文章编号:1000-5773(2006)02-0139-06

Fe/FeO/FeS 混合物的 Hugoniot 线研究*

黄海军,经福谦,蔡灵仓,毕 延,孟川民

(中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室,四川绵阳 621900)

摘要:在 50~210 GPa 的压力范围内,用二级轻气炮和电探针技术对平均密度 $\rho_0=(6.69\pm0.06)$ g/cm^3 的三组元 Fe/FeO/FeS(质量分数分别为 58.96%、35.83%、5.21%)混合物的 Hugoniot 线进行了实验测量,所得的 Hugoniot 参数为:$C_0=(3.97\pm0.07)$ km/s,$\lambda=1.58\pm0.03$。该混合物 Hugoniot 线的实测结果与用体积可加性原理计算得到的相同组分混合物的 Hugoniot 线的符合性很好;根据实验数据还计算了混合物的 0 K 等温压缩线,发现它与体积可加性原理对单质 Fe、FeO 和 FeS 的 0 K 等温压缩线的计算结果相一致,证明了实验结果的合理性与体积可加性原理的适用性,也表明了此混合物在冲击压缩过程中没有发生过可察觉的化学反应。研究结果亦为今后对外地核各种浓度比 Fe-O-S 体系候选组分高温高压物态方程及物性的进一步研究奠定了基础。

关键词:Hugoniot;体积可加性原理;Fe/FeO/FeS

中图分类号:O521.2 **文献标识码**:A

1 引 言

外地核的组分及其浓度比一直是地球物理学家和化学家关注的重要问题。根据地球化学、宇宙化学、地震波和地球转动惯量等方面数据的约束,外地核的主要成分是铁,但不是由纯铁组成,因为与 PREM 模型[1]给出的地球深度密度和地震波数据相比较,纯铁地核具有较高的密度和较低的声速,因此必然含有轻元素杂质以降低密度和提高声速[2],方可能使实际地核物质的密度和声速与 PREM 模型值的约束相一致。原则上,所有原子序数小于 26 的元素都可以作为候选轻元素,但多年来冶金学和地球化学丰度的研究表明,这些轻元素主要限定在氧(O)、硫(S)、硅(Si)、碳(C)、氢(H)等元素中的一种或几种[3],其中重点关注的轻元素主要是 O、S 和 Si[4]。

大量的高温高压实验证明[5-7],下地幔中的硅酸盐和外地核中的液态铁在核-幔边界处不断地发生化学反应,因此在地幔中含量最高的氧元素不可避免的会渗入到外地核中。根据 FeO 的 Hugoniot 实验数据和 PREM 模型给出的压力-密度曲线,Jeanloz 等人[8]认为,外地核中含有 10%(质量分数)的 O。但是氧不可能是外地核中唯一的轻元素,因为 Knittle 等人[9]在静高压实验中发现 FeO 的熔化温度要高于相同压力下 Fe 的熔化温度,在 83 GPa 时 $Fe_{0.69}O_{0.31}$ 合金的熔化温度介于 FeO 和 Fe 的熔化温度之间;尽管 Boehler[10-11]重复测量的 Fe 和 FeO 的熔化温度绝对值比 Knittle 等人的低,但是仍表明 FeO 的熔化温度要高于 Fe 的熔化温度,并且 Fe-8%FeO 和 Fe-30%FeO 的熔化温度没有显著差别。总之,实验结果表明:在外地核的压力环境下,O 并没有降低 Fe 的熔点,因此外地核中还必须另有一种元素,这种元素不仅能降低铁的熔点,而且原子序数也要小于 26,而 S 恰恰能满足这种要求。Williams 等人[12]和 Boehler[10]分别测量了 FeS 和 Fe-10%S 的熔化温度。尽管他们的实验数据之间有差异,但是却得出了相同的结论:Fe-10%S 合金的熔化温度要比纯 Fe 和 FeS 的熔化温度低几百开。根据 Fe_7S_8[13]、

* **收稿日期**:2005-04-06;**修回日期**:2005-05-10

基金项目:国家自然科学基金(10299040)

