



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

特厚煤层综放开采工作面瓦斯全时域 高效抽采与防治关键技术

汇报人：舒龙勇

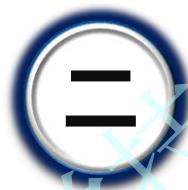
煤科院安全分院副院长/中国煤科二级首席科学家

2024.10 陕西咸阳

目录 CONTENTS



煤矿瓦斯灾害治理典型模式



特厚煤层综放开采全时域抽采



煤矿多灾融合监测预警系统

1

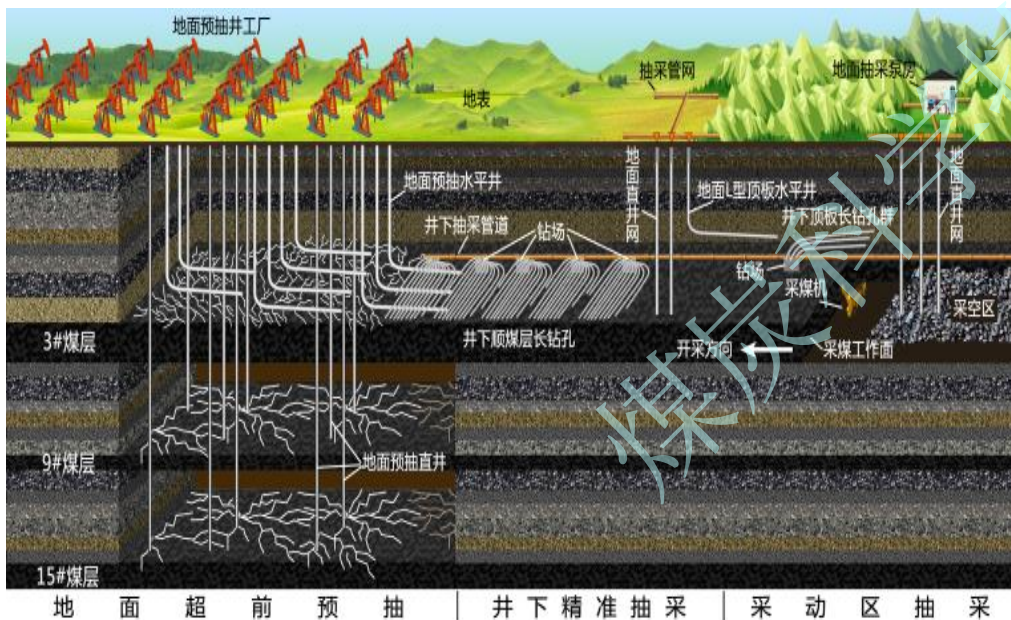
我国煤矿瓦斯灾害治理典型模式

煤炭科学技术研究院

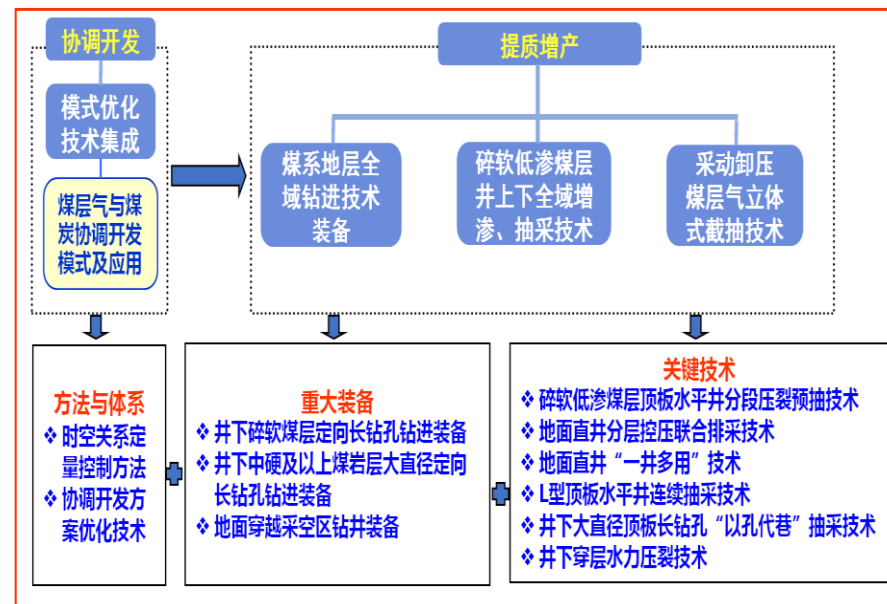
1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

我国首创了煤矿区煤层气与煤炭多区联动井上下联合全域协调开发模式

- 以煤矿采掘接替和煤层气地质-储层条件为基础，以全域产能预测和分区时空转换为约束，**提出了“时间-空间-技术”多因素耦合的煤层气与煤炭协调开发方法**
- 构建地面超前预抽、井下精准预抽和采动抽为一体的井上下联动开发技术



煤层气与煤炭协调开发模式

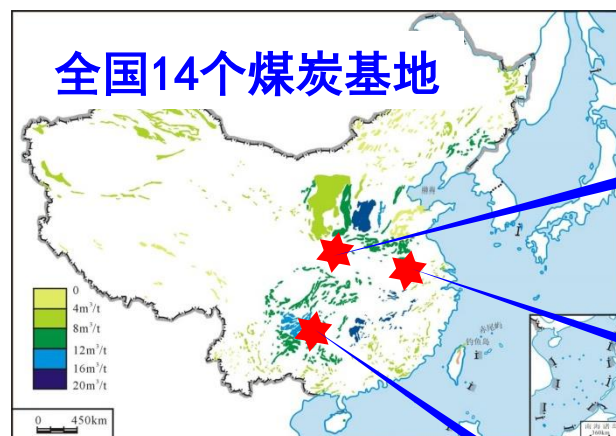


煤层气与煤炭协调开发技术体系

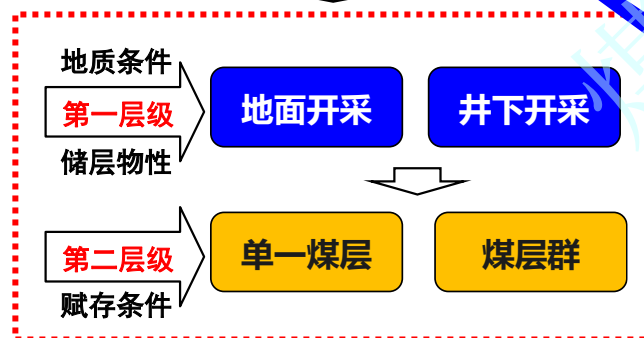
1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

我国首创了煤矿区煤层气与煤炭多区联动井上下联合全域协调开发模式

■针对**晋城、两淮、松藻**示范基地典型应用场景，建立了**3种协调开发范例**



模式分类



模式类别

典型模式

适用条件

晋城矿区

单一煤层井上下联合抽采

三区联动井上下整体抽采煤层气开发

单一煤层，构造简单，地势平缓，煤质坚硬，气含量高，渗透率较大

两淮矿区

煤层群井上下联合抽采

保护层卸压井上下立体抽采煤层气开发

煤层群，地势平缓，煤层软低渗，构造煤发育

松藻矿区

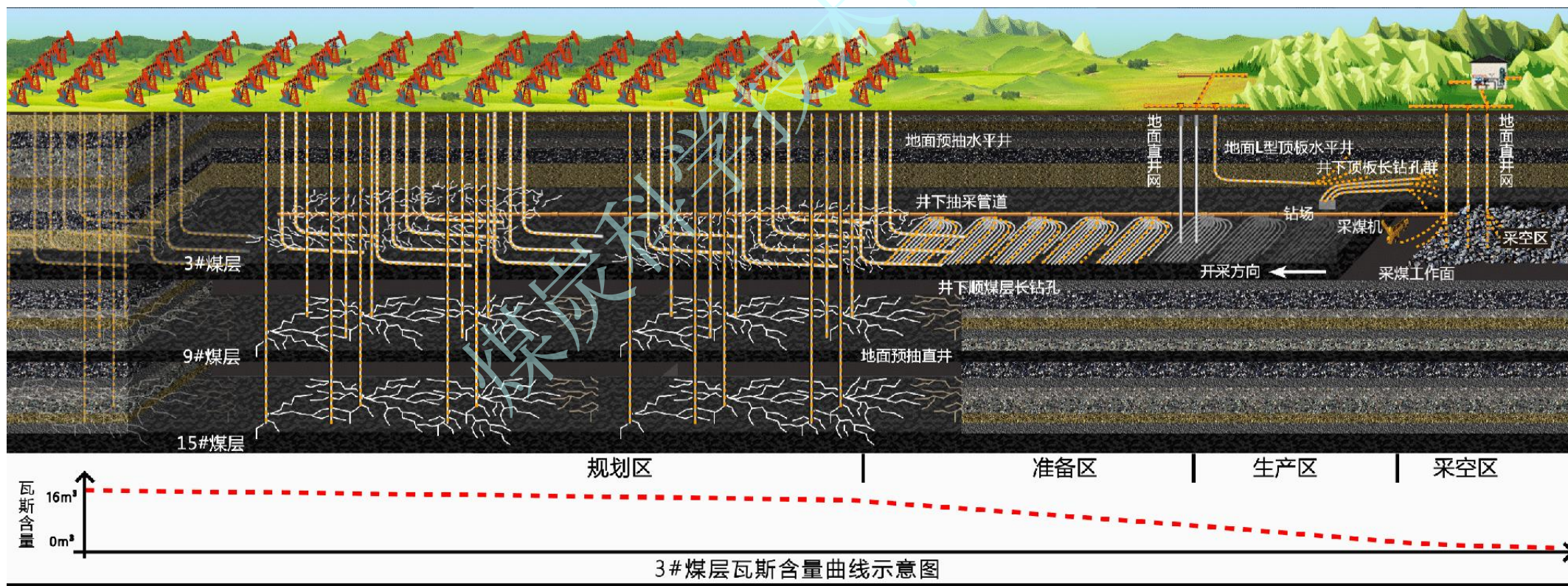
煤层群/单一井下抽采

井下三区配套三超前增透抽采煤层气开发

地质条件复杂，地形起伏大，复杂地形，煤层松软低透

1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

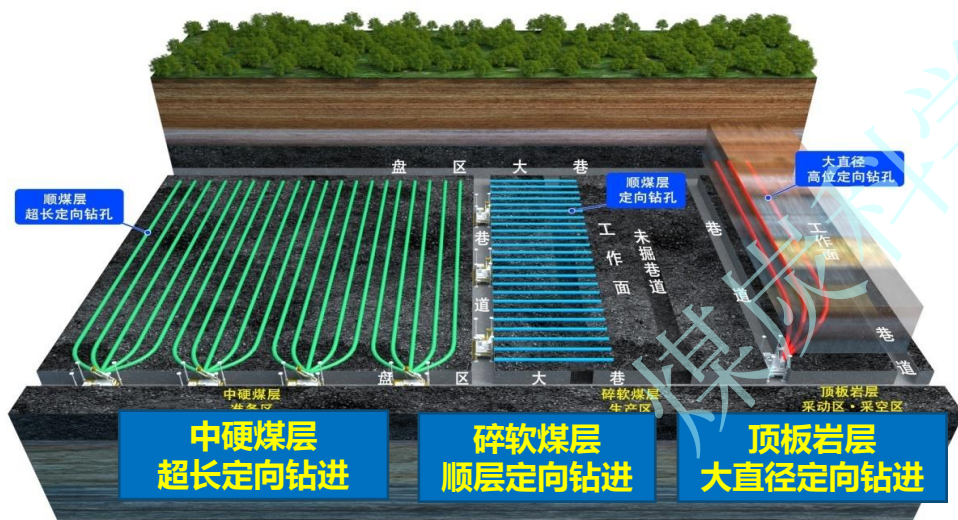
- **创新提出了煤矿区煤层气全域协调开发方法：**进行了**煤矿区煤层气开发地质-储层类型分类**，基于煤层气开发流固耦合传质理论和采动卸压“应力-裂隙-瓦斯”多场耦合效应，**以煤矿采掘接替关系和残余煤层气含量为边界条件**，提出在**煤矿规划区、准备区、生产区、采空区**，进行**地面超前预抽、井下精准预抽、采动卸压截抽为一体的煤层气井上下联动全域开发**。



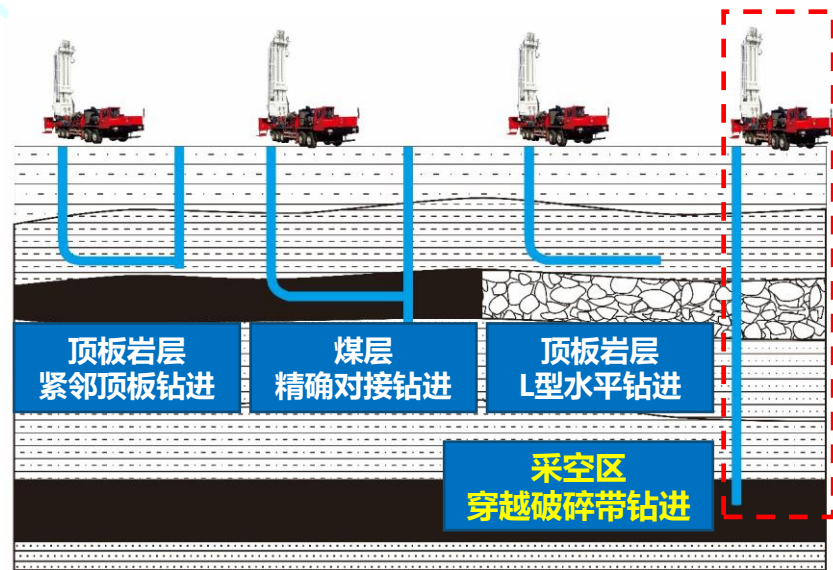
1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

十二五以来中国煤科牵头煤矿区专项主要成果

主要成果一：发明了**系列化煤系地层全域钻进技术装备**，攻克了碎软煤层、中硬及以上煤岩层和采空区破碎带安全高效成孔难题，实现了应钻尽钻、钻则到位，支撑了煤矿区全域预抽

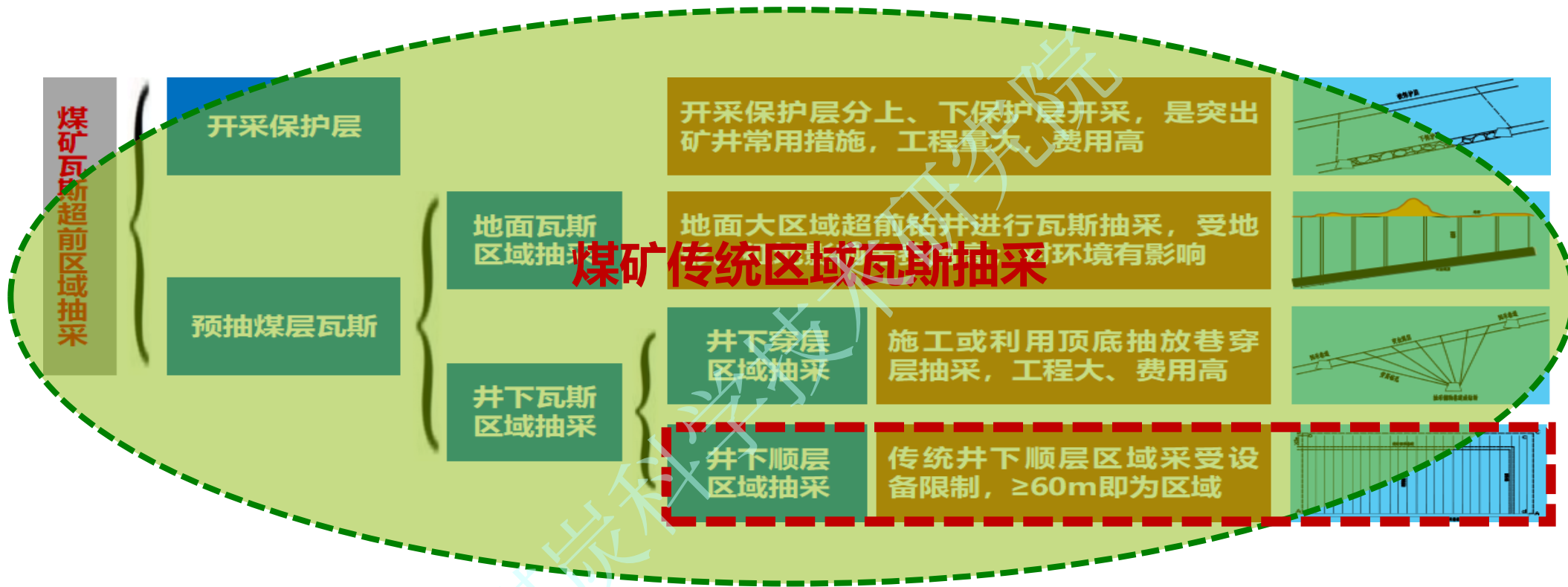


井下全域钻进



地面全域钻进

1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式



煤矿井下超前大区域抽采

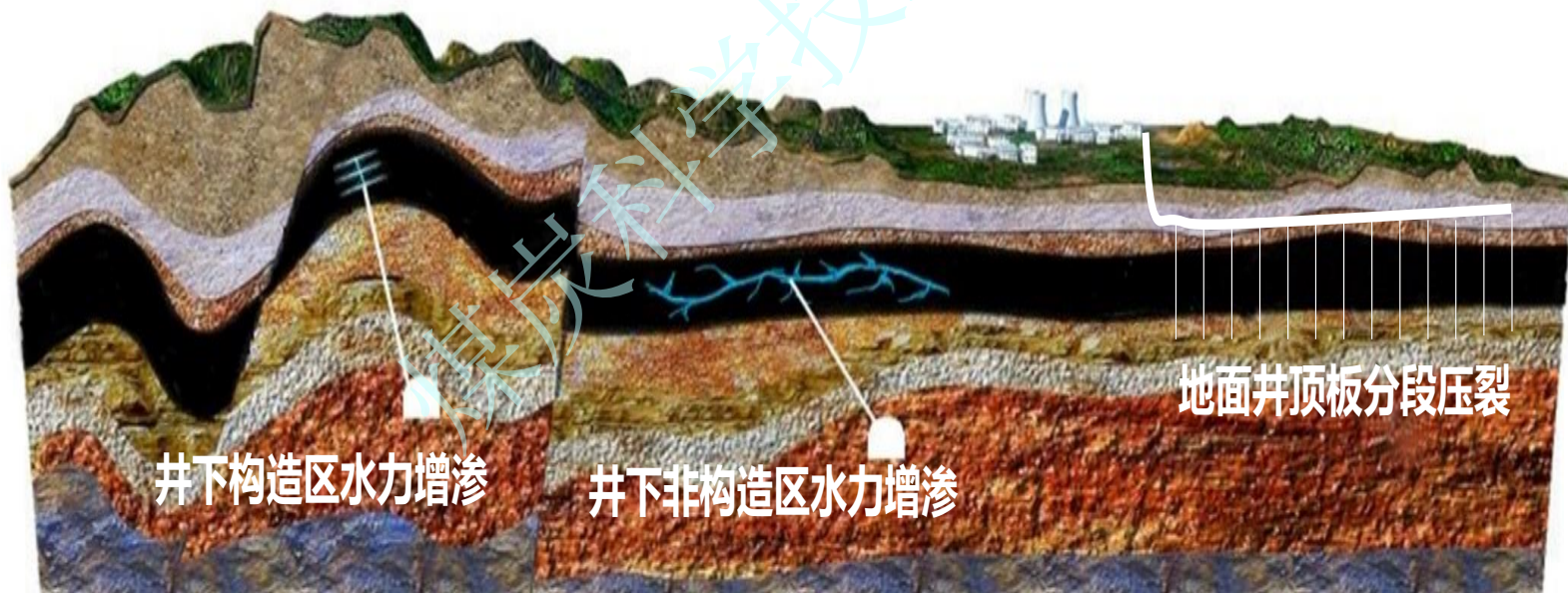
是井下顺层抽采的一种，相比传统类型区域抽采具有**区域大、施工“简单、经济、高效、环保”**，及时并入抽采系统进行抽采利用，经济上是传统1/3-1/5

以山西保德煤矿为代表

1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

十二五以来中国煤科牵头煤矿区专项主要成果

主要成果二：创新了**碎软低渗煤层井上下全域增渗和多煤层联合抽采技术**，攻克了碎软煤层水力压裂增渗范围小、抽采效果差的难题，实现了“**地面区域+井下局部**”**全域增渗、多煤层共采高产**，支撑了煤矿区超前高效预抽

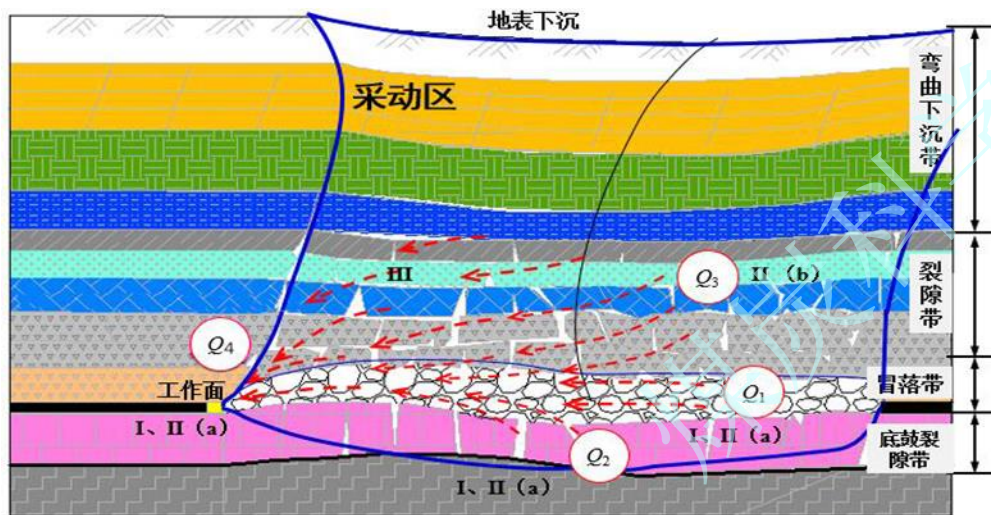


煤矿井上下煤层全域增渗

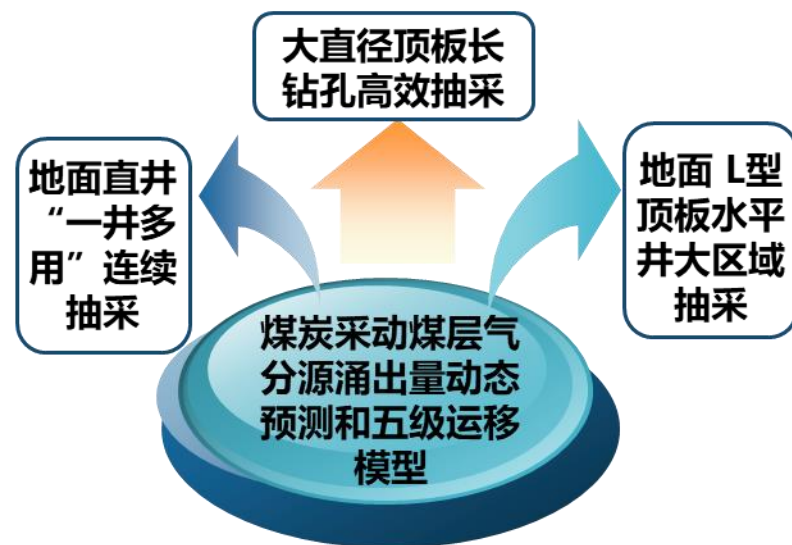
1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

十二五以来中国煤科牵头煤矿区专项主要成果

主要成果三：创新了**采动卸压煤层气立体截抽技术**，突破了抽采达标煤层回采中的涌出煤层气与煤炭的协同高效开发难题，实现了“采动卸压”应抽尽抽，支撑了煤矿瓦斯“零”超限



