

〔日〕 电力系统稳定技术调查委员会



电力系统稳定技术

译者：张耀东

校对：孙光辉

李时彦

编辑：谭国柱



能源部南京自动化研究所

STABILITY TECHNOLOGY OF ELECTRIC POWER SYSTEM

PDG

电力系统稳定技术

[日] 电力系统稳定技术调查委员会

翻译: 张耀东

校对: 孙光辉

李时彦

出版: 1981年

能源部·南京自动化研究所

译 校 说 明

如何保证电力系统安全、稳定运行，一直是我国从事电力系统设计和运行工作技术人员的一个重要课题，为了提供国外这方面的借鉴，我们翻译了这本《电力系统稳定技术》。

本书是日本电力系统稳定技术专门调查委员会在日本国内组织实地调查后整理出的一本资料，文中对日本国内的电力系统稳定技术作了较系统和详细的介绍，通过本书，可以对日本电力系统的发展情况以及系统稳定技术有进一步的了解，相信对我国从事这方面工作的技术人员会有一定参考价值。

本书译自日文杂志《电气学会技术报告》第Ⅱ部238号本，由于文章篇幅较长，译校工作量很大，加之译者水平有限，虽经努力，但错误和疏漏之处难免，敬请读者参考本书时发现问题不吝指正。

另外，本书译出后未征求出版单位意见，因此仅供内部参考。

译者

1990年1月

日本电力系统稳定技术调查委员会成员

- (委員長) 萩原静雄 (北海道電力) (幹事) 伊福部 敦 (北海道電力) (幹事補) 高橋広文 (北海道電力) (委員) 長野吉之助 (東京電力)、栗田 昂 (四国電力)、小林 勇 (中部電力)、小林伴史 (埼玉工大)、小林勇二 (東北電力)、杉原洋一 (関西電力)、芹澤康夫 (横浜国大)、田村康男 (早稲田大)、辻 浩一 (北陸電力)、長尾待士 (電中研)、星野藤一 (中給連)、真栄城朝章 (九州電力)、村田 勇 (電源開発)、山田 勝 (中国電力) (途中退任委員) 小川哲次 (電中研)、久保慎也 (電源開発)、五嶋皓洋 (九州電力)、中垣良則 (東京電力)、長瀬圭介 (中国電力)、室沢賢一 (北陸電力) (参加者) 秋元政俊 (東京電力)、石岡 修 (東北電力)、石川泰男 (東京電力)、内田直之 (電中研)、遠藤 健 (四国電力)、大崎孝弘 (中国電力)、大山 力 (横浜国大)、奥本芳治 (中国電力)、川村仁人 (四国電力)、關能邦広 (電源開発)、公森雅俊 (四国電力)、後藤 健 (東北電力)、小林 篤 (中部電力)、佐伯 真 (中給連)、佐藤博道 (東北電力)、沢田辰男 (東京電力)、下村 剛 (九州電力)、城岸輝昭 (北陸電力)、鈴木教仁 (東京電力)、須藤義也 (中部電力)、染矢昭俊 (九州電力)、竹村秀彦 (中国電力)、塚田英一 (東北電力)、土井至祐 (関西電力)、浜嶋和洋 (関西電力)、坂東松夫 (北陸電力)、東 修司 (関西電力)、藤本 瑞 (四国電力)、松本博之 (中国電力)、溝田康人 (九州電力)、宮崎音一 (中給連)、森重隆則 (中国電力)、山田 攝 (電源開発)、山田哲雄 (中給連)、笠 由幹 (九州電力)、和田大志郎 (四国電力)

