

文章编号: 1005-2712(2008)04-0004-04

下向进路胶结充填顶板稳定性数值模拟

王 健¹, 高卫红², 龚 飏¹, 赵 奎¹

(1. 江西理工大学 资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 武山铜矿, 江西 瑞昌 332204)

摘 要: 针对大断面胶结充填体稳定性问题, 应用数值模拟方法, 对分级尾砂充填体变形规律进行了研究, 得到了如下结论: 充填体内布筋后可有效减小顶板拉应力区域, 提高顶板的稳定性; 灰砂比为 1:4 的充填体可以作为承载层, 其变形、应力分布规律与承载梁基本吻合, 可替代钢筋混凝土人工假顶。

关键词: 胶结充填; 数值模拟; 顶板; 稳定性

中图分类号: TU375.1; TD853.34³

文献标识码: A

0 前 言

下向进路胶结充填采矿法是 20 世纪 60 年代中期在我国有色金属矿山开始应用的一种新型采矿方法, 广泛应用于金属矿山。多年来, 矿山工作者对该采矿方法的充填体的受力情况、充填体中布设钢筋的直径及形式、充填材料的选择与配比、进路断面大小等诸多方面进行了深入研究, 并取得了相应成果。例如: 充填体主要有三种作用机理^[1]; 在充填体内布筋, 可以明显改善充填体抗弯力学性能, 进而提高充填体的稳定性^[2]; 尾砂充填体与岩体的匹配分析^[3]。随着矿山充填采矿方法应用的比重的逐步提高, 充填体力学逐渐成为一门独立的力学分支^[4]。

武山铜矿采用下向进路式水砂充填法, 出矿后先铺设 300 mm 厚的钢筋混凝土假顶, 然后充以不含水泥的江砂。由于该方法工艺复杂、采幅小、效率低, 难以满足扩大断面进路开采的要求。因此, 为了简化生产工艺, 降低充填成本, 满足扩大断面后对充填体的强度的要求, 本文应用数值模拟的方法, 详细分析扩大断面后, 充填体人工假顶位移、应力场整体变化规律, 为最终确定进路尺寸、充填体的配比、合理的配筋形式提供科学依据。

1 模拟的目的及模型的建立

依据武山南矿带-210 m 中段 W4 盘区基本条件, 模拟第三分层以下胶结充填试验力学过程。此次

模拟旨在:

(1) 研究回采断面扩大后顶板充填体力学表现的变化, 为扩大断面的可行性提供依据;

(2) 验证灰砂比 1:4 充填体能否作为人工假顶以及是否具有承载梁的力学状态, 从而为该试验的推广应用及设计提供科学依据;

(3) 研究充填体配置钢筋有助于提高充填体整体稳定性的力学机制, 横筋、竖筋在充填体内所起的力学作用, 为合理配置钢筋提供科学依据。

为此建立了以下四个模型:

(1) 回采断面为 3 m×3 m 模型, 充填体下半部分灰砂比为 1:4, 充填体上半部分灰砂比为 1:8;

(2) 回采断面为 5 m×3 m 模型, 充填体下半部分灰砂比为 1:4, 充填体上半部分灰砂比为 1:8;

(3) 回采断面为 5 m×3 m 配置竖筋模型, 充填体下半部分灰砂比为 1:4, 充填体上半部分灰砂比为 1:8, 竖筋在断面中间布置一根, 两侧距离中间 1.5 m 处各布置 1 根, 断面上共 3 根;

(4) 回采断面为 5 m×3 m 配置竖筋、横筋模型, 充填体下半部分灰砂比为 1:4, 充填体上半部分灰砂比 1:8, 竖筋在断面中间布置一根, 两侧距离中间 1.5 m 处各布置 1 根, 长 1.8 m, 断面上共 3 根, 横筋布置在距离充填体顶板底部 0.5 m 处, 水平放置, 长 3 m。

2 初始条件

矿岩及充填体的物理力学参数见表 1。

收稿日期: 2008-10-15

作者简介: 王 健(1981-) 男, 山东邹城人, 硕士研究生, 主要从事采矿方法研究。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 矿岩及充填体的物理力学参数

类 型	容重 kN/m ³	弹性模量 GPa	泊松比	抗压强度 MPa	抗拉强度 MPa	黏结力 MPa	内摩擦角 (°)
上盘:风化花岗岩	26	32	0.25	100	9.8	20	38
矿体:含铜矽卡岩	35	40	0.3	190	16	22	36
下盘:大理岩	27	53	0.3	150	16	20	40
充填体(1:8)	20	0.42	0.07	2.92	0.3	0.5	16
充填体(1:4)	20.5	0.69	0.14	4.17	0.42	0.6	18

边界条件:
模型两侧的边界条件为水平位移限制,模型底部为垂直位移限制。

初始应力:
试验设备主要由加载系统、声发射系统、计算机信息处理系统组成。岩芯采用现场地质钻孔岩芯。

根据单轴压缩全程应力-应变曲线以及 Kaiser 效应原理,测得对应的应力值为 4.23 MPa。由计算得到的垂直地应力值为 5.61 MPa。按照中国大多数 $\frac{\sigma_{h,m}}{\sigma_v}$ 为 0.8~1.2^[5],同时由于目前开采深度下南矿区 W4 盘区原岩应力场对该采矿方法充填体顶板稳定性影响不十分显著,取 $\frac{\sigma_{h,m}}{\sigma_v}=0.93$ 。

3 模拟结果分析

3.1 位移变形场分析

(1)位移变形总体分布规律如图 1 所示,进路回采后,矿体侧产生的位移很小,充填体侧和人工假顶的位移较大,且都是向着开挖空间方向变形,这种位移变形规律与进路断面大小、上个分层充填体钢筋布置方式无关。换言之,进路断面尺寸、充填体钢筋布置方式不能明显影响开挖后位移场分布规律。

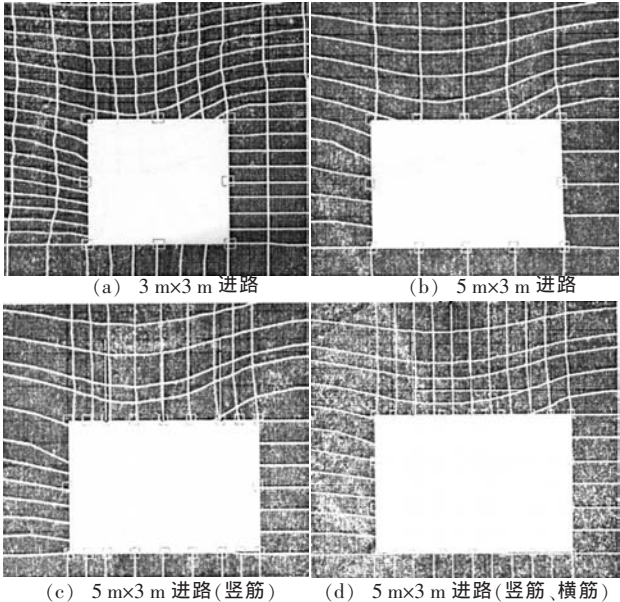


图 1 进路变形图

(2)回采进路开挖后充填体顶板垂直位移分布如图 2 所示,断面由 3 m×3 m 扩大为 5 m×3 m 后,充填体顶板垂直位移分布规律保持不变,但垂直位移量有所增大;上个分层充填体布置竖筋、横筋对充填体顶板垂直位移即下沉量几乎不产生作用。

