

统一电力系统 的 运行方式

〔苏〕C.A.萨瓦洛夫 著
何大愚 南志远 译

水利电力出版社

С.А.СОВАЛОВ
РЕЖИМЫ ЕДИНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
Москва Энергоатомиздат 1983

统一电力系统的运行方式

[苏] С.А.萨瓦洛夫 著

何大愚 南志远 译

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17.25印张 388千字 1插页

1983年9月第一版 1983年9月北京第一次印刷

印数0001—4160册 定价8.80元

ISBN 7-120-00346-1/TM·30

内 容 提 要

本书共分九章，包括苏联统一电力系统的发展和形成、调度管理和自动化系统、运行分析计算、运行方式的特点和优化、电网的运行优化和电压调整、频率和有功功率的自动调整，以及运行可靠性和反事故安全控制等内容。

本书适用于电力系统的管理工作人员和科研、设计、运行等单位的技术人员，对高等院校电力专业的师生也是有益的参考书。

译者的话

本书作者 C.A. 萨瓦洛夫博士从在莫斯科电业局任技术员开始，至现任苏联全国统一电力系统中央调度局副总工程师，已在苏联电业界工作50多年。他熟知苏联电力工业和电力系统的发展过程，具有丰富的运行经验，发表过不少这方面的专著和论文。因此，他被苏联电工界公认是在电力系统调度规划和运行控制方面一位有威望的技术专家。他的这本著作概括了苏联电力系统发展成世界上规模最大、统一调度的全国统一电力系统的过程和运行经验。由于我国电力系统目前的结构、运行特点和发展前景与苏联电力系统过去和当前的发展特点具有很多近似的地方，所以我们将这本书译出，并希望对于我国电力设计、运行、科研及教学等方面的工作人员，具有有益的参考价值。

本书由南志远同志译出一、二、三、六、八章，由何大愚同志译出四、五、七、九章。由何大愚同志对全书进行了统稿工作。

译者盼望读者对译文中不妥之处，提出指正。

译者

一九八七年九月

目 录

译者的话

序言	1
第一章 苏联电力的发展及其统一电力系统的形成	3
§ 1.1 电力系统的建立	3
§ 1.2 电力系统的发展和地域联合系统的形成	5
§ 1.3 苏联欧洲部分统一电力系统的建立	11
§ 1.4 苏联统一电力系统的形成	18
第二章 苏联统一电力系统的调度管理	27
§ 2.1 调度管理的机构和原则	27
§ 2.2 长期运行方式的计划	33
§ 2.3 短期运行方式的计划	37
§ 2.4 正常情况的运行方式	39
§ 2.5 事故的预防和消除	41
第三章 苏联统一电力系统调度管理的自动化系统	49
§ 3.1 统一电力系统调度管理自动化系统的组织结构和原则	49
§ 3.2 统一电力系统调度管理自动化系统的发展阶段	51
§ 3.3 信息计算系统	55
§ 3.4 电力系统的状态估计	58
§ 3.5 调度管理自动化系统今后的发展方向	62
第四章 苏联统一电力系统运行方式的概况	66
§ 4.1 一年不同时期中, 统一电力系统运行方式的特点	66
§ 4.2 用电运行方式和负荷曲线	67
§ 4.3 发电厂容量的利用	72
§ 4.4 主电网的运行方式	88
§ 4.5 作为控制对象的苏联统一电力系统的运行特点	93
第五章 电工问题的解析方法	99
§ 5.1 电工问题和运行方式计算手段的概况	99
§ 5.2 稳态运行方式的计算	100
§ 5.3 静态稳定的确定	106
§ 5.4 机电过渡过程的分析	110
§ 5.5 自励磁的研究	115
§ 5.6 大振荡的研究	118
§ 5.7 短路电流计算	121
§ 5.8 等值化	122

第六章 电力系统运行方式的最优化	126
§ 6.1 电力系统运行方式最优化的原理	128
§ 6.2 水电厂长期运行方式的最优化	129
§ 6.3 火电厂主要设备年度大修计划的最优化	139
§ 6.4 检修的月计划	145
§ 6.5 短期运行方式的最优化	146
§ 6.6 运行方式的综合最优化	164
§ 6.7 多级最优化的直接法	169
§ 6.8 运行方式的运行修正	170
§ 6.9 具有不完全信息时的电力系统运行方式的最优化	172
§ 6.10 电力系统运行方式的经济分析	174
§ 6.11 应用最优化方法编制技术经济指标	176
第七章 电网的电压调整和运行方式的优化	180
§ 7.1 电压调整问题概述	180
§ 7.2 电力系统互联的不同阶段中电压调整的条件	181
§ 7.3 电压调整的标准资料	189
§ 7.4 电压和无功功率运行方式控制的自动化	190
§ 7.5 主电网运行方式的优化	193
§ 7.6 用电压指标衡量电能质量	199
§ 7.7 电网中的电能损耗	201
第八章 频率及有功功率调节的自动化	206
§ 8.1 对于频率及有功功率自动调节系统的基本要求	206
§ 8.2 频率及有功功率调节自动化工作发展的主要阶段	207
§ 8.3 苏联统一电力系统频率及有功功率自动调节的模拟式系统	214
§ 8.4 苏联统一电力系统频率及有功功率自动调节的数字式试验性系统	217
§ 8.5 苏联统一电力系统频率及有功功率自动调节的分级系统	220
第九章 电力系统可靠性及反事故控制	230
§ 9.1 可靠性问题概述	230
§ 9.2 可靠性方法和标准化方面的资料	231
§ 9.3 反事故控制	239
§ 9.4 可靠性水平概述	254
结论	260
参考文献	262

