

TN712
447

电力系统稳定性问题与对策

[日] 电力系统稳定性专门委员会

蒋建民 译

水利电力出版社

内 容 简 介

本书深入地分析了大功率远距离输电系统、抽水蓄能系统、环状电网和串联状电网的各种稳定性问题，用大量系统试验验证了各种稳定性分析方法的精确性、负荷特性对电力系统稳定性的影响和各种稳定措施（串联电容器补偿、制动电阻、快速励磁控制、快关汽门、快速切除故障和中间调相设备等）的实际应用效果。书中给出的大量试验数据对从事电力工业的科研、教学、设计和运行的人员均有很大参考价值。

電力システムの安定度 系統安定化専門委員会

电力系统稳定性问题与对策

〔日〕电力系统稳定性专门委员会

蒋建民 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

北京市地质矿产局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 21.5印张 477千字
1994年12月第一版 1994年12月北京第一次印刷

印数 0001—2100册

ISBN 7-120-02301-2/TM·582

定价 21.60元

本书由关根泰次授权在中国大陆出版发行
中华人民共和国国家版权局著作权合同登记号
图字：01—1995—572号

译者的话

10多年前译者在日本京都大学访问时就看到了这份研究报告,读后感到内容十分丰富。报告中用大量的现场试验结果验证了日本常用的电力系统稳定性分析方法的精确性,分析了负荷特性对电力系统稳定性的影响,并用了很大篇幅分析、对比了各种稳定措施(串联电容器补偿、制动电阻、快速励磁控制、快关汽门、快速切除故障和中间调相设备等)用在不同结构的电网中的实际效果。这份研究报告已成为指导当前和今后日本电力工业和电力设备制造业在发展电力系统稳定技术方面的重要基础。译者深信其中的许多结论对我国读者也有重要参考价值。

这份研究报告的原名为“電力系統の安定度”,译者根据研究报告中的内容将中文版书名改为“电力系统稳定性问题与对策”。

这份研究报告和关根泰次教授的专著“電力系統過渡解析論”(中译本“电力系统暂态解析论”由蒋建民、金基聖、王仁洲合译,1989年机械工业出版社出版)是当前在日本电力工业界和电工学界有重要影响的两本书。译者热切地希望这两本书的出版能对我国电力系统稳定性理论的研究与实际应用有所裨益。

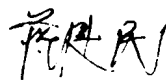
关根泰次教授对本书的出版给予了热情的帮助,他代表电气协同研究会同意无偿地把这份内部研究报告在中国公开出版发行,并为本书写了序言。

日本关西大学林重雄教授送给译者一份十分清晰的这份研究报告的复印件,使得翻译工作得以顺利地进行。

还应当特别指出,在本书的出版过程中,沈根才先生给予了大力的支持与鼓励,并校阅了部分章节的内容。沈根才先生多年前就鼓励我把这份研究报告翻译出来,供国内读者参考。1989年前我忙于“电力系统暂态解析论”的翻译与出版工作,之后又由于日常工作较忙,故迟迟没能动手。

另外,石柱秋同志校阅了全书的图表。

对以上诸位同志的热情帮助,译者深表谢意。



一九九四年六月十二日

中文版序言

电力系统稳定性问题是一个古老而又新颖的问题。随着电力系统规模和复杂性的增加，不但稳定现象的本身在改变着其表现形式，就是在电力系统规划和运行的日常业务中，当用计算机进行分析和控制的时候，所用的具体方法也是每年都在变化的。

在这样的背景下，日本各电力公司和各电力设备制造厂家共同努力，并在有学识、有经验的人士的支援下，对此问题进行了总结、研究。其结果如本书前言中所记述的那样，书中的内容即便在现在仍然是日本电力系统稳定性技术的基础。

这次在蒋建民先生的努力下把本书译成中文，若能对中国电力系统今后的发展有所帮助的话，作为电力系统稳定性委员会的委员长、这方面工作的组织者和举办这个委员会的电气协同研究会的理事长，我实在是非常高兴的。我殷切地祝愿此书能长时间地受到中国读者的喜爱。

