文章编号:1000-5773(2011)03-0213-08

3 GPa 熔融盐固体介质高温高压三轴压力容器的围压标定*

韩 亮,周永胜,何昌荣,姚文明,刘 贵,刘照星,党嘉祥

(中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室,北京 100029)

摘要:新研制的 3 GPa 熔融盐固体介质高温高压三轴实验系统,改进了高压容器的装样方式以及样品的尺寸,由于装样部件之间摩擦以及克服传压介质本身的强度,视载围压和真实围压具有较大差异,在完成压力容器温度标定的基础上,采用部分熔融法在不同温度和压力条件下进行围压标定实验研究。实验使用 LiCl-KCl 混合氯化盐样品,分别在 300～1 400 MPa 视载围压的条件下,对样品进行缓慢加温,成功观测到实验力学数据和温度数据的同时响应,确定了混合氯化盐的初熔温度,通过已知熔融曲线方程计算得出真实围压。通过比较不同的实验条件和观察实验后装样结构,给出了摩擦力的变化规律:在 300～500 MPa 压力条件下,摩擦力百分比呈现降低趋势,从 52%降低到 31.2%;在 700～1 200 MPa 压力条件下,摩擦力约占11.4%;在 1400 MPa 压力条件下,摩擦百分比从 11.4%上升到 15.5%。通过对比国内外同类实验设备摩擦力认为,该设备真实围压的精度达到了国际同类设备的水平。

关键词:围压标定;视载围压;真实围压;混合氯化盐;部分熔融法;摩擦百分比

中图分类号:O521.3 **文献标识码**:A

1 引 言

Griggs 型[1]固体介质三轴实验系统通过挤压较低强度传压介质加载围压,压力表显示的视载围压是通过计算油缸压力与活塞面积比值得出,油缸系统本身存在摩擦力,而同时在不同温度和压力条件下的实验过程中,装样中的传压介质和其它部件产生的摩擦力并不相同,造成视载围压和真实围压有较大差异。作者所在的实验室在原来拥有的 2 GPa Griggs 型固体介质三轴实验设备的基础上,自主新研制了 3 GPa 熔融盐固体介质高温高压三轴实验系统,改进了高压容器的装样方式以及样品的尺寸,并成功进行了温度标定工作[2],本研究在此工作基础上采用部分熔融法继续进行围压标定研究。

2 实验方法和实验条件

2.1 实验方法

对新实验系统压力容器的装样结构进行了多处修改,有关装样细节请参阅文献[2]。图 1 为不同氯化盐熔融曲线,其中 LiCl-KCl 混合氯化盐熔融曲线的线性很好,熔融曲线方程已知[3-5],在不同压力下对温度响应灵敏,并且适用的温度、压力范围更广。国际上同类设备使用 LiCl-KCl 混合氯化盐样品,通

* **收稿日期**:2010-03-17;**修回日期**:2010-09-13

基金项目:中国地震局地质研究所基本科研业务费(DF-IGCEA-0607-1-24);中国地震局“十五”实验室建设项目“固体介质高温高压(3 GPa)实验设备的研制”共同资助

作者简介:韩 亮(1983—),男,博士研究生,主要从事高温高压岩石力学实验研究. E-mail:hanliangla@163.com

通讯作者:周永胜(1969—),男,研究员,主要从事高温高压岩石力学和岩石流变学实验研究. E-mail:zhouysh@ies.ac.cn

过部分熔融法成功进行了围压标定[6-8]，而如何准确判断初熔点是实验成功的关键。Bagdassarov 等[6]通过在装样中增添电导率测试装置，成功地监测到方解石-文石相变点的初熔温度，但用热导率高的金属导线、金属探头以及保护外壳替代热导率更低的叶蜡石，会对样品的垂向温度梯度分布产生额外的影响[2-3,9]，该方法不可避免地产生新的额外误差，同时增加了实验配件的加工难度，而且未见到关于该方法在视载围压大于 1.5 GPa 条件下应用于类似设备围压标定的报道。Bohlen 等[7-9]在使用模拟信号控制温度的实验中，发现当样品初始熔融时，实验电信号发生波动。新研制的实验设备在压力加载和温度控制上达到国际先进水平，当 LiCl-KCl 混合氯化盐初始熔融时，能够分辨出微弱的位移变化、微弱的应力变化和微弱的温度扰动并自动保存数据，直接确定样品的初熔温度，进而通过已知熔融曲线方程计算得到真实围压。

