

定頻感應馬達磁路與熱傳分析

Magnetic and Thermal Analyses of Induction Machines

丁家敏^{1*}、黃憲章¹、張正敏¹、邱國麟¹、吳昱勳¹、彭昌明²

¹ 工研院機械所 控制核心技術組 高階伺服技術部

² 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部

摘要：目前 IEC 標準感應馬達規範之推行已經於 2017 年 1 月份開始執行 IE3 能效等級，涵蓋功率範圍 0.75~375 kW。而國內大廠針對 IE3 感應馬達系列之產品也已經開發完成，後續開發方向會朝著更高的 IE4 能效等級前進。能效的提昇代表著損耗的降低或是散熱能力的提升。於是 IE4 感應馬達磁路與熱傳兩者間的耦合分析更突顯其重要性。本文將介紹以 motor CAD 馬達分析軟體為工具，進行馬達磁路分析計算損耗，並轉換到熱傳分析觀察馬達之線圈、鐵心與殼體溫度... 等，並說明哪些散熱因素會影響到線圈溫度狀況。

Abstract : According to IEC standard, induction machines with a rated output of 0.75~375 kW must meet either the IE3 efficiency level or the IE2 level if fitted with a variable speed drive. For the famous electric machine companies, they are already to produce IE3 level products. Development of IE4 level products means higher efficiency, less losses and better cooling, all of which depend upon both magnetic and thermal analyses. This paper presents motor efficiency and loss distribution using motor CAD, and describes, which factors would influence temperature of coil distribution on motor.

關鍵詞：耦合分析、國際電工委員會、熱傳分析

Keywords : Coupling analysis, IEC, Thermal analysis

前言

在 IEC 國際規範推廣之下，目前能效等級已經來到 IE3 階段，台灣國內大廠東元與大同都已經具備相當完整的感應馬達產品迎接規範的到來。當馬達能效來到 IE4 時，由於所需要減少的損耗變多，使得材料的使用上會增加或是提升材料品級，如：矽鋼片，以達到 IE4 能效標準，而演變成能效與成本是正相關。為了不讓成本增加太多又能符合 IE4 的情況下，磁路、熱傳與結構三者需要同時考量的議題，本文中只探討磁路與熱傳。

文中以感應馬達 60 Hz 4 極 2 馬力為範例作為解說，並利用 motor CAD 進行磁路與熱傳分析，說明馬達哪些因素會影響到線圈溫度。

基礎理論

進行感應馬達磁路分析時，最重要的起始步驟是確認規格，例如：框號、功率、頻率與極數，再來是確認疊長、定 / 轉子矽鋼片幾何尺寸、電工資料... 等；熱傳分析需要的資料會更為細節而且包含到機構方面，像是：轉子內扇葉數、外殼鰭片

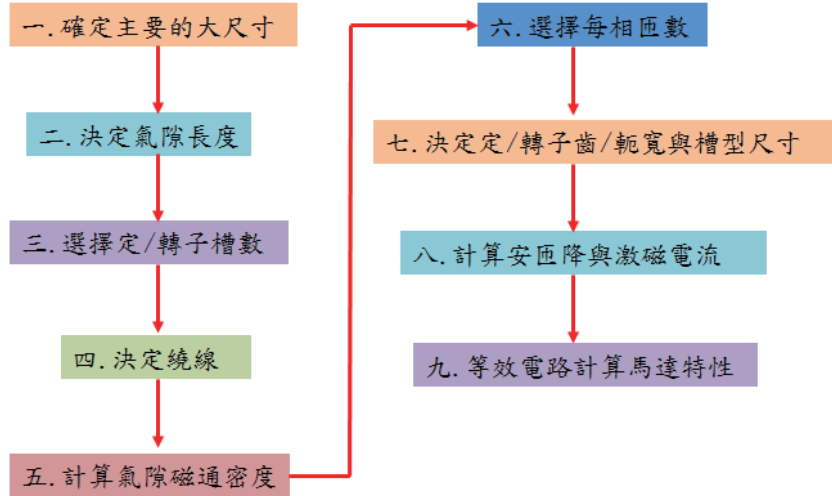


圖 1 馬達磁路設計流程

數目與尺寸、自帶扇葉數、風罩輪廓尺寸與孔洞尺寸 ... 等，以解析解方式進行分析剖為複雜，且沒有參考數值可利用。於是本文使用 Motor- CAD 進行感應馬達磁路與熱傳分析之計算，以換取較有參考性的結果數值。

本章節將介紹磁路與熱傳相關基礎理論。一般馬達磁路設計流程可以參考圖 1，下面文章將依序介紹相關理論。

1. 框號的決定可以確認馬達可輸出功率的範圍，公式 1

$$S_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega k_w \widehat{\varphi}_m \frac{A \pi D}{2} \quad (1)$$

再將 φ_m 理可以得到，公式 2

$$S_i = \frac{\pi^2}{\sqrt{2}} n_{syn} k_w A \widehat{B}_\delta l' D^2 \quad (2)$$

S_i 輸出功率， n_{syn} 轉速， k_w 因數， A 線性電流密度， B_δ 磁通密度， l' 疊積長， D 轉子外徑。

從公式中可以看到，影響馬達功率最大的因子為轉子外徑，換句話說，框號的改變對於功率有很大的相關性。

2. 氣隙在感應馬達設計中是一個明顯的影響因子，氣隙小所相對的激磁電流就小，但轉子渦流損與定子表面損都會增加。以目前加工技術來說，最

小可以到 0.2 mm。到目前為止，氣隙的長度都是依據經驗所訂出來的，也有相關學者提供可參考之公式，如公式 (3)。

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{0.2 + 0.01P^{0.4}}{1000}, \text{ 極對數 } 1 \\ \delta &= \frac{0.2 + 0.01P^{0.4}}{1000}, \text{ 極對數大於 } 1 \end{aligned} \quad (3)$$

δ 氣隙， P 極對數

3. 定 / 轉子槽數組合如何選擇，一直都沒有一個計算式可以決定，絕大部分都是實際測試後發現沒有振動 / 噪音或是啟動問題才會採用。但有些參考書上提供特定的組合作為參考，如圖 2。

4. 感應馬達繞線大部分都是整數槽繞線，常見的繞法有同心繞與疊繞。同心繞屬於全節距繞法，疊繞屬於短節距繞法，這兩者的繞線因數不同，

極數	定子槽數	轉子槽數(斜槽)
2	24	18/20/22/28/30/33/34
	36	25/27/28/29/30/43
	48	30/37/39/40/41
4	24	16/18/20/30/33/34/35/36
	36	28/30/32/34/45/48
	48	36/40/44/57/59
	72	42/48/54/56/60/61/62/68/76

圖 2 定 / 轉子槽數組合 [1]

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】422 期・107 年 5 月號

機械工業雜誌・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：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automat.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw