

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

1908年俄罗斯通古斯大爆炸的地球化学特征 和爆炸物体的估计

侯泉林 马配学

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

内容提要 本文用中子活化分析方法(NAA)分析了俄罗斯通古斯(Tunguska)地区1908年爆炸事件影响层中的元素地球化学特征,发现Ir, REE, Ni, Fe, Co等元素在事件层附近明显异常,异常因子达2—5。在事件主要影响层中Ir和Ni呈明显相关性,REE的碳质球粒陨石标准化配分曲线比较平坦,且比率在1左右。因此,说明这些元素异常是由Tunguska爆炸事件引起的,爆炸物体可能是碳质小行星或与之类似的星体。此外,根据Ir的异常丰度,估算了爆炸物体的重量(约 10^{10} t),半径(约1.5km)和爆炸释放出的能量(10^{10} t TNT左右)。

关键词 Tunguska 爆炸事件 元素地球化学 俄罗斯

1908年6月30日上午在西伯利亚中部的Tunguska地区(60°55'N, 101°57'E)发生了一次大爆炸,周围数百平方公里范围内的树木被摧毁,并且在半径为600—1000km内可观察到数日内整个欧洲和亚州西部的夜空变得通亮。这是本世纪极为罕见的天然大爆炸,引起了世界各国科学家,尤其是前苏联科学家的极大兴趣,纷纷进行考察,从不同方面进行研究,出版了许多考察报告,专著和学术论文^[1-21]。Tunguska事件并非人为所致,而是地外的天然事件,这是科学家们所公认的。然而,在所有的考察中没有发现任何撞击坑和可以反映爆炸物体身份的爆炸残块。这就给探明爆炸原因造成了困难,同时也成为科学家们探讨其中奥妙的强大动力。关于Tunguska爆炸的原因,科学家们提出了各种各样的推测和假说,如反物质^[4],黑洞^[8]和爆炸性飞碟^[1]等。Krinov(1966),Turco等(1982)和Korina等(1987)认为Tunguska事件是一密度极低(10^{-3} — 10^{-2} g/cm³)的彗星在到达地球之前发生爆炸,因此,在地表没有留下撞击坑和爆炸残块^[10,11,20]。慧尾对光的反射作用可以照亮夜空,而其它星体没有慧尾,无法反射阳光照亮夜空。但是,如此低密度的彗星似乎难以理解,因为与Halley彗星的密度(0.6—1.0g/cm³)相差太远^[14]。Ganapathy(1983)认为是一个重量 7×10^6 t以上,直径为0.16km以上的石质小行星在大气层中爆炸,并气化,因此在地表面没有留下撞击坑和爆炸残骸。并认为,爆炸产生的碎屑对阳光的反射可以照亮夜空^[6]。Ganapathy(1983)在南极相当于1909年的冰层中发现了富含难熔贵金属的金属球粒,经研究确认这些球粒来自1908年的Tunguska事件,因此指出,爆炸碎屑被溅射到平流层中,并在全球范围传播沉降。Chyba等人(1993)通过对爆炸产生的地震波能量的研究后认为,Tunguska事件系一半径为30m左右

注:本文为中国科学院院长基金和中国博士后科学基金资助项目。
本文1996年6月收到,1996年11月改回,郝梓国编辑。

的石质小行星以特超音速进入大气层,在距地表 10km 的上空发生爆炸,释放出了 $(1-2) \times 10^7$ t TNT 的能量,因此,在地表没有留下撞击坑和爆炸残块。他们还强调, Tunguska 爆炸物体不可能是彗星,碳质小行星或铁质小行星,因为,彗星和碳质小行星的密度过低,发生爆炸的位置太高,在地表不可能观察到爆炸产生的某些现象;而铁质小行星的密度又过高,难以在高空发生爆炸,因此必然在地表留下撞击坑和爆炸残块^[3]。Lyne 等经计算后得出,即使正常的碳质小行星也同样可以在空中发生爆炸,因此认为,碳质小行星的可能性最大^[13]。总之, Tunguska 事件的起因至今仍在争论之中。

