

急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置的研制

廖泽,冯涛*,姚琦,马超甫

(湖南科技大学资源环境与安全工程学院,湖南湘潭411201)

摘要:采矿相似材料模拟实验是研究采矿工程问题常用的方法,为了解决传统急倾斜相似模拟实验装置填模困难,加载不均,载荷恒定困难等问题,基于平面理论自行研制了急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置,由实验架、填模装置以及杠杆加载装置等组成.装置具有填模简便,方便相似材料的压实工作,可大大减少工作量;能够适应任意角度的煤层开采相似模拟实验;同时,加载装置利用了杠杆原理,能够提供加载量3倍(甚至更大)的竖向恒压,能扩大加载载荷范围,更具灵活性.该装置具有结构简单合理、成本较低、操作方便、适用范围广等特点.

关键词:急倾斜煤层;相似模拟;填模装置;恒压加载

中图分类号:TD823 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)02-0018-05

Development of Plane Similar Simulation Experiment Device for Steep Seam Mining

Liao Ze, Feng Tao, Yao Qi, Ma Chaofu

(School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Mining similar simulation experiment is a method of studying mining engineering problems. In order to solve the traditional problem of mold filling difficult, loading unevenness and constant load for steep seam mining similar simulation experiment device, this paper, based on the plane theory, develops a similar simulation experiment device, which is mainly composed of experimental frame, filling device and lever loading device and other components. The device has the advantages of simple filling and easy compaction of similar materials, which can greatly reduce the workload, adapt to any angle coal seam mining similar simulation experiment. Meanwhile, the loading device uses the lever principle, which can provide loading 3 times (or more) of the vertical constant pressure, expand the load range, and will be more flexible. The device has the advantages of simple and reasonable structure, low cost, convenient operation, and wide application.

Keywords: steep inclined coal seam; similar simulation; filling device; constant pressure loading

由于矿山岩体是一种属性极其复杂的复合介质,开采引起的岩层与地表移动是一个复杂的力学过程.在矿山开采活动的影响下,岩体中的不同部分、不同时间发生着不同类型的变形和破坏现象,而且这些现象形成的过程具有不可见性、不可接触性,为理论研究和现场实际观测带来了较大的困难.同时,在矿山真实开采条件下进行现场研究,不仅工作量大,且历时时间长、费用高,并且对采区布置参数、开采工艺及开采顺序的改变十分困难,测试手段和观测方法也受到矿山现场实际的限制.因此,通过实验室采用相似材料模拟的手段来再现矿山开采过程,成为研究其内在规律的一种有效手段^[1,2].

收稿日期:2017-05-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51274095);湖南省研究生科研创新基金资助项目(CX2016B572);湖南科技大学煤炭资源清洁利用与矿山环境保护湖南省重点实验室开放基金资助项目(962-E21703)

*通信作者,Email:tfeng@hust.edu.cn

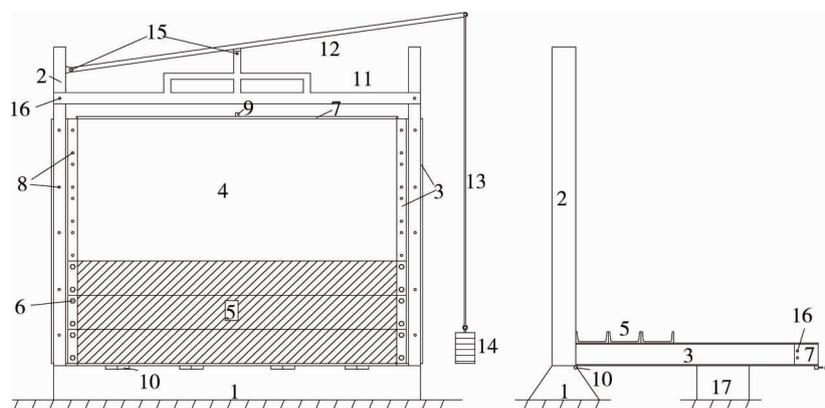
相似材料模拟实验是一种以相似理论为基础,通过一定的相似材料模型在相似模拟实验装置中进行矿山实际工程问题的研究^[3,4].而相似材料模拟实验装置主要根据研究要求对研究事物的形态,工作规律或信息传递规律,遵守一定的原则,在特定的条件下,在模型上的一种相似再现,通过模型上的相似再现,来研究真实对象中发生的现象和过程的规律性,从而达到解决实际问题的目的^[5,6].传统的相似模拟实验装置相似材料的填埋,大多在竖直平面分层装填,通常适用于模拟地质条件较好、煤层倾角较小的模拟实验,且工作量大,装填困难,并在操作过程中具有一定危险性.而面对急倾斜或大倾角煤层的相似材料装填时,在竖直平面分层装填会出现砂浆因分层倾角较大而下滑,出现装填困难、装填工序复杂等问题;且大多传统的相似模拟实验装置采用的是顶部用千斤顶压刚性板的加载方式,使得千斤顶压头处的受力大而外缘受力小,加载不均,对相似模拟结果的准确度产生了一定影响^[7,8].因此,急需研制一种性能优良,结构简单,技术先进的平面相似模拟实验装置,以满足采矿工程学科尤其是大倾角以及急倾斜煤层相似模拟的实验要求.

本文基于平面理论,自行研制了急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置,解决了传统相似模拟实验填模困难,加载不均,载荷恒定困难等技术难题,为采矿学科的科研与实验教学提供了一种新的更为简便、安全的矿山相似模拟实验方式.

1 实验装置的结构特点

急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置主要由实验架、填模装置以及杠杆加载装置3部分组成,其结构如图1所示.为了使实验装置的主体结构能够保证刚度、强度以及稳定性的要求,同时又便于操作及观测等,全部由钢结构组成.模拟装置有效尺寸长2.5 m,高2 m,宽0.2 m.模型实验架由底座与立柱组成,采用槽钢以及角钢焊接而成,两侧立柱钻有螺母孔,底座焊接有合页;填模装置由主承载钢板、两侧钢板以及下部钢板焊接而成,为保证足够的承载力,主承载钢板底面焊接有加强槽钢,顶部配套有上部紧固板,由两侧插销进行组合固定,为了便于装载相似材料,设有由槽钢叠成的挡板,每一根槽钢都可以独立拆下;整个填模装置均由行车或吊车进行提升,填模装置提升立起后,通过主承载钢板两侧螺母孔与实验架立柱连接固定;加载装置主要包括加载传力梁和传力杠杆,传力杠杆通过铰接件与实验架立柱以及加载传力梁铰接,加载传力梁两侧通过限位销限位,加载托盘通过钢绞绳连接在传力杠杆的另一侧.实验装置的特点是结构简单合理、成本较低、操作便捷,载荷稳定性均匀性好,相似材料模型装填方便省时,能够很好的针对各种倾角的煤层进行相似模拟实验.

为了满足研究及实验的要求,实验装置应具备以下技术指标:(1)模型有效尺寸为2.5 m×2.0 m×0.2 m;(2)加载应力范围为0.1~2.0 MPa;(3)稳压时间不小于30 d;(4)载荷误差小于1%;(5)能够有效控制平面模型应力条件与载荷的均匀程度.



1-实验架底座;2-实验架立柱;3-填模装置;4-相似模型材料;5-夹固槽钢;6-紧固螺母;7-上部紧固板;8-紧固螺母孔;9-提升套环;10-合页;11-加载传力梁;12-传力杠杆;13-钢绞绳;14-加载托盘与加载砝码;15-铰接件;16-限位销;17-工作台

图1 急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置

2 相似材料填模装置

现行的大倾角煤层开采物理相似模拟实验装置相似材料装填不方便,压实困难,尤其是急倾斜煤层开采的物理相似模拟实验,在 45° 以上的倾斜面上进行相似材料的装填尤为困难、工序十分复杂等.考虑上述问题,选择结构合理,相似材料装填方便,且多用途的急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置的填模装置就显得尤为必要.根据传统的一些煤层开采相似模拟实验装置,自行设计研制了带有独立填模装置的急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置,选择将填模装置平放或与水平成一定角度放置,来进行相似材料的装填;填模时装置放置在工作台上,通过分层模板进行相似材料的分层铺设与压实,填模完成后,按顺序组装如图1夹固槽钢5,组合成挡板,然后将填模装置通过行车或吊车提升至与实验架吻合位置并固定,即完成填模工作,待模型自然风干不小于30 d,相似材料达到实验条件后,取下上部紧固板7,放置如图4中传力木方M,进行加载和相似模拟开挖实验.图2所示为相似材料填模装置.

