

交流电动机繞組

[英] H. 霍柏胡特著

科学技術出版社

T M 340.3,

1-1

交流电动机繞組

[英] H. 霍柏胡特 著
周 宜 彝 譯
張 亞 雨 校

科學技術出版社

內 容 提 要

本書敘述各種旋轉電動機的主要特點、交流繞組的型式、繞制方法、交流電動機與發電機各種繞組中的各式繞圖，及繞組普通原理等，各章內均附圖很多，尤有助於了解及仿做。本書可供電機設計人員參考及繞線工作人員及修理工作人員學習之用。

交 流 電 動 機 繞 組

Alternating Current Motor Windings

原 著 者 [英] H. Hopwood

原 出 版 者 George Newnes, Ltd.

1950年第一版

譯 者 周 宜 霖

校 閱 者 張 亞 雨

科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 號

上海市印刷四廠印刷 新華書店上海發行所總經售

統一書號：15119·33

(原大東版印3,000冊)

開本 787×1092 耗 1/27·印張 11 3/27·字數 240,000

1956年3月新1版

1958年9月第5次印刷·印數 5,031—8,030

定價：(10) 1.60 元

譯者序

關於交流電動機原理書籍，坊間已有不少問世；其中關於“繞組”一章，或以限於篇幅，致語焉不詳；或專偏於理論，於實際製造方法少有列論，故一旦應用不免有生疏之感。至於一般從事繞組工作者欲求一關於繞組製造實用專書常不可得，故祇得自工作中逐漸摸索，取得經驗，以致事倍而功半。

本書為一極合實用專書，讀者於讀完本書後當可體會。其內容切合實際，此不僅可供設計人員參考，且亦可供技術人員及繞線工作者學習之用。原書著者從事工廠繞線車間工作凡三十餘年，故書中所述皆係本其三十餘年實際經驗寫成，譯者因樂於將此書介紹於我國讀者之前。

原書關於線圈尺寸均採用公制；但有若干處仍用英制，為求統一起見，故譯文中均改為公制。原書中有一二處因不適合我國國情，故均為之刪去。

譯者學識淺陋，譯文中錯漏之處在所難免，尚祈讀者不吝指正是感。

譯者識

目 錄

第一章 緒論.....	1
第二章 交流電機的特性.....	5
單相電動機.....	8
顯極同步電動機.....	31
交流發電機.....	37
變頻機.....	40
電動機變流機.....	47
薛銳基交流整流子電動機.....	54
第三章 交流繞組的型式.....	61
多相電機用的“A”類繞組.....	62
“A”類籃形繞組.....	64
“A”類密集形繞組.....	67
兩層式繞組(“A”類).....	77
“A $\frac{1}{2}$ ”類繞組(多相式).....	87
“A $\frac{1}{2}$ ”類兩相繞組.....	92
“B”類繞組.....	95
“B2”類繞組.....	101
“C”類繞組.....	114
第四章 分數馬力電動機的繞法.....	123
通用式電動機轉子的繞線.....	125
通用式電動機磁場線圈的繞法.....	133
密集形繞組.....	134
手繞密集形繞組.....	139

第五章 模繞低壓鑲圈繞組	148
密集形繞組	149
籃形繞組	153
銅排繞組(半閉槽)	155
開啓槽的嵌鑲法	160
第六章 高壓繞組的繞法	164
4000伏以內的高壓疊繞組	164
密集形繞組與開啓式槽	166
半閉槽所用的密集形高壓繞組	170
開啓槽用的疊繞組	177
開啓槽用的 6600 伏疊繞組	180
第七章 疊繞組	181
第八章 交流繞組中鑲圈的製造	192
三相籃形繞組舉例	199
圓鑲鑲繞轉子繞組	211
銅排轉子繞組的木模	217
高壓繞組所用的鑲圈	228
密集形半鑲圈繞組	229
用圓鑲或扁鑲所繞的疊繞組	238
第九章 相序	245
旋轉原繞組的相序	257
兩相繞組	259
第十章 並聯電路	263
疊繞組的並聯電路	268
第十一章 鋼絲紮箍	274
第十二章 絕緣材料	283
第十三章 若干有用的工具	288

第一章 緒 論

本書的目的是爲了使電機繞線工及修理工能够明白一些關於交流電動機繞組的法則。

各工廠對於交流繞組的製造方法各不相同；有的歡喜用這種，有的歡喜用那種，但它們的效果則是一樣。各種電機的線圈型式可能各有不同。因此本書並不準備把所有的繞法都一一談到，而只儘可能地介紹一些交流電機繞組的實用製造方法。

