

技术溢出、节能减排与社会福利

——基于竞争策略的煤电厂商动态博弈分析

唐兆希^{1,2} 肖文²

(1. 浙江财经大学 经济与国际贸易学院, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江大学 经济学院, 浙江 杭州 310027)

[摘要] 煤电运营商最重要的一类生产决策,是如何将运营成本在燃料成本支出、节能创新投入和环保创新投入之间做出相对合理的配置,在达到污染排放标准的同时实现企业利润最大化。基于寡头垄断市场结构的煤电厂商两期动态博弈,存在三类典型竞争策略下的最优创新水平和最优产量水平的市场均衡。均衡创新水平和均衡产量均随着节能环保创新比例的增大而增大,而节能创新技术溢出对均衡产量有正向影响,对均衡创新水平的影响随着市场结构的不同而变化。基于三类不同社会福利函数设定的福利经济学分析,如果考虑环保创新及其技术溢出效应,则更深程度和更广范围各类电力市场竞争能带来更大的社会福利。

[关键词] 技术溢出; 节能减排; 福利分析; 动态博弈; 煤电厂商; 竞争策略; 创新均衡; 产量均衡

Technology Spillover, Energy-saving, Emission-reducing and Social Welfare: A Multi-stage Oligopolistic Game Model on CFP with Typical Competitive Strategies

Tang Zhaoxi^{1,2} Xiao Wen²

(1. School of Economics and International Trade, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018, China; 2. College of Economics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: China has become the country with the largest total energy consumption nowadays, and is also one of the largest country of coal reserves, coal-fired power generation capacity and electricity production in the world. Chinese regional electric power market structure, which seems to be oligopolistic competitive one, shows an important characteristic in the process of the market-oriented reform of Chinese electric power system. For thermal power firms such as coal-fired plants(CFP), one of the most important production decisions to make is how to allocate the operating costs among fuel costs, innovation expenditures for energy saving and those for environmental protection in order to achieve firms' maximum profits and reduce pollutant emissions as well. The purpose of this paper is to study the

[收稿日期] 2014-01-23

[本刊网址·在线杂志] <http://www.journals.zju.edu.cn/soc>

[在线优先出版日期] 2014-07-03

[基金项目] 国家社会科学基金重大招标项目(10ZD&003); 浙江省哲学社会科学规划课题(14NDJC100YB)

[作者简介] 1. 唐兆希,男,浙江财经大学经济与国际贸易学院教师,浙江大学经济学院博士后,经济学博士,主要从事经济增长和公共政策研究; 2. 肖文,女,浙江大学经济学院教授,博士生导师,主要从事国际经济和区域经济研究。

market equilibrium, its influence factors and welfare implications of those decisions, and to show the policy implications which may throw light on the market-oriented reform of Chinese electric power system at present.

Based on D'Aspremont & Jacquemin (1988) classic model, we build a two-stage dynamic game model to examine CFP's decisions in an oligopolistic market structure. On one hand, our paper both considers the firms' innovation cost and technology spillover in the basic model. On the other hand, different from previous studies, we distinguish the heterogeneous innovations, according to the different innovation mechanism between energy-saving innovation and emission-reducing innovation in every CFP. This paper assumes that energy-saving innovation which reduces the marginal production cost and increase the firm profit would directly affect the CFP's decisions, and this kind of innovation would also lower the resource consumption and be beneficial to the sustainable development of the economy. But for emission-reducing innovation, the environmental protection measure applied by the CFP necessary to the whole social welfare would reduce the short-run profit of the firm. Based on these two kinds of innovations above we construct the cost function of the firm in our dynamic game model. We solve and discuss CFP's optimal innovation investment and optimal output of the dynamic equilibrium under three different typical competitive strategies respectively, examine the effects with respect to the ratio of innovation investments for energy-saving and for emission-reducing and the degree of technology spillovers. The main finding of comparative analyses is: (1) the optimal innovation investment and optimal output of the dynamic equilibrium both increase while the ratio of innovation investments for energy-saving and for emission-reducing grows. (2) the optimal innovation and optimal output of the dynamic equilibrium may both be impacted by the degree of technology spillovers but in different directions.

We analyze the social welfare by comparing each equilibrium level of innovation and output under three different social welfare functions. First we define three kinds of social welfare functions respectively, (1) considering only the consumer surplus and the producer surplus, (2) considering the consumer surplus, the producer surplus, and the level of emission-reducing innovation, and (3) considering the consumer surplus, the producer surplus, the level of emission-reducing innovation and its spillover. The social welfare criterion we set is the distance from the social optimum level of innovation and output corresponding to the relevant social welfare function to the innovation and output of dynamic equilibrium with three different typical competitive strategies respectively. The finding of welfare analysis is that, no matter whether it is for the final product market or for the innovation one, considering innovations and their spillover channels of different kinds, more competitive market brings greater social welfare. This conclusion is not exactly the same as D'Aspremont & Jacquemin (1988) shows.

Key words: technology spillover; energy-saving and emission-reducing; welfare analysis; dynamic game; coal-fired plants; competitive strategy; innovation equilibrium; output equilibrium

一、引 言

目前我国是世界上能源消费总量最大的国家,也是煤炭储量最丰富的国家之一;庞大经济总量

和高速增长的能源需求与固有的能源消费结构和能源资源禀赋,使煤电在我国发电市场的份额超过四分之三,而我国也已成为世界上煤电装机容量和发电量最大的国家之一^①。根据国际能源署(IEA)2012年的研究报告,化石能源在当前和以后相当长时期仍然是一次能源的主要来源,约占2010—2030年间能源消费总量的四分之三,而煤炭发电不仅在发电行业中所占比重最大,且市场份额也有逐年上升的趋势;而其中发展中国家,特别是中国,煤电行业的增长将最为显著^②。

近年来,从《联合国气候变化框架公约》到《京都议定书》再到哥本哈根会议,全球范围内对节能环保的呼声越来越高;我国也在“十二五”发展规划中强调科学发展的迫切性并规定了节能减排的强制性指标。在这样的国际国内背景下,我国的煤电运营商一方面作为追求利润最大化的市场微观主体,必须在参与发电市场竞争中盈利;另一方面也需要考虑电力生产中的节能和环保问题。现实经济中节能和环保有很强的关联,我们把两者进行区分考虑,是因为它们对煤电厂商决策有着不同的作用途径。节能措施对煤电运营商的直接效应是降低单位生产成本从而增加盈利;同时,对社会而言,则将减少对煤炭这种有限资源的耗费,从而为经济可持续发展创造条件。环保措施对企业意味着没有明显近期收益的生产性支出,但对社会而言是必要的,国家法律和行业规范也规定了能源厂商的减排义务和具体可操作标准。鉴于目前创新技术在能源产业的各领域中得到广泛应用,我们假设煤电运营商面临这样的生产决策,即如何将运营成本在燃料成本支出、节能创新投入和环保创新投入之间做出相对合理的配置,在达到污染排放标准的同时实现企业利润最大化。本文即试图研究煤电厂商这类决策的市场均衡及其影响因素和社会福利含义。

