

文章编号:1001-4888(2018)01-0141-09

蓄能落锤式动静组合加载试验系统研制及应用^{*}

温彦凯, 梁冰, 孙维吉

(辽宁工程技术大学 力学与工程学院, 辽宁阜新 123000)

摘要: 针对深部矿井中煤岩所处的高应力、强开采扰动等复杂的赋存环境特点,设计并研发蓄能落锤式动静组合加载试验系统,本文详细介绍了该系统的结构特点、技术指标及功能等。该系统能够分别独立向试样施加轴向冲击载荷、轴向静载荷及侧向静载荷,实现试样不同动静组合加载。该系统所用试样尺寸大,向试样施加的冲击载荷更接近现场实际。采用冲击力传感器及动态应变仪等高精度传感器进行实时监测,记录试样应变及所受冲击载荷。利用该系统对煤样进行了相同轴向载荷与不同冲击载荷共同作用下的动静组合加载试验,实时采集煤样冲击过程中力与应变数据。通过绘制冲击过程煤样应力应变曲线,分析不同动静组合加载下煤样应力及应变的变化特点,通过观察煤样形态,分析煤样的破坏变形特征,初步研究不同动静组合条件下煤样的破坏变形规律。该系统的研制丰富了深部高应力、强扰动等环境下岩石力学性质的研究手段,可为防治冲击地压灾害提供科学的试验基础。

关键词: 岩石力学; 冲击地压; 动静组合加载; 试验系统

中图分类号: TD324

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-16-207

0 引言

冲击地压是矿山井巷和采场周围的煤、岩体由于变形能释放而产生的以突然、剧烈、猛烈的破坏为特征的动力现象^[1]。作为一种典型的矿山动力现象,冲击地压具有极大的危害性,已经成为煤矿开采的主要灾害之一,严重威胁煤矿的生产安全。随着经济的快速发展,我国对煤炭资源的需求越来越大。经过几十年的大规模开采,浅部资源几近枯竭,大部分煤矿正转向深部开采。随着开采深度加深、开采强度加大,开采环境变得更加复杂,围岩所处的应力状态逐渐恶化,由此产生的冲击地压灾害急剧增多。煤矿在开采过程中会对煤岩应力场产生扰动,原岩应力平衡被打破之后,应力将会发生动态调整以获得新平衡,而应力在动态调整的过程中将会产生动载荷。同时煤矿开采的人为扰动也是矿震的主要来源,如机组割煤、放顶、打钻、爆破等。煤矿开采不可避免存在动态扰动,因此动静组合作用是冲击地压发生的根本原因。近年来众多学者,例如齐庆新^[1-3],窦林名^[4,5],潘一山^[6],姜耀东^[7,8],王来贵^[9,10],刘少虹^[11,12]等对动载诱发冲击地压发生机理均有一定程度的研究,但研究尚处于初步阶段。同时众多学者研制出一些模拟冲击地压的试验系统并进行试验研究,例如,马春德^[13]等基于 INSTRON 系统和自行研制的微扰动组合加载系统进行了一维动静组合加载试验。左宇军^[14]等基于该系统进行了二维动静组合加载下岩石破坏规律的研究。李夕兵^[15]等基于 SHPB 系统研制了岩石动静组合加载试验系统,并基于该系统进行了相同动载不同轴向静压和相同轴向静压不同动载的试验研究。何满潮^[16]等研制了冲击岩爆试验系统并进行了冲击岩爆试验。然而现有的试验设备依然存在一些不足:(1)大多数试验设

^{*} 收稿日期:2016-10-12;修回日期:2017-01-12

基金项目:辽宁省煤炭资源安全开采与洁净利用工程研究中心开放基金资助课题(LNTU15KF10)

通讯作者:孙维吉,男,讲师。主要从事冲击地压等方面的研究。Email:17868292@qq.com

备局限于常规三轴应力加载,对模拟矿井煤岩所处的复杂应力环境存在局限性;(2)一些试验设备向试件施加的冲击载荷较小;(3)大多数试验设备所用试样尺寸较小。为解决上述问题,本文设计并研发蓄能落锤式动静组合加载试验系统,用于研究不同轴压、围压及冲击载荷组合作用对煤岩变形破坏特性的影响。

1 蓄能落锤式动静组合加载试验系统

蓄能落锤式动静组合加载试验系统可以进行不同动静组合条件下煤岩变形破坏特征方面的研究,探究在不同动静组合条件下煤岩的破坏机制,为冲击地压防治的研究提供科学的实验基础。蓄能落锤式动静组合加载试验系统主要由 5 个部分构成:框架、冲击力加载系统、静载荷加载系统、载荷控制系统及高速数据信号采集系统。系统的框架、冲击力加载系统及静载荷加载系统中各个构件均采用 45# 钢制作,并按照《机械液压系统设计常用数据及标准规范》进行选型,确定各系统主控参数。最后按照标准进行强度校核以确保系统的稳定、可靠。系统的构成如图 1 所示。

