

关于电力系统排放权交易及排放阻塞的综述

黄杰^{1,2}, 薛禹胜^{2,1}, 王彦亮², 薛峰², 邹云¹

(1. 南京理工大学自动化学院, 江苏省南京市 210094;

2. 国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

摘要:从减排对象、体系成员、初始分配和排放核算等方面介绍排放权交易的现状和发展;归纳碳交易体系中碳信用的积累、流通和消费。讨论排放权交易与电力系统物理规律及电力市场经济特性的交互关系。指出多时间尺度动态、大量不确定性、多方博弈及多领域交互等因素在排放权交易研究中引入的难度,并强调在广义阻塞的框架中采用实验经济学方法的研究思路。

关键词:减排;排放权交易;电力系统;排放阻塞;可再生能源

0 引言

污染物的排放对环境的影响引起越来越多的关注。为解决日益严重的酸雨问题,美国于1990年通过了《清洁空气法案》修正案,要求在2007年前将二氧化硫排放水平在1980年的基础上削减一半。1997年由联合国气候变化框架公约参加国制定的《京都议定书》要求将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平,进而防止剧烈的气候改变对人类造成伤害。该议定书至今已获150多个国家和地区的签署,并于2005年2月16日强制生效。中国于1998年签署,2002年批准了该议定书。

《京都议定书》提供了3种弹性减排机制供签约国选择,即碳排放交易(emission trading, ET),联合履约(joint implementation, JI)以及清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)。其中,基于市场行为的ET已得到较广泛的认可。

长期以来,化石类燃料一直是发电用的主要一次能源及温室气体的主要排放源。排放权交易不但在短时间尺度上影响不同一次能源发电的发电成本,而且影响电力系统运行,并在长时间尺度上影响整个电源结构。一方面,不论是电力系统的运行还是规划都应该得到排放权交易研究的决策支持;另一方面,节能减排政策的制定也需要充分考虑电力系统和电力市场的行为,协调好电力系统的高效运行和减排目标。

文献[1]对碳排放权交易的理论及应用研究进

行了综述,剖析其基本制度和运行特征。文献[2]详尽介绍欧盟排放交易体系(EU ETS)的历史背景、减排目标、分配方式、竞争水平、投资激励及金融动态。文献[3]从政策和经济角度综述了排放权交易对电力市场和可再生能源的影响。本文则从排放权交易与物理电力系统及经济电力市场相互影响的视角,归纳了电力系统排放权交易问题。将碳信用视为一种特殊商品,从其“生产与积累”、“消费”和“流通”3个方面介绍碳排放权交易,并与电力系统中的相关问题对比,归纳其研究难点,并建议其研究方法。

1 排放权交易

1.1 排放权交易体系

排放权交易是一种以经济杠杆鼓励私人及企业致力减排的市场工具和监管方式^[4]。其标的,即排放权并不是实物商品,而是向大气中排放污染气体的权证。污染气体停留在大气层中的时间相当长,同时不断扩散。由于日常的排放量主要以累积总量的方式影响环境和气候,故排放权的结算周期可以很长,而不需要实时结算,此外也不需要就地平衡。

现已弃用的交易体系有丹麦CO₂排放权交易(2001—2003年)和英国排放权交易体系(2002—2006年);正在运营的体系有美国SO₂排放权交易(1995—)和EU ETS(2005—)等。

1.2 排放权交易的参与者

由于经济和政策原因,强制型排放权交易的参与者往往集中在排放密集型企业。EU ETS是目前规模最大的跨国排放权交易体系,其成员为欧盟内1万多个冶金、电力、水泥等能源密集型企业,涉及欧盟温室气体排放总量的40%。美国SO₂排放权交易参与者主要为电力企业,而丹麦的参与者仅为

