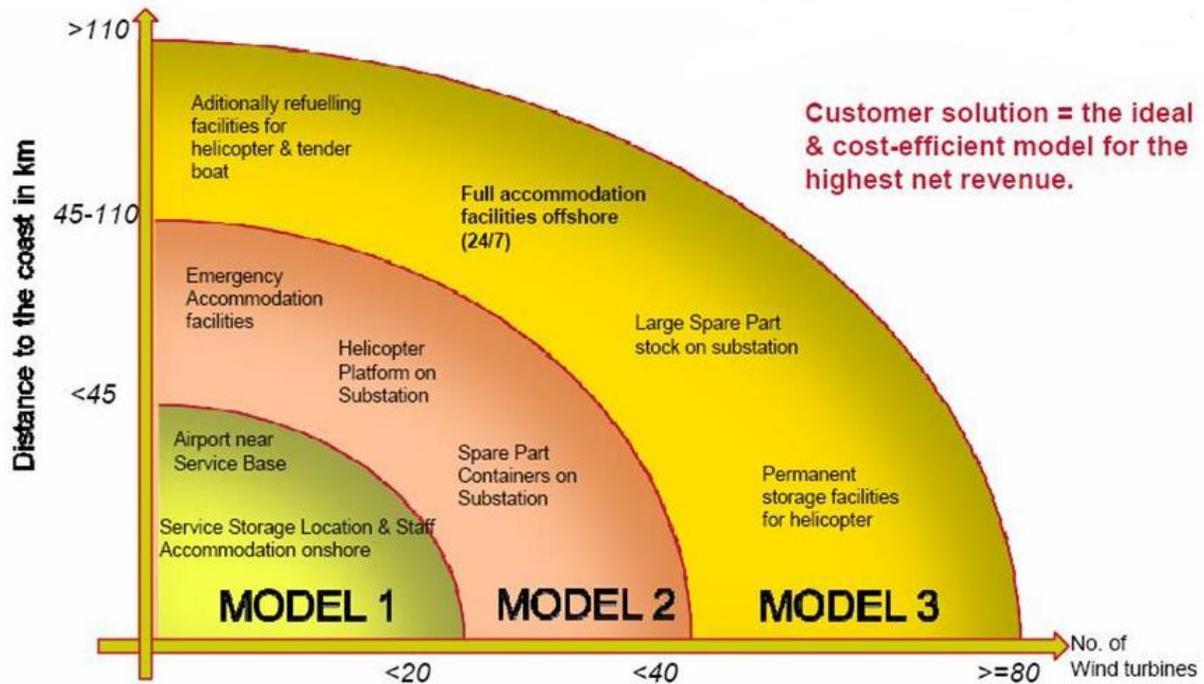


圖 7 AREVA 離岸風力發電機傳動鏈混合型傳動之維修方式

winergy 離岸風力發電機傳動鏈混合型傳動之維修概況如圖 8 說明如下：

- 「高維修模組化特性」維修方式，高維修模組包含第一階齒輪傳動(1st gear stage)、第二階齒輪傳動(2nd gear stage)及發電機(generator)3 個部份，其重量變輕且相互間均易於組立或拆解。
- 可直接使用「機艙內吊裝設備」吊裝拆裝維修而不必動用「風力機外之大型吊裝設備」吊裝維修，降低維運成本。
- 兩定期維修間隔時間可較久。

