

用热释光和稀有气体方法研究我国若干普通球粒陨石的热历史*

李肇辉 刘京发

(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

摘要 测定了我国11个H型、6个L型和3个LL型球粒陨石的热释光特征。H型球粒陨石的TL峰温和峰宽分别为163—206℃平均 (189^{+17}_{-26}) ℃和83—137℃平均 (114^{+23}_{-31}) ℃, L型和LL型球粒陨石分别为183—203℃平均 (190^{+13}_{-7}) ℃和111—143℃平均 (126^{+17}_{-15}) ℃。依据TL数据和已发表的稀有气体同位素数据,引入了(^3He 暴露年龄/ ^{21}Ne 暴露年龄)—诱发TL灵敏度—(^4He 气体保存年龄/ ^{40}Ar 气体保存年龄)图,这种图形是鉴别不同陨石热历史的一种有效方法。

关键词 普通球粒陨石, 诱发热释光, 热历史

由于陨石热释光、放射成因稀有气体(^4He 和 ^{40}Ar)和宇成稀有气体(^3He 和 ^{21}Ne)对热的敏感性,它们或它们中两者之间的相互关系已成为研究陨石热变质历史、冲击变质史、太阳辐射加热史和地球风化史的有效方法^[1-8]。Haq等^[1]、Sears等^[2]和Benoit等^[3]对普通球粒陨石(不含中国陨石)的热释光研究表明,南极与非南极陨石的诱发热释光特征存在明显差别,他们认为这种差别是南极与非南极陨石宇宙线辐照史、冲击再加热历史和落地史差别的反映。新近, Eugster等^[6]对中国等地区球粒陨石的稀有气体同位素进行了系统研究,提出用 T_3/T_{21} — T_4/T_{40} (T_3 和 T_{21} 分别为陨石的 ^3He 和 ^{21}Ne 宇宙线暴露年龄, T_4 和 T_{40} 分别为陨石的 ^4He 和 ^{40}Ar 气体保存年龄)关系研究陨石热历史的新方法。但至今尚未对我国陨石进行过系统的诱发热释光研究,因此对新近陨落的我国普通球粒陨石进行较系统的TL特性研究,探讨TL特性、宇成稀有气体暴露年龄、稀有气体保存年龄与陨石热历史的关系显得十分必要。本文报道了我国20个普通球粒陨石的TL特征,结合已发表的稀有气体同位素数据^[5,6,9],探索用 T_3/T_{21} —TL— T_4/T_{40} 三参数关系研究陨石热历史的新方法。

1 样品和实验方法

1.1 样品

样品由11个H群、6个L群和3个LL群球粒陨石组成。除长兴为发现陨石外,其余的均是1952年至1990年陨落我国的普通球粒陨石。

1.2 实验方法

取0.5g原样,将其轻轻压碎,用磁铁除去磁性部分,在玛瑙研钵中研磨后过200目筛,取筛下样0.2mg,使均匀展布于金属圆片上,然后将其置于500℃高温炉中退火5min,排除自然热释光,冷却至室温。用 ^{90}Sr 放射源辐照样品,照射剂量达326Gy后在热释光仪上测量

* 国家自然科学基金资助项目

TL至500℃，获得诱发TL曲线^[10]。测量各陨石TL辉光曲线的峰温、峰高和半高宽。由半高宽结果计算TL峰宽温度，以武安(H6)的峰高=1.00为TL灵敏度标准，计算其它陨石的TL灵敏度。

2 结果和讨论

剑阁、双阳和枣阳陨石的TL曲线如图1所示。TL灵敏度(武安=1.00)、峰温和峰半高宽温度如表1所示。表1中 T_3 、 T_{21} 、 T_4 、 T_{40} 数据除岩庄陨石引自文献[9]外，其它陨石均引自文献[5]、[6]。

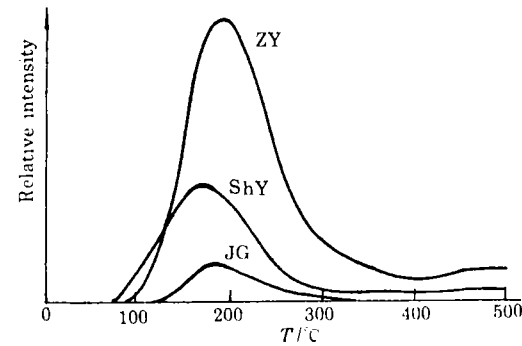


图1 剑阁、双阳和枣阳球粒陨石的诱发TL曲线
Fig.1 The induced TL curves for Jiange (JG), Shuangyang(ShY) and Zaoyang(ZY) chondrites

