

# 电力大系统实用动态安全域

曾 沅<sup>1</sup>, 樊纪超<sup>1</sup>, 余贻鑫<sup>1</sup>, 卢 放<sup>2</sup>, 黄耀贵<sup>2</sup>

(1. 天津大学电气自动化与能源工程学院, 天津 300072; 2. 华中电力集团, 武汉 430000)

**摘要:**通过对一个实际电力大系统的研究表明, 在一些重要的预想事故下, 保证暂态功角稳定性的实用动态安全域(PDSR)边界, 可在注入功率空间上由描述各节点注入功率上、下限的垂直于坐标轴的平面和描述暂态稳定性临界点的超平面围成。实用动态安全域边界超平面是针对实际电力大系统, 利用数值仿真法搜索大量的临界点, 并通过最小二乘法拟合得到的, 因而它表征了真实系统的安全稳定特性, 其误差可以满足工程应用的要求。同时对于复杂电力大系统可以利用关键节点来降维表示, 其实用动态安全域易于表达、使用和可视化。在线应用时不仅可以确定在给定的注入下发生相应的事故后, 系统是否可以保证暂态稳定, 而且可以通过解析计算或观察得出注入功率空间各个方向上的稳定裕度, 为电力系统暂态稳定性监控和电力市场提供有效信息。

**关键词:**实用动态安全域; 暂态稳定性; 超平面; 可视化

**中图分类号:** TM 712

## 0 引言

传统的与暂态稳定相关的动态安全分析方法, 是针对某一预想事故对事故前注入功率空间上的点逐个进行暂态稳定仿真计算, 得出安全或不安全结论的。这种方法称之为逐点法, 其缺点是无法获得对稳定机理的深刻认识, 无法获得系统的整体稳定性测度, 在线应用时计算负担繁重。

域的方法是同目前广泛使用的逐点法截然不同的全新的方法学, 在电力系统动态安全分析中已经提出了动态安全域(dynamic security regions, 缩写为 DSR)的方法<sup>[1]</sup>。该域定义在事故前电力系统的注入功率空间上, 对于域中的任何一个点, 在发生给定事故之后均可确保系统的暂态稳定性。应用动态安全域进行安全稳定分析, 大量的复杂计算可以离线完成, 在线使用时只需针对某一给定事故, 判别此时的注入是否位于安全域之内, 即可确定系统运行点是否是安全的, 进一步还可知道这一点在域中的相对位置。运行人员可以据此位置确定在保持系统动态安全性的前提下, 系统负荷或发电功率在各个方向上还能增长多少, 向哪个方向控制为优, 这不仅对于校正性控制、紧急控制和恢复控制的决策有用, 而且可为电力市场的运营提供更完善的可用输电能力(accessible transmission capability, 缩写为 ATC)的信息。同时, 利用安全域可以比较容易地确定安全转移概率, 进而给出系统的安全性概率指

标<sup>[2,3]</sup>, 为电力市场中的输电定价提供科学依据。

## 1 实用的电力系统动态安全域

动态安全域  $\Omega_d(i, j, \tau)$  是注入功率空间上的集合, 当且仅当事故前网络结构  $i$  中的注入功率向量  $y$  处于该集合内时, 在发生了持续时间为  $\tau$  的事故之后, 网络结构变为  $j$  时, 系统不会失去暂态稳定。对于既定的事故  $F$  和既定的事故前、后网络结构  $i, j$ , 动态安全域  $\Omega_d(i, j, \tau)$  是惟一确定的。文献<sup>[4]</sup>提出了一种实用的动态安全域(practical dynamic security regions, 缩写为 PDSR), 其基本思想为:

**假设 1:** 系统无功就地平衡, 有功改变对电压水平影响很小, 从而可以只研究有功功率  $P$  空间上的 PDSR。

**假设 2:** 在注入功率空间上, 因发电机有功注入恒为正, 负荷有功注入恒为负, 所以 DSR 应满足:

$$P_i \geq 0 \quad i \in \{\text{发电机节点集}\} \quad (1)$$

$$P_i \leq 0 \quad i \in \{\text{负荷节点集}\} \quad (2)$$

实用的电力系统动态安全域是  $\mathbf{R}^n$  空间上的一个简单的超多面体, 它由式(1)、式(2)给出的描述各节点注入功率上、下限的垂直于坐标轴的平面和描述暂态稳定性临界点的超平面围成。该超平面可用式(3)表示:

$$\sum_{i=1}^n (a_i P_i) = 1 \quad (3)$$

其中  $\mathbf{P}=[P_1, P_2, \dots, P_n]$  是保证系统暂态稳定的临界有功功率注入向量;  $a_i$  是所求得的超平面方程系数。

超平面由最小二乘法拟合得到, 为了保证拟合

精度,文献[4]推荐了拟正交选点的方法。

有了这样的 PDSR 后,即可在线分析系统的暂态稳定性;把当前运行点代入式(3),若结果小于 1,表明对于给定事故,系统是暂态稳定的;若结果大于 1,表明系统将失稳。

除此之外,有了这样的超平面就可利用解析的方法计算出目前的注入功率点在各个方向距超平面的距离(即稳定裕度或 ATC),使用极为方便。

文献[4]的结论仅是在 4 机 11 节点的简单、经典电力系统模型上做大量仿真计算后得出的。但是在实际的电力大系统中,注入空间维数很高,且发电机、负荷等模型复杂多样,在这种情况下,上述实用的动态安全域的结论是否仍然成立至今未见研究报道。为此,本文以华中电网为例,利用暂态稳定仿真程序,通过数值仿真搜索动态安全域边界上的大量临界点,再通过最小二乘法拟合出动态安全域边界超平面,进而对其进行分析。在仿真中所用的华中电网包含有 984 个节点,计及了发电机的双轴反应、励磁与调速系统、负荷的感应电动机特性及 SVC 等模型。同时,本文利用关键节点来降维表示动态安全域,使其更为实用。

## 2 华中电网暂态稳定动态安全域

### 2.1 华中电网稳定性概况与关键节点的选择

华中电网水电机组占多数,且大多位于西部地区,通过葛洲坝—双河—玉贤 500 kV 双回线和葛洲坝—凤凰山 500 kV 单回线向东部负荷区输电。在基本运行方式下,上述线路输电 2.19 GW,占鄂东受电量的 82%,尤其是葛凤线,其潮流通常达到 800 MW 以上,是全网暂态稳定最薄弱环节。因此,对华中电网的稳定性分析就集中在对其 500 kV 电网的研究上。由于丰水期系统稳定性问题最严重,故选择丰水期水电大发运行方式(简称丰大方式)作为检验对象,对 2 个华中电网最典型的预想事故进行暂态稳定分析:①事故 1:葛凤线葛侧电抗器三相对地直接短路,葛侧断路器 0.09 s、凤侧断路器 0.1 s 分别动作切除故障线路;②事故 2:葛双双回线中一回线路葛侧出口处三相对地直接短路,葛侧断路器 0.09 s、双侧断路器 0.1 s 动作切除故障线路。

华中电网包含近 1 000 个节点,理论上为拟合安全域边界超平面需约 2 000 个临界点,这在实际工程应用中是不现实的,也是不必要的。为降低 PDSR 的维数,选择了一些关键节点来构建 PDSR 边界超平面。本文关键节点的选择遵循以下原则:

a. 选取与 500 kV 主干网相连的功率注入节点作为关键节点;

b. 在华中电网的各地区,选择具有区域代表性的功率注入节点作为关键节点;

c. 保留运行人员需要观察的功率注入节点;

d. 除去以上关键节点之外的其他节点的功率注入均设为常数。

选择关键节点不仅是出于简化表示动态安全域的需要,同时也是考虑到各节点注入对系统暂态稳定性的影响程度不同。在对华中电网进行暂态仿真时,我们发现系统中绝大多数功率注入点,尤其是低电压、小容量的功率注入点对系统暂态稳定性影响非常小。对这些节点进行动态安全域分析,其结论是不具有实际意义的(见 2.2.1 节 c)。

