

# 量子金融科技已經來臨？

文·圖/張慶瑞



過去百年內金融計算的工具的變化，由算盤變成超級電腦再進化到量子電腦。

**現**金與貨幣的價值完全是虛擬且由外賦予的，在極端惡劣的狀況下，有時可能會完全蒸發而崩潰，但卻又是如此真實的被大眾在日常使用。現金與貨幣就像量子世界的粒子具有波粒二元性，當現金在手中持有時，確實可以握住而展現真實的粒子性，可是所有金融機構都會告訴你，貨幣與現金在全世界流動而且價值還會隨時隨地波動。你在銀行中的帳戶就像是薛丁格盒子裡的貓，銀行帳戶中的數字通常只不過是一個金融概率波，只有由帳戶拿出來使用後才確定其價值，也才知道金錢是安全且真實的。目前網路購物、數字貨幣與各種電子支付的流行，更讓波動變化更多元且複雜，也使得習慣使用現款的年長者，變得幾乎寸步難行。

許多有錢人都會有效利用複利，如果在30歲以100萬元開始投資，若每一年的複合增長率是5%，等到65歲退休時，就可以有約552萬的資產，這就是複利的威力。近年來，由於金融高頻交易，複利變得愈來愈重要。如果每分鐘可以獲利0.5%，一年有525,600分鐘，你的所得在一年內就會變成天文數字。難怪愛因斯坦會說：「複利是世界第八大奇蹟。知道的人賺錢、不知道的人賠錢。」這也是電腦在金融產業愈

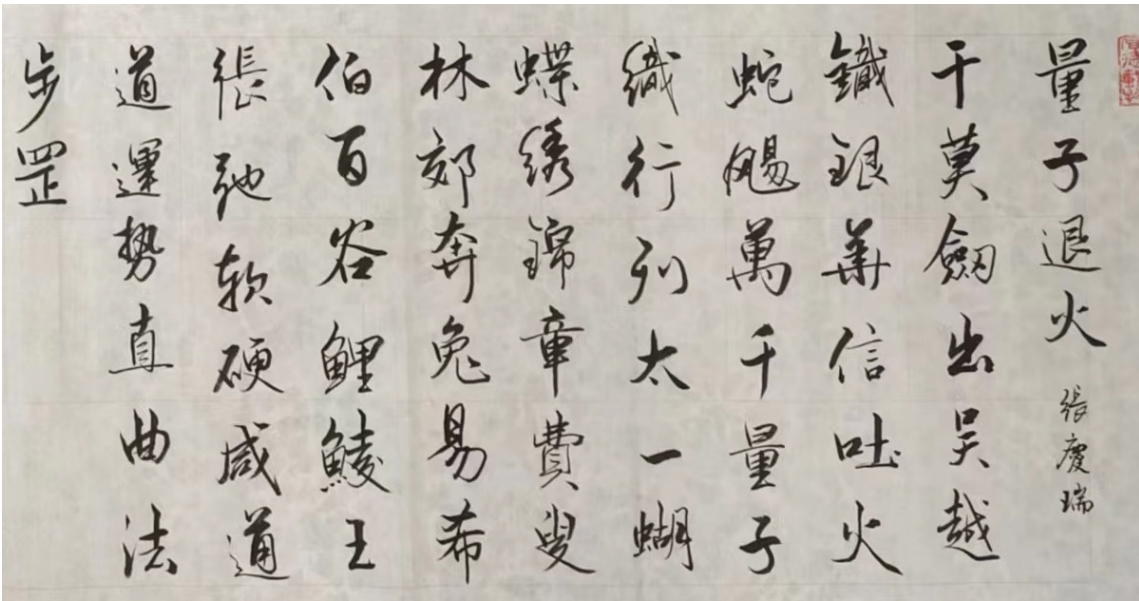
來愈重要的主因，人工智慧金融在高頻金融交易的應用，需要依賴超級電腦才能執行。近年來元宇宙的虛擬金融快速成長，對於電腦的依賴度更是大量提升，許多年輕族群在元宇宙的虛擬金融中瞬間致富卻又快速崩塌。由於金融數據量的大量成長，古典電腦也必須增加數位浮點運算的速度，才能在有效時間內做完海量數據分析。每次浮點運算都會消耗掉能量，每秒的計算速度愈快，就會消耗愈大能量，需要使用更多的電，然而現代數據產生以指數級的速度上升，這也是虛擬貨幣挖礦機與資訊處理中心的成本快速上升的主因。能源消耗的指數級成長與半導體技術的莫爾定律失效，也讓數位浮點速度競賽碰到瓶頸。有人曾經估計，依照現有莫爾定律繼續成長，在未來十年內，世界產生的全部能源將不足以支持使用電腦所消耗的能量。由於龐大數據的快速產生與處理數據的能源大量消耗，使得現在的計量金融科技也逐漸無法迅速處理各種金融市場上的狀況，更不用說依據每個顧客的特殊需求，客製化處理而提供個別的最佳化財務建議與投資。舉例而言，如果有500種投資工具，有10,000個客戶分別提出需求，由於分配組合種類的龐大，要在各種組合中及時找出客製化的最佳分析，就不是現在古典電腦的數位式計算可以立即提供的。

