

# 运用特征值法确定交直流系统电压失稳区

吴杰康<sup>1</sup>,张 飏<sup>1</sup>,陈国通<sup>2</sup>

(1. 广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004; 2 广西电网公司梧州供电局, 广西 梧州 543002)

**摘要:** 直流输电可以对其功率快速地进行调节,从而提高与直流系统相连接的交流系统的稳定性,所以交直流系统在国内外应用得越来越多,而研究如何定量地分析交直流系统的电压稳定性成为了当前比较迫切需要解决的问题。该文结合交直流系统的特点,采用改进的牛顿法求解交直流系统的潮流,在得到收敛潮流的最小特征值及其左右特征向量后,计算出各节点的参与因子,并以参与因子为依据,采用特征值法对在一定直流控制方式下的交直流系统进行电压稳定性分析,找出交直流系统的电压易失稳区,从而为采取相关措施提高整个交直流系统的电压稳定性提供有价值的参考依据。最后通过对一个 9 节点的交直流系统采用本文方法进行仿真计算,证明了本文所述方法的有效性和可行性。

**关键词:** 交直流系统; 电压稳定; 特征值; 电压失稳区

**中图分类号:** TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)07-0027-05

## 0 引言

高压直流输电由于没有功角稳定问题,直流功率可以快速调节以及运行可靠性强等优点,因此现在在国内外已经在输电网中普遍采用了直流输电的方式,特别是在大功率,远距离输电的情况下应用得更加广泛<sup>[1]</sup>。

随着交直流系统的不断出现,交直流系统的电压稳定性问题也逐步引起人们的重视,由于换流设备在换相过程中要消耗无功,且逆变器消耗的无功一般占到所传输直流有功功率的 60%左右,电力系统电压水平的高低主要受到无功功率的影响<sup>[2]</sup>,这就使得与直流端相连的交流母线的电压稳定性受到威胁,寻找一种分析交直流系统电压稳定性的方法就显得非常重要。

在交直流系统中,虽然直流部分占的比重不大,但由于直流系统的变量多而复杂,而且在系统负荷不断增长的过程中,交流母线电压不断下降,需要我们考虑直流系统变量是否越限以及相应的是否需要调整直流运行方式的问题<sup>[3]</sup>,所以分析交流系统电压稳定性的方法不能直接应用于交直流系统。

文献 [4] 初步介绍了特征值灵敏度的相关概念以及它的求解方法,并且还运用特征值灵敏度参数分析了电力系统的小信号稳定性。但此算法仅运用在了交流系统中,并且计算精度还有待提高。

文献 [5~7] 介绍了一种判别交流系统电压弱稳定区的方法,通过计算出系统中每一条线路的电

压稳定参数 - VSM 值,即可判断出系统的电压稳定极限及电压弱稳定区。

还有学者提出了以短路比大小来衡量交直流系统电压稳定性的方法<sup>[8]</sup>,这种方法主要是通过交流系统的强弱来衡量换流站交流母线电压稳定性,此法虽然计及了换流站的无功补偿,但没有反映出直流系统的控制方式,所得结果也只具有参考价值。

文献 [9] 把崩溃点法和延拓法结合起来用于交直流系统电压稳定性的研究,这种方法在临界点附近的收敛性好,保证了求得的工作点位于同一 PV 或者 QV 曲线上。

本文在计算交流系统潮流的牛拉法基础上,对于增加进方程的直流系统变量,对牛拉法进行改进,将交流系统潮流方程、直流换流器基本方程、直流网络方程联立起来,计算出交直流系统的潮流,并运用特征值法,求出交直流系统收敛潮流雅可比矩阵的最小特征值及其左右特征向量,进而求出各节点的参与因子,根据参与因子的大小得出在该特征模式下交直流系统中哪些节点是电压易失稳节点,从而为运行人员采取措施提高整个交直流系统的电压稳定性提供参考信息。

## 1 交直流系统潮流计算方法

系统中包含有直流节点时,由于增加了直流系统相关的分量,因此对于原来用于潮流计算的牛拉法要做些修改。

### 1.1 直流系统基本方程

直流系统的基本方程包括换流器的基本方程和

直流网络方程,对于任意一个换流器,有它的转换方程组如下<sup>[10]</sup>:

$$\begin{aligned} V_d &= k_T V_t \cos \alpha - X_c I_d \\ V_d &= k k_T V_t \cos \alpha \\ P_d &= V_d I_d \\ Q_d &= V_d I_d \tan \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $V_d$ 、 $I_d$  分别为直流电压和直流电流,  $\alpha$  为换流器的控制角,  $X_c$  为换流器的换相电抗,  $k_T$  为换流变压器的变比,  $V_t$  是与换流器相连的交流母线电压幅值。则上述式子的潮流计算迭代方程为:

$$\begin{aligned} d_{1k} &= V_{dk} - k_{Tk} V_{tk} \cos \alpha_{dk} + X_{ck} I_{dk} = 0 \\ d_{2k} &= V_{dk} - k_r k_{Tk} V_{tk} \cos \alpha_{dk} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $k$  为换流器编号,  $V_{tk}$  表示与第  $k$  个换流器相连接交流母线电压。

直流网络方程描述直流电流与直流电压之间的关系,如果取整流器的  $V_d$ 、 $I_d$  为正,逆变器的  $V_d$  为负,  $I_d$  为负,就可以得到直流网络方程如下所示:

$$I_d = [G]V_d \quad (3)$$

其中:  $[G]$  表示所有直流网络的节点导纳矩阵。

直流网络方程的潮流计算迭代形式为:

$$d_{3k} = \pm I_{dk} - \sum_{j=1}^{n_d} g_{dkj} V_{dj} = 0 \quad (4)$$

式中:  $g_{dkj}$  表示直流网络节点导纳矩阵的元素,  $n_d$  表示换流器的个数,正负号分别对应整流器和逆变器。

### 1.2 节点功率方程

对于没有和换流器相连的纯交流节点,它们的功率方程与交流系统的节点功率方程一样:

$$\begin{cases} P_i = P_{is} - V_i \sum_j V_j (G_{ij} \cos \alpha_{ij} + B_{ij} \sin \alpha_{ij}) = 0 \\ Q_i = Q_{is} - Q_i \sum_j V_j (G_{ij} \sin \alpha_{ij} - B_{ij} \cos \alpha_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

对于与换流器直接相连的直流节点,则它的功率方程式就多出了一项直流功率:

$$\begin{cases} P_i = P_{is} - V_i \sum_j V_j (G_{ij} \cos \alpha_{ij} + B_{ij} \sin \alpha_{ij}) \pm V_{dk} I_{dk} = 0 \\ Q_i = Q_{is} - Q_i \sum_j V_j (G_{ij} \sin \alpha_{ij} - B_{ij} \cos \alpha_{ij}) \pm V_{dk} I_{dk} \tan \alpha_k = 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中的正负号对应逆变器和整流器。式子 (5) 和 (6) 就组成了整个交直流系统的节点功率方程式。

### 1.3 换流器控制方程

在实际的交直流系统运行中,换流器需要制定运行方式,一般而言换流器应该考虑以下四种可能的运行方式:

- 1) 定电流控制:  $I_d - I_d^p = 0$
- 2) 定电压控制:  $V_d - V_d^p = 0$
- 3) 定功率控制:  $P_d - P_d^p = 0$
- 4) 定控制角控制:  $\cos \alpha - \cos \alpha^p = 0$

对每个换流器,当指定了某种运行方式时就相当于给定了两个直流控制变量,仅剩余两个变量参与潮流计算。

在潮流计算中,一般把所选取的两个控制方程也作为补充方程参与潮流迭代,可写为:

$$\begin{aligned} d_{4k} &= d_{4k}(I_{dk}, V_{dk}, \cos \alpha_{dk}, k_{Tk}) = 0 \\ d_{5k} &= d_{5k}(I_{dk}, V_{dk}, \cos \alpha_{dk}, k_{Tk}) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

以上的式 (2)、(4)、(5)、(6)、(7) 就组成了交直流系统的潮流计算方程式,交直流系统的潮流计算要计算的量包括所有节点的电压幅值和相角、每个换流器的直流电压、直流电流、控制角、换流变的变比以及换流器的功率因数角<sup>[11]</sup>。

### 1.4 交直流系统潮流雅可比矩阵的求取

为了运用特征结构法进行电压稳定性分析,我们必须求得交直流系统的潮流雅可比矩阵,因为式 (4) 中存在有直流功率项,所以交直流系统的雅可比矩阵和纯交流系统的雅可比矩阵不一样,设

$\begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}$  是纯交流部分的雅可比矩阵,则交直流系统的潮流计算雅可比矩阵为<sup>[11]</sup>:

$$J = \begin{bmatrix} H_{aa} & H_{at} & N_{aa} & N_{at} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_{ta} & H_{tt} & N_{ta} & N_{tt} & A_{21} & A_{22} & 0 & 0 & 0 \\ M_{aa} & M_{at} & L_{aa} & L_{at} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M_{ta} & M_{tt} & L_{ta} & L_{tt} & A_{41} & A_{42} & 0 & 0 & A_{45} \\ 0 & 0 & 0 & C_{14} & F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{24} & F_{21} & 0 & F_{23} & 0 & F_{25} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{31} & F_{32} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{41} & F_{42} & F_{43} & F_{44} & F_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{51} & F_{52} & F_{53} & F_{54} & F_{55} \end{bmatrix} \quad (8)$$

矩阵中交流部分的子矩阵  $\begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}$  形成方法与传统潮流计算的雅可比矩阵形成方法完全一致, A, C, F 子矩阵部分的形成方法可参看文献 [11] 中的介绍。

## 2 交直流系统电压失稳区的确定

### 2.1 特征值法原理

通过以上对交直流系统潮流计算方法的分析得到了交直流系统潮流计算修正方程式为:

$$\begin{bmatrix} P_a \\ P_t \\ Q_a \\ Q_t \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} a \\ t \\ V_a / N_a \\ V_t / N_t \\ V_d \\ I_d \\ K_T \\ W \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中:  $P_a$ 、 $P_t$  分别为纯交流节点和直流节点的功率偏差量,  $W$  是由  $\cos \delta$  组成的列向量。

设  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  为式 (9) 中的雅可比矩阵  $J$  的特征值, 对应与这些特征值的左、右特征向量分别为  $V_1, V_2, \dots, V_m$  和  $U_1, U_2, \dots, U_m$ , 那么我们可以将雅可比矩阵  $J$  谱分解成:

$$J = \sum_{i=1}^m U_i V_i^T \quad (10)$$

将式 (10) 代入到式 (9), 有:

$$\begin{bmatrix} a \\ t \\ V_a / N_a \\ V_t / N_t \\ V_d \\ I_d \\ K_T \\ W \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^m U_i V_i^T \begin{bmatrix} P_a \\ P_t \\ Q_a \\ Q_t \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{bmatrix} \quad (11)$$

系统处于临界点时, 雅可比矩阵奇异, 其行列式为零, 因此必定有一个模最小的特征值为零, 由式 (11) 可知, 当系统处于临界状态时, 对应于系统的微小注入量, 系统节点电压和各直流分量的变化量将会非常巨大, 这样对整个系统的安全运行产生不利的影 响, 而且也容易引起直流系统各控制变量的越限, 使得直流系统不能发挥对交流系统的调节作用, 从而引起全网的电压失稳乃至发展为电压崩溃。

节点注入量变化所引起的状态变量的变化与左右特征向量和特征值  $V_i, U_i, \lambda_i$  有关, 与最小特征值

及其特征向量的关系最大, 当系统处于稳定边界时, 由于雅可比矩阵奇异, 最小模特征值为零, 此时任何小的功率注入量的变化都会引起各状态变量的无限制漂移<sup>[12]</sup>。因此, 我们可以用最小特征值  $\lambda_{\min}$  来间接地度量全系统的稳定裕度。

特征值法的基本出发点就是对雅可比矩阵的特征值进行分析, 找出最小特征值及其相应的特征向量, 然后对该特征值和特征向量进行分析, 可以对系统的运行状况进行判定<sup>[13]</sup>。

### 2.2 交直流系统电压失稳区

对于任何一个电力系统而言, 一般我们认为在系统内只要任何一个节点或者一片区域的电压不稳定即为全系统的不稳定。所以我们有必要确定哪些节点或者说哪些区域的电压稳定性最差, 最容易发生电压崩溃, 从而为电压崩溃的预防控制提供理论参考<sup>[12]</sup>。对于交直流系统, 我们就要判断出哪些直流节点或者交流节点处于电压弱稳定区中, 然后根据判断结果在这些节点上采取直流调制的措施或者安装无功补偿装置来增强这些节点的电压稳定性。

采用计算节点参与因子的办法, 我们就可以确定出交直流系统的失稳区, 确定哪些节点需要安装无功补偿装置。节点参与因子越大, 说明该节点越容易发生电压失稳, 在该节点安装无功补偿装置或者进行适当的直流调制就可以有效地提高整个系统的电压稳定性。

假设在式子  $\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^m U_i V_i^T \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix}$  中, 如取

$P = 0, Q = e_k$ , 其中  $e_k$  为第  $k$  个元素为 1, 其余元素为 0 的单位列向量。即假设系统的有功注入量保持不变, 仅在第  $k$  个节点上注入单位无功, 那么此时系统的状态变量的变化为:

$$\begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^m U_i V_{n+k-1, i} \quad (12)$$

其中:  $V_{n+k-1, i}$  为左特征向量  $V_i$  的第  $n+k-1$  个元素, 所以第  $k$  节点的电压灵敏度为:

$$\frac{dV_k}{dQ_k} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{U_{n+k-1, i}} V_{n+k-1, i} = \sum_{i=1}^m \frac{P_{n+k-1, i}}{U_i} \quad (13)$$

式中: 定义  $P_{ki} = U_{ki} V_{ki}$ ,  $U_k$  表示右特征向量  $U_i$  的第  $k$  个元素, 同样  $V_{ki}$  表示左特征向量  $V_i$  的第  $k$  个元素。称为第  $k$  个状态变量对第  $i$  个特征模式的参与因子。

在同一个特征模式下比较不同节点的参与因子, 就可以找出与该特征模式强相关的节点, 如果系

统以该模式失稳,那么这些强相关的节点就构成了系统以该模式失稳时的失稳区。如果最小模特征值  $\lambda_{\min} > 0$ ,则与其强相关的节点就构成了全系统稳定程度最差或者说最容易发生不稳定的区域。

### 3 算例分析

以下将应用本文所述方法对一个 9 节点的 IEEE 测试系统进行计算,其中将第 4 节点和第 5 节点之间的线路用一条直流线路来代替,其它交流部分的结构不作变化<sup>[15]</sup>。修改后的 9 节点交直流系统图及直流线路参数如图 1 及表 1 所示。

表 1 直流线路参数

Tab 1 Parameters of the DC line

	整流器	逆变器
节点号	4	5
换相电阻	5.5	6.5
最小控制角	7°	10°
换流变调节范围	±15%	±15%
直流线路等值电阻	0.5	
额定直流功率	13 MW	
额定直流电压	300 kV	

直流系统采取的控制方式为:整流侧定电流控制,直流电流给定为 100 A;逆变侧定最小熄弧角控制,  $\alpha = 10^\circ$ 。计算过程中假定发电机节点 1 为平衡节点,发电机节点 2、3 为 PV 节点,假设平衡节点和 PV 节点电压保持不变,全网负荷均匀增加直到极限运行状态,则系统在正常运行状态和极限运行状态下的各节点负荷功率、节点电压幅值、电压相角、节点参与因子计算结果如表 2 及表 3 所示。