目 录

绪言

内容概要	(1)
------	-------

缩略语一览表	(9)
--------	-------

第一章：电力系统的变迁与稳定技术	(11)
------------------	--------

1. 1 电力系统的变迁	(11)
--------------	--------

1. 1. 1 电源的构成	(12)
---------------	--------

1. 1. 2 电力系统	(14)
--------------	--------

1. 2 稳定问题与稳定技术	(15)
----------------	--------

1. 2. 1 电力系统的稳定问题	(16)
-------------------	--------

1. 2. 2 稳定技术	(17)
--------------	--------

1. 3 系统的分析技术和系统特性的确定	(20)
----------------------	--------

1. 3. 1 系统分析技术	(20)
----------------	--------

1. 3. 2 系统特性的确定	(24)
-----------------	--------

第二章：电力系统的稳定性	(29)
--------------	--------

2. 1 有功功率和频率的稳定性	(29)
------------------	--------

2. 1. 1 稳定性与频率变化的概念	(29)
---------------------	--------

2. 1. 2 电源建设和系统构成方面带来的问题	(41)
--------------------------	--------

2. 1. 3 运行方面的制约因素	(46)
-------------------	--------

2. 2 无功功率和电压的稳定性	(56)
------------------	--------

2. 2. 1 正常时的电压稳定性	(57)
-------------------	--------

2. 2. 2 事故时的电压异常	(64)
------------------	--------

第三章：电力系统规划方面的稳定措施	(67)
-------------------	--------

3. 1 系统稳定措施现状	(68)
---------------	--------

3. 1. 1 稳定措施	(68)
--------------	--------

3. 1. 2 维持频率的措施	(85)
-----------------	--------

3. 1. 3 电压稳定性措施	(88)
-----------------	--------

3. 1. 4 设备过负荷的措施	(90)
------------------	--------

3. 2 实施措施的例子	(90)
--------------	--------

3. 2. 1 采用措施状况	(90)
----------------	--------

3. 2. 2 措施效果	(111)
--------------	---------

第四章：电力系统运行方面的稳定措施·····	(128)
4.1 系统稳定措施的状况·····	(128)
4.1.1 防止失步的现状·····	(128)
4.1.2 防止频率异常的措施·····	(138)
4.1.3 防止电压异常的措施·····	(147)
4.1.4 防止设备过负荷的措施·····	(150)
4.2 措施的具体例子·····	(155)
4.2.1 措施应用现状·····	(155)
4.2.2 动作情况·····	(172)
第五章：电力系统稳定分析技术·····	(173)
5.1 电力系统的规划、运行和分析技术·····	(173)
5.1.1 电力系统和分析技术·····	(173)
5.1.2 分析计算的分类及电力系统的规划和运行·····	(173)
5.2 稳定分析方法及其运行上存在的问题·····	(178)
5.2.1 稳定分析方法·····	(178)
5.2.2 分析计算的应用·····	(204)
5.3 分析计算结果与实例间的比较·····	(217)
5.3.1 分析技术与实测间的比较·····	(217)
5.3.2 分析的具体例子·····	(218)
第六章：系统稳定方面新技术的发展和未来展望·····	(229)
6.1 将来电力系统的各种课题及其措施·····	(229)
6.2 系统稳定上的新技术·····	(235)
6.2.1 UHV交流输电·····	(235)
6.2.2 超导发电机·····	(237)
6.2.3 超导能源贮存系统(SMES)·····	(241)
6.2.4 自适应控制方式的VAR、GOV综合控制装置(TAGEC)·····	(248)
6.2.5 应用能量法的系统稳定装置·····	(252)
6.2.6 抽水蓄能机组的AFC·····	(259)
6.2.7 核电的负荷跟踪运行·····	(260)
6.2.8 概率论潮流计算·····	(261)
6.2.9 在线稳定分析·····	(262)
6.2.10 评价稳定性的指标·····	(264)
6.2.11 特征值控制·····	(265)
6.2.12 知识工程学·····	(266)
后记·····	(270)
参考文献·····	(271)

绪 言

为国民经济各部门与人民生活提供价廉、可靠和质量优良的电能，是赋予电业工作者的一项基本职责和任务。就现阶段说，随着社会活动和工业生产的高度发展，提高供电的可靠性和电能的质量也是一个社会性的迫切要求。

但是，近年来由于电源设备趋于大容量，电源地点分布得不合理以及输电设备处于远距离、重负载状态等情况，更进一步加深着电力系统本身的大规模和复杂化程度。

为了在这种状态下进行电力系统的规划和运行以保证供电可靠和电能质量的提高，不得不采用了各种各样的措施。从防止大规模停电看，电力系统的稳定技术起着非常重要作用，因此各有关方面均都投入大量精力，致力于研究这一课题。

本委员会就有关有功功率和频率以及无功功率和电压方面的稳定技术进行了一次整理。在列举出现日本国内各电力公司所面临的课题同时，对当前所采用的各种稳定措施及技术上支持这些措施的系统分析技术作了一次调查。

