

—— 矿山安全科技工作会 ——

矿井瓦斯和二氧化碳精准防控与 靶向治理

周福宝

中国安全生产科学研究

二〇二五年五月二十日



汇报提纲

CONTENTS

一

总体背景与行业需求

二

煤层瓦斯参数精准普查

三

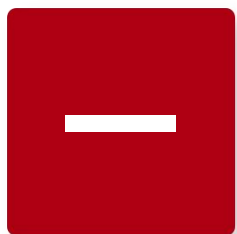
松软煤层钻-增一体化

四

煤矿瓦斯高效智能抽采

五

矿井一氧化碳源头治理

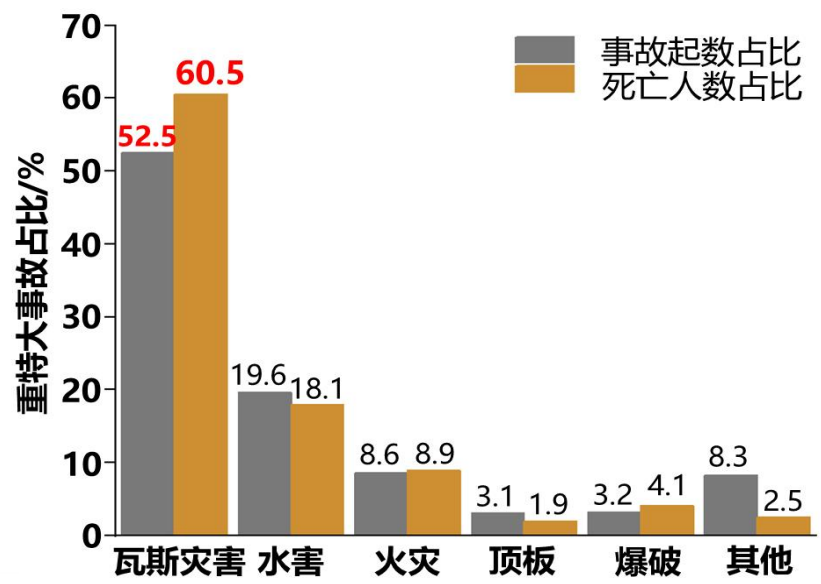


总体背景与行业需求

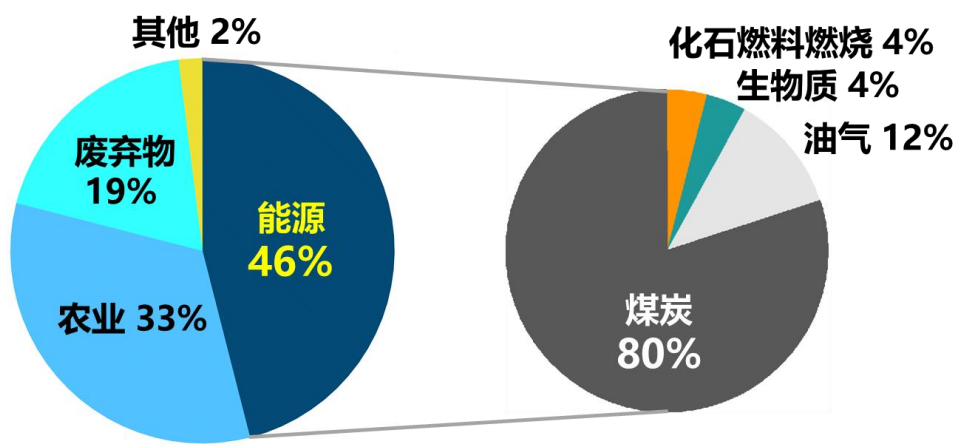
1 总体背景与行业需求

❖ 煤矿瓦斯灾害防控和减排是国家战略需求

- 我国煤层瓦斯储量大，埋深2000m以浅高达**36.8万亿m³**，直接导致煤炭开采瓦斯灾害极其严重，2006年以来重特大瓦斯事故起数和遇难人数占比高达**52.5%**和**60.5%**
- 瓦斯是第二大温室气体，我国煤矿排放量超290亿m³/年，占全国甲烷排放总量的**1/3以上**



2006-2023年瓦斯灾害重特大事故占比



2022年我国甲烷排放分布情况
(数据来源IEA)

1 总体背景与行业需求

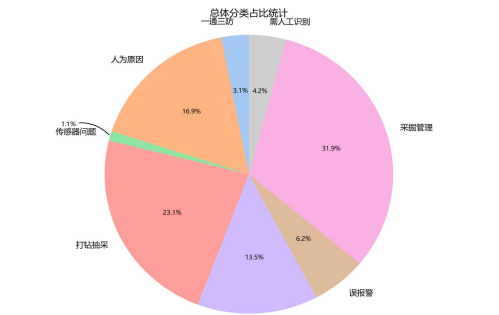
❖ 煤矿安全生产形势依然复杂严峻

- 2024年1月-2025年4月，全国煤矿发生瓦斯超限**9237起**，CO超限**408280起**
- 煤矿生产过程中瓦斯与CO超限事故频发，已成为制约安全生产的重大隐患

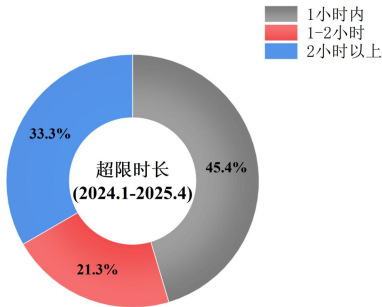
(数据来源：中国安全生产科学研究院国家安全生产风险监测预警中心)



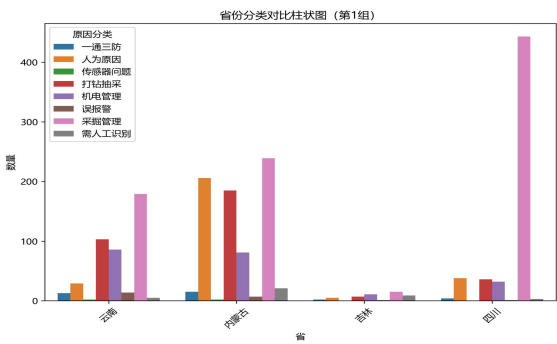
煤矿安全生产风险监测预警系统



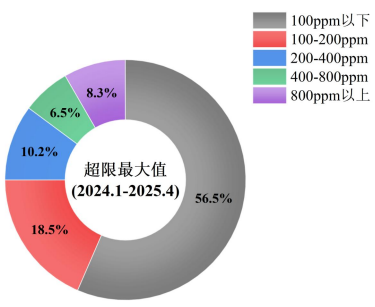
不同瓦斯事故原因统计



CO超限时长统计



不同省份各瓦斯事故占比

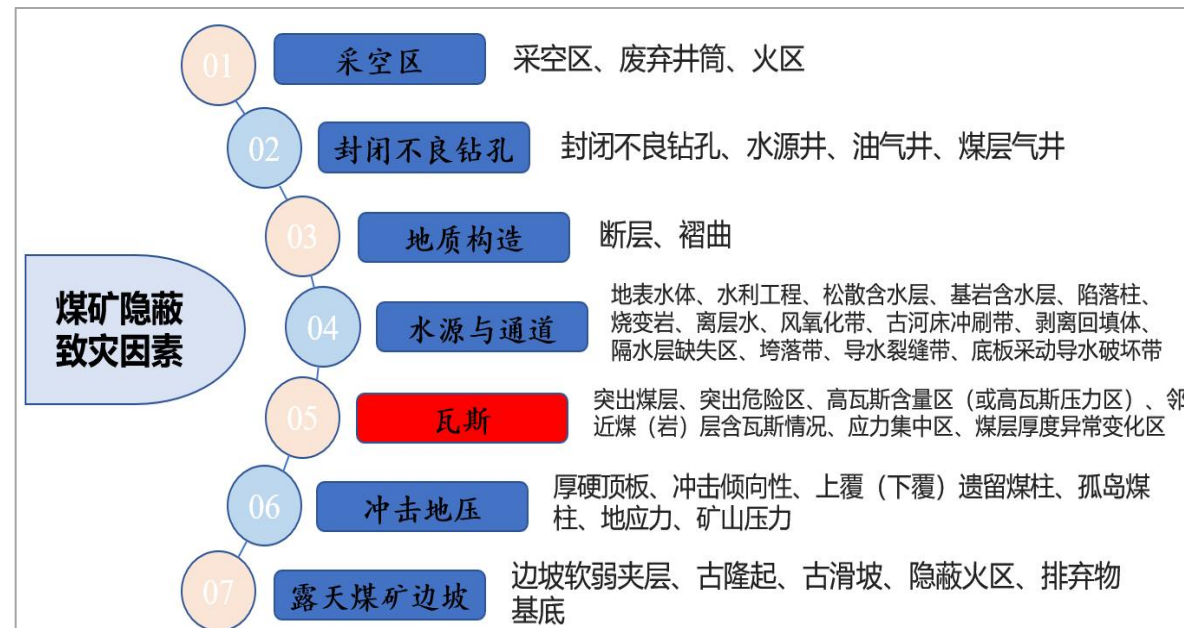


CO超限最大值统计

1 总体背景与行业需求

❖防范遏制重特大事故是各级部门面临的重大难题

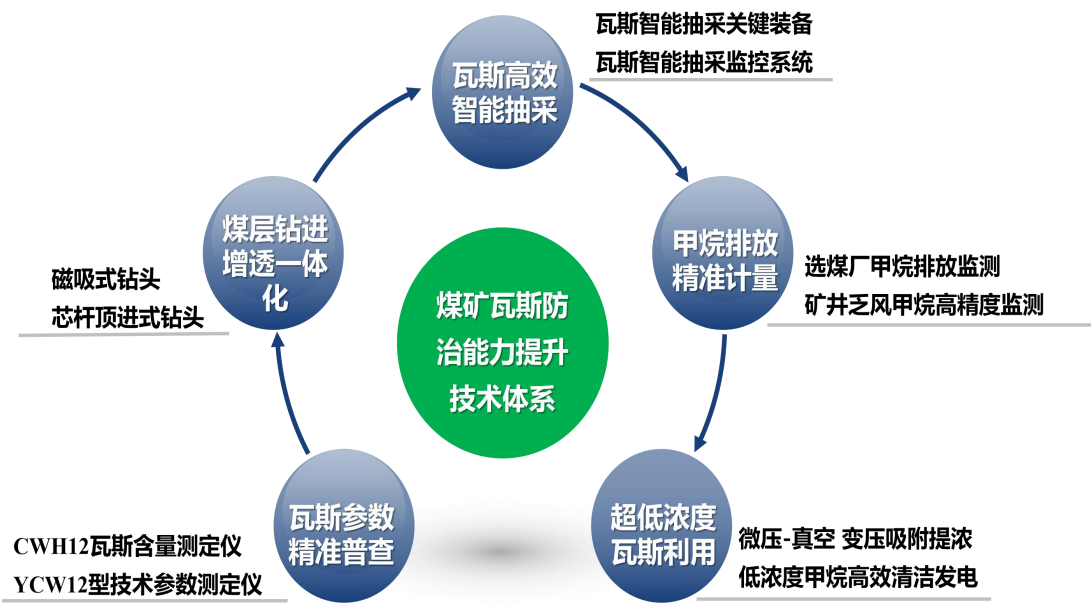
- 2021年1月，应急管理部公布实施《煤矿重大事故隐患判定标准》，认定的15项煤矿重大事故隐患中有3项涉及煤矿瓦斯事故
- 2024年10月，国家矿山安全监察局批准发布《矿山隐蔽致灾因素普查规范第2部分：煤矿》，7大类40项隐蔽致灾因素中瓦斯依然是重点之一



1 总体背景与行业需求

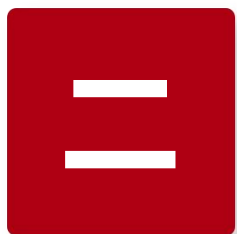
❖ 科技创新能力是提升瓦斯治理能力的重要支撑

- 2023年9月，中办、国办印发《关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》，要求：加强矿山重大灾害预防与治理研究，组织**重大关键技术攻关**；实施一批矿山安全类**重大科技项目**
- 在科学探索奖、国家杰青、国家重点研发计划、企业重大科技攻关等项目的持续支持下，创新构建了**煤矿瓦斯防治能力提升技术体系**





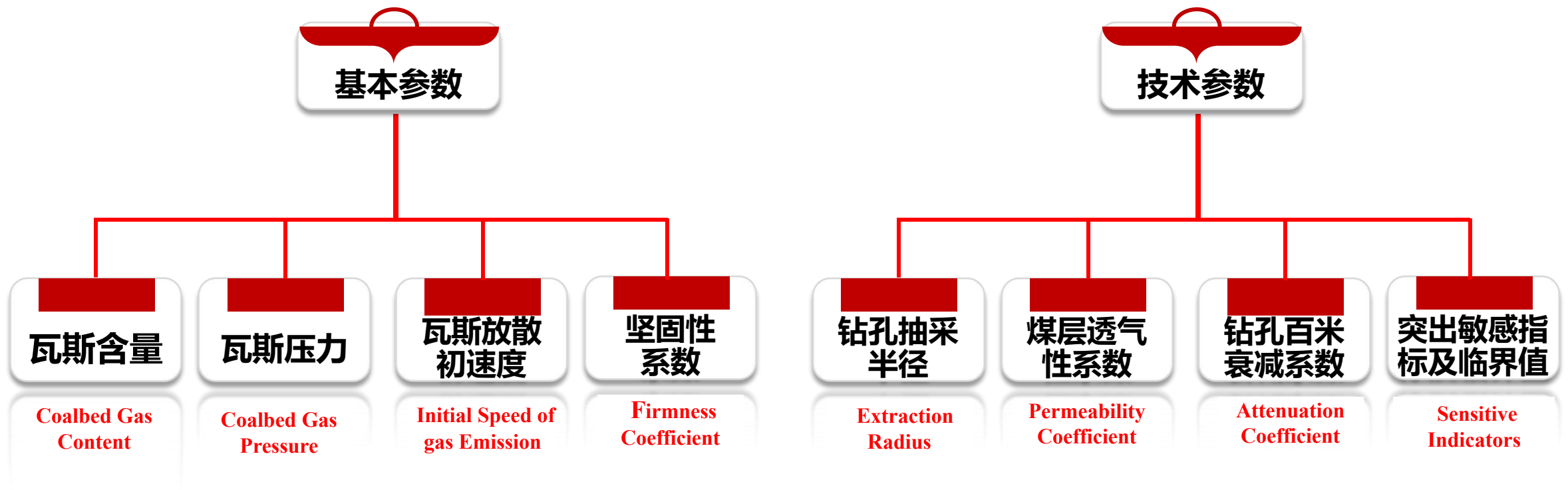
中国安全生产科学研究院
China Academy of Safety Science and Technology



煤层瓦斯参数精准普查

2.1 技术背景

❖ 瓦斯参数分类

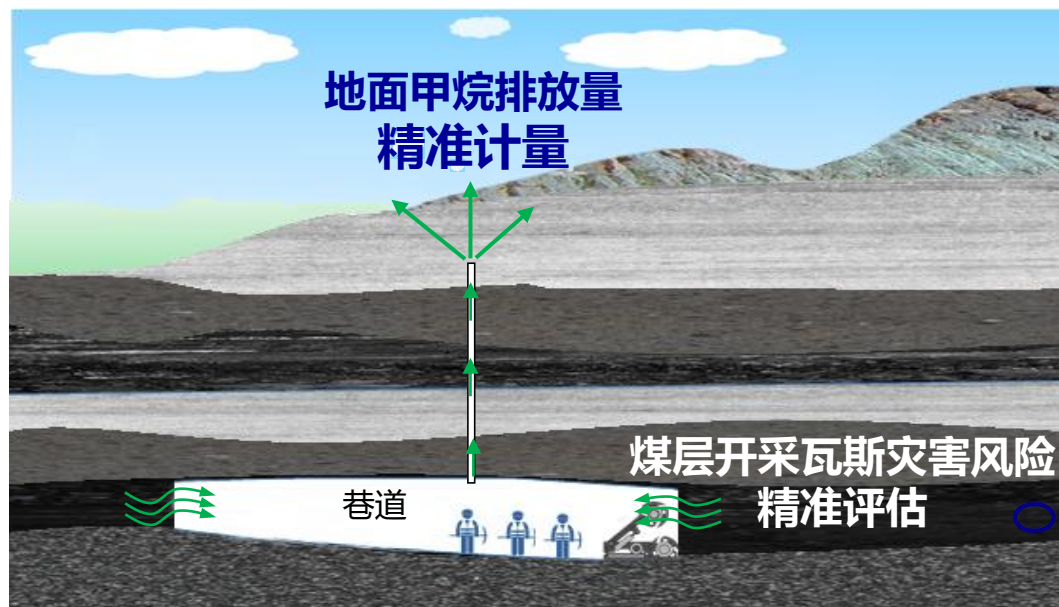


(引自：国家矿山安监局副局长周德昶—煤矿瓦斯防治“八招”)

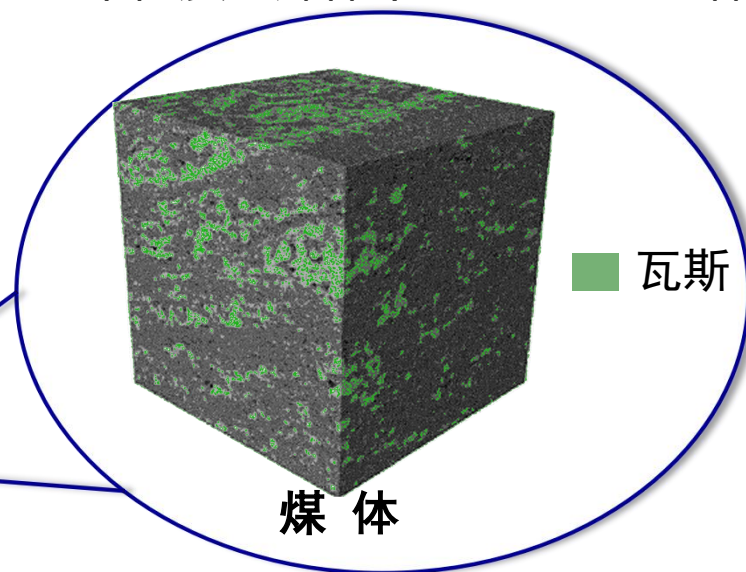
2.1 技术背景

❖ 煤层瓦斯含量精准测定至关重要

- 衡量煤矿瓦斯灾害严重程度的**最核心指标是煤层瓦斯含量**，其测定结果大小直接决定了瓦斯灾害风险等级和甲烷排放总量
- 大部分煤矿**委托专业机构进行测定**，面临“周期长、检测点布置少、成本高”等问题，无法及时掌握煤层区域瓦斯风险，**难以实现瓦斯风险动态监测预警**



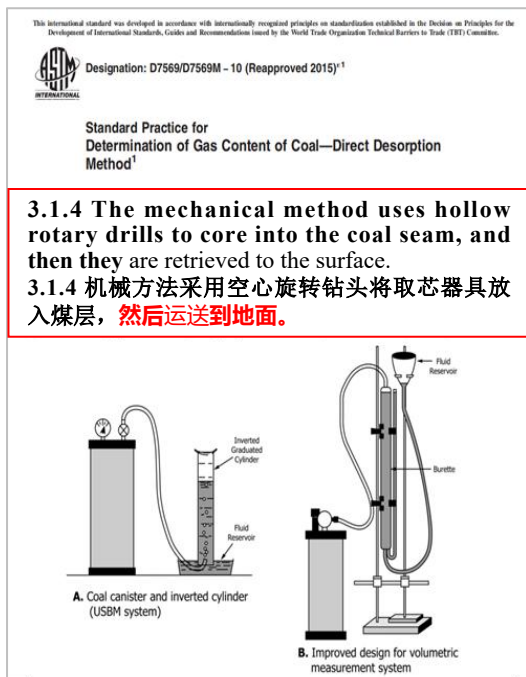
瓦斯含量：单位质量煤体中含有的瓦斯气体体积



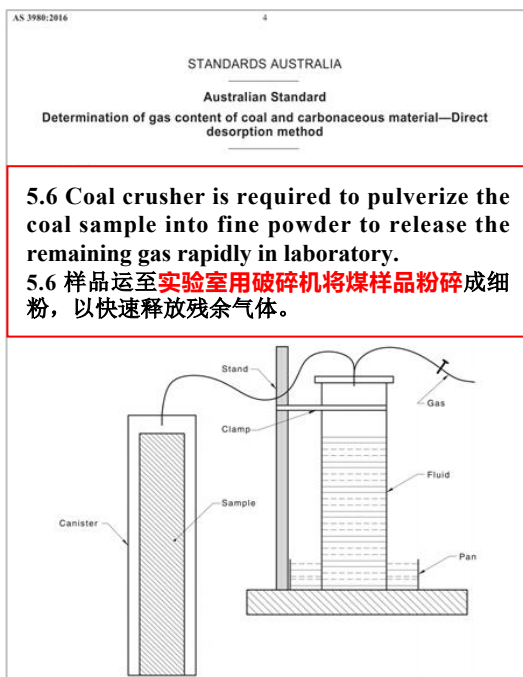
2.1 技术背景

❖ 国内外瓦斯含量测定技术现状

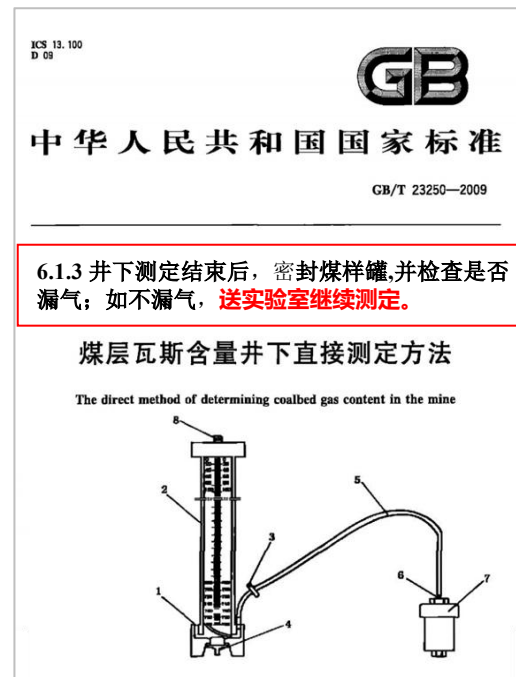
- 美国、澳大利亚等发达国家采用井下打钻取样和地面粉碎相结合的“**井下+地面**”两阶段测定方法，我国借鉴国外技术研发了煤层瓦斯含量测定装置，制定了国家标准，但是**难以在井下现场快速获取测定结果**



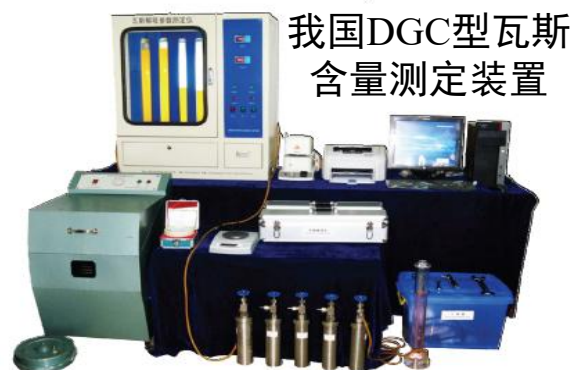
美国标准
ASTM D7569-2015



澳大利亚标准
AS 3980-2016



中国国家标准
GB/T23250-2009

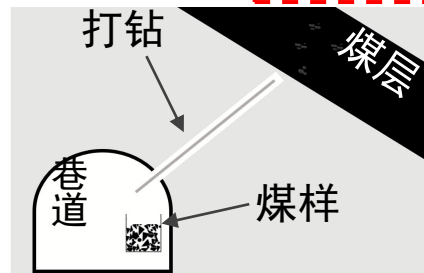


2.1 技术背景

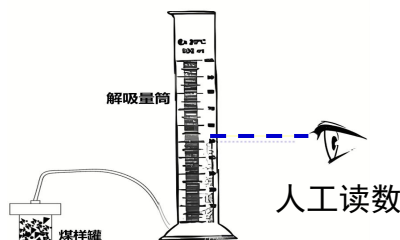
❖ 现有技术 “测值误差大、人为因素多、测定周期长”

井下 + 地面两阶段测定

井下打钻取样



井下现场测量



地面粉碎测量



共性难题

- 煤样暴露时间长，采样允许时间短
- 损失量推算依赖半经验公式，误差高达30%

- 采用量筒排水法测量瓦斯解吸流量，计量精度低
- 人工读数，人为因素多

- 将煤样从井下带到实验室粉碎
- 测定周期长，至少10h以上

2.2 煤层瓦斯含量快速精准测定技术

❖ 煤层瓦斯含量井下一站式测定方法

- 突破了国内外现有技术**必须将煤样从井下带到地面实验室测量**的局限，原创性提出井下一站式瓦斯含量测定新方法

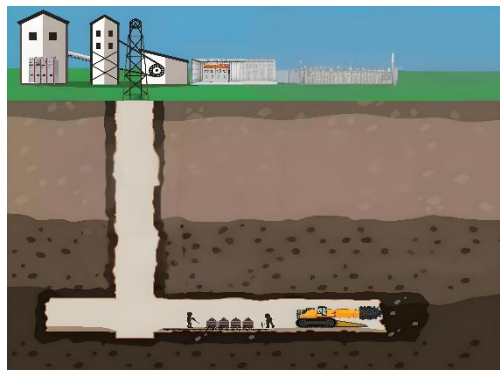
测定过程全部在**井下**
采样现场完成



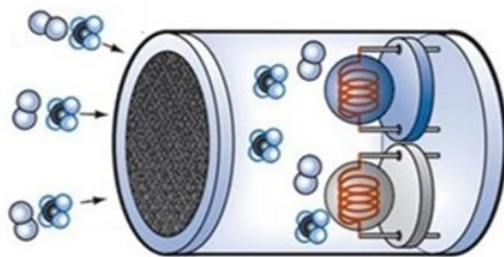
采用**气体微流量传感**
技术自动化测量



构建**多场耦合智能算法**
现场计算结果



井下一站式测定



微流量高精度传感器



数据智能处理算法

2.2 煤层瓦斯含量快速精准测定技术

❖ 取样过程瓦斯损失量高精度补偿模型

- 建立了煤粒瓦斯解吸的分数阶扩散模型，解决了半经验公式计算瓦斯损失量误差大的科学难题，将井下采样允许时间由5min提高到20min，让打钻取样“从容不迫”