序 言

苏联电力的发展，从俄罗斯国家电气化委员会拟定计划修建第一批大型区域发电厂及其联合电网开始，到建立苏联统一电力系统，即世界最大的集中控制的联合电网为止，走过了漫长的路程。

列宁的俄国电气化计划，即俄罗斯国家电气化委员会计划，是世界上第一个有科学根据的国家经济发展的综合计划。俄罗斯国家电气化委员会的计划，不仅仅是在10~15年间建立新社会物质技术基础的具体纲领；这一计划对国家电气化空前的历史意义在于它奠定了电力科学技术前进的方向：发电功率集中在大型发电厂，建立电力系统及其全国规模联合系统，并在此基础上逐步实现集中供电。目前，统一电力系统已处于最后的形成阶段，这是列宁关于作为发达社会主义社会的经济基础，即国家完全电气化的设想在生活中的具体表现。

苏联统一电力系统，是按国家计划发展起来的、根据总的运行方式和统一集中运行管理联合在一起的发电厂、电网的综合体。电力工业向这一最高结构形式的过渡，为最大合理利用电力资源及提高国民经济和居民生活供电的经济性和可靠性创造了条件。目前，苏联统一电力系统的发电厂所生产的电能占全国的90%；统一电力系统运行方式达到的可靠性和经济性的水平，体现了在整个国民经济中电力部门工作的有效性。

苏联共产党第二十六届代表大会给苏联电力工作者提出的任务是：继续发展国家的统一电力系统，提高对国民经济供电的可靠性和质量。

随着苏联统一电力系统规模的扩大，运行方式的管理和控制越来越成为极重要的和复杂的问题。这些问题的意义在于在保证所有国民经济部门正常生活、改善社会结构和居民生活条件中，电力所起的特殊作用。在管理上困难不断增加的原因，是由于统一电力系统的幅员辽阔、电力资源和生产力在地理上分布不平衡（且处于相互矛盾的状态），以及发电功率结构和电网的接线皆逐渐复杂化等因素引起的。

要解决苏联统一电力系统的计划和运行方式问题，管理工作的复杂性是罕见的，国际上又无可借鉴的实例，所以要依靠应用现代经济数学方法和计算技术手段以及运行控制设备来完成。在运行控制的理论和实践领域中，苏联的电力工作者进行了大量的工作，这一领域中的成就是科研、设计和运行单位在同一目标下协作的结果。苏联统一电力系统中央调度局和各联合调度局与科研和设计单位的合作，对于保证完成统一电力系统的正常任务起了很大的作用。所进行的科学研究和取得的运行经验，不仅能够成功地解决管理控制方面的现有问题，而且也为解决更复杂的同形成统一电力系统有联系的问题奠定了基础。

目前，非常重视统一电力系统的计划与运行方式的问题。书中在叙述有关问题的现有状况的同时，还介绍了电力系统互联在各阶段中运行问题的特点以及解决这些问题的方法。

在安排各章内容时，作者的意图是尽可能使各章具有一定的独立性。书中尚未反映出电力系统运行问题的一些研究成果。其中包括与组织互联系统之间的并列运行有关的试验、稳定性的现场试验研究、影响频率及有功功率调节过程的电力系统运行特性的确定等。

本书可供广大的电力专业有关技术人员参考。另外，在叙述分析方法和运行方式最优化方法时，作者考虑读者已掌握运行方式的控制方法和过渡过程的基本理论。这些问题在苏联其它著作中已有介绍，应用最广泛的有B.A.维尼柯夫和И.М.马尔柯维茨的著作。

苏联统一电力系统中央调度局有创见的目标和明确的业务活动，对作者完成预定的工作起了促进作用；作者对中央调度局的领导和全体工作人员给予的协助表示感谢。在准备初稿时，作者得到了统一电力系统中央调度局许多专家以及有关单位专家的建议和帮助。作者认为，应特别指出B.A.谢敏诺夫、Я.И.卢钦斯基及B.A.巴林诺夫在原稿准备付印前给予的帮助。

