

## 多馈入直流交互作用因子在换相失败研究中的应用

吴冲, 李兴源, 何朝荣

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 换相失败是直流输电的常见故障之一, 单馈入直流输电系统换相失败的机理和控制策略已比较明确。但对于多馈入交流直流混合输电系统, 哪些故障可能引起多个换流站同时或相继换相失败甚至导致直流闭锁, 是否会引起暂态失稳, 还缺乏有效的研究手段。介绍了 CIGRE 工作组提出的多馈入直流系统交互作用评价指标——多馈入交互影响因子; 探讨了该指标与多馈入直流换相失败的联系; 给出了 MIIF 与换相失败工程判据—最小电压降落法的联系; 通过仿真分析了该指标对多馈入直流系统换相失败风险评估的有效性以及与逆变站间电气距离、直流传输功率之间的关系。

**关键词:** 多馈入直流系统; 多馈入交互影响因子; 电气距离; 电压耦合系数

## Application of multi-infeed interaction factor in South Grid commutation failure research

WU Chong, LI Xing-yuan, HE Chao-rong

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Commutation failures are frequent dynamic events in HVDC system. Mechanism and countermeasures for commutation failure of single-infeed HVDC system have been made clear. But as for multi-infeed HVDC system, which faults may induce simultaneous or continuous commutation failures is still unknown for lack of effective research methods. MIIF(Multi-infeed Interaction Factor) is presented. Relationship between this factor and commutation failure in multi-infeed HVDC system is discussed. Simulations prove effectiveness of the index to evaluate risk of commutation failure and its relationship to electrical distance and HVDC transmission power is discussed.

This project is supported by Special Fund of the National Priority Basic Research of China (2004CB217907) and National Natural Science Foundation of China (NSFC) (50595412 & 50377017).

**Key words:** multi-infeed HVDC system; multi-infeed interaction factor; electrical distance; voltage coupling coefficient

中图分类号: TM72 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)09-0026-06

## 0 引言

直流输电由于其远距离输电方面的优势, 在我国这样地域辽阔且自然资源分布不均的国家正得到广泛应用。在今后几年, 预期将有多条直流落点在负荷集中的珠三角和长三角地区。以南方电网为例, 作为“西电东送”南线通道的落点, 2010年将有5条直流线路馈入广东电网, 形成多馈入的交流直流混合电网。在很短的电气距离内集中了5个换流站, 这在国际上也是很罕见的。

与单个直流输电系统相比, 多馈入直流系统通常具有较大的输送容量和更为灵活的运行方式, 但同时也带来了一些特殊问题。其中的一个重要问题

是, 当各直流线路在交流系统中馈入点间的电气距离较近时, 有可能在受端交流系统故障下同时/相继发生换相失败, 若各直流系统不能得以顺利恢复, 将造成大范围停电。因此, 必须首先分析交流系统的哪些故障可能导致上述灾难<sup>[1]</sup>, 并制定相应的预防措施。

单馈入直流系统换相失败的原因已较为清楚, 换相电压下降及其导致的逆变侧直流电压下降和直流电流升高、不对称故障时换相电压过零点漂移都会影响到换相失败的发生, 其中换相电压下降是导致换相失败的主要原因<sup>[2,3]</sup>。

单馈入直流换相失败的原因在多馈入系统中依然适用, 但与单馈入系统不同, 多馈入直流系统中由于直流逆变站之间电气距离近, 其直流与直流、直流与交流之间的相互作用更强, 这种交互作用的结果使得直流系统的响应恶化<sup>[4]</sup>。为了确定这种交互作用对换相过程的影响, 文献[5]提出了电压调节

基金项目: 国家重点基础研究专项经费资助项目 (2004CB217907), 国家自然科学基金项目 (50595412 & 50377017), 南方电网技术研究中心项目

系数耦合度的概念, 并对一个双馈入直流系统进行了分析; 文献[6]采用电磁暂态仿真程序 EMTDC 对逆变站间电气距离、受端交流系统短路比进行了考察, 得出了多馈入换相失败的基本规律, 但没有给出具体的交互作用评价指标; 文献[7]提出了强/弱耦合临界阻抗的概念来判别多个逆变站所可能发生的换相失败组合, 但该虚拟参考值同时受到各种参数的影响, 不直观且计算较为繁琐。文献[8]介绍了由 CIGRE 学术委员会 B4.41 提出的多馈入交互因子指标 MIIF (Multi-infeed Interaction Factor), 并将其应用于印度三馈入直流逆变站过电压问题的初步研究。

本文从交流故障引起换相失败的主要矛盾——换相电压降落出发, 讨论了多馈入交互因子指标的意义及与多馈入直流系统换相失败的关系, 将单馈入直流换相失败的最小电压降落法推广到多馈入直流系统, 阐述了换相电压交互作用的机制, 采用 MIIF 量化电压降落判据中的耦合系数, 通过仿真说明了该指标对换相失败初期研究的指导作用。

## 1 多馈入交互因子与换相失败的关系

目前高压直流输电换流站中基频电流滞后于电源电压, 因此需要交流系统提供无功功率, 而无功功率与电压相关, 因此换相电压的稳定水平直接影响到直流系统的正常运行。多馈入交互因子 (MIIF) 是由 CIGRE WG B4 工作组提出的工程规划阶段用于衡量多馈入直流系统中换流站之间电压交互作用的指标<sup>[8]</sup>, 其定义如下:

$$MIIF_{12} = \frac{\Delta V_2 \%}{1\% \text{ Voltage Change in } V_1} \quad (1)$$

即, 假设系统中存在编号分别为 1 和 2 的两个直流换流站, 当换流母线 1 投入对称三相电抗器使得该母线上的电压降恰好为 1% 时, 换流母线 2 的电压变化。

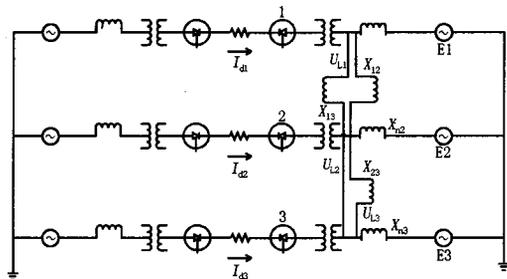


图 1 三馈入直流输电系统模型  
Fig.1 Three-infeed HVDC system

多馈入直流系统落点集中于同一个交流网络,

对某一个换流站施加扰动后, 另一换流站的动态响应必然包含了此间交流系统与其他换流站对它的共同作用。以图 1 的三馈入直流输电系统为例<sup>[7]</sup>:

$$U_{L1} = \left( \frac{E_1}{X_{N1}} + \frac{U_{L2}}{X_{12}} + \frac{U_{L3}}{X_{13}} - \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_{a1} \right) \cdot \left( \frac{1}{X_{N1}} + \frac{1}{X_{12}} + \frac{1}{X_{13}} \right) \quad (2)$$

在电网结构及运行方式确定的情况下, 换流站之间耦合阻抗和交流系统戴维南等效阻抗是一定的, 即  $\left( \frac{1}{X_{N1}} + \frac{1}{X_{12}} + \frac{1}{X_{13}} \right)$  为一常数, 记为  $X_{\Sigma}$ 。因此式(2)可改写如下:

$$U_{L1} = \left( \frac{E_1}{X_{N1}} + \frac{U_{L2}}{X_{12}} + \frac{U_{L3}}{X_{13}} - \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_{a1} \right) \cdot X_{\Sigma} \quad (3)$$

工程上判断换相失败一般是采用经验电压判据, 即当换相电压降到某阈值就认为发生换相失败。假设换相电压刚好跌落到换相失败阈值, 对应的电压跌落幅值为  $\Delta U_{L1}$ , 由式(3)利用叠加定理可表达如下:

$$\Delta U_{L1} = \left( \frac{\Delta E_1}{X_{N1}} + \frac{\Delta U_{L2}}{X_{12}} + \frac{\Delta U_{L3}}{X_{13}} \right) \cdot X_{\Sigma} \quad (4)$$

一般直流电流在换相失败发生后才会显著上升, 因此这里忽略了直流电流的变化。由该式可见, 逆变站的换相失败除了受直接与之相连的交流系统等值电势源影响外, 还受与之耦合的逆变站电压的影响, 而它们之间的耦合系数从公式上看取决于各换流站之间的耦合阻抗及  $X_{\Sigma}$ 。

应该注意到以上公式的推导未计及无功补偿以及直流传输功率等重要因素在逆变站电压交互过程中的重要作用, 而实际系统中这些要素是不能忽略的。MIIF 作为衡量两个逆变站之间的电压交互作用的指标, 它基于实际电网模型, 综合考虑了逆变站间电气距离、各换流母线的有效短路比、实际直流传输功率等因素, 采用时域仿真计算, 所得到的结果较之式(4)单独由交流戴维南等效值阻抗和逆变站间耦合阻抗决定的电压耦合系数更为合理。

综上所述, MIIF 对于多馈入换相失败研究的意义在于: 通过 MIIF 可以了解一个换流站电压下降时其他换流站电压对它的参与度; 同时, 由式(4)可知, 当某换流站电压遭受大扰动, 通过 MIIF 可以估计其他换流站电压受扰程度, 结合最小电压降落法确定的电压阈值, 可以得出多个逆变站同时/相继经历换相失败的可能的组合及风险大小。

## 2 仿真工具及换相失败判据

直流模型的选取对所研究的问题至关重要<sup>[9]</sup>。直流系统模型按详细程度不同可分为简单模型、准稳态模型和电磁暂态模型, 但具有换相失败模拟功

能的只有后两种。其中,电磁暂态模型可详细模拟换流阀的导通、截止和换相过程,能精确描述直流动态行为,但仿真规模小,通常需要对实际系统进行等值<sup>[10]</sup>,而目前的等值技术难以保证等值后的系统仍然具备等值前大系统的特征<sup>[11]</sup>;准稳态模型可以较详细地模拟直流线路和控制器,但由于使用平均值模型模拟换流器,无法再现换相过程,只能依赖于外部条件(如交流/直流电压门槛值)来模拟换相失败逻辑<sup>[12]</sup>。

本文用 MIIF 指标研究多馈入直流换相失败,主要着眼于电压交互作用,因此换相失败判据采用最小电压降落法确定的电压阈值;直流系统采用准稳态模型,基于以下两点考虑:

1)换相电压下降是导致换相失败的主要原因,并且本文的研究对象是换相电压的交互影响,采用准稳态模型的直流系统是满足精度要求的。

2)电磁暂态仿真程序需要对交流系统进行简化,化简后的系统势必会丢失大系统的一些复杂特征,影响结论的准确性;直流系统采用准稳态模型的机电暂态仿真程序则能够保留完整的交流系统模型。

文献[2]给出了故障情况下交流换流母线最小电压降落阈值  $\Delta U$  和不对称故障时电压过零点相移  $\phi$  的计算公式:

$$\Delta V = 1 - \frac{I_d X_{cpu}}{I_d X_{cpu} + \cos(\gamma_0 + \phi) - \cos \gamma} \quad (5)$$

$$\phi = 30^\circ - \tan^{-1} \left[ \frac{\sqrt{3}/2}{1/2 + 1/(1 - \Delta V)} \right] \quad (6)$$

其中:  $X_{cpu}$  为换相电抗,  $\gamma_0$  为最小关断角,  $\phi$  为换相电压过零点相移,  $\gamma$  为额定关断角,  $I_d$  为故障前额定电流,  $I'_d$  为故障后升高的直流电流。对称故障时  $\phi = 0$ , 直接用式(5)计算可得最小电压降落;不对称故障时,则需对式(5)、式(6)进行迭代求解。

本文采用电力系统暂态计算软件 BPA 作为仿真工具,直流控制器整流侧采用定电流控制,逆变侧采用定熄弧角控制,两侧都包含依赖于电压的电流限制功能。计算 MIIF 时取换流母线在暂态过程中出现的最低电压。

### 3 系统模型

本文以南方电网某年度规划网络为背景进行了仿真计算。在该年度共有 8 回交流线 5 回直流线馈入广东电网,丰大方式有 22.1 GW 外电送入,是典型的受端电网,网架示意图见图 2。5 条直流落点

都集中于珠江三角洲地区,分别是:三广博罗换流站、贵广 1 肇庆换流站、贵广 2 白花洞换流站、天广北郊换流站、云广穗东换流站,除北郊接入 220 kV 电网以外,其他换流站都接入 500 kV 环网。直流额定功率分别为穗东 5 GW,博罗、白花洞、肇庆 3 GW,北郊 1.8 GW,各换流站间电气距离见表 1。由表 1 可见,大多数逆变器站间电气距离小于 0.1 p.u.,估计交互影响较为明显。