但是,以上各家的研究在相应沉积物中的元素化学方面尚显不足。Korina 等人^[10]对 Tunguska 地区事件层上下 15cm 范围内的泥炭样品进行了中子活化分析(NAA),结果在事件层底部发现了含量为 17.2×10^{-12} g/g 的 Ir,在事件层之下 15cm 处的火球层(年龄相当于 1870 年)中发现了 11.5×10^{-12} g/g 的 Ir,分别比上下背景值(3.8×10^{-12} g/g)高 3—4 倍,但是,其它元素(包括 REE)在事件层中并无异常表现。他们认为,事件层底部的异常 Ir 是来自 1908 年的 Tunguska 事件,并以此为基础估算了爆炸物体的重量等。笔者认为,尽管事件层底部的 Ir 含量比背景值高出 4 倍左右,但是 17.2×10^{-12} g/g 的 Ir 仍在上地壳的平均含量 20×10^{-12} g/g 范围之内^[22],况且,其它元素在事件层中没有异常表现,因此,如此低的异常 Ir 是否来自 Tunguska 事件仍有待商榷。我们知道,地外事件引起地层中元素异常的反映一般相对于地外事件发生的时间往往有滞后效应,滞后时间可达数年、数十年,甚至更长,具体情况因事件而异。也就是说, Tunguska 事件发生之后,爆炸微粒溅射到大气层和平流层中,经过一段时间之后才能沉降于地表,因此由爆炸事件引起的元素异常(包括 PGE, REE 和其它有关元素)应该在事件层及其以上层位中表现的更为明显,而不应该仅在事件层底部或下伏的某个层位中表现出来;再者,除 Ir 之外的其它元素在事件层中没有异常反映也不太好理解,由于 Korina 等人(1987)没有详细论述其样品处理过程,因此更深入的分析显得有一定困难^[10]。

笔者用 NAA 方法分析了 Tunguska 地区事件层及其以上 45cm 范围内的 15 个泥炭样品中的各种元素,结果发现 Ir, REE, Co, Ni, Fe 等元素在事件层中明显异常,且向上逐渐恢复正常。在分析了元素异常与爆炸事件关系的基础上,对爆炸物体进行了估算。

我们认为, Tunguska 爆炸事件的元素地球化学特征,其意义并不仅限于 Tunguska 事件本身。众所周知,80 年代初期, Alvarez 等人发现 K—T 界线的 Ir 异常,据此提出地外物质(小行星)撞击地球,并造成恐龙等生物大规模绝灭^[23, 24]; Kyte 等提出, K—T 之交的生物绝灭可能是彗星撞击地球所致^[25]。这一灾变理论的提出,在世界上引起了强烈反响。K—T 界线事件是发生在几千万年之前,经历了长期的地质作用改造,人们只能根据地层中现存的一些现象进行推测。将今论古是地质科学的主要思想方法这一, Tunguska 事件发生在本世纪初,后期地质作用的影响较小。因此,研究 Tunguska 事件的元素地球化学特征对研究地质历史时期大的灾变事件具有十分重要的意义。

1 样品处理和测试

样品收集:对 Tunguska 中心钻孔的泥炭芯,从 45cm 深处至地表每隔 3cm 取一个样品,共计 15 个样品(图 1)。深度 46—43cm 相当于 1908 年沉积层(样品 N4—15),本文称之为事件层。深度 36cm 相当于 1927 年沉积层^[10]。

样品处理: 15 个样品均为浅棕色植物粉末。预处理过程分为三步: (1) 在 100℃ 干燥 2h, 然后称其重量, 计算干燥率(表 1)。并作为计算元素含量的重量标准; (2) 在 200℃ 下碳化 2h; (3) 在 500℃ 下灰化 5h, 称其重量, 计算灰化率(表 1)。这就准备好了 NAA 分析所需要的样品。

