

感應電動機接線概論

(改訂本)

丁士鈞 編譯

大東書局出版

感應電動機接線概論

(改訂本)

丁士鈞 編譯

大東書局出版

一九五三年一月改訂本初版

感應電動機接錄概論

定價人民幣：28000元

版權所有
不准翻印

原著者 A. M. Dudley

編譯者 丁士鈞

出版發行者 大東書局

上海福州路310號

印刷者 大東印刷廠

上海安慶路268弄



書號：5044(7001—10900)

初 版 序

和各種交直流電動機相比較，感應電動機獨具四項壓倒性的優點：(一)構造最堅，(二)價格最廉，(三)養護最簡，(四)運用最便。因此它問世的歷史雖短，而應用範圍却日見廣泛，現在恐怕沒有其他種類的電機能和它爭一日之短長了。

感應電動機的構造最為簡單，唯一較繁複之處，就是線捲的接線方式。所以研究感應電動機可以從兩處着手：假使以實用為出發點，則討論重心應在線捲的接線方法；假使以理論為主題，則研究的重點應在電動機的運用原理。闡述原理的書籍，已經很多，但是線捲接線方面的撰著却還不多觀，偶或在專門的雜誌上發見一二，也往往語焉不詳，每令讀者有不能窺全豹之憾。這個最切實用，最為工作人員所急需了解的問題却一向沒有受到應有的重視，譯者有鑒於斯特將本書介紹給讀者。

本書討論範圍可分四大類：(一)接線方法，(二)改接規則，(三)舊壳重繞新線的計算，(四)磁性拉力的校正。書內並附有線捲接線圖形全套和不均分組的詳表，原書敘述簡單明白，所選擇材料又完全以實用為主，專供繞線技工，修理人員，運用工程師，及青年學生之用。

翻譯之際，承王樹良、柯士鏘二君贊助指示，又承華通電機廠蕭心工程師詳為指正，獲益良多，謹此致謝。譯者材識淺陋，原書字句，容有誤解錯譯之處，尚祈讀者不吝賜教，幸甚！

丁士鈞識

一九五一年夏六月序於吳淞

改訂版序

本書自問世以來甫逾一載，而印行已達三版，足徵我國的電力從業人員對於感應電動機的接線及其有關問題正感覺到迫切的需要。然陶德烈氏的原文結構散漫，次序顛倒，前後重複，行文冗長，為保持原書優點而儘量改善其缺點起見，乘茲重印第四版之便，特將原譯本徹底增訂。增訂的目標有三：

第一、結構散漫，前後重複的若干篇幅都加以部份的重寫和整理。如原書對於疊形波形線捲的敘述，缺乏系統，讀者不易領會，現在把它全部重寫。又原書本有“特殊接線法”一章，今因其中的一部份資料與另一章“不均分組之分配方法”相雷同，故決意刪除，而將其又一部份材料提出，加以補充，另闢“雙速電動機”一章。

第二、原書自十二章以下，次序凌亂，不合規程，現在把章數重新調整。至於疊形與波形線捲之接線圖兩章，按理本應分別插在定子與轉子線捲的後面，但為增進閱讀時的一貫性和翻閱時的便利起見，特地移置書末。

第三、原書之第三版印行於一九三六年，故有若干較新的題材，未及寫入，今參考其它資料詳為補充。又原書對於某些問題太嫌簡畧現在也酌予改寫，並將原來冗長而不切題的文字完全刪去。新添的題材計有鼠籠轉子槽數之選擇，雙速電動機，定子與轉子之單相運用，單相與多相感應電動機之運用原理等項。

