

# 亳县陨石的热释光性质、分类和冲击相

陈江峰

D. W. G. Sears P. Benoit

(中国科学技术大学)

(University of Arkansas, USA)

**摘要** 亳县陨石的诱发热释光强度为 Dhajala 陨石的  $1.38 \pm 0.02$  倍,因此它是一颗不平衡普通球粒陨石,分类为 LL3.8. 由矿物学和热释光性质反映其冲击相为 b. 自然热释光等效剂量约为  $207.3 \pm 0.4$ krad. 此值高于绝大多数陨石,反映它曾处于太阳系空间中温度较低的环境或曾接受过异常高的辐射剂量.

**关键词** 热释光,不平衡普通球粒陨石,亳县陨石

**中图法分类号** P68

**PACS(1994)** 96.50 · Mt

## 1 引言

王奎仁等<sup>[1]</sup>通过热释光(以下简称 TL)强度测定和大气加热模拟实验结果,估算了亳县陨石陨落时由于大气加热引起的温度梯度和烧蚀速率,由 TL 曲线特征推断该陨石在太空中运行时是位于距太阳较远的轨道上.

由陨石的 TL 研究还可以知道陨石的许多重要性质. 陨石中长石是主要的热释光发光体,所以诱发热释光,其强度能反映陨石中长石的含量及其结晶程度(一部分长石变成玻璃后就不再具有 TL 能力). 陨石的岩石类型愈高(即变质和平衡程度愈高)则长石结晶越好;陨石在冲击作用下长石转变为玻璃,因此诱发 TL 强度还反映陨石的不平衡程度和冲击作用影响. 自然 TL 强度是陨石在空间受到宇宙线照射(能量积聚)和热衰变的综合结果,能反映出陨石的历史和落地年龄.

## 2 实验方法和结果

样品取自亳县陨石 1 号样品内部深约 12cm 处. 鉴于此,可以排除降落时加热的影响.

在美国 Arkansas 大学进行样品测定. 取约 200mg 样品,破碎后选取均匀的小于 100 目的非磁性粉末约 4mg 用作测定. 首先将样品加热到 500℃ 以消除原先积累的全部 TL,然后用 <sup>90</sup>Sr-β 源照射,照射剂量约为 25krad. 采用高精度热释光仪(Daybreak 公司生产)测定 TL 强度. 样品重复测量三次,取平均值并计算标准偏差. 以 Dhajala 陨石为工作标准监测仪器运行及操作过程,并以其 TL 强度为标准与样品比较. 进行自然 TL 测定时不需要预加热步骤<sup>[2]</sup>.

测定结果表明,亳县陨石的诱发 TL 强度为  $1.38 \pm 0.02$  (以相同条件下照射的 Dhajala 陨石的强度为 1 作基准), 峰温为  $200 \pm 6^\circ\text{C}$ , 峰宽为  $153 \pm 1^\circ\text{C}$ , 诱发 TL 曲线见图 1.

亳县陨石的天然 TL 曲线见图 2. 其低温峰中心温度约为  $250^\circ\text{C}$ , 高温峰中心位置约为  $400^\circ\text{C}$ . 亳县陨石的诱发和天然 TL 的曲线形态大致与大部分普通球粒陨石的一致, 也与该陨石以往测得的曲线一致<sup>[1]</sup>. 但亳县陨石的 LT/HT 值约为 8.94 ( $\ln(\text{LT}/\text{HT})$  为 2.19), 此值比以往的结果<sup>[1]</sup>高.

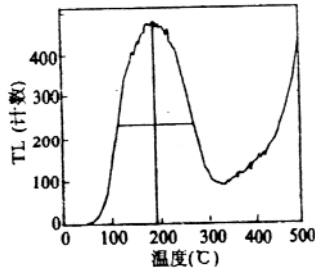


图 1 亳县陨石的诱发 TL 曲线

Fig. 1 Plot of TL sensitivity against temperature of Boxian chondrite

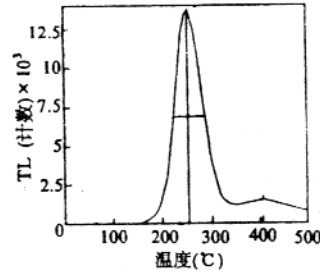


图 2 亳县陨石的天然热释光曲线

Fig. 2 Plot of natural TL sensitivity against temperature of Boxian chondrite

由于亳县陨石在演化历史上曾接受过很高的辐射剂量, 而本次实验中外加剂量太小, 故难以用常规方法<sup>[2]</sup>计算等效剂量-温度曲线. 本文仅用经验公式计算  $250^\circ\text{C}$  下的等效剂量:  $\log(\text{等效剂量}) = 1.2903 \times \log(\text{LT}/\text{HT}) + 1.890$ , 结果约为  $207.3 \pm 0.4 \text{krad}$ .

