

第二版

# 大电网系统技术

王梅义 吴竞昌 蒙定中



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 大 电 网 系 统 技 术

---

第 二 版

---

王梅义 吴竞昌 蒙定中

中国电力出版社

## 内 容 提 要

这是一本综合论述大电网系统技术的书。结合我国超高压大电网设计和运行的实际需要,书中重点论述了涉及大电网全局的重大工程性质的综合技术问题,即大电网的系统技术问题,这些问题往往同时涉及不同的专业技术领域因而具有综合性质。本书着重总结了我国在这些方面的实践经验与研究成果,并结合介绍了国外电网的有关情况。为了阐明某些工程技术问题的实质,对有的问题还用简要的基础理论予以说明。本书的中心议题有:避免电力系统大面积停电事故、防止重要电力设备损坏以及合理地建设和运行大电网等。

在此次第二版第三次印刷时,增补了介绍与评论有关美国西部大面积停电与北美新的设计标准,讨论超高压变电所主接线与介绍660MW机组快关试验报告的内容。

本书可供从事本专业有关工作的技术人员和师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大电网系统技术/王梅义等编著. -2版. -北京:中国电力出版社,1995

ISBN 7-80125-042-7

I. 大… II. 王… III. 高压电力系统-技术 IV. TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第10434号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

1991年5月第一版

1995年6月第二版 2000年1月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22印张 495千字

印数8761—11760册 定价45.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

## 序

王梅义、吴竞昌、蒙定中三位同志合著的《大电网系统技术》一书将要出版，这是一件好事！

这本书，实际上是十几年来国内电网稳定工作的经验总结。1970年以来，国内 220kV 电网大量发展，稳定破坏事故大量增加，每年平均出现 20 次左右。为了解决这个问题，于 1977 年初开始，原水利电力部生产司、电力科学研究院、电力规划设计管理局共同组成了专题小组，进行了全面的、深入的调查研究，并组织各地系统设计人员、中央调度人员以及一些试验研究人员对各地历来发生的稳定破坏事故进行具体深入的调查研究和分析，对影响电网稳定的最基本因素——电网结构问题进行了历史性的分析总结。在此基础上，于 1978 年 11 月在常州召开了“电网结构与稳定运行经验交流会”。会后，颁发了《关于电网规划设计的几点意见》(试行)和《电力系统稳定性导则》(试行)，并继续征求意见。为了使现有电网在结构未能大量改善的条件下，迅速减少稳定破坏事故，专题小组继续对事故发生原因和保护措施进行调查研究，提出了“三道防线”的设想，要求在发生稳定破坏时，能够保住主要地区的用电，充分考虑三相短路等各种历史上出现过的事故机率，采取加快切断故障时间(0.1s)等措施。同时自 1979 年开始，举办了电网管理局、省电力局总工程师参加的“电网研究班”，讲解和研究电网问题，特别是电网稳定问题。每年一期，每期四十余天，连续办了三期。经过充分准备之后，于 1981 年 7 月，在大连召开了全国电网稳定会议，发动和组织全国各电网采取措施，要求在短时期内大幅度降低稳定破坏事故。会后迅速颁发了修改后的《电力系统安全稳定导则》，经各地认真执行，当年全国稳定事故下降到 4 次，效果十分显著。以后，除有些新的电网如福建等地的，由于缺乏经验，曾短时期出现多次稳定破坏事故外，其他老电网的稳定破坏事故大都降低了四分之三左右。自 1981 年至 1987 年，全国稳定破坏事故平均每年 6.7 次，1987 年只有 3 次。本书的作者是参与这一系列工作并主持其事的。

1981 年我国第一条 500kV 送电线——平(顶山)武(汉)线投产之后，东北、华北、华东等电网都步入了 500kV 电网阶段。为了探索 500kV 电网的规律，专题小组继续对各地 500kV 电网进行了跟踪调查。但是，我国的 500kV 电网刚刚开始出现，尚未成形，且容量不过 1000 多万千瓦，要探索其规律尚需观察和研