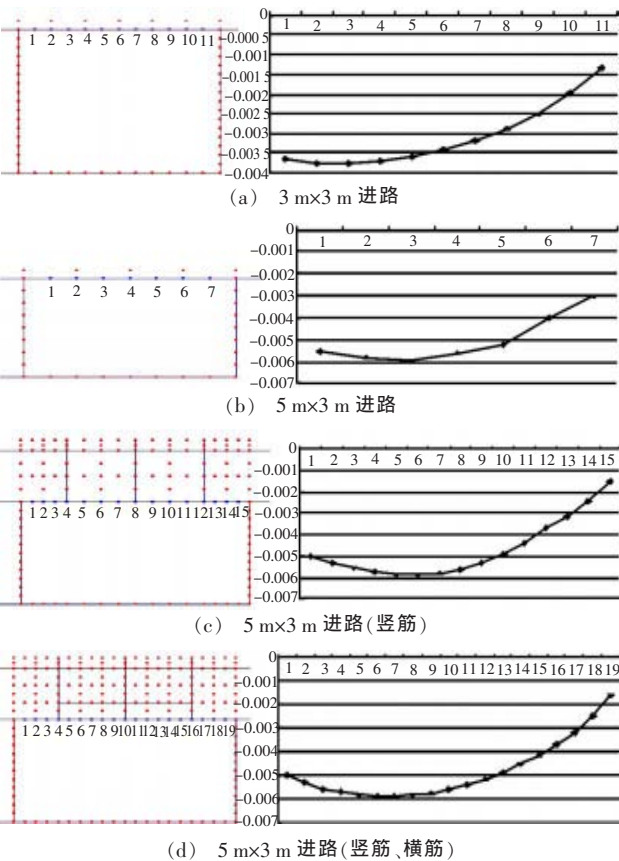


图 2 进路充填体顶板垂直位移(单位:m)

3.2 承载层应力分析

通过本项目研究,着重考察 1:4 充填体能否充当承载层,是否具有梁的性质。由于承载层最危险点在其下表面 2 个支撑力之间的中心点处,当承载层在均布载荷下破坏时,必然先沿承载层下表面在一定深度内产生拉断破坏。因此,承载层水平应力是分析承载层的关键。通常采用最大拉应力强度理论作为判断充填体稳定性的判据,原因也正在于此。

图 3 列出了 1:4 充填体中间部位水平应力和按照梁理论计算得到的理论应力分布。从图 3 可以看出,1:4 充填体中间部位水平应力分布与梁理论基本吻合,充填体钢筋布置形式不能明显影响水平应力分布状态,从而说明了:

- 第一,1:4 充填体能够作为承载层;
- 第二,采用梁理论进行承载层设计是可行的;
- 第三,充填体内布置钢筋后,仅改变局部应力状态,仍然可以采用梁理论进行理论分析。

