



星球永續健康線上直播

量子健康科學 (3)

模擬量子運算健康應用

2026 年 8 月 12 日

量子運算利用量子疊加、量子糾纏與量子干涉不同於傳統電腦的資訊處理特性為複雜資料間分析與釐清影響路徑開啟新的可能。然而，目前大型量子電腦仍受到硬體規模與控制技術的限制，因此利用古典電腦進行模擬量子特徵，成為探索量子運算與實際應用重要途徑。結合量子科學的概念與方法提升古典電腦演算能力成為值得關注的發展方向，兩者之間並非相互取代，而是可以相輔相成提高 AI 運算及部署可行性。本週我們將進一步探討量子模擬與影像偵測辨識，並以肺癌影像預測輔助應用為例，了解量子模擬在精準健康與醫學影像分析上的應用潛力。

健康科學新知

荷姆茲海峽可望重啟 中東衝突暫歇：「劍拔弩張」

美國與伊朗近期透過阿曼、卡達、巴基斯坦及土耳其斡旋，尋求恢復荷姆茲海峽商業航運。川普表示美方因談判取得進展暫緩大規模軍事攻擊，並要求伊朗對於荷姆茲海峽自由通航與核子發展規範迅速達成協議。美國主張海峽屬於國際水道，反對伊朗審查船舶或徵收費用，伊朗則稱僅與阿曼協商臨時航線，並提出對美國、以色列等敵對國家限制航權條件。伊朗表示與阿曼雙方已確認航線位置，預計開放二至四個月，但美國與阿曼尚未證實伊朗說法。主要爭議集中於航道、船舶審核權及通行費。伊朗希望收取貨值 5% 至 7%，阿曼提出 3% 的折衷方案，美國則堅持免費通行。荷姆茲海峽承擔全球約五分之一的原油與液化天然氣運輸。衝突造成商船滯留、能源與原料價格上漲；談判進展則使布蘭特原油一度降至每桶約 79 美元。然而，先前協議多次破裂，紅海航道也受胡塞武裝攻擊威脅。目前最可能由阿曼先協調臨時航線，有限恢復通航，以緩解能源市場壓力，並為停火及核問題談判創造空間。

加薩和平進程挑戰：「破冰之始」



美國總統川普推動的「20 點加薩和平方案」近期出現推展曙光。哈瑪斯首次同意在國際監督下分階段解除武裝，並將行政權移交由巴勒斯坦各派認可的「巴勒斯坦國家委員會」。火箭、重型武器、地下兵工廠與地道將由國際穩定部隊監督封存及銷毀，輕武器則逐步移交新的警察體系。協議主要爭議是解除武裝與以軍撤離的先後順序。哈瑪斯要求以色列先停火撤軍，以色列則堅持全面解除武裝後才撤回黃線後，反映雙方缺乏互信。和平方案公布後，以軍空襲仍未停止，埃及、卡達與土耳其已呼籲停止攻擊。加薩目前超過兩百萬居民仍面臨糧食、飲水、醫療及住所不足，失業率超過八成。在此困境下部分青年透過太陽能、共同工作空間與國際網路接案發展數位經濟，維持家庭生計。美國主導的和平協議是加薩戰爭以來的重要突破，但目前協議提出的解除武裝、撤軍、國際監督與人道重建環環相扣，任何一項未能落實都可能使和平進程再次破裂。

西班牙休達移民事件凸顯歐盟共識危機：「真假難辨」

上週約有 7 萬名移民受到社群媒體與假訊息傳播影響，在短短數日內由摩洛哥大量前往西班牙位於北非的屬地休達。大批人潮試圖跨越海岸與邊境護欄，造成現場秩序混亂與高度安全風險，並傳出可能有多達 141 人在過程中溺斃。大量移民短時間集中，也使休達當地的邊境管理、收容設施與人道救援能力一度超出負荷。西班牙政府隨即部署軍警、海巡力量及臨時海上屏障，並與摩洛哥合作控制邊境，多數進入休達的移民其後返回摩洛哥。西班牙政府表示，局勢約在 24 至 48 小時內恢復穩定，也未形成大量移民進一步進入歐洲大陸的情況。然而，事件很快由單純的邊境危機演變為歐盟內部的政治爭議。包括義大利等多個成員國要求進一步強化歐盟外部邊境管理，並主張必須避免非法入境者日後透過合法化程序取得居留資格。部分國家也批評西班牙先前推動的大規模無證移民合法化措施，可能對北非移民產生「拉力效應」。在互信下降的情況下，義大利一度加強對來自西班牙旅客的邊境檢查，法國也增加相關邊境警力，顯示若成員國認為歐盟外部邊境管理失效，原本建立在互信基礎上的申根區內部自由流動也可能受到影響。西班牙首相桑切斯則反駁相關批評，指出合法化方案的適用期限早已截止，此次進入休達的移民並不符合資格，因此不能將兩者直接連結。他並認為，部分歐洲國家的



