

# 新近系—第四系界面撞击事件研究的新进展\*

吴锡浩<sup>①</sup> 徐和聆<sup>①</sup> 邓寄温<sup>①</sup> 蒋复初<sup>①</sup> 马配学<sup>②</sup> 马淑兰<sup>②</sup>  
孙东怀<sup>③</sup> 祝一志<sup>③</sup> 李春来<sup>④</sup> 殷伟德<sup>①</sup> 肖华国<sup>①</sup> 孔屏<sup>②</sup>

**摘要** 通过对中国黄土高原南缘的段家坡黄土—红粘土剖面 Ga/M 边界 (2.48MaBP) 上下地层中 5 种微颗粒和土样微量元素的研究,进一步确定了下更新统午城组黄土底部记录着两次撞击事件的信息。较早的一次记录于 L38 中,年代为 2.53—2.48MaBP,以多种撞击成因或与之有关的微颗粒为标志,且有丰度为  $58.3 \times 10^{-12} \text{g/g}$  的 Ir 异常和  $14.3 \times 10^{-9} \text{g/g}$  的 Au 异常给与确证。这是一次真正的 N/Q 界面撞击事件,在气候地层上与从上新统红粘土向更新统黄土的过渡相一致,在磁性地层上与从高斯正极性向松山反极性的转变相联系。较晚的一次记录于 S37 中,年代为 2.43—2.42MaBP,在多种微颗粒标志中,还包括含有 Ir 异常分别为  $3.89 \times 10^{-9} \text{g/g}$  的宇宙尘和  $2.15 \times 10^{-6} \text{g/g}$  的生物球粒。文中用综合成因模式解释了不同特性的撞击记录共存的现象,并指出中国黄土在天文地质研究方面尚蕴藏着大量信息。

**关键词** 新近系—第四系界面 撞击事件 中国黄土 微颗粒 铱异常

## 0 引言

在地质历史上,地外物体撞击地球的天文地质事件时有发生<sup>[1]</sup>。就新生代而言,已知的 6 次巨大撞击事件均诱发相应的古气候和古环境变化<sup>[2]</sup>,而且还可能是强烈构造运动的激发因素或驱动力。关于发生在古地磁极性年表上高斯/松山(Ca/M)边界(2.48MaBP)前后的新近系—第四系(N/Q)界面撞击事件,因其是标志古人类演变和进化历史新阶段的突变事件而特别受到关注。这次撞击事件在海相沉积中的记录,80年代首先在南极海洋发现<sup>[3-5]</sup>。稍后,在陆相沉积中的记录也在中国黄土高原找到<sup>[6-8]</sup>。这次小行星撞击地球的气候效应,密切地与华北风成黄土的初始发育相联系,又与北半球大规模冰川作用的开始时间相一致。因而,就地球系统演化而论,N/Q界面撞击事件揭开了第四纪构造、气候和环境变迁的序幕。

中国黄土高原的巨厚风成黄土地层,在风尘沉积后基本上未经内外营力地质作用的改造,

\* 国家自然科学基金资助项目,中国科学院核分析技术联合开放研究实验室基金和黄土与第四纪地质国家重点实验室基金,以及国家计委 30 届国际地质大会专项的资助。

①中国地质科学院地质力学研究所;②中国科学院高能物理研究所;③中国科学院西安黄土与第四纪地质研究室;④中国科学院地球化学研究所。

是保存最近 2.5Ma 撞击事件信息的最佳陆相地层。最近,不仅对黄土地层底蚩 N/Q 界面地层中所含的奇异微颗粒<sup>[8]</sup>有更深入的研究,而且还发现了铱(Ir)等微量元素的丰度异常。本文就此介绍对新近系—第四系界面撞击事件取得的新进展。

