

元素的生生灭灭、地球演化与成岩成矿

——一个新认识的探索

施林道* 姜福芝

(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所, 北京)

提 要: 金属矿床, 是成矿金属元素的集合体。现今金属矿床研究的总体思路是把成矿元素作为永不变化的个体(原子)来研究其如何从地幔中迁出、在地壳里运移富集, 最后在适宜的地质环境中定位成矿。这种研究思想可概称为“元素集散观”、迄今为矿床学家所遵循。然而, 唯元素集散观却是典型的形而上学的观点。本文提出“元素生灭观”并主张只有运用兼容两种成矿观的相辅相成二元观, 才是符合辩证法的、科学的、矿床成生研究的正确思维方法。文中用元素生灭观的元素转换机制解说元素稳定同位素的生成和分布, 地球圈层构造的形成, 地球水圈和气圈成分的演变以及对成岩、成矿和矿床物质成分的促成和制约。

关键词: 矿床研究 元素集散观 元素生灭观

1 问题的提出

当前, 矿床研究趋向3个方面进行, 即成矿物质(元素)来源、运移富集和定位成矿。后两项研究已经达到相当精细程度, 而前项的矿源研究则显得粗略。内生矿床的矿源研究结论总是上地幔(虽然有矿源层或岩的说法, 但追根归底, 成矿元素仍是地幔出身)。于是地幔成了聚宝盆, 要什么有什么! 矿源研究竟是如此千篇一律地简单?! 再追究地幔里各种元素的来源, 则是原始地球脱离太阳时从太阳中带出来的, 除了个别元素有旧的死亡、新的产生外(如U、Th变生Pb), 绝大多数元素在地球漫长地史历程中巍然不变, 任何一种元素既不会变成别种元素, 也不会由别种元素变生。矿床研究的全部内容就是研究成矿元素从地幔上移到地壳, 从分散到集中的过程和机制。这个为当今矿床学家普遍遵循的, 没有考虑元素生灭转换的成矿研究思路, 这里名之为“元素集散观”。本文提出以唯元素集散观作为矿床研究的指导认识论是不全面的, 研究成岩成矿应该运用元素活动二元观即兼容元素集散观和元素生灭观的认识。

2 质疑和论证

2.1 哲学的检验

毛泽东在《矛盾论》(1937)中指出:“形而上学的宇宙观把世界一切事物都看成是永远彼此孤立和不变化的, 即使有变化, 也只是数量的增减和场所的变更……”, 这简直是在为

* 施林道, 男, 1932年出生, 教授级高工, 从事金属矿床地质研究。邮政编码: 100012

唯元素集散观写照! 元素生灭观认为: 任何一种化学元素在其发展(进化)中, 都存在着生和灭两种互相排斥的对立, 而生灭对立又互相关联着, 即对立的统一。也就是一种元素的消失(灭亡)转化为另一种元素的新生, 这是一种符合辩证法的观点。

2.2 同位素的启示

(1) 元素的原子核并非坚不可摧, 原子核内部存在着可变化的内因, 在特定外因作用下, 即使是稳定同位素核, 也可发生核的聚合或分裂, 某一种元素可以转变为另一种元素。

(2) 在同样条件长期作用下, 事物趋向有序变化(量变)。在太阳上, 原子核的 Z (原子序数即质子数) 和 A (原子量) 作有序递增形成元素周期表上几乎所有元素。但同一元素的稳定同位素相对丰度呈无序态(高者奇核达 100%, 低者 He_2^3 只有 0.00013%), 这表明稳定同位素的产生除太阳条件外还有太阳以外的其他条件参与, 而这个条件只能是地球条件。亦即, 地球条件使来自太阳的某些原子核因核转变而消失并使另一些元素有新生核的增加, 从而打乱了太阳上元素稳定同位素相对丰度原本具有的有序态。

2.3 太阳系的信息

(1) 太阳: 为了对比地球与太阳同一元素的丰度差别, 太阳上元素丰度资料(阿列尔, 1963 和戴文赛, 1977) 和地球上元素丰度资料(黎彤, 1975) 分别以 Ne 后元素丰度之和作 100%, 分别计算各个元素在太阳和地球上的丰度相对百分比(%)。