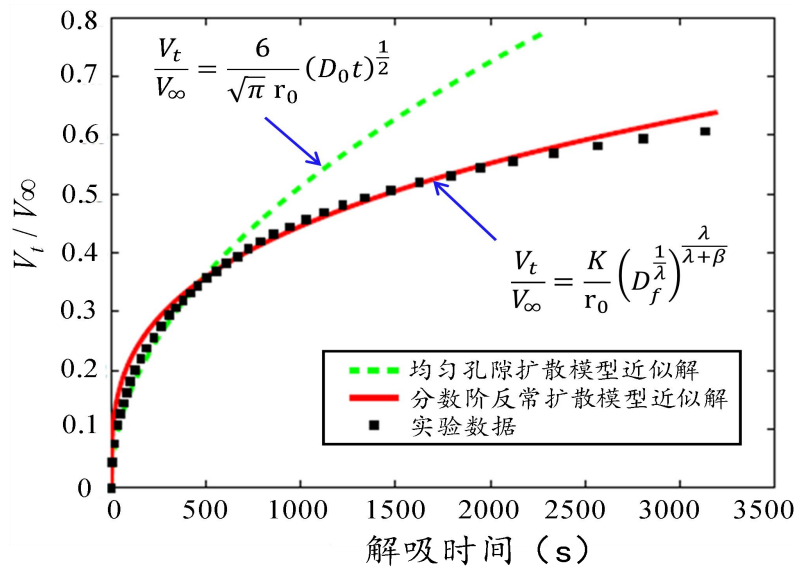
分数阶模型

$$\begin{cases} \frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = \frac{D_f}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial^{1-\lambda}}{\partial t^{1-\lambda}} \left(\frac{\partial^\beta C(r,t)}{\partial r^\beta} \right) \right] \\ \frac{\partial^{1-\lambda} C(r,t)}{\partial r^{1-\lambda}} = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \frac{\partial}{\partial r} \int_0^t \frac{C(\tau,t)}{(t-\tau)^{1-\lambda}} d\tau \\ \frac{\partial^\beta C(r,t)}{\partial r^\beta} = \frac{1}{\Gamma(k-\beta)} \frac{\partial^k}{\partial r^k} \int_0^r \frac{C(\tau,t)}{(r-\tau)^{1+\beta-k}} d\tau \end{cases}$$

数值算法

$$\begin{cases} \frac{\partial^\lambda C_i^k}{\partial t^\lambda} = \frac{(\Delta t)^{-\lambda}}{\Gamma(1-\lambda)} \left\{ C_i^0 + \sum_{l=0}^{k-1} \frac{[(k-l)^{1-\lambda} - (k-l-1)^{1-\lambda}]}{1-\lambda} (C_i^{l+1} - C_i^l) \right\} \\ \frac{\partial^\beta C(r,t)}{\partial r^\beta} = \sum_{j=0}^{i+N+1} \frac{\Gamma(j-\beta)}{\Gamma(-\beta)\Gamma(j+1)} \frac{C_{i-j+1}^k}{(\Delta r)^\beta} \end{cases}$$

瓦斯解吸的分数阶扩散模型



半经验公式与分数阶模型比较

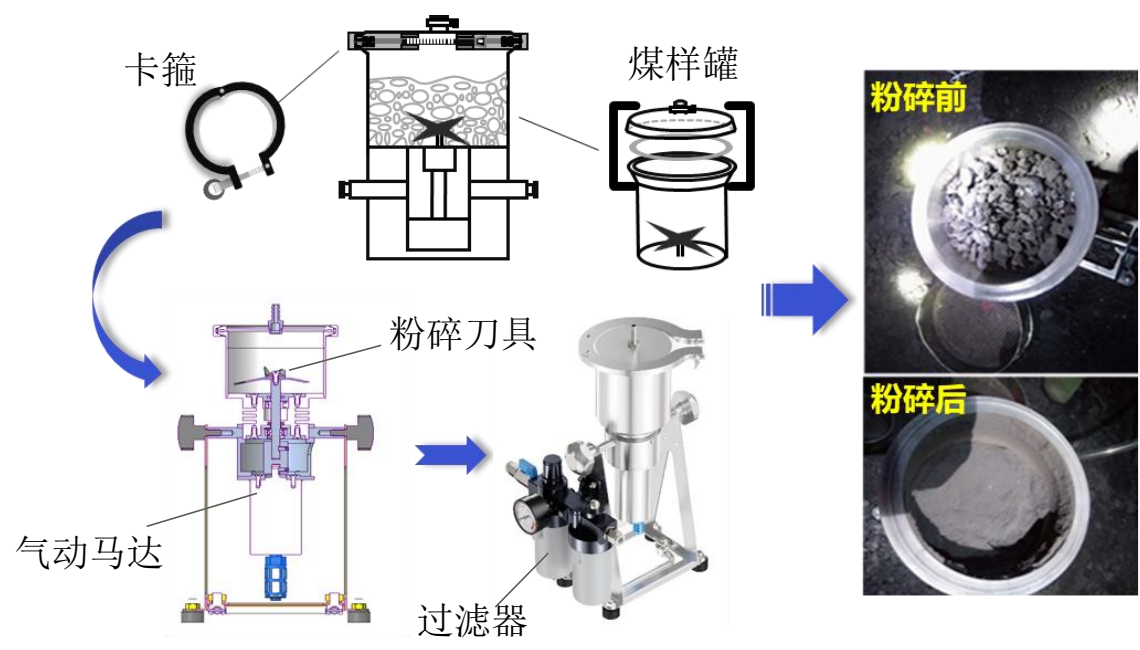


瓦斯含量测定井下打钻取样

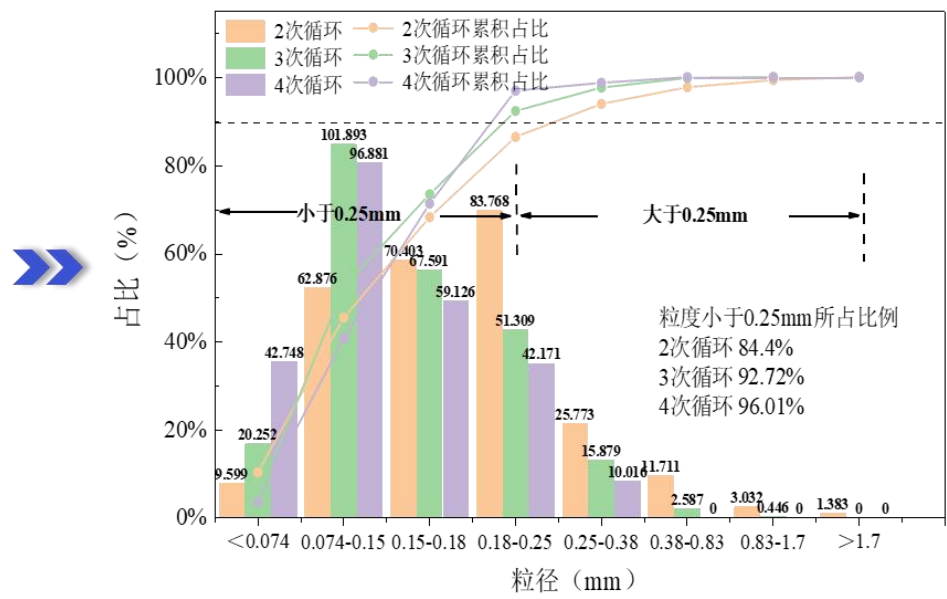
2.2 煤层瓦斯含量快速精准测定技术

❖煤样井下气动密封粉碎技术

➤ 发明了气动马达驱动的煤样井下粉碎技术，研发了煤样解吸与气动粉碎一体化装置，破解了现有技术“井下+地面”分阶段测定周期长的难题，实现了井下原位测定瓦斯含量



煤样解吸与气动粉碎一体化装置与井下现场应用

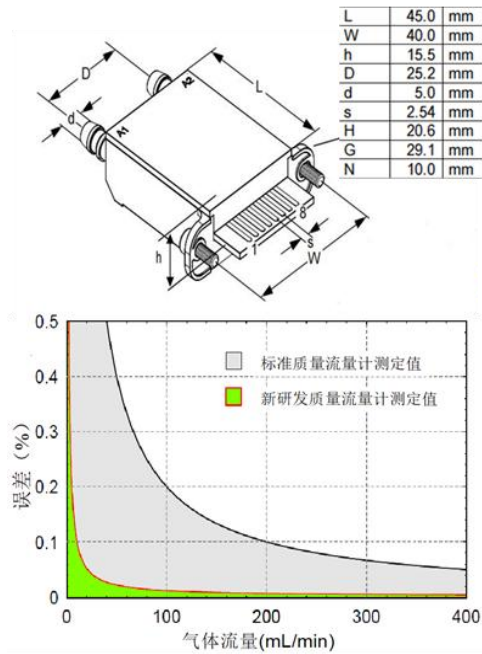


煤样粉碎后粒径分布规律统计

2.2 煤层瓦斯含量快速精准测定技术

❖ 瓦斯解吸微流量计量技术

➤ 研制了煤粉与水气扰动环境高灵敏度**气体微流量传感器**（精度0.1ml/min），研发了非线性共轭梯度数据智能处理算法，攻克了现有技术**量筒排水精度低、人为因素多**等难题



高精度气体传感计量

$$\min_{\mathbf{g}} S(\mathbf{g}) = \frac{1}{2} (\mathbf{U}(\mathbf{g}) - \mathbf{Y})^T (\mathbf{U}(\mathbf{g}) - \mathbf{Y}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l (u_i(\mathbf{g}) - y_i)^2$$

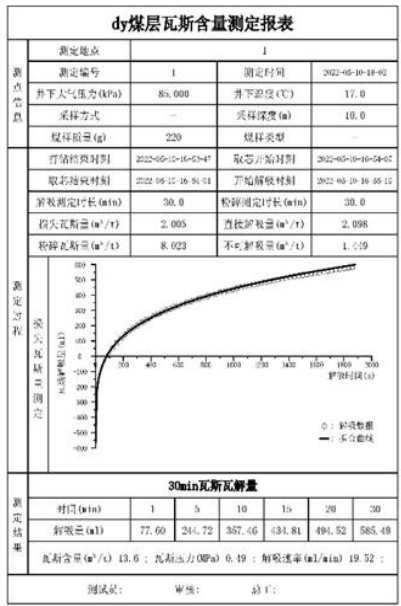
$$\nabla S(\mathbf{g}_k) = [\mathbf{J}(\mathbf{g}_k)]^T [\mathbf{U}(\mathbf{g}_k) - \mathbf{Y}]$$

$$\mathbf{g}_{k+1} = \mathbf{g}_k - b_k \mathbf{d}_k; \mathbf{d}_k = \nabla S(\mathbf{g}_k) + a_k \mathbf{d}_{k-1}$$

$$a_k = \frac{[\nabla S(\mathbf{g}_k)]^T [\nabla S(\mathbf{g}_k)]}{[\nabla S(\mathbf{g}_{k-1})]^T [\nabla S(\mathbf{g}_{k-1})]}; b_k = \frac{[\mathbf{J}(\mathbf{g}_k) \mathbf{d}_k]^T [\mathbf{U}(\mathbf{g}_k) - \mathbf{Y}]}{[\mathbf{J}(\mathbf{g}_k) \mathbf{d}_k]^T [\mathbf{J}(\mathbf{g}_k) \mathbf{d}_k]}$$



损失量补偿模型智能算法与处理软件



现场生成报表



传统技术量筒排水集气

2.3 CWH12型煤层瓦斯含量测定仪

- 成功研发了瓦斯含量井下一站式自动化测定仪，**标定误差不大于5%**，比传统装置测值准确率提高了13.5个百分点，测定时间**由10h以上缩短至0.5h以内**
- 操作简单、携带轻便，技术人员可**随身携带**入井，**随时随地**测定煤层瓦斯含量



技术指标

- 流量范围：0~400ml/min
- 流量测定**精度0.1ml/min**
- 含量测定**误差不大于5%**
- 含量测定**时间小于0.5h**
- 设备**总重量小于8kg**
- 持续工作时间大于20h
- 尺寸200mm×92mm×275mm

CWH12型瓦斯含量井下一站式自动化测定仪

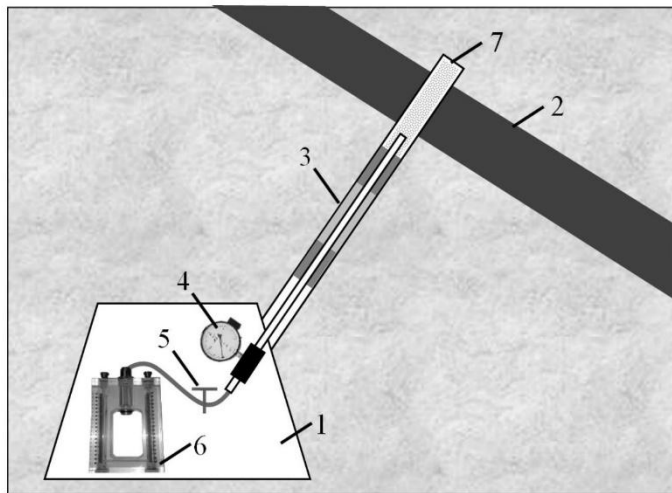
2.3 CWH12型煤层瓦斯含量测定仪

➤ 各项指标**全面优于**国内现行标准以及美国、澳大利亚、俄罗斯等**世界主要采煤国家标准**，具有**“操作效率高、测值精度高、测定周期短”**的显著技术优势，依据该设备制定国家能源行业标准**NB/T11329-2023《煤层瓦斯含量井下一站式自动化测定方法》**

指标对比	国外同类技术		国内同类技术	本设备技术
	澳大利亚AIMM/美国ASTM	俄罗斯ICCMS	DGC型瓦斯含量测定装置	
煤样粉碎方式	地面实验室球磨机粉碎	样品不粉碎	地面实验室球磨机粉碎	井下现场直接粉碎
损失瓦斯量补偿	半经验公式	半经验公式	半经验公式	全过程反演补偿模型
气体计量方式	排水集气、人工读数	等容变压、人工读数	排水集气、人工读数	微流量传感器、自动计量
解吸测量精度	10 ml	5 ml	2 ml	0.1 ml/min
测定时间	≥16 h	≥15 d	≥10 h	≤0.5 d
测定误差	≤30%	≤30%	≤30%	≤5%
设备重量	> 100 kg	> 20 kg	> 100 kg	< 8 kg
操作人数	3-4 人	2 人	3-4 人	1 人
现场获取结果	无法实现	无法实现	无法实现	实时生成测定报表

2.4 YCW12型瓦斯抽采技术参数测定仪

- 传统煤层透气性系数测定方法，需要首先测定煤层瓦斯压力，待压力稳定后依次使用膜式燃气表、转子流量计、量筒排水法测量不同流量范围的钻孔瓦斯涌出量，测定周期需要**30天以上**，**全过程人工读数、测定效率低**



传统煤层透气性系数测定方法

- 煤层透气性系数模型

$$\lambda = \frac{L_0 Q}{A(f^{-1}(X) - f^{-1}(X_0))} \cdot \frac{B}{2p_0}$$

- 钻孔瓦斯抽采半径

$$r = \sqrt{\frac{1440 \times q_0 (1 - e^{-\beta t})}{100 \times \eta \rho W \pi \beta}}$$

- 钻孔流量衰减系数

$$\beta = - \frac{\sum_{i=1}^{10} (Q_i - \bar{Q})(T_i - \bar{T})}{\sum_{i=1}^{10} (T_i - \bar{T})^2}$$

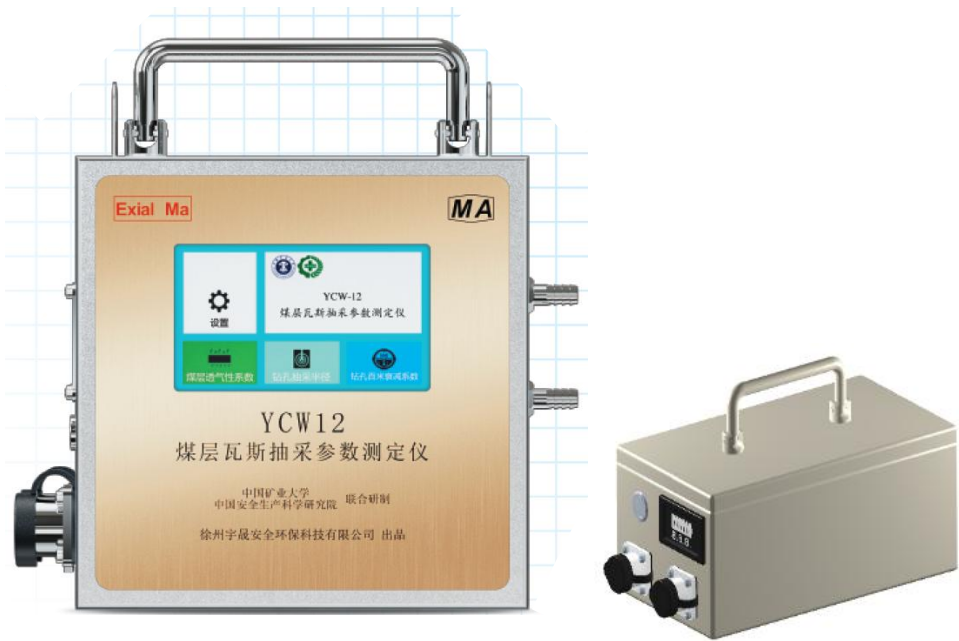
- 百米钻孔极限抽采量

$$\lambda = \frac{L_0 Q}{A(f^{-1}(X) - f^{-1}(X_0))} \cdot \frac{B}{2p_0}$$

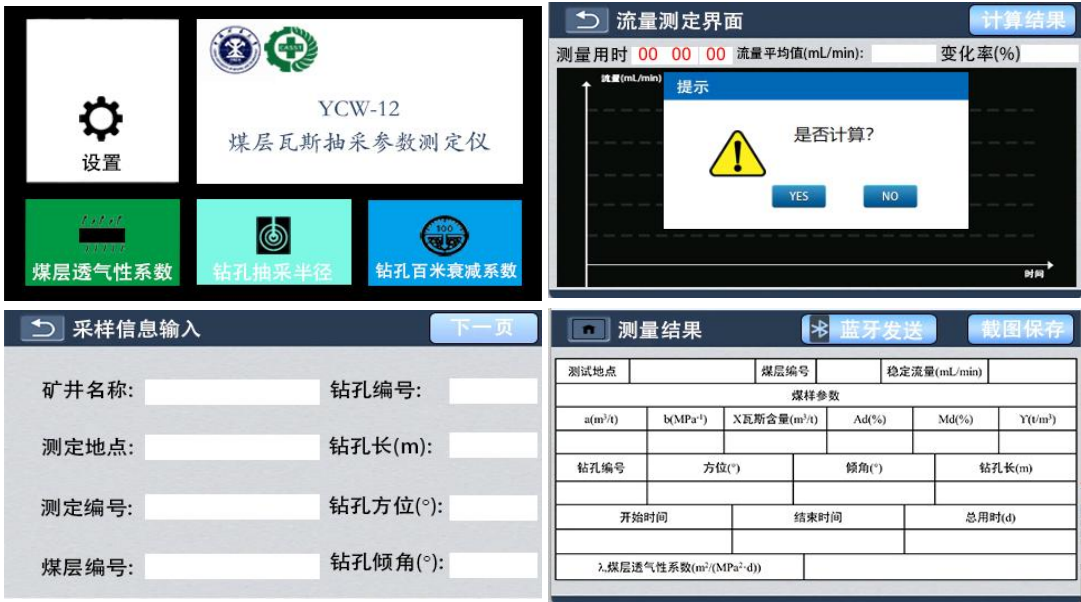
煤层技术参数与瓦斯含量和流量的数学模型

2.4 YCW12型瓦斯抽采技术参数测定仪

➤ 研发了YCW12型瓦斯技术参数测定仪，采用大量程、高精度气体流量传感技术，能够连续30天以上自动测量钻孔瓦斯涌出量，自动同步计算煤层透气性系数、钻孔抽采半径、钻孔百米衰减系数等参数



YCW12型瓦斯抽采技术参数测定仪



设备系统界面

2.4 YCW12型瓦斯抽采技术参数测定仪

- 该设备实时显示瞬时流量，数据自动存储、无线传输，测定时间缩短50%以上
- 具有体积小、精度高、现场安装简便的优点，实现了无人值守、自动化测定瓦斯抽采技术参数

技术参数

- 瓦斯流量测量范围：0-10000mL/min
- 瓦斯流量测定精度：±(2+0.5FS)%
- 设备总重量：5kg
- 持续工作时间：≥30d
- 外形尺寸：311×247×112mm
- 工作电流≤0.5A，本质安全型

主要功能

- 自动测定钻孔瓦斯涌出量
- 自动计算煤层透气性系数、钻孔抽采半径、钻孔流量衰减系数
- 自动存储数据，支持有线、无线传输
- 采用触摸屏作为人机界面，操作简单；
- 井下实时生成测定报表

2.5 工程应用

❖ 国家矿山安全监察局执法检查

- 协助国家矿山安全监察局**山西局、湖南局、云南局、陕西局、辽宁局**等开展高风险矿井瓦斯参数测定与风险研判工作，推动企业提升灾害治理能力和安全管理水平
- 采用CWH12型测定仪**现场随机抽样**，每次抽样在30分钟内完成，由执法人员、企业管理人员全程监督



国家矿山安全监察局辽宁局
Liaoning Bureau of the National Mine Safety Administration

首页 政务服务 专题专栏 宣教之窗 互动交流

让新装备形成“战斗力”

近期，国家局为各省局监察执法一线配发了煤层瓦斯含量测定仪、矿井地质编录仪、激光断面测试仪等新型执法装备。为确保新装备在监察执法实际起到应有作用，辽宁局监察执法一处主动邀请中国矿业大学、沈阳煤科院等研发单位的专业技术人员，深入煤矿井下现场指导该处所有监察员对新型设备开展了全程实操教学培训。

此次专项实操培训是监察执法一处针对煤区煤矿灾害类型以瓦斯含量高为主特点，旨在解决日常监察执法过程中瓦斯含量测定关键数据不放心等技术难题，让监察员快速适应并熟练掌握新装备的操作要领，为今后执法活动提供数据支撑。此外，来自沈阳煤科院的专家又示范了激光断面测试仪、地质编录仪的操作要点，监察执法一处人员一一进行了实操演练。

在红阳二矿井下南三采区701采煤工作面底板巷，中国矿大安全学院专业技术人员边操作边详细介绍了设备的结构特征、工作原理、技术特点和操作步骤，在“一对一”示范指导下，每名监察员都独立全程完成包括煤样筛选称重、自动解折、现存瓦斯量的测定、煤样破碎、停止粉碎解吸、输入煤样参数等多组实操，全部成功生成了《红阳二矿煤层瓦斯含量测定表》。

国家矿山安全监察局山西局
Shanxi Bureau of the National Mine Safety Administration

山西局完成五个地市43座煤与瓦斯突出矿井的瓦斯参数测定工作

为着力整治瓦斯治理“假数据、假报告、假达标”等突出问题，今年8月份以来，山西局部署开展了瓦斯参数测定“打假”行动，现已完成全省五个地市43座煤与瓦斯突出矿井的瓦斯参数测定，按照计划，年底前将完成全省63座煤与瓦斯突出矿井的瓦斯参数测定工作。

测定工作由安技中心提供技术支持，各煤矿执法处协同配合开展，采用目前国内先进的“煤层瓦斯含量井下一站式快速测定仪”现场随机抽样，每次抽样可在45分钟内完成，并由执法人员、企业管理人员全过程监督，测定过程高效、透明，不仅为煤矿企业精准瓦斯治理提供了基础数据、为抽采达标监察执法提供了数据依据，也有力打击了瓦斯治理上存有的假参数、假抽查、假检验等行为。

接下来，山西局将把瓦斯参数测定工作步入常态化，根据工作需要延伸至高瓦斯矿井以及需要抽查检测的低瓦斯矿井，着力扼住煤矿“第一杀手”，坚决防范瓦斯事故发生。

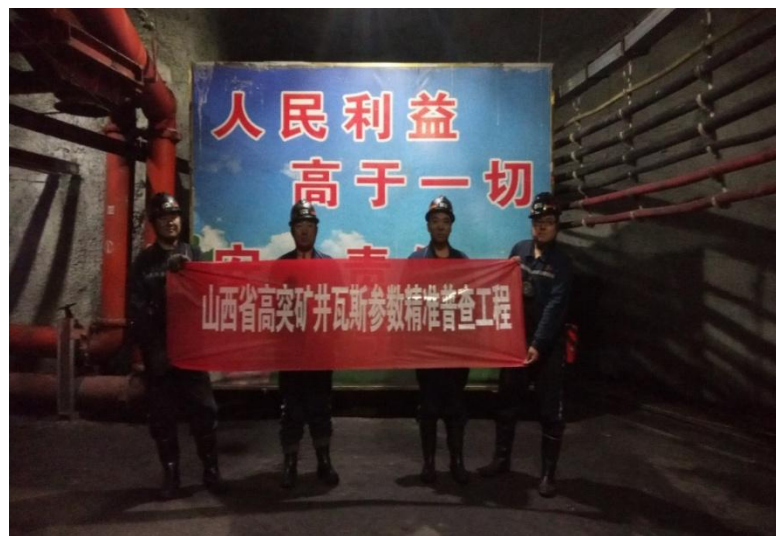
2.5 工程应用

❖ 山西省高突矿井瓦斯参数精准普查工程

- 自2023年8月至今，累计普查煤与瓦斯突出矿井和高瓦斯矿井**116座**，现场测得数据**报表428份**，提交区域瓦斯风险分析报告5份，**当场查实6座矿井存在瓦斯抽采不达标重大事故隐患**
- 助力山西煤矿事故起数和遇难人数“双下降”，同比2024年分别**下降45.9%、43.2%**，百万吨死亡率同比**下降38.9%**，其中瓦斯事故只发生1起



山西重点区域瓦斯风险分析报告



2.5 工程应用

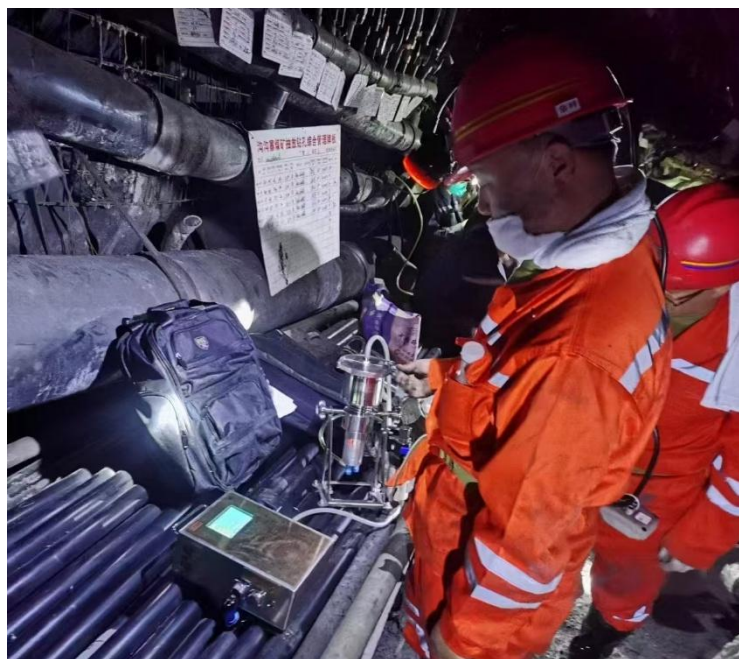
技术装备已在山西、陕西、内蒙古、安徽、河南、贵州、辽宁、黑龙江、云南、湖南等**17个省（自治区、直辖市）**的**350余座煤矿**以及重庆大学、中国矿业大学（北京）、西安科技大学、河南理工大学、湖南科技大学、华北科技学院、黑龙江科技大学、新疆煤炭科学研究所等**10余所科研院所**规模化推广应用，近两年市场占有率超过80%



CWH12型煤层瓦斯含量测定仪井下应用现场

2.6 社会影响力

- 入选国家矿山安全监察局《**矿山安全先进适用技术装备推广目录（2024年）**》，全国共44项，其中瓦斯技术装备仅1项
- 被国家矿山安全监察局列入**矿山安全监察执法装备**，全国25个省级局全部配备



井下执法现场

2.6 社会影响力

- 澳大利亚伍伦贡大学与本研究团队签署合作协议，在澳大利亚境内进行产品推广应用。
- 核心专利技术获第二十五届中国专利银奖、中国煤炭工业科学技术一等奖



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY



UNIVERSITY OF WOLLONGONG
AUSTRALIA

中国矿业大学-伍伦贡大学

CWH12 型煤层瓦斯含量井下一站式自动化测定仪

产品推广合作协议

甲方：中国矿业大学
(Part A: China University of Mining Technology, China)

乙方：伍伦贡大学
(Part B: University of Wollongong, Australia)

2024-06-01

Part A: China University of Mining Technology, China
Part B: University of Wollongong, Australia

a) Collaboration Principle:
1. Through friendly consultation, Party A and Party B have conducted in-depth cooperation on the market promotion and sales of Underground Coal Seam Gas Content CWH12 Type One-Stop Automatic Determination Instrument independently developed by China University of Mining and Technology in coal mines within Australia, based on the principles of mutual benefit and common development.
2. The first party authorizes the second party to promote the technology products owned by the first party in the cooperation area, and the second party shall not sell the equipment in other countries or regions outside of Australia. If you want to carry out sales business, you need to report to Party A in advance.
3. Both Party A and Party B may further discuss the specific content and scope of cooperation based on the actual situation, and supplement the agreement in writing.
4. Both parties may be involved in commercial secrets and sensitive information during the cooperation process, and both parties shall strictly keep them confidential and shall not disclose them to third parties without authorization.
5. The interpretation and implementation of this cooperation agreement shall be governed by relevant laws and regulations. In case of any dispute, both parties shall resolve it through friendly consultation.
6. The cooperation period: June 1, 2024 to May 30, 2027.

b) Collaboration content:
1. Party A guarantees the qualification of the products provided.
2. Party A is responsible for product quality assurance and software system upgrade work.
3. The second party is responsible for authorizing market promotion and specific sales business within the authorized agency area.
4. Any modification or supplement to this cooperation agreement must be jointly signed by both parties before it can take effect.
5. Any matters not covered during the cooperation process will be negotiated and supplemented separately.
This cooperation agreement is made in two copies, with Party A and Party B each holding two copies and having equal legal effect. This cooperation agreement shall come into effect from the date of signature by both parties.

