

# 区域间可用输电能力计算的灵敏度分析法

邱永生, 刘焕志, 李扬

(东南大学电气工程系, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 随着市场竞争程度的日益加剧, 迫切需要计算输电网络的输电能力, 以反映网络的实际使用情况, 尽可能利用现有输电网络传输更多的电力, 以降低成本。基于此, 提出一种基于直流潮流的灵敏度分析法计算区域间可用输电能力。首先给出 3 种分配系数的定义及计算公式; 其次详细推导了无线路发生停运故障、单一线路发生停运故障及多条线路同时发生停运故障情况下区域间可用输电能力的计算公式, 并给出计算流程; 最后将该算法应用到 IEEE30 节点系统。算例表明该方法计算速度快, 能有效地跟踪电网和市场的变化, 获得有价值的计算结果, 满足电力市场的实时要求, 具有一定的实用性。

**关键词:** 输电网络; 可用输电能力; 分配系数; 停运故障; 灵敏度

**中图分类号:** TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)02-0021-05

## 0 引言

根据北美电力可靠性委员会 NERC (North American Electric Reliability Council) 1995 年文献<sup>[1]</sup>, 可用输电能力 ATC (Available Transfer Capability) 可定义为物理输电网络输电容量总量扣除已被使用容量, 剩余的且将来可作为商业用途的传输容量。所谓区域间可用输电能力指一定的系统运行方式下, 满足系统安全可靠运行条件, 通过区域间的所有输电回路, 可以额外传输的最大容量。电力市场环境, 由于环境、输电路径、成本等因素限制, 以及市场竞争程度的日益加剧, 迫切需要利用现有的输电网络传输更多的电力, 从而最大限度地降低成本。市场的各参与方迫切需要了解输电网络的传输能力, 以指导其在电力市场下的各种商业行为。同时, 电网传输信息对输电网资源规划具有指导意义。

如何比较准确快速地确定区域间 ATC, 使系统既满足安全性和可靠性的要求, 又能最大限度满足电力市场各参与方的要求, 已成为新形势下亟待解决的研究课题。文献 [2] 提出一种连续型潮流计算方法即非线性系统分析中的参数化连续型数值方法来计算区域间的交换功率, 该方法克服在潮流解曲线鞍型分叉点处由于常规雅克比矩阵奇异而导致的计算困难。文献 [3] 提出一种运用连续二次规划方法进行最优潮流计算来获得区域间极限传输容量, 该方法避免用连续潮流方法计算极限传输容量而较为保守的缺点。但这两种方法计算时间长, 无法满足电力市场的实时要求。本文提出一种基于直流潮流的灵敏度分析法, 该方法原理简单, 计算速度快,

满足电力市场的实时要求。

本文首先给出 ATC 的数学表达式, 其次提出 3 种分配系数, 并给出了定义和推导了计算公式, 然后详细推导无线路发生停运故障、单一线路发生停运故障及多条线路同时发生停运故障情况下区域间 ATC 的计算公式, 最后将本文提出的方法应用到 IEEE30 节点系统, 算例表明该方法计算速度快, 能有效地跟踪电网和市场的变化, 获得有价值的计算结果, 具有一定的实用性。

## 1 ATC 确定

由 ATC 的定义可看出它是在现有的输电合同的基础上, 衡量实际输电网络保留功率交换能力的尺度<sup>[4]</sup>, 也是作为一个衡量互联输电网络如何运作以满足输电服务要求的技术特性尺度。因此, ATC 的数学表达式<sup>[5]</sup>可表示为:

$$ATC = TTC - TRM - CBM - ETC \quad (1)$$

式中:  $TTC$  (Total Transfer Capability): 最大输电能力, 指同时满足一组确定的故障前后系统条件, 能在互联输电网络上可靠传输的最大功率量;  $TRM$  (Transmission Reliability Margin): 输电可靠性裕度, 定义为必要的电网输电能力, 以确保互联输电网络在系统条件下确定的合理范围内是安全的;  $CBM$  (Capacity Benefit Margin): 容量效益裕度, 定义为负荷供应单位储备的输电网络输电能力的数量, 以确保从互联系统获得出力, 满足发电可靠性要求;  $ETC$  (Existing Transmission Commitments): 现存输电协议, 本质上包括在给定条件下所有正常的输电潮流和计划好的发输电计划。它可以从现有的能量管理系

