

《矿业科学学报》简介

《矿业科学学报》是由教育部主管、中国矿业大学（北京）主办、煤炭工业出版社出版的矿业科学综合性中文学术期刊，双月刊，国内外公开发行。《矿业科学学报》将于2016年8月首刊问世。

《矿业科学学报》的创刊，对坚持合理开发利用能源，实现煤炭资源的绿色开采、清洁生产和低污染使用，高效、持续、协调地发展煤炭工业，加强对环境的保护，取得最佳的社会效益、经济效益和环境效益，推动我国能源消费革命、供给革命、技术革命与体制改革，全方位加强国际合作，促进我国社会、经济、文化发展，具有重要意义。

《矿业科学学报》将本着“高起点、高水平、国际化、数字化”的原则，紧紧依靠矿业科学领域的广大科技工作者，在教育部和中国矿业大学（北京）的领导下，实现学报的跨越式发展，力争早日将《矿业科学学报》办成为国内外矿业科学领域高质量、国际化的品牌学术期刊，并跻身一流学术期刊行列。

《矿业科学学报》的办刊宗旨：依托矿业类高等院校和科研院所，宣传矿业工程与安全科学技术发展的方针政策，报道国内外矿业科学领域的基础理论研究与技术创新成果，传递科技信息，搭建交流平台，推动矿业科技进步，促进矿业学科发展，培养矿业科技人才，服务国家能源安全战略。

《矿业科学学报》主要刊载矿业科学领域的原创性成果，内容包括矿业工程、煤矿开采、安全科学与工程、测绘科学与技术、地质资源与地质工程、矿山建设工程、岩石力学与地下工程、矿山机械工程、矿山电气工程与自动化、矿物加工与利用、煤矿环境保护、煤炭能源绿色开采与洁净利用、管理科学与工程、能源安全与发展战略等。

2016年3月28日，中国矿业大学（北京）召开学术委员会会议，明确出台扶持学报发展的政策：“校内作者在《矿业科学学报》发表的论文视同EI检索的论文，在职称评定和学生毕业时予以承认。”

本刊优先发表国家各类基金资助和国家重大攻关项目资助的科研成果论文。

欢迎广大师生和科技工作者踊跃投稿，若在《矿业科学学报》创刊号发表论文的作者请务必于7月15日之前将稿件发至投稿邮箱。来稿切勿一稿多投，60天内未接到本刊录用通知时，请自行处理，双方另有约定者除外。

论文著作权属于作者，文责自负。论文刊登后，编辑部将赠送当期本刊2册。

学报编辑部网站正在建设之中，目前请将稿件发至投稿邮箱。

投稿邮箱 e-mail: kykxxb@cumtb.edu.cn

学报编辑部编辑及联系电话如下：

张乃新，联系力建学院和深部岩土力学与地下工程国家重点实验室；联系电话：51734817，13701390198；

陈贵仁，联系地测学院和管理学院，联系电话：51734820，13901398013；

王晓玲，联系资源学院和理学院，联系电话：51734885，13910570929；

李朝雯，联系化环学院和煤炭资源与安全开采国家重点实验室，联系电话：51734882，13501083403；

高专，联系机电学院，联系电话：51734819，13501116519

《矿业科学学报》论文格式要求

本刊论文应包括著录该论文的格式、题名、作者、单位、摘要、关键词、正文、参考文献等内容。其具体写作格式要求如下：

1. 著录该论文格式

按论文著录格式要求列出该论文的中英文著录内容，置放在论文首页的题名之上。

2. 论文题名

论文题名是反映文中特定内容的最恰当、最鲜明、最精练的词语概括和逻辑组合，一般不超过 20 个汉字。题名应避免使用不常见的缩略词、字符、代号和公式等。为便于国际交流，应有英文题名，英文题名一般不宜超过 10 个实词，且应与中文题名含义一致。

3. 作者及单位

参与科研工作、参加撰写论文的人都是作者，都应署名。作者单位要写到二级，且列于作者姓名下方。作者及单位也须有对应的英文，顺序与中文一致。

4. 摘要

摘要是对全文的高度概括，应清楚表述研究目的、过程和方法、内容、研究结果及得出的结论；摘要应防止过于简化和过于冗繁；不应简单重复正文或是标题中已表述的信息；除了实在无法变通外，摘要中应尽量避免使用图、表、化学结构式、非公知公用的符号和术语。中文摘要一般为 200—300 个汉字；英文摘要不宜超过 260 个实词。中英文摘要须对应一致。