作 者

第一章 苏联电力的发展及其统一

电力系统的形成

研究苏联电力系统的建立及其联合的过程，可将它分为几个有不同特点的阶段。第一个阶段是孤立运行的发电厂实现并联运行，从而形成国内最早的几个电力系统，并为电力系统的发展向第二个阶段过渡创造了条件。在第二个阶段中形成了地域性的联合电力系统，以便保证向苏联发达的大型工业区供电。第三阶段中组成了苏联西部的地域性联合电力系统并实现并联运行，从而建立了苏联欧洲部分的统一电力系统。第四阶段是向电力工业更高级的组织形式过渡，即组成全国范围的统一电力系统。

这些同国民经济越来越集中的供电方式相联系的根本性变化，是与大型发电厂装机容量的不断集中和单机容量的增加、电网电压的升高、以及电网逐步遍及到国家的可居住地区的过程同时进行的^[1~6]。

§ 1.1 电力系统的建立

第一次世界大战前，革命前的俄国所有发电厂的总容量为1141MW，而年发电量为 $20.39 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。最大火电厂的容量为58MW，机组的最大容量为10MW。烧石油和重油的火电厂的发电量占60%，而烧煤的则占40%。水电厂的总容量为16MW，最大水电厂的容量为1350kW。区域发电厂^②的总容量为189MW，于1913年这些发电厂的发电量仅占全国发电量的23%^[1~3]。

私人公司所属的发电厂采用了不同的电流制：直流和交流（单相和三相，以50及25Hz为主）；发电厂处于孤立运行状态，而并联运行的情形则是绝无仅有的。高于发电机电压的所有线路的总长度估计只有100km左右。1914年出现了第一条70kV的线路，它从莫斯科近郊的“输电”发电厂到莫斯科。直到第一次世界大战之前这一电压仍是实际应用的最高电压。

电力设备及电器基本上是进口的或由外国商行设在俄国的工厂制造的。俄国生产的最大汽轮机容量为1250kW，蒸汽压力为1.2MPa；而变压器、油断路器、绝缘子、继电保护装置，当时在俄国尚未生产。

1913年每人一年的平均用电量为12.8kW·h，20%以下的居民才用上电能。

第一次世界大战中外国的武装干涉和内战使国民经济遭受到严重的破坏。1921年生产的电能下降到战前的四分之一，总共为 $5.2 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ；大部分电网受到破坏。

恢复和发展电力工业成为苏维埃政权提出的重要任务之一。然而，在20年代才有可能

② 苏联的区域发电厂(ГПЕС)指供电范围较大，有较高供电或输电电压的火电厂——译者注。

开展国家的大规模的经济建设。

1920年初B·И·列宁在给Γ·М·克鲁日让诺夫斯基的信中，提出制订国家电气化计划的任务，并将这项计划看成建立社会主义物质技术基础的根本。根据B·И·列宁的指示而制订的全俄电气化委员会计划，在世界上第一次成为在建立国民经济电力工业基地基础上的有科学根据的国家经济发展计划。在这个统一的综合计划中，指出了关于国家各经济区的发展，其中包括边区的发展问题并考虑了原料和动力资源、生产力的状况和预期增长、以及建立新的工业中心的远景。

根据列宁关于国家电气化的思想拟订的方针是：在地方的燃料资源的基地上和靠近开采燃料的地方建立新的火电厂；建立考虑水能综合利用的水电厂；发展高压电网连入并联运行的新建和已有的发电厂；确保发电厂（火电厂及水电厂）以并联运行的最经济的运行方式运行，以充分发挥联合的优越性；提高发电厂的总的生产能力^[1~3]。

全俄电气化委员会的计划规定10~15年建设30座新的区域性火电厂和水电厂，总容量为1750MW，架设35及110kV线路以向负荷中心输送功率，并实现发电厂的并联运行。

1920年12月在苏维埃第八次代表大会上通过了全俄电气化委员会的计划。1921年末为了恢复莫斯科和彼得堡的发电厂以及实现这两个地区中每一区的发电厂的并联运行，完成了大量的工作。在顿巴斯和其它工业区也采取了类似的措施。1921年建立了最初的电力系统，即莫斯科的МОГЭС电力系统和列宁格勒的“电流”电力系统；它们的建立是实现列宁国家电气化计划的重要步骤。

1922年自卡什拉至莫斯科的第一条110kV线路投入运行。在这以后110kV电网得到了迅速的发展。

1922年卡什尔区域发电厂和“红十月”区域发电厂投入运行，1925年沙图尔斯基和高尔科夫斯基区域发电厂投入运行，1926年末举行了隆重的沃尔霍夫斯基水电厂的落成仪式，这些都是第一批最大的火电厂和水电厂，它们是根据全俄电气化委员会计划兴建的。

