

不同粒径砂岩力学特性试验研究

单科科

(江西省南城县水务局,江西 南城 344700)

摘要:为探究不同粒径砂岩长短期力学行为的差异,对取自某水电建设工程现场的粗、中、细三种粒径大小的砂岩进行了短期三轴压缩、三轴渗透以及蠕变力学试验。研究表明:相同围压下,粒径越大的砂岩,其强度、粘聚力及变形量越小;同等粒径下,长短期强度值及变形量随着围压升高呈线性增加;砂岩的渗透率在屈服阶段快速增加并在破坏前后达到最大值,粒径越大的砂岩,其渗透性越强;相同偏应力和围压下,砂岩的稳态蠕变速率随着粒径增大而减小;同等粒径和围压下,稳态蠕变速率随着偏应力增加而呈指数型函数增长;同等粒径和偏应力下,围压越大,其稳态蠕变速率越低;三种粒径砂岩在长期荷载作用下对应的强度较短期值下降了40%~60%,内摩擦角和内聚力则分别较短期值降低了40%和40%~50%,其中,中砂岩下降幅度最大。

关键词:砂岩;粒径;短期压缩;渗透;蠕变

中图分类号:TU45

文献标识码:A

文章编号:1004-4701(2016)04-0249-06

0 引言

砂岩作为地下工程的建设当中最为常见的沉积岩体之一,其力学性质历来受到众多专家学者的探讨和研究。唐红梅等^[1]对在不同围压条件下的弹性模量、泊松比和抗压强度变化进行了研究,并得到了砂岩二次抛物线的表达形式。韩铁林等^[2]对砂岩试样进行定围升轴、卸围升轴及定轴卸围这3种不同应力路径下的三轴试验,从变形特性、强度特性和破坏特性及其机制分析等方面对砂岩试样的力学特性进行对比分析研究。刘希亮等^[3]分析了深部温度、压力条件及其对细砂岩力学性质的影响,揭示了在损伤及破坏出现后试件中应变存在一定的不均匀性;韩嵩、蔡美峰^[4]系统研究了深部地应力条件对不同砂岩力学性质的影响,建立了砂岩力学性质与深部地应力之间的相关关系。吴刚等^[5]详细分析了砂岩加温后的表观形态、峰值应力、峰值应变、弹性模量、泊松比以及应力-应变全过程曲线等的变化情况。张安斌等^[6]研究了水对岩石破裂的力学特性、破坏形式、微观结构形态的影响。王璐等^[7]分析探讨了砂岩变形破坏过程中的渗透特性及声发射特性。

砂岩的力学性质不仅受围岩应力、温度、水等因素

的影响,还与砂岩本身的组成材料相关,不同粒度的砂岩其力学性质具有较大的差异。康瀚^[8]以细、中两种粒径的砂岩进行常规三轴压缩试验,分析两种粒径砂岩的强度和变形特性。邹航等^[9]探讨分析了砂岩粒度对力学行为和渗透特性的影响。刘先珊、许明^[10]基于三维颗粒流数值模型建立了4种不同粒度分布的数值模型,模拟剪切过程的砂岩力学响应。

以上研究对于研究粒径对砂岩的力学特性的影响具有一定意义,然而对于具有一定设计期限或者建设及运营时间较长的工程,还需要研究其不同粒径砂岩在长短期荷载下力学行为的异同。本文对深处地下水环境的不同粒度砂岩开展了三轴短期加载及渗透测试试验,在丰富前人研究成果的前提下,还针对本次工程具有一定设计施工运营期限的性质,首次针对不同粒度砂岩开展了长时间的蠕变力学试验,对不同粒度砂岩的长短期力学行为进行了对比研究,揭示围压和粒度对砂岩长短期力学行为的影响,为本工程建设运营提供基础数据。

1 试验简介

试验采用试样取自四川某水电工程建设现场,现场通过钻孔取芯的方法钻取不同粒径大小的砂岩进行取

芯,并根据组成沙粒粒径的大小将岩样分为粗砂岩、中砂岩和细砂岩3种,按《工程岩体试验方法标 GB/T50266—99》^[11]通过钻、切、磨的方法加工 $\phi 50\text{ mm} \times H100\text{ mm}$ 的标准试件。

2 试验结果及分析

2.1 短期荷载试验结果及分析

图1是试验得到的三种粒径砂岩的全应力-应变曲线。由于施加围压时对岩石的压密作用,砂岩的压密现象非常微弱,因而砂岩在三轴情况下的全应力-应变过程整体分为三个部分:弹性变形、塑性变形以及峰后破坏阶段;三轴应力状态下,砂岩均呈典型的剪切破坏,见图2。

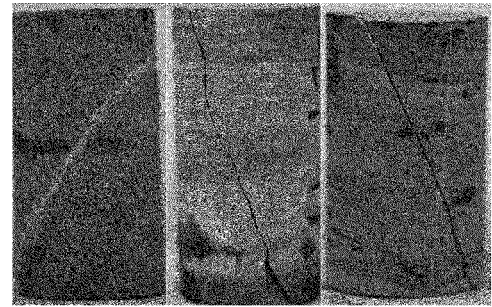


图2 三轴试验后示例

图2 三轴试验后示例

图3给出了三种粒度砂岩强度变形特征参数对比关系。相同粒径下,随着围压的升高,砂岩的强度增大,刚度增加,破坏时所对应的应变量也有逐渐增大的趋势。从图3中还可以看到,同等围压下,粗砂岩、中砂岩、细砂岩的抗压强度依次递增,表明粒径越大的砂岩,其抗压强度越小,粒径越小,其沙粒之间胶结依附得更为充分,颗粒间接触面积更大,排列更为紧密,内部孔隙率越低,因而其抗压强度越高;从粗砂岩、中砂岩、细砂岩三者峰值应力所对应的应变量来看,也是依次递减的,表明粒径的大小,不仅影响砂岩的强度特性,还会影响砂岩的变形特征,使得相等侧向约束力条件下,其塑性变形能力不同程度的增加。通过摩尔强度准则分别得到粗、中、细三种粒径砂岩的抗剪强度参数,内摩擦角为:35.33°、34.58°、35.08°,内聚力分别为:6 MPa、10.71 MPa、11.98 MPa,粒径越大的砂岩,其内聚力反而越小。

2.2 渗透试验结果及分析

砂岩渗透试验共对粗中细3种砂岩开展了在5、10、15、20 MPa四个围压下的渗透试验,每个试件共设置7个渗透点,限于篇幅,本文仅分析列出了相同围压(10 MPa)下粒度对渗透率的影响,见图4。

从图4可以看出,相等侧向约束力作用下,各粒度砂岩的渗透率随应力-应变呈阶段性的变化特征。屈服阶段之前,砂岩的渗透率先是略有减小然后处于动态平衡之中,这一阶段渗流通道主要为砂岩的原始微裂隙、微裂纹,且由于砂岩初期的压密闭合作用使得渗透率相对于加载前略有减小;砂岩屈服过后,渗透率逐渐加大,并在破坏前快速增加,破坏后渗透率达到最大值,在这一阶段,新生裂纹逐渐产生并发展,水通过这些新生裂纹进行渗流,破坏前后时,大量裂纹贯通,形成宏观裂纹和裂隙,因此渗透性会显著增强;峰后阶段,渗透率略有减小,这主要是因为:峰后阶段,岩石内部应力重新

