

文章编号: 1000-0550(2007)04-0583-06

北京十三陵中元古代 1.8Ga 和 1.6Ga 的铁质宇宙球粒研究^①

宋天锐 和政军 万渝生 刘燕学

(中国地质科学院地质研究所 北京 100037)

摘要 北京十三陵中元古代常州沟组底部的粗砂岩(1.8 Ga)和大红峪组硅化碳酸盐岩(1.6 Ga)中都发现了众多铁质宇宙球粒。大多数未喷膜的二次电子像宇宙球粒是圆形的,少数呈长条状,由于在大气层中熔融作用,多数球粒表面具有金相饰纹和“排气”孔洞。使用电子探针分析对 30 个颗粒中 44 个测点的检测结果(%): FeO 80~95 Cr₂O₃ 0.78~6.56 NiO 0.06~0.41 CaO 0.02~0.46 相对比较 Cr₂O₃ 在常州沟组中较多一些,而 FeO 在大红峪组中稍多一些。宇宙球粒的氦同位素分析值却截然不同;³He/⁴He×10⁻⁸ 分别为: 57.50±2.16(常州沟组)和 1.23±0.43(大红峪组);⁴He×10⁻⁸ cm³ STP/g 分别为: 55.54(常州沟组)和 809.6(大红峪组);然而宇宙球粒的氦同位测定值都比各自的母岩高出许多;氦同位素的异常为所发现的宇宙球粒的地外来源更加确定。

关键词 元古宙 宇宙球粒 北京十三陵

第一作者简介 宋天锐 男 1931 年出生 研究员 博士生导师 矿物学、岩石学和沉积学 E-mail: songtianrui@cags.net.cn

中图分类号 P534.1 文献标识码 A

Murray J(1876) 将深海沉积物中发现的宇宙颗粒称为:“宇宙球粒”^[1]。后来有人使用“宇宙尘”^[2,3,4],也有人称作“显微陨石”^[5,6]。但是“宇宙球粒”仍被采用^[7]。本文采用“铁质宇宙球粒”是指主要由铁质成份构成的宇宙颗粒。

1 铁质宇宙球粒样品采集

1.1 地质背景

铁质宇宙球粒样品采集自北京十三陵地区;中元古代地层角度不整合于太古宇变质岩地层之上,北京西北部新一中元古代地层各组基本保存完整(图 1)。

1.2 样品采集层位

铁质宇宙球粒包含在中元古代的常州沟组(1.8 Ga)和大红峪组(1.6 Ga)两个层位中。关于地层的同位素地层年代已公开发表于国内外相关文献中^[11~15]。样品之一采自常州沟组底部的粗砂岩(Chc),另一个样品采自大红峪组硅化碳酸盐岩(Chd)(图 2)。

1.3 宇宙球粒母岩描述

1.3.1 常州沟组粗砂岩(Chc)(1.8 Ga)

粗砂岩略带黄色,由石英和大量长石碎屑组成的长石砂岩,以角度不整合沉积于太古宇黑云母一角闪石片麻岩(2.5 Ga)的风化面之上。相邻近的砂岩层显示大型交错层理和“花彩弧状”交错层理,说明常州沟组底部是河口湾的沉积环境^[8,13]。沿着含宇宙球粒的粗砂岩层的走向出现三个侧积砂体,由于重力分选作用,铁质宇宙球粒在各个砂体中的含量变化很大,每公斤砂岩样品可含 1 粒到 30 粒。

1.3.2 大红峪组硅化碳酸盐岩(Chd)(1.6 Ga)

在硅化岩中曾经发现藻类丝状体,说明豆粒状硅化岩是由碳酸盐岩变来的^[8,9,16]。硅化岩具柔皱构造和熔融状角砾构造,曾被称之为“带事件信息”的岩石^[17]。宇宙球粒不仅在豆状硅化岩中发现,而且在覆盖其上面的黑色薄层粉砂岩中也找到,粉砂岩沉积物表面出现干裂构造,说明粉砂岩是在硅化岩的侵蚀面上沉积的,其中的宇宙球粒有可能来自下覆的硅化岩。在豆粒状硅化岩中包含的宇宙球粒出奇地多(56 粒/3.69kg)。在芬兰的 Satakunta 组砂岩中为 18 粒/5kg 至 90 粒/130kg^[7];相比之下大红峪组比 Satakunta 组的宇宙球粒含量高出 4~22 倍。

①国家自然科学基金项目(批准号:49772121 40172044 和 40672082)资助

收稿日期:2006-11-14

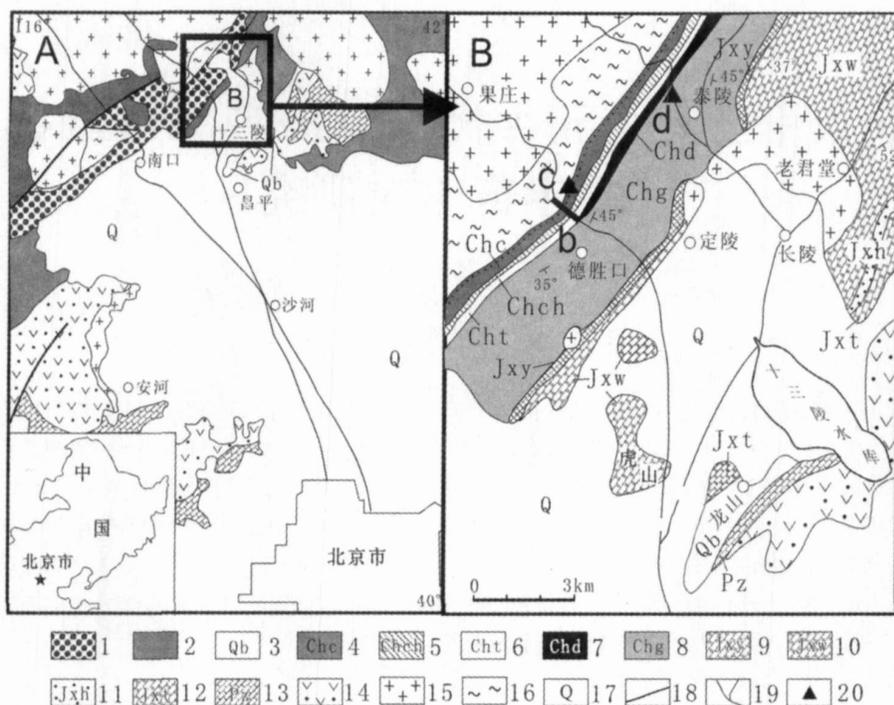


图 1 北京西北部(左)与十三陵地区(右)地质略图

1(Ch)长城系, 2(Jx)蓟县系, 3(Qb)青白口系, 4(Chc)常州沟组, 5(Chch)串岭沟组, 6(Chd)团山子组, 7(Chd)大红峪组, 8(Chg)高于庄组, 9(Jxy)杨庄组, 10(Jxw)雾迷山组, 11(Jxh)洪庄组, 12(Jxd)铁岭组, 13(Pz)古生界, 14火山岩, 15侵入岩, 16变质岩, 17(Q), 第四系, 18本文采样剖面, 19公路, 20取样位置。

Fig 1 Sketch of geological map of north-west Beijing (left) and the Ming Tombs area (right)

1(Ch) Changcheng System 2(Jx) Jixian System 3(Qb) Qingbaikou System 4(Chc) the Changzhougu Formation 5(Chch) the Chuanglingou Formation 6(Chd) the Tuangshanzi Formation 7(Chd) the Dahongyu Formation 8(Chg) the Gaoyuzhuang Formation 9(Jxy) the Yangzhuang Formation 10(Jxw) the Wumishan Formation 11(Jxh) the Hongshuizhuang Formation 12(Jxd) the Tieling Formation 13(Pz) Paleozoic 14 volcanic rocks 15 intrusive rocks 16 metamorphic rocks 17(Q) Quaternary 18 sampling section 19 highway 20 sampling position

2 岩石样品处理和宇宙球粒分选方法

岩石样品破碎到 60 目, 然后用碗淘洗法取出重砂, 这是中国云南个旧砂锡矿工人用以评估锡石砂矿品级的一种有效方法^[18]; 铁质宇宙球粒在双目显微镜下一个一个从重矿物组份中用手挑选出来。

