

T.681

高等学校教学用书

电力拖动普通教程

М·Г·奇里金著



中国工业出版社

高等学校教学用书



电力拖动普通教程

M·Г·奇里金著

鍾士模 蕭达川譯

中国工业出版社

本书系根据1953年苏联国家动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的奇里金教授 (М. Г. Чиликин) 著“电力拖动普通教程” (Общий курс электропривода) 增订第二版译出。原书经苏联文化部高等教育总署审定作为动力工程学院、电机工程学院及动力工程系、电机系的教科书用。

本书叙述电力拖动的一般理论以及自动化了的电力拖动的控制问题。也可作为设计和运行工业企业电气设备的工程技术工作人员参考书。

本书由清华大学鍾士模、蕭达川两同志翻译；由朱克定、吕林、柳克俊、戴忠达、吴健昌、张德馨、张汉扬、雷良欽、张仁豫、余天音诸同志校阅。

电力拖动普通教程

鍾士模 蕭达川译

(根据水利电力出版社新型重印)

中国工业出版社出版 (北京修编路牌10号)

(北京市书刊出版业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本850×1168%·印张13⁷/₈·字数359,000

1955年4月北京第一版

1961年7月北京新版, 1961年10月北京第二次印刷

印数0531-3844·定价(7)1.60元

统一书号: 15165·460 (核—12)

序 言

黨十九次代表大會關於 1951—1955 年發展蘇聯第五個五年計劃的指示，規定了發電站的容量要增加一倍，並且擬定了宏偉的國家電氣化綱領。一切工業部門的建設和電氣化的規模，生產過程機械化和自動化的發展，在高等學校的面前提出了培養高度熟練的力能專家幹部的新任務，這些專家幹部應該能夠獨立地、創造性地解決經常發生的新的工程問題。

有了適當的不同專業的教科書和參考書，可以發展學生底獨立、主動工作的能力。對這些書籍的要求是非常之大的。上述情況完全適應於在電力拖動的理論與實際領域內的書籍。

改訂了的、並且作了許多修改的“電力拖動普通教程”一書的第二版，是下列電工專業學生用的電力拖動普通教程的教科書；這些專業是：電機專業、電器專業、電熱設備專業、自動機械和遙遠機械專業、飛機汽車拖拉機電氣設備（авиа-автотракторное электрооборудование）專業等等。對上述專業而言，按照教學計劃和教學大綱，電力拖動理論的問題以及自動化了的電力拖動的控制問題，是在一個課程內敘述的。本書可以用作工業企業電氣化領域內專業學生的參考書，也可以作為必須設計及運行工業企業電氣設備的工程技術工作人員的參考書。

М. М. 索科洛夫 (Соболев) 副教授和 Е. Н. 齊明 (Зимин) 研究生解出例題，А. С. 桑德列爾 (Сандлер) 副教授在校閱本書上付出了大量的勞動，作者認為有義務向他們表示真誠的感謝。

М. 奇里金 (Чиликин)

目 錄

序 言

第一章 基本知識·電力拖動發展史

1-1. “電力拖動”的定義	1
1-2. 電力拖動發展簡史	4
1-3. 在五年計劃年代裏電力拖動的發展	11
1-4. 電力拖動在國民經濟中的作用和它今後發展的基本方向	18

第二章 電力拖動的機械特性

2-1. 生產機械和電動機的機械特性	22
2-2. 電動機和生產機械的複合特性曲線	25
2-3. 並激直流電動機的機械特性曲線	27
2-4. 並激電動機機械特性曲線的繪製	31
2-5. 並激電動機在制動狀態下的機械特性曲線	37
2-6. 串激直流電動機的機械特性	44
2-7. 串激電動機在制動狀態下的機械特性曲線	50
2-8. 複激直流電動機的機械特性	53
2-9. 異步電動機的機械特性	55
2-10. 異步電動機在制動狀態下的機械特性曲線	62
2-11. 同步電動機的機械特性曲線及角特性曲線	66

