

先進馬達與驅動技術專輯主編前言

Editor's Preface for the Special Issue on Motor and Driver Technology

彭文陽

工研院機械所 控制核心技術組 組長

本期主要聚焦於馬達與驅控技術，屬於工業自動化進程關鍵推手的角色，也是智慧機械的底層核心零組件相關技術，牽涉了馬達、感測、驅動與多軸運動控制，更是精密機械不可或缺的基礎技術。從近幾年自動化相關的國內外展覽可以看出，馬達設計及製造相關的展出焦點，除了原本工業馬達高效率化的議題之外，融入工業物聯網或工業 4.0 的設計相容性也是各大機電業者正在如火如荼的佈局重點。

隨著電動化載具，包括電動助力自行車、電動機車、電動汽車、電動卡車與巴士及電動船舶與無人機等電推進系統的需求增加，國內產學研機構也增加了相關主題研究投入的力度，除了追求電機在功率密度或效率上的性能極緻化，其可靠度議題也是一直以來不可或缺的一環。因為永磁無刷電機在這類移動載具上具有功率密度與控制性的優勢，我們可以發現各類外轉、內轉的無刷電機在電推進系統上的應用案例，因為內轉永磁無刷電機的設計，特別是內藏磁石無刷電機的設計，與外轉式表面貼磁的設計，都有高功率密度電機的成功個案，目前我們可以在電動二輪載具上看到比較多的內轉式內藏磁石的案例，在無人機槳葉推進馬達、洗衣機、吊扇等，因為機械傳動與結構等因素，比較多看到外轉式永磁無刷馬達設計的個案，隨著外轉電機在氣冷設計的突破，後續將看到更多業者導入移動載具的應用。除了以上兩類型的徑向磁通高功率密度電機設計之外，近幾年也看到不少國際上馬達新創公司推出兼顧功率密度與效率的軸向磁通電機設計，包括在電推進輕航機與電動船舶的應用個案。在追

求功率密度的目標時，伴隨要解決的工程議題之一就是散熱，若採取水冷或油冷等液體冷卻的方式，軸向磁通電機因為定子殼體與安裝介面的配置方式，冷卻設計與製造工藝有部分的優勢。當然，發熱的根源還是牽涉到固態熱傳，在導熱絕緣材料方面，近幾年也是電機材料開發的重點之一。

此外，在流體機械的馬達驅控設計上，有越來越多葉片機構與馬達轉子定子進行整合設計的個案，甚至這樣的整合簡化配置應用在大型船舶推進的槳葉上，但改變傳統的全密封及減速機傳動設計，需要滿足電機扭力密度提升，以及防止氣隙空間有流體流過時異物對轉定子的威脅。在工業應用上，以模組化機器人關節動力模組為例，薄型伺服馬達與薄型減速機、薄型驅控器及薄型編碼器的整合，可以提升負載比之外，搭配適當的通訊介面，也構成一個走線非常簡化的設計。

談到電機扭力密度的提升，除了轉定子結構的創新設計之外，一定離不開高性能磁石材料的導入，目前在 1 kW 以下的工業伺服馬達，越來越多的業者，追隨 YASKAWA, Panasonic 等機電大廠的作法，導入日本大同製鋼的專利磁石 MQ3，也別於傳統粉體沾結的 MQ 磁石，以及提升磁能積的溫壓 MQ2 磁石，冶鍊鍛造結晶細化與晶向再重新排列過程，使 MQ3 可以獲得媲美燒結鈹鐵硼 (NdFeB) 磁能積 (> MGOe)，採取這種構造一體式磁石的好處，除了避免了傳統表面貼磁轉子伺服馬達的磁石組裝問題之外，因為 MQ3 可以進行機械 (CNC) 加工，因此轉子的尺寸與幾何精度可以更晉級，甚至降低氣隙尺寸，相較於 MQ2 磁石，

其結構強度的提升，使得 50 mm 外徑左右的轉子轉速可以輕鬆承受 20,000 rpm 左右的應力。在成本上，考量貼片磁石、內藏磁石設計所帶來的組裝工序與檢驗或後製充磁成本，一體成型且可二次加工的 MQ3 磁石未來在頻繁加減速、高轉速電機的應用，有很大的想像空間。