需要指出的是,尽管在拟合 PDSR 边界超平面时仅保留了关键节点,但用以拟合 PDSR 边界超平面的临界有功功率注入向量,是在整个华中电网(即前述的 984 节点系统)上进行数字仿真计算得出的,这也是华中电网进行暂态稳定性计算和校验所用的实际模型,因而在此基础上得到的 PDSR 表征了真实系统的安全稳定特性。

### 2.2 预想事故分析

#### 2.2.1 事故 1 的暂态功角稳定动态安全域分析

华中电网与 500 kV 线路相连的发电机组有葛洲坝、隔河岩、五强溪和姚孟,另取阳逻电厂作为鄂东发电机组的代表;对于负荷,选取熊家嘴、铁山、关山、柳林及云田的 110 kV 母线作为考察点。依据事故 1,由暂态仿真计算得到 20 个临界点如表 1 所示,表 1 还给出了临界点与所拟合的边界超平面的误差。用最小二乘法拟合所得的 PDSR 边界超平面方程系数如表 2 所示。

表 1、表 2 的结果给出了如下有关华中电网在预想事故 1 下的暂态功角稳定动态安全域信息:

a. 拟合得到的 PDSR 边界超平面最大误差只有 0.30%(这里的误差定义为临界点到拟合超平面距离的各个坐标分量与超平面上相应点的各个坐标分量比值的最大值,是一个百分数),满足工程应用的要求。

b. 把表 2 的超平面方程系数代入式(3),并和式(1)、式(2)联立,构成了针对事故 1 的暂态功角稳定动态安全域的数学表达式。此时的 PDSR 是一个封闭的超多面体,应用它就可以在线分析系统的暂态稳定特性。例如,将华中电网丰大方式基本运行点(见表 3)代入式(3)得:  $\sum_{i=1}^{10} (a_i P_i) = 1.044 2 > 1$ ,即系统在此方式下运行时,如果发生事故 1,系统将失去稳定。另外,值 1.044 2 仅稍大于 1,表明了该丰大运行点离动态安全域边界很近。

表 1 预想事故 1 下各临界注入值  
Table 1 Values of critical injections under fault 1

| 点号 | 大江 1 号 | 隔河岩等值机 | 五强溪 1 号 | 姚孟 3 号 | 阳逻等值机 | 熊家嘴 110A | 铁山 110 | 关山 110A | 云田 110A | 柳林 110 | 误差/(%) |
|----|--------|--------|---------|--------|-------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 1  | 737    | 595    | 239     | 298    | 300   | -147     | -132   | -94     | -96     | -172   | 0.14   |
| 2  | 750    | 586    | 234     | 298    | 300   | -146     | -132   | -94     | -96     | -167   | 0.01   |
| 3  | 770    | 590    | 200     | 295    | 300   | -146     | -132   | -94     | -98     | -175   | 0.05   |
| 4  | 780    | 590    | 210     | 226    | 300   | -146     | -131   | -95     | -97     | -173   | 0.08   |
| 5  | 770    | 590    | 210     | 300    | 311   | -147     | -131   | -95     | -97     | -189   | 0.03   |
| 6  | 790    | 590    | 210     | 300    | 290   | -120     | -130   | -95     | -102    | -175   | 0.01   |
| 7  | 760    | 600    | 220     | 300    | 290   | -140     | -126   | -94     | -96     | -210   | 0.04   |
| 8  | 760    | 610    | 212     | 290    | 280   | -142     | -102   | -116    | -98     | -185   | 0.30   |
| 9  | 786    | 600    | 205     | 271    | 320   | -151     | -120   | -100    | -111    | -154   | 0.19   |
| 10 | 740    | 570    | 260     | 280    | 306   | -160     | -125   | -100    | -80     | -192   | 0.03   |
| 11 | 780    | 540    | 270     | 240    | 330   | -180     | -130   | -78     | -70     | -238   | 0.14   |
| 12 | 770    | 560    | 250     | 260    | 340   | -167     | -139   | -85     | -80     | -207   | 0.03   |
| 13 | 773    | 574    | 230     | 250    | 315   | -130     | -145   | -105    | -121    | -136   | 0.01   |
| 14 | 799    | 560    | 199     | 260    | 330   | -110     | -150   | -120    | -90     | -164   | 0.08   |
| 15 | 810    | 565    | 195     | 240    | 271   | -100     | -160   | -80     | -100    | -197   | 0.23   |
| 16 | 740    | 610    | 225     | 265    | 295   | -155     | -140   | -75     | -105    | -180   | 0.15   |
| 17 | 788    | 540    | 215     | 285    | 308   | -167     | -110   | -130    | -131    | -142   | 0.07   |
| 18 | 743    | 580    | 251     | 286    | 286   | -134     | -154   | -70     | -185    | -212   | 0.02   |
| 19 | 822    | 545    | 236     | 245    | 325   | -123     | -128   | -124    | -125    | -179   | 0.02   |
| 20 | 762    | 573    | 245     | 275    | 292   | -155     | -113   | -103    | -80     | -184   | 0.04   |

