

國立臺灣大學管理學院財務金融學系

碩士論文

Department of Finance

College of Management

National Taiwan University

Master Thesis

隱含資產價格與波動率對現貨市場價格變動之資訊內涵

The Information Content of Option Implied Asset Price and
Volatility for Spot Price Movement



研究生：陳巧瑜

Advisee : Chiao-Yu Chen

指導教授：王耀輝 博士

Advisor: Yaw-Huei Wang, Ph.D.

中華民國 97 年 8 月

August, 2008

誌 謝

二年前，加入台灣大學財務金融研究所這個大家庭，承蒙所裡老師細心指導與諄諄教誨，使學生得以踏進財務金融這個學術領域。同時，學長姐與同學於求學期間，給予提攜與鼓勵，更是點滴於心頭。

撰寫本篇論文的過程，得感謝許多貴人精神上與實質上的協助與支持。首先要感謝恩師王耀輝博士，其學、經歷豐富，在研究過程中，不厭其煩地悉心指導，令本篇論文的學術水平增色許多。

本篇論文之所以能順利完成，在此特別感謝論文口試時，何耕宇教授，秉持提攜後輩的情懷，惠賜許多寶貴的意見；中央大學經濟系的徐之強教授在論文構思及推論邏輯上的觀念啟發；此外，財務金融研究所諸位師長的垂愛與啟發……等，皆是令學生銘感五內，永誌難忘。

感謝家人在寫作期間一路陪伴，在困頓無助時，給予最無私的支持，以及長時間的體諒與關懷，而使我無後顧之憂，得以順利完成論文。

要感謝的人實在太多，謹以此未臻成熟之論文，回報給所有師長，以及親愛的家人，萬般感謝，永懷於心。

中文摘要

本研究主要在探討隱含資產價格與隱含波動率的資訊內涵。不同於大部分文獻利用選擇權價格以極小化評價誤差的方式求算隱含資產價格與隱含波動率，本研究將以 S&P500 指數選擇權市場交易資料為基礎，利用買賣權平價公式求得選擇權隱含資產價格與隱含波動率，並藉由建構隱含資產價格與隱含波動率曲面，詳細探討不同履約價格以及不同到期日下隱含資產價格與隱含波動率的實證特性。再者本研究利用求算出之隱含資產價格與隱含波動率對 S&P500 指數 Jump 發生機率進行預測，探討 S&P500 指數選擇權市場對指數現貨價格變動的資訊內涵以及預測能力，究竟是來自選擇權市場參與者對資產均衡價格的預期亦或是對未來波動率的預期。

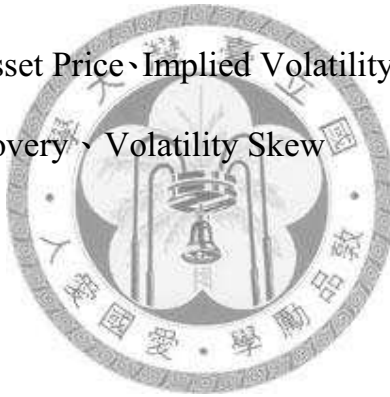
探討 S&P500 指數選擇權隱含資產價格的實證特性，本研究發現不同到期日下隱含資產價格大致呈現中間高兩旁低的情形，且短天期與長天期選擇權的隱含資產價格小於現貨交易價格。而不同價內外程度下的隱含波動率則呈現出 Volatility Skew 的情形，並且到期日越長 Volatility Skew 的程度越小。使用隱含資產價格與隱含波動率對 Jump 發生機率進行預測的結果，發現 S&P500 指數選擇權對指數價格的變動具有資訊內涵，且其預測能力來自於選擇權市場參與者對於 S & P500 指數均衡價格的預期，而非來自其對指數波動率的預期。

關鍵詞：隱含資產價格、隱含波動率、資訊內涵、價格發現、波動率偏斜

Abstract

Doran et al. (2007) confirmed the information content of option price for spot price movement. Base on their findings, this study separate the information embedded in the option price to further discuss the information content of implied asset price and implied volatility. Different from the previous studies, this study use Put-Call Parity to infer option implied asset price and volatility with different strike price and time to maturity to investigate the empirical properties. The results from the Standard & Poor's 500 index options confirmed the information role of option implied asset price for spot price movement.

Key Words: Implied Asset Price、Implied Volatility、Information Content、
Price Discovery、Volatility Skew



目 錄

口試委員會審定書	i
誌謝	ii
中文摘要	iii
英文摘要	iv
目錄	v
表目錄	v
圖目錄	v
第壹章 緒論	
第一節 研究動機與背景	1
第二節 研究問題與內容	3
第三節 研究架構	5
第貳章 文獻回顧	6
第參章 資料、研究方法與模型	
第一節 資料說明	9
第二節 研究方法	10
第三節 模型	16
第四節 事前預期	21
第肆章 實證結果與分析	
第一節 隱含資產價格與隱含波動率曲面	26
第二節 Probit 模型實證結果與分析	30
第三節 LM Jump 實證結果與分析	40
第伍章 結論	42
參考文獻	44

表目錄

表 4-1.....	31
表 4-2.....	32
表 4-3.....	33
表 4-4.....	34
表 4-5.....	36
表 4-6.....	37
表 4-7.....	39
表 4-8.....	41



圖目錄

圖 3-1	17
圖 4-1	26
圖 4-2	27
圖 4-3	27
圖 4-4	28
圖 4-5	29
圖 4-6	29



第壹章、緒論

第一節、研究動機與背景

一般來說，市場上的交易價格反映了市場參與者所擁有的資訊。現貨市場交易價格反映了現貨市場參與者對標的資產所擁有的資訊，而選擇權市場所交易的是能夠對標的資產以履約價格買或賣的權利，因此選擇權的市場價格也反映了選擇權市場所擁有對標的資產的資訊。雖然現貨市場與選擇權市場的參與者皆擁有對標的資產的資訊，但是兩個市場所擁有的資訊多寡、資訊的領先程度以及究竟 Informed Trader 選擇在那個市場進行交易都是相當具有爭議性的問題。

不論程度多寡，選擇權市場的買、賣權交易價格的確反映了市場參與者對標的資產所擁有的訊息，而這些買、賣權價格的資訊內涵經常被轉換成隱含波動率（Implied Volatility）來討論。隱含波動率一般被解釋為選擇權市場對於標的資產未來波動率的預期，或是對於標的資產風險中立機率分配（Risk-Neutral Density）二階動差的估計。在 Black-Scholes(1973)的假設下，到期日相同，但履約價格不同的選擇權應有相同的隱含波動率，但實證結果發現履約價格不同的選擇權呈現 Volatility Smile 的現象。Volatility Smile 現象的發生隱含選擇權市場對於選擇權到期時，標的資產風險中立機率分配的預期並非 Black-Scholes 所假設的 Log-Normal 分配。Breedon and

Litzenberger(1978)說明藉由 Volatility Smile 可以估計出標的資產的風險中立機率分配。因此，不同履約價格的隱含波動率所構成的曲線，不論是呈現 Volatility Smile、Volatility Smirk 或是 Volatility Skew 皆反映選擇權市場對於標的資產風險中立機率分配所擁有的資訊與預期，或者說隱含波動率所構成的曲線反映市場對於風險中立機率分配三階與四階動差的估計。

隱含波動率的資訊內涵 (Information Content) 一直以來皆是一個被廣泛地探討的問題，而一般計算隱含波動率的方法，最常見的便是將波動率以外的參數代入 B-S 選擇權評價模型當中，利用選擇權市場價格反推得到隱含波動率。在此，我們所代入的標的資產價格為現貨市場上觀察到的交易價格，這樣的作法隱含選擇權市場與現貨市場參與者對於標的資產均衡價格擁有的資訊相同，因此兩個市場對於標的資產均衡價格有相同的預期。許多與隱含資產價格 (Implied Asset Price) 相關的實證研究發現，由選擇權價格反推的隱含資產價格的確包含某些未被反映在現貨市場價格的資訊，這表示選擇權交易者對資產均衡價格的預期不一定與現貨交易者相同，且隱含資產價格代表了選擇權市場對風險中立機率分配一階動差的預期。因此利用選擇權價格與標的資產現貨交易價格所反推的隱含波動率，其資訊內涵包含的不只是選擇權市場對於未來波動率的預期，也包含選擇權市場對於標

的資產均衡價格的預期。若直接使用由現貨市場交易價格反推的隱含波動率並對其資訊內涵進行探討，那麼將可能得到較不可靠的結果，並且也無法得知具有資訊內涵與預測能力的是來自選擇權市場對於標的資產均衡價格的預期還是對於未來波動率的預期。

第二節、研究問題與內容

在 B-S 選擇權評價模型中，除了波動率之外的參數皆可直接由市場上觀察到，因此 B-S 隱含波動率的計算可利用選擇權市場價格及其它參數，代入 B-S 選擇權評價模型中反推而得。但是在計算隱含資產價格時，由於波動率無法直接由市場上觀察到，因此無法利用單一的選擇權價格以及反推的方式，求得隱含資產價格。大部分的文獻在求算隱含資產價格時，皆是利用當天所有選擇權價格以極小化評價誤差 (Pricing Error) 的方式，同時計算出每天一組的隱含資產價格及隱含波動率。此法將不同履約價格選擇權對於標的資產均衡價格及波動率的資訊集合起來，以單一值的方式表達市場預期。這樣的表達方式雖然便於利用與解讀，卻無法更細部地探討不同選擇權之間的資訊內涵，以及具有資訊內涵的究竟是哪一部份的選擇權。

Doran et al.(2007)利用買權與賣權每天的 Volatility Skew 預測 S&P100 指數發生 Jump 的機率，由於其研究所使用的隱含波動率乃

是一般以標的資產現貨交易價格反推的隱含波動率，因此無法確定對於 S&P100 指數 Jump 發生機率具有預測力的是來自於選擇權市場對於標的資產均衡價格的資訊或是選擇權市場對於波動率的預期。

本論文研究問題主要在探討隱含資產價格與隱含波動率的資訊內涵。首先，本研究將以 S&P500 指數選擇權市場交易資料為基礎，利用買權與賣權市場交易價格以及買賣權平價公式 (Put-Call Parity) 求得各選擇權隱含資產價格及隱含波動率，並針對選擇權的價內外程度 (Moneyness) 與到期日 (Time to Maturity)，建構出隱含資產價格與隱含波動率的曲面 (Surface)，詳細探討不同履約價格以及不同到期日下隱含資產價格與隱含波動率的實證特性。

再者本研究將以 Doran et al. (2007) 的研究方法與模型為基礎，先初步探討 S&P500 指數買權與賣權 Volatility Skew 對於 S&P500 指數 Jump 發生機率的預測能力，再分別利用買賣權平價公式所得的隱含資產價格及 Volatility Skew 預測 S&P500 指數 Jump 發生機率，最後將同時使用隱含資產價格及 Volatility Skew 預測指數 Jump 的發生機率。本論文研究最終目的在探討 S&P500 指數選擇權市場對指數現貨市場價格變動的資訊內涵以及預測能力，究竟是來自選擇權市場參與者對資產均衡價格的預期亦或是對未來波動率的預期。