Signature of Party A: [Signature]
Signature of Party B: [Signature]
Date: _____
Date: _____



国家知识产权局
China National Intellectual Property Administration

邮箱登录 | English | 无障碍
中央纪委国家监委驻市场监管总局纪检监察组

请输入您要搜索的内容

首页 | 机构 | 新闻 | 政务 | 服务 | 数据 | 互动

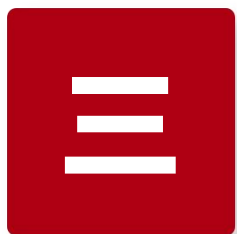
当前位置: 首页 > 专题 > 中国专利奖 > 中国专利奖专栏

第二十五届中国专利奖评审结果公示

发布时间: 2024-12-23
字号: 大 中 小

序号	专利号	专利名称	专利权人	发明人
55	ZL202080002548.3	一种 DMF 回收方法	安徽金禾实业股份有限公司	赵金刚、石剑、陈永乐
56	ZL202110783589.7	一种靶向 B7H3 共表达 IL-21 的全人源嵌合抗原受体、iNKT 细胞及其用途	徐州医科大学	李慧忠、郑骏年、王刚、刘宜林、党元元
57	ZL202110813300.1	一种煤矿井下一站式瓦斯含量测定装置及测定方法	中国矿业大学	周福宝、康建宏、王有湃、刘应科、韩宇
58	ZL202110911018.7	基于优先级分配的非侵入式负荷辨识电量分解方法及系统	国网江苏省电力有限公司营销服务中心、国网江苏省电力有限公司	黄奇峰、方凯杰、左强、杨世海、黄艺璇、刘恬畅、程含渺、陈铭明、李波、陆姚泉、曹晓冬
59	ZL202110957274.X	一种马来酸酐修饰电压稳定剂及其制备方法与应用	南方电网科学研究院有限责任公司、深圳供电局有限公司	侯帅、傅明利、黎小林、朱闻博、惠宝军、冯宾、张逸凡、展云鹏、陈潇、章彬、徐曙、伍国兴
60	ZL202210796817.9	体声波谐振器	深圳新声半导体有限公司	翁国军、王健

产品推广合作协议



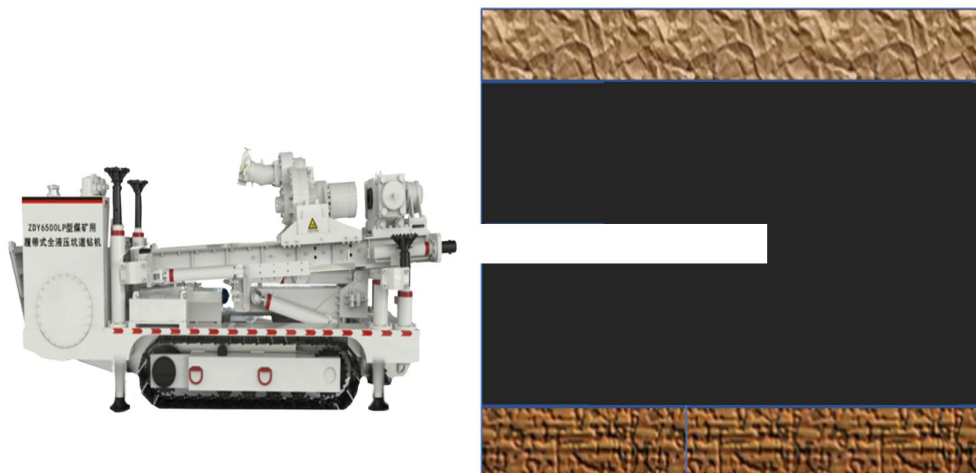
松软煤层钻-增一体化

3.1 技术背景

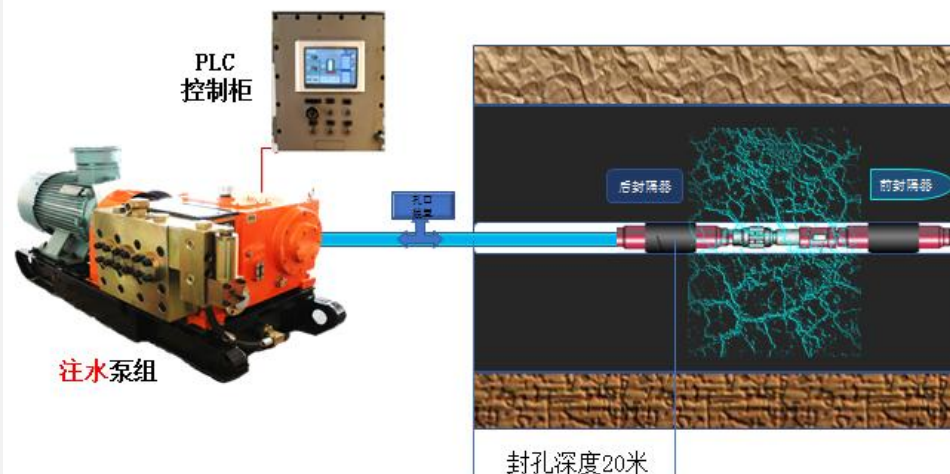
❖ 井下传统增透方法一般需要成孔和增透两个独立工艺

- 水力压裂、水力割缝和钻孔爆破等传统增透方法在硬煤、中硬煤层 ($f > 1$) 中取得了良好的效果, 但大多需要“先成孔, 后增透” **两步法施工**, 依赖高压、高能装备, 时效性不高

第一步：打钻成孔



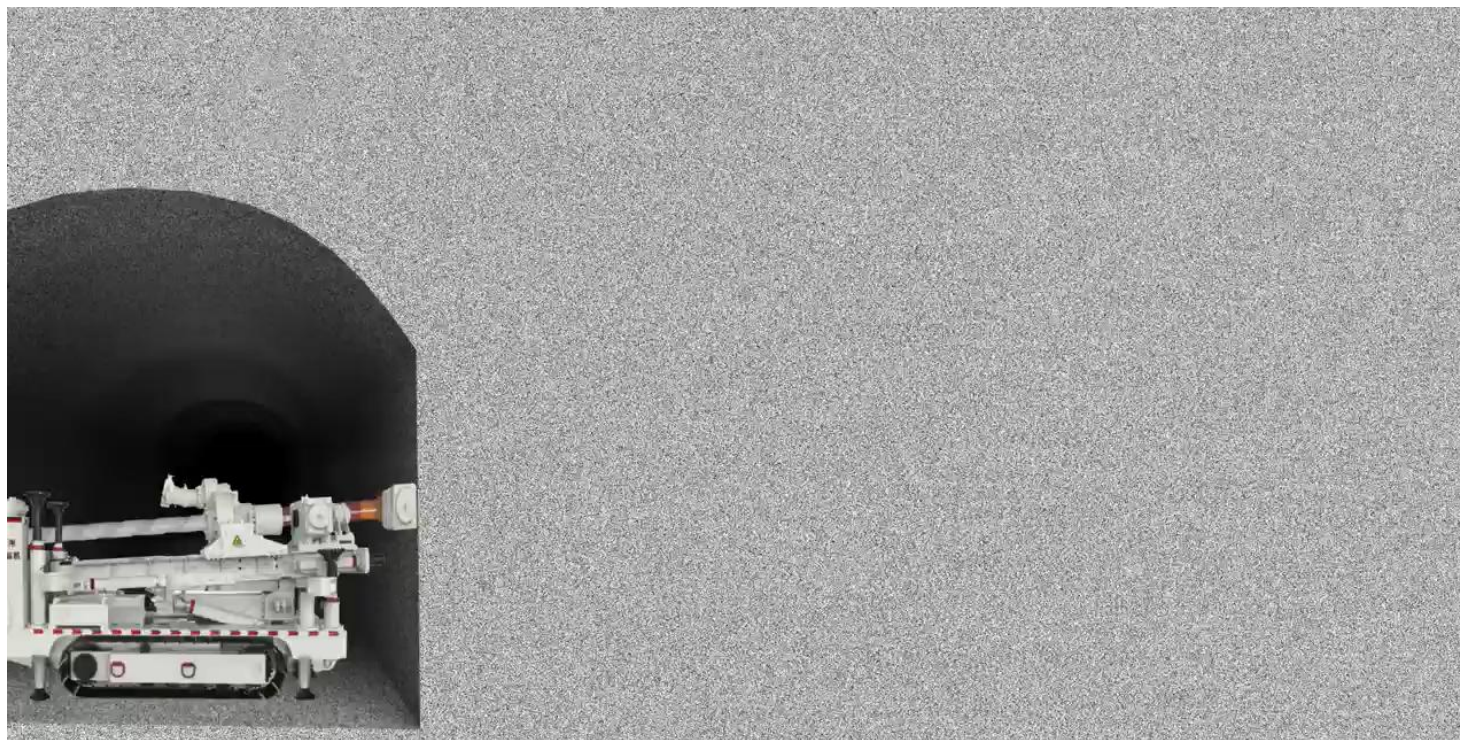
第二步：钻孔增透



例：井下水力压裂工艺步骤

3.2 技术原理

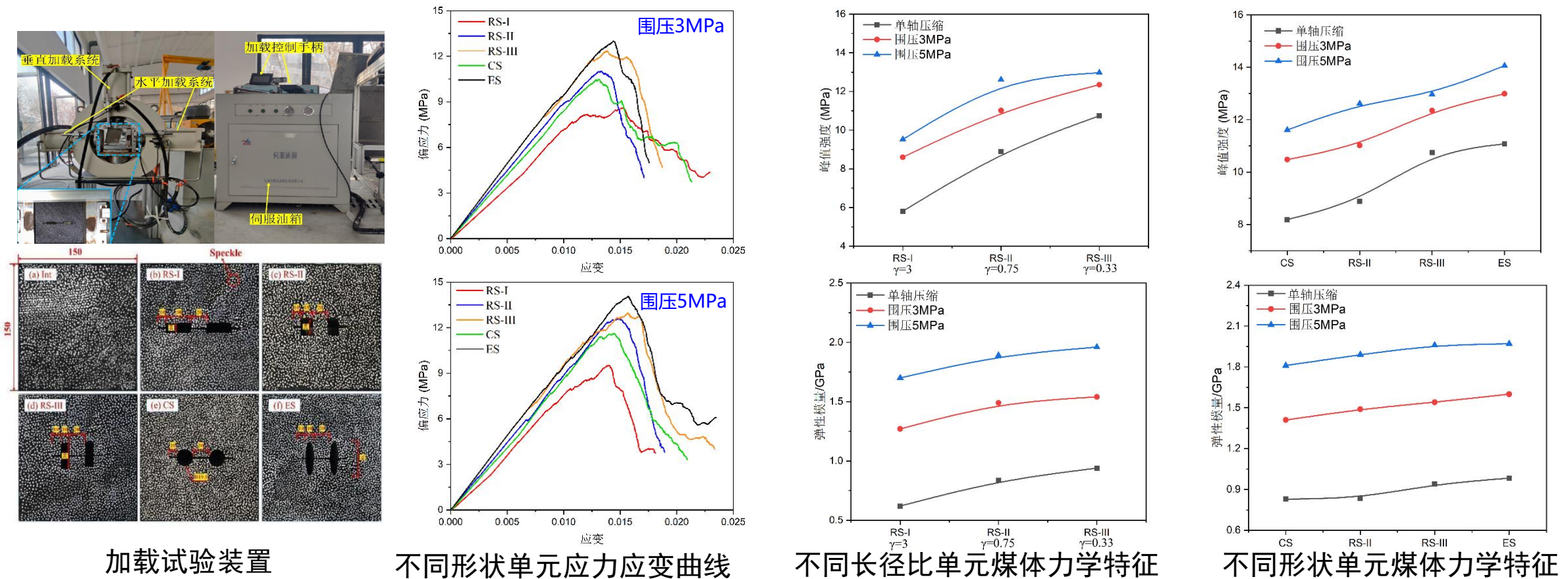
- **内嵌式钻进增透工法**：在煤岩层钻进时，采用钻头和内嵌式翼刀组成的增透钻具打钻。钻进时翼刀内嵌钻具中，退钻时借助钻杆高速扭矩打开磁吸翼刀割煤，在煤层内快速形成多个**增透单元**，无需复杂装备，**一步法增透**工艺简单，时效快，风险低



内嵌式钻进增透工法技术原理

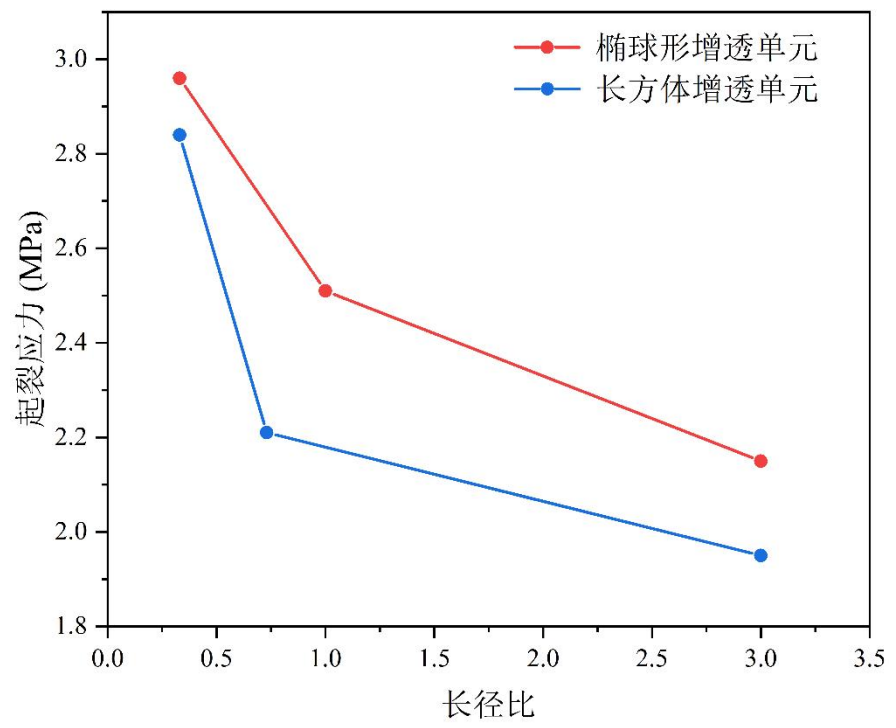
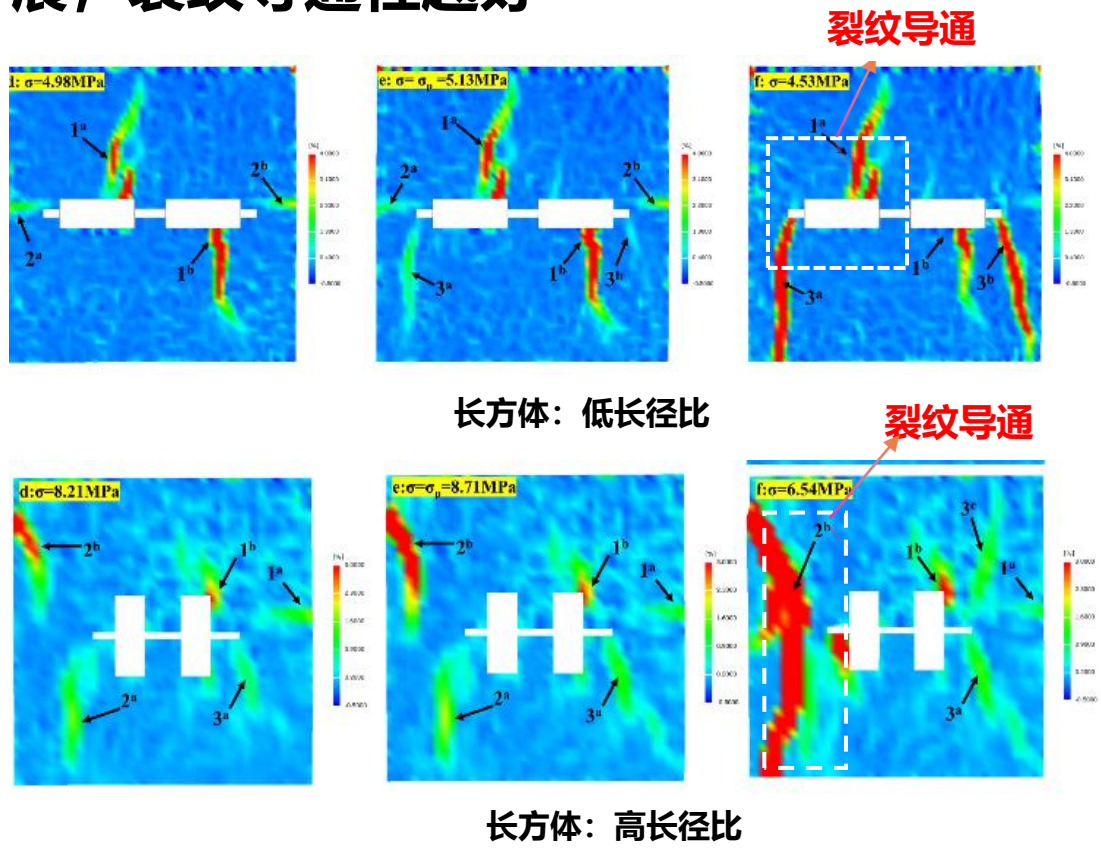
3.3 钻-增单元卸压增透机制

➤ 采用预先开挖增透单元的方法，开展了多增透单元原煤试样裂纹损伤测试实验，采用双轴（x-y）压缩试验、声发射（AE）监测和数字图像（DIC）技术，分析了不同单元长径比和几何形状（矩形、圆形和椭圆形）对煤样力学性能与裂隙扩展行为的影响，结果表明：同一种形状的增透单元，体积一定时，长径比越小，煤样的峰值强度与弹性模量越高，增透单元的结构越稳定



3.3 钻-增单元卸压增透机制

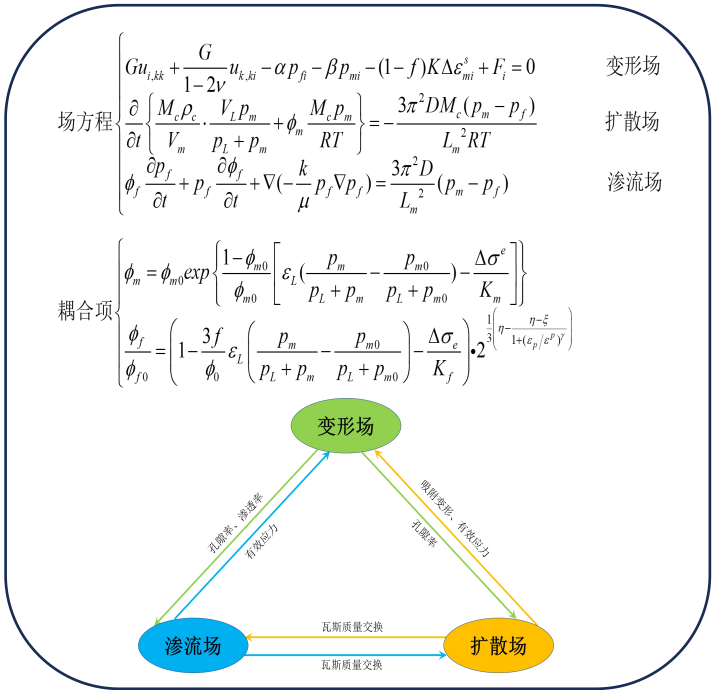
- 在同体积条件下，长径比越大，增透单元的裂隙起裂应力值越低，煤体更易发生裂隙扩展
- 相比球形和橄榄球形增透单元，长方体形单元周围更易产生应力集中效应，裂隙更早萌生与扩展，裂纹导通性越好



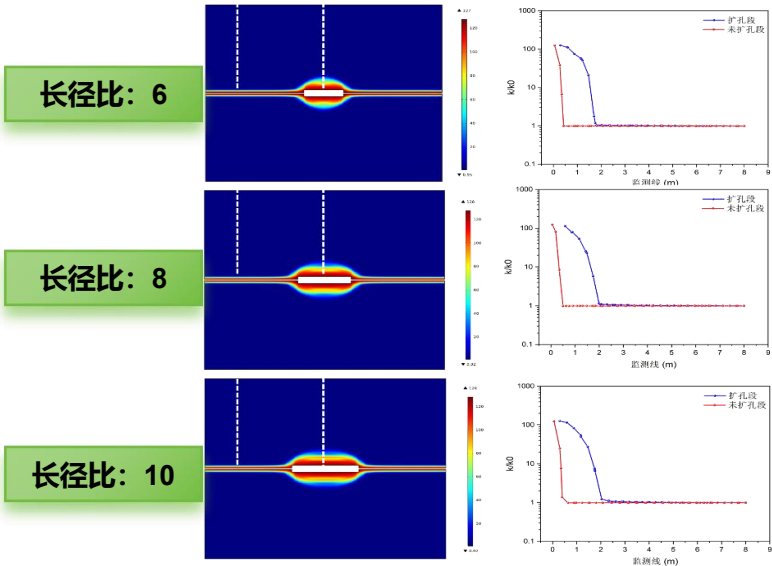
不同单元开挖条件下裂纹演化特征

3.3 钻-增单元卸压增透机制

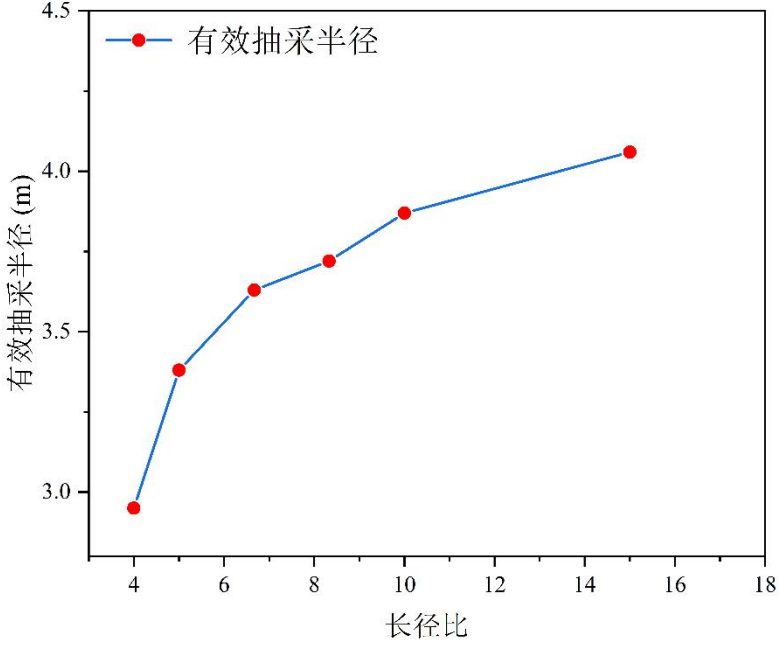
➤ 构建了裂隙煤体渗透率演化模型，揭示钻-增卸压钻孔瓦斯抽采过程中应力-损伤-渗流-扩散多物理场耦合机制。基于COMSOL多场耦合数值模拟发现：单一增透单元条件下，长方体形增透单元的长径比由4增加到15，抽采180天的有效瓦斯抽采半径可增加37.6%



