

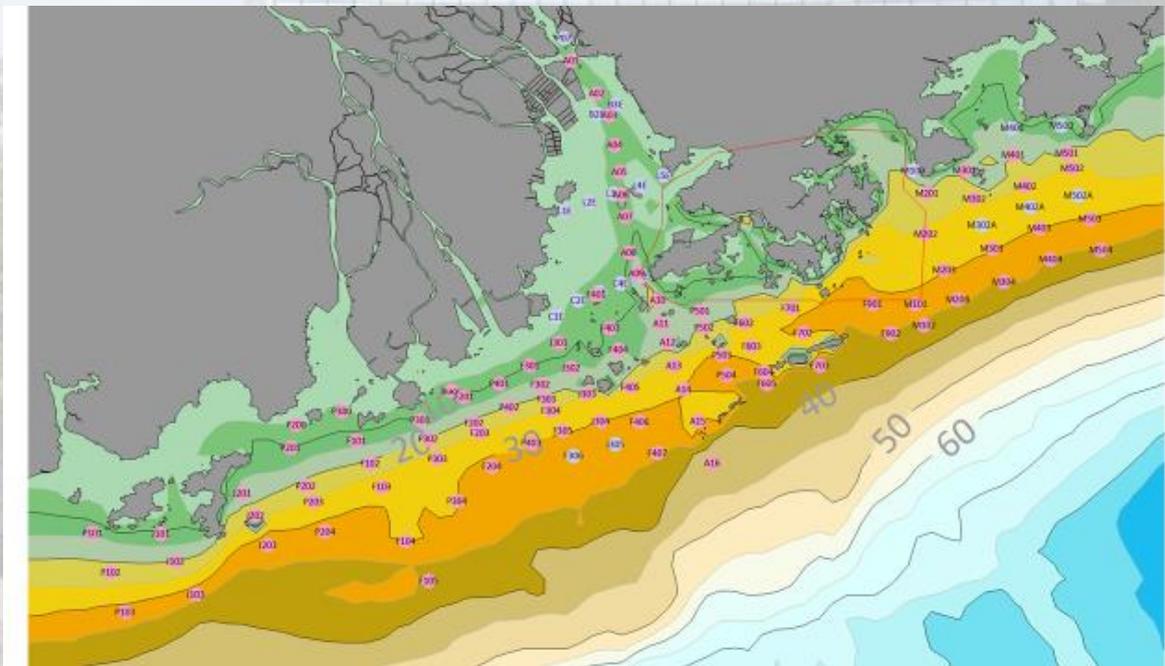
港澳海洋研究中心月報

一、科研活動預告與回顧

1. 【活動回顧】2025 年粵港澳大灣區科學考察航次圓滿結束

2025 年 7 月 15 日至 31 日，以港澳海洋研究中心 (CORE) 成員為骨幹的 Earth-HK 項目組成員，在大灣區沿岸海域成功開展為期 17 天的科學考察航次。本次科考航次集結了香港科技大學、香港科技大學 (廣州)、廈門大學等內地多所高校共 42 名師生參與。

考察期間，科研團隊重點對珠江河道、珠江口，以及從上川島延伸至大亞灣的廣東沿海等關鍵區域進行了深入調查，累計完成 90 餘個作業站位的科研任務。



航次作業站位置圖

本次航次彰顯了 CORE 的區域領導作用，相關觀測數據將有力推動 Earth-HK 項目的科研進程，為粵港澳大灣區陸海氣環境的可持續發展提

供關鍵科學支撐。相關研究成果預計將於年內陸續發佈，以助力粵港澳大灣區建設世界級生態宜居城市群。



科考人員合照（從左往右）

何圓開、李岩、趙辰、曹可、程偉聰（航次首席科學家）、甘劍平（CORE 中心主任）、張莉、張睿、戴東辰、陳瀚哲、曹聰、魯遠征（航次首席科學家助理）

值得關注的是，本次科學考察對促進大灣區建設的積極作用吸引了媒體廣泛報道。**中央廣播電視總台大灣區之聲頻道**特別對本次航次進行了專題報道（相關視頻報道請查閱：<https://earthhk.hkust.edu.hk/photos-videos/field-surveys-ocean-and-land-pre-jul-2025>）。

在此，謹向全體不畏艱辛、堅守一線的科研工作者致以崇高敬意與誠摯感謝。正是他們以高度的專業素養和敬業精神，晝夜奮戰，才得以成功獲取關鍵數據，保障了科考任務的順利完成。

2. 【活動回顧】2025 年粵港澳大灣區科學考察系列 | 水體科學考察：溫室氣體動態與人類活動的深度探究圓滿成功

2025 年 7 月，港澳海洋研究中心 (CORE) 與 Earth-HK 項目組成員、香港科技大學 (廣州) 劉易教授課題組完成了粵港澳大灣區範圍內水體科學考察。本次綜合性科學考察途徑粵港澳大灣區的 9 個地級市 (不含港澳)，歷時 30+ 天，深入探究了粵港澳大灣區內不同類型小型水體的溫室氣體動態與人類活動等多元影響。該研究得到了港澳海洋研究中心 (CORE) 和《氣候變化下粵港澳大灣區可持續發展的區域地球系統研究》(EARTH-HK) 的大力支持。