不論繞組是屬於電機的定子或電機的轉子，用手繞或機器繞，如果能够有一種簡便的繞法，那就可以採用，不必管本書是否曾經談到。

電機的規範

當廠方與客戶簽訂了購買電機的合同以後，就把訂單連同所有數據送交設計人員去決定，究竟應該選擇那種類型。設計人員可能決定選用廠中的標準產品，就是說所有該種電機的零件在廠內製造都是標準化的。

設計人員在開始設計前，他必須接到訂單和所有數據。這些數據應包括電壓、頻率、功率因數、電源相數、電機的旋轉速度、與電機所發出的功率。假使是電動機，應說明馬力。假使是發電機，應說明輸出疋數。

此外，設計人員應按照客戶的要求，在規定限度內設計這個電機的功率因數，開動電流和開動轉矩。假使是同步電動機，還應加上牽出轉矩。

繞組上所用的絕緣可規定為“甲級”或“乙級”，同時再規定繞組或鐵心上昇的溫度及溫昇最大限度。

以上數據可委託顧問工程師代開；但客戶如已知道馬力及速度，則可將訂單交與製造廠家，並聲明此電動機應合乎某某標準即可。通常標準上都載明應有的各項規範。

客戶可從此種標準規範的限度內獲得可靠的保障，使他所得到的電機具有一定的標準性能和可靠的製造材料，而使電機能有相當長的使用期限。

設計人員在得到所需數據後，應在規定限度內設計。

設計人員常會受到材料的限制，但設計應求適中，否則必然會浪費材料，使成本因之增高。

交流電機組成部份的共同性

此外設計人員應採用所有共同性的電機組成部份，如疊片、鐵心、槽（開啓、半閉或封閉）、定子內圓和轉子外圓等。

槽內應有足夠的嵌線地位，供繞組內通過單相或三相交流電流。

每一相繞組應具有它一定的作用，而每對磁極在每相內應有一定數目的安匝數，使產生轉矩所需的足夠磁通量。

每相每極的槽數

例如電源是三相時，則每對磁極必須有一定的槽數，以容納三組單獨的繞組，就是每對磁極內最少的槽數，必須是3的倍數。這樣才能使電氣上達到平衡。

每槽內導體的數目

每相每對極內的槽數必須有同樣數目的導體。假如每相內的電流相同，則每相每對極內的安匝數亦必相等。

安匝相等是電機穩定運轉的必要條件。電機內如有任何不平衡情

况存在時，例如感應電動機內氣隙的不均，或線圈內匝數的不符，均足使三相輸入電源不平衡，而發生振動；同時也會因此形成其他機械上的故障。

速度、頻率及極數

轉子旋轉的速度由客戶選定，通常係用同步轉速和轉差率三種來規定。

轉子速度以每分鐘若干轉數表示，假如電源的頻率已經知道，即可決定電機應繞的極數。

在電動機或發電機等電機中，週或頻率是直接與極的對數有關的。

頻率的意義是“每秒若干週”；但通常也用“若干週的頻率”一語來表示。“週”一詞在銘牌上不常使用，通常多用“~”形符號來代表，它是指發電機轉子轉子的一對磁極經過定子上某一點所需的時間，亦即 2 極轉子旋轉一週，或 4 極轉子旋轉半週，或 6 極轉子旋轉三分之一週所需的時間。

如電源的頻率是每秒 50 週，則每分鐘的週數為 $50 \text{ (週/秒)} \times 60 \text{ (秒/分)} = 3,000 \text{ 週/分鐘}$ 。

極的對數

假如轉子的速度是每分鐘 3,000 轉，(同步速度)，則電機所應繞的極數是：

$$\begin{aligned} \text{極的對數} &= \frac{\text{週/分鐘}}{\text{同步速度(每分鐘轉數)}} \\ &= \frac{3,000}{3,000} = 1 \text{ 對極} \end{aligned}$$

