



您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 学术前沿

新闻动态

- 图片新闻
- 头条新闻
- 通知公告
- 学术活动
- 综合新闻
- 科研动态
- 研究亮点
- 学术前沿

## 【前沿报道】Nature Geoscience: Hf-W体系对月球形成时间的启示

2019-09-11 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

硅酸盐月球Hf/W比值的确定对月球W同位素数据解读至关重要。新的实验数据显示硅酸盐月球具有高于硅酸盐地球的Hf/W比值。结合月球W同位素组成推算,月球可能形成于太阳系形成后约50 Myr。

近年来,在关于月球起源的解释中,广为学界所接受的是大碰撞(Giant Impact)假说。大碰撞假说认为:一个火星大小的星体撞击原始地球后,抛射出的外围物质最终聚合形成了月球。然而,月球形成的时间却存在争议。一些学者认为月球形成的时间很早,大约在太阳系形成后的30至100 Myr之间;另一些学者则认为直到太阳系形成以后的200 Myr,月球才形成。<sup>182</sup>Hf-<sup>182</sup>W放射性衰变体系半衰期较短,仅8.9 Myr,能够为太阳系早期事件的时间和过程提供制约。在<sup>182</sup>Hf未完全灭绝时,随着<sup>182</sup>Hf衰变产生<sup>182</sup>W,具有不同Hf/W比值的源区将获得不同的W同位素组成。因此,硅酸盐月球(BSM) Hf/W比值的确定对于利用Hf-W体系限定月球形成时间至关重要。

德国科隆大学Maxwell M. Thiemens及其合作者近期在*Nature Geoscience*上发文,报道了他们对月球主要岩石单元(低Ti玄武岩、高Ti玄武岩、斜长岩和克里普岩)的W、Th、U及其它高场强元素(HFSEs)含量的测量结果。其中,低Ti玄武岩的Hf/W和U/W比值较为集中。低Ti玄武岩U/W比值变化范围为1.5-2.5, Hf/W比值变化范围为30-50。文章认为低Ti玄武岩的Hf/W和U/W比值能够代表其源区特征。原因是:首先,低Ti玄武岩的源区没有KREEP组分的加入,基本不含有富Ti氧化物及金属。从而避免了W与U、Th及其它HFSEs的分馏。其次,相对于高Ti玄武岩,低Ti玄武岩岩浆形成时的部分熔融程度更高,因而Hf/W和U/W比值更接近于其源区。由于在还原条件下的月球岩浆洋结晶过程中,W相较于Hf和U更容易被保留在低Ti玄武岩的源区中。低Ti玄武岩源区的Hf/W比值因而被认为能够代表月球岩浆洋乃至硅酸盐月球Hf/W比值的的最小估算。低Ti玄武岩的Hf/W比值范围为30.2-48.5。这一值比之前对硅酸盐月球Hf/W比值的估算值要高,亦高于硅酸盐地球的Hf/W比值。

作者将硅酸盐地球与硅酸盐月球Hf/W比值的差别归因于月核的形成,认为大碰撞后月球具有与硅酸盐地球相同的Hf/W比值,此后月核(根据月震研究,月核质量占全月1-3%; Weber et al., 2011)的形成带走了大量亲铁元素W,使得硅酸盐月球中的Hf/W比值上升。文章对此做了质量平衡计算(图1),计算结果表明这一解释是可行的。当W的金属相-硅酸盐相分配系数为60时,1.5%月球质量大小的月核的形成就能产生所测得的硅酸盐月球的Hf/W比值(30至50)。当月核质量为3%月球质量时,所需要的W的金属相-硅酸盐相分配系数可以低至30。

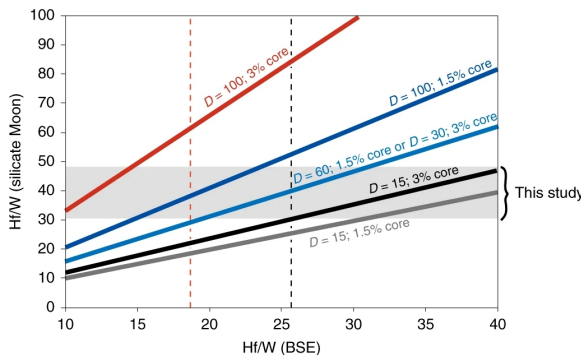


图1 月核形成对硅酸盐月球Hf/W比值的影响。假设月球整体具有与整体硅酸盐地球(BSE)相同的Hf/W比值。灰色阴影部分为本研究获得的对硅酸盐月球Hf/W比值的的最小估计值。虚线为对硅酸盐地球Hf/W比值的两种估算值(Ko? nig et al., 2011; Newsom et al., 1996)