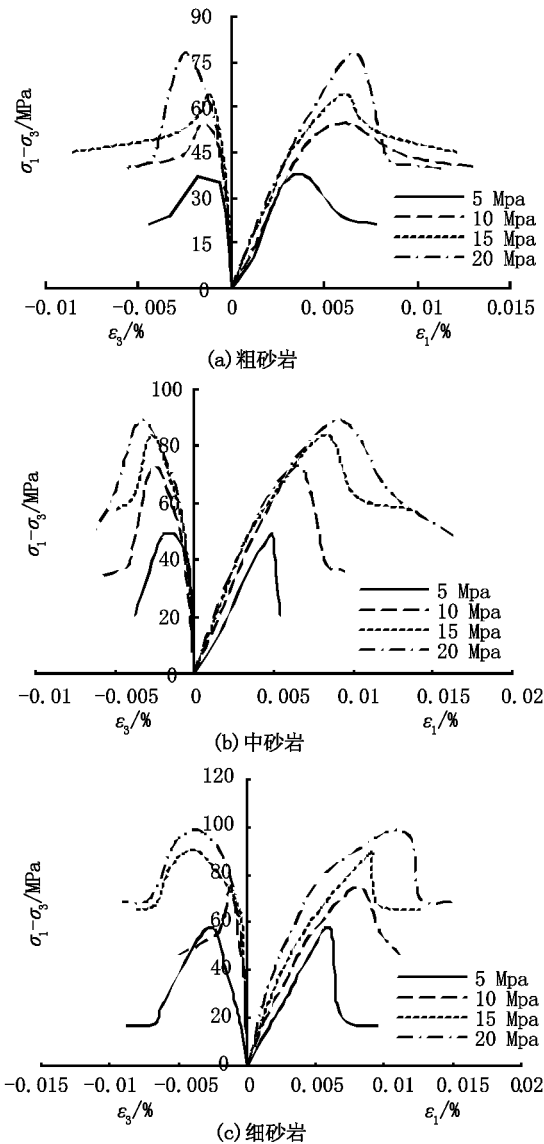


图1 三轴全应力-应变曲线

分布,产生的破裂面在荷载作用下又被重新压密,且破坏时产生的碎屑和泥质颗粒会堵塞部分通道,同时由于峰后阶段采取应变控制的方式,使得轴向应力出现松弛现象,裂纹扩展速度变缓,因此,渗透率均出现一定的降低。对比三种粒度砂岩的渗透率大小可以发现,粗砂岩、中砂岩以及细砂岩的渗透率依次减小,试验全过程中粗粒砂岩组渗透率 K 值在 $4.55 \times 10^{-13} \sim 9.12 \times 10^{-13} \text{m}^2$ 范围内;中粒砂岩初始渗透率 K 值在 $2.85 \times 10^{-15} \sim 6.22 \times 10^{-15} \text{m}^2$ 范围内;细粒砂岩 K 值在 $1.25 \times 10^{-18} \sim 3.35 \times 10^{-18} \text{m}^2$ 范围内,粗粒砂岩渗透率 K 约为中粒砂岩和细粒砂岩渗透率 K 的 10^5 倍和 10^2 倍,这是因为颗粒越小,试件内部填充胶结得更为致密,形成的内部渗流通道越小,因而表现为颗粒越小,渗透率越小。

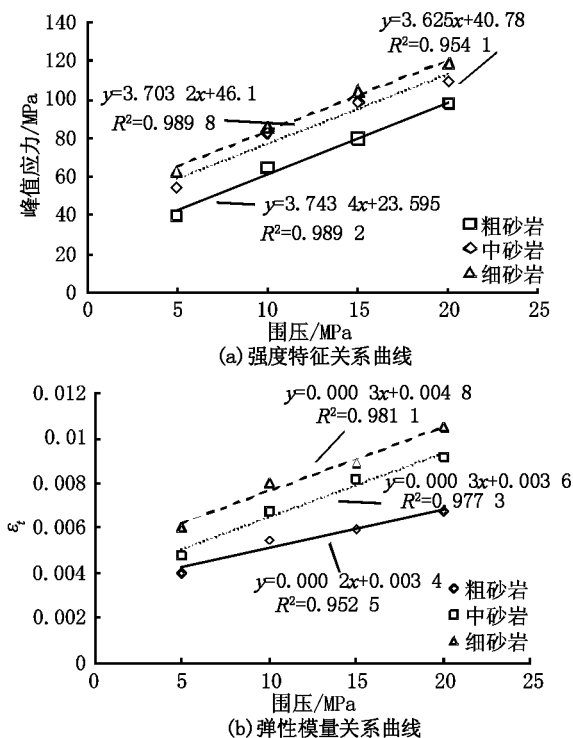


图 3 三轴压缩特征参数

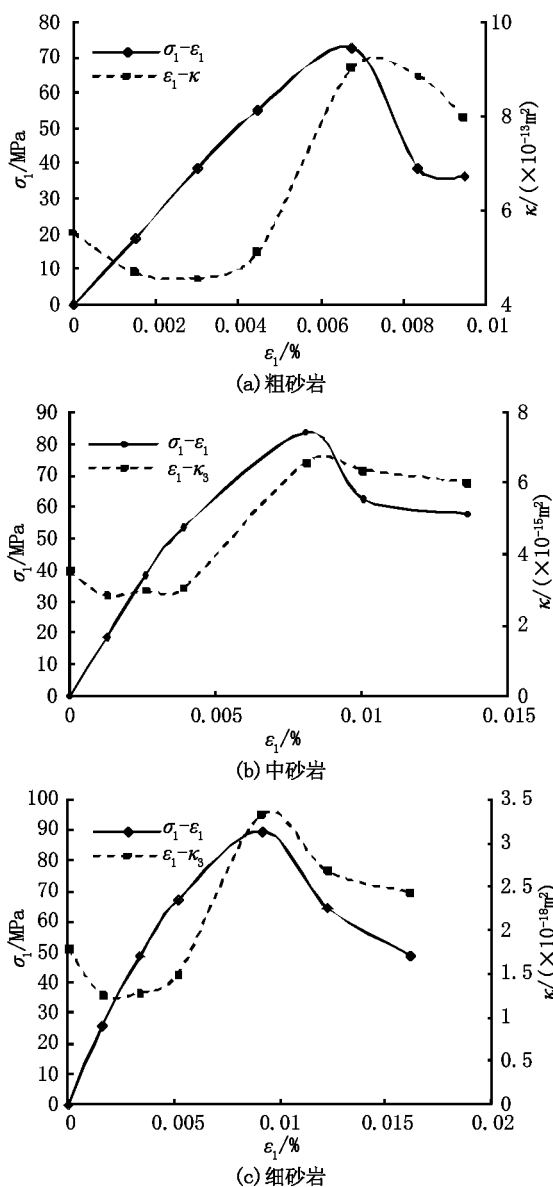


图 4 渗透率与应力 - 应变关系

2.3 蠕变试验及结果分析

蠕变试验依然在 5、10、15、20 MPa 四个侧向约束力条件下进行,并以 5、10、15、20 MPa……的偏应力大小依次施加轴向应力,每一级保持应力恒定时间为 7 d,直至岩样发生失稳破坏,试验得到的蠕变曲线见图 5。

从图中可以看到:每一级加载过后,砂岩均会产生一定的瞬时应变,之后经历减速、稳定蠕变两个阶段,在破坏应力状态下,还会出现短暂的加速蠕变阶段,随之岩样发生破坏,相等围压下,粒径越细的砂岩,其破坏偏应力越大,且对应的蠕变应变变量越大,表明颗粒越细的砂岩其强度和塑性变形越大;同等粒径下,砂岩破坏时所对应的偏应力和蠕变应变变量越大,这是围压效应增强了岩样的强度和变形能力的结果。