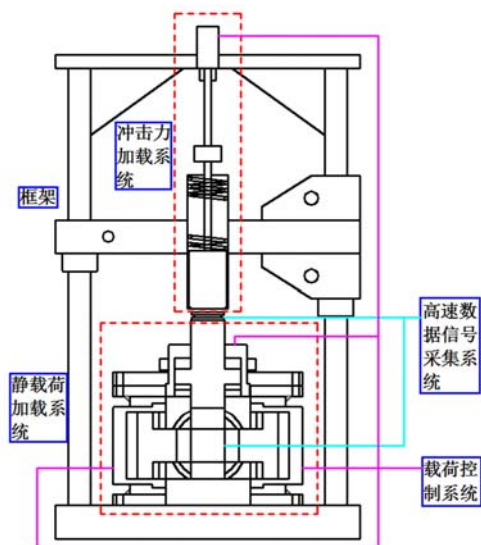


图 1 蓄能落锤式动静组合加载试验系统示意图

Fig. 1 System coupled static and dynamic loads with energy storage of drop hammer

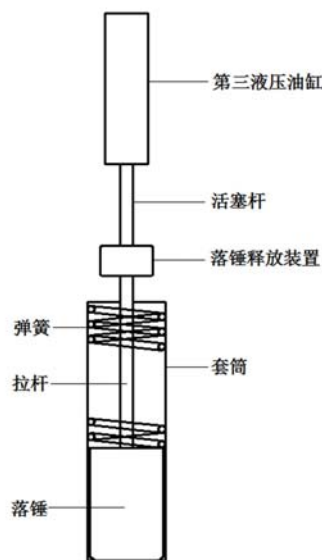


图 2 冲击力加载系统

Fig. 2 Impact loading system

1.1 框架

框架由底板、立柱、横梁及顶板梁组成。底板和顶板梁通过立柱相连接。横梁固定在立柱中心位置,横梁的作用为固定冲击力加载系统中的套筒。

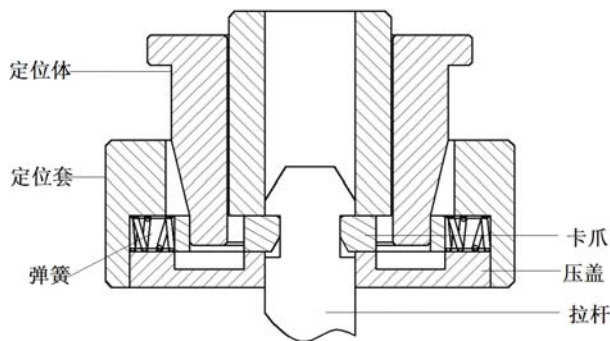


图 3 落锤释放装置

Fig. 3 Hammer releasing device

1.2 冲击力加载系统

冲击力加载系统由第三液压油缸、活塞杆、伸缩套筒、落锤释放装置、拉杆、套筒、弹簧及落锤等组成。系统的构成如图2所示。第三液压油缸固定在顶板梁中心,中心开有孔使液压油缸的活塞杆可以穿过。伸缩套筒固定在框架顶部顶板梁中心,第三液压油缸活塞可以穿过,通过调节伸缩套筒长度来控制弹簧蓄能大小。落锤释放装置(如图3)由定位套、定位体、压盖、卡爪及复位弹簧组成,通过螺纹固定在第三液压油缸活塞杆末端,拉杆上端卡入落锤释放装置中。释放时只需按压定位体,定位体挤压复位弹簧,卡爪回缩,拉杆下落与释放机构分离。套筒固定在横梁的中心位置,与第三液压油缸的活塞杆及第四液压油缸的活塞杆成一条直线。拉杆穿过弹簧,有螺纹的一端与落锤连接,另一端穿过套筒顶端小孔卡入释放装置。工作时第三液压油缸内油压推动活塞杆上升,同时活塞杆通过释放装置带动拉杆上升,此时由于落锤跟随拉杆一同上升,弹簧在套筒内被压缩储存弹性能。活塞杆上升到一定高度时,释放装置中的定位体被伸缩套筒压缩,使拉杆自动释放,套筒内弹簧推动落锤和拉杆快速向下运动打击冲击力传感器,应力波通过第四液压油缸的活塞杆传递给试样。落锤最大提升高度为370mm,最大冲击载荷为600kN,可以向试件施加最大约为26MPa的冲击载荷,通过改变落锤的提升高度或者更换不同线径弹簧可以改变冲击载荷的大小。

