

冲击地压防治十二个问题认识和思考

潘一山

辽宁大学

煤矿冲击地压机理与防控技术国家矿山安全监察局重点实验室

2024年10月30日

》》 煤矿冲击地压

- 冲击地压是煤矿井下巷道或工作面周围煤岩体弹性变形能瞬间释放而产生的突然、剧烈破坏的动力现象，常伴有煤岩体瞬间位移、抛出、巨响及气浪等，并造成设备破坏及人员伤亡。



内蒙某矿冲击地压发生时真实现场监控视频



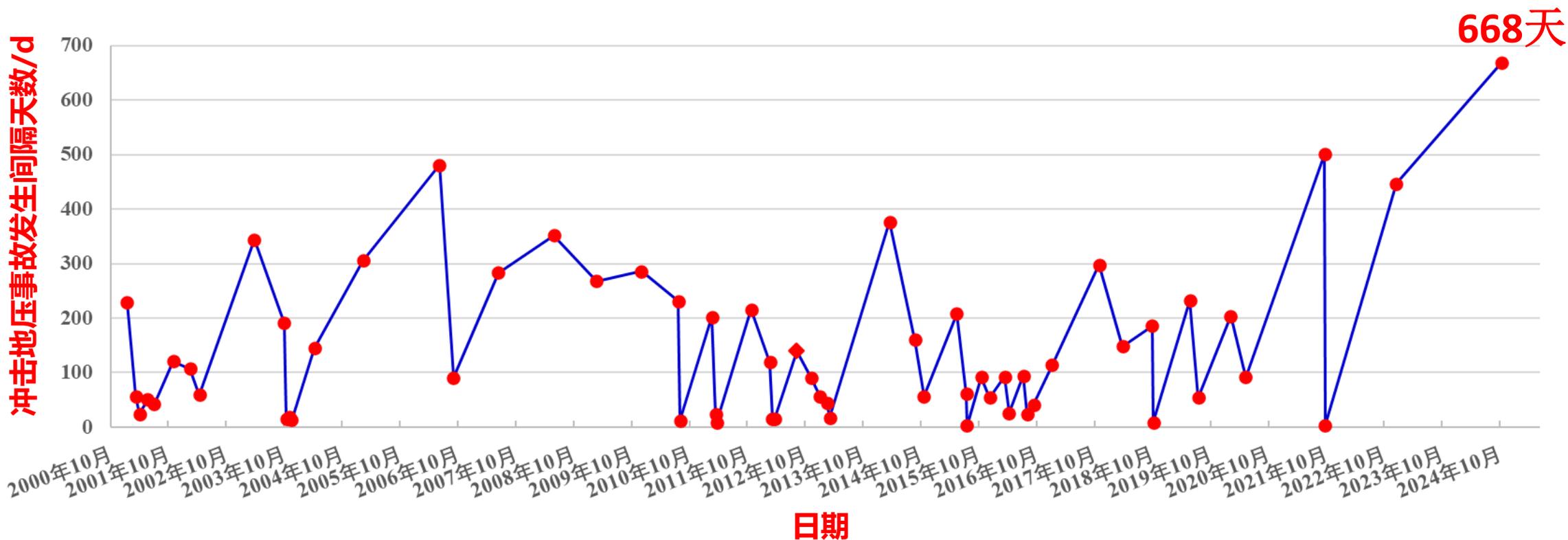
河南某矿冲击地压时真实现场监控视频

》》 我国冲击地压灾害得到基本控制

- 冲击地压是世界性难题，也是习近平总书记挂在心中的煤矿灾害。在国家矿山局强力领导下，在行业共同努力下，我国冲击地压得到基本控制。

冲击地压事故发生的间隔天数越来越大

- 今天是10月30日，目前全国冲击地压矿井实现连续**668天**未发生事故，创历史最好水平，特别令人欣喜。



历史这个月发生的两次大的冲击地压事故

- 但我们还不能满足，这个月历史上发生的两次冲击地压大事故是个警钟。更何况还有冲击地压很多问题还不是十分清晰，因此必须战战兢兢，如履薄冰。以下12个问题，值得提高认识，深深思考，为实现冲击地压矿井长期安全生产打好基础。

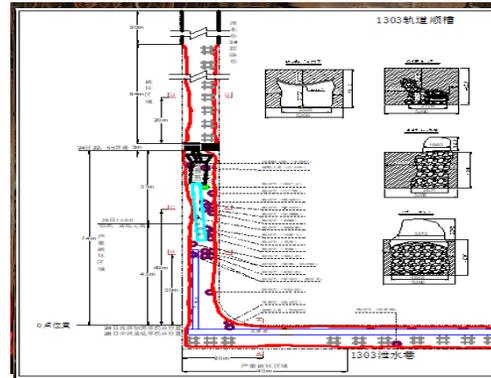
五十年的回忆

五十年前的回忆

.....黄祖望

一九七四年十月二十五日，北京矿务局城子煤矿发生了一起矿难...冲击地压，造成29人遇难，8人受重伤的重大事故。这次矿难至今五十年了，我是幸存者，但对我的精神产生严重影响，一同工作，朝夕相处的工友、伙伴、师傅，瞬间就没了...唉，太难受了。

放炮装火药工作准备好了，开始撤人。工人们刚拐了个弯，躲炮距离严重不够。放炮员按动了电钮...炮响了，随着炮声，顶板聚集的强大能量借此突然释放，工作面和巷道里支架大范围垮塌。巷道是水泥支架，顶板和煤墙缓慢来压还行，但承受不住猛烈的冲击，在强大的冲压下，连煤带架子，还有铁矿车、支柱把躲炮的人们死死埋压在里面。



汇报提纲

- | | | | |
|---|-------------|----|----------------|
| 一 | 冲击地压参与的复合灾害 | 七 | 冲击地压防冲设计 |
| 二 | 冲击地压理论的力量 | 八 | 千米采深冲击地压矿井开采 |
| 三 | 冲击地压矿井安全性评价 | 九 | 冲击地压矿井充填开采 |
| 四 | 冲击地压监测 | 十 | 矿震频发 |
| 五 | 冲击地压矿井巷道支护 | 十一 | 冲击地压煤层智能安全高效开采 |
| 六 | 冲击地压“零冲击”管理 | 十二 | 冲击地压矿井综合管理 |

汇报提纲

- 一 >> 冲击地压参与的复合灾害
- 二 >> 冲击地压理论的力量
- 三 >> 冲击地压矿井安全性评价
- 四 >> 冲击地压监测
- 五 >> 冲击地压矿井巷道支护
- 六 >> 冲击地压“零冲击”管理
- 七 >> 冲击地压防冲设计
- 八 >> 千米采深冲击地压矿井开采
- 九 >> 冲击地压矿井充填开采
- 十 >> 矿震频发
- 十一 >> 冲击地压煤层智能安全高效开采
- 十二 >> 冲击地压矿井综合管理

进入深部开采，冲击地压与其它灾害相互诱发、耦合

□ 煤矿开采中还有瓦斯突出、冒顶、自然发火、突水、油气喷出等灾害。**浅部开采**，这些灾害表现为单一发生，灾害之间相互影响较小。**进入深部开采**，冲击地压与其它灾害之间呈现耦合，形成复合灾害，统称“冲击地压参与复合灾害”。



单一发生

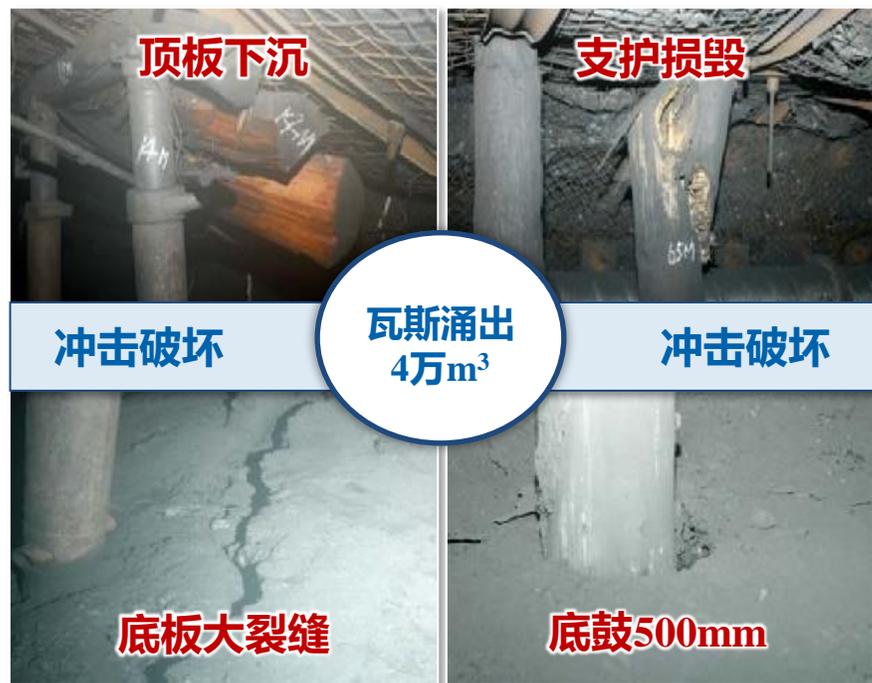


复合发生

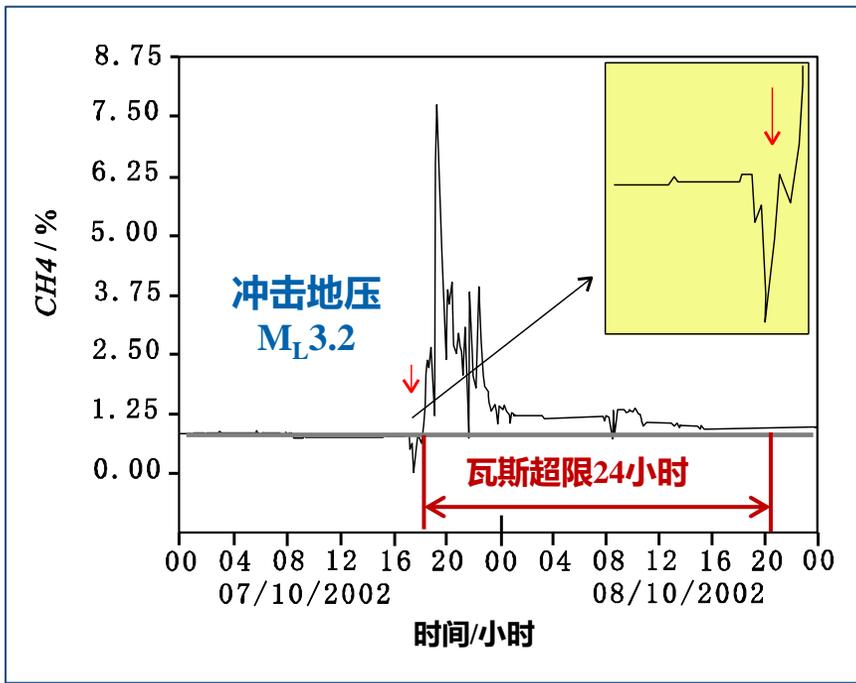


冲击地压瓦斯突出复合灾害

- 破坏既有顶板下沉、支护损毁、底板裂缝、底板鼓起等典型冲击特征，又有瓦斯涌出、煤壁破坏形状呈口小腔大、煤体搬运、破坏持续时间较长等典型突出特征。往往在单一灾害的低指标情况下就发生。目前冲击地压瓦斯突出复合灾害矿井**53座**。

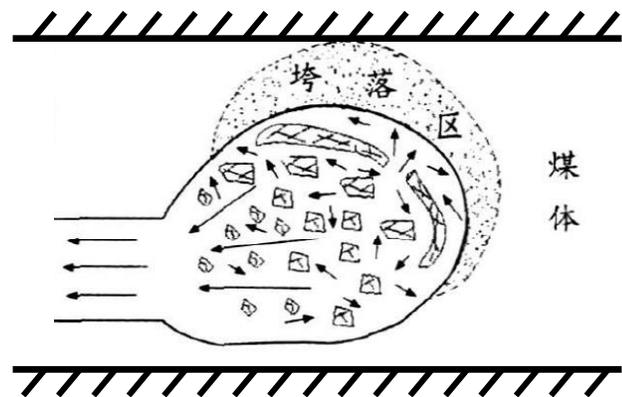


河南平顶山十矿复合灾害



辽宁抚顺老虎台矿复合灾害

老虎台矿冲击发生前瓦斯浓度先下降，数十分钟后发生冲击，再延迟数十分钟瓦斯浓度才急剧上升



突出后形成的梨形孔洞

冲击地压冒顶复合灾害

- 破坏既有顶底板移近、煤体抛掷等典型冲击特征，又具有巷内顶部煤岩重力垮冒、冒后围岩界面分明、锚杆索竖向破断的典型冒顶特征，冲击冒顶复合灾害矿井全国**98**个。



硫磺沟矿1.1事故发生前矿压显现强烈

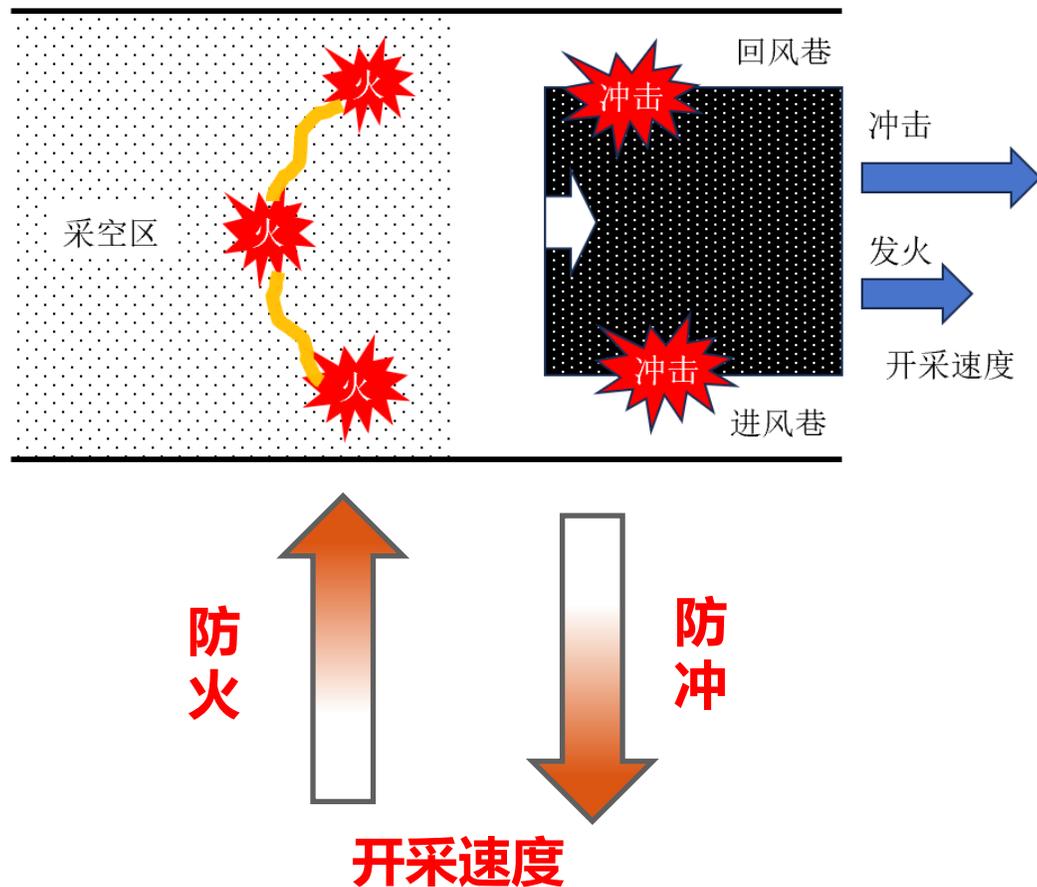
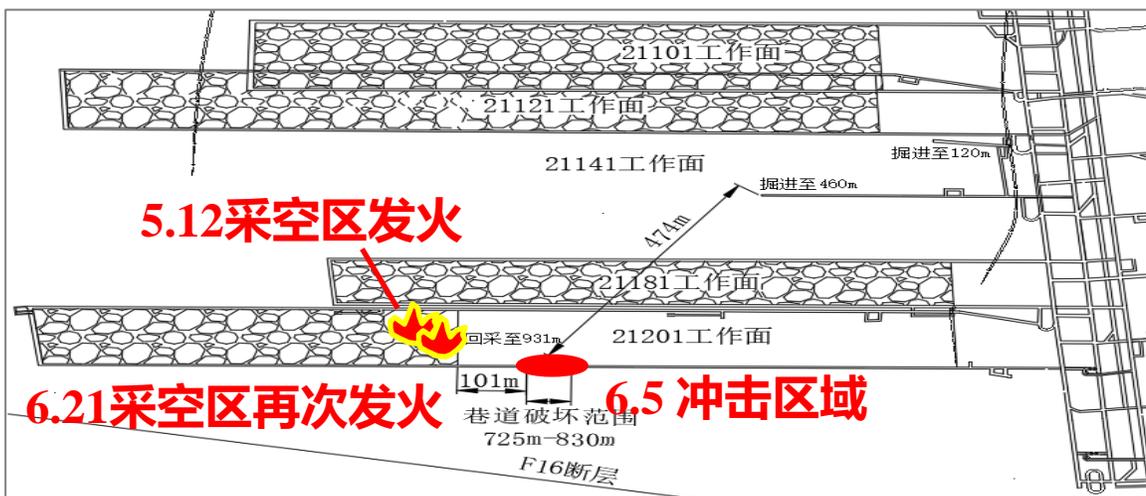
胡家河矿10.11事故

山西某矿动力灾害事故

新疆某矿动力灾害事故

冲击地压发火复合灾害

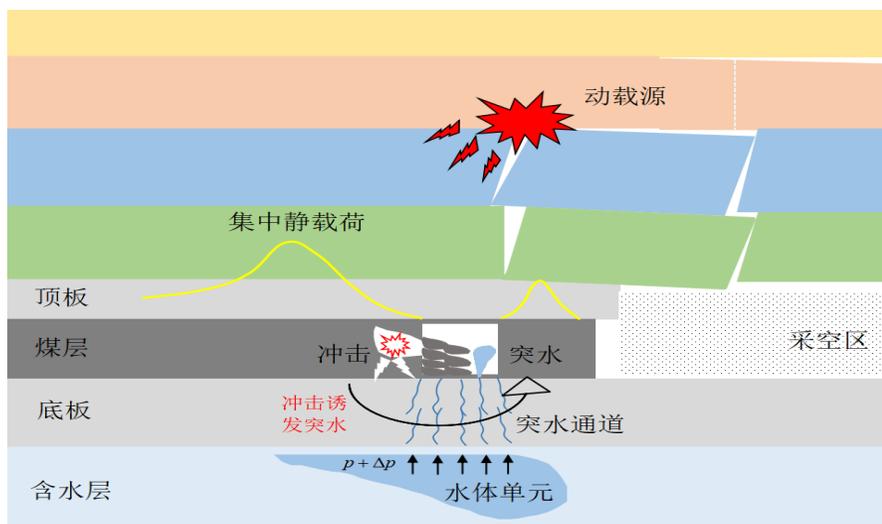
- 煤层既有冲击危险，又有发火危险，目前有**62个**矿井。冲击地压防治要求开采速度不能太快，发火防治要求开采速度不能太慢，防冲与防火相互矛盾。



冲击地压突水复合灾害

冲击地压导致岩层断裂、裂隙相互贯通，促进矿井突水；矿井突水发生后，储水岩层失水，失水岩层应力集中促进裂纹扩展，助推冲击地压。冲击突水矿井有**41处**，分布在山东，江苏，内蒙，陕西，甘肃等。

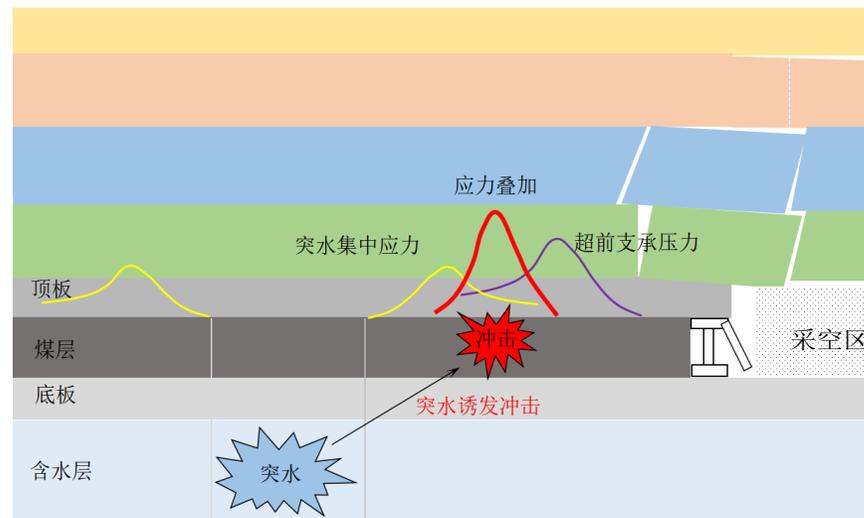
冲击诱发突水型复合灾害



案例

矿别	发生情况	类型
山东某矿	冲击后，诱发突水	冲击诱发突水

突水诱发冲击型复合灾害

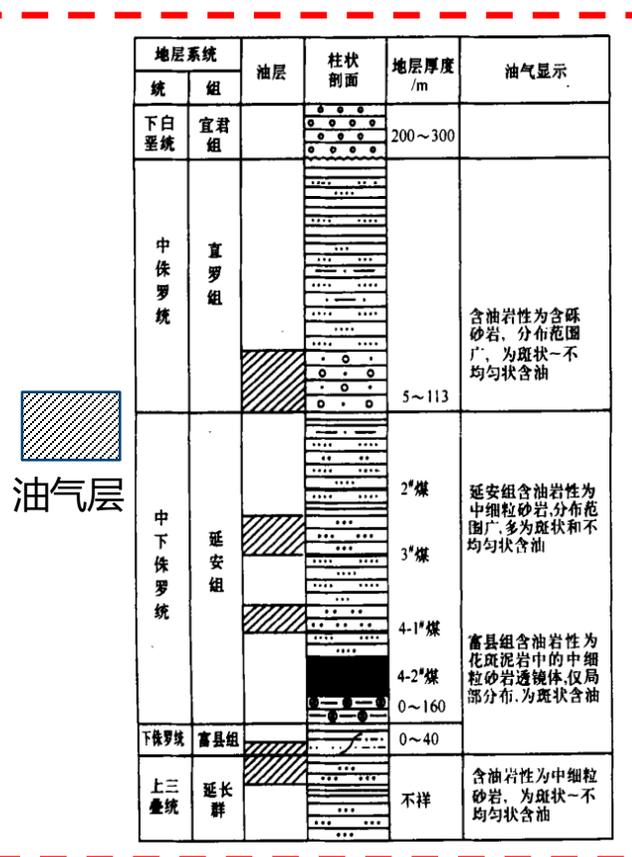
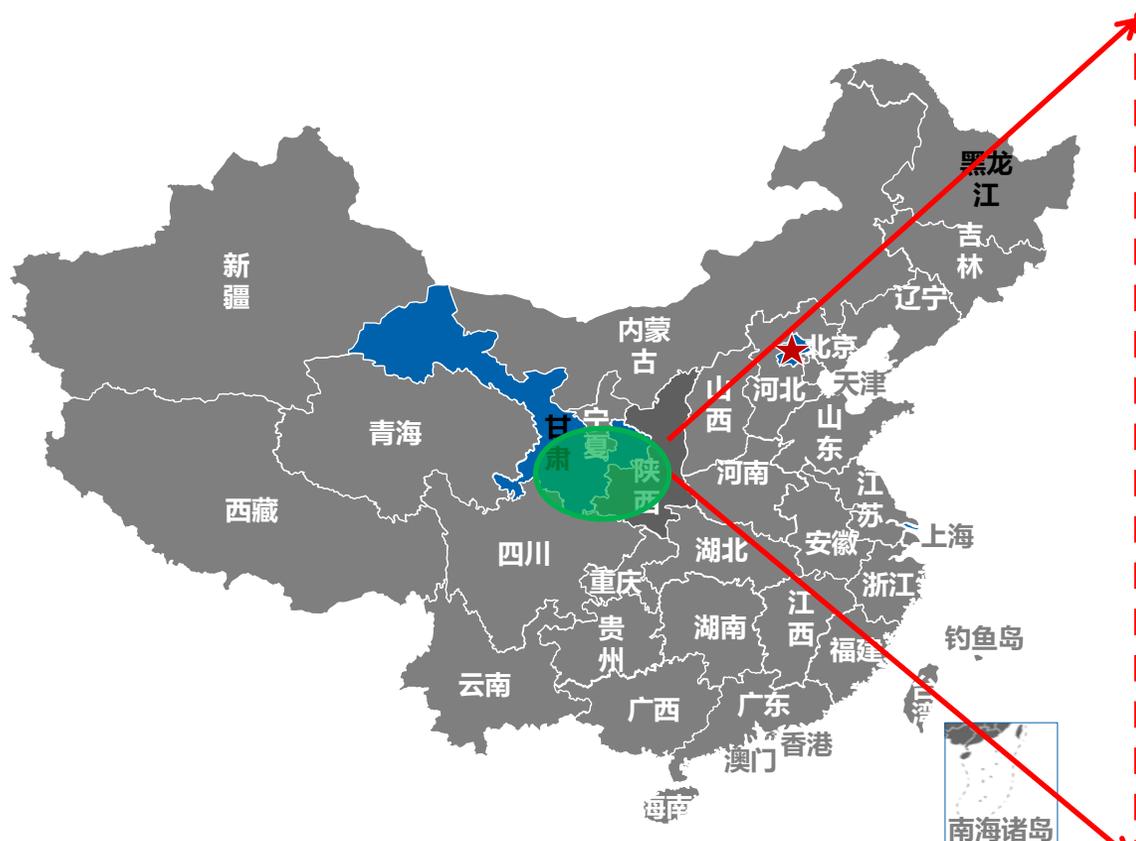


案例

矿别	发生情况	类型
山东某矿	顶板发生突水，诱发冲击	突水诱发冲击
内蒙某矿	顶板疏放水，水压降低诱发冲击	疏水诱发冲击
陕西某矿	含水层观测孔水位下降，诱发冲击	疏水诱发冲击

冲击地压油气喷出复合灾害

□ 陕西、甘肃的**焦坪、旬耀、彬长、宁正和永陇**等矿区是我国典型的煤油气共存矿区，同时也是冲击地压较为严重区域。带压的油气赋存于煤层顶底板岩层中，与冲击地压的孕育发生相互耦合，形成**冲击地压油气喷出复合灾害**。



有冲击油气复合灾害危险的矿井

陈家山煤矿

下石节煤矿

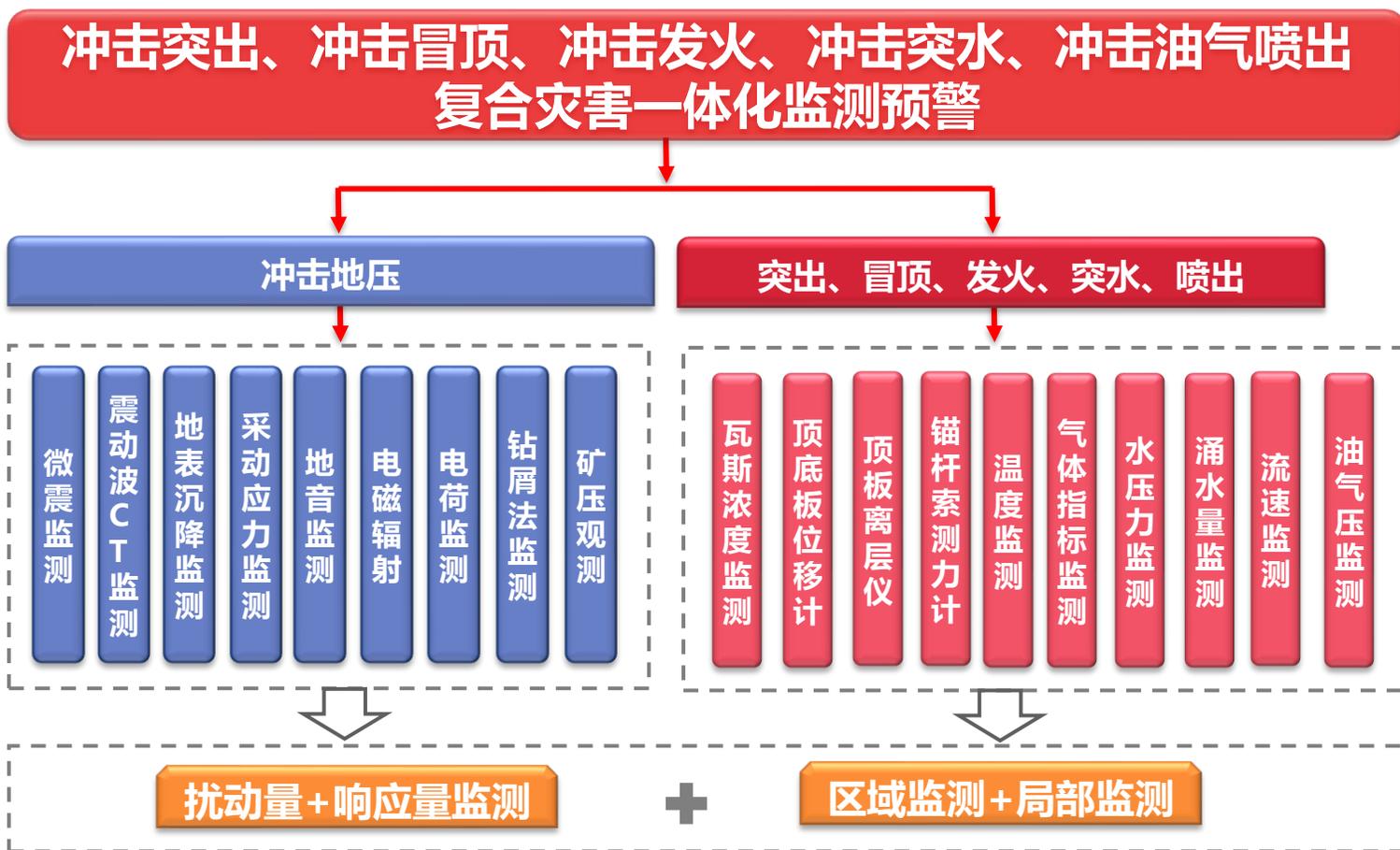
海石湾煤矿

新庄煤矿

建新煤矿

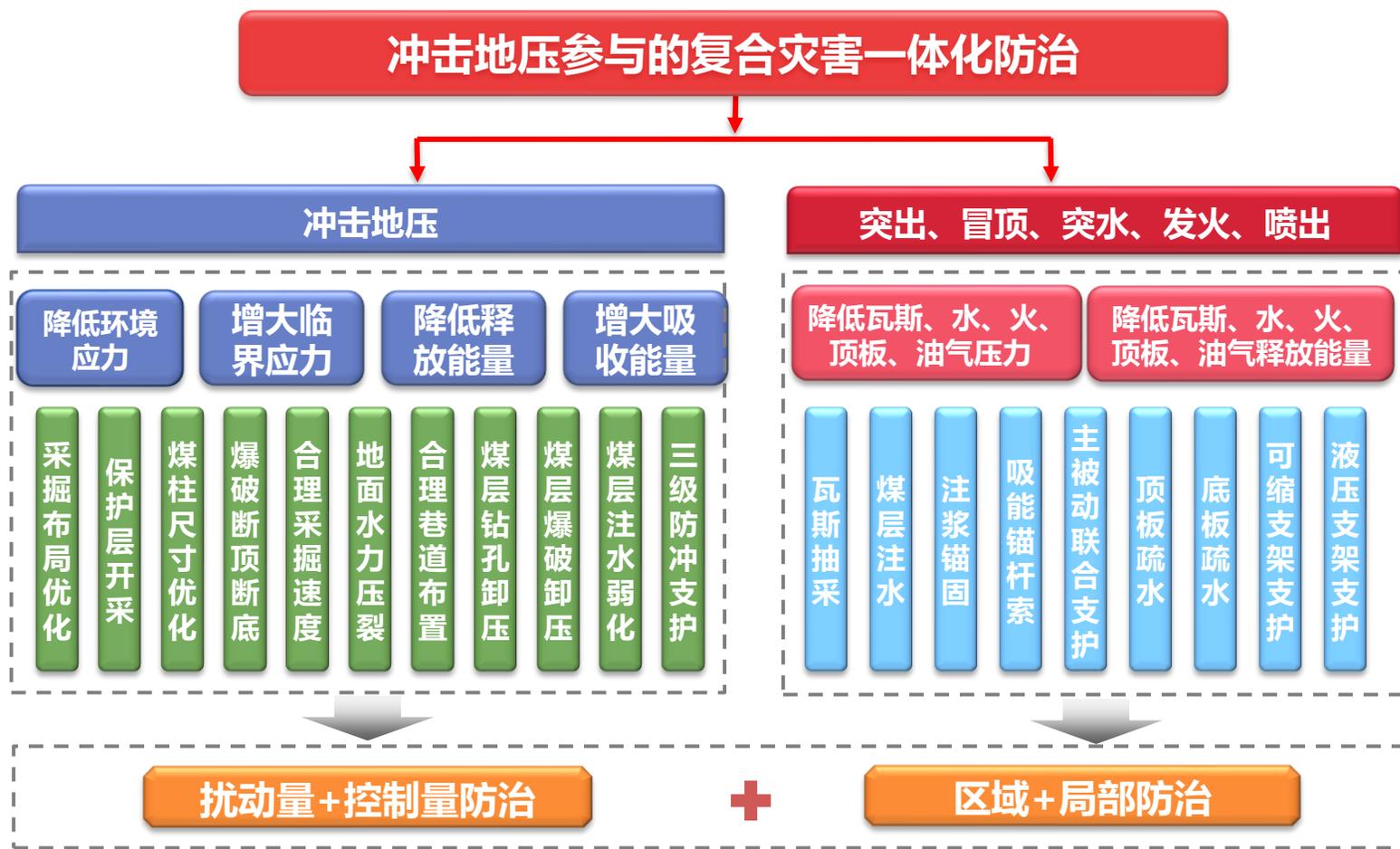
冲击地压参与的复合灾害一体化监测预警

对冲击、顶板、瓦斯、火、水、油气的关键指标进行同步监测，实现冲击地压、冒顶、瓦斯突出、自然发火、突水、油气喷出的一体化监测预警。



冲击地压参与的复合灾害一体化防治

- 既要防治冲击地压，又要防治瓦斯突出、冒顶、自然发火、突水、油气喷出灾害，实现复合灾害的一体化协同防治。



今后发生的貌似冲击地压都可能不是一种灾害了，而是两种灾害复合在一起。若还当成一种灾害去治理，就必然导致吃亏后悔，灾害低指标发生，误报、漏报、防治无效等。只有对深部开采冲击地压的深刻了解、认识、认知、深化，和其它灾害一体化监测防治**，才能有效控制冲击地压参与的复合灾害。**

汇报提纲

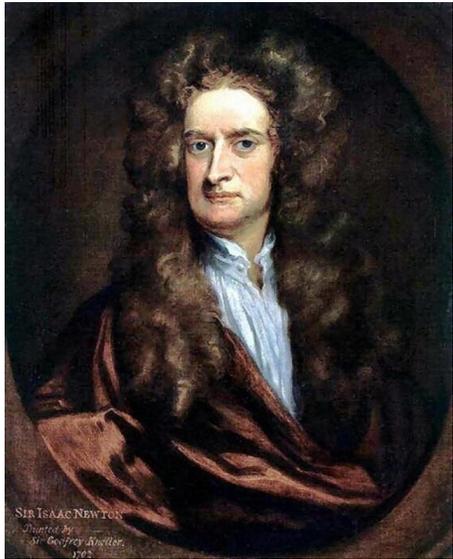
- | | | | |
|---|-------------|----|----------------|
| 一 | 冲击地压参与的复合灾害 | 七 | 冲击地压防冲设计 |
| 二 | 冲击地压理论的力量 | 八 | 千米采深冲击地压矿井开采 |
| 三 | 冲击地压矿井安全性评价 | 九 | 冲击地压矿井充填开采 |
| 四 | 冲击地压监测 | 十 | 矿震频发 |
| 五 | 冲击地压矿井巷道支护 | 十一 | 冲击地压煤层智能安全高效开采 |
| 六 | 冲击地压“零冲击”管理 | 十二 | 冲击地压矿井综合管理 |

如果说，用一个公式来说明冲击地压，那是什么公式？问起这个问题很多人会说，冲击地压太复杂，不可能得到一个公式。应该怎样看待这个问题？先看耳熟能详的一些物理力学基本定律。

物理基本定律

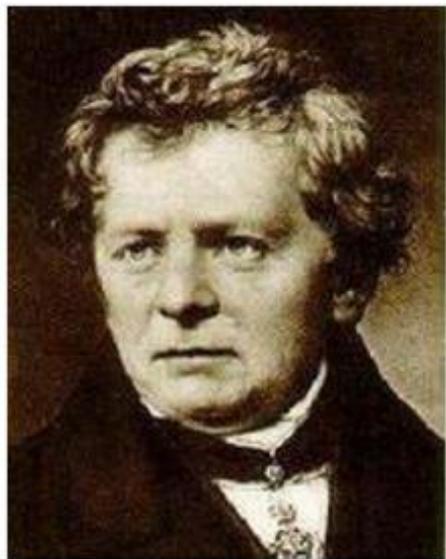
■ 经典物理定律在提出时期，通过研究获得理论公式

牛顿第二定律
1687年



$$F=ma$$

欧姆定律
1826年



$$I = \frac{U_2 - U_1}{R}$$

达西定律
1856年



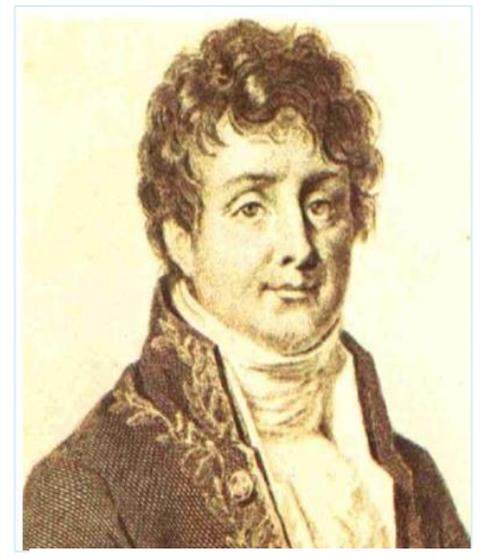
$$Q = KA\Delta h/L$$

菲克定律
1855年



$$J = k(C_2 - C_1)$$

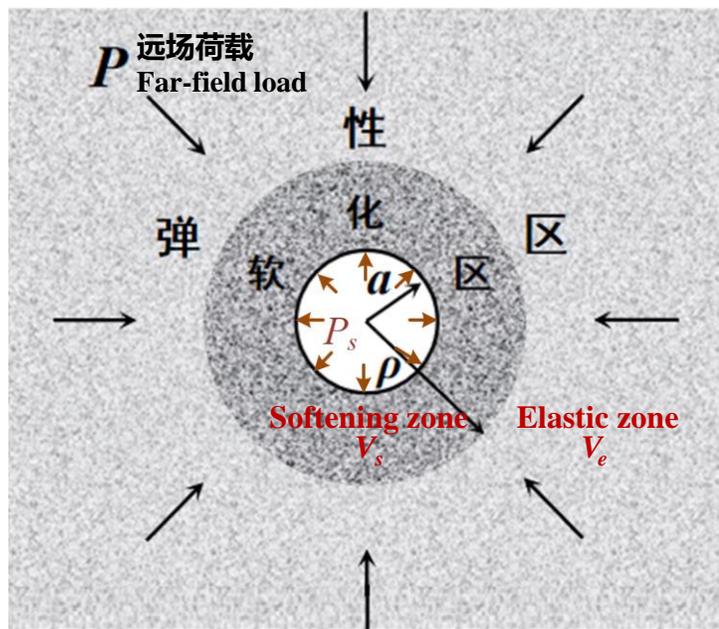
傅立叶定律
1822年



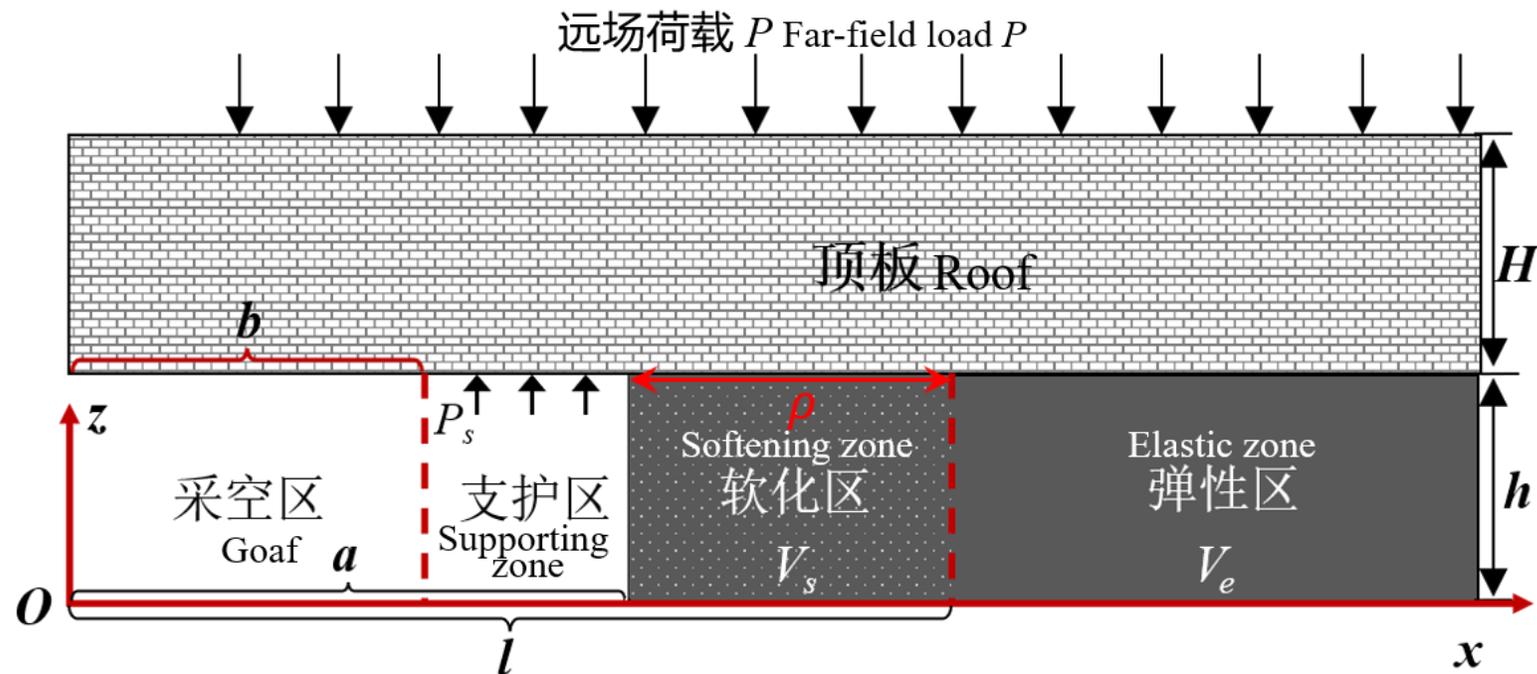
$$J_T = -\kappa \frac{dT}{dx}$$

复杂冲击地压问题简化

- 煤矿冲击就发生在两种情况，巷道或采煤工作面。假设支护应力为 P_s 的巷道/工作面围岩在远场载荷 P 作用下，产生的位移为 u ，应力为 σ ，应变为 ε ，由于应力集中围岩表面区域煤体超过峰值强度变成应变软化材料，软化区大小为 V_s ，深部是弹性区，大小为 V_e 。



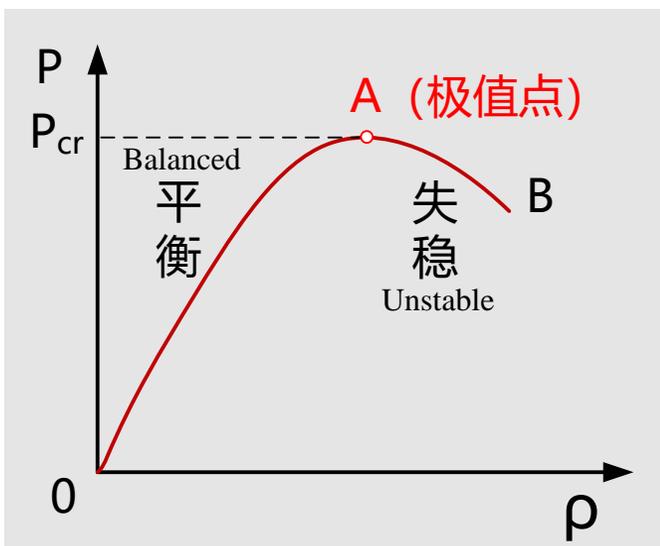
巷道模型



采煤工作面模型

冲击地压发生载荷极大值判别准则

- 随着巷道或采煤工作面荷载 P 增加，软化区深度 ρ 增加，按照力学一般理论，巷道或工作面发生冲击地压，荷载必然是取得极大值。



- 从数学的角度，如果连续，极值点 A 处的导数为0:

$$\frac{dP}{d\rho} = 0$$

冲击地压发生势能极大值判别准则

- 随着巷道或采煤工作面荷载 P 增加，巷道或工作面煤岩变形系统总势能 Π 增加，按照力学一般理论，冲击地压发生时，总势能 Π 必然是取得极大值，即在 Π 周围的任意状态 Π^* ，都有：

$$\Pi^* \leq \Pi$$

即，

$$\Pi^* - \Pi \leq 0$$

$$\int_{V_e} \Delta \sigma^T \Delta \varepsilon dV + \int_{V_s} \Delta \sigma^T \Delta \varepsilon dV \leq 0$$

巷道冲击地压临界应力理论公式

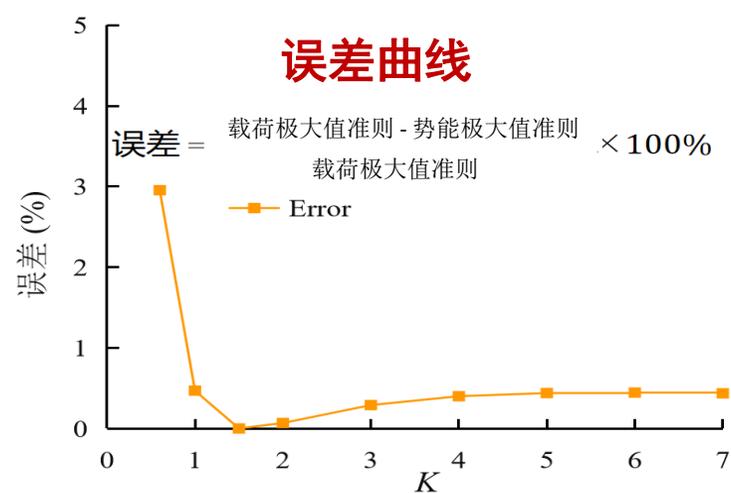
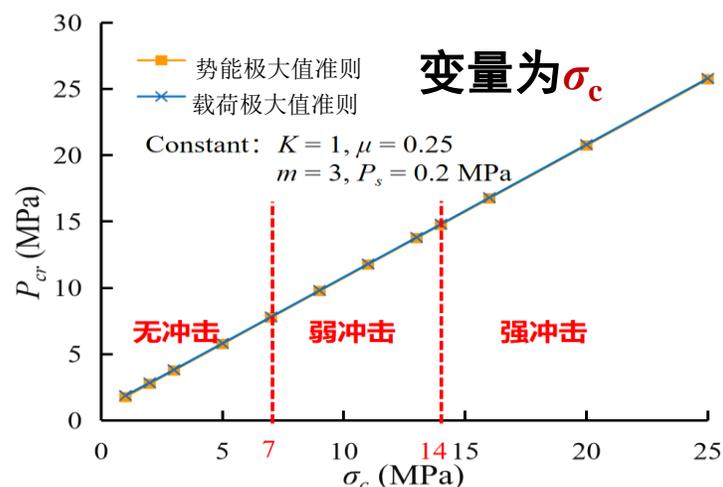
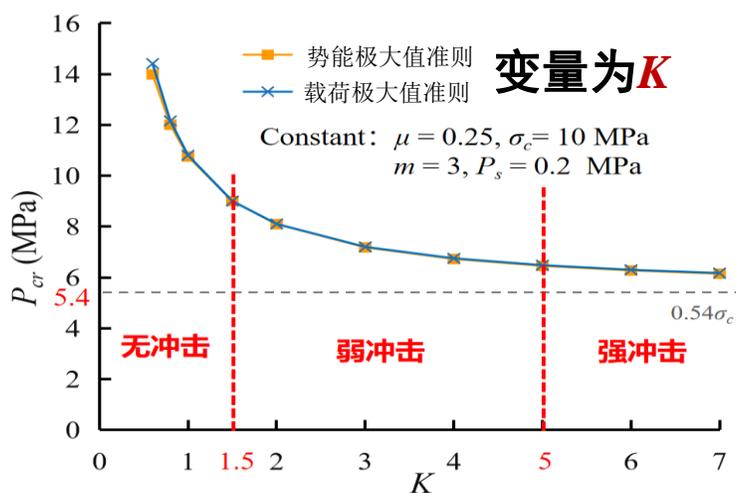
载荷极大值冲击地压公式：

$$P_{cr} = \eta \frac{\sigma_c}{2} \left(1 + \frac{1}{K} \right) \left(1 + \frac{4p_s}{\sigma_c} \right)$$

势能极大值冲击地压公式

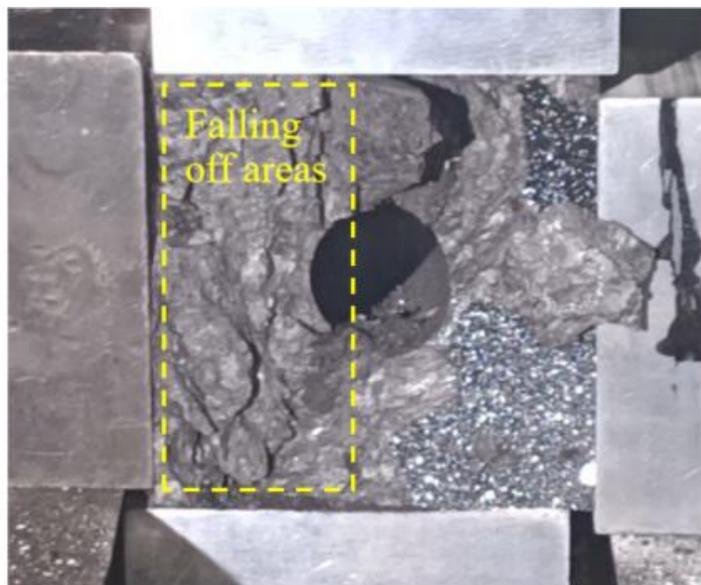
$$P_{cr} = \frac{\sigma_c}{m-1} \left(\sqrt{\frac{\sqrt{3} m + 1}{2} \frac{1}{1 + \mu} K \left[\left(\frac{\rho}{a} \right)^{m+1} - 1 \right]} - 1 \right)$$

➤ 两种准则推导的临界应力误差小于3%。

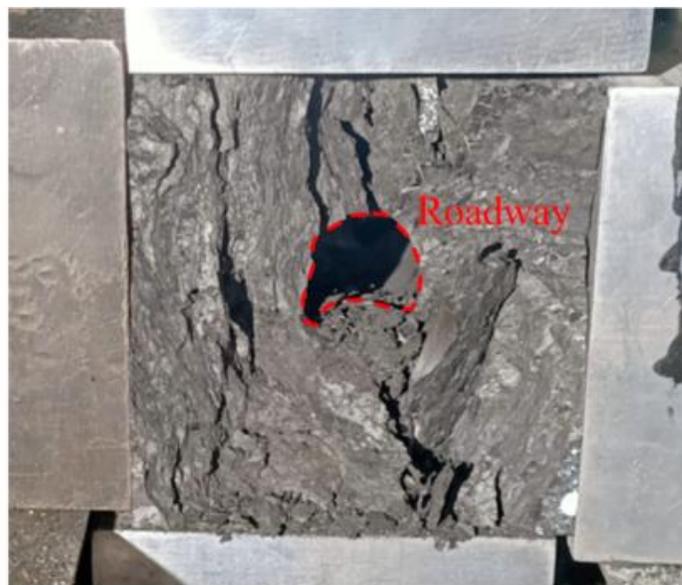


巷道冲击地压临界应力实验验证

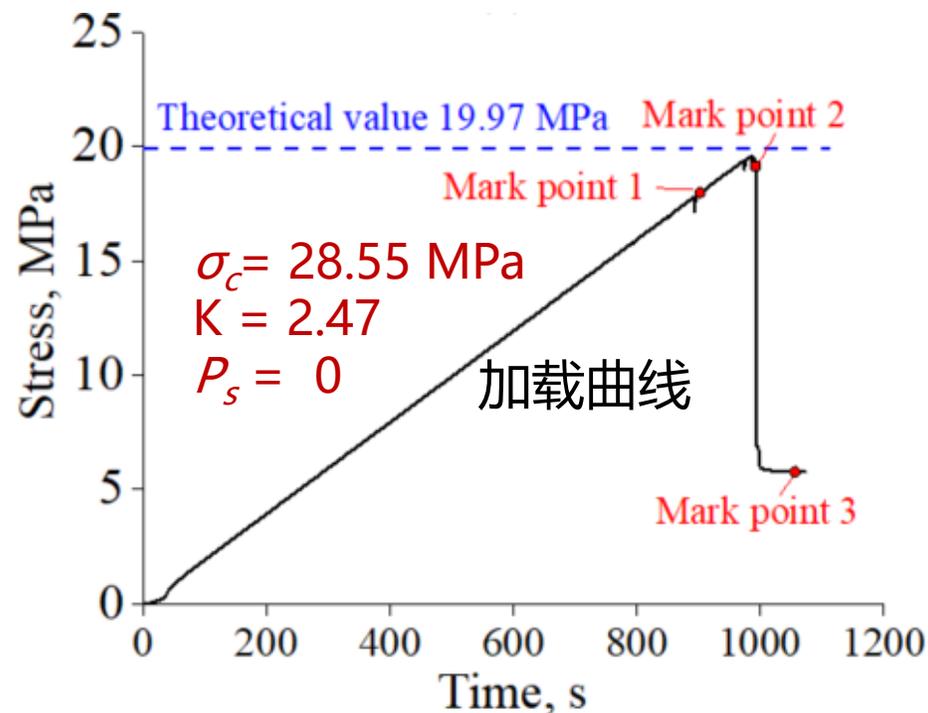
- 通过巷道实验，冲击地压发生的临界应力理论值19.97MPa，试验值为 19.61 MPa，误差1.8%。



碎块崩出剥落



严重崩塌破坏



采煤工作面冲击地压临界应力理论公式

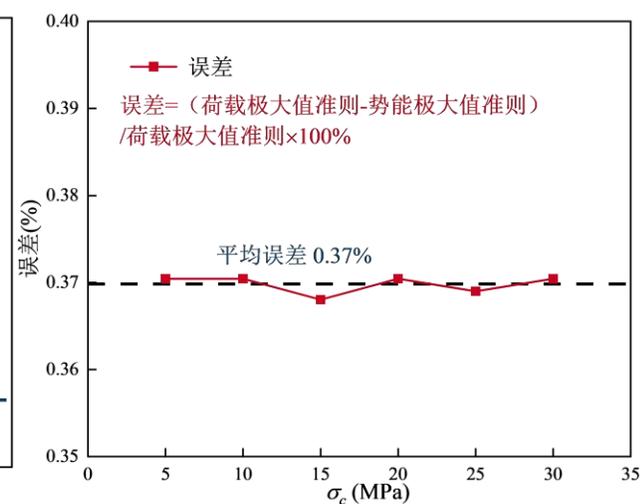
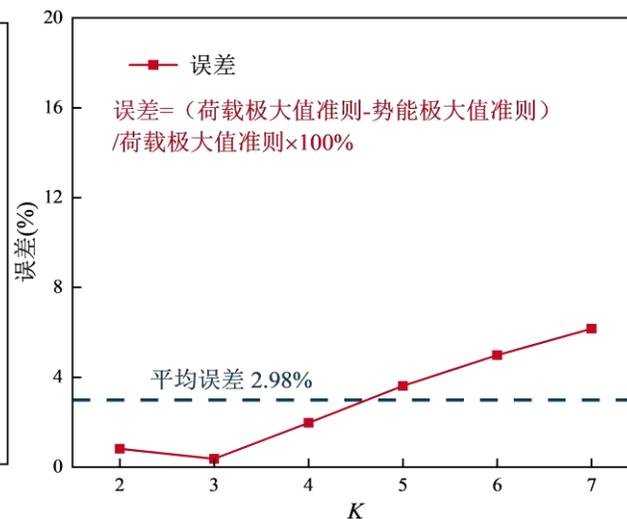
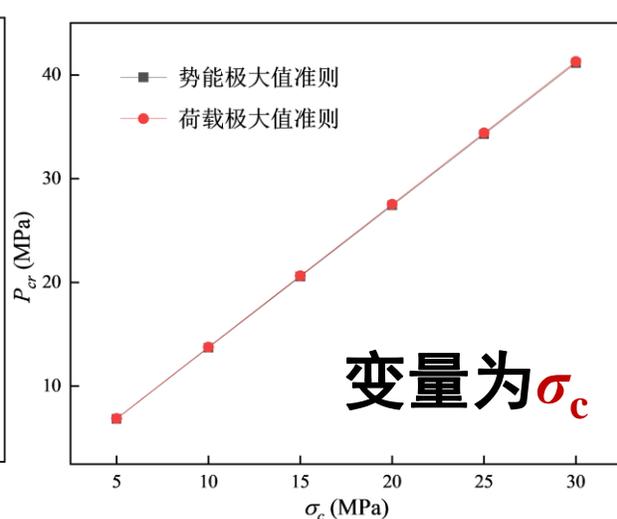
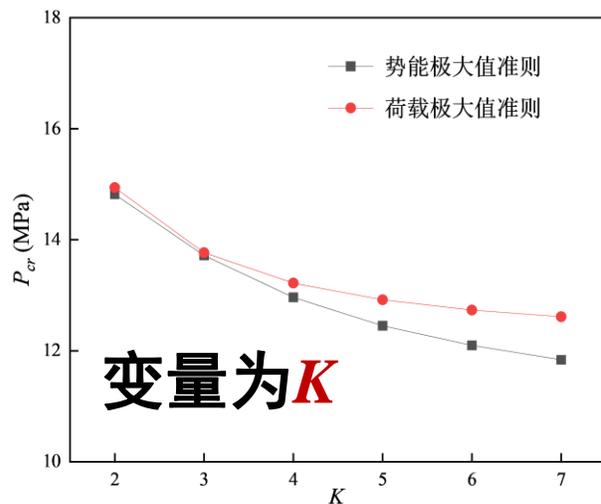
载荷极大值冲击地压公式：

$$P_4 \frac{dP_3}{dl} - P_3 \frac{dP_4}{dl} = 0$$

势能极大值冲击地压公式

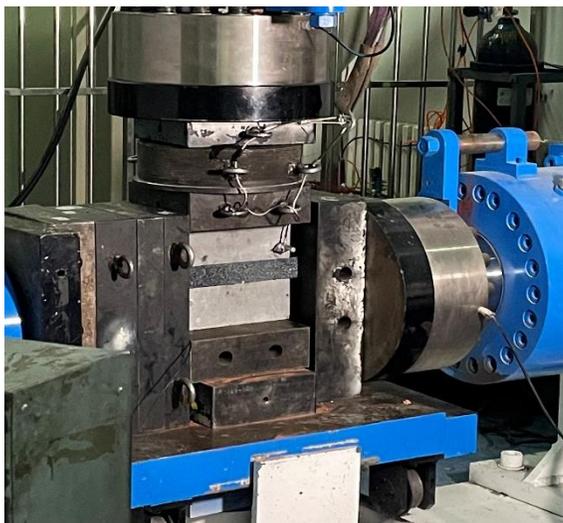
$$P_1(l) - P_2 + Q(l) \leq 0$$

➤ 两种准则推导的临界应力误差小于3%。

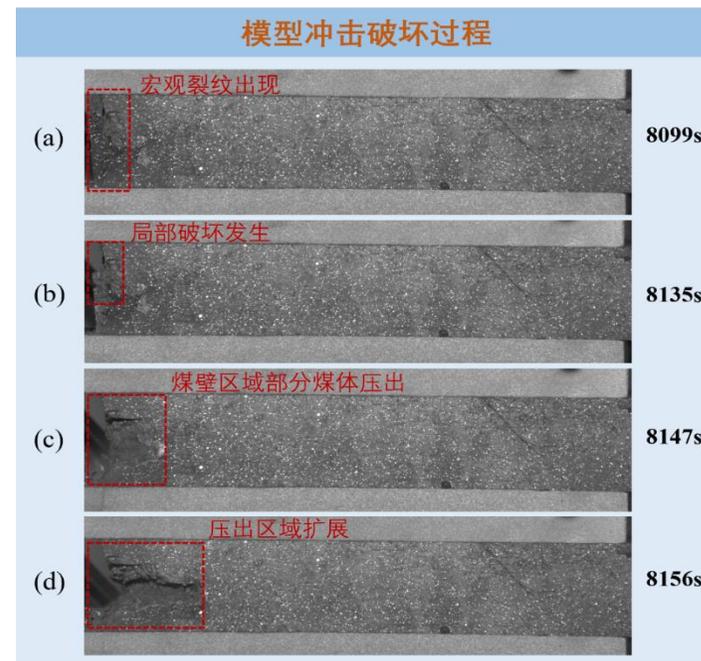
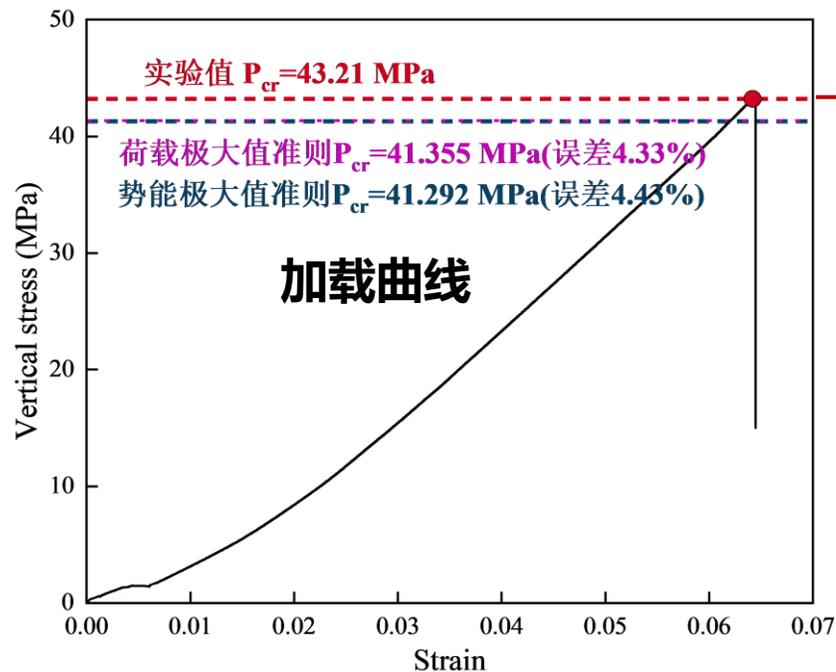


