

低碳经济研究综述

崔俊富¹, 陈金伟², 崔伟³

(1. 中国人民大学经济学院, 北京 100872; 2. 中国人民大学商学院, 北京 100872;
3. 中国科学院心理研究所, 北京 100872)

摘要: 全球气候变暖已是不争的事实, 气候变暖与大气中二氧化碳浓度的增加密切相关。二氧化碳会产生温室效应, 大气中二氧化碳浓度越高, 温室效应也越严重。大气中二氧化碳浓度的增加主要是因为人类的经济活动, 为了遏制气候变暖, 必须向低碳经济转型。低碳经济目前已成为研究的热点领域, 文章综述了部分有代表性的研究成果, 以期促进该领域的研究, 进而促进我国低碳经济不断增长。

关键词: 低碳经济; 能源; 碳市场; 碳捕获与储存

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6875 (2010) 05-0051-06

一、引言

笔者所能找到的最早研究低碳经济的文献是 Ann P. Kinzig 和 Daniel M. Kammen 于 1998 年发表于《Global Environmental Change》的文章。Ann P. Kinzig 和 Daniel M. Kammen 指出为了遏制气候变暖趋势, 必须建设低碳经济。他们认为, 应该分三个阶段来建立国际排放机制: (1) 在短期, 为低成本碳减排提供激励; (2) 在近期和中期, 采取更有效的措施来为碳减排提供有效路径; (3) 在长期, 追求一种低碳经济的合理生活水平。^[1]

不过在英国《能源白皮书》发布以前, 对低碳经济的研究并没有引起学术界的注意。2003 年 2 月英国首相布莱尔发表了《我们能源的未来——创造一个低碳经济》的白皮书, 该白皮书列举了英国正面临的三项挑战: 第一, 环境的挑战, 气候变化; 第二, 英国本土的能源供应, 如石油、天然气、核能和煤炭都在下降; 第三, 英国的能源基础设施需要在未来 20 年得到更新。为了应对以上三个挑战, 英国的能源政策要达到四个目标: 第一, 到 2050 年, 英国的二氧化碳排放量减少 60%, 并于 2020 年取得显著成效。第二, 保证能源的可持续供应。第三, 自由的和竞争的市场是能源政策的基础, 健康而有效的市场可以保证经济的可持续性并增加生产力。第四, 保证每一个家庭都能得到足够的采暖。^[2]

2006 年 10 月, 世界银行前首席经济学家、气候经济学之父 Stern N. 发布了《气候变化的经济学》的报告, 该报告从经济学的角度来探索气候变化的影响。该报告指出, 如果按“照常营业”的情况继续排放的话, 到 21 世纪末温度变化也许会超过 2 度~3 度。下个世纪, 全球变暖很有可能达到 5 度~6 度。现有的模型在考虑到突然、大规模气候变化的风险之后, 估计温度上升 5 度~6 度将造成相当于全球 GDP 的 5%~10% 的损失, 而穷国遭受的损失成本将会超过 GDP 的 10%。另外, Stern N. 认为, 气候变化在经济学上提出了独一无二的挑战: 这是迄今为止规模最大、范围最广的市场失灵现象。气候是一种公共产品, 在缺乏公众政策的情况下, 市场不会自动提供正确的类型和数量的公共物品。因此, 气候作为公共产品通过市场不可能得以解决。对气候的经济分析必须是涵盖全球, 着眼长期, 把风险和不确定性的经济因素摆在中心, 并考虑发生重大的、非边际变化的可能。^[3]

《能源白皮书》和《斯特恩报告》引发了学术界对低碳经济的广泛关注, 关于低碳经济的研究工作如雨后春笋般涌现出来。笔者认为, 建设低碳经济必须从碳循环着手, 碳循环包括碳排放、碳流通、碳消除三个环节。下面本文从这三个环节对研究成果进行总结分析。

二、碳排放研究

二氧化碳是最重要的人为温室气体,大气中二氧化碳的增加很大程度上来自于人类活动的排放,而且人类向大气中排放二氧化碳的趋势还呈现逐渐加速趋势。在 1970 年至 2004 年期间,二氧化碳年排放量已经增加了大约 80%,从 210 亿吨增加到 380 亿吨,在 2004 年已占到人为温室气体排放总量的 77%。在最近的一个十年期(1995 年—2004 年),二氧化碳当量排放的增加速率(每年 9.2 亿吨二氧化碳当量)比前一个十年期(1970 年—1994 年)的排放速率(每年 4.3 亿吨二氧化碳当量)高得多。因此,建设低碳经济首先要实现低碳排放。