统 EMS (Energy Management System) 中得到。

## 2 分配系数

系统的网络结构或送受电方式发生变化后, 线路潮流数值发生变化。这一变化可以通过分配系数来反映。基于此, 这里给出功率传输分配系数  $PTDF$  (Power Transfer Distribution Factor)、线路停运分配系数  $LODF$  (Line Outage Distribution Factor) 及停运传输分配系数  $OTDF$  (Outage transfer distribution factor) 的定义, 并给出相应的计算公式。

### 2.1 功率传输分配系数 $PTDF$

功率传输分配系数  $PTDF$ , 表征送电区域 (节点或节点群) 向受电区域 (节点或节点群) 输送单位功率增量时, 线路的潮流增量。区域  $a$  向  $b$  输送功率, 线路  $k$  的功率传输分配系数  $PTDF_k^{a \rightarrow b}$  的计算公式为:

$$PTDF_k^{a \rightarrow b} = \frac{P_k^1 - P_k^0}{P_{a \rightarrow b}} \quad (2)$$

式中:  $P_{a \rightarrow b}$  为区域  $a$  和  $b$  的电能交易变化量;  $P_k^1$  为区域  $a$  和  $b$  的电能交易增加  $P_{a \rightarrow b}$  后线路  $k$  的潮流;  $P_k^0$  为线路  $k$  初始潮流;  $PTDF_k^{a \rightarrow b}$  为区域  $a$  向  $b$  输送功率, 线路  $k$  的功率传输分配系数。

由  $PTDF$  的定义可以看出, 它是一种衡量区域 (节点或节点群) 间传输单位功率时线路潮流的敏感度,  $PTDF$  数值大小由输电网络拓扑结构与送受电方式共同确定, 与系统的运行方式没有关系。

### 2.2 线路停运分配系数 $LODF$

线路停运分配系数  $LODF$ , 表征送电区域 (节点或节点群) 向受电区域 (节点或节点群) 输送功率时, 输电网中某条线路发生停运故障, 非故障线路潮流变化量对故障线路潮流变化量的灵敏度。区域  $a$  向  $b$  输送功率, 若线路  $M$  发生停运故障后, 线路  $k$  的停运分配系数  $LODF_k^M$  计算公式为:

$$LODF_k^M = \frac{P_{kM}}{P_M^0} \quad (3)$$

式中:  $P_{kM}$  为若线路  $M$  发生停运故障, 线路  $k$  的潮流变化量;  $P_M^0$  为线路  $M$  故障前潮流数值;  $LODF_k^M$  为线路  $M$  发生停运故障时线路  $k$  的停运分配系数。

由  $LODF$  的定义可以看出, 它表征某条线路发生停运故障对其余线路传输功率的影响。

### 2.3 停运传输分配系数 $OTDF$

停运传输分配系数  $OTDF$ , 表征送电区域 (节点或节点群) 向受电区域 (节点或节点群) 输送单位功率增量时, 若某条线路发生停运故障, 非故障线路的潮流增量。区域  $a$  向  $b$  输送功率, 线路  $M$  发生停运

故障, 线路  $k$  的停运传输分配系数  $OTDF_k^M$  的计算公式为:

$$OTDF_k^M = PTDF_k^{a \rightarrow b} + LODF_k^M \times PTDF_M^{a \rightarrow b} \quad (4)$$

式中:  $PTDF_M^{a \rightarrow b}$ 、 $PTDF_k^{a \rightarrow b}$  分别为线路  $M$ 、 $k$  的功率传输分配系数;  $LODF_k^M$  为线路  $M$  发生停运故障时线路  $k$  的停运分配系数;  $OTDF_k^M$  为线路  $M$  发生停运故障后, 线路  $k$  的停运传输分配系数。

由  $OTDF$  计算公式可以看出, 它表征某条线路发生停运故障, 区域间增加功率传输对网络其余线路传输功率的影响。

## 3 区域间可用传输能力的灵敏度分析

下面针对无线路发生停运故障、单一线路发生停运故障及多条线路同时发生停运故障 3 种情况, 分别给出基于  $PTDF$  及  $OTDF$  的区域间  $ATC$  的线性计算公式。