多场耦合模型



不同长径比钻孔渗透率分布

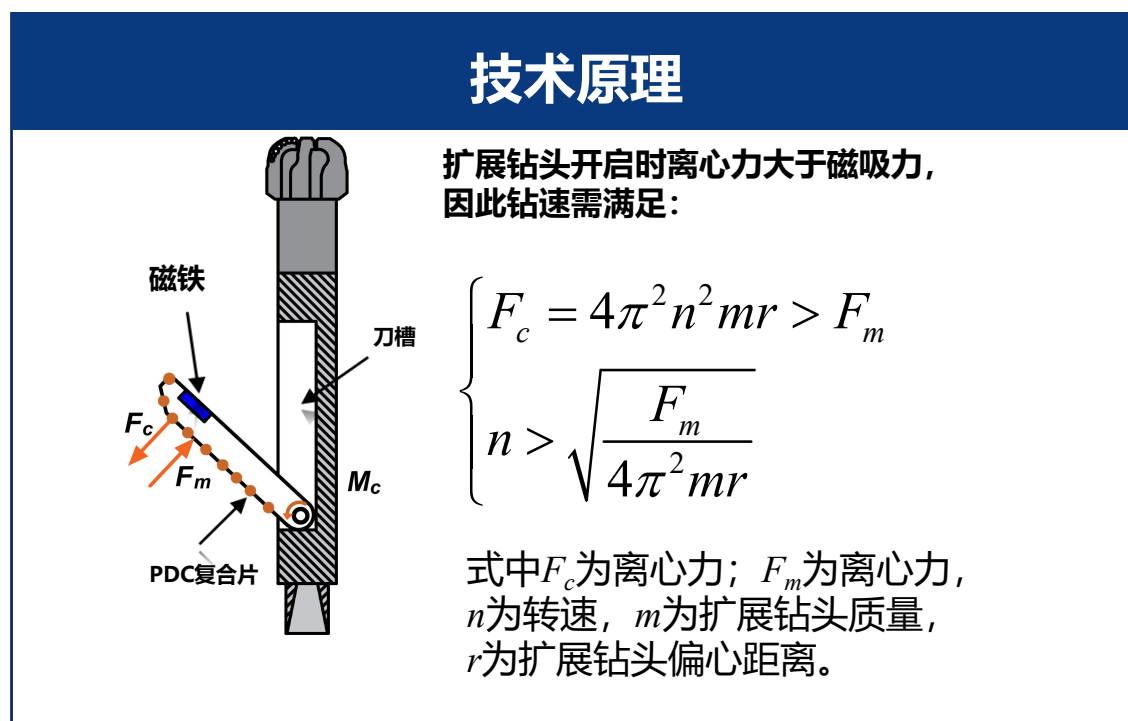


不同长径比钻孔180天有效抽采半径

3.4 钻-增一体化钻头

❖ 磁吸式钻头

- **扩展刀头：** 钻头顶端布置，钻孔直径94-113mm，割煤直径500-800mm
- **适用煤层：** $f < 1.0$ 的煤层，半夹矸煤层
- **适用打钻工况：** 前进打钻，后退割煤；上向孔静压水或压风排渣，下向孔压风排渣
- **钻头优点：** 体积和重量较小，通过**钻速**和**磁吸力**精准控制割煤



后端单翼端磁吸式

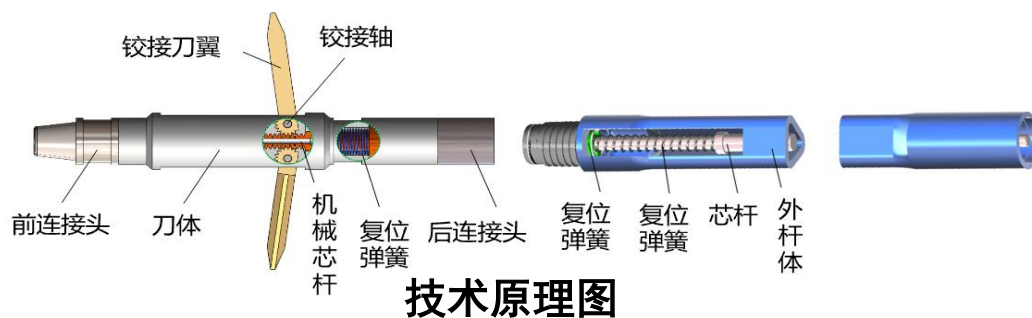


下向孔风排渣增透

3.4 钻-增一体化钻头

❖ 芯杆顶进式钻头

- **扩展刀头：**钻头顶端布置，割煤直径300-500mm
- **适用煤层：**软煤、坚硬煤、半煤岩
- **适用打钻工况：**前进打钻，后退割煤，上向孔静压水或压风排渣
- **钻头优点：**液压精准控制刀翼打开角度，切削能力强；**需专用芯杆钻杆和液压泵**



实物图

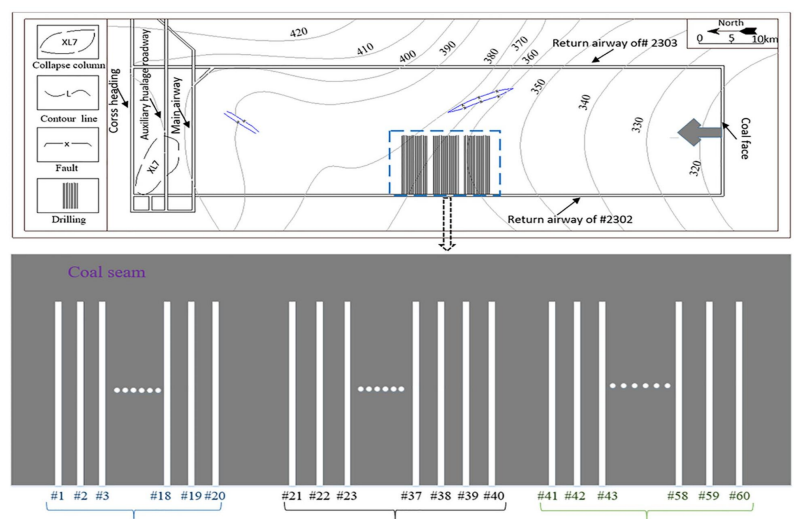
技术原理

通过钻杆中心的活动芯杆传递机械推力，轴向推力推动扩孔器的机械芯杆前移，卸除外部轴向推力后通过芯杆在复合弹簧作用下复位

3.5 工程案例

❖ 案例一：潞安矿业李村煤矿2302工作面-磁吸式钻头

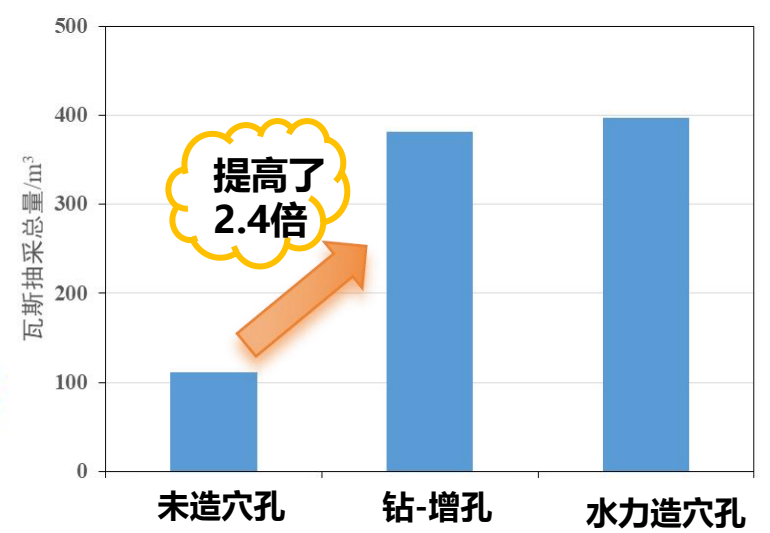
- 李村煤矿主采3号煤层瓦斯含量7~12m³/t，煤层透气性仅为0.0997mD，f值为0.3-0.4
- 平均瓦斯纯流量（27天）：内嵌式钻-增孔0.0118m³/min，与水力造穴孔接近，是未增透孔的3.4倍
- 效率与成本：内嵌式钻-增比水力造穴单孔用时减少7.5h，增透成本大幅减少



水力造穴孔 钻-增孔 未造穴孔



瓦斯抽采纯流量对比



瓦斯抽采总量对比

3.5 工程案例

❖ 案例二：潞安矿业李村煤矿2301工作面-芯杆顶进式钻头

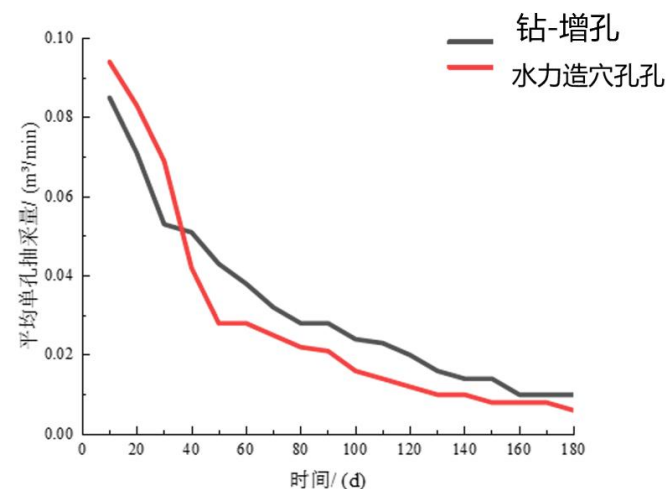
- **每孔增透单元8个**，每单元割煤长度5m,间距10m，每单元出煤量约 1m^3 ，割煤直径500mm，每单元割煤时间约15min
- **平均瓦斯纯流量（180天）**：内嵌式钻-增孔 $0.032\text{m}^3/\text{min}$ ，是水力造穴孔的**1.14倍**



钻机实物图



井下试验



单孔抽采纯流量对比（180天）

3.5 工程案例

❖ 技术对比

➤ 钻进-增透一体化在**用时、用人、成本和安全性**方面优势明显

对比指标	水力造穴（冲孔）	本项目技术
退钻次数	2次	1次
单孔成孔和造穴总用时	≥15h	<9h
单孔成孔和造穴总成本	>1.8万元	<1.0万元
设备投入	高压泵站+高压管路+专用钻具	钻-增一体化钻具
施工用人数量	3-4人	2-3人
诱突风险	高	低
采场应力扰动	强，不利于巷道支护	弱

3.5 工程案例

❖应用前景

- 我国突出矿井和高瓦斯矿井约**1470**余座，抽采钻孔年进尺量约：**10-15万**公里
- 传统回转式钻机增设**内嵌式钻-增一体化钻头**，全国瓦斯抽采纯量预计可增加**15亿m³**以上，钻进耗时仅增加约**10%**，施工无高压、高能风险，实现了“**小技术，大革命**”

❖推广政策

- 打钻计价标准：

单一指标

打钻进尺 (m)



联合指标

打钻进尺 (m) + 抽采纯量 (m³)
- 企业配套国家政策：财政部《清洁能源发展专项资金管理办法》（2025-2029）中瓦斯的奖补权重（1.5）最高，提出了“多增多补”、“梯级奖补”和“冬增多补”等奖补政策



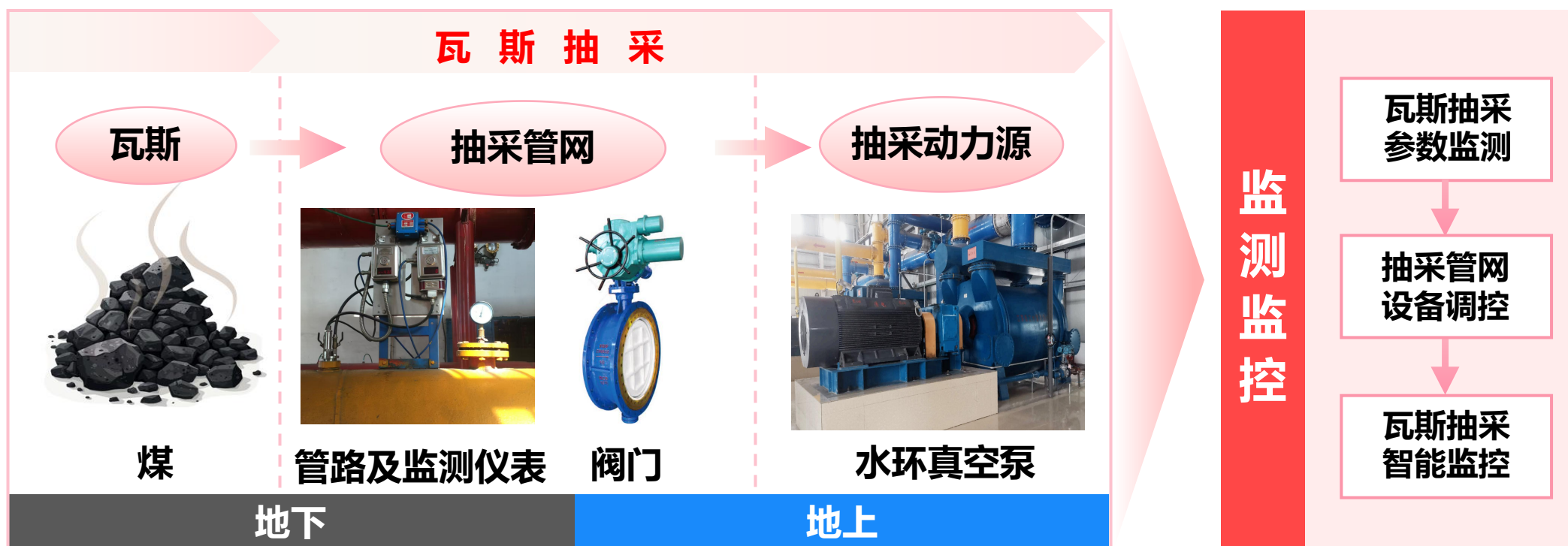
四

煤矿瓦斯高效智能抽采

4.1 技术背景

❖ 煤矿瓦斯抽采关键环节

- 瓦斯抽采系统是将井下煤层、采空区等区域的瓦斯经管网抽采到地面的瓦斯运输系统，由抽采管网、水环真空泵、阀门、监测监控系统等部分组成
- 水环真空泵是瓦斯抽采系统的动力源，对煤矿瓦斯治理和安全生产起重要作用



4.1 技术背景

❖水环真空泵效率低、能耗高

- 我国瓦斯抽采泵站年耗电量超200亿度，实际运行效率仅10-40%
- 水环真空泵的高耗低效性已成为世界性难题，“节能型泵及真空设备制造”被列入《国家绿色产业指导目录》（2019）



煤矿瓦斯抽采泵站

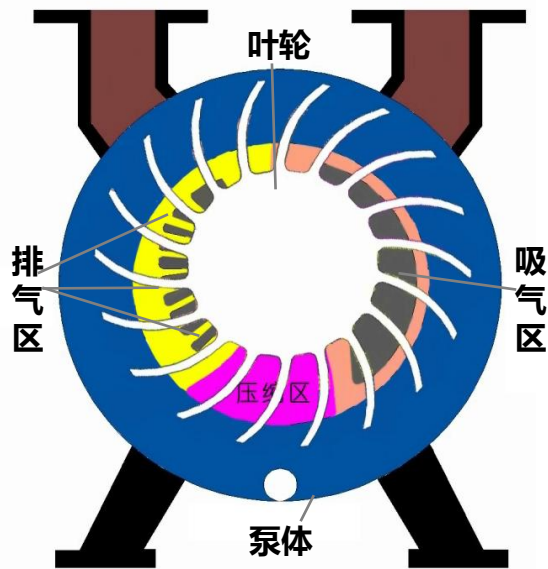
煤矿名称	年耗电量/千万度	运行效率/%	煤矿名称	年耗电量/千万度	运行效率/%
寺河矿	10.6	30~35	余吾矿	8.00	15~35
李村矿	3.11	20	高河矿	4.5	20~30
古城矿	4.15	10~25	常村矿	3.06	16~19
司马矿	1.02	43	五阳矿	2.20	16~36
夏店矿	1.49	8~25	漳村矿	2.27	20~40
潞宁矿	1.05	32	郭庄矿	0.75	13~25
阳二矿	3.9	30~35	阳一矿	1.3	20~35

部分煤矿瓦斯抽采泵站运行情况

4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 水环真空泵原理与能耗特性

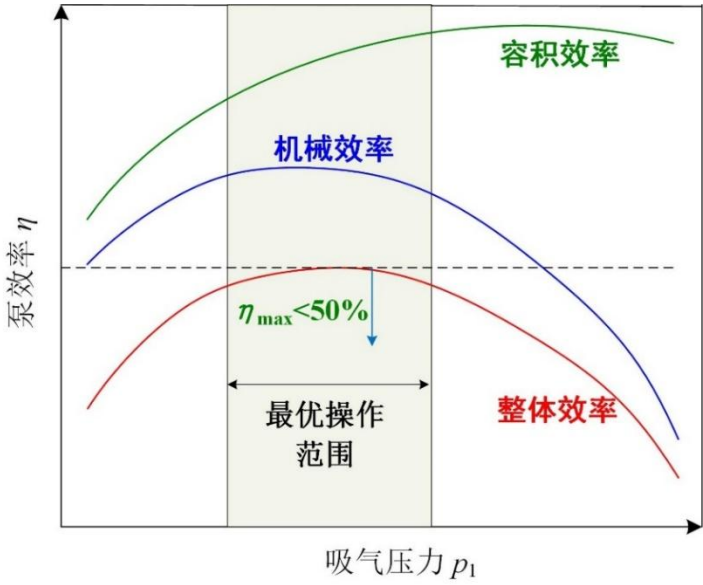
- 叶轮偏心安装于泵体内，高速流动的水环与轮毂之间形成月牙形空间，通过容积变化形成吸气、压缩和排气区，进而产生连续的吸排气作用
- 构建了水环真空泵能耗分布计算模型，得出泵最高效率低于50%，揭示了泵的无用功主要以工质升温 and 蒸发形式为主，导致泵结垢严重、吸气量降低



水环真空泵运行原理

$$\begin{cases} E_u = 38.37 p_1 Q \lg \frac{P_2}{P_1} \\ E_f = \frac{1}{3600} \cdot c_f \cdot v_f \cdot \rho_f \cdot (T_{ef} - T_{if}) \\ E_b = \frac{1}{60} \cdot Q_w \cdot v_{mb} \\ E_g = v_{mg} \cdot c_{pg} \cdot (T_{eg} - T_{ig}) \\ E_c = k \cdot S_c \cdot (T_c - T_o) \\ v_{mb} = q \cdot \rho_g \cdot \left(0.622 \times \frac{\phi_e \cdot P_{se}}{P_e - \phi_e \cdot P_{se}} - 0.622 \times \frac{\phi_i \cdot P_{si}}{P_i - \phi_i \cdot P_{si}} \right) \\ v_{mg} = \left\{ \frac{1}{2} \mu \omega b r_2^2 \left[(1 - \alpha)^2 - \nu^2 \right] - q_0 \left(\frac{p_e}{p_i} \right)^{\frac{1}{m}} \right\} \cdot \left(\frac{p_i - (1 - \phi_i) \cdot p_{ws}}{p_i} \right) \cdot \frac{T_{th}}{T_a} \end{cases}$$

水环泵能耗分布计算模型

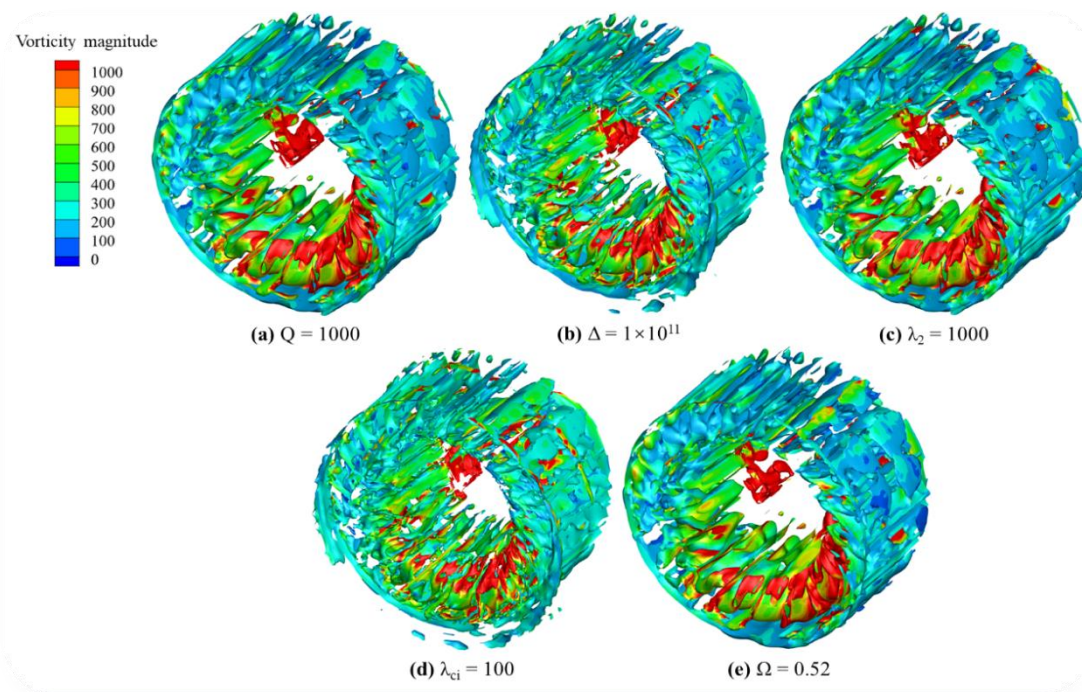


水环泵性能曲线

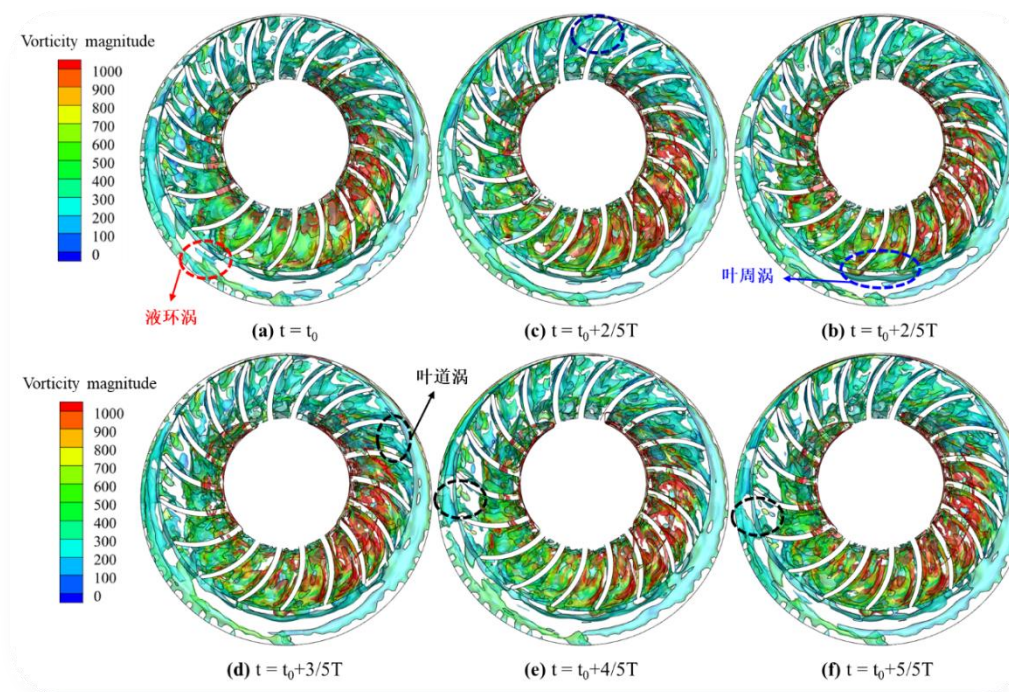
4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 水环真空泵原理与能耗特性

- 采用旋涡强度计算模型，发现泵内以**液环涡**、**叶周涡**和**叶道涡**为主要涡流形态，且涡流演化复杂、强度高，能量损失大



不同识别准则下涡流能量损失分布

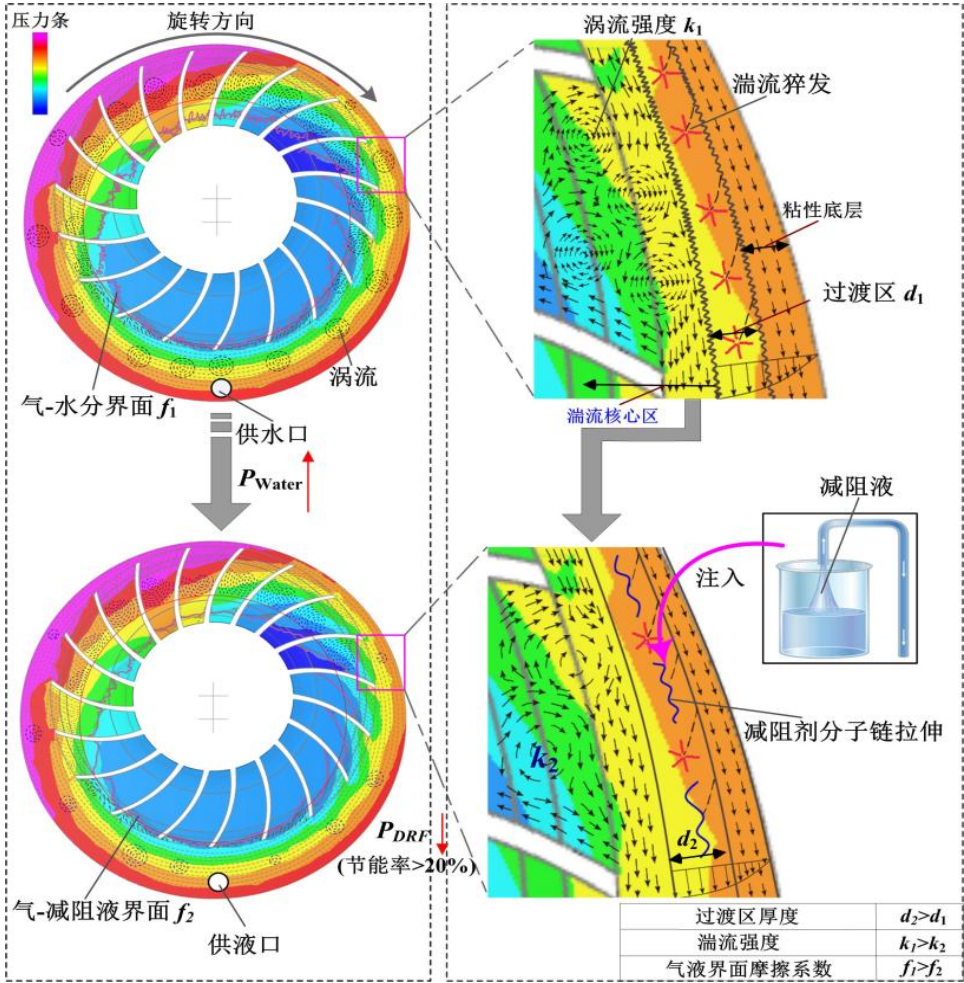


水环泵内三维瞬态涡流损失分布

4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 水环真空泵减阻提效方法原理

- 提出了水环真空泵减阻节能新方法，
通过将常规的水介质改性为具有减小
阻力特性的高分子溶液，可大幅降低
水环泵运行过程中的摩擦阻力和涡流
阻力，从而提高泵的运行效率