### 3 亳县陨石的岩石类型

根据矿物学和结构构造研究, 已确定亳县陨石的岩石类型在 3 和 4 之间<sup>[3]</sup>. 以 Dhajala (H3.8) 陨石为基准, 不平衡球粒陨石的 TL 强度低, 平衡球粒陨石的强度高, 相对强度差别超过 5 个数量级, 且与化学群无关. 在 3 型陨石中, 其相对强度差别有 3 个数量级, 因此可以用小数点将 3 型陨石分成 3.1, 3.2, ..., 3.9 九个亚型<sup>[4,5]</sup>. 按这一标准, 亳县陨石的诱发 TL 相对强度为 1.38, 应划为 3.8 型(表 1). 这种分类法的误差为  $\pm 0.1$  型.

表 1 亳县陨石和不平衡球粒陨石亚型的划分<sup>[4,5]</sup>

Tab. 1 Subdivision of petrological types of unequilibrated ordinary chondrite and the petrological type assignment of Boxian Chondrite

岩石类型	TL 强度 (Dhajala = 1)	橄榄石 PMD	C(%)	<sup>36</sup> Ar ( $10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g}$ )
3.9	2.2—4.6	5—15	$\leq 0.21$	<4
3.8	1.0—2.2	15—20	0.21—0.24	4—8
3.7	0.46—1.0	20—25	0.24—0.27	8—13
亳县陨石	1.38	15	0.08	~4

亳县陨石的橄榄石中铁橄榄石分子(Fa)的平均百分偏差(PMD)约为 15% (据王奎仁, 1988 数据<sup>[3]</sup>重算), 落在 3.8 和 3.9 两亚型之间(表 1), 与 TL 划分结果一致.

总之, 亳县陨石是一块轻微不平衡的普通球粒陨石, 是我国迄今为止所知唯一的一块不平

衡普通球粒陨石(unequilibrated ordinary chondrite, 即 UOC). 与平衡球粒陨石相比, 其变质作用轻微, 因而保留较多的关于原始太阳星云凝聚、吸积时留下来的早期太阳星云演化的信息.

#### 4 挥发分含量与分类

亳县陨石的 C 含量(0.08%)<sup>[6]</sup> 远低于大多数不平衡球粒陨石的值. Anders 和 Zadnik (1985)<sup>[7]</sup> 指出 C 含量基本上不受冲击作用影响, 因此亳县陨石的低 C 含量是一种原始特征. 亳县陨石中 Ar 含量也较低<sup>[8]</sup>, 因此它有挥发性成分低的特征. Anders 和 Zadnik 还指出虽然挥发分的富集程度和陨石的不平衡程度之间有一定的相关关系, 但这种相关关系并不很强<sup>[7]</sup>. 因此他们提出了一种变质程度(即不平衡程度)和挥发分富集程度的双重分类法. 按照他们的标准, 最贫挥发分的 9 亚类的 C 含量  $\leq 0.21\%$ ,  $^{36}\text{Ar} \leq 2.5 \times 10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g}$ , 因此亳县陨石是不平衡普通球粒陨石中最亏损挥发分的亚类. 按此双重分类法, 亳县陨石应为 3.8/9 型. 象亳县陨石这样的挥发分高度亏损的不平衡普通球粒陨石是少见的, 但也并非绝无仅有<sup>[7]</sup>. 例如 Carraweena(LL3.9)陨石的 C 含量为 0.088%,  $^{36}\text{Ar}$  为  $3.25 \times 10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g}$  等<sup>[7]</sup>.

#### 5 冲击作用强度估计

由橄榄石等矿物中出现裂纹等现象<sup>[3]</sup> 可看出亳县陨石曾经受了冲击作用的影响. 强烈冲击加热导致长石晶体熔融形成熔长玻璃, 因而使诱发 TL 强度下降<sup>[5]</sup>. 然而亳县陨石的诱发 TL 强度与橄榄石中 Fa 分子的不均匀性完全匹配, 说明其热释光强度并未因冲击作用而明显减弱. 根据广泛采用的冲击相划分标准(表 2)<sup>[9]</sup>, TL 强度基本上不受影响时冲击相为 a 相或 b 相.