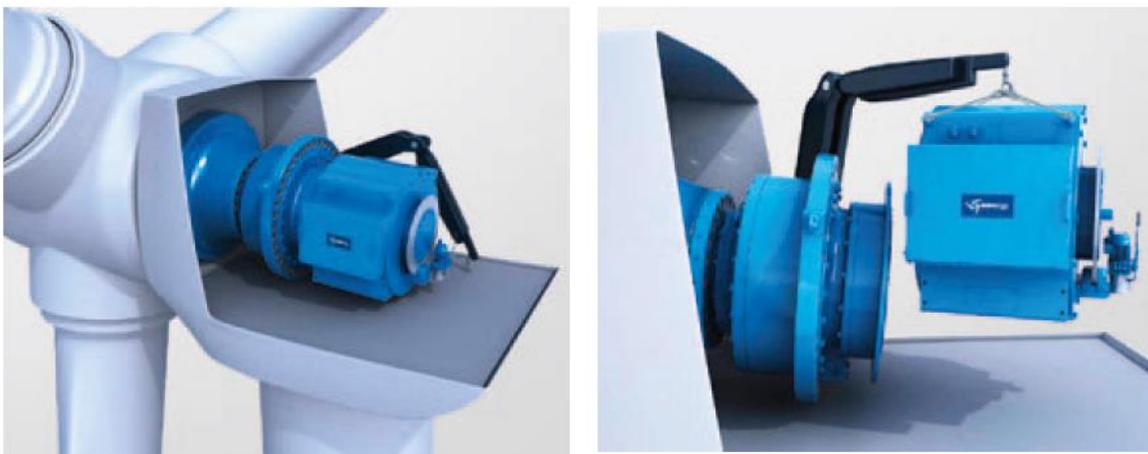
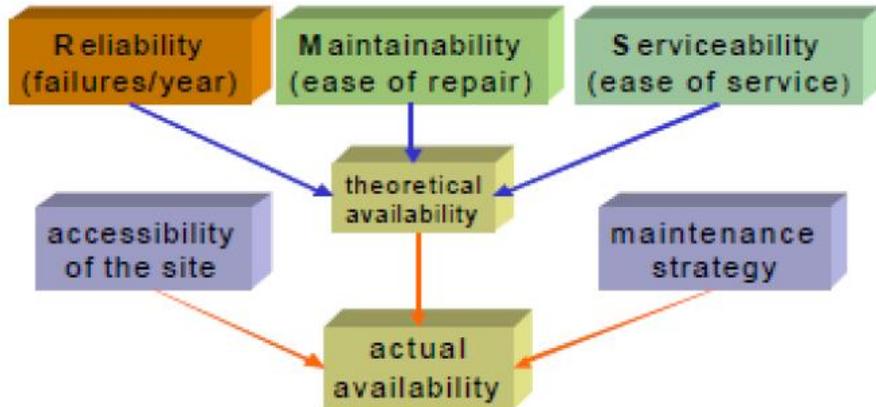