究国外已出现多年的 380~765kV 的大电网,汲取其经验和教训。为此,本书作者搜集了大量资料,进行了一系列的研究,并着重跟踪国际大电网会议的信息。此后,又提出了《电力系统技术导则》和《大机组与大电网的协调意见》,并在 1985 年至 1987 年,又举办了三期总工程师“电网研究班”。本书的大部分内容都是在研究班上的讲稿经进一步充实、完善而形成的。因此,也可以说,这本书实际上也是近八年他们对国内外 500kV 大电网研究的结果,综合了国内和国外大电网的经验。

作者特别强调本书所阐述的并不是电网的个别技术问题(如继电保护、远动、自动等问题),而是“系统技术”问题。其内容包括七章,即:电力系统大停电事故,大机组在电网中的运行,电网结构,电力系统稳定,电力系统短路电流水平配合,高压电网运行过电压,无功补偿和电压调节。作者从多年来的调查研究体会到,上述问题都不是一个个孤立的问题,而是在电力系统的各层、各区、各方面之间互有关联的问题,需要从整个电力系统的角度来观察、研究和处理。比如:大电网的稳定破坏、电压崩溃、系统瓦解事故既取决于电网结构的强与弱,也与电网是否能保持正常频率运行,是否有足够的备用容量有关;既要加强电网结构,特别是受端电网结构,也可采用快速保护、强行励磁、按频率降低自动减负荷、远方切机、乃至 PSS 等装置,而其更为重要的,则在于指导思想上要分清主次,在事故发生后,要确保主要地区的供电,而不是保证所有地区都能供电。美国电力系统的可靠性准则,规定出现一个电厂全厂停电,一条线路走廊全部停电,或一个变电站某一电压等级全部停电,都不得产生连锁反应。西欧则采用  $N-1$  的准则。美国、西欧的电力系统大都能满足这些可靠性准则的要求,其 LOLP(电力不足概率)能达到十年一天的标准,但他们仍然出现一些稳定破坏或电压崩溃的大面积停电事故。这就表明企图全面保证整个系统是难以做到的。要求全保往往倒保不住,相反,如果要求在事故发生后,确保主要地区的供电,则可能更为有效,我国的经验是说明了这一条的。因此,在研究大停电事故,研究大电网结构等问题时,需要从电力系统整体出发,区分主次,加强主要地区电网结构,能保住主要地区,也就更容易使整个电网恢复正常供电。其他,如短路电流问题也是如此,不仅仅计算某一处的短路电流,不仅仅考虑采用大容量开关,也不仅仅考虑某一处或某一种的限流措施,而是要考虑各层电网之间的短路电流水平的配合,从电网整体上来安排短路电流。至于过电压问题,无功补偿与电压调节问题,也都需要从电网整体来观察和研究。

当然,电力系统的“系统技术”问题不只是上述七个方面,还有标准机组、

标准电厂、标准线号、标准变电容量，变电站标准接线方式的采用等等；还有各种动力资源的开发与配合，各种电厂的开发和配合，各级电网结构的配合，等等。这些都要求我们将电网看作一个整体来进行观察、研究和安排，要求我们将电网在其发展进程中出现的某些规律性现象抽取出来，要求我们努力建立电网发展的理论，以指导和安排电网的发展。

