

國軍購油風險規避之探討

●李通洋

摘要

自 2004 年以來，國際原油價格因為受到市場供需緊張、戰爭及外匯市場不穩定等因素之影響而不斷上揚，直至 2008 年初已經突破 100 美元 / 桶大關。就短期而言，石油市場波動活絡了國際間石油期貨的交易，更加劇了國際油價短期的波動和不穩定；然而從長期角度觀察，未來國際油價將因戰爭、市場供需失衡及美元持續貶值等因素之存在而於高檔保持震盪。我國原油需求大多仰賴進口，國際油價之上漲勢必會對我國內油品格價產生重大的影響，國軍之購油成本亦因此而已較過去大幅成長三倍之多。眾所皆知，通常公共預算編列與預算執行間存在有時間落差，加上近年來國際油價上升趨勢之確立，使得國軍面臨購油風險控管問題，如何能充分掌控與利用市場訊息進行適當的購油決策與風險控管，已為國軍當務之急。

本研究擬以西德州原油、布蘭特原油、杜拜原油、國內 92 無鉛汽油批售價格，新加坡高硫燃料油等市場為研究對象，透過向量自我回歸模型行變數間短期互動測試、Granger 因果關係檢

驗、衝擊反應函數及預測誤差變異分解，以探求不同原油市場彼此間的價格波動之領先落後關係。進一步利用 GARCH 模型模擬新的原油價格，使用變異數 - 共變異數法、歷史模擬法及蒙地卡羅法，採用移動視窗的方式計算風險值，比較何種方式較能捕捉油價之波動性，能發揮國軍購油風險控管之效益。

關鍵詞：購油風險控管、向量自我迴歸模型、GARCH 模型、風險值。

壹、緒論

石油為國際大宗原物料，其價格波動是會影響世界各國經濟的穩定發展。自從 1939 年爆發第二次世界大戰以後，石油在國際間經歷過七次劇烈的變動；以美國西德州中級原油 WTI（West Texas Intermediate；WTI）現貨價格為例，第一次中東戰爭的再度爆發，這使得石油輸出國家組織（Organization of Petroleum Exporting Countries: OPEC）大幅調高油價並減少石油產量；後來的伊朗革命事件以及隨後伊拉克相繼爆發的戰爭，皆導致石油減產。

經歷兩次的石油價格波動後，世界各國對石



油的需求量開始下降，加上當時一些產油國無不競相提高石油產量來低價銷售石油；而 1996 年 12 月至 1998 年 11 月間發生全球金融危機更致使石油需求下降，油價便從每桶的 25.90 美元降至 11.37 美元；直至 1998 年 12 月至 2000 年 2 月間，油價因亞洲經濟迅速復甦而開始回升，咎其原因不外乎與石油庫存下降有關；最後一次油價的巨幅波動則是發生在 2002 年 1 月底至 2003 年 2 月期間，原油價格從每桶 19.71 美元漲至 36.76 美元，主要是石油輸出國家組織的干預、巴基斯坦與以色列衝突及伊拉克、委內瑞拉及其它地區的緊張局勢等原因所造成。

國軍自 90 年至 95 年所編列的法定預算約 2,600 億元，此預算至今並未大幅成長；但今油價的攀升勢必會提高國軍的購油成本，國防部油料採購費用便會因此被迫逐年增列，例如 93 年度油購款約為新台幣 21 億餘元，94 年度油購款約新台幣 26 億元，95 年度油購款更快速上升到約新台幣 50 億元，年度增加的油購款已明顯的排擠到國軍其他採購案之進行；可見國際油價波動對國軍購油成本影響甚鉅。

實務上，國軍每年的預算於前一年度便已編列完成，且隔年須依前一年所編列月份分配時程加以結報，執行當年度如有重大情事發生，而且經過內部自行檢討後預算仍不足時，執行單位便得向行政院申請第一預備金，但這不是一個常態性的工作。龐曉華（2007）於《石化技術與運用（Petrochemical Technology & Application）》一書中曾提及國際能源署（International Energy Agency; IEA）在其《2030 年前全球能源展望》

的報告中預測，假設每年的通貨膨脹率維持在 2.3%，則原油進口名目價格到 2030 年時將升到每桶 97.30 美元；今若再加上有戰爭、颶風等其他因素的影響，屆時的購油成本必會遠超過此價格，這就讓我們不難想像國軍購油成本必會有逐年提高的現象。

有鑒於近年國際油價快速上升，國軍預算編列與執行年度間的時間落差，以及一些無法預期的天災、人禍等外來不確定因素的影響，如何能有效利用市場訊息規劃適當的購油策略，實為國軍重要課題。劉立倫（2005）在其所編制的《國防財務資源管理》一書中提及，許多制度的設計與內部控制功能的建立，都是在避免發生因體制運作失序而產生損失之情事，故其所謂的設計與內部控制都和風險的觀念有關聯；在國軍的 PPB（Planning Programming Budgeting）制度中更強調，風險主要是存於在於「中程計畫」與「年度計畫與預算」兩個環節；而環境的不確定性所導致年度執行預算產生波動此一狀況，是屬「年度計畫與預算」執行所需面對的課題。故本研究將運用市場公開的資訊探討國際間不同原油價格市場之波動性與彼此間之關聯性，以期能提供決策單位做為平時採購油品與後續預算編列及執行之參考依據。

貳、文獻探討

在石油價格波動理論與預測模型方法中，國內外學者從不同角度應用數量模型和實證分析對石油價格和石油市場進行了深入研究，其相關文

獻，最早可以追溯到 1930 年代，並形成了不同觀點導向的分析模型，大致上有以下四種較為常被引用（向蓉美，2007）：

一、能源不可再生理論

這種方法始於數理經濟學家 Hotelling（1931）所提出的可耗竭資源模型，以石油作為可耗竭資源研究對象。這個模型把石油資源當作一種埋藏在地下的資產，目標是找尋一種最佳的定價方式使資源淨現值最大。依 Pindyck（1978）的研究，OPEC 組織到 2000 年通過產量的控制可能增加 50% 至 100% 的利潤，後來的研究如 Berg（1997）認為最多只增加 19% 的利潤。但這種模型的缺陷在於資源市場的定價不僅受到資源擁有者和消費者的影響，更受到市場結構、開採成本和交通等交易成本影響（韓冬炎，2004）。