批評受到假訊息、反移民偏見以及國內政治利益影響。社群媒體大量流傳「西班牙已經開放邊境」等錯誤訊息，使部分移民誤以為能夠順利進入歐盟，也進一步放大歐洲社會對移民失控的恐懼。這場休達危機再次暴露歐盟長期存在的移民治理矛盾。位於地中海與南歐前線的國家，希望其他歐盟成員共同分擔難民安置、邊境執法與遣返成本；部分中北歐國家則更強調封鎖外部邊境、加速遣返以及與第三國合作阻止移民抵達歐洲。另一方面，近年歐洲右翼與民粹政黨勢力持續上升，反移民政策已成為許多國家選舉的重要議題，使移民問題逐漸由共同政策協調轉變為國內政治競爭。

全球暖化氣候變遷複合挑戰：「旱熱交迫」

2026 年夏季，歐洲與東北亞同時遭遇異常高溫與長期乾旱，衝擊已擴及水資源、能源、交通、農業及公共衛生。歐洲多瑙河、萊茵河、波河與羅亞爾河水位降至異常低點。匈牙利 Paks 核電廠因多瑙河水位下降、冷卻水不足而降低輸出甚至停機，造成電力供應壓力；羅馬尼亞 Cernavodă 核電廠也因高水溫與低流量關閉部分機組。此外，低水位導致多瑙河與萊茵河河運受阻，增加貨物運輸成本，並衝擊觀光與農業。東北亞同樣面臨嚴重熱浪。南韓多地氣溫突破 40°C，梁山更達 42.5°C，創歷史新高，高溫造成熱傷害、農業缺水及大量家禽家畜與養殖魚類死亡；日本單週也有超過 1.8 萬人因中暑送醫。此次極端高溫與乾旱顯示，氣候變遷正逐步威脅全球的能源、水資源、糧食與公共衛生安全。

能源開發與生態責任平衡：「深海逐利」

全球能源轉型雖將持續降低化石燃料依賴，但未來至少十年天然氣仍可能支撐電力需求與再生能源的間歇性。隨著傳統油氣田成熟，能源開發正逐漸轉向深海，2026 年深海油氣投資已超過 2,000 億美元，AI、先進感測與水下載具等技術也降低了開採成本與風險。然而，深海生態恢復緩慢，且甲烷排放與漏油事故可能造成嚴重環境影響。Deepwater Horizon 事故更顯示深海災害難以處理，因此未來開發必須強化衛星與水下載具監測、事故應變及企業資訊揭露。深海油氣開發不應只討論開採或禁止，應建立嚴格治理制度，包括劃定生態禁採區、設定排放與安全標準，以及要求企業持續揭露環境



與設備資訊，讓能源安全與生態保護取得平衡。

川習會將至中美競合錯綜：「競合並進」

2026 年下半年，美中關係呈現「一邊談判、一邊競爭」的格局，9 月可能成為重要觀察點。雙方預計舉行 AI 對話，討論前沿模型、AI 安全、軍事應用、網路攻擊、技術外流與高階運算等議題，AI 已從科技競爭上升至國家安全與外交層級。然而，美中科技競爭仍持續升溫。美國限制中國取得高階 AI 晶片與資料中心設備，並進一步對多晶矽等關鍵材料加強貿易限制。中國則強化本土 AI、半導體及相關出口管制，逐步建立自主科技體系。未來美中競爭將不只聚焦 AI 模型與晶片，更延伸至算力、資料中心、能源、關鍵材料及全球技術標準。9 月會談的重點可能不是結束科技戰，而是建立「競爭護欄」，在維持外交溝通的同時，降低 AI 與科技競爭演變成全面衝突的風險。

馬雅文化智力成就：「古智新見」

自然期刊報導指出，研究人員重新分析瓜地馬拉蘇頓馬雅遺址的牆面文字，發現這裡可能曾是西元 8 世紀學者進行曆法與天文計算的工作空間。牆上的文字與圖像，也反映出馬雅文明對數學知識的高度重視。其中最重要的是一組僅約 10 公分高、由 11 個象形符號組成的「Text 19」。它以 2,920 天週期為核心，整合金星、太陽、火星與不同曆法週期，展現精密的數學規律。更特別的是，文字最後留下「薩克坦瓦克斯」的名字，被認為可能是這套計算的提出者，也讓我們第一次具體看見一位具名的馬雅數學家。這項發現顯示，馬雅人已掌握位值制、代數關係與負數運算等複雜概念，而且研究數學可能不只是為了曆法或天文預測，也包含對數學規律本身的興趣。雖然目前缺乏完整幾何模型的證據，但馬雅文明在相對獨立的環境中，仍發展出高度成熟且具有自身特色的數學與天文體系。

