

馬達熱流管理簡介

Introduction to Thermal Management of Electric Motors

郭柏崙¹、褚雯霄¹、王啟川¹、丁家敏^{1,2*}、張雅玲²、周信宏^{1,2}、楊適宇²

¹ 國立交通大學機械工程系所

² 工研院機械所 高階伺服技術部 研究員

摘要：本文簡介馬達散熱設計上所需要注意的要點，包含繞組最大限制溫度與馬達壽命之關係，不同轉速下馬達熱源的變化關係以及馬達散熱的種類，透過許多文獻，提供完整的架構可供馬達進行散熱分析。另外介紹常見的封閉型馬達所使用的散熱系統，並分析彼此間優劣差異，最後簡單介紹其餘文獻的馬達散熱分析，觀察不同散熱結構的溫度分布並敘述其散熱原理。總結前後結果以利於未來在設計馬達上能改善馬達運轉效率與馬達運轉壽命，並且最小化製造和維護上的成本。

Abstract : This article reviews the thermal design of motors, including the relationship between the maximum temperature of windings and the motor life span, the relationship between the heat source of the motor at different speeds and the type of the motor in the thermal design. Through some literature survey, a complete thermal management overview is provided. In addition, the advantages and disadvantages of thermal systems used in common enclosed motor are analyzed among each other. Finally, some typical case studies concerning the temperature distribution are presented and discussed. The summarized results are useful in designing motors and can be used to improve the motor operating efficiency and life span, and minimize the cost of manufacturing and maintenance.

關鍵詞：馬達、繞組溫度、散熱分析、散熱技術

Keywords : Motors, Windings temperature, Thermal analysis, Heat dissipation technology

前言

在過去的年代中，人們在馬達結構設計上大多致力於電磁分析而較少關注溫度對馬達性能的影響，而這種意識在中小型尺寸的馬達上特別明顯。而且設計者通常只是在表面上處理一些跟熱相關的設計，像是限制馬達內部最大電流密度或是其他設計尺寸來防止馬達過熱而損壞。跟尺寸有關的問題也沒有明確指出要如何改進設計才能降低馬達溫度。另外，熱分析比電磁分析更少關注的一個可能原因是從事馬達設計人員通常具有電機工程背景，而熱分析通常需要機械工程相關應用背景。

隨著技術的發展，市場對於馬達效率提升與降低成本的需求愈來愈高，新型的馬達設計與新

材料則被充分運用，對於高功率的馬達有必要將馬達的熱設計與電磁設計視為相等程度重要。但是高功率的馬達必然會引起嚴重的過熱問題，這將降低馬達的運轉效率。例如熱損與溫度相關，而溫度也會影響馬達內部磁性，使得馬達轉矩減弱，另外過熱的溫度可能導致繞組絕緣性能下降，將導致馬達運轉壽命大大的減少。因此，控制溫升範圍是影響整體運轉效率的關鍵因素。

TEFC (Totally Enclosed, Fan-Cooled) 感應馬達為工業生產中的主要驅動裝置，由於其結構簡單，操作安全等優點，得到了廣泛的應用。但是 TEFC 感應馬達的能量損耗在整個工業生產中佔近 60%。如果所有運行中的感應馬達的效率可以提高 1%，那麼每年將能節省數十億度電。

關於過熱，大部分研究者在分析馬達溫度時

THERMAL RISE NEMA MG-1-12.44

Class of Insulation System (see MG-1-1.65) Time Rating (shall be continuous or any short-time rating given in MG-1-10.36) Temperature Rise (based on a maximum ambient temperature of 40°C), Degrees C	A	B	F	H
1. Windings, by resistance method				
a. Motors with 1.0 service factor other than those given in items 1.c and 1.d.	60	80	105	125
b. All motors with 1.15 or higher service factor	70	90	115	
c. Totally-enclosed non-ventilated motors with 1.0 service factor	65	85	110	130
d. Motors with encapsulated windings and with 1.0 service factor, all enclosures	65	85	110	—
2. The temperatures attained by cores, squirrel-cage windings, and miscellaneous parts (such as brush holders, brushes, pole tips, uninsulated shading coils, etc.) shall not injure the insulation or the machine in any respect.				