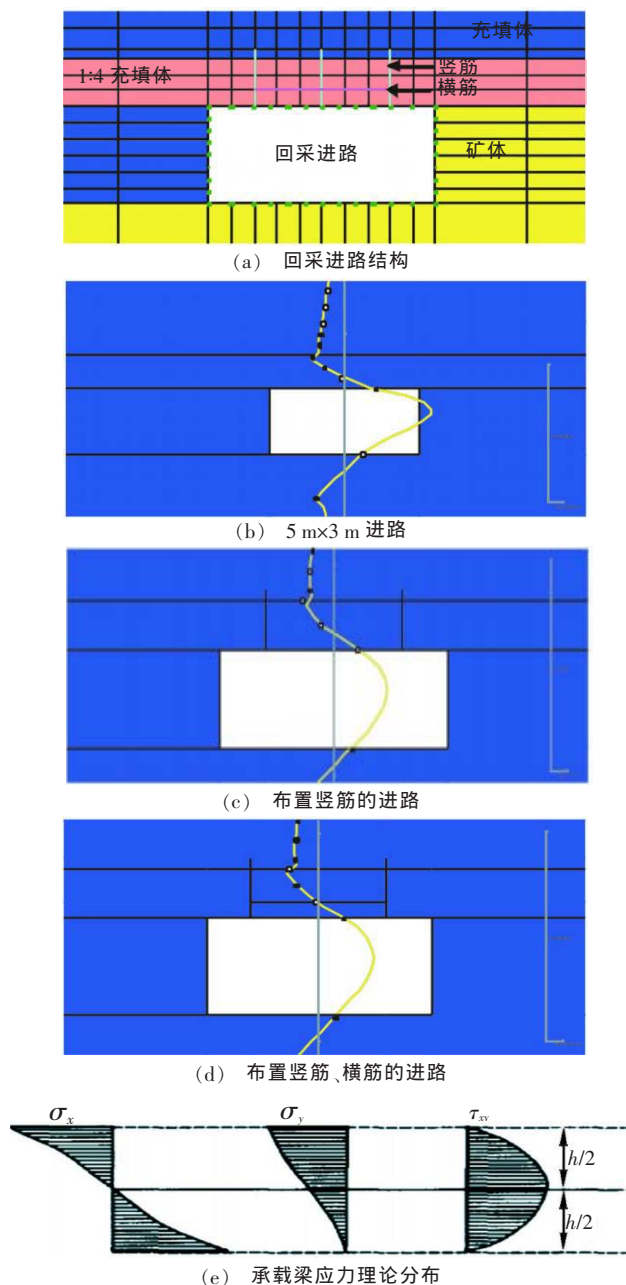


图 3 回采进路上部中央垂直线水平应力分布

3.3 钢筋受力分析

如图 4 所示, 进路回采后, 竖筋整体呈受拉状态, 竖筋对于承载充填体(人工假顶)起到了一定的悬吊作用, 由于靠近充填体一侧的顶板充填体相对变形较大, 因此靠近充填体一侧的竖筋拉力作用较小, 靠近矿体一侧的竖筋拉力作用更为显著。

在承载充填体下部布置横筋后, 由于横筋可有效控制充填体顶板拉断破坏, 改善了充填体受力状态, 表现在竖筋的拉力的减小。

横筋受力状态如图 5 所示。该图表明了横筋在提高承载充填体稳定性作用如下: 首先由于靠近充填体一侧的顶板充填体相对变形较大, 横筋在相对

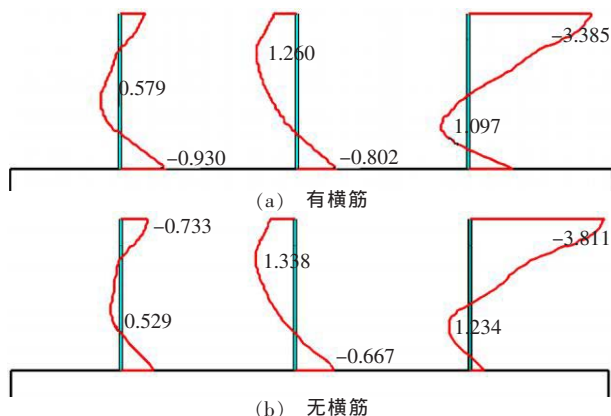


图 4 竖筋受力分布(单位:kN)

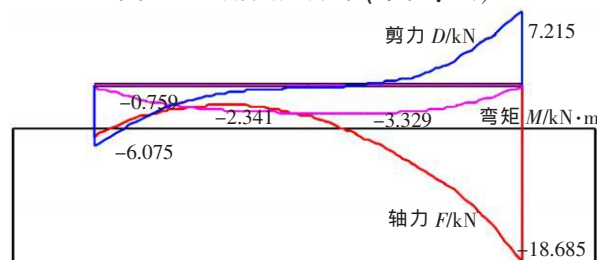


图 5 横筋受力分布

一侧的轴力、剪力均大于靠近充填体的一侧, 从而使靠近充填体一侧的承载层整体强度得到提高。由于充填难以接顶, 靠近充填体一侧承载层临空面大于进路宽度, 此时, 横筋作用更为显著。其次, 由于承载层底部中央易受拉断破坏, 横筋可有效提高承载层底部抗拉性能, 图中弯矩曲线也说明了这一点。

3.4 钢筋合理配置分析

配置钢筋对充填体稳定性的分析如图 6 所示, 进路回采后, 在进路靠矿体一侧上、下角为应力增高区, 是应力集中区域, 该区域破坏形式表现为压、剪破坏。进路上方为应力释放区, 回采后应力减小以至出现拉应力区域。由于充填体抗拉强度远小于抗压强度, 因此, 充填体人工顶板掉块、冒落是最主要的破坏形式。

图 6 表明, 进路断面宽度的增加, 使假顶底部拉应力值增大, 拉应力区域扩大; 充填体内配置钢筋后可使拉应力值和拉应力区域减小, 从而提高了假顶整体稳定性, 这是充填体内配置钢筋的力学机理所在。