电网，是电力系统（Electric Power System 或 Power System）在我国的俗称。它包括发电、送电、变电、配电、用电设备，也包括调相调压、限制短路电流、加强稳定等辅助设施，也包括继电保护、调度通信、远动和自动调控设备等所谓二次系统的种种装备。像一个有机体一样，它不仅有骨头有肉，并且有神经系统。所有这些组合到一起，才构成一个电网的整体。本来，在公用电力事业诞生之初，确定采用交流体制之后，电网的雏型就已经呈现了，那时，它已经有了发、送、变、配、用电各个环节，不过容量小，电压等级低、设备简单而已。百年来，电网发展壮大，现在已由童年、少年、青年步入壮年，作为一个有机的整体，它的内在的种种发展规律已经比较充分地表露出来了。比如：作为一个整体，即作为一个完整的系统，它必然是归属于其上一级大系统（即国民经济系统或能源系统）中的一个子系统，电网这个子系统的基本功能与特征必然要服从上一级大系统对它提出的要求和提供的条件，也就是说，必将取决于它的环境条件。一般说来，电网的环境条件有三，即：国民经济发展的用电需要，一次能源平衡与动力资源开发条件，发供电设备与技术的供应条件。如对城市供电电网来说，还要加一个地形条件。本书中提到，为了加强电网稳定性，在电网的结构布局上应努力加强受端电网，在受端最好应有电压支撑，以便在电网发生事故时，受端电网的电压不至于崩溃，并因而希望电源点多设在受端电网附近。这是一种理想的希望。实际上，电网上电源的安排，是要服从动力资源开发条件的。水电站必然建在河流上；烧煤火电厂要取决于煤炭的来源与运输，要考虑建厂条件与环境保护要求，一般来说，大型火电厂总是要建立在离大城市较远的地方。因此，要在受端电网设立电压支撑必然要在整个电网结构上想办法。任何一个电网，只要搞清了它的环境条件，它的基本功能与特征，它的结构形态也就可以明确起来。

将电网看作一个整体，必然要考虑它各个组成部分的相互关连与影响。为了多快好省地发展电网，我们常常采用大机组、大电厂、并且往往采用标准机组、标准电厂。这样，在电网建设中，网络必须先行，即先建成主干网架，以便大电厂投产时，不仅满足建厂地区的用电，并可将其余电力供网内其他地区。

将电网看作一个整体，必然要考虑各种不同的电厂分工，有基荷电厂，有

中间负荷电厂，有峰荷电厂。电厂中有担负全网供电的主力电厂，有担负电厂附近地区供电的地区电厂。为了适应突然变化的负荷（如空调负荷）需要，并应有必要的能迅速起动的事故备用电源。

将电网看作一个整体，必然要考虑它是以分层分区的形式组成的。按不同的电压分层，按供电负荷的密集分区。各层不同电压的电网分别与大小不同的电厂和用户连接，这其中是有一定的规律的。

电网是个大系统。一般来说，系统越大，其结构及部件应力求简化、统一、标准化，以便于管理和控制，并且应分清主次。在电网结构上要主次分明，以便于确保主干，兼顾分支。

频率变化是全系统的，电压变化是局部的。也就是说有功功率平衡是全系统的，无功功率平衡是局部的。从电网整体来说，无功应就地补偿，力求无功就地平衡，不让无功电力占用送电线和变压器容量应该是最合算的。

电网这个整体并非静止的，而是在不断发展中。在安排电网发展时，一定要考虑其整体及各个部件的不断出现的演变，力求在使用的大多数年代具有最好的效益，不可一味迁就眼前。所有各国电网都是在不断的简化、升压、改造过程中，不断地新陈代谢。

凡此种种，都要求我们胸有全网、将电网看作一个整体来进行观察、研究和安排，都存在“系统技术”问题。全系统的最大效益才是真正的最大效益。一个电网的效益提高，常常是各个电厂的效益提高占一半，而全网的经济调度占一半。

但是，人们的认识往往落后于实际。百年来，人们对发电、送电、变电等研究的很多，对电力系统的各种类别的技术性的规律也有充分的研究，并形成了一系列的理论；但对其整体性发展性的规律却研究的很不够。比如，在纽约电力系统事故分析报告和法国电力系统事故分析报告中就表现出来，人们详尽地分析了这样或那样的一些原因，但却未提及他们的电网结构上存在的薄弱问题。从整体上来看，电网结构的强与弱，是决定稳定极限的主要因素，这是首先应该揭露的。

在我国，认识就更加落后于实际了。不仅仅“胸无全网”，甚至不承认电网是电力事业发展的必然的表现形式，说得尖锐一点，也可以说是“目无电网”。我们曾经长期存在着重发轻供不管用的问题，很多同志认为电网就是一条条送电线和一个个变电站的工程建设而已。1970年的全国电力会议上曾要求将跨省电网分割下放给各省，提出按省建网，事实上，各省的动力资源并非全都可以自给，难以按省界划分。于是，一方面，由于客观需要电网仍然不得不发展，就

