

78.389 ✓
H.L.Z

108286

19 高等學校教學用書

金屬切削機床的 電力設備

哈 利 卓 緬 諾 夫 著



機械工業出版社

高等學校教學用書



金屬切削機床的電力設備

朱學潤譯

王懋堃、呂維雪校訂

蘇聯高等教育部審定為機器
製造高等學校教科書



機械工業出版社

1955

出版者的話

本書敘述了金屬切削機床電力設備的基本知識：機床電力驅動裝置的系統和電氣機械性能，動力學基礎，機床電氣化的電器，電力控制以及金屬切削機床電氣自動化的方法和線路。

本書包含了工程師在設計和管理現代化金屬切削機床中所必需的各種基本知識。

擔任本書翻譯和校訂工作的是浙江大學電機系自動控制教學小組王懋盞、朱學潤和機械系金屬切削教研室呂維璋三位同志。

蘇聯 И. В. Харизоменов 著 'Электрическое оборудование
металлорежущих станков' (Машгиз 1952 年第一版)

* * *

書號 0687

1955 年 4 月第一版 1955 年 4 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 267 千字 印張 12¹/₉ 0,001—5,100 冊

機械工業出版社(北京區甲廠 17 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(8) 1.71 元

目 次

原序	3
緒論	7
第一章 電動機的電氣機械性能	11
1 異步電動機的電氣機械性能	11
2 直流並激電動機的電氣機械性能	27
3 電壓調速系統	33
第二章 電力驅動的動力學	46
4 電氣機械過渡歷程	46
5 發電機-電動機系統的過渡歷程	52
第三章 電動機容量的決定	56
6 負載時電動機的發熱	56
7 持續定值負載運用和短時負載運用時電動機容量的決定	60
8 持續變值負載運用和間歇負載運用時電動機容量的決定	63
9 過渡歷程中電動機的發熱	67
10 負載圖的繪製	72
11 按照運用係數決定電動機的容量	75
12 機床電力驅動的能量問題	77
第四章 機床速度的電氣機械調整	81
13 機床速度的電氣機械調整的意義	81
14 機床速度的電氣機械無級調整	83
15 機床速度的電氣機械有級調整	86
第五章 金屬切削機床電力控制的器械及線路	89
16 機床手動控制的器械及線路	89
17 接觸控制器	92
18 接觸器控制的線路	100
19 電動機的上限保護設備	106
20 行程節制的自動控制	108
21 時間節制的自動控制	121
22 速度節制的自動控制	128
23 負載節制的自動控制	131
24 曳引式電磁鐵和電磁離合器	136
25 電磁固定設備	142
26 機床的電氣照明	147
27 機床電力設備的設計和安裝	151
28 關於機床電氣化的合理的規模和形式	161
第六章 金屬切削機床的電氣化	165
29 車床的電氣化	165

30 鑽床和鏜床的電氣化	175
31 鉋床的電氣化	178
32 銑床和齒輪加工機床的電氣化	183
33 磨床和研磨機的電氣化	185
34 組合機床的電氣化	188
35 機床線和自動工廠的電氣化	196
36 金屬切削機床上的電液形	196
附錄 電路中的符號	211
參考文獻	213
中俄名詞對照表	215

原 序

本書討論有關金屬切削機床的電力設備的各項問題。在教學編製的程序中，特別注意到電力控制、電氣自動化和機床電氣化的廣泛實踐的可能性。

本書符合於蘇聯高等教育部所審定的教學大綱，並在各高等學校講授這一課程的基礎上，以及在我國的科學工作者在電力驅動理論上的主要著作和有關這方面的優良的手冊的基礎上編著而成。

在本書內，說到我國在金屬切削機床電氣化方面的最新成就和它的發展趨向。

要懂得本書的內容，具有在機器製造高等學校中的普通電工學的知識就夠了。

作者感謝技術科學碩士采脫林（Н. И. Цейтлин），他積極參加本書的編著工作（電機形部門）。同時也感謝工程師米海也夫（Ю. Е. Михеев）、塔杜爾（О. Н. Татур）、馬爾金（П. В. Маркин）和技術科學碩士加夫曼（Л. М. Кауфман），他們在許多問題的研究工作上都會給作者以幫助。

