

放射性元素集中于上地壳的原因及其地球动力学意义

池顺良

(鹤壁市地震局,河南鹤壁 458000)

摘要:地热学和陨石学的研究都指出,地球上放射性热源浓度随深度指数衰减,但为何会存在这样的分布特征仍是地球科学的谜题。通过地球排气现象的研究指出,正是类地行星及小行星演化中的排气作用,将放射性元素带到了类地行星及小行星的表面;而且演化时间越长的类地行星,深部的放射性元素也越少。目前流行的地球动力学理论是以地球内部的热为根本动力的学说,地球深部放射性热源数量的稀少对“热机动力机制”提出了质疑。由于地球动力学依靠的能源只有地球内部的热和地球自转动能2种,“地球自转动机机制”应更多地被重视和研究。

关键词:放射性元素;地球动力学;地球排气作用。

中图分类号: P54 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)01-0017-04

作者简介:池顺良(1940—),男,高级工程师,1963年毕业于上海同济大学,主要从事钻孔应变仪器研制、地壳应变与应变固体潮观测、大地构造与地球动力学研究。

对地球内部热源及其分布规律的认识在大地构造学史上占有重要的地位。第一种大地构造学说——“冷缩说”的崩溃显然与放射性元素的发现有关。现今流行的大地构造理论——“地幔对流—板块构造说”又是以地球内部的热为根本动力的学说。因此,对地球内部的热源、放射性元素分布规律的研究仍然是现今地球动力学研究的重要问题。

地热学的研究指出:在广大地区进行的热流观测资料,只有放射性热源浓度随深度指数衰减,才能得到解释。铀、钍和钾是主要的放射性热源元素,为何含铀和钍的致密重矿物会违反重力分离的预测向上集中,明显地分离于地幔的紧密堆积之外,而与地壳矿物结合在一起,还是一个未知之谜^[1]。但铁陨石与石陨石中放射性元素含量的巨大差别又旁证了放射性热源浓度随深度指数衰减的现象。

Anderson在《地球的理论》一书中指出:“球粒陨石和太阳物质中的 Al_2O_3 、 CaO 和 Na_2O 含量适于形成厚200 km的地壳,地球上实际没有那样巨

厚的地壳,说明地球没有经历非常有效的分异。另一方面,地核的大小和放射性大离子亲岩元素最终集中于地壳中,说明分异已是相当有效的。……现在我们知道,地球地壳的总体积异常的小,但是它却含有地球不相容元素总量中的大部分^[2]”。地壳物质分异的极不充分与放射性元素已充分集中于地表这一矛盾现象是现今地球科学理论中的又一疑团。

1 地球排气作用导致放射性元素向地表集中

地球的排气作用,为理解玄武岩质岩浆的发生及玄武岩质地壳的形成提供了新思路^[3~6]。地球排气作用,也为理解地球中放射性元素为何集中于地壳,放射性元素的分布为何在地壳中随深度指数衰减这一疑团,提供了认识的钥匙。

地球是由太阳气体尘埃星云物质吸积形成的,太阳星云中富含氢元素,因此地核与地幔中储存有巨量的氢。在地球内部极高的压力和温度下,氢以超临界流体形态存在。地球内部巨大的压力和地表的零压,形成了从地心指向地外的强大压差场。由于压

力差、浓度差、温度差等动力的驱动,氢流向地外辐射,当氢流向上穿透下、中地幔时会把大量分散的活性很大的阳离子萃取出来并携带向上(地幔岩中的“不相容元素”一般为大半径离子或高电荷元素,它们在地幔橄榄岩、石榴石、尖晶石、辉石晶格中不易容纳,在高压下它们从镁氧化物及硅酸盐晶格中被挤出并处于活化态)。其中最重要的萃取组分是锂(Li)、钠(Na)、钾(K)、铷(Rb)、铯(Cs)(呈氢化物形式),同时将钛(Ti)、磷(P)、稀土元素(REE)、铌(Nb)、钽(Ta)、锆(Zr)、铀(U)、钍(Th)、铅(Pb)、锶(Sr)、钡(Ba)等元素随带向上迁移。在地幔条件下,上述化合物是挥发性的。这些被氢元素携带的挥发性物质将通过地幔硅酸盐矿物颗粒间隙、晶体位错、缺陷或晶体的晶格向上扩散。

