

全球關鍵產業需求對德國扣件產業之影響（上篇）—以風電產業為例

前言

全球能源轉型與淨零政策推動風電市場成長，風機大型化、離岸化及汰舊換新趨勢，進一步帶動高強度、耐疲勞與耐腐蝕扣件需求。德國憑藉精密製造、材料加工及品質驗證優勢，在全球風電供應鏈占有重要地位。然而，面對生產成本上升、國際競爭加劇及供應鏈區域化趨勢，德國扣件業亦面臨轉型壓力；本文將探討全球風電市場發展對德國扣件產業的影響，並分析其競爭優勢、技術挑戰與未來發展機會。

歐洲扣件供應鏈結構與風電市場帶來的產業重塑

（一）風電扣件供應鏈分工與德國產業定位

風電扣件供應鏈涵蓋鋼材與線材供應、鍛造、螺紋加工、熱處理、表面處理及檢測驗證等環節，產品廣泛應用於塔架、基礎、葉片、輪轂、軸承、齒輪箱及機艙等系統（圖1），其採購需求除整機製造商外，亦來自各次系統供應商。德國的競爭優勢主要來自高規格製造能力及鄰近大型風電市場，德國2025年底風電裝置容量達77.8GW，為歐盟最大單一市場。



圖 1. 風機結構



（二）歐盟淨零政策與供應鏈成本挑戰

歐盟《淨零產業法》以 2030 年淨零技術製造能力達歐盟年度部署需求至少 40% 為參考基準，並於再生能源標案納入永續與供應鏈韌性評選，為歐洲扣件業者帶來潛在機會。CBAM 自 2026 年進入正式實施階段，針對適用範圍內之進口鋼鐵產品建立碳排申報及憑證義務。對扣件業者而言，其影響須視產品是否納管及原料採購模式而定，並可能增加供應鏈碳資訊管理與合規成本。

（三）全球風電裝置成長與歐洲市場展望

依據 MRFR 等機構發布的報告，全球風電市場規模在 2024 年約為 1,285~1,745 億美元（涵蓋風機設備、零組件及整體工程建置），並預計隨全球再生能源需求成長，至 2026 年約為 1,478 億美元以上；而國際能源署與歐洲風能協會的數據則顯示，全球風電年資本支出常態維持在 2,000 億美元以上的高檔，歐洲 2024 年新風場投資額達 310 億歐元（約 337 億美元），2025 年更成長至 450 億歐元（約 520 億美元），其中德國作為歐洲最大市場，光是 2025 年核發的 20.8 GW 陸域風電許可，預計可衍生 270~310 億歐元的建置支出，並為風機零組件與高強度扣件創造潛在採購需求。然而，若要精確評估風電扣件市場規模，仍須掌握風機物料清單與實際採購資料。由於扣件涉及不同結構部位與產品規格，且各機型之採購配置存在差異，加上稅號非以終端用途作為分類，故目前尚難以裝置容量或建置支出直接推算風電用扣件市場金額。

（四）對應風機裝置部位之鋼鐵製風電扣件對應稅號

惟本表係依風機應用部位與鋼鐵扣件產品特性推估可能涉及之稅碼，但非據此認定特定風機零件的最終稅號或專用稅號。以下將風機主要應用部位與鋼鐵製扣件之對應稅號整理如**表一**。