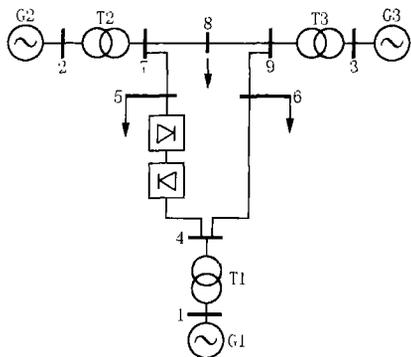


图 1 9 节点交直流系统接线图

Fig 1 9-bus AC/DC system connection

从表中的计算结果可知,节点 4、5、8 的参与因子数值较大,其中节点 5 的无论是在正常运行状态还是在极限运行状态,它的电压降落都是最大的,因为换流设备在换流过程中要消耗大量的无功,其中

逆变侧消耗量最大,占到整个直流功率的 60% 左右,而发电机 1 发出的无功不能通过直流线路传输给节点 5 来补偿该节点上逆变器所消耗的无功量,只能由发电机 2 发出的无功来提供给节点 5 作为无功补偿量,当节点 8 负荷增加后,由于节点 5 消耗无功量较大,有可能造成节点 8 由于无功不足而出现电压降落过大。所以与逆变器相接的交流母线的电压稳定问题最突出,一旦整流器、逆变器端由于换向所消耗的无功得不到合适的补偿,就容易导致交流母线电压的下降,若电压下降到一定程度还会出现换相失败、直流功率中断等一系列问题。

表 2 节点参与因子计算结果(正常状态)

Tab 2 Participation factor calculation result(normal condition)

正常运行状态				
节点	负荷功率	电压	相角	参与因子
1	0	1.000 0	0.00 0	
2	0	1.030 0	5.29	
3	0	1.027 7	1.91	
4	0	0.996 1	-2.47	0.564 9
5	1.25 + j0.5	0.886 2	-11.51	0.956 2
6	0.9 + j0.3	0.980 5	-5.06	0.414 7
7	0	0.962 9	-0.79	0.772 5
8	1.00 + j0.4	0.963 5	-3.36	0.628 3
9	0	0.997 1	-0.95	0.104 4
最小特征值		6.8560		

表 3 节点参与因子计算结果(极限状态)

Tab 3 Participation factor calculation result(limit condition)

极限运行状态				
节点	负荷功率	电压	相角	参与因子
1	0	1.000 0	0.000	
2	0	1.019 3	1.22	
3	0	1.005 6	-1.07	
4	0	0.869 4	-3.06	0.683 9
5	1.57 + j1.8	0.736 2	-21.12	0.826 8
6	2.18 + j0.7	0.837 7	-6.45	0.286 1
7	0	0.846 1	-5.30	0.332 7
8	1.53 + j0.9	0.776 2	-7.47	0.757 2
9	0	0.892 7	-4.02	0.064 5
最小特征值		0		

通过计算我们得到节点 4、5、8 构成了整个交直流系统的电压失稳区,这一结果与理论分析的结论相符,所以我们只要密切留意电压失稳区中各节点的电压变化情况,在这些节点上采取减负荷、加装无功补偿装置或者直流系统运行方式的调节等手段加强这些节点的电压稳定性,就可以保证全网的电压稳定。

### 4 结论

本文利用改进的牛拉法计算交直流系统的潮流

问题,并通过计算收敛潮流的雅可比矩阵的最小特征值及其特征向量,得出一种利用节点参与因子来判断交直流系统电压失稳区的方法,此方法物理概念明晰,计算量不大,判断结果也较为准确。

此法确定出的电压失稳区为电网的安全稳定运行提供了有价值的参考信息,使得运行人员可以通过对失稳区内的各节点采取无功补偿或者调节直流系统运行方式等措施,改善这些节点的电压稳定性,从而提高整个交直流系统的电压稳定性。

