



中等專業學校教學用書

電力驅動原理

蘇聯 Д.П. 莫羅佐夫著

燃料工業出版社

中 等 專 業 學 校 教 學 用 書

電 力 驅 動 原 理

蘇聯 Д·П·莫羅佐夫著

鍾 兆 琥譯

蘇聯電機製造工業部教育司批准
作為中等電機專業學校的教材

燃 料 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書敘述有關電力驅動理論的基本問題，着重在驅動的電氣機械特性，自然機械特性曲線的繪製法與人造機械特性的獲得，過渡程序的計算，調整性能的分析，以及負載紀錄圖的繪製與電動機容量的選擇法等。本書可供動力專門技術學校用作基礎課本。

* *

*

電 力 驅 動 原 理

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)

1950年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 Д. П. МОРОЗОВ 著

鍾 兆 琥譯

燃料工業出版社出版

社址：北京東安門外大街
北京市書刊出版業營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：曾志開 校對：符坤珍 陳家繹

書號 100 電 50

787×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 14卷印張 * 322千字 * 印9,501—10,750冊

一九五三年六月北京第一版第一次印刷

一九五五年八月北京第一版第二次印刷

定價(8)二元二角

這本書是根據蘇聯國家動力出版社發行的一九五〇年版譯成的。原作者莫羅佐夫是莫斯科莫洛托夫動力學院「工業電氣設備」系教授。本書研討的範圍，正如原書封面後的內容提要裏所說：是「有關電力驅動的理論的基本問題。主要的注意力着重在驅動的電氣機械特性，自然機械特性曲線的繪製法與人造機械特性之獲得，過渡程序的計算，調整性能之分析，以及負載紀錄圖的繪製與電動機容量的選擇法」等。同時，本書也是一本「供給動力專門技術學校採用的基本課本」。

舊中國的工業建設，從一開始起就為帝國主義資本與官僚資本所壟斷，所以它只能為帝國主義和少數統治集團服務，而與國計民生無關。帝國主義者按照它自己的經濟體系，利用特權，輸出資本，榨取中國廉價的勞動力和原料，其目的是對我國實行經濟侵略。官僚資本則憑藉自己盜竊來的政權，以帝國主義為靠山，殘酷地剝削掠奪工人及農民，排斥民族資產階級，壟斷各種有利可圖的工業（特別是為反人民戰爭服務的軍需生產），其目的是分得買辦利潤，實行賣身投靠。

這就是舊中國工業的半殖民地性和買辦性的基本特徵。

這些特徵，具體表現在下列各方面：（一）大部分工業集中在沿海的幾個大都市，僅以上海、天津、廣州、青島等四地而論，據一九四七年偽經濟部調查：廠家與工人數目即佔全國70%以上；（二）生產手段部門比重微弱，舉一九三三年為例，生產手段部門比重僅佔生產總值17%，而機械製造只佔0.9%；（三）很多大規模的工廠與交通事業由外資經營；（四）技術上的落後與對外的依賴性。拿電氣工業來說，所有電報、電話、無線電通訊器材、發電廠

的發電、輸、配、變電設備、工礦用動力設備，無一不由外國訂購，甚至由外國人來設計安裝。中國有電機製造事業，在二十世紀的三十年代才開始，並且設備簡陋，規模小得可憐，容量稍大或構造稍為複雜一些的機器，仍然要向外國訂購。

舊中國工業上的這種殖民地的色彩，毫不奇怪地也同樣表現在學校課程的內容上；以往各大學的電機系祇有電力和電訊兩門，課程內容僅能訓練一些維護、運行和修理的人才。

電力驅動是工礦動力部門的重要課程之一。但在舊中國，比較複雜的工礦動力設備既然全由外國供給，中國人最多不過參加安裝工作，並且由於工礦動力設備分門別類，異常繁多，煉鋼廠的電力驅動設備就和紡織廠的迥不相同。在工業不發達的環境下，誰要是專學一種關於工業的動力設備的技術，畢業後準找不到合適的工作，所以工礦動力這一門科學在舊社會裏從來無人問津，學校裏也就不會有這樣的課程。

