

# 碳權、綠能及化石能源 ETF 價格之關聯性研究

## The Study on the Relationship among Carbon Rights, Green Energy, and Fossil Energy ETF Prices

劉文祺 (Wen-Chi Liu)  
大葉大學財務金融學系 副教授  
Associate Professor, Department of Finance, Da-Yeh University

黃育婷 (Yu-Ting Huang)  
大葉大學管理學院碩士班財務金融組 研究生  
Master, Master's Program, School of Management, Da-Yeh University

### 摘要

本研究之研究期間訂為2020年7月31日（五）至2023年3月3日（五），共136週資料，加以探討碳權ETF（KRBN）與綠能類股ETF（ICLN清潔能源、TAN太陽能、FAN風能）及化石能源類股ETF（XOP石油探勘、FCG天然氣）三大類ETF兩兩間價格之關聯性。以下為本研究獲得以下之結論：

化石能源類股ETF（XOP石油探勘、FCG天然氣）價格顯著領先碳權ETF（KRBN）價格一週正向變動，而碳權ETF（KRBN）價格則顯著領先綠能類股ETF（ICLN清潔能源、TAN太陽能、FAN風能）價格一週反向變動。亦即，化石能源類股ETF為碳權ETF（KRBN）價格的領先指標，碳權ETF（KRBN）價格則為綠能類股ETF價格的領先指標。

**關鍵字：**碳權ETF; 綠能ETF; 化石能源ETF; 向量自我迴歸模型

### Abstract

The research period of this study is set from July 31, 2020 (Friday) to March 3 (Friday), 2023, with a total of 136 weeks of data, to explore the relationship between three types of ETFs, including the Carbon Rights ETF (KRBN) and Green Energy ETFs (ICLN Clean Energy, TAN Solar Energy, FAN Wind Energy) and Fossil Energy ETFs (XOP Oil Exploration, FCG Natural Gas). The conclusions were obtained in this study as follows:

Fossil Energy ETFs (XOP Oil Exploration, FCG Natural Gas) significantly positively led Carbon Rights ETFs (KRBN) for a week. In contrast, Carbon Rights ETFs (KRBN) significantly negatively led Green Energy ETFs (ICLN Clean Energy, TAN Solar Energy, FAN Wind Energy) for a week. That is to say, the Fossil Energy ETF was the leading indicator of the Carbon Rights ETF (KRBN), and the Carbon Rights ETF (KRBN) was the leading indicator of the Green Energy ETF.

**Keywords:** Carbon Rights ETF; Green Energy ETF; Fossil Energy ETF; Vector Autoregressive Model

## 壹、緒論

近年來綠能環保、節能減碳問題一直備受人們關注的議題，尤其是自 2020 年 COVID-19 疫情爆發以來，種種因素使得人們停下腳步來，好好檢視自己的生活周遭，才發現自身生活中多數以來，大家持續不斷的使用化石能源，例如汽車燃料用汽油、火力發電所燃燒的煤炭、各類化學排放使得地球在大氣中的溫室氣體排放濃度日益增加，造成溫度上升，以至於溫室效應使得寒帶冰山冰河逐漸溶解，近而海平面上升造成海島國的淹沒，沙漠化現象擴大等，生態環境系統嚴重失衡。

根據「巴黎協定」中提到，各國協議減少溫室氣體的排放，使其排碳的減少暫緩其極端氣候產生，因人類在疫情期間減少外出，降低環境破壞，使得地球能夠喘一口氣。

有證據指出，地球變得越來越熱，溫室效應逐年提高。根據世界氣象組織的數據，有記錄以來最熱的 20 年，是在過去 22 年中，而最熱的四年（2015 年至 2018 年）都是最近的。全球氣溫平均現在比以前工業時代高  $1.2^{\circ}\text{C}$  ( $2.16^{\circ}\text{F}$ )。

雖然度數聽起來並不多，但現實是這種逐漸變暖似乎已經產生了負面影響。更重要的是，如果最近環境破壞的趨勢繼續下去，地球生態情況將會更惡化，預計到 2100 年全球氣溫將上升  $2.7^{\circ}\text{C}$  ( $4.86^{\circ}\text{F}$ )。

即使全球氣溫略有上升，仍能感受到氣候變化的影響，天氣模式不穩定，其中便包括熱浪、洪水和強風暴、極地冰層消失和海平面上升。可想而知，如果全球暖化，氣候變暖加劇，這種情況只會變得更糟，大氣層的破壞更為嚴重。

中國和美國根據 COP26（第二十六屆聯合國氣候變遷大會）會議後，兩國均發表聯合聲明，共同承諾未來 10 年加強氣候合作，並將逐一討論一系列問題，協商訂定了步驟，其中包括：甲烷排放、脫碳、向清零碳排目標邁進。

本研究主要在探討碳權價格，在烏俄戰爭下其他市場波動影響上也出現意見分歧的情況，然而，在造成碳權價格波動的除了經濟成長 GDP，替代能源的成本、和氣候等因素外，石油與天然氣的價格波動與極端氣候（連續 3 天以上酷熱或嚴寒），對於碳權價格的變異，是否有顯著性的效果，煤炭市場價格波動是否反而不具顯著性等，都是本研究研究的方向。

聯合國第 27 屆氣候變遷大會（COP27）中討論俄烏戰爭爆發，引發歐洲能源短缺、全球能源價格飆漲與通膨，加上極端災變不斷等問題，使得碳交易、乾淨能源及化石能源，競相成為各國討論的議題，也引發了本研究找尋探討碳權、綠能及化石能源 ETF 價格關聯性與其在烏俄戰爭中，所誘發的能源危機下所產生的變化等動機。本研究期望以向量自我迴歸模型，求得碳權、綠能及化石能源 ETF 價格關聯性與其在烏俄戰爭中三個變數之領先落後關係，以作為日後投資人投資之參考標的。

