

浅埋薄基岩巨厚煤层放顶煤开采煤柱尺寸确定

李永胜 温宏雨

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古鄂尔多斯 010030

摘 要: 不连沟煤矿位于准格尔煤田北部的大路镇, 北距呼和浩特市约 95km, 西距鄂尔多斯市 150km。不连沟井田面积 33km², 煤炭储量 11.45 亿吨。不连沟煤矿地表为黄土层, 厚 16.7–44.8m, 植被稀少, 水土流失严重, 冲沟发育。埋深一般为 230–260m。开采煤层为石炭系上统太原组 6# 煤层, 裂隙较发育, 厚 11 ~ 21.5 m, 平均厚度 15.8 m, 煤层倾角 0–8°, 平均 4°。工作面设计走向长度 1900m, 倾斜长 240.3m, 采高 3.8m, 放煤高度 11.8m。不连沟煤矿浅埋薄基岩特厚放顶煤开采工艺在准格尔煤田是首次尝试, 许多科学问题急需研究, 许多宝贵经验需要总结, 煤柱合理尺寸等技术问题急需研究与探讨, 为进一步优化浅埋薄基岩巨厚煤层放顶煤开采煤柱合理尺寸确定提供理论依据。综采机械化长壁放顶煤开采方法中煤柱尺寸对工作面正常回采影响较大, 尤其是在准格尔煤田的薄基岩厚煤层开采条件下, 煤柱尺寸的合理优化就更加重要, 当煤柱尺寸不合理时, 随着煤层覆盖厚度的加大, 矿压显现更为剧烈, 留设的煤柱偏帮非常严重, 巷道难以维护, 对工作面正常回采造成影响。如果仅仅加大煤柱尺寸, 虽然能很好的维护巷道, 保证工作面安全开采, 但是留设的煤柱尺寸过大就浪费了宝贵的资源, 也增加了煤层的自然发火的风险性, 浪费资源的代价甚至超过巷道维护的费用, 得不偿失。

关键词: 浅埋薄基岩; 巨厚煤层; 放顶煤开采; 煤柱尺寸

1 数值模拟介绍

采用 FLAC 软件对 F6201 护巷煤柱尺寸进行数值模拟, 分别对留设煤柱 5m、10m、15m、17.5m、20m、22.5m、25m、30m、35m 时的留巷巷道垂直应力、水平应力、巷道变形和塑性破坏范围进行分析研究。

数值模拟方法是近 20 ~ 30 年内, 随着电子计算机发展起来的一种方法, 在岩土力学中有了很大的发展和广泛的应用, 如有限元、边界元、离散元等数值模拟方法, 都在解决实际问题中发挥了较大作用。美国 Itasca 咨询公司在 FLAC2D 程序的基础上于 1997 年研究推出了 FLAC3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua, 简写 FLAC) 软件, 该软件就是建立在拉格朗日算法基础上, 是目前公认的最优秀的岩土力学数值计算软件包之一。在采矿工程中, 许多学者利用 FLAC 软件对采矿工程中围岩活动规律、巷道围岩稳定性问题涉及到的岩体力学特性、围岩压力、支护围岩相互作用关系、巷道与工作面的时空关系等一系列复杂的力学问题进行了一系列的研究, 取得了显著的效果^[1]。

该软件主要适用模拟计算地质材料力学行为, 特别是材料达到屈服极限后产生的塑性流动。材料通过单元和区域表示, 根据计算对象的形状构成相应的网格。每个单元在外荷载和边界约束条件下, 按照约定的线性或非线形应力—应变关系产生力学响应。由于 FLAC 软件

主要是位岩土工程应用而开发的岩石力学计算程序, 它包括了反映地质材料力学效应的特殊计算功能, 可计算地质类材料的高度非线性 (包括应变硬化 / 软化)、不可逆剪切破坏和压密、粘弹 (蠕变)、孔隙介质的应力—渗透耦合、热—力耦合以及动力学问题等。

2 计算模型的建立

计算中的基本假设: (1) 模拟区段内各层内部为连续介质; (2) 开采模型视为平面应变模型。在初始应力场的基础上, 根据材料的不同力学特性, 转换成相应的力学模型, 由于沉陷预计主要关注的是由采动造成的地表移动变形值, 因此, 这里将由地质原岩应力产生的位移清零^[2]。

