

東海大學管理學院財務金融研究所
碩士論文

石油選擇權無模型波動之資訊內涵

The Information Content of Model-free
Volatility for Crude Oil Options

指導教授：郭一棟 博士

研究生：王智民

中華民國一〇四年七月

東海大學碩士學位論文

學位考試委員審定書

本校 財務金融研究所 碩士班 王智民 君

所提之論文(中文)： 無模型隱含波動度實證研究-以石油選擇權
為例

(英文)： The Information Content of Model-Free
Volatility for Crude Oil Options

經本委員會審查，符合碩士學位論文標準

學位考試委員會

召集人 楊錦子

考試委員 鄧一博 (指導教授) 陳昭君
王凱之 顏盟峯

系所主任 鄧一博

中華民國 104 年 6 月 30 日

東海大學財務金融學系

碩士論文學術倫理聲明書

本人 王智民 (學號: G02440023) 已完全了解學術倫理之定義。僅此聲明，本人呈交之碩士論文絕無抄襲或由他人代筆之情事。若被揭露具有違背學術倫理之事實或可能，本人願自行擔負所有之法律責任。對於碩士學位因違背學術倫理而被取消之後果，本人也願一併概括承受。

立證人： 王智民 (簽名)

中華民國 104 年 7 月 13 日

致謝

首先誠摯的感謝指導教授郭一棟博士，老師細心的教導使我得以一窺衍生性金融商品領域的深奧，不時的討論並指點我正確的方向，使我在這兩年中獲益匪淺。老師對學問的嚴謹更是我學習的典範。

感謝口試委員：楊踐為老師、陳昭君老師、王凱立老師、顏盟峯老師，百忙之中擔任我的口試委員、並且對於我的論文給了很好的建議，使得論文更加完整

兩年來的日子，研究室裡共同的生活點滴，學術上的討論、言不及義的閒扯、讓人又愛又怕的消夜、趕作業的革命情感，感謝眾位學長姊、同學、學弟妹的共同砥礪，有你們的陪伴讓兩年的研究所生活變得絢麗多彩。

本論文的完成另外亦得感謝江勇霖、趙柏竣、葉官翰、林奕勳同學的協助。謝謝你們這兩年來的照顧，無論是在學業上、研究上還是生活上，你們都幫了我很多，因為有你們整個研究所的生活增色了不少。

再來我要感謝我的女朋友，妳在背後的默默支持更是我前進的動力，謝謝妳這兩年來的體諒、包容。

最後我要感謝我的家人，謝謝你們的支持，讓我可以全心全意地完成我的學業。

王智民 謹誌于
東海大學財務金融所
民國 一〇四年 七月

中文摘要

一般而言探討波動度都是以 Black-Scholes 隱含波動度當作主要的工具，而 Britten-Jones and Neuberger(2000)在擴散假設之下，推導出無模型設定之隱含波動度(model free implied volatility)，Jiang and Tian(2005)把上述之無模型設定的隱含波動度推廣至標的資產價格服從跳躍-擴散隨機過程(jump-diffusion process)，本文依據 Jiang and Tian(2005)的無模型設定之隱含波動度、並加入隱含波動度、歷史波動度等變數做迴歸分析，觀察無模型設定之隱含波動度是否為變數中對實際波動度包含最多的資訊，且為預測實際波動度的最佳指標。實證結果發現，由石油選擇權所算出來的隱含波動度雖沒有與 Jiang and Tian(2005)使用 S&P 500 指數選擇權的預測能力高，但與 Jiang and Tian(2005)有許多一致的結果。如無模型設定之隱含波動度仍為偏誤的估計式、無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度可解釋更多未來波動度。

關鍵字：無模型、隱含波動、石油選擇權

Abstract

In general, we discuss volatility by using Black-Scholes implied volatility. But Britten-Jones and Neuberger (2000) proposed the model-free implied volatility, Jiang and Tian(2005) applied the model-free implied volatility with jump-diffusion process. This paper compares to the model-free implied volatility of Jiang and Tian(2005), implied volatility, historical volatility as the variables of regression, to see whether model-free implied volatility contain more information than the others. The result shows that although the prediction power of implied volatility from crude options is not same as S&P 500 index option, this result is consistent with Jiang and Tian(2005). If model-free implied volatility is still a biased the estimates model-free implied volatility can have more explanation than implied volatility and historical volatility.

Keywords: Model-Free, implied volatility, crude oil option

目錄

中文摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
第一章、緒論.....	1
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究動機.....	2
第三節 研究目的.....	5
第四節 研究架構.....	6
第二章、文獻回顧.....	7
第一節 歷史波動度.....	7
第二節 實際波動度.....	8
第三節 隱含波動度.....	9
第四節 二項樹(Binomial trees)之隱含波動度.....	11
第五節 無模型設定隱含波動度.....	11
第六節 歷史波動度與隱含波動度.....	12
第三章、研究方法.....	14
第一節 樣本來源.....	14
第二節 變數定義.....	14
第三節 迴歸分析模型.....	17
第四章、實證結果.....	20
第一節 樣本分析.....	20
第二節 波動度預測模型之實證分析.....	22
第五章、結論與建議.....	41
參考文獻.....	42

表目錄

《表 1》波動度之敘述統計量	21
《表 2》波動度之相關係矩陣	21
《表 3》單根檢定	23
《表 4》波動度 σ_t 之迴歸分析	26
《表 5》波動度變異數 V_t 之迴歸分析	27
《表 6》波動度取對數 $\ln(\sigma_t)$ 之迴歸分析	28
《表 7》波動度 σ_t 之迴歸分析(含遞延期).....	31
《表 8》波動度變異數 V_t 之迴歸分析(含遞延期).....	35
《表 9》波動度取對數 $\ln(\sigma_t)$ 之迴歸分析(含遞延期).....	39

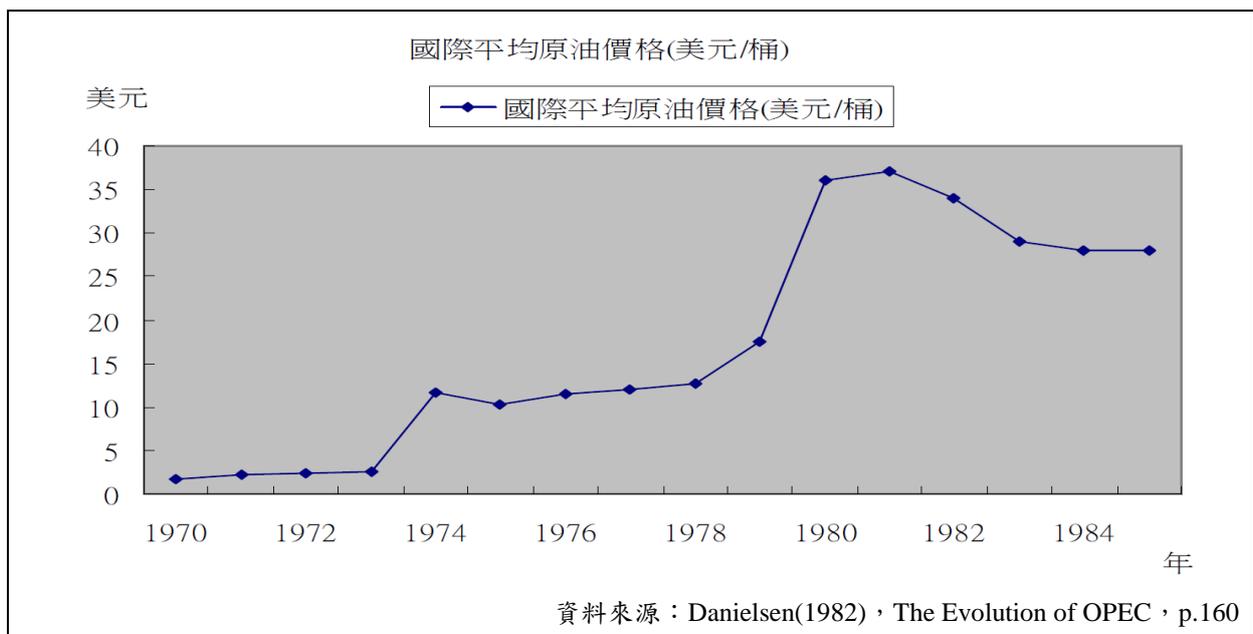
圖目錄

《圖 1》 1970-1985 年國際原油價格趨勢圖.....	1
《圖 2》 2006-2009 年國際原油價格走勢圖.....	2
《圖 3》 本文架構圖.....	6
《圖 4》 各隱含波動走勢圖.....	22

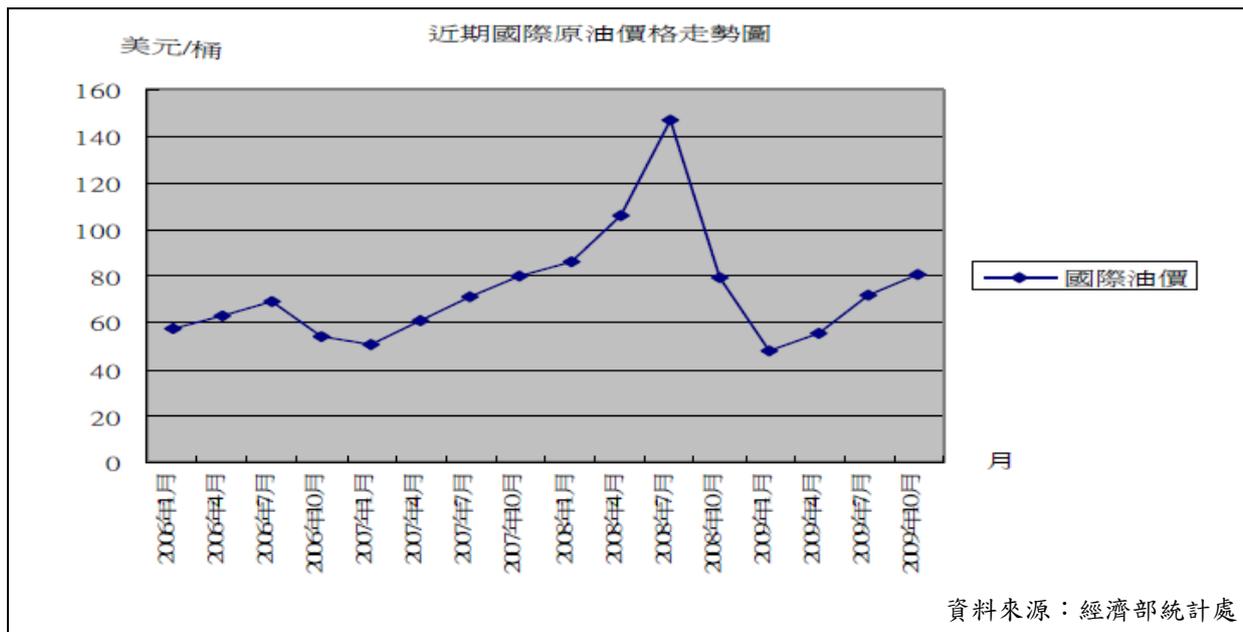
第一章、緒論

第一節 研究背景

石油與人類的生活息息相關，例如：發電、塑膠、衣服、瓦斯、天然氣、開車、柏油等，由歷史資料可以看到過去發生了四次石油危機，自 1973 年 10 月爆發第四次以阿戰爭後，因為阿拉伯石油輸出國家組織（Arab Organization of petroleum Exporting Countries）為了打擊以色列及其支持者，這些擁有石油供應主控權的石油輸出國家實施石油減產及禁運，造成第一次石油危機，使油價由過去每桶近三美元大幅上漲至超過十美元，1978 年底，伊朗政局發生變化，親美派下台，引發第二次石油危機，其後爆發兩伊戰爭，石油產量急跌，至 1980 年，石油每桶由 13 美元升至 39 美元。1990 年 8 月，由於波斯灣戰爭爆發，伊拉克攻打科威特，伊拉克的原油供應中斷，出現第 3 次石油危機，國際油價急升至每桶 42 美元。2008 年油價急升主因是由於亞洲經濟發展迅速原油需求增加、美元持續走弱、中東軍事衝突(如：伊朗核武風暴)。



