借鑑軟骨保護機制 提升電池耐用性

科大敢創可為

從日常使用的智能手機、日漸普及的電動車，到未來有望投入應用的電動垂直起降飛行器（eVTOL），電池技術始終是推動新能源發展與科技創新的關鍵引擎。

然而，要讓電池儲存更多電量，電池內部的核心材料在每次充放電時，都須承受更大的應力與損耗。久而久之，這些材料便會像使用日久的零件一樣逐漸老化、受損，導致電池耐用性下降、續航力衰減，甚至增加發熱或安全風險。

科大多年來致力於電池材料及界面研究。最近，我們借鑑人體軟骨的保護機制，開發出一種具備「仿生軟骨」特性的納米保護層，成功提升高能量電池材料的耐用性，為下一代續航力長、穩定性高的電池提供嶄新的發展方向。

「材料疲勞」縮短電池壽命

高能量電極材料在充放電過程中會反覆膨脹和收縮。以高鎳正極材料為例，鋰離子不斷進出材料，經過數百甚至上千次循環後，內部可能產生裂紋，導致容量衰減及壽命縮短。這種現象被稱為「材料疲勞」。

以往研究多着重材料表面保護。然而，高鎳正極顆粒由大量微小晶粒組成，受損位置不僅在表面，也存在於顆粒內部。因此，保護層不僅須深入顆粒內部，還須有效分散充放電過程產生的應力，才能維持材料結構穩定。

人體關節中的軟骨既柔韌又具緩衝能力；在跑步或跳躍時，軟骨並非硬碰硬地抵抗衝擊，而是透過彈性變形分散衝擊力。

納米塗層減緩結構退化

受此啟發，研究團隊利用自主研發的化學氣相沉積（CVD）技術，在正極材料表面構築超薄「人工軟骨」納米塗層。這層柔韌保護膜可在充放電過程中吸收和分散應力，減少裂紋形成及結構退化，大幅提升電池穩定性。即使經過逾千次循環充放電，電池仍能維持高容量表現。

早在2019年，科大團隊已率先發表將CVD聚合物塗層應用於鋰離子電池的研究。今次提出的「仿生軟骨」技術，進一步將塗層功能由表面防護擴展至內部結構保護。

高比能電池（即以更輕重量儲存更多能量的電池）是未來電動車、航空電動化及先進電子產品的關鍵技術，但高比能材料仍面臨界面穩定性與結構穩定性的挑戰。

目前，能深入顆粒內部、兼具界面保護及應力調節功能的包覆技術仍十分有限，這亦凸顯此項技術的產業化潛力。

「仿生軟骨」具備規模化生產潛力。我們正積極推進千公斤級塗層顆粒量產，為應用於3C電子產品、電動車及eVTOL的高比能商用電池奠定基礎。

下一代固態電池亦是團隊的重要研究方向。未來我們希望進一步拓展「仿生軟骨」技術，在保護界面的同時維持材料接觸穩定性，為兼具高能量密度與高安全性的固態電池提供創新的界面設計方案。

香港憑藉雄厚科研實力、國際化優勢及完善創科生態圈，具備發展深科技的有利條件。我們期望透過持續推進技術落地及產業化應用，促進本地原創科研成果轉化，為下一代電池技術發展及國家建設科技強國作出貢獻。



●左起：陳國華、劉強、陳國華指導的博士生朱迎港、團隊成員劉雨桐。 科大圖片

●陳國華 香港科技大學化學及生物工程學系講座教授

劉強 香港科技大學化學及生物工程學系研究助理教授

析噴發物成分 揭土星環中冰粒來源

科學講堂

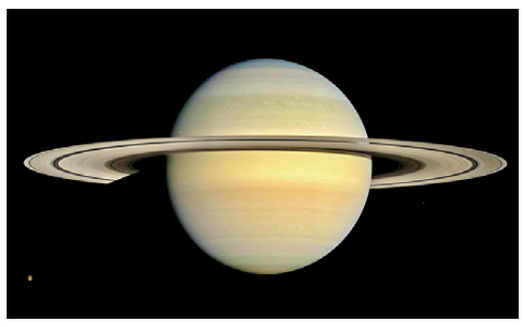
仰望夜空，土星及其星環是較為矚目的天體結構，因此也常是我們探索的對象。土衛二是土星的第六大衛星，也是土星E環物質的主要來源：E環主要由微觀顆粒組成，與土星其他星環的組成頗為不同。

近日，有研究團隊綜合太空探測器收集的數據與實驗室成果，提出新理論解釋E環成分的形成機制，本文即以此為題作一討論。

概略而言，土星共有八個星環，E環是最外圍的一個。土衛二的軌道恰好位於E環附近，從其表面冰層噴發出的物質便成為E環的組成部分；反過來說，研究E環有助於了解土衛二表面冰層及其下方海洋的成分。

先前探測土星的卡西尼號（Cassini）雖已於2017年潛入土星大氣層銷毀，但其收集的數據仍持續為科學家提供研究材料。卡西尼號上的宇宙塵分析器（Cosmic Dust Analyzer）是一個直徑約45厘米的金屬桶狀裝置，在多次穿越E環及土衛二噴發物的過程中，量度這些顆粒撞擊時產生的光譜，從而推斷其化學成分。

數據顯示，E環並非由單一均勻的物料組成，而可大致分為三類：第一類是近乎純淨的水冰顆粒，佔E環顆粒的相當比例；第二類是富含有機物的顆粒；第三類則是富含鹽類的顆粒，鹽度明顯高於前兩類。



●土星環主要由水冰微粒、岩石碎屑與塵埃組成，大小從微米到數米不等。 資料圖片

這些鹽類的成分相當多樣，反映土衛二的地下海洋可能是一個化學環境豐富的場所。

研究團隊分析宇宙塵分析器收集到的近千個第三類顆粒光譜，發現其鹽類成分至少可歸為五種基本亞型，分別以氯化鈉、碳酸氫鈉/碳酸鈉、磷酸氫二鈉/磷酸鈉、氫氧化鈉、氯化鉀及氫氧化鉀為主。其中鈉鹽與鉀鹽各自對應不同的陰離子組合，而非單一均勻的鹽類混合物。

冷卻中鹽類分離 形成不同冰粒

倘若這些鹽類皆源於土衛二的海洋，最直接的預期應是它們的成分相對單一，除非存在某種機制將不同成分的鹽類分隔開來。

研究人員透過實驗指出，當冷凍速率低於每分鐘約20 K（即約攝氏20度），且液滴尺寸大於約10微米時，不同成分的鹽類在冷卻過程中會發生分離，結果與卡西尼號宇宙塵分析器的量度相符。

研究人員推論，土衛二冰層下的海水以噴霧形式進入冰層裂縫，在上升過程中經歷緩慢冷凍，不同鹽類因而在繼而形成的冰粒中分離；這些冰粒隨後繼續沿裂縫上升，反覆與冰層碰撞而破碎，最終形成更細小的微觀冰粒。

本次分享的研究嘗試解釋土星最外圍星環的成分如何形成，有助理解土星與土衛二豐富的化學環境，並為分析地外生命存在的可能性提供線索。實驗室試驗終究難以完全複製外太空環境，仍須研究人員更深入的探討。

●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。



●郭守敬獨創的仰儀（又稱為仰釜） 資料圖片

用一口鍋看日食？

人文視野

元代傑出科學家郭守敬研製了近二十種天文儀器，其中最重要的是簡儀、仰儀、圭表，以及配合使用的景符等儀器。

傳統用來測定天體的渾天儀有一些缺點，例如重疊的圓環會遮住部分天象，縮小儀器的觀測範圍；且多個圓環各有刻度，讀數系統複雜，使用不便。郭守敬對渾天儀進行革新改造：除必需的兩個圓環系統外，取消其餘圓環系統，並把其中一組分離出來，改造成另一種獨立儀器。這樣便不會因圓環系統過多而遮蓋星體，所測得的二十八宿距星位置也較為準確。

由於這一儀器既簡單又精確，所以稱為簡儀。簡儀的結構與現代赤道式望遠鏡基本一致，而歐洲類似結構的天文儀器，直至十八世紀才在英國出現，比中國晚了四百多年。

仰儀是郭守敬獨創的一種天文儀器，主體是一個銅鑄的中空球面。透過仰儀可直接觀察日食的方向、虧缺部分的大小及各種食相的時刻。

圭表是用來測定二十四節氣的儀器，不過舊式圭表的影像邊緣不清晰，影長不精確；量度用的尺一般只能精確到分，推算時刻容易產生誤差。

此外，舊式圭表只能觀測日影，不能觀測光較弱的月影、星影。為解決影像邊界不清的問題，郭守敬創製了「景符」，利用小孔成像原理，使日光通過薄鋼片上的小孔射在圭面上，使影像邊界看得清晰。