本研究之研究期間為 2020 年 7 月 31 日（五）至 2023 年 3 月 3 日（五），共 136 週資料，主要是研究 COVID-19 疫情期間加以探討碳權 ETF（KRBN）與綠能類股 ETF（ICLN 清潔能源、TAN 太陽能、FAN 風能）及化石能源類股 ETF（XOP 石油探勘、FCG 天然氣）三大類 ETF 兩兩間價格之關聯性。因受限於 KRBN 碳權 ETF 資料

的長度，2020年7月30日才成立，故研究期間由2020年7月31日（五）為起點。本研究應用向量自我迴歸模型，希望獲得三大類ETF兩兩間價格之關聯性之領先落後關係，因此議題屬於先期之研究，也是全世界關心的議題，因此研究的成果，應能為政府制定政策及投資人投資的參考。

## 貳、文獻探討

以下將分五個部分進行文獻探討：第一部分為二氧化碳排放及巴黎協定；第二部分為碳權簡介；第三部分為碳權及綠能ETF；第四部分為石油類股、天然氣類股及煤礦類股三類ETF；第五部分為相關論文探討。

### 一、二氧化碳排放及巴黎協定

就目前日常所用的各種天然氣、煤炭、石蠟、燃油、燃氣所使用過程都會產生出大量的二氧化碳，例如買一件服飾，口渴所喝的瓶裝水，就連平常點一個外送，也都會在製作跟運輸過程當中產生碳排放。民眾的生活日常、交通運輸工具中包含飛機、火車、汽車、機車等，也會二氧化碳大量排放。人們參與任何活動都有可能造成碳排放，所有的排放燃燒過程中不管是人的行為或是自然行為都會產生二氧化碳，舉例來說如一般家庭簡單開伙做飯；其有機物在分解過程、發酵過程、腐爛過程、變質過程都會產生二氧化碳。實際上，我們每天的生活中與碳排放息息相關，密不可分。全世界各國都在努力的朝向減少碳排，期望地球溫度不會急遽上升。

「巴黎協定」規範各國政府必須制定和實施政策以實現其國家自主貢獻承諾，同時考慮如何提高其雄心水平。對於許多發展中國家而言，呼籲已開發及發展中國家做出減少排碳，實施更嚴格的目標將需要資金、技術和其他形式的支持。將減碳排義務擴及到中國、印度及開發中國家承諾的全球協議。提供資金給開發中國家，減少溫室氣體排放，已開發國家並承諾於2020年起，每年提撥一千億美元，2050年前將會提高其資金。訂定目標於2050年清零溫室氣體排放，就協議要求簽署國制定「國家自訂貢獻」，要求各國定期審查、更新和加強這些行動且每五年要向上調整一次。多達197個簽署方承諾，並於2016年11月4日生效，必須努力把全球升溫幅度控制在工業化前（1750年）平均水準的攝氏1.5度內。

### 二、碳權簡介

淨零排放風靡全球，「碳權」相關的議題也話題不斷。「碳權」授予排放一噸二氧化碳或等量的另一種溫室氣體的權利的可交易許可證或證書，此圖2-1為一企業主將使用不完的碳排放量讓出予以超額使用之企業主並將其有價讓出，則為碳交易。

如果國家或地區區域能夠將公司溫室氣體總排放量設定上限並將其限制在上限以下，如一企業體技術提升或將其技術提升使得碳排放量減少，碳排放配額有剩，即可在其交易市場中售出多餘的碳權配額。他們可能希望保留這些以供將來使用（或出售）；或者，他們可以立即將其出售給由監管機構監督的合規碳市場，將碳排放權核配給受管制的業者，簡稱「碳權」。

管理團隊不能將公司排放量控制在其限制範圍內，那麼他們就是不合規的，必須彌補這一差異。過量排放者轉向碳市場，從其總量控制與交易網絡中的“排放不足者”購買碳信用額。碳交易的類型有兩種類型的交易：

(一) 自願減排 (VER)：

在場外交易或自願市場上交換碳權的碳抵消，常見的「總量管制與交易」(Cap and Trade)，排放交易，有時也稱為“上限與交易”或“碳配額交易”，是一種減少污染的方法，已成功用於保護人類健康和環境。碳排放交易計劃有兩個關鍵組成部分：碳污染限額(或上限)和可交易碳配額，該配額等於授權配額持有人碳排放特定數量(例如一噸)碳排放的限額。這一限制確保了環境目標的實現，可交易的配額為各個排放源提供了靈活性，可以設定自己的合規路徑。由於可以在配額市場買賣配額，這些計劃通常被稱為“以市場為基礎”又稱碳權交易。

(二) 核證減排量 (CER)：

通過監管框架創建的排放單位(或信用額度)，旨在抵消項目的排放量。兩者之間的主要區別在於，有一個第三方認證機構來監管 CER，而不是 VER。

### 三、碳權及綠能 ETF

KRBN (KraneShares 全球碳策略 ETF) (全名 KraneShares Global Carbon ETF)，KRBN 是基於全球科技公司的環境、社會和治理(ESG)標準的 ETF，所追蹤 MSCI ACWI Low Carbon Target Index，在扣除各種費用和支出之前追求達到和指數一樣的投資表現。該指數通過降低二氧化碳排放量和其他溫室氣體的排放來尋找最低碳排放的科技公司。投資於那些表現出良好環境、社會和治理標準的科技公司，以此為投資組合提供平衡和多樣性。KRBN 只在提供與科技行業相關的投資機會，同時遵守 ESG 標準。該 ETF 的重點是在尋找那些在可持續性方面具有較高表現的公司，從而將投資與環境、社會和治理價值相結合。

