

## 2. 項目簡介

(項目所屬科學技術領域、主要研究內容、發現點、科學價值、同行引用及評價等內容。)

本項目成果涵蓋多個學科領域，主要包括行星物理學 [1606040]，計算流體力學 [1302564]以及遙感地質學 [1705067]。

行星的表面特徵和內部結構是了解太陽系行星形成與演化的重要依據；而巨行星的形成過程以及內部結構又是了解太陽系演化的關鍵環節。根據衛星遙感觀測，結合數值模擬方法，本項目對月球、小行星以及巨行星的表面特徵、撞擊歷史、內部結構進行了系統研究，取得了一系列的科學成果，包括：(1) 首次系統研究撞擊天體在月球表面的增生比值，結合月球樣品中強親鐵元素含量分布，再現月球後期增生歷史，揭示了地球和月球幔層之間強親鐵元素含量巨大差異的成因；(2) 通過數值模擬方法，結合衛星遙感觀測數據，系統研究月球早期巨型撞擊事件的過程，提出月球正面-背面在物質成分月殼厚度、以及地形不對稱分布的巨型撞擊成因；(3) 系統研究了圖塔蒂斯 (4179) 的表面撞擊特徵，結合撞擊坑成坑機制數值模擬，揭示了圖塔蒂斯內部碎石堆的結構，提出兩顆小行星低速黏合形成圖塔蒂斯不規則結構的過程；(4) 利用極大規模並行三維有限元演算法開發了不規則形狀、複雜氣體狀態方程、任意自轉角速度和分子氫層記憶體在流體運動條件下的巨行星內部結構模型；(5) 在旋轉岩石行星液核內發現一系列全新的非線性對流動力學形態。

這些新的科學發現價值表現在 (1)系統了解了月球經受外來天體撞擊時的物質添加過程，解決了地球與月球幔層中強親鐵元素含量差異的成因，重新認識了月球和地球的後期增生過程，為其他類地行星的後期增生過程研究提供重要參考；(2) 分別從撞擊概率和撞擊過程角度，證明了月球正面低窪地區撞擊成因的可能性，揭示了月球正面-背面不對稱性的成因，對類地行星（如火星）早期巨型撞擊事件的研究提供了堅實基礎；(3) 驗證了小行星鬆散的碎石堆結構，為研究太陽系小行星的形成與演化過程提供了關鍵性認識；(4) 對 Juno 和 Cassini 探測數據解讀作出的不可替代的貢獻；(5) 面向我國未來的巨行星探測計畫，依據物理模型的特徵和能力凝煉可行的科學目標和探測路線建議。

上述研究成果，得到了國際月球與行星科學界的高度認可，所有科學發現均得到評審專家及同行的正面評價。這些成果發表時間不長，但均有良好的引用記錄，合計被引用一百餘次。其中，有關月球演化的後期增生歷史，於 2019 年 7 月發表在《Nature》雜誌上，引起國際同行的高度評價。加州大學聖地牙哥分校的行星化學家 James Day 在《Nature》同期發表“視角”論文，積極評價該項科研成果的重要性，認為該工作將毫無疑問地提高大家了解其它類地行星（如火星）的演化過程。此外，發表在《Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America》上關於巨行星內部結構的研究，也引起國際同行的積極評價；因在巨行星內部結構等研究上的突出成就，申請人 Keke Zhang 教授受《Annual Review of Earth and Planetary Sciences》期刊邀請，撰寫關於巨行星形狀、內部結構的綜述論文，引起行星科學界的高度關注。

本項目共培養碩士研究生 2 名（席翔宇，林嘉明），博士研究生 3 名（謝明剛，席翔宇，林嘉明），博士後 2 名（張鋒，張迅與）。

本項目申請 2020 年度澳門自然科學一等獎。

(字數不超過 1200 字)