作者简介:黄海军(1976—),男,博士. E-mail:hhjgyp_cn@163.com

FeS[14]和 FeS_2[15]的 Hugoniot 状态方程和 Fe 的状态方程，Poirier[3]认为，外地核中大约含有 9%～14% S 就可以与 PREM 模型给出的密度数据相一致。但是，这样又会出现另一个令人感到困惑的问题：同其它挥发性较小的非亲铁性元素（如 Na、K、Cl）相比较，具有较大挥发性的 S 元素在整个地球的损耗却小得多[16]。根据以上情况，外地核中同时含有 O 和 S 的可能性比较大，但是到目前为止，只有 Urakawa 等人[17]在 15 GPa 内对 O 和 S 在 Fe-O-S 体系中的溶解度进行了研究，但目前还没有见到有关 Fe-O-S 三元合金的 Hugoniot 实验和状态方程等方面的研究报导。故对三元组分 Fe/FeS/FeO 混合物的 Hugoniot 状态方程进行研究，为今后进一步限定外地核轻元素的比分提供约束。

2 实验方法和结果

样品由北京钢铁研究总院制备。原料为 FeS、Fe_2O_3 和高纯度 Fe 粉，根据烧结的比例要求并考虑 O 和 S 元素的烧损量，对混料充分混合后进行冷等静压处理。然后将压好的合金粉件在氩气中进行热压烧结。用 Mössbauer 谱技术对烧结后的样品进行了检测，没有发现有 Fe^{3+} 离子，故样品中不存在 Fe_2O_3 组分。化学分析和电子探针分析表明，样品的三种组分质量百分比为 Fe/FeO/FeS＝58.96/35.83/5.21（以下简称 Fe/FeO/FeS 混合物样品），相应的 Fe、O、S 元素质量百分比为 90.12/7.98/1.9（摩尔百分比为 74/23/3）。在常温常压下，根据阿基米德原理测得的样品平均密度为 $\rho_0=(6.69\pm0.06)$ g/cm^3。根据常温常压下 Fe、FeS、FeO 的初始密度：ρ_0(Fe)＝7.85 g/cm^3[18]，ρ_0(FeS)＝4.634 g/cm^3[14]，ρ_0(FeO)＝5.71 g/cm^3[19]，上述 Fe/FeO/FeS 混合物相应分量的理论计算密度为 6.71 g/cm^3，故制备样品的孔隙率很小。

冲击压缩实验在内径为 35 mm 的二级轻气炮装置上进行。用磁测速装置测量飞片的速度，其最大误差为±0.5%。靶的组件剖视图如图 1 所示。飞片尺寸为∅33 mm×2 mm，基板尺寸为∅36 mm×2 mm，飞片和基板用同种材料制成，样品尺寸为∅15 mm×3.5 mm。基板上的两组电探针按 45°角均布在∅28 mm 和∅18 mm 的圆上，样品后界面的 8 根电探针均布在∅6 mm 的圆上，样品中心还有一根电探针。电探针用弹簧结构固定在相应的位置上，电探针直径 1 mm，长度 24 mm。电探针与基板及样品表面之间用 6 μm 厚的 Mylar 膜绝缘。

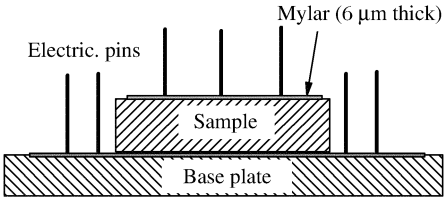


图 1 靶的剖视图

Fig. 1 Cutaway view of the target assembly

实验数据处理和误差分析方法采用文献[20]中的方法。在通常情况下，样品中冲击波阵面形状可能有如下特征：飞片在飞行过程中发生变形，由平面转变为曲面形状。但由于二级轻气炮中的飞片变形并不很大，一般情况下的偏离平面度约为 2～3 ns，故样品中的冲击波阵面形状可以用一个倾斜的、轴对称抛物面作近似。经过这样修正以后，就可以计算出冲击波在样品中的传播速度 D。再通过冲击波守恒关系和阻抗匹配原理，就可以得到波后粒子速度 u，冲击压力 p_H 和冲击压缩密度 ρ_H。