第三章 電力拖動的轉速調節

3-1. 電力拖動轉速調節的基本指標	71
3-2. 並激直流電動機的轉速調節	80
3-3. 在發電機-電動機系統中, 直流電動機的轉速調節	84
3-4. 順接-逆接系統	88
3-5. 分流電樞時的並激電動機的轉速調節	89
3-6. 串激直流電動機的轉速調節	95
3-7. 用分流電樞或分流激磁繞組來調節串激電動機的轉速	97

3-8. 由串激發電機來供電的電動機的轉速調節	100
3-9. 具有離子變流器的直流拖動	103
3-10. 交流電動機的轉速調節	107
3-11. 在轉子電路中加入電阻來調節異步電動機的轉速	108
3-12. 用改換極數來調節異步電動機的轉速	109
3-13. 用改變頻率來調節異步電動機的轉速	112
3-14. 電力拖動轉速調節的脈衝法	116

第四章 特殊電力拖動的機械特性曲線和調節性能

4-1. 概述	122
4-2. 在電動機狀態下工作的電機作機械聯接時的電力拖動	123
4-3. 一個電機在電動機狀態下工作, 另一個在制動狀態下工作的電力拖動	126
4-4. 在具有迴轉定子的線路中異步電動機的轉速調節	128
4-5. 用異步滑動聯接機來調節轉速	131
4-6. 在串級線路中異步電動機的轉速調節	134
4-7. 電力拖動的同步轉動	138

第五章 電力拖動中的過渡狀態

5-1. 概述	152
5-2. 在電力拖動中作用着的力和轉矩	153
5-3. 阻轉矩和飛輪轉矩的歸化	156
5-4. 前進運動時的力和飛輪質量歸化到轉動運動	153
5-5. 在可變速度下, 前進運動的質量和轉矩的歸化	159
5-6. 拖動的加速時間及減速時間的決定	161
5-7. 拖動的運動方程式的圖解法及圖解分析法	163
5-8. 並激電動機的起動	167
5-9. 並激電動機的動能制動	177
5-10. 並激電動機的反接制動和反轉	181
5-11. 並激直流電動機過渡狀態的能量情況	183
5-12. 具有串激電動機的拖動裝置中的過渡狀態	183
5-13. 在發電機-電動機系統中電力拖動的起動	189
5-14. 在發電機-電動機系統中電力拖動的制動及反轉	193
5-15. 具有三相異步電動機的電力拖動的過渡狀態	207
5-16. 具有異步電動機的電力拖動在過渡狀態下的能量損失	212
5-17. 減少電力拖動在過渡狀態下能量損失的方法	213

第六章 电动机容量的选择及负荷图

6-1. 关于选择电动机容量的一般考虑	221
6-2. 持续工作模式下电动机的发热及冷却	225
6-3. 断续时工作模式下及在断续工作模式下电动机的发热及冷却	232
6-4. 在持续不变的负荷下电动机容量的选择	238
6-5. 在可变负荷下电动机容量的选择	240
6-6. 等值电流法、等值转矩法和等值功率法	243
6-7. 在短时工作模式下及在断续工作模式下电动机容量的选择	247
6-8. 鼠笼式电动机的容许接通次数的决定	251
6-9. 绘制负荷图的一些特点	254
6-10. 矿用起重机的电力拖动的负荷图	256
6-11. 剪切金属的剪床的电力拖动的负荷图	262
6-12. 具有飞轮的电力拖动在冲击负荷下的运行	267
6-13. 具有转差率调节器的异步电动机的运行	270

第七章 电力拖动的控制

7-1. 概述	274
7-2. 自动控制线路中各元件的图形和符号	277
7-3. 自动控制电动机起动的原理	284
7-4. 控制速度的函数	285
7-5. 控制为电流的函数	288
7-6. 控制为时间的函数	291
7-7. 自动控制电动机制动的原理	296
7-8. 自动调节理论的要害	303
7-9. 电机控制拖动	325
7-10. 利用放大器的自动控制拖动	332
7-11. 由晶闸管控制直流电动机	337

