

電機設計

下 冊

柯爾門 張藕舫 原著

鄭光華 汪標生 合譯

中國科學圖書儀器公司

出 版

電 機 設 計

DESIGN OF ELECTRICAL APPARATUS

下 冊

J. H. Kuhlmann 原著

張藕舫 第三版協著

鄭光華 汪樞生合譯

中國科學圖書儀器公司

出 版

本書內容介紹

本書專述各種電機的設計方法，原係西文名著，分爲四個部門，講述直流機，同步機，感應電動機及變壓器等。各部門均自成段落，故次序可以互換。每一部門的內容非常豐富，且有很多工廠中的實際經驗與理論上的卓越成就。每一種電機的設計均有詳細設計單，以資倣效。

本譯本係根據 1950 年的第三版譯成，內容較前二版改進頗多，且由我國電機工程師張藕舫教授參與著述。尤以感應電動機部門有了重大的修改。譯本中除原書所有附錄外，更由譯者另選電工雜誌中之有關文獻，輯成附錄 8 至 13，以供讀者作進一步研習之用。

爲讀者攜帶便利並爲免除裝訂困難起見，本書分爲上下二冊。附錄及符號表均殿於下冊之末。

譯 者 序

解放以來，我國的工程界已脫離半殖民地的地位而達到了獨立的境界。祖國的大規模建設已在開始，我們教育界負有培養大批建設幹部的重大任務，因此，我們需要大量的中文科技書籍。現在電機工程方面的中文書籍已漸漸增加，不過關於電機設計方面的還感到非常缺少。因此譯者謹將本書譯成中文，以期拋磚引玉，來迎接祖國的第一個五年計劃。

本書內容包括直流機設計；同步機設計；感應電動機設計；及變壓器設計等四個部門，各部門均自成段落。教學時可以按實際情況而調換前後次序。本書敘述明顯，步驟清晰，內容豐富，極適於初學之用。且其中也搜集了一些工廠中的實際資料及理論上的卓越成就。

原書三版印行於1950年，其中有我國電機工程界知名之士張稱觞先生共同著作。書中內容較之第二版改進頗多，尤以感應電動機部分更能隨着工廠中的實際情況及材料技術理論等方面的進步而作了重大修改。

書中理論方面引用雜誌上的文獻頗多。譯者謹將手頭所有資料中比較有價值的部分節譯出來，附在書後作為附錄的一部分，藉以供讀者進一步學習之用，並使讀者看到書中某些重要公式的由來，以便在特種情況下適當地修改某些公式使適合於特殊條件，這部分譯文較為簡略，因譯者認為它可能不是每位讀者所需閱讀的，

故不希望太佔篇幅而增加印刷成本。

全部譯稿請曾繼鐸先生校閱一遍，並作了許多修改，謹此致謝。

譯者學識淺薄，乖誤之處恐所難免，尙祈同志們不吝指正。

譯者序於浙江大學

一九五二年七月

目 錄

下 冊

第三部 感應電動機

第十六章 構造.....313—319

定子—轉子

第十七章 定子.....320—343

輸出常數—氣隙密度—安培導體數—效率和功率因數—直徑和長度—繞組—槽的數目和大小—定子齒和軛的密度—範例設計

第十八章 轉子.....344—355

氣隙長度—轉子繞組—轉子槽的數目和大小—轉子齒和軛的密度—範例設計

第十九章 電動機的特性.....356—387

磁化電流—氣隙安匝—定子和轉子軛的安匝—定子齒和轉子齒的安匝—無載電流—鐵心損耗—摩擦和風阻損耗—無載定子銅耗—短路電流—轉子電阻—變阻器數據—溫升—設計範例—感應電動機設計單

第二十章 分數馬力單相電動機.....388—437

繞組—鐵心直徑和長度—範例設計 1—設計 2—單相感應電動機設計單

第四部 變 壓 器

第二十一章 構造.....438—447

鐵心—鐵心式—殼式—分心殼式—油桶

第二十二章 鐵心和繞組.....448—469

鐵心的設計—繞組的設計

第二十三章 運用特性.....470—477

電阻—漏磁電抗—調整率—激磁電流—效率—溫升—油桶設計

第二十四章 變壓器範例設計.....478—522

第1號設計—繞組的設計—低壓繞組—高壓繞組—變壓器設計單(一)