1925年电能的生产水平已经超过第一次世界大战前达到的最高记录。

1930年全国发电厂的总容量达到了2875MW。电能生产增长的速度超过了总的工业生产增长的速度。1930年生产的电能达到 $83.68 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，和1913年比增长了4.1倍，但与此同时工业生产的总额增长了1.93倍。区域发电厂的发电量占国家所有发电厂总发电量的60%。电能和热能的联合生产得到了快速的发展。1930年热电厂的总容量达21万kW，约占所有火电厂总容量的8%。区域发电厂生产每千瓦小时电量所消耗的单位标准煤耗从1913年的1.1kg降低到1930年的0.81kg。

发电厂利用的电力能源的结构发生了急剧的变化。1930年区域发电厂生产电能用液体燃料的占25%，用顿巴斯煤的占15%，用无烟煤粉的占14%，用莫斯科郊区煤、西伯利亚煤、泥煤和其它种地方燃料的占35.4%；水电厂的发电量占所有区域发电厂发电量的10.6%。

工业电力传动的电气化系数有显著的增长：由1913年的40%到1930年的70%。这时开始研究了全俄电气化委员会计划规定的铁路电气化问题。1926年阿塞拜疆实现了城市型铁路的电气化，1929年实现了由莫斯科至莫奇什的第一条近郊电气化铁路。

苏联工业在20年期间成功地掌握了生产电力设备和电器的技术。1924年安排了35kV电缆的生产。1926年为伏尔霍夫斯基水电厂建造了容量为8.75MW的水轮机，1928年生产了容量为12MW的第一台汽轮发电机，同时也掌握了生产110kV变压器及断路器的技术。从1930年开始生产容量为24MW的汽轮机。苏联的电力工业于1930年已经学会生产大部分类型的电气设备。

20年代已成为国家主要工业区（如莫斯科、列宁格勒、顿巴斯、乌拉尔）及其它的电力系统形成和发展的年代。大型电力系统的形成是同广泛应用110kV电压相联系的；到30年代末期这一等级电压的线路长度已达3052km。

在第一批电力系统形成的初始阶段就产生了运行方式规划和实施的主要问题，即发电厂和电网正常时和检修时接线方式的选择；确保并联运行发电厂的稳定性；维持额定的频率；合理利用动力资源时有功功率的经济分配；电压调节和无功功率分配等。电力系统的发展，意味着并联运行发电厂数量的增加，电网接线的复杂化，这就需要有一个集中的运行管理系统的机构，它将调度任务与一般业务分开，并使发电厂和电网的运行人员严格服从电力系统的调度员。

1926年莫斯科电力系统成立了国家第一个调度处，该年末在列宁格勒、1930年在顿巴斯电力系统相继建立了调度处。1930年在乌拉尔斯的维尔得洛夫斯基、切列宾斯基和彼尔蒙斯基区域建立了第一批调度所。1932年当开始发挥电力系统中心调度的作用时，乌拉尔电力系统实行了集中调度管理。

当时，很重视改善通信的设施。电力设施之间的通信除直接的电话通信外，中心调度的调度员同直接下属的运行人员之间还采用了有选择性的通信联系。为了实现电力系统的首批高频通信通道，使用了进口设备。在电力系统中开始出现专用的架空和电缆通信线路。利用进口电器和国产电器组成的首批最简单的运动系统得到应用。

在首批电力系统形成的阶段，便开始进行了调度管理方法的研究。确定了关于运行调度人员的职责和权限的规则、调度规程、运行管理设备的运行导则，采用了典型的运行文件，改善了培训运行人员的方法。对发电厂并联运行事故原因的分析予以很大的重视；研究出预防和消除事故的措施。

在当时的电力系统中事故相对比较频繁。由于无功功率不足曾发生过“电压崩溃”的事故，然而大部分系统的事故是由于动态稳定造成的。设备和线路的继电保护基本型式为过流保护，它不具备保持动态稳定的快速性和选择性。对所装设的保护进行了改进的工作，在高压电网中开始采用距离和差动保护，其中利用了外国制造的装置。组建了最初的专门科室——继电保护班（科）。

在吸取调度管理经验和国外专家研究成果的基础上，运行方式的计划、运行调节与分析的工作得到迅速发展。在调度局建立了各种运行方式。在此期间出版了苏联作者关于发电厂并联运行、电力系统集中控制、经济功率分配等的各种专著。

§ 1.2 电力系统的发展和地域联合系统的形成

30年代发展的特点，是作为国家工业化基础的电力工业超前发展。1931~1940年间工

业总产量增长4倍，而发电量增长5.8倍。

1932年德聂伯水电厂举行了盛大的投产仪式，该厂各机组的单机容量为62MW，是当时世界上最大的机组。

110kV电网遍布中央、顿巴斯和乌拉尔区域；实现了许多电力枢纽和电力系统110kV电网的联网。1933年高尔基和伊万诺夫电力系统的110kV电网实现了联网，顿巴斯电网和阿卓沃切尔诺莫尔电力系统沙赫金区域电网实现了联网。1935年实现了莫斯科和高尔基电力系统110kV电网的联网。