在批判大电网的同时，兴建了第一条 330kV 送电线（刘家峡水电站至西安的刘家峡线），各省也先后大量建设了 220kV 线路；另一方面，电网的发展却受到种种人为的障碍。据 1973 年对全国电网进行调查，当时暴露出的主要问题有：发电建设赶不上用电需要，全国各地电网普遍缺电，运行频率经常低至 48Hz（以后几年，东北电网低至 46Hz）。送变电建设跟不上发电厂建设，全国缺乏变电容量 1000 万 kVA，三分之一的供电变压器过负荷，缺少线路 1000km，很多送电线路过负荷，有 200 万千瓦左右的发电能力不能送出。建设有功电源而不相应地建设无功补偿设备，全国各网缺无功设备 500kvar，电网电压水平很低，华东 220kV 电网在常州低至 147kV，京津唐电网在沧县地区的 110kV 母线电压低至 77kV。调相机只能制造几台 1.5 万 kvar 的小型机组，且难以列入建设项目，静电电容器只产 10kvar 一组的小型设备，并且质量低劣，经常有四分之一的不能使用。有载调压变压器无专厂制造，既无投资，也难以订货。三个大电网头尾 2000km，中间无调压装置，变成一个僵硬的电网。各省电网建设，往往是建一个电厂拉几条线，来一个大用户拉几条线，电网结构紊乱，全国 110~200kV 电网上有 180 处 T 接。很多省网第一条 220kV 线路出现时，采用 220kV 与 110kV 高低压环网送电，多次形成 220kV 送电线故障引起全网瓦解事故。断路器存在严重问题，110kV 的大批过容量，220kV 的制造技术不过关，常常拒分拒合，慢分慢合。盲目推广晶体管保护，而晶体管元件不过关，经常误动。电网通信只有电力线载波，在事故状态下往往不能通话，而一些新厂投产时甚至没有电话，不得不临时借用。当时，对大电网进行批判，同时实行“拆庙搬神烧规程”，电网管理机构精简撤销，人员下放农村。主其事的领导人员心目中，似乎发展电业只需要发展电厂，只要“向洋设备开刀”，批判“洋教条专政”，实行“一厂变一厂半”，就可以不拉“社会主义的闸”，就可以“要当先行官，不当拦路虎”了。在这种状态下成长的电网，真像一块巨石压抑下成长的小苗，只能扭曲地成长。1972 年后，我们只好利用各种机会，多方设法补救，恢复机构，收回人员，重申规程制度，组织和推动所需设备制造，组织制造技术攻关，但阻力甚大，困难重重。直到 1976 年之后，才得以大张旗鼓地进行发供电设备完善化，才能按照电网发展的客观规律整顿电网管理体制。本来，这些问题已经过去，1970 年的冲击，到 1980 年历时 10 年之久，已经扭转。但作为对电网这个整体的认识来说，并非都取得了一致的认识。特别是我们又正在向 500kV 这个电网发展的新的阶段迈进，很多大电网的新的不被认识的问题和规律将要出现，我们努力地去学习，还要费很多气力。如果不虚心学习，对电网依然视而不见，就必然要碰更多的钉子，要掏更多的学费。

前事不忘，后事之师。希望更多的同志能认识电网，掌握电网发展的规律，胸怀全网，使我国的电网能迅速完成现代化的历程。现在，电网专题小组的同志们已经星散，三位作者也从第一线退了下来。为了给人们提供掌握电网发展规律的条件，三位作者不辞辛劳，以两年多的时间，整理出这本《大电网系统技术》，可以想见他们寄希望于来者的一片苦心，这使我深为敬佩。

