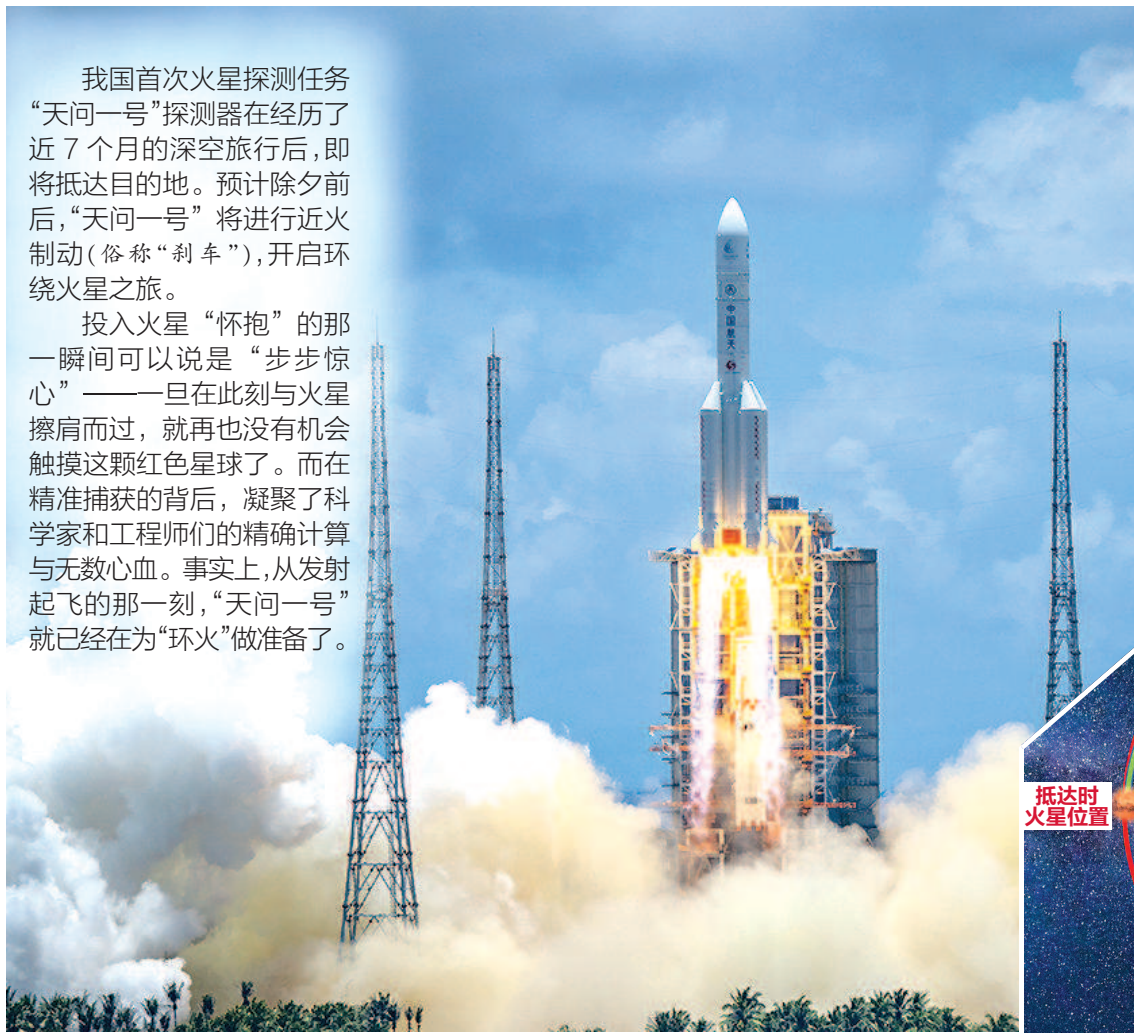


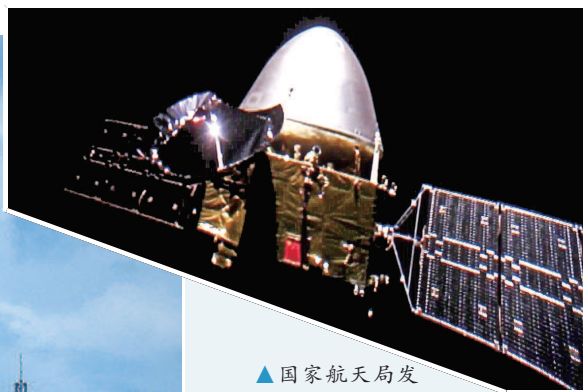
科技  
文摘经过近7个月的飞行,我国首次火星探测任务即将开启“环火”之旅  
“天问一号”被火星捕获有多难