如图2b所示,将填模装置平放,将分层模板与装置底板成 α 角度放置,按照相似模型的煤、岩层厚度进行相似材料的装填与压实,其中 α 为煤层与填模装置底板的夹角,也即模拟的实际煤层的倾角; α 可设置成 $0^\circ \sim 90^\circ$ 内任意角度,即可以进行任意角度的煤层开采相似模拟实验,尤其是针对大倾角、急倾斜煤层的开采相似模拟实验,同时解决了传统垂直分层装填会出现的砂浆因分层倾角较大而下滑的问题,使相似材料的装填更便捷,更安全.

通过将填模装置平放或与水平成一定角度放置,进行相似材料的分层装填并压实,可以使装填步骤更加简便安全,工作量小.而且通过分层模板与底板成不同角度的装设,可分层装填任意倾角煤、岩层的模型进行模拟实验.



图2 相似材料填模装置实物

3 杠杆重力加载装置

3.1 杠杆加载原理

图3为杠杆加载装置结构简图以及受力分析,其中, F_1 为杠杆加载装置对相似模型施加的力, L_1 为被动力臂, F_2 为实验时给加载装置增加砝码的重力, L_2 为主动力臂,其相互之间的关系为

$$F_1 \times L_1 = F_2 \times L_2. \quad (1)$$

由式(1)可以看出,主动力臂与被动力臂的比值确定主动力与被动力的比值,即 $F_1 = xF_2$,其中, $x = L_2/L_1$.本实验的杠杆加载装置设计 x 取值为3,即给相似模型提供加载量3倍的竖向恒定载荷.

杠杆加载装置利用杠杆原理,一端是可以旋转的,另一端是主动力端,根据传力杠杆的长度,即主动力臂与被动力臂的比值,利用加载砝码为实验台提供竖向恒压,通过增减砝码来改变加载量;通过铰接杠杆实现载荷导向,来提供加载量3倍(甚至更大)的竖向恒压,使加载装置在均匀恒定加载的条件下更

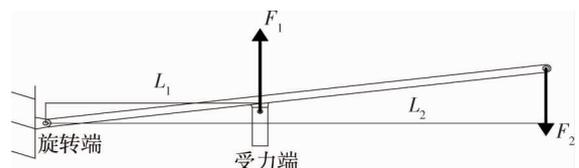


图3 杠杆加载装置结构

加便捷省力,且能扩大加载载荷的范围,更具灵活性.图4所示即为杠杆加载装置,图中M为传力木方.

3.2 补偿载荷

根据平面相似理论,通常要求几何相似、力学相似以及边界条件相似,目前我国的煤矿急倾斜煤层开采主要采深 H 范围为400~800 m,而相似模拟实验的一般几何相似系数 A_1 选取范围为1/100~1/200;相似材料模拟实验的相似材料一般选取河沙为骨料,石膏、水泥或者石灰为胶结材料,容重相似系数 B_1 一般取0.6;煤层上覆岩层的平均密度 ρ 取值为2 500 kg/m³.

在相似模型中,一般根据煤层的平均采深将模拟煤层铺设在模型的中间位置,因此,模型中煤层上覆岩层的模拟厚度 h 为1 m,模型的横截面面积 s 为0.2 m×2.5 m,通过相似比转化后,得出模型上方未模拟到的岩层的补偿载荷 P 为^[9]

$$P = sg(\rho H A_1 B_1 - \rho B_1 h). \quad (2)$$

式中: g 为重力加速度,取10 m/s².

当煤层模拟采深 H 为800 m,几何相似系数 A_1 取1/100时,此时所需补偿载荷 P 为最大值,经计算所加补偿载荷 P 为52.5 kN;当煤层模拟采深 H 为400 m,几何相似系数 A_1 取1/200时,此时所需补偿载荷 P 为最小值,经计算所加补偿载荷 P 为7.5 kN.由此可得出模型上方未模拟到岩层的补偿载荷 P 范围为7.5~52.5 kN.

由于实验装置的加载装置采用杠杆加载,加载装置本身具有自重,因此需要计算加载装置自重所具有的载荷值,此时载荷值为加载装置所提供补偿载荷的最小值.整个加载装置采用长5 m,12 cm×12 cm的方钢和长2.5 m,厚10 mm,20 cm×20 cm的方型钢组合焊接而成,经计算,装置整体所加载荷 G 为7.22 kN;同时,为保证加载装置的安全和稳定性,传力杠杆要求有足够的抗弯强度,传力杠杆可以简化成悬臂梁,梁的弯曲正应力强度条件为^[10]

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{PL}{\frac{1}{6}bd^2} \leq [\sigma], \text{ 即 } P \leq \frac{[\sigma]bd^2}{6L}. \quad (3)$$

式中: σ_{\max} 为梁的弯曲正应力强度; M_{\max} 为梁的最大弯矩; W 为抗弯截面系数; L 为梁的长度; b 为梁的宽; d 为梁的高.根据钢的许用弯曲正应力 $[\sigma] = 160$ MPa,则梁的最大许可载荷 $P = 18.4$ kN;根据杠杆原理,提供加载量3倍的载荷,所以最大可施加的补偿载荷 $P_{\max} = 3P + G = 62.64$ kN.

