第33卷 第2期 石家庄铁道大学学报(自然科学版) Vol. 33 No. 2
2020年6月 Journal of Shijiazhuang Tiedao University(Natural Science Edition) Jun. 2020

中低应变加载速率下单节理裂隙岩体的单轴动态压缩力学性能试验

熊良宵[1]， 汪子华[2]

(1. 华东交通大学 土木建筑学院，江西 南昌 330013；
2. 浙江省工程勘察院，浙江 宁波 315000)

摘要：对人工制作的节理岩体试件进行了中低应变加载速率下的单轴压缩试验，研究了应变速率和节理面的倾角β对节理岩体的极限抗压强度、峰值应变、弹性模量和损伤变量的影响。研究结果表明：(1) 当加载的应变速率相同时，当节理面的倾角β由0°增加到90°，试件的抗压强度呈逐渐减小后又逐渐增加的趋势，试件的峰值应变均呈先减小后略有增加的变化规律，试件的弹性模量整体出现逐渐增加的变化规律。(2) 当试件的节理面倾角相同时，随着应变加载速率逐渐增加，试件的抗压强度呈逐渐增加的趋势，当β为60°时，试件的抗压强度对应变率敏感性最强，试件的峰值应变和弹性模量随应变加载速率的变化并没有固定明显的变化规律。(3) 当应变加载速率相同且应变相同时，随着节理面的倾角由0°增加到90°，损伤变量基本都呈先逐渐增加后减小的趋势，当节理面的倾角为60°时的损伤变量最高，当节理面倾角为90°时的损伤变量最小；当试件的节理面倾角相同，应变加载速率逐渐增加时，损伤变量基本呈逐渐增加的趋势。

关键词：节理岩体；应变率；抗压强度；峰值应变；损伤变量

中图分类号：TU45 **文献标志码**：A **文章编号**：2095-0373(2020)02-0024-09

0 引言

应变率对岩石等材料动态力学性质的显著影响，一直是研究的热点。一般认为，应变速率小于$10^{-4}s^{-1}$属于低应变速率(属静态加载)，$10^{-4}\sim10^{-2}s^{-1}$属于中等应变速率(属准动态加载)，大于$10^{-2}s^{-1}$属于高应变速率(属动态加载)。

实际岩土工程中，岩石边坡或者隧道的长期蠕变均属于中低应变加载速率条件下的力学行为。因此，针对岩石开展中低应变加载速率下的力学特性试验研究具有重要意义。

Meng et al[1]对不同尺寸的岩石试件进行了中低应变加载速率下的单轴压缩试验，低应变加载速率设置为$1.0\times10^{-5}s^{-1}$、$5.0\times10^{-5}s^{-1}$、$1.0\times10^{-4}s^{-1}$、$5.0\times10^{-4}s^{-1}$、$1.0\times10^{-3}s^{-1}$和$5.0\times10^{-3}s^{-1}$；Liang et al[2]对花岗岩试件进行了中低应变加载速率下的单轴压缩试验，低应变加载速率范围为$1.0\times10^{-5}\sim1.0\times10^{-2}s^{-1}$；Liang et al[3]对盐岩试件进行了中低应变加载速率下的单轴压缩试验，低应变加载速率设置为$2.0\times10^{-5}s^{-1}$、$2.0\times10^{-4}s^{-1}$和$2.0\times10^{-3}s^{-1}$；Wasantha et al[4]对不同大小颗粒的砂岩试件进行了中低应变加载速率下的单轴压缩试验，低应变加载速率设置为$10^{-6}s^{-1}$、$10^{-5}s^{-1}$、$10^{-4}s^{-1}$和$10^{-3}s^{-1}$；Tang et al[5]对石灰岩试件进行了低、中和高应变加载速率下的单轴压缩试验，低应变加载速率范围为$1.1\times10^{-5}\sim1.1\times10^{-1}s^{-1}$；Fahimifar et al[6]对花岗岩试件进行了中、高应变加载速率下的三轴压缩试验，应变

收稿日期：2019-04-30 **责任编辑**：车轩玉 DOI：10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.20190082
基金项目：国家自然科学基金(41541021)
作者简介：熊良宵(1982—)，男，博士，副教授，研究方向为岩石力学与地下工程。E-mail：xionglx1982@126.com
熊良宵， 汪子华. 中低应变加载速率下单节理裂隙岩体的单轴动态压缩力学性能试验[J]. 石家庄铁道大学学报：自然科学版，2020，33(2)：24-32.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

速率设置为 10^{-4} s^{-1}、10^{-3} s^{-1}、10^{-1} s^{-1}和 10^{0} s^{-1}。

Liu et al[7]对砂岩进行了高应变加载速率下的单轴压缩试验，在试验中设置了 5 种冲击速度；Hokka et al[8]对花岗岩进行了高应变加载速率下的单轴压缩试验，应变加载速率范围为 $1.0\times10^{-6}\sim600$ s^{-1}；Yin et al[9]对煤岩进行了高应变加载速率下的单轴压缩试验；Zou et al[10]对大理岩进行了高应变加载速率下的单轴压缩试验；Liu et al[11]对煤岩进行了低应变加载速率下和高应变加载速率下的单轴压缩试验。

根据应变加载速率的设置范围，可将文献[1]～文献[4]的试验归为中低应变加载速率下的压缩试验，将文献[5]～文献[11]的试验归为高应变加载速率下的压缩试验。

实际上，岩石往往会存在节理，而节理面的倾角也会影响节理岩体试件的动态力学特性，上述只有 Fahimifar et al[6]和 Liu et al[11]研究了节理面或者层理面的倾角对试件动态力学特性的影响。但是，Fahimifar et al[6]只考虑了节理面倾角为 30°、45°和 60°，Liu et al[11]只考虑了层理面倾角 0°和 90°。因此，有关节理岩体的动态力学特性试验成果还相对比较少，已有的研究成果中考虑节理面或者层理面的倾角影响也较少。

因此，本研究将对不同节理面倾角（0°、15°、30°、45°、60°、75°和 90°）的人工节理岩体试件进行中低应变加载速率（10^{-5} s^{-1}、10^{-4} s^{-1}、10^{-3} s^{-1}、10^{-2} s^{-1}和 10^{-1} s^{-1}）下的单轴压缩变形试验，研究节理面倾角和应变加载速率对节理岩体试件的动态压缩力学特性和损伤变量演化规律的影响。

1　试验原理

1.1　试件制作

试件尺寸为 70.7 mm×70.7 mm ×70.7 mm，预制节理由厚度为 1 mm 的木板形成。如果连通率太小，可能节理裂隙倾角对试件整体力学性能的影响比较小。因此，节理的宽度设置为 5.66 cm，连通率为 80%。定义节理面与轴向荷载作用平面（水平面）间的夹角为 β。节理岩体模型的加载示意如图 1 所示。

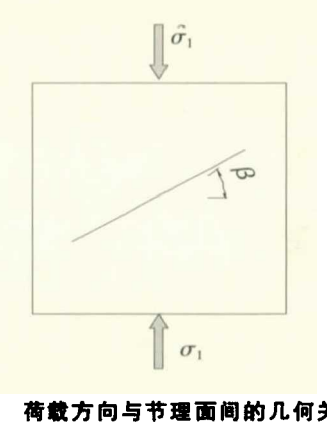

图 1　荷载方向与节理面间的几何关系

试件采用水灰比为 0.65 的水泥砂浆倒入模具中浇铸而成。试验中所用水泥的强度等级为 42.5 MPa，砂采用厦门艾思欧标准砂有限公司生产的标准砂，粒径范围为 0.5～1.0 mm，为中级标准砂。胶砂比为 1∶2，水灰比为 0.65。待水泥砂浆初凝后，依照图 1 中的短线位置插入相应宽度的木板，木板的长度为 10 cm，木板永久留在试件中。试件的强度与千枚岩等软弱岩石的强度比较接近。本文暂且没有按一定相似比，来配制与千枚岩相似的岩石试件。

1.2　试验顺序

试件经标准养护 28 d 后，并放置 7 d，然后将试件放在 WAW-600C 万能压缩变形试验机上进行单轴压缩变形试验。在进行单轴压缩变形试验时，加载的应变速率包含 4 种，即分别为 10^{-2} s^{-1}、10^{-3} s^{-1}、10^{-4} s^{-1}和 10^{-5} s^{-1}。

采用各种节理面倾角的节理岩体试件进行每种应变率下的单轴压缩试验时，都是采用 3 个试件进行试验。在后文对单轴抗压强度进行分析时，通常是 3 个试件的抗压强度的平均值，但当其中有 1 个试件的抗压强度与平均抗压强度间的差值超过平均值的 15%，则该试件的抗压强度不予采用，将采用其他 2 个试件的抗压强度的平均值。

2　试验结果与分析

2.1　应力应变曲线的变化

当加载的应变速率相同时，节理面倾角对试件的应力应变曲线的影响见图 2。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

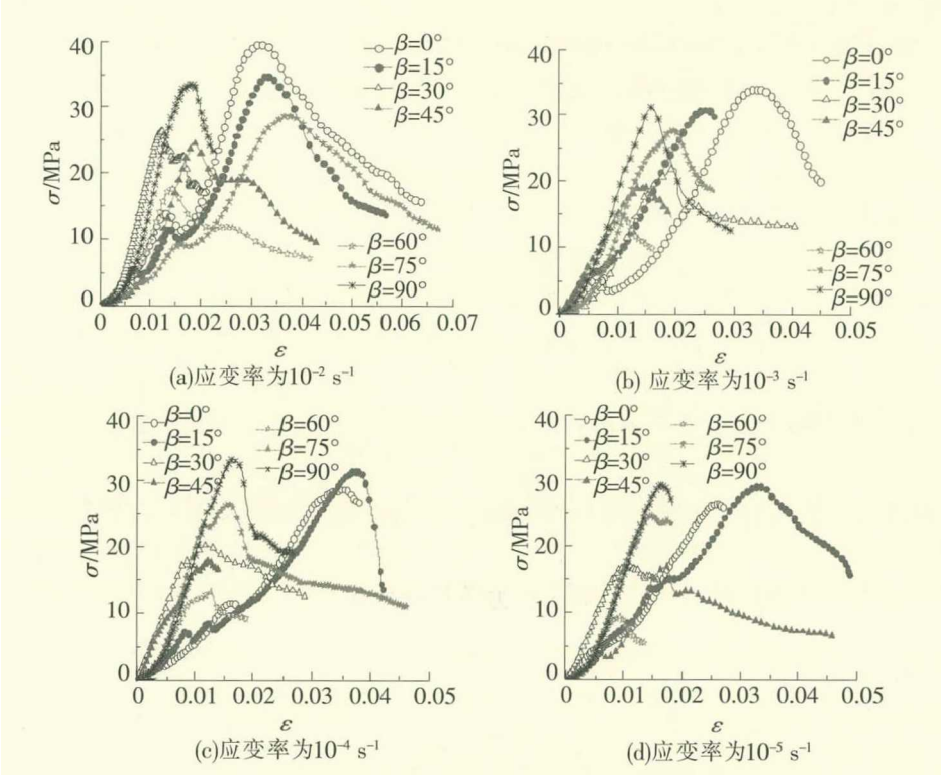

图2 加载的应变率相同时节理面倾角对试件的应力应变曲线的影响

当加载的应变速率相同,β由0°增加到90°时,试件的峰值应力呈逐渐减小后又逐渐增加的趋势,当β为60°时试件的峰值应力最低。

当试件的节理面倾角β相同时,随着应变加载速率由$10^{-5}s^{-1}$增加到$10^{-2}s^{-1}$,试件的峰值应力呈逐渐增加的趋势。

2.2 抗压强度的变化

当加载的应变速率相同时,节理面倾角对试件的强度影响见图3。当试件的节理面倾角相同时,试件的强度随应变加载速率的变化规律见图4。

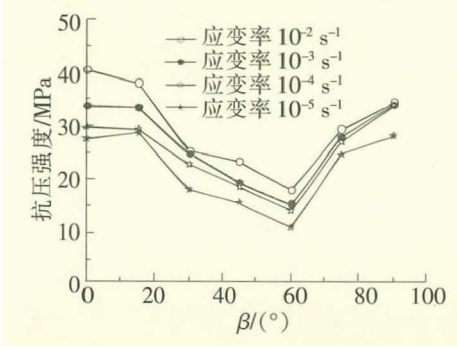

图3 应变率相同时节理面倾角对强度的影响

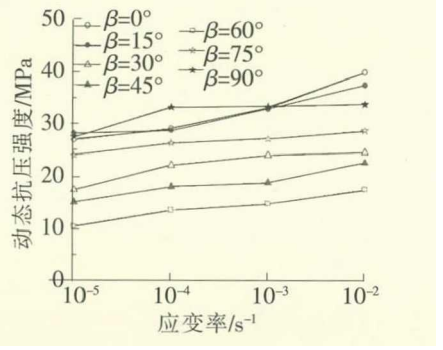

图4 节理面倾角相同时应变率对强度的影响

当加载的应变速率相同时,随着β由0°增加到90°,试件的抗压强度呈逐渐减小后又逐渐增加的趋势,当β为60°时试件的抗压强度最低。

当试件的节理面倾角β相同时,随着应变加载速率由$10^{-5}s^{-1}$增加到$10^{-2}s^{-1}$,试件的抗压强度呈逐渐增加的趋势。

节理岩体试件的动态强度增长因数DIF的表达式为[12]

$$\mathrm{DIF} = f_{cd} / f_{cs} \tag{1}$$

式中,f_{cd}为当前应变率下节理岩体的极限抗压强度;f_{cs}为拟静态应变速率下节理岩体的极限抗压强度,本

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文的拟静态应变速率取为 $10^{-5}\ s^{-1}$。

动态强度增长因数 DIF 和当前应变速率之间的关系可采用线性表达式[12]

$$DIF = a + b\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{2}$$

式中，a 和 b 为拟合参数；$\dot{\varepsilon}$ 为当前应变速率。参数 b 为拟合直线的斜率，反映了强度对应变率的敏感程度。

节理岩体试件的动态强度增长因数 DIF 随应变率的变化规律见图 5。

节理岩体试件强度增长因素的结果分别见式(3)～式(9)。

$\beta = 0°$：

$$DIF = 1.756\ 69 + 0.159\ 78\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{3}$$

$\beta = 15°$：

$$DIF = 1.531\ 81 + 0.114\ 57\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{4}$$

$\beta = 30°$：

$$DIF = 1.746\ 33 + 0.136\ 23\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{5}$$

$\beta = 45°$：

$$DIF = 1.801\ 98 + 0.159\ 64\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{6}$$

$\beta = 60°$：

$$DIF = 2.122\ 97 + 0.219\ 94\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{7}$$

$\beta = 75°$：

$$DIF = 1.327\ 64 + 0.063\ 02\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{8}$$

$\beta = 90°$：

$$DIF = 1.404\ 48 + 0.069\ 13\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0) \tag{9}$$

