

褶皱区煤层开采冲击地压诱发机理及控制策略研究

王娟娟*, 屈 英, 林 飞, 郭敏杰, 郭伟成

(华亭煤业集团华亭煤矿, 甘肃 华亭 744100)

摘 要:针对华亭煤矿褶皱构造分布整个2501采区,构造应力较大,应力集中程度高的现状,根据褶皱区域应力分布特征及冲击地压显现特点,提出了最大水平应力对冲击地压作用机制,对最大水平应力和采动应力分布规律及其与冲击地压孕育诱发之间的关系进行了分析,在此基础上,提出了以优化工作面开采方向、巷道掘进方向及布置方式、巷道围岩弱化措施为主的防冲控制对策,有效降低了冲击地压威胁,达到了预期目标。

关键词:褶皱构造;应力;冲击地压;分布规律;防冲控制

中图分类号:TD324 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2024)11-0187-04

华亭煤矿自2008~2021年共记录矿震68486次,冲击地压显现228次,为降低现场发生冲击地压显现,针对华亭煤矿的地质条件及开采条件进行了研究,发现褶皱构造分布和冲击地压显现有着密切的关联性,褶皱构造区域矿震分布较为密集,冲击地压显现也较多。所以对其诱发机理研究及确定控制策略是降低矿井冲击地压显现的首要任务,也是消除或减轻冲击地压灾害的直接手段。

1 概况

华亭煤田区域构造呈北北西—南南东向,东缓西陡,中部宽缓,南北两段收敛的“S”型复式不对称向斜构造。华亭煤矿委托具有冲击倾向性鉴定资质的单位对2501采区进行鉴定,经冲击倾向性试验研究,判定华亭煤矿煤5层为强冲击倾向性的煤层。地应力测试表明,华亭煤矿水平地应力相对较大,约为垂直地应力的1~1.3倍,因此构造应力较大,冲击危险性较高。

采用微震监测数据统计可知,250105-1工作面斜与背斜影响区域内(影响范围均为200m)矿震较为密集,大能量(1.0×10^4 J以上)矿震占总矿震比例也较其他区域高,冲击地压显现的次数和强度也明显较其他区域大,顶板矿震占66.3%,底板矿震占33.7%。

2 褶皱区域应力分布及其诱发冲击地压机理分析

2.1 最大水平应力对冲击地压的作用机制

在构造应力场中进行断面为圆形的巷道掘进,巷道埋深较大时($h > r$),通常侧压系数 $1 < \lambda < 3$,两帮、顶底相应的应力分布示意图如图1所示。

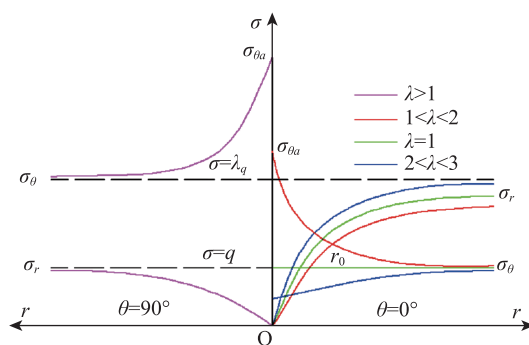


图1 巷道两帮和顶底应力分布图

由此可以看出,人为的挖掘使采掘区域应力发生了变化。在巷道顶底部,切向应力 σ_θ 随着向自由表面接近一直增大,水平应力仍为最大主应力,垂直应力仍呈侧压状态,在围岩内同一位置处, λ 越大,垂直应力与水平应力则相差越大,在巷道周边达到最大。与巷道两帮围岩相比较,顶部围岩周边处的垂直应力、水平应力相差远大于巷道两帮周边。

相比之下,当轴向应力增大,侧向应力减小时,其应力最容易达到岩体的破坏极限。

从巷道两帮和底板应力分布状况来看, θ 分别为 0° 和 -90° 时,对于巷道两帮,其承受的应力 σ_1 、 σ_2 为:

$$\begin{cases} \sigma_2 = \frac{(1+\lambda)q}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{(\lambda-1)q}{2} \left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right) \\ \sigma_1 = \frac{(1+\lambda)q}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{(\lambda-1)q}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right) \end{cases}$$