## 1 地层与采样

本文研究的 N/Q 界面地层是段家坡黄土—红粘土剖面上的相应层位(图 1)。它位于陕西

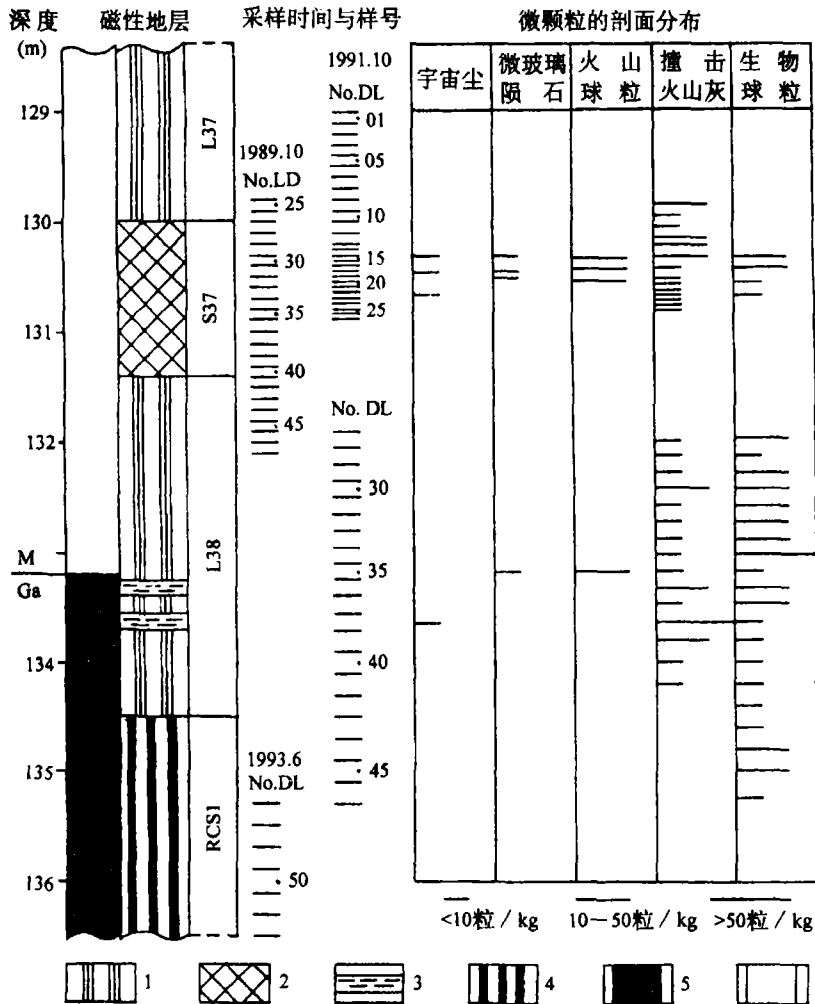


图 1 蓝田段家坡剖面 Ga/M 边界上下磁性地层、采样情况和微颗粒分布

Fig. 1 Magnetostratigraphy, Sampling and distribution of micrograins around the Ga/M boundary in Duanjiapo section

1. 午城组黄土层; 2. 午城组古土壤层; 3. L38 中的粘土夹层; 4. 蓝田组红粘土顶部的复合古土壤层; 5. 正极性; 6. 反极性

省蓝田县境内白鹿塬东缘的灞河左侧(34°12'N, 109°12'E)。剖面的顶面高程约 760m, 黄土—古土壤序列厚 134.5m。下伏上新统蓝田组红粘土层, 厚约 60m。该剖面已做过详细的磁性地层研究<sup>[9-12]</sup>, 重新测定的 Ga/M 界面在深度 133.2m 处。剖面的土壤地层单位是据郑洪波等结合磁化率曲线划定的, L1 为马兰组(黄土), S1—L15 为离石组(黄土), S16—L38 为午城组(黄

土),RCS1 为蓝田组红粘土顶部的复合古土壤层。标于图 3 上的地层年龄是据磁性地层留尼汪亚时带(R1)下界(2.14MaBP)、Ga/M 边界(2.48MaBP)和凯纳亚时带上界(2.92MaBP)的年龄为参照点(图 1),再用磁化率定年方法<sup>[13]</sup>标定的。