技術科學碩士、副教授 哈利卓緬諾夫

緒 論

電氣化，爲創製具有空前的勞動生產率的生產機器，爲大規模機械化和生產過程高度自動化，建立了有力的基礎。

同時，人們在生產工作中的勞動方式也發生了根本的改變。工業勞動者從使人疲乏的勞動中解放出來，成爲有高度生產率的自動化機器的熟練的指揮者，控制着巨大的功率和大量的物資。

在已經取得社會主義勝利的國家內，電氣化的決定性的意義，可以用列寧的卓越的公式“共產主義——就是蘇維埃政權加全國電氣化”● 明顯地表示出來。

在從社會主義到共產主義的過渡時期中，蘇聯人民正創造着爲建立共產主義社會所必需的物質基礎。生產品和日用品的富裕是過渡到各取所需的必要的前提。

爲了達到生產品和日用品富裕的境界，必須保證勞動生產率無限制增漲的可能性。

還在蘇維埃政權的最初年代，在列寧和斯大林的領導下，開始擬訂了在10~15年內實現的俄羅斯電氣化計劃〔俄羅斯國家電氣化計劃（план ГОЭЛРО）〕。這一個卓越的計劃在1920年12月22日的第八次蘇維埃代表大會上，得到了很高的評價。

列寧稱這一個計劃爲黨的第二綱領，而斯大林稱它爲真正統一的和真正國家的經濟計劃的精密素描。

過了15年，俄羅斯國家電氣化計劃被超額完成了兩倍。

斯大林還指出電氣化在國民經濟所有部門中的決定性的影響，他說：“……列寧所說的全國電氣化，不是孤獨地建立幾個電站，而是漸次地‘把全國經濟（農業也在內）轉移到新的技術基礎上，轉移到現代大生產的技術基礎上去’，這種大生產是這樣或那樣，直接或間接和電氣化事業相聯系着的。”●

在斯大林五年計劃的年代中，蘇聯境內新建了強大的電力系統網。在電力生產量上，蘇聯已經超過了所有歐洲的國家。

蘇聯工業的全面電氣化，電氣化的自動機床和自動機床線的創建，偉大的古比雪夫和斯大林格勒發電站，以及共產主義建設中的其他發電站的建設，都是我國列寧—斯大林電氣化計劃在各個方面的實現。

在現代的機械製造工業中，電力驅動已佔首要地位。

驅動裝置這一名詞是指機械裝置，其中包括原動機和把運動傳給生產機器的工作機構的機械傳動機構。

按原動機的不同類型，驅動裝置可以分爲液壓的，蒸汽的，氣壓的，電力的等等。

● 見列寧全集俄文第四版第三十一卷，第484頁。

● 見斯大林全集第十一卷，第254頁。

電力驅動裝置包括：1)電動機，2)控制用的電器，3)在電動機和生產機器的工作機構之間的機械傳動機構。

在有些場合，電動機用電磁鐵來代替。

第一座用電磁方法取得轉動的電動機，是1834年由俄羅斯院士雅哥比（Борис Семенович Якоби）創製的。

這一座電動機的旋轉是由可動的電磁鐵系統和靜止的電磁鐵系統的相互作用產生的，電磁鐵的電流在電動機旋轉時用特殊的換接器來變換。1838年雅哥比建立了第一套電力驅動裝置。他的電動機裝在一隻載有12個乘客的小艇上，使它以相當大的速度在涅瓦河上行駛。電動機的電源是電池組。

雅哥比的工作指出了在實際上應用電力驅動的可能性。

俄羅斯電機工程學家拉契諾夫（Д. А. Лачинов）在1880年所發表的著作‘電機工程’（Электромеханическая работа），對於電機和電力驅動的理論具有巨大的貢獻。

稍後，1882年，契哥列夫（В. Н. Чиколев）首先把電動機用來驅動縫紉機。又在1886年用來驅動通風設備。

1891年，俄羅斯工程師多里沃-多勃羅沃爾斯基（М. О. Доливо-Добровольский）發明了三相異步電動機，這對於電力驅動的發展具有決定性的意義。直到現在，這一種簡單、經濟而可靠的電動機是世界上各工業企業中的主要的原動機。極大多數的切削機床也是用這種電動機來驅動的。