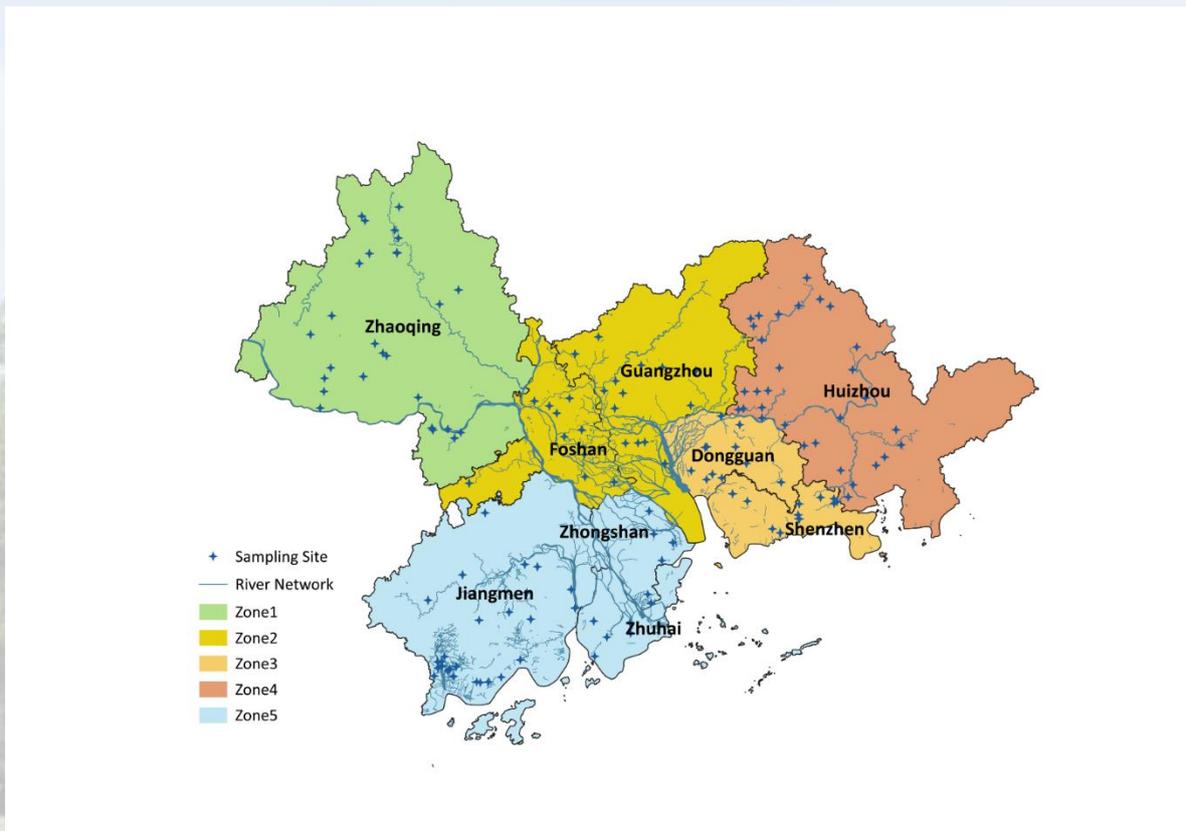


圖 1. 粵港澳大灣區小水體科學考察採樣點分佈

考察背景：

粵港澳大灣區位於珠江流域下游，由九個地級市 (廣州、深圳、珠海、佛山、惠州、東莞、中山、江門、肇慶) 以及香港和澳門兩個特別行政區

組成。粵港澳大灣區是我國最為重要的地區之一，佔全國人口的 6%和全國經濟的 9.5%。隨着經濟的快速發展，粵港澳大灣區城市化進程和其他人類活動對區域內的自然環境影響與日俱增。小型水體在全球範圍內分佈廣泛，是水生生物和候鳥提供重要的棲息地，具有重要的環境和生態功能。但是，小型水體易因人類活動包括土地利用變化，污染物輸入等的影響。同時，小型水體由於體量較小對氣候變化的名感性也較高。小型水體也可能是碳氮循環等生物地球化學過程和溫室氣體排放的潛在熱點區域。儘管小型水體具有重要的環境和生態價值，但是由於它們數量眾多，且分佈廣泛，監測難度大而常被忽視。

科考內容：

本次科學考察聚焦於粵港澳大灣區範圍內，面積小於 100 公頃的小型水體。在粵港澳大灣區範圍內選取了超 150 個小型水體樣點，包含天然水體，城市水體和養殖魚塘等多種類型。

考察內容包括：

- 1) 小型水體的溫室氣體動態；
- 2) 小型水體氮去除能力；
- 3) 微塑料污染動態等。

除開採集水體和沉積物樣品，團隊使用了包括多參數水質檢測儀、數字式滴定儀等對小水體的等環境參數進行了現場測定。與此同時，小組成員還與小水體的管理者進行了深度交流，收集了水體的使用情況和管理措施等信息。此外，團隊還基於 DJI M350 RTK 和 H30T 載荷，開展了無人機自動巡檢和熱紅外遙感試驗，支持後續的基於衛星的水體參數定量反演探索。



野外科考小組成員

(左起：劉易、李欣珂、李雨珂、駱煌霖；刑程、李雨珂、凌俊楷、李欣珂)

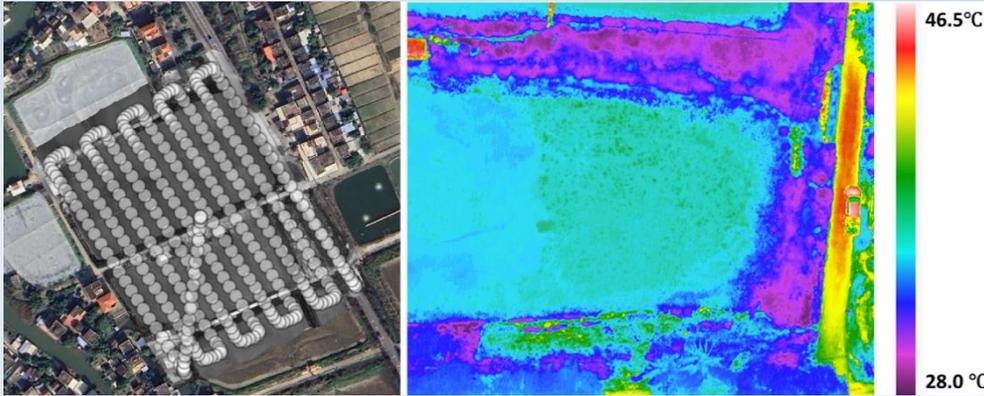


科考小組野外實地工作剪影

(從左至右：實地採水，水體樣品前處理，現場培養實驗，取沉積物樣，鹼度測定，過濾實驗)