我国首次火星探测任务“天问一号”探测器在经历了近7个月的深空旅行后,即将抵达目的地。预计除夕前后,“天问一号”将进行近火制动(俗称“刹车”),开启环绕火星之旅。

投入火星“怀抱”的那一瞬间可以说是“步步惊心”——一旦在此刻与火星擦肩而过,就再也没有机会触摸这颗红色星球了。而在精准捕获的背后,凝聚了科学家和工程师们的精确计算与无数心血。事实上,从发射起飞的那一刻,“天问一号”就已经在为“环火”做好了。



▲“天问一号”探测器发射升空。新华社发

▲国家航天局发布我国首次火星探测任务“天问一号”探测器飞行图像。新华社发  
▼火星探测霍曼转移轨道示意图。(制图:毛新愿)

■毛新愿

## 探测火星

## 出发需要卡准窗口

太阳居于太阳系的中心,由内向外,地球排第3位,火星紧随其后。地球环绕太阳一周需要约365天,火星则需要约687天。这种“不同步”导致地球和火星之间距离时刻在变化,从5500万千米到4亿千米不等。

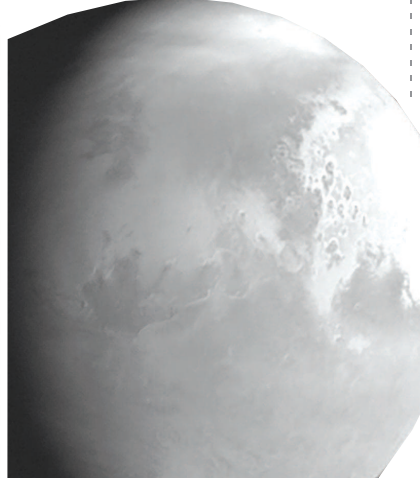
从地球视角来看,火星与地球每隔780天(两年两个月)左右才“会合”一次;在780天内,地球绕太阳运行2周49度角时,恰好超过火星1周,二者相距最近(即火星冲日)。若以照操场跑步打比方的话,相当于780天后,跑在内道的地球恰好“套”了外道的火星一圈。

人类航天虽然经历了数十年发展,但运载火箭依然以利用化学能为主,远达不到科幻电影中无视星际旅行距离“横冲直撞”的设定。故而,火星探测器的发射时间要求很苛刻,必须在每次地球与火星“会合”之前几个月、火星相对于太阳的位置领先地球特定角度的时候出发,瞄准6至11个月之后火星的位置,开启火星探测之旅,这样对火箭运载能力要求最低。

由于每次地球与火星“会合”的机会带来的理想探测窗口仅在一个月左右,探测任务如果赶不上出发,就要等待26个月后的下一次机会。这对于存在设计寿命且有着巨大保管维护成本的探测器而言,代价可能极大,甚至需要重造。

因此,及时抓住发射窗口,就等于提前“预订”了几个月的火星引力捕获机会。2020年7月23日12时41分,我国首次火星探测任务“天问一号”探测器搭乘长征五号遥四火箭,从文昌航天发射场升空,正式开始了火星之旅。

▼国家航天局公布的“天问一号”在距离火星约220万公里处获取的首幅火星图像。新华社发



## 飞行途中

## 精准修正轨道瞄准火星

在实际飞行时,“天问一号”采取一种基于“霍曼转移”优化的从地球到火星轨道,它基本上就是一个和地球轨道、火星轨道相切的半椭圆。理论上,这种方式仅需推进系统在离开地球和火星时两次加速,最为简单和节省能量。然而,在抵达火星轨道时,如果航天器没能及时冲进火星引力主导的范围,就会被太阳巨大的引力重新吸引回来,永远失去探测火星的宝贵机会。

既然人类无法影响火星,为了保证航天器及时被火星捕获,就必须精准调整其状态。因此,在最初规划飞行轨道时,就要精准计算出航天器与火星相遇的时机。

然而,这一切并不容易。一方面,火箭推力强劲,每级都有数台发动机同时工作,尤其是最后一级发动机要经历多次滑行和点火,每一个步骤都可能带来微小偏差,这些偏差累积起来,会使航天器很难达到最理想的人轨精度。另一方面,太阳系内天体众多,“天问一号”受到的各种作用力极为复杂。由于太阳活动强度和空间天气多变,它几乎不可能完全按照预定轨道飞行,必须进行轨道修正和深空机动,才能让“天问一号”与火星按时相遇。

