

动力系统运行方式

〔苏联〕И.М.馬尔柯維奇 著

张钟俊 译

中国工业出版社

本书叙述现代动力系统、联合动力系统以及统一动力系统的运行问题，包括正常和事故运行方式的特点，保证系统经济运行、高度可靠性和供电质量的方法。书中并阐明了动力系统和联合动力系统的综合自动化问题，各种运行方式计算的原理和方法，其中也包括系统稳定的计算原理和方法。此外，本书还简要地讨论了系统运行方式所用的解算装置。

本书是根据原著1963年的第三版增订本而翻译的，与1956年原电力工业出版社出版的译本(根据1952年第一版翻译的)相比，除了适应十年来动力系统发展情况大部分重新改写外，还有下列不同之点：新增了“远距离输电运行方式”和“动力系统运行方式的自动控制”两章；在第一章、第三章、第五章中也增加了不少的新内容，并在第九章中增加了现代解算装置的应用。

本书可供电力系统工程技术人员、研究人员以及高等电力学院学生参考。

И. М. Маркович

РЕЖИМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Издание третье, переработанное и дополненное

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ Москва 1963

* * *

动力系统运行方式

张 钟 俊 译

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $23^{1/4}$ ·插页2·字数512,000

1965年7月北京第一版·1965年7月北京第一次印刷

印数0001—2,920·定价(科五)3.30元

*

统一书号: 15165·3958(水电-520)

統一書號:
15165·3958(水电-520)

定 价: 3.30 元

目 录

第一章 动力系统	1
1-1 动力系统	1
1-2 有关动力系统及其运行方式学科的出现和发展	3
1-3 动力系统的技术特点	4
1-4 动力系统的分类	6
1-5 动力系统的互联	7
1-6 统一动力系统	9
1-7 动力系统的管理	10
1-8 动力系统的规划和发展设计	11
1-9 动力系统元件及其特性	13
第二章 动力系统运行方式	17
2-1 概述	17
2-2 对动力系统运行方式的要求	20
2-3 对动力系统环节运行方式的要求	27
第三章 动力系统经济运行及其调整	29
3-1 引言	29
3-2 当发电厂设备给定时只含有火力发电厂动力系统中有功功率的经济分布	31
3-3 当发电厂设备给定时只含有火力发电厂动力系统中有功功率及无功功率的经济分布	34
3-4 含有火力发电厂和水力发电厂的复合型动力系统中（或只含有水力发电厂的 动力系统中）有功功率的经济分布	40
3-5 发电厂中投入运行机组经济组合的计算	48
3-6 发电厂及其机组燃料消耗率的计算	52
3-7 电力网中功率损耗率的计算	55
3-8 动力系统有功功率经济分布的实用算法	62
3-9 发电厂和同步补偿机间无功功率的经济分布	68
3-10 联合动力系统和统一动力系统中有功功率的经济分布	68
3-11 提高电力网运行的经济性	72
3-12 电力网中电能损耗水平的计算和计划	80
3-13 提高用电装置的功率因数	85
第四章 电能质量及其调整	89
4-1 引言	89
4-2 频率和电压对功率平衡的依赖关系	91
4-3 动力系统中有功功率和无功功率平衡及功率平衡计划	98
4-4 正常运行方式及事故后运行方式中的频率调整	101
4-5 电力网电压的调整	108

IV

4-6	频率调整及电压调整的依赖关系	119
4-7	电力网中变压器分接头的选择	121
第五章	动力系统运行可靠性	123
5-1	引言	123
5-2	动力系统备用容量总述	124
5-3	事故性有功功率降低概率的计算	127
5-4	系统总有功负荷降低概率和有功负荷预测误差概率的计算	129
5-5	有功功率缺额概率与能量可能缺额的计算	131
5-6	停电损失、可靠性指标和最佳备用容量的计算	134
5-7	备用容量的分布和调整	137
5-8	冷备用容量和备用能量	139
5-9	动力系统及其各个部分的接线图	139
5-10	系统性事故及其防止措施	143
5-11	特种接线图和特种运行方式	145
5-12	保证联合动力系统运行可靠性的措施	145
5-13	限制短路电流的方法	146
5-14	正常运行方式和事故后运行方式中系统元件的负荷; 电力网中功率分布的验算	150
第六章	动力系统运行方式的稳定性	152
6-1	引言	152
6-2	静态稳定及其破坏的原因; 静态稳定储备量	153
6-3	保证动力系统静态稳定的措施	161
6-4	动态稳定	164
6-5	动态稳定的破坏。异步运行。再整步	174
6-6	动态稳定储备量	176
6-7	提高动态稳定的措施	178
第七章	远距离输电运行方式。联合动力系统及统一动力系统	183
7-1	引言	183
7-2	远距离输电线路的运行可靠性	183
7-3	空载和轻载运行方式	186
7-4	非全相运行	189
7-5	系统联络线运行方式特点	189
7-6	特远距离输电线路运行方式特点	191
7-7	直流输电和统一动力系统	193
第八章	动力系统运行方式的自动控制	194
8-1	引言	194
8-2	保证动力系统运行可靠性的自动装置	195
8-3	自动频率调整	199
8-4	联合动力系统中频率和互换功率的自动调整	206
8-5	自动电压调整	212
8-6	保证功率经济分布自动化的装置	214