嶄新科技的量子電腦出現，就如同久旱甘霖為計算金融界提供了新希望。2019年Google正式宣布量子霸權時代已經來臨，Google利用53個量子位元處理一種特殊亂數樣型分布，量子電腦200秒處理完的結果，以全世界當時最快速的電腦Summit以每秒 $10^{17}$ 次方的數位浮點運算速度，卻需要1萬年才能完成。量子電腦已經證明可以在特定問題展示霸權威力，遠超出古典電腦處理能力。更重要的是量子電腦有一個特色與古典電腦完全不同，就是量子計算是可逆式計算，在計算過程中並不會像古典電腦的不可逆計算需要消耗大量能量，這也是量子電腦被歸為現代節能設施的主因。近幾年更發現在目前量子電腦的嘈雜中型量子電腦（Noisy Intermediate-Scale Quantum computer，NISQ），雖然仍無法像古典電腦做誤差校正，但確實能以極快速度處理大量資料，並進行分析彙整後快速作出結論。量子金融科技（Quantum Fintech）更是一個嶄新領域，希望解決古典電腦無法及時處理的金融動態力學，也就是現金和資產所遇到的高維度多變數複雜問題。天下武功，唯快不破，要想在金融界穩定獲利，正確而快速的資料分析與決策是必要的。量子計算特別適合處理搜尋、排列組合等大數據所特有的多變數，並且容錯的各類系統，這些也多是金融計算所

面臨的古典電腦無法處理的NP-hard (non-deterministic polynomial-time hardness) 難題。金融體系許多問題是有寬廣的容錯率，也就是說，金融產業在龐大的資料產生的過程中，只需要有快速且保證獲利的答案，但是不一定需要完全精準的最佳化的獲利答案。時間成本在金融產業的特性也讓「快」有時比「準」更重要，而量子計算的特點就是快，無堅不摧，無快不破，各國政府與跨國企業也因此積極想取得金融量子霸權的主導技術。

由於量子計算逐漸成熟，業界普遍認為現在的量子電腦已經可以應用於金融行業。量子計算由於位元的量子糾纏特性，在金融界所特有的高維度多變數系統中有其天生優勢。量子計算獨有的穿隧機率，不會被多變數中局域最小值的谷底困住，總有辦法脫身而出找到全域最佳解所在位置。雖然在NISQ的量子電腦仍無法糾錯，但卻可非常快分析出正確判斷準則與方向。大多數金融應用的誤差容忍範圍寬廣，反而是速度與決策方向遠比標準答案更重要。量子計算正為銀行業等領域帶來巨大的機遇和挑戰。量子演算法除了將能解決風險價值 (VAR) 計算和投資組合優化等問題，量子演算法也可能威脅到銀行目前的安全加密系統。美國、加拿大、英國、日本等11家世界主要大型銀行都化被動為主動，於銀行內部成立量子研發團隊，積極參與量子金融系統開發。這也是J.P. Morgan、Goldman Sachs、阿里巴巴、騰訊等公司都進行量子金融應用的原因，目前量子金融短期內主要目的不在尋找最佳答案，而是快速及時找出降低風險成本的方案。IBM最近利用疊加和糾纏特性，比起現行古典電腦使用的蒙地卡羅模擬，可以將選擇權定價的計算時間由幾天縮短到即時或數小時內可完成。目前量子金融的應用非常廣泛，包括投資組合優化、風險控管、套利交易及信用評分、衍生性商品訂價等。

