



中国煤炭科工集团有限公司
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

煤矿瓦斯灾害监测预警与防控新技术

汇报人：舒龙勇

煤科院安全分院副院长/中国煤科首席科学家

2024.04

目录 CONTENTS

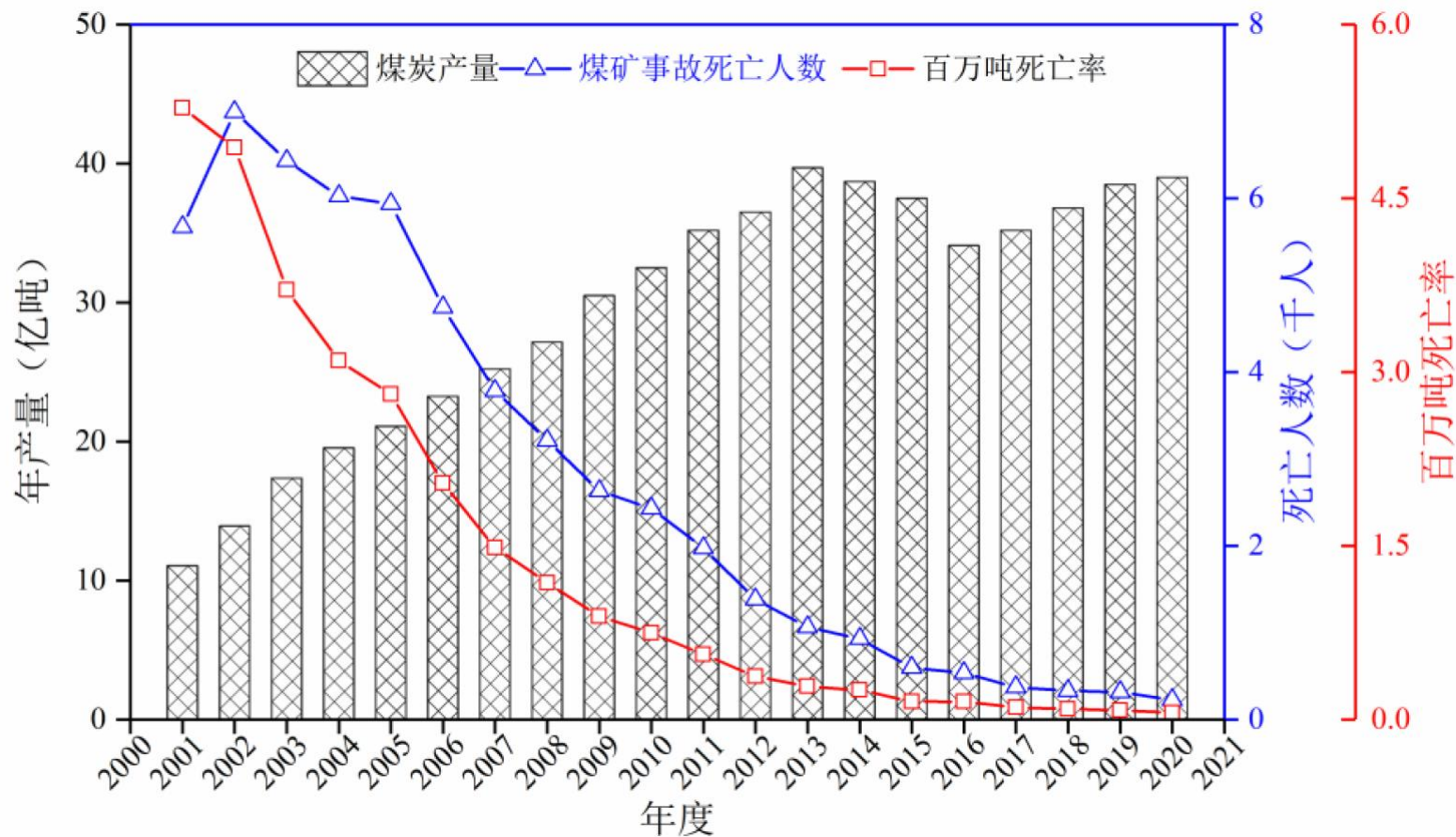
- 一 我国煤矿瓦斯灾害现状
- 二 山西省煤矿瓦斯防治现状
- 三 瓦斯灾害监测预警与管控
- 四 抽采钻孔密封与智能调控
- 五 气液两相协同增透与促抽
- 六 煤矿多灾融合监测预警系统

1

我国煤矿瓦斯灾害现状与特点

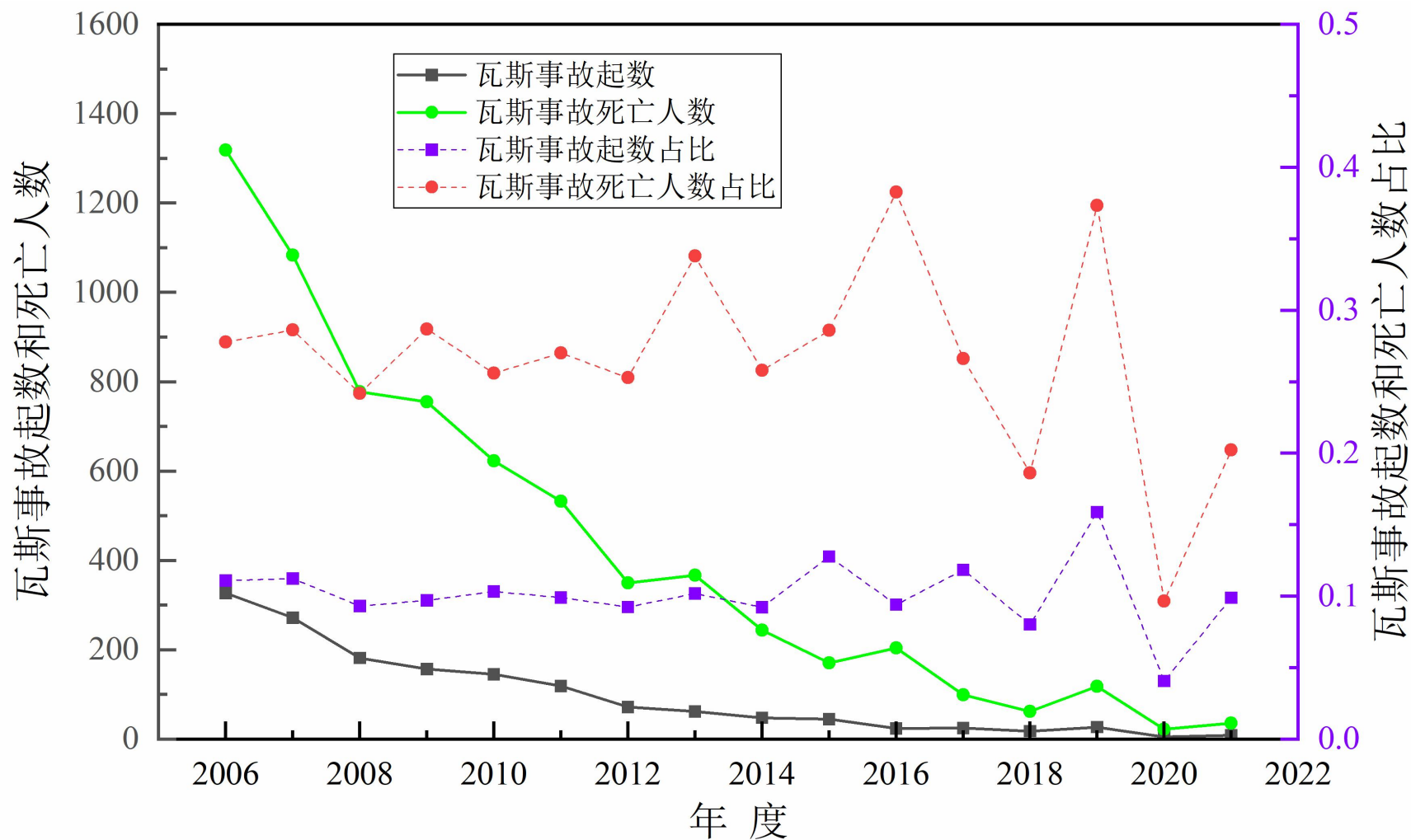
1 我国煤矿瓦斯灾害现状与特点

- 我国煤矿年死亡人数从最高7016人下降到**2021年178人**，2019年美国煤矿死亡12人、澳大利亚死亡3人、俄罗斯死亡15人，印度死亡56人；**煤矿百万吨死亡率下降至0.044**，仅达到俄罗斯、印度相当水平，2019年美国为0.020、澳大利亚为0.005、俄罗斯为0.034，印度为0.070，与美国、澳大利亚等国仍存在显著差距。



1 我国煤矿瓦斯灾害现状与特点

- 煤矿瓦斯事故起数和死亡人数逐年下降，但瓦斯事故起数和死亡人数占煤矿事故总起数及总死亡人数的**比重**时有反复，甚至有**增高趋势**！

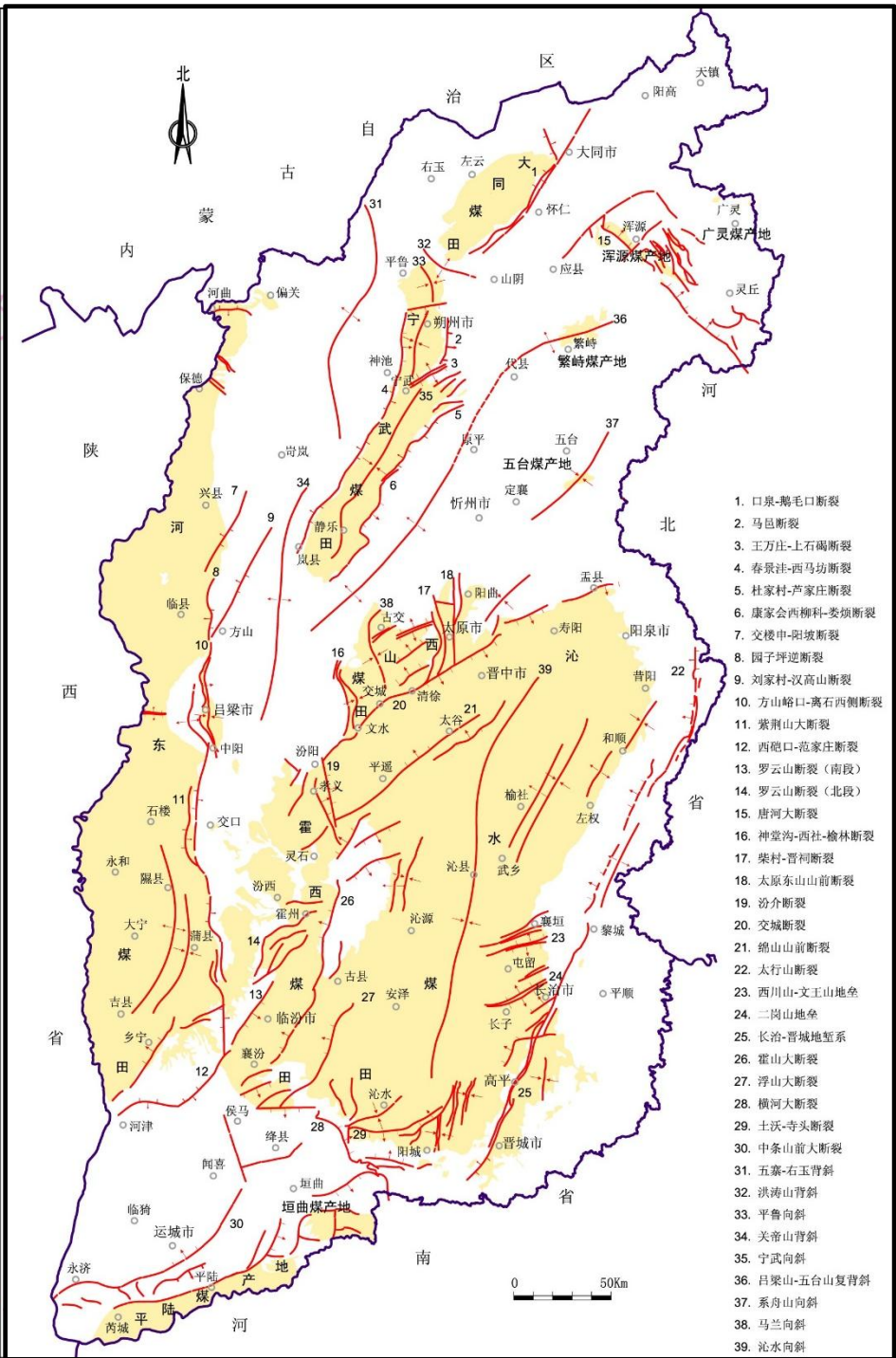


1 我国煤矿瓦斯灾害现状与特点

- 煤炭行业整体有着**向深部开采延深、产能向西部转移**的特点，越来越多的矿井出现高应力（强矿压）与高瓦斯耦合动力灾害显现，需要考虑**复合灾害监测预警与协同防控**问题；西部智能化高强度开采出现了诸如**低瓦斯含量高瓦斯涌出**等新灾害特征，中东部高瓦斯、突出矿井的瓦斯治理经验和体系适用性不佳。
- 低瓦斯矿井瓦斯爆炸和突出事故时有发生，暴露出低瓦斯矿井认识不足、重视程度不够、管理混乱等问题；局部地质异常区难以超前精准探测，突出预测预警技术体系在煤矿地质异常区适用性较差，突出预警技术与装备尚未能完全实现多元信息融合，导致煤矿地质异常区突出事故多发！
- 一些新的工艺的应用为瓦斯治理带来新的问题，需要针对新的问题研究制定新的治理技术体系！例如：无煤柱开采、N00工法等。
- 南北差异大，南部是管理、人员、技术、装备等问题，西北是高产高效问题。“双零”目标管理不能一蹴而就！

2

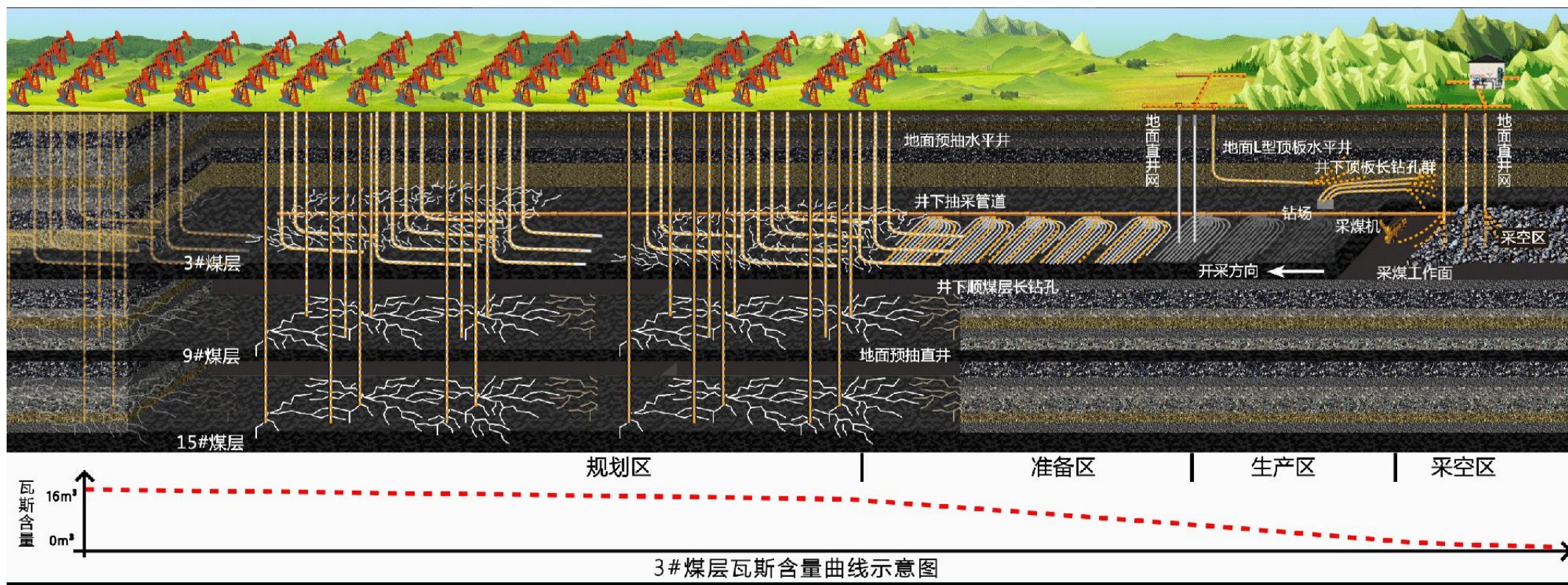
山西省煤矿瓦斯防治现状及 存在的问题



区	亚区	带
深成-低变质煤低瓦斯区 (北纬40°0′~38°20′)	河曲-临县块拗(Ⅲ ₂ -1.1) 北部(兴县以北)低瓦斯亚区	埋深<300~500m低瓦斯带 埋深>300~500m高突瓦斯带
	云冈-平鲁块拗(Ⅲ ₂ -2.2) 低瓦斯亚区	
	宁武-静乐块拗(Ⅲ ₄ -1.1) 低瓦斯亚区	埋深<300~500m低瓦斯带 埋深>300~500m高突瓦斯带
	灵丘-怀来板拗(Ⅲ ₃ -1) 系舟山块拗(Ⅲ ₄ -1.4) 低瓦斯亚区	
岩浆热-中、高变质煤 高突瓦斯区 (北纬38°20′~37°10′)	河曲-临县块拗(Ⅲ ₂ -1.1) 南部(兴县以南)-柳林鼻状块拗(Ⅲ ₂ -1.2) 高突瓦斯亚区	埋深<200~400m低瓦斯带 埋深>200~400m高突瓦斯带
	离石块拗(Ⅲ ₄ -1.3) 低瓦斯亚区	
	太原块拗(Ⅲ ₄ -1.6) 高突瓦斯亚区	埋深<200~300m低瓦斯带 埋深>200~300m高突瓦斯带
	沁水块拗(Ⅲ ₄ -2.2)北部(左权以北) 高突瓦斯亚区	埋深<200~300m低瓦斯带 埋深>200~300m高突瓦斯带
深成-中、高变质煤 高突瓦斯区 (北纬37°10′~36°00′)	石楼-乡宁块拗(Ⅲ ₂ -1.3) 高突瓦斯亚区	埋深<300~400m低瓦斯带 埋深>300~400m高突瓦斯带
	霍西块拗(Ⅲ ₄ -1.7) 低瓦斯亚区	埋深<300~600m低瓦斯带 埋深>300~600m高突瓦斯带
	沁水块拗(Ⅲ ₄ -2.2)中部(左权至长治)高突瓦斯亚区	埋深<200~300m低瓦斯带 埋深>200~300m高突瓦斯带
	临汾盆地(Ⅲ ₆ -4)南部(临汾以南) 低瓦斯亚区	埋深<300~600m低瓦斯带 埋深>300~600m高突瓦斯带
岩浆热-高变质煤 高突瓦斯区 (北纬36°00′~35°20′)	沁水块拗(Ⅲ ₄ -2.2)南部(长治以南) 高突瓦斯亚区	埋深<100~200m低瓦斯带 埋深>100~200m高突瓦斯带
	太行山板隆(Ⅲ ₄ -3) 低瓦斯亚区	
	中条山-焦作板隆(Ⅲ ₅ -1) 低瓦斯亚区	

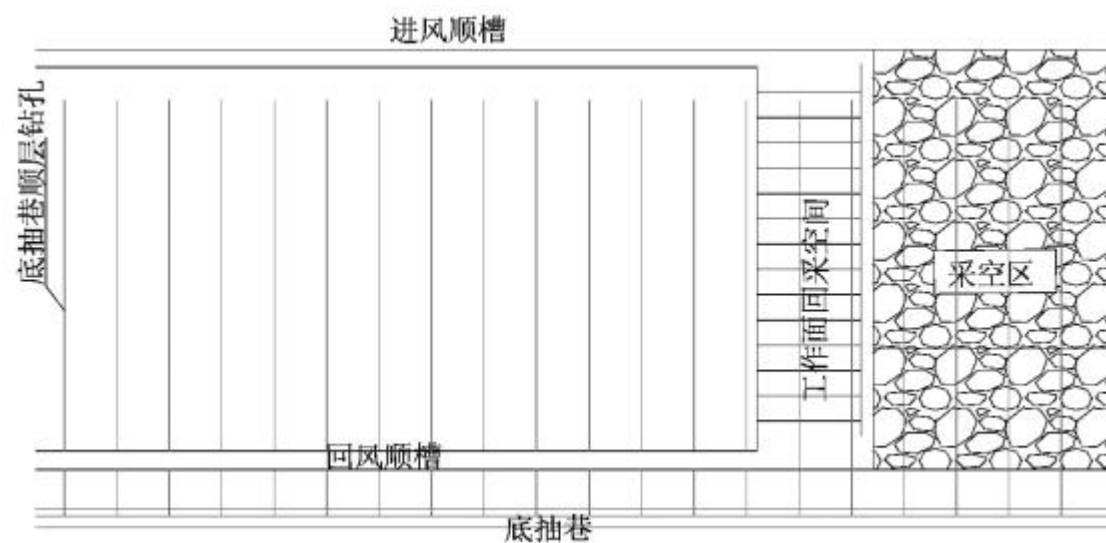
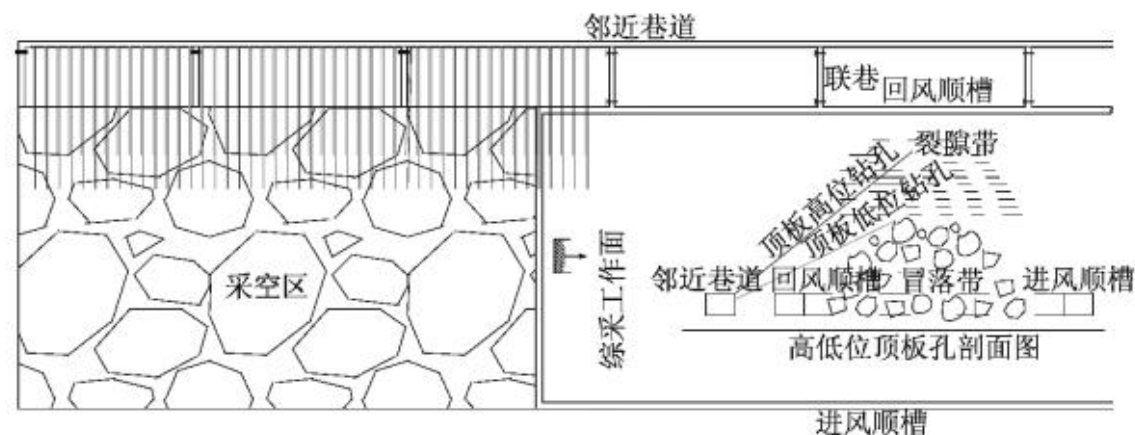
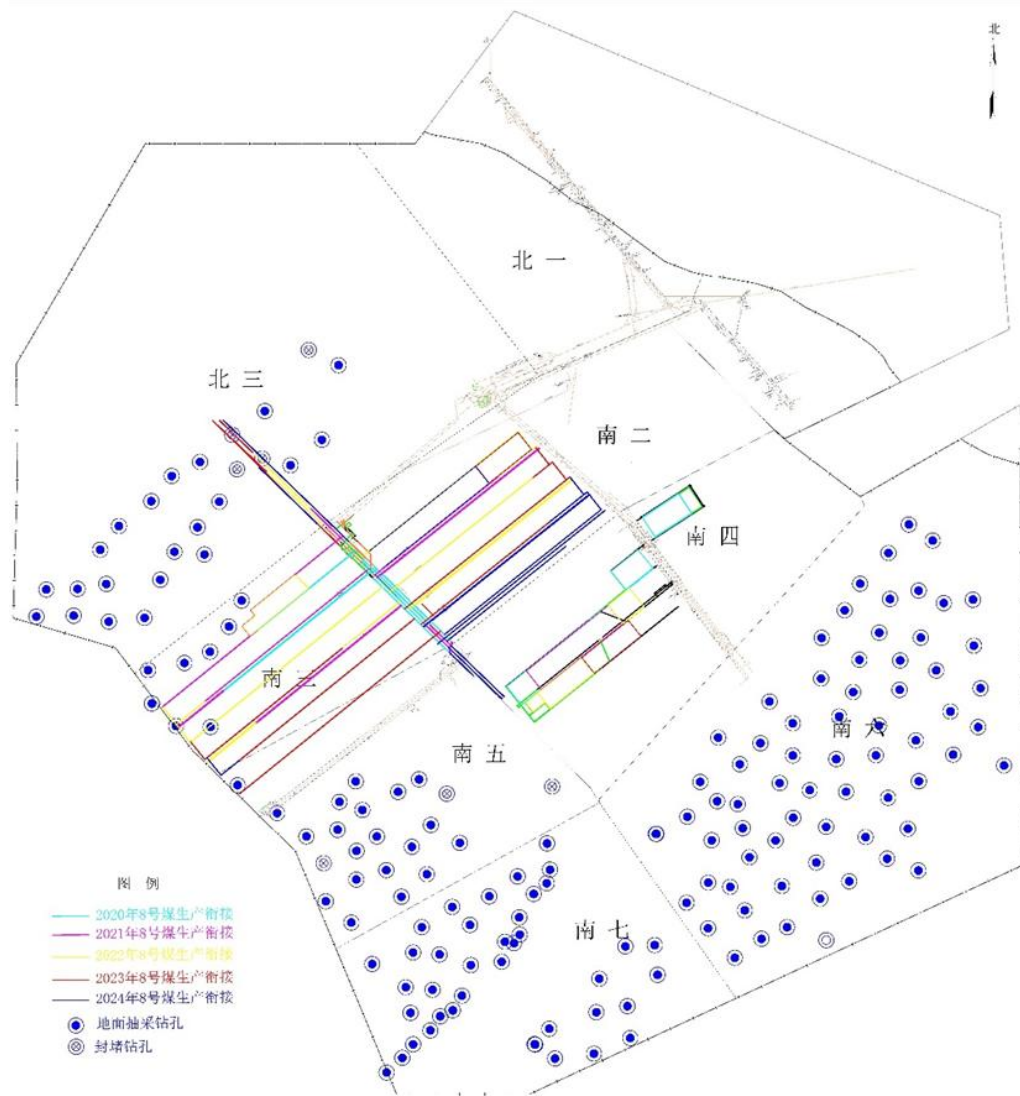
2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

- **以晋城矿区为代表的煤矿区“四区联动”煤与煤层气全域协调开发模式**：形成了以井上下联合抽采为特色的煤矿区“四区联动”整体抽采模式和技术体系，建成了晋城矿区煤层气与煤炭协调开发示范矿区，带动阳泉矿区、西山矿区、汾西矿区、离柳矿区、潞安矿区等煤与煤层气（瓦斯）共采示范基地。



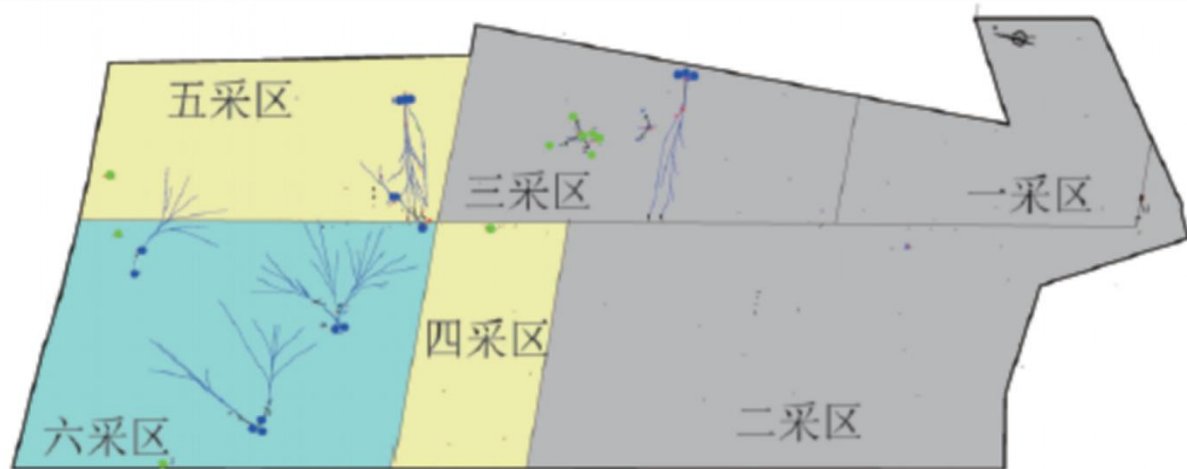
2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