收稿日期:2011-02-28。

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)。

电力企业。

志愿型排放权交易则对参与者没有过多限制,任何个人和组织都可以参与排放权买卖,称为交易参与者。UK ETS有32个直接参与者,既有大型企业、银行和超市,也有伦敦自然历史博物馆这样的小规模参与者,通过自愿申报减排额度以获得政府补贴。此外,签署了英国气候变迁协议的企业也可参与UK ETS,称为协议参与者(agreement participants)。芝加哥气候交易所(CCX)是一个自愿型的排放权交易市场,其成员来自汽车、化工、电力、电子等多个行业,包括杜邦、福特、摩托罗拉这样的大型企业。

无论是强制型还是志愿型排放权交易,电力企业都是其主要参与者。

1.3 排放权交易的类型

排放权交易可按其交易模式分为:①限额-交易(cap and trade)模式,由监管机构将排放权总量及初始排放权按指定规则预先分配给各排放源主体,后者通过排放权交易保证在核算周期结束时支付不小于其实际排放量的排放权;②基线-额度(baseline and credit)模式,由监管机构制定一个排放基线,各排放源主体申报的排放量计划若低于(或高于)该基线,则会获得(需购买)相应差额排放权。

排放权交易可按减排约束的强度分为:①具有明确减排目标的强制型,大多采用限额-交易模式,例如美国SO₂排放权交易和EU ETS;②自愿申报减排承诺的志愿型,往往采用基线-额度模式,例如UK ETS。

还可按排放权交易的不同标的区分:①配额型(allowance-based)以排放权配额为交易标的;②项目型(project-based)通过投资减排项目以获得排放权,如CDM和JI。

1.4 排放权交易的要点

1.4.1 减排对象

排放权交易的对象是各种污染气体的排放权。例如:美国的SO₂排放权^[5],丹麦的CO₂排放权,EU ETS运行之初仅针对CO₂排放权,而后拓展到CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆全部6种温室气体。CCX是北美目前唯一的志愿型排放权交易市场,其减排对象也囊括了所有温室气体。

1.4.2 初始分配

排放权的初始分配方式有3种:溯往方法、基准值法、拍卖方法。溯往方法以厂商的历史年平均排放量为依据。例如:美国SO₂排放权交易中,排放权总量的97.2%按发电企业在1985—1987年间的年均热能输入比例免费分配;UK ETS按企业在

1998—2000年间的年均排放免费分配。基准值法基于平均排放率或最低排放率等特定准则,计算各行业的单位产能排放基准,按后者与某排放源的历史产能之乘积来分配初始排放权。拍卖方法完全通过竞标分配排放权,而不再有免费初始排放权。目前的排放权交易体系都采用前2种免费分配方式。

跨国排放权交易体系EU ETS,按各国在议定书中的减排任务,在国家间分配各阶段的初始排放权。然后各国政府在其内部分配初始排放权。在2005—2007年期间免费分配的排放权超过95%,大多数国家在内部采用溯往方法分配;在2008—2012年期间免费分配的排放权超过90%,而使用基准值法的国家正逐渐增多;在2013—2020年期间,免费分配的排放权不超过40%。

1.4.3 交易方式

图1给出排放权的3种交易方式:①企业间通过谈判达成的直接交易;②通过中间人的场外交易(over the counter, OTC),交易双方不必熟悉交易操作;③在交易中心采用集中撮合方式,其交易量从2008年开始超过OTC方式^[6]。

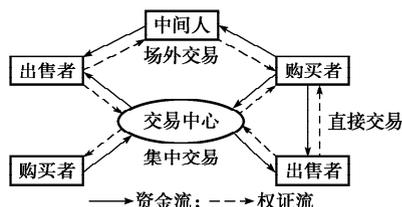


图1 排放权的3种交易方式

Fig. 1 Three transaction modes of emission rights

1.4.4 核算周期

排放权交易大多以年为核算周期。各排放源应保证在周期末所持有排放权不少于在该周期内实际的累计排放量。例如EU ETS 2006年排放核算规则为:排放源需要核实其在2006年内累计排放量,在2007年3月30日前提交给主管部门,并在4月30日前提供等量的排放权,否则视为违约而受罚。