在浓度差的驱动下,某种元素通过某种晶体的净流量 J 与此种元素浓度 N 的梯度 $\text{grad } N$ 的关系为:

$$J = -D \text{ grad } N. \quad (1)$$

实验测定,在 1 273 K 时,氧元素通过镁橄榄石的扩散率 D 为 $2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{s}$ ^[2]。在压力差、温度差的驱动下,也有同样的扩散方程。

中国原子能科学研究院山常启测量了氢的同位素氘通过地幔岩(二辉橄榄岩)的渗透率,计算出氘通过地幔岩的扩散系数、溶解度系数。在 473 K,氘通过镁橄榄石的扩散率为 $1.23 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$,比硼玻璃大 8~9 个数量级,有极高的渗透性能^[7]。从地球形成时起,由地心向外辐射状的强大压差场就已存在,由于放射性物质与钾、钠等碱金属元素的数量相比要少得多,氢流在较短时间内就将绝大部分放射性元素带到了地表。这就解释了为何地幔玄武岩还没有经历非常有效的分异,但放射性大离子亲岩元素大部分已集中到地壳中。大部分惰性气体在地球史的第 100 个 Ma 就脱出了,但对幔源物质中稀有气体及其同位素组成的研究表明,地球的脱气尚未完成,迄今地球原始稀有气体组分 ^3He 、 ^{129}Xe 和 ^{20}Ne 仍不断地从地球内部脱气^[5,6]。地幔岩中玄武岩浆分异作用的进行,仍要依靠“幔汁辐射”作用才能得以完成。

地球的排气作用将地球深处的放射性物质在地史早期就都带到了地表。这一过程是在扩散方程控制下进行的,地表是扩散过程的终点,所以放射性元素的含量从地表向深部以指数率迅速衰减。

小行星作为陨石的母体在其形成初期,由于短周期放射性元素等加热作用,星体内部温度升高,开

始了排气与分异过程。由于星体太小,热量逐渐散失,随着温度降低(降温约 $0.5 \sim 2 \text{ K}/\text{Ma}$),分异与排气作用在小行星形成后约 100~1 000 Ma 后逐渐停滞。但就在这段相对较短的时间里放射性元素已大部分被带到了小行星的表面:位于小行星深部的铁陨石几乎不含放射性成分;位于较深部位的石铁陨石中放射性含量很少;位于浅部的石陨石中放射性含量较高。小行星碰撞碎裂后,陨石作为小行星的碎片,将小行星内部发生的分异与排气过程及其结果展示在我们面前。

地球由于体积大,从形成后 4 600 Ma 以来,内部温度至今未降下来,排气作用一直持续至今,因此,地球铁质地核中放射性元素的含量只会比陨铁中的含量更少。而据实测,铁陨石中放射性元素的含量只有花岗岩中放射性元素含量的数十万分之一。下地幔与地核中放射性热源的含量完全不足以提供地球构造运动的需要。

2 讨论

板块全球构造理论是当前占主导地位的大地构造学说。对于板块运动的动力来源,目前一般都归因于地幔对流;因此,地幔对流说成为最流行的地球动力学学说。

但是,板块构造学说在动力来源问题上仍存在争议。盖保民^[8]认为:“关于地幔对流的具体机制,目前仍处于众说纷纭的状态。至于地幔对流是否能够驱动板块有规律运动并合理解释全球构造现象,也是一个存有重大争论而未确定的问题。甚至说,大规模地幔对流究竟能否发生,也尚属疑问”。天文学家陈道汉^[9]认为:“到目前为止,板块构造还只是一种运动学理论,只涉及运动和运动的可测效应。即使是地幔对流说本身,也因没有直接证据和存在若干理论上的困难,也还是没有定型的假设而已,故而板块构造的驱动力仍然是一个谜。因此,尽管板块构造假设被多数人所肯定,只要驱动力问题不解决,那么它仍然只是一种在继续思维着的假设”。这一来自非地学部门学者的评价是客观的。马宗晋^[10]认为:“任何一种合理的地壳动力学或地球动力学假说至少要满足以下一些条件:(1)能对全球的构造特征及其空间分布规律和构造演化过程作出解释;(2)所依赖的动力因子既有足够的能量,其作用方式又能合理说明构造变形场的特征;(3)应符合物理学的基本原理和

地球内部物质的物理—化学性质. 从这些判别条件看,迄今还没有一种地球动力学假说是完善的”.