研究中，郭守敬發現按比例推算二十四節氣時產生誤差的原因之一，是圭表的表影長度不夠。於是他把表高增至四十尺，為舊表的五倍（即比舊表增高四倍）。為改進量取長度的方法，又把讀數由原來只能精確到分位提高到厘位，盡量減少誤差。郭守敬這些改革，大大提高了圭表的精確度。

●文鯉

動態評估氣候變化 提升沿海基建韌性

都大探索

沿海橋樑、道路及海岸防護設施等基建，其主體結構的設計使用年期往往長達數十年，部分甚至超過百年。在此期間，它們既要承受颱風、巨浪、風暴潮和極端降雨等衝擊，也會因材料老化和長期使用而逐漸退化。在氣候變化下，過往主要依據歷史風速、浪高和水位紀錄等制定的設計及管理方案，未必足以反映未來風險。

因此，沿海基建管理必須回答兩個相互關聯的問題：**其一**，當極端災害來臨時，設施會受到多大影響？**其二**，隨着氣候與設施狀況改變，應在什麼時候維修、加固或升級？前者關乎單次災害的風險與韌性，後者則是長期適應決策的核心。

不只是「捱過一場風暴」

談及橋樑安全，人們往往先想到結構能否承受自然災害衝擊。然而，要評估一場颱風對橋樑構成的風險，不能只分析強風和巨浪等對橋樑造成的損傷，還需考慮這些損傷發生的可能性及其後果。即使橋樑沒有倒塌，局部構件受損或需要封橋檢查，仍可能導致交通改道、物流延誤，甚至影響救援工作。

在風險評估中，韌性評估進一步關注橋樑受衝擊後的表現：功能會下降多少？恢復期間仍能維持多少通行能力？需要多少時間才能全面復原？

筆者獲研究資助局支持的一項研究項目，便以沿海橋樑為對象，探討極端颱風風險下的長期管理與適應策略。研究結合結構受損風險、服務中斷及災後恢復等因素，把評估範圍由單次災害的後果，延伸至橋樑全壽命周期的風險和韌性管理。

在沿海基建漫長的服役期內，氣候風險並非一成不變。海平面上升可能加劇風暴潮帶來的水位威脅，颱風強度等極端天氣特徵亦可能出現變化；與此同時，橋樑結構也會隨時間逐漸退化，因此，不能單憑一次評估便假定未來數十年同樣安全無虞。

真正棘手的是，未來氣候如何變化仍存在不確定性。若變化較溫和，過早投入大型加固工程可能造成不必要的支出；反之，若變化比預期更急速，遲遲不採取行動又可能造成更大損失。

故此，長期風險評估不宜只依賴單一預測，而應同時考慮不同氣候情景，並定期更新，以修正判斷。

例如，可根據最新的全球二氧化碳濃度、本地颱風強度變化等觀測資料，更新未來氣候情景的可能性，再重新評估橋樑面對的風險與潛在損失。簡單而言，就是讓新的科學證據不斷校正原有的評估模型，使基建管理能更及時地回應環境變化。

單次災害的風險和韌性評估，有助了解基建面對衝擊後的恢復能力。然而，氣候變化是一個長期過程，要在未來維持安全與穩定服務，便需要把評估結果轉化為能隨氣候、設施狀況及新資訊而調整的行動計劃，這就是「適應路徑」的概念。

以沿海橋樑為例，在風險仍屬可接受範圍時，可以先加強定期結構檢查和預防性維修；當橋樑狀況或極端環境變化顯示風險接近預設安全界線，便可考慮加固關鍵構件、提升防護能力或調整營運安排。若未來風險持續攀升，則需要評估進一步升級方案，甚至重建。