样品测试: 将灰化后的样品用铝箔包好, 送反应堆照射, 照射时间 16h, 中子注量率为 $5.2 \times 10^{13} \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 冷却 8d 进行第一轮测量, 冷却 17d 进行第二轮测量, 然后用 HPGe γ 谱仪获取数据并进行处理。

2 结果分析

15 个样品的 NAA 分析结果列于表 2。绘制各元素在垂向上的分布图(图 1)。从图 1 中可以看出, 难熔金属元素 Ir 在深度 45—24cm(对应样品 N4-15—N4-9)明显异常, 含量可达 $(0.539—0.240) \times 10^{-9} \text{ g/g}$, 而深度 24cm 以上(样品 N4-8—N4-1)的样品中除 N4-7 样品 Ir 的含量达 $0.222 \times 10^{-9} \text{ g/g}$ 外, 其余样品

表 1 样品处理过程中的有关参数

Table 1 The related parameter in pretreatment

样品号	干燥后重量 (mg)	干燥率 (%)	灰化后重量 (mg)	灰化率 (%)
N4-1	617.11	15.40	12.47	2.02
N4-2	694.79	17.37	9.78	1.41
N4-3	901.47	22.54	7.54	0.84
N4-4	813.56	20.34	7.09	0.87
N4-5	425.05	10.63	4.66	1.10
N4-6	700.20	17.51	5.15	0.74
N4-7	940.49	23.51	7.39	0.79
N4-8	741.98	18.55	7.30	0.98
N4-9	559.96	14.00	4.84	0.86
N4-10	383.45	9.59	4.19	1.09
N4-11	685.36	17.13	7.06	1.03
N4-12	842.06	21.05	9.90	1.18
N4-13	437.70	10.94	7.11	1.62
N4-14	1088.61	27.09	15.95	1.44
N4-15	948.26	23.71	14.22	1.50

注: 样品干燥前的重量均为 4g。

表 2 Tunguska 地区 1908 年事件后沉积物的 NAA 分析结果

Table 2 The element content determined by NAA in and above the event layer of the 1908 Tunguska explosion

样品	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Vb	Lu	Ir	Sb	Fe	Ni	Co
N4-1	214	282	<286	32.9	19.4	4.93	29.0	3.97	<0.237	81.1	241	—	0.149
N4-2	208	276	<227	32.5	18.1	<1.42	34.4	6.09	<0.232	111	37	2.47	0.143
N4-3	115	152	<136	18.5	10.9	2.98	12.0	2.68	<0.130	72.7	121	1.28	0.081
N4-4	143	213	<166	20.1	13.4	3.33	16.5	3.29	<0.145	106	141	1.87	0.080
N4-5	90.9	122	<241	14.5	12.3	3.82	12.8	3.00	<0.236	177	100	2.89	0.086
N4-6	78.8	110	<153	13.3	10.1	<0.94	27.6	2.99	<0.162	164	90.6	1.99	0.113
N4-7	102	138	<150	19.9	11.1	5.39	23.0	6.01	0.222	96.1	138	1.62	0.200
N4-8	126	166	<166	24.3	16.0	4.26	32.7	6.99	<0.162	45.7	187	1.78	0.219
N4-9	105	131	<195	25.5	15.0	3.55	40.0	7.32	0.452	38.2	218	1.70	0.382
N4-10	181	244	<223	31.6	19.6	5.10	46.1	8.79	0.511	40.0	281	2.43	0.442
N4-11	124	167	105	29.5	19.4	7.08	38.2	7.76	0.371	32.3	271	2.08	0.463
N4-12	166	240	<232	48.9	34.5	8.25	80.9	14.6	0.355	42.9	596	2.69	0.793
N4-13	276	334	255	75.9	46.3	12.0	117	19.2	0.539	52.0	954	2.90	1.320
N4-14	382	539	332	97.0	63.8	15.5	140	25.5	0.240	54.8	996	n	1.140
N4-15	443	610	363	113	72.9	20.4	160	30.6	0.513	51.5	850	3.47	1.090
异常因子	2	2	n	3	3	3	4	4	>2	n	4	1.4	5