第2號設計—繞組的設計—低壓繞組—高壓繞組—變壓器設計單(二)

第3號設計—繞組的設計—低壓繞組—高壓繞組—運用特性—變壓器設計單(三)

第4號設計

附錄：銅鍊表.....523—532

附錄1—7 設計用曲線圖.....533—536

附錄8 蛙腿繞組.....536

附錄9 槽口對於氣隙磁通分佈的影響.....538

附錄10 同步機電樞的漏磁電抗.....543

附錄11 感應電動機開動時漏磁飽和作用的計算.....552

附錄12 深槽的集膚效應.....556

附錄13 單相感應電動機中的諧波雜聲.....558

符號表.....565—581

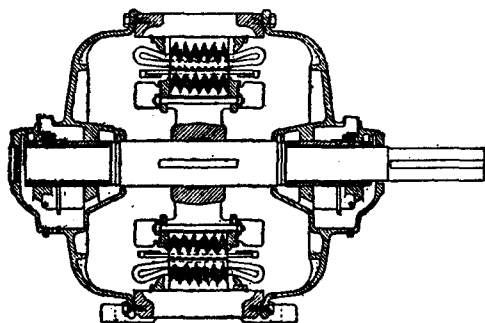
第三部 感應電動機

第十六章

構造

多相電動機可以從 $\frac{1}{2}$ 馬力造到數千馬力。通常所用的感應電動機有兩種：(1)多相鼠籠式感應電動機，和(2)多相線繞轉子式或滑環式電動機。

通常所用的構造型式表示在第 170、171、和 172 圖中。

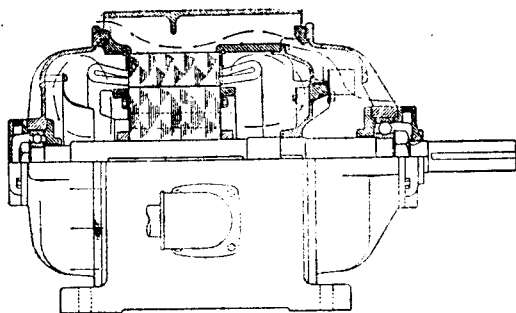


第 170 圖 鼠籠式感應電動機的剖面。

定子——感應電動機的定子或磁場的構造通常多與同步電機的電樞相同。在小型電機中，同一定子往往可以用作同步電機，又可以用作感應電動機。