计算表明, 太阳上, $\text{Mg} + \text{Si} + \text{S} = 90\%$, Fe 为 4%。地球上, $\text{Mg} + \text{Si} + \text{S} = 47\%$, Fe 为 46%。S 前奇核(Na、Al、P)地球上略有下降, S 后元素, 大都增高, 除 Fe 剧增 10 余倍外, Ni、Ca、K、Ti、Mn 等元素都有显著增加。对比说明, 大量的 Fe 和其他增量元素应是地球胚胎脱离太阳母体后增生的, 是由减量元素转换新生的。

(2) 行星: 如果继承太阳物质的行星物质自继承以后一成不变, 则行星之间的元素种类和丰度亦应雷同。然而类地行星大密度, 小体积, 具有 Fe-Ni 重球核; 类木行星则小密度, 大体积, 不具 Fe-Ni 球心。两类行星组成物质(元素)上的巨大差异表明它们脱离太阳后有不同的演化发展进程, 亦即行星上应有元素的生灭转换。

3 元素核转换进程探索

3.1 氦形成阶段(第 1 轮)

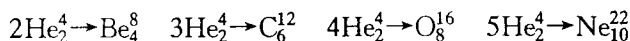
宇宙中元素的形成从最简单的质子(即氢核 H_1^1) 和中子 (n_0^1) 开始, 由 H 到 He (He_2^4) 的形成过程应为: $\text{H}_1^1 + \text{n}_0^1 \rightarrow \text{H}_1^2$ $2\text{H}_1^2 \rightarrow \text{He}_2^4$ $\text{H}_1^2 + \text{H}_1^1 \rightarrow \text{He}_2^3$ $\text{H}_1^2 + \text{n}_0^1 \rightarrow \text{H}_1^3 \xrightarrow{\beta^-} \text{He}_2^3$ ①
 $\text{H}_2^3 + \text{n}_0^1 \rightarrow \text{He}_2^4$

3.2 气态元素形成阶段(第 2 轮)

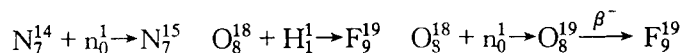
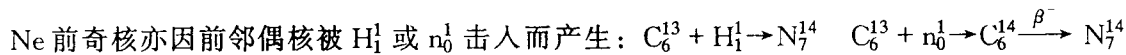
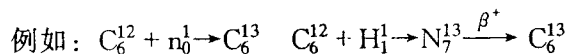
本轮核转换形成 $Z = 3 \sim 10$ 的元素核。由于 H_1^2 和 H_2^3 丰度极低, 由 H_1^2 和 H_2^3 参与核转换的几率将极小。因此, 本轮核转换将由 H_1^1 、 n_0^1 和 He_2^4 参与进行, 而且只有以 H_2^3 自身复核的方式辅以 H_1^1 和 n_0^1 的击入靶核的方式才能获得原子序数 $Z = 3 \sim 10$ 元素同位素的分布及其丰

① H_1^3 为不稳定的放射性同位素核, 通过放射出电子 (β^-) 转换为稳定的同位素 He_2^3

度效应。

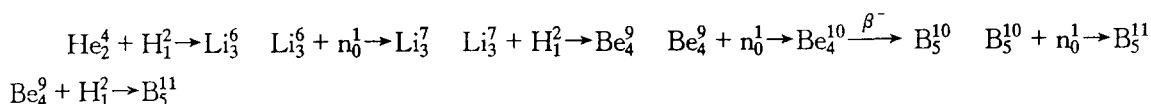


Be_4^8 为不稳定核，它一瞬间仍分离为两个 He_2^4 核而消失。新生核 C_6^{12} 、 O_8^{16} 和 Ne_{10}^{22} 又作为靶核被 H_1^1 或 n_0^1 击入而形成同位素 C_6^{13} 、 O_8^{17} 、 O_8^{18} 、 Ne_{10}^{21} 和 Ne_{10}^{22} 。



因 C_6^{13} 和 O_8^{18} 都为低丰度核，故新生核 F_9^{19} 丰度也很低， N_7^{14} 因有别的核转换方式产出（下详），故保有较高丰度。