本世紀初，沃依那羅夫斯基（П. Д. Войнаровский）教授和第米特里也夫（В. В. Дмитриев）教授對‘用電來分配機械能’的問題曾加以研究。

1922年，在列寧格勒烏里揚諾夫（列寧）電機學院，由於林開維奇（С. А. Ринкевич）教授的倡議，設置了世界上第一個‘工業電氣化’專業。從這裏畢業的學生都獲得了在電力驅動理論方面的基本知識。

讓我們來看金屬切削機床的電力驅動發展的主要階段。

很久以前，爲了驅動所有的機床和其他生產機器，企業中須使用一座具有足夠容量的蒸汽機。這蒸汽機和鍋爐都放在工廠的院子內。從蒸汽機到生產工場的建築物（通常是多層的建築物），是用皮帶或繩索來傳送運動的。在生產工場內，再用很多的傳動機構把運動傳到各種機器去。

以後，電動機代替了蒸汽機。蒸汽機和發電機配合起來，成爲獨立的發電站，它可以建築在工廠範圍之外。從此，有些發電站建立在靠近煤礦區等場所。

電動機安裝在工場裏面，就不需要從工場外面穿過工場建築物的牆壁的機械傳動設備。但是，在工場的各層建築之間，用機械的傳動設備來輸送能量仍是不方便的，因而產生分組驅動的方法。生產機器劃分成若干大組，一大組各由一台大的電動機來驅動。從電動機到各機床仍舊是用機械的傳動裝置的。因此，整個車間內就充滿着無數的轉軸和皮帶，它們遮蓋了光線，揚起了灰塵，而且往往傷害工人。這種驅動很不經濟，因爲機械傳動機構中的損耗很大。分組驅動可以作爲革命前俄羅斯工業的特徵。

由於分組驅動的缺點，促使單獨驅動的出現和推廣。在這種驅動中，每台機床有着自己的獨立的電動機。

單獨驅動，由於用電的方法來調節速率，可以提高機床的生產率。此外，單獨驅動還顯著地改善了勞動條件，簡化了車間的佈置，減輕了升降機的任务，減低了建築費用。

單獨驅動也影響到機床的構造形式。採用了具有特殊的電氣機械特性和特殊構造形式的電動機，將使電動機和機床逐步結合在一起。

在金屬切削機床的工作中，有很多次的手動操作。例如在車床工作中，工人需要做夾置毛坯，移動刀架，進刀和退刀等操作。如果這些操作用輔助電動機來負擔的話，那末工人的勞動將大大地減輕。在重型機床上，這種措施是尤其必要的，因為刀架的重量很大，沒有用輔助電動機的話，即使工人費了很大的氣力，也只能使刀架以每分鐘不超過幾公厘的速度運動着。

用多電動機驅動的機床，就不需要工人付出很大的體力勞動。工人只要操縱機床的各輔助電動機，把它們開動或停轉。

多電動機驅動很顯著地提高了勞動生產率，因為工人耗費於機床元件的輔助運動的時間大大地縮減了。

多電動機驅動為各種操作的自動化和各種運動的互鎖創造了非常有利的先決條件。例如，就龍門鉋床來說，工作台的來回運動，反走時速度的增加，切進或切出金屬時速度的減低，都是可以利用電器使之自動化的。

在許多場合中，金屬切削機床的各部分需要運動上的某種方式的協調。如果每一部分都是由單獨的電動機來驅動的話，則這種協調是可以用特殊的電器使之實現的。

保證某些生產工序的自動完成和各種運動的自動協調的多電動機驅動裝置，稱為自動化的電力驅動裝置。這種驅動裝置的應用，表徵着勞動條件的更進一步改善和生產率的顯著提高。

由於金屬高速切削的廣泛應用和機床上加工時間的顯著縮減，每個零件加工的總時間內輔助操作所佔時間的縮減，是提高這些機床生產率的一個重要的因素。自動化的多電動機驅動裝置的應用，成功地解決了這問題。

金屬切削機床電力驅動裝置發展的主要趨勢，是機械傳動機構的簡化和電動機與機床工作機構的靠近。

開始採用單獨電力驅動時，電動機裝在機床的外面。以後，製造出各種緣輪式的電動機，它可以使傳動機構簡化，同時機床和電動機的構造形式開始相互配合起來。電動機裝在機座內的裝置方法也已廣泛地應用了。在單獨驅動的電動機中，應用可調速的電動機，顯著地簡化了機床的變速箱。所有這些都是使電動機軸到機床工作機構的機械傳動機構更加縮短而更為簡單。