目前來說，涵蓋了歐洲和北美主要的總量控制與交易計劃：歐盟配額(EUA)，加利福尼亞碳配額(CCA)和區域溫室氣體倡議(RGGI)等等。KRBN ETF 是由 KraneShares 於 2020 年 7 月 30 日發行，2023 年 3 月 31 日所持股前兩大碳權為：STATE ST INST US GOV (30.8%)、EURO-1 (7.73%)，保有現金 46.12%。

繼「巴黎協定」後，於 2021 年 11 月在格拉斯哥所舉行的聯合國氣候大會 COP26，其中中國與印度表示將「逐步淘汰」煤炭市場，煤炭淡化為「逐步減量」。由此因煤炭需求變小以至於 KOL 沒有相對應投資標的可以進行追蹤，進而清算收場。

不斷上升的全球變暖趨勢使政策制定者對使用氣候變化緩解策略清潔環境產生了極大的興趣，這似乎是廣泛共識的一部分。近年來，污染、衛生條件不達標以及自然資源(NR)和森林保護區的重大損失等環境狀況一直是各國關注的重點。惡劣的環境條件危及人類健康和經濟福祉。這些因素容易受到氣候變化的影響，包括健康、自然和物質資本，以及獲得水、食物和土地的機會。這些環境問題引發了一場全球抵制氣候變化的運動。

「巴黎協定」因應上述所說而由聯合國氣候變遷綱要公約(UNFCCC)裡的會員國

所成立，其內容呼籲已開發和發展中國家做出減排，將減排義務擴及到中國、印度及開發中國家承諾的全球協議。就目前碳排市場大概分為歐洲、美國、及中國等地區。

在探討碳權價格受其他市場波動影響的研究上也出現意見分歧的情況，在造成碳權價格波動的除了經濟成長 GDP，替代能源的成本、和氣候等因素外，石油與天然氣的價格波動與極端氣候（連續 3 天以上酷熱或嚴寒），對於碳權價格的變異也有顯著性的效果，煤炭市場價格波動反而不具顯著性。

以下綠能 ETF 分類之簡介：

（一）ICLN（iShares 全球乾淨能源 ETF）（全名 iShares Global Clean Energy ETF）

ICLN 投資於全球清潔能源公司，其涉及生物燃料，乙醇，地熱，水力發電，太陽能 and 風能行業的公司。除了持有通過這些方式生產能源的公司外，ICLN 還包括開發在此過程中使用的技術和設備的公司。該基金由指數委員會選擇，按市值和敞口得分加權 - 受到一些限制，並每半年重組一次。ICLN 由 iShares（BlackRock）發行公司發行，於 2008 年 6 月 24 日所成立的 ETF。PLOS ONE 揭露其 2022 年 8 月 31 日持股前三大公司及比率為：ENPHASE ENERGY INC（9.96%）、VESTAS WIND SYSTEMS（6.40%）、SOLAREEDGE TECHNOLOGIES INC（6.24%）。

（二）TAN（Invesco 太陽能 ETF）（全名 Invesco Solar ETF）

TAN 對可再生能源提供了獨特的看法，擁有涉及太陽能行業的公司集中投資組合，從而切斷了更廣泛的可再生能源市場的大部分。該基金的選擇範圍從所有規模的全球太陽能公司開始，包括所有太陽能技術（晶體和薄膜光伏太陽能和太陽熱能）、整個價值鏈（原材料、安裝人員、融資）和相關太陽能設備（電力逆變器和封裝）。然後將這些符合條件的公司分為兩組：純股或中股。純粹的公司將太陽能行業視為他們的主要業務，其中超過三分之二的收入來自該行業。中型公司涵蓋了具有多個業務行業的公司，但仍有超過三分之一的收入來自太陽能相關業務。該基金的權重計劃試圖增加對純公司的風險評估，因此減持了中型公司。指數成分股每季度重新平衡一次。由 Invesco PowerShares 發行公司發行，於 2008 年 04 月 15 日所成立的 ETF。PLOS ONE 揭露其 2022 年 8 月 31 日持股前三大公司及比率為：Enphase Energy Inc（12.77%）、First Solar Inc（9.80%）及 SolarEdge Technologies Inc（8.04%）。

（三）FAN（First Trust 全球風力能源 ETF）（全名 First Trust Global Wind Energy ETF）

FAN 是專門針對風能行業的全球可再生能源 ETF。FAN 將大約 60% 的權重用於風能行業的“純業務”，並將剩餘的 40% 分配給參與該行業的“多元化行業”公司。排名前五的純業務公司的權重上限為 8%，其餘為 4%。所有多元化行業的公司都有 2% 的上限。它遵循“風能”要求。該基金於 2016 年 12 月 14 日由 First Trust ISE 全球風能指數基金更名為 First Trust 全球風能 ETF。基礎指數方法於 2017 年 6 月 20 日發生變化，影響了基金的權重和頭寸限制。該指數每半年進行一次重組和重新平衡。由 First Trust Portfolios 發行公司發行，於 2008 年 06 月 16 日所成立的 ETF。PLOS ONE 揭露其 2022 年 8 月 31 日持股前三大公司及比率為：Northland Power Inc.（8.44%）、Vestas Wind Systems A/S（6.81%）及 EDP Renovaveis SA（6.80%）。

