

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

陕西段家坡黄土剖面中布容/松山古地磁 界线附近铱异常的发现及其启示

马配学

侯泉林

(北京大学技术物理系, 100871) (中国科学院地质研究所, 北京, 100029)

柴之芳

徐和聆 吴锡浩

(中国科学院高能物理研究所, 北京, 100080) (地质矿产部地质力学研究所, 北京, 100081)

内容提要 利用高灵敏度放射化学中子活化分析方法, 对我国陕西段家坡黄土剖面早—中更新统(约 0.73 Ma) 沉积界线附近铱和其它元素的丰度进行了测定。结果表明, 在布容/松山(B/M)古地磁界线附近铱的含量明显增大, 最大值为 46.3 pg/g。相对于整个剖面的平均背景值(约 15 pg/g)大约富集了 3 倍。用地壳元素钐进行标准化之后, 铱异常十分明显, 而其它元素在界线附近则没有变化。黄土剖面上铱异常的赋存层位与西南太平洋钻孔(ODP 769A)和东印度洋深海钻孔(ODP 758B)铱异常的赋存层位一致, 形成年龄在 0.73~0.76Ma 左右, 并且都与微玻璃陨石层伴生。因此, 认为该黄土剖面 B/M 界线的铱异常的形成与澳—亚微玻璃陨石事件有关。根据黄土剖面 B/M 界线铱的剩余通量估计撞击体的质量大约为 1.3×10^{16} g, 相当于直径为 951m 的球体。

关键词 B/M 古地磁界线 铱异常 澳—亚玻璃陨石事件 陕西段家坡黄土剖面

玻璃陨石和微玻璃陨石是在地外物体高速撞击地球的过程中, 地表物质熔融、溅射、快速冷凝形成的产物。澳大利亚—东南亚(微)玻璃陨石散落区分布面积最大, 相当于地球表面积的 $1/10^{[1]}$ 。它可能代表了第四纪以来最大的一次地外撞击事件。Glass 和 Wu 在澳大利亚—东南亚散落区深海钻孔含微玻璃陨石层(约 0.7 Ma)中发现了冲击变质矿物(石英和长石)、气孔状冲击玻璃、柯石英和斯石英等^[2]。Koeberl 在东印度洋深海钻孔(ODP hole 758B)含微玻璃陨石层(约 0.7 Ma)中发现了铱的异常($\text{Ir}=0.16 \text{ ng/g}$)^[3]。Schmidt 等也对该钻孔沉积剖面进行了研究, 结果也发现了类似的 Ir 异常^[4]。这些发现为建立玻璃陨石事件与地外物体撞击作用之间的成因联系提供了有利的证据。

我国西北地区广泛分布的黄土沉积, 地层连续, 记录着晚第三纪以来的各种地质信息。由于长期处于干旱环境, 极少受到生物或其它因素扰动, 是研究地外撞击事件以及地球气候环境变化的理想场所。我国的一些研究者先后在黄土沉积物 B/M 界线附近发现了微玻璃陨石和其它微球颗粒物^[5,6]。

本文以段家坡剖面为研究对象, 利用高灵敏度放射化学中子活化分析方法, 测定了早—中更新统(0.73 Ma) 沉积界线附近黄土样品中铱和其它元素的丰度, 目的是寻找地外物质撞击标志——地质界线上铱的异常, 为研究澳—亚微玻璃陨石的成因及其规模提供进一步的科

注: 本文为国家自然科学基金重大项目(编号 19392100)、中国科学院院长基金项目(编号 235)和中国科学院核分析技术开放实验室项目(编号 94B018)资助。