3 实验结果及其分析

表 1 中列出了 4 发 Fe/FeO/FeS 混合物样品的 Hugoniot 实验结果。除一发实验用钽飞片和钽基板外，其它 3 发用的都是铜飞片和铜基板。测量到样品的冲击波速度 D 以后，其粒子速度 u 可由阻抗匹配法求解[21]。其中，钽和铜的 Hugoniot 参数分别为：$C_{0,Ta}=3.293$ km/s，$\lambda_{Ta}=1.307$ 和 $C_{0,Cu}=3.933$ km/s，$\lambda_{Cu}=1.500$[20]。从图 2 可以看出 Fe/FeO/FeS 混合物的冲击波速度 D 与粒子速度 u 的线性关系可以写为 $D=(3.97\pm0.07)+(1.58\pm0.03)u$。图 3 给出了混合物的 Hugoniot 压强 p_H 随密度 ρ_H 的变化规律，见图中实心圆点所示。

用体积可加性原理[21-24]对实验结果作了进一步分析：从已知的单组分 Fe、FeS、FeO 的 Hugoniot 压缩数据出发，计算某一压强下 Fe/FeO/FeS 混合物的 Hugoniot 压缩线，根据体积可加性原理，同一压强 p 下混合物的比容 v 为

$$v(p)=\sum_{i=1}^{3}m_i v_i \tag{1}$$

式中:m_i 为组元 i 的质量分数,$\sum_{i=1}^{3}m_i=1$。v_i 为压强 p 下的组元 i 的比容。根据冲击波的基本关系式,可推得

$$v_i=\left(1-\frac{B_i-\sqrt{B_i^2-4A_i}}{2A_i}\right)v_{0,i} \tag{2}$$

式中:$A_i=\lambda_i^2$,$B_i=2\lambda_i+C_{0,i}^2/(v_{0,i}p)$,$v_{0,i}$为第 i 组元在室温常压下的比容。$C_{0,i}$ 和 λ_i 为第 i 组元的 Hugoniot 参数。将 Fe、FeS、FeO 各组分的有关参数代入公式(1)和公式(2),便可计算出混合物的 p_H-ρ_H 关系。

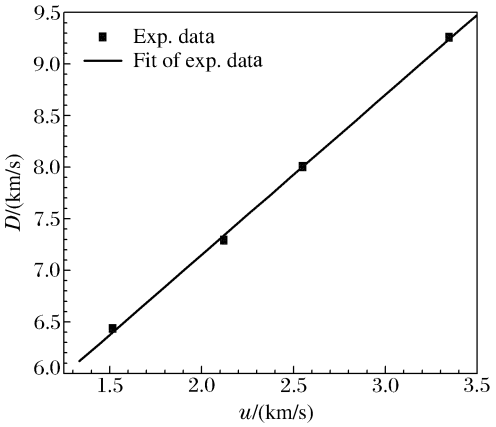


图 2　Fe/FeO/FeS 混合物的 D-u 关系

Fig. 2　D versus u relation for Fe/FeO/FeS mixture

表 1　Fe/FeO/FeS 混合物的 Hugoniot 实验结果

Table 1　Experimental Hugoniot data for Fe/FeO/FeS mixture

Shot No.	Impactor	W/(km/s)	ρ_0/(g/cm^3)	u/(km/s)	D/(km/s)	p_H/(GPa)	ρ_H/(g/cm^3)
20040601	Ta	5.422±0.027	6.69±0.02	3.347±0.019	9.257±0.038	207.4±1.5	10.48±0.04
20040607	Cu	3.885±0.019	6.69±0.06	2.122±0.014	7.291±0.093	103.6±1.4	9.44±0.05
20040611	Cu	4.693±0.023	6.70±0.05	2.550±0.009	8.003±0.009	136.8±0.6	9.84±0.02
20040701	Cu	2.773±0.013	6.70±0.01	1.516±0.008	6.436±0.009	65.4±0.4	8.76±0.018

Note:W—The velocity of the flyer.