可是今天的情況和以前完全兩樣了，偉大的新中國已在東方地平線上吐露出萬丈光芒。中國工人階級在中國共產黨和人民政府的領導下，在蘇聯大公無私的援助下，正以高度的自覺和忘我的勞動使舊工業脫胎換骨，循着新民主主義經濟的軌道穩步前進。隨着大規模經濟建設的進行，新中國的工業將逐步建立在新的技術基礎上——電氣化和機械化的基礎上，因此，培養與訓練工礦動力的技術人員，已成為現實的迫切的需要。

關於電力驅動，在中、英文教材中，至今還沒有一本比較完善的課本，譯者能在新中國大規模建設開始的今天有機會翻譯這樣一本精湛的著作，並適時地傳達到渴望新教材的讀者手裏，實在感到非常地愉快。但因譯者學識淺陋，又是初次從事翻譯工作，錯誤定必難免，謹以至誠，希望讀者同志給以批評指教，以便再版時更正，並幫助譯者在以後工作中進步。

譯者 1951年11月30日於北京

譯者序言.....	1
著者序言.....	9

第一章 驅動的力學原理

1-1. 慣性力矩和飛輪力矩的測定	13
1-2. 運動的基本方程式	16
1-3. 運動基本方程式應用的簡例	17
1-4. 推算的慣性力矩和推算的飛輪力矩	20
1-5. 傳動比（轉速比）	22
1-6. 直線運動（移動）質量的推算和通用的推算公式	22
1-7. 驅動的慣性質量推算到直線運動	25
1-8. 有曲柄的機械	26
1-9. 複雜的驅動系統的動力轉矩	28
1-10. 靜止阻力的等值轉矩	29
1-11. 曲柄與連桿機械的等值阻力轉矩	29
1-12. 綜合的運動方程式	30

第二章 電動機的特性

2-1. 引言	32
一、直流並激電動機	
2-2. 機械特性	33
2-3. 並激電動機的再生發電運轉（即再生制動）	41
2-4. 反接運轉	44
2-5. 並激電機的發電運轉（能耗制動）	46
2-6. 機械特性方程式的另一種寫法	47

2-7. 並激電動機的起動電阻的計算	48
二、直流串激和複激電動機	
2-8. 機械特性的數學分析	54
2-9. 串激電動機的原始特性	58
2-10. 萬用特性	58
2-11. 串激電動機的界限機械特性	60
2-12. 電動運轉和反接運轉時的人造機械特性	62
2-13. 串激電機的發電運轉（能耗制動）	64
2-14. 串激電動機的起動電阻的計算	68
2-15. 複激電動機的電氣機械性能	75
三、感應電動機	
2-16. 機械特性的數學分析	78
2-17. 機械特性的各特點	82
2-18. 線繞式感應電動機的自然特性曲線的點繪法	85
2-19. 感應電動機在不同轉子電阻下的人造特性	88
2-20. 感應電動機的運轉狀態	90
2-21. 機械特性方程式中各量的分析	91
2-22. 臨界（疲倒）轉差率和起動轉矩	92
2-23. 在不同的定子電壓和不同的電源頻率下的人造特性	93
2-24. 感應電動機起動電阻的計算法	95
2-25. 感應電機發電運轉（能耗制動）時的機械特性	98
2-26. 機械特性的精確公式	102
2-27. 鼠籠式電動機的機械特性	103
四、同步電動機	
2-28. 力角機械特性	104
2-29. 同步電動機的起動	107
2-30. 起動特性	108
2-31. 同步電動機的起動電路圖和參數的計算法	110

第三章 複雜電力驅動系統的電氣機械性能

一、發電機-電動機制

3-1. 機械特性	114
3-2. 發電機-電動機制內電動機的起動、制動和反向	116
3-3. 下墜特性	121
二、同步旋轉系統	
3-4. 同步旋轉的基本定義和電路的分類	125
三、有輔助機的同步旋轉系統	
3-5. 有同步輔助機的同步旋轉系統	126
3-6. 用異步輔助機的同步旋轉裝置電路圖	131
3-7. 兩個磁場向同一方向旋轉的雙輸入感應電機	132
3-8. 兩個磁場向不同方向旋轉的雙輸入感應電機	134
3-9. 用異步輔助機的同步旋轉系統內的能量平衡	135
3-10. 輔助機轉矩的方程式	136
3-11. 輔助機轉矩公式的分析	140
3-12. 電軸設備的起動和整步	142
四、不用輔助機的同步旋轉系統	
3-13. 有率領軸的裝置	144
3-14. 僅有兩個主感應電動機的裝置	145
3-15. 有共同電阻器的雙感應機系統	147
3-16. 用直流電機的同步旋轉系統	148
五、並接在一個軸上的電動機平行運轉	
3-17. 交流電動機	149
3-18. 直流電動機	150
3-19. 串聯電樞的直流電動機	151

