

以原子核為「鐘擺」精準度量時間

科學講堂

隨着社會發展的步伐愈發急速，我們對準確地量度時間的要求也愈來愈高。及至工程和科學等前沿領域，就更需要十分精準地量度時間的流動。各位應該都聽說過原子鐘是十分準確的計時工具，但我們還不足於此。近年有研究團隊取得突破，為利用原子核製造更精準的時鐘踏出重要一步。這次就跟大家分享一下這個課題。

一般來說，一個時鐘主要由三個部分組成：一是某種形式的振盪器，負責以十分固定的頻率規律地振盪。第二是一個提供基準的機制，好讓我們知道振盪器的頻率是否有太大偏差。第三是一個計數器，記下振盪器振盪了多少次，再計算出究竟經過了多少時間。

比如說較古老的「大笨鐘」，其中就運用了鐘擺作為振盪器，以鐘擺的左右擺動作為量度時間的規律來源。另外，天文觀測（例如太陽的位置）可以用來校準時鐘。最後就是一連串機械零件，將鐘擺的擺動轉化為指針在鐘面上的旋轉，因而呈現出我們可以看見的時、分、秒。

原子鐘（atomic clock）背後的設計亦是類似的概念。假如振盪器來回一次所需的時間太長（例如一分鐘），每個周期所代表的時間單位就太大，將會很難精細地量度時間；一般而言，振盪頻率愈高、

周期愈短，愈能提供精細的時間刻度。

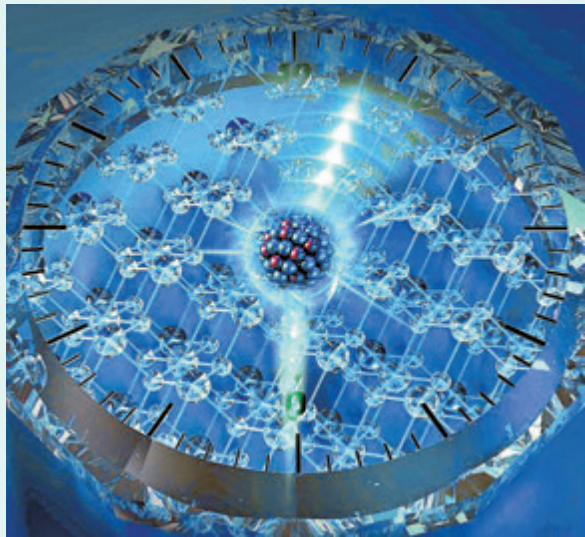
原子鐘作為準確的計時器，並不是單純以激光作為振盪器，而是以原子能級躍遷所對應的電磁波頻率作為振盪基準；激光則常用來冷卻、操控和讀取原子，在光鐘中也可作為非常穩定的本地振盪器。那麼，在哪裏可以找到精確量度時間的基準？構成物質的原子原來早已收藏了這樣一把量度時間的「尺子」：原子核外的電子只能佔據特定的能級（energy level）。

先進核光鐘數百億年誤差不到一秒

當一個電子從較高能級躍遷到較低能級，能量差就會以光子（電磁波）的形式釋放出來。由於能級的能量是固定的，這些光子的能量亦是不變；又因為光子的能量由其頻率決定，這些躍遷對應的頻率非常穩定，很適合作為精細量度時間的基準。以這類躍遷製成的先進核光鐘（nuclear optical clock），穩定度可達數百億年才差一秒。

不過原子鐘亦會受外在電磁場影響而變得不穩定。比如說要把原子或離子固定在原子鐘之中，就往往需要用到電磁場或激光。而且周圍的環境和物品因溫度而發出熱輻射，亦會構成電磁場。這些電磁場會影響原子的能級，因而改變釋放出來的光子頻率，影響時間量度的準確度。

要解決這個問題，其中一個方法是運用原子核自



身的能級來替代電子能級。（跟電子一樣，原子核亦只能夠處於特定的能級之中。）因為原子核的尺寸約為原子的十萬分之一，它們受外在電磁場的影響通常亦相應較少。

2024年，有研究團隊成功利用鈷-229的原子核製成核鐘原型。為此，我們需要準確地量度鈷-229原子核從一個能級躍遷到另一個能級時所釋放出來的光子頻率。研究團隊已經成功示範核鐘的運作，但它的穩定性還有待進一步改良。當核鐘技術更成熟

