

動力系統 及其運行情況

上 冊

蘇聯 Н. М. 馬爾柯維奇著

電力工業出版社

動力系統及其运行情况

上 册

苏联 H. M. 馬尔柯維奇著

張 鍾 俊譯

電力工業出版社

動力系統及其运行情况

下 册

苏联 Н. М. 馬尔柯維奇著

張 鍾 俊譯

電力工業出版社

內 容 提 要

在本書中，敘述了現代的動力系統及其元件，動力系統的運行，以及提高運行可靠性、保證能量質量的方法。

本書可供發電廠、電力網、區域電業管理局和電業管理總局技術人員和動力學院學生參考。

И. М. МАРКОВИЧ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РЕЖИМЫ

根據蘇聯國立動力出版社1952年莫斯科版譯

動力系統及其運行情況 上冊

張 鍾 俊譯

322D125

電力工業出版社出版（北京府右街26號）

北京市書刊出版營業許可証出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：田德志 校對：唐寶珊

850×1092 $\frac{1}{4}$ 開本 * 7 $\frac{1}{4}$ 印張 * 166千字 * 印—10, 100冊

1956年5月北京第1版第1次印刷

定價（第9類）0.95元

內 容 提 要

在本書中敘述了提高動力系統運行經濟性的方法，聯合動力系統運行的特點，並在足夠實際應用的範圍內，闡明了各種運行情況的計算方法。

本書可供發電廠、電力網、區域電業管理局和電業管理總局技術人員和動力學院學生參考。

И. М. МАРКОВИЧ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РЕЖИМЫ

根據蘇聯國立動力出版社1962年莫斯科版譯

動力系統及其運行情況 下冊

張 鍾 俊譯

356D135

電力工業出版社出版（北京府右街26號）

北京市書刊出版營業許可証出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：田德志 校對：唐寶琬

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 75印張 * 160千字

1956年5月北京第1版

1956年5月北京第1次印刷(00001—10,100冊)

定價（第9類）0.95元

序 言

本書討論動力系統及其运行情况。動力系統這一術語出現得還不久。現在稱為「動力系統」的，過去則叫做「併列运行的互聯電力網」。因為具有原先獨立運行發電廠的電力網的互聯，正是產生動力系統特徵的因素。電力網的聯合不祇是電力網的互聯，並且還促成了一個完全新的動力對象。原先獨立的各個發電廠，在它們的工作過程中是息息相關的，因而這些發電廠與聯合電力網，是一個統一的生產機構——動力系統。

1914年「輸電」發電廠電力網與莫斯科電力網的聯合，創立了俄國初期動力系統之一。蘇聯的動力系統，是從1921—1922年起作為動力系統而形成的。起初，它們被稱為國家聯合發電廠（莫斯科市聯合發電廠，「電流」等）。後來它們改稱為區域動力管理局（莫斯科動力管理局，列寧格勒動力管理局，斯維爾德洛夫動力管理局）或動力聯合局。

與動力系統的建立首先有關的是經濟上的利益。被聯合的發電廠和用戶的特性愈不同，得到的經濟利益愈大（參考文獻1）。

水力發電廠與火力發電廠的互聯，使發電廠的裝置容量可以更好地利用，並在水力發電廠豐水時期進行火力發電廠的檢修工作等。流量季節變化不同的水力發電廠的互聯，由於提高了接入新用戶的可能性，也產生了不小的經濟效果。

特性不同各種用戶（工業、生活上、運輸方面等）的互聯，所得的效果也很大。由於用戶聯合了的緣故，發電廠總負荷曲線的尖峯，將較不尖銳。這減小了建築發電廠所需的投資費用，並降低了發電費用，因為在互聯之後，發電廠容量的利用係數就會大大地提高（在蘇聯的動力系統中，這係數已達到很高的數字）。

除此以外，由於各大用戶（电气火車、电爐等）最大負荷時期並不相同的緣故，用戶的聯合也減小了發電廠總負荷波動的相對幅度，因而保證了更恒定的運行情況，並使頻率及电压易於調節。最後，系統中發電廠的聯合，使我們可以增大發電廠的容量，因而也提高了發電廠的經濟性。