表一．風機主要應用部位與鋼鐵製扣件之對應稅號

風機部位	主要扣件	推估涉及之 HS 稅號
塔架段法蘭	大型高強度六角螺栓、螺帽、平墊圈、防鬆墊圈	7318.15、7318.16、7318.21、7318.22
塔架與機艙底座	高強度螺栓、螺帽及墊圈	7318.15、7318.16、7318.22
混凝土基礎	錨栓、全牙錨桿、大型螺帽及厚墊圈	7318.15 或 7318.19；7318.16、7318.22
完整錨栓籠	錨桿、定位環、模板及鋼構件組成的總成	可能涉及 7308.90
葉片根部與輪轂	葉根螺栓、螺柱、螺紋套及螺帽	7318.15、7318.16 或 7318.19
變槳軸承	高強度螺栓、螺帽及防鬆件	7318.15、7318.16、7318.21
輪轂與主軸	高強度螺栓、螺帽、墊圈及定位銷	7318.15、7318.16、7318.22、7318.29
主軸承及軸承座	高強度螺栓、定位銷及墊圈	7318.15、7318.22、7318.29
齒輪箱與發電機	固定螺栓、自鎖螺帽、防鬆墊圈及定位銷	7318.15、7318.16、7318.21、7318.29
偏航系統	偏航軸承螺栓、馬達固定螺栓、防鬆件及銷	7318.15、7318.16、7318.21、7318.24、7318.29
煞車系統	卡鉗固定螺栓、插銷、開口銷及防鬆件	7318.15、7318.21、7318.24
機艙罩與內部薄板	自攻螺釘、一般螺栓、鉚釘及鉚螺帽	7318.14、7318.15、7318.16、7318.23
電氣控制箱與電纜托架	自攻螺釘、小型螺栓、螺帽及墊圈	7318.14、7318.15、7318.16、7318.22
海上平台、梯架及護欄	耐蝕螺栓、螺帽、墊圈及鉚釘	7318.15、7318.16、7318.22、7318.23
吊掛與維修固點	吊環螺栓、螺旋環及特殊固定件	7318.13 或 7318.15

歐洲國家鋼鐵扣件出口趨勢分析

由於海關稅號主要依產品材質、外型分類，非以終端用途進行分類，因此本章統計僅能反映歐洲各國鋼鐵扣件（HS 7318）之整體出口趨勢，無法直接代表風電專用扣件之出口金額。

（一）歐洲國家鋼鐵扣件出口全球之趨勢分析

茲將近年歐洲主要國家鋼鐵扣件出口全球之變化趨勢整理於表二，**表二**顯示歐洲仍具國際競爭優勢，其中德國以 75.7 億美元居首，雖成長率僅 0.7%，但與歐洲第二大出口國義大利存在顯著落差；法國、波蘭及英國則呈現較強成長動能，反映德國雖仍為歐洲扣件之主要出口國，但仍受到其他競爭者之追趕。

（二）德國鋼鐵扣件出口全球之趨勢分析

以下將近年德國鋼鐵扣件出口主要市場之變化趨勢整理於**表三**，德國仍為歐洲鋼鐵扣件主要出口國，惟其出口成長相對有限，且在歐洲整體出口中的占比呈下降趨勢，反映其他歐洲國家競爭力逐步提升，惟德國仍維持主要出口國地位。

表二．近年歐洲主要國家鋼鐵扣件出口全球之變化趨勢（單位：億美元；%）

出口主體	2021 年	2022 年	2023 年	2024年	2025 年	2025年佔比	年複合成長
德國	73.6	72.4	77.3	74.3	75.7	15.1%	0.7%
義大利	22.1	22.8	24.5	23.9	25.3	5.1%	3.5%
法國	14.4	14.9	17.0	18.9	20.5	4.1%	9.3%
英國	8.8	9.5	10.5	11.9	12.4	2.5%	8.9%
荷蘭	9.0	8.6	9.4	8.9	9.3	1.9%	1.0%
西班牙	6.2	6.3	7.3	6.9	7.8	1.6%	5.8%
波蘭	2.9	6.6	7.2	7.1	7.4	1.5%	26.7%
奧地利	5.8	6.2	6.5	7.0	7.2	1.4%	5.8%
捷克	6.0	6.6	7.2	6.7	7.2	1.4%	4.5%
比利時	5.4	5.7	5.5	5.8	6.4	1.3%	4.0%
前十大歐洲出口國 - 小計	154.2	159.5	172.6	171.4	179.3	35.8%	3.8%
其他歐洲國 - 小計	16.4	16.6	17.1	16.8	18.5	3.7%	3.0%
歐洲 (28 國) 鋼鐵扣件對全球出口金額 - 合計	170.6	176.1	189.7	188.1	197.8	39.5%	3.8%
全球鋼鐵扣件出口金額	462.4	505.2	485.0	488.7	500.7	100.0%	2.0%
歐洲 (28 國) 鋼鐵扣件之全球出口占比	36.9%	34.9%	39.1%	38.5%	39.5%	0.1%	1.7%