* 收稿日期:2023-04-11 修回日期:2023-05-05

第一作者简介:王娟娟(1986-),女(汉族),宁夏中卫人,工程师,现从事冲击地压监测预警工作。

对于巷道底板,其承受的应力 σ_1 、 σ_2 为:

$$\begin{cases} \sigma_2 = \frac{(1+\lambda)q}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{(\lambda-1)q}{2} \left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right) \\ \sigma_1 = \frac{(1+\lambda)q}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{(\lambda-1)q}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right) \end{cases}$$

依据上式及式 $\tau^* = |\tau| - f\sigma$ 可分别计算出巷道围岩发生整体破坏的临界主应力值。不同加载侧压力系数 λ 下巷道两帮、底板的应力分异系数与临界最大主应力,计算结果如图2所示。

根据上述分析,构造应力状态——即侧压力系数 λ 对巷道开挖后围岩体临界最大主应力影响不同:随着侧压力系数 λ 的增大,巷道两帮围岩体发生整体破坏的临界最大主应力越大,而巷道底板围岩体发生整体破坏的临界最大主应力却越小。与此同时,随着侧压力系数 λ 的增大,巷道两帮和底板实际承受的最大主应力均逐渐增长,且巷道底板中最大主应力增加较快,弹性能积聚也越多。也就是说,在地层中存在一个临界最大水平应力值,当实际的最大水平应力超过此值时,巷道底板就会发生冲击地压,且高构造应力状态下巷道

底板冲击地压将更剧烈。

2.2 采动影响下褶皱区域应力场分布规律

由于人为采掘,改变了原来的应力平衡状态,造成应力重新分布,在局部区域出现应力集中现象,造成能量大量积聚,当能量积聚到极限状态,就会引起冲击地压显现,还有可能引起瓦斯突出等动力现象^[6]。通过计算工作面不同推进方向、距离褶皱轴分别为80m、66m、50m、25m四个计算模型,对推采相同距离时应力场变化进行比较,如图3、图4所示。

可以看出,不同推进方向距轴部相同距离时工作面前方的水平应力分布是不同的,背斜轴部工作面俯采推进要比向斜轴部仰采推进支承压力集中系数大;而背斜轴部工作面俯采推进时,刚开始水平应力集中系数小,随着工作面的推进,水平应力集中系数逐渐增大,然后逐渐大于向斜轴部仰采推进。