1.3 静载荷加载系统

静载荷加载系统由反力箱体、第一、二、四静载油缸、静载活塞、压头、下垫板、螺栓、垫片、螺帽、上端盖等组成。系统的构成如图4所示,左图为主视图,右图为俯视图。反力箱体为静载荷加载系统的主体,箱体整体为圆柱体,中心自上而下开有正方形孔洞,孔洞内部每个面开有圆形孔洞,共有四个圆形孔洞。侧向静载系统由第一、二静载油缸、静载活塞和压头等组成。第一、二静载油缸固定在反力箱体左右孔洞内,压头与静载活塞固定连接。第一、二液压油缸为出力构件,两个静载活塞和压头为传力构件。活塞最大行程为80mm,最大侧向载荷达1500kN,可向试验岩样施加70MPa的最大侧向主应力。第四静载油缸外表面有螺纹,油缸穿过上端盖通过螺帽将上端盖与第四静载油缸固定连接。第四静载油缸与上端盖整体放置在反力箱体上端,并通过十二个螺栓与反力箱体固定。液压油缸为出力构件,静载活塞与压头为传力构件,轴压与侧压均采用刚性加载。轴向静载活塞最大行程80mm,最大静载荷达1500kN,可以向试样施加70MPa的最大轴向主应力。为方便取放试样和观察试样的破坏规律,侧向静载只在左右两个方向加载,前后两个方向为自由面。

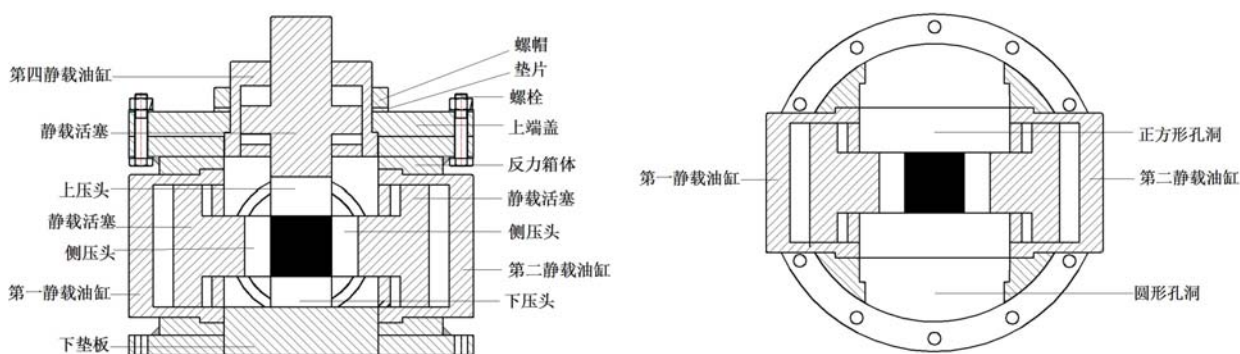


图4 静载荷加载系统

Fig. 4 Static loading system

1.4 载荷控制系统

载荷控制系统由液压泵站等组成,该泵站由山东德州生辉液压有限公司定制。液压泵站额定压力为30MPa,额定流量为2.5L/min。该泵站通过高压油管与系统中的液压油缸连接,在泵站安装有电气控制系统,每一个液压油缸由单独的加载和卸载两个按钮控制,并通过独立的压力表实时显示液压油缸内的压力。该泵站可以同时独立控制四个液压油缸,完成加压和卸载动作,每一个液压油缸配有一个压力表,并配有总压力表,实时显示系统总压力。