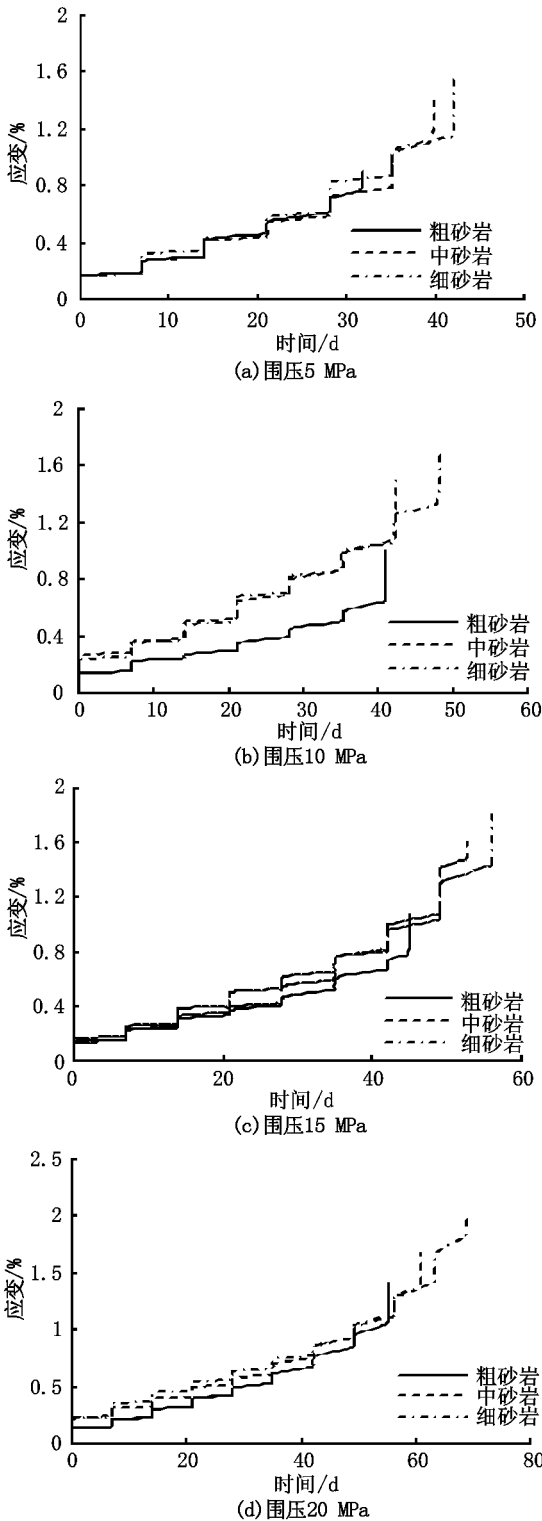


图5 蠕变全过程特征曲线

相同围压下,砂岩的稳态蠕变速率随着粒径的增大而减小,并随着偏应力的增长呈指数型 $y = ae^{bx}$ 增大,表明沙粒越细,其内部胶结更为充分和致密,同等应力条件下其变形速率越低;相同粒径砂岩在相同偏应力条件