对于 Fe,由 Brown 等人[18]给出的最新 Hugoniot 速度关系式 $D=C_0+\lambda u$ 的实测参数数据为:$C_0=3.935$ km/s;$\lambda=1.578$;$\rho_{0,\alpha}=7.850$ g/cm^3。该 Hugoniot 线的初始点为室温常压下的 α 相铁。在 13 GPa 冲击压强处开始发生向 ε 相铁的转变,其冲击压缩过程由一次冲击压缩过程转变为两次冲击压缩过程;但当压强增加到 45 GPa 之后,又由两次压缩过程回复到一次压缩过程,此时的冲击波阵面后的铁完全处于 ε 相。由于外地核上界面,即地幔/地核边界(CMB)处的压力为 133 GPa,其下界面,即内外核边界(ICB)处的压力为 330 GPa,故在外地核压强区内的固相铁应是 ε 相。因此,为了对这一压力区间实验数据进行热力学分析研究,将 Brown 等人[18]给出的 50 GPa 压力以上 ρ_H-p_H 实验数据点(即舍弃了 50 GPa 以下压强点的数据)按照 Hugoniot 状态方程

$$p_H=\rho_{0,\varepsilon}\rho C_0^2\frac{\rho-\rho_{0,\varepsilon}}{[\rho-\lambda(\rho-\rho_{0,\varepsilon})]^2} \tag{3}$$

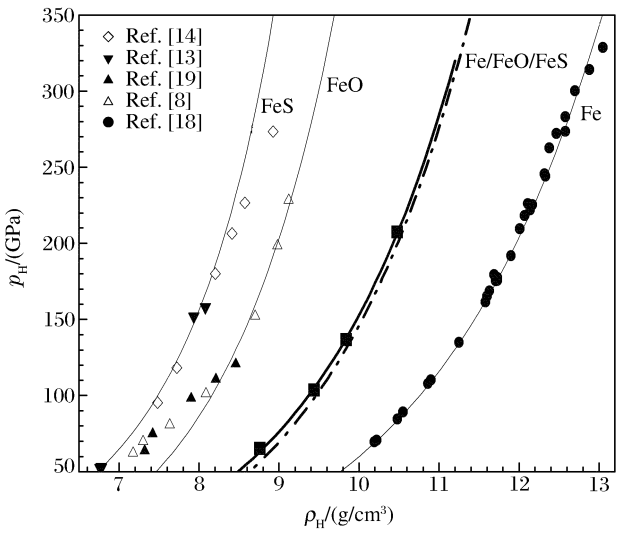


图 3　Fe/FeO/FeS 混合物的 p_H-ρ_H 关系

(■为本实验数据,—为实验数据的拟合线,

— • —为用体积可加性原理的计算结果)

Fig. 3　p_H versus ρ_H relation for Fe/FeO/FeS mixture

(■　Experiments of this work,—　Fit of experimental data,

— • —　Calculated according to the additive volume law)

重新作了拟合，以此改造为以室温常压 ε 相铁为始点的 Hugoniot 关系。将 ε 铁在室温常压下的初始密度 $\rho_{0,\varepsilon}=8.298$ g/cm^3[25] 代入公式(3)，拟合后得到新的 Hugoniot 参数为：$C_{0,\varepsilon}=4.720$ km/s，$\lambda_\varepsilon=1.523$。

对于 FeO，由 Jeanloz 等[8] 和 Yagi 等[19] 给出的 Hugoniot 测量结果如图 4 所示。由图 4 可见，在冲击压力为 0～70 GPa 时，FeO 为 NaCl(B1)结构；冲击压强介于 70～120 GPa 之间时，FeO 处于高压相和低压相组成的混合物[26]；而当冲击压强高于 120 GPa 时，FeO 为 NiAs(B8)结构[27]。在相同的温度和压强下，B8 结构的 FeO 比容与 B1 结构的 FeO 比容的比值为：$v(\mathrm{B8})/v(\mathrm{B1})=0.94$[26]。在室温常压下 B1 结构 FeO 的密度为 5.71 g/cm^3[19,26]，故室温常压下 B8 结构 FeO 的密度为 6.07 g/cm^3，这与文献[8]中的估算值 $\rho_0=6.05$ g/cm^3 很接近。与上面处理铁的办法类似，将 FeO 介于 120.7～228.4 GPa 之间的 ρ_H-p_H 实验数据点和初始密度 $\rho_0=6.05$ g/cm^3 代入公式(3)，则 B8 结构的 FeO 的 Hugoniot 拟合参数为：$C_0=4.486$ km/s，$\lambda=1.699$。文献[8]给出的 Grüneisen 参数为 $\gamma_N=1.8(6.05/\rho)$。