如果把“天问一号”飞往火星比作驾车行驶,或许更容易理解。“天问一号”有一条规划好的线路,这叫预定轨道。但实际情况下,它一定会跑偏一些,所以需要偶尔微调方向盘,让它保持在车道中间,这就是轨道修正,又叫“小修”。同时,这条车道也不是完美的直线,当需要拐弯时,航天器就得更大程度打方向盘,这就是深空机动,也叫“大机动”。

由于长征五号火箭本次入轨精度极高,“天问一号”推进系统表现也非常精准,在飞行过程中,仅进行了一次深空机动和四次轨道修正,比预期的次数要少。2020年10月1日,“天问一号”通过分离测量传感器在深空中自拍,检验自身状态全部工作正常。那天正好是国庆节与中秋节难得一见的同期相遇,这张中国历史上最远最强的超级自拍,为祖国人民送上了最好的祝福:鲜艳的五星红旗在太空深处熠熠生辉。

## 切入轨道

## 投入火星引力怀抱

投入火星怀抱,意味着冲进火星的引力影响范围,正如出发时需要逃离地球影响范围一样。

宇宙中任何一个天体都是引力源。理论上,一个天体的引力影响范围是无限的。但在实际情况中,两个天体总会互相影响,导致各自拥有一

定的引力主导范围。太阳占据了太阳系总质量的99%以上,是太阳系内绝对的引力主导。它会压缩地球等行星的引力主导范围到一个定义为“希尔球”的空间内。例如,地球的希尔球半径约为150万千米,仅相当于地球到太阳平均距离的1%左右。

火星的质量很小,仅相当于地球的10.7%,表面的引力加速度仅为地球的37.9%。所以,它的希尔球被太阳“压缩”得更小,半径仅为约100万千米——理论上,“天问一号”至少需要冲进这个范围,才能被火星捕获。但实际上,它需要至少达到希尔球内部约三分之一位置,才有可能维持相对稳定的轨道。例如,月球就稳定运转在距离地球38万千米的轨道上。所以,“天问一号”投入火星怀抱,实际上对于轨道控制的精度要求会很高。

而且,火星围绕太阳轨道是一个偏心率0.1的椭圆,它与地球的最近距离也是时远时近。它的轨道面与黄道平面(地球围绕太阳运动的轨道面)也存在1.8度的夹角,这使得地球到火星之间的飞行轨道设计更加复杂——最终要冲进这么一个狭小的引力影响范围,谈何容易!

因此,“天问一号”的火星探测之旅大概相当于:让一个人在滑翔机上(运动速度较快的地球)扔(发射)一粒小石子(“天问一号”),在提前很远的位置(发射窗口),中间有风和空气的影响(恒星和行星等各种引力源),经过精准控制(深空机动和轨道修正),准确穿过地面上一辆左右前后运动中(围绕太阳运动轨道倾角不同,火星轨道有较大偏心率)的小汽车(运动速度较慢的火星)天窗(引力影响范围希尔球)后,再掉到司机的水杯里(环绕火星轨道),难度可想而知。

## 制动减速

## 刀尖上起舞的航天技术

进入火星引力影响范围并不是终点。虽然这里已经是火星的世界,但如果以火星为参照,“天问一号”的原本速度加上火星引力加速效果,会使两者的相对速度变得很大,甚至超过火星逃逸速度(能从火星表面永远逃离火星引力的速度,约5千米/秒)。这意味着在不采取任何措施的情况下,“天问一号”会在火星附近完成“惊鸿一瞥”后,随即在自身速度和火星引力作用下,飞向更远的深空。

在人类探测火星的初期,“水手四号”等探测器的飞掠任务就是这种模式:任务周期长达数年,但仅有极短(1天左右)一次接近火星的机会。这是当时航天器无法有效制动减速的无奈之举。因此,飞入火星引力主导范围、达到目标位置后,“天问一号”需要立即制动减速。

在具体操作过程中,通信延时是个很重要的影响因素。在地球附近,航天器与飞控中心双向通信延时以毫秒计,即便到了月球也仅为2秒。而在火星附

近,双向通信延时最短为6分钟,最长可达45分钟,还会存在地球和火星自转造成遮挡、太阳活动和空间天气剧变等因素干扰。这意味着,地球上的飞控中心不可能实时控制“天问一号”完成制动操作,从而需要它在提前装载程序后自主完成这“刀尖上起舞”的减速过程。