矽晶片技術重構推動量子電腦應用發展：「量子成器」

矽基量子電腦的兩項重要工程突破。第一項是移動量子位元，讓量子位元可以在晶片上移動，依序與不同量子位元互動，突破過去只能與鄰近量子位元連接的限制，使量子位元之間的連結更有彈性。第二項突破是低溫控制電子系統。研究團隊將控制器移到



接近量子晶片的 4K 低溫環境，減少從室溫延伸到量子處理器的大量導線與熱干擾。實驗顯示，移動量子位元可在 5 個量子位元之間建立糾纏，而低溫控制架構則可支援最多 18 個量子位元，並進行量子錯誤偵測。這兩項研究顯示，大型量子電腦未來的關鍵，已經不只是「能不能做出量子位元」，而是能不能有效連接、控制並持續擴展量子位元。透過模組化設計與低溫控制技術，矽基量子電腦正逐步從物理實驗走向更大型、可實際應用的量子處理器。

量子模擬與影像偵測辨識

在《邊緣危機-Fringe》電影的《Safe》影集中，Safe 帶有「保險箱」的意思，描述竊賊以科技穿牆技術盜取銀行保險箱。影集一開始就出現了三名竊賊。他們面對的是銀行金庫後面一面非常堅固的牆，竊賊利用特殊的網格裝置對銀行牆面發射，並先設置一條延伸至金庫內部的繩索作為穿越與撤離的引導。穿牆過程就像潛水一樣，成員配戴類似呼吸器的設備，沿著繩索依序穿過原本堅硬的牆面。他們事先已鎖定保險箱內一件大型而沉重的物品，必須先將物品運出，再由三人依序撤離。然而，裝置只能維持約 1 分 41 秒，因此整個行動必須極為迅速。撤離時，繩索突然卡住，造成時間延誤。當裝置超過可維持的時間後，牆面開始恢復原本的實心狀態，其中一名竊賊羅夫還來不及完全穿出，就被嵌在牆體之中。由於他當時仍然活著，同夥擔心犯罪計畫曝光，最後將他殺害滅口。也因此，警方面對的不只是一般銀行搶案，而是一具人體竟然被嵌入實心牆面的異常犯罪現場，遂引起《邊緣危機》的華特、奧莉薇與彼得介入調查。調查進一步發現，這並非單一竊案，而是一連串針對特定銀行保險箱的行動，而且遭竊保險箱的編號依循費氏數列排列。華特等人最後確認，這些保險箱裡存放的物品，其實都是華特 23 年前研究所製造的一套特殊裝置零件。當年華特為了拯救幼年的彼得，曾研究突破空間與距離限制的技術；如今，被囚禁在德國高度戒備監獄中的瓊斯，正試圖蒐集這些零件，重新組合華特當年的裝置，以突破監獄的空間限制並完成越獄。因此，表面上的穿牆搶案，真正目的其實是取得整套裝置的關鍵零件。相較於奧莉薇與彼得關心案件偵破與犯罪者，華特更在意的是「人為什麼能穿過實心牆壁」。為了解釋這個現象，他設



計了一個簡單的米粒實驗：將玩具模型放在裝滿米粒的容器表面，底部再裝設高頻振動裝置。沒有振動時，米粒排列緊密，可以支撐模型；當高頻振動啟動後，米粒之間的排列與作用狀態受到干擾，模型便逐漸沉入其中。華特以此比喻劇中的穿牆原理：物體雖然在巨觀世界看似堅硬實心，但在微觀尺度下仍由大量微小結構組成。劇中的網格裝置透過特定的頻率與相位振動，暫時干擾維持牆體結構的作用，使原本穩定的物質排列進入可以被另一個物體穿越的特殊狀態。這種狀態只能維持短暫的 1 分 41 秒，因此一旦超時，牆體就會恢復正常，這也正是羅夫被困在牆中的原因。影集劇藉由犯罪情節帶出一個科幻式的物理概念：如果能以特定振動暫時改變物質結構與彼此作用方式，原本看似不可穿越的實體，理論上便可能出現短暫的「穿透」狀態。華特的米粒實驗，正是將這個抽象概念轉化為觀眾容易理解的視覺化比喻。