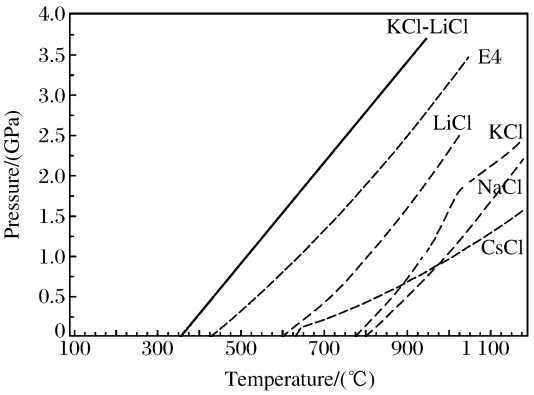


图 1 不同氯化盐熔融曲线[3-5]

Fig. 1 Melting curves for different chlorates[3-5]

2.2 实验条件

实验样品为等摩尔 LiCl、KCl 混合氯化盐，样品尺寸为∅5.5 mm×6 mm，传压介质为 NaCl。样品内存在温度梯度，实验力学数据变化对应着局部高温位置。根据温度标定研究得出的样品周围温度分布状态，认为下热偶(样品外侧下 1/3 位置)监测温度非常接近样品的初熔温度，选择 NiCr-NiSi(0～1 000 ℃)材料的两组热电偶分别监测样品外测上 1/3 位置和下 1/3 位置的温度。

在实验过程中，围压通过应力传感器控制主动加载围压，轴压通过位移传感器控制，通过软金属调节被动加载，确保实验条件与已知氯化盐熔融曲线同处静压条件。围压应力加载速率为 0.5 MPa/s，分别在视载围压 300、400、500、800、1 000、1 200 和 1 400 MPa 的条件下进行实验，加温系统以 2 ℃/min 的速度进行缓慢加温，待观测到样品初始熔融引起的力学数据和温度数据变化后，在初熔温度基础上继续升温 50 ℃左右并维持一段时间，确保样品完全熔融后，再尝试两种方式继续进行更高视载围压条件下的标定实验：(1) 立刻关闭加温系统回到室温，以相同应力加载速率加压至更高视载围压条件，再缓慢加温，观察初熔点；(2) 以相等速率降温至初熔温度以下 50 ℃左右并维持一段时间，确保样品完全重结晶后，提高视载围压后重复缓慢加温，观察初熔点。

3 围压标定实验

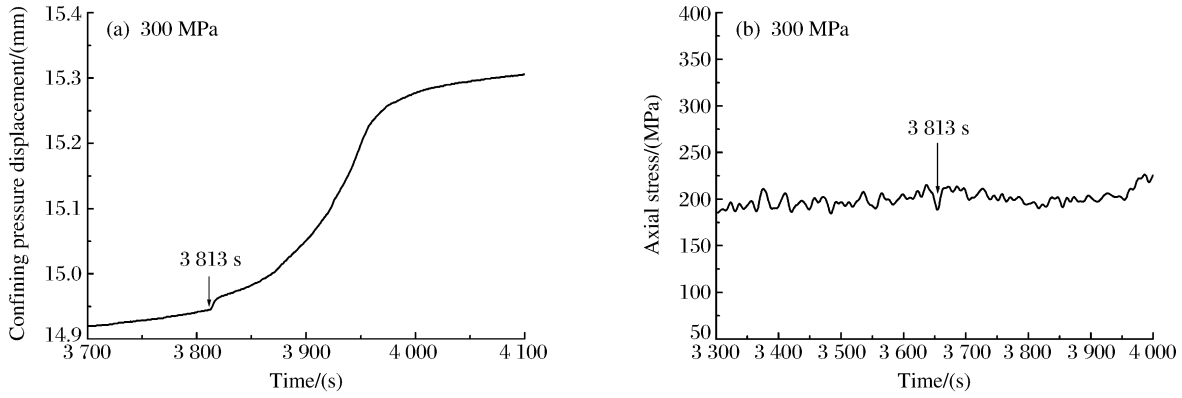
3.1 实验数据结果

图 2 给出 300 MPa 视载围压条件下，样品围压位移、轴压应力和上下热偶监测温度随时间变化的曲线，在加温过程中，围压位移缓慢增大，当样品初始熔融时，围压位移出现明显阶跃，轴向应力同时突然降低。

图 3 为 400 MPa 视载围压条件下的实验曲线，是在 300 MPa 视载围压条件下的围压标定实验完成后、瞬间关闭加温系统并保持一段时间、确保样品完全重结晶后、继续加载到更高视载围压再重新加温进行的。在加温过程中，围压位移一直微弱减小，当样品初始熔融时，围压位移原位震荡几乎不变，当样品全部熔融后继续减少，而温度场没有观测到明显扰动。

图 4 为 500 MPa 视载围压条件下的实验曲线，在升温过程中，围压位移缓慢增大，当样品初始熔融时，围压位移出现明显阶跃，轴向应力同时突然降低，温度场出现一个瞬间扰动。