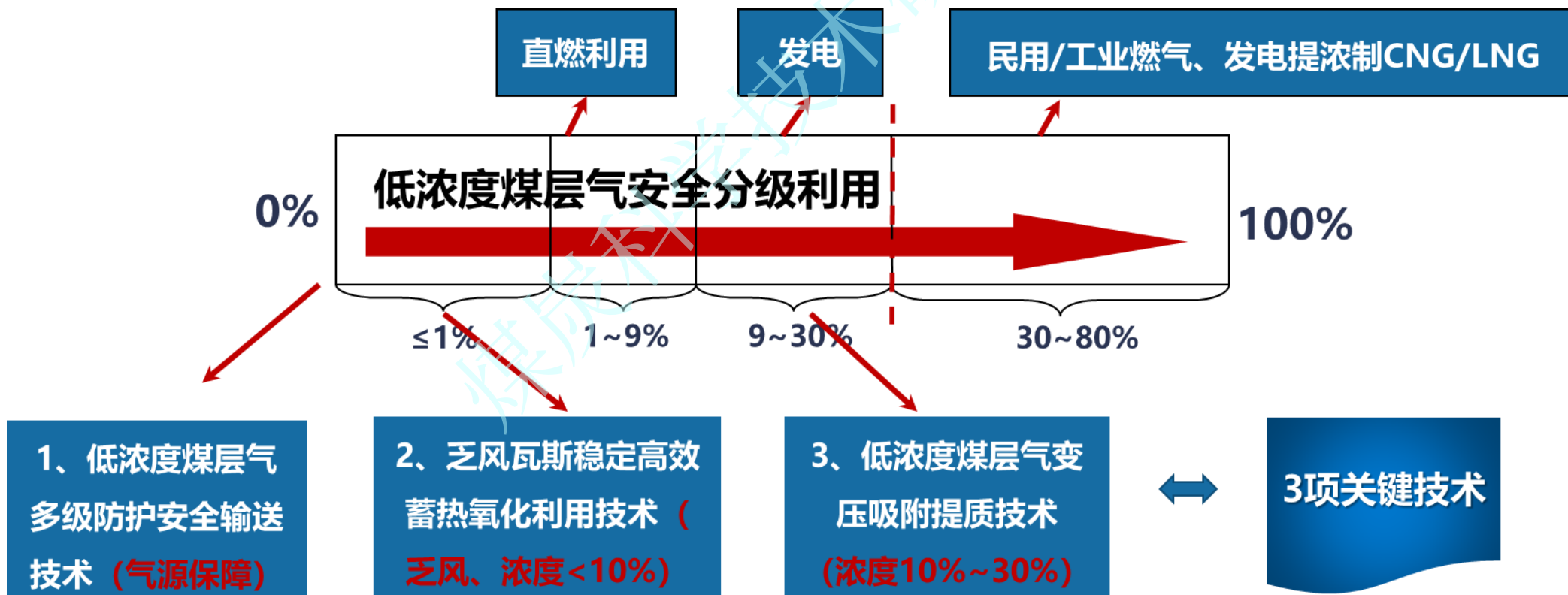
I为煤基质孔隙非达西渗流；II (a)为煤层天然裂隙达西渗流、II (b)为围岩砂层达西渗流；III为采动裂隙带内拟稳态扩散；IV为采动裂隙带内无阻导流



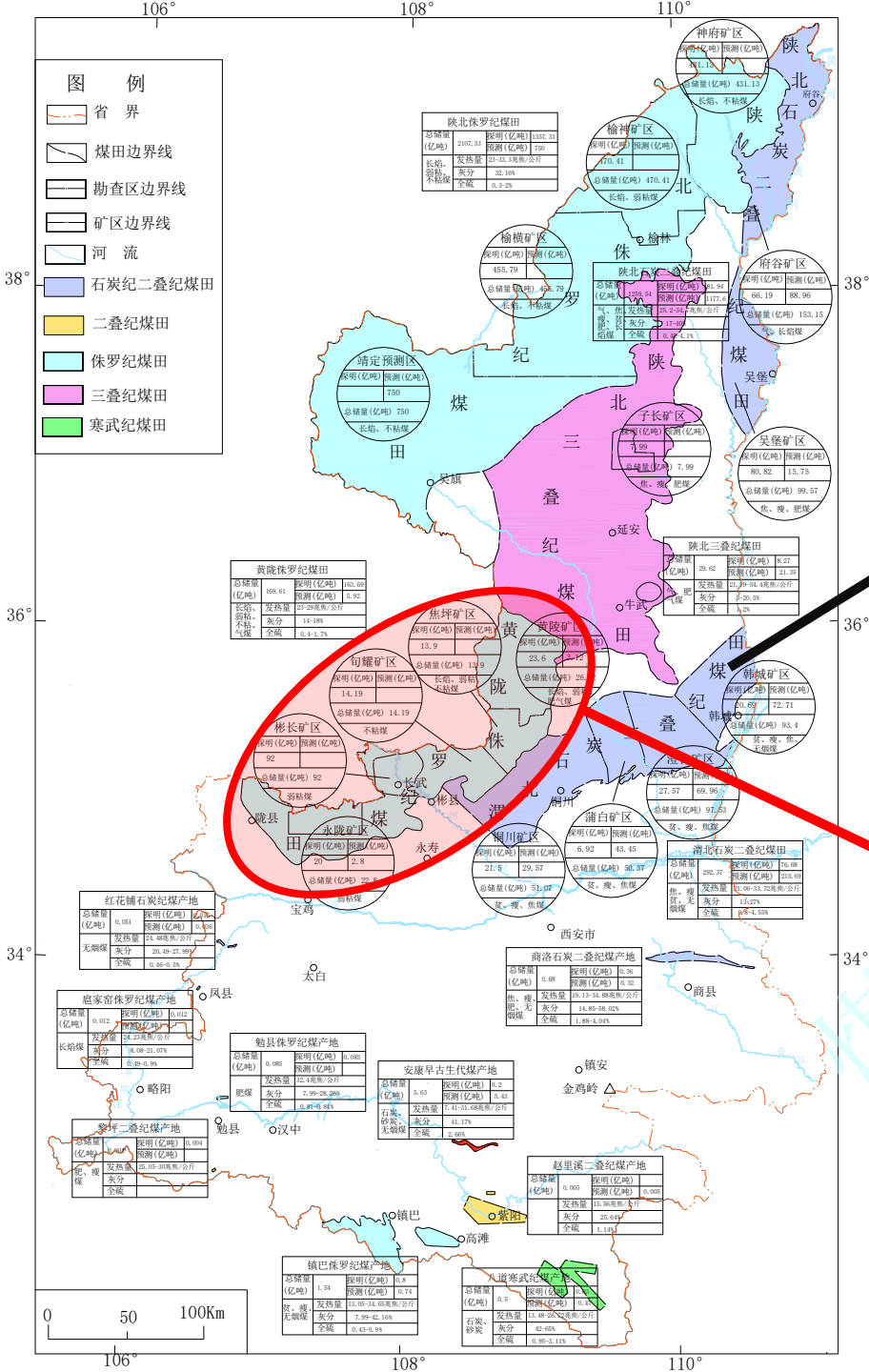
1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理典型模式

十二五以来中国煤科牵头煤矿区专项主要成果

主要成果四：创新了**低浓度煤层气安全分级利用技术**，突破了浓度30%以下煤层气经济利用的技术瓶颈，支撑了低浓度煤层气利用率快速提高



- **深部的问题：**煤炭行业整体向深部开采延深、产能向西部转移，致灾因子耦合类或多灾并存类复合灾害显现，需要考虑复合灾害监测预警（或多灾并存条件综合预警）与协同防控问题。
- **西部的问题：**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。
- **认识上问题：**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。
- **小构造问题：**局部地质异常区难以超前精准探测，导致灾害超前预测预警技术不准，灾害治理技术实施准确性不高，现有技术与装备尚未能完全实现多元信息融合。
- **新工艺问题：**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：特厚煤层大采高综放开采、无煤柱开采、N100工法/N00工法等。
- **地区差异大：**南北差异大，南部是管理、人员、技术、装备等问题，西北更多的是高产高效问题。防突技术基本成熟、但超限很难彻底杜绝，“双零”目标还很难实现！



煤层赋存条件、地质条件、瓦斯赋存条件、灾害特点区域差异大！
瓦斯爆炸、瓦斯燃烧、瓦斯窒息等事故都曾发生过多！

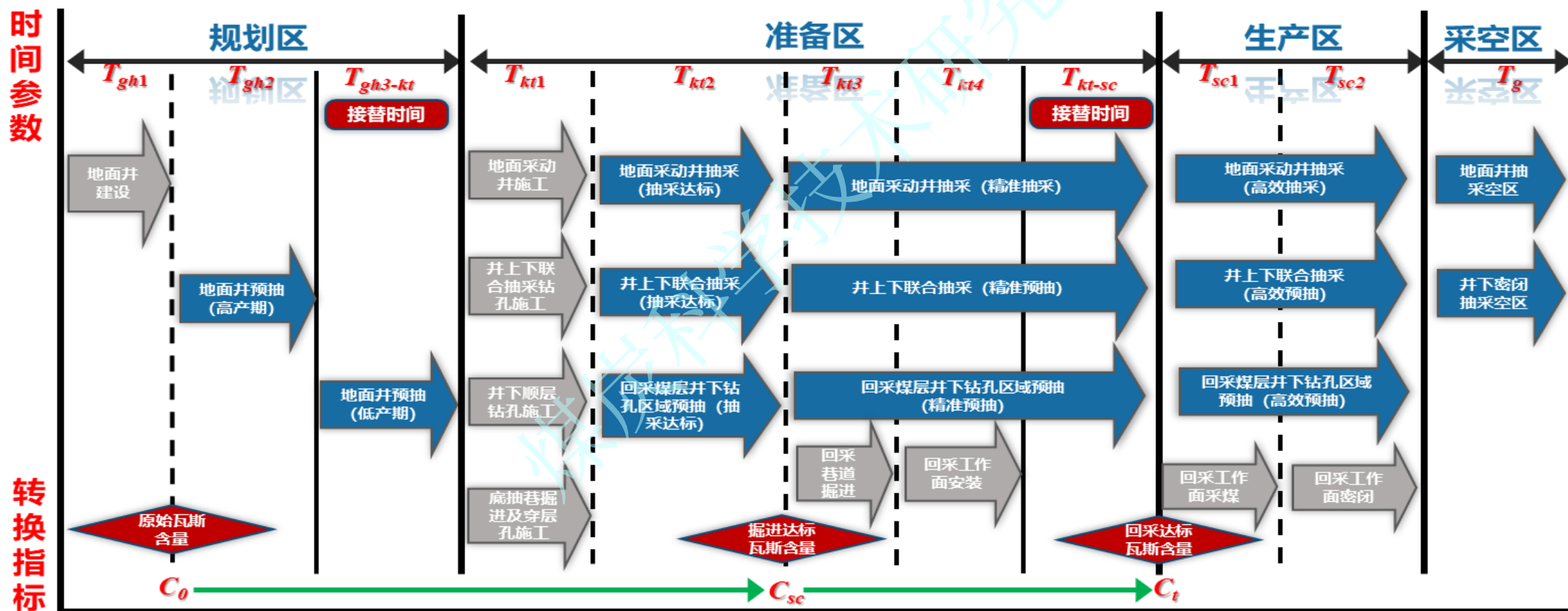
□ 以韩城矿区为代表的开采石炭二叠纪煤层的桑树坪、下峪口、燎原、盘龙、兴隆煤矿等，突出次数累计达160余次，两淮、阳泉等地区治理经验可以借鉴

西部特厚煤层多灾并存高强度开采矿井典型代表

- ◆ 单一厚及特厚煤层
- ◆ 煤层预抽效果差
- ◆ 煤层瓦斯含量低
- ◆ 智能综放开采强度大
- ◆ 煤层多有自燃倾向性
- ◆ 上隅角易超限
- ◆ 瓦斯与冲击地压、水害、火灾等多灾并存

1 高瓦斯和突出矿井瓦斯治理模式

规划区、准备区、生产区、采空区全时域抽采是实现双零目标管理的根本手段



2

特厚煤层综放开采全时域 抽采关键技术

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

● 工作面瓦斯零超限关键控制条件

综放面上隅角瓦斯浓度预测模型 (U型通风)

$$\begin{cases} \frac{c_{uc}}{2} [Q + (1 - c_m) \frac{I}{2}] = c_m \frac{I}{2} \\ Q = \frac{4(P_1 - P_2)h}{\pi^2 r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{(2n-1)^2} \Rightarrow c_{uc} = \frac{2c_m}{1 - c_m + 3136\sqrt{\tau}} \% \\ \frac{Q}{I} = 3.664 \frac{h(P_1 - P_2)\sqrt{\pi r p_0}}{\pi^2 r \times 2\epsilon h L \sqrt{\Pi \tau}} \end{cases}$$

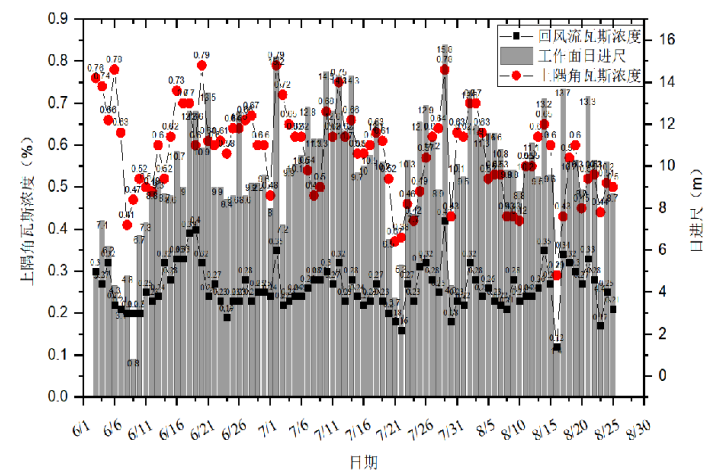
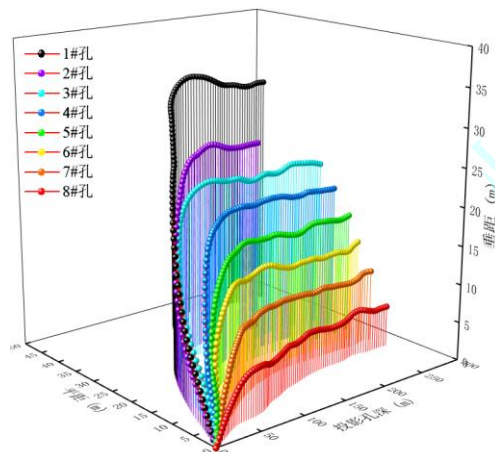
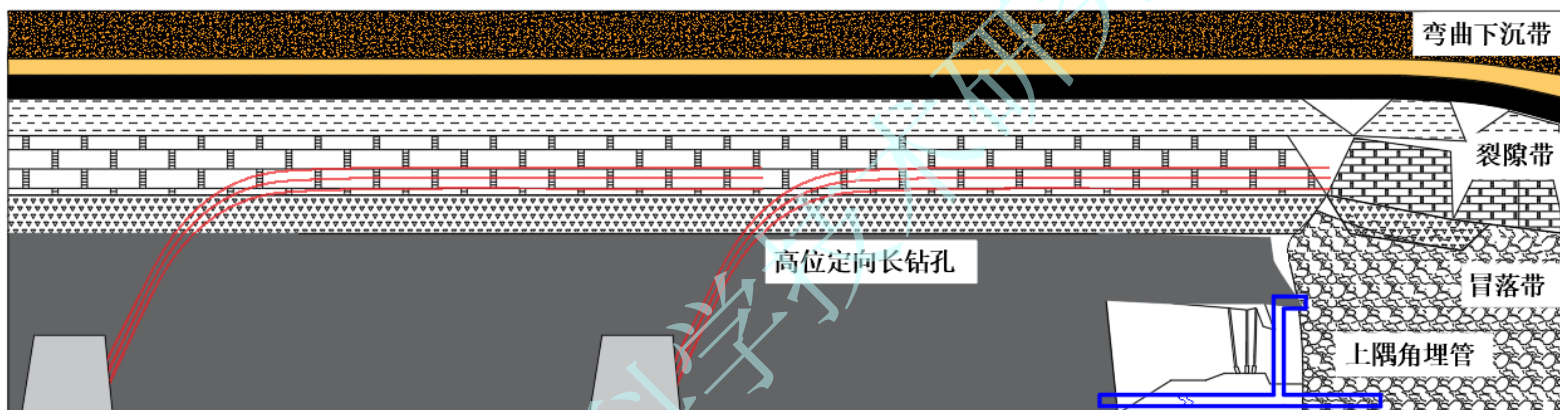
C_{uc} 受 c_m 和 τ 主要控制，其中 τ 变化范围大，
重点通过降低 c_m 值控制上隅角瓦斯浓度。

- 尽量减少采空区遗煤 ☒
- 控制工作面推进速度 ☒
- 设法降低煤层瓦斯含量 ☒
- 采中抽采减少瓦斯涌出 ☒
- 工作面通风智能调节 ☒

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

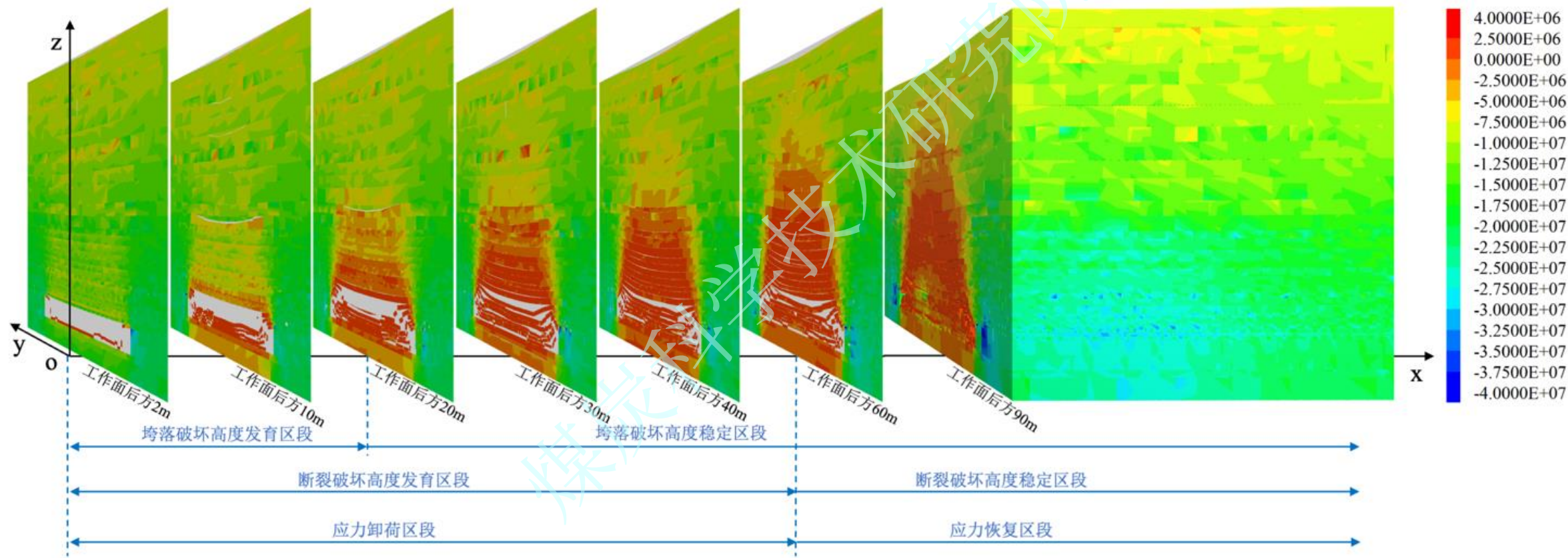
主流卸压瓦斯抽采：**顶板裂隙带定向长钻孔**和**上隅角插/埋管联合抽采**

随着智能化水平和开采效率不断提升，上隅角瓦斯浓度经常逼近警戒值或超限



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

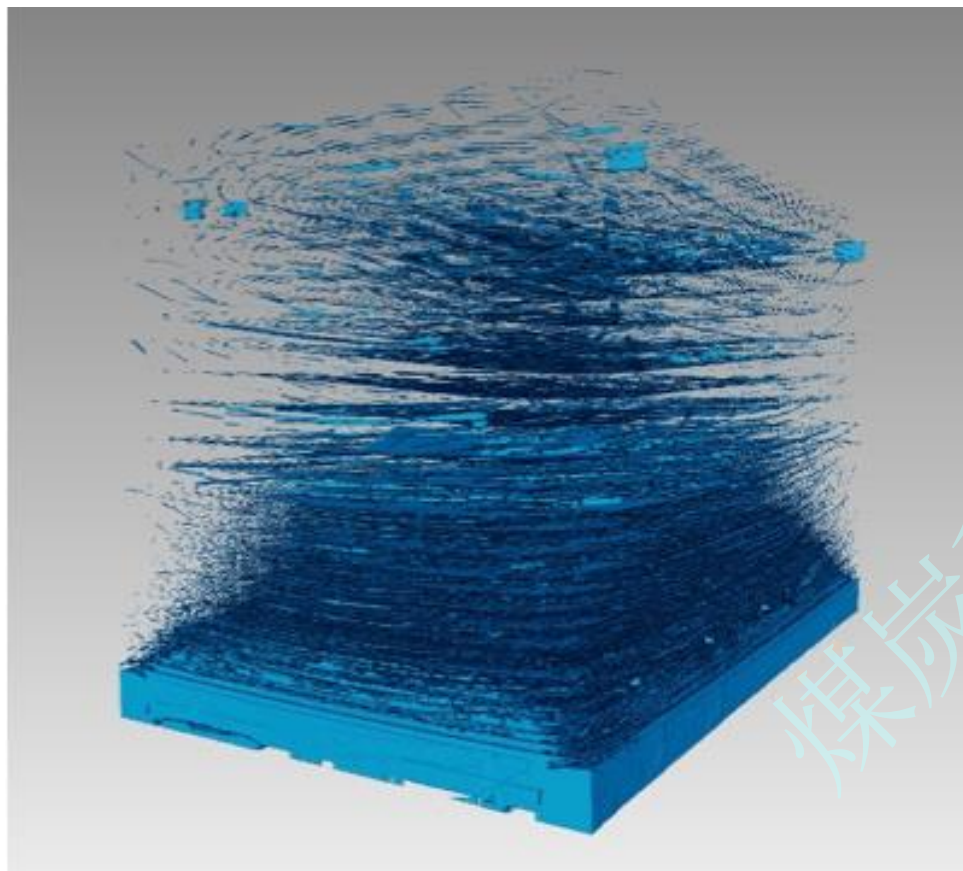
关键技术一：特厚煤层综放开采工作面采中卸压瓦斯高效抽采优化设计方法



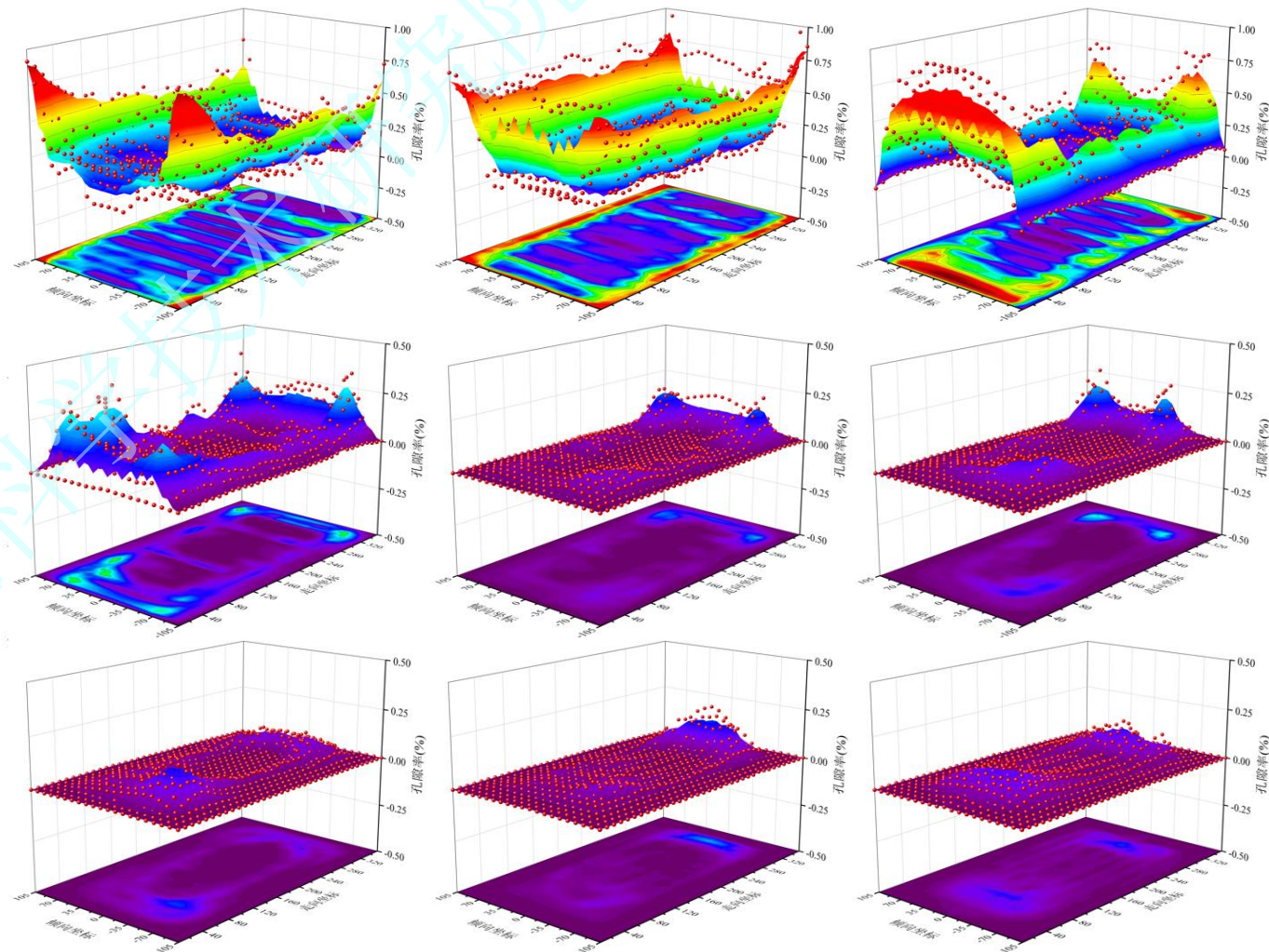
工作面后方覆岩裂隙动态演化，定向长钻孔如何兼顾稳定性和隅角瓦斯可控性？

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术一：特厚煤层综放开采工作面采中卸压瓦斯高效抽采优化设计方法