影集帶給我們的是一種科幻的想像，但回到現實的科學發展，古典電腦與量子電腦之間的互動，是不是可以帶來下一波的「量子躍進」。不過，量子躍進並不是要用量子電腦完全取代古典電腦。過去很多人可能會認為，當量子電腦發展到一定程度之後，未來是不是就不再需要古典電腦？但目前最新的發展趨勢告訴我們，事情並不是這麼簡單。量子電腦的突破，其實也反過來推動了古典運算方法的進步與改變。因此，「量子優勢」的門檻並不是固定不變的，而是會隨著古典運算技術的進步不斷改變。例如在 2019 年，Google 曾經利用 53 個量子位元的 Sycamore 量子處理器，提出「量子優勢」的主張，認為在特定的運算任務上，量子電腦已經可以超越當時的古典超級電腦。但是在這之後，古典運算也沒有停下來，包括演算法的創新、記憶體的最佳化以及平行化運算等，都持續提升古典電腦的運算能力。所以現在大家開始重新思考一個問題：我們是不是應該先問這項技術能不能解決實際問題，再來討論它究竟具有多少量子優勢？先看它實用價值，再進一步討論它的量子優勢。因此，量子優勢並不是發展的終點。真正重要的是，在量子科技持續突破的同時，古典方法也持續進步，兩者彼此促進、相互配合。

量子科學的運算以 qubit，也就是量子位元作為基本單位。一個 qubit 具有兩個基本量子狀態，分別以 $|0\rangle$ 與 $|1\rangle$ 表示。古典電腦中的一個 bit，在特定時間只能處於 0 或



1 其中一種狀態；量子位元則可以透過量子疊加，同時包含 $|0\rangle$ 與 $|1\rangle$ 兩種基本狀態的可能性。利用古典電腦模擬這樣的量子狀態時，可以建立一個具有兩個位置的振幅陣列，分別對應 $|0\rangle$ 與 $|1\rangle$ ，並以 α 與 β 表示兩個基底狀態的振幅。因此，一個 qubit 的量子態可以寫成 $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ ，也就是以 $[\alpha, \beta]$ 的振幅陣列表示其量子狀態。因此，陣列中的每一個位置代表一種量子基底狀態的振幅，透過這樣的表示方式，古典電腦便可以進一步模擬量子位元的狀態與運算，這也是理解後續量子模擬的重要基礎。量子態中的 $|0\rangle$ 與 $|1\rangle$ 兩種基本狀態，可以利用振幅陣列來表示。以這個例子而言，量子態可以寫成 $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$ ，所對應的振幅陣列就是 $[0.707, 0.707]$ 。0.707 本身並不是 50% 的機率，而是量子態的振幅。真正的量測機率，必須將振幅取模平方之後才能得到。因此， $|0\rangle$ 的振幅 0.707 經過平方之後為 0.5，代表量測到 $|0\rangle$ 的機率為 50%；同樣地，量測到 $|1\rangle$ 的機率也是 50%。因此，振幅描述的是量子狀態可能性的強度，振幅的模平方才是實際的量測機率。振幅可以理解為波的高度與強度，經過平方之後，才能轉換成相對應的量測機率。量子科學之所以需要使用複數來表示量子振幅，是因為量子狀態除了需要描述振幅的大小之外，還必須記錄它的相位。複數通常可以寫成 $a+bi$ 的形式，其中 a 是實數部分， bi 是虛數部分，透過兩者的組合，可以同時保留振幅大小與相位的資訊。相位可以利用波的變化來理解。同一個波除了有振幅大小之外，在不同時間點可能位於波峰、波谷或中間的位置，這些位置上的差異就是相位。僅知道振幅有多大，還不足以完整描述一個量子狀態，還必須知道它所處的相位。因此，複數振幅可以同時保存「大小」與「相位」兩種資訊。振幅的大小與量測機率有關，而相位則是後續產生量子干涉的重要關鍵。不同量子狀態在疊加之後，可以因為相位不同而彼此強化或抵消，進一步形成量子干涉。這也是量子運算從量子疊加進一步發展到量子干涉的重要數學基礎。

由於量子振幅可以記錄相位，因此不同的量子狀態在疊加時，就會產生類似海浪交會的干涉現象。當兩個波的相位相同、波峰與波峰相遇時，彼此會互相加強，形成更大的振幅，稱為建設性干涉；相反地，當波峰與波谷相遇時，則可能互相抵消，使振幅減小甚至消失，稱為破壞性干涉。《邊緣危機》影集描述的穿牆情節，也可以利用「抵消」



的概念來進行科幻式的比喻，透過特定振動的干涉，使原本穩定的牆面結構暫時受到影響，進而產生可以穿越的效果。在真正的量子運算中，相位同樣扮演非常重要的角色。量子電腦不僅需要記錄不同可能性的振幅，也必須掌握它們之間的相位關係，才能判斷不同量子狀態在干涉之後，究竟會彼此增強還是互相抵消，進而影響最後的計算結果。因此，相位決定不同可能性如何產生干涉，而干涉則是量子運算能夠操控計算結果的重要機制之一。