3 宇宙球粒的电子探针分析

3.1 宇宙球粒的形态和表面特征

按照双目显微镜观察和未喷膜的电子探针二次电子像宇宙球粒对比具如下特征: 大部分呈暗灰色, 具有金属光泽, 有一些呈亮白色具“钢球状”金属光泽; 对于圆球状颗粒一般直径为 100 μm 至 300 μm, 但是长条状的颗粒(图版 I-4)长度可达 600 μm; 宇宙物质进入大气层后燃烧时发生很多变化^[19], 可能是由于从球粒中心喷出气体, 暗灰色宇宙球粒表面普遍具有“排气孔”构造(图版 I-3, 4, 5); 但是光亮的

球粒表面没有(图版 I-7); 由于灼热的铁质宇宙球粒在大气层中迅速冷却, 所以在球粒表面出现金相装饰纹构造, 包括“花瓣状”(图版 I-6)和“放射状”(图版 I-7)图像; 虽然大部分球粒是规则圆状, 但也有的呈“鸟啄状”(图版 I-1)凹坑状(图版 I-2)、“长柄勺状”(图版 I-4)和“乳头状”(图版 I-6)。铁质宇宙球粒的磁铁矿晶体呈典型的链状连接的金相装饰构造, 在西藏泽当的现代沉积物中发现类似的构造^[20], 在内蒙古元古宙温都尔庙群和白乃庙群也曾发现类似的现象^[21], 还有在芬兰元古宙 Satakunta 组中也见到相同或相似的表面构造^[17]。值得一提的是大红峪组的一个宇宙球粒(图版 I-5)呈“足球”状花纹和某地深钻岩心所见很相像。

3.2 宇宙球粒的化学成分

常州沟组(Chc)测定了 13 个宇宙球粒, 在其上测定了 20 个点; 大红峪组(Chd)测定了 17 个宇宙球粒, 其上测定了 24 个点, 列如表 1。

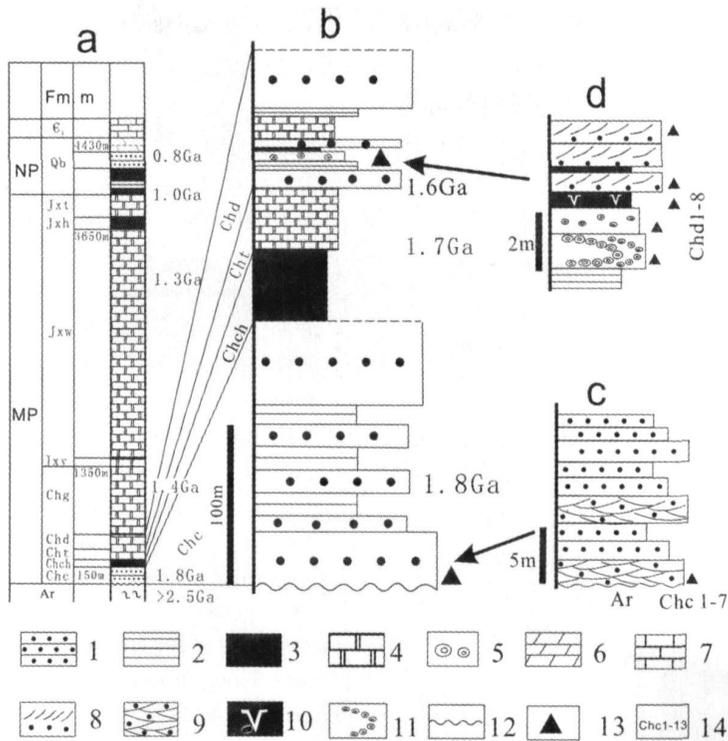


图 2 北京十三陵中元古代地层柱状图 (a) 和常州沟组及大红峪组采样位置 (b c d)

1 砂岩, 2 粉砂岩和页岩, 3 页岩, 4 白云岩, 5 豆状硅化碳酸盐岩, 6 泥灰岩, 7 石灰岩, 8 斜层理, 9 大型交错层理, 10 泥裂构造, 11 硅化碳酸盐岩熔融角砾构造, 12 角度不整合, 13 采样位置, 14 采样编号。NP 新元古界, MP 中元古界

Fig 2 Proterozoic strata column of the Ming Tombs area (a) and sampling positions of the Dahongyu and Changzhougu Formations (b c d)