打在哪？在哪抽？

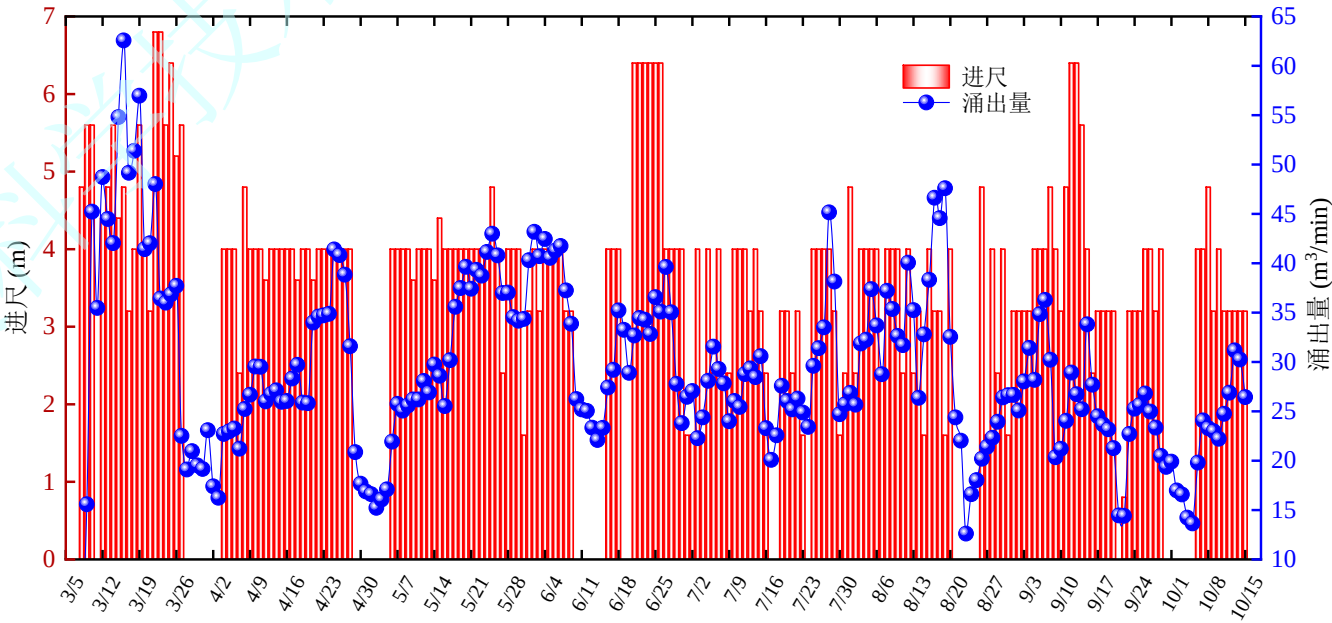


2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

特厚煤层综放开采工作面采中卸压瓦斯高效抽采技术与工程实践案例1

矿井位于黄陇侏罗纪煤田，工作面平均煤厚19.65m，工作面范围内煤层瓦斯含量为1.7177 ~ 3.1229m³/t，工作面正常回采期间瓦斯涌出量为14.42 ~ 62.57m³/min。

煤层		3#
煤层平均厚度		11.57m
瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)		2.16 ~ 3.38
瓦斯吸附常数	a/(m ³ ·t ⁻¹ ·r ⁻¹)	25.5225—29.6172
	b/MPa ⁻¹	0.8568—1.0933
工业分析	水分/%	7.37—10.19
	灰分/%	4.13—6.55
	挥发分/%	24.53—35.97
坚固性系数		0.59-1.10
瓦斯压力/MPa		0.06-0.40
煤的孔隙率/(m ³ ·m ⁻³ , %)		6.62—8.61
煤层透气性系数/(m ² ·MPa ⁻² ·d ⁻¹)		0.0303—0.0425
钻孔自然瓦斯流量衰减系数/d ⁻¹		0.309 ~ 0.414



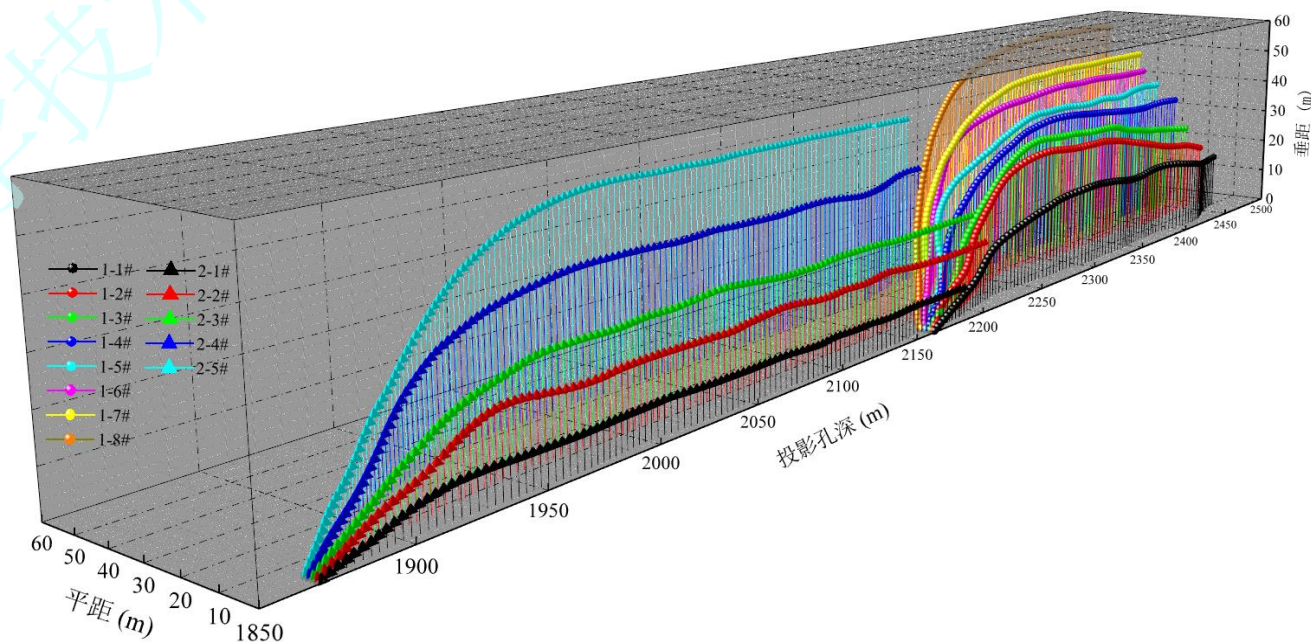
回采工作面日进尺与瓦斯涌出量

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

- **优化前：**1#定向钻场施工8个孔径120mm、孔深306~321m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板5~45m，平距采煤巷帮5~50m；
- **优化后：**接续2#定向钻场内施工5个孔径120mm、孔深350~426m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板-5~31m，平距采煤巷帮2~42m。

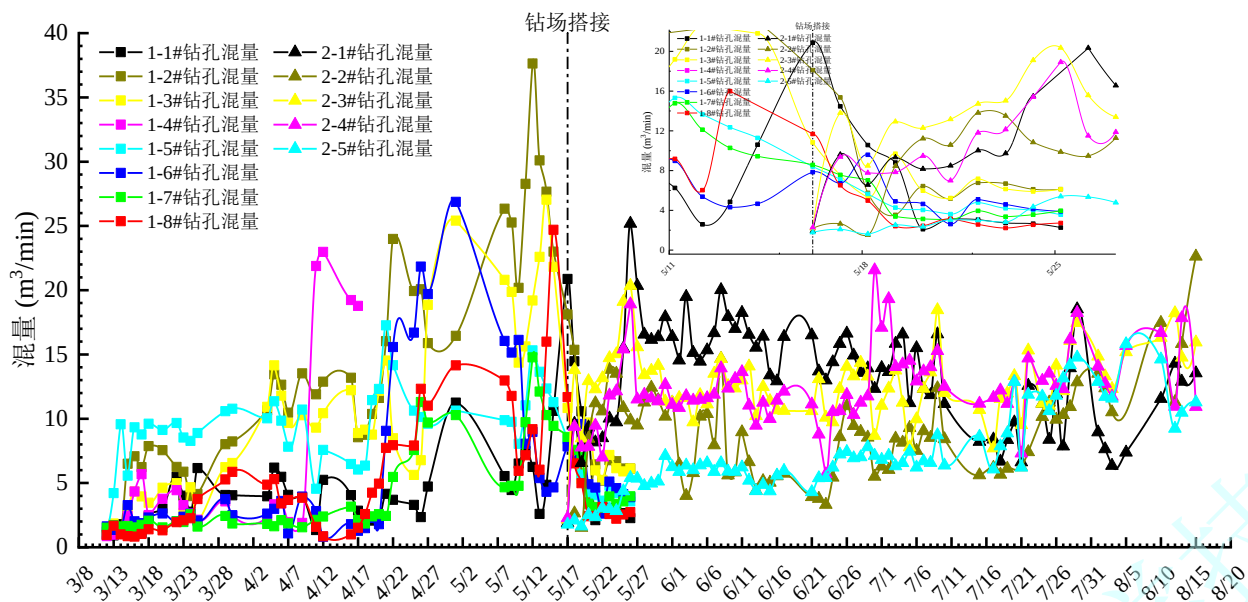
钻孔编号	开孔磁方位角 (°)	倾角 (°)	孔径(mm)	孔深(m)	距煤层顶板 (m)	距材料顺槽 (m)
1-1#	267	13	120	306	5	5
1-2#	262	13	120	312	10	15
1-3#	260	13	120	312	15	20
1-4#	258	13	120	312	20	25
1-5#	255	13	120	312	25	30
1-6#	252	13	120	315	30	35
1-7#	250	13	120	318	35	40
1-8#	248	13	120	321	45	50

钻孔编号	开孔磁方位角 (°)	倾角 (°)	孔径(mm)	孔深(m)	距煤层顶板 (m)	距材料顺槽 (m)
2-1#	267	9	120	350	-5	2
2-2#	264	10	120	360	2	10
2-3#	260	10	120	390	7	18
2-4#	253	11	120	410	17	30
2-5#	249	12	120	426	31	42



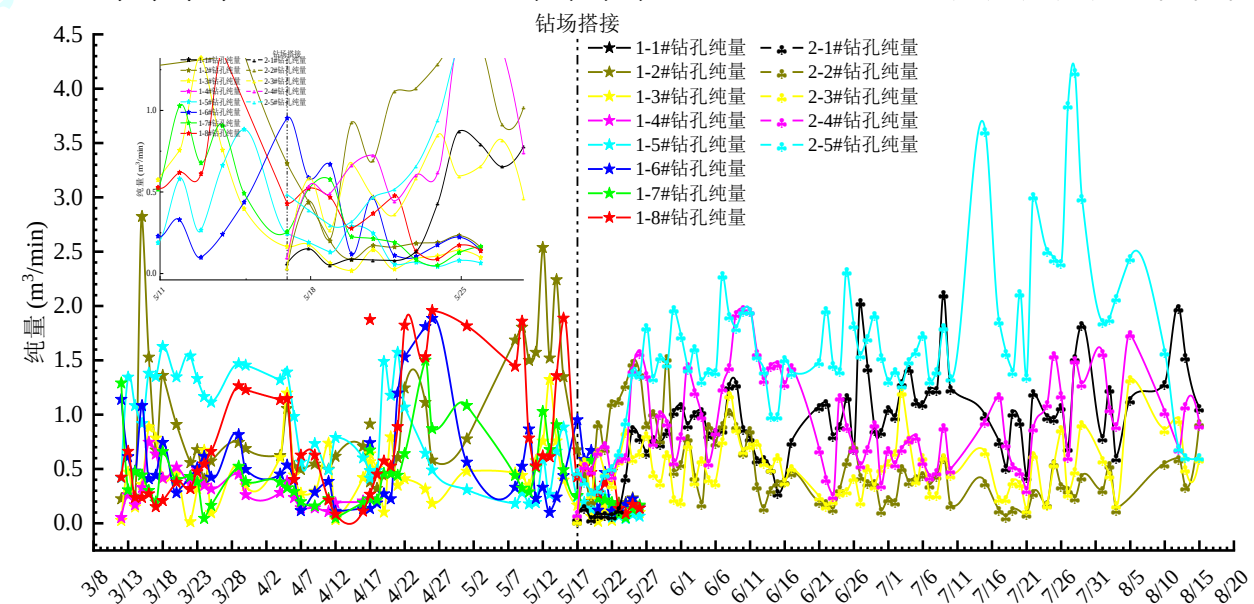
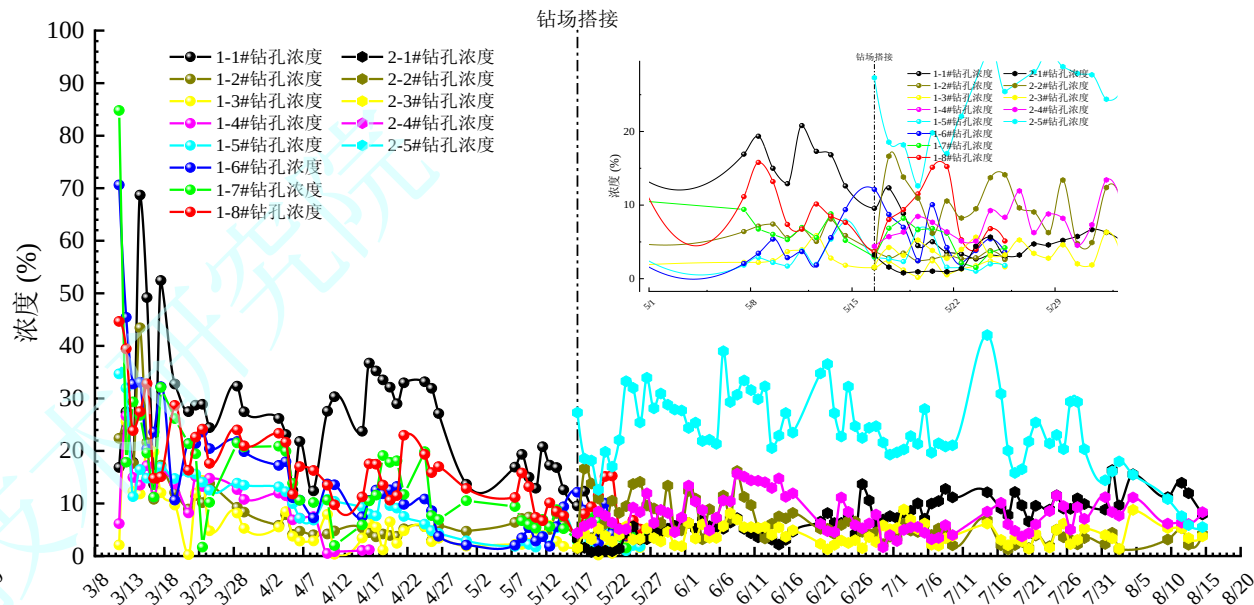
工作面定向钻孔三维实钻图

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术



➤ 优化调整后，钻场单孔抽采量提升（1#钻场平均抽采纯量 $0.37875\text{m}^3/\text{min}$ ，2#钻场平均抽采纯量 $0.9112\text{m}^3/\text{min}$ ），平均单孔抽采纯量提升140%

➤ 工作面瓦斯风排瓦斯量及其占比在总瓦斯涌出量升高前提双双下降（由29.47%下降至25.39%）



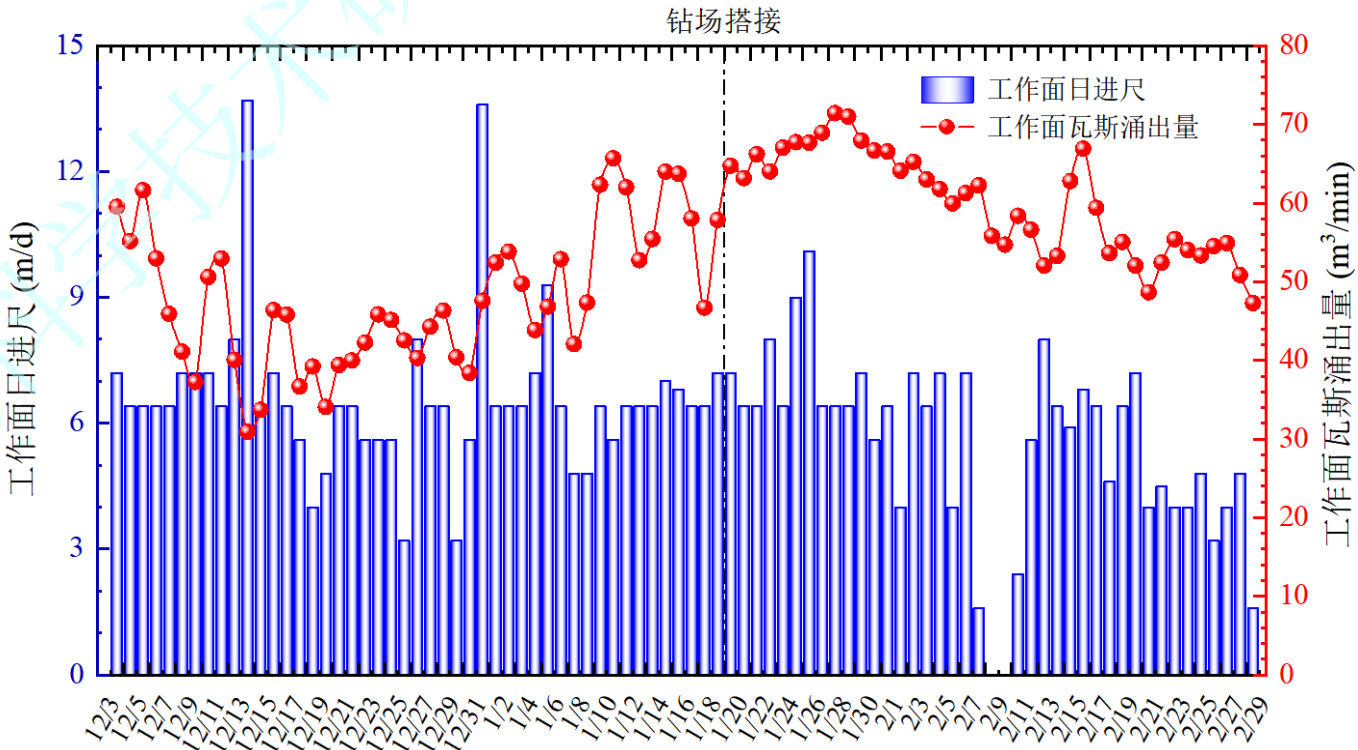
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术



特厚煤层综放开采工作面采中卸压瓦斯高效抽采技术与工程实践案例2

矿井位于河东煤田离柳矿区，主采煤层平均厚度12.02m，工作面范围内煤层瓦斯含量为2.4083 ~ 2.9933m³/t，工作面正常回采期间瓦斯涌出量为30.91 ~ 71.42m³/min。

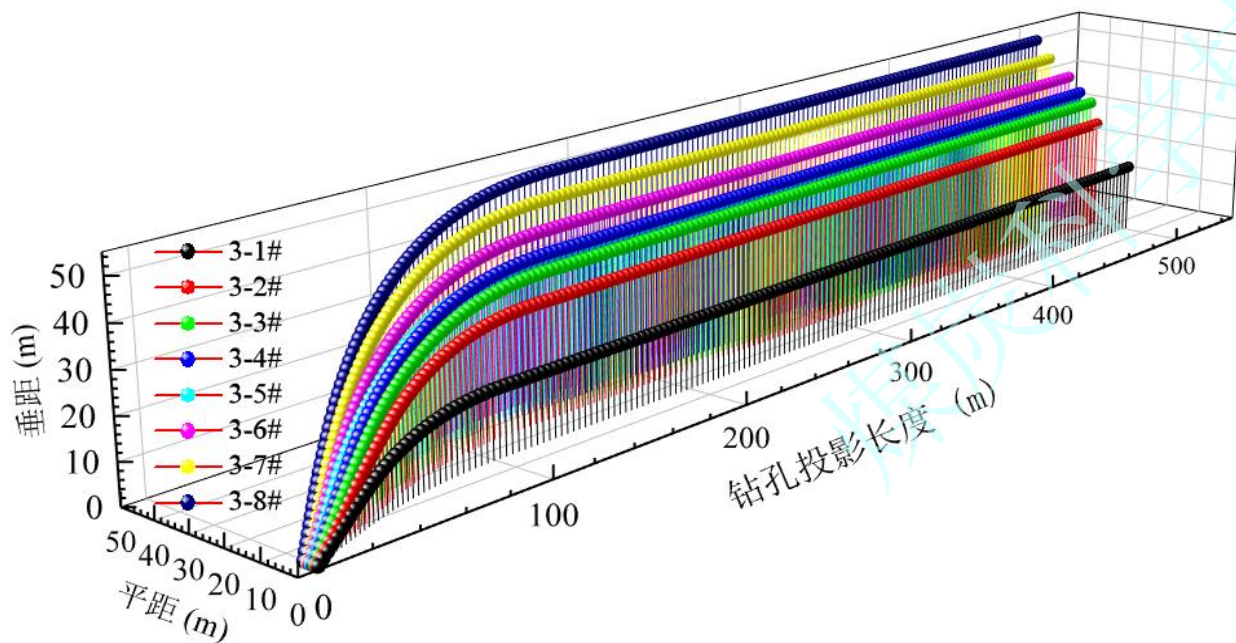
煤层		13#
煤层平均厚度		12.02m
瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)		2.4083 ~ 2.9933
瓦斯吸附常数	a/(m ³ ·t ⁻¹ ·r ⁻¹)	20.501
	b/MPa ⁻¹	0.482
工业分析	水分/%	2.68
	灰分/%	29.40
	挥发分/%	38.24
坚固性系数		0.83
瓦斯压力/MPa		0.03 ~ 0.12
煤的孔隙率/(m ³ ·m ⁻³ , %)		3.82
煤层透气性系数/(m ² ·MPa ⁻² ·d ⁻¹)		22.73
钻孔自然瓦斯流量衰减系数/d ⁻¹		0.264