第八章 电力拖动的控制线路

8-1. 鼠笼式异步电动机的控制	344
8-2. 鼠笼式电动机控制线路中的连锁连接	352
8-3. 绕线式异步电动机的控制	357
8-4. 同步电动机的控制	364
8-5. 并激直流电动机的控制	374

第一章 基本知識·电力拖动发展史

1-1. “电力拖动”的定义

正在建設共产主义社会的苏联人民的創造性劳动，是建立在这种基础上的，即：“人們如果認識了自然法則，估計到它們，依靠着它們，善于应用和利用它們，便能限制它們发生作用的範圍，把自然的破坏力引导到另一方向，使自然的破坏力轉而为社会造福”^①。

苏联全国巨大的电气化計劃之实现以及生产力的发展，使得苏联人民的物质生活水平繼續提高。国民經济中各个部門的电气化，使得工人的劳动減輕，智力劳动和体力劳动之間的重大差別趋于消灭。

在近代工厂、机械化了运输业及先进的农业中不可缺少的生产机械，通过它的长期发展道路，才有了近代机器的形式，这是人类智慧和劳动的具体的物质表现。

近代的机器設備，或者又叫作生产机組，是由数目极多的能完成不同功能的各种零件，各别的机器及器械所組成的。它們綜合在一起来完成旨在获得一定的生产过程的工作。应当掌握組成机器設備的各别元件的用途，否則就不可能設計和制造机器，也不可能正确地管理在运轉中的机器。

“一切发展了的机器，都由三个在本质上不同的部分——发动机、配力机与工具机(即工作机)——构成”^②。

前面那两个元件(即帶有控制系統的发动机和傳动机构，傳动机构也可附有軸、滑輪、皮带、齒輪等等)的功能都在于把运动傳給工作机

① 斯大林著，苏联社会主义經济問題，1952年人民出版社出版。

② 馬克思，資本論，第一卷448頁，1953年人民出版社出版。(这里所說的“配力机”，在技术著作中通常譯作“傳动机构”——譯者附注。)

械。

因此，機器設備的第一部分及第二部分的作用是使工作機器動作，所以把它們統稱為“拖動”。

最簡單的拖動的例子，是圖 1-1 中用腳來踏動的車床拖動。這個古老的機床有一根柔軟的桿子和踏板，它是由工匠的腳的壓力來拖動的。



圖 1-1 具有柔軟的桿子和踏板的古老機床。

當踏板受到壓力的時候，繞着繩圈的軸就轉動若干圈。反向的無載旋轉則是靠着懸在機床上空的桿子的張力來完成的。

改良了的手搖拖動可以在一個方向作連續轉動，這種拖動直到現代還在若干場合中使用着。例如，有時候可以在日常生活中、在農業中碰到這種拖動。不過在現代的條件下，它不起什麼顯著的作用了。

用馬來拖動是手搖拖動的一種發展，在那兒以牲畜的曳引力代替了人力；這種拖動也已經失去了它的意義。

後來就用機械的拖動代替了它們，這些機械拖動是用風力發動機、水車和水輪機、蒸汽機、內燃機和電動機來帶動的，而電動機逐漸地佔了第一位。最初的機械拖動在遠古時代就出現了，那時候人們已經知道利用水磨及風磨設備。