地幔对流是一种热动力机制,对流运动的发生及维持必须由地球内部提供热能给对流体加热. 对于全地幔对流模式,对流的上边界位于软流圈顶部,此处温度约 1 200 °C,对流的下边界位于核幔边界,温度约 3 800 °C,要将上边界处下沉的 1 200 °C 的地幔物质加热到 3 800 °C,单靠下地幔和地核物质的热容潜热是维持不了对流的. 只有放射性物质才能提供对流所需的巨大热能. 而且,这种加热的放射性热源应当在地幔对流体的底部(或中部),而不能在顶部. 因此,地球内部放射性热源的分布将决定地球热动力机制能否输出动力. 我们不能想象,一台燃烧室设在锅炉顶部的热机能输出动力. 但是,如上所述,地球中绝大部分放射性元素已经集中到地表,对流热机的燃烧室不在锅炉底部,这就使“地幔对流”这台地球热动力机能否输出动力成为严重的问题.

现今地球深部(地核和下地幔中)放射性元素的含量应比铁陨石中更稀少. 由此可见,“地幔对流”这部“板块运动”的热力原动机是缺乏热动力源的. 冷缩说最终因放射性的发现而崩溃;对地球排气的认识使我们了解到,放射性物质在地史早期即集中到了地表,而给“地幔对流”这台热动力机釜底抽了薪. 由于从数量上能提供大地构造运动的地球内部能源,只有热能和地球自转能 2 种^[11,12],寻找地壳运动动力源的地球科学家应更多地将探索的目光从“地幔对流”机制转移到“地球自转”机制的研究上来.

参考文献:

- [1] Garland G D. 地球物理学引论[M]. 陈颢,唐晓明,译. 北京:地震出版社,1987. 425—428.
Garland G D. Introduction to geophysics [M]. Translated by CHEN Y, TANG X M. Beijing: Seismological Press, 1987. 425—428.
- [2] 安德森 D L. 地球的理论[M]. 关华平,杨玉荣,译. 北京:地震出版社,1993, 11, 39, 181—185.
Anderson D L. Theory of the Earth [M]. Translated by GUAN H P, YANG Y Y. Beijing: Seismological Press, 1993, 11(39): 181—185.
- [3] 杜乐天. 地幔流体与玄武岩及碱性岩浆成因[J]. 地学前缘,1998, 5(3): 145—157.
DU L T. Mantle fluids and magma origin of basalts and

- alkaline rocks [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5 (3): 145—157.
- [4] 杜乐天. 地球排气作用——建立整体地球科学的一条统纲[J]. 地学前缘,2000, 7(2): 381—390.
DU L T. Outgassing of the Earth is a key link for the framework of the whole Earth science [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(2): 381—390.
- [5] Brown H. Rare gases and formation of the Earth's atmosphere [A]. In: Kuiper G P, ed. Atmosphere of the Earth and planets [C]. Chicago: University of Chicago Press, 1952. 258—266.
- [6] 朱岳年,许多,张友学. 地幔脱气作用和大气圈惰性气体形成与演化[J]. 地学前缘,1998,5(增刊): 166—174.
ZHU Y N, XU D, ZHANG Y X. Mantle degassing and noble gas evolution in the atmosphere [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(Suppl): 166—174.
- [7] 杜乐天. 地幔流体与软流层(体)地球化学[M]. 北京:地质出版社,1996. 430.
DU L T. Elements and revert gass in mantle rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 430.
- [8] 盖保民. 地球演化(第一卷)[M]. 北京:中国科学技术出版社,1991. 198.
GE B M. Evolution of the Earth (1 Vol) [M]. Beijing: China Science and Technology Publishing House, 1991. 198.
- [9] 陈道汉,刘麟仲. 现代行星物理学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1988. 146.
CHEN D H, LIU L Z. Modern planet physics [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1988. 146.
- [10] 马宗晋,杜品仁. 现今地壳运动问题[M]. 北京:地质出版社,1995. 118.
MA Z J, DU P R. Problems on recent crustal movement [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 118.
- [11] 傅承义,陈运泰,祁贵仲. 地球物理学基础[M]. 北京:科学出版社,1985. 77—79.
FU C Y, CHEN Y T, QI G Z. An introduction to the theory of geophysics [M]. Beijing: Science Press, 1985. 77—79.
- [12] 曾融生. 固体地球物理学导论[M]. 北京:科学出版社,1984. 132.
ZENG R S. Introduction to geophysics [M]. Beijing: Science Press, 1984. 132.