5. 关键词

关键词是为了满足文献标引或检索工作的需要而从论文中选择出的词或词组。每篇论文一般应列出 3—7 个关键词，以反映论文的主题内容。关键词列于摘要段之后，中英文应一一对应。

6. 中图分类号

依照论文内容的学科属性和特征，给出论文的分类代号。一篇涉及多学科的论文，可以有几个分类号，主分类号应排在第一位。

英文的论文题名、作者及单位、摘要和关键词集中放在中图分类号之后，正文之前。

7. 基金项目

本刊优先发表省部级以上各类基金项目资助的论文，请在论文首页下标注基金项目名称和编号。

8. 作者简介

作者简介的格式为：姓名（出生年份—），性别，籍贯（写到县市），职称，学位，博士生导师，从事……的研究。电话号码，电子邮箱。

9. 正文

正文是论文的核心组成部分，占主要篇幅，应清晰表达科研工作的学术水平和技术创新程度。正文的第一段应是引言部分，引言部分不设标题行，该部分应反映该领

域国内外研究现状，本文研究内容的重要性和切入点。正文应充分阐明调查研究对象、实验和观察方法、仪器设备、材料原料、实验观察结果、计算方法、数据资料、加工整理的图表、形成的论点和结论等。

10. 层级标题

为了使论文层次分明，提高可读性，一般论文需要有层级标题来区分并连接各结构段。各层级标题都要简短明确，同一层级的标题应尽可能做到用词类型相同、意义相关、语气一致。各层级标题一律采用阿拉伯数字连续分级编号；不同层级的数字之间用小圆点“.”相隔，末位数字后面不加点号，如“1”“1.1”“1.1.1”等。

层级编号及编排格式示例：

- 1 ×××××× (第一级，另行，左起顶格，4号黑体占2行)
- 1.1 ×××××× (第二级，另行，左起顶格，5号黑体占1行)
- 1.1.1 ×××××× (第三级，另行，左起顶格，5号仿宋占1行)
- 1.1.1.1 ×××××× (第四级，另行，左起顶格，5号楷体占1行)
- (1) ××××××。(第五级，另行，左起空2格，5号宋体，接排后续内容)
- ①××××××。(第六级，不另行，5号宋体，正文叙述中用)

11. 图

- (1) 图要精选，图线、图字清晰，大小适中。
- (2) 图要有中英文图号和图名，并将图名置于图号之后一起放在图下方的居中位置；当图由分图组成时，各分图名与分图号“(a)…”一起置于各分图的正下方。
- (3) 图注应位于总图名的上方，图注的注文前用一字线；各注之间用分号“；”隔开，最后一个注文末不用标点。

12. 表

- (1) 表采用三线表形式，必要时可加辅助线。
- (2) 表要有中英文表号和表名，并将表名置于表号之后一起放在表上方的居中位置。
- (3) 表下注释有两种。一种是对全表的综合注释，以不加括号的阿拉伯数字编号；只有1个综合注释时，可不编号。另一种是与表内某处文字或数字相呼应的呼应注，这时表内文字或数字右上角加阳码①②字样，表下方注文处同样以①②引出要注释的文字；只有1个呼应注时，注释符号可用上角梅花码“*”。表下注释第1行注释前冠以“注：”字样，“注”前空2格，每注释末都加句号；若综合注释和呼应注释同时出现，应先注综合注释，然后注呼应注释。

13. 量与单位

- (1) 量的符号一般为斜体，只有pH值、HB（布氏硬度）、HR（洛氏硬度）等特殊符号采用正体；矢量和张量用黑斜体。
- (2) 单位的符号全为正体。
- (3) 表或图中量符号与单位用法举例： H_2SO_4 (mL) 应为 $V(H_2SO_4)/mL$ ；磺化时间 (h) 应为 $t_{\text{磺化}}/h$ 。组合单位，如颗粒的质量浓度单位，在图表中应表示为 $(mg \cdot L^{-1})$ ，而在正文中则应为 mg/L 。某物质的质量分数用 w 表示，如 $w(C) = 10\%$ 。不应把“ppm”作为计量单位使用。

