科学通报
第 40 卷 第 16 期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1995 年 8 月

地球铅同位素早期不均一性及其起源*

欧阳自远 张福勤 林文祝 王世杰 欧阳歆凌
(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

关键词 铅同位素 早期不均一性 星子

地球化学和地球物理资料业已揭示现代地幔在三维空间的化学不均一性. 作者曾将地球的化学不均一性分为三个演化阶段[1]; I 阶段—— 早期不均一性(~ 1.8Ga); II 阶段—— 1.8Ga± 变格期; III 阶段—— 晚期不均一性(1.8 ~ 0Ga). 本文初步总结了全球铅同位素组成的早期大规模不均一性, 并认为这种早期不均一性起源于地球形成阶段堆积星子的初始不均一性.

1 早期 Pb 同位素组成的不均一性

图 1 是全球克拉通地盾区矿物、岩石 Pb 同位素组成图.

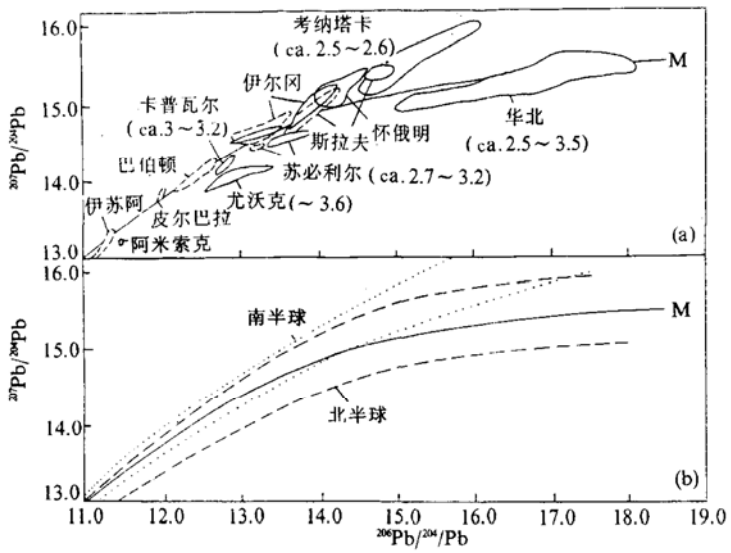


图 1 全球地盾区 Pb 同位素组成

(a)不同地块 Pb 同位素组成; (b)南、北大陆克拉通铅同位素组成差异 M—— 地幔储库 Pb 同位素增长线; 格林兰: 伊苏阿、阿米索克; 南部非洲: 巴伯顿、卡普瓦尔; 西澳: 皮尔巴拉、伊尔冈; 南部印度: 考纳塔卡; 北美: 尤瓦克、苏必利尔、斯拉夫、怀俄明; 华北 (见表 1). 虚线区为矿石铅; 实线区为长石及岩石铅; ca: 同位素年龄 ($\times 10^9$ 年)

1.1 华北克拉通基底 Pb 同位素组成的不均一性

以晚期绿岩带(2.8 ~ 1.8Ga)为物质标志, 将华北克拉通基底划分为 11 个环形变质地体[1]. 冀北地体(JBT)、乌拉山地体(URST)、恒山地体(HST)、迁安地体(QAT)、阿拉善地体(ALST)、鄂尔多斯地体(EEDST)、华熊地体(HXT)、阜平地体(FPT)、皖北 - 胶东地体(NAH-JDT)、泰山 - 辽东地体(TS-ELT)及辽西 - 辽东北地体(WL-NELT).

各地体 Pb 同位素组成特征列于表 1(ALST 及 WL-NELT 仅据地质或地球物理资料).

华北克拉通基底铅同位素组成在不同地体间存在明显差异, 平均值投影点落在 M 线偏下方.

1994-07-04 收稿, 1995-04-19 收修改稿
* 国家科委基础研究与高技术司基金资助项目
1) 欧阳自远, 张福勤. 地球化学不均一性及其起源和演化. 矿物岩石地球化学通讯, 1995, 2: 88 ~ 91

表 1　华北克拉通基底铅同位素组成[a)]

地体	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	样品[a)]	数量	文献
JBT	14.310 ~ 18.341 (16.801)	14.064 ~ 15.475 (15.163)	34.384 ~ 38.899 (37.489)	GR	15	[2]
URST	14.775 ~ 19.724 (17.408)	15.049 ~ 15.791 (15.489)	35.372 ~ 39.490 (36.684)	GR	13	[2]
HST	15.180 ~ 17.676 (16.353)	14.927 ~ 15.101 (15.203)	36.079 ~ 39.491 (37.133)	GR	8	[2]
FPT	15.000 ~ 18.220 (15.898)	14.920 ~ 15.400 (15.107)	35.260 ~ 42.350 (38.623)	GN	6	[3]
QAT	14.456 ~ 16.089 (15.268)	14.888 ~ 15.248 (15.043)	30.446 ~ 36.052 (35.103)	GR	8	[4]
EEDST	14.511 ~ 15.659 (15.136)	14.633 ~ 15.158 (14.852)	34.081 ~ 35.887 (35.237)	GR	4	[2]
HXT	17.136 ~ 17.880 (17.442)	15.321 ~ 15.676 (15.463)	37.296 ~ 38.716 (37.845)	OR	50	b)
NAH-JDT	16.500 ~ 18.025 (17.307)	15.276 ~ 15.758 (15.456)	36.880 ~ 39.950 (37.395)	GN FL[d)]	43	c) [5]
TS-ELT	14.054 ~ 16.120 (15.023)	14.748 ~ 15.090 (14.938)	33.790 ~ 37.134 (34.903)	GN	15	[2]

a) GR—— 麻粒岩，GN—— 片麻岩，OR—— 矿石，FL—— 长石

b) 陈衍景．南京大学博士学位论文，1990

c) 王炳成，张理刚．1992（内部资料）

d) 中生代花岗岩

1.2　全球大陆克拉通早期 Pb 同位素组成不均一性

据图 1(a)，全球 Pb 同位素组成有如下特征：

(1) 不同地块的 Pb 同位素组成有较大差异，地球早期存在大规模横向不均一性；(2) 同一地块内，长石和岩石 Pb 同位素组成比矿石（主要为方铅矿）更富放射成因铅．反映后期 Pb 的积累；(3) Pb同位素组成的变化与年龄没有一致关系，显示不同地块间存在Pb同位素组成的异常；(4) 绝大部分地块Pb同位素组成投影点落在 Zartman 和 Doe (1981) 确定的地幔 Pb 增长线附近，反映大陆克拉通基底主要是通过地幔分异增长的，与钕同位素资料（$\varepsilon_{Nd} = +1 \sim +5$）一致．

1.3　南北大陆铅同位素组成特征对比

图 1(b) 显示：

(1) 南半球大陆克拉通比北半球具有较高的 μ ($^{238}U/^{204}Pb$) 值，南半球位于 M 线靠上方一侧，北半球位于 M 线靠下方一侧；(2) Pb同位素组成平均演化趋势表明，大陆克拉通起源于初始Pb同位素组成有差异的古地幔．另外，南、北大陆可能经历早期的差异演化（平均趋势不同），暗示了 1.8Ga 以前，地球表面就存在两个相互独立且在化学上不均一的古地壳区．

2　地球Pb同位素早期不均一性的起源讨论

根据早期Pb同位素资料，可以得出如下几点结论：

(1) 南、北大陆间存在巨大规模的横向不均一性；(2) 不同克拉通间存在横向不均一性；(3) 克拉通内部不同变质地体间存在横向不均一性；(4) 同一地体内部 (100 ~ 1 000 km) 存在

横向不均一性.

依据上述,地球在3.8～1.8 Ga期间形成的早期不均一性只可能有两类成因: (a)反映地球增生时,增生体的初始不均一性; (b)早期地球分异演化过程中形成的不均一性. 由于大量有关早期岩石的Nd同位素资料业已揭示地壳起源于4.2Ga前的亏损地幔源(DM),即至少上地幔部分没有经历过全熔事件(0～400 km). 虽然早期演化对早期不均一性有影响,但早期不均一性更反映了地球的原始不均一性.

根据星子理论[6,7]和小行星带的天文观测资料,地球由星子序级(Hierachical)增生而成,星子间化学不均一性已由天文学及陨石化学研究证实[8～10]. 故而,可以推断,堆积星子间的原始化学不均一性导致了地球初始的化学不均一性,进而出现早期(3.8～1.8Ga)明显的区域化学不均一性. 地球的晚期不均一性至少部分是由后期演化(板块构造过程中)产生的次生不均一性.

参 考 文 献

1 欧阳自远,张福勤,林文祝等. 华北克拉通基底构造格架及形成模式,科学通报,1995, 40(8): 734～736

2 涂湘林,朱炳泉,范嗣昆等. 华北麻粒岩相带铅同位素组成特征及其与全球对比. 中国科学,B辑,1993, 23(5): 537～544

3 Sun M, Armstrong R L, Lambert R St J. Petrochemistry and Sr, Pb and Nd isotopic geochemistry of early precambrian rocks, Wutaishan and Taihangshan areas, China. Precambrian Research, 1992, 56: 1～31

4 张秋生,杨振升,高德玉等. 冀东金厂峪地区高级变质区地质与金矿床. 北京:地质出版社,1991

5 张理刚,邢凤鸣. 安徽中生代花岗岩铅同位素组成与铅同位素省划分. 岩石学报,1993, 9(2): 105～114

6 Safronov V S. Evolution of the protoplanctary cloud and formation of the Earth and planets, 1969. Nauka, Moscow, translated by the Israel program for scientific translation, 1972

7 Wetherill G W. Accumulation of terrestrial planets and implications concerning lunar origin, In: Hartman W K, Phillips R J, Taylor G J eds. Origin of the Moon. Houston: Lunar and Plantary Institute, 1986. 519～550

8 Gaffey M J, Bell J F, Cruikshank D P. Reflectance spectroscopy and asteroids surface mineralogy, In: Binzel R P, Gehrels T, Matthews M S eds. Asteroids II. Tucson: Univ of Arizona, 1989. 98～127

9 欧阳自远. 天体化学, 北京:科学出版社,1988

10 欧阳自远,王世杰,张福勤. 堆积的地球及其不均一性. 地球科学进展,1994, (3): 1～5