● 西山矿区“三区联动”井上下联合抽采模式

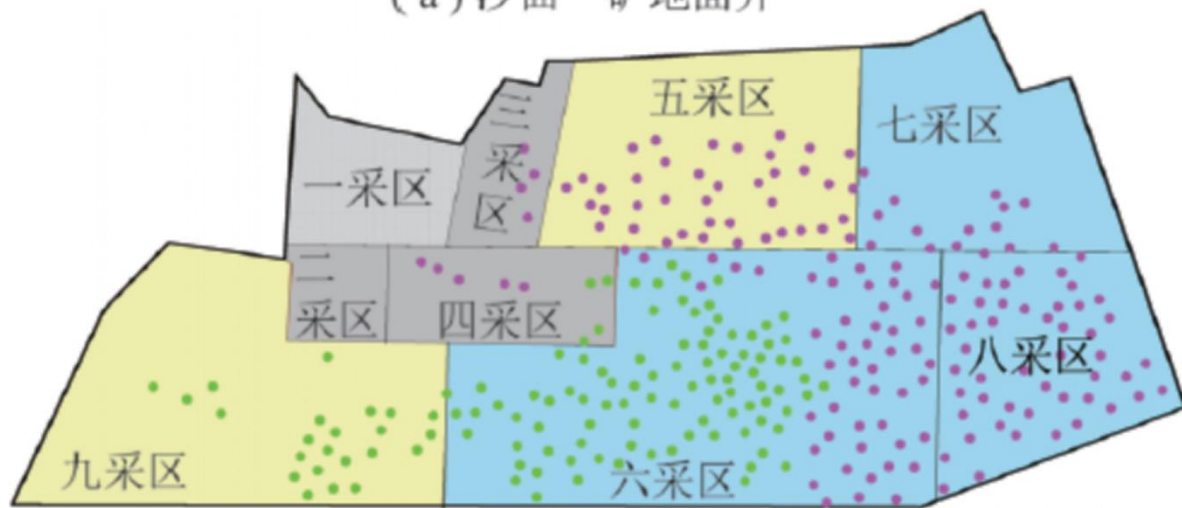


2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

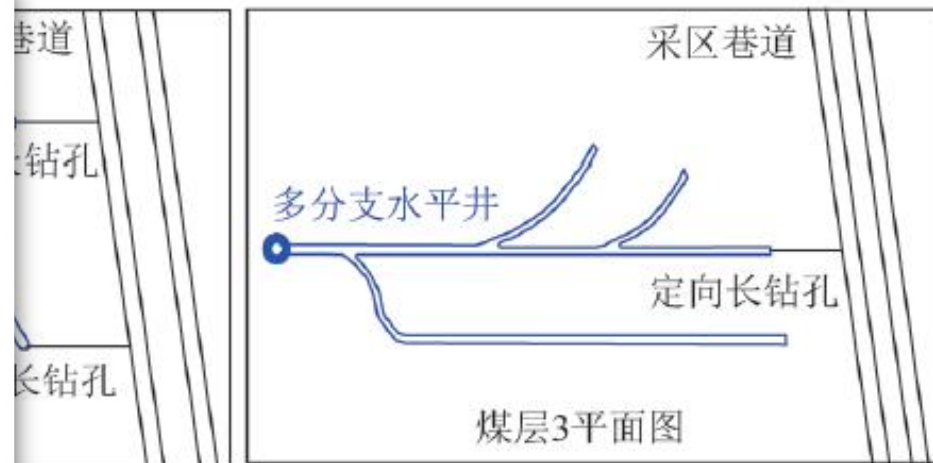
● 以华晋焦煤为代表的近距离煤层群井上下联合抽采模式



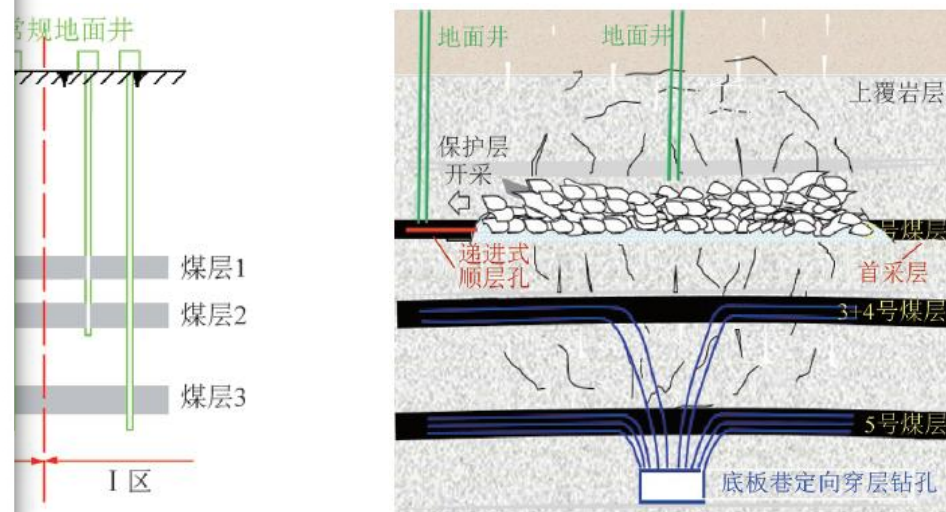
(a) 沙曲一矿地面井



(b) 沙曲二矿地面井



(b) 平面图



2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

● 阳泉矿区“7+3”瓦斯治理模式

七项瓦斯
治理技术

1 保护层开采

2 以岩保煤

3 水力压裂

4 水力冲孔造穴

5 小煤柱掘进

6 气相压裂

7 沿空留巷

三项瓦斯治
理管理手段

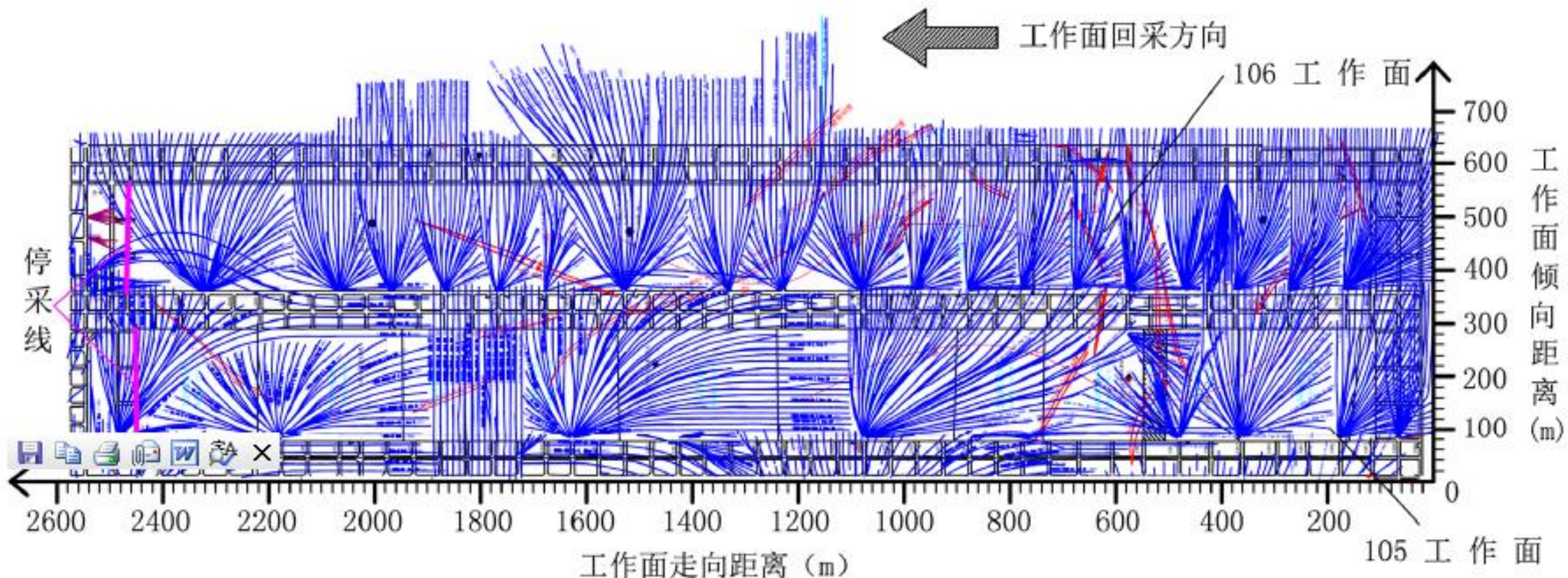
1 本煤层瓦斯抽采系统标准化管理

2 钻孔施工在线监测管理

3 精准计量管理

2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

- 井下定向长钻孔区域预抽



2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

● 井下定向长钻孔区域预抽

分区模型：

小区域：区域 < 1000m

中区域：1000m ≤ 区域 < 2000m

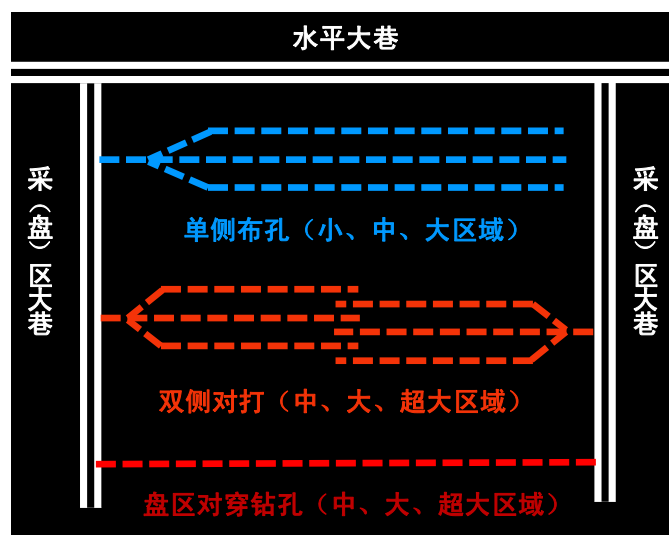
大区域：2000m ≤ 区域 < 3000m

超大区域：区域 ≥ 3000m

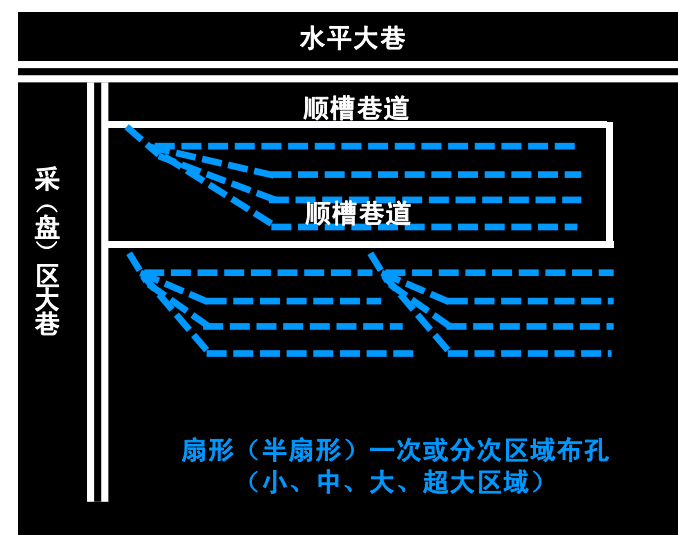
布孔模型：

采用煤或岩层层位；区域单、双侧对打布孔，区域扇形或半扇形钻孔，区域贯穿盘区钻孔等

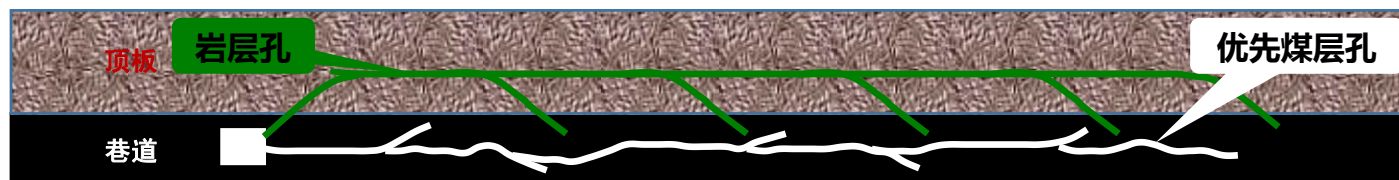
依采（盘区）大巷分区



依顺槽分区



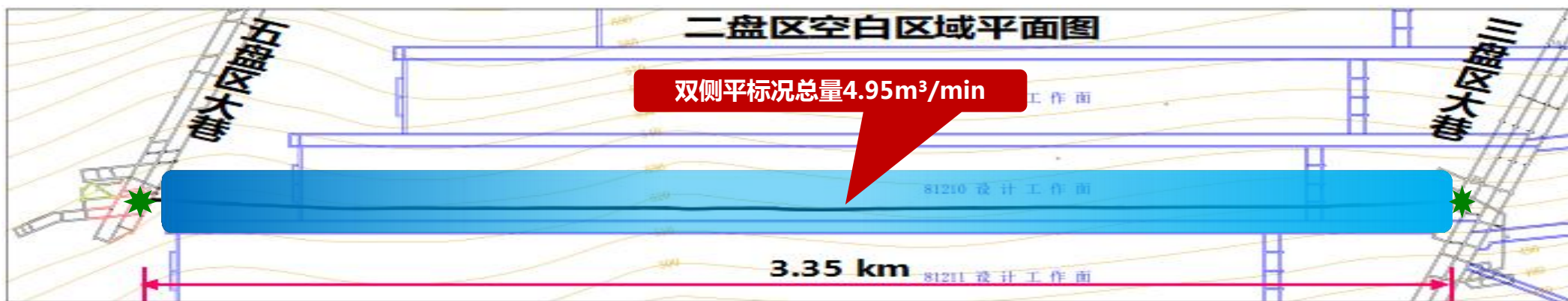
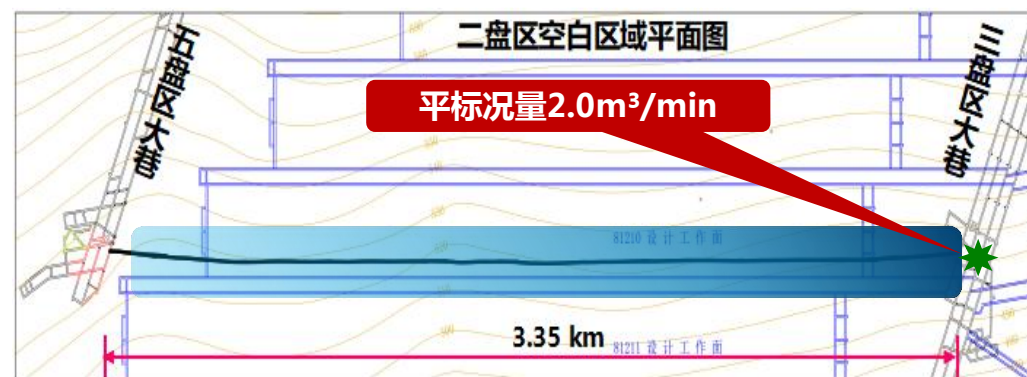
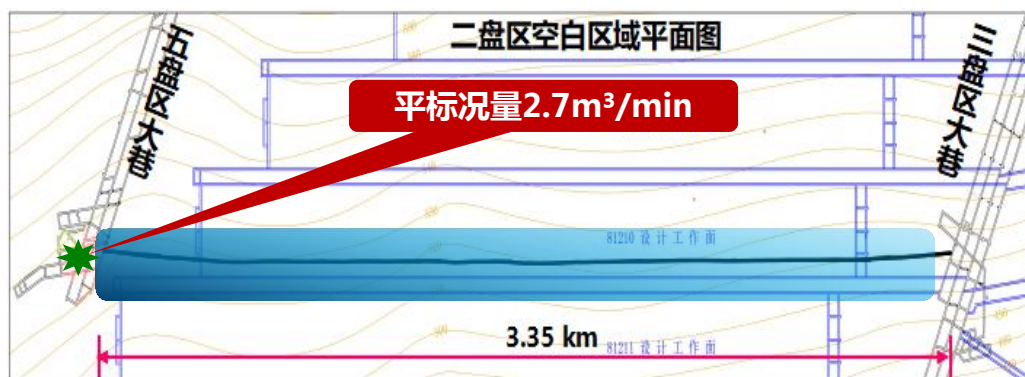
钻孔层位布置



2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

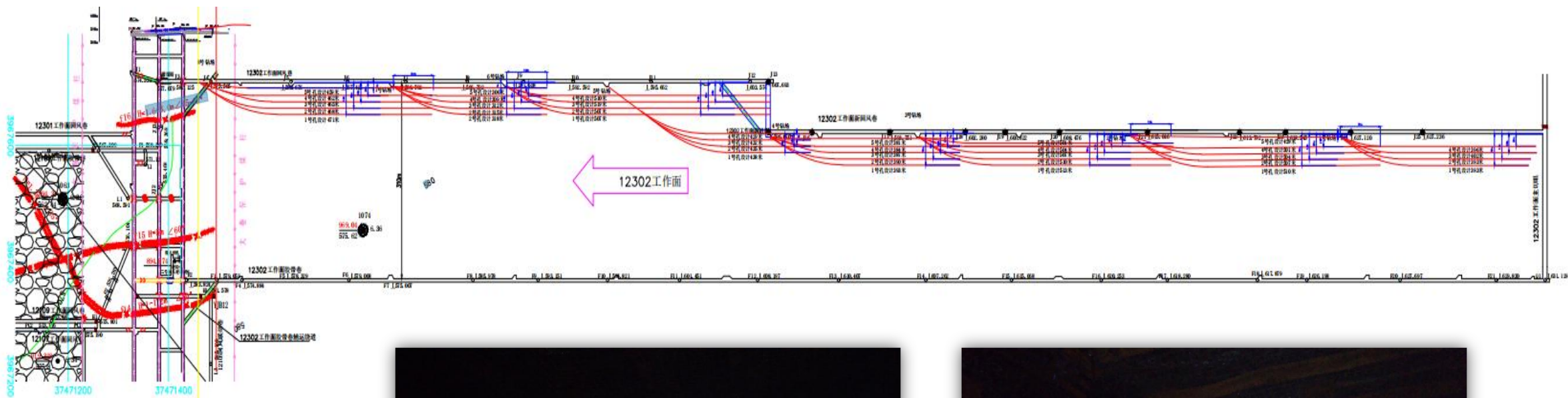
- 井下定向长钻孔区域预抽

“五盘区单侧抽采、三盘区单侧抽采，双侧同时抽采”的对比抽采量研究，结果是双侧同时抽采明显最优。



2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

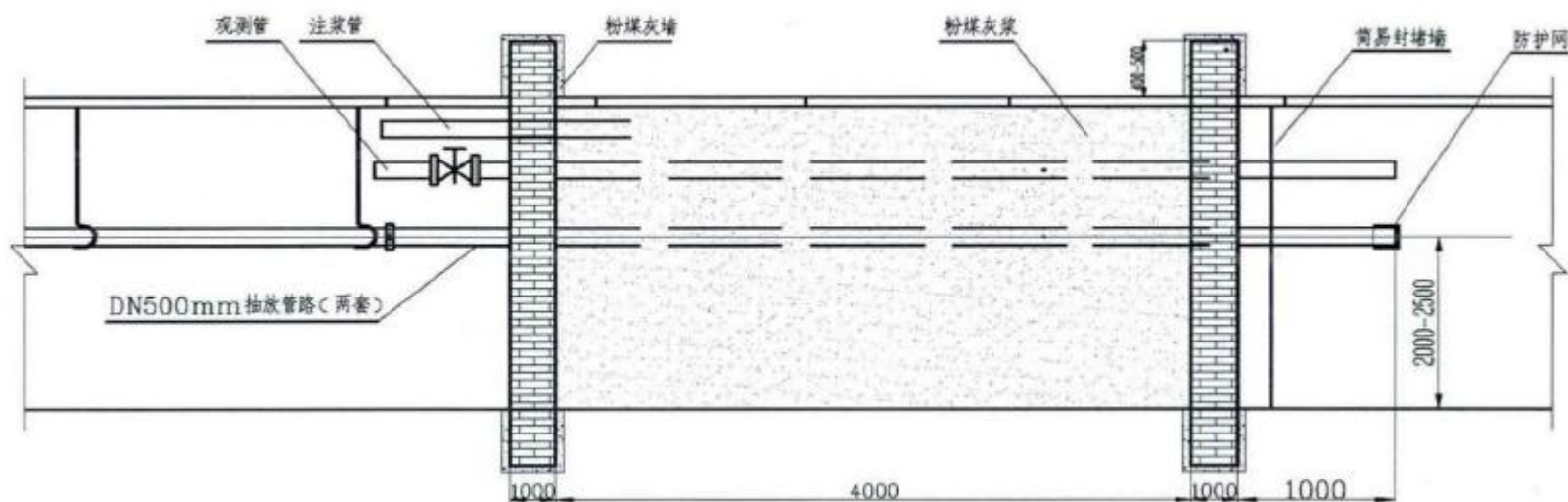
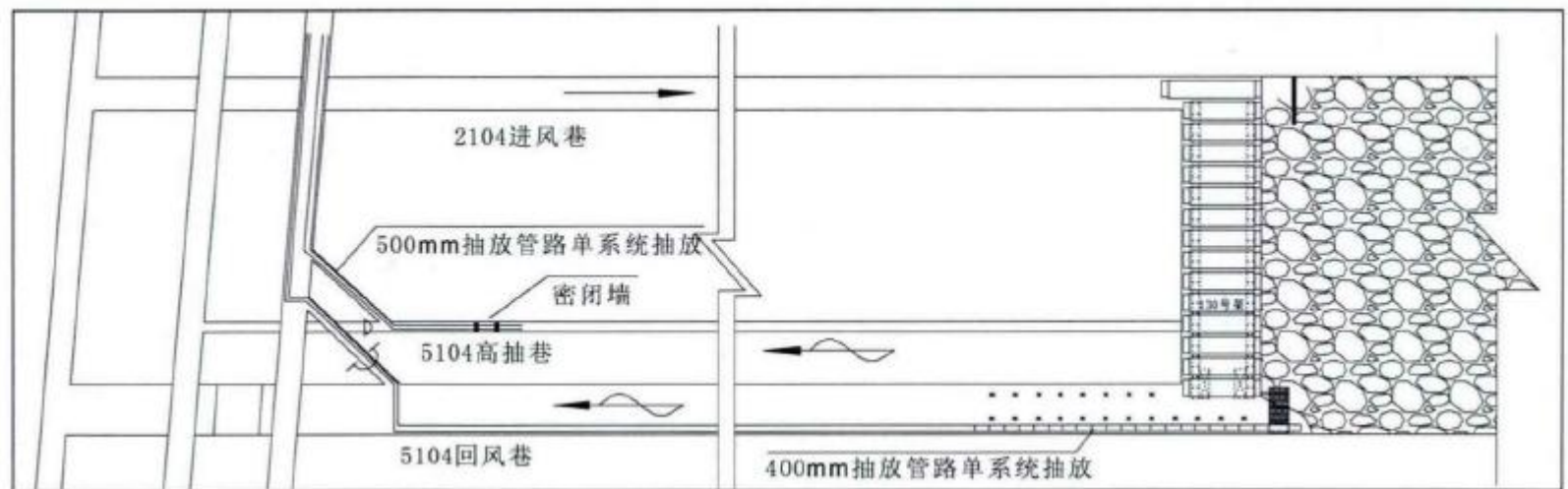
● 顶板走向定向长钻孔抽采



2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

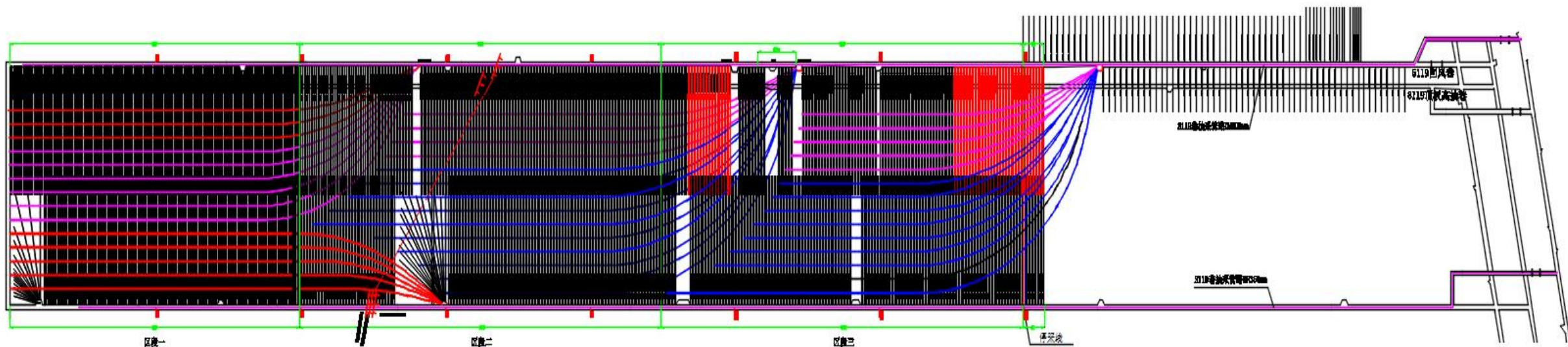
- 放顶煤开采工作面解决高瓦斯涌出问题——低位高抽巷抽采

大同塔山煤矿
潞安矿区本部矿井



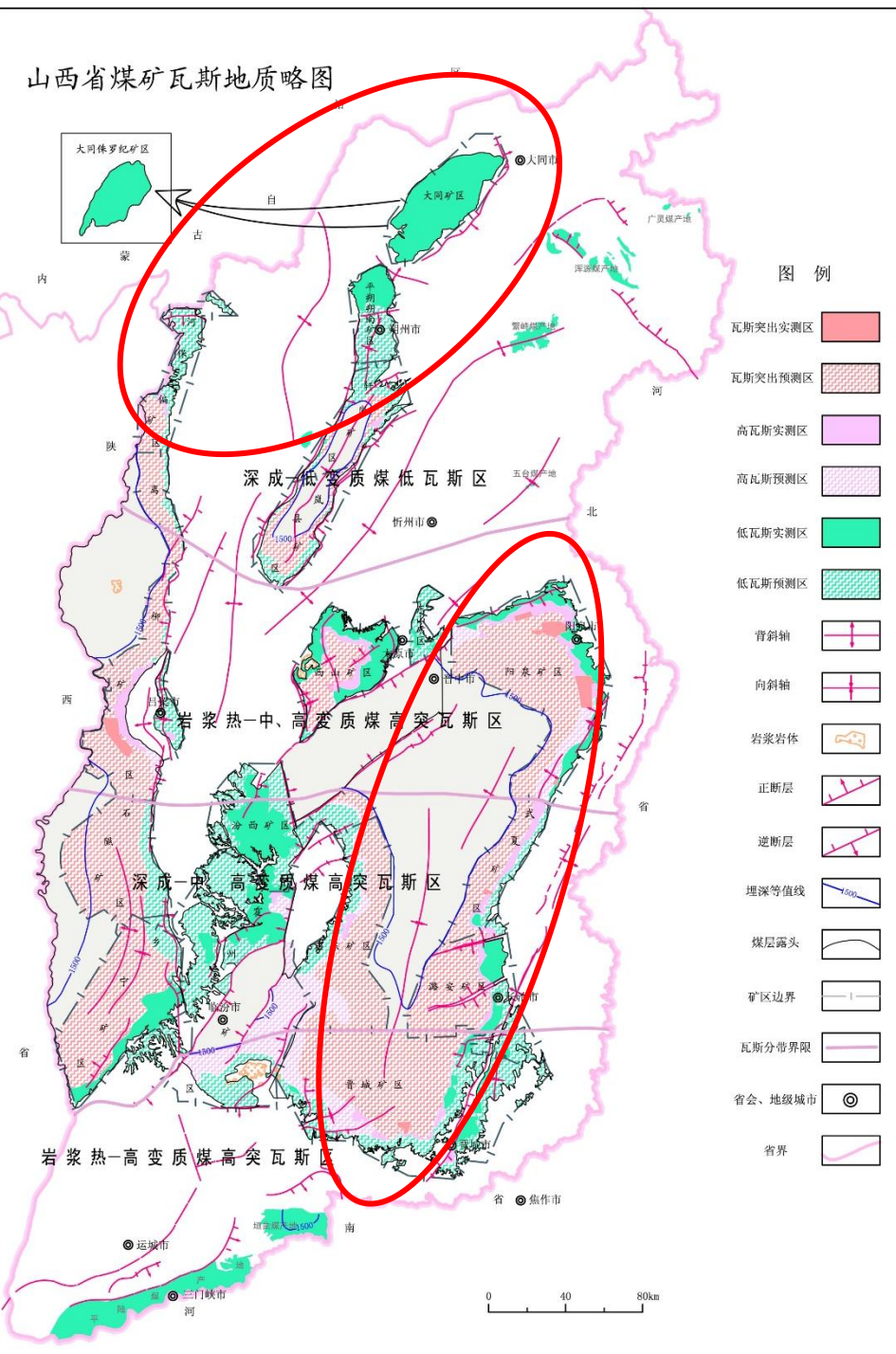
2 山西省煤矿瓦斯防治现状及存在的问题

● 特厚煤层分层立体预抽



- 共施工普通顺层预抽钻孔1659个，其中进风巷781个，回风巷878个，进尺214076m；顶分层施工定向长钻孔42个，每个区段设计钻孔14个，施工进尺24550m。
- 定向长钻孔初期单孔抽采纯量 $1\text{m}^3/\text{min}$ ，目前 $0.5\sim 0.7\text{m}^3/\text{min}$ ；本煤层普通顺层钻孔初期单孔抽采纯量 $0.04\text{m}^3/\text{min}$ ，目前 $0.01\sim 0.02\text{m}^3/\text{min}$ 。

山西省煤矿瓦斯地质略图



- 以阳泉、长治、晋城和武夏等矿区为代表的无烟煤生产基地，煤层瓦斯含量较高，一些区域为突出矿井，灾害较严重，煤层多低渗难抽采；

技术需求

- ✓ 采掘工作面突出预测预警；
- ✓ 回采面瓦斯超限预测预警；
- ✓ 低渗煤层增透与快速消突；
- ✓ 瓦斯高效抽采与提浓保浓。

- 以大同、河保偏为代表的动力煤生产基地，煤层瓦斯含量不高，由于开采强度较大，导致“低瓦斯含量赋存高瓦斯涌出”问题在一些矿井较为突出；

技术需求

- ✓ 回采面瓦斯超限预测与预警；
- ✓ 采中高效精准卸压瓦斯抽采；
- ✓ 低含量煤层采前超低化预抽。

一些矿井存在瓦斯、强矿压、水害、火灾等多灾并存的问题！

3

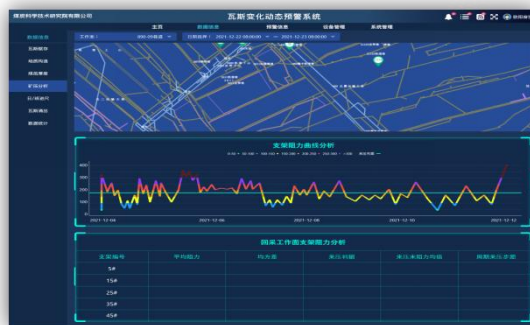
瓦斯灾害监测预警与管控

3 煤矿瓦斯灾害监测预警与管控

- 《国家中长期科技发展规划纲要》将“重大生产事故预警与救援”列入优先发展主题。
- 中国科协发布的60个重大科学问题和工程技术难题之一就是**煤矿重特大灾害智能报警**。
- 信息化、智能化是煤炭工业发展时代主题和趋势，灾害监测预警是煤矿智能化建设重要部分。



煤与瓦斯突出监测预警



异常涌出与超限预警



矿井瓦斯治理过程管控

煤矿瓦斯灾害智能预警与管控平台

- **突出预警**：解决深部高突矿井突出、复合灾害预警问题；
- **超限预警**：解决西部高强度、智能化开采瓦斯超限报警问题；
- **过程管控**：解决瓦斯治理过程全要素的信息化管控问题。

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

□ 煤与瓦斯突出得到有效遏制但仍时有发生，突出灾害呈现新特征

- ✓ 煤与瓦斯突出在瓦斯事故中占比显著增大。
- ✓ 中小型突出比例增大，吨煤突出瓦斯量较小。



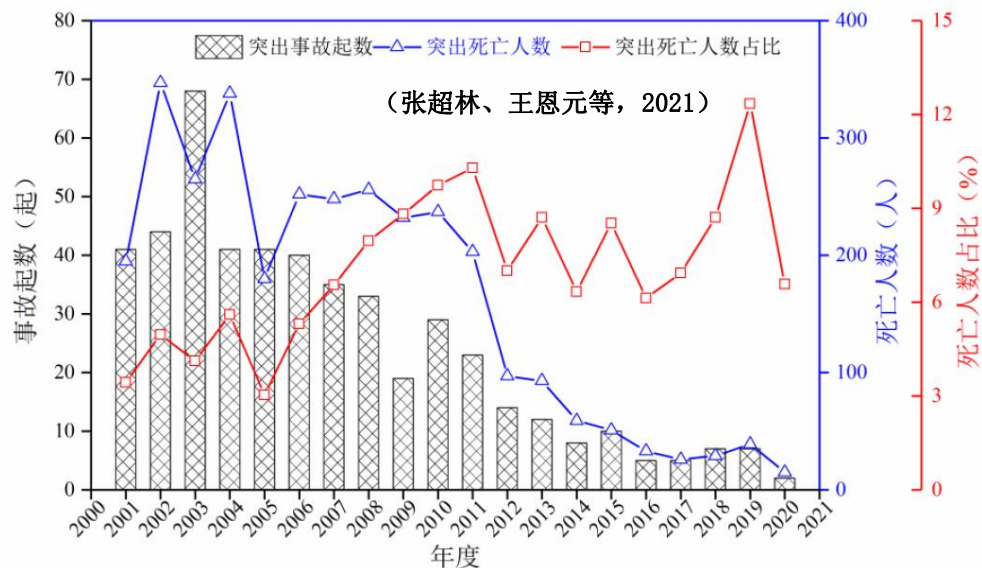
全国突出、压出、倾出平均吨煤瓦斯量：130、100、60m³/t；

——梓木嘎煤矿“8.6”突出事故煤量549t，瓦斯量1.39万m³，吨煤瓦斯量仅25m³/t；

——滴道盛和煤矿立井突出煤量67t，瓦斯量0.23万m³，吨煤瓦斯量为34m³/t；

——登封市兴屿煤矿“1.4”突出事故，煤量254t，瓦斯0.6万m³，吨煤瓦斯量23m³/t；

——乔子梁煤矿突出煤量820t，突出瓦斯量为3.34m³，吨煤突出瓦斯量40.7m³/t。



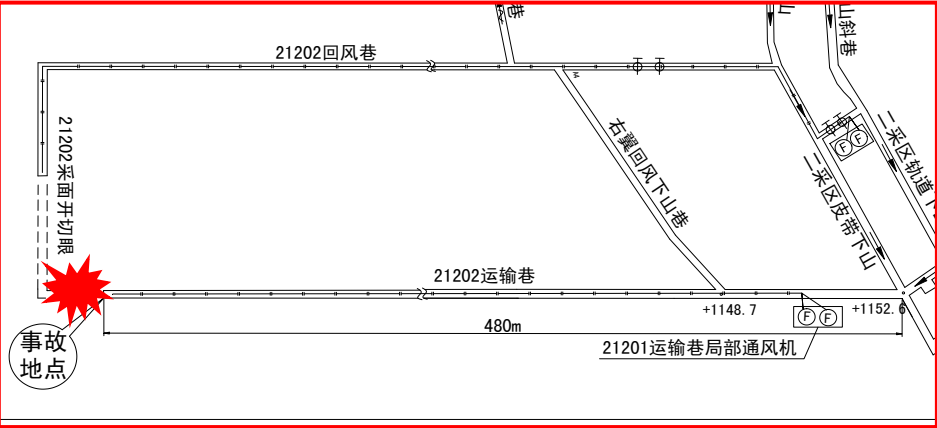
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

❑ 低瓦斯矿井发生突出次数增多，一些低瓦斯煤田的低瓦斯矿井也发生了突出。

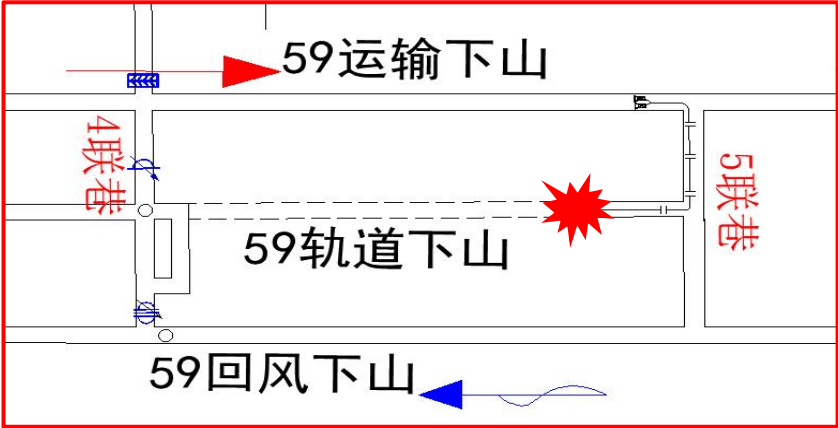
贵州广隆煤矿2019.12.16突出事故

年度	瓦斯绝对涌出量 (m³/min)	瓦斯相对涌出量 (m³/t)	二氧化碳绝对涌出量 (m³/min)	二氧化碳相对涌出量 (m³/t)	瓦斯等级鉴定结果
2010	2.16		1.56		低瓦斯矿井
2011	1.83	6.1	0.37	1.23	低瓦斯矿井
2012	2.27	9.61	1.51	6.41	低瓦斯矿井
2016	2.17		0.89		低瓦斯矿井
2018	2.74	8.77	1.03	3.3	低瓦斯矿井



陕西乔子梁煤矿2020.11.4突出事故

年度	瓦斯绝对涌出量 (m³/min)	瓦斯相对涌出量 (m³/t)	二氧化碳绝对涌出量 (m³/min)	二氧化碳相对涌出量 (m³/t)	瓦斯等级鉴定结果
2011	1.47	7.06		1.88	低瓦斯矿井
2014	2.16		2.20		低瓦斯矿井
2016	0.59	3.06	0.93	4.81	低瓦斯矿井
2018	1.81	1.71	3.08	2.91	低瓦斯矿井
2020	0.84				低瓦斯矿井



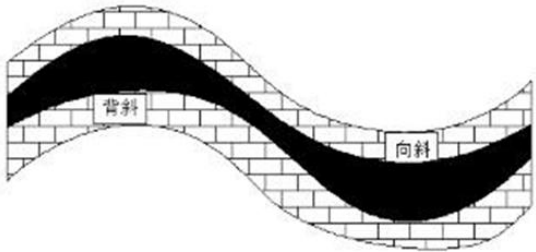
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



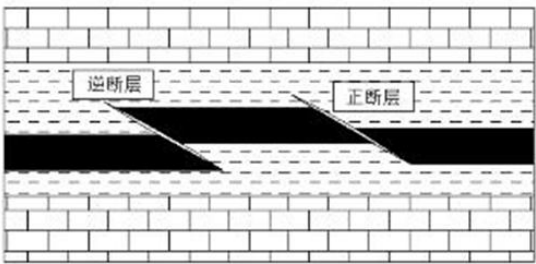
■ 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

□ 突出多发生在地质结构异常区，多由采掘作业扰动诱发

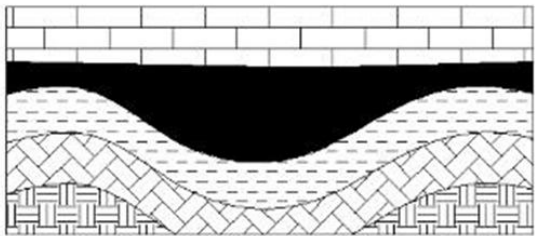
时间	突出发生地点	突出煤量 (t)	突出瓦斯量 (m³/t)	地质条件特征
2022.3.15	云南平庆煤矿117805掘进面	不详	不详	煤层变厚带 厚度3.5~5.3m
2022.3.2	贵州利民煤矿回风斜井延伸巷掘进面	792	76632	逆断层 落差约2m
2021.4.9	贵州东风煤矿10901工作面切眼掘进面	1028	54000	地质构造 煤层变厚
2021.3.25	山西石港煤业15210进风巷掘进面	不详	不详	小构造 构造煤变厚
2020.11.4	陕西乔子梁煤矿59采区综掘面	820	33380	煤层变厚带 厚度0~6.5m
2020.06.01	陕西燎原煤业1105工作面运顺掘进面	不详	不详	构造区 厚度0~6.75m
2019.12.16	贵州广隆煤矿21202运输巷掘进工作面	414	42300	煤层变厚带 厚度2.5~5.6m
2019.11.25	贵州三甲煤矿41601运输巷掘进工作面	784	9590	正断层 落差1.3m
2018.08.16	平煤十三矿己 ₁₅₋₁₇ 11111采煤工作面	301	10123	煤层变厚带 厚度5.0~8.0m
2018.05.22	河南新义煤矿11090胶带机巷掘进面	1917	82843	煤层变厚带 厚度5~10.0m



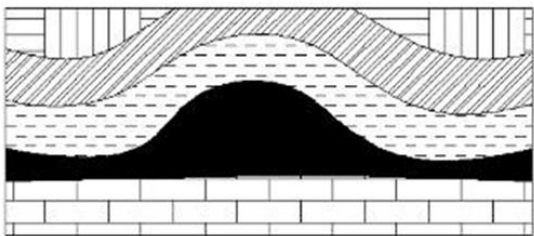
(a) 褶曲



(b) 断层



(c) 下局部变厚带



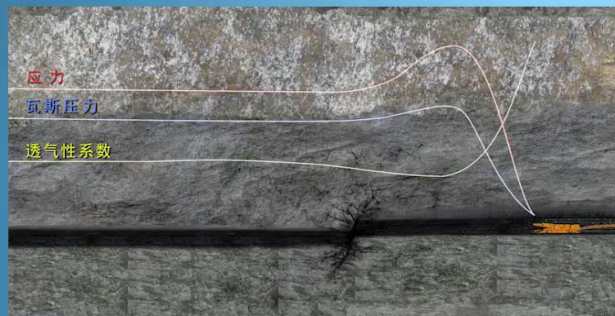
(d) 上局部变厚带

两个“四位一体”防突措施作用明显，但局部异常难以超前预测，防不胜防！“低指标突出、高指标不突”现象常见。

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 地质构造异常区突出为何容易发生？

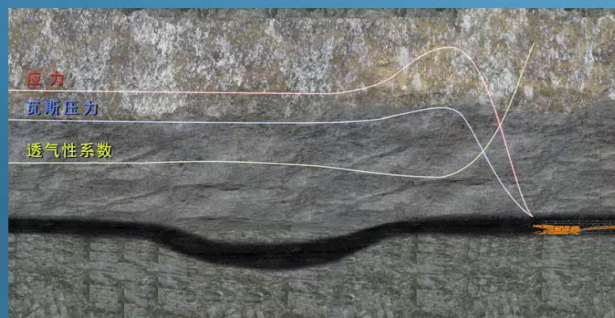
□ 采掘工作面过典型异常地质结构区统一孕灾规律



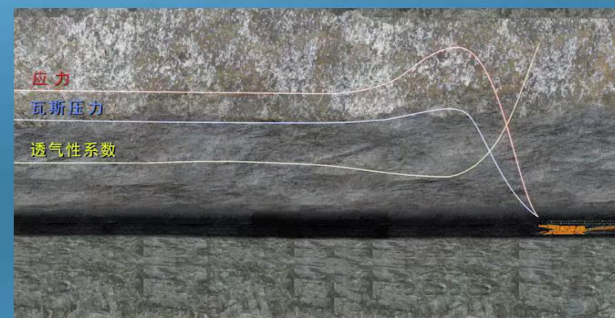
断层破碎带



煤层厚度变化带



褶曲构造

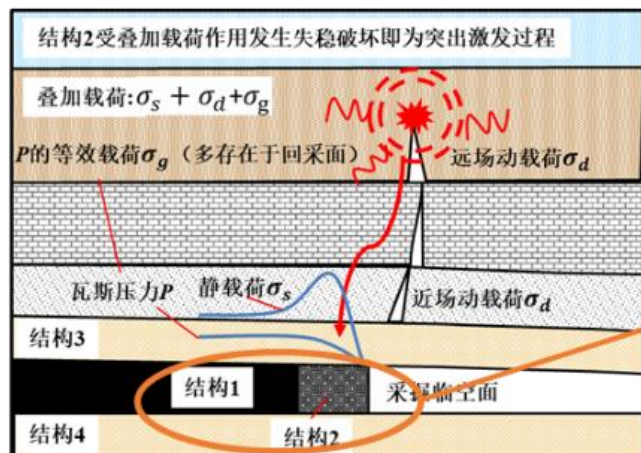
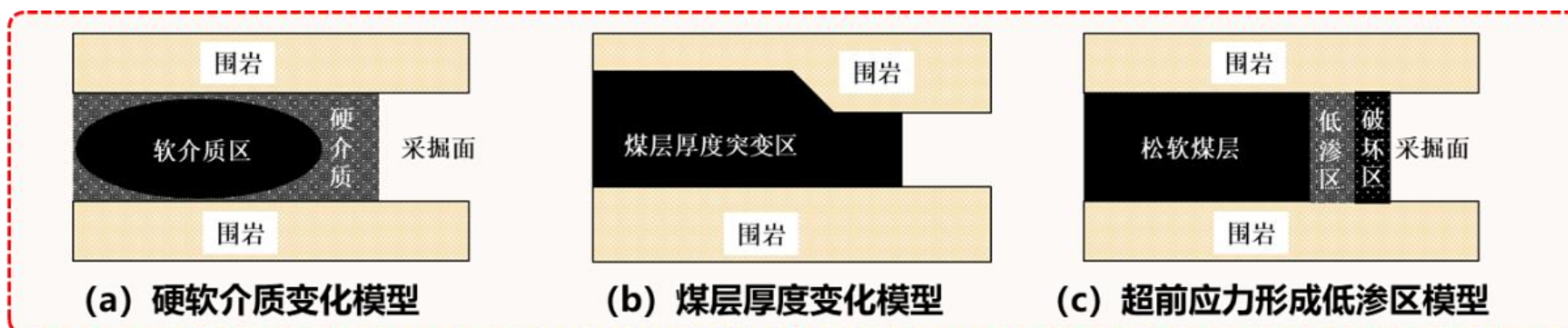