採樣小水體的無人機拍攝影像 (設備: DJI Mini3 Pro)



使用無人機搭載熱紅外鏡頭進行二維地表溫度建模: (左) 航點飛行路線; (右) 熱紅外影像 (設備: DJI M350RTK + H30T)

二、科研進展亮點

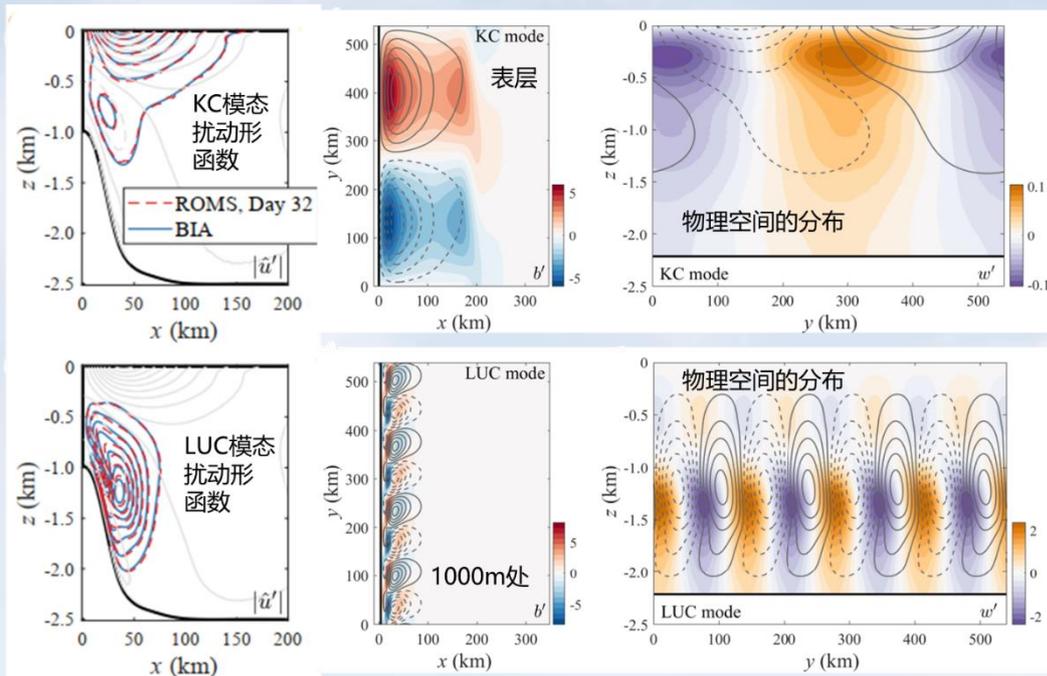
亮點 1. 非線性穩定性解釋西邊界潛流的定量變化與次表層湍流強化

香港科技大學甘劍平教授團隊近期在西邊界潛流的動力學機理方面取得進展。觀測顯示北太平洋的西邊界潛流普遍存在強非地轉分量和強時空變化，但其中的動力機制仍不清楚。該團隊發展了全局穩定性分析方法，並以黑潮 (KC) — 呂宋潛流 (LUC) 為代表性系統，發現潛流的自身失穩和對表層流失穩的被動響應共同貢獻了潛流的強時空變化和強亞中尺度過程。理論分析得到的若干趨勢與觀測結果定性，甚至部分定量相符，如最不穩定的 LUC 模態呈現次溫躍層渦旋形式，模態周期與 LUC 的季節內變化周期一致，KC 失穩引起 LUC 流量的三倍變化和反轉，但 LUC 失穩不影響上層流。該工作增進了對西邊界潛流動力過程的物理認識，可為多層環流模式改進提供理論指導。

西邊界潛流在全球西邊界流區域廣泛存在，對次表層大洋環流和物質

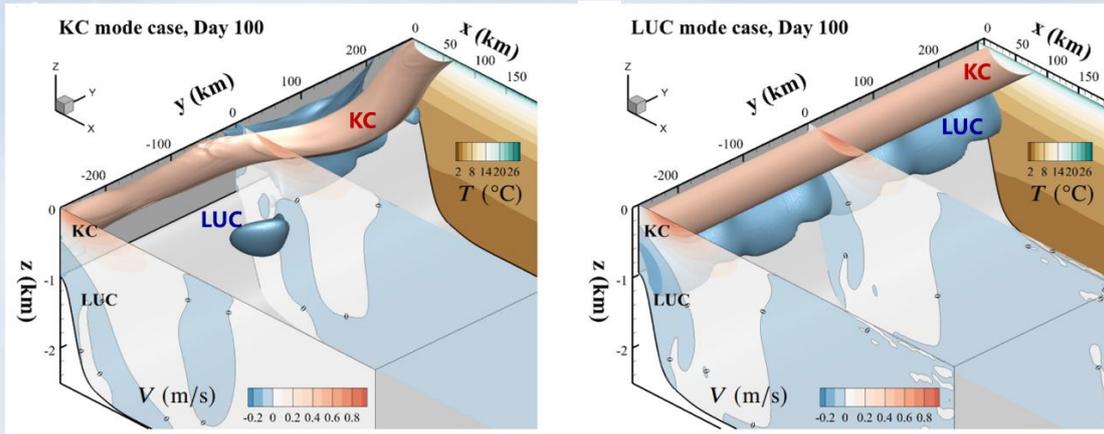
能量輸運有重要作用。以西北太平洋為例，在表層(0~500m)的北赤道流、黑潮(KC)和棉蘭老流環流下方，存在北赤道潛流、呂宋潛流(LUC)和棉蘭老潛流組成的次表層環流(500-2000m)。以LUC為例，目前已有系列觀測數據揭示出其基本特徵，指出LUC存在強季節變化和季節內變化(周期約70天)，且有很強的非地轉分量(直接測量與地轉平衡估計的最大速度可相差四倍)，但該潛流的動力學機制尚沒有被完全理解。一個關鍵的問題是大尺度環流和羅斯貝波等外在因素，以及局地穩定性等內在因素如何影響LUC的動力過程？這些物理理解可指導對西邊界潛流系統的建模，以提高對多層環流的數值模擬能力。