此後，出現了聯裝於機床內部的電動機，它的軸就是機床的主軸或一根中間傳動軸。這種電動機應用於平面磨床、高速車床等機床上。在這個發展階段上，已達到了電

動機和機床工作機構的合併，同時，中間傳動機構完全用不着了。

機床的開動、反向運動、調速和制動等工作在這裏都是由電動機來實現的。

低轉速的必要性和低速電動機的巨大尺寸限制上述類型的驅動裝置的應用範圍。但是，切削速度的不斷提高在這方面開闢出更新的發展途徑。

除了主軸運動的機構外，每台機床還有走刀傳動和輔助運動的機構。在單獨電力驅動中，所有這些運動都由一台電動機來產生。

爲了把運動從這台電動機傳送到機床上需要運動的部件上去，必須配置機械傳動機構，它們往往具有相當大的長度和很多的分支，因而使機床的結構非常複雜。採用了多電動機電力驅動裝置，許多傳動機構就可以取消，機床的結構因之顯著地簡化了。例如在旋臂鑽床，用幾台電動機分別來負擔主軸和油泵的驅動，旋臂的昇降，圓柱的夾持等工作，就可以達到這種簡化的目的。在龍門鉋床、龍門銑床和立式車床，如果橫架和刀架的傳動分別由獨立的電動機負擔的話，這種簡化也是可以得到的。

電氣自動化的應用促進了生產複合的創造，例如自動機床線，這是蘇聯已經廣泛應用的。電氣自動機床的發展使機械製造中各種不同的生產程序聯合起來，建立起全部自動化的工廠。這種工廠使人的勞動顯著地減輕，同時使勞動生產率達到空前的程度。

1950年，蘇聯建立了世界上第一個製造汽車活塞的自動工廠。它是建立在廣泛應用電氣自動化的基礎上的。

自動化的電力驅動之所以發展，應歸功於蘇聯先進的科學——電力驅動的理論。在這理論的創立和發展中，有重要貢獻的是蘇聯學者林開維奇（С. А. Ринкевич）、波波夫（В. К. Попов）、尼基金（В. П. Никитин）、勃聶斯（С. А. Пресс）、高洛凡（А. Т. Голован）、莫羅佐夫（Д. П. Морозов）等。

第一章 電動機的電氣機械性能

1 異步電動機的電氣機械性能

在工業上廣泛應用的鼠籠式和線繞轉子式異步電動機，是在1891年，由俄羅斯電工學家多里沃-多布羅沃爾斯基首先設計的。

運轉狀態 如普通電工學課本所講的，異步電動機的定子繞組，以三相電流通入後，就產生旋轉磁場，它的速度為 n_0 轉/分（圖1a）。這個旋轉磁場切割依同方向旋轉而速度為 n 轉/分的轉子導體，而且 $n < n_0$ 。因此，轉子導體對旋轉磁場的相對運動速度 $v_{\text{отн}}$ ，是指向跟轉子運動相反的方向，如圖1a所示。依據右手定則，在這樣情況下，圖上所畫出的導體裏的感應電勢，是穿入紙面的。如果將相位差略去不計，電流就依電勢的同一方向流動。應用左手定則，就得出由導體內電流和旋轉磁場的相互作用所產生的作用於導體上的力 F ，它的方向是跟導體的運動方向一致的。因此，在這情形下，得到的是電動運轉狀態。

異步電機不僅可以當作電動機運轉，而且可以用作制動器。

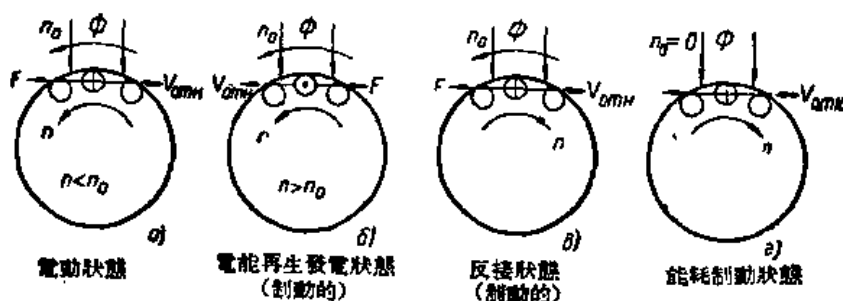


圖1 異步電動機的運轉狀態

假設由於某一原因，異步電機的轉子的轉速 n 超過了旋轉磁場的速度 n_0 （圖1b）。例如，升降機當降下負載的時候，電動機的轉子就產生這樣的運動。在這情況下，轉子的導體對於旋轉磁場的相對運動速度，是指向跟轉子旋轉相反的方向。應用右手定則，得到指向讀者方向的電勢。如果這電勢所引起的電流也是朝這方向流動，那末力 F 的方向和導體運動的方向相反。因此，在這情形下，電機是在制動狀態中運轉。

