



# “祝融号”探测火星表面磁场

陆全明

中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026

E-mail: [qmlu@ustc.edu.cn](mailto:qmlu@ustc.edu.cn)

## Martian ground magnetic survey by Zhurong Rover

Quanming Lu

School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

E-mail: [qmlu@ustc.edu.cn](mailto:qmlu@ustc.edu.cn)

doi: [10.1360/TB-2023-0698](https://doi.org/10.1360/TB-2023-0698)

火星全球性磁场的消失致使火星大气缺少了一道保护屏障, 大气和水更容易被太阳风携带到行星际空间中, 影响了火星早期生命的宜居环境. 火星岩石剩磁记录着火星磁场的历史信息, 是揭示早期火星液核发电机的状态、火星内部热历史和动力学过程等火星内部物理的窗口<sup>[1]</sup>. 因此, 火星磁场探测对理解火星宜居环境演化过程具有重要的科学意义.

早期对火星岩石剩磁的探测主要有两种手段. 第一种手段是通过卫星搭载的磁强计进行较大尺度磁场结构的测量. 美国航空航天局(NASA)的MGS(Mars Global Survey, 火星全球探勘者号)卫星在其大气减速阶段的近火点高度90 km处发现火星南部高地磁场的强度可达1500 nT, 而在几个大的撞击坑(Hellas, Argyre, Utopia, Isidis)上空没有观测到磁异常信号, 分析结果表明火星曾经具有很强火核发电机产生的全球性磁场, 但是在几大撞击坑形成时期(大约39~41亿年前)消失了<sup>[2]</sup>; 美国NASA的MAVEN(Mars Atmosphere and Volatile Evolution, 火星大气与挥发物演化任务)卫星则对150 km高度处的火星全球矢量磁场进行了测量<sup>[3]</sup>, 发现在早西方纪火星可能存在后期磁场发电机<sup>[4]</sup>. 然而, 由于火星岩石剩磁随着高度增加快速衰减, 在卫星高度难以观测到火星表面的小尺度磁异常结构, 这阻碍了对火星磁场演化过程的深入细致了解. 第二种手段是对火星陨石样品进行古磁学分析, 可以在小到毫米量级的尺度上揭示火星历史磁场的信息. ALH84001火星陨石的古磁学分析发现, 火星在41亿或者39亿年前具有跟当今地球磁场强度相当的全球性磁场<sup>[5]</sup>. 由于缺少大时间跨度的保存完好的火星陨石样品, 所以通过火星陨石样品研究火星磁场演化过程也受到了很大的限制.

NASA发射的火星着陆器“洞察号”(InSight)首次对火星表面的磁场进行了单点观测, 发现其着陆点处的岩石剩磁比基于卫星磁测数据建立的火星磁场模型在该点预测值强约

10倍, 表明表面磁场探测至关重要<sup>[6]</sup>.

我国首次火星探测任务“天问一号”在“祝融号”火星车上搭载了中国科学院地质与地球物理研究所研制的火星表面磁场探测仪, 实现了对火星表面岩石剩磁小尺度结构的探测, 弥补了以往卫星磁场探测的不足<sup>[7,8]</sup>.

“祝融号”火星车于2021年5月15日成功着陆于乌托邦盆地南部边缘, 火星车搭载了两个磁通门磁强计<sup>[7]</sup>, 开启了人类在火星表面的首次磁场巡视测量. 如何在工程可实现的条件下获取高精度表面磁测数据是工程和科学等方面的巨大挑战, 研究团队创新性地利用火星车及桅杆共同旋转的标定方法, 在“天问一号”工程大总体的组织实施下, 对磁强计进行了在轨标定(图1), 实现了火星磁场和火星车干扰场的分离, “祝融号”火星表面多点原位磁场测量的精度达到了~1 nT<sup>[8]</sup>.

“祝融号”携带的磁强计在前1089 m的行驶路径中的观测结果显示, 在火星乌托邦南部地区的“祝融号”巡视区内的平均磁场强度约为10 nT, 并呈现出百米量级的空间变化尺度(图2). 通过和基于90~6000 km卫星观测数据建立的火星磁场模型(L19模型)相比<sup>[9]</sup>, 该磁场强度约为模型预测值的1/10, 这表明火星乌托邦盆地南部地区的磁场极弱.