软硬煤变化带

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

□ 将突出机理研究与现场工程结构相结合，提出了煤与瓦斯突出关键结构体模型



煤与瓦斯突出关键结构体模型

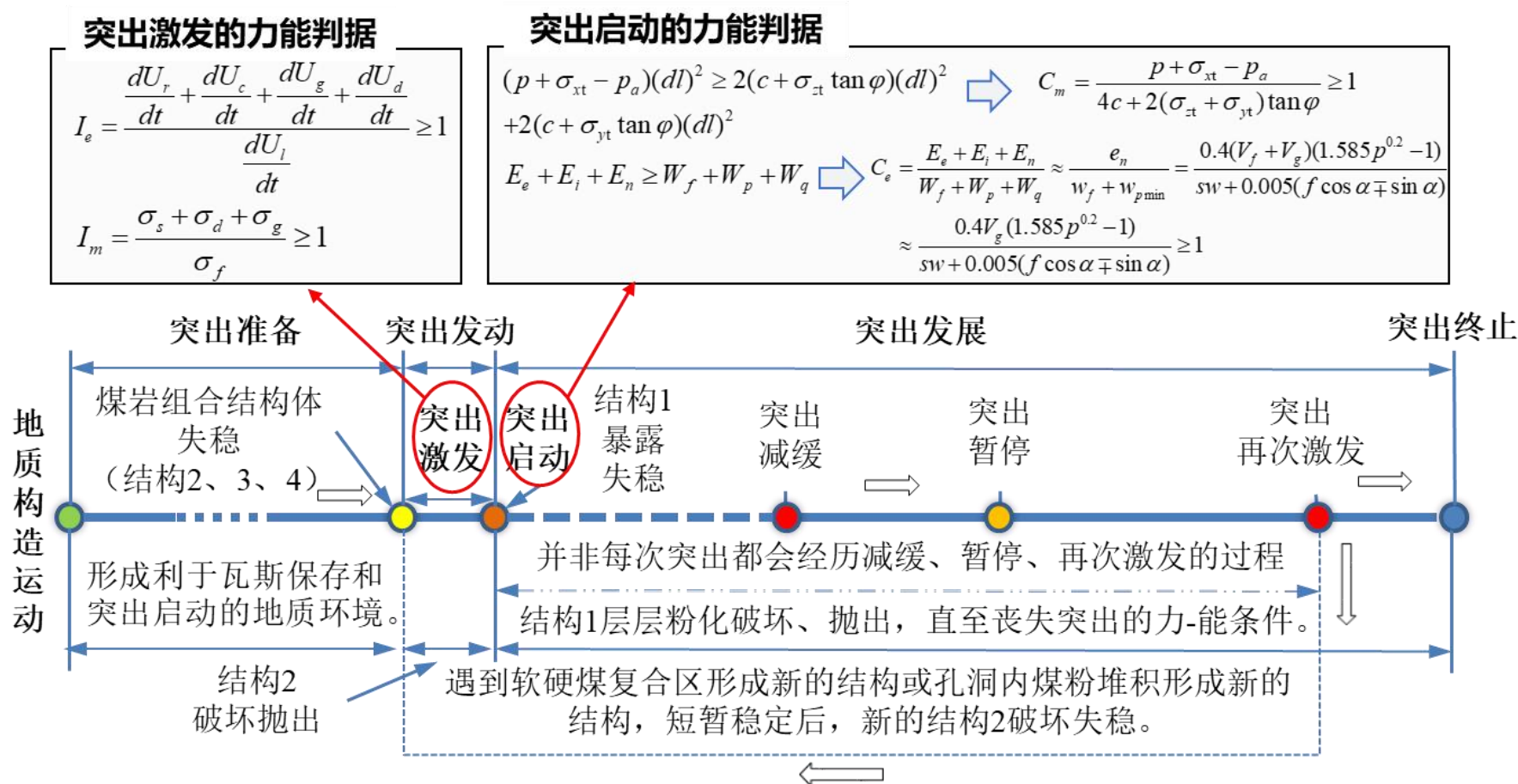


- 结构1: 含有高能瓦斯, 满足煤分层具有突出危险性介质条件的突出煤体;
- 结构2: 对结构1起包裹-支撑作用的非突出煤体或岩柱;
- 结构3和4: 煤层顶底板或非突出煤体。

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

□ 基于关键结构体模型，剖析了突出过程，建立了突出激发和启动的力-能判据

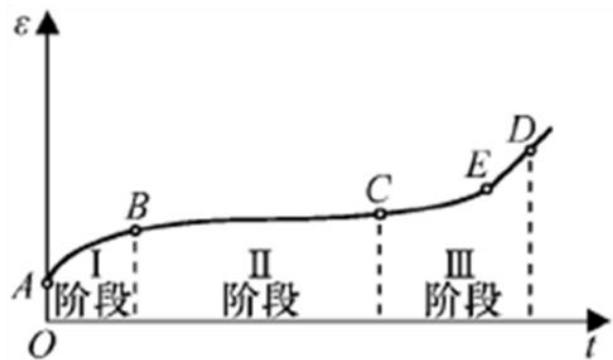


3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

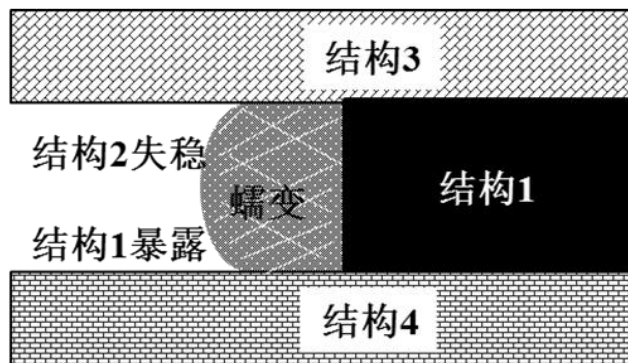
■ 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

□ 基于关键结构体模型，将典型突出划分为D-QSL和L-DL两种类型

准静载作用下的延迟突出



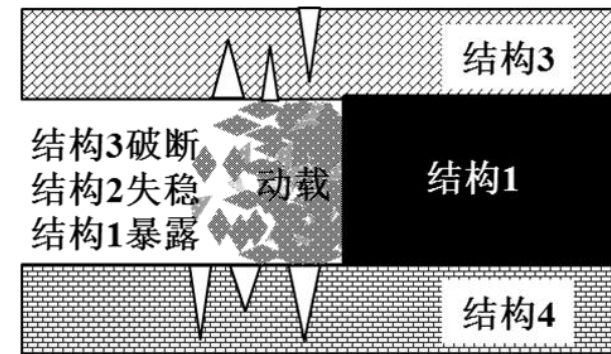
(a) 结构2的蠕变过程 (D-QSL)



(b) 结构2的蠕变失稳 (D-QSL)



(c) 采掘作业一次性剥落结构2 (L-DL)



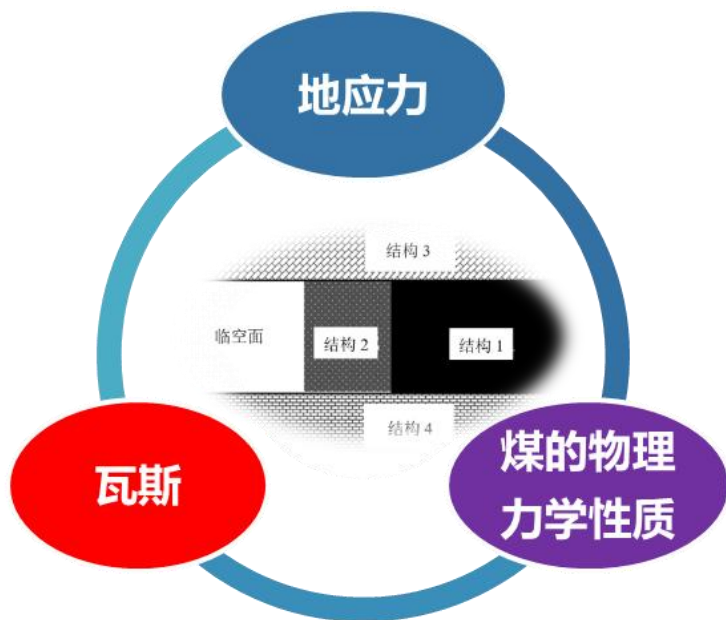
(d) 结构2受围岩动载作业失稳破坏 (L-DL)

动载作用下的瞬时突出

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

煤与瓦斯突出成功启动除应具备地应力、瓦斯和煤的物理力学性质3个方面的因素外，**三者还必须共同作用形成**利于瓦斯保存及突出启动的**地质结构环境（关键结构体）**。



$$C_m = \frac{p + \sigma_{xt} - p_a}{4c + 2(\sigma_{zt} + \sigma_{yt}) \tan \varphi} \geq 1$$

$$C_e \approx \frac{0.4V_g(1.585p^{0.2} - 1)}{sw + 0.005(f \cos \alpha \mp \sin \alpha)} \geq 1$$

从突出启动力能条件来看：

煤层瓦斯压力越大、煤体强度越低，突出危险性越高。

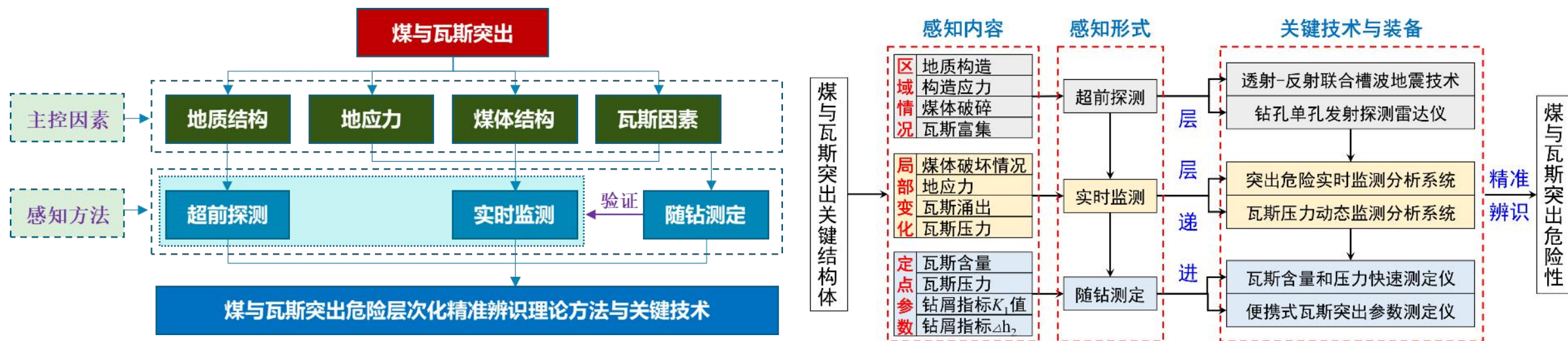
地应力大小对突出的影响比较复杂，沿采掘巷道轴向的水平应力越大，突出危险性越高，而垂直于巷道轴向的应力通过控制煤体剪应力大小、煤体破坏程度和强度、煤体渗透率和瓦斯压力梯度等影响着采掘工作面突出危险性大小。

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 基于关键结构体致灾理论，提出突出灾害风险层次化精准预警思路

- 采用物探和钻探相结合，超前精细探测采掘工作面周围存在的地质结构异常区；
- 采用微震和瓦斯涌出监测相结合，分析煤体结构、地应力和瓦斯大小变化规律；
- 采用随钻测定相关特征参数方法，进一步验证超前探测和实时监测的预测结果。



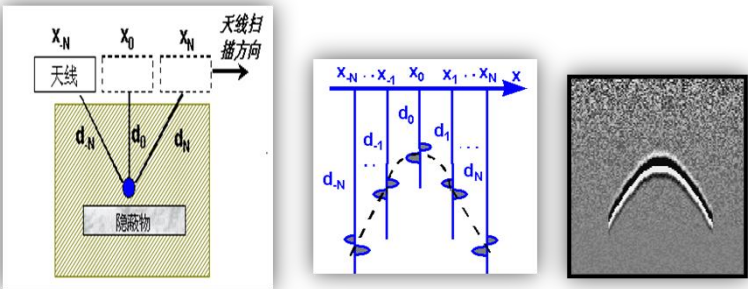
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 钻探和物探（特别是孔内物探）相结合的精细探测技术与装备

针对突出煤层内存在的小构造和煤层厚度变化区难以探测问题，结合突出煤层中施工的大量超前预测和抽采钻孔，重点研发和试验应用了钻孔雷达探测技术。



雷达可测量信号到达目标的传输时间，利用传播速率计算出目标的距离。

当满足下面条件时，隐蔽物可由雷达探出：
1、在天线信号范围之内
2、信噪比适当

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

R 为反射系数； ϵ_1 、 ϵ_2 为围岩和有害地质体的介电常数。

H 为异常体深度，m；V 是电磁波在地下介质中的传播速度。

C 是电磁波在大气中的传播速度，约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ；

ϵ 为相对介电常数，取决于地下各层构成物质的介电常数。

$$H = V \cdot \Delta T / 2$$

$$V = C / \sqrt{\epsilon}$$



主要特征参数：

- a) 天线频率：70兆到150兆赫兹；b) 天线类型：耦极天线；
- c) A/D转换16位；d) 数据传输：光纤；f) 工作方式：单孔反射；
- g) 天线重量5.2kg，长度150cm，直径40mm。

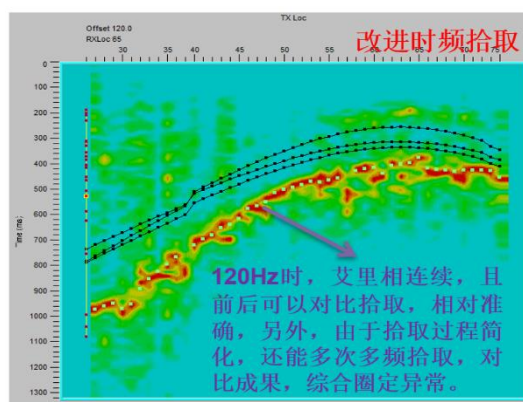
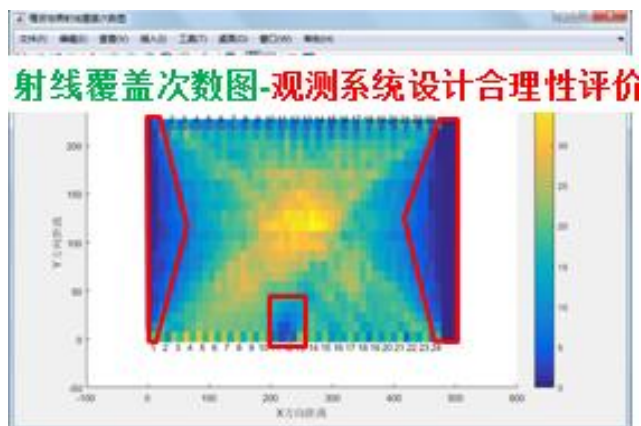
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

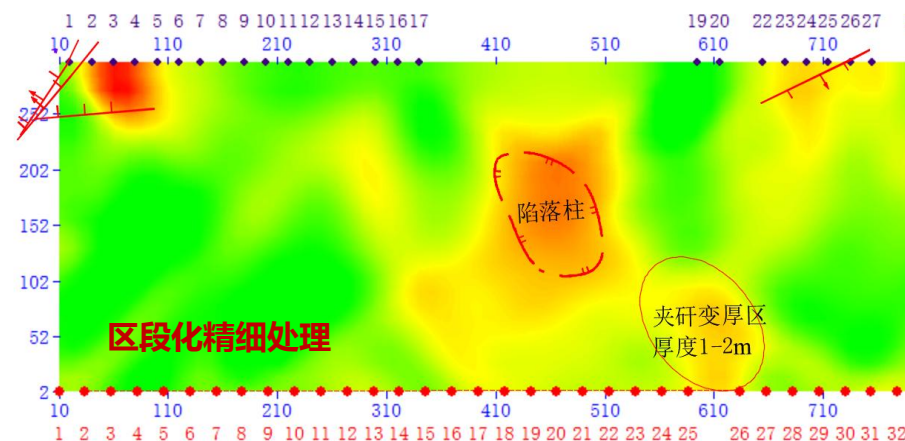
□ 钻探和物探（特别是孔内物探）相结合的精细探测技术与装备

采用透射-反射联合槽波地震方法，实现了对断层、陷落柱和煤岩体破碎带等异常地质体的精准探测，为回采面突出危险区的预判提供了可靠的技术支撑。

- 基于实测弹性参数和三维仿真模型地震波场正演模拟，获得了**典型地质异常体的地震波场特征**；
- 自主开发了观测系统设计软件ISS_DESIGN，实现了**观测系统快速优化和评价**；
- 在软件和硬件两方面实现了炮点延时校正，解决了**矿用非瞬发雷管延迟问题**；
- 实现了**多道走时快速拾取及横向对比分析处理**，提高了处理效率和可视性；
- 实现了小微构造区段化精细处理技术，提高了**局部弱异常地质体探测效果**。



“单炮多道-多次多频”拾取



3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

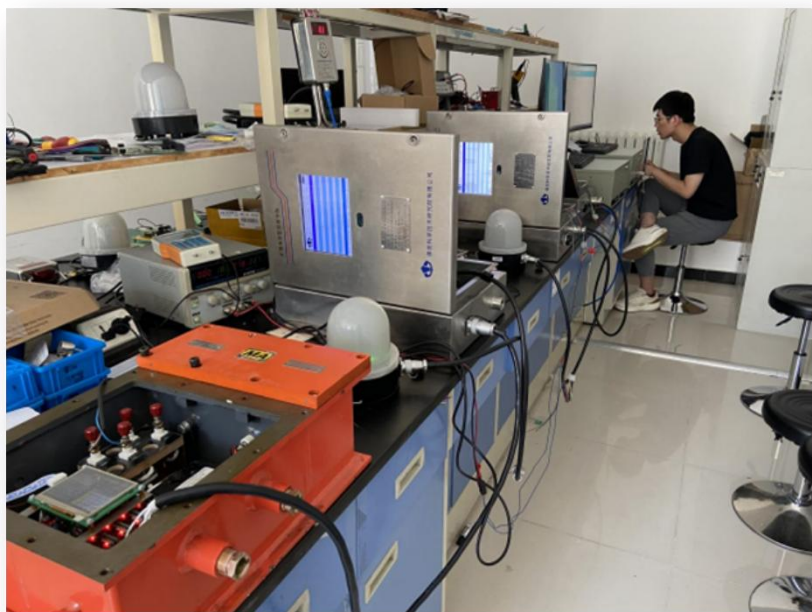
■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 多元信息一体化监测、采集与上传技术

超前探测、实时监测、随钻测定信息一体化监测、采集与上传分站

配接容量：分站所能接入微震传感器数量 ≥ 8 个、甲烷/风速传感器 ≥ 4 个。

传输方式：分站与煤层瓦斯突出参数测定仪的数据传输为无线传输。



3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 突出预测指标随钻采集与就地上传

YTC10-W智能型煤层瓦斯突出参数测定仪



产品特色

- 测定煤钻屑瓦斯解吸指标 k_1 值，以确定工作面煤与瓦斯突出危险性；
- APP应用通过接收采集仪与采样时间间隔相匹配的压力值，计算出钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值；
- 通过蓝牙无线打印机进行，还能与井下分站进行无线连接并将数据上传到地面主机；
- 装置具有功能强、模块化、体积小、重量轻、操作简单、性能可靠、防潮防尘及性能好等优点。

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 突出预测指标随钻采集与就地上传

YTC10 (A) 瓦斯突出参数测定仪

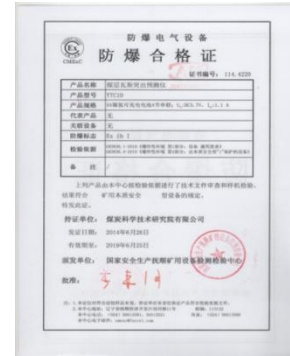
创新实现了 K_1 和 Δh_2 双指标双通道随钻快速测定和就地上传。

产品特点:

- ◆ K_1 值、 Δh_2 值基于电算方法的双指标双通道同时测定以及S值测定；
- ◆ 数据显示、存储、传输、打印功能；
- ◆ 自动计时功能（无需另配秒表）；
- ◆ 产品便携性：手持便携式，主机重量 < 600g；
- ◆ 适用气压范围：80-120Kpa；
- ◆ 压力测量精度等级：1.5级；
- ◆ 电池供电连续工作时间不少于8h。



安标与防爆证书等



突出预测指标随钻采集与就地上传

自主研发的便携式煤层瓦斯参数快速测定仪器，用于煤矿井下原始煤层瓦斯含量、瓦斯压力及连续解吸量等瓦斯相关参数的现场快速测定和记录。

- ◆ 实现煤矿井下采掘工作面煤层瓦斯含量及压力10min内直接快速测定、存储、记录、上传及打印；
- ◆ 实现井下煤层瓦斯连续解吸量的自动测定和分析（替代解吸仪功能）；
- ◆ 本仪器携带方便、操作简便、测定准确、高效快捷等优点。



安标与防爆证书

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

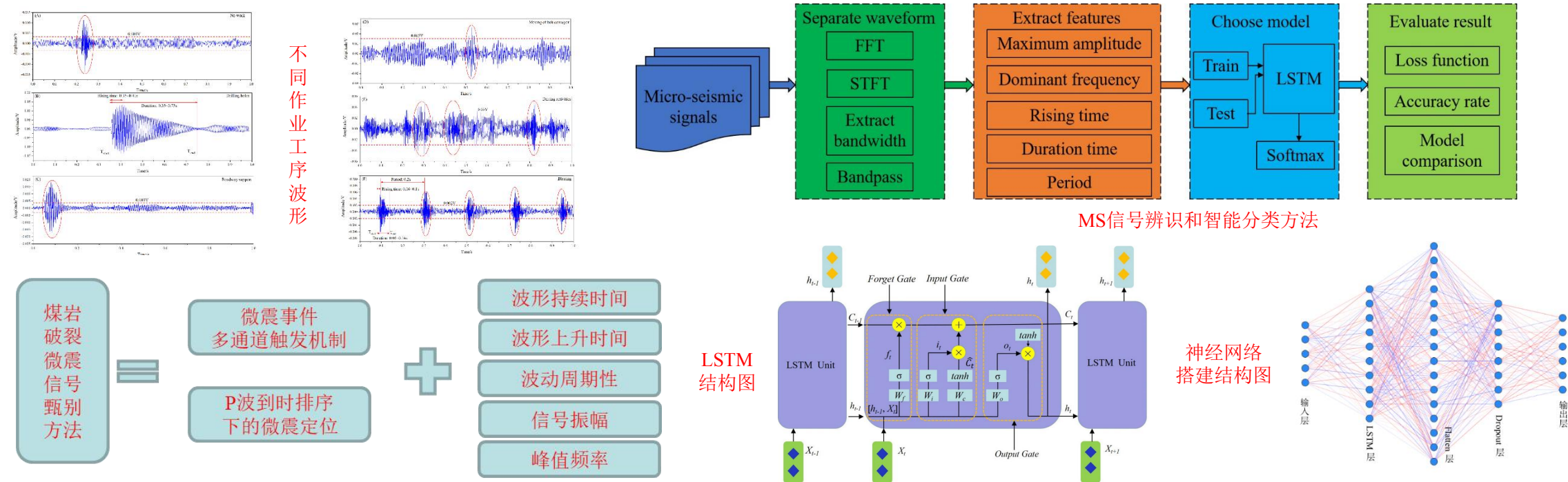


煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

多元信息融合智能精准预警

采掘工作面近场区域微震信号波形分析及智能甄别

提取微震信号的波形持续时间、波形上升时间、波动周期性、信号振幅和峰值频率等特征，采用长短期记忆网络（LSTM）算法，对不同作业工序的微震信号进行聚类分析，智能判识煤岩破裂信号。



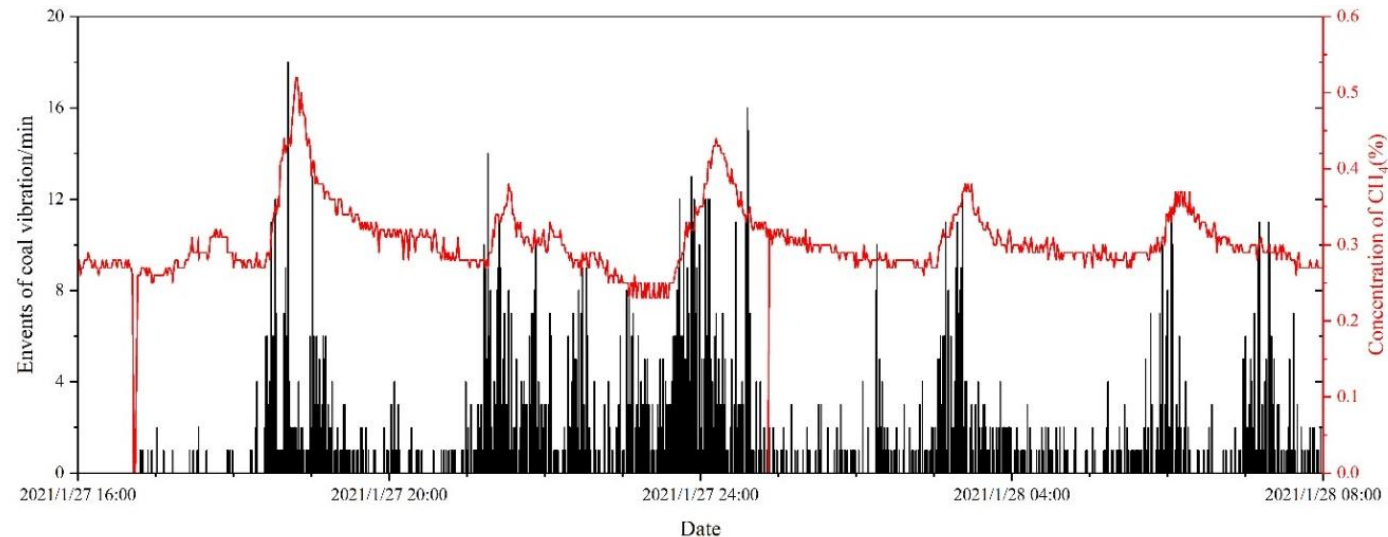
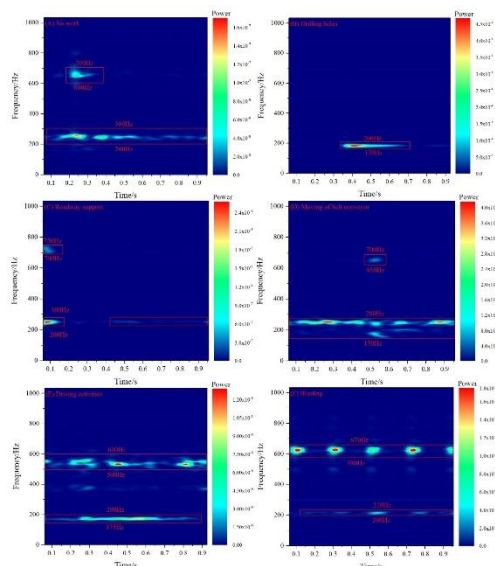
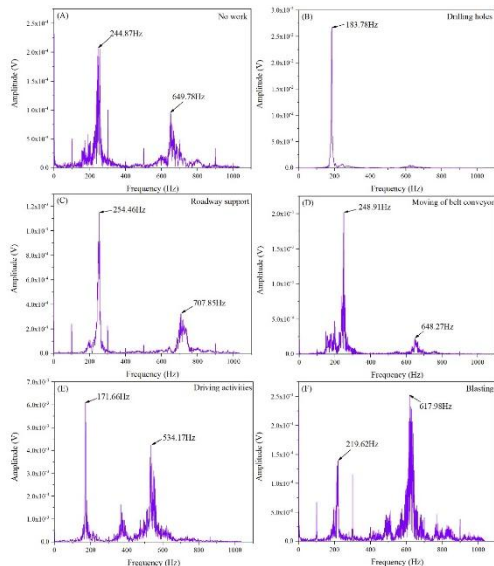
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 多元信息融合智能精准预警

采掘工作面近场区域微震信号波形分析及智能甄别

提取微震信号的波形持续时间、波形上升时间、波动周期性、信号振幅和峰值频率等特征，采用长短期记忆网络（LSTM）算法，对不同作业工序的微震信号进行聚类分析，智能辨识煤岩破裂信号。



煤岩破裂信号和瓦斯涌出的关系曲线

3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



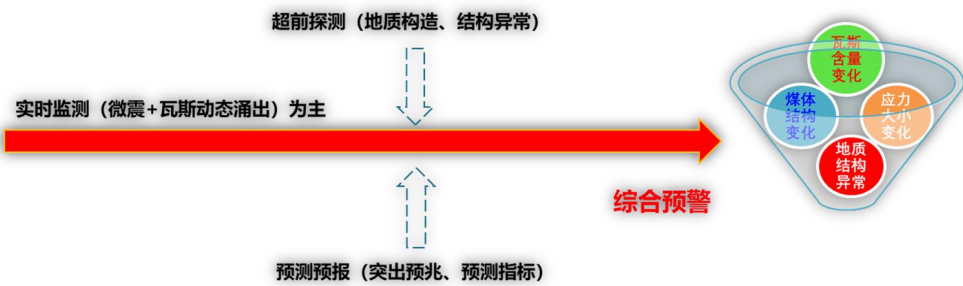
■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 多元信息融合智能精准预警 多元信息融合预警模型

构建了一种融合瓦斯地质异常体、微震信号、瓦斯涌出以及煤层瓦斯参数等异构数据的分类分级实时监测综合预警模型，可表征多种致灾因素数值大小、数据波动、演化趋势和异常状态等特征信息，能够综合反映出采掘工作面前方地质结构、煤体结构变化、地应力和瓦斯大小变化特征。

滑动平均值	$A(m)_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_{t-i+1}$	波形持续时间均值	$T_a(t) = \frac{1}{b_t} \sum_{i=(t-1)}^t T_i$
离散率	$V(n)_t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{t-i+1} - A(n)_t)^2$	振幅均值	$A_a(t) = \frac{1}{b_t} \sum_{i=(t-1)}^t A_i$
变化率	$Y(L)_t = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (a_{t-i+1} - a_{t-i-L+1})$	峰值频率均值	$f_a(t) = \frac{1}{b_t} \sum_{i=(t-1)}^t f_i$
异常持续时间	$N(k)_t = \sum_{i=1}^k (A(m)_{t-i+1} \geq e_1)$	微震时频变化特征指数	$I_{m2} = w_T \times T_a(t) + w_A \times A_a(t) + w_f \times f_a(t)$
微震事件变化特征指数	$I_{m1} = w_1\alpha + w_2\beta + w_3\gamma + w_4\delta$	微震变化特征指数	$I_m = w_{m1} \cdot I_{m1} + w_{m2} \cdot I_{m2}$

滑动平均值	$A(m)'_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{t-i+1}$	离散率	$V(n)'_t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_{t-i+1} - A(n)'_t)^2$
变化率	$Y(L)'_t = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (c_{t-i+1} - c_{t-i-L+1})$	异常持续时间	$N(k)'_t = \sum_{i=1}^k (A(m)'_{t-i+1} \geq e'_1)$
瓦斯涌出量变化特征指数	$I_g = w'_1\alpha' + w'_2\beta' + w'_3\gamma' + w'_4\delta'$		



促进了突出预测工作由点预测向面预测、由间断式向连续式、由接触式向接触-非接触式相结合的转变。

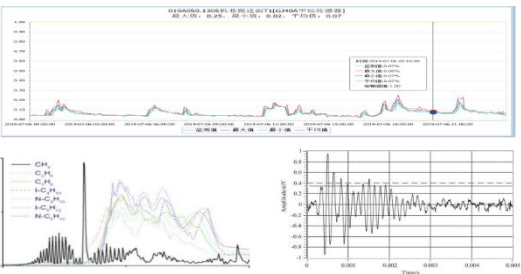
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



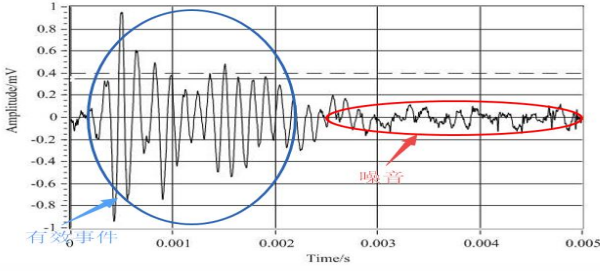
煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

多元信息融合智能精准预警 预警模型关键参数自学习动态调优

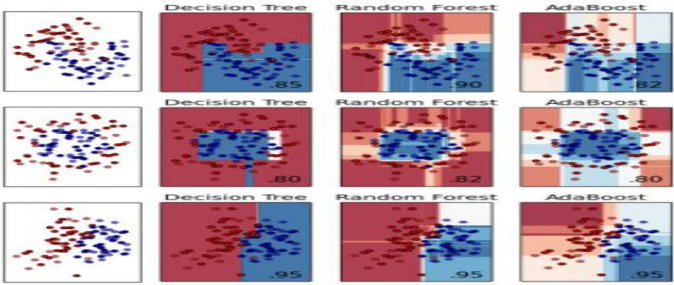
提出一种基于随机森林（RF）和遗传算法（GA）的突出预警模型关键参数自学习方法，使用RF算法为模型参数构建预测模型，并将预测模型的输出作为GA的输入，通过GA对参数设置方案进行自动迭代优化，实现至少1次/月预警参数动态调优。



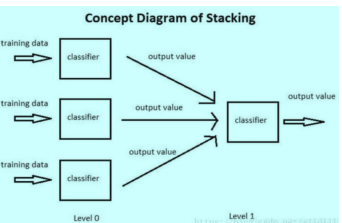
1. 数据采集



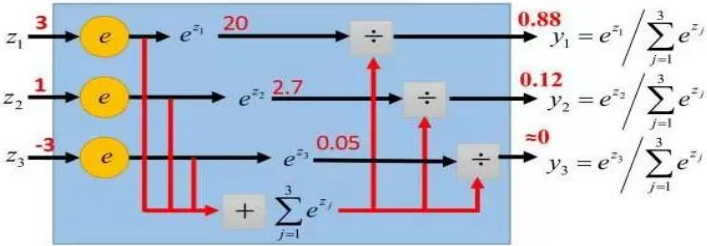
2. 数据预处理



4. 模型训练



5. 模型应用



3. 特征工程

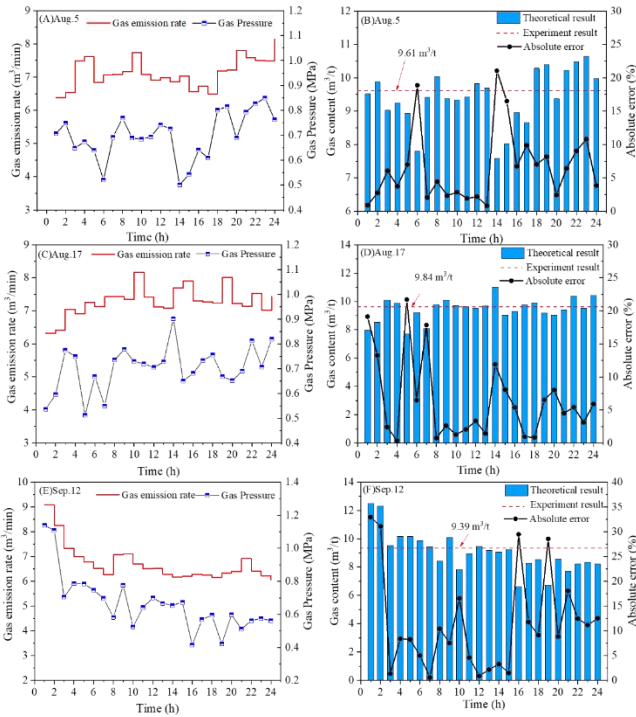
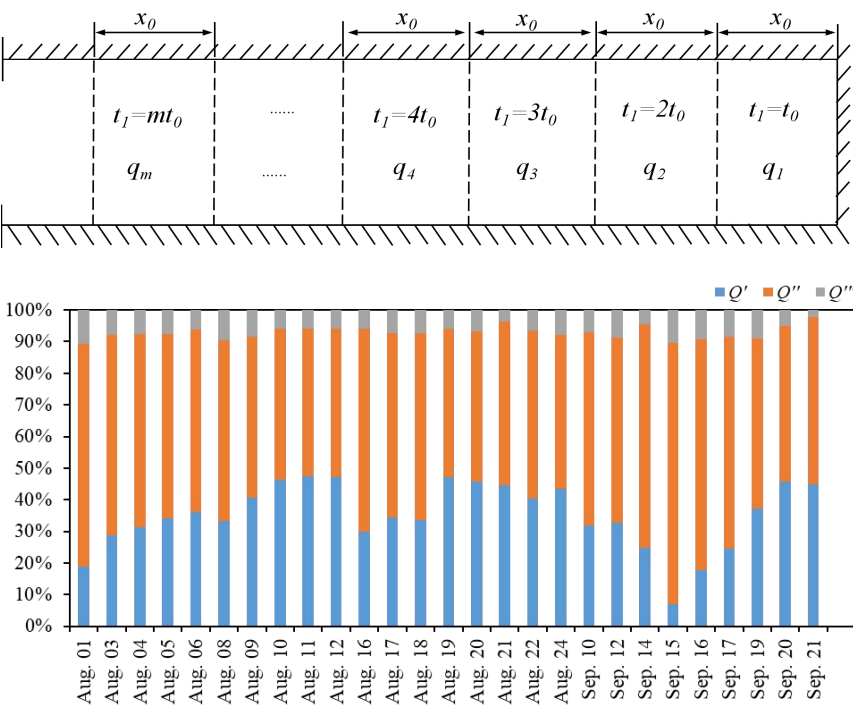
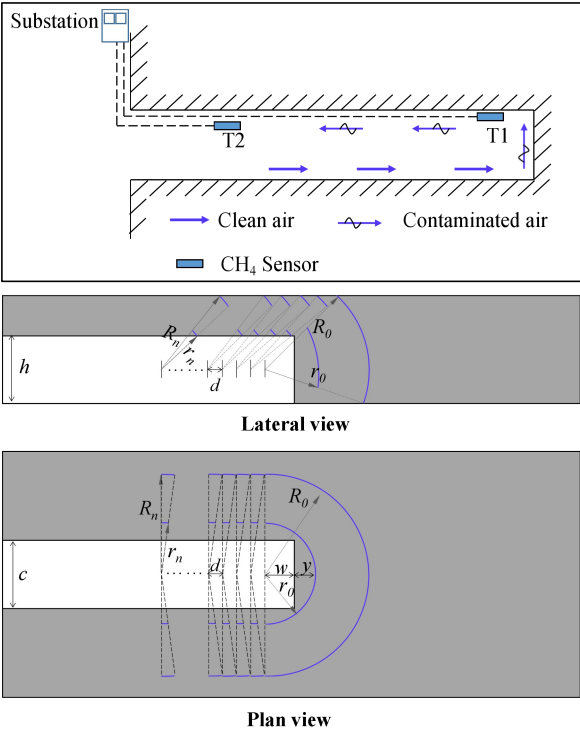
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

