



# 高效率感應馬達複合轉子材料設計

## Design of High Efficiency Induction Motor for Compound Rotor Material

<sup>1</sup>吳昱勳 / <sup>1</sup>邱國麟 / <sup>1</sup>張正敏 / <sup>2</sup>彭昌明

<sup>1</sup>工研院機械所 先進機械技術組 高階伺服技術部

<sup>2</sup>工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部

**摘要：**本研究旨在針對感應馬達轉子複合導體材料之製程與效率，轉子導體採用鋁與銅二種複合材料組成，研究過程中利用有限元素分析，探討鑄鋁以及銅鋁複合轉子對感應馬達電流密度與效率的影響，分別以鑄鋁及銅鋁複合製作馬達實體進行測試，最後對馬達的效率進行討論。

**Abstract :** The purpose of this research is to study the relationship between the manufacturing process of rotor and the efficiency of the induction motor. The composite rotor was made by two kinds of material, aluminum and copper. The general rotor was made by aluminum. We studied how rotor materials, cast aluminum and copper-aluminum composite rotor, affect the current density and efficiency by finite element analysis. The motors, made of two different rotor materials (cast aluminum and copper- aluminum), were tested. Finally, the efficiencies of the motors are discussed.

**關鍵詞：**銅鋁轉子、感應馬達、有限元素分析

**Keywords :** Copper-Aluminum Composite Rotor, Induction Motor, Finite Element Analysis

### 前言

一直以來，提高馬達效率，減少電能消耗，為國際電工委員會(International Electro Technical Commission, IEC)及全球主要國家在追求節能減碳的重要課題。而近年來在超高效電機的研製中，採用鑄銅轉子是一種提高電機效率的有效方法，因為銅的電導率比鋁高出 58%，故使用銅轉子可得到更高的效率，但純銅的熔點(1083°C)比純鋁(660°C)高很多，因此壓鑄的困難度也高很多，不僅使得模具壽命縮短，也相對的提高了成本。因此本研究會結合銅與鋁的特性，設計製作鋁與銅鋁複合轉子進行

測試，並進行效率比較與討論。

### 感應馬達損耗

#### 1. 感應馬達損耗分佈

傳統感應馬達，又可稱為中小型鼠籠式異步電機，近年來世界各國對於感應馬達效率的要求逐年增高，為了增加馬達的效率，就必須要知道馬達的損耗是由哪些部位所產生的，馬達損耗分布主要分為以下幾個：

##### (1)鐵損

鐵損指的是馬達的矽鋼片材料，在磁場의交變



轉換之中所損失的能量，其中主要包含了磁滯損及渦流損，鐵損與馬達上的磁通密度以及頻率，有著極大的關係，基本上材料的磁通密度越高，頻率越高，其鐵損勢必越高。如依電機設計與計算書中所述，鐵損主要來自渦流損與磁滯損。磁滯損係導磁材料原子結構受到外部磁場變化時，重新排列為磁性方向所需耗損能量。磁滯損計算公式如下[1]：

$$P_h = k_h f B_m^{1.6} \quad (1)$$

$$T_h = \frac{P_h}{w} = k_h \frac{N_m}{120} B_m^{1.6} \quad (2)$$

式(1)中  $P_h$  為磁滯損損失功率、 $k_h$  為導磁材料磁能性質參數、 $f$  為磁場變換頻率、 $B_m$  為導磁材料磁通密度；式(2)中  $T_h$  為磁滯轉矩、 $N_m$  為馬達極數。馬達選用矽鋼片作為導磁材料，除了能容納更高的飽和磁通密度外，其材料特性亦具有狹窄的磁滯區域，如圖 1 所示，兩條磁化曲線間隔範圍極為狹窄，使得矽鋼片可快速轉換磁場極性並降低磁滯損。

渦流損亦為導磁材料所產生之損失，屬於磁能損的一種；係因馬達旋轉換相時，瞬間磁場變動，於導磁材料內產生感應電流流動，而造成損失。計算公式如下，將磁場變換頻率改以馬達轉速表示：

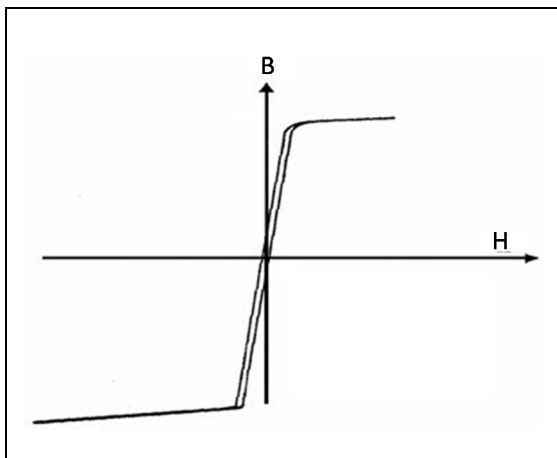


圖 1 矽鋼片磁滯曲線[3]

$$P_e = \frac{k_{ec} B_m^2 d^2 f^2}{\rho} = \frac{k_{ec} B_m^2 d^2 N_m^2 w^2}{14400 \rho} \quad (3)$$

$$T_e = \frac{P_e}{w} = \frac{k_{ec} B_m^2 d^2 N_m^2 w^2}{14400 \rho} = B_e w \quad (4)$$

式(3)中  $P_e$  為渦流損損失功率、 $k_{ec}$  為導磁材料電磁性質參數、 $d$  為導磁材料厚度、 $\rho$  為密度，其轉矩與轉速關係如下；式(4)中  $T_e$  為渦流轉矩、 $B_e$  為渦流係數。

#### (2)一次銅損

指電流流經定子線圈的損失。依基本的電學常識可知，只要電流流過有電阻的物體，就會有  $P_{cu} = I^2 \times R$  的損失。其中  $I$  表示電流， $R$  為電阻。為了產生旋轉磁場，馬達定子鐵心上繞有線圈。一般都是使用銅線，少數為鋁線，電阻越大，相同電流下其損耗就越高。

#### (3)二次銅損

二次銅損是指轉子電流與電阻造成的損失，其原理與一次銅損相同，只是發生位置不同，當然轉子導體條的材料電阻率越低，越能降低其損耗。

#### (4)風損與摩擦損

風損與摩擦損主要來自軸承中的摩擦損失，外部冷卻風扇的風阻損失，轉子的摩擦空氣損失和轉子環的內部風扇的風阻損耗產生。基本上轉速越高，其機械損失所占總損耗的比例越大。

#### (5) 雜散損

雜散損是五大損失中較複雜且不容易掌握的一個損失。基本上，不屬於一次銅損、鐵損、二次銅損及機械損者，都歸類在雜散損。一般而言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。

馬達能效損失，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：

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】415 期・106 年 10 月號

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：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)