2.1 诱发TL灵敏度

由表1可见，武安(H6)具有最高TL灵敏度，此结果与武安的宇成和放射成因稀有气体保存良好^[6]，并具有高岩石学类型相一致，因此选用其TL灵敏度(=1.00)作为测量结果的归一化标准。我国普通球粒陨石的TL灵敏度范围为0.009(寺巷口)—1.00(武安)。热变质程度较高(岩石学类型较高)的陨石通常比较低的陨石具有较高的TL灵敏度，原因与低岩石学类型陨石的长石(主要磷光体)中微晶玻璃比例较高相关^[1]。但冲击作用可导致长石结构破坏或重熔，结果引起强冲击陨石(如寺巷口和岩庄陨石)的TL灵敏度急剧降低。

表1 我国普通球粒陨石的热释光特性、宇宙线暴露年龄(T_3 , T_{21})和气体保存年龄(T_4 , T_{40})
Table 1 Induced TL properties, cosmic-ray exposure ages (T_3 , T_{21}) and gas retention ages (T_4 , T_{40}) for Chinese ordinary chondrites

陨石名称 Name of chondrites	陨落时间和省份 Falling time and place	类型 Class	TL灵敏度 (武安=1.00) TL sensitivity (WA=1.00)	峰温 Peak tempera- ture/°C	峰半高 宽温度 FWHM /°C	年龄 Age/Ma			
						T_3	T_{21}	T_4	T_{40}
安龙(AL)	1971-05-02 贵州Guizhou	H5	0.46	183	100	9.3	9.4	4080	4340
常德(ChD)	1973-03-11 湖南 Hunan	H5	0.24	200	111	7.6	7.3	3500	4050
长兴(ChX)	1964发现 Found 江苏 Jiangsu	H5	0.27	186	137	2.7	5.1	1410	3420
恩施(ESh)	1974-12-26 湖北 Hubei	H5	0.16	203	114	2.3	3.6	1980	3440
剑阁(JG)	1964-10- 四川 Sichuan	H5	0.12	186	83	-	-	-	-
路南(LN)	1980-04-04 云南 Yunnan	H6	0.68	191	109	23.1	26.6	3650	4150
双阳(ShY)	1971-05-25 吉林 Jilin	H5	0.40	174	114	7.6	7.7	3300	4030
武安(WA)	1986-07-31 河北 Hebei	H6	1.00	189	109	41.4	37.1	3680	4460

(续表1)									
陨石名称 Name of chondrites	陨落时间和省份 Falling time and place	类型 Class	TL灵敏度	峰温	峰半高	年龄 Age/Ma			
			(武安 = 1.00) TL sensitivity (WA = 1.00)	Peak tempera- ture/℃	宽温度 FWHM /℃	T_3	T_{21}	T_4	T_{40}
信阳(XY)	1977-01-21 河南 Henan	H5	0.91	163	137	18.4	17.9	3830	4510
岩庄(YZh)	1990-10-31 广东 Guangdong	H6	0.13	206	129	2.29	2.50	164	580
枣阳(ZY)	1984-10-16 湖北 Hubei	H5	0.981	198	109	0.74	0.81	3900	4130
亳县(BX)	1977-10-20 安徽 Anhui	LL4	0.16	183	134	42.6	46.2	3760	2570
东台(DT)	1970-01-20 江苏 Jiangsu	LL6	0.48	194	134	10.4	9.6	3520	4270
广饶(GR)	1980-06-21 山东 Shandong	L6	0.95	186	143	19.4	18.5	2900	4330
溧水(LSh)	1978-09-10 江苏 Jiangsu	L5	0.55	194	111	19.3	37.4	410	2390
如皋(RG)	1952-04-01 河北 Hebei	LL6	0.22	203	111	-	-	-	-
射阳(ShY)	1976-07-11 江苏 Jiangsu	L6	0.11	186	114	-	-	-	-
寺巷口(SX)	1989-08-15 江苏 Jiangsu	L6	0.009	180	114	29.8	27.7	670	1970
洮南(TN)	1965-02-28 吉林 Jilin	L5	0.63	183	131	18.3	20.0	3130	4560
肇东(ZhD)	1984-10-25 黑龙江 Heilongjiang	L4	0.12	200	126	8.9	15.7	1100	2510

2.2 TL峰温和峰半高宽温度的分布特征

我国普通球粒陨石的TL峰温和峰半高宽温度分布如图2所示:H群陨石的TL峰温为163—206℃,平均为 $(189^{+17}_{-26})^{\circ}\text{C}$ ($n=11$) (n 为测定陨石数,下同),峰半高宽温度为83—137℃,平均为 $(114^{+23}_{-31})^{\circ}\text{C}$ ($n=11$)。L和LL群的峰温为183—203℃,平均为 $(190^{+13}_{-7})^{\circ}\text{C}$ ($n=9$),峰半高宽温度为111—143℃,平均 $(126^{+17}_{-15})^{\circ}\text{C}$ ($n=9$)。由图2可见,我国H群与L、LL群陨石的TL峰温-峰半高宽温度分布有些类似,彼此间有小的穿插和重叠,两者的峰温上限相一致,但H群的峰温和峰半高宽

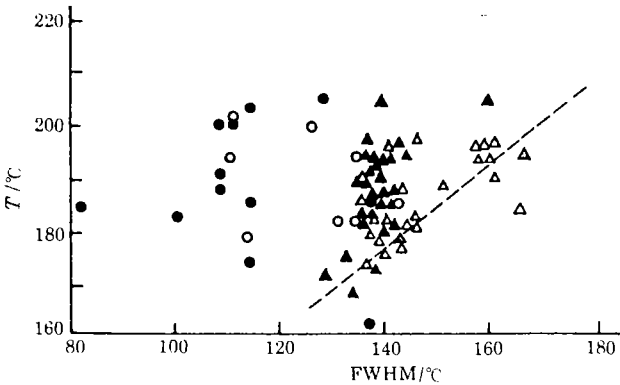


图2 普通球粒陨石的诱发TL峰温—峰半高宽温度的关系图

● 中国H群, ▲ 南极H群^[1], ○ 中国L、LL群, △ 南极L群^[1]

Fig.2 Induced TL peak temperature versus peak width for ordinary chondrites

● Chinese H, ▲ Antarctic H^[1], ○ Chinese L and LL, △ Antarctic L^[1]

温度下限均比L、LL群陨石约低20℃,而峰半高宽温度的上限略低于L、LL群陨石。由图2还可见,我国H、L和LL群陨石的分布区分别位于南极H群和L群陨石分布区的左面(南极陨石的TL数据引自文献[1])。诱发TL峰半高宽温度普遍地显著低于南极普通球粒陨石,是我国新近陨落普通球粒陨石热释光的一个重要特征。

Haq等^[1]观测的非南极H群陨石(不包含中国陨石)的诱发TL峰温为170—215℃,平均 $(183^{+32}_{-13})^{\circ}\text{C}$ ($n=40$),峰半高宽温度为126—184℃,平均 $(145^{+39}_{-19})^{\circ}\text{C}$ ($n=40$),观测点对称分布于图2回归线(虚线)的两侧与我国H群陨石的观测结果存在明显差别;非南极L群陨石(不包含中国陨石)的峰温为138—199℃,平均 $(181^{+18}_{-43})^{\circ}\text{C}$ ($n=15$),峰半高宽温度为127—174℃,平均 $(149^{+25}_{-22})^{\circ}\text{C}$ ($n=15$)^[1],与我国L和LL群陨石的观测结果也存在明显差别。观测结果比较表明,诱发TL峰半高宽温度普遍地显著低于其它地区的普通球粒陨石(H群平均约低25℃,L群平均约低20℃),是我国新近陨落普通球粒陨石热释光的一个重要特征。

2.3 普通球粒陨石的热历史

根据已发表的稀有气体同位素数据^[5,6,9]及我们的TL结果,我们可试用 T_3/T_{21} -TL- T_4/T_{40} 三参数关系研究普通球粒陨石的热历史。我国部分普通球粒陨石的 T_3/T_{21} -TL- T_4/T_{40} 三参数关系如图3所示。

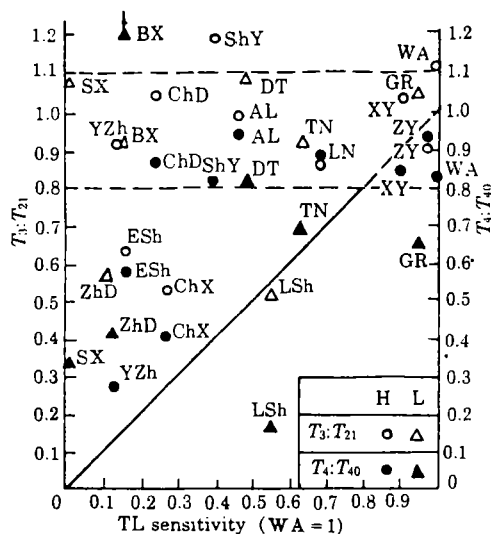


图3 中国普通球粒陨石的 T_3/T_{21} -TL灵敏度- T_4/T_{40} 关系图

T_3/T_{21} 和 T_4/T_{40} 的数据来源于文献[4-6]

