

# 電動驅動馬達多重物理耦合分析技術

藍亦維<sup>1</sup> 張伯華<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工研院機械所 智慧車輛組 電能系統部 副理

<sup>2</sup> 工研院機械所 智慧車輛組 電能系統部

## 前言

電動動力馬達是一多物理領域整合的元件，包含電磁、結構、熱傳、材料等，各物理量之間是相互影響的，不加以考量設計，在電機實際運轉時會影響到馬達的特性。為提升設計分析的精準度，以及提升設計品質，工業基礎技術建立的馬達多重物理耦合分析技術可以幫助我們了解馬達電磁、熱傳、結構之間的互相影響，藉此提升設計品質。

## 電機多重物理耦合分析技術簡介

工研院機械所自 2013 年發展多重物理耦合分析技術，在電機部分著重於電磁熱傳耦合分析以及電磁結構耦合分析技術之精進。並將電機設計流程結合最佳化與多重物理耦合分析技

術，其流程簡圖如圖 1。因電機的電磁特性會產生熱損以及力的變化，對於電機熱傳以及結構振動而言，電磁特性是其很重要的輸入參數。因現今分析軟體發展已近成熟，在建立耦合分析模型的部分，採用商用軟體的方式進行

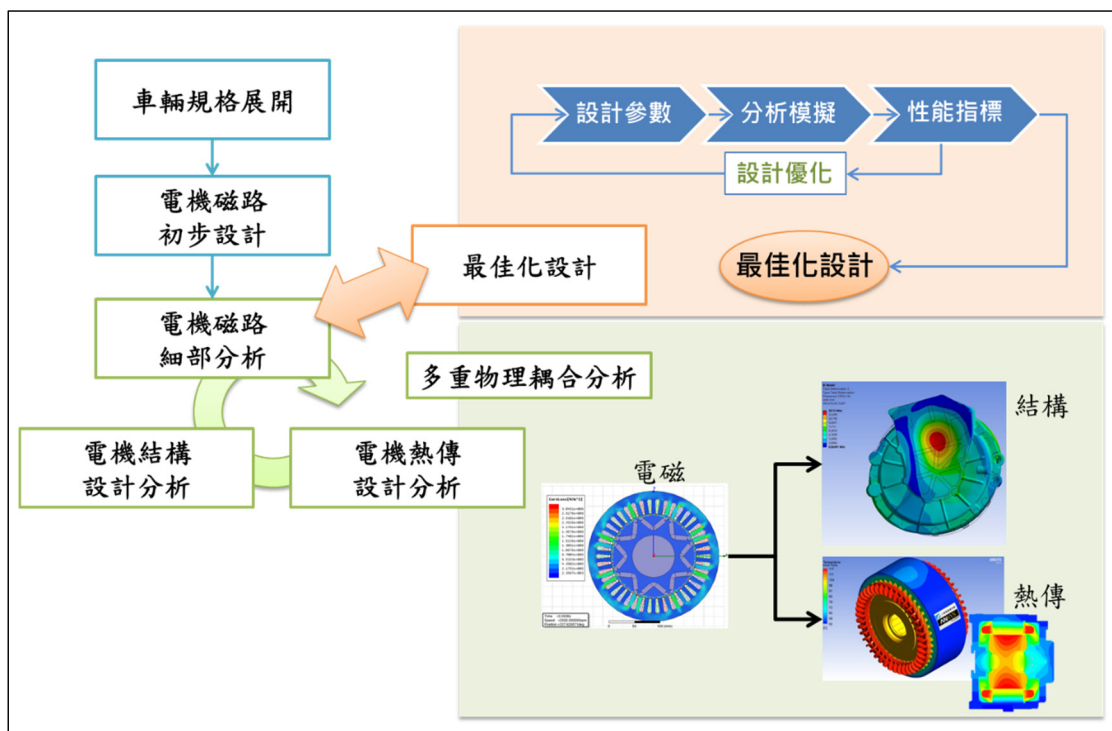


圖 1 電機設計流程

整合，不僅可以增加分析結果的可信度，亦可節省很多開發時間，而模擬結果與實驗的回歸將是工基技術發展重點。以下將簡介電磁熱傳與電磁結構耦合分析結果，以及與實驗的比較結果。

### 電機電磁分析技術

馬達電磁分析從簡易的磁路模型計算，至考慮馬達尺寸與材料特性的公式解，更進一步，利用有限元素法分析 2D 與 3D 的 CAE 模型。越複雜的模型在計算上需要更久的時間，但也相對而言的可以獲得更準確的結果。以車用馬達常見的永磁電機為例，在確認規格並進行初步設計完成之後，會先以軟體初步估算性能，如力矩、輸出功率與特性曲線等，並藉此將馬達定轉子尺寸和繞線疊積等參數確認完畢。接著利用 2D 或 3D 的有限元素分析，確認電機的反電動勢、額定與最大力矩、磁鐵退磁分析、TN 曲線分析、效率地圖分析與電磁受力分析等。

### 電機電磁與熱傳耦合分析技術

電動車用動力系統主要包含電池、控制器與馬達，馬達做為其中的動力輸出，是重要的關鍵零組件。過去馬達設計是先進行電磁設計確認性能，再針對熱傳機構進行設計，最終分析熱傳性能。事實上馬達在操作上電磁與熱傳是相互影響的，電磁損耗產生的熱會造成性能下降，也會造成結構受熱應力的變化。傳統馬達設計將不同物理量以一條鞭式的設計流程分別進行的設計方法已經無法準確地預估馬達性能。為更準確地了解系統的實際狀態，近年來有限元素軟體開發商開始發展多重物理耦合分析之功能，將不同領域的分析軟體透過同一平台進行連結，藉此考量不同物理領域對系統的交互產生的影響。

電磁與熱傳耦合分析，是藉由電磁模擬軟體分析出馬達的電磁損耗，並作為發熱源匯入熱傳模擬軟體。而電磁熱傳耦合模擬分析流程主要是在馬達電磁分析與熱傳分析過程中，建立軟體分析結果互相分享的接口，以分析在特定操作條件下其電磁損耗所造成之溫度分布。

### 電機電磁與結構耦合分析技術

馬達通電產生磁力形成力矩，而力矩屬於馬達的切線力，同時馬達亦會產生徑向力，馬達電磁力的變化會造成定子或轉子的變形，因而產生振動或是噪音。一般結構分析僅會針對馬達結構本體的強度以及自然振頻進行模擬，更進一步會分析轉子動力學，得到轉子振動和變形的模態。前述皆不考慮電磁力變化造成的影響，但電磁力造成的力矩漣波、電磁激振力造成的定轉子結構變形與線圈振動，皆無法得知，故須藉由馬達電磁與結構耦合分析技術確認，分析方法先藉由電磁軟體分析馬達的電磁激振力，包含定轉子的受力變化與力矩漣波，並將分析結果以傅利葉轉換成頻率與振幅，觀察力的變化與頻率階次。接著藉由軟體介面導入結構分析軟體，分析定轉子受到力變化的結構位移，得到馬達的振動模擬結果。更進一步的，可將振動結果進行噪音分析，但聲場模擬有許多參數難以定義，目前僅能做到聲音頻率接近，分貝值則仍有較大的誤差。