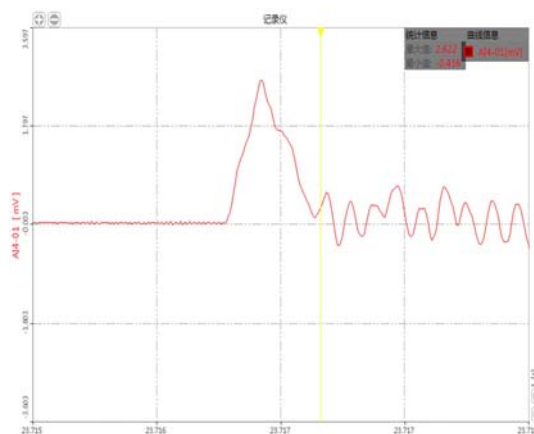


图 5 冲击力时程曲线

Fig 5 Impact time history curve

1.5 高速数据信号采集系统

数据信号采集系统由冲击力测试系统(长沙诺赛希斯仪器仪表有限公司生产,型号为 NOS-F306)和 DHDAS 动态信号采集分析系统(江苏东华测试生产,型号为 DH5923N)等组成。冲击力测试系统由冲击力传感器、单通道高速数据采集仪及采集软件组成。冲击力传感器量程 $0\sim 200\text{t}$, 采样频率 $\leq 50\text{kHz}$, 单通道高速数据采集仪采样频率为 128kpsps 。冲击力传感器通过采集仪连接电脑, 通过采集软件可以采集冲击过程力值大小和冲击时间, 绘制冲击力时程曲线(如图 5 所示)。DHDAS 动态信号采集分析系统由采集仪与采集分析软件组成, 该系统通过粘贴于试样上的应变片采集冲击过程中试件应变, 通过 DHDAS 软件进行显示和储存, 实现连续、自动的数据采集, 保证了数据的可靠性。

2 系统特点

2.1 动静组合加载

通过静载荷加载系统与冲击力加载系统, 可以实现向试样独立施加轴向载荷、侧向载荷及冲击载荷等不同路径的组合加载和卸载。同时利用冲击力传感器和动态信号采集仪采集数据, 获得试验的应力应变曲线, 能够准确获得试样加、卸载破坏全过程中的特征强度及变形参数等。

2.2 高应力

该系统能够独立向岩样施加轴向载荷、侧向载荷及冲击载荷。侧向最大有效载荷 1500kN , 轴向最大有效载荷 1500kN , 最大冲击载荷 600kN 。对于 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的岩样, 侧向最大应力 70MPa , 轴向最大应力 70MPa 。对于其他尺寸的试件, 应力相应改变。由此可见, 该系统能够满足深部高地应力条件下大尺寸岩块的动静组合试验。

2.3 大尺寸

该系统适用于试样断面尺寸为 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的正方体, 从而改变了现有冲击试验系统尺寸相对较小的情况, 这个尺寸是现有冲击试验系统试样尺寸的 1.5 倍左右, 体积是小尺寸试样体积的 20 倍左右。因此, 该系统对矿井现场实际具有更好的借鉴意义。

3 动静组合加载作用下煤岩变形破坏特性试验

运用本试验系统对煤样进行了不同动静组合加载条件下煤岩变形破坏试验, 并将试验结果进行分析, 进而验证蓄能落锤式动静组合加载试验系统的可靠性。

3.1 试样制备

本试验所选用的煤样采自辽宁省阜新市某露天矿。将试样加工成 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的正方体, 用砂轮机及砂纸对试样各表面仔细研磨, 使各表面平面度在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内, 相邻两表面垂直度偏差在 $\pm 0.25^\circ$ 以内。试样照片如图 6 所示。煤样平均密度为 $1391.92\text{kg}/\text{m}^3$, 平均抗压强度为 12.2MPa ,

平均弹性模量为 939.25MPa。

3.2 试验方案

试验共进行 3 组,第一组选取 3 块煤样进行无轴向载荷冲击试验,分别向煤样施加 60% R_c ,100% R_c 和 140% R_c (R_c 为煤样单轴抗压强度)。第二组选取 3 块煤样进行试验,首先向煤样施加 30% R_c 轴向载荷,再向煤样施加峰值为 50% R_c ,70% R_c ,110% R_c 的冲击载荷。第三组选取 3 块煤样进行试验,首先向煤样施加 70% R_c 轴向载荷,再向煤样施加 30% R_c , 50% R_c , 70% R_c 的冲击载荷。

3.3 煤样的应力应变测试结果

表 1 汇总了三组试验煤样的加载路径及试验完成后煤样的峰值应力、峰值应变、冲击时间和应变率等数据。

表 1 煤样动静组合加载试验结果
Tab.1 Test results of coal sample

编号	轴向载荷	冲击载荷	峰值应力/MPa	峰值应变/ $\mu\epsilon$	冲击时间/s	应变率/ s^{-1}
1-1	0	60% R_c	8.99	1562.55	0.00046	3.47
1-2	0	100% R_c	13.50	2407.91	0.00045	5.23
1-3	0	140% R_c	19.02	3350.93	0.00044	7.62
2-1	30% R_c	50% R_c	6.13	1409.96	0.00050	2.82
2-2	30% R_c	70% R_c	9.20	1762.00	0.00048	3.83
2-3	30% R_c	110% R_c	14.45	3772.09	0.00046	7.86
3-1	70% R_c	30% R_c	5.71	961.33	0.00062	1.55
3-2	70% R_c	50% R_c	6.80	1321.45	0.00058	2.45
3-3	70% R_c	70% R_c	9.46	2008.12	0.00054	3.46