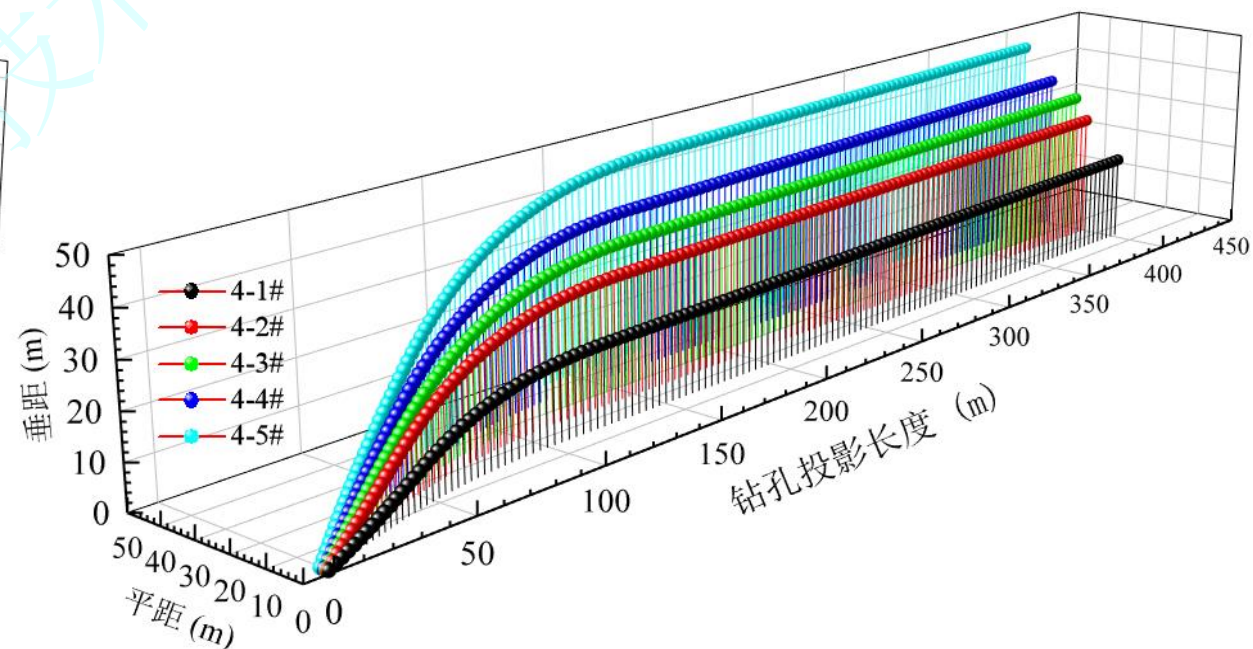
回采工作面日进尺和瓦斯涌出量

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

- **优化前：**3#定向钻场施工8个孔径120mm、孔深500m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板18~51m，平距采煤巷帮15~45m；
- **优化后：**接续4#定向钻场内施工5个孔径120mm、孔深400m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板11~42m，平距采煤巷帮15~44m。



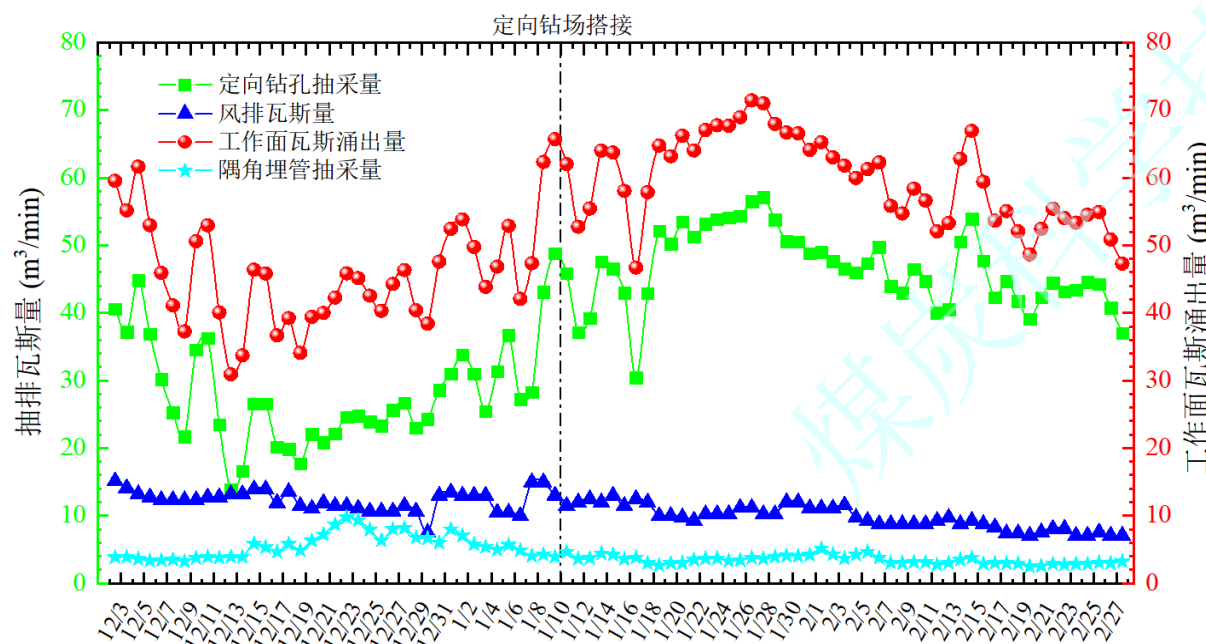
3#定向钻场钻孔三维设计图



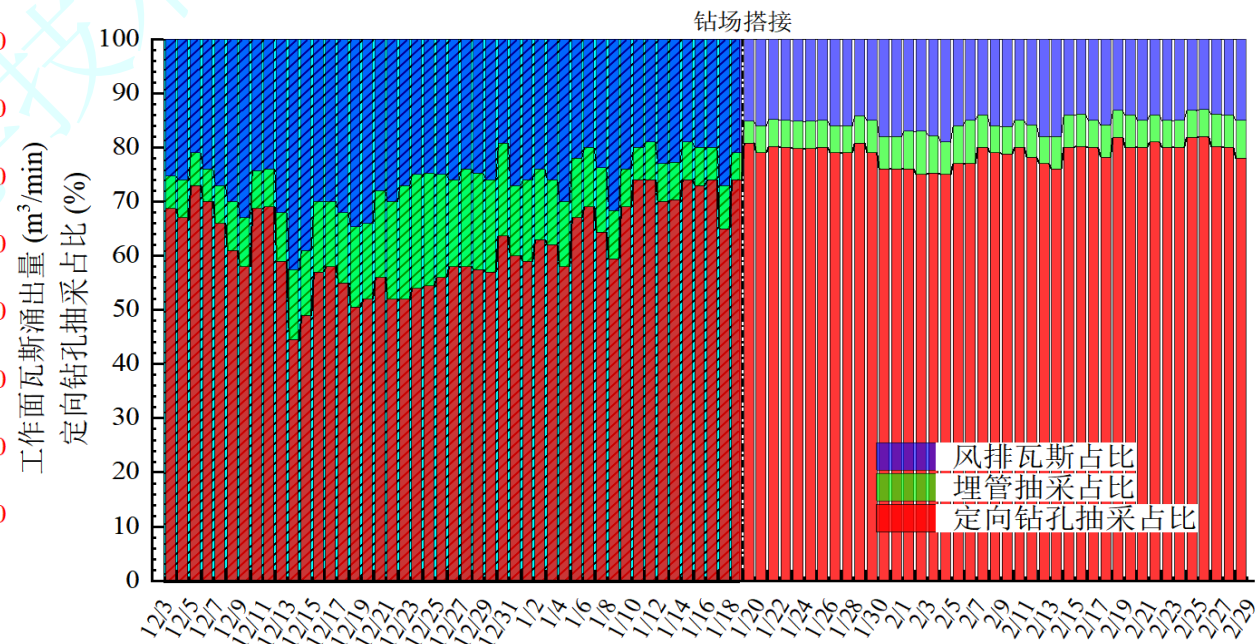
4#定向钻场钻孔三维设计图

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

- 在**工作面瓦斯涌出量增加**情况下，优化定向钻孔参数且缩减定向钻孔孔数后，定向钻孔抽采量提升，3#定向钻场平均抽采纯量 $30.18\text{m}^3/\text{min}$ ，4#定向钻场平均抽采纯量 $47.31\text{m}^3/\text{min}$ ，**抽采纯量提升56.8%**
- 风排瓦斯量及其占比在**瓦斯涌出量增加**情况下**降低**，3#定向钻场覆盖区段风排瓦斯量 $12.26\text{m}^3/\text{min}$ ，风排瓦斯占比26.4%，4#定向钻场覆盖区段风排瓦斯量 $9.33\text{m}^3/\text{min}$ ，风排瓦斯占比15.5%



3-4#定向钻场覆盖区段工作面瓦斯抽排量曲线

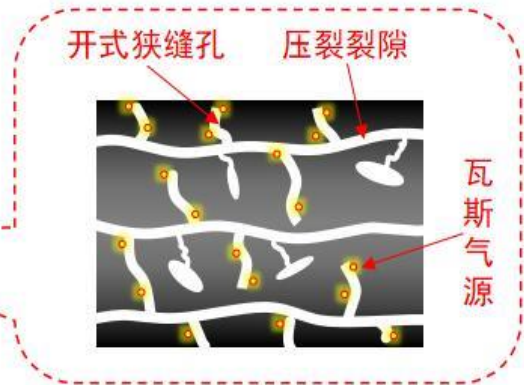
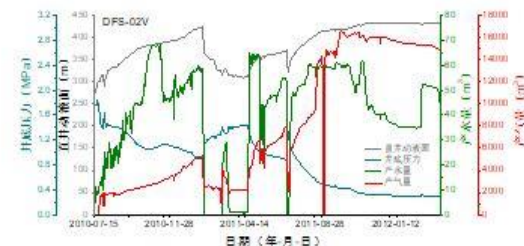
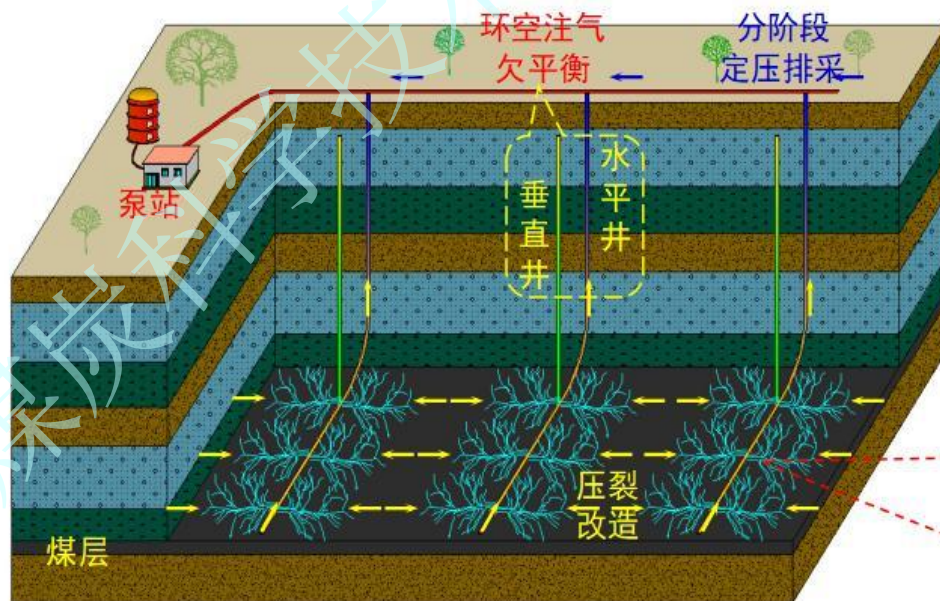
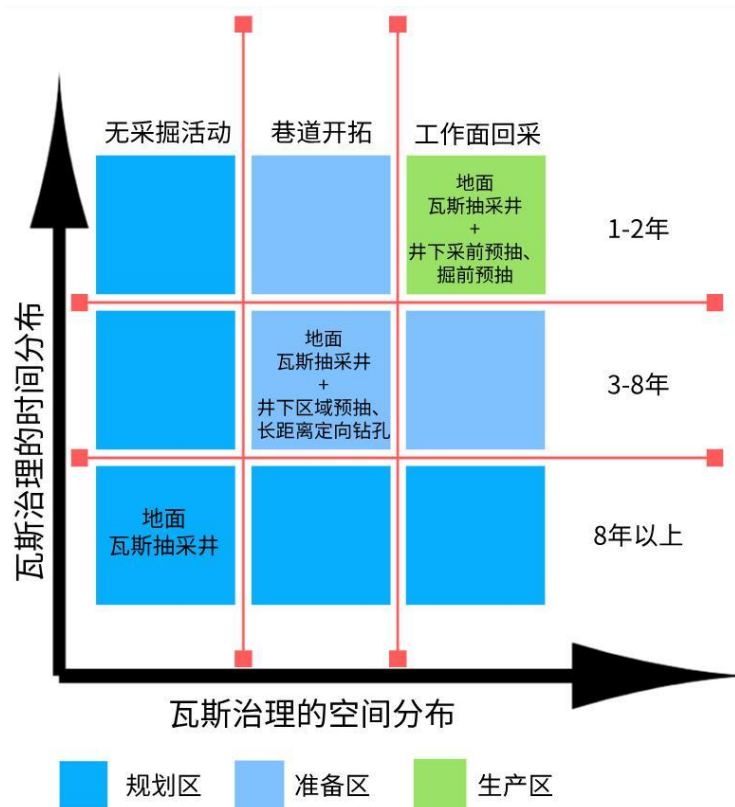


3-4#定向钻场覆盖区段工作面瓦斯抽排占比

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀预抽技术

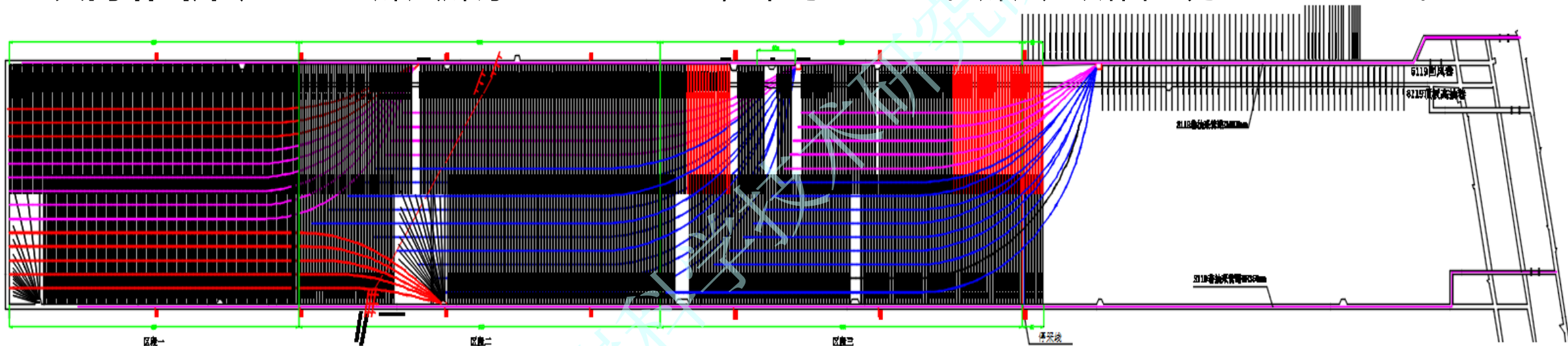
大佛寺率先在彬长矿区范围内提出“井上下抽采相协同、三区递进相协调、预抽与采动卸压相耦合”的“三区联动”瓦斯抽采技术路线



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀预抽技术

大同塔山煤矿：3-5#煤层煤厚1.63-29.21m，平均18.44m。煤层瓦斯含量为3.4~3.87m³/t。

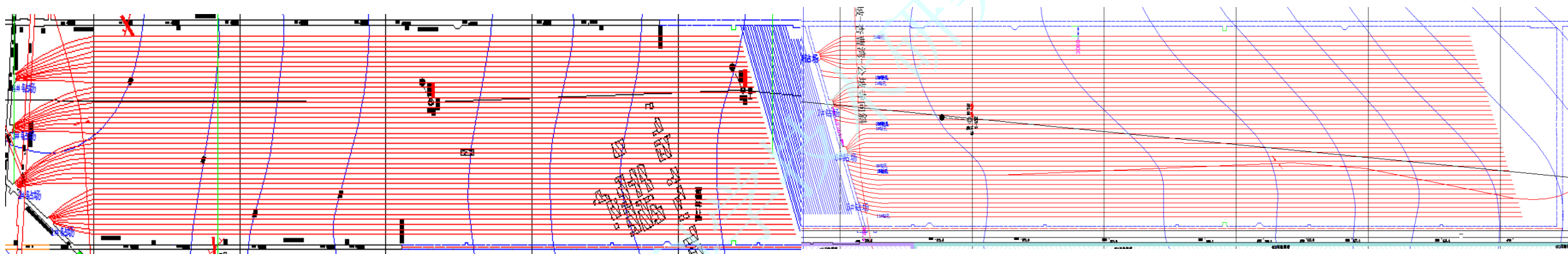


- 共施工普通顺层预抽钻孔1659个，其中进风巷781个，回风巷878个，进尺214076m；顶分层施工定向长钻孔42个，每个区段设计钻孔14个，施工进尺24550m。
- 定向长钻孔初期单孔抽采纯量1m³/min，抽采5个月后0.5~0.7m³/min；本煤层普通顺层钻孔初期单孔抽采纯量0.04m³/min，抽采5个月后0.01~0.02m³/min。

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀预抽技术

黄陇煤田某煤矿：煤层为单一厚煤层，平均厚度8.29m，煤层瓦斯含量为 $3.68 \sim 3.98 \text{m}^3/\text{t}$ 。



淮南煤层透气性系数 $0.001135 \text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$	黄陇煤田某煤矿 $0.90 \sim 0.96 \text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$	塔山矿 $14.06 \sim 18.48 \text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$
AQ1027-2006	较难抽采	可以抽采
		容易抽采

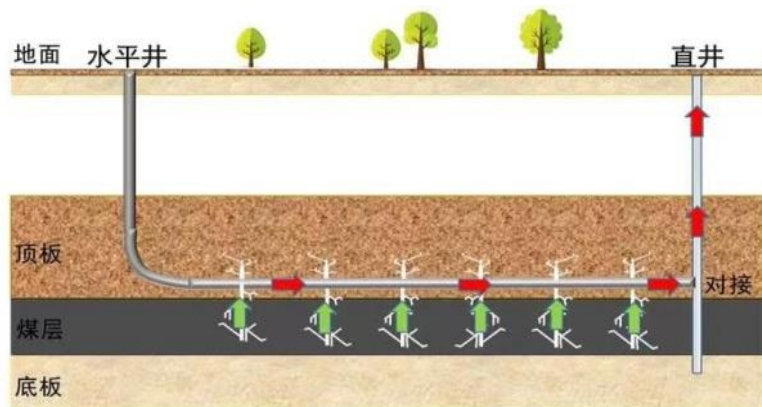
该矿工作面定向长钻孔预抽单孔初始抽采纯量为 $0.153 \text{m}^3/\text{min}$ （塔山是 $1 \text{m}^3/\text{min}$ ），抽采2个月后钻孔抽采量降至 $0.048 \text{m}^3/\text{min}$ （塔山是 $0.5 \sim 0.7 \text{m}^3/\text{min}$ ），浓度范围 $0.2 \sim 5\%$ ，钻孔抽采衰减快。

特厚低瓦斯赋存、高瓦斯涌出，渗透性不差但难抽

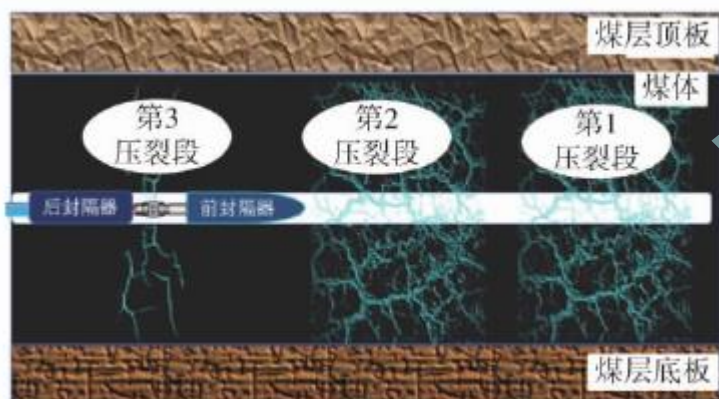
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀化预抽技术

