

第一届全国煤矿冲击地压防治学术大会

深孔顶板预裂爆破力构协同防冲机理 及工程实践

汇报人：赵善坤

博士/副研究员

煤炭科学技术研究院有限公司

2020年12月05日

论文主要内容

一、研究背景

二、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲机理分析及类型划分

三、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲影响因素分析

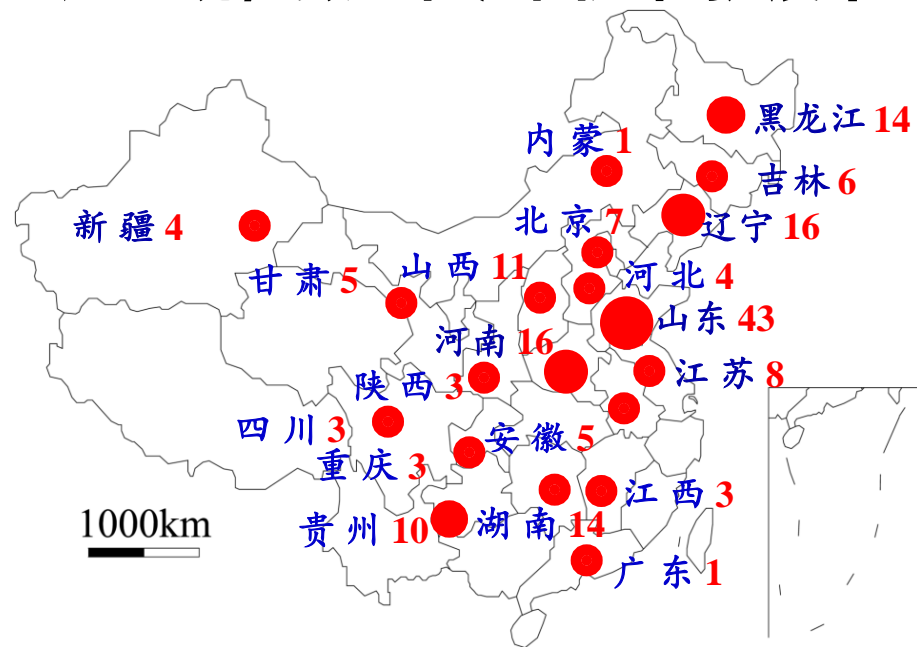
四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践

五、对陕蒙地区冲击地压防控的一些认识

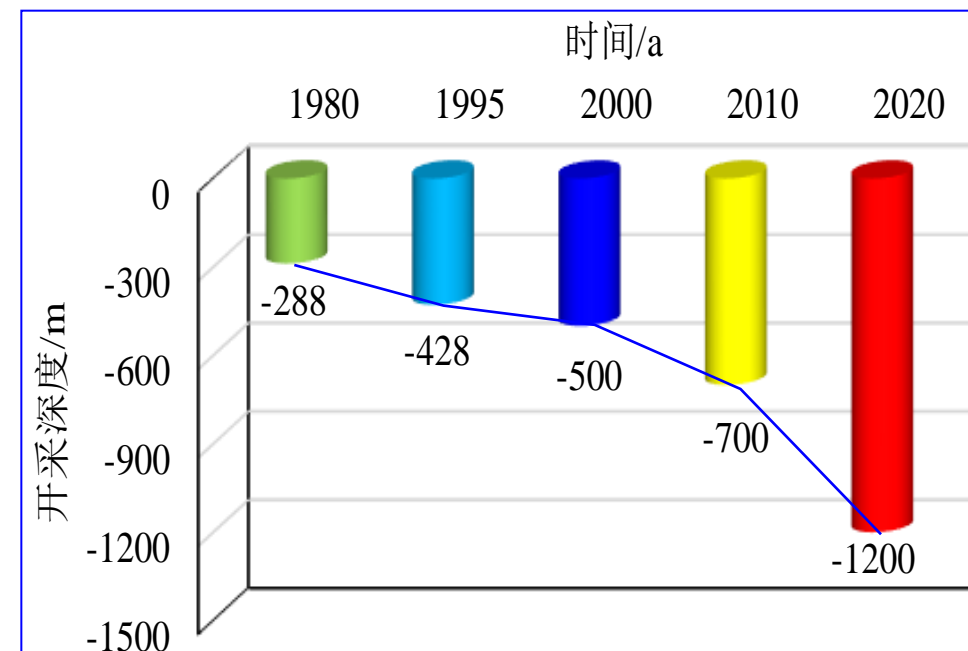
一、研究背景



- 煤炭是我国主体能源，经济发达的**中东部地区浅部资源逐渐枯竭**，**深部煤炭资源开采逐渐向深部、西部地区转移**
- 冲击地压是煤矿深部开采最重要的动力灾害之一，已在我国**10多个省区**，**133对矿井**发生过显现，数量和范围还在扩展中

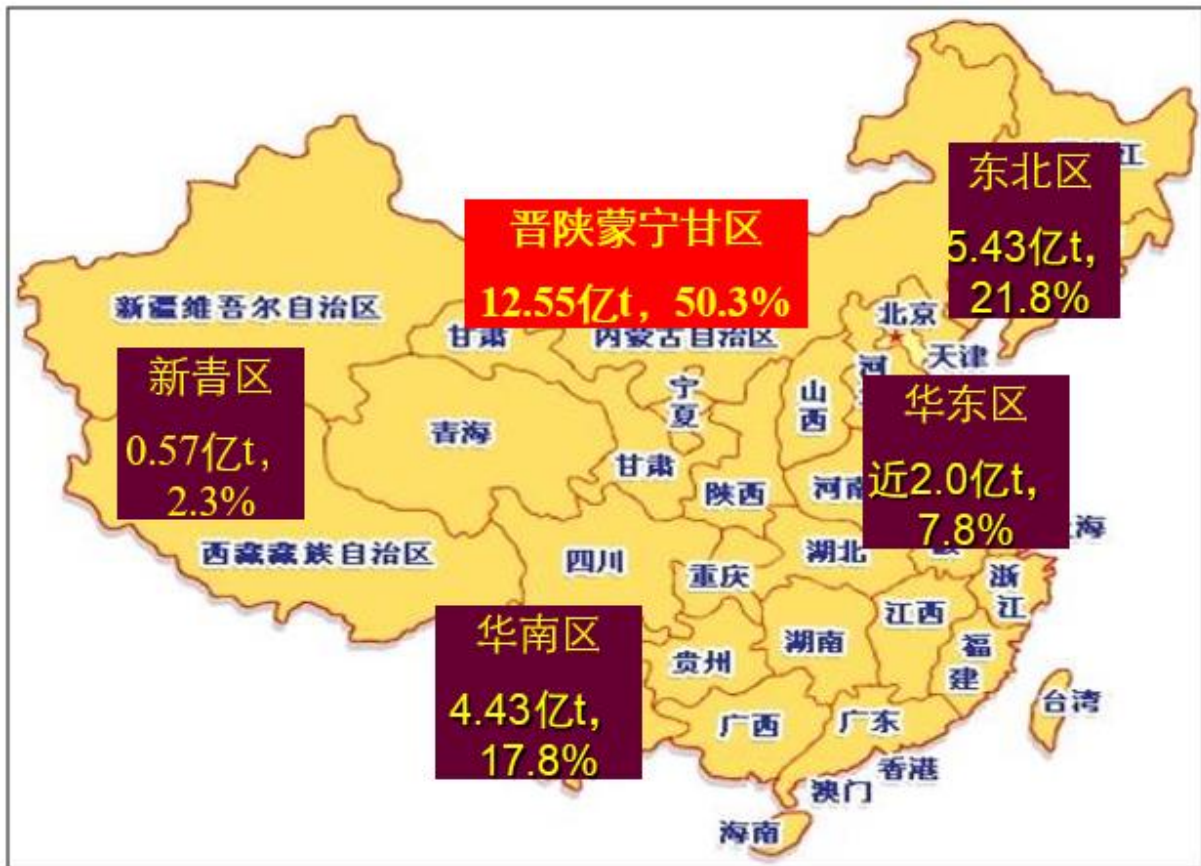


我国冲击地压矿井分布区域图
(数据来源: 国家煤矿安全监察局最新调研报告)



我国煤矿采深趋势图

一、研究背景



中国煤炭资源区域分布图

地层	柱状 1:200	层厚 (m)	岩石名称	岩性描述
直罗组 J ₃ ⁺		9.19-11.90 22.03	中砂岩	中砂岩, 距煤层94.41~106.44m, 厚度12.03m 灰白色, 成分以石英为主, 含少量云母碎屑及粉砂岩, 局部钙胶结, 均匀层理, 半坚硬-坚硬。
		5.90-11.02 10.51	砂质泥岩	灰色, 灰白色, 含少量云母碎屑, 胶结发育, 见钙泥团, 夹少量炭化植物碎屑。
侏罗系中统延安组 J ₃ ⁺		11.11-15.00 3.89	细砂岩	细砂岩, 距煤层72.54~83.84m, 厚度11.30m 灰白色, 成分以石英为主, 以石英为主, 见少量黄铁矿及炭屑, 半坚硬, 胶结。
		0.22-0.50 0.30	泥岩	深灰色, 以粉砂为主, 夹泥质粉砂岩, 含微青壳, 胶结状结构, 胶结发育, 半胶型。
		5.10-15.00 1.01	细砂岩	灰白色, 厚层状, 均匀层理, 以石英为主, 见少量黄铁矿及炭屑, 半坚硬, 胶结。
延安组 J ₃ ⁺		5.90-11.02 10.51	砂质泥岩	深灰色, 局部为灰黑色, 含砂均匀, 水平层理, 含植物化石碎屑, 夹细砂岩透镜体。
		4.97-12.20 1.11 10.22-11.10 0.88	中砂岩	中砂岩, 距煤层29.06~45.29m, 厚度16.23m 灰白色, 厚层状, 均匀层理, 以石英为主, 含少量云母碎屑及粉砂岩, 胶结状, 分选中等-差, 半坚硬-坚硬。
延安组 J ₃ ⁺		10.15-25.09 10.22	中砂岩	灰白色, 局部含钙质胶结, 厚层状, 以石英为主, 含黄铁矿及云母, 见少量炭屑及黄铁矿胶结, 分选中等-差, 半坚硬-坚硬。
		2.50-10.15 6.41	中砂岩	中砂岩, 距煤层7.62~22.65m, 厚度15.03m 灰白色, 水平层理, 夹炭质粉砂, 局部含黄铁矿胶结。
延安组 J ₃ ⁺		12.98-10.10 15.03	中砂岩	灰白色, 薄层状, 平行一微斜层理, 粉砂层理, 成分以石英为主, 夹石英、粉砂岩、白云母, 胶结, 分选良好, 胶结状, 含黄铁矿、炭屑, 局部见炭屑及黄铁矿胶结, 层间深灰色胶, 透水性好。
		4.25-10.2 1.02	砂质泥岩	灰色, 薄层状, 水平一微斜层理, 平行状粉砂, 含白云母, 大量胶结, 含植物化石碎屑。
		4.1-0.21 5.50	2-3层	灰色, 块状, 微青壳, 灰色至深, 由粉砂-泥质粉砂, 属半胶型, 分选差, 胶结状, 含植物化石碎屑, 局部见黄铁矿胶结, 底部见黄铁矿胶结。
延安组 J ₃ ⁺		2.10-1.30 5.54	砂质泥岩	深灰色, 薄层状, 夹炭质粉砂, 水平层理, 见少量植物化石碎屑, 半坚硬。