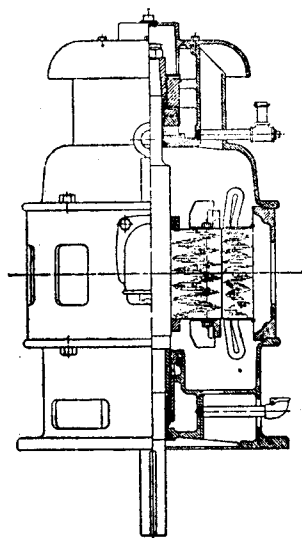
定子疊片是從含矽 1-3% 的電機片鋼中沖出來的。片子的厚度

常常是從 0.014 吋到 0.019 吋，前者用於鐵心損耗需要低的電機中。小直徑電機的定子疊片往往沖成整張。大直徑的疊片都用分段的



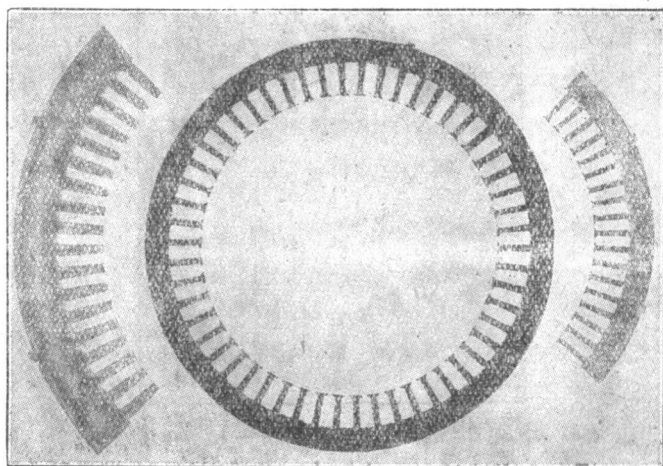
第 171 圖 裝用鋼珠軸承的全封閉鼠籠式電動機的剖面總圖。

沖片。第 173 圖表示一張開着部分封閉槽的整張沖片，和兩張分

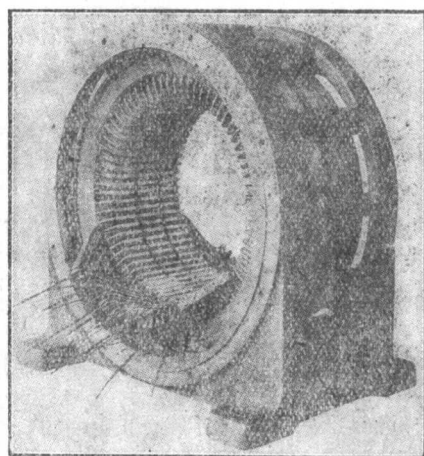


第 172 圖
直立鼠籠式電動機的剖面。

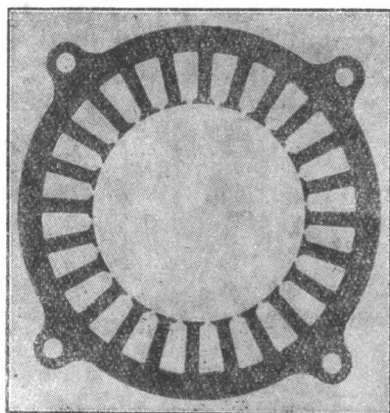
段的沖片，其中一張段片有開口式的槽，而另一張有部分封閉式的槽。沖片裝在定子架子中，如第 170、171、和 172 圖所示。當定子鐵心的長度超過 4、5 吋時，就必須用輻向通風溝隔為數段，以保持鐵心和繞組的適當通風。中型電機的通風溝是 $\frac{3}{8}$ 吋闊，而大型電機的是 $\frac{1}{2}$ 吋闊。兩通風溝中心線間的距離應該不超過 3 吋。在定子的每一端。通常都由樞齒支撐裝成通風溝。第 174 圖中表示一只裝置好的定子鐵心，其中嵌有一部分線圈。



