

巷道顶板离层产生-演变及控制机理数值模拟研究

魏平¹ 盛园园² 郭翔¹

1 水发规划设计有限公司 2 山东华鉴工程检测有限公司

DOI:10.32629/hwr.v4i1.2725

[摘要] 为了更直观的反映离层的变化过程,本文运用 FLAC^{3D} 模拟软件,并结合工程实践,对巷道顶板离层的产生、发展过程进行了模拟。在模拟计算过程中,对顶板有无支护约束时巷道围岩的塑性区变化、主应力分布,以及离层变化特征、顶板支护锚杆的轴力进行监测分析。研究结果表明:巷道开挖完成后无支护约束时,离层最终稳定后的离层量为 74mm;有支护约束时,离层最终量为 37mm,离层的产生、发展是一个先快后慢,然后逐渐达到稳定的过程。顶板有支护约束时的塑性区比无支护约束时的塑性区小,且锚杆的支护能使巷道围岩应力场趋于均匀化。穿过离层的支护锚杆受力特征显示,越靠近离层的锚杆体受力越大。本文对离层突变理论认识和顶板离层的控制具有一定的指导意义。

[关键词] 离层; FLAC^{3D} 模拟; 支护; 锚杆轴力

顶板离层是指巷道顶板岩层中一点同其正上方一定深度某点间的相对位移量^[1]。在采矿工程中,由于地质条件复杂、构造应力大、围岩的非均质性和流变明显等不利因素,导致大量离层现象的出现。矿山巷道和地下隧道上覆岩层离层是岩土工程中典型的破坏问题,其复杂性、高度非线性、不确定性有很多因素。顶板岩层之间的离层往往预示着顶板失稳破坏的开始,在煤矿巷道顶板支护中,往往把离层大小作为对顶板支护效果好坏的衡量标准^[2]。因此,对离层的研究引起国内外学者的高度重视,如 A. Yassien 等^[3]通过顺槽顶板离层的监测,评价全长锚固加固效果;刘长武^[4]等、鞠文君^[5]研究了锚网锚索联合支护时巷道顶板的离层机制,并对顶板离层与锚固系统的变形协调条件做了大量研究,这些为顶板离层的支护及巷道稳定性的判别提供了依据。

本文先对顶板离层的产生机理做了简要分析,然后采用一种用于工程力学计算的显示有限差分软件—FLAC^{3D} 软件就某矿巷道顶板离层的产生、发展进行模拟研究,同时对离层变化时的变形特征、离层处支护锚杆的受力进行监测分析,从而能够更为直观的反映离层的产生、发展变化过程。

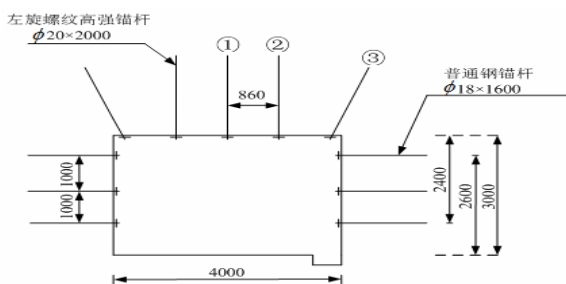


图1 巷道支护参数(单位: mm)

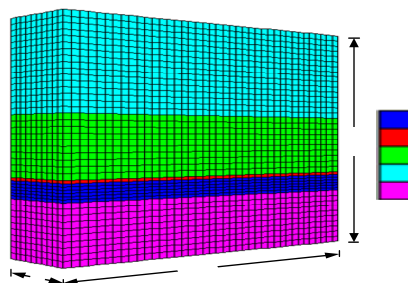


图2 数值模拟立体模型图(单位: m)

1 现场工程条件

某矿的巷道尺寸为4m×3m(L×H),巷道裸露顶板为一层0.5m厚的泥岩顶板,顶板岩性较差,较易产生离层,在一定程度上,给巷道顶板的有效支

护带来一定的难度。顶板采用间排距为860mm×800mm的左螺旋高强锚杆进行支护,采用全长树脂锚固,锚固力80kN以上,锚杆的屈服荷载为108kN。两帮采用间排距为1000mm×1000mm,底板无支护。煤层埋深400m,煤层倾向近似水平。巷道断面及其支护参数见图1所示,图中顶板处标有①②③的锚杆为三根特征锚杆。

2 数值模型的建立及模拟方案

根据现场地质岩层情况,建立FLAC^{3D}计算模型。模型尺寸为40m×10m×40m(x×y×z),模型上方按至地表岩体的自重施加垂直方向的荷载。巷道支护锚杆采用cable单元模拟。在模型的四个侧面采用法向位移约束,顶面为应力边界条件、位移自由,底边界施加水平及垂直位移约束。模型尺寸及岩层分布示意图如图2所示。本次模拟根据现场地质调查和相关研究提供的岩石力学试验结果,模型岩石物理力学参数如表1所列。