第九章 动力系统运行方式计算的理論基础.....	221
9-1 引言.....	221
9-2 电力网支路运行方式的基本算式.....	221
9-3 功率分布计算.....	225
9-4 电力网功率损耗和功率损耗率的计算.....	246
9-5 远距离输电运行方式.....	251
9-6 发电机运行方式的计算.....	255
9-7 复杂系统中发电机制动功率和定子电流纵轴分量及横轴分量的计算.....	265
9-8 发电机配备无功功率的计算.....	269
9-9 非全相运行方式的计算.....	271
9-10 功率平衡计算及大修和预防性检修计划的编制.....	273
9-11 含有火力发电厂动力系统中功率经济分布的条件.....	276
9-12 含有火力发电厂和水力发电厂混合型动力系统中功率经济分布的条件.....	283
9-13 电力网中最佳电压的计算.....	288
9-14 无功功率补偿装置经济分布和经济调整的计算.....	290
9-15 计及系统内部和联络线有功功率损耗时联合动力系统中无功功率的经济分布.....	294
9-16 解算装置对动力系统运行方式计算的应用范围.....	296
第十章 动力系统运行方式稳定计算的理論基础。稳定实验方法.....	300
10-1 静态稳定计算的理論基础.....	300
10-2 动力系统静态稳定实用判据.....	306
10-3 按实用判据进行静态稳定的计算.....	322
10-4 动态稳定计算的理論基础.....	334
10-5 动态稳定的简化计算.....	348
10-6 动力系统频率特性及负荷频率特性的实验测定.....	358
10-7 负荷电压特性的实验测定.....	359
10-8 静态稳定极限和动态稳定极限的实验测定.....	359
参考文献	361

第一章 动力系統

1-1. 动力系統

各个工业部門的工作，現在已与发电厂所供給的能量发生了密切的关系。运输业和农业日益广泛地扩大用电范围。在人們生活的各个方面，电能已获得广泛的应用，例如用于照明、取暖、空气調节、致冷、除尘、洗滌，以及电视机和收音机等；同时也由发电厂供給热能来取暖和获得热水。

由于发电厂供給能量的越来越广泛的利用，电力事业已成为国民經济重要部門之一。

动力系統現在是电能及热能生产的主要組織形式。首先讓我們談一下什么是动力系統的問題。

发电厂中生产出来的电能，通过电力网輸送給散布在各地的电能用戶。所謂电能用戶，是指各式各样的用电裝置，而通过这些用电裝置，电能就轉变为以后可以直接利用的其他形态的能量：光能、机械能、热能、化学能。在某些情况下，电能还必须經過变换（例如交流电变换为直流电，三相电变换为单相电，某一频率的交流电变换为另一频率的交流电）再通过电力网送給各个用戶。

在某些現代化的发电厂中，同时生产电能和热能，并在不久的将来，还将同时生产煤气。

动力系統生产出来的热能，是通过热力网而輸送給热能用戶的，这些用戶可能直接利用送来的热能，也可能把热能轉变为其他形态的能量。如果动力系統还直接供应煤气，那末既可以把煤气当做燃料应用，也可以当做化工原料应用。

广义地讲，动力系統就是轉变、分配及应用上述各种能量这一鏈索上全部环节的总体的。

因之，动力系統不应单单由鍋炉、汽輪机、发电机、热水鍋炉、輸电綫路、热管道、变压器所組成，其中也应包括电动机、照明裝置、电热裝置、換流裝置以及工作机械（机床、水泵、通风机、曳引机等），而且还应在这一鏈索上添上能源。

現在为发电厂服务的主要能源，是煤炭矿井、露天煤矿、油矿、煤气产地和蓄水库。发电厂和热力发电厂是动力系統的一个組成部分，在这一組成部分中，由能源获得的能量轉变为易于輸送的能量形态。当轉变后生产出来的能量形态只是电能时，这一組成部分称为发电厂；而当轉变后生产出来的能量形态既有热能同时还有电能时，則称之为热力发电厂或热电厂。

輸送和分配能量的动力設備，总称为輸能綫路，其中包括輸电綫路和热力管道。

最后，把輸入能量轉变为另一种直接可以利用的形态的能量的裝置，称为用能裝置。

下面討論动力系統的某些公共特性。

在动力系統的各部分間，具有电的、电磁的、机械的以及其他的联系。

例如，电力网中同一电压级的所有元件，具有电的联系；电力网中不同电压级的元件，则通过变压器而具有电磁联系；发电机和电动机的定子及转子，也具有电磁联系；原动机与发电机、电动机与工作机械，具有机械联系；锅炉与汽轮机，由蒸汽管道所联系；蓄水库与水轮机，由引水渠道所联系。各种形态的能量，都是通过这些联系而输送出去的。