動力系統的建立，除了純粹經濟性的利益外，由於容易建立必需的儲備容量並提高了用戶們多方面供电的可能性，也增進了運行的可靠性和电能供应的持續性。

一系列天然能源（冶金事業中的廢氣、風力等）缺乏必要的恒定性，除了可以在動力系統中利用外，一般是不能利用的。

各種能量（即电能、熱能等）的綜合生產，也將在建立了動力系統後大為簡便。

現代動力事業的特點是把所有動力企業聯合成動力系統。隨着動力系統容量和地域的發展，它們又联接成聯合動力系統，而在以後的遠景中，許多動力系統還可能联成一個統一的國家範圍內的高压電力網，例如首先是蘇聯歐洲地區的統一高压電力網，然後又發展成全蘇的統一高压電力網。我們時代的龐大建築——古比雪夫和斯大林格勒水力發電廠，造成了這一完全現實的遠景。

雖然動力系統是在蓬勃地發展，但動力系統理論和運行實踐的闡明，迄今還感到不夠。此外，動力系統的理論顯然地落在實踐之後，並不能與國家經濟生活中動力系統的現代意義相適應。

工業、運輸、農業的廣泛电气化和日常生活中电能的应用，提高了動力系統國家的和國民經濟的意義，因而也提高對動力系統性質、結構和運行的興趣。動力系統運行的問題特別引起了發電廠和電力網大批工作人員的注意，因為個別發電廠和電力網的運行情況，與整個動力系統的運行具有密切的關係。

提在發電廠和電力網工作人員面前的問題，如果不瞭解整個

動力系統运行情况的特點，是不能明瞭和正確地解決的。

儘管關於動力系統运行個別問題的文献非常豐富，但就著者所知，在蘇聯和其他國家，迄今還沒有出版一本有關動力系統及其运行情形問題全盤的書籍。這驅使著者，根據各種文献以及擔任蘇聯某一巨型動力系統运行部門領導人多年的工作經驗，嘗試編撰一本有關動力系統运行理論和實踐的書籍。

本書的對象是發電廠、電力網、動力系統生產單位、電站部、管理局的工程技術人員及動力學院的學生。

為了使本書內容易於被一般讀者所接受，同時使运行方式組、繼電保護科以及動力系統生產部分人員，可由本書獲得對他們實際工作足夠的資料，著者將运行情况計算的特殊問題、計算例題及某些理論性的問題編在最後一章中(第九章)。對動力系統运行情形計算特殊問題不感興趣的讀者，可祇閱讀前面的八章。

在編寫本書時，著者特別着重動力系統中過程的物理方面，以及系統各元件中現象和整個動力系統运行情况間深切的聯繫。

著者非常歡迎動力事業和科學研究機構工作人員對本書提供批評意見。所有這些意見請通過動力出版社(莫斯科開岸街10號)寄給著者，供本書再版時修訂之用。

著者對技術科學碩士 G. A. 索伐洛夫和工程師 Л. A. 斯米爾諾夫提出的許多寶貴意見，表示深切的感謝。

著 者

目 錄

序 言

第一章 動力系統及其元件	1
§ 1-1. 動力系統	1
§ 1-2. 電力系統的技術特點	4
§ 1-3. 動力系統的分類及結構	7
§ 1-4. 動力系統的互聯	8
§ 1-5. 蘇聯動力系統及其互聯的特點	10
§ 1-6. 動力系統的管理	12
§ 1-7. 系統元件及其特性	14
§ 1-8. 動力系統的發展設計	17
第二章 動力系統的運行	18
§ 2-1. 概 論	18
§ 2-2. 對動力系統運行情況的要求	23
§ 2-3. 對動力系統各環節運行情況的要求	33
第三章 動力系統運行的可靠性、結綫方式、運行的 穩定性	34
§ 3-1. 動力系統及其各部分的結綫方式	35
§ 3-2. 動態穩定	41
1. 引 言	41
2. 短路時和短路切除時的過程	42
3. 動態穩定備 備	50
4. 各種因素對動態穩定的影響	54
5. 動態穩定計算原理	63
6. 提高動態穩定的措施	66
§ 3-3. 靜態穩定	74