一九五二年國慶日梁溪丁士鈞識

藍懋氏導言

最好的教科書常是由精於教授法的學者們寫出來的。根據同一理由，技術書籍也應該由實地工作的工程師執筆，纔算合理；苟非如此，所寫文章很易落在實際情形的後面，形成脫節。就電機工業而論，它的發展至速，變遷至多，非日常接觸的人士不能道出最新的工作法則。很不幸的，“言行不一”原是人類的通病，這裏也不能例外。“言”者往往不必就是“行”者，因為“行”者總是不息地“行”去，而把“言”的工作交付與他人代理。一般書籍之所以缺乏實際工作情形，原因就在這裏。陶德烈氏的著述獨在常例以外，因為作者十四年的實地工作經驗足以為其言論的後盾。他所發的論斷，語語有據，一字一句都可當做工作人員的參考資料；如書中所論關於三相電動機旋轉向的預測問題，和第九章所列電機改接圖表等等，無一不與實際工作有關。而且不僅如此，該書的資料既是代表着最新穎的工作方法，那些缺乏實地經驗的莘莘學子，苟能將本書閱讀一過，也自能獲得很多啓發性的指示。

正和一切高級技術相似，已往的人士對於感應電動機的理論，申論殊詳，而對於實際工作的細則，却多畧而不道，這豈不是一個很大的漏洞？況且這一式電動機的歷史雖短，不逮直流電機遠甚——而它在今日之動力界却已成了權威。陶氏發表感應電動機錄捲問題，非但是合乎時宜，簡直可說是對症下藥！

由於這種原因，我萬分高興地把這本著作介紹給對於感應電動機的理論與實際同感興趣的人們。

藍懋(B. G. Lamme)敬序

目 錄

初版序

改訂版序

藍懋氏導言

第一章 感應電動機錄捲之功用..... 1

感應電動機發展簡史——直流電動機錄捲之功用——同步電動機——感應電動機

第二章 旋轉磁場..... 5

感應電動機概說——交流磁力表示法——單相及多相交流電表示法——第二相錄捲反接之原因——二相電流生成磁場法則——三相電流生成磁場法則——磁場圖解法——對掉引錄來反轉旋轉方向法——多相感應電動機運用原理一：——無電抗轉子——多相感應電動機運用原理二：電抗轉子——反電動勢——多相錄捲接法——感應電動機之式樣

第三章 定子錄捲.....28

錄捲概說——雙層疊形錄捲——概念圖——接圖之校核——二相錄捲接錄圖自繪法——三相星形錄捲接錄圖自繪法——三相網形錄捲接錄圖自繪法——庶極接法——單層疊形錄捲——同心圈錄捲——機槽與機齒——開朗槽與半封閉槽——半封閉槽錄捲——開朗槽錄捲

第四章 轉子線捲.....51

線繞轉子與鼠籠轉子——線繞轉子——波形線捲——正型波形線捲——正型波形線捲之電壓關係——正型波形線捲接線捷法——變型波形線捲——線繞轉子線捲式樣——鼠籠轉子——鼠籠線捲之電流路線——鼠籠線捲電阻——轉子電阻與轉子電流之計算法——鼠籠線捲之構造——鼠籠轉子槽數之選擇

第五章 單相線捲.....78

單相感應電動機運用原理——單相電動機分類——線捲式樣——外界電端接線草圖——定子線捲——繞線方式——線絞繞法——線捲分佈法——線絞繞入機槽之程序——推拒電動機線捲——分相電動機線捲——主要及啓動線捲之接線——模板繞法——啓動線捲

第六章 短距線捲.....97

縮短間距之優點——改極數而不變間距——短距因數——短距之效應——分佈因數——相絕緣——磁場圖形之描繪——短距所生效應之圖形表示

第七章 分佈因數及其應用.....122

集中線捲——分佈線捲及分佈因數——線捲更改相數時電流束的變動情形——分佈因數之導出——分佈因數——圖解法——算術公式——二相分佈因數——二相庶極線捲之分佈因數——三相分佈因數——三相庶極線捲之分佈因數——單相線捲之分佈因數——單相線捲採用同心線圈之理由——單相線捲上短距因數與分佈因數之區別——分佈因數之應用

