

火星冰盖中的巨量二氧化碳沉积

在 2011 年 6 月出版的 *Physics Today* 杂志上刊登了 Johanna Miller 的文章, 介绍在火星表面探测中的新发现, 表明在火星极地冰盖中储存着巨量的二氧化碳沉积¹⁾。行星的公转轴与自转轴之间的夹角被称为行星的倾角, 这个角度导致了行星表面季节的更替。当前火星倾角为 25° , 与地球倾角的幅度相当。但是与地球不同的是, 由于缺少月球这样的伴星, 火星的倾角会发生大幅度摆动。在十万年这样的时间尺度上, 火星倾角的摆动量可以达到数十度。这对火星极区冰盖的状态产生着巨大影响, 大量的物质升华后再沉积下来, 形成了由层状沉积物叠置起来的极其复杂的结构。过去认为, 这些沉积物主要由水冰组成, 而干冰则仅仅见诸于季节性的霜和很少的厚度为几米的永冻层中。

现在, 来自火星监测轨道器 (mars reconnaissance orbiter, MRO) 的数据揭示, 至少在一个地方存在大量的干冰沉积; 如果这些干冰被全部蒸发, 结果将导致火星表面的大气压加倍。

是二氧化碳还是水

这些数据来自一个名为 SHARAD 的位于火星轨道上的低频遥感雷达²⁾。自 2006 年开始运行以来, SHARAD 一直在针对火星表面以下 1km 厚度的地层以 10m 左右的垂直分辨率进行探测。2008 年, 科罗拉多博尔德西南研究所的 Roger Phillips 开始关注这些雷达数据, 将其应用于研究火星南部冰盖的地质历史。

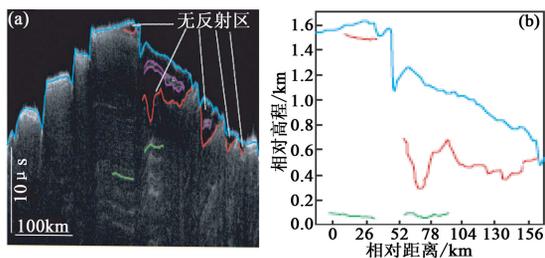


图 1 (a)通过火星监测轨道器搭载的 SHARAD 设备看到的穿过火星南极冰盖的一个切面。其中蓝线表示冰面, 一些次表面反射体用紫色、红色和绿色来标示(见《物理》网刊彩图, 下同); (b)将同一雷达轨道中的一部分转换成高程廓线, 其基础是将位于蓝线和红线之间的 RFZ 确认为干冰

图 1(a)是一幅雷达数据展示的该冰盖的剖面。在一些地方可以很容易看到散布的层化过程, 而其他地方则相当密实。在图片的右上方, 被红线和蓝线包围的是所谓的“无反射区 (reflection-free zone, RFZ)”, 即没有雷达信号从这里反射回来; 其间出现一个由紫色线包围的间断层。Phillips 和同事们找到了 4 个这样的 RFZ。因为图 1 中的这些 RFZ 表现出起伏和陡峭的下边界, 这些研究人员能够使用一种聪明的技巧来确定它们的物质成分。

介质中光波的速度依赖于介质的介电常数, 例如, 水冰和干冰的光波介电常数分别为 3.5 和 2.12。被雷达信号穿过的介质的厚度等于信号传输时间乘以介质中的光波速度。这样

就可以将雷达记录图表中的时间映像成高度。由于下边界的起伏, 错误的介电常数将使得更深处拓扑结构出现不合理的扭曲。例如, RFZ 下表面的一个突起会在更深处的各反射界面上呈现为突起或凹陷。而事实上, 这些界面形成的年代之间跨越上百万年, 相互之间应该是不相干的, 因此各界面的拓扑结构之间也必然是毫无关联的。此外, 在较深处还存在一些非常平滑的界面, 例如图 1 中绿线标示的地方。基于这两个判据, 这些研究人员得到了一个发现, 对应这些 RFZ 的最合理的介电常数介于 2.0—2.2, 与二氧化碳极好地吻合在一起, 与此同时也得到了高程分析结果(见图 1(b))。

为了确定 RFZ 的整体大小, 研究人员将他们的数据与一幅在地面上可以看到的地质分层地图进行了对比。他们发现这些 RFZ 对应一种被命名为 AA3 的地层(AA 中的前一个 A 表示地层年龄, 后面的 A 代表位置)。目前已经知道 AA3 的水平范围, 但其厚度还是未知量。研究人员借助一种“最小曲率”方法, 在他们的数据的基础上, 通过外推来对这个厚度进行估计, 结果表明, RFZ 的体积介于 $10000—12000\text{km}^3$ 。这相当于苏比利尔湖³⁾的大小, 是当前已知的永冻干冰体积的 30 倍。

风暴盛行的湿火星

60 万年以前, 火星的倾角为 35° (过去 100 万年中的最大值), 那时大部分 RFZ 物质似乎在大气中, 使得表面气压被抬升到 6mbar—10.5mbar。巨大的大气压势必意味着风致沙尘的巨增, 由此也改变了火星的地貌。这种增大会特别显著, 因为水的三相点气压正好位于 6mbar 以上(液态水不会发生沸腾的最低气压)。火星的大部分地方应该还是非常冷的, 不能存放长期存在的液态水; 同时在那些不是太冷的地方, 大气会非常干燥, 以至于任何水都会蒸发。

与地球的情况相同, 干燥大气下面的水远比落在沸点的水稳定, 这样就存在一种可能性, 即火星表面大部分区域有稳定的液态水, 进而也可以解释一些特定的现象, 如集水沟和露出的基岩, 他们显示了与水有关的沉积和侵蚀过程的信号。2004 年 4 月出版的 *Physics Today* 杂志第 71 页由 Bruce Jakosky 和 Michael Mellon 撰写的文章指出, 一些集水沟的形成似乎在几百万年前。对此, Phillips 认为当前的研究工作能够引导我们采用新的思路来对火星探测中看到的当前气候进行解释, 也包括表面水驱动过程。

(中国科学院大气物理研究所 陈泽宇 吕达仁 编译自 Johanna Miller. *Physics Today*, 2011, (6): 12, 原文详见 <http://ptonline.aip.org>)

- 1) 在火星两极地区, 二氧化碳以干冰形式出现, 是极区的典型地貌。——译者注
- 2) 这里是一篇介绍 SHARAD 设备的文献: Suares *et al.* *Planetary and Space Science*, 2004, 52:157。——译者注
- 3) 北美大湖区中面积最大的湖泊, 也是全球第二大淡水湖。——译者注