二、從成本與供需角度進行分析

當預期未來資源價格上漲時，或者預期未來技術進步使得邊際開採成本下降時，石油的開採者將減少當期開採量，當資本的報酬率提高時，當期開採量會上升。

與其它商品一樣，石油價格的形成主要是由市場上供需雙方共同決定。所以從石油供給和需求面分析、解釋油價波動、走勢並進行預測也是石油價格研究的一個對象。

Salameh（2003）認為影響國際能源安全的兩大地理政治因素為：(1)美國對中東石油進口依賴，和(2)亞太地區對石油的需求；該學者並認為中東石油進口依賴的增長將直接影響全球石油供

給、石油價格。Ghouri（2005）分析了美國石油戰略儲存與 WTI 油價之間的關係；該研究結果顯示，WTI 油價與原油生產、石油儲量、戰備存油等因素之間存在著負相關；然而戰備儲油對平抑國際油價而言仍有關鍵性的作用。

三、從市場結構出發

這種分析方法由最早是由 Salant（1982）提出，採用了 Nash-Cournot 方法來研究可耗竭資源及其產業結構，並應用於世界原油市場。該模型導出：如果蘊藏資源相同，那麼非卡特爾（Cartel）成員將在不受任何約束條件下追求高利潤，從而先消耗資源，非卡特爾成員得到利潤將會大於卡特爾成員。另 Griffin（1985）建模時對參與市場的主體，依其行為區分為卡特爾、競爭性、目標收益與財產權模型等幾種不同的類型，所使用的方法主要有可耗竭資源理論、博奕理論、模擬、工業經濟學與經濟效率假設。Griffin 利用 1973 至 1983 年間的數據實證結果發現 10 個 OPEC 國家中有 5 個支持競爭性假設，另外 5 個支持目標收益假設。Jones（1990）利用 1983 到 1988 年季數據運用 Griffin 相同的方法實證結果顯示只有一個 OPEC 國家支持競爭性假設。Ramcharan（2002）利用 1973 至 1997 年間數據實證結果對 OPEC 所有國家都拒絕了競爭性假設，而支持了目標收益型假設，大多數非 OPEC 國家實證結果則支持了競爭性假設，其中差異可能與他們的研究時段有關。這種方法對於理解石油市場具有很強的吸引力，但由於它處理是一個無期限的問題，儘管在長期趨勢具有一定的優勢，但在兩期變動時較無說服力，而且它並



不適用於價格走勢的定量分析，而定量分析在決策中通常是極為重要的（韓冬炎）。

四、從油價波動的定量分析探討

即嘗試對價格做精確的定量分析，由於油價波動的叢聚性，所以對油價的預測與趨勢的研究一直是油價研究的重點。特別是人們發現油價的波動與經濟活動存在的相關關係，對於油價波動的原因、油價的預測與油價風險控管這些問題更顯著更加重要。目前使用較多的經濟時間序列方法，包括 Granger（1969）因果關係方法，Engle（1982）提出的自我迴歸條件異質模型（ARCH）、Bollerslev (1986) 推廣 Engle 的模式提出廣義的 ARCH 模式，即 GARCH；Engle 和 Granger（1987）提出的共整合理論，以及 90 年代興起的風險值（Value at Risk; VaR）方法。

Engle（1982）提出了 ARCH 模型，用於說明隨時間變化的條件異質性（即條件變異數），模型能解釋收益率波動叢聚的特徵，Bollerslev（1986）發展出 GARCH 模型，該模型認為條件變異數不僅受到前期誤差平方項的影響，也會受到前期條件變異數影響。這類的金融風險計量模型的提出，吸引了金融、計量經濟、數理統計等學科領域的學者加入研究的行列。

Wai And Kim（2002）運用馬可夫轉換模型檢定及 GARCH 模型，探討西德州原油市場價格波動及未來走勢，結果顯示發現狀態移轉模型（Regime Switching Model）可適切的反應出油價變動，並且可描述出高油價區所在。Shawkat, Huimin and Bang（2003）利用美國商品交易所的原油、汽油、燃料油的現貨、期貨價格進行因

果檢驗；該研究實證結果發現，一個月原油的期貨價格對現貨和三個月期貨價格具有單向引導作用，汽油的現貨價格、期貨價格都存在著雙向引導作用。

洪儒瑤、古永嘉與康健廷（2006）結合 ARMA（ m, n ）與 GARCH（ p, q ）風險值模型來預測銀行的 VaR 值，並與常使用的歷史模擬法、蒙地卡羅法與變異數-共變異數法等三種模型逐一比對模型的預測效果；經比較後發現，ARMA-GARCH 模型的整體表現比其他模型好。

林惠娜、鄭婉秀與陳坤宏（2007）結合 VAR 與多變量 GARCH 模型探討 WTI、布蘭特及杜拜等三大原油市場動態關係。該研究實證發現，在報酬方面，布蘭特原油與 WTI 原油報酬之間相互影響程度較強烈。

90 年代發生美國橘郡、英國霸菱銀行、日本大和銀行等事件所造成的重大損失致使風險管理工具開始受到重視，它採用機率統計的方法來度量市場的風險，並用於內部風險衡量與控管。1993 年 G-30（Group of Thirty）提出「風險值使用於衡量市場風險為最佳實務方案」，第一次明確地提出採用風險值 VaR 來度量與控制市場風險的思想，並相繼受到美國財務會計準則委員會（Financial Accounting Standards Board；FASB）、美國證券管理委員會（United States Securities and Exchange Commission; SEC）、巴塞爾銀行監理委員會（Basel Committee on Banking Supervision；BCBS）等認可及推薦使用，這種思想很快受到 J.P.Morgan 銀行的重視，將它融入風險分析程式 RiskMetrics 中，並引起金融界的廣泛注意。由於 VaR 方法的思想比較直觀，容易操

作，因此在風險度量、績效評估、金融監管等方面獲得廣泛的運用。

Giot and Laurent (2003) 利用非對稱 ARCH 模型、對稱 ARCH 模型及 RiskMetrics 三種模型對 WTI 原油等商品進行實證分析，研究結果發現商品價格波動性具有高狹峰及厚尾的分布形態；三個模型中的 RiskMetrics 模型估計風險值容易有所偏差，而非對稱 ARCH 模型可以處理價格波動不對稱的情形，可以改善風險的預測能力。

