

The Experimental Study on Compressive Property of Backfill

Xiongfei Xiao, Hao Meng, Ming Zhao, Jian Miao

General Prospecting Institute, China National Administration of Coal Geology, Beijing
Email: 357901710@qq.com

Received: Feb. 7th, 2018; accepted: May 14th, 2018; published: Dec. 15th, 2018

Abstract

In order to ensure the efficiency of backfill mining to suppress the surface subsidence, by taking Xingtai Coal Mine in Jizhong Energy Group as the project background, several factors which affected the deformation of the backfill were analyzed, an experimental study was carried out on the effect of the size of the filling gangue. The research shows that one of the main factors affecting surface subsidence is the amount of compression of the backfill. The size of the gangue particle has a certain correlation with the amount of compression of the backfill, and the surface subsidence can be controlled by optimizing the gangue particle to adjust the amount of compression of the backfill.

Keywords

Surface Subsidence, Gangue Particle, the Amount of Compression of the Backfill, Backfill Mining

充填体压缩性能的试验性研究

肖雄飞, 孟浩, 赵明, 苗健

中国煤炭地质总局勘查研究院采空所, 北京

作者简介: 肖雄飞(1988-), 男, 工程师, 主要从事采空塌陷地质灾害防治。

Email: 357901710@qq.com

收稿日期: 2018年2月7日; 录用时间: 2018年5月14日; 发布日期: 2018年12月15日

摘要

为保障充填开采对抑制地表沉陷影响的高效性, 以冀中能源邢台煤矿为工程背景, 对充填体变形多个影响因素展开分析, 就充填矸石粒径大小的影响进行了试验性研究。研究表明, 影响地表沉陷的主要因素之一是充填体压缩率; 矸石粒径大小与充填体压缩率有一定的相关性, 可通过优化选择矸石粒径来调节矸石的压缩率, 以此来控制地表沉陷。

关键词

地表沉陷, 矸石粒径, 充填体压缩率, 充填开采

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

综采高产高效充填工作面充填体的压缩性能是矿井控制地表沉陷和预防地表移动变形的一个重要性质[1][2][3][4][5]。它不仅受到充填材料本身的影响, 而且受到充填配料方式和工作面作业方式的影响。因此, 井下综采中的高产、高效矸石充填对地表沉陷的控制应该从充填体压缩性能上入手, 减小压缩率, 加强对顶板下沉的控制。一般来说, 矸石综采充填方法可以减少环境污染和最大潜能地发挥工作面综采设备的能力, 对提高工作面的产量和效率意义重大。但是充填后较大的矸石压缩率将会导致工作面充填体对覆岩控制程度不够, 给工作面的顶板管理以及地表沉陷的控制带来较大的挑战, 不利于工作面的稳产, 经济效益的提高和建下采煤、采动的要求。因此, 应根据地质、经济、技术、矿压、管理等因素综合考虑, 通过完善充填体颗粒大小、提高充填体强度等一系列措施减少充填体压缩率。充填体压缩率的变化影响着上覆岩层的移动变化, 充填体压缩率越大, 覆岩的移动范围就越大, 对地表沉陷与移动的控制效果越差[5]-[15]。

以冀中能源集团金牛能源股份有限公司邢台煤矿为工程背景, 通过实验室试验研究矸石粉煤灰混合充填料中矸石粒径的大小对充填体压缩率的影响, 以便在将来对煤矿充填采煤地表沉陷控制进行理论指导。

2. 工程概况

充填采煤即通过综合机械化设备将充填材料置于采空区内, 抑制上覆岩层的移动、变形, 进而有效

地控制地表移动变形[16]。充填采煤控制地表沉陷的因素有充填前顶底板移近量、充填体欠接顶量、充填体压缩率、底板浮煤压缩率等。研究表明,前3个因素是影响地表沉陷的主要因素。笔者主要通过研究充填体的压缩率入手,强调充填体的压缩率大小对地表的影响,加强对地表沉陷与移动变形的控制。其中,充填体压缩率对地表沉陷影响示意图如图1所示。