第 173 圖 感應電動機的定子冲片。



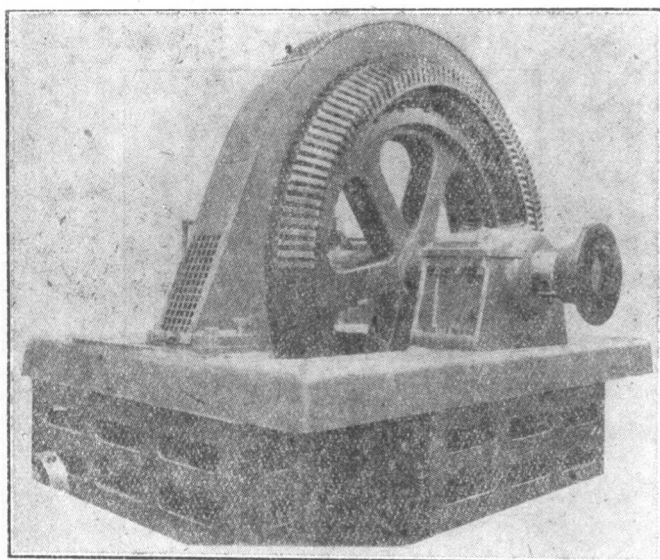
第 174 圖 一部分繞好的開口槽定子。



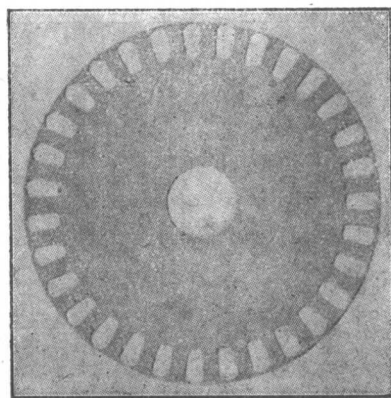
外徑 7.1 吋
內徑 4.1 吋
槽口 0.11 吋

槽寬度 頂部 0.35 吋
底部 0.50 吋
槽深度 1.0 吋

第 175 圖 1 馬力每分 1800 轉 3 相 60 周電動機的定子冲片。



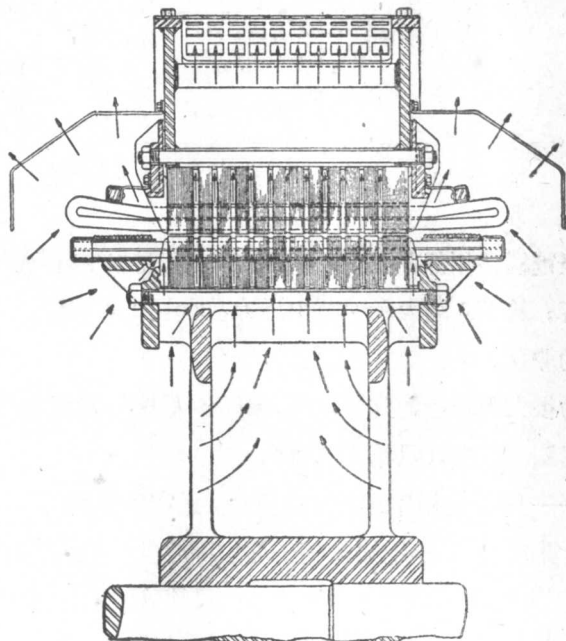
第 176 圖 1500 馬力 36 極每分 200 轉 6600 伏碳磨式感應電動機，
其中用銲接的軋鋼做定子機架。