《圖 1》1970-1985 年國際原油價格趨勢圖



《圖 2》 2006-2009 年國際原油價格走勢圖

第二節 研究動機

在瞬息萬變的金融市場上，投資人最關心於報酬和風險。隨著近年來各國金融改革的開放，衍生性商品蓬勃發展，提供更多投資組合的選擇給投資人，但多種選擇下投資人最終還是圍繞如何在適當的風險控管下可以獲取最大的報酬率。其中，波動度是不可忽略的因素，如何準確估計波動度，對於投資組合提供保險和獲利的契機，至今仍有許多學者研究。到目前為止學者用來估計波動度的方法大致分成以下幾種：(一)、從過去歷史資料估計而得的歷史波動度(History Volatility；以下簡稱 HV)。(二)、從理論模型反推的隱含波動度(Implied Volatility；以下簡稱 IV)，如 1973 年 Black and Scholes(以下簡稱 B-S) 提出歐式買權選擇權評價模型。(三)、不需根據任何特定的選擇權評價模型進行波動度估計的無模型設定之隱含波動度(Model-free Implied Volatility)

波動度是無法直接從市場上觀察到的，但波動度在避險和選擇權定價上卻又是個關鍵因素，HV 是從歷史資料估計而得的，是最普遍及最簡單的估計方法；IV 是將選擇權市價代入理論評價模型中計算出來的波動度，IV 反應了其他不在定價公式中的因子，例如流動性、買賣價差、稅負、交易成本等。因此一般認為相較於其他波動度模型而言，IV 應該隱含較多的訊息，所以對於預測未來的實際波動度(Realized Volatility；以下簡稱 RV)，IV 是一個較好的代理變數。但不同波動度模型各有學者支持，爭論一直存在。

Gemmill(1986)以英國 13 家上市公司的個股選擇權為樣本，同時將估計的波動度模型區分成 HV 和 IV 群組進行實證研究，結果發現價平及價內選擇權均可以求出準確性較佳的 IV，且預測效果優於 HV。Lamoureux and Lastrapes(1993)以 1982 年至 1984 年間 CBOE 交易的 10 支個股選擇權為探討對象，發現 IV 的確顯著地反應了市場的資訊，但 HV 也隱含著一定比例的市場資訊。Jorion(1995)則對外匯期貨市場進行實證，其結果指出，雖然 IV 有偏誤存在，但還是一個有效率的估計值。Vasilellis and Meade(1996)以投資組合選取的角度，採取倫敦股票交易所(London Stock Exchange)中的 12 家上市公司為樣本，比較 HV 模型、GARCH 模型和 IV 模型的優劣。實證結果指出 GARCH 模型優於 HV，如果進一步結合 GARCH 與 IV 則可以增加預測的能力。Fleming(1998)以 S&P100 指數選擇權的買權 IV、賣權 IV 及 HV 進行比較，實證結果顯示 IV 在預測時會有向上偏誤的情形，但在預測能力上較 HV 來得優秀，對市場來說是一個合理的波動度估計值。Gwilym and Buckle(1999)針對不同種類的 HV、IV 及 HV 結合 IV 進行波動度預測的比較，以 1993 年至 1995 年間每日的 FTSE100 指數為標的作為研究，結果發現 HV 群組對標的指數波動度的預測誤差最小，HV 結合 IV 次之，IV 群組的誤差最大，同時這些波動度模型長期的預測能力均優於短期。此外，IV 雖然是一個偏差的估計值，但內含的資訊卻多於 HV。

另一方面，Canina and Figlewski(1993)的實證結果則與一般我們對於 IV 是一個良好預測值的觀念有很大的出入。Canina and Figlewski 以 S&P100 指數選擇權為研究標的，使用 1983 年到 1987 年買權的週收盤價，將樣本依到期日遠近與內含價值大小分成 32 組，來探討 IV、HV 和 RV 間的關係。結果發現不僅 IV 和 RV 之間沒有任何顯著的關係，IV 也沒有包含相關的隱含資訊。Canina and Figlewski 將此結果歸因於兩點，1.市場根本不夠效率，不理性的投資人常會使市場出現噪音；2.Black-Scholes 模型沒有考慮交易成本，因此模型是有錯的。而針對 Canina and Figlewski(1993)所作出的結論，Christensen and Prabhala(1998)同樣是以 S&P100 指數選擇權(價平買權)為研究樣本，但實證結果卻完全相反。他們仍然認為 IV 是一個有偏誤的預測值，但是其預測能力不僅優於 HV，而且內含了許多的隱含資訊。在同樣的樣本下，他們的結論與 Canina and Figlewski 完全相反，可能有兩個主要的因素，1.Christensen and Prabhala 使用較長的樣本期間(1983/11~1995/5)，一方面可以增加統計檢定力，另一方面也考慮到 S&P100 指數選擇權從 1983 年問市以來對市場效率性的發展，2.其估計報酬率的方式是使用非重疊性的樣本(Nonoverlapping Data)，因此相對於重疊性的樣本(Overlapping Data)而言，前者在迴歸分析上，樣本間沒有存在因彼此重疊而產生的序列不穩定(Series Nonstationary)與序列自我相關(Series Autocorrelation)的問題，所得到的迴歸結果可信度較高。Christensen and Hansen(2002)則將價外、價內的選擇權依其交易量加權平均來計算波動度，同時加入了賣權的資料，更進一步印證了 Christensen and Prabhala(1998)的結論。

由於利用 B-S 評價模型所反推導出隱含波動度計算較為簡便，加上文獻上支持其隱含波動度的預測能力，因此 B-S 隱含波動度成為在選擇權市場上衡量波動度的重要指標，然而隱含波動度也有缺點，波動度大小會受到不同的到期日、不同價性(價內外)、不同履約價格，甚至不同種類(買權或賣權)的選擇權影響，而最大的問題是具有波動度微笑(volatility smiles)的問題，因此在避險和定價的實務上運用隱含波動能會產生疑慮。

當此類議題受到眾多學者注意時，Britten-Jones and Neuberger(2000)率先提出無模型設定的隱含波動度，假設標的資產服從擴散過程(diffusion process)下推導，隨後 Jiang and Tian(2005)則進一步將其推廣至標的資產服從的跳躍-擴散過程(Jump-diffusion process)利用無模型設定之隱含波動度及 S&500 指數選擇權資料去檢驗市場的效率性，檢驗結果顯示因為無模型設定之隱含波動度使用不同的履約價格的選擇權資訊而的，因此相較於其他模型而言，無模型設定之隱含波動度預測未來波動度包含了較多的資訊。相較於 B-S 評價模型，無模型設定方法所計算出的隱含波動率，具有以下幾個不同的地方：第一、其計算過程不須依靠任何選擇權評價模型。但計算 B-S 隱含波動率時，卻需要依靠 B-S 評價模型，因此，無模型設定隱含波動率不會有模型誤設錯誤(Misspecification Errors)。第二、相對於 B-S 隱含波動率只使用價平選擇權的資訊，無模型設定隱含波動率還包含其他履約價下選擇權的資訊。

第三節 研究目的

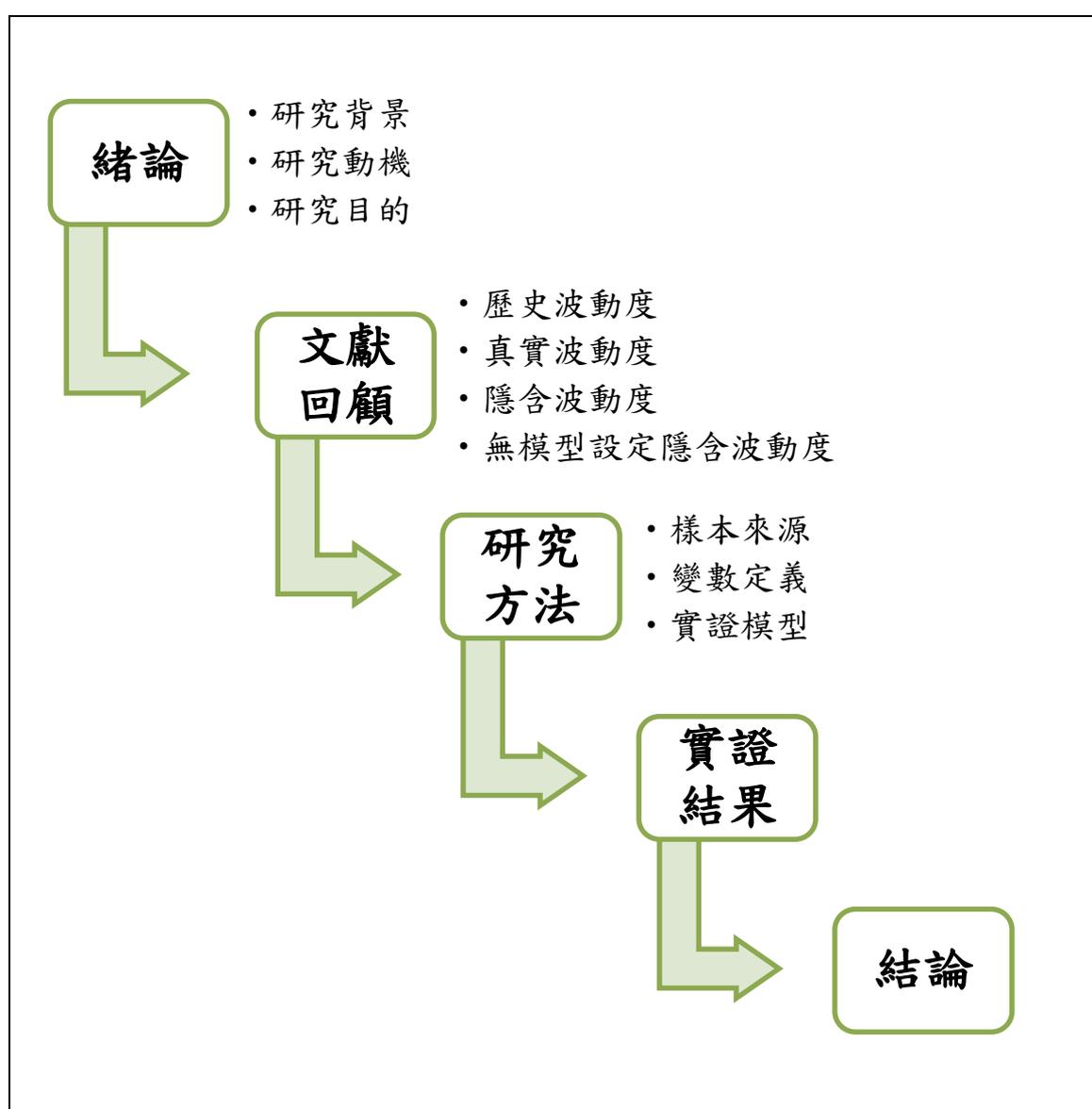
有鑒於波動度的預測日趨重要，本文以石油選擇權為實證研究主體，根據不同的波動度預測方法，比較何種波動度預測方法最能合理預測未來的真實波動度(Realized Volatility)。本文採用的波動度預測方法為以下三類：