甘教授團隊發展了針對原始方程的**二維全局(biglobal)穩定性方法**，基於從CMOMS模式得到的平均流截面，分析得到了KC-LUC系統的全局失穩特徵。如圖1，識別出在表層有500公里尺度的KC模態，呈典型斜壓渦旋式分佈；在中層找到了100公里尺度的LUC模態，由斜壓和正壓分量共同貢獻，且其空間結構與之前報道的次溫躍層渦旋[例 Zhang, L.-L. et al, JGR: Oceans, 119 (2014)]接近。LUC模態的最不穩定周期為72天，與LUC季節內變化周期一致。為了充分驗證穩定性分析的結果，團隊還用ROMS模式計算了擾動時空演化，小擾動在模式中經歷了一個月的演化後，空間分佈仍然與穩定性結果很好相符(見圖1)，從而**充分證明了所發展的全局穩定性方法的可靠性**。值得強調的是，穩定性分析是**方程驅動**的方法，只需一個平均流截面作為輸入，而不需要時間序列的信息。

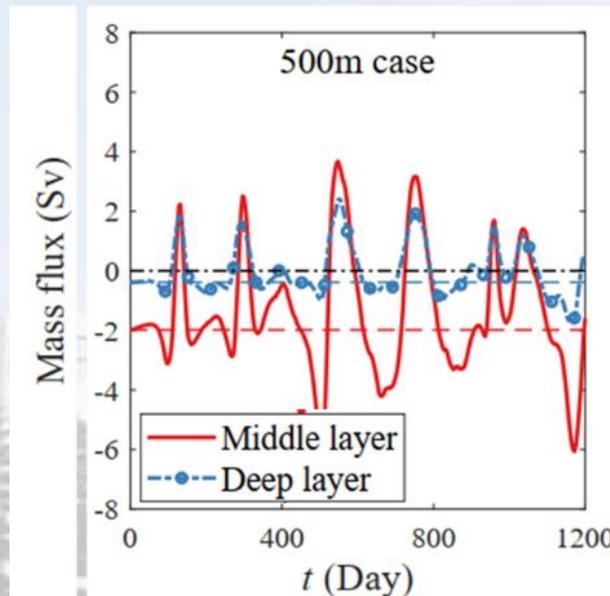


亮點 1 - 圖 1. 全局穩定性識別出的上層 KC 模態(第一行)和中層 LUC 模態(第二行)。第一列為擾動形函數，結果與 ROMS 模式結果很好相符；第二和第三列為擾動在物理空間的分佈

甘教授團隊進一步開展了非線性穩定性研究，並將模式解像度最高增至 500m，以解析可能引起的亞中尺度過程。發現了表層流和潛流由於非線性失穩而引起層間相互作用的機制（見圖 2），即表層 KC 失穩可完全破壞 LUC，引起 LUC 的強時空變化甚至反轉（速度反號），而 LUC 失穩不會影響 KC，而只引起潛流當地的強非線性。為更定量化證明，圖 3 給出了 KC 失穩算例中 LUC 的流量變化，流量可從初始-2Sv（向南）增大至-6Sv，也可反轉向北至 4Sv。這樣的流量振蕩幅度和反轉與對 LUC 的直接測量結果 [Hu D. et al, JPO, 43 (2013)] 趨勢相符。因此，LUC 的強時空變化是由自身失穩和對 KC 失穩的被動響應共同貢獻。

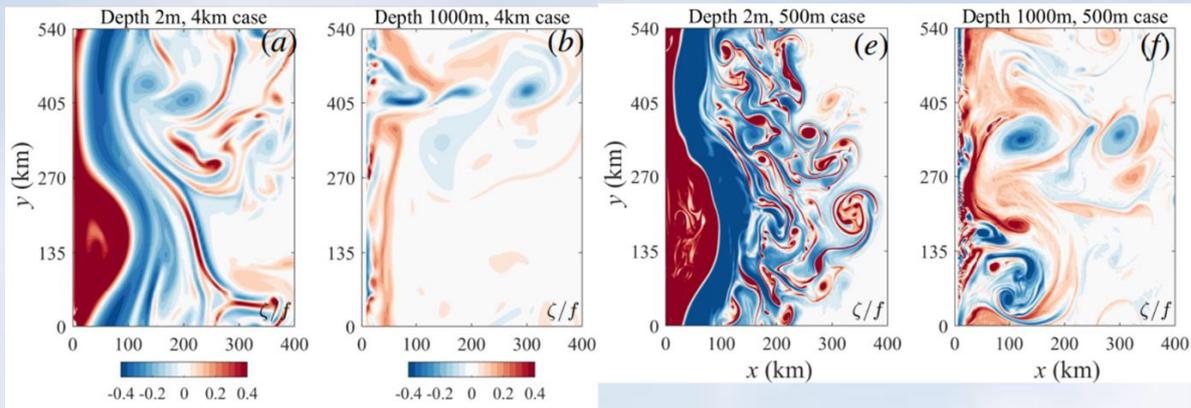


亮點 1 - 圖 2. 速度等值面顯示的層間非線性相互作用：(左) KC 失穩可完全破壞下方 LUC，引起 LUC 強時空變化和反轉；(右) LUC 失穩引起當地強非線性，但不影響上層 KC



