

动力系统中的数学方法 和计算机

(苏) B. A. 维尼柯夫 主编

科学出版社

52.15
804

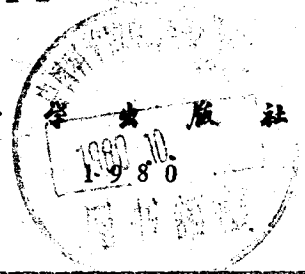
动力系统中的数学 方法和计算机

〔苏〕B. A. 维尼柯夫 主编

余贻鑫 邹斯勤 等译

1108731

科学出版社



DS97/OS

内 容 简 介

本书论述了动力系统的控制、发展规划、供电可靠性估计以及最优化运行方式等问题的数学模型和计算机方法，可供从事电力系统工作的科技人员、高等学校有关专业师生及研究生参考。

В. А. Веников, Б. И. Головин, М. С. Лисеев,
О. А. Суханов, В. А. Туфанов, А. А. Федосеев.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

«Энергия» Москва, 1975

动力系统中的数学方法和计算机

[苏] В. А. 维尼柯夫 主编
余贻鑫 邹斯勤 等译

*

科学出版社出版
北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1980年10月第一版 开本：787×1092 1/32
1980年10月第一次印刷 印张：6 7/8
印数：0001—6,100 字数：153,000

统一书号：15031·298

本社书号：1835·15—8

定价：1.10 元

译 者 的 话

作为国民经济先行工业的电力工业，如何用现代最新技术武装，使其在经济上技术上实现最优化，以适应我国的社会主义现代化发展的需要，这是一项重要而艰巨的任务。

从五十年代后期开始，把先进的计算方法和电子计算机应用于电力系统的分析计算。六十年代开始，进一步把电子计算机应用于发电厂、变电所和电力系统的运行调度和控制，以及电力系统的规划设计等各个方面。目前，电子计算机已成功地应用于电力工业的各个部门。但是对于动力系统这样的典型大系统，无论是规划设计阶段还是在运行控制阶段，都还有很多理论和应用问题需要深入地进行研究。

自1963年开始，在欧洲每三年举行一次国际性的电力系统计算会议（Power Systems Computations Conference 简称PSCC）。本书的内容主要是根据第四届动力系统计算会议（PSCC 4th）的论文及作者们的一些著作编写的。全书涉及动力系统发展规划、供电可靠性估计、最优化运行方式、电力网络稳态运行情况计算方法、电力系统机电暂态、自动控制系统及状态估计等方面的数学模型、计算方法和电子计算机的应用。这些内容对我国电力系统的科技人员和高等学校有关专业的师生有一定参考价值。

本书的序、绪论、第五章由余贻鑫翻译，第一章由林家豪、熊美堂翻译，第二章由刘维仲翻译，第三章由郑玉森翻译，第四、七章由邹斯勤翻译，第六章由陈礼义翻译。韩祯祥

教授校阅了全稿。在翻译的过程中得到了贺家李教授的指导和帮助。在此，一并表示感谢。限于我们的水平，不当和错误之处在所难免，欢迎读者指正。

1979.7.

序

本书所介绍的内容大多属于与大动力系统运行方式现代化控制问题有关的控制论和数学模拟方面的问题。

本书取材于最近几年间期刊上发表的论文,会议资料,尤其是国际会议资料以及作者的一些原著。这些著作反映了世界上许多科研机构在探讨复杂动力系统控制方法方面的工作。在这些探讨中反映了复杂系统科学发展的现代理论水平。在研究中许多作者都力图找到对于所研究问题的物理和技术的提法上都适合的解答。

本书的题目和作为其基础的有关文章反映了动力系统科学发展的现状,无论是在动力系统的设计阶段还是在动力系统运行时都要求把动力工程作为控制论类型的大型复杂系统来研究。把动力系统作为复杂的控制论类型系统进行设计,这个最重要课题还没有找到能确信的技术解答方法。寻求这些解答是迫切的任务,因为直到这个任务解决前将存在着得到并非最优解答的可能性,以及在许多情况下存在着投入动力工程的物资和设施利用率低的现象。