（四）PBD（Invesco 全球乾淨能源 ETF）（全名 Invesco Global Clean Energy ETF）

PBD 被動管理投資於廣泛的全球可再生能源公司，包括那些參與保護、提高能源效率和推進可再生能源的公司。該 ETF 可能投資於大型公司和那些從清潔能源活動中獲得至少 10% 市值的公司，但偏向於純粹的中小型公司。重要的是，PBD 的投資組合公司是根據指數提供商對其“資本增值潛力”的看法來選擇的。從這個意義上說，與該領域的其他基金相比，PBD 更像是一種積極管理的策略。該指數每季度重新平衡和重組。為了多元化，該基金將其最大持股量限制在 5%，並要求將其一半資產投資於國際。由 Invesco Power Shares 發行公司發行，於 2007 年 6 月 13 日成立的 ETF。PLOS ONE 揭露其 2022 年 9 月 30 日所持有的前三大公司及其比率为：First Solar Inc (1.74%)、Stem Inc (1.64%)、Maxeon Solar Technologies Ltd (1.62%)。

(五) QCLN (First Trust 納斯達克 Clean Edge 清潔綠能指數 ETF) (全名 First Trust NASDAQ Clean Edge Green Energy Index Fund)

QCLN 在清潔能源行業擁有廣泛的美國上市公司投資組合。符合條件的公司必須是以下四個子行業之一的製造商、開發商、分銷商或安裝商：先進材料（實現清潔能源或減少對石油產品的需求）、能源智能（智能電網）、能源存儲和轉換（混合電池）或可再生能源發電（太陽能、風能、地熱等）。由於將公司歸類為“清潔能源”存在主觀性，因此通過審查基金的投資組合以確保您對“清潔能源”的定義與 QCLN 相匹配，潛在投資者將得到很好的服務。QCLN 是由 First Trust Portfolios 公司發行，於其 2007 年 2 月 8 日成立的 ETF。PLOS ONE 揭露其 2022 年 9 月 30 日持股前三大公司及其比率为：Enphase Energy, Inc. (10.60%)、ON Semiconductor Corporation (7.81%)、Tesla, Inc. (7.51%)。

#### 四、石油類股、天然氣類股及煤礦類股三類 ETF

石油、煤炭都屬化石能源，而且是不可再生的，屬於一次性能源，石油、煤炭生成是以萬年來計算的，從有機質的沉積、壓實、埋藏，再經過一系列的演化過程，短則上萬年，長則以千萬年甚至億年計算，才能生成。

石油和天然氣是能源市場的重要產業，作為世界主要燃料來源，在全球經濟中發揮著重要作用。生產和分配石油和天然氣的過程和系統非常複雜，資本密集，需要最先進的技術。從歷史上看，天然氣一直與石油聯繫在一起，主要是因為生產過程或業務的上游方面。在該行業的大部分歷史中，天然氣都被視為令人討厭的東西，即使在今天，包括美國在內的世界某些地區仍在大量燃燒。如上所述，由於美國的頁岩氣開發，天然氣在世界能源供應中扮演著更加突出的角色，本指南著眼於石油和天然氣業務，旨在作為對全球資源的研究輔助，特別強調美國。它涵蓋了石油和天然氣行業的簡史、公司和組織的概述、統計和定價資源以及法規。該行業通常分為三個部分：

上游，石油和天然氣勘探和生產業務；獲利因油價而成正比

中游、運輸和儲存；獲利敏感度低

下游，包括煉油和營銷；獲利率對油價變動高

由上述可歸納受油價影響大至小為上游、下游、中游，就以上相對應的 ETF 偏向於 XLE 及 XOP 兩種，就 XLE 來說他就算是平均分散型 ETF，追蹤 S&P500 指數中美國能源公司的市值加權指數。

### (一) XLE (SPDR 能源類股 ETF) (全名 Energy Select Sector SPDR Fund)

為一籃子美國能源公司提供流動性分散風險。在能源領域，“市場化”是指集中接觸該行業的巨頭，包括 GICS 認定的石油、天然氣和消耗性燃料以及能源設備和服務行業的公司。XLE 將其股票從 S&P 500 指數而非整個市場中撤出，因此其投資組合主要有利於大盤股。持股按市值加權，採用上限方法確保在每個季度再平衡中沒有單一證券超過 25%。

### (二) XOP (SPDR 標普油氣開採與生產 ETF) (全名 SPDR S&P Oil & Gas Exploration & Production ETF)

就 XOP 屬於跟踪美國石油和天然氣勘探和生產領域公司的等權重指數，相對的此 ETF 價格波動性比 XLE 來得大。

XOP 為石油和天然氣勘探和生產提供了等權重的方法。根據 GICS 分類，該基金提供對 S&P 500 總市場指數（母指數）的油氣勘探和生產板塊的分散風險，該指數包括綜合油氣、油氣勘探和生產以及油氣精煉和營銷。同等權重為通常由少數大公司主導的行業提供了多元化的敞口，但也產生了對中小型股的偏見。該指數每季度進行一次審查和重新平衡。（資料來源參考 PLOS ONE）

### (三) 天然氣類股 ETF (FCG) (First Trust Natural Gas ETF)

First Trust 於 2007 年 06 月 13 日成立的 ETF，該 ETF 為投資者提供對美國天然氣行業的投資機會，投資的策略是在能源行業中選擇那些富有潛力的公司，包括從事天然氣探勘、開採、加工、貿易和分銷的公司。該 ETF 是市場加權指數，其組成股票的權重與他們的市值成比例。通過投資於該 ETF，投資者可以獲得對天然氣行業的廣泛認識，並有機會從天然氣市場的增長和變化中獲利。值得注意的是，該 ETF 的表現可能會受到能源價格和市場波動的影響。MoneyDJ 理財網揭露該 ETF 持股前三大公司及比率為：DCP Midstream LP (5.58%)、Western Midstream Partners LP (4.88%)、Hess Midstream LP (Class A) (4.61%)。

