

文章编号:1671-251X(2024)S2-0060-04

综采工作面回采期间冲击危险性评价及防冲设计

李瑞华¹, 尚秀全¹, 孟清华¹, 种磊刚², 姬鹏飞³

(1. 神木职业技术学院, 陕西 神木 719300; 2. 陕西麟北煤业开发有限责任公司, 陕西 宝鸡 721000;
3. 陕西陕煤榆北煤业有限公司, 陕西 榆林 719300)

摘要: 开采冲击地压煤层前, 对综采工作面进行冲击危险性评价工作, 对于降低冲击地压危害程度, 预防冲击地压事故的发生极其重要。以园子沟煤矿 1012102 冲击工作面为研究对象, 探索其冲击地压防治策略。分析了矿区地质和开采技术 2 种因素对开采工作面造成的影响, 使用冲击危险综合指数评价法对 2 种因素造成的危险等级进行评价, 进而提出了区域和局部相结合的 1012102 综采工作面冲击地压防治方案。

关键词: 综采工作面; 冲击地压; 冲击危险性评价; 防冲; 指数评价法

中图分类号: TD324 文献标志码: A

Impact risk assessment and anti-washout design during mining of fully mechanized mining face

LI Ruihua¹, SHANG Xiuquan¹, MENG Qinghua¹, ZHONG Leigang², JI Pengfei³

(1. Shennu Vocational & Technical College, Shenmu 719300, China; 2. Shaanxi Linbei Coal Industry Development Co., Ltd., Baoji 721000, China; 3. SHCCIG Yubei Coal Industry Co., Ltd., Yulin 719300, China)

0 引言

陕西麟北煤业开发有限责任公司园子沟煤矿位于陕西省宝鸡市麟游县西北部, 行政区划属两亭镇管辖, 井田东西长 12.2~20.4 km, 南北宽 5.3~13.2 km, 面积 237.17 km²。矿井设计生产能力为 8.00 Mt/a, 服务年限 64.3 a, 矿井采用立井单一水平开拓方式, 共划分 12 个盘区, 可采煤层主要有 4 层, 分别为 2-1, 2, 3-1, 3 煤层, 其中 2-1 煤层和 2 煤层为大部分可采煤层, 3-1 煤层和 3 煤层为局部可采煤层。1012102 工作面是园子沟煤矿 101 盘区布置的第 3 个综放工作面, 工作面回采煤层为 2 煤层, 其赋存稳定, 结构较为简单^[1-2]。为预防 1012102 工作面冲击地压事故的发生, 保证矿井安全生产, 根据《煤矿安全规程》第二百二十七条和《防治煤矿冲击地压细则》第十四条规定: “开采冲击地压煤层必须进行采区、采掘工作面冲击危险性评价”^[3-4], 对工作面进行冲击危险性评价及划分冲击危险区域等尤为重要。为进一步加强 1012102 工作面回采期间的冲击地压防治工作, 降低冲击地压危

害程度, 预防冲击地压事故的发生, 保证矿井安全生产, 结合现场地质条件和开采技术条件, 开展 1012102 工作面回采期间冲击危险性评价及防治专项设计工作。

1 1012102 工作面概况

1012102 工作面如图 1 所示。该工作面位于 101 盘区东翼, 四周实体煤, 工作面终采线距离 101 盘区一号回风巷 615 m, 工作面倾向长度 200 m, 走向长度 2 570 m, 可采长度 1 954 m, 面积 0.51 km², 可采面积 0.39 km²。工作面回采区域内沿走向总体呈“V”型起伏状, 回风巷侧外段煤层起伏频繁。工作面煤层倾角 0~12°, 煤层底板标高 587~675 m。