関根泰次 (东京大学)
名誉教授

一九九四年六月五日

前 言

随着电力系统的扩大，输电线的负荷越来越接近其所能输送的最大容量。近来，无论是在系统的规划方面，还是在系统的运行方面，电力系统的稳定性已成为很大的问题。这个问题从交流系统的发展初期开始就是许多人反复进行研究的课题，但是，由于电力系统的结构日益复杂，与以往相比装有快速控制系统的发电机台数在飞速增加，以及为了更有效地利用输电系统，希望输送的负荷逐渐接近其极限能力，因此近来电力系统稳定性问题比以往具有更重要的意义。事实上，不管从哪个方面来看，日本的电力系统都面临着与稳定性相关联的难题。

大致可从如下三方面来研究电力系统稳定问题：其一是对于结构复杂的多机系统要开发出高效的正确的稳定分析方法；其二是要搞清楚现在和将来日本电力系统所面临的各种稳定性问题；其三是针对这些问题找出有效的对策。

为了找出上述三方面问题的符合实际且有效的解答，受中央电力协议会和日本电机工业会之委托，在电气协同研究会内设立了系统稳定专门委员会，下设解析方法工作组、系统工作组和对策工作组，分别针对上述三方面的问题进行工作。另外，在系统工作组和对策工作组各自己取得成果的基础上，为了找到将来改善日本电力系统稳定性的具体方法，把这两个工作组合并成立了系统·对策工作组，继续开展工作。他们的工作成果记述在下面各篇章中，在此简介如下。

在第一篇中研究下列问题：

(1) 对于用直接法模拟具有500台机组的电力系统的效果进行了探讨，同时要考虑这个系统中的控制系统和负荷的特性。另外，还研究了所使用的模型系统及其他诸多因素对稳定性的影响程度。

(2) 为了研究直接法的功能，分别在中西部地区60Hz系统中的美浜核电厂（826MW机组）和东部地区50Hz系统中的袖浦火电厂（1000MW机组）利用调速器试验的机会，实测了波及全系统的摇摆状况，并与计算结果做了对比，结果表明直接法完全可以用来分析实际的电力系统。

(3) 开发了静态稳定解析方法（频率响应法），该方法对于受到微小扰动后的发电机、控制系统及负荷的特性作了详细地表达。与在实际系统测得的试验结果以及直接法进行了计算比较，检查了其实用性并搞清了各种计算方法的特点。

在第二篇中探讨了下列问题：

(1) 搞清了日本各电力系统从过去到将来稳定方面的问题。

(2) 调查了日本各电力公司在系统中采取的稳定对策。

(3) 即使将来在日本的电力系统中发生稳定性问题，对其可能出现的形式和对策也作了研究。

在第三篇中从现实的角度对设想的各种提高稳定性的措施作了如下研究：

(1) 明确了各种措施的优缺点和使用上要注意的问题。

(2) 明确了各种措施在制造方面存在的问题、受到的限制和应进行的开发工作。

本委员会所取得的成绩是日本的电力行业、电机制造厂、大学、研究所等单位的专家共同努力之结果，不仅明确了今后了解日本电力系统稳定问题的基本考虑方法，还指出了具体对策，相信在今后的长时期内将对日本电力系统的规划、运行工作做出重大贡献。另外，还确信这里所取得的成果不仅在日本而且在其他国家也是值得夸耀的。

本委员会在工作过程中必须进行大规模的计算，其规模之大是同类委员会通常所不曾遇到过的，有关各方耗费了大量的劳力、时间和经费。其间得到了委员会内外的共同协助和热情支持，在此深表谢意，并殷切希望本成果能得到有关各方的广泛使用。

