吉林陨石的穆斯鲍尔谱分析

夏克定 刘联璠 周慰囡　　宗普和 易惟熙

（中国科学院上海原子核研究所）（中国科学院贵阳地球化学研究所）

最近，我们对吉林陨石的全岩薄片、各主要含铁矿物相、熔壳、球粒等进行了穆斯鲍尔谱测定．陨石全岩薄片厚约 10 毫克/厘米^2，单相矿物粉末样品厚约 30 毫克/厘米^2，纯度达 95% 以上；球粒样品选用较大的单个球粒，制成厚约 10 毫克/厘米^{2}的薄片．实验中使用自制的多通道穆斯鲍尔谱仪．γ 射线源用扩散在钯中的钴^{57}，强度约为 25 毫居，γ 射线源在速度讯号驱动下相对于吸收体作等加速运动，从而使源中铁^{57}的 14.4 千电子伏的 γ 射线，能量得到一个线性的多普勒补偿．速度扫描范围在 ±10 毫米/秒之间，实验测量采用透射式几何条件．探测器由 1 毫米厚的 NaI(Tl) 晶体和 EMI6097 型光电倍加管组成，讯号经放大、甄别、缓冲存储送至多道分析器．分析器采用多定标方式，使道的推进与源的运动速度同步，得到的穆斯鲍尔谱是源在不同速度时的透射计数．

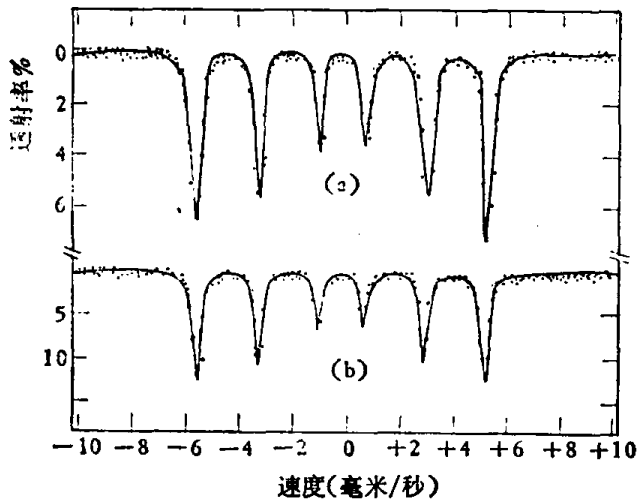

图 1　铁镍金属相的穆斯鲍尔谱

(a) 吉林陨石铁镍；(b) α-Fe

图 1 是吉林陨石 FeNi 金属相及作比较用的人工 α-Fe 的穆斯鲍尔谱，通过计算，铁镍金属中铁核的平均内场为 α-Fe 内场的1.02 倍．参照 Hirsch 和 Eliezer[1] 对平均内场与镍含量关系的研究，可求得吉林陨石铁镍相中 Ni 含量约为 6—6.5at%．陨石镜下鉴定表明含有少量的镍纹石（即 γ-FeNi）．在多次实验中，我们均未观察到 γ-FeNi 的顺磁单峰，这说明 γ-FeNi 的穆斯鲍尔谱可能是六峰谱，并且与 α-FeNi 的六峰谱相重迭，其内场与 α-Fe 内场接近，根据 Hirsch、Zliezer 关于 γ-FeNi 的谱形、内场与 Ni 含量关系的研究，可见吉林陨石 γ-FeNi 中 Ni 含量不可能低于 30%，而很可能在 45—50at% 之间．

表 1　金属相穆斯鲍尔谱参数

样　品	相对于 α-Fe 内磁场比 H/H_0	相对于 α-Fe 的化学移 δmms^{-1}	四极劈裂 Δ(mms^{-1})	平均线宽（外侧）
吉林陨石 Fe-Ni	1.020±0.001	+0.009±0.003	−0.011±0.003	0.42±0.01
熔壳磁选 Fe-Ni	1.004±0.001	+0.006±0.003	−0.007±0.003	0.34±0.01
α-Fe	1.000	0	0	0.30±0.01

本文 1977 年 12 月 15 日收到．

图 2 是吉林陨石陨硫铁及地球单斜磁黄铁矿、六方磁黄铁矿的穆斯鲍尔谱. Ono 和 Ito[2] 测定了 Fe $S_{1.00}$ 单晶的穆斯鲍尔参数与陨硫铁十分相近，可见陨硫铁的铁硫原子比基本上是 1：1，没有铁原子缺位. 图 2(c) 中，有三组明显不同的六峰谱，表明单斜磁黄铁矿有较多的铁原子缺位，六方磁黄铁矿的谱图介于陨硫铁和单斜磁黄铁矿之间，其铁原子缺位较少.