1 sandstone 2 siltstone and shale 3 shale 4 dolostone 5 pisolitic silicified carbonate 6 marl 7 limestone 8 cross stratification 9 big cross bedding 10 mudcracks 11 melting folded breccias structure of silicified carbonate 12 angular unconformity 13 sampling position 14 sampling numbers NP Neoproterozoic MP Mesoproterozoic

表 1 常州沟组 (Chc) 和大红峪组 (Chd) 中宇宙球粒电子探针分析平均数据 (%)

Table 1 Electron probe analysis average data of cosmic spherules of the Changzhougu Formation (Chc) and the Dahongyu Formation (Chd) (%)

	Chc 1-13		Chd 1-17	
	平均	范围	平均	范围
SD ₂	5.59	0.43~11.94	2.7	10.3~15.62
TD ₂	0.2	0~1.91	0.05	0.01~0.46
Al ₂ O ₃	0.37	0.03~2.29	0.59	0.09~3.21
Cr ₂ O ₃	1.74	0.19~6.56	0.28	0.19~1.36
FeO ^{tot}	90.44	81.31~97.87	95.31	80.18~100
MnO	0.03	0.07~2.16	0.31	0.1~1.59
MgO	0.03	0.02~0.44	0.13	0.02~0.49
NiO	0.06	0~0.29	0.1	0.05~0.41
CoO	0	0	0.02	0~0.46
CuO	0.08	0~1.37	0	0
CaO	0.15	0.01~0.46	0.13	0.03~0.42
Na ₂ O	0.11	0.08~1.04	0.28	0.19~1.72
K ₂ O	0.59	0.19~2.09	0.19	0.04~1.02
SO ₃	0.09	0.05~0.67	0.02	0.07~0.69
总计	99.48		97.41	

* 仪器: Oxford Inca EDS and Metal 分析者: 陶淑凤

基于 30 个颗粒 44 个测点宇宙球粒的分析数据表明, 常州沟组中含 Cr₂O₃ 稍多而 FeO 相对较少; 此外, 亮白色“钢球状”球粒含 FeO 为 100% 只是发现于大红峪组中。

值的指出的是: 常州沟组中宇宙球粒含 Cr₂O₃ 在燕山西部 (十三陵地区) 平均为 4.17% 而在中东部 (蓟县和桃园) 平均为 0.02%^[10]。

4 氦同位素分析

本文对氦同位素成分是用惰性气体质谱仪测定的, ⁴He 是由法拉第杯测定的, ³He 是用系数为 1×10⁵ 的倍增器测量, 不需要 DH+H₃ 校正。详细测量过程参见李延河等论文^[23]。宇宙球粒和其母岩是分别测量的 (表 2)。

由表 2 可知常州沟组和大红峪组宇宙球粒的 ³He 和 ⁴He 测定值都很异常; Farley 认为氦同位素 ³He 异常与地外物质有关^[23, 24]; Patterson 证明氦同位素异

常在海相石灰岩中也存在^[26]。考虑到常州沟组为 18 亿年大红峪组为 16 亿年,成岩及成岩后的地温变化对氦同位素会有影响^[25];这些已发表的资料都可为北京十三陵中元古代宇宙球粒氦同位素异常的解读提供帮助。

表 2 常州沟组 (Chc) 和大红峪组 (Chd) 宇宙球粒
以及其母岩的氦同位分析数据

Table 2 Helium isotope analysis of cosmic spherules
and their host rocks of the Changzhougou Formation
(Chc) and the Dahongyu Formation (Chd)

样品	³ He/He ($\times 10^{-8}$)	⁴ He ($\times 10^{-6}$ Gm ³ STP/g)
宇宙球粒 (Chc)	57.5 ± 2.16	55.54
粗砂岩 (Chc)	3.39 ± 1.20	4.56
宇宙球粒 (Chd)	1.23 ± 0.43	809.60
硅化碳酸盐岩 (Chd)	2.59 ± 0.52	2.34

* 仪器:乌克兰制造 MI-120II G 惰性气体质谱分析仪
分析者:李金城 李延河 校对者:李延河

国内外报导的宇宙球粒多是出自碎屑岩,本文所报导的元古宙大红峪组硅化碳酸盐岩中发现了地外宇宙球粒和氦同位素异常,在显生宙海相石灰岩中,也有报导地外³He异常的出现^[26],这些结果对本区的研究很有启发。

