

深部高应力巷道数值模拟本构模型的研究

张占峰 (山西乡宁焦煤集团富康源煤业有限公司, 山西 临汾 041000)

摘要: 为了研究不同本构模型下巷道围岩破裂特征, 本文通过 FLAC3D 有限元软件通过建立库伦摩尔模型和应变软化模型, 分别对岩石的单轴压缩特性与巷道围岩变形破坏与应力分布特征进行数值模拟研究, 结果表明相对于库伦摩尔模型, 应变软化模型下的应力-应变曲线能反映出岩石峰后的软化特性, 巷道围岩变形破坏范围相对较大, 所以在使用 FLAC3D 解决实际问题时, 应变软化模型能较好的反映真实的岩体状态。

关键词: FLAC3D; 库伦摩尔模型; 应变软化模型; 巷道

0 引言

在用 FLAC3D 数值模拟软件解决实际巷道问题之前, 我们首先对研究巷道所使用的本构模型进行研究, 本构模型的选择将直接影响到巷道围岩的破坏形式。在 FLAC3D 软件中, 库伦摩尔模型是研究巷道最常用的模型, 但是该模型只适用于剪应力下屈服的材料包括很多岩土工程材料。应变软化模型作为库伦摩尔模型的延伸模型, 与库伦摩尔模型有很大的不同, 该模型允许材料的强度可以发生软化, 适用于材料后破坏力学行为。因此在研究巷道破坏特征时需对两种模型进行对比获得最符合实际现场的破坏形式, 为巷道的安全生产提供理论参考。

1 参数考虑及模型建立

为了更好地对比两种模型的区别, 先对两种模型下的单轴压缩特性进行研究, 岩石材料参数密度 $2500\text{kg} \cdot \text{m}^3$, 体积模量 200MPa , 剪切模量 100MPa , 内聚力 2MPa , 抗拉强度 1MPa , 剪胀角 10° 。通过 FLAC3D 数值模拟软件建立单轴压缩模型, 其长度为 0.1m , 横截面半径 0.25m , 数值模型如图 1 所示。

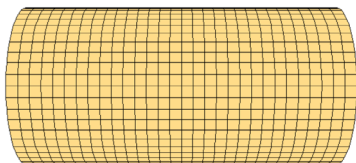


图 1 单轴压缩数值模型

材料应变软化是材料塑性屈服的一个渐变过程, 在选择应变软化模型时, 需对 FLAC3D 数值模拟参数进行软化, 本文通过对岩石的内摩擦角、内聚力以及剪胀角进行弱化。

2 不同本构模型下应力应变曲线对比

国内外学者通过刚性试验机对岩石变形破坏全过程做了大量的研究, 普遍认为岩石软化过程分为这五个阶段 (见图 2): ① OA 阶段为压密阶段, 在这个阶段中, 应变随应力的增加其增量减小, 岩石内微裂隙在外力作用下发生闭合, 岩石变形模量也随之有所增加; ② AB 阶段为弹性阶段, 这一阶段的应力-应变曲线基本呈直线, 常用弹性模量和泊松比来描述岩石的应力-应变关系, 但是在直线阶段, 由于岩石在受载荷后不断出现新的裂缝和原有的裂纹扩展, 造成一些不可逆的变形, 使得从某种意义上来说, 它并不是真正的弹性特性, 只是一种近似的弹性介质; ③ BC 阶段为应变硬化阶段, 当应力超过岩石的屈服极限强度时, 岩石内部由此开始产生损伤, 那么变形模量也会随之不断降低, 直到变形模量为零; ④ CD 阶段为应变软

化阶段, 当应力超过极限强度时 (即 C 点) 以后, 随着变形的增加岩石强度逐渐降低, 但是岩石仍具有一定的承载能力, 而这一承载力将随着应变的增加而逐渐减小, 表现出明显的软化现象; ⑤ D 点以后为摩擦阶段, 岩石内部形成了贯穿的宏观裂隙, 断裂面之间基本上不存在粘聚力, 岩石仅依靠断裂面之间的摩擦力来承担外部载荷。