区域间  $ATC$  的计算思路是: 首先求取一定运行方式下的系统潮流分布, 接着根据线路热过载能力计算线路的剩余容量, 而后根据求解的分配系数计算当每条线路分别达到热过载能力时区域间输电网络可以传输的容量, 并将其作为区域间  $ATC$  的可能值, 最后选取区域间  $ATC$  的可能值中的最小值作为区域间  $ATC$ 。

### 3.1 无线路发生停运故障

无线路发生停运故障时, 区域  $a$  与  $b$  间的  $ATC$  计算公式为:

$$T_k^{a \rightarrow b} = \frac{P_k^{\text{Max}} - P_k^0}{PTDF_k^{a \rightarrow b}} \quad (5)$$

$$ATC_{NC}^{a \rightarrow b} = \text{Min}_{k=1:L} (T_k^{a \rightarrow b})$$

式中:  $P_k^{\text{Max}}$  为线路  $k$  的热过载能力;  $P_k^0$  为线路  $k$  的初始潮流;  $PTDF_k^{a \rightarrow b}$  为区域  $a$  向  $b$  输送功率时线路  $k$  的功率传输分配系数;  $T_k^{a \rightarrow b}$  为线路  $k$  传输功率达到其热稳定极限时, 区域  $a$  向  $b$  输送的功率;  $ATC_{NC}^{a \rightarrow b}$  为无线路发生停运故障时, 区域  $a$  向  $b$  可以额外传输的最大功率, 即区域间  $ATC$ ; 网络总计有  $L$  条支路。

### 3.2 单一线路发生停运故障

当有单一线路  $M$  发生停运故障时, 区域  $a$  与  $b$  间的  $ATC$  计算公式为:

$$P_k^M = P_k^0 + LODF_k^M \times P_M^0$$

$$OTDF_k^M = PTDF_k^M + LODF_k^M \times PTDF_M^M$$

$$T_{kM}^{a \rightarrow b} = \frac{P_k^{\text{Max}} - P_k^M}{OTDF_k^M} \quad (6)$$

$$ATC_{SC}^{a \rightarrow b} = \text{Min}_{k=1:L, M} (T_{kM}^{a \rightarrow b})$$

式中:  $P_k^0, P_M^0$  分别为线路  $M$  发生停运故障前线路  $k$ 、线路  $M$  传输的功率;  $P_k^{\text{Max}}$  为线路  $k$  的热过载能力;  $P_k^M$  为线路  $M$  发生停运故障后线路  $k$  传输的功率;  $LODF_k^M$  为线路  $M$  发生停运时,线路  $k$  的停运分配系数;  $OTDF_k^M$  为线路  $M$  发生停运故障后线路  $k$  的停运传输分配系数;  $T_{k,M}^{a \rightarrow b}$  为线路  $k$  传输功率达到其热稳定极限时,区域  $a$  向  $b$  传输的功率;  $ATC_{SC}^{a \rightarrow b}$  为单一线路发生停运故障后,区域  $a$  向  $b$  传输的功率,即区域间  $ATC$ 。

综上所述,区域  $a$  与  $b$  间的  $ATC$  计算公式为:

$$ATC^{a \rightarrow b} = \text{Min}\{ATC_{NC}^{a \rightarrow b}, ATC_{SC}^{a \rightarrow b}\} \quad (7)$$

式中:  $ATC_{NC}^{a \rightarrow b}, ATC_{SC}^{a \rightarrow b}$  分别为无线路发生停运故障及单一线路发生停运故障情况下,区域  $a$  与  $b$  间的  $ATC$ 。

### 3.3 多条线路同时发生停运故障

由  $L$  条支路组成的电力网络,当有多条线路同时发生停运故障时,区域  $a$  与  $b$  间  $ATC$  的计算步骤为:

第一步:计算线路的停运传输分配系数。

线路  $k$  的停运传输分配系数计算公式为:

$$OTDF_{k,C} = PTDF_k + \sum_{i=1}^L = [LODF_k^i \times NetPTDF_i] \quad (8)$$

式中:  $C$  为故障线路集合;  $PTDF_k, LODF_k^i$  可分别由公式 (2)、(3) 来确定;  $NetPTDF_k$  反映了因线路  $k$  状态变化对所有非故障线路潮流的影响程度,是非故障线路  $NetPTDF_s$  的函数,其数值可由下面方程组确定:

$$\begin{bmatrix} 1 & -LODF_1^2 & -LODF_1^3 & \dots & -LODF_1^L \\ -LODF_2^1 & 1 & -LODF_2^3 & \dots & -LODF_2^L \\ -LODF_3^1 & -LODF_3^2 & 1 & \dots & -LODF_3^L \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ -LODF_L^1 & -LODF_L^2 & -LODF_L^3 & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} NetPTDF_1 \\ NetPTDF_2 \\ NetPTDF_3 \\ \dots \\ NetPTDF_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PTDF_1 \\ PTDF_2 \\ PTDF_3 \\ \dots \\ PTDF_L \end{bmatrix} \quad (9)$$

第二步:计算电力网络当前潮流分布  $P_{k,C}$ 。

第三步:计算线路  $k$  达到热稳定极限  $P_k^{\text{Max}}$  时,区域间传输的功率  $T_{k,C}^{a \rightarrow b}$ ;

$$T_{k,C}^{a \rightarrow b} = \frac{P_k^{\text{Max}} - P_{k,C}}{OTDF_{k,C}} \quad (10)$$

第四步:计算无线路发生停运故障情况下的区域间可用输电能力  $ATC_{NC}^{a \rightarrow b}$ 。

第五步:确定区域间的  $ATC$ 。

$$ATC^{a \rightarrow b} = \text{Min}_{k=1:L} (T_{k,C}^{a \rightarrow b}, ATC_{NC}^{a \rightarrow b}) \quad (11)$$

## 4 算例分析

利用 Matlab 编程实现上文所述的无线路发生停运故障及单一线路发生停运故障情况下区域间  $ATC$  的计算。将本文提出的基于直流潮流的灵敏度分析法应用到 IEEE30 节点系统。

区域间交换的功率是基于区域的,不是基于节点的。这里引入节点功率参与因子  $BPPF$  (Bus Power Participation Factor) 将区域间传输的功率分解到物理节点,以便进行潮流计算。节点功率参与因子表示各节点承担功率的比例。分为两类:对于送电区域要指定送电节点群,这些节点共同承担该区域在区域间传输功率的供电量,各节点承担的比例称为发电贡献因子 (GDF, 即 Generation Distribution Factor); 同样,对于受电区域要指定受电节点群,各节点的受电比例称为负荷汲取因子 (LEF, 即 Load Extracting Factor)。这两组因子应满足如下的要求:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in SG_k} k_i &= 1 & k_i & \geq 0 \\ \sum_{j \in SD_k} k_j &= 1 & k_j & \geq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$(k = 1, 2, \dots, m)$

其中:  $k_i$  表示  $k$  区域的区域间功率交换的供电量由节点  $i$  承担的比例;  $k_j$  表示  $k$  区域的区域间功率交换的受电量由节点  $j$  从电网汲取的比例;  $SG_k$  表示第  $k$  个区域内的发电机节点群集合;  $SD_k$  表示第  $k$  个区域内的负荷节点群集合;  $m$  表示参与区域功率交换的区域个数。假设全网共有  $n$  个节点,则可以得到矩阵形式表达的两组因子: 为发电贡献因子矩阵; 为负荷汲取因子矩阵,都是  $m \times n$  维的矩阵。

综上所述,运用基于直流潮流的灵敏度分析法计算区域间  $ATC$  的计算流程如下:

- 1) 输入网络拓扑数据。
- 2) 求解当前运行方式下的系统直流潮流方程。

$$B = P \quad (13)$$

式中:  $B$  为节点导纳矩阵,  $B_{ij} = -\frac{1}{x_{ij}}$ ,  $B_{ii} = \sum_j \frac{1}{x_{ij}}$ ,  $x_{ij}$  为节点  $i$  到节点  $j$  的支路电抗;  $P$  为节点电压相角向量;  $P$  为节点净注入功率向量。

- 3) 求解线路的支路潮流。

线路  $i-j$  的潮流  $P_{ij}$  的计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} (v_i - v_j) \quad (14)$$