采煤工作面冲击地压临界应力实验验证

通过工作面实验，冲击地压发生的临界应力理论值为41.3MPa，
试验值为43.2MPa，误差4.3%。

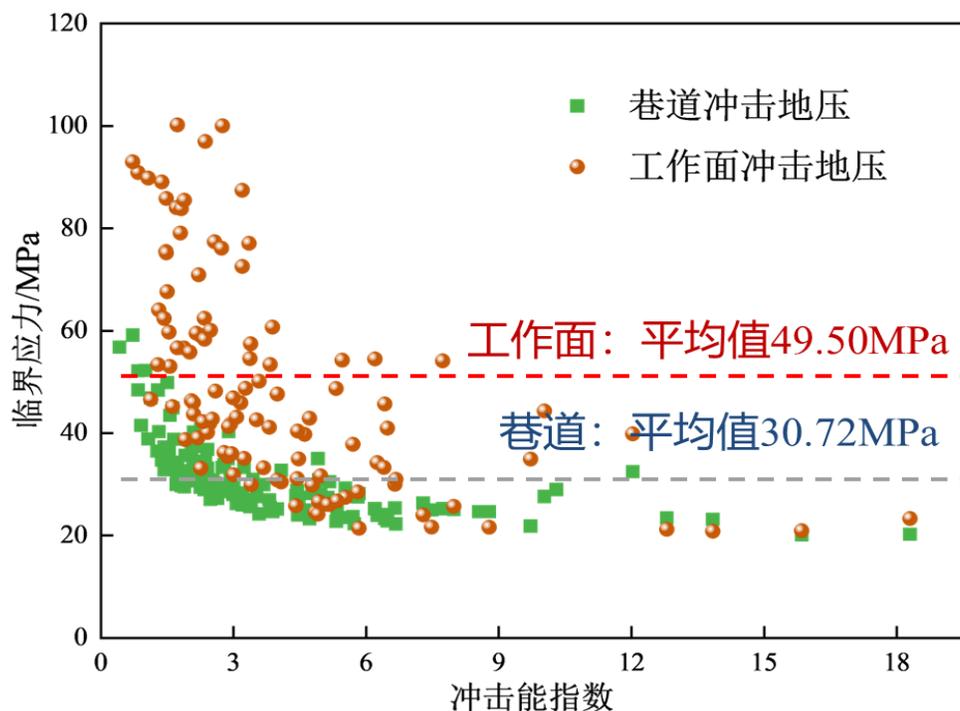


试验现场

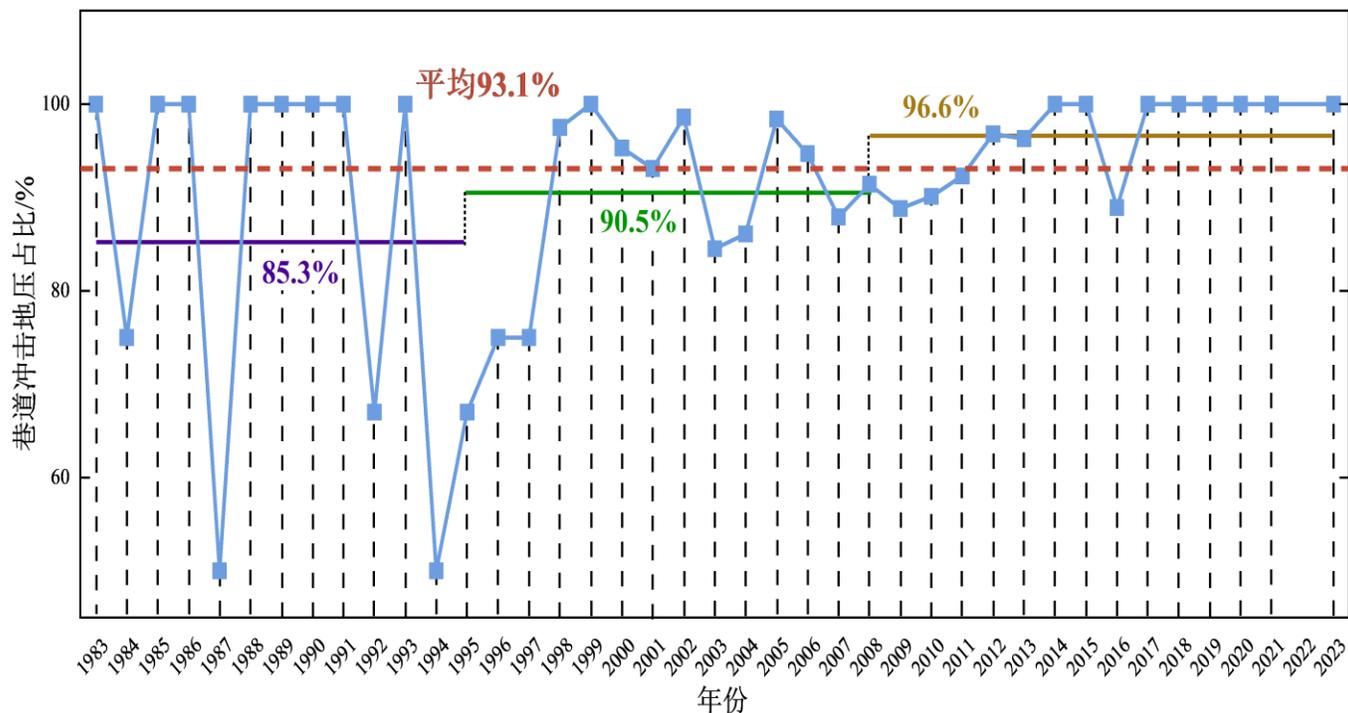


巷道相比工作面更容易发生冲击地压

计算我国127处冲击地压矿井临界应力，**工作面临界应力高于巷道接近20MPa**；统计过去40年我国发生的1355起冲击地压伤亡事故，**发生在巷道冲击地压占90%**。



巷道与工作面冲击地压临界应力对比



巷道冲击地压事故占比统计

没有理论的冲击地压防治是盲目的，冲击地压是复杂的，但冲击地压的基本发生准则是简单的，两个不同基本准则得到的结果是一致的，理论结果很好反映了现场观测结果。这就是理论的力量，冲击地压防治必须依靠理论、相信理论、发展完善理论。

汇报提纲

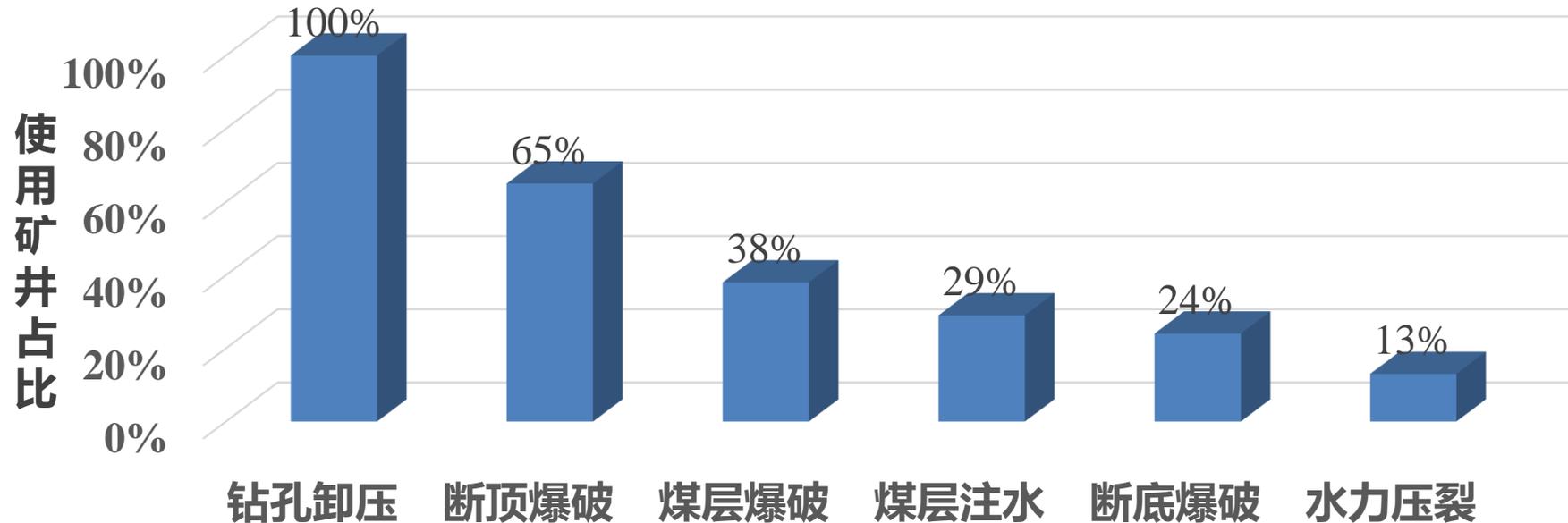
- 一 >> 冲击地压参与的复合灾害
- 二 >> 冲击地压理论的力量
- 三 >> **冲击地压矿井安全性评价**
- 四 >> 冲击地压监测
- 五 >> 冲击地压矿井巷道支护
- 六 >> 冲击地压“零冲击”管理
- 七 >> 冲击地压防冲设计
- 八 >> 千米采深冲击地压矿井开采
- 九 >> 冲击地压矿井充填开采
- 十 >> 矿震频发
- 十一 >> 冲击地压煤层智能安全高效开采
- 十二 >> 冲击地压矿井综合管理

- 在全国138个冲击地压矿井都可以看到下面的场景标识：**冲击威胁区、危险区能有人工作吗？其实真正的含义是这里冲击危险性评价的时候是危险区，对于危险区域按细则必须采取防治措施。实际上采取防治措施后，应该是安全的。但我们这样特别不利于煤炭行业树立在社会的正面形象？给人一种错觉，认为煤矿工人都是在明知有危险的区域工作。**



冲击地压矿井安全性评价方法

- 冲击地压防治有各种方法，目前行业还没有要求计算防治后安全系数，还没有统一给出防治后安全系数的建议计算方法和标准。为了安全，一些矿井只能各种措施齐上阵，造成有的认为过度防治了，有的认为措施还没有到位，谁也说服不了谁。各矿井一定要树立对自己采取的防治措施，计算安全性的意识。



冲击地压矿井安全性评价方法

□ 应力安全系数

- 将巷道发生临界应力值 P_{cr} 与采动应力值 P 相比，定义为应力安全系数 S_{st} 。

$$S_{st} = \frac{P_{cr}}{P} \quad \text{式中, } P \text{ 为环境应力。}$$

$$P < P_{cr} = \eta \frac{\sigma_c}{2} \left(1 + \frac{1}{K} \right) \left(1 + 4 \frac{P_s}{\sigma_c} \right)$$

- 巷道所受应力 P 越大，安全系数越小。临界应力 P_{cr} 越大，安全系数越大。

□ 能量安全系数

- 将围岩吸收能量 W_c 加上支护系统吸收能量 W_s ，再除以围岩释放能量 W_o ，定义为能量安全系数 S_{en} 。

$$S_{en} = \frac{W_c + W_s}{W_o}$$

- 若远场顶板或断层释放能量，全部被巷道围岩和支护吸收，则能量安全系数大于1，则是安全的。

冲击地压矿井安全性评价方法

安全等级划分

- 根据安全系数具体值，划分安全等级。将矿井冲击地压安全性划分为A、B、C三级，分别对应安全、基本安全和不安全。

评价等级	矿井防冲能力	应力安全系数 S_{st} 和能量安全系数 S_{en}	矿井安全管理
A	具备	$S_{st} > 1.5$ and $S_{en} > 1.0$	安全，正常开采
B	具备	$S_{st} > 1.0$ and $S_{en} > 1.5$	基本安全，正常开采
C	不具备	Not A and Not B	不安全，暂停开采活动

以往冲击地压防治讲危险性多，讲安全性少

- **讲危险性是保护自己：**评价为危险，一旦发生，说明评价准确；如果没有发生，是防冲设计合理、实施措施有效。两头都可以堵。所以讲危险性不容易犯错误。
- **讲安全性是挑战自己：**安全性评价主要针对采取的技术手段和措施后，防冲工程可靠性评价。只要你评价是安全的，现场我就按照你的评价，人员作业可以放心。一旦你的评价不准，发生了冲击，你就要被追究责任。所以讲安全性更难。

我们要挑战自己而不是保护自己，由危险性评价向安全性评价转变。

汇报提纲

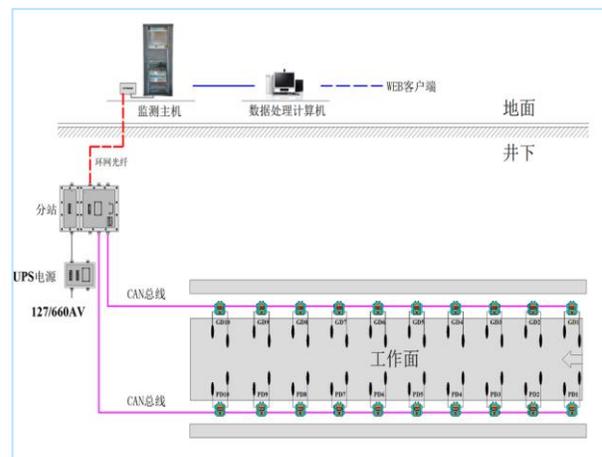
- | | | | |
|---|-------------|----|----------------|
| 一 | 冲击地压参与的复合灾害 | 七 | 冲击地压防冲设计 |
| 二 | 冲击地压理论的力量 | 八 | 千米采深冲击地压矿井开采 |
| 三 | 冲击地压矿井安全性评价 | 九 | 冲击地压矿井充填开采 |
| 四 | 冲击地压监测 | 十 | 矿震频发 |
| 五 | 冲击地压矿井巷道支护 | 十一 | 冲击地压煤层智能安全高效开采 |
| 六 | 冲击地压“零冲击”管理 | 十二 | 冲击地压矿井综合管理 |

冲击地压监测

监测是冲击地压防治重要内容，《煤矿安全规程》冲击地压部分和《防治煤矿冲击地压细则》，都做了具体规定。但一直以来，冲击地压监测存在监测精度不高、发挥作用不大问题。监测具有非常好的显示度、可展示性决定了各矿都高度重视，安装了监测设备是讲政治抓落实的标志。



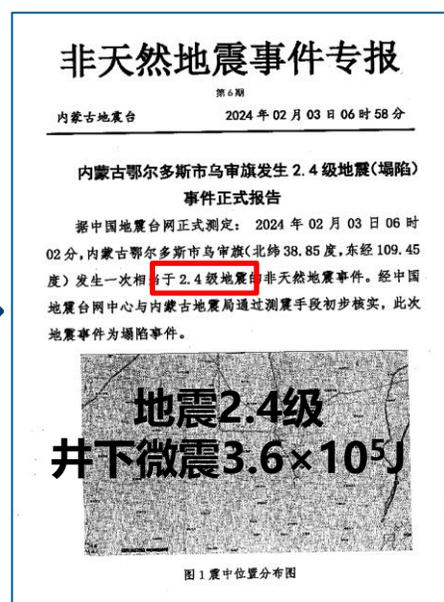
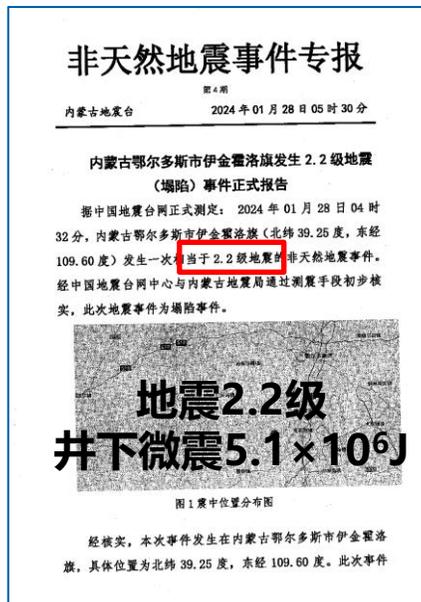
微震监测



应力监测

微震监测存在的问题

- 微震监测问题：一是能量、震级计算的准确性问题，今年1月-2月，内蒙古鄂尔多斯不同冲击地压矿井，发生矿震事件，井下微震监测能量与地震台测算震级差别较大。二是定位尤其是垂直定位精度问题。



同一事件，不同技术人员定位，解释难点增大。



两次事件能量和震级不一致

微震定位精度不准

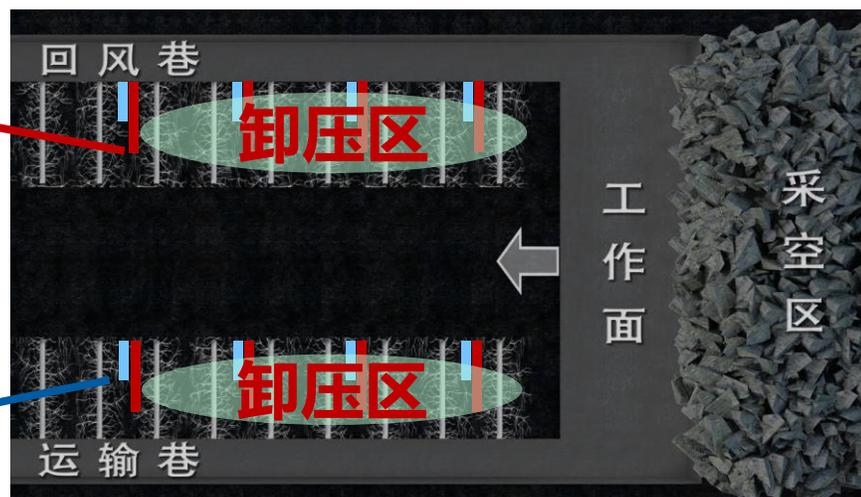
应Ⓕ力监测存在问题

- 煤体应力监测问题：应该修订标准，位置区域一般设置在煤壁8m-14m深度，处于卸压区内，而影响冲击地压发生的应力应该是远场应力集中大小。2018年“10·20”事故前10月1日-20日，1303泄水巷掘进工作面，附近的煤体应力监测结果没有发生变化。



煤体应力计深孔14m

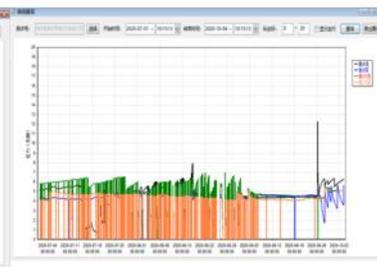
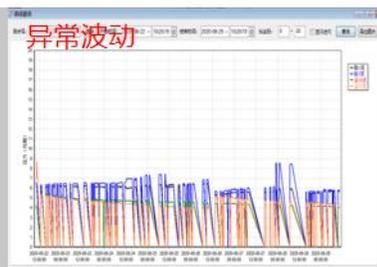
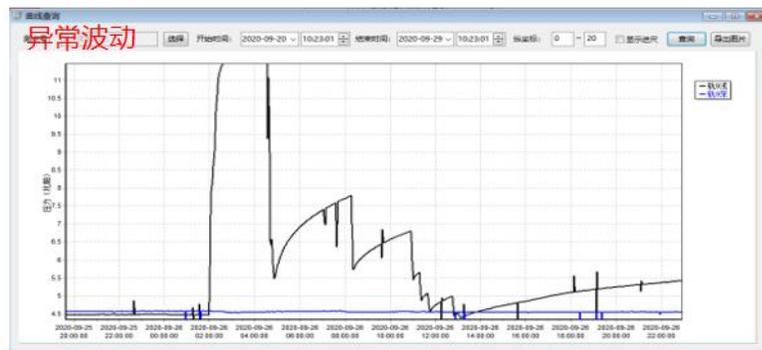
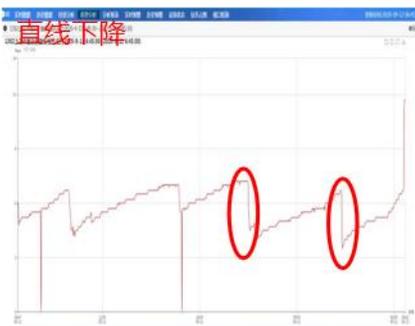
煤体应力计浅孔8m



煤体应力计安装在卸压区

»» 钻孔应力计能否真实反映外载变化量

2022年1月-9月，统计某集团冲击地压矿井应力预警累计133次，其中误预警42次。应力误预警率高达31.6%!



钻孔应力计存在的典型问题

2022年 月度	预警次数	
	应力预警	其中误预警 次数
1月	20	4
2月	21	5
3月	19	5
4月	12	5
5月	19	1
6月	14	8
7月	8	3
8月	10	9
9月	10	2
合计	133	42

岩体失稳破坏预测

□ 根据监测数据进行冲击地压预测更是难题。太原理工大学赵阳升院士和我创办了“岩石破坏短临预报”全球竞赛，就用最简单的20cm见方40cm高的砂岩或花岗岩试件，放在试验机上进行单轴加载，请大家用自己的任何一种监测方法和技术预测冲击破坏发生时间。清华大学、中国矿业大学、中南大学、东北大学、武汉大学、大连理工大学、中国地震地质研究所等参赛。



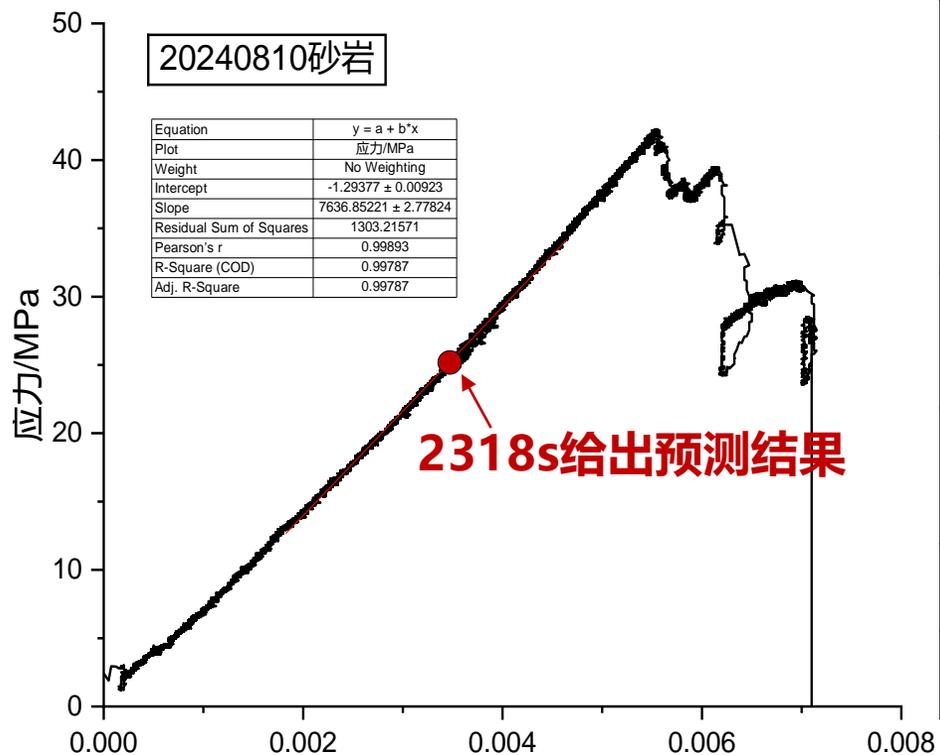
□ 预测破坏：

- 时间
- 破裂面
- 能量



岩体失稳破坏预测

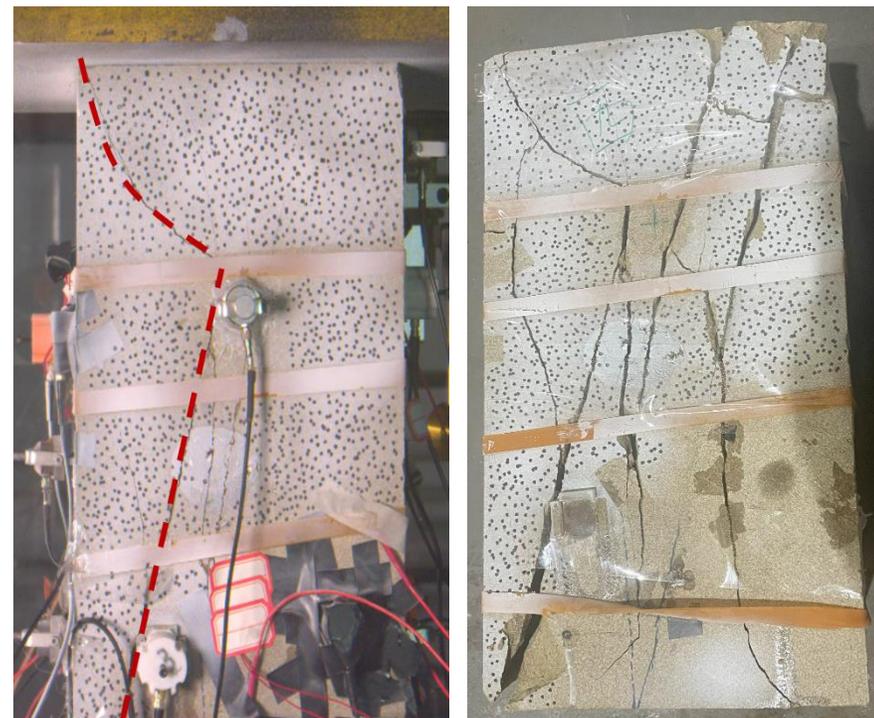
□ 砂岩测试中，2318s时给出预测结果，预测破坏时间为4554s，实际破坏时间为3983s，相差571s，接近10分钟。