表1 模型岩石物理力学参数表

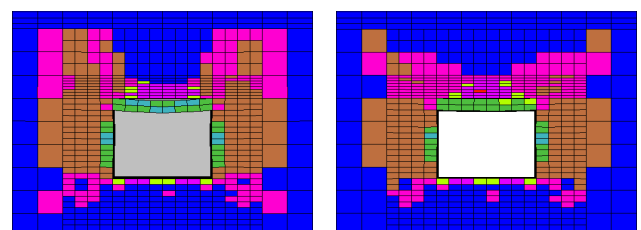
岩石名称	岩层厚度	密度/(kN/m)	剪切模量/(GPa)	体积模量/(GPa)	抗拉强度/(MPa)	内聚力/(MPa)	内摩擦角/(°)
细砂岩	15.0	2800	13.5	21.0	1.2	3.2	42
粉砂岩	11.5	2560	8.1	10.8	1.8	2.8	38
泥岩	0.5	2200	4.5	8.3	0.6	1.6	36
煤	3.0	1350	2.0	4.9	0.2	1.3	32
凝灰质粉砂岩	10.0	2780	13.5	21.0	1.3	3.2	42

本文岩石采用考虑抗压强度的摩尔-库伦(Mohr-Coulomb)弹塑性本构模型^[7],在拟定离层产生处建立面接触库伦滑移接触面(interface单元)。

模型建立完成后,首先进行初始地应力计算,计算收敛后再进行巷道开挖,采用支护和不支护两种方案进行模拟计算。同时监测离层的变化量、离层的变形速度以及巷道顶板支护锚杆的轴力分布。

3 模拟结果及结果分析

图3为巷道开挖之后围岩未支护和支护时的塑性区变化图。图中蓝色区域为围岩弹性区域,其他颜色区域为围岩塑性区域。



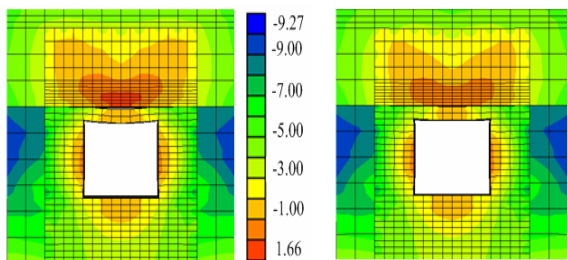
(a) 未支护

(b) 支护

图3 巷道围岩塑性区变化

从图中可以看出,巷道围岩未支护时的离层量和塑性区面积比开挖后支护的离层量和塑性区面积后大。在没有施加支护约束时,巷道的开挖引起围岩变形和应力重分布,围岩的切向应力增大,径向应力减小,促使围岩向巷道临空区变形,围岩裂隙发生扩容和扩展,力学性质随之不断恶化,围岩应力高度集中区域的围岩屈服而进入塑性工作状态,形成塑性区,致使巷道顶板垂直方向的拉应力超过了接触面的抗拉强度,产生离层。巷道围岩支护后的塑性区面积比不支护时塑性区面积大,这是因为施加支护约束后,支护体与围岩在结构上达到耦合,从而使整个支护体系与围岩达到最佳的支护力学状态,束缚了顶板岩层的离层,改善了岩层内部的应力集中程度,对巷道稳定起到了明显的效果。巷道两帮及底板的变形不大。

巷道开挖后未支护和支护时围岩的最大主应力分布图如图4所示:



(b) 支护

(a) 未支护

图4 巷道围岩最大主应力等值线图(单位: MPa)

巷道开挖后,巷道围岩主应力重新分布,施加支护约束时巷道围岩应力重分布的影响范围比未加支护大,平均主应力比不支护时小。施加支护约束后,锚杆受力,束缚了顶板岩层的离层,改善了岩层内部的应力集中程度,对巷道稳定性和离层的控制起到了明显的效果。锚杆支护力的存在使得围岩的应变能得到有效的转移,导致围岩最大应力区向低应力区转化,实现了围岩从高应力向低应力区的扩散转移,使围岩应力场均匀化。