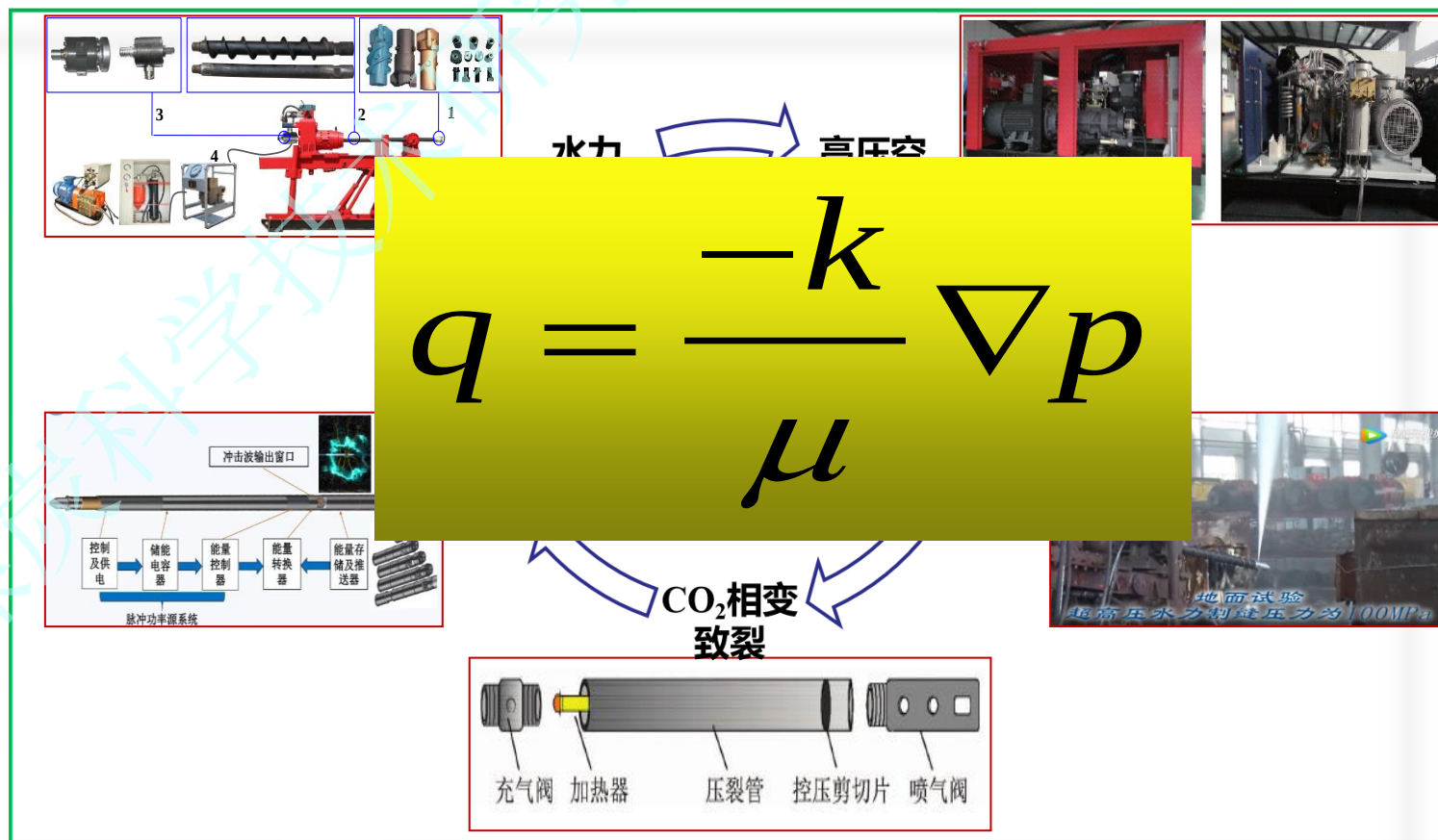
□ 以往形成的系列化的地面和井下高效抽采、增透增产技术与装备，效果显著



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

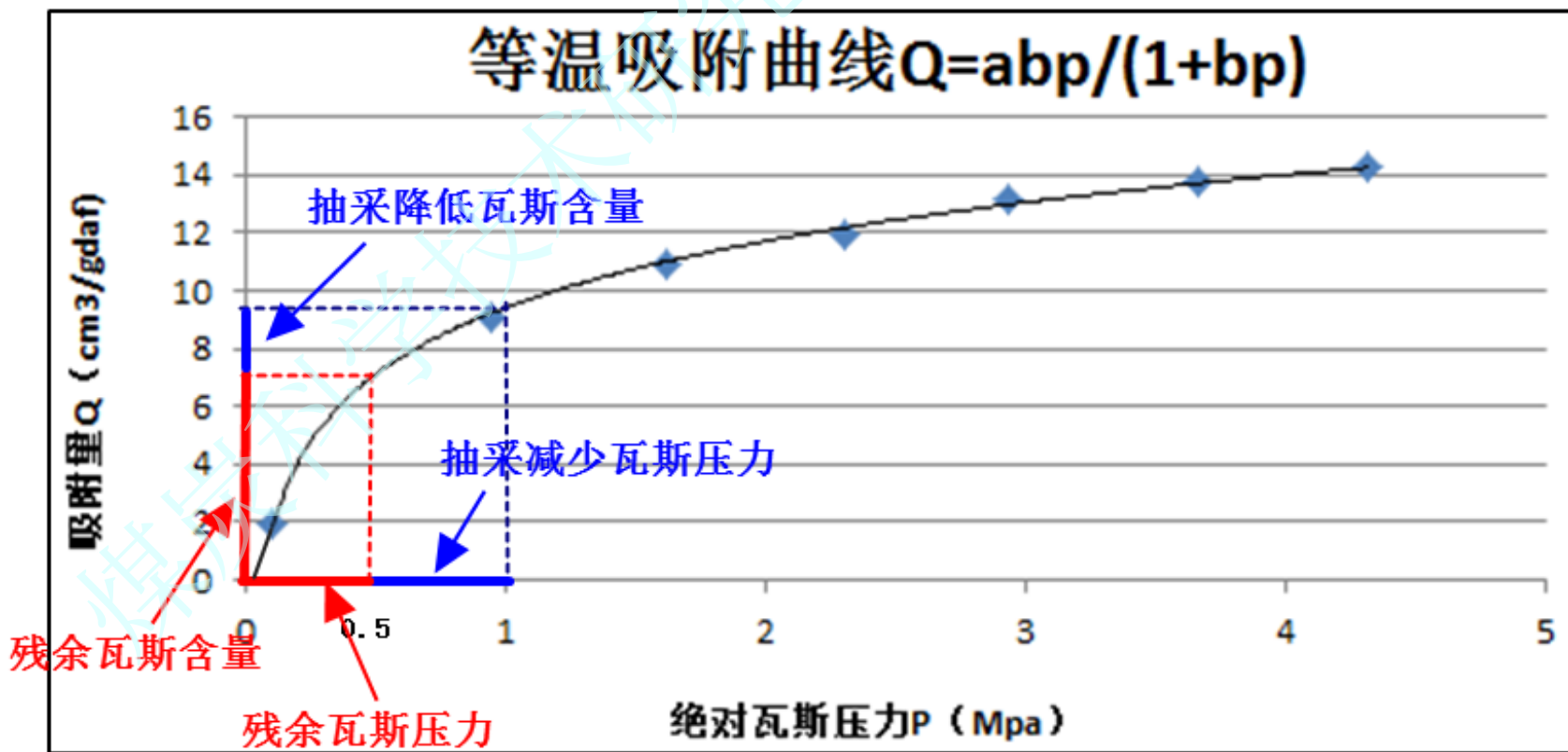


2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀化预抽技术

□ 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

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



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀化预抽技术

□ 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

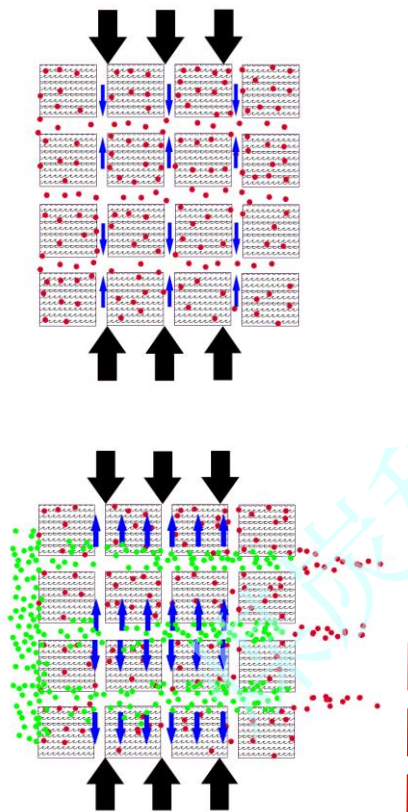
理论分析

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

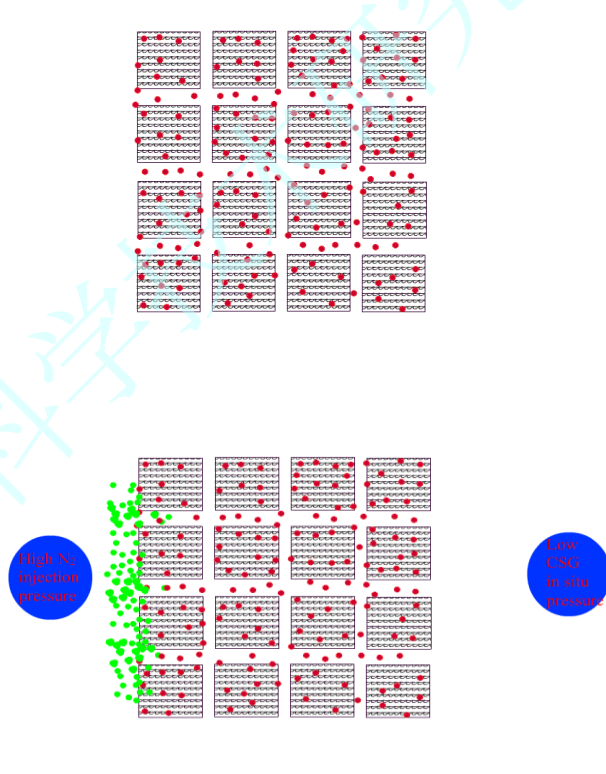
$$k = \exp(-cf \cdot \sigma')$$

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

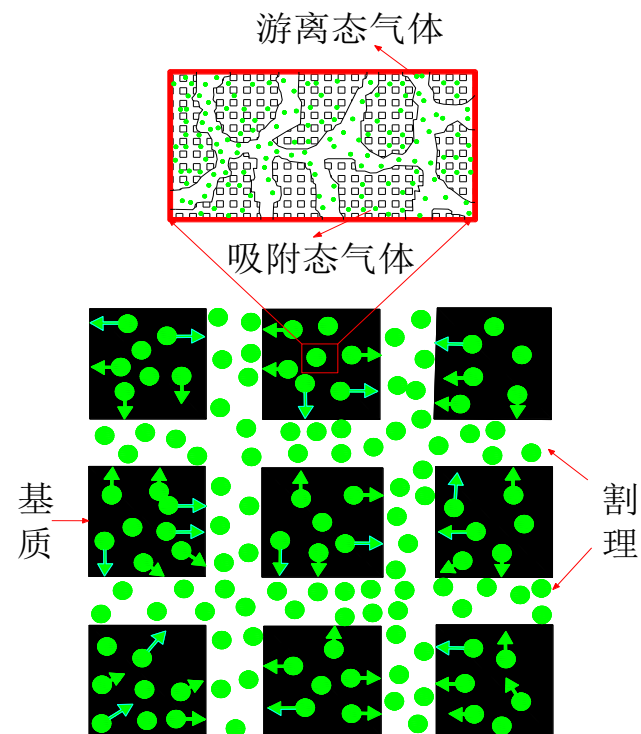
$$V_T = V_{L1} \frac{b_1 p_1}{1 + b_1 p_1 + b_2 p_2} + V_{L2} \frac{b_2 p_2}{1 + b_1 p_1 + b_2 p_2}$$



增渗效应



促流效应



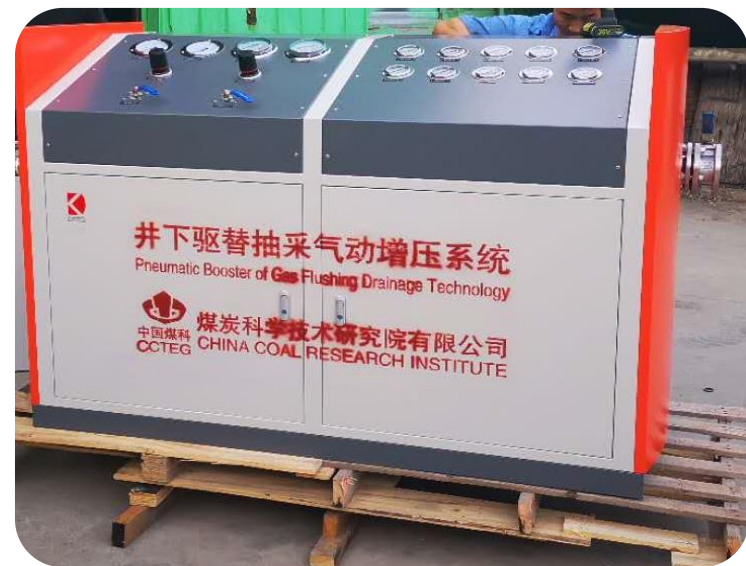
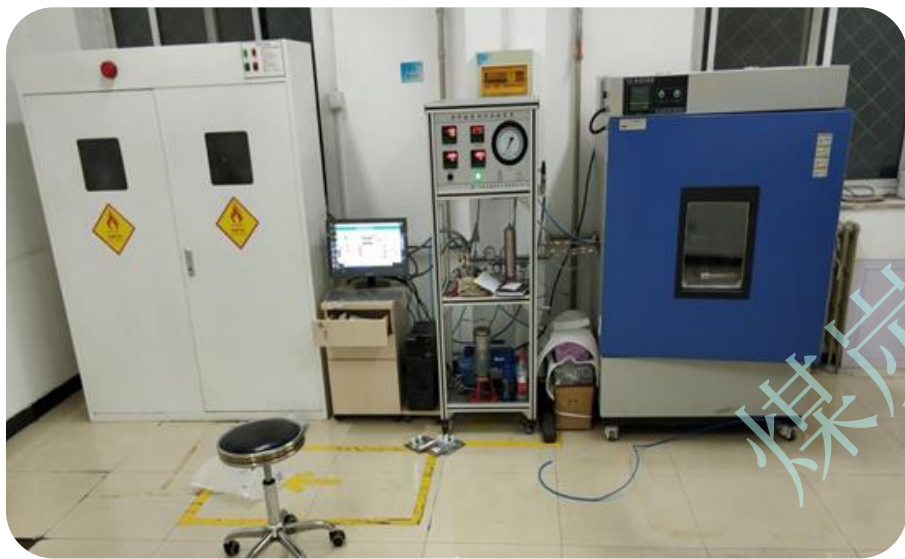
置换效应

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀化预抽技术

□ 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。

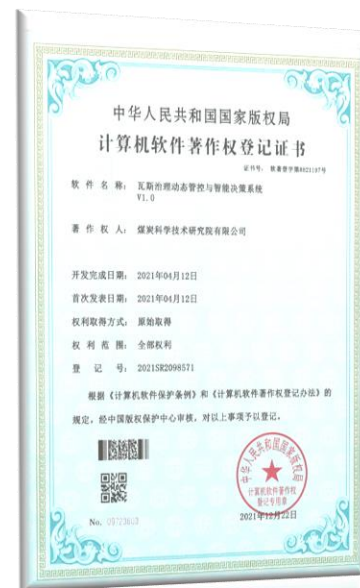
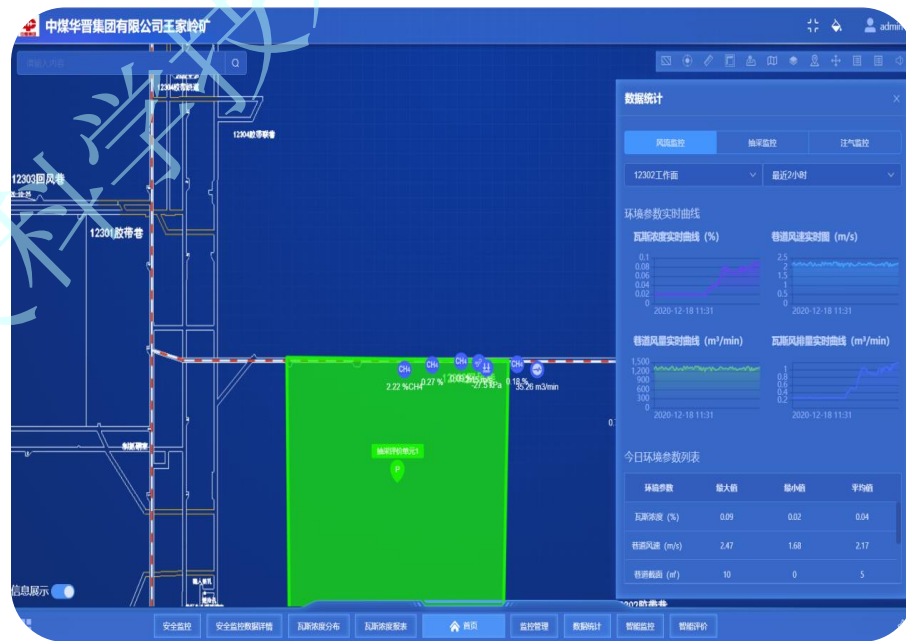


2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀化预抽技术

□ 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。

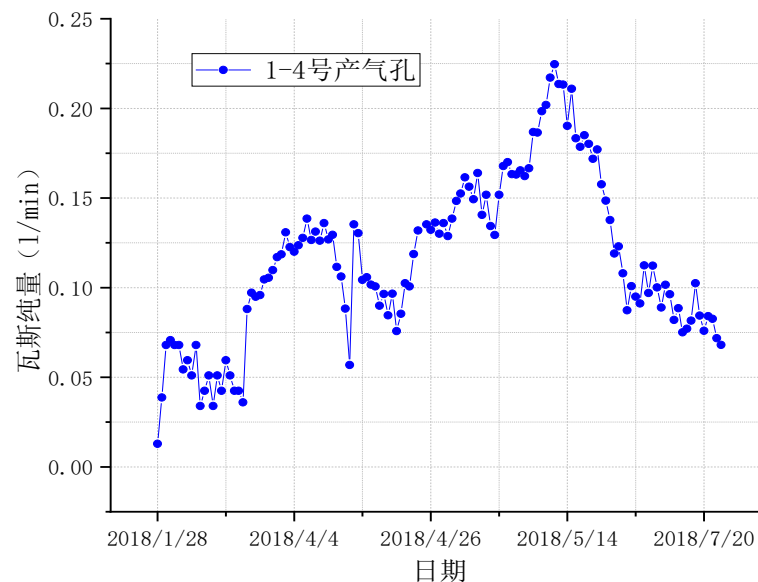
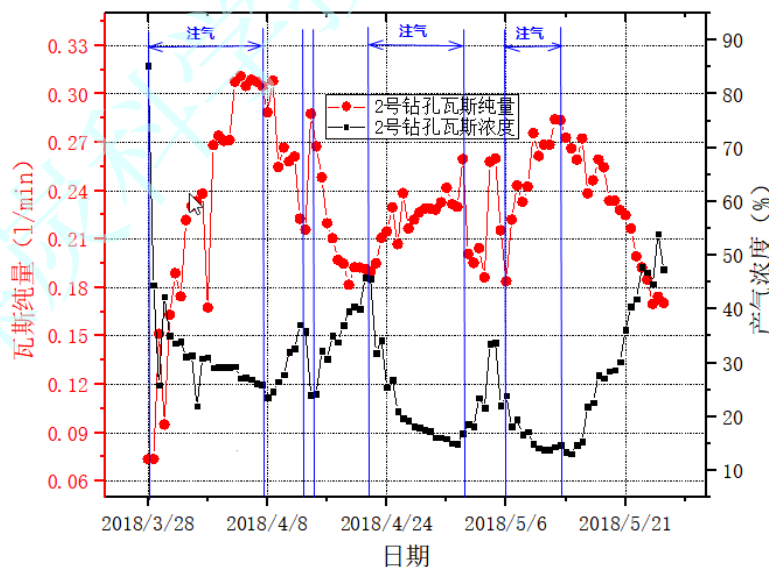
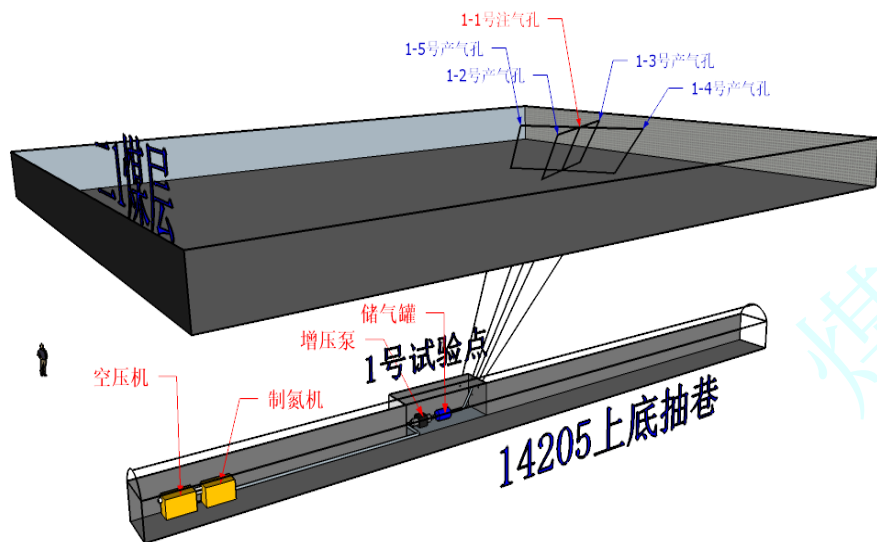


2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术二：特厚煤层采前高效均匀化预抽技术

□ 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

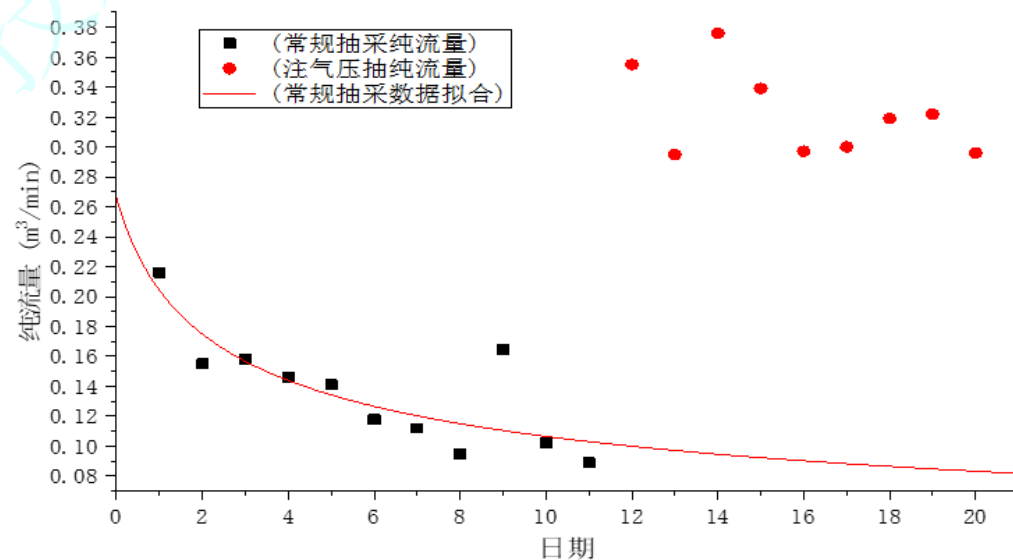
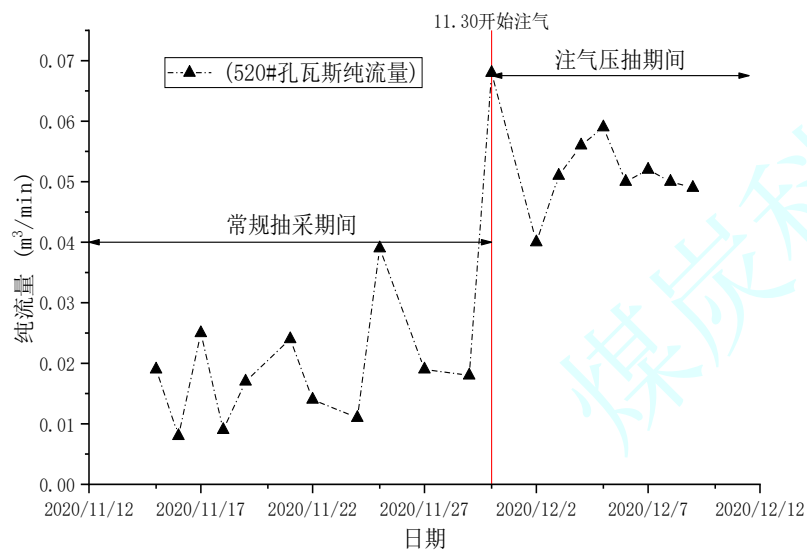
河南某矿低渗碎软突出煤层底抽巷注前煤层瓦斯含量为 $6.07 \sim 8.36 \text{ m}^3/\text{t}$ ，试验后促抽范围内瓦斯含量降到 $5.41 \sim 5.76 \text{ m}^3/\text{t}$ ；底抽巷条带消突达标时间减少了53%，钻孔累计工程量减少了25%。



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 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