第八章 電壓變更對於錄捲接線之效應	135
絕緣之校核——絕緣試驗——每匝伏特——電壓換算表用法——	
不平衡電壓之效應——不平衡電壓之分解法——定子之單相運用	
——轉子之單相運用	
第九章 相數變更對於錄捲接線之效應電壓及相數同	
時變更之處理方式	155
相數變更——丁字接法之缺點——電壓與相數之併合改變——旋	
轉向之配合	
第十章 頻率變更對於錄捲接線之效應	171
速率之校核——電壓與頻率之關係——轉矩，轉數與馬力之關係	
第十一章 極數變更對於錄捲接線之效應	178
極數與電壓之關係——變更極數時之校核	
第十二章 錄捲改接綱要	187
基本概念——銅絲及鐵心之切面積——錄捲之發電機作用——間	
距之變更——一切變更均可視同電壓變更——電壓變更——相數	
變更——頻率變更——極數變更——馬力變更	
第十三章 不均分組之分配方法	204
不均分組——最小公倍法——不均分組錄捲之平行路線——本法	
之例外一：二相錄捲——本法之例外二：三相錄捲——不均分組表	
之用法——不均分組之應用範圍——剖裂分組法	
第十四章 雙速電動機	235
雙速電動機——各物理量之關係——定轉矩接法——定功率接法	

——二相變速電機

第十五章 校正磁性側邊拉力之接線243

電動機及發電機之磁性作用——穩定性磁力平衡——不穩定性磁力平衡——一路接法不能校正不平衡拉力——頂至頂接法的平行路線確有校正之作用——頂至底接法的平行路線無校正作用——校正作用最大之理想接法——均衡線——軸承磨蝕——電機具有自動校正之性能

第十六章 感應電動機線捲故障之勘定法256

喧聲與振動——電流及耗損之校核——故障十則——接地——短路——線圈反接——極相組反接——分組錯誤——相反接——電壓錯誤——極數不符——斷路——故障校正法——故障之勘定程序

第十七章 舊壳繞新線計算捷法278

設計鳥瞰——設計要點——鐵心切面之校核——導線切面之計算——滑環間之電壓——計算總論——計算簡表

第十八章 電動機行為性能之計算298

算法提要——磁場及激磁電流——漏磁係數——鐵損——電阻——圓圖製法——圓圖用法——線繞感應電動機之行為計算——鼠籠感應電動機之行為計算——額定容量之決定

第十九章 二極至十四極疊形線捲之分組接線圖247

第二十章 波形線捲接線圖388

附 錄401

第一章

感應電動機線捲之功用

任何電動機 (Motor) 的運用原理，不論直流電動機 (Direct-current Motor) 或交流電動機 (Alternating-current Motor) 簡單地講來，是由於磁路 (Magnetic Circuit) 和電路 (Electric Circuit) 的交互作用，因而產生了機械旋轉力。欲知機械旋轉力產生的原因和結果，我們必須先行研究磁路和電路的本質，和二者之間的關係。很久以前就有人知道把電流 (Current) 通入繞在磁性材料上的線圈來製造磁鐵 (Magnet)。嗣後又知道若把導線或線圈放在磁場裏而通入電流，則線圈上立即有機械力作用着，使線圈能夠在磁場內移動。製造磁鐵最簡單的方法是利用電流，而產生電流最簡單的方法又是利用磁鐵，所以現在我們也不必考慮電流和磁鐵之間究竟以何者為基礎以及應該以何者作為研究起點的問題了。惟有一件事情更為明顯，就是對於磁路和電路，銅絲所繞成的線圈 (Coil) 都是很重要的。交流電動機內線圈的式樣和組合的方式就是本書所要討論的主要課題。

直流電動機線捲之功用 在大家所熟知的直流並繞電動機裏面，有兩個不相關聯的線捲 (Winding)，各有其不同的功用。電機的定子 (Stator) 上面繞着並聯的場線圈 (Field Coil)，它的功用是在造成磁路 (或稱磁場)。電樞 (Armature) 上面却又另外繞着一套線圈，作為負載工作電流 (Working Current) 的電路。