本文将煤电运营商放置在区域电力市场中加以考察,假设有限市场里每个厂商的市场地位处于纯粹的电价决定者和电价接受者之间,即具有一定程度的有限的垄断力;每个厂商都能够通过产量影响市场供给和市场价格,从而影响其他厂商的生产决策和市场均衡^③。所以下文中将区域电力市场作为寡头垄断市场来研究,事实上目前我国区域电力市场恰是极具代表性的寡头市场。这是因为首先这种市场结构由电力生产自身的技术条件所决定,由于电力系统运行的稳定性和降低网络传输损耗的要求,电力供求尽可能地做到就地平衡,所以在世界上大多数地方,技术约束和经济约束决定了电力市场一般是较大范围但相对封闭的区域寡头垄断市场。其次,极少产品具有类似电力产品的同质性特征,这使得理论模型比其他产品的研究更符合实际经济^④。再次,我国电力市场的现状是,自2003年以来已经形成国家电网公司主导的五大区域电网(华东、华中、华北、东北和西北)和涵盖南方五省的南方电网,由原国家电力公司的发电资产部分分离出的五大全国性发电集团也已运作多年,并且为了打破独家垄断,每家企业在每一区域的市场份额都不能超过20%^⑤,2004年以后东北电网公司和华东电网公司相继推行竞价上网的改革试点;各区域电网之间相互联络,但正常运行方式下的区域间功率交换与电网电能供需总量相比微不足道。所以目前区域电力市场的寡头竞争结构是我国电力体制改革进程中一个重要的阶段性特征。

① 参见《2012年电力统计基本数据一览表》,2013年11月7日, <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2013-11-07/111737.html>, 2014年6月20日。

② IEA指出,按绝对值计算,在2010—2035年预测期内,需求量增长最大的能源是煤炭;预计到2035年,煤炭仍是发电行业最主要的燃料,煤电比重约占一次能源发电总量的65%,其中中国的燃煤发电量占比超过50%。参见 International Energy Agency, *World Energy Outlook 2012*, Paris: IEA Publications, 2012。

③ 目前我国各区域电网内最大的机组退出运行时可能会造成局部性的电力供给紧张,但因为任一厂商对整个市场规模而言都偏小,所以实际上并没有一家企业能够单独控制整个区域市场的长期供需平衡。

④ 电能质量主要是频率和电压,不仅在出产时就通过设备标准严格规定,而且在实际电力生产中,即使偏离很小的标准,发电机也很难并联到电网;需求端的电力质量也由用电设备的技术标准严格决定,所以只要是电网的电力,商品的异质性基本可以忽略。

⑤ 详见国务院《电力体制改革方案》(国发[2002]5号)。

20 世纪 90 年代以来,研究不同市场结构中技术创新的竞争合作程度对市场均衡和社会福利的影响,是产业组织理论中非常活跃的领域。这些研究都试图从不同侧面回答下面几个问题:一是技术创新(考虑创新成本和技术溢出)对研发者自身、竞争对手及其整个产业的作用究竟是正向的还是负向的;二是技术创新的联合程度对研发者自身和社会福利的影响^①;三是如果同时考虑各种产品市场和研发市场,结论又有怎样的变化。D'Aspremont 和 Jacquemin 首次运用简洁的双寡头两阶段博弈模型研究厂商的创新投资水平与产量水平的决定问题,分析了三种典型竞争模式下的市场均衡和社会福利^[1]。Henriques 的研究指出,上述模型结论成立的一个必要条件是技术溢出参数必须在一定范围,进而分析了不同溢出参数下均衡稳定的稳健性问题^[2]。Suzumura 的两个主要工作是,在以上研究的基础上将模型推广到 n 个厂商情形和引入新的福利评价标准^[3]。Kamien 等人明确表述了上述模型的两类作用机制,即技术创新水平的综合利润外部效应(combined profits externality)和竞争优势外部效应(competitive advantage externality),前者指厂商创新带来的自身生产率和整个行业平均生产率提高引起的市场份额变化对创新者的影响,后者指厂商竞争对手低成本获取创新技术信息对创新者的负面作用^[4]。在涉及不同产品市场的文献中,de Bondt 和 Veugelers 讨论了最低技术创新溢出水平和竞争合作的关系^[5-6],Steurs 比较了产业内技术创新合作和产业间技术创新合作对研发投资量的不同影响^[7]。Poyago-Theotoky 和 de Bondt 等人分别研究了市场内技术合作厂商的最优数量问题^[8-9]。Katsoulacos 和 Ulph 尝试将技术溢出决定内生^[10]。Amir 和 Wooders 及 Atallah 分别研究了技术溢出的非对称性问题^[11-12]。与 D'Aspremont 和 Jacquemin 的模型相关的研究还有两个重要方向,即技术溢出的吸收能力和随机技术创新方法。

本文借鉴 D'Aspremont 和 Jacquemin 模型的基本方法,构建了煤炭发电市场基于不同市场结构和不同性质技术创新的两期动态模型,来分析煤电运营商的生产决策、电力市场均衡以及社会福利状况。与以往的研究不同,我们在考虑厂商的创新成本和技术溢出的同时,区分了节能创新和环保创新对市场均衡和社会福利的不同作用机制。

二、基本模型

假设区域电网内的两寡头煤电企业垄断当地的全部电力生产,电力市场的反需求函数为 $P = a - bQ = a - b(q_i + q_j)$,其中 P 、 Q 、 q_i 、 q_j 分别为电价、总产量及两厂商的各自产量, a 和 b 是反需求函数中的常数。对于厂商 i ,设 c_i 为单位燃料成本, x_i 为在降低能耗和环境保护方面的技术创新总量, m 表示在节能和环保之间的技术创新比例,即 1 单位技术创新总量中有 m 单位的节能技术创新和 $(1-m)$ 单位的环保技术创新, β 为厂商间节能技术的综合溢出效应参数,又假设 β 和 m 在各厂商无差异,则厂商 i 的运营成本函数为:

$$C_i = (c_i - mx_i - \beta mx_j)q_i + \frac{1}{2}m^2x_i^2 + (1-m)x_iq_i \quad (0 < \beta < 1, 0 < m < 1) \quad (1)$$