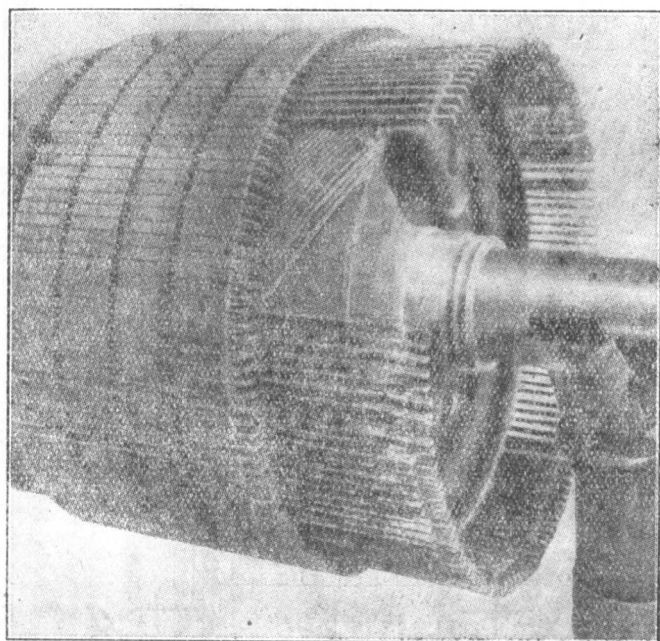
外徑 4.22 吋
軸徑 掃 吋

槽寬度 { 頂部 0.22 吋
底部 0.16 吋
槽深度 0.41 吋

第 177 圖 1 馬力每分 1800 轉三相 60 周電動機的轉子冲片。



第 178 圖 定子和轉子的剖面圖。



第 179 圖 一部分繞好的滑環式轉子。

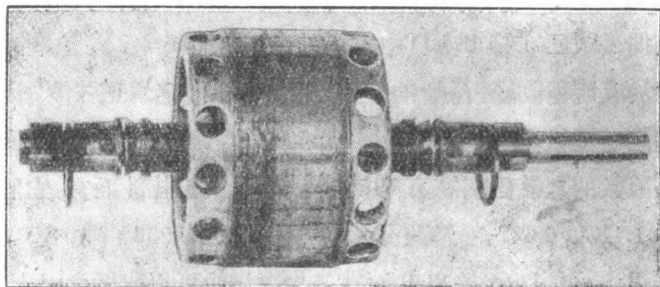
小直徑電機多用部分封閉槽，各齒的兩邊互相平行，而槽的兩邊並不平行。第 175 圖表示一張 1 馬力、3 相、4 極、每分 1800 轉的電動機的沖片。

一般的很大電動機的定子機架，像同步電機的電樞機架一樣用鉚接的軋鋼板造成，（見第 176 圖）。

轉子——轉子是用片鋼疊片造成的，通常多從與定子所用相同的材料中沖出來。小電機的轉子沖片都沖成一整張、直接裝在軸上。第 177 圖表示一張 1 馬力、4 極、鼠籠式電動機轉子的沖片。整張的沖片也用於中等直徑的轉子中；而大直徑的轉子必須用分

段的冲片。這種冲片裝在輻上，用穿心螺絲將它緊夾在兩塊端板之間，如第 178 圖所示。

當定子中需要開通風溝時，在轉子中也開數目相等而大小相同的通風溝。鼠籠式轉子的槽通常都淺，鐵心每端的齒支撐和通風溝往往省去不用。滑環式電動機的轉子中必須用絕緣繞組，這種繞組需要用較深的槽，因而在轉子鐵心的每端要像定子鐵心中一樣地用齒支撐。第 178 圖中表示一只大容量、鋁繞轉子電動機的剖面圖，第 179 圖中表示一只一部分繞好的滑環式轉子。



第 180 圖 用澆鑄鼠籠繞組的轉子。

鼠籠繞組通常多用矩形銅條或圓銅條造成，在每端用一只銅質端環把所有銅條連接起來。有些製造廠家採用澆鑄的鼠籠繞組。所用的金屬是鋁，把這種金屬澆入裝好的轉子鐵心中去。用了這種構造方法，可以開梯形的槽而使齒的兩邊互相平行可能在小直徑的轉子上開多數的槽而不致於使齒的密度過高。第 177 圖所示的轉子冲片是用於澆鑄鼠籠轉子中的。第 180 圖表示一只用澆鑄鼠籠繞組的轉子。

第十七章

定 子

感應電動機定子的設計是和同步電動機或發電機電樞的設計一樣地進行的。定子繞組中所感應的電壓，

$$E = \frac{\phi_t n N k_p C_w}{60 \times 10^8} \text{ 伏/相。} \quad (170)$$

這個公式已在第 185 頁中說明了。

對於感應電動機，磁通的分佈，通常可以假定為正弦波，因為分佈的定子繞組產生很近於正弦狀的氣隙磁通波。波形因數和磁通分佈因數的意義已經在第 195 頁說明了，就正弦波而言，它們分別等於 1.11 和 0.637。繞組分佈因數已經在第 206 頁說明了，在三相繞組中，可以取為 0.956，而在二相繞組中可以取為 0.91。繞組常數，

$$\text{在 3 相中 } C_w = f_b f_a k_d = 1.11 \times 0.637 \times 0.956 = 0.677,$$

$$\text{在 2 相中 } C_w = f_b f_a k_d = 1.11 \times 0.637 \times 0.91 = 0.643.$$

一線圈中所感應的電壓與線圈所跨角度的一半的正弦成正比。線圈所跨角度的一半的正弦稱為弦距因數。

$$k_p = \sin(P \times 90^\circ).$$

電壓一定時的總磁通，

$$\phi_t = \frac{E \times 60 \times 10^8}{n N k_p C_w} \text{ 線。}$$

在這個方程中、 E 是每相感應電感，它等於每相端電壓乘 $[1 - (I_m X_1)$ 的標么值]。這 I_m 與 X_1 的標么值的乘積通常多介於 0.02 和 0.04 之間，在大多數設計中可以用 0.03。於是 $E = E_T \times 0.97$ 。

