计算电网可用输电能力的方法述评

刘皓明[1], 倪以信[2], 吴军基[1], 邹云[1]

(1. 南京理工大学动力学院, 江苏 南京 210094; 2. 香港大学电机电子工程系 香港)

摘要: 在电力市场环境下, 电网可用输电能力(ATC)是反映输电系统可用于传输电力的剩余容量的重要指标。文中根据国际公认的NERC关于ATC的定义, 讨论了TRM和CBM两种裕度的含义及几种计算方法; 详述了现有的多种ATC的计算方法, 包括线性分布因子法、重复潮流法、连续潮流法、最优潮流法和灵敏度分析法, 并分析比较了各种方法的优缺点。最后对我国电力市场环境下大型互联电网之间的ATC计算提出了一些建议。

关键词: 电力市场; 可用输电能力; 输电可靠性裕度; 容量效益裕度; 算法分析

中图分类号: TM 715 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2003)10-0045-06

1 引言

电力系统区域间功率输送能力计算的研究始于20世纪70年代, 至今已有30年的历史。在传统的电力工业运行模式下, 它主要用于评估系统互联强度及比较不同输电系统结构的优劣[1]。而在电力市场环境下, 系统中往往存在着大量的频繁变化的电力交易, 这使得输电系统负荷增加、环流增大、容量裕度降低, 进而使稳定裕度减少, 电力系统的安全与稳定问题更加突出。为保证电力系统的安全运行, 需要实时评估电力系统运行的安全水平。在这样的背景下, 可用输电能力(ATC: Available Transfer Capability)的计算就显得十分重要, 它不仅可以显示电网运行的安全与稳定裕度, 以减小阻塞发生的概率, 还可以为市场参与者提供电网使用状况的详细信息, 以指导他们参与市场的行为。

北美电力可靠性委员会NERC(North American Electric Reliability Council)在上个世纪九十年代统一了有关输电极限的概念, 提出了可用输电能力ATC的详细定义与计算框架[2], 这一工作在国际上已得到了更为广泛的认可。ATC是在已有的协议基础上, 在实际输电系统中可以用于进一步商业活动的富余输电能力。数学上, ATC可以表示为线路最大输电能力TTC(Total Transfer Capability)减去输电可靠性裕度TRM(Transmission Reliability Margin), 减去容量效益裕度CBM(Capacity Benefit Margin), 再减去现存输送协议ETC(Existing Transmission Commitments)。ATC的计算值应实时发布在电力市场公共信息系统网页上, 以进一步促进输电网络的开放, 促进电力市场的交易[3]。

按照NERC建议的计算框架, ATC的计算需要考虑三种物理约束: 电压约束, 设备过负荷约束, 包括静态、动态和暂态等在内的各种稳定极限约束[2]。这里静态安全约束为"N-1"准则。

计算ATC必须要计算TRM和CBM这两种输电容量裕度。本文将先分析TRM和CBM两种裕度的含义, 介绍几种计算两种裕度的方法; 然后详述现有的多种ATC的计算方法, 包括线性分布因子法、重复潮流法、连续潮流法、最优潮流法和灵敏度分析法等, 并分析比较这些方法的优缺点。在文章最后对我国电力市场环境下大型互联电网的ATC的计算提出一些建议。

2 两种容量裕度

计算ATC时, 一般以一个给定的基本运行状态为基础, 计算出可进一步用以传输电能的最大裕度, 在裕度中减去TRM和CBM, 即得ATC值。目前大多数文献在计算ATC时都忽略这两个裕度是不正确的。本节将详细地解释它们的含义, 并介绍几种可用的计算方法[4]。

2.1 输电可靠性裕度TRM[5]