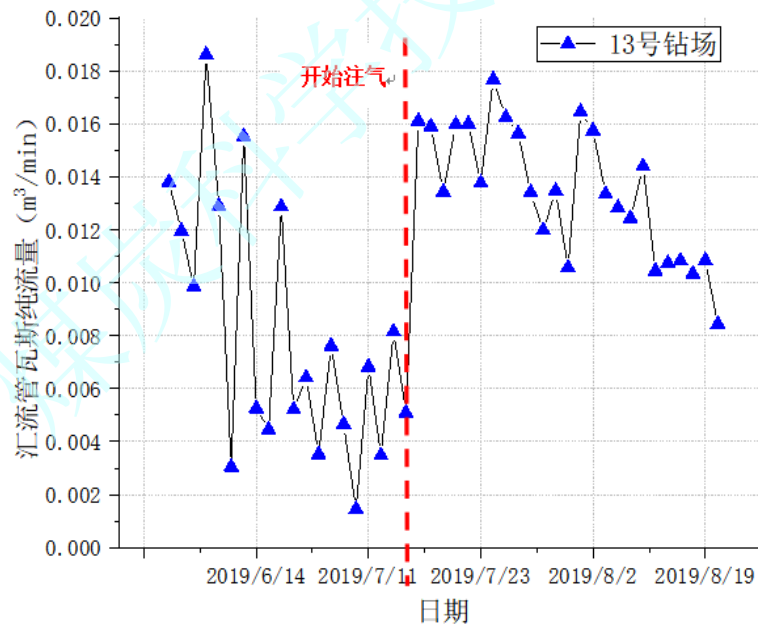
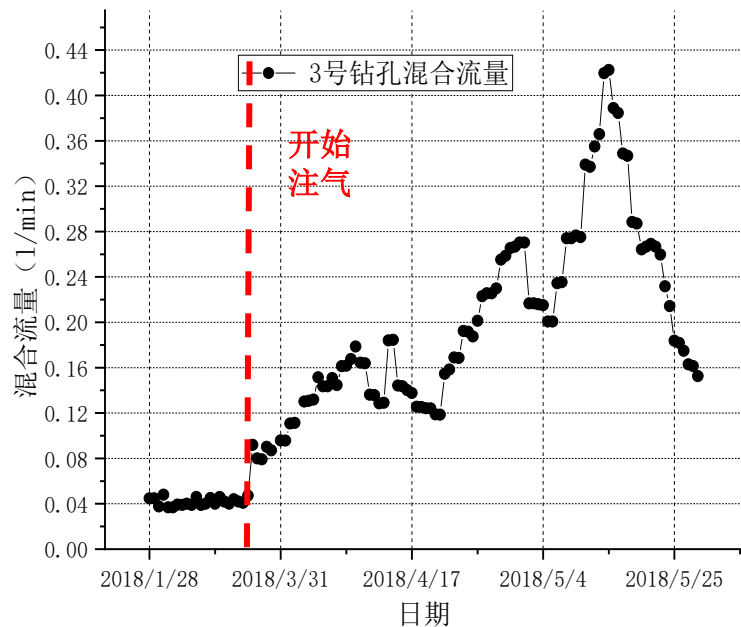
山西潞安集团某煤矿高瓦斯低渗煤层注氮驱替煤层瓦斯汇流管抽采纯量提升1.44 ~ 1.92倍，单孔瓦斯抽采纯量提升1.94 ~ 2.44倍；瓦斯抽采产量增量达0.91 ~ 1.73倍，效果明显。



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 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

刘庄煤矿高瓦斯区段实施注气驱替后，工作面回风流瓦斯浓度达到0.6%的次数30次/月降到2次/月；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。

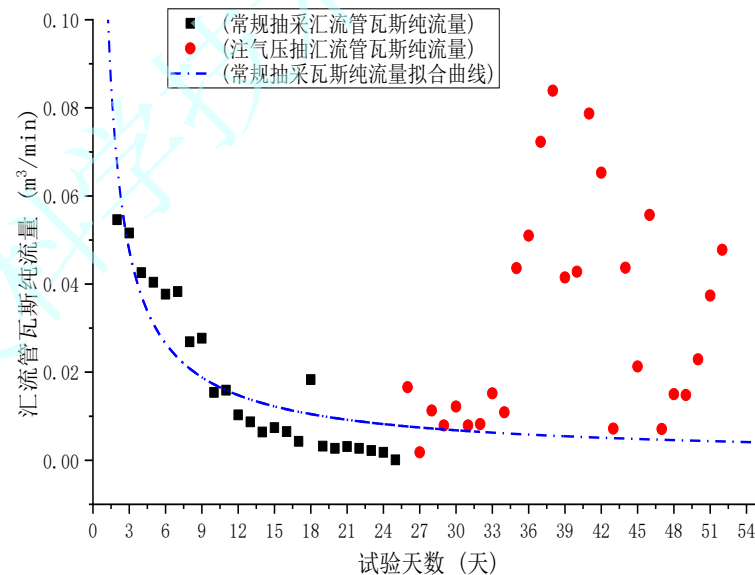
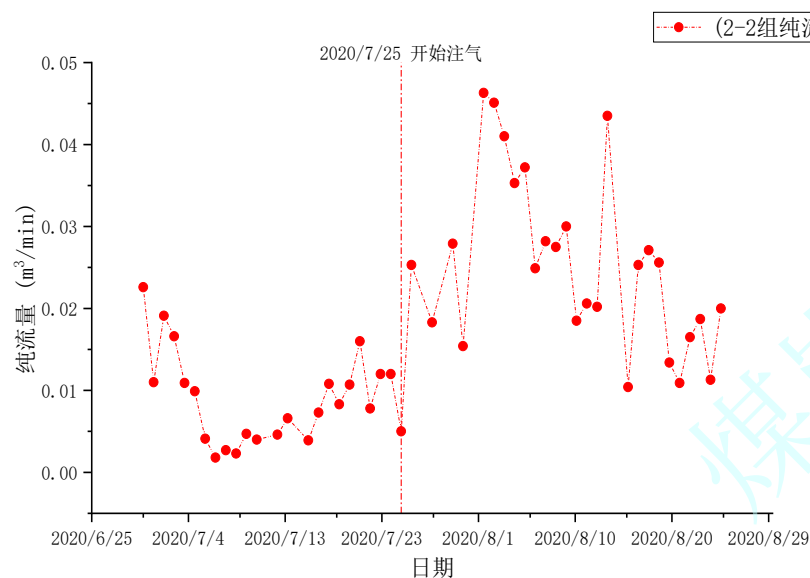


黄玉治局长讲话稿中进行了专门推介和肯定

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 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

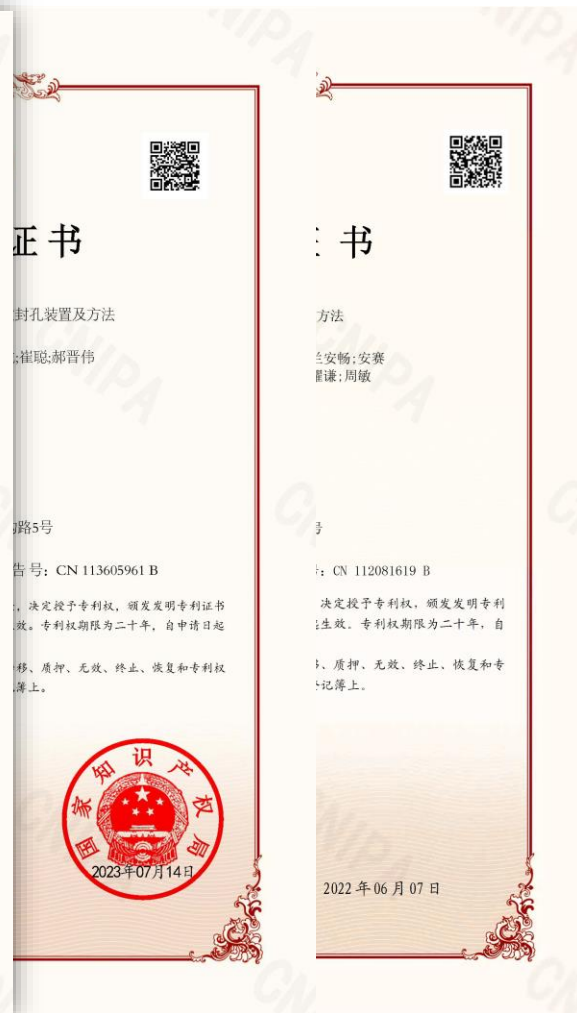
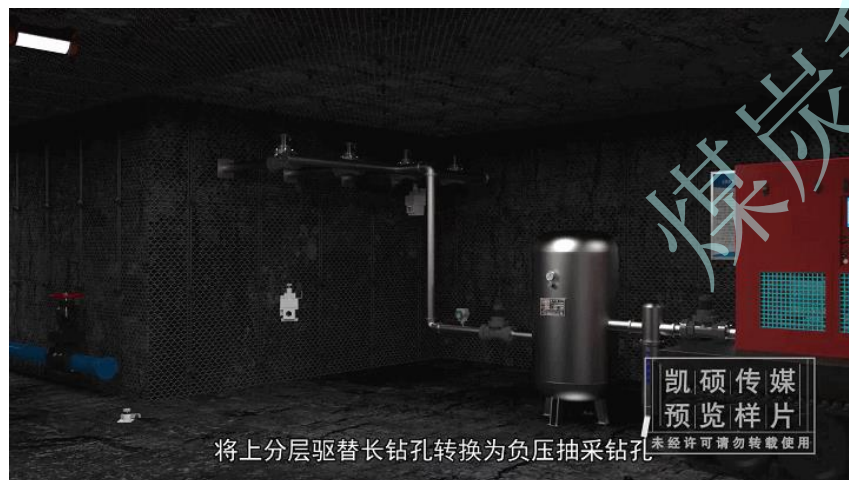
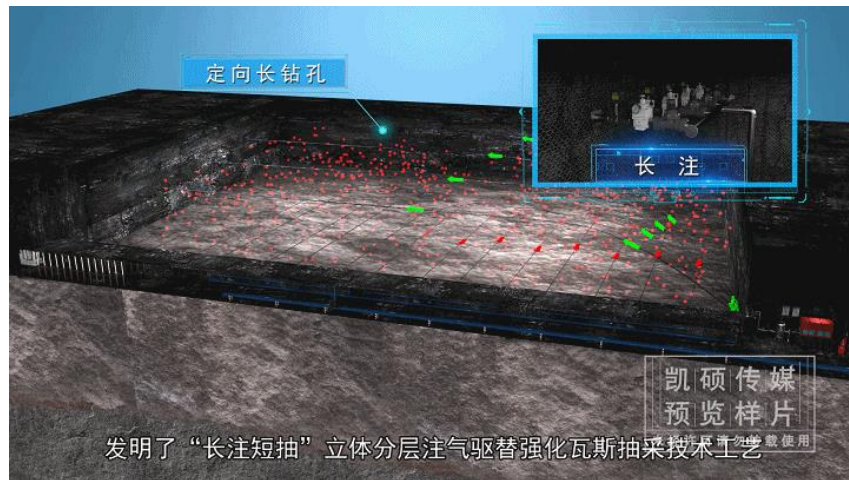
王家岭煤矿低瓦斯含量高强度开采注气驱替强化抽采研究：注气期间瓦斯累计抽采纯量较常规抽采提升2.27~3.76倍；注气压抽试验区段吨煤瓦斯含量1个月内下降0.5012-0.5179m³/t。



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。

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

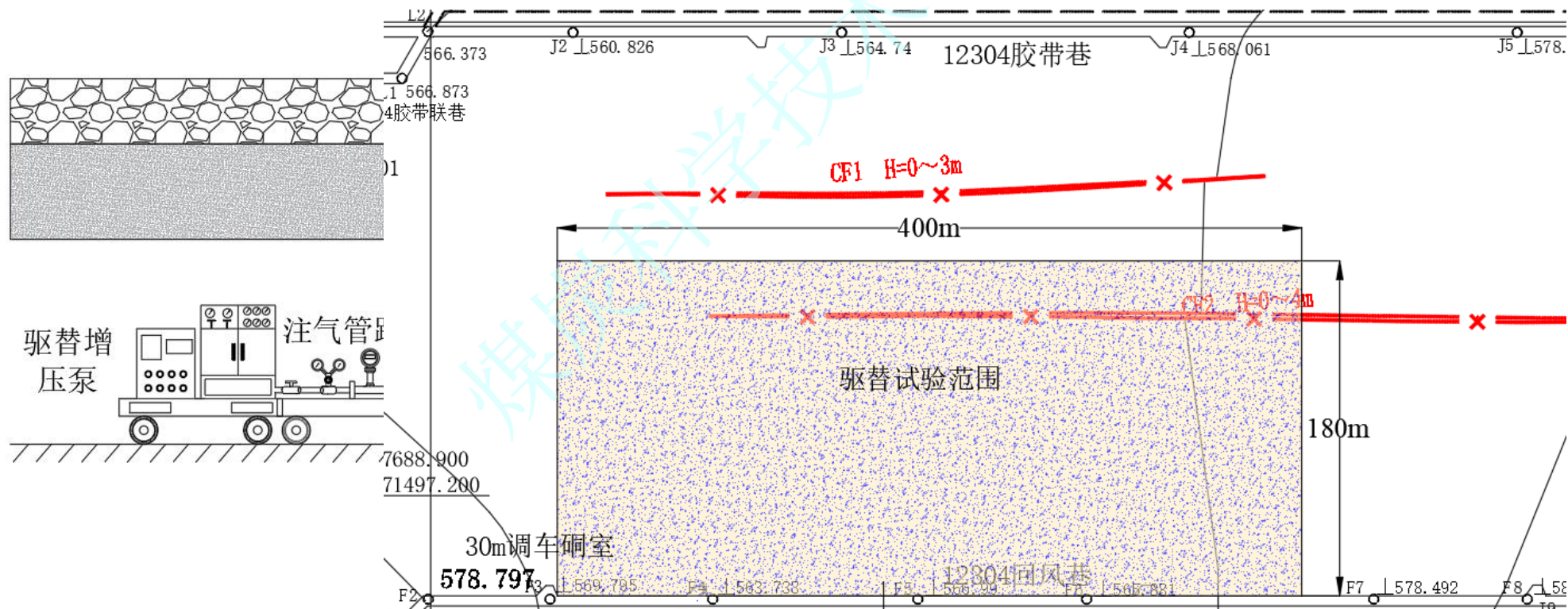
□ 首创了适用于**特厚煤层低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件**的**长注短抽分层立体增能促抽关键技术**



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 首创了适用于特厚煤层低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件的长注短抽分层立体增能促抽关键技术

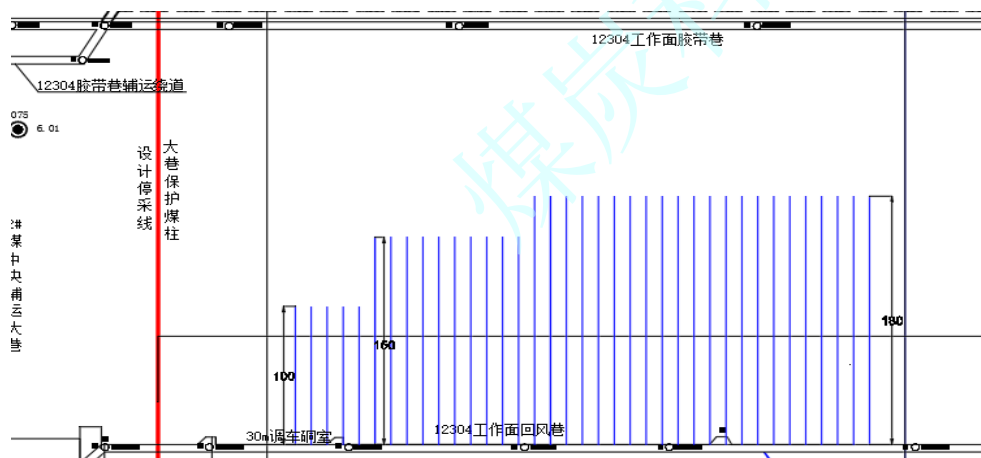
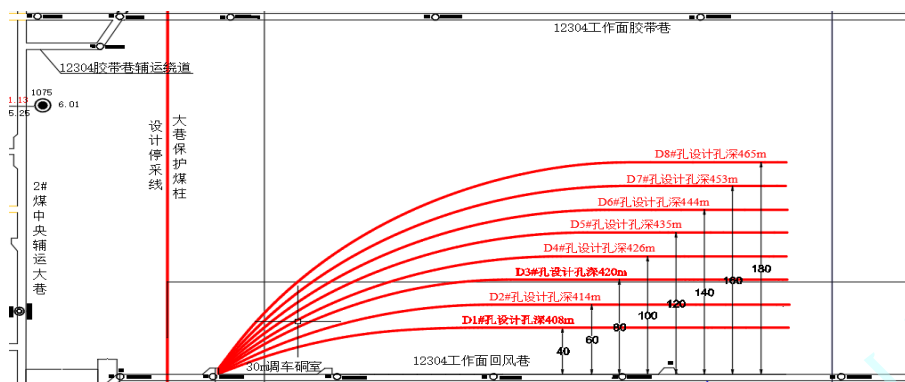
在中煤集团某煤矿开展了厚煤层立体分层压驱技术及工艺试验，验证了立体分层压驱技术强化瓦斯抽采的可行性，分析了立体压驱促抽技术工艺装备能力需求。



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 首创了适用于**特厚煤层低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件**的**长注短抽分层立体增能促抽关键技术**

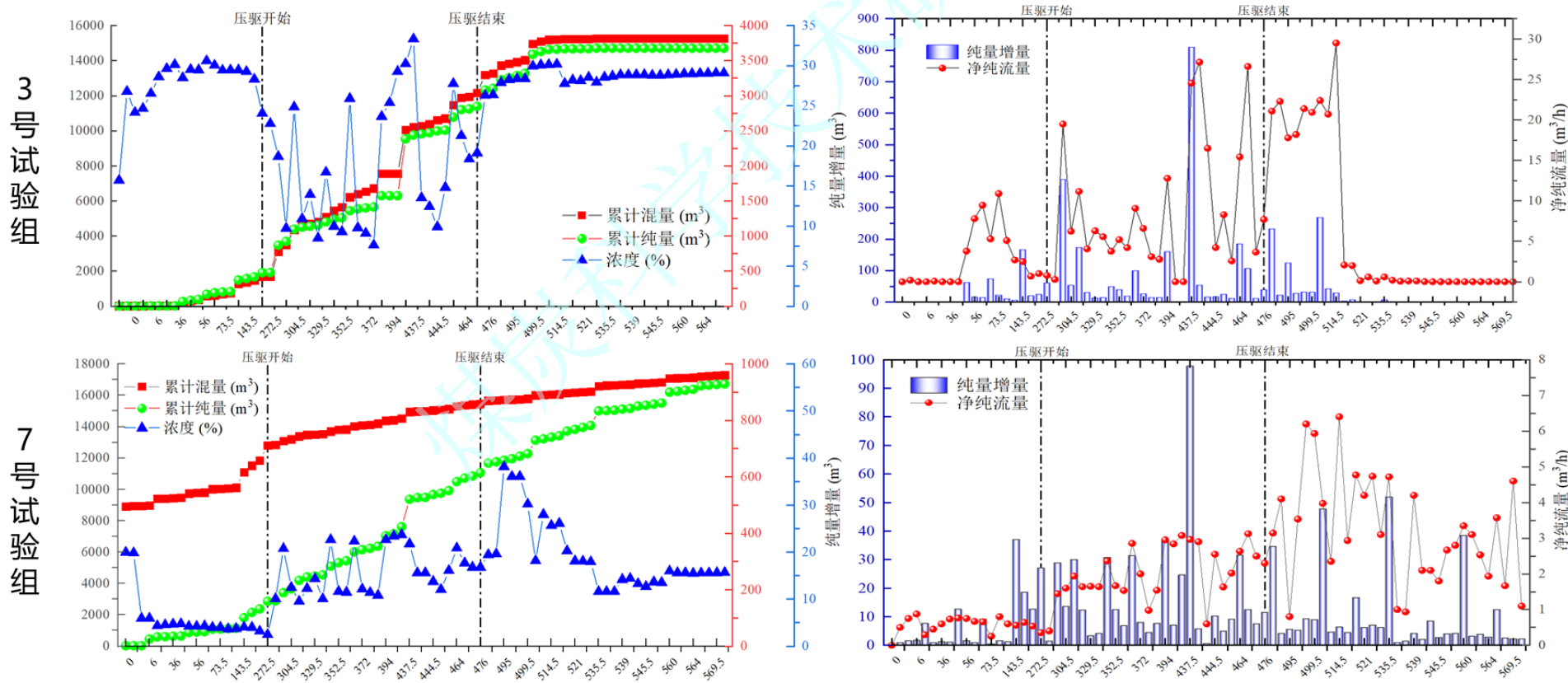
现场采用**长注短抽立体分层压驱**方式，覆盖工作面 $400 \times 180\text{m}^2$ 范围



2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 首创了适用于**特厚煤层低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件**的**长注短抽分层立体增能促抽关键技术**

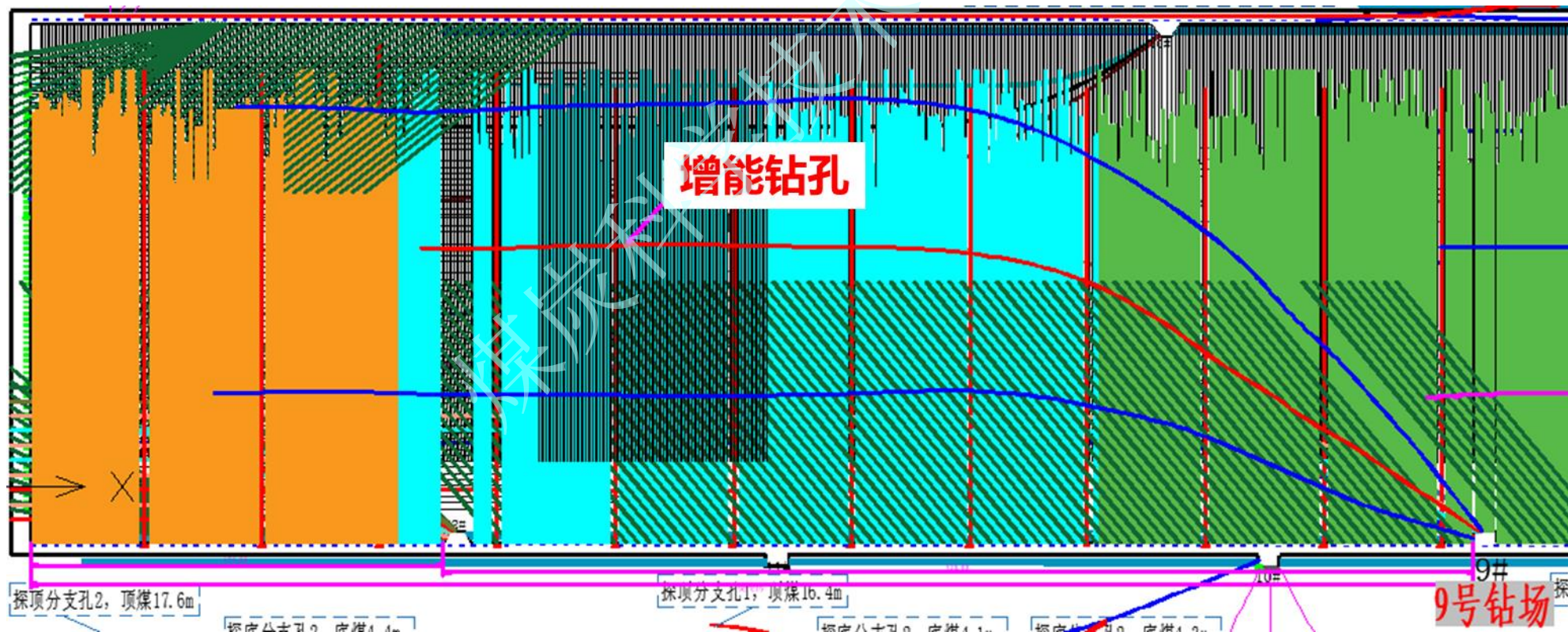
常规抽采单孔抽采纯量为 $0.002 \sim 0.009 \text{m}^3/\text{min}$ ，压驱过程中单孔抽采纯量为 $0.006 \sim 0.029 \text{m}^3/\text{min}$ ，抽采纯量提升**3 ~ 3.22倍**。解决了抽不动、抽不出的问题。



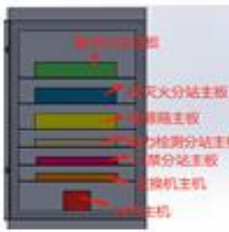
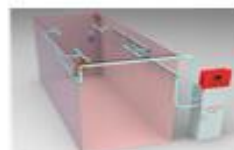
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

□ 首创了适用于**特厚煤层低瓦斯赋存高瓦斯涌出条件**的**长注短抽分层立体增能促抽关键技术**

- **增能促抽钻孔**选取原有403109工作面9号钻场煤层瓦斯抽采**2#定向长钻孔**，孔深483m，钻孔平距120m，层高10m。（陕煤彬长矿业公司联合开展试验）