作者对该剖面的 N/Q 界面地层先后进行了 3 次采样,每个样品的重量至少 3kg。在 1993 年 6 月,除对前两次样段做重点补充采样外,还向下采了红粘土的样品(DL47—DL55),用以确定撞击事件的初始位置。在采样过程中,发现 Ga/M 边界之下的 L38 黄土层中夹两层粘土,分别厚约 15cm,暂称之为上粘土层和下粘土层。从土样中多次分选出来的微颗粒的含量概况,也综合表示于图 1 中。

## 2 微颗粒的分类特征

在 N/Q 界面撞击事件记录中,发现与撞击事件有关的多种微颗粒,有些含量还不少。其中部分分析测试数据列于表 1 和表 2。按照微颗粒的形貌特征、化学成分和成因可分为 5 类,即宇宙尘、微玻璃陨石、撞击火山灰、火山球粒和生物球粒。

### 2.1 宇宙尘

银灰、深棕色磁性球粒(粒径 80—120 $\mu\text{m}$ )或球粒集合体(180—300 $\mu\text{m}$ ),主要见于 S37 中, L38 的下粘土层(DL38)中也有发现。它们的表面常具有网格结构,化学成分显示 Fe、Ni、Co、Au 元素含量偏高和稀土元素含量偏低。其中有一颗(DL18,1—6)的 Ir 含量高达  $3.89 \times 10^{-6} \text{g/g}$ , Ir/Au 比值接近 3,属典型的消融型镍铁质宇宙尘。

### 2.2 微玻璃陨石

无色球粒(100—130 $\mu\text{m}$ )或浅棕、深灰色不规则颗粒(190—250 $\mu\text{m}$ ),含于 L38 和 S37 几个样品中。这类玻璃质颗粒的表面呈熔融和波纹结构。它们的化学成分虽不尽一致,但  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 FeO 等主项与深海岩芯中的微玻璃陨石相近<sup>[14]</sup>。一般认为,球状系溅射的富  $\text{SiO}_2$  物质在高空失重状态下快速冷凝所致,而不规则状为在低空重力作用下快速冷凝的结果。

### 2.3 火山球粒

黑色磁性球粒(65—390 $\mu\text{m}$ ),以 Fe 元素为主要成分,表面呈熔融结构和气印结构,主要见于 S37 中。它们明显具有经分馏的轻稀土元素富集型 REE 丰度模式<sup>[15]</sup>,富含火山特征元素 As,并因不含地外元素异常而可区别于宇宙尘。

### 2.4 撞击火山灰

灰黑色不规则碎屑物(65—235 $\mu\text{m}$ ),大量赋存于 L38 内的下粘土层(DL38),颗粒的外貌与 Heiken 等<sup>[16]</sup>介绍的那种被强烈改造的、由微晶矿物和橙玄玻璃组成的玻璃质火山灰相似。在砂薄片显示变晶—粒状结构,单颗火山灰由众多微晶矿物组成,包括歪长石、更长石、正长石、绿泥石质物质、蒙脱石、水黑云母、楣石、磁铁矿等火山自生矿物和火山玻璃脱玻化物质及它们的水化产物,微粒间常出现铁、锰氧化物和碳酸盐等淀积矿物。尽管复杂的矿物演化使其化学成分中的某些氧化物含量偏离原始火山物质,但据  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  等数据,表明此种火山灰与中国西部黄土尘粒源区的新近纪偏碱性玄武岩的成分相近<sup>[17]</sup>。此外,火山灰的单颗粒中还常含超微球粒和更长石,具有高出基性岩丰度 3.8—5.3 倍的 Ni 异常,并显示高达 4.6—5.3 的  $\delta\text{Ce}$  异常,稀土模式中的 Ce 元素比值特别突出(图 2),而下粘土层的全岩 REE 模式与黄土的 REE 模式<sup>[18]</sup>相似。这种矿物和元素特征,表明此种火山喷出物混入了多种地外物质的信息,应由撞击引发的火山活动所致。

表 1 段家坡剖面 Ga/M 界面地层中五类微颗粒的常量元素成分(%)