制动减速需要消耗推进剂,而“天问一号”的任何一滴推进剂都是无比宝贵的,是重达870吨的长征五号火箭拼尽全力发射、经历了近7个月深空飞行才送抵火星的成果。而且,按照后续的任务规划,“天问一号”的环绕器部分需要长期在火星上空工作,这也需要定期进行轨道维持。如果能最大限度节省推进剂,则意味着能最大限度延长轨道器的总工作时间,这对“天问一号”的工程和科学产出有重大意义。因此,“天问一号”会通过进入环绕火星椭圆轨道的方式最大限度节省推进剂。

## 环绕火星

## 静待最佳着陆时机

人类探测火星60年来,共有四种任务类型:惊鸿一瞥的“飞掠”,登高望远的“环绕”,观天测地的“降落”,自由移动的“巡视”。

其中,“飞掠”仅在早期技术不成熟或其他任务兼而探测火星时使用,另外三种是近年来的主要任务类型。而“天问一号”则将挑战近年来人类探测火星任务的“复杂度之最”——同时完成“环绕”“降落”和“巡视”三大工程目标。

环绕器(轨道器)能长期环绕火星,采集海量数据,全方位研究火星磁场、大气、重力场、水、浅层土壤、地质地貌等,还能起到信号中继作用,服务于降落在火星表面的着陆器和巡视器。着陆器能仔细研究火星表面的各种细节,但由于着陆机构重量和自身能量限制,无法移动和自由巡视。巡视器则可以随处移动,意义不言而喻,它能携带更多科研载荷,从事多地点多方面的精细研究。

被火星捕获之后约3个月的“环火”之旅,将是“天问一号”的环绕器最为忙碌的时间。它需要逐渐开启自身的7个有效载荷,认真研究火星表面的情况,反复确认着陆地点和最佳着陆窗口。一旦确认后,环绕器继续在轨工作,着陆器将从环绕器分离,携带巡视器开启最为艰难的火星着陆之旅。在此新年到来之际,让我们共同期盼“天问一号”任务最辉煌时刻的成功到来。

(作者系航天工程博士、中国航天科普大使)

## 来自火星的“访客”

■张勃

“天问一号”飞抵火星之际,人们不免会问:火星与地球,这对相伴40多亿年的太阳系邻居之间,首次“星际交往”始于何时?很显然,要比人类探测器造访火星早得多。

## 火星先来地球“敲门”

回溯人类航天史,最先到达火星地表的探测器是苏联的“火星2号”。它于1971年11月27日抵达,不幸以坠毁告终。同年12月,苏联“火星3号”再次到达火星表面软着陆后,仅工作20多秒即宣告失联。此后,直到1976年7月20日,美国“海盗1号”才首次成功登陆火星,同年美国“海盗2号”再次成功登陆,相继服役6年后退役。

反观火星,有人类历史记载的相互造访却是这颗红色星球先于地球,只不过前者是太阳系的客观规律,而后者则是人类探索火星的主动行为。最早抵达地球的火星访客不是高等智慧生物,而是岩石。

在太阳系形成的45亿年时间里,有不计其数的小行星撞击过火星,火星上现存的陨石坑就是最好的证据。其中,一些规模巨大的撞击会导致火星岩石摆脱火星引力,进入星际空间流浪。它们中有些运气好的,有可能抵达地球。如果它们能穿越地球大气层,没有在坠落过程中因与大气层摩擦而烧毁,进而成功降落到地面,就会成为我们所见到的火星陨石。

## 人类目击的首位“火星客”

第一颗造访地球的火星陨石在哪里?答案无人知晓,也无从考证。但可以肯定的是,它的造访一定早于人类文明、早于恐龙灭绝,甚至可以追溯到地球诞生之初。或许,直到此刻,它仍然躺在地球某处,也可能早已融入了地球。