在近代，水輪機及汽輪機廣泛應用於發電站，後者發出能量以供應工業、農業、運輸業及日常生活的需要。

不過使工作機動作的主要發動機是電動機，因此，電力拖動是拖動的主要型式。

這機，叫作電力拖動的是機器設備中的一部分，它由電動機、工作

機的傳動機械以及控制電動機的器械所組成。

應用於生產上的電力拖動可分作三種基本型式，即：聯動電力拖動、單獨電力拖動及多電動機電力拖動。

聯動電力拖動（圖 1-2）是指這樣的拖動，此時有一個電動機，並有一個或幾個傳動裝置把運動從電機傳送到工作機組。有時候也把這種拖動叫作傳導拖動。

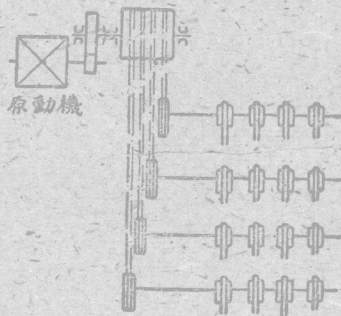


圖 1-2 聯動電力拖動圖。

由於它在技術上有缺點，現在幾乎不應用這種拖動了，這種拖動只在研究電力拖動發展史時才引起人們的興趣，因為這種拖動已讓位給單獨拖動及多電動機拖動了。

單獨電力拖動是指每部機器都由它自己的單獨的電動機來帶動的拖動。圖 1-3 的鑽床即是單獨拖動的例子，此外尚有其他簡單的金屬加工機床及各種簡單機械也是單獨拖動。

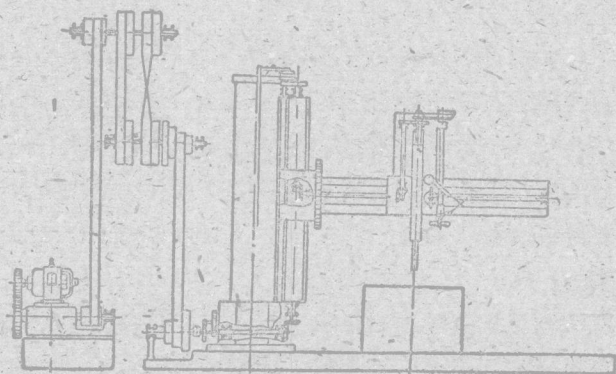


圖 1-3 鑽床的單獨電力拖動。

在許多場合下，拖動電動機是特別製作的，它和機械是一個整體，

這種拖動有時叫作個別拖動。

多電動機電力拖動是指具有幾個電動機的拖動，每個電動機使生產機組中的各別工作機構轉動。這種拖動應用於複雜的金屬加工機床(圖 1-4)、造紙機、冶金工業的軋壓機及其他機器設備。

個別電力拖動，特別是多電動機電力拖動，在現代工業中獲得越來越大的應用。

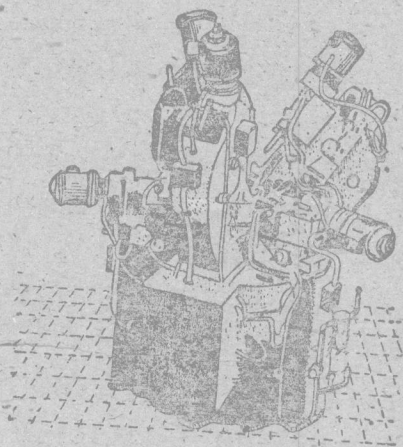


圖 1-4 齒輪加工機床的多電動機拖動。

1-2. 電力拖動發展簡史

工業企業的發展只在生產機械從手搖拖動過渡到機械拖動時才成為可能。早在遠古時代，人們已應用由瀑布或流水帶動的水車，這是最簡單的機械化的生產方式。我們知道在紀元前三千年，水車已在中國應用了。

隨着十八世紀資本主義的發展，出現了許多工廠，在那兒廣泛地應用着水力發動機，然後應用蒸汽機，後者是 П. И. 波耳左諾夫(П. И. Ползунов) 在 1763 年發明的。自那一時代至上世紀末葉，純粹的傳導拖動是拖動的唯一型式，因為水力發動機或蒸汽機是靠著大索或皮帶接連着主要傳導裝置，而各車間甚至全工廠所有的工作機皆由這一傳導裝置來帶動。

只在廣泛的工業電氣化的基礎上，才有可能過渡到更完善的拖動型式——單獨拖動，在那兒充分地估計到了不同生產機械的基本要求和特點。發電站的建立、遠距離電能的輸送以及電力拖動的應用創造了工業發展中的新紀元。