Table 1 Invariable elemental composition of five kinds of the micrograins in the strata around the Ga/M boundary in Duanjiapo section

分类	宇宙尘						微玻璃陨石						撞击火山灰*						火山球粒						生物球粒									
	S37			L38			S37			L38			S37			L38			S37			L38			S37									
	DL18	LD33	LD30	LD18	DL38	LD32	DL35	L38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38	DL38			
地层位	1-6	70-1	70-2	70-1	70-2	70-3	2-4	69	2-5	367	919	920	1-4	1-1	1-7	1-2	2-1	1-5	71	7	3-4													
采样号	0.35	2.67	6.74	38.00	51.49	40.88	67.62	36.61	54.16	55.74	55.54	0.00	6.59	6.52	1.85	13.66	3.80	4.17	0.00	0.00	0.00	3.35												
分析号	0.00	0.69	3.16	20.47	14.18	6.94	14.79	6.42	12.04	12.12	11.82	0.00	3.25	3.56	0.77	4.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00												
SiO <sub>2</sub>	94.53	88.92	86.07	16.40	6.79	25.79	7.90	27.52	0.00	2.33	2.26	94.35	82.40	81.09	92.92	72.76	83.87	0.81	0.65	0.65	2.40													
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	0.54	0.00	0.00	6.16	5.67	6.62	0.20	0.57	0.93	0.00	0.00	0.65	0.62	0.45	0.45	1.45													
FeO	0.00	0.09	0.38	1.27	1.27	6.87	0.66	0.00	2.89	2.88	2.90	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	5.09	0.00	0.00	2.73													
MnO	0.00	2.25	0.21	23.99	13.72	14.82	5.18	5.78	3.49	3.40	3.37	0.00	1.00	1.02	0.14	1.32	6.33	82.22	97.10	97.10	81.69													
MgO	0.00	0.00	0.00	0.17	8.26	1.44	2.80	20.84	2.33	2.27	2.25	0.00	2.08	0.06	0.02	0.89	0.15	0.73	0.99	0.99	2.76													
CaO	0.11	0.18	0.73	0.89	1.05	0.41	0.00	0.00	1.31	1.35	1.31	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	5.59													
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00													
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	1.00	15.01	12.81	12.96	0.45	0.40	1.06	0.27	0.00	4.49	6.2	0.00	0.00	0.20													
TiO <sub>2</sub>	0.00	2.14	0.70	3.11	3.11	0.00	0.00	1.00	98.06	99.24	99.68	95.00	96.98	95.72	96.05	96.25	99.55	99.82	99.91	99.91	99.97													
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	94.99	96.94	97.99	99.95	99.95	99.93	99.89	99.87	98.06	99.24	99.68	95.00	96.98	95.72	96.05	96.25	99.55	99.82	99.91	99.91	99.97													
其它	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00													
合计	94.99	96.94	97.99	99.95	99.95	99.93	99.89	99.87	98.06	99.24	99.68	95.00	96.98	95.72	96.05	96.25	99.55	99.82	99.91	99.91	99.97													

\* 国家地质实验室测试中心测试用等离子体光谱法分析,其它由中国地质科学院矿床地质研究所陈克耀用 X 射线能谱法分析。

表 2 段家坡剖面 Ga/M 界面地层中四类微颗粒微量元素成分 (×10<sup>4</sup>g/g)

Table 2 Rare elemental concentrations of four kinds of the micrograins in the strata around the Ga/M boundary in Duanjiapo section

