

第一届全国煤矿冲击地压防治学术大会

沿空巷道动静载叠加冲击地压防治 技术研究与应用

韩 刚

中煤冲击地压与水害防治研究中心

中煤能源研究院有限责任公司



一、研究区域与冲击地压显现特点

二、沿空巷道动力显现影响机制及诱冲主因分析

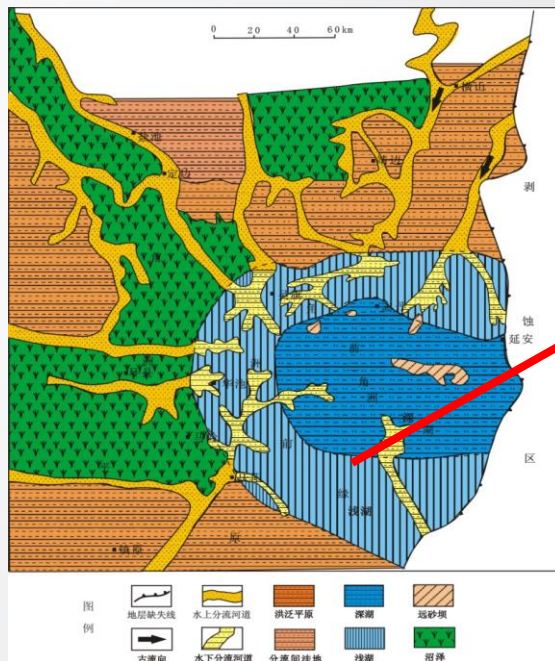
三、沿空巷道动静载叠加冲击地压监测预警

四、沿空巷道动静载叠加冲击地压防治措施

研究区域

近年来鄂尔多斯中深部矿区开始大规模建设，本地区矿井主采煤层埋深均超过550m，建井期间采用单一盘区集约化生产、双巷布置留设较大区段煤柱、超大工作面开采强度较大。冲击地压已经成为影响本地区安全高效开采的主要灾害之一。

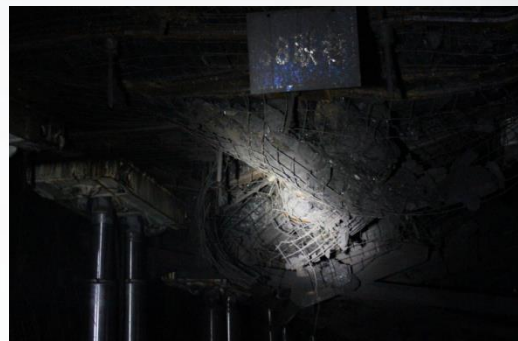
研究区域



地区冲击地压显现特点

- ◆ 冲击地压事故及动力显现大都出现在沿空巷道二次采动期间；
- ◆ 动力显现以巷道瞬间收缩，瞬时性的漏顶、鼓帮、肩窝变形、强矿震等为主；
- ◆ 工作面见方效应明显；

现场显现





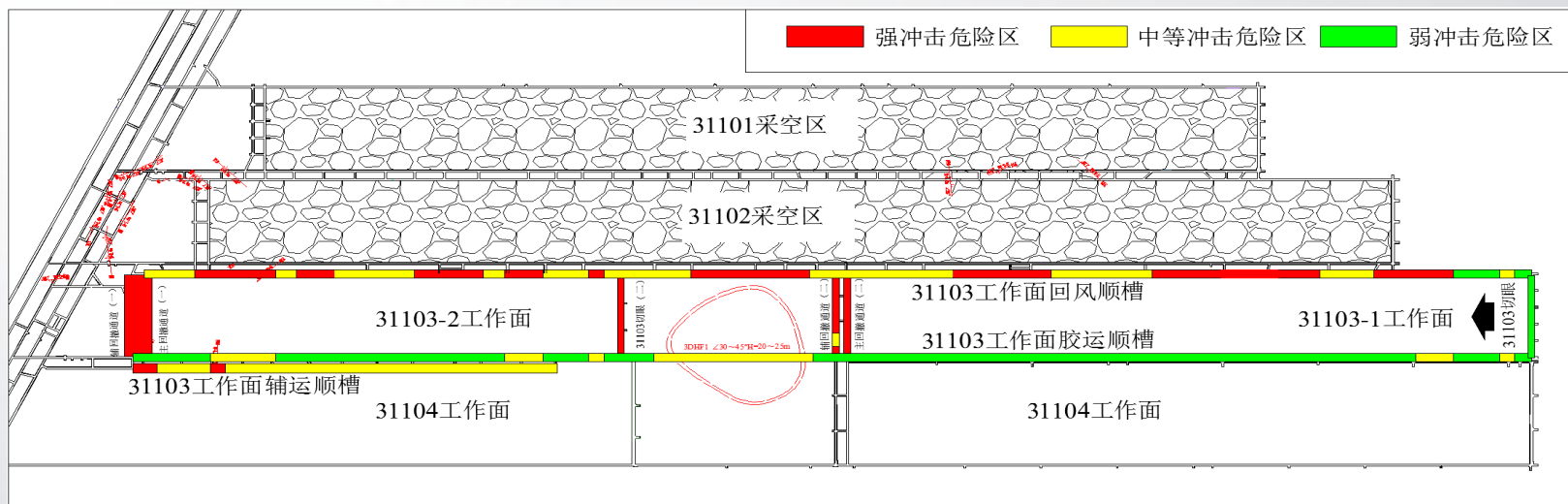
一、研究区域与冲击地压显现特点

二、沿空巷道动力显现影响机制及诱冲主因分析

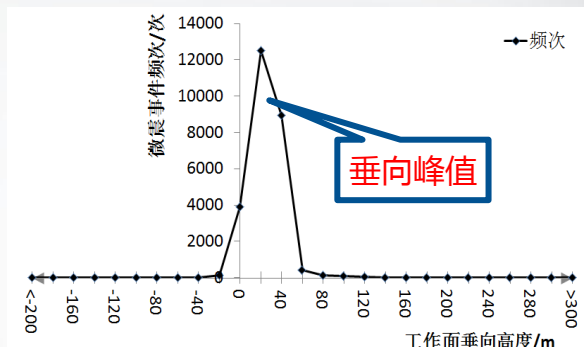
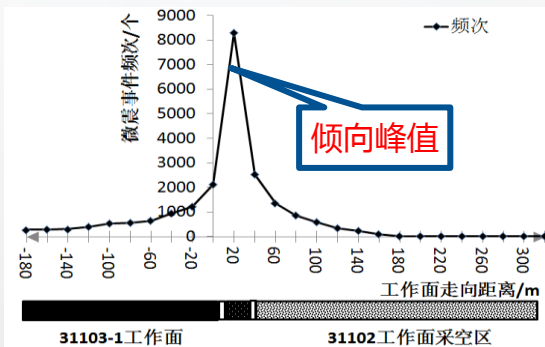
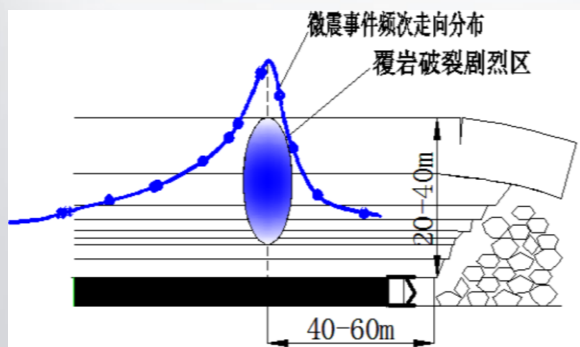
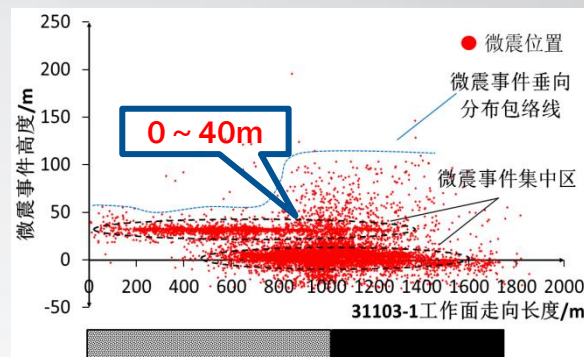
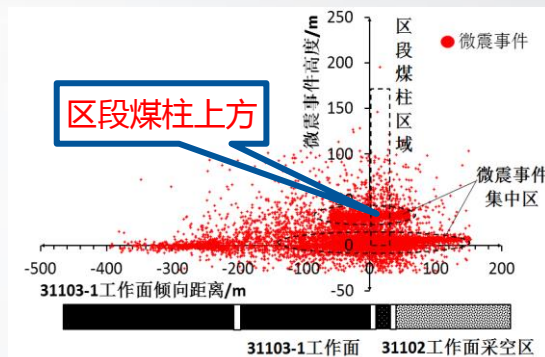
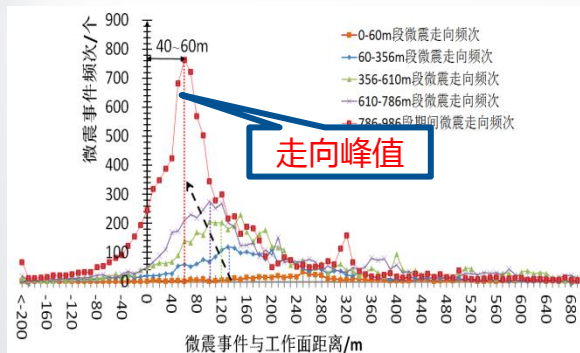
三、沿空巷道动静载叠加冲击地压监测预警