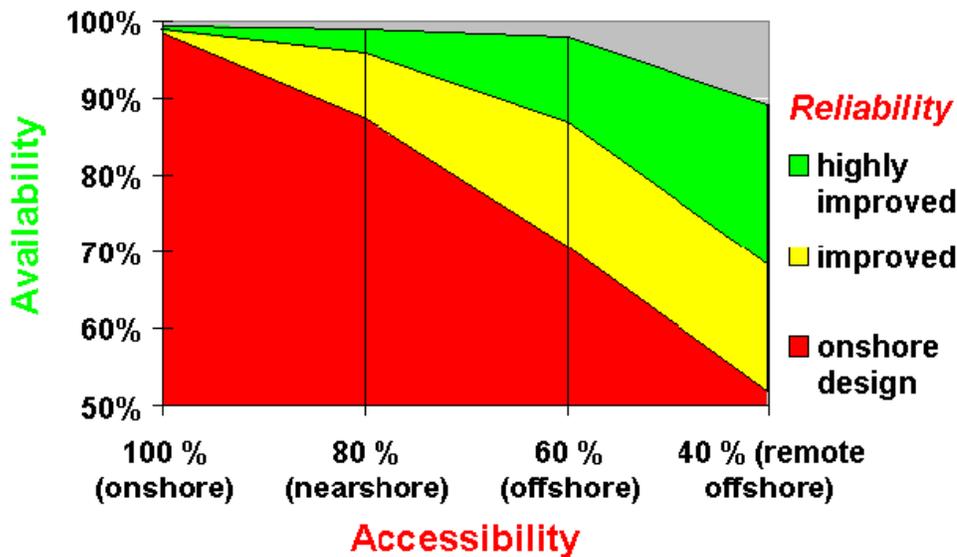
圖8 winergy離岸風力發電機傳動鏈混合型傳動之維修方式

依據 AMSC(American superconductor)研究，離岸風力發電機運維的營運關鍵在確保良好的實際可用率(Actual availability)。離岸風力發電機運維的實際可用率，則由理論可用率(Theoretical availability)、進出風場特性(Accessibility of the site)及維修策略(Maintenance strategy)來決定好壞；另外理論可用率，則由可靠度(Reliability)、修理特性(Repair)及保養特性(Service)來決定如圖 9。AMSC 認為，目前雖然陸域風力發電機已相當成熟，但實際可用率仍然不理想；更何況在離岸風力發電機運維上，故急須導入更安全之 CMS(Condition monitoring system)及冗餘(Redundancy)多重防護設計等技術與運維方式；大型風力發電機隨著遠離陸域(Onshore)而驅向遠洋(Offshore)發展，為了確保並提升實際可用率，其可靠度設計與運維，將必須配合逐步提高如圖 10。



資料來源：AMSC

圖 9 離岸風力發電機運維的實際可用率架構圖

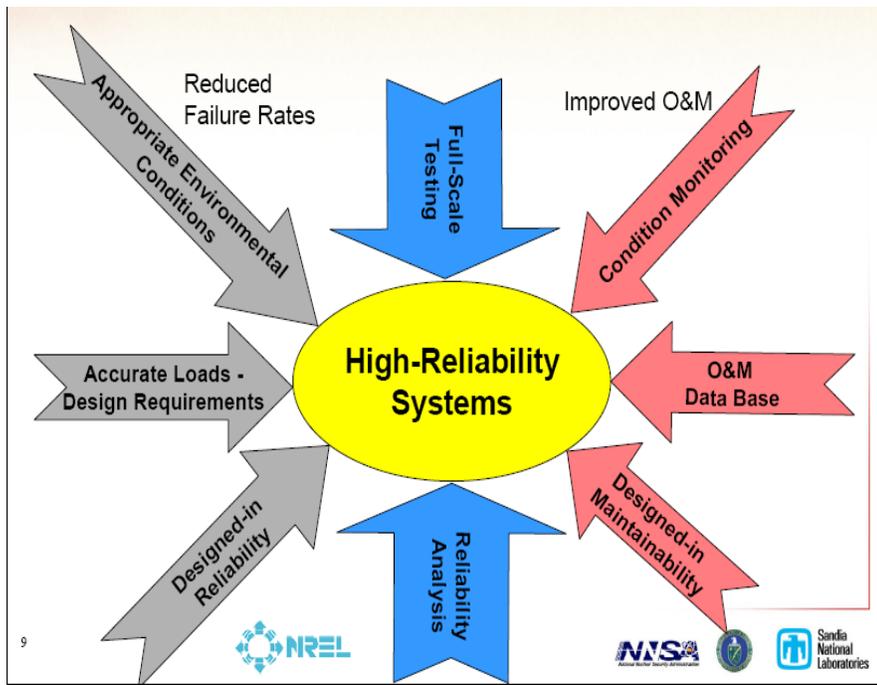


資料來源：AMSC

圖 10 風力機運維的實際可用率與離岸遠近及可靠度關係圖

依據 Roger Hill 研究，風力發電機可靠度必須由減少失效率(Reduced failure rate)與改善運維(Improved O&M)來達成如圖 11；風力發電機零組件故障維修亦須依此方向來推展。減少失效率(Reduced failure rate)方面，著重於適當的運維環境(Appropriate environmental condition)、正確的負載設計需求(Accurate load design requirement)、可靠度設計(Reliability design)；改善運維(Improved O&M)方面，則著重於維修設計(Designed-in maintainability)、建置 O&M 資料庫(Data base)、監控(Condition

monitoring)、全載測試(Full-scale testing)、可靠度分析(Reliability analysis)。



資料來源：Sandia

圖 11 風力發電機可靠度示意圖

AMSC認為，離岸風力發電機運維所需之維修策略，至少包括：

- 適合惡劣海洋環境各種方案(Further adaption are required due to harsh maritime environment)。
- 改善進出離岸風力發電機的方法(Improved methods for access)。
- 減少維修時間(Reduced maintenance time)。
- 簡化且模組化設計(Simplified and modular design)。
- 採用高可靠性零組件(Use of high reliable components)。
- 改善防腐蝕(Improved corrosion protection)。
- 有效的遙控及監控系統(Effective remote control and condition monitoring system)。