进入人类文明,火星陨石的发现史始于19世纪初法国东北部大区香槟阿登的查西尼。1815年10月3日上午10点左右,一颗火流星划过天空,并伴随着类似射击的声音。

当时,正在葡萄园工作的一位农民目击了这一奇怪天象。陨石在空中发生爆炸,他看到一块石头从离他400米远的空中掉了下来。另一名目击者称,看到其它陨石向四面八方散落。

一周后,在距离第一块陨石发现地160米处,人们又发现了第二块个头较大的陨石。这次陨石目击事件的发生地处于查西尼和摩纳哥森林中间一个叫苏普雷莱的地方。一位在兰格里斯的医生皮斯托莱先生闻讯,在陨石陨落两天后抵达。他进行了一次真正意义上的实地调查,同时寻找陨石。

据统计,这次寻获的陨石总量大约4公斤。但随着时光流逝,现在保存下来的几乎不到1公斤。得益于上世纪70年代以来多个火星探测任务的丰硕成果,如今火星的大气成分和火星岩石的数据都较以往丰富了许多。在此基础上,对比查西尼陨石的化验分析数据,科学家最终确定它来自火星——人类历史上第一颗火星陨石就此确认身份。

## 落户中国的最大火星陨石

截至目前,国际陨石学会官方命名的火星陨石数据已有291条。其中,目击火星陨石只有5次,陨落时间和地点分别为1815年法国、1865年印度、1911年埃及、1962年尼日利亚、2011年摩洛哥。其余286次均为发现型火星陨石,陨落时间不详,主要发现于西北非沙漠和南极大陆。这是因为,在单一地貌环境下,肉眼寻找陨石的干扰会大大降低,成功率也会随之上升。

2018年11月末的一天,一位摩洛哥人公布了一块石头。虽然他并非第一发现者,但此人凭借多年经验,令他无意间在邻国马里慧眼识宝。这块石头发现于阿尔及利亚的艾因·萨拉赫沙漠,玻璃质熔壳、定向熔流纹,质量将近7公斤。

得益于中国近年来在陨石科研与收藏领域的国际地位不断提高,这块石头经中国科学院紫金山天文台化验分析后,得到了一个令人惊喜的结果——这是一块二辉橄辉岩火星陨石。

由于中国境内到目前为止并未发现过火星陨石,后经上海一家专业陨石工作室的努力,这块火星陨石成功落户中国。中国科学院紫金山天文台向国际陨石学会命名委员会提交申请,最终该陨石国际命名获批“NWA 13581”。值得一提的是,同时获批的还有另外两块陨石“NWA 13582”月球陨石(重约12公斤)和“NWA 13583”灶神星陨石(重约70公斤)。三块陨石在得到国内外权威认证后,同时登项中国境内火星、月球和灶神星三大已知具体来源的陨石记录之最。

## “火陨”科研价值无可替代

火星陨石分为基本三大类:辉玻无球粒、辉橄无球粒、纯橄无球粒。此外,还有一些特殊类型,比如辉石玄武岩、多岩性角砾岩、斜方辉石等。

诚然,相较欧美而言,真正意义上的顶级陨石收藏,中国还刚刚起步。对于这类博物馆级大质量火星、月球陨石而言,收藏更是寥寥无几。正因如此,陨石在中国的发展空间也很大,而近年来全球近1/3的顶级陨石都已来到中国。这在一定程度上得益于中国经济的快速发展和国际地位的提高。

触摸来自5500万公里外的火星陨石,一下子拉近了火星与人类的距离。火星陨石经历过史诗般的星际征途,其旅行方向或许与火星探测器的返程类似。

这种感觉很奇妙——试想,人类要想从火星上获取一块岩石需要付出多少代价?火箭、飞船、探测器、着陆器、巡视器,还要从火星上成功带一块岩石带回地球。这一去一回的火星往返之旅,时至今日都无法实现。由此,我们就更能理解火星陨石的珍贵——它是自己来的,人类要做的就是地球上找到它。

当然,寻找地外生命的闹剧也曾发生在火星陨石身上。早在上世纪90年代,美国航空航天局的科学家在研究一块名为“ALH 84001”的火星陨石时,曾宣布“发现生命存在的证据”。

这造成了此后长时间的学术争议,现在科学界已基本达成共识——所谓的证据来自地球物质的污染。

然而,正是通过研究火星陨石,我们才逐渐开始认识火星的地质年代和历史,并确信火星上曾经存在过江河湖海。无论如何,火星研究都是星际探索的一大热点,更是人类寻找类地移居行星的试金石。

不过,值得一提的,地球上迄今尚未发现来自另一位近邻水星的陨石。由此展开联想,火星上是否存在来自地球的陨石呢?

(作者系上海市天文学会理事)

▲“NWA 13581”火星陨石  
▲查西尼火星陨石