### (四) 煤礦類股 ETF (KOL) (VanEck Vectors 煤礦 ETF) (全名 VanEck Vectors Coal ETF)

此 ETF 於成立於 2018 年 6 月 27 日清算於 2020 年 12 月 17 日，本 ETF 追蹤的是 MVIS Global Coal Index，並期望達成該指數的投資績效（在扣除相關費用之前）。該 ETF 會投資至少 80% 以上的資產到指數的成份股當中。此指數追蹤的股票為全球與煤炭相關產業的公司，且至少有 50% 以上的營收來自於煤炭相關的業務。

## 五、相關論文探討

首先談到石油市場與可再生能源市場方面，Asai et al. (2022) 指出將石油市場納入可再生能源市場時，石油似乎在因果效應中占主導地位，因此發現了石油到太陽能 ETF 或石油到水 ETF 的間接單向因果關係。而方端言等人 (2019) 指出美國能源資訊署預測未來短期布蘭特原油價格將持平，長期價格呈現成長趨勢，臺灣能源進口依存度高，國際油價若持續上漲將增加能源支出，降低出口競爭力，而臺灣政府推動再生能源發展，可望提升能源獨立性，減少對傳統化石能源依賴。林茂文 (2021) 也指出臺灣能源轉型發

展需要採取更積極的行動，在最大限度地提高技術可行性、成本效益和社會接受度，同時確保經濟持續成長和能源安全供應，且在碳中和制約下，各國企業所提出之各種因應情境與措施做法，使化石能源公司能轉型為以再生能源為主之綜合性能源公司，以確保 2050 年可實現淨零排放的目標。但 Henriques and Sadorsky (2008) 則研究指出科技股價格和石油價格分別對替代能源公司股價有單向因果關係，而科技股價格對替代能源股票價格之衝擊影響較石油價格大。

另外，經濟因素及太陽能技術的創新也會對碳排放產生影響，Sun et al. (2021) 指出前述兩項因素可對碳排放產生負向的影響，而加強太陽能技術的創新對減少二氧化碳排放，具有積極的作用。而在實施碳稅減少碳排放方面，Azad and Chakraborty (2020) 指出印度提出了一項公平能源政策 (EPE)，這將從根本上改變印度經濟的能源結構，轉向清潔、綠色能源。任何碳減排戰略都需要改變印度對化石燃料的依賴，需要對其能源結構進行系統性改革，而實施碳稅將可減少碳排放，必要的碳稅為每噸二氧化碳 60.4 美元。

最後，有學者提出，清潔能源 ETF 與傳統能源 ETF 之關係，Day et al. (2022) 研究 iShares Global Clean Energy (清潔能源的代表) 及 iShares Global Energy (傳統清潔能源的代表) 兩檔 ETF，其指出動量策略適合購買綠色能源 ETF，但反向策略適合購買傳統能源 ETF，清潔能源 ETF 的表現優於傳統能源 ETF，但兩者的股價表現呈相反方向。

由以上文獻探討可知，國內外有關碳權、綠能及化石能源 ETF 價格關聯性之研究，付之闕如，因此本研究的實證結果，應可填補此方面的研究缺口，帶來研究貢獻。

## 參、研究方法

本研究之主要研究方法為 Ng and Perron 單根檢定及向量自我迴歸模型 (VAR)，茲彙整介紹如下：

### 一、Ng and Perron 單根檢定

Ng and Perron (2001) 提出去趨勢之一般化最小平方法 (Generalized Least Squares) 並建立了  $MZ_a$ 、 $MZ_t$ 、 $MSB$  及  $MP_t$  等四種檢定統計量。而  $MZ_a$  和  $MZ_t$  修正了 Phillips (1987) 的  $Z_a$  及  $MZ_t$  統計量，NP 單根檢定法解決了傳統單根檢定問題。以下為檢定統計量；

$$MZ_a = (T^{-1}(Y_t^d)^2 - f_0) \left[ 2T^{-2} \sum_{t=1}^T (Y_{t-1}^d)^2 \right]^{-1} \quad (1)$$

$$MZ_t = MZ_a \times MSB \quad (2)$$

$$MSB = \left[ T^{-2} \sum_{t=1}^T (Y_{t-1}^d)^2 / f_0 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$



$$MP_t = \begin{cases} \left[ \bar{c}^2 T^{-2} \sum_{t=1}^T (Y_{t-1}^d)^2 - \bar{c} T^{-1} (Y_T^d)^2 \right] / f_0, & \text{if } x_t = \{1\} \\ \left[ \bar{c}^2 T^{-2} \sum_{t=1}^T (Y_{t-1}^d)^2 + (1 - \bar{c}) T^{-1} (Y_T^d)^2 \right] / f_0, & \text{if } x_t = \{1, t\} \end{cases} \quad (4)$$

其中  $\bar{c} = \begin{cases} -7, & \text{if } x_t = \{1\} \\ -13.5, & \text{if } x_t = \{1, t\} \end{cases}$ ，NP 單根檢定法有限制  $x_t$  的範圍及估計  $f_0$  的選擇