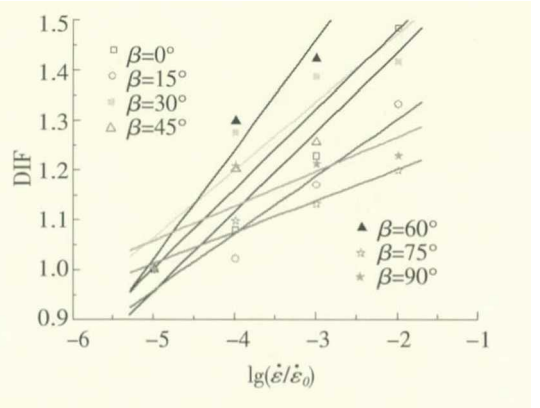

图 5　节理岩体的动态增长率与应变率的关系

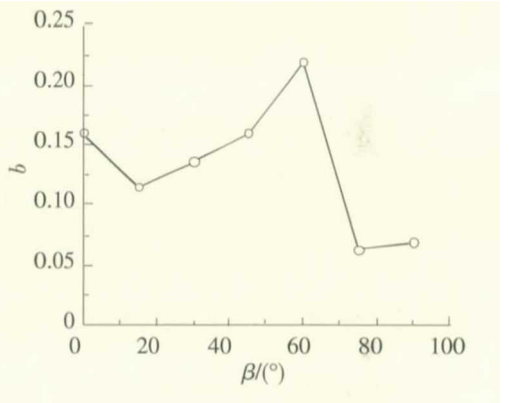

图 6　试件的 b 值随节理面倾角的变化规律

试件的 b 值随节理面倾角的变化规律见图 6。

由图 6 可知，当 β 为 60°时试件的 b 值最大，说明当 β 为 60°时试件的抗压强度对应变率敏感性最强，即强度低的节理岩体试件的强度对应变率的敏感性最强。

2.3　峰值应变的变化

当应变速率相同时，节理面倾角对试件的峰值应变的影响见图 7。当试件的节理面倾角相同时，试件的峰值应变随应变加载速率的变化规律见图 8。

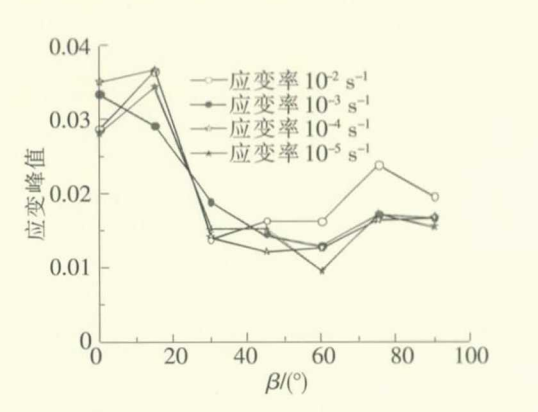

图 7　应变率相同时节理面倾角对峰值应变的影响

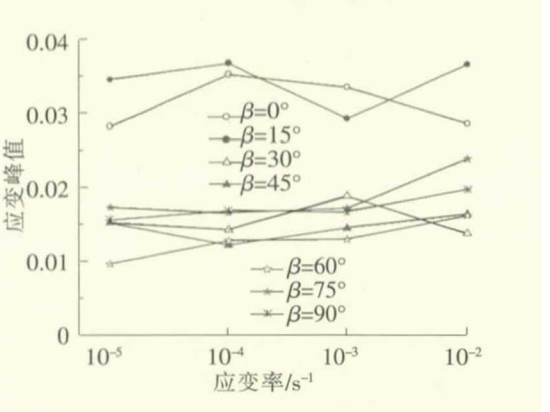

图 8　节理面倾角相同时应变率对峰值应变的影响

当应变加载速率相同，随着 β 由 0°增加到 90°，试件的峰值应变均呈先减小后略有增加的变化规律；当应变加载速率为 $10^{-2}\ s^{-1}$时，β 为 30°时试件的峰值应变最小，当应变加载速率为 $10^{-3}\ s^{-1}$时，β 为 60°时试件的峰值应变最小，当应变加载速率为 $10^{-4}\ s^{-1}$，β 为 45°时试件的峰值应变最小，当应变加载速率为

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

10^{-5} s^{-1}时,β 为 60°时试件的峰值应变最小。

当节理面的倾角相同时,试件的峰值应变随应变加载速率的变化并没有固定明显的变化规律。

2.4 弹性模量的变化

弹性模量数值取 50%峰值应力对应的应变计算出的割线弹性模量[13]。当应变加载速率相同时,节理面倾角对试件的弹性模量的影响见图 9。当试件的节理面倾角相同时,试件的弹性模量随应变加载速率的变化规律见图 10。

