

馬達電磁最佳化設計分析技術

藍亦維

工研院機械所 智慧車輛組 電能系統部 副理

前言：馬達電磁分析軟體應用於磁路設計，計算馬達出力特性，如力矩、轉速、功率與效率等已有多數年。近年來馬達強調高功率密度的設計，在相同的效率指標下有更小的體積與重量，為達到目標，需要更有效率的設計方法。因此，藉由最佳化設計流程的導入，可自動調整參數找出最佳解，以得到符合目標的最佳化設計結果。

馬達電磁最佳化設計分析技術簡介

電機電磁設計分析在初步設計之後，為確保設計之準確性，需要依靠電磁有限元素分析軟體進行模擬，以確認設計結果。當設計結果不如預期時，可改變電機的尺寸、繞線與材料特性等參數以符合設計需求。然後有限元素軟體的分析時間通常需要數分鐘至數小時不等。雖近年來電腦硬體設備的提升，以及多核心分析模組的應用，讓分析時間相較於過去縮短許多，但電腦硬體設備的提升以及多核心分析模組的軟體採購皆需要大筆費用。因此，應用高檔軟硬體設備的分析，要縮短時間亦需要搭配更有效率的分析做法，減少參數調整的數量，以免去許多走冤枉路的時間。

最佳化設計流程的導入可以解決這樣的問題，利用最佳化軟體與電磁設計軟體的整合，將最佳化設計方法應用在馬達設計上。最佳化已有很多理論方法可供使用，目前亦有最佳化軟體內建諸如實驗設計法、田口法、拉丁超立方與基因演算法等。工研院機械所針對自行開發的 CPEV(工研院自行開發之商用電動

車)馬達進行設計改善，為解決噪音問題與提升效率，將馬達槽極比進行修改，外徑由原先的 260 mm 縮小至 250 mm。因應尺寸的修改，馬達的定轉子齒槽尺寸須重新進行設計，並以高效率為目標。

車用馬達與工業馬達的最大不同在於操作區域，工業馬達的操作區域通常只有單點，或是單一轉速下分成 2~3 種負載；車用馬達則是在不同轉速與負載下操作都期待有高效率的表現。因此，在設定馬達高效率的目標就變得不只是單點效率的提升，而是必須考量到高效率區的提升。而高效率區域需落在馬達的哪一個位置，則是在進行設計之前就必須定義。常見的做法是，將車輛的行車型態如 UDSS 的車速和時間曲線轉換至馬達的 TN 曲線，轉換後在馬達的 TN 曲線上可以繪製出許多點，這些點密集出現的區域代表車輛操作的狀況之下，馬達最常被操作的區域。而常操作的區域並不代表耗能最高的區域，如馬達低轉速或低扭矩的時候其輸出功率都不高。因此操作點還需再轉換成能耗，以確認馬達的高耗能區，即馬達設計上須達成的高效率區。