Cabedo and Moya (2003) 以布蘭特原油每日的現貨價格為研究對象，分別用歷史模擬法、經 ARMA 模型配適後之歷史模擬法 (Historical Simulation with ARMA Forecasts approach; HSAF) 與經 ARCH 模型配適後之變異數-共變異數法等三種風險值模型進行分析並量化油價風險。該研究實證結果顯示，利用 HSAF 方法所估計出之風險值較有彈性，不僅能準確地配合油價的連續變動，並且提供了有效的風險量化水準。Hull and White (2004) 應用 HSAF 方法和 GARCH 模型，探討能源市場的價格風險，結果表明 HSAF 方法對於評估價格都很有效。

Angelidis, Benos and Degiannakis 等人 (2004) 用 GARCH 模型研究了股票指數的 VaR，認為 GARCH 模型能夠精確的預測投資組合未來的回報率，同時指出樣本期間的選擇對於預測結果很重要。Gencay 和 Salcuk (2004) 基於極值理論的 VaR 模型，並通過壓力測試證明較高的顯著水準上，該模型具有很高的精確度。

李命志、李彥賢與張智超 (2005) 利用拔靴法處理 GARCH 模型殘差項以估計 WTI 商品報酬波動性，再進一步計算其風險值。該研究發現，透過拔靴法處理 GARCH 模型殘差項，確實

能夠使風險值模型在資金使用效率上有明顯的改善；甚至當風險值估計期間資料發生結構性轉變時，拔靴法亦能使風險值模型在回溯測試上有較穩定的表現。

VaR 技術本身也不斷的改進發展。為了融入金融資產收益率波動叢聚的特徵，如 Giot and Laurent 利用非對稱 ARCH 模型、對稱 ARCH 模型 Risk Metrics 三種模型估計風險值。Angelidis 等人利用 GARCH 模型研究了股票指數的 VaR，Gencay 等人基於極值理論的計算 VaR 模型，Jacobson 和 Roszbach (2003) 等人研究利用 VaR 計算資產的信用風險。由於石油市場與金融市場兩者間存在有諸多的相似性，例如影響價格波動異常劇烈之因素之複雜性；因此，本研究將金融市場中用以量測市場風險之方法導入石油市場中，期使能捕捉原油市場的波動性，並進一步利用 VaR 方法對原油價格風險進行量測，作為原油價格風險的控制和防範參考之依據。

參、研究設計

本研究先對原油市場現貨價格序列進行單根檢定 (Unit Root Test) 以判斷序列的平穩性 (stationary)。Maberly (1985)、Elam and Dixon (1988) 及 Shen and Wang (1990) 等指出，如果價格序列是非平穩的，那麼利用傳統最小平方方法所求得的參數估計式將會是偏誤的，所以序列的平穩性檢驗是重要的。接著，利用 (Akaike information criterion) 進行向量自我迴歸模型之階數判斷；最後，將模型的每一個方程式中的內生變數對模型的全部變數的落後期數進行迴歸，進而可估計得到全部內生變數彼此間的



動態關係。

在採用 VAR 模型進行實證時，可以進一步透過變異數分解方法來了解模型中變數彼此間的動態特徵；由於市場對訊息的作用可以反應在價格變動上；因此，如果某一市場所佔的變異相對較大時，則說明該市場較其他市場吸收了更多的市場訊息，這也代表其在價格發現功能中較其他市場可能較具影響的地位。為能捕捉現貨市場價格變動之間的相互影響，本研究利用衝擊反應函數（Impulse Responses Function）分析方法對其進行進一步的探討。

最後利用 GARCH 模型模擬新的原油價格，使用變異數—共變異數法、歷史模擬法及蒙地卡羅法，採用移動視窗的方式計算風險值，比較何種方式較能捕捉油價之波動性，如此方能發揮國軍購油風險控管之效益

肆、實證分析

本研究利用向量自我迴歸模型分析五個原油現貨市場間的因果關係，並透過衝擊反映函數與變異數分解分析原油市場間相互引導情形，經實證結果顯示西德油原油相對於其他市場具有領先

地位。由於 WTI 價格具有時變性，利用 GARCH 模型重新擬合 2007 年 1 月 10 日至 2007 年 12 月 28 日新的原油金額，應用變異數—共變異數法、歷史模擬法及蒙地卡羅法，採用移動視窗的方式計算風險值，比較何種方式較能捕捉油價之波動性。本研究並列舉風險值最大及最小值各前 10 筆，探究其發生原因，作為相關事件再次發生時重新估算模型與風險值參考指標之一。

一、向量自我迴歸模型

(一)操作型變數定義

各變數設定與資料來源彙整如表一，為各變數的一階差分。觀察表二，由敘述統計量可以發現 WTI 價格、杜拜原油價格與新加坡高燃油價格分布有些微右偏傾向，而布蘭特原油價格與 92 無鉛汽油批售價則為左偏的傾向；峰態係數皆小於 3，為些微低闊峰 2。在 10% 的顯著水準下，除杜拜原油 JB 統計量不顯著外，其餘各市場的 JB 統計量皆為顯著，拒絕虛無假設，說明了西德州原油、布蘭特原油、92 無鉛汽油批售價及新加坡高硫燃料油等市場為非常態分配。

表一：變數定義與數據來源

名 稱	定 義	資 料 來 源
L_{nw}	W 為取自然計數後之西德州原油提貨價格，單位：美元／桶。樣本個數：250 個。	經濟部能源局
L_{nb}	B 為取自然計數後之布蘭特原油提貨價格，單位：美元／桶。樣本個數：250 個。	經濟部能源局
L_{nd}	$D01$ 為取自然計數後之杜拜原油提貨價格，單位：美元／桶。樣本個數：250 個。	經濟部能源局
L_{nf}	F 為取自然計數後之 92 無鉛汽油批售價價格，單位：新台幣元／公升。樣本個數：250 個。	CIP 特帳商情網
L_{ng}	G 為取自然計數後之新加坡高硫燃料油，單位：美元／公噸。樣本個數：250 個。	CIP 將帳商情網