陕蒙地区侏罗纪3号煤地层结构统计图

一、研究背景

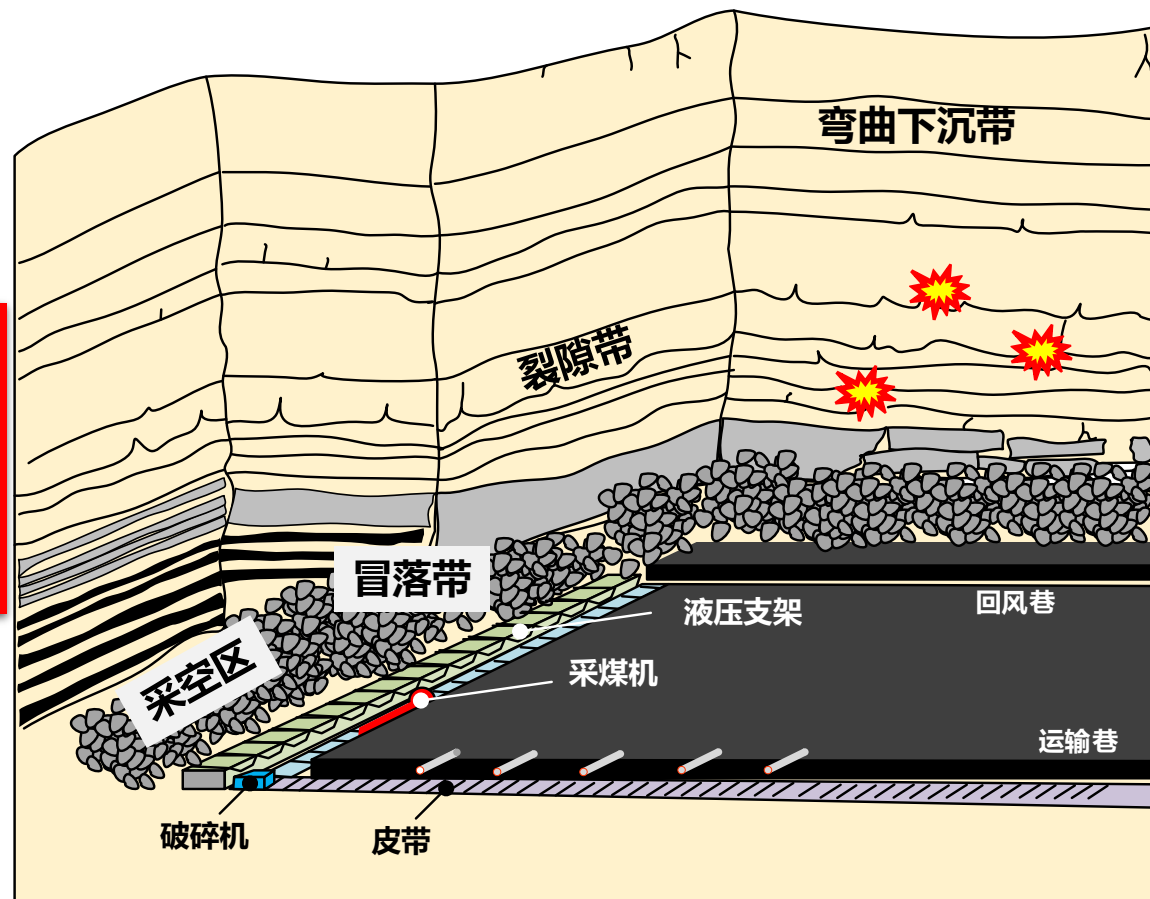


煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

围岩结构
损伤及围
岩应力集
中程度显
著增加

“两进一回式”巷道布置方式

重复采动影响



宽煤柱高强度开采

应力水平显著升高

破坏的突发性增强

灾害发生的可能性
及其防治
难度显著
增加

采动巷道厚硬顶板破断诱发冲击地压日益严重

一、研究背景



煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE



(a) 山西忻州窑煤矿回采巷道冲压破坏



(b) 新疆宽沟煤矿工作面采煤机掀翻



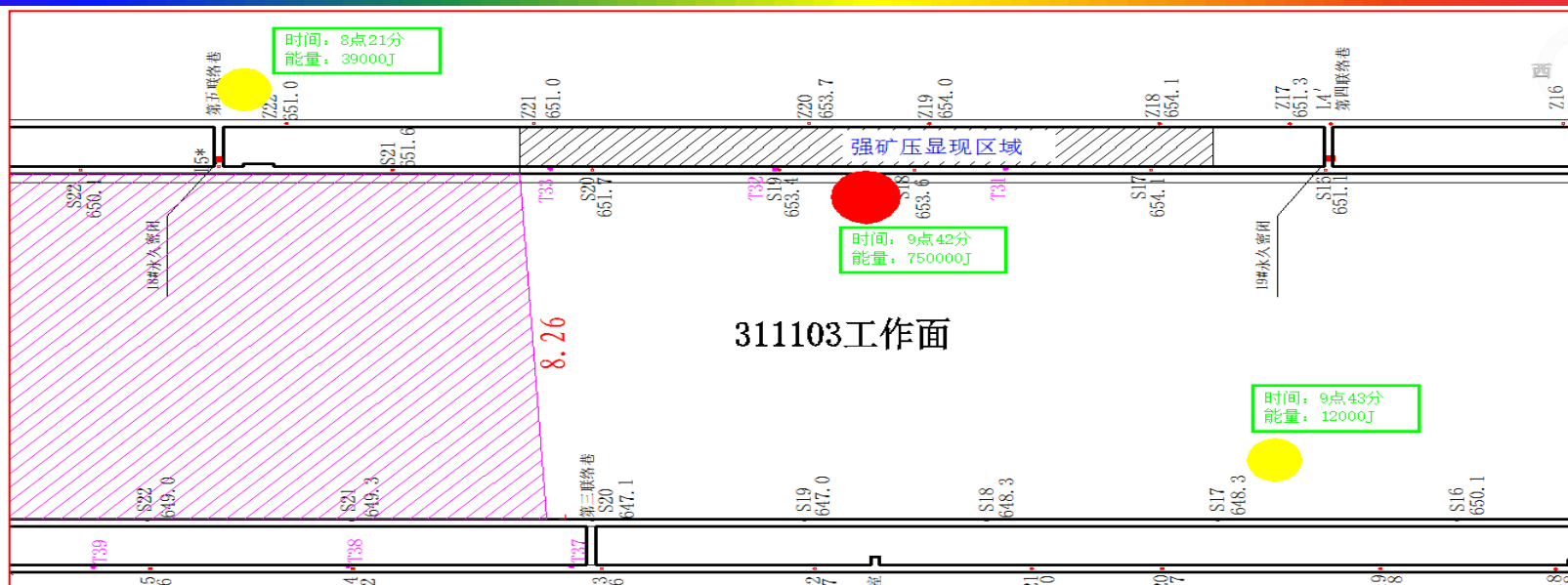
(c) 陕西高家堡煤矿巷帮煤体冲出



(d) 内蒙古巴彦高勒煤矿回风巷变形

西北晋陕蒙地区典型厚硬顶板重复采动巷道动压显现破坏图

一、研究背景



巴彦高勒煤矿“8.26”事故



巷道严重底鼓，支护系统失效
(超前120-350m)

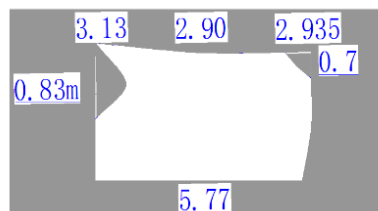


区段煤柱下底板整体冲出，最大量1.5m
(超前120-350m)

一、研究背景

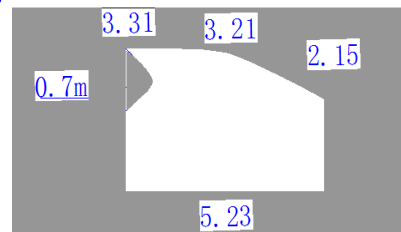


① 左 2087.9m 右



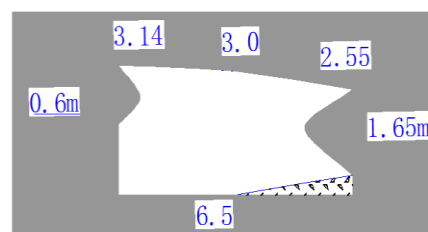
前方90m

② 左 2073.9m 右



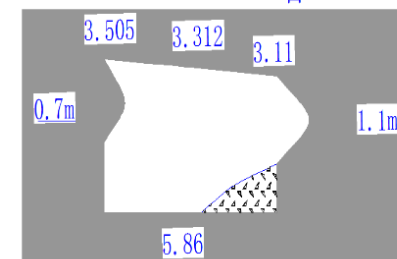
前方104m

③ 左 2063.3m 右



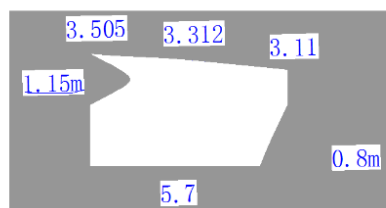
前方114.6m

④ 左 2052.3m 右



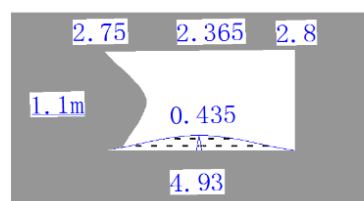
前方125.6m

⑤ 左 2025m 右



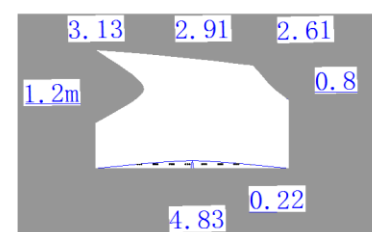
前方152.6m

⑥ 左 2010m 右



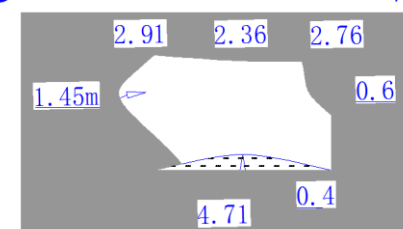
前方167.6m

⑦ 左 1996m 右



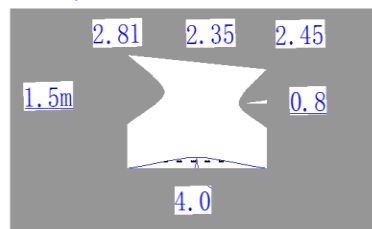
前方181.6m

⑧ 左 1980m 右



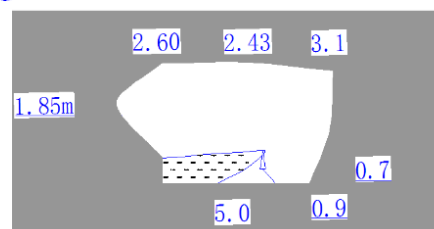
前方197.6m

⑨ 左 1965m 右



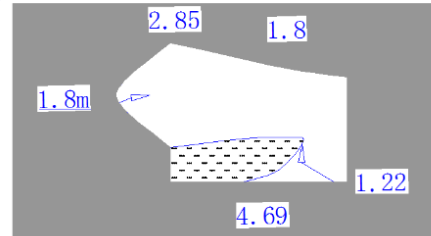
前方212.6m

⑩ 左 1950m 右



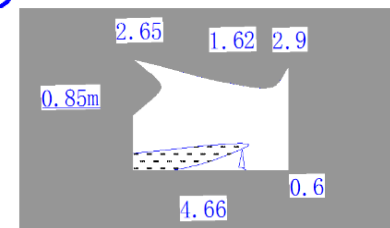
前方227.6m

⑪ 左 1936m 右



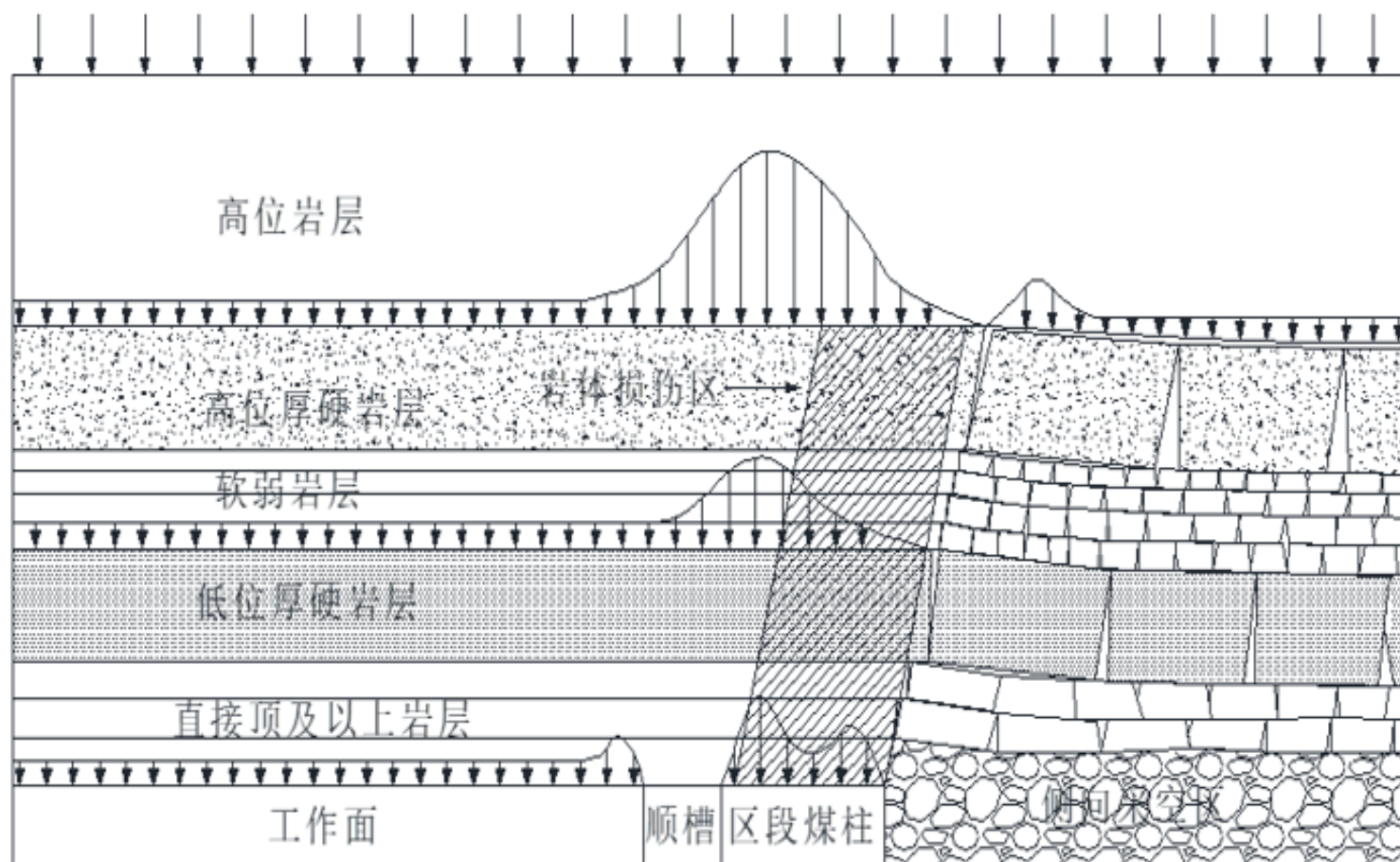
前方241.6m

⑫ 左 1928m 右



前方249.6m

一、研究背景



重复采动巷道侧向高低位厚硬顶板运动下二次采动影响下应力场分布状态

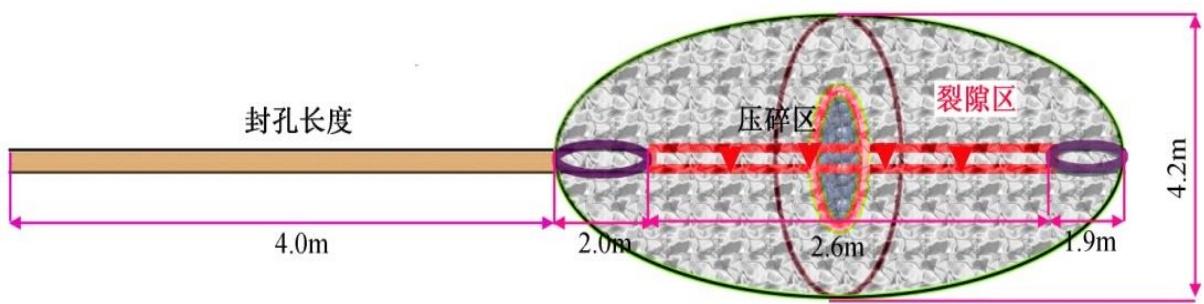
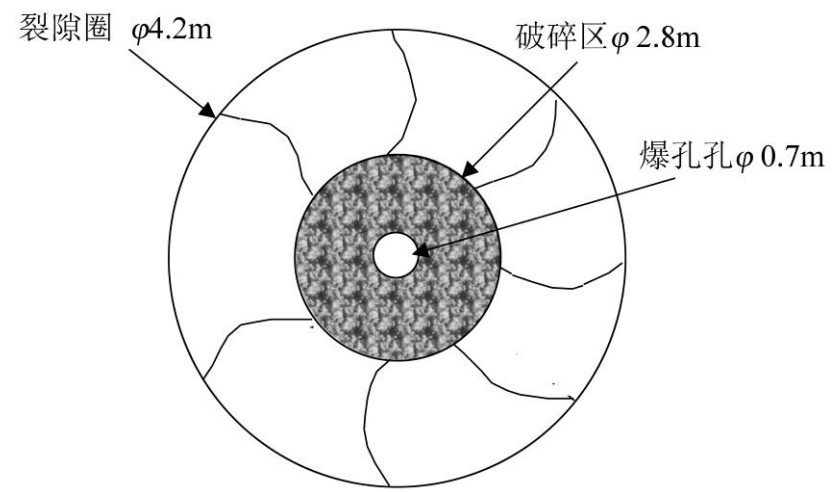
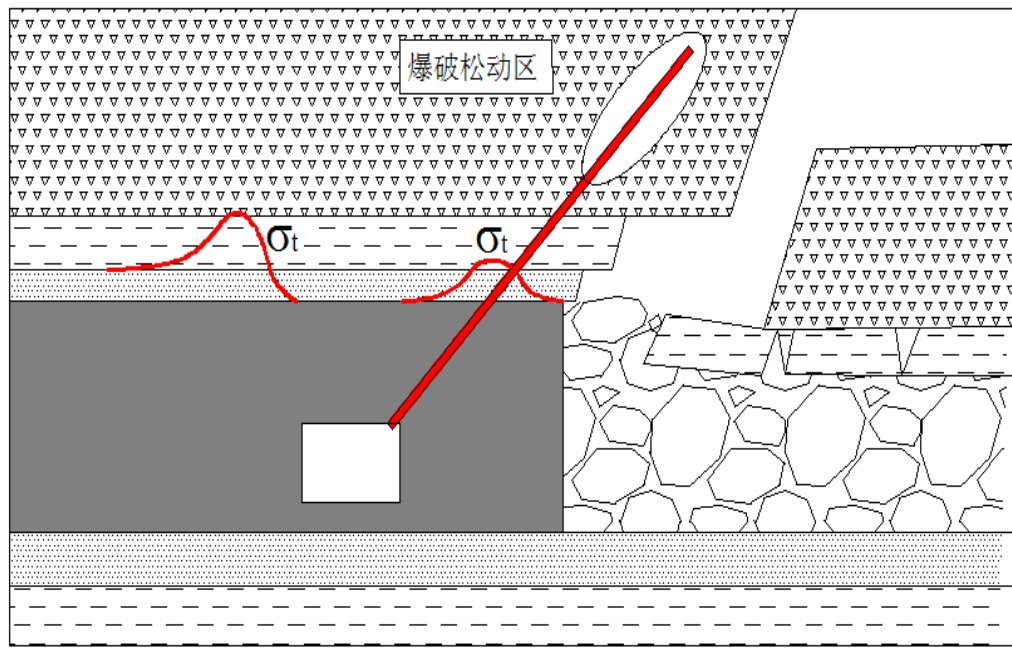
主要影响因素：