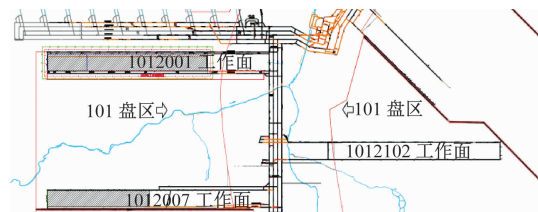


图 1 1012102 工作面布置

收稿日期: 2024-12-04; 责任编辑: 李明。

基金项目: 陕西省教育厅课题资助项目 (23JK0430)。

作者简介: 李瑞华 (1992—), 男, 陕西榆林人, 助教, 研究方向为采矿工程, E-mail: 630487866@qq.com。

工作面煤岩层主要受 X4 向斜控制。X4 向斜位于工作面西部,轴部走向约 234°,两翼倾角 4~12°。在 X4 向斜的影响下,工作面在回采里程 0~940 m 范围内煤层近似单斜构造,处于向斜东翼,工作面俯采,回采里程 1 655~1 828 m 工作面仰采,其他回采区域处于 X4 向斜轴部附近。根据三维地震勘探报告及工作面两侧巷道掘进施工揭露情况分析,影响工作面回采的共有 5 条断层,分别为掘进期间新揭露的 DFX19,DFX20,DFX21 断层及三维地震勘探显示的 DF34,DF35,DF54 断层。DF54 断层为一正断层,倾角 65°,断层落差 0~4 m,断层走向 47°,断层位于切眼外 8~100 m 范围。DFX20 断层为掘进期间新揭露的断层,为一正断层,倾角 45°,断层落差 0~3.7 m,断层走向 149°,胶带巷回采里程 541 m 处揭露,受断层影响胶带巷破煤层底板,长度 130 m。DFX21 断层为掘进期间新揭露的断层,为一正断层,倾角 53°,断层落差 0~1.2 m,断层走向 330°,回风巷回采里程 1 127 m 处揭露。DFX19 断层为掘进期间新揭露的断层,为一正断层,倾角 60°,断层落差 0~1 m,断层走向 150°,胶带巷回采里程 1 945 m 处揭露。DF35 断层为一正断层,掘进期间未揭露,根据三维地震勘探资料,断层倾角 57~60°,断层落差 0~7 m,断层走向 252°,断层处于胶带巷外,距离胶带巷 85 m。DF34 断层为一正断层,根据三维地震勘探资料,断层倾角 60°,断层落差 0~8 m,断层走向 90°,断层处于回风巷外,距离回风巷 57 m。

2 1012102 工作面回采期间冲击危险性评价

2.1 回采期间冲击危险性因素分析

冲击地压产生诱因可以分成地质因素和开采技术因素,如图 2 所示。

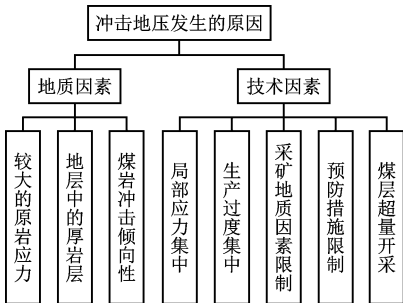


图 2 冲击地压产生诱因

地质因素中最基本的是原岩应力,主要由岩体的重力和构造残余应力组成,井巷周围岩体的应力主要由采深决定,而构造残余应力弱出现在褶曲和断层附近。其次是煤岩的冲击倾向性和岩层结构,一般情况下煤岩的冲击倾向性越大,发生冲击地压

的可能性就越大。同时,煤的强度大、弹性好,冲击的倾向性就高,顶板岩层越坚硬,越容易诱发冲击地压。开采技术因素中主要是开采引起局部应力集中和采动压力大。其主要原因是开采系统设计不合理或不完善,或具有坚硬的顶板、较大的悬顶,造成较大的应力集中,或是由于开采历史造成的,如煤柱终采线造成的应力集中传递到邻近的煤层等。同时,生产的集中化程度越高,越容易发生冲击地压。地质因素和开采技术因素导致的冲击危险评定指数指标见表 1、表 2。

表 1 地质因素导致的冲击危险评定指数指标

影响因素	因素值	危险性 评价值
W ₁ (同一水平煤层冲击地压发生次数 n)	n=0	0
	n=1	1
	2≤n<3	2
	n≥3	3
W ₂ (开采深度 h)	h≤400 m	0
	400 m<h≤600 m	1
	600 m<h≤800 m	2
	h>800 m	3
W ₃ (上覆裂隙带内坚硬厚层岩层距煤层距离 d)	d>100 m	0
	50 m<d≤100 m	1
	20 m<d≤50 m	2
	d≤20 m	3
W ₄ (开采区构造引起的应力增量与正常应力之比 γ)	γ≤10%	0
	10%<γ≤20%	1
	20%<γ≤30%	2
	γ>30%	3
W ₅ (顶板岩层厚度特征参数 L _{st})	L _{st} <50 m	0
	50 m<L _{st} ≤70 m	1
	70 m<L _{st} ≤90 m	2
	L _{st} >90 m	3
W ₆ (煤的单轴抗压强度 R _c)	R _c ≤10 MPa	0
	10 MPa<R _c ≤16 MPa	1
	16 MPa<R _c ≤20 MPa	2
	R _c >20 MPa	3
W ₇ (煤的弹性能指数 W _{ET})	W _{ET} <2	0
	2≤W _{ET} <3.5	1
	3.5≤W _{ET} <5	2
	W _{ET} ≥5	3