亮點 1 - 圖 3. KC 非線性失穩引起的 LUC (中層) 流量變化，LUC 可被增強三倍或被反轉。負值代表向南流動

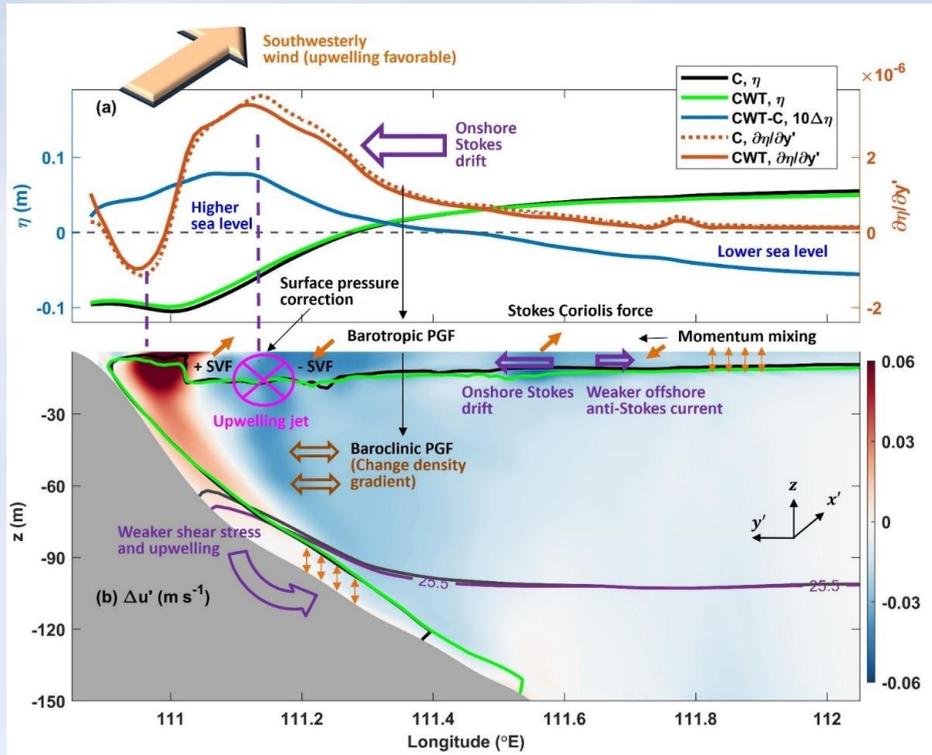
甘教授團隊還研究了以上非線性失穩過程中引起的亞中尺度湍流過程，見圖 4。通過能量分析識別到 LUC 靠近地形處有中等強度的離心失穩，這是由於 LUC 的向南流動與邊界形成強的負渦度。次表層處動能譜呈現 k^{-3} 的斜率，該處的小尺度湍流可由 LUC 失穩和 KC 失穩共同貢獻。本研究所發展的模型可為全球西邊界潛流提供基準和參考，有助於為大洋多層環流的模式改進提供理論指導和物理啟示。



亮點 1 - 圖 4. 表層和 1000 米處的垂向渦量分佈。左側兩個圖是 4 公里網格的結果，右側兩個圖是 500 米網格

亮點 2. 陡峭陸坡波浪與上升環流相互作用機制研究

上升環流是驅動近岸海域營養物質輸運與漁業資源聚集的關鍵物理過程。本研究基於高精度波流耦合模型，揭示西南季風期海南島東側波浪與上升環流的相互作用的變異特徵與動力機制。上升環流對波能的向岸傳播形成頻帶阻隔與折射效應，導致瓊東陡坡上離岸側與近岸側波高分別增大與減小約 20%。而波浪對上升環流呈現顯著削弱作用。在埃克曼層，由於湍流剪切應力增強，波浪引發的斯托克斯科氏力驅動的離岸流弱於向岸斯托克斯漂移。因而，向岸斯托克斯輸運的累積效應導致近岸水位抬升而離岸下降，從而弱化向岸正壓壓強梯度力。該過程通過地轉調整削弱沿岸流強度，降低底邊界層垂向剪切應力，進而抑制上升流的底部向岸輸運（減幅約 11.2%）。動力機制上，波浪對上升環流的調控在表中底層分別由 Stokes 力，地轉調整與湍流剪切應力主導。其中地轉調整由水位梯度引發的正壓過程主導，其又被海水密度梯度變化引起的斜壓效應部分抵消。通過波浪浮標和海表溫度遙感數據的分析，證實了波浪對上升流的削弱效應。該研究揭示了波浪與上升環流耦合的動力過程與機制，增進了對近海耦合水動力的理解。



亮點 2 - 圖 1. (a) 西南季風驅動下波浪對瓊東水位與水位梯度的影響 (C , 無波浪; CWT , 波流耦合); (b) 波浪對沿岸流三維調控作用及其動力機制。

亮點 3. 譜逼近技術優化區域氣候模擬：提升中國海夏季降水與海洋雲的模擬能力

研究背景：

中國南海、東海及西北太平洋的夏季降水，深受東亞季風系統與複雜的海-氣-對流耦合過程影響。長期以來，如何精準模擬海洋雲與降水，始終是區域氣候研究的核心難題。傳統數值模式往往受限於初始條件誤差、邊界信息失真及物理參數化不完善，導致大尺度環流系統性偏差，並進一步造成降水模擬誤差。