充填体人工假顶拉应力区主要集中在假顶底部, 布置横筋后, 并不能有效减小拉应力值, 相反, 拉应力有所增加, 其原因在于充填体与横筋黏结强度低, 相当于横筋周围充填体内存在结构面, 横筋与充填体之间不能变形协调, 即横筋与充填体之间互为独立的单元, 从而对于横筋以下 50 cm 厚度的充填体稳定性只能起到反作用。

上述分析表明, 横筋对于提高充填体人工顶板

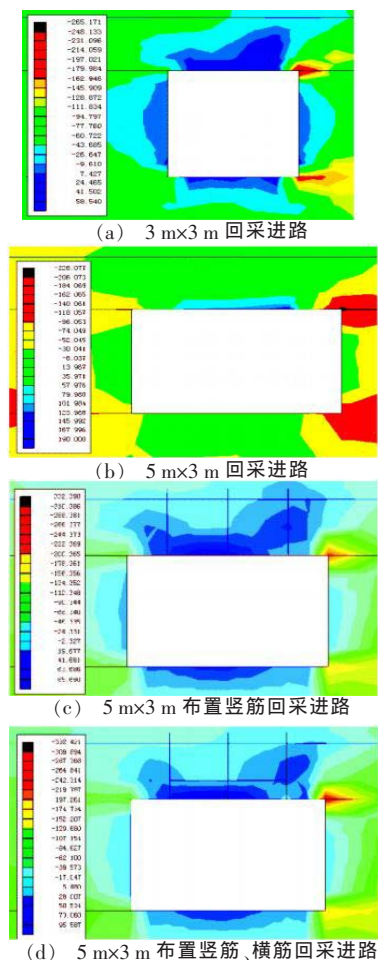


图6 主应力分布

整体稳定性发挥了作用,但对于其下充填体不起作用,不能有效防止充填体人工顶板掉块的产生。为此,采用400 mm×400 mm网度的 $\phi 10\sim 12$ mm钢筋网,钢筋端部向上弯折,形成短的竖筋,将主筋以下容易拉裂的充填体层与上部的充填体连接。在竖筋中部区域,有条件时应多设短竖筋(可利用钢筋搭接部分),短竖筋向上部分应大于500 mm。钢筋与钢筋、钢筋与竖筋间用扎丝绑扎牢固,竖筋的网度与规格和原来的保持一致。

3.5 应力集中区域

如图6、图7所示,回采进路一侧为矿体,其上部为充填体属于硬支弱板结构,假顶与侧壁交接处的应力集中是导致充填体顶板失稳的重要诱因,该处无论是拉伸或剪切破坏,都将导致承载层进一步下沉变形,加剧承载层中心点受拉破坏,就理论分析而言,减小矿体的弹性模量能够削弱应力集中的程度,但其难以在工程实际中实现,为此,只能依靠增加充填体底部强度,采用400 mm×400 mm网度的钢筋网,并使钢筋端部向上弯折,形成短的竖筋,这是控制应力集中的有效方法。

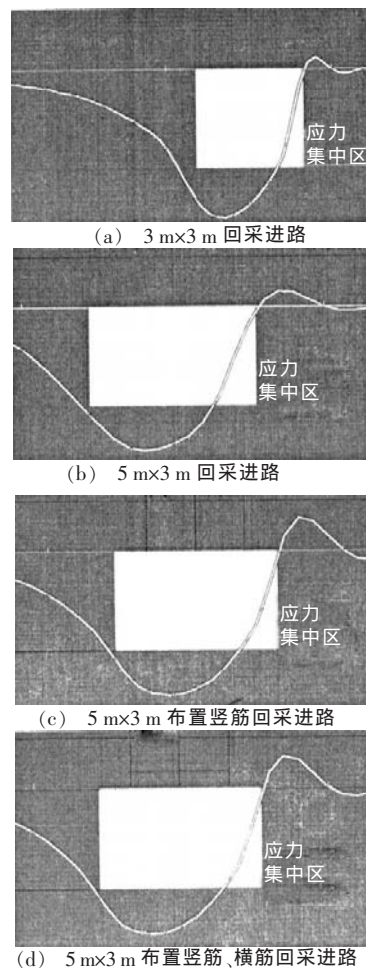


图7 顶板挠曲曲线

4 结 论

- (1)进路断面尺寸、充填体钢筋布置方式不能明显影响充填体人工假顶位移、应力场整体分布规律;
- (2)灰砂比为1:4的充填体可以作为承载层(人工假顶),并且充填体中间部位水平应力分布与梁理论基本吻合,可以应用梁理论进行设计;
- (3)充填体内布置横筋可提高充填体人工顶板整体稳定性,但不能有效防止人工顶板掉块的产生。