四、沿空巷道动静载叠加冲击地压防治措施

◆沿空巷道动力显现影响机制

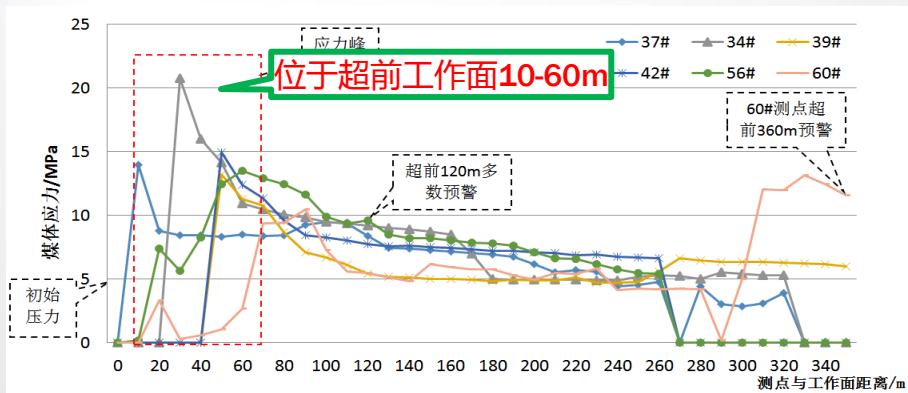


◆沿空巷道动力显现影响机制



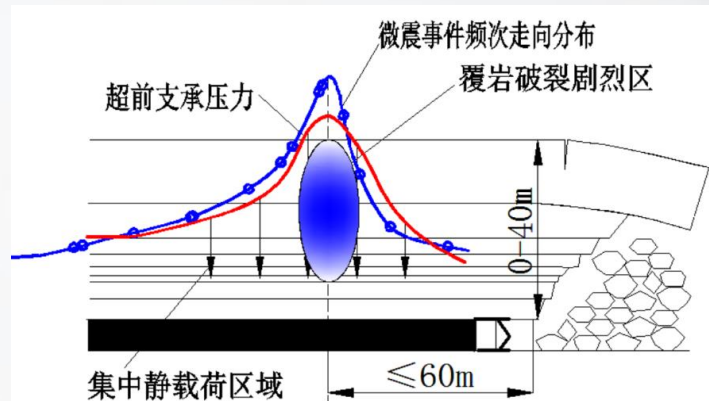
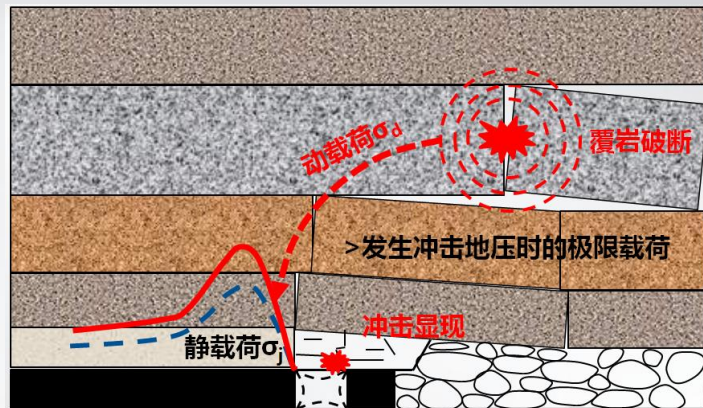
微震事件峰值区在垂向集中于3-1煤顶板以上0~40m之间，走向集中于超前工作面40~60m，倾向集中于区段煤柱正上方——覆岩破裂剧烈区

◆沿空巷道动力显现影响机制



沿空巷道煤岩体静载荷集中区

◆对于沿空巷道近距离超前段，覆岩破裂剧烈区与集中静载荷区位置较近，甚至重合；**强动载与高静载**是沿空巷道近距离超前段频繁动力显现的主要原因。



◆ 诱冲主因分析

◆ 动载方面关键问题之一-确定顶板哪个层位对沿空巷道动力显现影响最大？

层序	厚度h(m)	容重γ(MN/m³)	弹性模量E(GPa)	抗压强度MPa	岩层组岩性	键岩层位置(含7.64m中砂)	键岩层位置(中砂)	关键层位置	各层埋深	距3-1煤层顶板高度
40	76.74	0.016	0	0	黄土-沙层				0-76.74	
39	43.36	0.0213	23.46	0.65	中粒砂岩	第15层键岩	36.35		76.74-120.1	
38	30	0.0215	28.84	0.69	粗粒砂岩	第14层键岩	43.71		120.1-150.1	
37	38.58	0.0206	25.9		中粒砂岩	第13层键岩	61.39	主关键层	150.1-188.68	357.46-396.04
36	11.82	0.0252	27.67	0.51	粗粒砂岩				188.68-200.5	
35	10.7	0.0221	17.72	1.35	砂质泥岩				200.5-211.2	

时间	所属区域	X	Y	Z	能量(J)	震级(级)
2017/08/17 18:21:49	31102工作面	36585102	4212031	577	6844	1.35
2017/08/18 01:29:28	31102工作面	36585223	4211705	592	21600	1.62
2017/09/11 01:18:39	31102工作面	36585122	4211764	911	24390	1.65
2017/11/09 08:08:58	31102工作面	36585134	4212212	849	62772.22	1.86
2017/11/12 09:56:20	31102工作面	36584848	4212161	866	22322.5	1.63
2017/11/12 14:49:49	31102工作面	36584851	4212160	852	34993.22	1.73
2017/11/17 12:50:52	31102工作面	36584617	4212385	870	21241.09	1.61
2017/11/19 18:58:01	31102工作面	36584619	4212398	857	21635.43	1.62
2017/11/22 04:03:33	31102工作面	36584709	4212237	886	92302.65	1.95
2017/11/28 01:03:35	31102工作面	36584710	4212252	875	32054.7	1.71
2017/11/28 03:56:47	31102工作面	36584708	4212234	889	51993.42	1.82
2017/11/30 00:48:46	31102工作面	36584731	4212243	846	11154.68	1.47
2017/11/30 02:51:10	31102工作面	36584743	4212336	970	24389.63	1.65
2017/11/30 04:57:19	31102工作面	36584726	4212467	1018	99513.35	1.97
2017/11/30 08:36:03	31102工作面	36584654	4212277	872	31607.71	1.71
2017/11/30 15:56:28	31102工作面	36584713	4212387	876	26397.65	1.66
2017/12/01 08:23:06	31102工作面	36584761	4212312	914	70399.25	1.89
2017/12/01 12:49:48	31102工作面	36584662	4212277	864	19193.77	1.59
2017/12/01 16:02:44	31102工作面	36584655	4212270	876	27596.88	1.67
2017/12/01 20:11:28	31102工作面	36584649	4212257	893	31001.77	1.70