第四章 電力驅動的過渡歷程

4-1. 引言	153
一、直流電力驅動裝置的過渡歷程	
4-2. 並激電動機過渡歷程的方程式	153
4-3. 並激電動機起動時的過渡歷程	155
4-4. 電機時間常數	157
4-5. 並激電動機在起動的過渡歷程內的電樞電流	158

4-6. 計算的示例	160
4-7. 並激電動機能耗制動時的過渡歷程	165
4-8. 並激電動機反向時的過渡歷程	170
4-9. 並激電動機在過渡歷程中的動力(功能)平衡	175
4-10. 並激電動機空載起動時電樞電路內的電阻損耗	176
4-11. 並激電動機用恒常轉矩起動時, 電樞電路內的熱損耗	179
4-12. 並激電動機用可變轉矩起動時, 電樞電路內的熱損耗	180
4-13. 並激電動機在能耗制動時的功率和功能平衡	183
4-14. 並激電動機空載反向時的功率與功能平衡	185
4-15. 並激電動機在有負載反向時的功率與功能平衡	186
4-16. 串激電動機的過渡歷程	187
4-17. 串激電動機的反向	191
4-18. 串激電動機過渡歷程的逐步計算預測法	192
4-19. 串激電動機空載反向時電樞電路內的電阻熱損	194
4-20. 有負載的串激電動機反向時的熱損耗	197
4-21. 串激電動機在起動時的熱損	198
4-22. 複激電動機的過渡狀態	200

二、交流電力驅動的過渡狀態

4-23. 感應電動機在空載($M_c=0$)時的過渡狀態	200
4-24. 有負載的感應電動機的過渡狀態	204
4-25. 感應電動機過渡狀態的調解法	207
4-26. 沒有負載的感應電動機在過渡狀態下在定子和 轉子電路內的熱損耗	210
4-27. 多速感應電動機起動時的熱損耗	212

三、電機激磁的過渡歷程

4-28. 激磁繞組的時間常數	214
4-29. 激磁過程中的電磁時間常數	218
4-30. 激磁過程的加快法	220
4-31. 激磁過程的特性	222
4-32. 複雜的激磁電路	224
4-33. 激磁過程的基本方程式	226

4-34. 飽和機器的激磁過程的分析	227
4-35. 重疊激磁法	230
四、在發電機-電動機制內的過渡狀態	
4-36. 電動機的起動	232
4-37. 主電路的電流	239
4-38. 發電機-電動機制的制動	242
4-39. 發電機-電動機制中的反向	247
4-40. 發電機-電動機制在過渡狀態下主電流曲線的 最有利形狀	252

第五章 電力驅動的調整性能

一、通論

5-1. 引言	256
5-2. 不調整的電力驅動	256
5-3. 調整的電力驅動	257
5-4. 調整的幅度和平滑性	259
5-5. 在不同調整轉速下的工作機的轉矩與功率	259
5-6. 電動機的機械特性與運轉穩定性的關係	261

二、並激直流電動機驅動的調整性能

5-7. 用激磁法調整並激電動機	263
5-8. 發電機-電動機制中並激電動機的轉速調整法	264
5-9. 用電樞的串接電阻調整並激電動機的轉速法	266
5-10. 並激電動機電樞的分路	267

三、電力擴大機的應用——調整幅度的加寬與轉速的穩定

5-11. 引言	269
5-12. 有正交磁場的電力擴大機	270
5-13. 正交磁場電力擴大機的應用	271
5-14. 自勵的電力擴大機	276
5-15. 自勵電力擴大機的應用	278