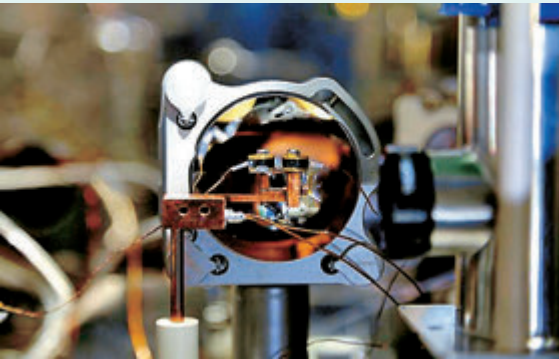


◀核光鐘概念圖

資料圖片

▼中國科學家團隊研製的核光鐘實驗裝置核心區域

資料圖片



後，未來有望為深空探測等高精度時間頻率需求提供實用技術選擇。

（編按：鈷是一種金屬化學元素，鈷-229為其放射性同位素之一。驅動鈷-229原子核內部能級躍遷所需的能量較低，該原子核的能級躍遷是目前已知唯一能以激光直接觸及並操控的核躍遷。）

●杜子航 教育工作者

早年學習理工科目，一直致力推動科學教育與科普工作，近年開始關注電腦發展對社會的影響。

「水系電池」不易燃燒 降低火災風險

領創新知

近年有關外置充電器、手機，以至電動車電池起火的新聞並不少見。我們每天使用的智能手機、平板電腦，以及日益普及的電動車，其實都離不開同一項核心技術——鋰離子電池。毫無疑問，鋰電池改變了世界。它令便攜式電子產品變得輕巧，讓電動車能夠走得更快，也讓太陽能、風能等綠色能源有機會被儲存起來。

不過，鋰電池有一個致命問題，它內部使用了容易燃燒的有機電解液，一旦電池受到撞擊、過熱，或者內部短路，將導致電池溫度急速上升，最後甚至起火爆炸。除了安全問題，鋰電池還面對另一項資源挑戰。製造鋰電池需要鋰、鈷、鎳等金屬，其中部分資源價格昂貴，而且並非取之不盡。如果未來全球數十億人都使用電動車與大型儲能系統，人類還能長期依賴這些稀缺資源嗎？因此，科學家一直在尋找一種更安全、更便宜，也更環保的新型電池。而近年備受關注的方向之一，就是「水系電池」。

聽到「水系電池」，很多人可能會感到意外：電池裏居然可以用水。其實，「水系電池」並不是新發明，早在一百多年前，人類已經開始使用水系電池。汽車裏常見的鉛酸電池，就是最經典的例子。直到今天，很多汽車在發動引擎時，仍然需要它幫忙。

不過，傳統鉛酸電池含有重金屬鉛，如果處理不當，容易造成環境污染。因此，科學家開始尋找更新、更環保的方案，而在眾多技術之

中，「水系鋅離子電池」近年特別受到重視。

為什麼是鋅？因為鋅其實是一種非常普遍的金屬。它在地球上的儲量比鋰更豐富，價格相對便宜，而且安全性高。更重要的是，水系鋅電池使用的是以水為基礎的電解液，不像傳統鋰電池那樣容易燃燒。換句話說，它本身就具備「不怕火」的特質，這種特性對未來的大型儲能系統尤其重要。想像一下，如果未來城市中的大型儲能電站、住宅備用電源，甚至學校與醫院的能源系統，都能使用更加安全的電池，將大大降低火災風險。

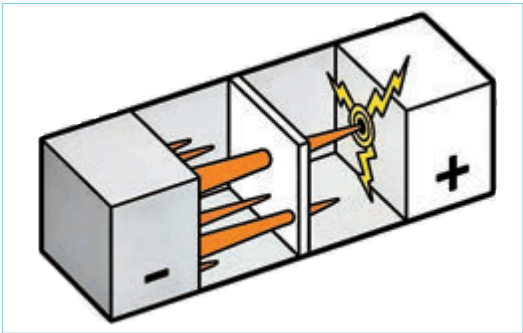
鋅金屬易生成枝晶 影響使用壽命

當然，水系鋅電池並不是「完美電池」。例如，在充放電過程中，鋅金屬表面容易長出像小樹枝一樣的結構。科學家稱它們為枝晶。這些枝晶有可能刺穿電池內部，影響壽命，嚴重時甚至導致短路。

此外，雖然水本身很安全，但它也可能讓部分材料產生副反應，降低電池穩定性。因此，全球不少研究團隊都在努力解決這些問題。有些科學家會替鋅金屬表面加上一層特殊的保護層，避免枝晶生長；有些研究人員則設計新的電解液，來提高水系電解液的穩定性；還有人開發更堅固的新型材料，希望讓電池能夠多次充電。