電力拖動的發展是在和陳舊的、衰頹着的生產方式及能量分配方式所作的長期鬥爭中實現的，並且經過了半個多世紀這種先進的方向才澈底地勝利了。

第一個電力拖動是在俄羅斯由波里斯·謝苗諾維奇·雅可比(В.С. Якоби) 院士(1801—1874年)作成的，他在1834年創作了一個轉動的電動機。1837年，彼得堡科學院組成了一個“根據波·謝·雅可比教授的方法應用電力開動船舶”的委員會，在1838年開始在涅瓦河上作全世界第一次用電動機開動船舶的試驗。由電動機開動的小艇的速度達每小時四公里，並且順着河流和逆着河流載運了十一個人。此後，雅可比曾在小車上裝置電動機，實現了陸地上的拖動。

因為缺乏廉價的及可靠的能量來源，又缺少輸送能量的方法，就不能使電力拖動在雅可比時代應用於工業企業。不過，他的發明起了異常重要的作用，它指出了電動機在實際應用上的可能性。

電動機的歷史，從而電力拖動的歷史，是從波·謝·雅可比這一傑出的工作開始的。

另一個出色的俄羅斯電工學者——符拉基米爾·尼古拉也維奇·契柯列夫(В. Н. Чиколев, 1845—1898年)——發明了應用於弧光燈的直流電動機差動調節器的電力拖動(1879年)，繞組機的電力拖動(1882年)及鼓風機的電力拖動(1886年)。符·尼·契可列夫這種先鋒式的工作有着極大的意義，它指出了在各方面應用電動機作為電力拖動的可能性。

在上世紀末葉之前，蒸汽和水仍是使工業中的機床和機械動作的主要動力。那一時代的實際電力工程主要是利用電能來照明。當時所採用的直流系統不能夠令人滿意地解決輸電及配電方面的問題，同時阻礙了電力拖動的發展。

巴維爾·尼古拉也維奇·雅勃洛契可夫(П. Н. Яблочков, 1847—1894年)和米哈依爾·奧西波維奇·多里沃-多勃羅沃爾斯基(М. О.

Доливо-Добровольский, 1862—1919 年)傑出地解決了輸電和配電的問題。巴·尼·雅勃洛契可夫不僅是電照明的發明者，也是變壓器的發明者和在實際電工學中應用交流電的奠基人。天才的俄羅斯電氣技師米·奧·多里沃-多勃羅沃爾斯基奠定了三相交流電的技術基礎。他用他光輝的工作開闢了在工業中應用交流電的廣闊途徑，他的確是廣泛分佈於全世界的近代三相交流電系統的父親。多里沃-多勃羅沃爾斯基在 1889 年發明三相異步電動機，並且他建立了交流電的傳輸，這樣就加速了電動機在工業中的應用。

上述歷史事實，也證明了俄羅斯在應用電能於工業，應用轉動型式的電動機及電力拖動這些方面的絕對優先地位。

電力拖動理論的創立也是屬於俄羅斯學者的。德米特里·阿歷克桑得羅維奇·拉契諾夫(Д. А. Лачинов, 1842—1902 年)發表於 1880 年“電”雜誌上的“電氣機械的功能”重要論文，第一次為電力拖動的科學理論打下了基礎。在德·阿·拉契諾夫工作的基礎之上，彼得堡電工學院的 П. Д. 沃依那羅夫斯基(П. Д. Войнаровский)教授在 1900 年完成了一本石印本的教本“電的傳輸及機械能的分佈”，書中研究了輸電、電力牽引及工業中的電力拖動的問題。之後，在 1903 年，也是這個學院的 В. В. 德米特里也夫(В. В. Дмитриев)教授出版一書，書中研究了電力牽引和工業中的電力拖動等問題。在 1915 年，他又出版“在工廠中機械能的電的分配”一書。根據我們近代的了解，電力拖動的理論是由較晚的蘇維埃學者的勞動所創立的。不過，我們有根據說電力拖動理論歷史的開端，應追溯到德·阿·拉契諾夫發表他的光輝著作的一年，即 1880 年。