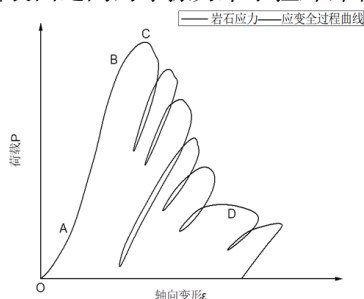
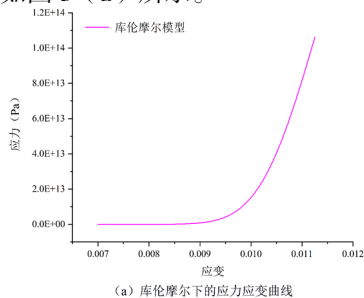


图 2 应力应变曲线

根据上图中曲线可知, 岩石在达到峰值应力以后, 仍然具有一定的承载能力, 而岩石突然“嘭”的破坏只是一种假象, 此时岩石并没有完全破坏, 只是表现为承载能力的降低。那么在岩石峰后阶段的反复加一卸载的情况下, 曲线也会产生塑性滞环, 而其平均斜率也在逐渐降低, 表现出应变软化的特征。那么不同本构模型下的应力应变情况分析, 在库伦摩尔本构模型下的岩石应力应变曲线只有图 2 中的 OC 阶段, 岩体到达峰值以后不再有峰后曲线。而在应变软化本构模型下的岩石应力应变曲线与库伦摩尔本构模型下的有明显不同, 由于岩石具有应变软化特性, 即岩石在达到峰值强度以后并不完全丧失承载能力, 所以应变软化本构模型下的应力应变曲线在到达峰值以后仍然有 CD 阶段, 如图 3 (a) 所示。



(a) 库伦摩尔下的应力应变曲线

图 3 不同本构模型下的应力应变曲线

3 不同本构模型下巷道围岩分析

3.1 计算模型

本次数值模拟巷道埋深为 800m , 巷道断面为 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的矩形, 巷道上下左右各取 15m , 轴向宽度为 15m , 巷道围岩弹性模量 1.2GPa ; 泊松比 0.22 ; 粘 (下转第 251 页)

2.2 加强统一规划, 完善以用促抽的健康发展形势

煤矿企业在建设过程中, 要合理的利用煤矿瓦斯, 做好之间的规划和协调工作, 严格控制开发煤层气资源的标准和要求。煤矿企业要做好前期的准备工作, 详细的设计和合理规划开采方案, 考虑煤矿瓦斯可以利用的区域, 给以后高效率的利用煤层气资源创造充足的使用条件, 降低对环境的污染程度, 做到不浪费煤层气资源。

2.3 提高高效利用和推广力度, 促进行业的稳定发展

按照市场的范围和对应的管理结构, 对开发和高效率综合利用投入资金进行科学的监督和管理, 使专项资金得到合理的使用, 这样可以方便后期开发和利用煤层气资源的大力推广, 促进其顺利的发展。另外, 建议一些大规模的金融机构积极的参与到专项资金的监督和管理过程中, 完善一些相关体系, 使煤层气的市场运营和市场管理更加规范化。

2.4 完善发电补贴标准, 促进行业更好的发展

对于现在煤层气行业在发电方面出现的一些问题, 如电价补贴, 政府要全面考虑煤层气在发电过程中所需要的成本, 对此制定出合适的煤层气补贴标准, 这样可以让更多的人参与其中, 推动煤层气发电的快速、稳定发展。

2.5 提倡企业自发自用, 给发电企业带来更多的积极性

加强企业的监督和管理, 提倡煤层气企业做到合理的自发自用, 落实相应的优惠措施, 增加政府资金的大力支持, 减少煤层气发电的使用成本, 给企业创造更多的

积极性。

3 结语

总而言之, 开发和利用煤层气资源, 要采取科学的原则, 使其得到充分的利用, 不能有一丝的浪费。要严格按照市场对煤层气的需求, 合理的建设相应的输气管网, 把所有的输气管网形成一个整体, 互相连通, 确保煤层气能够得到高效率的开发和综合使用。还要在适合的位置建设煤层气的站点, 人员加气站, 这样可以更好的协调区域性的煤层气使用情况, 大力支持煤炭企业利用煤层气, 高效率的转化煤层气资源。

参考文献:

- [1] 袁亮, 姜耀东, 王凯, 等. 我国关闭 / 废弃矿井资源精准开发利用的科学思考 [J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 14-20.
- [2] 韩旭. 我国煤层气的开发现状及发展策略分析 [J]. 中国煤层气, 2018(3): 46-47+25.
- [3] 文佳. 煤层气产业发展及技术进展分析 [J]. 当代化工研究, 2018(7): 120-121.
- [4] 吕元, 姜凡, 肖云汉. 煤矿通风瓦斯甲烷热氧化装置实验研究 [J]. 煤炭学报, 2011, 36(6): 974-977.
- [5] 张群. 多气源掺混技术在高河煤矿低浓度瓦斯蓄热氧化发电项目中的应用 [J]. 矿业安全与环保, 2018(3): 51-54.