上式右边的第一部分是煤电运营商的燃料成本。有两点需要说明,其一,节能技术创新的目的是降低燃料的边际成本,即通过运用科技手段使生产具有更高的能源使用效率,从而降低厂商该部分的生产可变成成本。与此同时,厂商的创新成果还通过技术溢出对其他运用相同或相似技术的同类厂商产生正外部性。实际经济中,煤电行业的燃气蒸汽联合循环、煤炭洗选技术等节能创新成果

① 比如一个典型问题是,假定技术创新活动有别于普通的生产活动,但是否一个垄断的研发机构或者研发卡特尔会比研发自由竞争市场更符合社会福利标准,或者结论相反。

的推广应用,使整个行业的节能水平大幅提升。在模型的溢出机制中,技术较高企业的技术溢出渠道与技术较低企业的技术吸收能力是两个很关键的因素,模型中用 $\beta \in (0, 1)$ 表示技术创新的综合溢出作用。其二,一般情况下燃料成本是煤电厂商可变成本中最主要的部分,但它具有相对稳定的特点。这是因为虽然各厂商根据自身的不同情况选择适合自己生产的不同质量与不同单价的电煤,在这里资本专用性等技术因素或者燃料产地等地域因素会起到一定程度的影响,但总的来说,高单价对应于更高质量的燃料,厂商按照单位热值的供应成本来选择电煤数量的结果是,厂商获得每单位标准煤热量的价格趋于市场平均价格。其次在实际经济中,相对完善的市场为各厂商燃料成本的趋同创造了外部条件。当今国内电煤市场的市场化程度比较高,与电力市场相比较,普遍有“市场煤、计划电”的提法;而国际煤炭市场则更加规范,并且具有活跃的近期远期期货市场,所以可以认为从长期看,各煤电厂商之间的燃料单位成本并无很大差异,或者说长期中燃料边际成本差异的数学期望趋近于0。基于上述原因,为了便于分析,在下面的计算中进一步假设各厂商具有相同的燃料单位成本。

(1)式中的第二部分是煤电运营商的节能创新成本。这里假设存在节能创新投资的技术成果边际产出递减效应,即节能创新成本不仅随着技术创新数量的增加而增加,同时其边际成本也将增加。正如 Dasgupta 和 Stiglitz 曾指出的,与 R&D 投入和创新产出相关联的技术上的可能性并不都以规模经济的形式显现在所有投入 R&D 的企业^[13]。Barro 和 Sala-I-Martin 的研究也表明,因为创新活动本身具有极大的不确定性,有限的创新空间随着创新活动的展开逐步减小,技术创新活动也可能存在一定程度的边际成本递增,即研发投入存在“拥挤效应”的可能性^{[14]223-225}。为简洁起见,(1)式中的节能创新投入成本以创新数量的二次函数形式表达。

(1)式中的第三部分是煤电运营商的减排创新成本,即厂商 i 在环保技术创新部分的支出。基于国家的法律法规和环境政策,煤电企业不仅在投产前就必须有一定量的环保配套投资,并且在运营中也必须花费必要的日常环保支出来保证污染排放物达到一定的排放标准。排放标准是相对固定的,具体实施时可以规定每单位的最终产品产出中必须有相应的部分回馈给环保技术投入作为量化标准。模型中 $(1-m)x_i$ 指厂商 i 为了达到降低排放目标,在每单位电能产出中最少所需的环保技术数量,为了简化分析,进一步假设 1 单位环保技术创新投资带来 1 单位环保技术产出。从企业的角度看,环保技术创新成本降低了煤电运营商的利润,对企业没有直接利益,但从社会的角度看,它有助于把企业排污对环境的负外部性限制在一定范围,是企业的社会责任,也增进了社会福利。

据以上假设,下面构建两寡头两阶段动态博弈模型,求解企业在三种典型竞争策略的市场结构下,最优技术创新总量和电能总产出的两期动态均衡。两厂商的行动是同时在第一阶段选择技术创新数量,在第二阶段选择电能产量,实现企业利润的最大化。三种典型竞争策略的市场结构分别是,两厂商两阶段都各自选择技术创新和产量(第一阶段竞争、第二阶段竞争),第一阶段合作选择技术创新、第二阶段各自选择产量(第一阶段合作、第二阶段竞争),两阶段都合作选择技术创新和产量(第一阶段合作、第二阶段合作)。理论上还存在第一阶段各自选择技术创新、第二阶段合作选择产量(第一阶段竞争、第二阶段合作)的情形,本文对此不展开讨论^①。从总体市场竞争程度上看,上述三类两期博弈市场结构的垄断程度是依次加强的,本文针对上述三类不同竞争程度市场结构依次进行考察,以便基于同一标准,以同一方法依次比较分析不同竞争程度市场的均衡创新和均衡产量,并在此基础上展开进一步讨论。

① 在考察厂商在不同竞争程度市场的经济绩效的基础上,本文的另一个重要工作是分析其福利含义。具体方法是先计算一定社会福利函数设定下理论上的社会最优产量,然后以不同市场结构的均衡产量与一定社会福利函数设定下的社会最优产量的距离作为评价社会福利的标准,这使得对市场竞争程度及其对应的均衡创新和均衡产量有一个排序的要求。

1. 第一阶段竞争、第二阶段竞争

假设厂商在第一阶段各自决策选择技术创新投入水平,第二阶段进行产量竞争,则厂商*i*的利润函数为:

$$\pi_i = (a - bQ)q_i - [c + (1 - m)x_i - mx_i - \beta nx_j]q_i - \frac{1}{2}m^2x_i^2$$

$$(0 < \beta < 1, 0 < m < 1, a > c, a - bQ > 0)$$

同理,对于厂商*j*有:

$$\pi_j = (a - bQ)q_j - [c + (1 - m)x_j - mx_j - \beta mx_i]q_j - \frac{1}{2}m^2x_j^2$$

$$(0 < \beta < 1, 0 < m < 1, a > c, a - bQ > 0)$$

两厂商进行两阶段动态博弈,下面通过逆向归纳法来求解古诺纳什均衡。先假设创新数量给定,在第二阶段,两厂商的最优产量满足一阶条件 $\partial\pi_i/\partial q_i = 0$ 和 $\partial\pi_j/\partial q_j = 0$,由最优化一阶条件解得两厂商产量的反应函数,联立反应函数可解得 $q_i(x_i, x_j)$ 和 $q_j(x_i, x_j)$,代入两厂商