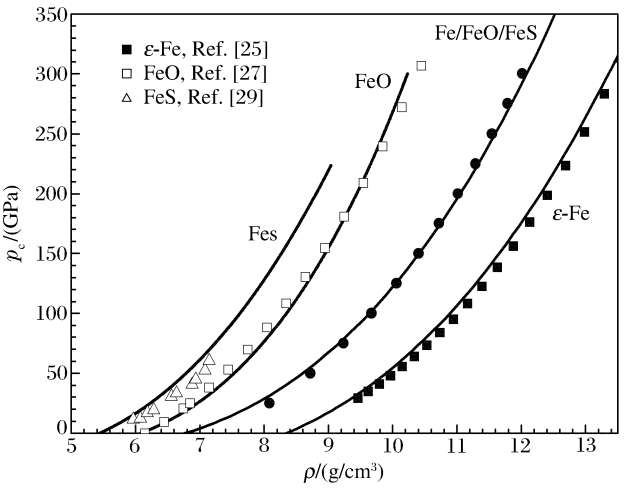


图 4 ε 铁和 Fe/FeO/FeS 混合物的 0 K 等温压缩线
(●为根据 Fe、FeO、FeS 的 0 K 等温压缩线计算的 Fe/FeO/FeS 混合物的 0 K 等温压缩线；—为根据 Wu 等人[28] 的方法从实测 Hugoniot 线计算的 0 K 等温压缩线)

Fig. 4 Density versus pressure for Fe/FeO/FeS mixture and ε-iron at 0 K
(● Calculated according to the isothermal compression curves from these of Fe, FeO and FeS through additive volume method, — Calculated according to the experimental Hugoniot through Wu's method[28])

对于 FeS，根据 Brown 等人[14] 的报导，其 Hugoniot 压缩线上没有出现结构相变迹象(如图 3 所示)，其实验结果为：$\rho_0=4.602$ g/cm^3，$C_0=2.947$ km/s，$\lambda=1.578$，$\gamma_N=1.54(5.34/\rho)$。

基于以上 Fe、FeO 和 FeS 的 Hugoniot 数据，用体积可加性原理(1)式估算的混合物 Hugoniot 线的结果如图 3 中的点划线所示。由图可见，用体积可加性原理的计算结果与实验结果是颇为一致的。这个结果也表明，将 Fe、FeO、FeS 三组元混合后，在高温高压作用下没有发生可察觉的化学反应。

另外，亦可通过体积可加性原理估算 Fe、FeO、FeS 三组元混合物的 0 K 等温压缩线。为此，首先要分别计算出高压下的 Fe、FeO、FeS 的 0 K 等温压缩线。

ε 相铁的初始密度取为 8.298 g/cm^3[25]。用 Born-Mayer 势

$$p_C=Q\delta^{2/3}\{\exp[q(1-\delta^{-1/3})]-\delta^{2/3}\} \tag{4}$$

描述 ε 相铁的 0 K 等温压缩线。式中：p_C 为冷压，压缩比 $\delta=\rho/\rho_{0K}$，ρ_{0K} 为 0 K 下 ε 相铁的初始密度。为此可用 Wu 等人[28] 提出的根据高压相的 Hugoniot 方程确定 0 K 等温压缩线有关参数的方法，所得的结果为 $Q=64.616$ GPa，$q=10.761$，$\rho_{0K}=8.348$ g/cm^3。

以上结果绘于图 4，为了检验 Wu 等人[28] 方法的合理性，图中一并列出了 Anderson 等人[25] 给出的铁的实验数据(实际上是由 300 K 实验等温压缩线修正到 0 K 等温线的数据)。不难看出，由 Wu 等人[28] 提出的由 Hugoniot 线计算冷压线的方法是合理的，总体上与实验数据有相当好的符合程度，同时也证明了用公式(3)拟和的高压相的 Hugoniot 关系是正确的。我们认为，今后在数据分析时若缺乏实测等温压缩线数据，对于金属及离子晶体材料，Wu 等人[28] 提出的方法是可用的。

基于上述情况，又用 Wu 等人[28] 提出的方法分别计算了 FeO、FeS 的等温压缩线，进而又通过(1)式计算了 Fe/FeO/FeS(58.96%/35.83%/5.21%)混合物的 0 K 等温压缩线，计算结果如图 4 所示。由图可见，用可加性原理计算的 Fe/FeO/FeS 三组元混合物 0 K 等温压缩线与根据实测的 Hugoniot 线并通过文献[28]提出的方法计算的 0 K 等温压缩线也是基本一致的。