砂岩应力应变曲线

预测破坏时间	4554s
预测破坏能量	10015.4J
实际破坏时间	3983s
实际破坏能量	2718.1J
时间误差	14.3%
能量误差	200.6%

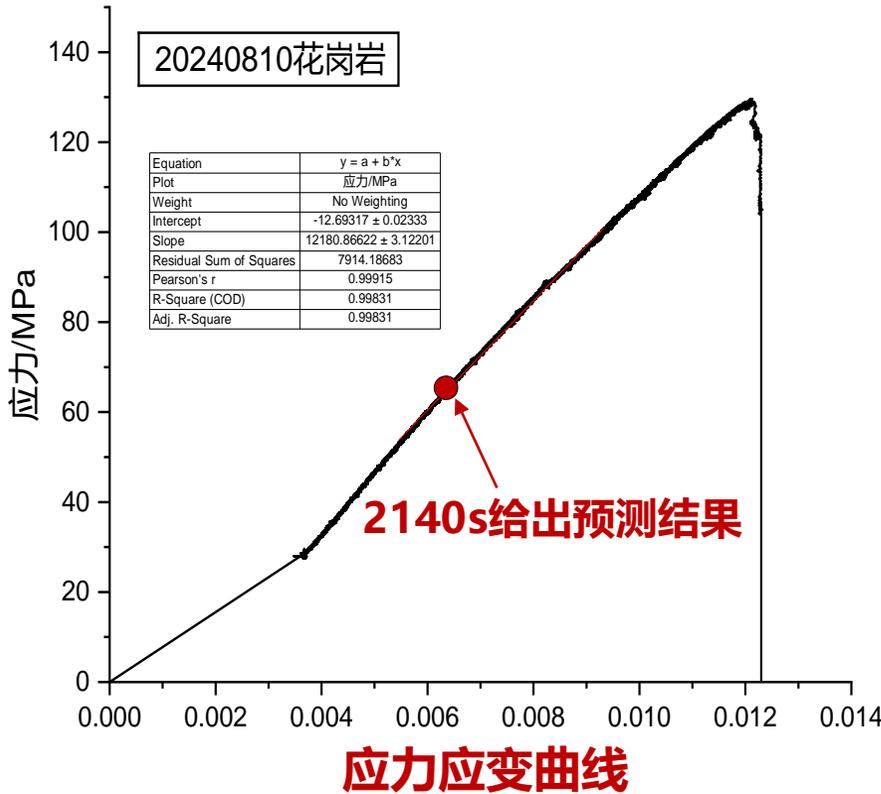
砂岩失稳破坏预测结果



砂岩破坏形态

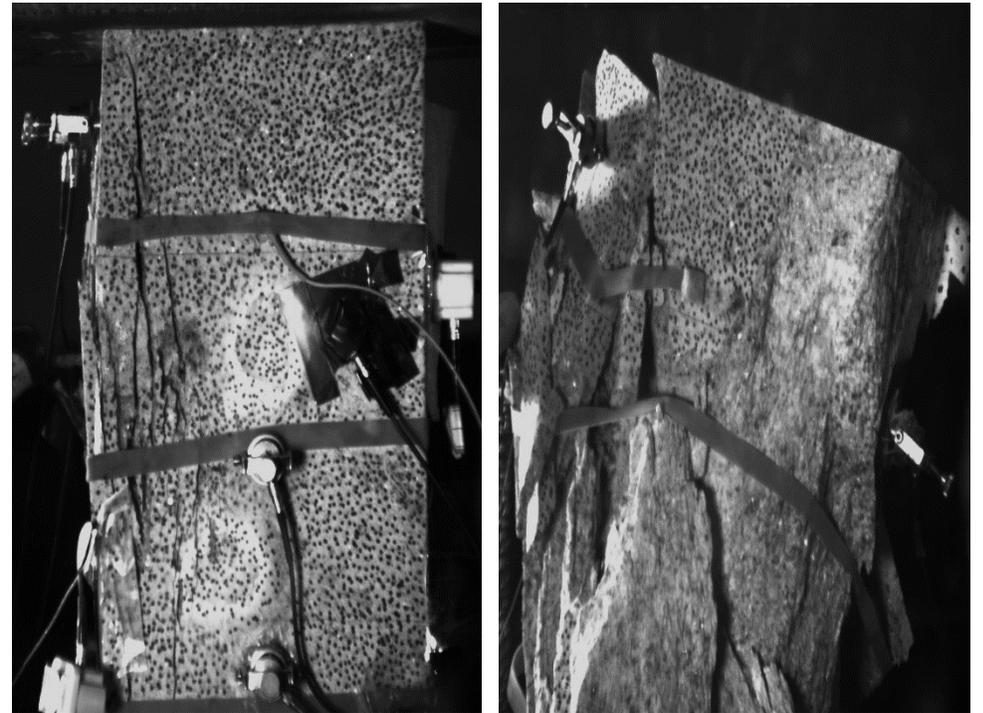
岩体失稳破坏预测

花岗岩测试中，2140s时给出预测结果，预测破坏时间为5152s，实际破坏时间为5798s，相差646s，超过10分钟。



预测破坏时间	5152s
预测破坏能量	10043.0J
实际破坏时间	5798s
实际破坏能量	11036.2J
时间误差	8.9%
能量误差	9.0%

花岗岩失稳破坏预测结果



花岗岩破坏形态

- ◆ **由我做了，我测了，我有数据了，我尽力了，我向上级和社会有交代了，转变到做了还要做对，测了还要测准，有数据了但要是有用的数据；**
- ◆ **由修修补补完善完善，转变到打破原有思维、惯性和路径，丢掉实践证明没有效果的技术，实现颠覆性创新；**
- ◆ **由对标俄罗斯、美国、南非、加拿大、德国等国外技术的“跟跑”思维，转变到对标物理极限的“领跑”思维。**

汇报提纲

- 一 >> 冲击地压参与的复合灾害
- 二 >> 冲击地压理论的力量
- 三 >> 冲击地压矿井安全性评价
- 四 >> 冲击地压监测
- 五 >> 冲击地压矿井巷道吸能支护
- 六 >> 冲击地压“零冲击”管理
- 七 >> 冲击地压防冲设计
- 八 >> 千米采深冲击地压矿井开采
- 九 >> 冲击地压矿井充填开采
- 十 >> 矿震频发
- 十一 >> 冲击地压煤层智能安全高效开采
- 十二 >> 冲击地压矿井综合管理

冲击地压矿井巷道支护问题

看看冲击地压发生后巷道破坏的景象：支护、皮带架子、运输轨道等被冲的七零八落、严重破坏，有的甚至被扭成麻花。若有人在场，必然造成人员伤亡。所以，**长期以来给人一个错觉：巷道发生冲击地压，靠支护是抗不住的！**



冲击地压矿井巷道支护问题

- 但是理论研究发现，支护应力对冲击地压发生临界应力有很大影响。若提高支护应力，提高了临界应力，理论上冲击地压就不发生了。

考虑支护的冲击地压发生应力条件

应力 $P \geq$ 临界应力 P_{cr}

$$P_{cr} = \eta \frac{\sigma_c}{2} \left(1 + \frac{1}{K}\right) \left(1 + \frac{4p_s}{\sigma_c}\right)$$

$$n = 1.63 + 22.09 \times 0.80^{\sigma_c}$$

p_s -支护应力

K -冲击倾向性

σ_c -抗压强度

n -修正系数

- 支护强度增量与临界应力增量间定量关系

$$\Delta P_{cr} = \frac{\eta}{2} \left(1 + \frac{1}{K}\right) \Delta p_s \quad (K=1, \sigma_c=10)$$

Δp_s	5%	10%	25%	50%	100%
ΔP_{cr}	80%	160%	400%	800%	1600%

当巷道支护强度增加1倍，冲击发生的临界应力增量为支护强度的16倍。

冲击地压矿井巷道支护问题

- 但是，加强支护也有个上限。河南某煤矿，采用了最强支护的门式液压支架，但2010年“8.11”冲击地压和2011年“3.1”冲击地压，还是破坏了。



深部高地应力环境下，强支护作用也是有上限的！

冲击地压矿井巷道支护问题

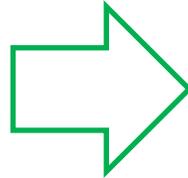
- 统计1992~2022年202起冲击地压案例，发现多数巷道都大范围破坏了，但存在某一段不破坏或破坏程度很小。发现这段没有破坏的巷道区域，在O型棚和煤壁之间，由于当初成巷质量差，**充填了较多十字交叉木条**，由于**木条吸收冲击地压释放的能量，歪打正着**。



小车

没有背木区域的巷道垮塌严重

侧视图



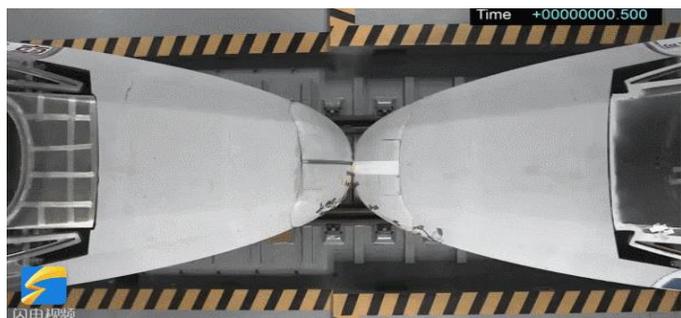
小车

巷帮

有背木区域的巷道没有垮塌

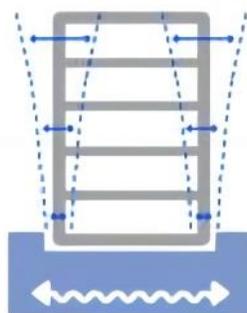
冲击地压矿井巷道支护问题

- 实际上，在汽车、高铁设计均采用**缓冲吸能装置**增加碰撞的安全性，日本很多抗震要求高的建筑采用**消能减震装置**，冲击地压巷道支护也可以主动**设计吸能装置**。

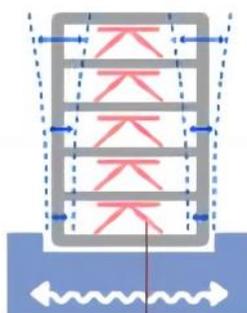


汽车、高铁碰撞吸能过程

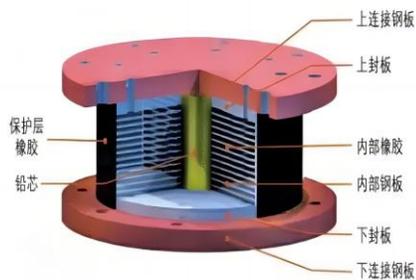
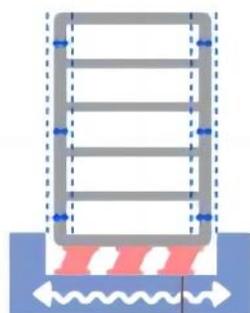
耐震构造



制震构造



免震构造

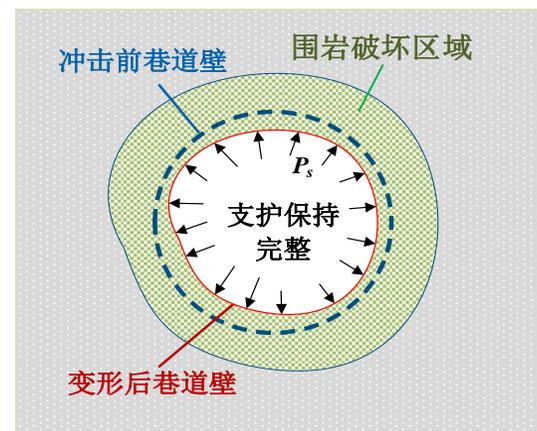


橡胶隔震支座



土耳其地震，相隔一楼，生死两途

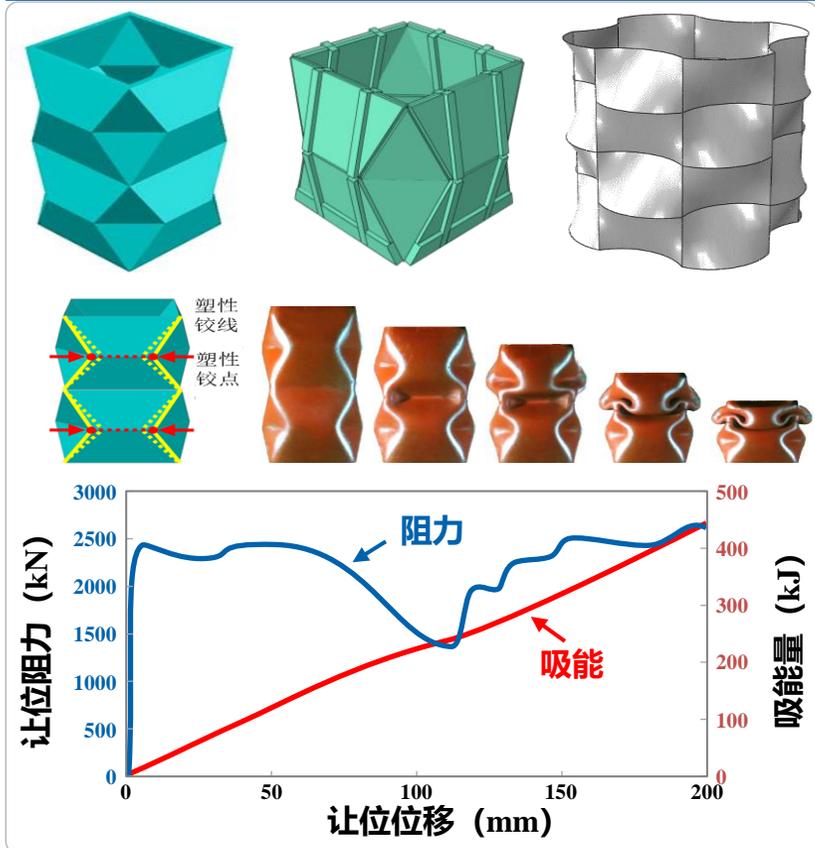
- 冲击地压巷道对吸能装置的要求更高。
- 既要时刻承受高静载，又要在冲击发生时动载吸能。



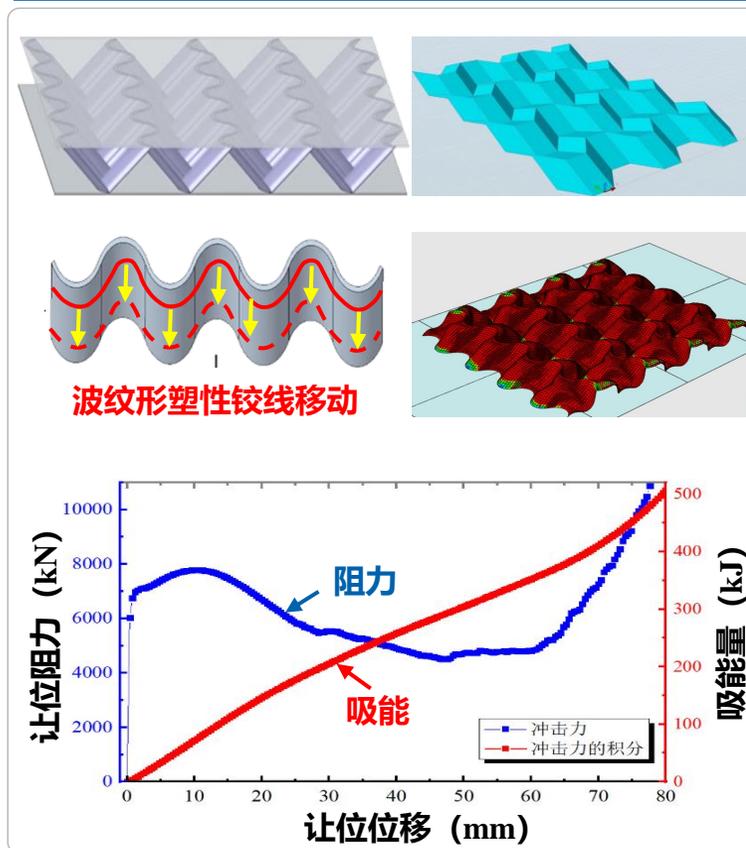
冲击地压矿井巷道支护问题

- 目前来看至少有薄壁折纹诱导式吸能装置和薄壁波纹诱导式吸能装置，对这些吸能装置试验，发现这两类装置具有很好的吸能特性。

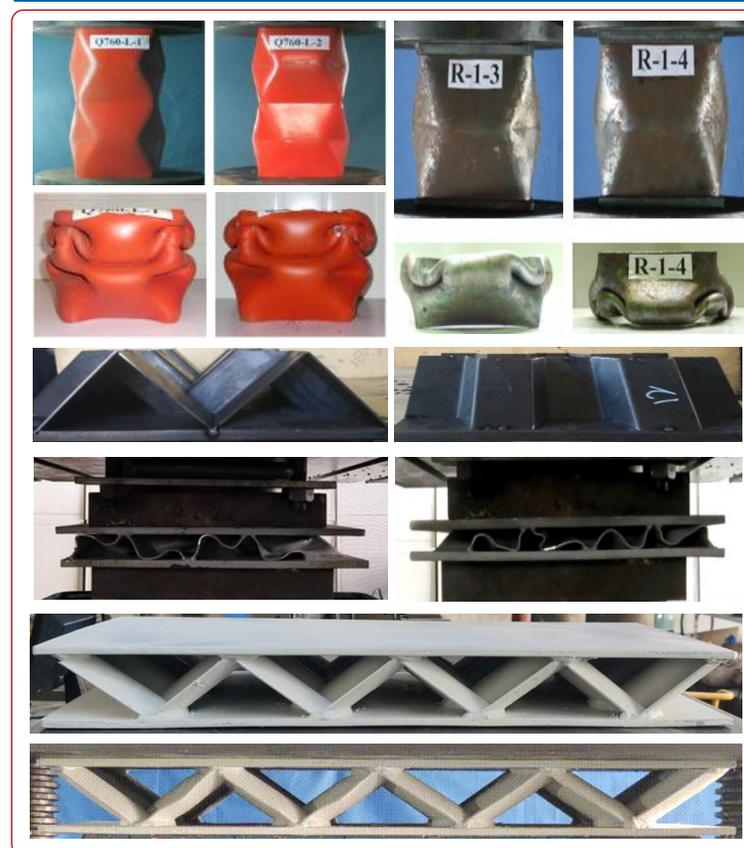
薄壁折纹诱导式吸能装置



薄壁波纹诱导式吸能装置



吸能装置试验



冲击地压矿井巷道支护问题

- 把这些吸能装置放置在普通门式、单元式、迈步式等支架底部、顶部或普通锚杆索的端部，可以实现冲击过程的支护能量吸收。

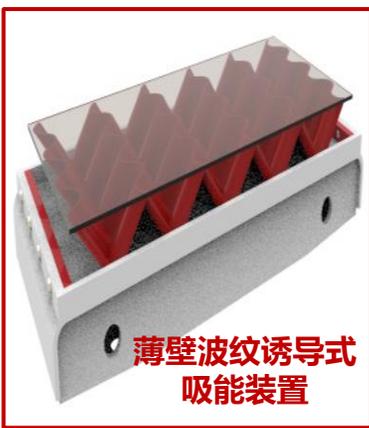


支架防冲参数

- 工作阻力: 6000kN
- 让位阻力: 9000kN
- 让位位移: 0.2m
- 吸收能量: 1.0×10^6 J

门式吸能防冲支架

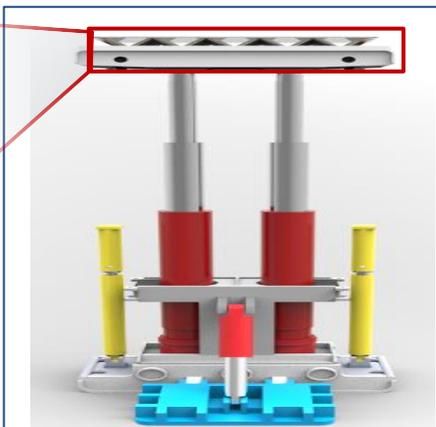
薄壁折纹诱导吸能装置



薄壁波纹诱导式吸能装置



支架吸能防冲的关键技术



支架防冲参数

- 工作阻力: 4000kN
- 让位阻力: 6000kN
- 让位位移: 0.2m
- 吸收能量: 8.0×10^5 J

单元吸能防冲支架



迈步式支架



系列吸能防冲支架

冲击地压防治靠支护也是能解决的。必须转变观念，不仅要加强支护，还要加强具有护表支护阻力大的巷道液压支架支护，更要在支护上有吸收能量的吸能装置。在采取区域和局部措施基础上，这样的支护是能“抗得住”大能量、大震级冲击地压的。

汇报提纲

- 一 >> 冲击地压参与的复合灾害
- 二 >> 冲击地压理论的力量
- 三 >> 冲击地压矿井安全性评价
- 四 >> 冲击地压监测
- 五 >> 冲击地压矿井巷道支护
- 六 >> 冲击地压“零冲击”管理
- 七 >> 冲击地压防冲设计
- 八 >> 千米采深冲击地压矿井开采
- 九 >> 冲击地压矿井充填开采
- 十 >> 矿震频发
- 十一 >> 冲击地压煤层智能安全高效开采
- 十二 >> 冲击地压矿井综合管理

冲击地压矿井“零冲击”管理目标分级的提出

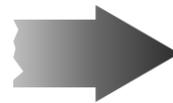
□ 2018年10月20日，山东龙郓煤矿发生冲击地压死亡事故后，习近平总书记多次做出指示批示。2020年国家矿山局为了进一步落实总书记指示批示精神，提出了冲击地压矿井**无人员伤亡、无巷道破坏、无设备损坏**的“零冲击”管理目标。



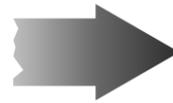
龙郓冲击地压事故现场调查



无人员伤亡



无巷道破坏



无设备损坏

零冲击目标

冲击地压矿井“零冲击”管理目标分级的提出

- 这个目标提出后企业反应主要有两类，一是不可能实现。实际上，近年发生多起冲击地压都造成了围岩破坏、支护破坏和人员伤亡。二是在不知道怎样做的情况下，只是讲政治的表态坚决落实。难道说“零冲击”是不可实现的口号吗？



冲击地压矿井“零冲击”管理目标分级的提出

- 抱怨“零冲击”是不可实现的目标不对，坚决实现“零冲击”这样的简单表态空喊口号也不对，正确的态度是深入研究提出“零冲击”，提出实现“零冲击”目标的可行对策，实现冲击地压可防可控。



冲击地压矿井“零冲击”管理目标分级的提出

分级目标

最高目标：冲击不发生：应力

途径 1：降低环境应力

途径 2：降低围岩冲击能指数

途径 3：提高支护应力

基本目标：发生无剩余：能量

途径 1：降低围岩区域释放能量

途径 2：增加近场围岩吸收能量

途径 3：增加支护装备吸收能量

底线目标：收缩不伤人：空间

途径 1：全巷协同液压支架支护

途径 2：支架让位量200mm，
吸能量800~1000kJ

人员无伤亡
巷道无破坏
设备无损坏

»» “零冲击” 最高目标：应力不超限

煤矿井下由于开采造成应力集中，当采动应力集中超过井下煤岩体结构的临界应力限度，就发生了冲击地压。不让采动应力集中达到煤岩体结构的临界应力限度，冲击地压就不会发生，这就是“零冲击”的最高目标。

冲击地压不发生的应力条件

降低应力集中，使其小于临界应力

$$P < P_{cr} = \frac{\sigma_c}{2} \left(1 + \frac{1}{K} \right) \left(1 + 4 \frac{P_s}{\sigma_c} \right)$$

降低环境应力

区域措施

- 合理开采布局
- 开采保护层
- 地面压裂
- 爆破断顶
- 底板爆破
- 合理巷道布置
- 水力压裂切顶
- 合理开采速度

降低应力集中

冲击地压不发生的应力条件

增加临界应力，使其大于应力集中

$$P < P_{cr} = \frac{\sigma_c}{2} \left(1 + \frac{1}{K} \right) \left(1 + 4 \frac{P_s}{\sigma_c} \right)$$

降低冲击倾向

增加支护阻力

局部措施

- 煤层钻孔卸压
- 煤体爆破
- 煤体割缝
- 煤层注水弱化



加强支护

- 锚杆、锚索
- 单元支架
- U型钢棚
- 门式支架

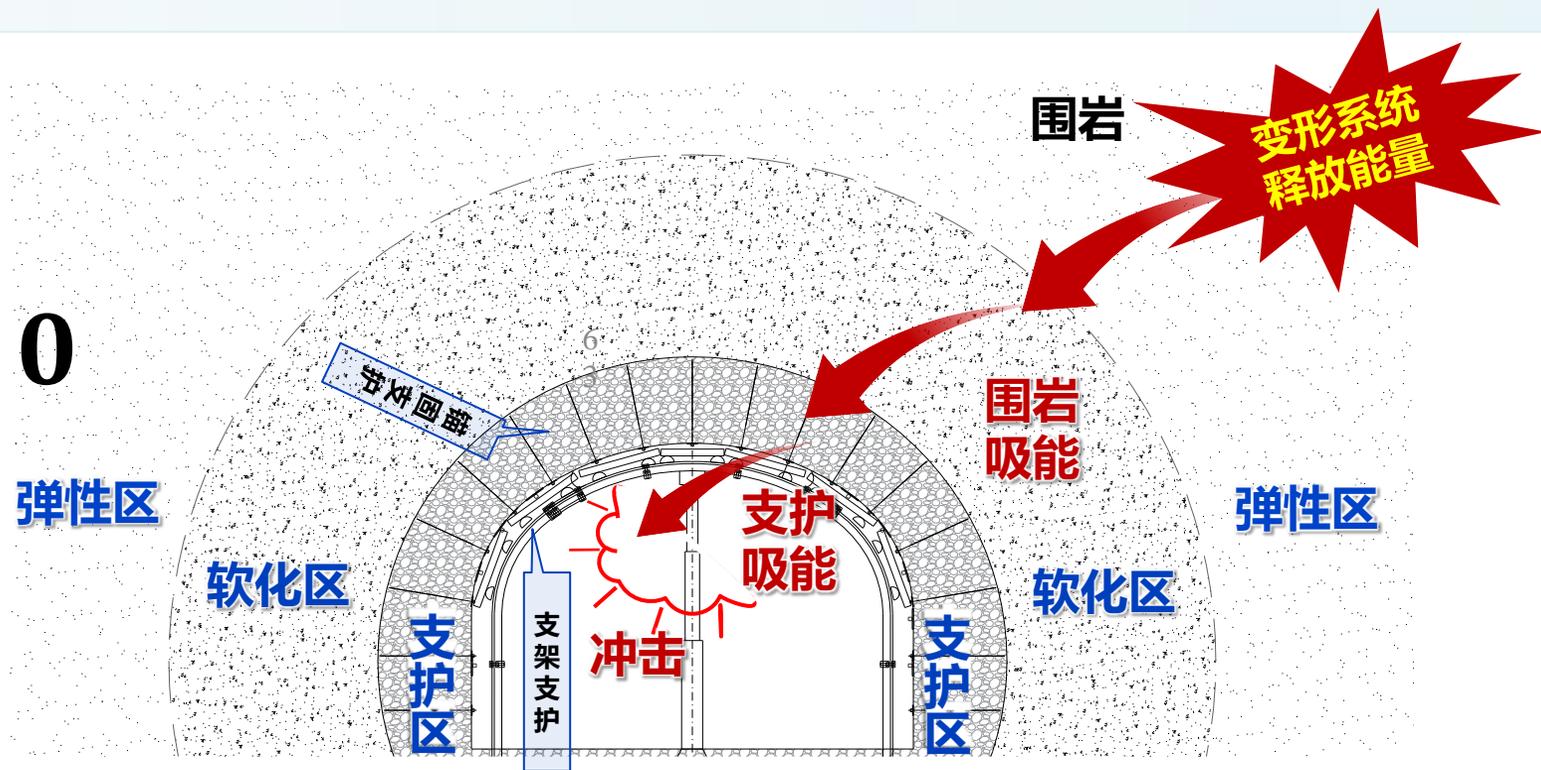
»» 实现“零冲击”基本目标：能量无剩余

井下条件复杂，不可能所有情况都清楚，所以尽管我们做了大量工作，希望设计要求应力不超过临界应力值，但有些情况下就超过了。这时冲击地压发生了，怎样才能不破坏，就是释放能量小于吸收能量，能量无剩余，这就是“零冲击”的基本目标。

冲击发生但不破坏和伤亡的能量条件

若煤岩变形系统释放的能量 W_0 ，被巷道围岩软化区吸收了能量 W_c ，被巷道支护吸收能量了 W_s ，全部吸收没有剩余能量，则不会造成人员伤亡。

$$W_0 - W_c - W_s \leq 0$$



>>> 冲击发生但不破坏和伤亡的能量条件

□ 降低远场围岩释放能量

$$W_0 - W_c - W_s \leq 0$$

减小释放能量



区域措施

- 合理开采布局
- 开采保护层
- 地面压裂
- 爆破断顶
- 底板爆破
- 合理巷道布置
- 水力压裂切顶
- 合理开采速度

降低释放能量

》》 冲击发生但不破坏和伤亡的能量条件

$$W_0 - W_c - W_s \leq 0$$

增加围岩吸能量

局部措施

- 煤层大直径卸压钻孔措施
- 煤体、底板爆破措施
- 煤体割缝措施
- 煤层注水弱化措施

»» 冲击发生但不破坏和伤亡的能量条件

$$W_0 - W_c - W_s \leq 0$$

增加支护吸能量

支护装备吸能设计

- 吸能锚杆、锚索及锚固支护体系
- 吸能门式、单元式、自移式、垛式液压支架
- 吸能U型钢构成的O型棚、拱形棚等

»» 实现“零冲击”最低目标：收缩不伤人

在某些情况下，应力超过临界应力值，发生了冲击，但释放能量小于吸收能量，能量也实现了无剩余，但还不能保证人员无伤亡。这时还必须要求保证巷道收缩位移小于20%，绝对收缩小于20cm，这时也不会有伤亡。这就是“零冲击”的最低目标。