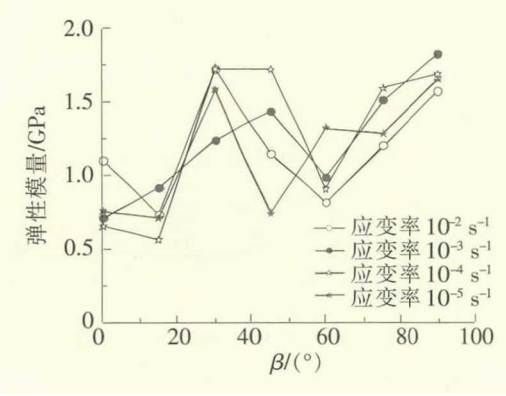

图 9 应变率相同时节理面倾角对弹性模量的影响

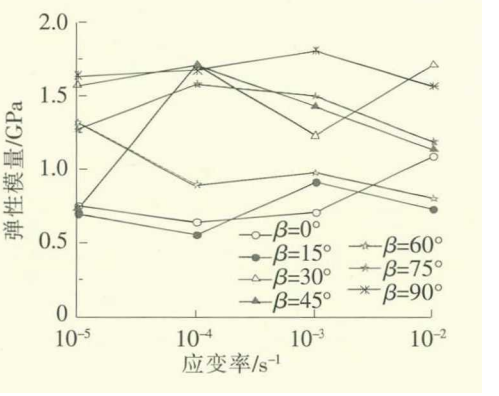

图 10 节理面倾角相同时应变率对弹性模量的影响

当应变加载速率相同,随着 β 由 0°增加到 90°,试件的弹性模量的变化幅度比较大,虽然并非呈一直增加的趋势,中间会出现减小的变化规律,但整体呈逐渐增加的变化规律。

当节理面的倾角相同时,试件的弹性模量随应变加载速率的变化并没有固定明显的变化规律。

3 节理岩体试件的损伤变量的演化

3.1 损伤变量的演化方程

根据 Lemaitre 的应变等价性假说,损伤对应变行为的影响通过有效应力来体现,即名义应力作用在损伤材料上产生的应变与有效应力作用在无损材料上产生的应变相等,该假说在一维应力状态下可用式(10)表示[14-16]

$$\sigma = E\varepsilon(1 - D) \tag{10}$$

式中,σ 为应力;ε 为应变;D 为损伤变量。

由于岩石微元强度服从 Weibull 分布,因而可认为材料的损伤参量 D 也服从该统计分布,可以得到基于 Weibull 分布函数的损伤变量[14-16]

$$D = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{n}\right)^m\right] \tag{11}$$

式中,ε 为应变;m 和 n 为统计参数。

经过推导可以得到试件的损伤变量的演化方程为[14-16]

$$D = 1 - \exp\left[-\frac{1}{m}\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_m}\right)^m\right] \tag{12}$$

$$m = 1/\ln\left(\frac{E_0\varepsilon_m}{\sigma_m}\right) \tag{13}$$

式中,σ_m 为峰值应力;ε_m 为峰值应力 σ_m。

根据式(13),要计算得到 m,需要得到完整试样未含节理面时的弹性模量 E_0,对水灰比为 0.65 的试件(尺寸为 7.07 cm×7.07 cm×7.07 cm)进行了应变加载速率为 10^{-5} s^{-1}时的单轴压缩变形试验,试件中未含节理,应力应变曲线如图 11 所示。完整试件的弹性模量取 50%峰值应力对应的应变计算出的割线弹性模量,从而

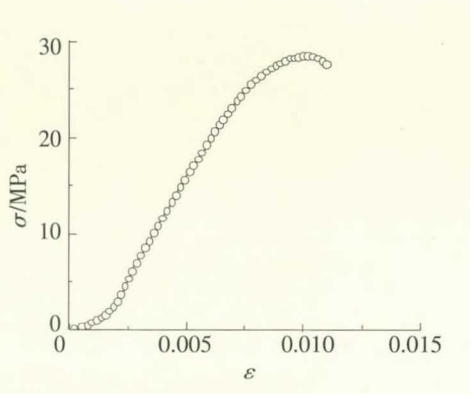

图 11 完整试件的应力应变曲线

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

得到完整试件在加载速率为 $10^{-5}\ s^{-1}$ 时的弹性模量 E_0 为 2.652 GPa，代入式(13)可得到不同节理面倾角的试件的 m 值。

针对图 2 给出的代表性试样的应力应变曲线，先计算得到它们的 m 和 ε_m 值，见表 1，再计算得到这些试样受荷载的损伤变量 D 的演化曲线。

表 1　图 2 所示的代表性试样的 m 和 ε_m 值

β/(°)	$10^{-2}\ s^{-1}$		$10^{-3}\ s^{-1}$		$10^{-4}\ s^{-1}$		$10^{-5}\ s^{-1}$	
	ε_m/ ‰	m	ε_m/ ‰	m	ε_m/ ‰	m	ε_m/ ‰	m
0	31.57	1.333	33.71	1.031	35.10	0.853	25.77	1.054
15	32.92	1.085	25.05	1.298	37.30	0.875	33.11	0.905
30	15.17	1.694	19.56	1.164	11.72	2.332	10.86	1.920
45	18.27	1.473	13.37	1.607	12.08	1.701	17.19	1.006
60	14.39	1.293	10.48	1.620	12.40	1.088	9.09	1.064
75	37.02	0.814	19.49	1.598	15.77	2.185	14.46	2.267
90	18.12	2.782	15.52	3.574	17.12	3.048	16.35	2.572