本资料对上述的电力系统稳定技术的现状存在的问题以及将来发展方面作了系统性归纳。

内 容 概 要

1. 电力系统的变迁与稳定技术

(1) 电力系统的变迁

战后的日本经济经历了复兴至独立这一过程，1955年以后开始了高速度发展，电力的需求量也随之增加，九大电力公司的最大电力生产总值，在1951年以后的35年间约增长了1.7倍，同时发电量约增长了1.2倍。

随着供电负荷量的激增，电源结构也从以水电为主，火电为辅转变成以火电为主，水电为辅，进而近年来逐步增大了核电的比重。此外，电力系统也开始采用了275KV、500KV超高压输电和增加了输电线路的总长度，由此，系统逐步趋于大规模化和复杂化。

(2) 稳定问题与稳定技术

随着发电量的增加，围绕着电力系统有关的社会状况也发生了变化：环境保护方面的原因使之出现了发电厂和输电线路的选址困难；对电能的要求也从确保电量转向要求保证和提高质量。本节对随着电力系统的变迁，稳定问题同时发生的变化作了叙述，在介绍稳定技术研究客观背景的同时，对其变迁过程分别按年代进行了整理。

(3) 系统的分析技术和系统特性的确定

稳定分析技术经历了50年代后半期的交流计算台，60年代后半期引进电子计算机时期，发展到了70年代后半期采用的大规模仿真从而使分析技术达到了能高精度分

析的水平。在电力系统稳定分析中，与分析方法同样重要的还有发电机、控制系统以及负荷的模型，它们的表达方式对分析精度有很大影响。所以，为了适应电力系统的不断扩大，电源结构格局的变化，AVR（自动电压调节器）GOV（调速器）等的控制系统功能的提高，以及用户结构的变化，应该通过不断地实测来确定系统的特性。

2. 电力系统的稳定性

(1) 有功功率和频率的稳定性

(a) 稳定性与频率变化的概念

电力系统受到扰动后，各发电机组能继续保持同步并能稳定运行的状态称为稳定性。以前，稳定性一直是按系统中受到的扰动大小和考虑控制系统动作与否来划分为静态、动态、暂态等几类。但是，近年来大多已采用根据其稳定对象的时间范围来分类为动态、中间状态、静态。

电力系统的稳定性问题中，除了失步现象外，还有由快速励磁引起的弱阻尼现象，低出力区域内的负阻尼现象等等。并且，最近有人又提出存在一种基于系统的非线性的振荡，即所谓的参数谐振。

由大容量电源解列造成的频率异常下降，将会引起电源的连锁解列，由此可能导致大面积停电。所以，在确保正常运行所需的备用容量同时，还需要具有紧急状态下保持频率稳定性的措施。

(b) 电源建设和系统构成方面带来的问题

电源的大容量、电源地点的远距离和布局上的不合理以及带基本负荷的发电厂比例的增大，都给稳定性以及系统运行频率带来了种种影响。而且，电力系统的结构上大体可分成辐射状系统和环网系统，它们在稳定运行方面均各有利弊，特别是在大容量远距离输电系统、抽水蓄能系统、远距离的串联式系统中稳定问题变得更为突出。

(c) 运行方面的制约因素

稳定问题，不仅对电力系统的运行，例如潮流的限制、发电机组的进相运行极限等等有制约，而且对继电保护装置、重合闸装置的应用方面也有影响。

事故时允许的频率变化极限要从维持电网的运行和设备的允许运行极限这两个方面来考虑。在60Hz系统中，为了维持大区范围内的联网频率，要确定电源的允许断容量，以确保瞬动的备用容量和进行潮流的调整。但是，由于带基本负荷的电厂比例的增加，减少了经济性的备用电源，势必需要在负荷减少的深夜通过增加抽水蓄能功率来消耗剩余电能，为此，所采取的防止在电源功率过剩时，抽水电力的断开方面的措施也就相应地增加了运行上的困难。

如果火电厂、核电厂一旦停机，则需要再并网，使其恢复至原来的出力，这将需要很长时间。为了确保恢复时的基本的供电出力，需要维持单独运行系统的稳定性或电厂内机组的单机运行。但是，一个单独运行系统频率的维持能力和电厂内机组的单机运行允许持续的时间方面也是受其它因素制约的。

(2) 无功功率和电压的稳定性

(a) 正常时的电压稳定性

电力系统电压调整的目的在于提高向用户供电的质量和使系统合理地运行。所谓维持电压，就是由负荷引起的无功功率的消耗与来自电力系统中无功电源供给之间保持平衡，如这种平衡不能得到保证时，就会引起电压的异常升高或下降。