表 2　FeS 相穆斯鲍尔谱线参数

样　　品	相对于 α-Fe 内磁场比 H/H_0	相对于 α-Fe 的化学移 δ(mms^{-1})	四极劈裂 Δ(mms^{-1})	平均线宽 (外侧)
吉林陨石 FeS	0.951±0.001	+0.756±0.003	−0.146±0.003	0.28±0.01
地球的单斜磁黄铁矿 Fe_7S_8	0.912±0.002	+0.680±0.005	+0.025±0.005	0.39±0.02
	0.763±0.002	+0.666±0.005	+0.128±0.005	0.33±0.02
	0.686±0.002	+0.774±0.005	+0.138±0.005	0.29±0.02
		+0.253±0.010	+0.56±0.010	0.41±0.05

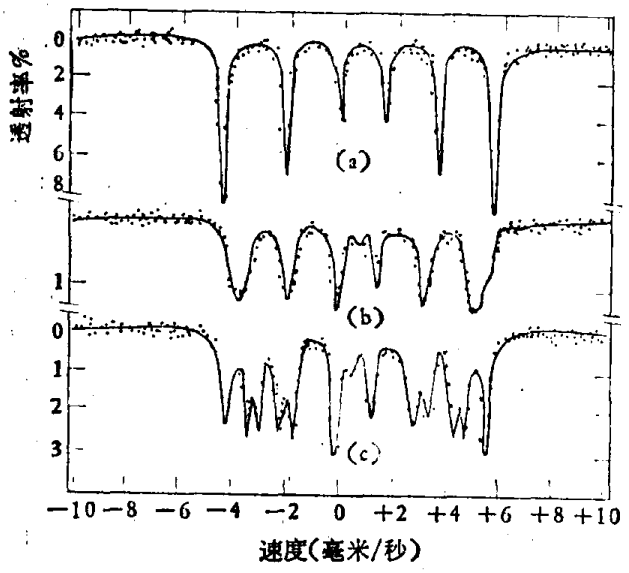

图 2　陨硫铁和磁黄铁矿的穆斯鲍尔谱
(a) 吉林陨石陨硫铁；(b) 六方磁黄铁矿
(c) 单斜磁黄铁矿

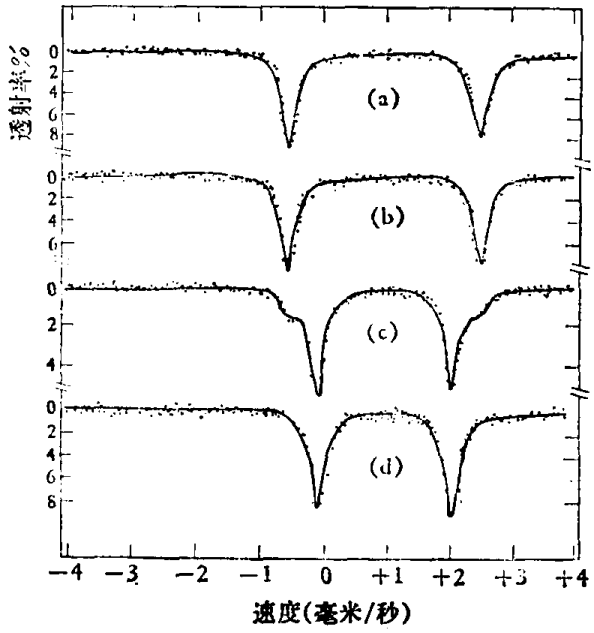

图 3　硅酸盐的穆斯鲍尔谱
(a) 吉林陨石的橄榄石；(b) 西藏橄榄石；(c) 吉林陨石的辉石(X 射线粉晶衍射鉴定约有 5% 的橄榄石杂质)；(d) 吉林陨石的辉石(经稀盐酸处理)

图 3 是吉林陨石橄榄石及西藏橄榄石穆斯鲍尔谱，前者谱的峰宽较后者大. 这可能是陨石中的橄榄石铁镁成分分布不均匀所造成. 吉林陨石中含有两种不同的橄榄石：贵橄榄石和镁橄榄石[3]. 橄榄石的化学分析也得出两组不同的 F_a 值，这些都支持了我们的看法.

Virgo 和 Hafner[4] 曾对许多不平衡球粒陨石的斜方辉石穆斯鲍尔谱作了研究，发现不均匀的铁镁比值会使谱线加宽，甚至还出现谱线异常，这与我们的分析结果类同.