交流電動機的同步速度決定了極數，故電機繞線時必須照所決定的極數去繞線。

上面方程式中的商，就是極的對數。一全週等於在 360° 的圓周內

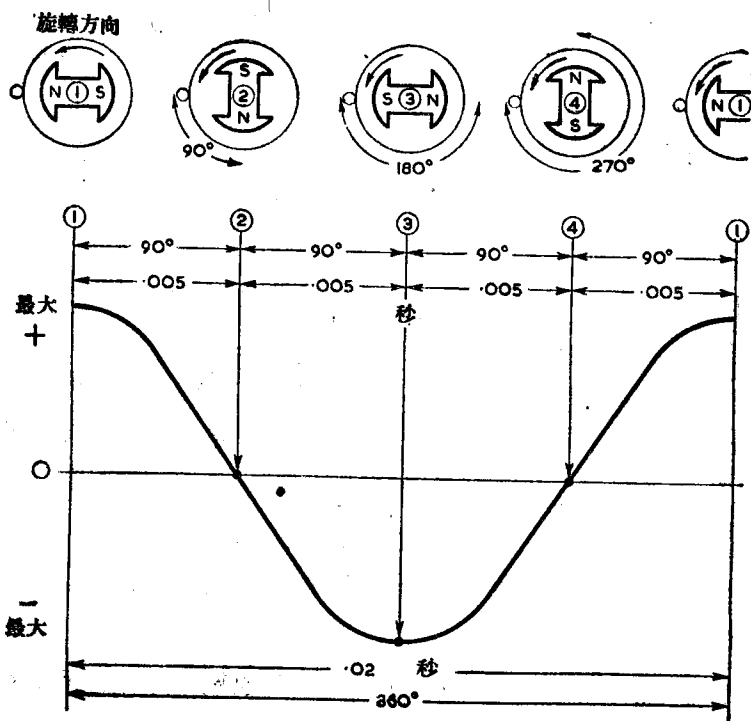


圖 1 兩極交流發電機所產生的一週(即頻率或週期), 用~符號代表。
兩極、50週/秒、3,000轉/分鐘, 電機旋轉一次時間=0.02秒。

旋轉一次, 相當於一對極在電氣上旋轉 360°。

下面再舉若干例子說明速度和極數在各種不同頻率下的關係:

$$\frac{50(\text{週/秒}) \times 60(\text{秒/分})}{1,500 \text{ 轉/分鐘(同步)}} = \frac{3,000}{1,500} = 2 \text{ 對極} = 4 \text{ 極}$$

$$\frac{50(\text{週/秒}) \times 60(\text{秒/分})}{1,000 \text{ 轉/分鐘(同步)}} = \frac{3,000}{1,000} = 3 \text{ 對極} = 6 \text{ 極}$$

$$\frac{50(\text{週/秒}) \times 60(\text{秒/分})}{750 \text{ 轉/分鐘(同步)}} = \frac{3,000}{750} = 4 \text{ 對極} = 8 \text{ 極}$$

$$\frac{25(\text{週/秒}) \times 60(\text{秒/分})}{1,500 \text{ 轉/分鐘(同步)}} = \frac{1,500}{1,500} = 1 \text{ 對極} = 2 \text{ 極}$$

$$\frac{60(\text{週/秒}) \times 60(\text{秒/分})}{1,800 \text{ 轉/分鐘(同步)}} = \frac{3,600}{1,800} = 2 \text{ 對極} = 4 \text{ 極}$$

同步速度及轉差率

由上例中，可知電源的頻率能控制轉子的速度。實際上感應電動機的速度較同步速度為小，亦即轉子的速度較原繞組所產生的旋轉磁場的速度為小。所以感應電動機又稱為異步電動機。它的旋轉速度可由下式求出：