第三節、研究架構



本論文研究架構如上圖所示，研究動機與研究問題已於前兩節詳述，在此不再贅言。論文第二章回顧過去相關的文獻與研究資料，第三章第一節將詳述本論文研究資料的篩選與處理，第二節與第三節則分別說明研究方法、相關模型設定及研究假說，而模型參數的事前預期於第四節進行討論。隱含資產價格與隱含波動率曲面的實證特性及選擇權價格資訊內涵的實證結果與分析將於第四章的前兩節進行探討，第三節的部分，本研究將使用其它 Jump 的定義，重新估計模型結果，為前兩節的結論提供更為堅固的證據。最後，第五章將總結本研究之結論。

第貳章、文獻回顧

資訊不對稱 (Asymmetric Information) 的情形使得市場上某些參與者較其他參與者擁有更多資訊。當相同資產同時在兩市場進行交易時，由於市場結構的不同，使得擁有較多資訊的市場參與者 (Informed Trader) 會選擇較能獲利的市場進行交易，而資訊上的優勢使得一般相信具有 Informed Trader 進行交易的市場將反映關於標的資產的資訊。選擇權市場與現貨市場的交易標的相同，雖然選擇權交易具有高槓桿的特性，但是流動性與交易成本的考量使得 Informed Trader 究竟在選擇哪個市場進行交易備受爭議。許多文獻的研究結果支持 Informed Trader 的確在選擇權市場或同時在兩市場進行交易，Mayhew et al.(1995)、Easley et al.(1998)、Pan and Potedhman(2003)、Cao et al.(2000)、Longstaff(1995)。Anand and Chakrarty(2003) 並指出 Informed Trader 使用選擇權交易的比重與履約價格的選擇受槓桿程度及流動性等的影響。

Informed Trader 所擁有的資訊，將透過其於選擇權市場的交易行為反映在選擇權價格上，因此選擇權價格的資訊內涵也被廣泛地討論。過去的研究結果指出市場上至少有資產價格與波動性兩種資訊不對稱，根據此兩種類型的資訊不對稱，市場上存在兩類 Informed Trader，其中 Directional Trader 僅持有關於標的資產均衡價格的資訊，另外

Volatility Trader 僅持有關於標的資產波動性的資訊，Cherian(1998)、Cherian and Jarrow(1998)、Cherian and Weng(1999)、Capell-Blancard(2001)。這也說明為何選擇權價格資訊內涵的相關研究大致上可區分為兩部分——探討選擇權市場對於標的資產的價格發現（Price Discovery）功能與資訊的領先程度，以及選擇權隱含波動率的資訊內涵與對未來波動率的預測能力。

部分關於選擇權市場對標的資產價格發現功能與資訊領先程度的研究支持，選擇權價格的確包含部分未被反映在現貨市場價格的資訊，並且肯定選擇權市場交易對於標的資產價格發現的貢獻，Manaster and Rendleman (1982)、Chakravarty et al. (2004)、Kumar et al. (1992)。持反對意見者則指出並無明顯證據支持選擇權市場的資訊領先程度，Stephan and Whaley (1990)、Chan et al. (1993)。

隱含波動率相關的資訊內涵與預測能力是選擇權研究的另一重心，許多研究認為 B-S 隱含波動率較歷史波動率包含更多資訊，並且能更有效率的預測未來波動率，Day and Lewis(1992)、Lamoureux and Lastrapes(1993)、Jorion(1995)、Potesman(2000)、Fleming(1995)、Fung(2006)。持反對意見的研究則說明，B-S 隱含波動率並未比歷史波動率擁有更多資訊且與實現波動率（Realized Volatility）的相關性低，Canina and Figlewski (1993)。其它隱含波動率資訊內涵的相關

實證發現，隱含波動率對未來標的資產的價格變動具有預測能力，Doran et al.(2007)。Schwert(1990)和 Bates(1991)使用 S&P500 指數選擇權資料說明，隱含波動率暗示了 1987 年 Crash 的發生。

由於 B-S 隱含波動率相關的研究與探討，受限於 B-S 模型是否正確的問題，因此 Britten-Jones and Neuberger(2000)在不使用任何模型假設下推導出無模型隱含波動率 (Model-Free Implied Volatility)，而 Jiang and Tian(2005)使用 S&P500 指數資料對無模型隱含波動率資訊內涵的實證結果說明，無模型隱含波動率整合所有包含在 B-S 隱含波動率及歷史波動率中的資訊。此外波動率微笑 (Volatility Smile) 的實證現象，進一步隱含資產價格分配呈現負偏 (Negative Skew) 以及厚尾 (Fat Tail) 的情形，Rubinstein (1985, 1994)、Jackwerth and Rubinstein (1996)。許多研究將 stochastic volatility 及 Jump 加入模型中，試圖改善模型的配適度，其研究結果不但指出選擇權價格中 Jump Premium 的存在，且發現 Jump Premium 有助於解釋隱含資產分配負偏的現象，Bates (1991, 2000)、Bakshi et al. (1997)、Broadie et al. (2007)、Duan et al. (2005)、Hull and White(1987)、Heston(1993)、Pan(2002)。

第參章、資料、研究方法與模型

第一節、資料說明

原始資料的來源廣泛，S & P500 指數與選擇權日資料來自 Optionmetrics，每日股利率及與選擇權到期日相對應之無風險利率來自於 DataStream，每日一年期與十年期美國政府公債殖利率則來自 Federal Reserve Bulletin。成交量與未平倉量同樣也收集自 Optionmetrics。樣本期間自 2001 年 1 月 2 日至 2005 年 12 月 30 日。為了避免 Bid-Ask Bounce Problem，選擇權市場價格採用的是每日最佳買賣報價的平均，而非實際交易價格，Bakshi et al. (1997, 2000)。

本研究使用多種資料濾過器 (Data Filter) 做最終資料的篩選。首先，刪除剩餘履約期間少於 10 日的選擇權，因為此類選擇權較容易有嚴重的衡量誤差 (Measurement Error)，並且具有流動性與市場微結構的考量。其次，刪除價格違反邊界條件 (Boundary Conditions) 的選擇權，因為違反邊界條件的選擇權價格被嚴重低估，將產生無風險的套利機會，而且利用此種選擇權價格反推隱含波動率，所得到的結果實際上為負值。最後，由於本研究是利用買賣權平價公式來推導隱含資產價格與隱含波動率，因此只採用相同到期日及履約價格下，同時具有買權與賣權資料的選擇權。

第二節、研究方法

為了建構隱含資產價格與隱含波動率曲面，探討不同履約價格及不同到期日下的實證特性，首先必須求得每天不同履約價格及不同到期日下的選擇權隱含資產價格與隱含波動率。求算選擇權隱含資產價格與隱含波動率時，若是利用極小化評價誤差的方式，每天只能求得一組的隱含資產價格與隱含波動率，無法得到不同履約價格下的隱含資產價格與隱含波動率。因此本研究採用 Ait-Sahalia and Lo(1998) 的作法，利用買賣權平價公式、買權與賣權市場價格，先得出每天不同履約價格與到期日下各選擇權的隱含資產價格（以下稱為 S^* ），再將所得之隱含資產價格當成標的資產價格代入 B-S 選擇權評價模型中，反推出隱含波動率（以下稱為 σ^* ）¹。利用買賣權平價公式，所推出的隱含資產價格與隱含波動率不但買權與賣權的值皆相同，同時也反映了所有買權與賣權價格擁有的資訊。根據 Hentschel(2003)，同時使用買權與賣權價格來推導隱含波動率將可減少因衡量誤差而造成的影響。

由於 S^* 與隱含波動率的概念不同，並非一個標準化的參數，其值本身的絕對大小無太大意義，因此本研究定義一個較為標準化的變數， δ ，來對 S^* 進行探討。

¹ 為了便於區隔，本研究將以 S 來代表標的資產現貨交易價格，以 σ 代表一般以 S 為標的資產價格代入 B-S 選擇權評價模型反推而得的隱含波動率。

$$\delta = \frac{S^* - S}{S} \quad (1)$$

理論上，若每天市場上交易的選擇權履約價格及到期日範圍廣泛，則利用選擇權市場價格求得隱含資產價格與隱含波動率後，所求得的值將自動形成一個曲面。然而，實際於市場上交易的選擇權，不但履約價格方面具有固定級距與價內外程度涵蓋範圍隨著現貨市場交易價格每天變動等限制，在到期日方面，每天有效的到期日天數也僅有少數幾種，因此需要利用最適曲線配置 (Curve Fitting) 的方式才能建構出隱含資產價格與隱含波動率的完整曲面。根據 Shimko(1993)、Ait-Sahalia and Lo(1998)、Jiang and Tian(2005)的作法，本研究直接對隱含資產價格與隱含波動率而非選擇權價格做最適曲線配置。配置方法的選擇上，則採用 Bates(1991)和 Campa et al.(1998)的作法，使用 Cubic Splines。

建構三維度曲面，需將曲線配置分兩步驟進行，先固定選擇權到期日對價內外程度進行配置²，再固定價內外程度對到期日進行配置。本研究將選擇權價內外程度定義為 $K/S_t e^{(r-q)T}$ ， K 為履約價格， S_t 為時間 t 時標的資產現貨交易價格， r 為無風險利率， q 為股利率， T 則為選擇權到期日。固定到期日對價內外程度進行插補時，若當天選擇權資料的有效價內外程度範圍在 0.95~1.05 間，則本研究根據 Jiang and

²對選擇權價內外程度進行曲線配置時，考慮資料量多寡，本研究將到期日固定在 10、23、36、49、65、80、94、108、122、140、163 與 182 天進行插補。

Tian(2005)的作法，取有效範圍插補後資料的端點，將價內外程度外插 (Extrapolate) 至 0.95 或 1.05。最後固定價內外程度，在到期日 10 到 182 日間進行插補。

依照 Bakshi and Kapadia(2003)的分類方式，本研究將價內外程度區分為幾個類別，價內外程度落於 0.875~0.925 間的賣權與買權分別被歸類為 DOTM 及 DITM，落於 0.925~0.975 間的則歸類為 OTM 及 ITM，價內外程度在 0.975~1.025 間的，不論買權與賣權皆屬於 ATM，而落於 1.025~1.075 間的則屬於 ITM 的賣權與 OTM 的買權。將選擇權依照價內外程度進行分組，採用組內平均進行推論可減少因單一選擇權價格的衡量誤差帶來的偏誤，Henschel(2003)。

以 Doran et al.(2007)的研究方法為基礎，本論文研究於初步探討 S & P500 指數買權與賣權價格隱含波動率的資訊內涵以及 Volatility Skew 對於 S&P500 指數 Jump 發生機率的預測能力後，將利用買賣權平價公式所推得的隱含資產價格及 Volatility Skew 分別對 Jump 的發生機率進行預測，最後在同時使用隱含資產價格與 Volatility Skew 對 Jump 的發生機率進行預測。藉由比較上述三種模型的預測力，本研究將討論指數選擇權價格對指數 Jump 的發生是否具有資訊內涵與預測能力，以及在具有資訊內涵的前提之下，其預測能力是來自選擇權市場參與者對指數均衡價格的預期亦或是對未來波動率

