

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.05.021

多机进相运行若干问题探讨

韦延方 卫志农 孙国强 胡文旺 孙永辉

(河海大学能源与电气学院 江苏 南京 210098)

摘要 : 阐述多机进相(多台发电机同时进相) 运行的必要性与重要性 , 重点探讨多机进相运行必须解决的若干关键问题和目前的研究现状。在单机进相运行理论分析和现场试验的基础上 , 对多机进相运行的稳定性、多机进相调压能力、多机协调进相以及深度优化等问题进行了系统分析 , 给出进一步开展多机进相运行的一些建议 , 指出相应的研究思路。结果表明 : 多机进相运行的调压效果比单机进相运行更显著 , 但是在一定程度上会降低整个系统的稳定裕度 , 在一定的无功调节范围内 , 为提高系统的暂态稳定性 , 应当安排多台发电机以适当的进相深度同时进相运行 , 尽量避免单台发电机深度进相运行。

关键词 : 多机进相 ; 调压能力 ; 系统静态稳定 ; 多机协调进相 ; 多机进相深度优化

中图分类号 : TM61 **文献标志码** : A **文章编号** : 1000-1980(2012)05-0590-07

Discussion of several issues of leading phase operation of multi-generators

WEI Yanfang , WEI Zhinong , SUN Guoqiang , HU Wenwang , SUN Yonghui

(College of Energy and Electrical Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The necessity and importance of leading phase operation of multi-generators are described. The key issues and current status of research on leading phase operation of multi-generators are analyzed and discussed. Based on theoretical analysis and field tests of leading phase operation of a single generator , the power system stability , voltage regulation , coordinated leading phase , and depth optimization of leading phase operation of multi-generators are analyzed. Advice for carrying out leading phase operation of multi-generators is given. Important topics and future work related to the research are pointed out. The results show that the leading phase operation of multi-generators has a better voltage regulation effect compared with that of the single generator , but can reduce the stability margin of the whole power system to a certain degree. Within a certain reactive-power regulation range , to improve the transient stability of the whole power system , it is better to arrange multi-generators than to arrange a single generator for leading phase operation.

Key words : leading phase operation of multi-generators ; voltage regulation ; system static stability ; coordinated leading phase operation of multi-generators ; depth optimization of leading phase operation of multi-generators

随着超高压、大容量、远距离输电的建设和发展 , 超高压架空线路和电缆线路大量增加 , 线间和线对地的电容也相应增大 , 引起系统电容电流及容性无功地增长。当负荷处于低谷(如节假日、午夜等) 时 , 输电线路中会出现过剩无功功率 , 导致电压升高^[1-3]。常用的电网调压方式中 , 进相运行是最经济、技术最成熟、最具有大规模开发前景的电网电压调整手段^[4,5]。目前 , 国内外对发电机进相运行的研究主要集中在单机进相领域 , 科技人员从发电机定子端部发热、功角静态稳定、厂用电电压限制、定子过流限制、低励磁限制以及发电机进相运行的在线监测等方面出发 , 总结得出进相运行的限制因素、注意事项和实用的监测指标等^[6-10]。

单机进相时容性无功负荷通常未按最优方式分配 , 未能充分发挥发电机的调压能力。随着发电机进相深度的加大 , 发电机本身乃至整个电网的暂稳水平将下降。而由系统内多台机组承担进相任务 , 能有效避免

收稿日期 : 2011-10-10

基金项目 : 国家自然科学基金(50977021 , 51107032 , 61104045) ; 河海大学自然科学基金(2009421411) ; 中央高校基本科研业务费专项(2010B05914)

作者简介 : 韦延方(1982 —) , 男 , 河南南阳人 , 博士研究生 , 主要从事电力系统运行分析与控制研究。E-mail : meilaier@163.com

发电机深度进相,使系统具有较大的稳定裕度,机组定子端部发热等问题也可得到明显改善^[11-12]。目前,已有部分文献对多机进相运行情况下的调压能力进行研究^[13-16],主要是用静态等值的方法将外网多机系统简化为单机无穷大系统模型进行分析,等值的过程忽略了进相的多台机组间的相互影响,与电力系统实际运行情况相比存在差异,并且等值精度有待于进一步提高。