上面提到的工作以及俄羅斯的和外國的電工學者的許多發明，奠定了新的生產領域——電力工業及電器工業——蓬勃發展的基礎。

集中生產電能在經濟上的無可置疑的優點，加上分配電能的簡便，就使得電動機逐漸排除了其它形式的發動機而在一切工業部門中居於

首位。電動機的容量與一切發動機的總容量之比，在 1890 年為 5%，1927 年為 75%，在現今則接近 100%。

電動機的應用，對拖動設備起了革命性的影響，甚至對生產機械本身也如此。首先，這表現於不用傳導拖動而過渡到單獨拖動及多電動機拖動。

應用單獨拖動，可能在最有利的轉速下工作，可能起動得極迅速並可能改變旋轉方向。此外，看管拖動的工作非常容易且無危險。圖 1-5

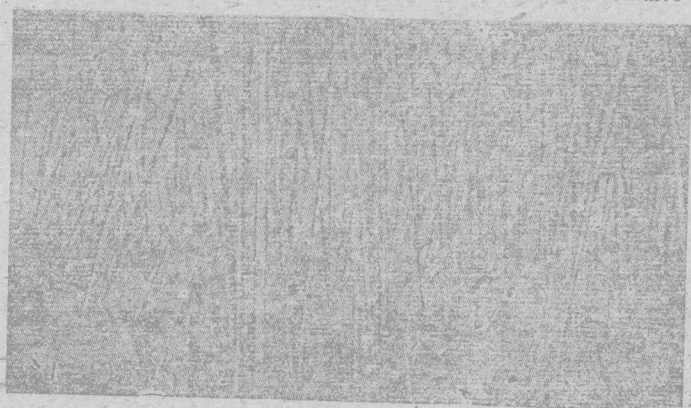


圖 1-5 應用傳導拖動的一個老車間的一般面貌。

的照片示一採用傳導拖動的老車間。現在，蘇聯已經沒有這種車間了。每個曾在近代工廠中工作過的人都會了解下列兩種車間中的工作條件有着怎樣的區別：一種是塞滿着許多傳動皮帶的車間（圖 1-5），一種是寬大的、光亮的、清潔的車間，這兒沒有嘈雜的、遮住光線的傳動裝置（圖 1-6）。

電力拖動總是沿着這條途徑發展的，那就是使電動機和生產機械緊密地聯接在一起，排除中間傳動。現在用圖 1-7 所示減少車床調速箱中轉換齒輪的對數作為例子來說明。要使軸上得到 18 個轉速，應用不可調整的單獨拖動時，需要 9 對齒輪（ a ）。應用雙速異步電動機時，可以減少齒輪數目到 7 對（ b ），應用可以廣泛調節的直流電動機時可減