四、串激直流電動機的調整性能

5-16. 串激電動機轉速的調整	283
------------------	-----

五、感應電動機的調整特性

5-17. 改變磁極數的分級調整	290
5-18. 用頻率調整轉速	293
5-19. 用轉子電阻調整感應電動機的轉速	295
5-20. 重疊式電路	296

第六章 電動機容量之計算與選擇負載紀錄圖

一、電動機的發熱與冷卻

6-1. 引言	301
6-2. 電機發熱和冷卻的方程式	303
6-3. 發熱的時間常數	307
6-4. 用計算公式預測溫昇	311
6-5. 連續運轉時電動機的容量選擇法	314
6-6. 短時運轉電動機的容量選擇	318
6-7. 斷續運轉時電動機容量的選擇	320

二、電力驅動的負載紀錄圖

6-8. 引言	325
6-9. 帶有補充慣性力矩——飛輪的電力驅動	326
6-10. 電動機容量的初步選擇	327
6-11. 當負載紀錄圖的個別工作段有恒常轉矩時的電動機運轉	329
6-12. 用模型法繪製電動機的負載紀錄圖	332
6-13. 當工作機有不規則負載時，電動機負載圖的繪製法	335
6-14. GD^2 的初步測定法	337
6-15. 用接觸器的傳差率調整器	342
6-16. 液體的傳差率調整器	345

附錄	350
----------	-----

參考資料	363
------------	-----

主要符號表	364
-------------	-----

著者序言

〔電力驅動原理〕是研究工礦動力的學生所必修的基本理論課程。

〔電力驅動原理〕是電機工程學理論的進一步發展和這一理論在工業問題上的應用。這一門課程的主要任務是要使聽講者熟悉怎樣計算驅動機械用的電機和選擇後者的一般理論，不管這一機械是在哪一門工業中應用的。這一門課程雖是普通理論，它必須帶有實用的性質。這對於講解和學習這一門課程都招致了一定的困難。這些困難在於：各章中所推演出的結論和論題不僅應該指示出問題的本質，並且還必須有具體的計算形式。計算的方法還應該佈置得使問題在數字方面可以用實際上容易得到的資料顯示出來。在好些地方，計算時不能避免簡化和省略某些不影響結果的準確性的問題。這在繪製機械特性和負載圖時特別感覺需要。

因此，本書的最重要任務之一是使讀者熟悉在理論上有相當嚴格根據的實用的計算方法和電動機參數的選擇方法。

最近幾年來，電力驅動，特別是自動控制的電力驅動，已經變成一個複雜的結構。它完成各種各樣不同的作用，滿足被驅動機械的各方面技術要求。電力驅動可能是整套的結構，在這結構中有好幾個或幾十個被自動控制着的電機互相配合地運轉或跟着一定順序運轉。電力驅動沒有例外地在每一工業部門內都採用。自動控制的電力驅動則廣泛地應用在冶金、機器製造、採礦及石油等工業部門，也應用在造紙、紡織和印刷工業中。在軍事的很多部門中，自動控制的電力驅動有非常重要的意義。在船舶和飛機上也裝用自動控制的電力驅動。

在任何一個工業部門內，現代式的生產方法缺少具有巨大生產

效率和經濟意義的自動控制的電力驅動，簡直是不可思議的。電力驅動的靈活應用改良了生產方法的程序或根本改變了它的面貌，決定了它的特性、範圍和規模，決定了生產品的質與量和生產品的式樣。電力驅動的最主要構成部分是各種不同形式的電機，它們有各種不同的運轉原理和應用方式，因此，本書最大的重點放在電氣機械特性和驅動系統內電機運轉狀態的研究上。

在我們國內（指蘇聯——譯者），電力驅動和它在工業上應用的學術有巨大的成就。在斯大林五年計劃的年代內，當列寧—斯大林的全國電氣化計劃已經完成，建立了強大的動力基礎，並保證了本國電機製造工業的發展時，成就更加輝煌。在偉大的十月社會主義革命以前，在俄國沒有發展工業用電力驅動和電氣設備的必要條件。

在供應我們（蘇聯）工業以複雜而強大的自動控制的電力驅動設備的工作中，最前的位置是屬於列寧格勒的「電力」（Электросила）工廠，哈爾科夫電氣機械工廠（ХЭМЗ）和莫斯科的狄那莫（Динамо）工廠。