14. 公式

(1) 公式不必全部编号，为便于相互参考时才进行编号。公式编号标注在公式所在行（当公式有续行时应标注在最后一行）的最右边，并置于圆括号内。公式的编号形式采用单码编号，例如 (1) (11)。

(2) 公式一般居中编排。公式的物理量符号解释说明采用公式下接排形式。

(3) 公式的转行应在紧靠其中记号 =, +, -, ±, ×, · 或 / 的后面断开，而在下一行开头不应重复这一记号。对于转行的式子，采用比第 1 行式子缩进 2 个中文字空的形式；如果为多次转行，转行的式子左对齐。

15. 参考文献

参考文献按在文中引用的先后顺序标注，用阿拉伯数字加方括号，并在文末按顺序列出。格式详见《参考文献著录格式》。特别注意：对引用的非英文期刊文献，先列出原文版，再另行抄录其英文版。

《矿业科学学报》参考文献著录格式

为了反映论文的科学依据，尊重他人研究成果以及向读者提供有关信息的来源，正文之后须列出参考文献。所列出的应确实是作者阅读过的、发表在正式出版物上的文献。未公开发表的资料或协作成果，应征得有关方面同意，以脚注方式，顺序表明。参考文献选用顺序编码制，按在文中引用的先后顺序编号（加方括号），并在文末按顺序列出，每条文献著录项目应齐全。文献的作者、编者、译者不超过3人时全部写出，超过者只写前3人，后加“等”或“et al”，作者之间用“，”隔开。外国作者或编者姓名在书写时，一律姓前名后，名用缩写，且省略“.”，用汉语拼音书写的中国著者姓名不得缩写。

一、文献类型和电子文献载体标志代码

文献类型和标志代码		电子文献载体和标志代码	
文献类型	标志代码	载体类型	标志代码
普通图书	M	磁带 (magnetic tape)	MT
会议录	C	磁盘 (disk)	DK
汇编	G	光盘 (CD-ROM)	CD
报纸	N	联机网络 (online)	OL
期刊	J	报告	R
学位论文	D	标准	S
		专利	P
		数据库	DB
		计算机程序	CP
		电子公告	EB

二、参考文献著录格式示例

1. 普通图书、汇编

[引文序号] 主要责任者. 题名: 其他题名信息 [文献类型标志]. 其他责任者. 版本项. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码.

示例:

- [1] 虎维岳. 矿山水害防治理论与方法 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 21-23.
- [2] 佩图霍夫 ИМ, 巴杜金娜 ИМ. 地下地质动力学 [M]. 陈学华, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 2006: 101-103.
- [3] 国家安全生产监督管理总局. 安全评价: 上册 [M]. 3版. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 25-28.
- [4] 国家煤矿安全监察局综合司. 煤矿安全重要文件汇编: 2007 [G]. 北京: 国家煤矿安全监察局综合司, 2007: 82-83.

2. 专著中析出的文献

[引文序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名 [文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名: 其他题名信息. 版本项. 出版地: 出版者, 出版年: 析出文献的页码.

示例:

- [5] 姚建国, 耿德庸, 邹正立. 对推动我国煤炭地下开采现代技术进步的思考 [G] //煤炭科学研究总院北京开采研究所. 地下开采现代技术理论与实践新进展: 煤炭科学研究总院北京开采研究所建所50周年论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 2007: 38-49.

- [6] GANZHA V C, MAYR E W, VOROZHTSOV E V. Computer algebra in scientific computing: CASC 2000; proceedings of the Third Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing, Samarkand, October 5-9, 2000 [C]. Berlin: Springer, c2000.

3. 期刊中的析出文献

[引文序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名 [文献类型标志]. 期刊名: 其他题名信息, 年, 卷(期): 页码.

示例:

- [7] 查文华, 谢广祥, 华心祝, 等. 综放工作面顶底板矿压显现模型试验研究及分析 [J]. 中国煤炭, 2007, 33 (4): 32-35.

4. 专利文献

[引文序号] 专利申请者或所有者. 专利题名: 专利国别, 专利号 [文献类型标志]. 公告日期 [引用日期].

示例:

- [8] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 中国, 88105607.3 [P]. 1989-07-26.

5. 技术标准

[引文序号] 起草责任者. 标准代号 标准顺序号—发布年 标准名称 [文献类型标志]. 出版地: 出版者, 出版年.