目 录

中文版序言	
序言	
译者的话	
前言	

第一篇 稳定性分析方法

第一章 同步不稳定现象的分类与分析方面的主要问题	1
第一节 同步不稳定现象与系统干扰	1
第二节 影响各时域不稳定现象的诸要素	2
第三节 分析方面的主要问题	3
第二章 稳定性分析方法的现状与问题	4
第一节 分析方法的分类与比较	4
第二节 实际系统试验结果与计算结果的比较以及二者不一致的主要原因	7
第三节 要求的计算功能	22
第三章 稳定性的分析方法	25
第一节 模型	25
第二节 电力系统的等值分析模型	30
第三节 稳定性的分析方法	36
第四节 直接法的计算误差	43
附录1-1 派克基本方程式和发电机模型	46
第四章 微小扰动下的稳定性	52
第一节 概要	52
第二节 分析的系统和实测结果	53
第三节 被分析的系统几种工况	54
第四节 分析结果与实测的对比	57
第五节 各种因素对计算结果的影响	58
第六节 注意事项	68
附录1-2 用于微小扰动下稳定性分析的诸参数	69
第五章 中间时域稳定性之灵敏度分析	82
第一节 基本模型的设定	82
第二节 系统等值效果	86
第三节 负荷特性的影响	105
第四节 控制系统的效果	108
第五节 发电机的表示方法	110
附录1-3 用于中间时域稳定性的灵敏度分析的控制系统的方块图	111

第六章	中间时域稳定性的实测结果与分析结果的对比	112
第一节	实测试验的概要情况	112
第二节	袖浦火电厂 3 号机调速器的 2/4 试验	112
第三节	美浜电厂 3 号机调速器 3/4 试验	123
第四节	对比结果之分析	144
第七章	稳定性分析的准则和建议	146
第一节	稳定性分析的基本考虑方法	146
第二节	稳定性分析方法必须具备的条件	146
第三节	暂态时域的稳定性分析	146
第四节	中间时域的稳定性分析	147
第五节	静态时域的稳定性分析	148
第六节	计算结果的评价	149
第七节	今后稳定性分析之课题	150
第二篇 电力系统稳定性问题与对策		
第一章	前言	151
第二章	各电力系统采用的提高稳定性的对策和稳定方面的问题	152
第一节	各电力公司在稳定性方面所考虑的故障条件	153
第二节	在系统侧采取的提高稳定性的措施	156
第三节	各电力系统在稳定方面所面临的问题	156
第三章	预计可能产生稳定性问题的系统和根据模型系统所做的研究	165
第四章	大容量远距离输电系统	166
第一节	大容量远距离输电系统所存在的若干本质性问题	166
第二节	模型系统的构成和研究的目的	166
第三节	应当采取的的稳定对策及其效果	167
第四节	情况变化之研讨	175
第五节	结论	178
附录 2-1	研究情况的初始条件	186
第五章	抽水蓄能系统	188
第一节	抽水蓄能系统存在的本质性问题	188
第二节	模型系统的构成及研究的目的	188
第三节	应当采取的的稳定对策及其效果	189
第四节	结论	194
第六章	远距离串联连接系统	196
第一节	远距离串联连接系统存在的本质性问题	196
第二节	模型系统的构成及研究的目的	196
第三节	应当采用的的稳定措施及其效果	200
第四节	结论	205
第七章	环状系统	208
第一节	环状系统的本质性问题	208
第二节	模型系统的构成和研究的目的	208
第三节	环状系统稳定性的研究	209

第四节	环状系统的稳定对策及其效果	214
第五节	结论	227
附录2-2	计算中使用的发电机参数和控制系统方块图	228

第三篇 提高系统稳定性的对策

第一章	前言	233
第二章	调查结果概要	234
第一节	提高稳定性的原理和目的	234
第二节	各种稳定措施的优点、注意事项和开发状况	234
第三节	提高暂态稳定性效果的比较	236
第四节	经济性比较	241
第三章	提高稳定性的对策	243
第一节	串联电容器方式	243
第二节	制动电阻方式	260
第三节	快速励磁控制方式	277
第四节	快速汽门控制方式	298
第五节	快速遮断方式	308
第六节	中间调相设备方式	315