- 1、侧向采空区复合型坚硬顶板不及时垮断；
- 2、煤柱留设宽度较大
- 3、顶底煤均具有强冲击倾向性；

既定条件下，只能处理顶板。

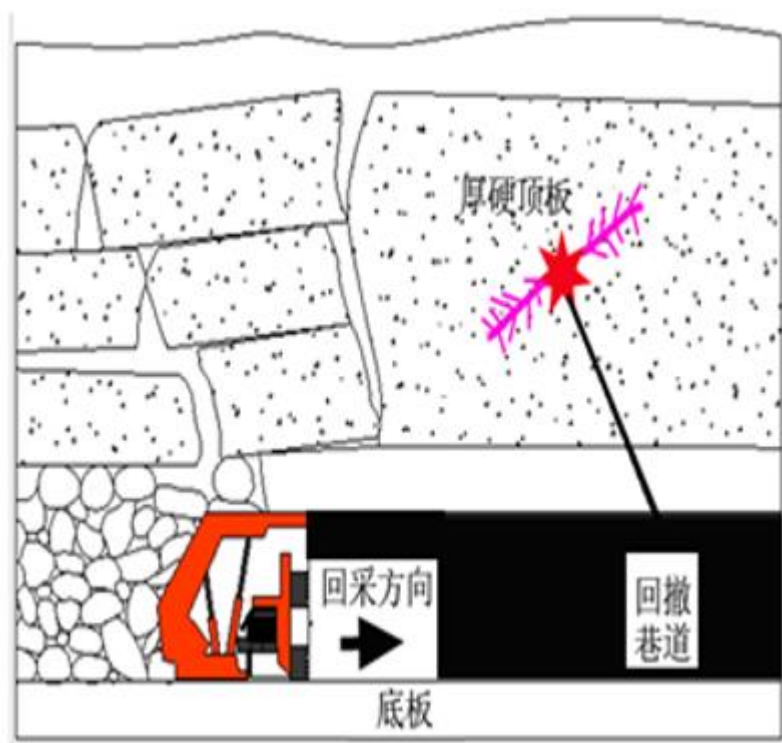


深孔顶板预裂爆破力构协同防控机理分析

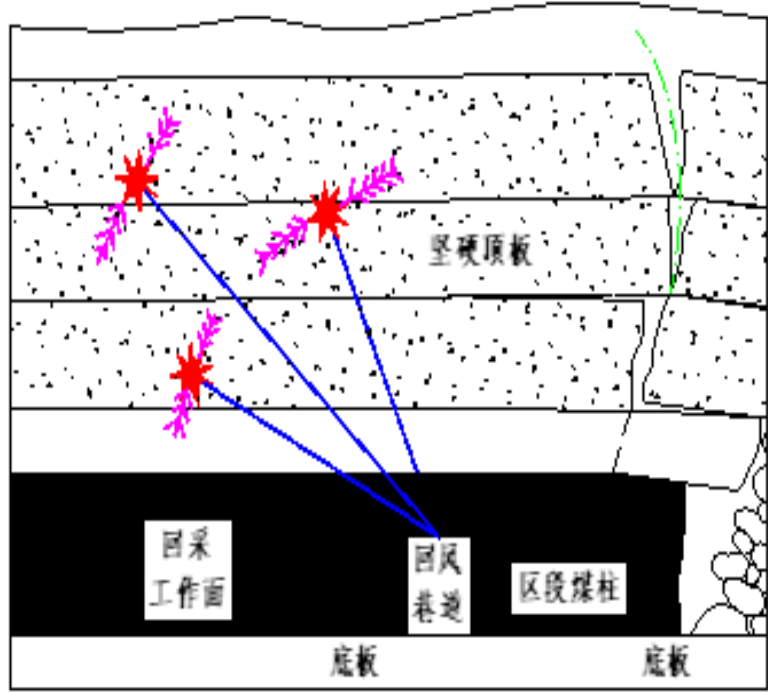


采用不耦合装药条件下，爆炸应力波所产生的破裂区半径：

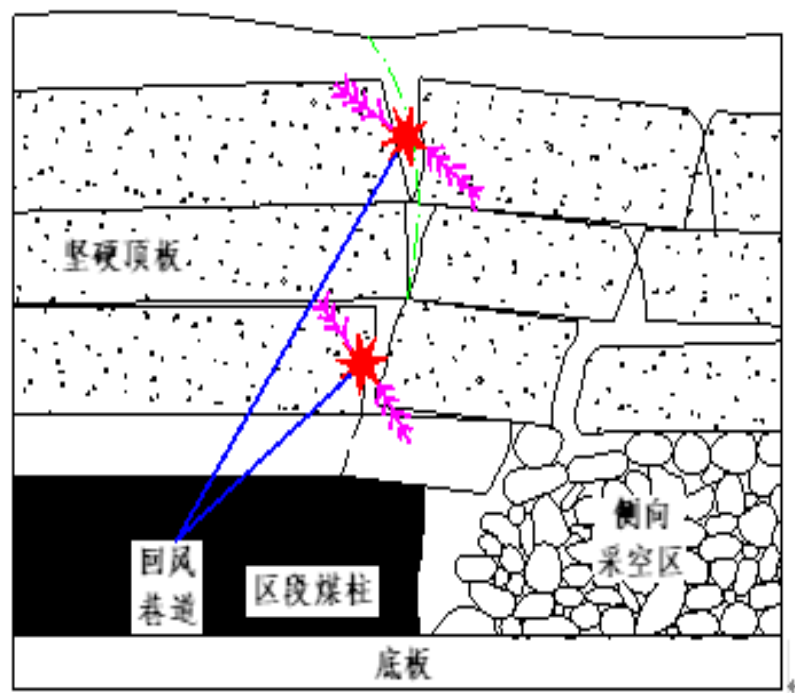
$$R_p = \left[\frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{td}} \right]^{\frac{1}{\beta}} \left[\frac{\rho_0 D_V n K^{-2\gamma} l_e B}{8\sqrt{2}\sigma_{cd}} \right]^{\frac{1}{\alpha}} r_b$$



(a) 末采期间爆破



(b) 超前预裂爆破

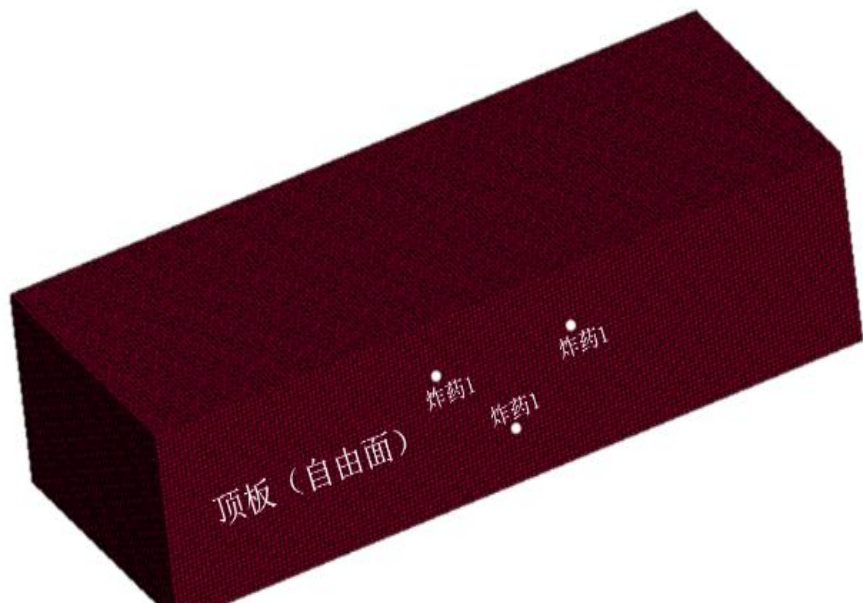
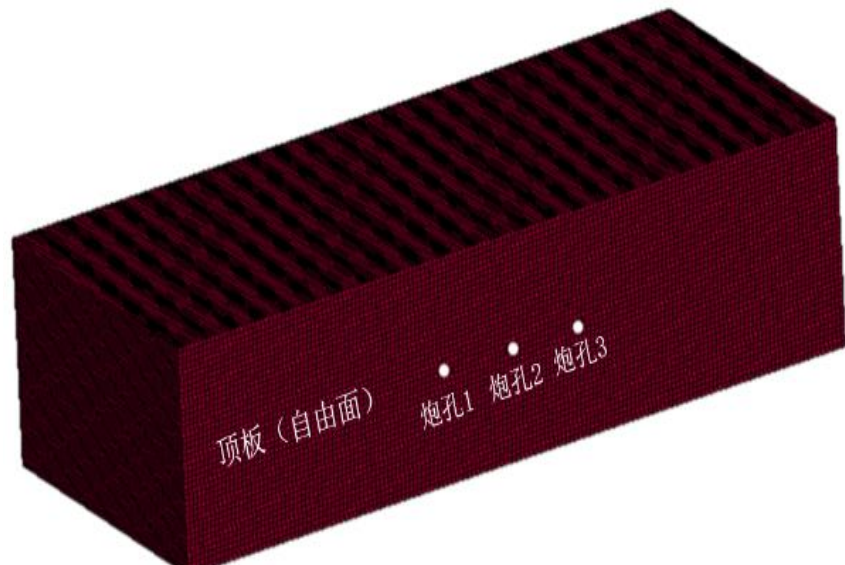


(c) 侧向预裂爆破

图1 顶板深孔预裂爆破防冲类型划分



三、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲影响因素分析



爆破采用JWL状态方程:

$$P = A\left(1 - \frac{\omega}{R_1 V}\right)e^{-R_1 V} + B\left(1 - \frac{\omega}{R_2 V}\right)e^{-R_2 V} + \frac{\omega E_0}{V}$$

空气采用线性多项式状态方程

$$P = C_0 + C_1 \mu + C_2 \mu^2 + C_3 \mu^3 + (C_4 + C_5 \mu + C_6 \mu^2) E$$

不同爆孔布置方式下爆破效果模拟方案

爆孔布孔方式	爆孔间距 /m	爆孔深度 /m	对比内容	记录时间
直线式	8、10、12	45	Mises等效应力	0.4ms
三花式	8、10、12	45	塑性区	2.5ms
深浅组合式	8、10、12	45+37	质点位移	4.4ms



三、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲影响因素分析

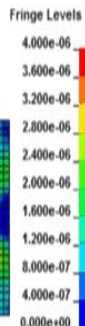
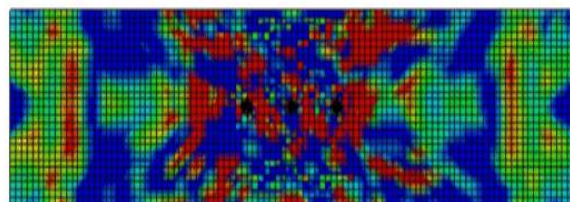
不同布孔方式下Mises应力云图

8m间距

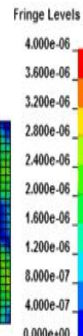
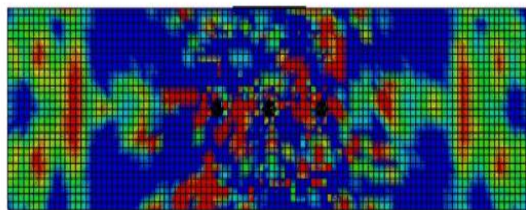
10m间距

