

火星缺失的碳酸盐之谜

文 | 中国科学院地球化学研究所 余晓文

按照推论，火星上应该有大量的碳酸盐，但是经过多年的找寻，只是零星的找到一些。火星上的碳酸盐都去哪里了呢？

DOI:10.16611/j.cnki.52-1049/n.2020.08.019

火星的大气以二氧化碳为主。好奇号火星车最新获得的火星大气组成，排前三的组分分别是二氧化碳（96%），氩气（1.93%）和氮气（1.89%）。在地球上，大气中的二氧化碳通过不断与水和岩石反应，转变为碳酸盐保存下来，大气中的二氧化碳也随之减少，才形成了我们现在所呼吸的地球大气。那么，以地球的经验推测，火星大气以二氧化碳为主，在与火星表明水和岩石的作用下，也应该固定了大量碳酸盐。然而，经过几十年不断的寻找，从环绕器、着陆器、火星车和火星陨石中，科学家发现火星碳酸盐不是全球性广泛分布的，而是零星出露在一些局部地区。那么火星究竟有没有产生过大面积的碳酸盐？如果有，现在又去了哪里呢？这些问题对理解火星早期的水环境和气候条件非常重要。

碳酸盐是什么？

要研究火星的碳酸盐，首先要了解地球上的碳酸盐。在地球上，碳酸盐矿物种类多样，有方解石、文石、菱镁矿、白云石、菱铁矿、菱锰矿、菱锌矿、白铅矿、碳酸镧矿和毒重石等等。碳酸盐成因包括原地化学成因、原地生物成因和水流和波浪搬运成因。碳酸盐岩和碳酸盐沉积物从前寒武纪到现代均有产出，分布极广，约占沉积岩总量的1/5~1/4。地球上最广为人知且最为典型的碳酸盐岩建造是喀斯特地貌，在中国广西、贵州、云南、四川等地有大量发育。

碳酸盐岩本身是一种很有价值的矿产。此外，碳酸盐还参与很多矿床的形成。更重要的是，碳酸盐岩是重要的储油岩，全世界50%的石油和天然气储存于碳酸盐岩中。现代沉积物中的碳酸盐主要分布在海岸沉积区、浅水陆棚区和深水盆地区。

火星上也有碳酸盐吗？

对火星碳酸盐的研究历时已久。最早在1996年8月，美国科学家就在火星最古老的陨石ALH84001（41亿年）中发现了碳酸盐。其中，最著名的是沿着辉石和斜长石裂缝分布的板片装块体；不常见的是连贯的半球形小球和包裹细颗粒辉石的小球。关于ALH84001中的碳酸盐起源，有着多种假说，一开始科学界倾向于高温成因，但之后有科学家用理论和实验研究表明，18℃就可以形成与陨石中非常相似的碳酸盐，因此高温假说不成立。但低温实验中涉及低温和水溶液两个条件，如果低温假说要成立，就必须解释火星上水溶液的来源以及导致这些溶液沉积碳酸盐的原因。另一类火星陨石Nakhlites（约13亿年）中也发现了碳酸盐，碳酸盐以热液脉纹状的形式存在。

几个火星着陆点也发现了碳酸盐的踪迹。美国凤凰号着陆器降落在火星北极，在一个叫“邪恶女巫”（Wicked Witch）的表土样品中发现了碳酸钙。美国勇气号火星车在古塞夫撞击坑的一块叫科曼奇（Comanche）的岩石露头中发现了碳酸盐(图

3), 碳酸盐成分占总岩石的26%; 碳酸盐岩的组成与ALH84001中的灰色区域类似。最新的发现是好奇号火星车在盖尔撞击坑的一个风成沉积物样本中测量到富含铁的碳酸盐, 它可能是由富含铁的橄榄石与CO₂大气和短暂的水的相互作用形成的。

通过遥感光谱探测, 2008年在火星表面一个叫尼利·福萨(Nili Forssae)的地区发现了区域性的碳酸盐单元, 厚度约为几十米。之后, 科学家们利用类似的光谱频段在火星的各个区域搜索碳酸盐, 并且在撞击坑、高地和盆地附近发现富含铁镁的碳酸盐。但是大多数被观测到的碳酸盐, 或在撞击坑内或与撞击坑相关, 因此推测它们可能源于撞击引起的热液活动或是较老的蚀变地壳被撞击坑挖掘而暴露在地表。2020美国毅力号火星车即将着陆的耶泽洛撞击坑(Jezero Crater)也分布着碳酸盐, 其中的镁碳酸盐与盆地充填和河流三角洲沉积有关。这些碳酸盐与多种矿物伴生, 例如橄榄石和辉石(大都产于碱性的深部地区)、铁镁绿泥石(常由铁镁矿物在中低温热水条件下变质形成)以及蛇纹石(常形成于中低温热液交代作用)。虽然利用光谱可以通过遥感探测碳酸盐, 但碳酸盐含水、颗粒大小的变化等都会干扰探测结果, 对碳酸盐的探测造成很大困难。目前在火星表面寻找碳酸盐的工作仍在继续。

为什么火星表面缺乏碳酸盐记录呢?

一个假说认为, 火星的碳酸盐主要形成和埋藏在地下, 因此地表出露很少; 碳酸盐与火星大气中

二氧化碳的浓度关系不大, 不能用碳酸盐来估计早期大气中二氧化碳的浓度。另一个假说则认为, 火星环境可能过于酸性, 无法形成大规模碳酸盐沉积; 或者曾经生成过大部分碳酸盐, 在火星全球水环境变酸之后, 被重新溶解破坏掉了。如果后一种假说成立的话, 那火星早期应该有更浓密的大气, 并且全球水环境发生了由中性向酸性的单向转化。然而, 目前在火星上发现了多种产生于碱性环境的碳酸盐伴生矿物, 这两者显然互相矛盾。2006年有学者模拟了过去火星大气中的二氧化碳含量, 认为450毫巴应该是最佳结果。2019年有学者通过缺失存在的碳酸盐丰度重新估算了大气二氧化碳, 认为古火星具有相当含量二氧化碳, 排除了古火星大气二氧化碳少导致碳酸盐缺失的可能性。目前还需要进一步的探测和研究。

除了指示早期大气和水环境, 碳酸盐还是宜居性指示矿物。碳酸盐产出的环境代表着中碱性的温暖(高于14℃)水环境, 这样的环境更适合生命存在。有学者在地球碳酸盐沉积物中发现了类固醇等有机物, 认为类固醇可以是追踪微生物活动的良好替代品, 可能是在火星上寻找生物特征的新颖工具。

目前, 火星碳酸盐的谜团仍旧没有解开。科学家们正在用最先进的仪器、最严谨的实验、最科学的推测, 带领我们一步步解开层层谜团, 揭开火星早期气候环境和火星生命的面纱。

(编辑/高纬时) K