1. 引 言	74
2. 靜态穩定儲備	76
3. 靜态穩定計算原理	77
4. 保證正常运行靜态穩定的措施	92
5. 事故後运行的靜态穩定	98
6. 人工穩定运行	101
7. 按頻率自動減負荷	103
8. 異步运行和自整步	107
9. 系統的自動解列	110
10. 結 論	110

第四章 動力系統运行的可靠性(續) 111

§ 4-1. 短路電流的限制	111
§ 4-2. 正常运行情况和事故後运行情况中系統元件的負荷。 電力網中功率分佈計算	118
§ 4-3. 動力系統中的儲備容量	129
§ 4-4. 冷儲備容量	133
§ 4-5. 保證動力系統运行可靠性的系統自動裝置	135
§ 4-6. 系統性事故及反系統性事故鬥爭	142
§ 4-7. 特种結綫方式及特种运行方式	146

第五章 電 能 質 量 147

§ 5-1. 引言。調頻及調壓問題的一般特性	147
§ 5-2. 正常运行及事故後运行中的頻率調整	162
§ 5-3. 自動頻率調整	172
§ 5-4. 電力網中的電壓調整	182
§ 5-5. 系統中的自動電壓調整	199
§ 5-6. 頻率調整及電壓調整的依賴關係	205
§ 5-7. 電力網中變壓器分接頭裝置	207

目 錄

第六章 動力系統运行的經濟性	210
§ 6-1. 引 言	210
§ 6-2. 不計電力網中有功功率損耗變化時有功功率的分佈	226
§ 6-3. 計及電力網中功率損耗變化時有功功率的分佈	237
§ 6-4. 系統中有功功率經濟分佈的自動化	242
§ 6-5. 系統發電廠間和補償機間無功功率的經濟分配	243
§ 6-6. 用電裝置功率因數的提高	245
§ 6-7. 電力網中電能損耗的降低	249
§ 6-8. 電力網中電能損耗的統計與計劃	259
§ 6-9. 水力發電廠运行情況的調節	263
§ 6-10. 系統中水力發電廠和火力發電廠的聯合运行	274
第七章 聯合動力系統的運行特點	277
§ 7-1. 系統聯絡綫中有功功率和無功功率的調整	279
§ 7-2. 聯合動力系統中頻率及互換功率的自動調整	281
§ 7-3. 聯合動力系統运行可靠性的保證	288
§ 7-4. 聯合動力系統中頻率及電壓的調整	291
§ 7-5. 聯合動力系統运行的經濟性	291
第八章 用實驗方法測定動力系統某些參數	294
§ 8-1. 動力系統、發電廠及負荷頻率特性的測定	294
§ 8-2. 動力系統、發電廠及負荷電壓特性的測定	297
§ 8-3. 靜態穩定極限和動態穩定極限的試驗	298
第九章 動力系統运行情況的計算	301
§ 9-1. 電力網支路运行情況的初步計算	301
§ 9-2. 發電機运行情況的計算	306
1. 不考慮飽和	306
2. 考慮飽和	312

§ 9-3.	複雜系統中發電机制動功率, 電勢及電流分量的計算	319
§ 9-4.	短路時動態穩定及暫態過程的計算	325
1.	正常运行情况参数的決定	326
2.	事故运行情况和事故後运行情况中網絡参数的決定(祇对解析計算法)	326
3.	用「逐段」計算法決定短路時和短路切除後运行参数的变化	326
4.	解析計算法	330
5.	交流模型上的計算法	337
6.	阻尼轉矩的計算	341
§ 9-5.	動態穩定的簡化計算	342
1.	逐段計算法	343
2.	極限時間曲綫法	345
3.	圖解法	352
§ 9-6.	按实用判据的静态穩定計算	353
1.	当汽輪發電机經某一電力網(用恒定的阻抗來代替)联接到無限大功率母綫上時, 按 $\frac{dP}{d\delta}$ 判据決定静态穩定極限	353
2.	当水輪發電机經某一電力網联接到無限大功率母綫上時, 按 $\frac{dP}{d\delta}$ 判据決定静态穩定極限	359
3.	当感应電動机負荷由無限大功率母綫經某一電力網(用恒定的阻抗來代替)而得到供电時, 按 $\frac{dP}{d\delta}$ 判据決定静态穩定極限	360
4.	按 $\frac{dQ}{dU}$ 判据決定電力系統的静态穩定極限和臨界电压	362
5.	結點負荷静态特性的編製	364
6.	發電机極限負荷表的編製	368