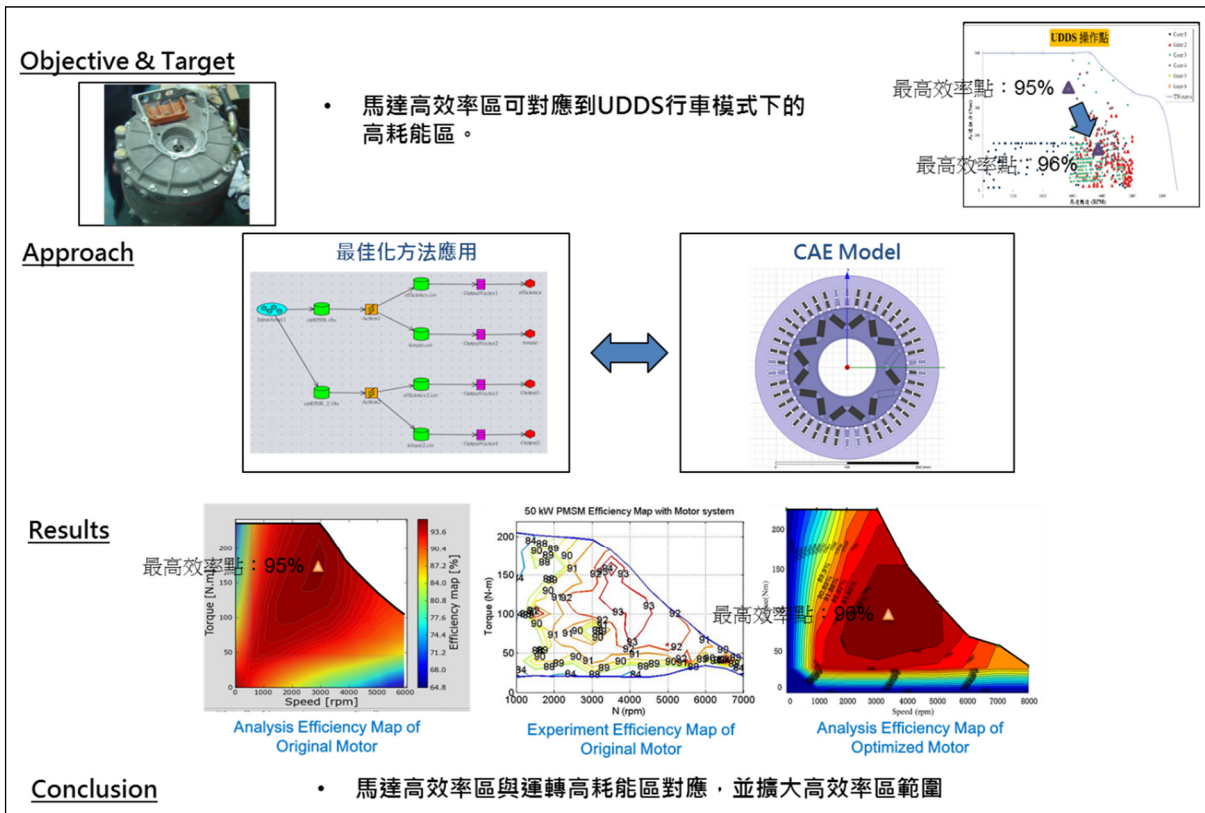


圖 1 最佳化設計整合馬達電磁分析應用

在確認設計目標之後，就可以開始進行馬達設計，在工基計畫建立的最佳化流程中，先針對電機初步設計建立分析模型檔案，並在模型檔案中定義設計變數，諸如定子齒寬、定子軛部寬、轉子磁鐵寬與轉子磁鐵槽型等。接著將模型檔案與最佳化分析軟體做連結，並設定好最佳化的方法，為避免分析結果未達到設計目標或是發散，會設定最大分析筆數。設定完成後，分析軟體會自動依據設定的最佳化方法進行設計變數的數值變更，並進行多次分析。分析流程可先使用實驗設計法進行敏感度分析，並建立反應曲面，再依據反應曲面的結果進行最佳化設計，優點是敏感度分析的結果可以用來判讀與設計目標高相關性的參數，缺點是反應曲面的建立會有曲面擬合(curve fitting)的數據，在進行參數全範圍的最佳化後，會再針對參數縮小變動範圍之後的最佳化。或是直接使用最佳化分析方法進行最佳化設計，優點

是只需做一次最佳化流程，缺點是分析比數與時間相較於先做敏感度分析的手法較久。

應用最佳化設計整合馬達電磁分析的手法，進行 CPEV 驅動馬達的設計，馬達最高效率從原先的 95% 提升至 96%，而更重要的是，高效率點落在整車 UDDS 行車型態下的高耗能區中間，更能針對車輛耗能進行改善。

除了將最佳化設計應用於馬達電磁分析外，在工基計畫建立的技術，亦可以整合到其他分析軟體中，過去也曾完成引擎排氣分析與實驗回歸的案例、驅動器空冷鰭片散熱設計的案例和其他電機設計的案例等。在複雜且需要更有效率的掌握設計參數與目標之間關係的設計案例中，此方法相對於傳統用分析軟體做試誤設計或是將所有參數進行敏感度分析，以找出最佳解的作法無疑是具備了更好的優勢。