

砂岩在不同条件下的强度变形特点和P波速度特征

邵顺妹 周建国 单登龙 李刘玉 高中强

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文介绍了砂岩样品在干燥和饱和状态下,沿平行层理和垂直层理两个不同方向进行单轴加载时的抗压强度、变形特点和垂直于应力方向的P波走时的变化。

结果表明,水对砂岩强度、P波速度的影响较大;具有原生层理构造的岩石样品的强度、变形和P波速度显示一定的方向性。所得结果对水库地震、工程地震、矿山开采及地震预报有一定的参考价值。

一、引 言

绝大多数中强地震的等震线不是呈圆形,而是呈椭圆形^[1],而且长短轴之比常大于3。地形变^[2, 3]和地震波速异常^[4-6]也常呈带状分布。这种现象的产生,其原因是多方面的,但我们认为与区域应力场、区域地质构造等因素的关系最为密切,而孕震区介质和环境的变化可能对地震的震级也有一定影响。为探索地震孕育过程中这些因素所起的作用,我们选用了具有明显层理的砂岩进行单轴压缩试验,对其强度、变形特点和P波速度的变化进行了初步的分析研究。

二、实验方法

实验材料为兰州附近的白垩系细砂岩,该岩石层理清楚,粒度均匀,矿物成分主要为石英(30—40%)、长石(30—35%)和胶结物(30%左右)。胶结物显示一定程度的重结晶。

试件做成 $5 \times 5 \times 10$ (厘米)的方柱体,相对两端面的平行度误差小于0.05毫米。试件

的处理同文献〔7〕。用200吨液压试验机进行单轴向加载,采用分级加载的形式,加载速度为6巴秒⁻¹。用Syc-2声波岩石参数测定仪测量P波走时,换能器用压电陶瓷晶片制作,频率为1.0MC。SYC-2的测量精度是0.1μS档>20μS时,Δt<±1.5%,大于100μS

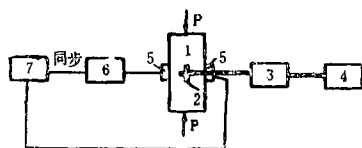


图1 实验装置框图

1.试件 2.应变片 3.应变仪 4.18线光线示波记录器
5.压电换能器 6.XYC-2声波岩石参数测定仪发射机
7.接收机

Fig.1 The device for the experiment

时,Δt<0.5%,本实验的测量范围在20—100μs之间,由此确定所测变化超过±1.5%,才算异常,但测量时只有一发一收,这对监视波形变化很有利,所以,实际精度高于±1.5%。应变测量选用YJD-7型静动态电阻应变仪,其测量误差<±0.5%,当测量读数>1000με时,误差<5με,测量读数在临破坏前应变达4000—5000με,甚至更大,因此,测量中有异常是完全能反映出来的。实验装置见图1。

实验用的岩样有干燥状态和饱和状态两种,加载方向有垂直样品层理的和平行样品层理的两种情况,在实验中测量样品的强度、轴向和横向应变,同时在垂直载荷方向测量P波走时。

三、实验结果

1.抗压强度

砂岩样品的饱和度对该岩石的抗压强度有较大影响,干燥状态下的样品强度比饱和状态下的要大,饱和度不同,其强度差也不同,最大时其差值可达28%。表1是加载方向平行层理时,饱和样品与干燥样品的抗压强度。

表1 砂岩样品在不同状态下的抗压强度(公斤/(厘米)²)

干燥样品	饱和样品(饱和度)	
	80%	100%
I-1 1190	I-1 1250	I-1 1080
I-2 1407	I-2 1226	I-2 1018
I-3 1348	I-3 1196	I-3 1000
I-4 1411	I-4 1178	I-4 1040
I-5 1353	I-5 1193	I-5 1055
	I-6 1188	I-6 1124
平均 1341	1205	1053

表2 不同加载情况下岩样的抗压强度(kg/cm²)

垂直层理加载		平行层理加载	
V-1	1157	N-1	1018
V-2	1172	N-2	1000
V-3	1121	N-3	1014
V-4	1280	N-4	920
平均	1182		994

加载方向与样品层理的相对关系对岩样的抗压强度也有一定影响,即垂直层理的抗压强度比平行层理的要大10—15%。表2是在饱和状态下,加载方向不同时岩样的抗压强度。

2.变形特点

砂岩样品在单轴压缩下,应变显示一定的方向性,即加载方向平行岩样层理时,横向应变在平行层面和垂直层面两个方向的值相差甚大,从图2可以看到,随着应力的逐渐增大,

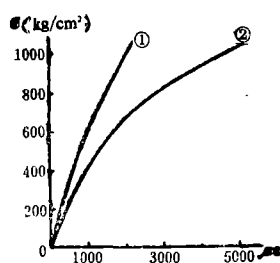


图2 样品Ⅰ—5横向应变-应力曲线

①应变片平行层面 ②应变片垂直层面

Fig. 2 The crosswise curve of stress and strain for I—5 sample

形成, 原有的裂纹也有所增大, 应变变化率加大, 以致最后沿层面裂开。当加载方向垂直层理时, 岩样内部产生微裂纹的机率在水平面内各个方向相同, 所以横向应变的变化也就各向同性, 而最终破坏呈双锥型或“Y”字型。

临破坏前常观测到应力应变的突降现象(图3)。

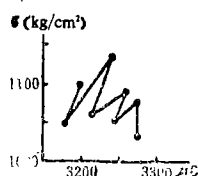


图3 临破坏前应力-应变曲线

Fig. 3 The stress-strain curve near the failure

横向应变也逐渐增大, 但垂直层面的应变比平行层面的应变大, 随应力的不断增加, 这两个方向的应变值差也越来越大, 特别是在临破坏前, 垂直层面的应变值为平行层面应变值的两倍左右, 这与岩样的最终破坏形式有着密切的关系, 加载方向平行层理时, 岩样的破坏几乎全是沿层理面劈开的, 也就是说在压力引起岩石内部产生微裂纹的过程中, 沿着层面方向较其他方位更易产生裂纹。因此, 垂直层理方向的应变就明显增大, 在临破坏前实际上沿着层面的宏观裂纹已经

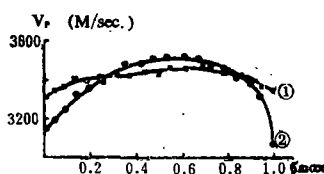


图4 波速度—应力曲线

①平行层理方向 ②垂直层理方向

Fig. 4 The stress curve of the velocity of p wave

3. P波速度特征

图4是P波速度随应力变化曲线, 从图中可以看到, P波速度开始随应力的增加而增大, 但应力达到岩样破坏强度的60%左右后, P波速度随应力的增加反而变小, 直至破坏。

水对P波速度的影响较为明显, 我们对干燥试件和饱和试件分别进行测量, 得到饱和状态下的P波速度比干燥状态下的速度大15%左右(见表3)。

砂岩层理对P波速度也有较大影响, 我们将换能器收发方向置于垂直和平行样品层理这

表3 岩样在不同状态下的P波速度

样品号	P波速度 (M/sec)	
	饱和状态	干燥状态
I—1	3933	3382
I—2	3834	3214
I—3	3821	3333
I—4	3916	3397
I—5	3893	3254
平均	3879	3316

表4 收发射线垂直或平行岩样层理时的P波速度

样品号	P波速度 (M/sec)	
	平行层理	垂直层理
V—1	3496	3278
V—2	3446	3176
V—3	3467	3106
V—4	3492	3237
平均	3475	3199

两个方向进行测量,干燥状态下,得到平行岩样层理方向的P波速度比垂直岩样层理方向的大8%左右(见表4)。而且在加载过程中,垂直层理方向的P波速度变化率比平行层理方向的大(见表4)。