表三．近年德國鋼鐵扣件出口主要市場之變化趨勢（單位：億美元；%）

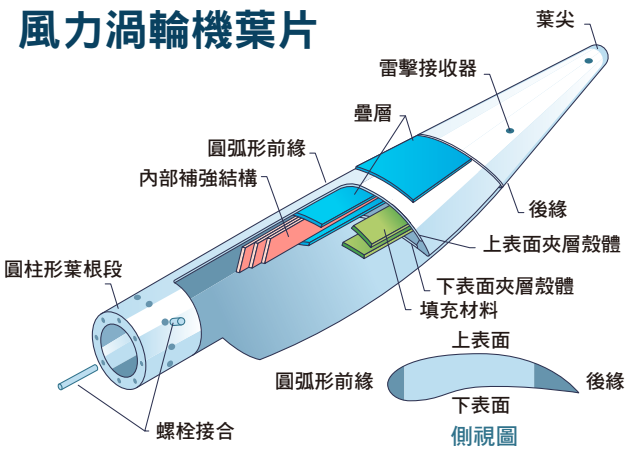
德國鋼鐵扣件主要出口國	2021 年	2022 年	2023 年	2024年	2025 年	2025年佔比	年複合成長
法國	5.6	5.4	6.1	5.8	6.3	8.3%	2.9%
中國大陸	8.4	7.3	7.1	7.1	6.0	7.9%	-8.2%
美國	5.6	5.6	5.9	6.1	6.0	7.9%	1.5%
波蘭	4.6	4.5	5.1	4.8	4.9	6.5%	1.7%
捷克	4.5	4.4	5.1	4.8	4.8	6.4%	1.8%
奧地利	4.6	4.6	4.8	4.2	4.5	5.9%	-0.8%
荷蘭	4.0	4.0	4.2	3.7	3.8	5.0%	-1.7%
義大利	3.1	3.1	3.3	3.1	3.3	4.4%	2.0%
瑞士	3.0	3.1	2.9	2.8	2.9	3.8%	-1.2%
西班牙	2.4	2.5	2.8	2.6	2.8	3.7%	4.3%
前十大出口國 - 小計	45.8	44.7	47.1	45.0	45.2	59.7%	-0.3%
其他歐洲國 - 小計	27.8	27.7	30.2	29.2	30.5	40.3%	2.4%
德國出口全球 - 合計	73.6	72.4	77.3	74.3	75.7	100.0%	0.7%
歐洲 (28 國) 鋼鐵扣件對全球出口金額 - 合計	170.6	176.1	189.7	188.1	197.8	100.0%	3.8%
德國在歐洲之出口占比	43.1%	41.1%	40.8%	39.5%	38.3%	---	-2.9%

全球風電產業需求擴張對德國扣件供應鏈之傳導機制與技術需求

（一）風電政策與建置需求帶動德國扣件產業之供應鏈商機

全球能源轉型與再生能源政策持續推動風電建置進程，並透過「電力需求→風場投資→風機排產→零組件採購→扣件訂單」的路徑帶動高強度與特殊扣件需求，競爭性標案為推動大型專案的重要機制，德國亦因許可程序改善帶動 2025 年上半年陸域風電標案規模增加，但訂單受融資、驗證與併網進度影響，與裝置容量成長存在時間落差。德國扣件供應商的市場機會涵蓋塔架、基礎、葉片（圖 2）及傳動系統等關鍵組件。除新建風場重視大批量供貨與品質穩定外，既有風機維修、零件替換及延壽改造亦創造小批量與快速交付商機。隨早期風機進入汰換週期，具備材料驗證與技術服務能量的業者可轉向全生命週期服務，提升高附加價值訂單比重與競爭力。