随着发电厂容量的增加，负荷枢纽的扩大以及电力系统的发展，需要架设高于110kV电压的输电线。1932年第一条154kV输电线投入运行（这一电压的应用后来受到限制），1933年架设了斯维尔下游水电厂至列宁格勒的第一条220kV输电线。随后220kV输电线的架设得到迅速发展，220kV电网开始成为大型电力系统的主要联系电网（网架）。

这期间火电厂的最大装机容量也在不断增长，1933年高尔基区域发电厂的容量达204MW，1935年苏耶夫区域发电厂达250MW，1940年投入运行的两座火电厂（新莫斯科和苏耶夫）的容量各为350MW。

苏联的工业已能生产出容量更大经济性能更好的设备。1931年首次创造出50MW汽轮发电机和110kV，15MVA的变压器。同年在列宁格勒敷设了第一条国产的110kV充油电缆。1933年拉姆金直流式锅炉投入运行，其参数为160/220t/h，14MPa，500℃，它具有中间蒸汽加热。1937年制造出220kV，3×40MVA变压器组。1938年生产出100MW的汽轮发电机，1939年两台这种汽轮发电机投入运行。

在火电厂投入运行机组的蒸汽参数为3~3.5MPa，400~425℃，以后又生产出更高压的设备。在30年代末典型的机组容量为50MW的机组。

在15年间的后期（1935年），俄罗斯国家电气化委员会的计划已大大超额完成。拟建30座发电厂，实际建40座发电厂，其中有14座容量大于100MW。1935年全苏所有发电厂的总装机容量为 6.9×10^3 MW，总发电量达 26.8×10^9 kW·h。苏联的发电量在欧洲居第二位，居世界第三位。

1931~1940年供热机组得到迅速发展。1940年热电厂容量达 2.10^3 MW，同1930年相比增长9.5倍，而发电厂总容量增长4倍。

水电厂的建设广泛开展；从1931~1940年期间水电厂投入的新装机容量为 1.4×10^3 MW（占此期间投入总容量的五分之一）。1940年水电厂发电量占所有发电厂总发电量的百分数增至13.4%。

火电厂燃料平衡结构的变化趋势仍在继续发展，在过去的10年间：1940年发电厂用液体燃料的发电量的百分数下降到10.6%，这是由于无烟煤煤粉及地方（莫斯科郊区、乌拉尔、西伯利亚及中亚细亚）的煤和煤泥产量增加的结果。

在总用电量明显增长的情况下，电力牵引、农业和生活用电的比例增加了。冶炼工艺过程（炼钢、铁合金、铝及其它）的耗电量约占工业用电量的20%。电力传动的电气化系数达84%。在30年代初期决定发展电气化铁路，组织生产电力机车和电力牵引的设备。1940年末国家电气化铁路的长度为1865km。农业电气化也取得了显著的成就：30年代末

三分之一的农业机器站和国营农场的生产用上了电能。向城市家庭生活用电和服务性行业售出的电能，由1930年的 $14 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 增加到1940年的 $67 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

1940年国家发电厂的总容量为11200MW，发电量为 $483 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。区域发电厂的发电量占国家总发电量的比例达81.2%。十年里装机容量的利用小时数由3300h增加到5481h。用于每千瓦小时的标准煤耗由1930年的0.81kg降低到1940年的0.6kg。

1940年在德聂伯至顿巴斯间架设了系统间的第一条220kV联络线。由于拟订联合南方的电力系统，早在1938年就成立南方电力系统委员会，其任务是对电力系统的发展及其运行方式的总体进行协调工作。1940年这个委员会改名为南方电力系统联合调度管理局。1940年南方电力系统（互联电力系统）的容量达1800MW。这个电力系统和其它三个最大的电力系统，即莫斯科电力系统、列宁格勒电力系统和乌拉尔电力系统的总容量，占国家发电厂总容量的43%，而其发电量占全国发电量的68%。

从30年代初开始，苏联的工业基本上已经能满足迅速发展的电力系统日益增长的需要，其中包括电力设备及电器、控制和自动化的装置。调度运行管理的设施得到了改善。电力输电线的高频通信的通道有了显著的发展，所采用的是国产的设备，30年代前半期已组织了这些设备的系列生产。调度管理系统还采用了远动装置。30年代末期组织了少量系列的远动装置的工业生产。

在30年代，对35~110kV以及最早的220kV电网的继电保护，进行了有步骤的改进工作。在此期间出版了一些在继电保护理论和技术方面有创见的著作。效果显著的有：用于110~220kV线路的称为电流速断的装置；组织研制了国产的距离保护，在高压输电线上开始用高频闭锁保护，以及在大型变压器上应用的差动保护。在战前的几年时间里，苏联的工业已掌握制造快速高频及纵差动保护装置、用于110kV及220kV线路的有振荡闭锁的距离保护装置、发电厂和变电所的110~220kV母线的差动保护装置以及发电机的改进型保护装置的方法。由于继电保护的不断完善和采用了新型的快速断路器，在战前数年里电力系统动态稳定的水平有了很大的提高。