水环真空泵节能技术原理图

4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 高分子减阻工质研发

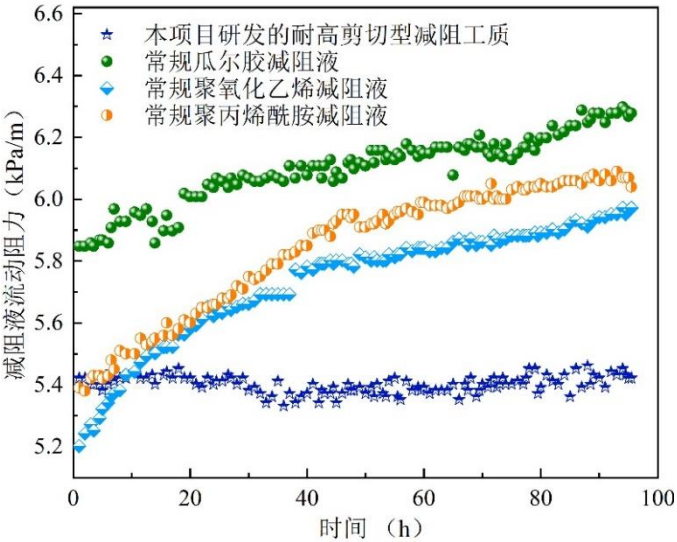
- 考虑工质所受的高剪切、高温、矿区水高硬高酸碱等特殊工况，制备出了适用于煤矿瓦斯抽采复杂工况下的高分子减阻工质
- 在45℃相对高温、1500mg/L超高硬度、pH8.5的管流剪切环境下，高分子工质减阻性能优异、长期稳定性好、环境适应性强



高分子工质性能影响因素

减阻工质特征	特征参数
表观	浅黄色
毒性	无毒无腐蚀
可燃性	不可燃
酸碱性	中性
分子量	7.8×10^6 (g/mol)

高分子工质外特性



减阻工质稳定性及其对比

4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 高分子减阻工质流变性

- 高剪切流场作用下，减阻工质呈现出明显的非牛顿剪切变稀特性和粘弹性特性
- 随减阻液浓度升高，剪切稀化效应增强，粘弹性特征显著，减阻潜力增大

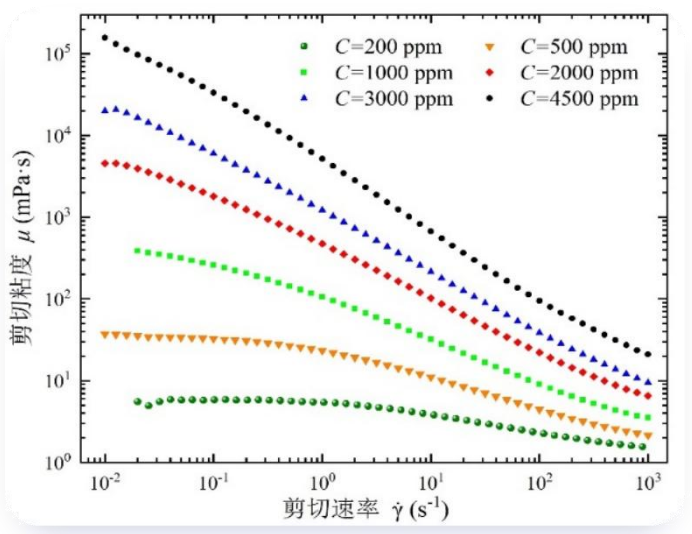
非牛顿剪切稀化模型

$$\mu = \mu_{\infty} + \frac{\mu_0 - \mu_{\infty}}{\left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^{\alpha}\right]^{\frac{1-n}{\alpha}}}$$

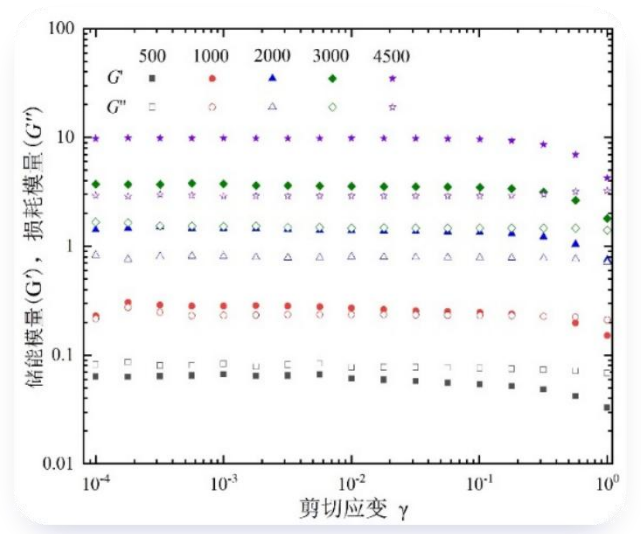
Giesekus粘弹性模型

$$\begin{cases} \tau_{ij}^p = \frac{\mu_p}{\lambda} \left[f(r) C_{ij} - \delta_{ij} \right] \\ \frac{\partial C_{ij}}{\partial t} + \mu_k \frac{\partial C_{ij}}{\partial x_k} = C_{ik} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + C_{kj} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \\ - \frac{1}{\lambda} \left[\alpha f(r) C_{ik} C_{kj} + (1-\alpha) \delta_{ik} C_{kj} - \alpha C_{ik} \delta_{kj} - (1-\alpha) \delta_{ij} \right] \\ f(r) = 1, \alpha \neq 0 \end{cases}$$

减阻工质流变本构模型



减阻工质剪切变稀特性

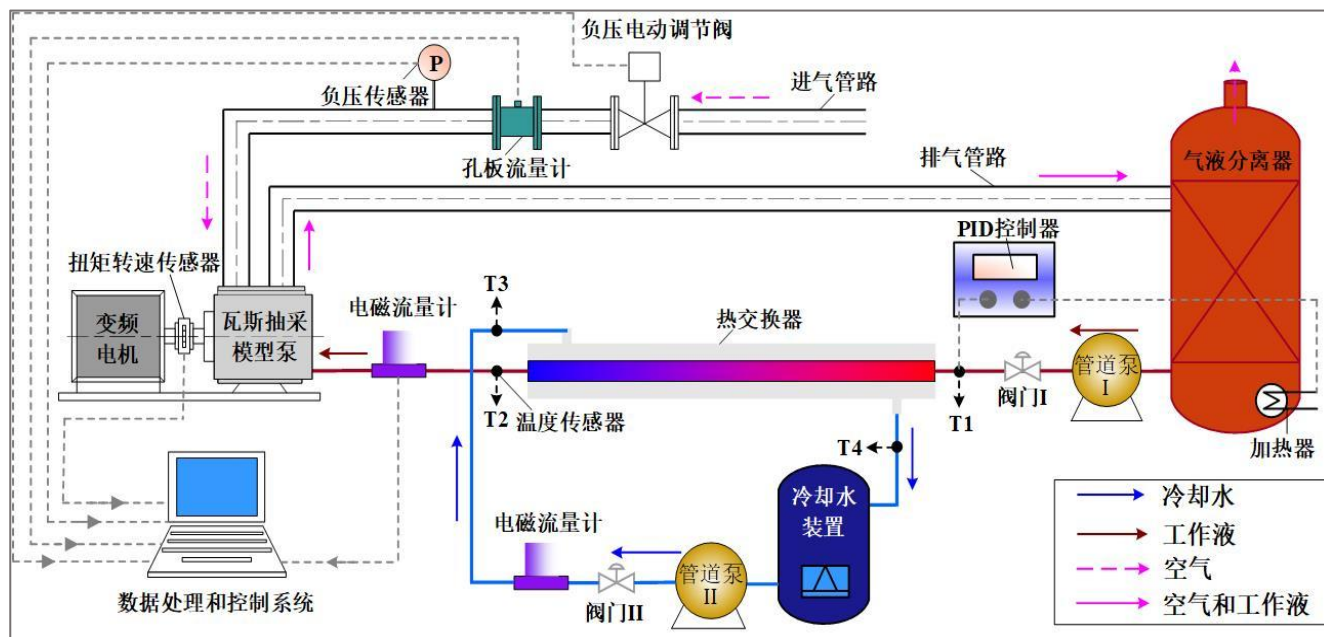


减阻工质粘弹性特性

4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 减阻工质在特大型水环泵的节能试验

- 依托国家级泵类检测检验中心，搭建了**特大型水环真空泵节能提效测试系统**，包括：水环真空泵、减速机、高压电机、板式换热器、气液分离器、进/排气管路、数据监控与处理系统等，**可实现对不同抽采工况下的精确模拟**



水环真空泵性能测试系统示意图

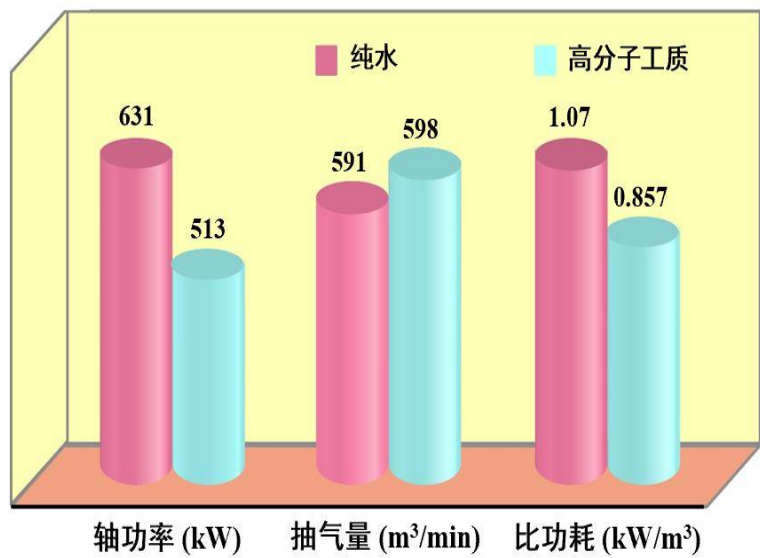


特大型水环真空泵测试现场照片

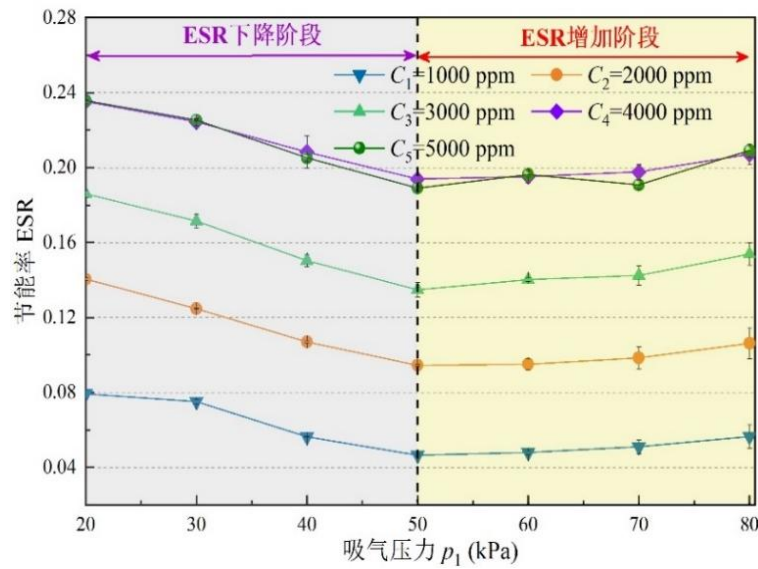
4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 减阻工质在特大型水环泵的节能试验

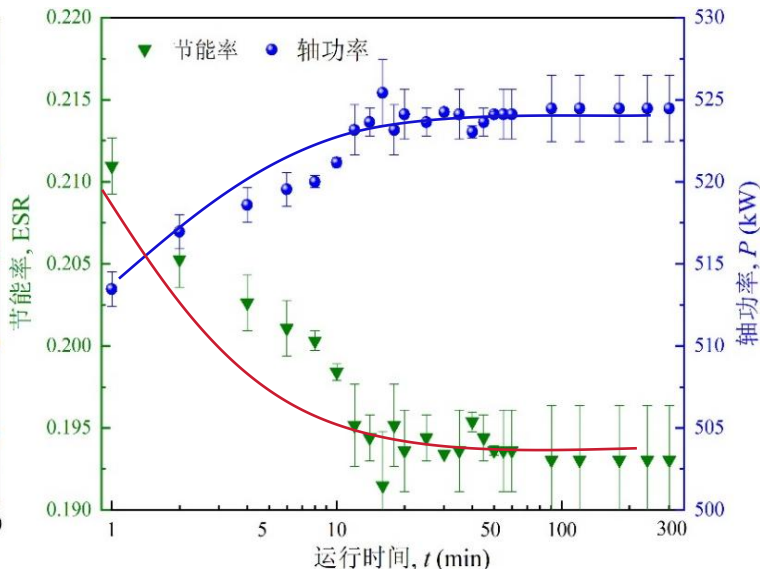
- 在相同负压下，水环真空泵的轴功率由631kW降至513kW，抽气量由591m³/min升至598m³/min，比功耗由1.07降至0.857，泵效能显著提升
- 在泵叶轮的超高剪切降解作用下，高分子溶液的节能率先降低后稳定，能够满足现场长期高效运行的工况要求



水环真空泵性能对比图



节能率与吸气负压的关系

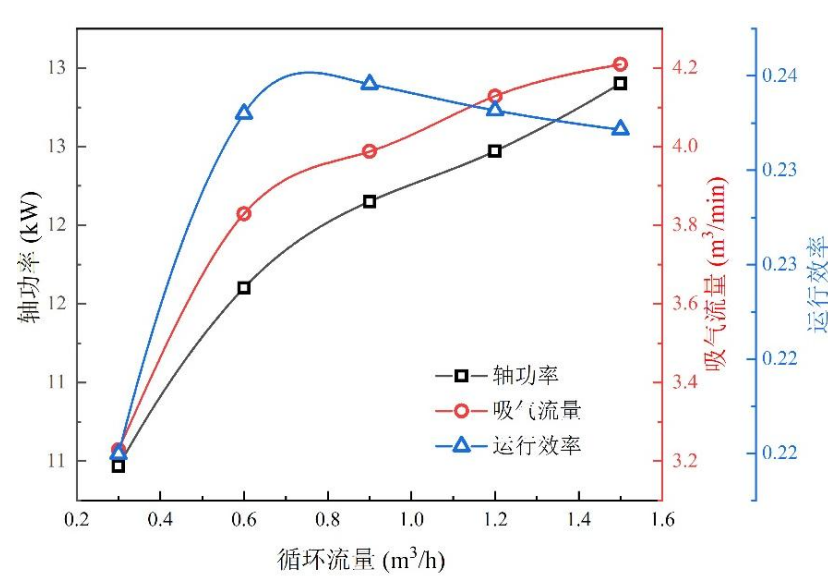


功率和节能率随时间变化趋势

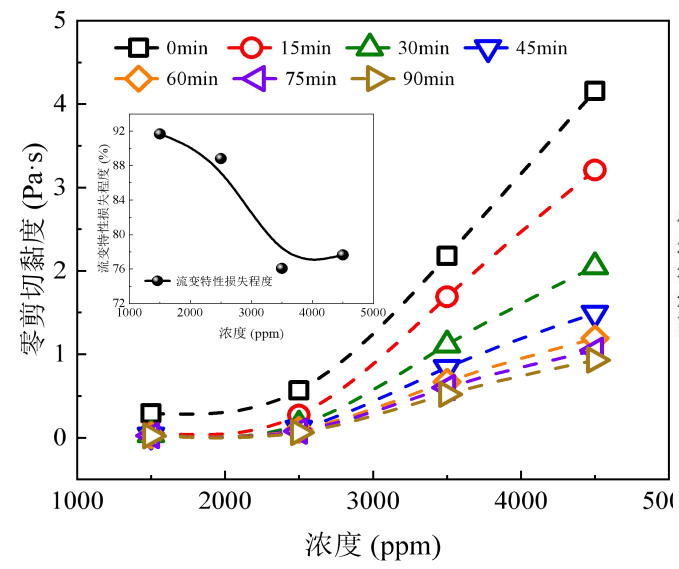
4.2 水环真空泵节能提效技术

❖水环真空泵节能高效运行调控方法

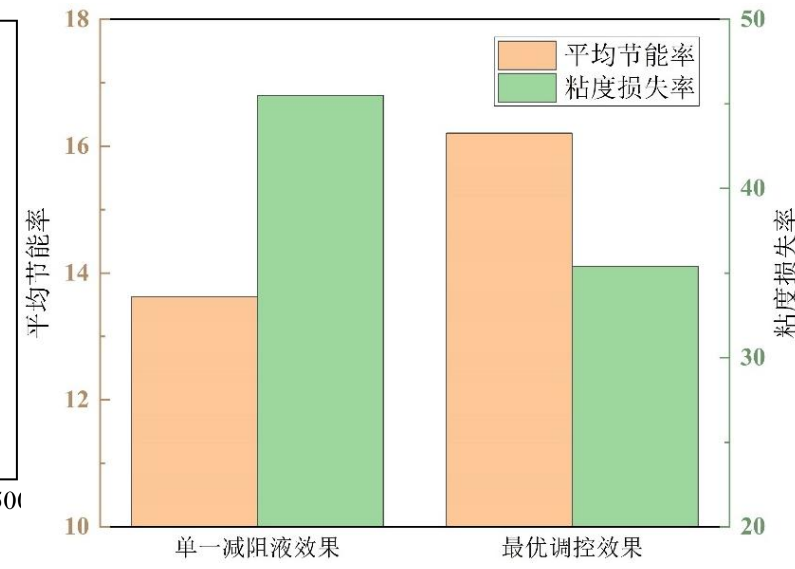
- 揭示了水环泵转速、循环流量对泵性能和节能稳定性的影响规律，构建了不同抽采工况下**节能效果预测模型**
- 发明了水环泵**节能高效运行调控方法和系统**：维持相同抽采工况，协同调控泵转速和循环流量的最优匹配关系，实现水环泵的节能高效和稳定运行



循环流量对泵性能影响



不同浓度工质剪切粘损变化趋势

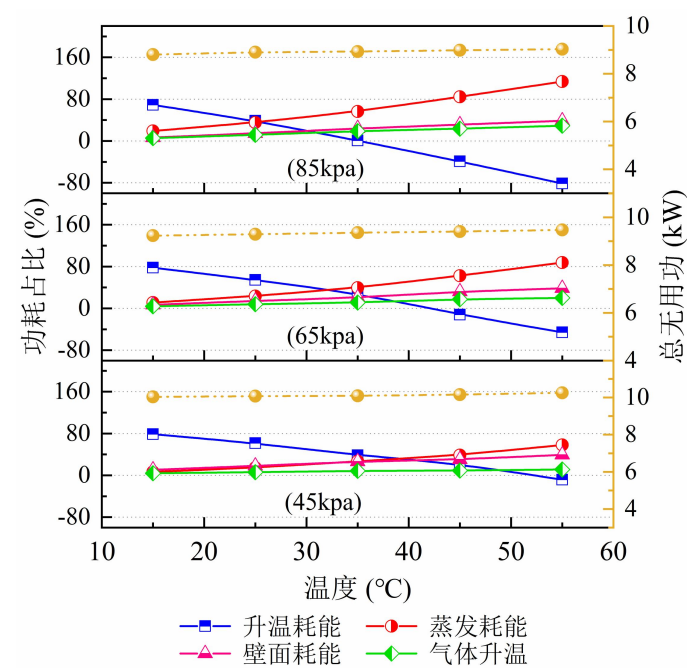


最优调控前后效果对比

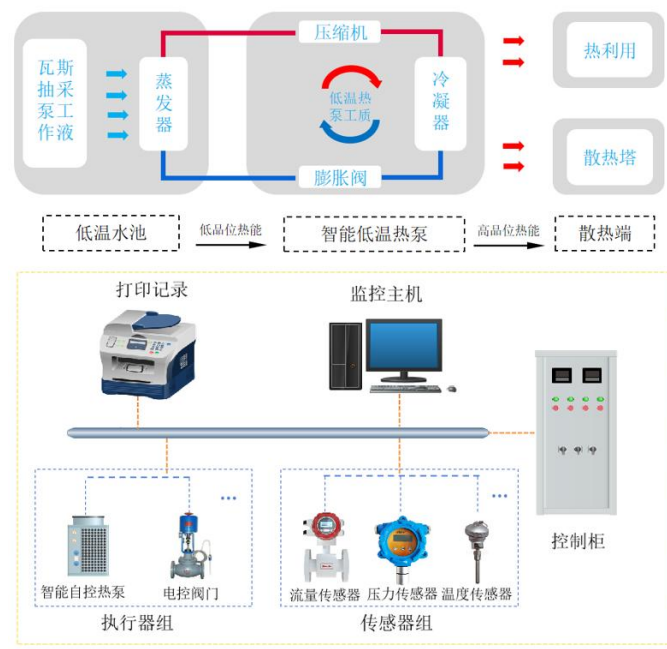
4.2 水环真空泵节能提效技术

❖水环真空泵高效降温及余热利用方法

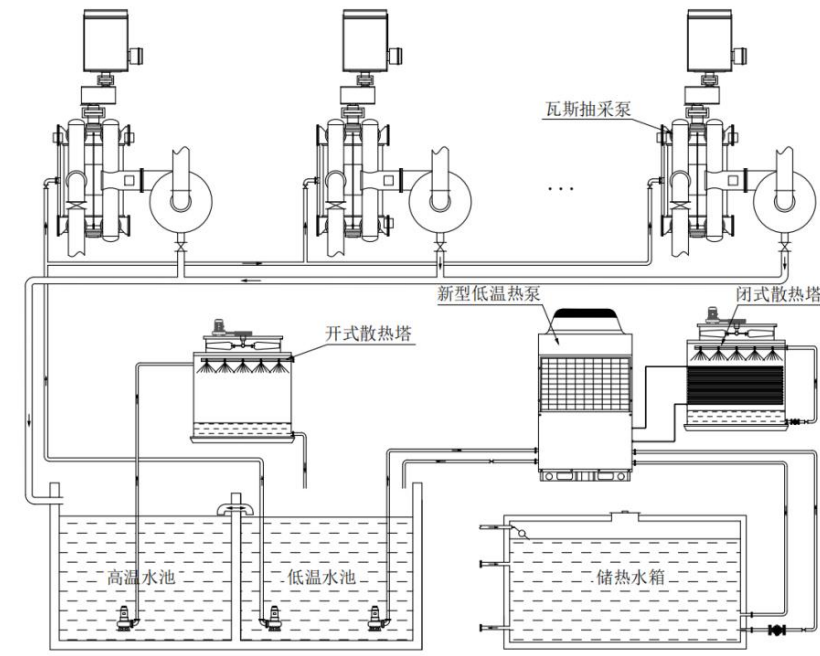
- 发明了水环泵**高效降温及余热利用系统**，由**换热器、低温热泵、余热利用和监控系统**组成，实现泵**进液温度低于15℃**，并可回收**30%以上**的废弃热能，有效缓解了高温导致抽采量低、结垢严重等问题



温度对无用功耗散形式的影响



工质高效降温及余热利用原理

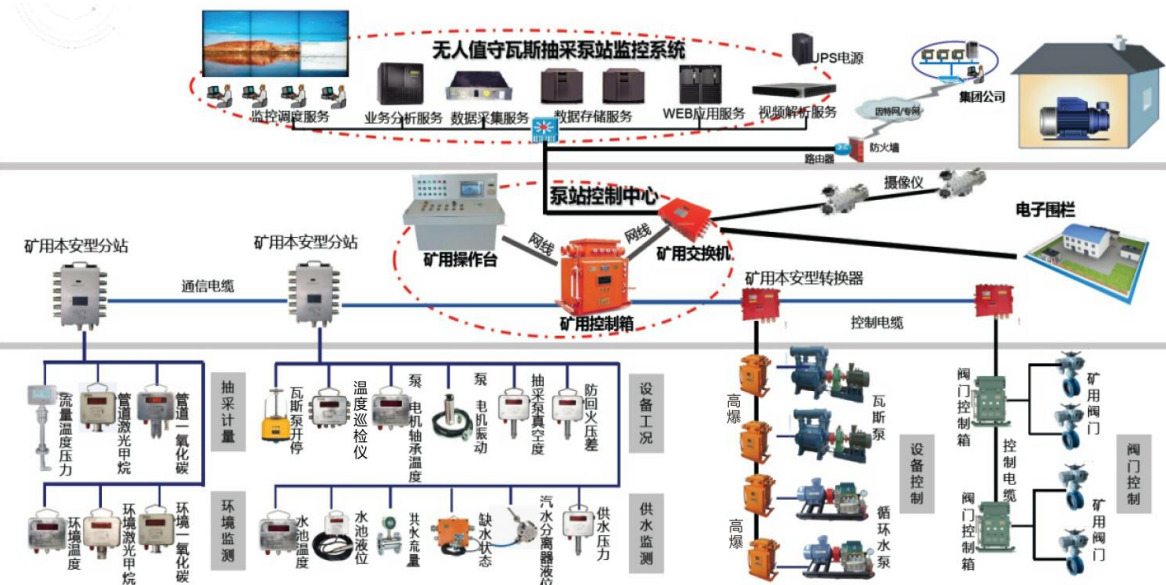


工质高效降温及余热利用系统示意图

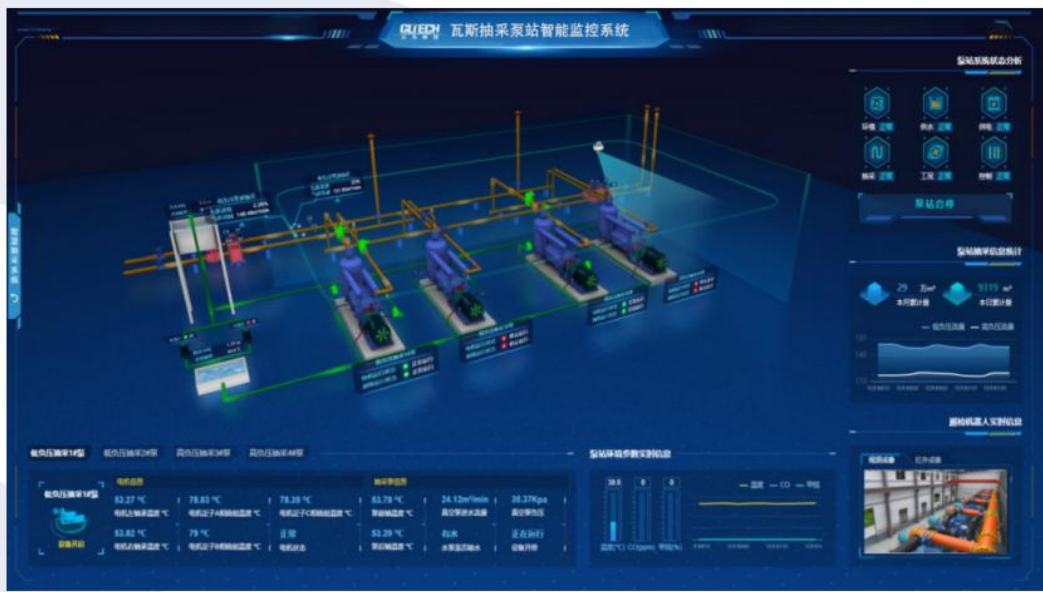
4.2 水环真空泵节能提效技术

❖ 瓦斯抽采泵站智能监控系统

- 研发了瓦斯抽采**泵站智能监控系统**，具有对泵站抽采参数、关键设备运行状态、能耗水平等动态显示与调控、故障诊断及报警闭锁等功能，**实现了瓦斯泵站的节能高效和智能化运行**