火星磁场发电机的准确停止时间是目前火星研究焦点问题之一. “祝融号”在乌托邦盆地南侧观测到火星表面极弱磁场表明: (1) 在乌托邦盆地形成过程中, 小天体撞击导致该盆地火壳几乎被完全退磁, 且在冷却过程中, 由于火星没有了全球性磁场, 撞击产生的熔岩未被重新磁化. 这表明火星磁场发电机在乌托邦盆地形成前(约39~41亿年前)确实已经停止了工作; (2) 基于对巡视路径中的隐伏撞击坑的磁场模拟研究, 早西方纪熔岩流也未被重新磁化, 推测火星后期发电机可能在36~37亿年前停止工作. 这项研究成果为研究火星发电机过程和宜居环境演化提供了重要磁场条件约束.

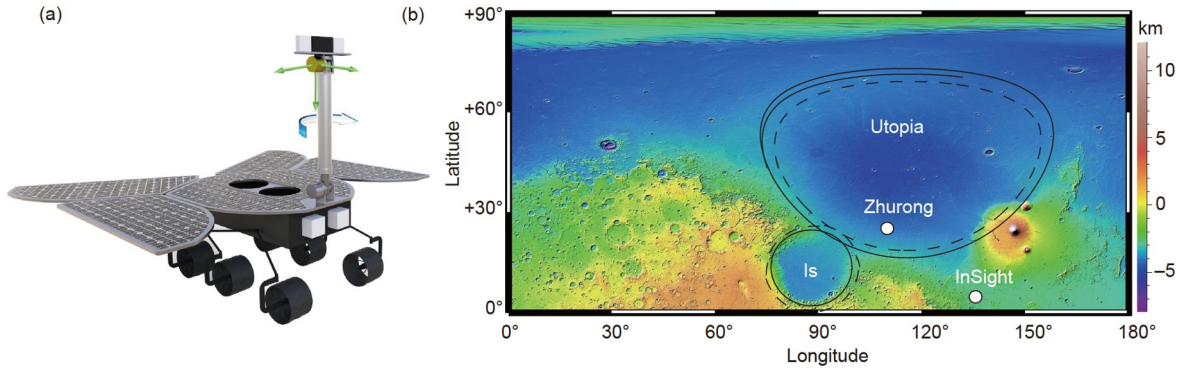


图 1 “祝融号”火星车及相关的火星地形<sup>[8]</sup>. (a) “祝融号”火星车及磁强计的安装位置图; (b) 火星车着陆区乌托邦盆地地形图  
 Figure 1 The Zhurong rover and the related geological context<sup>[8]</sup>. (a) The magnetometer configuration; (b) the topography of the Zhurong’s landing site