动力系统的所有元件，可以分为下列两类：1) 输送元件，它们的主要任务是把能量输送到远处；2) 转变元件，在这些元件中，一种形态的能量转变为另一种形态的能量。

属于输送元件的有：架空线路和电缆线路。用以调节或停止能量输送的元件，例如开关、隔离开关、阀门、滑阀，也是输送元件。

属于变换元件的有：锅炉、汽轮机、水轮机、发电机、变压器、电动机、工作机械、照明及家用电器、整流器、逆变器、换频机等。

因之，在动力系统中，能量先在一种元件中经过形态转变，再经过另一种元件输送出去。

在分析动力系统的运行情况时，不需要在所有情况下考虑其中全部元件的各个特性，可以根据所研究的过程的不同，略去其中的一部分元件。

例如，在研究电压调整和无功功率分布问题时，必须考虑动力系统中所有的全部电的元件，但不需要考虑原动机、锅炉以及其他非电元件的作用。

在研究动力系统的稳定问题时，则除了其中所有电的元件外，还必须考虑原动机和被电动机所转动的工作机械等元件的作用。

在研究备用容量时，不但要计入所有发电厂中的原动机和锅炉，还必须列入蓄水库。

在以后的叙述中，我们特用电能系统这一名称来指这样一种动力系统，其中生产、分配和转变的能量，全部或主要部分是电能。电能系统的电气部分，称为电力系统^①。

热能系统是这样一种动力系统，其中生产、分配和转变的能量主要是热能。

“动力系统”这一名称是在三十年代提出的〔参考文献3〕。现在的动力系统，就是还没有这一名称以前的联合电力网。当原先独立运行的发电厂经电力网联在一起时，便开始出现了动力系统，同时还产生了一个崭新的动力对象。因为原先独立运行的各个发电厂，在经电力网互联后，其运行过程已变成息息相关了，这需要提出一个新的、统一的概念——动力系统。

1914年“输电”发电厂的电力网与莫斯科电力网的互联，建立了俄国最早的一个动力系统。苏联的动力系统是在1921到1922年期间开始建立的。它们最先称为国营联合发电厂（莫斯科市联合发电厂、“电流”联合发电厂），后来改称为区域动力管理局（莫斯科动力管理局、列宁格勒动力管理局、斯维尔德洛夫动力管理局）或动力联合局。

动力系统的建立，带来了许多技术-经济的利益。被互联的发电厂和用户的特性愈不同，得到的技术-经济利益愈大〔参考文献1〕。

水力发电厂与火力发电厂的互联，使这些发电厂的装置容量可以更好地利用，并可在水力发电厂丰水时期进行火力发电厂的检修工作。径流季节变化不同的水力发电厂的互

① 电能系统与电力系统二名词，在我国并无区别，统称为电力系统。——译者

联，也可获得不小的经济效果，从而提供了对新用户开放供电的可能性。

特性不同的工业、运输业和生活用户互联，也带来了相当大的经济效果。这些用户的互联将使发电厂的总负荷曲线的尖峰变得较为平坦，这就降低了添建发电厂的投资费用，并由于发电厂装置容量更好利用的缘故，也降低了发电成本。

此外，由于大电力用户（电气火车、电炉）最大负荷时期并不相同的缘故，用户的互联也减小了发电厂总负荷的相对波动，因而保证了较恒定的运行方式，改善了调频和调压的工作。最后，系统中发电厂的互联，容许我们采用容量较大的机组和建立容量较大的发电厂，从而提高了发电厂的经济性。

动力系统的建立，除了获得上述的经济利益外，由于较易建立起需要的备用容量和对个别用户提供了多电源供电的可能性，因而也就提高了运行的可靠性和供电的持续性。

一系列能源（冶金工业中的废气、太阳能和风力能），由于缺乏必要的功率恒定性，除了在动力系统中还有可能加以利用外，一般是不能利用的。

各种能量（电能、热能等）的综合生产，也将在动力系统建立之后大为简便。

现代动力事业的特点，是把所有动力企业联合成为动力系统。随着动力系统容量和服务地区的逐步发展，它们又联接成为联合动力系统，并在远景规划中，再联接成为一个国家范围内的统一动力系统（过去称为统一高压电力网）。

1-2. 有关动力系统及其运行方式学科的出现和发展

从第一台工业用发电机开始运行起，就出现了原动机、发电机、电力网和用电装置（开始时主要是照明电器）等元件的互联。

两台发电机第一次并列运行供电给一个公共的照明负荷，出现了对现代动力系统具有重大意义的一系列新的问题：发电机间的负荷分配问题、频率调整问题、电压调整问题、并列运行的稳定性问题、交流发电机的整步问题。所有这些问题都是自发地产生的，并在一定的程度上自发地解决的。它们主要地当做发电机运行方式的问题来进行讨论，动力系统当时还没有作为一个统一的整体来研究过。