On Discussion of Concentration of Radioelements in the Earth's Crust

CHI Shun-liang

(Seismological Bureau of Hebi, Hebi 458000, China)

Abstract: Geothermic and astrolithological studies indicated the exponential attenuation of the Earth's radioelement consistency along the depth. The explanation to this fact remains an enigma in geoscience. Through the investigation of the Earth's gas discharge, we discovered that this process have brought radioelements to the upper layer and the surface of the Earth. The same process also happened in other earthlike planets and planetoids and the older the lesser the radioelements at the planet interior. All prevailing geodynamics theories are based on the mechanism of Earth's interior thermal dynamics. But the lack of interior radioelements of the Earth heckles this thermal mechanism.

Key words: radioelement; geodynamics; the Earth's gas discharge process.

西藏定日一带侏罗系硅化木的发现及其地质意义

张雄华, 李德威, 袁晏明, 肖兰斌

(中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

西藏定日县、定结县一带主要属北喜马拉雅地层分区, 侏罗系发育, 自下而上分为下统普普嘎组、中统聂聂雄拉组、拉弄拉组、上统门卡墩组和古错村组。前人认为这套地层全为一套连续的海相沉积。

中国地质大学西藏队在该区进行 1:25 万区域地质调查时在拉弄拉组下部首次发现有小型硅化木及古植物叶化石。硅化木直径 4~5 cm, 保存部分全为次生木质部。年轮明显, 春材宽度大致 11~40 个管胞, 管胞(假管)大致为长方形, 厚壁, 平均 60 μm ×50 μm , 最大的管胞约为 80 μm ×70 μm ; 秋材较窄, 其宽度约为 4~5 个管胞, 管胞较小, 近于长方形, 平均 40 μm ×25 μm 。

根据硅化木的特征将其归为 *Dadoxylon* 类, 该类化石时代跨度大, 二叠纪—白垩纪均有分布。中国内蒙古晚二叠世、西伯利亚二叠纪及日本白垩纪曾有报道, 但主要分布在冈瓦纳大陆(包括南美、非洲、澳洲及印度), 其中以印度发现最多, 时代分布包含

晚二叠世—中侏罗世, 测区这次发现的标本与印度 Stripermatur 中侏罗统中发现的 *Dadoxylon rajmanalense Sahwi* 特征极其相似。

产硅化木地层之上的海相地层产菊石, 主要有 *Kamptokephalites hampytus*, *K. etherdgei*, *Macrocephalites compressus*, 均为中侏罗纪卡洛期的代表分子; 下伏聂聂雄拉组产中侏罗纪巴柔期的箭石、菊石和腕足类化石。因而, 该硅化木的产出层位属中侏罗纪巴通期。与硅化木共生的有大量植物碎片及古植物叶化石: *Ptilophyllum* sp., *Cladophebis* sp., *Otozamites* sp. 等, 植物群面貌与印度拉贾马哈尔组所产相似。产硅化木的地层为一套灰色粉砂质页岩夹灰色薄—中层细粒岩屑砂岩及粉砂岩, 属一套三角洲平原沉积中的分流河道—天然堤组合, 硅化木产在分流河道中, 植物叶一般产在天然堤内。

硅化木、古植物叶及三角洲平原相沉积的发现至少说明: (1) 测区侏罗纪并不是一套连续的海相沉

(下转 60 页)