»» 巷道断面收缩率控制在20%就可以避免人员伤亡

□ 统计我国煤矿发生的28起冲击地压事故发现，冲击地压造成的巷道断面收缩率从8.3%~100%（即巷道冒严、合拢），但凡有人伤亡的事件，巷道收缩率都超过20%。



液 压 支 架 的 核 心 —— 吸 能 装 置 的 研 究

吸能装置是支架实现的让位20cm、收缩率 < 20%的必要途径



薄壁六棱管横
压吸能装置



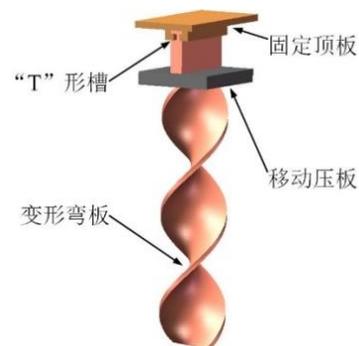
圆筒扩张吸
能装置



直纹管外翻式吸
能装置



锥形圆管吸能装
置



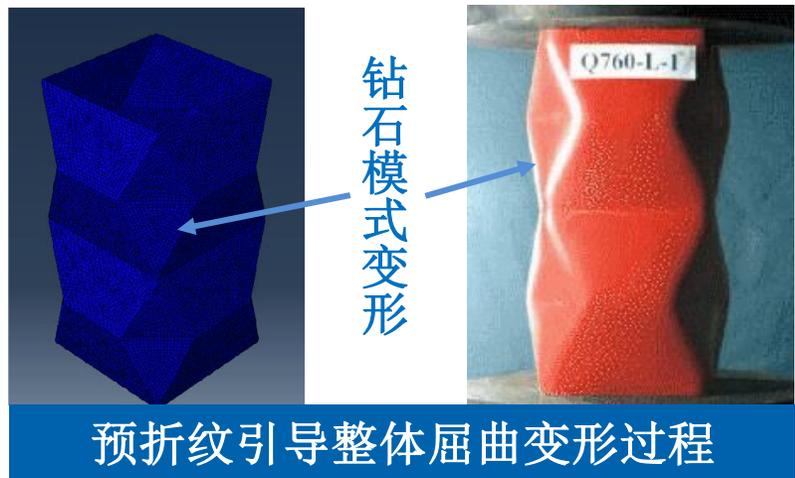
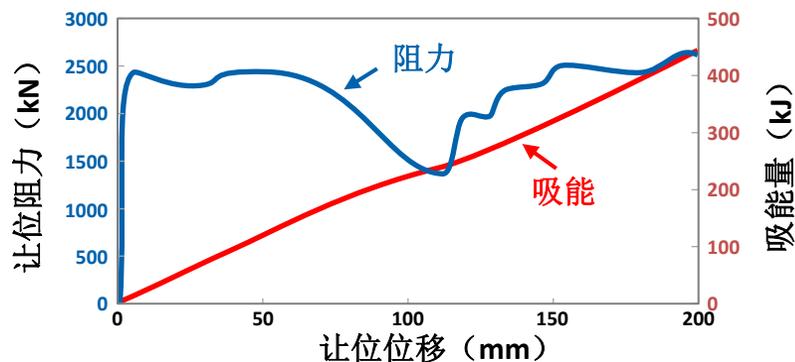
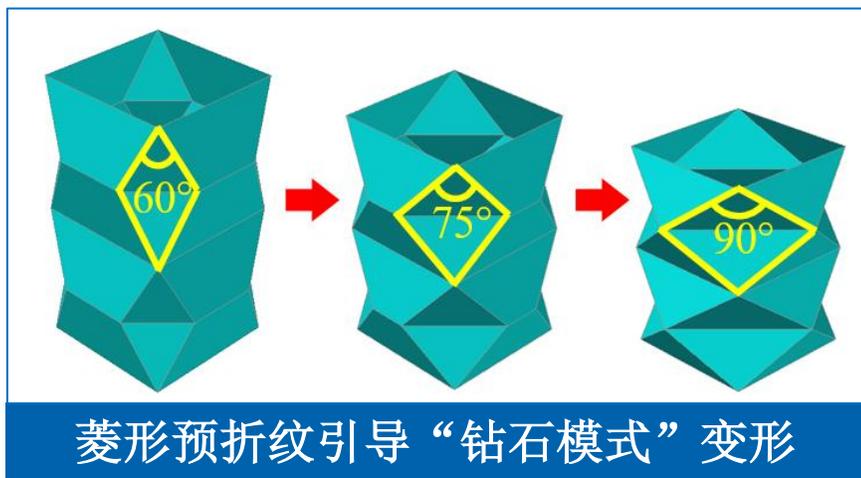
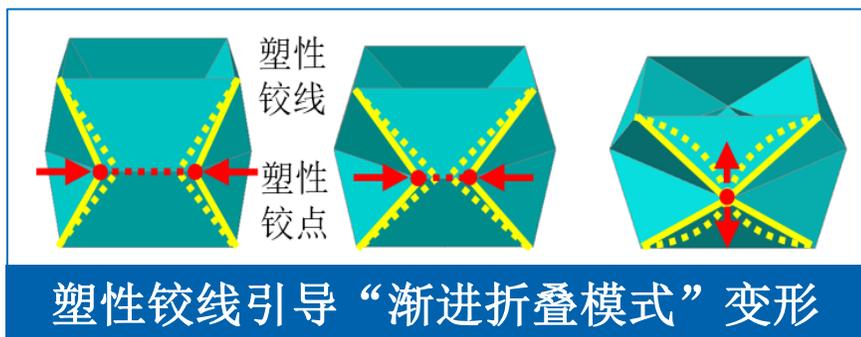
扭转板式吸能
装置



正弦纹管吸能
装置

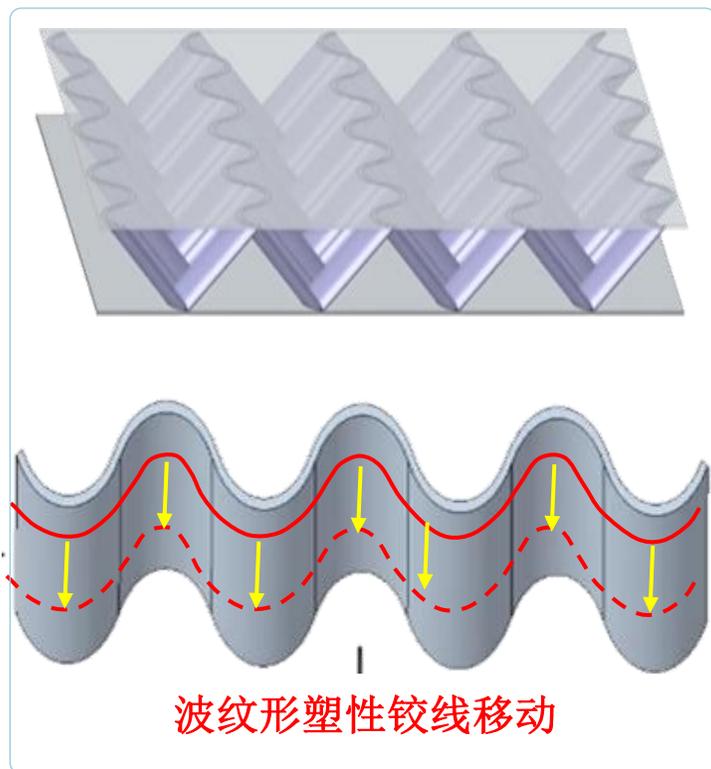
预折纹诱导式吸能装置

薄壁预折纹诱导式吸能装置在轴向冲击下能够引导整体结构屈曲让位20cm。

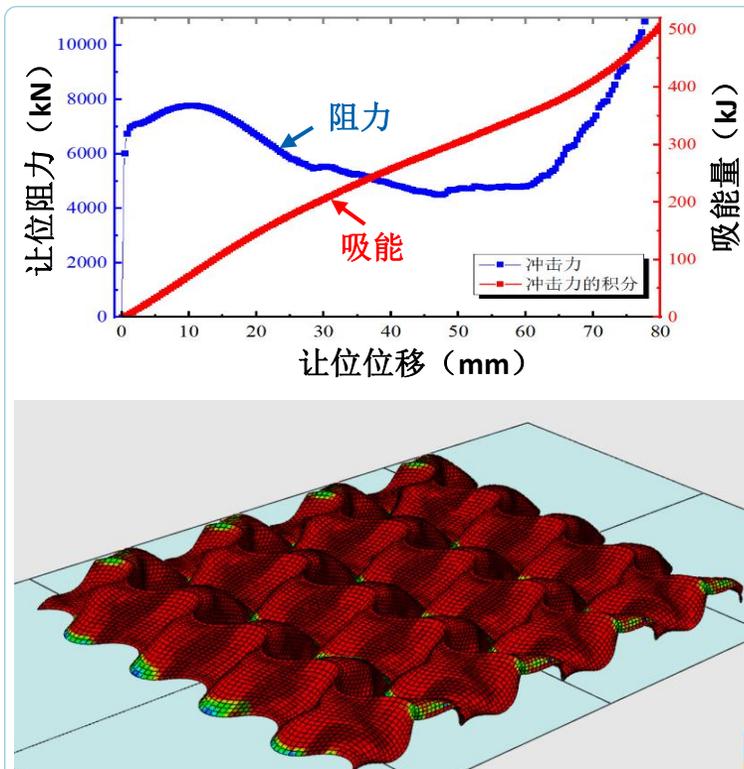


波纹板诱导式吸能装置

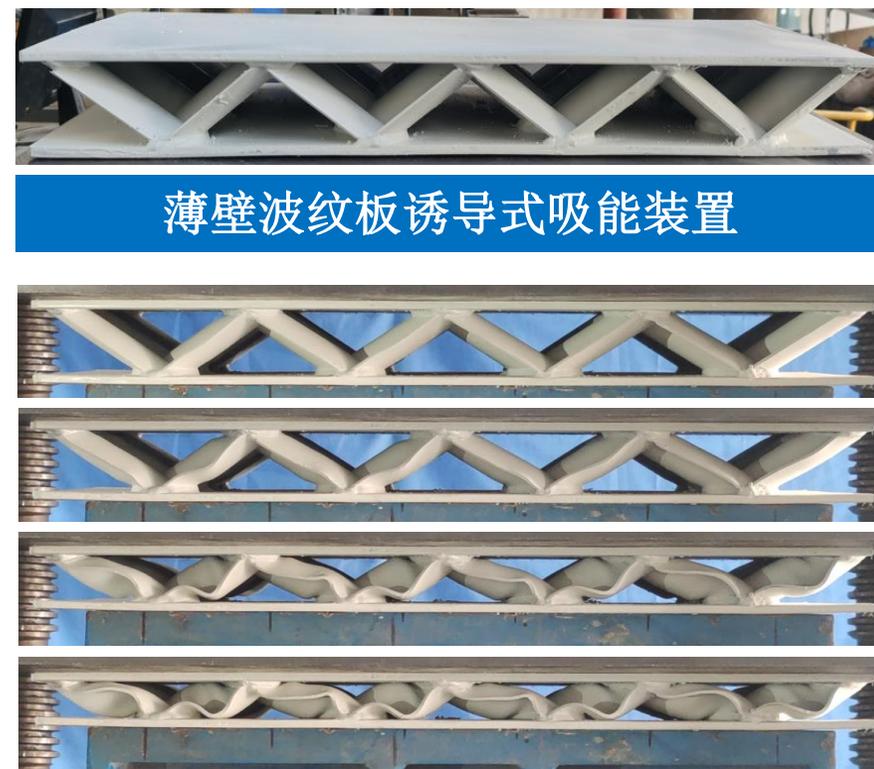
薄壁波纹板诱导式吸能装置在轴向冲击下能够进行波纹扫略式变形，引导整体结构屈曲让位10~20cm。



波纹板夹层变形吸能机制



波纹引导整体屈曲变形过程



薄壁波纹板诱导式吸能装置

薄壁波纹板吸能装置压溃形态

◆ “零冲击”冲击地压防治管理目标是是可以实现的，概括为：

最高目标是冲击不发生：应力，只要应力集中小于临界应力

基本目标是发生无剩余：能量，只要释放能量小于吸收能量

保底目标是收缩不伤人：空间，让位20cm，收缩小于20%

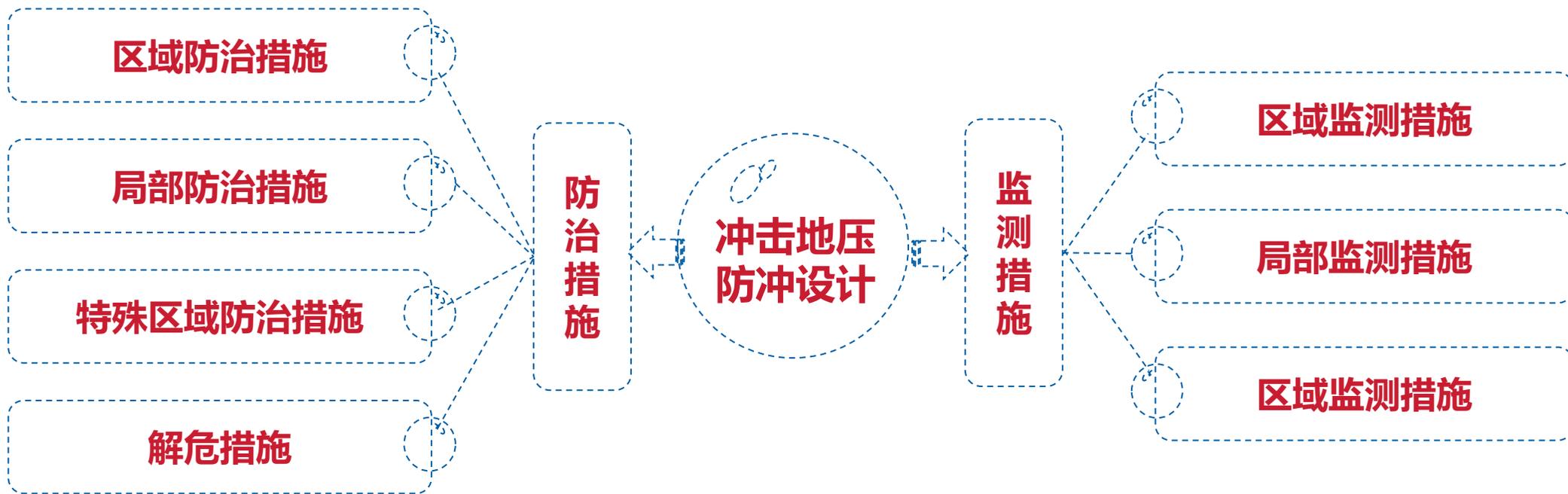
汇报提纲

- | | | | |
|---|---------------|----|------------------|
| 一 | 冲击地压参与的复合灾害问题 | 七 | 冲击地压防冲设计问题 |
| 二 | 冲击地压理论的力量问题 | 八 | 千米采深冲击地压矿井开采问题 |
| 三 | 冲击地压矿井安全性评价问题 | 九 | 冲击地压矿井充填开采问题 |
| 四 | 冲击地压监测问题 | 十 | 矿震频发问题 |
| 五 | 冲击地压矿井巷道支护问题 | 十一 | 冲击地压煤层智能安全高效开采问题 |
| 六 | 冲击地压“零冲击”管理问题 | 十二 | 冲击地压矿井综合管理问题 |

冲击地压防冲设计问题

《细则》第二十四条

新建矿井和冲击地压矿井的新水平、新采区、新煤层有冲击地压危险的，**必须编制防冲设计。**



冲击地压防冲设计问题

□ 遍阅当前防冲设计方案，无规则、无方法，多是简单罗列各种措施，至于措施的防治效果，巷道安全性如何，无人敢提。

3 ***综采工作面掘进期间冲击地压监测方案.....	45
3.1 区域微震监测方案.....	48
3.2 局部监测方案.....	51
3.2.1 应力在线监测方案.....	51
3.2.2 地音监测方案.....	53
3.2.3 便携式电磁辐射监测法.....	54
3.2.4 矿压监测法.....	55
4 ***工作面掘进工作面防治方案.....	57
4.1 掘进期间常规防治方法.....	57
4.2 控制掘进速度.....	58
4.3 防冲措施效果检验.....	59
4.4 解危措施.....	59
4.5 底煤特殊区域防冲措施.....	59
4.6 加强支护.....	61
5 防冲管理措施.....	62
5.1 防治冲击地压生产技术措施.....	62
5.2 安全防护.....	62
5.3 其他安全技术措施.....	63
5.4 防冲培训.....	63
5.5 冲击地压事故应急处置.....	64
6 避灾路线.....	66

4 ***工作面冲击危险的监测预警.....	45
4.1 工作面冲击危险区监测预警技术体系.....	45
4.2 顺槽掘进期间冲击危险监测预警.....	46
5 ***工作面掘进期间冲击地压防治与解危措施.....	53
5.1 ***工作面冲击地压防治与解危体系的建立.....	53
5.2 掘进期间冲击地压防治与解危措施.....	54
5.3 防冲措施效果检验.....	63
5.4 加强支护措施及要求.....	63
6 防冲组织与管理.....	64
6.1 防冲机构、人员情况.....	64
6.2 防冲制度建设情况.....	64
6.3 安全技术管理能力评估.....	65



冲击地压防冲设计问题

- 甚至一些冲击地压矿井虽然采取了防冲措施，但依然发生了冲击地压，其根本原因是**缺乏真正的防冲设计**。



2019-6-9 龙家堡矿
破坏巷道220m，9人遇难。



2020-2-22 龙垵矿
破坏巷道100m，4人遇难。



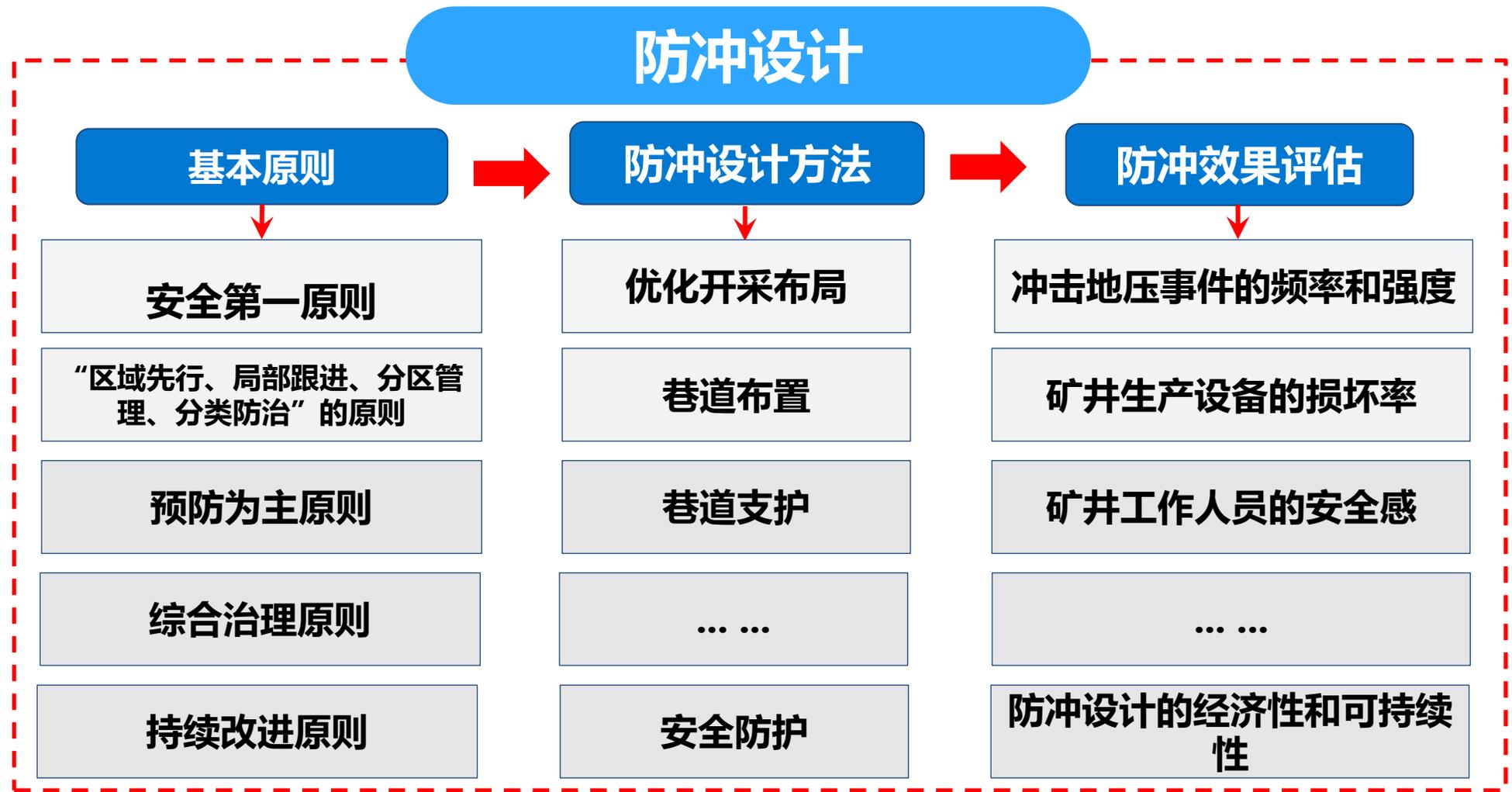
2021-10-1胡家河矿
破坏巷道65m，4人遇难。



2021-11-7 鹿山矿
三段暗井下山巷道基本闭合，4人遇难。

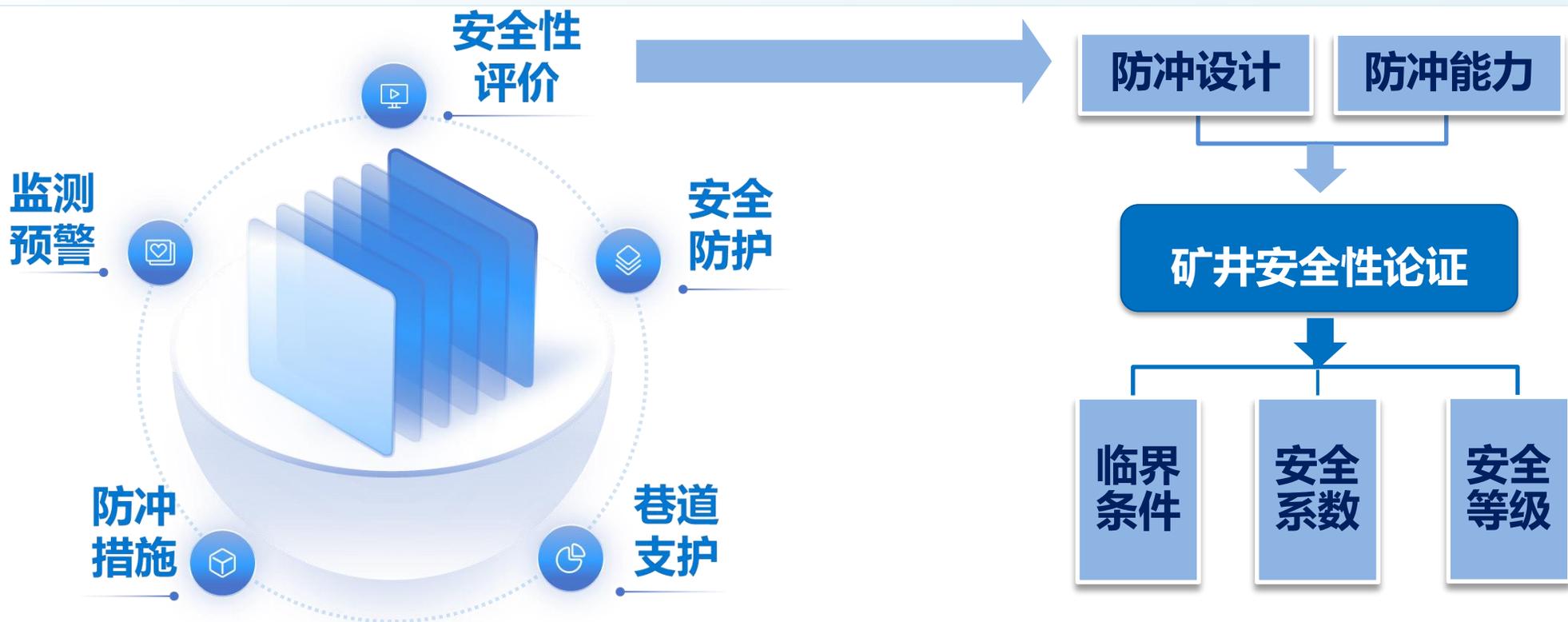
冲击地压矿井防冲设计

防冲设计基本要求：基本原则、防冲设计方法、防冲效果评估。



冲击地压矿井防冲设计

防冲设计的核心是保障防冲工程安全性，因此，**提出将安全性论证作为防冲设计最后一环**，形成防冲设计闭环系统，解答防冲设计可靠性问题。



防冲设计能够从源头有效预防和减轻冲击地压带来的危害，确保安全生产。但目前行业大家都在谈防冲设计，有防冲设计之名，无防冲设计之实。没有统一规范、标准，所有冲击地压矿井都要做，都做了，都有了防冲设计，水平相差巨大，必须抓好防冲设计这个源头治理手段。

汇报提纲

- | | | | |
|---|-------------|----|----------------|
| 一 | 冲击地压参与的复合灾害 | 七 | 冲击地压防冲设计 |
| 二 | 冲击地压理论的力量 | 八 | 千米采深冲击地压矿井开采 |
| 三 | 冲击地压矿井安全性评价 | 九 | 冲击地压矿井充填开采 |
| 四 | 冲击地压监测 | 十 | 矿震频发 |
| 五 | 冲击地压矿井巷道支护 | 十一 | 冲击地压煤层智能安全高效开采 |
| 六 | 冲击地压“零冲击”管理 | 十二 | 冲击地压矿井综合管理 |

>>> 长期以来我国对冲击地压矿井的政策

超千米不容许开采

2019年发展改革委、应急部、能源局、煤矿安监局联合发布了《关于加强煤矿冲击地压源头治理的通知》，其中，指出不再核准第一水平采深超过1000米的新建矿井，采深超过1200米的改扩建大中型矿井。



中华人民共和国中央人民政府
www.gov.cn



首页 | 简 | 繁 | EN | 登录 | 邮箱 | 无障碍

首页 > 政策 > 国务院政策文件库 > 国务院部门文件

字号: 默认 大 超大 | 打印 收藏 ☆ 留言 | 分享 收藏 ☆

标 题: 关于加强煤矿冲击地压源头治理的通知

发文机关: 发展改革委 应急部 能源局 煤矿安监局

发文字号: 发改能源〔2019〕764号

来 源: 发展改革委网站

主题分类: 国土资源、能源\煤炭

公文种类: 通知

成文日期: 2019年04月29日

关于加强煤矿冲击地压源头治理的通知

发改能源〔2019〕764号

李强总理对煤矿的重要指示

今年1月26日，李强总理出席全国安全生产电视电话会议。对煤矿深部开采做出重要指示批示，提出要用现代化技术代替传统技术，确保深部开采安全性。



李强出席全国安全生产电视电话会议并讲话

2024-01-26 22:06 来源：新华社

字号：默认 大 超大 | 打印 | 分享 | 收藏



国家新政策探索

国家矿山安全监察局积极落实，目前正在山东能源、中煤能源、陕煤化开展开展深部矿井重大灾害治理工程试验。



陕西煤化

陕煤化冲击突出



山东能源集团
SHANDONG ENERGY GROUP

山东能源冲击地压



ChinaCoal
中国中煤能源集团公司
CHINA NATIONAL COAL GROUP CORP.

