

岩石破裂过程中电位变化研究回顾与展望

张永定, 梁森荣, 娄云雷, 叶李胜, 覃家琪, 张碧龙

中山大学地球科学系, 广州, 510275

1 引言

在早期的文献^{[1][2]}中, 曾记述了许多震前或震时的地电流异常变化现象。

1965 年, Rikitake 等^[3]观测到与松代群震中的一个 5 级地震有关的地电变化, 但只是发生在地震期间的短期变化。在 1972 年, Myachkin 报告^[4]中提到的一个实例, 地电位及地电流都在地震前几天开始, 并在地震前恢复正常值。异常的变化持续的时间似乎与地震震级成正比, 但尚未予以充分肯定。1975 年, 海城 7.3 级地震发生前观察到地电位在地震前一个月开始变化, 震前 3-4 天恢复到初始值。在 1976 年, 四川省松潘-平武地震时许多观测点上也观测到类似变化。70 年代, 柯诺^[5]曾对中国的地电流测量工作做过报道, 在那台附近的一次 3 级地震前约 5 小时, 观测到 2mv/km 的微弱电场变化。当时的学者认为, 在间距约 100 米的两个电极间捕捉到 10-100mv 的异常变化, 就可视为地震前兆。

震前或震时会出现地电流异常变化已经是一个不争的事实, 但地电流异常变化能否预测地震? 很多学者持有不同的观点, 其中主要的原因是人们对产生地电流异常变化的机理认识不足。因此, 有必要对地层深处产生电流电荷的机制进行研究, 许多学者对岩石进行了室内模拟实验, 提出了各种受压带电的机制, 试图解释与地震相关的地电流异常变化的成因。

2 国外对岩石受压带电实验研究

我们之所以对岩石的受压带电性质感兴趣, 是因为地震发生前, 岩石受区域性应力作用表面会产生电荷, 这一特性与震前地电流异常变化存在相关性。自从 30 年代发现岩石在荷载作用下表面能产

生电流这一特征后, 国外学者率先对岩石受压带电性进行了深入的研究, 试图探求岩石受压带电的机理问题。

1954 年, 苏联学者 Воларович^[6]、Пархоменко^[7]用实验方法记录了花岗岩、片麻岩和石英脉的受压带电现象。在往后的几年里, Bazhenov^[8]发现了除人工合成的晶体外, 一些有机材料(如木材)也具有受压带电性质, 由此人们认识到可能存在非压电效应成因带电的机制。随着测量仪器的进步, 一些学者通过实验精密测量来探讨岩石的带电机理。1981 年, Bishop^[9]对石英岩, 花岗岩, 片麻岩和糜棱岩等含石英岩石做了压电实验。Bishop 认为这是与岩石内部石英等压电矿物的不规则排列有关, 但岩石带电机理主要是矿物晶体的压电效应。可以说, 在上世纪 80 年代以前, 大多数学者均用矿物的压电性质来解释岩石压缩实验中带电的现象, 但这种解释仍有很多不尽人意的地方, 例如利用矿物的压电性估算的岩石带电量与实际不符合, 往往是低估了岩石样品的带电量。

直到 1997 年, Kuksenko^{[10][11]}等用静电计测量到对大理岩加载时有感应电荷产生, 并且发现岩石在突然加卸载时感应电荷急剧增加, 然后逐渐衰减, 这种现象是无法通过矿物的压电性质解释的, 这表明大理石表面感应电荷的产生并非压电效应所致。为了更好解释岩石受压带电的现象, 学者们针对不同的岩石做了对比实验。其中, 这几年来 Freund^{[12][13][14]}对花岗岩、大理岩、石灰岩、辉长岩、钙长石和玻璃等做了受压带电的试验, 结果表明岩石受压产生的电流与加载的速率相关, 加载速率越大, 岩石产生的电流强度越大。试验表明岩石受压带电的机理不能简单地解释为矿物的压电性质引起, 但不同的实验结果显示, 岩石表面的带电量与外部荷载加载方式以及岩石的成分结构有关。

注: 广东省自然科学基金重点项目(10251027501000019)的成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 张永定, 男, 1986 年生。在读硕士研究生。主要从事地质、岩土工程研究。Email:06351081@163.com。