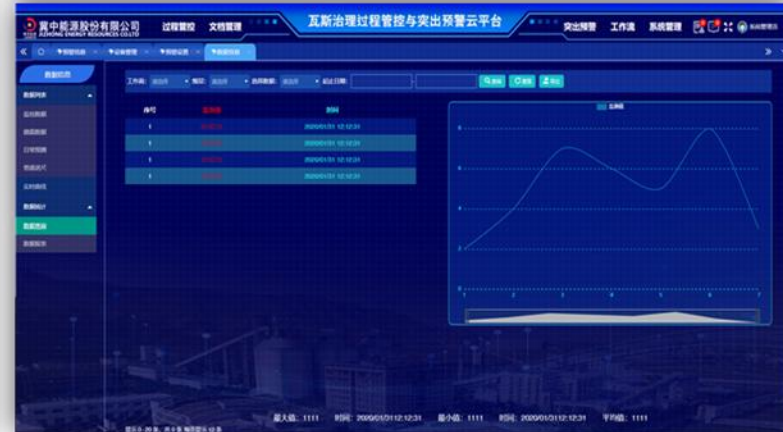
多元信息融合智能精准预警 基于瓦斯涌出量的煤层瓦斯含量反演方法

根据掘进面瓦斯浓度时变曲线，通过研究掘进机割煤瓦斯浓度上升和衰减规律，引入机器学习算法智能判定工作状态，结合单班进尺等特征参数动态反演出煤层瓦斯含量大小（误差20%左右）。



多元信息融合智能精准预警

KJ1521煤与瓦斯突出多元信息融合监测预警系统

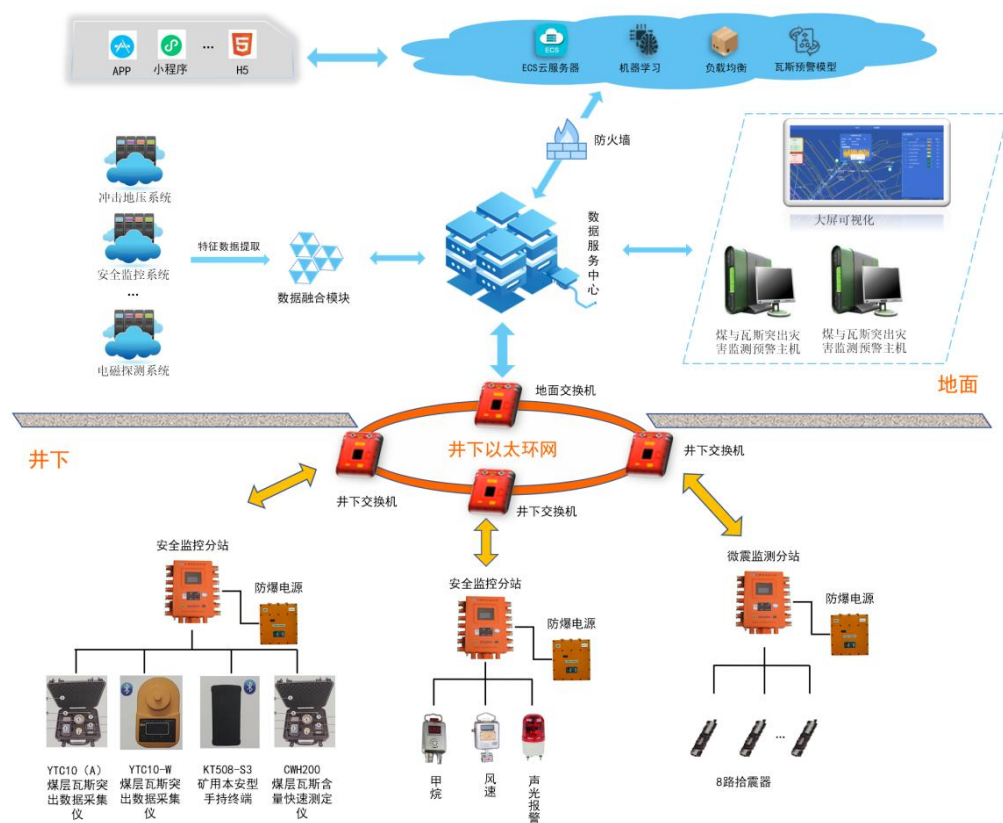


3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警

■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

□ 多元信息融合智能精准预警

KJ1521煤与瓦斯突出多元信息融合监测预警系统



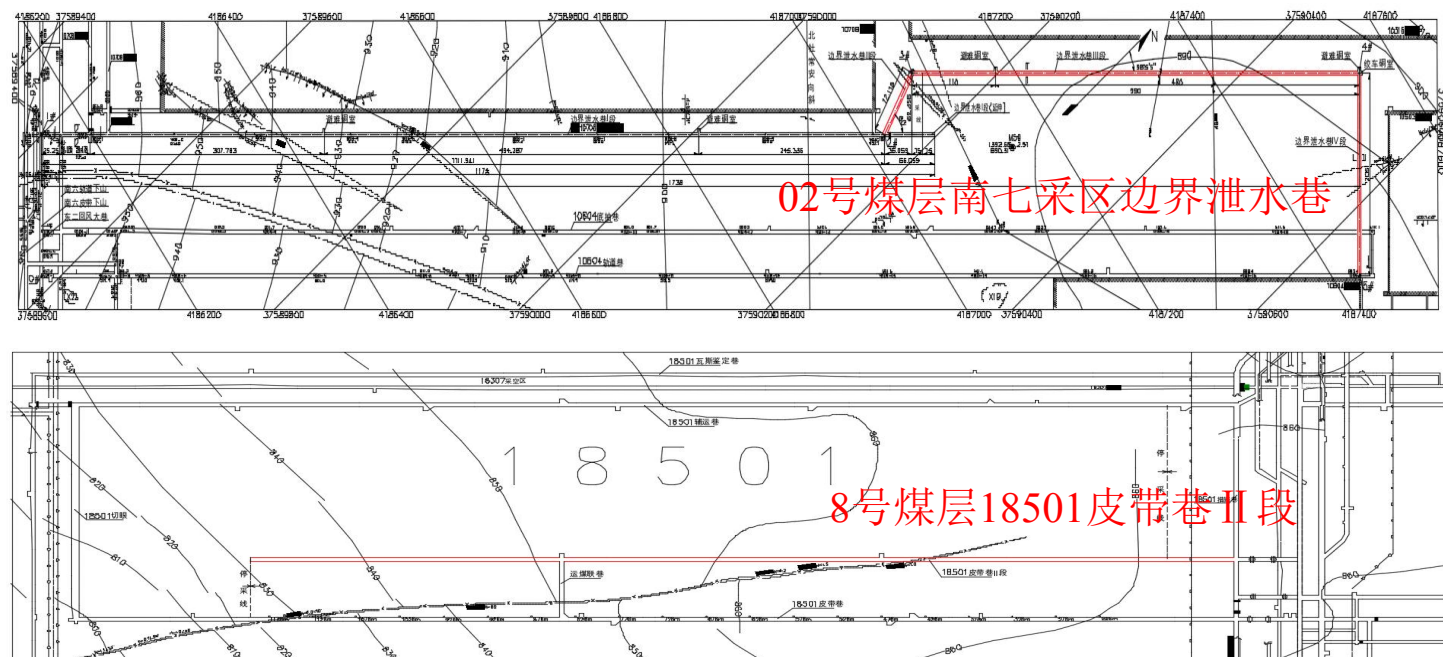
■ 煤与瓦斯突出危险“层层递进-精准辨识”技术

多元信息融合智能精准预警

KJ1521监测预警系统应用典型案例

马兰煤矿02号和8号煤层的试验地点分布如下：

- (1) 02号煤层南七采区边界泄水巷设计长度2033m，竣工时间2023年1月，累计监测时间4个月。
- (2) 8号煤层18501皮带巷Ⅱ段设计长度为1197m，竣工时间2022年12月，累计监测时间4个月。



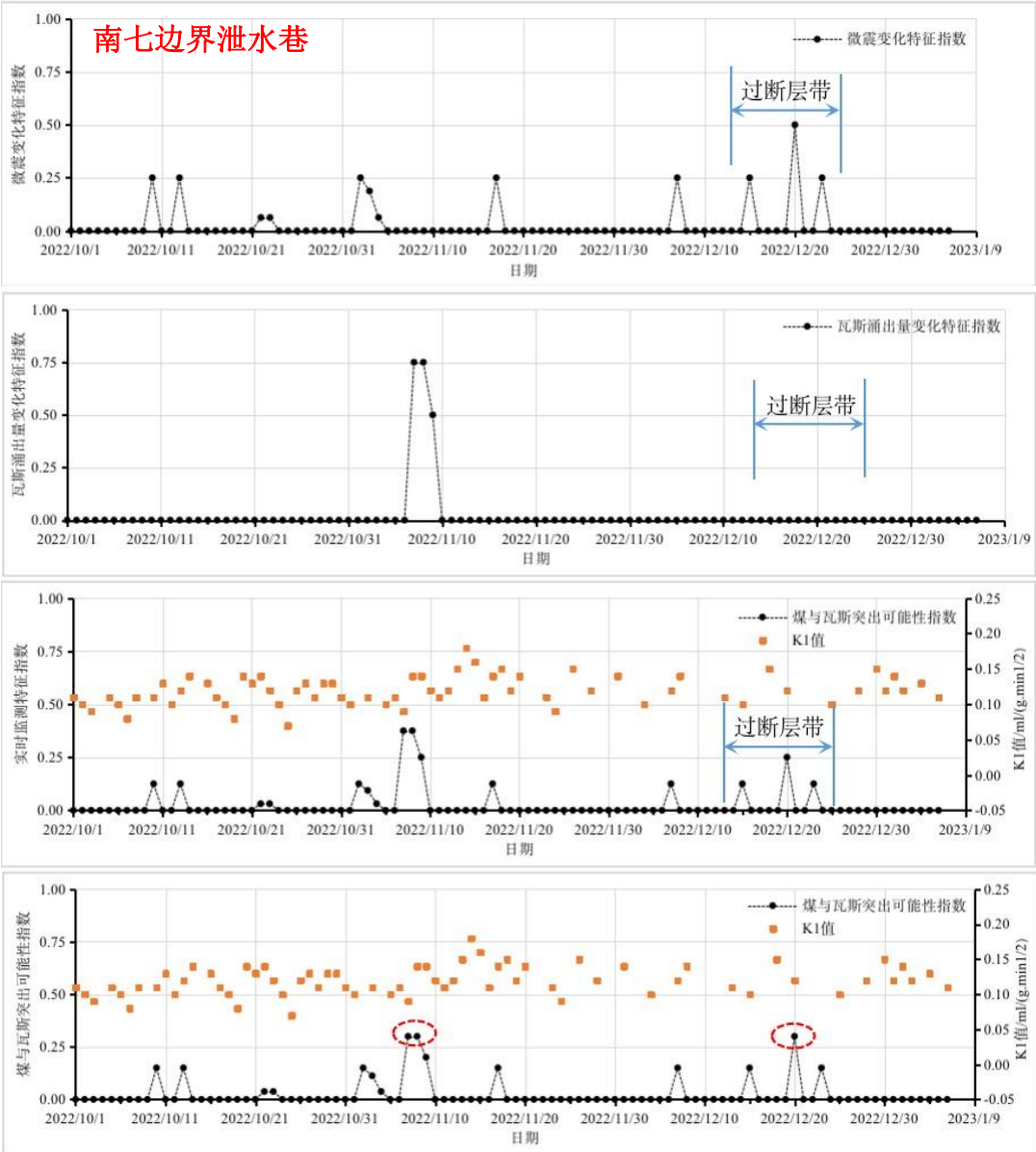
3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



多元信息融合智能精准预警

验证了微震信号和瓦斯涌出监测预警模型的可行性，实时监测数据中微震信号异常变化和瓦斯涌出异常波动并非完全同步，两者反映的危险因素不同，试验段微震信号能够对地质构造和巷道贯通做出预警响应，而瓦斯涌出并无异常变化。

日期	微震变化特征指数	瓦斯涌出量变化特征指数	煤与瓦斯突出可能性指数	预警等级	备注
2022/10/1	0.00	0.00	0.00	D	
2022/10/2	0.00	0.00	0.00	D	
2022/10/5	0.00	0.00	0.00	D	
2022/11/7	0.00	0.75	0.38	C	瓦斯异常涌出
2022/11/8	0.00	0.75	0.38	C	
2022/11/9	0.00	0.50	0.25	C	
2022/11/10	0.00	0.00	0.00	D	
2022/12/15	0.25	0.00	0.13	D	
2022/12/20	0.50	0.00	0.25	C	遇断层
2022/12/21	0.00	0.00	0.00	D	
2022/12/22	0.00	0.00	0.00	D	
2022/12/23	0.25	0.00	0.13	D	
2023/1/6	0.00	0.00	0.00	D	
预警统计	无突出预警率	96 %	突出预警率	4 %	

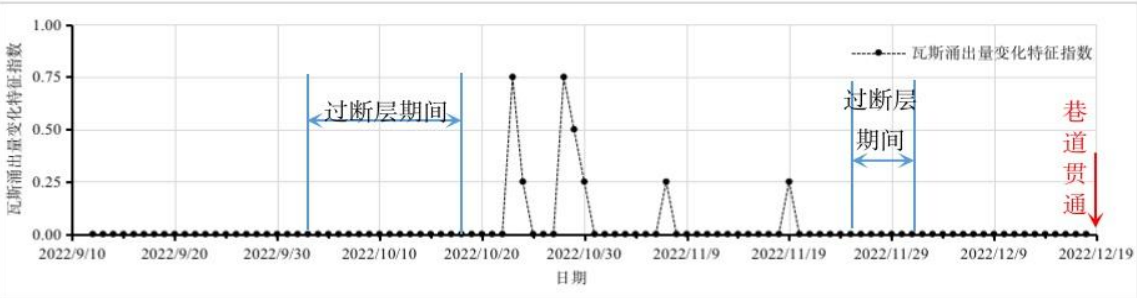
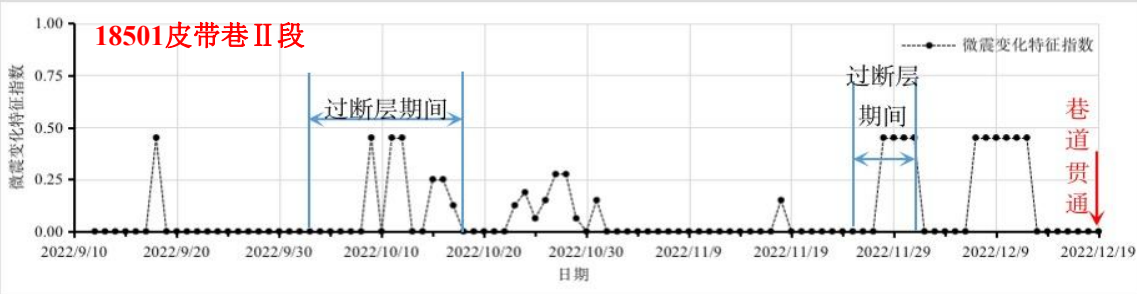


3.1 煤与瓦斯突出多元信息融合预警



多元信息融合智能精准预警

KJ1521监测预警系统应用典型案例



日期	微震变化特征指数	瓦斯涌出量变化特征指数	煤与瓦斯突出可能性指数	预警等级	备注
2022/9/12	0.00	0.00	0.00	D	
2022/9/18	0.45	0.00	0.27	C	
2022/10/9	0.45	0.00	0.27	C	过断层
2022/10/10	0.00	0.00	0.00	D	
2022/10/11	0.45	0.00	0.27	C	
2022/10/12	0.45	0.00	0.27	C	
2022/10/15	0.25	0.00	0.15	D	
2022/10/16	0.25	0.00	0.15	D	
2022/10/17	0.13	0.00	0.08	D	
2022/10/23	0.13	0.75	0.38	C	瓦斯异常
2022/10/24	0.19	0.25	0.21	D	
2022/10/25	0.06	0.00	0.04	D	
2022/10/26	0.15	0.00	0.09	D	
2022/10/27	0.28	0.00	0.17	D	
2022/10/28	0.28	0.75	0.47	C	瓦斯异常
2022/10/29	0.06	0.50	0.24	D	
2022/10/30	0.00	0.25	0.10	D	
2022/10/31	0.15	0.00	0.09	D	
2022/11/7	0.00	0.25	0.10	D	
2022/11/18	0.15	0.00	0.09	D	
2022/11/19	0.00	0.25	0.10	D	
2022/11/28	0.45	0.00	0.27	C	过断层
2022/11/29	0.45	0.00	0.27	C	
2022/11/30	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/1	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/7	0.45	0.00	0.27	C	巷道贯通前期
2022/12/8	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/9	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/10	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/11	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/12	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/18	0.00	0.00	0.00	D	
预警统计	无突出预警率	84%	突出预警率	16%	

3.2 瓦斯异常涌出与超限报警

■ 矿井瓦斯异常涌出与工作面超限预警系统

基于不同时间窗、测点位置、设备类型数据，分析瓦斯涌出动态特征与趋势，搭建工作面煤层地质、瓦斯赋存、矿压显现、采掘进度等模块，全面分析瓦斯涌出异常与超限关键因素。



系统性能

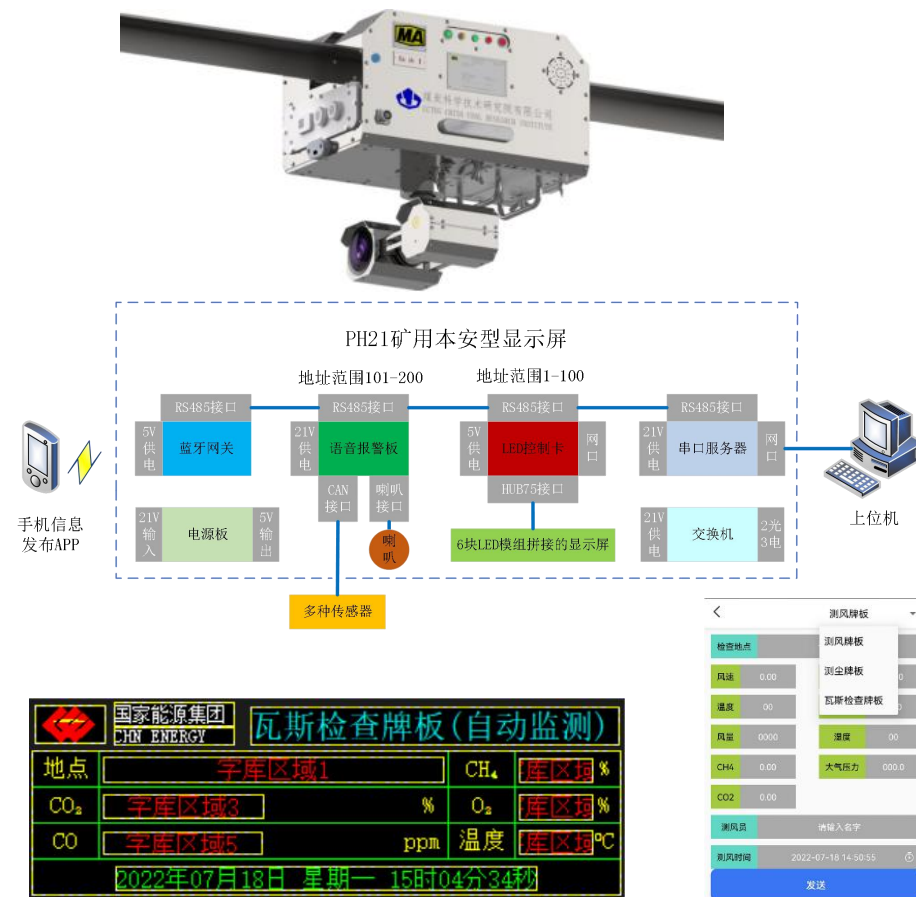
- (1) B/S架构实现系统全场景可视化；
- (2) 图元流畅度 ≥ 50 帧/秒；
- (3) AutoCAD编辑与GIS存储与分析融合；
- (4) 数据传输速率 ≥ 10 kb/s；
- (5) 瓦斯涌出数据实时上传延迟 $t < 5$ s；
- (6) 预警间隔可根据需求设定。

● 技术特点1：矿井瓦斯涌出数据回溯分析



基于不同时段的数据集成，挖掘监测区域风流纯量、混合量、风速、浓度等数据突变、缓变、波动、恒定等数理统计特征，实现对井下主要作业环境瓦斯浓度变化在线监测，对目标区域进行瓦斯涌出智能预测。

● 技术特点2：矿井瓦斯异常涌出重点区域监测



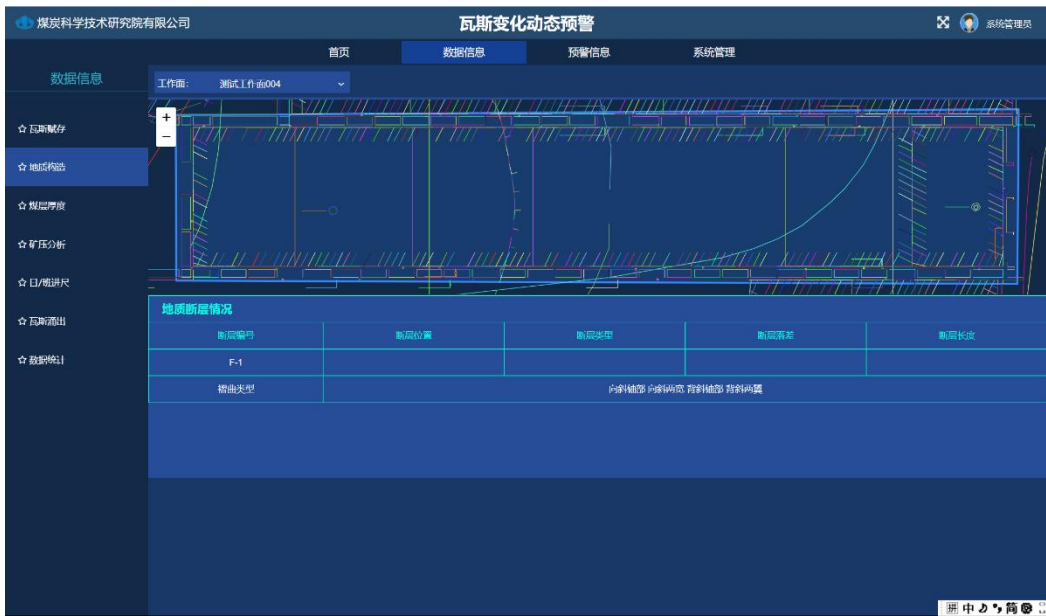
通过安全监控系统、智能巡检系统及人工巡检三大系统上传，实现对井下主要作业环境瓦斯浓度变化在线监测，得到矿井不同区域瓦斯异常涌出预警结果，**标记瓦斯异常涌出重点区域并进行历史信息查看。**

3.2 瓦斯异常涌出与超限报警



■ 矿井瓦斯异常涌出与工作面超限预警系统

● 技术特点3：工作面煤层地质可视化



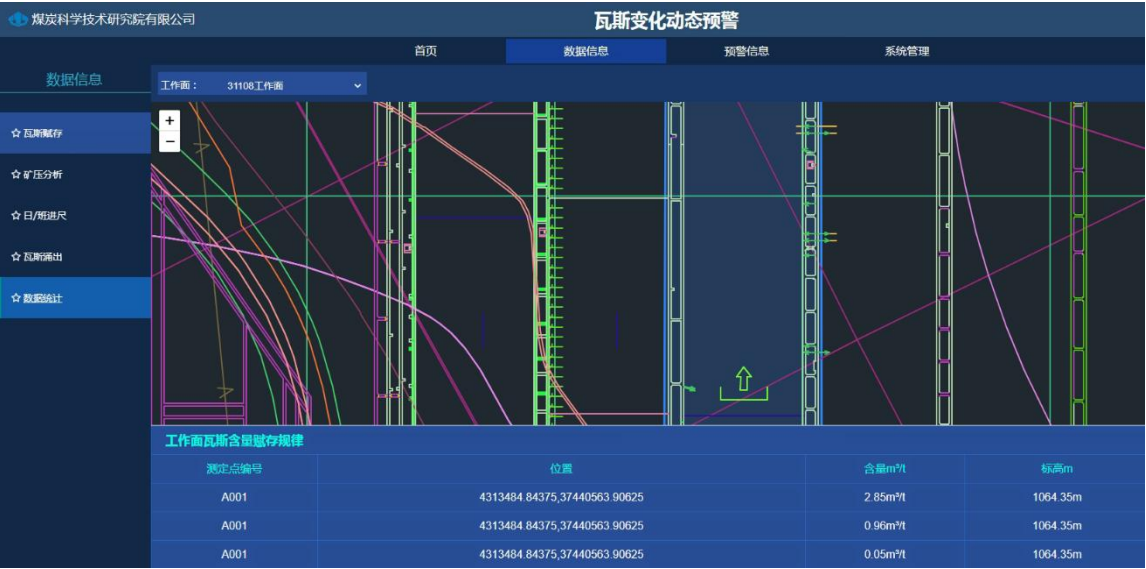
利用GIS地理信息系统建模技术，以多层级、递进式、高精度地质建模的思路，关联并运用物探、钻探、采掘工程等多种地质数据，以数据为驱动，构建不同勘探、采掘阶段的地质模型，**解决煤层厚度及地质构造等模型的交互和自动生成问题，实现煤层地质模型的全息可视化。**

3.2 瓦斯异常涌出与超限报警



■ 矿井瓦斯异常涌出与工作面超限预警系统

● 技术特点4：工作面瓦斯赋存透明化

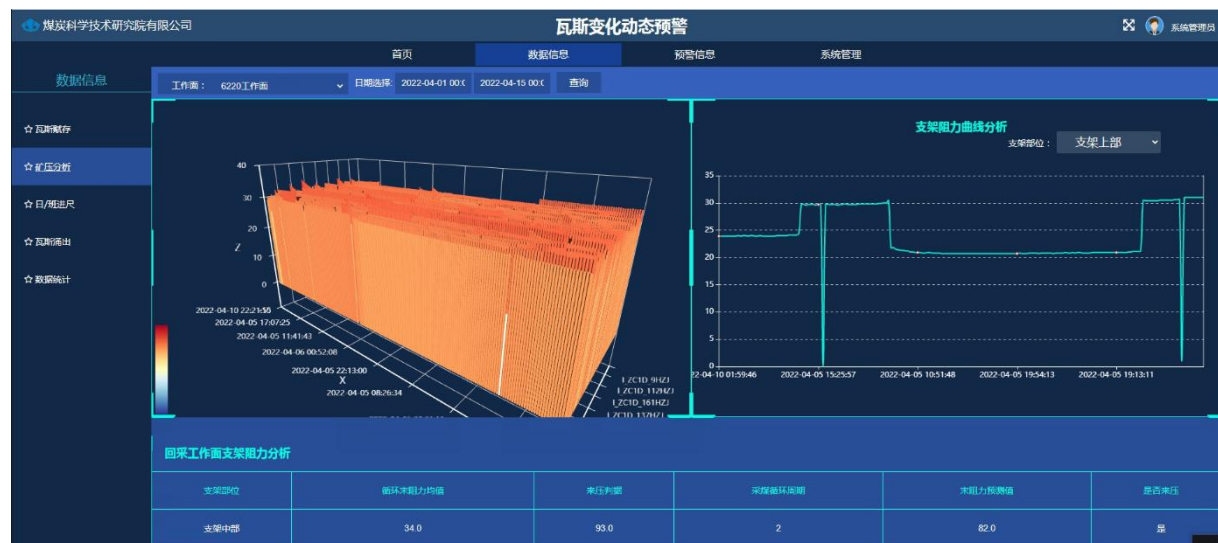


利用瓦斯地质相关理论和数学分析方法，建立瓦斯赋存与地质条件之间的预测模型并不断优化，智能反演煤层工作面瓦斯赋存特征，随着多源多态数据增加，实现模型动态、持续反演，日趋精准，实现瓦斯赋存透明化。

3.2 瓦斯异常涌出与超限报警

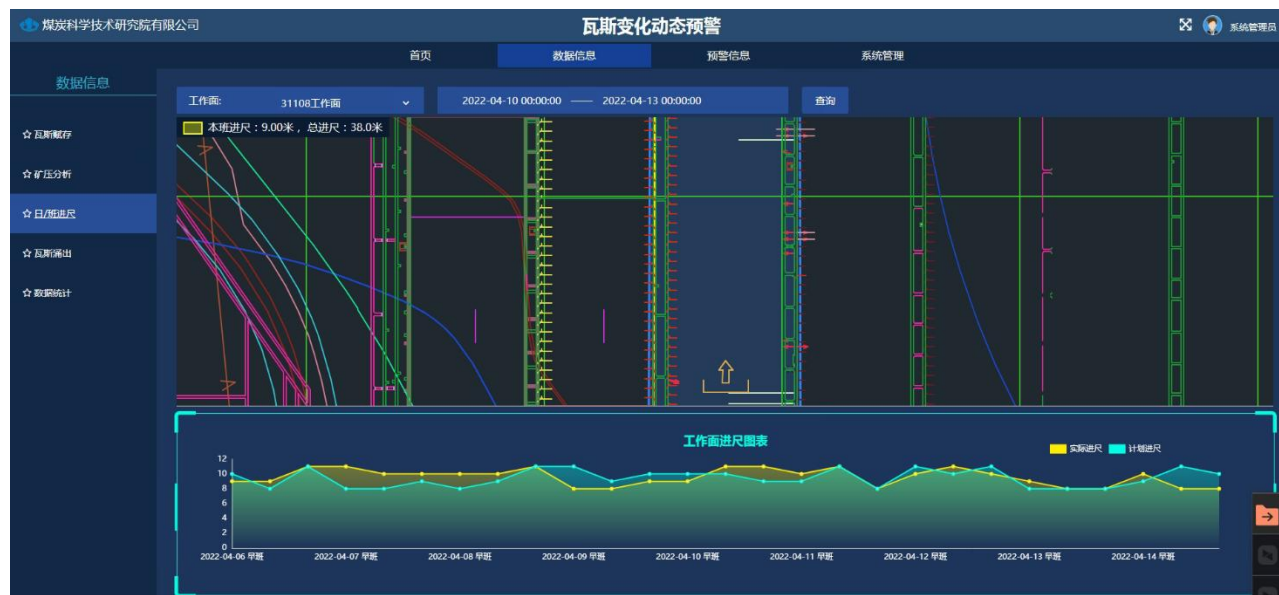
■ 矿井瓦斯异常涌出与工作面超限预警系统

● 技术特点5：工作面矿压显现对瓦斯涌出规律影响研究



顶板运动周期由若干个采煤循环周期组成，是支架载荷变化的“大周期”，通过分析支架阻力云图分布规律研究支架载荷随工作面推进度变化（空间）的规律，对比分析瓦斯涌出与回采面支架阻力数据，探索顶板矿压对回采面瓦斯涌出影响。

● 技术特点6：工作面进尺速度对瓦斯涌出规律影响研究



瓦斯赋存相同条件下，进尺速度越快，瓦斯涌出强度越大，反之，涌出强度越小，通过合理的采掘布置，可避免高产工作面瓦斯超限的发生，尤其针对低瓦斯高产能矿井，通过分析工作面进尺产量对瓦斯涌出影响，能够有效指导矿井布置合理的采掘进尺速度，避免高产工作面瓦斯超限事故发生。

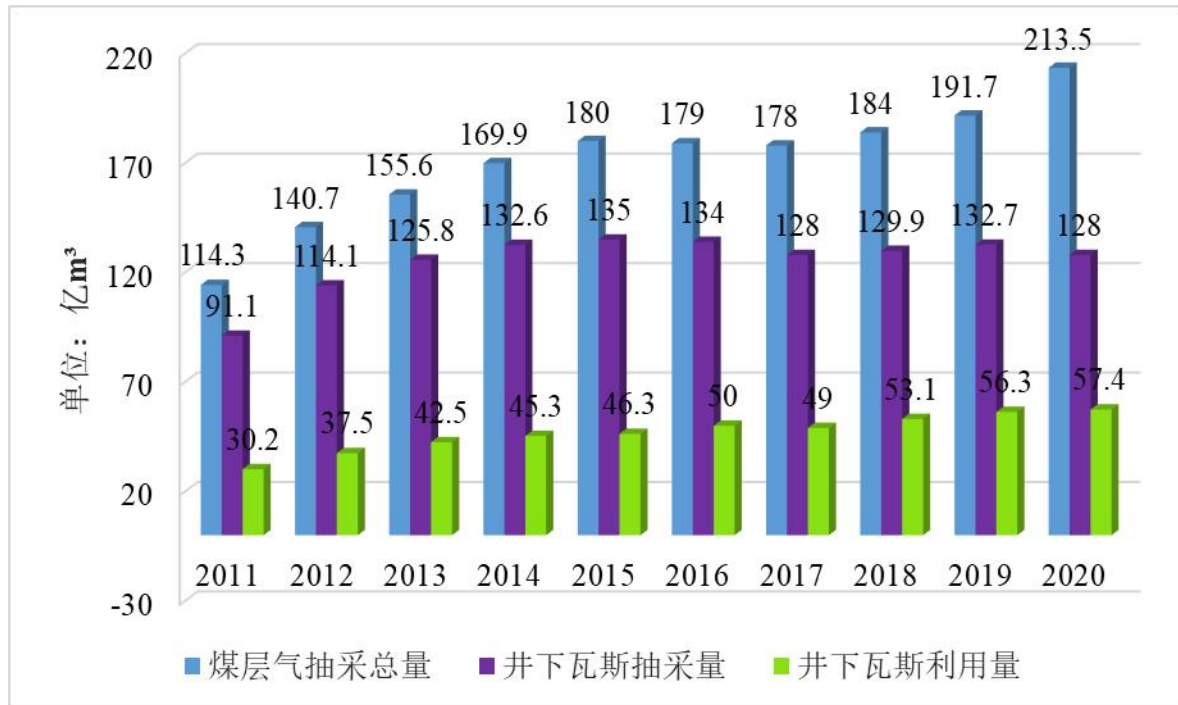
3

抽采钻孔密封与智能调控

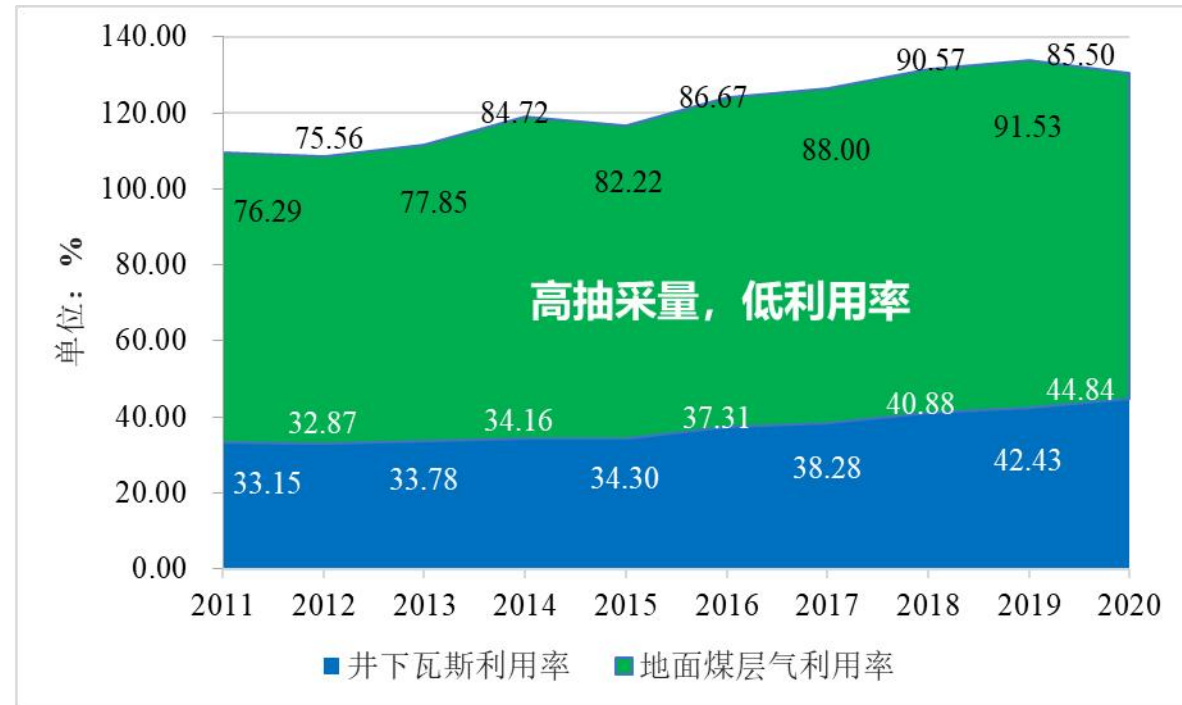
3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 钻孔密封性直接关系着井下抽采瓦斯效率和利用率，其本质是阻止孔内外气体交换。