在異步電機被迫以超過旋轉磁場速度旋轉時，它是在發電狀態中運轉的，輸出電能到接在定子上的電網中去[15]。

這種把電能送到電網的制動，稱為再生制動。

假設局外機械能（例如下降的負載）使異步電機以相反於旋轉磁場的速度轉動（圖1c）。在這情況下，轉子上導體的相對運動速度是沿着轉子運動的同一方向的。旋轉磁場所感應出來的電勢是朝着穿入紙面方向的。略去電流和電勢間的相位差，依左

手定則，力 F 的方向是與轉子旋轉方向相反的。因此，在這情形中，異步電機也是在制動狀態中旋轉的。電機的轉子逆向旋轉磁場旋轉時的運轉，稱為反接運轉。

異步電機也可以在能耗制動狀態運轉。在這種情況下，以直流供給定子，因而磁場是靜止的（圖1b）。如果轉子被迫以某一速度旋轉，則轉子上的導體切割了靜止磁場的磁感應，因而導體內產生電勢。依右手定則，這電勢是穿入紙面方向的。如以前所講過的一樣，它引起的電流也是和電勢同方向的。依左手定則，電磁作用產生的力 F 是相反於轉子旋轉的方向，因此，在這情形中，又是產生了制動運轉。

接線圖 幾種基本的接線法如圖2所示。異步電機在電動運轉時，以及異步電機在發電運轉而把能量反送到電網中去時，都用圖2a所示的同一接線圖；要使電機作為發電運轉，必須驅使轉子以超過旋轉磁場的速度旋轉。

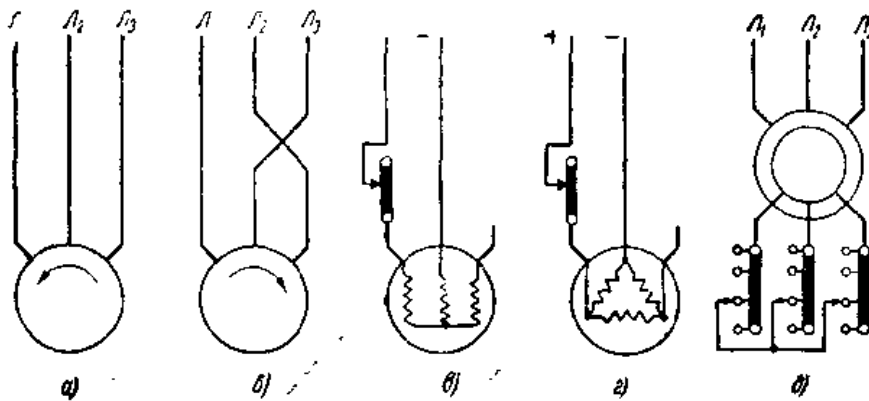


圖2 異步電動機的基本接線圖

要得到反接狀態的制動，必須把原來依照圖2a聯接而旋轉着的電動機，換接到圖2b所示的反走接法。這時磁場依相反的方向旋轉（反轉），而轉子由於慣量的緣故，還是照原來的方向繼續旋轉，也就是說，它的旋轉方向是跟磁場的新的旋轉方向相反的。因此產生制動作用，使轉子很快地慢下來。當速度接近到零的時候，電動機依靠特殊的設備，自動地從電網上斷下（如果沒有這種設備，電動機將會開始向反的方向旋轉）。

在定子繞組接成星形的情形中，要得到能耗制動，必須把原來依照圖2a聯接而在轉動着的電動機，換接到如圖2c的接法。把三個定子繞組接頭中的任意兩個接到直流電源上，另外一個接頭空着。電動機停了以後，直流電源應自動開斷。如果電動機的定子繞組是三角形接法的，應採用圖2d的接法。安裝在金屬切削機床上的電動機，應用能耗制動時，需要直流電源，因此就必須另外有整流的設備。