M. O. 陀里沃-陀勃罗沃耳斯基交流三相系统和感应电动机的发明，促进了动力系统的发展。但是当时人们所研究的和论述的，仍旧是动力系统每一元件的运行问题。例如发电机、电动机、输电线的运行问题；还没有开展把动力系统作为一个整体的运行问题的研究工作。变压器的发明，促进了远距离电能输送的蓬勃发展，引起了电力网的飞跃扩大和结构的复杂化，以及输电电压和输送功率的不断提高。这反过来又产生了许多新的问题：地方性动力资源的利用问题，区域发电厂的修建问题，热能和电能的综合生产问题，发电厂及其机组容量的提高问题，掌握低级燃料的燃烧技术问题，动力资源的合理使用问题等。现代化动力系统的出现，是动力工作者在这些方面的全部成就的胜利果实。在这种现代化的动力系统中，几十个大型发电厂通过总长度达数百到数千公里的电力网联接起来；而在这些电力网中，又含有许多密集的中压和低压配电网、几百所降压变电所和几十万个各式各样的用电设备。在这种情况下，不考虑电力网和用电设备的运行情况，孤独地来进行发电机运行的研究工作，已完全不可能了。现在已出现了一系列的问题，如果不把动力

系統作为一个整体来研究，那末这一系列的問題也就不可能获得正确的实际解决办法。这就要求建立一个新的学科，研究动力系统作为一个整体的特性，并迅速地把这一学科发展起来。

国民經济各部門的順利工作、工矿及电气鉄道的不間断工作、千百万劳动人民日常不間断的供电和供热，以及整个动力系统运行和发展的經濟性，与一系列問題能否获得科学上的正确解决有关。这些問題是：保証动力系统运行可靠性問題，保証发电机及用戶并列运行稳定性問題，短路电流限制問題，保証有功功率和无功功率的合理备用問題，合理的继电保护和自动装置系統的建立問題，頻率調整和电压調整問題，有功負荷、无功負荷及无功备用容量的合理分布問題，系統中水力发电厂运行方式的合理調节問題，动力系統的互联問題，以及这里还没有列入的其他問題。显然，动力系統的各个元件，是可以单独地进行研究的；但当这些元件在动力系統中运行时，則应该从保証动力系統的經濟性和經濟上合理的可靠性的整体利益来决定它們的运行方式。

1-3. 动力系統的技术特点

动力事业的生产，特别是电能的生产，具有与其他工业部門生产截然不同的特点。

电能系統的第一个和最重要的特点，是电能的生产、分配和轉变为其他形态的能量，实际上是在同一瞬間实现的。換句話說，电能是不能儲藏的。正是这一特点，使在地理上相隔数百公里的复杂电能系統的所有各个环节組成为一个統一的机构。系統中生产的能量，必須等于系統中取用的能量。对任意短的时间，这一等式都是正确的，也就是說，动力系統的有功功率和无功功率总是准确地平衡的。

在任何一个其他的工业部門中，产品可以儲藏在仓库里。按流水作业法生产的工厂，可能具有尚未用掉的各种零件的半制品。这就减少了工厂各个环节中的相互依賴关系。相反地，动力系統中并无任何未曾用掉的半制品，也沒有能量的仓库，因而各个环节間具有十分紧密的相互依賴关系：电力网（輸送元件）运行方式的变化，要显著地影响发电机、变压器和用电設備中能量轉变的运行方式；相反，轉变元件运行方式的变化，要显著地影响輸送元件的运行方式[●]。

电能系統的第二个特点，是其中暫态历程相当迅速。电磁波的暫态历程将在千分之一秒甚至兆分之一秒內完成；有关短路、开关切换、发电机振蕩和系統丧失稳定的过程，則在十分之几秒或几秒內完成。

电能系統的第三个特点，是它和工业的所有部門、日常生活、通訊及交通等一切用电設備的組合，具有密切的关系。电能系統的这一特点，迫切要求系統能够保証足够水平的运行可靠性和供电持續性，并要求系統的各个元件，具有經濟上合理的备用容量。

如果討論的是生产、分配和取用热能的过程，那么，在一定程度上，上述的特点具有比較次要的意义。

热力装置，例如鍋炉、热水鍋炉、取暖器等，是具有一定的儲藏能力的（尽管这些能

● 建立大功率和价格低廉的电能儲存器，可能改变动力系統的这一特点。

力很小)，甚至具有特种的热能儲藏器。因之，对热能系統的各个环節（鍋炉、热水鍋炉、蒸汽管道、用热设备），与电能系統环節不同，其中的过程并不非常严格地相互有关。例如，当蒸汽停止輸入到热电厂的热水鍋炉中时，热力网中各取暖器的运行情况并不立即发生变化。但是，热能系統元件的儲藏能力还不够大，因而各个元件間的相互关联性，仍会起着重大的作用。