3.2　节理岩体试件的损伤变量的演化

当试件的应变加载速率相同时，节理面倾角对试件的损伤变量的影响见图 12。

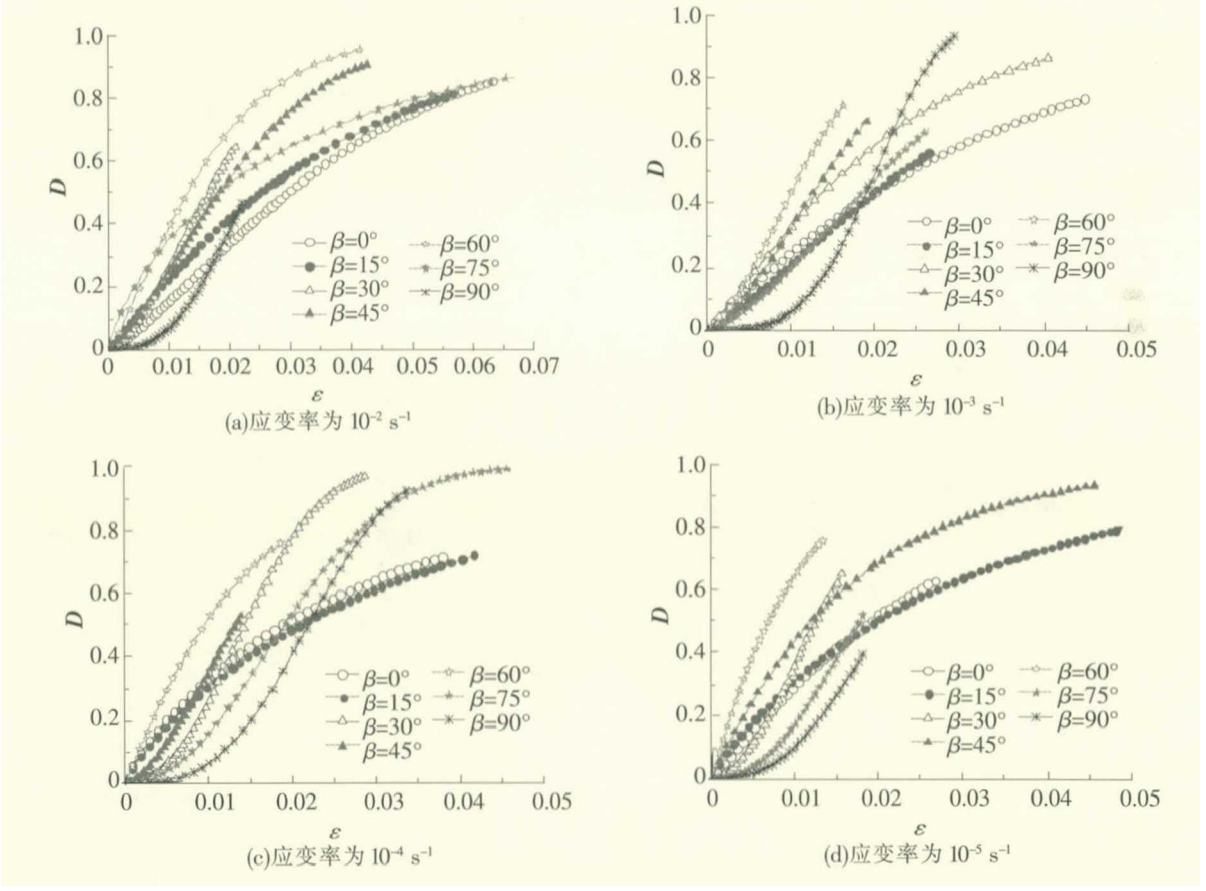

图 12　应变率相同时节理面倾角对损伤变量的影响

当应变加载速率相同和应变相同时，随着节理面的倾角由 0°增加到 60°，损伤变量 D 基本都呈逐渐增加的趋势，随着节理面的倾角由 60°增加到 90°，损伤变量 D 基本都呈逐渐减小的趋势，当节理面倾角为 60°时的损伤变量最高，当节理面倾角为 90°时的损伤变量最小。当节理面倾角为 60°时损伤变量达到最大值，这是由于当节理面倾角 60°时，节理岩体试件内部的微裂纹更容易扩展，而当节理面倾角为 90°时，相比其他节理面倾角的情况，节理岩体试件内部的微裂隙相对较少，损伤程度较低。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