对于多机进相系统而言,电机内部的物理约束问题与单机是相同的,但在多机系统中调节发电机的励磁电流会引起发电机间无功功率的重新分配,应根据发电机与系统的连接方式和承担的有功负荷情况合理规定各发电机调压的额度,即从突出群体效果出发进行整体进相运行控制。由于涉及多机间的相互影响,多机、群机进相运行对电网影响的群体效果并非单机进相基础上的简单叠加,因而对多机进相运行而言,目前尚无可依据的操作规范和稳定判断依据^[11-12]。

本文旨在探讨多机进相运行对电网电压及其稳定性的影响、多机协调优化等问题,在单机进相运行机理分析的基础上,详细探讨多机进相运行需要解决的一系列关键问题。

1 发电机进相运行的机理分析

发电机迟相运行是指发电机正常运行时同时发出有功和无功的运行状态;发电机进相运行是指发电机发出有功而吸收无功的运行状态,是一种通过调节励磁电流而实现低励磁、正常运行的工作方式。

图 1 所示为发电机处于迟相、进相 2 种运行状态时功角的变化原理,图中 I 为定子电流, x_d 为同步电抗。如图 1 所示,通过减小励磁电流 I_f ,使发电机从迟相运行状态转为进相运行状态,此时发电机吸收无功功率。机端电压 U 保持恒定不变时, I_f 变大,发电机电势 E_q 变大,功率因数角 φ 滞后,此时发电机为迟相运行状态;减小 I_f ,使 E_q 变小, φ 转为超前,发电机为进相运行状态。 I_f 越小,发电机的功角 δ 越大。

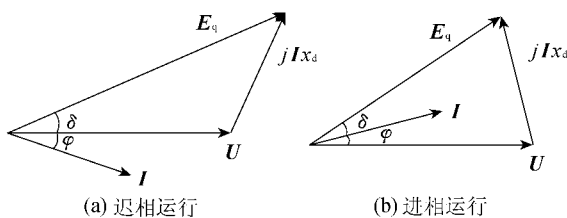


图 1 发电机迟相与进相功角变化原理示意图
Fig. 1 Schematic diagram of change of power angle of lagging and leading phase operation of generator

2 多机进相运行的稳定性分析

已有的现场试验表明,通过采取一定的措施,厂用电电压下降和机组端部发热问题已经不是限制发电机进相运行的因素,发电机静态稳定和电网暂态稳定极限降低是必须考虑的主要问题^[17]。

以隐极机为例,在保持功率 P 不变的条件下,调节 I_f 所引起的发电机各个参数的变化见图 2。根据同步发电机的基本理论,当 P 不变时, $E_q \sin \delta = C$ (C 为常数), P 由式(1)给出:

$$P = \frac{E_q U \sin \varphi}{X_d} \tag{1}$$

同时,由 $P = UI \cos \varphi$ 可知 $I \cos \varphi = C$ 。由此可知,无论 I_f 如何变化, I 在 U 上的投影 $I \cos \varphi$ (图 2 中的 I_1 、 I_2 和 I_3) 不变, E_q 在 U 的垂线上的投影 $E_q \sin \delta$ (图 2 中的 E_{q1} 、 E_{q2} 、 E_{q3}) 不变。如图 2 所示, I_f 变化时, I 的端点轨迹是与 U 垂直的直线 BB' , E_q 的端点轨迹是与 U 平行的直线 AA' 。

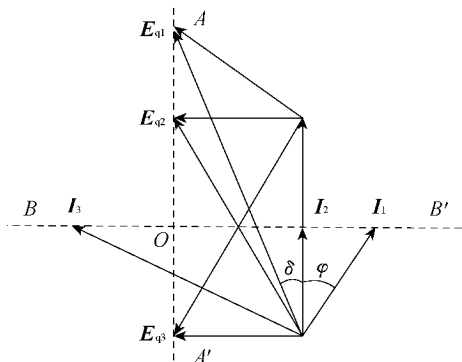


图 2 调节励磁电流时定子电流和电势的变化
Fig. 2 Changes of stator current and excitation voltage when adjusting excitation current