从表 1 可以看出,随着试验系统中落锤提升高度的增加,弹簧蓄能增大,释放后的冲击力传感器所测冲击力也增大,且冲击力的增大幅度基本呈线性;随着冲击力的增大,测得冲击时间逐渐减小。每一组试验中轴向载荷保持不变,通过 DHDAS 动态信号采集分析系统采集到试件表面的应变片变化信号,通过分析软件处理可以得出:随着冲击载荷的增大,煤样的峰值应变逐渐增大;应变率也随冲击载荷的增大而增大,应变率的范围在 $10^{-1} \sim 10^{1.5}$ 之间,属于中等应变率,而矿井下煤岩在震源(包括地震荷载和爆炸荷载)扰动下的应变率范围为 $10^{-4} \sim 10^3$ 之间,因此该试验系统的试验结果对指导矿井现场实际具有一定的借鉴意义。从表中还可以看出,三组试验随着轴向载荷的增大,煤样的峰值应变整体减小,应变率也随之减小,说明轴向载荷对煤样起到了压实作用,减小了煤样的变形。图 7 分别为三组试验煤样的应力应变曲线。从图中可以看出煤样的应力应变曲线变化的路径基本相同,轴向载荷保持不变时,随着冲击载荷的增大,煤样的峰值应力和峰值应变均增大;弹性模量也有增大的趋势。

3.4 煤样的破坏形式

图 8 为无轴压不同大小冲击载荷组合作用下煤样的冲击破坏形态。当冲击载荷为 60% R_c 时,煤样右侧边缘有碎块崩出,并且在煤样表面出现纵向裂纹,但由于冲击载荷较小并未达到煤样的破坏强度,所以煤样整体并未破坏。当冲击载荷为 100% R_c 时,煤样上半部分出现大块整体崩出,崩出碎块较冲击载荷为 60% R_c 时增大,破坏程度增大。此时冲击载荷峰值已经达到煤样的静载抗压强度,但煤样整体并未破坏,说明煤样抵抗动载冲击的能力较其静载抗压强度有所提高。当冲击载荷为 140% R_c 时,煤样整体失稳,冲击瞬间有大量碎块崩出,试样仅剩中心部分,煤样整体呈现剪切破坏。此时冲击载荷峰值已经超过了煤样的动载抗压强度。