5 讨论

(1) 关于最古老的宇宙球粒

曾有报导说:“芬兰中元代 Satakunta 组发现世界最古老的显微陨石^[5];该组 Satakunta 地层是 1.4 Ga 但事实上该组地质年龄比北京十三陵的大红峪组 (1.6 Ga) 和常州沟组 (1.8 Ga) 年轻 200 Ma 至 400 Ma 我们不敢说常州沟组 1.8 Ga 的宇宙球粒就是最古老的,因为太古宙和元古宙早期仍有可能也发现宇宙球粒。

(2) 关于宇宙球粒表面的孔洞和金相文饰

在十三陵发现的大多数宇宙球粒 (参见图版) 都有孔洞和金相文饰构造,可能是由于陨石进入大气层后迅速冷却引起的^[3]。

(3) 关于宇宙球粒的氦同位素分析值

宇宙球粒的⁴He 同位素测定值中,大红峪组 (809.6) 比常州沟组 (55.54) 高出 14.6 倍,可能是由于大红峪组的硅化岩比常州沟组的粗砂岩更致密引起的。

大红峪组的硅化角砾岩被认为是含事件信息的沉积岩^[17];但是在大红峪组中含宇宙球粒特多的原

因,是否与大红峪组硅化岩中熔融角砾岩有关,值得进一步研究。

参考文献 (References)

- 1 格拉斯 B P 著,陈书田,等译,何起祥校.行星地质学导论.北京:地质出版社,1986. 1-408 [Billy P Glass ed Translated by Chen Shutian et al Introduction to Planetary Geology Cambridge University Press 1982 Beijing Geological Publishing House 1986 in Chinese 1-408]
- 2 徐道一,杨正宗,张勤文,等.天文地质学概论.北京:地质出版社,1983. 1-284 [Xu Daoyi Yang Zhengzun Zhang Qingwen et al Introduction of Astronomy Geology Beijing Geological Publishing House 1983 1-284]
- 3 欧阳自远,肖小月,柴之芳,等.陨石模拟实验与消融宇宙尘的判别标志.科学通报,1987, 32(4): 281-286 [Ouyang Zhiyuan Xiao Xiaoyue Chai Zhifang et al Model experiment of meteorites and diagnosis of melted cosmic dusts Chinese Science Bulletin 1987, 32(4): 281-286]
- 4 Anderson D L Helium-3 from the mantle: Primordial single or cosmic dust? Science 1993 261(9): 170-172
- 5 Kettup D Pihlaja P Deutsch A Pesonen L J The world's oldest micrometeorites in the Meso-Proterozoic Satakunta Formation Finland sedimentology of the host rock Meteorites and Planetary Science 1999 34 (Suppl): 62-63
- 6 Kettup D Stenster A Deutsch A and Gottlicher J Micrometeorites in sandstones: a new successful separation method Lunar and Planetary Science 2000 XXXI 1373-1374
- 7 Deuth A Greshake A Pesonen L & Pihlaja P Unaltered cosmic spherules in a 1.4 Gyr old sandstone from Finland Letter to Nature 1998 395: 146-148
- 8 宋天锐,高健.北京十三陵前寒武系沉积岩.北京:地质出版社,1987. 1-176 [Song Tianrui and Gao Jian Precambrian Sedimentary Rocks in the Ming Tombs District Beijing Beijing Geological Publishing House 1987. 1-176]
- 9 Song Tianrui and Gao Jian Tidal sedimentary structures from Precambrian rocks of the Ming Tombs District Beijing (Peking). Precambrian Research 1985 29(9): 93-107
- 10 宋天锐,赵震,王长尧,等.华北元古宙沉积岩.北京:北京科学技术出版社,1991. 1-193 [Song Tianrui Zhao Zhen Wang Changyao et al Proterozoic Sedimentary Rocks in North China Beijing Beijing Science and Technology Publishing House 1991 1-193]
- 11 陆松年,李惠民.蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年.中国地质科学院院报,1991, (22): 137-146 [Lu Songnian and Li Huimin A precise U-Pb single zircon age determination for the volcanics of the Dahongyu Formation, Changcheng System in Jixian Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences 1991, (22): 137-146]
- 12 Goodwin A M. Precambrian Geology the Dynamic Evolution of the Continental Crust London: Academic Press 1991 666
- 13 Song Tianrui and Gerhard Einsele Proterozoic sedimentary facies and their depositional environments in the Ming Tombs District Beijing