高性能磁石在發電機的應用目前正方興未艾，除了已經導入產品應用的電動汽車增程器，沼氣發電系統也開始出現永磁變頻的設計，以 Yanmar 的沼（燃）氣發電系統為例，相較於傳統定頻勵磁發電機的設計，整體系統電能轉換效率可以提升 5% 以上。在工業驅動方面，以工具機配搭的伺服刀塔、高噸數伺服沖壓金屬成型設備為例，業者與法人合作已經成功開發幾款產品，透過後續國內機電產業上下游業者持續的整合與相關資源投入，在利基型高功率伺服驅動的產品區塊，將可整合出進軍國際的供應鏈，同時提升國產大型設備的附加價值。

以下將針對本期文章作簡要的摘錄介紹，首先，「工業 4.0 通訊技術於運動控制系統之應用與趨勢」一文，主要探討智慧機械推動的趨勢下，因應設備自動化、系統虛實化及工廠智慧化的需求，統一的通訊標準的重要性，主要說明 OPC UA 與 MQTT 兩種目前最常被採用的通訊機制，並以機械手臂之運動控制系統作為應用案例說明。

「多軸同步體感平台結合虛擬實境之控制」一文，主要透過互動科技、空間定位、觸覺模擬與情境感測等技術來建立出完整的 VR 多軸體感系統，包括雙軸腳控器及單軸轉向桿，並由三組曲柄連桿來支撐平台機構，搭配 EtherCAT 通訊控制方式，實現多軸同步體感平台複合運動之控制。

「主動式振動抑制音圈馬達致動器及控制補償設計與驗證」一文，主要在探討微小化相機鏡頭模組 (CCM) 的光學防震 (OIS) 微製動器的設計及其配搭的多軸運動控制器，在微致動器本體設計方面，採用了全新的磁路配置，有效提高了推力比，動態響應與省電性能的提升也來自於專用多軸驅控器的開發，對於未來國產 OIS 產品的普

及發揮關鍵的技術領航角色，其應用也將不限於手機鏡頭模組。

「馬達故障診斷之 AI 模組實作」一文，以感應馬達為案例，應用 AI 演算法與 MATLAB 的輔助，整體程序包括小波轉換、FFT 與監督式機器學習，可作為目前馬達線上偵測的一種有效方法。

「永磁同步電動機定子開路故障即時監測」一文，研究具有 Y 接繞組的永磁馬達開路故障即時偵測，提出使用繞組中性點電壓檢測故障來改善故障監控之性能。雖然需要加入額外之電壓感測器來量測馬達中性點電壓，但是，由於中性點電壓對於負載變化的反應較不敏感，因此可以獲得更佳的故障檢測性能。

「馬達熱流管理簡介」一文，希望對於改善馬達運轉效率與馬達運轉壽命有幫助，並且最小化製造和維護上的成本，進行完整的前案文獻分析，對於散熱分析方法有完整介紹，同時針對封閉型馬達散熱設計方法進行介紹。

「應用於自動鑽孔攻牙機之內藏型永磁同步機之設計與分析」一文，探討應用於自動鑽孔攻牙機之內藏型永磁同步電機，額定功率 7.5 kW，額定轉速 18,000 rpm，最高轉速 24,000 rpm，在設計參數優化方面，針對平均轉矩、轉矩漣波、與效率等三項需求，使用模糊田口法結合有限元素分析進行優化，最後完成實體組裝與測試。

「內藏式永磁同步馬達定力矩與定功率控制之開發」一文，主要探討內藏式永磁同步馬達在全速度操作域需要最大效能之輸出控制，在額定轉速內使用需要最大定力矩輸出，推出定 45 度 m-t 軸最大力矩控制方法，可簡化一般參數型的根號計算，讓系統能有相同最大力矩輸出的前提下也能有更少的計算時間。在額定轉速外使用弱磁控制產生最大定功率輸出，主要比較前饋型弱磁控制以及回授型弱磁控制的暫態與穩態響應，並針對其需要的參數設定以及弱磁控制器設定加以優化，讓這兩種弱磁控制都能實現相近的最大定功率輸出針對弱磁控制。