### 参考文献:

- [1] 周双喜,吕佳丽,周元鹏. 直流输电对电压稳定性的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(3): 4-7.  
ZHOU Shuang-xi, L ü Jia-li, ZHOU Yuan-peng The Impact on Voltage Stability of HVDC[J]. Journal of Tsinghua University (Sci & Tech), 1999, 39(3): 4-7.
- [2] 程浩忠,吴浩. 电力系统无功与电压稳定性[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.  
CHENG Hao-zhong, WU Hao Power System Reactive Power and Voltage Stability[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [3] XU Zheng Voltage Stability and Control Modes in HVDC Systems [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998: 1485-1488.
- [4] Lima E Assessing Eigenvalue Sensitivities[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(1): 299-306.
- [5] HE Tao, Kolluri S, Galvan F Identification of Weak Location in Bulk Transmission Systems Using Voltage Stability Margin Index [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 16(2): 1153-1158.
- [6] Musirin I, Abdul Rahman T K Estimating Maximum Loadability for Weak Bus Identification Using FVSI[J]. IEEE Power Engineering Review, 2002(22): 50-52.
- [7] Rastgoufard P, He T, Mandal S Identification of Weak Voltage Buses for Energy Transmission System [R]. Energy Technical Report, 2003.
- [8] 徐政. 联于弱交流系统的直流输电特性研究之一: 直流输电的输送能力[J]. 电网技术, 1997, 21(1): 12-16.  
XU Zheng The Research of the HVDC Transmission Characteristic

Connected with the Weak AC System [J]. Power System Technology, 1997, 21(1): 12-16.

- [9] Canizares C A, Alvarado F L. Point of Collapse and Continuation Method for Large AC/DC Systems [J]. IEEE Trans on PWRs, 1993, 8(1): 1-7.
- [10] Kundur P. Power System Stability and Control[M]. McGraw Hill International Editions, 1994.
- [11] 王锡凡,方万良,杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京:科学出版社, 2004.  
WANG Xi-fan, FANG Wan-liang, DU Zheng-chun Modern Power System Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [12] 周双喜,朱凌志,等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.  
ZHOU Shuang-xi, ZHU Ling-zhi, et al Power System Voltage Stability and Its Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [13] 席勇健,郭永基,等. 一种基于特征结构分析的电压稳定算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1998, 38(3): 1-5.  
XI Yong-jian, GUO Yong-ji, et al A Voltage Stability Calculation Method Based on Eigenvalue Structure Analysis[J]. Journal of Tsinghua University (Sci & Tech), 1998, 38(3): 1-5.
- [14] Lee D, Aik H, Anderson G Voltage and Power Stability of HVDC Systems-Emerging Issues and New Analytical Methodologies [A]. Invited Paper to VII SEPOPE Curitiba (Brazil). 2000.
- [15] Institute of Electric Power Systems, University of Hannover Modified Newton Raphson Load Flow Analysis for Integrated AC/DC Power Systems [Z]. Hannover (Germany)

收稿日期: 2005-09-20; 修回日期: 2005-10-14

### 作者简介:

吴杰康(1965-),男,教授,工学博士,主要研究方向为电力系统运行与分析、电力市场、电力系统智能检测与智能控制、配电自动化、电力系统智能仪表;

张颢(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统电压稳定; E-mail: xpizb@163.com

陈国通(1965-),男,硕士研究生,高工,主要研究方向为电力市场、电力管理、电力系统数字化监控。

## Voltage weak stability zone calculation of AC/DC system using eigenvalue method

WU Jie-kang<sup>1</sup>, ZHANG Biao<sup>1</sup>, CHEN Guo-tong<sup>2</sup>

(1. Department of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Wuzhou Power Supply Bureau, Guangxi Electric Net Company, Wuzhou 543002, China)

**Abstract:** HVDC system can adjust its direct power flow quickly to enhance the voltage stability of the AC system which is connected with the DC system. It is very urgent to find a method to analyze the voltage stability of the AC/DC systems. Based on the characteristic of the AC/DC system, a modified Newton-Raphson load flow method is proposed to calculate the AC/DC system power flow. After the calculation, the smallest eigenvalue and its eigenvectors can be obtained. Then every bus's participation factors can be calculated by using them. Based on the participation factors, the voltage stability of the AC/DC systems which operates under a certain DC control mode can be analyzed using the eigenvalue method and the voltage weak stability zone of the AC/DC systems can be obtained. The feasibility and effectiveness of this method is verified by the simulation of a AC/DC system using Powerworld and Matlab.

**Key words:** AC/DC system; voltage stability; eigenvalue; voltage weak stability zone