- 30th International Geological Congress 1996. (Field Trip Guide Book), 1-26
- 14 张巧大, 宋天锐, 和政军, 等. 北京十三陵地区中元古界碳酸盐岩 Pb-Pb 年龄研究. 地质论评, 2002, 48(4): 416-423 [Zhang Qiaoda Song Tianrui He Zhengjun et al. Pb-Pb age Determination of Mesozoic to Neoproterozoic carbonates in the Ming Tombs District Beijing. *Geological Review* 48(4): 416-423]
- 15 万渝生, 张巧大, 宋天锐. 北京十三陵常州沟组碎屑锆石 SHRIMP 年龄: 华北克拉通盖层物源区及最大沉积年龄的限定. 科学通报, 2003, 48(18): 1970-1975 [Wan Yusheng Zhang Qiaoda Song Tianrui. SHRIMP ages of detrital zircon from the Changcheng System in the Ming Tombs area Beijing. Constraint on the protolith nature and maximum depositional age of the Mesoproterozoic cover of North China craton. *Chinese Science Bulletin* 2003, 48(22): 2500-2506]
- 16 宋天锐, 高键. 北京十三陵上前寒武纪沉积岩中发现 16 亿年的藻类丝状体. 科学通报, 1985, 30(10): 769-771 [Song Tianrui and Gao Jian. Discovery of algal filaments from sedimentary rock in upper Precambrian (1600 Myr) of the Ming Tombs District Beijing. *Kexue Tongbao (Chinese Science Bulletin)*, 1985, 30(10): 1227-1230]
- 17 宋天锐, 和政军, 丁孝忠, 等. 北京十三陵元古宙大红峪组含事件信息的沉积岩. 岩石矿物学杂志, 2000, 19(4): 323-332 [Song Tianrui He Zhengjun Ding Xiaozhong et al. A study of event message-bearing sedimentary rocks of the Precambrian Dahongyu Formation in the Ming Tombs District Beijing. *Acta Petrologica et Mineralogica* 2000, 19(4): 323-332]
- 18 宋天锐. 重砂矿物分析方法. 北京: 地质出版社, 1957 [Song Tianrui. *Methods for Separation of Heavy Minerals* Beijing Geological Publishing House 1957. 1-197]
- 19 Robin E Bonte Ph Froget L Lahanoo C & Rochina R. Formation of spherules in cosmic objects during atmospheric entry. A clue to the Cretaceous-Tertiary boundary event. *Earth Planet Science Letters* 1992, 108: 181-190
- 20 梁日暄, 宛传永, 王炳熙, 等. 西藏泽当地区的宇宙尘. 岩矿测试, 1982, 1(3): 1-6 [Lian Rixuan Wan Chuanyong Wang Bixing et al. Cosmic spherules from Zedang, Xizang (Tibet) in China. *Acta Petrologica Mineralogica et Analytica* 1982, 1(3): 1-6]
- 21 李增慧, 赵燕玲. 内蒙古白乃庙群和温都尔庙群宇宙尘表面形态及结构的电镜扫描研究. 中国地质科学院天津地质矿产研究所刊, 1987, 16: 65-74 [Li Zhenghui Zhao Yanling. Study on the morphology and texture of cosmic dusts by scanning electron microscope from Wuduermiao and Bainaimiao Groups in Nei Monggol Zizhiqu (Inner Mongolia). *Bulletin of Tianjin Institute of Geology and Mineralogy Research* 1987, 16: 65-74]
- 22 Li Yanhe Song Hebin & Li Jingcheng. Extraterrestrial ³He in marine polymetallic nodules: a potential method for measuring growth rate of nodules. *Science in China (Series B)*, 2002, 45 (Suppl): 38-40
- 23 Farley K A. Is "primordial" helium really extraterrestrial? *Science* 1993, 261: 166-167
- 24 Farley K A Montanari A Shoemaker E M and Shoemaker C. Geochemical evidence for a comet shower in the Late Eocene. *Science* 1998, 280: 1250-1253
- 25 Amari S and Ozina M. Search for the origin of exotic helium in deep-sea sediments. *Nature* 1985, 317: 520-522
- 26 Patterson D B Farley K A and Schmidt B. Preservation of extraterrestrial ³He in a 480 Ma marine limestone. *Earth Planet Science Letters* 1998, 163: 315-325