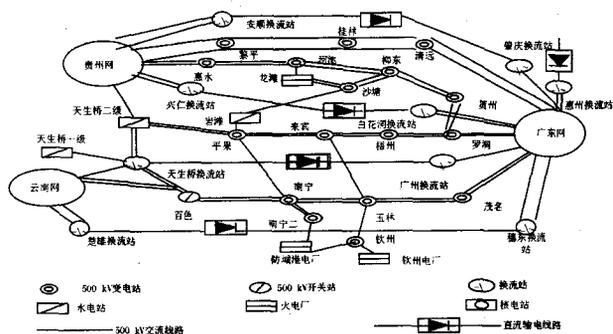


图 2 南方电网多馈入交/直流输电系统的地理接线示意图

Fig. 2 The geographic connection diagram of CSG DC/AC system

表 1 逆变器站耦合阻抗(基准值: 2 500  $\Omega$ )

Tab.1 Coupling reactance among inverter station(Base:2 500  $\Omega$ )

换流站 $i$	换流站 $j$	耦合阻抗/p.u.
肇庆	穗东	0.0147
肇庆	白花洞	0.0597
肇庆	博罗	0.0798
肇庆	北郊	0.0565
穗东	白花洞	0.0235
穗东	博罗	0.0111
穗东	北郊	0.0250
白花洞	博罗	0.0416
白花洞	北郊	0.475
博罗	北郊	0.226

仅考虑对称故障,根据式(5)计算额定直流功率分别为 1.8 GW、3.0 GW、5.0 GW 的逆变器站导致换相失败的最小电压降落值,分别为 0.185、0.185、0.143 (p.u.),设定交流电压恢复到 0.9 p.u.时恢复换相。由于连续的换相失败会导致直流系统的闭锁,本文参照中国电力科学研究院的研究成果,以逆变器站电压持续低于 0.7 p.u.的时间超过 0.8 s 作为直流欠压保护动作和直流线路闭锁的判据<sup>[13]</sup>。

### 4 系统仿真

在丰大正常方式下进行 MIIF 计算,分别在每个逆变器站施加扰动(投切电容),并记录其他几个逆变器站的电压变化情况,结果见表 2。

表 2 MIIF 值  
Tab.2 MIIF value

	博罗	白花洞	肇庆	北郊	穗东
博罗	1	0.225	0.2	0.383	0.3765
白花洞	0.354	1	0.2	0.33	0.325
肇庆	0.304	0.225	1	0.585	0.3765
北郊	0.103	0.08	0.15	1	0.17
穗东	0.606	0.32	0.45	0.83	1

#### 4.1 同时换相失败的研究

表 2 求出的 MIIF 值即为换流站之间的耦合系数, 表中每行的对角线元素都为 1, 表示在相应的逆变器施加的电压扰动; 行中其他元素即表示此时其他各换流站的 MIIF。

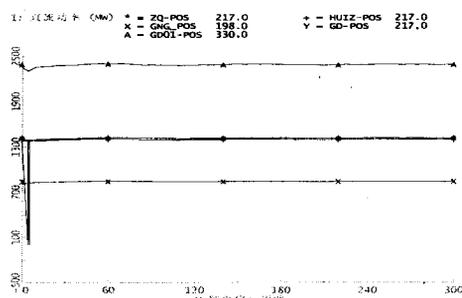


图 3 博罗出线故障直流功率曲线

Fig. 3 DC power curve of Boluo AC fault

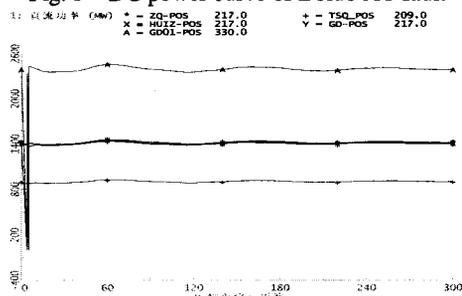


图 4 穗东故障直流功率曲线

Fig. 4 DC power curve of Suidong AC fault

对博罗和穗东换流站的出线进行故障仿真: 三相短路故障, 接地阻抗 0.035 p.u., 0 s 故障, 0.1 s 故障清除。仿真结果表明, 博罗出线故障时, 博罗和白花洞换流站经历换相失败; 穗东出线故障时, 穗东、博罗和肇庆换流站同时经历换相失败, 故障清除后直流都能顺利恢复。直流功率曲线见图 3、图 4。

从仿真结果可看出, 穗东换流站附近电压扰动所导致直流发生同时换相失败的机率要高于博罗换, 这可以通过 MIIF 得到说明: 在穗东换流站施加扰动得到的各换流站 MIIF 要高于在博罗换流站施加扰动时各换流站的 MIIF。因此, 通过 MIIF 表就可以较直

观地判断各逆变器发生同时/相继换相失败的机率大小及可能存在的组合: MIIF 越大, 则发生同时换相失败的风险性越高。

#### 4.2 直流传输功率对交互作用的影响

MIIF 综合了诸多因素的影响, 如各换流站的有效短路比、电气距离和直流传输功率。表 2 所示的 MIIF 矩阵为非对称矩阵, 主要是各换流站有效短路比以及直流传输功率各不相同造成的。

有效短路比及电气距离对换相失败的影响在相关文章中已有分析结论: 有效短路比越小, 换流站间电气距离越近, 则交互作用越强<sup>[3]</sup>。那么直流降功率运行时, 交互作用会不会减小呢? 在保持广东负荷不变的前提下, 以云广单极运行为例, 计算穗东与其他换流站 MIIF 如表 3 所示。

表 3 云广单极运行 MIIF 值

Tab.3 MIIF Value of Yunguang single pole operation

	博罗	白花洞	肇庆	北郊	穗东
穗东	0.584	0.32	0.42	0.77	1

对比表 2 和表 3 可知, 云广单极运行由于直流功率下降, 因此与其他逆变站的交互作用有所减弱。但考虑到直流减少的功率转移到交流联络线上使交流线重载, 影响受端交流电压, 间接影响换流站电压, 使交互作用的改善并不明显。如何分配交直流传输功率使逆变器电压交互作用保持在合理的范围还需要进一步的研究。

#### 4.3 大扰动下的仿真研究

由 MIIF 定义可知, 它是记录某逆变器交流电压 1% 扰动所引起其他逆变器电压的变化, 因此从本质上讲 MIIF 属于小扰动方法, 但换相失败一般都是由交流系统大扰动所引起, 因此有必要用大扰动对其揭示的规律进行校验。使用对称三相短路故障进行校验计算, 0 s 故障, 0.1 s 故障清除, 分别对 5 个换流站的送出线路进行故障扫描, 并确定导致直流闭锁的临界故障形态 (临界接地阻抗)

故障情景 1: 穗东换流站出线三相短路接地, 临界接地电阻 0.008 p.u.; 当接地电阻小于 0.008 p.u. 欧, 穗东换流站故障将使所有换流站经历换相失败, 并最终直流闭锁, 系统失稳。

故障情景 2: 北郊换流站出线三相短路金属接地, 各换流站同时发生换相失败, 并相继恢复。

故障情景 3: 博罗换流站出线三相短路, 临界接地电阻 0.009 p.u.

故障情景 4: 白花洞换流站出线三相短路接地, 临界接地电阻 0.011 p.u.

故障情景 5: 肇庆换流站出线三相短路接地, 临界接地电阻 0.005 p.u.

受文章篇幅限制, 仅列出故障情景 1、2 的仿真曲线, 分别见图 (5) ~ 图 (8)。从仿真结果可看出大扰动下, 除北郊换流站外, 其他几个换流站出线故障几乎都是导致各直流同时换相失败并闭锁, 最终导致系统失稳; 而北郊换流站出线故障未导致闭锁, 故障消失后直流顺利恢复。对表 2 各行 MIIF 加和, 结果见表 4。

表 4 MIIF 加和

Tab.4 Sum of MIIF

博罗	白花洞	肇庆	北郊	穗东
1.1845	1.209	1.4905	0.503	2.2

在大扰动下以 MIIF 的和为指标, 其揭示的规律如下: MIIF 和值越小, 能够承受严重故障而不致直流闭锁、系统失稳的能力越强; 反之, 对故障的承受能力越弱。