注:除误差项外临界注入值均以 MW 为单位。

表 2 预想事故 1 拟合超平面方程系数  
Table 2 Coefficients of the hyper-plane equation under fault 1

| $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ | $a_7$ | $a_8$ | $a_9$ | $a_{10}$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 5.7   | 5.0   | 3.5   | 1.3   | -4.0  | -6.9  | -10.2 | -7.3  | 1.9   | 0.3      |

表 3 华中电网丰大方式基本运行点(事故 1)  
Table 3 Basic operating point during inundation (fault 1) MW

| 大江 1 号 | 隔河岩等值机 | 五强溪 1 号 | 姚孟 3 号 | 阳逻等值机 | 熊家嘴 110A | 铁山 110 | 关山 110A | 云田 110A | 柳林 110 |
|--------|--------|---------|--------|-------|----------|--------|---------|---------|--------|
| 810    | 600    | 240     | 300    | 300   | -147     | -131   | -95     | -96     | -170   |

c. 超平面系数绝对值的大小代表了相应功率注入点对系统稳定性影响的程度。从表 2 可以看出,  $a_1, a_2, a_6, a_7, a_8$  绝对值较大, 即大江、隔河岩发电机组和熊家嘴、铁山、关山的负荷对系统稳定性影响较大;  $a_{10}$  最小, 只有 0.003, 表明柳林负荷大小的改变对系统影响不大。进一步的计算表明, 其他非关键节点的影响更小。

d. 超平面系数的正负代表相应功率注入点对系统稳定性影响的趋势。从表 2 可以看出,  $a_5, a_6, a_7, a_8$  小于 0, 即阳逻、熊家嘴、铁山、关山注入功率增加(负荷点是减少负荷)将增强系统稳定性; 而  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_9, a_{10}$  大于 0, 表明大江、隔河岩、五强溪、姚孟、云田、柳林注入功率减少(负荷点是增加负荷)将增强系统稳定性。例如增加铁山的负荷需求, 则送鄂

东功率增大, 葛凤线的输送压力加重, 不利于系统稳定; 反之, 则送鄂东功率减少, 葛凤线的输送压力减轻, 有益于系统稳定。

e. 本例中描述暂态稳定临界点的 PDSR 边界超平面是一个 10 维超平面, 在线应用时可以在 2 维或 3 维空间中给出其剖面示意图, 这样可以直观地看到在各个方向上稳定裕度的大小。图 1 是以大江、铁山和阳逻等值机的节点功率注入为坐标轴画出的 3 维 PDSR 临界面图(此时系统中其他节点注入取为表 3 所示的相应值)。图 2 则是以大江、铁山的节点功率注入为坐标轴画出的 2 维 PDSR 临界线图。从图 1 和图 2 可以看出, 华中电网丰大方式基本运行点处于针对事故 1 所建立的动态安全域之外。