表二：原油市場各變數口述統計

變數	平均數	中位數	標準差	偏態	峰態	JB 統計量	P-value
<i>Lnw</i>	4.27	4.26	0.17	0.20	2.02	11.68***	0.00
<i>Ln b</i>	4.28	4.57	0.16	-0.133	2.35	5.08*	0.08
<i>Ln d</i>	4.22	4.50	0.15	0.32	2.41	3.67	0.16
<i>Ln f</i>	3.32	3.40	0.06	-0.32	2.22	10.66***	0.00
<i>Ln g</i>	5.92	6.27	0.18	0.12	2.29	5.77*	0.06

註：1.*、** 和 *** 分別代表 10%、5% 和 1% 的顯著承襲下，拒絕被檢定的變數為常態分配。

2.JB 為 Jarque-Bera 之常態性檢定。

(二) 平穩性檢定、因果關係檢驗

本研究運用 ADF 單根檢定與 PP 檢驗法，分別對 WTI 等五個原油市場進行平穩性檢驗；所有變數在 1% 的顯著水準下皆無法拒絕有單根的虛無假設，表示各變數皆存在有單根現象；在對各變數取一次差分後進一步檢定各差分後變數之定態情形，得到各變數皆達穩定（見下表三）。

(三) 向量自我迴歸模型

對各經過差分後變數進行 VAR 模式估計，首先進行模型最適落後階數認定，本研究採用 AIC 選取準則，並將各落後期下之 AIC 值彙整成表四，經選取具最小 AIC 值後確定模型最適落後階數為 1 階。進行模型參數估計後得模式(1)。

表三：原油市場 ADF 單根檢定與 PP 檢驗

變數	檢驗型態	原始變數				一次差分後			
		ADF	lags	PP	lags	ADF	lags	PP	lags
<i>Lnw</i>	包含截距項與趨勢項	-3.36*	2	-3.52**	5	-18.76***	0	-18.53***	4
<i>Ln b</i>		-2.89	0	-3.00	4	-16.26***	0	-16.26***	1
<i>Ln d</i>		-2.83	0	-2.78	2	-17.16***	0	-17.16***	3
<i>Ln f</i>		-3.24*	0	-3.34*	2	-15.76***	0	-15.76***	4
<i>Ln g</i>		-2.35	0	-2.56	3	-14.88***	0	-14.88***	1
<i>Lnw</i>	僅含截距項	-0.84	1	-0.74	1	-18.80***	0	-18.57***	4
<i>Ln b</i>		-1.21	0	-1.20	1	-16.28***	0	-16.27***	2
<i>Ln d</i>		-0.67	0	-0.63	3	-17.19***	0	-17.19***	3
<i>Ln f</i>		-1.29	0	-1.28	3	-15.79***	0	-15.79***	4
<i>Ln g</i>		-1.02	0	-1.03	1	-14.90***	0	-14.91***	1

註：1.*、** 和 *** 分別代表 10%、5% 和 1% 的顯著水準下，拒絕有單根的虛無假設。

2.單根檢定顯著水準臨界值（包含截距項與趨勢項）：1% 臨界值 -3.995340，5% 臨界值 -3.427975，10% 臨界值 -3.137353。

3.單根檢定顯著水準臨界值（僅含截距項）：1% 臨界值 -3.456514，5% 臨界值 -2.872950，10% 臨界值 -2.572925。



表四：原油市場最佳落後階數選擇

落後階數	AIC	BIC	落後階數	AIC	BIC
1	-30.27129	-29.83749	4	-30.10134	-28.58307
2	-30.24699	-29.45170	5	-30.01241	-28.13264
3	-30.16763	-29.01085	6	-29.92246	-27.68120

$$\begin{bmatrix} D_ln w_t \\ D_ln b_t \\ D_ln d_t \\ D_ln f_t \\ D_ln g_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.19 & 0.38 & 0.53 & -0.04 & 0.57 \\ 0.04 & -0.27 & 0.11 & -0.02 & 0.06 \\ -0.02 & 0.08 & -0.19 & -0.05 & -0.14 \\ 0.11 & 0.15 & 0.08 & -0.01 & 0.09 \\ 0.15 & 0.13 & 0.07 & 0.08 & 0.13 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_ln W_{t-1} \\ D_ln b_{t-1} \\ D_ln d_{t-1} \\ D_ln f_{t-1} \\ D_ln g_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ \varepsilon_t \\ \varepsilon_t \\ \varepsilon_t \\ \varepsilon_t \end{bmatrix} \quad (1)$$

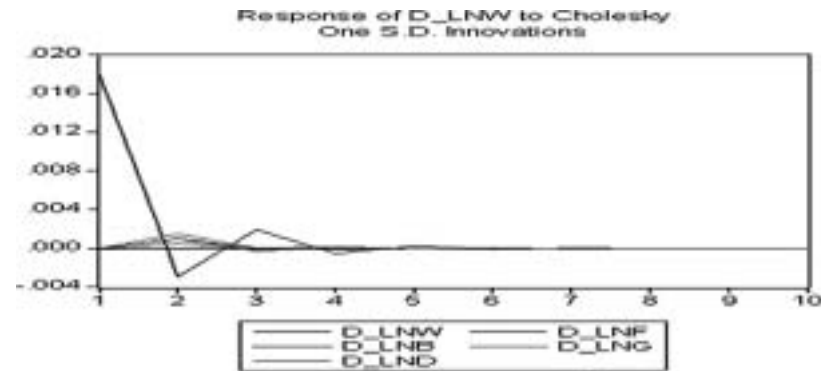
進一步對各原油市場進行 Granger 因果關係檢驗，以檢視各市場間的領先落後關係。經實證分析結果得知，WTI 對布蘭特原油市場、杜拜原油市場、國內 92 無鉛汽油批售市場以及新加坡高硫燃料油市場有一定程度影響；布蘭特原油市場領先於杜拜原油市場、新加坡高硫燃料油市場。相關領先落後關係如下表五所示。VAR 模型假設所有變數皆為內生變數，故本研究透過衝擊

反映函數與變異數分解表來解釋 WTI 市場對其它市場的影響。從衝擊反映函數圖（圖一）可以看出，WTI 市場受到一個衝擊後對其他市場有一個負面衝擊。該衝擊在第二期達到最大，之後逐漸衰減，並在第 5 期後趨向於零。相對於新加坡高硫燃料油、國內 92 無鉛汽油批售價卻有落後一期情形發生，如圖一所示。