本文 1997 年 12 月收到, 1998 年 3 月改回, 郝梓国编辑。

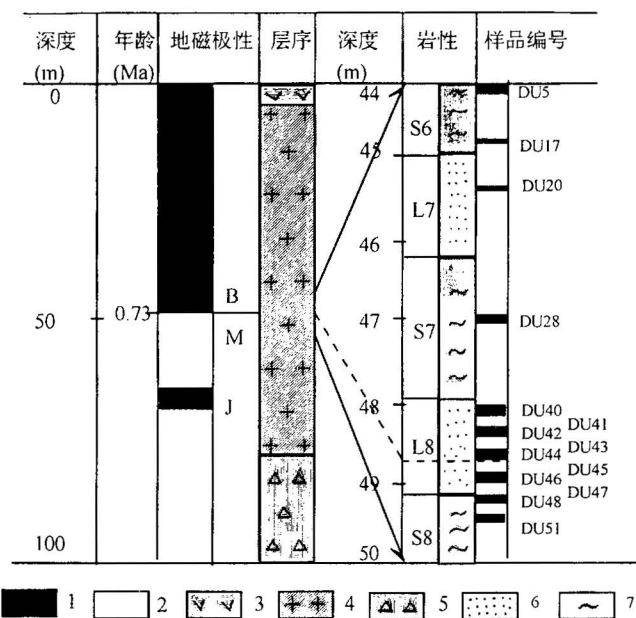


图1 段家坡黄土剖面 B/M 界线附近样品的分布

Fig. 1 Stratigraphy section and sampling horizons across the B/M boundary at Duanjiapo loess section, Shaanxi, China

1—布容期; 2—松山期; 3—马兰黄土; 4—离石黄土;

5—午城黄土; 6—古土壤层; 7—黄土层

1—Brunhes; 2—Matuyama; 3—Malan loess; 4—Lishi loess;

5—Wucheng loess; 6—paleosol layers; 7—loess layers

学实验依据。

1 样品与实验

1.1 样品采集

陕西段家坡黄土剖面位于西安市东南 80km 蓝田县段家坡村北 ($34^{\circ}12'N, 109^{\circ}12'E$)。该剖面地层连续, 并且已经过详细的磁性地层学研究^[7,8]。B/M 古地磁倒转界线位于 48.7m 处。采样区间为 44~50m, 靠近界线实行连续采样 (DU5~DU51), 样长 10 cm。样品重量一般为 2~3 kg。样品位置及其在剖面上的分布如图 1。

1.2 实验方法

黄土样品中 Ir 含量分析采用放射化学中子活化分析方法进行。实验样品重量在 1g 左右。中子注量率为 $8.1 \times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$, 照射时间为 9.5d。冷却 30d 后对样品进行放射化学分离。分离方法采用长链伯胺 (N-1923) 萃取流程进行^[9]。有关实验设备及实验方法可参阅马配学博士论文^①。为了保证分析质量, 实验中采用丹麦哥本哈

根大学地质研究所研制的标准参考物质 K—T 界线鱼粘土 (Fish clay) 作为质量监控。大多数样品的分析误差为 5%~15%, 个别样品 20%~25%。

其它微量元素的含量分析采用仪器中子活化分析方法。样品重量为 20~30mg, 中子注量率为 $7.3 \times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$, 照射时间为 8h。停止照射 7d 后进行第一轮放射性测量, 收集时间为 2500s。21d 后进行第二轮测量, 收集时间为 3000s。采用美国国家标准和工艺研究所研制的标准参考物质 NBS 1633a (煤飞灰) 和 NBS 1646 (港湾沉积物) 作为质量监控。

2 结果与讨论

2.1 B/M 界线附近铱的丰度变化特征

分析结果表明 (表 1), 在段家坡黄土剖面 44~50m 区间内, 黄土样品中铱的含量多在十几至几十 pg/g 之间。用 Sc 进行归一化之后, Ir 在 B/M 界线附近呈现出一个较明显的异常,

① 马配学. 用中子活化分析技术研究新生代三次地外撞击事件及其环境效应. 中国科学院高能物理研究所博士论文, 1996.