分析图 2 可知,随着机组进相运行深度的加大,功角逐渐增大,机组本身乃至整个电网的暂态稳定水平将下降,尤其是在有多台机组进相运行的电网,暂态稳定问题已成为限制机组进相运行的主要因素^[17]。通常在低谷负荷时系统无功较多,电压偏高,电网的暂态稳定裕度比高峰负荷时略高,但随着进相运行机组数目和容量的增加,电网的暂态稳定水平将趋于下降。因此,对进相运行的机组,其 AVR 系统必须投入,且须在合理的计算分析基础上对低励限制单元进行整定、试验后才可以确定机组是否可以进相运行及进相运行

的深度。

目前,已经有比较成熟的多机静态稳定分析实用算法,主要有小干扰分析法(又叫小振荡法)基于雅可比矩阵方程的静态稳定极限分析等^[18]。因而,可以引入已有的静态稳定实用算法来分析多机进相运行系统的静态稳定性。将所要研究进相机组的外部电网简化为双机系统,通过编制多机系统的静态稳定分析程序,令该机组的有功功率增加,逼近稳定极限,可以求出每台发电机的静态稳定裕度。

在此,给出一种多机静态稳定裕度指标的表示方法。由于在多机进相系统中每台发电机均有失去稳定的静态稳定极限值,运行中应保证所有发电机均有足够的静态稳定裕度。静态稳定裕度值 K_{δ} 可按式(2)定义,即

$$K_{\delta} = \frac{\delta_{\max} - \delta_0}{\delta_0}$$

(2)

式中: δ_0 ——当前运行功角; $\delta_{\max}$ ——静态稳定极限功角。

根据《电力系统安全稳定导则》^[19],每台发电机的静态稳定裕度均应满足如下范围:

$$K_{\delta} \geq 0.15 \sim 0.2$$

(3)

在电力系统含有3台及以上发电机的情况下,发电机的功-角特性不能用曲线表示。由于容量大的发电机组的静态稳定裕度对于系统稳定水平的影响较大,对于参与进相的多台发电机,在其中每台发电机的静态稳定裕度值均满足式(3)的前提下,可按式(4)所示的指标度量多机进相的整体静态稳定裕度水平,即

$$K_{\sum \delta} = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_{\delta_i}$$

(4)

其中

$$\alpha_i = \frac{P_{Ni}}{\sum_i^n P_{Ni}}$$

(5)

式中: $K_{\sum \delta}$ ——多机进相系统整体静态稳定裕度指标值; n ——发电机数; α_i ——加权系数; K_{δ_i} ——第 i 台发电机的静态稳定裕度(满足式(3)); P_{Ni} ——第 i 台发电机的额定有功功率。

式(4)给出了一种多机进相运行时系统整体静态稳定裕度指标的求取方法,该指标可初步判定多机进相运行系统稳定裕度的大小。但是该指标的实用性仍有待于深入分析研究。

3 多机进相调压能力分析

多机进相运行的调压能力已在文献[11]中得到初步体现,笔者在此以中国南部某省实际电网为例,选择该省宁(南)镇常分区为分析对象,验证文献[11]所得结论的适用性。

选择宁(南)镇常分区中的镇江电厂1、2、3号机同时进相,3台发电机型号相同、容量相同,均为135 MW,无功出力按平均分配的原则,此3台机组同时进相后各母线电压水平的变化如图3和图4所示。