应该说，这本书的出版是件好事！

沈根才

1989年11月

# 前言

这是一本综合论述大电网系统技术的书，根据作者在多次全国电网研究班上的讲稿删节增补而成，供从事大电网有关专业的工程技术人员和师生参考。

本书结合我国超高压大电网设计和运行的实际和需要，重点论述涉及大电网全局的重大工程性质的综合技术问题，即大电网的系统技术问题，其重点包括避免电力系统大面积停电事故，防止重要电力设备损坏以及合理地建设与运行大电网等内容。出于实践的客观需要，这些问题近年来得到了广泛的注意，并成为许多国际会议上不断讨论的重点议题。在我国，随着超高压大电网的建设和发展，对大电网的系统技术已经有了很多的研究，也有了相当多的实践经验，对一些问题的认识和对实际问题成功的处理，不但符合于我国的实际情况，同时也丰富了这方面技术的内容。本书将着重于总结我国在这些方面的实践经验与研究成果，并结合介绍国外电网的有关情况进行论述。在另一方面，我国的 500kV 超高压大电网目前尚待建设与形成，大容量机组才开始引入电力系统，新技术设备的采用也处于初始阶段，某些在国外大电网中发生了的情况和已经得到深入研究的工程问题，在我国也必将逐渐进入议事日程。为了给我国相应的研究与实际工作提供信息，本书将主要依据有关的国际调查研究总结，介绍大电网系统技术中对我国一般读者说来可能尚不甚熟悉的一些重大问题，供研究与借鉴，也有助于读者对大电网的系统技术有全面的了解。

在论述大电网系统技术的过程中，为了阐明某些工程技术问题的实质，也为了帮助对这些问题不熟悉的其他专业的读者有较为完整而正确的理解，对有的问题用尽可能简要的基础理论予以说明。而对于基础理论的深入理解，也正是掌握全局所绝对必需的。

全书共七章，第一、五章由吴竞昌编写；第二、三、六章由蒙定中编写，绪论与第四、七章由王梅义编写。全书由王梅义主编。

沈根才同志审阅了全稿，提出了许多宝贵意见和建议，并写了序，谨此志谢。

对于书中的缺点、错误与不足，以及立论不当之处，尚望读者阅后不吝赐教。

作者识

1989 年 8 月

## 再 版 前 言

这次再版，保留了第一版的全部内容，只在某些方面作了一些增补。新增的部分，有的是介绍新的资料，如因地磁暴引起地球北部地域电力系统的异常现象和国外因此而诱发的一次系统大事故；有的是对原有资料的补充，例如大型机组短暂及持续快关汽门的现场试验和实际的可行性；有的是对第一版中未能详细讨论的某些实际问题，如：打开高低压电磁环网运行，按频率降低自动减负荷整定以及电压与无功功率科学管理等；也有的是对原来的论点作进一步的说明和补充。希望这些问题能够得到更多的注意。

仍请沈根才同志审阅全稿，再次表示感谢。

对书中的错误与立论不当之处，恳请读者阅后指正。

在第二版第三次印刷时，增补了介绍与评论有关美国西部大面积停电与北美新的设计标准，讨论超高压变电所主接线与介绍 660MW 机组快关试验报告的内容，由王梅义组织编写。