蘇聯的工程師和科學工作者創造了各種機械上用的優美的電力驅動設備，其中最主要的有：方坯初軋機（блужинг）、板坯初軋機（слябинг）、軋薄鋼板機（тонколистовой стан）、礦山用捲揚機、全世界最完滿的熔鐵爐的加料裝置、造紙機的驅動、閘門的自動啓閉機和好些別的機械。

應該指出，電力驅動方面的最早創造屬於俄國科學家。1834年科學院院士Б.С.耶各比（Б.С.Якоби）和Э.Х.楞次（Э.Х.Ленц）合作創造了一個適合實用的直流電動機並且把它裝置在一隻巡邏船上作為推進該船之用。那隻船能容 10—12 人，速率發展至每小時 4.8 公里。第一個創造車輛的電力推動的功績也屬於 Б.С.耶各比。發明並實際應用在通風機和縫紉機的電力驅動的榮譽（1882—1886）是屬於俄國電工學家В.Н.契科列夫（В.Н.Чиколев）。М.О.多里沃-多布羅沃爾斯基（М.О.Доливо-Добровольский）在1889年發明了鼠籠型和線繞型感應電動機，使電力驅動得到了有力的發

展。

可以舉出許多俄國電工學家的光輝的姓名來如 Д. А. 拉契諾夫 (Д. А. Лачинов), А. И. 大衛多夫 (А. И. Давыдов), П. Н. 雅勃洛契科夫 (П. Н. Яблочков) 和其他許多人, 他們在電力驅動的理論和實用方面創造了最寶貴的發明並自己的工作成就來保證了世界電機工程的發展。不過在落後的沙皇俄國環境內, 俄國的科學家和工程師的光輝創造工作不能夠被採納而得到應有的發展。祇有在偉大的十月社會主義革命之後, 科學和技術的每一部分才能夠有大力的發展和進步, 在電力驅動方面也有同樣的發展和進步。應該指出, 蘇聯的電力驅動理論在目前是居於領導地位的, 而它在實用方面的成功也是很大的。像上面所述, 好幾種最重要的電力驅動是由蘇聯的科學家和技術人員在完成五年計劃這些年代中創造的。蘇聯的高等學校教育並培植了電機製造和電力驅動的專家, 功勞很大。最有聲望的專家——科學院院士 К. И. 興菲爾 (К. И. Шенфер)、科學院院士 В. С. 庫列巴金 (В. С. Кулебакин)、功勳科學家和工程師 С. А. 林開維茲 (С. А. Ринкевич) 教授、В. К. 保保夫 (В. К. Попов) 教授、М. П. 高斯金科 (М. П. Костенко) 教授、Г. Н. 彼得羅夫 (Г. Н. Петров) 教授——是奠定和發展電機和電力驅動的理論和實際應用的奠基人; 他們創造了一連串的科学巨著而促成了許多科學研究所和實驗室的成長和發展。他們第一次寫出了廣泛而有系統的教材, 作為以後電力驅動的理論和實踐更遠大的發展基礎。

蘇聯政府在關於 1946—1950 年的恢復和發展國民經濟的五年計劃的指令中, 規定了廣泛採用生產自動化和電力驅動的自動控制。這一事業的進步, 要求對已確定了的理論作更深的研究, 創造了工程計算法, 改良已有的電路並且研究創造本國的接線圖和自動控制電路。這一切都是這一科學技術部門工作的蘇維埃電氣工程師們最重要的事業和光榮的責任。

在本書比較不大的篇幅內, 敘述了電力驅動的基本理論。電機

和它的性能是在其他課程內詳細研究的。在本書中所提出研究的電機的電氣機械性能和工作情況，是並不把它作為單元孤立地討論的，而是把它和被驅動的機械聯合起來討論的：電機怎樣滿足被驅動機械的技術要求，它在力學上的作用。此外在本書中也討論怎樣改變電機的電氣機械性能和得到所需要的運轉狀況的方法。在學習這一門課程時，學生們必須獲得一定的知識和實際經驗，以便在自己的實際工作中能夠計算、估計、比較並選擇一個最合適的電力驅動系統。學生們也必須培養成為有志願和毅力來尋求改良和解決問題的新方法的人。

