# 关于电力系统安全稳定控制装置(系统)基本要求的再探讨*

张保会　康小宁　袁　越　葛耀中（西安交通大学电气学院·710049）
张　友（东北电力设计院·130021·长春）
王　钢　陶家琪（东北电业管理局·110006·沈阳）

**【摘　要】**　在分析电力系统安全稳定控制装置(系统)的作用原理、控制要求及配置原则后提出对安全稳定控制装置(系统)的五项基本要求，它们是：装置(系统)及其控制措施动作的高度可靠性；控制措施投入后对维持系统安全稳定运行的充分有效性；能识别扰动的严重程度并在必要时才启动控制的相对选择性；对不同电力系统及其发展的一定适应性；对电网安全稳定运行产生的显著经济性。

**【关键词】**　安全稳定控制　电力系统稳定　电力系统

## 1　前言

随着电力系统的发展，互联的电力网络变得越来越大，如果发生电网事故，对国计民生的破坏就愈为严重[1,2]，合理的电网结构和保证安全稳定运行的技术措施应该相互协调配合，并应同步设计、同步建设，以提高电网的安全稳定水平。特别对于我国，电网的建设落后于电源的建设，网架相对薄弱，部分发电厂出现“窝电”局面，合理地配置安全稳定控制装置(系统)，可以提高现有网络的输电能力，提高电网运行的安全稳定性。为了确保电网安全稳定、经济可靠地运行，安全稳定控制系统、调度自动化系统和电力专用通信系统已经成为现代电网不可缺少的三大支柱[3]。电力部领导在谈到今后的电力系统发展时指出，大机组、大电网、高电压是未来电网的发展趋势，号召重点发展对整个大电网本身进行保护的网络保护。要研究和开发更多更好的安全稳定控制装置(系统)，首先应该讨论清楚对这类装置(系统)的基本要求，“继电保护和安全自动装置技术规程”(1989 年送审稿)[4] 中对安全自动装置提出了四项基本要求，即可靠性、选择性、灵敏性和速动性。安全稳定控制装置(系统)是维持电力系统稳定运行的一种安全自动装置，并且侧重于电力系统的暂态稳定控制，以上四项要求似不够充分，含义不甚明确，本文在文献[8]的基础上，结合设计和运行的体会，提出安全稳定控制装置(系统)应满足：可靠性、有效性、选择性、适应性和经济性五项基本要求。

## 2　安全稳定控制装置(系统)的可靠性

可靠性是指装置该动作时动作(信赖性)，不该动作时不动作(安全性)。该动作时不动作为拒动，不该动作时动作为误动。

对于稳定控制装置，上述所讲的该动作与不该动作是装置在设计、研制过程中确定的，可根据动作边界条件或界面来判别。其可靠性是指在如上确定的动作条件下，通过采取一定措施所保

* 1995－05－29 收稿。
张保会，男，教授，主要研究电力系统稳定性的预测与紧急控制理论和装置。

证的动作的信赖性和安全性。

稳定控制装置较继电保护装置更强调可靠性要求，继电保护可靠性破坏的后果只造成一个元件拒跳闸(重要线路双重配置，另外一套保护还可跳闸)或误跳闸，而稳定控制装置拒动将造成系统稳定破坏，误动造成局部系统或机组损失，后果严重，所以强调可靠性要求为之首。在可靠性要求中，为顾全大局，强调信赖性第一，安全性第二。因为电力系统的稳定破坏事故是扰动冲击的积累，受到诸多因素的影响，正确地预测稳定破坏并紧急控制使之维持稳定运行是一件难度极大的工作，必须简化对装置的要求，必要时可使用一系列的安全稳定控制装置的配合来解决不同原因造成的稳定破坏的控制问题。如果对一个装置的要求面面俱到，反而会使装置过分复杂，什么问题都解决不好。为保证不误动，在装置的硬件实现上应采取抗干扰措施，软件采用冗余并带有本地故障量的允许元件。为保证不拒动，尽量使用简单的启动控制装置，采用同类型装置双重配置，根据所解决问题的不同，开发、使用一系列的安全稳定控制装置，构成几道防线等等。