国家对于提高架空线路防雷能力的问题非常重视。所进行的工作使得在30年代末期，每公里输电线路上的雷电事故急剧下降。

电力系统容量的增加导致了短路电流显著地增大，因而在30年代中期有必要将所有装在电力系统中二分之一以上的断路器更换掉，或加强它们的灭弧能力。与此同时，为了将短路电流限制到断路器和其它设备和电器允许的数值，不得不将电网分段运行。

战前的10年期间成了电网运行方式管理和控制的科学基础蓬勃发展的时期。有功功率和无功功率最优分配方法的研究得到继续发展。出版了有关静态稳定和动态稳定的基础性著作，而且直至今日这些著作仍保持着其奠基的作用；与苏联作者有创见的成果发表的同时，还总结了国外研究人员最重要的成果。第一次用试验方法研究了静态稳定，并且为了提高动稳定的目的，对汽轮机进行了事故时功率调节的试验。还对发电机的自激、异步运行方式和再同步的条件进行了研究，对输电线静电和电磁影响的计算方法进行仔细的研究。

为了计算动态稳定和稳态情况，试制了第一批交流模型（交流计算台）。在后来的年

代里，在电力系统、联合调度管理局、科研和设计单位，交流计算台得到了广泛的应用。战前用电力系统物理模拟所进行的工作具有重要意义。

1930年第一次制定了计算短路电流的导则，改进并广泛应用了用于计算短路电流的通用直流模型（直流计算台），还采用过一些特殊的模型。

在战前的年代里国家非常重视远距离输电的问题。1935年在列宁格勒架设了一段500kV的试验线路，完成了一系列关于远距离输电的运行方式和稳定性的研究工作。

在战前的几年里广泛应用了线路和系统的新型自动装置。1934年开始采用了线路自动重合闸；1937年在斯维尔水电厂装设了第一台自动调频器；1939年在那里还采用了反事故的自动装置，这种装置可实现将水电厂解列并实现其发电功率和负载的平衡。30年代后期开始推广使用快速的没有不灵敏区的电子式自动励磁调节器、同步机的复式励磁装置、最新的快速励磁装置和自动按频率减负载装置。

对于火电厂的生产过程自动化进行了有步骤的工作。1932年在亚美尼亚建造了第一座全自动化的水电厂，后来水电厂自动化的工作有了很大的发展。

对于改进电力系统的管理方法和提高其运行的技术水平进行了有步骤的重要的工作。20年代末电力系统设备的计划检修制度已经广泛采用，而在30年代则采用了绝缘检查和试验的方法和制度。1933年发布了反事故的通告，1934年制定了消除高压线路事故的导则，1936年批准了《发电厂及变电所电气设备运行安全技术规程》，1940年批准了《发电厂及变电所的运行技术规程》。

在战前的年代，国家电力基地的发展取得了巨大的成就。这对于成功地实现国民经济发展计划、提高国防能力和改善人民生活水平，皆具有决定性的意义。

伟大的卫国战争年代也成为对苏联电力的考验时期。乌克兰、白俄罗斯、波罗的海沿岸共和国以及俄罗斯社会主义联邦共和国的一些西部地区的电力设施完全遭受破坏。许多发电厂的设备被拆下并运往东方。在战争最艰苦的期间，发电厂的装机容量下降，它不到战前的二分之一。

由于工业基地向乌拉尔和国家东部地区的转移以及这些地区新工业设施的快速建设，要求大力发展乌拉尔、北哈萨克、中西伯利亚和中亚地区中现有的电力系统。乌拉尔、西伯利亚、哈萨克、中亚细亚和远东电力系统的发电量占国家总发电量的比例，由1940年的22.2%增加到1945年的48.5%。战争年代里伏尔加和外高加索地区的电力也得到了快速发展^[3]。

40年代乌拉尔的电力得到了特大的发展。1944年乌拉尔发电厂的总容量几乎为战后的两倍。1945年乌拉尔发电厂的发电量比1940年增加2.5倍，达到 $122 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，占国家总发电量的28.3%。在战时紧张的情况下，对于经济和运行管理要求更高，由于乌拉尔电力的特殊作用和它迅速的发展，使得乌拉尔电力系统1942年分为斯维德洛夫斯基、切列宾斯基和彼尔莫斯基几个电力系统。为了对新形成的联合电力系统进行管理，在斯维得洛夫斯克成立了乌拉尔的联合调度局。

在战争年代里，由于负荷急剧增加和电网发展落后，乌拉尔联合电力系统一直在紧张状况下运行。广泛应用的线路的和反事故的自动装置（其中有些在战前就已在电力系统中

应用)，对提高乌拉尔联合电力系统运行的可靠性，起了很大的作用。发电机采用自动励磁调节器和大量采用快速励磁后，1944年前就已完全消除了“电压崩溃”类型的事故。而广泛应用的自动按频率减负荷装置对保证避免“频率崩溃”类型事故起了相当重要的作用。自动重合闸和设备的备用电源自动投入的广泛应用，大大地提高了供电的可靠性。