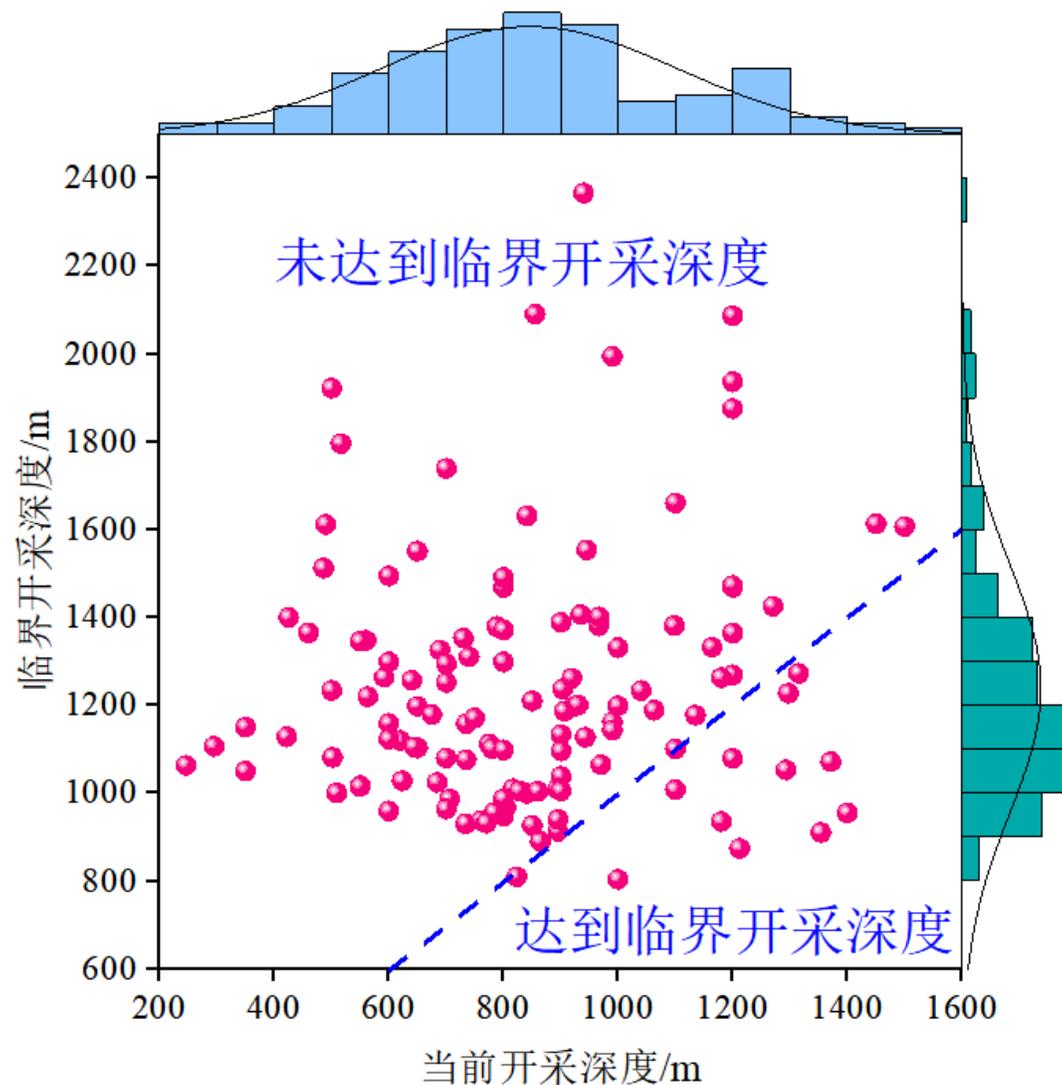
中煤能源冲击地压

冲击地压矿井临界开采深度

临界开采深度 H_{cr} :

$$H_{cr} = \frac{P_{cr}}{\gamma} = \eta \frac{\sigma_c}{2\gamma} \left(1 + \frac{1}{K}\right) \left(1 + \frac{4p_s}{\sigma_c}\right)$$

- 结果表明：127处冲击地压矿井临界开采深度为804~2366m，平均1238m。
- 近九成的冲击地压矿井开采深度没有达到冲击地压的临界采深。实际采深达到冲击地压发生的临界采深的有13处，仅占比10.23%。
- 不应该以千米采深来限制冲击地压矿井开采。理论计算临界采深超千米的矿井105处，占比82.03%。只要采掘布置合理，防冲措施落实到位，就能保证安全。

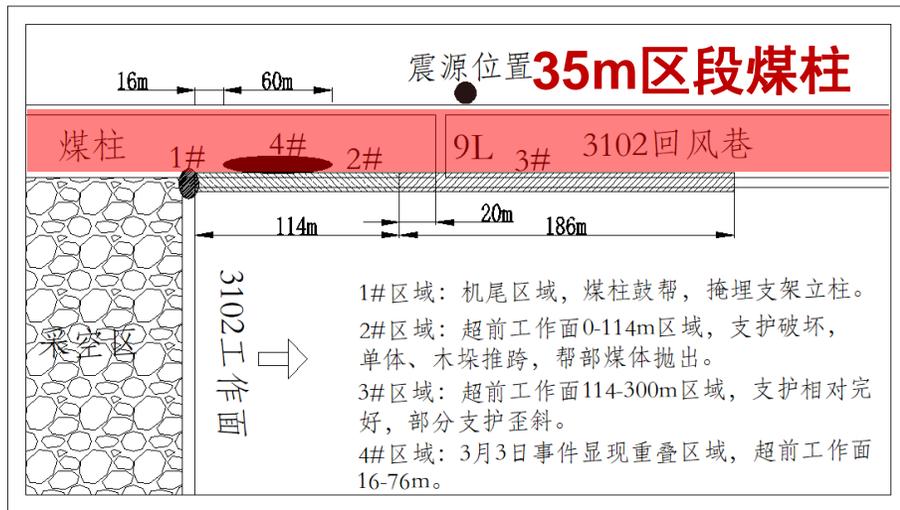


冲击地压矿井临界开采深度

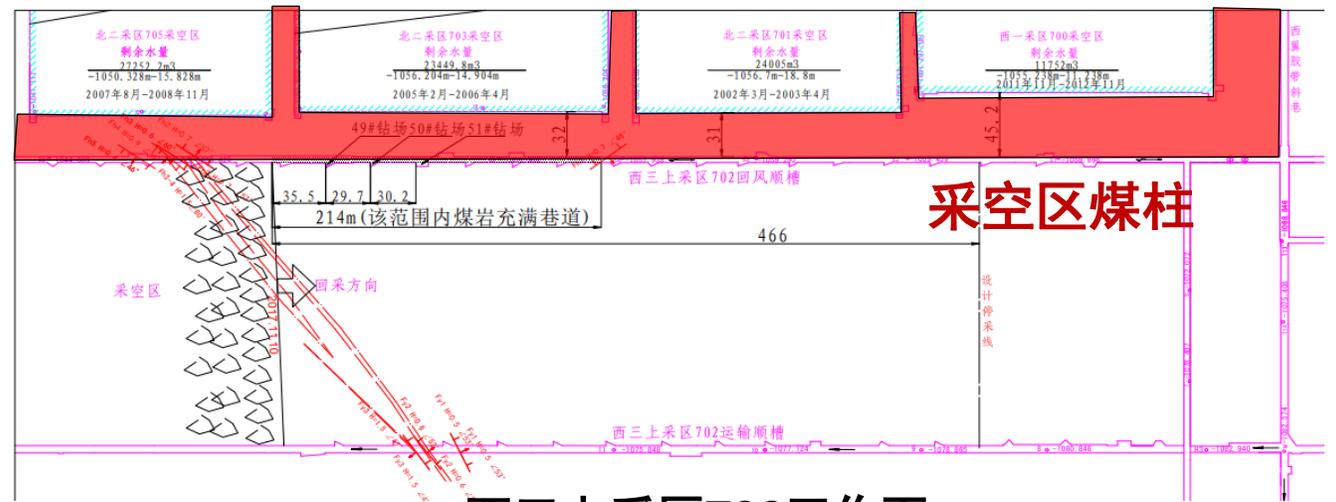
- 一些矿井未达到临界开采深度却发生冲击地压，是人为增大应力集中造成的。采区布置不合理、孤岛工作面、大煤柱、沿断层掘进、未开采保护层或解放层……人为造成了应力集中过大，实际应力 $P > P_{cr}$ 。

案例，某矿3102工作面初采期间煤柱留设宽度35m，回采期间频繁冲击；而采用6m小煤柱后的3106工作面则从未发生冲击。

案例，某矿西三上采区702工作面回风顺槽在2017年11月11日发生冲击，巷道一侧为多个工作面采空区的遗留煤柱，造成应力集中。



3102工作面

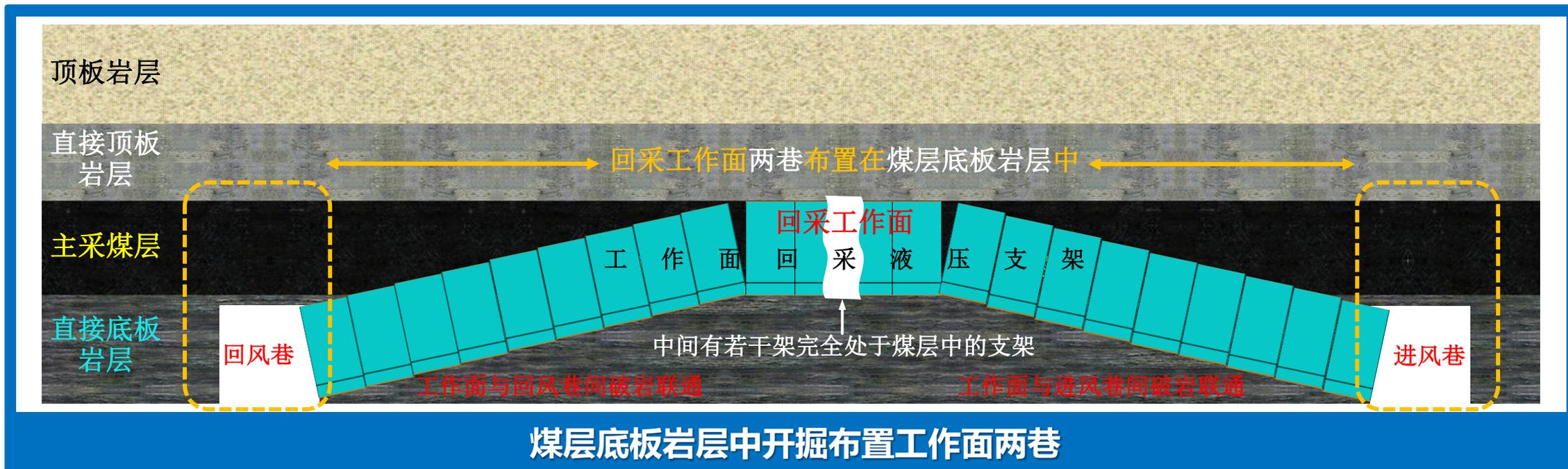


西三上采区702工作面

》》 煤矿千米深井冲击地压区域防治措施突破

□ 回采巷道布置岩层中

千米深井基础应力高，易达到临界应力发生冲击地压，传统煤层巷道围岩应力更难调控，回采巷道布置要有突破。提出回采巷道岩层中布置，利用岩层稳定性好、维护费用低、煤炭损失少、采区封闭性好的特点，降低巷道冲击危险性。目前辽宁恒大矿和大强矿已在应用此法。



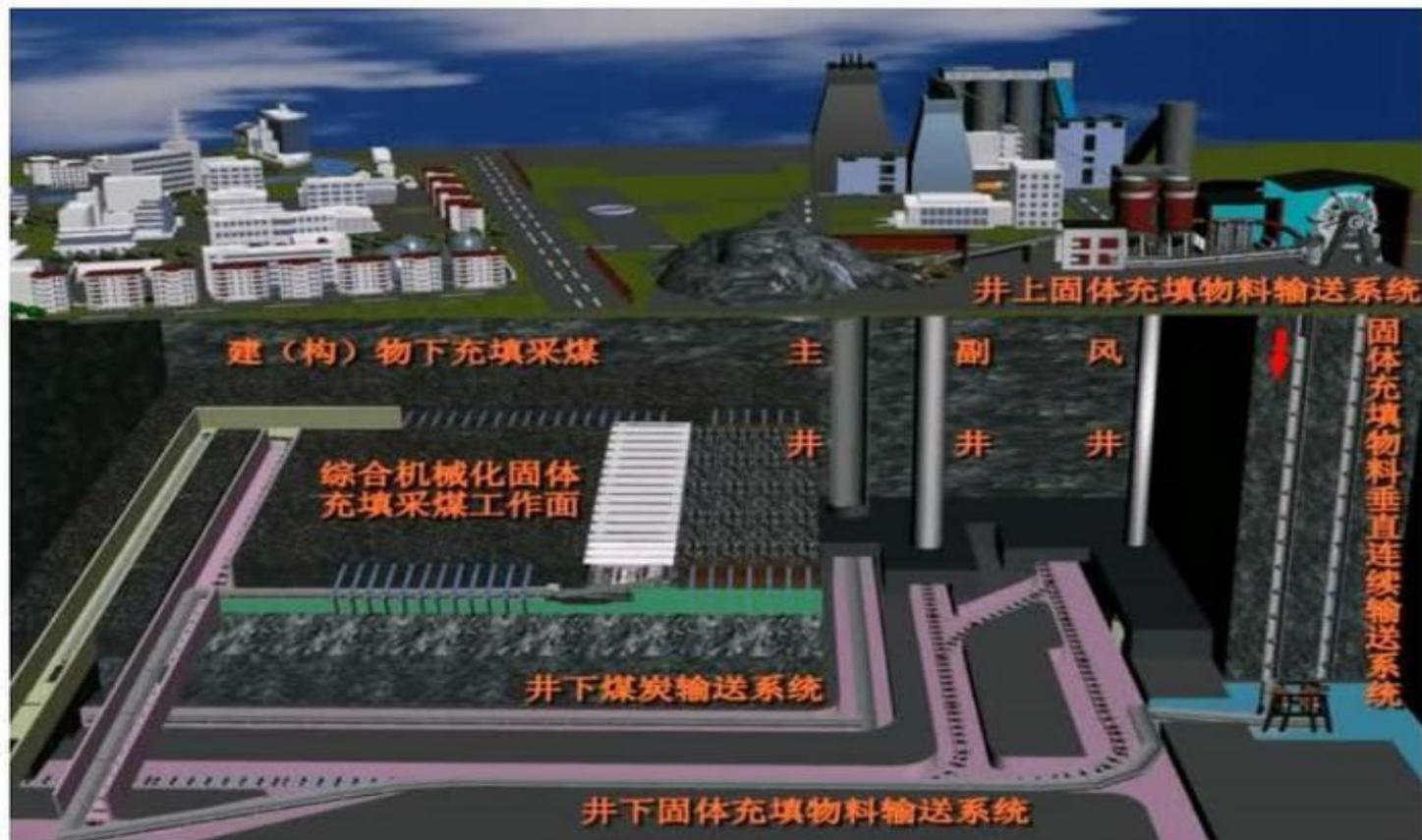
千米采深冲击地压矿井可以进行开采试验是煤炭行业大事。责任重大，使命光荣，试验结果将决定千米深井的命运，只能成功，不能失败。但千米深井开采试验，不是把现有理论技术加上千米概念后炒冷饭，而应是在深部冲击地压理论、防治技术等实现突破，真正解决千米冲击地压矿井开采难题，让党和国家、人民放心。

汇报提纲

- 一 >> 冲击地压参与的复合灾害问题
- 二 >> 冲击地压理论的力量
- 三 >> 冲击地压矿井安全性评价问题
- 四 >> 冲击地压监测问题
- 五 >> 冲击地压矿井巷道支护问题
- 六 >> 冲击地压“零冲击”管理问题
- 七 >> 冲击地压防冲设计问题
- 八 >> 千米采深冲击地压矿井开采问题
- 九 >> 冲击地压矿井充填开采问题
- 十 >> 矿震频发问题
- 十一 >> 冲击地压煤层智能安全高效开采问题
- 十二 >> 冲击地压矿井综合管理问题

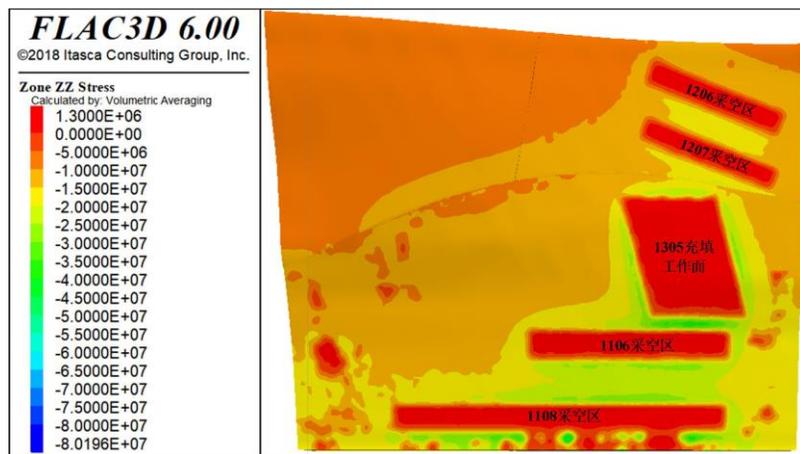
冲击地压矿井充填开采问题

- 充填开采是随着回采工作面的推进，向煤矿采空区充填矸石、粉煤灰、建筑垃圾及专用材料的一项技术。



冲击地压矿井充填开采问题

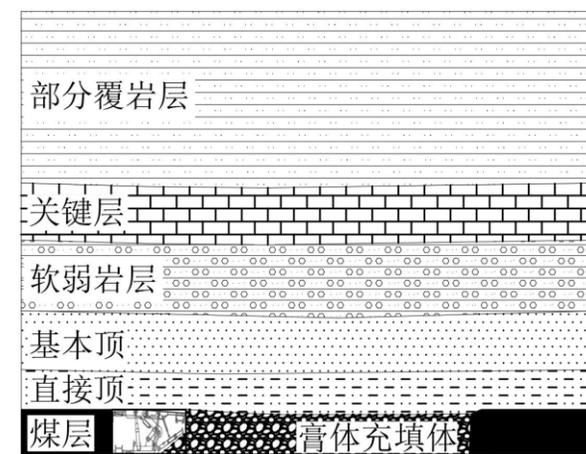
古城煤矿1305 充填工作面的最大密实充填率可以达到96%，裂隙只能贯通采空区上覆第一层岩体（砂质泥岩），从第二层开始，上覆岩层均保持较好的完整性，且整体变形量微小。微震监测大能量事件明显减少。



1305充填工作面充填开采后垂直应力分布



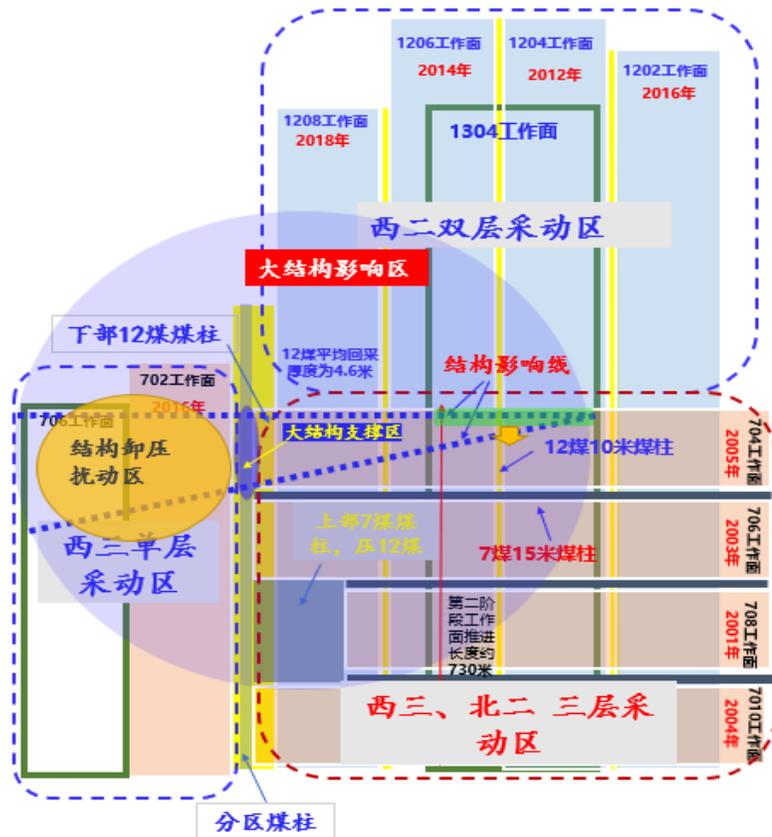
1305 充填工作面留底煤区域



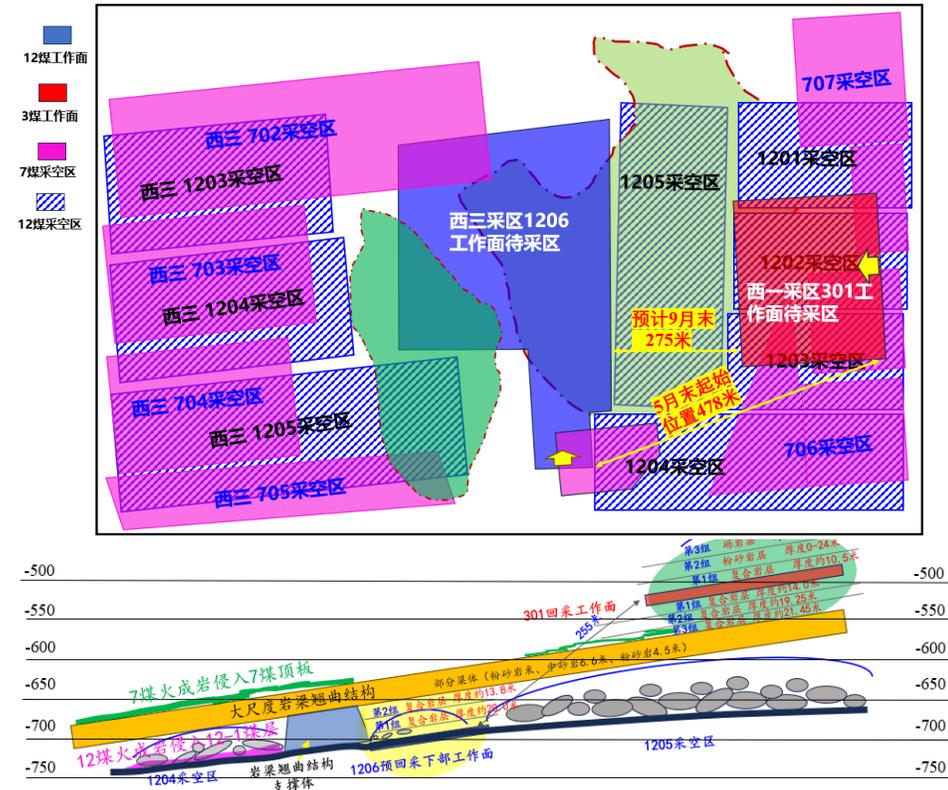
充填率90%以上时覆岩破坏

冲击地压矿井充填开采问题

冲击地压矿井，多是进入深部开采，往往采空区和遗留煤柱多，可能多煤层多重采动，对这类矿井充填开采是非常有效的办法。



红阳三矿1304工作面回采岩梁翘曲结构影响范围



红阳二矿1206工作面与301工作面结构分析

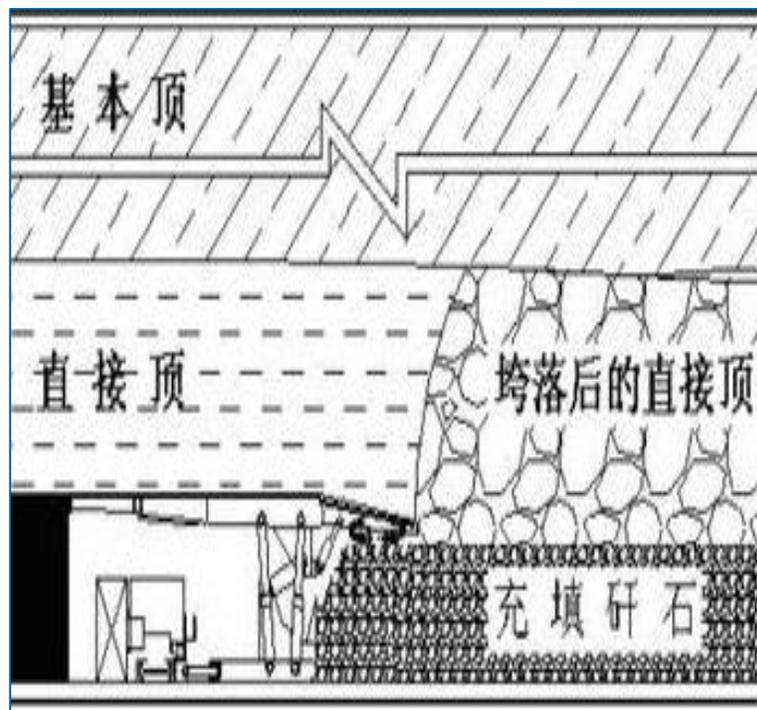
冲击地压矿井充填开采问题

□ 充填部位：根据煤矿开采及地质情况，实施充填开采部位主要有三种：

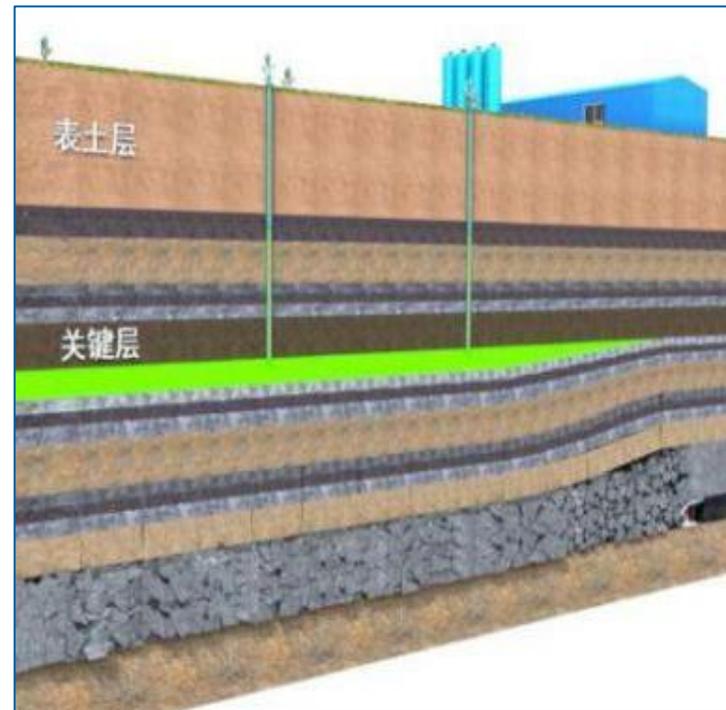
● **巷帮充填、采空区充填、离层顶板充填**



巷帮充填



采空区充填



离层顶板充填

冲击地压矿井充填开采问题

一般充填材料：矸石、高水速凝充填材料、水砂充填料、混凝土浆液、预制混凝土砌块。



矸石



高水速凝材料



水砂充填料



混凝土浆液、砌块

冲击地压矿井充填开采问题

□ **膏体充填材料**：将**煤矸石**、**粉煤灰**、**工业炉渣**等固体废弃物（**尾矿砂**）进行**破碎和配制**，与适量的胶凝材料混合，形成**膏体**，通过充填泵和管道输送到井下，填充采空区。



膏体充填原材料



尾矿砂膏体充填制砂原料

冲击地压矿井充填开采问题

- 充填技术在冲击地压矿井推广，遇到的两个主要困难：
一是，充填材料成本高问题！

矸石
黄土
粉煤灰

系统简单、充填效果好、投资成本小。

煤矸石
粉煤灰
工业炉渣

地面加工，需要专门加工设备，投资较大。

制备浆体
充填材料

专门研制浆体充填材料，需要专用加工装置，研发成本高，投资大。

»» 充填效率是第二个难题

充填工艺与设备因素

- 不同充填方法效率差异大，膏体充填对设备和工艺要求高，水力充填效率取决于水砂比、充填倍线等参数的合理设置。
- 充填泵的排量、压力决定充填材料的输送速度和距离，输送机的输送能力与充填速度不匹配，会造成充填作业的停滞。

采充协调因素

- 开采速度快，充填工作跟不上，导致顶板垮落；充填顺序安排不当，如没有按照先远后近或先下后上的顺序充填，可能导致充填死角或充填体受力不均。
- 充填时间长减少有效开采时间，而开采时间长又可能导致顶板暴露时间长，增加安全风险和后续充填难度。

地质条件因素

- 厚煤层充填时，充填高度增加加大充填难度；倾角大的煤层，充填材料向一侧堆积，影响充填均匀性。
- 围岩破碎、裂隙发育导致充填材料泄漏，影响充填效果，需要额外措施来处理，降低开采效率。

未来需要向快速柔性充填发展

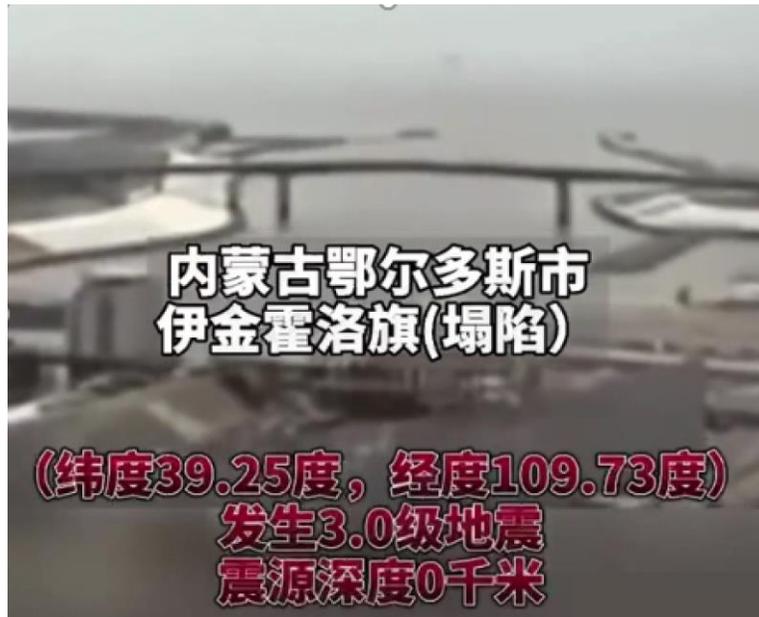
冲击地压矿井充填开采，控制了顶板断裂与应力集中，源头上促进了冲击地压防治，同时通过消耗井上排矸和控制地表下沉，极大程度保护生态环境，是一项既能保护生态安全、又能防治井下冲击地压动力灾害的一举两得的良策。解决成本高和效率低是目前努力的方向。

汇报提纲

- 一 >> 冲击地压参与的复合灾害
- 二 >> 冲击地压理论的力量
- 三 >> 冲击地压矿井安全性评价
- 四 >> 冲击地压监测
- 五 >> 冲击地压矿井巷道支护
- 六 >> 冲击地压“零冲击”管理
- 七 >> 冲击地压防冲设计
- 八 >> 千米采深冲击地压矿井开采
- 九 >> 冲击地压矿井充填开采
- 十 >> 矿震频发
- 十一 >> 冲击地压煤层智能安全高效开采
- 十二 >> 冲击地压矿井综合管理

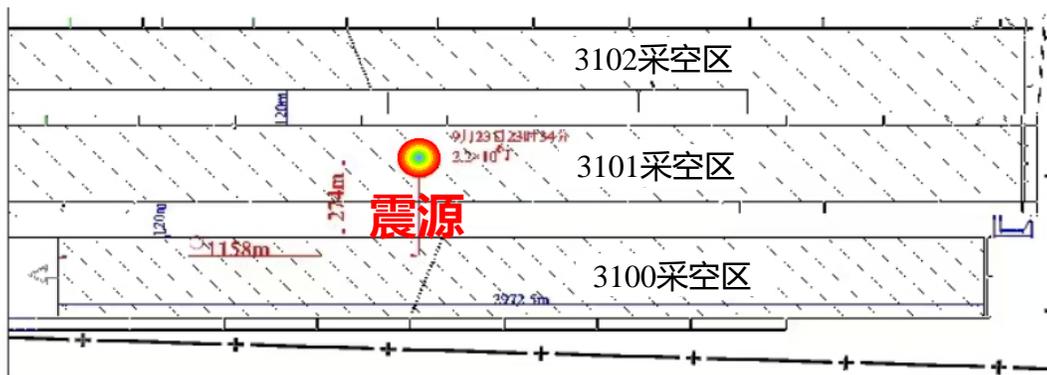
矿震呈频发、多发态势

矿震是矿区范围内有震感的动力现象，近年来在内蒙古、陕西、山西、山东、辽宁、吉林等矿区矿震呈多发和频发。矿震多数为“有震无灾”，因此长期形成不治理矿震、治理冲击地压的理念。矿震发生时，地表有明显震感，会引起社会居民恐慌，同时可能诱发冲击地压。