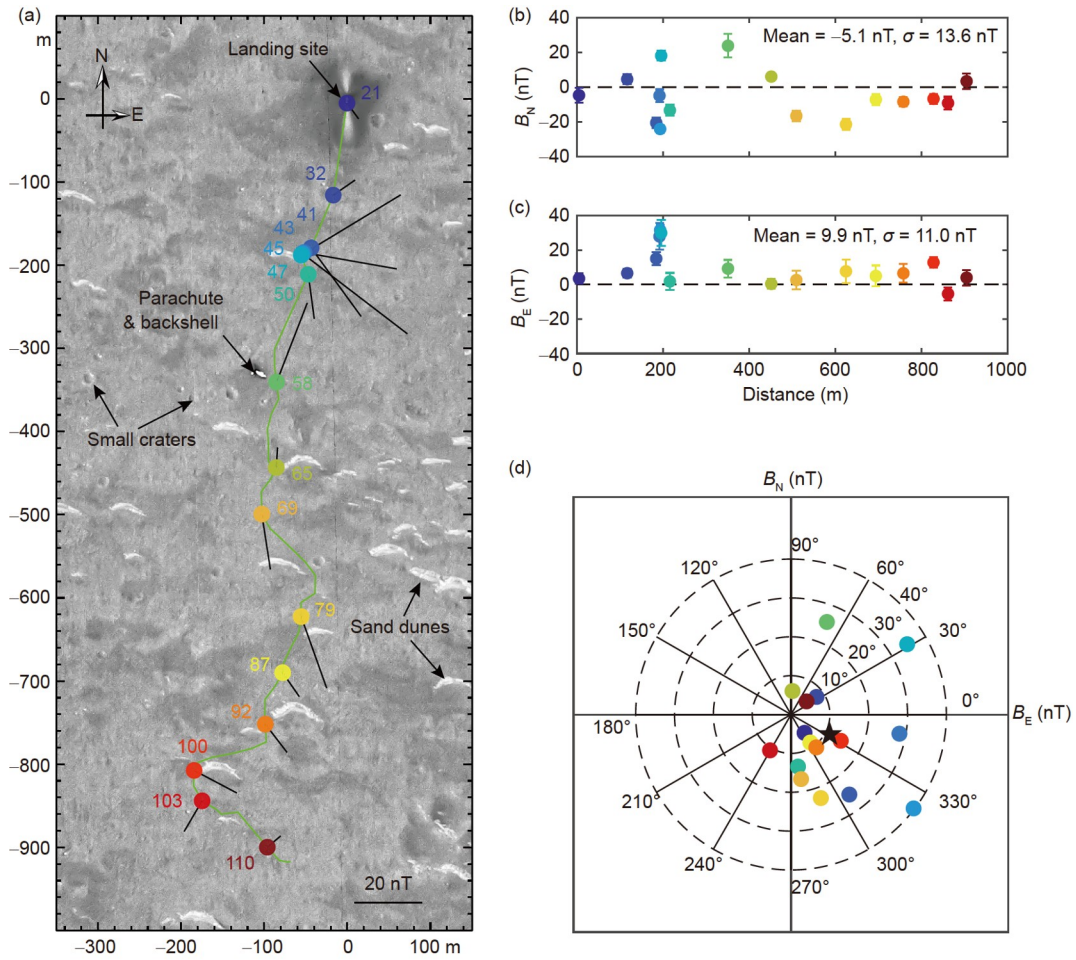


图 2 “祝融号”携带的磁强计在行驶路径上测量到的磁场<sup>[8]</sup>. (a) “祝融号”行驶路径上的磁场水平分量分布, 背景图为“天问一号”高分辨率相机所拍摄. 图中彩色点和数字分别代表进行磁场测量的地点和日期, 黑线是测量到的磁场水平分量. “祝融号”磁强计探测到的(b)磁场南北分量 $B_N$ 和(c)东西分量 $B_E$ 随着着陆点距离的变化. (d) 火星地理坐标系下磁场水平分量的分布, 五角星代表了16次测量值的矢量平均值  
 Figure 2 The magnetic field measured by the magnetometer along the Zhurong traverse<sup>[8]</sup>. (a) The horizontal components of the crustal magnetic field origin at 16 sites along the Zhurong traverse, which is overlaid by an image of surface features from Tianwen-1’s high-resolution imaging camera. Coloured dots and numbers show the locations and the sols of magnetic observations, respectively. Black lines indicate horizontal components of the magnetic vector. (b) The northward and (c) eastward components of magnetic field at 16 observation points in the geographic frame of Mars. (d) The distribution of horizontal components in the geographic frame of Mars, and the black star marks the vector mean of the horizontal magnetic fields at 16 sites

## 参考文献

---

- 1 Stevenson D J. Mars' core and magnetism. *Nature*, 2001, 412: 214–219
- 2 Acuña M H, Connerney J E P, Wasilewski P, et al. Magnetic field of Mars: Summary of results from the aerobraking and mapping orbits. *J Geophys Res*, 2001, 106: 23403–23417
- 3 Connerney J E P, Espley J, Lawton P, et al. The MAVEN magnetic field investigation. *Space Sci Rev*, 2015, 195: 257–291
- 4 Mittelholz A, Johnson C L, Feinberg J M, et al. Timing of the martian dynamo: New constraints for a core field 4.5 and 3.7 Ga ago. *Sci Adv*, 2020, 6: eaba0513
- 5 Weiss B P, Fong L E, Vali H, et al. Paleointensity of the ancient Martian magnetic field. *Geophys Res Lett*, 2008, 35: L23207
- 6 Johnson C L, Mittelholz A, Langlais B, et al. Crustal and time-varying magnetic fields at the InSight landing site on Mars. *Nat Geosci*, 2020, 13: 199–204
- 7 Du A M, Zhang Y, Li H Y, et al. The Chinese Mars ROVER fluxgate magnetometers. *Space Sci Rev*, 2020, 216: 135
- 8 Du A M, Ge Y S, Wang H P, et al. Ground magnetic survey on Mars from the Zhurong rover. *Nat Astron*, 2023, doi: s41550-023-02008-7
- 9 Langlais B, Thébaud E, Houliez A, et al. A new model of the crustal magnetic field of Mars using MGS and MAVEN. *J Geophys Res Planets*, 2019, 124: 1542–1569