當 qubit 的數量逐漸增加時，需要處理的量子狀態也會快速增加。一個 qubit 具有 $|0\rangle$ 與 $|1\rangle$ 兩種基本狀態；當增加到兩個 qubits 時，就會形成 $|00\rangle$ 、 $|01\rangle$ 、 $|10\rangle$ 與 $|11\rangle$ 四種基底狀態。在古典電腦進行模擬時，就需要從原本的 α 、 β 兩個振幅，增加到 α 、 β 、 γ 、 δ 四個振幅，分別記錄這四種狀態。以典型的 Bell state 為例，量子態可以寫成 $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |00\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |11\rangle$ 。在這個狀態下， $|00\rangle$ 與 $|11\rangle$ 的振幅都是 0.707，因此量測之後，兩者出現的機率各為 50%，而 $|01\rangle$ 與 $|10\rangle$ 的機率則為 0。這種狀態之間的高度關聯，也與後續所談的量子糾纏直接相關。隨著 qubit 持續增加，需要記錄的狀態數會呈現 2^n 的指數成長。兩個 qubits 需要 4 個振幅，50 個 qubits 則需要記錄大約 10^{15} 個振幅。如果利用古典電腦進行完整的量子模擬，所有振幅都必須被儲存與計算，對記憶體與運算能力形成非常龐大的負擔，也使大規模量子系統的古典模擬變得相當困難。如此龐大的陣列，是否真的需要把所有資訊完整保存下來？如果能夠保留其中最重要的資訊，同時降低不必要的計算與儲存，就有機會減少量子模擬所需要的資源。這也帶出張量網路 (Tensor Network) 的概念。

張量網路的概念，就是不需要把整個龐大的量子狀態一次全部記錄下來，而是將它拆解成許多較小的區塊，保留這些區塊之間最重要的關係。再透過張量網路的收縮 (Contraction)，按照彼此之間的關係逐步合併與計算，最後得到真正需要的結果，也可以進一步配合量子疊加、量子糾纏、量子干涉與量測等量子運算過程。利用張量網路來進行模擬的主要原因就是前面提到的指數成長問題。每增加一個 qubit，需要記錄的振幅數量就會加倍。當增加到 50 個 qubits 時，對應的振幅數量就已經達到 2^{50} ，大約



1,126 兆個。如果每一個振幅都要完整儲存並進行計算，對古典電腦的記憶體與運算能力都會形成非常龐大的負擔。尤其未來進入精準科學與大數據分析之後，需要處理的資料量更加龐大。如果所有資訊都必須依靠高效能電腦進行完整運算，不僅需要大量算力，也會增加資料中心的能源消耗、散熱與冷卻需求，使整體運算成本大幅提高。因此，並不是所有的資訊都需要完整保留下來。張量網路的重要性就在於將龐大的問題拆解，保留對運算結果最重要的關聯資訊，在適當的量子狀態與問題結構下減少不必要的儲存與計算。透過這樣的方法，可以降低古典電腦進行量子模擬時的運算負擔，讓更大規模的量子系統模擬成為可能。

張量網路可以利用「100 個人的社交網路」來理解。如果要把 100 個人之間所有可能的互動組合全部記錄下來，資料量會非常龐大。這就類似量子系統中，隨著 qubit 從 1 個增加到 2 個、3 個甚至更多，需要描述的量子狀態也會快速增加。張量網路的概念，並不是把 100 個人所有可能的互動全部記錄下來，而是保留每個人的狀態，以及彼此之間最重要的連結。例如，王醫師主要跟李醫師互動，李醫師又跟陳教授互動，而陳教授再跟張教授互動，就可以利用這些重要的連結，形成一個較為精簡的網路。每一個人可以視為一個小型的資訊單元，也就是一個張量 (Tensor)；而人與人之間的連結，則代表這些資訊彼此之間的關係。透過這樣的方式，可以大幅減少需要處理的資訊，同時盡可能保留真正重要的關聯。張量可以從數學的維度來理解。最簡單的是一個數字，也就是純量 (Scalar)；一排數字形成向量 (Vector)；進一步由行與列組成，就形成矩陣 (Matrix)，類似一張 Excel 表格。當資料同時具有更多維度，例如病人、基因與時間等不同方向時，就可以利用張量來表示。因此，張量可以理解為一個能夠同時容納多個維度資訊的數學結構。