Fig.3 Ratio of cosmic-ray exposure ages T_3/T_{21} -induced TL sensitivity-ratio of gas retention ages T_4/T_{40} diagram for Chinese ordinary chondrites

Data of T_3/T_{21} and T_4/T_{40} are from Ref. [4-6]

它的 T_3/T_{21} (0.516)和 T_4/T_{40} (0.171)均远小于0.8,这个例外与该陨石可能具有复杂的暴露历史相关^[6]。

2.3.3 TL灵敏度<0.3的陨石。这类陨石的 T_3/T_{21} 和 T_4/T_{40} 存在如下三种情况:① T_3/T_{21} 和

2.3.1 三参数的总体分布特征。由图3可见,在17个陨石中,除溧水(LSh)外所有陨石均位于 T_3/T_{21} -TL灵敏度坐标轴的角等分线之上,或沿此角等分线分布。

2.3.2 TL灵敏度 ≥ 0.3 的陨石。这些陨石具有高的 T_4/T_{40} 和 T_3/T_{21} 比值,一般情况下,它们的 T_4/T_{40} 和 $T_3/T_{21} \geq 0.8$ 。上述三参数关系提示,这些陨石形成以来,放射成因 ^4He 和 ^{40}Ar 所受的热扰动小, ^4He 相对于 ^{40}Ar 的优先扩散损失不明显或可忽略。陨石由母体中分离出来的冲击加热事件对 ^4He 和 ^{40}Ar 的丢失无明显影响,因此这些陨石一般具有较高的 ^4He 和 ^{40}Ar 气体保存年龄。陨石由母体中分离出来之后和在宇宙空间运行时,宇成 ^3He 相对于 ^{21}Ne 没有或没有明显地发生优先扩散损失,因此这些陨石具有近似相等的 $^3\text{He}(T_3)$ 和 $^{21}\text{Ne}(T_{21})$ 宇宙线暴露年龄。冲击加热事件对这些陨石的TL影响小,陨石的TL灵敏度变化近似地反映它们在母体中经受的热变质程度的差异,TL灵敏度较高提示该陨石在母体中经受的热变质程度较高。但溧水(LSh)陨石例外,

T_4/T_{40} 比值高, 近似趋于1。提示这些陨石形成以来所受的热扰动小, 其TL灵敏度低反映陨石在母体中经受的热变质程度较低。② T_3/T_{21} 和 T_4/T_{40} 比值低, 均显著 <1 。提示这些陨石的 ^4He 相对于 ^{40}Ar 发生了显著的优先扩散损失。陨石由母体中分离出来之后, 在宇宙空间运行时, 宇成 ^3He 相对于 ^{21}Ne 发生了显著的优先扩散损失, 陨石的TL灵敏度受到母体热变质后发生的二次(次级)热事件的影响。③ T_3/T_{21} 比值高, 近似趋于1, 而 T_4/T_{40} 远小于1, TL灵敏度极低。提示这些陨石经受了强烈的冲击加热, 导致 ^4He 相对于 ^{40}Ar 发生严重的优先扩散损失和TL灵敏度的急剧减小。但陨石由母体中分离出来之后, 相对于 ^{21}Ne , 宇成 ^3He 没有或没有明显地发生优先扩散损失, 如寺巷口(SX)和岩庄(YZh)陨石。

Haq等^[1]在研究普通球粒陨石的诱发TL时发现, 绝大多数南极陨石的TL灵敏度仅约为非南极参考陨石(kernouve, H6)的1/3或更小^[1], 推测产生这种差别的原因是南极陨石经受了强风化作用, 或者是强冲击再加热作用。陨石的三参数关系研究有助于对此问题作出合理的判别。图4为18个南极H群普通球粒陨石的 T_3/T_{21} -TL- T_4/T_{40} 三参数关系图(TL数据引自文献[1], T_3/T_{21} 和 T_4/T_{40} 数据由文献[8]的稀有气体数据计算获得)。图4表明, 这些陨石的TL灵敏度约为0.3或更小, 而 T_3/T_{21} 和 T_4/T_{40} 比值大多数近似趋近于1。这说明这些南极H群陨石没有或没有明显地发生放射成因 ^4He 相对于 ^{40}Ar 、宇成 ^3He 相对于 ^{21}Ne 的优先扩散损失, 由此表明TL灵敏度低主要不是源于强冲击再加热作用, 因为强冲击加热不仅导致陨石的主要磷光体——长石结构的变化或重熔, 从而引起陨石TL灵敏度强烈降低, 而且会导致 ^4He 相对于 ^{40}Ar 发生强烈的优先扩散损失, 使 T_4/T_{40} 比值远远地小于1。由此可见三参数关系特征有助于