的預期。

根據 Doran et al.(2007)本研究定義以下變數代表 Volatility Skew 的程度：

$$\Delta\sigma_{do,o}^P = \sigma_{do}^P - \sigma_o^P \quad (2)$$

$$\Delta\sigma_{do,a}^P = \sigma_{do}^P - \sigma_a^P \quad (3)$$

$$\Delta\sigma_{do,i}^P = \sigma_{do}^P - \sigma_i^P \quad (4)$$

σ_{do}^P 、 σ_o^P 、 σ_a^P 和 σ_i^P 代表深度價外 (DOTM)、價外 (OTM)、價平 (ATM) 及價內 (ITM) 的賣權隱含波動率。買權 Skew 變數的定義方式則與賣權相同：



$$\Delta\sigma_{do,o}^C = \sigma_{do}^C - \sigma_o^C \quad (5)$$

$$\Delta\sigma_{do,a}^C = \sigma_{do}^C - \sigma_a^C \quad (6)$$

$$\Delta\sigma_{do,i}^C = \sigma_{do}^C - \sigma_i^C \quad (7)$$

σ_{do}^C 、 σ_o^C 、 σ_a^C 和 σ_i^C 代表深度價外 (DOTM)、價外 (OTM)、價平 (ATM) 及價內 (ITM) 的買權隱含波動率。使用買賣權平價公式推導隱含波動率時，Volatility Skew 變數的定義方式如下：

$$\Delta\sigma_{do,o}^* = \sigma_{do}^* - \sigma_o^* \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_{do,a}^* = \sigma_{do}^* - \sigma_a^* \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_{do,i}^* = \sigma_{do}^* - \sigma_i^* \quad (10)$$

σ_{do}^* 、 σ_o^* 、 σ_a^* 、 σ_i^* 代表深度價外 (DOTM)、價外 (OTM)、價平 (ATM)

和價內 (ITM) 的 σ^* 。

除了 Skew 變數外，本研究另外將反映選擇權市場參與者對標的資產均衡價格預期的變數， $\delta_{ave,t}$ ，加入模型中，以探討 S^* 對現貨市場價格變動方向的預測能力。 $\delta_{ave,t}$ 代表時間點 t 時，所有選擇權 δ 的平均值。

Doran et al. (2007) 於其模型中加入其他控制變數。在美國，利率的期限結構與未來經濟活動間已建構相當完整的連結，Inverting 利率期限結構與一般總體經濟活動，具有負向關係，當長期利率與短期利率間差距縮小或由正值轉為負值時，代表未來經濟活動將轉弱。因此為了控制總體經濟變動對隱含波動率的影響，將利率期限建構變數加入模型中，其變數形式為 10 年期美國政府公債與 1 年期美國政府公債殖利率之間的差距。

選擇權市場風險大小一般來說會隨著市場波動性的增加而變大，Pan(2002)，使得模型中加入代表選擇權市場波動性的控制變數是必要的。由於 ATM 的選擇權通常有較小的評價誤差，利用選擇權價格推導隱含波動率時較不會受到衡量誤差的影響，因此選擇 ATM 的隱含波動率為控制變數。³

由於 ITM 及 ATM 的選擇權價格相對來說較為昂貴，握有資訊的參

³ Hentschel(2003)提到，在利用選擇權價格反推隱含波動率時，即使是很小的評價誤差也會造成嚴重的衡量誤差問題。相較於 OTM 和 ITM 的選擇權通常有較大的評價誤差，反推 ATM 的隱含波動率時則較不受限於此問題。

與者通常會選擇交易 OTM 的選擇權，因此利用隱含波動率曲線中 Volatility Skew 程度的變化來探討選擇權隱含波動率的資訊內涵以及其對標的資產價格 Jump 發生機率的預測能力時，研究的主要重心在於探討隱含波動率曲線中 OTM 的部分。將其它會影響 Volatility Skew 程度的因素加入模型中做為控制變數，可更真實地反映隱含波動率曲線所包含的資訊。George and Longstaff(1993)和其他許多研究將 S & P100 指數選擇權市場買賣價差(Bid-Ask Spread)的不同和交易行為做連結，當市場不確定性增加時，投資人會預期買賣價差擴大。因此本研究加入 OTM 選擇權的平均百分比買賣價差 (Average Percentage Bid-Ask Spread)⁴於模型中做為控制變數。這也與 Bollen and Whaley(2004)提出，買賣價差具有獨立預測能力的論點一致。

選擇權市場包含避險者及投機者兩種類型的投資者，且 OTM 選擇權通常具有流動性不佳的爭議 (Illiquidity Issue)，因此加入兩種與量相關的變數於模型中做為控制變數，期望能減少少數交易可能會帶來的衡量誤差問題。當避險者認為現貨市場發生 Crash(Spike)的機率增加時，將開啟新的 OTM 賣權 (買權) 合約作為避險之用，OTM 選擇權的未平倉量增加。使用 OTM 選擇權未平倉量 OI_o^P (OI_o^C)，作為控制變數可捕捉避險者進出市場的行為。此外加入 OTM 選擇權交易量控制

⁴ 平均百分比買賣價差的定義為，買賣價差除以買價與賣價之平均。

變數 V_o^P (V_o^C)，則可捕捉投機者因預期標的資產價格變動所做的部位調整。⁵

第三節、模型

利用 Volatility Skew 以及 δ 預測市場 Jump 發生機率前，首先必須對 Jump 的發生進行定義。本研究將 Market Crash(Spike)定義為 S & P500 指數變動率超過-2.4% (2.3%) 及-3.4% (4.0%)。⁶圖 3-1 為樣本期間 S&P500 指數與 VIX 之日資料，圖中可看出 Jump 的發生具有叢聚的特性，一個 Jump 的發生經常緊接著另一個同方向或反方向的 Jump。因此，Jump 的發生不能被視為單一事件，必需同時考慮 Jump 發生前後是否曾有其它 Jump 的發生以及這些 Jump 的方向。

雖然一般所稱 Jump 的發生是指資產報酬率遠大於正常連續變動下報酬率應有的值，但當市場處於波動性較高的時期，即使沒有發生 Jump，指數報酬率的絕對值也相對較大，因此當定義 Jump 的發生為指數報酬率超過某一固定門檻時，波動率高低自然會影響 Jump 的發生。

由圖 3-1 S&P500 指數報酬率與市場波動性之間的關係可看出此一情形。

⁵ Easley et al. (1998) 指出，選擇權交易量包含關於標的資產未來價格變動的資訊。

⁶ -2.4% (2.3%) 及-3.4% (4.0%) 為樣本期間 S&P500 指數日報酬率為負 (正) 的資料中，報酬率絕對值最大前 5%及 1%。

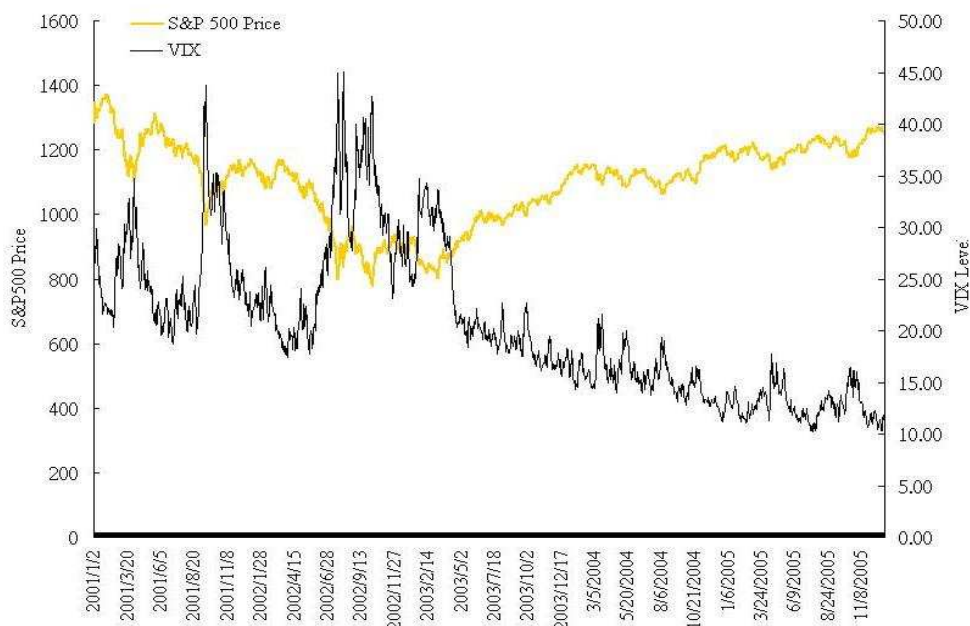


圖 3-1

為了辨認出與波動性無關真正 Jump 的發生，Lee and Mykland(2006)將實現報酬率(Realize Return)利用局部波動率(Local Volatility)加以標準化後，創造出檢定 Jump 發生與否的統計量 $T(t)$ ：

$$T_t = \frac{\log(S_t) - \log(S_{t-1})}{\hat{\sigma}_t} \quad (11a)$$

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1}{K-2} \sum_{j=t-K+2}^{t-1} |\log S(j) - \log S(j-1)| |\log S(j-1) - \log S(j-2)|} \quad (11b)$$

Lee and Mykland(2006)指出，Window Size K 的選擇受到樣本多寡及抽樣頻率影響，其研究建議使用日資料進行分析時，最適的 Window Size 為 16 天。本研究進行每天 Jump 發生與否的檢定時，將 T_t 與 Lee and Mykland(2006)研究中 Lemma 1 定義的門檻值做比較並採用 5% 的顯著

⁷ Lee and Mykland(2006)指出，所使用之局部波動率僅能包含變異中來自連續變動的部分。

水準。利用此方法檢定出的 Jump 以下將稱為 LM Jump。本研究樣本期間，共發生 13 次 Negative LM Jump 及 5 次的 Positive LM Jump，由於期間內 Positive LM Jump 發生的次數太少，無法產生可信賴的統計預測，因此將不討論 LM Jump 為 Positive 的部分。

本研究採用 Probit 模型來探討 Volatility Skew 和 S^* 的資訊內涵，以及其與 Market Crash 和 Spike 發生機率間之關聯。本研究使用 Probit 模型來分析選擇權到期前 S&P500 指數日報酬率發生 Jump 的事件。對選擇權 j 而言，若時間點 t (今天) 到時間點 $t+\tau$ (選擇權 j 之到期日) 間，S&P500 指數曾經發生 Jump，則從今天一直到 Jump 發生日，選擇權 j 每天都獲得 $D=1$ ⁸。若選擇權到期前 S&P500 指數日報酬率從未發生 Jump，則從今天一直到選擇權到期日，選擇權 j 每天都獲得 $D=0$ 。

對選擇權持有者來說，Jump 實際發生的時間點並不重要，重要的是 Jump 發生在選擇權履約期間內。雖然 S&P500 指數選擇權屬於歐式，無法在到期前執行，但是一旦發生 Jump，選擇權的持有者仍然可以在市場上賣出選擇權平倉。因此，必須另外加入兩項控制於模型中，以控制市場微結構，例如：Profit Taking 或 Shorting-Selling Constraints 的潛在影響。首先，假若今天與選擇權到期日間，Jump

⁸這也是為何在 6 個指數日報酬率超過 -3.4% 的 Jump 中，共觀察到 66 筆選擇權 $D=1$ 的資料。

曾經發生，而今天與 Jump 發生日之間又發生過另一個反方向的 Jump，則此一 Jump 將獲得 $D=0$ 而非 $D=1$ 。⁹ 除此之外，一旦選擇權到期日前曾經發生 Jump，則 Jump 發生後的 5 個交易日(Business Day) 選擇權 j 都將獲得 $D=0$ 。