式中:  $v_i, v_j$  分别为支路始端节点  $i$  末端节点  $j$  的电压相角。

4) 利用式 (13)、(14) 求解基于直流潮流的功率传输分配系数矩阵  $PTDF_0^{L \times n}$ 。

其中  $L$  为网络支路总数,  $n$  为网络的节点个数;  $PTDF_{0i}$  表示节点  $i$  增加单位净注入功率, 支路  $l$  的潮流增量。由于系统中存在松弛节点 (参考节点), 所以通常  $PTDF_0$  是  $L \times (n-1)$  维的矩阵, 这里为了使矩阵操作的维数相互匹配, 在  $PTDF_0$  中参考节点的位置增加了一列全 0 向量, 从而使其成为  $L \times n$  维的矩阵。添加的一列全 0 向量的物理含义是, 参考节点处的功率注入对线路潮流变化没有贡献。

5) 确定送电区域  $a$  与受电区域  $b$ 。

6) 计算针对区域间传输功率的线路功率传输分配系数。

区域  $a$  向  $b$  传输功率的线路功率传输分配系数的计算公式为:

$$PTDF = PTDF_0 [a \dots b]^T \quad (15)$$

式中:  $PTDF$  为  $L$  维列向量, 其元素  $PTDF_l$  表示区域  $a$  向  $b$  输送单位功率增量时, 支路  $l$  的潮流增量;  $a$  为发电贡献因子矩阵 的第  $a$  行行向量,  $b$  为负荷汲取因子矩阵 的第  $b$  行行向量, 都是  $m \times n$  维的矩阵。

7) 利用式 (5) 计算无线路发生停运故障时的区域间 ATC。

8) 确定发生停运故障的线路  $M$ 。

9) 利用式 (3) 计算线路  $M$  发生停运故障情况下的所有线路的停运分配系数。

10) 利用式 (6) 计算单一线路发生停运故障情况下的区域间 ATC。

11) 利用式 (7) 计算区域 ATC。

12) 若发生停运故障的线路未考虑完毕, 转 8), 否则转 13)。

13) 若所有区域间 ATC 未计算完, 转 5), 否则结束。

IEEE30节点系统的网络结构如图 1 所示, 全网分为 3 个控制区, 每个控制区有 2 台发电机。控制区间现存功率交换见矩阵  $T$ 。无线路发生停运故障情况下的区域间可用输电能力计算结果见表 1, 单一线路发生停运故障情况下的区域间 ATC 部分计算结果见表 2。

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 200 & 100 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

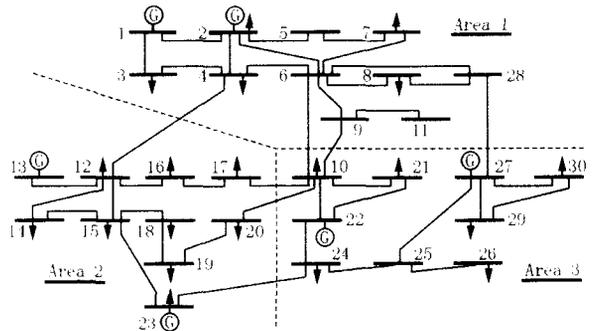


图 1 IEEE 30 节点系统  
Fig 1 IEEE 30-bus system

表 1 无线路停运故障发生情况下区域间可用输电能力 ATC 计算结果

Tab 1 Computation results of available transfer capability between areas without line outage

送受电区域	ATC / ×100 MW	达到热稳定极限的线路
1 3	54.222 2	29 30
2 3	20.410 0	25 26
3 1	36.636 2	23 24
3 2	37.938 3	27 29

注: 1 3 表示控制区 1 向控制区 3 输送功率, 功率基准值为 100 MW。

表 2 单一线路停运故障发生情况下区域间可用输电能力 ATC 计算结果

Tab 2 Computation results of available transfer capability between areas with single-line outage

故障线路	送受电区域	ATC / ×100 MW	达到热稳定极限的线路
10 20	1 3	54.690 1	29 30
10 20	2 3	20.923 2	25 26
10 20	3 1	30.714 0	23 24
18 19	1 3	44.754 3	29 30
18 19	2 3	10.896 8	25 26
18 19	3 1	33.558 4	23 24