作者识

1999 年 11 月

# 目 录

序

前言

再版前言

绪论..... 1

第一章 电力系统大停电事故 ..... 10

一、概述 ..... 10

二、我国电力系统稳定破坏事故概况 ..... 11

三、国内电网的几次典型系统事故 ..... 22

四、世界著名的几次大停电事故 ..... 32

五、国外一些系统大停电事故概况 ..... 50

六、对系统大停电事故的总评 ..... 60

参考文献 ..... 64

附录 地磁暴对电力系统的影响 ..... 66

第二章 大机组在电网中的运行 ..... 71

一、概述 ..... 71

二、电网结构与大型机组的机电谐振 ..... 72

三、电网运行问题 ..... 81

四、国际大电网会议工作组对轴系扭应力问题的建议 ..... 98

五、快关汽门 ..... 100

参考文献 ..... 110

第三章 电网结构..... 113

一、概述 ..... 113

二、电网建设 ..... 114

三、打开高低压电磁环网运行 ..... 132

四、下级电压网络的简化与改造 ..... 138

参考文献 ..... 139

第四章 电力系统稳定..... 140

一、概述 ..... 140

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 二、电力系统的同步运行稳定性                                | 141 |
| 三、暂态稳定问题                                      | 146 |
| 四、动态稳定问题                                      | 164 |
| 五、失去稳定后的对策                                    | 169 |
| 六、电力系统的频率稳定性                                  | 172 |
| 七、全停后恢复系统                                     | 186 |
| 参考文献                                          | 189 |
| 附录 越过额定值后的系统频率变化动态过程计算 (考虑系统<br>等价发电机组综合调速特性) | 191 |
| <b>第五章 电力系统短路电流水平配合</b>                       | 195 |
| 一、概述                                          | 195 |
| 二、一些电力系统的短路电流水平及其远景预期值                        | 196 |
| 三、短路电流水平的预测方法                                 | 202 |
| 四、限制短路电流的措施和问题                                | 206 |
| 五、现有变电所的增容改造和新变电所设计的问题                        | 210 |
| 六、对几个外国电力系统短路电流水平配合问题的分析                      | 213 |
| 参考文献                                          | 221 |
| <b>第六章 高压电网运行过电压</b>                          | 223 |
| 一、概述                                          | 223 |
| 二、高压电网的工频过电压                                  | 223 |
| 三、高压电网的谐振过电压                                  | 228 |
| 四、直流输电的过电压                                    | 240 |
| 五、线路重合闸及空载合闸                                  | 244 |
| 六、电网与有关设备的一些关系                                | 252 |
| 参考文献                                          | 255 |
| <b>第七章 无功补偿和电压调节</b>                          | 256 |
| 一、经阻抗传输功率的理论基础                                | 256 |
| 二、无功电源、无功补偿及电压调节设备                            | 260 |
| 三、稳态电压标准与无功功率规划                               | 270 |
| 四、运行系统的电压控制                                   | 278 |
| 五、电力系统电压稳定性                                   | 291 |
| 参考文献                                          | 302 |

**第八章 补遗**..... 304

    一、美国西部电网 1994~1996 年间的三次大面积停电与 1997 年北美电力  
        可靠性协会 (NERC) 的《NERC 设计标准》 ..... 304

    二、超高压变电所的主接线..... 321

    三、沙角 C 厂 2 号机组快关试验 ..... 325

    参考文献..... 335

# 绪 论

现代大电网的设计和运行所涉及的技术内容极为广泛。多年来,随着电网的发展,逐步形成了若干类别的专业,分别从事研究和处理某些同一类性质的技术理论与实践问题。由于科学理论的不断发展和现代化技术不断引入电力工业,有关电网技术的专业划分也愈来愈细;专业工作日益深入,所研究的内容与所涉及的范围也愈来愈局限。而在另一方面,电力系统不断发展,电网日益扩大,电网最高运行电压增高,投入电力系统运行的发电机组容量增大,不但出现了一些新的系统性的电网问题,一些过去没有被强调的问题也突出出来。当前在我国,也已步入了大电网、高电压和大机组的时代,在实际工作中,许多超高压大电网问题的出现和解决,往往同时涉及不同的专业技术领域而具有综合性质。为了使现代化大电网的设计和运行具有更好的经济性和高度可靠性,非常需要各专业间的相互了解和密切配合,以求相互补充,各尽所长,收到事半功倍的效果。对大电网问题有综合全面性的理解,既有助于在处理复杂的实际电网问题时抓住重点,统筹全局,也有助于开展专业技术研究工作时,分清主次,首先注意解决那些影响全网的关键问题。

近代大电网系统性的重大工程技术问题,主要来源于两大方面:

第一,随着高压电网发展,超高压设备,大容量机组,远方大容量电厂以及新技术产品引入电力系统,以及因电网扩大及联系紧密带来的事故影响范围扩大和短路电流水平日趋增长等情况和问题。