TRM指的是预留的必要的电网输电能力, 以确保当系统运行参数在合理范围内发生变化时, 整个系统能够安全稳定的运行。

这些不确定的运行参数可能包括支路停运、发电调度、负荷预测、并行潮流等。一般来说, 时间跨度

基金项目: 国家重点基础研究专项经费(G1998020305)和香港政府研究基金(HKU 7050/00E)与香港大学研究基金(CRCG)资助项目。

越大,它们的不确定性越大。因此,TRM 与考虑的时间断面有关,时间跨度越大,往往需要预留的 TRM 越多。

计算 TRM 时需要全面考虑各种不确定因素,并将它们合理地组合到一起,而不仅仅是代数叠加。TRM 的计算方法主要包括:

a. 在基准情况下不断改变假设和预测的参量,重复计算 TTC,所得到的 TTC 中最大值与最小值之差即为 TRM。理论上需要取遍所有可能的参数变化组合。

b. 按经验取 TTC 的一个固定百分比(比如 4%)。这种方法简单方便,较为常用。

c. 利用统计学或概率方法求解[6]。这类方法的计算过程较为繁琐,也不太成熟。

d. 降低额定值法:系统中不确定因素对所有电力设备的影响是相对一致的,可以通过降低设备的计算额定值来计及这些不确定因素。典型的额定值降低为 2%～5%,当然降低的幅值会随着时间跨度的增大而增大[4]。

在实际应用中,并不需要实时计算 TRM 值,欧共体内部电力市场只要求每半年刷新一次 TRM 值。计算方法更多是取 TTC 的一个固定百分比,对于电气连接紧密,无功支持充裕的电网,TRM 所占 TTC 的百分比可以取的小一些。

2.2 容量效益裕度 CBM

CBM 指的是:为了能够从其它互联系统中获得电力来满足发电可靠性需求而预留的输电容量裕度。

备用发电容量对保证供电可靠性至关重要,在发电机停运或因其它设备故障而失去部分电源时,需要启动备用电源以保证向负荷供电。对于互联的电力系统,当发生故障引起电源短缺时可以从其它子系统得到紧急援助,因而每个系统内部都可以减少发电备用容量,以提高经济性。为了保证系统在任何时刻都有能力将系统外的电能输送到负荷中心,需要预留部分输电容量,这个容量就是容量效益裕度 CBM,这里的效益指电网互联的效益。

负荷服务公司 LSE(Load Serving Entity)通过共享互联系统中其它区域的备用容量而受益,最终应该反馈给用户。在确定 CBM 时,需要考虑所有相关的用户,并且保证所有的 LSE 都能享有这一裕度带来的效益。保留的 CBM 减少了发电机备用容量,只有在紧急发电不足时才可以使用。

目前计算 CBM 没有很好的方法,一般取系统内最大发电单元出力的一个倍数,或者取 TTC 的一个固定的百分比,这两种方法可统称为确定性方法。文献[7]引用发电可靠性指数 LOLE(Loss of Load Expected)来计算 CBM 的值。

一般假设发电可靠性指数为 LOLE< 1 天/10 年,或 LOLE< 24 小时/年,也就是说在 10 年中,负荷超过最大发电容量的时间累计最多不超过 1 天。如果某区域自身不能满足该标准,就需要预留输电裕度以便从其它区域得到功率。这些需要的功率在其它区域的分配是按照其它各区域的 LOLE 指数相反的比例进行的,即 LOLE 指数的区域将提供更多的功率。显然当区域内部发电备用充裕时所需 CBM 可能为零。

无论用哪一种方法,输电提供商对所有的用户服务公司的要求准则必须同等。而计算方法的选取往往取决于时间跨度的大小。举例来说,研究很近时间断面的情况,发电机强迫停运或保养停运的不确定度很低,确定性的方法就比较适用。而在研究长时间跨度的情况时,由于不确定度的原因,随机方法更适用。

通常来说,CBM 不需要实时计算,一个比较长的时段里的 CBM 可以取其中的最大值。

3 ATC 的计算方法

ATC 计算方法大体上可以分为确定性的求解方法和基于概率的求解方法两大类。确定性的方法主要包括线性分布因子法(LDF: Linear Distribution Factor)、重复潮流法(RPF: Repeated Power Flow)、连续潮流法(CPF: Continuation Power Flow)、最优潮流法(OPF: Optimal Power Flow)、灵敏度分析法等。另外不少文献采用概率性的方法计算 ATC 时,主要基于很多电力系统参数所具有的各种随机特性,是期望在概率框架下能得到与实际情况更为接近的解。事实上,一方面这些随机不确定因素在 TRM 中已被计及,另一方面在求解 ATC 时基于概率的方法与确定性方法的基本原则是一致的,因此这里只评述确定性的求解方法。