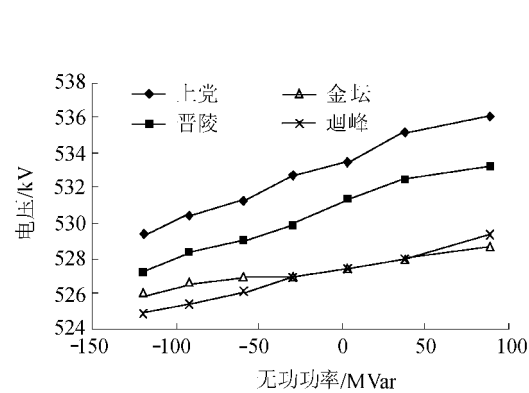


图3 镇江3台发电机同时进相对500 kV母线电压的影响
Fig. 3 Influence of simultaneous leading phase of three generators at Zhenjiang Power Plant on 500 kV bus voltage

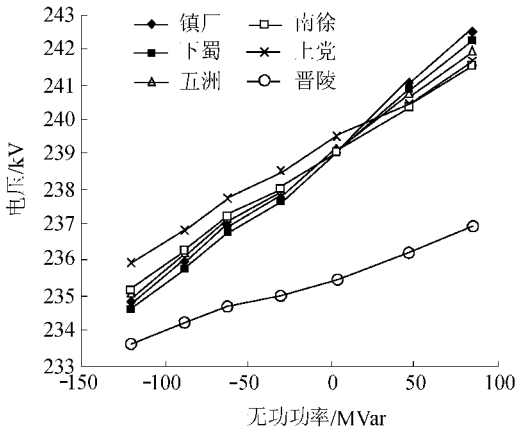


图4 镇江3台发电机同时进相对220 kV母线电压的影响
Fig. 4 Influence of simultaneous leading phase of three generators at Zhenjiang Power Plant on 220 kV bus voltage

计算和分析表明,镇江 1、2、3 号 3 台发电机同时进相运行,当进相深度平均分配,从发出 83.3 MVar 降至吸收 120 MVar 无功功率的过程中,上党变 500 kV 母线电压降至 529.2 kV,晋陵变 500 kV 母线电压降至 527.1 kV,镇厂变 220 kV 母线电压降至 234.83 kV,下蜀变 220 kV 母线电压降至 234.6 kV,局部区域内的主要 500 kV 母线电压下降 8 kV 左右,调压效果较明显。

设 ΔV 为电压变化量, ΔQ 为无功功率变化量,以文献 [11-12] 和 [14] 中所定义的调节系数 $\Delta V/\Delta Q$ 表示发电机进相对电网电压的调节效果,则镇江 1、2、3 号 3 台发电机同时进相后的调节系数如表 1 所示。

表 1 镇江 3 台发电机同时进相后各母线的调节系数

进相容量 MVar	$\Delta V/\Delta Q$									
	500 kV 母线电压					220 kV 母线电压				
	上党	晋陵	金坛	峰	镇厂	下蜀	五洲	南徐	上党	晋陵
41.65	25.2	25.2	12.6	25.2	33.1	33.1	33.1	33.1	27.6	16.6
0	37.8	25.2	12.6	12.6	38.7	33.1	33.1	27.6	27.6	16.6
-30	35.0	35.0	17.5	17.5	38.3	46.0	30.7	30.7	23.0	15.3
-60	35.0	35.0	0.0	35.0	38.3	38.3	38.3	30.7	30.7	15.3
-90	35.0	35.0	17.5	17.5	38.3	38.3	30.7	30.7	30.7	15.3
-120	35.0	35.0	17.5	17.5	38.3	38.3	38.3	38.3	30.7	15.3

由表 1 可知,镇江 1、2、3 号机组同时进相,在进相容量从 41.65 MVar 变化到 -120 MVar 的过程中,对变电站上党、晋陵和峰 500 kV 的母线电压调节效果比较显著,调节系数的变化量分别为 9.8、9.8 和 7.7。

从各进相机组对电网电压的灵敏度和上述分区内多台机组的试验结果可知,多机进相运行对分区电网电压的调节作用显著,可解决宁(南)镇常分区电网局部电压过高的问题,多个电厂联合进相调压可使系统电压维持在一个合格的范围内。