AI預測推動材料開發

而近年最令人期待的或許是人工智能（AI）開始被引入電池研究。過去，開發一種新電池



●枝晶（圖示橙色部分）有可能刺穿電池內部，影響壽命，嚴重時甚至導致短路。

網上圖片

材料，往往需要經過大量實驗。科學家可能花上幾年時間，才能找到一種合適材料。如今，AI技術正在改變這件事情。研究人員開始利用AI分析大量實驗數據，讓電腦幫助預測哪一種材料最有可能成功，以更好的協助材料篩選，並能夠在無數可能性之中，快速找出最有潛力的答案。有些實驗室甚至開始建立「自動化研究系統」，AI負責設計實驗方案，機械臂負責實際操作，而電腦則即時分析結果。過去可能需要數年的材料開發工作，未來或許能縮短至幾個月。

隨着水系鋅電池技術的突破，並結合 AI 研發，下一代能源科技正不斷發展。也許未來某一天，我們手機裏的電池不再有着火的隱患；電動車的能源系統，也會變得更加安全與環保。

●陳澤 嶺南大學伍聚宜跨學科學院助理教授

從灣區走向世界 青年引領金融科技新時代

科技暢想

最近在大學教授課程，講解最新的保險金融科技發展。看着同學對新興的金融科技表達積極的興趣，無論對區塊鏈和智能合約，以至現時法例上的更新，都抱着積極的探索態度。回到家裏，亦被家中上中學的兒子問到有關AI（人工智能）的問題。我反問，你真的認為這些金融科技有得發展嗎？這個年輕人堅定地跟我說：當然，這就是未來的方向。

筆者在香港金融科技領域多年，一直眼見人才缺乏的難題。懂得金融知識，同時把握科技的跨領域專家，確實是金融科技發展的核心基礎。今年，欣見香港政府積極構建「金融科技2030」策略和願景，全力培育金融科技人才，強調培育本地專才，結合數字銀行、合規科技（RegTech）、綠色金融科技及Web3區塊鏈技術應用。

為配合大灣區發展，政府推動大灣區跨境人才互通，促進金融科技資歷互相認證，資助學生實習，使學生掌握兩地金融市場規則和技術。透過專業課程資助計劃，資助大專院校開辦金融科技學士及副學士學位課程，同時推動「產學研1+計劃」鼓勵大學研究成果轉化。中小學生方面，推出《中小學人工智能素養學習架構》，在基礎教育階段引入AI、數據分析與網絡安全概念，為未來金融科技教育打下基礎。

「灣區專上學生金融科技雙向實習計劃」由財經事務及庫務局聯同數碼港合辦，為金融科技課程大專生提供兩個月（可延期至最

長六個月）的全職資助實習，到香港或大灣區內地城市公司實戰。香港金融管理局及香港青年聯會聯同全球金融資訊巨頭彭博，提供跨國金融專業培訓、數據工具學習，以及產業領袖導師計劃。

雙向流動互補短板

理論必須與實踐並重，金融科技尤其如此。在政府的支持和引導下，一系列高規格的實習與培訓計劃正積極地開展。其中，「灣區專上學生金融科技雙向實習計劃」由財經事務及庫務局聯同數碼港合辦。該計劃為修讀金融科技及相關課程的大專生提供為期兩個月（可延期至最長六個月）的全職資助實習機會。學生可以親身前往香港或大灣區內地城市的頂尖科技企業、金融機構或銀行實戰。

這種雙向流動，讓香港學生看見內地龐大的應用場景與電子支付的普及度，也讓內地人才感受到香港國際化的監管高度，達到互補短板的效果。

與此同時，香港金融管理局（金管局）、香港青年聯會聯同彭博推出「大灣區金融科技人才發展計劃」，以AI為主題，幫助年輕人掌握應用技能，在金融服務業上找到應用和洞察。更重要的是，計劃引入了產業領袖導師計劃，邀請行業精英引領年輕人。這些導師灌輸的不僅僅是知識，更是珍貴的行業心法、人脈網絡以及面對金融危機時的抗壓心理素質。

青年人是未來社會的主人翁，他們出生於

瞬息萬變的世界，最清楚未來的需求。很多時候，他們身上有着成年人因習慣了既定規則而欠缺的直覺與敏銳觸覺。他們不怕失敗，敢於想像一個沒有傳統實體網點、完全由智能合約驅動的全新金融世界。