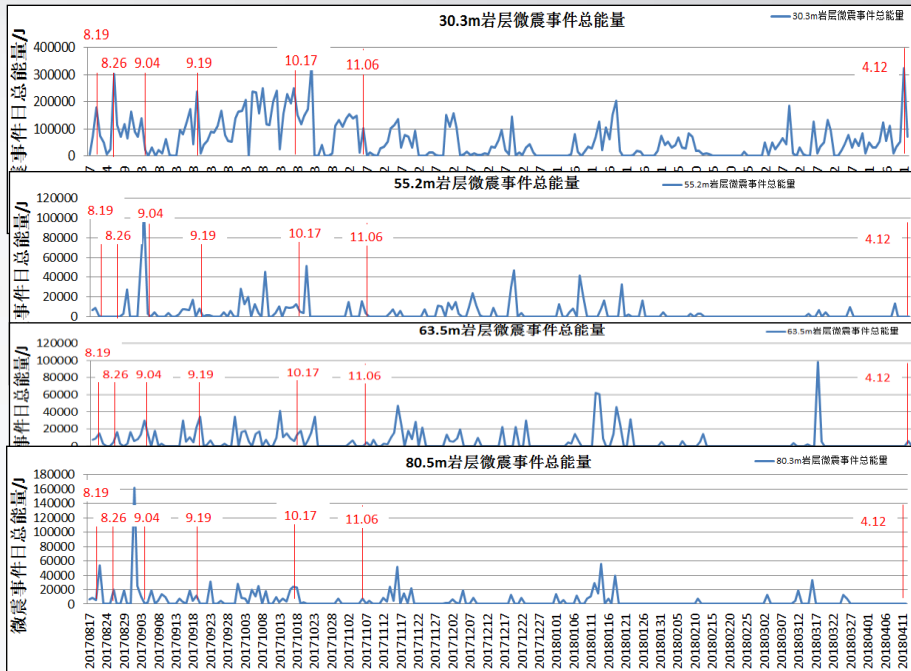
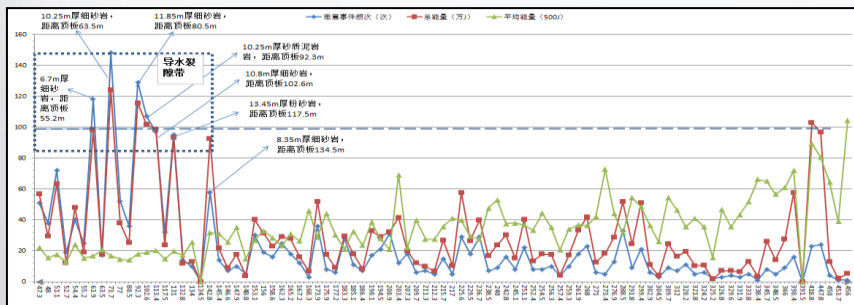
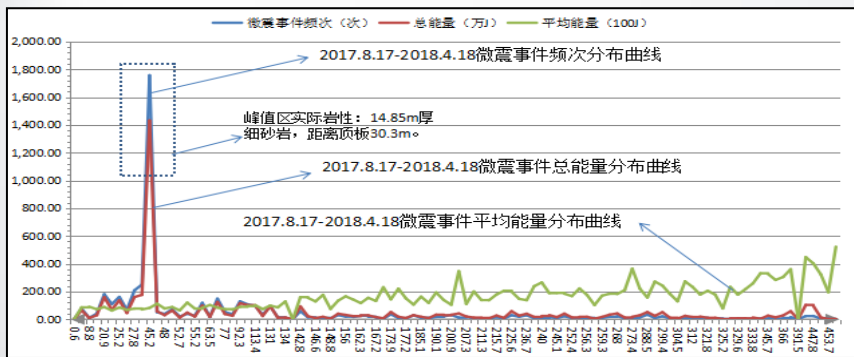
◆ 截止2018年4月12日，微震事件在3-1煤300m以上共171次，而发生在17年11月9日以后共168次。主关键层内出现微震事件之前，沿空巷道已经出现频繁动力显现。