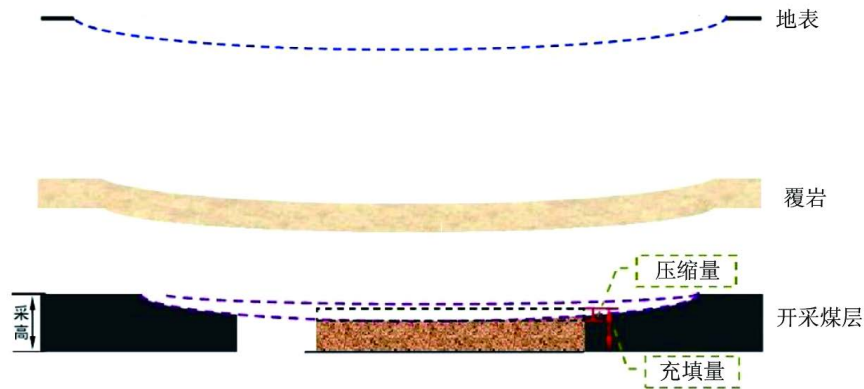


Figure 1. The sketch of the effect of filling body compression on the surface subsidence
图1. 充填体压缩率对地表沉陷影响示意图

3. 充填体压缩影响性分析

结合邢台煤矿工作面生产情况,在有利于顶板稳定和控制地表下沉量的前提下合理提出影响充填体压缩率的因素。充填采煤法类似于以岩性较软的充填体和岩性较硬的煤层进行替换。在顶板覆岩的压力下充填体就会发生相对于顶底部的压缩变形,对地表沉陷和变形造成影响[17]。其中,充填材料的含水量或泌水性、充填体颗粒大小以及充填体的强度会影响充填体压缩率的变化。

3.1. 充填材料粒径大小对充填体压缩变形的影响

对于矸石充当单一充填材料,国内已研究过不同矸石粒径应力、应变的关系。通过试验可知,对矸石充填体施加同样的轴向载荷,矸石的粒径越大,也将产生较大的压缩变形,即粒径越大,充填体压缩率越高。产生该现象的主要原因是大粒径的矸石材料,其颗粒间具有较大的孔隙和较高的孔隙度,在其受轴向力产生压实过程中,这些孔隙将被压缩和填塞,以致产生较大的应变。

3.2. 充填材料含水量对充填体压缩变形影响

通常情况下矸石充填材料含水量会对充填体的压缩变形造成一定程度的影响[18]。但一般的矸石都是就近取材,改变其含水量的难度较大,故对其含水量不作重点研究。通过对7608工作面的现场测试,充填材料的平均含水量为9.18%。

3.3. 压实方式对充填体压缩变形的影响

充填工作面倾角越大,充填的矸石在自重力作用下越容易密实,其充填效果亦较好[19]。提高矸石的初始压实率能有效减小等价采高,更好地控制地表沉陷与变形。具体表现为捣实机加强对矸石的作用,使其尽量充满充填区域。

3.4. 充填采煤提高充填体压缩性能的措施

充填体压缩率还受充填体强度和围岩压力的影响,充填体强度越大,压缩率越小[6]。矸石粉煤灰充

填与传统单一矸石充填不同, 矸石作为充填骨料, 粉煤灰则用来当作辅料减少充填料中的空隙, 以便提升充填体压缩性能。提高充填体的压缩性能可以通过减小压缩率的方式来实现, 例如可以调节充填体材料颗粒大小和压实方式, 还可以进行注浆补强, 同时也要控制好充填的成本, 合理进行井下充填。采煤过程中, 需要不断改善工作条件, 采用更多的完善方案, 在满足安全要求的前提下最大限度地提高经济效益, 选择相应合适的措施。

