

中等專業學校教學用書

冶金車間的电气設備

上 冊

B. K. 波尔捷夫 Л. П. 斯莫尔尼可夫 著

重工業出版社翻譯組 譯

重工業出版社

冶金車間的电气設備

上 册

В. К. 波 尔 捷 夫 著

Л. П. 斯莫尔尼可夫

重工業出版社翻譯組 譯

重 工 業 出 版 社

本書根据苏联黑色与有色科技書籍出版社出版的В.К.波尔捷夫和Л.П.斯莫尔尼可夫所著的“冶金車間的电气設備”1954年版譯出。原書經苏联黑色冶金工業部教育司審定为冶金中等專業学校的教科書。

本書分兩冊出版。上冊內容包括电力驅動原理、电力驅動裝置的控制；下冊內容为冶金車間的电气設備。

本書由本社刘硯田同志翻譯，歐陽惠霖同志校对。

В.К.ПОЛТЕВ, Л.П.СМОЛЬНИКОВ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
ЦЕХОВ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (СВЕРДЛОВСК 1954)
МОСКВА

* * *
冶金車間的电气設備
上 冊

重工業出版社翻譯組譯
重工業出版社（北京市灯市口甲45号）出版
北京市書刊出版業營業許可証出字第〇一五号

* * *
重工業出版社印刷廠印
一九五六年六月第一版
一九五六年六月北京第一次印刷（1—5040）

850×1168·1/32·191,000字·印張7 $\frac{6}{32}$ ·定價（10）1.10元

書号 0446

* * *
發行者 新華書店

目 錄 (上冊)

緒論	(7)
1. 電力驅動在蘇聯的發展	(7)
2. 電力驅動的定義	(9)
3. 黑色冶金工業中的電力驅動	(10)

第一篇 電力驅動原理

第一章 電力驅動的動力學	(12)
1. 電力驅動的運動方程式	(12)
2. 靜力矩和力的換算	(16)
3. 把飛輪質量移到電動機軸上的換算	(18)
4. 在換算動力矩和靜力矩時傳動損耗的計算	(21)
5. 起動時間和制動時間	(22)
6. 電力驅動裝置起動時的能量損耗	(24)
7. 電力驅動裝置的負載曲線	(26)
驅動裝置飛輪力矩的經驗求法	(29)
第一章 例題	(31)
第二章 電動機的電氣機械性能	(35)
1. 概述	(35)
2. 分激直流電動機的機械特性	(36)
分激電動機的起動和制動	(38)
3. 分激電動機的速度調節	(44)
用變化激磁電流的辦法調速	(44)
用變化電壓的辦法調速	(46)
用分接電樞的辦法調速	(49)
4. 串激直流電動機的機械特性	(50)
5. 串激電動機的速度調節	(56)
6. 複激直流電動機的機械特性	(59)
7. 各種直流電動機在不同負載條件下的比較	(61)

8.	直流电动机用电子离子儀器調速·····	(62)
9.	感应电动机的机械特性·····	(65)
10.	感应电动机的制動·····	(70)
11.	感应电动机的速度調節·····	(72)
	用轉子电路中的电阻調速·····	(72)
	用改变極对數的办法調速·····	(73)
	用改变頻率的办法調速·····	(75)
	感应电动机的串級調速·····	(77)
12.	同步电动机的机械特性·····	(79)
第三章	电动机容量的計算 ·····	(82)
1.	概述·····	(82)
	絕緣等級·····	(84)
2.	电机發熱和冷却过程的方程式·····	(85)
3.	电动机的運轉状态·····	(88)
4.	在持續恒定負載下电动机容量的選擇·····	(89)
5.	等效电流法、等效轉矩法和等效功率法·····	(90)
6.	短時負載电动机容量的選擇·····	(94)
7.	重覆短時負載电动机容量的選擇·····	(95)
8.	在非標準的周圍介質溫度下 电动机容量的近似求法·····	(100)
9.	鼠籠式电动机的許可接电次數·····	(101)
第三章	例題 ·····	(102)
第四章	冶金車間用的电动机 ·····	(106)
1.	按对周圍介質作用的防禦方法的电动机分類·····	(106)
2.	电动机結構形式對於冷却条件的影响·····	(108)
3.	冶金車間用电动机的主要型式·····	(109)
4.	联結电动机和工作机用的傳動裝置的型式·····	(118)
 第二篇 電力驅動裝置的控制		
第五章	电器 ·····	(120)

1.	電器的分類及對它們的要求.....	(120)
2.	電阻.....	(122)
3.	控制器, 發令控制器和行程開關.....	(127)
4.	直流及交流制動電磁鐵.....	(133)
5.	萬用切換開關, 終端開關.....	(139)
6.	直流接觸器和交流接觸器.....	(141)
7.	自動開關.....	(145)
8.	時間繼電器.....	(149)
9.	電動機的保護器械.....	(151)
	過電流保護繼電器.....	(152)
	熱力繼電器.....	(153)
	熔斷保險器.....	(155)
10.	電子離子儀器.....	(156)
	電子時間繼電器.....	(156)
	光電管和光電繼電器.....	(157)
11.	固體整流器.....	(159)
第六章	電力驅動裝置的繼電器接觸器控制.....	(162)
1.	概述.....	(162)
2.	電力驅動裝置控制電路的繪製法.....	(163)
3.	電動機起動的自動控制.....	(166)
4.	電動機制動的自動控制.....	(171)
5.	電力驅動裝置的控制電路.....	(174)
6.	同步電動機起動的控制.....	(179)
7.	用發電機電動機系統進行的控制.....	(184)
8.	控制台的構造型式.....	(186)
第七章	電機自動裝置的元件.....	(188)
1.	電力驅動裝置的繼電器接觸 器控制電路的缺點.....	(188)
2.	電力擴大機.....	(189)
3.	不穩定過程的穩定.....	(194)

4. 同步聯繫的基本概念..... (196)
5. 磁力放大器..... (200)

第八章 電力驅動控制電路電阻的計算

1. 概述..... (202)
2. 分激電動機起動電阻的計算..... (204)
3. 串激電動機起動電阻的計算..... (209)
4. 線繞式感應電動機起動電阻的計算..... (211)
5. 預備電阻級..... (213)
6. 分激電動機反接制動電阻的計算..... (214)
7. 串激和複激電動機反接制動電阻的計算..... (217)
8. 感應電動機反接制動電阻的計算..... (219)
9. 分激電動機能耗制動電阻的計算..... (220)
10. 串激電動機能耗制動電阻的計算..... (222)
11. 複激電動機能耗制動電阻的計算..... (224)

參考文獻..... (226)

中俄名詞對照表..... (226)

緒 論

1. 電力驅動在蘇聯的發展

世界上第一具電力驅動裝置是科學院士 Б.С. 亞可比在 1838—1839 年為了驅動涅瓦河上的一隻快艇而研究和創造出來的。但由於當時沒有可靠的電源和輸電工具，電力驅動在長時期內未得到進一步的發展和應用。

電在工業中的廣泛應用只有在天才的俄國電工學家 П.Н. 亞勃洛契科夫發明了和首次使用了變壓器（1876 年）以後才有了可能。結構獨特的單相變壓器由物理學家 И.Ф. 烏薩金於 1882 年在莫斯科工業展覽會上首次展出。

三相電流技術的奠基者是 М.О. 多里沃-多布羅夫斯基。他在世界上首次（1891 年）以 15000 伏的電壓輸送三相電能給 100 馬力的電動機。他所擬定的遠距離輸電法對於電力驅動事業的發展起了決定性的作用。

М.О. 多里沃-多布羅夫斯基創造了和實際上使用了最通用型式的電動機，即線繞式和滑環式感應電動機。

俄國科學家在電工技術發展中的主導作用和他們的深遠的科學思想，在革命前俄國的條件下是不為當權人物所支持的，因而第一具電力驅動裝置自創製後經過了 50 多年才應用到工業中。

在上一世紀的末期以前，蒸汽和水在工業中是主要的動力形式，而電能只應用在照明方面。

只有在十月革命之後，電工技術在我國才能以另一種規模和速度發展起來。在弗·依·列寧的親自指導下，年青的蘇維埃共和國在 1920 年擬定了全俄國家電氣化計劃——國民經濟電氣化計劃、“黨的第二綱領”。弗·依·列寧對於電氣化的發展給予深遠的馬克思主義的分析並指出，電氣化是新社會制度，即社會主義社會制度的技術基礎和物質基礎。

列寧對電氣化所下的天才定義：“共產主義就是蘇維埃政權加上全國電氣化”，在我們的年代裡，在我們祖國動力基地的強大發展中得到最光輝的說明。

實現國家工業化計劃尚在第一個五年計劃的時期中，就要求生產過程機械化、廣泛採用電力驅動和大力增加電機和控制器械的生產。這一任務順利地完成了，在完成任务中起主導作用的電器工業工廠有以謝·米·基洛夫命名的“電力”工廠，以約·維·斯大林命名的哈爾科夫電機工廠（ХЭМЗ）和以謝·米·基洛夫命名的“迪那莫”工廠。

蘇聯電力驅動事業的強大發展可由以下事實來證明：僅僅在黑色冶金一個工業部門裡，在第一個五年計劃完成時就有 19 台大型軋鋼機投入生產，到了第二個五年計劃完成時更增為 60 台，其中 9 台是具有極複雜的自動化電力驅動裝置的可逆式初軋機。

蘇聯的第一套初軋機電力驅動裝置是在 1931 年由“電力”工廠製造的。這套電力驅動裝置包括一台 7000 馬力的電動機與一套由一台 3680 千瓦的感應電動機和兩台 3000 千瓦的直流發電機所組成的三機變流機組。

控制可逆式初軋機驅動裝置用的自動設備在 1932 年首次由哈爾科夫電機廠製成。高爐裝料系統用的自動化電力驅動裝置在 1933 年亦為該工廠所研究成功並開始生產。以後該工廠又設計了壓下螺絲、熱剪機、翻鋼機及軋鋼車間其它輔助機械用的電力驅動裝置。

許多科學研究所和高等學校，如列寧格勒工學院、列寧格勒電工學院、莫斯科動力學院和其他學院都參加了蘇聯電力驅動裝置的建造和自動化的工作。由於這個緣故，從事電力驅動理論的深入研究才成為可能。

電力驅動理論首先在 C.A. 林凱維奇教授和 B.K. 波波夫教授的著作中形成獨立的學科，並在 P.Л. 阿羅諾夫、Л.П. 莫羅佐夫、A.T. 郭洛宛和 C.H. 維什涅夫斯基等的著作中得到了進一步的發展。

党十九次代表大会的指示对苏維埃冶金工作者提出的巨大任务是：要進一步提高金屬的生產和進一步更好地利用冶金企業的現有生產能力。十九次代表大会的指示也規定要加強黑色冶金企業中的工作，以提高冶煉过程速度，使冶煉設備自動化和使費力勞動機械化。

這些決議直接關係到國產電力驅動裝置的進一步完善及其技術經濟指標的改進。被實現苏联共產党第十九次代表大会決議這個共同願望所鼓舞的蘇維埃電工學者、冶金工作者和科學技術工作者，以他們最豐富的經驗定能順利地執行建造世界上最完善的電力驅動裝置的新的複雜任務。

2. 電力驅動的定義

電力驅動裝置是一種機械裝置，它包括三個主要環節：1) 電動機，2) 控制電動機用的器械和3) 電動機和工作機之間的傳動裝置。

雖然電力驅動裝置的數量很多而且構造各式各樣，但在每一個電力驅動裝置中總可分成上述的三個環節，僅在某些個別情況下才可沒有第三個環節——電動機和工作機之間的傳動裝置。

目前，電力驅動裝置在所有的生產過程中應用得特別廣泛，因為它能最完善地滿足極力提高工作機生產率的要求和改善其經濟指標的要求。

在現代的機器製造工業中，單電動機驅動和多電動機驅動用得最廣。成組式（天軸）電力驅動由於有許多重要的缺點，目前只保留在一些老的工廠裡，新的工廠已不採用這種驅動方式了。

在單電動機驅動系統中，工作機由單個電動機帶動，此時電動機

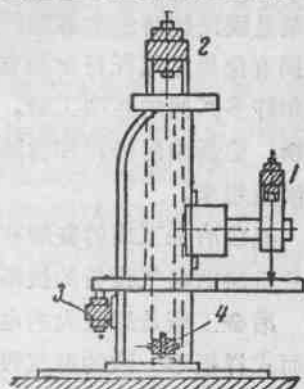


圖 1 搖臂鑽床的多電動機驅動

的運動藉聯軸器、皮帶傳動裝置或減速器傳遞給工作機。

一部機器的各個工作機構各用一台電動機帶動的電力驅動稱為多電動機驅動。圖 1 所示為搖臂鑽床的多電動機驅動。鑽頭由電動機 1 來轉動，刀架升降由電動機 2 實現，刀架在水平面上的移動由電動機 3 實現，電動機 4 帶動刀架繞機軸旋轉。

採用單電動機驅動時，工作機可按照生產過程的條件來佈置，而與天軸的位置無關。當生產過程發生變化時，工作機可以很容易地移動並配置在最適宜的位置上。單電動機驅動能夠採用具有最符合於工作機要求的機械特性的電動機。

多電動機驅動用在複雜的金屬加工機床中，用來驅動軋鋼機、造紙機和其它機器設備。採用裝入式和凸緣式電動機時，電動機和工作機的執行機構可以作成一整體。

按照生產設備工作條件的不同，電力驅動的控制方式可以是自動的、半自動的或非自動的。在現代的生產實踐中，非自動控制僅用來完成某一獨特的生產作業，而且電動機的容量也較小。

3. 黑色冶金工業中的電力驅動

黑色冶金工業發展的程度決定着工業、運輸業和建築業的發展，它是有決定性意義的國家經濟指標之一。在我國，黑色冶金工業是國民經濟的主導部門。黑色冶金工業已得到了高度的發展並擁有像馬格尼托哥爾斯克、庫茲涅茨克、新塔吉爾、齊略賓斯克和許多其他的巨型工廠。大量優質鋼廠新建和投入生產，在頓巴斯、德聶泊河沿岸和我國西部各省的工廠也都在新的技術基礎上恢復起來。

黑色冶金工業的發展在相當大的程度上也決定於驅動冶金車間各機構的電氣設備的技術改進。

冶金工廠是最巨大的電能用戶。在黑色冶金工廠裡裝設有大量而式樣極不一致的電氣設備，這些電氣設備在大型工廠中要達到 10000 個。大型冶金工廠工作所需的平均功率在 80—120 百萬瓦範圍內。

在具有完整冶煉过程的工廠中，電力驅動裝置所消耗的電能佔工廠總輸入電能的 95%。大型冶金工廠各車間的負載比率和電能消耗比率如表 1 所列。

表 1

大型冶金工廠各車間的負載比率和電能消耗比率

車 間 的 名 稱	負載，%	電能消耗量，以總電 能消耗量的%表示
1. 焦化車間.....	12	由 7 到 10
2. 高爐車間.....	12	7—10
3. 平爐車間.....	5.7	6—8
4. 軋鋼車間.....	41.8	34—45
5. 給水設備.....	7.5	14—35
6. 輔助車間.....	6.0	12—15
6. 汽力站和供熱發電廠自用.....	7.5	7—8.5
7. 空氣壓縮設備.....	3.0	—
8. 通風和照明.....	4.5	—
	100%	—

冶金工廠用的電力驅動裝置在技術性能和技術經濟指標上是最完善和最先進的，它的特點是耐久和使用上可靠。

冶金車間的自動化電力驅動裝置是把生產設備的各部分連成一個自動系統的主要環節，它能提高生產率、改善產品質量和勞動條件。

只有由於電力驅動裝置的改善，有效容量達 1500 米³ 的高爐、裝料量達 350—400 噸的平爐、生產率達每年 2 百萬噸的初軋機以及高速冷軋機等高生產能力的冶金設備才能建造出來。