无人值守瓦斯抽采泵站监控系统原理图



地面抽采泵站智能监控系统界面

4.3 工程应用

❖ 案例一：河南能源九里山矿

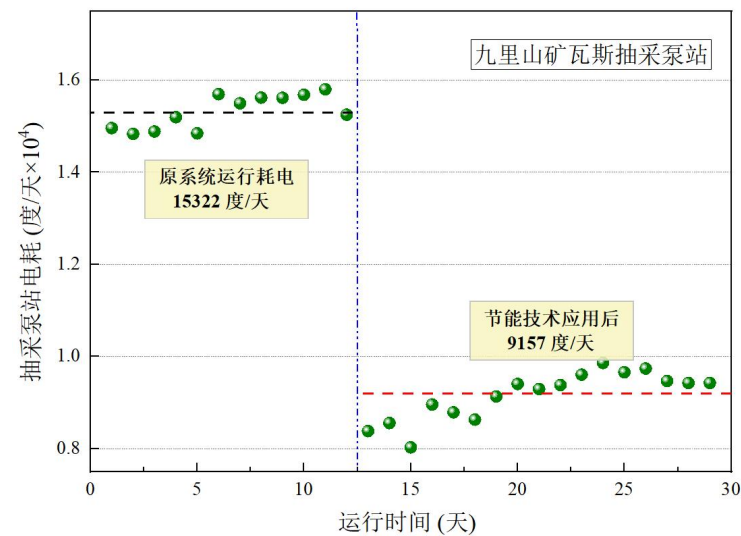
- 九里山矿共装有4台2BEC80水环泵（额定功率800kW），1运3备，**年耗电量超520万度**
- 应用抽采泵提效技术后，泵站耗电量由1.53万度/天降至0.92万度/天，**节能率39.9%，年节电量达222万度/年，净节能效益超110万元/年**



2BEC80大型瓦斯抽采泵



抽采泵站智能监控系统



节能技术应用前后泵站耗电量对比

4.3 工程应用

❖案例二：潞安古城矿（合同能源管理模式）

- 古城矿共装有12台2BEC87水环泵（额定功率900kW），7运5备，**年耗电量超4200万度。**
- 应用节能提效技术后，泵站耗电量由11.67万度/天降至9.89万度/天，**节能率15.2%，年节电量达650万度/年，净节能效益超250万元/年**



瓦斯抽采泵站水环真空泵



高分子减阻液加注装置

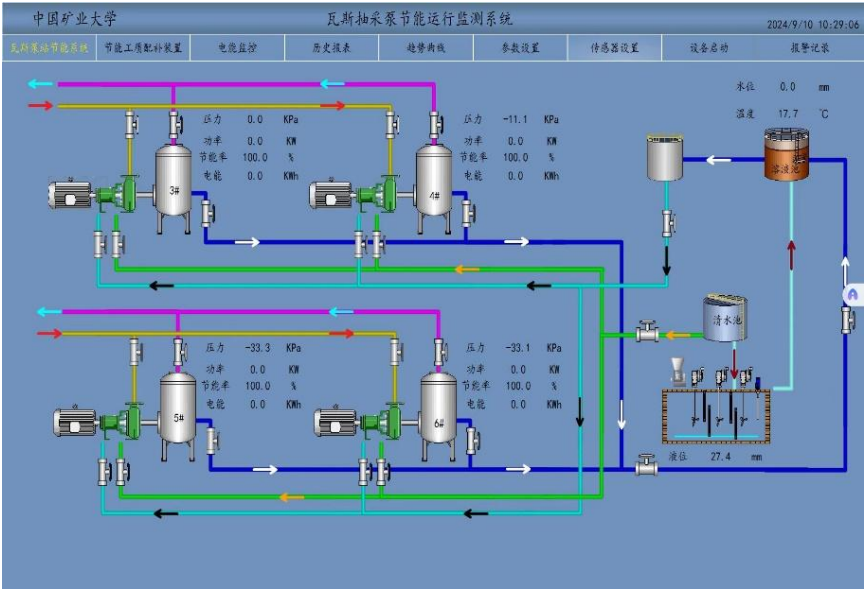
古城煤矿预算费用执行审批表	
预算管理部门	编号: 20240312
总工办	古城煤矿瓦斯抽采泵站节能降耗、瓦斯抽采系统安全节能降耗、费用共计300052元
预算部	300万元
0万元	
30.01万元	
安全费用、技术服务费	
预算部	300万元
累计结算金额	0万元
本次结算金额	30.01万元
资金结转渠道	安全费用、技术服务费
财务部审核	
业务部门经办人	
财务经办人	
盖章	
填表日期: 2024-3-12	

古城矿节电效益结算凭证

4.3 工程应用

❖案例三：潞安阜生矿（合同能源管理模式）

- 阜生矿装有2BEC87水环泵（900kW）和2BEC72水环泵（710kW）各2台，3运1备。
- 采用节能提效技术后，泵站耗电量由4.35万度/天降至2.91万度/天，**节能率33.1%**，**年节电量达525.6万度/年，净节能效益超225万元/年**



瓦斯泵站节能监控系统



泵高效运行调控柜

阜	阜生煤业水环真空泵节能高效抽采技术利用服务项目
算	结算情况说明（2024年11月）
价	瓦斯泵站节能系统已验收投运并取得预期收益，现申请结
量	算2024年11月1日7点-2024年12月1日7点收益
能	阜生瓦斯泵站，运行工况稳定，节能明细如下：
36	2024年11月1日7点-2024年12月1日7点，电费
	单价：0.55元/kwh，抄表电量为598640度。
	2024年4月1日7点-2024年5月1日7点，抄表电
	量为984660度。
	11月与4月在相同工况下，节约电量为386020度，节
	约电费为212311元，甲方费用分成：4246元，乙方分成费
	用为208065元。
	山西清境节能环保工程有限公司（盖章）
	2024年12月06日

阜生矿节电效益结算凭证

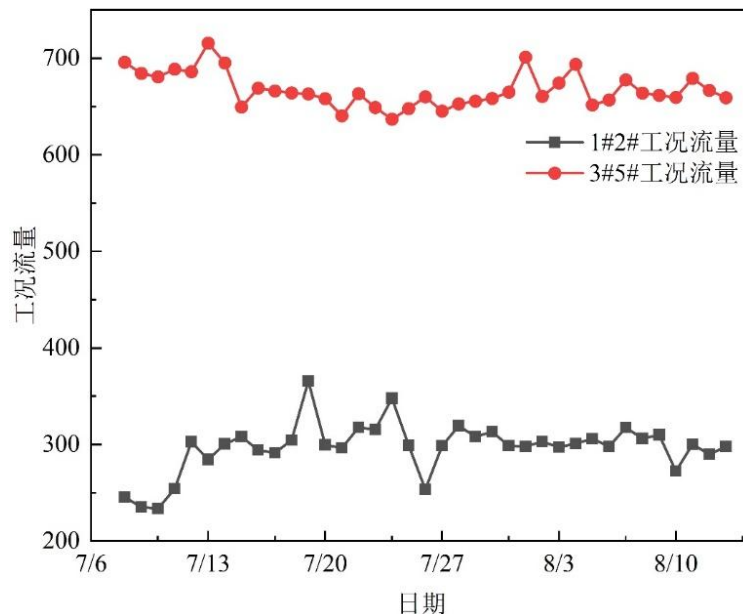
4.3 工程应用

❖ 案例四：潞安余吾矿

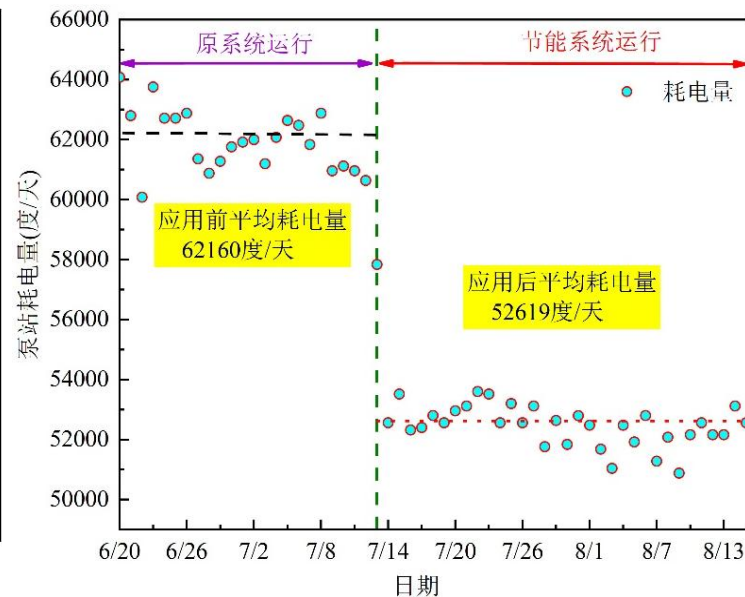
- 余吾矿北风井泵站装有6台2BEC80水环泵（额定功率800kW），4运2备
- 采用节能技术后，维持相同抽采工况，泵站总耗电由6.22万度/天降至5.26万度/天，**节能率15.3%，节电量350.4万度/年，净节能效益超150万元/年**



瓦斯抽采泵站现场



技术应用前后抽采工况变化



技术应用前后耗电量对比

4.3 工程应用

❖ 案例五：潞安李村矿

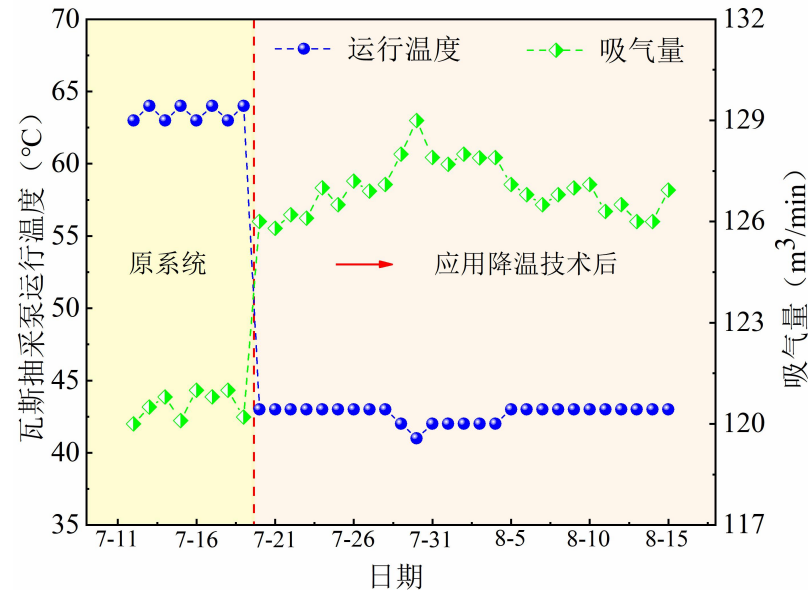
- 李村矿装有6台2BEC87水环泵（900kW），2运4备，泵体运行温度常年**超50℃**（夏季高达**65℃**），结垢严重、抽气量低
- 采用降温提效技术后，运行温度**由64℃大幅降至42℃**，抽气量提升**7%以上**，显著减轻了结垢强度，延长泵稳定运行寿命



瓦斯抽采泵站



低温热泵及管路系统



李村矿降温提效应用效果

4.3 工程应用

❖案例六：彬长大佛寺矿

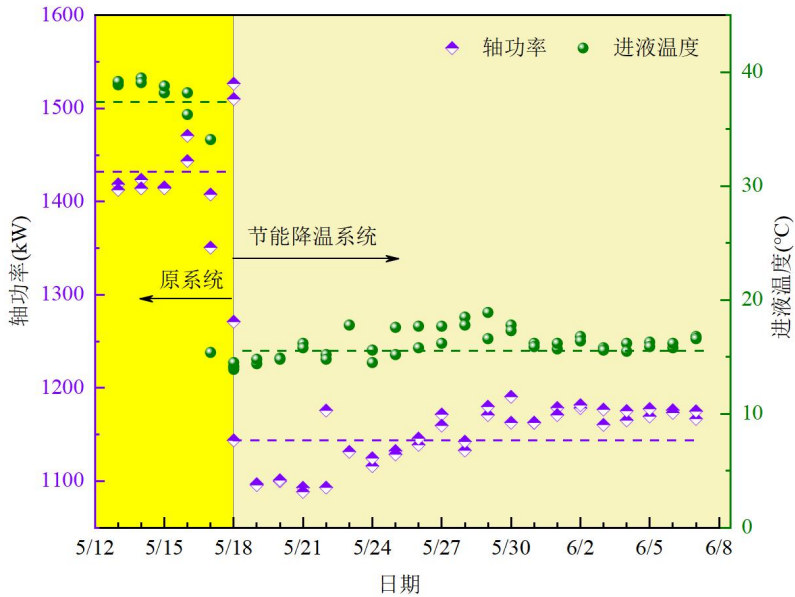
- 大佛寺2#泵站装有6台2BE3-72水环真空泵（额定功率630kW），3运3备
- 采用节能-降温协同技术后，节能率达**18%**，泵站年节电量**227万度/年**，温度由**37.5℃**降至**16℃**，抽气量提升**6.1%**



瓦斯抽采泵站系统现场



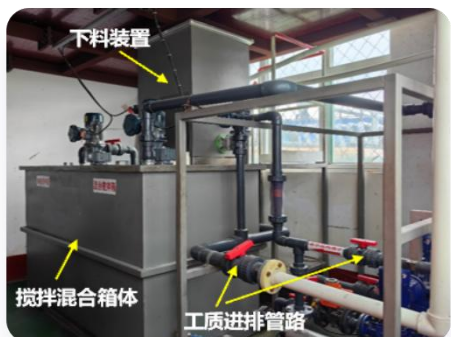
节能降温及余热利用系统



技术应用前后耗电量对比

4.4 推广及社会影响力

- 成果获中国安全生产协会科技进步奖**一等奖**，在全国高突矿井具有广泛应用前景，预期年节能效益达**30~50亿度电**以上，社会和经济效益巨大
- 鼓励采用**合同能源管理**模式推广水环泵节能技术，用户企业可享有**税收扶持**等政策措施，实现多方共赢 《关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的意见》（2010）





五

矿井一氧化碳源头治理

5.1 技术背景

□ CO高效应急处置技术总体缺乏

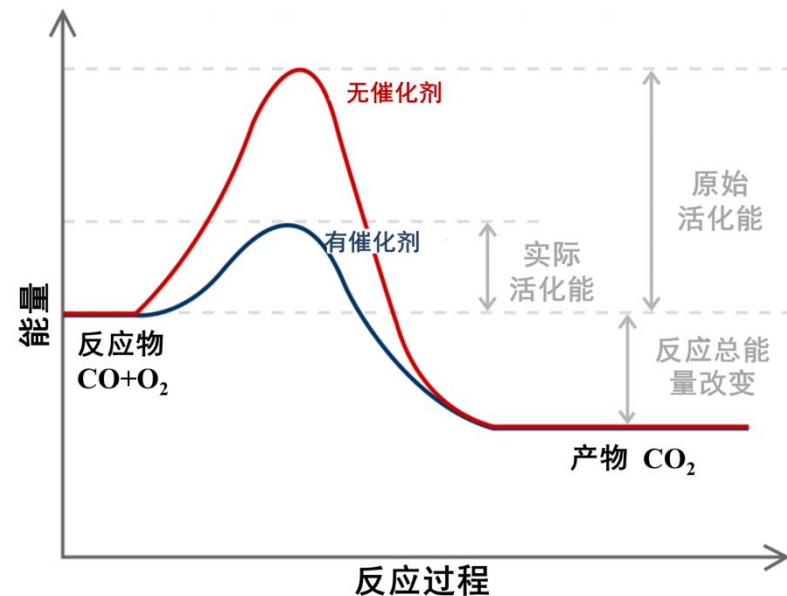
- 柴油车尾气、爆破作业等是导致CO超限的主要原因，**目前以机械通风稀释CO为主，缺乏主动式CO快速消纳技术装备，难以从源头上减量或消除CO的危害**
- 化学消纳法：**基于催化氧化原理，将CO转化为无毒的CO₂，彻底消除有毒的CO气体。**化学消纳法应用广泛，是目前处理CO最彻底有效的方法。



井下柴油车尾气排放CO超标



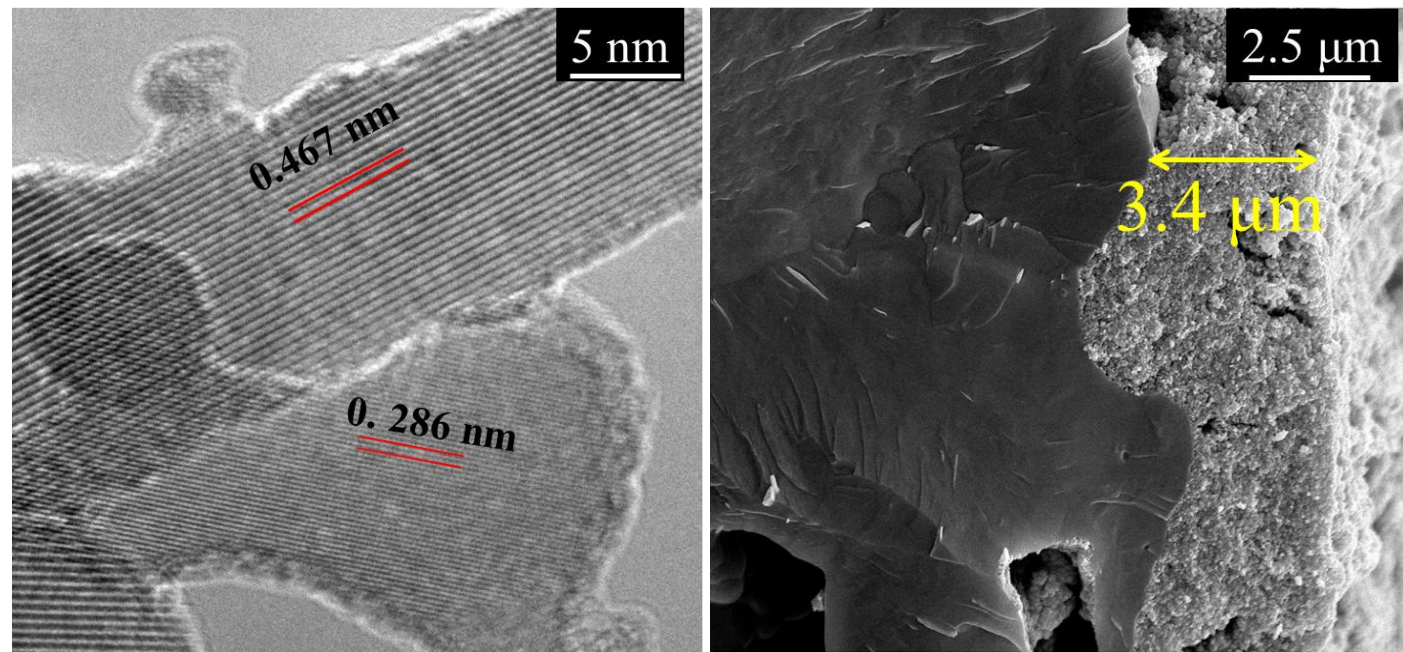
工作面机械通风



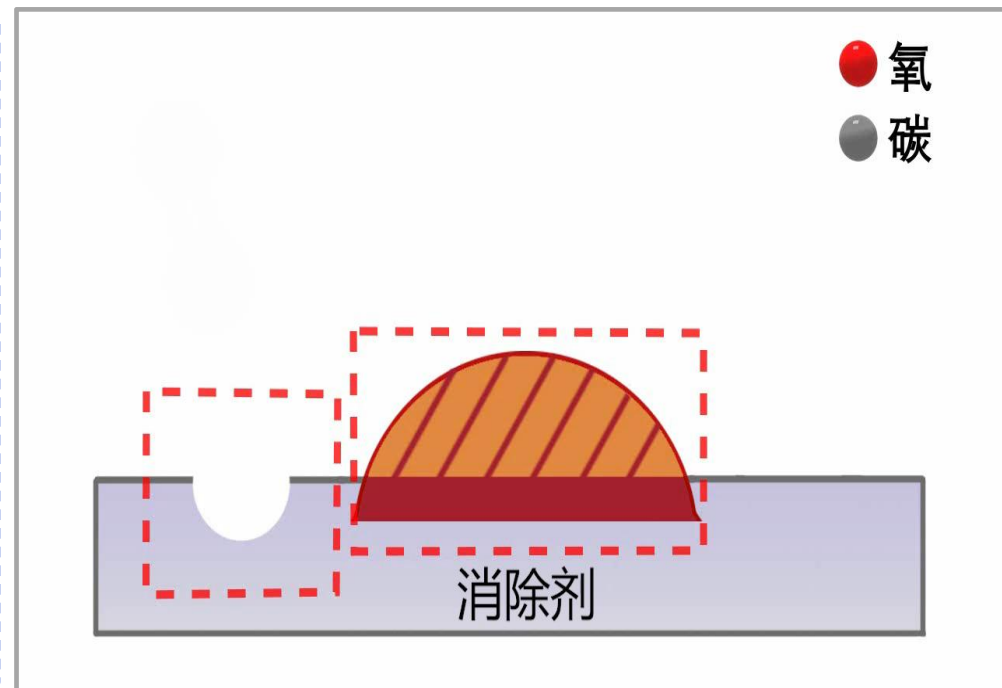
化学消纳法

5.2 技术原理

- CO消纳剂是**通过低温氧化途径将CO转化成CO₂气体** ($2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$)，从而实现CO快速消除，CO消纳剂可以显著降低CO氧化反应温度
- CO消纳剂**具有瞬间强吸附、快氧化的优势**，突破传统井下CO物理防控技术效率低、效果差的难题



高活性CO消纳材料



CO低温氧化消纳机理

5.3 防爆柴油机尾气CO高效消纳技术

- 煤矿井下配备大量支架搬运车、装载机、工程材料车、单轨吊等防爆型柴油动力装置，
尾气中CO浓度普遍在200ppm以上，部分甚至超过800ppm
- 尾气造成的井下CO频繁超限报警易导致火灾隐患误判，同时高浓度CO对作业人员健康也造成了较大威胁



皮卡指挥车



装载机

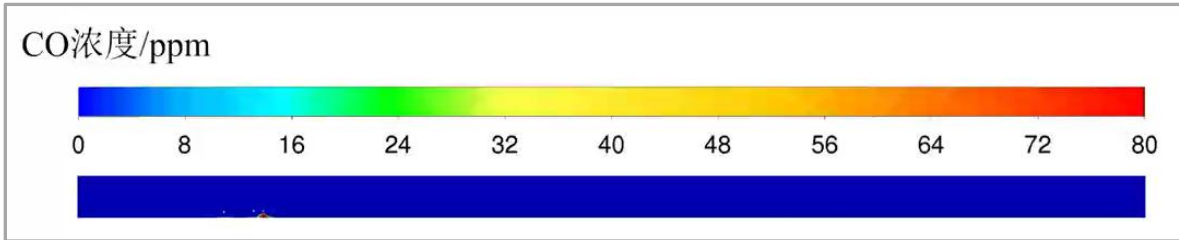


工程料车

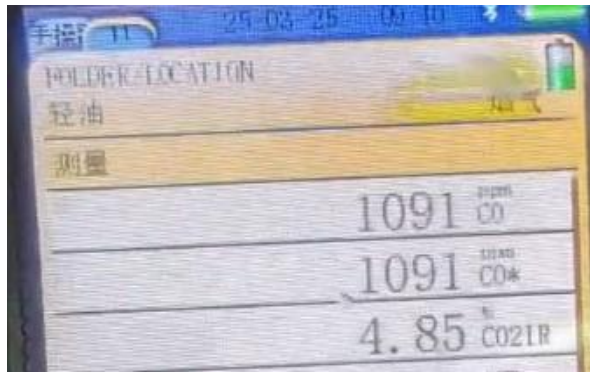


支架搬运车

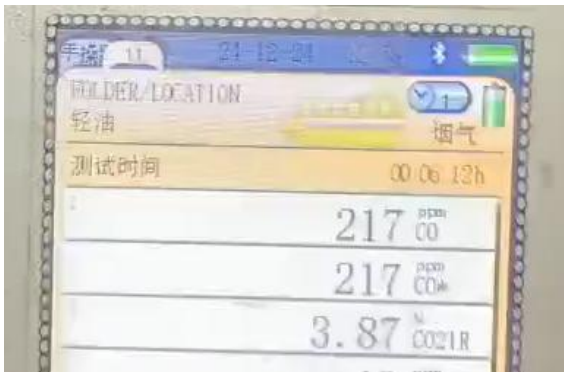
各类型防爆型柴油动力装置



无轨胶轮车井下运行



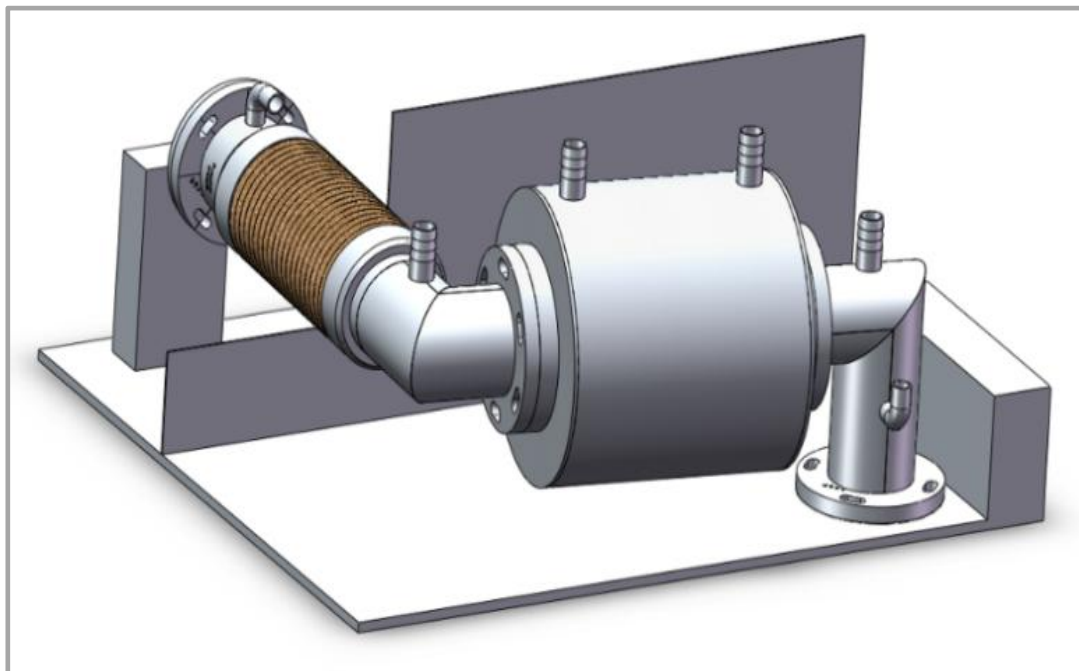
支架搬运车原排



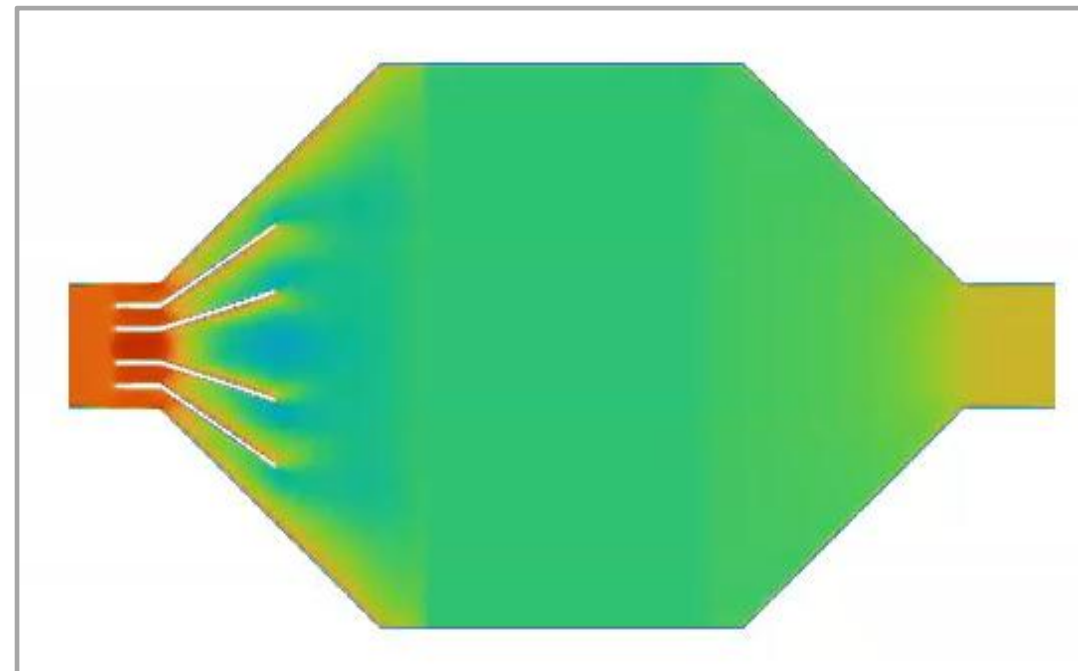
工程材料车原排

5.3 防爆柴油机尾气CO高效消纳技术

- 尾气CO高效消纳装备主要包括**CO高效消纳单元、冷却水套与连接构件**，安装在发动机出气口与防爆水箱进气口之间，不影响柴油动力装置的运行安全性
- 设计了导流管结构，尾气CO高效消纳装备内部气流分布均匀、排气背压显著降低，**安装该装备后柴油机功率下降仅在0.5%以内**，不影响柴油动力装置的正常运行