主关键内出现微震事件之后地表快速下沉

◆ 认识：主关键层是控制本矿井地表沉降的主控层位，但从动载扰动角度，其不是影响本矿井临空巷道动力显现的主控层位。

◆ 诱冲主因分析



◆ 沿空巷道动力显现当日及其邻近1~2天内，顶板140m范围内的8组砂岩层内微震事件出现了峰值，

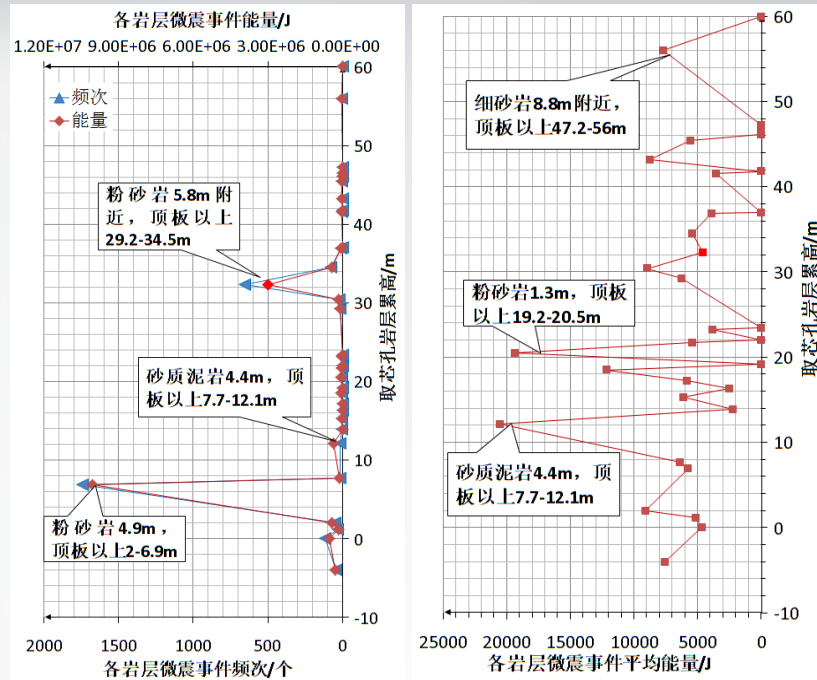
◆ 推断：顶板0-140m范围内砂岩层对本矿井沿空巷道动力显现影响相对较大。

◆ 诱冲主因分析



60m范围内顶板钻孔取芯

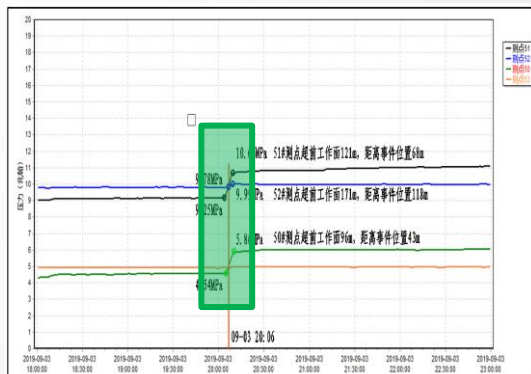
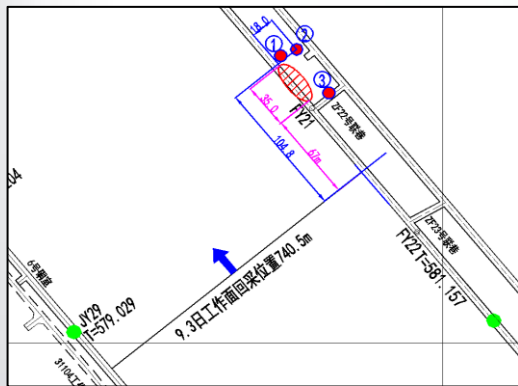
柱状	累深 (m)	层厚 (m)	岩石名称
	6.0	4.0	粉砂岩
	5.6	8.8	细砂岩
	47.2	0.2	砂质泥岩
	47.0	0.5	细砂岩
	46.5	0.4	煤
	45.1	0.7	细砂岩
	45.4	2.2	粉砂岩
	43.2	1.4	细砂岩
	41.8	0.3	细砂岩
	41.5	4.5	细砂岩
	37	0.1	泥岩
	36.9	2.4	粉砂岩
	34.5	2.2	细砂岩
	32.3	1.9	粉砂岩
	30.4	1.2	细砂岩
	29.2	5.8	粉砂岩
	23.4	0.2	砂质泥岩
	23.2	1.2	细砂岩
	22	0.3	粉砂岩
	21.7	1.2	粉砂岩
	20.5	1.3	粉砂岩
	19.2	0.7	粉砂岩
	18.5	1.3	中砂岩
	17.2	0.9	砂质泥岩
	16.3	1.0	细砂岩
	15.3	1.4	砂质泥岩
	13.9	1.8	中砂岩
	12.1	4.4	砂质泥岩
	7.7	0.8	中砂岩
	6.9	4.9	粉砂岩
	2.0	0.8	粉砂岩
	1.2	1.2	煤
		4.0	煤



(a) 频次、能量垂向分布 (b) 平均能量垂向分布
微震事件在沿空巷道附近顶板60m以内岩层分布特征

◆ 微震事件能量和频次明显集中于部分岩层内，这些岩层距离煤层较近，矿震波传播衰减小，动载扰动大，是造成沿空巷道动载扰动的主要层位，也是顶板预裂措施的目标层位。

◆ 诱冲主因分析



2019.9.3动力显现

序号	时间	所属区域	X	Y	Z	能量(J)	震级
1	2019/09/03 18:09:36	31103工作面	365848 79	42117 24	58 1	78091. 94	1.91
2	2019/09/03 20:06:32	31103工作面	365848 91	42117 29	58 2	47841. 05	1.8
3	2019/09/03 20:08:20	31103工作面	365849 15	42116 95	58 1	11499. 26	1.47

在动力显现前，显现区域附近煤体应力大都约9MPa，在应力尚未预警情况下出现动力显现，说明动载为相对主因。



一、研究区域与冲击地压显现特点

二、沿空巷道动力显现影响机制及诱冲主因分析

三、沿空巷道动静载叠加冲击地压监测预警

四、沿空巷道动静载叠加冲击地压防治措施

◆ 预警指标优化与多参量联合预警

◆ 引入预警权重对单一预警指标进行预警能效评定，探索微震监测多参数联合预警方法，**提高对动载扰动预警的准确性。**

单一预警指标预警效能评价指标

准确率：

$$\text{预警准确率} Y_{iq} = \frac{\text{有效预警次数} A_{iq}}{\text{动力显现事件次数} B} \times 100\%$$

漏报率：

$$\text{漏报率} L_{iq} = 1 - Y_{iq}$$

误报率：

$$\text{误报率} X_{iq} = \frac{\text{累计预警次数} C_{iq} - \text{有效预警次数} A_{iq}}{\text{累计预警次数} C_{iq}} \times 100\%$$

预警率：

$$\text{预警率} E_{iq} = \frac{\text{累计预警天数} D_{iq}}{\text{采掘工作面全部生产天数} S} \times 100\%$$

单一预警指标预警权重

单一指标强冲预警权重：

$$\delta_{iq} = \frac{E_{minq} / E_{iq}}{\sum_1^n (E_{minq} / E_{iq})}$$

单一指标中等预警权重：

$$\delta_{iz} = 0.75 \times \frac{E_{minz} / E_{iz}}{\sum_1^n (E_{minz} / E_{iz})}$$

单一指标弱冲预警权重：

$$\delta_{ir} = 0.5 \times \frac{E_{minr} / E_{ir}}{\sum_1^n (E_{minr} / E_{ir})}$$

综合动载预警值、综合预警

计算当日综合动载预警值：

$$|\delta| = \sum_1^n \delta_i (i=0, 1, 2, \dots, n)$$

每日进行综合预警：

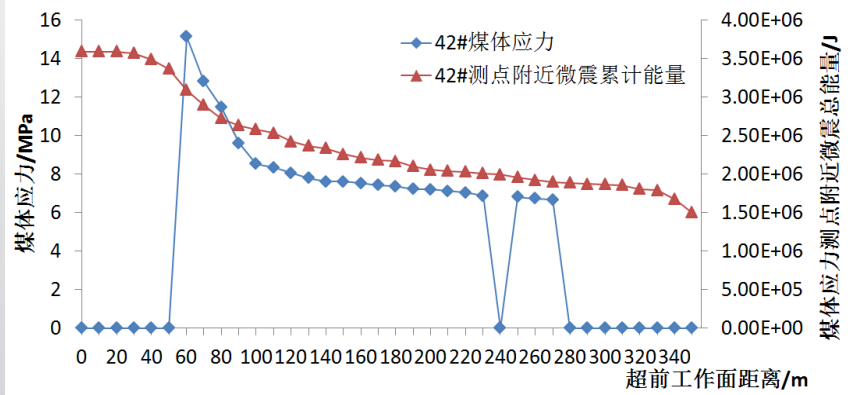
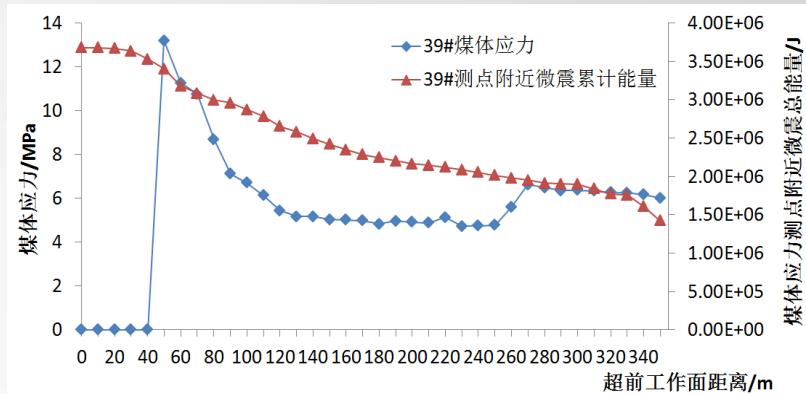
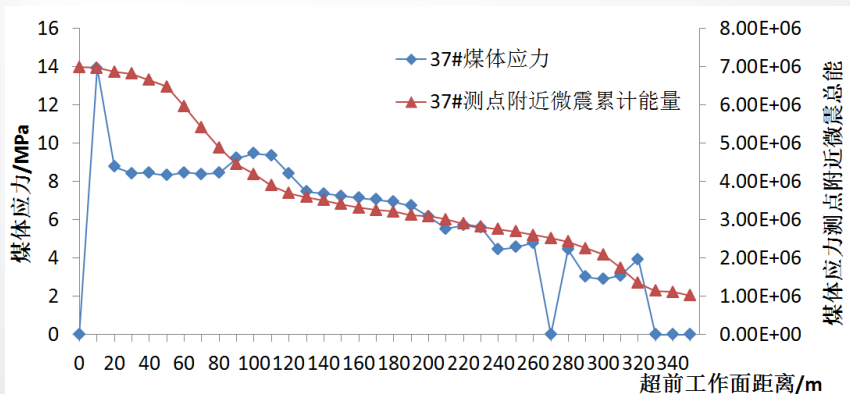
$$|\delta| \geq \sum_0^n \delta_{iq} (i=0, 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_0^n \delta_{iq} (i=0, 1, 2, \dots, n) > |\delta| \geq \sum_0^n \delta_{iz} (i=0, 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_0^n \delta_{iz} (i=0, 1, 2, \dots, n) > |\delta| \geq \sum_0^n \delta_{ir} (i=0, 1, 2, \dots, n)$$