張量網路的建立，也與量子糾纏有密切關係。如果不同量子系統之間完全沒有糾纏，各自的狀態就可以分開描述；但是實際的量子系統往往存在彼此關聯，也就是量子糾纏。如果將 A、B、C、D 所有可能的關係全部建立成一個巨大的資料結構，計算量會非常龐大；張量網路則是根據系統之間的重要關聯保留必要的連結，而不需要把所有可能的組



合全部展開。因此，量子糾纏描述的是量子系統之間的物理關聯，而張量網路則是一種用來有效表示這些關聯的數學工具。透過張量與連結所形成的網路結構，可以在保留重要資訊的同時，降低描述複雜量子系統所需要的資料量與運算負擔。

張量網路建立之後，保留真正有用的資訊，就會運用到所謂的張量收縮。收縮可以繼續利用人際互動來理解。當兩個人彼此互動時，代表兩者之間存在共同的資訊與關聯，可以先將這些共享資訊整合起來，形成一個新的資訊單元；當這個新的資訊單元再與第三個人產生關聯時，就可以進一步整合與更新，依序進行下去，最後得到所需要的結果。在數學上，張量收縮並不是將資料直接壓縮或刪除，而是針對兩個張量之間共同索引進行乘積與加總，將彼此共享的資訊整合起來，形成一個新的張量。例如先將 A 與 B 進行收縮形成 AB，再將 AB 與 C 進行收縮形成 ABC，最後再與 D 進行計算，就可以得到最終需要的答案。因此，張量收縮的核心就是逐步整合彼此相關的資訊，而不需要一開始就將整個龐大的系統全部展開計算。透過這樣的方式，可以有效處理張量網路中的複雜關聯，也是利用張量網路進行量子模擬的重要運算方法。

如果利用拼圖來理解張量收縮的思維會更加直觀。假設需要完成一幅由一萬片拼圖組成的圖像，如果一開始就考慮一萬片拼圖所有可能的排列組合，計算量會非常龐大，幾乎難以處理。張量網路採取的方式則不同，可以先從局部開始，例如先拼好左上角的 10 片，再處理右上角的 10 片，接著將已經完成的小區塊逐步連接，從 10 片擴展到 100 片、1,000 片，最後形成完整的圖像。這種逐塊整合、逐步拼接的過程，就可以用來理解張量收縮的基本思維。這樣的概念也可以進一步與量子疊加連結。量子疊加會形成非常龐大的可能性空間，隨著 qubit 數量增加，如果直接儲存所有狀態的振幅，所需要的空間也會呈指數成長。張量網路則不一定直接儲存完整的振幅表格，而是嘗試將整個量子態分解成許多較小的張量，再利用較精簡的網路結構描述這個龐大的可能性空間。

在張量網路的結構中，A、B、C、D 等可以視為不同的節點，每一個節點代表一個張量，而節點之間的連線則代表彼此需要保留的共同資訊。這些連線與量子系統之間的糾纏關係密切相關。如果量子糾纏主要發生在鄰近的局部範圍，例如 A 與 B、B 與 C、C 與



D 之間的局部糾纏，網路結構相對簡單，需要保留的資訊也比較有限，因此通常較容易利用張量網路處理。但是當系統形成複雜的全域糾纏，不同 qubits 之間產生大量交錯的關聯時，張量網路所需要保留的中間資訊就會快速膨脹，古典電腦的計算也可能變得非常困難。因此，張量網路並不是可以解決所有量子模擬問題的工具。量子模擬的困難不只是 qubit 數量有多少，更重要的是這些 qubits 之間的糾纏究竟有多複雜。當糾纏程度持續增加、超出古典電腦能夠有效模擬的範圍時，也就進一步凸顯實際量子運算的重要性。

有了張量網路的結構之後，可以進一步理解它與量子干涉之間的關係。每一條量子路徑都帶有複數振幅，當不同路徑最後結合時，如果相位相同，振幅就會相互加強，形成建設性干涉；如果相位相反，振幅則可能彼此抵消，形成破壞性干涉。張量收縮就是依照量子電路與張量網路的結構，將不同路徑所對應的複數振幅逐步進行相乘與加總，最後計算出干涉之後的結果。因此，整體的張量—量子運算概念，可以從量子疊加、量子糾纏、張量網路、張量收縮、量子干涉到最後的量測來理解。量子疊加使系統可以同時保留多種可能性；量子糾纏則使不同量子位元之間產生無法單獨描述的關聯；張量網路利用較精簡的網路結構來表示這些複雜關係，再透過張量收縮沿著網路逐步計算。不同路徑的振幅經過干涉之後，有些相互增強、有些相互抵消，最後再經由量測得到可以觀察的結果。透過這種方式，就有機會降低模擬整個量子系統所需要的運算與儲存資源。