離岸風力發電機傳動鏈運維專利分析概況

離岸風力發電機傳動鏈運維專利保護概況方面，主要有 AREVA 及 winergy 等廠商。

AREVA 風力發電機傳動鏈運維專利保護，依美國 Delphion 檢索系統、美國 USPTO 檢索系統、歐洲專利局專利檢索系統檢索結果其運維專利保護有 US2010164232A1、DE10318945B3 及 EP0811764A1 等專利。

AREVA 風力發電機傳動鏈專利「US2010164232A1」部份如圖 12，主要摘要如下：

- 齒輪箱外殼(Gearbox casting)及發電機外殼(generator casting)為分離易拆裝之模組化易於維修。
- 為兩階行星齒輪組。
- 轉子軸承(Rotor bearing)為軸徑向軸承，增加剛性可減少運維成本。
- 齒輪箱使用迷宮式密封，易於維修亦可減少運維成本。

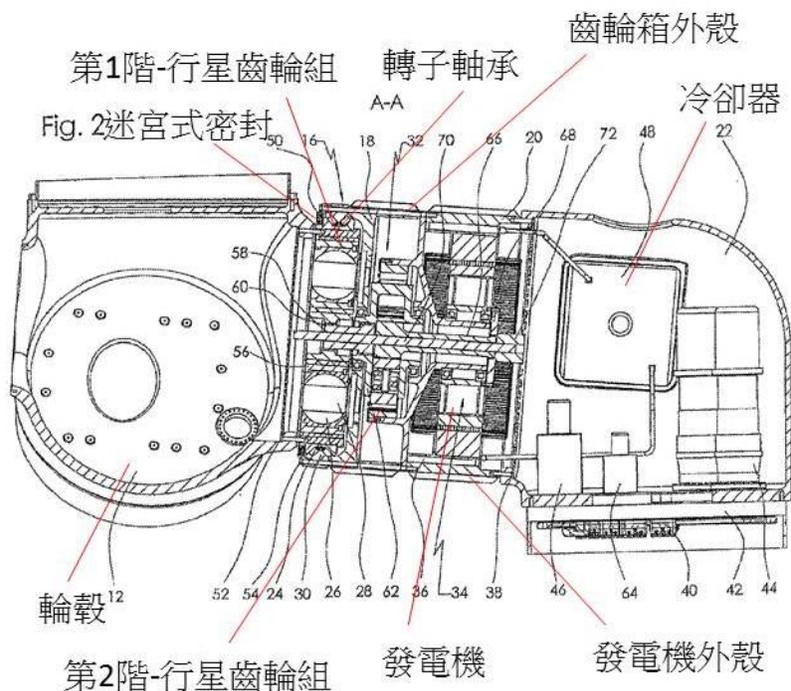


圖 12 「US2010164232A1」專利示意圖

winergy 風力發電機傳動鏈運維專利保護，依美國 Delphion 檢索系統、美國 USPTO 檢索系統、歐洲專利局專利檢索系統檢索結果其運維專利保護有 US6459165B1、US2010160104A1 及 EP1431575A2 等專利。