方法。

NP 單根檢定法的虛無假設為具單根  $I(1)$  非定態；對立假設為變數具  $I(0)$  定態序列。

本研究以  $MP_t$  檢定統計量加以檢定時間序列是否具定態。

## 二、向量自我迴歸模型(VAR)

向量自我迴歸 (VAR) 模型是易於使用的時間序列分析模型之一，VAR 模型已被證明對於描述經濟和金融時間序列的動態行為，以及預測特別有用，其通常提供優於單變量時間序列模型和基於理論的複雜聯立方程模型。VAR 模型的預測非常靈活，除了數據描述和預測外，VAR 模型還用於結構推理和政策分析。

VAR 模型最簡單的形式為兩變數的型態，假設只有  $y_1$  和  $y_2$  兩個變數，而此變數第  $t$  期的值是由前  $k$  期的值及誤差項所組成，以下以  $k=1$ ，VAR (1) 說明之：

$$y_{1t} = a_{10} + a_{11}y_{1t-1} + a_{12}y_{2t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (5)$$

$$y_{2t} = a_{20} + a_{21}y_{1t-1} + a_{22}y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (6)$$

而 Toda and Yamamoto (1995) 證明最適落遲期加上最大整合級次之 VAR 模型，可避免進行共整合檢定及使用誤差修正模型。

## 肆、實證結果與分析

本研究之研究期間訂為 2020 年 7 月 31 日 (五) 至 2023 年 3 月 3 日 (五)，共 136 週資料，加以探討碳權 ETF (KRBN) 與綠能類股 ETF (ICLN 清潔能源、TAN 太陽能、FAN 風能) 及化石能源類股 ETF (XOP 石油探勘、FCG 天然氣) 三大類 ETF 兩兩間價格之關聯性。因受限於 KRBN 碳權 ETF 資料的長度，2020 年 7 月 30 日才成立，故研究期間由 2020 年 7 月 31 日 (五) 為起點。以上 ETF 價格資料皆取自 YAHOO 財經網，本章將分敘述性統計、單根檢定及領先與落後關係檢定等三部分加以實證研究。

## 一、敘述性統計

由表 1 敘述統計資料加以觀察，碳權與綠能及化石能源 ETF 價格之 Jarque-Bera 統計量，結果只有 TAN 太陽能近似常態分配，其餘 5 項變數皆非常態分配。ICLN 清潔能源與 FAN 風能 ETF 價格呈現高峽峰，而 KRBN 碳權、XOP 石油探勘及 FCG 天然氣則呈現低闊峰。

由圖 1 可知，圖中垂直線為 2022 年 2 月 24 日爆發俄羅斯與烏克蘭戰爭的起點，由圖中可知，六變數於俄烏戰爭後，大致上都產生結構的改變，因此後續模型中將加入虛擬變數，俄烏戰爭爆發前設為 0，爆發後設為 1。另外，KRBN 碳權 ETF 價格與 ICLN 清潔能源、FAN 風能及 TAN 太陽能等 ETF 價格大致上呈現負相關，而與 XOP 石油探勘及 FCG 天然氣等 ETF 價格則呈現高度正相關。

表 1 碳權與綠能及化石能源 ETF 價格之敘述統計

統計量	平均數	中位數	偏態	峰態	Jarque-Bera	P 值
KRBN 碳權	31.263	32.939	-0.432	1.897	11.121	0.004
ICLN 清潔能源	21.326	21.048	0.990	5.183	49.236	0.000
FAN 風能	79.217	78.575	0.542	4.185	14.625	0.001
TAN 太陽能	19.136	18.852	0.300	2.696	2.566	0.277
XOP 石油探勘	99.923	97.148	-0.100	1.868	7.483	0.024
FCG 天然氣	17.270	16.979	-0.116	1.744	9.238	0.010

## 二、單根檢定

由表 2 可知，碳權與綠能及化石能源 ETF 價格皆為  $I(1)$  一階差分後定態，後續將以最適落遲期數的選取，以及兩兩變數的最大整合級次，進行 Toda and Yamamoto (1995)  $VAR(k + d_{\max})$  模型檢定， $k$  為最適落遲期數， $d_{\max}$  為最大整合級次。