本节中对电压的异常下降、升高以及电压不稳定的现象作了介绍，同时为防止电压的不稳定现象，对于SC（电力电容器）的规划和运行方面应注意的事项作了归纳。

(b) 事故时的异常电压

电力系统中所发生的故障，可以通过继电保护装置进行快速切换。但是，这样有时可能破坏无功功率的平衡，或使输电线路出现过负荷等造成电压的升高或下降。并且，当事故发生时，有时也会出现暂态现象或谐振现象引起电压异常。进而在恢复时，特别是由于费拉季（Ferranti）效应和自动磁现象引起电压的异常升高，这些都是值得注意的。

3. 电力系统规划方面的稳定措施

因电力系统的结构、潮流的状态以及事故条件等等存在着第二章中所述的各种问题，阻碍着系统稳定运行，从而有可能引起大规模停电。为了防止上述事故于未然，在增强和改善设备本身功能和特性的同时，需要引进适当的系统控制装置，采用系统规划以及系统运行两方面的综合性稳定措施。

本章对规划设备方面的稳定措施实际应用现状及其应用效果作了归纳。

(1) 稳定措施

减少输电系统中的串联电抗，以提高动态和静态的稳定性，所采取措施如下：

- 多回路化，环网化；
- 多导线化（分裂导线）；
- 采用超高电压；
- 串联电容器；
- 变压器多台接入。

在发电厂侧，为改善发电机组的常数/特性所采用的措施有：增加短路比；降低发电机升压用的变压器阻抗；改进AVR特性等等。

提高动态稳定的措施有：提高维持电压的能力，并且增强对功率振荡、发电机转速变化的自适应控制以提高中期时域上的稳定。这方面采取了如下的一些方法：

- 装设中间调相设备；
- 系统联网；
- 装设快速励磁和PSS；
- 综合最优发电机控制（TAGEC, GPAS）。

此外，还采用快速切除故障使加速能量减少；以及在中间开关站等处控制切除故障后系统电抗的增加等相应的措施以维持系统的稳定性。

另外，通过改善发电机的输入、输出的功率不平衡以提高稳定性方面，有 S D R（制动电阻）、E V A（快关汽门控制）；在大容量远距离的输电或系统之间的联系方面，则有另外措施，并可考虑采用直流输电。

（2） 维持频率的措施

为了防止发电和负荷不平衡引起的频率异常，可以在规划设备时采用如下相应措施：

- 新建电厂时限制单机的容量；
- 输电系统构成时考虑防止过大潮流的产生；
- 适当配置和确保瞬动的备用容量；
- 加强公司之间联网的功能以及维持联网的必要措施。

（3） 电压稳定性措施

防止电压的异常降低和升高措施是以确保无功功率的平衡和改进电力系统的特性而实施的。主要有如下一些：

- 扩大发电机的相位超前和相位滞后运行的容量；
- 分散配置调相设备；
- 输电线多回路化、环状化；
- 采用超高电压；
- 同步电机接入受端系统。

（4） 设备过负荷的措施

为防止电力系统设备因事故而停运等而造成健全设备的过负荷，对输电线路采用了大截面积的导线和分裂导线；对变压器是采取增加变压器绕组的容量或采用多台变压器运行。

4. 电力系统运行方面的稳定措施

第三章中所述的增强设备本身功能的措施，如需要全部在所设想的条件下付诸实施，则大部分要受到设备投资金额，选址环境方面的条件限制。特别对于发生概率少的故障等，还是需要从系统运行方面采取措施，以提高系统稳定性。本章对应电力系统中的 3 种运行状态（正常、紧急、恢复）将控制措施划分为预防控制、紧急控制、恢复控制，并概括了稳定措施的应用现状。

（1） 防止失步的措施

（a） 预防控制

时刻监视潮流、电压相位角等，当超出运行目标值时，通过切换发电机或负荷、切换系统、调整发电出力等措施进行潮流的调整。并且，根据在线信息，通过对预想事故的仿真来检查系统稳定性，进行必要的预防控制。此外，台风、打雷等情况的气象信息在系统运行方面也得到了广泛的应用。