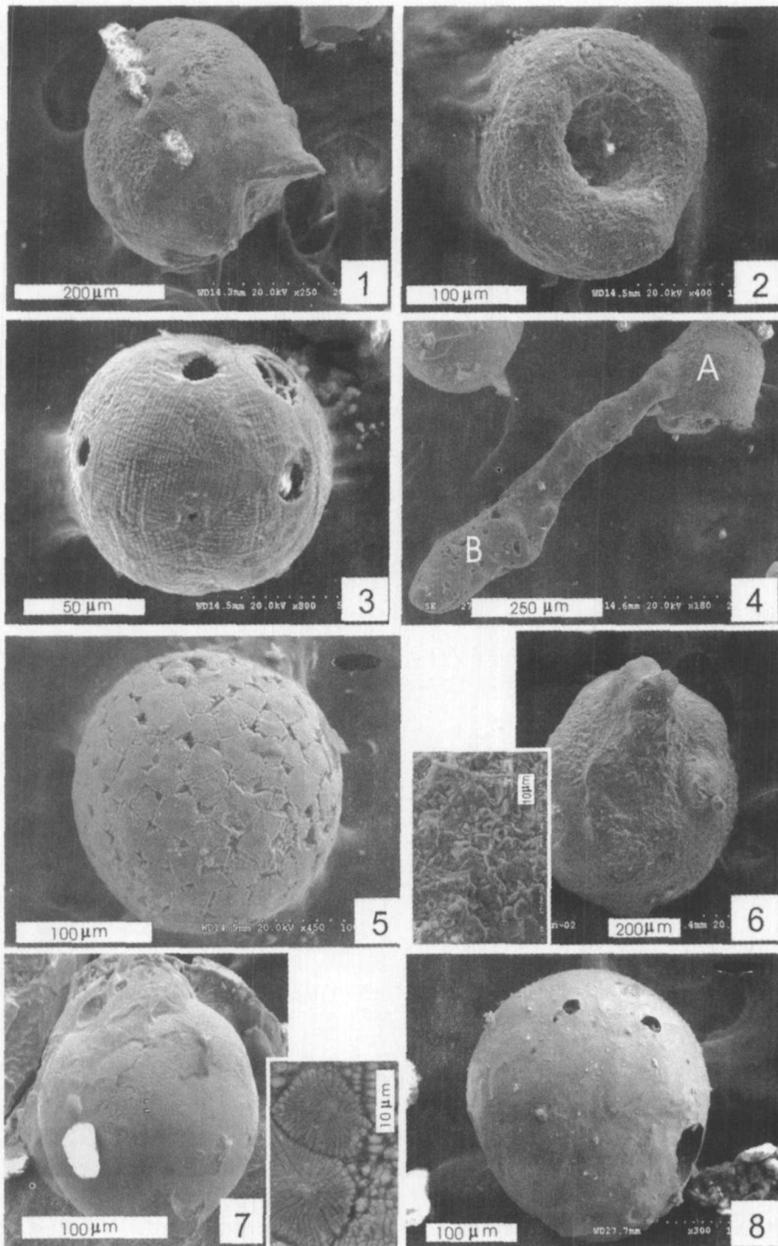
Study of Iron Cosmic Spherules from 1.8Ga and 1.6Ga Proterozoic Strata of the Ming Tombs District Beijing

SONG Tian-rui HE Zheng-jun WAN Yu-sheng LIU Yan-xue

(Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences Beijing 100037)

Abstract Numerous iron spherules have been found from coarse sandstone in the bottom of the Changzhougou Formation (1.8Ga) and silicified carbonate rock of the Dahongyu Formation (1.6Ga) of Proterozoic strata of the Ming Tombs District Beijing. Most of them are round shaped as rod. Surface of iron cosmic spherules are observed by secondary back scanned image without carbon coating showing metallogenic graphs and "gas escape" holes so common during intro-atmosphere melted and crystallized again. 44 testing points of 30 iron cosmic spherules have been measured by means of electron probe analysis average data as follows (%): FeO 80-95, Cr₂O₃ 0.78-6.56, NiO 0.06-0.41. Relatively Cr₂O₃ is higher in spherules of the Changzhougou Formation but FeO higher in the Dahongyu Formation. However, the helium isotope analysis data are quite different between them. The abnormal of helium isotope made sure of extraterrestrial origin of iron cosmic spherules.