四、讨论及结论

砂岩样品沿垂直层理方向的应变变化率大于平行层理方向,因此,我们推测区域构造对地形变异常也将产生类似的影响。实际上大规模的形变梯度陡变往往出现在不同等级断块的交界处,较大的形变隆起带和形变凹陷带常与区域构造相吻合,许多强烈地震就发生在形变隆起带或形变凹陷带的边缘部位或其内部。1920年海原大震和1966年邢台地震等都与构造密切相关。

P波速度在垂直层理方向和平行层理方向变化的不一致性对地震前波速异常的方向性效应^[8]和波速比异常呈带状分布^[4, 5]可进行较好的解释。由于区域构造的存在,使来自震源区的地震波的传播受到一定影响,也许在构造线的某一侧变化明显,而另一侧则不明显,或者在平行构造线方向波速较高,而在垂直构造线方向波速较低。因此,由于台站所处位置不同,各站所测结果也各不相同,从而反映出方向性效应或者说在平面上显示出异常呈带状分带或者异常时间不同。

另外在地球物理和地球化学方法中的其它测量手段如地电、地磁、水氡等可能也会因岩石的各向异性、或构造线的存在而出现类似的变化情况,因此,在利用各种前兆手段进行地震预报时,都应结合当地的区域构造和岩石本身的特性。

砂岩层理导致岩石抗压强度的变化,对于水库坝址的选择,矿山开采中坑道的加固或者选择爆破的方位等都有一定的实际意义,在进行这些工作时,既要考虑地质构造等方面的因素,同时还应考虑地层岩性等特征。

根据以上实验结果,可以得出如下几点结论:

1. 岩石层理构造的存在是该岩石物理力学性质显示方向性差异的主要原因。
2. 水对岩石样品的物理力学性质有较大影响,这对研究水库地震、工程地震有一定参考意义。
3. 实验结果表明,利用地形变、地震波速异常及其它地球物理观测手段进行地震预报时,必须结合当地的区域应力场和区域构造特征,因位于不同构造部位上的台站对于一次地震前的地应力的积累,特别是临震前观测到的异常可能会有很大的差别,采用多台资料结合地质构造特征进行综合分析,才能作出较为客观的预报意见。

(本文1985年4月16日收到)

参 考 文 献

- [1] 顾功叙, 中国地震目录, 科学出版社, 1983.
[2] 国家地震测量队, 1966年邢台地震的地形变, 地球物理学报, Vol.18, №8, 1975.
[3] 王之王、孙道荣, 我国一些地区的垂直地形变与地震, 西北地震学报, Vol.1, №8, 1979.
[4] 新疆地震局, 1979年8月26日新疆库车6.0级地震, 西北地震学报, Vol.1, №8, 1979.
[5] 冯德益、顾瑾平、盛国英, 波速异常区时空特性的某些研究, 西北地震学报, Vol.1, №1, 1979.
[6] 王桂岭, 吴秀莲、敖雪明, 新疆一些中强地震前后的波速比异常, 西北地震学报, Vol.1, №2, 1979.
[7] 邵顺妹等, 单轴压缩下砂岩内部P波速度的变化特征, 西北地震学报, Vol.5, №1, 1983.
[8] 顾瑾平、肖丽珠, 波速异常的方向性效应, 西北地震学报, Vol.1, №2, 1979.

THE CHARACTERISTICS OF STRENGTH DISTORTION AND P
WAVE VELOCITY FOR SANDSTONE
UNDER DIFFERENT CONDITIONS

Shao Shunmei

(Lanzhou Seismological Institute, State Seismological Bureau)

Abstract

This paper introduces how the sample of sandstone makes various changes of its strength, deformation and the travel time of P wave vertical to stress direction, under dry and saturation conditions and along with horizontal stratification and vertical stratification when the single axis loading is conducted.

The results show that water makes an influence on the strength and the velocity of P wave of sandstone, and the sandstone sample of primary stratification has a definite direction of its strength, deformation and the velocity of P wave. The result is of the importance of reference to reservoir earthquakes, seismic engineering and mines.