金融模擬下分析投資最佳化常常像是在迷宮中找尋出路，古典模擬基本上是採取嘗試錯誤，一次只選擇一條路徑；量子模擬則利用糾纏與機率波干涉消長的特性，可以同時平行滲透入所有路徑，並直接利用量子建設性干涉而顯現出最佳路徑所在，這就是量子搜尋跟古典搜尋差異最大的地方。量子金融像是一把利刃，有它的好處，但也有風險，如果說現在華爾街大型投顧可以呼風喚雨的操弄金融，那麼量子金融未來的潛在金融操控影響力將遠超過現在的想像。所以有人說量子計算就是金融界的曼哈頓計畫，希望未來不是只有一個國家掌握，否則就像金融原子彈出



大書法家吳國強所書本人所著〈量子退火〉七言律詩，費叟指Fibonacci's Rabbits 的快速成長，希伯則指Hilbert space 中的複雜景象，但在量子退火計算原則下都能立即顯現出康莊大道。

現，其他國家將毫無防禦能力，只有俯首稱臣的份，這也是美國NIST近年來積極推動後量子密碼（post-quantum cryptography, PQC）標準化的主因。

隨著ChatGPT的盛行，大型語言模型（LLMs）的計算力受到高度關注，目前基於古典電腦體系已無法支撐快速成長的需求。結合古典與量子計算的新形式，已變為提高計算效率與降低功耗的主要方向。量子計算與人工智慧所帶來的速度和效能優勢，與金融行業的需求幾乎完美匹配，量子金融科技也因此快速應運而生。金融市場中的每一筆資金都具有昂貴的時間成本，交易速度的差異往往會對組合收益帶來截然不同的結局。將量子機器學習應用於風險價值計量和欺詐辨識別業務，目前顯示有較古典計算更多優勢，也為量子計算在金融領域的應用提供了新方向。如何深化量子金融科技創新與應用，是未來發展的主要方向。

以往金融界利用算盤來處理數據，自1980年代超級電腦出現後，轉變成計量金融學，今天量子電腦的興起後，又出現了量子金融學。超級電腦出現讓算盤很快退出市場，量子電腦目前看來在某些特別複雜的金融體系也會讓古典電腦退出市場。有人說2019年的量子電腦就像1969年的個人電腦，如同個人電腦在金融界的影響，量子金融科技未來將會在金融界引發翻天地覆的變化。量子電腦與古典電腦之間最大差別在量子電腦不是數位計算，因此未來在金融市場會是古典與量子的整合型電腦，有許多數據仍然是需要傳統數位式

計算，但是也有許多地方則需要量子電腦的快速結果與決策。這種新型的古典與量子整合的新型金融計算將會是【量子金融霸權】時代的來臨，每間金融機構都需要有自行開發的量子金融產品與設備。所有的金融資料和數據等，只要正確輸入，就幾乎立即有適當答案輸出，雖然不一定是完美的答案，但一定是有效而獲利的答案，量子金融科技有點像傳說中有求必應的四面佛，而且回答速度可能比去廟裡乞求聖杯還要快。

最後用《量子科技革命》書中，量子退火中一首詩作為本文結論，量子退火是解決分配、組合與排班問題的最佳化工具，退火法有如古時干將莫邪煉劍，先有適當材料及比例，控制升降溫程序，直到所有粒子找到最佳位置，煉成之寶劍鋒利無比，削鐵如泥，無堅不摧。現代量子退火法的加速運算法則，有使用如費叟的兔般快速成長之分岔法，也有在希爾伯特空間內穿越山谷隧道法，無論問題是何種不同能量形貌，道路不管張弛直曲，均有量子自然法則可以遵循，並快速找出最佳答案，有詩為證曰：

干莫劍出吳越鐵，銀華信吐火蛇颺，  
萬千量子織行列，太一蝴蝶繡錦章，  
費叟林郊奔兔易，希伯百谷鯉鯪王，  
張弛軟硬咸通道，運勢直曲法步罡。



## 張慶瑞小檔案

1979年畢業於臺大物理學系，1988在加州大學聖地牙哥分校取得物理博士學位，1989年二月進入臺大服務，曾經擔任臺大副校長並代理校長。

張教授從事微磁學數值研究與自旋傳輸機制，已發表280篇以上專業論文並獲得28個專利。他是美國物理學會（APS）與國際工程學會（IEEE）會士，及俄國國際工程學會（RIAE）的院士。曾擔任亞洲磁性協會理事長，及臺灣磁性協會理事長暨臺灣物理學會理事長。近來曾主持NTU-IBM量子計畫，積極加速培養新興跨領域人才。近期推動量子計算相關研究，應用於新材料、新藥物合成，與財務金融領域，並創建臺量子電腦暨資訊科技協會，擔任理事長。於2022年擔任中原大學物理系講座教授並兼任校級量子資訊中心主任。