

一种碳交易的协商模式及计量方法

徐 钊, 温小荣, 余光辉

(南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 分析了国内外碳交易市场的现状和前景, 初步提出了在政府引导支持下, 双边谈判模式在碳交易中的应用, 并根据碳交易市场的特点, 引入了价格系数、离散消减率、自消减总成本和边际成本概念, 构建了森林碳汇项目与碳排放主体、碳排放主体与碳排放主体等 2 种市场运行模式, 较为详细地探讨了 3 种具体交易方案及谈判过程中产生的交易量、交易价格、成本、收益等因子的计算方法, 尤其对基于双方自消减与边际成本的碳排放主体间交易模式及因子计算公式做了前瞻性研究; 同时, 讨论了影响交易进行的关键因素, 并形成了交易流程图。意在充分发挥市场对碳汇资源、地区环境的优化配置作用。图 6 参 11

关键词: 碳排放权交易; 森林碳汇项目; 碳排放主体; 双边谈判; 价格系数

中图分类号: X196; F062.2 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)06-0939-08

A consultative model for carbon trade associated with a measurement method

XU Zhao, WEN Xiao-rong, SHE Guang-hui

(School of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: In this work the domestic and international carbon trade market status and prospects, which were initially put forward in the bilateral negotiations model for the application of carbon trade in support of government guidance, and which introduced the concept of price factor, discrete reduction rate, reduced cost, and marginal cost in accordance with the characteristics of the carbon trade market, were analyzed. This study, which built two transaction frameworks is respectively between forest carbon sink projects and carbon emissions entities, carbon emissions entities and carbon emissions entities, discussed in greater detail four concrete trade model associated with transaction volumes, prices, costs, benefits, and other factors in negotiation process. It's worth noting that author creatively structures one specific model between emissions entities and emissions entities which is based on reducing emissions by themselves and two parties' marginal cost of discrete reduction rate point, and put forward calculation formula of related factors tentatively in order to effectively solve the problem of carbon credit deficiencies in late of market. This work is intended to give full play to the market's optimal allocation of carbon resources and regional environments supported by thorough supervision mechanism and robust policy foundation including forest carbon sink transaction. [Ch, 6 fig. 11 ref.]

Key words: carbon emissions rights trade; forest carbon sink project; carbon emissions unit; bilateral negotiations; price factor

近百年来, 地球气候正经历着以全球变暖为主要特征的显著变化, 2001 年政府间气候变化专门委员会(IPCC)的第 3 次评估报告明确指出, 人类无节制地使用化石燃料是全球变暖的“罪魁祸首”, 其排放

收稿日期: 2011-11-23; 修回日期: 2012-03-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30571491); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD); 江苏省林业三项工程项目[lysx(2009)46]; 国家林业局公益性行业科研专项(200804006/rhh-11)

作者简介: 徐钊, 从事森林经营管理研究。E-mail: xuzhao31415654@126.com。通信作者: 余光辉, 教授, 博士生导师, 从事森林资源监测及 3S 技术应用研究。E-mail: ghshe345@sohu.com

的大量二氧化碳等温室气体是真正的源头所在。20世纪后期,人类开始逐渐重视这一问题,并颁布了应对气候变化问题的相关法律法规。1992年5月9日在联合国总部通过的《联合国气候变化框架公约》更是具有里程碑的意义。进入21世纪,关于“碳减排”的措施变得更加深入具体,而森林吸收二氧化碳投入少、成本低、简单易行,森林碳汇功能受到越来越广泛的重视和发掘。于2005年2月16日正式生效的《京都议定书》中明确提出了“碳交易”概念,即各国政府在减排承诺的前提下,对本国企业的二氧化碳排放额度进行控制的同时允许其对“富余”碳排放额度进行交易。这次会议正式为森林碳汇贴上了“商品”属性,推动了森林碳汇项目的发展,增进了企业进行碳减排投资的积极性。2009年底的哥本哈根气候大会后,包括中国在内的世界上许多国家均许诺将扩大森林覆盖面积作为未来30~50 a中减缓气候变暖的重要措施。近几年,森林碳汇项目在这一承诺的大力推进下,发展迅速,尤其在部分欧美国家,全球碳交易市场的雏形已初步形成^[1]。

1 森林碳汇交易市场的背景分析

从国际碳汇交易经验看,主流森林碳汇交易模式为交易所模式,如芝加哥气候交易所,类似于证券交易所的场内交易模式,交易主体可以在市场内获取充分信息,按照唯一的市場出清价格进行自愿性交易,这种模式最大的优势在于具备较低的交易成本^[2]。具体交易方案主要分为两大类(图1):一类是基于配额的交易,即买家在“限量与贸易”体制下,向满足碳排放要求并握有剩余排放权的碳排放主体,购买实际排放量与管理者制定、分配的减排配额的差额;另一类是交易买家向可证实减少温室气体排放的项目购买减排单位,如森林碳汇项目^[3]。随着全球减排呼声的不断高涨,各国碳排放配额政策的进一步落实,可以预见的是,“超额碳排放”企业主体将不得不通过“自消减”或者进入碳交易市场以完成强制性减排任务。与此同时,碳汇林项目伴随市场需求不断涌现。随着碳交易市场化进程的步步加深,使交易所模式的必备条件之一——构建具有完备信息市场的成本越来越高;并且,市场中交易主体规模的不断扩大也促使着交易双方直接谈判的意愿增强。在这种背景下,本研究将引入另一种交易模式——双边谈判模式,并综合以上2种交易方案,探讨其在碳汇交易市场中的运行机制,初步构建交易市场模型。

碳排放主体 ↔ 碳排放主体
碳排放主体 ↔ 森林碳汇项目

图1 2种碳汇交易模式

Figure 1 Two kinds of trading model

2 碳交易市场模型的总体框架

2.1 排放单位消减自身碳排放量的成本分析

根据碳排放单位的长期生产实践,碳排放主体 U_c 进行碳消减的总成本包括运营管理成本和固件投入成本,固件投入成本包括生产设备的技术更新、碳排放处理设备的添置等。换言之,碳消减总成本即为一定的固件投入水平下,生产单位所能达到的最大碳消减率所要支出的购买、安装设备成本以及相应的运营和管理成本。显然,固件投入呈离散分布,经营管理成本则是连续的,总成本函数 $T_{cd}(\theta_x)$ 也是连续的。根据经济学理论,发挥固件投入下的最大生产力时,商品的单位成本为投入水平下的最低值(图2~3)。因此,本研究假定生产单位在消减碳排放量时,选择将消减率提高至既定水平下的最大值,这一假定意味着,总成本函数实际上可以离散化表达,可能会形成富余的碳汇信用,也会影响买方购买碳汇信用的期望额度。综上所述,为了更直观地模拟交易,每个参与到交易中的碳排放主体的成本函数均设定3个固定的消减率点 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$,对应的成本为 C_1, C_2, C_3 ,形成离散总成本函数 $C_i=T_{cd}(\theta_{ik})$ 。

根据经济学的相关理论, U_c 的成本函数 $T_{cd}(\theta_x)$ 在某一点的导数,即这一点边际成本,是本研究中碳排放主体↔碳排放主体模式下决定交易与否的关键因素之一。在光滑的连续函数中,导数是平均变化率的极限形式,即 x 改变一个单位, $T_{cd}(\theta_x)$ 改变 $T_{cd}(\theta_x)'$ 。在离散状态下,这一概念同样适用。通过一组有限的数,对始于 θ_i 的平均变化率进行加权平均值运算式(1),得到有限离散函数 $C_i=T_{cd}(\theta_{ik})$ 在点 (θ_k, C_k) 的导数,即 $x=\theta_k$ 时的碳消减边际成本^[5]:

$$\frac{dc_i}{d\theta_i} = \frac{\sum (\theta_i - \theta_k)(C_i - C_k)}{\sum (\theta_i - \theta_k)^2} \quad (1)$$

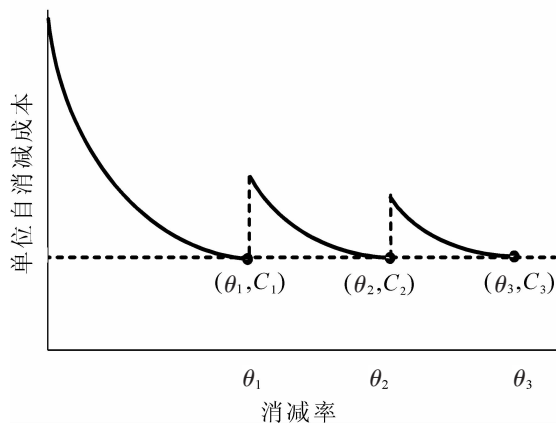


图 2 单位自消减成本曲线图

Figure 2 Unit cost reduction curve

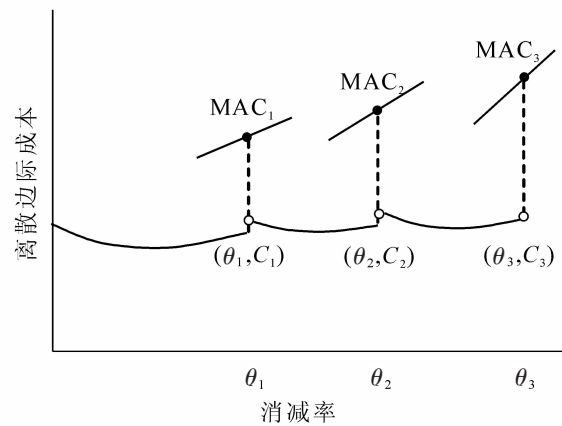


图 3 离散边际成本曲线

Figure 3 Discrete marginal cost curve

2.2 碳汇林的认证碳汇信用定价机制

2.2.1 基准价格的确定 碳汇林的单位碳汇信用价格 是市场交易价格的定价基础，也是市场上的“最低售价”，其与森林储碳量紧密相关，而“森林生物量”又是储碳量计算的源头。目前，森林生物量的估算包括直接法和间接法，直接法有实测法、二氧化碳平衡法、气体交换法、微气象场法等；间接法则有生物量模型、生物量估算参数及遥感技术方法。本研究在此不做赘述。已知经过估算得到单位面积碳储量函数为 C_s ，在碳泄漏方面，由于二次泄漏中“市场作用”对其他地方碳排放具体增长量的不确定性，因此，只考虑项目的一次泄漏，包括造林区域原单位的碳排放转移量和林场直至监测时的造林、育林等活动的碳排放量，则单位面积总碳汇信用 $R_{\text{icer}} = C_s(A - A_0) \times 3.67 - E_{\text{Cl}} = \sum R_{\text{cerk}}$ 。其中： R_{cerk} 为第 k 次监测时得到的碳汇信用， A 和 A_0 分别为监测年份、基准年份，3.67 为碳转化为二氧化碳的系数。成本价格：

$$P_c = \frac{C_F + C_T + C_M}{S \sum_k R_{\text{icer}} (1+r)^{-(5k+t)}} \quad (2)$$

考虑碳税后的基准价格为：

$$P_{\text{cer}} = \frac{C_F + C_T + C_0 + C_M + C_{\text{tax}}}{S \sum_k R_{\text{icer}} (1+r)^{-(5k+t)}} \quad (3)$$

式(2)和(3)中； k 为监测周期，本研究中为 5 a， S 为造林面积， R_{icer} 为 k 次监测获得的森林可认证减排量， r 为年利率， t 为第 1 次监测时的林龄，造林成本为 C_F ，维护管理成本为 C_M ，碳汇交易成本为 C_T ，碳税 C_{tax} ，土地机会成本为 C_0 [5]。

2.2.2 价格系数引入碳交易模型 根据张琪、邹坤等关于排放权定价机制的研究，本研究在考虑交易价格形成机制时，引入了以优化地区环境质量为主要目的的碳汇信用交易价格系数 ρ_c ，而关于 ρ_c 如何定值没有统一的方案，其多作为基准项的乘数因子，如卖方所在地区的环境质量为 III 类，则环境质量为 III，IV，V 类的买方的碳汇价格系数 ρ_c 分别为 1.0，1.1，1.2，若买方地区环境质量等级高于卖方，如为 I，II 类，为 0.8，0.9。此时，碳汇林形成的交易价格 P 为：

$$P = P_{\text{cer}} \rho_c = \frac{C_F + C_T + C_0 + C_M + C_{\text{tax}}}{S \times 3.67 \times \sum_k R_{\text{icer}} (1+r)^{-(5k+t)}} \rho_c \quad (4)$$

在碳汇林 \leftrightarrow 碳排放主体模式中，基准价格与交易价格相减后的差价若为负，说明碳排放单位所在地区环境质量良好，超过目标预期，其需要支付碳汇信用价格小于林场基准价格。这种情况下，国家财政将补偿碳汇林场因差价而形成的成本开支，反之，差价若为正，则林场获得的多余收益上缴国家财政。而在碳排放主体 \leftrightarrow 碳排放主体模式中，价格系数与财政补偿同样影响双边谈判的进程。这样，国家将通过财政手段调控碳汇信用价格，从而影响谈判结果，进而有效地控制高排放企业的分布，优化地区环境

质量^[6]。

3 引入价格系数的市场

交易双方由碳排放主体 U_c (碳排放企事业单位)和森林碳汇主体 U_f (碳汇林场)组成, 每一个 U_c 的碳排放总量为 e^0 , 碳排放初始配额为 e^m , 在 3 个固定的消减率 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ($\theta_3 > \theta_2 > \theta_1$)上, 分别对应的消减成本为 C_1, C_2, C_3 , 其排放权需求 D_e (即 $e^0 - e^m$)在消减量 $e^0 \cdot \theta_1, e^0 \cdot \theta_2, e^0 \cdot \theta_3$ 之间, 即 $0 < D_e \leq e^0 \cdot \theta_3$ 。在交易市场形成之后, 由于碳汇信用是紧缺资源, 通过自消减或购买碳汇信用而持有富余碳排放权的排放主体会根据供需走向提高价格; 并且, 排放主体在市场上的碳供求信息在市场前期是不透明的, 而清洁发展机制碳汇林是否持有可认证的碳汇信用则相对透明。以上 2 点共同导致了市场中需求主体优先同碳汇林场展开谈判的策略, 其希望以相对低的价格购得满足其需求的碳汇信用; 而在一方面, 根据前文中关于固定成本条件下, 单位成本与产量呈反比例关系, 若排放权需求 D_e 不在 $e^0 \cdot \theta_1, e^0 \cdot \theta_2, e^0 \cdot \theta_3$ 等 3 个固定消减量上, 而在某 2 个消减率之间, 如 $e^0 \cdot \theta_2 < D_e < e^0 \cdot \theta_3$, 此时, 需求主体在 θ_3 点的单位消减成本达到最低, 交易价格与消减成本相减得到的单位溢出收益达到最高, 因此, 买方进入市场后预期购买量为 $e^0 \cdot \theta_3$, 而不是 D_e 。在一轮交易中, U_c 既可以是买方, 又可以是卖方, 这取决于其碳排放权差额、交易对象属性、富余碳排放权 S_e 、平均成本和边际处理成本, 而碳汇林场 U_f 则在一轮交易中只能是卖方, 其可支配碳汇信用为监测管理部门已认证的碳汇信用中未被出售的部分, 具体市场进程见图 4。

3.1 CDM 碳汇林 ↔ 碳排放主体模式

碳排放主体 U_c 首先分别向 3 家仍有剩余碳汇信用的林场 U_{f_k} ($k=j, m, n$)发起双边谈判, 且至少有一家满足其需求。由前文所述, 在满足了自身碳排放权缺口 D_e 之外, 购买的最大富余量为 $S_e = e^0 \cdot \theta_2 - D_e$ (若 $e^0 \cdot \theta_1 < D_e < e^0 \cdot \theta_2$), 此时的交易量 $e = S_e + D_e = e^0 \cdot \theta_2$, 交易价格由碳汇林基准价格与排污价格系数决定, 即 $P = P_{\text{cer}} \cdot \rho_c$, 买方花费的成本 $C_b = P \cdot e$, 若成

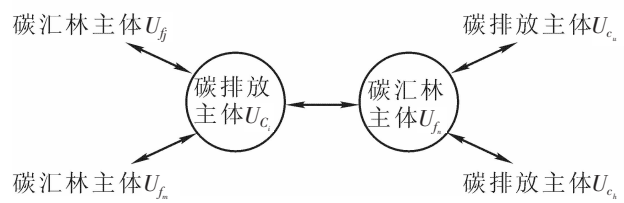


图 4 森林碳汇项目 ↔ 碳排放主体模式

Figure 4 Forest carbon sink project ↔ carbon emissions unit

本 $C_b <$ 消减率 θ 对应的消减成本 C_θ , 即买方购买排放权花费的成本小于“自消减”成本, 则认为交易可行, 此时碳排放主体收益 I_b 由 θ 对应的消减成本 C_θ, C_b 决定, 即 $I_b = C_\theta - P \cdot e = C_\theta - C_b$, 卖方碳汇林场因政府“多退少补”政策, 收益 I_s 没有受到价格系数 ρ_c 的影响。

$$I_s = P \cdot e - (\rho_c - 1) \cdot P \cdot e - P_c \cdot e = P \cdot e (2 - \rho_c) - P_c \cdot e \tag{5}$$

式(5)中: ρ_c 为买方价格系数, $(\rho_c - 1) \cdot P \cdot e$ 为财政补贴或上缴财政部分。

在 3 轮谈判结束后, 使 U_c 获得最大买方收益 I_b 的碳汇林场为拟交易对象。根据双边谈判规则, 每个加入谈判的市场主体都有 3 个或 3 个以上的谈判对象。因此, 由 U_c 发起的 3 对谈判中, 假设其期望交易对象为碳汇林场 U_{f_n} , 在 U_{f_n} 与 U_c 的谈判结束后, 仍然会接受其他碳排放主体的谈判邀约, 谈判模式如图 4 所示。在所有谈判结束后, 如果双方的期望交易对象分别为对方, 则最终成功交易, 在下文的其他交易模式中, 这个规则同样适用。

然而, 在现实情况下, 碳排放权为紧缺资源。一些较早发起双边谈判的碳排放主体, 赢得了时间优势, 使其更有机会在满足自身缺口的同时, 额外获得一定的排放权用于出售。因此, 碳排放主体 U_c 发起的谈判中, 可能出现 3 家均不能满足其缺口的情况, 此时, 碳汇林场 U_{f_k} ($k=j, m, n$) 的剩余储碳量分别为 $R_{\text{scer}_j}, R_{\text{scer}_m}$ 和 R_{scer_n} , U_c 与交易价格最低的卖方进行交易; 由于卖方剩余储碳量 R_{scer} 不够, U_c 与价格稍高的 U_f 交易, 并依次类推, 直至购买量达到 $e \cdot \theta$ 或者 U_f 的全部剩余碳汇信用。

如: 碳汇林场 U_{f_n}, U_{f_m} 在本次谈判中将剩余可认证储碳量拟全部出售, 由于交易量已经达到最大, U_f 与其他碳排放主体谈判获得的收益不会超过本次谈判, 因此, 碳汇林场 U_{f_n}, U_{f_m} 放弃接受其他碳排放主体的谈判邀约。此时, 交易量 $e = R_{\text{scer}_j} + R_{\text{scer}_m} + e_x$ (R_{scer} 为 U_{f_n}, U_{f_m} 的剩余碳汇信用, e_x 可能等于也可能小

于 U_j 的剩余碳汇信用)。买方成本：

$$C_b = P_j \cdot R_{scer_j} + P_m \cdot R_{scer_m} + P_n \cdot e_x \quad (6)$$

式(6)中： P_j, P_m, P_n 为 U_{e_i} 与 U_{f_k} ($k=j, m, n$) 分别形成的双边交易价格，买方相对收益不考虑其可能获得的用于出售的富余信用，此时：

$$I_b = T_{\text{def}}(\theta_{l_2}) - C_b \cdot \frac{Dl - e l_2}{e} \quad (7)$$

式(7)中： $T_{\text{def}}(\theta_{l_2})$ 离散消减成本函数， e 为交易量， e^0 碳总排放量， C_b 购买排放权成本。卖方收益分别为：

$$I_{s_i} = P_i \cdot R_{scer_i} - (\rho_{e_i} - 1) \cdot P_i \cdot R_{scer_i} - P_c \cdot R_{scer_i} = P_i \cdot R_{scer_i} (2 - \rho_{e_i}) - P_c \cdot R_{scer_i} \quad (i=j, m) \quad (8)$$

$$I_{s_i} = P_i \cdot e_x - (\rho_{e_i} - 1) \cdot P_i \cdot e_x - P_c \cdot e_x = P_i \cdot e_x (2 - \rho_{e_i}) - P_c \cdot e_x \quad (i=n) \quad (9)$$

式(8)(9)中： P_i ($i=j, m, n$) 为交易价格， ρ_{e_i} 为价格系数， R_{scer} 为碳汇林场剩余碳排放权， P_c 为碳汇林场单位碳汇信用成本， e_x 为待定量。

3.2 碳排放主体 ↔ 碳排放主体模式 (一)

随着市场进程的进一步推进，产生了一部分握有富余排放权 S_e 的碳排放主体，其根据排放权的购买价格和当前市场的价格走势，考虑在适当的时候以卖方身份主动发出谈判邀约，或者委托相关机构公开拍卖碳排放权，同时，需求方也可在参考市场信息的同时向市场公开求购信息，并选择时机接受卖方邀约。

3.2.1 主动发起谈判 此时的交易价格由富余排放权的购买价格 ρ_l ，卖方价格系数 ρ_{e_i} ，买方价格系数 ρ_{e_s} ，市场进程的推进对价格的影响因子 $T_p(t)$ ($t \geq 0$) 决定，即 $P = \{(\rho_{e_s} - \rho_{e_i}) + 1\} \cdot \{\rho_l \cdot T_p(t)\}$ ，其中 $\rho_l \cdot T_p(t)$ 是卖方的预期收益差价。如握有富余排放权的 U_{e_i} 向市场公开其报价(图 5)。 U_{e_k} ($k=l, h, u$) 由于之前的谈判一直未获得理想的结果，随着时间的推移，市场上碳排放权价格因供应量的减少而不断上涨，因此，在多次观察听取各个卖方的报价，并综合考虑价格系数对购买成本的影响后，选择接受邀约，且不优先考虑 U_{e_i} 提供的排放权是否满足其缺口。在一轮谈判中，卖方 U_{e_i} 报出的期望交易价格为：

$$P = \{(\rho_{e_s} - \rho_{e_i}) + 1\} \cdot \{\rho_l \cdot T_p(t)\} \quad (10)$$

由于发起方 U_{e_i} 在谈判中占有主导地位，买方 U_{e_k} ($k=l, h, u$) 的购买量 e 是本轮中卖方决定同哪方进行交易的判断标准，此时，买方成本为：

$$C_b = P \cdot e = \{(\rho_{e_s} - \rho_{e_i}) + 1\} \cdot \{\rho_l \cdot T_p(t)\} \cdot e \quad (11)$$

买方收益为
$$I_b = T_{\text{def}}(\theta_{l_x}) - C_b \cdot \frac{Dl - e l_x}{e} \quad (12)$$

卖方收益为
$$I_{s_i} = (P_i - P_l) \cdot e \quad (13)$$

式(10)(11)(12)(13)中： P_l 为购买价格， ρ_{e_i} 为卖方价格系数， ρ_{e_s} 为买方价格系数， $T_{\text{def}}(\theta_{l_x})$ 离散消减成本函数， $T_p(t)$ ($t \geq 0$) 为市场推进对价格的影响因子。

3.2.2 委托拍卖 拍卖起价为所持有富余排放权的购买价格 P_l ，如： U_{e_k} ($k=l, h, u$) 参与此次拍卖活动，与前一种情况类似，买方不会优先考虑 U_{e_i} 提供的排放权是否满足其缺口。此时，买方 U_{e_k} 报出的期望交易价格为：

$$P = \{(\rho_{e_s} - \rho_{e_i}) + 1\} \cdot \{\rho_l \cdot T_p(t)\} \quad (14)$$

随着拍卖过程的深入，碳排放主体 U_{e_k} ($k=l, h, u$) 在自身可承受的价格范围内依次举牌竞价，若 U_{e_i} 最终

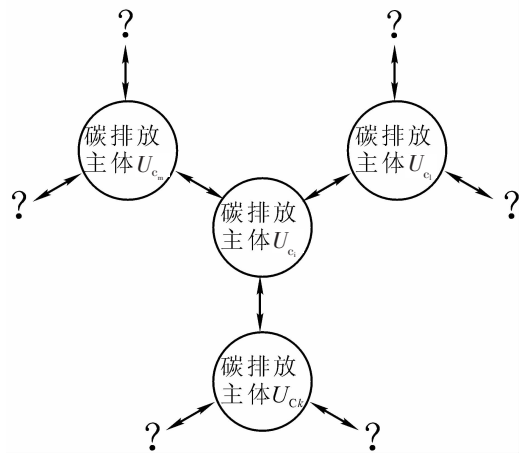


图 5 碳排放主体 ↔ 碳排放主体模式

Figure 5 Carbon emissions unit ↔ Carbon emissions unit

竞拍成功，即买方在消除了价格因子后的真实出价为最高价。此时，买方成本为：

$$C_b = P \cdot e = \{(\rho_{c_s} - \rho_{c_i}) + 1\} \cdot \{\rho_l \cdot T_p(t)\} \cdot e \quad (15)$$

买方收益为

$$I_b = T_{\text{def}}(\theta_{l_x}) - C_b \cdot \frac{D_l - e_{l_2}}{e} \quad (16)$$

卖方收益为

$$I_s = (P_i - P_l) \cdot e \quad (17)$$

式(14)(15)(16)(17)中： ρ_l 为购买价格， ρ_{c_i} 为卖方价格系数， ρ_{c_s} 为买方价格系数， $T_{\text{def}}(\theta_{l_x})$ 离散消减成本函数， $T_p(t)$ ， $(t \geq 0)$ 为市场推进对价格的影响因子。

3.3 碳排放主体 ↔ 碳排放主体模式(二)

当市场进程临近了政府管理单位进行减排结果核查的最后期限，由于碳汇林所能提供的碳汇信用越来越少，直至为0，仍有碳排放缺口的单位不得不通过自消减来达到国家标准。由于各排放主体管理水平、处理设备等等差异，导致其单位消减成本也不一样。正是基于这一点，本研究构建了一种基于自消减与边际成本下的交易模式，某一离散消减率下，边际成本较大的一方，购买边际成本较小一方自消减后的富余碳汇信用，交易价格为双方边际成本之和的一半，由于价格系数的存在，买方的真实出价在考虑价格系数后若大于其自消减成本，意味着购买碳汇信用的成本更高，则交易中止，并且，卖方是否能满足买方的缺口也是决定交易能否成功的条件之一。例如， U_{c_i} 与 U_{c_s} 谈判， U_{c_i} 、 U_{c_s} 的碳排放缺口 D_e 对应的消减率在 θ_{i_1} 、 θ_{i_2} 和 θ_{j_2} 、 θ_{j_3} 之间，由于 θ_{i_2} 对应的边际成本 M_{i_2} 大于 M_{j_3} ，且对买方 U_{c_i} 而言，真实交易价格 $P = \{(\rho_{c_s} - \rho_{c_i}) + 1\} \cdot \frac{(M_{i_2} + M_{j_3})}{2}$ 小于 M_{j_2} ，此时，卖方 U_{c_s} 将消减率提至 θ_{j_3} ，产生的富余排放权出售给 U_{c_i} ，而 U_{c_i} 的自消减率为 θ_{i_1} ，若交易量满足全部缺口，则双方互为拟交易对象，交易量 $e = \theta_{j_3} \cdot e^0 \cdot D_{e_j}$ ，买方成本 $C_b = P \cdot e = \{(\rho_{c_s} - \rho_{c_i}) + 1\} \cdot \frac{(M_{i_2} + M_{j_3})}{2} \cdot (\theta_{j_3} \cdot e^0 \cdot D_{e_j})$ 。

值得注意的是，若买方购买交易量超过其碳排放缺口，富余的部分用作拍卖或二次出售，在计算买方相对收益时不考虑这一部分。

$$I_b = (T_{\text{def}}(\theta_{i_2}) - T_{\text{def}}(\theta_{i_1})) \cdot \left(\frac{D_i - e_{i_1}}{e_{i_2} - e_{i_1}} \right) - C_b \cdot \frac{D_e - e_{i_1}}{e} = \frac{(T_{\text{def}}(\theta_{i_2}) - T_{\text{def}}(\theta_{i_1})) \cdot (D_i - e_{i_1})}{e_{i_2} - e_{i_1}} - \{(\rho_{c_s} - \rho_{c_i}) + 1\} \cdot \frac{(M_{i_2} + M_{j_3}) \cdot (e_{j_3} - D_{e_j}) \cdot (D_{e_i} - e_{i_1})}{2e} \quad (19)$$

卖方成本：

$$C_s = \{T_{\text{def}}(\theta_{j_3}) - C(\theta_{j_2})\} \cdot \frac{e_{j_3} - D_{e_j}}{e_{j_3} - e_{j_2}} \quad (20)$$

由于财政补贴的存在，卖方计算收益时的真实价格 P_r 应消除价格系数的影响：

$$I_s = P_r \cdot e - C = \frac{P}{(\rho_{c_s} - \rho_{c_i}) + 1} \cdot (e_{j_3} - D_{e_j}) - \{T_{\text{def}}(\theta_{j_3}) - T_{\text{def}}(\theta_{j_2})\} \cdot \frac{e_{j_3} - D_{e_j}}{e_{j_3} - e_{j_2}} \quad (21)$$

式(18)(19)(20)(21)中： P 为交易价格， D_e 为碳排放差额， e 为交易量， e_i 为主体 i 在 y 点的消减量， P_r 为消除价格系数影响的真实价格， M_{i_k} 为主体 i 在第 k 个消减率时的边际成本， $C(\theta)$ 为离散总成本函数 $T_{\text{def}}(\theta)$ 在 θ 点的离散成本。

3.4 碳汇林交易流程

如图6所示。

4 讨论

本研究在现行国内外碳交易市场的基础上，初步构造了双边谈判交易市场模式，并根据市场发展的普遍规律和碳汇交易的特点依次构建了3种交易方案，意在充分发挥市场对环境资源的优化配置作用，且市场中需求主体的交易运作以满足碳排放标准为提前，以获得最大经济效益为目的，经过多轮次谈判，最终实现各碳排放主体达到排放要求并获得最大相对收益的目的^[7]。此模式主要有以下特点：①重

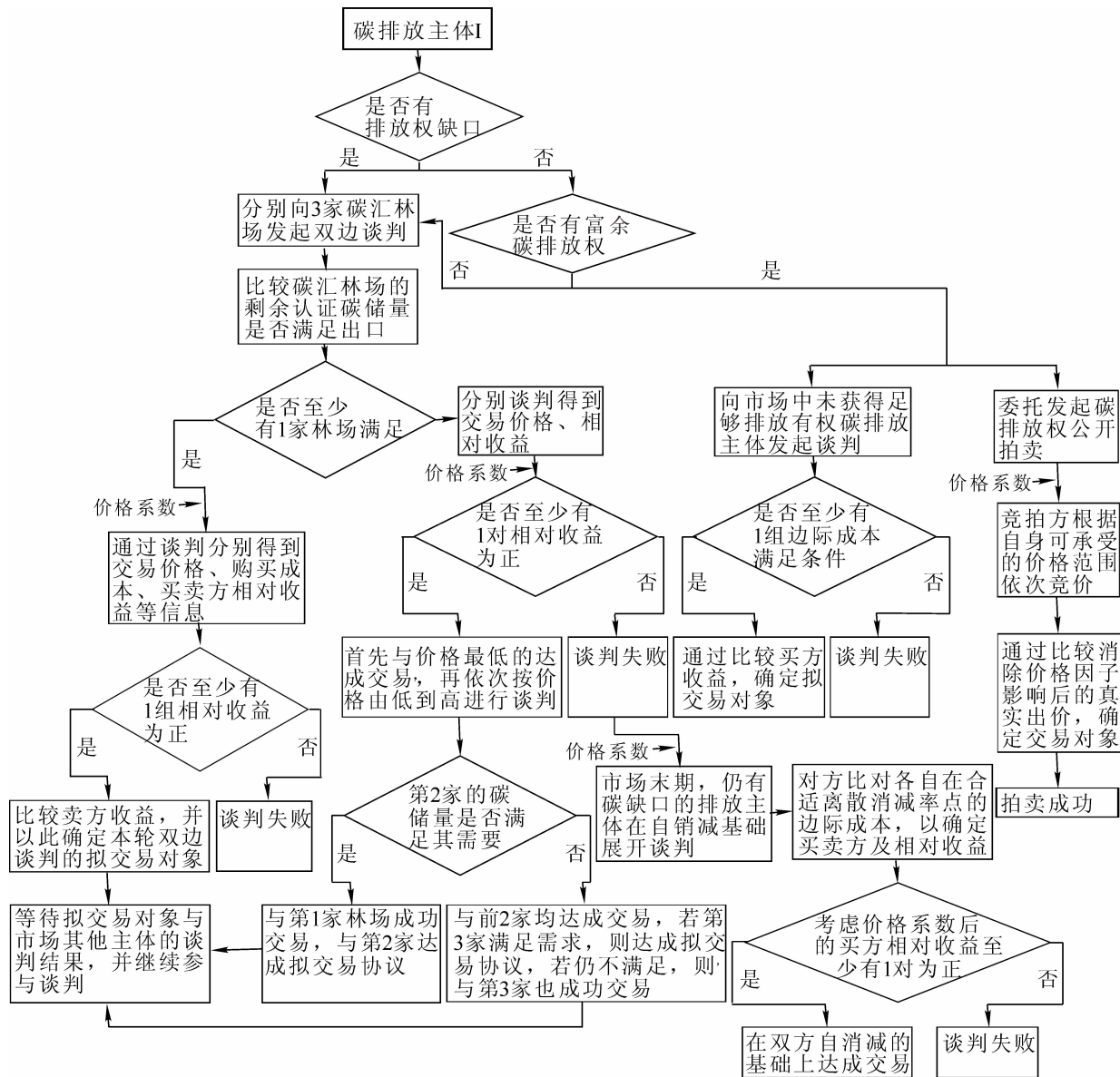


图 6 交易流程模拟图

Figure 6 Bilateral deal flow

点讨论了碳排放主体与碳排放主体间的 2 种交易情形，尤其针对了总碳汇信用不足的现实情况，提出部分主体在双方“自消减”基础上依据离散消减率点的边际成本展开双边谈判的新模式，并给出了成本、收益的计算公式。②为了尽可能避免自由市场中恶意哄抬、囤积碳汇信用的现象产生，作为初始供方的森林碳汇项目的碳汇信用价格通过行政手段加以控制，机会成本为林地用作常规生产时的利润，其价格的上行下调有着严格的审批过程和周期；③价格系数的引入使交易模式赋予了社会属性，买方收益与系数直接相关，进而起到调控地区环境质量和高排放企业分布的目的，卖方的直接收益不受影响，由于双边谈判多轮次交叉谈判的性质，买方利益会波及至卖方，因而对卖方地区环境同样有积极的作用。

然而，交易模式本身仍较简陋，有着诸多需要进一步探究的地方，主要有以下几点：①在模型的初步设想中，交易成本并未纳入考虑，而在现实下，交易成本是影响交易能否成功的重要因素，例如文中所提到的多种交易情形，其交易成本的大小和组成都是不一样的，在碳排放主体←→碳排放主体模式中，由于国内中小企业的特征是分布广、数量多、高排放，对它们而言，通过自身来寻求可用碳汇信息的成本过高，因此，专业的信息服务机构应在政府的引导下建立，提供咨询查询业务，以调动企业的积极性，缩短信息获取的周期，以尽早展开双边谈判^[8]。②各单位的初始碳排放权直接关系到模型中其碳汇信用的额度需求，排放单位所在地区、排放量大小、生产方式等等都与初始排放权分配有关，而具体

是有偿分配还是无偿分配又涉及到公平性与合理性问题,也关系着企事业单位的经营发展,因而,寻求一种在透明公开环境下切实可行的分配机制是亟待解决的问题。③碳汇财政补贴制度是调控地区环境质量的重要手段,文中是依据地区环境质量目标与实际环境质量的差距来影响交易价格。因而,买方实际出价可能高于或低于基准价格,财政补贴卖方因低价造成的损失,而高价形成的多余收益则要上缴财政。在这个过程中,围绕补贴和上缴,应制定详尽的政策和管理办法,既保证国家利益又充分考虑卖方利益。④森林碳汇项目的属性是既肩负社会责任又以追求经济利益为目的,因此,碳汇林的价格监管制度的建立显得尤为重要,主要有以下几个方面:一是森林碳汇项目在某一期间内,可用于出售的认证碳汇信用;二是在定价机制中,土地机会成本同时是林场开展碳汇项目的利润,机会成本的核算方法既关系到林场种植碳汇林的积极性,又关系着碳排放企业购买碳汇信用的主动性,因碳汇信用是紧缺资源,作为初始供方的碳汇林场,其价格的稳定是交易市场能够有序推进的基石,也是其社会责任的重要体现^[9]。⑤双边谈判是市场产物,谈判本身不受到监管,若双方决定交易,碳汇信用的转移和使用应被监管机构详细记录。如果交易发生,双方没有主动邀请第三方机构证明交易结果真实有效,则交易视为无效。

参考文献:

- [1] 罗胜. 中国碳排放权交易市场问题与对策分析[J]. 中国-东盟博览, 2011 (1): 33 - 40.
LUO Sheng. China's carbon emissions trading market analysis on problems and countermeasures [J]. *China-Asean Exp*, 2011 (1): 33 - 40.
- [2] 宋蕾. 碳市场发展趋势与中国碳交易研究[J]. 生产力研究, 2011 (2): 5 - 12.
SONG Lei. On development of coal market and coal trade in China [J]. *Prod Res*, 2011 (2): 5 - 12.
- [3] 娄玉娥, 文冰. 基于森林碳汇的生态系统服务市场化分析[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31 (1): 80 - 86.
LOU Yue'e, WEN Bing. Marketing analysis of the forest ecosystem service based on carbon sequestration trade theory [J]. *J Southwest For Univ*, 2011, 31 (1): 80 - 86.
- [4] 何栋材. 森林固碳效益的经济核算[J]. 干旱地区资源与环境, 2009, 23 (4): 197 - 202.
HE Dongcai. The economic account of forest carbon fixing benefit: a case in Xiaolongshan forestry region in Gansu Province [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2009, 23 (4): 197 - 202.
- [5] 王文丽. 有限离散函数的导数和性质[J]. 大学数学, 2005 (3): 111 - 112.
WANG Wenli. Derivatives and properties of finite discrete functions [J]. *Coll Math*, 2005 (3): 111 - 112.
- [6] 张琪, 邹坤. 排污权定价机制初探[J]. 环境科技, 2010, 23 (1): 62 - 64.
ZHANG Qi, ZOU Kun. Study on pricing mechanism of emission permits [J]. *Environ Sci Technol*, 2010, 23 (1): 62 - 64.
- [7] KLING C L. Environmental benefits from marketable discharge permits or an ecological vs. economic perspective on marketable permits [J]. *Ecol Econ*, 1994, 11: 57 - 64.
- [8] 于天飞, 沈文星. 碳排放权交易的市场分析[J]. 林业经济, 2008 (5): 62 - 64.
YU Tianfei, SHEN Wenxing. Carbon emissions trading market analysis [J]. *For Econ*, 2008 (5): 62 - 64.
- [9] 徐珺. 美国森林碳汇交易机制、实践及启示[J]. 华北金融, 2010 (9): 19 - 21.
XU Jun. The united states forest carbon trading mechanism, practice and enlightenment [J]. *Huabei Finance*, 2010 (9): 19 - 21.
- [10] 周晓唯, 张金灿. 关于中国碳交易市场发展路径的思考[J]. 经济与管理, 2011, 25 (3): 82 - 84.
ZHOU Xiaowei, ZHANG Jincan. Consideration on development path of China's carbon trading market [J]. *Econ Manage*, 2011, 25 (3): 82 - 84.
- [11] 雷立钧, 荆哲峰. 国际碳交易市场发展对中国的启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21 (4): 32 - 34.
LEI Lijun, JING Zhefeng. Development of international carbon market and its enlightenment for Chinese carbon market construction [J]. *China Popul Resour Environ*, 2011, 21 (4): 32 - 34.