單獨利用隱含波動率對 Market Crash 和 Spike 發生機率進行預測時，不論所使用的隱含波動率為 σ^P 、 σ^C 或 σ^* ，皆使用以下模型：

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \Delta \sigma_{SKEW,t} + \beta_2 \sigma_{a,t} + \beta_3 BA_{o,t} + \beta_4 V_{o,t} + \beta_5 OI_{o,t} + \beta_6 TS_t) + e_t \quad (12)$$

$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1)$ 代表選擇權到期前，Jump 發生機率。 Φ 代表標準常態累積機率分配。 $\Delta \sigma_{SKEW,t}$ 代表時間點 t 時，下列三種不同價內外程度間隱含波動率的差：

$\Delta \sigma_{do,o}$ 代表 DOTM 和 OTM 選擇權。

$\Delta \sigma_{do,a}$ 代表 DOTM 和 ATM 選擇權。

$\Delta \sigma_{do,i}$ 代表 DOTM 和 ITM 選擇權。

$\sigma_{a,t}$ 為時間點 t 時，ATM 選擇權平均隱含波動率。

$BA_{o,t}$ 為時間點 t 時，OTM 選擇權平均百分比買賣價差。

$V_{o,t}$ 為時間點 t 時，OTM 選擇權平均交易量，以 100,000 為單位。

⁹ 假設欲衡量 Negative Jump 的發生，對選擇權 j 而言，若今天與選擇權到期日間，指數曾經發生 Negative Jump，則從今天一直到 Negative Jump 發生日，選擇權 j 每天都獲得 $D=1$ 。但是，當另一個 Positive Jump 曾發生在今天與 Negative Jump 發生日之間時，則即使選擇權到期日前曾發生 Negative Jump，選擇權 j 仍獲得 $D=0$ 而非 $D=1$ 。

$OI_{o,t}$ 為時間點 t 時，OTM 選擇權平均未平倉量，以 100,000 為單位。

TS_t 為時間點 t 時，10 年期美國政府公債與 1 年期美國政府公債殖利率間之差。

α 與 β 為待估計之參數。

單獨利用 S^* 對 Market Crash 和 Spike 發生機率進行預測時，使用以下模型：

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \delta_{ave,t} + \beta_2 \sigma_{a,t}^* + \beta_3 BA_{o,t} + \beta_4 V_{o,t} + \beta_5 OI_{o,t} + \beta_6 TS_t) + e_t \quad (13)$$

$\delta_{ave,t}$ 為時間點 t 時，平均選擇權隱含資產價格與現貨價格間之差，以百分比表示。

$\sigma_{a,t}^*$ 為時間點 t 時，ATM 選擇權隱含波動率， σ^* ，之平均。

同時利用 S^* 與 σ^* 對 Market Crash 和 Spike 發生機率進行預測時，則使用以下模型：

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \delta_{ave,t} + \beta_2 \Delta \sigma_{SKEW,t}^* + \beta_3 \sigma_{a,t}^* + \beta_4 BA_{o,t} + \beta_5 V_{o,t} + \beta_6 OI_{o,t} + \beta_7 TS_t) + e_t \quad (14)$$

$\Delta \sigma_{SKEW,t}^*$ 代表時間點 t 時，三種不同價內外程度間 σ^* 的差：

$\Delta \sigma_{do,o}^*$ 代表 DOTM 和 OTM 選擇權。

$\Delta \sigma_{do,a}^*$ 代表 DOTM 和 ATM 選擇權。

$\Delta \sigma_{do,i}^*$ 代表 DOTM 和 ITM 選擇權。

$\delta_{ave,t}$ 為時間點 t 時，平均選擇權隱含資產價格與現貨價格間之差，以

百分比表示。

$\sigma_{a,t}^*$ 為時間點 t 時，ATM 選擇權隱含波動率， σ^* ，之平均。

第四節、事前預期

本研究將分別利用 σ^p 、 σ^c 、 σ^* 與 S^* 對 Market Crash 和 Market Spike 的發生機率進行預測。首先探討 Crash 的情形：

若 Volatility Skew 的確具有資訊內涵且投資人為風險趨避時，利用 Equation (12) 及隱含波動率等賣權變數資料進行預測，針對定義的 Skew 變數， β_1 係數應為正。當市場發生 Crash 時，DOTM 和 OTM 賣權的價值會上升，導致其隱含波動率相對於 ATM 及 ITM 的選擇權提高， β_1 係數為正反映了 Volatility Skew 與 Crash 發生機率之間的正向關係。此外波動性的高低會影響 Jump 的發生，當市場處於波動性大的時期，發生 Jump 的機率提高，因此在賣權的部分，預期 β_2 為正。LM Jump 的建立是為了將 Jump 的發生與波動性區隔開來，因此使用 LM Jump 為被解釋變數時，則預期 β_2 係數不顯著。

使用 Equation (12) 與買權變數資料預測 Crash 時，有兩種可能情境。當投資人對 Crash 的趨避程度大於對 Spike 的趨避程度時， β_1 可能為正或負，但不顯著。這與 Pan(2002) 和 Bates(2000) 所提出的

Negative Jump Premium 的概念一致。¹⁰ 然而，當市場藉由改變隱含波動率以反映 Dealer 及 End-users 的需求時，則預期 β_1 為正而且顯著。對 β_2 的預期與賣權相同，皆預期 β_2 係數為正，且當使用 LM Jump 為被解釋變數時， β_2 係數將不顯著。

使用 Equation(13)探討 S^* 的資訊內涵時，當 δ_i 越大，表示選擇權市場所認為的標的資產均衡價格大於現貨市場均衡價格越多。若 S^* 確具有資訊內涵並對 Jump 有預測能力，則利用 S^* 對 Crash 進行預測時，不論使用賣權或買權變數資料， β_1 係數應為負。

同時使用 S^* 與 σ^* 進行 Crash 發生機率的預測時，對係數之預期與單獨使用 σ^* 或 S^* 進行預測時相同。

以上推論得出本研究前三項假說：

假說 1a：當選擇權價格對 Crash 發生機率具有資訊內涵時，其預測能力來自選擇權市場對波動性的資訊。

假說 2a：當選擇權價格對 Crash 發生機率具有資訊內涵時，其預測能力來自選擇權市場對標的資產均衡價格的資訊。

假說 3a：當選擇權價格對 Crash 發生機率具有資訊內涵時，其預測能力同時來自選擇權市場對標的資產均衡價格與波動性的資

¹⁰ 市場上可能同時存在對 Crash 的 Negative Jump Premium 以及對 Spike 的 Positive Jump Premium，兩者相互抵銷後，最終得到淨 Negative Jump Premium。而 Pan(2002)和 Bates(2000)的模型則指出，買權模型的 β_1 會不顯著異於 0。

訊。

接著探討 Spike 的情形：

使用賣權變數資料預測 Spike 發生機率時，Skew 變數的係數 β_1 應為負，因為當投資人預期現貨市場即將發生 Spike 時，會願意以較低的隱含波動率賣出賣權。然而，當投資人對 Market Spike 的趨避程度小時，較不會藉由調整賣權 Volatility Skew 來反映其對 Spike 的預期，因此可能會造成 β_1 不顯著的情形發生。不論 Jump 的方向為正或負，波動性大小皆會影響其發生機率，因此對 ATM 選擇權隱含波動率係數 β_2 方向的預期與 Crash 的情形相同，應為正值，且使用 LM Jump 為被解釋變數時， β_2 係數將不顯著。

使用買權變數資料對 Spike 發生機率進行預測時， β_1 係數應為正。當預期現貨市場即將大幅上漲時，DOTM 的買權價格會變的較貴，導致其隱含波動率相對於 ATM 及 ITM 的選擇權提高，Volatility Skew 的程度減少。對 β_2 的預期則與其它情形相同，使用 LM Jump 時， β_2 係數將不顯著。

利用 Equation(13)與 S^* 對 Spike 進行預測時，不論使用賣權或買權變數資料， β_1 係數皆為正。而同時使用 S^* 與 σ^* 對 Spike 發生機率的進行預測時，係數之預期與單獨使用 σ^* 或 S^* 進行預測時相同。

以上推論得出本研究另三項假說：

假說 1b：當選擇權價格對 Spike 發生機率具有資訊內涵時，其預測能力來自選擇權市場對波動性的資訊。

假說 2b：當選擇權價格對 Spike 發生機率具有資訊內涵時，其預測能力來自選擇權市場對標的資產均衡價格的資訊。

假說 3b：當選擇權價格對 Spike 發生機率具有資訊內涵時，其預測能力同時來自選擇權市場對標的資產均衡價格與波動性的資訊。

雖然波動性增大時，市場風險的提高會使得選擇權買賣價差擴大，然而成交量的增加卻會使得買賣價差縮小。兩種相互抵銷的力量使得不論是預測 Market Crash 或 Spike，皆無法事前預測買賣價差係數 β 的正負方向，也無法確定買權與賣權係數是否會有相同方向。

當投資人預期市場發生 Crash (Spike) 的機率增加時，將開啟新的賣權 (買權) 契約，因此使用賣權資料進行預測時，OTM 未平倉量的係數應為正(負)，而買權資料的係數應為負 (正)。需要注意的是，當市場上存在有資訊不對稱的情形，且選擇權市場參與者擁有的資訊較多 (Better-Informed) 時，即使預期 Market Crash (Spike) 發生的機率增加，市場上也不容易找到 OTM 賣權 (買權) 的賣方，此時 OTM 賣權 (買權) 的未平倉量將無法確實地反映選擇權市場預期。

加入成交量變數於模型中，可捕捉市場流動性不佳的影響以及投

機者於市場中的交易行為，因此不論 Crash 或 Spike，對成交量係數的預期皆為正。最後，由於 Inverting 利率期限結構與一般總體經濟活動間，具有負向關係，因此不論利用買權或賣權資料進行預測，利率的期限結構變數與 Crash 發生機率之間皆為負相關，而與 Spike 發生機率之間則為正相關。



第肆章、實證結果與分析

第一節、隱含資產價格與隱含波動率曲面

圖 4-1、圖 4-2 及圖 4-3 分別為隱含資產價格 (S^*) 曲面、不同到期日下隱含資產價格曲線,以及不同價內外程度下隱含資產價格曲線。圖 4-1 中可初步看出短天期與長天期選擇權 δ 小於 0,表示選擇權隱含資產價格小於現貨交易價格,而中期選擇權 δ 則大於 0。不同價內外程度的隱含資產價格間並未呈現特殊的型態 (Pattern)。圖 4-2 更詳細地看出,即使將價內外程度固定在不同水準,不同到期日的隱含資產價格不但固定呈現中間高兩旁低的情形,並且其值大小幾乎位在同一水準上。觀察圖 4-3 不同價內外程度下隱含資產價格曲線,雖然未呈現固定的特殊型態,但其曲線的波動性大致上隨著所固定之到期日增長而趨於平緩。