由表 1 的计算结果可以看出, 送电区域 1 与受电区域 3 间的 ATC 数值与送电区域 3 与受电区域 1 间的 ATC 数值不等。区域间的 ATC 大小与送电区域内发电贡献节点群、受电区域负荷汲取节点群选取, 以及节点群各节点的因子数值大小有关。通过计算获得的 ATC 数值可以发现电网结构的薄弱处, 指导电网规划。由表 1 与表 2 的计算结果可以看出: 当发生单一线路停运故障时, 区域间的 ATC 较无线路发生停运故障时, 其数值可能增加, 也可能减小。如送电区域 1 与受电区域 3 间的可用输电能力, 当无线路发生停运故障时, ATC 数值为 5422.22MW;

当线路 10-20 发生停运故障时,ATC 数值增加为 5 469.01 MW;当线路 18-19 发生停运故障时,ATC 数值增加为 5 469.01 MW。

## 5 结论

本文详细推导出基于功率传输分配系数及停运传输分配系数的无线路发生停运故障、单一线路发生停运故障及多条线路同时发生停运故障情况下区域间 ATC 的计算公式,最后将该方法应用到 IEEE30 节点系统,计算区域间 ATC。算例表明,该方法具有计算速度快,计算结果比较准确、实用、易于理解等优点。因其计算速度快,线性灵敏度分析法被广泛应用于安全分析<sup>[6]</sup>。

基于直流潮流的线性灵敏度分析法可以快速粗略地给出 ATC 数值,但其只考虑线路热稳定限制,未考虑无功和电压的非线性影响,不同的条件下需要计算大量 ATC 数值,很难决定哪一个是最可靠合理的数值。故可以在一些没有节点电压极限问题、网架很强的系统中采用该方法。

## 参考文献:

- [1] Transmission Transfer Capability. A Reference Document for Calculating and Reporting the Electric Power Transmission Capability of Interconnected Electric Systems [Z]. North American Electric Reliability Council, 1995.
- [2] 王成山,李国庆,余贻鑫,等. 电力系统区域间交换功率能力的研究(一)——连续型方法的基本理论及应用[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(3): 23-26  
WANG Cheng-shan, LI Guo-qing, YU Yi-xin, et al

Study on Transmission Transfer Capability of Interconnected Electric Power Systems (I)——Base Theory of Continuation Method and Its Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(3): 23-26

- [3] 刁勤华,默哈莫德·夏班,倪以信. 运用连续二次规划法计算区域间极限传输容量[J]. 电力系统自动化, 2000, 24: 5-8  
DIAO Qin-hua, Shaaban Mohamed, NI Yi-xin. Inter-area Total Transfer Transfer Capability Calculation Using Sequential Quadratic Programming Method. NG Power Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(24): 5-8
- [4] Available Transfer Capability Definition and Determination: A Reference Document Prepared by TTC Task Force [Z]. North American Electric Council, 1996
- [5] Sauer P W. Technical Challenges of Computing Available Transfer Capability (ATC) in Electric Power Systems [A]. Proceeding of HICSS - 30 Conference 1977.
- [6] Wood A J, Wollenberg B F. Power Generation, Operation, and Control, Second Edition[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996

收稿日期: 2004-04-29; 修回日期: 2004-06-17

## 作者简介:

邱永生(1975-),男,硕士研究生,主要从事电力市场及需求侧管理的研究; E-mail: best\_qys@yahoo.com.cn

刘焕志(1977-),女,硕士研究生,主要从事电力市场的研究;

李扬(1961-),男,教授,电气工程系副主任,主要从事电力市场及需求侧管理的研究。

## ATC calculation among different regions based on sensitivity analysis

Q U Yong-sheng, L U Huan-zhi, L I Yang

(Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** In order to make full use of the power transmission network to transport more power and reduce the cost, it is urgent to calculate the transfer capability as fast as possible. The paper puts forward a method based on DC power flow sensitivity analysis to calculate ATC. Firstly, the definition of distribution factor and the calculation formula are put forward. Then the detailed formulae under each situation such as without line outage, single-line outage and multi-line outage, are deduced and the computation processes are given. Finally, the method is applied to IEEE 30-bus system. The example result shows that the method is fast and can trace the change of power transmission network and market effectively. Furthermore, it can get more valuable result of ATC and can satisfy the real-time requirement. So it is concluded that the method is practicable enough.

**Key words:** power transmission network; available transfer capability; distribution factor; fault of stop; sensitivity