4. 矸石粒径大小对充填体压缩率影响的试验

通常情况下充填体强度的研究比较多一些, 而关于充填体粒径的研究比较少, 通过大量试验研究, 得出了不同矸石粒径大小充填体对地表沉陷的影响规律。鉴于该矿是矸石和粉煤灰混合充填, 与单一矸石充填有所区别, 该试验研究不同矸石粒径大小对混合充填体压缩变形的影响。由 7606 工作面现场实际生产可知充填开采时, 采用的是矸石和粉煤灰固体混合物密实充填, 通过实际过程中科学的配比研究, 选定矸石与粉煤灰的质量配比为 10:3。可统一试验矸石和粉煤灰的质量配比, 对充填材料进行单轴抗压试验, 对不同矸石粒径充填体压缩率进行分析, 研究相同载荷作用下充填体的压缩变形规律。

4.1. 矸石粉煤灰压缩试验设计

试验采用自制圆柱形钢筒, 将制备好的矸石粉煤灰混合体放入圆柱形钢筒内, 在试件上放上传递载荷的钢柱, 采用压力试验机对其进行加载。加载不同粒径的矸石粉煤灰充填体, 记录施加的载荷及其相应的压缩率, 计算各组试件在试验中的压缩率。

用实验室粒径筛选机筛选矸石, 得到 0~0.6、0.6~2.5、2.5~5、5~10、10~15、15~20 mm 共 6 组单粒径矸石。对不同粒径的矸石进行轴向压缩试验, 研究各组试样的变形特征, 轴向压力加载速率为 1 N/s, 采集的数据为轴向应力和轴向压缩变形量。试验中采用的自制模具为圆柱形钢筒, 内径为 8.0 cm, 外径为 9.0 cm, 壁厚为 0.5 cm, 筒高 16.0 cm。统计研究结果表明, 试验所用钢筒内径(D)与试样最大粒径(d_{\max})之间合理关系为: $d_{\max} \leq D/5$ 。试验所用钢筒 D 为 80 mm, 因此矸石的最大单粒径区间为 15~20 mm, 基本满足要求。试验时, 圆柱形钢筒侧压大致处于相同条件, 可采用控制变量法, 只研究轴向应力对充填体压缩率的影响。设计单轴压力分别为 10、25、50、100 kN, 根据圆筒内充填体受压面积, 计算可得对应的轴向应力依次为 2、5、10、20 MPa。试验所用筛选矸石粒径的器材、矸石粉煤灰放置在圆柱形钢筒后进行加载的示意图如图 2 所示。



Figure 2. The schematic diagram of specimen loading equipment
图 2. 试件加载设备示意图

4.2. 矽石粒径与充填体压缩变形相关性分析

试验的研究目的是掌握矽石粉煤灰充填体压缩特性，找出充填体矽石粒径与压缩变形的对应关系，可在实际可操作范围内选出优化的粒径方案，进一步减小充填体的压缩率，进而更好地控制地表沉陷。充填体压缩率可通过压缩率和装样高度的比值进行计算。其中，压缩率的计算公式为：

$$V = (H_0 - H_1) / H_0 \times 100\%$$

式中： V 为压缩率，%； H_0 为充填体试件未压缩前的高度，mm； H_1 为充填体受轴向压力作用稳定后的高度，mm。

将试验前后充填体进行对比可知，未压缩前的充填料比较松散，颗粒较大，压缩后矽石发生破碎，颗粒变小，并且矽石和粉煤灰密实在一起，充填体随着转载钢柱往下移动了一段距离，挤压破碎后的矽石体积变小将空隙进一步减小，使充填体进一步压实，如图3所示。

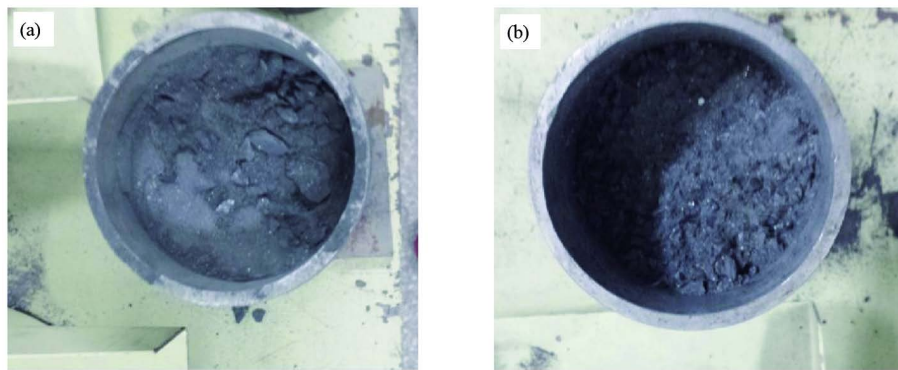


Figure 3. The sketch of gangue fly ash in the steel cylinder before and after compression
图3. 钢筒内矽石粉煤灰压缩前(a)、后(b)示意图