中国煤矿井下瓦斯抽采及利用量

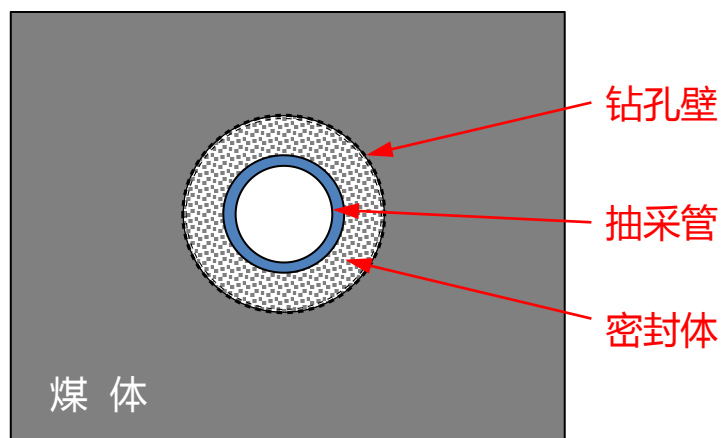


中国煤矿井上下抽采瓦斯利用率对比

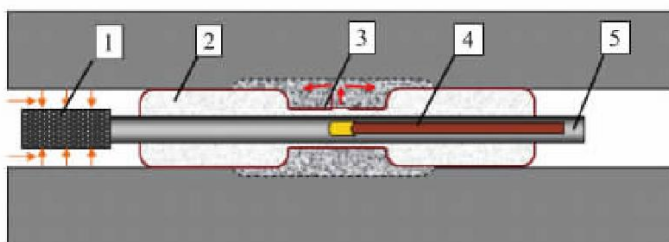
3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

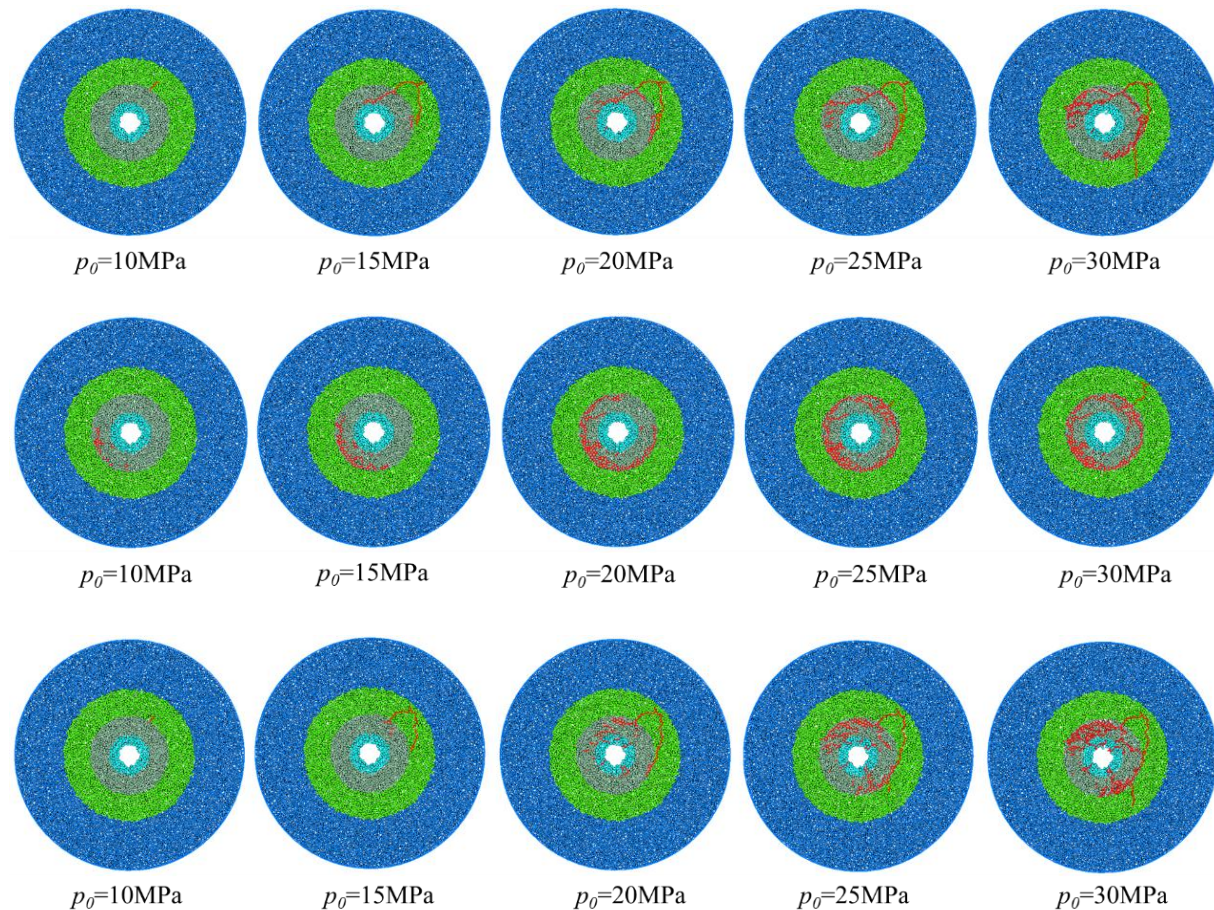
□ 抽采钻孔封孔段在采掘扰动动压作用下，很容易次生裂隙，导致封孔质量劣化。



抽采管、密封体与孔周煤体构成了抽采钻孔封孔段的“异质结构体”



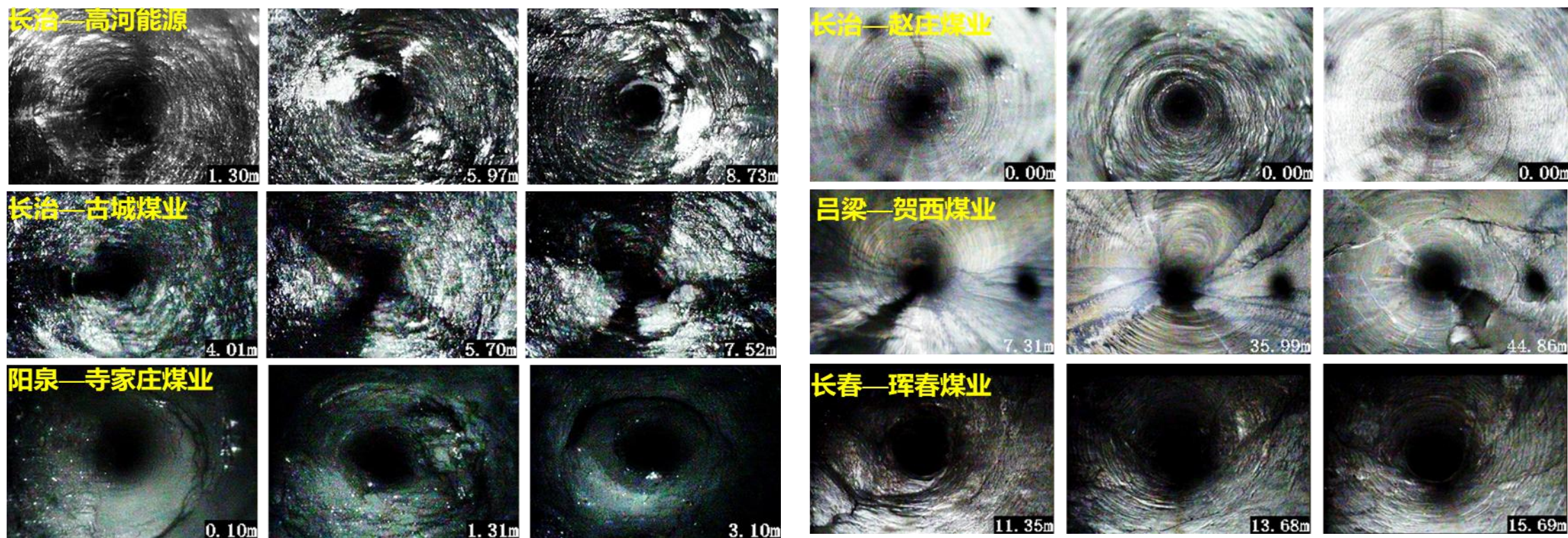
“两堵一注” 封孔原理示意



3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

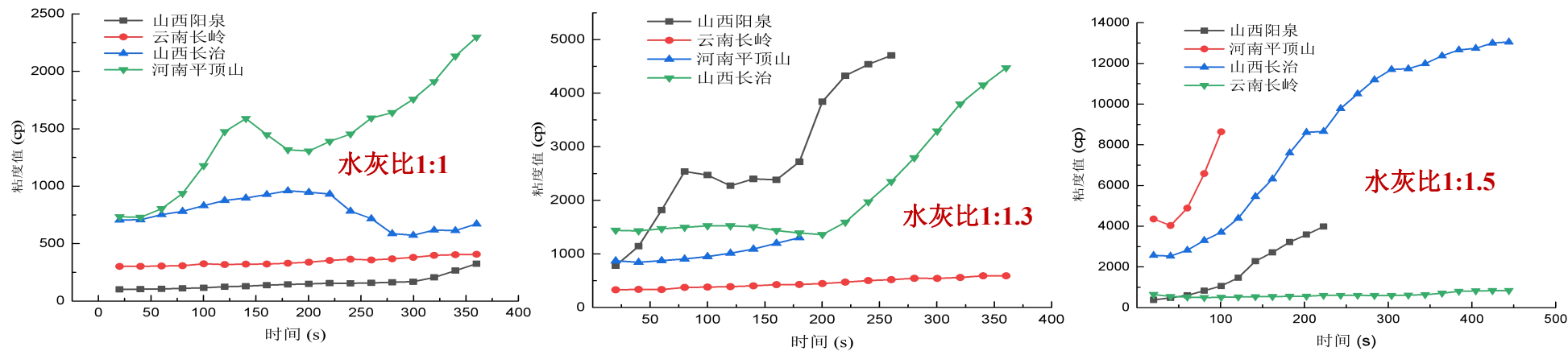
□ 抽采钻孔在采掘扰动动压作用下，导致钻孔变形严重，对封孔体造成较大作用力。



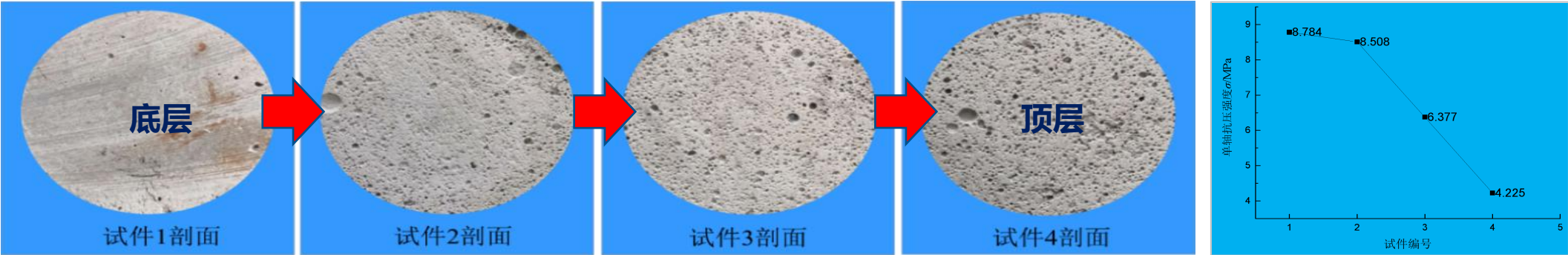
3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 水泥基密封材料存在初期粘度大、渗透性差、分层严重等现实问题。



不同料水比条件下水泥基密封浆液的粘度及凝胶点变化特征

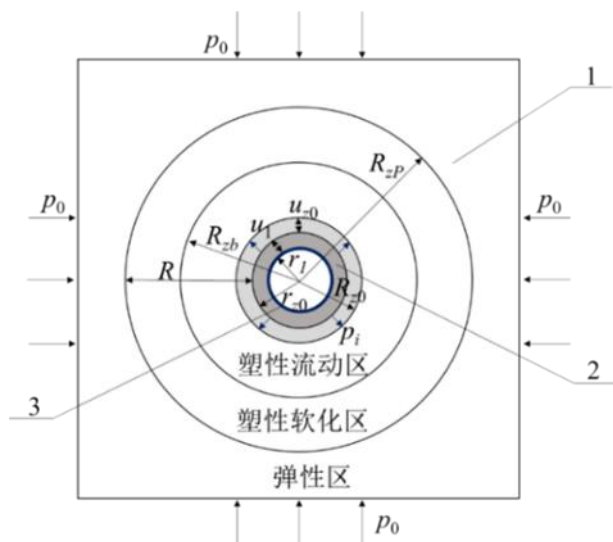


膨胀水泥的物理力学性质的分层现象

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

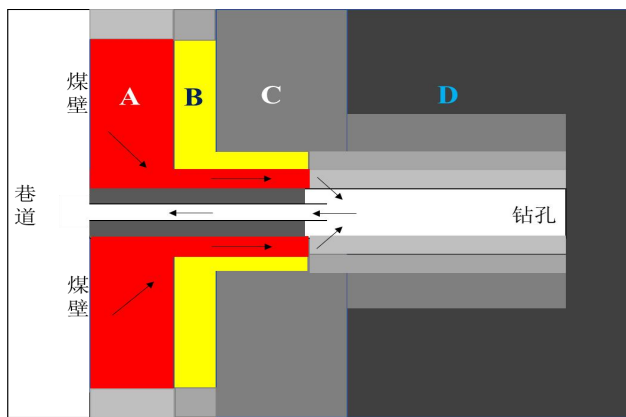
■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 动压扰动和水泥基材料特性共同导致封孔段异质结构呈现“界面剥离”特征。



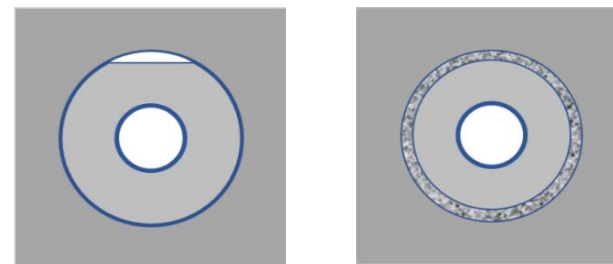
1—煤体；2—密封材料；3—瓦斯抽采管

钻孔密封段接触型层状异质结构受力示意图

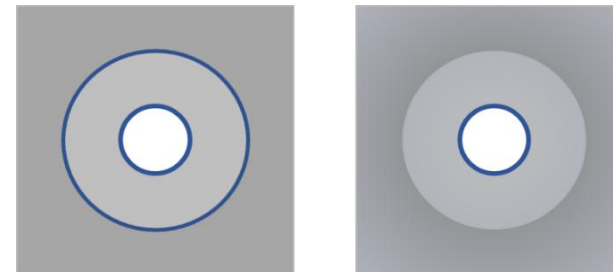


A—塑性流动区 B—塑性软化区
C—粘弹性区 D—原岩应力区

钻孔密封段围岩漏气分布示意图



(a) 界面剥离型



(b) 界面接触型

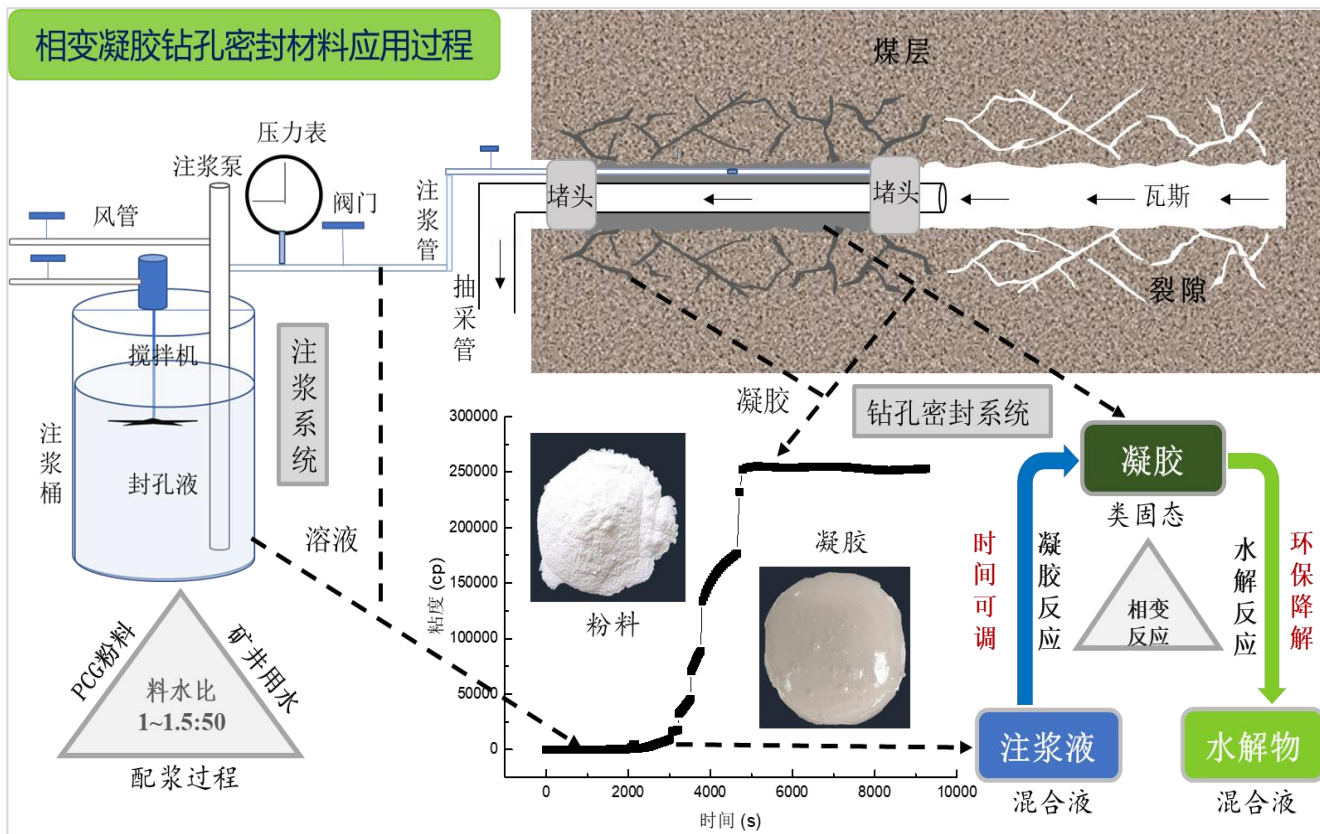
(c) 界面耦合型

钻孔密封段接触型层状异质结构分类

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 环保型相变凝胶（Ecofriendly Phase Change Gel，简称EPCG）钻孔密封材料



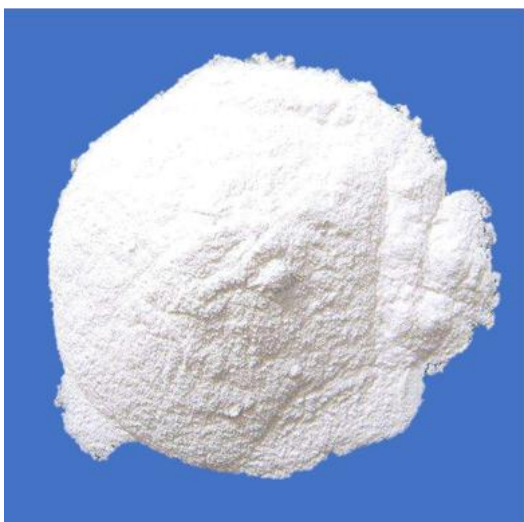
环保降解型相变凝胶钻孔密封材料开发及应用原理示意图

以绿色、环保、可降解的水溶性高分子为基料的复配型密封材料，通过人为控制材料水溶液的**凝胶化相变过程**，使其在不同时间段发生不同的物理相变反应，实现抽采钻孔密封全过程的**低阻注浆**、**低粘渗透**、**高粘胶结**、**动态密封**及**绿色降解**的材料性能需求，实现钻孔密封全过程的精准控制。

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 环保型相变凝胶（Ecofriendly Phase Change Gel，简称EPCG）钻孔密封材料



环保降解型相变凝胶钻孔密封材料

□ 产品技术指标

- (1) 胶凝点：20~30 min内动态可调；
- (2) 凝胶点前粘度： $<50 \text{ mpa}\cdot\text{s}$ ；
- (3) 最终粘度(2%)： $\geq 30 \text{ 万 mpa}\cdot\text{s}$ ；
- (4) 凝胶化时间：50~90min内可调；
- (5) 凝胶材料料水比：0.02~0.04；
- (6) 凝胶材料保质期： $\geq 2 \text{ a}$ ；
- (7) 凝胶材料降解周期：5~30 d内可调。

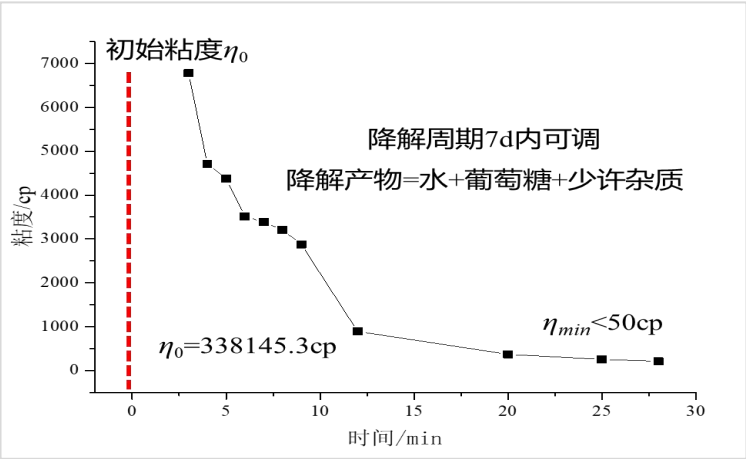
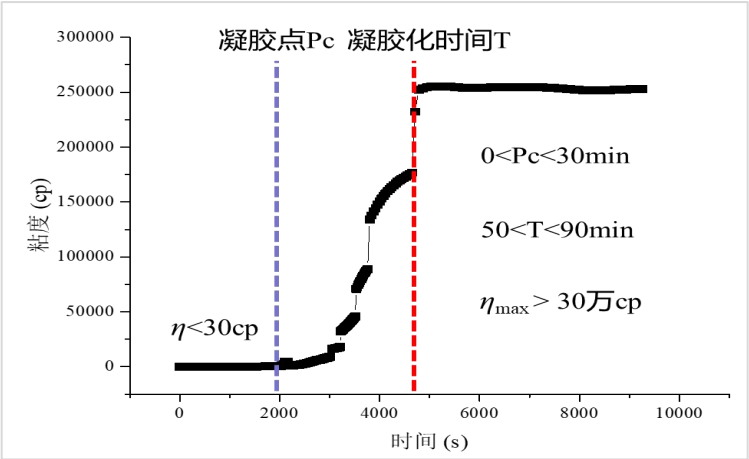
3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封



■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 环保型相变凝胶（Ecofriendly Phase Change Gel，简称EPCG）钻孔密封材料

EPCG的凝胶化过程



EPCG的降解过程

不同材料粘度值测定结果对比表

材料类型	参数条件						
膨胀水泥（高河）	水灰比	1:1		1:1.3		1:1.5	
	粘度值 /mPa·s	0min	5min	0min	5min	0min	5min
		706.19	931.68	1439.39	3291.41	2568.58	11700.53
普通水泥（长岭）	水灰比	1:1		1:1.3		1:1.5	
	粘度值 /mPa·s	0min	5min	0min	5min	0min	5min
		301.08	406.99	329.79	590.77	641.02	835.34
聚氨酯	A:B	1:1					
	粘度值 /mPa·s	0min			5min		
		1310			固体		
EPCG材料	料水比	2:100		2.5:100		3:100	
	粘度值 /mPa·s	0min	10min	0min	10min	0min	10min
		6.58	29.18	6.79	32.57	6.78	35.84

钻孔密封材料	水料比	煤粉粒径/mm	浆液体积/ml	初始刻度/ml	最终刻度/ml	润湿刻度/mm	渗漏量/ml	时间/min
PCG	100: 2	0.3~0.5	60	98	85	40	15	60
		<0.3		98	88	10	12	
膨胀水泥	1: 1.3	0.3~0.5	60	99	101	5	/	60
		<0.3		100	100	2	/	

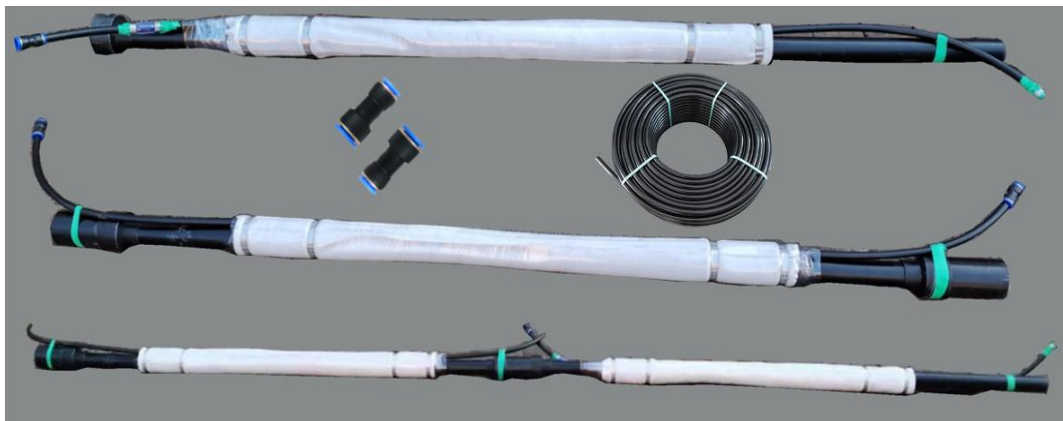
EPCG与膨胀水泥浆液在煤粉里的自然渗透量

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 与EPCG配套使用的一次性注浆式封孔器和可回收机械式封孔器

EPCG材料专用一次性注浆式封孔器



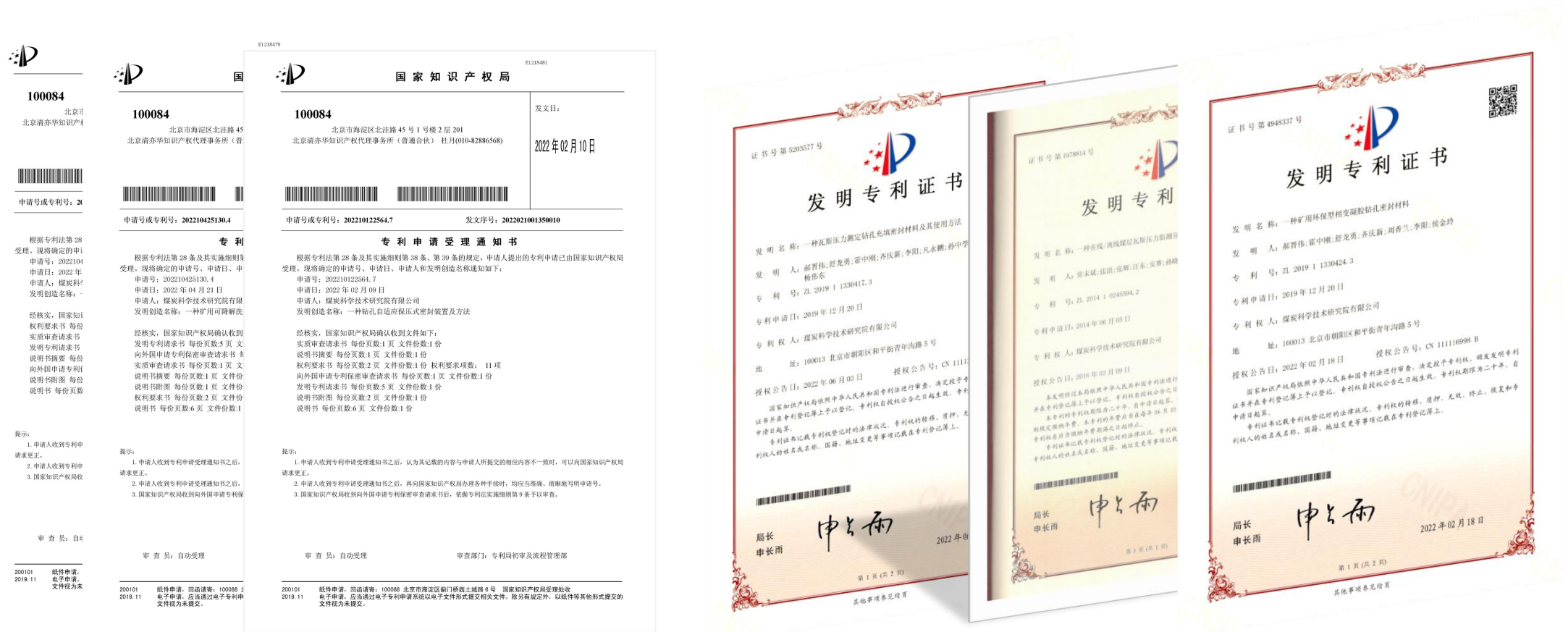
EPCG配套专用可回收机械式封孔器



3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

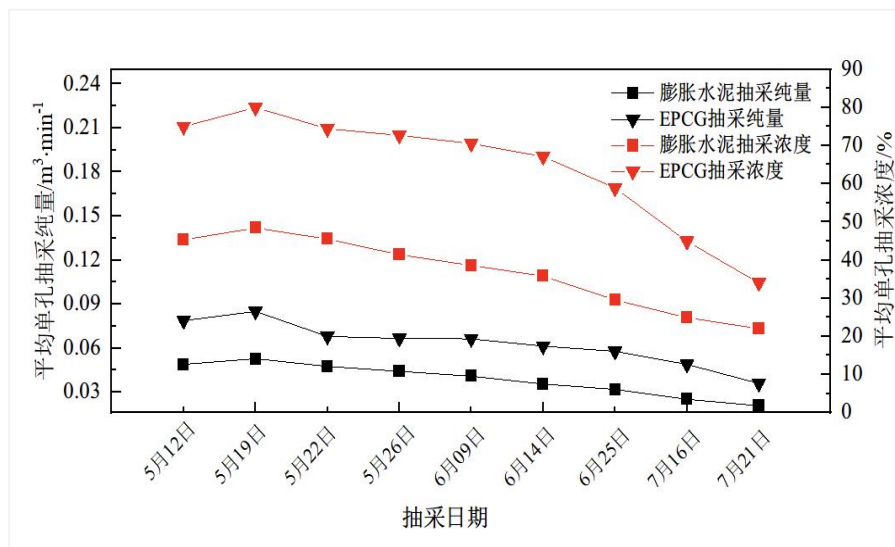
□ 申请和授权发明专利17项，入选了《煤矿安全生产先进适用技术装备推广目录》



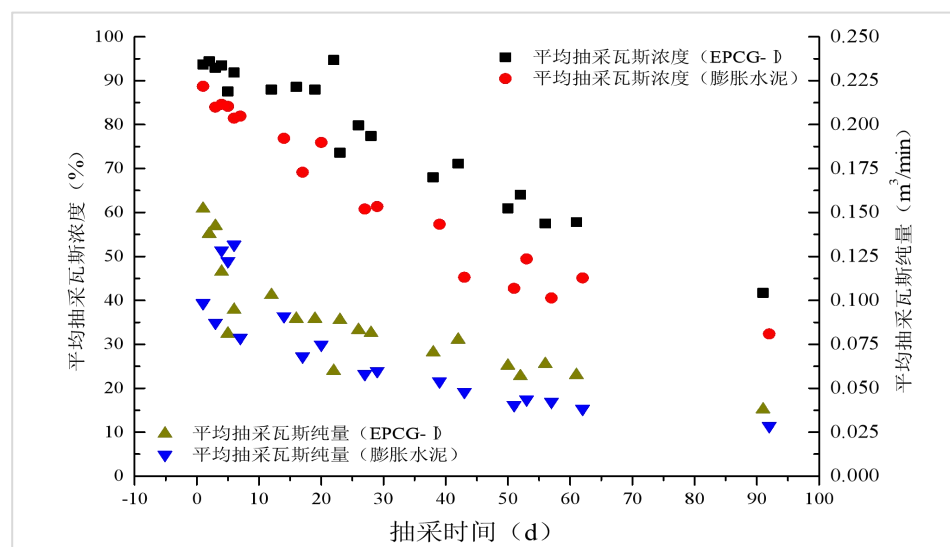
3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 现场应用效果显著：提高抽采浓度、提高抽采纯量、提高抽采效率



西山官地煤矿EPCG密封技术现场应用效果对比



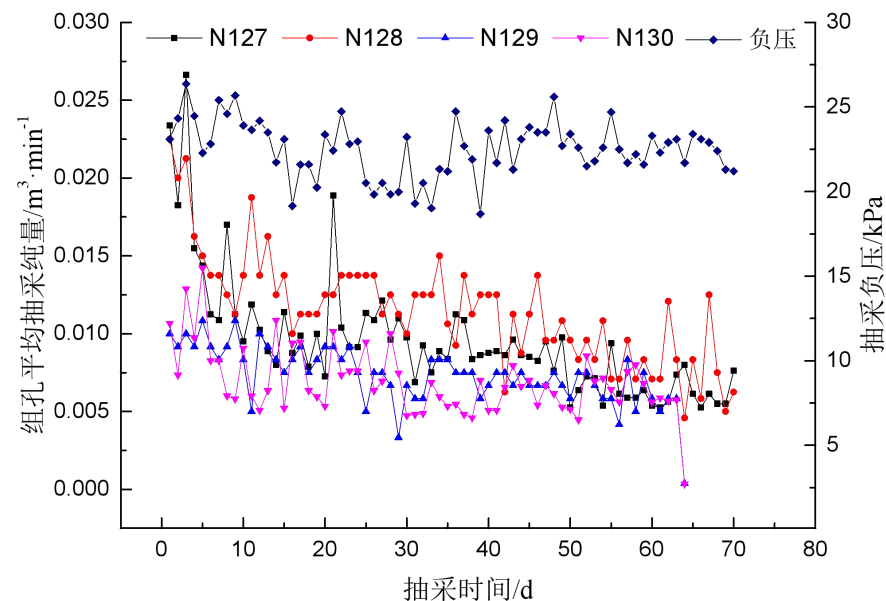
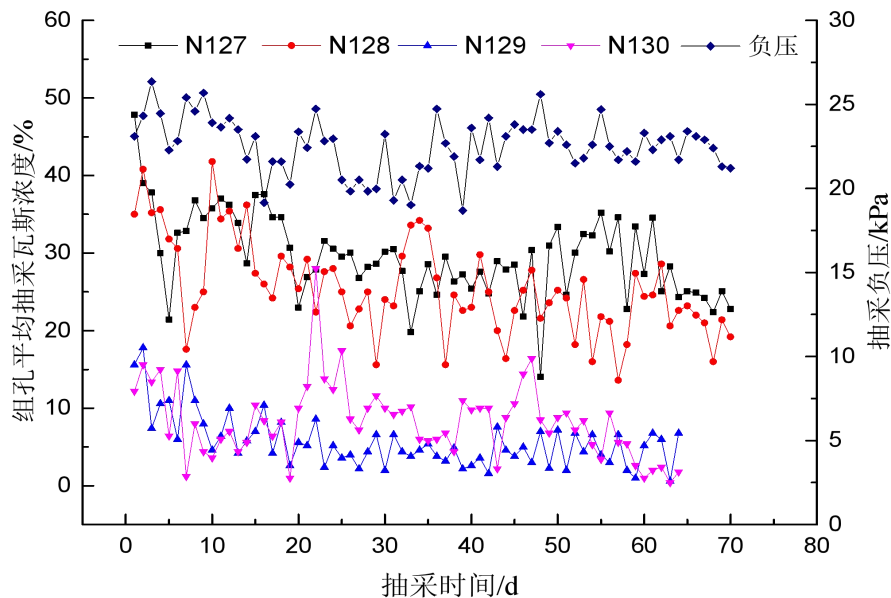
朱家店煤矿EPCG密封技术现场应用效果对比

