

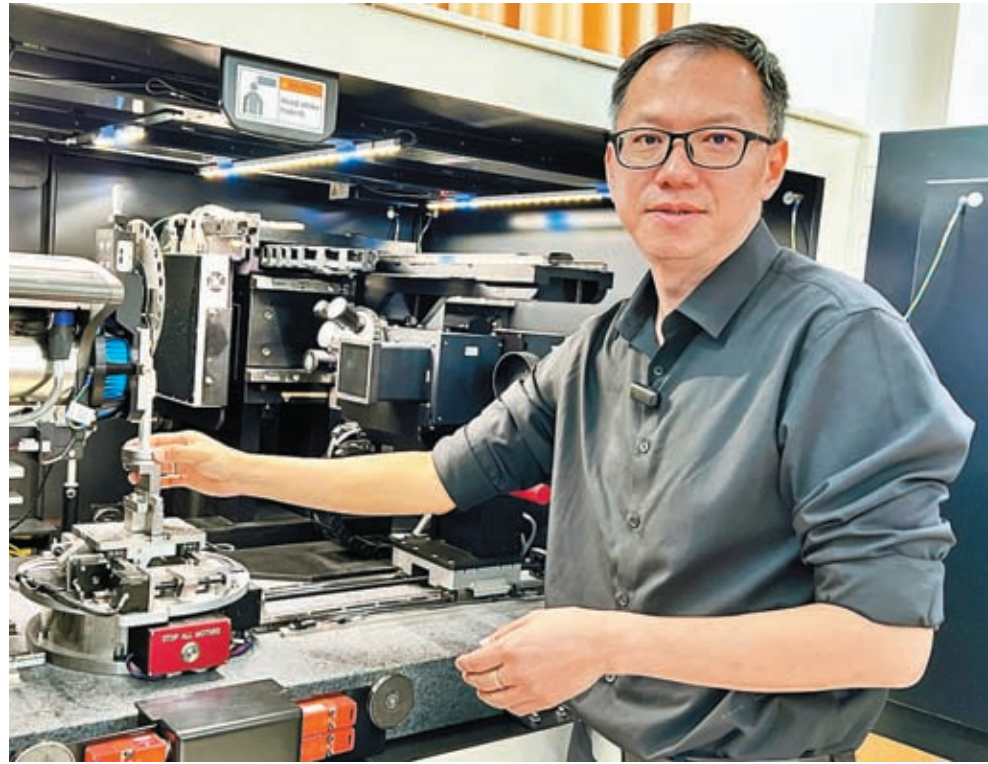
科學家 探索故事

澄江化石第二代探秘保護者劉煜 建古生物三維模型

# 給化石拍CT 解密5.2億年前懸案

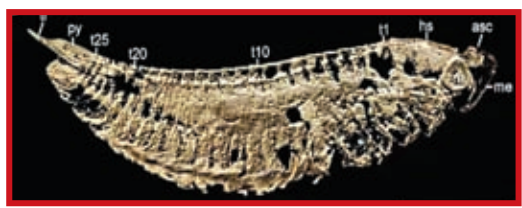


在雲南大學顯微CT實驗室裏，雲南大學古生物研究院副院長劉煜正在掃描一塊小而薄的土黃色石頭，這一特殊的掃描對象，是來自「寒武紀生命大爆發」時期的澄江化石，躺在化石裏的是距今已有五億多年的一隻小蟲子。「沒錯，我給化石拍CT，構建出5.2億年前這些生物的三維模型。這些生物進化化石裏的秘密，終於有望得以逐一解開」，也是自此，對「寒武紀生命大爆發」的研究進入了全新階段，劉煜也被大家認為是「澄江化石的第二代探秘保護者」。 ◆香港文匯報記者 譚旻煦 雲南報道



◆劉煜介紹給化石拍CT的設備。

香港文匯報記者譚旻煦 攝



▲化石傳統修復方式(藍框)與通過CT掃描到的圖像(紅框)對比。 香港文匯報雲南傳真

## 實現完美學科交叉 獲國家自然科學獎

現年43歲的劉煜博士，2016年從德國歸國後在母校雲南大學工作，2021年11月，劉煜作為重要成員之一的科研團隊憑藉「寒武紀特異保存化石與節肢動物早期演化」項目榮獲2020年度國家自然科學獎二等獎。他說，無論哪個領域都需要創新，自己是通過學科交叉的方式進行探索的，沒曾想就為澄江化石的研究打開了一扇新的窗口。

劉煜上大學專業是地球物理學，其中一門專業課正是與古生物學相關的地質學，從研究生一年級的時候起跟着侯先光老師學習，後來出國留學，並通過了德國教育系統最高級別的教學及科研考核(Habilitation)，具備在德國區任一高校申請終身全職教授的資質。

「在我出國十年的時間裏，差不多有九年的時間沒有研究化石了」，劉煜說，在這期間他主要從事的是現生動物的胚胎發育學和神經生物學研究，研究對象從看得見的外部形態，到生物內部看不見的神經形成等，這雖然是從外轉到了內，但在技術上還是有所相通。後來，劉煜說發現自己對化石裏生物標本的演化更有興趣，所以他又回到了自己熟悉的澄江化石群。