表五：Granger 因果檢驗結果

自變數 因變數	檢定總計量	西德州原油	布蘭特原油	杜拜原油	新加坡 西硫燃料油	92 無鉛汽油 批售價
西德州原油	F-Statistic	--	15.9339	127.902	90.2408	5.44298
	Probability	--	3.2E07***	1.3E-38***	5.2E30***	0.00487***
布蘭特原油	F-Statistic	1.31856	--	31.2929	12.3577	3.91292
	Probability	0.26943	--	8.2E-13***	7.8E06***	0.02126**
杜拜原油	F-Statistic	0.14641	0.86388	--	0.36443	4.28709
	Probability	0.86388	0.28661	--	0.69497	0.01480**
新加坡 西硫燃料油	F-Statistic	0.44541	0.93515	0.73876	--	1.72891
	Probability	0.64109	0.39394	0.47878	--	0.17966
92 無鉛汽油 批售價	F-Statistic	1.11604	0.15731	1.17317	2.44244	--
	Probability	0.32925	0.85453	0.31114	0.08909*	--

註：*、** 和 *** 分別代表 10%、5% 和 1% 的顯著水準下，拒絕擬因果的虛假假設。



圖一：衝擊反映分析圖

經由變異數分解函數可以驗證衝擊反映函數的推論；變異數分解的意義為某一特定期間內各個變數的變異數所占總體變異數的百分比大小。觀察下表六，隨著時期的增加，WTI 價格自身

的變異數貢獻率未逐漸減少（維持在 98%），其它原油市場變異數貢獻率也未逐漸增大。因此 WTI 價格變異性（Variability）的顯著性百分比主要歸因於自身價格的變動。

表六：變異數分解函數表

Period	S.E.	D_LNW	D_LNB	D_LND	D_LNF	D_LNG
1	0.017	100.00	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.018	98.67	0.310	0.076	0.307	0.688
3	0.018	98.607	0.327	0.079	0.304	0.681
4	0.018	98.591	0.334	0.080	0.306	0.687
5	0.018	98.591	0.335	0.080	0.306	0.687

二、GARCH 模型

在上一小節中探討 WTI 現貨價格、杜拜原油現貨價格、布蘭特原油現貨價格、新加坡高硫燃料油及國內 92 無鉛汽油等原油市場批售價連動性後發現，WTI 市場對於其它原油市場有一定的領先地位，由於 WTI 市場為非平穩序列且不符合常態分配之假設，故今利用 GARCH 模型模擬 2007 年 1 月 10 日至 2007 年 12 月 28 日間新的原油價格，配適後的資料將做為風險值計算

之用。

本節選取自 2002 年 2 月 19 日至 2007 年 1 月 9 日西德州原油市場每日收盤價數據（資料來源為經濟部能源局，共 1250 筆），首先對原始數據進行一次差分 $D(W) = W_t - W_{t-1}$ ，經分析序列具有下列統計特徵：峰態係數 4.25 大於 3，表明油價波動不服從常態分配；偏態係數 -0.11 說明序列呈現左厚尾的特徵，JB 檢計量為 84.44，也表明該列序不符合常態分配。金融時間序列的高狹峰厚尾特徵使得序列條件變異數有不齊一的



情形，所以常態分配難以擬合金融時間序列的高狹峰厚尾的特徵；之後進行殘差序列自我相關檢定，從 EViews 的輸出結果知道，D-W（Durbin-Watson）統計量的值為 2.11，非常接近 2，可以認為殘差不存在自我相關的情形。

進一步對 $D(W)$ 進行平穩性檢定，也就是單根檢定，本研究採用的 ADF 單根檢定與 PP 檢

驗法，檢驗結果如下表七所示。從輸出的結果得知，ADF 值與 PP 值均小於 1% 顯著水準下的臨界值，所以 $D(W)$ 序列是平穩的。最後，進一步運用 ARCH-LM 檢定序列是否存在著自我相關變異數不齊一的情形，從結果可確知序列存在自我相關異質變異的情形，如下表八所示。

表七：ADF 檢定與 PP 檢驗

變數	包包截距項與趨勢項				僅含截距項			
	ADF	lags	PP	lags	ADF	lags	PP	lags
$D(W)$	-37.26***	0	-37.27***	3	-37.26***	0	-37.27***	3

註：1.*、** 和 *** 分別代表 10%、5% 和 1% 的顯著水準下，拒絕有單根的虛假假設。
2.單根檢定顯著水準臨界值（包含截距項與趨勢項）：1% 臨界值 -3.965416，5% 臨界值 -3.413416，10% 臨界值 -3.128146。
3.單根檢定顯著水準臨界值（僅含截距項）：1% 臨界值 -3.435317，5% 臨界值 -2.863648，10% 臨界值 -2.561942。

表八：D(W) 之 ARCH-LM 檢定表

落後階數	統計量	P-value	落後階數	統計量	P-value
LM (6)	4.370831***	0.000224	LM (12)	4.586549***	0.000000

註：*、** 和 *** 分別代表 10%、5% 和 1% 的顯著水準下。

根據以上的檢驗分析得知， $D(W)$ 為平穩數列，不存在自我相關，但存在著自我相關條件異質變異的情形，可以利用 GARCH 方法建立模型。

首先，透過自我相關與偏自我相關係數進行了檢驗，經分析結果得知自我相關並不顯著，因此本研究設定均值方程表述式如下式(2)：

$$D(W) = 0.031438 \quad (2)$$

進一步採用 Engle (1982) 提出的 ARCH-LM 方法，對殘差是否存在著額外的 GARCH 效應進行檢驗，並以此確定 GARCH 模型的落後階數，經反覆篩選，選取如下的 GARCH 模型：而變異

數方程為下式(3)：

$$\sigma_t^2 = 0.003934 + 0.026590\epsilon_{t-1}^2 + 0.970196\delta_{t-1}^2 \quad (3)$$

ϵ_{t-1}^2 、 δ_{t-1}^2 均顯著不為 0，說明條件異質變異

情形明顯，序列波動具有叢聚性。兩係數之和為 0.99，則反應模型波動持續性較長。依上列估計式(2)、(3)預測 97 年 1 月 10 日至 97 年 12 月 28 日 WTI 現貨價格，該金額與 92 年 2 月 10 日至 97 年 1 月 9 日相結合進行估計與驗證風險值。