尾气CO高效消纳装备



装备内高速气流流动

5.3 防爆柴油机尾气CO高效消纳技术

- 《煤矿安全规程》中规定矿用防爆型柴油动力装置表面温度不得超过150℃，该装备冷却水套与柴油动力装置水冷系统相连接，运行过程其表面温度始终低于95℃
- 尾气温度普遍在200~350℃之间，若尾气净化装置不设冷却水套，车辆持续作业期间装置表面温度极易超过150℃，存在安全隐患

保护装置。

(二)排气口的排气温度不得超过77℃，其表面温度不得超过150℃。

(三)发动机壳体不得采用铝合金制造；非金属部件应具有阻燃和抗静电性能；油箱及管路必须采用不燃性材料制造；油箱最大容量不得超过8h用油量。

(四)冷却水温度不得超过95℃。

(五)在正常运行条件下，尾气排放应满足相关规定。

(六)必须配备灭火器。

第三百七十九条 使用的蓄电池动力装置，必须符合下列要求：

(一)充电必须在充电硐室内进行。

《煤矿安全规程》相关规定



装备表面温度



装备冷却水套构件

5.3 防爆柴油机尾气CO高效消纳技术

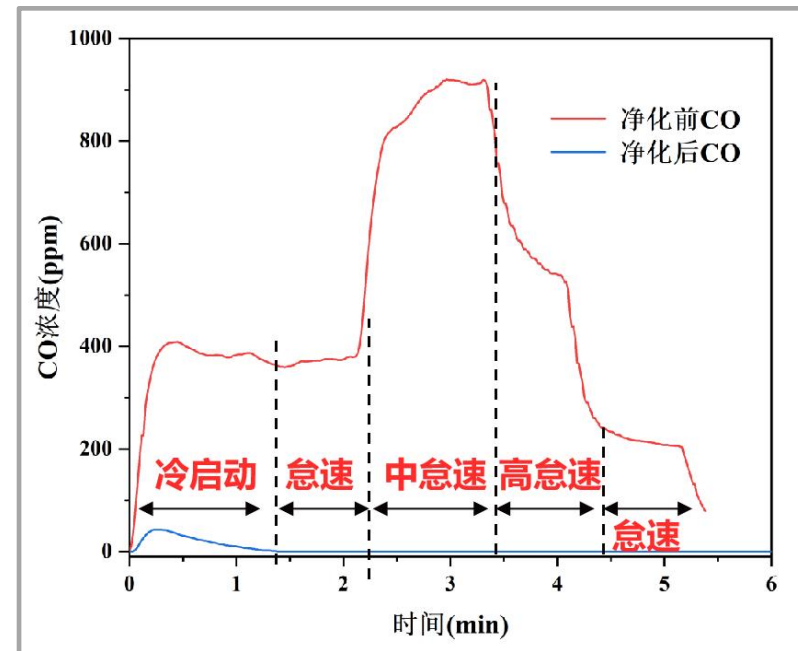
- 已对补连塔煤矿20余辆CO排放量较大的装载机与工程运输车安装了尾气CO高效消纳装备，**怠速工况下尾气中CO浓度均低于30ppm，CO消纳率达95%以上**
- 尾气CO高效消纳装备**已连续使用7个月，CO消纳效果依然未出现衰降趋势**；此外，未出现CO消纳单元堵塞导致车辆动力不足的现象



改造的高功率装载机



改造的工程运输车



装备前后尾气CO浓度

5.3 防爆柴油机尾气CO高效消纳技术

- 连续运行3个月的装载机排气口20cm处使用矿用CO传感器监测浓度在5ppm以内
连续运行6个月的工程材料车排气口处使用便携式CO检测仪监测浓度在24ppm以内



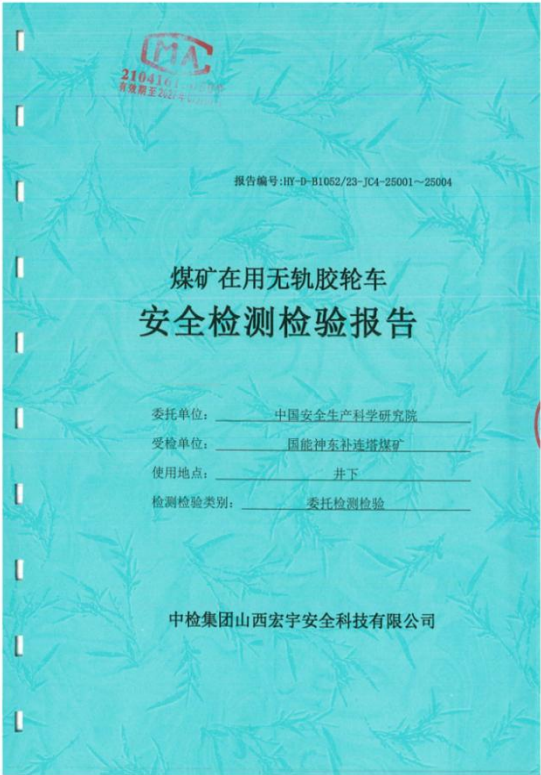
连续运行3个月的装载机



连续运行6个月的工程材料车

5.3 防爆柴油机尾气CO高效消纳技术

- 国家矿山安全监察局内蒙古局派专人进行现场考察，认为该装备CO消纳效果显著
- 该装备获得第三方CMA认证，国家矿山安全监察局发出设立无轨胶轮车尾气CO高效消纳装备应用试点的函



中检集团山西宏宇安全科技有限公司
煤矿在用无轨胶轮车安全检测检验报告

报告编号: HY-D-B1052/23-JC4-25002

第 4 页 共 6 页

三、检测检验项目及结果

1	防爆柴油机尾气中一氧化碳浓度 (B)	ppm	无轨胶轮车不运行, 柴油机在最低空载稳定转速 (简称怠速) 时 ≤ 1000ppm	6	合格
			无轨胶轮车不运行, 柴油机在最高空载转速时 ≤ 1000ppm	5	
2	防爆柴油机尾气中氮氧化物浓度 (B)	ppm	无轨胶轮车不运行, 柴油机在最低空载稳定转速 (简称怠速) 时 ≤ 800ppm	265	合格
			无轨胶轮车不运行, 柴油机在最高空载转速时 ≤ 800ppm	234	

本页以下空白。

国家矿山安全监察局

关于开展无轨胶轮车、单轨吊等设备尾气一氧化碳高效消纳装备应用试点的函

山西省、山东省、陕西省应急管理厅，国家矿山安全监察局山西局、内蒙古局、山东局、陕西局，山东省能源局，内蒙古自治区矿山安全监察局，中国安全生产科学研究院：

为有效解决矿井下无轨胶轮车、单轨吊等设备尾气导致的一氧化碳频繁超限报警问题，中国安全生产科学研究院依托科技部“十四五”国家重点研发计划“矿井下一氧化碳感控消纳一体化关键技术与装备研发及应用示范”项目，研发了无轨胶轮车、单轨吊等设备尾气一氧化碳高效消纳装备，目前已在国家能源集团神东煤炭集团公司补连塔煤矿进行了试用，取得了良好的效果。为进一步验证该设备在实际生产中的有效性和实用性，经研究，同意中国安全生产科学研究院在相关地区继续扩大试点矿山范围，现将有关事项函告如下：

一、试点工作为期3个月，在今年6月底前结束。中国安全生产科学研究院要积极向有关省级矿山安全监管监察部门沟通汇报，共同研究选取试点矿山，每个省区选取4个

试点矿山（2个煤矿、2个非煤矿山）。要会同应用试点矿山，科学制定试点方案，做好现场管理和车辆管理工作，在确保安全的前提下，多场景、多场所、多手段开展实测，不断提高完善装备性能。要认真总结经验，试点结束后，及时将相关情况报送至国家矿山安全监察局法规科技司。

二、请有关矿山安全监管监察部门积极支持应用试点工作，帮助协调解决试点、实施过程中的有关问题，并加强对有关应用试点矿山的监督指导，现场查验应用效果。如有相关重要情况或重大问题及时向国家矿山安全监察局法规科技司报告。

国家矿山安全监察局法规科技司联系人及电话：张杰，010-64464983；中国安全生产科学研究院联系人及电话：李佳，18361228058。



第三方CMA认证

关于设立尾气CO高效消纳装备试点的函

5.4 爆破作业CO同步消纳技术

- 爆破作业炸药不完全反应等会产生大量CO等有害气体，现有常规爆破CO防控方式以水炮泥、溶液稀释等手段为主，稀释或吸收CO，防控效果差且局限性大，难以实现CO快速高效消纳



爆破作业炮烟



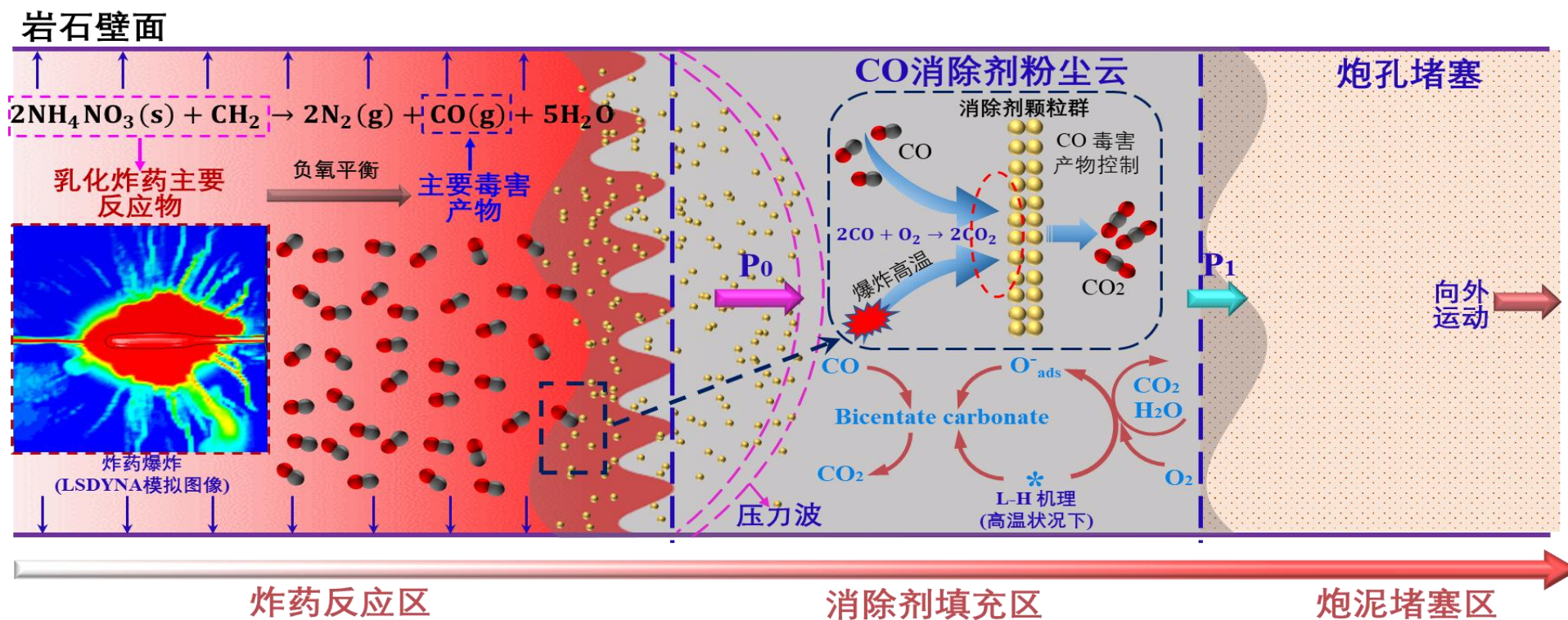
水炮泥填塞CO消除



巷道喷淋稀释技术

5.4 爆破作业CO同步消纳技术

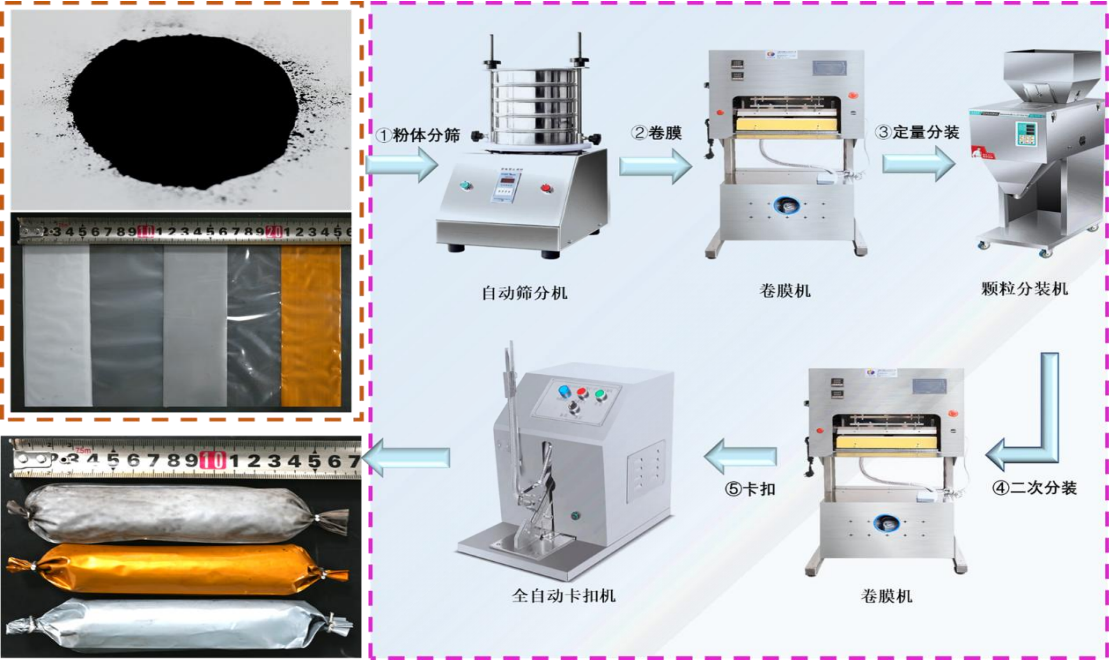
- 炸药爆炸冲击波横向高速传播，冲击力作用下CO消纳剂药包瞬间撕裂破碎，消纳剂孔内迅速扩散，爆生气态产物接触尘云，CO在化学吸附作用下扩散至消纳剂表面，与活性氧物种结合，快速降低CO气体浓度



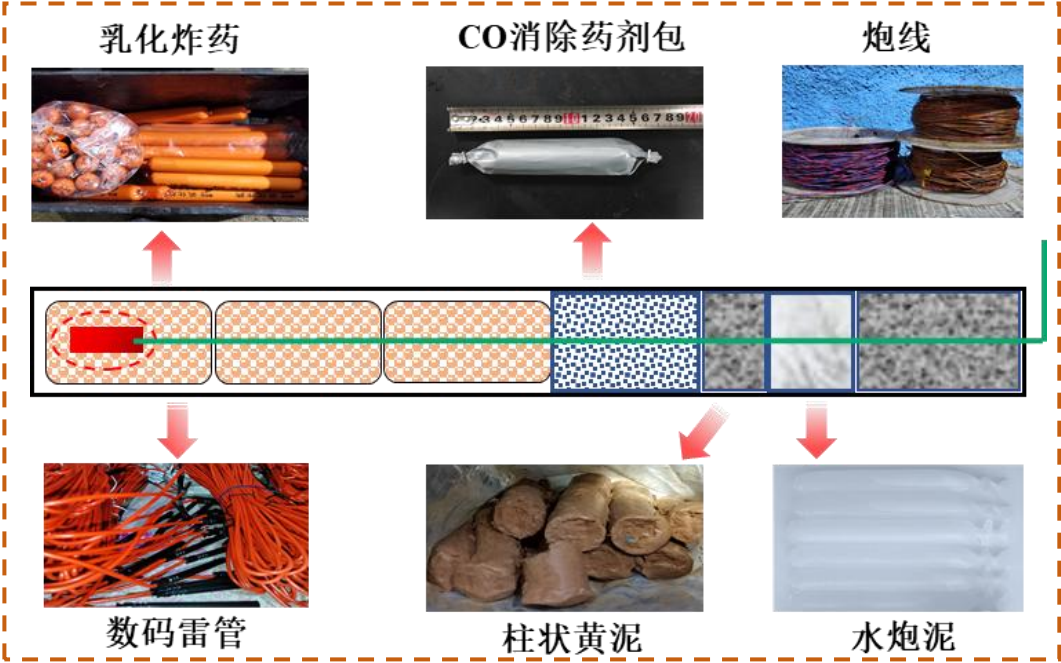
爆破作业炮孔原位CO同步消除技术原理

5.4 爆破作业CO同步消纳技术

- 通过**筛分、卷膜、定量分装**等多重工艺制作出适用于典型爆破作业场所的**CO原位消纳药剂包**，药剂包长度为140-250cm，将其填塞到炮孔内部，利用爆炸冲击波为驱动力，药剂包破裂致使消纳剂弥漫，实现CO原位同步消除



CO消纳药剂包制作流程

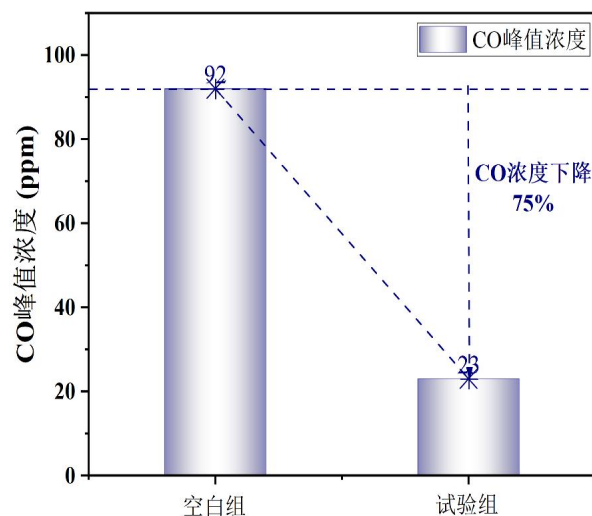


爆破CO原位消除装药结构

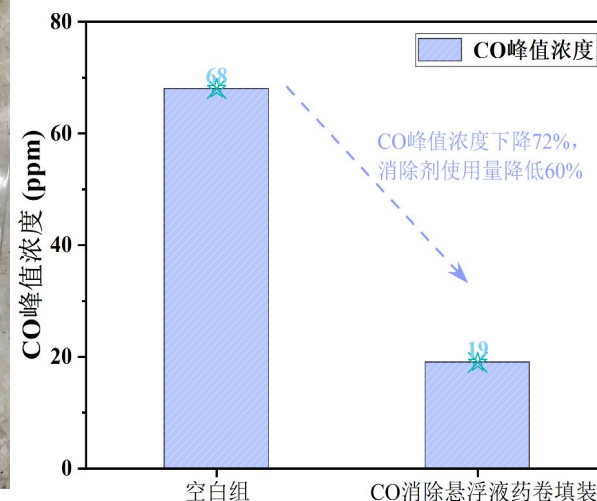
5.4 工程案例

❖ 爆破作业CO同步消纳

- 淮北矿业青东煤矿：水胶炸药32kg情况下单孔填装35g CO消纳剂时峰值CO浓度从92ppm下降到23ppm，**CO消纳率可达75%**
- 开滦集团吕家坨煤矿：**将消纳剂与水混合制成消纳剂悬浮液，取代传统水泡泥**，单次爆破76孔42kg乳化炸药，炮孔内填装0.8kg消纳剂悬浮液情况下回风处（距离迎头1300m）**CO峰值浓度从68ppm降至15ppm**



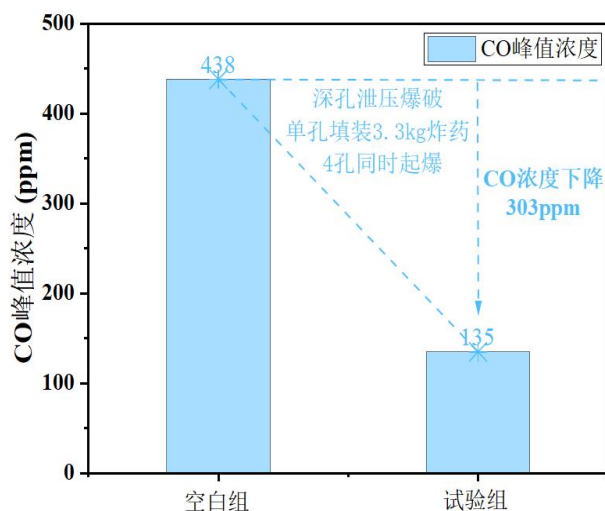
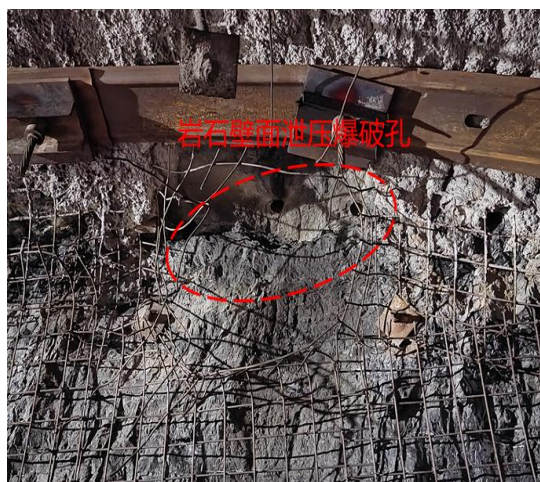
青东煤矿爆破作业面现场及CO浓度变化情况



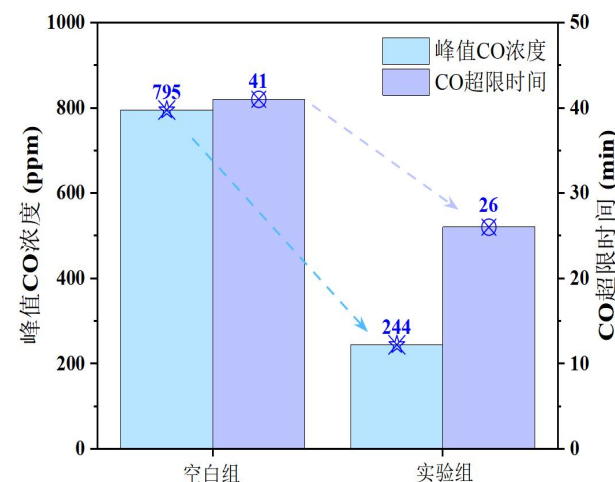
吕家坨煤矿CO消除悬浮液药卷及CO消除效果

5.4 工程案例

- 国能集团棋盘井煤矿：井下开展**巷道切顶泄压深孔聚能爆破作业**，20孔66kg炸药，单孔100g CO消纳剂时炮孔处**CO消纳率可达70%以上**。
- 陕煤集团桑树坪煤矿：水胶炸药46kg情况下单孔填装20g CO消纳剂联用消除气球10个（单个50g消纳剂）时迎头**峰值CO浓度从795ppm下降到244ppm**，**CO超限时间减少15min**，另外回风处CO传感器报警时间减少50%以上。



棋盘井煤矿泄压爆破作业面现场及CO消纳效果



桑树坪煤矿消纳剂联用消除气球现场及CO消纳效果

5.4 工程案例

矿山爆破CO消纳技术目前已授权国家发明专利7项，已在吕家坨煤矿、棋盘井煤矿、司马煤业、盖州煤矿等二十余家煤矿进行推广应用，涵盖过断层预裂爆破、泄压爆破等深孔爆破以及开拓掘进浅孔爆破作业