1.4.5 违约处罚

一般采用经济处罚与扣除下一周期排放权分配额相结合的方式处罚违约。在美国SO₂排放权交易中,以某排放源在1990年的排放额为基准,超额排放罚金为2000美元/t(随物价指数调整)。同时还将从该排放源下一年排放权分配额中扣除本年度超额排放的部分。在UK ETS中,对于违约的排放源将不再给予补贴,同时将超额排放量乘以惩罚因子(1.1~2.0),作为从该排放源下一年获得的排放权中扣除的数量。在EU ETS第1阶段(2005—

2007年),超额排放罚金为40欧元/t,在EU ETS第2阶段(2008—2012年),超额排放罚金将上升到100欧元/t,同时还将从下一周期的排放权分配额中扣除超额部分。

2 排放权交易的横向比较

2.1 排放权交易与输电权交易

输电权是利用输电网传输电力或取得相关利益的权利^[7],分为物理输电权(physical transmission rights, PTR)和金融输电权(financial transmission rights, FTR)。一个完备的输电权交易市场,可以引导市场成员合理利用输电网络,规避输电阻塞风险,并引导输电投资。

排放权和输电权都通过市场和权利界定的方式来管理。输电权可以通过竞标和投资输电线路而获得;排放权除了可以通过交易获得外,企业还可以通过投资可再生能源、清洁能源和植树造林等来获取排放权。

PTR为指定节点间的输电使用权,具有时间与地理位置属性。与PTR不同,FTR类似于期权,无论其拥有者是否在物理上使用了该输电容量,都会获得相应的阻塞金。排放权的效用则对时间不敏感,且与地理位置无关,其消费地与购买地可不同。

2.2 排放权交易与发电权交易

发电权是各机组发电的许可份额,其概念的提出是为了减少水电弃水,优化电源结构和促进节能减排^[8]。发电权在计划模式下由政府核定,而在市场模式下则由电厂竞争获得。文献^[9]指出考虑排放权交易的发电权交易能够显著提高交易效率。

在资金流动方向上,排放权交易与普通商品交易相同,卖方的申报价是希望从买方收取的费用。发电权交易支付方向则与普通商品相反,卖方的申报价是其愿意支付给代替它发电的买方的费用。因此,发电权交易的撮合次序与普通商品相反:卖方报价高者交易优先,买方报价低者交易优先^[10]。

发电权是一种硬性的实时约束,成交后的买方必须严格按照合同规定的时间发电。排放权交易的双方都只需保证在每个结算周期末,其持有的排放权不小于该周期内累积的排放量,而在其间则允许短期透支。

发电权交易的结果会直接改变电网的潮流,故交易必须受制于电力系统的安全稳定。排放权交易则间接地影响潮流及安全稳定性。

2.3 排放权交易与可再生能源发展

出于对化石类能源消耗殆尽及气候变化的担

忧,全球对可再生能源越来越关注,至今至少有64个国家实施了推动可再生能源发展的政策。2008年对可再生能源的投资已达1200亿美元,是2004年的4倍。但可再生能源的发电成本较高,其本身缺乏市场竞争力。

排放权交易给常规发电引入排放成本,从而相对提升了可再生能源的竞争力并激励其投资和研发。但仅靠目前排放权价格的推动,其效果仍然有限,还需要与其他扶持政策相结合。例如:政府为可再生能源制定较高的收购价格,对投资进行补贴,强制要求一定比例的可再生能源发电量等。

目前的相关研究集中在排放权交易与可再生能源推动政策之间的关系^[11],包括:①直接方式,例如征收碳税;②间接方式,例如排放权交易和征收用电税;③交易方式,例如绿色证书可以转换为排放权交易。文献^[12]研究了可再生能源配额标准、绿色定价及排放权交易三者的互动。

排放权交易和可再生能源推动政策可能发生重复管制和重复计算问题,需要深入研究综合效果的优化。

3 碳交易

3.1 碳信用

《京都议定书》涉及的6种温室气体中,CO₂是人类活动产生温室效应的主要气体。因此,排放权交易被统称为“碳交易”,其标的是碳信用(carbon credit),泛指各种可交易的温室气体排放权。为了统一评估整体温室效应,按各种温室气体对温室效应的影响程度折算为对应的CO₂当量(CO₂-e)。

3.2 碳信用的获取与积累

政府及企业的碳信用可以通过减排配额获取现货形式的碳信用,或通过执行减排项目来积累期货形式的碳信用。企业也可以通过减少产量或技术改造来降低自身的排放量,并将多余的排放权作为碳信用出售。

3.3 碳信用的流通

碳信用以电子证书形式在电子市场中流通:当买方在市场上购得碳信用后,清算部门将卖方账户的碳信用转入买方账户。目前国际上有CCX、欧洲气候交易所(ECX)、北欧的Nord Pool等。它们支持碳信用的现货、期货和期权交易,保证碳信用的商品流通性,并帮助交易者规避风险。

3.4 碳信用的消费

排放权交易体系内的企业在每个结算周期末,必须支付(消费)与当期实际排放等量的碳信用。

3.5 碳足迹

碳足迹(carbon footprint)是指在某一过程或商品的生命周期中所引发的各种温室气体,折算为CO₂-e的总排放量^[13]。一般采用生命周期评估(life cycle assessment, LCA)法。

电力商品与一般商品的碳足迹都包含原料采购、生产过程、运输销售、消费环节,以及厂区和设备的修建及维护等,但前者没有消费之后的后处理问题。由化石类能源转换的电力商品,其碳足迹集中在发电过程;可再生能源的电力商品,其碳足迹小得多,主要由厂区和设备的修建和维护引起。减少电力商品碳足迹的途径包括:采用低碳的一次能源;提升发电、输电、配电、变电、用电等环节的流通效率。

4 电力系统排放权交易的研究现状

排放权交易不但影响不同类型发电的成本及电力系统的运行,从长期看还影响电源结构。目前的研究集中在经济和体系设计,从不同视角出发的研究有不同的侧重。

对发电厂商,排放权交易引入的额外成本(或机会成本)将影响其报价策略^[14]和运行规划^[15],从而改变机组出清顺序及上网电价^[16-20]。发电厂商需要在电力市场及排放市场间协调使其收益最大化^[21-22]。排放权交易下的发电投资决策行为也有较多研究^[23-26]。

调度机构关心的问题包括排放权交易下的机组组合^[27],将排放作为约束或加入优化目标的经济调度^[28],以及排放权交易下的需求侧管理^[29]。

体系设计者关注排放权交易机制对电力系统的影响^[30-31],包括排放权的初始分配方式的短期及长期影响。

关于排放权交易对电力系统广义阻塞的影响问题则研究很少。文献^[20]基于区域电价简单介绍了ETS对欧盟国家之间联络线静态阻塞的影响,发现德国与荷兰的联络断面上的输电静态阻塞被缓解,而法国与荷兰之间则有所恶化,是一个受负荷水平、电源分布和组成、电网拓扑及排放权价格等因素影响的实证问题。动态阻塞往往比静态阻塞更苛刻,但排放阻塞与输电动态阻塞的交互影响研究却未见有报道。

现有的研究使用常规的解析或博弈均衡仿真或多代理仿真方法,没有解决不同时间尺度仿真之间的交互问题,故只能孤立地分析排放权交易及电力系统可靠性,不能反映其交互影响。而在研究排放权交易体系时,不能真实反映环境阻塞的累积量约

束本质及策略交易行为^[22]。

5 研究难点

5.1 不同领域之间的交互

文献^[32]设计了电力系统与电力市场的技术、经济交互仿真方法,以研究经济系统与物理系统、参与者与数学模型之间的交互关系。排放权交易则进一步增加了问题的复杂性,使物理领域的电力系统、技术领域的运行与控制、经济领域的电力市场和排放市场,以及政策领域的节能减排紧密耦合在一起。需在同一平台上研究它们的动态行为与交互影响。

5.2 多时间尺度动态的交互

电力工业中同时存在毫秒级的物理暂态、小时级的现货交易、日月级的电力合同、月年级的扩容建设、非同步的排放权交易、累积方式的排放约束、不同时间尺度的系统备用。研究中需要反映这些不同时间尺度动态的交互。

5.3 更多、更强的不确定性

电力系统的运行和包含排放阻塞在内的各种广义阻塞,都受到大量不确定性的影响。可再生能源的发展、电力市场中的博弈及排放权交易又引入了新的不确定性。短期运行和长期投资的决策都必须充分规避不确定性带来的风险。

5.4 愈发复杂的博弈策略

市场参与者面对着实时、日前、合同、期权等不同时间尺度的市场,以及容量、辅助服务、投资等标的不同的市场。其风险决策为非常复杂的资产组合问题,而各类广义阻塞也可能引入新的市场力。排放权交易引入新的累积量约束与博弈,发电商需要跟踪电力价格和排放价格的动态,协调发电量和排放量。他们可以利用排放的累积量约束特性,制定更为灵活的跨领域多级市场交易策略。

6 将排放权交易放在广义阻塞框架中研究

文献^[33]综合电力系统的物理流程、广义阻塞、市场力与广义市场力概念,提出广义阻塞与市场力的模型框架。该框架反映了各环节之间,以及各种广义阻塞之间的复杂交互。

广义阻塞的仿真涉及物理、经济、环境、社会等不同领域的模型和博弈,需要强有力的仿真平台的支持,包括组织仿真场景、处理数据、提取知识、优化决策。已开发成功的电力市场与电力系统动态交互仿真平台(dynamic simulation platform for power market & power system, DSPMPS)具有灵活开放的平台架构,支持实验经济学研究、跨领域多时间尺

度的动态交互仿真、风险定量分析,以及多目标和多控制手段的决策支持^[34],也是研究排放权交易的有力工具。

7 结语

本文归纳了排放权交易体系,特别是碳排放权交易的进展。探讨其与发电权交易、输电阻塞与可再生能源的关系,指出研究的难点在于多时间尺度的动态仿真,技术、经济、政策的跨领域交互,更多的不确定性因素,广义市场力及复杂的博弈策略。建议在广义阻塞理论的框架中,通过实验经济学方法深入研究。

参考文献

- [1] 曾刚,万志宏.碳排放权交易:理论及应用研究综述[J].金融评论,2010,2(4):54-67.
ZENG Gang, WAN Zhihong. Carbon emission permits trading: a summary[J]. Chinese Review of Financial Studies, 2010, 2(4): 54-67.
- [2] CONVERY J F. Reflections: the emerging literature on emissions trading in Europe[J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2009, 3(1): 121-137.
- [3] LI I X, YU C W. Impacts of emission trading on carbon, electricity and renewable markets: a review[C]// Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 25-29, 2010, Minneapolis, MN, USA: 1-7.
- [4] Emissions trading [EB/OL]. [2011-02-01]. http://en.wikipedia.org/wiki/Emissions_trading.
- [5] United States Environmental Protection Agency. Acid rain [EB/OL]. [2011-02-01]. <http://www.epa.gov/acirain/>.
- [6] TVINNEREIM E, RØINE K. Carbon 2010—Return of the sovereign, Point Carbon Annual Report[C]// Proceedings of Point Carbon's 6th Annual Conference, March 2-4, 2010, Amsterdam, the Netherlands.
- [7] 方军,张永平,魏萍,等.输电阻塞管理的新方法述评:(一)基于潮流的可交易输电权[J].电网技术,2001,25(7):4-8.
FANG Jun, ZHANG Yongping, WEI Ping, et al. A new market-based congestion management method: Part one flow-based tradable transmission rights[J]. Power System Technology, 2001, 25(7): 4-8.
- [8] 尚金成.基于节能减排的发电权交易理论及应用:(一)发电权交易理论[J].电力系统自动化,2009,33(12):46-52.
SHANG Jincheng. Generation right exchange theory and its applications based on energy-saving and emission-reducing: Part one generation right exchange theory [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(12): 46-52.
- [9] 迟远英,王彦亮,牛东晓,等.碳排放交易下的发电权置换优化模型[J].电网技术,2010,34(6):78-81.
CHI Yuanying, WANG Yanliang, NIU Dongxiao, et al. An optimization model of generating right exchanging under carbon emission trading[J]. Power System Technology, 2010, 34(6): 78-81.
- [10] 黎灿兵,康重庆,夏清,等.发电权交易及其机理分析[J].电力系统自动化,2003,27(6):13-18.
LI Canbing, KANG Chongqing, XIA Qing, et al. Generation rights trade and its mechanism [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(6): 13-18.
- [11] ABRELL J, WEIGT H. The interaction of emissions trading and renewable energy promotion, Working Paper No. WP-EGW-05 [R]. Dresden, Germany: Dresden University of Technology, 2008.
- [12] CHEN Y, WANG L Z. A power market model with renewable portfolio standards, green pricing and GHG emissions trading programs[C]// Proceedings of IEEE Energy 2030 Conference, November 17-18, 2008, Atlanta, GA, USA: 1-7.
- [13] Parliamentary Office of Science and Technology. Carbon footprint of electricity generation [EB/OL]. [2011-02-01]. <http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf>.
- [14] 刘国中,文福拴,薛禹胜.温室气体排放权交易对发电公司最优报价策略的影响[J].电力系统自动化,2009,33(19):15-20.
LIU Guozhong, WEN Fushuan, XUE Yusheng. Impacts of emissions trading on optimal bidding strategies of generation companies in day-ahead electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(19): 15-20.
- [15] RONG A, LAHDELMA R. CO₂ emissions trading planning in combined heat and power production via multi-period stochastic optimization[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 176(3): 1874-1895.
- [16] SOUSA A, PINTO B, ROSA N, et al. Emissions trading impact on the power industry with application to the Iberian Electricity Market [C]// Proceedings of IEEE Power Tech, June 27-30, 2005, St. Petersburg, Russia: 1-4.
- [17] SIJM J, BAKKER S, CHEN Y, et al. CO₂ price dynamics: the implications of EU emissions trading for electricity prices & operations [C]// Proceedings of IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 18-22, 2006, Montreal, QC, Canada: 1-4.
- [18] KARA M, SYRI S, LEHTILÄ A, et al. The impacts of EU CO₂ emissions trading on electricity markets and electricity consumers in Finland [J]. Energy Economics, 2008, 30(2): 193-211.
- [19] BONACINA M, GULLI F. Electricity pricing under "carbon emissions trading": a dominant firm with competitive fringe model [J]. Energy Policy, 2007, 35(8): 4200-4220.
- [20] CHEN Y, SIJM J, HOBBS B F, et al. Implications of CO₂ emissions trading for short-run electricity market outcomes in northwest Europe [J]. Journal of Regulatory Economics, 2008, 34(3): 251-281.
- [21] WEIDLICH A. Engineering interrelated electricity markets: an agent-based computational approach [J]. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag, 2008.
- [22] WANG J, KORITAROV V, KIM J H. An agent-based approach to modeling interactions between emission market and electricity market [C]// Proceedings of Power & Energy

- Society General Meeting, July 26-30, 2009, Calgary, AB, Canada: 1-8.
- [23] REINAUD J. Emissions trading and its possible impacts on investment decisions in the power sector[J]. Oil, Gas & Energy Law, 2004, 2(1).
- [24] HOFFMANN V H. EU ETS and investment decisions: the case of the German electricity industry[J]. European Management Journal, 2007, 25(6): 464-474.
- [25] MOST D, GENOESE M, ESSER A, et al. European electricity and emission market modeling: the design of emission allocation plans and its effects on investment planning [C]// Proceedings of EEM 5th International Conference, May 28-30, 2008, Lisboa, Portugal: 1-6.
- [26] 刘国中, 文福拴, 薛禹胜. 计及温室气体排放限制政策不确定性的发电投资决策[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(18): 17-32.
LIU Guozhong, WEN Fushuan, XUE Yusheng. Generation investment decision-making under uncertain greenhouse gas emission mitigation policy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(18): 17-32.
- [27] KOCKAR I. Unit commitment for combined pool bilateral markets with emissions trading[C]// 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.
- [28] MUSLU M. Economic dispatch with environmental considerations: tradeoff curves and emission reduction rates [J]. Electric Power Systems Research, 2004, 71(2): 153-158.
- [29] OGGIONI G, RUMIANTSEVA I, SMEERS Y. Introduction of CO₂ emission certificates in a simplified model of the Benelux electricity network with small and industrial consumers[C]// Proceedings of International Conference on Clean Electric Power, May 21-23, 2007, Capri, Italy: 291-298.
- [30] ZHOU X, DONG Z Y, LIEBMAN A, et al. Potential impact of emission trading schemes on the Australian national electricity market [C]// 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.
- [31] BODE S. Multi-period emissions trading in the electricity sector—winners and losers[J]. Energy Policy, 2006, 34(6): 680-691.
- [32] 薛禹胜, 彭慧敏, WU Q H. 电力市场与电力系统交互动态仿真设计[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(23): 14-20.
XUE Yusheng, PENG Huimin, WU Q H. Analysis and simulation of interaction between electricity market and power system dynamics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(23): 14-20.
- [33] 薛禹胜, 李天然, 尹霞, 等. 广义阻塞及市场力的研究框架[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(21): 1-10.
XUE Yusheng, LI Tianran, YIN Xia, et al. A research framework for generalized congestions and market power[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(21): 1-10.
- [34] 黄杰, 薛禹胜, 许剑冰, 等. 电力市场与电力系统的动态交互仿真平台: (一) 功能设计[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(10): 16-22.
HUANG Jie, XUE Yusheng, XU Jianbing, et al. Dynamic simulation platform for power market and power system: Part one—function design. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(10): 16-22.

黄杰(1983—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 电力市场风险管理。E-mail: jacob.jie.huang@gmail.com

薛禹胜(1941—), 男, 通信作者, 中国工程院院士, 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

王彦亮(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 电网建设、企业管理、能源可持续发展。E-mail: wangyanliang@sgepri.sgcc.com.cn

A Survey of Power System Emission Trading and Emission Congestion

HUANG Jie^{1,2}, XUE Yusheng^{2,1}, WANG Yanliang², XUE Feng², ZOU Yun¹

(1. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The current status and development of emission trading are introduced through aspects like reduction target, participants, initial allocation, accounting, etc. Characteristics of carbon credit as a special commodity in carbon trading are induced through its processes of accumulation, circulation and consumption. Inter-relationship among emission trading, physical law of power system and economic performance of power market are discussed. Factors that introduce difficulties in corresponding researches are highlighted, including multi-timescale dynamics, massive uncertainties, multi-player game and cross-discipline interaction. The implementation of experimental economics under the generalized congestion framework are emphasized and suggested for further researches.

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

Key words: emission reduction; emission trading; power system; emission congestion; renewable energy