在感應電動機磁路計算中、用每極磁通代替總磁通，和用頻代替每分同步轉數，往往便利些。每極磁通

$$\phi = \frac{\phi_t \times f_d}{p}$$

用上式代替 ϕ_t 和用 $\frac{2 \times 60 \times f}{p}$ 代替每分同步轉數，得

$$\phi = \frac{E_T \times 0.97 \times 10^8}{2.22 N f k_p k_d} \text{ 線。}$$

輸出常數——如果 E 是每相端電壓，則感應電動機的輸出，

$$\text{hp} = \frac{E I_m \times \text{eff.} \times \text{PF}}{746} \text{ 馬力}$$

$$E = \frac{\phi_t n N k_p C_w}{60 \times 10^8} \text{ 伏, (近似值)。}$$

總磁通， $\phi_t = \pi D l_g B_g$ ；而定子上的總安培導體數， $I_m N k_p = \pi D Q$ 。代入上面的輸出方程中，

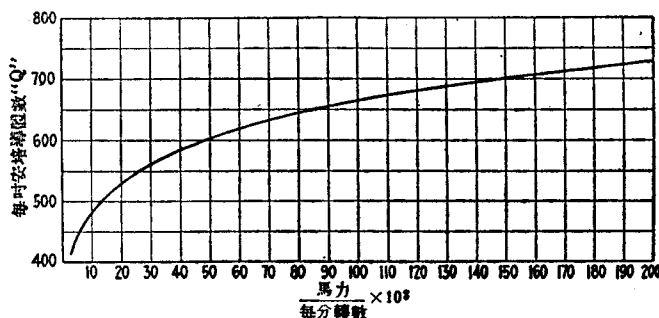
$$\begin{aligned} \text{hp} &= \frac{\pi D l_g B_g \pi D Q n C_w \times \text{eff.} \times \text{PF}}{44.75 \times 10^{11}} \\ &= \frac{D^2 l_g n B_g Q C_w \times \text{eff.} \times \text{PF}}{4.54 \times 10^{11}} \end{aligned}$$

$$\frac{D^2 l_g n}{\text{hp}} = \frac{4.54 \times 10^{11}}{B_g Q C_w \times \text{eff.} \times \text{PF}} \cdot$$

氣隙密度——感應電動機中的磁化電流，或維持磁通於磁路中所需的電流，是從電動機所連接的交流線路上取來的。這種磁化

電流滯於電壓之後 90° ，如果要獲得合理的運用特性則這種電流必須很小。就實用上最短的氣隙長度來說，氣隙的磁阻仍比磁路其餘部分的磁阻要大。所以爲了避免過大的磁化電流起見，就需要用適中的密度。定子齒中的密度是和氣隙中的密度成正比的。高的齒密度會產生大的鐵心損耗而且增加磁化電流。感應電動機的氣隙磁通密度多介於每平方吋 25,000 和 45,000 線二極限之間。高的數值用於大容量、高速率的電動機中。在通用的電動機中，從每平方吋 30,000 到 40,000 線的氣隙密度最爲合適。

安培導體數——定子氣隙周緣的每吋安培導體數與電動機的大小、定子繞組的電壓、通風的型式、和容許的漏磁電抗有關。第 181 圖的曲線表示電壓高到 2500 伏、敞露式、 40°C 定額電動機的 Q 的平均值。



第 181 圖 多相感應電動機定子氣隙周緣的每吋安培導體數。

效率和功率因數——第二十四表中表示電壓高到 600 伏的正常多相、60 週、定速率、 40°C 、鼠籠式電動機的運用特性，而第二十五表中表示電壓高到 600 伏的正常多相、60 週、定速率、 40°C 、滑環式電動機的運用特性。