

# 广义阻塞及市场力的研究框架

薛禹胜<sup>1,2</sup>, 李天然<sup>2,1</sup>, 尹霞<sup>3</sup>, Zhaoyang DONG<sup>4</sup>, 黄杰<sup>1</sup>, 薛峰<sup>1</sup>

(1. 国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003; 2. 东南大学电气工程学院, 江苏省南京市 210096;

3. 澳大利亚国立大学工程学院, 堪培拉 ACT 0200, 澳大利亚; 4. 香港理工大学电机工程学系, 香港)

**摘要:** 除反映物理稳定性的输电阻塞外, 电力市场还受到一次能源、环保排放、技术支撑及多方博弈等因素的制约。这些因素都会影响竞争水平和市场效率, 建议将这些影响统称为广义阻塞。监管的目的是为了避免市场力被滥用, 并保障社会福利。但监管不当也会降低市场效率, 甚至危及市场稳定性或社会稳定性, 故也是一种广义阻塞。市场参与者通过广义阻塞来影响(损害或提高)市场效率的能力称为市场力, 而广义市场力则反映对社会福利的影响能力。从分类、评估指标、研究方法与控制等方面评述广义阻塞、市场力和广义市场力问题。为全面的研究提出框架, 以便应用实验经济学方法, 综合分析各种广义阻塞影响市场力的机理。

**关键词:** 阻塞; 市场力; 监管; 稳定性; 社会福利; 电力市场

## 0 引言

一个完全竞争的市场必须有足够多的不同经济利益体参加竞争, 而且最大规模的竞争者所占比例不太大(例如 10% 以下)。生产者提供产品的总能力应该超过消费的总需求; 有足够的仓储容量来提高生产能力的平均利用小时; 有通畅而竞争充分的流通环节。因此, 商品的短期供应能力主要由库存量决定。在不完全竞争的市场上, 市场力一般指市场参与者使其产品价格在内较长时间内明显高于完全竞争市场价格的能力。

由于电能在物理、技术、经济、管理各方面的特殊性, 电力市场中的市场力作用特别明显并难以控制。在基础设施方面, 输配电环节在地域、物理和技术上都具有自然垄断性, 新产能的建设需要大量资金和以年为单位的时滞。在物理特性方面, 由于缺乏直接以电能形式大规模存储的手段, 发电功率必须与变化的负荷随时保持平衡, 电力供应能力取决于实时生产能力。电网支路的热容量限制及电力系统的稳定性约束都会限制电力交易。电过程的快速传播和同步特性对实时性要求极高。在工程技术方面, 各环节要求高度协调, 以保证电能质量, 并高效处理各种内外扰动。在经济方面, 由于发电侧竞争

的准入门槛高, 而需求侧又缺乏弹性, 从而影响竞争的充分性及市场效率。在管理方面, 电力系统的运行与电力市场的运营之间应紧密耦合。

这些特点使电力市场不可能成为理想的市场, 其经济稳定性与物理稳定性之间的相互关联特别紧密。人们很早就注意到, 电网安全约束可能使输电容量不足以支持最经济的电力交易, 从而降低市场效率, 并将能源流中这种物理上的不通畅称为阻塞。这些安全约束包括电网的热稳定、静态稳定、动态稳定和暂态稳定。上述阻塞是经济领域的电力市场与技术领域的电力系统之间相互影响的途径之一。

但是, 还有许多尚未得到足够重视的原因也会使上述流程不通畅, 进而影响市场效率。一次能源的缺乏、排放量的限制、竞争参与者的有限、流动资金的不足、基本设施的缺陷、技术支撑的滞后及管理的失误等因素, 不但影响电力供应的可靠性和质量, 并通过减小(或放大)那些受阻的(或不受阻的)参与者的市场力, 进而影响电力市场的效率和稳定性。因此, 本文将阻碍能源、资金及信息充分流动的情况统称为广义阻塞, 将市场参与者通过广义阻塞来影响市场效率的能力称为市场力, 而将其影响社会福利的能力称为广义市场力。广义阻塞及广义市场力是电力市场与其他相关领域之间相互影响的渠道。

广义阻塞可能妨碍充分竞争, 降低市场效率, 甚至破坏电力系统或电力市场的稳定性。对于非完全竞争的市场, 即存在广义阻塞形成市场力的场合, 就需要有独立的监管机构来防御市场力被滥用。监管是由个体利益不相关者用来克服个体利益相关者滥用市场力的控制手段。

收稿日期: 2010-09-15。

国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2004CB217905); 国家科技支撑计划资助项目(2008BAA13B05); 国家电网公司科技项目(SGKJ[2007]98, SG10013)。

现代经济学认为在竞争充分且无约束的市场上,单个参与者无法影响市场价格,价格机制可以最有效地配置资源<sup>[1]</sup>。实际市场往往难以实现完全竞争,而各种阻塞也会妨碍市场竞争的充分性,降低市场效率。文献[1]将实际市场的缺陷分为2类,即对市场内部及对市场外部的影响。对市场内部的影响需要通过监管措施来控制。对市场外部有益的那些影响,如果不能从市场中得到补偿(例如通过专利市场保护创新,通过补贴倡导新能源),就难以激励参与者的投入。对市场外部不利的那些影响,如果不能从市场中得到惩罚(例如通过碳税抑制排放),就难以制止。因此,从对市场外部的影响来看,监管也是必要的。

众所周知,过程的不当控制会破坏物理系统的品质或稳定性。在此含义上,控制与扰动都是对系统的输入,控制是为了用主动的输入来克服有害输入的影响。但是,不当的控制也可能造成不良后果,而扰动对系统也不一定总是有害。与此相似,监管措施与其他阻塞一样,都会改变能源流和资金流,进而影响市场。在此含义上,监管者是市场的特殊参与者,监管措施也会产生广义阻塞。监管力是特殊的市场力,是从公利出发对不正当谋取私利的市场力的抑制能力。但措施和强度不当的监管也会降低市场效率,造成资源的非有效配置,甚至危及市场稳定性。

在关于阻塞和市场力问题的已有综述中,文献[2]从市场结构、报价行为和博弈均衡方面,回顾了对发电侧市场力的分析,列举了平抑市场力的措施。文献[3]归纳了发电市场力指标、市场结构的影响及市场力仿真研究。文献[4]归纳了发电侧市场力的指标和仿真模型,探讨了输电对市场力的影响,总结了输电系统运营机构(TSO)在市场力监管上的作用。文献[5]介绍了美国联邦能源管制委员会(FERC)对发电市场力及其监管的研究。

从这些综述可见,当前对市场力的讨论基本上局限于发电侧,阻塞则基本上局限于电网的静态传输能力,而对于其他原因造成的阻塞,以及市场力在市场外的影响则鲜有研究。本文提出广义阻塞和广义市场力的概念及其研究框架;探讨市场力的分类、评估指标、监管及研究方法;讨论广义阻塞与市场力的交互机理;监管措施的优化;安全与经济的协调。

## 1 电力市场中的广义阻塞

### 1.1 阻塞及广义阻塞

阻塞通常指输电能力不够而限制市场竞争程度的情况。阻塞管理则是优化调度计划,使电网在安

全稳定的约束下,最大限度地支持电力市场的竞争。

除了输电能力外,实际电力工业及其外部环境,包括经济、物理、技术、环境及管理等方面还存在着其他妨碍竞争充分性的因素。将阻塞的讨论范围从狭义的输电能力扩展到发电、输电、环境、信息、电能质量、一次能源、技术、运营、资金、监管等环节,有利于更全面地研究电力市场与其他相关领域之间的相互影响。例如:温室气体排放阻塞与输电阻塞的起因互相独立,但两者的后果既可能相长,也可能趋于抵消。将上述原因统称为广义阻塞,以便在同一框架中讨论同时存在市场内部和外部环境的约束而影响市场竞争程度的情况。

阻塞也可能对市场竞争有利。以暂态稳定约束引起的输电阻塞为例,并按谁引起风险就由谁承担的原则分摊风险代价,则在临界群机组的上网成本增加的同时,非临界群机组的竞争力反而提高了。如果前者恰恰是发电市场的垄断者,那么竞争程度反会趋于改善。

需要指出,当2项广义阻塞所造成的被阻者基本互补时,它们对市场竞争水平的的影响趋于抵消。因此,不妨中性地将广义阻塞视为影响市场竞争程度的因素。但是,它们使资源配置效率减低的影响一定相长。

### 1.2 广义阻塞的分类

广义阻塞至少涉及:①基础设施方面的可用发电容量、可调节容量、无功支持、信息网络;②物理方面的一次能源供应、发供实时平衡、电网静态约束、系统动态约束、电能质量约束;③技术支撑方面的人员、数据、通信、知识、辅助决策;④经济方面的流动资金、规模经济、竞争参与者、需求侧弹性;⑤环境方面的场地约束、排放约束、极端气候;⑥管理方面的市场结构、管理体制、激励机制、监管力度。

这些广义阻塞通过不同的渠道和方式影响市场竞争程度,但除了发电阻塞和输电阻塞外,其他方面的研究至今还很不够。

### 1.3 广义阻塞对电力市场运营的影响

电力工业同时存在着遵循物理规律的能量传输、遵循经济规律的市场交易及遵循环保约束的节能减排。电力市场和节能减排以电力系统为物理基础,而电力系统又按电力市场和低碳模式运营。真正有助于电力市场竞争充分性的发电容量仅是在物理约束和环境约束下的那一部分可用发电容量,因此,物理稳定性问题及环境安全性问题紧密约束着电力市场运营。

广义阻塞意味着市场低效或潜在的停电,可以用其概率值与损失的乘积来反映其风险代价。因

此,市场运营目标中应该计入阻塞风险。但是,追求零阻塞风险也未必最优,且往往不可行,而应以购电成本与阻塞风险成本之和最小为运营目标。同样,在评估广义阻塞造成的市场力时,不能仅看对价格的影响,还应考虑其风险代价。

广义阻塞通过对发电侧竞争和输电能力的各种限制而形成短期市场力,并通过对电网的投资及对电源规划的导向来影响长期市场力。

## 2 电力市场中的市场力与广义市场力

### 2.1 电力市场中的市场力

经济学中一般将市场力定义为以获利为目的、使价格偏离完全竞争状态的能力<sup>[6]</sup>,但实际的影响还取决于其所有者如何运用市场力。这里的市场力必然指潜在的负面因素。

目前关于电力市场力的文献均沿用上述经济学定义,或从降低监管成本的观点略加修改为:市场参与者以获利为目的、在显著的一段时间内使价格高于竞争水平的能力<sup>[7]</sup>。

上述定义均排除了:①非营利因素也会使价格趋离完全竞争状态,例如环保理念提高绿色能源发电竞争力的能力;②监管行为用积极的市场力来抑制竞争者滥用其市场力,同样具有影响价格及投资的能力;不当的监管行为也会降低市场竞争度,甚至破坏电力市场稳定性;③市场力的正面作用,例如专利保护可能增强某些生产者的竞争力,但有利于技术进步;减排政策引入的阻塞影响了最低价商品成交的竞争原则,但其对应的市场力有利于环保。

文献<sup>[8]</sup>将市场力的定义扩展为:任何能够不当影响并进一步扭曲决策结果的能力。它可以涵盖监管和社会福利等约束对市场竞争度的负面影响,但仍然排斥广义阻塞的正面影响。但是,这些正面及负面的影响是共生的,而且其交互演化的过程与机理往往是应该关注的焦点之一,而不应该被忽视。

为此,建议将市场参与者通过广义阻塞来影响市场效率的能力统称为市场力。其中,去除了“以获利为目的”及“不当”等限定词,并用“影响市场效率”代替了“偏离完全竞争状态”。此外,由于难以在不改变电力系统特性的前提下放松全部阻塞与约束,故允许任意指定的一个非完全竞争状态作为评估标杆,以代替定义中的完全竞争状态。其中的市场效率可以是电价或进一步计及的风险。

这样定义的市场力既可以全面反映广义阻塞对市场效率的双面影响,也可以在同一框架中研究不同广义阻塞之间可能存在的复杂交互。

### 2.2 市场力的分类

市场力可以按其形成的阻塞原因分为市场内部市场力和外部市场力。市场内部市场力还可按电力工业结构分为垂直市场力和水平市场力,前者是指市场成员利用其拥有发、输、配电中的一个环节使其他环节牟利;后者是指市场成员利用其在一个环节内的优势地位而牟利<sup>[9]</sup>。随着电力市场改革的深入,垂直市场力将逐渐消亡。

此外,还可按市场类别(例如电能/容量/辅助服务市场,或短期/长期市场),或按市场力的影响空间(局部或全局)<sup>[10]</sup>,或按是否考虑投资对长期市场力的影响(静态/动态)<sup>[2]</sup>,或按博弈关系(例如个体/串谋)<sup>[11]</sup>来分类。

### 2.3 电力生产过程的内部市场力

内部市场力的起因包括:①发电阻塞,市场份额、备用特性、无功支持等原因使某些机组难以替代,这方面已有较深入的研究;②输电阻塞,当前研究集中于静态阻塞;③配电阻塞;④用户阻塞;⑤调度阻塞。

由于发电设备的维护费用很高,可用发电容量不会长期大幅度超过最大需求,而电力市场结算规则更为市场力的行使创造了条件。需求侧弹性系数小,使发电商有条件串谋地利用市场力。此外,市场力行为也可能表现为恶意降低报价。发电商市场力实施的主要途径为经济滞留和物理滞留,前者指发电商超出其边际成本报价,后者指发电商故意将申报的发电容量低于实际的可用发电容量。虽然2种方式都会降低厂商自身的合同电量,但结算价的抬高仍可能带来超额利润。

电网对供电可靠性的影响比其他商品的流通环节大得多;无功需求、系统稳定、辅助服务都可能使某些电厂在特定时段内更容易抬高报价,甚至成为必须运行的电厂,造成交易的歧视性。

### 2.4 电力生产过程的外部市场力

外部市场力的起因包括环境阻塞、监管阻塞、一次能源阻塞、信息阻塞、科技水平阻塞等。显然,这些方面也非常重要,但尚未引起足够重视。

市场力的存在不同于市场力的实施。前者是客观存在,但只有被参与者实施后才会起作用。

### 2.5 影响社会福利的广义市场力

各种阻塞在影响市场交易的同时,对市场外的社会福利也可能有正、反2方面的影响。例如:减排政策增强了清洁能源的市场力,却有利于环境安全和能源安全。为了概念和研究框架的清晰,笔者建议不采用将社会福利内部化为市场效率的描述,而是引入“各种阻塞因素影响社会福利的能力”,并将

其定义为广义市场力。没有将其称为与“市场力”有对称关系的“社会力”，而是称为有涵盖关系的“广义市场力”，这是为了使其不仅能直接反映对社会福利的双面影响，也能间接地反映对市场效率的双面影响。

温室气体的排在客观上早就对社会福利有影响，只是最近才被重视。监管者的排放管理措施形成了电力市场的外部阻塞，后者改变了各发电商的市场力排序。当发电商通过受到调整的市场力进行博弈时，监管者的广义市场力就真正影响了社会福利。

### 3 广义阻塞、市场力与广义市场力的相互影响

#### 3.1 电力流程与广义阻塞

电力生产过程中的能源流、资金流、信息流与排放流之间密切耦合。电力系统的物理稳定性制约了电力市场竞争的充分性，进而影响其经济稳定性；后者又引导投资，影响到电力系统的长期稳定性。这2方面的研究至今仍被人为割裂。研究电力市场稳定性时，并不考虑输电约束对实际可用的发电容量的影响。研究电力系统稳定性时，也未考虑市场运营对长期稳定性的影响。

为保证电力可靠性，这些流动必须满足各种物理和经济规律的约束，从而形成电力市场的各种内部阻塞，赋予市场参与者影响市场效率的市场力及影响社会福利的广义市场力。

为了防御市场力(或广义市场力)破坏电力市场(或社会福利)的安全性，政府要对电力市场(或社会福利)进行监管。监管措施通过其引入的广义阻塞来影响各竞争者的决策。

广义阻塞(包括内部阻塞和外部阻塞)、市场力和广义市场力是能源、资金、信息与排放流程之间交互的重要途径。

#### 3.2 广义阻塞之间的相互影响

不同阻塞之间，例如静态发电阻塞、动态发电阻塞、静态输电阻塞、动态输电阻塞和排放阻塞等，可能相互增强或抑制。每项具体的阻塞都会使部分竞争者受阻而降低竞争力，从而相对提高其他竞争者的竞争力。各发电机组所受到的约束源和约束强度不同，其相对竞争力既可能被提高，又可能被降低。

例如：在同时存在电力交易和排放交易的情况下，若被输电阻塞限制的机组需要购买排放权，那么输电与排放这2种阻塞管理是互助的，减轻一种阻塞风险的同时也降低了另一种阻塞风险。但是，若被输电阻塞限制的机组正在出售排放权，那么同一

个监管措施对这2种阻塞风险的影响相反。

足够长时间的发电容量阻塞会引起电价飙升，后者刺激发电投资，会造成若干年后过量的装机容量，同时造成发电商的流动资金紧张和利润降低。如此循环形成发电容量的振荡，损害市场效率和社会福利<sup>[12]</sup>。通过容量市场和扩容监管可以减轻振荡幅度，但若信息严重阻塞、负荷预测出错或监管不当，则控制措施可能出现负效应。

#### 3.3 广义阻塞、市场力与广义市场力的关系

广义阻塞、市场力与广义市场力的关系如图1所示。

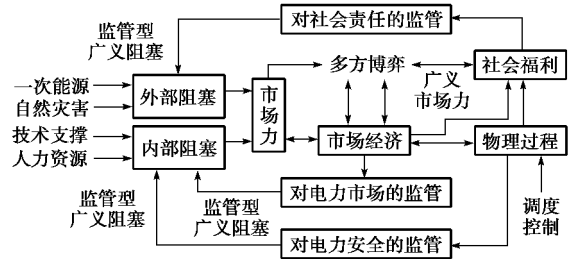


图1 广义阻塞、市场力、广义市场力之间的相互作用  
Fig. 1 Interactions among generalized congestions, market power and generalized market power

每项广义阻塞(包含内部阻塞和外部阻塞)都会对一部分竞争者造成“歧视”，而使其他竞争者得利。参与者利用市场力博弈会影响市场效率，而市场结算方式等则反过来影响市场力。竞争者实施市场力，不但影响了市场效率，还会影响社会福利；监管者利用其广义市场力保证社会福利的同时，也会影响市场效率。利益不同者的市场力行为相互博弈，而监管者努力增加公益，其均衡等效于社会福利最大。

为了防御市场力被滥用和社会福利被侵占，需要对市场参与者的社会责任进行监管；为了保证电力市场的可靠性，需要对市场活动进行监管；为了保证电力系统的可靠性和电能质量，需要对发、输、配、用电过程进行监管。

对电力市场及电力系统的监管形成电力工业新的内部阻塞，而对社会责任的监管形成新的外部阻塞。还有些因素在无监管时也会引入广义阻塞，如技术支撑水平和人力资源引入内部阻塞，又如一次能源和自然灾害引入外部阻塞。

市场成员影响社会福利的途径有：直接通过博弈(报价、生产规模的扩大及其方式)；通过市场经济或物理过程。传统的市场力研究难以覆盖对社会福利的影响，需要引入广义市场力的概念来研究对参与者社会责任的监管。

阻塞影响市场力,市场力的实施影响电力系统的工况及电力市场的运营,反过来又影响广义阻塞。因此,需要在统一框架中研究其复杂的交互关系。如果广义阻塞形成的市场力有利于社会福利,监管者就可以利用它来协调市场效率与社会福利。电力系统的内部阻塞一般会同时降低市场效率和社会福利,监管型外部阻塞一般用降低市场效率的代价来换取社会福利。例如:可再生能源的规划,就需要在目标函数中计入风险成本和社会福利,以协调环境保护与生产效率。

## 4 市场力的定量评估

### 4.1 市场力及其实施后果

市场力是参与者的潜在影响力,与具体的博弈无关。它从静态(或慢时变)的观点来反映电力市场的结构离开充分竞争的程度。市场力的实际影响不但与市场力的大小有关,还与参与者的具体博弈有关。这2个不同的概念需要有各自适合的评估指标和分析方法。参与者利用市场力进行博弈,就在电力市场中引入不同程度的扰动,甚至导致市场崩溃<sup>[13]</sup>。

广泛采用的蛛网理论、乘数动力学模型、Reyleigh方程等只能研究平衡点的稳定性问题,而不能反映物理系统的制约和市场力的作用,更不能研究大扰动及长期稳定性。此外,现有方法都难以真实反映众多参与者的博弈,都不能综合研究电力市场和电力系统的交互稳定性,不能研究广义阻塞、市场力、广义市场力之间的相互作用。

### 4.2 反映市场整体竞争水平的指标

这类指标包括:①市场供需(market balance)类,研究市场供应、需求的平衡及变动情况;②供需比(supply-demand ratio)类,如容量供需比、申报供需比;③供需弹性(elasticity)类,反映一个变量相对于另一个变量变化的敏感程度;④市场结构(market structure)类,反映参与者的构成等客观因素。

最常用的是传统经济学中计算市场集中度的指标HHI(Herfindahl Hirschman index)<sup>[14]</sup>,但很多文献指出其并不适用于电力市场<sup>[2,15-17]</sup>。文献[18]在HHI中计及了输电静态阻塞的影响;文献[19]按电能份额考虑输电静态阻塞;文献[20]考虑负荷变化及发电商未中标容量的市场份额。

### 4.3 反映个体市场力水平的指标

这类指标包括边际成本、市场份额、最小/最大市场份额比、必然运行率、持留率,以及边际电价达限率。

文献[21]提出的关键供应商指标(pivotal

supplier index,PSI)和文献[22]提出的剩余供给指标(residual supplier index,RSI)分别定性和定量地反映厂商在市场供需中的关键程度。文献[23]提出的必然运行率指标(must-run-ratio,MRR)考虑了需求和输电静态阻塞。文献[24]从最优潮流灵敏度出发监控发电商市场力;文献[25]在此基础上给出发电商串谋的分析指标;文献[26]提出的市场价格可控指数可计及需求弹性、输电阻塞、机组报价变化。这些研究都未考虑发输电的动态阻塞及监管等外部阻塞。

### 4.4 用风险变化量反映市场力水平

在偶然事件发生之前难以评估该事件一旦发生所造成的损失,文献[27]提出用主动的小范围停电代价代替大范围不受控的停电损失,以便合理预估各潜在故障可能发生的损失。此外,不确定的阻塞成本被转换表示为阻塞风险,就可以支持定量评估及决策支持,并将不确定因素、安全性和经济性统一到货币量纲<sup>[28]</sup>。

建议将此概念拓广到电力市场的研究中,用市场风险相对于市场成员决策参数的灵敏度来定量评估市场力的大小,并可进一步支撑优化决策。在摄动决策参数时可允许其他竞争者相应改变参数,使分析更贴近实际。

### 4.5 市场力实施程度的量化

为了评估历史或仿真记录,需要分析市场成员实施市场力的后果。例如:在统一结算价的体制下,需要研究发电商通过持留来抬高结算价,影响市场效率和社会福利的程度。

反映经济持留(超出其边际成本报价)的Lerner指标和价格-成本盈余指标(price-cost margin index,PCMI),表示发电商报价偏离其真实边际成本的程度。但监管机构一般只能利用燃料价格、机组类型、机组能效等信息估计发电商的平均变动成本来代替作为商业机密的真实成本,这往往使结果不足信<sup>[29]</sup>。此外,也无法分辨高价格的成因。依据该指标进行监管,有可能扭曲价格信号,造成投资不足,恶化市场竞争。文献[30]指出发电商在满发情况下的高报价应视为稀缺价格,而不是市场力的实施。文献[31]指出以持留作为判定实施市场力的指标要好于价格指标。

研究物理持留(故意少报可发电容量)时,经常用可用发电容量与申报容量之差作为指标,为此必须掌握厂商的机组检修实情。

笔者建议用生产成本与风险之和的变化值来定量评估市场力的实施程度。

#### 4.6 广义市场力的量化

每个市场成员都兼有影响市场效率的市场力和影响社会福利的广义市场力。监管者通过优化其市场力的实施使其广义市场力的效果最大化。竞争者在广义阻塞约束下实施其市场力,力求自身利益最大化,虽然在决策中一般不会主动实施其广义市场力,但客观上必然会影响到社会福利。

除了社会用电成本外,电力系统对社会福利的影响还包括停电损失、对化石类能源的依赖、环境资源、科技发展、就业机会等。这些影响很难用确定值表达,而应该用社会福利的风险来反映。换句话说,可以用社会福利的风险对于市场成员决策参数的灵敏度来定量评估其广义市场力。通过摄动某一博弈参数,观察社会福利指标的变化,可以评估市场成员的广义市场力。但在一次能源、环境资源、科技发展、就业机会的价值货币化方面,还需要多领域的研究。

### 5 阻塞与市场力的分析方法

#### 5.1 基于最优报价策略

这类方法用数学推导求取发电商的最优报价,通过与完全竞争下的报价比较来分析市场力。其中,需要预测统一市场清除价(MCP)或者预测对手报价行为<sup>[32]</sup>,但无法考虑发电商策略的相互影响。

#### 5.2 基于博弈均衡理论

这类方法利用博弈均衡理论求取在某一博弈模型下电力市场的均衡解,通过与完全竞争下的市场出清结果比较来研究市场力。常用的博弈均衡模型有:Bertrand, Cournot, Stackelberg, 供应函数均衡(supply function equilibrium, SFE), 微增响应猜测(conjectural variations, CV)模型等<sup>[33]</sup>。该类方法是当前量化市场力的主流<sup>[15]</sup>,曾用于分析市场机制<sup>[34]</sup>、需求弹性<sup>[35]</sup>、输电阻塞<sup>[36]</sup>、远期合同<sup>[37]</sup>、输电权<sup>[38]</sup>、碳排放交易<sup>[39]</sup>等对市场力的影响。

这类方法可以考虑发电商相互之间的静态影响,但必须假定机组的成本曲线和报价策略为公共信息,并且难以考虑市场投资等动态因素。

#### 5.3 基于电力市场仿真

这类方法通过数学模型的仿真,模拟市场成员的策略行为,分析市场力及其影响因素。其仿真的过程由负荷预测开始,包括了选定的市场博弈来得到市场价格和交易情况。为了较快得到计算结果,一般的商业软件会用直流潮流来计算电力系统的约束。

##### 5.3.1 基于多代理的计算经济学方法

这类方法通过相互作用的代理来模拟市场参与

者的策略行为,利用计算机进行大量仿真。由于受其代理的模型真实度限制,该类方法难以反映不同参与者多变的博弈。文献[40]提出了多代理基础上的电力市场短期竞标方法。文献[41]提出在市场信息不完全的情况下分析市场及市场力的方法。文献[42]仿真比较了发电商按边际成本报价、物理滞留策略报价和经济滞留策略报价等情况,分析了欧洲电力市场中潜在的市场力问题。文献[43]构建了一个基于强化学习算法的代理仿真平台,以意大利电力市场为例研究了政策对市场力的影响。

##### 5.3.2 基于实验经济学的仿真分析

基于实验经济学方法,文献[44]利用网络实验经济学仿真平台对比了3种不同竞价模式,并分析了输电约束产生的市场力;文献[45]研究了统一价格竞价和按报价支付(PAB)价格竞价机制对于发电商报价行为的影响。

但是,当前绝大多数基于实验经济学的仿真平台缺少与电力系统,特别是与其动态行为的联合仿真,无法全面反映经济稳定性与物理稳定性之间的制约,无法研究广义阻塞及市场力对长期稳定性的影响。

文献[46]提出的框架模型为研究电力市场经济稳定性问题打下了良好的基础。文献[13]进一步提出研究思路:①采用综合描述物理规律、经济规律及其交互关系的数学模型,反映竞争充分性对电力市场稳定性的影响;②考虑交易市场和投资市场的内在联系,以反映电力市场运营对竞争充分性的影响;③反映竞争充分性既受到电力系统客观物理条件的约束,又受到市场参与者主观博弈策略的影响。

建议在统一的仿真平台上,利用人的参与来反映市场成员的策略行为,与多领域的动态模型交互仿真,在实验室里再现电力市场,并用风险观点从仿真结果中提取知识。此外,由于广义市场力从实施到显现后果之间存在很大时滞,需要多时间尺度的实验经济学仿真。

#### 5.4 研究方法的比较

当前的市场力研究几乎都限于电价的局部开环研究,忽视了电力投资的长时滞,无法考虑电力市场经济稳定性与电力系统物理稳定性之间的相互制约。因此,无法研究广义阻塞及市场力对于电力市场及电力系统长期稳定性的影响。实际上,市场力问题还应包括参与者对阻塞风险、对市场稳定性的影响能力,及监管措施的控制效果。

基于最优报价策略和基于博弈均衡的研究方法都需要严格的数学推演,故不得不对模型作大量简化假设(如完全信息)以获得完备的结果。这2种方

法仅关注市场的均衡态,局限于短期的局部静态研究,而缺失动态过程的研究。实际电力市场中不同角色的众多参与者的主观行为的个体差异大,并对环境敏感,与“理性经济人”的假设相差甚远。

实验经济学方法则允许各参与者在了解运营现状、揣测对手行为、预测未来走势、衡量自身市场力的基础上作出决策。因此,可研究广义阻塞、市场力及广义市场力之间的复杂关系。其代价是需要多个有经验的专家参与,组织实验的工作量在一定程度上限制了大量的实验。

通过交互仿真可以逼真地反映各种阻塞及博弈对于市场效率及社会福利的影响,进而评估参与者行为对于阻塞风险、市场稳定性的影响能力;分析各种阻塞对参与者市场力的影响;研究如何用监管的主动控制来约束和防御不受控的市场力;研究阻塞、市场力及控制的协调优化,实现技术与经济问题的统一是进一步研究的目标。

## 6 市场力的控制

### 6.1 监管职能

监管职能包括:制定市场规则;颁发准入证;审定运营模式;设立交易机构方案;督查价格;监管电能质量及服务标准;监管辅助服务的收费标准;监管市场运行和调度交易行为;限制滥用市场力;维护公平竞争;审批投资、环境安全、开放性、企业合并与收购;处理争议等。

### 6.2 电力市场的三道防线

健康的电力市场应保证充分竞争,优化资源配置,提高社会福利。市场力控制就是研究如何用监管型市场力来约束和防御其他参与者市场力的滥用,保障电力质量和可靠供应,促进社会持续稳定发展。

从技术角度来看,阻塞管理有利于电力系统的安全稳定,但从经济角度来看,却限制了竞争的充分性。阻塞及其管理都可能被巧妙地用来增加技术壁垒。

参照电力系统安全稳定性的三道防线,电力监管措施也可分为预防控制、紧急控制和校正控制。预防控制限制市场力的拥有;紧急控制限制市场力的实施;校正控制限制市场力行为的影响。

### 6.3 预防控制

预防控制是监管者在竞争者实施市场力之前就施加的控制,以减轻对应的各种阻塞。它是一种风险博弈型的开环控制。由于预防控制往往以长期降低市场效率为代价,故仅靠它来解决所有风险并不经济。

### 6.3.1 减轻发输电阻塞

减轻发输电阻塞的措施包括:促进合理的发电扩展规划和电网规划,提高输电网的输送能力和灵活性,较宽松的市场准入政策,引导发电投资,鼓励可再生能源及清洁能源发电,限制单个发电厂商的市场份额(美国为20%),鼓励自备电厂在电力紧缺时向电网供电。

期货和长期双边合同是交易双方规避风险的有效手段,也是预防市场力实施的有力措施。由于期货价格主要取决于当前实时市场中的最高价或利用市场力可以获得的最大利润,因此,当市场已经不平衡时,就难以达到削减风险的目的。

差价合约是指合同一方要按合同的规定把当前市场电价与合同电价的差额付给另一方,其合同规定部分的电量收入就与市场电价无关。这削弱了其操控市场电价的动力。

另一类措施就是开放用户侧,包括双边拍卖市场及可中断负荷市场。可中断负荷是指那些以合约等方式允许有条件停电的负荷。作为虚拟的备用发电容量资源和输电容量资源,它可以抑制发电商市场力<sup>[47]</sup>。虽然用户侧同样可能存在市场力问题<sup>[48]</sup>,但它与发电侧市场力互相抑制。

### 6.3.2 减轻信息阻塞

公开历史价格、交易数量、负荷预测、机组备用与检修情况、市场参与者的数量与规模等尽可能多的市场信息,有利于建立公平竞争的环境;及时发布现货市场价格,可以提高需求弹性<sup>[49]</sup>。但信息的完全公开可能使发电商更易利用阻塞实施市场力<sup>[50]</sup>。因此,监管部门需要在详尽分析的基础上优化信息流。

## 6.4 紧急控制

当监管者辨识出竞争者已实施市场力,虽然恶果尚未充分显露,但若先验知识表明风险太大,就可以通过紧急控制来减小风险。紧急控制是预测型的开环控制,其措施的强度一般比预防控制措施严厉,但持续时间较短。

常见的控制措施包括暂时改变市场结算价格上限、投标上限、价格波动限制、盈利上限等。文献<sup>[51]</sup>提出的当量电价的容量参考系相当于投标上限的一种设置;文献<sup>[52]</sup>提出的利润空间法就是盈利上限的一种设置方法。

## 6.5 校正控制

校正控制是在市场已显示出不安全的情况后施加的控制,属于反馈控制。它根据电力市场的实际演变,动态实施控制措施或修改控制参数。其间,竞争者也可能将监管当成担保而投机。

监管措施必须根据市场动态自适应地调整。需要研究如何衡量各种措施的功效,如何确定合适的监管力度,如何协调优化各种控制方式,如何分析阻塞、市场力行为及监管措施对电力市场长期稳定性的影响。

## 6.6 控制代价

监管度是指对市场准入、产品和偿付能力各环节的控制和监督的松严程度。边际社会收益等于边际社会成本的状态就是监管边界,但两者的量化均极其困难。

监管成本包括直接代价和间接代价。前者包括各种行政成本、交易量损失、引入时滞等执行成本;后者由市场效率降低引起。通过让被监管者承担监管成本,促使其自发约束。

就像对电力系统的欠控和过控都不利于物理稳定性,监管不足或过度都不利于资源配置,甚至会破坏电力市场的稳定性。监管权力过于集中,会降低监管的效率甚至产生腐败。监管权力过于分散,则会增加协调的困难,出现重复监管和监管空白现象。

## 7 结语

目前,阻塞和市场力往往被孤立地研究,前者局限于输电阻塞,后者集中于发电商市场力。对阻塞、市场力、监管和电力市场稳定性的交互机理的研究不够。一次能源、排放、技术支撑都可能引起电力市场的广义阻塞;多方博弈及监管都可能影响市场效率,具有市场力。广义阻塞既可能放大,也可能抑制参与者的市场力。为此,应该深入研究广义阻塞与市场力和广义市场力之间的交互影响及其风险管理,探讨监管型市场力的评估及监管力度的优化,将研究从短期阻塞(或市场力)扩展到长期阻塞(或广义市场力)。建立广义市场力的概念,将研究框架扩展到能源安全和环境安全。

在广义阻塞及市场力的研究中,应该积极吸收在技术领域中已经广泛应用的动态仿真技术、优化技术与控制理论。采用实验经济学手段进行仿真,由参与仿真的各实验人员(或代理)针对仿真的动态输出信息作出博弈决策,并将其作为外部输入与数学模型不断交互。将阻塞管理问题处理为动态规划问题,由扮演监管角色的参与者(或代理)将监管措施作为控制手段,而优化的目标函数可按研究目的而定,例如成本与风险代价之和。

## 参考文献

- [1] MANKIW N G. Principles of economics. 5th ed. Boston, MA, USA: South-Western College Pub, 2008.
- [2] DAVID A K, WEN F S. Market power in electricity supply. IEEE Trans on Energy Conversion, 2001, 16(4): 352-360.
- [3] 林济铿,倪以信,吴复立. 电力市场中的市场力评述. 电网技术, 2002, 26(11): 70-76.  
LIN Jikeng, NI Yixin, WU F F. A survey of market power in relation with electricity market structure. Power System Technology, 2002, 26(11): 70-76.
- [4] TWOMEY P, GREEN R, NEUHOFF K, et al. A review of the monitoring of market power: the possible roles of TSOs in monitoring. Journal of Energy Literature, 2005, 11(2): 3-54.
- [5] HELMAN U. Market power monitoring and mitigation in the US wholesale power markets. Energy, 2006, 31(6/7): 877-904.
- [6] MAS-COLELL A, WHINSTON M D, GREEN J R. Microeconomic theory. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1995.
- [7] US Department of Justice and the Federal Trade Commission. Horizontal merger guidelines [R/OL]. [2010-04-28]. [http://www.justice.gov/atr/public/guidelines/horiz\\_book/hmg1.html](http://www.justice.gov/atr/public/guidelines/horiz_book/hmg1.html).
- [8] OUTHRED H. Comments on the international comparison of electricity markets and market power mitigation// Proceedings of Power Engineering Society General Meeting, June 24-28, 2007, Tampa, FL, USA: 1-4.
- [9] Office of Economic, Electricity and Natural Gas Analysis, Office of Policy, US Department of Energy. Horizontal market power in restructured electricity markets [R/OL]. [2010-04-28]. <http://www.pi.energy.gov/documents/HMPReport.pdf>.
- [10] NASSER T. Transmission congestion contracts and strategic behavior in generation. The Electricity Journal, 1998, 11(4): 32-39.
- [11] 马新顺,文福拴,刘建新. 电力市场中发电公司间默契合谋机理的研究. 电力系统自动化, 2005, 29(17): 1-7.  
MA Xinshun, WEN Fushuan, LIU Jianxin. An investigation on the mechanism of tacit collusions among generation companies in electricity markets. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(17): 1-7.
- [12] 彭慧敏,薛禹胜,朱寰,等. 发电容量长期动态的仿真. 电力系统自动化, 2007, 31(16): 7-13.  
PENG Huimin, XUE Yusheng, ZHU Huan, et al. Generation capacity long-term dynamic simulation. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(16): 7-13.
- [13] 徐群,薛禹胜,辛耀中. 竞争充分性对电力市场稳定性的影响. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 21-26.  
XU Qun, XUE Yusheng, XIN Yaozhong. The influences of competition sufficiency on power market stability. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 21-26.
- [14] SCHMALENSEE R, GOLUB B W. Estimating effective concentration in deregulated wholesale electricity markets. Rand Journal of Economics, 1984, 15(1): 12-26.
- [15] BORENSTEIN S, BUSHNELL J, KNITTEL C. Market power in electricity markets: beyond concentration measures. The Energy Journal, 1999, 20(4): 65-88.
- [16] RAHIMI A F, SHEFFRIN A Y. Effective market monitoring

- in deregulated electricity markets. *IEEE Trans on Power Systems*, 2003, 18(2): 486-493.
- [17] MERITET S. The question of market power in restructured electricity markets// *Proceedings of IAEE Conference*, June 4-7, 2003, Prague, Czech Republic.
- [18] ALVARADO F L. Market power: a dynamic definition// *Proceedings of Bulk Power Systems Dynamics and Control IV: Restructuring Conference*, August 24-28, 1998, Santorini, Greece.
- [19] JIAN Y, JORDAN G. System dynamic index for market power mitigation in the restructuring electricity industry// *Proceedings of Power Engineering Society Summer Meeting*, July 16-20, 2000, Seattle, WA, USA: 2217-2222.
- [20] BIALEK J W. Gaming the uniform-price spot market-quantitative analysis. *IEEE Trans on Power Systems*, 2002, 17(3): 768-773.
- [21] BUSHNELL J, KNITTEL C, WOLAK F. Estimating the opportunities for market power in a deregulated Wisconsin electricity market. *The Journal of Industrial Economics*, 1999, 47(3).
- [22] SHEFFRIN A. Predicting market power using the residual supply index [EB/OL]. [2010-04-28]. <http://www. caiso. com/docs/2002/12/05/2002120508555221628. pdf>.
- [23] GAN D, BOURCIER D V. Locational market power screening and congestion management: experience and suggestions. *IEEE Trans on Power Systems*, 2002, 17(1): 180-185.
- [24] MURILLO-SANCHEZ C, EDE S, MOUNT T, et al. An engineering approach to monitoring market power in restructured markets for electricity// *Proceedings of 24th IAEE International Conference*, April 25-27, 2001, Houston, TX, USA.
- [25] CAIN M B, ALVARADO F L. Metrics for application of revenue sensitivity analysis to predict market power coalitions in electricity markets// *Proceedings of the 36th Annual North American Power Symposium*, August 9-10, 2004, Moscow, Russia.
- [26] 丁军威,沈瑜,康重庆,等. 一种衡量发电商市场控制力的新指标. *电力系统自动化*, 2003, 27(13): 24-29.  
DING Junwei, SHEN Yu, KANG Chongqing, et al. A new index for evaluating generator's market power. *Automation of Electric Power Systems*, 2003, 27(13): 24-29.
- [27] 薛禹胜,刘强, DONG Zhaoyang,等. 关于暂态稳定不确定性分析的评述. *电力系统自动化*, 2007, 31(14): 1-6.  
XUE Yusheng, LIU Qiang, DONG Zhaoyang, et al. A review of non-deterministic analysis for power system transient stability. *Automation of Electric Power Systems*, 2007, 31(14): 1-6.
- [28] XUE Y, LI W, HILL D. Optimization of transient stability control: Part II for cases with different unstable modes. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 2005, 3(2): 341-345.
- [29] HARVEY S M, HOGAN W W. Market power and market simulations [EB/OL]. [2010-04-28]. [http://www. hks. harvard. edu/fs/whogan/H-H\\_Market\\_Power&Simulations\\_071602. pdf](http://www. hks. harvard. edu/fs/whogan/H-H_Market_Power&Simulations_071602. pdf).
- [30] HARVEY S M, HOGAN W W. Market power and withholding [EB/OL]. [2010-04-28]. <http://www. hks. harvard. edu/hepg/Papers/Hogan%20Harvey%20Market%20Power%20Withholding%2012-20-01. pdf>.
- [31] BRENNAN T J. Mismeasuring electricity market power. *Regulation*, 2003, 26(1): 60-65.
- [32] DAVID A K, WEN Fushuan. Strategic bidding in competitive electricity markets: a literature survey// *Proceedings of Power Engineering Society Summer Meeting*, July 16-20, 2000, Seattle, WA, USA: 2168-2173.
- [33] BENJAMIN F H, HEHNAN U, PANG J. Equilibrium market power modeling for large scale power systems// *Proceedings of Power Engineering Society Summer Meeting*, July 15-19, 2001, Vancouver, Canada.
- [34] 施展武,杨莉,甘德强. PAB和MCP电价机制下考虑不同容量水平的市场均衡分析. *电力系统自动化*, 2005, 29(19): 10-13.  
SHI Zhanwu, YANG Li, GAN Deqiang. A price competition model in MCP and PAB pricing considering different capacity constraints. *Automation of Electric Power Systems*, 2005, 29(19): 10-13.
- [35] AHN N, NIEMEYER V. Modeling market power in Korea's emerging power market. *Energy Policy*, 2007, 35(2): 899-906.
- [36] BERRY C, HOBBS B, MERONEY W, et al. Understanding how market power can arise in network competition: a game theoretic approach. *Utilities Policy*, 1999, 8(3): 139-197.
- [37] 张少华,王琨,李渝曾. 考虑远期合同交易的发电市场分段线性供应函数均衡模型. *电力系统自动化*, 2003, 27(21): 17-22.  
ZHANG Shaohua, WANG Xian, LI Yuzeng. Piecewise linear supply function equilibrium model for power generation markets with forward contracts. *Automation of Electric Power Systems*, 2003, 27(21): 17-22.
- [38] ALDERETE G B. Alternative models to analyze market power and financial transmission rights in electricity markets [D]. Waterloo, Canada: University of Waterloo, 2005.
- [39] ZHOU X, DONG Z Y, LIEBMAN A, et al. Australian electricity market power analysis under potential emission trading scheme, invited panel paper// *Proceedings of IEEE PES 2009 General Meeting*, July 26-30, 2009, Calgary, Canada.
- [40] WONG K O, YIN X, DONG Z Y, et al. An agent based method for generator short term bidding in a competitive electricity market// *Proceedings of IET International Conference on APSCOM*, November 8-11, 2009, Hong Kong, China.
- [41] YIN X, ZHAO J, DONG Z Y. Optimal GENCO's bidding strategies under price uncertainty in Poolco electricity market// *Proceedings of IET International Conference on APSCOM*, November 8-11, 2009, Hong Kong, China.
- [42] WANG J, BOTTERUD A, CONZELMANN G, et al. Market power analysis in the EEX electricity market: an agent-based simulation approach// *Proceedings of Power and Energy Society General Meeting, Conversion and Delivery of Electrical*

- Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA.
- [43] BUNN D W, MARTOCCIA M. Analyzing the price-effects of vertical and horizontal market power with agent based simulation// Proceedings of Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA.
- [44] ZIMMERMAN R D, BERNARD J C, THOMAS R J. Energy auction and market power: an experimental examination// Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Science, January 5-8, 1999, Maui, HI, USA: 30-34.
- [45] 陈皓勇, 付超. 统一价格和 PAB 竞价的实验分析. 电力系统自动化, 2007, 31(4): 12-17.  
CHEN Haoyong, FU Chao. Experimental analysis of uniform price and PAB auctions in electricity markets. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 12-17.
- [46] 薛禹胜. 电力市场稳定性与电力系统稳定性的相互影响. 电力系统自动化, 2002, 26(21): 1-6.  
XUE Yusheng. Interactions between power market stability and power system stability. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(21): 1-6.
- [47] 薛禹胜, 罗运虎, 李碧君, 等. 关于可中断负荷参与系统备用的评述. 电力系统自动化, 2007, 31(10): 1-6.  
XUE Yusheng, LUO Yunhu, LI Bijun, et al. A review of interruptible load participating in system reserve. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(10): 1-6.
- [48] LE A T, BHATTACHARYA K. Competitive framework for procurement of interruptible load services. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 889-897.
- [49] 夏清, 黎灿兵, 江健健, 等. 国外电力市场的监管方法、指标与手段. 电网技术, 2003, 27(3): 1-4.  
XIA Qing, LI Canbing, JIANG Jianjian, et al. Electricity market surveillance summary. Power System Technology, 2003, 27(3): 1-4.
- [50] WILLEMS B. Electricity networks and generation market power [D]. Leuven, Germany: Katholieke University, 2004.
- [51] 言茂松. 当量电价体系及相关制度设计: (二) 发电上网的实用当量电价法及其市场特性. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 1-9.  
YAN Maosong. Electricity value equivalent (EVE) pricing system and relevant systems design: Part two a practical electricity value equivalent (p-EVE) pricing method for pool purchase and its market characters. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 1-9.
- [52] 魏学好, 周浩. 电价监管的一揽子解决方案在利润空间法中的应用. 电网技术, 2003, 27(6): 1-6.  
WEI Xuehao, ZHOU Hao. Application of a package solution to regulate electricity price in profit space theory for electricity market. Power System Technology, 2003, 27(6): 1-6.

薛禹胜(1941—), 男, 通信作者, 中国工程院院士, 国网电力科学研究院名誉院长, 博士生导师, 主要研究方向: 电力系统自动化. E-mail: xueyusheng@sgepri. sgcc. com. cn

李天然(1976—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 电力系统与电力市场稳定. E-mail: litianran@gmail. com

尹霞(1976—), 女, 博士研究生, 高级市场分析管理, 主要研究方向: 电力市场分析及风险管理, 电力系统分析. E-mail: donna. yin@stanwell. com

## A Research Framework for Generalized Congestions and Market Power

XUE Yusheng<sup>1,2</sup>, LI Tianran<sup>2,1</sup>, YIN Xia<sup>3</sup>, Zhaoyang DONG<sup>4</sup>, HUANG Jie<sup>1</sup>, XUE Feng<sup>1</sup>

- (1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. The Australian National University, Canberra ACT 0200, Australia; 4. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract:** Besides the transmission congestion reflecting the physical stability of a power system, power market is also constrained by factors like primary energy, emissions, technical support and multi-game. These factors affecting both competition level and efficiency of a power market can be called by a generic term as generalized congestions. The purpose of regulation is to avoid the abuse of market power and reduce the risk in social welfare. However, inappropriate regulation may also degrade the efficiency of a market; even endanger the market and social stability. So regulation is also a kind of generalized congestions. The capability of market participants to influence (increase or decrease) market efficiency through taking the advantage of generalized congestions can be called as market power, while generalized market power reflects the capability to influence social welfare. Generalized congestions, market power and generalized market power are analyzed in aspects such as classification, evaluation indexes, control measures and research methods. A framework is proposed for the mechanism study of generalized congestions, market power and generalized market power. With this framework, experimental economics can be implemented, and comprehensive analysis can be taken to study the mechanism for generalized congestions to influence the market power.

This work is supported by Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2004CB217905), National Key Technology Research and Development Program (No. 2008BAA13B05), State Grid Corporation of China (No. SGKJ [2007]98, No. SG10013).

**Key words:** congestion; market power; regulation; stability; social welfare; power market