冶金企業電力驅動裝置的進一步完善將促使冶煉過程更進一步機械化、自動化和加速，從而提高冶金工廠的生產能力和改善技術經濟指標。

第一篇

電力驅動原理

第一章

電力驅動的動力學

1. 電力驅動的運動方程式

为使电气化的工作机器獲得高的生產率，就必須在尽可能短的時間內完成各种生產工序。這一點對於頻繁起動和制動的機構是特別重要的。這時電動機的起動、制動、變速和停止須在短促的時間內實現。

電力驅動過渡過程的性質和持續時間決定於电气化機組的原動力和阻力的變化規律。各種電力驅動系統的過渡過程極不一致，研究這些過渡過程進行的性質可以用分析法，也可以用實驗法，這些都是電力驅動理論的主要部分。

在一般情況下，電動機發出的轉矩為驅動系統的阻力矩 M_c 和動力矩 M_j （表示驅動系統中旋轉質量動能貯藏量的變化）所平衡

$$M = M_c + M_j. \quad (1)$$

如果慣性質量在驅動速度發生變化時所放出或得到的動功率為已知，則動力矩的大小即可求得。

動功率等於動能 A 對時間的一次導數

$$P_j = \frac{dA}{dt} \quad (2)$$

若角速度為 ω ，則動力矩等於

$$M_j = \frac{P_j}{\omega} \quad (3)$$

若驅動系統以角速度 ω 旋轉並具有慣性力矩 J ，則動能貯藏量為

$$A = J \frac{\omega^2}{2} \quad (4)$$

若 $J = \text{常數}$ ，則由 (3) 及 (4) 式得

$$P_j = \frac{dA}{dt} = J\omega \frac{d\omega}{dt}$$

因此

$$M_j = \frac{P_j}{\omega} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

知道了 M_j 的表示式，即可寫出驅動系統的运动方程式為：

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

如果電動机的速度為常數，則旋轉質量的動能不發生任何變化，慣性力矩等於零。此時运动方程式可寫成

$$M = M_c,$$

即电动机發出的轉矩等於阻力矩，或換句話說，等於負載力矩。

阻力矩 M_c 在電力驅動動力學中稱為靜力矩，因為它由靜力作用在工作机的軸上而產生。靜力包括摩擦力、切削力、張力、扭力、壓縮力、拉力及重量等。

各種工作机的靜力矩，按照工作机的用途和性能而可以在工作時間內保持恒定或隨速度、行程和時間而變化。

靜力矩多半阻礙運動的進行，但在某些情況下它也可促進運動的進行。由於這個緣故，靜力矩可分為兩類：1) 無效力矩；

2) 位力矩或有效力矩。

屬於無效力矩一類的是由以下原因造成的力矩：摩擦、切削、非彈性體的壓縮、張拉和扭轉。這些力矩永遠對運動起阻礙作用，即永遠是制動力矩，所以在驅動系統的运动方程式中無效力矩前須加一負號。

由重量、彈性體的壓縮、張拉和扭轉等原因造成的力矩稱為位力矩或有效力矩，因為它們的作用與驅動系統中個別元件的位能變化有關。位力矩可以是正的，也可以是負的，要看它是原動力矩還是制動力矩而定。

靜力矩 M_c 前面的負號表示力矩有制動作用，這相應於切削力及提升重物等。

當降下重物或扭轉彈簧時， M_c 的前面須寫正號，因為此時力矩促使驅動系統旋轉。

在公式(1)中，運動方程式的右側為力矩 M_c 及 M_j 之和，即靜力矩和慣性力矩之和。在電力驅動理論中，慣性力矩取名為動力矩，因為它是驅動系統的轉速發生變化時慣性質量在單位時間內所吸收或放出的功率。