参考文献:

- [1] 于学馥.信息时代岩土力学与采矿计算初步[M].北京:科技出版社,1991.
- [2] 邹勇,徐国元,谭政.胶结体的力学性能研究[J].西部探矿工程,2007,(4):88-90.
- [3] 刘志祥,李夕兵,戴塔根,等.尾砂胶结充填体损伤模型及与岩体的匹配分析[J].岩土力学,2006,27(9):1442-1446.
- [4] 卢平.制约胶结充填采矿方法发展的若干充填体力学问题[J].黄金,1994,15(7):18-22.
- [5] 蔡美峰,何满潮,刘东燕.岩石力学与工程[M].北京:科学出版社,2002:133-134.

(下转第11页)

- [9] 菲利普琴克 EA,李高祺.长独头巷道应用涡轮鼓风机通风的设计和组织的[J].矿业工程,1992,(8):45-48.
- [10] 刘进海.长独头巷道用通风机[J].煤矿安全,1991,(12):53-54.
- [11] 王江虹.高效对旋式局部通风机在长距离掘进工作面中的应用[J].山西煤炭,2000,20(1):36-38.
- [12] 周谔义,杨立新.长独头巷道用软管混合式通风的试验研究[J].隧道建设,1994,(1):45-49.
- [13] 朱新能.大断面长距离局部通风的管理[J].煤炭科技,2001,(1):34-35.
- [14] 吴超.局部通风应用大直径风筒的效果分析[J].工业安全与环保,2001,27(10):1-3.
- [15] 余庆华,苏祖晔,王允涛.压差补偿器在长独头掘进串联通风中的应用[J].中国矿山工程,2005,34(4):34-37.
- [16] 王洪,李文宝.DT-1型独头巷道高效通风系统的开发研究[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2004,(5):62-63.
- [17] 王剑武.DT-1型高效通风系统在独头平巷通风系统改造工程中的应用[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2005,(2):64-66.
- [18] 王剑武,颜志华.独头巷道高效通风系统的开发研究与应用[J].西部探矿工程,2005,(8):84-86.

Ventilation Technology Developments of Long-distance Solo-ended Digging Mine Lane

ZHANG Hong-yin¹, LING He-rong²

(1.Faculty of Architecture, Surveying and Mapping Engineering, Jiangxi University of S & T, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2. Faculty of Mechanical Engineering, Jiangxi University of S & T, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: Ventilation technology of long distance sole-ended digging lane is a wide-spread problem for mine and tunnel. The latest technology developments of this field were summarized from the aspects of ventilation technology design, model selection of ventilation machinery and automation control.

Key words: long-distance; solo-ended digging; ventilation; developments

(编辑:刘忠洪)

+++++
(上接第7页)

Numerical Simulation of Stope-roof in the Underhand Drift Cut-and-filling Stopping

WANG Jian¹, GAO Wei-hong², GONG Cong¹, ZHAO Kui¹

(1.Faculty of Resources and Environment Engineering, Jiangxi university of science and technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2.Wushan Copper Ore Co., Ltd., Ruichang 332204, Jiangxi, China)

Abstract: Aiming at the stability of large cross-section of filling body in cemented filling, numerical simulation was applied to study the law of transmutation in filling body. The arrangement of reinforcing steel bar in filling body can be effective in reducing the area of tensile stress and improve the stability of the stope roof. The lime-sand ratio of 1:4 precursors of the filling body can be used as bearing layer. And the deformation and the law of Stress distribution of filling body are in accordance with bearer beam. The filling body can replace the reinforced concrete artificial bottom.

Key words: cement filling; numerical simulation; stope roof; stability

(编辑:易圻封)