图 6 试验煤样
Fig.6 Testing coal sample

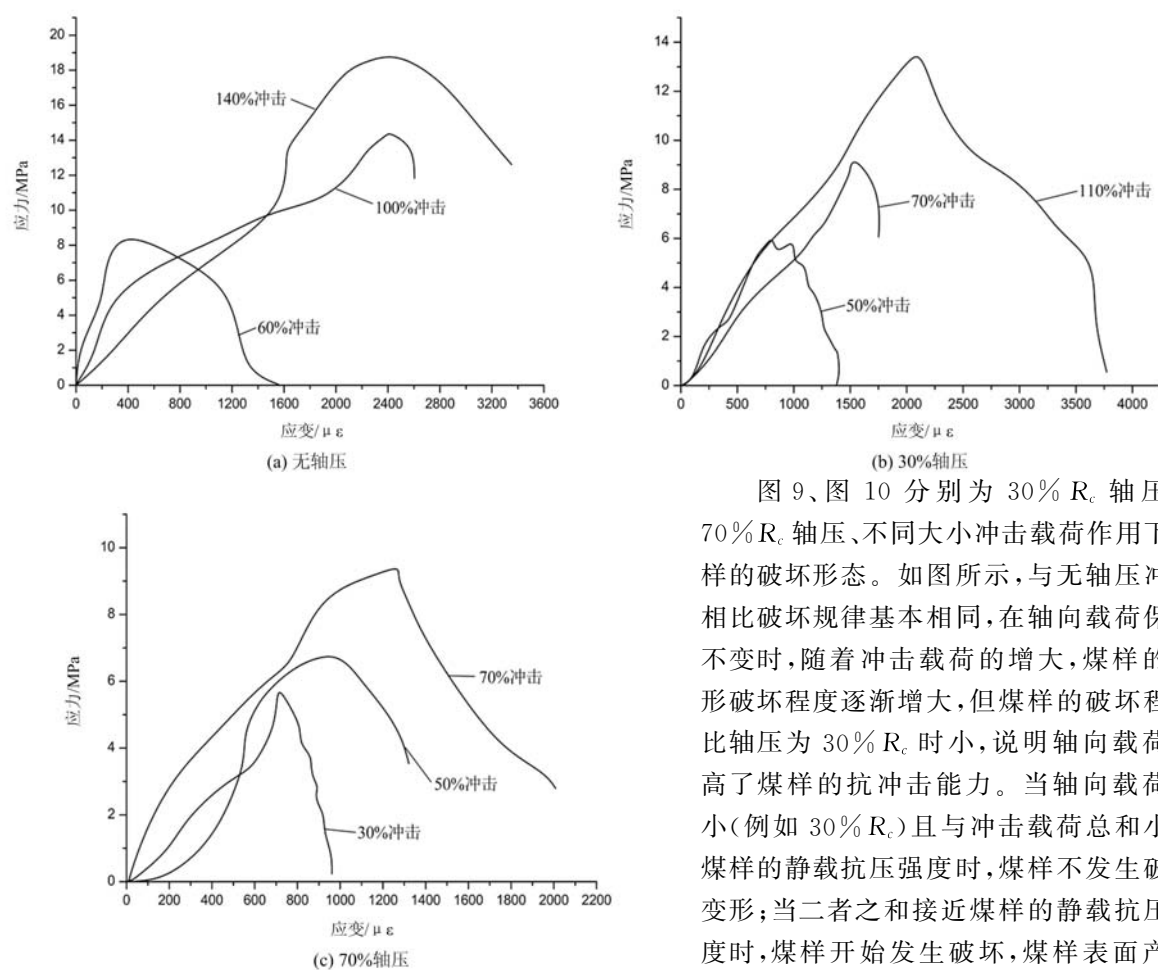


图 7 三组试验煤样应力应变曲线

Fig. 7 Stress-strain curves of three groups of experimental coal samples

图 9、图 10 分别为 30% R_c 轴压和 70% R_c 轴压、不同大小冲击载荷作用下煤样的破坏形态。如图所示,与无轴压冲击相比破坏规律基本相同,在轴向载荷保持不变时,随着冲击载荷的增大,煤样的变形破坏程度逐渐增大,但煤样的破坏程度比轴压为 30% R_c 时小,说明轴向载荷提高了煤样的抗冲击能力。当轴向载荷较小(例如 30% R_c)且与冲击载荷总和小于煤样的静载抗压强度时,煤样不发生破坏变形;当二者之和接近煤样的静载抗压强度时,煤样开始发生破坏,煤样表面产生裂纹,并有碎块脱落。此时继续增大冲击载荷,煤样的破坏更加剧烈,大量碎块崩出,煤样整体失稳。与轴向载荷为 30% R_c 时相比,轴向载荷为 70% R_c 时煤样的破

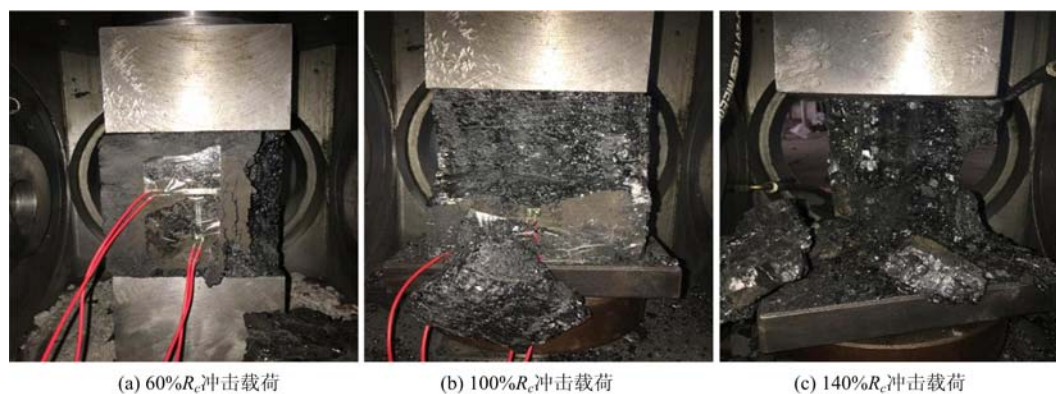


图 8 无轴压不同大小冲击载荷作用下煤样的破坏形态

Fig. 8 Coal samples damage form under no axial compression and different impact loading

坏程度更大,说明当轴向载荷为 70% R_c 时,在轴向载荷的作用下煤样内部产生新裂纹,降低了煤样的强度,此时再向煤样施加冲击载荷,煤样更易发生破坏,煤样冲击破坏程度减小,并未有大量碎块崩出,且崩出碎块变小。



图9 30% R_c 轴压不同大小冲击载荷作用下煤样的破坏形态

Fig. 9 Coal samples damage form under 30% R_c axial compression and different impact loading