§ 9-7. 功率分佈計算	371
1. 不考慮變壓元件時的計算用方程	371
2. 考慮變壓元件時的計算用方程	372
3. 逐次接近計算法	376
4. 分佈係數法	378
5. 重疊法對功率分佈計算的應用	380
6. 用直流模型計算交流電力網中的功率分佈法	387
§ 9-8. 短路電流計算	389
1. 近似的運算曲線法	389
2. 直綫化特性法	395
§ 9-9. 發電機配備的無功功率的計算	395
§ 9-10. 功率平衡的計算及主設備大修和預防性檢修的計劃	399
1. 年度計劃	399
2. 月度計劃	403
§ 9-11. 電力網中功率損耗增率的決定	403
§ 9-12. 補償裝置經濟分佈的計算	407
附 錄 按電度表讀數之差計算電能損耗時，準確度公式 的推演	409
參考文獻	410

第一章 動力系統及其元件

§ 1-1. 動力系統

發電廠中生產的電能，是通過電力網輸送給遙遠的用戶的。所謂用戶就是各式各樣的受電器，由它們把電能變換為以後可以直接利用的其他形態的能量：光能、機械能、化學能。在某些受電器中，電能變換為另一種形態的電能（把交流電變換為直流電、三相電變換為單相電、一種頻率的電能變換為另一種頻率的電能等），通過另一個電力網輸送給需要這種形態電能的用戶。

在某些現代化的發電廠中，同時生產電能和熱能；並在不久的將來，還將同時生產煤氣。

生產出來的熱能是通過熱力網而輸送給熱能用戶的，它們可能直接利用這種能量或把它變換為其他形態的能量；而生產出來的煤氣，則可能當做燃料應用或當做化學工業的原料應用。

廣義地講，動力系統就是變換、分配和應用上述各種能量這一鏈索上全部環節的總和。

因之，動力系統不但由鍋爐、汽輪機、發電機、熱水鍋爐、輸電綫路、管道、變壓器所組成，而且也由電動機、照明用具、電熱用具、換流器及工作機械（機床、水泵、通風機、起重機等）所組成。

嚴格地講，在這一鏈索上，不但應該加上開掘或生產燃料的環節（礦井、泥煤掘地等）、運輸燃料（鐵路、燃料輸送設備）或燃料加工的環節（碎煤機、乾燥-粉煤機等），而且還須加上能源：煤氣產地、蓄水庫等。

動力系統的概念，以後將根據所討論的過程和參與到過程中的動力系統元件而變化。例如在研究動力系統穩定問題時，除了

所有电气設備外，發電机的原動机和電動机所轉動的工作机械也应列为系統的元件。

在研究調压問題、短路电流問題和功率分佈問題時，系統元件中並不包括原動机和發電廠鍋爐。

在研究儲备容量問題時，在系統的元件中，不但須包括原動机和發電廠鍋爐，而且也須包括蓄水庫等。最後，在研究某些技術經濟指标的問題時，動力系統的概念將擴大到包括上述動力鏈索的全部環節。

由上可知，我們將根据被研究的問題的本質來決定不同的動力系統概念。当被研究的过程主要是电气元件中的过程時，虽然其中也須或多或少地考慮其他元件的效应，但這時我們可以称这動力系統为电力系统。

下面敘述動力系統的某些公共特性。

在動力系統的各部分間，具有电的、电磁的、机械的以及其他的联系。

例如，电力網中同一电压級的元件具有电的联系；电力網中不同电压級的元件，通过变压器而具有电磁的联系；發電机和電動机的靜子及轉子，也具有电磁的联系；發電机和原動机、電動机和工作机械間，具有机械的联系；鍋爐和汽輪机由蒸汽管道所联系；蓄水庫和水輪机由引水管道所联系等。各种形态的能量是通过这些联系而輸送过去的。