電樞上的線圈除了負載電流的功用以外，還負有產生電壓 (Volt-

age) 的重要使命, 使所負工作電流的強度只以足夠產生需要的轉矩 (Torque) 為限, 不會無限制的增高。讀者試稍加思考, 便可明瞭這一現象的必然性了。5 匹 230 伏特電動機的滿載電流 (Full-load Current) 約在 20 安培之譜, 而電刷間所量得的電樞電阻 (Resistance) 僅有 0.3 歐姆。若別無原因, 則依據歐姆定律 (Ohm's Law), 電樞內所流通的電流應為 $230 \div 0.3 = 767$ 安培。不過,



圖 1 直流電動機之線捲及其功用

現在事實上却只有 20 安培的滿載電流, 按理只僅需 6 伏特的電壓即足夠使 20 安培的電流在線捲中暢流。由此看來, 其餘的 $230 - 6 = 224$ 伏特勢必另被其他方式所吸收無疑。事實是這樣的: 電樞旋轉以後, 電樞上的線圈產生了 224 伏特的電壓和總線上 230 伏特的電壓相對抗, 只剩了 230 和 224 間的差額 6 伏特把所需的電流壓入電樞流通。這在電動機的電樞裏所發生的電壓名喚反電動勢 (Counter e. m. f., Back e. m. f.), 不論直流交流, 也不論任何種類, 只要是電動機, 反電動勢是必然存在的。

從上面所講的看來, 並繞直流電動機的二個線捲完成了三種任務: 第一, 場線圈生成了磁場; 第二, 電樞線圈負載了工作電流; 第三, 電樞線圈產生了一個和總線電壓相抗的反電動勢, 決定電樞內所流電流的數值, 也因而決定所生轉矩的大小。

這個情況可以用圖 1 抽象地表現出來, 產生磁場的並聯場線圈和負載工作電流的電樞線圈都已在圖中繪出。電樞產生反電動勢的作用本在限制電樞電流的強度, 所以圖上用了和電樞相串聯的電阻來代表。

同步電動機 同步式的交流電動機 (Synchronous Motor) 也有兩套錄捲來完成上述的三大功用：第一是直流錄捲，用來製造磁場；第二是交流錄捲，用來負載工作電流；第三是交流錄捲產生了一個幾和總錄電壓相等的反電動勢。

圖 2 就表現了這一情況，磁路所需的直流電另由外界直流電源供給，定子上的交流錄捲負載了工作電流，

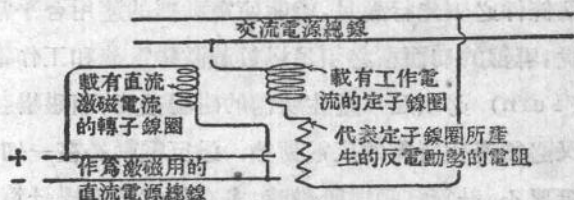


圖 2 交流同步電動機之錄捲及其功用

如圖所示，而所產生的反電動勢則由串聯的電阻代表着。

感應電動機 交流感應電動機 (Induction Motor) 的情形亦復如此。定子和轉子 (Rotor) 上各備錄捲一套，完成同樣的三個功用，可是其中有個小小的不同點值得注意。多相感應電動機的轉子錄捲本是負載工作電流的，不過定子和轉子錄圈之間却並無任何電性的連繫，所以轉子裏的電流只能由利用變壓器原副錄圈的原理感應出來。定子錄捲 (相當於變壓器的原錄圈) 於是單獨地擔任了三個功用：第一，激磁電流 (Magnetizing Current) 在裏面流通着，生成了磁場，正和直流並繞電動機交流同步電動機的場錄圈相同；第二，工作電流在裏面流動着，並藉了變壓器的原理感應入轉子錄捲；第三，錄圈裏產生了發電機作