這也是張量網路在量子模擬中扮演重要角色的原因。它不一定需要真正的量子電腦，而是可以利用傳統的 CPU 或 GPU，在古典電腦上模擬某些量子電路與量子系統。因此運用量子硬體之前，可以先以張量網路進行模擬，了解特定量子電路可能產生的結果。張量網路可以避免將整個龐大的量子狀態向量完全展開。前面利用拼圖所說明的概念，就是將整體系統拆解成較小的資訊單元，並根據重要的糾纏關係進行連結與計算。在適合的量子系統中，可以利用較精簡的結構表示原本非常龐大的狀態空間，進而降低古典電腦進行量子模擬時所需要的記憶體與計算資源。把張量網路進一步應用到精準醫療，它的重要性就更加明顯。精準醫療所面對的資料往往不是單一來源。以一位乳癌病人為



例，除了乳房攝影、MRI 等影像資料之外，還可能同時包含 BRCA、HER2、ER/PR、ctDNA 等基因與分子資訊，再加上治療方式、追蹤時間以及最後的臨床結果。當這些不同維度的資料全部放在一起時，如果要建立完整的聯合機率結構，資料的組合數會非常龐大。張量網路提供了一種不同的思考方式。我們不需要把所有可能的組合全部展開，而是把基因體、蛋白質、腫瘤、影像、治療與預後等不同資訊視為不同的張量節點，再利用節點之間的連線表示彼此共享的重要資訊。接著透過張量收縮逐步整合這些關係，就可以在較精簡的結構下進行計算，進一步評估哪些疾病特徵、治療方式或臨床結果最值得關注。當然，這裡主要是利用張量網路的概念來說明精準醫療的潛在建模方向，並不是指病人的基因與腫瘤之間真的存在量子糾纏。

從整體的量子模擬來看，張量網路可以把量子世界非常龐大的資訊想像成一張無法一次完全攤開的巨大地圖，再把它拆解成許多彼此相關的小地圖。透過張量收縮，沿著這些小地圖逐步合併與計算，最後得到我們真正需要的結果。因此，張量網路的價值就在於讓古典電腦有機會以更有效率的方式模擬某些量子系統，而不是所有問題都必須直接交給量子電腦處理。這也帶出了古典運算與量子運算整合的概念。適合利用 CPU、GPU 與張量網路處理的問題，可以先由古典電腦進行；當系統的糾纏結構變得非常複雜，超出古典方法能夠有效處理的範圍時，再進一步評估量子方法。換句話說，並不是所有問題都需要「量子化」，而是先判斷哪一部分可以由古典方法有效解決，哪一部分才真正需要量子運算。

張量網路可以理解成對波函數結構化壓縮。例如一個具有 127 個 qubits 的完整波函數，理論上需要描述 2^{127} 個複數振幅，資料量極為龐大。張量網路則利用有限的糾纏結構，把完整的波函數拆解成較小的張量，再沿著共同索引逐步收縮。收縮之後，原本複雜的網路可以逐漸簡化，最後得到特定振幅、期望值或其他需要觀察的結果。因此，真正節省的是記憶體以及中間計算所需要的資料量，同時盡可能保留具有物理意義的重要結構。這樣的古典—量子整合思維，也可以進一步延伸到精準生物醫學。面對生醫問題，可以先利用古典方法進行前篩，再評估問題本身的糾纏與計算結構。如果張量網路



能夠有效處理，就可以繼續利用古典運算；如果複雜度快速增加，再進一步評估量子方法。未來可能的應用場景，可以從分子模擬、個人化醫療、臨床決策支援，一直到大型生醫資料建模。

以肺癌影像判讀為例，CT 影像本身具有大量高維度資訊，同時還可能面臨資料不平衡、細微形態差異以及長距離影像特徵整合等問題。傳統影像分析已經從 CNN 逐步發展到 Vision Transformer，也就是利用注意力機制來掌握不同影像區塊之間的關聯。進一步的研究方向，則是將變分量子電路 (Variational Quantum Circuit, VQC) 嵌入傳統模型之中，形成量子—古典混合架構。在 QViT 架構中先將 CT 影像切割成不同的影像區塊並進行位置編碼，一部分透過傳統 ViT 進行特徵擷取，另一部分則導入量子增強模組，再將兩者的資訊進行融合，最後輸出良性、惡性與正常三種分類結果。這樣的設計代表的並不是量子模型完全取代傳統 Transformer，而是讓古典模型與量子模組彼此配合，探索是否能進一步提升特徵表達與影像分類能力。因此，從張量網路到量子增強的肺癌影像判讀，真正重要的概念都是古典與量子方法的互補。可以由古典電腦有效完成的部分，就利用成熟的古典演算法；需要處理更複雜量子結構的部分，再考慮量子方法。未來如果進一步將張量網路、傳統 Transformer 與量子增強模組結合，就可能形成更有效率的混合式運算架構，這也是量子運算走向精準醫療應用值得持續探索的方向。