2.2 基于综合指数法的冲击危险评价

综合指数法在分析已发生的冲击地压灾害基础上,分析各种采矿地质因素对冲击地压发生的影响,确定各种因素的影响权重,然后将其综合起来,建立

表 2 开采技术导致的冲击危险评定指数指标

影响因素	因素值	危险性 评价值
W ₁ (工作面距上保护层 开采遗留的煤柱的 水平距离 h_z)	$h_z \geq 60$ m	0
	$30\text{ m} \leq h_z < 60$ m	1
	$0 \leq h_z < 30$ m	2
	$h_z < 0$ m	3
W ₂ (工作面与邻近 采空区的关系)	实体煤工作面	0
	一侧采空	1
	两侧采空	2
	三侧及以上采空	3
W ₃ (工作面长度 L_m)	$L_m \geq 300$ m	0
	$150\text{ m} \leq L_m < 300$ m	1
	$100\text{ m} \leq L_m < 150$ m	2
	$L_m < 100$ m	3
W ₄ (区段煤柱宽度 d)	$d \leq 3$ m 或 $d \geq 50$ m	0
	$3\text{ m} < d \leq 6$ m	1
	$6\text{ m} < d \leq 10$ m	2
	$10\text{ m} < d < 50$ m	3
W ₅ (留底煤厚度 t_d)	$t_d = 0$	0
	$0 < t_d \leq 1$ m	1
	$1\text{ m} < t_d \leq 2$ m	2
	$t_d > 2$ m	3
W ₆ (向采空区掘进的巷道, 停掘位置与采空区的 距离 L_{jc})	$L_{jc} \geq 150$ m	0
	$100\text{ m} \leq L_{jc} < 150$ m	1
	$50\text{ m} \leq L_{jc} < 100$ m	2
	$L_{jc} < 50$ m	3
W ₇ (向采空区推进的 工作面,终采线与采空 区的距离 L_{mc})	$L_{mc} \geq 300$ m	0
	$200\text{ m} \leq L_{mc} < 300$ m	1
	$100\text{ m} \leq L_{mc} < 200$ m	2
	$L_{mc} < 100$ m	3
W ₈ (向落差大于 3 m 的断层 推进的工作面或巷道,工作 面或迎头与断层的距离 L_d)	$L_d \geq 100$ m	0
	$50\text{ m} \leq L_d < 100$ m	1
	$0 \leq L_d < 50$ m	2
	$L_d < 20$ m	3
W ₉ (向煤层侵蚀、合层或厚度 变化部分推进的工作面或 巷道,接近煤层变化部分的 距离 L_b)	$L_b \geq 50$ m	0
	$20\text{ m} \leq L_b < 50$ m	1
	$10\text{ m} \leq L_b < 20$ m	2
	$L_b < 10$ m	3

起冲击地压危险性评价和预测的综合指数法。危险性指数分为地质因素评价的指数和开采技术因素评价的指数,综合二者来评价区域的冲击危险程度。

$$W_t = \max\{W_{t1}, W_{t2}\}$$

(1)

式中: W_t 为冲击危险等级评定综合指数; W_{t1} 为地质因素对冲击危险等级评定贡献; W_{t2} 为采矿技术

对冲击危险等级评定贡献。

$$W_{t1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} W_i}{\sum_{i=1}^{n_1} W_{imax}}$$

(2)

式中: $n_1=7$,当 $W_{t1} \leq 0.25$ 时地压属于无冲击状态, $0.25 < W_{t1} \leq 0.5$ 时属于弱冲击状态, $0.5 < W_{t1} \leq 0.75$ 时属于中等冲击状态, $W_{t1} > 0.75$ 时属于强冲击状态。

$$W_{t2} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} W_i}{\sum_{i=1}^{n_2} W_{imax}}$$

(3)

式中: $n_2=9$, $W_{t2} \leq 0.25$ 时地压属于无冲击状态, $0.25 < W_{t2} \leq 0.5$ 时属于弱冲击状态, $0.5 < W_{t2} \leq 0.75$ 属于中等冲击状态, $W_{t2} > 0.75$ 时属于强冲击状态。

综合以上分析结果,1012102 工作面回采期间地质因素影响和开采技术影响下的冲击危险性指数计算结果见表 3。

表 3 地质因素影响和开采技术影响下的冲击危险性指数

影响因素	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W _t
W _{t1}	0	2	2	1	3	0	1	—	—	0.43
W _{t2}	0	1	0	2	0	3	0	1	—	0.29

由上述评定的地质因素及开采技术因素影响的冲击危险综合指数,可判定 1012102 工作面回采期间冲击地压危险等级评价值为 0.43,就目前开采情况而言,1012102 工作面回采期间整体具有弱冲击危险性。

3 1012102 工作面回采期间防冲设计

冲击地压矿井工作面回采期间防冲设计分为区域防冲和具备防冲,区域防冲设计主要从回采速度、工作面支护设计等方面考虑,局部防冲需要设计钻孔预卸压方案、使用顶板水力压裂技术等方法降低冲击地压的危险程度。