在相同抽采条件下，与膨胀水泥基材料+滤积式囊袋式“两堵一注”封孔工艺相比较，采用EPCG-I材料+自适应保压式封孔器式“两堵一注”封孔工艺密封可使单孔抽采瓦斯浓度提高1.55~2倍、单孔纯量提高1.4~1.8倍，且抽采2个月后，单孔抽采瓦斯浓度仍保持在34%以上。

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 现场应用效果显著：**提高抽采浓度、提高抽采纯量、提高抽采效率**

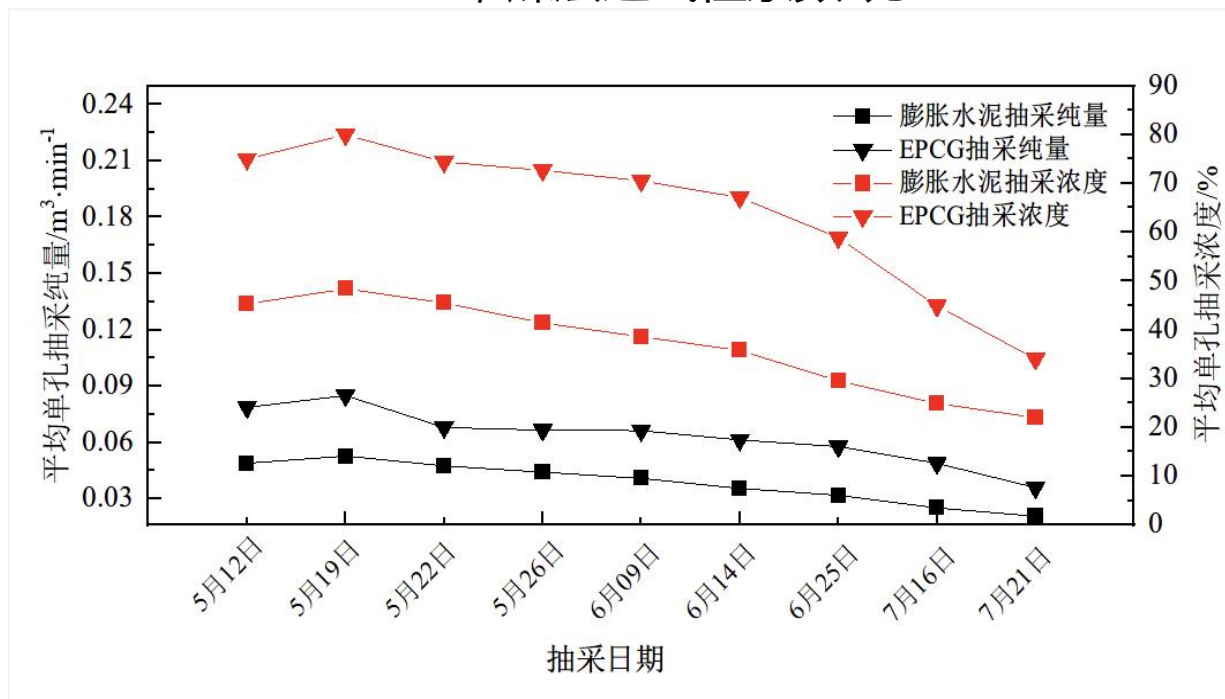


山西潞安集团高河能源采用环保型相变凝胶（EPCG-I）钻孔密封材料后，相同抽采时间内平均组孔抽采瓦斯浓度及纯量分别提高**4倍**和**1.5倍**，抽采瓦斯浓度长期**保持在30%以上**。

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ **煤层条件**：8#煤层瓦斯含量为W为 $5.11\text{m}^3/\text{t}$ ，煤层瓦斯压力P为 0.23Mpa ，百米钻孔瓦斯流量为 $0.0493\text{m}^3/\text{min}\times\text{hm}$ ，煤层透气性系数 λ 为 $2.13145\text{m}^2/\text{MPa}^2\cdot\text{d}$ ，属于可以抽放煤层。



西山官地煤矿EPCG材料现场应用效果对比



西山煤电开展EPCG材料应用推广会现场

单孔平均抽采瓦斯浓度提高1.55~2倍以上，平均提高1.75倍；平均单孔纯量可提高1.4~1.8倍，平均提高1.67倍，具有明显的提浓效果。且平均抽采2个月后，单孔平均抽采瓦斯浓度仍保持在34%以上。

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封



官地矿新型封孔材料试用报告

为进一步提升我矿瓦斯治理水平和抽采效果，根据煤炭科学技术研究院有限公司的推荐，我矿于1月5日开始在18503正巷道试用该厂家的新型封孔产品。共计6个钻孔。经过观测，较之我矿之前使用的封孔工艺确实有了很大提高，具体如下：

1、相同试验条件下，采用 EPCG-I 材料+自适应保压式封孔器式“两堵一注”封孔工艺密封可使单孔平均抽采瓦斯浓度提高提高 1.35 倍；平均单孔纯量可提高 1.31 倍，可大幅提高抽采瓦斯的可利用率和煤层瓦斯抽采效率。

2、与相同密封参数条件下，采用 EPCG-I 材料+自适应保压式封孔器式“两堵一注”封孔工艺可使单孔密封材料成本可降低 20.4%左右，有效促进官地煤矿实现“降本增效”目标。

3、相同密封参数条件下，EPCG-I 材料单孔耗用量仅为 3 公斤左右，是现用膨胀水泥基材料的 2.5%，极大地降低现场施工人员的劳动强度和材料运输成本。

4、抽采数据对比分析如下：

选择 18503 工作面正巷 125 号孔至 130 号孔采用 EPCG-I 材料+自适应保压式封孔器式“两堵一注”封孔工艺，正巷 98 号孔至 103 号孔采用传统水泥“两堵一注”封孔工艺。125 号孔至 130 号孔与 98 号孔至 103 号孔各为一组安装单孔

5、材料成本对比分析如下：

封孔工艺	对比参数	膨胀水泥基材料+滤积式囊袋式“两堵一注”		EPCG 材料+自适应保压式封孔器式“两堵一注”	
封孔参数	密封长度 (m)	12		12	
	钻孔直径 (mm)	113		113	
注浆材料	材料名称	膨胀水泥		EPCG-I	
	水料质量比	1: 1.1	1: 1.3	1: 0.4	1: 0.32
	耗用量/kg	112	128	3	3.2
	单价 (元/kg)	8	8	248	248
堵头材料	合计成本/元	896	1024	744	843.2
	材料名称	滤积式囊袋		自适应保压式封孔器	
实际总耗费(元)	单价 (元/套)	340		480	
		1236	1364	1124	1323.2
备注 自适应保压式封孔器自带 4m 抽采管，可节省抽采管材料费 240 元					
实际总耗费(元)	/	1236	1364	984	1083.2

综上所述，根据我们试用的情况来看，该新型封孔封孔材料具有：气密性好、抽采浓度高，抽采量大，节省封孔资金等特点。整体而言该套产品对提高我矿瓦斯抽采量，提升瓦斯治理水平有很大作用。

请该矿公司按照程序审批
2023.1.19
王美厚
请改属实
刘坤明
2023.1.12
16/2
15/1

报告

尊敬的领导：

为严格落实《全面提升瓦斯治理水平十二条规定》提高钻孔封孔质量，保证单孔抽采浓度，提升矿井瓦斯抽采效果，根据西山煤电纪要（2022）301 号《西山煤电一通三防相关材料现场试验安排会议纪要》及官地矿实验结果，特申请使用以下封孔材料：

1、环保型相变凝胶。使用理由：现使用封孔水泥，材料使用多，运输成本高、劳动强度大，且水泥凝固后会出现裂缝，影响封孔质量。环保型相变凝胶，可有效解决封孔难度大、效果不佳的问题。

2、钻孔自适应保压式封孔器。使用理由：与环保型相变凝胶配套使用。钻孔自适应保压式封孔器将抽采管和注浆囊带有机结合为一体，有效简化普通滤积式囊袋连接程序，施工过程更加方便快捷。

现需环保型相变凝胶钻孔密封材料(EPCG)X: KEZMG-I 型 500KG, 自适应保压式封孔器: KBFQ-50 型 100 套、KBFQ-63 型 30 套、KBFQ-75 型 30 套。

请领导批准！

王美厚
15/1 2023.1.12
刘坤明 16/2
2023.1.12

官地矿抽采区

2023 年 1 月 12 日

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封



2022/7/15

甲方：阳泉煤业集团兴峪煤业有限公司
乙方：煤炭科学技术研究院有限公司

一、项目名称、计量单位、数量、单价、

项目名称	计量单位	数量
本煤层钻孔低浓度瓦斯抽采控制机理及相变凝胶密封技术适用性研究项目	项	
合计		

合计 人民币 金额（大写）：叁拾叁万柒仟元整

二、本合同甲方委托乙方就阳泉煤业集团相变凝胶密封技术适用性研究项目进行技术服务达各自意愿的基础上，根据《中华人民共和国

三、乙方进行技术服务的内容、要求和方低、成本高、劳动强度大及工艺复杂等难题，研究钻孔围岩稳定性及含水性对瓦斯抽采浓度进一步提出利用相变凝胶密封钻孔的提浓方法兴峪煤矿的抽采钻孔成套提浓技术体系，实现：务要求：按甲方要求在规定时间内完成全部研及考察，结合试验室的试验结果，提交项目的

四、乙方应当按照下列进度要求进行本合地质勘探、通风、开拓开采、瓦斯等相关资料；气位置测定分析，研究钻孔围岩稳定性及含水性孔低浓度瓦斯抽采控制机理及影响因素，进一步优化开发及现场适用性试验；4. 现场及技术研

五、甲方应当向乙方提供的技术资料及协作本煤层钻孔低浓度瓦斯抽采控制机理及相变凝胶况、矿井地质报告、采掘工程平面图、通风系统提供工作条件：施工工人、打钻设备、测试用信其它协作事项：甲方为乙方现场研究人员提供

六、权利和义务 除本合同其他条款约定的移乙方按照本合同约定提交报告；（2）有权随时过程中存在的问题进行整改；（4）有权要求乙；（1）向乙方提供以下工作条件：工作过程中现（2）在接到乙方关于要求改进或更换不符合合同做出答复。3. 乙方权利（1）接受甲方提供的技数据、样品、材料或工作条件不符合合同约定时，方改进或者更换。超过上述期限不提出改进或更定。4. 乙方的义务（1）乙方应按约定完成本次甲方有权拒付技术服务费并单方解除本合同；（2）同履行过程中，如发现信息资料等有无法满足正内应归还上述各项技术资料，不得擅自留存复制品度，如因违反甲方规定造成乙方损失，责任由乙方料和必要的技术指导。

已审合同

合同编号：2022/7/15

项目名称：赵庄煤业一

甲方（委托方）：山西晋

乙方（受托方）：煤炭

签订时间：2021年12月2

签订地点：山西 长治

有效期限：2021年1

中华人民共和国科学技术部



合同编号：2022/7/15

技术开发（委托）

项目名称：外侵水对钻孔瓦斯抽采质量技术研究

委托方（甲方）：山西晋安矿业（集团）城煤矿

受托方（乙方）：煤炭科学技术研究院有限公司

签订时间：2021年12月2

签订地点：山西 长治

有效期限：2021年1

中华人民共和国科学技术部

合同编号：2022/SK01/技术第1号

2022/1/10

技术开发（

项目名称：瓦斯抽采钻孔相变

甲方：华晋焦煤有限责任公

乙方：煤炭科学技术研究

签订时间：2022年1月2

签订地点：山西太原市杏花岭

有效期限：2022年1月2

中华人民共和国

合同编号：2022/1/10/136X

（环保型相变凝胶钻孔密封材料及配套设备）

买卖合同

买方：山西中探微科技有限公司
卖方：煤炭科学技术研究院有限公司
签订地点：北京市朝阳区青荷东路5号
签订日期：2022年1月2日

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 极高的水料比促使价格低廉、搬运方便，减人提效且使智能化无人封孔有了材料基础

项目名称		方式1	方式2	方式3
堵头充填材料	长度（m）	2	2	2
	材料名称	膨胀水泥	膨胀水泥	/
	料水比	1.5:1	1.5:1	/
	耗费量/kg	25	25	/
	单价（元/kg）	2	2	/
	合计成本/元	50	50	/
堵头囊袋（元/套）		300	300	400（可回收）
注浆密封段材料	长度（m）	8	8	8
	材料	膨胀水泥	EPCG	EPCG
	料水比	1.5:1	1:50	1:50
	耗费量/kg	125kg	2kg	2
	单价（元/kg）	2	80	90
	合计成本/元	250	160	180
总计（元）		600	510	380（囊袋按50%折损）

以堵头2m和注浆封孔段8m计算，膨胀水泥需150kg，EPCG仅需2kg！！



150kg/孔



2kg/孔



3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

环保型相变凝胶钻孔密封材料生产系统主要以采育年产450t环保型相变凝胶钻孔密封材料的自动化生产系统为主，目前已经完成整体建设和调试，并于日前全部验收。

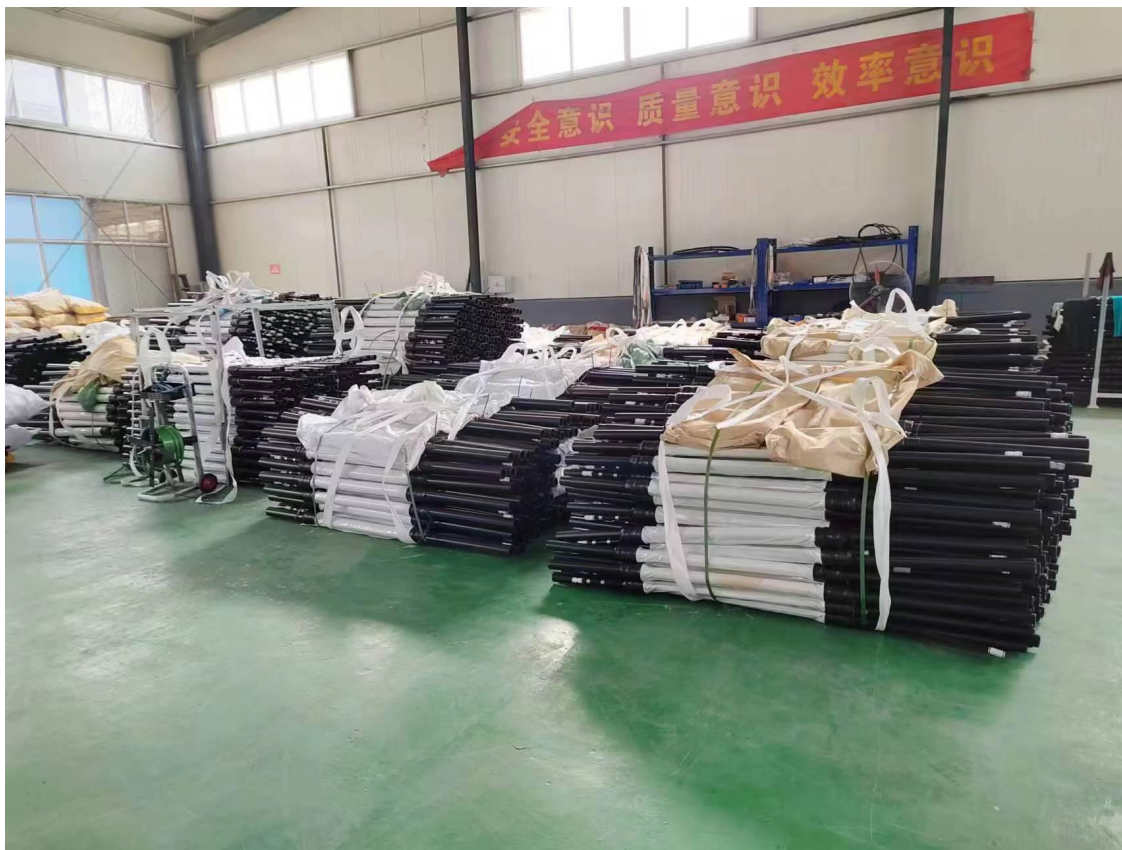


环保型相变凝胶钻孔密封材料自动化生产系统

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

KFZW-200/1.6型钻孔自适应保压式封孔器生产线建设在山东省滕州市和山西省长治市，目前合计生产能力为5万套/a，主要生产包括封孔器和其他注浆装置。



KFZW-200/1.6型钻孔自适应保压式封孔器生产线

3.1 钻孔高质量长时自适应动态密封

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 极高的水料比促使价格低廉、搬运方便，减人提效且使智能化无人封孔有了材料基础

项目名称		方式1	方式2	方式3
堵头充填材料	长度 (m)	2	2	2
	材料名称	膨胀水泥	膨胀水泥	/
	料水比	1.5:1	1.5:1	/
	耗用量/kg	25	25	/
	单价 (元/kg)	2	2	/
	合计成本/元	50	50	/
堵头囊袋 (元/套)		300	300	400 (可回收)
注浆密封段材料	长度 (m)	8	8	8
	材料	膨胀水泥	EPCG	EPCG
	料水比	1.5:1	1:50	1:50
	耗用量/kg	125kg	2kg	2
	单价 (元/kg)	2	80	90
	合计成本/元	250	160	180
总计 (元)		600	510	380 (囊袋按50%折损)



150kg/孔



2kg/孔



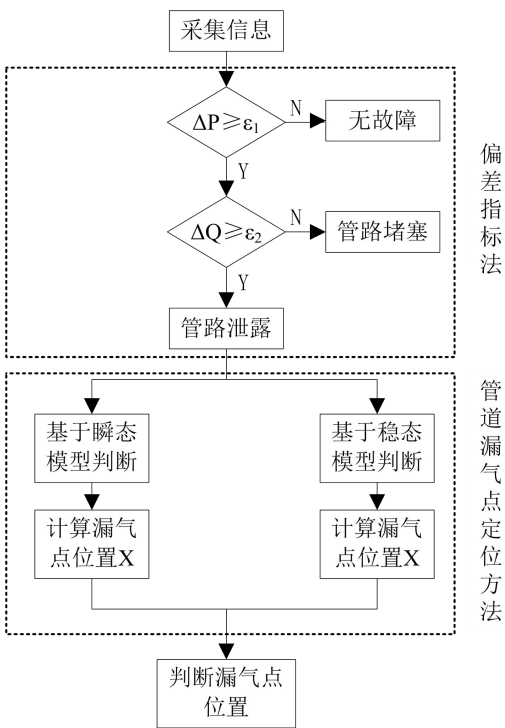
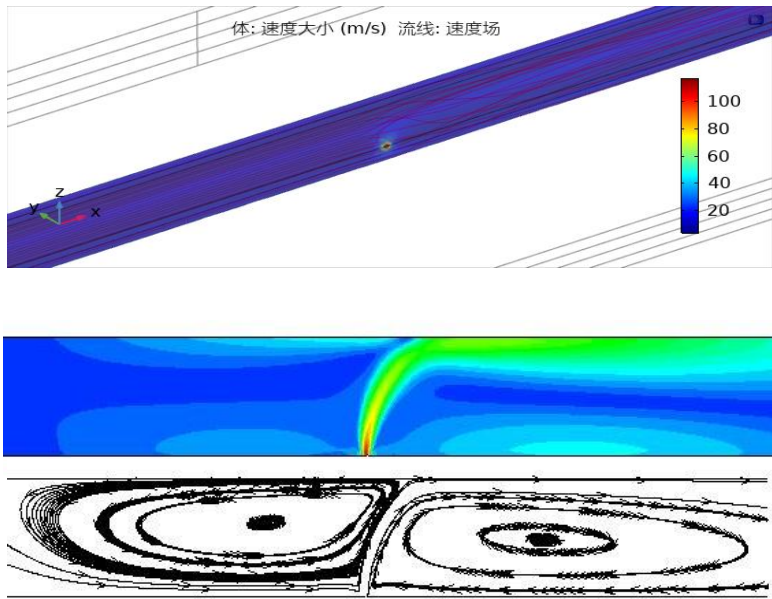
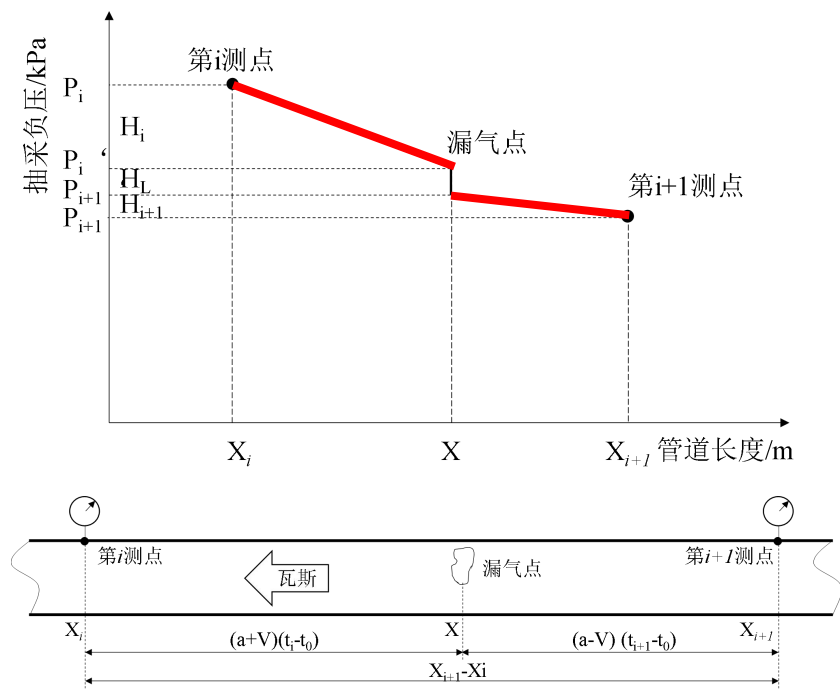
以堵头2m和注浆封孔段8m计算，膨胀水泥需150kg，EPCG仅需2kg!!!

3.2 抽采系统智能动态调控

■ 抽采智能调控保浓抽采与效果动态评价

□ 瓦斯抽采管路故障自动诊断方法

提出了稳态及瞬态模型的管路泄露检测定位方法，形成了煤矿井下瓦斯抽采管路故障自动诊断方法，可基于井下瓦斯抽采监控数据实现对抽采管路发生故障方式的准确判断以及对泄露发生时漏气点的快速定位，实现抽采管路故障快速、准确诊断。

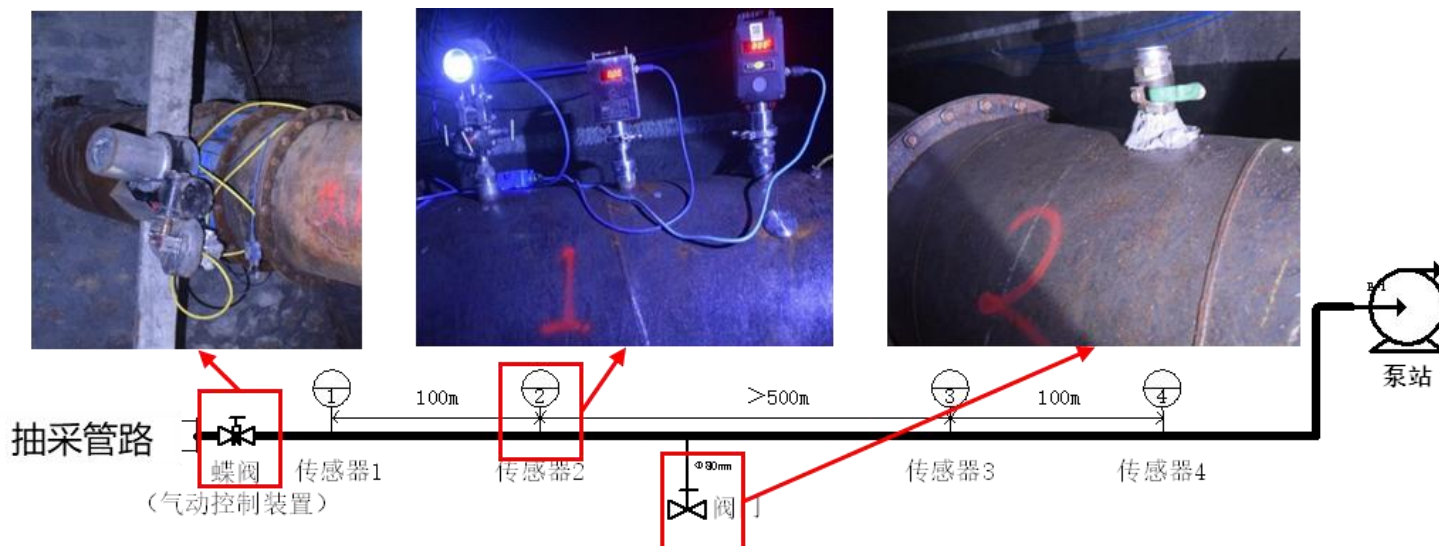
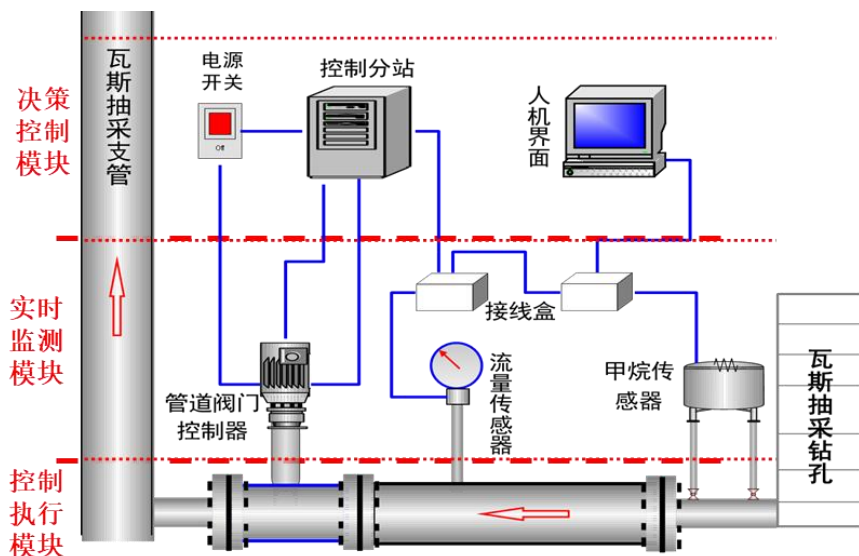


3.2 抽采系统智能动态调控

■ 抽采智能调控保浓抽采与效果动态评价

□ 煤矿瓦斯抽采智能调控技术与系统

研发了煤矿瓦斯抽采调控系统，包括**数据采集模块**、**数据显示模块**、**信息处理模块**、**动作执行模块**，具有抽采参数采集及阀门状态采集功能，可实现煤矿井下瓦斯抽采管路的地面自动控制为主、地面人工控制为辅、井下手动标校及应急控制相结合的控制方式。



3.2 抽采系统智能动态调控

■ 抽采智能调控保浓抽采与效果动态评价

□ 煤矿瓦斯抽达标动态评价系统

参照《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》等相关规范、标准，通过分析动态抽采数据，实时计算煤层抽采区域残余瓦斯含量，并实现图像化动态呈现，自动计算工作面抽采达标所需时间。



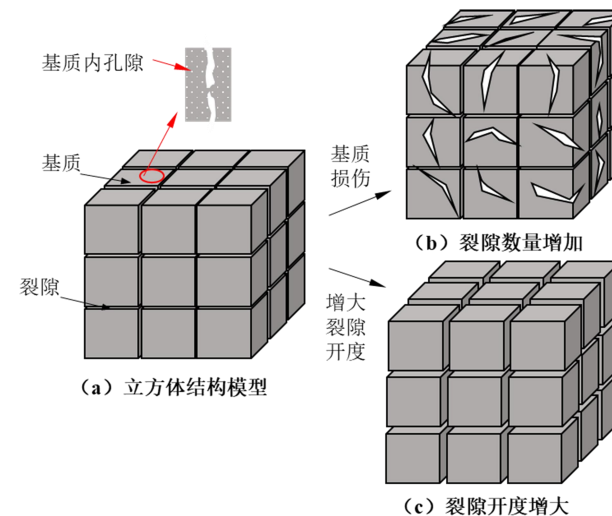
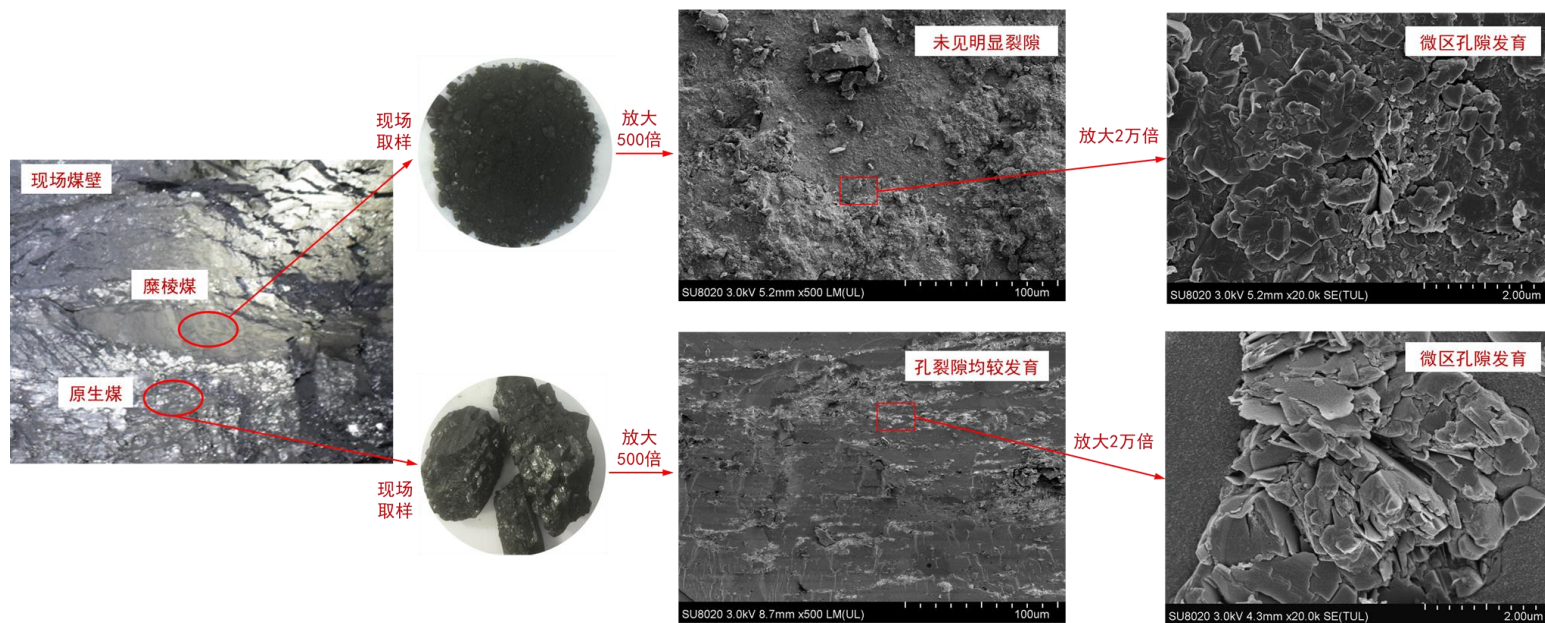
4

气液两相协同增透与促抽

4 气液两相协同增透与促抽

■ 因地施策、分类增透

□ 煤体结构是影响增透促抽技术应用效果的关键因素之一



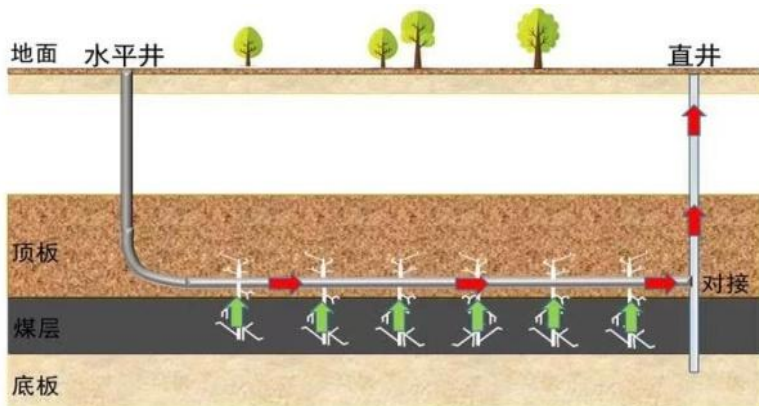
$$q = \frac{-k}{\mu} \nabla p$$

$$\frac{k}{k_0} = \left(\frac{\phi_f}{\phi_{f0}} \right)^3 = \left\{ 1 - \frac{C_m}{\phi_{f0}} (\bar{\sigma} - \bar{\sigma}_0) + \frac{C_m}{\phi_{f0}} [\gamma_f (p_f - p_0) + \gamma_m (p_m - p_0)] \right\} + \left\{ \frac{\varepsilon_{\max} f_m}{\phi_{f0}} \left[\frac{K}{M_c} - 1 \right] \left(\frac{p_m}{p_m + P_e} - \frac{p_0}{p_0 + P_e} \right) \right\}$$

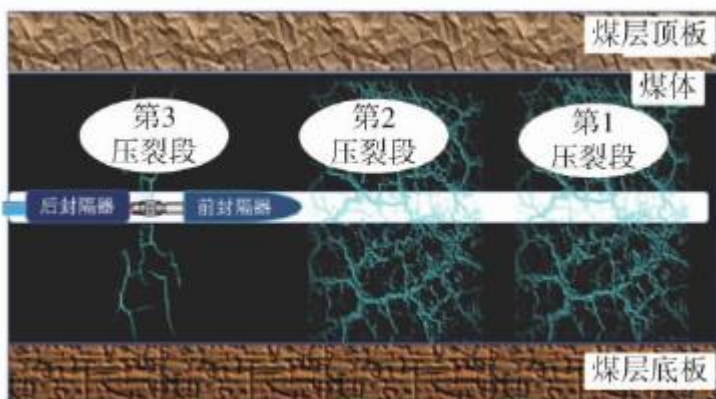
4 气液两相协同增透与促抽

■ 因地施策、分类增透

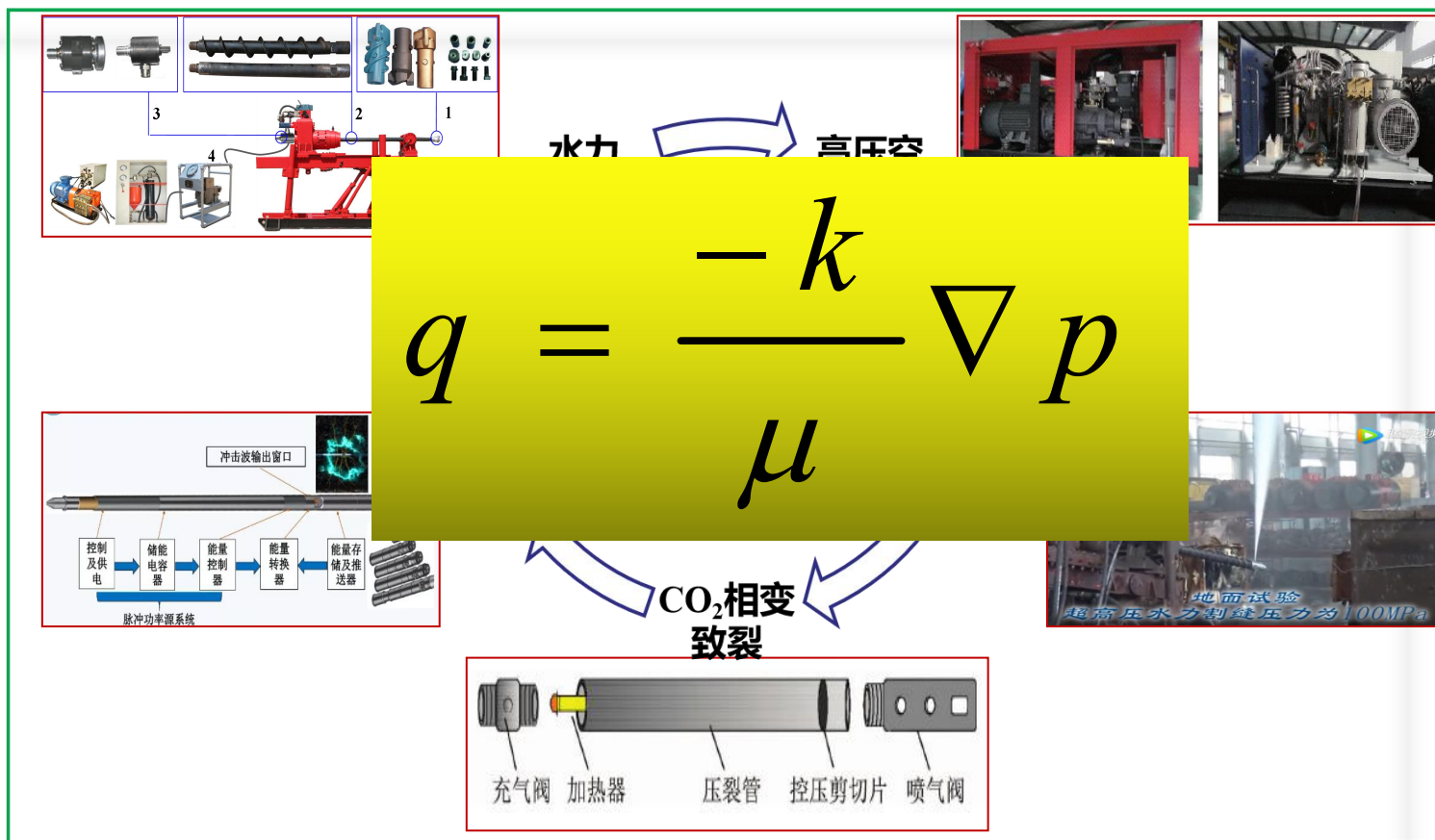
□ 形成了系列化的地面和井下高效抽采、增透增产技术与装备，效果显著



碎软煤层顶板岩层水平井分段压裂



顺层分段水力压裂示意图



4 气液两相协同增透与促抽

■ 因地施策、分类增透

□ 定向长钻孔分段压裂区域化高效抽采技术

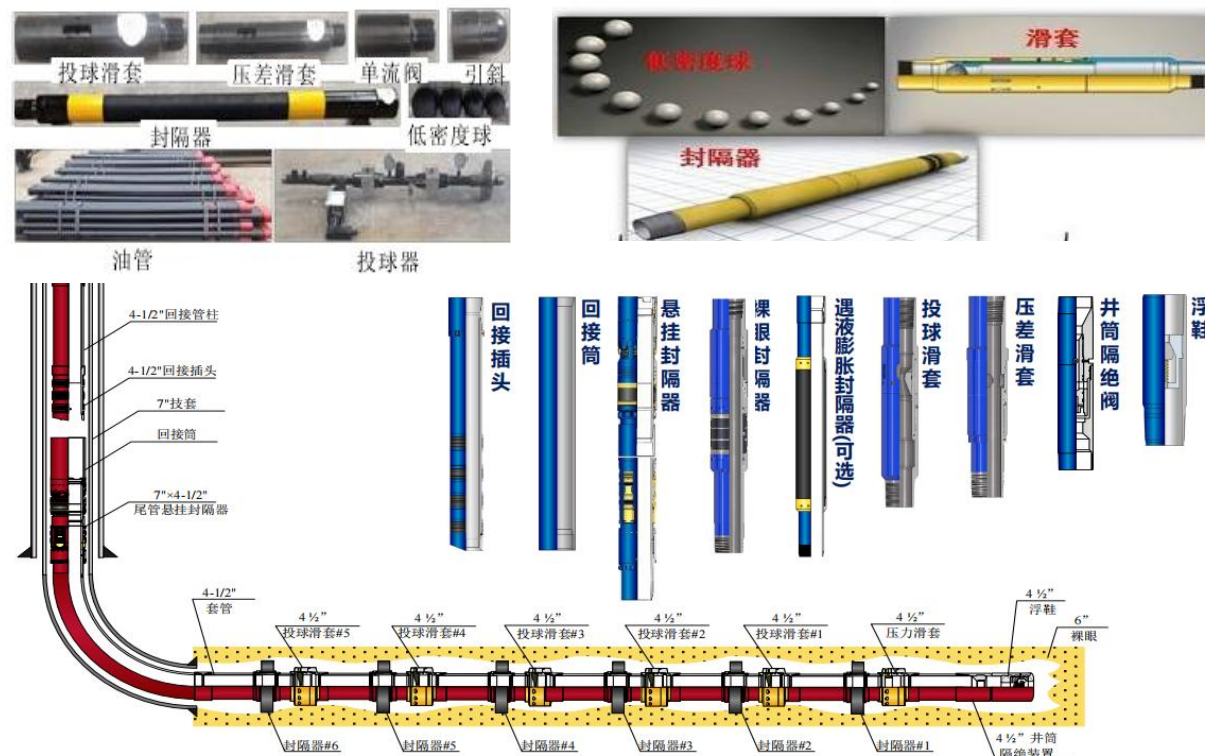
设计**多段式水压梯级起裂成套装置**，对分段压裂喷砂射孔装置中喷射器、引鞋、扶正器、安全丢手等开展动作方式、参数进行了优化分析，形成适合定向长钻孔拖动式分段水力压裂技术，可为煤层区域卸压增透提供技术支撑。