（b） 紧急控制

事故发生后，为了防止发电机的失步，采取切除发电机，对事故系统进行解列控制。

断路器拒动时采用后备措施。另一方面，一旦陷入失步状态时，尽早检测出来，及时进行系统的解列，使系统保持稳定。失步解列系统分为对各个解列点进行检测控制的分散型系统和对分散装置间进行协调控制的综合型系统。

(c) 恢复控制

对于输电线路发生的故障，可通过快速重合闸以提高动态稳定，如果条件不具备，则在10秒~1分钟内对线路无电压期间进行中速重合。

(2) 防止频率异常的措施

(a) 预防控制

对输电线及变压器的潮流设定维持频率的运行目标值，进行与防止失步措施相同的控制。此外，经常监视运行的备用容量，如出现缺额时，就适当增加电源备用容量。

(b) 紧急控制

为了控制事故时的频率变化，事先预测出假设事故时的切机、切负荷的必要容量，在事故发生的同时，控制系统即可据此采取控制。此控制方式分为分散控制、集中控制以及中央控制3种。

此外，频率下降后的恢复控制，将采用调整发电出力；通过频率继电器切断抽水负荷；电力公司之间进行紧急电力支援等进行。若这些控制仍未能控制住频率的异常状态，即采取系统解列防止事故扩大。

(c) 恢复控制

频率异常的恢复中，重要的是要把被切除的发电机组迅速并入系统，以保持发电功率和负荷的平衡。这期间，电厂内单独运行的火电和原子能机组将发挥很大作用。

(3) 防止电压异常的措施

(a) 预防控制

设定运行目标电压。当不能保持运行值时，进行负荷的切换、系统的切换及控制调相设备等等。另外，进行假设故障的仿真，当故障电压的异常与假设的故障相符时，就进行上述同样的控制。

(b) 紧急控制

电源或输电线停运时，为了防止电压的异常降低，进行预测控制；发生功率下降时，通过调度命令或由继电装置对调相设备或抽水机组进行控制。

(c) 恢复控制

恢复时，在控制上要重点注意费拉季效应和发电机的自励磁。由于发生系统解列的故障，为防止输电系统中电压上升则要切除SC（并联电容器），投入ShR（并联电抗器）等等。

(4) 防止设备过负荷的措施

(a) 预防控制

对运行目标值进行监视、控制；通过对假设故障的仿真进行监视、控制。

(b) 紧急控制

当输电线路出现过负荷时，必须考虑到输电线路在数分钟内可达到最高允许温度，为此采用继电保护装置进行解除过负荷的控制。根据变压器绕组的最高温度点来决定变压器的过负荷的极限，据此进行相应的消除过负荷的控制。

(c) 恢复控制

输电线路发生故障后，为了消除健全回路上的过负荷，采用1分钟左右的慢速重合闸。变压器的恢复和被切除设备的重新投入，则应根据调度命令来进行，以防止在恢复负荷时引起其它设备的过负荷。

5. 电力系统稳定分析技术

在第一章中已叙述了关于稳定分析技术的重要性。本章中对广泛应用的各种分析技术作了一次调查，归纳了其方法的概要和运行方面的注意事项，同时，把分析计算的实例和实测数据作了比较。

(1) 电力系统的规划、运行和分析技术

从电力系统的规划直至运行，都广泛应用着电力系统的分析计算，特别是在电压和潮流计算以及稳定计算方面占有很大的比重。在探讨潮流结点等多种情况下的计算时，使用直流法的潮流计算，而包括电压在内进行详细探讨时，则采用牛顿—拉布逊法(Newton-Raphson)或潮流交流法。

稳定计算中，主要是采用牛顿—拉布逊法的潮流计算和郎格—库塔法(Runge-kutta)进行直接仿真。然而，近年来开发了包括控制系统在内的大规模系统的特征值解法来进行静稳定的分析。

(2) 稳定分析方法及其运行上存在的问题

(a) 稳定分析方法

关于稳定性的分类，已在第2章中作过叙述，本节从以下观点出发进行了整理：

- 分析的对象；
- 分析所使用的模型；
- 分析所使用的数学方法。

在构成系统的基本模型方面，对发电机组、励磁系统的调节器以及负荷的表示方法作了概要介绍。

另外，归纳了稳定分析中所采用的数学方法—数值积分、线性微分方程式的稳定分析方法。

并且，对作为分析研究稳定现象的有效手段的系统仿真器也概要作了介绍。

(b) 分析计算的应用

由于近年来计算机性能的提高，已能对较大规模的系统进行分析。但是，如果包括各公司之间的联网即所有系统都如实模拟，则仍受着计算时间方面的限制。所以，在对分析精度影响最小的范围内，可进行简化系统的分析计算。