3.1 线性分布因子法

线性分布因子法也叫直流灵敏度系数法,是基于直流潮流分析实际网络响应系数的方法,一般用到多种线性分布因子[8,9]。

直流潮流假设节点电压幅值为常数,计及支路电抗而忽略支路电阻,因而不存在线损。直流潮流模型是线性的,不需要迭代,因而计算速度快,目前在

电力系统各个领域中已得到广泛的应用。

文献[10]介绍了支路停运分布因子(LODF)、功率传输分布因子(PTDF)和发电机停运分布因子(GODF),给出了在基准状态、支路停运和发电机停运情况下的ATC计算模型。其中,LODF描述了当电网中发生单条支路停运时其它支路上有功潮流的变化;PTDF描述了在指定的送受端间多传输单位有功功率时各支路潮流的变化;GODF描述了某一发电机停运后,系统各支路有功潮流的变化。这样在基准状态、单支路停运和单发电机停运下各条支路的有功潮流的增量都与假想的功率传输的增量成线性关系。在已知各条支路过负荷极限的情况下,可以方便地计算最大的输送功率增量。这个数量实际上是TRM、CBM与ATC之和。

线性分布因子法能很方便地考虑"N-1"静态安全约束和支路过负荷约束。在计算过程中不需迭代,其求解速度快,可以满足在线应用。但它无法计及电压约束和其它稳定约束,并且由于忽略电压和无功因素,在电网结构不紧密、无功支持不充足的系统中将存在较大误差。

文献[2]中提及的网络响应法(Network Response Method)和额定系统路径法(Rated System Path Method)计算ATC也可以看成是属于线性分布因子的计算方法。

3.2　重复潮流计算法

重复潮流法又叫常规潮流法[7]。这种方法基于常规交流潮流,计算中考虑节点电压限值约束,支路过负荷约束以及其它可能的稳定约束。其要点是逐渐增加负荷侧的负荷,同时相应增加发电侧的出力,直到某一约束生效为止,此时通过所研究断面的有功潮流之和即为最大输电能力TTC。

典型的电力系统交流潮流方程可以表示为:

$$g(x)=\begin{bmatrix}P-P(x)\\Q-Q(x)\end{bmatrix}=0$$

式中$x=[V,\theta]$。取步长为$\Delta P(\Delta Q)$,逐步增加$P(Q)$的值,重复求解状态变量x,检查x是否越界,并计算出各条支路的潮流,检验是否满足过负荷要求。若满足,继续增加步长,直到出现某一越限时,将步长减半,重复上述过程,直至最后步长满足误差要求为止。

为了加快计算速度,可以对重复潮流计算做一定的改进[11]。首先采用线性分布因子法,逐步增加受电侧的负荷和发电侧的出力,直至有支路过负荷为止。然后采用交流潮流计算各节点电压,检查是否有电压越限的现象发生,如果有,则逐步减少受电侧的负荷和发电侧的出力,直到满足所有节点电压限值约束为止。

重复潮流计算ATC的方法原理简单,可以计及系统的电压和无功对ATC的影响,计算结果能较好地反映实际运行状况,但需要重复计算交流潮流,计算时间长,不适合在线应用。

3.3　连续潮流法

作为一种求解非线性代数方程的数值方法,连续潮流法在上个世纪90年代引起人们关注,是因为该方法在电压稳定性研究方面有其独特的优越性。CPF广泛应用于计算静态电压稳定的P-V曲线中的极限功率点(NP:Nose-Point)[12]。由于牛顿法在电压稳定极限点附近因雅可比矩阵奇异,引起潮流不收敛。而CPF法可从当前潮流解出发,逐步增加指定送端母线功率,通过迭代求解,沿P-V曲线准确得到NP点相应的发电功率,因而可以方便地用来计算静态电压稳定约束下的ATC。

当系统中发电机功率或负荷发生缓慢变化时,如果用P^0和Q^0表示对应于系统当前状态下的节点有功和无功向量,则可将系统方程参数化为,

$$f(x,\lambda)=g(x)+\lambda b=0$$

其中$b=\begin{bmatrix}P-P^0\\Q-Q^0\end{bmatrix}$,为系统节点功率注入变化的方向向量,$\lambda$表示节点功率变化大小的参数。$b$决定了当节点注入变化为$\lambda$时,系统负荷以及发电机功率相应的变化模式。于是,可以将ATC的求解问题转化为求解从一个基态情况(P^0,Q^0)出发,沿方向b变化传送功率,跟踪$P-V$曲线直到电压静态稳定极限时的λ值。

CPF方法一般分为2类:参数化连续潮流法和非参数化连续潮流法。在ATC计算中一般采用非参数化连续潮流法,通过预测—校正格式克服潮流在极限点收敛困难的问题。

与线性分布因子法相比,该方法的优点在于能考虑到系统非线性以及无功的影响和静态电压稳定性。它可以避免重复潮流方法在电压稳定极限附近的病态问题。但是,CPF方法对指定的发电机群和负荷群采用了不变的功率注入变化方向向量,不考虑系统无功和电压的分布优化,这可能会使ATC的计算结果略为保守;CPF方法由于包括了重复预测和校正的过程,计算时间长,无法满足在线计算要求;此外难以考虑"$N-1$"静态安全约束,λ的步长也较难合理确定。

3.4 最优潮流法

最优潮流法是将输电容量的计算描述为一个非线性优化问题。在传统电力工业运行模式下,OPF技术被用于处理实时或准实时的电力系统运行优化问题。而在电力市场环境下,市场机制激励竞争,市场主体追求利益最大化,这就增强了调度和运行状态的不确定性。OPF作为经典经济调度理论的发展与延伸,可将经济性与安全性近乎完美地结合在一起,已成为一种不可缺少的网络分析和优化工具[14]。

最优潮流方法以可用输电容量最大化为目标函数,将潮流方程作为等式约束,把支路过负载约束、电压约束和各种稳定约束等作为不等式约束,从而把ATC的计算问题转化为一个纯粹的非线性规划的数学问题。因而可以采用各种优化算法,如二次规划法[15]、内点法[16]、人工神经网络法[17]和Benders分解法[18]等。

基于OPF的ATC计算模型可描述如下:

$$\begin{aligned} &\mathrm{MAX} \quad \lambda(x,u)\\ &\mathrm{s.t.} \quad g(x,u)=0\\ &\qquad h(x,u)\leq 0 \end{aligned}$$

其中,u为控制变量,包括发电机有功输出,机端电压,变压器变比等;x为状态变量,包括节点电压幅值和相角;等式约束$g(x,u)=0$为潮流方程;$h(x,u)\leq 0$表示所有不等式约束。

优化潮流方法的关键瓶颈在于计算速度。在实际使用中,往往只能作为离线计算工具。当对计算速度要求较高时,可以采用简化的直流潮流方程作为等式约束。但若要考虑"$N-1$"静态安全约束,将使问题的求解规模大大增加。文献[16]采用的Benders分解法有效地解决了这一问题,Benders分解法将问题分为主从两层,主问题处理基态潮流及相应约束,而每一个预想事故则形成一个子问题,每个子问题可单独求解,其起作用的约束以Benders割集的形式返回主问题,主子问题反复迭代直至全部约束满足,求得最优解。

基于最优潮流的ATC计算方法同连续潮流法相比,对约束条件有更强的处理能力,理论上可以处理各种约束,还可以进行有功和无功优化,计算结果更准确。但这类方法有下述问题:很难考虑系统稳定性这样的动态约束条件;所获得的最优运行点是一个理想的结果,实际上难以达到;需要的计算时间长,难以满足在线要求;目前尚难应用于超大规模电力系统。

美国电力科学研究院EPRI开发的可用来计算ATC的商用软件TRACE(Transfer Capability Evaluation)就是基于优化潮流方法的,目前已经得到广泛的应用。但计算规模有限,无法计及整个互联大区的相互影响,只能用于离线分析。因此NERC建议各大区电网采用北美整个电网的结构,使用线性分布因子法,使得计算的ATC能有效地跟踪电网和市场的变化。

3.5 灵敏度分析法

由以上分析可知,线性分布因子法计算速度快,但精度不高;重复潮流法、连续潮流法和最优潮流法计算时间长,难以在线应用,而且重复潮流法和连续潮流法计算结果往往偏保守。灵敏度分析法就是在这样的背景下被提出来的,其计算速度快,满足在线计算要求,同时能保证一定的精度。但是需要指出,它不是一个独立的ATC计算方法,它需要以某种ATC计算结果为基础[11]。

基于交流潮流的灵敏度分析法的最大优点是当电力系统中某些运行参数发生变化后,它可以快速计算出其对ATC的影响,而不需要重新进行潮流计算,从而在系统运行状态改变后,获得特定断面的ATC。该方法从某一运行点下已知的ATC值出发,只分析当系统参数在此基础上发生微小变化时对ATC值的影响。ATC对某参数变化的灵敏度可以是一阶的,也可以是二阶或高阶的,实际使用中,一阶模型已经足够。显然该方法的快速性是以牺牲一定的准确度为代价的,因为一阶灵敏度系数只能反映各变化因素与ATC之间的线性关系,不能计及它们之间的非线性关系。

对于一组给定的系统参数,可以利用重复潮流法、连续潮流法或最优潮流法计算某一断面的ATC值T_0,并计算ATC值对各种可能的变化参数p的一阶灵敏度系数T_p。当p发生变化Δp时,新的ATC值可以由下式直接得到[19]:

$$T=T_0+T_p\Delta p$$

基于一阶灵敏度分析法计算ATC速度快,满足在线应用的要求。不过,对于给定的系统运行状态和参数,需要预先计算较多的灵敏度系数T_p,且当运行点发生较大变化后,这些灵敏度系数需要重新计算。在系统运行情况变化不大时,求得的ATC还是比较准确的,但当系统运行情况发生较大变化时,如支路或发电机停运,可能会存在较大误差。但总的说来,灵敏度分析法与前述某种方法,如OPF法,结合在一起使用是一种非常实用的综合在线计算方

案。

4　结论

本文介绍了电网可用输电能力的计算框架, 解释并给出了 TRM 和 CBM 这两种裕度的内容和计算方法。分析了计算ATC 的各种算法, 通过分析比较其优缺点, 得出如下结论:

a. 电网可用传输能力是反映系统安全性能的一个重要指标, 可以为电力市场参与者提供电网的使用情况, 是电力市场正常运作的基础, 因此要求ATC 的计算结果准确、快速、全面。

b. 基于线性分布因子法的ATC 计算速度快, 可有效考虑输电设备过负荷约束和"N - 1"静态安全约束。

c. 基于重复潮流和连续潮流的ATC 计算可以方便考虑系统设备过负荷约束, 能计及系统的电压和无功对ATC 的影响。但计算结果偏保守, 计算时间较长, 考虑"N - 1"静态安全约束时无法满足实际在线计算要求, 可用于离线的ATC 计算。

d. 基于最优潮流的ATC 计算方法对约束条件有更强的处理能力, 能够计及暂态稳定和动态稳定约束, 可以实现更大范围内的发电和负荷分布优化, 计算精度更高; 但计算耗时更长, 无法满足实际在线的计算要求, 是一种很好的ATC 离线计算工具。

e. 基于灵敏度分析的ATC 计算速度快, 计算中无需任何迭代。与其它精度较高的ATC 计算方法配合使用, 能在系统状态发生变化时快速得到新的ATC, 特别适合应用在系统运行状态变化不大时的ATC 计算, 但当系统参数变化较大时精度稍差。

我国电网已形成东北、华北、华中、西北、华东和南方六大区域电网。计算各大区域之间的ATC 有很大的实际意义。在我国电力市场运行初期, 大区间联网网架比较薄弱, 建议先使用线性分布因子法实时计算ATC, 也可采用重复潮流法或连续潮流法来离线校验。随着市场的成熟以及基于最优潮流的ATC 算法的发展和完善, 采用最优潮流加上灵敏度分析的方法, 将会提供实时准确的ATC。

参考文献:

[1] 李国庆, 王成山, 余贻鑫. 大型互联电力系统区域间功率交换能力研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(4): 20- 25.

[2] Transmission Transfer Capability Task Force. Available Transmission Capability Definitions and Determination. North American Electric Reliability Council, Princeton, New Jersey, June 1996.

[3] Federal Energy Regulatory Commission. Open Access Same- Time Information System and Standards of Conduct. Docket No. RM 95- 9- 000, Order 889, April 1996.

[4] Transmission Capability Margins and Their Use in ATC Determination - White Paper. Prepared by the North American Electric Reliability Council Available Transfer Capability Working Group. June, 1999.

[5] Sauer P W. Alternatives for Calculating Transmission Reliability Margin (TRM) in Available Transfer Capability (ATC). Proceedings of the Thirty- First Hawaii International Conference on System Sciences, 1998, 3.

[6] Dobson I et al. Electric power transfer capability: concepts, applications, sensitivity, uncertainty. Power Systems Engineering Research Center publication 00- 34, November 2001. available from http://www.pserc.wisc.edu.

[7] Ou Yan, Singh C. Assessment of Available Transfer Capability and Margins [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(2): 463- 468.

[8] Enns M K, Quada J J, Sackett B. Fast Linear Contingency Analysis[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, 1982, PAS- 101(4): 783- 791.

[9] Sauer Peter W, Reinhard Karl E, Overbye Thomas J. Extended Factors for Linear Contingency Analysis. Proceedings of the 34 th Hawaii international conference on system sciences- 2001: 697- 703.

[10] Ejebe G C, Waight J G, Sanots- Nieto M, Tinney W F. Fast Calculation of Linear Available Transfer Capability [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(3): 1112- 1116.

[11] Gravener M H, Nwankpa C. Available transfer capability and first order sensitivity [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(2): 512- 518.

[12] Chiang H D, Flueck A, Shah K S, et al. CPFLOW: A practical tool for tracing power system steady- state stationary behavior due to load and generation variations [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10(2): 623- 634.

[13] Flueck A J, Chiang H D, Shah K S. Investigating the installed real power transfer capability of a large scale power system under a proposed multiarea interchange schedule using CPFLOW [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(2): 883- 889.

[14] 丁晓莺, 王锡凡. 最优潮流在电力市场环境下的最新发展[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(13): 1- 7.

[15] 刁勤华, Mohamed Shaaban, 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(24): 5-8.

[16] Dai Youjie, McCalley J D, Vittal V. Simplification, Expansion and Enhancement of Direct Interior Point Algorithm for Power System Maximum Loadability [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(3): 1014-1021.

[17] Luo X, Patton A D, Singh C. Real power transfer capability calculations using multi-layer feed-forward neural networks [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(2): 903-908.

[18] 焦连伟, Mohamed Shaaban, 倪以信. 可用传输容量计算的分层算法研究[J]. 中国电力, 2002, 35(1): 33-36.

[19] Greene S, Dobson I, Alvarado F L, Sensitivity of Transfer Capability Margins with a Fast Formula[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(1): 34-40.

收稿日期: 2003-03-27; **修回日期**: 2003-05-20

作者简介:

刘皓明(1977-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力市场;

倪以信(1946-), 女, 教授, 研究方向为电力系统稳定与控制、FACTS、人工智能技术应用以及电力市场;

吴军基(1955-), 男, 教授, 研究方向为电力规划、电力市场以及非电量检测技术。

Review of available transfer capability calculation in electricity market

LIU Hao-ming[1], NI Yi-xin[2], WU Jun-ji[1], ZOU Yun[1]

(1. Power College, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Department of Electrical & Electronic Engineering, the University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract: In the circumstances of electricity market, available transfer capability (ATC) indicates the amount of the further usable transmission surplus capability of transmission system. Firstly, according to the ATC definition from NERC, several important terms are explained, the implication and some calculation methods of TRM and CBM are presented. Secondly, the main features of different algorithms of ATC calculation, such as Linear Power Flow (LPF), repeat power flow (RPF), continuation power flow (CPF), optimal power flow (OPF) and sensitivity analysis methods, are analyzed and compared. Finally, some suggestions on ATC application in China electricity market are presented.

Key words: electricity market; ATC; TRM; CBM; algorithms analysis