澄江化石群的發現者侯先光研究員表示，顯微CT技術的利用，使從化石上提取的信息量從原先的30%，提升了二至三倍，研究原始動物變得像研究現代動物一樣。同時，在長達15年的科研過程中，年輕人的參與讓整個團隊更有活力，也才能讓古生物研究這項課題代代傳承下去。

在距今約5.2億年前一個被稱為「寒武紀」的地質歷史時期，地球上在2,000多萬年的時間內出現了各種各樣的動物，這些節肢、腕足、蠕形、海綿、脊索等動物，與現代動物形態基本相同，牠們不約而同在地球上「集體亮相」，形成了多種門類動物同時存在的繁榮景象，也形成了古生物學和地質學上的一大「懸案」：依照經典的達爾文進化論觀點，生物進化經歷了從水生到陸地，從簡單到複雜、從低級到高級漫長的演變過程，這一過程又是通過自然選擇和遺傳變異而緩慢逐漸實現的，「寒武紀生命大爆發」在這一理論框架下顯然是不成立的。

1984年7月1日，「澄江生物群」在雲南省澄江縣首次被發現，這一多門類動物化石群所呈現的動物類型眾多，且十分珍貴地保存了動物軟體構造，首次栩栩如生地再現了遠古海洋生命的壯麗景觀和現生動物的原始特徵，以豐富的生物學信息為「寒武紀生命大爆發」的研究提供了直接證據，在國際上被譽為「二十世紀最驚人的發現之一」。

多年來，中國以及全世界科學家對「寒武紀生命大爆發」進行了持續的研究，研究成果不斷地揭示著對早期動物的新認知。劉煜將CT技術用於澄江化石，開創了澄江生物群化石的三維無損研究新領域，「寒武紀生命大爆發」更多的細節或將通過這項研究展現出來。

### CT片裏隱藏新發現

來到雲南大學古生物研究院顯微CT實驗室，劉煜在電腦面前給學生們講解今年8月28日剛剛發表的最新研究成果，「看，相對於此前對章氏麒麟蝦頭部具有五隻複眼(一對前眼和三隻後眼)和兩對單支型口後附肢的認知，新研究發現該動物其實只有一隻中眼和一對側眼，前四對口後附肢均位於頭部且均為雙支型。」學生們湊近仔細看，顯示器上的對比圖片清晰地反映出前後的不同。

劉煜說，新研究成果再次展現了顯微CT技術、計算機三維建模等技術不僅能深化我們對早期節肢動物形態結構的認識，還能推進對諸如「節肢動物頭部起源與演化」等關鍵科學問題的探索。

### 三維圖像「活化」化石

「這是我們課題組今年通過此項技術取得的第二項比較重要的成果」，2023年早些時候，團隊給寒武紀節肢動物——等刺蟲拍出了多張較為完整的CT片，並在此基礎上構建了數個三維模型。等刺蟲是生活在約5.2億年前寒武紀海洋裏的一類相對原始的節肢動物，是研究節肢動物早期演化的絕佳對象，但一直以來，由於等刺蟲寬大的殼體覆蓋了整個身體，古生物學家僅憑內眼和光學顯微鏡難以觀察到殼體下的細節。劉煜說，「通過CT掃描得到的數據，我們清晰地看到等刺蟲的外形細節，據此推斷，等刺蟲的眼鏡、前附肢及其後的四對附肢形成了功能性的頭部，而軀幹附肢為運動

器官，有游泳和爬行功能。」這為學界研究節肢動物的早期演化提供了新的形態學證據。

在實驗室裏，劉煜給香港文匯報記者演示了CT設備掃描化石獲取信息的過程。「我們給化石拍CT，就像醫院給病人拍CT一樣，通過X光穿透化石後，通過多個角度拍攝上千張照片，就可以得到保存在石塊內部信息，再經過計算機的處理，就能提取到接近完整的三維信息。」劉煜說，這與之前相比，最大的區別就在於，傳統的研究是在顯微鏡下盡量放大化石的倍數，用細小的鋼針慢慢把覆蓋的岩石去掉，使某一構造細節顯現出來，這是一個非常消耗時間而艱苦的工作，如果不小心用力稍微過度一點，化石構造就被破壞掉，而且關鍵的構造極難被揭示，「這麼說吧，以前看到的是二維圖像，現在可以看到三維圖像，這樣得到的信息，會更加準確，也會更加接近實際情況。」

別看現在給化石拍CT這一系列操作十分「絲滑」，探索這一技術的過程卻也不容易。

2006年，26歲的劉煜遠赴德國烏爾姆大學攻讀博士學位，2009年底，博士畢業後在德國慕尼黑大學從事教學研究工作，其間，他發現有外國學者將CT技術用於化石研究，「澄江化石群被視作是化石寶庫，卻從來沒有人用過這種方法，或許我可以試試」，劉煜向自己的老師侯先光提出了自己的想法，很快得到了侯先光的支持，老師借了幾塊化石給劉煜去研究。