巷道开挖后,模拟软件对模型进行模拟计算,将计算时步等效为时间。巷道顶板在有支护条件时离层量和离层速度随时间的变化曲线如图5所示。

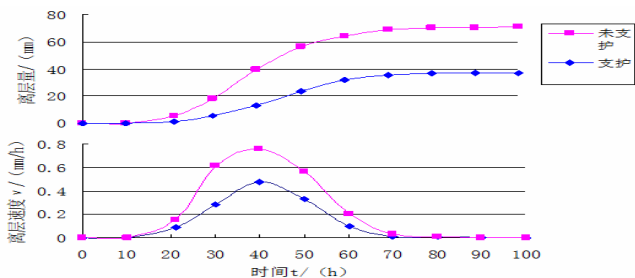


图5 离层量和离层速度随时间的变化曲线

从离层量和离层速度随时间的变化曲线可知:巷道开挖完成后的0~10h,巷道顶板的剪应力一直在积聚,当剪应力积聚到一定程度时,巷道顶板就会产生离层,离层的增长速度为先逐渐加快,约在巷道开挖后40h左右其离层速度达到最大,然后逐渐减慢,这是由于巷道顶板应力随着顶板变形的增加逐渐得到释放的结果。而后巷道顶板的应力逐渐释放完毕,离层的速度逐渐趋于0,最终在70h后达到另一个稳定状态。当离层量基本不变时,未加支护时顶板离层量为74mm,而支护时巷道顶板的离层量为37mm,可见锚杆对离层的突变控制起到了一定的作用。

同时,监测巷道顶板支护锚杆的轴力,以免在支护过程中,锚杆的受力

超过锚杆的屈服荷载,导致锚杆被拉断而失去支护效果。图1所示三根顶板特征支护锚杆的轴力沿锚杆体的分布如图6所示:

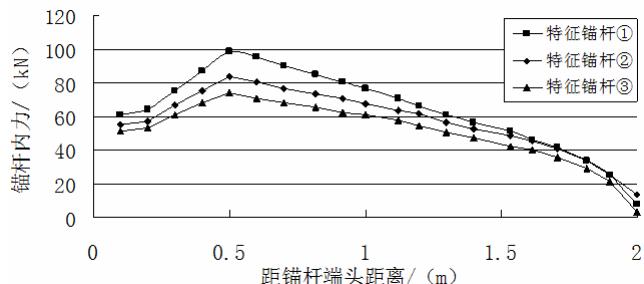


图6 顶板中线锚杆的受力

巷道顶板的离层在距锚杆端头0.5m处产生。从巷道顶板处三条特征锚杆的轴力曲线可以看出,离层产生处的锚杆轴力较其他杆体处较大,这是由于离层产生时,上下岩层产生分离,失去了岩层之间的粘结力,而离层的下部岩层的重量施加到锚杆体上,使得离层处的锚杆内力很大。离层处锚杆的最大轴力为99kN,未超过杆体的屈服荷载108kN。可见,在工程实践中对有离层产生的顶板要特别加强支护,并且支护锚杆体穿离层而过时,在靠近离层的杆体部分要特别增加支护强度,以免出现锚杆断裂的现象。

4 结论

本文运用FLAC^{3D}模拟软件结合工程实践对巷道顶板离层产生、发展过程做了模拟研究,通过分析离层的变化特征,可以得到以下结论:

1. 巷道开挖完成后,无支护约束时,离层最终稳定后的离层量为74mm,有支护约束时,离层最终量为37mm,离层的产生和发展是一个先快后慢,然后逐渐到达一个稳定阶段的过程。
2. 顶板有支护约束时的塑性区比无支护约束时的塑性区小;且锚杆的支护能使产生离层的巷道围岩应力场趋于均匀化。
3. 锚杆支护对离层的突变有一定的控制作用;穿过离层的支护锚杆受力特征显示,越靠近离层产生处的锚杆体轴力越大。

[参考文献]

- [1] 韩大勇,孙宏启. 小康矿锚杆支护巷道顶板离层形式及影响因素[J]. 黑龙江科技信息, 2007, (3): 12.
- [2] 谭云亮,何孔祥,马植胜,等. 坚硬顶板冒落的离层遥测预报系统研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2006, 25(8): 1705-1709.
- [3] Yassien A, Heasley K, Khair A, et al. Analysis of Failure Modes for Fully Grouted Resin Bolts[M]. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2004. 1009-1016.
- [4] 刘长武,郭永峰. 锚网(索)支护煤巷顶板离层临界值分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(2): 231-234.
- [5] 鞠文君. 锚杆支护巷道顶板离层机制与监测[J]. 煤炭学报, 2000, 25(3): 61.
- [6] 谭云亮,宁建国,顾士坦,等. 矿山压力与岩层控制[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2011: 46-47.
- [7] 陈育民,徐鼎平. FLAC/FLAC3D基础与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008: 147-174.

作者简介:

魏平(1987—),男,山东济宁人,汉族,硕士学位,中级工程师,主要从事水利工程设计方面的工作。