- (一)、無模型設定的隱含波動度(Model-Free Implied Volatility)
- (二)、隱含波動度 (Implied Volatility)
- (三)、歷史波動度 (History Volatility)

本文依據 Jiang and Tian(2005)的做法，以石油選擇權為研究對象，探討這三種波動度對於實際波動度之預測能力，及各波動度隱含的資訊。

第四節 研究架構

本研究主體架構欲以石油選擇權為研究對象，探討無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度對於實際波動度之預測能力。將分為以下幾個部分進行：第一章為緒論，第二章將會介紹相關文獻，第三章將會說明樣本來源、相關變數定義及建立模型，第四章將為實證結果，第五章將為本研究之結論與建議。



《圖 3》本文架構圖

第二章、文獻回顧

波動度的預測，近年來在金融商品市場中無論在風險的控管、衍生性金融商品的定價、選擇權交易和避險的應用上都格外受到注意，也反映出其重要性。一般估計波動度的方式有兩種，一是以標的價格報酬率的歷史波動度當作估計，另一個則是以選擇價格反推求得的隱含波動度。歷史波動度與隱含波動度兩者的前提假設都是假設報酬率標準差為常數下所求得，然而此假設與實際市場的情況卻是有所差異的，這被認為評價模型會有偏誤的主要因素之一。而後，無模型設定之隱含波動度的問世，取代多年來認為模型反推而得之隱含波動度為一主要預測因子，無模型設定隱含波動度逐漸成為預測未來波動的重要波動度。以下便就歷史波動度、隱含波動度、無模型設定的隱含波動度三方面作文獻回顧。

第一節 歷史波動度

歷史波動度模型是使用過去的股價報酬率來估計動度，在其他條件維持不變下，若觀察期間越長，資料的筆數愈多，所估計之波動性應該越正確；然而觀察期間過長，容易包含太多過去的資料，對於預測未來並無太大助益。觀察期間長短的選擇，將會影響波動性估計之正確性，但是對於最適期間的決定，並沒有一致的看法，例如：Black and Scholes(1973)取一年，Chiras and Manaster(1978)取 20 個交易日

歷史波動度模型的估計式：

$$\sigma_t^{HV} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2} \times \sqrt{T} \quad (1)$$

其中 σ_t^{HV} 為第 n 日歷史波動性；
 r_i 為 n 日內每天之報酬率；
 \bar{r} 為 n 日內報酬之平均數；
 T 為年度市場交易日。

第二節 實際波動度

一般而言，波動度通常定義為未預期的資產價格變化量。但是一般所謂的波動度，其實是無法藉由觀察而得到的，因此只能對波動度給於適當的估計。

Canina and Figlewski(1993), Jorion(1995)是以報酬率的標準差來模擬波動度，其定義如下：

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{(R_t - \mu_{In})^2} \quad (2)$$

其中 $\hat{\sigma}_t$ 為第t日的波動度；

R_t 為第t日的股價指數名目報酬率；

μ_{In} 為估計期 (In-Sample) 樣本的每日股價指數報酬率的平均值。

Gwilym and Buckle(1999)採用從計算日當天至到期日的平均報酬率來進行計算，其定義如下：

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \mu)^2} \quad (3)$$

其中 n 為計算日至到期日的天數；

R_i 為計算日至到期日期間，第 i 天的股價名目報酬率；

μ 為計算日至到期日間股價指數報酬率的平均數。

在計算資產報酬的實際波動率時，可以採用不同的樣本頻率，過去的研究大多以日資料來計算。Canina and Figlewski(1993)和 Christensen and Prabhala(1998)皆使用日報酬(daily return)來計算真實報酬率。近年來有許多學者的研究則討論著應該使用內報酬率(intraday returns)取代日報酬資料來計算實際波動度，Andersen and Bollerslev(1998)、Barndorff Nielsen and Shephard(2003)指出日報酬資料包含太多的噪音(noise)，利用日報酬率去計算實際波動性，將產生估計偏誤。

第三節 隱含波動度

Black-Scholes 模型(以下簡稱 B-S 模型)，此模型是由 Fischer Black and Myron Scholes 於 1973 年共同提出來的選擇權評價模型。B-S 模型是最被廣泛使用的選擇權評價模型，其對選擇權評價與避險策略有重大且深遠的影響，不僅是 1980 年至 1990 年代財務工程能成功發展的關鍵因素，也是近幾年來衍生性商品快速發展的基礎。B-S 模型有以下假設條件：

- (1) 股票價格呈對數常態分配，且 μ 與 σ 均為常數；
- (2) 股價呈連續性變動；
- (3) 選擇權為歐式選擇權，只能在到期日履約；
- (4) 在選擇權契約期間內，股票不會發放股利；
- (5) 沒有無風險套利機會；
- (6) 投資人可以用相同的無風險利率來借入或貸出資金；
- (7) 短期無風險利率為一常數；
- (8) 沒有交易成本或稅賦；

Black-Scholes 選擇權定價模型公式如下：

$$C = S_0 N(d_1) - Ke^{-rt} N(d_2) \quad (4)$$

$$P = Ke^{-rt} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (5)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (6)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (7)$$

其中 C 為買權價格；

P 為賣權價格；

$N(x)$ 為標準常態方配的累積分配函數；

S 為現貨價格；

K 為履約價格；

r 為連續複利的無風險利率；

σ 為股價波動率；

T 為選擇權距到期日的時間(以年表示)。

因為假設波動度為固定，所以上述的評價模型可以看出影響選擇權價格之因素為股價、履約價格、無風險利率、到期日，換言之，只要將這四個參數代入評價模型，就可以求出買權價格。假如選擇權市場是一個效率市場，評價模式正確，則選擇權會反應出所有相關的條件資訊，將買權價格代入 B-S 定價模型，反向求出波動度就稱為 B-S 隱含波動度

$$\sigma^{IV} = f(S, K, r, T, -t, \sigma) \quad (8)$$

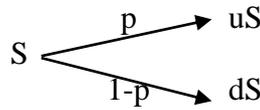
自 Black and Scholes(1973)提出選擇權評價模型，隱含波動度可以為未來實際波動的預測指標，近年來眾多學者的研究也指出，由選擇權價格反推出來的隱含波動，比起歷史波動度，對於未來實際波動度更能提供有效的預測，且績效表現較好。Harvey and Whaley(1991)則認為隱含波動度可反應市場對波動度的預期。Christensen and Prabhala(1998)研究了 S&P100 指數選擇權，結果發現隱含波動度不但具有預測能力而且也包含了歷史波動度的預測資訊。

Fleming(1998)檢驗 S&P100 之隱含波動度，預測未來股票市場波動度之績效，研究結果買權及賣權隱含波動度具有向上之偏誤(會高估未來之波動度)，但可以支配歷史波動度，且包含未來波動度之相關資訊，並在結論時提出三點隱含波動度值得研究價值：

1. 隱含波動度可以做為市場感受度的指標，反應投資人心理變化的情形。
2. 隱含波動度為事前市場波動度之預期，因此可以用來評估資產定價模型。
3. 隱含波動度和報酬具相關性，因此可以用隱含波動度預期未來的股價報酬。

第四節 二項樹(Binomial trees)之隱含波動度

二項樹選擇權評價模式(Binomial Option Pricing Model)是由 Cox, Ross 及 Rubinstein 於 1979 年提出，簡稱 CRR 法。此模型能彌補其無法計算美式選擇權的缺憾。二項樹模型將選擇權到期分割成 n 個時期，而每個時期標的資產只有兩種可能，一是上升固定額度 $u(u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$ ，其中 $\Delta t = T/n$ ，而 T 表存續時間， n 為分割之期數量)，其機率設定為 p ，另一種狀況則為下降固定額度 $d(d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}})$ ，其機率設定為 $(1-p)$ 。



假設 P 為上升變動的機率； r 為無風險利率； σ 為股價變異數；

$$\text{且 } R = e^{r\Delta t} ; u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} , d = \frac{1}{u} ; p = \frac{R-d}{u-d}$$

此時 CRR 模式下的美式買權可表示：

$$c = \frac{1}{R^n} \sum_{j=0}^n \frac{j!}{(n-j)!} q^j (1-q)^{(n-j)} \max\{S_0 u^j d^{(n-j)} - K, 0\} \quad (9)$$

由於本論文使用的石油選擇權為美式選擇權，故使用二項樹求得隱涵波動度。

第五節 無模型設定隱含波動度

在指數選擇權、利率期貨選擇權當中，同時會存在不同到期月份及不同履約價格的契約，不同的到期月份、不同履約價格所計算出來的隱含波動亦不同，因此為了能包含及充分利用所有的資訊，部分學者提出了以下不同的建議：Latane and Rendleman(1976)以選擇權價格對波動的敏感度當作權數；Chiras and Manaster(1978)以選擇權價格對波動的彈性概念作權數；Day and Lewis(1988)則建議以交易量當作權數來估計隱含波動度；而 Britten-Jones and Neuberger(2000)則發展出無模型設定之隱含波動度 (model-free implied volatility)，其方法說明了未來的報酬變異完全由期間內選擇權價格所形成的集合

所決定。Jiang and Tian(2005)更將 Britten-Jones and Neuberger(2000)的方法加以推廣，以 S&P500 指數選擇權為標的，檢驗市場的效率性，結果顯示無模型設定的隱含波動度相較於其他模型而言，無模型設定的隱含波動度對於未來實際波動度的預測上保留了較多的資訊，其原因在於無模型設定的隱含波動度使用了不同的履約價格的選擇權的資訊而得。因此無模型設定的隱含波動度為目前預測未來實際波動度的理想工具

第六節 歷史波動度與隱含波動度

Gemmill(1986)以英國 13 家上市公司的個股選擇權為樣本，同時將估計的波動度模型區分成 HV 和 IV 群組進行實證研究，結果發現價平及價內選擇權均可以求出準確性較佳的 IV，且預測效果優於 HV。Lamoureux and Lastrapes(1993)以 1982 年至 1984 年間 CBOE 交易的 10 支個股選擇權為探討對象，發現 IV 的確顯著地反應了市場的資訊，但 HV 也隱含著一定比例的市場資訊。Jorion(1995)則對外匯期貨市場進行實證，其結果指出，雖然 IV 有偏誤存在，但還是一個有效率的估計值。Vasilellis and Meade(1996)以投資組合選取的角度，採取倫敦股票交易所(London Stock Exchange)中的 12 家上市公司為樣本，比較 HV 模型、GARCH 模型和 IV 模型的優劣。實證結果指出 GARCH 模型優於 HV，如果進一步結合 GARCH 與 IV 則可以增加預測的能力。Fleming(1998)以 S&P100 指數選擇權的買權 IV、賣權 IV 及 HV 進行比較，實證結果顯示 IV 在預測時會有向上偏誤的情形，但在預測能力上較 HV 來得優秀，對市場來說是一個合理的波動度估計值。Gwilym and Buckle(1999)針對不同種類的 HV、IV 及 HV 結合 IV 進行波動度預測的比較，以 1993 年至 1995 年間每日的 FTSE100 指數為標的作為研究，結果發現 HV 群組對標的指數波動度的預測誤差最小，HV 結合 IV 次之，IV 群組的誤差最大，同時這些波動度模型長期的預測能力均優於短期。此外，IV 雖然是一個偏差的估計值，但內含的資訊卻多於 HV。