依靠 He_2^4 作靶核被 H_1^1 或 n_0^1 击入而形成低 Z 元素核 Li 、 Be 和 B 。

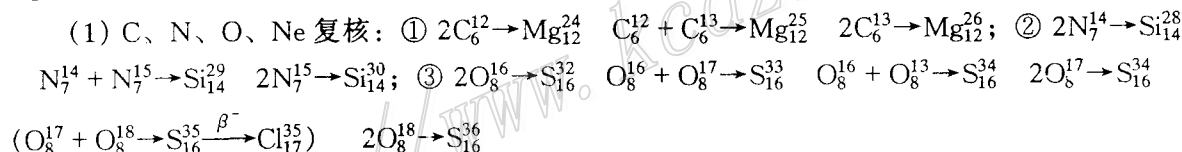


因 H_1^1 丰度极低，故 Li 、 Be 、 B 产出极微。 N_7^{14} 所以有高丰度，依靠 C_6^{12} 和 O_8^{16} 两个相邻高丰度偶核的核转换过程完成： $\text{C}_6^{12} + \text{O}_8^{16} \rightarrow \text{Si}_{14}^{28} \rightarrow 2\text{N}_7^{14}$ 。

本轮核转换结果，产出了高丰度的 C 、 N 、 O 和 Ne ，成为下一轮核转换的主角（母核）。

3.3 造岩元素形成阶段（第 3 轮）

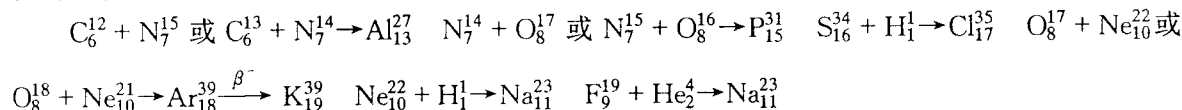
本轮核转换特点为高丰度的 C 、 N 、 O 、 Ne 自身复核、相互间聚合的互核以及新生核受 H_1^1 和 He_2^4 击入等等，形成 $Z=11\sim 20$ 的元素同位素核。



Ne 在太阳上可算高丰度元素（除 H 和 He 外），但在脱离太阳进入地球后，因不能形成化合物而大量向宇宙太空逸失，转而丰度极低的元素，从这里开始，不再对 Ne 的核转换作重点阐释。

新生子核 Mg_{12}^{24} 、 Si_{14}^{28} 、 S_{16}^{32} 继承母核 C_6^{12} 、 N_7^{14} 、 O_8^{16} 的高丰度特点，而其他同位素核也各继承其母核的低丰度特点。

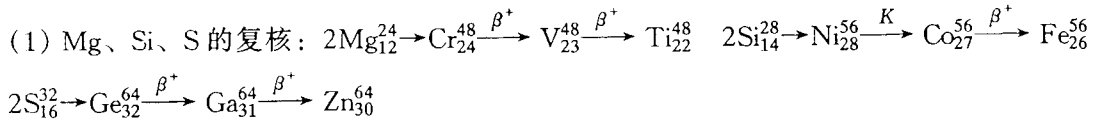
(2) C 、 N 、 O 互核：除了两个高丰度偶核 C_6^{12} 和 O_8^{16} 的互核大大提高 Si_{14}^{28} 的丰度外，其他的互核均形成了低丰度奇核（因聚合的两核中总是有一个低丰度母核）。例如：



由上数例可知，因母核均为丰度很低核，故子核 Na 、 Al 、 P 、 Cl 、 K 等在此轮产出极少，它们要等第 4 轮其他核转换方式中增生而提高丰度值。

3.4 铁族元素形成阶段（第 4 轮）

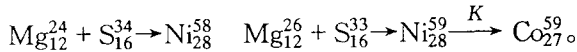
本轮核转换特点为高丰度的 Mg 、 Si 、 S 的复核、互核、新生核再与高丰度的 C 、 N 、 O 间的互核以及新生核受 H_1^1 和 He_2^4 击入等等核转换，形成 $Z=21\sim 30$ 的同位素核。



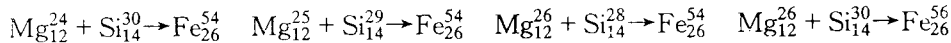
注意：由于 Si 的元素丰度（不论在太阳或地球上）很高，故仅此一式即已造成 Fe 的高丰度。

(2) Mg、Si、S 的互核：形成 Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn 核。高丰度的 Mg_{12}^{24} 与 S_{16}^{32} 互核又提高了 Fe 的丰度值： $\text{Mg}_{12}^{24} + \text{S}_{16}^{32} \rightarrow \text{Ni}_{28}^{56} \xrightarrow{K} \text{Co}_{27}^{56} \xrightarrow{\beta^+} \text{Fe}_{26}^{56}$ 。