解释是地球风化作用导致了这些南极H群陨石TL灵敏度的降低。在高温和低温两种长石萤光体^[1]中, 预计风化作用对低温型长石的热释光会有更大的影响。上述分析也提示, 地球风化作用可能是导致我国新近陨落的普通球粒陨石的诱发TL峰半高宽温度明显低于南极发现陨石的一个重要原因。

致谢 夏君定同志协助测定热释光, 徐义方同志协助计算和资料整理, 王道德教授提供了宝贵意见, 谨致衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Haq M, Hasan F A, Sears D W G. *Geochim Cosmochim Acta*, 1988; 52:1679
- 2 Sears D W G, Benoit P, Batchelor J D. *Geochim Cosmochim Acta*, 1991; 55:1193
- 3 Benoit P H, Sears D W G. *Science*, 1992; 255:1685

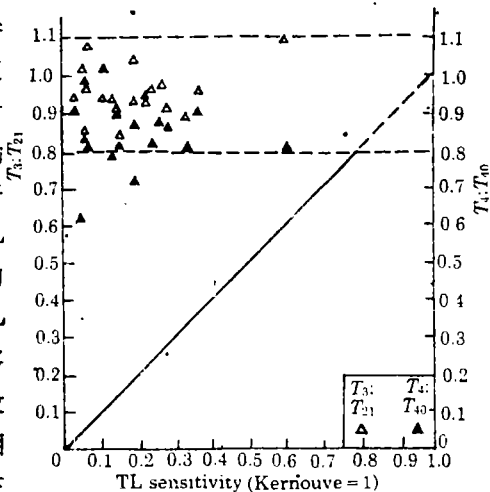


图4 南极H群陨石的 T_3/T_{21} -TL- T_4/T_{40} 关系图

Fig.4 Ratio of cosmic-ray exposure ages T_3/T_{21} - induced TL sensitivity- ratio of gas retention ages T_4/T_{40} diagram for antarctic H chondrites

- 4 Begemann F, Li Zhaozhui, Schmitt-Strecker S, *et al.* Earth Planet Sci Lett, 1985; 72:247
- 5 Eugster O, Shen C, Beer J, *et al.* Earth Plant Sci Lett, 1987; 84:42
- 6 Eugster O, Michel Th, Niedermann S, *et al.* Geochim Cosmochim Acta, 1993; 57:1115
- 7 李肇辉, 许自图, 贝格曼 F, 等. 空间科学学报, 1985; 5:228
- 8 Schultz L, Weber H W, Begemann F. Geochim Cosmochim Acta, 1991; 55:59
- 9 Begemann F, Plame H, Spettel B, *et al.* Meteoritics, 1992; 27:174
- 10 Wang Weida, Xia Junding, Zhou Zhixin. Ancient TL, 1989; 7(2):38

A study on thermal history of some Chinese ordinary chondrites by TL and noble gases method

Li Zhaozhui Liu Jingfa

(Institute of Guangzhou Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

Abstract

Induced thermoluminescence(TL) properties of Chinese 11H, 6L and 3LL chondrites have been measured. TL peak temperature and peak width are 163—206℃, $Av.(189^{+17}_{-126})^{\circ}C$ and 83—137℃ $Av.(114^{+23}_{-31})^{\circ}C$ for H chondrites, 183—203℃, $Av.(190^{+13}_{-7})^{\circ}C$ and 111—143℃, $Av.(126^{+17}_{-15})^{\circ}C$ for L and LL, respectively. Recently fallen Chinese ordinary chondrites have TL peak width generally smaller than those of ordinary chondrites from other regions. Based on our TL sensitivity data and published noble gases data, a ^3He exposure age/ ^{21}Ne exposure age-Induced TL sensitivity- ^4He gas retention/ ^{40}Ar gas retention diagram is introduced. This type of diagram is a powerful tool for distinguishing different thermal histories of meteorites.

Key words Ordinary chondrites, Induced thermoluminescence, Thermal history