利润函数可得 $\pi_i = \frac{[a - c + (4m - \beta m - 2)x_i + (2\beta m - 2m + 1)x_j]^2}{9b} - \frac{1}{2}m^2x_i^2$ 和 $\pi_j = \frac{[a - c + (4m - \beta m - 2)x_j + (2\beta m - 2m + 1)x_i]^2}{9b} - \frac{1}{2}m^2x_j^2$ 。

在第一阶段,两厂商的均衡创新数量满足一阶条件 $\partial\pi_i/\partial x_i = 0$ 和 $\partial\pi_j/\partial x_j = 0$,可解得在满足二阶条件时存在唯一古诺均衡,并且解得两厂商的均衡创新数量 x_i^* 和 x_j^* 。求解过程中可知两厂商的均衡创新数量和产量水平均为对称均衡,可解得此时的均衡总产量为 Q^* 。

2. 第一阶段合作、第二阶段竞争

假设两厂商在第一阶段进行技术创新合作,共同协商决定创新投入水平,第二阶段各自决策进行产量竞争,则总利润函数为:

$$\tilde{\pi} = \frac{[a - c + (4m - \beta m - 2)x_i + (2\beta m - 2m + 1)x_j]^2}{9b} - \frac{1}{2}m^2x_i^2 +$$

$$\frac{[a - c + (4m - \beta m - 2)x_j + (2\beta m - 2m + 1)x_i]^2}{9b} - \frac{1}{2}m^2x_j^2$$

考虑对称均衡,假设两厂商的技术创新投资均为 \tilde{x} ,根据最优化一阶条件可解得均衡创新数量 \tilde{x}^* ,此时也需满足二阶条件,并代入满足第二阶段竞争反应函数所对应的 $q_i(x_i, x_j)$ 和 $q_j(x_i, x_j)$,可解得此时的均衡总产量 \tilde{Q}^* 。

3. 第一阶段合作、第二阶段合作

假设两厂商在两阶段都进行技术创新和产量选择合作,则两阶段均类似于垄断市场,厂商的利润函数为:

$$\hat{\pi} = (a - b\hat{Q})\hat{Q} - [c + (1 - m)x_i - mx_i - \beta mx_j]q_i - \frac{1}{2}m^2x_i^2 -$$

$$[c + (1 - m)x_j - mx_j - \beta mx_i]q_j - \frac{1}{2}m^2x_j^2$$

假设第一阶段技术创新数量给定,在第二阶段选产量水平,考虑对称均衡,最优化一阶条件可分别解得总产量 $\hat{Q}(\hat{x})$ 和总利润 $\hat{\pi}(\hat{x})$ 。厂商在第一阶段选技术创新水平,从最优化一阶条件可解得第一阶段的均衡技术创新数量 \hat{x}^* ,以及第二阶段均衡总产量 \hat{Q}^* ,并可解得此时存在唯一均衡需要满足的二阶条件。

两厂商三种典型竞争策略下两阶段博弈均衡对应的均衡产量、创新数量以及均衡存在的二阶

条件的计算结果如表 1 所示^①，下面对结果做一些讨论。

表 1 两厂商三种典型竞争策略下的两阶段博弈均衡解

类别	第一阶段竞争、第二阶段竞争	第一阶段合作、第二阶段竞争	第一阶段合作、第二阶段合作
创新水平	$\frac{2(a-c)(4m-\beta m-2)}{9bm^2-2(4m-\beta m-2)(2m+\beta m-1)}$	$\frac{2(a-c)(2m+\beta m-1)}{9bm^2-2(2m+\beta m-1)^2}$	$\frac{(a-c)(2m+\beta m-1)}{4bm^2-(2m+\beta m-1)^2}$
产量水平	$\frac{6(a-c)m^2}{9bm^2-2(4m-\beta m-2)(2m+\beta m-1)}$	$\frac{6(a-c)m^2}{9bm^2-2(2m+\beta m-1)^2}$	$\frac{2(a-c)m^2}{4bm^2-(2m+\beta m-1)^2}$
均衡存在的二阶条件	$\frac{2(4m-\beta m-2)^2}{9b}-m^2 < 0$	$\frac{2(2m+\beta m-1)^2}{9b}-m^2 < 0$	$\frac{(2m+\beta m-1)^2}{4b}-m^2 < 0$

命题 1：如果节能创新技术溢出效应和环保创新投资成本的加总效益为正，则存在第一阶段合作、第二阶段竞争与第一阶段合作、第二阶段合作两种典型竞争策略下的两阶段动态博弈均衡，并且有均衡创新水平 $\hat{x}^* > \tilde{x}^*$ ；此时如果满足 $\frac{(2m+\beta m-1)^2}{3b}-m^2 < 0$ ，则有均衡产量水平 $\tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 。

证明：首先根据厂商的单位成本函数，节能创新技术溢出效应和环保创新技术投资成本的综合效益为正，意味着 $2m+\beta m-1 > 0$ 成立。此时对于第一阶段合作、第二阶段竞争的市场结构，均衡创新水平为正和均衡产量水平为正的存在条件等价，并且与均衡存在的二阶条件互为充分必要条件；第一阶段合作、第二阶段合作时的情况类似。所以满足 $2m+\beta m-1 > 0$ 时，以上两种市场结构下的创新水平和产量水平的两阶段动态博弈均衡均存在。

此时比较表 1 第一行中两种市场结构下均衡创新水平，易知 $\hat{x}^* > \tilde{x}^*$ 成立。对比第二行中两种市场结构下的均衡产量水平，解得 $\frac{(2m+\beta m-1)^2}{3b}-m^2 < 0$ 是均衡产量 $\tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 的充分必要条件。再比较第三行中的结果可知， $\frac{(2m+\beta m-1)^2}{3b}-m^2 < 0$ 是比上述两种市场均衡存在的二阶条件更强的假设，故在满足上述条件时，同时保证上述两种市场均衡存在的二阶条件均成立，证毕。

下面对命题 1 做简单的讨论。根据单位成本函数，易知导致节能环保加总效益较高的直接原因可以是，市场具有更高的节能创新技术综合溢出效应，或者厂商的节能创新技术在技术创新总量中具有更高的份额。现在比较厂商在第一阶段合作、第二阶段竞争与第一阶段合作、第二阶段合作这两种竞争策略，由于第一阶段合作的均衡创新水平随着技术溢出和技术组成的加总效益升高而变化，所以在溢出效应和节能技术份额较高时，厂商将选择高于市场竞争均衡解的技术创新数量。这是因为第二阶段产品市场合作的策略使厂商能有比竞争的产品市场更多的盈利，从而能够在第一阶段投入更多的研发去获取更大的总利润。所以结果是在一定条件下，与第一阶段合作、第二阶段竞争的市场结构的情况相比，厂商在第一阶段合作、第二阶段合作中会出现更高的技术创新水平，以及类似于垄断产量的更低的产量水平。

命题 2：如果满足 $4m-\beta m-2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ ，则存在三种典型竞争策略下的两阶段动

① 在以下命题的证明和讨论中，鉴于本文研究方向的侧重，我们沿袭 D'Aspremont 和 Jacquemin 的做法，对均衡存在的稳定性问题不再展开详细讨论。Henriques 首次针对 D'Aspremont 和 Jacquemin 模型均衡稳定可能存在的问题做过较为深入的研究，在 Henriques 的研究中，均衡稳定性实质上是指均衡存在的一个必要条件是技术溢出参数必须在一定范围，其基本结论是技术溢出参数在很大范围内能够保证原模型的结论成立，并且给出了各种情形下均衡稳定的边界，有兴趣的读者可以参考 I. Henriques, "Cooperative and Non-cooperative R&D in Duopoly with Spillovers Comment," *The American Economic Review*, Vol. 80, No. 3(1990), pp. 638-640.

态博弈均衡。

证明:首先,对于第一阶段竞争、第二阶段竞争的市场结构,对比表 1 第一列的创新水平和产量水平的均衡解可知,满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 意味着均衡创新水平为正与均衡产量水平为正的存在条件等价;又易知 $2m + \beta m - 1 > 0$ 是 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 的必要条件,再对比此时均衡存在的二阶条件与均衡创新水平或产量水平为正的存在条件,可知两者互为充分必要条件。

对于第一阶段合作、第二阶段竞争的市场结构,因为 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 隐含着 $2m + \beta m - 1 > 0$ 成立,根据表 1 第二列的结果易知,均衡创新水平为正和均衡产量水平为正的存在条件等价,对比此时均衡存在的二阶条件可知两者互为充分必要条件;第一阶段合作、第二阶段合作市场结构时的情况类似。所以只要满足 $2m + \beta m - 1 > 0$,以上两种市场结构下的创新水平和产量水平的两阶段动态博弈均衡均存在。

综上所述,如果满足不等式 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$,三种市场结构下的两阶段动态博弈均衡均存在,命题得证。

三、节能环保创新比例与节能技术创新溢出效应

在上述模型均衡解的基础上做比较静态分析,讨论节能环保创新比例与节能技术创新溢出效应对三种典型的竞争策略下的均衡创新水平和均衡产量的影响。

(一)节能环保创新比例 m 对均衡产量和均衡创新水平的影响

命题 3:如果满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$,则三种典型竞争策略下的均衡产量都随着节能环保创新比例 m 的增大而增大。

证明:首先根据命题 2,三种典型竞争策略下的均衡产量存在。接下来我们证明在第一阶段合作、第二阶段竞争和第一阶段合作、第二阶段合作两种市场结构下,如果节能创新技术溢出效应和环保创新投资成本的加总效益为正,即满足 $2m + \beta m - 1 > 0$ 时,均衡产量 \tilde{Q}^* 和 \hat{Q}^* 是节能环保创新比例 m 的增函数。求解 \tilde{Q}^* 和 \hat{Q}^* 分别对 m 的一阶偏导数有:

$$\frac{\partial \tilde{Q}^*}{\partial m} = \frac{24m(a-c)(2m+\beta m-1)}{[9bm^2(2m+\beta m-1)^2]} \quad \frac{\partial \hat{Q}^*}{\partial m} = \frac{4m(a-c)(2m+\beta m-1)}{[4bm^2(2m+\beta m-1)^2]}$$

显然 $2m + \beta m - 1 > 0$ 时,以上两式中 \tilde{Q}^* 和 \hat{Q}^* 对 m 的一阶偏导数大于 0 均成立。求 Q^* 对 m 的一阶偏导数并根据 $4m - \beta m - 2 > 2m + \beta m - 1 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$,可证明 $\partial Q^* / \partial m > 0$ 。

命题 3 的经济学直观是如果创新数量中节能创新的比例越高,利润最大化的厂商将倾向于选择更大的产量。在基本模型中很明显,节能创新通过降低单位可变成本而有利于厂商获得更高利润,而环保创新投入虽然有利于社会,但对于厂商只体现为成本支出。

命题 4:如果满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$,则三种典型竞争策略下的均衡创新水平随着节能环保创新比例 m 的增大而增大。

证明:首先根据命题 2,三种典型竞争策略下的均衡创新水平存在,可以证明在第一阶段合作、第二阶段竞争时,均衡创新水平 \tilde{x}^* 是节能环保创新比例 m 的增函数,即 \tilde{x}^* 对 m 的一阶偏导数在满足 $2m + \beta m - 1 > 0$ 和 \tilde{x}^* 均衡存在的二阶条件时, $\partial \tilde{x}^* / \partial m > 0$ 。类似方法也可证,对于第一阶段合作、第二阶段合作的情况,满足 \hat{x}^* 均衡存在的二阶条件和 $2m + \beta m - 1 > 0$ 时, $\partial \hat{x}^* / \partial m > 0$ 成立。对于第一阶段竞争、第二阶段竞争的情况,如果满足 x^* 均衡存在的二阶条件及根据 $4m - \beta m - 2 >$

$2m + \beta m - 1 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 条件, $\partial x^* / \partial m > 0$ 成立^①。

命题 4 的含义是如果创新数量中节能创新的比例越高, 利润最大化的厂商将选择更大的创新总水平。在基本模型中, 投入更大的创新总量对于厂商自身至少有两层含义, 一方面节能创新的比例提高将更有利于获利, 另一方面环保成本也相应增大了。命题 4 显示, 综合以上两方面的效应, 提高节能创新比例时选择更大的创新总量是厂商最优决策的市场均衡。

(二) 节能技术综合溢出效应参数 β 对均衡产量和均衡创新水平的影响

命题 5: 如果满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$, 则三种典型竞争策略下的均衡产量随着节能技术综合溢出效应参数的增大而增大。

证明: 首先三种典型竞争策略下的均衡产量存在。接下来我们在三种典型竞争策略下分别求均衡产量对 β 的一阶偏导数, 并根据 $4m - \beta m - 2 > 2m + \beta m - 1 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 及产量均衡存在的二阶条件, 可证:

$$\frac{\partial \tilde{Q}^*}{\partial \beta} = \frac{24(a-c)m^3(2m+\beta m-1)}{[9bm^2-2(2m+\beta m-1)^2]^2} > 0 \quad \frac{\partial \hat{Q}^*}{\partial \beta} = \frac{4(a-c)m^3(2m+\beta m-1)}{[4bm^2-(2m+\beta m-1)^2]^2} > 0$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial \beta} = \frac{6(a-c)m^2[m(4m-\beta m-2)-m(2m+\beta m-1)]}{[9bm^2-2(4m-\beta m-2)(2m+\beta m-1)]^2} > 0$$

命题 5 的含义是节能技术综合溢出效应对均衡产出的作用都是正向的。很显然, 不论在竞争或是垄断的市场结构中, 节能技术溢出降低了厂商的燃料成本和技术创新成本, 使均衡产量提高。

命题 6: 如果满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$, 则在第一阶段合作、第二阶段竞争和第一阶段合作、第二阶段合作两种市场结构下, 均衡创新水平随着节能技术综合溢出效应参数 β 的增大而增大; 在第一阶段竞争、第二阶段竞争时, 均衡创新水平随着节能技术综合溢出效应参数 β 的增大而减小。

证明: 满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 时^②:

$$\frac{\partial \tilde{x}^*}{\partial \beta} = \frac{2(a-c)[9bm^3+2m(2m+\beta m-1)^2]}{[9bm^2-2(2m+\beta m-1)^2]^2} > 0 \quad \frac{\partial \hat{x}^*}{\partial \beta} = \frac{(a-c)m[4bm^2+(2m+\beta m-1)^2]}{[4bm^2-(2m+\beta m-1)^2]^2} > 0$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial \beta} = \frac{-2m(a-c)[2(4m-\beta m-2)^2-9bm^2]}{[9bm^2-2(4m-\beta m-2)(2m+\beta m-1)]^2} < 0$$

在第一阶段合作、第二阶段竞争和第一阶段合作、第二阶段合作两种市场结构时, 由于均衡创新总量都是厂商联合决策的, 所以创新数量都是对应于节能技术综合溢出效应的厂商最优决策量。在第一阶段竞争、第二阶段竞争时, β 增大时各自独立决策的厂商面临两个方向的权衡, 一方面考虑环保创新部分的支出份额, 提高创新水平只是在一定程度上提高自身盈利, 另一方面技术溢出效应同时降低了其他厂商的生产成本, 从而提高了对手的竞争能力。以上两方面综合效应的结果正如命题 6 的后半部分所显示的, 节能技术溢出效应升高时, 厂商最优决策的市场均衡创新总量将下降。

四、社会福利分析

以上求解讨论了厂商在三种典型竞争策略下的动态均衡, 但只涉及厂商自身利润最大化决策

① 命题 4 中 $\partial \tilde{x}^* / \partial m > 0, \partial \hat{x}^* / \partial m > 0, \partial x^* / \partial m > 0$ 以及上文命题 3 中 $\partial Q^* / \partial m > 0$ 的证明步骤较为繁复, 鉴于篇幅本文此处不予展开, 对证明过程有兴趣的读者可与作者联系。

② 其中证明满足 $4m - \beta m - 2 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 时 $\partial x^* / \partial \beta < 0$ 的过程较为繁复, 有兴趣的读者可与作者联系。

的市场均衡,并没有考虑社会的整体效益,即没有从社会福利的角度来分析哪一种市场结构更有效率。一般而言,局部市场最优和社会最优并不一定等价。实际上,厂商在最终产品产量合作中获得更高利润的同时,将提高产品价格,往往减少社会总产量和消费者剩余;技术合作在一定条件下减少社会技术重复投资的可能性,但对产品市场的均衡产出水平和社会福利并不明确;环保创新技术对厂商可能并无直接利益可言,但对环境改善和社会可持续发展大有裨益,由于在基本模型中假设环保创新对厂商燃料成本的降低并无影响,所以忽略了环保创新水平和环保创新的技术溢出作用对社会福利的影响。下面我们定义三种社会福利函数来逐一分析只考虑消费者剩余和生产者剩余,考虑消费者剩余、生产者剩余与环保创新水平,以及考虑消费者剩余、生产者剩余、环保创新水平及其溢出效应三种情况下的社会最优创新水平和最终产品产量。

(一) 情形 I: 考虑消费者剩余和生产者剩余

假设不考虑社会成本(厂商决策的外部性),计算社会最优创新水平和最终产品产量,社会福利函数为消费者剩余与生产者剩余之和,考虑对称均衡有:

$$W_I(x, Q) = \int_0^Q (a - bQ) dQ - [c + (1 - 2m - \beta m)x]Q - m^2 x^2 \quad (0 < \beta < 1, 0 < m < 1)$$

假设创新投入给定,根据边际收益等于边际成本可得:

$$Q = \frac{a - c + (2m + \beta m - 1)x}{b} \quad (2)$$

在第一阶段,计算该社会福利函数下技术创新投入的最优化一阶条件可得 x_I^{**} ,将其代入(2)式可得社会最优产量为 Q_I^{**} 。

(二) 情形 II: 考虑消费者剩余、生产者剩余和环保技术创新

假设消费者剩余和生产者剩余与情形 I 类似,现在考虑环保投入的正外部性,即假设社会福利的增进与企业环保创新支出正相关。正如基本模型所阐述的,厂商通过从最终产出或利润里提取资金投入环保技术创新来达到降低排放目标,从而增进社会福利。假定此时的社会福利函数为:

$$W_{II}(x, Q) = \int_0^Q (a - bQ) dQ - [c - (m + \beta m)x]Q - m^2 x^2 \quad (0 < \beta < 1, 0 < m < 1)$$

假设创新投入给定,根据社会边际产出等于社会边际成本可得:

$$Q = \frac{a - c + m(1 + \beta)x}{b} \quad (3)$$

在第一阶段,计算该社会福利函数下创新投入的最优化一阶条件可得 x_{II}^{**} ,代入(3)式可解得此时的社会最优产量 Q_{II}^{**} 。

(三) 情形 III: 考虑消费者剩余、生产者剩余、环保技术创新及其溢出效应

如果在情形 II 下再考虑环保创新技术的溢出效应,那么与节能技术创新的溢出效应类似,假设 α 为环保技术创新的技术溢出综合参数,则社会福利函数为:

$$W_{III}(x, Q) = \int_0^Q (a - bQ) dQ + \alpha(1 - m)xQ - [c - (m + \beta m)x]Q - m^2 x^2 \quad (0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, 0 < m < 1)$$

假设创新投入给定,根据社会收益产出等于社会边际成本可得:

$$Q = \frac{a - c + (m + \beta m - \alpha m + \alpha)x}{b} \quad (4)$$

在第一阶段，计算社会福利函数下创新投入的最优化一阶条件有 x_{III}^{**} ，将上式代入(4)式可得此时的社会最优产量 Q_{III}^{**} 。

三类不同社会福利函数下的社会最优创新水平和产量水平的计算结果如表 2 所示，下面对结果做一些讨论。

表 2 不同社会福利函数下的社会最优创新水平和产量水平

类别	情形 I	情形 II	情形 III
社会最优创新水平	$\frac{(a-c)(2m+\beta m-1)}{2bm^2-(2m+\beta m-1)^2}$	$\frac{(a-c)(1+\beta)}{2bm-(1+\beta)^2 m}$	$\frac{(a-c)(m+\beta m-am+a)}{2bm^2-(m+\beta m-am+a)^2}$
社会最优产量水平	$\frac{2(a-c)m^2}{2bm^2-(2m+\beta m-1)^2}$	$\frac{2(a-c)}{2b-(1+\beta)^2}$	$\frac{2(a-c)m^2}{2bm^2-(m+\beta m-am+a)^2}$

命题 7：针对三种不同的社会福利函数，社会最优均衡创新水平满足 $x_I^{**} < x_{II}^{**} < x_{III}^{**}$ ，社会最优均衡产量水平满足 $Q_I^{**} < Q_{II}^{**} < Q_{III}^{**}$ 。

上文已经求出 x_I^{**} 、 x_{II}^{**} 、 x_{III}^{**} 和 Q_I^{**} 、 Q_{II}^{**} 、 Q_{III}^{**} 的解析解，容易验证在满足均衡存在的二阶条件以及 $\alpha, \beta, m \in (0, 1)$ 时上述不等式成立。命题 7 意味着，如果考虑厂商的环保创新水平和环保技术创新的溢出作用对社会福利的影响，则社会最优均衡应对应于更高的均衡创新水平和均衡产量水平。

命题 8：对应于三种厂商典型竞争策略的市场结构以及社会最优福利 I 的均衡产量水平，满足 $Q_I^{**} > Q^* > \tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 。

证明：由表 1 第二行结果易知 $4m-\beta m-2 > 2m+\beta m-1 > 0 (\beta, m \in (0, 1))$ 时， $Q^* > \tilde{Q}^*$ 成立。又根据命题 1，如果此时 $\frac{(2m+\beta m-1)^2}{3b} - m^2 < 0$ ，则 $\tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 成立，所以联立上述条件， $Q^* > \tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 成立。下面证明满足上述条件， $Q_I^{**} > Q^*$ 也将成立。

因为已经解出仅考虑消费者剩余和生产者剩余作为福利函数的社会最优产量 Q_I^{**} 的解析解，比较 Q_I^{**} 和 Q^* 可以解得 $Q_I^{**} > Q^*$ 需满足条件 $\frac{(2m+\beta m-1)(2m-5\beta m-1)}{3b} - m^2 < 0$ 。显然，满足命题 1 中 $\tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 成立的条件即能保证上式成立。综上所述， $Q_I^{**} > Q^* > \tilde{Q}^* > \hat{Q}^*$ 成立，并可解得其条件为 $\frac{1}{2(1-\beta)} < m < \frac{1}{2+\beta-\sqrt{3b}}$ 。

借鉴 D'Aspremont 和 Jacquemin 采用的方法，我们以不同市场结构的均衡产量与一定社会福利函数设定下的社会最优产量的距离作为评价社会福利的标准。显而易见，如命题 8 所示，在一定条件下，对于三种不同的厂商竞争策略，市场竞争程度越高的市场结构的均衡产量越接近于社会最优产量，即在三种市场结构中，两阶段都参与竞争比第一阶段合作、第二阶段竞争有更大的社会福利，同样的第一阶段合作、第二阶段竞争比两阶段都合作更符合社会效率标准。另一方面，如命题 7 所示，比较三种不同的社会福利函数，考虑环保技术创新及其溢出效应的情况对应于更大的社会最优产量；所以，如果考虑环保技术创新及其溢出效应的社会效益，各种竞争策略下的均衡产量需要对应于更大的产量。

命题 9：对应于三种厂商典型竞争策略的市场结构以及社会最优福利 I 的均衡技术创新水平，满足 $x_I^{**} > x^* > \hat{x}^* > \tilde{x}^*$ 。

对命题 9 做简单的讨论^①。类似分析命题 8 的方法,我们以不同市场结构的均衡创新水平与一定社会福利函数设定下的社会最优创新水平的差异作为评价社会福利的标准。显然对于三种不同的厂商竞争策略,两阶段都参与竞争的市场结构的均衡产量最接近于社会最优产量;但命题显示在第一阶段合作、第二阶段合作或竞争的市场结构均衡产量的比较中,第二阶段合作的均衡产量要更接近于社会最优产量,对于上述结论在命题 1 的分析已经给出一个可能的解释。与命题 8 的分析类似,如命题 7 的前半部分所示,如果考虑环保技术创新及其溢出效应的社会效益,各种竞争策略下还应有更大的均衡技术创新水平。综上所述,在一定条件下,两市场更高的竞争程度总体上更有利于社会福利的提高,这与 D'Aspremont 和 Jacquemin 的部分基本结论不同。D'Aspremont 和 Jacquemin 的模型旨在分析比较宽泛的技术溢出问题,没有在不同性质的具体创新及其技术溢出之间做一个区分,他们的基本结论是技术创新的合作有利于社会福利,并以美国和欧洲的反垄断规制并没有限制企业间的技术合作来佐证这一点。但我们的结论是,考虑不同性质的技术创新及其溢出渠道,不论对最终产品还是创新水平,充分竞争的市场都能带来更大的社会福利。

五、基本结论和政策含义

本文通过构建煤电运营商不同竞争策略市场结构的两期动态模型,研究了厂商在利润最大化约束和环保约束下的生产决策对市场均衡和社会福利的影响,在这里,不同性质的创新方式、技术溢出渠道和社会福利的评价标准都很关键。本文的基本结论有二:一是在一定条件下,三种典型竞争策略市场结构的创新水平均衡和产量均衡均存在,并且随着节能创新和环保创新之间比例的增大而增大,而节能技术的溢出效应对均衡产量有正向影响,对均衡创新水平的影响随着市场结构变化而不尽相同,但作用方向大致是确定的。二是比较三种典型竞争策略的市场结构,不论是否考虑环保创新及其技术溢出,越是充分竞争的市场越能带来更大的社会福利;并且如果考虑环保创新及其技术溢出的社会福利作用,社会最优均衡应对应于更高的创新水平和产量水平。

以上结论的政策含义首先是要保证对技术创新的投入。因为一方面,节能技术创新及其溢出作用不仅降低了厂商自身乃至整个煤电行业的生产成本,并且减少了对煤炭这种有限能源资源的耗费,也有利于经济的可持续发展。虽然一般而言,厂商自身利润最大化的动机也会自发推动技术创新,但政府仍需在产业政策和科技政策方面加以鼓励和支持。另一方面,环保技术创新及其溢出作用的正外部性将极大地增加社会福利,但由于环保技术创新对企业意味着没有明显近期收益的生产性支出,所以更需要加大对创新的政策支持力度,政府可以通过环保补贴、减免税收或直接投资建立大型研发基地以降低厂商的环保技术创新成本。

其次,要合理安排各种类型创新的投入比例和保障良好的技术创新溢出渠道。政策制定者要估算各类技术创新的异质性、不同的成本函数以及对均衡和社会福利的影响程度,并通过经济、法律和必要的行政手段,建设有利于高新技术产出、溢出、传导和吸收的社会经济制度环境。

最后是保障所有相关市场的充分竞争,这是命题 7—9 的政策含义,也是本文的重要结论之一。上文的社会福利分析部分显示,在研发创新市场和最终产品市场,竞争程度越高的市场的均衡创新水平和均衡产量水平越接近于社会最优产量,这对于我国目前的电力体制改革有一定的借鉴意义。打破产业垄断、引入市场竞争是电力体制改革最主要的目标之一,目前“厂网分开”和“主辅分离”是电力体制改革初期的两条主线。我国电力市场的现状是,已经初步形成各大区域电网内各发电厂商有序竞争的基本格局,同时鼓励地方电厂和外资电厂参与区域发电市场的竞争,所以在主业,改

^① 证明过程略,类似命题 8,可严格证明满足 $4m - \beta m - 2 > 9(2m + \beta m - 1)/8 > 0$ ($\beta, m \in (0, 1)$) 时, $x_1^* > x^* > \hat{x}^* > \tilde{x}^*$ 恒成立。

革应沿着最初的方案循序渐进^①。但我们知道在辅业,类似模型中的研发创新市场方面,市场化改革可能并没有像主业一样受到重视和富有成果。电力系统内的企业与原先关联的国企一定程度上垄断了电厂和电网的技术设备供应,虽然近年“主辅分离”改革也取得了一些重要进展^②,但电厂和电网的各种高新技术设备市场竞争的广度和深度仍有所欠缺。并且,在电力行业“主辅分离”逐步到位的市场环境中,国有辅业集团如何创新运营模式,行业监管部门如何实施有效规制,从而实现电力辅业市场的实质性竞争,关系到“主辅分离”改革的基本路径和最终成败,需要更深入的探索和更大胆的实践。总之,只有在各个电力相关市场进一步扩大竞争的广度和深度,在做好“厂网分开”的同时做好“主辅分离”,才能更快更好地实现电力体制改革的既定目标,提高电力行业的整体效率和全社会的福利水平。

[参 考 文 献]

- [1] C. D'Aspremont & A. Jacquemin, "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spill-overs," *The American Economic Review*, Vol. 78, No. 5(1988), pp. 1133 - 1137.
- [2] I. Henriques, "Cooperative and Non-cooperative R&D in Duopoly with Spillovers Comment," *The American Economic Review*, Vol. 80, No. 3(1990), pp. 638 - 640.
- [3] K. Suzumura, "Cooperative and Non-cooperative R&D in Oligopoly with Spillovers," *The American Economic Review*, Vol. 82, No. 5(1992), pp. 1307 - 1320.
- [4] M. I. Kamien, E. Muller & I. Zang, "Research Joint Ventures and R&D Cartels," *The American Economic Review*, Vol. 82, No. 5(1992), pp. 1293 - 1306.
- [5] R. de Bondt & R. Veugelers, "Strategic Investment with Spillovers," *European Journal of Political Economy*, Vol. 7, No. 3(1991), pp. 345 - 366.
- [6] R. de Bondt, "Spillovers and Innovative Activities," *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 15, No. 1(1997), pp. 1 - 28.
- [7] G. Steurs, "Inter-industry R&D Spillovers; What Difference Do They Make?" *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 13, No. 2(1995), pp. 249 - 276.
- [8] J. Poyago-Theotoky, "Equilibrium and Optimal Size of a Research Joint Ventures in an Oligopoly with Spillovers," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 43, No. 2(1995), pp. 209 - 225.
- [9] R. de Bondt, P. Slaets & B. Cassiman, "The Degree of Spillovers and the Number of Rivals for Maximum Effective R&D," *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 10, No. 1(1992), pp. 35 - 54.
- [10] Y. Katsoulacos & D. Ulph, "Endogenous Spillovers and the Performance of Research Joint Ventures," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 46, No. 3(1998), pp. 333 - 357.
- [11] R. Amir & J. Wooders, "One-way Spillovers, Endogenous Innovator/Imitator Roles and Research Joint Ventures," *Games and Economic Behaviour*, Vol. 31, No. 1(2000), pp. 1 - 25.
- [12] G. Atallah, "R&D Cooperation with Asymmetric Spillovers," *The Canadian Journal of Economics*, Vol. 38, No. 3(2005), pp. 919 - 936.
- [13] P. Dasgupta & J. Stiglitz, "Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity," *Economic Journal*, Vol. 90, No. 6(1980), pp. 266 - 293.
- [14] R. J. Barro & X. Sala-I-Martin, *Economic Growth*, Cambridge: The MIT Press, 2004.

① 与“厂网分开”类似,“输配分离”是电力主业的市场化改革中另一重要环节,本文对此不展开讨论。

② 经国务院批复,中国电力建设集团有限公司和中国能源建设集团有限公司于2011年9月在北京正式挂牌成立,按照国资委的“主辅分离”方案,将国家电网公司、南方电网公司所属的勘测设计、火电施工、修造企业等辅业单位建制剥离,与原四家中央电力设计施工企业重组为上述两家新公司,“主辅分离”改革取得初步进展。