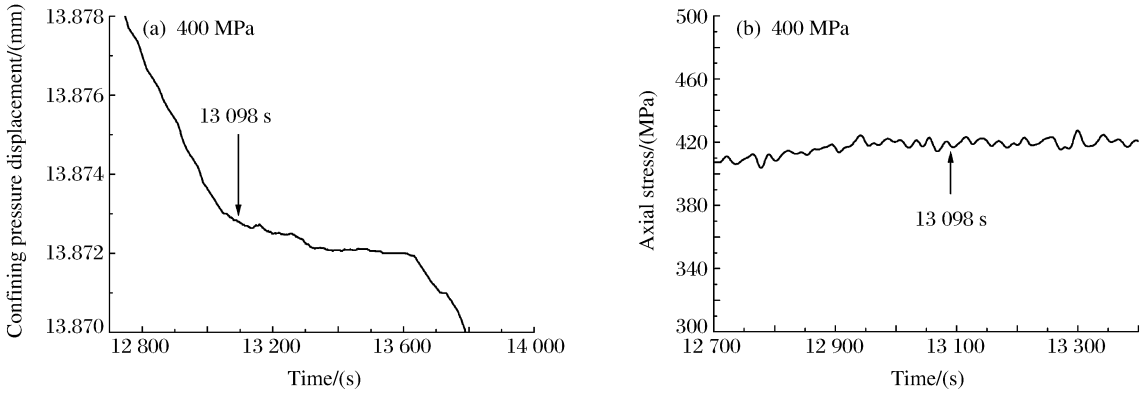
图 5 为 800 MPa 视载围压条件下的实验曲线，在升温过程中，围压位移缓慢增大，当样品初始熔融时，围压位移出现明显阶跃，轴向应力同时突然降低，而温度场没有出现明显扰动。



(a) Confined pressure displacement versus time curve　　(b) Axial stress versus time curve

图 2　300 MPa 视载围压条件下的实验曲线

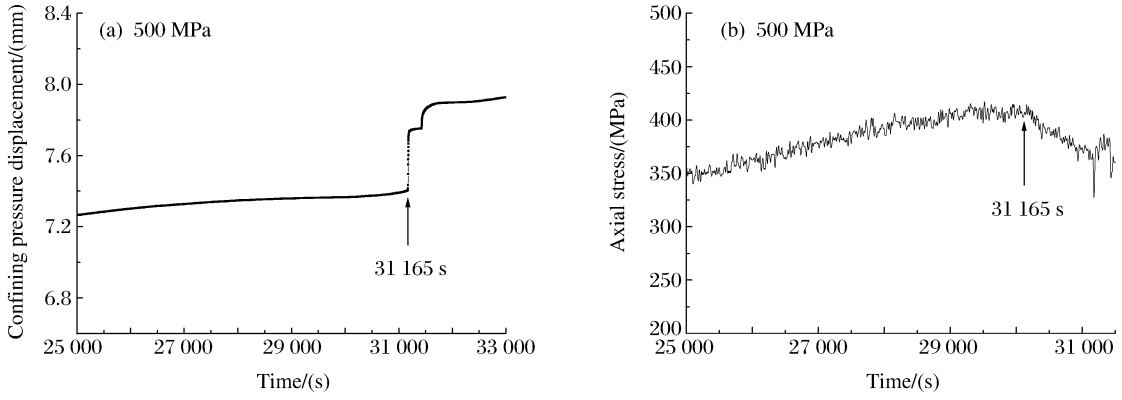
Fig. 2　Experimental curves under the apparent confined pressure of 300 MPa



(a) Confined pressure displacement versus time curve　　(b) Axial stress versus time curve

图 3　400 MPa 视载围压条件下的实验曲线

Fig. 3　Experimental curves under the apparent confined pressure of 400 MPa



(a) Confined pressure displacement versus time curve　　(b) Axial stress versus time curve