	指标种类	预警值	准确率	漏报率	误报率	预警率
强	10 ⁴ 以上事件频次	≥16个/日	75%	25%	86.05%	20.00%
	每日微震事件总能量	≥8.67×10 ³ J	75%	25%	84.62%	18.14%
	每刀能量	≥1.40×10 ³ J	89%	13%	88.52%	32.80%
	每日事件总频次	≥85个/日	75%	25%	94.87%	54.42%
	每日能-频差异系数	≥±0.1	88%	12%	82.93%	19.07%
中	10 ⁴ 以上事件频次	12 ~ 15个/日	100%	0%	88%	32%
	每日微震事件总能量	5.63×10 ³ J ~ 8.67×10 ³ J	100%	0%	90%	39%
	每刀能量	1.08×10 ³ J ~ 1.40×10 ³ J	100%	0%	91%	51%
	每日事件总频次	68 ~ 84个/日	100%	0%	94%	66%
	每日能-频差异系数	-0.42 ~ +0.1	100%	0%	96%	89%
弱	10 ⁴ 以上事件频次	1 ~ 11个/日	100%	0%	96%	92%
	每日微震事件总能量	9.13×10 ² J ~ 5.63×10 ³ J	100%	0%	96%	94%
	每刀能量	2.28×10 ² J ~ 1.08×10 ³ J	100%	0%	95%	81%
	每日事件总频次	29 ~ 67个/日	100%	0%	96%	93%
	每日能-频差异系数	-1.2 ~ -0.42	100%	0%	96%	100%
无	10 ⁴ 以上事件频次	0	-	-	-	-
	每日微震事件总能量	< 9.13×10 ² J	-	-	-	-
	每刀能量	< 2.28×10 ² J	-	-	-	-
	每日事件总频次	≤28个/日	-	-	-	-
	每日能-频差异系数	≤-1.2	-	-	-	-

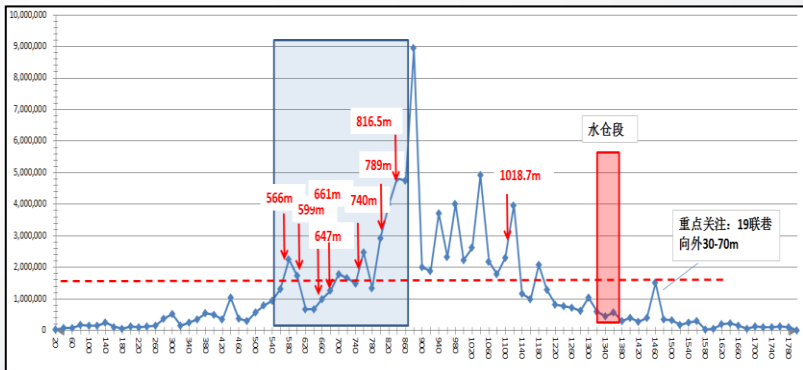
◆ 微震与应力监测关联性



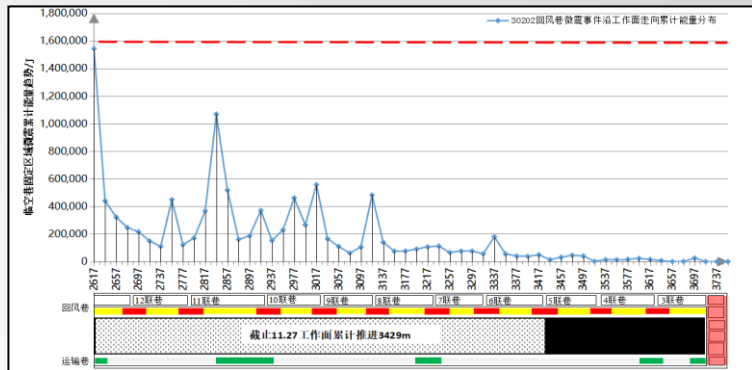
◆ **认识**：沿空巷道内煤体应力与其附近区域的微震事件累积能量呈现正相关性，即固定区域内微震累积能量越大，煤岩体应力集中程度越高。

◆ 微震固定区域趋势分析预警方法

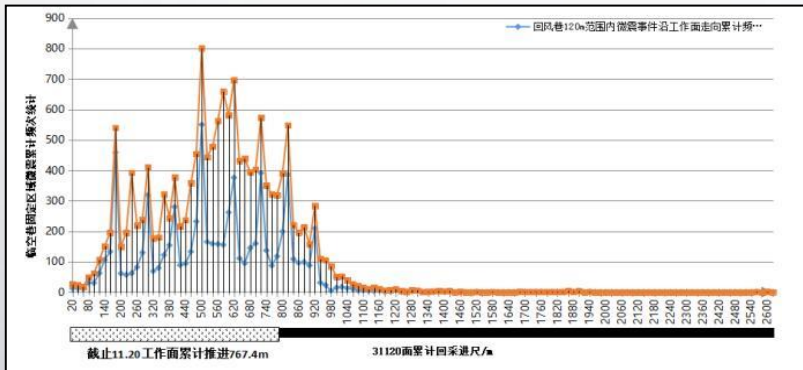
意义：依据微震监测对沿空巷道超前区域煤体应力集中程度进行预测



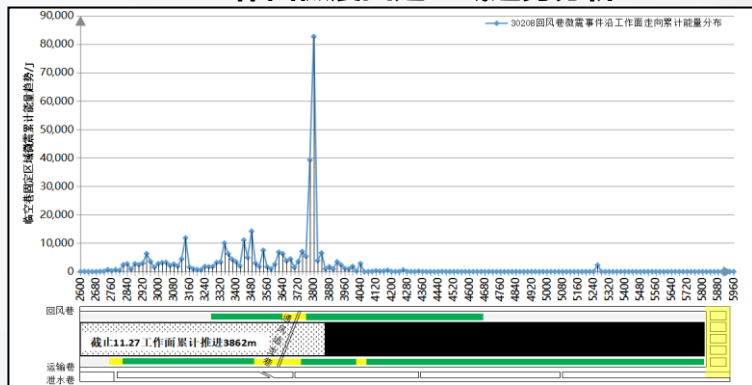
31103-1工作面微震固定区域趋势分析



30202工作面微震固定区域趋势分析

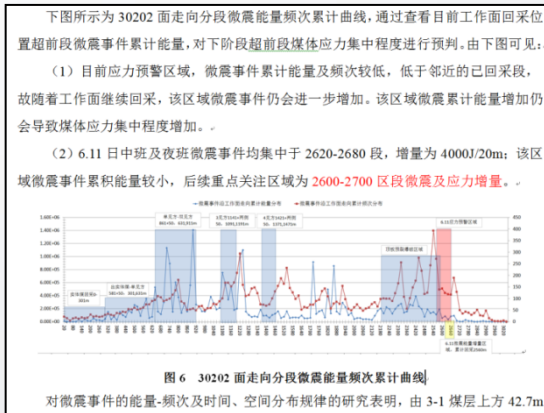
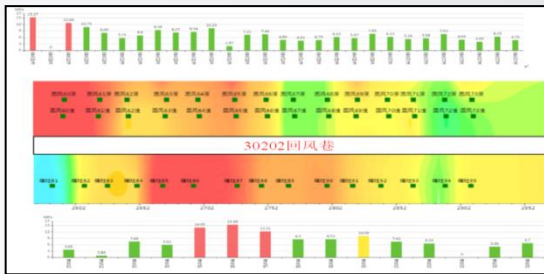
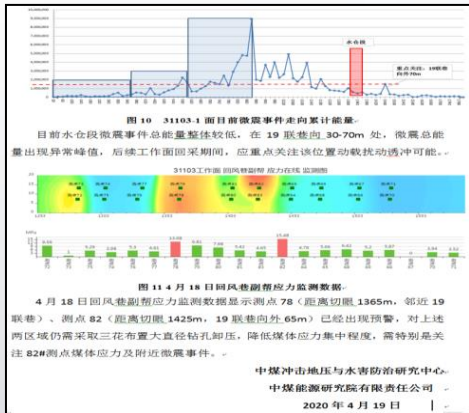
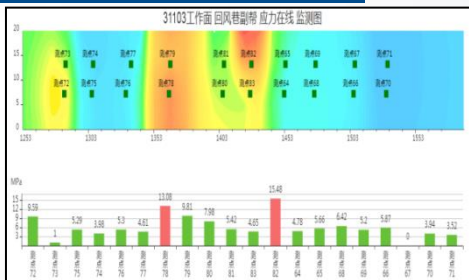