4 多机协调进相及深度优化分析

普遍的观点认为,在达到对母线电压调整程度相同的情况下多机进相的安全裕度会更大、电压调节能力更强,是一种非常有效的电压调整方案。此时单机进相运行的端部温升、厂用电压等约束影响权重会减小,应主要考核系统稳定的问题。但是,是否可以认为多机进相时具有 $1+1=2$ 那样的效果呢?当同一电厂内部或附近电厂某台发电机进相运行、其余发电机迟相运行时,会出现迟相运行机组抢发无功功率的现象,从而削弱了进相运行机组吸收电网无功功率的效果。因而,同一母线(或不同母线)上 2 台发电机或多台发电机同时进相运行的效益如何才能达到最优?1 台发电机保持进相深度不变、另 1 台发电机有功功率持续增大对进相深度影响如何?2 台发电机用不同无功功率分配方案时对系统稳定性的影响如何?当总有功功率恒定、2 台机组在不同有功功率分配方案下对进相深度的影响如何?这些问题值得深入探讨。

在此,不失一般性,以同一母线上的 2 台机组进相为例,分析当甲机组进相时乙机组会自动释放无功补偿甲机组的原因。图 5 中 Q_S 、 Q_{T1} 、 Q_{T2} 分别表示流过线路、变压器 T_1 和变压器 T_2 的无功功率; X_L 、 X_{T1} 、 X_{T2} 分别表示 T_1 、 T_2 和系统的电抗值; U_{11} 、 U_{12} 、 U_S 分别表示发电机 G_1 、 G_2 的机端电压和系统电压。

在机组进相的过程中,调节 G_1 的励磁电压,将引起 G_1 和 G_2 机组间机端电压差的变化,假设 G_1 进相深度大于 G_2 进相深度,则有 $U_{11} < U_{12}$,对图 5(a)作 Y- Δ 变换,得到图 5(b),其中

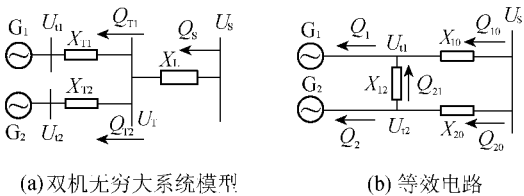


图 5 双机进相系统

Fig. 5 Leading phase operation of double generators

$$X_{10} = X_{T1} + X_L + \frac{X_{T1}X_L}{X_{T2}}$$

(6)

$$X_{20} = X_{T2} + X_L + \frac{X_{T2}X_L}{X_{T1}}$$

(7)

$$X_{12} = X_{T2} + X_{T1} + \frac{X_{T2}X_{T1}}{X_L} \quad (8)$$

式中: X_{10} 、 X_{20} 、 X_{12} ——等效变换后电抗; Q_1 、 Q_2 ——发电机 G_1 、 G_2 吸收的无功功率; Q_{10} 、 Q_{20} ——流过等效电抗 X_{10} 、 X_{20} 的无功功率; Q_{12} ——两机间交换的无功功率。

从图 5(b) 可得

$$U_{11} = U_{12} - \frac{Q_{21}X_{12}}{U_{12}} \quad (9)$$

变换得

$$Q_{21} = U_{12} \frac{U_{12} - U_{11}}{X_{12}} = \frac{\Delta U_{12} U_{12}}{X_{12}} \quad (10)$$

式中 ΔU_{12} 为机端电压差, $\Delta U_{12} = U_{12} - U_{11}$ 。

由式(10)可以得出交换功率 Q_{12} 和电压差 ΔU_{12} 之间的关系曲线, 如图 6 所示。与图 6 相对应的 2 台机进相深度之间的关系如图 7 所示。

由图 6 可见在机端电压差允许范围内, 随着机端电压差的增大, G_1 和 G_2 之间的交换功率随之增大。图 7 中 $0 \sim t_1$ 时间内对应于图 6 中的 ΔU_{12a} 点, 此时 2 台发电机进相深度不变, 交换功率 Q_{12a} 恒定, 在 t_1 时刻 G_1 进相深度加大, 假定 G_2 机端电压恒定, 则此时机端电压差增大到图 6 中的 ΔU_{12b} 点, 交换功率增大到 Q_{12b} , 在 t_1 时刻以后由于 G_1 进相深度加大, 使 G_2 进相深度减小, 甚至转入迟相运行, 抵消了 G_1 进相的部分调压效果。 G_1 与 G_2 无功功率的不合理分配, 使得在获得相同调压效果的前提下 G_1 被迫加大进相容量。