当试件的节理面倾角相同时,应变率对试件的总损伤变量的影响见图13。

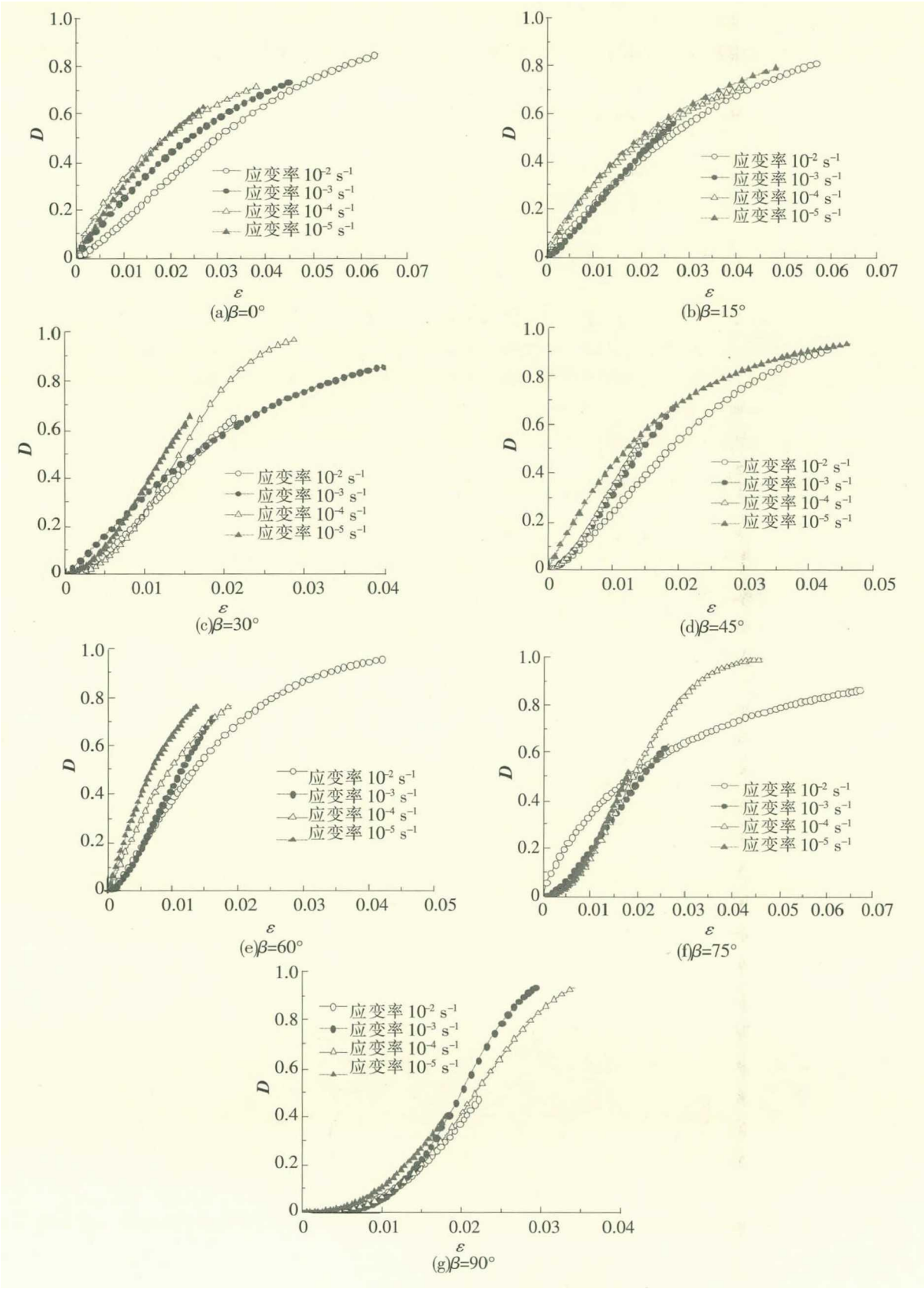

图13 节理面倾角相同时应变率对总损伤变量的影响

当试件的节理面倾角相同时,应变加载速率由 10^{-2} s^{-1}增加到 10^{-5} s^{-1},损伤变量基本呈逐渐增加的趋势。主要由于应变加载速率越小时,试件内部的微裂隙更容易扩展演化。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4 结论

(1) 当加载的应变速率相同，随着 β 由 0°增加到 90°，试件的抗压强度呈逐渐减小后又逐渐增加的趋势，当 β 为 60°时，试件的抗压强度最低；当试件的节理面倾角 β 相同时，随着应变加载速率逐渐增加，试件的抗压强度呈逐渐增加的趋势；当 β 为 60°时，试件的抗压强度对应变率敏感性最强，说明强度低的节理岩体试件的强度对应变率的敏感性最强。

(2) 当应变加载速率相同，随着 β 由 0°增加到 90°，试件的峰值应变均呈先减小后略有增加的变化规律；当节理面的倾角相同时，试件的峰值应变随应变加载速率的变化并没有固定明显的变化规律。

(3) 当应变加载速率相同，随着 β 由 0°增加到 90°，试件的弹性模量整体出现逐渐增加的变化规律；当节理面的倾角相同时，试件的弹性模量随应变加载速率的变化并没有固定明显的变化规律。

(4) 当应变加载速率相同，且应变相同时，随着节理面的倾角由 0°增加到 60°，损伤变量 D 基本都呈逐渐增加的趋势，随着节理面的倾角由 60°增加到 90°，损伤变量 D 基本都呈逐渐减小的趋势，当节理面倾角为 60°时，损伤变量最高，当节理面倾角为 90°时，损伤变量最小。

(5) 当试件的节理面倾角相同时，随着应变加载速率逐渐增加，损伤变量基本呈逐渐增加的趋势，主要由于应变加载速率越小时，试件内部的微裂隙更容易扩展演化。

参 考 文 献

[1]Meng Q B, Zhang M W, Han L J, et al. Effects of size and strain rate on the mechanical behaviors of rock specimens under uniaxial compression[J]. Arab J Geosci, 2016, 9: 527.