譜逼近技術 (Spectral Nudging, SN) 為此提供了一個“校準”手段：它專門約束模型中的長波長大尺度分量，使模擬結果更加貼近觀測背景場，同時保留中小尺度天氣系統 (如颱風、深對流) 自由演化的能力，從而實現大尺度準確、中小尺度活躍的“雙重目標”。

儘管 SN 技術在歐美和東亞大陸地區已有良好應用，但在海洋區域

(如中國海)的研究仍相對較少，且**不同逼近變量（風、溫度、水汽等）和參數設置對模擬效果差異顯著，特別是對水汽變量的逼近機制和影響仍存在較大爭議。**

近日，香港科技大學甘劍平教授團隊在《*Theoretical and Applied Climatology*》發表研究成果，首次系統評估不同譜逼近策略在中國海域的適用性。研究揭示了“水汽逼近”在提昇降水與雲模擬準確性方面的關鍵作用，為區域氣候模擬注入了“精準導航”的新動力。

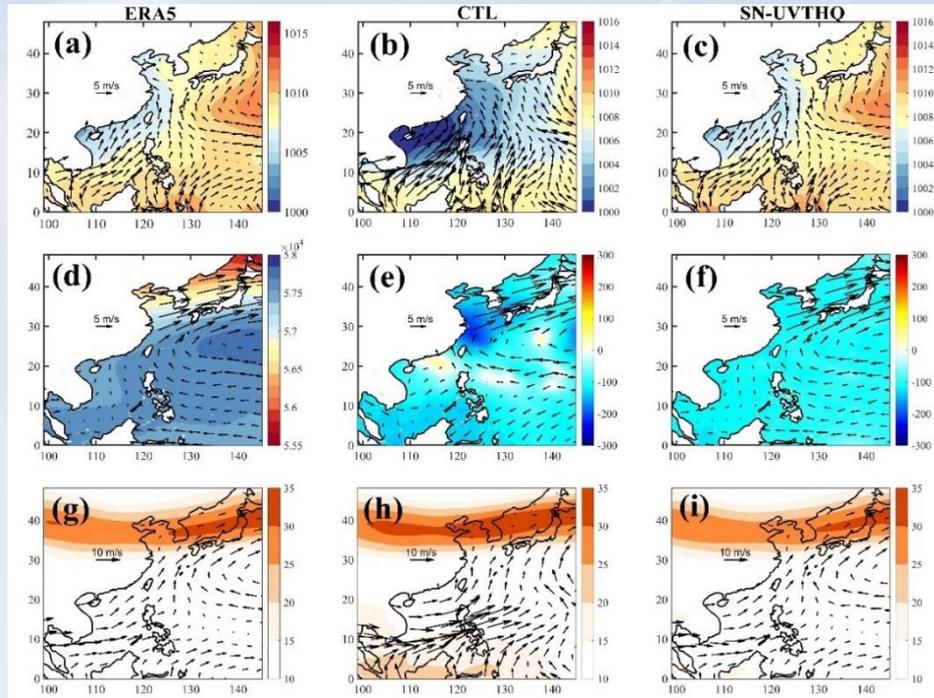
研究內容與主要成果：

本研究系統評估了譜逼近技術在提升區域氣候模式 (WRF) 對夏季東亞季風期間中國海域降水和海洋雲模擬表現中的作用。以 2015 年強厄爾尼諾年為背景，研究團隊設計並開展了多組敏感性數值試驗，全面分析了不同逼近變量（如水平風 UV、濕度水汽 Q、溫度 T 等）與參數設置（如逼近強度、波長閾值等）對模擬結果的影響。

研究亮點與核心發現：

1. 譜逼近能有效糾正大尺度環流偏差

應用 SN 顯著提升了模擬的風場、海平面氣壓、位勢高度等關鍵大尺度氣象變量的準確性，改善了海洋低雲、深層對流和降水的發展過程，為整體降水模擬提供了更真實的動力背景。



亮點 3 - 圖 1. 展示了 ERA5 再分析數據，無 SN (CTL) 和全變量 SN (SN-UVTHQ) 模擬結果在不同高度層的對比。結果顯示，SN 能明顯改善海表風場，500hPa 位勢高度和 200hPa 高空急流的模擬表現，有效修正海上西太副高的位置和強度誤差

2. 推薦的最優 SN 配置

在中國海域，採用如下 SN 配置效果較優：在行星邊界層 (PBL) 以上，水平風 UV 和水汽 Q 作為逼近變量；使用約 2000 公里的波長閾值，確保捕捉關鍵大尺度環流結構，並採用約 1 小時的逼近時間尺度，提升模擬響應能力。

3. 不同 SN 變量的物理響應機制差異明顯

- **溫度逼近：** 增強低層的水汽平流，但對雲的發育貢獻有限；
- **濕度逼近：** 顯著促進 850 hPa 以上的對流雲發展，增強降水；
- **溫度和濕度聯合逼近：** 會放大對流、增強潛熱釋放，導致非絕熱加熱劇烈、降水過估；
- **風和溫度逼近：** 在降水模擬表現良好的同時，可能低估雲量並抑制