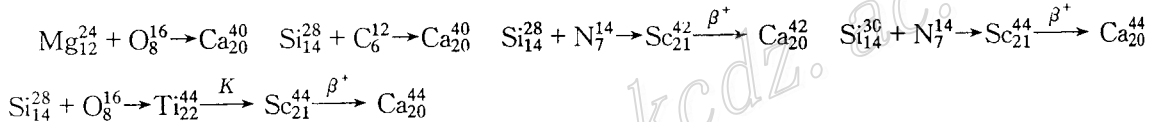
S_{16}^{34} 是低丰度同位素核，它与 Mg_{12}^{24} 的互核核转换产出的 Ni，其丰度显然不能与 Fe 比拟，而 S_{16}^{33} 与 Mg_{12}^{26} ，参与核转换形成 Co 的丰度更低。



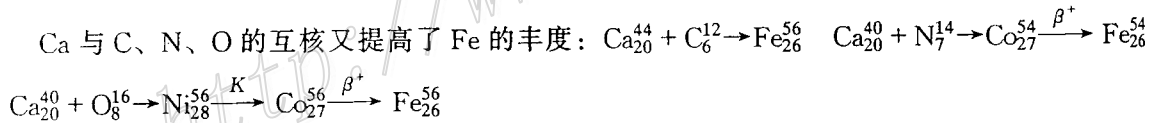
还有多种核转换方式形成 Fe 的同位素，由此可见，地球上 Fe 的高丰度不是偶然的。由于 Fe 的太阳丰度并不太高，也可见，大量的 Fe 是在地球上增生的。



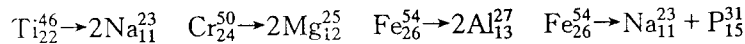
(3) Mg、Si、S 与 C、N、O 的互核：形成由 Cl 至 Zn ($Z = 17 \sim 30$) 多种元素同位素核。择其主要核转换式为例：



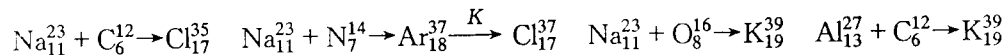
Ca 是仅次于 Fe 的地球丰度增幅较大的元素（由太阳相对丰度百分比 0.17% 增至地球相对丰度百分比 1.33%），这与它产出的多方式不无关系。



第 4 轮的 Ca 后偶核 (Ti、Cr、Fe、Ni、Zn) 开始出现核子中的中子多于质子为稳定核，而各元素的低 A（即中子欠缺）同位素可能因核力平衡性差易于分裂，变为两个或多个新核如：



此外，奇核 Na、Al、P、Cl、K 等积累到一定程度时，也应有机会形成复核、互核和与 C、N、O 间的聚合核。其中对地球演化具有重要影响的为产出 Cl 和 K 的核转换式：



（产出低丰度元素 Sc、Ti、V、Mn、Co、Cu 等核转换式略）

以高丰度元素和高丰度同位素为主体的复核和互核的核转换能够揭示元素及其同位素产生及分布上的诸多奥秘。如偶 Z 元素较奇 Z 元素丰度高；与高丰度偶 Z 元素为邻的奇 Z 元素的丰度相应也增高；具有多种核转换方式且母核为高丰度核的 Fe、Ni、Ca 等元素具有突出或显著的丰度值或增长率；Li、Be、B、F、Sc、V、Co 等因核转换方式单一且母核多为

① Ni_{28}^{56} 为不稳定核，通过 K 层电子俘获形成 Co_{27}^{56} ，仍为不稳定核，再通过放出正电子 β^+ 转换为稳定的 Fe_{26}^{56} 核

低丰度元素或低丰度同位素而产出丰度极低等等。

Zn 后元素因核子内的中子越来越多于质子而不能仅依靠简单的复核和互核的核转换方式产生，第 5…… n 轮的核转换式有待继续探索。

4 元素的生生灭灭与地球演化及成岩

4.1 太阳期元素存在特点及其对地球形成影响

He 是核转换第 1 轮的子核，又是第 2 轮的母核。地球因引力远小于太阳且 He 为惰性单原子态，故地球初始即使有大量 He 也很快基本逃逸离地球。因此，核转换的第 1、第 2 轮应主要在太阳上进行的（地球天文期初始可能有短暂的以 He 为母核的第 2 轮核转换）。