## 3 安全稳定控制措施投入后对维持安全稳定运行的有效性

系统安全稳定控制的目的，是防止系统特大事故的发生，装置动作后，一旦控制量不足，系统仍将失稳，起不到稳定控制的作用或作用很小，损失惨重。又由于目前系统一般备用容量较多，局部机组多切或功率过控，一般不会造成负荷损失，对于切负荷控制，一般也选择二、三类非重要负荷切除，不会造成较大影响，因而强调控制的有效性要求，宁过控，勿不足。

(1) 投入控制措施的快速性是保证控制有效性的必要条件：电力系统在遭受扰动后失稳的原因是发电机的机械输入与电磁输出之间不平衡，送端系统与受端系统之间的能量不平衡而引起，不平衡能量越大，稳定裕度越低。当其超过网络所能吸收的最大能量时失稳(按照能量法的观点)。如果在故障后能尽快投入紧急控制措施，则可以减少不平衡能量，这方面最有效的例子是采用快速继电保护切除故障。特别对于阻止“首摆”失稳，快速性是保证有效性的首要条件，快速性差几到几十毫秒其控制量有时就差几倍甚至无法阻止失稳的发展。然而有时快速性与选择性之间存在矛盾，例如：若发生单相故障重合不成功则系统不稳定，重合成功则系统稳定，在故障后未重合前难于判别是否需要启动控制。在这种情况下，在快速性与选择性之间应综合衡量，提出合理的要求。

(2) 多种安全稳定控制措施应进行协调和校核，保证有效性：在多机复杂系统中，在某些故障情况下投入多个控制措施对维持系统的稳定运行是有利的，在另外的情况下仍按照原来的控制方式投入控制并不一定有利，甚至有害。对某些运行多年的系统，运行人员积累了大量的运行经验，这些经验往往作为设置控制措施的主要依据拟定初步的控制方案。然而拟定初步方案后的仿真校核是不可缺少的一环，经大量仿真计算，反复修改控制方案直至比较有效。

(3) 控制量的大小及作用时间的协调：控制量的大小往往与故障前运行状态、故障的严重程度和持续时间有关，安全稳定控制装置应能根据当时的运行情况、故障情况实时计算(或者用其它方法得到)所需要的控制量并执行之。对于汽门快关、电气制动等短暂的控制措施不仅有控制量大小的问题，也有作用时间长短的问题，否则会出现虽然阻止了首摆失稳问题，但产生了后续摇摆失稳的问题。为保证安全稳定控制装置(系统)控制的有效性，校核时应考虑控制装置、措施的实际动作情况，例如各种时滞、动作次数限制等。

## 4 安全稳定控制装置(系统)投入紧急控制措施的选择性

综合的系统稳定控制系统，是分层分区控制的。系统稳定控制装置保护对象界面虽然不象继

电保护那样明确，但也有一定范围，区域性发电厂的稳定控制装置主要保护范围即为电厂出线，最多延伸到下一级出线故障后的稳定控制。而网间的稳定问题需由网间的装置完成，必要时，其控制措施的实现可通过区域性发电厂的装置实现，如远方切机等。与常规的继电保护不同，尽管在本装置保护范围内发生了故障但并不危及系统的安全稳定运行，基于下述原因，安全稳定控制装置必须具有选择性。

（1）以局部超常规的控制为代价换取全系统稳定运行的全局利益：目前常用的紧急控制手段主要有切机、快关汽门、快关导水叶开度、切负荷、串联强补、投电气制动、直流联络线功率的快速调节、网络解列等，并且要求这些措施的执行速度越快越好。这些紧急的控制措施由于超常规的配置和控制，并不希望它们频繁动作。

（2）电力系统本身具有抗扰动能力：电力系统建设伊始，就考虑了其运行的稳定性、安全性问题，对于已建成的电力网络实际都具有一定的抗扰动能力。然而随着系统运行方式和运行状态的变化，系统的稳定储备即抗扰动能力在变化，安全稳定控制装置（系统）应该能够根据当时的系统运行情况识别系统当时具有的抗扰动能力，并对扰动程度进行度量，当扰动的严重程度大于系统的抗扰动能力时才投入紧急控制。