12m间距

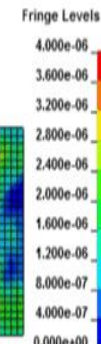
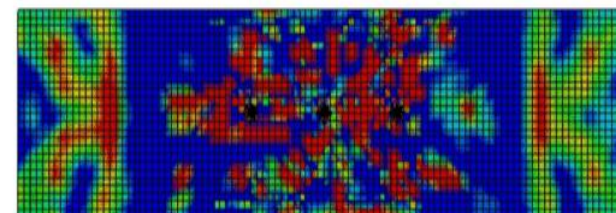
Time = 798.5
Contours of Effective Stress (v-m)
min=2.10478e-09, at elem# 9020
max=0.00121976, at elem# 5303



Time = 798.09
Contours of Effective Stress (v-m)
min=1.07261e-08, at elem# 79197
max=0.00013812, at elem# 348081

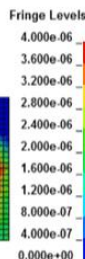
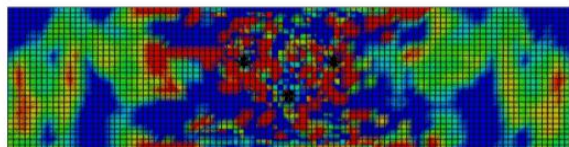


Time = 798.76
Contours of Effective Stress (v-m)
min=1.40037e-08, at elem# 306631
max=0.000183789, at elem# 394603

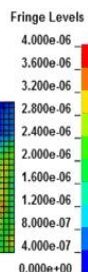
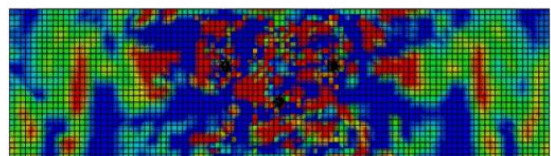


直线布孔方案

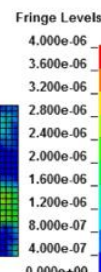
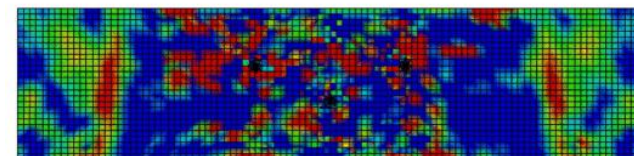
Time = 798.32
Contours of Effective Stress (v-m)
min=6.62954e-09, at elem# 827
max=0.000142634, at elem# 2083



Time = 799.46
Contours of Effective Stress (v-m)
min=1.21533e-08, at elem# 7478
max=0.000152481, at elem# 9160

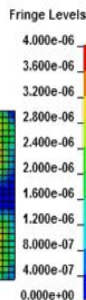
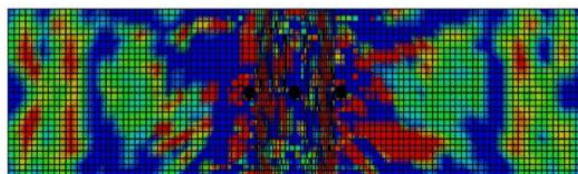


Time = 798.4
Contours of Effective Stress (v-m)
min=3.23536e-09, at elem# 3867
max=0.000149923, at elem# 266363

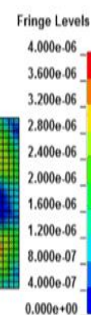
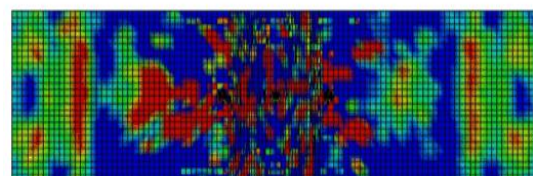


三花式布孔方案

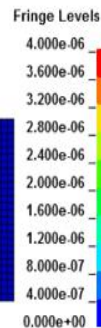
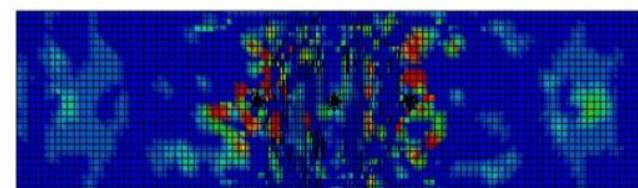
Time = 798.39
Contours of Effective Stress (v-m)
min=1.32476e-08, at elem# 336546
max=0.000195113, at elem# 404656



Time = 798.31
Contours of Effective Stress (v-m)
min=1.90322e-08, at elem# 364451
max=0.000253238, at elem# 10474



Time = 799.46
Contours of Effective Stress (v-m)
min=1.17207e-09, at elem# 1864
max=0.000205295, at elem# 168235



深浅组合式布孔方案

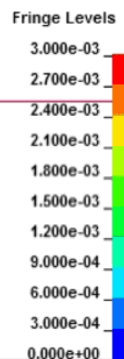
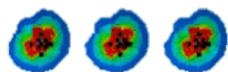


三、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲影响因素分析

不同布孔方式下塑性区发育

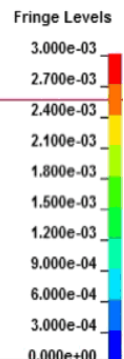
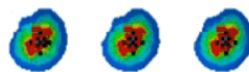
8m间距

Time = 98.76
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-8.494e-09, at elem# 315464
max=0.0863135, at elem# 3294



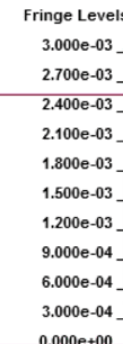
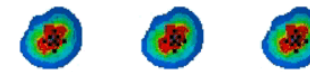
10m间距

Time = 98.742
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-3.6427e-09, at elem# 404573
max=0.299804, at elem# 408



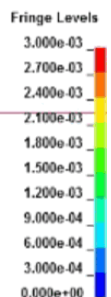
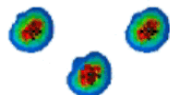
12m间距

Time = 98.761
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-3.28062e-09, at elem# 325775
max=0.0863175, at elem# 572

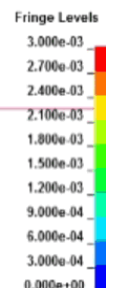
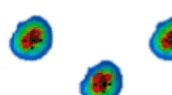


直线布孔方案

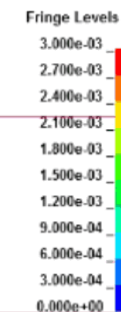
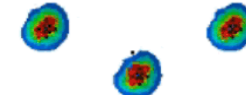
Time = 98.746
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-5.26243e-08, at elem# 357428
max=0.299853, at elem# 6839



Time = 98.746
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-2.09455e-07, at elem# 421630
max=0.299853, at elem# 4

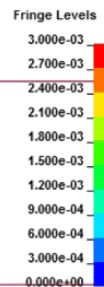


Time = 98.746
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-9.55548e-08, at elem# 209450
max=0.299854, at elem# 6687

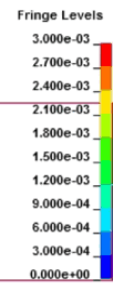


三花式布孔方案

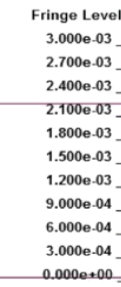
Time = 98.687
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-3.92466e-07, at elem# 3627
max=0.0861133, at elem# 572



Time = 98.684
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-8.20638e-08, at elem# 53170
max=0.0862425, at elem# 6836



Time = 99.898
Isosurfaces of Max Prin Strain
min=-2.52896e-08, at elem# 394781
max=0.366415, at elem# 239

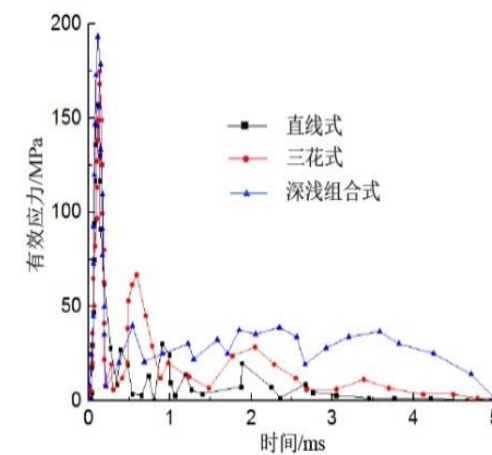
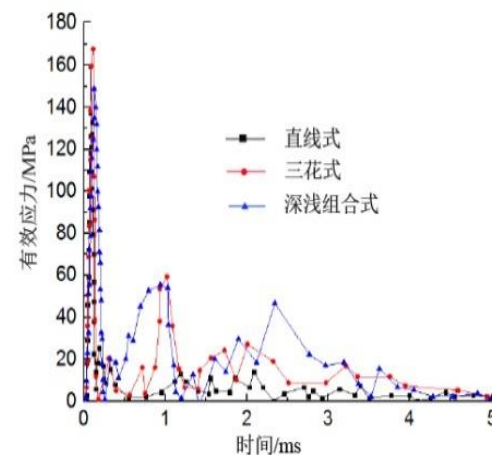
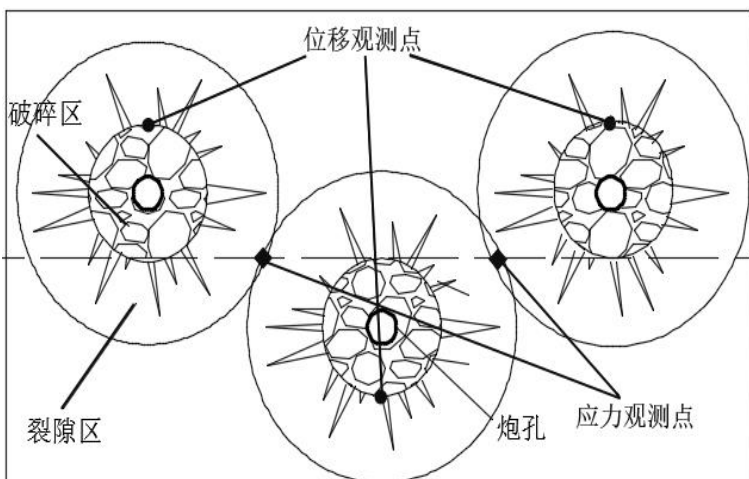