$$\frac{\text{每分鐘周率數}}{\text{原繞組極的對數}}$$

所謂異步就是用來說明普通感應電動機和其他以同步速度旋轉的特種電動機是不同的。

通量旋轉的速度與轉子速度之差稱為轉子轉差率。通常以同步速的百分比來表示。一般標準電動機的轉差率約為 $2\frac{1}{2}\%$ 。

根據以上所述，可知設計人員在設計時常因電機是否是特殊用途、標準式或現貨式而受到若干條件的限制。

自然亦有些例外，例如有些繞組每對極的槽數並不能為相數所除盡，此點容於以後討論。

交流繞組的法則

假使學生、業餘繞線工在修理或重繞那些電機時，就可知道設計人員在設計電機時所必須遵守的各種電機共有的法則，那末他們就再也不會感到電機的神秘了。

舉例

例如，其中一項法則是波形繞組中線圈的雙極節距必等於：

$$\frac{\text{鐵心內的總槽數} \pm 0, 1 \text{ 或 } 2 \dots\dots}{\text{極的對數}}$$

有時一極內線圈的節距不等於

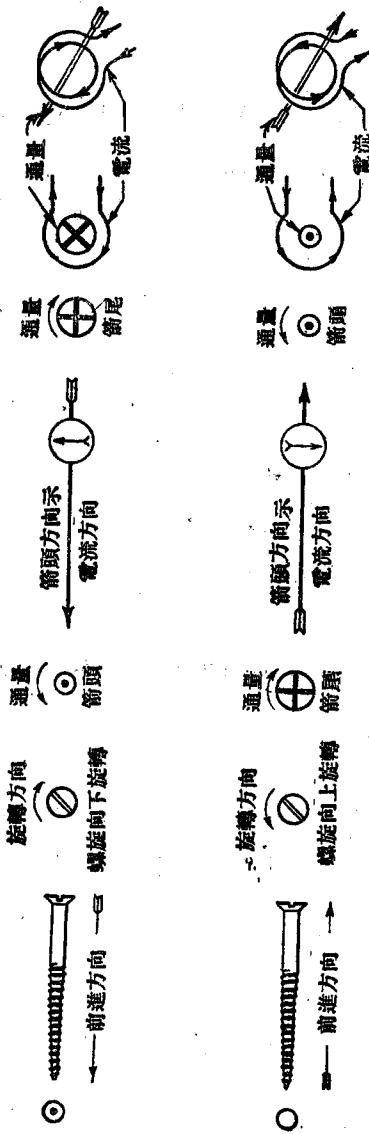


圖 2 此圖表示標準木螺絲的旋轉方向與進退的關係以及電流與通量的旋轉方向與進退的關係。

如將木螺絲以順時針方向旋轉，螺絲即離開螺絲鑿進木中。如將木螺絲以逆時針方向旋轉，螺絲即朝
向螺絲鑿鑿脫出木外。

電流與通量的關係亦與此相同。線圈內如有電流通過後即產生一磁場，磁場方向隨電流方向而決定。如
核對線圈圖解時此種方法頗為有用。

$$\frac{\text{總槽數}}{\text{極數}}$$

此種情形在一對極內的槽數可為相數所除盡，但不能為相數的兩倍所除盡的情形下發生。此外如繞組是兩層分佈繞法時亦有此種情形。

假如三相繞組內，每對極內的槽數能為相數的兩倍(即 6)所除盡，則線圈的節距可使等於：

$$\frac{\text{總槽數}}{\text{總極數}}$$

在此情形下，如電機是一交流發電機，則設計人員可將極節距改用短節距，使所生波形更為完善。

任何波形繞組中如第一只極節距是短節距，則次一極節距必定是長節距。第一只縮短的槽數必與第二只所增長的槽數相等。

雙極節距必等於：

$$\frac{\text{鐵心內總槽數} \pm 0、1、2 \cdots}{\text{極對數}}$$

此種法則是目前所討論的波形繞組所必須遵守的。

上面所講的說明了交流繞組內包含了許多法則，同時此種法則多數可用簡單數學公式表示。

以後各章將要談到這些法則，並用例子來說明。它們在普通所用的各式交流繞組中都要用到。

第二章 交流電機的特性

下面將講到現今所應用的各種旋轉電機的主要特點，這樣在遇到各種電機時就能分辨出來。

單相電動機

普通的單相電動機型式很多。在單相電源上可用各種方法使產生一旋轉磁場，但並非所有單相電動機都要採用這種方法開動。

單相電動機普通有下列各種型式：

通用式

分相式

推斥式

電容式

通用式電動機

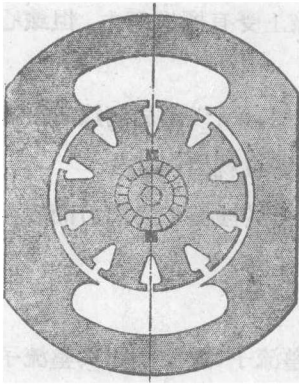
通用式電動機可用在單相交流電源上，或用在直流電源上。實際上此種電動機是一種“串激”電動機；即磁場線圈是與電樞接成串聯。

電樞的構造及繞組

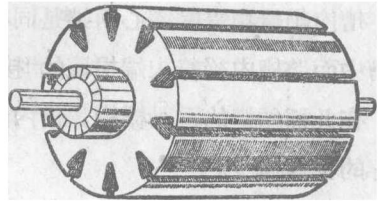
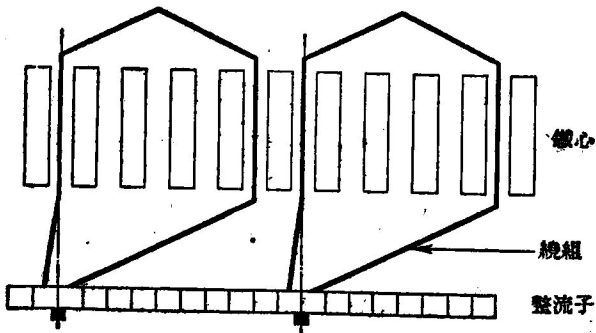
電樞的製法及線圈的繞法與直流電動機的電樞完全相同。