量子模擬肺癌影像預測輔助應用

肺癌篩檢常需判讀大量低劑量電腦斷層影像，且病灶及生理結構如肺門、縱膈淋巴結等位置存在長距離關聯增加影像分析複雜度。我們以臨床案例說明研究提出量子模擬運算結合古典點演算對於臨床應用可能的幫助。一名 67 歲、重度吸菸並具職業暴露史的高風險個案為例，臨床先安排 LDCT 篩檢，再由放射科醫師初判；研究進一步導入量子視覺 Transformer (QViT) 作為第二讀片工具，利用量子運算協助捕捉影像中的長距離特徵關聯，提升大量影像的輔助判讀效率，作為臨床決策支援，而非取代病理診斷。研究以肺部 CT 影像建立正常、良性與惡性三分類模型。

原始影像資料類別不平衡，因此先由專業人員篩選影像，再進行尺寸統一、強度正



規化與旋轉、翻轉、縮放等資料增強，使三類影像數量趨於平衡，共取得 3,150 張影像。資料再依 70%、15%、15% 分為訓練、驗證與測試集，驗證集用於模型參數調整，測試集則評估最終效能。透過標準化前處理與資料平衡，可降低影像角度、亮度及樣本分布差異對模型學習的影響，提升肺癌影像分類的穩定性與泛化能力。採用古典 ViT 結合量子運算的混合架構進行肺部 CT 三分類。影像先切成小區塊並加入位置編碼，再透過 Transformer 擷取不同影像區域間的長距離關聯。模型在注意力機制與前饋網路中導入量子電路模擬，以降低大量影像參數帶來的計算負擔並提升特徵表達能力；完成特徵萃取後，再回到古典分類器輸出良性、惡性或正常結果。此設計兼顧 ViT 既有的穩定性與可解釋性，同時探索量子運算在醫療影像輔助判讀上的潛力。研究以低劑量胸部 CT 進行肺病灶判讀。由於單次掃描可能產生數百張切片，若全部送入量子模型，將大幅增加運算與硬體負擔，因此先以古典方法從 305 張影像中挑選最具代表性的 3 張切片，再進行標準化、去噪與裁切。之後將影像送入模擬量子編碼與 QAOA-D1 分類器，分別判斷良性或惡性，最後再整合 3 張切片的結果進行判讀。此流程以少量代表影像降低量子運算需求，作為 LDCT 肺病灶第二讀片的輔助工具。

研究以病灶以及上下共三張肺部電腦斷層切片進行影像特徵擷取與量子特徵映射，並透過模擬量子推論流程進行分類。三張切片皆預測為惡性，平均惡性機率达 0.9720，呈現高度一致且高信心的結果。此結果亦與醫師 Lung-RADS 4B 的初判方向一致，顯示 AI 可在影像判讀過程中扮演確認與輔助角色。肺部電腦斷層影像顯示，右上葉尖後段可見 21 mm 實質性腫塊，具有邊緣分葉及毛刺特徵，且鄰近胸膜並出現胸膜牽引徵象。病灶密度不均，未見良性鈣化；右肺門另可見 12mm 短軸淋巴結。透過混合量子影像特徵提供臨床輔助資訊，再由放射科醫師進行綜合判斷。影像判讀結果高度懷疑原發性肺癌及右肺門淋巴結轉移，醫師初判為 Lung-RADS 4B。AI 可作為第二讀片工具協助病灶定位，但不取代醫師判斷。後續流程包含轉介胸腔外科、PET-CT 分期、腦部 MRI、支氣管鏡或 CT 導引切片，以及組織學與 EGFR、ALK、ROS1、PD-L1 等分子檢測。引導後續精準治療策略。



以上內容將在 2026 年 8 月 12 日(三) 10:00 am 以線上直播方式與媒體朋友、全球民眾及專業人士共享。歡迎各位舊雨新知透過星球永續健康網站專頁觀賞直播！

- 星球永續健康網站網頁連結：

<https://www.realscience.top/7>

- Youtube 影片連結：<https://reurl.cc/o7br93>

- 漢聲廣播電台連結：<https://reurl.cc/nojdev>

- 不只是科技：<https://reurl.cc/A6EXxZ>



講者：

陳秀熙教授/英國劍橋大學博士、許辰陽醫師、陳立昇教授、嚴明芳教授、林庭瑤博士

聯絡人：

林庭瑤博士 電話：(02)33668033 E-mail：happy82526@gmail.com

劉秋燕 電話：(02)33668033 E-mail: r11847030@ntu.edu.tw