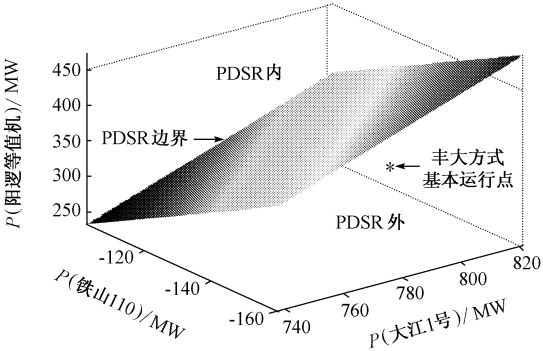


图 1 以大江、铁山和阳逻等值机的节点功率注入为坐标轴画出的关于事故 1 的 3 维 PDSR 临界面图  
Fig. 1 Three-dimension illustration of the PDSR under fault 1

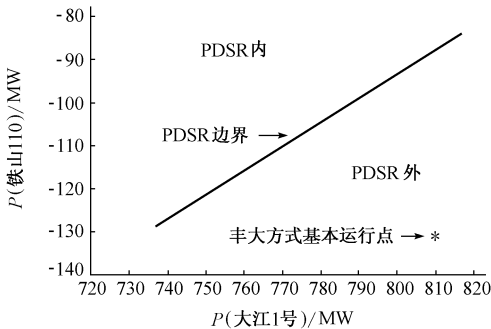


图 2 以大江、铁山的节点功率注入为坐标轴画出的关于事故 1 的 2 维 PDSR 临界线图  
Fig. 2 Two-dimension illustration of the PDSR under fault 1

为了确保事故 1 发生后系统能够维持稳定, 可以调节关键节点的有功功率注入。以图 2 为例, 可以看出, 如果单独调节大江 1 号使运行点处在 PDSR 内, 需将发电量由 810 MW 减少到 735 MW, 减少量为 75 MW; 而调节铁山 110 来达到同一目的, 需将负荷需求由 131 MW 减少为 88 MW, 减少量为 43 MW。由此可以看出, 铁山 110 的调节作用要好

于大江 1 号。

2.2.2 事故 2 的暂态功角稳定动态安全域分析

仍然选取葛洲坝、隔河岩以及五强溪发电机组，另取南昌 1 号作为江西发电机组的考察点；选取铁山、云田、柳林以及昌东作为负荷考察点。依据事故 2，仿真得到 16 个临界点及其误差如表 4 所示。由表 2 各临界有功功率注入向量拟合所得的 PDSR 边界超平面方程系数如表 5 所示。

表 4 预想事故 2 下各临界注入值

Table 4 Values of critical injections under fault 2

| 点号 | 大江 1 号 | 隔河岩等值机 | 五强溪 1 号 | 南昌 1 号 | 铁山 110 | 云田 110 | 柳林 110 | 昌东 110 | 误差/(%) |
|----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 873    | 635    | 260     | 100    | -157   | -90    | -200   | -190   | 1.00   |
| 2  | 860    | 611    | 245     | 090    | -179   | -120   | -150   | -230   | 0.48   |
| 3  | 850    | 620    | 260     | 117    | -166   | -60    | -220   | -210   | 1.79   |
| 4  | 845    | 600    | 290     | 80     | -176   | -100   | -230   | -200   | 0.38   |
| 5  | 840    | 660    | 247     | 90     | -155   | -80    | -190   | -220   | 0.10   |
| 6  | 820    | 700    | 290     | 100    | -155   | -105   | -195   | -210   | 0.04   |
| 7  | 790    | 720    | 340     | 110    | -160   | -110   | -240   | -180   | 1.26   |
| 8  | 950    | 590    | 220     | 120    | -110   | -70    | -300   | -160   | 0.34   |
| 9  | 800    | 630    | 280     | 140    | -239   | -96    | -140   | -140   | 0.62   |
| 10 | 892    | 570    | 310     | 125    | -140   | -130   | -250   | -280   | 0.09   |
| 11 | 790    | 738    | 300     | 90     | -160   | -109   | -200   | -199   | 0.11   |
| 12 | 802    | 700    | 310     | 100    | -170   | -99    | -170   | -210   | 0.55   |
| 13 | 878    | 683    | 325     | 131    | -140   | -114   | -160   | -170   | 0.51   |
| 14 | 865    | 566    | 275     | 76     | -171   | -64    | -210   | -200   | 0.01   |
| 15 | 894    | 588    | 305     | 84     | -126   | -70    | -195   | -223   | 1.03   |
| 16 | 888    | 644    | 231     | 124    | -116   | -56    | -180   | -233   | 2.06   |