另一方面，Canina and Figlewski(1993)的實證結果則與一般我們對於 IV 是一個良好預測值的觀念有很大的出入。Canina and Figlewski 以 S&P100 指數選擇權為研究標的，使用 1983 年到 1987 年買權的週收盤價，將樣本依到期日遠近與內含價值大小分成 32 組，來探討 IV、HV 和 RV 間的關係。結果發現不僅 IV 和 RV 之間沒有任何顯著的關係，IV 也沒有包含相關的隱含資訊。Canina and Figlewski 將此結果歸因於兩點：(一)市場根本不夠效率，不理性的投資人常會使市場出現噪音；(二)Black-Scholes 模型沒有考慮交易成本，因此模型是有錯的。而針對 Canina and Figlewski(1993)所作出的結論，Christensen and Prabhala(1998)同樣是以 S&P100 指數選擇權(價平買權)為研究樣本，但實證結果卻完全相反。他們仍然認為 IV 是一個有偏誤的預測值，但是其預測能力不僅優於 HV，而且內含了許多的隱含資訊。在同樣的樣本下，他們的結論與 Canina and Figlewski 完全相反，可能有兩個主要的因素，1.Christensen and Prabhala 使用較長的樣本期間(1983/11~1995/5)，一方面可以增加統計檢定力，另一方面也考慮到 S&P100 指數選擇權從 1983 年問市以來對市場效率性的發展，2.其估計報酬率的方式是使用非重疊性的樣本(Nonoverlapping Data)，因此相對於重疊性的樣本(Overlapping Data)而言，前者在迴歸分析上，樣本間沒有存在因彼此重疊而產生的序列不穩定(Series Nonstationary)與序列自我相關(Series Autocorrelation)的問題，所得到的迴歸結果可信度較高。Christensen and Hansen(2002)則將價外、價內的選擇權依其交易量加權平均來計算波動度，同時加入了賣權的資料，更進一步印證了 Christensen and Prabhala(1998)的結論。

第三章、研究方法

第一節 樣本來源

本文資料來源為紐約商品交易所(NYMEX)及芝加哥選擇權交易所(CBOE)，樣本研究期間為 2009 年 1 月 5 日到 2011 年 3 月 21 日的日資料，排除不適合的樣本有以下二個，首先刪除交易量為 0 的資料，使其不受到無成交的價格影響估計偏誤，接著刪除選擇權價性(moneyness)大於 1.2 及小於 0.8 資料，當選擇權處於深度價內和價外時，避免交易量過小所造成之偏差，評估選擇權價格會有偏差的情形發生，其中因石油選擇權為美式選擇權，故隱含波動度使用二項樹方法求得。

第二節 變數定義

一. 無模型設定之隱含波動度

無模型設定之隱含波動度(Model-free implied volatility)為預期未來實際波動度的評價方法之一。此模型最早出現於 Britten-Jones and Neuberger(2000)，研究中推導出當標的資產價格在服從擴散過程(diffusion process)假設之下的無模型設定之隱含波動度。無模型設定隱含波動度與以往隱含波動度的概念不同的地方，在於該模型並沒有根據任何特定的選擇權定價模型，完全是從無套利的情況下而推導出的。

Jiang and Tian(2005)進一步的將無模型設定隱含波動度推廣至當標的資價格在服從跳躍-擴散過程(Jump diffusion process)假設之下的無模型定的隱含波動度模型；同時在其研究中提出了一個更為簡明的方式，將無模型設定隱含波動度模型推廣到所有一般化的平賭過程(martingale process)。另外還以 S&P500 指數選擇權為實證標的，使用了無模型設定的隱含波動度檢驗了選擇權市場的資訊效率性，而其檢驗結果證明了無模型定的隱含波動度可完全解釋 B-S 隱含波動度與歷史波動度所包含的資訊，並能更有效率的預測未來的波動度。

二. VIX 指數

由於上述學術論文的發展，促使了芝加哥選擇權交易所(Chicago board options exchange, CBOE)不斷修正其計算 VIX(volatility index)的方式，並在 White Paper(2009)發表的 VIX 計算過程中，VIX 遂以成為無模型設定隱含波動度，且因其方便計算又能呈現市場交易者的恐慌程度，因此本文採用 CBOE VIX White Paper(2009)的方法，用以計算石油選擇權的無模型設定之隱含波動。

VIX 指數編列的方式主要以 S&P500 指數選擇權利金價格反推所得的隱含波動度，並使用差補法(interpolation)的方式將買賣權以及近遠月份等波動率編製而成，由於隱含波動度的主要反應市場投資人對於未來指數波動的預期，這也意味當 VIX 指數越高時，表示投資人預期未來指數波動度將加劇，反之，當 VIX 指數走低，則表示投資人預期未來指數波動度將趨緩，VIX 也因而不僅代表著市場多數人對於未來指數波動的看法，更可清楚透露市場預期心理的變化情形，故又稱之為投之人恐慌指標。恐慌指標 VIX 是「S&P500 指數未來 30 天的隱含波動度」。可以從 S&P500 指數期貨選擇權的價格上去計算出來，因此本文依據 CBOE VIX White Paper(2009)的方法，標的物改換成石油選擇權，期能獲得像 VIX 之指標，本文則將算出之的質作為無模型設定之隱含波動(σ^{MF})。

三. 資料篩選

根據 CBOE VIX White Paper(2009)的方法，資料篩選及計算依據下列步驟：

1. 找出每日不同到期日下之價平選擇權，將每日近月(nearby)到期及次近月(the second nearby)到期且履約價格相同選擇權的買權及賣權價格，做絕對值相減，找出最小值，則該履約價格(K_0)之選擇權即為價平選擇權。
2. 找出價外選擇權，以價平選擇權為基準，若為買權則(K_i)>(K_0);反之賣權則(K_i)<(K_0)，(K_i)即為價外選擇權。
3. 當近月契約到期日小於 7 天時，為避免交易量不足，因此該日改用次近月與第三近月(the third nearby)到期契約；若近月契約到期日大於 7 天，仍遇到交易量不足情況

時，則同樣採取前述之方法。

4. 若當日遇到資料集內不同履約價格下買權或賣權契約種類小於兩種，則使用差補法算出第三種履約價格之選擇權價值；但若資料集內不同履約價格下買權或賣權契約種類小於一種，因不能實施差補法，因此該日資料予以刪除。
5. 根據 CBOE 編制 VIX 的方法，取近月及次近月價平、價外的所有履約價格之買權與賣權隱含波動率經過加權平均後組合而成，模型建立如下：

$$\sigma^2 = \frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{RT} Q(K_i) - \frac{1}{T} \left[\frac{F}{K_0} - 1 \right]^2 \quad (10)$$

其中 σ 為 $\sigma^{MF}/100$ ；

T 為年化之到期期間；

F 為期貨價格 $F = K_0 + e^{rT}(C - P)$ ；

K_0 為價平選擇權之履約價格；

R 為美國國庫券固定期間利率；

$Q(K_i)$ 為履約價格 K_i 下之選擇權價格；

K_i 為第 i 個價外選擇權之履約價格，若為買權，則 $K_i > K_0$ 。若為賣權，則 $K_i < K_0$ ；

$\Delta K_i = (K_{i+1} - K_{i-1})/2$ ；若 K_i 為最低履約價格時， ΔK_i 則為第二低的履約價格與最低的履約價格之差；若 K_i 為最高履約價格， ΔK_i 則為最高的履約價格與第二高的履約價格之差；

6. 依據公式(9)計算每日近月(nearby)到期及次近月(the second nearby)到期契約之波動度，分別為 σ_1 、 σ_2 ，再依下列公式求出 30 天期的無模型設定隱含波動度(σ^{MF})

$$\sigma^{MF} = 100 \times \sqrt{\left\{ T_1 \sigma_1^2 \left[\frac{T_1 - T_{30}}{T_2 - T_1} \right] + T_2 \sigma_2^2 \left[\frac{T_{30} - T_1}{T_2 - T_1} \right] \right\}} \times \frac{1}{T_{30}} \quad (11)$$

其中 T_1 為近月(nearby)到期契約之年化到期期間；

T_2 為次近月(the second nearby)到期契約之年化到期期間；

T_{30} 為將 30 天年化之值，即 30/365。

第三節 迴歸分析模型

一. 迴歸分析

本文依據 Jiang and Tian(2005)採用以下二種迴歸模式來進行檢測：一為單變量迴歸(univariate regression)，另一為包含迴歸模式(encompassing regression)。單變量迴歸模型中，僅使用單一個自變量進行迴歸分析，主要希望從迴歸結果看出自變數對應變數的解釋能力。本文的單變量迴歸模式有(12)、(13)、(14)三式，式中自變數為三種波動度預測值，分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)及歷史波動度，應變數三式皆為未來實際波動度，此單變量迴歸分析的重點在於看出個別波動度預測未來實際波動度的預測能力及所隱含的資訊。

$$\sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} \sigma_{t-i}^{MF} + \varepsilon_t \quad (12)$$

$$\sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} \sigma_{t-i}^{IV} + \varepsilon_t \quad (13)$$

$$\sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} \sigma_{t-i}^{HIS} + \varepsilon_t \quad (14)$$

至於包含迴歸模型，則使用了至少二個以上的自變量進行迴歸分析，而包含迴歸分析的目的在于觀察包含迴模型中自變數之間的相對重要性，以及自變量本身所包含的資訊是否會被其他自變數所包含，本文的包含迴歸模型為(15)式，將藉此迴歸分析觀察無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)及歷史波動度三個波動度預測之間相對的重要性，及波動度預測值彼此之間是否包含了其他自變數的資訊，公式如下：

$$\sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} \sigma_{t-i}^{MF} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} \sigma_{t-i}^{IV} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} \sigma_{t-i}^{HIS} + \varepsilon_t \quad (15)$$

$$V_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} V_{t-i}^{MF} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} V_{t-i}^{IV} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} V_{t-i}^{HIS} + \varepsilon_t \quad (16)$$

$$\ln \sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} \ln \sigma_{t-i}^{MF} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} \ln \sigma_{t-i}^{IV} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} \ln \sigma_{t-i}^{HIS} + \varepsilon_t \quad (17)$$

在(12)~(17)式中， σ 和 V 分別是選擇權的波動度與變異數，迴歸變數的上標 RE、MF、IV、HIS，分別代表為實際波動度、無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)及歷史波動度，下標 t 則表研究日期第 t 日， i 為遞延期， $t-i$ 為研究日期第 $t-i$ 日。單變量迴歸模型是包含迴歸的最簡式，舉例來說，若將(15)式中包含迴歸的其中二個自變數移除，便能得到(12)、(13)及(14)式其中一個的迴歸式。

二. 加入交易量的變數之迴歸分析

本文將加入交易量作為控制變數，交易量定義為石油選擇權成交量與未平倉量，將交易量加入作為考量，檢視市場交易情形是否也會影響實際波動度。關於交易量變數的處理，本文採用 Ni、Pan and Poteshiman (2008)的做法，將當日選擇權成交量及未平倉量加總取自然對數做為波動度預測之交易量變數。本文並考慮石油現貨價格變動是否會影響到實際波動度，因此加入了虛擬變數(dummy variable)，若今天石油現貨價格大於前一天，則設為 1；反之，則設為 0。將(17)式加入此二變數，迴歸式如下：

$$\sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} \sigma_{t-i}^{MF} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} \sigma_{t-i}^{IV} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} \sigma_{t-i}^{HIS} + \beta_t^{vol} Vol_t + \beta_t^{dummy} D_t + \varepsilon_t \quad (18)$$

$$V_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} V_{t-i}^{MF} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} V_{t-i}^{IV} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} V_{t-i}^{HIS} + \beta_t^{vol} Vol_t + \beta_t^{dummy} D_t + \varepsilon_t \quad (19)$$

$$\ln \sigma_t^{RE} = \alpha_t + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{MF} \ln \sigma_{t-i}^{MF} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{IV} \ln \sigma_{t-i}^{IV} + \sum_{i=1}^q \beta_{t-i}^{HIS} \ln \sigma_{t-i}^{HIS} + \beta_t^{vol} Vol_t + \beta_t^{dummy} D_t + \varepsilon_t \quad (20)$$