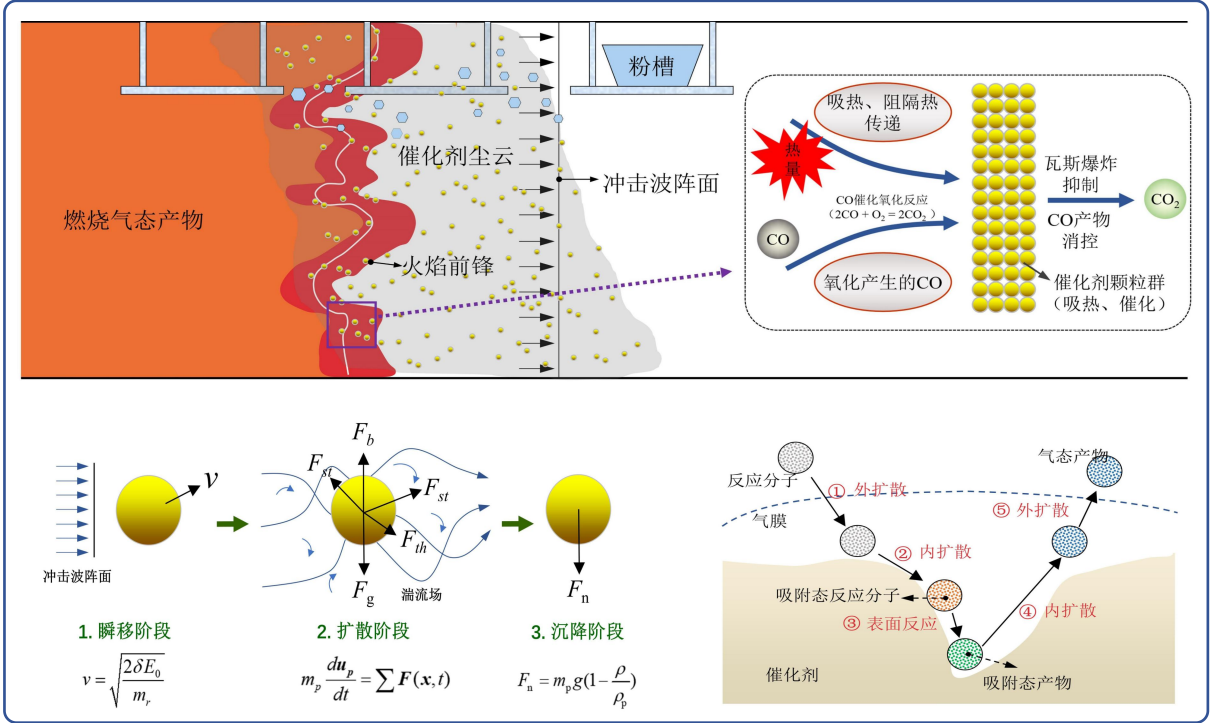


爆破CO原位同步消纳技术应用情况

- | | |
|-------|---------|
| 青东煤矿 | 桑树坪煤矿 |
| 临涣煤矿 | 永宁煤矿 |
| 吕家坨煤矿 | 一九三〇煤矿 |
| 棋盘井煤矿 | 同忻煤矿 |
| 乌东煤矿 | 安泰煤矿 |
| 盖州煤矿 | 京鲁煤矿 |
| 华阳煤矿 | 下峪口煤矿 |
| 司马煤业 | 沙曲一号煤矿等 |

5.5 瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术

➤ 利用爆炸冲击波抛扬预置于井巷顶部的CO消纳剂粉体，瞬间形成高浓度CO消纳剂尘云；消纳剂尘云与滞后的爆炸CO毒害产物充分接触，并发生CO氧化反应，从而大幅降低爆源区域CO浓度，延长涉险人员有效逃生时间



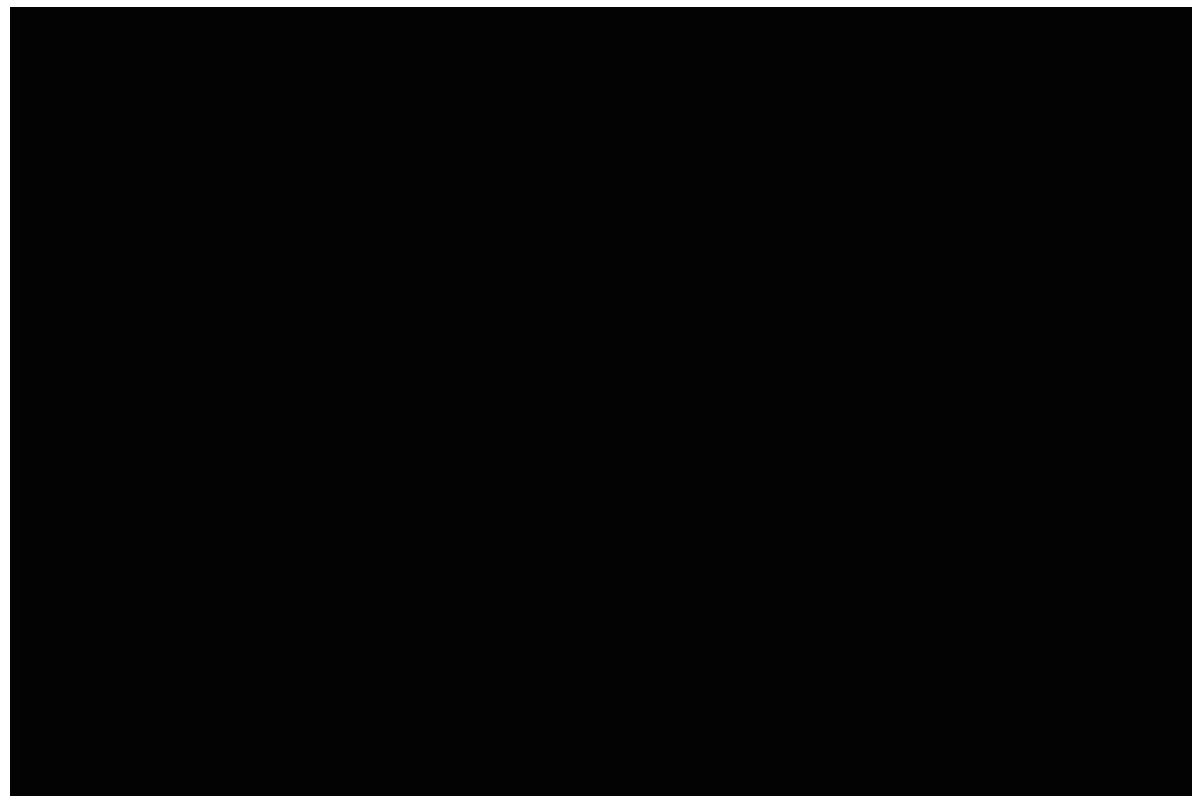
瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术原理

5.4 瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术

- 在重庆煤科院清水溪试验基地开展**全尺度瓦斯煤尘爆炸试验**，巷道全长**896m**，断面面积为 **7.2m^2** ，在**7m**处用塑料薄膜封闭，形成 **50m^3** 爆炸室；**瓦斯浓度为10%**，**煤尘浓度为 **$150\text{g}/\text{m}^3$****



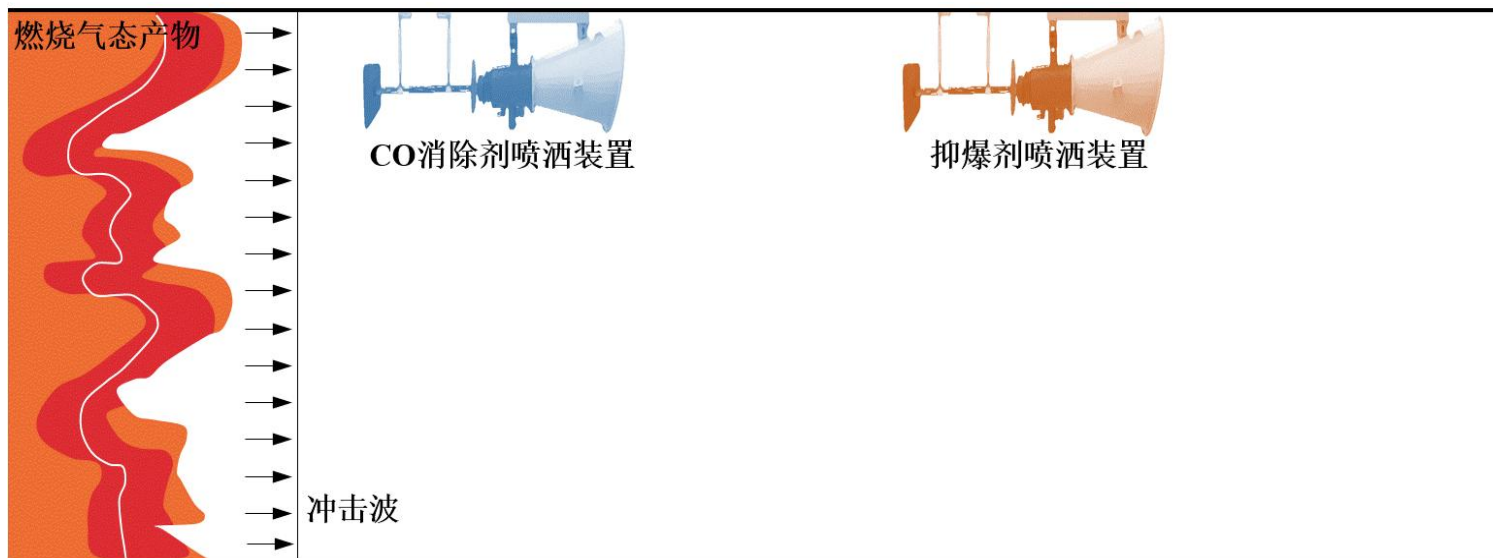
塑料薄膜封闭



爆炸室瓦斯空气混合气引爆瞬间（10倍慢放）

5.4 瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术

- 使用机械式喷洒装置抛撒CO消纳剂与抑爆剂，当爆炸冲击波撞击冲击机接收盘，装置触发装置迅速动作，高压气体携带粉剂喷出形成高浓度尘云。**在巷道40m处悬挂两台喷洒装置，装有CO消纳剂30kg；60m处悬挂一台喷洒装置，装有抑爆剂60kg**



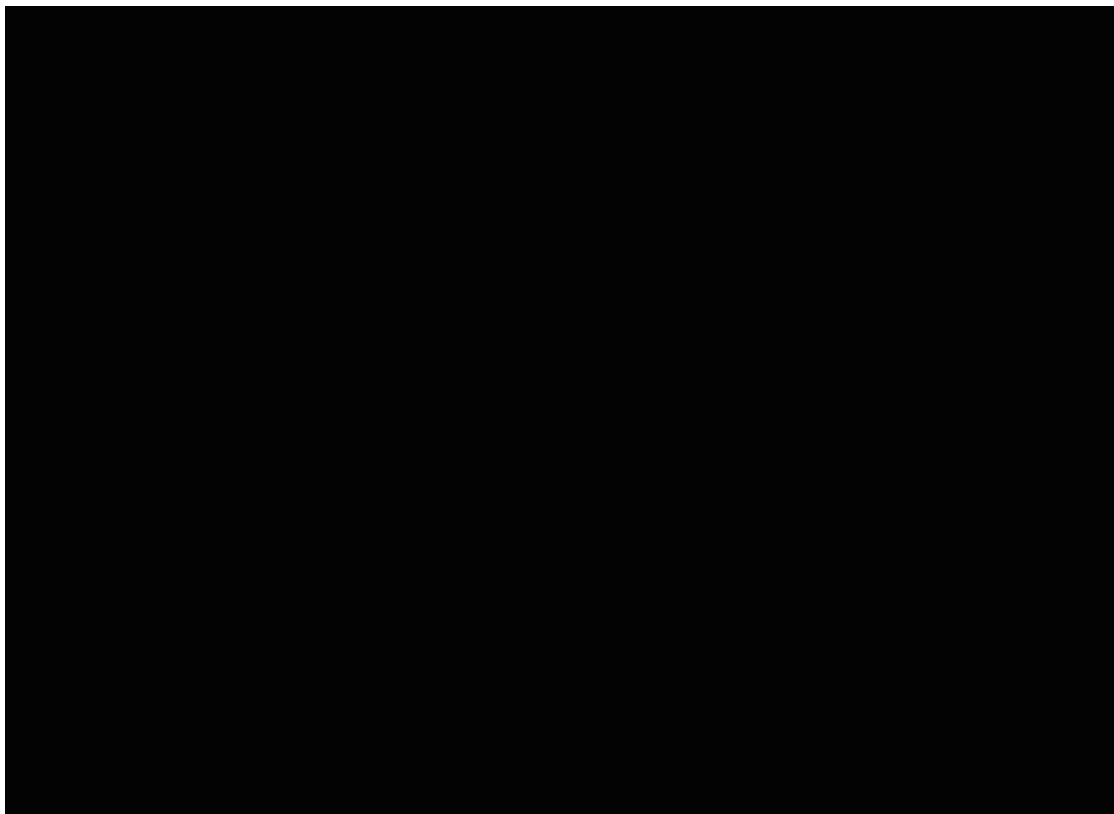
CO消纳剂与抑爆剂喷洒装置动作过程



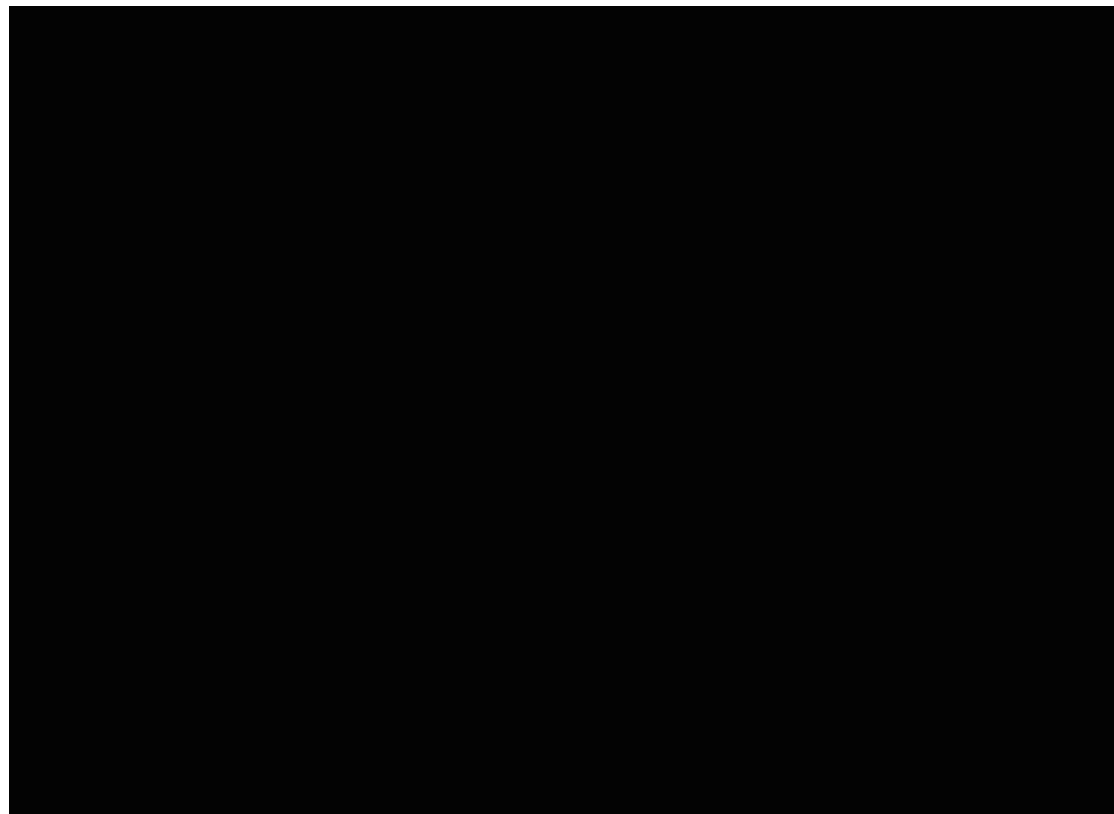
CO消纳剂喷洒装置

5.4 瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术

- 试验结果表明，在爆炸冲击波作用下CO消纳剂喷洒装置能够快速启动，**在巷道内瞬间形成高浓度消纳剂尘云，与爆炸气态产物充分混合**



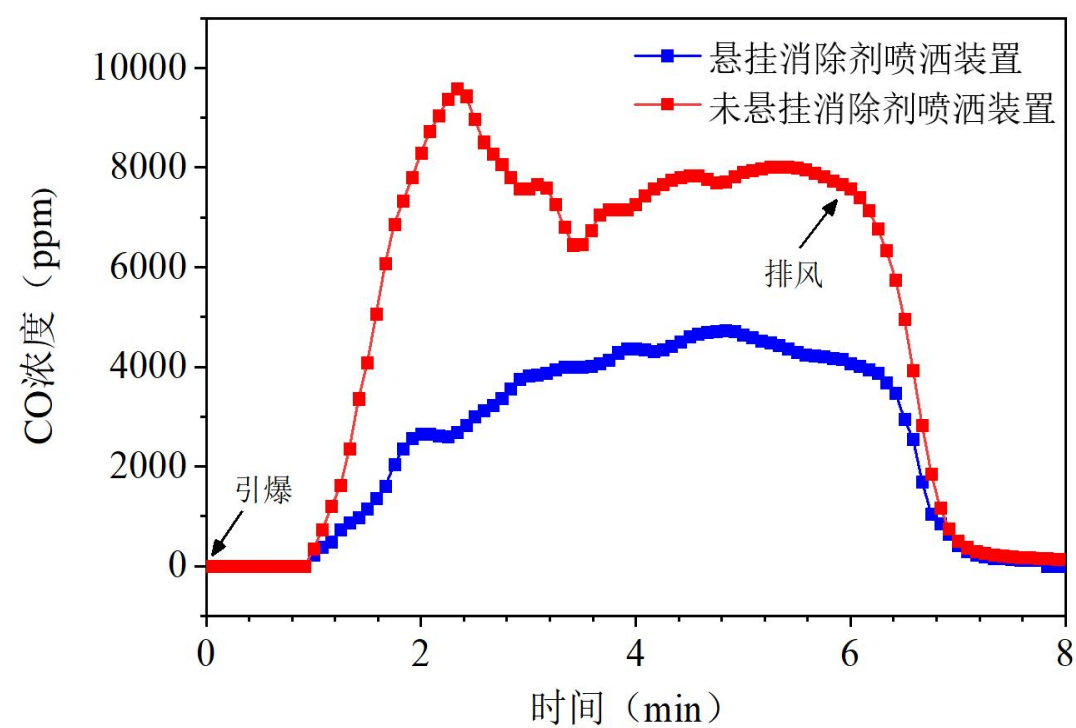
未悬挂CO消纳剂喷洒装置（15倍慢放）



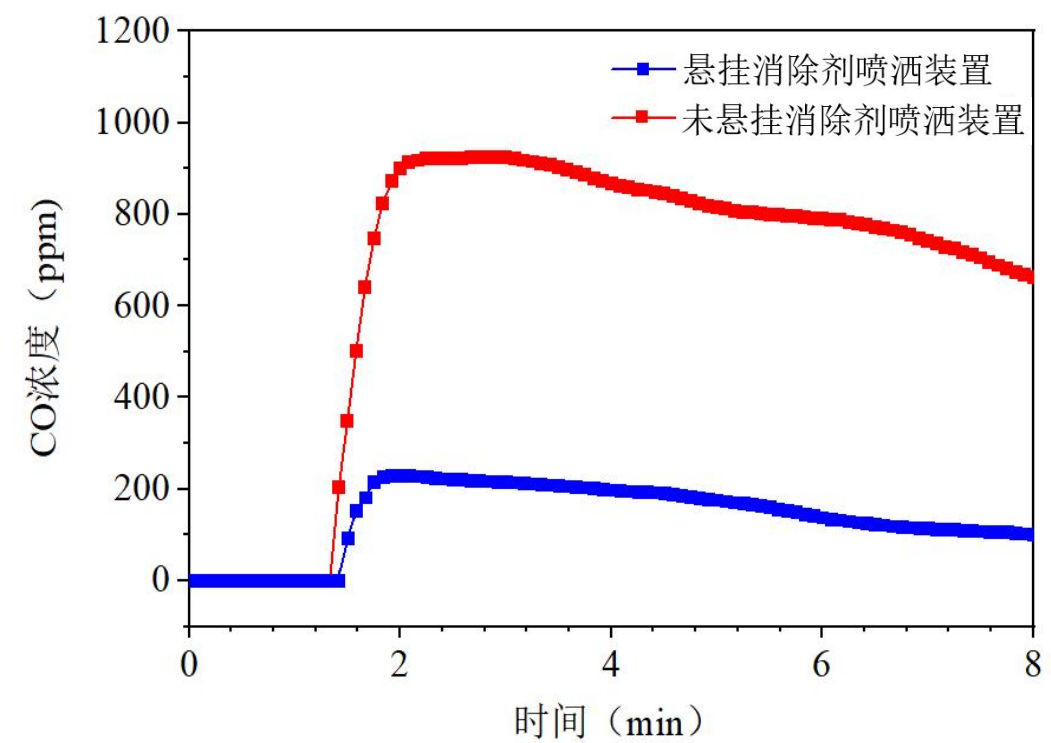
悬挂CO消纳剂喷洒装置后（15倍慢放）

5.4 瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术

- 悬挂消纳剂喷洒装置后巷道内CO浓度显著降低，距巷道端头200米与320米处CO浓度分别减小了51.3%与79%；根据有效剂量分数法计算，距巷道端头200米与320米处涉险人员有效逃生时间分别延长了7分钟与198分钟



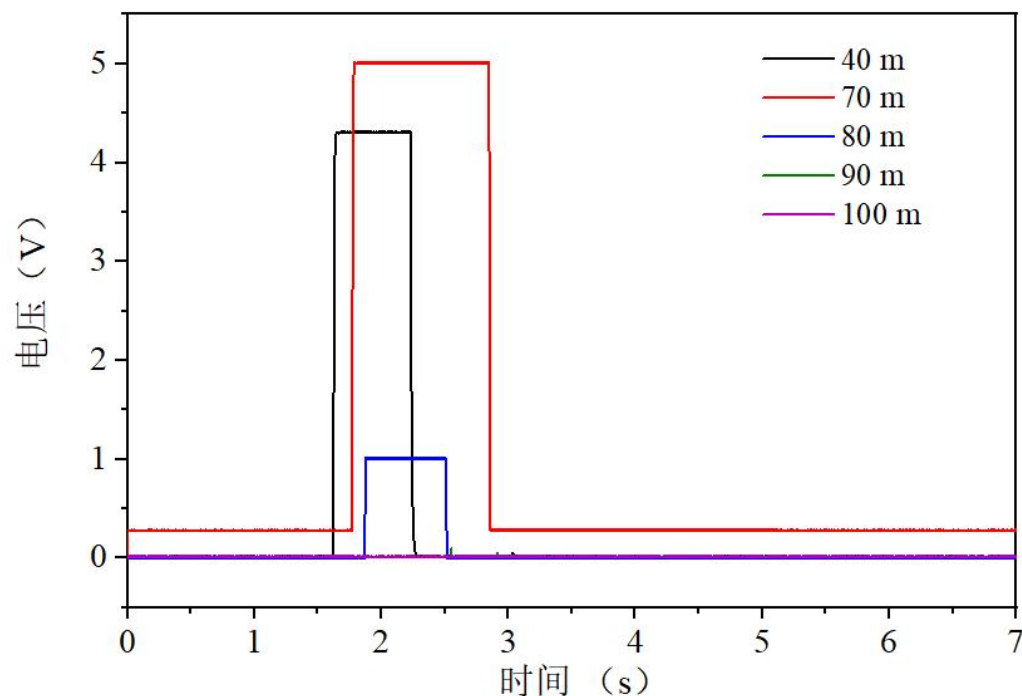
距巷道端头200米处CO浓度时变特性



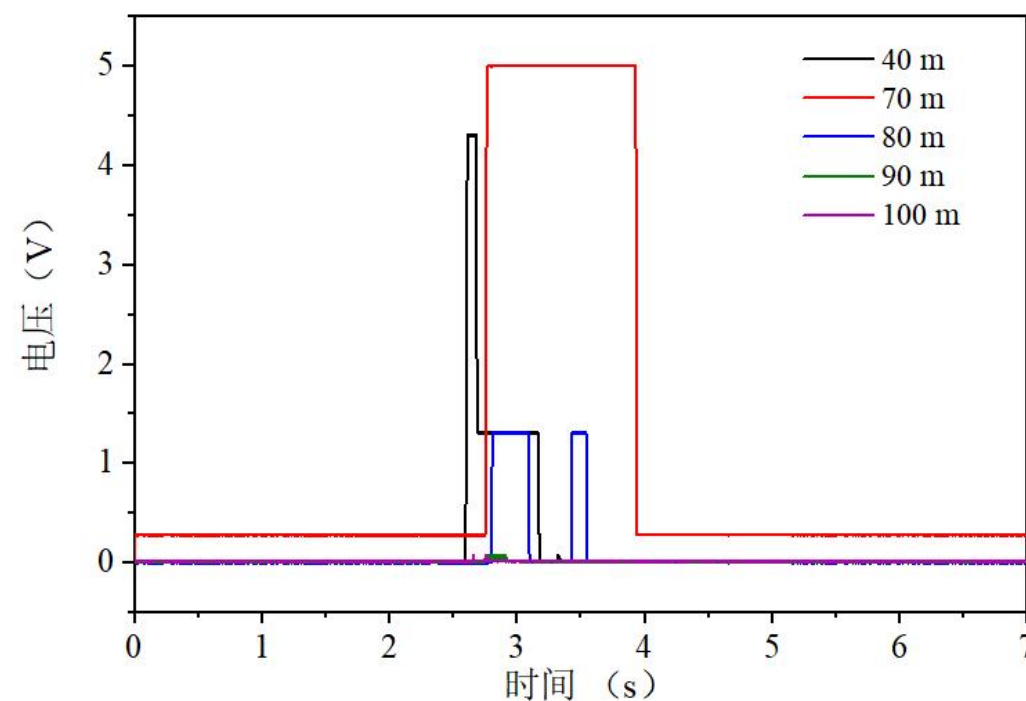
距巷道端头320米处CO浓度时变特性

5.4 瓦斯煤尘爆炸CO毒害产物主动同步消纳技术

- 悬挂CO消纳剂喷洒装置前后90米处均未检测出爆炸火焰信号，且各测点出现火焰信号的时间间隔、火焰信号强度基本一致，说明**爆炸火焰的传播距离与强度未出现明显变化，释放CO消纳剂粉体对抑爆装置的抑爆性能没有影响**



不同测点爆炸火焰曲线变化（未安装消纳剂喷洒装置）



不同测点爆炸火焰曲线变化（安装消纳剂喷洒装置）

汇报结束 谢谢！

zhoufb@chinasafety.ac.cn



中国安全生产科学研究院
China Academy of Safety Science and Technology