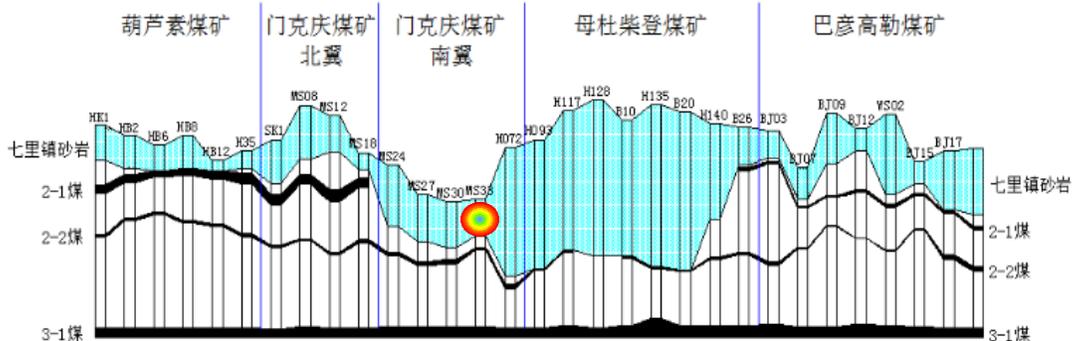


近期两次典型矿震事件

- 2024年9月23日，内蒙古某矿3100工作面在推进至2972.6m时发生一起**2.2级**矿震事件，事件能量 **$2.2 \times 10^6 \text{J}$** ，震源位于3101采空区，震源高度位于开采煤层上方顶板七里镇砂岩**60m**（该区域砂岩厚度剧烈变化）。



矿震事件平面位置



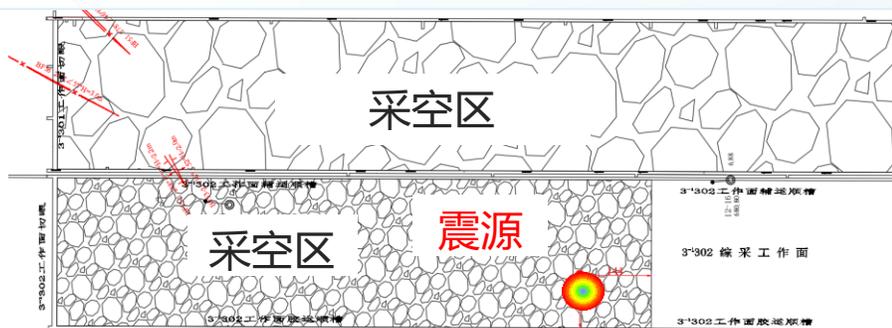
矿震事件垂向剖面位置



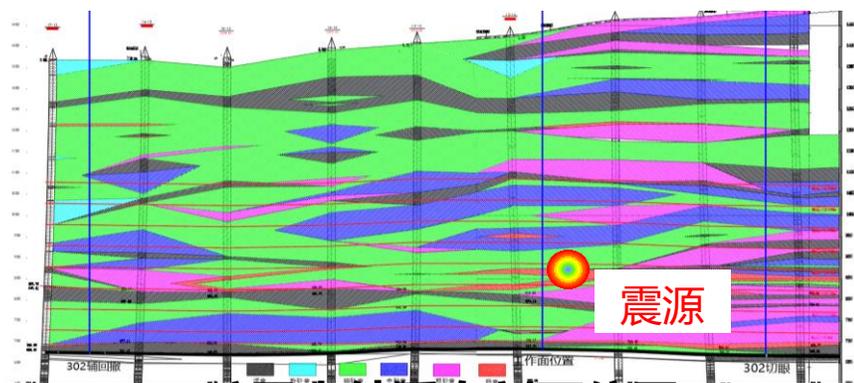
地表无震感、无破坏，未见异常。井下最近的3100工作面及两顺槽未出现明显变化，现场设备、支架完好，未造成破坏。

近期两次典型矿震事件

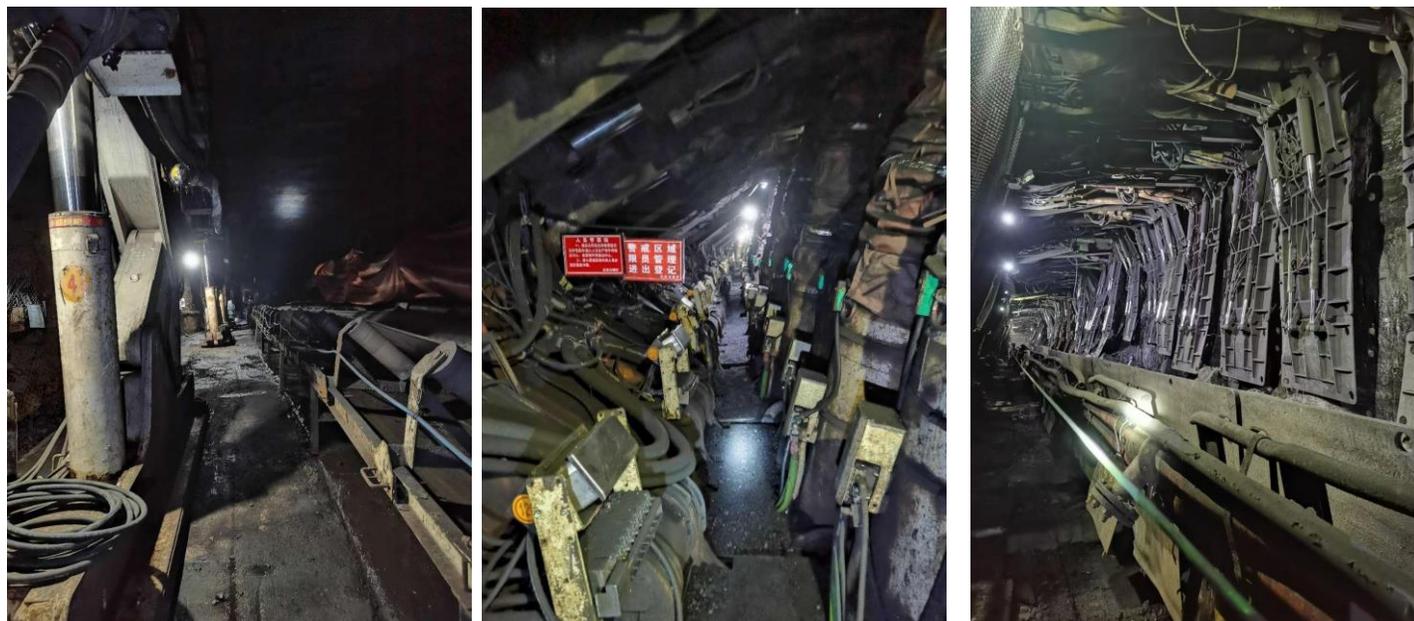
- 2024年10月4日，内蒙古某矿综采工作面发生一起 $M_L 2.4$ 级的矿震事件，标定能量为 $7.2 \times 10^6 J$ ，震源位于工作面后方144m的采空区，距煤层顶板上方186m（位于细砂岩与砾岩交界面，厚度变化较大）。



矿震事件平面位置



矿震事件垂向剖面位置

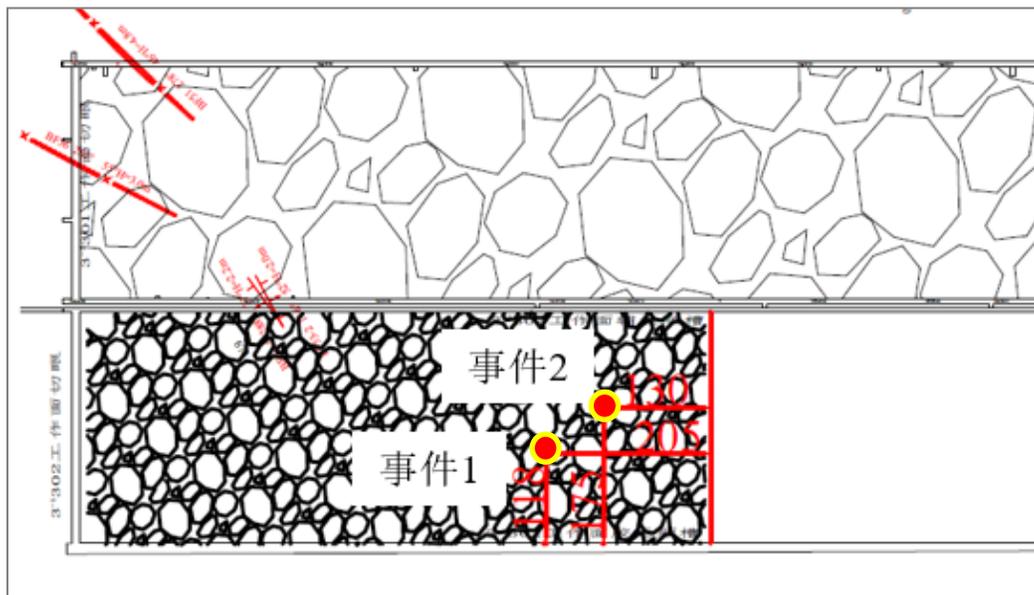


井下有煤炮声，工作面及两顺槽未出现明显变化。

顶板矿震基本类型

➤ 研究发现顶板矿震主要分为2种类型，分别为**拉伸断裂型**和**剪切滑移型**，分别对应着**顶板弯曲断裂**、**顶板层间摩擦错动**两种工况。

□ **案例：**2024年1月28日某矿连续发生两次矿震事件，震级为2.2级和2.6级，先发生的矿震是拉伸破裂，不到一个小时后发生更大的矿震就是剪切破裂。



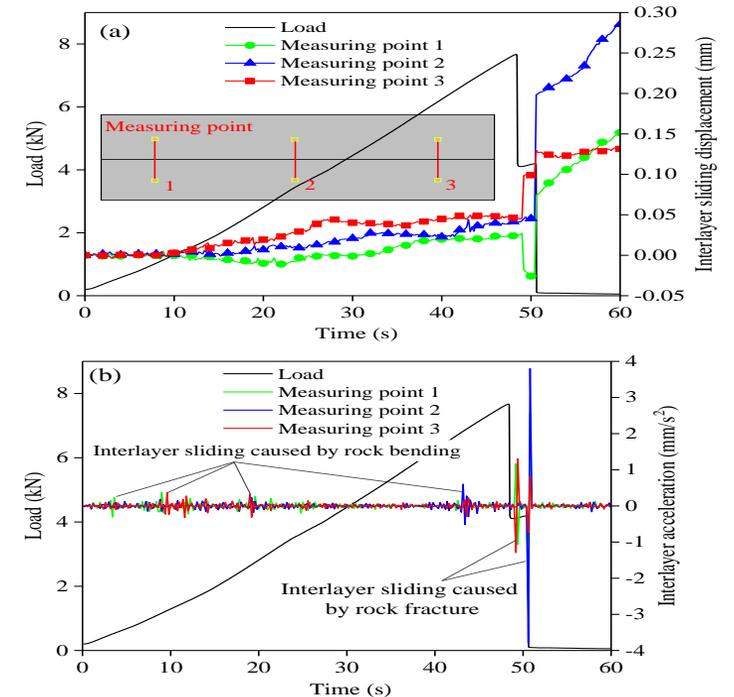
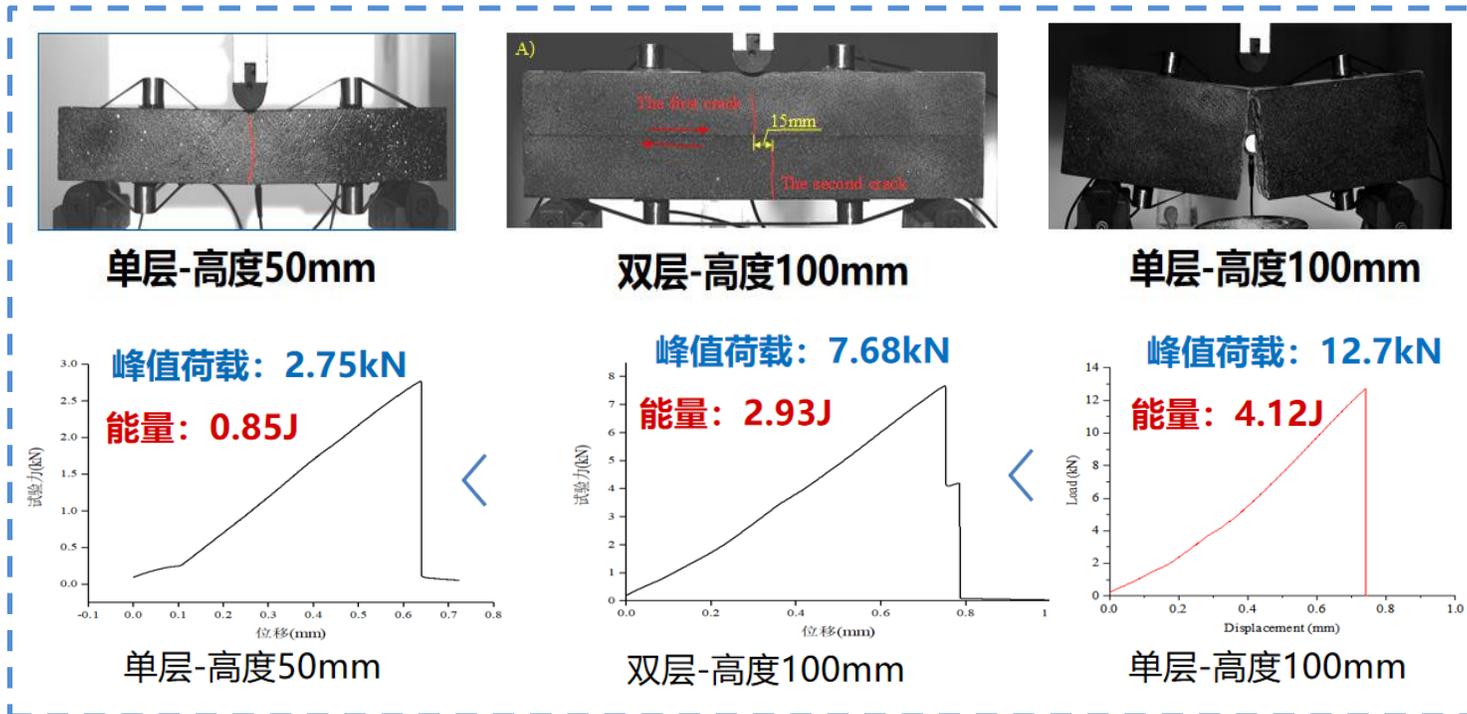
微震矩张量反演结果：

- 事件1的 $P_{dc}=13\% < 40\%$ ，为**拉伸破裂**；
- 事件2的 $P_{dc}=68\% > 60\%$ ，为**剪切破裂**。

顶板矿震实验

顶板弯曲断裂致震实验

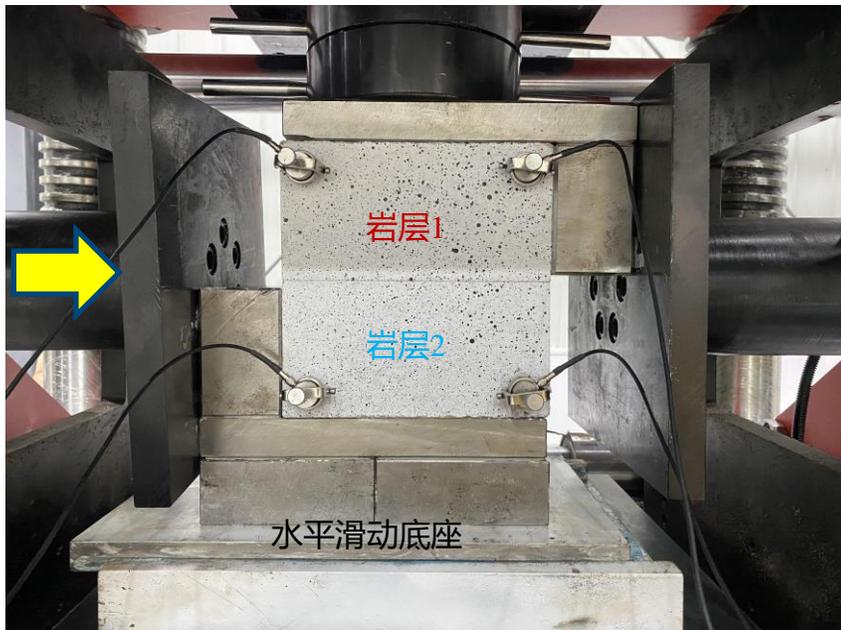
- 随着岩层厚度的增大，断裂时的峰值载荷以及释放能量呈抛物线性增加，厚硬岩层的弯曲断裂能够产生大能量的矿震事件；
- 弯曲断裂时产生巨大声响，能量为一次性瞬间释放，振动加速度持续时间很短；
- 极限曲率相近的岩层容易产生联动破断，参与矿震的主体岩层有时不止一层。



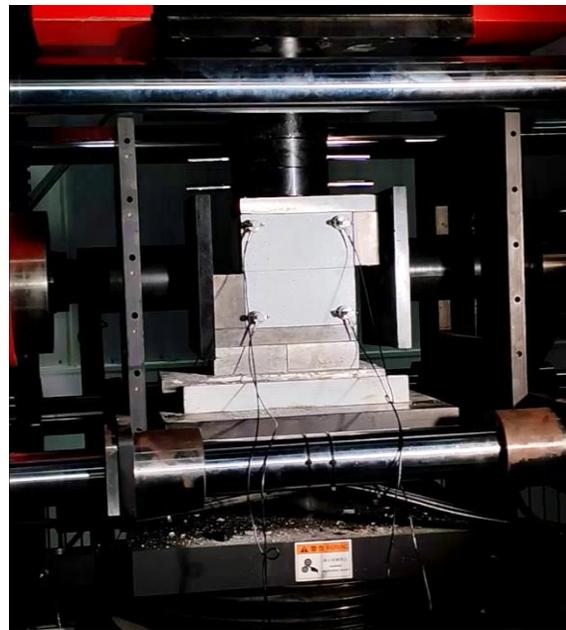
顶板矿震实验

顶板层间摩擦错动致震实验

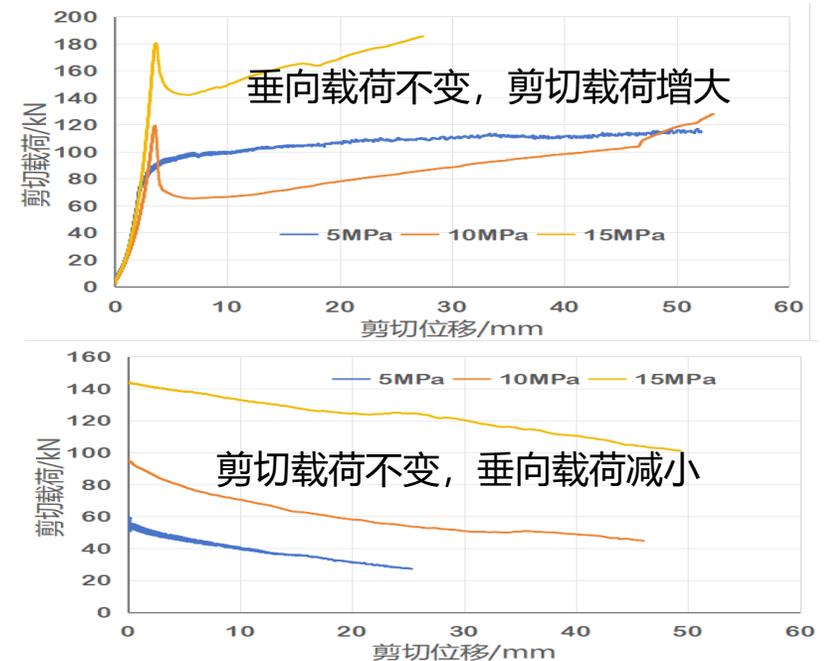
- 2块岩层之间由于摩擦错动产生连续的震动和声响，与弯曲断裂相比，持续时间更长；
- 产生震动的两种工况：垂向载荷不变，剪切载荷增大；剪切载荷不变，垂向载荷减小；
- 应力水平越高，岩层错动时产生的震动声响越大；
- 致密坚硬的岩层在加载时容易产生更强的震动现象，软弱的岩层震动现象有时不明显。



实验装置



实验产生连续的震动和声响

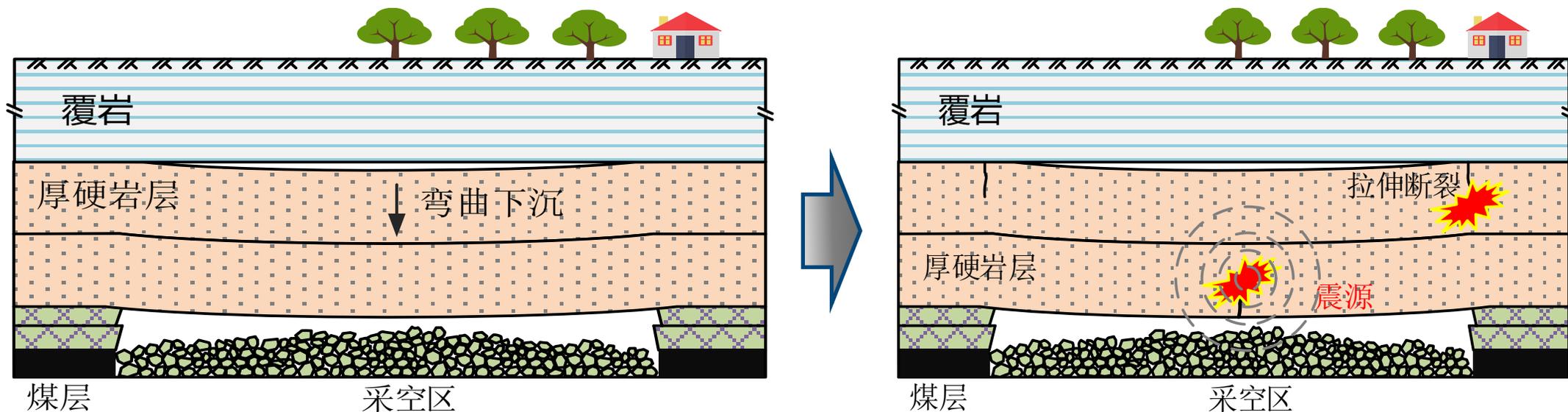


剪切载荷-位移曲线

顶板矿震机理

□ 顶板弯曲断裂致震机理

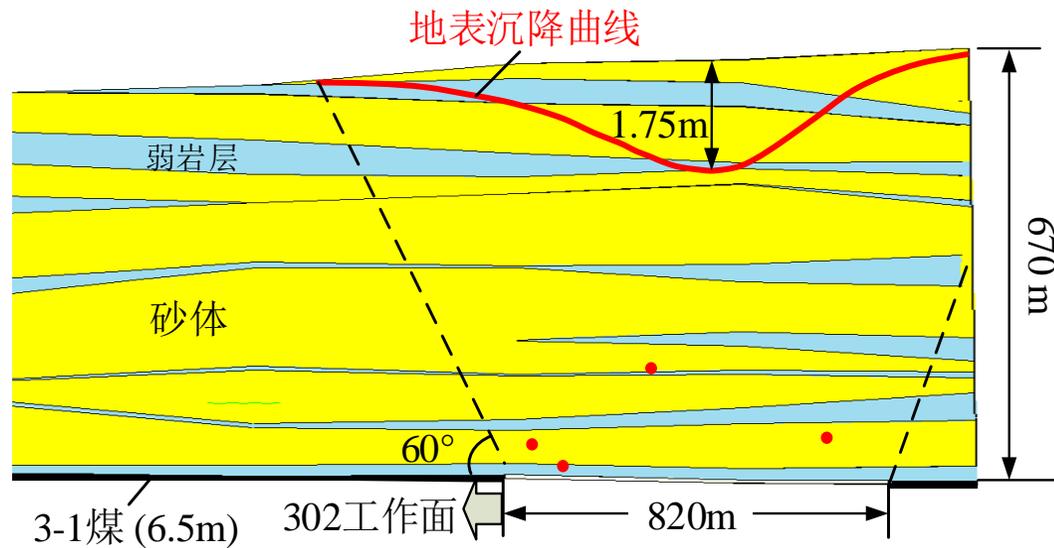
- 一些矿区赋存几十米甚至上百米厚度的坚硬岩层，例如砂岩和砾岩。这些厚硬顶板悬顶能力强，存储大量弹性变形能。
- 随着采空区面积增大，厚硬岩层弯曲下沉，弯曲应力达到极限强度后，岩层发生拉伸断裂，释放大量能量，产生矿震（短时）。



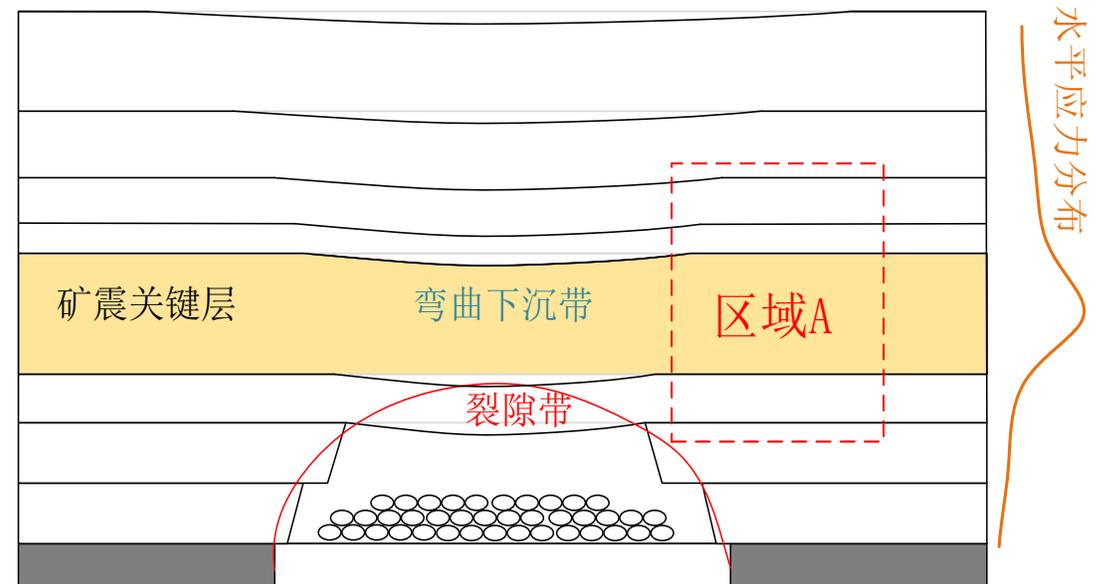
>>> 顶板矿震机理

□ 顶板层间摩擦错动致震机理

- 采空区面积增加，岩层发生弯曲沉降，弯曲下沉带形成，在关键层区域形成水平应力集中，水平应力增加造成厚硬关键层承载能力增加。
- 矿震关键岩层与临近岩层存在较高的应力差。



1.28矿震前地表沉降分布



煤层开采导致水平应力向厚硬关键层转移

目前有一种声音说，只要开采就有破坏，就有矿震。是的，煤矿井下开采就会引起岩层破坏，但目前有3900余处井工矿井，绝大多数开采岩层破坏地面一般没有震感。为什么有些矿井，井下开采破坏后地面就有震感的矿震？通过研究其机理是：厚硬顶板先拉伸断裂，之后进一步引起顶板之间错动产生矿震。

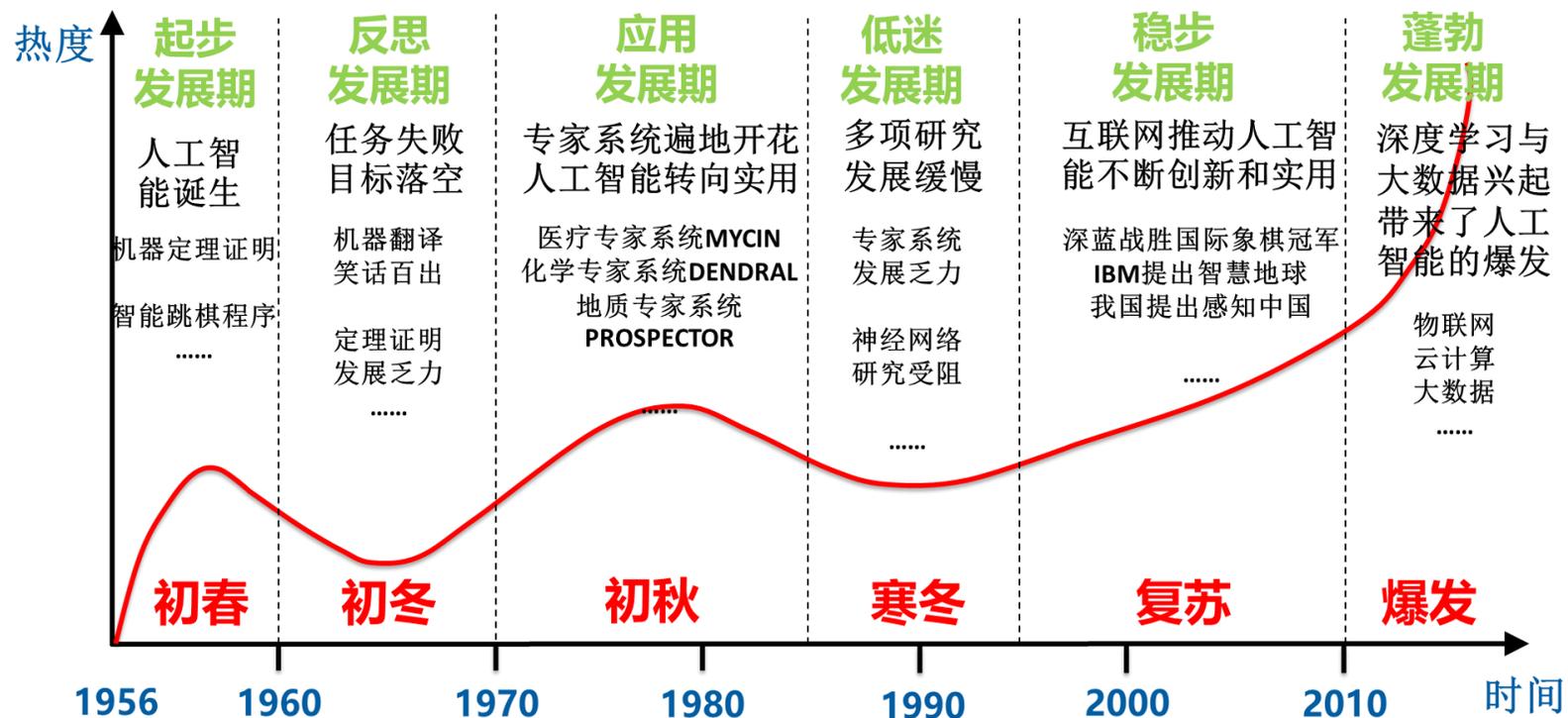
- 改变只要开采就有矿震的**错误观念**，高能量矿震还是有原因的；
- 改变矿震是断层发育矿井深部开采才会发生的**传统观念**，浅部顶板断裂层间错动也能诱发矿震；
- 改变矿井：井下没有可见破坏就可少管；监管：一震就停，都是**任性观念**，研究震和冲的机理不同，找到有效措施，震冲协同治理。