分类 地层层位	宇宙尘				撞击火山灰				火山球粒				生物球粒			
	S37				L38				S37				L38			
	DL18	LD33	LD33	LD33	DL38	DL38	DL38	DL38	DL18	LD32	LD32	LD33	LD34	LD30	DL18	DL34
分析号	1-6	70	9	367	919	920	6	1-4	1-1	1-1	1-2	2-1	71	18	34	
La	2.17	1.67	<0.14	32	33	35	58	1.40	65	28.2	3.01	29.4	<3.33	7.2	7.05	
Ce	<31.8	<61.6	<31.1	352	362	434	456	<47.6	172	<52.8	<34.5	<29.4	<650	<34.3	12.3	
Nd	<51.1	<299	<92.8	28.7	26.7	24.5	43.6	<98.2	<78	<55.8	<70.7	<82.8	<22.3	<24.7	<18.6	
Sm	0.85	0.48	<0.04	5.8	6.3	6.0	5.02	0.43	8.26	9.19	0.91	7.41	2.06	1.73	1.99	
Eu	0.24	<7.14	<2.63	1.4	1.0	1.0	1.68	0.15	<2.27	1.8	0.16	1.26	2.53	1.63	0.75	
Tb	<2.09	5.08	<1.79	0.73	0.9	0.8	0.9	<2.52	<1.59	<2.59	<1.95	<1.58	<32.1	0.5	0.43	
Dy	<5.1	<7.44	<4.85	2.0	1.9	1.9	2.20	<7.4	<2.86	<6.18	<5.35	<2.86	<95.5	1.23	0.97	
Lu	<0.21	<0.39	<0.16	0.38	0.20	0.20	0.37	<0.35	<0.12	0.31	<0.25	0.19	<5.38	0.27	0.48	
Ir	3.89	<0.32	<0.17	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.37	<0.13	<0.31	<0.18	<0.15	2.15	0.01	0.009	
Au	1.37	0.07	0.63	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.02	0.008	<0.016	0.03	<0.008	<0.194	<0.003	0.009	
Cr	388	<83	<38.3	70	63	50	63.4	628	164	2870	344	8870	45000	18.1	97.3	
Co	506	133	<7.03	580	687	764	836	69	15.2	113	44.3	14.4	1550	2.15	1.62	
Ni	149000	4400	<928	544	569	635	772	<1310	<661	3110	1930	3430	29700	<91.7	<68.2	
As	34.3	2.12	1.49	64.3	64.3	16.1	187	27.3	125	<5.51	22.1	<0.72	<0.53	<0.53	<0.53	
Br	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83	<0.83
Os	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	<6.18	<3.54	<6.18	<6.18	<2.69	<2.69	22.1	67.9	

·中国科学院高能物理研究所用 INAA 法分析。

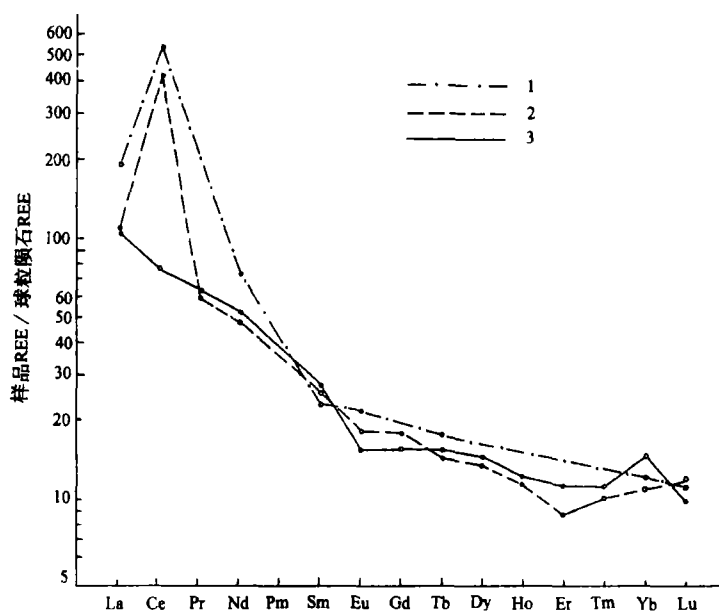


图2 段家坡剖面 Ga/M 边界之下的下粘土层(DL38)全岩及其中  
撞击火山灰的球粒陨石标准化 REE 模式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE pattern of bulk-rock of the lower clay layer (DL38) and the volcano-impacted ash within it under the Ga/M boundary in Duanjiapo section

