

重庆市供应链碳减排核算预测与减排途径研究

肖晗苑 张岭江

(重庆市邮电大学 重庆 400065)

摘要：二氧化碳等温室气体过度排放造成的全球气候变暖及气候异常已引起世界各国广泛关注，环境遭到了严重的破坏，可持续发展成为社会关注的焦点，在应对严峻的全球气候变化和广泛的减排共识下，中国以负责任的大国姿态致力于推动碳减排和发展低碳经济。2014年11月，中美共同发表了《中美气候变化联合声明》，中国宣布计划在2030年二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰。物流供应链管理在碳减排进程中扮演着重要角色。供应链上下游企业协同构建绿色健康物流，并在采购、生产、仓储、运输等流程实现低碳化。针对供应链内部碳排放预测问题，本文以长江上游地区经济中心和城乡统筹发展的直辖市重庆市为研究对象，结合重庆市供应链节能现状，构建了供应链产业碳排放核算预测模型，通过对影响碳排放的几大因素定性分析，为完善重庆市供应链碳减排标准提供参考依据，进而为重庆市供应链碳减排核算规程优化提供科学的决策方法。

引言

随着我国经济总量的高速增长，能源消耗不断增加，再加上石油、煤为主的能源消费结构，导致碳排放总量不断增长，使我国成为世界上最大碳排放国家之一。全球气候变化是人类迄今面临的最重大环境问题，减少碳排放已成为国际共识，也是21世纪人类面临的最复杂挑战之一。目前，国内外有关供应链碳减排的研究很少，对建筑碳排放量的测算分析更是缺乏。碳减排不仅仅是企业的事情，更是一条供应链需要考虑的问题。

供应链领域碳排放核算方法的理论基础是基于目前国际上影响力的温室气体评估或清单编制的基本通用技术路线[1]，而各个领域的具体的碳排放核算方法是在此基础方法上接轨相对应的具体的情况的详细讨论。供应链领域的碳排放核算方法研究过程当中呈现出各个不同阶段的分析结果，本文基于文献研究，将目前关于供应链碳排放核算所有的方法归纳为三个方面，分别是运输和装卸过程、生产过程、厂房和仓储等设施的建筑及运营过程。由于具体的测算过程的侧重点不同，因而所涉及的供应链碳排放核算方法呈现出多样性的局面。寻找供应链减排途径的前提，是准确分析和计量促使碳排放增加的因素何在，这样才能对症下药。

与此同时，企业的碳减排决策并不是孤立的，供应链上下游企业的碳减排决策与供应链上单个成员企业的碳减排决策息息相关，在碳排放约束下要推进供应链的碳减排工作，必须加强供应链上下游企业间的协作，从整个供应链系统的视角加以考虑，才能实现最终的碳减排目标。

1 重庆市供应链碳减排实现情况

物流供应链作为一条有机的物流链条，从产品或服务市场需求开始，到满足需求为止的时间范围内所从事的经济活动中所有涉及到的物流活动的部分所形成的链条。自20世纪90年代以来，供应链被看作是一种帮助企业提高生存能力与竞争能力的战略管理思想，受到了来自世界各地的普遍关注。2010年4月24日开幕的“2010中国重庆供应链与物流国际论坛”，其以“合作、共赢、创新”为主题，并旨在“通过交流与合作，积极搭建通往国际社会的桥梁和平台，广泛吸纳国际社会先进理念，进一步提升中国供应链与现代物流的整体水平”[2]。不可否认，目前围绕碳减排问题的研究已形成了大量的成果，但综合来看仍以减排路径设计、战略探讨以及碳减排层面的定量评估为主，而较少考察我国各个省级行政区的实际碳排放进展。

根据《中美气候变化联合声明》文件中，中国2030年他减排目标的实现，由2005年的碳排放强度数值可计算出2030年碳减排工作要确保的最高目标，即探究碳排放强度相比2005年是否减少了65%。截至2020年，我国的碳排放强度虽距离最高减排目标还存在一定距离，但若保持当前减排速率则具备提前完成预期减排目标的能力。而后，同样基于最高目标的现实完成情况探究重庆市在碳减排道路上的具体表现。其中，重庆市碳排放强度相比2005年

是否减少了65%，最高目标距离65%的约束值也不算太远，应该具备提前完成预期减排目标的能力[3]。在这些措施中，在对其进行调整供与优化供应链时需兼顾产业之间的经济关联及其与碳排放之间的相互关系。在此情形下，厘清各地区碳减排现状并适时调整其减排目标将会成为整体碳减排工作扎实推进的重要保障。因此，有必要围绕重庆市供应链碳减排成效进行评估，从中识别出减排影响因素并对其减排目标和路径进行调整与优化。

2 重庆市供应链碳排放测算模型

2.1 供应链运输、装卸过程碳排放

在物流供应链活动中，化石燃料的燃烧是二氧化碳的最大排放源，其运输、装卸等均消耗大量能源，其中主要以燃料能源为主，在测算物流供应链行业二氧化碳排放过程中，把化石燃料燃烧作为重点。

估算燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，具体有以下五个步骤：

- 步骤1：估算按原单位的表观燃料消费量；
- 步骤2：转换成通用能源单位；
- 步骤3：乘以碳含量以计算出总碳量；
- 步骤4：计算非燃烧碳量；
- 步骤5：按未氧化的碳进行校正，并转换为排放。

这几个步骤可用如下公式表示：

$$CO_2 \text{排放量} = \sum_{\text{所有燃料}} \left[\left(\left(\text{表观消费量}_{\text{燃料}} \cdot \text{转换因子}_{\text{燃料}} \cdot CC_{\text{燃料}} \right) \cdot 10^{-3} - \text{非燃烧}_{\text{燃料}} \right) \cdot CO_{\text{燃料}} \cdot \frac{44}{12} \right]$$

其中：

燃料表观消费量=调入总量 - 剩余总量 - 运输路线加油 - 库存变化；

转换因子=根据净发热值将燃料转换为能源单位(TJ)的因子；

$$CC_{\text{燃料}} = \text{碳含量 (吨 C/TJ)};$$

非燃烧 = 排除在燃料燃烧排放以外的原料和非能源用途中的碳；

$$CO_{\text{燃料}} \text{ (碳化因子)} = \text{碳被氧化的比例} ;$$

44/12 = CO_2 和 C 的分子量比率。

2.2 供应链生产过程碳排放

在物流供应链活动中，重庆市生产过程中物理变化和化学反应所产生的二氧化碳主要指重工业生产，以水泥和钢铁生产为主。

1) 水泥生产

水泥生产过程的二氧化碳排放是我市工业部门的主要排放源。硅酸盐水泥料是用适当比例的石灰石、黏土、少量铁矿石及其它配料配制而成。在水泥生产过程中，除碳酸钙($CaCO_3$)以外水泥

生料中还含有少量碳酸镁 ("Mg" CO₃) 水泥生料经过高温煅烧发

生一系列物理化学变化, $CaCO_3 \xrightarrow{\text{加热}} CaO + CO_2 \uparrow$,
 $MgCO_3 \xrightarrow{\text{加热}} MgO + CO_2 \uparrow$, 最后形成熟料, 而二氧化碳则在熟料高温煅烧中排放。

$$CO_2 \text{ 排放量} = \text{水泥熟料产量} \times EF_{SLime}$$

其中: EF_{SLime} 表示水泥熟料生产过程的二氧化碳排放因子

$$EF_{SLime} = \text{熟料中CaO含量}(\%) \times M_{CO_2}/M_{CaO} + \text{熟料中MgO含量}(\%) \times M_{CO_2}/M_{MgO}$$

$$CO_2 \text{ 排放量} = \text{水泥熟料产量} \times (\text{熟料中CaO含量}(\%) \times M_{CO_2}/M_{CaO} + \text{熟料中MgO含量}(\%) \times M_{CO_2}/M_{MgO})$$

CO₂ 排放量=水泥熟料产量 × (熟料中 CaO 含量 × 44/56.1+熟料 MgO 含量 × 44/40.3)

2) 钢铁生产

铁工业生产中的二氧化碳排放, 主要包含两个部分: 一是高温碳酸盐类溶剂分解而排放二氧化碳; 二是在炼钢过程中的氧化降碳过程排放二氧化碳。因此, 计算该行业二氧化碳排放主要有以下两个部分:

(1) 溶剂消耗排放二氧化碳的计算

a) 石灰石:

$$\text{排放} CO_2 \text{ 量} = \text{石灰石消耗量} \times \text{石灰石中CaO成分} \times 0.785 + \text{石灰石消耗量} \times \text{石灰石中MgO成分} \times 1.09$$

$$\text{排放} CO_2 \text{ 量} = \text{石灰石消耗量} \times \text{石灰石中} CaCO_3 \text{ 成分} \times 0.440 + \text{石灰石消耗量} \times \text{石灰石中} MgCO_3 \text{ 成分} \times 0.524$$

其中: 0.785 为二氧化碳与氧化钙的分子量之比, 1.09 为二氧化碳与氧化镁的分子量之比。以下类同。

b) 菱铁矿:

$$\text{排放} CO_2 \text{ 量} = \text{菱铁矿消耗量} \times \text{菱铁矿中MgO成分} \times 1.09 + \text{菱铁矿消耗量} \times \text{菱铁矿中CaO成分} \times 0.785$$

$$= \text{菱铁矿消耗量} \times \text{菱铁矿中} MgCO_3 \text{ 成分} \times 0.524 + \text{菱铁矿消耗量} \times \text{菱铁矿中} CaCO_3 \text{ 成分} \times 0.44$$

c) 白云石:

$$\text{排放} CO_2 \text{ 量} = \text{白云石消耗量} \times \text{白云石中} CaCO_3 \cdot MgCO_3 \text{ 成分} \times 0.478$$

$$= \text{白云石消耗量} \times \text{白云石中MgO成分} \times 1.09 \times 2$$

$$= \text{白云石消耗量} \times \text{白云石中CaO成分} \times 0.785 \times 2$$

(2) 炼钢的降碳过程与排放二氧化碳的过程

生铁和钢都是铁元素与碳元素的合金。一般铁含碳大于 2%, 钢含碳小于 2%, 炼钢过程实际上是一个氧化降碳的过程。

炼钢生产过程排放CO₂的量=(炼钢生铁含碳量-钢含碳量)×44/12

$$= \left[\left(\sum o_{\text{铁}_i} \times C_{\text{铁}_i} - o_{\text{铁}_2} \times C_{\text{铁}_2} \right) - \sum o_{\text{钢}_i} \times C_{\text{钢}_i} \right] \times 44/12$$

其中: 铁_i —生铁的种类; 铁_2 —铸造生铁;

O—产量; C—含碳率

2.3 供应链厂房、仓储、售点等设施的建筑及运营过程碳排放
 在物流供应链活动中, 基础设施建筑大致分为设施材料准备、建造、使用、拆除、处置和回收 6 个阶段, 在这 6 个阶段里都会产生碳排放。

从整个设施建筑及运营来看, 其碳排放量可以下式计算。

$$W = \sum_{i=1}^6 W_i$$

式中: W 为整个设施建筑及运营的碳排放总量;

W₁ 为建筑材料准备阶段的碳排放量;

W₂ 为设施建筑建造阶段的碳排放量;

W₃ 为设施建筑使用及运营阶段的碳排放量;

W₄ 为建筑维护和拆除阶段的碳排放量;

W₅ 为废弃建材处置阶段的碳排放量;

W₆ 为建筑回收利用阶段的碳排放量。

此外还考虑整个设施建筑及运营的能源消耗所产生的碳排放, 因此

$$W = \sum_{i=1}^6 TE_i$$

式中: E_i 为整个设施建筑及运营过程中第 i 个阶段能源消耗的总和, 采用宏观全阶段来进行计算。

T 为碳排放强度, 其计算公式为

$$T = (2.7412x + 2.1465y + 1.6423z) / (x + y + z)$$

式中: x, y, z 分别为当地当年煤炭、石油和天然气占一次能源消费总量的比重; x, y, z 前面的系数分别为煤炭、石油和天然气的二氧化碳排放系数^[4]。

计算方法:

1) 建筑材料准备阶段的能耗。

通过文献查找出建筑消耗某种建材的消费量与该种建材的总产量的比值, 由下面的公式估算建筑材料准备阶段的直接能耗 I₁。

$$I_1 = \sum_{i=1}^t P_i Q_i$$

式中: P_i 为第 i 种材料在设施建筑及运营中的消费比;

Q_i 第 i 种材料在生产中的总耗比。

2) 设施建筑材料使用阶段的直接能耗。

查阅相关文献资料《中国能源统计年鉴》可以初略得出: u₁ 厂房、仓储——电力, u₂ 批发、零售业、住宿以及餐饮业——电力, u₃ 其它——电力;

设施建筑材料使用阶段的直接能耗 I₃。

$$I_3 = u_1 + u_2 + u_3$$

3) 设施设施建筑建造与拆除阶段的能源消耗的直接能耗。

将整个设施建筑及运营过程中涉及建造与拆除阶段的能源消耗, 作为供应链基础设施建造阶段的直接能耗 I₂ 与拆除阶段的直接能耗 I₄ 之和。

4) 设施建筑废弃建材处置与回收利用阶段的直接能耗。

将整个设施建筑及运营过程中涉及废弃建材处置与回收利用阶段的能源消耗, 作为供应链基础设施建造阶段的直接能耗 I₅。

5) 整个设施建筑及运营过程中的间接能耗。^[6]

$$Q = \sum_{i=1}^t x_i y_i$$

式中: X_i 为第 i 种间接能耗中的消耗比;

y_i 为整个设施建筑及运营过程中第 i 种间接能耗总值。

6) 设施建筑及运营的总能耗 E。

本文考虑整个设施建筑及运营过程中各个阶段的直接消耗能源和间接消耗能源。因此供应链设施建筑及运营的总能耗 E=I₁+I₃+(I₂+I₄)+I₅+Q

3 供应链碳减排影响因素定性分析

推动供应链能耗增长的因素众多, 从总体上可分为: 能源结构, 供应链产业能力, 交通运输模式, 供应链设施建筑, 供应链废弃物等直接因素以及其他间接影响因素。

3.1 能源结构

能源结构是影响供应链碳减排发展的根本因素。由于不同能源品种的碳排放强度存在较大差异, 因此不同的能源结构其碳排放水平差异很大。对于供应链碳减排管理而言, 优化能源结构, 降低高碳排放能源消费的比重是实施减排的最直接途径。从实际情况出发, 供应链能源消费结构的形成主要受两方面影响: 其一是能源供

发, 供应链能源消费结构的形成主要受两方面影响: 其一是能源供应条件, 例如供应链所在重庆各个地区的资源禀赋以及能源供应能力; 其二是能源需求情况, 能源需求量的增加, 导致温室气体排放的增加, 主要受供应链各阶段对能源品种的要求。但总体来说, 因地制宜、积极并科学地发展可再生能源将是供应链优化能源结构的必要选择。

3.2 供应链产业能力

供应链产业的经济水平以及其产业现代科技应用是直接影响供应链能源使用强度和碳排放水平的主导因素。从提高供应链企业单位能源消费经济产出的角度, 以提高供应链产业科技含量、完善其服务水平及能力、增加附加值等为目的, 调整供应链各阶段辅助结构、并延伸供应链上下游产业, 都将对供应链的低碳发展发挥积极的作用。

3.3 交通运输模式

交通运输模式是供应链行业碳排放的重要因素, 交通运输模式的低碳化其核心在于提高交通运输的能源效率, 改善交通运输的效能结构, 优化交通运输的发展方式。以高技术为主导的交通运输工具系统、低碳环保运输的交通主体、发达的低碳交通运输网络体系和先进的交通运输管理, 可以实现交通拥堵最少、交通需求最低、机动交通工具使用最少、机动交通工具碳排放最低、交通低效最少等指标, 从而达到交通运输碳排放最低的目标。

3.4 供应链设施建设

基础设施建筑是小尺度供应链节能减排的重要载体, 规划合理的设施建设和消费模式, 形成多层次、多元化的建筑设施供应体系, 结合供应链节点间建设, 提出组团布局、空间紧凑、新能源运输运营等设计原则。设施建筑的建造活动控制在自然生态系统的承载力范围内, 把对环境的影响减到最小, 建造标准完全按照绿色建筑的标准和要求进行环保型规划建设。

3.5 供应链废弃物

整个供应链运行过程都会产生废弃物。每个阶段由于运行功能不同、操作人员不同、运营方式不同会产生不同程度的废弃物, 其中在处理废弃物、考察是否可以将废弃物再利用以及降低废弃物污染程度的过程都存在碳排放, 为处理废弃物需要进行多大的碳排放同时应该计入供应链运营阶段碳排放当中。考虑到废弃物的处理方式以及碳排放程度, 其中常见的废弃物处理方式焚烧、焚烧发电、堆肥、垃圾填埋过程中产生的甲烷、氮氧化物均需要折算成二氧化碳当量。供应链废弃物分类收集率影响其废弃物能否有效再利用, 再利用程度可以从侧面减少碳排放, 但是再利用程度依赖于废弃物的分类收集管理、分类设施的提供。同样的, 供应链废弃物回收利用率影响了垃圾填埋量等, 降低填埋量, 则有效降低排放量。

3.6 其他影响因素

根据日本教授 Kaya 建立的 KAYA 恒等式 [7], 其对碳排放影响因素分解较为完整, 被广泛应用于人类活动对碳排放影响因素的研究。利用 KAYA 公式, 能够对影响供应链低碳发展的最核心因素进行分解, 但对于较为微观层面来说, 仍有部分因素不能体现, 例如供应链产业规模及配套设施、供应链工作人员年龄结构、环护林覆盖率, 碳汇及碳捕集利用等因素, 这些因素对供应链的低碳发展有着不可忽视的影响。从供应链的发展现状以及技术现状来看, 短时期内, 碳汇及碳捕集利用对整个供应链碳减排发展的贡献难有突破, 但为建设低碳供应链, 应最大限度发展森林或植被碳汇。

4 供应链碳减排实现途径

4.1 能源结构优化, 发展低碳化能

重庆地区可积极挖掘能源消费结构对碳排放量增加的抑制作用, 并且在调整和优化能源结构的同时, 要积极努力提高能源的利用效率, 供应链产业低碳化发展。其次, 优化能源消费结构, 提高城市气化水平和高质量燃料供应来改善城市燃料供应, 大力推进行

业科技发展, 引进高新技术, 做到能源技术创新及有效开发和利用, 如新一代纤维素乙醇、氢燃料、核能、太阳能和风能、碳捕获及封存和可再生能源等新技术[8]。

4.2 碳减排引致的供应链内部利益增加部分的分配

通过实施了供应链碳减排, 并在短期内对企业造成了利益损害的企业, 其中通过碳减排活动而带来了经济效益的提升, 给予形成其一定的补贴或是转移支付, 为此提高供应链企业碳减排的积极性。对于其补贴的额度或是范围的设定需要进行认真的考虑, 要求其补贴既合理又起到鼓励供应链企业进行碳减排的作用, 并对那些积极进行碳减排的企业不会造成负面影响, 通过一定的经济效益补贴来增加供应链的内部利益[9]。供应链内部碳减排与企业单独碳减排在不同的减排要素方面具有较大的区别。要想让供应链内部减排顺利的进行, 就要考虑到多个方面。其中, 供应链中碳减排领导者的决定尤为重要, 其要虑碳减排任务的分配和免费碳排放额度的确定, 并且确定补贴的期限, 还要考虑到供应链成员企业之间的再补贴问题。然后是碳减排任务的分配、碳排放额度的确定、供应链成员企业之间的碳减排再补贴等等。

4.3 “政府+供应链”管理模式促进供应链内部碳减排

重庆市政府相关部门可进行“政府 + 供应链”的管理模式[10], 大多数企业都要设立必须寻找并选择加入一条供应链, 或是由若干企业自身组成一条供应链, 要确定整条供应链的业务范围, 供应链成员企业的业务经营范围可以由其供应链成员企业集体商讨确定, 当然要在供应链所允许的业务经营范围之内进行划分确定。企业的碳减排和其所在供应链的特征密切相关, 什么样的供应链就决定了其碳减排的最优方案等问题。传统的对于企业的管理, 使得企业需要单独做出相应的碳减排决策。只有实行了对于供应链的管理, 才能更好的实现供应链内部的碳减排, 相关的碳减排任务才能更好的予以分配。供应链管理不同, 其所含的碳减排的最优方案也不同。进行该供应链的碳减排的顶层设计, 需要考虑到供应链上下游的生产需要等问题。保证生产需求稳定, 那么上游生产商就愿意做出进行大范围的碳减排设施设备的购置配备等决策, 其购置设备成本属于沉没成本, 而下游企业也接受了相应的碳减排任务, 其属于专属性投资, 企业之间也形成了紧密的业务联系。这样既稳定供应链企业长远发展, 又能促进供应链企业的碳减排。

4.4 建立了碳交易 - 碳税 (环境税) 并行政策供应链减排决策

建立了碳交易 - 碳税 (环境税) 并行碳政策下的独立减排模式 SMI 和一体化共同减排模式 MSII[11], 供应商碳政策提高供应链碳市场的交易频次和规模, 激发市场活跃度, 抬升实际碳成交价。其中实力较强、减排技术先进、产品需求刚性的大型控排企业, 其承担碳资源使用费相对较小。“有偿配额 - 减排补贴”配套机制能激发碳市场活跃度并推动供应链“良性”减排, 而且其竞价成本效应和转移支付效应可对高污染落后产能发挥“逆淘汰”作用。通过对比制造商减排前后供应链的利润、碳排放, 制造商减排使新产品和再制品的需求增加, 制造商减排使其利润增加的同时, 零售商利润也增加, 而总的碳排放降低; 政府应加强环保宣传力度, 创新碳市场交易规则, 激发碳市场活跃度, 完善有偿配额发放和减排成本补贴制度, 提升我国碳交易市场运行效率。同时, 完善相关碳税、成品油消费税等环境税, 发挥混合碳政策的综合减排效应, 通过运行碳市场来引导企业良性减排, 供应链上下游企业应形成减排联盟, 可提高供应链碳减排决策对市场需求的响应度, 改善供应链经济效益和社会福利, 增强碳政策规制的能力, 降低碳减排成本。

4.5 完善制约机制, 加强相关法律体系建设

制约机制是为了使发展符合世界先进发展理念而设计。根据重庆市明确的低碳发展标准, 严格执行刚性排放指标, 通过严格的刚性排放约束加快供应链产业低碳经济发展速度, 并且提高高碳企业

(下转第 43 页)

(上接第 58 页)
的市场准入门槛,大力推动低碳产业发展。法规体系是政策措施的体现,体现社会和社会行为准则的规范。完善碳税征收机制并严格执行,进一步加大对碳税的征收力度,合理利用税收这一分配杠杆,有效地制约企业的业务选择,促使企业加大低碳建设力度。要建设绿色低碳供应链,建立相应的政策法律体系是必不可少的。加强对清洁、低碳能源开发和利用的鼓励政策,促进能源的清洁发展;大力支持可再生能源发展的机制建设,改善健全可再生能源发展的市场环境,与制度创新。除此之外,完善法律保障。我国目前在碳排放方面已经有了较为完善的立法保障,但是只有保证法律能够得到有效实施才能实现供应链碳减排和推进低碳发展。

参考文献

- [1] 叶祖达.《中国绿色生态城区规划建设碳排放评估方法、数据、评价指南》.建设科技,2015(06)
- [2] 龚英,胡涛.国际供应链与物流管理的创新、合作与共赢*——“2010 中国重庆供应链与物流国际论坛”会议综述 1674-8131(2010)04-0104-04
- [3] 田云,陈池波.《中国碳减排成效评估、后进地区识别与路径优化》1002-5766(2019)06-0022-16

[4] IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M] Bracknell; IPCC/OECD/IEA, UK Meteorological Office, 1996.

[5] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Available online. 2017,(11)

[6] 张陶新,周跃云,芦鹏.中国城市低碳建筑的内涵与碳排放量的估算模型. 1673-9833(2011)01-0077-04

[7] Kaya, Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth [R]. IPCC Response Strategies Working Group Memorandum, 1989:46 - 48.

[8] 卢瑜.绿色发展背景下湖南省碳排放影响因素及碳减排策略研究 673-9272(2015)05-0040-04

[9] 杨光,梁玲,谢家平.绿色全产业链背景下供应链内部碳减排机制设计研究 管理现代化 2018(6)

[10] 王康,钱勤华,周淑芬.基于绿色金融贷款和成本分担下的供应链低碳减排机制研究 金融理论与实践 2019,(01),84-92

[11] 程永伟,穆东,马婷婷.混合碳政策下供应链减排决策优化. 2017(05)-0947-10