(一) 迴歸係數顯著性之檢定(t 檢定或 p)

β 係數顯著性檢定中，若 β 顯著異於 0，則表示該波動度模型具有預測及包含實際波動度的訊息；反之，若 β 不顯著異於 0，則表示該模型沒有包含實際波動度的資訊。若檢定 β 是否顯著異於 1，可以看出該模型是否為有效率的估計模型，若 β 顯著異於 1，則表示該模型欠缺與實際波動度變動同步的反應；反之，若 β 不顯著異於 1，表示模型為有效率的估計模型。

(二) 迴歸式顯著性之檢定(F 檢定或卡方檢定)

為檢定模型的整體表現，將以 F 檢定或卡方檢定統計量檢驗 $\alpha = 0$ 且 $\beta = 1$ 。若模型為一個好的估計值，則 α 和 β 在統計上會分別不顯著異於 0 和 1；反之，若聯合檢定結果為顯著拒絕虛無假設，此模型可能為不效率或偏誤。

(三) 調整後判定係數(Adjusted R-square；以下簡稱 Adj- R^2)

迴歸分析中之調整後的判定係數是一個相對資訊內容的指標，能說明迴歸式的解釋能力，Adj- R^2 愈高，表示迴歸的配適度愈高，亦即波動度預測值接近市場的實際波動度。

第四章、實證結果

第一節 樣本分析

表 1 為敘述統計量，匯整了無模型設定的隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度及實際波動度的基本統計量，由表 1 的平均數可以看出無模型的隱含波動度和隱含波動度(二項樹) 都遠小於實際波動度，歷史波動度遠大於實際波動度，代表了無模型設定隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度在對於預測實際波動度會有所偏誤，且無模型設定之隱含波動度的誤差較大。此外，從表 1 還能看到取對數後的波動度，其偏態係數(Skewness)及峰態係數(Kurtosis)較接近常態分配的特性，因此若使用對數的波動度資料跑迴歸，應能得到較佳的分析結果。

表 2 呈現了無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度及實際波動度彼此之間的相關情形。從表 2 可以觀察到歷史波動度與實際波動度具高度相關性(88.39%)，同時不管無模型設定之隱含波動度或是隱含波動度(二項樹)皆與實際波動度有高度的相關性。由取對數的波動度資料來看，歷史波動度與實際波動度一樣具有較高的相關性(78.74%)，無模型設定之隱含波動率次高(72.90%)，隱含著歷史波動度和無模型隱含波動度與實際波動之間關係密切。

《表 1》波動度之敘述統計量

全樣本(N=556)							
Panel A	Mean	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis	Median	Maximum	Minimum
σ^{RE}	0.3592	0.1561	2.0235	6.4933	0.3186	0.9134	0.1745
σ^{MF}	0.2618	0.0864	1.1737	3.6492	0.2394	0.5665	0.1545
σ^{IV}	0.3291	0.0837	0.9389	3.3118	0.3033	0.5767	0.1311
σ^{HIS}	0.3969	0.2121	1.8190	5.2520	0.3261	1.0778	0.1745
Panel B							
$\ln(\sigma^{RE})$	-1.0927	0.3471	1.1830	4.2035	-1.1437	-0.0906	-1.7456
$\ln(\sigma^{MF})$	-1.3878	0.3002	0.6214	2.6219	-1.4296	-0.5683	-1.8676
$\ln(\sigma^{IV})$	-1.1412	0.2416	0.3417	3.0759	-1.1930	-0.5504	-2.0318
$\ln(\sigma^{HIS})$	-1.0270	0.4214	1.1430	3.5565	-1.1204	0.0749	-1.7456

註：

1. σ^{RE} 、 σ^{MF} 、 σ^{IV} 、 σ^{HIS} 分別代表實際波動度、無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度； $\ln(\sigma^{RE})$ 、 $\ln(\sigma^{MF})$ 、 $\ln(\sigma^{IV})$ 、 $\ln(\sigma^{HIS})$ 分別對於實際波動度、無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度取對數。

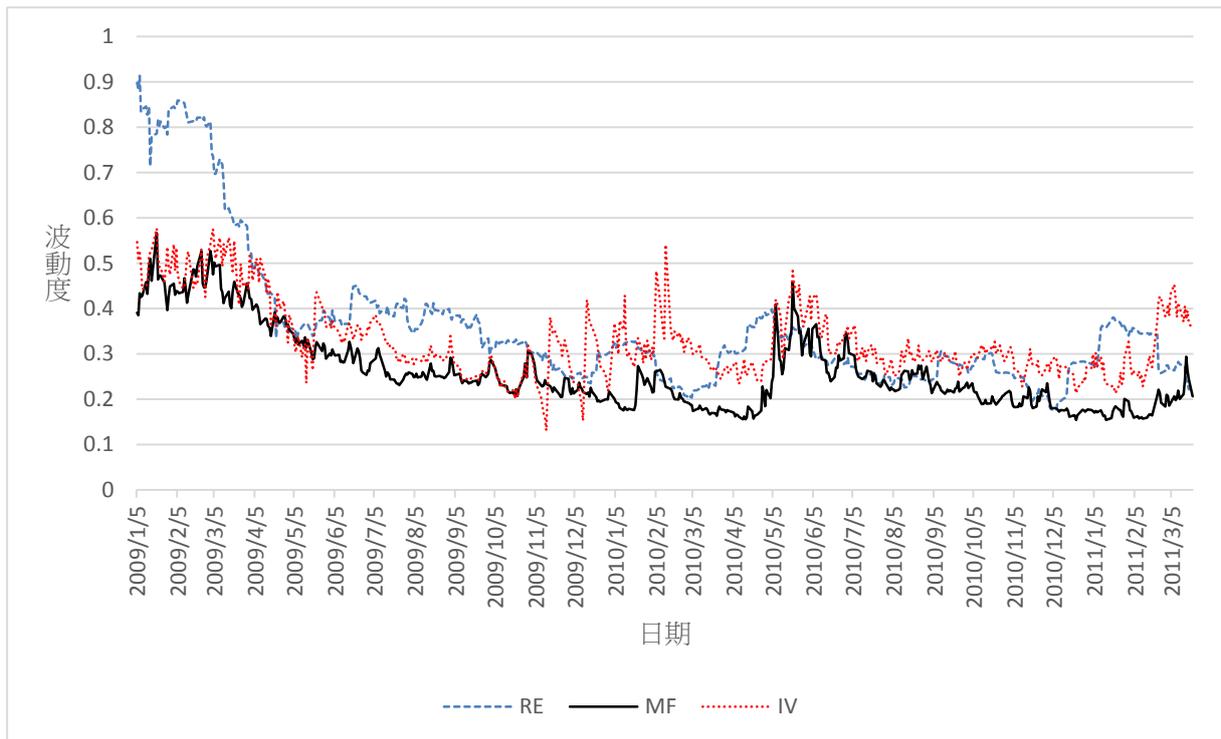
2. 左(負)偏斜資料：平均數在中位數的左邊，即平均數<中位數；偏態度<0。右(正)偏斜資料：平均數在中位數的右邊，即平均數>中位數；偏態度>0。峰態度>3，為高狹峰；峰態度=3，為常態峰；峰態度<3，為低闊峰。常態分配：偏態度=0，峰態度=3

《表 2》波動度之相關係矩陣

全樣本(N=556)				
Panel A	σ^{RE}	σ^{MF}	σ^{ATM}	σ^{HIS}
σ^{RE}	1	-	-	-
σ^{MF}	0.8021	1	-	-
σ^{IV}	0.6890	0.8060	1	-
σ^{HIS}	0.8839	0.8828	0.7675	1
Panel B	$\ln(\sigma^{RE})$	$\ln(\sigma^{MF})$	$\ln(\sigma^{ATM})$	$\ln(\sigma^{HIS})$
$\ln(\sigma^{RE})$	1	-	-	-
$\ln(\sigma^{MF})$	0.7290	1	-	-
$\ln(\sigma^{IV})$	0.5907	0.7408	1	-
$\ln(\sigma^{HIS})$	0.7874	0.8658	0.7032	1

註： σ^{RE} 、 σ^{MF} 、 σ^{IV} 、 σ^{HIS} 分別代表實際波動度、無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度； $\ln(\sigma^{RE})$ 、 $\ln(\sigma^{MF})$ 、 $\ln(\sigma^{IV})$ 、 $\ln(\sigma^{HIS})$ 分別對於實際波動度、無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度取對數。

圖3為實際波動度、隱含波動度(二項樹)及無模型設定之隱含波動度到期期間長度為30天期的波動度走勢圖，由圖3可以看出無模型設定之隱含波動度及隱含波動度(二項樹)皆比實際波動來的低，其中隱含波動度與無模型設定之波動度趨勢比較相接近，代表兩者有較相同的性質，且對實際波動度皆有預測能力，但無法直接從圖斷定哪一個波動的效果較佳。



《圖 4》各隱含波動走勢圖

第二節 波動度預測模型之實證分析

在分析資料跑迴歸前，必須先檢查資料是否有單根，若有單根存在則必須先將資料做差分使資料變成沒有單根現象，這樣跑出來的迴歸結果才有意義，如果直接分析將會造成所謂的虛假迴歸(Spurious Regression)，由表3可以觀察到資料都顯著拒絕有單根，表示資料為定態，故可以直接使用資料進行迴歸分析，不須經過差分。

《表 3》單根檢定

變數	σ^{RE}	σ^{MF}	σ^{IV}	σ^{HIS}
ADF	0.0057 ***	0.0461 **	0.0015 ***	0.0127 **

註：本文單根檢定使用 ADF test，表格內的係數為 P-Value 值， $H_0: has a unit root$ ，而*、**、***分別在顯著水準為 10%、5%、1%。

在分析資料迴歸結果，首先觀察資料是否存在自我相關現象，可以藉由 Durbin-Watson 統計量看出資料是否具有自我相關的現象。當 Durbin-Watson 統計量 $d \approx 2$ ，表示此迴歸模型的殘差項沒有自我相關的現象；反之，若 Durbin-Watson 統計量 $d \approx 0$ 或 $d \approx 4$ ，表示此迴歸模型的殘差項是具有自我相關，從表 4 至表 6 中欄位名稱為 Durbin-Watson 的數值，可看出該欄表格中的數值大多在 0 附近，表示表 4 至表 6 迴歸分析的具有自我相關的問題存在，因此必須解決自我相關的問題，加入應變數的遞延期使自我相關消除掉。表 7 至表 9 加入應變數的遞延期，Durbin-Watson 的數值趨近於 2，表示沒有自我相關問題的存在。

因表 4 至表 6，有自我相關問題，故本文加入了應變數的遞延期，使迴歸沒有自我相關的問題，本文往後的探討都加入應變數的遞延期。本文將對單變量迴歸及包含迴歸進行探討分析，在單變量迴歸部分，檢驗波動度估計量所隱含的資訊的假說檢定。本文使用了二種說檢定，首先進行的假說檢定為 $H_0: \beta = 0$ 。若迴歸式中的波動度預測值沒有隱含未來的波動度的任何資訊，則波動度預測值之斜率係數 β 為 0，因此若能拒絕此虛無假設，表示此波動度預測隱含了未來波動度具有一定程度的資訊；反之，則表示該波動度並未隱含未來波動度的任何資訊。此部分假說檢定有以下三式：

$$1. \begin{cases} H_0: \beta^{MF} = 0 \\ H_a: \beta^{MF} \neq 0 \end{cases} \quad (21)$$

$$2. \begin{cases} H_0: \beta^{IV} = 0 \\ H_a: \beta^{IV} \neq 0 \end{cases} \quad (22)$$

$$3. \begin{cases} H_0: \beta^{HIS} = 0 \\ H_a: \beta^{HIS} \neq 0 \end{cases} \quad (23)$$