第一篇 稳定性分析方法

分析方法工作组

第一章 同步不稳定现象的分类与分析方面的主要问题

第一节 同步不稳定现象与系统干扰

在电力系统中有若干台发电机同步运转的情况下，一旦系统受到了某种干扰，同步运转便瞬间的或永久的受到干扰，电力系统便不可能稳定运行。

如后面所述，引起这种同步不稳定现象的原因是多种多样的，一旦产生摇摆，系统或者是再次恢复到稳定状态，或者是摇摆的幅度随时间逐渐增加，最终失去同步稳定。

以往在论述各个时间域的不稳定现象时，根据是否考虑控制系统的影响而分成固有静态、动的静态、固有暂态、动的暂态几种情况。

但是，在现代电力系统中若不考虑控制系统的影响，便不能研究稳定问题，所以下面分作三个时间域来进行研究是方便的且切合实际的。

1. 暂态时域

这是在系统受到扰动后到发电机转子的相位角第一摇摆周期（或者最长可为2~3个周期）的时域，通常为1s（或者2~3s）左右的时间范围。普通的电力系统在这个时间范围内产生同步不稳定的典型情况，诸如在输电线上发生短路接地等严重事故后主保护动作，或者主保护失败而由后备保护切除故障。重合闸失败而引起的摇摆也是这个时域中的一大问题。

这个时域的同步不稳定现象的一个特点是，与其他时域的摇摆相比，转子相位角和电功率的摇摆幅度很大，另外，还受到发电机内部暂态现象的很大影响。与此相反，励磁调节器AVR（快速励磁方式除外）、调速器GOV的响应特性并没有多大的影响。

2. 中间时域

这个时域紧接暂态时域之后，是发生扰动后电功率摇摆几个周期到十几个周期的这一段期间，时间在2~3s到十多秒的范围内。这个时域同步不稳定现象的主要问题是：①在暂态时域中发生的摇摆现象没有充分地衰减，有时摇摆会增幅。②随着输电线的投切、发电机或负荷的断开，或者说伴随着输电线的故障产生了中等规模的扰动，往往会因此而发生不稳定现象。

由于扰动幅值比较大，所以这个时域同步不稳定现象的特征是工作范围进入了系统各部分的非线性区域以及引起了非线性振荡这样的复杂摇摆现象。因此，不论是系统中存在着固有的不稳定模式，还是系统的固有振荡模式具有衰减的性质，但由于附加了非线性的

影响便发展为持续振荡，因场合不同也有可能变为发散状态。这样，在这个时域中必须注意以下几点：①发电机、励磁调节器AVR、调速器GOV的响应特性具有重要影响。②负荷的电压特性及频率特性具有很大的影响。③摇摆的幅度不是象在暂态范围那样，而会因情况不同可能变得很大，故必须考虑控制系统的非线性。④经过十多秒这样长的期间，摇摆的幅度有可能慢慢地增加，仅观测短期间内电功率和转子相位角的摇摆情况不易判别稳定或者不稳定。扼要地说，除发电机内部摇摆初期的暂态现象之外，由于与系统同步不稳定现象相关联的一切因素都有影响，所以系统内发电机台数越增加，这个期间的同步不稳定现象越重要。

3. 静态时域

这是比中间时域更长的时域，也就是要研究从故障后十多秒到无限大的时域内的同步不稳定现象。

这个时域不稳定的特征由系统潜在的固有振荡模式来决定，稳定与否和扰动大小无关。这个振荡模式和输电线两端发电机的同步力矩、发电机的惯性、AVR以及GOV的响应特性有关。在暂态时域中对摇摆的第一周波起抑制作用的快速励磁系统在这个时域中有时反而使摇摆增幅。

这样，因为在静态时域中同步不稳定现象的起因主要是系统固有的发散或者振荡的模式，所以系统元件的非线性不应当成为什么问题。但是，实际上当出现振荡或发散模式时，电功率和转子相位角的振幅将大于某一数值，从而进入了各种系统元件的非线性区，振幅被限制在一定数值上，或者这两种模式的振荡有可能引起其他种类的非线性振荡。因此，静态时域的稳定性要同时考虑控制系统的非线性及发电机的饱和等因素。

第二节 影响各时域不稳定现象的诸要素

如第一节概要说明的那样，在暂态、中间、静态三个时域内影响同步稳定性的主要因素及影响的程度是不相同的。在这三个时域内影响稳定的主要因素列在表1-1-1中。

表 1-1-1 在暂态、中间、静态时域内影响稳定的各主要因素

主要因素		暂态	中间	静态
负 荷	电压特性	◎	◎	○
	频率特性	○	◎	○
	动特性	×	○	△
	局部地区频率特性	×	○	△
变 压 器	饱和特性	×	×	×
输 电 线	用纯电抗表示	×	×	△
	正序阻抗	◎	◎	◎
	负序、零序阻抗	△	×	×
	频率变化	×	×	×