（3）为保证动作的选择性，首先应作好安全稳定预测工作：当电力系统遭受一次大扰动后，安全稳定控制装置（系统）必须快速作出“扰动消除后的系统是否能安全稳定运行”的判断，这个时间越短越好（可能这时扰动尚未消除，网络还没有变化）。根据文献[6]的研究，要准确预测暂态稳定性必须掌握三个基本条件，即扰动前系统的网络拓扑及运行状态，扰动对各发电机组的冲击，扰动清除后的网络拓扑。在预测网络拓扑变化后，未来系统是否稳定的判断最快只能在故障的极限切除时刻作出。

（4）投入紧急控制后获得的全局利益应远大于造成的局部损失：例如我国某系统中一个大电厂，由于输电线路暂态稳定限制不得不限制电厂出力，出现“窝电”局面，如果能在输电线路发生瞬时故障时迅速快关汽门，则可以提高原输电系统的暂态稳定极限 10％左右，明显减少“窝电”容量。但是如果不加选择，凡该输电系统中发生故障都启动快关，就未必经济了。再例如，我国某电力系统两侧均为水电，一侧为同杆并架双回线路与一个 80 万 kW 水电厂相连，另一侧为两条线路与另一电力系统相连。在丰水期两侧电源向该系统供电且都运行在稳定极限的边缘，如果发生倒杆或双回线的跨线故障，将会失去一个大电源而造成系统内功率缺额，有可能使另两回输电线超静稳极限而使互连的两系统失步，从而造成该系统的全网瓦解。在上述情况下，必须采取切负荷控制措施，尽管暂时失去部分负荷，但是所获得的效益是避免了全网瓦解。但是若故障并不是倒杆或者运行条件变化即使倒杆也不会造成全系统瓦解，切负荷控制系统就不应该动作。

（5）安全稳定控制装置（系统）的适当选择性：选择性是建立在稳定性预测基础上的，并且和经济性相关。当某系统遭受一次大的扰动冲击后，可能系统并不会造成失步，但是系统处于剧烈、大幅度的同步摇摆，造成电力设备的损坏或减少寿命，如果这时安全稳定控制系统启动汽门快关，有效地阻尼摇摆，应该说是有选择性的。但是如果控制措施是切去大批负荷，就未必是正确的。是否选择性越强要求越高就越好呢？并不一定。电力系统的稳定性预测是件难度极大的研究课题，目前除单机—无限大母线失步模式外，尚无通用的不稳定预测判据。要求的预测精度越高和实时性越强，实现越困难，控制的启动速度越慢，其控制效果越差，综合衡量后并不一定预测精度越高越好，要求具有“适当”的选择性。

## 5　安全稳定控制装置(系统)的适应性

适应性是指能适应不同电力系统及其发展和不同控制要求两个方面。前者强调装置的典型性和通用性，后者强调装置控制功能的完整性。一般说来，安全稳定控制系统含启动装置和控制措施两部分，控制措施视电力系统的现有条件和控制要求加以利用或专门配置，启动装置则希望选用定型产品。安全稳定控制系统基本上可以分为：用于提高电厂对系统安全稳定性的控制装置，用于局部区域电网的安全稳定控制系统和用于几个区域网之间的安全稳定控制系统，这种系列产品各自应该满足适应性的要求。

(1) 控制功能的适应性：例如用于提高发电厂对系统稳定性的装置，应该可用于不同的发电厂的稳定控制，不论该电厂是几回输电线接入系统，也不论它启动切机、快关，还是投入电气制动。在不同的运行方式及运行状态下，不论故障发生在哪条线路上，当危及电厂的稳定运行时都应启动紧急控制。

(2) 装置的硬、软件的适应性：只有成熟的软、硬件才具有高的可靠性，只有适应性强的软、硬件才能成熟。加强具有一定通用性判据的研究，并在控制装置中尽量采用这些判据，努力研制具有一定通用性的安全稳定控制装置，并使之定型化、系列化，以发挥成熟的软、硬件产品具有高可靠性的优点。