分段压裂泵组

泵站参数：

- 最大排量：53.6m³/h (893L/min) ；
- 最高压力：65MPa ；
- 电机功率：450kW ；
- 电机转速：1490r/min ；
- 泵组重量：13t。

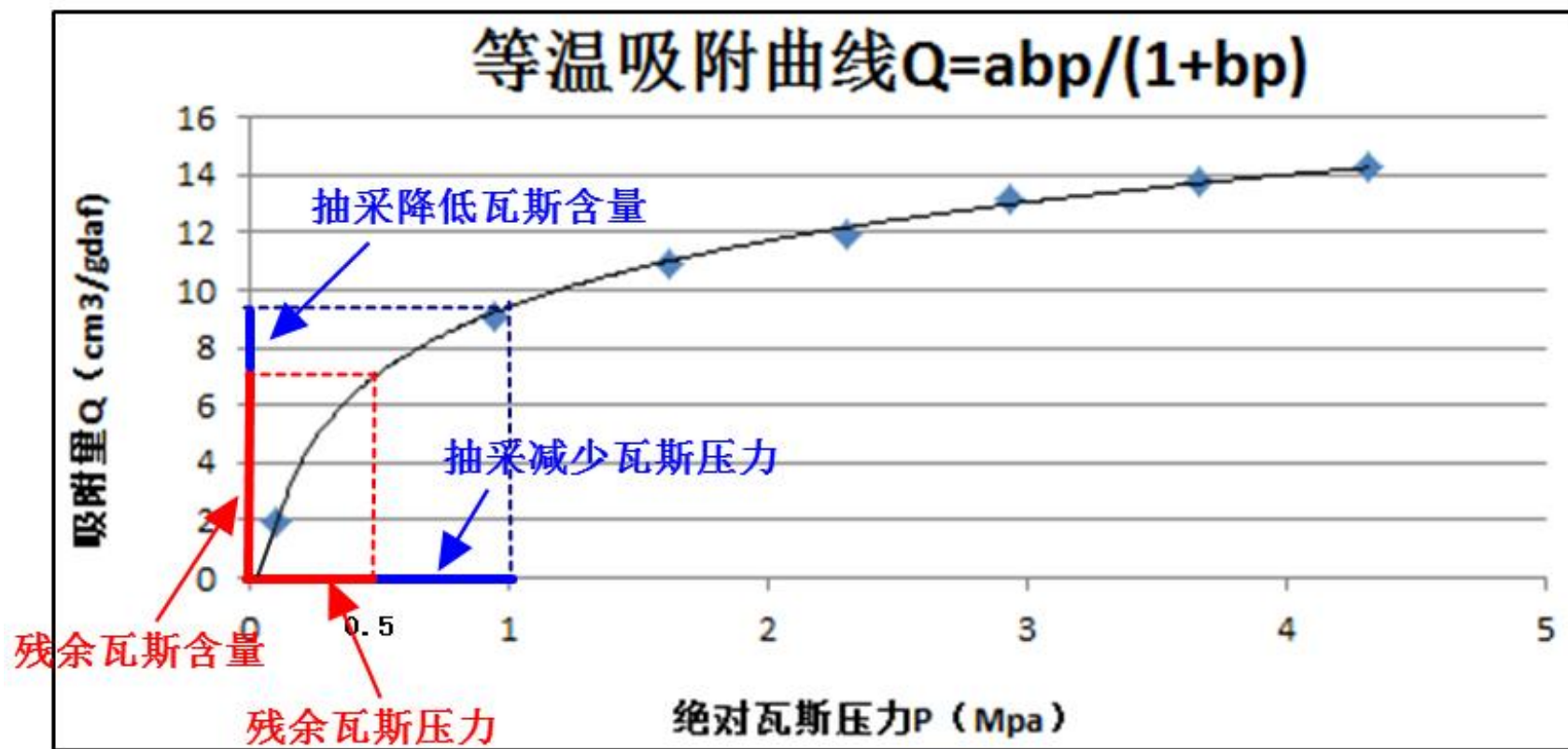


分段压裂工具串组

4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（N₂为主）促抽技术

$$q = \frac{-k}{\mu} \nabla p$$



4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（N₂为主）促抽技术

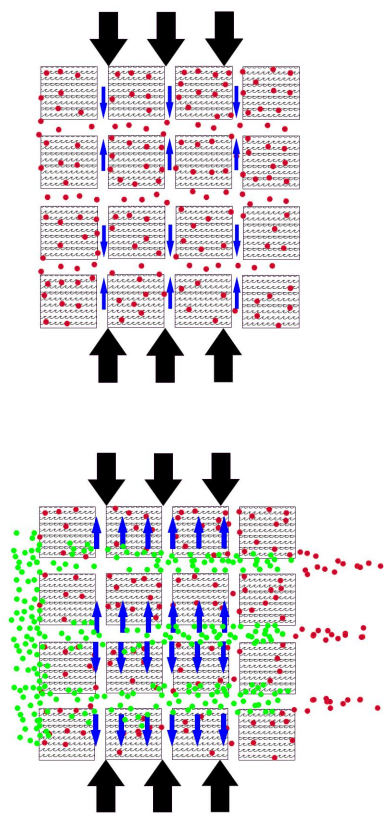
理论分析

$$q = \frac{-k}{\mu} \nabla p$$

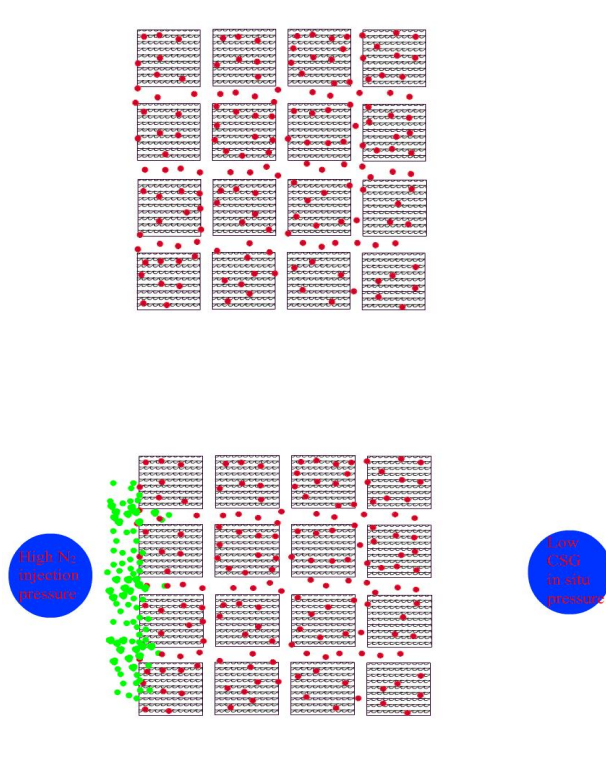
$$k = \exp(-cf \cdot \sigma')$$

$$C_g = \frac{V_L p}{p_L + p}$$

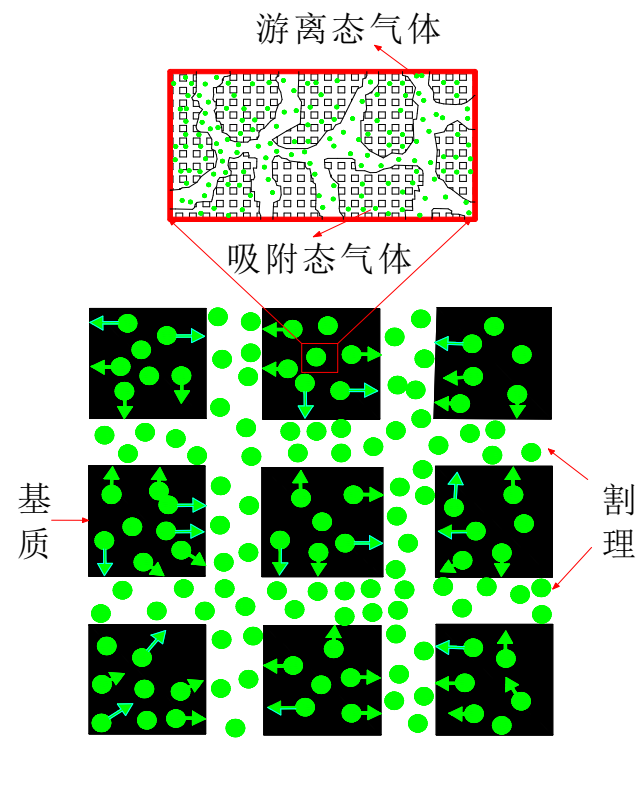
$$V_T = V_{L1} \frac{b_1 p_1}{1 + b_1 p_1 + b_2 p_2} + V_{L2} \frac{b_2 p_2}{1 + b_1 p_1 + b_2 p_2}$$



增渗效应



促流效应

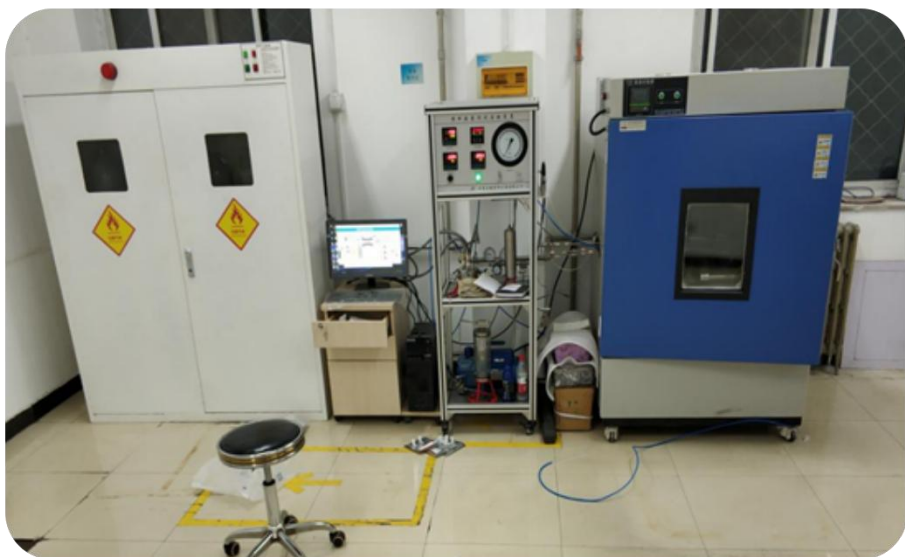


置换效应

4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（ N_2 为主）促抽技术

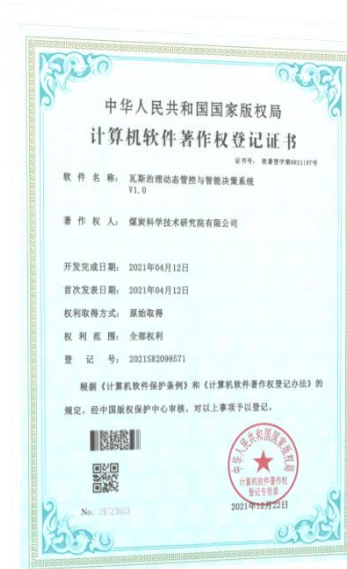
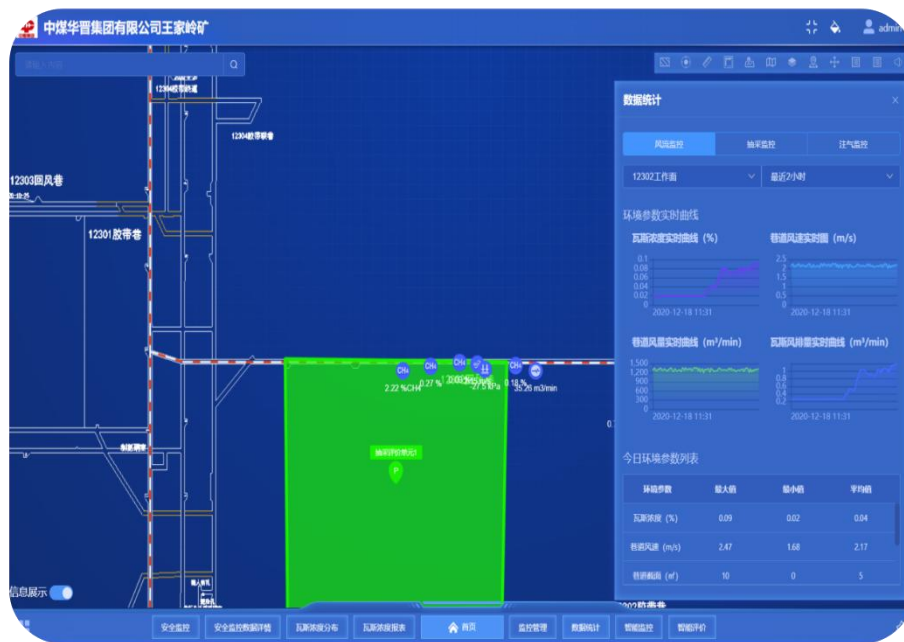
研发了驱替促抽过程双向扩散动力学实验系统，开发了电动和气动两种类型的驱替促抽增压装备。



4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（N₂为主）促抽技术

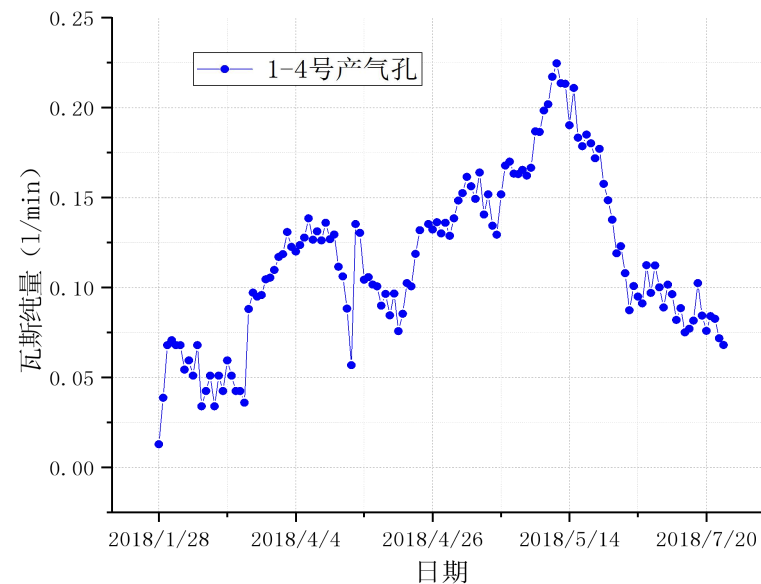
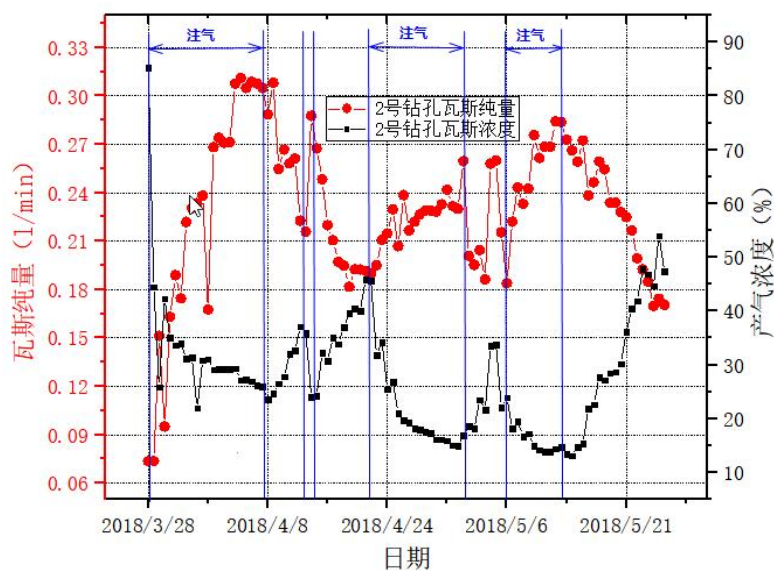
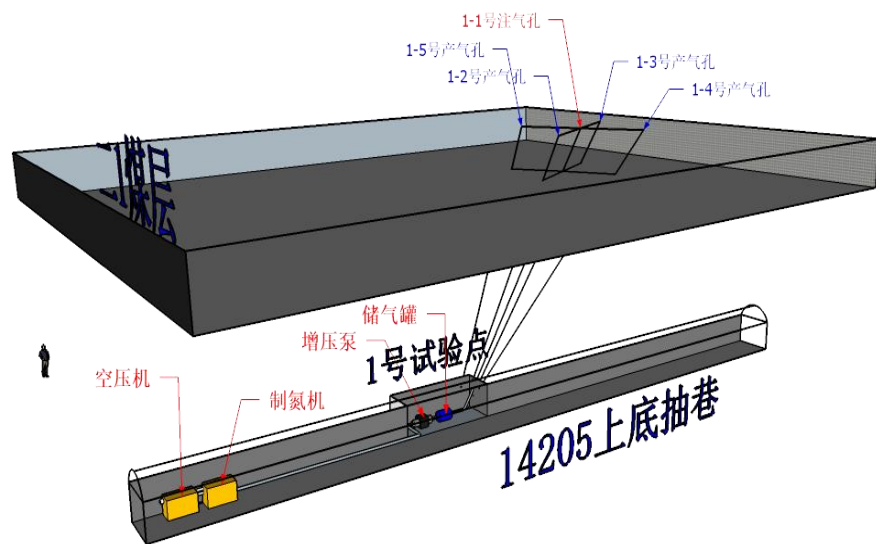
开发有瓦斯抽采效果监测系统及动态管理软件，软件配置包含煤层管理、工作面管理、抽采评价单元管理、达标参数设置和注气抽采参数智能调节等模块。



4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（N₂为主）促抽技术

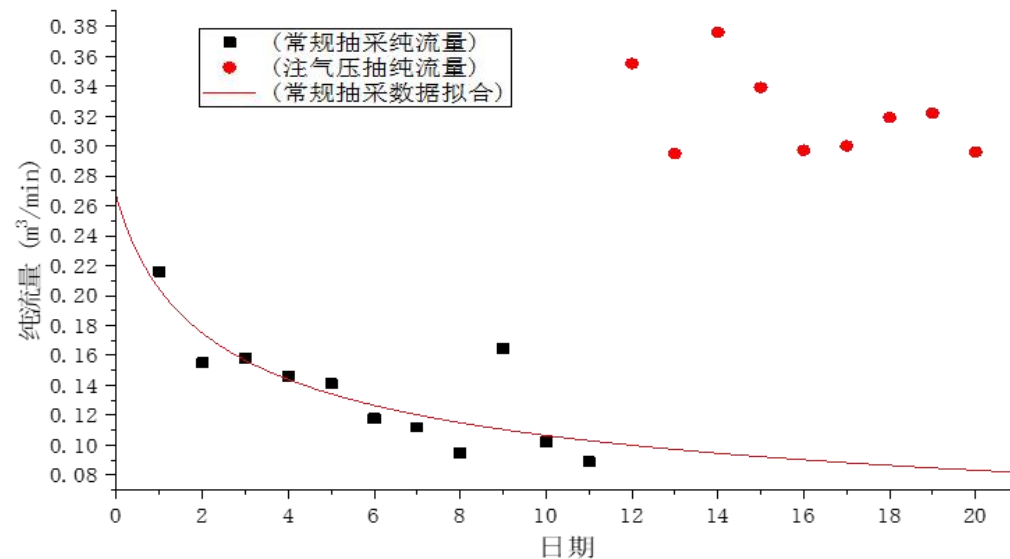
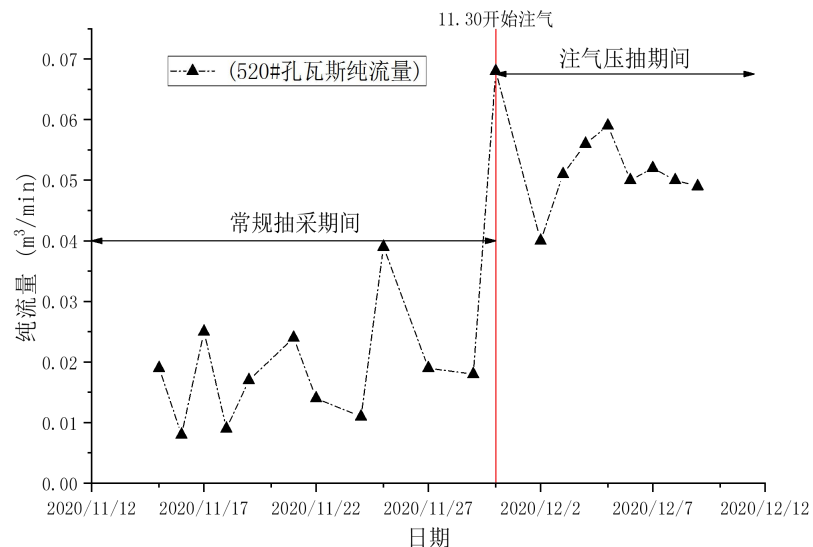
河南赵家寨煤矿低渗碎软突出煤层底抽巷注氮促抽现场试验：注验前煤层瓦斯含量为6.07 ~ 8.36m³/t，试验后促抽范围内瓦斯含量降到5.41 ~ 5.76m³/t；在注氮促抽技术应用期间，底抽巷条带消突达标时间减少了53%，钻孔累计工程量减少了25%。



4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（ N_2 为主）促抽技术

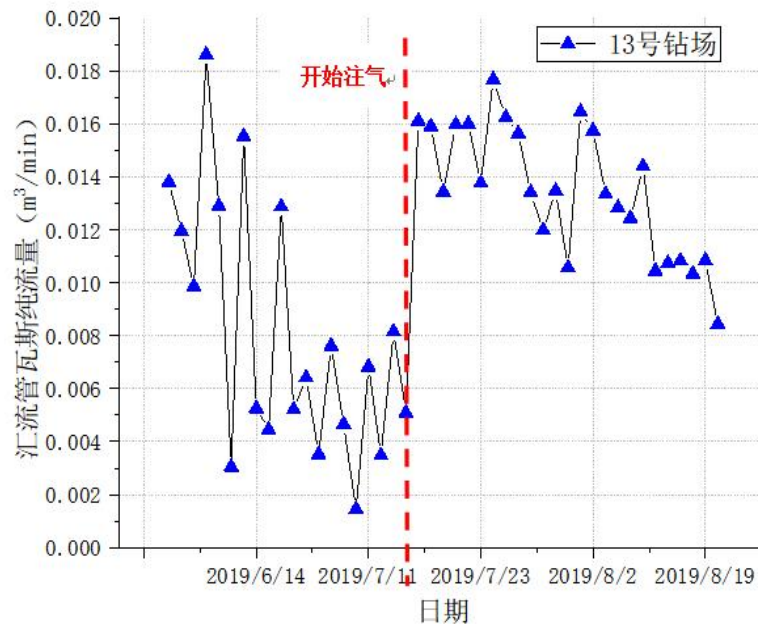
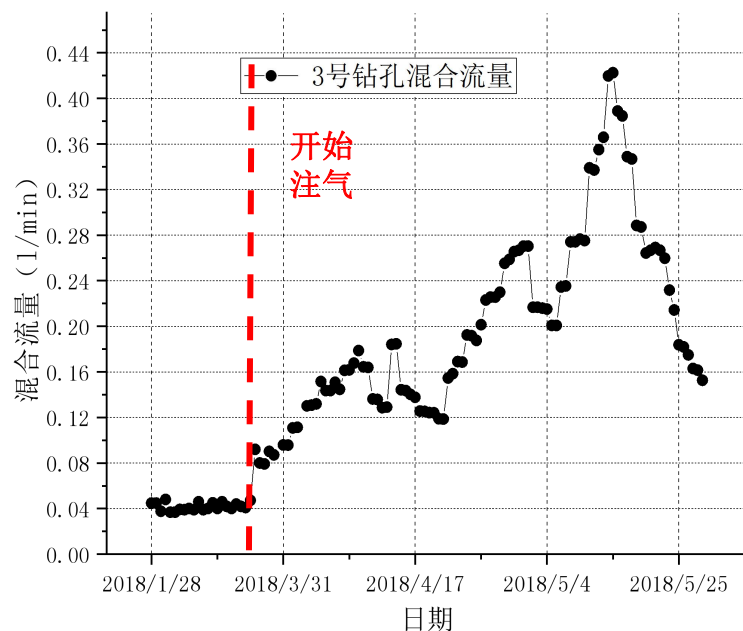
潞安漳村煤矿高瓦斯低渗煤层注氮强化瓦斯抽采技术研究：注氮驱替煤层瓦斯汇流管抽采纯量提升1.44~1.92倍，单孔瓦斯抽采纯量提升1.94~2.44倍；瓦斯抽采产量增量达0.91~1.73倍，效果明显。



4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（N₂为主）促抽技术

刘庄煤矿低瓦斯难抽煤层注氮促抽强化瓦斯抽采技术研究：实施注气驱替后，工作面回风流瓦斯浓度下降明显。在回采试验区域期间，瓦斯浓度达到0.6%的次数从5至8月的30次降到9月至10月2次；注气期间瓦斯抽采纯量提升1.30~1.75倍，煤层瓦斯含量降幅达20%以上。

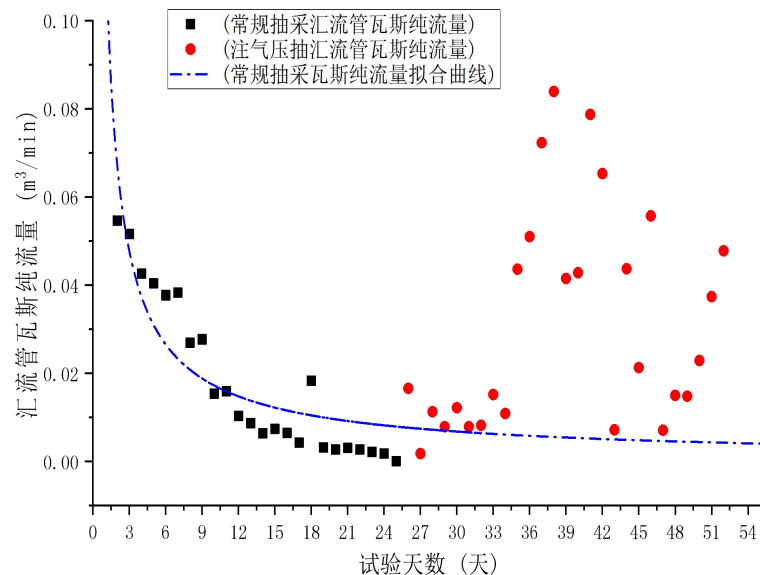
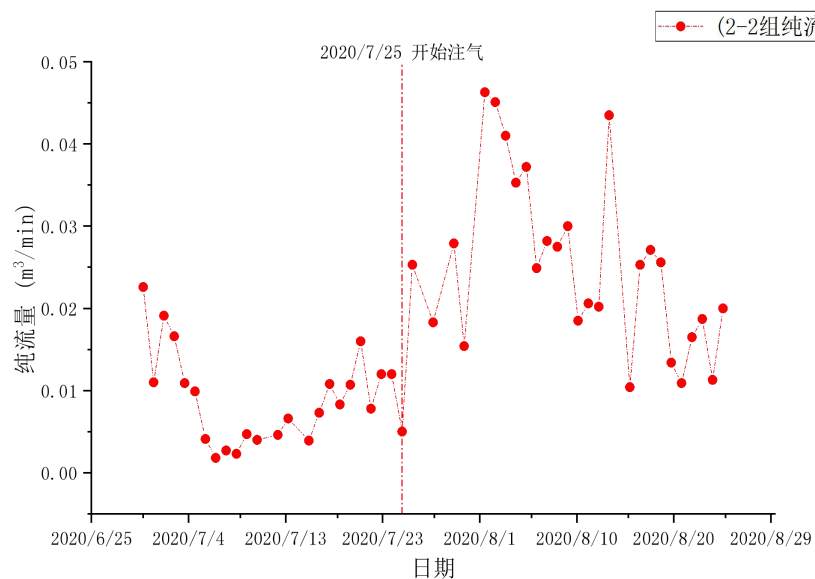


黄玉治局长讲话稿中进行了专门推介和肯定

4 气液两相协同增透与促抽

□ 面向低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件和抽采衰竭钻孔的注气（N₂为主）促抽技术

王家岭煤矿低瓦斯含量高强度开采注气驱替强化抽采研究：注气期间瓦斯累计抽采纯量较常规抽采提升2.27~3.76倍；注气压抽试验区段吨煤瓦斯含量1个月内下降0.5012-0.5179m³/t。