winergy 風力發電機傳動鏈專利「US6459165B1」部份如圖 13，主要摘要如下：

- 第1階行星齒輪組具雙螺旋齒輪傳動；第2階行星齒輪組則具單螺旋行星齒輪傳動。
- 第2階太陽齒輪與第1階太陽齒輪同軸心，具佔空間小而緊湊效果，減低運維成本。

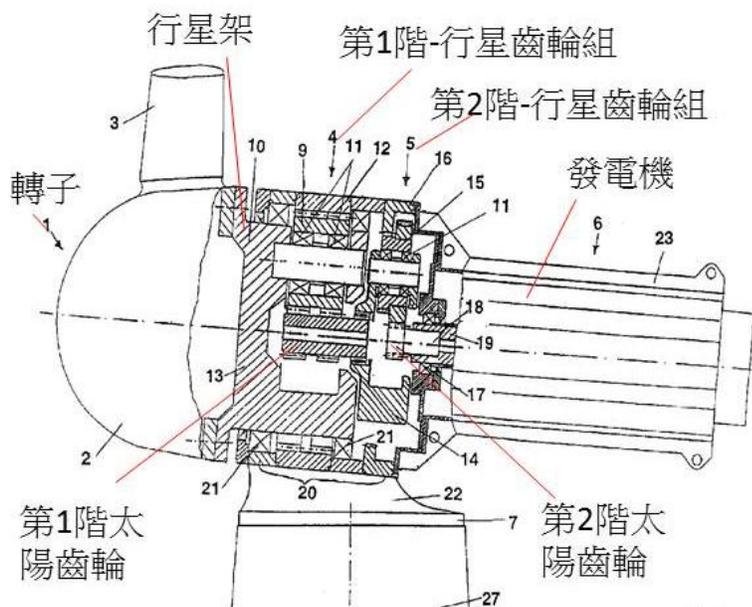


圖 13 「EP0811764A1」專利示意圖

結論

截至 2014 年底統計，全球風力發電機產業正在急速蓬勃發展，當然隨之而來的離岸風力發電機傳動鏈運維問題，則必然是相當重要的課題了。

離岸風力發電機為長壽命的產品，需要有非常高的傳動鏈可靠度設計與運維建置，其傳動鏈運維探討分析更是相當重要的一環。

依離岸風力發電機標準 IEC61400-3、GL、IEC61400-22、IEC61400-1 及 ISO81400-4 等要求，離岸風力發電機傳動鏈運維一般要求如下：

- 須確保製造(manufacture)、安裝(Installation)及操作維修(operation and maintenance)所需之手冊(manuals)、控制及監控(control and monitor)、認可測試(qualification testing)、啟動需求(startup requirements)、運輸及建造(transport and construction)、零件壽命(component rating)、潤滑油種類(type of lubricant)、潤滑油粘性(lubricant viscosity)、潤滑方法(method of lubrication)、操作溫度(operating temperature)、潤滑油量(oil quantity)、溫度控制(temperature control)、潤滑油狀況(lubricant condition monitoring)、潤滑油潔淨度(lubricant cleanliness)、潤滑油過濾器(lubricant filters)、潤滑油管接頭(ports)、潤滑油位計(oil level indicator)、磁性檢視器(magnetic plugs)、呼吸器(breather)、潤滑油抽樣口(oil sampling ports)、密封件(seals)、介面(interfaces)、表面塗層(surface coatings)、品質確保(quality assurance)、安全相關操作程序及維護方式、環境保護計畫、必要工具及維護設備、認可之維護人力、認可之修理及修改與更換(RMR)，均符合製造商規範、當地法規、防腐蝕(corrosion protection)、安全與 ISO9001 標準品管要求。
- 須確保外在條件(external conditions)如環境及電的條件(environmental and electrical conditions)符合離岸風力發電機應用要求，環境條件包含風力條件、海洋(marine)條件及其他條件如腐蝕(corrosion)等，電的條件如電網條件(network conditions)。
- 齒輪運維之齒部品質，須符合 ISO 1328-1 要求。
- 齒輪箱之潤滑油油位、油溫與潤滑油進入齒輪箱及離開冷卻器之油壓，須被監控。
- 齒輪箱在運轉測試期間，須監控檢驗內容包括漏油、噪音、腐蝕狀況、潤滑功能、螺栓鎖緊扭力及潤滑油質。
- 齒輪箱之潤滑油池溫度如超過 85°C 持續 10 分鐘，或齒輪箱之軸承外環溫度如超過 105°C 持續 10 分鐘，則風力機須以控制令其停機。