圖 1-6 近代車間的一般面貌。

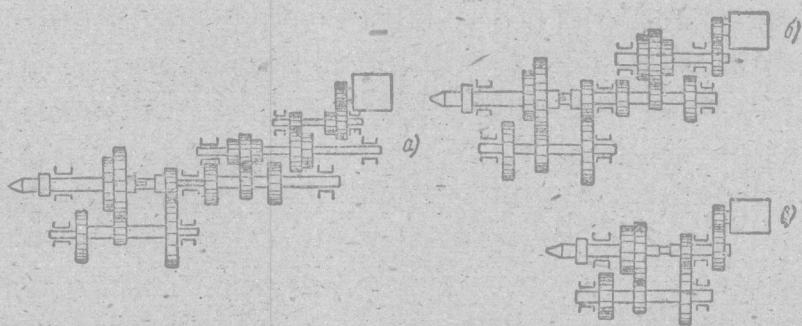


圖 1-7 在不同型式的拖動電動機之下的車床調速箱。

少到4對(6)。

使拖動電動機和生產機械緊密接合的思想可由圖1-8表示出來。

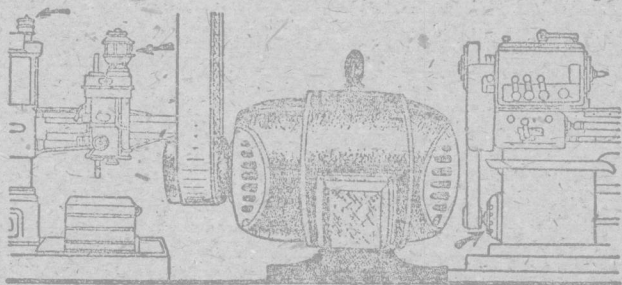


圖 1-8 當拖動電動機和生產機械儘量靠近時，拖動電動機的裝置。

圖中指出過渡到裝置在各生產機械本身上的單獨拖動。圖1-9示搖臂鑽床上電力拖動的發展，拖動電動機和生產機械的逐步緊密結合就形成了多電動機拖動，此時，這個工作機上的各個機構是由不同電動機(a, b, c, d)來帶動的。

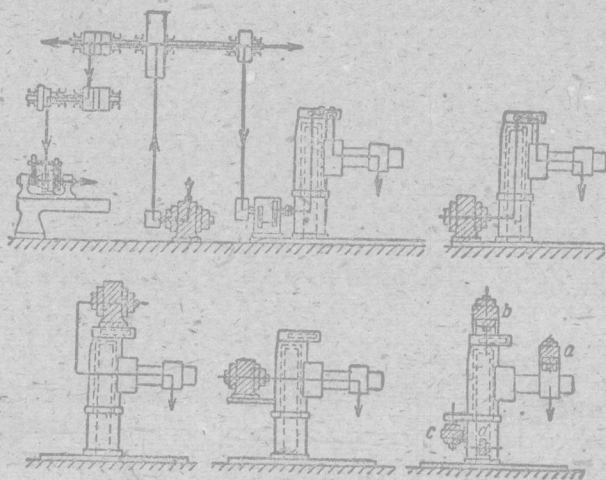


圖 1-9 搖臂鑽床上電力拖動的發展圖。

在金屬切削機床及其他機械上，電動機的數目可達30台或更多些。

多電動機電力拖動有時應用普通型式的電動機，不過也常常應用特別固定在機床裏面的電動機，此時把所有電氣化了的機組中的元件有機地合併在一起了。

不但在多電動機拖動中應用特殊電動機，在許多單獨拖動上也應用，以使電動機和機械在構造上彼此適合。圖 1-10 示砂磨石的電力拖動，它是一個附有減速器的異步鼠籠式電動機。

有時候電力拖動中的電動機和工作機械可以達到這樣緊密的有機的結合，以致在構造上它們形成了一個整體。

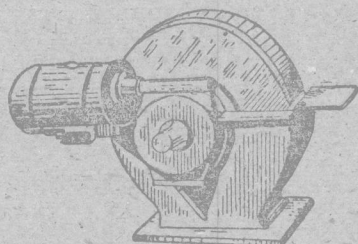


圖 1-10 砂磨石的電力拖動。

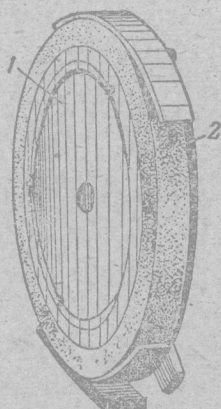


圖 1-11 電磨。

圖 1-11 的電磨即可作為一個例子：此處應用異步電動機，它的定子 1 在轉子的裏面空腔內，而轉子的外面圓周上則裝着砂輪 2。

另外一個例子是在冶金工業中用來傳送金屬塊（鋼坯）的電動機滾子（圖 1-12）。此處，靜止的定子繞組也是放在裏面，而滾子本身即是轉子。

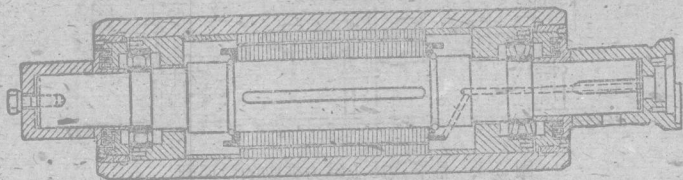


圖 1-12 轉子在外面的電動機滾子。