而其它元素的分布没有变化(图 2)。铱的最高含量为 46.3 pg/g,相对于整个剖面的平均背景(约 15 pg/g)大约富集了 3 倍。扣除背景含量之后,可以得出铱在该剖面上的剩余通量:

$$\text{Ir 的剩余通量} = \sum (C_i - X) * \rho_i * h_i$$

式中: C_i —样品中的铱含量; X —剖面上铱的平均背景值; ρ_i —样品密度; h_i —样品长度。

黄土样品的平均密度大约为 2.5 g/cm³,剖面上铱的平均背景含量近似地取为 15 pg/g。这样可以计算出铱在 B/M 界线附近(DU43~DU45)的剩余通量大约为 1.1 ng/cm²。Schmidt 等^[4]曾根据东印度洋深海钻孔(ODP 758B)B/M 界线附近铱含量的分析结果,对此铱异常事件做了类似的计算,其结果为 1.8 ng/cm²。

表 1 段家坡剖面黄土样品中子活化分析结果 (μg/g)
Table 1 Analytical results of loess samples by NAA (μg/g)

样号	深度(m)	Ir(pg/g)	Au(ng/g)	Fe(%)	Co	Ni	As	Se
DU5	43.9	13.3±7.5%	3.37±18%	4.22±2.5%	17.3±2.7%	53.1±70%	20.5±3.2%	2.01±45%
DU17	44.75	18.3±25%	<2.97	4.02±2.6%	16.7±2.8%	70.8±55%	19.7±3.2%	1.71±14%
DU20	45.35	19.7±3.2%	<3.94	—	—	—	19.7±3.0%	2.33±14%
DU28	46.9	19.0±6.7%	<3.17	4.16±2.6%	16.5±3.0%	<50.2	20.4±3.7%	<1.90
DU40	48.1	12.5±28%	<3.94	3.31±2.8%	13.5±3.6%	<55.3	16.8±5.1%	2.33±17%
DU41	48.2	10.6±6.8%	<3.61	3.74±2.7%	13.5±3.5%	<52.4	15.9±5.1%	<2.45
DU42	48.3	10.3±7.5%	—	3.65±2.7%	15.6±3.2%	<52.1	18.0±4.8%	2.71±15%
DU43	48.4	46.3±7.3%	<2.63	3.83±2.5%	15.8±2.7%	<40.4	18.0±3.4%	2.34±12%
DU44	48.5	21.6±19%	4.38±24%	3.75±4.8%	15.9±2.8%	<43.8	18.0±3.7%	1.68±14%
DU45	48.6	25.0±4.7%	<3.6	3.91±2.5%	16.6±2.6%	<53.2	20.8±4.4%	2.62±35%
DU46	48.7	14.6±12%	<4.01	4.0±2.7%	16.8±3.3%	60.6±25%	19.9±5.1%	3.42±15%
DU47	48.8	20.5±13%	6.33±24%	4.1±2.6%	17.2±3.2%	64.2±27%	19.4±4.9%	<1.82
DU48	48.9	23.7±15%	—	—	—	—	—	—
DU51	49.2	21.6±9.6%	<2.19	3.72±2.5%	15.2±2.6%	<51.2	18.5±3.8%	2.12±11%

注:放射性测量统计误差为 1.65σ,置信度 90%;— 表示没有数据。

为了证实黄土中 Ir 异常是否存在,用重力沉降法将界限附近几个铱含量较高的黄土样品分离成 4 个粒级:砂粒(>105μm),粗粉砂(105~30μm),细粉砂(30~2μm)和粘土(<2μm)。然后用放射化学中子活化分析方法测定 Ir 在各个粒级中的含量。结果发现,铱的含量与粒度大小密切相关,颗粒越细铱的含量越高。在<2μm 的粘土物质中,铱的含量高达 500~2050pg/g。过剩的铱主要赋存在<30μm 的细粒物质中(有关铱的粒级分布的实验结果将另外详细报道)。这一实验结果充分显示在 B/M 界限附近确实存在着铱的异常富集。但是由于黄土沉积速率过快以及粗粒物质的大量混入所产生的稀释作用,使铱异常的强度变得非常微弱。