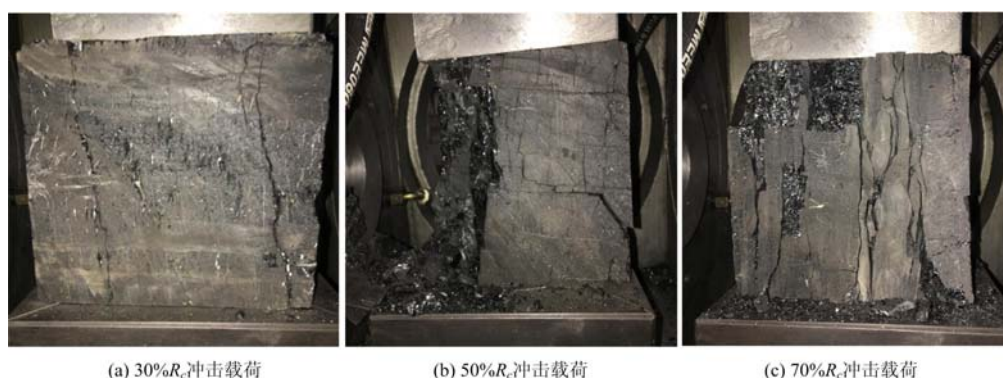


图10 70% R_c 轴压不同大小冲击载荷作用下煤样的破坏形态

Fig. 10 Coal samples damage form under 70% R_c axial compression and different impact loading

4 结论

(1) 在吸取现有试验设备优缺点的基础上结合矿井生产现场实际,自行研制了蓄能落锤式动静组合加载试验系统,该系统具备压力伺服控制,应力应变曲线实时全自动采集等特点。典型的特点是动静组合加载、高应力及大尺寸,初步解决了现有试验设备无法施加冲击载荷、尺寸较小等问题。

(2) 利用该设备进行煤岩动静组合加载试验。结果表明,煤样抵抗动态冲击的能力大于其静载抗压强度;随轴向载荷的增大,煤样抵抗冲击的能力先增大后减小。当冲击载荷较大时,煤样裂纹较少,崩出碎块较大。当轴向载荷较大时,煤样内部裂纹较多,崩出碎块较小。试验测得煤样应变率范围在 $10^{-1} \sim 10^{1.5}$ 之间,该应变率范围更接近现场实际。

(3) 本文试验系统的成功研制,为深入研究深部矿井煤岩在高应力、强扰动等复杂环境下的力学性质及冲击地压灾害的防治提供了物质基础,该系统在经济性、稳定性及可操作性等方面均具有一定优势,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2008 (QI Qingxin, DOU Linming. Impact earth pressure theory and technology[M]. Beijing: China Mining University Press, 2008 (in Chinese))
- [2] 齐庆新, 史元伟, 刘天泉. 冲击地压粘滑失稳机理的实验研究[J]. 煤炭学报, 1997(2): 34—38 (QI Qingxin, SHI Yuanwei, LIU Tianquan. Mechanism of instability caused by viscous sliding in rock burst[J]. Journal of China Coal Society, 1997(2): 34—38 (in Chinese))
- [3] 齐庆新, 毛德兵, 王永秀. 冲击地压的非线性非连续特征[J]. 岩土力学, 2003(S2): 575—579 (QI Qingxin, MAO Debing, WANG Yongxiu. A study of nonlinear and discontinuous characters of rock burst[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003(S2): 575—579 (in Chinese))

