
地质地球所等揭示火星地幔是活动的

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18413.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近年来，国际上实施了InSight火星探测计划（Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport，地震、大地测量和热传导内部探测）。2018年11月26日，搭载火星地震仪SEIS的InSight火星探测器登陆火星赤道附近的埃律西昂平原（Elysium Planitia）；2019年2月底，通过机械手臂完成SEIS的地表布设任务。火星地震仪SEIS有三个宽频带传感器和三个短周期传感器，每天可发回约38 MB的火星地震（以下简称火星震）记录数据。SEIS的科学目标是探测火星内部的地震活动性、约束火星内部结构、物质成分及动力学过程。较地球而言，火星的地震活动性很弱，火星地震仪SEIS自2019年2月记录到40余个低频的地震事件，但多数火星震事件的信噪比很低，无法清晰识别地震相的到时。InSight团队利用若干个较高信噪比的火星震事件探究了火星的壳-幔-核结构，但未回答人们更关注的火星地幔是否对流或活动这一科学问题。

中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理院重点实验室研究员孙伟家及澳大利亚科研人员，探测了火星相似地震（相似地震是指在同一位置或相近位置发生的地震，通常其成因相同），综合分析和研判地震、月震、潮汐、数值模拟、撞击坑年龄及陨石化学等多种因素或证据，揭示了现今火星地幔是流动的（mobile）或动力学活动的（dynamically active）。

图1A中蓝色三角为InSight着陆地点以及火星地震仪布设位置，黑色五角星表示S0173a和S0235b两个最清晰火星震事件（其波形见图1B、C）的大致位置。这两个火星地震事件位于科柏洛斯槽沟（Cerberus Fossae），该地区有数条狭长的裂缝，并伴有较大规模的滑坡。根据滑坡引起滚石滚动留下的痕迹，前人研究推测火星上曾发生7.5级火星震。科柏洛斯槽沟（Cerberus Fossae）年龄约20 Ma，相较火星约45亿年的历史而言非常年轻，切割了有火成岩分布的埃律西昂平原，断层的垂直断距可达500米。该地区西北侧数百公里即为火星两大地幔柱之一的埃律西昂火山（Elysium Mons），是火星埃律西昂平原上的盾状火山，高出火星大地水准面14127米。

火星上地震活动性不如地球上的活跃，自2018年火星震观测迄今波形质量最好的两个火星震事件（图1B、C）的震级均为3.6级，距离火星地震台站InSight的距离约为1500-1700千米。由于火星地震活动性弱以及白天风的噪声较强等因素，依靠传统地震识别方法可以识别的火星震数量较为有限，识别的火星震多在安静的火星夜晚。截止2019年9月底，共识别出与这两个火星震事件同类型的事件24个，其中9个具有标志性信息（可识别的火星地震震相到时）。

在前期利用月球月震事件研究检测火星震的可行性的基础上，研究利用模板匹配方法在连续波形中搜寻新的火星震事件。研究将这9个火星震标志性信息涉及的波形序列片段与火星地震仪记录的连续波形进行比对，若比对成功后者即可被认为是新的火星震事件，这基于二者是同源的，即这些火星震事件的位置和成因过程均相同或相近。实际上，该方法被较广泛用于检测地球上大地震之后小震级的余震事件。

图2展示新发现的火星震事件比对过程的两个例子，分别以S0173a和S0235b为模板，图2C-D与图2G-H中红色实线为具有标志性信息的波形序列片段，黑色实线是连续的波形，图2A-B与图2E-F中红色虚线为匹配成功与否的标准，即红色虚线之上为匹配成功。

该研究发现了47个新的火星震事件（图3），约90%以上的匹配来自S0173a和S0235b两个最清晰火星震事件，且昼夜发生。这些检测到的事件通常与模板事件发生在相同位置或相近位置。匹配S0173a事件的火星震数量为11个，匹配S0235b事件的火星震有34个，这或说明火星内部结构和构造应力非常不均一。这一类型的火星震事件具有三个明显特点，即频率低、震源位于火星地幔内、重复发生。

上述探测到的重复或相似的火星震是否具有火星内部结构与过程上的指示意义？研究运用比较行星学方法，综合研判了月震、潮汐、地震、数值模拟及陨石化学等多种因素或证据，认为火星地幔是活动的。