2.2 铱异常的来源分析

铂族元素铱是一种物理化学性质极其稳定的亲铁元素。由于比重较大和强烈的亲铁性,在地球早期的慢核分异过程中大量地向地核集中。而在地球表层却极度亏损。现在地表物质中铱的来源主要有以下两种:①地外物质(宇宙尘埃粒子、陨石或小行星);②源于地幔的岩浆和火山活动。

现有的资料表明,自晚中生代以来宇宙尘埃粒子的通量基本恒定,由此所供给的铱的通量大约为 9 pg/cm²·ka^[10]。虽然沉积速率减慢可使其铱的丰度增加,但要达到目前所测到的异常程度,则要求沉积速率必须降低几十倍。但在 B/M 界线附近黄土的沉积速率并无明显变化。某些源于地幔的火山喷发可能携带较丰富的铱^[11]。但是第四纪以来,特别是在 0.7Ma 前后,不

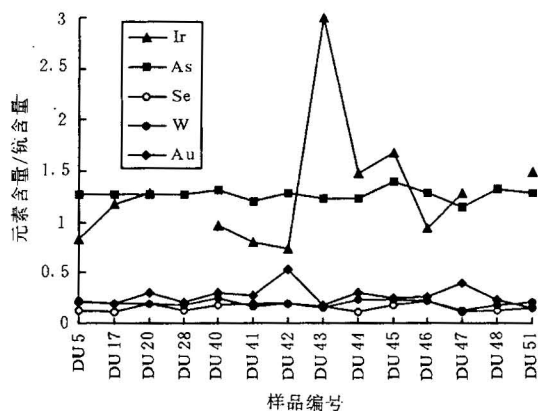


图2 B/M界线附近黄土样品微量元素
Sc 标准化分布图解

Fig. 2 Sc-normalized distribution patterns
of some trace elements across the B/M
boundary at Duanjiapo Loess Section

可见,不论是深海沉积物,还是陆相风成黄土堆积物中,都普遍存在着与澳大利亚—东南亚微玻璃陨石层相伴生的铱异常。这一发现无疑为澳—亚微玻璃陨石事件的地外物体撞击成因提供了新的实验证据。

作为一种近似,假定B/M界线的铱异常呈全球性分布,并且在全球的平均积分通量与黄土剖面B/M界线铱的积分通量类似($1.1 \times 10^{-9} \text{g/cm}^2$)。那么可以粗略地估算诱发这次撞击事件的地外物体大约为 $1.3 \times 10^{16} \text{g}$ (假定成分类似于 C_1 球粒陨石),撞击物体的直径大约为 951m。这一结果与 Schmitz 等^[4]根据东印度洋深海钻孔实验结果的估计类似。如此巨大规模的撞击事件足以诱发全球性的气候效应。

感谢毛雪瑛副研究员和欧阳宏女士在中子活化实验方面的帮助。感谢邓寄温,殷伟德,马淑兰和孔屏等在野外调查及采样工作中的辛勤劳动。感谢安芷生研究员对本项研究提出了建设性意见。

参 考 文 献

- 1 Glass B P. Tektites and microtektites: Key facts and inferences. *Tectonophysics*, 1990, 171:393~404.
- 2 Glass B P, Wu J. Coesite and shocked quartz discovered in the Australasian and North American microtektite layers. *Geology*, 1993, 21:435~438.
- 3 Koeberl C. Extraterrestrial component associated with Australasian microtektite in a core from ODP 758B. *Earth and Planetary Science Letter*, 1993, 119: 453~458.
- 4 Schmidt G, Zhou L, Wasson J T. Iridium anomaly associated with the Australasian tektite producing impact: Masses of the impactor and the Australasian tektites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993, 57:4851~4859.
- 5 李春来, 欧阳自远, 刘东生, 安芷生. 黄土中微玻璃陨石和微玻璃陨石的发现与意义. *中国科学(B)*, 1992, 11:1210~1219.
- 6 徐和聆, 吴锡浩, 邓寄温等. 黄土地层中奇异微颗粒的发现与初步研究. *海洋地质与第四纪地质*, 1993, 13(3):57~66.
- 7 郑洪波, 安芷生, Shaw J, 岳乐平. 段家坡黄土剖面磁性地层学研究. 北京: 科学出版社, 黄土、第四纪地质、全球变化(第三集). 1992, 42~55.