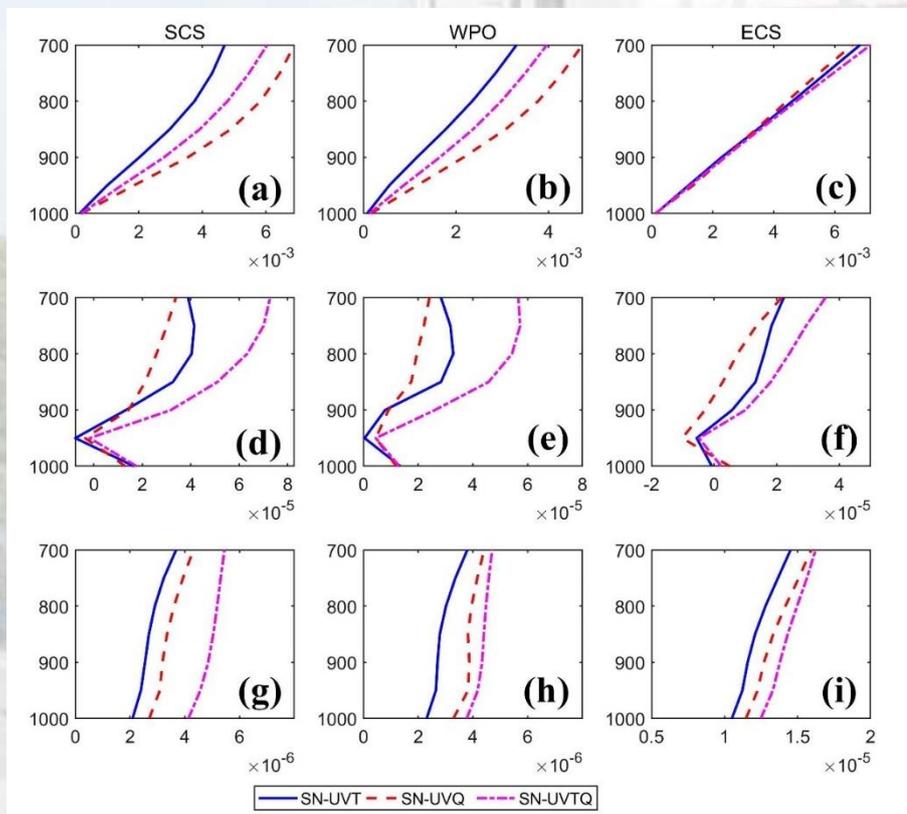
對流活動。

4. 重要發現：不依賴積雲參數化也能高質量模擬降水

值得關注的是，在較粗解像度（如 9 km）下，即使不採用傳統積雲參數化方案，使用“水平風+濕度”的 SN 配置，也可得到與觀測高度吻合的降水、雲量和對流結構，為計算資源有限的模擬場景提供了可靠可行的替代方案。

5. 科學意義與應用前景

本研究揭示了降水形成背後的熱力過程與對流機制，強調“濕度譜逼近”在提升區域氣候模擬準確性中的關鍵地位。相關成果不僅為中國海區域的降水模擬提供了技術支撐，也為未來颱風、季風及極端降水的高精度模擬與預測奠定了基礎。



亮點 3 - 圖 2. 展示了不同 SN 配置下的垂直速度、非絕熱加熱率、雨水混合比等熱力結構剖面。SN-UVQ 試驗呈現出更強的上升運動和雲垂直發展，而 SN-UVTQ 試

驗雖對流更旺盛，但存在降水過強的問題，反映出不同變量組合對對流系統模擬的複雜影響。

亮點 4. 印度洋-太平洋海表溫度與內部大氣變率對南海夏季風影響的對比研究

研究背景：

南海夏季風在調控東南亞和東亞夏季氣候中具有重要作用，是亞洲夏季風系統的關鍵組成部分。通常，南海夏季風的開始是以季風前東風轉為季風西風並伴隨南海北部降水增加為標誌，進而影響東亞雨季。先前研究表明，南海夏季風會調節中國及周邊地區的極端天氣事件，如農業乾旱和洪澇災害。因此，研究南海夏季風的機制能影響南海夏季風的因素對於預測未來天氣、制定東南亞和東亞這兩個人口密集區域的災害緩解計劃至關重要。

南海夏季風與夏季西北太平洋副熱帶高壓的變率密切相關。西北太平洋副熱帶高壓的變率帶來了中國東部低層反氣旋或氣旋風異常。異常強烈的夏季西北太平洋副熱帶高壓會增強南海的異常東風，削弱西南季風。西北太平洋副熱帶高壓的變率受冬春季和夏季中太平洋及印度洋海表面溫度的控制。此外，與絲綢之路遙相關（Silk Road pattern）的內部大氣變率也會影響西北太平洋副熱帶高壓的變率。本研究利用 ERA5 再分析數據和大氣模型（如 Atmospheric Model Intercomparison Project [AMIP]）輸出數據，比較了中太平洋與印度洋海表面溫度以及內部大氣變率對南海夏季風和西北太平洋副熱帶高壓年際變率的相對影響。

