



# 高溫超導技術 於風力發電之應用

Application of High Temperature Superconducting Technologies  
in Wind Power

顏得宗

工研院綠能所  
資源應用技術組  
動能與溫差發電技術研究室

## 關鍵詞(Keywords)

- 高溫超導 High Temperature Superconductor
- 風力機 Wind Turbine
- 發電機 Generator

## 摘要(Abstract)

離岸風能朝向高功率風力機發展，且傾向於採用直驅式設計以提高可靠度。目前 2 種直驅式風力機採用的發電機：永磁同步式發電機及傳統激磁式同步發電機，隨著功率的增加將變得更大更重，造成離岸風力機的安裝更加困難。隨著高溫超導材料的發現，以及超導線材製作技術漸趨成熟，高溫超導發電機有望提供離岸風能更輕、更小

的高功率發電機。此外，超導電纜亦可減少離岸風能輸電回岸上時產生的線損，同時也避免了在風力機上安裝變壓器的需求。本文針對超導發電機及超導電纜 2 種超導應用，說明高溫超導技術在風力發電領域的優勢。

Off-shore wind turbines with more power rating have been considered to reduce the cost of energy, since the cost of foundation increases slowly with the power rating. Also, there has been a trend towards direct drive wind turbines, omitting the gearbox to increase reliability. Both kinds of traditional direct drive wind turbines, namely generators using copper windings and using permanent magnets, will be larger and heavier with increasing the power rating, making it difficult to install 10 MW or above off-shore wind turbines. With the superconducting windings,



superconducting generators will make it possible to produce light-weighted and small-sized off-shore wind turbines with large power rating, such as 10 MW superconducting wind turbines. In addition, superconducting cables can reduce the resistive dissipation when transmitting electric power from off-shore wind turbines to on-shore sites. Due to the ability to transmit power via low voltage, superconducting cables make it not necessary to install transformer in each off-shore wind turbine. In this article, we will discuss the advantages of superconducting generators and superconducting cables in wind power industry.

---

## 1. 前言

---

化石能源儲存量有限，再加上為因應氣候變遷，勢必需要降低二氧化碳排放量。解決的方法可從開源與節流兩方面著手：再生能源的發展(開源)及減少不必要的損耗(節流)。超導技術能加速再生能源的發展，例如超導發電機以及超導儲能系統；超導電纜及超導變壓器則能減少電力輸送時的損耗。此外，超導馬達可應用於電動車及電動船等交通工具。因此，高溫超導的應用能有效減少全球碳排放。本文將針對超導發電機及超導電纜 2 種超導應用，說明高溫超導技術在風力發電領域的優勢。

---

## 2. 超導體

---

1911 年荷蘭物理學家 Heike Kamerlingh Onnes 發現，水銀的電阻在絕對溫度 4.2 K 以下完全消失，並將之稱為超導現象，超導轉變的溫度則稱為臨界溫度  $T_c$ 。隨著越來越多超導體的發現，臨界溫度也緩慢由水銀的 4.2 K 提升到  $Nb_3Ge$  的 23 K。由於臨界溫度低，在實際應用上，必須使用液態氦冷卻，以維持超導態。昂貴的冷卻成本，使得超導應用侷限於科研與醫療，例如超導磁鐵、粒子加速器、及磁振造影(MRI)等。

23 K 的  $T_c$  紀錄一直維持到 1986 年為止，Bednorz 及 Müller 發現  $La_{2-x}Ba_xCuO_4$  的  $T_c$  可達到 30 K 以上，並於不久後發現  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$  的  $T_c$  更高，達到 40 K。隔年，朱經武教授與吳茂昆博士發現  $YBa_2Cu_3O_7$ (YBCO)超導體， $T_c$  從 40 K 大幅提升至 90 K 以上，超過液態氮的沸點 77 K，如圖 1。此後陸續發現其他銅氧化物超導體，臨界溫度也一路提升至 100 K 以上，例如： $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$  的  $T_c$  便可達 110 K，而  $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$  的  $T_c$  更達 130 K。

傳統超導體的臨界溫度低，稱為低溫超導體，實際應用時，運作溫度多在 4.2 K 或更低溫，必須使用昂貴的液態氦冷卻；而銅氧化物超導體臨界溫度遠比傳統超導體高，因此稱為高溫超導體。在實際應用上，運作溫度介於 20~80 K 之間，冷卻方式可以採用比液態氦便宜許多的氮氣封閉循環或是更便宜的液態氮。

高溫超導之所以極具應用價值，除了  $T_c$  高，可以降低冷卻成本外，高溫超導的上臨界磁場  $H_{c2}$  也高，YBCO 的  $H_{c2}$  在溫度 4.2 K 時達 168 T(Tesla)，而  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$  在同樣溫度下，高達 200 T。 $H_{c2}$  高，表示超導體可以用於提供更強的磁場。

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】403期・105年10月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)