1. 火山灰 INAA 分析结果; 2. 火山灰 ICP—Ms 分析结果; 3. 全岩 ICP—Ms 分析结果

### 2.5 生物球粒

这类黑色空心带尾球粒(70—250 $\mu\text{m}$ )初步鉴定属圆形单胞孢子,特别富集于 DL34 样品中,经 X 射线光电子能谱分析,它们的主要成分系 Cls 结合能为 284.6、286.55 和 288.55eV 的碳氢化合物。X 射线能谱和 INAA 分析表明,它们普遍贫含稀土元素,而且还在单颗粒(LD30,71)中测得含量为  $2.15 \times 10^{-6} \text{g/g}$  的 Ir 异常,并富集 Cr、Ni、Co 等稀有元素。综合地看,这种生物球粒的生长和保存与撞击环境有一定的联系。

## 3 铈元素丰度异常

在上述微颗粒研究的基础上,马配学等用放射化学中子活化分析(RNAA)方法对 Ga/M 边界上下地层进行了全岩测试,详细数据拟专文发表。图 3 仅绘出 Ir、Au 和 Co、Ni 4 种微量元素含量的剖面分布。黄土中 Co、Ni 的含量分别在  $14\text{--}28 \times 10^{-6} \text{g/g}$  和  $27\text{--}50 \times 10^{-6} \text{g/g}$  的范围内变化<sup>[19]</sup>,所以在 Ga/M 边界地层中,Co 元素丰度正常,Ni 元素丰度则在 DL40 和 DL35 两个样品中偏大。显然,最突出的撞击作用判据是地层中有 Ir 异常的显示,其峰值出现在上粘土层(DL36)中,丰度为  $58.5 \times 10^{-12} \text{g/g}$ ,相对于黄土地层的背景含量至少富集了 10 倍。另外,Au 异常出现在下粘土层(DL38)中,丰度为  $14.3 \times 10^{-9} \text{g/g}$ ,高出黄土地层背景值至少 5 倍。

由于 DL38 中还富集撞击火山灰,DL40 已显示相对偏高的 Ir 和 Ni 含量,表明首次陨星撞击早在 2.51MaBP 前就发生了,以后的撞击尘埃先后形成下粘土层及其 Au 异常和上粘土

层及其 Ir 异常。据此,结合前述微颗粒显示的特征,可以肯定地说,这一撞击过程紧靠在 Ga/M 边界之前,年代约 2.53—2.48MaBP,持续时间较长,因而真正是由数次撞击作用组成的 N/Q 界面撞击事件。至于记录于 S37 的撞击事件,年代为 2.48—2.43MaBP,持续时间不长,已离 Ga/M 极性转换约 0.05Ma,应与 N/Q 界面事件区分开来。