4 结　论

用二级轻气炮和电探针技术对 Fe/FeO/FeS 混合物的 Hugoniot 线进行了测量。得到的 Hugoniot 数值为：$C_0=(3.97\pm0.07)$ km/s，$\lambda=1.58\pm0.03$，$\rho_0=(6.69\pm0.06)$ g/cm^3。根据体积可加性原理对混合物的 Hugoniot 线和 0 K 等温压缩线进行了计算，其结果亦与实验测量结果符合得很好，表明本实验结果具有很好的可信度。体积可加性原理的适用性也表明，在本实验的冲击压力范围内，Fe、FeO、FeS 各组元之间没有发生化学反应的迹象。研究结果亦为今后对外地核各种浓度比 Fe-FeO-FeS 体系候选组分的进一步研究提供了重要的基础物理数据。

References：

[1] Dziewonski A M, Anderson D L. Preliminary Reference Earth Model [J]. Phys Earth Planet Interiors, 1981, 25: 297-356.

[2] Birch F. Elasticity and Constitution of the Earth's Interior [J]. J Geophys Res, 1952, 20: 227-286.

[3] Poirier J P. Light Elements in the Earth's Outer Core: A Critical Review [J]. Phys Earth Planet Inter, 1994, 85: 319-337.

[4] Stevenson D J. Models of the Earth's Core [J] Science, 1981, 241: 611-619.

[5] Knittle E, Jeanloz R, Michell A C, et al. Metallization of $Fe_{0.94}O$ at Elevated Pressures and Temperatures Observed by Shock-Wave Electrical Resistivity Measurements [J] Solid State Commun, 1986, 59: 513-515.

[6] Knittle E, Jeanloz R. Simulating the Core-Mantle Boundary: An Experimental Study of High-Pressure Reactions between Silicates and Liquid Iron [J]. Geophys Res Lett, 1989, 16: 609-612.

[7] Williams Q, Jeanloz R, Bass J, et al. The Melting Curve of Iron up to 250 Gigapascals: A Constraint on the Temperature at the Earth's Center [J]. Science, 1987, 236: 181-183.

[8] Jeanloz R, Ahrens T J. Equation of State of FeO and CaO [J]. Geophys J R Astr Soc, 1980, 62: 505-528.

[9] Knittle E, Jeanloz R. Earth's Core-Mantle Boundary: Results of Experiments at High Pressures and Temperatures [J]. Science, 1991, 251: 1438-1443.

[10] Boehler R. Melting of the Fe-FeO and Fe-FeS Systems at High Pressures: Constraints on Core Temperatures [J]. Earth Planet Sci Lett, 1992, 111: 217-227.

[11] Boehler R. Temperatures in the Earth's Core from Melting-Point Measurements of Iron at High Static Pressure [J]. Nature, 1993, 363: 534-536.

[12] Williams Q, Jeanloz R. Melting Relations in the Iron-Sulfur System at Ultra-High Pressure: Implications for the Thermal State of the Earth [J]. J Geophys Res, 1990, 95: 19299-19310.

[13] Ahrens T J. Equations of State of Iron Sulfide and Constraints on the Sulfur Content of the Earth [J]. J Geophys Res, 1979, 84: 985-998.

[14] Brown J M, Ahrens T J, Shampine D L. Hugoniot Data for Pyrrhotite and the Earth's Core [J]. J Geophys Res, 1984, 89: 6041-6048.

[15] Ahrens T J, Jeanloz R. Pyrite: Shock Compression, Isentropic Release, and Composition of the Earth's Core [J]. J Geophys Res, 1987, 92: 10363-10375.

[16] Ringwood A E. On the Composition of the Core and Implications for the Origin of the Earth Geochim [J]. Cosmochim Acta, 1977, 11: 111-135.

[17] Urakawa S, Kato M, Kumazawa M. Experimental Study on the Phase Relation in the System Fe-Ni-O-S up to 15 GPa [A]. //Manghnani M H, Syono Y. High Pressure Research in Mineral Physics [C]. Terrapub, Tokyo, 1987: 95-111.