[2] Liang C Y, Zhang Q B, Li X, et al. The effect of specimen shape and strain rate on uniaxial compressive behavior of rock material[J]. Bull Eng Geol Environ, 2016, 75: 1669-1681.

[3]Liang W G, Zhao Y S, Xu S G, et al. Effect of strain rate on the mechanical properties of salt rock[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2011, 48: 161-167.

[4]Wasantha P L P, Ranjith P G, Zhao J, et al. Strain rate effect on the mechanical behaviour of sandstones with different grain sizes[J]. Rock Mech Rock Eng, 2015, 48: 1883-1895.

[5]Tang F R, Mao X B, Zhang L Y, et al. Effects of strain rates on mechanical properties of limestone under high temperature[J]. Mining Science and Technology (China), 2011, 21: 857-861.

[6]Fahimifar A, Soroush H. Effect of time on the stress - strain behaviour of a single rock joint[J]. Bull Eng Geol Environ, 2005, 64: 383-396.

[7]Liu S, Xu J Y. Effect of strain rate on the dynamic compressive mechanical behaviors of rock material subjected to high temperatures[J]. Mechanics of Materials, 2015, 82: 28-38.

[8]Hokka M, Black J, Tkalich D, et al. Effects of strain rate and confining pressure on the compressive behavior of Kuru granite[J]. International Journal of Impact Engineering, 2016, 91: 183 - 193.

[9]Yin T B, Wang P, Li X B, et al. Effects of thermal treatment on physical and mechanical characteristics of coal rock[J]. J Cent South Univ, 2016, 23: 2336-2345.

[10]Zou C J, Wong L N Y. Size and geometry effects on the mechanical properties of carrara marble under dynamic loadings [J]. Rock Mech Rock Eng, 2016, 49: 1695-1708.

[11]Liu X H, Dai F, Zhang R, et al. Static and dynamic uniaxial compression tests on coal rock considering the bedding directivity[J]. Rock Mech Rock Eng, 2015, 73: 5933-5949.

[12]Xiong L X, Yu L J. Mechanical properties of cement mortar in sodium sulfate and sodium chloride solutions[J]. Journal of Central South University of Technology, 2015, 22(3): 1096-1103.

[13]熊良宵，陈聪. 水泥砂浆受硫酸钠侵蚀时力学特性的尺寸效应研究[J]. 长江科学院院报，2017，34(9)：145-149.

[14]徐赔，陈有亮，王苏然，等. 单裂隙岩石高温作用下的力学性能分析[J]. 水资源与水工程学报，2016，27(2)：216-222.

[15]李新平，路亚妮，王仰君. 冻融荷载耦合作用下单裂隙岩体损伤模型研究[J]. 岩石力学与工程学报，2013，32(11)：2307-2315.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[16]Xiong L X, Chen H J, Li T B, et al. Experimental study on the uniaxial compressive strength of artificial jointed rock mass specimen after high temperatures[J]. Geomech Geophys Geo-energ Geo-resour, 2018, 4: 201-213.

Experimental Study on Uniaxial Dynamical Compressive Mechanical Properties of Single-joint Plane Rock Mass Under Low and Moderate Strain Rates

Xiong Liangxiao[1], **Wang Zihua**[2]

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;
2. Zhejiang Engineering Investigation Institute, Ningbo 315000, China)

Abstract: The effects of strain rate and the inclined angle (β) of joint plane on compressive strength, peak strain, elastic modulus and damage variable of jointed rock mass specimen was studied by conducting uniaxial compression test on the artificial jointed rock mass specimen under moderate strain rates. Test results show that: (1) When the strain rate is the same and with angle β increasing from 0° to 90°, the compressive strength of jointed rock mass specimen will decrease firstly and then increase gradually, the peak strain of jointed rock mass specimen will decrease firstly and then increase gradually, and the elastic modulus of jointed rock mass specimen will increase wholly. (2) When the angle β is the same and with strain rate increase, the compressive strength of jointed rock mass specimen will increase gradually, the compressive strength of jointed rock mass specimen when angle β is 60° is most sensitive to strain rate, and there is no obvious change law of peak strain and elastic modulus of jointed rock mass specimen. (3) When the strain rate is the same, the strain is the same and with angle β increasing from 0° to 90°, the damage variable of jointed rock mass specimen will increase firstly and then decrease gradually, the damage variable of jointed rock mass specimen when angle β is 60° is highest, and the damage variable of jointed rock mass specimen when angle β is 90° is lowest. When the angle β is the same, the damage variable of jointed rock mass specimen will increase with increase strain rate.

Key words: jointed rock mass; strain rate; peak strength; peak strain; damage variable

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net