圖2a、b、c和d所示的線路，是屬於鼠籠式異步電動機的。

線繞轉子式異步電動機是依照圖2e所示的線路聯接的。在轉子線路中的變阻器，是用來限制開動衝擊電流，並增加開動力矩。有時也用來調整轉速。

機械特性 電動機的轉速跟它的軸上的轉矩的關係，稱為電動機的機械特性。

$$n = f(M)$$

用電動機來驅動機床時，這一特性是很重要的。

上面已說明，電動機的轉矩指向：1) 旋轉的方向——這相當於電動運轉；2) 與旋轉的相反方向——這相當於制動運轉。

圖 3 表示異步電動機的機械特性。在 M, n 坐標系統的第一象限中，轉矩和轉速是同符號的，這就是說轉矩是跟旋轉同方向的，因此，這相當於電動運轉。

在第二和第四象限中，轉矩和轉速有着不同符號，這就是說轉矩和旋轉的方向相反，因此，這相當於制動運轉。

在普通電工學教本[15]中已經講過，異步電動機的驅動轉矩：

$$M = \frac{m_1 I_2'^2 r_2'}{\omega_0 s}, \quad (1)$$

式中 m_1 ——定子的相數；

I_2' ——轉子的歸算電流；

r_2' ——轉子的歸算電阻；

ω_0 ——磁場的旋轉角速度；

s ——轉差率，它由下式決定：

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}。 \quad (2)$$

應用異步電機的簡化等值線路，則(1)式可化成下面形式：

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}, \quad (3)$$

式中 M ——異步電動機的驅動轉矩，以焦耳(牛頓·公尺)計；

U_1 ——定子外施相電壓，以伏特計；

r_1 和 x_1 ——定子繞組的電阻和電抗；

x_2' ——轉子繞組的歸算電抗；

p ——磁極對數。

在普通電工學中也導出下列式子：

$$s_k = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (4)$$

及

$$M_k = \frac{p}{2\pi f} \times \frac{m_1 U_1^2}{2 \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]}, \quad (5)$$

式中 s_k ——當電動機轉矩達到最大值即臨界值 M_k 時的轉差率。

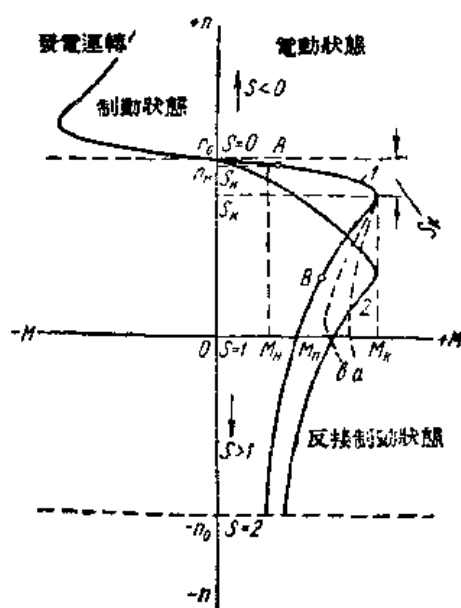


圖 3 異步電動機的基本機械特性

如果公式(3), (4)和(5)中, 近似地取 $r_1 \approx 0$, 那末, 這些式子就得到以下形式:

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f \left[\left(\frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}, \quad (6)$$

$$s_K = \frac{r_2'}{x_1 + x_2'}, \quad (7)$$

$$M_K = \frac{m_1 p}{2\pi f} \times \frac{U_1^2}{2(x_1 + x_2')} \circ \quad (8)$$

以(8)式除(6)式, 得到:

$$\frac{M}{M_K} = \frac{2 \frac{r_2'}{s} - (x_1 + x_2')}{\left(\frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2} \circ \quad (9)$$

再把上式分子及分母除以 $(x_1 + x_2')$, 並利用(7)式關係, (9)式可以化爲以下形式:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} \circ \quad (10)$$

方程式(10)把轉矩 M 和轉差率 s 聯系起來。但是當需要作出機械特性曲線的話, 就可以應用公式(2); 把轉差率 s 化到轉速 n 。同時也可以在縱軸線上(圖3)標出轉差率, 當 $n=0$ 時, $s=1$; $n=n_0$ 時, $s=0$ 。