圖 2



（二）風機關鍵部位之扣件應用與高值化技術規範

風力發電機組長期承受交變載荷、振動及環境腐蝕，對塔架法蘭、基礎錨固、葉片根部及主軸等關鍵部位的扣件強度、抗疲勞與預緊力穩定要求甚高。依據國際電工委員會《IEC 61400-1》，風機設計須考量載荷條件與結構安全；關鍵連接部位的扣件亦須配合風機整體設計，確保疲勞性能、預緊力穩定及運轉可靠度。隨風機大型化與離岸化發展，產品驗證、製程穩定及品質追溯成為高階市場門檻，偏航、變槳及控制設備亦帶動多元功能性扣件需求，提高對高強度合金鋼、特殊塗層及防鬆技術的要求。離岸風電支撐結構及連接部位須考量海洋環境腐蝕風險，防蝕設計可參考挪威船級社 (DNV) 離岸結構技術規範，並依實際使用部位確認標準適用性。

風電大型化與離岸化趨勢對德國扣件產業技術升級及競爭環境之影響

（一）風電大型化與離岸化推升德國高階扣件技術門檻及品質驗證需求

全球風電朝大型化與離岸化發展，帶動塔架、基礎、葉片及傳動系統對高強度、耐腐蝕與高可靠度扣件的需求，促使德國扣件產業朝高階材料、精密加工及品質驗證升級。隨風機容量、葉片長度及塔架高度增加，關鍵連接部位須承受更複雜的交變載荷與疲勞應力。依據 ISO 898-1:2013 規範碳鋼及合金鋼螺栓、螺釘與螺柱之機械性能，適用於 M1.6 至 M39 等規定尺寸及條件，但不直接規範疲勞、耐腐蝕及扭矩－夾緊力性能。塔架法蘭、基礎錨固及葉片根部等關鍵部位，可依 ISO 16047 進行扭矩與夾緊力性能測試，並配合接頭設計、鎖固程序及預緊力控制，提升關鍵連接部位之可靠度。

離岸風電的高鹽分、高濕度環境進一步提高耐腐蝕、塗層品質及氫脆風險控制要求。如《ISO 4042》針對電鍍扣件之鍍層與氫脆風險提出相關要求；《ISO 10683》則規範非電解鋅片塗層，可減少電鍍製程所伴隨的氫脆風險，但仍須配合材料及製程控制。另外，結合國際電工委員會結構安全規範及挪威船級社離岸防蝕指引，供應商須建立涵蓋材料、熱處理、螺紋精度、塗層及檢驗紀錄的全流程品質追溯機制。對德國扣件業者而言，技術規範雖增加研發與設備成本，卻也形成市場進入門檻；**具備熱鍛、滾牙、熱處理、特殊塗層及驗證整合能力的企業，可藉由技術差異化降低價格競爭壓力，提升歐洲高階風電供應鏈的附加價值。**

（二）全球風電供應鏈重組對德國扣件產業競爭優勢與經營環境之影響

全球風電需求擴張風潮下，德國具備成熟的製造、品管與區位優勢之便等優勢；但**由於風電關鍵扣件攸關結構安全，更換供應商涉及重新驗證及品質風險，因此有利已通過客戶認證、具穩定交付能力的既有供應商維持長期合作。**同時，德國扣件業面臨高能源、人力及環境合規成本，承受國際價格競爭壓力。歐盟《淨零產業法》將永續性與供應韌性納入特定標案評選，提升低碳製造與供應鏈透明度的重要性，但並未排除境外供應商，對德國業者而言，未來須透過製程自動化、數位品質追溯、能源效率改善及高值產品開發，降低生產成本與國際競爭壓力，並強化技術差異化與供應鏈整合能力，將風電市場商機轉化為實質獲利。

小結：風電轉型驅動德國扣件產業高值化發展

全球風電需求擴張與歐洲能源轉型政策，為具備高階製造、品質驗證及供應鏈整合能力的德國扣件業者創造潛在市場機會。隨風機大型化、離岸化及維運需求增加，高強度、耐腐蝕及高可靠度扣件的重要性持續提升。德國可擴大其精密製造、品質驗證及產業聚落等優勢，強化高階風電供應鏈的有利條件，惟仍面臨能源成本、環境合規及國際競爭壓力。未來產業發展關鍵將由價格競爭轉向技術創新、低碳製造、供應鏈韌性及全生命週期服務，並透過數位化與高值化轉型，將全球風電市場成長動能轉化為實質競爭優勢與長期獲利能力。■

著作權所有：惠達雜誌／撰文：許育瑞博士