续表

主要因素		暂态	中间	静态
发电机	发电机参数、惯性 ^②	⊙	⊙	⊙
	AVR(励磁系统)	○	⊙	⊙
	阻尼绕组	○	○	○
	电枢暂态现象	△	△	△
原动机	GOV	○ ^①	⊙	△

⊙: 必须考虑的因素; ○: 根据场合不同, 有时必须考虑的因素; ×: 不必要考虑的因素; △: 特别情况下要考虑的因素。

① 由后备保护切除故障, 而延长了故障时间的情况下, 有时也必须重视这些因素。

② 因目的和所要求的精度不同, 发电机的表示方法有很大区别。

第三节 分析方面的主要问题

1. 暂态时域

对上述各主要因素进行分析时, 主要问题是把许多台发电机等值成适当台数的发电机, 以简化系统。如此问题得以解决, 在分析上便不会有困难, 计算精度也足够用。

2. 中间时域

在此时域内由于存在下面三个方面的问题, 要得到正确的分析结果是非常困难的, 必须充分研究系统等值的方法: ① 不仅应当考虑的主要因素很多, 而且还必须考虑控制系统的非线性特性以及发电机的饱和特性等因素。② 要研究的时间很长。③ 当有许多台发电机时, 要正确地掌握机组和控制系统的参数是困难的。

3. 静态时域

这个时域的分析工作几乎与中间时域同样困难。特别重要的是要正确地掌握机组及控制系统的参数。但是, 这个时域中需要特别注意的是系统固有的不稳定模式, 并且它随机组与控制系统的工作点的不同而有很大的变化, 必须正确地了解所研究系统的工作点。特别是在具有不稳定模式的情况下, 原则上说有时很难唯一地确定潮流状态。

以上各时域中分析方面的具体问题将在后面各章中详述。

第二章 稳定性分析方法的 现状与问题

第一节 分析方法的分类与比较

为了掌握日本国内外稳定性分析方法的开发及使用情况,本工作组对日本国内各电力公司及厂家所使用的分析方法的实际状况进行了调查。

分别就静态、暂态、中间时域的稳定性计算中对计算结果的精度有很大影响的下列各主要因素进行了调查。

- (1) 发电机的表示方法。
- (2) 发电机控制系统的表示方法。
- (3) 电力系统表示方法与负荷特性。
- (4) 程序规模。

一、静态时域稳定性分析方法

大体上静态时域稳定性分析方法可分为以下二类:

1. 间接法

此种方法就是在工作点把电气量方程式和发电机运动方程式线性化,再用各种稳定判据来判断稳定性,现在使用的有下列方法。

- (1) $dP/d\theta$ 法。根据电功率方程式的同步系数的符号来判别稳定性。
- (2) ρ 法。用特征方程式的根的实部符号来判别稳定性。
- (3) 特征值法。求出特征方程式的特征值以判别稳定性。

2. 直接法

把电力系统的微分方程式表示成一定的形式后,在加上微小扰动(分接头改动、断开线路、负荷变化等)的状态下解这些微分方程式,再来判别摇摆是发散的还是收敛的。根据微分方程式的解法不同又有以下两种方法。

- (1) 转移矩阵法:用转移矩阵解电力系统的基本方程式。
- (2) 龙格库达法:用龙格库达法解电力系统基本方程式。

从这些判别方法的使用过程来看,其分类及分析的过程如图1-2-1所示。日本所使用的静态时域稳定性分析方法的程序功能状况如表1-2-1所示。分析方法的主要倾向可归纳如下:

- (1) 发电机的表示方法:多数电力公司用同步电抗 X_d 、 X_q 来表示发电机的阻抗,并忽略控制系统的作用。
- (2) 电力系统的表示方法:几乎都是用正序导纳矩阵来表示。
- (3) 程序规模:多数是:发电机50台、节点150个、支路200条的系统可以求解。
- (4) 稳定判别法:这方面涉及的问题比较复杂,不过在间接法中用 ρ 法的电力公司较多。