1943年在乌拉尔联合电力系统装设了具有计算振荡周期的自动解列装置，即当系统间联络线上发生异步运行情况时将系统解列。采用在事故性频率下降时，将火电厂的部分发电机切换到厂用电的自动装置。还采用了加速断路器和继电保护动作的措施。

以后规定，全国所有的电力系统必须采用自动励磁调节器、快速励磁、自动按频率减负荷、自动重合闸和自动备用电源投入装置。这些自动装置的广泛应用和改进，成为有代表性的一条技术政策，它导致在战争和以后的年代里，电力系统在极困难的运行条件下能保证稳定地并联运行和可靠地供电。

在战争年代里，虽然规模有限，仍然继续进行了自动化和运行控制新型装置的研制工作；1944年装设了第一套单相自动重合闸，后来这些装置得到相当广泛的应用。

战争末期曾组织了频率和频率脉冲制的遥控、遥信和遥测装置的小批量生产。

1941年末开始恢复被破坏的电力设施，1942年主要对苏联欧洲部分的中心区，1943年对南部地区（伏尔加格勒、洛斯托夫、北高加索、顿巴斯），1944年对西部地区进行了恢复工作。1945年在国家所有解放的地区开展了这项工作，并且在战争结束后加快进行这项工作。

1944年重新成立了南方联合调度处（即此后的南方联合调度局）。

1945年为了对已经形成的中央联合电力系统进行运行管理，设立了中央联合调度局，指挥莫斯科系统与高尔基、伊万诺夫斯基和雅洛斯拉夫斯基三个伏尔加上游电力系统的并联运行。

1946年苏联发电厂的总容量达到了战前水平，然而国家各地区之间的功率分布却有了很大的变化，战前电能生产达到了相当高的技术水平。1947年苏联的发电量跃居欧洲首位，世界的第二位。

40年代末新热电厂的典型机组为100MW的汽轮机—发电机组。1950年热电厂最大容量为400MW。高压机组所占热电厂总容量的比例，由1940年的3%升高到1950年的20%。

在战后的年代里展开了大规模的水电厂建设。从1946到1950年间水电厂的容量增加了2000MW。斯威尔河下游、高尔克夫斯基、卡姆斯基、新西伯利亚、柴木良斯基、敏哥卡爾斯基水电厂及其它水电厂皆开始建设。

1950年完成了以B·И 列宁命名的德聂伯水电厂恢复工作。这一年里还建成由卡什尔至莫斯科的220kV直流电缆试验输电线。在40年代末和50年代初还装设了两条220kV的充油电缆试验线路。

1950年末发电厂总容量达到19600MW。1950年的发电量为 $912 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ；区域发电厂的发电量占全国总发电量的80.8%，水电厂的占13.9%。110~154kV电压架空输电线的长度为17000km，220kV电压的输电线则为2500km。

在战后的几年里电力系统中采用了大量的自动装置，采取了加速断路器及继电保护动

作的措施，使用了水轮发电机按频率启动的方式，以及厂用电重要电动机的自启动方式。40年代末开始应用发电机的自同步，自1950年采用了母线的自动重合闸以及由自动按频率减负荷装置切除的用户自动重合闸。

战后几年还继续研制和使用快速动作的、有选择性的和可靠性高的继电保护装置，如高频保护（滤波的和相位差动的）、新型的距离保护、发电机变压器和母线的差动保护、反应定子线圈接地短路的发电机和同步补偿机的高灵敏度的保护装置及其它保护装置。

卫国战争后国家对通信装置，尤其是用于运行管理的通信装置很重视。手动转接电话交换台改为自动交换台，为了通信线复用的目的，采用新型国产的多通道装置；扩大了输电线上的高频通道网，地方的和城市之间的通信电缆线也得到了发展；开始采用了第一条无线电接力的通信线路。

自50年代开始，苏联的工业安排了远动装置以及沿输电线用于远动和高频通信通道装置的生产。50年代的前半期实现了远距离传递信息用的第一批通道（斯维尔德洛夫斯克——莫斯科）。在大型电力系统的调度所，广泛采用了主要电网断路器状态的遥信装置以及电网枢纽点的电压、频率和重要联络线交换功率的遥测装置。在40年代末50年代初开展了变电所遥控的工作。继续进行了水电厂遥控及火电厂生产过程自动控制方面的工作。在一些电力系统（联合电力系统）实现了利用一个装设自动调频器的大型水电厂（雷宾斯基、以列宁命名的德聂伯）进行频率自动调节。