热能系統中所产生的暫态历程，一般要比电能系統中的慢得多，虽然水力方面的暫态过程，可能也进行得相当迅速。

最后，热能系統与国民經济各部門的联系，比起电能系統来范围較小。

因为在現代化的动力系統中，热能一般是和电能一起生产的，如果不考虑純粹的热能系統，那末上述电能系統的所有特点，也适用于任一个动力系統。

下面討論由上述动力系統特点得到的某些重要論据。

第一个特点：生产、分配和取用电能过程的同时性指出，当用戶不取用电能时，电能是不会生产出来的；換句話說，电能的生产，严格地由它的需要量所决定。必須指出，在系統所有元件中轉变和輸送能量时，必然存在着能量的損耗，因而在計算取用的能量时，还应该計入这些能量損耗。

由上可得：

1) 当系統中沒有备用容量以补足电能缺額时，如果由于检修設備、发生事故及其他原因，以致发电厂中生产的电能减少到低于需要的水平，那末輸送给用戶的电能也必須减少。

2) 当系統中沒有所謂“調剂用戶”[●]时，如果由于用戶检修設備、发生事故及其他原因，以致用戶取用的电能暂时减少，那末在这一时期內，发电厂中的設備就不能充分利用。

3) 发电厂生产的总功率和系統取用的总功率，总是平衡的。当发电厂生产的功率减少时，系統取用的总功率同时自动地减少，从而改变了电能的质量。

不了解上列特点，往往会不正确地了解动力事业的生产計劃。如果說，在其他工业部門制訂生产計劃时，可以不仔細地考虑各种产品将在何时、由何人、在怎样的方式下、需要多少数量等問題，那末，在制訂动力事业的生产計劃时，就必须詳細地考虑所需电能的数量問題，因为生产的能量，应该严格地滿足需要的能量（其中包括生产和分配过程中的能量損耗）。尽管动力系統工作人員具有良好的主观愿望和工作能力，然而需要能量估計上的差誤，会不可避免地造成生产計劃的不能完成或生产的能量不足以滿足实际需要。因之，当供能部分沒有任何限制因素而能量生产計劃所規定的任务並沒有完成时，这只表明能量需要和能量損耗預測的不准确性，而不应作为考核动力系統工作人員努力与否的尺度。

第二个特点：由于电能系統中的暫态历程是很短促的，所以系統中必須采用特殊的自动装置。这些自动装置通常是快动作的，以便保証系統中进行着合适的暫态历程。如果不

● 調剂用戶，是指其工艺过程不需要特定用电時間的用戶。——譯者

把电能系統当做一个統一的整体来看待，那末所有这些自动裝置，其中包括过电压保护設備、继电保护裝置、自动調整器、自动控制裝置等，是不可能正确地进行选择和整定的。所有这些自动裝置又反过来促进了动力系統中自动裝置的广泛采用，进而过渡到发电厂、变电所的全部自动化以及整个动力系統运行調度的綜合自动化。

第三个特点：动力系統和国民經济各部門間的联系，决定了动力系統及时发展的必要性。动力系統的发展必須超前于能量用戶的增长，否則动力系統就不可能拥有需要的备用容量。在这种情况下，动力事业将阻碍国民經济其他部門的加速发展，并使标志人民生活水平的一个重要因素——生活用电——不能得到滿足。

在另一方面，动力系統的发展必須协同一致，即系統中所有元件的发展应各个相称。电力网和热力网的发展，必須超前于发电厂和热电厂的发展。最后，动力机械和电工制造工业的发展，还必须超前于整个动力事业的发展。

1-4. 动力系統的分类

动力系統的分类，应根据所討論的問題的具体范围来进行。

动力系統主要根据动力資源的种类、所生产能量的种类、能量用戶的組成部分，以及发电厂和用戶的相互地理位置来分类。

根据动力資源种类（它同时也决定了发电厂类型），动力系統目前可以分成下列三类：

- 1) 其中含有利用燃料（其中也包括原子燃料）能量的火力发电厂的动力系統；
- 2) 其中含有利用水能的水力发电厂的动力系統；
- 3) 其中同时含有火力发电厂和水力发电厂的复合型动力系統。

在制訂系統的功率平衡和能量平衡計劃时，在制訂电力系統的发展設計时，以及在研究有功功率的分布原則时，必須仔細地考虑上列各种动力系統的特点。

对上列的每一种动力系統，还可进一步加以更細致的分类。例如，对火力发电厂，还可根据燃料的来源和种类分为矿口火力发电厂、原子能火力发电厂等；对水力发电厂，还可根据径流調节的可能性分为径流不調节的、日調节的、周調节的、年調节的和多年調节的水力发电厂；对复合型的动力系統，也可以根据水力发电厂对火力发电厂容量的比例，分为水主、火副和火主、水副的动力系統。

根据所生产的能量的种类，动力系統正如 1-1 节中所討論过的那样，可以分为下列三类：

- 1) 电能系統，其中只生产电能或主要生产电能；
- 2) 热能系統，其中只生产热能；
- 3) 綜合动力系統，其中同时生产电能和热能，或电能和煤气。

上列的第二类动力系統，实际上还没有建立。随着热化事业的逐步发展，上列第三类动力系統，将提升到首要的地位。用以輸送电能、热能和煤气的供能綫路的发展，即电力网、热力网和煤气管道的发展，对所生产的能量的种类，起着决定性的作用。