注: La—Sb 为 $\times 10^{-9} \text{ g/g}$; Fe—Co 为 $\times 10^{-6} \text{ g/g}$; n—无数据; 异常因子: Ir 为 N4-9—N4-15/其它样品, 其它元素为 N4-11—N4-15/其它样品。

均低于检测限, 并且从深度 45cm 往上 Ir 的含量整体上呈逐渐降低趋势。结合 Korina 等人的资料^[10], 1908 年事件层以上至 24cm 范围内 Ir 的含量明显高于事件层以下的 Ir 含量(<0.02

$\times 10^{-9} \text{g/g}$)。与 Ir 密切相关的元素 Ni 的含量从事件层往上呈逐渐降低的趋势(从 $3.47 \times 10^{-6} \text{g/g}$ 到 $2.47 \times 10^{-6} \text{g/g}$)，在事件层附近异常。其它元素如 REE, Fe, Co 等均表现出类似变化趋势。结合 Korina 等人的资料^[10]，反映出这些元素在事件层及其以上层段的含量明显高于事件层以下层段。总之，Ir, REE, Fe, Co, Ni 等元素在事件层附近表现出明显的异常。考虑不同元素在大气层和平流层中滞留的时间不同，假定深度 45—24cm 为 Ir 的主要异常层，深度 45—30cm 为其它元素的主要异常层(图 1)，那么可以计算出元素的异常指数(表 2)。从中可以看出，各元素的异常指数在 2—5 之间。其中 Ir 和 REE 的异常指数为 2—3。如此相似的异常指数说明它们应具有相同的来源，即其异常原因应是相同的。

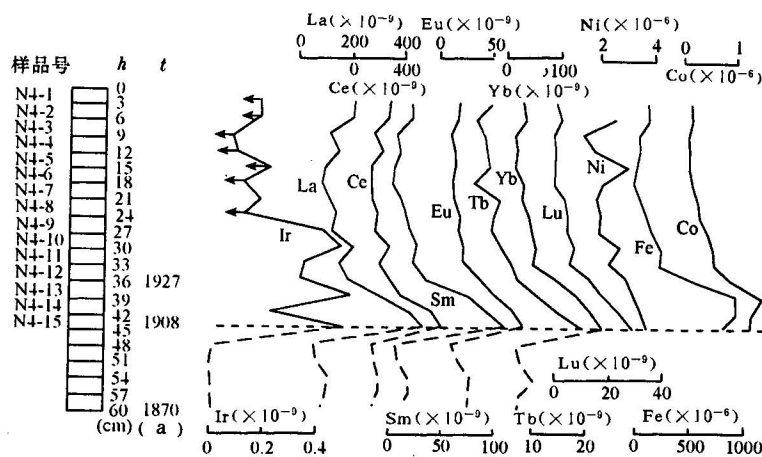


图 1 Tunguska 地区泥炭钻孔中的元素丰度(虚线为引用 Korina 等资料^[10])

Fig. 1 The element abundance of the peat core at the epicenter of the Tunguska catastrophe