月球上的深源地震位于月球地幔内部，深度约为500-1000千米，具有明显的周期性，是地球-月球的潮汐引力作用的结果。火星有两个卫星，即火卫一Phobos和火卫二Deimos。现有研究表明火星及其卫星之间亦存在较强的潮汐引力作用。前述火星震事件位于地幔内部，如图3所示，未发现这些火星震事件有较为明显的周期性。

地球上约90%以上的地震位于板块边界，主要是板块运动等构造活动引起的。而火星被认为是单一板块的行星，因而探测其成因可能要从发生在地球板块内部10%的板内地震得到启示，地球上板内地震的主要原因是板内火山活动或地下流体迁移。地球上，火山地震发生频繁，有时伴随着火山喷发。与此相似，前述的相似火星震位于埃律西昂平原的埃律西昂火山（Elysium Mons）附近，这些相似的火星震是否由火星的火山或其下方岩浆活动引起的？

夏威夷群岛是火山喷发形成的，其下方存在来自下地幔的热柱（称作地幔柱）。其中冒纳凯阿火山（Mauna Kea）是夏威夷第一大火山，海拔4205米，呈圆锥形，是从水深5998米的太平洋底部耸立起来的，最大高差是10203米。冒纳凯阿火山下方的火山地震存在“深源、低频、重复”等特征。夏威夷深部地幔热柱的结构特征与火山地震的特征均与火星震特征高度相似，即埃律西昂火山（Elysium Mons）下方是火星两大地幔柱之一，且火星震的特征亦是“深源、低频、重复”。这些高度相似的特征为揭开这一类火星震的成因机制提供了解锁相似火星震成因的钥匙。

该研究进一步搜集了陨石化学和数值模拟的证据，均支持上述火星震成因。在非洲西北部被发现的7034/7533火星陨石从化学成分角度指示了原始的和对流的地幔，锆石年龄呈双峰分布（4.3 Ga和1548-299.5 Ma），支持了火星地幔中长期存在岩浆活动。研究认为这一陨石来自火星两个地幔柱区域塔尔西斯（Tharsis）或埃律西昂（Elysium）。如果这块陨石来自埃律西昂，那么，它离火星震区域的距离约为600-1000千米。此外，撞击坑年龄将埃律西昂地区的岩浆活动时间限推到距今约10 Ma，数值模拟结果显示火星地幔内的岩浆活动可以持续至现今。多学科的综合证据则支持了本研究新发现的火星震是火星地幔内部岩浆迁移引起的，即揭示了火星地幔是活动的，动力学过程的示意图如图4所示。

相关研究成果发表在《自然-通讯》（Nature Communications

）上。研究工作得到国家自然科学基金、中科院青年创新促进会、地质地球所重点部署项目等的支持。

[论文链接](#)