研究結果：

通過多元線性回歸和差異分析方法，我們得到以下結果：

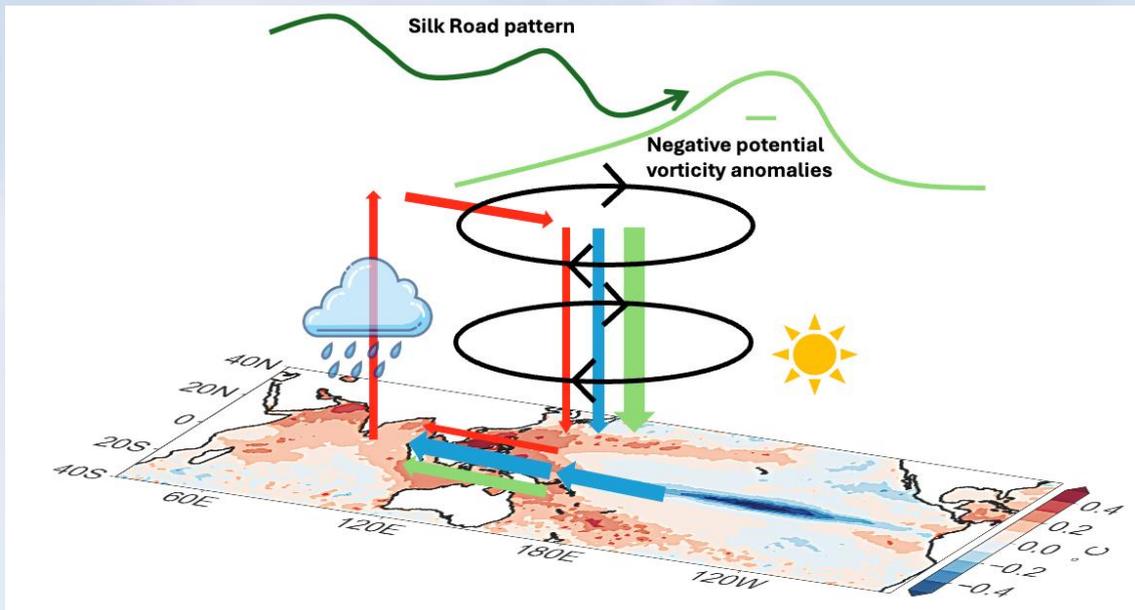
- 對於南海夏季風變率，冬春季和夏季中太平洋海表溫度的貢獻約為 50%，夏季印度洋海表溫度的貢獻約為 10%，內部大氣變率的貢獻為 40%。
- 對於西北太平洋副熱帶高壓變率，冬春季和夏季中太平洋海表溫度的貢獻約為 25%，夏季印度洋海表溫度的貢獻約為 10%，內部大氣變率的貢獻約為 65%。

結果表明，中太平洋和印度洋海表溫度會影響西北太平洋副熱帶高壓。首先，冬春季太平洋的厄爾尼諾現象會導致印度洋夏季增溫。其次，夏季中太平洋的冷卻會引發高層對流層非絕熱冷卻，產生向西下沉的羅貝斯比波，從而加強西北太平洋副熱帶高壓。此外，夏季印度洋增溫會導致高層對流層非絕熱加熱，產生向東傳播的暖開爾文波進入熱帶西北太平洋，同樣加強副熱帶高壓。最後，與絲綢之路遙相關的內部大氣變率（如羅貝斯比波破碎和上層位渦向南輸送）也會增強西北太平洋副熱帶高壓。

總體而言，內部大氣變率是影響南海夏季風和西北太平洋副熱帶高壓的最主要因素。

關鍵結論：

- 印度洋-太平洋海表溫度和內部大氣變率共同影響南海夏季風和西北太平洋副熱帶高壓的年際變化。
- 內部大氣變率是影響南海夏季風和西北太平洋副熱帶高壓的最重要強迫因子。
- 中太平洋海表溫度對南海夏季風的控制作用強於印度洋海表溫度。



亮點 4 - 圖 1. 南海夏季風異常東風及西北太平洋副熱帶高壓垂直輻散和反氣旋風異常的關鍵驅動機制示意圖。紅色、藍色和綠色箭頭分別表示中太平洋海表溫度、印度洋海表溫度和內部大氣變率引起的風異常，箭頭大小表示相對風異常強度。絲綢之路遙相關觸發的負上層位渦異常與內部大氣變率相關，後者會加強西北太平洋副熱帶高壓

三、論文 (2025 年 07 月 - 2025 年 08 月)

1. Gao, R., Yang, X., Zhang, Q., Yung, C. C. M., He, D., Yin, H. & Li, J. (2025). Polyphosphate Dynamics in Marine Heterotrophic Bacteria Under Phosphorus and Organic Carbon Limitations. *Environmental Microbiology*, 27(8), e70165. <http://doi.org/10.1111/1462-2920.70165>
2. Yu, G., Wang, Y., Wang, Z., and Shi, X.: Exploring the aerosol activation properties in coastal shallow convection using cloud- and particle-resolving models, *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 7527–7542. <http://doi.org/10.5194/acp-25-7527-2025>
3. Du, H., Fei, K. Gao, L.* (2025) Assessing compound flood hazards in the Pearl river Delta: A Scenario-Based Integration of trivariate fluvial

- conditions and extreme storm events, *Journal of Hydrology*, 133104.
<http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133104>
4. Zhao, M., Jiang, X. L., & Huang, B. (2025). STFMamba: Spatiotemporal Satellite Image Fusion Network Based on Visual State Space Model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
<http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2025.07.011>
 5. Liu, T., Yu, G., Kwok, H. Y., Xue, R., He, D., & Liang, W. (2025). Enhancing Tree-Based Machine Learning for Chlorophyll-a Prediction in Coastal Seawater Through Spatiotemporal Feature Integration. *Marine Environmental Research*, 107170.
<http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107170>
 6. Lin, S. and J. Gan*, 2025. Dynamic adjustment of upwelling circulation to conservative waves effects over a steep shelf. *J. Phys. Oceanogr.* JPO-D-24-0154. <http://doi.org/10.1175/JPO-D-24-0154.1>
 7. Chen, X. and J. Gan*, 2025. Nonlinear instability and subthermocline turbulence for western boundary undercurrents, *J. Phys. Oceanogr.* JPO-D-25-0034. <http://doi.org/10.1175/JPO-D-25-0034.1>
 8. Seow, M. X. C., Qiu, B., & Gan, J. (2025). Impacts of Indo-Pacific sea surface temperature versus internal atmospheric variability on the South China Sea summer monsoon. *Geophysical Research Letters*, 52(16), e2025GL117215. <http://doi.org/10.1029/2025GL117215>

9. Lai, W., Gan, J*. On spectral nudging and dynamics to improve representation of marine cloud and precipitation over the China sea in summer. *Theor Appl Climatol* 156, 444 (2025).
<http://doi.org/10.1007/s00704-025-05689-4>