- [4] 窦林名, 赵从国. 煤矿开采冲击矿压灾害防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006 (DOU Lingming, ZHAO Congguo. Coal mining rock-burst disaster prevention[M]. Xuzhou: China Mining University Press, 2006 (in Chinese))
- [5] 窦林名, 何江, 曹安业, 等. 动载诱发冲击机理及其控制对策探讨[C]//中国煤炭学会成立五十周年高层学术论坛论文集. 中国煤炭学会, 2012:6 (DOU Linming, HE Jiang, CAO Anye, et al. Mechanism and prevention methods discussion on coal mine rock burst induced by dynamic load[C]//The 50th Anniversary of the Founding of China Coal Society, Academic BBS on Top. China Coal Society, 2012:6 (in Chinese))
- [6] 潘一山, 吕祥锋, 李忠华, 等. 高速冲击载荷作用下巷道动态破坏过程试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(5): 1281—1286 (PAN Yishan, LV Xiangfeng, LI Zhonghua, et al. Experimental study of dynamic failure process of roadway under high velocity impact loading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(5):1281—1286 (in Chinese))
- [7] 姜耀东, 赵毅鑫, 刘文岗, 等. 煤岩冲击失稳的机理和实验研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009 (JIANG Yaodong, ZHAO Yixin, LIU Wengang, et al. The mechanism of instability of coal and rock and experimental research[M]. Beijing: Science Press, 2009 (in Chinese))
- [8] 姜耀东, 赵毅鑫, 宋彦琦, 等. 放炮震动诱发煤矿巷道动力失稳机理分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(17):3131—3136 (JIANG Yaodong, ZHAO Yixin, SONG Yanqi, et al. Analysis of blasting tremor impact on roadway stability in coal mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(17):3131—3136 (in Chinese))
- [9] 王来贵, 黄润秋, 张倬元, 等. 超前强扰动诱发岩石力学系统失稳及其防灾意义的探讨[J]. 自然灾害学报, 1997(2):57—61 (WANG Laigui, HUANG Runqiu, ZHANG Zhuoyuan, et al. Inducing failure of rock mechanics system by advanced great disturbance and its significance for hazard prevention[J]. Journal of Natural Disasters, 1997(2):57—61 (in Chinese))
- [10] 王来贵, 刘向峰, 马少鹏. 岩石试件非稳定破坏演化过程分析[C]//新世纪岩石力学与工程的开拓和发展——中国岩石力学与工程学会第六次学术大会论文集. 中国岩石力学与工程学会, 2000:4 (WANG Laigui, LIU Xiangfeng, MA Shaopeng. Analysis on unstable failure process of rock sample[C]//The Exploration and Development of Rock Mechanics and Engineering in the New Century, the Chinese Society of Rock Mechanics and Engineering Sixth Academic Conference Proceedings. The Chinese Society of Rock Mechanics and Engineering, 2000:4 (in Chinese))
- [11] 刘少虹, 秦子晗, 娄金福. 一维动静加载下组合煤岩动态破坏特性的试验分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(10):2064—2075 (LIU Shaohong, QIN Zihan, LOU Jinfu. Experimental study of dynamic failure characteristics of coal-rock compound under one-dimensional static and dynamic loads[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(10):2064—2075 (in Chinese))
- [12] 刘少虹. 动载冲击地压机理分析与防治实践[D]. 煤炭科学研究总院, 2014 (LIU Shaohong. The study on the mechanism and prevention of dynamic-loading rock burst[D]. Coal Science Research Institute, 2014 (in Chinese))
- [13] 马春德, 李夕兵, 陈枫, 等. 单轴动静组合加载对岩石力学特性影响的试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2004, 24(4):1—3, 7 (MA Chunde, LI Xibing, CHEN Feng, et al. Test and study of mechanical properties of rock under uniaxial static and dynamical combination load[J]. Mining Research and Development, 2004, 24(4):1—3, 7 (in Chinese))
- [14] 左宇军, 李夕兵, 唐春安, 等. 二维动静组合加载下岩石破坏的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(9):1809—1820 (ZUO Yujun, LI Xibing, TANG Chun'an, et al. Experimental investigation on failure of rock subjected to 2d dynamic-static coupling loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(9):1809—1820 (in Chinese))
- [15] 李夕兵, 宫凤强, 高科, 等. 一维动静组合加载下岩石冲击破坏试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(2):251—260 (LI Xibing, GONG Fengqiang, GAO Ke, et al. Test study of impact failure of rock subjected to one dimensional coupled static and dynamic loads[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(2):251—260 (in Chinese))
- [16] 何满潮, 刘冬桥, 宫伟力, 等. 冲击岩爆试验系统研发及试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(9):1729—1739 (HE Manchao, LIU Dongqiao, GONG Weili, et al. Development of a testing system for impact rock bursts[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(9):1729—1739 (in Chinese))

On the development and application of an experimental system based on energy storage drop hammer combined static and dynamic loading

WEN Yan-kai, LIANG Bing, SUN Wei-ji

(School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China)

Abstract: According to deep coal mine complex environment characteristics of coal petrography subjected to high stress and strong mining disturbance, an experimental system based on energy storage drop hammer combined static and dynamic loading was designed and developed. Its structure, technical index and functions are detailed introduced in this paper. This system can exert axial impact load, axial static load and lateral static load to sample respectively to realize combined static and dynamic loading. This system use large size samples and the impact load exerted to sample is closer to actual situation. High precision sensors, such as impact force sensor and dynamic strain gauge were adopted to real-time monitor and recode the strain and impact loading of sample. Using this system, combined static and dynamic loading experiment was carried out for coal samples subjected to the same axial load and different impact loads. The impact force and strain data during loading process were real-time recorded. Through stress-strain curve of coal samples, the stress and strain variation of coal samples under different load was analyzed. Through the observation of coal sample, the damage deformation characteristics were analyzed. Damage and deformation patterns of coal samples under different combined dynamic and static loads were preliminary studied. Above developed experimental system has enriched the mechanical property's study means for deep rock under high stress and strong mining disturbance environment, and provide scientific experiment basis for prevention and treatment of impact earth pressure disasters.

Keywords: rock mechanics; impact earth pressure; combined static and dynamic loading; testing system