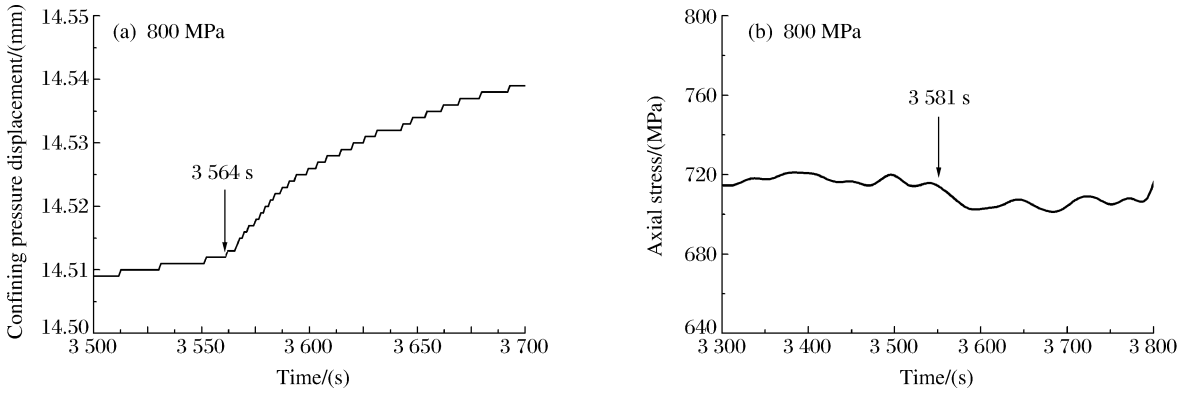
图 4　500 MPa 视载围压条件下的实验曲线

Fig. 4　Experimental curves under the apparent confined pressure of 500 MPa

图 6 为 1 000 MPa 视载围压条件下的实验曲线,是在视载围压 800 MPa 条件下围压标定实验完成后,缓慢降温至初始熔融温度以下约 50 ℃并保持一段时间,确保样品完全重结晶后,继续加载到更高视

载围压再继续加温进行的。在升温过程中,围压位移和轴向应力都缓慢增大,当样品初始熔融时,围压位移出现明显阶跃,轴向应力同时突然降低,而没有观测到温度场有明显扰动。

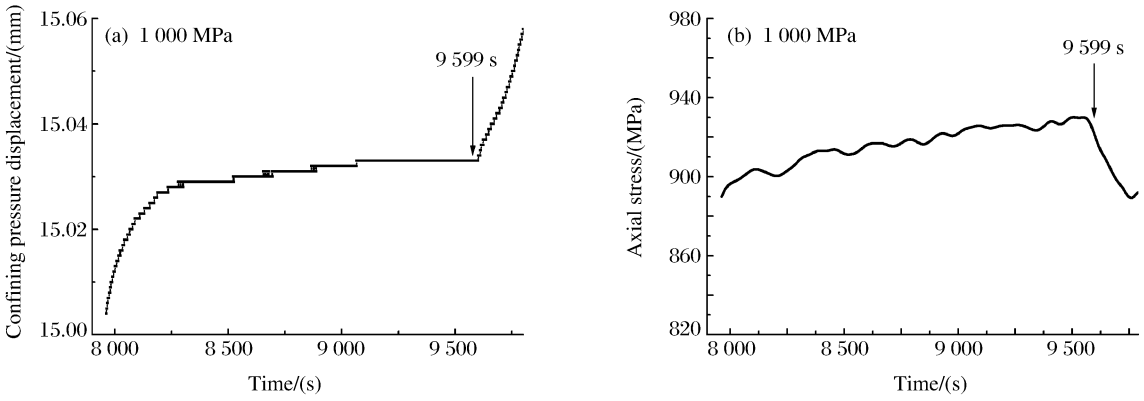
图 7 和图 8 分别为 1 200 MPa 和 1 400 MPa 视载围压条件下单独进行的标定实验,在较长的加温过程中,围压位移先缓慢增大后几乎保持不变,当样品初熔融时,围压位移突然升高,轴向应力同时突然降低,同时温度场都出现一个瞬间扰动。



(a) Confined pressure displacement versus time curve (b) Axial stress versus time curve

图 5 800 MPa 视载围压条件下的实验曲线

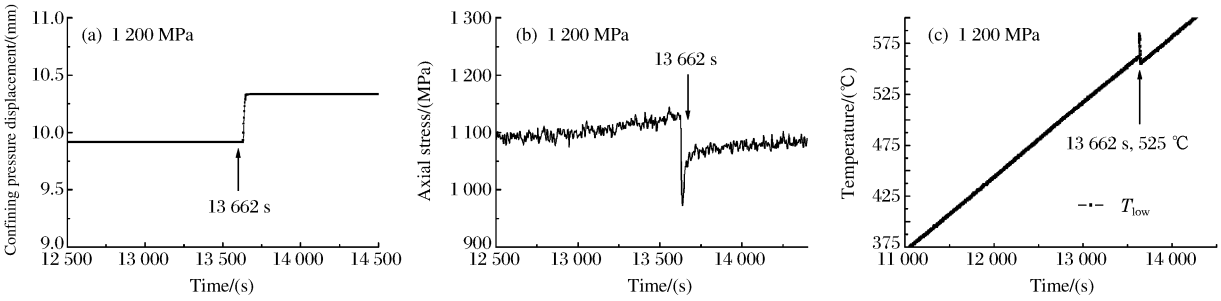
Fig. 5 Experimental curves under the apparent confined pressure of 800 MPa