第 3 轮的造岩元素（ $Z=11\sim 20$ ）中，Mg、Si 和 S 的地球丰度远低于太阳丰度，它们显然主要是在太阳上产生的，但也不排除有少量在地球天文期时续生，因为地球天文期的环境条件与太阳期接近，Na、Al 和 P 的地球丰度略低于太阳丰度，由于它们既作为上一轮的子核而积累，又作为下一轮的母核而消耗。因此，它们应该一部分形成于太阳上，另一部分产出于地球上。Cl、K 和 Ca 的地球丰度远高于太阳丰度，无疑，这 3 个元素的主体部分应是在地球上形成的。

第 4 轮的铁族元素（ $Z=21\sim 30$ ）虽然在太阳上都有存在，但 Ti、Mn、Fe、Ni 的地球丰度都高于太阳丰度，尤其是 Fe，从太阳丰度的 4% 跃增至 46%，显然，Fe 主要是在地球上形成的。

太阳给予地球以大量的 H 和 He，丰富的 C、N、O、Ne，多量的 Mg、Si、S 和少量的 Fe、Ni、Al、Na。除了 He、Ne 在地球上没有都留住外，上列各元素及其在地球上的核转换产物，构成了早期地球的物质基础。

4.2 地球天文期元素核转换特征及原始地球的形成

地球天文期界定时限的上限为地球年龄 46 亿年前，下限不明，估计地球天文期应延续 10 亿年以上。此期核转换的最大特点是高丰度的 Mg、Si、S 核聚合形成 Fe 核和 Ni 核。大部分的 Fe 核携同 Ni 核并夹杂少量 Si、S、Mg 核沉集于地心形成 Fe-Ni 地核。未进入地核的 Fe 和 Mg、Si 等元素转入熔融态并在中晚期于地核外缘形成固态圈，开始了初始圈层构造即地幔的形成。地幔物质极为简单，仅有 Fe、Mg、Si 和 O、C、N、H、He、Ne 等气体元素。由太阳中带出的 Al 和 Na 还很稀少，K 和 Ca 更为微少。气体元素向地球最外围“排气”，He 和 Ne 几乎全部和大量 H 逸向宇宙太空（H 因丰度极高，留在地球上仍是大量的）。O 则大量参与 Mg、Fe 硅酸盐矿物的形成，产出由无（少）Na、Al、K、Ca 的 Mg、Fe 硅酸盐矿物组成的超镁铁岩。如由镁铁橄榄石、斜方辉石和镁铁石榴石所组成的斜方辉橄岩、二辉橄岩、斜方辉石岩和榴辉岩等等，即地幔岩的形成。

晚期，Al 和 Ca 已有一定的积累，Na 增长缓慢，按核转换关系，K 的增长受制于 Na，故 K 更少。于是，到地球天文期末叶或地球地质期初始，铝硅酸盐矿物出现，由此引起了地球岩石产出上的第一次大变革，即基性岩出现并从外壳分布上代替上地幔岩性质的超基性岩（超镁铁岩）。

4.3 地球地质期元素核转换特征及地球演化

(1) 太古代: 时限为地球年龄 46 亿年前至 25 亿年前。初始, 地表(上地幔外缘) 基性火山喷发, 大量玄武岩溢流和间夹辉长岩侵入(岩墙), 硅镁层的底部层形式。此时, 因 Na 的不足和 K 的欠缺, 没有酸性岩类。玄武岩因 Na_2O (1%~2%)、 K_2O (0.1%~0.2%) 过低而与晚近地质时代的大陆玄武岩有显著不同 (Na_2O 3%左右、 K_2O 2%左右)。

早期, 地球外缘已有固体外壳, 气圈中的 H 和 O 结合成 H_2O , 在硅镁层上出现水圈。又因氢离子大量进入水体, 推测当时海水应为酸性水。

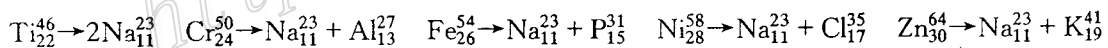
此时地球大气仍以 H 为主, 少量 He、Ne、 CH_4 、 NH_3 、 CO_2 和极少的自由 N、O 原子, 并因地球引力小, H、He、Ne 将快速减少。