注：除误差项外临界注入值均以 MW 为单位。

表 5 预想事故 2 拟合超平面方程系数

Table 5 Coefficients of the hyper-plane equation under fault 2

| $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ | $a_7$ | $a_8$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6.3   | 3.9   | 1.7   | -1.2  | -7.9  | 2.9   | -1.2  | -2.6  |

由表 4 和表 5 结果可见：

a. 拟合得到的 PDSR 边界超平面最大误差为 2.06%，满足工程应用的需要。

b. 把表 5 拟合得到的超平面方程系数代入式(3)，并和式(1)、式(2)联立即可构成针对事故 2 的暂态功角稳定动态安全域的数学表达式。将表 6 的华中电网丰大方式基本运行点代入式(3)得： $\sum_{i=1}^8(a_i P_i) = 0.9163 < 1$ ，表明系统在此方式下运行时，如果发生事故 2，系统将保持稳定。

c. 由表 5 可见， $a_1, a_2, a_5$  绝对值较大，即大江、隔河岩发电机组和铁山负荷对系统稳定性影响较大； $a_4, a_7$  最小，表明南昌发电机组、柳林负荷对系统稳定性影响较小。另外，由于  $a_4, a_5, a_7, a_8$  小于 0，表

表 6 华中电网丰大方式基本运行点(事故 2)

Table 6 Basic operating point during inundation (fault 2) MW

| 大江 1 号 | 隔河岩等值机 | 五强溪 1 号 | 南昌 1 号 | 铁山 110 | 云田 110A | 柳林 110 | 昌东 110 |
|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 810    | 600    | 240     | 125    | -131   | -96     | -170   | -182   |

明南昌、铁山、柳林、昌东注入功率增加将增强系统稳定性； $a_1, a_2, a_3, a_6$  大于 0，表明大江、隔河岩、五强溪、云田注入功率减少将增强系统稳定性。

d. 图 3 以大江、铁山的节点功率注入为坐标轴画出了 2 维 PDSR 临界线图(此时系统中其他节点注入取为表 6 所示的相应值)。从图 3 可以看出，华中电网丰大方式的基本运行点处于针对事故 2 所建立的安全域之内；并且大江 1 号方向的稳定裕度为 130 MW，铁山 110 方向的稳定裕度为 110 MW。

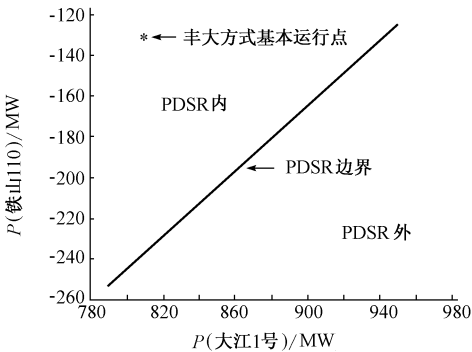


图 3 以大江、铁山的节点功率注入为坐标轴画出的关于事故 2 的 2 维 PDSR 临界线图

Fig. 3 Two-dimension illustration of the PDSR under fault 2

由于组成动态安全域边界的各个超平面均可用简明的代数式表示，因而动态安全域的使用极为简便。例如，很容易解析地算出域中的一个注入点与边界面的距离，从而给出系统的安全裕量，为动态安全监控和电力市场提供有效信息。当需要在调度的监视屏幕上用 3 维(如图 1 所示)或 2 维(如图 2 和图 3 所示)图形显示该域时，仅需设定  $n-3$  或  $n-2$  个节点功率注入量为常数，即可通过简单的计算得到。这样在实际应用时，就可以依据调度人员的需要快速地显示域的各种 2 维或 3 维可视化图形。