2.1 模型边界条件

边界加载条件的确定: 模型四周边界均施加水平位移约束, 底边界均施加水平位移及垂直位移约束。模型底界限限制垂直方向位移, 但可左右移动; 模型的左、右边界限制左右移动, 但可上、下移动, 即左右、底边界采用单向滚动控制, 使边界岩体不至于影响内部岩体的应力迭代计算。而模型的顶边界采用应力边界, 应力为上覆岩层重力产生的均布载荷。

2.2 模型选择和煤岩物理力学参数确定

由图 2-1 根据煤体破坏强度准则 $\tau = \sigma \tan \varphi_j + c_j$ 可知, 工作面前方煤体的破坏除与围岩应力大小有关外,

主要受节理、裂隙的影响。而煤体节理对煤体强度的影响程度,除与节理本身的力学性质凝聚力 c_j 和内摩擦角 φ_j 有关外,主要决定于节理与主平面 σ_1 的交角 β 。

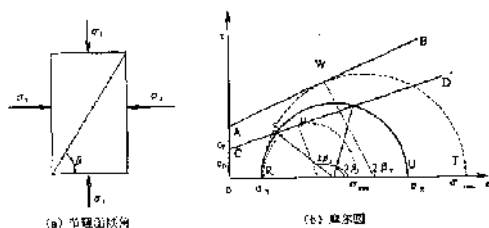


图2-1 煤体破坏摩尔圆表示法

岩石和煤采用应变软化模型和胡克-布朗(Hoke-Brown)屈服准则,当材料发生屈服破坏后,按照三维应力路径进行软化处理,再使用莫尔-库伦屈服准则已经不能反映破坏后的情况。此外,当拉应力超过材料的抗拉强度时,材料按拉破坏处理。

$$\sigma_{1s} = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2}$$

式中: σ_{1s} ——岩石峰值强度时的最大主应力;

σ_3 ——最小主应力;

m, s ——材料常数,取决于岩石性质和原始破裂状况;

σ_c ——岩石单轴抗压强度。

此外,当拉应力超过材料的抗拉强度时,材料将发生拉破坏。表需要说明的是,虎克-布朗强度准则和莫尔-库伦准则有着本质上的区别。首先,莫尔-库伦准则假设屈服面在主应力空间是线性的,材料的 c, φ 值是常数;而在虎克-布朗准则中,屈服面是非线性的,相当于等价的 c, φ 值随最小主应力 σ_3 的变化而变化。其次,莫尔-库伦准则假设材料达到屈服强度以后,材料强度保持不变;而在虎克-布朗准则中,岩石破坏后产生弱化,岩石强度随变形发展而降低。

莫尔-库伦准则假设材料达到屈服强度以后,材料强度保持不变;而在虎克-布朗准则中,岩石破坏后产生弱化,岩石强度随变形发展而降低。采空区冒落的矸石是一种松散介质,它对顶板支撑的力学作用可近似地用弹性支撑体表述。这里暂不考虑矸石由于覆岩作用,材料密度 ρ 、弹性模量 E 和泊松比 μ 随时间而增加,最终达到恒值^[3]。

3 数值计算结果分析

3.1 煤柱受力分析

煤柱受到掘进和回采期间的影响,引起其上覆岩层的应力重新分布,煤柱一定深度内形成支承压力带。由于支承压力的作用和开采扰动等因素的影响,煤壁一定

深度内的煤体已破坏。随着煤柱深度的增加,支承压力逐渐增大,直至达到峰值。从煤柱边界至支承压力峰值这一区域一般为煤柱的塑性区,煤柱两侧支承压力峰值之间的区域为煤柱弹性核区,该区的存在及其宽度是煤柱保持稳定的关键,煤柱受力及分区如图3-1所示。

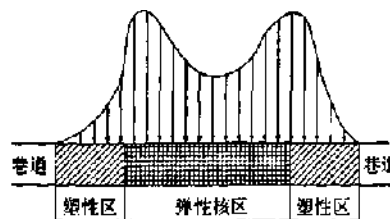


图3-1 柱受力及分区示意图

3.2 煤柱承载能力分析

煤柱稳定受岩层容重、埋深、巷道支护条件、煤层厚度、侧压系数等众多因素的影响。简单地说,煤柱稳定即是煤柱能够承受上覆岩层的重量。而煤柱的弹性核区是煤柱对上覆岩层的直接承载体,煤柱实际承受的载荷必须小于煤柱的极限载荷即 $P \leq P_{\max}$,这是煤柱稳定的先决条件。A. H. 威尔逊的两区约束理论曾给出了三向应力状态下煤柱(即弹性核区)能承受的极限载荷简化公式:

$$P_{\max} = 4rH(a - 0.00492MH)$$

式中: r ——岩层平均容重, N / m^3 ,

H ——巷道埋深, m ;