在寫本書時，著者利用了自己在莫斯科莫洛托夫動力學院的教學經驗、該學院的工業電機設備組的同人們的科學實驗報告，和 C. A. 林開維茲和 B. K. 保保夫教授的經典著作，以及其他各著者的著作。在本書末附有這些著作的目錄。

莫洛托夫動力學院的工業電氣設備系助教 Л. М. 特維爾琴 (Л. М. Твердин) 工程師替著者計算了書中所有習題與示例，並且對於插圖的編排給了很大幫助。И. Ф. 彼爾米耶科夫 (И. Ф. Перминов) 替著者校閱全書並作了寶貴的建議。著者特在此地向他們致衷心的謝意。

著者

第一章 驅動的力學原理

1-1. 慣性力矩和飛輪力矩的測定

驅動着工作機械的電動機，它的運轉往往伴隨着轉速的變更。這些轉速的變更起因於：機械負載的波動，加於電動機上的電壓的波動，電動機電路內電阻或感應系數的增減。在起動、反向、制動或調整轉速等等過渡歷程內，轉速也有很大幅度的變更。在這些或相似的情形下，轉速如有變化，集中在電動機和其驅動的機械的旋轉體內的動能，或者在廣義上說，集中在所有運動體內的動能，也隨之變化。這一現象對於電動機的運轉，對於它的容量、轉矩、電流和轉速等等在時間上的變動都有影響，在許多場合下並有相當大的影響。運動着的物體所產生的能量變化的量的計算，是依靠着兩個量進行的，那就是慣性力矩 J 和飛輪力矩 (маховой момент) GD^2 。這兩者如何測定，敘述如下。

倘若有質量 m 的某一物體以速率 v 作直線運動，那麼，這一物體所儲藏的動能可以很簡便地用下列熟知的公式計算：

$$A = \frac{1}{2}mv^2. \quad (1-1)$$

測定旋轉物體的動能有許多困難，因為旋轉體的每一質點的線速率是與它離轉動中心的距離成正比的，所以各質點的線速率就不能相同。此外，在大多數場合下，轉動體的質不是均勻一致的（例如電動機的電軀），並且構造形式複雜。最好是有一個類似(1-1)的公式，在此公式內，代替 m 的是一個等值量，而此等值量如果因為構造複雜不容易準確地計算的話，是可以很容易地用實驗測定的。

一個離轉動中心距離 ρ_i 的質點 m_i (圖 6-1) 的動能是

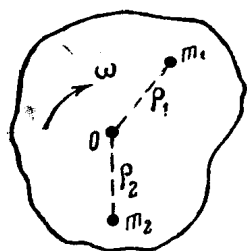


圖 1-1 轉動體的動能測定

$$A_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 r_1^2 \omega^2}{2}$$

其中線速率 v_1 和角速率 ω 的關係是 $v_1 = r_1 \omega$ 。

以此類推，任何質點 m_x 的動能是

$$A_x = \frac{m_x v_x^2}{2} = \frac{m_x r_x^2 \omega^2}{2}$$

轉動體的全部動能是全體質點動能的和

$$A = \sum_1^n A_x = \sum_1^n \frac{m_x r_x^2 \omega^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum_1^n m_x r_x^2$$

或

$$A = J \frac{\omega^2}{2}, \quad (1-2)$$

其中

$$J = \sum_1^n m_x r_x^2. \quad (1-3)$$

J 被稱為轉動體的慣性力矩。電機電樞的慣性力矩記載在製造廠的目錄中。在實用中常遇到的各種形式物體的慣性力矩，往往列入各種工程手冊的公式和表格內，以備應用。

在本書所採用的實用單位制（公尺、公斤-力、秒）中，慣性力矩的單位量是公斤-公尺-秒²。這可用動力學的主要方程式 $F = m \cdot a$ 來推算 m 的單位量而把它代入（1-3）公式中。

在解決實際問題時，我們常常應用環動半徑和「推算」質量。

公式(1-3)可以寫成下列形式：

$$J = \sum_1^n m_x r_x^2 = m \rho^2$$