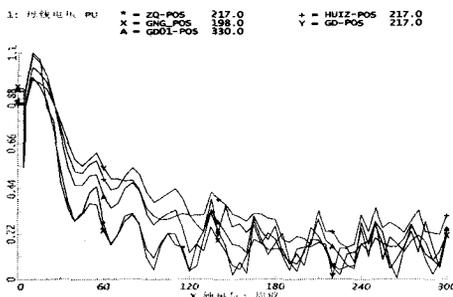


图 5 故障情景 1 各换流站电压曲线

Fig. 5 Inverter AC voltage curve of Suidong AC fault

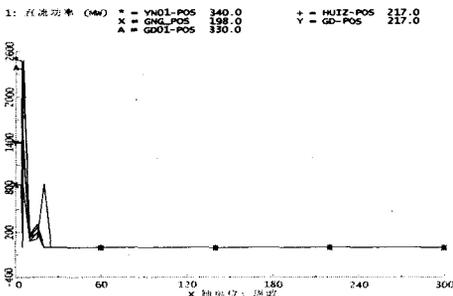


图 6 故障情景 1 各换流站功率曲线

Fig. 6 DC power curve of Suidong AC fault

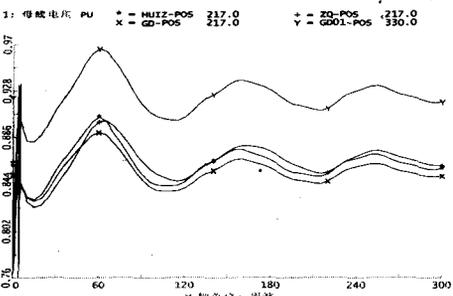


图 7 故障情景 2 各换流站电压曲线

Fig. 7 Inverter AC voltage curve of Beijiao AC fault

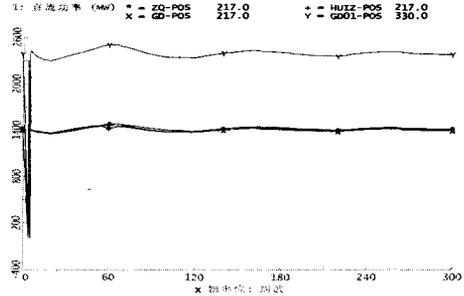


图 8 故障情景 2 各换流站功率曲线

Fig. 8 DC power curve of Beijiao fault

由此可小结如下:

1) MIIF 作为各换流站之间母线电压参与度的衡量指标, 能够较直观地反映发生同时/相继换相失败的风险大小及发生换相失败站点的组合, 这一特点适合于对严重故障进行筛选、排序。

2) MIIF 计算及仿真表明, 云广特高压直流与其他直流换流站的交互作用最为明显, 交流故障容易导致同时换相失败的发生, 但在较严重的故障下才会发生失稳; 天广直流与其他换流站的影响最小, 能够经受严重故障而保持稳定。

3) 在条件允许的前提下, 将直流降压运行, 从而减少直流传输功率, 可以有效缓解直流间相互作用, 并增加换相裕度; 但由于功率向交流联络线转移, 可能使交流线路重载, 对整个系统的影响, 还要针对具体情况具体分析。

4) MIIF 所表现出来的电压耦合实质上包含了系统有效短路比、直流传输功率、逆变站之间的电气距离等影响换相失败的因素, 是一个综合性的指标。

## 5 结论

本文探讨了 CIGRE 直流工作组提出的多馈入交互作用指标与多馈入直流换相失败的关系, 推导了多馈入直流系统换相失败的最小电压降落公式, 并得出电压耦合对电压降落的影响, 阐述了采用 MIIF 来描述电压耦合作用的优势, 并结合该指标初步分析了南方电网多馈入直流同时/相继换相失败的机率和影响因素, 仿真结果揭示了该指标用于换相失败初期分析的有效性。更进一步的工程研究要考虑在直流仿真器上进行。

## 参考文献

[1] 林凌雪, 张尧. 多馈入直流输电系统中换相失败研究综述[J]. 电网技术, 2006, 30(17).  
LIN Ling-xue, ZHAO Yao. Failures in Multi-infeed HVDC Transmission Systems[M]. Power System

