

专题27: 早期地球的形成与演化

氮、氧同位素体的光化学分馏与Titan大气演化

张思亭¹, 刘耘^{1,2}

1. 中国科学院 地球化学研究所, 月球与行星科学研究中心, 贵阳 550002; 2. 中国科学院 地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002

目前, 尽管我们已经通过 Cassini 得到大量土卫六的大气数据, 但对于土卫六大气的来源与演化仍然存在很多争议。众所周知, 相关同位素比值的研究可以为行星大气的形成和演化条件提供一定的约束, 尤其有助于我们厘清已经发生或目前正在发生的主要的物理和化学过程。分子氮(N_2)是土卫六大气的主要成分, 许多研究也发现一氧化碳分子也是土卫六大气中最主要的光化学产物之一, 但对于它们的起源问题仍然存在争议。因此, 对氮和氧同位素的研究可以让我们更好地了解土卫六大气成分的起源和演化。

Mandt 等(2014)研究了土卫六大气中含氮同位素体中的稳定同位素随时间演化的模型。结果认为, 土卫六大气中的 N_2 是由氨冰转化生成的, 而这些氨冰是在类似彗星形成的条件下在原始太阳星云中形成。研究表明, 确定土卫六大气中特别是 N_2 以及各种含氮物种中的 $^{14}N/^{15}N$ 值非常必要, 它可以对其大气的形成及其随地质时期推移发生的演化过程给予更多的物理和化学限制。然而, 目前为止只有很少的研究对土卫六大气中 $^{14}N/^{15}N$ 的同位素比值进行了研究。Niemann 等(2010)在对土卫六大气中 N_2 的 $^{14}N/^{15}N$ 比值直接检测发现, 在海拔高度 36~41km 时其比值为 167.7 ± 0.6 。Waite 等(2005)在高海拔(1175km 以上)测得 N_2 中 $^{14}N/^{15}N$ 的比值为 180 ± 22 。Mandt 等(2012)发现 N_2 中 $^{14}N/^{15}N$ 值会随海拔高度变化而变化。同时, 许多研究发现土卫六大气中 HCN 与 N_2 中的 $^{14}N/^{15}N$ 比值有很大不同(Marten 等, 2002; Gurwell 等, 2011; Vinatier 等, 2007), 最新探测结果为 72.2 ± 2.2 (Molter 等, 2016)。后来的研究认为, 不同物种之间以及海拔高度不同造成的比值差异可能是由发生光化学分馏导致(Mandt 等, 2012; Luspay-Kuti 等, 2015)。

对于 CO 分子, 许多研究都试图解释其在土卫六大气中的丰度, 但仍然无法区分 CO 的来源(外部来源和内部来源)。此外, 有研究对于大气圈中二氧化碳的相对丰度也进行了观测, 对于其丰度仍然没有很好的理解(Krasnopolsky, 2009; Moreno 等, 2012)。Courtin 等(2011)根据 Alma 对 CO 的观测, 认为 CO 中 $^{16}O/^{18}O$ 的比值为 380 ± 60 , 而 Serigano 等(2016)测得 CO 中最新的 $^{16}O/^{18}O$ 值为 486 ± 22 。Nixon 等(2009)发现, 土卫六大气 CO_2 中 $CO_2/CO^{18}O = 190 \pm 71$ 。这些观察结果表明, CO_2 中的 $^{16}O/^{18}O$ 比可能低于 CO, 而造成这种差异的原因可能是同位素体进行的光化学分馏过程。

本文将采用理论计算方法, 建立可能导致同位素分馏的光化学反应模型, 对土卫六大气中几种含氮同位素体之间以及不同含氧物种之间的同位素分馏进行研究, 从而对土卫六大气的形成和演化进行一定的限制。

第一作者及通信作者简介: 张思亭(1977-), 男, 副研究员, 研究方向: 同位素动力学分馏. E-mail: zhangsiting@mail.gyig.ac.cn