由以上分析可知, 双机-无穷大系统的机组之间存在较强的相互作用, 其中由于传统发电机励磁系统的电压控制作用使双机之间出现了无功功率流动, 这将不利于发挥多台发电机对系统电压的调节作用, 同一电厂或相邻电厂的发电机组应根据实际情况协调进相, 以充分吸收系统过剩的无功功率, 有效控制系统过高的电压。

通过分析表明:

a. 机组进相运行中, 为避免同一电厂内部或附近电厂不进相机组抢发无功功率的现象, 应使非进相机组高功率因数运行或设置合适的控制策略(如恒无功控制策略)。同一电厂相同容量的发电机共同进相时以分配相近的适当进相深度为宜, 应注意避免较大差距的进相深度, 同时也应避免多机轻载浅进相。

b. 发电机在一定的有功负荷下, 以与其容量及实际有功功率相适应的深度进相运行, 可有效吸收电网多余的无功功率、降低线路电压。线路首端电压的降低值与对应进相机组吸收的无功功率成正比, 但输电线路末端电压的降低是多机进相协同作用的结果。

c. 当电网有较大无功功率剩余时, 各电厂及其邻近电厂组成的发电机群, 除采用与其容量及实际有功功率相适应的多机协调进相运行策略之外, 采用 1/2 机组深进相运行、另 1/2 机组高功率因数迟相运行也是较好的选择; 为保证多机系统整体静稳裕度较大, 深进相机组输出的有功不宜过大。采用 1/2 机组进相、另 1/2 机组高功率因数迟相运行策略时, 应优先考虑进相能力强的发电机(同步电抗小、主变短路电抗小、与电网连接紧密)机组进相。

d. 相同容量情况下, 同步电抗小的发电机进相能力较强, 且机组主变短路电抗小也有利于提高进相深度, 故制定多机进相协调策略时要充分考虑各发电机的同步电抗、主变阻抗电压、厂用负荷及其与电网电气距离对其进相极限的影响。

e. 发电机进相调压效果与其距离负荷中心电气距离正相关, 处于负荷中心的电厂发电机进相运行对电网电压调压作用不显著, 处于电网边端的发电机调压效果显著, 边远地区孤立电厂的发电机进相能力小。

f. 在总体进相深度确定的条件下, 采取无功功率与机组有功功率成反比的分配方案有利于提高电力系

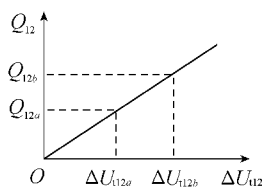


图 6 Q_{12} 与 ΔU_{12} 对应关系

Fig. 6 Relationship between Q_{12} and ΔU_{12}

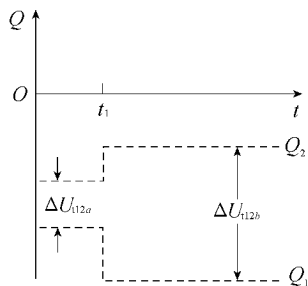


图 7 进相深度曲线

Fig. 7 Curves of leading phase depth

统整体静态稳定裕度。

5 结 语

当前,关于单机进相深度关键制约因素的研究已较充分,且有不少采用进相运行显著降低区域高电压的成功实践。由于单机进相相对电网调压的作用有限,调度中应突出多机进相的群体效果,多机进相、协调进相的新理念应加以重视。有鉴于此,本文阐述分析了多机进相运行中的几个关键问题,包括:

a. 多机进相运行与系统稳定性之间的关系。随着进相运行机组数目和容量的增大,电网的暂态稳定水平将趋于下降,因而对部分电网来说多机进相调压的效果是以牺牲全网暂稳裕度为代价的。