这些元素在事件层附近异常的原因不外乎三个方面：(1) 沉积速率的降低；(2) 宇宙消融物质供给增加；(3) Tunguska 爆炸物质的供给。钻孔 60cm 深处相当于 1870 年沉积层，46—43cm 相当于 1908 年沉积层，36cm 相当于 1927 年沉积层^[10]，因此可以分别计算出 1870—1908 年间的沉积速率为 0.36—0.52cm/a 左右，1908—1927 年间的沉积速率也为 0.36—0.52cm/a，说明至少在 1870—1927 年之间沉积速率没有明显变化，因此用沉积速率降低不能解释事件层附近的元素异常。宇宙消融物质造成的元素异常应主要表现在难熔金属元素(如 Ir)方面，因为地外物质中难熔金属的含量大大高于地壳物质(如 Ir 可高 2—3 个数量级)。根据中太平洋的 2kg 红色沉积物中分离出的宇宙消融球粒的 Ni—Ir 关系图(图 2a)可以看出，11 个宇宙消融球粒中的 Ni 和 Ir 之间没有任何相关性，Ir 的变化达 100 倍以上 $(102-105) \times 10^{-9} \text{g/g}$ ，Ni 的变化不足 10 倍(1%—10%)。宇宙消融球粒中 Ni 和 Ir 缺乏相关性的原因可能有两个方面：(1) 这些球粒来自不同的地外物质，这些地外物质中 Ir 含量的变化比 Ni 含量的变化大。这些球粒代表了数千年的宇宙沉降；(2) 在消融物质的熔融过程中有关的化学作用改变了这两种元素之间的比率。我们用类似的方法编制 Tunguska 地区 1908 事件层及其以上层段中有对应值的 7 个样品(N4-15, N4-13—N4-9, N4-7)的 Ni—Ir 关系图(图 2b)。从图中可以看出，7 个样品均显示 Ni 和 Ir 密切相关，Ni/Ir 比为 5.8×10^3 左右。因此说

明 Tunguska 地区 1908 年事件之后的沉积物中 Ni 和 Ir 来自比较单一的地外物质,即 Tunguska 爆炸物体。碳质球粒陨石(C1)的 Ni/Ir 比为 2.3×10^4 ,比 Tunguska 地区 1908 年事件后沉积物的 Ni/Ir 比高 3 倍左右。如果 Tunguska 爆炸物体是与碳质球粒陨石成分类似的星体的话,可能是由于在爆炸过程中 Ni 比 Ir 更容易挥发而难以集中的缘故。

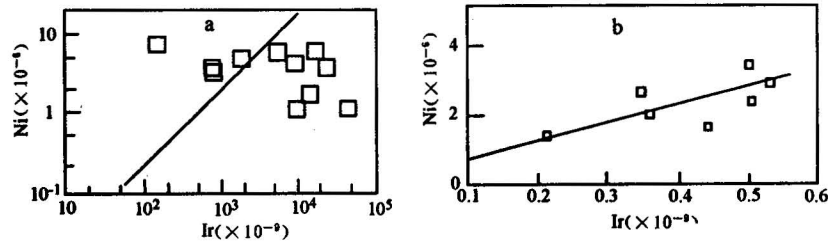


图 2 中太平洋宇宙消融物质(a)^[6]和 Tunguska 事件主要影响层(b)中 Ni—Ir 关系图

Fig. 2 Correlation between iridium and nickel in (a) Metallic spheres from daily, meteoric ablation and (b) Tunguska main event layer

将 Tunguska 地区的 15 个样品分成三个组,每组 5 个样品,分别绘制 REE 对 C1 的标准化分布曲线(图 3)。该分布曲线有两个明显特点:(1)曲线整体比较平坦。在纵坐标上样品 N4-1—N4-10(钻孔深度 30cm 以上)的比值略小于 1(图 3a, b),样品 N4-11—N4-15(钻孔深度 45—30cm)的比值为 1 左右(图 3c);(2)元素 Eu 轻度富集。这些特征说明 Tunguska 事件影响层中的 REE 几乎没有经过分馏作用。我们知道,地球上普通沉积物中的 REE 普遍经过了分馏作用,C1 标准化分布曲线表现为:(1)LREE 富集,HREE 亏损;(2)Eu 呈负异常;(3)REE 总量高于 C1 稀土总量,可达几十甚至上百倍。因此可以认为:(1)Tunguska 地区 1908 年之后沉积物中 REE 的富集不可能来自地内物质,而只能来自地外物质——Tunguska 爆炸物;(2)Tunguska 地区 1908 年(46cm 深度)之后的沉积物均接收了 Tunguska 爆炸物提供的 REE,深度 46—30cm(对应样品 N4-15—N4-11)为主要接收层段;(3)爆炸物的成分与 C1 非常类似,因此爆炸物体很可能是碳质小行星或与之类似的星体。另外,一般铁陨石中的 REE 比球粒陨石低 4 个量级左右,因此 Tunguska 爆炸物体不大可能是铁质小行星或与之类似的星体。