(a) Confined pressure displacement versus time curve (b) Axial stress versus time curve

图 6 1 000 MPa 视载围压条件下的实验曲线

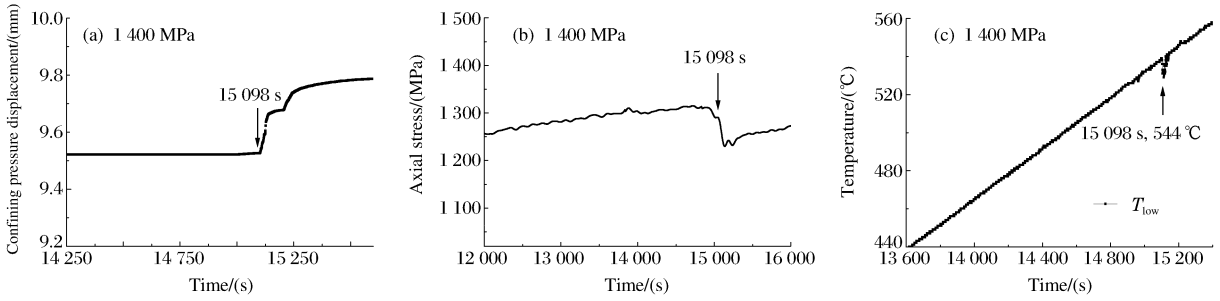
Fig. 6 Experimental curves under the apparent confined pressure of 1 000 MPa



(a) Confined pressure displacement (b) Axial stress (c) T_{low}

图 7 1 200 MPa 视载围压条件下的实验曲线

Fig. 7 Experimental curves under the apparent confined pressure of 1 200 MPa



(a) Confined pressure displacement　　(b) Axial stress　　(c) T_{low}

图 8　1 400 MPa 视载围压条件下的实验曲线

Fig. 8　Experimental curves under the apparent confined pressure of 1 400 MPa

3.2　实验曲线分析

围压位移普遍随着实验中温度缓慢增加而缓慢增大(400 MPa 条件下标定实验除外),这种趋势在较低温度和压力的标定实验中一直持续到样品初始熔融,且增大幅度明显,而在较高温度和压力条件下的标定实验中,这种增大趋势逐渐变缓,没有一直持续到样品初始熔融。这是因为装样中的各部件随温度缓慢升高其强度逐渐降低,彼此接触逐渐紧密,造成体积缩小,围压位移不断增大以保持围压恒定,当样品初始熔融时,其强度突然降低,围压位移发生明显阶跃以保持围压力恒定。

在较低温度和压力的标定实验中,轴向应力的变化一直不明显;而在较高温度和压力的标定实验中,轴向应力随着温度的缓慢增加而逐渐增大,当样品初熔融时,轴向应力突然降低。这是因为在实验过程中轴压位移保持不变,样品产生热膨胀挤压轴压活塞,温度的高低决定着热膨胀能否克服轴压摩擦力,即温度决定着轴向应力的变化趋势。当样品初始熔融时,样品强度突然降低,直接导致轴向应力测量值突然降低,而能否克服轴压摩擦力决定着轴向应力降低的幅度。

标定实验中温度场的扰动主要由样品熔融形成对流造成局部温度分布改变引起,在较高温度和压力条件下更容易观察到温度的突然扰动。在低温实验条件下,样品温度梯度较低,围压位移样品熔融过程中缓缓上升;而在高温实验条件下,样品内温度梯度较大,样品不同位置熔融时间间隔较长,因此部分实验中监测到围压位移出现多段式阶跃特征。

在 1 000 MPa 视载围压条件下的标定实验中,围压位移曲线和其它实验变化趋势一致,这是因为该实验室逐步降温至样品重结晶后继续进行,装样没有经历快速温度变化,仍然符合其它实验规律。而在 400 MPa 视载围压条件下的标定实验中,围压位移随着温度的增加而缓慢降低,当样品初始熔融时,围压位移几乎保持不变,这是因为在其它围压标定实验后,整个装样在处于压紧状态下瞬间冷却体积突然缩小,随着温度的回复,整个装样装置没有经历压紧过程,而直接产生热膨胀,造成围压位移逐减小,当样品初始熔融时,样品的强度降低和热膨胀对围压位移的影响相互抵消,造成围压位移几乎不变,当样品全部熔融后,整个装样继续以热膨胀作用为主,围压位移继续缓慢降低。