示例:

- [9] 全国信息与文献标准化技术委员会第六分委会. GB/T 7714—2005 文后参考文献著录规则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

6. 学位论文

[引文序号] 主要责任者. 题名 [文献类型标志]. 保存地: 保存单位, 保存年.

示例:

- [10] 唐方勤. 基于 GIS 的火灾场景下人员疏散模拟 [D]. 北京: 清华大学, 2009.

7. 报纸中析出的文献

[引文序号] 主要责任者. 题名 [文献类型标志]. 报纸名, 年-月-日 (版次)

示例:

- [11] 李韦. 精神追求更为重要: 访原煤炭工业部老领导肖寒 [N]. 中国煤炭报, 2007-06-20 (1).

8. 电子文献

[引文序号] 主要责任者. 题名: 其他题名信息 [文献类型标志/文献载体标志]. 出版地: 出版者, 出版年 (更新或修改日期) [引用日期]. 获取和访问路径.

示例:

- [12] 萧钰. 出版业信息化迈入快车道 [EB/OL]. (2001-12-19) [2002-04-15]. <http://www.creder.com/news/20011219/200112190019.html>.

三、其他

(1) 据中国科学技术信息研究所发布的论文平均引用参考文献篇数为 15.5, 优秀论文均会引用大量的参考文献。

(2) 欢迎广大作者更多引用《矿业科学学报》登载的论文。

周棕宏,章琦,杨安国,等.白云岩三维动静组合加载力学特性试验研究[J].矿业科学学报,2016,1(1):0001-0003.

ZHOU Zonghong,ZHANG Qi,YANG Anguo,et al. Experimental study on mechanical characteristics of dolomite under three - dimensional coupled static - dynamic loading[J]. Journal of Mining Science and Technology,2016,1(1):0001 - 0003.

白云岩三维动静组合加载力学特性试验研究

周棕宏¹,章琦¹,杨安国¹,王春²

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院,昆明 650093;

2. 中南大学 资源与安全工程学院,长沙 410083

摘要:为研究白云岩的力学特性和破坏模式,利用改进的三维 SHPB 动静组合加载试验装置,对白云岩进行三维加载、轴向冲击试验,分析轴压、围压和应变率对白云岩强度、变形模量、能量吸收等的影响,探讨岩石动静组合加载的应变率效应。试验结果表明:当围压一定时,白云岩的抗压强度随着轴压的增大呈现出先增大后减小的趋势,变形模量随着轴压的增大而减小;白云岩单位体积吸收能会随着轴压的增大而先增加后降低。在三维动静组合加载下,岩石的破坏模式为压剪破坏。

关键词:白云岩;力学特性;破坏模式;应变率效应;动态强度增长因子;能量传递

中图分类号:TD324

文献标志码:A

文章编号:

Experimental study on mechanical characteristics of dolomite under three - dimensional coupled static - dynamic loading

ZHOU Zonghong¹,ZHANG Qi¹,YANG Anguo¹,WANG Chun²

1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract: This paper investigates the mechanical characteristics and failure modes of dolomite. The dynamic triaxial compression tests of dolomite specimens under three - dimensional loading and axial impact were conducted by using the modified three - dimensional split Hopkinson pressure bar (SHPB) apparatus. The influence of axial pressure, confining pressure and strain rate on strength, deformation modulus and energy absorption of dolomite was analyzed. The strain rate effect of the coupled static - dynamic loading of rock was discussed. The test results show that: when the confining pressure is constant and the axial static pressure increases, the compressive strength of rock increases at first and then decreases while the deformation modulus decreases; the energy absorption per unit volume first increases and then decreases with the increasing of axial pressure. The failure pattern of dolomite is compression - shear under three - dimensional coupled dynamic and static loading.

Key words: dolomite; mechanical characteristics; failure mode; strain rate effect; dynamic strength increase factor; energy transfer

随着国内外对矿产资源需求量的增加和浅部资源不断消耗,越来越多的矿山相继进入深部资源

开采状态。深部矿岩体在受到爆破震动、开挖扰动等动载荷前,已经承受了地应力、构造应力等高静

收稿日期:2015 - 07 - 15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51264018,51064012);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NECT - 09 - 0258)