3 结语

通过对华中电网典型暂态稳定场景的研究表明，对于该网中最典型的 2 种预想事故，其在注入空间上保证暂态功角稳定的动态安全域，由描述各节点注入功率上、下限的垂直于坐标轴的平面和描述暂态稳定性临界点的超平面围成，其误差在工程容许的范围之内。这样的实用动态安全域易于表达、使用和可视化。在线应用时不仅可以确定在给定的注

入下发生相应的事故后,系统是否可以保证暂态稳定,而且可以通过解析计算或观察得出注入功率空间的各个方向上的稳定裕度,从而为暂态稳定性监控和电力市场提供有效信息。

鉴于本文在获得暂态稳定临界点时,所用事故是华中电网中最常校验的事故,仿真所使用的系统又是华中电网日常暂态稳定校验用的 984 节点系统,故所得结论更符合复杂电力大系统的实际情况,且这些结论对于调度最关心的严重故障是成立的。

## 参考文献

- 1 Kaye R J, Wu F F. Dynamic Security Regions of Power Systems. IEEE Trans on Circuit and Syst, 1982, CAS-29(9): 612~623
- 2 Wu F F, Tsai Y K, Yu Y X. Probabilistic Steady-State and Dynamic Security Assessment. IEEE Trans on

Power Systems, 1988, 3(1):1~9

- 3 余贻鑫,陈礼义(Yu Yixin, Chen Liyi). 电力系统的安全性与稳定性(Security and Stability of Power System). 北京:科学出版社(Beijing: Science Press),1988
- 4 余贻鑫,栾文鹏(Yu Yixin, Luan Wenpeng). 利用拟合技术决定实用电力系统动态安全域(Practical Dynamic Security Regions of Power Systems). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1990,10(电工数学增刊)(supp for Mathematics of Electrical Engineering)

曾 沅,男,博士研究生,主要研究方向为电力系统的安全性和稳定性。

樊纪超,男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统的安全性和稳定性。

余贻鑫,男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统的安全性和稳定性、配电规划和配电自动化、电力市场等,为该课题技术负责人。

## PRACTICAL DYNAMIC SECURITY REGIONS OF BULK POWER SYSTEMS

Zeng Yuan<sup>1</sup>, Fan Jichao<sup>1</sup>, Yu Yixin<sup>1</sup>, Lu Fang<sup>2</sup>, Huang Yaogui<sup>2</sup>

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China)

(2. Central China Electric Power Systems Group, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** A study on dynamic security regions (DSR) of a bulk power system shows that the boundary of the practical dynamic security regions (PDSR) on injection space, which can ensure transient angle stability, is made up of the hyper-planes vertical to coordinates axes that represent upper and lower limits of the nodes injections, and a hyper-plane which describes critical points about transient angle stability for specific serious contingency. The PDSR is constructed by the least-square approach, which uses lots of critical points searched by numerical simulation on the bulk power system. So it shows characteristics on security stability of the actual system, and its precision can be accepted in engineering practice. This paper also puts forward that the key nodes of the complicated power system can reduce the dimension of PDSR. Such PDSR can be expressed, used and visualized easily. With its on-line application, not only whether the power system will guarantee its transient stability corresponding to the specific system operating condition and contingency can be obtained, but also stability margins in different directions on injection space by analytical calculation or observation. The supplied valid information can be used in transient stability monitoring and control in present (monopolistic) power system as well as in the deregulated electricity market.

This project is supported by National Key Basic Research Special Fund of China (No. G1998020307).

**Keywords:** practical dynamic security regions; transient stability; hyper-plane; visualization