由图4可以看出，轴向应力为20 MPa时，最大的压缩率为33%左右，最小的压缩率也有23%左右，数值有较大差异。不同矽石粒径大小的充填体充填效果不同，具体表现为矽石粒径越小充填效果越好，但并不是简单的线性关系。当粒径小于2.5 mm时，充填体压缩率的变化非常缓慢，可能由于材料之间距离较近，分子之间产生斥力，导致压缩变得困难。当不同粒径矽石充填体承受相同轴压时，压缩率随着矽石粒径的减小而减小，矽石粒径最小的充填体压缩率最小，最大的充填体压缩变形也最明显。

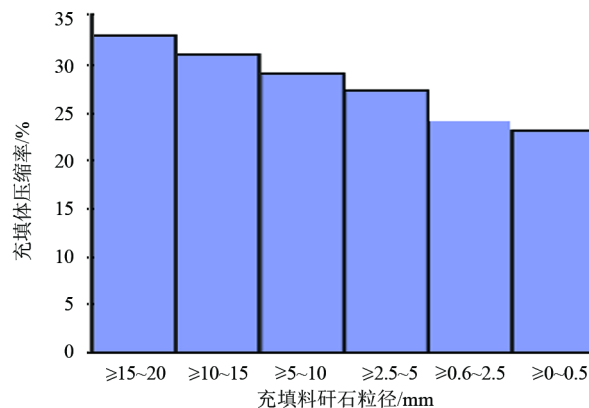


Figure 4. The compression rate of filling body at 20 MPa axial stress
图4. 轴向应力20 MPa时充填体压缩率

对不同矸石粒径大小的混合料充填体进行相同的轴向加载试验可得其压缩曲线如图 5 所示。

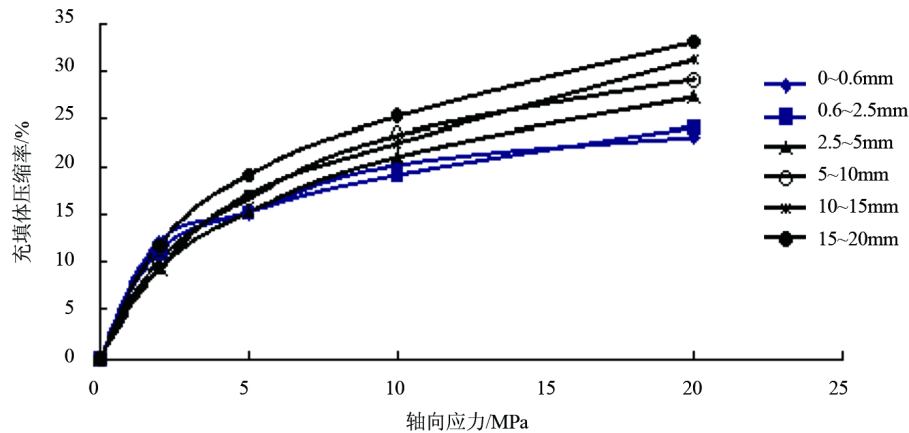


Figure 5. The variation of stress compression of filling body with different sizes of gangues
图 5. 不同矸石粒径充填体受力压缩变化图