動力矩僅在驅動速度變化的過程時間內出現。當驅動系統加速運轉時，動力矩的方向與運動的方向相反，在制動時，動力矩的方向則與運動的方向一致。動力矩的大小和符號都決定於電動機轉矩和靜力矩的代數差，即

$$\pm M \mp M_c = M_j. \quad (8)$$

被加數前面的符號要根據電動機的工作狀態和力矩的性質來選擇。

運動方程式能解決有關電力驅動裝置在過渡狀態（即電動機的起動、制動、反轉和變更負載）下工作的各種問題。

當機構的軸上有無效靜力矩時，電動機的工作可用下列各關係式來表明：

a) 在穩定運轉時， $M = M_c$ ， $\frac{d\omega}{dt} = 0$ ，系統作等速運動或處於靜止狀態中；

6) 在起動或以變速度運轉時 $M \neq M_c$;

當 $M > M_c$, $\frac{d\omega}{dt} > 0$ 時, 系統在加速;

當 $M < M_c$, $\frac{d\omega}{dt} < 0$ 時, 系統在減速;

B) 在制動時, 電動機的轉矩和靜力矩在方向上與運動相反並力圖使系統制動, 此時 $\frac{d\omega}{dt} < 0$.

運動方程式中的量 M_j 具有力矩的因次

$$M_j = J \frac{d\omega}{dt} = \left[\frac{\text{千克} \times \text{秒}^2 \times \text{米}}{\text{秒}^2} \right] = [\text{千克} \cdot \text{米}]. \quad (9)$$

電動機的轉矩 M 可用電動機的軸功率來表示:

$$M = \frac{P}{\omega},$$

式中 ω ——角速度, 等於 $\frac{2\pi n}{60} \times \frac{1}{\text{秒}}$.

此時

$$P = M\omega = \frac{2\pi}{60} Mn \text{ 千克} \cdot \text{米} / \text{秒},$$

因 1 千瓦 = 102 千克·米/秒, 故得

$$P = \frac{Mn}{975} \text{ 千瓦} \quad (10)$$

運動方程式中的慣性力矩 J 可根據質量 m 和慣性半徑 ρ 而按下式求出:

$$J = m\rho^2 \quad (11)$$

在解決電力驅動的各种問題時, 為使實際計算方便起見可用工程單位表示動力矩關係式中的各量, 即

$$J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \times \frac{D^2}{4} \quad (12)$$

式中 G ——物體的重量, 千克;

D ——慣性直徑, 米;

g ——9.81 米/秒²——重力加速度。

此時運動方程式可寫成，

$$M - M_c = \frac{G}{g} \times \frac{D^2}{4} \times \frac{d\omega}{dt}, \quad (13)$$

或

$$M - M_c = \frac{G}{9.81} \times \frac{D^2}{4} \times \frac{2\pi n}{60} \times \frac{dn}{dt},$$

或

$$M - M_c = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt}. \quad (14)$$

運動方程式中的量 GD^2 称为飛輪力矩。飛輪力矩以千克-米²表示。

驅動系統中各元件的飛輪力矩值可根据公式 (12) 求得，由公式 (12) 得

$$GD^2 = 4gJ. \quad (15)$$

最簡單的標準元件（圓柱體、空心圓筒及直角錐體等）的慣性半徑 ρ 值列於有關的手冊中。

2. 靜力矩和力的換算

當電動機和工作機之間有中間傳動裝置時，須把設備的每一軸上的運動方程式都寫出，然後再聯立解出。這種計算辦法往往使問題變複雜，所以在實際上並不採用。

為了使具有電動機、工作機及有關的傳動裝置的真實電力驅動系統簡化，可用一個只有轉動或移動的元件的最簡單系統來代替。此系統的動態性質應符合於真實系統的性質，而速度則設為等於電動機或工作機的速度。通常都對電動機的軸來進行換算。

一種運動可換算為同一形式但具有不同速度的運動，例如轉動可換算為轉動，移動可換算為移動。一種運動也可換算為另一種運動，例如轉動可換算為移動，反過來也是一樣。

圖 2 所示為最簡單的電力驅動的傳動系統圖。電動機 M 藉齒