3.3　摩擦力变化规律

表 1 总结了所有围压标定实验数据结果,图 9 给出了摩擦百分比对应视载围压变化的曲线。从实验曲线分析得知,在较低压力和温度条件下,装样中

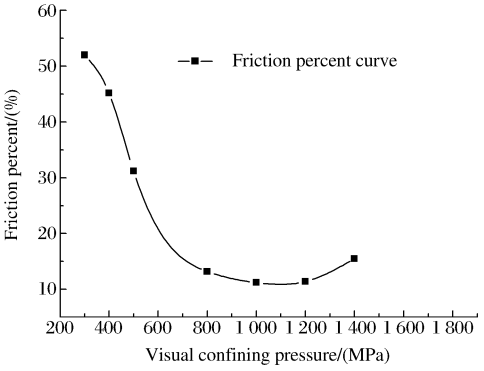


图 9　熔融盐压力容器摩擦百分比随视载围压变化曲线

Fig. 9　Friction percents versus apparent confined pressure curves for apparatus with molten salt

各个部件处于不断压紧过程中，造成摩擦力比较大。随着围压标定实验的压力和温度的逐渐升高，装样中各个部件的强度逐渐降低，接触愈加紧密，造成摩擦力明显降低，该阶段温度和围压都起到降低摩擦力的作用。在较高压力和温度的实验条件下，装以传压介质 NaCl 和绝缘介质叶蜡石为主的部件，体积压缩造成强度明显变大，摩擦力随之升高，然而该阶段传压介质逐渐熔融，起到降低摩擦力的作用，在围压和温度对摩擦力的综合影响下，摩擦力从降低转为升高，但幅度较缓。在更高围压和温度的实验条件下，传压介质基本上已经完全熔融，围压对摩擦力起主导作用，摩擦力总体上逐渐升高，升高幅度较之前更大。综上所述，我们认为当视载围压大于 600 MPa 时摩擦百分比和摩擦力的绝对值较低，适用于高温高压实验研究。

表 1 围压标定实验数据结果

Table 1 Experimental data for confined pressure calibrations

Experiments	Initial melt temperature/(℃)	Apparent confined pressure/(MPa)	Ture confined pressure/(MPa)	Friction pressure /(MPa)	Friction percent /(%)
s0807	378	300	144	156	52.0
s0808	390	400	219	181	45.2
s0932	410	500	344	156	31.2
s0809a	466	800	694	106	13.2
s0809b	497	1 000	888	112	11.2
s0929	525	1 200	1 063	136	11.4
s0930	544	1 400	1 182	218	15.5

4 与其它实验设备的摩擦力比较

周永胜等对中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室原来拥有的2 GPa Griggs型非熔融盐固体介质三轴实验压力容器进行过围压标定。与原有压力容器相比，本文介绍的新压力容器装样方式最显著的特点是在加温炉内样品周围增加了 2 个混合盐套。图 10 给出了旧压力容器摩擦力随温度、压力变化的经验关系。Gleason 等[10] 和 Rybacki 等[3] 认为这种没有熔融盐的固体传压介质，高温下的摩擦力被低估了约 50%。新研制的 3 GPa 熔融盐固体介质高温高压实验设备改进了装样结构，使用氯化盐代替叶蜡石传压介质，使用混合氯化盐包裹实验样品，在高温高压实验当中，氯化盐发生熔融使得围压加载更加均匀，摩擦力明显降低，同时又提高了实验设备真实围压力的上限。我们采用国际通用的部分熔融法，成功进行了围压标定工作，得到了高温下摩擦力变化关系，新设备的真实围压相对旧设备更为准确。

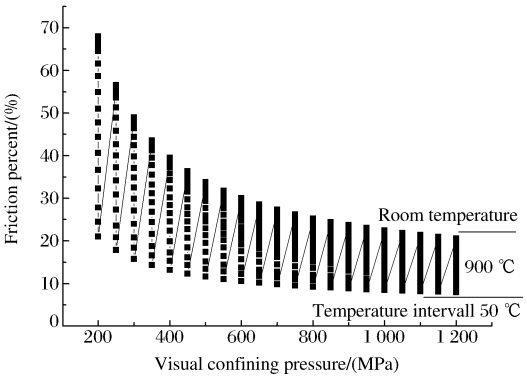


图 10 旧的非熔融盐压力容器摩擦百分比随视载围压变化曲线

Fig. 10 Friction percent versus apparent confined pressure curves for old apparatus without molten salt

Rabacki 等[3] 研制的 4 GPa 熔融盐固体介质高温高压实验设备的装样方式和样品尺寸与我们研制的新型实验设备基本相同，但其围压标定结果仍有重要的参考意义。Rybacki 等给出在 1～3 GPa 围压范围内，摩擦力范围在 10%～20%，其中在 1 500 MPa 视载围压下，摩擦力约为 12%～15%，这与我们得出的 1400 MPa 视载围压下约 15.5%的摩擦力结果非常接近，考虑到传压介质和个别配件尺寸的差异，新研制的实验设备相对 Rybacki 等研制的实验设备其摩擦力略有增加，符合我们研究得出的摩擦力