晚期(35 亿年前始), Al、Na、K、Cl 显著增量, 地球岩石产出上出现第二次大变革即中、酸性岩出现。最终, 在硅镁层上不均衡地产生了硅铝层。但 K 的增生受制于 Al 和 Na 母核, 所以 K 的增长总是远落后于 Al 和 Na。在成岩中, K 优先被 Fe、Mg 结合而疏远于 Al。所以, 太古代的花岗岩常被称之为“钠质花岗岩”, 岩石缺或少钾长石。但它的 Na_2O 也不高(2%左右), 只因 K_2O 很低(小于 0.5%), 岩石碱元素突出了 Na 而名之。

组成硅铝层的酸性火山岩(熔岩、凝灰岩和沉凝灰岩), 变质后形成以斜长石、石英和黑云母为主体的片麻岩, 也是缺少钾长石。

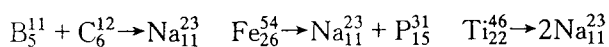
晚太古代开始时, 地球大气已由 H、He 气圈转变为 CO_2 和 N 为主的气圈。海水也因氢含量低和因 Cl 的增生而含 NaCl 增高使酸性水向中性—弱碱性水转变, 由淡水向咸水转变。就在海水处于中性淡水阶段时, 生物萌芽了。此后, 随着生物的进化, CO_2 气圈向 O 气圈演化, 但演化进程非常缓慢, CO_2 气圈将维持到元古代晚期。

(2) 元古代: 大气以 CO_2 为主, 海水中因 H^+ 的减少和 Cl^- 的增加而由中性、淡水向弱碱性、微咸水发展。Na、Al、K、Cl、Ca 都有较大的增长, 尤其是 Na, 增长尤为显著, 因第四轮核转换出现的铁族元素, 它们的每个偶 Z 低 A 稳定同位素核都能裂生 Na_{11}^{23} 。



Na 的突出的积累, 使元古代在岩石产生上发生了第三次大变革, 即一种以钠长石为特征的富钠基性“玄武岩”→细碧岩^①出现, 岩石含 Na_2O 达 5%左右, K_2O 约 0.5%~1%。但此种岩类在空间上并不普遍, 在 Na 积聚较少处仍产出玄武岩, 因元古代 Ca 也已增生达到较丰富的程度。

细碧角斑岩常伴生有丰富的电气石、磷灰石和金红石副矿物, 迄今, 没有伴生必然关系的解释, 用核转换机制却清楚予以说明。在核转换产生新生核 Na_{11}^{23} 时, 必然有“亲属”核的伴同。当钠长石晶出成岩时, “亲属核” B_5^{11} 、 P_{15}^{31} 和 Ti_{22}^{46} 形成了岩石中的副矿物。



CO_2 气圈使水圈必然进入大量 CO_2 , 此时 Ca 核也大量积累。于是, 开阔浅海游离氧相对较高处, CO_2 氧化成 CO_3 与 Mg、Ca 结合形成了白云岩; 而在较深闭塞海盆(海湾)处, 海水缺氧呈还原态时, CO_2 还原为 C 被水底软泥(粉砂质粘土)吸附而形成碳质页岩。厚

① 以前, 岩石学家因此类岩石多见于元古代和早古生代而一度称其为“古相”玄武岩

大、多层的白云岩与黑色页岩（板岩、片岩）互层或间层成为元古代特有的沉积景观。

(3) 显生宙：此时期最突出的是生物的发育与进化，生命活动固定 C（作为生物躯体）而释放 O，又因碳酸盐岩和碳质页岩的广泛沉积生成而大量消耗 CO₂，于是，从晚元古代开始，地球气圈由 CO₂ + N 圈转向 N + O 圈。

新生 Cl 核主靠 Na 核与 C 核的聚合： $\text{Na}_{11}^{23} + \text{C}_6^{12} \rightarrow \text{Cl}_{17}^{35}$ ，在 CO₂ 气圈地史年代时，Cl 核增生显著，导致海水含盐度（NaCl）递增。晚元古代始，CO₂ 气圈转向 N-O 气圈，Cl 核增生剧减、海水含盐度递增缓慢，推测早古生代时海水含盐度与现代海洋含盐度相差不太大。