系統的所有元件，可以分为下列兩類：（1）輸送元件，它們的主要任务是輸送能量；（2）变换元件，在这些元件中，一种形态的能量变换为另一形态的能量。

屬於輸送元件者有：架空綫路及電纜綫路、断路器、隔离開關、發電廠和变电所的母綫、管道及燃料輸送設備。

屬於变换元件者有：鍋爐、汽輪机、水輪机、發電机、变压器、電動机、工作机械、照明及家用電具、整流器、反用交流

器、換頻機等。在這些元件中，一種形態的能量變換為另一種形態的能量。

動力系統由變換元件和輸送元件聯結而成；動力系統的工作就是在一個元件中變換能量，並把這能量經過另一些元件而輸送出去。

在開始研究動力系統的一般工藝特性和特點前，讓我們先扼要地敘述一下動力系統的發展簡史。

從第一台工業用發電機開始運行起，已可以說，也出現了第一個電力系統，因為這些元件——原動機、發電機、電力網和受電器（開始時主要是照明電具），是不久就要聯結起來的。

兩台發電機第一次併列運行供給一個公共的照明負荷，產生了对現代動力系統具有重大意義的一系列的新問題，即發電機間的負荷分配問題、頻率調整問題、電壓調整問題、併列運行穩定問題、整步（對交流發電機）問題。所有這些問題，都自發地產生，並在一定的程度上自發地解決。它們主要地是作為發電機的運行方式問題而進行討論的。系統還沒有作為一個統一的整体來討論過。

M. O. 陀里沃-陀勃羅沃耳斯基交流三相系統、感應電動機以及變壓器的發明，促進了動力系統的發展。但是研究的和論述的，仍舊還是動力系統每一環節的個別行為，例如發電機、電動機、變壓器、輸電綫都已研究過，但是還沒有人把整個動力系統的運行加以研究。變壓器的發明促成了遠距離電能輸送（它的可能性已由 Д. А. 拉契諾夫在 1880 年理論上加以証明）的蓬勃發展，使電力網的結構迅速地增長和複雜化，輸電電壓和輸送功率不斷地提高。地方性動力資源的利用問題、區域發電廠的建築、熱能和電能的綜合生產、大型發電廠和大型機組的增多、低級燃料燃燒的掌握、水力資源的利用——所有這些著名的動力工作者的勝利果實，促成了現代化動力系統的出現；在這些動力系統

中，幾十個大型的發電廠通過總長度達幾百和幾千公里的高壓電力網相聯，而在這些電力網中又含有很多中壓和低壓的配電網、幾百個高壓降壓變電所和幾十萬個不同類型的受電器。在這些情形下，單獨來研究發電機及受電器的運行情況已變成不可能了。現在已出現了一系列的問題，要想正確地實際地解決這些問題，而不將整個動力系統和不將動力系統各個環節作為統一的整体來研究，是不可能的。

動力系統運行的可靠性（運行失常將造成嚴重的損失）、發電機併列運行和負荷並聯運行的穩定度、短路電流的限制、電力網中功率的合理分佈、有功功率和無功功率儲備容量的合理規定和合理分佈、繼電保護和系統自動裝置、頻率調整和電壓調整、有功負荷和無功負荷的合理分佈、系統中水力發電廠運行情況的恰當調節、以及動力系統的互聯等問題（以上所舉的祇不過是不完全的一部分）的正確解決，都與國民經濟各部門的順利工作、工礦及電氣鐵路的不間斷工作、數百萬勞動人民日常不間斷的供電及供熱，具有密切的關係。顯然地，這樣一個複雜機構（動力系統）中的所有元件，可以而且應該單獨地來研究，但這些元件的所有運行，現在已完全喪失了它們的獨立性，因而它們應該服從整体——動力系統的利益。

§ 1-2. 電力系統的技術特點

動力事業的生產，特別是電能的生產，具有與其他工業部門生產截然不同的特點。

電力系統的第一個和最重要的特點，是電能的生產、分配及變換為其他形態的能量，實際上是在同一時間內實現的。換句話說，電能是不能儲藏的。正是這一特點，使在地理上相隔數百公里的複雜電力系統的所有各個環節組成一個統一的機構。也正是這一特點，使系統的所有元件相互地聯系和發生相互的作用。系