作者

目 录

序	v
绪论	1
第一章 电力系统发展规划的数学问题	14
1-1 一般问题	14
1-2 获取原始信息的方法	18
1-3 电力系统发展规划的最优化方法	24
参考文献	38
第二章 电力系统运行方式最优化方法	42
2-1 具有火电厂的电力系统负荷经济分配	42
2-2 具有火电厂和水电站的电力系统负荷经济分配	54
2-3 用分块法和等值化法计算复杂系统的最优运行方式	60
参考文献	73
第三章 电力系统稳态运行方式的理论和计算问题	75
3-1 电力系统潮流计算方法	75
3-2 稳态运行方式计算中的灵敏度分析	82
3-3 在求解线性方程组时应用网络拓扑的消去顺序	86
3-4 在断开系统元件时系统状态的计算和系统间联络线通过能力的选择	90
参考文献	93
第四章 电力系统的可靠性问题	96
4-1 电力系统运行过程中的可靠性估算	97
4-2 电力系统发展规划可靠性计算	106
4-3 随机过程理论在电力系统可靠性计算中的应用	111
参考文献	121
第五章 利用电子数字计算机模拟电力系统机电暂态	

过程.....	125
5-1 计算动稳定时发电机的数学模型	125
5-2 利用数字计算机模拟机电暂态过程的方法	132
5-3 解决动稳定任务时的等值问题	148
参考文献.....	166
第六章 电力系统中的自动控制系统.....	169
6-1 某些自动控制系统的叙述	169
6-2 自动控制系统的新技术设施	174
6-3 自动控制系统的数学保证	179
6-4 暂态过程控制的某些处理方法	183
参考文献.....	187
第七章 电力系统的状态估计.....	189
7-1 电力系统的静态状态估计法	190
7-2 电力系统控制和运行方式分析问题中的动态估计法	200
参考文献.....	210

绪 论

在本书中广泛地采用了 1972 年 9 月在格拉诺布尔(法国)召开的第四届动力系统计算会议中有关计算技术和模拟方法应用方面以及一些其它资料。

先简要介绍这次会议总的特点。首先应指出,这次会议是研究关于数字模拟、相似模拟¹⁾和物理模拟的数值分析方法在动力工程中应用的会议。会上提出了世界上一些工业发达国家所进行的工作成果,这些国家的专家们还交流了在这个领域中的最新工作成就。会上讨论了各种仪器和装置的原始接线,以及各种分析途径的方式、方法和手段。会议很注意数学分析和数学模拟的基本理论问题,在这种意义上说,这次会议补充了国际大电网会议(CIGRE)。起初这次会议是由英国的高等学校组织的,1963年在伦敦大学召开,后来发展成为国际性的会议。后来,1963年在伦敦,1966年在斯德哥尔摩,1969年在罗马,1972年在格拉诺布尔又举行了会议。

谈到 1972 年格拉诺布尔会议的著作和主要方向时,必须指出,参加这次会议的有来自世界上 32 个国家的 200 多名科学工作者和工程师。他们交流了有关包含大功率发电枢纽和输电线路的大电力系统计算方面的研究成果。在会上提出的报告共 114 篇,发言达 600 多个。

此外,还有技术人员、经济学家和著名的数学家参加了上述问题的讨论,也讨论了以完善电力系统规划和电力系统控

1) 即应用电子模拟计算机式的模拟。——译者注

制为目的而提出来的数学方法。

必须指出,在规划过程中,无论是在火电厂和水电站的发展计划中,还是在高压线路的发展计划中,都必须决定在四、五年间应该完成的工程项目。这里,一方面需要避免投资过多,另一方面在考虑未来的负荷、水力资源和将来可能发生的故事时又能保证足够的精确性。

所谈到的工程项目的建设,应在不引起供电可靠性降低的技术经济水准上进行。例如,必须确定水库水量调节的最经济运行方式,必须注意降低电站造价,并把配电网的线损降到最低,而同时又要在可能发生的故事下足以保证对用户供电的可靠性。

此外,由于每十年负荷功率约增长一倍,而使得电力网的规模和容量增长得很快,这就要求考虑未来工程对象的特点和地理位置。这些问题也引起了与会者的很大注意。

会议论文的基本科学方向如下:

1. 电力系统动态学;
2. 运行方式控制和运行方式最优化方法;
3. 稳态运行方式的计算方法和电路理论;
4. 电力系统设计;
5. 电力系统的可靠性;
6. 动力系统的控制系统的构成;
7. 电力系统的识别和状态估计;
8. 运用计算机的动力工程控制系统的分级。