依公式(10)作出的電機的機械特性, 將如圖3所表示的形狀。

當 $n=n_0$ 時, 由(2)式得到 $s=0$, 由(10)式得到 $M=0$ 。這是理想空載情形。

在電動機開動時, 轉子還是靜止的, 所以 $s=1$, 這時電動機產生開動轉矩 M_n 。如圖3所示。這轉矩比臨界轉矩小些。

通常列入產品說明書的, 有下面幾項技術數據: 在軸上的額定功率 P_n (仟瓦); 額定轉速 n_n (轉/分); 同步轉速 n_0 (轉/分); 比值 $\frac{M_K}{M_n}$ 和 $\frac{M_n}{M_K}$, 其中 M_n 爲電動機的額定轉矩。

以公斤·公尺計算的電動機軸上的額定轉矩, 可以用下面熟悉的公式計算出來:

$$M_n = 975 \frac{P_n}{n_n}, \quad (11)$$

這裏 P_n 用仟瓦爲單位。

s_n 的值是跟電動機的功率大小和型式有關的, 它的範圍是 $s_n = 2 \sim 12\%$ 。

功率大的電動機通常有較小的轉差率。

臨界(或顛覆)轉矩率 $\frac{M_K}{M_n} = \lambda$ 有很重要的意義。這數值決定着電動機的許可機械過載。就蘇聯的電動機而言, $\lambda = 1.65 \sim 2.5$, 這裏較大的數值是屬於高速的電動機。

根據公式(5), 臨界轉矩 M_K 的數值, 依電源電壓的平方而變。由於車間電力源的電壓是有相當大的變化的, 所以一般不以 M_K 作爲最大過載轉矩, 而是拿 $M_{max} = 0.85 M_K$ 計算的。

蘇聯出產的異步鼠籠式電動機的開動轉矩率是 $\frac{M_K}{M_N} = 0.8 \sim 2$ 。異步電動機的穩定運轉，只有在 $s=0$ 到 $s=s_K$ 的範圍內才是可能。

在這範圍內工作（例如，在圖 3 的 A 點上）時，任何負載的增加，將引起轉速的降低。同時電動機的轉矩總是跟着增加，直到電動機的轉矩和負載轉矩平衡時，速度停止降低。

工作在 $s=s_K$ 和 $s=1$ 的範圍內時（例如在 B 點），負載的任何增加所引起的轉速上的降低，顯而易見，會使得電動機的轉矩小下去，因而使電動機停止下來。在這裏應當注意，負載的轉矩，像機床的驅動中所遇到的情況一樣，是當作跟轉速無關的。

如果在公式(10)中代入 $s>1$ 的數值，就得到特性曲線的反接運轉的部分，這就是相當於迫使電動機作逆向磁場旋轉的情況。

如果在公式(10)中先代入一系列正的轉差率數值，然後用絕對值相同的負的轉差率數值代入，則由公式(10)可看出，轉矩的絕對值不變，而符號反了。這相當於再生制動運轉。

鼠籠式電動機的機械特性，可根據產品說明書的數據作出。

額定轉矩可依公式(11)決定。

知道了臨界轉矩率，就容易得出臨界轉矩值來。

在公式(10)中，代入額定轉矩值和額定轉差率，即得到：

$$M_K = \frac{2M_N}{\frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N}} \quad (12)$$

由這方程式解出 s_K ：

$$s_K = s_N \left(\frac{M_K}{M_N} + \sqrt{\left(\frac{M_K}{M_N} \right)^2 - 1} \right) \quad (13)$$

現在可以在(10)式中代入我們所取的範圍內的任意的 s 值，並求出各個相對應的 M 值來，根據這些數值，作出 $M=f_1(s)$ 或機械特性 $n=f(M)$ 。