根据能量用戶的組成部分，动力系統可以分成下列五类：

- 1) 主要供应照明和生活用电的动力系统;
- 2) 主要供应工业企业电动机用电的动力系统;
- 3) 主要供应电气火车用户的动力系统;
- 4) 主要供应电炉用户的动力系统;
- 5) 供应各种用户的动力系统。

能量用户的组成部分, 不应单单根据负荷曲线来决定, 还必须考虑负荷特性, 即负荷所取有功功率及无功功率与电压及频率的相互关系(参考5-1节)。在考虑供电可靠性和电能质量(频率和电压)的问题时, 标志负荷特性的这些指标, 具有特殊重要的意义。

最后, 动力系统也可根据发电厂和负荷中心的相互地理位置分为下列两类:

- 1) 集中负荷的动力系统(简称集中系统)。在这种系统中, 由于发电厂靠近负荷中心, 不需要高压的输电线路, 例如个别大城市的动力系统。
- 2) 负荷地区分散并且动力资源附近的发电厂与各个负荷中心相隔辽远的动力系统(也称辽远系统)。在这种系统中, 必须具有相当长度的高压输电线路和稠密的电力网。

在本章中, 我们将不再讨论按其他特征的动力系统分类, 例如按电力网接线图(分为辐射型、环型等)、按总负荷曲线的特性、按负荷季节的变化特性等的分类方法。总的来讲, 这些特征并没有前面所述的特征来得重要, 虽然在研究某些特殊问题时, 它们可能具有一定的意义。

1-5. 动力系统的互联

随着现有动力系统的逐步发展, 系统电力网的边界将愈靠愈近, 这时这些动力系统互联的恰当性也愈显著。

可以利用由单回路或双回路的输电线路所组成的系统联络线, 把两个动力系统联在一起。

动力系统互联的主要论据如下:

- 1) 减少系统的总备用容量;
- 2) 改善一个系统或两个系统中水力发电厂功率和能量的利用, 从而提高了它们的整体经济性;
- 3) 减少互联动力系统中总的最大负荷;
- 4) 当发电厂特别是水力发电厂容量的季节变化不同时, 两个系统间的互助作用;
- 5) 当负荷的季节变化不同时, 两个系统间的互助作用;
- 6) 检修和发生事故时, 两个系统间的互助作用。

下面阐明上述的某些论据。

在大多数情况下, 总备用容量的减少是系统互联的最重要的优点。显然, 当容量大体相等的两个系统互联时, 对这两个系统的利益最大; 而当两个容量悬殊的系统互联时, 对每一系统和整个互联系统的利益就要小得多。系统联络线的容量, 必须使一个系统拥有的备用容量在必要时可以输送到另一个系统中去。

当互联系统中具有不同类型的水力发电厂时，水力发电厂的利用将被改善。

在这里以两个系统互联的情形为例来进行讨论。设第一个系统中的水力发电厂一昼夜间可以供给的能量并不大，只满足负荷曲线尖峰部分的一小部分。第二个系统中的水力发电厂，不但供给了负荷曲线的尖峰部分，而且也供给了负荷曲线的基本部分。在这种情况下，从第二个系统输送电能到第一个系统时，第一个系统所减少的火力发电厂容量，比起第二个系统由于输出功率而必须添增的火力发电厂容量来，要多得多。

事实上，第一个系统中火力发电厂容量的减小，是由于原应由它供应的负荷曲线尖峰部分的火电能量，改由第二个系统中的水力发电厂输送过来的水电能量代替了的缘故。第二个系统中添增的火力发电厂容量，只需用来补足负荷曲线基本部分需要添增的火电能量。但在进行能量平衡时，负荷曲线的尖峰愈高，用以满足尖峰负荷所需的容量愈大。因之，在互联之后，第一个系统中火力发电厂容量的减小，将超过第二个系统中添增的火力发电厂容量。这就是说，在两个系统互联之后，其中火力发电厂的总容量要比单独运行时较少，从而获得了重大的经济效果。

在下列条件下，两个动力系统的总负荷将在互联后减小。

1) 当两个动力系统负荷的尖峰并不同时出现时。这一差别可能在一年的不同季节发生很大的变化。

2) 当周最大负荷、月最大负荷或年最大负荷并不同时出现时。

必须指出，当两个系统的负荷曲线在最大负荷期间附近都具有很高的尖峰时，上列第一点差别所产生的经济效果最大。因之，对最大负荷期间附近都具有比较平坦的尖峰的系统，这一差别的经济效果就显得很微薄了。第二点差别所产生的经济效果，对周最大负荷非同时出现的系统来说，与每一动力系统中工业休息日的分布有关；对月最大负荷非同时出现的系统来说，则与一个月间两个系统中布置的工业特点有关；而对年最大负荷非同时出现的系统来说，则在一定的程度上只是意外的收获。