关于会议论文中的这些科学方向可作如下评述:

在电力系统动态学的研究中,对解析方法,尤其是李雅普诺夫方法,表现了很大的兴趣。但是,此方法与其说有实际意义,不如说具有理论上的意义。关于在大型计算机上复杂动力系统的模拟问题,在会议报告中以及讨论中均占有很大的

份量。必须指出,在这个领域里,在最近一段时间内,无论是在理论工作上,还是在实际成果上,都有了很大的进展。

电力系统运行方式最优化和规划问题 引起了很大注意。有 17 篇会议报告阐述这些问题。这一组报告中包括许多问题,而且用到了多种多样的数学方法,例如,线性规划法,静态梯度法,最大值原理和动态规划。至今,用计算机解决这类动力工程任务已有相当长的历史,现在这个领域的发展水平已经很高了。由会上提出的报告中可以知道,计算机已应用于火电厂和输电线的最优运行规划,应用于系统调压及其他方面。

在讨论这些问题时有很多发言,在这些发言中指出,数学模型准确性的研究。无论是在解决电力系统运行控制的最优化任务时,还是在解决电力系统设计的最优化任务时都是很重要的。为了选择有效的数学模型(描述)和迭代方法必须决定“全”误差,包括数学模型(描述)和方法的误差,由于原始资料不准确所造成的误差,也包括计算机上的舍入误差。

对于距极限很远的稳态运行方式所进行的研究,给出如下几种误差百分数, %:

由于原始参数不准确所造成的误差	82—84
由于数学模型不精确所造成的误差	14—15
由于数学方法不精确所造成的误差	2—3

在讨论中指出,无功功率运行最优化不仅与方法误差有关,还与数学模型的误差有关。后者起着较大的作用,在许多情况下起着决定性的作用。有关运行方式最优化误差的研究工作远没有结束。在讨论中指出,当把 4 个节点接到原有 7 个节点的电力网上去,在设计时决定其最优的结线方案时,仅由于原始资料的误差,目标函数(计算费用)就波动 3—9%。在这种情况下,有 13 种不同的网络接线对应于不同的原始参数

值,其中的每一种接线对应于某一种原始参数值是最优的.既然设计任务是多极值的,所以对于这些任务,方法的误差有着重要的意义.

通过对所进行研究的讨论,代表们一致认为,有必要建立一些方法,以便在解决电网设计最优化任务时计及原始资料的不确定性.

稳态运行方式的计算方法 小组会上研究了稳态运行方式的计算方法,其中提出了16篇报告. 主要注意的问题是电路理论的一般问题、网络分块、潮流解的存在性和唯一性、牛顿法的收敛性及其各种变形、短路电流计算和变压器等值网络的建立. 在国外的程序中为了计算稳态运行方式,通常运用牛顿法,很少用塞德尔法,后者要占大量内存并需使用快速计算机. 必须指出,目前为了计算动力工程问题广泛地应用高级的数字计算机. 这些机器的程序全部都是用 Fortran 语言写出的,它是通用的国际语言,应用这种语言能够保证程序在不同组织和不同国家之间的广泛交流.

电力系统的设计问题在会议上提出的许多篇报告中得到了反映. 很有价值的是在解决动力系统设计任务(选择电厂分布,设计输电线和电力网)时所用的数学模型的选择和建立. 必须指出,按照我们的观点,这些报告没有对以电力系统(本身是一个大系统)作为其子系统的技术—人—自然界这一综合系统的整体设计问题给予足够的注意.

在讨论中指出,现代电力系统运行方式计算的特殊性乃是必须考虑参数和扰动作用的统计本质.