第二,来自近代大电网的重大系统事故与设备事故的经验总结。

依照我们的看法,这些具有综合性质的近代大电网系统技术问题,主要包括如下的内容,也是这本书的中心议题。

1) 随着用电需求的不断增加,电力系统的规模也日益扩大。例如在我国,目前已形成了几个容量超过 2000 万 kW 的大区电网。大电力系统具有明显的优越性,例如可以合理开发与利用能源,节省投资与运行费用,增加对用户的供电安全性等等,因而也促进了超高压大电网的形成和发展。但是,大电网也带来了潜在的威胁,即局部电网的某些个别问题,特别是发生短路故障等情况,其影响将波及邻近的广大地域,可能诱发恶性连锁反应,最终酿成大面积停电的重大系统事故。在国外超高压大电网中,从 60 年代开始,这种大面积的停电事故已时有发生,而开始受到广泛注意的是 1965 年 11 月 9 日的美国“东北部停电事故”,即著名的(第一次)纽约停电事故。这次事故从一条 220kV 线路因过负荷继电保护动作断开开始,不过 12min,就造成了 21000MW 用电负荷停电,最长停电时间 13h,停电区域 20 万 km<sup>2</sup>,影响居民人数约 3000 万。从此,避免电力系统发生因恶性连锁反应引起的长时间、大面积停电事故,受到国际上普遍的高度重视,并把它列为衡量和审定电力系统安全性的基本标志。各电力系统也都不断地采取各种有效措施以提高整个电力系统的安全运行水平,并分别制订了“可靠性准则”,作为设计电力系统所需遵循的原则。但由于影响电力系统安全运行的因素极为庞杂,一些偶然性因素的相互叠加总是超出了人们的预测和

实际的可控范围。因而，无论在国外或我国的电网中，不同程度的长时间大面积停电事故仍然不断发生。近年来，国外先后又发生了几次后果严重的电力系统大停电事故，如1977年7月的（第二次）纽约大停电，供电经25h后才全部恢复；1978年12月的法国大停电，甩掉了占全国总负荷75%的28000MW负荷，经约6~8h后才全部恢复；1982年12月的加拿大魁北克全省大停电；1983年12月的瑞典大停电，停了占全国总负荷67%的11400MW负荷，经约6~7h后才全部恢复；1987年8月的东京地区大停电，如此等等。在我国，也发生过一些有严重影响的系统事故，如1972年7月27日湖北电网的事故。了解这些重大系统事故的具体过程和前后情况，无疑对从中汲取有益的经验教训极有帮助。但在国内，这些情况，过去只散见于某些未公开发行的技术资料中。尽可能地根据原始材料，集中地对一些有典型意义的重大系统事故过程和国外国内系统事故的概况扼要地进行叙述，并结合我国情况进行分析，是有价值的。对于这些事件，每一件都有有关部门的经验教训总结。但是，应当说，对这样一些具有广泛综合性质的系统大事故所进行的评论，总是根据不同的历史背景和系统条件以及评论者的立场，见仁见智，各抒己见，各取所需。当事者和局外人的看法不尽相同，不同职业特点和爱好者强调的重点也各不相同，中国人对国外系统事故的评论也可能和外国人自己的评论不完全一样。总之，最好是立足于自己的条件和情况，从中引出认为有益的经验教训。

2) 有国际重大影响的电力设备事故，发生在1970年12月与1971年10月：美国南加州爱迪生公司莫哈维（Mohave）电厂790MW机组连续两次在基本相同的电网运行条件下进行正常操作后，产生了机组大轴的严重损坏。只是在第二次事故之后才引起重视，并认真进行了研究，找到了过去未被引起重视的事故原因，即发电机组轴系机械振荡与电力系统的电振荡，在合适的条件下，通过发电机的磁联系而形成低于工频的次同步谐振，产生极大的轴系应力，造成机组轴的损坏。随之，世界上各大电工制造厂和一些电力系统，纷纷致力于研究电力系统侧的电冲击对发电机组机械应力与轴系疲劳寿命的影响问题，并得到了基本一致的一系列结论。

有鉴于电力系统事故与大容量电力设备，特别是大型发电机组损坏的巨大危害，很自然地要求必须既能保证电力系统的安全运行，又能保证大型电力设备的安全运行。而在高压电网的实际运行中，又不可避免会出现一系列异常情况和冲击，有的直接影响电力系统的安全；而有的又直接影响大型发电机组的安全；有的则使保电力系统安全与保机组安全发生严重的矛盾，而不能两全。因而，协调大型发电机组安全运行与大电网安全运行间的相互适应性，是近代电力系统的一个重大技术政策性问题。从原则上说，处理这一类问题的基本原则是分清主次，权衡轻重，相互支持，各尽其能。具体地，就高压电网对发电机组的影响而论，大致可分为如下几类情况。