下,其稳态蠕变速率随着围压升高而逐渐降低,表明砂岩的蠕变速率不仅与偏应力有关,也和侧向约束力的大小相关(见图6)。

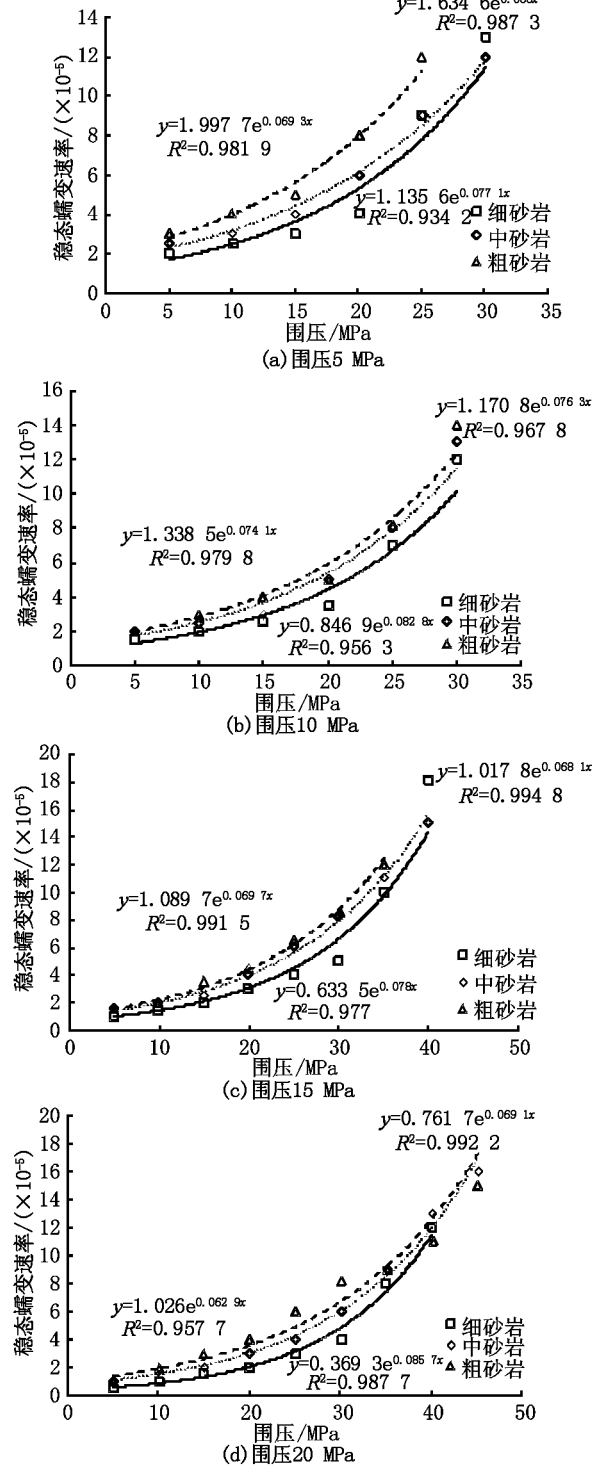


图6 稳态蠕变速率特征

岩石在短期和长期荷载作用下的强度特征是不同的

的。一般而言,随着荷载作用时间的延长其强度将逐渐降低,对于具有长期设计和建设运营需求的工程而言,预测围岩的长期强度具有非常重要的意义。在众多求解长期强度的方法当中,等时应力-应变曲线法是最常用的方法之一,即利用不同应力水平下的蠕变曲线相等时间点所对应的应变与应力的关系曲线簇的拐点来预测,如图 7 所示。随着加载应力增大,曲线簇由线性逐渐非线性并逐渐发散,表明泥岩内部结构开始出现实质性的损伤,力学性质开始劣化,随着损伤的累积,泥岩试件逐渐进入加速阶段并发生失稳破坏。

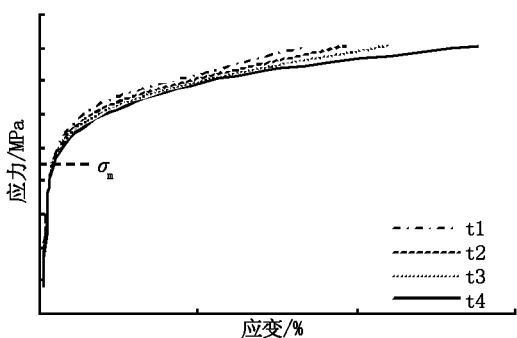


图 7 等时应力-应变曲线法示意

试验分析得到的三种粒度砂岩长期强度值与围压关系见图 8。从图中可以看到,相同侧向约束力下,粒径越大的砂岩,其长期强度值反而越小;相同粒径大小的砂岩其长期强度值随着围压升高近似呈线性增加。砂岩在长期荷载作用下的强度特征与短期加载时表现一致,均表明了粒径越小的砂岩由于其内部结构更致密,颗粒之间胶结更为充分,因而强度更高。而长期荷载作用下,其强度值均较短期强度下降 40% ~ 60%,其中中砂岩平均下降幅度最大,达到 55.4%,细砂岩次之,为 53.8%,粗砂岩最小,为 49.7%,这对于具有长期设计期限的工程可以提供一定的参考价值。同理,通过摩尔强度准则,计算分析得到了粗砂岩、中砂岩、细砂岩在长期荷载作用下的抗剪强度参数,内摩擦角的大小依次为:21.53°、21.28°、20.5°,较短期荷载时下降约 40%;内聚力大小分别为:2.89 MPa、4.1 MPa、5.9 MPa,较短期荷载时下降约 40% ~ 50%。长期荷载作用下的抗剪强度参数虽然均较短期荷载下有所降低,但其随粒径变化的特征与短期荷载作用下相似:可以看到,砂岩颗粒的大小对于内摩擦角的影响较小,而内聚力则是随着粒径减小而增大(图 9)。

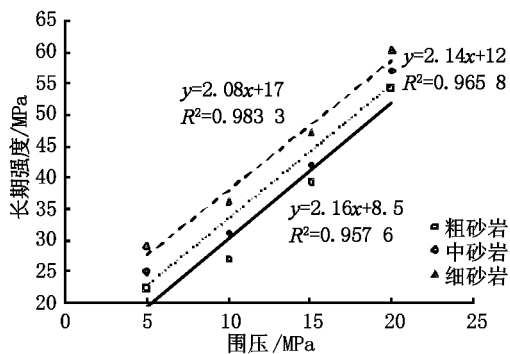
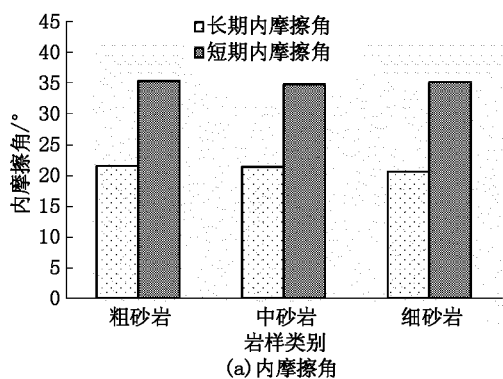
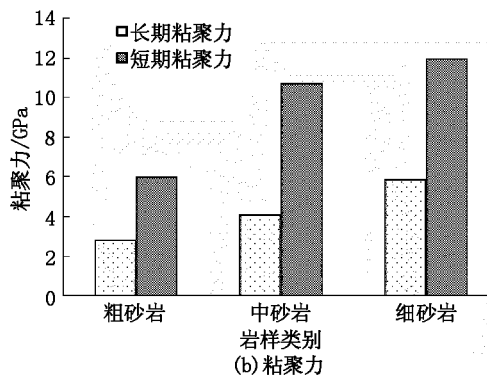