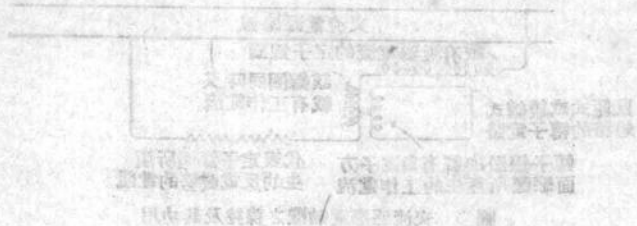


圖 3 交流感應電動機之錄捲及其功用

用,造成一個對抗外加電壓而數值略低的反電動勢。

這一情況見圖 3。圖中項目和圖 1 圖 2 相似,不再重複解釋。

因為三個功用都彙集在單獨的一套線捲身上的緣故,運用的情形若有改變——例如重繞線圈來適合不同相數不同速率等情形——這三個條件必須先行滿足,纔能使電動機的運用合乎常態不受影響。這就是說,導線的切面積必須足以負載激磁電流和工作電流的併合數值;匝數 (Turn) 必須足以產生所需的磁場強度,而磁場強度和匝數併合起來,又必須產生所需的反電動勢。這反電動勢在一切情形下都僅比外加電壓略小,計算電動機匝數時,多有作為發電機計算的,正是爲了這個理由。此法在本書內將普遍利用,并設法使之視同一種自然現象,而不擬以數學公式或繁複的向量或圓圖出之。



第二章

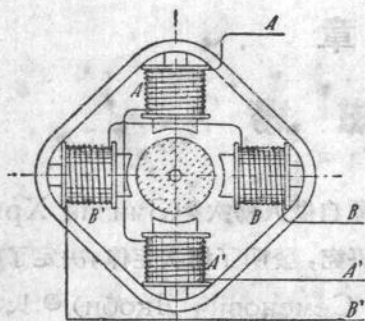
旋轉磁場

感應電動機發展簡史 電磁現象自俄人楞次^①(Змилий Христианович Ленц) 教授作深遠的研究，發明了楞次定律，決定了感應電動勢方向以後，夏谷弼(Борис Семенович Якоби)^②氏於1839年首先付諸實用製造了第一座磁電式電動機，把電能換成機械能。有了這二人的成就作為基礎，於是法樂理(Galileo Ferraris)於1885年戴斯蘭(Nikola Tesla)於1886年不謀而合地發現了用交流電來產生旋轉磁場的法則奠定了多相感應電動機運用的原理。法樂理氏所創的電動機式樣見圖4(a)，該機係用顯極構造，極上繞以線捲A A'及B B'磁極之間放一銅筒如圖所示。線捲之中若通以相位不同的交流電流則銅筒便開始旋轉。戴斯蘭氏所製與此不同，他於鐵環上面繞以線圈如圖4(b)所示，上面也通以二相交流電，使中間的金屬板旋轉。但這兩種原始式樣離開能夠實際採用的境地尚遠，所以感應電動機的發明家仍不能不推杜布武斯基(М. О. Ноливо-Нобровольский)

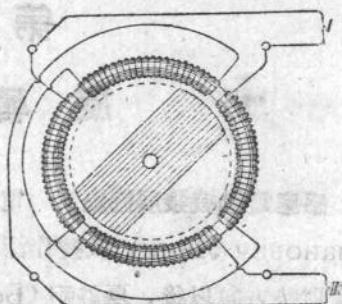
① 楞次(1804—1865)為俄國聖彼得堡大學教授，俄國院士，十九世紀偉大物理學家之一，對於現代電學理論多所闡發，並曾發現很多定律，不僅此處所說楞次的定律也。

② 夏谷弼(1801—1874)偉大的俄國學者，發明家和實行家，夏氏是近代電機理論的奠基者之一，除去創造第一座電動機之外，並係近代電化學的鼻祖，發明了電鍍的方法，曾用來製造印鈔的銅鋅版。