作者简介:

贾常飞 (1982-), 男, 籍贯: 山西平定, 毕业院校: 太原理工大学, 学历: 本科, 现有职称: 采矿工程师。

(上接第 249 页) 聚力 2MPa; 密度 2500kg·m⁻³; 抗拉强度 1.5MPa。采用 FLAC3D 数值模拟将巷道模拟网格划分, 根据深埋巷道水平应力普遍大于垂直应力的规律, 取侧压系数 $\lambda=1.25$, 即垂直应力为 20MPa, 水平应力为 25MPa。以下分别采用库伦摩尔模型和应变软化模型对巷道围岩的塑性区、应力、位移进行分析, 以对比两种本构模型下的巷道围岩变化差异。

3.2 巷道围岩塑性区分布

巷道围岩塑性区分布图如图 4 所示, 从图中可以看出库伦摩尔模型下的巷道围岩均出现剪切破坏 (见图 4, a), 并未出现拉破坏, 而应变软化模型下的巷道浅部围岩出现明显的拉伸区域 (见图 4, b), 而深部围岩产生剪切破坏, 塑性区范围相对于库伦摩尔模型分布更广更深。

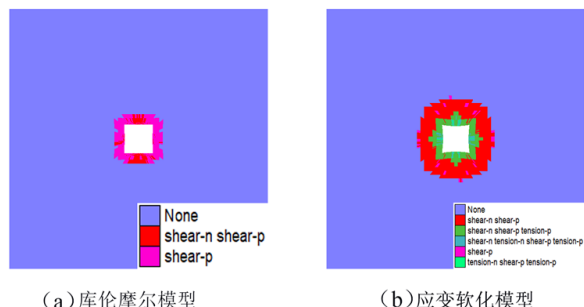


图 4 不同本构模型下的巷道围岩塑性区

3.3 巷道围岩最大应力分析

不同本构模型下巷帮围岩最大应力分布情况分析, 不同本构模型下的巷帮围岩最大应力分布大不相同, 根据库伦摩尔下的巷道围岩最大主应力分布在矩形巷道四角产生

应力集中, 巷道顶底板和巷帮围岩应力发生卸载。而应变软化模型下的巷道围岩最大主应力分布, 在巷道顶底板与巷帮均出现拉应力, 矩形巷道四角也出现应力集中, 但集中应力大小小于库伦摩尔模型下的集中应力大小。

3.4 巷道围岩变形分析

不同本构模型下的巷帮和顶底板位移模拟研究发现, 库伦摩尔模型下得到的最大水平位移为 7.6cm 左右, 最大竖直位移为 6.2cm 左右; 应变软化模型下得到的最大水平位移为 27cm 左右, 最大竖直位移为 25cm 左右。两种模型下的围岩变形基本对称, 应变软化模型下的围岩变形明显大于库伦摩尔模型下的围岩变形, 但变形趋势是一致的, 因此, 在应变软化模型下, 围岩的软化特性得到了明显的体现。

4 结论

①单轴压缩数值结果表明, 库伦摩尔模型下的应力-应变曲线只存在弹塑性阶段, 而应变软化模型则能较好反应岩石峰后破坏特征; ②通过 FALC3D 数值模拟软件建立巷道模型, 并对其塑性区、最大主应力以及变形特征进行分析, 结果表明, 相对于库伦摩尔模型, 应变软化模型下的巷道围岩塑性区分布更广, 且浅部围岩存在明显的拉破坏区, 巷道周围变形更明显; ③库伦摩尔模型忽略岩体的应变软化特性, 不能反映真实的岩体状态, 而采用应变软化模型则能较好的反映真实围岩的变形与破坏状态。

参考文献:

- [1] 褚晓威, 徐元强, 鞠文君. 深部高应力巷道数值模拟本构模型的选择 [J]. 煤矿开采, 2010, 15(2): 46-46.