另外，在分析中所使用的的数据精度对其分析结果将有很大影响。所以，分析所使用

的数据的收集, 以及对其验证都需要给予充分重视。本节归纳了稳定计算所需要的发电机、电力输送设备、负荷的数据处理方法以及为提高精度而在实际系统中测量的结果。

电力系统规划、运行中, 由于对分析计算的依赖性越来越大, 分析计算的应用将存在如下问题:

- 输入数据需要化费很大的精力;
- 需要仿真系统稳定装置等系统控制设备;
- 进行长过程的分析时, 受到计算时间上的许多限制。

所以, 从提高系统规划、运行业务的效率方面出发, 迫切期望如下技术以使分析计算自动化和快速化。

- 对话方式的数据输入、修改;
- 自动编制供需平衡;
- 电压、潮流的自动收敛;
- 稳定判别的自动化;
- 在软件和硬件方面研制在线计算的方式。

(c) 分析技术与实测间的比较

为了提高分析精度, 把系统事故或系统试验取得的实际系统现象与分析计算的结果进行对比是很重要的。本节例举了大规模系统中的对比例子以及静稳定分析方法之一的S法, 以便有效地求取衰减差的特征值, 并与仿真进行对比的示例。

6. 系统稳定方面新技术的发展和未来展望

日本经济转向稳定发展期以后, 预计总能量的消耗也会出现低速度增长的趋势, 但是从电能的方便性这方面来看, 预计今后仍会有较高的增长率, 这样必然使电力系统越来越向大规模和复杂化方向发展, 从而妨害稳定的潜在因素将更加突出。

本章归纳了目前所开发研究的新技术概要以及在电力系统稳定方面的应用情况。

(1) 将来电力系统的各种课题及其措施

根据中央电力研究所的报告, 预计今后电源建设的主体是核电, 这样就需考虑电源地点的远距离和集中所带来的稳定性下降趋势将更加严重。对此应考虑采用以下几种相应措施:

- 电力系统稳定装置(SVC、EVA、TAGEC、SMES、抽水机组的切断等等);
- 直流(DC)联网;
- 超导发电机;
- 在线安全检测。

同时, 随着负荷规模的扩大, 输电线路、变电所数量也随之相应增加, 系统趋于向大规模、复杂化方向发展。另外, 也可以预见到中、小型容量的核能电厂、火电厂以及小型发电机组等电源将分散建在负荷地区。这样, 由于短路容量增大, 在低压系统中也将明显出现超过遮断容量的情况, 如进一步对系统结构采取过细划分的措施, 则更加降

低了系统运行的可靠性。在电压方面，由于可能存在电压本身不稳定现象以及因空调负荷的增加而降低了功率因素和由电缆系统扩展而增大了充电电流，因而使电压的下降或升高成为问题。对此所采取的相应措施是考虑在500KV系统上配置大容量的断路器或电压稳定装置。

估计今后核电的比例还将增加，夜间负荷较少的这段时间前后，采用核电进行负荷跟踪运行的必要性将越来越突出。并且，在大容量的火电厂方面，为了降低最低负荷极限，发电机组的每日起动、停机也势在必行，与此同时夜间的抽水电能也逐步增大起来。所以，核电的负荷跟踪（每日负荷跟踪、AFC、调速器的自由运行方式）以及抽水AFC也将作为稳定措施加以考虑。

（2）系统稳定上的新技术

在逐步实现上述各项措施的基础上，期望将来能在如下新技术方面得到应用：

- 超高压输电（UHV）；
- 超导发电机；
- 超导能量贮存系统；
- 自适应型AVR·GOV综合控制装置；
- 具有能量法功能的系统稳定装置；
- 抽水电厂的AFC；
- 核电负荷跟踪运行；
- 概率论潮流计算；
- 在线稳定分析；
- 稳定性评价方法；
- 特征值控制；
- 人工智能。

等等。本节对上述技术的研究概况，发展趋向作了介绍。

缩略语一览表

本报告中所使用的主要缩略语归纳如下:

ASMARC,	Automatic Stability Margin Controller, 稳定裕度自动控制装置(关西)
AVR,	Automatic Voltage Regulator, 自动电压调节器
BSPC,	Block System Emergency Preventive Controller, 区域系统防止事故扩大的控制装置(东北)
BSS,	Block System Stabilizer, 区域系统稳定装置(关西)
BWR,	Boiling Water Reactor, 沸水反应堆
ECS,	Emergency Control System, 紧急系统控制装置(四国)
EDC,	Economic Dispatching Control 经济调度控制
ELD,	Economic Load Dispatch, 经济负荷调度(含义基本同上)
ELL,	Emergency Line Load Limiter, 紧急潮流控制装置(四国)
EPC,	Emergency Power Controller, 紧急功率控制装置(中部)
EVA,	Early Valve Actuation 汽机阀门快关装置
FC,	Frequency Converter Station, 频率变换站
GPAS,	Generation Plant Advanced Stabilizer, 自适应发电机稳定装置(四国)
LBC,	Load Balance Controller, 负荷平衡控制装置
LFC,	Load Frequency Control, 负荷频率控制
AFC,	Automatic Frequency Control, 自动频率控制(含义基本同上)
LSC,	Local System Stabilizing Controller, 本地系统稳定装置(中部)
MFT,	Master Fuel Trip, 切断主燃料

OL(R),	Over Load (Relay), 过负荷保护(继电装置)
PLC,	Pump Load Cut, 抽水负荷切除装置(中部)
PSC,	Power Swing Preventive Control, 功率摇摆控制(北陆)
PSS,	Power System Stabilizer, 电力系统稳定器
PWR,	Pressurized Water Reactor, 压水反应堆
SC,	Shunt Capacitor, 并联电容器
SCS,	Security Control System, 紧急系统控制装置(四国)
SDR,	Stabilizing Dumping Resister, 制动电阻
ShR,	Shunt Reactor, 并联电抗器
SMES,	Superconducting Magnetic Energy Storage, 超导能量贮存
SPC,	System Emergency Preventive Controller, 防止事故扩大装置(东北)
SrC,	Series Capacitor 串联电容器
SSC,	System Stabilizing Controller, 系统稳定控制装置(中部、北陆、中国、九州、电源开发公司)
SVC,	Static Var Compensator, 静止无功补偿器
SVG,	Static Var Generator, 静态无功发生器
TAGEC,	Total Automatic Generator Control, 自适应AVR、GOV综合控制装置(关西)
TSC,	Transient Stability Controller, 暂态稳定控制装置(中部)
TTH,	Trip To House Load 厂用电跳闸
UFR,	Under Frequency Relay, 低频继电器
UHV,	Ultra High Voltage, 超高压(一般1000~1500KV级)
VQC,	Voltage and Reactive Power(Q) Control 电压和无功功率控制

第一章 电力系统的变迁与稳定技术

1.1 电力系统的变迁

战后日本的经济经历了复兴至独立的过程，到50年代后半期达到了史无前例的高速发展。从电力需求来看这一时期的发展，如图1.1所示，9大电力公司的最大发电功率，在1951年仅6,359MW，但到1984年达到了106,746MW，35年间大约增长了17倍。同时九大电力公司的总发电量如图1.2所示，1951年只有392.37亿KWh至1984年达到了4803.54亿KWh，大约增长了12倍。

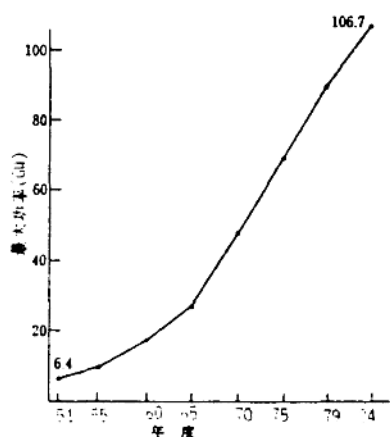


图1.1 每年最大发电功率
(九大电力公司合计值)

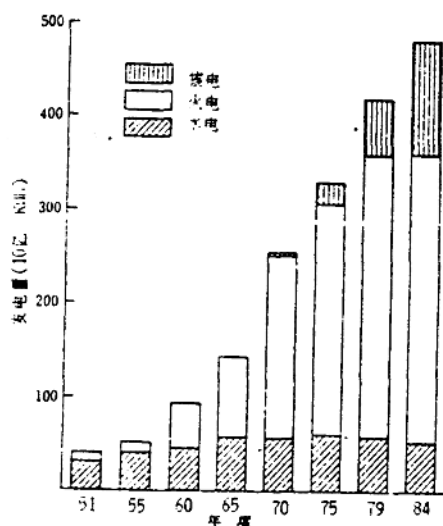


图1.2 按电厂分类的总发电量
(九大电力公司合计值)