从上述计算中可知,模型上方未模拟到的岩层所需的补偿载荷在加载装置所能提供的补偿应力范围内,因此能够满足所需条件内的相似模拟实验要求.

4 典型急倾斜煤层开采相似模拟实验过程演示

以湘永煤矿煤2463工作面为实验原型进行了物理相似模拟实验,模拟急倾斜煤层开采的岩层移动规律,相似模拟实验过程主要有如下步骤:

1)通过力学实验得到岩层中岩石的力学参数,再通过相似材料配比实验,得到对应的相似材料配比参数,进行相似材料的制备.

2)将实验平台平放或与水平成一定角度放置进行填模,如图5实验过程图所示,按照急倾斜煤层的角度 α 进行预制模板的分层架设,然后将制备好的相似材料按模板分层铺设在填模装置当中并进行压实处理,同时,填埋相应的数据采集工具,直至整个填模装置完成填模工作,即图5所示,最后,按顺序组装夹固槽钢,组合成挡板,如图5所示将填模装置通过实验室行车提升至与实验架吻合位置并固定,即完成填模工作;这样很容易的进行了分层、压实工作,解决了传统的相似模拟实验装置在面对急倾斜或大倾角煤



图4 杠杆重力加载装置实物

层的相似材料装填时, 竖直分层装填出现的砂浆因分层倾角较大而下滑, 出现装填困难、装填工序复杂等问题。

3) 待模型风干后, 如图4所示, 在加载托盘上放置计算好的加载秤砣, 对模型进行加载; 杠杆重力加载能够对模型进行稳定恒压加载, 解决了传统实验装置液压油缸加载及千斤顶加载所带来的油压不稳以及加载不均等问题。



图5 实验过程

5 结论

1) 研制的独立填模装置, 能够平放或与水平成一定角度放置进行模型的分层装填, 并方便相似材料的压实工作, 使装填工序更加简便、安全, 大大减少了工作量, 同时能够适应采深 400~800 m 内任意角度的煤层开采平面相似模拟实验。

2) 研制的杠杆加载装置利用了杠杆原理, 能够提供加载量 3 倍(甚至更大)的竖向重力恒压, 使加载装置在均匀恒定加载的条件下更加便捷省力, 且能扩大加载载荷的加载范围, 更具灵活性。

3) 研制了急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置, 该装置由实验架、填模装置以及杠杆加载装置等组成, 具有结构简单合理, 成本较低, 操作方便以及适用范围广等特点。

4) 通过几次急倾斜煤层开采实验, 证明研制的急倾斜煤层开采平面相似模拟实验装置解决了传统相似模拟实验填模困难, 加载不均, 载荷恒定困难等技术难题, 提供了一种新的更为简便、安全的相似模拟实验方式。

参考文献:

- [1] 王红伟, 伍永平, 曹沛沛, 等. 大倾角煤层开采大型三维可加载相似模拟试验[J]. 煤炭学报, 2015, 40(7): 1505-1511.
- [2] 张文志. 开采沉陷预计参数与角量参数综合分析的相似理论法研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [3] 李鸿昌. 矿山压力的相似模拟试验[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988.
- [4] 崔广心. 相似理论与模型试验[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [5] 张羽强. 一种新型物理相似模拟实验架结构设计[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- [6] 姜华. 采空区气体渗流相似模拟实验平台研发及应用[D]. 西安: 西安科技大学, 2013.
- [7] 刘长武, 郭永峰, 姚精明. 采矿相似模拟试验技术的发展与问题——论发展三维采矿物理模拟试验的意义[J]. 中国矿业, 2003, 12(8): 8-10.
- [8] 程卫民, 孙路路, 王刚, 等. 急倾斜特厚煤层开采相似材料模拟试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2016, 33(3): 387-392.
- [9] 苏承东, 勾攀峰, 邓广涛. 采矿平面应力相似模拟试验装置的研制[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2007, 26(2): 141-145.
- [10] 刘鸿文. 材料力学(I)(第五版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.