M ——煤层开采厚度, m 。

由于塑性区的存在,煤柱中间的弹性核区受塑性区约束,处于三向应力状态,强度及承载能力有一定的提高。煤柱要有足够的宽度来保证煤柱内弹性核区的宽度,才能保证煤柱有足够的承载能力。

当工作面与回风巷道之间留设宽度为15m的煤柱时,巷道右侧的应力集中区最大垂直应力集中系数约为2.3,巷道与工作面之间的煤柱处的垂直应力集中略小,最大约为2.3;巷道左右两侧的塑性区范围达到较大;15m煤柱内变形量达200~150mm左右;巷道左侧应力集中系数较大,右侧应力集中区应力集中系数较小,左右应力存在不均匀性但差值较小,巷道稳定性相对提高。

当工作面与回风巷道之间留设宽度为17.5m的煤柱时,巷道右侧的应力集中区最大垂直应力集中系数约为1.9,巷道与工作面之间的煤柱处的垂直应力集中系数最大约为2.7;煤柱内变形量达130mm左右;巷道左侧应力集中系数较大,右侧应力集中区应力集中系数较小。

当工作面与回风巷道之间留设宽度为20m和22.5m煤柱时,巷道左侧应力集中系数较大,右侧应力集中区

应力集中系数较小。煤柱的变形量开始急速减少, 有100mm减少到50mm左右, 减少量达到50%。

当工作面与回风巷道之间留设宽度超过22.5m煤柱后, 巷道左侧应力集中系数基本稳定在3, 应力约为原岩应力的3倍。随着煤柱宽度的增加, 煤柱超过应力集中范围, 煤柱的变形量也越来越小, 最后减少到20mm左右。此时煤柱稳定性是最好的, 然而大煤柱去大大浪费了煤炭资源。

根据计算结果分析得出不同煤柱宽度时的破坏规律:

工作面与回风巷道之间留设煤柱宽度过小时, 整个煤柱完全塑性破坏, 煤柱强度急剧下降, 对支护工作提出了很高的要求; 工作面与回风巷道之间留设煤柱宽度过大时, 虽然煤柱中塑性破坏范围减小, 煤柱强度下降不明显, 对支护工作的要求不高, 但是过大尺寸煤柱的留设造成了煤炭资源的严重浪费, 影响矿井的产量和效益, 因此, 结合矿井实际的支护方式和支护效果, 确定工作面与回风巷道之间留设的煤柱尺寸为17.5m~22.5m之间, 现行的20m煤柱是合理的, 理论上可适当减小到18m左右(与由实测侧向支承压力确定的煤柱尺寸17m基本一致) 如果资源充足的条件下, 建议保留22m的煤柱。

4结束语

通过对不同煤柱尺寸条件下, 煤柱应力变化及变形

结合侧向支承压力分布, 确定工作面与回风巷道之间留设的煤柱尺寸为18m~22m之间, 现行的20m煤柱是合理的, 理论上可适当减小到18m左右, 与由实测侧向支承压力确定的煤柱最小尺寸17m基本一致, 如果资源充足的条件下, 建议保留20m的煤柱。

参考文献:

- [1]杨伟峰,隋旺华;薄基岩条带开采覆岩与地表移动数值模拟研究[J];煤田地质与勘探;2004年03期
- [2]杨伟峰;;薄基岩条件下条带开采模拟方法研究[J];采矿技术;2006年03期
- [3]李刚,梁冰,李凤仪;浅埋煤层厚积砂薄基岩顶板破断机理研究[J];中国矿业;2005年08期.

通讯作者: 李永胜, 1987年6月, 汉, 男, 山西省大同市人, 内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司, 技术员, 本科, 中级工程师, 邮箱: 31553974@qq.com, 研究方向: 安全生产技术管理和地质防治水技术管理

作者简介: 温宏雨, 1984年7月, 汉, 男, 山西省大同市, 内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司, 矿山测量小组长, 中级工程师, 本科, 邮箱: 445122257@qq.com, 研究方向: 矿山测量与地质防治水