3 爆炸物体的估计

Tunguska 地区 Ir 的主要异常层位为 45—24cm(对应样品 N4-15—N4-9,图 1),如果假定 Tunguska 爆炸所产生的 Ir 在对应深度 24cm 之前全部沉降完毕,其它沉积物中的 Ir 为稳定宇宙沉降,同时考虑前面计算的 Ir 的异常因子为 2 左右,计算爆炸事件所产生的 Ir 的通量为 $4 \times 10^{-9} \text{gcm}^{-2}$ (干燥样品的密度为 0.12gcm^{-3} ,干燥率见表 1)。根据大气层旋回模式,优先将平流层物质沉降于中纬度地区,相对两极的优先富集倍数为 4—5 倍^[26]。在 南极发现的由 Tunguska 事件引起的 Ir 的通量为 $1.6 \times 10^{-13} \text{gcm}^{-2}$ ^[6]。据此可求出全球平均通量为 $1.2 \times 10^{-9} \text{gcm}^{-2}$ 左右,根据地球表面积计算全球范围内接收的由 Tunguska 爆炸所产生的 Ir 的总量为 $6.1 \times 10^9 \text{g}$ 。如果爆炸物体为与 C1 成分类似的行星,其中 Ir 的含量为 $481 \times 10^{-9} \text{g/g}$ ^[27],

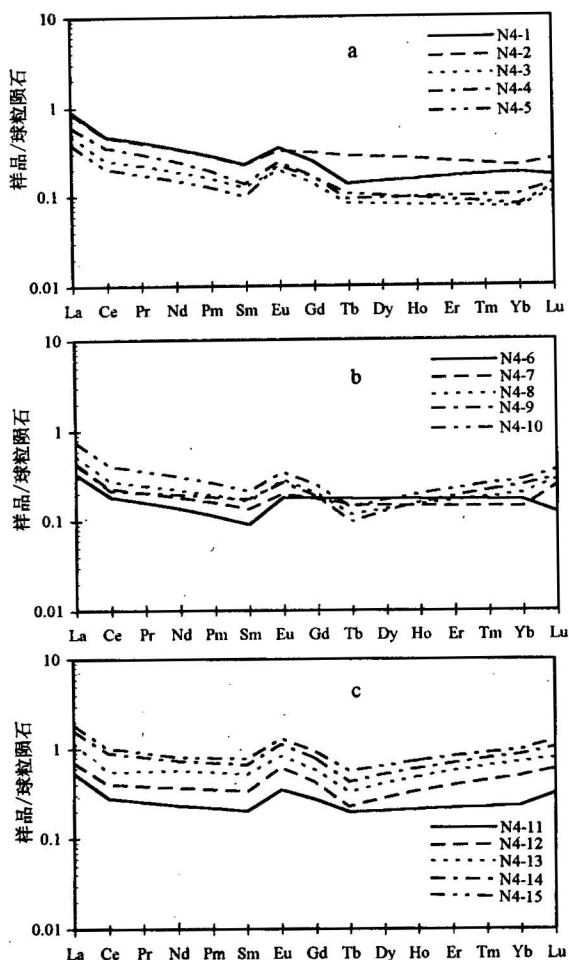


图3 Tunguska地区泥炭样品的REE碳质球粒陨石
标准化配分曲线

Fig. 3 Patterns of chondrite-normalized REE of
the 15 peat samples in Tunguska area