氏，^⑥杜氏於 1889 年首創鼠籠式感應電動機當即大量製造以供工業之用。他又首先覺察鼠籠機啓動性能惡劣，故於 1893 年更提議製造雙籠

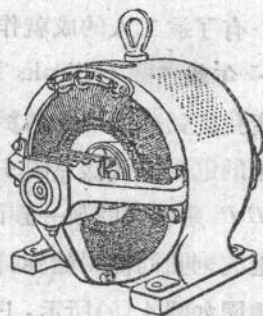


(a) 法樂理氏之電動機



(b) 戴斯蘭氏之電動機

式感應電動機藉以提高啓動轉矩，杜氏所建議的式樣示於圖 4 (c)。自杜氏奠定了基礎以後，於是安諾德 (Engelbert Arnold)，蒲獻洛 (M. Boucherot)，戈巧詩 (Hans Görges)，何霸德 (Henrg Hobart)，彭珈 (Franklin Punga)，鄺熙岱 (Rudolf Richter) 諸人乃得承其餘緒，重加改進，遂使感應電動機能有今日之成就。



(c) 杜布武斯基氏之雙籠電動機

圖 4 初期之感應電動機

感應電動機概說 電磁學上有兩個基本原則：

(一) 一個正在移動中的磁場切過一短路的線圈，則構成該線圈的導線裏面便有電流流通；

(二) 一根負有電流的導線位置於磁場中間，則該導線便能自動的

^⑥ 杜布武斯基 (1862—1919) 是俄國在十九世紀後半期傑出的電機工程師，是一個偉大的理論家，卓越設計師，孜孜不息的實驗家。杜氏是三相交流電的奠基人，曾創造三相感應電動機，三相變壓器，三相發電機及各種電機儀器和電計。

移動起來。

這兩個原則原係互相獨立不生連繫的，我們倘把它們併合起來應用便可製成圖 5 的一種儀器。在圖 5 中，試把鐵片疊成鐵心 A ，上鑽若干小孔而實以銅條 B ，其兩端另用銅圈 C 把各根銅條一併短路起來。鐵心的中央貫通以軸，使在軸承 D 內自由轉動。 E 是永久磁鐵，裝於另一軸上而可由皮帶輪 F 來旋動。磁鐵旋動以後，它的磁通切過了銅條 B ，於是根據上述第一原則銅條內便流通有電流。但同時則因該負有電流的銅條又復處於原磁場的影響之下，故根據上述第二原則必立即開始與磁鐵作同向的移動。所以旋動了磁鐵，鐵心也必然跟隨了一同旋轉。但圖 5 的試驗雖饒有興趣而實則毫無所用，因為它只能把磁鐵上的動能轉移至鐵心上去，成爲一種傳導機械，而不能成爲拖動機械。多相感應電動機的運用即由此推演出來，不過它廢棄了永久磁鐵而另用方式使線捲內的電流所產生的磁場自行具有旋轉的性能，完全不用機械力來旋動，如此一來，鐵心旋轉原理雖然不變，而儀器的性質却已不同，

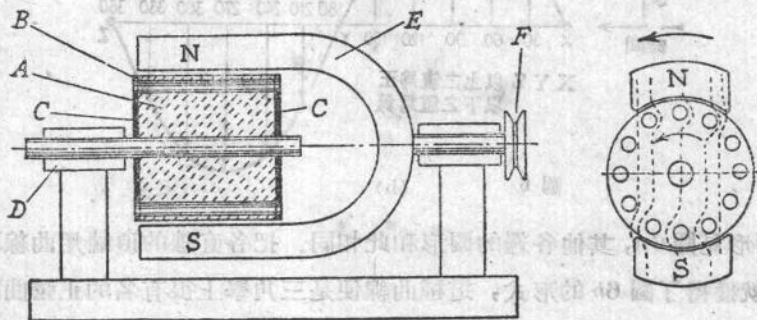


圖 5 鐵心隨磁極旋轉之原理

因為它已能把電能轉換爲機械能成爲一具拖動機械了，旋轉磁場是多相感應電動機運用原理的主要部份，現在把它闡明如次。

交流磁力表示法

單相 (Single Phase) 電路中有交流電流在流