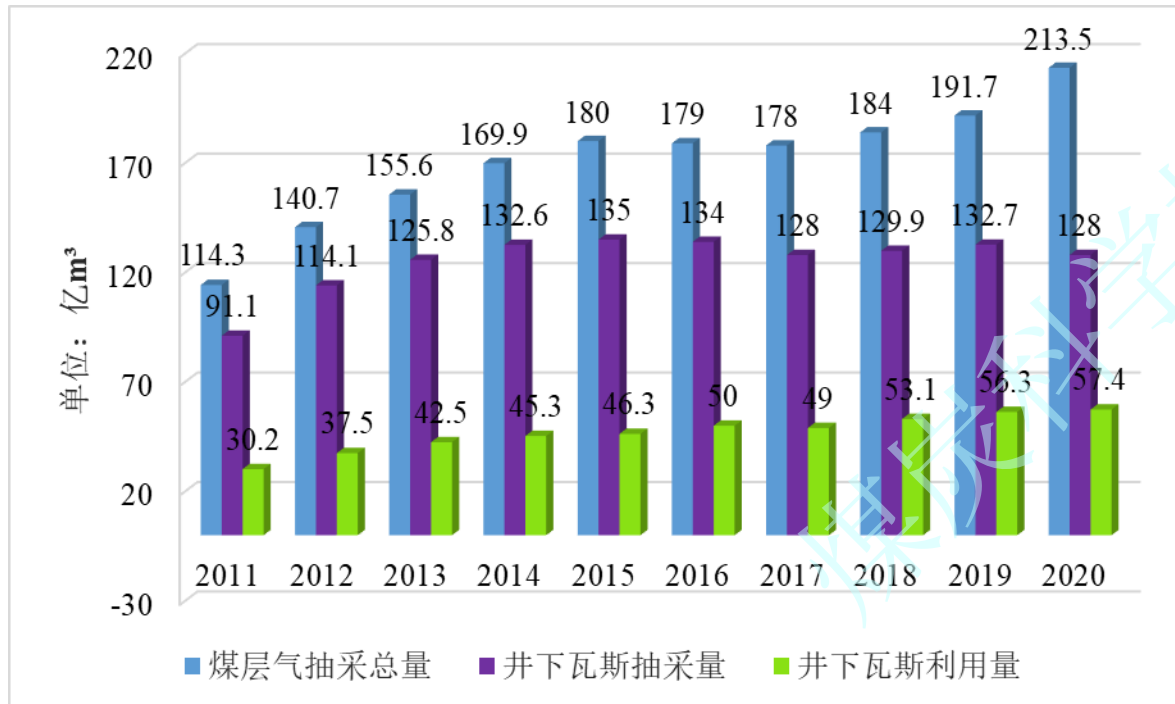
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

传感器	参数	注氮气前（0 点-10 点）	注氮气后（10 点-14 点）	增幅									
回顺 2050 传感器	       	电磁阀	执行器	控制箱	气动控制阀门	烟雾传感器	火焰传感器	PLC	主机	%			
回顺 1650 传感器		甲烷传感器	监测控制系统  升荷反馈与 气相环流自 增压关键组 件 供气升压系 统结构 采用大通流 面积设计 煤矿井下通 信技术及数 据解析 模块化及结 构化设计 伺服精密增 流调控阀件							管道气体传感器	抽放多参数传感器	温度传感器	79%
运顺 1600 传感器		泵站防灭火系统	装备技术突破 									27%	
		摄像系统										%	
												7%	
												8%	
												提升	
												.27%	
												度提	
			升了 23.87%，抽米纯量提升了 25.18%（范围 815m）;;										

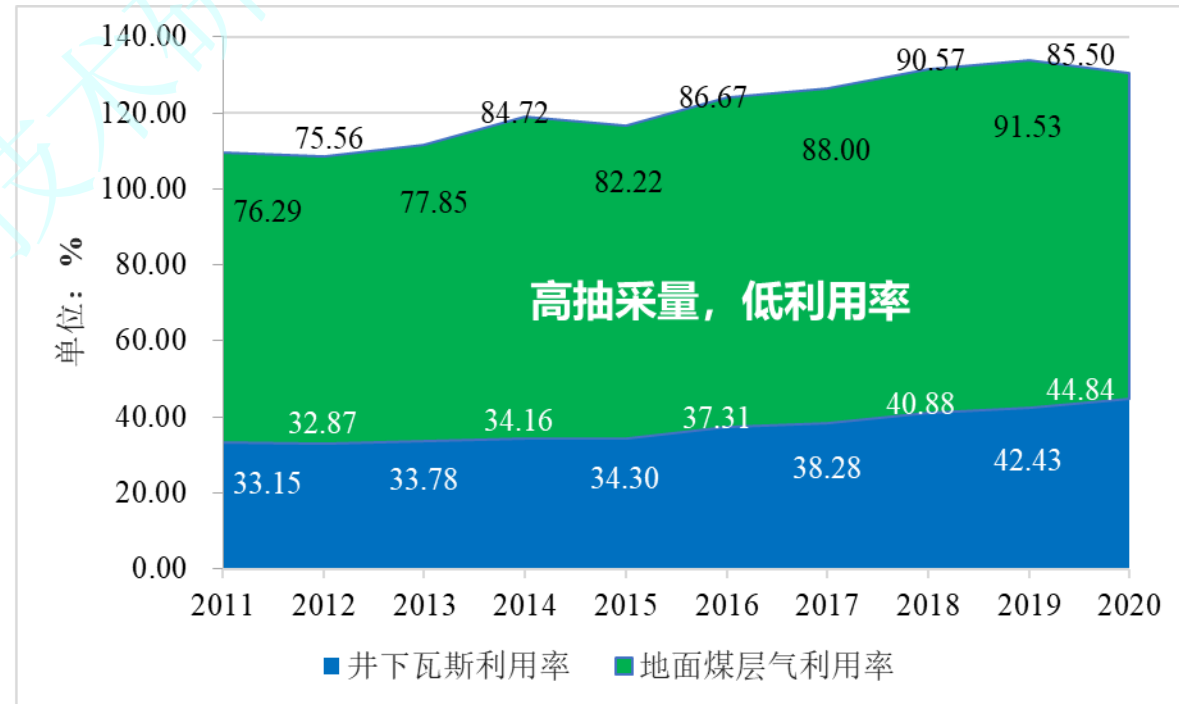
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：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到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

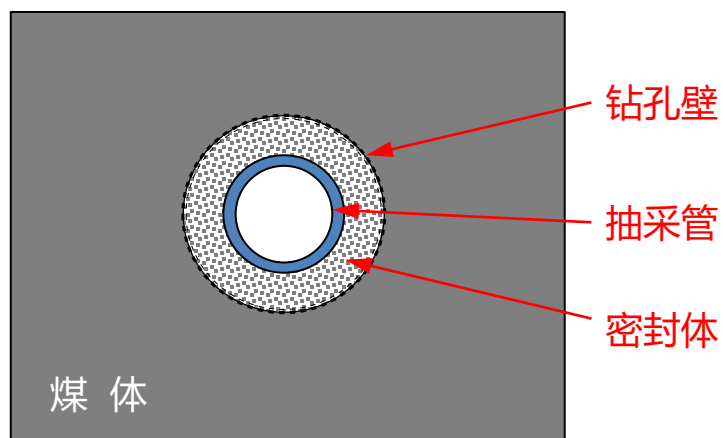


中国煤矿井上下抽采瓦斯利用率对比

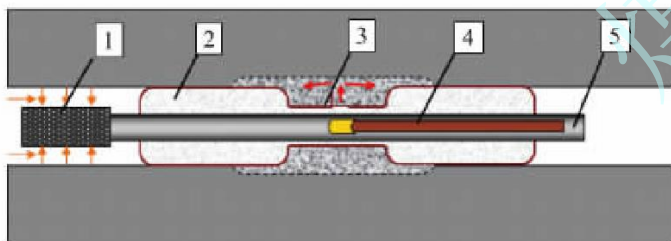
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

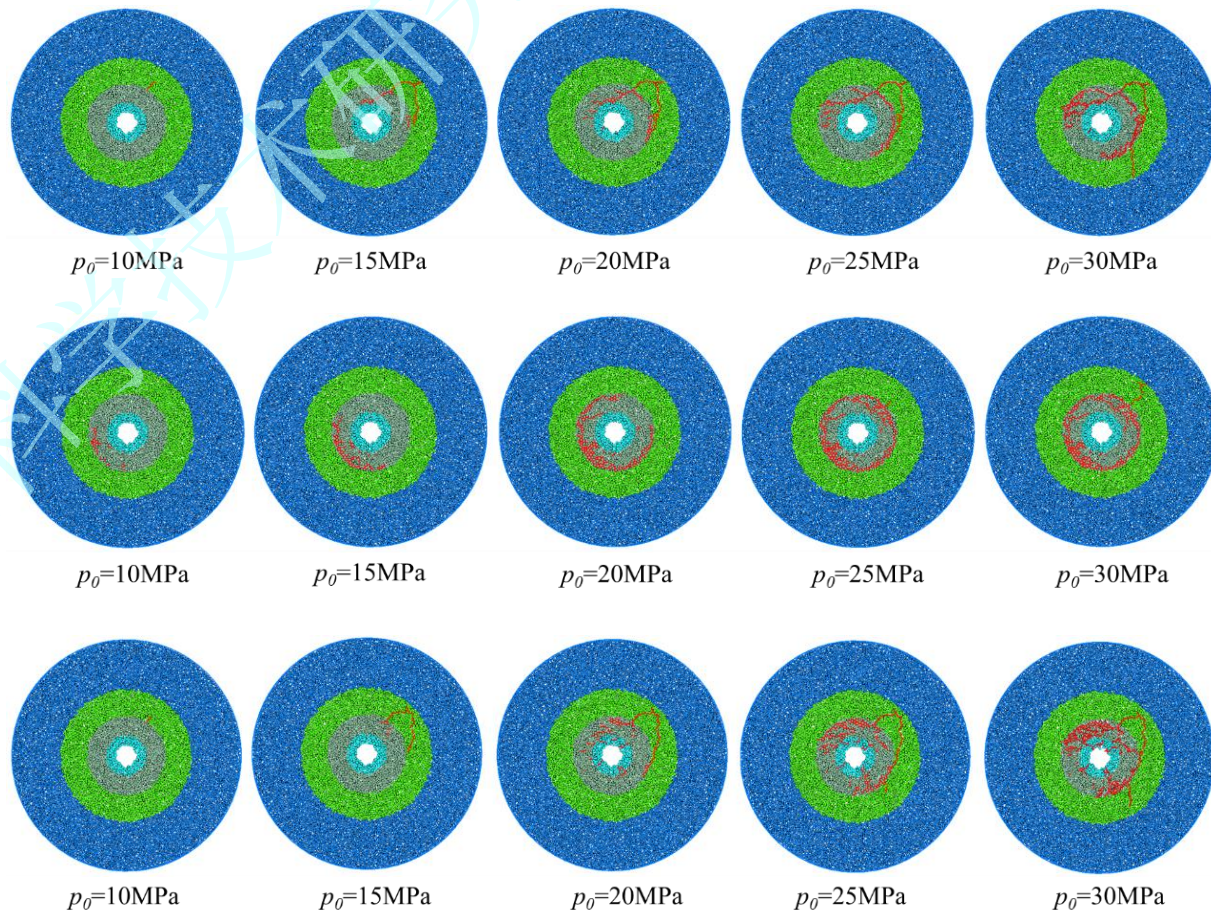
□ 抽采钻孔封孔段在采掘扰动动压作用下，很容易次生裂隙，导致封孔质量劣化。



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”



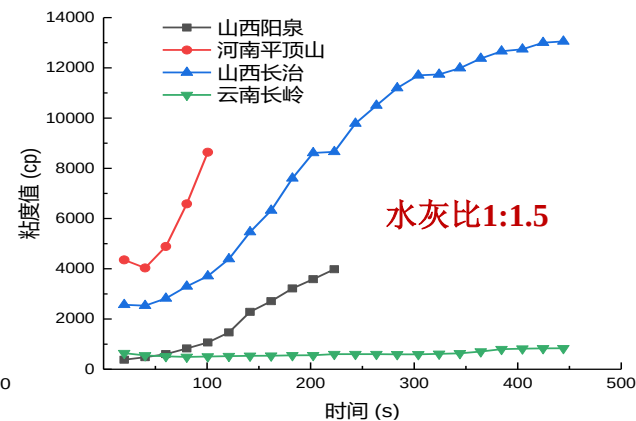
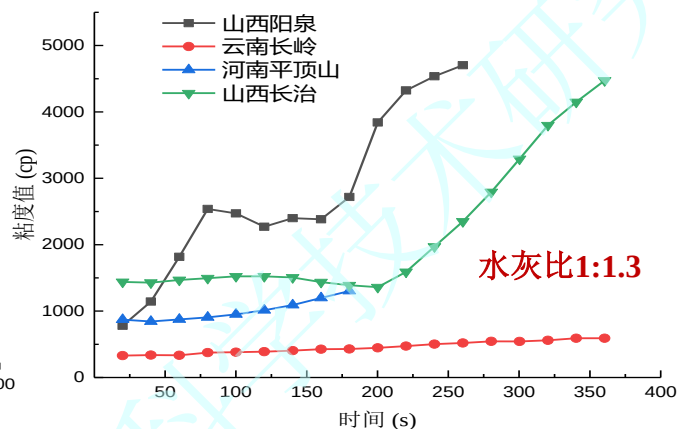
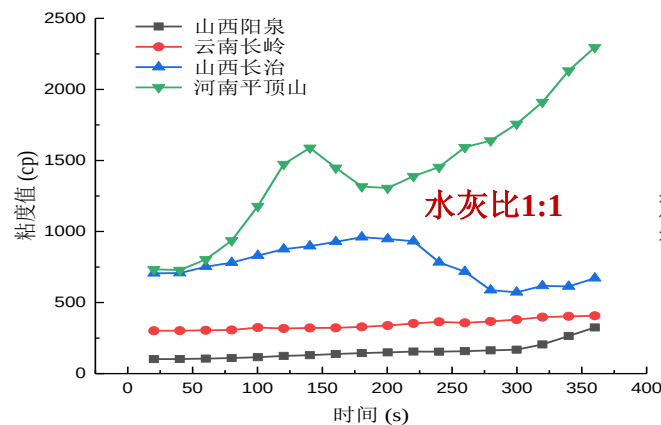
“两堵一注”封孔原理示意



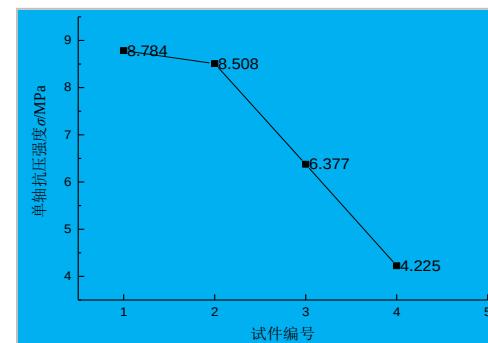
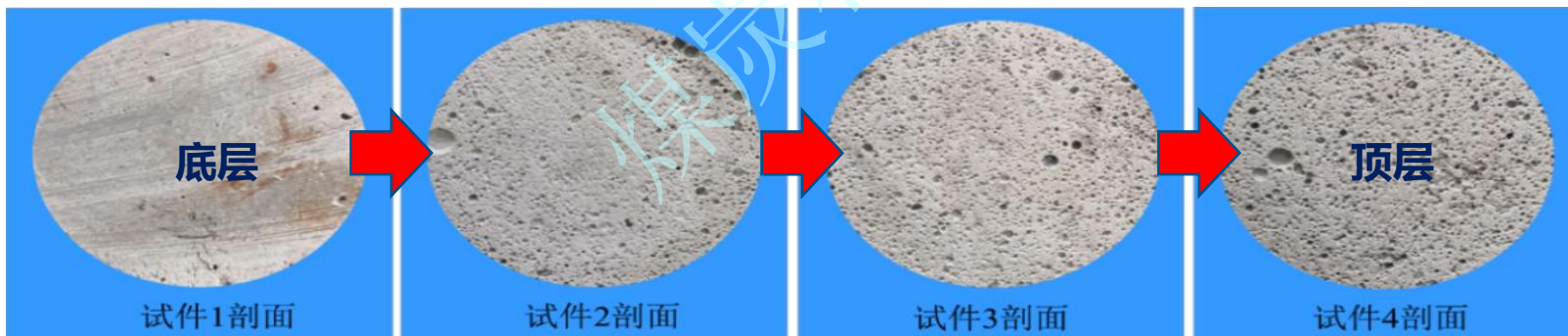
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：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

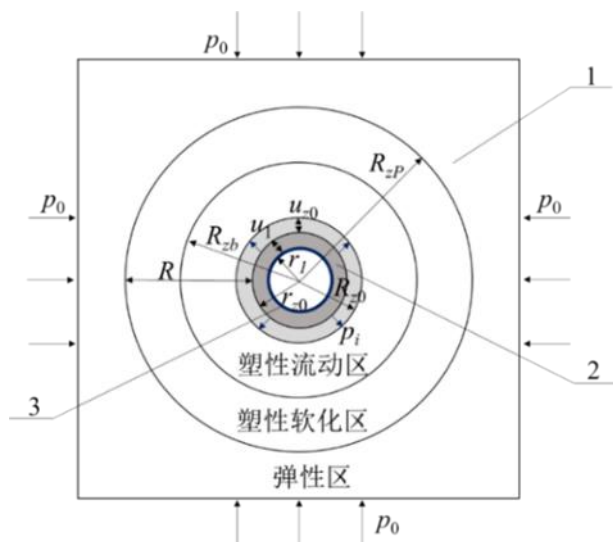


膨胀水泥的物理力学性质的分层现象

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

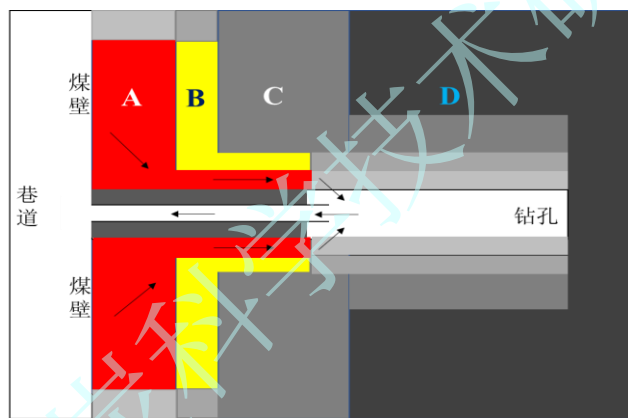
关键技术三：环保型相变凝胶自适应动态封孔技术

□ 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。



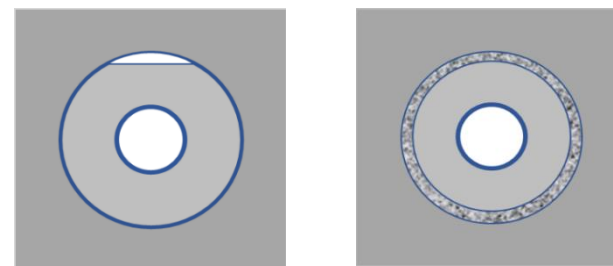
1—煤体；2—密封材料；3—瓦斯抽采管

钻孔密封段接触型层状异质结构受力示意图

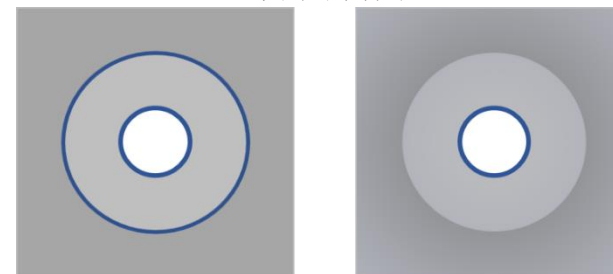


A—塑性流动区 B—塑性软化区
C—粘弹性区 D—原岩应力区

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

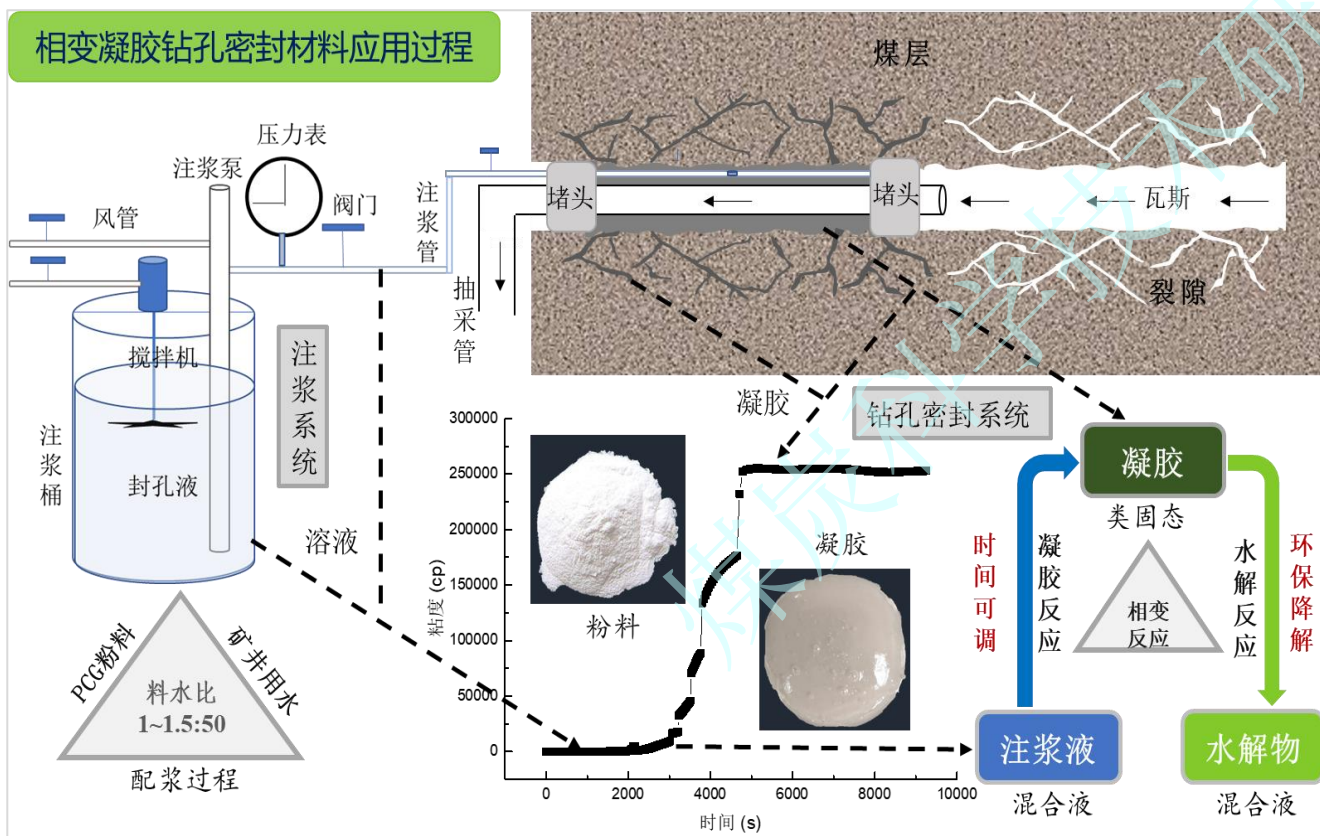
(c) 界面耦合型

钻孔密封段接触型层状异质结构分类

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：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



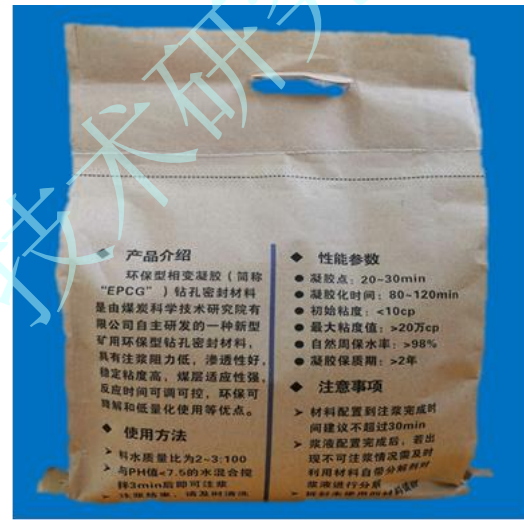
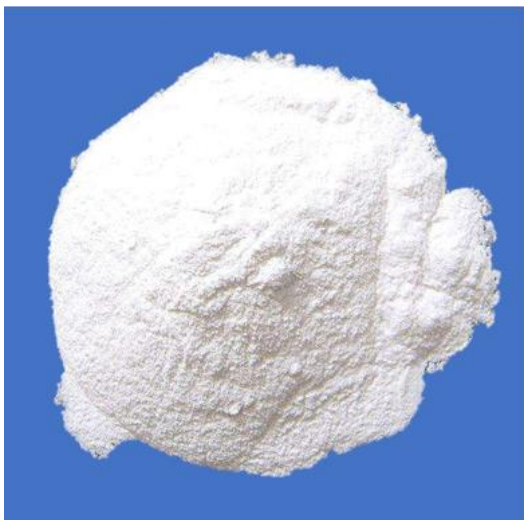
以绿色、环保、可降解的水溶性高分子为基料的复配型密封材料，通过人为控制材料水溶液的**凝胶化相变过程**，使其在不同时间段发生不同的物理相变反应，实现抽采钻孔密封全过程的**低阻注浆**、**低粘渗透**、**高粘胶结**、**动态密封**及**绿色降解**的材料性能需求，实现钻孔密封全过程的精准控制。