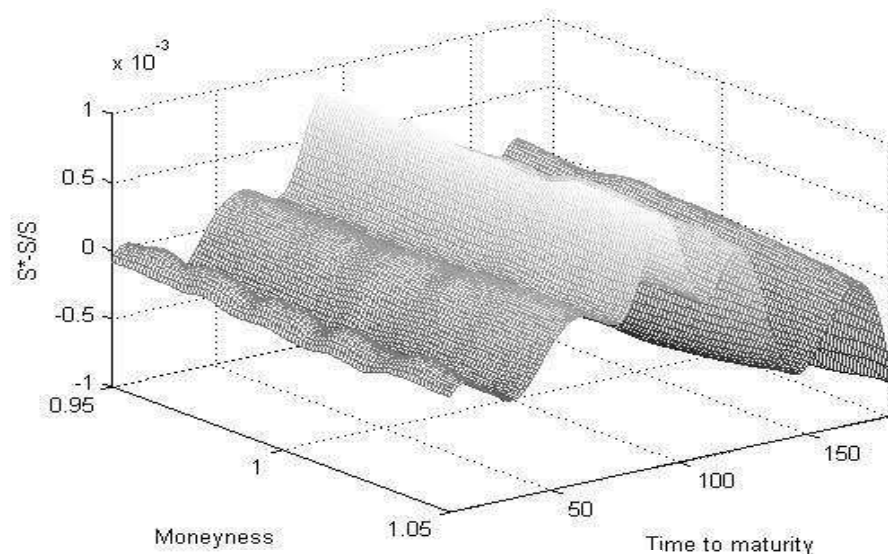


圖 4-1 隱含資產價格曲面

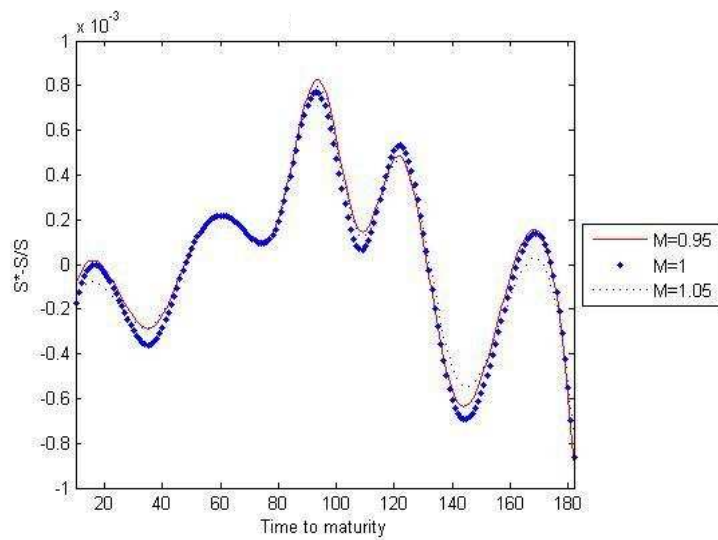


圖 4-2 不同到期日隱含資產價格曲線

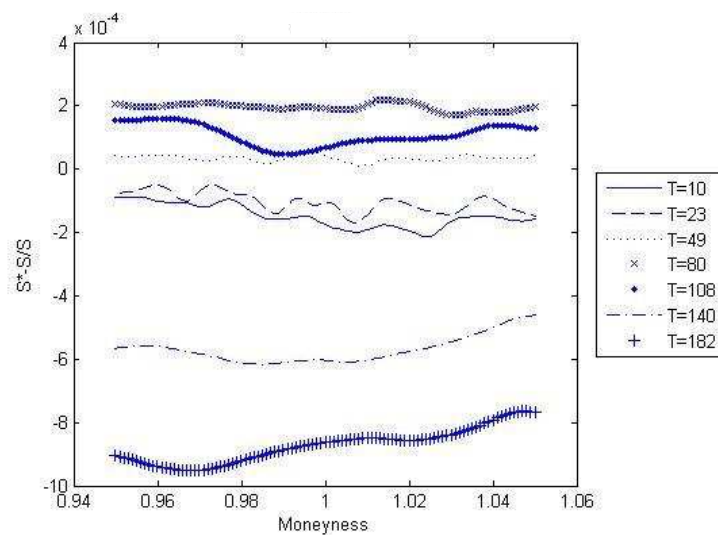


圖 4-3 不同價內外程度隱含資產價格曲線

圖 4-4、圖 4-5 及圖 4-6 分別代表隱含波動率 (σ^*) 曲面、不同到期日下隱含波動率 (σ^*) 曲線及不同價內外程度下隱含波動率 (σ^*) 曲線。由圖 4-4 可看出隱含波動率 (σ^*) 曲面大致上呈現價內外程度越大，隱含波動率越小的情形，此為一般權益證券隱含波動率常見的型態。而固定價內外程度，觀察圖 4-5 的隱含波動率曲線發現，到期日小於 20 天及介於 140~182 天的選擇權隱含波動率相對高於到期日介於 20~140 天的選擇權隱含波動率，且價平選擇權不同到期日下的隱含波動率大小相較於價內及價外選擇權穩定。圖 4-6 中不同價內外程度的隱含波動率曲線明顯呈現 Volatility Skew 的情形，且到期日越長其隱含波動率曲線 Skew 的程度越小。

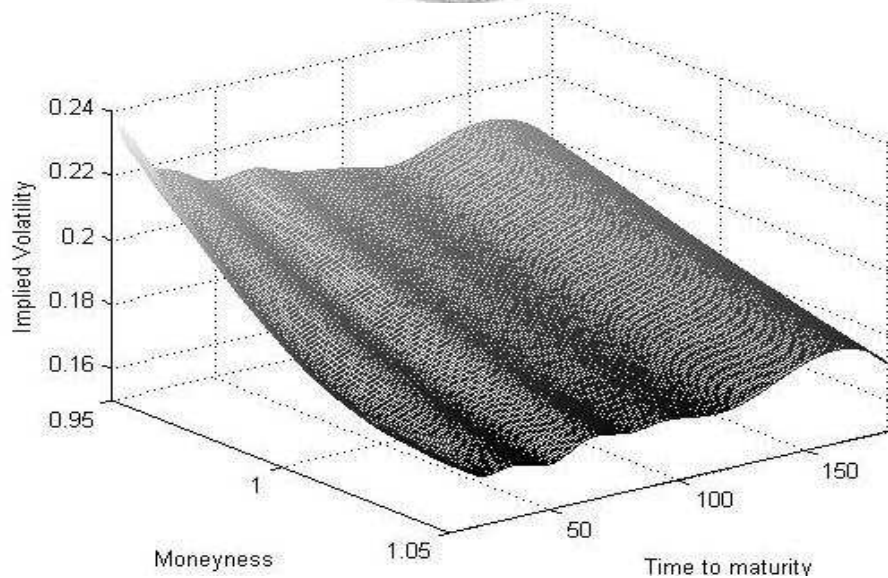


圖 4-4 隱含波動率曲面

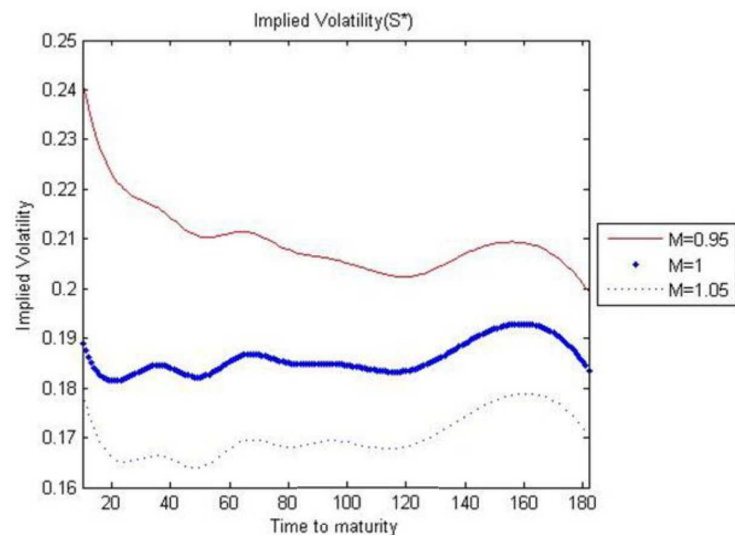


圖 4-5 不同到期日隱含波動率曲線

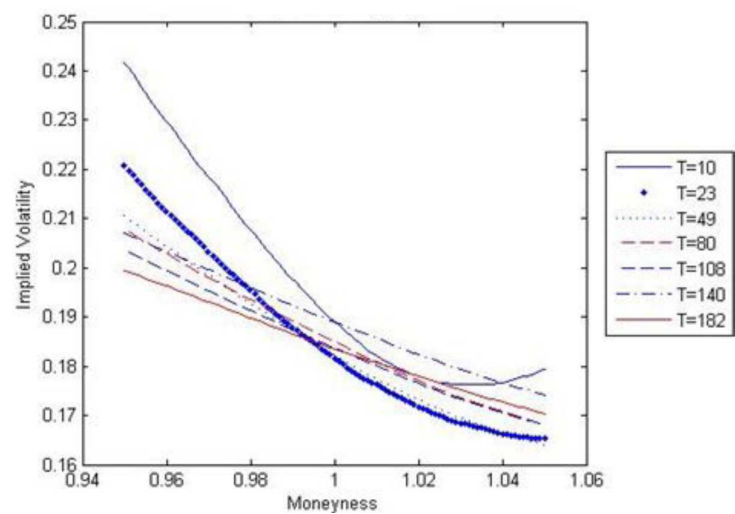


圖 4-6 不同價內外程度隱含波動率曲線

第二節、Probit 模型實證結果與分析

當市場發生大幅變動時，短天期選擇權由於履約期間即將結束，無法有充裕的時間等待市場回復，因此對於市場情況的變動應較為敏感，一般也預期短天期選擇權的預測能力相對優於長天期選擇權。本研究使用到期日介於 10~30 天的短天期選擇權進行預測。首先，僅使用 Skew 變數對各種定義的 Jump 進行預測，單變量模型估計可看出不考慮其它控制變數的影響下，Skew 變數對 Jump 的預測能力，表 4-1 為估計結果。表中的結果顯示，賣權 Skew 變數 $\Delta\sigma_{do,o}^P$ 、 $\Delta\sigma_{do,a}^P$ 、 $\Delta\sigma_{do,i}^P$ 不論對 Negative 或 Positive Jump 的係數皆不顯著。買權的部分， $\Delta\sigma_{do,o}^C$ 、 $\Delta\sigma_{do,a}^C$ 、 $\Delta\sigma_{do,i}^C$ 對大、小 Negative Jump 的係數皆顯著且為負，表示當 DOTM 買權與 OTM、ATM 及 ITM 買權隱含波動率間差距擴大時，Crash 發生機率越大。在 Positive Jump 的方面，買權 Skew 變數仍舊顯著，但方向為負與預期的結果相反。

初步探討 Skew 變數的預測能力後，本研究分別使用 Equation(12) 的完整模型於買權與賣權變數資料進行預測。表 4-2 與表 4-3 分別為使用賣權與買權變數資料對 Negative 和 Positive Jump 估計的結果。表 4-2 可看出所有賣權 Skew 變數對 -3.4% 及 -2.4% Crash 的預測能力皆不顯著，而 Positive Jump 的部分， $\Delta\sigma_{do,o}^P$ 、 $\Delta\sigma_{do,a}^P$ 及 $\Delta\sigma_{do,i}^P$ 對 2.3% Jump 皆有 5% 的顯著水準，對於 4.0% Jump 則只有 $\Delta\sigma_{do,a}^P$ 具有 5% 的顯著水準，