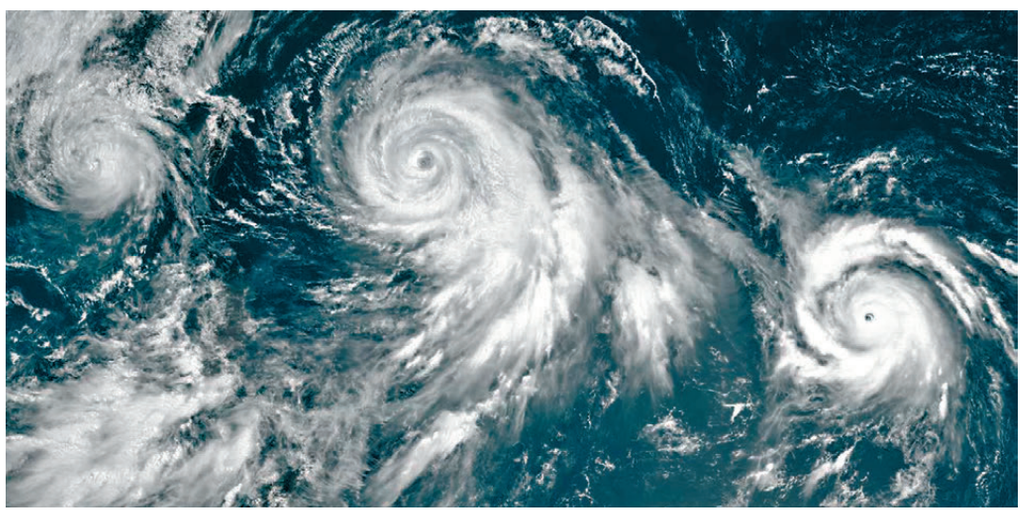
其他沿海基建亦可因應各自的功能和災害風險，制定相應的分階段適應措施。分階段推行的好處，在於無須過早承擔昂貴而難以逆轉的工程成本，並可隨新證據出現再決定下一步行動，為未來保留調整空間。

不過，每項工程由風險評估、設計到施工完成均需時，因此必須預先設定監測指標、安全界線和行動觸發時機，確保措施能在風險超出可接受水平前完成。

首要考慮結構和人員安全

制定氣候適應決策時，應以結構和人員安全為首要考慮，同時兼顧工程造價、環境保護等可持續發展因素，並確保設施能滿足其重要服務的要求，妥善安排設施全壽命周期內的維修及加固方案，制訂最合適的長期策略。

真正具韌性的沿海基建，並非永不受損，而是能在災害期間盡量維持重要功能，在災後迅速恢復，並因應氣候與設施狀況改變，適時調整適應策略。從單次災害的風險評估，到全壽命周期的動態適應，關鍵在於讓今天的決策既能保障安全，也為未來保留選擇與空間。



●長期風險評估應同時考慮不同氣候情景。圖為颱風衛星雲圖。 資料圖片

●李瑤函博士 香港都會大學科技學院助理教授

分享

英文雋語 散播閱讀種子

香港文匯報訊 為培養學生正確的價值觀、良好的態度與行為，教育局連續七年推行「英文雋語 Sayings of Wisdom（SOW）」活動，鼓勵學生分享潤澤心田的英文雋語，豐富英語學習經歷。

本學年活動以「播種閱讀種子——點亮心光，語傳無界」為主題，並設有四個副主題：「正念心語：關愛自我的力量」、「同理共鳴：從書頁走入生活」、「社區印記：探索城事，說好故事」及「傳承與融和：跨越文化的智慧」，貫穿連串英語學習活動及比賽。

其中，「社區印記：探索城事，說好故事」配合香港特別行政區成立30周年，引導學生探索香港的歷史底蘊與城中秘境，深化對社區的歸屬感與認同感。圍繞這個副主題，「SOW創意貼圖設計比賽」特別增設「SOW璀璨明珠獎」，鼓勵學生結合文學智慧與視覺創意，表達對社區的熱愛與自豪。

其他精彩活動亦將陸續展開，包括「SOW閱讀馬拉松」、「動物攝影『詩』創意大挑戰」及「布偶話劇比賽」，通過閱讀、攝影及戲劇等多元形式，鼓勵學生發揮創意，培養良好的閱讀習慣，並鞏固英語語文基礎。

教育局早前舉辦2025/26「英文雋語SOW」頒獎典禮，表揚上學年表現傑出的學校和學生。典禮上，象徵成長、潛能與正能量的吉祥物「Sowy」首度亮相。他將化身親善大使，通過校園活動及社交平台與學生互動，散播正能量，陪伴學生踏上全新的閱讀之旅，提升英語能力。

有關「英文雋語SOW」的學習資源及最新資訊，歡迎瀏覽活動專頁（www.edb.gov.hk/sow）。