3 邻近褶皱构造区域冲击地压控制对策

在分析了最大水平应力和采动应力分布规律与冲击地压的关系的基础上,提出以下褶皱区巷道防冲控制对策。

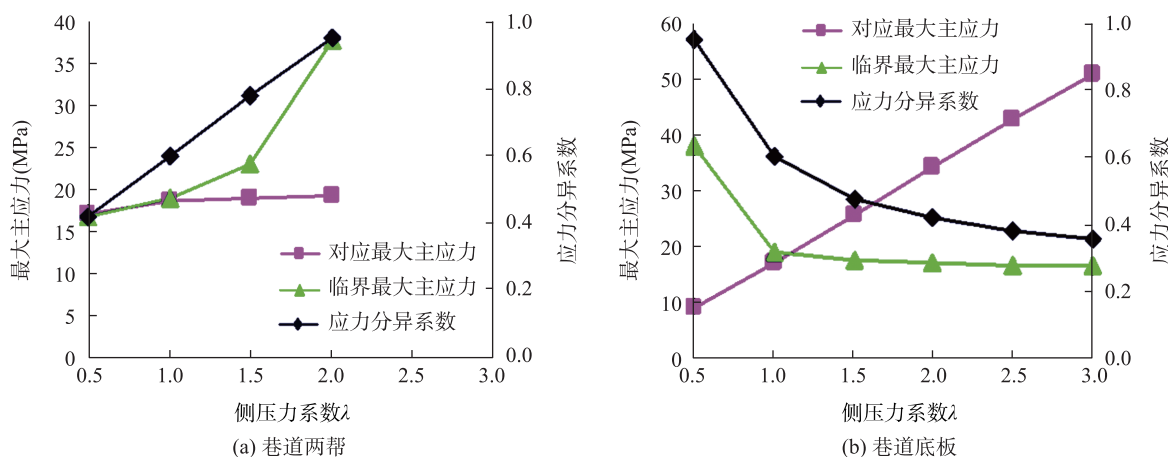


图2 不同加载侧压力系数下巷道两帮、底板的应力分异系数与临界最大主应力变化

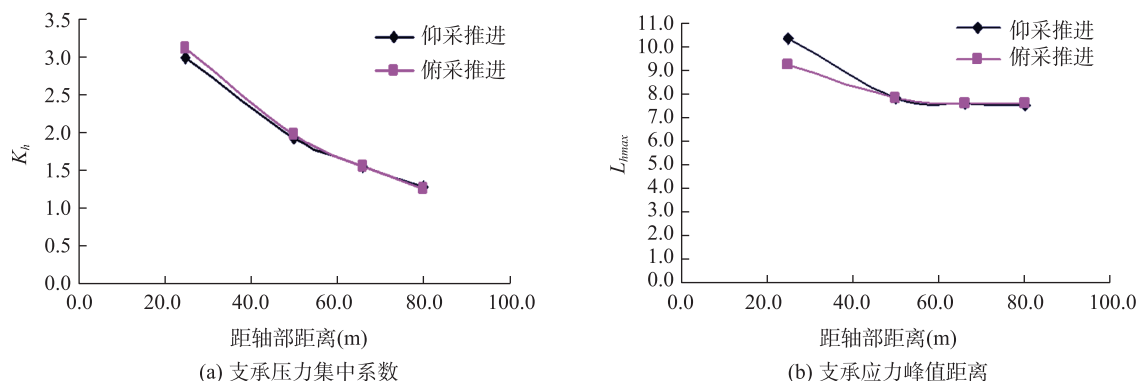


图3 工作面前方的水平应力变化

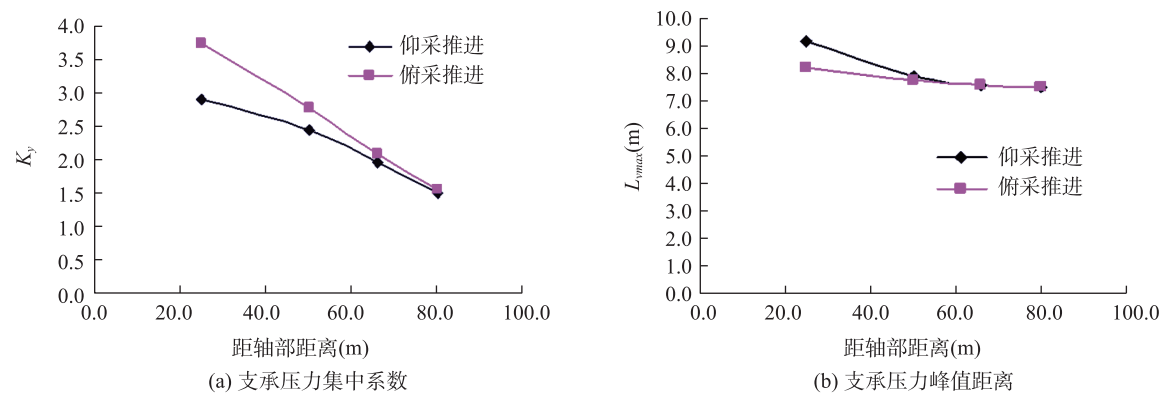


图4 工作面前方的支承压力变化

3.1 工作面优化布置

为进一步加大冲击地压灾害源头管控,从设计环节全过程防范事故风险,经过多年冲击地压防治经验,华亭煤矿总结出“先避后释再防”的防冲设计原则,即在设计阶段通过“优化采掘布局及接续避免形成应力集中区、优先开采解放层促进应力释放、完善支护设计和设备布局强化安全防护”三个方面入手,最大限度地遏制(防止)冲击地压事故发生,减少事故损失。