(一) 能源消费与碳排放

许多学者的研究成果表明能源消耗是人类向大气排放二氧化碳的重要原因。Ugur Soytaş 等(2007)探讨了美国能源消耗和碳排放量的关系。他们将劳动力和固定资产形成引入模型,研究了收入、能源消费和碳排放之间的格兰杰关系。研究发现,在长期过程中,收入不是美国碳排放的格兰杰原因,但是能源是美国碳排放的格兰杰原因。^[4] Shobhakar Dhakal(2009)研究了城市能源消耗和碳排放问题。研究结果表明,城市使用了中国 84% 的商业能源使用量。中国 35 个最大的城市,占总人口的 18%,使用和排放了中国 40% 的能源,并排放了相同比例的二氧化碳。^[5]

(二) 提高能源利用效率

降低经济体的能源消耗必须降低高能耗产业的能源消耗。Scott Murtishaw 等(2001)运用 IEA 国家的 20 世纪 70 年代到 20 世纪 90 年代中期的数据,研究了石油精炼、农业、矿业和建筑业的能源消耗和碳排放情况。他们发现,精炼行业是绝对的能源密集型行业大约增加了 20% 的制造业能源消耗。因而,虽然以精炼行业为代表的行业的二氧化碳排放占总趋势中起的作用比较小,但是其对大多数国家的减排都比較重要。^[6]

也可以通过提高能源利用效率来降低行业本身能源消耗。Claudia Sheinbaum(2001)等运用国际比较法和对数平均值 Divisia 指数分析了 1970 年—2006 年墨西哥钢铁工业的能源消耗及生产的二氧化碳排放情况。结果显示,1970 年—2006 年,结构和效率效应分别使能源消耗下降了 5% 和 90%。墨西哥钢铁行业的初级能源效率的改善使本国能源消费与国际最佳消耗量的差距由 1970 年的 103% 下降到 2006 年的 15%。^[7] Jun Li 等(2009)研究了中

国建筑业能源效率(BEE)对延缓气候变化的作用,分析了建筑业能源效率目前在中国的发展状况及未来的发展趋势。Jun Li 等(2009)发现,清洁发展机制(CDM)框架下,提高建筑业的能源效率可以产生非常有价格竞争力的碳减排信用额。^[8]

(三) 开发清洁能源

能源是经济增长中的重要推动力,不可能为了减少二氧化碳排放而无限制控制能源消耗,因此,能源利用效率的提高有合理的范围,不能从根本上解决能源消耗产生的二氧化碳排放问题,必须寻找清洁能源来代替目前的化石能源。Mikhail Granovskii(2007)从经济学角度分析了清洁能源取代化石能源以减少温室气体排放的问题,发现与传统的化石燃料技术不同,清洁能源的温室气体排放量大幅降低。虽然风电和核电的成本比天然气电力的成本要高,但是如果使用风电和核电等清洁能源电力取代天然气电力,并且用清洁能源生产的氢气取代天然气生产的氢气,那么温室气体减排成本将减少 40%。使用 6 000 个效率为 24% 的 350 kW 风力涡轮机取代效率为 40% 的 500 MW 天然气发电厂可以减排 2.3 兆吨。^[9]

(四) 其他政策引导

解决行业的减排问题也是一个系统问题,需要多方面的配合。R. Rehan 等(2005)研究了水泥业的二氧化碳排放问题。他们指出,减排不仅仅是水泥行业自身的问题,政府、监管部门、消费者也必须参与其中,仅仅依靠某一项政策不能达成减排目标,必须推出政策集合。政府需要增加 R&D 投入与水泥业一起开发混合水泥并改进建筑方法,这样可以有效地减少水泥行业的温室气体排放。^[10]

三、碳流通的研究

无论温室气体在何处排放,它们造成的影响是没有差别的,这种温室气体排放和减少的地点无差别性使得全球温室气体管理变得有意义,也就为全球碳市场的形成奠定了现实基础。通过碳交易可以有效地实现碳减排的成本最小化原则,更好地促进减排战略的实现。

(一) 碳市场的作用

《京都议定书》是碳市场形成的直接原因,无论是项目市场还是配额市场都是由《京都议定书》的减排目标而衍生的。减排目标的设定实际上增加了企业进行经济活动的成本,从而迫使它们减排。

Peter Lund(2007)研究了欧洲排放贸易体系对能源密集型制造业成本的影响。欧盟贸易体系带来

的成本增加包括直接成本与间接成本两种。直接成本来自于欧盟指令的二氧化碳减排要求。间接成本是指欧盟排放贸易体系带来的电力部门供给的电力价格上涨。在京都时期,对欧盟排放贸易体系的大多数行业而言,成本变化的影响大约占到总成本的不到2%。京都时期之后,30%的二氧化碳减排量将使重工业部门增加8%的生产成本。与影响较小的纸浆、造纸和炼油相比,钢铁和水泥行业,成本可能增加3倍~4倍。处于欧盟贸易体系之外的电力密集部门也会受到影响,例如电解铝和氯气生产行业在京都时期的间接成本上涨将达到产品总价值的10%。Peter Lund (2007)认为,由于各行业受到的影响不同,必须采取相应的措施(如税收)来保障大多数电力密集部门的正常运作,未来欧盟排放贸易体系的也需要相应的改进使不同行业的相对减排成本处于同一水平。^[11]

排放贸易体系促使企业成本的提高,使得企业必须寻找解决温室气体排放的措施,使用清洁能源替代现有能源是一个可行的方案,因此,清洁能源会得到发展。Lori A. Bird (2008)研究了碳限额和贸易对美国自愿可再生能源市场的影响。区域温室气体倡议(RCGI)等美国东北部的碳限额和贸易方案已经有了一定的发展,在西部和中西部的碳限额和贸易方案也处在早期的发展阶段。碳排放限制将提高化石燃料发电的成本,因此清洁能源可能受益于碳限额和贸易方案,限额和贸易方案的也将影响到可再生能源的发电能力。^[12]例如,清洁发展机制对甘蔗渣发电项目的巨大推动作用。Tyler McNish (2009)分析了来自制糖厂的204个甘蔗渣发电项目的数据,表明这些项目为附件一国家的投资者提供了一个减少温室气体排放量的有效手段。他们认为,该市场非常稳健和富有竞争力。^[13]

碳市场的影响不一定是正面的,也可能存在负面影响。Robert Bonnie等(2002)研究了如何通过碳市场来保护陆地生态系统。他们认为,保护陆地生态系统的国际环境法律建设需要重视地球的自然系统的经济机制的发展,而目前主要的国际条约对生态保护方面缺乏有意义约束。京都议定书的排放权交易框架为国家创造经济诱因来减少温室气体(GHG)排放,将土地利用活动产生的GHG影响纳入到这个系统将有利于保护森林和农田。但是,由于碳库存数据的缺乏,京都谈判围绕土地利用活动的活动受到了极大地妨碍,《京都议定书》没有将土地封存活动纳入到排放贸易框架,也没有减少热带森林砍伐率的规定,这使得这种保护更多地处

于理论层面。^[14]而Eduard Niesten等(2002)则直接认为京都机制的这种缺陷可能给发展中国家的森林和生物多样性带来压力,产生环境负外部性。^[15]

除了给发展中国家森林和生态系统带来压力,碳市场本身的有效性也值得怀疑。Mustafa H. Babiker (2005)研究了温室气体排放限制政策的泄露问题。他认为,1997年签署的关于气候变化的《京都议定书》迫使工业化国家采取减少人为温室气体(GHG)排放的措施,如果这样的措施真的实施的话,竞争效应可能导致发达国家的能源密集型产业大量外移。他通过一个收益递增的寡头垄断结构来代表能源密集型产品生产企业的战略互动,再利用一个多区域可计算的一般均衡模型来量化转移效应。结果表明,可能会出现能源密集型产业大量迁出经合组织的现象,迁移程度的大小取决于市场结构类型,由此造成的碳泄露率高达130%,在这种情况下工业化国家实施的温室气体控制政策会导致更高的全球排放量。^[16]

(二) 碳定价

碳价格始终是碳市场发展的重要因素,William Blyth等(2009)认为,碳定价可以为企业投资于碳减排提供重要激励。碳市场价格信息的形成涉及政策目标之间的相互作用、动态技术成本和市场规则的相互作用。他们构造了一个基于边际减排成本曲线的分析框架,用于对碳市场的主要动态特点和风险因素进行试探性分析。该框架扩展了常用的静态分析框架,将政策影响和技术成本动态分析结合起来。分析表明,支持大规模部署的成熟技术抑制了边际减排成本,有时甚至到零,同时增加总减排成本。但是,早期阶段对研发的支持可能降低减排成本和碳价格风险。最后他们建议将风险管理纳入到能源政策的制定中。^[17]

Hyun Seok Kim等(2009)研究了美国碳配额市场的影响因素。美国碳配额市场与欧盟市场相比,具有不同的特征和定价过程。Hyun Seok Kim等(2009)建立了自回归分布滞后模型来研究短期和长期的美国碳配额市场及其影响因素的关系。在短期而言,原油和天然气价格以及煤炭价格的变化对碳配额市场都有重大影响。从长期来看,煤炭价格是碳配额市场的主要影响因素,而原油和天然气价格对碳配额市场影响较小。这可能意味着,在自愿参加的制度体系下,为了提前为温室气体排放限制政策做准备或者是为了降低长期减排成本,长期以煤炭为主的产业将比以石油和天然气为主的产业更加积极主动地参与进来。^[18]

四、碳消除的研究

最近 200 年, 大气二氧化碳的浓度增加非常快。1750 年二氧化碳浓度为 280ppmv, 2008 年已经达到了 384.9ppmv, 是 1750 年浓度的 1.37 倍, 其中增加的二氧化碳大部分来自于工业生产。那么如何解决这些大气中现存的二氧化碳及工业生产当中排放的二氧化碳也是建设低碳经济、应对气候变化的重要方面。目前对碳消除的研究集中于两个方面。一方面是碳汇的研究, 另一方面是碳捕获和封存的研究。^[1]

(一) 森林碳汇

碳汇包括森林碳汇、海洋碳汇、草地碳汇、岩石碳汇等。在这些碳汇中, 森林碳汇是最具有操作性的。树木可以吸收大气中的二氧化碳, 通过光合作用, 将其转化为碳水化合物储存起来, 从而达到减少大气二氧化碳含量的目的。

Massimo Tavoni 等 (2007) 探讨了森林在 2100 年实现大气二氧化碳浓度稳定在 550 ppmv 的贡献。为了评估森林封存碳的作用, 他们设计了两个全球模型, 将研究气候政策的能源经济气候模型与用于提供最优策略的迭代森林模型相结合。结果表明, 森林是减排的决定性力量, 能够极大地减少成本, 森林管理的总成本大约为 11 亿美元, 收益则有 30 亿美元。将森林管理与碳市场结合起来可以减少 50 ppmv 或者是 $1/4^{\circ}\text{C}$, 并大大地降低碳价格。他们还发现, 林业管理还减轻了对传统的能源部门及清洁技术变革的依赖。^[19] R. Lal (2005) 的研究成果也表明了森林碳汇的巨大作用。R. Lal (2005) 发现, 与自然森林生态系统相平衡的土壤具有较高的碳密度, 森林土壤碳汇大概是 $0.4\text{PgC}/\text{年}$, 森林生物碳汇大概是 $1\text{PgC}/\text{年} \sim 3\text{PgC}/\text{年}$ 。^[20]

(二) 碳捕获与储存

工业生产会产生大量的二氧化碳, 如果不经处理就将其排入大气, 势必增加大气中二氧化碳的含量。利用碳捕获和储存技术, 可以捕获工厂生产所产生的二氧化碳, 并将其运输到海洋沉积盆地等地方封存起来, 来达到控制向大气中减排的目的。许多学者对中国应用碳捕获和储存 (CCS) 持极其乐观的态度。

R. T. Dahowski 等 (2009) 对中国二氧化碳的捕获和储存潜力进行了初步评估。他们认为, 中国有许多地质上储存二氧化碳的地点, 可以封存大量的二氧化碳, 1 620 多个大型二氧化碳排放点源大约排放 3 890 Mt 二氧化碳, 其中 91% 的排放点源离深

地质二氧化碳储存点不超过 100 英里。成本曲线的初步分析表明, 中国绝大部分二氧化碳排放点源排放的二氧化碳的运输和储存成本低于 10 美元/吨。因此, 21 世纪碳捕获和储存技术在中国具有巨大的应用潜力, 可以有效地降低中国的减排成本。^[21]

Chen Wenyong (2009) 研究了未来在中国推广碳捕获和储存技术的情况。2007 年, 中国装机发电容量略高于 700GW, 未来 20 年将增加近一倍, 其中煤炭是中国发电的主要燃料, 并且可以预见在未来一段时间仍是这样。他们使用 MARKAL 模型的能源系统分析了可能在中国投入运用的能源技术的情况。研究发现, 仅仅依靠风能和核能来实现温室气体减排是远远不够的, 还必须在以煤炭作为主要燃料的发电厂和产业推广碳捕获和储存技术。^[22]

Hengwei Liu 等 (2009) 从经济发展的角度说明碳捕获和封存在中国具有广泛的发展空间。过去 30 年, 中国的经济总量以平均每年 10% 左右的速度扩大, 这是世界同一时期平均增长率的 3 倍。经济的快速发展造成了日益增长的能源消费和二氧化碳的排放。虽然京都议定书豁免第一阶段中国降低自己的二氧化碳排放量, 但是作为二氧化碳排放大国, 中国正面临越来越多的国际政治压力。作为一个负责任的大国, 中国将几乎肯定要在未来做出应对气候变化的努力。Hengwei Liu 等 (2009) 指出, 碳捕获和封存作为投资组合的选择对中国缓解气候变化的具有深远的战略意义。^[23]

尽管许多研究成果支持中国发展碳捕获和储存技术, 但是, 另外一些学者并不支持推广碳捕获和储存技术。Jon Gibbins 等 (2008) 研究了碳捕获和储存的基本内涵和近期发展状况。他们认为, 一些关键技术进步有助于推动碳捕获和储存技术的发展, 如二氧化碳捕获技术和二氧化碳储存检测技术的进步, 但是由于碳捕获和储存将带来额外的能源消耗, 因此, 除非确有必要, 尽量不要选用使用碳捕获和储存方法来减排。^[24]

Luis M. Abadie (2009) 研究了欧盟二氧化碳的价格同碳捕获投资的关系。他们以燃煤电厂作为研究对象, 这些电厂可以选择投资于碳捕获和储存来控制温室气体排放, 考虑了两个相关的随机过程——配额价格和电力价格, 价格过程的参数值运用来自欧盟排放交易计划和西班牙电力批发市场的数据库校准。研究结果表明, 目前的许可证价格不足以提供诱因来推动碳捕获和储存技术的迅速普及。^[25]

Peter Viebahn 等 (2007) 从结构、经济性和生态角度对德国发展碳捕获和储存技术和清洁能源技

术进行了对比分析。结果表明，碳捕获和储存技术每千瓦时电力超过清洁煤的排放。此外，由于可再生能源可能在未来发展得更快，因而在长期比碳捕获和储存更便宜。而且在德国由于碳捕获和储存应用的化石燃料发电厂在未来 15 年将被逐步淘汰，此时碳捕获和储存可能还不能进入实际应用阶段，因此，必须将碳捕获和储存与更新计划结合起来才能使碳捕获和储存在保护气候中发挥作用。^[26]

五、结论及对中国的启示

作为发展中国家，中国的首要任务是保持经济增长，只有保持较高的经济增长速度，才能尽快实现工业化和城市化。依靠高能耗、高排放的经济增长方式，中国经济保持了长达 30 多年的高速增长。但是，气候变暖引起了人们对二氧化碳排放的广泛关注，我们不可能牺牲经济增长来换取温室气体减排，向低碳经济转型是应对气候变化的一个可行方式。本文从碳循环出发梳理了部分有代表性的文献，笔者认为中国应该从以下几个方面推进低碳经济建设。

第一，减少碳排放。中国是世界第一温室气体排放大国，其中 90% 来自于能源消耗，减少温室

气体排放从根本上必须减少高温温室气体排放强度的能源消耗。首先应当推进产业结构的优化升级，淘汰高能耗产业，发展低能耗产业，提高国民经济活动的能源效率。其次，发展清洁能源来替代煤炭等高排放能源，优化能源结构。

第二，推动碳流通。市场的作用在于降低经济活动的成本，碳市场的发展可以极大地降低减排成本。中国现在已经成为世界上最大的碳信用供给国，但是中国的碳信用发展比较混乱，缺乏统一的发展规划，直接后果是丧失了大部分的国际议价能力。我们应该借鉴 EU、ETS 等已经比较成熟的碳市场发展经验，对碳信用发展进行统一管理，营建具有良好秩序的碳市场。

第三，促进碳消除。大气中的二氧化碳浓度已经非常高，发展森林碳汇及碳捕获和储存可以降低大气中的二氧化碳浓度。中国的森林覆盖率低于世界平均水平，而且气候变暖也增加了中国荒漠化的速度，当前应当继续加强植树造林，发展森林碳汇。碳捕获和储存技术目前还处于研究实验阶段，不过大多数的研究显示中国拥有巨大的潜力发展碳捕获和储存项目。我们应该继续与国际社会展开进一步的合作，做好发展碳捕获和储存项目的准备。

注 释：

① 碳捕获与封存技术是指所减少的二氧化碳虽然没有排入大气，但是已经产生，与提高能源效率、发展清洁能源等

降低碳排放有本质的不同，因此，笔者将其归入碳消除。

参 考 文 献：

- [1] ANN P KINZIG, DANIEL M KAMMEN. National Trajectories of Carbon Emissions Analysis of Proposals to Foster the Transition to Low - Carbon Economies [J]. *Global Environmental Change*, 1998, 8(3):183 - 208.
- [2] Department for Transport, Department for Environment and Rural Food. *Energy White Paper: Our Energy Future - Creating a Low Carbon Economy*[M]. The Stationery Office, 2003.
- [3] STERN N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- [4] UGUR SOYTASA, RAMAZAN SARIB, BRADLEY T EWING. Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States[J]. *Ecological Economics*, 2007, 62: 482 - 489.
- [5] SCHOBHAKAR DHAKAL. Urban Energy Use and Carbon Emissions from Cities in China and Policy Implications[J]. *Energy Policy*, 2009, 37: 4208 - 4219.
- [6] SCOTT MURTISHAW, LEE SCHIPPER, FRIDTJOF UNADLER, SOHBET KARBUZ, MARTA KHRUSHCH. Lost Carbon Emissions: the Role of Non - Manufacturing other Industries and Refining in Industrial Energy Use and Carbon Emissions in IEA Countries[J]. *Energy Policy*, 2001, 29: 83 - 102.
- [7] CLAUDIA SHEINBAUM, LETICIA OZAWA, DANIEL CASTILLO. Using Logarithmic Mean Divisia Index to Analyze Changes in Energy Use and Carbon Dioxide Emissions in Mexico's Iron and Steel Industry[J]. *Energy Economics*, 2010.
- [8] JUN LI, MICHEL COLOMBIER. Managing Carbon Emissions in China through Building Energy Efficiency [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90: 2436 - 2447.
- [9] MIKHAIL GRANOVSKII, IBRAHIM DINCER, MARC A ROSEN. Greenhouse Gas Emissions Reduction by Use of Wind and Solar Energies for Hydrogen and Electricity Production: Economic Factors [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2009, 32: 927 - 931.
- [10] REHAN R, NEHDI M. Carbon Dioxide Emissions and Climate Change: Policy Implications for the Cement Industry [J]. *Environmental Science & Policy*, 2005, 8:105 - 114.
- [11] PEYER LUND. Impacts of EU Carbon Emission Trade Directive on Energy - Intensive Industries - Indicative Micro - Eco-

- conomic Analyses [J]. *Ecological Economics*, 2007, 63: 799 - 806.
- [12] LORI A BIRD, EDWARD HOLT, GHITA LEVENSTEIN CARROLL. Implications of Carbon Cap - and - Trade for US Voluntary Renewable Energy Markets [J]. *Energy Policy*, 2008, 36:2063 - 2073.
- [13] TYLER MCNISH, ARNE JACOBSON, DAN KAMMEN, ANAND GOOAL, RANJIT DESHMUKH. Sweet Carbon: An Analysis of Sugar Industry Carbon Market Opportunities under the Clean Development Mechanism [J]. *Energy Policy*, 2009, 37:5459 - 5468.
- [14] ROBERT BONNIE, MELISSA CAREY, ANNIE PETSONK. Protecting Terrestrial Ecosystems and the Climate through a Global Carbon Market, *Philosophical Transactions: Mathematical* [J]. *Physical and Engineering Sciences*, 2002, 360 (1797): 1853 - 1873.
- [15] EDUARD NIESTEN, PETER C FRUMHOFF, MICHELLE MANION, JARED J HARDNER. Designing a Carbon Market That Protects Forests in Developing Countries, *Philosophical Transactions: Mathematical* [J]. *Physical and Engineering Sciences*, 2002, 360(1797): 1875 - 1888.
- [16] MUSTAFA H BABIKER. Climate Change Policy, Market Structure, and Carbon Leakage [J]. *Journal of International Economics*, 2005, 65: 421 - 445.
- [17] WILLIAM BLYTH, DEREK BUNN, JANNE KETTUNEN, TOM WILSON. Policy Interactions, Risk and Price Formation in Carbon Markets [J]. *Energy Policy*, 2009, 37:5192 - 5207.
- [18] HYUN SEOK KIM, WON W KOO. Factors Affecting the Carbon Allowance Market in the US [J]. *Energy Policy*, 2009.
- [19] MASSIMO TAVONI, BRENT SOHNGEN, VALENTINA BOSETTI. Forestry and the Carbon Market Response to Stabilize Climate [J]. *Energy Policy*, 2007, 35:5346 - 5353.
- [20] LAL R. Forest Soils and Carbon Sequestration [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220: 242 - 258.
- [21] DAHOWSKI R T, X LI, C L DAVIDSON, N WEI, J J DOOLEY, R H GENTILE. A Preliminary Cost Curve Assessment of Carbon Dioxide Capture and Storage Potential in China [J]. *Energy Procedia*, 2009, 1: 2849 - 2856.
- [22] CHEN WENYING, LIU JIA, MA LINWEI, D ULANOWSKY, G K BURNARD. Role for Carbon Capture and Storage in China [J]. *Energy Procedia*, 2009, 1: 4209 - 4216.
- [23] HENGWEI LIU, KELLY SIMS GALLAGHER. Driving Carbon Capture and Storage forward in China [J]. *Energy Procedia*, 2009, 1:3877 - 3884.
- [24] JON GIBBINS, HANNAH CHALMERS. Carbon Capture and Storage [J]. *Energy Policy*, 2008, 36: 4317 - 4322.
- [25] LUIS M ABADIE, JOSÉ M CHAMORRO. European CO₂ Prices and Carbon Capture Investments [J]. *Energy Economics*, 2008, 30:2992 - 3015.
- [26] PETER VIEBAHN, JOACHIM NITSCH, MANFRED FISCHEDICK, ANDREA ESKEN, DIETMAR SCHÜWERER, NIKOLAUS SUPERSBERGER, ULRICH ZUBERBÜHLER, OTTMAR EDENHOFER. Comparison of Carbon Capture and Storage with Renewable Energy Technologies Regarding Structural, Economic, and Ecological Aspects in Germany [J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2007, 1:121 - 133.

Review of Low Carbon Economy

CUI Jun-fu¹, CHEN Jin-wei¹, CUI Wei²

(1. Renmin University of China, Beijing 100872; 2. Institute of psychology, CAS, Beijing 100872)

Abstract: Global warming is an indisputable fact. There is a closed relation between climate warming and increased atmospheric carbon dioxide density. Carbon dioxide will produce the greenhouse effect, the higher the density of atmospheric carbon dioxide, the more serious the greenhouse effect. The increasing density of atmospheric carbon dioxide is mainly because of human economic activities. In order to curb global warming, we must transform to a low carbon economy. Low carbon economy has become a hot research field. This paper reviews some representative sample of the research in this field for promoting research in the field, thus helping China achieve low carbon economic growth.

Key words: low carbon economy; energy; carbon market; carbon capture and storage

(责任编辑 周吉光)