## 6　安全稳定控制装置(系统)的经济性

安全稳定控制系统的经济性应从电力系统的规划设计阶段、正常运行阶段和防止重大事故的发生三个方面所产生的效益与建设安全稳定控制系统的投资进行综合比较，得出经济性指标，电力系统正常运行过程中所获得的效益是体现安全稳定控制系统经济性的主要组成部分。

(1) 在系统的规划设计阶段同时考虑安全稳定控制系统所获得的效益：在新建电厂接入系统的规划设计阶段，当由于稳定问题突出不得不改变接入系统的方式时，同步考虑安全稳定控制装置作为一种提高安全稳定性的手段后，有可能改变这种不合理的接入方式，节约投资并为日后的经济运行提供基础条件。

(2) 正常运行中由于使用安全稳定控制系统所获得的经济效益：对于一个已建成的电力系统，为保证全系统的安全稳定运行，有时采用一些不合理然而非这样不可的运行方式，以至出现弃水、“窝电”等不合理现象。尽管安全稳定控制系统可能多年并未动作，但是由于它的存在，在技术上允许尽量发挥现有网络的效益，同时在运行人员的心理上也减轻了压力。这种效益与日俱增，例如，一个“窝电”严重的120万kW发电厂，如果采用“快关”可减少窝电10万kW的话，按增发一度电5分钱计算，其年效益将达3 240万元。

(3) 在系统故障时维持安全稳定运行所产生的效益：安全稳定控制装置在其有效的使用年限内也许遇到了启动控制措施后挽救系统避免失步或者瓦解的重大事故，其经济效益应从停电面积以及这种突然的停电所造成的损失和对设备的损坏来衡量。其社会影响有时是无法用经济指标来衡量的。如果安全稳定控制装置在有限使用期限内并未遇到它应该启动紧急控制的故障情况，它不动作并不等于没有效益。

(4) 安全稳定控制装置(系统)的投资：电力系统的安全稳定控制问题错综复杂，应抓住主要矛盾真正解决几个主要问题，而不是轻重不分面面俱到，致使安全稳定控制系统庞大复杂。从目前情况看，局部安全稳定控制装置的投资(不包括专用控制措施，如制动电阻)一般为几十万元，区域性安全稳定控制系统的投资一般为几百万元，这些投资与所获效益比较可以忽略，因而研制安

全稳定控制装置（系统）的主要注意力是获得全系统的最大利益，装置必须安全可靠，其次才是降低自身的成本。

## 参 考 文 献


1　王梅义等．高压电网继电保护运行技术．水利电力出版社，1981

2　水利电力部．电力系统技术导则 SD131－84．水利电力出版社，1984

3　丁道齐．加强现代电力系统三大支柱的开发建设确保电网安全稳定运行．电力系统自动化，1992，16(3)

4　东北电力设计院．继电保护和安全自动装置技术规程（送审稿）．长春：1989

5　水利电力部．电力系统安全稳定导则．水利电力出版社，1984

6　张保会，葛耀中．电力系统失步预测的三个基本要素．全国高校电力系统及其自动化专业第三届学术年会论文集．西安交通大学出版社，1987

7　张保会，康小宁，葛耀中．考虑发电机凸极效应的暂态不稳定预测与控制量实时计算．全国高校电力系统及其自动化专业第八届学术年会论文集．1992

8　张保会，葛耀中．对电力系统安全稳定控制装置（系统）基本要求的探讨．电力自动化设备，1993，(4)


## A PROPOSAL CONCERNING THE FUNDAMENTAL CRITERIA OF CONTROL EQUIPMENTS FOR POWER SYSTEM STABILITY


*Zhang Baohui, Kang Xiaoning, Yuan Yue, Ge Yaozhong* (Xi'an Jiaotong University)

*Zhang You* (Northeast China Design Institute of Electric Power, Changchun)

*Wang Gang, Tao Jiaqi* (Electric Power Dispatch Center of Northeast China, Shenyang)



**Abstract**　After analyzing the principle of real time controlling equipment for electric power system stability, five fundamental criteria are proposed. They are: high reliability of operation; effectually control to avoid instability; suitable selectivity for putting on control; adaptability for different power systems and good economic results.



**Keywords**　power system stability control　power system stability　power system