深浅组合式布孔方案

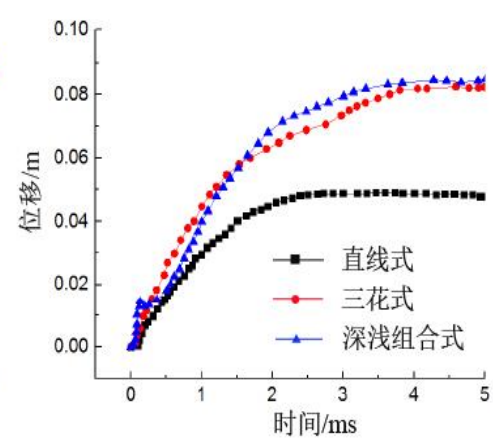
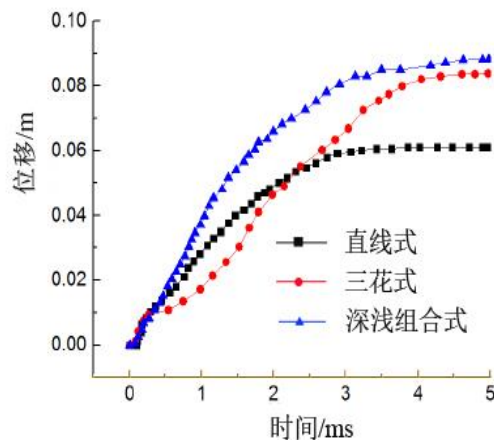
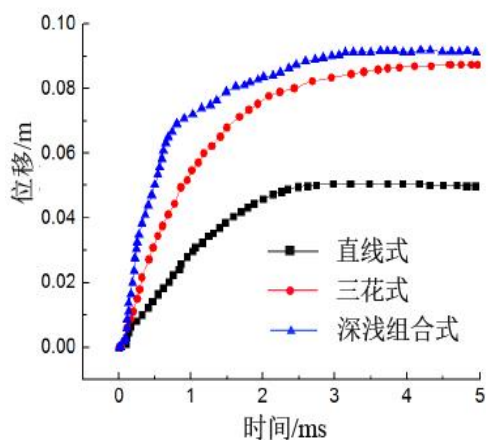


三、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲影响因素分析

不同布孔方式下质点位移曲线及有效应力曲线



不同布孔方式下有效应力曲线图



不同布孔方式下位移场曲线图



三、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲影响因素分析

不同爆孔间距下爆破效果分析

随着爆孔间距的减小，位移峰值点和有效应力峰值点距离测点越远，岩石破碎塑性区以及裂隙区扩展范围越大，爆破预裂效果越好。

三花式布置不同爆孔间距下位移峰值点与有效应力分布对比

项目	监测点	8m	10m	12m
位移峰值点位置/m	观测点1	8.741	6.408	6.150
	观测点2	8.388	7.390	3.869
	观测点3	8.230	7.828	5.685
有效应力/MPa	质点1	168	129	110
	质点2	175	146	119

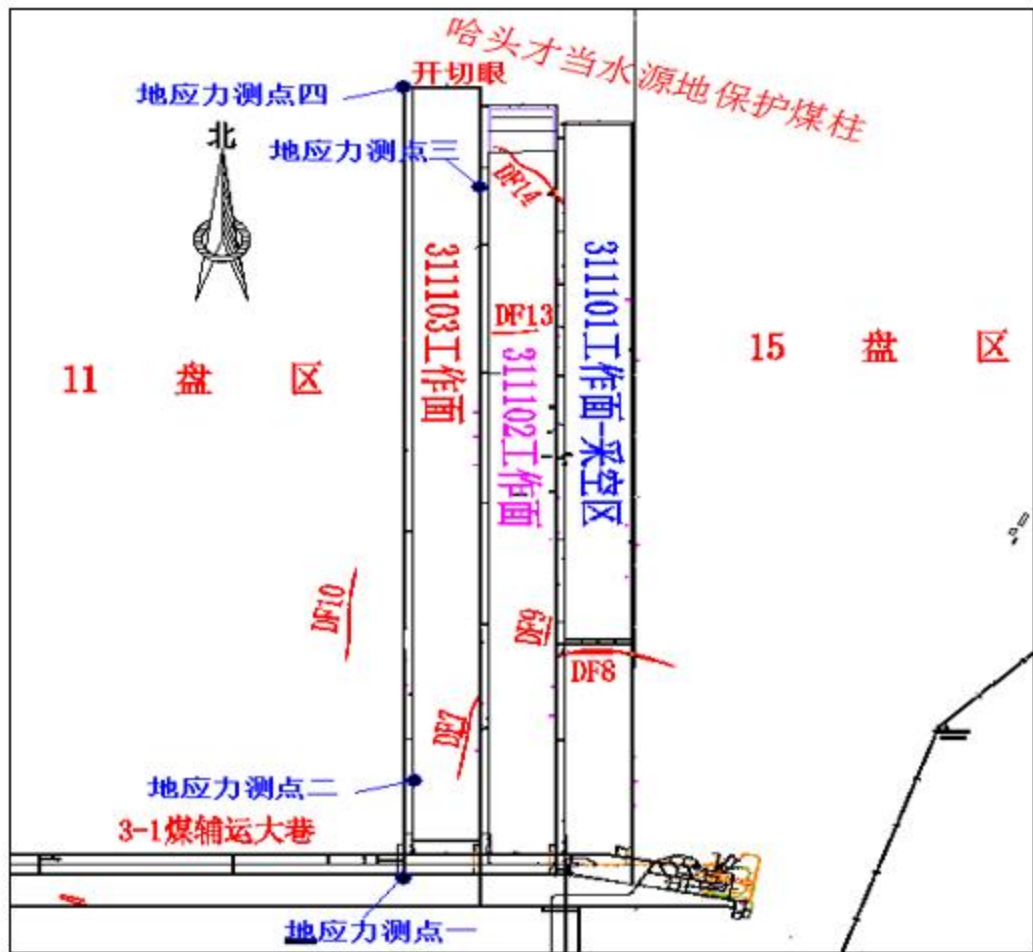
综合对比得出：

深浅孔组合式 > 三花式布孔 > 直线式布孔爆破方案。



四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践

1、311103工作面工程概况



巴彦高勒煤矿11盘区布置图





四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践

2、311103工作面回风顺槽侧向顶板破断位置实测

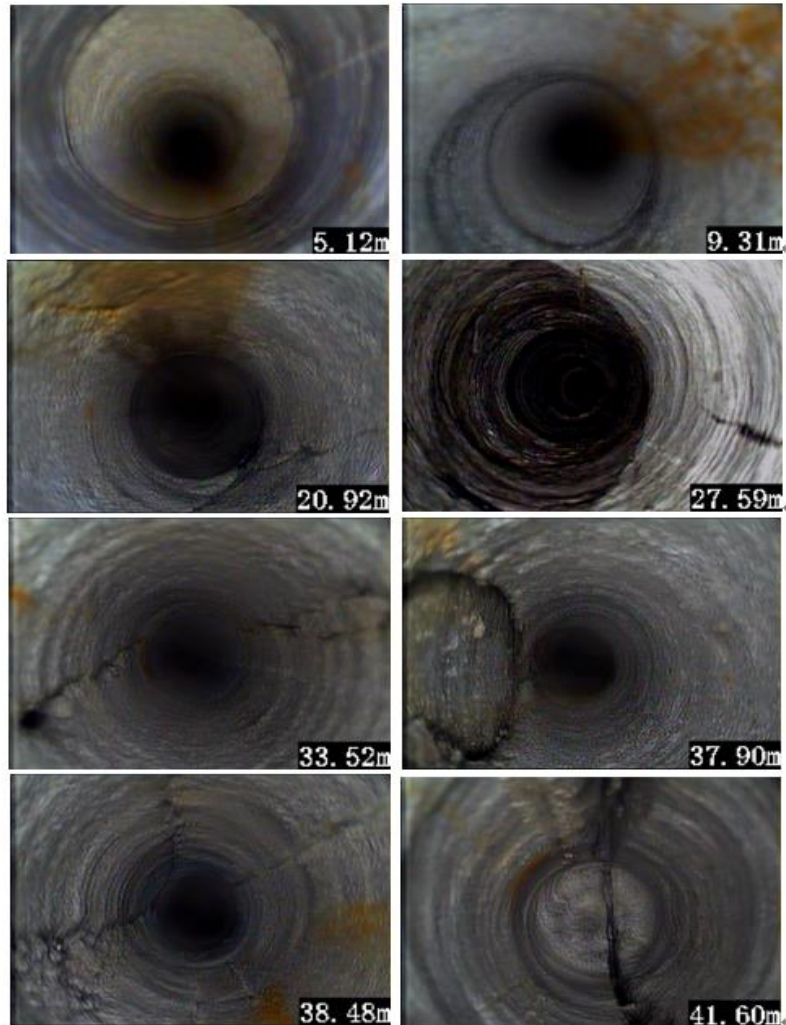
311103工作面回风顺槽侧向顶板高低位岩层破断位置探测方案

探测装备	探测区域	布孔方式	观测孔个数	观测孔角度 /°	孔深/m	采集时间 /s
4D超高清 孔内电视	超前100m	扇形布置	5	起始30° 夹角25°	15、42、 38、35、 30	2

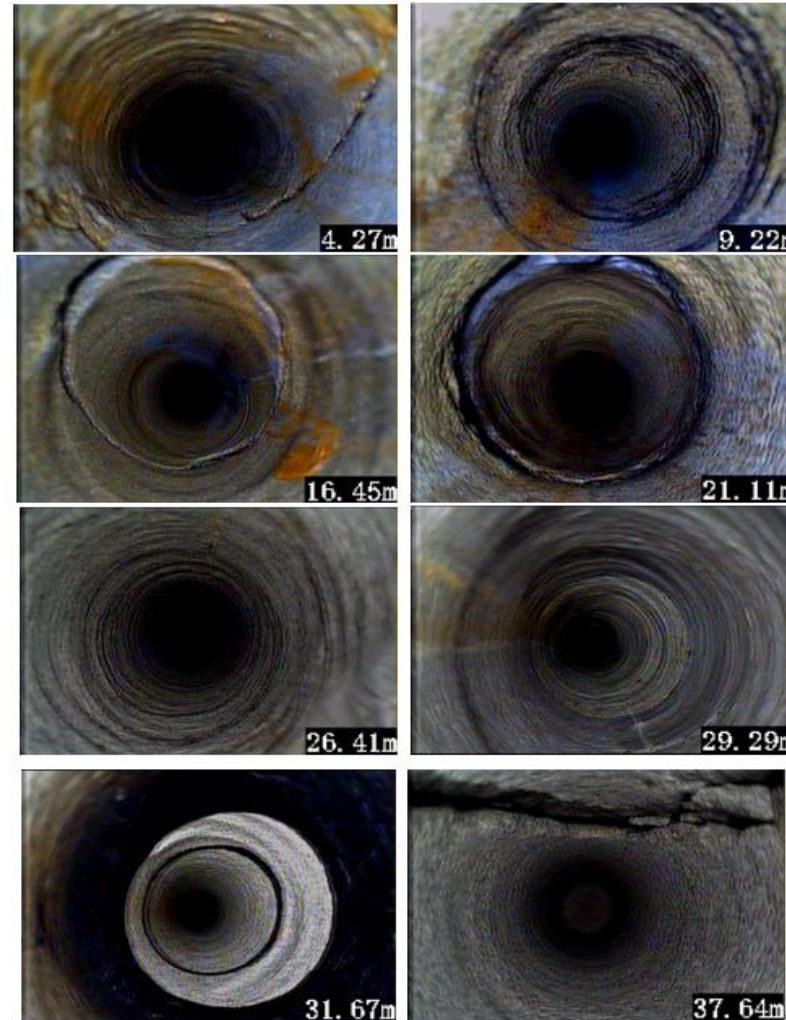
四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践