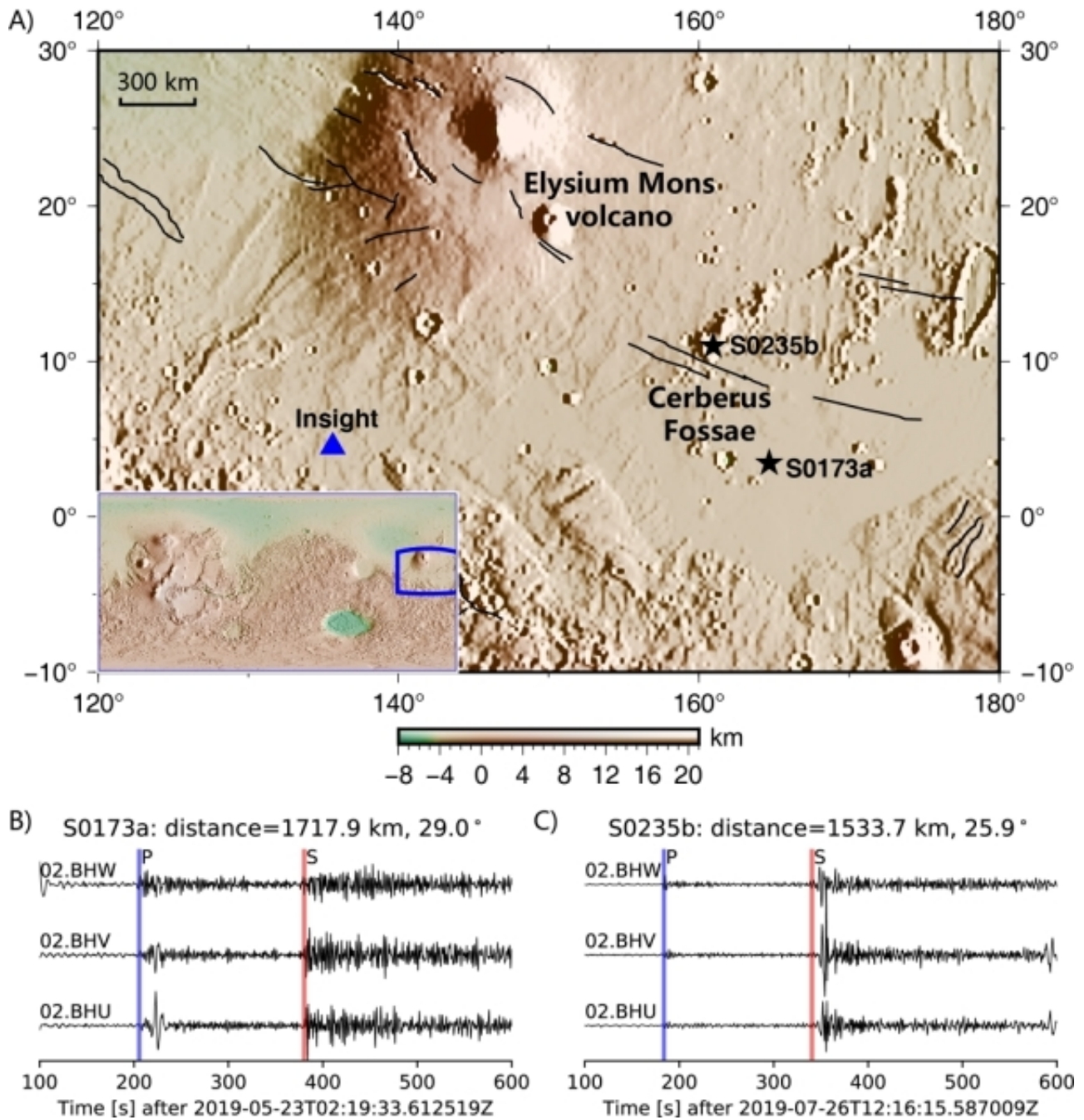


图1. (A) 火星InSight着陆区地质简图。蓝色三角是火星InSight地震仪，黑色为两个清晰火星震事件的位置；(B、C) 火星震S0173a和S0235b两个事件的0.1-0.8Hz带通滤波后的波形，图中给出了两个事件到InSight地震台站的距离，蓝色线和红色线标示了P波和S波震相到时。