在線繞轉子式電動機內，轉子電路的電阻可以用接入這電路中的變阻器來改變（圖 2a）。這時，相當於臨界轉矩的轉差率 s_K ，也就跟轉子電阻成正比例地改變，如下式所示：

$$s_K = \frac{r'_2}{x_1 + x'_2} \quad (14)$$

這時，機械特性曲線的工作部分，獲得較大的斜度（如圖 3 中的曲線 2）。依照公式(5)，臨界轉矩 M_K 不會跟轉子電路內的有效電阻改變，它仍保持原來的數值。

電動機沒有任何外加電阻接入轉子電路中時的機械特性，稱為自然特性（圖 3 的曲線 1）。接入了某一電阻而獲得的特性稱為人為特性。

如果在負載下，電動機的轉速降落愈大，我們就說它的機械特性愈軟。圖 3 中的特性曲線 1 稱為硬的，而特性曲線 2 稱為軟的。

金屬切削機床需要的，是具有硬特性的驅動。這是由於在金屬加工的過程中，應

該保持某一定值的切削速度，而這只有利用硬特性的電動機才能得到。

如以前已經指出的，公式(10)是近似的，因為它是在定子繞組 r_1 的值略去不計的條件下得出來的。

利用公式(3)、(4)和(5)，依照與上述相似的方法，則可引出下式：

$$M = \frac{(2 + \alpha s_K) M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + \alpha s_K} \quad (14)$$

這裏

$$\alpha = \frac{2r_1}{r_2} \quad (15)$$

根據(14)式，可以作出圖4上所示的機械特性曲線。這一特性的形狀和從(10)式得出的形狀是不同的。在這比較準確的特性曲線上，可看出在轉差率為負的部分，即當電機作為發電機運轉時，臨界轉矩是作為電動機運轉時的1.5~3倍(圖4中的曲線1、2、3和4)。

用產品說明書上的數據，也可以作出鼠籠式異步電動機的準確的機械特性曲線來。根據這些數據，我們立出包含兩個未知數 s_K 和 α 的聯立方程式來：

$$M_H = \frac{M_K(2 + \alpha s_K)}{\frac{s_H}{s_K} + \frac{s_K}{s_H} + \alpha s_K} \quad \text{和} \quad M_n = \frac{M_K(2 + \alpha s_K)}{\frac{1}{s_K} + s_K + \alpha s_K} \quad (16)$$

解這兩個聯立方程式，可決定未知數 s_K 和 α 。決定了這些數值，就可以用方程式(14)，點畫出機械特性曲線。

但是必須指出，在異步電機作為電動機運轉的範圍中，根據公式(14)作出的機械

特性曲線，和根據公式(10)作出的很少有差別。

雖然公式(14)是比公式(10)準確一些，但它還是沒有考慮到若干影響機械特性曲線形狀的因素。例如：有很顯著的電流排擠作用的電動機(具有深槽的，特別是雙鼠籠異步電動機)。由於 r_2' 跟 s 變動的緣故，在開動時的驅動轉矩比由公式(14)得出的大得多。在這種情況下的電動機的機械特性曲線，具有如圖3中用虛線畫出的曲線 a 的形狀。

此外，由於異步電動機的繞組

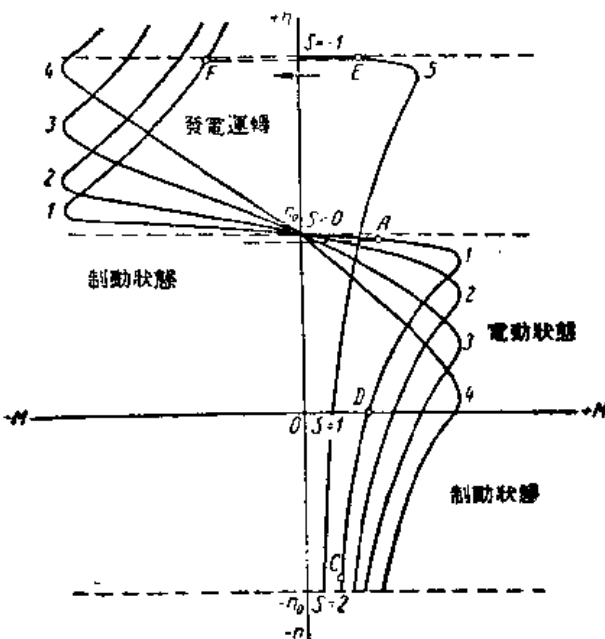


圖4 異步電動機的機械特性

是分佈在各槽內，因此除了基波的旋轉磁場外，在電動機中還有其他速度不同的旋轉磁場，其中有一部分磁場對於電動機的轉子起制動作用，使特性曲線上產生凹入的部分，如圖3用虛線 b 表示的那樣。