[18] Brown J M, Fritz J N, Hixson R S. Hugoniot Data for Iron [J]. J Apply Phys, 2000, 88: 5496-5498.

[19] Yagi T, Fukuoka K, Takei H, et al. Shock Compression of Wüstite [J]. Geophys Res Lett, 1988, 15: 816-819.

[20] Michell A C, Nellis W J. Shock Compression of Aluminum, Copper, and Tantalum [J]. J Appl Phys, 1981, 52: 3363-3374.

[21] Jing F Q. Introduction to Experimental Equation of State [M]. Beijing: Scientific Press, 1986: 371. (in Chinese)
经福谦. 实验物态方程导引 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 371.

[22] Lin H L, Yu W R. A theoretical Study on Heat Conduction Following Shock Compression [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1994, 8(1): 49-56. (in Chinese)
林华令, 于万瑞. 冲击压缩后热传导的理论研究 [J]. 高压物理学报, 1994, 8(1): 49-56.

[23] Lin H L, Yu W R. Simulation of Shock Compression Behavior of Mixture by Using the Finite Element Method [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1998, 12(1): 40-46. (in Chinese)
林华令, 于万瑞. 有限元模拟混合物的冲击压缩特性 [J]. 高压物理学报, 1998, 12(1): 40-46.

[24] Lin H L, Huang F L, Yu W R. Numerical Simulation of Shock Temperature of Mixture Studing Shock Loading [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2002, 16(1): 46-56. (in Chinese)
林华令, 黄风雷, 于万瑞. 混合物冲击温度的数值模拟 [J]. 高压物理学报, 2002, 16(1): 46-56.

[25] Anderson O L, Dubrovinsky L, Saxena S K, et al. Experimental Vibrational Grüneisen Ratio Values for Epsilon-Iron up to 330 GPa at 300 K [J]. Geophys Res Lett, 2001, 28: 399-402.

[26] Jackson I, Khanna S K, Revcolevschi A, Berthon J. Elasticity, Shear-Mode Softening and High-Pressure Polymorphism of Wüstite ($Fe_{1-x}O$) [J]. J Geophys Res, 1990, 95: 21671-21685.

[27] Fei Y W, Mao H K. In Situ Determination of the NiAs Phase of FeO at High Pressure and Temperature [J]. Science, 1994, 266: 1678-1680.

[28] Wu Q, Jing F Q, Li X Z. Behavior of Grüneisen Parameter at High Pressure and Temperature Inferred from Shock Compression Data [J]. Chin Phys Lett, 2002, 19: 528-530.

[29] Mao H K, Zou G, Mell P M, Experiments Bearing on the Earth's Lower Mantle and Core [R]. Washington: Year Book Carnegie Inst, 1981, 80: 267-272.

Studies of the Hugoniot Curve for Fe/FeO/FeS Mixture

HUANG Hai-Jun, JING Fu-Qian, CAI Ling-Cang,
BI Yan, MENG Chuan-Min

(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang* 621900, *China*)

Abstract: Hugoniot compression curve for the mixture of Fe/FeO/FeS (58.96%/35.83%/5.21%, mass fraction) has been measured from 50 to 210 GPa, using two-stage light-gas gun and electric pin technique. The measured Hugoniot parameters are: $C_0=(3.97\pm0.07)$ km/s, $\lambda=1.58\pm0.03$ and initial density $\rho_0=(6.69\pm0.06)$ g/cm^3. Based on additive volume law, the compressional curves of this mixture along Hugoniot and along 0 K isothermal were also calculated respectively according to the Hugoniot curve and 0 K isothermal relevant to the ingredients, which showed both are consistent well with the experimental Hugoniot and the 0 K isothermal deduced from the experimental Hugoniot using the Wu's method. Thus it demonstrated the rationality of this experimental Hugoniot and the applicability of the additive volume law hold for this mixture. For the letter, it also implies that no detectable chemical reactions happen between Fe, FeO, FeS ingredients while they were subjected to shock compression in this work. The above mentioned results provide a basis for investigating the candidate concentrations of Earth's outer core if it is a Fe-O-S assembly, for the further details.

Key words: Hugoniot; volume additive law; Fe/FeO/FeS