汇报提纲

- | | | | |
|---|-------------|----|----------------|
| 一 | 冲击地压参与的复合灾害 | 七 | 冲击地压防冲设计 |
| 二 | 冲击地压理论的力量 | 八 | 千米采深冲击地压矿井开采 |
| 三 | 冲击地压矿井安全性评价 | 九 | 冲击地压矿井充填开采 |
| 四 | 冲击地压监测 | 十 | 矿震频发 |
| 五 | 冲击地压矿井巷道支护 | 十一 | 冲击地压煤层智能安全高效开采 |
| 六 | 冲击地压“零冲击”管理 | 十二 | 冲击地压矿井综合管理 |

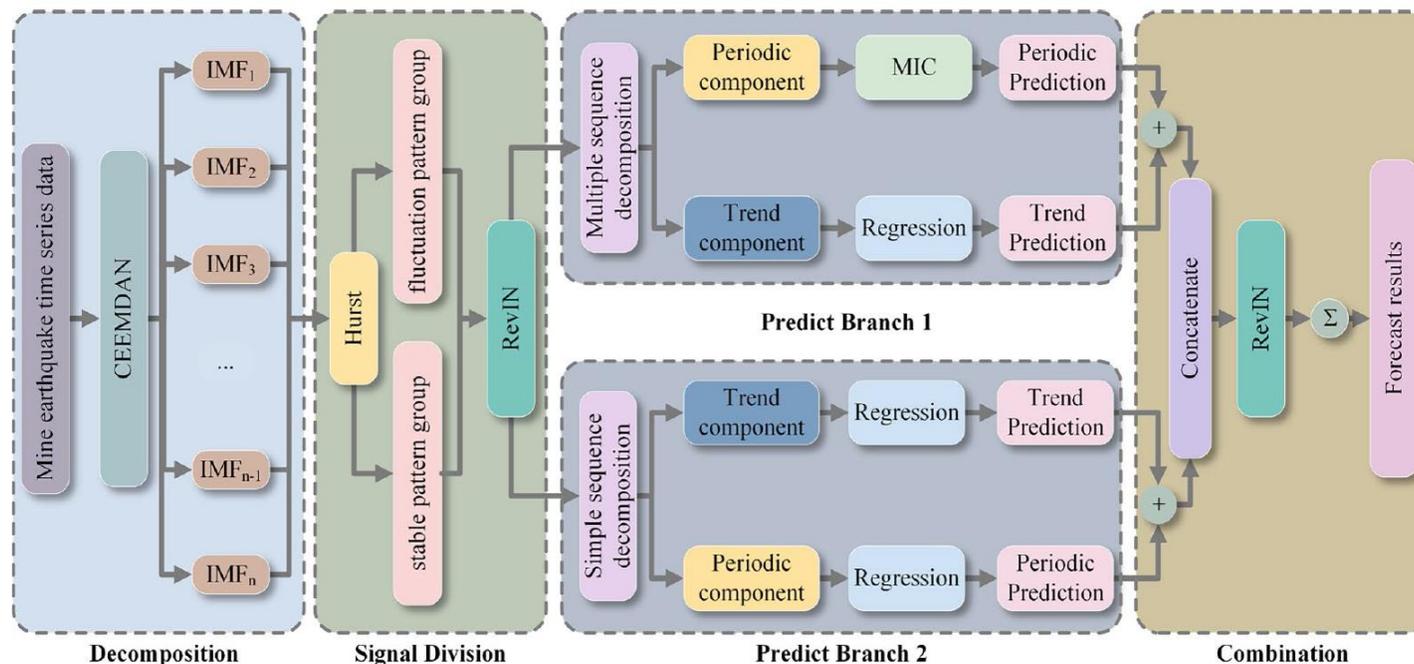
人工智能

□ 近些年，人工智能进入爆发的蓬勃发展期的发展历程，特别是2024年诺贝尔物理学奖、化学奖颁布给人工智能领域的学者。要研究人工智能赋能冲击地压防治，主要可以考虑以下几个方面：



人工智能预测冲击地压

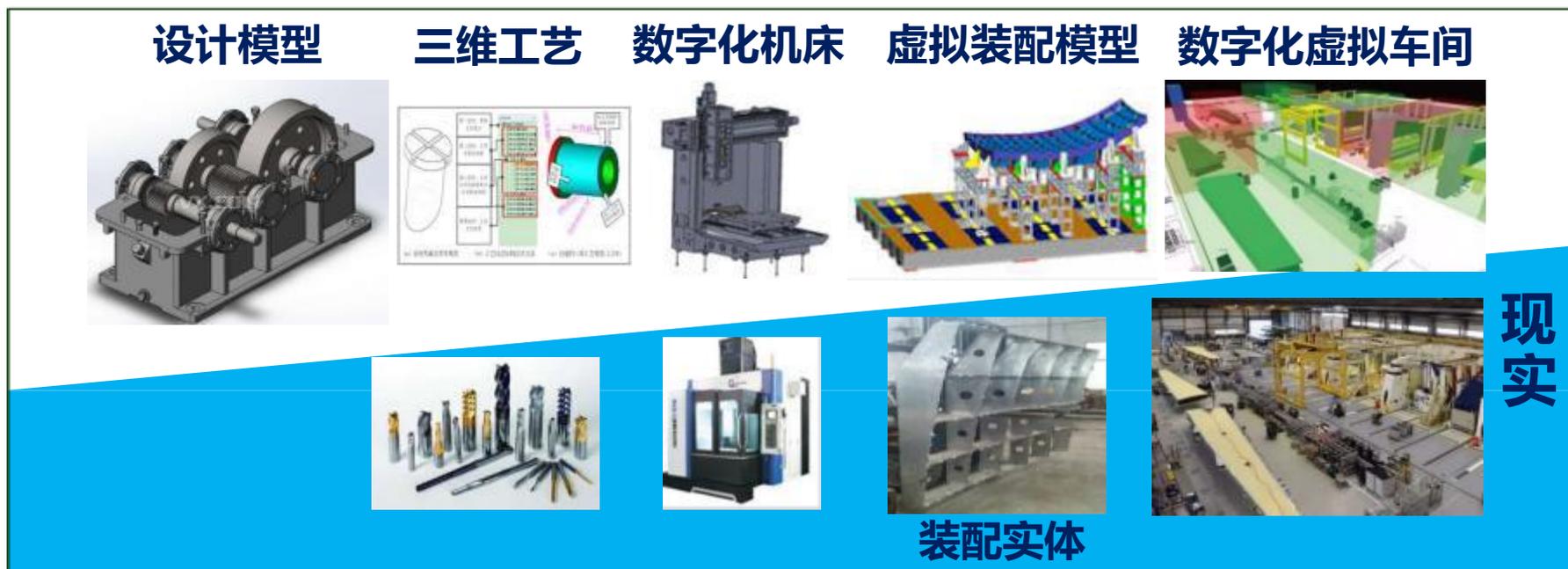
冲击地压预测大模型：现已有60亿参数，目标1000亿个参数。通过对海量历史数据进行训练学习，实现未来大能量事件预测。



微震事件时空强预测的分层信息组合模型 (2024, RMRE)

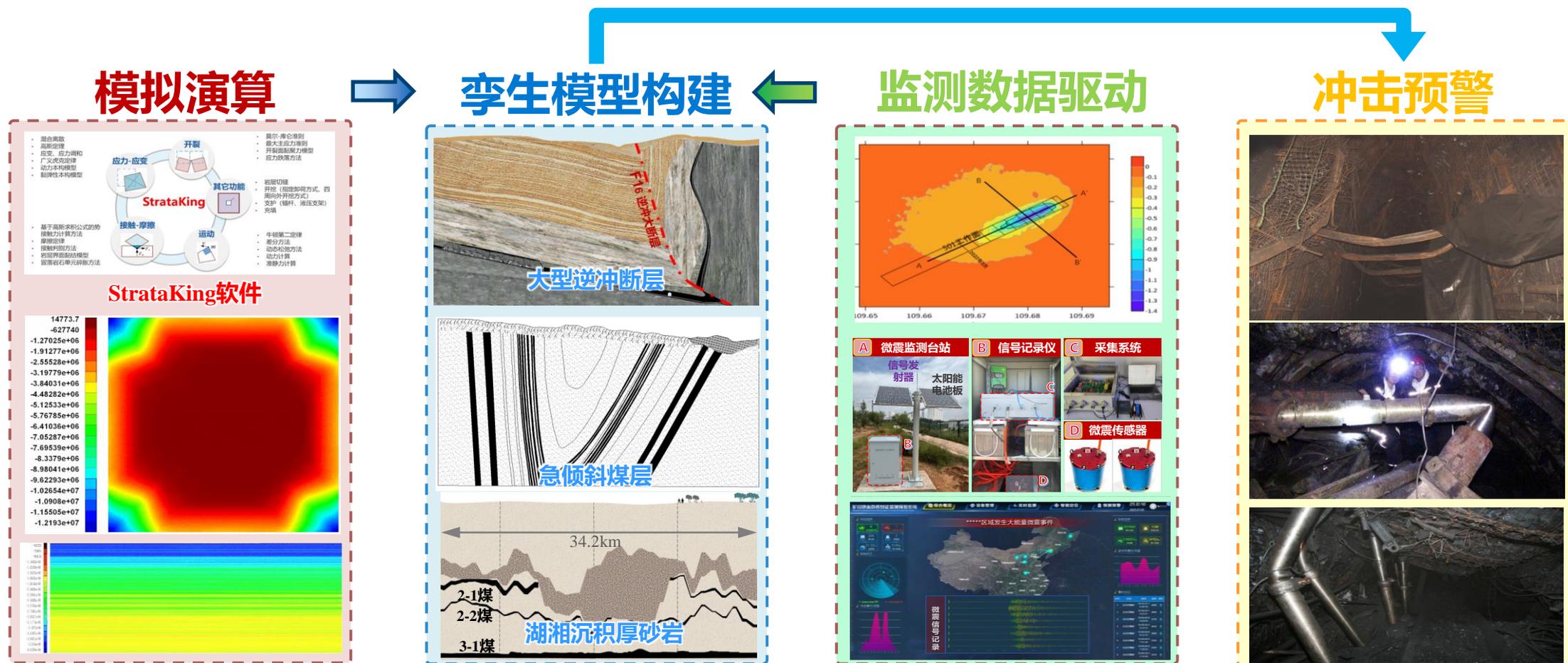
数字孪生

冲击地压煤层开采的数字孪生：充分利用物理模型、传感器、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真数值、数字过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应现实实际产品的全生命周期过程。



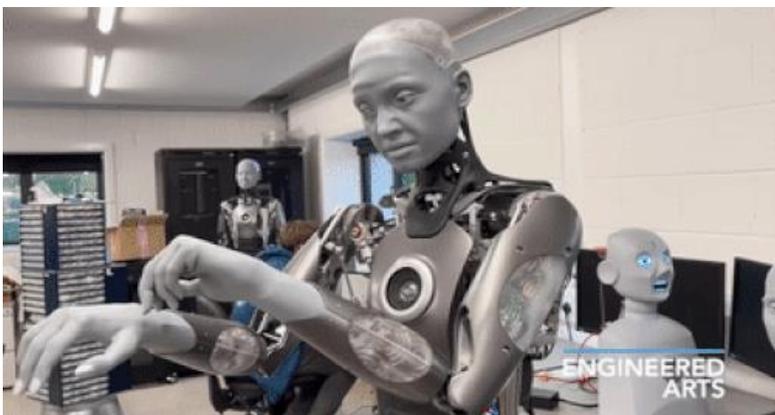
冲击地压数字孪生

借助人工智能，利用透明地质建立数字孪生模型，通过监测数据驱动模型，利用数值计算演算开采过程，动态孪生应力能量演化过程，实现冲击地压数字孪生。



人形机器人

□ 人形机器人集成人工智能、高端制造、新材料等先进技术，有望成为继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品，将深刻变革人类生产生活方式，重塑全球产业发展格局。近年来，美国、英国等发达国家先后发布了多个人形机器人产品，人形机器人作为机器人的最高级形态，已成为衡量科技创新和高端制造业水平的重要标识。



Engineered Arts公司 Ameca



特斯拉公司 擎天柱



波士顿动力公司 Atlas

»» 钻孔机器人

- **钻孔人形机器人：通过对钻孔机器人平台自主移动与远程交互控制、钻进系统运行状态监测与全自主运行控制、孔区应力分布状态随钻感知与动态反演技术、区域冲击危险评估与防治孔动态优化技术进行系统集成，实现矿井防冲钻孔机器人的系统集成。**

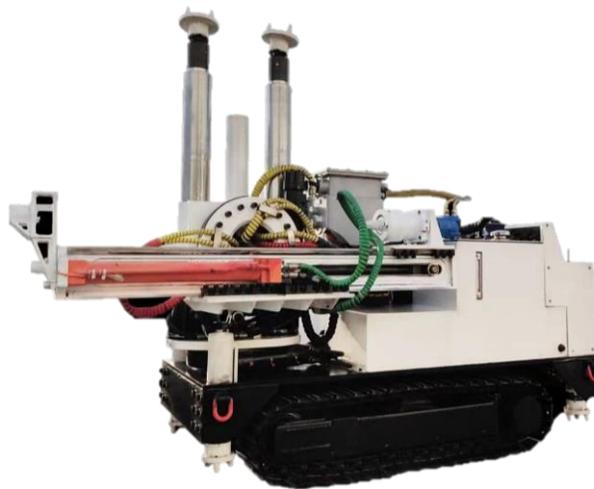


钻屑机器人

- 钻屑人形机器人，替代工人和钻机，尺寸小，通过能力强，适应窄小空间行走、钻孔作业。实现钻车行走、钻杆旋转、进给、摆动、固定等动作的调节，实现钻屑量、钻进速度，钻进转矩、位移、进给速度等多参量数据的实时采集等功能。

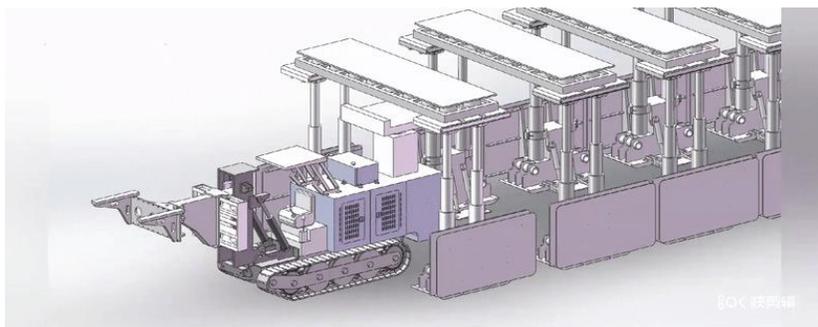


替代

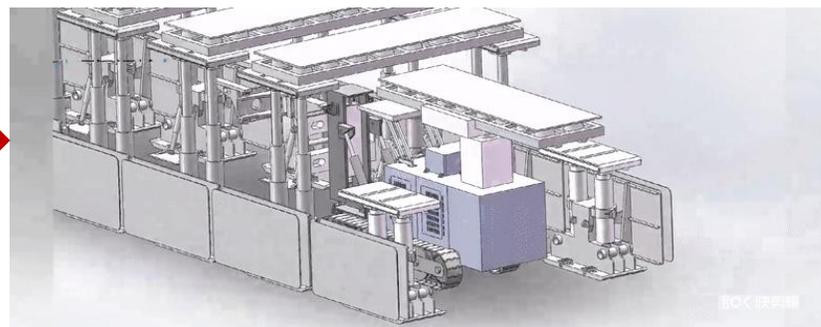


»» 支架智能搬移车

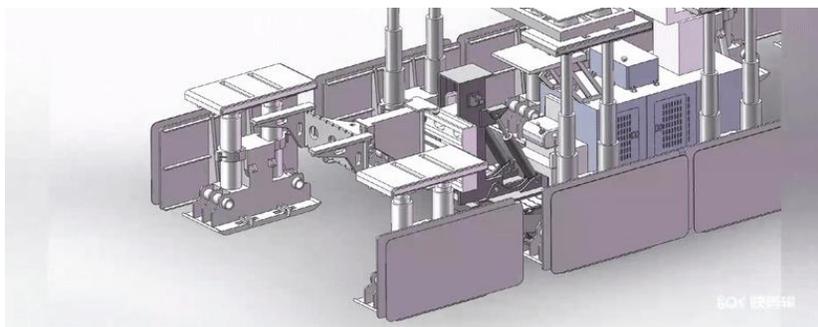
□ 上下顺槽加强液压支护支架智能搬移车，主体由：车身、行走机构、顶梁旋转机构、移架机构。车体配备乳化液泵站，可通过快接头连接液压支架管路，实现支架的升降。



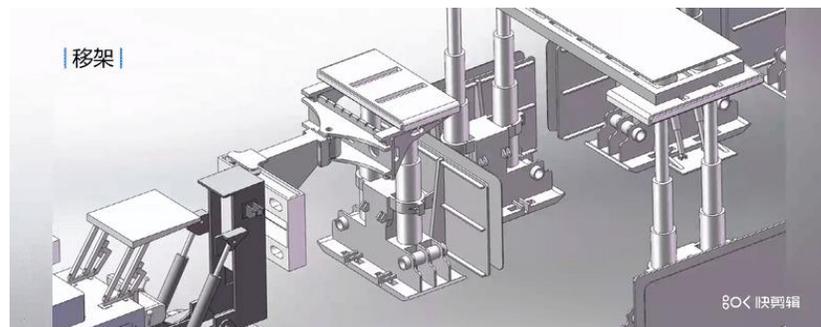
① 将移架小车移动至指定工位，支架降架，撑起顶梁后进行转动。



② 移动至超前支架最前方位置，旋转顶梁后升柱，将顶梁撑起。



③ 将移架小车移动至指定工位，撑起支架。



④ 搬运支架至超前支护末端位置，放置支架至指定位置。

冲击地压矿井可以越过传统的智能化概念，直奔人工智能赋能的冲击地压防治，实现灾害矿井在人工智能时代的弯道超车。

汇报提纲

- | | | | | | |
|---|---|-------------|----|---|--------------|
| 一 | » | 冲击地压参与的复合灾害 | 七 | » | 冲击地压防冲设计 |
| 二 | » | 冲击地压理论的力量 | 八 | » | 千米采深冲击地压矿井开采 |
| 三 | » | 冲击地压矿井安全性评价 | 九 | » | 冲击地压矿井充填开采 |
| 四 | » | 冲击地压监测 | 十 | » | 矿震频发 |
| 五 | » | 冲击地压矿井巷道支护 | 十一 | » | 冲击地压煤层智能安全高效 |
| 六 | » | 冲击地压“零冲击”管理 | 十二 | » | 冲击地压矿井综合管理 |

管理存在问题

- 冲击地压防治是一项系统工程，每个环节过程都必须科学管理。近期冲击地压矿井在综合管理方面有几个倾向性的问题：



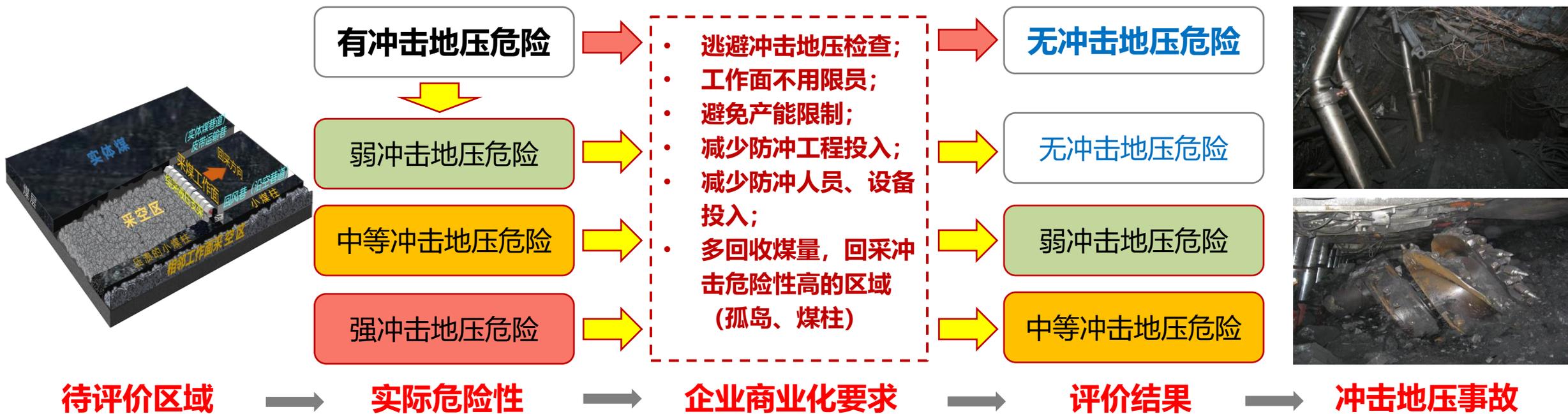
鉴定评价商业化

报告编制形式化

措施落实简单化

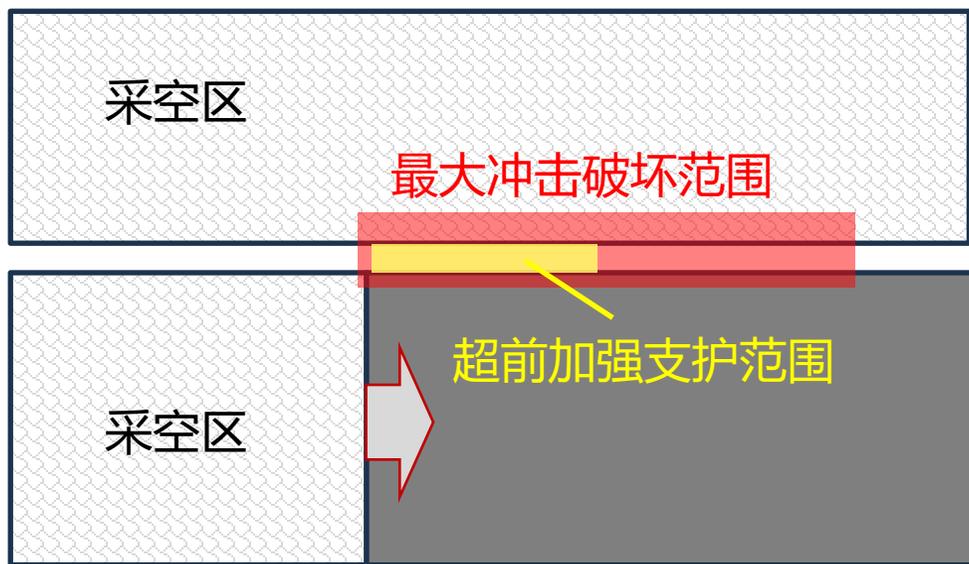
冲击地压鉴定、评价商业化

- 有些矿井明明有冲击地压危险，却要求鉴定或评价为无冲击地压危险，有的团队意志不坚定，为了商业利益向企业妥协。
- 有些工作面或巷道明明危险性较高，却刻意评价为弱或无冲击地压危险；冲击地压危险性等级整体为弱，区域划分时为无。



》》 矿井防冲报告、制度编制形式化

- 一些矿井防冲制度编制没有可操作性，大多是照抄《规程》《细则》等相关规定，都是宏观要求，防冲制度应体现本矿的实际情况，一矿一策，并规定如何落实《规程》《细则》等具体的做法。

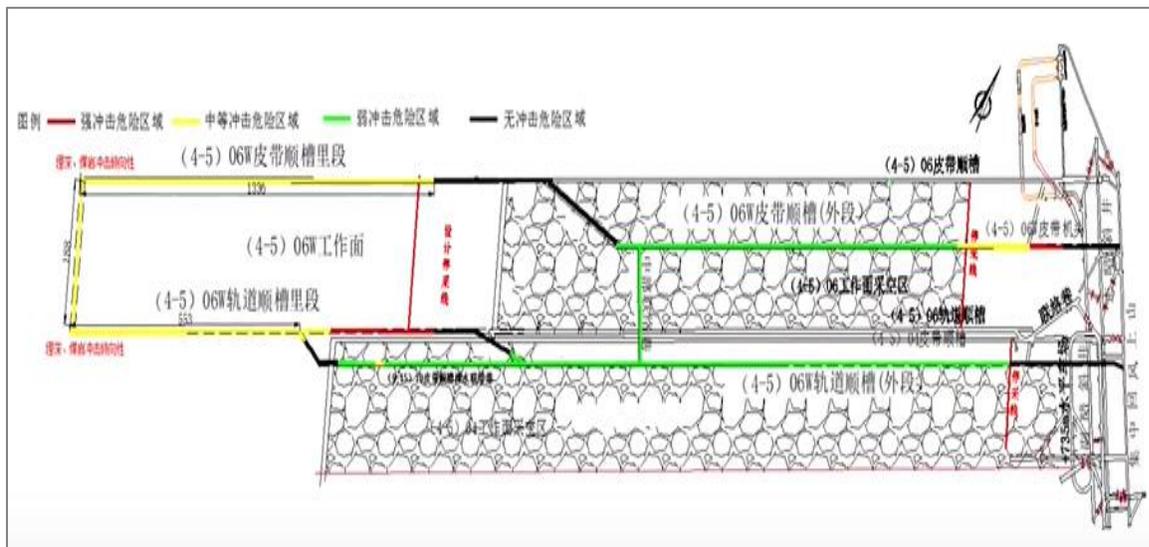


典型案例：

一些矿井历史冲击地压破坏范围超过120m，甚至超过200m。而防冲制度中加强支护范围仍然按照规程细则等的120m最低要求进行管理，明显不符合本矿实际情况。

防冲措施落实简单化

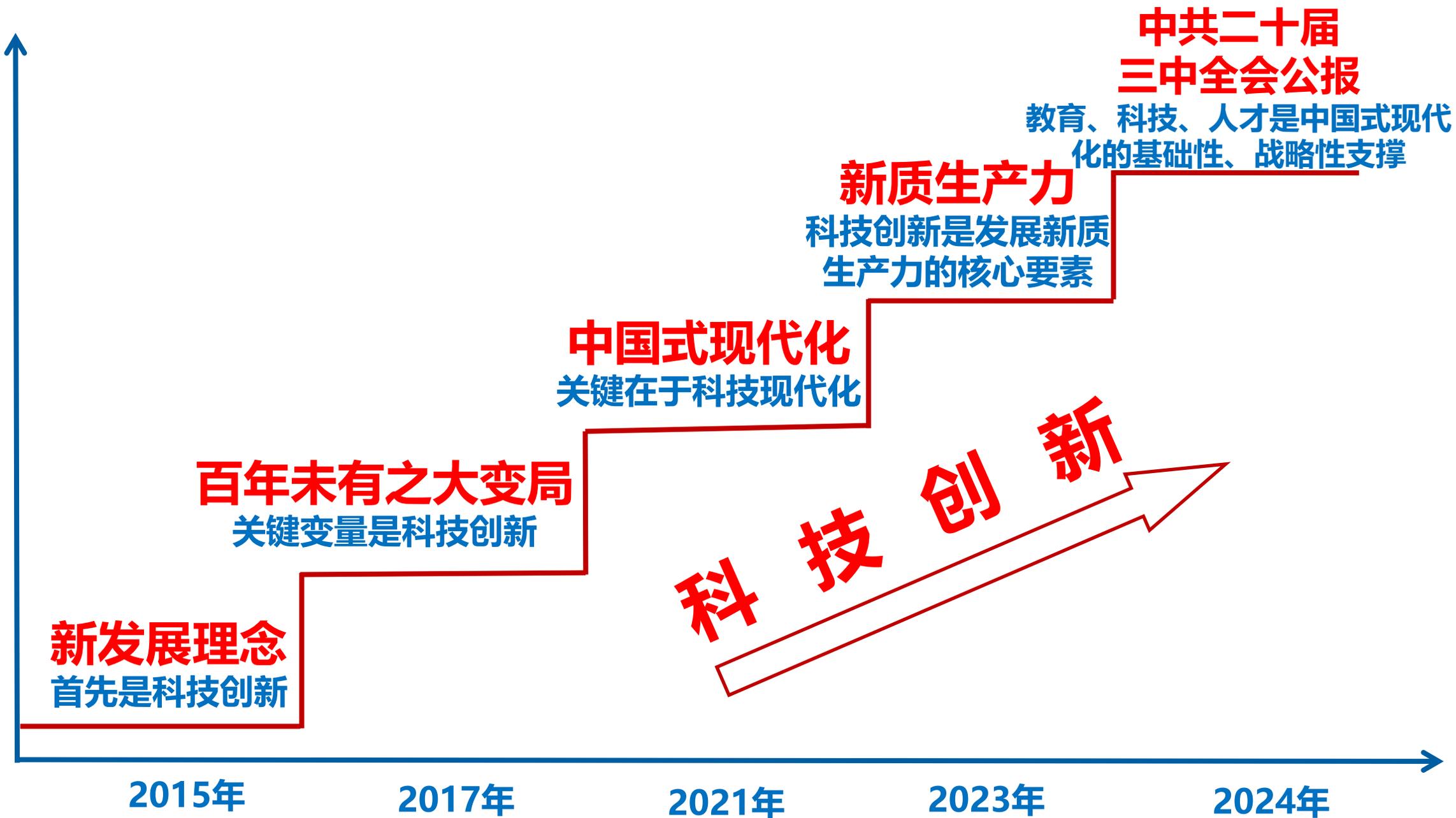
- 采掘接替紧张是许多冲击地压矿井面临的共性问题，有的矿井为了加快掘进进尺，忽视掘进工作面冲击危险性监测，必要的钻屑法等局部监测方法未有效落实。
- 有的矿井未按规定落实防冲固定措施，锚杆、锚索未采取防崩措施，未设置冲击地压避灾路线牌板。



从公元元年到2023年的世界人均GDP，工业革命，科技创新。



核心内容



谢谢!