3 国内对岩石受压带电实验研究

我国是个地震多发的国家,不少地方都测得震前地电异常的现象。学者们通过室内模拟地壳岩石在地震前后的受力状态,试图解释地电异常产生的机理。

近 30 年来,我国学者也对岩石压缩带电开展了试验研究。其中,孙正江等^[15]对闪长岩、大理岩和石灰岩标本进行单轴压缩至脆性破坏,实验结果显示其电磁强度为 10^2 nT ,这个数值比用压电效应理论算出的结果高 2-3 个量级以上。孙正江等认为这个现象可能是岩石破裂时某些临界突变性质的反映。郭自强、周大庄等^[16]对花岗岩标本进行长轴单轴压缩至破裂实验,他们认为当岩石受到压缩时,在局部区域的应力可能比所加应力高几个量级,因此一些原子的外壳层电子有可能获得高的动能逃逸出来,这一观点提出了岩石受载产生电流的新认识。

1991 年,朱元清等^[17]利用岩石在单轴压缩致裂过程中记录到的近场电磁辐射实验结果,计算了裂纹扩展时裂纹尖端的电荷量和远场电磁辐射强度。2009 年,赵扬锋等^[18]对花岗岩进行单轴压缩,利用自主研制的电荷感应仪测量花岗岩样品在单轴压缩变形破裂过程中产生的电荷感应信号。

基于对岩石的单轴压缩至破坏的试验研究,前人对岩石压缩带电的机制提出了各种观点,但各种机理解释还停留在实验室试验阶段,在解释不同的试验条件下岩石产生带电的现象上,尚未达成共识。

目前大多数研究者只是从理论模型上计算出岩体在受力破裂时产生的电荷量或只是测出岩体在受力破坏某时刻的电荷量^[18],室内实验基本忽略了应力加载方式和岩体的结构完整程度,实验条件与地震前断裂带中岩石的受力状态存在差异。岩石受压带电现象仍需开展更深入的研究。

4 岩石电荷产生的机理模式

压电效应是最早被用来解释产生电荷的机理。Warwick^[19]、Maxwell^[20]和 Russel^[21]等的试验表明含压电材料和不含压电材料的岩石均有电磁辐射产生,可见矿物的压电效应并不能完全解释岩石受压带电的现象。另外,有学者认为压电效应是一种压力引起的介质极化效应,在压力不变条件下,这种

电荷不能在外电路中形成稳恒电流,而对花岗岩的试验研究发现,在压力恒定时仍能获得稳恒电流^[26]。这一现象表明花岗岩中石英等压电矿物并不是引起岩石表面带电的主要因素。但岩石电荷的产生是否存在其他机制呢?

有研究认为岩石压缩带电与岩石或晶体结构的摩擦和错位有关。如王恩元^[22],何学秋^[23]认为摩擦起电是裂纹形成及扩展形成新表面产生电荷的重要机理之一,而且岩石材料的非均质性以及非平衡应力的作用使得岩石产生的电荷分布不同,同时也可引起电荷的运移扩散等活动。Slifkin^[24]、郝锦琦等^[25]认为位错理论是岩石变形破裂产生电荷的原因之一,因为具有带电割阶的位错发生运动时,大量带电位错暴露到离子晶体表面,因此离子晶体表面带电。但吴小平^[26]等通过对怀远花岗岩进行显微镜观察,发现受压后的标本未发现有晶面滑移的痕迹,通过 X 光衍射分析也发现主要矿物为共价键和离子-共价键的多晶集合体,决定了位错在其中不易发生。

有学者认为岩石微裂隙的发育是导致岩石受压带电的主要机制。吴小平^[26],郭自强^[27]认为在力场作用下,岩石本身的微裂隙由于应力集中会在尖端发射低能电子,在标本表面形成微电流,并产生很高的电场。郝锦琦等^[25]认为微破裂导致裂隙尖端电荷分离,由于高应力的裂隙端部扩展时发射电子,形成了局部区域内正电荷的产生和逐渐平衡,造成了类似充-放电的自电位脉冲。

5 展望

岩石受压后产生电荷的机理还处于假说阶段,尽管很多学者都提出了各自的观点,但仍缺乏实践验证。前人所做的研究大部分是基于对矿物或岩石进行单轴压缩试验,部分进行有侧限的单轴试验,除试验仪器的测量精度的误差外(如电极极化),目前的试验难以模拟地球深部存在的三轴应力场。另外,实验室难以真实模拟断层错动的复杂过程,所做试验都是基于矿物或岩石不受破坏,或仅发生微裂隙但不发生错动,因此获得的数据与实际情况有一定的差距。利用现代先进的仪器设备,在断裂活动区开展深孔监测,是一个切实可行的办法。