表 1-2-1

以往静态时域中所使用的稳定性分析方法

	表示方法			分析规模			判别法	备注
	发电机	控制系统	电力系统	发电机数	节点数	支路数		
潮流法	X_d	无	正序导纳矩阵	25~100	50~200	80~250	dP/d δ 法	
	X_d	无	交流计算台	40 18	110 —	150 —	克拉克法 克拉克法	
特性式法	X_d	无	正序导纳矩阵	40~50 25~50 25~100	110 80~150 50~200	130~150 70~200 80~250	瓦古那法 ρ 法 特征值法	负荷特性 有时用 $P \propto V^n$ 模型
	X'_d (X_d, X_q, T'_{d0})	考虑		单机-无穷大系统			劳斯佛鲁比茨法	
转移矩阵法	X_d	无	正序导纳矩阵	100	150	200	观察 δ	
直接法	X'_d	无	正序导纳矩阵	30	100	150	观察 P, δ	
	X''_d	考虑	相阻抗矩阵	50	100~150	200	观察 P, δ	

另外, 在一些电力公司是用暂态稳定程序以直接法来计算考虑发电机控制系统作用后的静态稳定。

二、暂态时域稳定性分析方法

与静态时域的稳定性不同, 现在几乎都是用直接法来分析暂态时域的稳定性, 也正在研究使用间接法(例如能量函数法)分析暂态稳定。这是因为考虑到在暂态稳定的分析范围内要计及电力系统与发电机的非线性, 而目前还没有精度高的间接判别方法。

表1-2-2中概括了日本所使用的暂态稳定性分析方法的现状。从表中可以了解到发电机的表示方法是个核心问题, 可分为下面两大类。

表 1-2-2

以往所使用的暂态时域与中间时域的稳定性分析方法

	表示方法				分析规模			数值解法	说明
	发电机	AVR	GOV	输电系统	发电机	节点	支路		
X'_d 法	E'_d 恒定 X'_d	无	无	正序导纳矩阵	40~100	50~200	130~250	龙格-库达法	多数情况下能考虑负荷的电压特性与频率特性。也能考虑感应电机的特性
	E'_d 恒定 X_d, X_q, X'_d, T'_{d0}	1~14阶 (有PSS)	1~9阶	正序导纳矩阵	30~100	50~250	70~600		
X''_d 法	E''_d X_d, X_q, X'_d, T'_{d0} $X''_d, X''_q, T''_{d0}, T''_{q0}$	1~14阶 (有PSS)	1~9阶	相阻抗矩阵	50	150~250	200~500		

(1) X'_d 法。是用暂态电抗 X'_d 及其后面的假想的内部电势 E'_d 来表示发电机等值电路。也就是设 X'_d 后面的电势 E'_d 为恒定的方法, 或者说是认为 E'_d 的 q 轴分量(与磁链成比例的电势)为一定的方法。这些方法中由于忽略阻尼回路的作用, 所以有必要代之以在运动方程式中增加阻尼系数。

(2) X''_d 法。是用次暂态电抗 X''_d 及其后面的电势 E''_d 来表示发电机的等值电路。在 X'_d

法中难点是阻尼力矩，由于 E'_d 是变化的，故运动方程式中没有必要增加阻尼力矩。但是，还是加上数值较小的原动机阻尼分量较好。另外，本方法为了精确地计算发电机，派克方程式中的转子侧磁场与阻尼绕组回路用微分方程式来表示。

其他各部分的表示方法及程序规模如下所述：

(1) 发电机控制系统。在 X'_d 法中多数情况下忽视励磁系统及调速系统的作用或者用一阶惯性环节来表示，与之相对应的是在 X''_d 法中根据需要用一定阶数的惯性环节来表示励磁系统与调速系统。这是考虑到 X'_d 法是分析1~2s的短时间现象，而 X''_d 法是分析10s左右的现象。

(2) 输电系统。多数电力公司是用正序导纳矩阵所表示的节点电压方程式来描述输电系统，不过当计算不对称故障时也有在故障点插入等值阻抗和用相阻抗矩阵求解的。

(3) 负荷特性。多数电力公司为了考虑负荷的非线性，常用负荷的电压特性（恒定功率或恒定电流特性）及频率特性来分析，不过，也有把一部分感应电机负荷用微分方程来计算的。