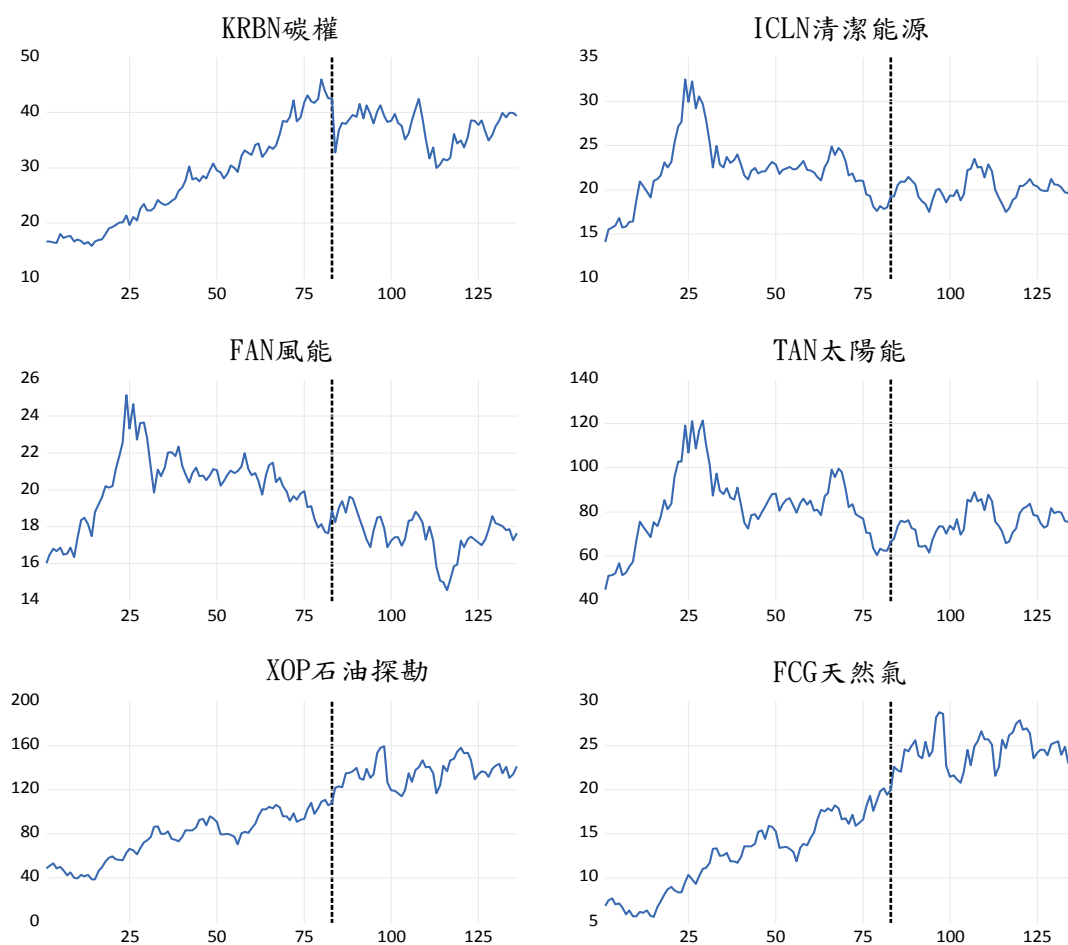


圖 1 碳權與綠能及化石能源 ETF 價格趨勢（垂直線為俄烏戰爭起點）

表 2 Ng and Perron (2001) 單根檢定 ( $MP_t$ )

變數別		水準值	一階差分
KRBN 碳權	截距	24.94122 (0)	0.37867 (0)***
ICLN 清潔能源	截距	10.62888 (0)	1.95511 (2)**
FAN 風能	截距	7.62056 (0)	0.64954 (1)***
TAN 太陽能	截距	10.69758 (0)	1.83724 (2)**
XOP 石油探勘	截距	25.12454 (0)	0.38947 (0)***
FCG 天然氣	截距	31.79308 (0)	0.37454 (0)***

附註：\*\*及\*\*\*分別表達到 5%及 1%顯著水準

### 三、領先與落後關係檢定

由表 3 可知，碳權與綠能及化石能源 ETF 價格兩兩間之 VAR 模型 SC 準則最適 lag 落遲期數皆為一期。因此後續進行 Toda and Yamamoto (1995)之 VAR( $k + d_{max}$ ) 模型檢定時，使用之最適模型為 VAR(1+1)，可避免使用誤差修正模型。

表 3 VAR 模型之 SC 準則判斷 Lag 落遲期數

項目	最適落遲期數
KRBN 碳權與 ICLN 清潔能源	1
KRBN 碳權與 FAN 風能	1
KRBN 碳權與 TAN 太陽能	1
KRBN 碳權與 XOP 石油探勘	1
KRBN 碳權與 FCG 天然氣	1
ICLN 清潔能源與 FAN 風能	1
ICLN 清潔能源與 TAN 太陽能	1
ICLN 清潔能源與 XOP 石油探勘	1
ICLN 清潔能源與 FCG 天然氣	1
FAN 風能與 TAN 太陽能	1
FAN 風能與 XOP 石油探勘	1
FAN 風能與 FCG 天然氣	1
TAN 太陽能與 XOP 石油探勘	1
TAN 太陽能與 FCG 天然氣	1
XOP 石油探勘與 FCG 天然氣	1

2022 年 2 月 24 日俄烏戰爭爆發日，本研究將俄烏戰爭爆發前虛擬變數設為 0，爆發後設為 1 設為 1。由表 4 可知，分別條列兩兩間 ETF 價格之領先落後關係。其中 KRBN 碳權分別對 ICLN 清潔能源、FAN 風能及 TAN 太陽能顯著領先一週反向變動；XOP 石油探勘對 KRBN 碳權，以及 FCG 天然氣對 KRBN 碳權皆顯著領先一週正向變動。俄烏戰爭虛擬變數方面，KRBN 碳權與 XOP 石油探勘間、KRBN 碳權與 FCG 天然氣間、ICLN 清潔能源分別對 XOP 石油探勘及 FCG 天然氣、FAN 風能對 XOP 石油探勘，以及 TAN 太陽能分別對 XOP 石油探勘及 FCG 天然氣等組合之虛擬變數皆達顯著，亦即，當 XOP 石油探勘及 FCG 天然氣為應變數時，俄烏戰爭虛擬變數較易達顯著，此兩變數較易受到俄烏戰爭的影響。

## 伍、結論

本研究之研究期間訂為 2020 年 7 月 31 日（五）至 2023 年 3 月 3 日（五），共 136 週資料，加以探討碳權 ETF（KRBN）與綠能類股 ETF（ICLN 清潔能源、TAN 太陽能、FAN 風能）及化石能源類股 ETF（XOP 石油探勘、FCG 天然氣）三大類 ETF 兩兩間價格之關聯性。經過前面章節之實證過程，共可獲得以下之結論：