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

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：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。

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：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》

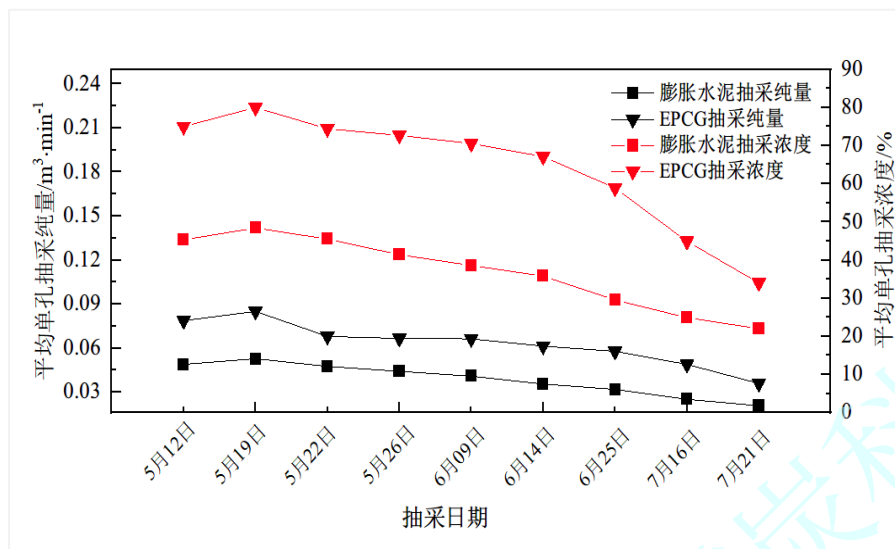
 100084 北京市 北京清亦华知识产权代理有限公司	 100084 北京市海淀区北洼路 45 号 1 号楼 2 层 201 北京清亦华知识产权代理有限公司（普通合伙） 杜月(010-82886508)	 国家知识产权局 100084 北京市海淀区北洼路 45 号 1 号楼 2 层 201 北京清亦华知识产权代理有限公司（普通合伙） 杜月(010-82886508)	发文日： 2022 年 02 月 10 日
申请号或专利号： ZL	申请号或专利号： 202210425130.4	申请号或专利号： 202210122564.7	发文字号： 2022021001350010
专利 根据专利法第 28 条及其实施细则第 28 条、第 39 条的规定，申请人提出的发明专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下： 申请号：202210425130.4 申请日：2022 年 04 月 21 日 申请人：煤炭科学技术研究院有限公司 发明创造名称：一种矿用可降解凝胶 经核实，国家知识产权局确认收到发明专利请求书 每份页数 5 页 文件份数 1 份 实质审查请求书 每份页数 1 页 文件份数 1 份 说明书摘要 每份页数 1 页 文件份数 1 份 说明书附图 每份页数 1 页 文件份数 1 份 权利要求书 每份页数 2 页 文件份数 1 份 说明书 每份页数 6 页 文件份数 1 份	专利 申请受理通知书 根据专利法第 28 条及其实施细则第 28 条、第 39 条的规定，申请人提出的发明专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下： 申请号：202210122564.7 申请日：2022 年 02 月 09 日 申请人：煤炭科学技术研究院有限公司 发明创造名称：一种钻孔自适应压力密封装置及方法 经核实，国家知识产权局确认收到文件如下： 实质审查请求书 每份页数 1 页 文件份数 1 份 说明书摘要 每份页数 1 页 文件份数 1 份 权利要求书 每份页数 2 页 文件份数 1 份 说明书附图 每份页数 1 页 文件份数 1 份 发明专利请求书 每份页数 5 页 文件份数 1 份 说明书附图 每份页数 2 页 文件份数 1 份 说明书 每份页数 6 页 文件份数 1 份		
提示： 1. 申请人收到专利中 请书更正。 2. 申请人收到专利中 请书更正。 3. 国家知识产权局收	提示： 1. 申请人收到专利申请受理通知书之后， 请书更正。 2. 申请人收到专利申请受理通知书之后， 请书更正。 3. 国家知识产权局收到外国专利申请受理	提示： 1. 申请人收到专利申请受理通知书之后，认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时，可以向国家知识产权局 请求更正。 2. 申请人收到专利申请受理通知书之后，向国家知识产权局办理各种手续时，均应当准确、清晰地写明申请号。 3. 国家知识产权局收到外国专利申请受理通知书后，依据专利法实施细则第 9 条予以审查。	
审查员：白云	审查员：自动受理	审查员：自动受理	
202101 2019.11 纸质申请、 电子申请、 文件提交	202101 2019.11 纸质申请、 电子申请、 文件提交	202101 2019.11 纸质申请、 电子申请、 文件提交	



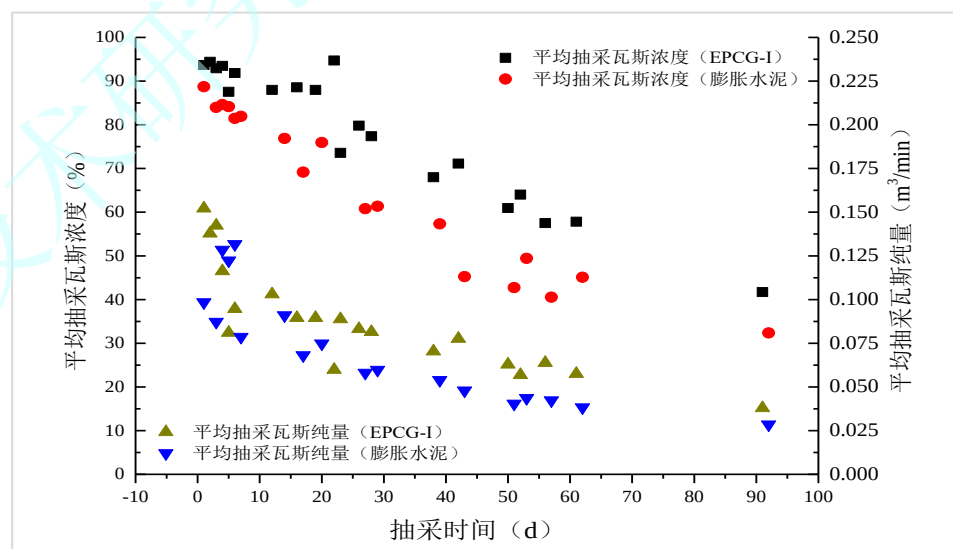
2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

关键技术三：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



离柳焦煤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“两堵一注”封孔工艺相比较，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。

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术



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 材料单孔耗费量仅为 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

封孔工艺	对比参数
封孔参数	密封长度 (m)
	钻孔直径 (mm)
注浆材料	材料名称
	水料质量比
	耗费量/kg
	单价 (元/kg)
	合计成本/元
堵头材料	材料名称
	单价 (元/套)
实际总耗费 (元)	
备注	自适应保压
实际总耗费 (元)	/

综上所述，根据材料具有：气密性好、金等特点。整体而言瓦斯治理水平有很大

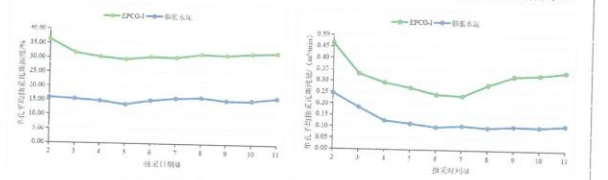
应用证明

技术名称	环保型相变凝胶钻孔密封技术
应用单位	陕西彬长孟村矿业有限公司
单位地址与邮编	陕西省咸阳市长武县亨口镇上河村
产品应用时间	2023 年 7 月 1 日~至今

技术简介：
环保型相变凝胶 (EPCG) 钻孔密封技术是由煤炭科学技术研究院有限公司自主研发的新一代瓦斯抽采钻孔密封新技术，该技术主要以矿用环保型相变凝胶钻孔密封材料 (KEZMG) 和矿用自适应保压式封孔器为产品依托，主要解决我国煤矿井下瓦斯抽采密封效果参差不齐、密封成本居高不下、密封材料耗费量大和施工劳动强度大等问题，具有钻孔密封质量好、施工效率高、单孔材料耗费量少及材料环保可降解等优势。

矿井概况：
陕西彬长煤业孟村矿 403 盘区二号灾害治理措施巷，所在煤层为 4#煤层，赋存稳定，煤层倾角 $-5 \sim 3^\circ$ ，煤层厚度为 19.5~22.5m，煤层瓦斯压力为 0.15-0.44MPa，瓦斯含量为 1.7-5.5m³/t，孔隙率为 7.38%，透气性系数为 5.935，钻孔瓦斯流量衰减系数为 0.0382，瓦斯放散初速度：Δp=12-13.3，属于可抽采煤层。钻孔长度，采前预抽钻孔设计深度 110-200m，钻孔直径为 113mm，扩孔段钻孔直径为 153mm (前 12m)，抽采钻孔孔间距 1m。

应用情况：
应用 EPCG 材料+自适应保压式封孔器和膨胀水泥基材料+滤网式囊袋式两种“两堵一注”封孔工艺进行封孔，平均单孔抽采瓦斯浓度及纯量对比如图示。



相同条件下，采用 KEZMG-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 0.91~1.30 倍以上，平均单孔抽采瓦斯纯量提高 0.8~2.2 倍，提浓效果明显。同时，平均单孔材料耗费量仅 3kg，密封成本同比可降低 10~20%以上，密封效率提高 30%以上，劳动强度降低 70%以上，抽采瓦斯利用率提升 30%以上，为井下钻孔瓦斯高效抽采和利用提供了可靠的技术基础，极大推动了孟村煤矿“降本增效”和“节能减排”发展目标的实现。



陕煤孟村煤矿试验表明较传统水泥基材料，单孔抽采纯量提高2.2倍以上，单孔封孔材料仅需3kg。

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

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《中华人民共和国合同法》

三、乙方进行技术服务的内容、要求和方式、成本、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究及考察，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同地质勘探、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：施工人工、打钻设备、测试用其他协作事项：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外，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：工作过程中现场（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解除本合同；（2）同履行过程中，如发现信息资料等无法满足正

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

料和必要的技术指导。

已审合同

合同编号：

项目名称：赵庄煤业一

甲方（委托方）：山西晋

乙方（受托方）：煤

签订时间：

签订地点：

有效期限：2021年1

中华人民



合同编号：

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）：山西潞安矿业（集团

城煤矿

受托方（乙方）：煤炭科学技术研究院有

签订时间：2021年12月2

签订地点：山西 长治

有效期限：年 月 -

中华人民共和国科学技术部

合同编号：2022/SK01/技术第1号

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：

中华人民共和国

合同编号：

（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：北京市朝阳区青荷街东路5号

签订日期：年 月 日

718768

2022110136X

2 特厚煤层综放开采全时域抽采关键技术

■ 环保型相变凝胶自适应动态封孔技术优势

□ 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)



150kg/孔



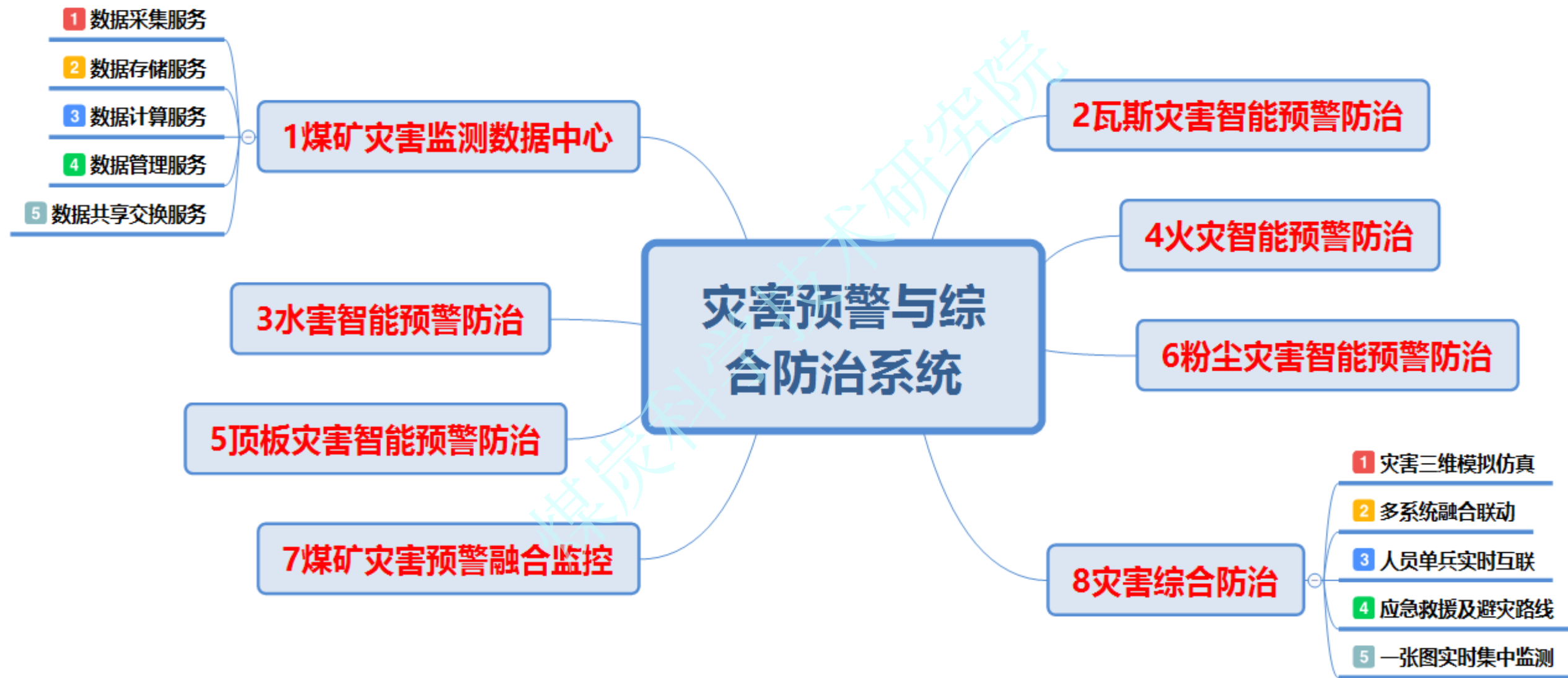
2kg/孔

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

3

煤矿多灾融合监测预警系统

3 煤矿多灾融合监测预警系统



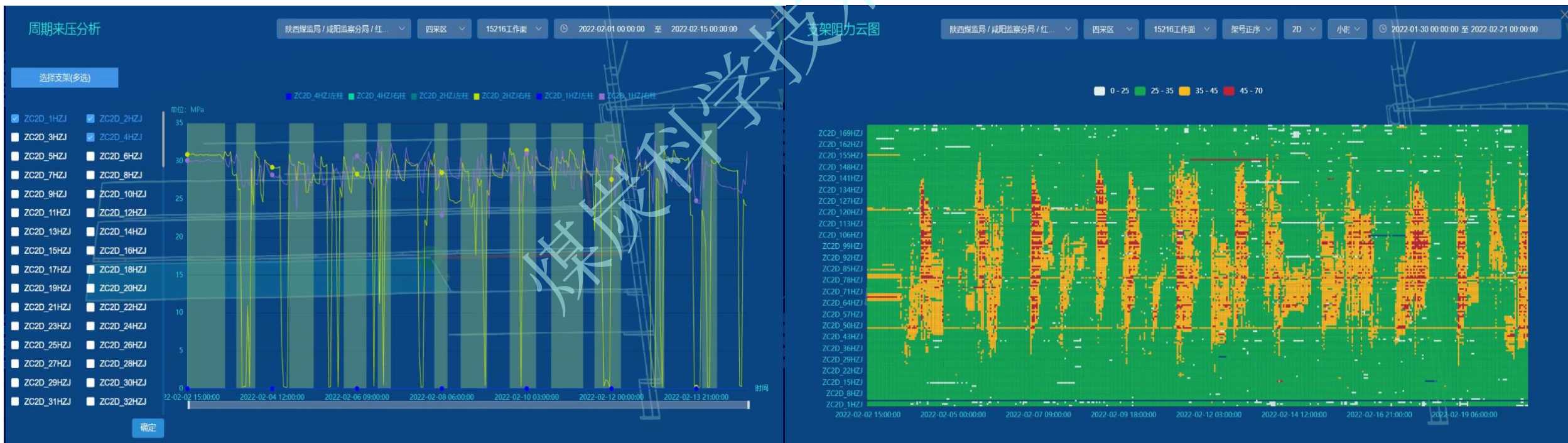
3 煤矿多灾融合监测预警系统

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。



3 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。



3 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）。



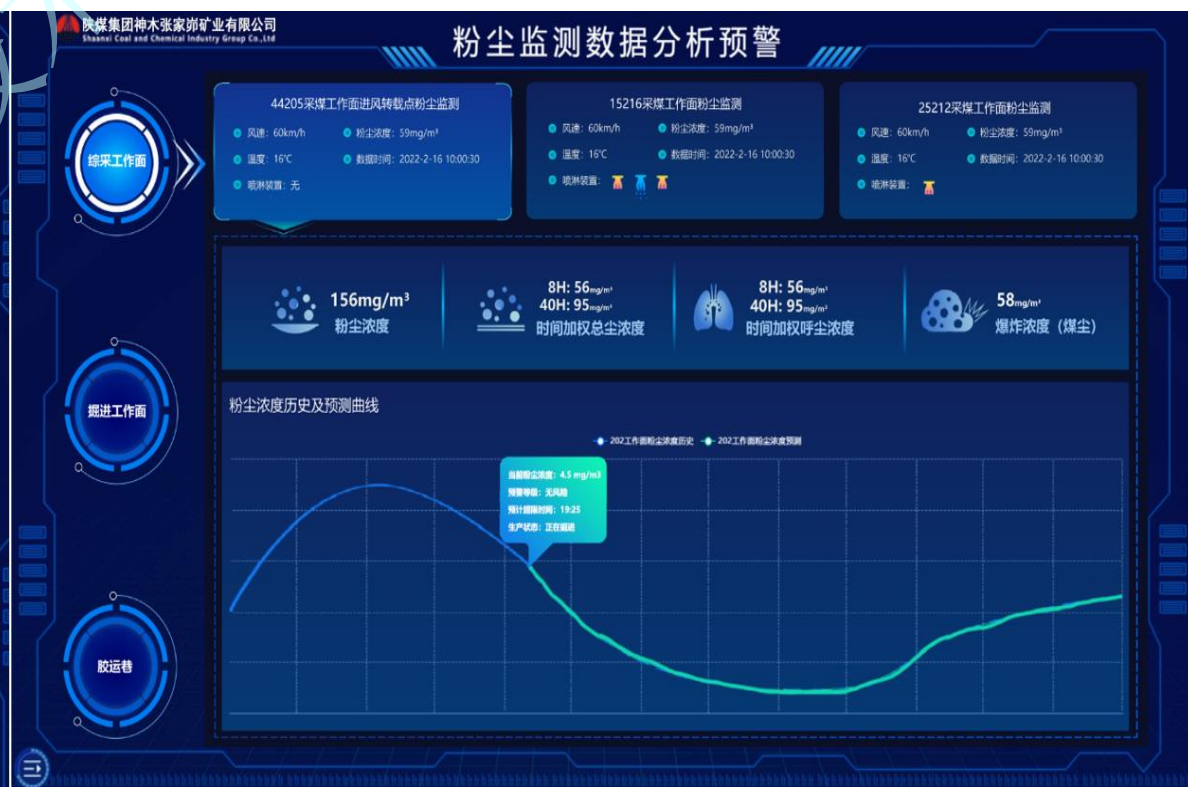
3 煤矿多灾融合监测预警系统

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**。



3 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**。



3 煤矿多灾融合监测预警系统

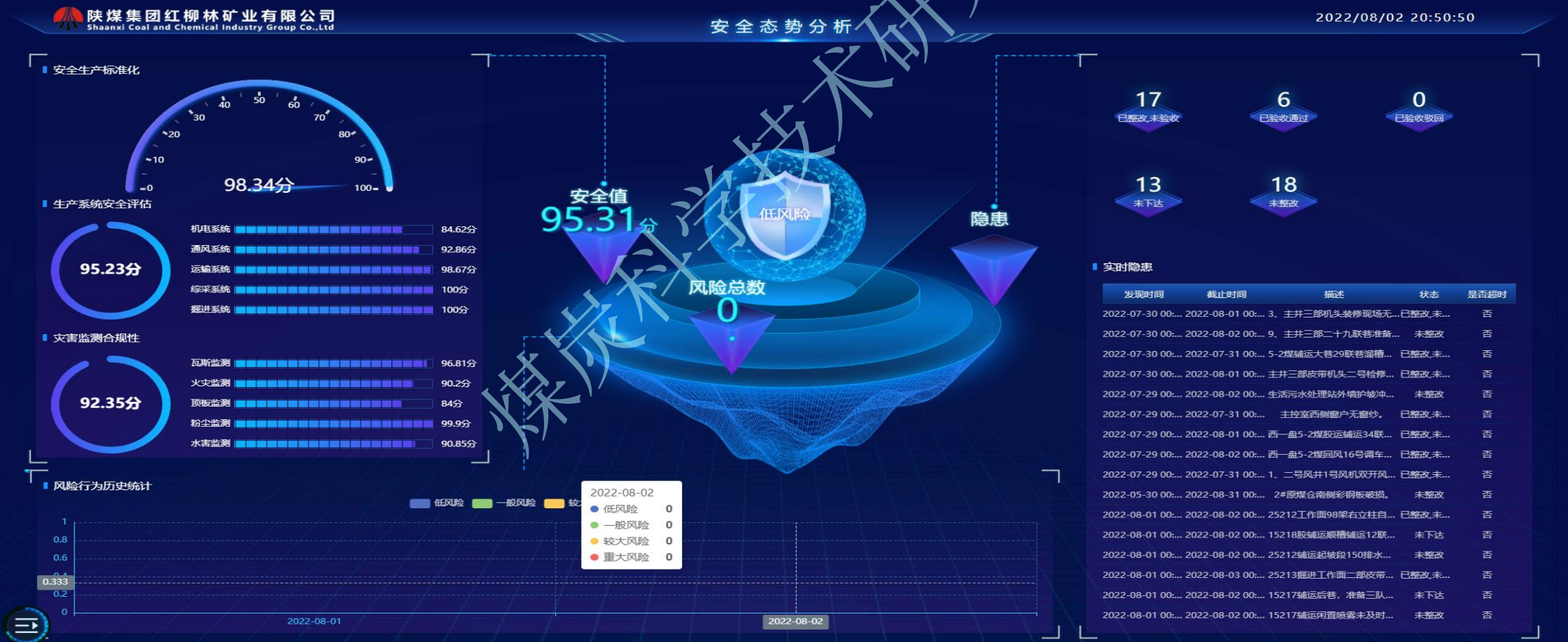
突破仅以灾害监测数据为基础源进行预警现状，以监测数据和灾害的本质信息数据为基础，采用**矿井多灾害突变相关性理论**，通过**空间数据融合技术**，将**采矿生产数据+地质数据+多灾害监测数据+物探探测静态数据+钻探探测静态数据融合**，结合智能算法及GIS技术，建立多灾害多因素融合空间预警模型，实现**复合灾害的智能预警**，实现**矿井灾害一张图自动分析报告和图表**。



3 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。





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