曾发现有全球性火山活动的记录。一些区域性的火山喷发难以形成范围如此之大的铱异常。此外,在火山喷发的气相物质中除了富集铱之外,易挥发亲硫元素(As、Sb、Hg、Cd等)也异常富集。然而在B/M界线附近除了铱之外,其他元素分布都很均匀(图2)。由此可见,由火山喷发形成上述铱异常的可能性很小,而最可能的来源是地外物质的突然大量的加入,即小行星或彗星撞击。广泛分布于澳洲与东南亚的玻璃陨石无疑是这一结论的有力证据。

2.3 铱异常与澳—亚玻璃陨石事件的关系

黄土剖面上所发现的铱异常与西南太平洋钻孔(ODP 769A)和东印度洋深海钻孔(ODP 758B)剖面上所发现的铱异常的赋存层位非常接近,形成年龄在0.73~0.76Ma左右,并且都与微玻璃陨石层密切伴生。可

- 8 岳乐平. 蓝田段家坡黄土剖面磁性地层学研究. 地质论评, 1989, 35(5): 479~488.
- 9 柴之芳, 马淑兰, 毛雪瑛等. 一种新的贵金属元素的放射化学中子活化分析方法. 岩矿测试, 1986, 5(2): 89~93.
- 10 Kyte F T, Wasson J T. Accretion rate of extraterrestrial matter: Iridium deposited 33 to 67 million years ago. Science, 1986, 232: 1225~1229.
- 11 Olmez I, Finnegan D L, Zoller W H. Iridium emissions from Kilauea volcano. J. Geophys. Res., 1986, 91(B1): 653~663.

Discovery of Iridium Anomaly at the B/M Boundary in the Duanjiapo Loess Section, Shaanxi: Its Enlightenment

Ma Peixue

(Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Hou Quanlin

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Chai Zhifang

(Institute of High-Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Xu Heling and Wu Xihao

(Institute of Geomechanics, Ministry of Geology and Mineral Resources, Beijing 100081, China)

Abstract

The contents of iridium and some other elements in loess across the B/M palaeomagnetic reversal boundary at the Duanjiapo Loess Section, Shaanxi Province, China, were measured by using radiochemical and instrumental neutron activation analysis. A weak but distinct Ir anomaly has been recognized at the B/M boundary of 0.7 Ma. The iridium near the boundary has a maximum content of 46.3 pg/g, about 3 times as high as the average level of the whole section. After normalized with the typical terrestrial element Sc, iridium shows marked enrichment at the B/M boundary; whereas other elements, such as As, Se and W, however, show significantly different distribution patterns from Ir. Since the Ir anomaly at the loess section lies at the same horizon as those containing the Ir anomaly discovered at deep-sea cores of the southwest Pacific (ODP 769A) and the east Indian Ocean (ODP 758B), it is inferred that the iridium anomaly at the B/M boundary in loess was produced about 0.73~0.76 Ma ago by the Australasian tektite event. According to the residual Ir flux at this section, it can be estimated that the mass of the impact projectile is 13 billion ton, corresponding to a spheroid with a diameter of 951 m (for a composition of CI chondrite).

Key words: B/M boundary; iridium anomaly; Australasian tektite event; loess section

作者简介

马配学,男,1958年生于河北省柏乡县。1981年毕业于河北地质学院地质系,1996年在中国科学院高能物理研究所获博士学位,现在北京大学技术物理系做博士后研究工作。主要研究的领域是核分析技术及其在地学中的应用。通讯地址:100871,北京中关村北京大学技术物理系。