由于动力系统的复杂化,设备数量的增加,系统不同部分间联系的扩大,自动控制和自动调节系统的发展等原因,使得统计的规律性对动力系统运行的影响更大了. 讨论中指出,在这些条件下可靠性问题具有特殊意义. 估计系统可靠性的

任务可归结为决定系统单个元件故障对系统整体工作质量的影响。为了计算系统可靠性的指标必须掌握其单个元件的可靠性性能。

发电机在大扰动作用下,保持同步运行的能力,即保持动稳定性是它运行可靠性的重要指标。

以随机量和随机过程的形态表现出来的随机因素影响发电机的动态运行情况。例如,短路持续时间和自动重合闸从熄弧到重合之间的断流时间是随机量,而短路点的电弧阻抗、受端系统的电压、负荷的变化则是随机过程。

在计算动力系统的运行情况时,计及参数和扰动随机性质的必要性要求采用相应的数学研究方法。

动力系统的可靠性问题 在会议的论文和发言中阐述了这个问题。这些报告和发言,不仅在保证必要的发电容量的意义上,而且在保证稳定地和不间断地供电的意义上,研究了系统的可靠性的估计问题。这部分报告大多属于借助计算机将所得判据用于可靠性控制。一系列的论文研究了应用随机过程理论和一般的概率方法估计动力系统的可靠性。

掌握了复杂动力系统中诸单个元件可靠性的资料,就能够进一步研究系统整体的可靠性,而现代化发达的动力系统的动态运行情况的研究必须考虑到系统中所表现的统计规律性。

所推荐的在随机过程或随机量的扰动下电力系统暂态过程的统计特性的解析计算方法,被认为是非常重要的,指出了,如果仅在出现大扰动瞬间考虑原始数据的随机性,那末发电机转子的相对运动是准决定性的随机过程,而电力系统的行为,可近似地用以数学期望和中心值写出的两个方程联立描述。

控制问题 建立以计算机为基础的复杂联合动力系统分

级控制系统，无疑是动力工程中应用计算技术的基本问题之一。从这个观点出发，这个方向的报告具有特殊的意义。提出的报告中包含着一些新的有意义的报导：关于为多级控制系统建立数学保证的原则；关于在控制系统中计算机和操作人员之间安排对话；以及关于在国外（如美国，法国）建立这些系统的已有经验。所提出的报告大部分是关于在控制回路中直接应用计算机和数字模拟装置。其中相当有价值的是关于建立频率和负荷经济分配自动控制的报告（日本），以及变电站运行方式自动控制的报告（英国）。必须指出，越来越大的注意力放在“系统分析”的兼用观念上，它可兼作电力系统正常运行和暂态运行的分析和为构成系统自动化所必需的分析。很大注意力放在向预防性保护过渡的观念上。在讨论涉及控制问题的报告时指出，电力系统调度控制自动化系统只能建立在具有速度快、内存容量大、具有与各种外围设备相联系的大量通道的现代电子计算机的基础上。但是，只有在数字计算机上装备了它的专用程序——为解决工程技术问题的功能程序；为使人机联系容易的服务程序；以及为了组织有效利用计算机的用户程序——时，数字机才具有解决控制任务的能力。这些程序的总体就组成调度控制自动化系统的数学保证。被组织在统一系统中的数学保证乃是专用的操作系统，这种统一系统是用来解决电力系统调度管理任务的，并且同时控制着电子计算机本身的工作。

在讨论中详细地说明了在拟制涉及到象建立数学保证的功能（专用）部分，以及建立数学保证的服务部分和用户部分这样的一些系统时所发生的问题。

在报告和讨论中指出，在前（II、III）两届会议和这届会议上提出的报告中所形成的、在电力系统任务中运用控制论的控制原则的思想，最近开始找到在解决实际任务（其中包括暂

态过程控制)中的应用。

在电力系统控制论这个纲要中包括许多课题。例如,已研制成功的通称 LIAPB 的数字式励磁自动调节器,一方面它是在建立综合数字调节器的道路上走出了第一步,这种调节器把励磁调节器、速度调节器和某些反事故装置的起动机器的作用结合在一起,另一方面也具有有一些独立的意义,如作为建立励磁调节器工业样品的基础,这种调节器为其应用自适应、自控制、自恢复等原则具有很大的算法可能性和适应性。同时必须考虑到,微电子学的成就克服了在电力系统暂态过程控制任务中成功地运用信息加工的数字方法所遇到的大多数障碍。

