

高效率感應馬達之最佳化設計與分析

Optimum Design and Analysis of High Efficiency Induction Machines

邱國麟¹、吳昱勳^{1*}、彭昌明²、陳鈞順³

¹ 工研院機械所 高階伺服技術部

² 工研院機械所 節能機械系統部

³ 思渤科技

摘要：本研究旨在提升電能轉換機械能之效率，經由最佳化分析幾何結構磁路變化、損失變化等，透過解析和有限元素法設計高效率馬達，並考慮繞線設計、鐵芯材料與製程優化，針對各項損失採取有效的減損對策。

Abstract : The purpose of this study is to improve efficiency of electrical energy conversion mechanical energy by optimizing analysis of magnetic structure changes in magnetic circuit, loss changes, etc., through analytical solution and finite element design method for high-efficiency motor, by considering winding design, core material, process optimization and taking effective countermeasures against various losses.

關鍵詞：最佳化方法、感應馬達、有限元素分析

Keywords : Optimum method, Induction motor, Finite element analysis

前言

一直以來，提高馬達效率，減少電能消耗，為國際電工組織及全球主要國家在追求節能減碳的重要課題。而近年在高效率馬達的研製中，改善效率以設計、材料及加工三個構面切入，基於成本與市場競爭力，以提升繞組佔積率、縮小氣隙、高品級矽鋼片、降低轉子電阻、機械與雜散損等，有利方法來進行效率提升。由於分析軟體準確性提升，藉由導入最佳化設計，針對效率為目標進行參數化設計，因此本文會結合利用最佳化的方法來達成提升感應馬達效率的目標。

能效損失

在既有的基礎上，針對馬達業者最重視的效率，建置馬達能效損失資料庫，為驗證所開發之上述資料庫之準確性，將應用商用軟體提供之智慧最佳化功能，在給予目標函數及約束條件下進行最佳化設計分析，開發出具高效率感應馬達，以下將就上述之感應馬達能效損失資料庫建置進一步說明。

1. 感應馬達損失

效率為衡量馬達優劣的重要指標之一，它的高低取決於運行時馬達所產生的損失，損失越小，

相對效率就越高：

$$\eta = \left(\frac{P_{in} - \sum P_{loss}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

其中： η 為效率； P_{in} 為輸入功率； $\sum P_{loss}$ 為總損失，總損失包含定子銅損、鐵心損失、轉子銅損、風損 + 摩擦損失和雜散損失。

依據一般的製程、試驗結果和經驗法則，各項損失的比例大致如圖 1 所表示。其中鐵損、定子銅損和轉子銅損所佔的比重佔全部損失 85% 以上，為設計高效率馬達時提升效率之主要著眼點，可透過調整各項馬達設計參數進行改善提升，但要求馬達整體要達到高能效標準時，往往風摩損和雜散損最為關鍵，也最難以得到精確值，目前市面上各種馬達設計軟體皆以開放使用者自輸入經驗值來計算效率，因此在設計階段很難計算得到正確的效率值。雜散損失來源成因非常複雜，主要由氣隙磁場高次諧波所產生的負載損耗，包括表面損耗、橫向電流損耗、脈振損耗、高頻損耗、漏磁通損耗等，難以加以分析計算，因此本計畫擬調查市面上較普及常用的一系列不同功率等級馬達，依據 CNS14400 標準測試方法，實際

量測得到不同等級馬達的風摩損、雜散損，透過大數據蒐集分析及數值統計方法，建立損失模型並整合銅鐵損計算結果為完整能損估測資料庫，期望可準確預估風摩損和雜散損。

2. 感應馬達能效標準

由於機械和雜散損失不是通過電磁分析計算的，所以這兩個損耗的值在感應馬達設計中是非常重要的。經由三相感應電動機產品的試驗數據，將機械損耗和雜散損耗值用於馬達設計，設計和分析的準確性可以得到改善。電動機的損耗由以下使用 IEC 60034-2-1 標準負載和空載試驗的結果獲得的。

三相感應電動機效率試驗的代表性標準是 IEEE 112B，IEC 60034-2-1 和 CSA C 390，其中雜散負載損耗 (P_s) 由輸出功率決定。這些標準還根據預定義曲線中的分配值確定 P_s ，這取決於電機額定輸出功率。通過從表觀總損失中減去常規損失來計算 P_s 。 P_s 對電機額定值的依賴性通常在文獻中有所描述，但是 P_s 的分析計算是困難的，歷史測試數據經常被引用。

在鼠籠式感應電動機中，機械損耗由軸承中

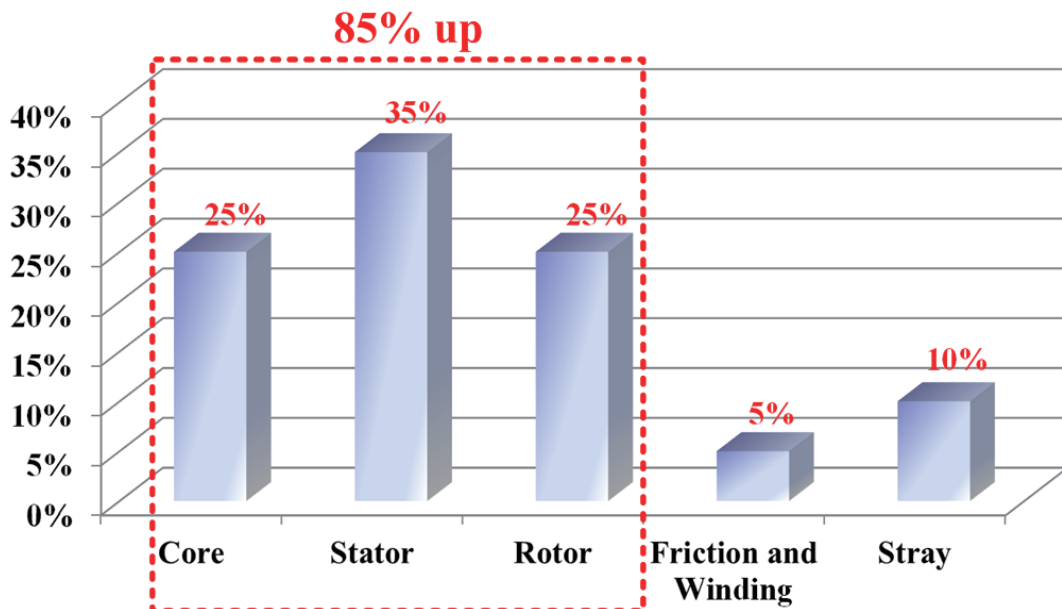


圖 1 馬達損失比例

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.automan.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw