

# 欧盟碳排放权交易价格、能源商品和股票市场的相关性研究——基于动态条件相关性方法

黄志伟

广州理工学院经济管理学院, 广东 广州 510540

DOI:10.61369/SE.2026010012

**摘 要 :** 本文运用 Engle (2002) 提出的动态条件相关 GARCH 模型 (DCC-GARCH Model), 研究欧盟碳排放权交易价格、能源商品与欧洲股票市场间的条件相关性。实证发现, 2005~2007 年间, 碳排放权交易价格、能源商品与股票市场之间存在固定的条件相关性; 2008~2012 年间, 碳排放权交易价格、能源商品与股票市场之间存在动态的条件相关性, 并且各能源商品市场与股票市场之间也存在动态的条件相关性。进一步发现金融危机后动态条件相关性, 呈现明显增加的趋势。

**关 键 词 :** 碳排放权交易价格; 动态条件相关性; 双变量 DCC-GARCH 模型

## The Correlation between EU Emissions Trading Price and Energy Commodities and Stock Market —Based on Dynamic Conditional Correlation Method

Huang Zhiwei

School of Economics and Management, Guangzhou Institute of Science and Technology, Guangzhou, Guangdong 510540

**Abstract :** In this paper, we apply the dynamic condition correlation (DCC) bivariate GARCH model, proposed by Engle (2002), to investigate conditional correlation on European Union Allowance (EUA) and those of other commodities and European stock market under the EU ETS is organized in distinct phases. The empirical results are as follows: First, the EUA and those of other commodities and stock market cannot reject the null hypothesis of a constant conditional correlation within the first phase of the market. Second, the EUA and those of other commodities and stock market reveals that the dynamic conditional correlation behavior under the second phase. Third, the estimates of the correlation coefficient suggest that an increasing tendency of correlation coefficient between EUA and those of other commodities and stock market is significantly related to the global financial crisis.

**Keywords :** carbon emission trading price; dynamic conditional correlation; bivariate DCC-GARCH model

### 前言

目前科学上已经证明全球变暖与温室气体排放存在着密不可分的关系, 且政府间气候变化委员会 (IPCC) 在 2007 年的报告也强调, 人类活动很可能是气候变暖的主要原因, 并将这种可能性从 2001 年的约 66% 提升到 90% 以上。气候文献 (Hansen and Lebedeff, 1988; Vinnikov et al., 1990; Stern, 2007; Jones, 2013) 亦指出, 若不采取任何措施控制人类活动排放的温室气体, 全球将更为普遍地爆发极端气候。因此, 《排放交易机制》的减排机制规定已经完成减排义务的缔约国家 (主要为工业先进国家), 可将剩余未使用的排放量, 以贸易方式转让给另外一个尚未完成减排义务的缔约国家。排放交易在京都议定书项下称为“排放权单位” (Assigned Amount Units, AAU), 在欧盟排放交易计划项下则称为“欧盟碳排放权配额” (European Union Allowance, EUA)。目前二氧化碳管制排放交易体系中, 欧盟交易体系 (EUETS) 是全球最大的跨国与跨部门排放交易体系。依据世界银行公布资料显示, 欧盟交易体系的交易规模占全球二氧化碳管制排放市场总交易金额将近八成, 确立了欧盟交易体系在国际间温室气体排放交易制度的指标地位, 因此, 本文将以前欧盟碳排放权配额 (EUA) 为对象进行研究。

欧盟交易体系中的碳排放交易可分为三个发展阶段, 第一阶段为 2005 至 2007 年, 目的在于获得执行总量管制交易的经验; 第二阶段为 2008 至 2012 年, 这期间开始执行《京都议定书》的内容, 并且欧盟更进一步规范, 第一阶段未使用的碳排放权配额不可储存或预

借至第二阶段，以避免试运期间不合理价格进入正式营运阶段；第三阶段为2013至2020年，目前仍未提出明确的执行内容。在第一、二阶段，欧盟交易体系的各会员国必须对国内厂商进行碳排放权的配额管制，这种管制也直接或间接地影响了能源商品的价格与经济活动。例如，煤炭（Coal）、原油（Oil）及电力（Electricity）作为最主要的能源来源、工业发展的基石，其价格波动势必会影响到物价水平和经济发展。同时，煤炭、原油及电力等能源商品所产生的碳排放量皆有所不同，当厂商受到碳排放权配额管制时，势必对厂商的经营决策产生影响，进而影响金融市场的活动与发展（Mansanet-Bataller et al., 2007; Carmona et al., 2010; Kara et al., 2008; Oberndorfer, 2009; Gronwald et al., 2011）。

目前已有多篇文献探讨了碳排放权的计量模型及其对能源商品与金融市场的影响（Paolella and Taschini, 2008; Seifert et al., 2008; Benz and Trück, 2009; Daskalakis et al., 2009; Uhrig-Homburg and Wagner, 2009; Gronwald et al., 2011），但皆是以整个交易发展期间为样本，而不同发展期间，碳排放权配额的管理存在不同，碳排放权交易价格、能源商品与股票市场间的相关性可能存在差异。因此，本文将采用多变量 GARCH 模型针对第一、二阶段的碳排放交易情况，研究碳排放权配额、能源商品与股票市场间的相关性，以及这种相关性是否在不同的排放交易阶段有所不同。

现有采用多变量 GARCH 模型的文献中，大多假设资产间的相关性为固定（Bollerslev, 1990），即二序列的残差项为固定条件相关（Constant Conditional Correlation，以下简称 CCC）。Tsui and Yu（1999）认为资产间的相关性为固定的假设是不合理的，因为当时间序列面临结构性影响时，则可能会使估计出的相关性产生偏误的现象。为解决 CCC 不合理的假设，Engle（2002）提出动态条件相关（Dynamic Conditional Correlation，以下简称 DCC）下的双变量 GARCH 模型，即假设资产间的相关性会随着时间改变而改变。由于该模型较符合一般性假设，故多变量 DCC-GARCH 模型被大量应用在股票市场及外汇市场间报酬波动的相关性研究，并发现金融市场及国际市场之间皆具有动态相关性的特点（Longin and Solnik, 1995; Bautista, 2003; Lee et al., 2006; Savva, 2009; Naoui et al., 2010）。

基于全球化投资与国际投资组合风险管理的需要，市场间的相关性研究已成为非常重要的课题（Chevallier, 2009），故本文将利用双变量 CCC-GARCH 模型及双变量 DCC-GARCH 模型对欧盟碳排放权配额、能源商品与股票市场的关系进行分析，并进一步探讨碳排放权配额在不同交易阶段与能源商品、股票市场的条件相关性的变化。

## 一、条件相关性检定及计量模型的建构

Engle（2002）改进既有文献对于多变量 GARCH 的下，资产间相关系数为固定的假设以及多变量 GARCH 模型估计参数甚多等缺点，发展出多变量 DCC-GARCH 模型，此模型保留原先 Bollerslev（1990）多变量 CCC-GARCH 模型简洁的估计方式，同时考虑相关系数随时间变动的特性。另外，在参数估计方面，多变量 DCC-GARCH 模型也较为简洁，其估计过程采二阶段估计方式，首先估计个别单变量 GARCH 模型的参数，接着再由各单变量 GARCH 模型产生的标准化残差进行动态相关性参数值的估计。多变量 DCC-GARCH 模型如下所示：

$$\begin{aligned} r_t &= E(r_t | \Phi_{t-1}) + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t | \Phi_{t-1} \sim N(0, H_t) \\ H_t &= D_t R_t D_t \end{aligned} \quad (1)$$

由上式可知多变量 DCC-GARCH 模型与多变量 CCC-GARCH 模型其主要差异为动态条件相关性矩阵  $R_t$ ，其  $R_t$  设定如下：

$$\begin{aligned} R_t &= (Q_t^*)^{-1} Q_t (Q_t^*)^{-1} \\ Q_t^* &= \text{diag}(\sqrt{q_{11,t}}, \sqrt{q_{22,t}}) \quad i \neq j \\ Q_t &= \bar{Q} \left( 1 - \sum_{m=1}^M \alpha_m - \sum_{n=1}^N \beta_n \right) + \sum_{m=1}^M \alpha_m (v_{i,t-1} v'_{i-t-m}) + \sum_{n=1}^N \beta_n Q_{t-n} \\ q_{ij,t} &= \rho_{i,j} + \alpha (v_{i,t-1} v_{j,t-1} - \rho_{i,j}) + \beta (q_{ij,t-1} - \rho_{i,j}) \end{aligned} \quad (2)$$

## 二、实证结果分析

从表1可知，因第一阶段目的在于获得执行总量管制交易的经验，故碳排放权配额与能源商品及股票市场间的相关性并不显著。但在京都议定书正式营运的第二阶段，碳排放权配额与能源商品及股票市场间的  $\beta$  皆显著且系数均落在0.8至0.9的间，表示碳排放权配额与能源商品及股票市场二序列的间，其动态条件相关性具有高度持续性，亦即二列间动态相关系数受到前期系数高度正向影响。 $\alpha$  值方面，其值皆比  $\beta$  系数值小，表示二序列的间动态条件相关系数受到前期标准化残差的影响小于动态条件相关系数的跨期效果。

表1: 双变量 DCC-GARCH 与 CCC-GARCH 模型参数估计结果

$$\begin{aligned} r_{i,t} &= \mu_i + \theta_i r_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t} \\ r_{j,t} &= \mu_j + \theta_j r_{j,t-1} + \varepsilon_{j,t} \\ h_{i,t} &= w_i + a_i \varepsilon_{i,t-1}^2 + b_i h_{i,t-1} \\ h_{j,t} &= w_j + a_j \varepsilon_{j,t-1}^2 + b_j h_{j,t-1} \\ q_{ij,t} &= \rho_{i,j} + \alpha (v_{i,t-1} v_{j,t-1} - \rho_{i,j}) + \beta (q_{ij,t-1} - \rho_{i,j}) \\ \rho_{i,j,t} &= \frac{q_{ij,t}}{\sqrt{q_{i,t} \cdot q_{j,t}}} \\ h_{ij,t} &= \rho \sqrt{h_{i,t} \cdot h_{j,t}} \end{aligned}$$

| 第一阶段       |                         |                        |                          |                          |                         |                           |                           |                          |                          |                            |
|------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
|            | $i = EUA$<br>$j = Coal$ | $i = EUA$<br>$j = Oil$ | $i = EUA$<br>$j = Elec.$ | $i = EUA$<br>$j = Stoxx$ | $i = Coal$<br>$j = Oil$ | $i = Coal$<br>$j = Elec.$ | $i = Coal$<br>$j = Stoxx$ | $i = Oil$<br>$j = Elec.$ | $i = Oil$<br>$j = Stoxx$ | $i = Elec.$<br>$j = Stoxx$ |
| $\mu_i$    | 0.00139                 | 0.00142                | 0.00131                  | 0.00127                  | 0.00188                 | 0.00202                   | 0.00215                   | 0.00125                  | 0.00124                  | 0.00097                    |
| $\theta_i$ | 0.10011                 | **                     | 0.10000                  | **                       | 0.07817                 | *                         | 0.04290                   | -0.06600                 | -0.06620                 | 0.00991                    |
| $\mu_j$    | 0.00185                 | **                     | 0.00079                  | 0.00080                  | 0.00127                 | *                         | 0.00086                   | 0.00091                  | 0.00098                  | 0.00100                    |
| $\theta_j$ | 0.09800                 | **                     | 0.10460                  | **                       | -0.03990                | 0.08210                   | -0.06280                  | *                        | 0.08940                  | **                         |
| $w_i$      | 0.00011                 | 0.00004                | 0.00004                  | 0.00001                  | 0.00003                 | 0.00002                   | 0.00003                   | *                        | 0.00004                  | 0.00001                    |
| $a_i$      | 0.36289                 | 0.36250                | 0.35960                  | 0.36010                  | 0.07368                 | 0.05102                   | 0.07090                   | 0.08690                  | 0.08640                  | 0.06030                    |
| $b_i$      | 0.73018                 | 0.73080                | 0.73140                  | 0.73160                  | 0.85612                 | 0.91404                   | 0.85520                   | 0.79840                  | 0.79860                  | 0.83570                    |
| $w_j$      | 0.00011                 | *                      | 0.00003                  | 0.00001                  | 0.00004                 | 0.00001                   | 0.00001                   | 0.00006                  | 0.00001                  | 0.00001                    |
| $a_j$      | 0.06955                 | **                     | 0.07750                  | 0.10850                  | 0.07213                 | 0.06541                   | 0.09850                   | 0.111980                 | 0.15820                  | 0.08800                    |
| $b_j$      | 0.86013                 | 0.86130                | 0.83980                  | 0.86240                  | 0.80290                 | 0.83420                   | 0.86390                   | 0.77180                  | 0.79180                  | 0.87350                    |
| $\alpha$   | -                       | -                      | -                        | -                        | 0.03180                 | 0.03069                   | 0.00511                   | 0.02710                  | 0.00203                  | 0.07750                    |
| $\beta$    | -                       | -                      | -                        | -                        | 0.46420                 | 0.90063                   | 0.95240                   | 0.69040                  | 0.70680                  | 0.58360                    |
| $\rho$     | 0.02695                 | 0.04750                | -0.06020                 | -0.09330                 | -                       | -                         | -                         | -                        | -                        | -                          |
| 第二阶段       |                         |                        |                          |                          |                         |                           |                           |                          |                          |                            |
|            | $i = EUA$<br>$j = Coal$ | $i = EUA$<br>$j = Oil$ | $i = EUA$<br>$j = Elec.$ | $i = EUA$<br>$j = Stoxx$ | $i = Coal$<br>$j = Oil$ | $i = Coal$<br>$j = Elec.$ | $i = Coal$<br>$j = Stoxx$ | $i = Oil$<br>$j = Elec.$ | $i = Oil$<br>$j = Stoxx$ | $i = Elec.$<br>$j = Stoxx$ |
| $\mu_i$    | 0.00045                 | 0.00036                | 0.00034                  | 0.00038                  | 0.00065                 | 0.00043                   | 0.00061                   | 0.00093                  | 0.00109                  | *                          |
| $\theta_i$ | -                       | -                      | -                        | -                        | 0.15958                 | 0.18800                   | 0.13679                   | -                        | -                        | 0.03696                    |
| $\mu_j$    | 0.00059                 | 0.00100                | 0.00001                  | 0.00053                  | 0.00102                 | *                         | 0.00047                   | 0.00013                  | 0.00062                  | 0.00042                    |
| $\theta_j$ | 0.18110                 | -                      | 0.06680                  | **                       | -                       | -0.00239                  | -                         | 0.04850                  | -                        | -                          |
| $w_i$      | 0.00001                 | 0.00001                | 0.00001                  | 0.00001                  | 0.00001                 | 0.00001                   | 0.00001                   | 0.00003                  | 0.00003                  | 0.00001                    |
| $a_i$      | 0.10552                 | 0.08675                | 0.10550                  | 0.10143                  | 0.06454                 | 0.06540                   | 0.07721                   | 0.12640                  | 0.13312                  | 0.10842                    |
| $b_i$      | 0.89008                 | 0.90888                | 0.88940                  | 0.89218                  | 0.92996                 | 0.92980                   | 0.92123                   | 0.82900                  | 0.82303                  | 0.87140                    |
| $w_j$      | 0.00001                 | 0.00002                | 0.00001                  | 0.00001                  | 0.00002                 | 0.00001                   | 0.00001                   | 0.00002                  | 0.00001                  | 0.00001                    |
| $a_j$      | 0.07028                 | 0.11304                | 0.11010                  | 0.10123                  | 0.10378                 | 0.10420                   | 0.09719                   | 0.11580                  | 0.10612                  | 0.09361                    |
| $b_j$      | 0.92605                 | 0.84790                | 0.86740                  | 0.88393                  | 0.86009                 | 0.86710                   | 0.88863                   | 0.85550                  | 0.87409                  | 0.89215                    |
| $\alpha$   | 0.01045                 | 0.00573                | 0.05310                  | 0.03303                  | *                       | 0.03250                   | 0.02931                   | 0.01830                  | 0.01232                  | 0.05023                    |
| $\beta$    | 0.95175                 | 0.98755                | 0.87830                  | 0.91313                  | 0.98433                 | 0.96070                   | 0.96167                   | 0.97320                  | 0.97252                  | 0.94387                    |
| $\rho$     | -                       | -                      | -                        | -                        | -                       | -                         | -                         | -                        | -                        | -                          |

说明：\*、\*\*与\*\*\*分别表示信赖水平为10%、5%与1%下是显著的。

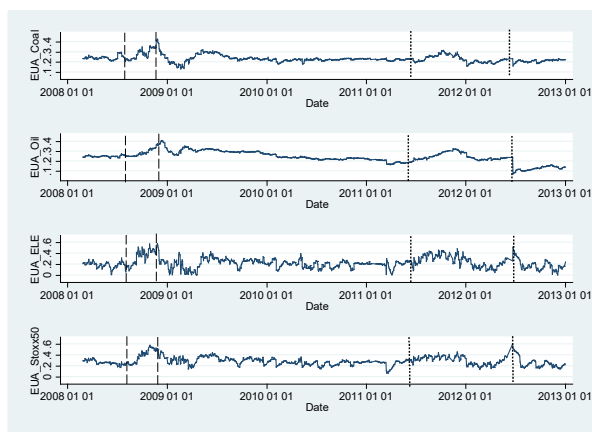


图1 第二阶段：碳排放权配额、能源商品及股票市场动态条件相关系数

最后，我们进一步发现随着2008年7月中，美国房利美（Fannie Mae）与房地美（Freddie Mac）两大房地产贷款公司爆发财务危机及2008年9月中旬雷曼兄弟公司破产，导致欧美多家银行陆续爆发财务危机，信贷紧缩加剧，造成全球股价大跌。在全球金融市场动荡不安的下，影响民间消费及投资信心，全球主要经济预测机构纷纷预期2008年下半年全球经济活动将受到抑制，欧美等国经济持续下滑，同时反映了各缔约国预期未来经济产量锐减下将不会需要庞大的排放权配额，因而出售排放权配额以取得资金，结果造成碳排放权配额、能源商品与股票市场间的动态相关系数呈现增加（图1所示），但随着2009年下半年金融海啸的退去及全球经济开始缓慢复苏，其动态相关系数也随的下降。直至，2011年中陆续爆发欧洲主权债务危机（分别为希腊、爱尔兰、葡萄牙、意大利、西班牙等五国），再次造成全球

经济产量下降，动态相关系数也随的上升，但随着希腊债务危机暂获纾缓，美国经济持续转佳，全球经济成长出现曙光其动态相关系数涨势收敛并呈现向下的趋势，透过2008年以来的金融风暴及欧洲主权债务危机，造成全球经济产能锐减再加上欧洲为主要受冲击的地区，透过碳排放权配额、能源商品与股票市场间的动态相关系数的变化，再次证实碳排放权配额会受到全球经济及金融市场变化所影响。

### 三、结论

本文透过双变量 CCC-GARCH 模型及双变量 DCC-GARCH 模型可以清楚看出，第一阶段碳排放交易制度，碳排放权配额与各能源商品及股票市场间的相关系数为一固定常数，但第二阶段碳排放交易计划，碳排放权配额与各能源商品及股票市场间的条件相关性却存在显着的动态行为且第二阶段的相关性较第一阶段高。究其原因乃第一阶段的目的在于获得执行总量管制的交易经验，故碳排放权配额与各能源商品及股票市场间的相关性波动并不显着，但是第二阶段京都议定书正式营运，再加上面临2008年全球金融风暴及2011至2012欧债危机造成经济衰退，各缔约国预期未来经济产量锐减下将不会需要庞大的排放权配额，因而出售排放权配额以取得资金，结果造成碳排放权配额与各能源商品间的动态相关系数呈现增加且波动剧烈的现象。由此可知，假设各商品彼此间的相关性为一固定常数并无法反映一般商品资产相关系数的真实情况，在目前全球化投资与国际投资组合的风险控管同时，理应考虑资产彼此的间相关性的动态行为。

### 参考文献

- [1]Bautista, C. C. (2003), Interest Rate-Exchange Rate Dynamics in the Philippines: a DCC Analysis, *Applied Economics Letters*, 10 (2), 107-111.
- [2]Benz, E. A. and S. Trück (2009), Modeling the Price Dynamics of CO<sub>2</sub> Emission Allowances, *Energy Economics*, 31 (1), 4-15.
- [3]Bollerslev, T. (1990), Modeling the Coherence in Short-Run Nominal Exchange Rate: A Multivariate Generalized ARCH Model, *The Review of Economics and Statistics*, 72 (3), 498-505.
- [4]Carmona, R., F. Max, H. Juri and P. Arnaud (2010), Market Design for Emission Trading Schemes, *SIAM Review*, 52 (3), 403-452.
- [5]Chevallier, J. (2009), Carbon Futures and Macroeconomic Risk Factors: A View from the EU ETS, *Energy Economics*, 31 (4), 614-625.
- [6]Daskalakis, G., D. Psychoyios and R. N. Markellos (2009), Modeling CO<sub>2</sub> Emission Allowance Prices and Derivatives: Evidence from the European Trading Scheme, *Journal of Banking and Finance*, 33 (7), 1230-1241.
- [7]Engle, R. (2002), Dynamic Conditional Correlation - A Simple Class of Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity Models, *Journal of Business and Economic Statistics*, 20 (3), 339-350.
- [8]Gronwald, M., J. Ketterer and S. Trück (2011), The Relationship between Carbon, Commodity and Financial Markets: A Copula Analysis, *Economic Record*, 87, 105-124.
- [9]Hansen, J. and S. Lebedeff (1988), Global Surface Air Temperatures: Update Through 1987, *Geophys. Res. Letters*, 15 (4), 323-326.
- [10]Jones, P. D. (2013). Recent warming in global temperature series. *Geophysical Research Letters*, 21(12), 1149-1152.
- [11]Kara, M., S. Syri, A. Lehtilä, S. Helynen, V. Kekkonen, M. Ruskaand and J. Forsström (2008), The Impacts of EU CO<sub>2</sub> Emissions Trading on Electricity Markets and Electricity Consumer in Finland, *Energy Economics*, 30 (2), 193-211.
- [12]Lee, M. C., J. S. Chiou and C. M. Lin (2006), A Study of Value at Risk on Portfolio in Stock Return Using DCC Multivariate GARCH, *Applied Financial Economics Letter*, 2 (3), 183-188.
- [13]Longin, F. and B. Solnik (1995), Is the Correlation in International Equity Returns Constant: 1960 - 1990, *Journal of International Money and Finance*, 14 (1), 3-26.
- [14]Mansanet-Bataller, M., P. Aigel and V. Enric (2007), CO<sub>2</sub>Prices, Energy and Weather, *The Energy Journal*, 28 (3), 73-92.
- [15]Naoui, K., N. Liouane and S. Brahim (2010), A Dynamic Conditional Correlation Analysis of Financial Contagion: The Case of the Subprime Credit Crisis, *International Journal of Economics and Finance*, 2 (3), 85-96.

- [16]Oberndorfer, U. (2009), EU Emission Allowances and the Stock Market: Evidence from the Electricity Industry, *Ecological Economics*, 68 (4), 1116–1126.
- [17]Paolella, M. S. and L. Taschini (2008), An Econometric Analysis of Emission Trading Allowances, *Journal of Banking and Finance*, 32 (10), 2022–2032.
- [18]Savva, C. S. (2009), International Stock Markets Interactions and Conditional Correlations, *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 19 (4), 645–661.
- [19]Seifert, J., M. Uhrig-Homburg and M. Wagner (2008), Dynamic Behavior of CO<sub>2</sub> Spot Prices, *Journal of Environmental Economics and Management*, 56 (2), 180–194.
- [20]Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [21]Tsui, A. K. and Q. Yu (1999), Constant Conditional Correlation in a Bivariate Garch model: Evidence from the Stock Market in China, *Mathematics and Computers in Simulations*, 48 (4), 503–509.
- [22]Uhrig-Homburg, M. and M. Wagner (2009), Futures Price Dynamics of CO<sub>2</sub> Emission Allowances: An Empirical Analysis of the Trial Period, *The Journal of Derivatives*, 17 (2), 73–88.
- [23]Vinnikov, K. Ya., P. Ya. Groisman and K. M. Lugina (1990), Empirical Data on Contemporary Global Climate Change (Temperature and Precipitation), *Journal of Climate*, 3 (6), 662–677.