表 4-1 單變量 Probit 模型估計結果

	$\Delta\sigma_{do,o}^P$	$\Delta\sigma_{do,a}^P$	$\Delta\sigma_{do,i}^P$	$\Delta\sigma_{do,o}^C$	$\Delta\sigma_{do,a}^C$	$\Delta\sigma_{do,i}^C$
Jump<-2.4%	-0.89 (-0.51)	-1.09 (-0.89)	0.08 (0.07)	-25.90 (-4.94)**	-16.35 (-5.65)**	-10.18 (-5.37)**
Jump<-3.4%	-2.07 (-1.07)	-2.05 (-1.53)	-0.73 (-0.59)	-32.38 (-6.04)**	-17.41 (-6.31)**	-8.69 (-4.81)**
Jump>2.3%	-3.74 (-2.04)*	-2.36 (-1.82)	-1.27 (-1.08)	-12.36 (-2.65)**	-8.60 (-3.00)**	-4.26 (-2.31)*
Jump>4.0%	2.86 (1.19)	2.38 (1.39)	4.43 (2.62)**	-90.17 (-4.16)**	-46.10 (-4.21)**	-19.58 (-3.31)**
LM Jump down	-0.43 (-0.23)	-0.22 (-0.17)	-0.68 (-0.56)	4.64 (1.57)	3.81 (1.93)	3.79 (2.44)*

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準；表 4-1 及以下所有表格之標準差為 Huber/White Robust Standard Error。

表示當 DOTM 賣權隱含波動率與 OTM、ATM 及 ITM 賣權隱含波動率間差距增加時，市場發生 2.3%Spike 的機率減少。總和來說，賣權隱含波動率曲線對小幅度的 Market Spike 具有資訊內涵。買權變數資料的部分，由表 4-3 可看出除了 $\Delta\sigma_{do,i}^C$ 對 2.3%Spike 有 5%的顯著水準外，所有買權 Skew 變數對 Negative 及 Positive Jump 的參數估計結果皆不顯著，表示買權價格對 Jump 的發生幾乎沒有預測能力。觀察 σ^P 與 σ^C 的估計結果顯示，S&P500 指數選擇權僅賣權資料對小幅度 Spike 有預測能力。

接著，本研究使用 Equation(12)、(13)和(14)對 Jump 進行估計，探討 σ 中具有預測能力的資訊內涵是來自市場對均衡價格 S^* 的預期還是對波動率 σ^* 的預期。表 4-4 為使用 S^* 與 σ^* 的模型單變量估計結果。

表 4-2 賣權變數資料 Probit 模型估計結果

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \Delta \sigma_{SKEW,t}^P + \beta_2 \sigma_{a,t}^P + \beta_3 BA_{o,t}^P + \beta_4 V_{o,t}^P + \beta_5 OI_{o,t}^P + \beta_6 TS_t) + e_t$$

Puts	Jump<-3.4%			Jump<-2.4%			Jump>2.3%			Jump>4.0%		
$\Delta \sigma_{do,o}^P$	0.04			0.18			-4.99			-12.19		
	(0.02)			(0.08)			(-2.32)*			(-1.87)		
$\Delta \sigma_{do,a}^P$	-0.43			-0.20			-3.23			-9.90		
	(-0.25)			(-0.12)			(-2.08)*			(-2.16)*		
$\Delta \sigma_{do,i}^P$	-0.08			0.04			-2.91			-8.25		
	(-0.05)			(0.03)			(-2.09)*			(-1.93)		
σ_a^P	3.86	3.99	3.89	4.50	4.59	4.52	5.54	5.54	5.73	36.55	37.99	38.24
	(3.51)**	(3.58)**	(3.34)**	(4.41)**	(4.43)**	(4.20)**	(5.15)**	(5.10)**	(5.12)**	(4.69)**	(4.56)**	(4.29)**
BA_o^P	-6.22	-6.05	-6.18	-5.79	-5.69	-5.77	-0.38	-0.33	-0.44	-14.33	-13.90	-14.52
	(-3.11)**	(-3.01)**	(-3.09)**	(-4.06)**	(-3.95)**	(-4.03)**	(-0.31)	(-0.27)	(-0.36)	(-2.69)**	(-2.54)*	(-2.58)**
V_o^P	5.43	5.10	5.34	-3.54	-3.73	-3.59	-7.42	7.09	-7.14	4.03	3.50	3.33
	(1.04)	(0.98)	(1.03)	(-0.77)	(-0.80)	(-0.77)	(-1.36)	(-1.30)	(-1.31)	(0.43)	(0.39)	(0.35)
OI_o^P	-6.41	-6.34	-6.39	2.18	2.21	2.19	-2.09	-2.10	-2.09	2.86	3.09	2.87
	(-4.28)**	(-4.23)**	(-4.25)**	(2.55)*	(2.57)*	(2.54)*	(-1.77)	(-1.78)	(-1.78)	(1.14)	(1.23)	(1.13)
TS	-0.59	-0.59	-0.59	-0.24	-0.24	-0.24	0.06	0.07	0.06	-0.97	-1.02	-1.01
	(-6.10)**	(-6.10)**	(-6.09)**	(-2.60)**	(-2.59)**	(-2.60)**	(0.77)	(0.80)	(0.78)	(-3.19)**	(-3.25)**	(-3.20)**
α	0.55	0.54	0.55	-1.14	-1.14	-1.14	-1.67	-1.64	-1.64	-9.63	-9.78	-9.71
	(1.16)	(1.14)	(1.16)	(-2.77)**	(-2.79)**	(-2.79)**	(-4.04)**	(-4.01)**	(-4.01)**	(-4.88)**	(-4.76)**	(-4.60)**

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準；虛線以下為模型控制變數之係數估計。

表 4-3 買權變數資料 Probit 模型估計結果

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \Delta \sigma_{SKEW,t}^C + \beta_2 \sigma_{a,t}^C + \beta_3 BA_{o,t}^C + \beta_4 V_{o,t}^C + \beta_5 OI_{o,t}^C + \beta_6 TS_t) + e_t$$

Calls	Jump<-3.4%				Jump<-2.4%				Jump>2.3%				Jump>4.0%			
$\Delta \sigma_{do,o}^C$	-14.37 (-1.32)				-5.06 (-0.55)				10.90 (1.67)				-9.15 (-0.28)			
$\Delta \sigma_{do,a}^C$	-8.54 (-1.17)				-3.22 (-0.52)				7.80 (1.51)				-6.14 (-0.36)			
$\Delta \sigma_{do,i}^C$	-3.51 (-0.82)				-2.26 (-0.58)				6.33 (2.07)*				9.80 (1.07)			
σ_a^C	-0.82 (-0.49)	-1.09 (-0.56)	-0.49 (-0.26)	4.53 (2.72)**	4.39 (2.33)*	4.26 (2.29)*	2.69 (1.86)	3.19 (1.94)	3.76 (2.31)*	24.40 (4.53)**	23.96 (4.37)**	29.49 (4.48)**				
BA_o^C	-5.28 (-2.60)**	-5.57 (-2.82)**	-5.93 (-3.21)**	-2.81 (-2.31)*	-2.89 (-2.37)*	-3.00 (-2.78)**	-3.22 (-3.04)**	-3.08 (-3.01)**	-2.92 (-3.03)**	-10.62 (-2.28)*	-10.61 (-2.41)*	-13.12 (-2.87)**				
V_o^C	0.57 (0.08)	0.79 (0.13)	-0.02 (-0.00)	-31.63 (-2.52)*	-31.18 (-2.49)*	-30.99 (-2.47)*	-10.47 (-1.29)	-11.19 (-1.27)	-11.72 (-1.27)	10.72 (0.63)	11.89 (0.68)	6.02 (0.32)				
OI_o^C	-4.96 (-1.89)	-5.09 (-1.94)	-5.11 (-1.95)	9.79 (4.53)**	9.78 (4.51)**	9.77 (4.50)**	-5.66 (2.56)*	-5.59 (-2.53)*	-5.54 (-2.49)*	-4.41 (-0.95)	-4.87 (-1.05)	-4.04 (-0.99)				
TS	-0.49 (-2.68)**	-0.51 (-2.75)**	-0.53 (-2.79)**	-0.13 (-0.72)	-0.14 (-0.74)	-0.16 (-0.85)	-0.25 (-1.79)	-0.23 (-1.69)	-0.18 (-1.26)	-1.59 (-4.42)**	-1.59 (-4.32)**	-1.53 (-4.19)**				
α	1.42 (1.93)	1.42 (1.90)	1.40 (1.86)	-1.93 (-2.58)**	-1.94 (-2.59)**	-1.89 (-2.53)*	0.41 (0.62)	0.38 (0.57)	0.23 (0.35)	-4.26 (-2.75)**	-4.23 (-2.73)**	-4.92 (-2.92)**				

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準；虛線以下為模型控制變數之係數估計。

在 S^* 的部分， δ_{ave} 對 Crash 發生機率的參數估計結果，雖然與事先預期的方向相同為負值，但只對 -3.4% Jump 與 LM Jump Down 顯著。¹¹ 表示當選擇權隱含資產價格大於現貨交易價格且兩者間差距越大時，市場發生大幅度跌價的機率越少。對於 Spike 的預測，則不論是 2.3% 或 4.0% 的 Jump， δ_{ave} 參數估計的結果皆不顯著。由表 4-4 的結果可觀察到，使用隱含波動率 σ^* 對 Crash 進行預測的結果僅 $\Delta\sigma_{do,a}^*$ 對 -3.4% 的 Jump 有 5% 的顯著水準，表示 σ^* 對 Crash 的發生並無資訊內涵。Spike 的部分則有 $\Delta\sigma_{do,o}^*$ 與 $\Delta\sigma_{do,a}^*$ 對 4.0% Jump 有 1% 的顯著水準，顯示 σ^* 對於市場正向的震盪具有資訊內涵。

表 4-4 S^* 與 σ^* 單變量 Probit 模型估計結果

	δ_{ave}	$\Delta\sigma_{do,o}^*$	$\Delta\sigma_{do,a}^*$	$\Delta\sigma_{do,i}^*$
Jump < -2.4%	-154.19 (-0.24)	-5.04 (-1.36)	-4.66 (-1.69)	1.12 (0.47)
Jump < -3.4%	-1730.12 (-3.42)**	-7.18 (-1.74)	-6.91 (-2.36)*	-0.42 (-0.18)
Jump > 2.3%	-504.183 (-1.40)	-2.79 (-0.76)	-0.74 (-0.30)	3.95 (1.74)
Jump > 4.0%	889.68 (1.42)	-16.2 (-3.18)**	-7.73 (-2.66)**	3.96 (1.85)
LM Jump down	-2215.49 (-4.01)**	-2.45 (-0.63)	-1.43 (-0.55)	-3.55 (-1.45)

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中 * 及 ** 分別代表 5% 與 1% 的顯著水準。

¹¹ 本研究利用買賣權平價公式及相互配對的買權與賣權資料來推導 S^* 與 σ^* ，所得之 S^* 與 σ^* 買賣權皆相同且反映買權與賣權價格資訊。買權與賣權資料間惟有控制變數不同。由於整理過後賣權資料筆數遠多於買權資料且使用 σ 進行估計時僅賣權資料具有資訊內涵，因此本研究將只使用賣權資料來探討 S^* 與 σ^* 對 Jump 發生機率的預測能力。