褶皱区的工作面防治最有效、直接的方式是从设计源头进行把控,充分考虑褶皱区的应力分布情况及其后续采掘扰动造成的采动应力变化规律,优化工作面的开采方向、采掘接续等。

(1)优化巷道掘进方向和布置方式。当巷道方向与最大水平应力方向垂直时,巷道底板所积聚的弹性能较大,因此,巷道轴线应尽可能地与最大水平应力平行或成小角度相交,避免与其垂直。

(2)优化工作面开采方向和布置顺序。由于褶皱区向斜附近是最大水平应力集中区和能量高积聚区,首先应尽量避免在褶皱向斜部分采掘,如不能避免,也应选择合适的工作面推进方向和工作面开采顺序,以尽量减小煤岩层内的弹性能集中。确需在褶皱区开采时,应优先开采向斜附近的工作面,如果工作面中既有向斜又有背斜时,应从向斜往背斜方向推进,这样可以避免煤岩体内能量聚积程度过高,有效降低冲击地压危险性。

3.2 巷道围岩弱化措施

通过对巷道围岩实施弱化措施,降低或消除冲击危险。

(1)释放开掘巷道前方积聚的弹性能。主要通过在前方煤体形成大量裂隙,破坏其完整性,降低煤体强度,从而避免弹性能的大量聚集,采取的主要措施有:

超前大直径钻孔、超前煤体松动爆破等。

(2)降低巷道周围积聚的弹性能。工作面前方的支承压力越大,围岩中积聚的弹性能程度越高,可能释放的能量越多,其挤压巷道底板使巷道底板内的水平应力增加就越厉害,容易使深部底板发生新的破断。因此,应设法降低巷道周围的弹性能,并使弹性能峰值远离巷道周边。可以采取的方法有:巷道周边煤体爆破卸压、注水、钻孔以及爆破断裂顶板等。

(3)设置弱化结构。在应力集中区域,对煤岩体进行松散破坏。对震动波传递的能量起到很好的吸收和阻尼作用,降低传递到巷道围岩附近的应力及能量,对可能发生的冲击地压强度起到弱化效果,起到保护巷道围岩结构稳定的目的。冲击地压强度弱化方法有:顶板深孔爆破来破坏顶板煤岩结构、大直径钻孔增效煤岩裂隙、煤层动压、静压注水来软化煤层等。

(4)临空巷道内错布置。对于褶皱区高构造应力与采动应力叠加的临空巷道区域,采用巷道内错布置能有效降低巷道应力集中,减小冲击危险性。

3.3 落实监测监控超前预警

(1)提升微震监测精度。华亭煤矿2501采区为单翼开采,西部临近陈家沟煤矿,北部临近硯北煤矿,受限于地质因素和开采技术条件,微震拾震器布置只能布置在工作面一侧,且高程变化小,难以形成全方位立体包裹。为此华亭煤矿通过引进三分量微震拾震器和在硯北煤矿快速行人通道加装微震拾震器构建矿井微震监测台网系统,实现微震震源高程和平面精准定位,大幅提升了矿井监测水平,精准判断高应力区域,为科学制定卸压措施提供了数据支撑。

(2)进行微震自适应被动层析反演。以往的监测方法都是依据局部点监测参量的变化趋势,进行冲击地压危险判断,对区域性的冲击危险程度判别不全面。

现通过微震自适应被动层析反演研究,实现了反演工作面区域内的波速场分布或波速异常分布,从而动态、定量评价工作面采掘过程中的冲击危险演化与分布,确定冲击危险区域以及冲击危险等级,并针对性地制定冲击危险治理方案及管理措施,避免了因SOS微震监测系统震源定位计算需人工进行标注人为因素严重影响定位精度和矿震报警滞后的现象。