若能在這段關鍵的學習過程中，讓他們系統性地汲取金融科技知識，再加上政府政策的強力支持、金融公司的實戰洗禮，以及職場領袖導師的言傳身教，這必定能為香港甚至全球的金融科技界注入源源不絕的新動力。

再者，進一步結合大灣區的獨特優勢——內地擁有無可比擬的技術迭代速度與龐大市場，香港則擁有無可替代的普通法體系、資金自由進出的自由港與國際標準。當香港的青年人能夠同時熟練運用內地與香港的國際化運作模式時，他們將具備無與倫比的競爭力。

香港作為國際金融中心，未來的勝負關鍵不在於我們保留了多少傳統的鋼筋水泥銀行大樓，而在於我們能吸引和培育多少引領時代的金融科技專才。在鞏固傳統金融優勢與開拓新金融（如Web3、綠色金融）發展的征途上，這些裝備好金融科技知識與國際視野的青年人，將昂首擔當香港未來的舵手，他們的發展前途無量，香港的金融未來亦同樣無限！

●黃卓威

香港新興科技教育協會培育科普人才，提高各界對科技創意應用的認識，為香港青年提供更多機會參與國際性及大中華地區的科技創意活動，詳情可瀏覽www.hknetea.org



內地43城有地鐵 穩居全球第一

中國脈搏

地鐵能有效緩解道路交通擁堵、提高城市出行效率，是很多大城市

最重要的集體運輸工具。

大家是否知道中國有多少城市開通了地鐵呢？可能很多人沒想到，原來中國「地鐵城市」之多，早已是世界第一，且大幅超越其他國家。

中國交通運輸部《2026年8月城市軌道交通運營數據速報》顯示，內地多達54個城市開通了城市軌道交通，當中開通了地鐵（包括輕軌）的城市有43個，共286條線路。這裏要說一個概念問題。「城市軌道交通」不等於地鐵，還包括輕軌系統、懸掛式單軌系統、有軌電車系統，以及磁浮鐵路系統、市域快速軌道（城際鐵路）等等。

此前媒體報道顯示，這43個城市包括北京、上海、天津、重慶4大直轄市；廣東深圳、浙江寧波、山東青島、遼寧大連等經濟發達城市，以及大部分省會或首府城市。沒有地鐵的省會或首府城市僅4個：西藏拉薩、青海西寧、寧夏銀川和海南海口。

極個別非省會或首府，且經濟實力不算特別強的地級市亦建有地鐵，例子是河南的洛陽。洛陽曾為十三朝古都，可是政治和經濟地位今非昔比，如今只被認為是「三線城市」。

哪一省最多「地鐵城市」？原來是江蘇省，該省省會南京，加上蘇州、無錫、常州、徐州和南通，一共6座城市開通了地鐵。目前全球約60個國家的200多個城市擁有地鐵系統，所以無論中國如何定義「地鐵城市」，都穩坐全球第一。

排名緊隨中國之後的是哪些國家？是最早建設地鐵的英國，還是綜合國力最強的美國？答案或者出乎大家意料：是印度。印度在2026年初擁有約20多個「地鐵城市」（不同統計標準有不同結果），美國同期約有15個左右，日本13個，而英國嚴格來說只有3個。

中國除了北京、天津，其他內地城市的地鐵多在1990年代至21世紀前20年開通，比方說上海的1993年、廣州1997年和深圳2004年等，這某程度上反映了中國城市現代化腳步。

建地鐵有「准入門檻」

中國「地鐵城市」數量從2020年代起再沒大幅增長，主要原因是建設和運營相關系統耗資巨大，會對沒足夠實力的城市構成沉重財政負擔，所以國家設定了「准入門檻」，包括要建地鐵的城市一般公共預算收入要300億元（人民幣，下同）以上；GDP在3,000億元以上，市區常住人口在300萬人以上等等。

因應整體環境變化，國家發改委隨後更明確「十四五」規劃期間，不會審批新「地鐵城市」。

因此一些城市的地鐵規劃按下暫停鍵，最典型例子是福建的泉州。該市2017年規劃了地鐵，惟人口未達標，至今未獲審批。它是中國29個GDP逾萬億（以2025年計算）城市之中，「唯二」沒有地鐵的城市；另一個是2024年才加入「萬億城市」行列的河北唐山。



●郭立新

當代中國（Our China Story）中英雙語網站，以全新視角介紹今日中國的發展和現況，訪問ourchinastory.com瀏覽更多豐富資訊。



●武漢地鐵5號線

網上圖片