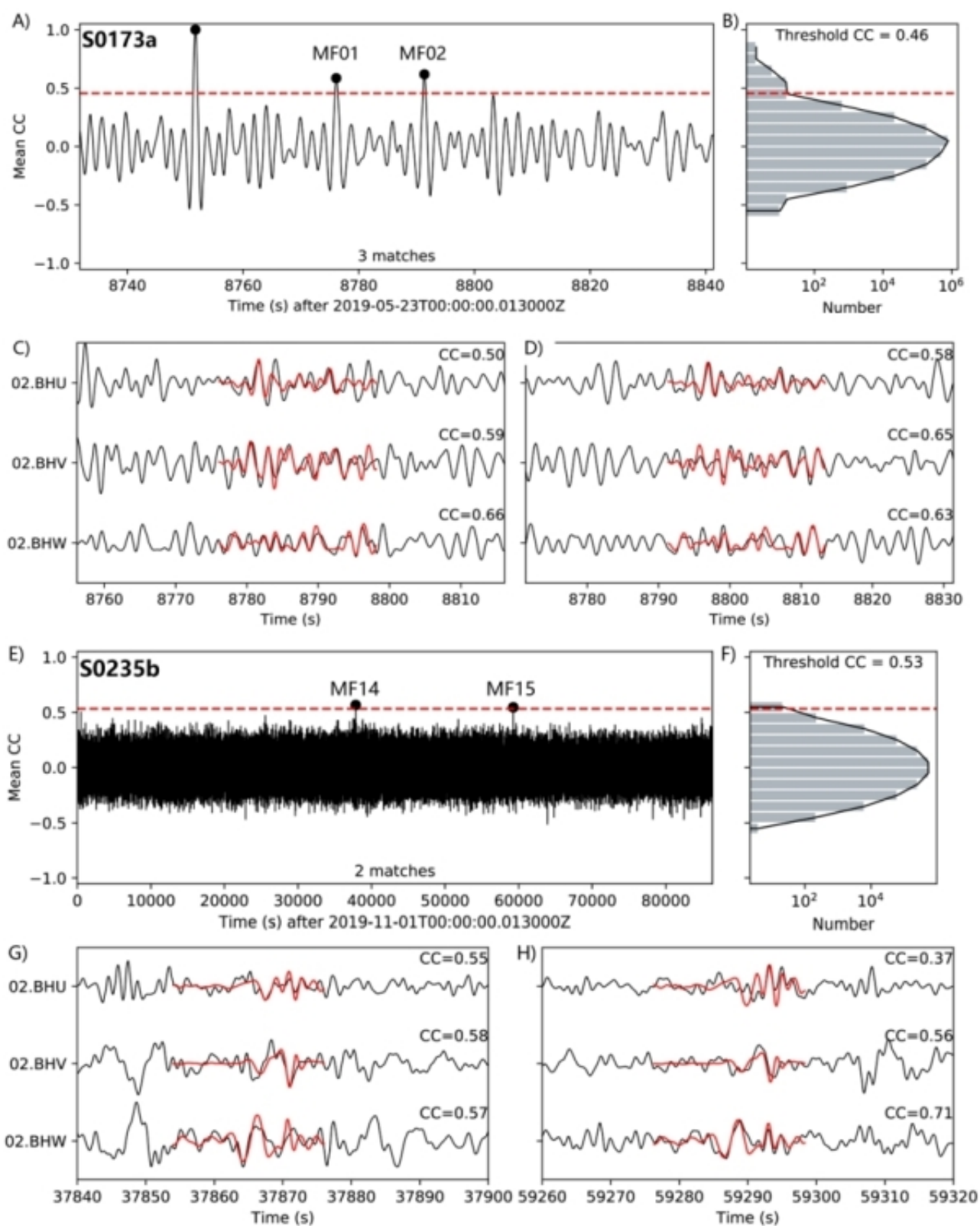


图2.模板匹配发现的新的火星震的例子。图A-D的模板为S0173a火星震事件，图E-H以S0235b火星震事件为模板，图A-B和图E-F中的红色虚线为匹配成功与否的标准，黑线为匹配的相关程度，MF01-MF02和MF14-MF15为探测到的新的火星震事件，其波形匹配如图C-D和图G-H所示，红色实线为含有火星震标志信息的波形序列，黑色实线为连续记录的波形，右上角标示了二者之间的相关系数。