图 8 长期强度特征



(a) 内摩擦角



(b) 粘聚力

图 9 长短期抗剪强度参数对比

3 结论

- (1) 粒径越大的砂岩,其长短期强度、内聚力以及变形量均越小;相等粒径下,砂岩的长短期强度值、变形量随着围压升高呈线性增加。
- (2) 砂岩的渗透率随着应力增加呈先缓慢减小后迅速增加再有所降低的演化过程;相同围压下,粒径越大的砂岩,渗透率越大。
- (3) 相同偏应力和围压下,砂岩的稳态蠕变速率随着粒径增大而减小;同等粒径和围压下,稳态蠕变速率

随着偏应力增加而呈指数型函数增长;同等粒径和偏应力下,围压越大,其稳态蠕变速率越低。

(4)砂岩在长期荷载作用下的强度特征值均较短期峰值应力降低约40%~60%,其中中砂岩平均下降幅度最大,细砂岩次之,粗砂岩下降幅度最小;内摩擦角和内聚力分别为较短期抗剪特征值降低40%和40%~50%。

参考文献:

- [1] 唐红梅,张金浩,陈洪凯.不同应力状态下砂岩变形与破坏研究[J].人民长江,2014,45(12):81~84.
- [2] 韩铁林,陈蕴生,宋勇军,等.不同应力路径下砂岩力学特性的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(增2):3659~3966.
- [3] 刘希亮,侯远,马东方,等.一种深部细砂岩的力学特性试验研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2015,34(4):556~561.
- [4] 韩嵩,蔡美峰.深部地应力场下砂岩力学性质的变化[J].煤炭学报,2007,32(6):570~572.
- [5] 吴刚,邢爱国,张磊.砂岩高温后的力学特性[J].岩石力学与工程学报,2007,26(10):2110~2116.
- [6] 张安斌,张艳博,刘祥鑫,等.水对泥质粉砂岩物理力学性能影响的试验研究[J].煤炭科学技术,2015,43(8):67~71.
- [7] 王璐,刘建锋,裴建良,等.细砂岩破坏全过程渗透性与声发射特征试验研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(增1):2909~2914.
- [8] 康瀚.不同粒径砂岩三轴压缩力学特性试验研究[J].路基工程,2013(6):94~96.
- [9] 邹航,刘建锋,边宇,等.不同粒度砂岩力学和渗透特性试验研究[J].岩土工程学报,2015,37(8):1462~1468.
- [10] 刘先珊,许明.粒度分布对胶结砂岩力学特性的影响[J].中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(5):142~148.
- [11] GB/T50266—99 工程岩体试验方法标准[S].1999.

编辑:张绍付

Experimental study on mechanical properties of sandstone with different granularities

SHAN Keke

(Nancheng County Water Affairs Bureau of Jiangxi Province, Nancheng 344700, China)

Abstract: In order to investigate and reveal the influence of granularity on mechanical behavior in the short and long term load, the conventional and creep test are conducted on coarse sand stone, medium sandstone and fine sandstone of a project. The results shows that: the strength and deformation capacity increase with the decrease of granularity under the same confining pressure; the strength, deformation and elastic modulus increase linearly with the confining pressure increasing under the same size; the steady creep rate decreases with the grain of sandstone size under the same size and confining pressure; steady creep rate with partial stress increased exponential function growth under the same deviator stress and confining stress; steady creep rate is smaller with the confining pressure increasing under the same size and partial stress; three kinds of particle size of sandstone under long-term load corresponding strength than short-term value decreased by 40%~60%; the internal friction angle and cohesion are compared with the short-term value reduced by 40% and 40%~50%.

Key words: Sandstone; Particle size; Short term compression; Preatate; Creep

翻译:单科科