变化规律。Bose 等[7]给出的同类实验设备的适用压力高于 600 MPa,这也与我们给出适用压力结果一致。通过与国内外其它设备比较,我们认为新研制的 3 GPa 熔融盐固体介质压力容器的围压标定精度达到了国际同类实验设备的水平。

5　结　论

在 3 GPa 熔融盐固体介质高温高压三轴压力容器温度标定的基础上,采用国际通用的混合氯化盐部分熔融法,成功地进行了详细围压标定。实验给出在 300、400、500、800、1 000、1 200 和 1 400 MPa 视载围压条件下的真实围压分别为 144、219、344、694、888、1 063 和 1 182 MPa;摩擦百分比分别为 52%、45.2%、31.2%、13.2%、11.2%、11.4%和 11.5%。实验中尝试用两种不同方法提高实验效率,并给出了系统摩擦力的变化规律:在较低温度和压力条件下,摩擦百分比呈现降低趋势;在较高温度和压力条件下,摩擦百分比整体上升,幅度较缓;在更高温度和压力条件下,摩擦百分比整体上升,幅度较快。通过比较国内外同类设备的摩擦力,可以认为新研制的 3 GPa 熔融盐固体介质压力容器的围压标定精度达到了国际同类实验设备的水平,600 MPa 以上视载围压适用于实际应用。

在"3 GPa 熔融盐固体介质高温高压三轴实验系统"围压标定实验中,与德国地球科学研究中心的 E. Rybacki 进行了深入的讨论,并得到了宝贵的经验和建议,在此深表感谢。

References:

[1] Griggs D T. Hydrolytic Weakening of Quartz and Other Silicates [J]. Geophys J R Astr Soc,1967,14:19-31.

[2] Han L,Zhou Y S,He C R,et al. Temperature Calibration for 3 GPa Molten Salt Medium Triaxial Pressure Vessel under the High Temperature and Pressure [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics,2009,23(6):407-415. (in Chinese)
韩　亮,周永胜,何昌荣等. 3 GPa 熔融盐固体介质高温高压三轴压力容器的温度标定 [J]. 高压物理学报,2009,23(6):407-415.

[3] Rybacki E,Renner J,Konrad K,et al. A Servohydraulically-Controlled Deformation Apparatus for Rock Deformation under Conditions of Ultra-High Pressure Metamorphism [J]. Pure Appl Geophys,1998,152:579-606.

[4] Beggerow G. Properties of Matter at High Pressures [M]. Berlin:Springer Verlag,1980.

[5] Tingle T N,Green H W,Young T E,et al. Improvements to Griggs-Type Apparatus for Mechanical Testing at High Pressures and Temperatures [J]. Pure Appl Geophys,1993,141:523-543.

[6] Bagdassarov N S,Slutskii A B. Phase Transformation in Calcite from Electrical Impedance Measurements [J]. Phase Transitions,2003,76(12):1015-1028.

[7] Bohlen S R,Brook S. Equilibria for Precise Pressure Calibration and a Frictionless Furnace Assembly for the Piston-Cylinder Apparatus [J]. N Jb Miner Mh,1984,H9:404-412.

[8] Bose K,Jibamitra G. Quartz-Coesite Transition Revisited:Reversed Experimental Determination at 500～1 200 ℃ and Retrieved Thermochemical Properties [J]. American Mineralogist,1995,80:231-238.

[9] Cemic L,Geiger C A,Hoyer W W,et al. Piston-Cylinder Techniques:Pressure and Temperature Calibration of a Pyrophyllite-Based Assembly by Means of DTA Measurements,a Salt-Based Assembly,and a Cold Sealing Sample Encapsulation Method [J]. N Jb Miner Mh,1990,H2:49-64.

[10] Gleason G C,Tullis J. A Flow Law for Dislocation Creep of Quartz Aggregates Determined with the Molten Salt Cell [J]. Tectonophysics,1995,2247:1-23.

Confined Pressure Calibration for 3 GPa Molten Salt Medium Triaxial Pressure Vessel under High Pressure and Temperature

HAN Liang,ZHOU Yong-Sheng,HE Chang-Rong,YAO Wen-Ming,
LIU Gui,LIU Zhao-Xing,DANG Jia-Xiang

(*State Key Laboratory of Earthquake Dynamics,Institute of Geology,China Earthquake Administration,Beijing* 100029,*China*)

Abstract: A triaxial deformation apparatus with 3 GPa molten salt medium pressure vessel was developed. It is based on the conventional Griggs design and the molten salt cell concept modified.