b. 为提高系统的暂态稳定性,在相同的无功调节范围内宜由多台发电机以适当的进相深度同时进相运行,而不宜采取单台发电机深度进相。

c. 多机进相运行对电网电压的调节作用明显优于单机进相运行。多机进相运行在有效降低局部电压的同时避免了同样进相容量范围内单机深度进相引发的发电机失稳。

d. 分析当1台机进相、同一电厂内部或附近电厂其余的不进相机组抢发无功功率现象的机理,探讨多机协调进相的策略,从发电机的角度研究机组的稳定极限,分析多机进相间的无功优化分配问题,从调度的角度给出一种可行的表征多机进相运行静态稳定裕度的指标,为多机进相的深入研究和推广多机进相调压做了有益的工作。

参考文献:

- [1] 史家燕,史源素,赵肖敏,等. 发电机工况参数模型及进相运行在线监测[J]. 中国电机工程学报,2006,26(11):139-143.
(SHI Jiayan, SHI Yuansu, ZHAO Xiaomin, et al. The new method of determining the capability of leading phase of generator and realizing the on-line monitoring[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(11):139-143.(in Chinese))
- [2] 李俊卿,李和明. 汽轮发电机定子铁心端部温度的在线监测研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(2):58-61.(LI Junqing, LI Heming. On-line temperature monitoring of the stator iron-end region in turbine-generator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(2):58-61.(in Chinese))
- [3] 廖勇,杨顺昌. 交流励磁发电机双通道励磁系统反馈系数的选取原则[J]. 中国电机工程学报,1999,19(1):52-55.(LIAO Yong, YANG Shunchang. The selection principles of the feed back coefficient for the dual-passage excitation control of alternating current excitation generator[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(1):52-55.(in Chinese))
- [4] 张建忠,万栗,刘洪志,等. 大型汽轮发电机组进相运行及对电网调压试验研究[J]. 中国电力,2006,39(12):11-15.
(ZHANG Jianzhong, WAN Li, LIU Hongzhi, et al. Study on leading phase operation and voltage regulation test of power network for large steam turbine-generator[J]. Electric Power, 2006, 39(12):11-15.(in Chinese))
- [5] 李扬絮,芮冬阳,刘勇. 发电机进相运行的静态稳定性研究[J]. 广东电力,1997(2):9-12.(LI Yangxu, RUI Dongyang, LIU Yong. The steady state stability research of the leading phase operating of generator[J]. Guangdong Electric Power, 1997(2):9-12.(in Chinese))
- [6] VICATOS M S, TEGOPOULOS J A. Steady state analysis of a double-fed induction generator under synchronous operation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1989, 4(3):495-501.
- [7] 严伟,陈俊,沈全荣. 大型隐极发电机进相运行的探讨[J]. 电力系统自动化,2007,31(2):94-97.(YAN Wei, CHEN Jun, SHEN Quanrong. Discussion on large non-salient pole generator phase-advancement operation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(2):94-97.(in Chinese))
- [8] 谢小荣,肖晋宇,李建,等. 一种估计同步发电机功角的新方法[J]. 中国电机工程学报,2003,23(11):106-110.(XIE Xiaorong, XIAO Jinning, LI Jian, et al. A new approach to estimating power angle of synchronous generators[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(11):106-110.(in Chinese))
- [9] 周雪松,马幼捷,卢强,等. 非线性励磁控制对发电机进相运行稳定性的改善[J]. 清华大学学报:自然科学版,1996,36(9):9-13.(ZHOU Xuesong, MA Youjie, LU Qiang, et al. Experimental study on phase lead stability of a generator for a nonlinear excitation control system[J]. Journal of Tsinghua University Science and Technology, 1996, 36(9):9-13.(in Chinese))
- [10] 张建忠,万栗,刘洪志,等. 大型汽轮发电机组进相运行及对电网调压试验研究[J]. 中国电力,2006,39(12):11-15.
(ZHANG Jianzhong, WAN Li, LIU Hongzhi, et al. Study on leading phase operation and voltage regulation test of power network for large steam turbine-generator[J]. Electric Power, 2006, 39(12):11-15.(in Chinese))
- [11] 韦延方,卫志农,孙国强,等. 基于分区电网的多机进相调压效益探析[J]. 华东电力,2011,39(9):1434-1438.(WEI Yanfang,