接著進行單變量迴歸的聯合檢定， $H_0: \alpha = 0$ 且 $\beta = 1$ ，檢定此迴歸是否為不偏估計式，若迴歸中的波動度對於未來波動度的估計為不偏估計式，則此波動度的斜率係數 β 應等於1且截距項 α 應等於0。因此若虛無假設不被拒絕，則表示此波動度為未來波動度的不偏估計式，反之，則表示該波動度式未來波動度的偏誤估計式。此處之假設有以下三式：

$$1. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{MF} = 1 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (24)$$

$$2. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{IV} = 1 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (25)$$

$$3. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{HIS} = 1 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (26)$$

此部分檢驗假說檢定方法為F檢定，上面三種假說檢定的檢定統計量呈現在表7至表9欄位名稱「F-test(a)」的表格；在F檢定統計量裡的小括弧中的數字，代表此檢定結果的P-value，式(24)至式(26)代分別檢驗無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度預測未來實際波動度是否為不偏估計

最後，本文討論包含迴歸的結果，做了以下四個假說檢定，目的是藉由檢定結果觀察無模型設定之隱含波動度對隱含波動度(二項樹)、無模型設定之隱含波動度對歷史波動度、隱含波動度(二項樹)對歷史波動度、無模型設定之隱含波動度相對其他兩個波動度的資料效率性，假說檢定如下：

$$1. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{MF} = 1, \beta^{IV} = 0 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (27)$$

$$2. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{MF} = 1, \beta^{HIS} = 0 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (28)$$

$$3. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{IV} = 1, \beta^{HIS} = 0 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (29)$$

$$4. \begin{cases} H_0: \alpha = 0 \text{ 且 } \beta^{MF} = 1, \beta^{IV} = 0, \beta^{HIS} = 0 \\ H_a: \text{not } H_0 \end{cases} \quad (30)$$

此部分檢驗假說檢定方法仍為F檢定，上面四種假說檢定的檢定統計量呈現在表7至表9欄位名稱「F-test(b)」的表格；在F檢定統計量裡的小括弧中的數字，代表此檢定結果的P-value，式(27)至(29)分別檢驗無模型設定之隱含波動度對隱含波動度(二項樹)、無模型設定之隱含波動度對歷史波動度、隱含波動度(二項樹)對歷史波動度資料內涵程度；式(30)則檢驗無模型設定之隱含波動度相對其他兩個波動度的資料內涵程度。

《表 4》波動度 σ_t 之迴歸分析

全樣本(N=556)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
α	-0.0349	-0.0724	0.0344	-0.0446	0.0252	0.0356	0.0320
β_{t-1}^{MF}	1.4585 *** (0.0000)			1.4322 *** (0.0000)	0.3477 * (0.0779)		0.3835 * (0.0640)
β_{t-2}^{MF}	0.9893 *** (0.0002)			0.7913 *** (0.0051)	-0.1016 (0.6032)		-0.0309 (0.8808)
β_{t-1}^{IV}		0.9189 *** (0.0000)		-0.0290 (0.8593)		0.0526 (0.6376)	-0.0564 (0.6334)
β_{t-2}^{IV}		1.0219 *** (0.0000)		0.2607 (0.1070)		-0.0678 (0.5455)	-0.0858 (0.4643)
β_{t-1}^{HIS}			0.0090 (0.9470)		-0.0340 (0.8021)	0.0045 (0.9737)	-0.0169 (0.9014)
β_{t-2}^{HIS}			0.5663 *** (0.0000)		0.5623 *** (0.0000)	0.5739 *** (0.0000)	0.5528 *** (0.0000)
Adjusted R^2	0.6893	0.5443	0.8391	0.6911	0.8416	0.8386	0.8406
Durbin-Watson	0.1102	0.1138	0.0731	0.1097	0.0831	0.0755	0.0839

註：表格第一欄的 β_{t-1}^{MF} 、 β_{t-2}^{MF} 、 β_{t-1}^{IV} 、 β_{t-2}^{IV} 、 β_{t-1}^{HIS} 、 β_{t-2}^{HIS} 為迴歸分析中解釋變數的係數，其解釋變數分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度，下標t-1、t-2代表前一期和前二期。在表格中，(1)、(2)、(3)分別為無模型設定之隱涵波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度單變量迴歸；(4)、(5)、(6)、(7)為包含迴歸。表格數字下方的括弧內為P-Value值，而*、**、***分別在顯著水準為10%、5%、1%。

《表 5》波動度變異數 V_t 之迴歸分析

全樣本(N=556)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
α	-0.0146	-0.0691	0.1058	-0.0412	0.0883	0.0991	0.0912
β_{t-1}^{MF}	0.8940 *** (0.0000)			0.8605 *** (0.0000)	0.2791 * (0.0888)		0.2870 * (0.0950)
β_{t-2}^{MF}	0.5268 *** (0.0084)			0.3904 * (0.0638)	-0.1310 (0.4231)		-0.1265 (0.4607)
β_{t-1}^{IV}		0.6117 (0.0000)		0.0227 (0.8557)		0.0488 (0.6111)	-0.0166 (0.8692)
β_{t-2}^{IV}		0.6849 *** (0.0000)		0.1936 (0.1200)		-0.0169 (0.8605)	-0.0047 (0.9627)
β_{t-1}^{HIS}			0.3306 * (0.0989)		0.2554 (0.2073)	0.3070 (0.1326)	0.2630 (0.1991)
β_{t-2}^{HIS}			0.3038 (0.1263)		0.3254 (0.1035)	0.3178 (0.1135)	0.3198 (0.1126)
Adjusted R^2	0.6342	0.4786	0.7675	0.6376	0.7688	0.7669	0.7680
Durbin-Watson	0.0789	0.0920	0.0609	0.0808	0.0698	0.0619	0.0699

註：表格第一欄的 β_{t-1}^{MF} 、 β_{t-2}^{MF} 、 β_{t-1}^{IV} 、 β_{t-2}^{IV} 、 β_{t-1}^{HIS} 、 β_{t-2}^{HIS} 為迴歸分析中解釋變數的係數，其解釋變數分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度，下標 t-1、t-2 代表前一期和前二期。在表格中，(1)、(2)、(3)分別為無模型設定之隱涵波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度單變量迴歸；(4)、(5)、(6)、(7)為包含迴歸。表格數字下方的括弧內為 P-Value 值，而*、**、***分別在顯著水準為 10%、5%、1%。

《表 6》波動度取對數 $\ln(\sigma_t)$ 之迴歸分析

全樣本(N=556)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
α	0.0456	-0.1084	-0.4459	0.1005	-0.2992	-0.3676	-0.2786
β_{t-1}^{MF}	0.5794 *** (0.0002)			0.5662 *** (0.0005)	0.2951 ** (0.0408)		0.3050 ** (0.0950)
β_{t-2}^{MF}	0.2432 (0.1160)			0.1513 (0.3500)	-0.1001 (0.4886)		-0.1304 (0.3855)
β_{t-1}^{IV}		0.3972 *** (0.0004)		0.0147 (0.8869)		0.0544 (0.5508)	-0.0158 (0.8670)
β_{t-2}^{IV}		0.4678 *** (0.0000)		0.1612 (0.1180)		0.0537 (0.5555)	0.0655 (0.4857)
β_{t-1}^{HIS}			0.5356 ** (0.0273)		0.3664 (0.1375)	0.4686* (0.0589)	0.3596 (0.1502)
β_{t-2}^{HIS}			0.0967 (0.6880)		0.1453 (0.5498)	0.1199 (0.6235)	0.1445 (0.5564)
Adjusted R^2	0.5123	0.3507	0.5987	0.5173	0.6057	0.5999	0.6049
Durbin-Watson	0.0647	0.0752	0.0601	0.0684	0.0674	0.0604	0.0677

註：表格第一欄的 β_{t-1}^{MF} 、 β_{t-2}^{MF} 、 β_{t-1}^{IV} 、 β_{t-2}^{IV} 、 β_{t-1}^{HIS} 、 β_{t-2}^{HIS} 為迴歸分析中解釋變數的係數，其解釋變數分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度，下標t-1、t-2代表前一期和前二期。在表格中，(1)、(2)、(3)分別為無模型設定之隱涵波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度單變量迴歸；(4)、(5)、(6)、(7)為包含迴歸。表格數字下方的括弧內為P-Value值，而*、**、***分別在顯著水準為10%、5%、1%。

表7為各波動度預測實際波動度的單變量迴歸及包含迴歸，首先從表7可以觀察到無論是無模型設定之隱含波動度、隱含波動(二項樹)的預測值及歷史波動度的單變量迴歸及包含迴歸，皆顯著拒絕虛無假設，即波動度預測值的斜率係數 β 顯著的異於0，這表示了所有單變量迴歸的波動度預測值和包含迴歸的波動度均包含了未來實際波動度的資訊。

在表7欄位名稱「F-test(a)」的表格，檢定迴歸的波動度預測未來實際波動度是否為不偏估計式。在F檢定統計量裡的小括弧中的數字，代表此檢定結果的P-value，根據F檢定結果，表7皆顯著的拒絕不偏估計的虛無假設，隱含所有的單變量迴歸的波動度都不是未來波動度的不偏估計式，檢定的結果與前面敘述統計量一致，各波動度預測未來波動度都有偏誤。另外可以發現，表7各單變量迴歸之調整後的判斷係數(adjusted R^2)中，可以觀察出無模型設定之隱含波動度最高、歷史波動度次之、隱含波動度(二項樹)最小，這表示無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度(二項樹)可以解釋更多未來波動度，此結果與Jiang and Tian(2005)一致。

接著，檢驗資訊內涵程度，聯合假說檢定(23)式，結果如表7「F-test(b)」顯著的拒絕虛無假設。此結果顯示無模型設定之隱含波動度無法包含所有隱含波動度(二項樹)的資訊。檢驗(24)、(25)式，「F-test(b)」顯著的拒絕虛無假設。結果分別表示無模型設定之隱含波動度無法包含所有歷史波動度的資訊、隱含波動度(二項樹)無法包含所有歷史波動度的資訊，最後檢驗(26)式無模型設定之隱含波動度相對其他兩個波動度的資料內涵程度，可以先觀察，若在無模型隱含波動度加上任一波動度，則此模型對於未來實際波動度的解釋能力是否會因而上升，從表7可以發現，無模型設定之隱含波動度無論是加入隱含波動度(二項樹)、歷史波動度或兩者皆加入後，期預測模型的解釋能力皆上升，隱含著無模型設定之隱含波動度並未同時包含所有隱含波動度(二項樹)和歷史波動度所隱含的資訊，同樣結果可以從聯合檢定式(26)看出，表7第七條迴歸式「F-test(b)」呈現

顯著地拒絕虛無假設，說明了無模型隱含波動度無法同時包含所有隱含波動度(二項樹)及歷史波動度資訊。最後再加上交易量及石油現貨價格的變動的控制變數，結果一樣與第七條迴歸式一樣，但可以看到交易量與實際波動度呈現負相關。

《表 7》波動度 σ_t 之迴歸分析(含遞延期)