建筑联络线路把相隔很远的两个动力系统进行互联是需要很大的投资的。联络线路的输送能力愈大，所需的投资就愈多。因之，联络线路的输送能力必须根据技术-经济计算来决定，其中包括系统互联的所有经济优点（考虑到系统的发展远景）、联络线路的建筑费用和互联后系统中功率损耗的变化等项目。往往当联络线路的输送能力比互联系统的容量小得多时，系统的互联才是经济上合算的。在一系列的情况下，建筑远距离输电线路输电的方案，可能会比不上把廉价的燃料运到当地没有廉价燃料的动力系统中去的另一种方案来得经济。

通常应用足够高电压的单回线路作为系统间的联络线路。联络线路很少用来联接两个动力系统的中心区域，大都是用来联接两个动力系统在地理上相邻的区域。这些区域可能与它自己动力系统的中心区域联系很弱，以致在两个系统互联之后必须加强。

联络线路的输送能力主要由动力系统并列运行的稳定条件所决定。

互联的动力系统，象其中单独的动力系统一样，是一个统一的生产机构。如果其中具有弱联络的联络线路，则它将对互联的动力系统发生下述影响：

1) 如果联络线路的容量比起互联系统的容量来相当小时，一个系统中运行方式的突

然改变或发生事故，可能在第二个系统中完全不反映出来；

- 2) 弱联络的联络线路可能在运行方式突然改变时跳闸，以致系统解列；
- 3) 在某些情况下，需要对联络线中输送功率的数值自动地进行限制；
- 4) 互联动力系统中的频率自动调整，在许多情形下要求互换功率的自动调整。

互联的两个动力系统与联合动力系统间的明确界限是没有的；随着两个动力系统的联系的增强，它们就转变为一个联合动力系统。

事实上，我们不难根据联系的强弱程度，作为判别是否互联动力系统或联合动力系统的标志。

1-6. 统一动力系统

随着动力系统互联程度的增长，将这些互联动力系统进一步联接成统一动力系统，其优越性将更显著。现在，实际上已建立了包括大部分苏联欧洲部分的统一动力系统。被这个统一动力系统所联接的动力系统分别为：莫斯科动力系统，雅罗斯拉夫动力系统，伊万诺夫动力系统，加里宁动力系统，高尔基动力系统，齐略宾斯克动力系统，斯维尔德洛夫斯克动力系统，彼尔姆动力系统，古比雪夫动力系统，伏尔加格勒动力系统，喀山动力系统，巴什基里亚动力系统，顿巴斯动力系统，罗斯托夫动力系统，第聂伯动力系统等。苏联欧洲部分的统一动力系统系由三个联合动力系统所组成，即由中央、乌拉尔及南部这三个联合动力系统所组成。统一动力系统具有下列的优点：

1) “纬度”效应，即联接位于不同纬度地区动力系统所出现的效应。由于纬度不同地区的最大负荷出现时间的不同，所以统一动力系统的公共最大负荷将大为降低，从而降低了建立发电厂的总投资总数。系统联络线路中的功率潮流，在最大负荷时期内将发生剧烈的变化，甚至改变方向，以便保证互联系统间的互助作用。

2) “经度”效应，即联接位于不同经度地区动力系统所出现的效应。由于经度不同地区最大负荷的持续时间可能不同，因而最大负荷持续时间较短的动力系统可以协助持续时间较长的系统，从而减少这些动力系统从基本能量中所取用的能量。

3) 有可能把中间地区的动力系统相联，从而使中间地区的电气化可以较节省地发展。

通常，动力系统的互联采用短距离的弱联络线路来实现。相反地，统一动力系统则采用输送能力相当大的远距离输电线路来实现。这些输电线路比苏联目前应用的电压（500千伏）还要高些。当输电距离超过1200~1500公里时，采用高压直流输电可以获得较好的经济效果。

有关直流输电线路接进中间动力系统的技术及经济的可能性问题，迄今还没有很好地解决。当这一问题完善地解决时，高压直流输电的优越性将愈益显著。

频率调整和系统间交换功率调整的相互依赖性问题，是建立统一动力系统时遭遇的严重问题之一。

必须在统一动力系统中广泛地采用调整频率、交换功率和功率经济分配的自动装置，并在各个动力系统中采用特种自动装置，以便在系统联络线路发生事故时保证各系统运行

的可靠性。如果不用上述那些自动装置，那末就无从在正常和事故条件下对统一动力系统联络线路中的功率（即潮流）进行调整。统一动力系统的中心任务是达到国民经济最大的整体经济性。因之，功率的经济分配问题具有特殊重要的意义。按实质来讲，这一问题就是：在正常运行时，自动地对统一动力系统下的每一动力系统，以及对每一动力系统下的每一发电厂，规定经济上恰当的功率分配额，并在其中某一动力系统发生事故时，自动地调整系统联络线路中的潮流，使它对发生了事故的电力系统给予最大可能的帮助。