3.1 工作面回采期间区域防冲设计

3.1.1 工作面回采速度设计

现有统计结果表明,矿山震动是矿山开采的直接产物,低能量动载的次数、能量与开采速度呈近线性正相关,而高能量动载与开采速度呈非线性关系,开采速度越快,动载的次数和能量越高。根据园子沟煤矿 101 盘区回采经验及类似开采条件,设计工作面最大推进度,初步设计 1012102 工作面回采速度,中等、弱冲击危险区回采速度分别不得超过

5.6 m/d,7.2 m/d。

3.1.2 巷道支护系统抗冲能力设计与评估

1012102 工作面内布置 109ZF16000/23/42 型支撑掩护式支架,机头安设 3 架 ZFG16000/27/42 型过渡支架,机尾安设 4 架 ZFG16000/27/42 型过渡支架。1012102 工作面两巷超前支护设计长度 130 m,胶带巷煤壁前 20 m 段采用一组 ZCZ30000/26/40 型液压支架进行支护,20~130 m 采用 ZQ4000/25/45.5 双柱单元支架支护,回风巷煤壁前 20 m 段采用一组 ZCZ40000/26/40 型液压支架进行支护,20~130 m 采用 ZQ4000/25/45.5 双柱单元支架支护。经过核验,1012102 工作面支护系统顶板、帮部支护能力见表 4。

表 4 1012102 工作面支护系统顶板、帮部支护能力

巷道支护段	吸收能量/ (kJ·m ⁻²)	质点震动峰值 速度/(m·s ⁻¹)
回风巷顶板基本支护段	10.949	3.13
回风巷帮部基本支护段	6.908	5.11
胶带巷顶板基本支护段	10.571	3.03
胶带巷帮部基本支护段	6.908	3.26
回风巷超前支架支护	51.160	2.77
回风巷单元式防冲支架支护	54.730	2.89
胶带巷超前支架支护	44.370	2.52
胶带巷单元式防冲支架支护	27.450	1.78

质点峰值速度、震源中心到冲击破坏点的距离 R 与爆破强度之间的关系为

$$\begin{cases} \lg(Rv) = 3.95 + 0.57M_L \\ \lg E_L = 1.8 + 1.9M_L \end{cases} \quad (4)$$

式中: R 为震源中心到冲击点的距离; v 为质点峰值速度; M_L 为震级; E_L 为矿震能量。

园子沟煤矿 1012102 工作面当前可抵抗的质点峰值速度最小值为 1.78 m/s,大于 0.81 m/s 因此,1012102 工作面两巷道支护能力较强,可以抵抗较高能级的动载扰动。

3.2 工作面回采期间局部防冲设计

1) 大直径钻孔预卸压。弱冲击危险区巷道两

帮煤壁钻孔布置超前工作面不小于 200 m,巷道每隔 3 m 施工 1 个钻孔,煤厚大于 8 m 时孔深 25 m,煤厚小于 8 m 时孔深 20 m,距底板 1.5~2.0 m,钻孔孔径不小 150 mm。中等冲击危险区巷道两帮煤壁钻孔布置超前工作面不小于 200 m,巷道每隔 2 m 施工 1 个钻孔,煤厚大于 8 m 时孔深 25 m,煤厚小于 8 m 时孔深 20 m,距底板 1.5~2.0 m,钻孔孔径不小于 150 mm。

2) 顶板水力压裂。该技术作为一种基于石油开采而迅速发展起来的技术,具有操作简单、适用性广、安全性能高等优点^[5],且兼具降低粉尘、温度功能,得到了广泛关注与研究,并成功应用于煤矿防治冲击地压领域。水力压裂的实质就是在煤岩体内注入高压水后,产生微裂纹,且裂纹不断扩展延伸直至失稳破坏的过程。

4 结语

通过综合指数法确定了 1012102 工作面回采期间地质因素评价指数为 0.43,开采技术因素指数为 0.29,综合指数为 0.43。就目前开采情况而言,1012102 工作面回采期间整体具有弱冲击危险性。设计了 1012102 工作面回采期间冲击地压防治方案,对于降低冲击地压危害程度、预防冲击地压事故的发生具有借鉴意义。

参考文献:

[1] 张驰,马殷仓.基于园子沟煤矿 1012001 工作面定向长钻孔代替高抽巷抽采试验研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(19):58-60.

[2] 龙隆,李猛.园子沟煤矿 1012007 工作面微震能量活动规律分析[J].煤,2023,32(2):88-90,97.

[3] 吴靖,韩毅.园子沟煤矿冲击地压灾害治理技术研究[J].煤矿现代化,2023,32(4):47-51.

[4] 王莹.煤矿安全规程类文本问答系统的研究和实现[D].徐州:中国矿业大学,2023.

[5] 李敏敏.基于历史事故的煤矿安全知识图谱构建及应用[D].淮南:安徽理工大学,2022.