参考文献 / References

- [1] Milne J. 1890. Earthquakes in connection with electric and magnetic

- phenomena. *Trans. Seismol. Soc. Japan*, 15: 135~162
- [2] Yoshimatsu T. 1957. Universal earth-currents and their local characteristics. *Mem. Kakioka Magn. Obs., Suppl.*, 1: 1~76
- [3] Rikitake T. 1966. A five-year plan for earthquake prediction research in Japan. *Tectonophysics*, 3: 1~15
- [4] Myachkin V I, Sobolev G A, Dolbikina N A, Morozov V N, and Prebrazensky V B. 1972. The study of variations in geophysical fields near focal zones of Kamchatka. *Tectonophysics*, 14: 287~293
- [5] Coe R S. 1971. Earthquake prediction program in the People's Republic of China. *Eos(Trans. Am. Geophys. Union)*, 52: 940~943
- [6] Воларович М П. и Пархоменко Э И. 1954. Пьезоэлектрический эффект горных пород. *ДАН СССР*, 99(2): 239.
- [7] Воларович М П. и Пархоменко Э И. 1995. Пьезоэлектрический эффект горных пород. *Изв.АН СССР, сер. геофиз.*, (2): 215~222.
- [8] Bazhenov V A. 1957. Wood as a piezoelectric texture. *Sov. Phys.-Crystallogr.*, 2: 104~110.
- [9] Bishop. 1981. Piezoelectric effects in quartz-rich rock. *Tectonophysics*, 77: 297~321
- [10] Kuksenko V S., Makhmudov Kh F. 1997a. Mechanically-induced electrical effects in natural dielectrics. *Tech. Phys.*, 23(2): 126~127.
- [11] Kuksenko V S, Makhmudov Kh F, Ponomarev A V. 1997b. Relaxation of electric fields induced by mechanical loading in natural dielectrics. *Phys. Solid State*, 39(7): 1065~1066.
- [12] Freund F T. 2002. Charge generation and propagation in rocks. *Geodyn.*, 33: 545~572.
- [13] Freund F T. 2003. On the electrical conductivity structure of the stable continental crust. *Geodyn.*, 35: 353~388.
- [14] Freund F T, et al. 2006. Electric currents streaming out of stressed igneous rocks—a step towards understanding pre-earthquake low frequency E M emissions. *Phys. Chem. Earth*, 31: 389~396.
- [15] 孙正江, 王丽华, 高宏. 1986. 岩石标本破裂时的电磁辐射和光发射. *地球物理学报*, 29(5): 491~495.
- [16] 郭自强, 周大庄, 施行觉, 等. 1988. 岩石破裂中的电子发射. *地球物理学报*, 31(5): 566~571.
- [17] 朱元清, 罗祥麟, 郭自强, 等. 1991. 岩石破裂时电磁辐射的机理研究. *地球物理学报*, 34(5): 594~601.
- [18] 赵扬锋, 潘一山, 苏维嘉. 2009. 单轴压缩下花岗岩电荷变化的实验研究. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 28(2): 221~224
- [19] Warwick J W, Stoker C and Meyer T R. 1992. Radio emission associated with rock fracture: possible application to the Great Chilean Earthquake of May 22, 1960. *J. Geophys. Res.*, 87(B4): 3851~3859.
- [20] Maxwell M. 1992. Electromagnetic responses from seismically excited targets B: nonpiezo- electric phenomena. *Exploration Geophysics*, 23: 201~208.
- [21] Russell R D. 1992. Electromagnetic responses from seismically excited targets, A: piezo-electric phenomena at Humboldt, Australia. *Exploration Geophysics*, (23): 281~286.
- [22] 王恩元, 何学秋. 2000. 煤岩变形破裂电磁辐射的实验研究. *地球物理学报*, 43(1): 131~137.
- [23] 何学秋, 王恩元. 2003. 煤岩流变电磁动力学. 北京: 科学出版社.
- [24] Slifkin L s. 1993. Seismic electric signals from displacement of charged dislocations. *Tectonophysics*, (224): 149~152.
- [25] 郝锦琦, 刘力强. 2004. 双轴压力下岩样自电位变化实验的新结果. *地球物理学报*, 47(3): 475~482.
- [26] 吴小平, 施行觉, 郭自强. 1990. 花岗岩压缩带电的实验研究. *地球物理学报*, 33 (2): 208~211.
- [27] 郭自强, 尤俊汉, 李高, 施行觉. 1989. 破裂岩石的电子发射与原子压缩模型. *地球物理学报*, 32: 173~177.