当国家的两个大区用大容量远距离直流输电线路联接而形成统一动力系统时，无论在正常运行或特别重要地在事故运行时，输电线路中的潮流是不难调整的。苏联学者的研究工作指出，交流输电线路和直流输电线路的并列运行，是提高统一动力系统运行可靠性的一个可能方向，因为直流输电线路中输送功率的调整，并不与接在这一输电线路上的动力系统的运行方式具有任何关系。

最近在苏联有人提出这样一种看法，即中间不抽能的大容量长距离直流输电线路组成的电力网（例如西伯利亚——乌拉尔、乌拉尔——苏联中部等）是全苏统一动力系统主要的电力网，而与这一直流输电线路并列运行的，则是一个联接许多强大动力系统的高压交流输电线路。进一步的研究工作将是探索统一动力系统这种发展方案的技术-经济特性以及检验这种方案的合理性。

1-7. 动力系统的管理

上述动力系统的主要特点，包括技术过程的统一性和系统中各个元件的密切关联性，要求对整个系统运行过程进行统一的管理。因之，从动力系统发展初期以来，动力系统集中管理技术也就开始发展。

早在组织动力系统的初期，已出现动力系统集中管理的必要性。为此，在这世纪的最初十年内，已出现了“负荷调度员”的特种职能范围[参考文献2]。调度员的最初任务是，分配动力系统中各发电厂间的功率。但后来动力系统的调度员，还必须负责运行方式的管理，或至少监督动力系统主要元件的运行方式和消除事故。现在动力系统调度员的职能更为扩大，包括对整个动力系统（不是对个别元件）具有重大意义的所有过程的监察和控制。他们应该领导的工作如下：

- 1) 系统各发电厂间的有功功率、无功功率及其备用容量的合理分配；
- 2) 全系统频率调整和系统主要结点电压的调整；
- 3) 电力网各部分中功率（潮流）的调整；
- 4) 进行系统主电力网和发电厂的全部倒闸工作；
- 5) 把备用的发电厂机组和电力网投入运行，或把使用的机组和电力网停止运行，以便进行检修及转为备用；
- 6) 消除发电厂和系统主电力网中的事故；
- 7) 调整水力发电厂的运行方式；
- 8) 改变继电保护系统和自动装置的整定值等。

动力系统中发电厂和电力网的所有值班长，都必须服从动力系统调度员的命令。

为了正确地执行调度员的职能，在电力系统中的调度员手边，必须具有下列设备：

- 1) 与被领导的所有值班人员间，应具有适当的、双套的通讯设备，以便调度员可以与他所领导的值班人员直接通话；
- 2) 适当的遥测设备和接到系统最重要结点的通讯设备，以便调度员可以得到有关电力系统运行方式和接线状况的需用资料；
- 3) 适当的遥控设备，以便调度员本人可以进行主电力网的必要操作和紧急操作；
- 4) 规程及参考资料，以便调度员对电力系统中可能出现的变化很快的复杂过程，能够事前考虑好应该采取的行动，以及在必要情况下，解决任何改变系统运行方式的问题；
- 5) 计划中规定的电力系统运行方式资料，以便调度员易于集中主要的精力注意实际运行方式与计划运行方式间的差别。

近年来，调度部分还装备了各种解算装置，以及进行运行方式自动控制的装置（参阅第八章及第九章）。

随着电力系统的扩大，调度员的管理工作愈来愈复杂，因此当电力系统发展到一定的程度时，就必须采用分区的调度管理。

在这一情况下，需要设立几个区调度所。区调度所调度员的职能，只是管理电力系统的个别部分，而中央调度所的调度员，则除了管理某些最重要的动力对象和主电力网外，还必须领导区调度员的工作。

在联合电力系统中，应设立联合调度局（处），它的职能是管理系统联络线路中的互换功率。

统一动力系统的调度管理，应该更正确地称为统一动力系统运行方式的综合管理，是一种非常复杂的工作，因而统一动力系统的调度员，应该只保留分区动力系统调度员所不能担任的工作。它们的主要工作是：决定系统联络线路中正确的和最经济的交换功率的运行方式，备用容量的合理分配，以及调整与整个统一动力系统有关的参数——频率。至于设备的操作管理，则以交给分区动力系统的调度员更为恰当。

本书并不详细地讨论动力系统的调度管理问题。但在研究动力系统的个别问题以及系统的运行方式时，将不可避免地牵涉到调度管理问题。

有关动力系统调度管理问题，可参阅有关书籍[参考文献8]。

1-8. 动力系统的规划和发展设计

为了动力系统的正确发展，除了编制发电厂、变电所、输电线路的新建设和扩建设计外，还必须考虑电力系统在10~15年期间的发展远景。不明了整个电力系统的发展远景，也就不可能正确地设计系统中的发电厂和输电线路等工程。

忽视上述简单原则可能会导致严重的后果，特别会导致发电厂全部功率的不能外送、运行可靠性的降低、输电线路超过经济上合理的过载、继电保护的不正确的选择、水力发电厂流量的不正确利用或过多的投资等不良后果。

动力系统的发展设计，必须保证系统具有最经济的发展程序，并计及系统投资的效果