鐵心疊片是用的厚 0.04-0.05 公分高級矽鋼片做成的。矽鋼片的一面塗有絕緣漆。

通常電樞是用一特殊繞線機，把絕緣線直接放入槽中繞成，槽中放



磁場系統

電樞
10 槽, 20 整流子片

電樞繞組圖解

圖 3 普通用途的通用式電動機。

上圖是電動機的两个主要部分：一部分是固定磁場，一部分是旋轉電樞。繞組內產生通量，再由通量產生旋轉作用。電刷的位置約在中和綫的下面（但並非電刷的最後位置）。

有 0.025-0.037 公分厚的絕緣紙及 0.013 公分厚的蠟布。

槽內的絕緣是與鐵心的長度相等。鐵心二面的端板是用 0.08-0.16 公分厚的浸絕緣漆的反白或絕緣紙板與其他絕緣物做成的。兩端板可用沖鐵心矽鋼片的沖模沖出來。普通稱此種端板為電樞鐵心板。

繞線時，因線被拉緊，致電樞槽的邊緣上受有機械應力，但鐵心的絕緣端板可承受此種應力。

槽內絕緣與電樞鐵心兩端是同樣的長短，所以由於銅線直接繞於線槽中而將槽內絕緣末端損壞的“接地”故障也就因此減少。

在此種結構的電動機中，槽內的絕緣由於機械上的應力而發生被打穿的現象極少。

繞組與整流子的連接

將繞組繞於線槽後，第二步驟是裝上整流子，並使繞組與整流子相連接。

電樞中所用的銅線極細，所以在連接時應特別小心。有些廠家用英規 20 號（直徑為 0.09 公分）的銅線一小段鍍錫後再嵌於各整流片上，並把繞組的兩端在這一小段銅線上各繞一兩匝，用此法可使銲接牢固，並且在機械及電機方面都比較良好。

槽內按裝梢子

電樞槽內突出槽頂的多餘絕緣物體應當剪去。把槽內線圈上部的絕緣物兩側向內覆轉，將槽內線圈包住。在槽的上部再加一梢子，它的作用可使槽內的絕緣保持一定位置，並可使槽內線圈不致凸出，與電樞鐵心相碰。梢子可用反白、木頭或其他硬質紙製品如青壳紙等製成。梢子的厚度通常是 0.08-0.16 公分。

有時也可用一條繩子穿過槽內，來回在鐵心上盤繞紮住，但這個方法比用梢子要差，原因以後再談。

電樞平衡的重要性

這種電樞因旋轉速度極高，故必須用特殊平衡校準機校平，這樣才可得到真正的動平衡。

假使電樞不會用動平衡校準，就會發生振動，使鐵心及整流片在短

時間內鬆動。電樞如有不平衡時也會使電樞向上下及左右跳動，結果足使軸承損壞，並影響機身各部結構，此外也會產生高頻率振盪。

吸塵機、小型手用工具機、電鑽及砂輪機上所用的電動機如有不平衡時，在使用上就感到不適，它的原因就是由於不平衡所產生的高頻率振盪之故。

電樞的平衡校驗

假如槽中是用梢子的，則校驗平衡時可將不平衡處的木頭或反白梢子抽出，換一銅質或鉛質梢子，使電樞變成平衡。此種方法在校驗平衡上甚為便利，並且亦相當安全。梢子所要掉換的長度並不是全部梢子的長度。譬如所要增加的重量是反白梢子一半的重量與鉛質梢子一半的重量之差時，只要用一半鉛質梢子，另一半用反白梢子。

最緊要的是金屬梢子的位置應當正確。

圖 4 是通用式電動機的電樞圖。假如在校驗平衡時發現“A”點有 0.75 公分超出平衡，此即等於在“A”點有 0.75 公分是重一些。假如此種不平衡不加以改正，那末電樞在“A”點就要自輻向凸出。又因為不平衡重量是在電樞的一端，所以這個不平衡重量就向箭頭方向凸出，而不是向輻向凸出，結果當電樞旋轉後，電樞就要如圖中所示大箭頭的方向移動。

所以在校平衡時，就要用一個相當不平衡重量的物體放在“B”點來抵消此種不平衡的現象，如圖所示。

第四章中將要談到繞製此種電樞的方法，用此種方法結果大致不會發生不平衡的現象。

通用式電動機的磁場系統

除了一個很大的差別外，通用式電動機的磁場系統與大型直流電機的磁場系統是相同的。