圖 1 絕緣系統溫升標準 [1]

常常說明溫度過高可能導致效率減低以及損壞的危險，但是卻很少明確表示馬達內部的什麼部件高達多少溫度後會有損壞的危險。美國電氣製造商協會 (NEMA) 標準 MG 1-1998[1] 定義了最高環境溫度為 40°C 的馬達的溫升。這裡值得注意的是，根據 NEMA 標準，環境溫度是指周圍空氣的溫度。有些人將此與馬達的預期溫升相混淆，但事實並非如此。此標準將溫度分為四種類別，分別為 A、B、F 及 H 溫度等級。其中 F 級 (155°C) 為常使用的溫度標準，這四種類別的依據並沒有嚴格規定，大致上以絕緣材料的好壞作為區別，溫度限制如圖 1。

對於 F 級標準，馬達繞組絕緣的最大允許溫升範圍為 105 至 115°C，具體溫升限制取決於馬達的配置方式。例如，如果報告中顯示運轉中的

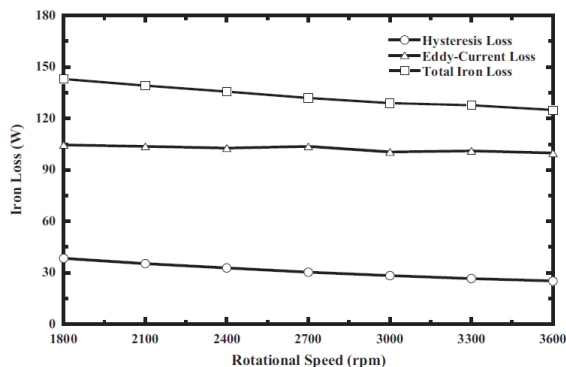


圖 3 定電壓下轉速與磁滯損耗和渦流損耗之關係 [2]

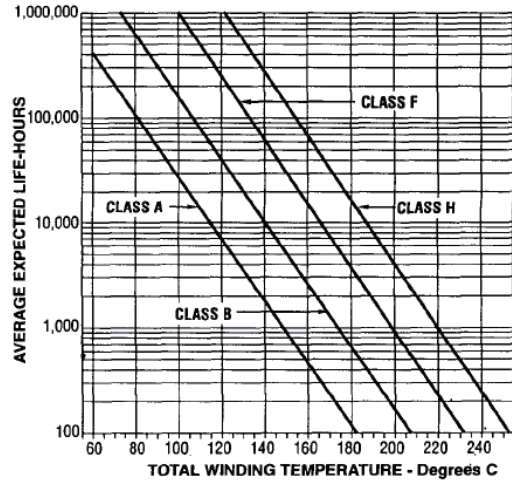


圖 2 繞組溫度 v.s 馬達運轉壽命 [1]

馬達具有 1.15 的操作係數，則其最大溫升將為 115°C 加上 40°C 的環境溫度。定子槽中的繞組幾乎為最熱的部分，因此該馬達的繞組溫度可達到 155°C。定義此溫度標準的用意在於避免繞組中的絕緣材質在過熱的情況下遭受損毀，降低馬達的壽命，詳細的繞組溫度與壽命關係如圖 2，隨著溫度升高，馬達運轉壽命將迅速降低。當然，製造商在設計馬達時不會使其在最高允許溫度下運行，因為這會大大降低馬達壽命。一般來說，絕緣材料的平均壽命為 20000 小時，而且每升高 10°C 的工作溫度，絕緣壽命就會縮短一半。假設您將馬達設計為總溫度為 110°C (包括環境溫度，上升溫度)，但使用 B 級 (130°C) 系統進行製造，則未使用的溫度額度為 20°C。這個額外的餘量將使預期的馬達絕緣壽命從 20000 小時提高到 80000 小時。

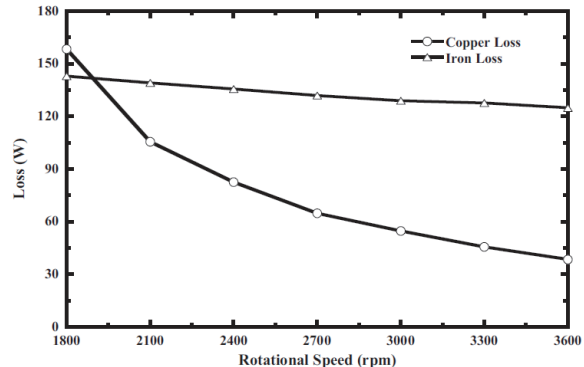


圖 4 定電壓下轉速與銅損耗和鐵損耗之關係 [2]

更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | • 434 期 • 108 年 5 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 12 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將 繳款收執 或 信用卡刷卡單 傳真至 (03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

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

機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

A 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

C 工具機叢書任一本

D 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D