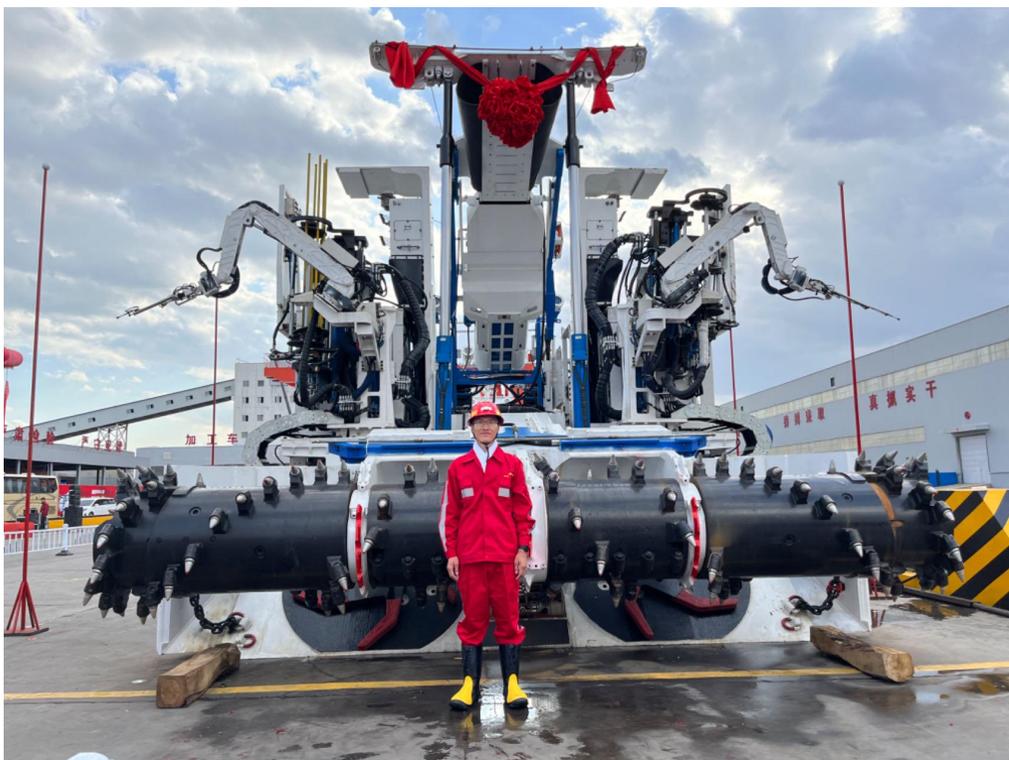


# 个人简介



## 王子越，副研究员

- 主要从事煤巷智能快速成巷成套技术与装备研发
- 首套钻锚一体化智能快掘成套装备入选2022年度“央企十大国之重器”（与C919大飞机等并列）
- 主持和参加了各类科研项目20余项。获得省部级科技奖励8项，其中一等奖5项，二等奖2项，三等奖1项
- 获得中国煤炭科工集团首届创新创业大赛一等奖
- 发明专利40余项（第1完成人6项，前3完成人13项）
- 发表核心以上论文15篇