三、風險值

本研究收集了從 2002 年 2 月 19 日至 2007 年 12 月 28 日共 1500 筆（後 250 筆利用 GARCH 模型模擬新的原油價格）WTI 市場每桶價格資料（單位：美元／桶），該計算出的風險值可解釋為每持有一桶原油，因為油價的波動導致的損失的情況。油價的變化率（收益率）估計式如下式(4)：

$$d_ln w = \log(W_t) - \log(W_{t-1}) \quad (4)$$

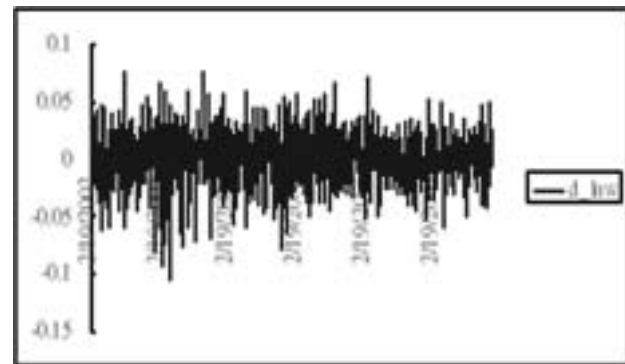
$d_ln w$ 代表油價變化率序列， W_t 代表某一期原油的價格。由圖二可以看出，WTI 價格收

表九：WTI 收益率的基本敘述統計

按本期間	2002.2.19 至 2007.12.28
平均數	0.001019
收益差	0.021278
偏態係數	-0.254643
全態係數	4.326885
JB 常臨檢驗證	126.1656
$Q(12)$ 統計值	22.186
$Q^2(5)$ 統計值	8.4331
ADF 檢定 (1%臨界值 -2.57)	-10.14

為了度量石油市場的風險，馮春山等建立了國際油價的 ARCH 模型，潘慧峰等建立了中國油價的 ARCH 模型，將模型估計得到變異數作為風險的指標。但風險顯然只與虧損有關，一個合理的風險度量應與損失聯結起來，標準差只是總體上反映了風險的水準，不能對極端建模。而 VaR 模型可以彌補這一個缺點。而蒙地卡羅模擬法與歷史模擬法對資產收益率的分配型態未做出任何假設，因此可適用於任何型態分配的風

險變化率基本上圍繞著均值上下波動，波動幅度較大。ADF 檢驗顯示在 1% 的顯著水準之下拒絕有單根假設，說明序列是平穩的。表九中偏態係數是負值，WTI 收益率的分配不是對稱的，從峰態係數可以看出，分配呈現厚尾的特徵。而 JB 常態檢驗結果證實了石油價格收益率分配不是常態分配。檢驗 $d_ln w$ 序列自關相性 Ljung-Box Q 統計量結果顯示， $d_ln w$ 序列存在明顯的自我相關性，因此可以考慮運用自我迴歸移動平均模型 (ARMA) 來配適，而用來檢驗 $(D_ln w)^2$ 序列相關性 Q^2 統計量結果顯示存在著異質變異。



圖二：WTI 價格收益準時序圖

險值計算，故本研究結合變異數 - 共變異數法、歷史模擬法及蒙地卡羅法等三種風險值模型，採用移動視窗方式計算風險值，期使經過比較不同模型結合下之預測結果的失敗次數與均方誤差，選擇較能捕捉油價波動性之評估模型。

(一) GARCH—變異數共變異數—VaR 模擬法

本節採用 GARCH 模型產生新的原油價格，並結合風險值—變異數共變異數模型度量了 WTI 市場的風險；由於石油收益率序列平穩



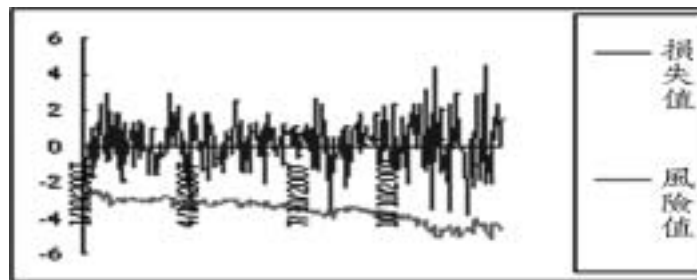
且存在自我相關、非常態分配與異質變異性，故先運用 ARMA 過程描述收益序列的自我相關係，經反覆篩選，選取如下的 ARMA 方程式，如下式(5)：

$$d_{\ln w} = 0.057225 - 0.82026d_{\ln w_{t-1}} + \varepsilon_t \quad (5)$$

其次，用選定的 ARMA 方程式來描述 $d_{\ln w}$ 異質變異性，進一步採用 Engle (1982) 提出的 ARCH-LM 方法，對殘差是否存在著額外的 ARCH 效應進行檢驗，並以此確定 ARCH 模型的落後階數，經反覆篩選，選取如下的 ARCH 模型：

$$\sigma_t^2 = 0.000441 + 0.065104\varepsilon_{t-1}^2 \quad (6)$$

在一定的分配假設下，應用 ARCH (p) 模型類計算條件變異數 σ_t^2 ，將其開平方根後的標準差 σ_t 代替 VaR 模型計算公式中的 σ ，即可計算求得風險值，本研究執行 ARCH 模型 250 次，得出 250 個風險值。方程式透過 Eviews 程式執行預測值與實際損失之比較，結果如圖三所示。

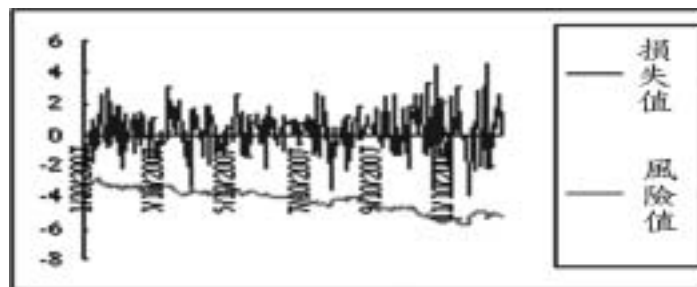


圖三：GARCH—變異數共變異數—VaR 模擬法

(二) GARCH—蒙地卡羅模擬法—VAR 模型

本節假設資產價格變動符合幾何布朗運動，根據公式並重複模擬 10000 次的隨機價路徑，再利用模擬出來的資產價值建構獲利及損失分配圖，並以此分配圖來推算 VaR

值。在顯著水準 1% 上使用移動視窗的方法計算 2007/01/10-2007/12/28 的每日 VaR 值，計 250 筆，風險值和實際損失之比較，結果如圖四所示。