表 4-5 為使用 S^* 與 Equation(13) 的估計結果。 δ_{ave} 對 Crash 發生機率的參數估計結果非但不顯著且方向為正，與原先的預期相反。而對 Spike 機率的預測，4.0%Jump 的 δ_{ave} 係數為正，具有 1% 的顯著水準，表示當選擇權市場與現貨市場參與者對標的資產均衡價格的看法越分歧，且選擇權隱含資產價格大於現貨交易價格時，市場發生大幅度 Spike 的機率增加。此與選擇權市場具有 Informed Trader 的看法一致，當選擇權市場參與者的確擁有較多對標的資產均衡價格的資訊時，隱含資產價格應較現貨交易價格更為接近正確的標的資產價值。表(5)模型估計的結果表示，選擇權隱含資產價格 S 對於 Market Spike 發生的機率具有資訊內涵與預測能力，而對於 Crash 的發生則不論程度大小皆無預測能力。

表 4-6 為單獨使用 σ^* 對 Equation(12) 進行模型估計的結果。觀察表 4-6 可發現，對於 Jump 的發生，不論是 Market Crash 或 Market Spike，Skew 變數 $\Delta\sigma_{do,o}^*$ 、 $\Delta\sigma_{do,a}^*$ 及 $\Delta\sigma_{do,i}^*$ 的參數估計結果皆不顯著，表示選擇權隱含波動率 σ^* 對於現貨市場價格的變動並無資訊內涵。

最後，本研究使用 Equation(14) 對 Jump 進行估計，探討反映選擇權市場預期的隱含資產價格 S^* 與隱含波動率 σ^* 是否同時對現貨市場資產價格的變動具有資訊內涵。表 4-7 為使用 S^* 與 σ^* 的模型估計結果。結果顯示即使同時使用 S^* 與 σ^* 進行預測，選擇權價格仍舊對 Crash 的

表 4-5 隱含資產價格(S^*)Probit 模型估計結果

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \delta_{ave,t} + \beta_2 \sigma_{a,t}^* + \beta_3 BA_{o,t}^P + \beta_4 V_{o,t}^P + \beta_5 OI_{o,t}^P + \beta_6 TS_t) + e_t$$

	Jump<-3.4%	Jump<-2.4%	Jump>2.3%	Jump>4.0%
δ_{ave}	175.01 (0.34)	228.34 (0.57)	-25.33 (-0.08)	1711.98 (3.12)**
σ_a^*	4.16 (3.92)**	4.82 (4.72)**	5.36 (5.05)**	34.52 (3.87)**
BA_o^P	-5.96 (-3.12)**	-5.52 (-4.06)**	-1.07 (-0.88)	-13.11 (-2.35)*
V_o^P	4.89 (0.95)	3.89 (-0.85)	-6.05 (-1.11)	12.55 (1.57)
OI_o^P	-6.31 (-4.09)**	2.19 (2.55)*	-2.05 (-1.72)	2.45 (0.99)
TS	-0.61 (-5.56)**	-0.26 (-2.67)**	0.05 (0.69)	-0.760 (-2.82)**
α	0.52 (0.97)	-1.15 (-2.65)**	-1.80 (-3.99)**	-9.99 (-4.24)**
R-square	0.2571	0.1341	0.1080	0.7204

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準；虛線以下為模型控制變數之係數估計。

表 4-6 隱含波動率(σ^*)Probit 模型估計結果

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \Delta \sigma_{SKEW,t}^* + \beta_2 \sigma_{a,t}^* + \beta_3 BA_{o,t}^P + \beta_4 V_{o,t}^P + \beta_5 OI_{o,t}^P + \beta_6 TS_t) + e_t$$

	Jump<-3.4%			Jump<-2.4%			Jump>2.3%			Jump>4.0%		
$\Delta \sigma_{do,o}^*$	4.32			3.55			1.22			-3.33		
	(0.81)			(0.77)			(0.28)			(-0.18)		
$\Delta \sigma_{do,a}^*$		0.86			1.00			1.54			-12.00	
		(0.24)			(0.31)			(0.53)			(-1.04)	
$\Delta \sigma_{do,i}^*$			1.69			1.92			1.55			-3.58
			(0.55)			(0.67)			(0.62)			(-0.44)
σ_a^*	4.12	4.14	3.98	4.83	4.82	4.67	5.34	5.29	5.17	34.14	35.29	34.84
	(3.84)**	(3.84)**	(3.51)**	(4.65)**	(4.62)**	(4.27)**	(4.98)**	(4.89)**	(4.64)**	(4.12)**	(4.55)**	(4.32)**
BA_o^P	-6.14	-6.01	-6.10	-5.71	-5.61	-5.71	-1.16	-1.27	-1.25	-12.14	-11.04	-12.08
	(-3.13)**	(-3.06)**	(-3.15)**	(-4.10)**	(-4.00)**	(-4.12)**	(0.92)	(-1.00)	(-1.00)	(-2.26)*	(-1.99)*	(-2.22)*
V_o^P	5.67	5.11	5.41	-3.32	-3.73	-3.45	-5.82	-5.66	-5.58	6.48	4.66	5.84
	(1.09)	(0.98)	(1.04)	(-0.72)	(-0.79)	(-0.74)	(-1.03)	(-1.01)	(-1.00)	(0.78)	(0.57)	(0.71)
OI_o^P	-6.29	-6.24	-6.29	2.26	2.28	2.26	-2.06	-2.07	-2.08	3.73	3.86	3.73
	(-4.22)**	(-4.18)**	(-4.20)**	(2.61)**	(2.63)**	(2.59)**	(-1.74)	(-1.74)	(-1.74)	(1.59)	(1.66)	(1.57)
TS	-0.59	-0.59	-0.59	-0.25	-0.25	-0.25	0.05	0.05	0.05	-0.95	-0.96	-0.96
	(-6.17)**	(-6.15)**	(-6.18)**	(-2.64)**	(-2.64)**	(-2.65)**	(0.69)	(0.67)	0.68	(-2.92)**	(-3.07)**	(-3.01)**
α	0.27	0.39	0.33	-1.39	-1.31	-1.38	-1.84	-1.88	-1.89	-9.63	-9.23	-9.59
	(0.51)	(0.72)	(0.62)	(-3.15)**	(-2.84)**	(-3.04)**	(-4.31)**	(-4.26)**	(-4.24)**	(-3.90)*	(-3.98)**	(-4.14)**

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準；虛線以下為模型控制變數之係數估計。

發生不具有預測能力。對 Spike 進行估計的結果，則與單獨使用 S^* 進行預測時的結果相同，僅對 4.0% 的 Jump 有預測能力，並且在係數的顯著性方面，只有 δ_{ave} 係數具有 1% 的顯著水準，其餘 Skew 變數 $\Delta\sigma_{do,o}^*$ 、 $\Delta\sigma_{do,a}^*$ 及 $\Delta\sigma_{do,i}^*$ 則完全無顯著性。估計的結果表示即使同時使用 S^* 與 σ^* 預測 Jump 的發生，隱含波動率 σ^* 對於資產價格的變動仍舊不具資訊內涵。

觀察上述模型估計的結果，本研究發現 S&P500 指數選擇權的價格中，僅賣權價格對 S&P500 指數發生 Jump 的機率具有資訊內涵，且其預測能力僅限於 Market Spike。而表 4-5、表 4-6 與表 4-7 的估計結果更進一步顯示賣權價格中，對 Spike 發生機率具有資訊內涵與預測能力的是來自選擇權市場參與者對於 S&P500 指數均衡價格的預期，與其對波動率的預期無關。此結果支持假說 2b 並與選擇權市場上具有 Directional 和 Volatility 兩種類型的 Informed Trader，分別持有關於標的資產均衡價格與波動性資訊的論點一致。本研究的實證結果更顯示，對 S&P500 指數 Jump 發生機率具有預測能力的資訊內涵，主要應來自 Directional Informed Trader 於選擇權市場中的交易行為。除此之外，比較表 4-5 與表 4-7 中對 4.0% Jump 參數估計的 R-Square 可發現，即使增加 Skew 變數於模型當中，也無法使 R-Square 值顯著增加，更加確定選擇權市場參與者對波動率的預期不具有預測 Jump 發生機率的資訊內涵。

表 4-7 隱含資產價格(S^*)與隱含波動率(σ^*)Probit 模型估計結果

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \delta_{ave,t} + \beta_2 \Delta \sigma_{do,o}^* + \beta_3 \sigma_{a,t}^* + \beta_4 BA_{o,t}^P + \beta_5 V_{o,t}^P + \beta_6 OI_{o,t}^P + \beta_7 TS_t) + e_t$$

	Jump<-3.4%	Jump<-2.4%	Jump>2.3%	Jump>4.0%
δ_{ave}	169.17 (0.33)	228.62 (0.57)	-20.64 (-0.06)	1707.98 (3.07)**
$\Delta \sigma_{do,o}^*$	4.27 (0.81)	3.55 (0.77)	1.22 (0.27)	-1.75 (-0.09)
R-square	0.2582	0.1351	0.1081	0.7204
δ_{ave}	174.05 (0.33)	229.80 (0.58)	-11.33 (-0.03)	1650.79 (2.85)**
$\Delta \sigma_{do,a}^*$	0.84 (0.24)	1.02 (0.31)	1.54 (0.53)	-9.95 (-0.88)
R-square	0.2572	0.1343	0.1084	0.7229
δ_{ave}	175.65 (0.34)	234.64 (0.59)	-6.57 (-0.02)	1698.70 (2.99)**
$\Delta \sigma_{do,i}^*$	1.69 (0.56)	1.94 (0.68)	1.55 (0.62)	-1.23 (-0.16)
R-square	0.2576	0.1349	0.1086	0.7205

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準。

控制變數方面，對 ATM 選擇權隱含波動率的實證結果表示，市場波動性對資產價格的變動具有顯著的影響，市場波動性高時，標的資產價格發生正向或負向大幅變動的機率提高。對於選擇權百分比買賣價差的係數估計則顯著為負，表示買賣價差對於 Jump 發生機率的預測扮演了重要的角色。交易量變數的估計，不論對買權或賣權資料皆不顯著，此與避險者無法找到交易對手增加其賣權部位，以及投機者無法將其所持有的部位解套論點一致，Garleanu et al.(2005)。未平倉量的估計結果僅對小幅度的 Jump 顯著。對利率期限結構變數的結果顯

示，買、賣權資料與所有的 Jump 之間皆呈現反向關係，並且除了 2.3%Jump 外，所有參數估計的結果皆為顯著，表示當利率的期限結構越往 Inverted 的方向變動時，Jump 發生的機率將提高。

第三節、LM Jump 實證結果與分析

考慮市場波動性對 Jump 發生的影響，本研究使用 LM Jump 重新對 Equation(12)、(13)、(14)進行估計，表 4-8 為估計結果。使用 σ 進行預測時，買權 Skew 變數對 LM Jump 顯著，表示選擇權價格對 LM Jump 的發生具有資訊內涵，而使用 S^* 與 σ^* 預測 LM Jump 發生機率的結果為， S^* 對 LM Jump 具有預測能力且方向為負，表示當選擇權市場對標的資產均衡價格的預期越高時，LM Jump Down 的機率越小。

與前一節的實證結果相同， σ^* 對 LM Jump 的發生仍舊沒有預測能力。LM Jump 的實證結果不但支持 1b 的假說並且說明不論目前市場波動程度的大小，選擇權價格皆對其到期日前現貨市場發生 Jump 的機率具有資訊內涵，且此資訊內涵來自於選擇權市場參與者對標的資產均衡價格的預期。此外實證的結果也陳述選擇權價格中除了波動率溢酬 (Volatility Premium) 外，存在有與波動率無關的 Jump premium。