作者简介:周棕宏(1969—),男,安徽宿州人,教授,博士,从事采矿方法和工艺、矿山岩石力学与地压控制等研究。

Tel:0871 - 65171672, E - mail:zhou20051001@163. com

应力作用,处于“高应力+动力扰动”的多维受力状态下,是典型的动静组合加载问题。研究预静应力条件下岩石动静组合强度和变形性质,对揭示深部岩爆、冲击地压等灾害发生机理和防治有一定的理论意义和工程价值^[1-3]。

1 三维动静组合加载试验

1.1 试件制备

岩样均取自云南会泽铅锌矿麒麟坑地质钻孔,深度为1 200~1 400 m。白云岩试件经昆明理工大学分析测试中心检测,含碳酸镁钙 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 73.3%,碳酸钙 $[\text{CaCO}_3]$ 26.6%,其他矿物成分0.1%。岩样加工严格按照国际岩石力学学会 ISRM 建议的试验方法进行,试样为 $\phi 50 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 的圆柱体,并对其两端及侧面进行了仔细研磨,不平行度和不垂直度均小于0.02 mm。试样表面光滑,没有明显缺陷,呈灰白色、米黄色、肉红色。白云岩静载物理力学参数见表1。

表1 白云岩静载物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of dolomite under static load

密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	加载率/ ($\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1}$)	应变 率/ s^{-1}	抗压强 度/ MPa	变形模 量/ GPa	泊松比
2 656	0.5	10^{-5}	44.6	20.18	0.27

1.2 试验设备

试验是在中南大学的三维 SHPB 动静组合加

载系统完成的(图1)。本次试验对常规 SHPB 冲击试验系统进行了改进:在已有的 SHPB 试验系统上安设轴压及围压加载装置,同时施加轴向静压和围压时即可进行三轴预应力下的冲击试验。

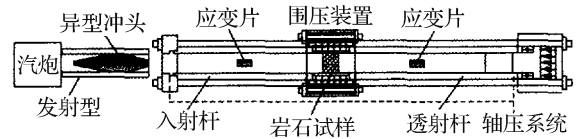


图1 三维动静组合加载 SHPB 试验系统

Fig. 1 SHPB apparatus of 3D coupled static - dynamic loading

1.3 试验方法

在三维动静组合加载试验前,先进行常规冲击试验。三维动静组合加载试验时,轴向静压取0、20和30 MPa,围压取0、5、10 MPa,冲击气压为0.4~1.2 MPa,每组设置4、5个等级,冲击载荷是由瓶装高压氮气推动纺锤形冲头撞击入射杆产生的半正弦应力波,通过调节气阀的压力值,控制冲头的发射速度,实现不同的应变率。每组试验重复3~5次,选取有代表性的数据进行对比。

2 试验结果及分析

2.1 强度特性

表2给出了动静组合加载试验中代表性试件的试验结果。白云岩的应力-应变曲线如图2所示。

表2 白云岩力学参数和三维动静组合加载下试验结果

Table 2 Mechanical parameters and experimental results of dolomite under 3D coupled static and dynamic loads

编号	试样直径/ mm	试样长度/ mm	纵波波速 ^① / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	冲击气压/ MPa	轴向静压/ MPa	围压 ^② / MPa	组合强度/ MPa	应变率/ s^{-1}	变形模量/ GPa
28	51.50	25.57	5 813	0.38	0	0	64.55	74.55	14.37
72	48.65	25.42	7 060	0.70	0	5	133.78	86.43	64.43
35	48.41	25.77	5 370	0.80	0	10	174.11	73.48	74.59
11	49.01	25.63	7 120	0.70	20	0	139.61	72.46	49.93
17	49.42	25.71	5 843	0.95	20	5	181.27	77.96	47.74

注:1. 综合注释。

2. 综合注释。

①呼应注释。

②呼应注释。

(1)固定围压。图2(a)为白云岩在围压为5 MPa、应变率约 88 s^{-1} ,不同轴向静压下冲击加载的应力-应变试验曲线。可以看出,在轴压作用下,白云岩的抗压强度呈现出先增加后降低的趋势。

(2)固定轴压。图2(b)为轴压为30 MPa、应变率为 74 s^{-1} ,不同围压下组合加载得到的白云岩应力-应变曲线。可以看出,轴压一定、应变率接近时,白云岩的抗压强度随着围压的增加而增大。不同轴向静压下,围压的增加对白云岩的强度影响

较为显著,在 30 MPa 轴向静压下,围压为 0、5 和 10 MPa 的动静组合强度分别为 87、146 和 172 MPa,即围压增加的情况下,组合强度分别增加了 68% 和 98%。