能量相当于 10^{10} t TNT。

致谢：莫斯科大学的 E. M. Kolesnikov 博士提供了所有样品，李继亮研究员，周瑶琪教授，何馥香博士等就有关问题与作者进行了讨论，在此一并感谢。

参 考 文 献

- 1 Baxter J, Atkins T. The Fire Came by. Doubleday, Garden City NY, 1976.
- 2 Beasley W H, Tinsley B A. Tunguska event was not caused by a black hole, Nature, 1974, 250(5467): 555—556.
- 3 Chyba C F, Thomas P J, Zahnle K J. The 1908 Tunguska explosion: atmospheric disruption of a stony asteroid, Nature,

计算爆炸物体的重量大致为 10^{10} t。根据 Ganapathy (1983) 的估计值，Tunguska 爆炸物体的密度为 1.1gcm^{-3} 左右，求得爆炸物体的半径接近 1.5km。普遍认为 Tunguska 爆炸物体以 20—30km/s 的速度进入大气层^[3,6]。Turco 等(1982)认为该星体进入大气层发生爆炸所释放出的能量仅相当于其总能量的 1% 左右^[20]，那么可以计算出 Tunguska 大爆炸释放出的能量大致为 10^{10} t TNT，此值接近 Turco (1982) 的估计值 10^9 t TNT^[20]，但比 Ganapathy (1983) 的估计值(直径 0.16km，重量 7×10^6 t)^[6]和 Chyba 等人(1993)的估计值(半径 30m，释放出的能量 10^7 t TNT)^[3]偏高。不过，他们均认为他们的估计值是最小值。

4 结 论

(1) 根据 Tunguska 地区 1908 年爆炸事件发生后沉积物中 Ir, REE, Ni, Fe, Co 等元素的异常特征，Ni/Ir 比值等，表明这些元素的异常是由 Tunguska 爆炸事件造成的。

(2) 根据事件主要影响层的 REE 球粒陨石标准化配分模式比较平坦，其比值在 1 左右，以及其它特征说明 Tunguska 爆炸物体可能是一个密度较低的，与碳质球粒陨石成分类似的小行星如碳质小行星，而不太可能是铁质小行星。