40年代后半期和50年代前半期，有庞大的队伍研究关于电力系统的发展以及保证其可靠和经济运行的问题。出版的总括性著作有关于并联运行稳定性的理论及其计算方法、复杂电力系统运行方式及短路电流的计算、同步机的运行方式、继电保护、系统的自动装置、最优化的运行方式、电力系统运行方式控制自动化及其它方面的问题。

在电力系统中所进行的试验研究工作，如静稳定和动稳定、自动励磁调节器的效果、异步运行过程、已失步的发电机再同步的条件、汽轮发电机的失磁运行及其它的试验研究工作，对于发展运行方式控制的理论和方法以及提高电力系统运行的可靠性，都有着重要的意义。根据理论分析和试验研究的结果，确定了短时间异步运行允许的条件和将它用于动稳定破坏后尽可能快速再同步的条件（保证所谓的最终稳定性），以及采用非同步自动重合闸、保持失磁发电机等待恢复励磁的短时运行等方面的可行性。

在这一时期研制了新型的交流模型。经改进后投入生产的交流模型成为设计和科研单位、电力系统和联合调度局的主要计算工具。

研究出用于热电厂和水电厂并联运行的运行最优化方法，明确了在有功功率经济分配时考虑线损的问题。开始研制和使用模拟型计算装置，以便进行复杂电力系统中发电厂间的有功功率经济分配。

40年代的后半期，重新开始准备关于建设由古比雪夫至莫斯科的第一条远距离输电线路的工作。

1949~1950年决定兴建伏尔加、卡梅及德聂伯河上的大型水电厂和架设远距离输电线。

50年代初开始建设伏尔加河上的大型水电厂和古比雪夫至莫斯科的第一条400kV输电线路。1954年制造出用于伏尔加水电厂的115kW的水轮发电机组和用在400kV降压变电所的75MVA同步补偿机；1955年制造出400kV， 3×120 MVA的变压器组。由于研究并实现了提高400kV输电线的稳定性和输电能力的措施，第一条远距离输电线达到了很高的技术经济指标。这些措施为：一相分裂为三根导线、建立开关站、断路器和继电保护的加速动作、采用线路电抗的串联补偿（故障时强行补偿）、利用并联电抗器对线路电容的并联补偿、水电厂发电机和降压变电所大型同步补偿机采用“强力式”励磁调节器等。

远距离输电线实现补偿后，要求研究新型的继电保护，以便考虑它与输电线的运行方式和过渡过程的特点。在古比雪夫—莫斯科的输电线上采用了新型继电保护：反应各种短路的具有电压起动元件的相位差动高频保护、反应相间故障的后备距离保护和反应单相接地的多阶段的零序过流方向保护；还采用了新型的单相自动重合闸。这些继电保护和单相自动重合闸装置后来也用于其它400~500kV线路，并经改进后用于500kV电网。

与此同时进行了高温高压蒸汽的热力设备的试制工作；1953年在切列彼特斯基区域发电厂装设了再热式参数为17MPa、530℃的150MW汽轮发电机组。

这些年里最重大的事件，是建成世界上第一座原子能发电厂，其容量为5000kW，于1954年投入运行。在这一年里还开始兴建布拉特斯基水电厂，而于1955年开始兴建克拉斯诺雅尔斯基本水电厂。

有一支庞大的队伍进行了铁路电气化的工作；1955年底电气化铁路的总长度达5400kV。

1953年开始的将大量农业用电户连接到电力系统的电网上的工作，即农业用电向集中供电的过渡，对于农业电气化的发展有着重要的意义。

1955年苏联发电厂的总容量达37200MW，总发电量为 1702×10^8 kW·h。110~154kV电压的输电线路总长达29400km，220kV的为5700km。中央区、乌拉尔和南方联合系统有很大的发展，这些联合电力系统发电厂的发电量占国家总发电量的一半左右。在中央区联合电力系统中有四个电力系统并联运行：莫斯科电力系统及三个伏尔加上游的电力系统（雅洛斯拉夫、伊万诺夫、高尔基）。乌拉尔联合电力系统同以前一样，包括斯维尔德洛夫、彼尔姆和切列宾电力系统。南方联合电力系统包括四个电力系统（顿巴斯、德聂伯、洛斯托夫和伏尔加格勒）。上述的三个联合电力系统相互之间没有联系。

建立苏联欧洲部分的统一电力系统以及东部（亚洲的）地区的大型联合电力系统成为电力系统以后发展的基本方向。

§ 1.3 苏联欧洲部分统一电力系统的建立

在苏联欧洲部分统一电力系统形成的过程中，起决定性作用的是伏尔加—卡姆斯基大型梯级水电厂以及400~500kV远距离输电线的建设^[1-4]。1956年将古比雪夫—莫斯科的第一条线路投入时，便将古比雪夫电力系统连接到中央联合电力系统实现并联运行。将国内不同区域中央和中伏尔加区的电力系统联合实现并联运行，成为苏联欧洲部分统一电力