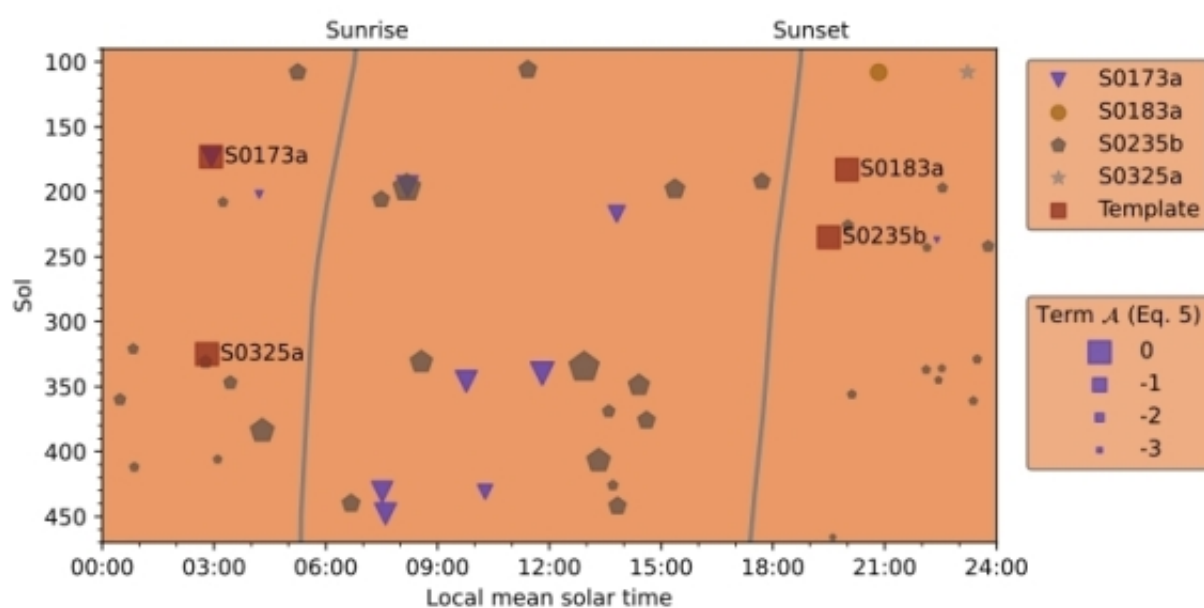


图3.成功匹配的火星震事件的分布，横轴为火星InSight着陆区的当地时间，纵轴为火星日，两条灰色的粗线为火星上日出和日落时间。

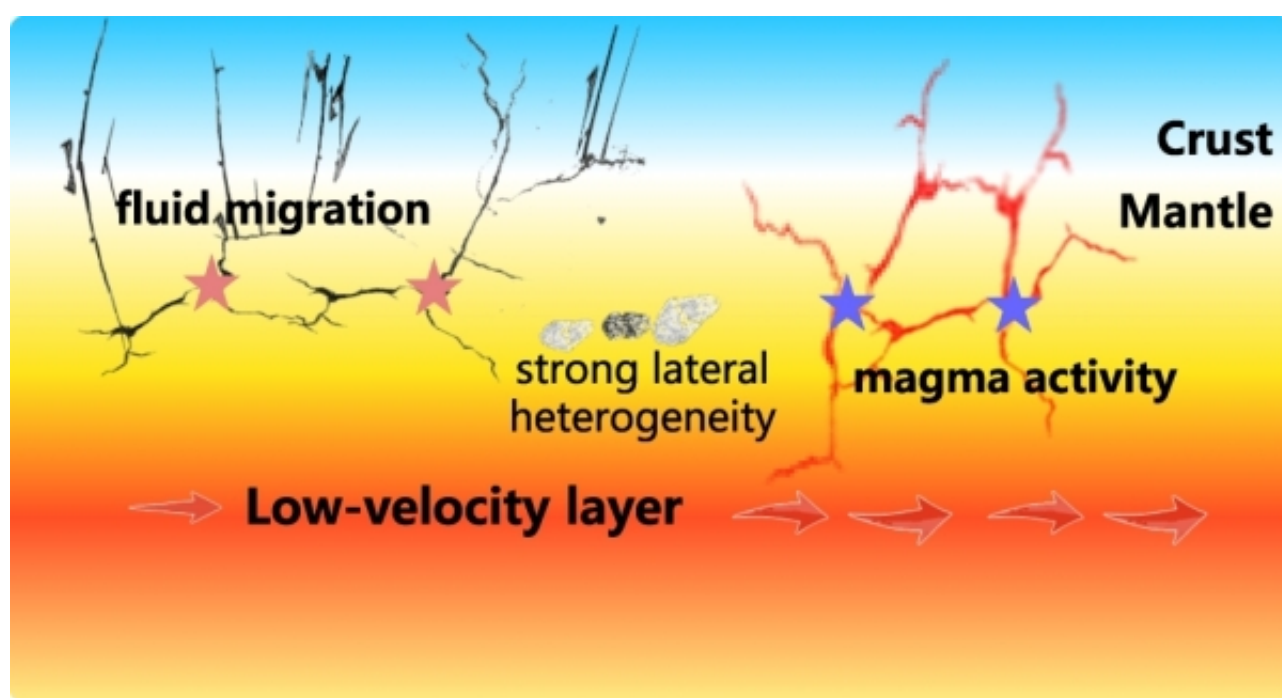


图4.火星内部结构与过程的示意图。

研究团队单位：地质与地球物理研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发