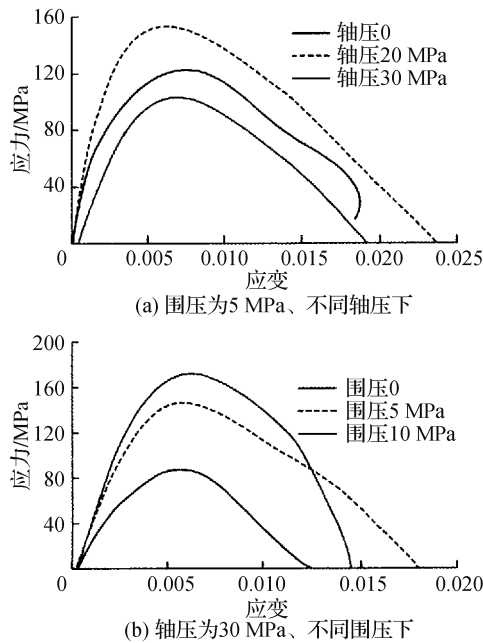


图 2 白云岩的应力 - 应变曲线

Fig. 2 Stress - strain curves of the dolomites

白云岩属沉积岩,内部存在孔隙、微裂纹,在受到三维预应力时,在弹性范围内其内部孔隙闭合。随着围压增大,其强度逐渐增大。轴向静压下,在弹性范围内,试样承受组合载荷的能力随轴压的增大而增大,轴压起着抑制岩石内部微裂纹扩展的作用,岩样组合强度增大。随着轴向静压的继续增大,进入损伤阶段,岩石内部的孔隙被重新激活,应力波作用下,入射波在裂纹表面反射形成的拉伸波进一步加剧微裂纹的扩展、成核与聚集,导致岩石承载能力下降^[2,4]。

2.2 变形模量

压缩变形特性是岩石的重要力学特性,以变形模量(割线模量)作为衡量指标进行对比^[4],即

$$E_{50} = \frac{\sigma_{.d50}}{\varepsilon_{.d50}} \quad (1)$$

式中, E_{50} 为岩石的变形模量,GPa; $\sigma_{.d50}$ 为动态抗压强度峰值 50% 时的应力值,MPa; $\varepsilon_{.d50}$ 为 $\sigma_{.d50}$ 对应的轴向应变值。

3 结 论

(1) 三维动静组合加载条件下,围压一定时,白云岩的抗压强度随轴向静压增大呈现出先增加后降低的趋势,在其静态单轴抗压强度 45% 左右时达到最大值;轴压一定时,白云岩抗压强度随着围压的增大而增大;强度增长因子随着冲击气压的增大先增大后变小。

(2) 围压为 0 情况下,白云岩变形模量随着轴压的增大先增大后减小;围压为 5、10 MPa 条件下,则随着轴压的增大而减小;当轴压一定时,随围压的增加而增大。

(3) 在冲击荷载作用下,白云岩的单位体积能量吸收随轴压和围压的增大先增大后减小,随着应变率的增加而提高。

(4) 在三维动静组合加载下,岩石的破坏模式是压剪破坏。

参考文献

- [1] 唐礼忠,刘涛,汪令辉,等. 两种不同大理岩 SHPB 动态劈裂实验[J]. 武汉理工大学学报,2012,34(7): 72-77.
TANG Lizhong, LIU Tao, WANG Linghui, et al. Experimental study of dynamic spall of two different marbles [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(7): 72-77.
- [2] BAILLY P, DELVARE F, VIAL J, et al. Dynamic behavior of an aggregate material at simultaneous high pressure and strain rate: SHPB triaxial tests [J]. International Journal of Impact Engineering, 2011, 38: 73-84.
- [3] LI Xibing, ZHOU Zilong, TAT-SENG LOK, et al. Innovative testing technique of rock subjected to coupled static and dynamic loads [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2008, 45: 739-748.
- [4] 金解放,李夕兵,钟海兵. 三维静载与循环冲击组合作用下砂岩动态力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2013,32(7):1358-1372.
JIN Jiefang, LI Xibing, ZHONG Haibing. Study of dynamic mechanical characteristic of sandstone subjected to three-dimensional coupled static-cyclic impact loadings [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(7): 1358-1372.