31120工作面微震固定区域趋势分析



30208工作面微震固定区域趋势分析

◆ 预警方法实践



30202工作面7月1日~2日监测预警分析

一、生产情况

7月1日，30202工作面正常组织生产，日推进6刀，日推进度5m，累计推进2660m；7月2日，日推进8刀，日推进7m，累计推进2667m。

二、煤体应力监测数据

7月1日~2日30202工作面回风巷生产帮出现多点黄色预警：回风63巷及回风64深持续黄色预警。

三、微震监测数据

7月1日30202工作面监测微震事件149次，总能量2.05E+04J，未发生4次及以上事件；7月2日30202工作面监测微震事件269次，总能量4.19E+04J，未发生4次方及以上事件。

(a) 7月1日 (b) 7月2日

◆ 准确预警哪一天会出现动力显现——任重道远

◆ 提前10余天发出动力显现及应力多点连续预警区域的预警通知

一、研究区域与冲击地压显现特点

二、沿空巷道动力显现影响机制及诱冲主因分析

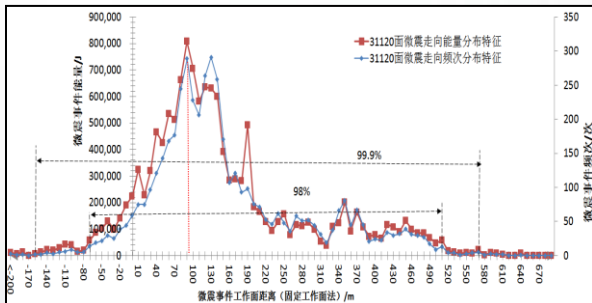
三、沿空巷道动静载叠加冲击地压监测预警

四、沿空巷道动静载叠加冲击地压防治措施

◆ 区段煤柱尺寸对沿空巷道动力显现影响

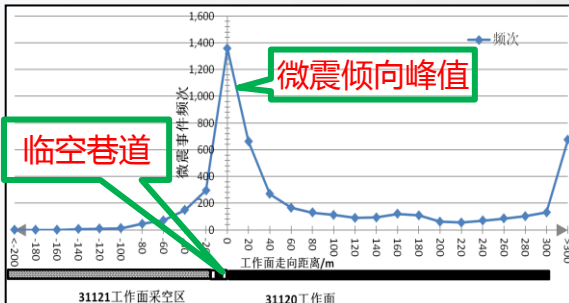
区域防治——小煤柱护巷工艺

微震事件走向固定工作面分布特征

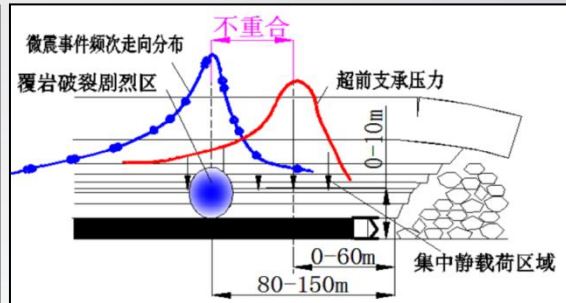


6 m 小煤柱

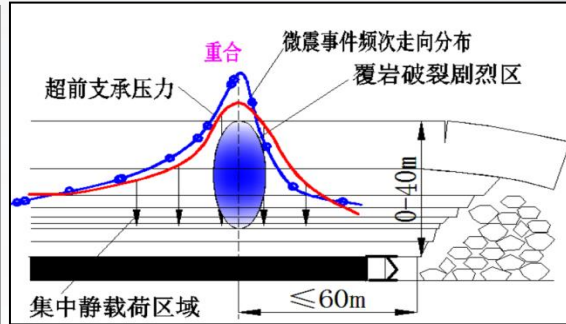
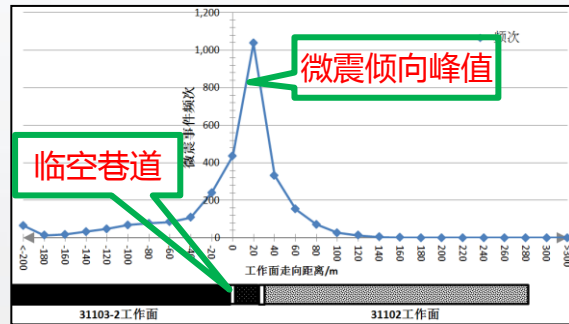
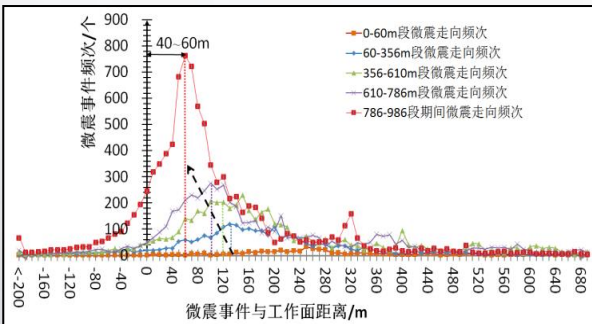
微震事件倾向分布特征



覆岩破裂剧烈区与集中静载荷区位置关系



20-30 m 区段煤柱

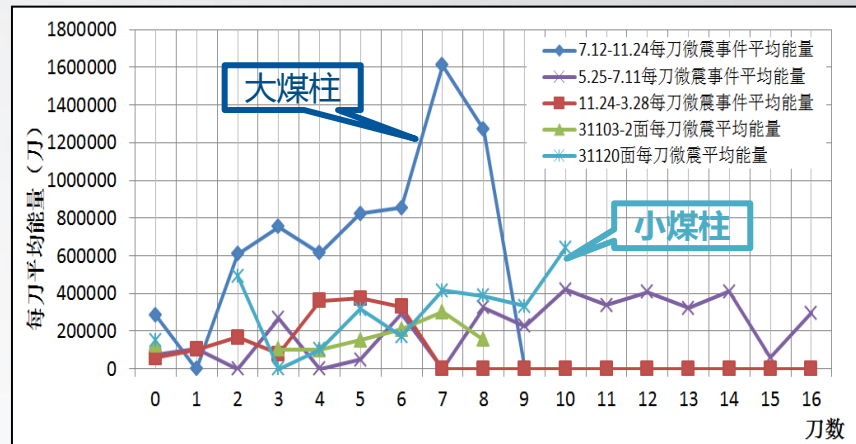
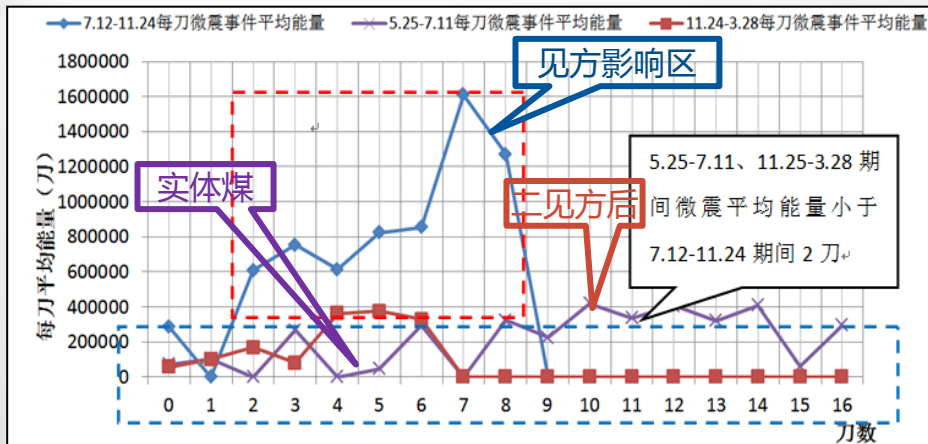