(3) Tunguska 爆炸物体的半径接近 1.5km，重量大致为 10^{10} t，爆炸释放出的

- 1993, 361(6407): 40—44.
- 4 Cowan C, Atluri C R, Libby W F. Possible anti-matter content of the Tunguska meteor of 1908, *Nature*, 1965, 206 (4987): 861—865.
 - 5 Florensky Kirill P. Did a comet collide with the earth in 1908? *Sky and Telescope*, 1963, 26(4): 268—269.
 - 6 Ganapathy R. The Tunguska explosion of 1908: Discovery of meteoritic debris near the explosion site at the South Pole, *Science*, 1983, 220, 1158—1161.
 - 7 Gentry Robert V. Anti-matter content of the Tunguska meteor, *Nature*, 1966, 211(5053): 1071—1072.
 - 8 A. A Jackson A A, Ryan M P. Was the Tunguska event due to a black hole? *Nature*, 1973, 245(5420): 88—89.
 - 9 Jones G H S. High explosive analogue of the Tunguska event. *Nature*, 1977, 267(5612): 605.
 - 10 Korina M I, Nazarov M A, Barsukova L D, Suponeva I V, Kolisov G M, Kolesnikov E M. Iridium distribution in the peat layers from area of Tunguska event. Eighteenth Lunar and Planetary Science Conference, Houston, TX. Mar. 16—20, 1987, 1987, 501—502.
 - 11 Krinov E L. *Giant Meteorites*, Pergamon Press, Oxford, 1966.
 - 12 Levin B Yu, Bronshten V A. The Tunguska event and the meteors with terminal flares, *Meteoritics*, 1986, 21(2): 199—215.
 - 13 Lyne J E, Tauber M. Origin of the Tunguska event, *Nature*, 1995, 375, 368—369.
 - 14 Melosh H J. Airblast scars on Venus, *Nature*, 1992, 358(6388): 622—623.
 - 15 Melosh H J. Tunguska comes down to earth, *Nature*, 1993, 361(6407): 14—15.
 - 16 Nazarov M A, Korina M I, Kolesov G M, Vasil'ev N V, Kolesnikov E M. The Tunguska event: Mineralogical and geochemical data, Eighteenth Lunar and Planetary Science Conference, Houston, TX. Mar 16—20, 1987, 1987, 548—549.
 - 17 Rochia R, Angelis M de, Bocelet D, Donte Ph, Jehanno C, Robin E. Search for the Tunguska event in the Antarctic snow, global catastrophes in earth history. An Interdisciplinary Conference on Impact, Volcanism, and Mass Mortality, Snowbird, UT, Oct. 20—23, 1988, 1988, 156—157.
 - 18 Sagdeev R Z, Elyberg P E, Moroz V I. Is the nucleus of comet Halley a low density body? *Nature*, 1988, 331(6153): 240—242.
 - 19 Spall Henry. The Tunguska comet or great Siberian mystery explosion of 1908, *Earthquakes-and-Volcanoes*, 1986, 18(2): 93—97.
 - 20 Turco R P. An analysis of the physical, chemical, optical, and historical impact of the 1908 Tunguska meteor fall, *Icarus*, 1982, 50(1): 1—52.
 - 21 Wick G L, and Isaacs J D. Tunguska event revisited, *Nature*, 1973, 245(5437): 139—140.
 - 22 Taylor S R, McLennan S M. *The continental crust: Its composition and evolution*, Blackwell Scientific Publications, 1985.
 - 23 Alvarez L W. Extraterrestrial cause for the Cretaceous—Tertiary extinction, *Science*, 1980, 208(4448): 1095—1107.
 - 24 Alvarez L W. Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1983, 80, 627—642.
 - 25 Kyte F T, Zhou Z, Wasson J T. Siderophile-enriched sediments from the Cretaceous—Tertiary boundary, *Nature*, 1980, 288(5792): 651—656.
 - 26 Barker J L, Anders E. Accretion rate of cosmic matter from iridium and osmium contents of deep-sea sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1968, 32(6): 627—645.
 - 27 Anders E, Grevesse N. Abundance of the elements: Meteoritic and Solar, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989, 53(1): 197—241.

THE GEOCHEMISTRY OF THE 1908 TUNGUSKA EXPLOSION AND ESTIMATION OF THE EXPLOSIVE BODY

Hou Quanlin and Ma Peixue

(*Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing*)

Abstract

Fifteen peat samples collected from the layers affected by the 1908 Tunguska explosion in the Tunguska area of central Siberia, Russia, were analyzed by NAA to determine the contents of Ir, REE, Ni, Co, and Fe. The analytical data show that Ir concentrations in and above the event layer are $(0.54-0.24) \times 10^{-9}$, about 10—20 times higher than that in layers below, and that other elements are enriched by a factor of 2 to 5. In addition, the variation of the Ni concentration is closely related with Ir in the explosive layer, and the patterns of chondrite-normalized REE are almost flat with a ratio of about 1. Hence, it can be inferred from the characteristics of elemental geochemistry that the explosion most likely was associated with extraterrestrial material. As it exploded before reaching the ground, the explosion body must have had a quite low density and its chemical composition was probably similar to that of carbonaceous chondrite (C1). In terms of the Ir flux in the explosion area, it can be estimated that the celestial body exploded weighed about 2.96×10^{10} tons, had a radius of ca. 1.5 km and might have released energy equivalent to 1.5×10^{10} — 3.3×10^{10} tons of TNT.

Key words: 1908 Tunguska explosion, elemental geochemistry, Russia

作者简介

侯泉林, 男, 1963年生。1983年毕业于焦作矿业学院地质系, 1993年获中国科学院地质研究所博士学位, 现为副研究员。长期从事于构造地质、大地构造、中子活化分析的研究工作。通讯处: 北京大学技术物理系, 邮政编码: 100871。