全樣本 (N=556)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
α	0.0066	0.0075	0.0035	0.0077	0.0063	0.0040	0.0055	0.0100
β_{t-1}^{MF}	-0.1223 *** (0.0001)			-0.0951 *** (0.0047)	-0.0857 *** (0.0027)		-0.0709 ** (0.0174)	-0.0720 ** (0.0159)
β_{t-2}^{MF}	0.0928 *** (0.0035)			0.0709 ** (0.0334)	0.0591 ** (0.0384)		0.0423 (0.1554)	0.0422 (0.1572)
β_{t-1}^{IV}		-0.0714 *** (0.0001)		-0.0523 *** (0.0080)		-0.0449 *** (0.0075)	-0.0290 * (0.0965)	-0.0303 * (0.0843)
β_{t-2}^{IV}		0.0523 *** (0.0050)		0.0439 *** (0.0257)		0.0426 ** (0.0107)	0.0337 * (0.0531)	0.0338 * (0.0538)
β_{t-1}^{HIS}			-0.4721 *** (0.0000)		-0.4568 *** (0.0000)	-0.4593 *** (0.0000)	-0.4530 *** (0.0000)	-0.4517 *** (0.0000)
β_{t-2}^{HIS}			0.4556 *** (0.0000)		0.4477 *** (0.0000)	0.4449 *** (0.0000)	0.4429 *** (0.0000)	0.4422 *** (0.0000)
$\beta_t^{DU.S}$								0.0008 (0.4564)
$\beta_t^{\ln_volume}$								-0.0005 * (0.4296)
β_{t-1}^{RE}	0.9276 *** (0.0000)	0.9316 ** (0.0413)	0.9258 ** (0.0131)	0.9284 *** (0.0000)	0.9213 *** (0.0000)	0.9378 *** (0.0000)	0.9234 *** (0.0000)	0.9226 *** (0.0000)
β_{t-2}^{RE}	0.1428 *** (0.0117)	0.1158 *** (0.0095)	0.1243 ** (0.0113)	0.1285 ** (0.0232)	0.1327 *** (0.0077)	0.0964 * (0.0508)	0.1243 ** (0.0128)	0.1250 ** (0.0125)
β_{t-3}^{RE}	-0.1559 *** (0.0022)	-0.1330 ** (0.0123)	-0.1143 ** (0.0158)	-0.1405 *** (0.0059)	-0.1188 *** (0.0080)	-0.0954 * (0.0521)	-0.1086 ** (0.0159)	-0.1098 ** (0.0151)
β_{t-5}^{RE}	0.0850 *** (0.0066)	0.0075 *** (0.0065)	0.0674 ** (0.0145)	0.0835 *** (0.0081)	0.0716 ** (0.0105)	0.0630 * (0.0911)	0.0679 ** (0.0160)	0.0690 ** (0.1404)

Adjusted R^2	0.992641	0.990604	0.990628	0.992806	0.992859	0.990717	0.992778	0.992924
Durbin-Watson	1.9664	1.9781	1.9147	1.9698	1.9070	1.9510	1.9078	1.9106
F-test(a)	9690 (0.0000)	9661 (0.0000)	12365 (0.0000)	-	-	-	-	-
F-test(b)	-	-	-	7337 (0.0000)	9420 (0.0000)	9506 (0.0000)	7561 (0.0000)	6291 (0.0000)

註：表格第一欄的 β_{t-1}^{MF} 、 β_{t-2}^{MF} 、 β_{t-1}^{IV} 、 β_{t-2}^{IV} 、 β_{t-1}^{HIS} 、 β_{t-2}^{HIS} 、 β_t^{DU-S} 、 $\beta_t^{\ln-volume}$ 為迴歸分析中解釋變數的係數，其解釋變數分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度、石油現貨價格變動之虛擬變數、取對數之交易量，下標 t-1、t-2 代表前一期和前二期。在表格中，(1)、(2)、(3)分別為無模型設定之隱涵波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度單變量迴歸；(4)、(5)、(6)、(7)為包含迴歸、(8)為考慮交易量及石油現貨價格變動，加入兩變數分別為取對數的交易量及石油現貨價格變動的虛擬變數。F-test(a)為檢定單一迴歸 $H_0 : \alpha = 0$ and $\beta^i = 1 (i = MF, IV, HIS)$ 的統計量，F-test(b)為檢定包含迴歸的 $H_0 : \beta^{IV} = 1$ and $\beta^{HIS} = 0$ ，或是 $\beta^{MF} = 1$ and $\beta^{IV} = \beta^{HIS} = 0$ 的統計量，在統計量下方的小括弧內為 p-value，而*、**、***分別在顯著水準為 10%、5%、1%。

表8為各波動度變異數預測實際波動度變異數的單變量迴歸及包含迴歸，首先從表8可以觀察到無論是無模型設定之隱含波動度、隱含波動(二項樹)的預測值及歷史波動度的單變量迴歸及包含迴歸，皆顯著拒絕虛無假設，即波動度預測值的斜率係數 β 顯著的異於0，這表示了所有單變量迴歸的波動度預測值和包含迴歸的波動度均包含了未來實際波動度的資訊。

在表8欄位名稱「F-test(a)」的表格，檢定迴歸的波動度預測未來實際波動度是否為不偏估計式。在F檢定統計量裡的小括弧中的數字，代表此檢定結果的P-value，根據F檢定結果，表8皆顯著的拒絕不偏估計的虛無假設，隱含所有的單變量迴歸的波動度都不是未來波動度的不偏估計式，檢定的結果與前面敘述統計量一致，各波動度預測未來波動度都有偏誤。另外可以發現，表8各單變量迴歸之調整後的判斷係數(adjusted R^2)中，可以觀察出無模型設定之隱含波動度最高、歷史波動度次之、隱含波動度(二項樹)最小，這表示無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度(二項樹)可以解釋更多未來波動度，此結果與Jiang and Tian(2005)一致。

接著，檢驗資訊內涵程度，聯合假說檢定(23)式，結果如表8「F-test(b)」顯著的拒絕虛無假設。此結果顯示無模型設定之隱含波動度無法包含所有隱含波動度(二項樹)的資訊。檢驗(24)、(25)式，「F-test(b)」顯著的拒絕虛無假設。結果分別表示無模型設定之隱含波動度無法包含所有歷史波動度的資訊、隱含波動度(二項樹)無法包含所有歷史波動度的資訊，最後檢驗(26)式無模型設定之隱含波動度相對其他兩個波動度的資料內涵程度，可以先觀察，若在無模型隱含波動度加上任一波動度，則此模型對於未來實際波動度的解釋能力是否會因而上升，從表8可以發現，無模型設定之隱含波動度無論是加入隱含波動度(二項樹)、歷史波動度或兩者皆加入後，期預測模型的解釋能力皆上升，隱含著無模型設定之隱含波動度並未同時包含所有隱含波動度(二項樹)和歷史波動度所隱含的資訊，同業結果可以從聯合檢定式(26)看出，表8第七條迴歸式「F-test(b)」呈現

顯著地拒絕虛無假設，說明了無模型隱含波動度無法同時包含所有隱含波動度(二項樹)及歷史波動度資訊。最後再加上交易量及石油價格變動的控制變數，結果與第七條迴歸式一樣，無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度(二項樹)可以解釋更多未來波動度。

《表 8》波動度變異數 V_t 之迴歸分析(含遞延期)

全樣本 (N=556)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
α	0.0033	0.0042	0.0013	0.0044	0.0043	0.0042	0.0049	0.0062
β_{t-1}^{MF}	-0.1973 *** (0.0000)			-0.1660 *** (0.0007)	-0.1746 *** (0.0000)		-0.1588 *** (0.0002)	-0.1595 *** (0.0002)
β_{t-2}^{MF}	0.1298 *** (0.0044)			0.118788 ** (0.0139)	0.0859 ** (0.0310)		0.0805 * (0.0550)	0.0804 * (0.0560)
β_{t-1}^{IV}		-0.0862 *** (0.0009)		-0.0541 *** (0.0487)		-0.0614 *** (0.0068)	-0.0278 (0.2406)	-0.0288 (0.2269)
β_{t-2}^{IV}		0.0441 * (0.0866)		0.0305 (0.2633)		0.0228 (0.3154)	0.0151 (0.5229)	0.0155 (0.5136)
β_{t-1}^{HIS}			-0.4024 *** (0.0000)		-0.3890 *** (0.0000)	-0.3904 *** (0.0000)	-0.3857 *** (0.000)	-0.3857 *** (0.0000)
β_{t-2}^{HIS}			0.3988 *** (0.0000)		0.3969 *** (0.0000)	0.3924 *** (0.0000)	0.3939 *** (0.0000)	0.3941 *** (0.0000)
$\beta_t^{DU,S}$								0.0005 (0.6313)
$\beta_t^{\ln_volume}$								-0.0002 (0.7831)
β_{t-1}^{RE}	0.8011 *** (0.0000)	0.7979 *** (0.0000)	0.8003 *** (0.0000)	0.7981 *** (0.0000)	0.7877 *** (0.0000)	0.7902 *** (0.0000)	0.7861 *** (0.0000)	0.7856 *** (0.0000)
β_{t-2}^{RE}	0.2660 *** (0.0000)	0.2358 *** (0.0000)	0.2219 *** (0.0000)	0.2581 ** (0.0000)	0.2457 *** (0.0077)	0.2189 *** (0.0000)	0.2418 *** (0.0000)	0.2421 *** (0.0000)
β_{t-3}^{RE}	-0.2006 *** (0.0000)	-0.1681 *** (0.0005)	-0.1375 *** (0.0011)	-0.1915 *** (0.0001)	-0.1615 *** (0.0001)	-0.1345 *** (0.0013)	-0.1572 *** (0.0002)	-0.1569 *** (0.0002)
β_{t-5}^{RE}	0.1340 *** (0.0000)	0.1268 *** (0.0001)	0.0961 ** (0.0005)	0.1364 *** (0.0000)	0.1180 *** (0.0000)	0.1088 *** (0.0001)	0.1193 *** (0.0000)	0.1192 (0.0000)

Adjusted R^2	0.992992	0.990798	0.990830	0.993117	0.993314	0.990865	0.993331	0.993335
Durbin-Watson	1.9143	1.9370	1.9147	1.9198	1.8369	1.8393	1.8360	1.836766
F-test(a)	9905 (0.0000)	9762 (0.0000)	12846 (0.0000)	-	-	-	-	-
F-test(b)	-	-	-	7457 (0.0000)	10064 (0.0000)	9775 (0.0000)	8043 (0.0000)	6682 (0.0000)

註：表格第一欄的 β_{t-1}^{MF} 、 β_{t-2}^{MF} 、 β_{t-1}^{IV} 、 β_{t-2}^{IV} 、 β_{t-1}^{HIS} 、 β_{t-2}^{HIS} 、 β_t^{DU-S} 、 $\beta_t^{\ln-volume}$ 為迴歸分析中解釋變數的係數，其解釋變數分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度、石油現貨價格變動之虛擬變數、取對數之交易量，下標 t-1、t-2 代表前一期和前二期。在表格中，(1)、(2)、(3)分別為無模型設定之隱涵波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度單變量迴歸；(4)、(5)、(6)、(7)為包含迴歸、(8)為考慮交易量及石油現貨價格變動，加入兩變數分別為取對數的交易量及石油現貨價格變動的虛擬變數。F-test(a)為檢定單一迴歸 $H_0 : \alpha = 0$ and $\beta^i = 1 (i = MF, IV, HIS)$ 的統計量，F-test(b)為檢定包含迴歸的 $H_0 : \beta^{IV} = 1$ and $\beta^{HIS} = 0$ ，或是 $\beta^{MF} = 1$ and $\beta^{IV} = \beta^{HIS} = 0$ 的統計量，在統計量下方的小括弧內為 p-value，而*、**、***分別在顯著水準為 10%、5%、1%。

表9為自變數及應變數都取對數進行單變量迴歸及包含迴歸，首先從表9可以觀察到無論是無模型設定之隱含波動度、隱含波動(二項樹)的預測值及歷史波動度的單變量迴歸及包含迴歸，皆顯著拒絕虛無假設，即波動度預測值的斜率係數 β 顯著的異於0，這表示了所有單變量迴歸的波動度預測值和包含迴歸的波動度均包含了未來實際波動度的資訊。