小煤柱工作面沿空巷道附近微震事件走向峰值更为超前

小煤柱工作面微震事件倾向峰值更靠近正帮侧

覆岩破裂剧烈区与集中静载荷区位置相距更远，动静载叠加诱冲风险降低

◆ 区段煤柱尺寸对沿空巷道动力显现影响



大煤柱工作面回采速度分析与微震日均能量关系

大小煤柱工作面回采速度与微震关系对比

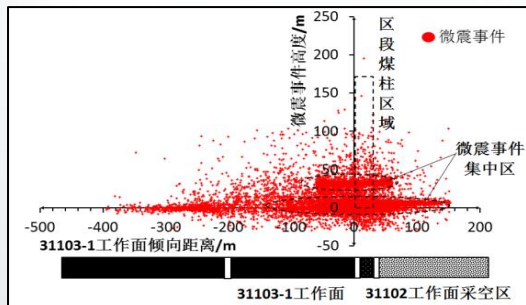


- ◆ **分析结果**：相同的回采速度条件下，小煤柱工作面微震事件每刀平均能量相对更低。
- ◆ **认识**：小煤柱避免了覆岩破裂剧烈区与集中静载荷区的重合，降低了临空巷动静载叠加诱冲风险。

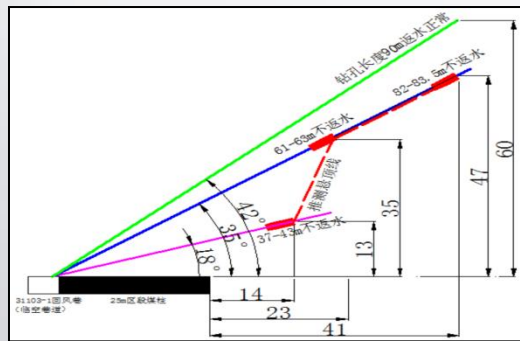
◆ 沿空巷道顶板预裂爆破及效果评价

局部防治——动载为相对主因——顶板预裂爆破

采空区顶板暴露情况探查

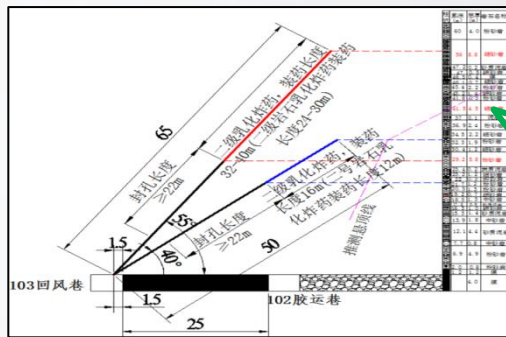


探查目标范围

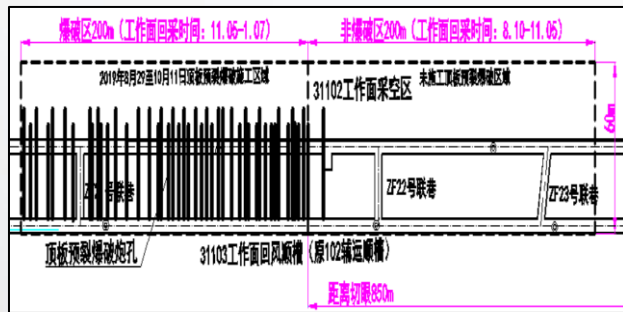


采空区顶板暴露情况探查

爆破方案及对比分析区域

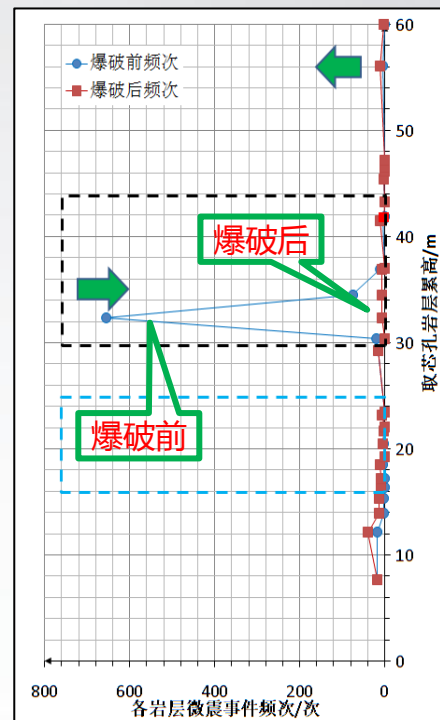


顶板预裂爆破方案



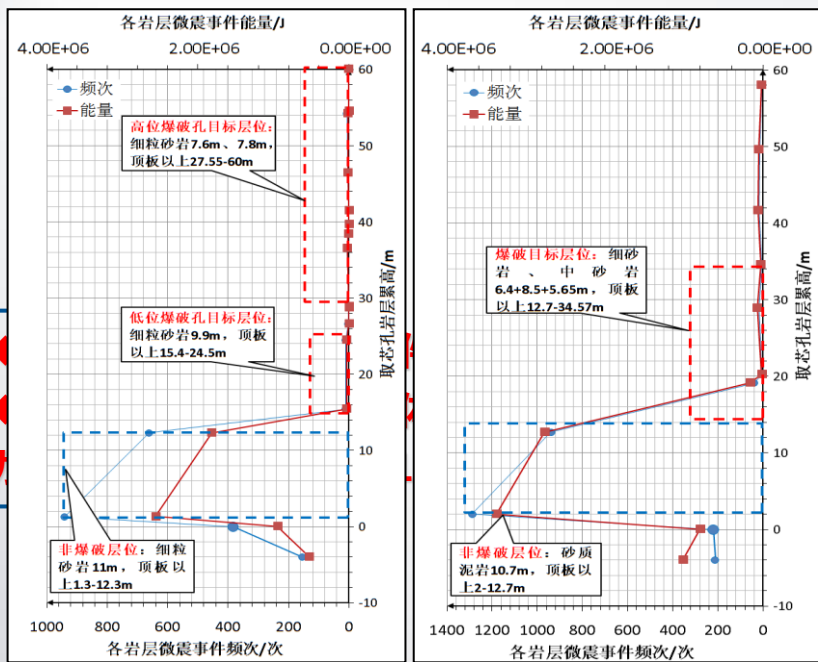
效果分析对比区域

爆破效果分析结果



顶板预裂爆破动载弱化作用

◆沿空巷道顶板预裂爆破及效果评价



大应

爆破区与非爆破区微震统计对比

对比区域	对比项目	爆破前	爆破后	降幅
沿空巷道顶板-4~60m	微震频次/个	2825	2819	2.12%
	微震能量/J	15949116	12689718	20.44%
沿空巷道顶板6.9m~60m	微震频次/个	846	191	77.42%
	微震能量/J	4454404	1793172	59.74%

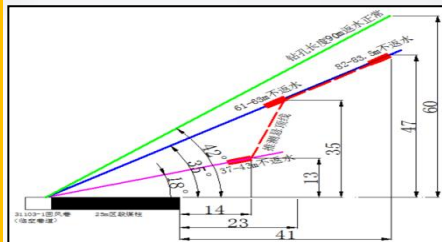
爆破区与非爆破区煤体应力预警情况对比

非爆破区	测点	最大应力值/MPa	测点	最大应力值/MPa
	19#	13.66	47#	12.29
20#	16.00	50#	14.15	
22#	11.07	51#	13.87	
24#	12.68	52#	22.46	
27#	12.38	58#	12.23	
35#	11.91	60#	14.90	
预警测点数量/个		12	测点最大应力均值/MPa	13.97
爆破区	25#	10.14	56#	12.85
	27#	14.71	58#	13.24
	29#	11.95	67#	12.62
	34#	12.20	68#	12.24
	35#	11.13		
	预警测点数量/个		9	测点最大应力均值/MPa