如果硅酸盐月球与硅酸盐地球Hf/W比值的差异来源于月核的形成,且硅酸盐月球与硅酸盐地球W同位素组成差异是由具有相对高Hf/W比值的硅酸盐月球的<sup>182</sup>Hf衰变形成的。则根据硅酸盐月球Hf/W比值及其W同位素组成可以推算出月球的形成时间为太阳系形成后的40-60 Myr(图2)。硅酸

盐月球Hf/W比值越高，计算得到的月球形成时间越晚。这一年龄范围与前人通过锆石Lu-Hf体系获得的模式年龄一致（4.51 Ga; Barboni et al., 2017）。

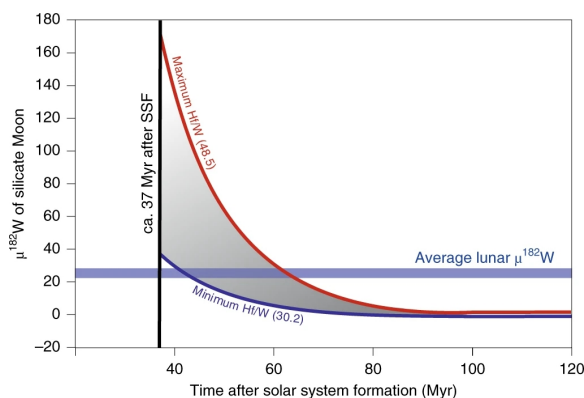


图2 月球形成时间和硅酸盐月球Hf/W比值与月球 $\mu^{182}\text{W}$ 同位素组成的关系。月球 $\mu^{182}\text{W}$ 同位素组成数据（校正宇宙射线效应后的 $\mu^{182}\text{W}$ 值）来自Kruijer and Kleine (2017)。演化曲线起始时间为37 Myr，是地球成核的两阶段W模式年龄（Ko? nig et al., 2011）

值得注意的是，此前也有学者将月球岩石高于BSE的 $\mu^{182}\text{W}$ 值解释为月球遭受到的后增生作用与地球不成比例，即后期添加的低 $\mu^{182}\text{W}$ 物质对月球 $\mu^{182}\text{W}$ 同位素组成改变较小，而硅酸盐地球 $\mu^{182}\text{W}$ 值则因更多地外物质的添加而降低（Kruijer et al., 2015; Touboul et al., 2015）。如果后增生作用是地月 $\mu^{182}\text{W}$ 同位素组成差异的主因，则月球可以在 $^{182}\text{Hf}$ 完全灭绝之后形成。

#### 主要参考文献

Barboni M, Boehnke P, Keller B, et al. Early formation of the Moon 4.51 billion years ago[J]. *Science Advances*, 2017, 3(1): e1602365. (原文链接)

Ko? nig S, Münker C, Hohl S, et al. The Earth' s tungsten budget during mantle melting and crust formation[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2011, 75(8): 2119-2136. (原文链接)

Kruijer T S, Kleine T, Fischer-Godde M, et al. Lunar tungsten isotopic evidence for the late veneer[J]. *Nature*, 2015, 520(7548): 534-537. (原文链接)

Kruijer T S, Kleine T. Tungsten isotopes and the origin of the Moon[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2017, 475: 15-24. (原文链接)

Newsom H E, Sims K W W, Noll Jr P D, et al. The depletion of tungsten in the bulk silicate earth: constraints on core formation[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60(7): 1155-1169. (原文链接)

Thiemens M M, Sprung P, Fonseca R O C, et al. Early Moon formation inferred from hafnium - tungsten systematics[J]. *Nature Geoscience*, 2019: 1. (原文链接)

Touboul M, Puchtel I S, Walker R J. Tungsten isotopic evidence for disproportional late accretion to the Earth and Moon[J]. *Nature*, 2015, 520(7548): 530-533. (原文链接)

Weber R C, Lin P Y, Garnero E J, et al. Seismic detection of the lunar core[J]. *Science*, 2011, 331(6015): 309-312. (原文链接)

（撰稿：梅清风/佛罗里达州立大学，王浩/岩石圈室）