辉石晶格有两种不等价的金属离子位：M_1 和 M_2 位. M_2 位受到较大扭曲，主要由 Fe^{2+} 离子占据，体积较小的 Mg^{2+} 离子则优先占据 M_1 位. 在辉石的谱图上，就应有两组四极劈裂双峰. 若辉石中铁镁离子分布越有序，M_2 位峰越强，M_1 位峰则越弱. 由于与辉石共生的橄榄石双峰位置恰与辉石 M_1 位双峰重迭，因此必须区分两者的贡献. 为此，将样品用 10% 稀盐酸处理，溶出全部橄榄石，然后进行测量，发现外侧小峰消失，可见未经盐酸处理的样品谱图中的小

峰全是橄榄石所引起，由此推算出有 7% 的橄榄石混杂，X 射线粉末照相鉴定出橄榄石混杂约为 5%，两者基本吻合．辉石的谱图分析表明：辉石中铁镁离子有明显的有序分布．

表 3　硅酸盐相穆斯鲍尔谱线参数

样　品	四极劈裂 $\Delta(mms^{-1})$	相对于 α-Fe 的化学移 $\delta(mms^{-1})$	谱质宽度 $\Gamma(mms^{-1})$	
			Γ 左	Γ 右
吉林陨石橄榄石	2.98±0.01	+1.15±0.01	0.28±0.01	0.33±0.01
西藏橄榄石	2.99±0.01	+1.15±0.01	0.26±0.01	0.30±0.01
吉林陨石辉石(M_2 位)	2.10	+1.11	0.29	0.29
吉林陨石玻璃球粒	2.06	+1.17	0.30	0.29

图 4 是全岩样品谱及其剥谱结果，证明全岩的主要成份有铁镍，陨硫铁，橄榄石和辉石．在剥谱过程中，我们不能简单地采用由各成份谱的面积比直接求得各个单矿物相的铁原子比，这是因为不同的矿物对 Fe^{57} 的 14.4 KeV γ-射线的无反冲因子不同；此外，由于各矿物的比重不同，样品的有限厚度对不同矿物所产生的饱和效应不一致．为了准确地定出橄榄石与辉石的铁原子比，计入厚度效应的影响，我们测定了三种厚度的全岩样品谱，求出橄榄石和辉石的峰面积比，结果示于图 5．由图 5 可见，当样品厚度在 30 毫克/厘米^{2}以下，对橄榄石和辉石峰面积比的影响可以忽略不计．在图 4 中，橄榄石-辉石峰面积比为 1.8，考虑无反冲因子的差别，得到橄榄石与辉石的铁原子比约为 1.5．Sprenkel-Segel[5] 把比值 1.6 作为表征平衡型古铜辉石球粒陨石的数据．吉林陨石的穆斯鲍尔谱研究，获得了橄榄石与辉石的铁原子比约为 1.5，以及辉石的铁镁离子有序分布，证实了吉林陨石确属平衡的古铜辉石球粒陨石．