2、311103工作面回风顺槽侧向顶板破断位置实测



(a) 2#测孔顶板裂隙发育图

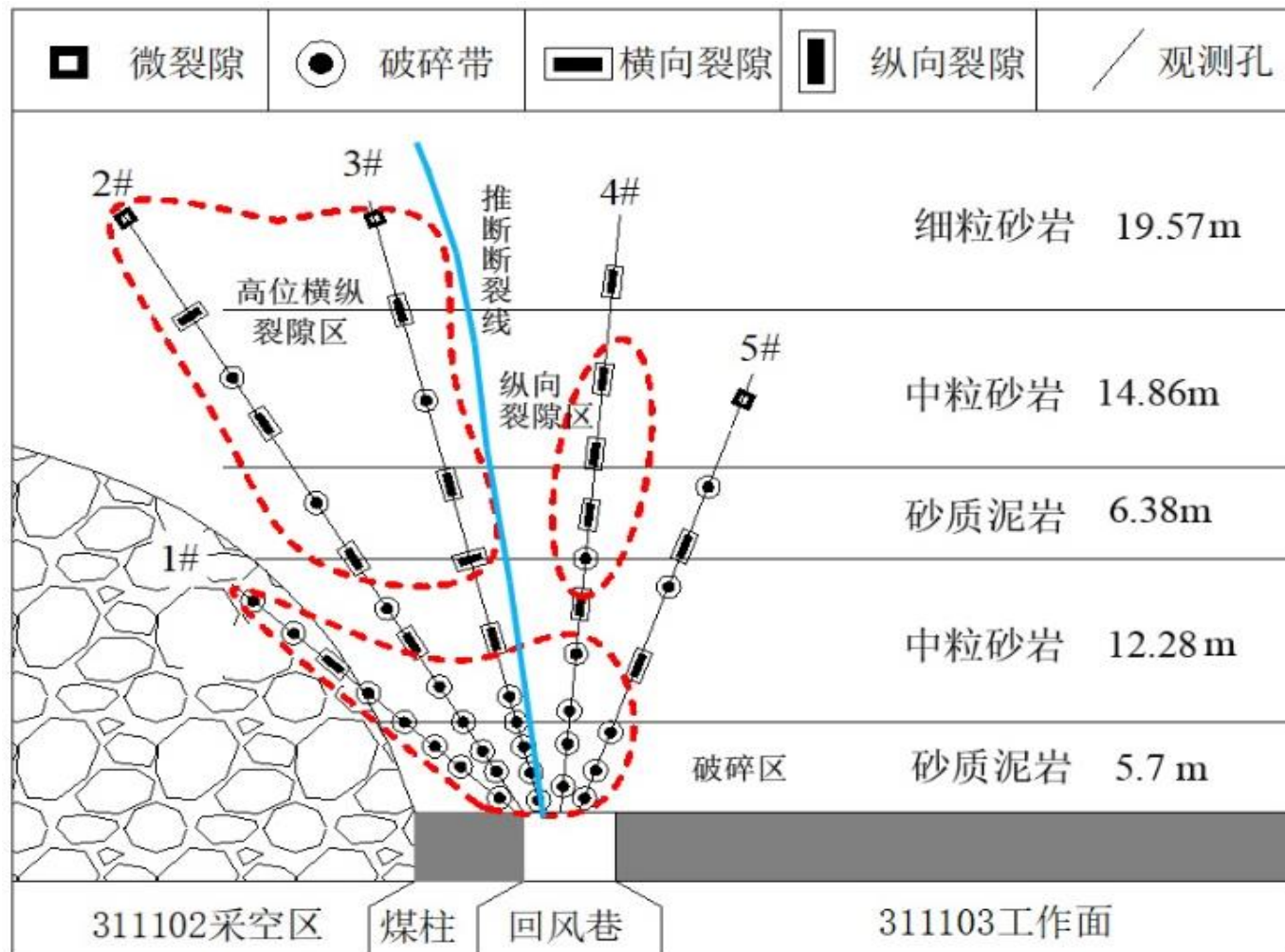


(b) 3#测孔顶板裂隙发育图

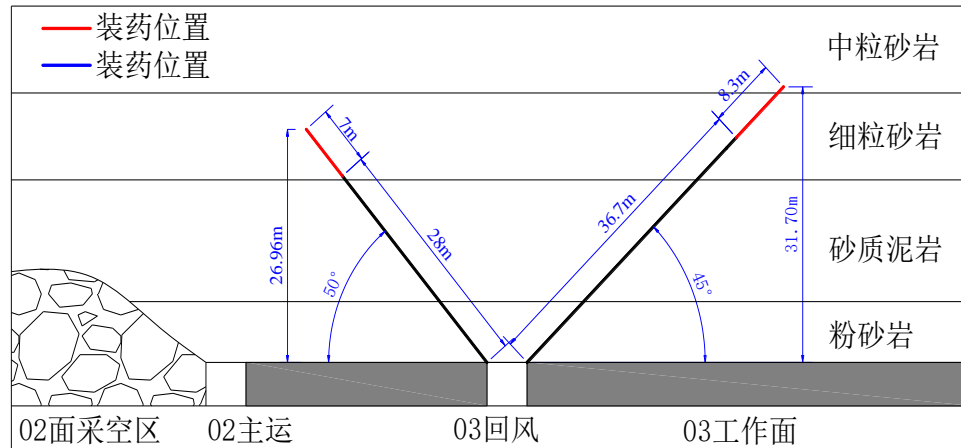


四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践

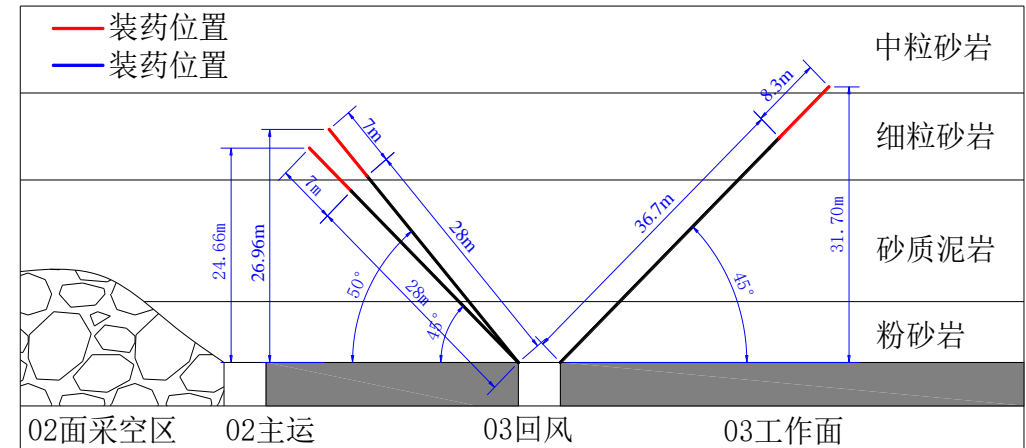
2、311103工作面回风顺槽侧向顶板破断位置实测



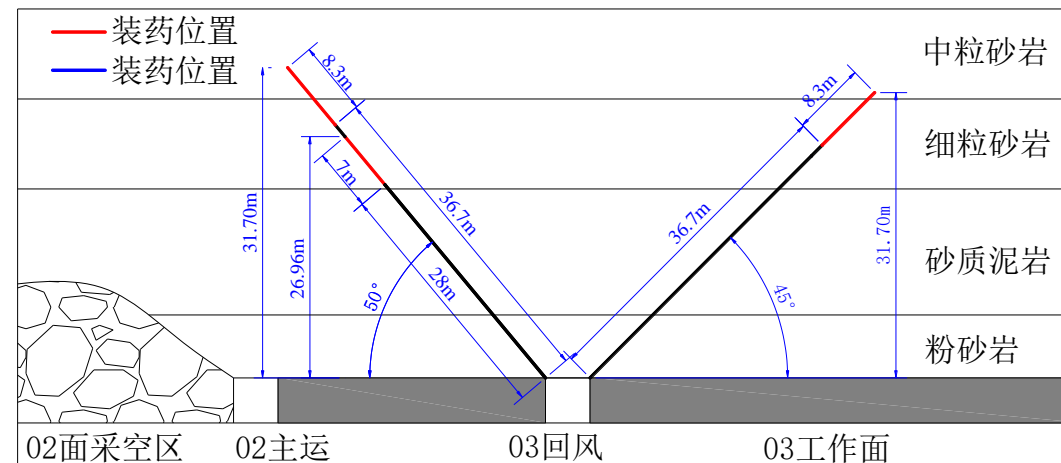
四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践



(a) 直线布孔方案剖面图



(b) 三花式布孔方案剖面图



(c) 深浅组合式布孔方案剖面图

四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践



表3 31103回风顺槽炮眼施工爆破参数表

布孔方式	直线布孔		三花式布孔		深浅组合式布孔		
	位置	生产帮	非生产帮	生产帮	非生产帮	生产帮	非生产帮
炮眼长度/m		45	35	45	35	45	35 (45)
装药长度/m		8.3	7	8.3	7	8.3	7 (8.3)
垂直角度/°		45	50	45	50 (45)	45	50
封孔长度/m		20	20	20	20	20	20
封孔长度/孔深		44.44%	57.14%	44.44%	57.14%	44.44%	57.14% (44.44%)
装药量/Kg		18	15	18	15	18	15 (18)
装药方式					连续装药		
爆破方式					单孔起爆		