- Technology, 2006,30(17).
- [2] Thio C V, Davies J B, Yent K L. Commutation Failures in HVDC Transmission Systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(2): 946-957.
- [3] 欧开健, 任震. 直流输电系统换相失败的研究(一)——换相失败的影响因素分析[J]. 电力自动化设备, 2003,(5).  
OU Kai-jian, REN Zhen. Research on Commutation Failure in HVDC Transmission System, Part I: Commutation Failure Factors Analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003,(5).
- [4] 杨卫东, 薛禹胜. 南方电网中多个直流系统间的协调功率恢复策略[J]. 电力系统自动化, 2003,27(15).  
YANG Wei-dong, XUE Yu-sheng. A Coordinated Recovery Strategy for 3 HVDC Systems Involved in the South China Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(15).
- [5] 欧开健, 任震. 多馈入直流输电系统换流母线电压稳定性评估模型和算法[J]. 电力自动化设备, 2003,(9).  
OU Kai-jian, REN Zhen. Model and Algorithm for Assessing Voltage Stability at Commutation Buses in MIDC System.[J] Electric Power Automation Equipment, 2003,(9).
- [6] ZHOU Chang-chun, XU Zheng. Study on Commutation Failure of Multi-infeed HVDC System[A]. In: PowerCon International Conference on Power System Technology[C]. 2002.
- [7] 项玲, 郑建勇. 多端和多馈入直流输电系统中换相失败的研究[J]. 电力系统自动化, 2005,29(15).  
XIANG Ling, ZHENG Jian-yong. Study on Commutation Failure in MTDC and MIDC Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005,29(15).
- [8] Nayak R N, Sasmal R P. AC/DC Interactions in Multi-infeed HVDC Scheme: a Case Study[A]. In: Power India Conference[C]. 2006.
- [9] 李兴源. 高压直流输电系统的运行和控制[M]. 北京: 科学出版社.  
LI Xing-yuan. High Voltage Direct Current Transmission System Operation and Control[M]. Beijing: Science Press.
- [10] Szechtman N, Thio C V. First Benchmark Model for HVDC Control Studies[J]. Electra, 1991, 135.
- [11] 张建设, 张尧. 直流系统控制方式对大扰动后交直流混合系统电压和功率恢复的影响[J]. 电网技术, 2005,29(5).  
ZHANG Jian-she, ZHANG Yao. Influence of DC System Control Modes on Voltage and Power Recovery After Large Disturbance in Hybrid AC/DC Systems[J]. Power System Technology, 2005,29(5).
- [12] 中国版 BPA 暂态稳定程序用户手册[Z]. 中国电力科学研究院.  
Chinese Version BPA Transient Stability Manual Book[Z]. Chinese Electric Power Research Institute.
- [13] 李峰, 管霖. 广东交直流混合电网的运行稳定性研究[J]. 电网技术, 2005,29(11).  
LI Feng, GUAN Lin. Study on Stability of GUANGDONG AC/DC Hybrid Power Grid[J]. Power System Technology, 2005,29(11).

收稿日期: 2006-11-15; 修回日期: 2006-12-26

作者简介:

吴冲(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为高压直流输电的建模与仿真、电力系统稳定与控制; E-mail:wuchong624@163.com

李兴源(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 从事电力系统稳定与控制、高压直流输电、分布式发电等研究。

郭志忠(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制, 电力系统的自动化与信息化, 电力系统光学测量技术等。E-mail:zhizhongg@bjxj-xjgc.com

(上接第 25 页 continued from page 25)

作者简介:

屠强(1958-), 男, 博士研究生, 研究方向为配电网线损管理和电力系统的调度与控制;

## 大丰风力发电设备总装项目开工

4月8日, 总投资1000万欧元的风力发电设备总装项目在江苏大丰经济开发区开工建设。

该项目由中德合资——江苏夏天诺德文德能源设备有限公司投资建设, 主要生产850千瓦级和1600千瓦级大型风力发电设备, 属大功率水平轴双叶变桨变速风力发电机, 制造技术直接来源于德国, 产品主要性能国内领先, 其中多项性能处于目前国际最新技术水平。建成后, 可年产200台风力发电机组。据介绍, 在该项目的基础上, 夏天诺德文德公司将联合国内外风能产业零部件生产厂家, 共同投资建设一个18至20亿元规模的风能设备产业链园区。