核转换中，Mg 为母核而 Ca 为子核成消长关系： $\text{Mg}_{12}^{24} + \text{O}_8^{16} \rightarrow \text{Ca}_{20}^{40}$ ，晚元古代时，CO₂ 气圈转向 N-O 气圈，Ca 核大量增生而 Mg 核大量消失，沉积碳酸盐岩由白云岩转变为白云质灰岩再转变为石灰岩（古生代）。

元古代末—古生代初，N-O 气圈的出现和 Na 核的增生，使 Na + O 的聚合几率大增而使新生核 K 剧增： $\text{Na}_{11}^{23} + \text{O}_8^{16} \rightarrow \text{K}_{19}^{39}$ 据黎彤（1975）资料换算成 K/Na 比值，下地幔 1/19，上地幔 1/4，地壳 2/3。早古生代细碧岩与元古代同类岩相比，Na 降 K 升，Na₂O 约 3.5% ~ 4.5%，K₂O 约 1% ~ 2%，且成岩后多有同岩浆钾交代。中生代时细碧岩基本绝迹。

类似的核转换在一个构造岩浆活动中（加里东、华力西或燕山期）也如此发生。来自上地幔岩浆，早期产出低碱（Na）贫 K 富 Fe、Mg 的岩石如辉长岩、闪长岩类。留存岩浆进行 K 核增生，产出富碱富 K 的花岗岩类，最后，在构造岩浆活动晚期（末期）常有高碱 Na、K 并富的碱性岩（正长岩、粗面岩）出现。

5 元素核转换与成矿

(1) 早太古代，酸性海水溶入大量 Fe 和 SiO₂，到晚太古代初（35 亿年前），H-He 气圈转向 CO₂-N 圈，因核转换使 Na、Cl 增量，海水转向中-弱碱性水，Fe 和 SiO₂ 沉淀，形成了全球发育的、具有地史特色的磁铁石英岩层。

(2) 产于前寒武纪及在板块结合的深断裂侧晚近时代的铁矿，常与富钠岩关系密切并有富磷特点，这是铁核发生核转换结果； $\text{Fe}_{26}^{54} \rightarrow \text{Na}_{11}^{23} + \text{P}_{15}^{31}$ 。

(3) 锂、铍矿床与钠长伟晶岩的密切关系是核转换成矿例证，矿床中与绿柱石、锂辉石共生的有钠云母、电气石、萤石等“气成高温”矿物； $\text{Li}_3^7 + \text{O}_8^{16} \rightleftharpoons \text{Na}_{11}^{23}$ $\text{Be}_4^9 + \text{N}_7^{14} \rightleftharpoons \text{Na}_{11}^{23}$ $\text{B}_5^{11} + \text{C}_6^{12} \rightleftharpoons \text{Na}_{11}^{23}$ $\text{F}_9^{19} + \text{He}_2^4 \rightleftharpoons \text{Na}_{11}^{23}$ 。

(4) 内生矿床中有磁铁矿与黄铁矿（磁黄铁矿）共生（邻生、叠生）现象，常规认识难以解释。按元素生灭的核转换观，Fe 核的形成有两种方式。当成矿环境中 Mg、Si、S 均丰富时，Mg + Si 聚合形成磁铁矿，Mg + S 聚合形成硫铁矿。

(5) Ni 与 Cr 矿都产于超镁铁岩中，两者却不共生，原因是出身不同。Cr 核由 Mg、Si 核聚合，形成于无 S 环境；Ni 核由 Mg、S 核聚合，形成于高 S 环境： $\text{Mg}_{12}^{24} + \text{Si}_{14}^{28} \rightarrow \text{Fe}_{26}^{52} \xrightarrow{\beta^+} \text{Mn}_{25}^{52} \xrightarrow{\beta^+} \text{Cr}_{24}^{52}$ $\text{Mg}_{12}^{24} + \text{S}_{16}^{34} \rightarrow \text{Ni}_{28}^{58}$ 。