第一类情况：电网中出现的这一类情况，它的发生和对发电机组影响的严重程度，往往既非人力所能完全避免，又不能预先或及时进行有效控制，主要的如在机端或在电网上发生短路故障。应付这一类冲击的唯一有效办法，是提高发电机组对冲击的耐受能力，保证在事件发生后机组仍然可以继续安全运行。不言而喻，由于这种事件对机组寿命必然带来损失，在设计与运行机组与电网时，尽可能采取各种必要的措施，避免这些事件的发生，

也是当然的要求。过去已列入国际标准的这一类事件,是额定运行情况下的机端多相短路。而在一些现代机组的设计中,列入制造厂技术规范书中的这一类事件,还包括发电机升压变压器高压母线侧出口发生延时切除的三相短路故障,和允许极少次数在最不利合闸角( $120^\circ$ 及 $180^\circ$ )下,经升压变压器的误并列操作等。

第二类情况:在电力系统中,这一类情况的发生不可避免,但可以适当控制它对发电机组影响的严重程度,例如电网因发生突然的较大有功功率缺额后的短时异常频率运行,三相不平衡负荷,发电机组的误并列操作以及电网操作等。对付这一类事件的主要办法是,通过运行电网采取适当措施,降低对发电机组的冲击(幅值及时间),并与发电机组允许的安全限制值相互协调,以增大电网的运行灵活性与可靠性,同时保证机组的安全。

第三类情况:在电力系统中,这种情况如果发生,可能对发电机组带来极为严重的危害,必须由电网采取措施完全予以防止。最典型的是上面提到的次同步谐振,这一点在国际上的意见是一致的。归属于这一类事件的,还有重合于大型发电机组高压配出线出口附近还未消失的三相短路及两相对地短路故障。到现在,这种重合闸对发电机组可能带来的实际危害,并没有统一的看法。强调者认为,出现一次这样的重合闸可能就足以耗尽发电机组轴的全部疲劳寿命,对靠背轮也会产生极为严重的应力,因而在大型电厂的高压出线端应当禁用一般的三相重合闸方式;或改为延时10s以上的三相重合闸;或改为由系统侧先重合闸,电厂侧在线路来电后检同步再合闸;或改用单相重合闸。而多年普遍采用三相重合闸的某些国外电力系统则认为,只有在连续的不利时间条件组合下,才可能出现如此严重的后果,概率极低,更加之根据多年大范围的运行统计,在电厂出线端附近发生三相故障的概率也极低,根据统计资料,迄今为止还没有发现因采用三相重合闸而出现过损坏发电机组的报道,因而仍继续采用三相重合闸。

第四类情况:在电力系统中出现这一类事件,主要是由于电力系统安全运行的需要。这类事件又可概略地分为两种。一种具有较长时间的暂稳态性质,例如,发电机一定程度的进相运行,汽轮机组失去励磁后短时异步运行等;另一种则属于高压电网的某些安全稳定措施,如发电机组满负荷切机后带厂用电,并在恢复并列后快速带满负荷,发电机组的“快关汽门”以及发电机组带励磁短时间地异步运行等。对待这一类情况,许多电力系统都有自己的习惯做法,有的提出了具体要求,但目前还没有相应的国际标准可以遵循。近年来,一些制造厂为适应电力部门的需要,已经在提供的发电机组技术规范书中明确了某些相应的要求。

我国在有关大机组运行问题的研究与实践中,有的已经做了不少工作,有的则起步较晚。1989年初,首次召开了全国性的“大电网与大型机组技术政策协调”的专家会议,交流了各方的情况和经验,增进了电工制造业者与电力系统工作者间的相互了解。解决机组安全与电网要求间的矛盾,从原则上说,需要解决以下4个问题:①弄清楚在这项特殊情况下的发电机组极限承受能力;②在保证机组安全的前提下,充分利用机组的能力;③电网采取措施,降低这些特殊情况对发电机组的影响;④适当提高发电机组耐受这些特殊情况的能力,以更好适应电网要求。总之,通过协调和共同努力,可以找到较好的折衷办法。应当说,在发挥协调作用方面,我国有更为优越的条件。