There is a huge difference between apparent confined pressure and true confined pressure due to the friction in the assembly and the strength of the confined medium under high temperature and pressure. In this study, we used the partially molten method of LiCl-KCl to make the confined pressure calibration on the basis of the temperature calibration. We successfully observed the simultaneous variation of confined pressure displacement, axial stress and temperature disturbance when the specimen molten initially, then we calculated the true confined pressure by the given equation. Finally, we obtained a series of true confined pressure under different apparent confined pressure of 300～1 400 MPa. Additionally, we gave a interpretation about the friction in the pressure vessel. When the pressure is at 300～500 MPa, the friction percentage changed from 52% to 31.2% gradually. When the pressure is 700～1 200 MPa, the friction percentage dropped about 11.4%. When the pressure is 1 400 MPa, the friction percentage showed a slightly rise from 11.4% to 15.5%. The true confined pressure of the new pressure vessel is not only more accurate than the old one, it has reached the same level with the similar apparatus in other laboratories of the world.

Key words: confined pressure calibration; apparent confined pressure; true confined pressure; mixed chlorate; partially molten method; friction percent

《高压物理学报》征稿简则

《高压物理学报》是我国高压物理领域唯一的专业性学术刊物，在国内外公开发行。力求及时报道高压物理学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平、有重要意义的研究成果，读者对象为国内外科技工作者。征稿内容为动态及静态高压技术，人工合成新材料，高温高压下材料的力学、光、电、磁等特性以及物质微观结构的研究，动态及静态高压研究中的测试技术，高温高压下的相变，高温高压物态方程等。接受中、英文稿件。

1. 来稿应具有科学性、先进性和实用性，论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字简练、图表清晰。每篇论文的篇幅应在6 000～8 000字以内，请使用中华人民共和国法定计量单位。论文格式请参考近期出版的《高压物理学报》。请使用网站(www.gywlxb.cn)的作者投稿系统进行投稿。

2. 所投稿件不得涉及国家及本单位机密，投稿时请附本单位保密审查意见，由审查者签名并加盖公章。

3. 文章标题字数应在20字以内。文中图、表应有自明性，所有图题、图注、表题、表注均为中、英文对照，图、表中的文字一律用英文。

4. 第一作者应确保全体作者同意文章署名，请提供第一作者、通讯作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、研究方向等)，以及所有联系方式(通信地址、邮政编码、电话号码、传真、电子邮箱等)，以备联系。请注明论文(工作)的资助项目(资助项目名称和批准号)，简要介绍工作背景和论文意义。

5. 来稿应保证文章版权的独立性，严禁抄袭，文责自负，请勿一稿多投。

重点注意事项

▲ 中英文摘要 摘要用第三人称书写，语言要简练，应有具体内容。要求：(1) 拥有与论文同等量的主要信息，重点包括4个要素：即研究目的、方法、结果和结论。(2) 以提供论文梗概为目的，不得评论、解释论文内容。中文摘要应在200～400个字之间，英文摘要不少于120个实词。为便于Ei Compendex以及国外其它数据库收录，英文摘要中尽量避免特殊字符(各种数学符号、上下脚标及希腊字母)及由特殊字符组成的数学表达式；第一句不要与英文题名重复；尽量用短句子并避免句形单调；用过去时态叙述主要工作，用现在时态叙述结论，尽量用主动语态代替被动语态。

▲ 参考文献 参考文献应是公开出版物。请充分著录参考文献，引用条数不宜太少，并尽量引用近期国内外文献，采用“顺序编码制”著录。中文参考文献必须附英译文，著录项目应齐全。

▲ 版权与稿酬 《高压物理学报》已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据——数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中文科技期刊数据库、中国期刊网、台湾中文电子期刊服务——思博网(CEPS)等，并被Ei Compendex光盘收录。凡经本刊录用的稿件，其著作权(包括光盘版和网络版出版权)便自动转让给《高压物理学报》编辑部，编辑部不再另行通知。来稿一经发表，即付稿酬(包括光盘版和网络版稿酬)。

《高压物理学报》一贯秉承服务科学、服务读者、服务作者的办刊理念，慎重对待每一篇来稿，尊重作者劳动。优秀稿件享有快速发表通道，重大创新性成果可在3个月内刊出。

通信地址：四川绵阳919信箱110分箱《高压物理学报》编辑部，邮政编码：621900
网　　站：www.gywlxb.cn　电子邮件：gaoya@caep.ac.cn (征订、咨询)
电　　话：(0816)2490042　传　　真：(0816)2485139

《高压物理学报》编辑部