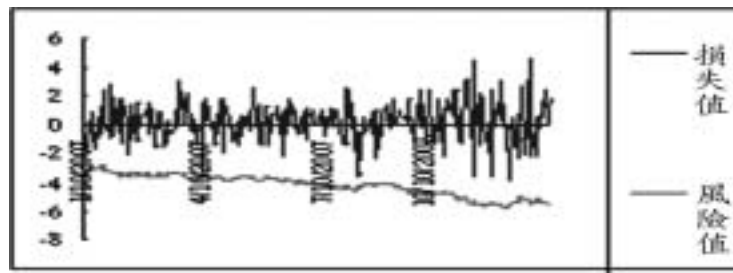


圖四：GARCH—蒙地卡羅模擬法—VAR 模型

(三)GARCH—歷史模擬法—VAR 模型

本節以 WTI 現貨價格為觀察對象，期間 2002 年 2 月 19 日到 2007 年 12 月 28 日 1500 筆日資料，取 1250 個數據為移動窗口，窗

口移動 250 次，可以得到 2007/01/10-2007/12/28 的每日 VaR 值，計 250 筆，風險值和實際損失之比較，結果如圖五所示。



圖五：GARCH—歷史模擬法—VAR 模型

(四)模式預測表現評估

為比較各模型間估計預測的效果，本研究使用「回溯測試」(Back Test)，融入移動視窗的概念，每一次預測都再加入一筆新的資料，除去第一筆資料，重新對模型的參數進行估算後計算出下一日的風險，依此步驟對未來 1 日風險值進行預測，重覆此步驟，得到未來 250 筆的風險值，計算出穿透次數後，即可以比較出各模型對風險值的估計效果。

本研究從二部分加以討論：(1)未經任何配適，直接使用原始數據利用變異數—共變異數、蒙地卡羅模擬法與歷史模擬法計算風

險值；(2)利用 GARCH 模型配適後產生新的原油價格，再利用變異數—共變異數、蒙地卡羅模擬法與歷史模擬法等三種風險值模型進行分析，試圖量化油價風險與比較。

結果發現，利用 GARCH 模型配適後產生新的原油價格，在風險值計算過程中，失敗率或均方誤差結果皆較未配適前為佳。在顯著水準 1% 下，利用 GARCH 模型配適後產生新的原油價格，僅變異數—共變異數在估計 VaR 模型有一「例外數」(exceptions)，其餘皆無；而在均方誤差則以變異數—共變異數最低，模式預測表現評估見下表十。

表十：模式預測表現評估表

資料來源 模型	真實原油價格		GARCH 模型產生的原油價格	
	穿透次數	均方誤差	穿透次數	均方誤差
變異數—共變異數	2	4.05847	1	4.04885
歷史模擬法	1	4.65099	0	4.64128
蒙地卡羅模擬法	1	4.62522	0	4.61643



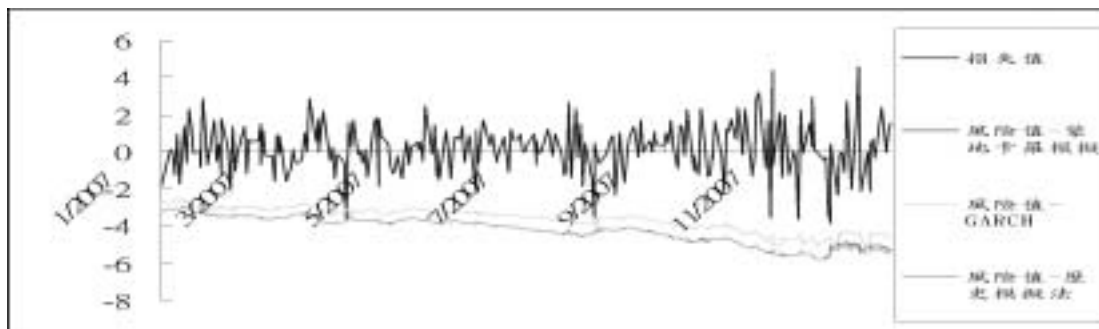
伍、結論與建議

一、本研究使用組合方法衡量油價波動風險，利用 GARCH 模型產生新的原油價格並結合風險值模型中的變異數共變異數法、歷史模擬法與蒙地卡羅模擬法等三種模型計算風險值；經實證分析結果得知，真實值穿透估計風險值次數，皆符合 1% 顯著水準設定，故在實務上三種模型都可以參考運用；決策者可依據自己風險承受程度，通過適當的顯著水準及資產持有時間計算所能承受的最大損

失，達到預測及風險控管的目的。

二、從圖六中可以看出，GARCH 模型—變異數共變異數—VaR 模型每日風險值皆小於其它二種模型，更加靠近於真實損失。風險低估是運用 VaR 方法作為風險量測工具應注意的問題，雖然較低的 VaR 值可以降低資本的要求，降低資金成本，但導致的風險低估可能產生危險的後果；今若以實際損失作為衡量基礎，其它二個模型（歷史模擬法、蒙地卡羅模擬法）有可能導致資金的浪費，其中的利害得失，仍依賴於決策者依實際狀況加以衡量與運用。

圖六：風險值比較圖



三、VaR 值係指在一指定的顯著水準（1%）上，某一特定期間內，資產組合可能產生的最大潛在損失。因此，VaR 的某一次估計值結果只是告訴決策者，有一定程度的把握（99%），在下一個交易最大潛在損失不會超過此 VaR 值。對於國軍而言，如能運用風險值模型預判次日或一特定期間可能產生的最大損失或所能容許的最大損失金額，在考量單位油料庫存、戰演訓工作，適時制定油品採購政策，應能提升國軍在預算支用效能。

四、本研究利用 GARCH 模型模擬新的 WTI 價格，並運用相同的分析方法探討新舊 WTI 價格在風險值的績效；研究結果發現，利用 GARCH 模型模擬新的 WTI 價格穿透次數由 2 次降為 1 次，均方誤差也由 4.06 降至 4.05，故決策者在進行風險控管時，可以考慮使用 GARCH 模型後產生的價格並結合變異數—共變異數法、歷史模擬法與、蒙地卡羅模擬法等三種風險值模型進行分析評估以提升在油價風險的管理績效。