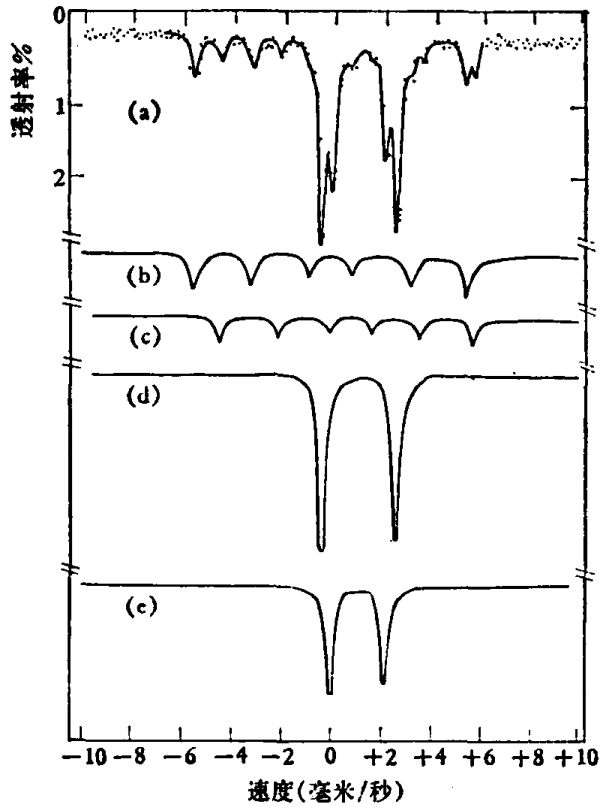

图 4　吉林陨石全岩的穆斯鲍尔谱及其剥谱结果
(a) 全岩；(b) 铁镍；(c) 陨硫铁；(d) 橄榄石；(e) 辉石

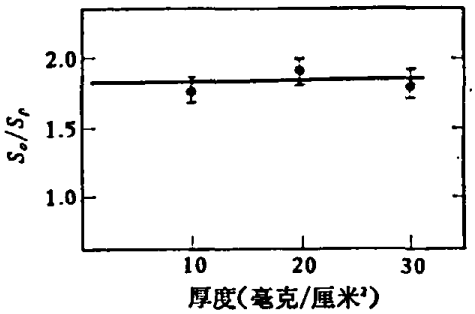

图 5　橄榄石与辉石的峰面积比与样品厚度关系

为了求得陨石中橄榄石与辉石的重量比，我们先把橄榄石和辉石定量均匀混合，制成已知重量比的样品，测量该样品的穆斯鲍尔谱，求出橄榄石与辉石峰的面积比，然后与全岩谱中得到的面积比 1.8 作比较，便得到陨石中橄榄石与辉石的重量比，其值约为 0.6，这与化学分析结

果吻合[3]. 用类似的方法也可得到陨硫铁在陨石中重量为 3.6%.

熔壳全岩样品谱,尤其是熔壳全岩中的磁性样品谱(图 6),在正负大速度处有一些在陨石全岩谱中未出现的峰,它可能是由磁铁矿和赤铁矿所引起的. 这些矿物是在陨石进入大气层后燃烧过程及在地球环境中风化而生成的. 由图 6 还可看出,熔壳的 Fe-Ni 内场与 α-Fe 内场较接近,比陨石全岩的 α-FeNi 内场小,这可能是由于陨石进入大气层后,熔壳铁镍中的铁原子受到高温烧蚀比较严重,镍相对铁来说被富集了. 同时,又由于快速冷却而引起了 γ-FeNi 相的增加.

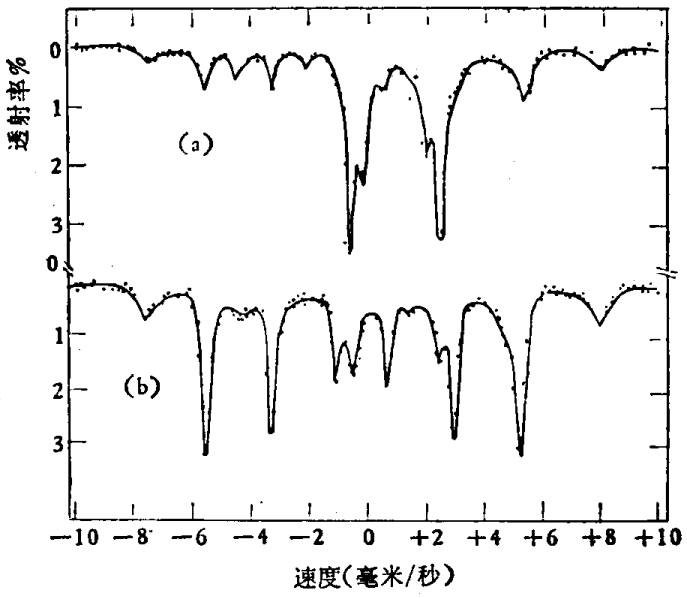

图 6 熔壳样品的穆斯鲍尔谱

(a) 熔壳; (b) 熔壳的磁性部分

吉林陨石玻璃球粒的穆斯鲍尔谱与辉石的谱十分相似,具有尖锐清晰的 M_2 位峰. 表明玻璃球粒已经脱玻而成为辉石雏晶,说明了玻璃球粒曾经历两个重要阶段: 先是快速冷凝阶段,形成均质的玻璃球粒;后又经历了漫长的热变质过程,脱玻璃化而成为晶质的球粒.

参 考 文 献

[1] Hirsch, A. A. & Eliezer, E., *IEEE Trans. Magn.*, 1970, 6: 732.

[2] Ono, K. & Ito, A., *J. Phys. Soc. Japan*, 1962, 17: 1615.

[3] 长春地质学院、吉林省地质科学研究所陨石研究小组, 地质学报, 1976, 2: 176.

[4] Virgo, D. & Hafner, S. S., *Amer. Mineral.*, 55 (1970), 201.

[5] Sprenkel-Segel, E. L. & Perlow, G. J., *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 12 (1967), 593.