对比曲线可以看出, 充填体中矸石粒径大小和充填体压缩变形量呈正相关关系。施加同样的轴向载荷, 矸石粒径较大的充填体, 对应的压缩率也比较大, 矸石粒径较小的充填体, 压缩变形也会较小一些。矸石粉煤灰混合充填体在刚开始施加轴向应力载荷时, 压缩率随着载荷增加而迅速增加, 轴向加载从 0 到 5 MPa 之间曲线切线斜率最大, 压缩率增长最快。轴向加载进行了一段时间后, 充填体中的矸石粉煤灰进行了初步的压实, 颗粒之间相互运动困难, 活动的空间变小, 主要在 10 MPa 以后压缩变形增速变得特别小。施加轴向载荷时间继续增加, 应力也不断变大, 充填体的压缩率逐渐趋向稳定, 压缩率保持一个稳定值。

5. 结语

通过对充填料矸石粒径大小的研究表明, 矸石粒径大小对充填体压缩率有一定的规律可循, 可通过优化选择矸石粒径调节矸石的压缩率因素来控制地表沉陷。充填体受压缩之后压缩率越大, 则控制地表及覆岩移动的效果越差, 反之则控制效果越好。充填体中矸石粒径越大, 对应充填体压缩率越大, 抵抗压缩变形的能力越弱, 要对输送、加工以及施工成本等进行综合考虑, 采用合理粒径范围的矸石进行充填。当矸石的压缩率较小时, 充填完成后的充填区域顶底板移近量较小, 其控制地表沉陷的效果也越好, 充填效果显著。

参考文献

- [1] 徐斗斗, 郭广礼, 栗帅, 等. 矸石充填体压缩率对充填效果影响的数值模拟[J]. 金属矿山, 2011(3): 42-45.
- [2] 杨宝贵, 王俊涛, 李永亮, 等. 煤矿井下高浓度胶结充填开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 22-26.
- [3] 胡炳南, 郭爱国. 矸石充填材料压缩仿真实验研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(8): 1076-1080.
- [4] 张建公, 张步勤. 年产百万吨工作面高效充填综采技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(7): 63-66.
- [5] 王磊, 张鲜妮, 郭广礼, 等. 固体密实充填开采地表沉陷预计模型研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(7): 1973-1978.
- [6] 徐文彬, 宋卫东, 王东旭, 等. 胶结充填体三轴压缩变形破坏及能量耗散特征分析[J]. 岩土力学, 2014, 35(12): 3421-3429.
- [7] 张波, 李术才, 张敦福, 等. 含充填节理岩体相似材料试件单轴压缩试验及断裂损伤研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(6): 1647-1652.
- [8] 周跃进, 陈勇, 张吉雄, 等. 充填开采充实率控制原理及技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(3):

351-357.

- [9] 缪协兴. 采动岩体的力学行为研究与相关工程技术创新进展综述[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(10): 1988-1998.
- [10] 张吉雄, 吴强, 黄艳利, 等. 矸石充填综采面矿压显现规律研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(S0): 1-4.
- [11] 余伟健, 王卫军. 不同压实矸石充填体置换“三下”煤柱的岩层移动规律[J]. 力学与实践, 2011, 33(2): 39-45.
- [12] 张新国, 江宁, 江兴元, 等. 膏体充填开采条带煤柱充填体稳定性监测研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 13-15.
- [13] 白国良. 膏体充填综采工作面地表沉陷规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 102-105.
- [14] 马立强, 李永升. 煤矿井下矸石置换煤炭清洁生产技术[J]. 煤炭学报, 2010, 35(5): 816-819.
- [15] 侯朝炯, 易安伟, 柏建彪, 等. 高水灰渣速凝材料巷旁充填沿空留巷的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 1995, 23(2): 2-5, 34, 63.
- [16] 张强, 张吉雄, 巨峰, 等. 固体充填采煤充实率设计与控制理论研究[J]. 煤炭学报, 2014, 39(1): 64-71.
- [17] 谢生荣, 张广超, 何尚森, 等. 深部大采高充填开采沿空留巷围岩控制机理及应用[J]. 煤炭学报, 2015, 39(12): 2362-2368.
- [18] 胡炳南. 我国煤矿充填开采技术及其发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(11): 1-5.
- [19] 杨敬轩, 刘长友, 杨培举, 等. 急倾斜煤层工作面下端头区巷旁充填技术研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(2): 543-550.

[编辑] 邓磊

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org