由于橄榄石中未见明显的波状消光<sup>[3]</sup>, 亳县陨石经受的冲击相应为 a 相或较低的 b 相, 据此估计经受的压力可能为 10GPa 左右

亳县陨石的全岩  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄(约为 3.97Ga) 低于其坪年龄(约为 4.6Ga)<sup>[10]</sup>. 据计算,  $^{40}\text{Ar}$  的丢失量约为 30%. 其 Ar 丢失的机理尚有待于进一步研究, 如果这种 Ar 丢失全部为冲击所致, 即保存的  $^{40}\text{Ar}$  为正常量的 70% 左右, 按此判据, 其冲击相可能为 C 相. 如果如此, 它的实测 TL 值已比正常值有所下降. 即便如此, 其岩石亚型可能为 3.9, 与  $3.8 \pm 0.1$  型估计并不矛盾. 但矿物学证据不支持亳县陨石的冲击变质已达 C 相的估计.

表 2 亳县陨石和其它普通球粒陨石的冲击相  
Tab. 2 Properties of shock facies of ordinary chondrites and shock facies assignment of Boxian Chondrite

冲击相	压力 (GPa)	橄榄石	熔体包	$^{40}\text{Ar}$	TL 强度
a	<5	裂纹	无	正常	正常
b	5—10	裂纹, 波状消光	无	正常	正常
c	20—22	裂纹, 波状消光	无	~0.7—正常	0.15—0.4×正常值
亳县陨石		裂纹	无	0.7 或正常	正常

#### 6 自然 TL

大多数球粒陨石的天然 TL 强度为 10—100krad, 而亳县陨石的天然 TL 强度约为 207krad.

这种高的自然 TL 与其短的落地年龄(到测试时为 13 年)是一致的. 尽管亳县陨石的落地年龄很短,其自然 TL 强度还是异常地高,这表明它在空间中处于高辐射剂量或低温环境. 对于亳县陨石为何会经受高的辐射剂量,尚无恰当解释. 但低温环境意味着轨道离太阳较远. 高的 (LT/HT) 比值表明亳县陨石的轨道的近日距较远,这与以往的研究结果一致<sup>[1]</sup>.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 王奎仁等,空间科学学报, 7(1987), 73-77.
- [ 2 ] Sears D W G and Hasan F A, Workshop on antarctic meteorites, 83-100, LPT Tech. Rpt., 86-01(eds. Annexstad J *et al.*), Lunar and Planetary Institute, Houston, (1986), p1-18
- [ 3 ] 王奎仁,中国科学 B 辑,1988 年, No. 7, 767-776.
- [ 4 ] Sears D W G *et al.*, *Nature*, 287(1980), 791-795.
- [ 5 ] Sears D W G and Dodd R T, Meteorite and the Early Solar System(eds. Kerridge J F and Matthews M S), University of Arizona Press, (1988), p3-31.
- [ 6 ] 李彬贤等,空间科学学报,6(1986), 321-324.
- [ 7 ] Anders E and Zadnik M G, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49(1985), 1281-1291.
- [ 8 ] 满发胜等,中国科学技术大学学报,16(1986), 197-202.
- [ 9 ] Dodd R T and Jorosewich E, *Earth Planet. Sci. Let.*, 44(1979), 335-340.
- [ 10 ] Chen Jiangfeng and Foland K A, *Chinese Science Bulletin*, 35(1990), 1984-1987.

## Thermoluminescence Property, Petrological Type and Shock Facies Assignment of Boxian Chondrite

Chen Jiangfeng

(*University of Science and Technology of China*)

D. W. G. Sears      P. Benoit

(*University of Arkansas, USA*)

**Abstract** The level of induced thermoluminescence (TL) in Boxian chondrite is  $1.38 \pm 0.02$  relative to the Dhajala meteorite. Based on the subdivision suggested by Sears *et al.* (1980), the petrological type of Boxian chondrite is  $3.8 \pm 0.1$ . The shock facies of Boxian chondrite corresponds to facies b based on TL level and mineralogical criteria. Boxian chondrite has a natural TL level of about  $207.3 \pm 0.4$  krad, much higher than most meteorites. It is very likely that Boxian chondrite had an unusual history involving high radiation doses and/or very low average temperature in space.

**Key words** thermoluminescence (TL), Boxian chondrite, unequilibrated ordinary chondrite (UOC)