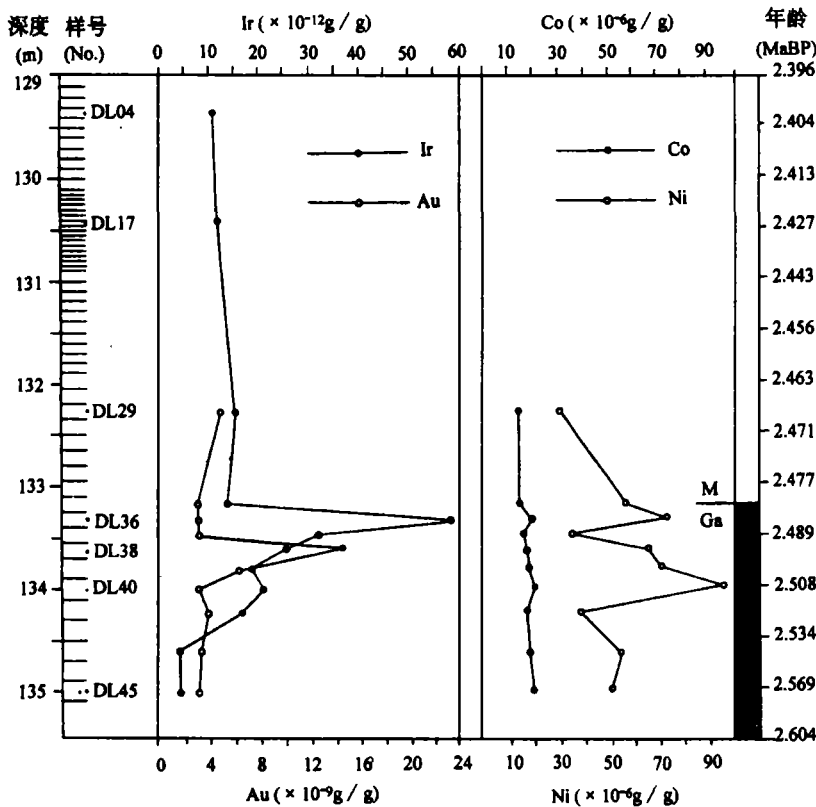


图 3 段家坡剖面 Ga/M 边界上下 Ir、Au 和 Co、Ni 含量的剖面分布

Fig. 3 Distribution of Ir, Au and Co, Ni contents around the Ga/M boundary in Duanjiapo section

#### 4 综合成因模式

上述 N/Q 界面撞击事件记录,可用一个综合成因模式给予统一的解释。当来自地外的物体冲击大气层时,首先在高空形成消融型宇宙尘和富含 Ir 等地外特征元素的气溶胶,残余块体冲击地面产生的溅射物质形成微玻璃陨石,并引发火山活动而产生撞击火山灰和火山球粒。它们随风尘物质先后降落,与在特定的撞击环境下快速生长的孢子一起,保存于黄土地层中。

关于 Kyte 等<sup>[3-5]</sup>研究的南极大洋的撞击事件记录,约发生在 2.4MaBP,故与本文研究的撞击事件对比时存在两种可能性。一种可能是与记录于 S37 中,发生于 2.43—2.42MaBP 的撞击事件同次;另一种可能是因海相沉积分辨率低而使先后两次相隔近 0.1Ma 的撞击事件记录合而为一了。但是,从降落在黄土高原的撞击火山灰不可能来自南半球来考虑,每次都不只是单颗陨星的撞击。可以推测,在邻近黄土高原的区域,也应有撞击点存在。

## 5 结语

本文研究揭示的两次撞击事件记录,前后相隔近 0.1Ma,而发生在 2.53—2.48MaBP 之间的那次才是真正 N/Q 界面撞击事件。在地层上它与上新统蓝田组红粘土与更新统午城组黄土的过渡性岩石地层界面相符。另一方面,正好表明 N/Q 界面撞击事件发生在 Ga/M 边界之前,Ga/M 极性转换事件发生在其后,两者也许有因果关系。深入研究以这类撞击事件为主要代表的天文地质事件,以及相伴发生的重大地质事件及其构造、地貌、气候和环境效应,必将为重新理解和认识第四纪全球变化打开一个新的窗口。

中国黄土的沉积速率大于深海沉积 10—20 倍,因而增加了撞击事件记录的判识和研究难度。然而,又正因黄土地层的高分辨率,且分布相当均匀和极易重复采样,从而为详细研究撞击事件的过程和地外物体的性质等问题,提供了现实可能性。

