

氧之源

原文作者：

马克·H. 西蒙斯（Mark H. Thiemens），美国加州大学圣迭戈分校化学与生物化学系。



氧为人类探索地质过程提供了价值连城的线索，极大地推进了我们对地球上生命演化的理解。然而在氧身上还隐藏着打开其他一些未

解之谜的钥匙。在本文中，西蒙斯将为您详细阐明。

早在**氧**吧带来的时尚潮流之前，第8号元素就具有了自己的“魔力”。和惰性气体具有填满的电子层类似，**氧**在原子核中同样存在层级。如果核子数量正好填满了特定的数值，原子核将会获得超出结合能以外的额外稳定性，在质子或中子数正好是“幻数”，也即2、8、20、28、50、82或126时，就会出现这种现象。**氧**最常见的同位素 ^{16}O 。具有8个质子和8个中子，因而是具有“双幻数”的原子核。**氧**的丰度正是这一现象的写照：在整个宇宙中，**氧**是第三多的元素，只排在氢和氦之后。

在恒星中，质子和中子通过核合成形成原子核，而四个氦-4原子核则会通过一个两步反应合并成为碳-12——先是两个氦-4形成铍-8，然后再和第三个氦-4发生聚变。然后碳-12会再与下一个氦-4进行核融合，转化为**氧**-16。

氧在元素周期表中位于第二周期VIA族，这是一种具有极高反应活性的非金属原子，能与几乎所有其他元素形成化合物。**氧**在宇宙中的丰度，加上它的化学性质，使它得以参与包括从组建和保护星球（作为硅酸盐材料的一部分，以及形成臭**氧**层）到构成生命（DNA、蛋白质、脂质和碳水化合物），还有新陈代谢（光合作用和呼吸作用）在内的各种过程。地壳、地幔、大气层、地表水，以及生物库——在地球上，**氧**无所不在。将这些**氧**库联系起来的是**氧**交换，而作为主要温室气体的二氧化碳则是这一过程中的重要中介。

氧气漫长而有趣的历史开端，是1773年舍勒在乌普萨拉第一次发现了它，以及两年后普利斯特里在其著作中描述了它。拉瓦锡为确认**氧化**和燃烧过程中**氧**气所扮演的角色做出了主要的贡献——同时他也是**氧**（Oxygen）的定名人：这个名字是由希腊语词根“oxys”（酸）和“-genes”（创造）组成的，因为他认为所有的酸都含有**氧**。**氧**在文明史的各个角落都参与了演出，从能量的产生（无论是通过水循环还是作为通用**氧化**剂）到农作，以及作为织物和陶瓷，还有药物的成分之一。

而如果再往古回溯，**氧**与生命的起源与演化也有着紧密的联系。在前寒武纪，当时的大气**氧**含量要明显低于现在——很可能少于现在的0.1%，但这点很难精确定量。利用多种硫同位素进行的测量表明^[1]，这个低**氧**含量时间段大致存在于27亿~38亿年之前。直到略微晚些时候（22亿~25亿年之前）“大**氧化**事件”^[2]发生之后，大气**氧**含量才骤然提高。这一事件主要归功于蓝藻的活动造成了**氧**的**氧化**价态

变动和在矿物中分布的明显变化，其结果之一便是遍布全球的条带状含铁建造（banded iron formation）的形成。

对氧同位素（ ^{16}O 、 ^{17}O 和 ^{18}O ）比例的测量是解析自然过程的利器。20世纪50年代^[3]^[4]，从尤里（Harold Urey）实验室的研究中派生出了海洋生物碳酸盐分析法，这一方法被用于定量分析地质时间尺度上的海洋温度变化。类似地，利用道尔效应，即大气与水环境之间 ^{16}O 和 ^{18}O 分布的不同，我们可以通过对大气中的氧进行测量，来获得海生与陆生生物在全球光合作用及呼吸作用中的贡献，及其随时间流动而产生的变化。

早在1973年，我们就已经知道，太阳系中最古老的物体——“碳质球粒”陨石中的富钙铝包体——中所含有的氧，其同位素之间的比例与传统的同位素效应^[5]所能产生的结果是相矛盾的。之后的实验表明，这一结果可能是因为受到同位素的光化学自屏蔽影响，或者由依赖于对称性而非传统的质量效应的、可以产生类似的异常同位素分布的化学反应导致的^[6]。然而，就在最近，对起源号探测器收集的太阳风样品的分析表明^[7]，其同位素分布和陨石中的并不相同，而这种太阳风可以反映出太阳系内主要氧储量的同位素构成。

这意味着太阳内的氧同位素分布实际上可能并不能反映陨石和类地行星上最初的同位素分布情况。因而，这种星云中氧最初的构成比例，以及这些天体接下来是如何产出现在我们所见到众多类地行星和陨石的，仍然是一个未解之谜。

^[1] Farquhar, J., Bao, H. & Thiemens, M. H. *Science* 289, 756–758 (2000).

^[2] Holland, H. D. *Geochim. Cosmochim. Acta* 66, 3811–3826 (2002).

^[3] Urey, H. C., Lowenstaam, H. A. & McKinney, C. R. *Bull. Geol. Soc. Am.* 62, 399–416 (1951).

^[4] Epstein, S., Buchsbaum, D., Lowenstaam, H. & Urey, H. C. *Bull. Geol. Soc. Am.* 62, 417–426 (1951).

^[5] Clayton, R. N., Grossman, L. & Mayeda, T. K. *Science* 182, 485–488 (1973).

^[6] Thiemens, M. H. & Heidenreich III, J. E. *Science* 219, 1073–1075 (1983).

^[7] McKeegan, K. D. et al. *Science* 332, 1528–1532 (2011).

氟光普照

原文作者：

赫伯特·W. 罗斯基 (Herbert W. Roesky)，德国哥廷根大学无机化学研究所。