电力系统状态估计与识别 在动力工程中应用计算技术方面的著作中占有愈来愈重要的地位。其中,在所谈到的 1972 年格拉诺布尔的会议上提出了 11 篇这方面的报告。在最近提供发表的一些著作中详细地讨论了识别问题的意义,并给出应用于现代电力系统控制中的状态估计。很大的注意力集中在这个领域中所用到的各种数学方法的比较上。必须指出,在识别和状态估计方面所提出的报告中,大多数带有理论的性质,但是一些报告,尤其是美国提出的报告,研究了这些方法在实际控制上的应用。事实上,由于动力工业的复杂性在增长,以及出现了新形态的能源和新的发电、传输和消费方式,使得建设一个统一动力系统的全部任务已经要求应用控制论的研究途径。正是过渡到控制论式的复杂系统在规划阶段就应加以研究。然而现代的动力系统发展的规划工作没有建立在应有的方法学的水准上。譬如说,在大系统的发展规划中应当考虑在它们的子系统间存在着的反馈。目前在规划时完全正是这一点没有得到足够的考虑。由最新的著作可知,毫无疑问,当把动力系统做为复杂系统对待时,不能不考

虑原始信息的概率特性。来自负荷的、决定资源机构的以及其他部门的这一切信息，可以而且应该做为有条件概率性质的信息来对待。

在没有控制论的分析途径时，现代计算手段往往被不合理地运用。常常对于计算技术寄予毫无根据的希望，而没有考虑到计算机绝不会代替人来思考。

在文献中所反映出来的这些缺点特别突出，这是由于目前电力系统发展规划过渡到了高级阶段，这个阶段的特点是把动力工程看做是大大发展起来的系统的复杂的总合体，即做为控制论的系统。这里必须计及所有过程的概率特性，并以模拟方法的应用做为研究动力系统的基本手段，而且这里把数学模拟和物理模拟等量齐观。

动力系统工程发展最优化的现代研究途径不能不顾及其控制论的性质。这里首先要阐明系统的发展特性及具有确定性的和概率特性的依从关系。系统随时间发展的动态过程特点是在研究子系统间反馈的基础上加以阐明的。

在研究系统很多参量和它们的状况的概率特性问题时，必须考虑到在社会主义国民经济中必然性和随机性原则的结合，而绝非象我们有些人有时想象的，随机因素为资本主义制度的动力工程所特有，从而对其估计不足，这些随机因素有：1)技术的进步；2)天然的动力资源和它们的开发；3)地球物理过程；4)人口学因素(部分地)和一些社会的因素，以及与之有关的在实现国民经济各部门发展或企业分布的变化；5)动力资源储藏量预测的不准确性；6)系统和它的元件的规划和设计的不可避免的错误。

实现最优化时不可避免地表明，由于影响因素估计的不准确性事实上不能决定实际上的最小。因此从控制论的观点看待系统时，应当寻找的不是最优点，而是能给出总的朝着最

优化趋向的那种直接的和反馈连系的相互作用的方案。

在已进行的工作和已发表的著作中,渐渐地明确了,仅力图找到拘泥于形式的最优方案的作法是不正确的,所建立的那种形式上的最优方案事实上是没有价值的。对复杂系统而言最优化可以仅给出它的发展的最优战略,可以仅指出所需遵循的方向。最优化的结果,归根到底,应当阐明动力系统各元件的相互配合和发展的最经济的顺序,以及指出所拥有的动力资源或动力系统的发展顺序和速度。

动力工程发展的分析 必须将动力工程发展的分析做为复杂的不断发展的系统(作为控制论的系统)来进行分析。

当然,在把动力系统作为控制论系统来分析时,必须考虑它同国民经济的所有其他系统和子系统之间的联系。

在进行动力系统规划的最优化时,不得不考虑到最优化乃是用非线性函数关系和方程来描述的这个特点。而且这个非线性有其重要性,应该予以考虑。

如上所述,既然动力系统的结构同其他系统有联系并具有按时间的反馈,同时历史情况总是影响到所研究的时期,所以系统规划是控制论的任务。

动力系统同国民经济的许多部门的联系,特别是同燃料——动力部门间的联系属于动力系统内的反馈,应该强调,术语“最优化”只在确定达到最优化所需的参数时才有意义,就是说应当建立最优性的准则,这表明,在进行所谓系统最优化的全部工作之前,应先阐明最优化准则和它的函数联系,任何最优都是有条件的,并且在建立起最优准则以及影响此准则的各函数关系之前最优化是没有意义的。

函数关系式的形状和最优化准则有着决定性的意义,应当是先建立和阐明决定此准则的各种关系,然后再在系统最优化和系统发展方面的研究工作的基础上做出结论。