4 主要结论

(1)通过对褶皱区域巷道两帮及顶底应力分布进行分析,得出侧压系数、径向应力及切向应力在巷道不同部位分布规律。

(2)通过建立模型,分别计算出了巷道围岩发生整体破坏的临界主应力值及巷道两帮、底板在不同加载侧压系数下的应力分异系数与最大主应力,及其内在关系。

(3)对不同推进方向、距褶皱轴部分别为80m、66m、50m、25m四个计算模型推采相同距离时的应力场变化进行了分析比较,得出其分布规律。

(4)查找出水平应力、采动应力与冲击地压显现之间的关联性,提出了以优化采掘部署、巷道围岩弱化为主的褶皱区冲击地压控制对策。

参考文献:

- [1] 窦林名,赵从国,杨思光,等.煤矿开采冲击地压防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,2006.
- [2] 窦林名,何学秋.冲击地压防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [3] 窦林名.煤矿冲击地压新理论与新技术——中国矿业大学研究进展[R].北京:中国矿业大学“煤炭资源与安全开采”国家重点实验室,2010.
- [4] 阿维尔申.煤矿地下开采的岩层移动[M].北京:煤炭工业出版社,1959.
- [5] 余德锦,孔步洲.陶庄矿地质构造应力分析及冲击地压的成因机理[J].煤炭学报,1993(3):77-84.
- [6] 池明波,赵阳升,等.基从构造形成分析冲击地压发生机理[J].煤炭技术,2015,34(2):96-98.
- [7] 陈国祥.最大水平应力对冲击矿压的作用机制及其应用研究[D].中国矿业大学,2009.
- [8] 毛勇奋,屈英.华亭煤矿强冲击倾向煤巷掘进期间矿压防治技术[J].煤矿安全,2015,46(4):73-76.
- [9] 徐元强,李守峰,李俊,张玉亮,刘志文,等.华亭煤矿强矿压动力灾害前兆信息微震识别与防治技术研究[R].华亭煤业集团华亭煤矿,2010.
- [10] 徐元强,李守峰,丁映杰,等.华亭煤矿特厚煤层覆岩煤柱型强矿压防治研究[R].华亭煤业集团华亭煤矿,2010.

(上接第186页)

下水系统对外部影响因素的响应。加大对岩溶大泉的形成机理研究,加密岩溶泉流量、水质的长期观测工作,将对保护岩溶大泉,科学合理开发利用岩溶地下水具有重要意义。

加强对地下水的监管和保护,目前对地下水资源开发利用还未进行统一管理规划,以致在一些厂矿集中地区各自为政争相开采,导致发生地面塌陷等地质环境问题。政府职能管理部门应当给予足够的重视,尽快建立起统一规划开发利用地下水的监管机制,严格按各块段开采资源来确定其开采井数和开采量,选择合适的开采形式和管井结构,做到地下水资源的合理开发,科学利用,保证地下水供需平衡和永续利用,保护地质环境和防止水质污染。

同时,实施取水许可制度,实行有偿开采地下水,杜绝滥采滥用地下水的现象。要严格依据法律法规,采取严厉的行政手段,严格遵守地下水资源的取水许

可审批和水资源论证制度。加强补给区至排泄区整体水循环保护,着重加强对泉出流通道采取相应保护对策。

参考文献:

- [1] 张文顶,王淑蓉,伍小琼.1:20万英德幅区域水文地质普查报告[R].广东省地质局,1981.
- [2] 赖定邦,吴丽霞,宋伟强,等.广东省水资源调查监测评价(包组1)水资源调查监测项目[R].广东省地质局,2022.
- [3] 王松,卢胜华,宋伟强,等.西南地区岩溶地下水污染调查评价(广东)成果报告[R].中国地质调查局,2015.
- [4] 廖兴良,王松,宋伟强,等.翁源县地下水资源勘查评价报告[R].广东省地质局,2011.
- [5] 孙斌,邢立亭,彭玉明,等.济南十大泉群特征、形成模式及水循环差异性浅析[J].中国岩溶,2021,40(3):409-419.
- [6] 王大伟,乔小娟,高波,等.山西龙子祠岩溶泉流量动态特征与影响因素分析[J].中国岩溶,2021,40(3):420-429.
- [7] 谢先明,周志华,宋伟强,等.广东省英德市地下水资源勘查评价报告[R].广东省地质局,2011.