随着电力负荷量的激增，电力系统也在逐步扩大。在电源的构成方面，1951年水电发电量占总发电量的32%，但由于负荷的迅速增长仅靠水电已不能适应需要，火电逐渐占据了主导地位。尤其是1973年的石油危机以后，六十年代后半期发展起来的核电厂开始迅速增加。84年度水电、火电、核电厂的发电量所占比例分别达到了11%、63%、26%。

另一方面，输电设备的发展也如图1.3所示，1951年超过187KV的输电线路总长只有321KM，可是至1984年已达到了14785km，其中500KV输电线路为3062Km。

这期间，社会环境也发生了变化，这对电力系统的构成影响很大。石油危机以后，石油价格猛涨，为了确保稳定供电，要求不拘一格，力求多样化，因而逐步发展了原子能、煤、LNG（液化天然气）等后备电源。与此同时也出现了因公害、环境问题造成了电厂选址困难，使新增加的发电厂远离负荷中心，新建的输电线路的路径也发生困难

等等现象。

此外，由于在一次能量中电能所占比例有所增加，进一步提高了对电能的依赖程度，一旦停电就将造成巨大的社会影响。并且，由于计算机的普及应用，即使瞬时的电压下降都能波及影响到生产，所以对供电的要求已经从数量发展到了对质量提出更高的要求，同时所需求的电能质量也开始趋于多样化和复杂化。

这样，电力系统随着经济、社会的进步不断发展；而为安全供电的稳定技术也是为适应于社会、经济的要求和需要应运而生的产物。

所以，论述稳定技术的发展，必须了解随时代变迁过来的电源结构、电力系统之间的连系，而

分析技术的进步对稳定技术的开发应用起着重大作用。本章从这些方面着手，对稳定技术的进展作一论述。

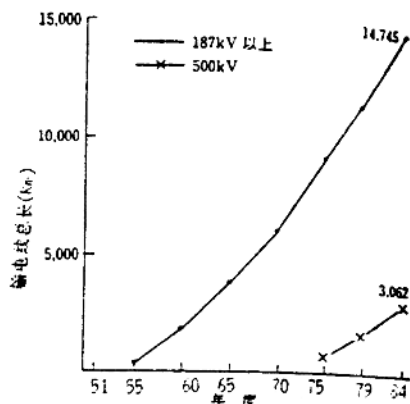


图1.3 每年发展的输电线总距离
(九大电力公司合计)

1.1.1 电源的构成

电源构成的变迁可分为六十年代前半期及以前，六十年代后半期至七十年代前半期，七十年代后半期至八十年代前半期几个阶段。

- (i) 水电为主、火电为辅的时代；
- (ii) 火电为主、水电为辅的时代；
- (iii) 核电厂的建设与发展。

(1) 水电为主、火电为辅的时代

二次世界大战至五十年代中期，水电厂是电力供应的主力。但是，当时的水电厂几乎都是以河川年间枯水期的水流量作为使用量进行开发，这些自流式发电厂不具备调节能力。为此根据负荷变化由小容量的火电厂进行调节发电。

第二次大战后，1951年形成了现在的九大电力公司体制，从此伴随着经济的恢复迎来了空前规模的电源建设高潮。在各地，以蓄水式、调节式水库为轴心，建设了许多座发电厂，在增加水力发电的负荷调节能力的同时，供电能力也逐步趋于稳定。

在此背景下，水电厂的工程建设过程中开始应用了大型土木机械，诸如佐久间、黑部川第四等大规模蓄水水库式水力发电厂在工期短、经济效益高的情况下相继竣工，土木工程技术也不断提高。

至1962年，水电、火电设备的比重出现逆转之前，水力发电厂承担着增加发电量的主导作用。由于这些水电厂主要是建在远离负荷地区的山谷地带，因此相应建设了输送这些电能的超高压、远距离的输电线路。

1962年后水电和火电比重出现逆转，水电厂作为调峰负荷电源，配合大容量火

.12.