KRBN 碳權分別對 ICLN 清潔能源、FAN 風能及 TAN 太陽能顯著領先一週反向變動；XOP 石油探勘對 KRBN 碳權，以及 FCG 天然氣對 KRBN 碳權皆顯著領先一週正向變動。化石能源類股 ETF（XOP 石油探勘、FCG 天然氣）價格顯著領先碳權 ETF（KRBN）價格一週正向變動，而碳權 ETF（KRBN）價格則顯著領先綠能類股 ETF（ICLN 清潔能源、TAN 太陽能、FAN 風能）價格一週反向變動。

綜上所述，化石能源類股 ETF 為碳權 ETF (KRBN) 價格的領先指標，碳權 ETF (KRBN) 價格則為綠能類股 ETF 價格的領先指標。

表 4 本研究變數之領先與落後關係檢定

虛無假設：不具領先落後關係 $\neq$		落遲 1 期	俄烏戰爭	
KRBN 碳權	$\neq$	ICLN 清潔能源	-0.13685**	0.07972
ICLN 清潔能源	$\neq$	KRBN 碳權	0.0060	-0.18932
KRBN 碳權	$\neq$	FAN 風能	-0.07422**	-0.09266
FAN 風能	$\neq$	KRBN 碳權	-0.16549	-0.09815
KRBN 碳權	$\neq$	TAN 太陽能	-0.54570**	0.79778
TAN 太陽能	$\neq$	KRBN 碳權	0.00257	-0.16884
KRBN 碳權	$\neq$	XOP 石油探勘	0.20155	7.24433***
XOP 石油探勘	$\neq$	KRBN 碳權	0.04529*	-1.40154**
KRBN 碳權	$\neq$	FCG 天然氣	0.06051	1.41151***
FCG 天然氣	$\neq$	KRBN 碳權	0.23557*	-1.63413**
ICLN 清潔能源	$\neq$	FAN 風能	0.00971	-0.26512
FAN 風能	$\neq$	ICLN 清潔能源	-0.17819	-0.25656
ICLN 清潔能源	$\neq$	TAN 太陽能	1.83997	0.32379
TAN 太陽能	$\neq$	ICLN 清潔能源	-0.10764	-0.06644
ICLN 清潔能源	$\neq$	XOP 石油探勘	-0.42072	5.41162**
XOP 石油探勘	$\neq$	ICLN 清潔能源	-0.01000	0.61065
ICLN 清潔能源	$\neq$	FCG 天然氣	-0.04579	0.72893*
FCG 天然氣	$\neq$	ICLN 清潔能源	-0.03929	0.64585
FAN 風能	$\neq$	TAN 太陽能	0.10753	-0.17528
TAN 太陽能	$\neq$	FAN 風能	-0.01860	-0.22860
FAN 風能	$\neq$	XOP 石油探勘	0.07170	5.97333**
XOP 石油探勘	$\neq$	FAN 風能	-0.00147	0.21690
FAN 風能	$\neq$	FCG 天然氣	0.07226	0.80161
FCG 天然氣	$\neq$	FAN 風能	-0.00060	0.24823
TAN 太陽能	$\neq$	XOP 石油探勘	0.07170	5.97333**
XOP 石油探勘	$\neq$	TAN 太陽能	-0.00147	0.21690
TAN 太陽能	$\neq$	FCG 天然氣	-0.02044	0.73224*
FCG 天然氣	$\neq$	TAN 太陽能	-0.03662	2.77683
XOP 石油探勘	$\neq$	FCG 天然氣	-0.03990	0.46039
FCG 天然氣	$\neq$	XOP 石油探勘	1.15286	3.16332

附註：\*、\*\*及\*\*\*分別表達到 10%、5%及 1%顯著水準；俄烏戰爭欄位為虛擬變數，戰爭爆發前設為 0，爆發後設為 1。

## 參考文獻

中文部分：

- 方端言、藍得彰、吳易樺、劉子銜及李鳳詩(2019)，全球原油價格與綠能發展趨勢分析，*臺灣經濟研究月刊*，42 卷 8 期，頁 128-136。
- 林茂文(2021)，碳中和對全球能源系統的巨大衝擊與變革，57 卷 3 期，頁 1-38。

英文部分：

- Asai, M. C.-L. Chang, M. McAleer, and L. Pauwels (2022), A new structural multivariate GARCH-BEKK Model: Causality of green, sustainable and fossil energy ETFs, *Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications*, 8(2), 215-233.
- Azad, R. and S. Chakraborty (2020), Green growth and the right to energy in India, *Energy Policy*, 141, Article 111456.
- Day, M.-Y., and Y. Ni, C. Hsu, and P. Huang (2022), Do investment strategies matter for trading global clean energy and global energy ETFs? *Energies*, 15(9), 3328.
- Henriques, I. and P. Sadorsky (2008), Oil prices and the stock prices of alternative energy companies, *Energy Economics*, 30(3), 998-1010.
- Ng, S., and P. Perron (2001), Lag length selection and the construction of unit root tests with good size and power, *Econometrica*, 69, 1519-1554.
- Phillips, P. C. B. (1987), Time series regression with a unit root, *Econometrica*, 55(2), 277-301.
- Schwert, G. W. (1989), Tests for unit roots: a Monte Carlo investigation, *Journal of Business and Economic Statistics*, 7, 147-160.
- Sun, Yu, M. Li, M. Zhang, H. Khan, J. Li, Z. Li, H. Sun, Y. Zhu, and O. A. Anaba (2021), A study on China's economic growth, green energy technology, and carbon emissions based on the Kuznets curve (EKC), *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 7200-7211.
- Toda, H. Y. and T. Yamamoto (1995), Statistical inference in vector autoregressions possibly integrated processes, *Journal of Econometrics*, 66 (1-2), 225-250.