給化石拍CT，看著簡單，操作起來卻不容易，一開始明明可以見到有些信息，但卻就是沒辦法提取到真正完整的，劉煜他們嘗試了很多次，卻還是沒能建模成功，「當時想可能是因為3D建模技術不成熟，或者說不是自己熟悉的領域」，劉煜說，「最後試一次！沒想到就是這一次他成功了，清楚地提取到了化石內部的信息，高興壞了」。

### 建模技術揭示立體結構

後來，經過不斷研究和探索，尋找適合的建模技術支撐，劉煜終於成功揭示了澄江化石的三維立體結構，「這改變了我們的研究思路，以前我們總是希望化石露出的部分越多越好，而有了這個技術以後，就希望藏在內部的部分越多越好，這樣被破壞的程度會大大減少，更加有利於我們看到接近真實的結構，這對於古生物研究很重要。」

目前，經其創新性地引入到澄江化石研究中的先進技術手段主要有：熒光顯微鏡、電子掃描顯微鏡和顯微CT。前二者主要用於提取普通光學顯微鏡下無法觀察到的、保存在化石表面的動物身體結構信息；後者則主要用於提取保存在化石內部的動物身體三維結構信息。取得這些信息後，就可以給化石建模，還原生物結構。

劉煜取得的成果，不僅給澄江化石的研究打開了新窗口，也給世界各地相關動物化石的研究提供了主要參考和典型範例。

## 借力「貴族」學科優渥土壤 助力古生物研究國際領先

石材料，這為古生物學科的研究提供了基礎，但更為重要的是，國家對於這門學科的大力支持。

說到這裏，劉煜感慨，古生物學既是一門冷門學科，更可以說是一門「貴族」學科，從研究意義上來說，它其實是滿足了人類的好奇心，比如「人從哪裏來、人類的祖先是什麼樣、動物是如何進化的」等諸如此類的問題，而要研究這些，一是必然已經滿足了生存的基本需求，有更高的精神追求，二是要捨得有大量物資的投入。

「在這一點上，我感到十分的幸運」，劉煜說，剛剛回國，學校就支持他購入了先進的研究設備，從雲南大學到雲南省再到國家，給到他的支持讓他充滿能量和信心。

### 開發小程序 穿越五億年

近一年來，劉煜精心開發了全球首個專門針對寒

武紀化石的三維模型展示平台，「原來五億年前的蟲子可以這麼美」，打開小程序，若干澄江節肢動物CT三維模型清晰呈現出來。

「五毫米迷人林喬利蟲的幼蟲」、「七毫米迷人林喬利蟲的幼蟲」、「羅氏小蝦」、「印第安蟲」、「達子小盾形蟲」的模型都可以點進去看到完整清晰的圖像。

劉煜說，希望通過這樣的形式，讓更多的人便捷地看到那些五億年前的生物，這也是滿足人類好奇心的一種方式。與此同時，劉煜和團隊還一直在努力推進「雲南省古生物研究重點實驗室野外科考基地」的建設工作。「只有當人們更多了解古生物，才能更好地保護古生物化石，也才会有更多的人因為熱愛加入到古生物的研究團隊中來，這樣整個學科領域才能得到更進一步的發展」，劉煜說。



◆劉煜(右)與侯先光老師一同在人民大會堂領取國家自然科學獎。 香港文匯報雲南傳真

### 人物名片

劉煜，男，1980年4月出生於雲南省開遠市，研究員，博士生導師，雲南大學海外引進青年人才，澄江生物群化石三維無損研究帶頭人，現任雲南大學古生物研究院副院長、雲南省古生物研究重點實驗室主任。

長期從事澄江生物群節肢動物演化相關研究，通過CT無損掃描、計算機三維構建和虛擬解剖分析，從「動物門類的起源與演化」、「早期生態適應機制」等角度對澄江節肢動物展開全面、深入的研究，獲得了多項全新的研究結論，以第一或通訊作者在PNAS、Nature Communications等國際刊物發表研究論文50餘篇。首次成功揭示了澄江化石的三維立體結構，並創新性從演化發育生物學(Evo-Devo)的角度，確認了早期節肢動物的關鍵身體結構形成過程，在節肢動物的深時起源與關鍵身體結構的演化方面取得了重要的原創性成果，給世界各地相關動物化石的研究提供了主要參考和典型範例。成果榮獲國家自然科學獎一項、雲南省自然科學獎一項、雲南省教學成果獎一項、中國古生物學十大進展一項；個人入選國家海外高層次人才青年項目一項、入選雲南省「千人計劃」高層次人才專項一項。



▲劉煜給學生們講解研究成果。 香港文匯報記者譚旻煦 攝

「可以說，中國的古生物學科研究在世界是處於領先地位的」，劉煜說，這首先得益於中國幅員遼闊、地大物博、歷史悠久，很多地方都有獨有的化