## 参 考 文 献

- 1 欧阳自远,天体化学。北京:科学出版社,1988,290—310。
- 2 欧阳自远、管云彬,巨大撞击事件诱发古气候旋回的初步研究。科学通报,1992,37(9):829—831。
- 3 Kyte F T. Zhou Zhiming and Wasson J T. High noble metal concentration in a Late Pliocene sediment. *Nature*, 1981, 292,417—420.
- 4 Kyte F T and Brownlee D E. Unmelted meteoritic debris in the Late Pliocene iridium anomaly, Evidence for the ocean impact of a nonchondritic asteroid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1985,49:1095—1108.
- 5 Kyte F T. Zhou Lei and Wasson J T. New evidence on the size and possible effects of a Late Pliocene oceanic asteroid impact. 1988, *Science*, 241: 63—65.
- 6 袁宝印、赵慧敏、张家齐,黄土中微玻璃陨石的发现及其意义。科学通报,1989,34(22):1725—1728。
- 7 吴锡浩、徐和聆、邓奇温、殷伟德、安芷生、郑洪波、欧阳自远等,陕西蓝田黄土地层中的两次天文地质事件记录。科学通报,1991,36(23):1799—1802。
- 8 徐和聆、吴锡浩、安芷生、欧阳自远、马淑兰等,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。
- 9 岳乐平,蓝田段家坡黄土剖面磁性地层学。地质论评,1989,35(5):479—488。
- 10 郑洪波、安芷生、J. Shaw、岳乐平,段家坡黄土剖面磁性地层学研究(见:黄土·第四纪地质·全球变化,第三集)。北京:科学出版社,1992,40—50。
- 11 Hongbo Zheng, Zhisheng An and John Shaw, New contributions to Chinese Plio-Pleistocene magnetostratigraphy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. Elsevier Science Publishers, B. V., Amsterdam, 1992, 70, 146—153.
- 12 岳乐平,中国黄土与红粘土记录的地磁极性界限及地质意义。地球物理学报,1995,38(3):311—320。
- 13 Kukla G. Heller F. Liu X M. Liu T S and Zn Z S. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility. *Geology*, 1988, 16: 811—814.
- 14 Cassidy W A. Glass B P and Heezen B C. Physical and chemical properties of Australian microtektites. *J. Geophys. Res.*, 1969, 74, 1008—1025.
- 15 马淑兰、徐和聆、吴锡浩、邓奇温、马配学、欧阳宏、殷伟德,黄土地层中奇异微颗粒的中子活化分析与研究(见:黄土·第四纪地质·全球变化,第四集)。北京:科学出版社,1996,170—174。
- 16 Heiken G and Wohletz K. "Volcanic Ash". University of California Press, 1985, 219.
- 17 刘若新、陈文奇、孙建中、李大明,中国新生代火山岩的 K-Ar 年代与构造环境(见:中国新生代火山岩年代学与地球化学)。北京:地震出版社,1992,1—43。
- 18 文启忠等,中国黄土地球化学。北京:科学出版社,1989,95—106。
- 19 刘东生等,黄土与环境。北京:科学出版社,1985,238—256。



# RECENT PROGRESS OF THE STUDY ON NEOGENE—QUATERNARY BOUNDARY IMPACT EVENT

Wu Xihao Xu Heling Deng Jiwen Jiang Fuchu Yin Weide Xiao Huaguo

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Ma Peixue Ma Shulan Kong Ping

(*Institute of High Energy Physics, CAS*)

Sun Donghuai Zhu Yizhi

Li Chunlai

(*Xi'an Laboratory of Loess and Quaternary Geology, CAS*)

(*Institute of Geochemistry, CAS*)

**Abstract** Up to now, five kinds of micrograins, including cosmic dust, microtektites, volcanic spherules, impact volcanic ash and organic spherules, especially the iridium anomalies in bulk rock and micrograins have been discovered in the strata around the Gauss/Matuyama boundary in Duanjiapo loess/red clay section located at the south margin of the North China Loess Plateau. From these records, two impact events with a time interval of ca. 0.1Ma have been determined, having an age of 2.53—2.48MaBP and 2.43—2.42MaBP respectively. The early one, as can be correlated not only to the climate stratigraphic red clay/loess transition, but also to the magnetostratigraphic Gauss/Matuyama transition, is undoubtedly the Neogene/Quaternary boundary impact event. It is also shown in this paper that a comprehensive mode of origin can be used for explanation of the coexistence of impact records with different properties.

**Key words** Neogene/Quaternary boundary, impact event, North China Loess Plateau, micrograins, iridium anomaly

## 第一作者简介

吴锡浩, 1937年生, 1962年毕业于南京大学地理系地貌学专业, 研究员。主要从事第四纪地质与古环境、古气候和过去全球变化研究。通讯地址: 北京海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码: 100081。