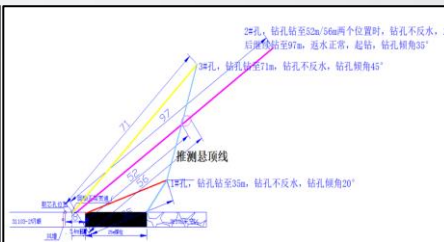
◆顶板预裂爆破可降低沿空巷道动载扰动、静载集中

沿空巷道顶板预裂爆破及效果评价

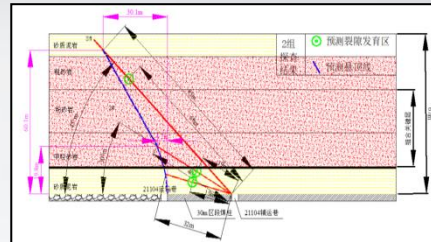
31103工作面



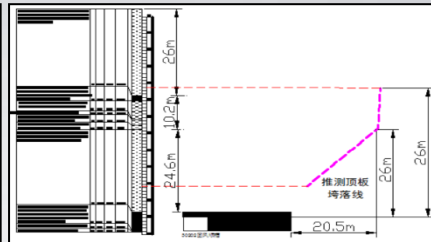
31120工作面



21104工作面



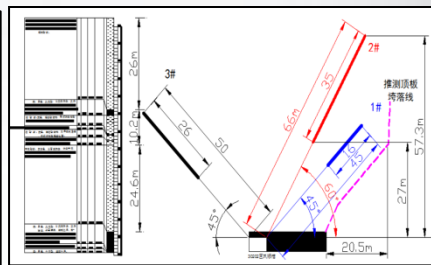
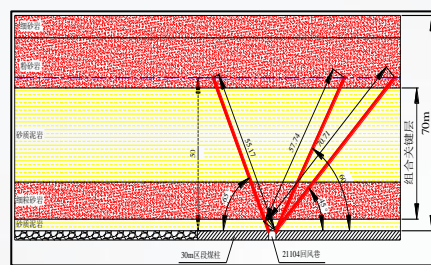
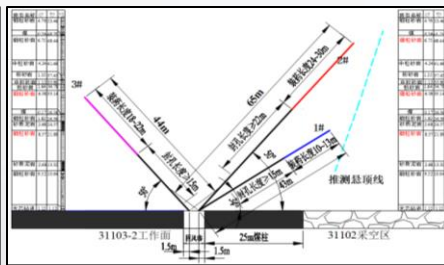
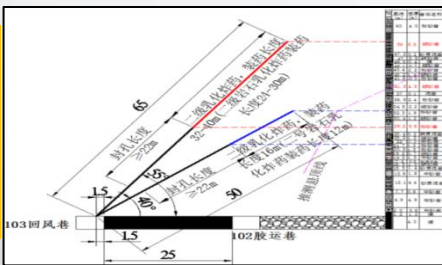
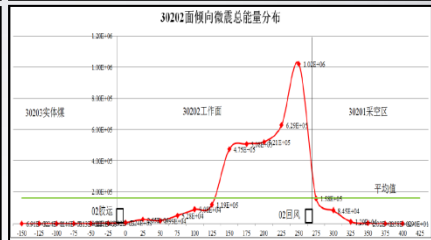
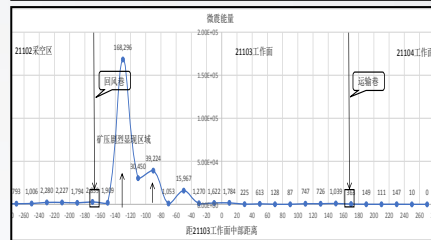
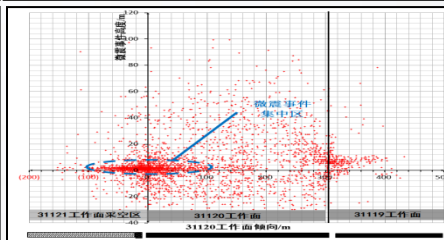
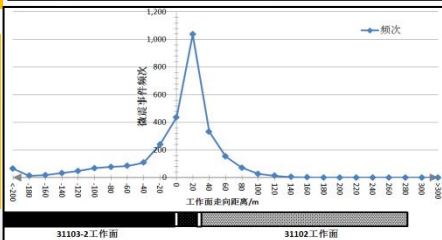
30202工作面



采空区顶板暴露情况探查

微震事件分布特征

顶板预裂爆破技术方案



因为各矿煤层赋存条件、顶底板岩层结构、采空区顶板暴露、微震事件倾向峰值位置存在较大差异，**爆破目标层位、重点实施方向、技术方案**需要坚持“一矿一策、一面一策”原则，加强效果分析，不断优化

◆沿空巷道超前支护方式

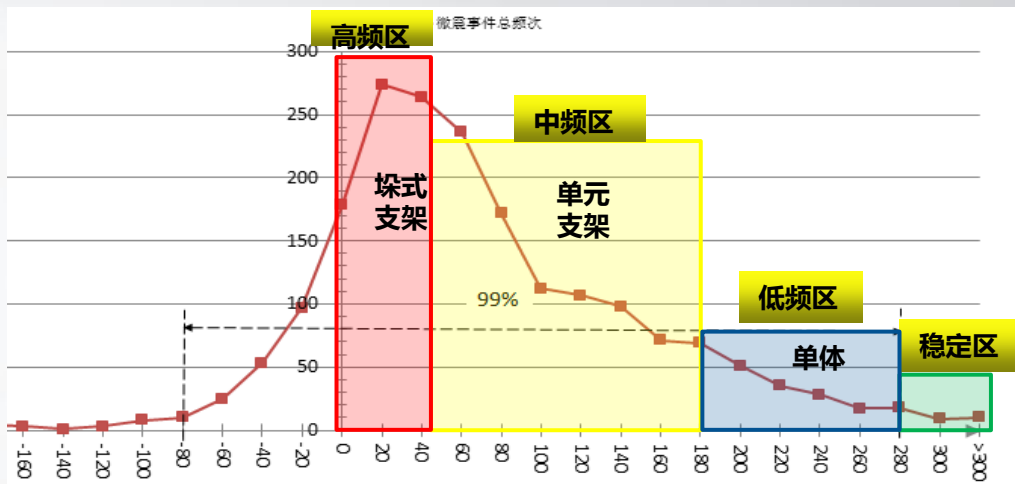
分区支护方案：

◆超前0~40m范围（动静载剧烈影响区）：应加大支护强度与支护面积，特别是对巷道顶板中部的支护。

◆超前40~180m范围（中等影响区）：为避免踩架频繁卸支造成顶板破碎漏顶，应采用单元支架等支护装备。

◆超前180~300m范围（弱影响区）：可采用单体配合铰接顶梁、工字钢梁支护。

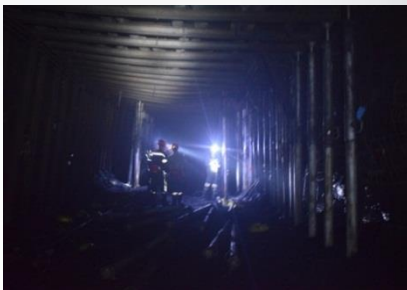
◆超前影响区以外：重点在于现有支护质量排查，在特殊区域加强支护。



“高频区” 垛式支架支护



“中频区” 单元支架支护果



“低频区” 支护

感谢行业及在座各位领导、专家长期指导与支持

感谢聆听