參考文獻

1. 李命志、李彥賢、張智超（2005），「原油價格風險值的估計－拔靴法的應用」，金融風險管理季刊，第1卷，第2期，頁57-75。
2. 向蓉美（2007），油價系統模擬石油企業最優策略，中國成都西南財經大學博士學位論文。
3. 林惠娜、鄭婉秀、陳坤宏（2007），「三大原油市場之動態關聯性探討」，真理財經學報，第16卷，頁71-92。
4. 洪儒瑤、古永嘉、康健廷（2006），「ARMA-GARCH 風險值模型預測績效實證」，Journal of China Institute of Technology，第34卷，頁13-35。
5. 陳佩玲（2002），「匯率條件風險值之估計與比較」，中原大學國際貿易學系未出版碩士學位論文。
6. 劉立倫著（2005），國防財務資源管理，揚智文化事業股份有限公司
7. 韓冬炎（2007），中國石油價格形成機理及調控機制的研究，中國哈爾濱大學博士學位論文。
8. 龐曉華（2007），「國際能源署預測到2003年全球油價將接近100美元/桶」，石化技術與用，第1期，頁47。
9. Angelidis, T., Benos, A. and Degiannakis, S. (2004), The use of GARCH models in VaR estimation, Statistical Methodology, 1(1-2), 105-128.
10. Berg, E. and Kverndokk, S. (1997), Market Power, International CO2 Taxation and Petroleum Wealth, The Energy Journal, 18 (4), 33-71.
11. Bollerslev, T. (1986), Generalised autoregressive conditional heteroskedasticity, Journal of Econometrics, 1986, 31: 307-327.
12. Cabedo, J.D. and Moya, I. (2003), Estimating Oil Price 'Value at Risk' Using the Historical Simulation Approach, Energy Economics, 25, 239-253.
13. Elam, E. and Dixon, B.L. (1988), Examining the Validity of a Test of Futures Market Efficiency, Journal of Futures Markets, 8(3), 365-372.
14. Engle, R.F. (1982), Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation, Econometrica, 50(4), 987-1007.
15. Engle, R.F. and Granger, C.W.J. (1987), Co-integration and Error Correction Representation, Estimation, and Testing, Econometrica, 55(2), 251-276.
16. Engle, R.F. and Manganelli, S. (2000), CAViaR: Conditional Autoregressive Value at Risk by Regression Quantiles, Journal of Business & Economic Statistics, 22, 2004
17. Fagan, M.N. (1997), Resource depletion and technical change: Effects on U.S. crude oil finding costs from 1977 to 1994, Energy Journal, 18 (4), 91-95.
18. Gencay, R. and Selcuk, F. (2004), Extreme value theory and Value-at-Risk: Relative performance in emerging markets, International Journal of Forecasting, 20(2), 287-303.
19. Ghouri, S.S. (2006), Assessment of the relationship between oil prices and US oil stocks, Energy Policy, 34(17), 3327-3333.
20. Giot, P. and Laurent, S. (2003), Value-at-risk for long and short trading positions, Journal of Applied Econometrics, 18, 641-664.



- 21.Griffin, J.M.(1985),OPEC Behavior:a test of alternative hypotheses,American Economic Review, 75(5), 954-963.
- 22.Hotelling, H.(1931), The Economics of Exhaustible Resources, The Journal of Political Economy, 39(2), 137-175.
- 23.Hull, J. and White,A. (1998), Incorporating Volatility Updating into the HistoricalSimulation Method for Value-at-Risk , Journal of Risk , 1, 5-19.
- 24.Jacobson, T. and Roszbach,K.(2003) ,Bank lending policy, credit scoring and value-at-risk, Journal of Banking and Finance, 27(4), 615-633.
- 25.Jones, C.T (1990), OPEC behavior under falling prices:implications for cartel stability, The Energy Journal ,11(3) ,117-129.
- 26.Khindanova, I., Rachev,S. and Schwartz, E.(2000), Stable Modeling of Value at Risk, Journal of Derivatives, 4(3), 73-89.
- 27.Maberly, E.D. (1985), Testing Futures Market Efficiency—A Restatement, Journal of Futures Markets, 5(3),425-432.
- 28.Pindyck, R.S. (1978), The Optimal Exploration and Production of Nonrenewable Resources, Journal of Political Economy, 86(5), 841-861.
- 29.Ramcharran, H.(2002), Oil Production Responses to Price Changes: an Empirical Application of the Competitive Model to OPEC Countries.” Energy Economics, 24, 97-106.
- 30.Sadeghi, M. and Shavvalpour, S.(2004), Incorporating Volatility Updating into the HistoricalSimulation Method for Value-at-Risk, Energy Policy, 34(18), 3367-3373.
- 31.Salant, W.S. (1982), Imperfect Competition in the International Energy Market: A Computerized Nash-Cournot Model,Operations Research,30(2), 252-280.
- 32.Salameh, M.G. (2003), Quest for Middle East oil: the US versus the Asia-Pacific region,Energy Policy, 31(11), 1085-1091.
- 33.Shawkat, H., Huimin, L. and Bang,J.(2003), Causality and volatility spillovers among petroleum prices of WTI, gasoline and heating oil in different locations, The North American Journal of Economics and Finance, 14(1), 89-114.
- 34.Shen, C.H. and Wang, L.. R. (1990), Examining the Validity of a test of Futures Market Efficiency A Commen, Journal of Futures Markets, 10(2), 195-196.
- 35.Sims, C. A.(1972), Money, Income, and Causality, American Economic Review, 62(4), 540-552.
- 36.Wai, H.F. and Kim, H.S. (2002), A Markov Switching Model of the Conditional Volatility of Crude Oil Futures Prices,Energy Economics, 24, 71-95.

作者簡介



李通洋少校，國管院專科 83 年班、財務正規班 93 年班、管院財管所 97 年班，現任空軍第四四三聯隊會審官，曾任空軍戰術管制聯隊第四作戰管制中心預算官、空軍第四五五聯隊聯隊部預算財務官、國防部北部地方軍事法院檢察署財務官、空軍戰術管制聯隊會審官、空軍後勤司令部財務參謀官、國防部空軍司令部計畫處預算官、國防部空軍司令部主計處主計參謀官。