Key words Proterozoic era, cosmic spherules, Beijing Ming Tombs



图版I 说明 1. 圆形铁质宇宙球粒 (Chc-1-2), 直径 $292.8\mu\text{m}$ 金属光泽, 暗灰色, 球粒表面具“花瓣状”金相文饰, 具“鸟咀状”突起, 可能系球粒中心气体喷发所引起; 包含在北京十三陵中元古代常州沟组底部黄色粗砂岩中; 地质年龄 18 亿年; 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 88.11$ Cr_2O_3 1.49 SiO_2 9.54 K_2O 0.86 2. 圆形铁质宇宙球粒 (Chc-1-3), 直径 $191.3\mu\text{m}$ 暗灰色, 金属光泽, 在球粒表出现“花瓣状”金相文饰; 由于宇宙球粒中心气体喷发产生一个“凹坑”; 包含在北京十三陵中元古代常州沟组底部黄色粗砂岩中; 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 97.87$ Cr_2O_3 0.76 CuO 1.37 3. 圆形铁质宇宙球粒 (Chc-9), 直径 $106.5\mu\text{m}$ 金属光泽, 暗灰色, 宇宙球粒表面具“棋盘格状”金相文饰并显示众多气体发散孔洞; 包含在北京十三陵中元古代常州沟组底部黄色粗砂岩中; 地质年代 18 亿年; 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 96.55$ Cr_2O_3 0.345 4. “长柄勺状”铁质宇宙颗粒 (Chc-1A B), 金属光泽, 暗灰色, 长度 $790\mu\text{m}$ 在“勺头”的表面 (A) 出现“花瓣状”金相文饰, 在“勺尾”表面 (B) 出现气体逸散孔洞; 包含在北京十三陵中元古代常州沟组底部黄色粗砂岩中, 地质年龄 18 亿年; 电子探针分析 (%) $\text{Al-FeO } 92.67$ Cr_2O_3 0.24 SiO_2 5.89 TiO_2 0.15 K_2O 1.05 $\text{B-FeO } 87.39$ Cr_2O_3 3.35 SiO_2 8.55 K_2O 0.72 5. “足球”状铁质宇宙球粒 (Chd-16), 直径 $204.2\mu\text{m}$ 金属光泽, 暗灰色, “雕球状”形态, 具“格子状”金相文饰于球粒表面, 出现众多气体逸散孔洞; 包含在北京十三陵中元古代大红峪组硅化碳酸盐岩中; 地质年龄 16 亿年; 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 97.42$ C_2O_3 0.33 NiO 0.29 SiO_2 0.43 Al_2O_3 0.21 K_2O 0.01 NaO 0.09 MgO 0.38 SO_3 0.21 6. 椭圆形铁质宇宙球粒 (Chd-6), 直径 $585.7\mu\text{m}$ 暗灰色, 金属光泽, 球粒表面具“花瓣状”金相文饰, 右侧小图 7 并显示“乳头状”突起; 包含在北京十三陵中元古代大红峪组硅化碳酸盐岩中; 地质年龄 16 亿年; 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 100$ 7. 圆形铁质宇宙球粒 (Chd-3-1), 直径 $161.5\mu\text{m}$ 金属光泽, 光亮白色呈“钢球状”表面光滑不具气体逸散孔洞; 表面具有放射状金相文饰 (右侧小图); 包含在北京十三陵中元古代大红峪组硅化碳酸盐岩中; 地质年代 16 亿年; 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 100$ 8. 圆形铁质宇宙球粒 (Chd-1-7), 直径 $252.9\mu\text{m}$ 暗灰色, 金属光泽, 表面具气体逸散孔洞; 包含在北京十三陵中元古代大红峪组硅化碳酸盐岩中, 地质年龄 16 亿年, 电子探针分析 (%) $\text{FeO } 80.18$ SiO_2 15.62 Al_2O_3 3.21 K_2O 0.98