WEI Zhinong ,SUN Guoqiang ,et al. Voltage regulation effects of leading phase operation of multi-generators in district grid[J]. East China Electric Power 2011 39(9) :1434-1438.(in Chinese))

[12] 韦延方 ,卫志农 ,张友强 ,等. 发电机进相运行的研究现状及展望[J]. 电力系统保护与控制 ,2012 40(9) :146-154.(WEI Yanfang ,WEI Zhinong ,ZHANG Youqiang ,et al. Progress and development trend on leading phase of generator[J]. Power System Protection and Control 2012 40(9) :146-154.(in Chinese))

[13] 杨兴华 ,边二曼 ,孙倩薇. 黑龙江电网机组进相运行研究及实践[J]. 黑龙江电力 ,2003 25(6) :437-439.(YANG Xinghua ,BIAN Erman ,SUN Qianwei. Leading phase operation of power generators in Heilongjiang grid[J]. Heilongjiang Electric Power 2003 25(6) :437-439.(in Chinese))

[14] 郭景斌 ,张自评 ,单周平 ,等. 发电厂进相运行对电网无功电压的调整研究和技术经济比较[J]. 湖南电力 ,2001(21) :19-23.(GUO Jingbin ,ZHANG Ziping ,SHAN Zhouping ,et al. Technical and economic comparison and adjustment research of reactive voltage in leading phase[J]. Hunan Electric Power 2001(21) :19-23.(in Chinese))

[15] 陈宁. 系统低负荷时期的风电运行效能分析[J]. 太阳能学报 ,2008 29(5) :525-531.(CHEN Ning. Power effect on wind power system during low load period[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica 2008 29(5) :525-531.(in Chinese))

[16] 向婉芹. 大型汽轮发电机进相运行特性分析与研究[D]. 保定 :华北电力大学 ,2005.

[17] 路书军 ,才洪全 ,边二曼 ,等. 黑龙江电网电压综合治理对策与应用[J]. 电网技术 ,2002 26(6) :32-35.(LU Shujun ,CAI Hongquan ,BIAN Erman ,et al. Countermeasures for voltage comprehensive management and its application in power network[J]. Power System Technology 2002 26(6) :32-35.(in Chinese))

[18] 冯治鸿 ,倪以信 ,刘取. 多机电力系统电压静态稳定性分析 :奇异值分解法[J]. 中国电机工程学报 ,1992 12(5) :11-15.(FENG Zhihong ,NI Yixin ,LIU Qu. Analysis of steady-state voltage stability in multimachine power systems by singular value decomposition method[J]. Proceedings of the CSEE ,1992 12(5) :11-15.(in Chinese))

[19] DL 755—2001 电力系统安全稳定导则[S].

《水资源保护》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊

《水资源保护》是河海大学和中国水利学会环境水利研究会共同主办的科学技术期刊 ,创刊于1985 年 ,双月刊 ,国内外公开发行 ,国内统一连续出版物号 :CN32-1356/TV.

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究 ,应用技术 ,工程措施 ,综合述评 ,专题讲座 ,国外动态 ,书刊评介 ,科技简讯 ,水资源管理、评价、监测、优化配置 ,节水技术 ,水环境污染控制等方面的文章 . 近年来 ,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向 ,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容 .

主要读者对象 :与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校的师生 .
《水资源保护》邮发代号 28-298 ,双月刊 ,2013 年每期定价 12 元 ,全年共计 72 元 ,每逢单月 25 日出版 . 可全国各地邮局订阅 ,也可直接与编辑部联系订阅 .

地 址 210098 南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部
电话/传真 (025)83786642 E-mail :bh@hhu.edu.cn
网 址 :kkb.hhu.edu.cn/web/indexbh.asp ?l_id=34