在表9欄位名稱「F-test(a)」的表格，檢定迴歸的波動度預測未來實際波動度是否為不偏估計式。在F檢定統計量裡的小括弧中的數字，代表此檢定結果的P-value，根據F檢定結果，表9皆顯著的拒絕不偏估計的虛無假設，隱含所有的單變量迴歸的波動度都不是未來波動度的不偏估計式，檢定的結果與前面敘述統計量一致，各波動度預測未來波動度都有偏誤。另外可以發現，表9各單變量迴歸之調整後的判斷係數(adjusted R^2)中，可以觀察出無模型設定之隱含波動度最高、歷史波動度次之、隱含波動度(二項樹)最小，這表示無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度(二項樹)可以解釋更多未來波動度，此結果與Jiang and Tian(2005)一致。

接著，檢驗資訊內涵程度，聯合假說檢定(23)式，結果如表9「F-test(b)」顯著的拒絕虛無假設。此結果顯示無模型設定之隱含波動度無法包含所有隱含波動度(二項樹)的資訊。檢驗(24)、(25)式，「F-test(b)」顯著的拒絕虛無假設。結果分別表示無模型設定之隱含波動度無法包含所有歷史波動度的資訊、隱含波動度(二項樹)無法包含所有歷史波動度的資訊，最後檢驗(26)式無模型設定之隱含波動度相對其他兩個波動度的資料內涵程度，可以先觀察，若在無模型隱含波動度加上任一波動度，則此模型對於未來實際波動度的解釋能力是否會因而上升，從表9可以發現，無模型設定之隱含波動度無論是加入隱含波動度(二項樹)、歷史波動度或兩者皆加入後，期預測模型的解釋能力皆上升，隱含著無模型設定之隱含波動度並未同時包含所有隱含波動度(二項樹)和歷史波動度所隱含的資訊，同業結果可以從聯合檢定式(26)看出，表9第七條迴歸式「F-test(b)」呈現

顯著地拒絕虛無假設，說明了無模型隱含波動度無法同時包含所有隱含波動度(二項樹)及歷史波動度資訊。最後再加上交易量及石油價格變動的控制變數，結果與第七條迴歸式一樣，無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度(二項樹)可以解釋更多未來波動度。

《表 9》波動度取對數 $\ln(\sigma_t)$ 之迴歸分析(含遞延期)

全樣本 (N=556)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
α	-0.0266	-0.0204	-0.0149	-0.0257	-0.0242	-0.0095	-0.0174	-0.0010
β_{t-1}^{MF}	-0.0868 *** (0.0009)			-0.0616 ** (0.0223)	-0.0752 *** (0.0034)		-0.0430 * (0.0944)	-0.0444 * (0.0849)
β_{t-2}^{MF}	0.0708 *** (0.0060)			0.0441 * (0.0989)	0.0649 ** (0.0117)		0.0273 (0.2893)	0.02840 (0.2881)
β_{t-1}^{IV}		-0.0677 *** (0.0000)		-0.0540 *** (0.0016)		-0.0345 ** (0.0189)	-0.0385 ** (0.0182)	-0.0387 ** (0.0182)
β_{t-2}^{IV}		0.0613 *** (0.0002)		0.0569 *** (0.0009)		0.0421 *** (0.0042)	0.0527 *** (0.0012)	0.0510 *** (0.0018)
β_{t-1}^{HIS}			-0.5079 *** (0.0000)		-0.1222 *** (0.0000)	-0.4949 *** (0.0000)	-0.2596 *** (0.000)	-0.2539 *** (0.0000)
β_{t-2}^{HIS}			0.4903 *** (0.0000)		0.1079 *** (0.0000)	0.4744 *** (0.0000)	0.2431 *** (0.0000)	0.2391 *** (0.0000)
$\beta_t^{DU_S}$								-0.0023 (0.9439)
$\beta_t^{\ln_volume}$								-0.0023 (0.2232)
β_{t-1}^{RE}	1.0169 *** (0.0000)	1.0257 *** (0.0000)	1.0280 *** (0.0000)	1.0210 *** (0.0000)	0.9646 *** (0.0000)	1.0315 *** (0.0000)	0.9134 *** (0.0000)	0.9133 *** (0.0000)
β_{t-2}^{RE}	0.0707 (0.2410)	0.0439 (0.4654)	0.0477 (0.3720)	0.0514 (0.3917)	0.0770 (0.1925)	0.0360 (0.4997)	0.1648 *** (0.0051)	0.1655 *** (0.0050)
β_{t-3}^{RE}	-0.1495 *** (0.0050)	-0.1283 ** (0.0161)	-0.1253 *** (0.0081)	-0.1289 ** (0.0152)	-0.1196 ** (0.0226)	-0.1108 ** (0.0191)	-0.1219 ** (0.0154)	-0.1250 ** (0.0131)
β_{t-5}^{RE}	0.0602 ** (0.0492)	0.0490 (0.1056)	0.0555 ** (0.0421)	0.0546 * (0.0744)	0.0859 *** (0.0051)	0.0489 * (0.0746)	0.0517 * (0.0775)	0.0532 * (0.0704)

Adjusted R^2	0.989274	0.986498	0.986519	0.989397	0.986943	0.986811	0.987981	0.988233
Durbin-Watson	1.9932	1.9921	1.9497	1.9942	1.9088	1.9495	1.8620	1.8719
F-test(a)	6635 (0.0000)	6698 (0.0000)	8455 (0.0000)	-	-	-	-	-
F-test(b)	-	-	-	5069 (0.0000)	5197 (0.0000)	6416 (0.0000)	4521 (0.0000)	3765(0.0 000)

註：表格第一欄的 β_{t-1}^{MF} 、 β_{t-2}^{MF} 、 β_{t-1}^{IV} 、 β_{t-2}^{IV} 、 β_{t-1}^{HIS} 、 β_{t-2}^{HIS} 、 β_t^{DU-S} 、 $\beta_t^{\ln-volume}$ 為迴歸分析中解釋變數的係數，其解釋變數分別是無模型設定之隱含波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度、石油現貨價格變動之虛擬變數、取對數之交易量，下標 t-1、t-2 代表前一期和前二期。在表格中，(1)、(2)、(3)分別為無模型設定之隱涵波動度、隱含波動度(二項樹)、歷史波動度單變量迴歸；(4)、(5)、(6)、(7)為包含迴歸、(8)為考慮交易量及石油現貨價格變動，加入兩變數分別為取對數的交易量及石油現貨價格變動的虛擬變數。F-test(a)為檢定單一迴歸 $H_0 : \alpha = 0$ and $\beta^i = 1 (i = MF, IV, HIS)$ 的統計量，F-test(b)為檢定包含迴歸的 $H_0 : \beta^{IV} = 1$ and $\beta^{HIS} = 0$ ，或是 $\beta^{MF} = 1$ and $\beta^{IV} = \beta^{HIS} = 0$ 的統計量，在統計量下方的小括弧內為 p-value，而*、**、***分別在顯著水準為 10%、5%、1%。

第五章、結論與建議

近年來，能源商品的價格隨著國際政治情勢、國際金融環境以及景氣循環的影響產生劇烈波動，基於避險的需求，衍生性商品交易量也逐漸增加。然而波動率在衍生性商品是一個重要指標，它可以用來當作避險及定價的衡量指標，有鑒於波動度的預測日趨重要，本文以石油選擇權為實證研究主體，根據不同的波動度預測方法，比較何種波動度預測方法最能合理預測未來的實際波動度(Realized Volatility)。本文採用的波動度預測方法為以下三類：

1. 無模型設定的隱含波動度(Model-Free Implied Volatility)
2. 隱含波動度 (Implied Volatility)
3. 歷史波動度 (History Volatility)。

因此本文研究目的為依據 Jiang and Tian(2005)的做法，以石油選擇權為研究對象，探討這三種波動度對於實際波動度之預測能力

實證結果現，由石油選擇權所算出來的隱含波動度雖沒有與 Jiang and Tian(2005)使用 S&P 500 指數選擇權的預測能力高，但能與 Jiang and Tian(2005)有許多一致的結果。如無模型設定之隱含波動度仍為偏誤的估計式、無模型設定之隱含波動度比歷史波動度及隱含波動度(二項樹)可解釋更多未來波動度。

参考文献

- Andersen, T. G., and T. Bollerslev (1998), "Answering the skeptics: Yes, standard volatility models do provide accurate forecasts," *International Economic Review*, 885-905.
- Barndorff-Nielsen, O. E., and N. Shephard (2004), "Power and bipower variation with stochastic volatility and jumps," *Journal of Financial Econometrics*, 2, 1-37.
- Black, F., and M. Scholes (1973), "The pricing of options and corporate liabilities," *Journal of Political Economy*, 81, 637-654.
- Britten-Jones, M., and A. Neuberger (2000), "Option prices, implied price processes, and stochastic volatility," *Journal of Finance*, 55, 839-866.
- Canina, L., and S. Figlewski (1993), "The informational content of implied volatility," *Review of Financial Studies*, 6, 659-681.
- Chiras, D. P., and S. Manaster (1978), "The information content of option prices and a test of market efficiency," *Journal of Financial Economics*, 6, 213-234.
- Christensen, B. J., and C. S. Hansen (2002), "New Evidence on the Implied-realized Volatility Relation," *European Journal of Finance*, 8, 187-205
- Christensen, B. J., and N. R. Prabhala (1998), "The relation between implied and realized volatility," *Journal of Financial Economics*, 50, 125-150.
- Cox, J. C., S. A. Ross, and M. Rubinstein (1979), "Option pricing: A simplified approach," *Journal of Financial Economics*, 7, 229-263.
- Day, T. E., and C. M. Lewis (1992). "Stock market volatility and the information content of stock index options," *Journal of Econometrics*, 52, 267-287.
- Fleming, J. (1998), "The Quality of Market Volatility Forecasts Implied by S&P 100 Index Option Prices," *Journal of Empirical Finance*, 5, 317-345.
- Gemmill, G. (1986), "The forecasting performance of stock options on the London traded options market," *Journal of Business Finance and Accounting*, 13, 535-546.

- Gwilym, O. A., and M. Buckle (1999), "Volatility forecasting in the framework of the option expiry cycle," *European Journal of Finance*, 5, 73-94.
- Harvey, C. R., and R. E. Whaley (1992), "Market volatility prediction and the efficiency of the S & P 100 index option market," *Journal of Financial Economics*, 31, 43-73.
- Jiang, G. J., and Y. S. Tian (2005), "The model-free implied volatility and its information content," *Review of Financial Studies*, 18, 1305-1342.
- Jorion, P. (1995), "Predicting volatility in the foreign exchange market," *Journal of Finance*, 50, 507-528.
- Lamoureux, C. G., and W. D. Lastrapes (1993), "Forecasting stock-return variance: Toward an understanding of stochastic implied volatilities," *Review of Financial Studies*, 6, 293-326.
- Latane, H. A., and R. J. Rendleman (1976), "Standard deviations of stock price ratios implied in option prices," *Journal of Finance*, 31, 369-381.
- Ni, S. X., J. Pan, and A. M. Poteshman (2008), "Volatility information trading in the option market," *Journal of Finance*, 63, 1059-1091.
- Vasilellis, G. A., and N. Meade (1996), "Forecasting volatility for portfolio selection," *Journal of Business Finance and Accounting*, 23, 125-143.
- Vix White Paper (2009), "The powerful and flexible trading and risk management tool from the Chicago board options exchange," *Chicago Board Options Exchange*.