依美國Delphion檢索系統、美國USPTO檢索系統、歐洲專利局專利檢索系統檢索全球大型風力發電機傳動鏈運維專利保護，可知主要著重在有益於維運之易於拆裝之模組化、易於維修及具佔空間小而緊湊效果，減低運維成本等。

依據 winergy 研究，離岸風力發電機傳動鏈運維主要包含供應、組裝及測試與後續服務。供應則包含確認供應容量、尋求國際供應鏈以及零組件來源；另後續服務則包含維護、修理、備品以及狀況監控。

依據 NREL 研究統計，離岸風力機之運轉環境惡劣如海洋場址等，其維修成本高達陸域同等級風力發電機的 3 倍。故離岸風力發電機傳動鏈運維好壞所造成的影響，是相當重要的課題。

誌謝

本研究工作承蒙能源局資助，謹此致謝。

參考資料

- [1] ISO 81400-4, Wind turbines -Part 4 : Design and specification of gearboxes 2005 .(規範)
- [2] IEC 61400-1, Wind turbines- Part1 : Design requirements,2005-2008.(規範)
- [3] IEC 61400-3, Wind turbines- Part3 : Design requirements for offshore wind turbines,2009.(規範)
- [4] Germanischer Lloyd, Guideline for the certification of wind turbines,2010.(規範)
- [5] IEC 61400-22, Wind turbines- Part22 : Conformity testing and certification.(規範)
- [6] GWEC, Global wind statistics 2013, April 2014.(網頁文獻)
- [7] M.ragheb, Modern wind generators, 2010.(網頁文獻)
- [8] ALSTOM,5 MW Permanent Magnet Offshore Wind Energy Converter, May 2004. (網頁文獻)
- [9] NREL, Wind turbine design cost and scaling model, 2006.(網頁文獻)
- [10] AREVA, AREVA Multibrid experience and outlook, 2010. (網頁文獻)
- [11] AREVA, Offshore Windpower M5000, 2010. (網頁文獻)
- [12] Alpha ventus, Alpha ventus fact sheet, 2011. (網頁文獻)
- [13] MERVENTO, Drive train technologies, 2011. (網頁文獻)
- [14] AMSC, Concepts for high power wind turbines introducing HTS technology, 2010. (網頁文獻)
- [15] ECN, Current developments in wind, 2009.(網頁文獻)
- [16] ACADIAN, Assessment of the net economic benefits of the proposed fishermen Atlantic city windfarm, 2012.(網頁文獻)
- [17] Trillium, Trillium power wind corporation, 2009.(網頁文獻)
- [18] AREVA, AREVA wind, 2011.(網頁文獻)
- [19] Roger Hill, Wind Turbine Reliability, 2006.(網頁文獻)
- [20] NREL, Wind turbine design cost and scaling model, 2006.(網頁文獻)
- [21] IEA Wind, Experiences in the development of wind energy in Germany, 2010.(網頁文獻)
- [22] PC control, PC control for an offshore wind farm, 2008(網頁文獻)
- [23] AREVA, AREVA Multibrid Hamburg offshore Wind conference, 2000. (網頁文獻)
- [24] Hansen, Annual report, 2011(網頁文獻)
- [25] Winergy, Gearboxes for wind turbines- development and testing, 2008(網頁文獻)
- [26] Winergy, Welcome to Winergy, 2006(網頁文獻)
- [27] EES Kiss soft, Trend in wind turbine drive trains, 2011(網頁文獻)
- [28] 美國Delphion檢索系統(專利網站)
- [29] 美國USPTO檢索系統(專利網站)
- [30] 歐洲專利局專利檢索系統(專利網站)
- [31] 美國離岸風力機早期公開專利(USA) 2010164232A1等2件專利說明書(專利網站)
- [32] 美國離岸風力機核准專利(USG)6459165B1等專利說明書(專利網站)
- [33] 歐洲離岸風力機早期公開專利EP0811764A1等3件專利說明書(專利網站)
- [34] 德國離岸風力機核准專利DE10318945B3等專利說明書(專利網站)