四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践



1) 采场覆岩微震事件对比分析

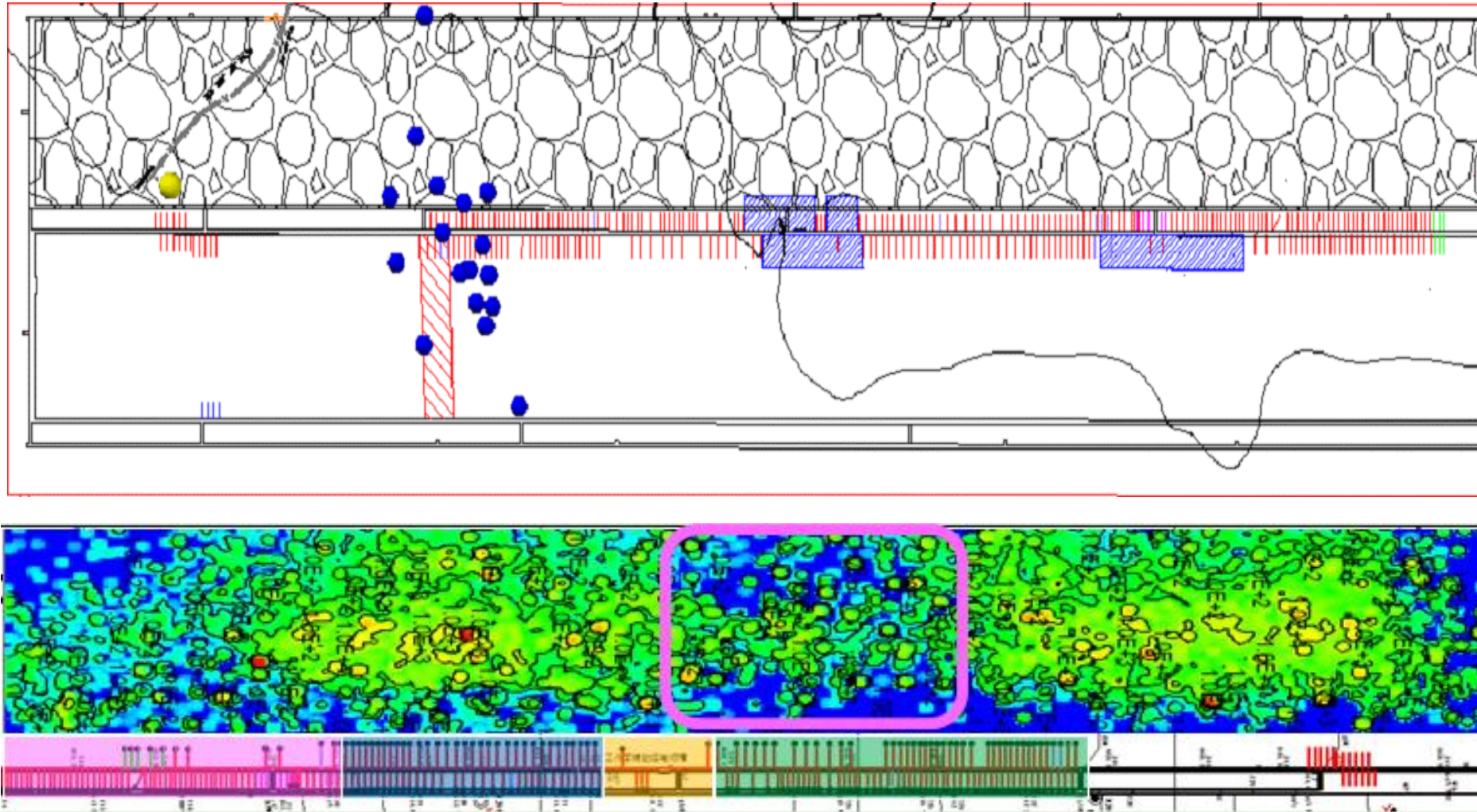
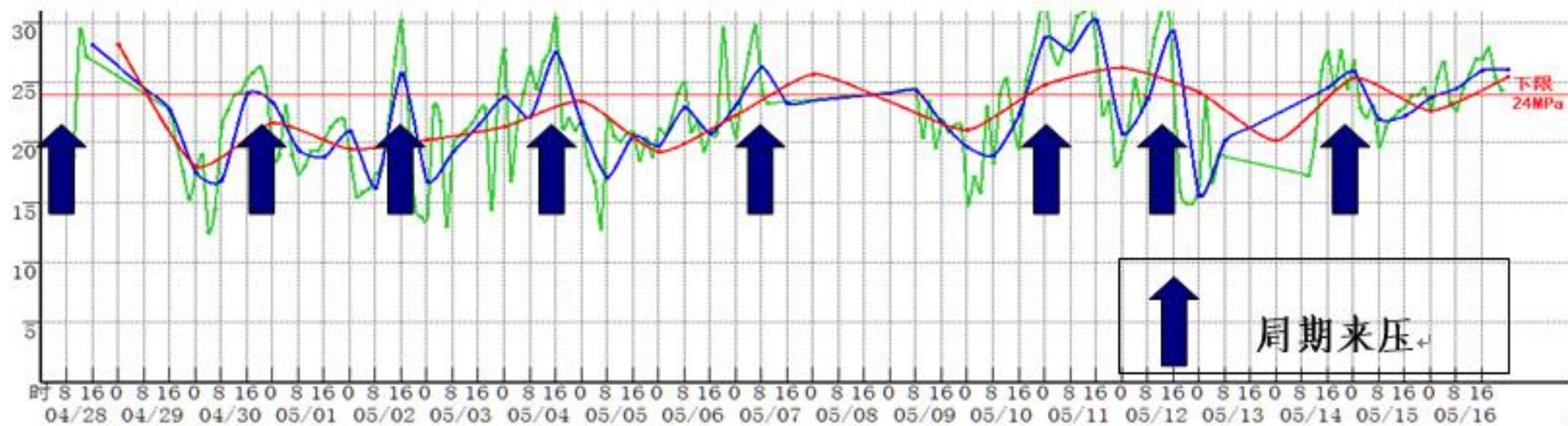


图3 微震应力云图

四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践



2) 支架工作阻力分析



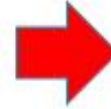
工作面6#~5#联络巷间支架来压分析

四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践

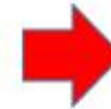
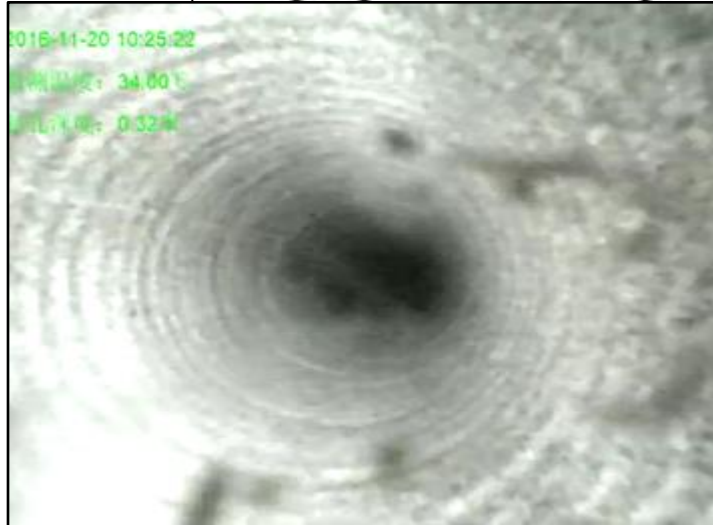


3) 爆破前后顶板裂隙对比

观测孔 1



观测孔 2

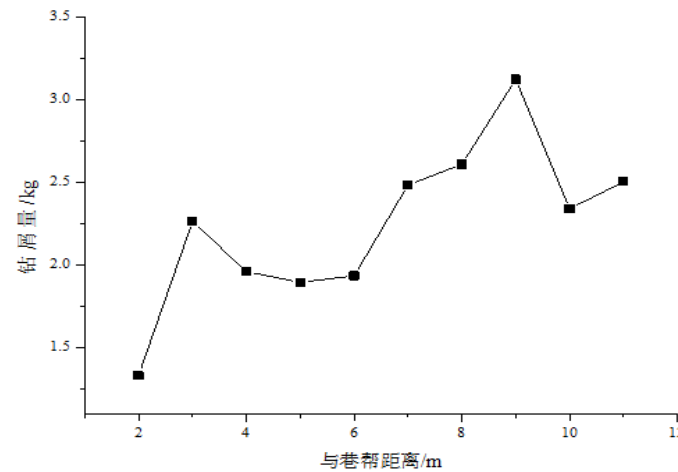
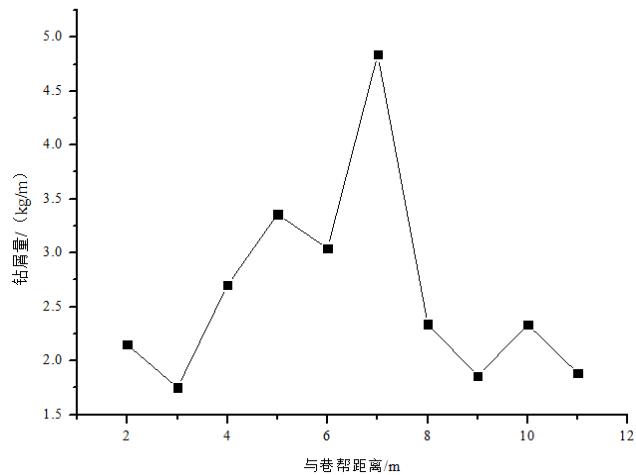


四、深孔顶板预裂爆破力构协同防冲工程实践



4) 爆破前后钻屑量及底板变形量

爆破前



爆破后



五、对陕蒙地区冲击地压防控的一些认识



● 陕蒙地区深部煤层开采冲击地压防治要聚焦煤层上方80m范围内的厚硬顶板，深孔顶板预裂爆破可有效降低回采巷道的应力集中程度，降低冲击危险。

● 优化开拓部署，取消中间留设大煤柱的“两进一回式”巷道布置方式，做好“高产量高利润VS强卸压慢推采”，寻找合适平衡点。

● 现场防冲措施重视时效性，要根据现场条件的变化动态的调整防冲参数，动态设计，动态防冲。科学的防冲方案和专业化的防冲队伍是冲击地压防治的方向。

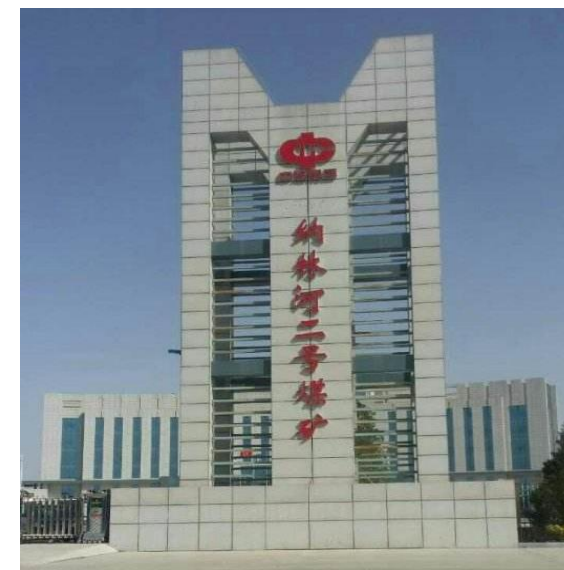
五、对陕蒙地区冲击地压防控的一些认识



煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

冲击地压灾害防治工程一体化服务

自2015年10月起，煤科院在国内防冲工程实践中迈出了第一步，首次承揽集卸压方案制定、工程施工以及效果检验于一体的冲击地压防治工程一体化服务，即冲击地压防治领域的“交钥匙”工程，提高了煤矿企业冲击地压灾害的防治效果，同时极大的降低了灾害治理成本。





感谢您的聆听，不当之处敬
请批评指正！



联系电话：010-84261837
13521487797

E-mail: zhaoshankuncom@163.com