

高温高压下长石电学性质的实验研究

胡海英^{1,2}, 代立东¹, 李和平¹, 惠科石^{1,3}, 李 佳^{1,3}

1. 中国科学院地球化学研究所地球内部物质高温高压重点实验室, 贵阳 550081

2. 中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理重点实验室, 北京 100029

3. 中国科学院大学, 北京 100039

在模拟地球内部热力学条件下对矿物岩石电导率的实验测量是人们探索地球内部物质组成、结构构造、热结构等信息的一个重要手段,亦是了解地球内部物质传输过程、微观晶格缺陷及与之相关的各种宏观性质和过程的重要途径^[1-3]。长石是地壳中含量最丰富分布最广的矿物,约占地壳总重量的50%,而月壳的70%左右也为长石族矿物^[4]。长石矿物的电导率在很大程度上影响着整个地壳的电学性质,因此,是人们了解地壳岩石的流变过程、物质扩散过程、热物理性质等信息的重要窗口,也为野外大地电磁测深结果的反演提供重要的基础数据。已有的长石电导率实验数据只是对成分单一的长石进行研究,且实验条件非常有限,同时在高温高压条件下测量的结果甚少。

本研究借助YJ-3000t多面顶高温高压设备和利用Solartron-1260 阻抗/相位分析仪,在高温高压下首次对碱性长石系列和斜长石系列及端员组分的电导率进行了系统地原位测量,获得了受温度、压力和化学成分影响的长石电导率实验数据,建立了长石电导率与这些影响因素之间的定量函数关系,并根据实验得到的表征微观导电行为的Arrhenius参数,详细地讨论了长石在高温高压下的导电机制,同时给出了其缺陷化学反应关系式,结果包括:

(1) 在实验测量的频率(10^{-1} - 10^6 Hz)范围内,长石的端员组分及固溶体系列的电导率随着温度的升高而增加,电导率随温度的变化符合Arrhenius关系。相对温度而言,压力对长石电导率的影响较小,随着压力的升高而稍稍降低。长石固溶体的电导率随着化学成分的改变而变化较大,总体表现为随着在长石中碱性离子含量的增加,电导率急剧增大。根据实验获得的电导率数据,建立了长石电导率(σ)与温度(T)、压力(P)、化学成分(X_A)之间的定量函数关系。

(2) 通过一系列长石的电导率数据,获得了各个组分长石的活化能、活化焓和活化体积等Arrhenius参数,及活化焓随压力和化学成分的变化关系,并讨论了其变化成因。基于表征微观导电行为的Arrhenius特征参数,推断出长石在高温高压下的导电机制为本征离子导电,即长石中的碱性(Na^+ 、 K^+)或碱土离子(Ca^{2+}) 在晶格间隙位置做迁移运动,并给出了相应的点缺陷化学反应方程式。

(3) 根据长石的导电机制,通过长石的电导率数据计算出了在高温高压下碱性离子(Na^+ 、 K^+)和碱土离子(Ca^{2+})分别在钠长石、钾长石和钙长石中的扩散系数,为通过Fick's定律获得的元素扩散系数提供一个重要且独立的约束,对理解地球内部高温过程,如变质反应、同位素化学平衡、相变等提供重要的指导。

(4) 基于岩石电导率的理论模型,利用本次获得的长石电导率数据和已有的石英电导率数据,计算了富含这两种矿物的典型岩石(碱长花岗岩、碱长石英正长岩和碱长正长岩)的电导率,该结果可为大地电磁测深和磁测深结果的反演提供重要的理论指导和科学依据。

该成果得到了中国科学院地球化学研究所“135”项目,中国科学院百人计划项目,中国科学院青年创新促进会专项基金,国家自然科学基金项目(41474078, 4130406和41174079)等项目的资助。

参考文献:

- [1] Omura K, Kurita K, Kumazawa M, Experimental study of pressure dependence of electrical conductivity of olivine at high temperatures. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* [J]. 1989, 57: 291-303.
- [2] Ni H, Keppler H, Manthilake M, et al. Electrical conductivity of dry and hydrous $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ glasses and liquids at high pressures. *Contributions to Mineralogy and Petrology* [J]. 2011, 162:501-513.
- [3] Yang X, Keppler H, McCammon C, et al. Electrical conductivity of orthopyroxene and plagioclase in the lower crust. *Contributions to Mineralogy and Petrology* [J]. 2012, 63:33-48.
- [4] Angel R J, High-pressure structure of anorthite. *American Mineralogist* [J]. 1988, 73: 1114-1119.