(6) 海相火山岩型块状硫化物矿床常为 Cu-Zn 型矿床，这是相同元素同位素核转换的结

果： $\text{Si}_{16}^{34} + \text{Si}_{14}^{30} \rightarrow \text{Zn}_{30}^{64}$ $\text{Si}_{16}^{34} + \text{Si}_{14}^{29} \rightarrow \text{Zn}_{30}^{63} \xrightarrow{\beta^+} \text{Cu}_{29}^{63}$ ，一些超基性岩型 Ni-Co 共生矿床也与之类似： $\text{Mg}_{12}^{24} + \text{S}_{16}^{34} \rightarrow \text{Ni}_{28}^{58}$ $\text{Mg}_{12}^{25} + \text{S}_{16}^{34} \rightarrow \text{Ni}_{28}^{59} \xrightarrow{K} \text{Co}_{27}^{59}$ 。

与 Cr、Ni、Co、Cu、Zn 相反，有些元素如 W、Sn、Mo、Sb、Hg 等，都集中在显生宙尤其是中生代和第三纪成矿，显然，它们是当时的新生核成矿的。虽然也有几个前寒武纪的矿床，都规模小，品位低，可能是古老核集聚成矿。

6 元素生灭观前瞻

为追求物质本源，物理学已从原子、核子追到夸克子、还向更深层次追索。对比之下，在追求成矿物质来源上，矿床学始终在同一层次里踏步不前，把一切成岩成矿物质（元素）都归功于上帝（太阳）创造，赐予地球、储藏在地幔里。成矿研究仅限于成矿元素如何从地幔里迁出集中成为矿床，没有深层次的进取追索。矿床学的研究水平只是发现素材、描绘素材和综合素材而不能说明素材！这是唯元素集散观的后果，它束缚了人们的思想，而唯元素集散观的认识根源则是元素热控生因论。元素核聚合必须在千万度超高温条件下才能进行。看来，元素热控核聚变关是元素生灭观面前的厚大障壁！

实践是检验真理的唯一标准。我们可以用核转换的思想和方法去发掘和积累地质事实。一、二次事例可能是偶合，三、五件的事例可能属牵强附会，而多项事实的印证则必然有科学内涵。虽然，核转换的探索本文暂止于 Zn ($Z=30$)，但在说明元素同位素的产生和分布以及地质事实方面已获得本文所述的诸多收益。事实已明显指出元素的生成不限于唯一的太阳热核聚变。既然地质事实表明地球上发生过的元素核聚变不是人们所已知的热核聚变，那它就必定是一种人类还不认识的异常“冷”核聚变。科学无止境，矿床学家不要把自己禁锢在“上帝（太阳）创造一切（元素），地幔储存一切”的认识范畴里。

自本世纪 50 年代以来，国外物理学界已经致力于研究核聚变的多种方式，如磁约束聚变反应；惯性约束聚变反应； μ 子催化冷核聚变。据《国外地质》（成都地院 1975.4）报导，有位法国科学家 C L Kervran，提出生物控制核聚变。他据实验材料提出海水或岩盐中的 Mg、Ca、K、S 等元素，是由海藻或细菌的作用，由 Na 与 H、O 核转换合成的： $\text{Na}_{11}^{23} + \text{H}^1 \rightarrow \text{Mg}_{12}^{24}$ $\text{Mg}_{12}^{24} + \text{C}_8^{16} \rightarrow \text{Ca}_{20}^{40}$ $\text{Na}_{11}^{23} + \text{O}_8^{16} \rightarrow \text{K}_{19}^{39}$ $\text{O}_8^{16} + \text{O}_8^{16} \rightarrow \text{S}_{16}^{32}$ 。

1989 年 3 月，英美两国的两位大学教授据实验成果提出了冷核聚变（常温核聚变），一时间，全球科学界为之轰动，也引起众多的争论质疑。

有了哲学上的鉴别和实践上的支撑，元素生灭观的前面应该存在着一片曙光。但探索的道路将是漫长而艰巨的，因为，Zn 后的高 Z 元素核转换更为复杂、障壁将长期难以逾越，探索中必然存在诸多不成熟的可商榷之处等等。元素生灭观的完善显然不是一、两个人所能完成，它将需要一群人或许几代人的努力，并需要相关学科的进步。

笔者不揣浅薄，抛砖引玉，诚望有志趣学人共研。

参 考 文 献

- 1 中科院贵阳地球化学研究所. 简明地球化学手册. 北京: 科学出版社. 1977, 57~60.
- 2 中科院近代物理研究所等. 核素常用数据表. 北京: 原子能出版社. 1975, 1~92.