表 4-8 LM Jump Probit 模型估計結果

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \Delta \sigma_{SKEW,t} + \beta_2 \sigma_{a,t} + \beta_3 BA_{o,t} + \beta_4 V_{o,t} + \beta_5 OI_{o,t} + \beta_6 TS_t) + e_t$$

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \delta_{ave,t} + \beta_2 \sigma_{a,t}^* + \beta_3 BA_{o,t}^P + \beta_4 V_{o,t}^P + \beta_5 OI_{o,t}^P + \beta_6 TS_t) + e_t$$

$\Delta \sigma_{do,i}^P$	2.17 (1.53)			
$\Delta \sigma_{do,i}^C$		-10.85 (-2.04)*		
$\Delta \sigma_{do,i}^*$			1.39 (0.49)	
δ_{ave}				-1966.18 (-2.72)**
σ_a	-7.29 (-6.39)**	-21.00 (-6.07)**	-7.01 (-6.24)**	-7.51 (-6.27)**
BA_o	-2.76 (-2.59)**	-3.50 (-3.27)**	-2.45 (-2.29)*	-1.72 (-1.69)
V_o	1.59 (0.31)	-3.40 (-0.57)	1.16 (0.23)	2.79 (0.57)
OI_o	-2.82 (-2.83)**	-14.62 (-4.54)**	-2.79 (-2.77)**	-2.12 (-2.09)*
TS	-0.38 (-4.81)**	-0.76 (-4.20)**	-0.37 (-4.71)**	-0.21 (-2.07)*

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準；虛線以下為模型控制變數之係數估計。

表 4-8 LM Jump Probit 模型估計結果（續）

$$\Pr(D_{j,t \rightarrow t+\tau} = 1) = \Phi(\alpha + \beta_1 \delta_{ave,t} + \beta_2 \Delta \sigma_{SKEW,t}^* + \beta_3 \sigma_{a,t}^* + \beta_4 BA_{o,t}^P + \beta_5 V_{o,t}^P + \beta_6 OI_{o,t}^P + \beta_7 TS_t) + e_t$$

δ_{ave}	-2004.73 (-2.82)**	-2033.94 (-2.86)**	-2026.35 (-2.85)**
$\Delta \sigma_{do,i}^*$	2.74 (0.61)		
$\Delta \sigma_{do,a}^*$		3.44 (1.10)	
$\Delta \sigma_{do,i}^*$			2.49 (0.89)

註：括號內為模型係數檢定之 Z 值，其中*及**分別代表 5%與 1%的顯著水準。

第伍章、結論

本研究利用買賣權平價公式、買權與賣權市場價格，得出每天不同履約價格以及不同到期日下選擇權隱含資產價格與隱含波動率，藉由 Cubic Spline 本研究建構出 S&P500 指數選擇權隱含資產價格與隱含波動率曲面。探討 S&P500 指數選擇權隱含資產價格的實證特性，本研究發現不同到期日下隱含資產價格大致呈現中間高兩旁低的情形，且短天期與長天期隱含資產價格小於現貨交易價格。隱含波動率(σ^*)曲面的部分，將到期日固定，不同價內外程度下的隱含波動率則呈現出 Volatility Skew 的情形，並且到期日越長，Volatility Skew 的程度越小。

Probit 模型的實證結果指出，S&P500 指數選擇權的價格當中的確含有具預測能力的資訊內涵。 σ^P 與 σ^C 的估計結果顯示，S&P500 指數賣權資料對小幅度 Spike 有預測能力。由於 σ^P 與 σ^C 為將現貨交易價格帶回 B-S 模型中藉由反推的方式求得，在假設選擇權市場與現貨市場對於標的資產均衡價格具有相同預期的情況下，選擇權市場參與者對於資產均衡價格的預期將會一併反映在 σ^P 與 σ^C 上。因此，本論文研究目的在於釐清 S^* 與 σ^* 的資訊內涵，以及其對 S&P500 指數 Jump 發生機率的預測能力。使用 S^* 與 σ^* 進行模型估計的結果，本研究發現 S&P500 指數選擇權價格對 4.0% Spike 及 LM Jump 的發生具有資訊內涵，

且其預測能力來自於選擇權市場參與者對於 S&P500 指數均衡價格的預期，而非來自其對指數波動率的預期。針對 LM Jump 的實證結果更進一步指出，即使對 Jump 的定義為與市場波動性無關的 LM Jump，S &P500 指數選擇權仍舊對於指數價格的變動具有資訊內涵，且其預測能力來自於選擇權市場參與者對於 S&P500 指數均衡價格的預期。



參考文獻

1. Aït-Sahalia, Y., & W., Lo (1998). "Nonparametric Estimation of State-Price Densities Implicit in Financial Asset Prices." *Journal of Finance*, 53(1978), 499-547.
2. Anand, A., & S., Chakravarty (2003). "Stealth trading in the options market." Working paper, Syracuse University.
3. Bakshi, G., C., Cao, & Z., Chen (1997). "Empirical performance of alternate option pricing models." *The Journal of Finance*, 52(5), 2003–2049.
4. Bakshi, G., C., Cao, & Z., Chen (2000). "Pricing and hedging long-term options." *Journal of Econometrics*, 94, 277-318.
5. Bakshi, G., & N., Kapadia (2003). "Delta-hedged gains and the negative market volatility risk premium." *Review of Financial Studies*, 16(2), 527–566.
6. Bates, D. (1991). "The crash of '87: Was it expected? The evidence from options markets." *The Journal of Finance*, 46(3), 1009–1044.
7. Bates, D. (2000). "Post-'87 crash fears in S&P500 futures options." *Journal of Econometrics*, 94, 181–238.
8. Black, F., & M., Scholes. (1973). "The pricing of options and corporate liabilities." *Journal of Political Economy*, 81, 637–659.
9. Breeden, D.T., & R.H., Litzenberger (1978). "Price of State-Contingent Claims Implicit in Option Price." *Journal of Business*, 51, 621-51.
10. Britten-Jones, M., & A., Neuberger (2000). "Option prices, implied price processes and stochastic volatility." *Journal of Finance*, 55, 839-866.
11. Broadie, M., M., Chernov, & M., Johannes, (2007). "Model specification and risk premiums: Evidence from futures options." *Journal of Finance*, 62(3), 1453-1490.
12. Bollen, N., & R., Whaley (2004). "Does net buying pressures affect the shape of implied volatility functions?" *The Journal of Finance*, 59(2), 711–753.

13. Campa, J.M., K.P. Chang, & R.L. Reider (1998). "Implied exchange rate distributions: Evidence from OTC option markets." *Journal of International Money and Finance*, 17, 117-160.
14. Canina, L., & S., Figlewski (1993). "The informational content of implied volatility." *Review of Financial Studies*, 6, 659-681.
15. Cao, C., Z., Chen, & J.M., Griffin (2000). "The informational content of option volume prior to takeovers." Working paper. Pennsylvania State University.
16. Capelle-Blancard G. (2001). "Volatility trading in option market: How does it affect where informed traders trade?" Working Paper, University of Paris.
17. Chakravarty, S., H., Gulen, & S., Mayhew (2004). "Informed trading in stock and option markets." *Journal of Finance*, 1235-1257.
18. Chan, K., P., Chung, & H., Johnson (1993). "Why option prices lag stock prices: A trading based explanation." *Journal of Finance*, 48, 1957-1967.
19. Cherian, J. (1998). "Discretionary volatility trading in option markets." Working paper, Boston University.
20. Cherian, J., & R., Jarrow (1998). "Options markets, self-fulfilling prophecies and implied volatilities." *Review of Derivatives Research* (2), 5-37.
21. Cherian, J., & W.Y., Weng (1999). "An empirical analysis of directional and volatility trading in options markets." *Journal of Derivatives*, 7(2), 53-65.
22. Doran, J., D., Peterson, & B., Tarrant (2007). "Is there information in the volatility skew." *Journal of Future Markets*, 27(10), 921-959.
23. Duan, J., P. Ritcher, & Z. Sun (2005). "Jump starting GARCH: Pricing and hedging options with jumps in return and volatilities." Toronto University.
24. Easley, D., M. O'Hara, & P.S. Srinivas (1998). "Option volume and stock prices: Evidence on where informed traders trade." *Journal of Finance*, 53(2), 431-465.

25. Garleanu, N., L.H., Pedersen, & A., Poteshman (2006). "Demand-based option pricing" (working paper). New York: New York University.
26. George, T., & F., Longstaff (1993). "Bid-ask spreads and trading activity in the S&P100 index market. "Journal of Financial and Quantitative options Analysis, 28, 381–397.
27. Hentschel, L. (2003). "Errors in implied volatility estimation."Journal of Financial and Quantitative Analysis, 38, 779–810.
28. Heston, S. (1993). "A closed-form solution for options with stochastic volatility with applications to bonds and currency options." Review of Financial Studies, 6(2), 327-343.
29. Huber, P.J. (1967). "The Behavior of Maximum Likelihood Estimates under Nonstandard Conditions."Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (1), 221–33.
30. Hull, J., &A., White (1987). "The pricing of options on assets with stochastic volatilities."Journal of Finance, 281-300.
31. Jackwerth, J.C., & M., Rubinstein (1996). "Recovering probability distributions from option prices."Journal of Finance, 51, 1611-1631.
32. Stephan, J., & R., Whaley (1990). "Intraday price change and trading volume relations in the stock and stock option markets."Journal of Finance, 45, 191-220.
33. Jiang G.J., & Y.S., Tian (2005). "The model free implied volatility and its information content."The Review of Financial Studies, 18, 1305-1342.
34. Jorion, P. (1995). "Predicting volatility in the foreign exchange market." Journal of Finance, 50, 507–528.
35. Kumar, R., A., Sarin, & K., Shastri (1992). "The behavior of option price around large block transactions in the underlying security." Journal of Finance, 47, 879-889.

36. Lee, S., & P., Mykland (2006). "Jumps in real-time financial markets: A new nonparametric test and jump dynamics." *Review of Financial Studies*, in press.
37. Longstaff, F. (1995). "Option price and the Martingale Restriction." *Review of Financial Studies*, 8(4), 1091-1124.
38. Manaster, S., & R. Jr., Rendleman (1982). "Option prices as predictors of equilibrium stock prices." *Journal of Finance*, 37(4), 1043-1057.
39. Mayhew, S., A., Sarin, & K., Shastri (1995). "The allocation of informed trading across related markets: An analysis of the impact of changes in equity-option margin requirements." *Journal of Finance*, 55, 1635-1654.
40. Pan, J. (2002). "The jump-risk premia implicit in options: evidence from an integrated time-series study." *Journal of Financial Economics*, 63, 3-50.
41. Pan, J., & A. M., Poteshman (2003). "The information in option volume for stock prices." Working paper, MIT.
42. Poteshman, A. (2000). "Forecasting future volatility from option prices." working paper, University of Illinois/Urbana-Champaign.
43. Rubinstein, M. (1985). "Nonparametric test of alternative option pricing models using all reported trades and quotes on the 30 most active CBOE option classes from August 23, 1976, through August 31, 1978." *Journal of Finance*, 40, 455-480.
44. Rubinstein, M. (1994). "Implied binomial trees." *Journal of Finance*, 49(3), 771-818.
45. Schwert, G.W. (1990). "Stock market volatility and the crash of '87." *Review of Financial Studies*, 3, 77-102.
46. Shimko, D. (1993). "Bounds of probability." *Risk*, 6, 33-37.
47. White, H. (1980). "A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity." *Econometrica*, 48, 817-38.