实践表明：该技术特别适用于解决低瓦斯赋存高强度综放高强度开采导致的高瓦斯涌出问题。

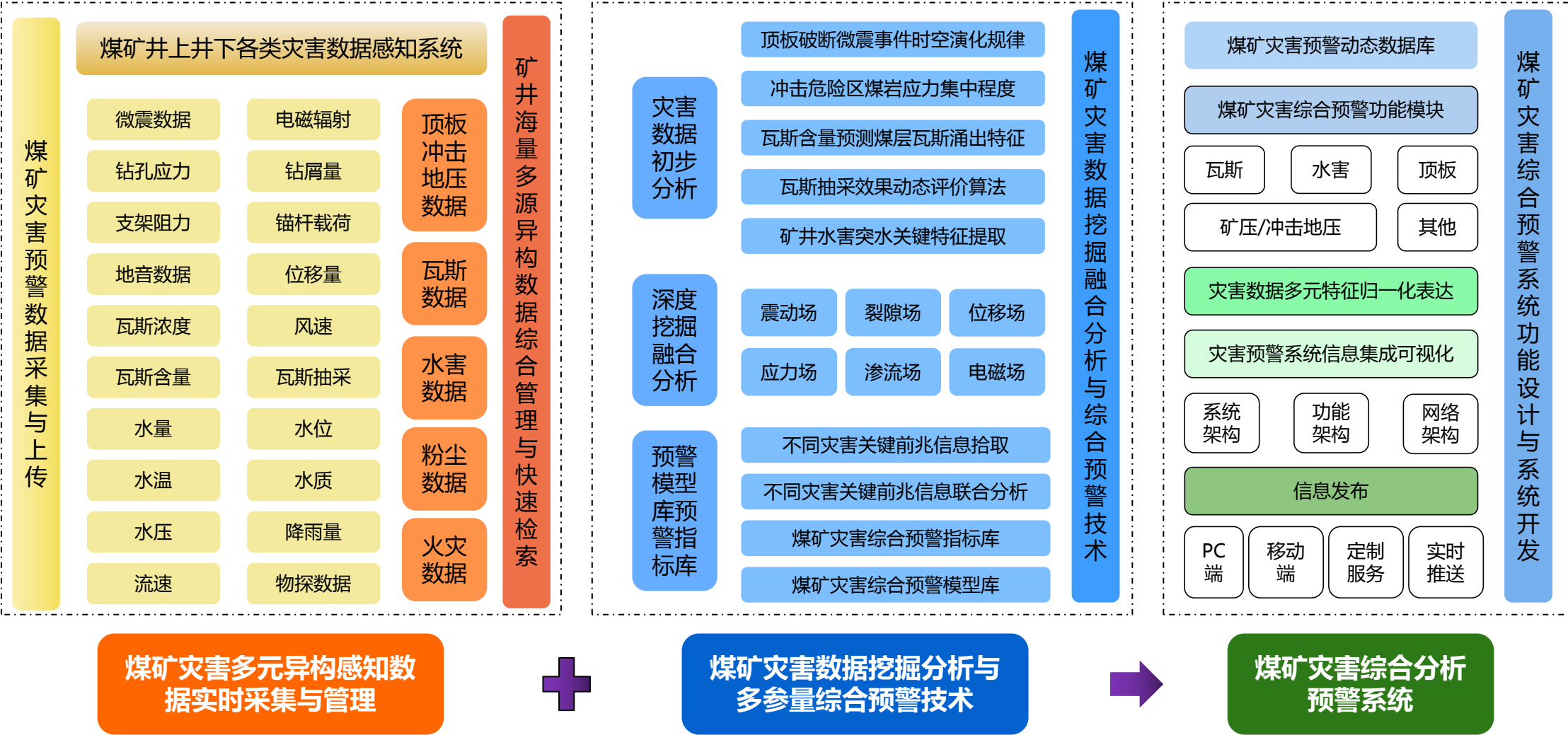
5

煤矿多灾融合监测预警系统

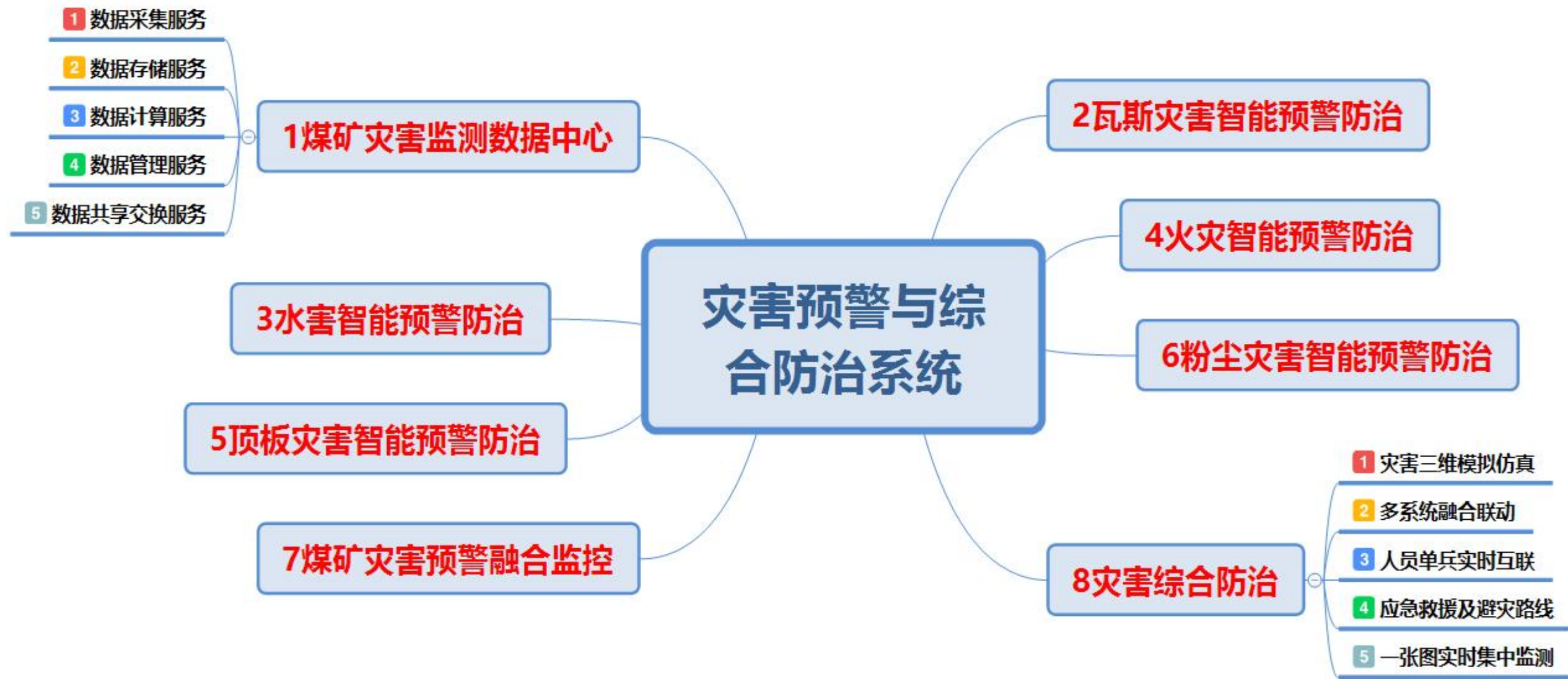
5 煤矿多灾融合监测预警系统



煤矿多灾融合监测预警系统-系统构成

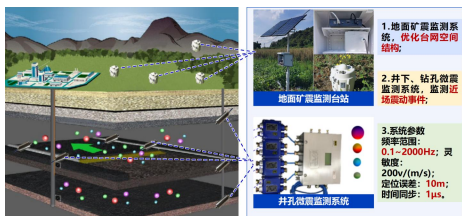


5 煤矿多灾融合监测预警系统

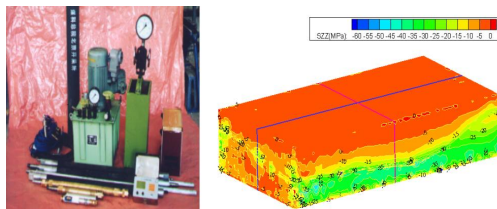


5 煤矿多灾融合监测预警系统

宽频广域震动监测



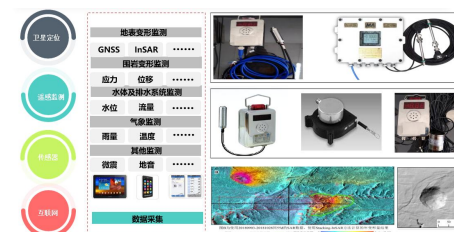
采场应力环境监测



瓦斯预警参数监测



矿井水文信息监测



多元信息随钻采集



灾害治理过程管控



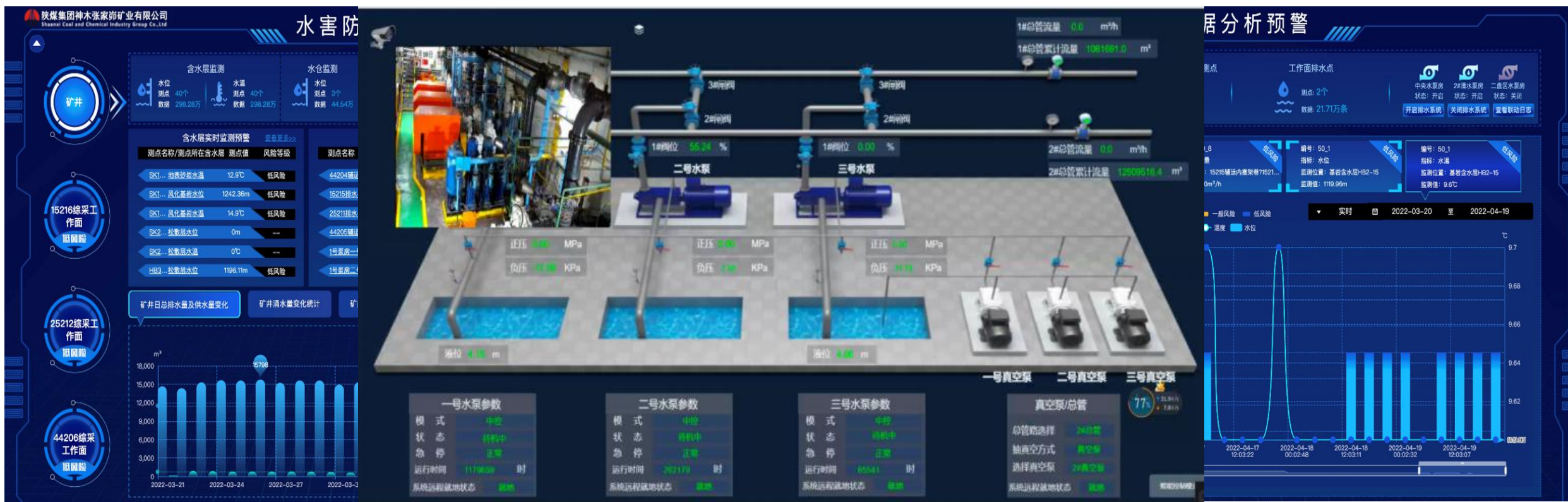
5 煤矿多灾融合监测预警系统

基于不同时间窗、测点位置、设备类型数据，分析瓦斯涌出动态特征，挖掘监测数据**突变、缓变、波动、恒定、周期性变化**等数理统计特征，建立基于安全监控数据的采掘工作面多因素融合的分级预测、预警模型，结合**工作面来压、采掘等对瓦斯涌出影响**，实现工作面瓦斯异常自动筛选、锁定、回溯分析及**智能预测预警**，并基于监测工作面瓦斯涌出数据和工作面基础参数，进行**风量、风速智能分析、计算**，为工作面调风提供支撑。



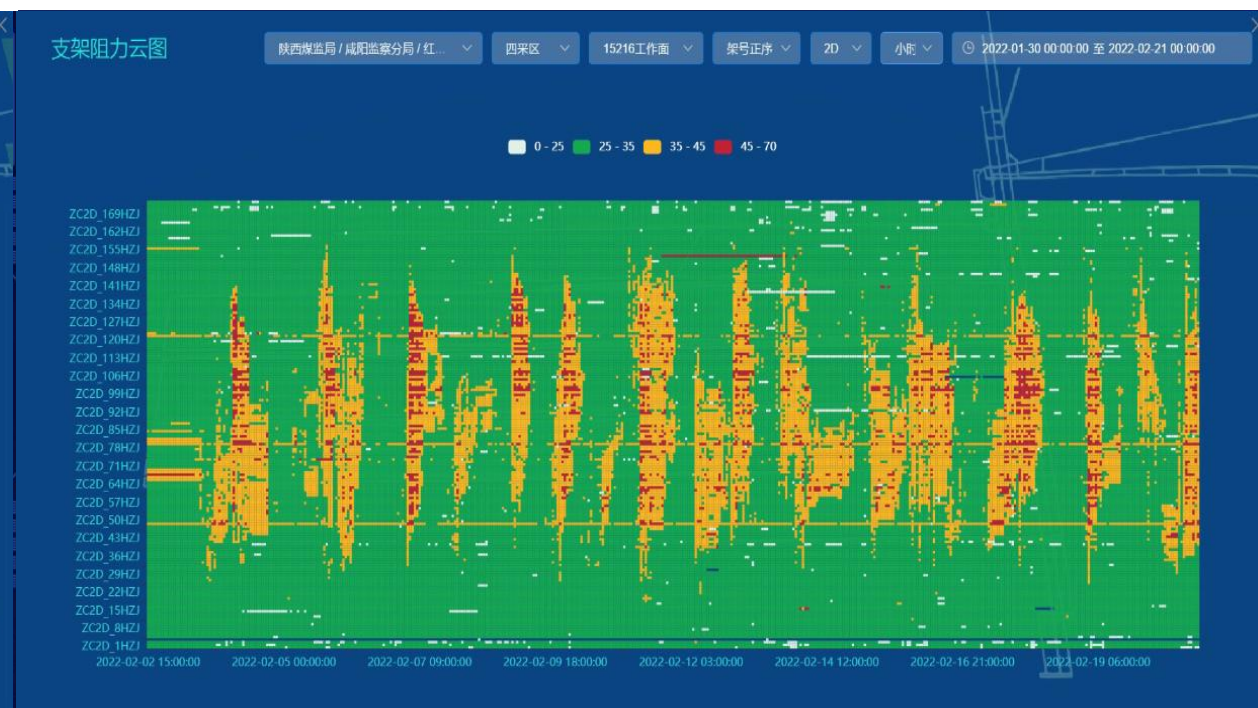
5 煤矿多灾融合监测预警系统

基于水文监测数据及矿井工作面采掘地质条件，构建**煤矿“点—面—矿井”**分级分类预警模型体系，通过多因素、多维度综合分析预警判断，实现预警结果可视化呈现，实现**矿井涌水量的智能计算**，依据采掘条件、范围或生产能力变动**矿井涌水量智能预测**，实现**探放水作业中数据的智能采集分析**，与**排水系统的智能联动控制**。



5 煤矿多灾融合监测预警系统

以**支架阻力、锚杆索载荷、顶板离层**监测数据为基础，建立数据导向型预警体系，将多结构体、多数据源、多时空谱的监测数据同化到同一层面上，建立预警模型，对**矿井工作面和巷道顶板灾害监测预警**，**实时评估采煤、掘进工作面的风险等级**，实现工作面推进度和来压时间对来压周期的分析，对**周期来压进行精准快速分析**；通过对应力、支架阻力的分析，形成**顶板运动规律云图**；实现工作面基于巷道变形量分析，实现历史数据查询曲线/柱状图、**工作面循环工作阻力分析**等。



5 煤矿多灾融合监测预警系统

实现多类型冲击地压数据分析与可视化，冲击地压数据原始信息的融合分析，冲击地压数据特征信息的融合分析，冲击地压数据决策信息的融合分析。建立“一矿一模型”的冲击地压预警模型、指标智能管理，以及基于数据驱动的人工智能判识平台。针对不同用户按需提供数据支撑服务（煤矿企业，危险区域划分、防冲建议对策；管理部门，区域风险分析、监管重点方向；应急救援和科研院所，灾害数据支持）。



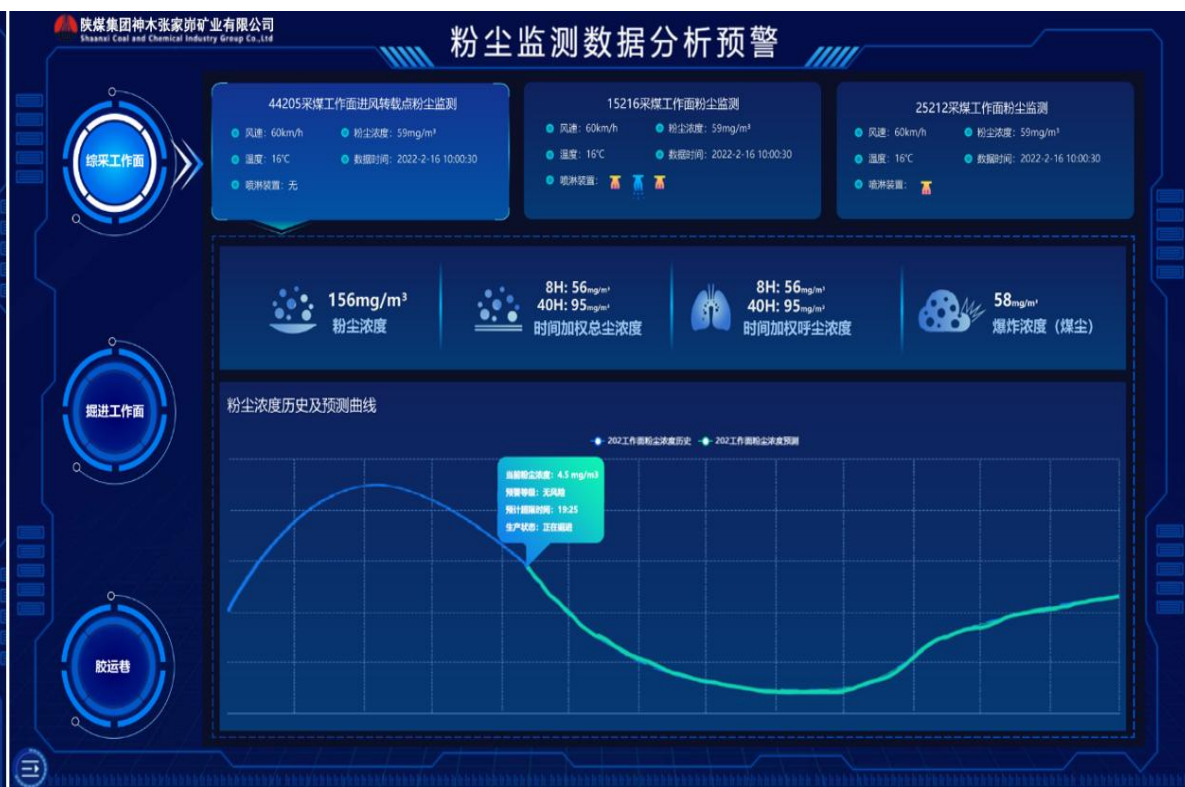
5 煤矿多灾融合监测预警系统

基于采空区、工作面监测与胶带运输光纤测温等内外因火灾监测数据融合建立**火灾指标库**，采用矿井火灾特征信息融合识别预判方法，结合煤层发火特性，选择不同的数据统计算法与机器学习模型，挖掘发火特征气体分布规律以及与煤温耦合变化关系，实现**火灾参数的趋势分析及预测预警**，依据火灾预警实况，实现对**注浆、注氮系统的启停状态进行联动控制**，**火灾避灾路线动态规划**。



5 煤矿多灾融合监测预警系统

基于井下**粉尘浓度**、割煤机速度、风速、风向、温度、湿度、人员位置等数据，通过选择不同的数据统计算法与机器学习模型，建立实现**基于粉尘浓度大数据分析的预警模型**，根据监测位置、各类监测参数、不同时间窗，建立监测数据突变、缓变、波动、恒定、周期性变化等数理统计特征图谱，实现**粉尘浓度的趋势分析及预测预警**。根据预警状况，实现**防降尘设备的联动控制、远程控制**，通过声控传感器，实现**粉尘爆炸后的自动喷雾降尘**。

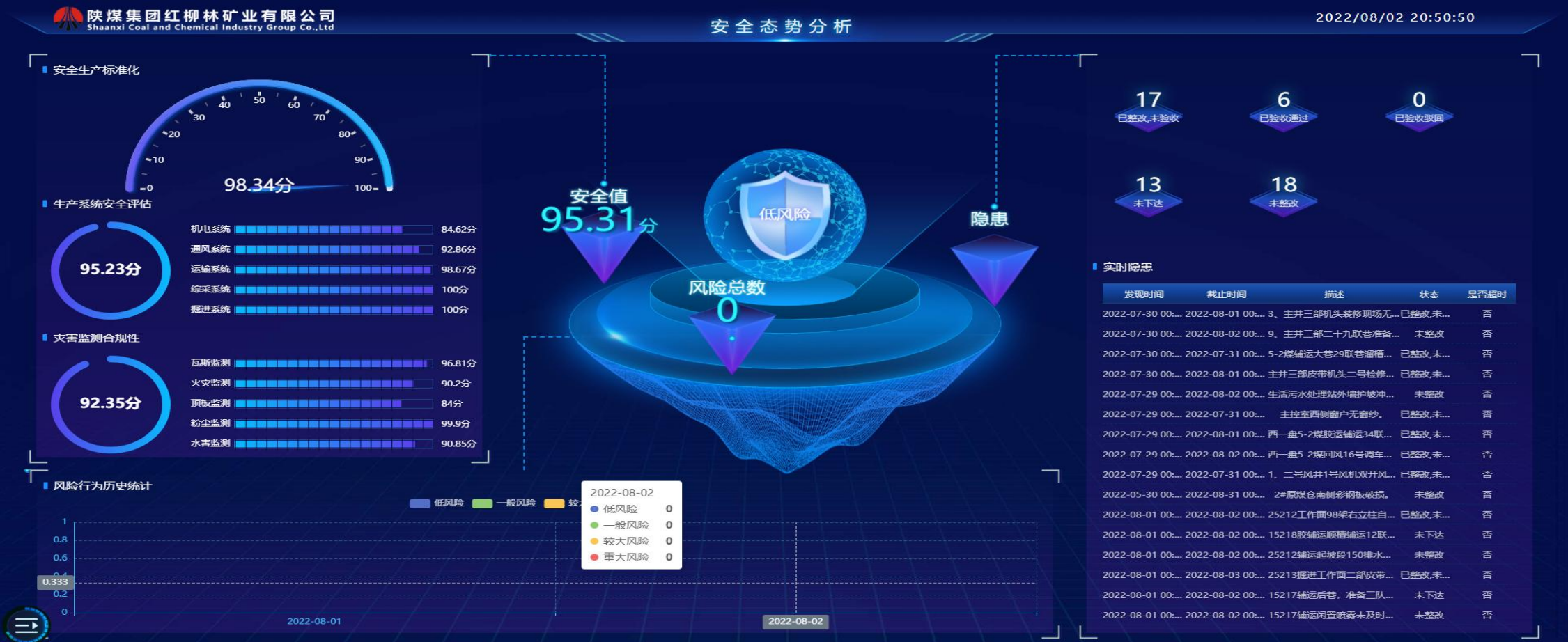


中国煤科
CCTEG

5 煤矿多灾融合监测预警系统



综合分析**安全生产标准化数据**、**风险和隐患数据**，以及综采系统、掘进系统、运输系统、通风系统、机电系统等设备运行参数信息，瓦斯、水、火、顶板、粉尘等灾害监测系统数据，采用层次分析法和优序图法，建立**矿井整体风险评价体系**和**评估模型**，对矿井整体安全状态进行评价。



5 煤矿多灾融合监测预警系统

关键技术

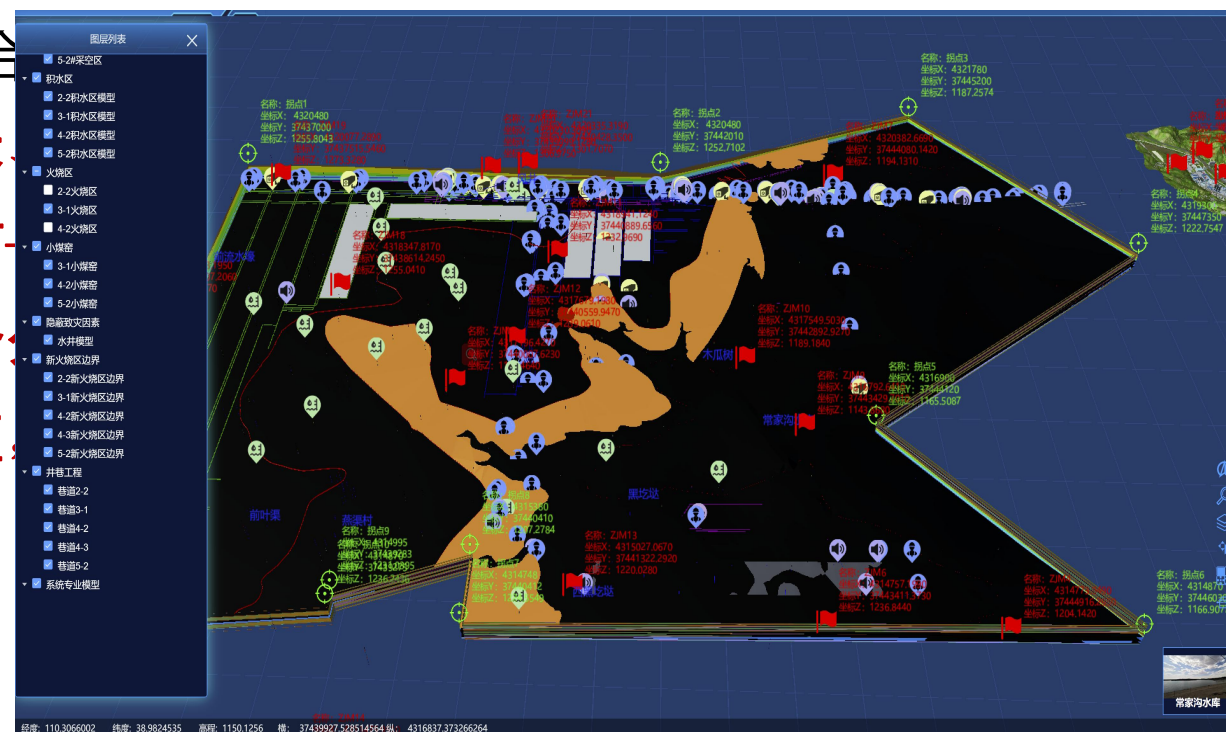
1) 煤矿灾害数据分布式采集、稳定传输及多元数据集成共享



- 依据煤矿灾害特点及各灾害监测系统建设部署现状，以生产应用需求为基础，补充完善灾害（瓦斯、水、火、顶板与冲击地压、粉尘）监测设备，建立矿井灾害监测预警指标体系。
- 实现煤矿斯、水、火、顶板与冲击地压、粉尘等多种灾害数据的分布式采集、海量数据稳定传输及预处理。
- 实现煤矿灾害多元特征数据归一化表达，对数据进行高效地集成管理、分析处理、透明共享，集成可视化。

关键技术

(1) 各类型灾害数据参量分析及特征提取



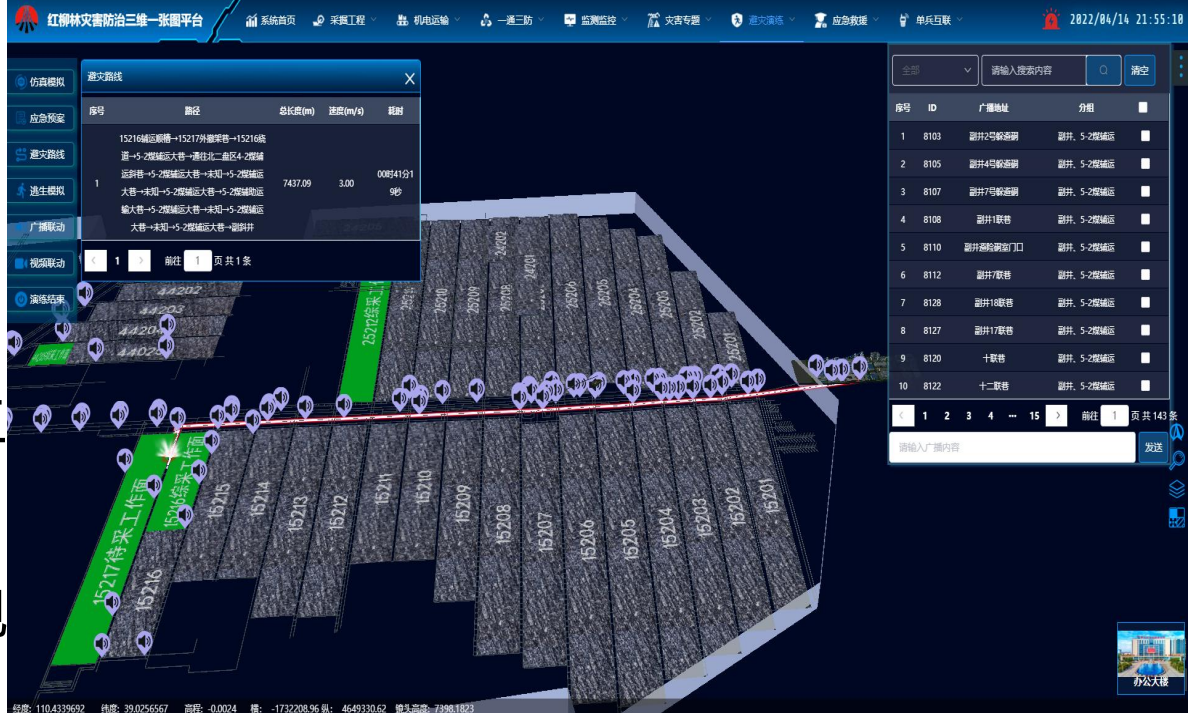
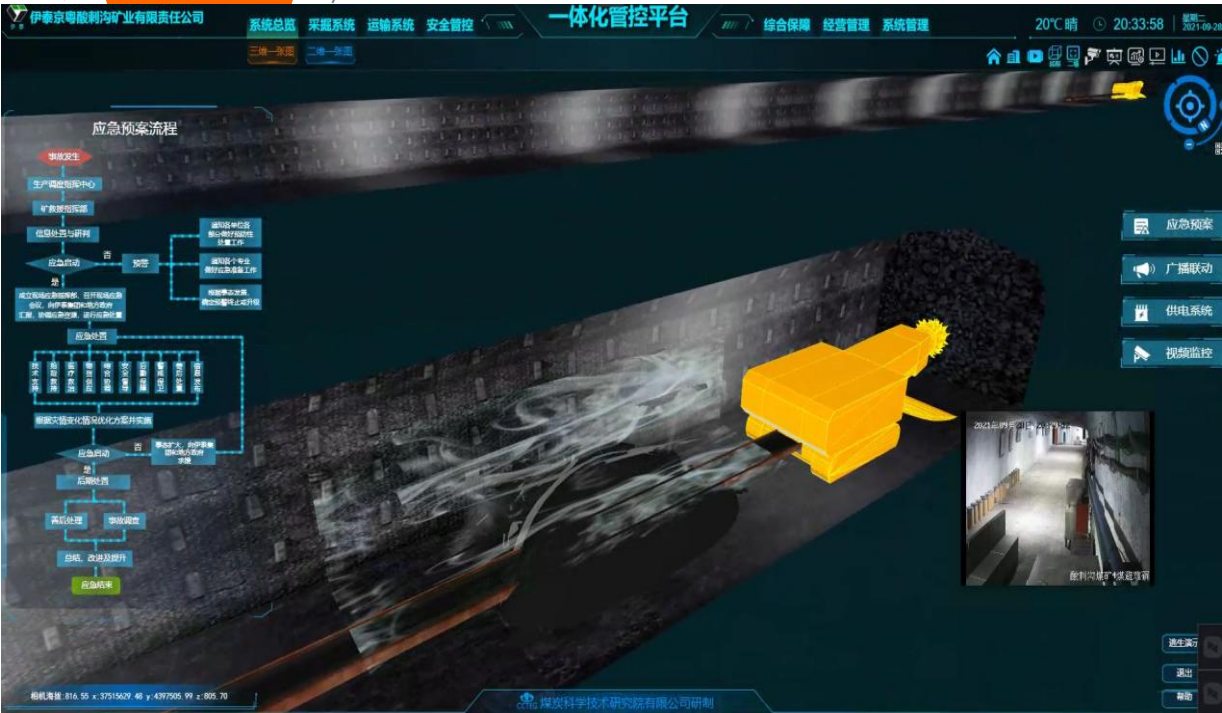
5 煤矿多灾融合监测预警系统



3) 煤矿灾害三维虚拟仿真可视化呈现

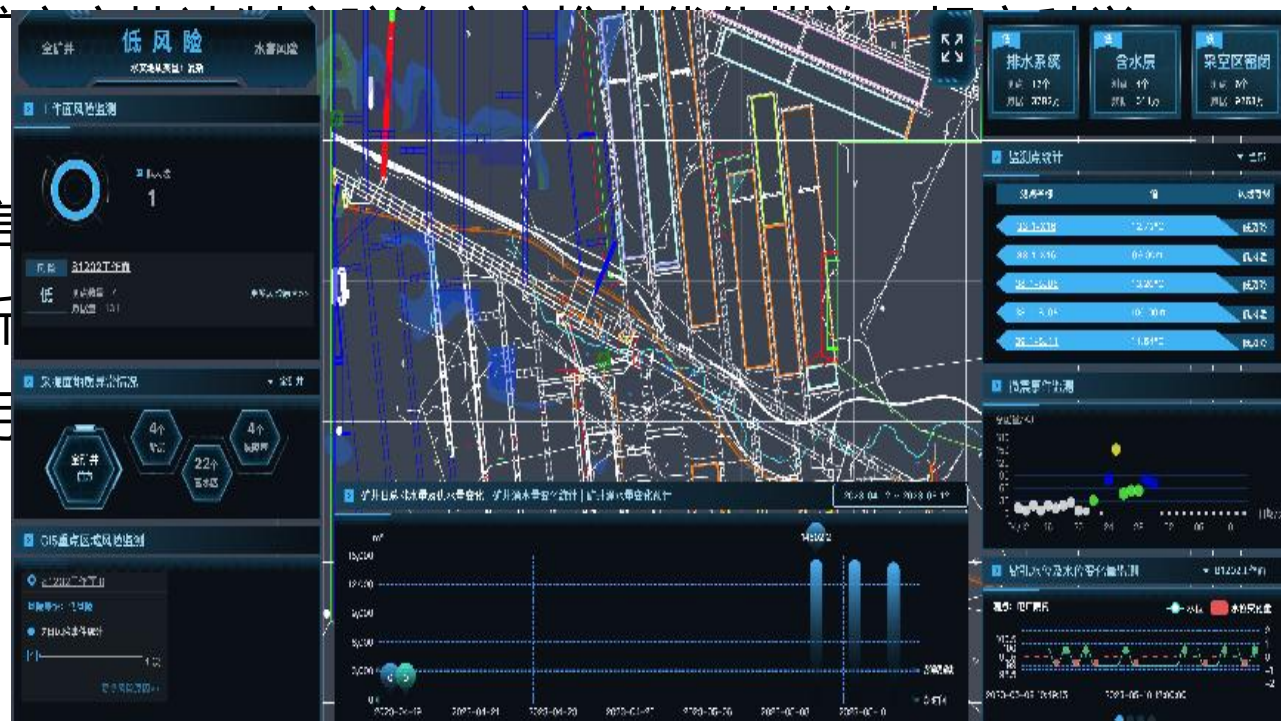
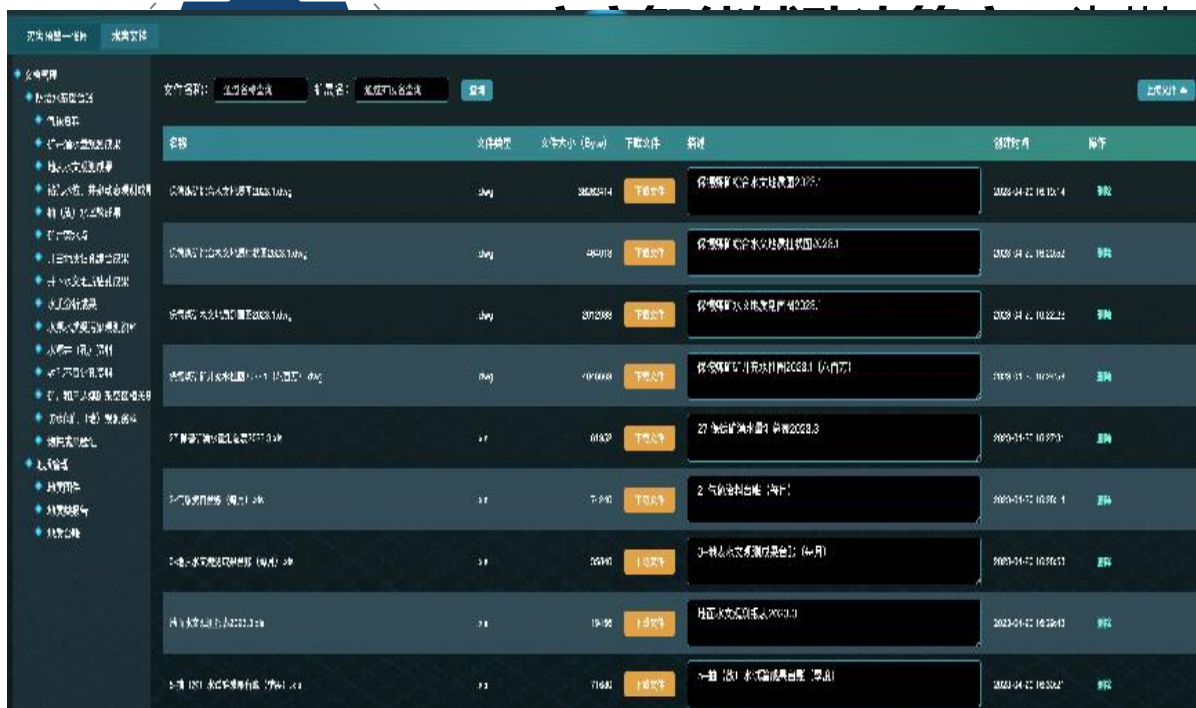
关键技术

- 以各类灾害监测数据为基础，结合WebGL技术及数据处理反演技术，通过跨平台跨浏览器，实现各类灾害实时三维虚拟仿真，实时呈现瓦斯、水、粉尘、火、顶板灾害场景状态，为煤矿灾害预防提供三维空间虚拟“电子



关键技术

- 针对煤矿采矿地质条件及灾害特征等必要因素，借鉴国内其他典型矿区灾害有效防治成果，从技术可行性和安全可靠角度，结合矿区灾害特点，构建**煤矿**



5 煤矿多灾融合监测预警系统

张家峁煤矿智能灾害安全监控预警建设项目

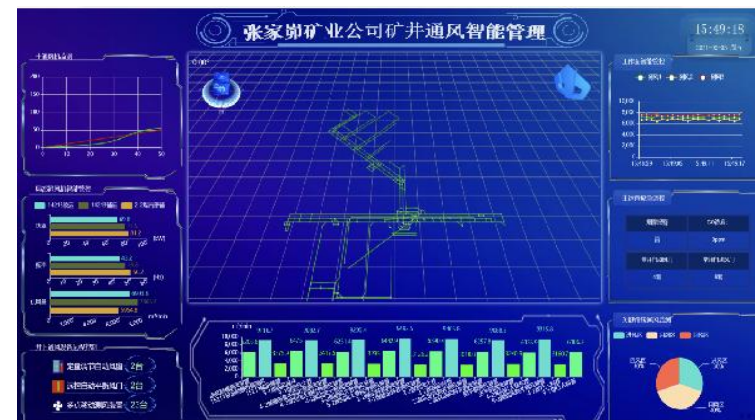
张家峁煤矿作为陕煤集团的首批国家智能化建设示范矿井之一。煤科院承担了“智能灾害安全监控预警”、“智能通风”和“地质保障”等3部分内容的建设。其中，灾害预警包括“**煤矿灾害监测数据中心**”、“**瓦斯、火、水害、顶板、粉尘智能预警防治**”、“**灾害预警融合监控**”、“**灾害综合防治**”。高分通过了国家智能化验收，进入中级智能化矿井行列。



地质保障



灾害智能预警

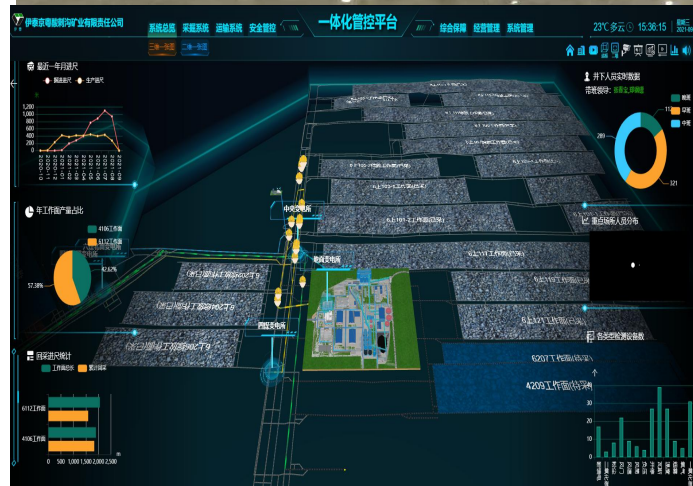


智能通风

5 煤矿多灾融合监测预警系统

伊泰酸刺沟煤矿智能化建设

煤科院于2020年底负责承建了内蒙伊泰集团酸刺沟煤矿智能化建设，作为全国首批智能化示范项目，完善和提升了煤矿信息基础设施、运算平台、掘进、综采、主运输、辅助运输、综合保障、安全管控、经营管理九大系统，全力打造“智能矿山”新典范。目前已经完成一期和二期的全部建设内容，并顺利通过内蒙古能源局组织的智能化验收。





中国煤炭科工集团有限公司
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

感谢聆听 敬请批评指正

—— 创新改变世界 安全拥有未来 ——



联系电话：13811560289/010-84263071

邮箱：yonglongshu@163.com