(4) 程序规模。发电机50~100台、节点数50~250个、支路总数70~500条，随着计算机的发展，程序规模呈扩大趋势。

第二节 实际系统试验结果与计算结果的比较 以及二者不一致的主要原因

为了搞清楚以往所使用的分析方法存在的问题，以便开发新的分析方法，调查了日本所做过的稳定试验的结果。稳定性试验在过去是经常做的，但是以研究计算结果与实测结果为何不一致为目的的试验却比较少，自1970年之后只做过9次。

从有关电力公司的试验报告及其背景资料中调查了稳定计算的误差原因。

试验可分作以下两类：一类试验是加上微小干扰来判别静态时域的稳定性；另一类试验是在系统中加上中等干扰或大干扰以了解系统的动态特性为目的的试验。计算误差的时间序列分析是后者的中心议题，这方面多少与前者不同，下面做一分析。

一、微小干扰

为了对比微小干扰下稳定分析方法的实测结果与计算结果，工作组调查了下面三个电力公司的资料。

(1) 福井火电厂1号机静态稳定试验报告。

(北陆电力公司) 1972年12月

(2) 新北干线输电容量试验结果的研讨。

(关西电力公司) 1974年10月

(3) 新冠发电厂抽水蓄能时的试验结果。

(北海道电力公司) 1975年2月

1. 试验的系统与系统的模拟方法

在表1-2-4中表示了进行试验的系统和计算中所使用的系统的模拟方法。计算程序有

的是各电力公司自己的程序，有的是电力中央研究所开发的程序。发电机的模拟几乎都是一样的，即全都采用 X_d' 后的电势为恒定，忽略控制系统和阻尼系数的作用，而负荷用恒定阻抗来表示。在新北干线输电容量试验和新冠发电厂抽水蓄能试验中考虑了励磁调节器AVR和阻尼系数的作用，用直接法程序计算。

2. 实测结果与计算结果的比较

这次提交的报告书中所做的稳定计算仅仅是对给定的电力系统是否稳定做一判断，不要求算出稳定极限或者相角差的定量数值。由实测给出稳定极限，即使再对该系统进行计算来判断其稳定性的话，我们并不知道计算值在多大程度上接近实测值，因此，无法定量地研讨系统分析方法的精度，不过暂且把试验结果放在一旁以作比较。

表1-2-4把每个试验情况的实测结果与计算结果做了对比，表1-2-3对此进一步做了概括。

表 1-2-3 稳定计算不一致性的概况

情 况		稳定极限相角差(度)			AVR 的影响
		实测(有AVR)	计 算	不一致性	
福井火电厂		75.0	80.0	5	有可能
新北干线	A-3	72.7 ^①	稳定	不明	有
	E-5	74.4以上 ^①	稳定	不明	
新冠电厂	II-2	74.5 ^①	ρ 法: 稳定 特征式法: 不稳定	不明	
	III-1	55.0 ^①	ρ 法: 稳定 特征式法: 不稳定	不明	

① 从潮流计算的推算值。

以微小干扰为研究对象的稳定判别法有下列几种：

- 潮流法 {
 - ① 同步系数 ($\partial P / \partial \delta$)
 - ② 相角差 (δ)
- 特性式法 {
 - ① 判别式法 (弗鲁比兹法、 ξ 法、斯鲁姆法)
 - ② 特征值法 (别阿斯特法、亥森别鲁古法)
- 直接解法 {
 - ① 线性近似法 (转移矩阵法)
 - ② 非线性解法 (龙格-库达法、交流计算台法)

对以上每种稳定判别法的误差趋势和存在的问题因所做的计算较少，还不能加以分析。

但是，用潮流法以及仅仅用发电机的惯性与同步力矩来判别静态稳定时，除了一部分计算情况之外，在理论上这些方法相差不大，而从计算费用来看将因系统简化（即忽略控制系统、发电机和负荷的阻尼作用）等因素而有较大差别。

3. 实测结果与计算结果不一致的主要原因

在表1-2-4中把每项试验的实测结果与计算结果做了对比，情况如下：

(1) 像福井火电厂那样简单的单机对无穷大的系统中，计算与实测比较吻合。