联系方式：13811585584

邮箱：wangziyue@tdkcsj.com



**中国煤炭科工集团**  
开采研究院有限公司  
CCTEG COAL MINING RESEARCH INSTITUTE

# 煤巷智能化快速掘进装备与成套技术

---

**汇报人：王子越**

**中煤科工开采研究院有限公司**

**2024年09月**

# 汇报目录

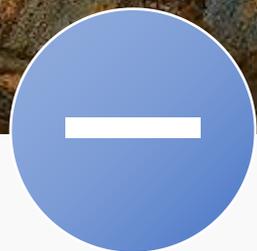
**一 前言**

**二 巷道掘进与支护技术发展现状**

**三 巷道掘进自动化与智能化技术**

**四 新一代快速掘进成套装备**

**五 结论与展望**

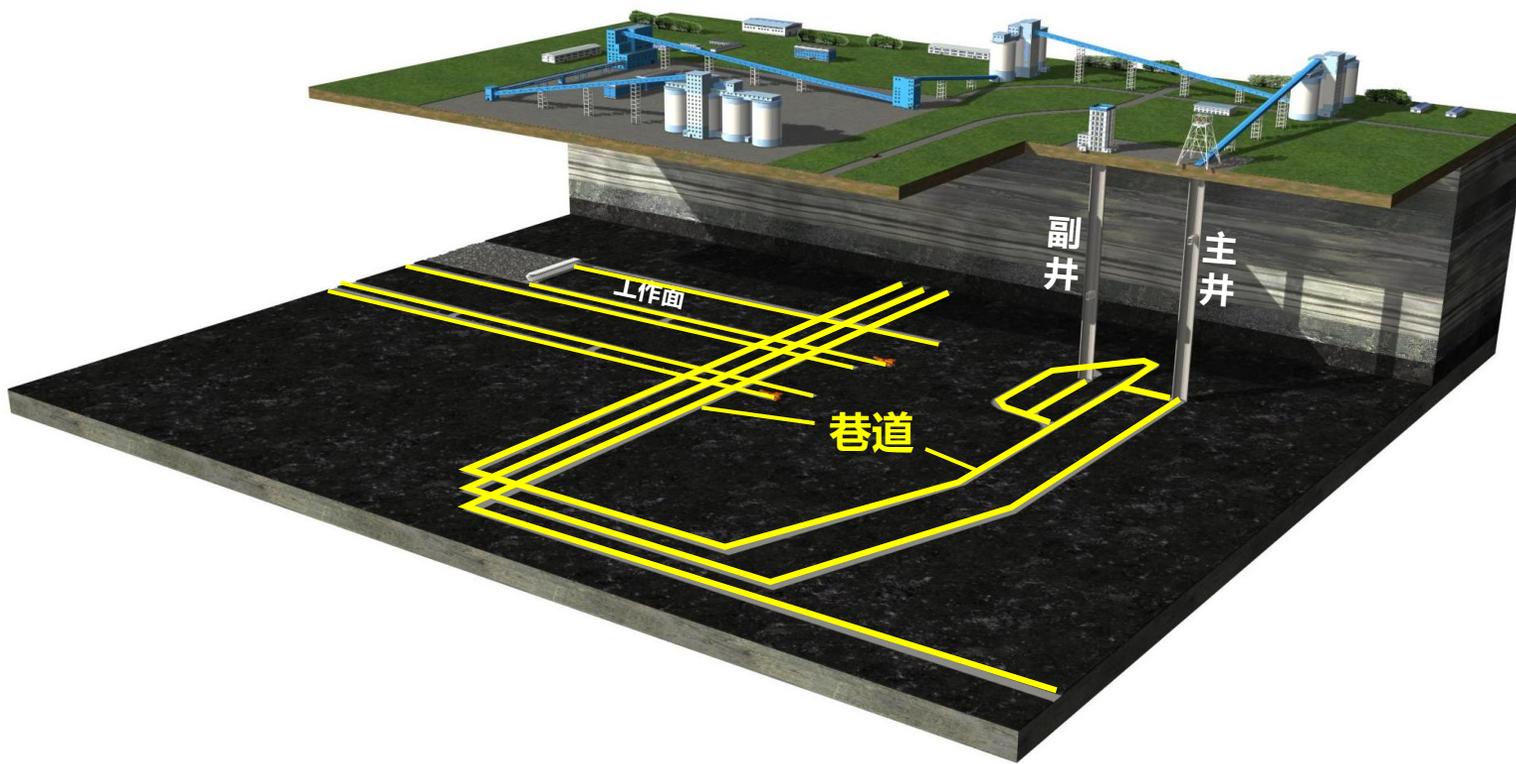


# 前言

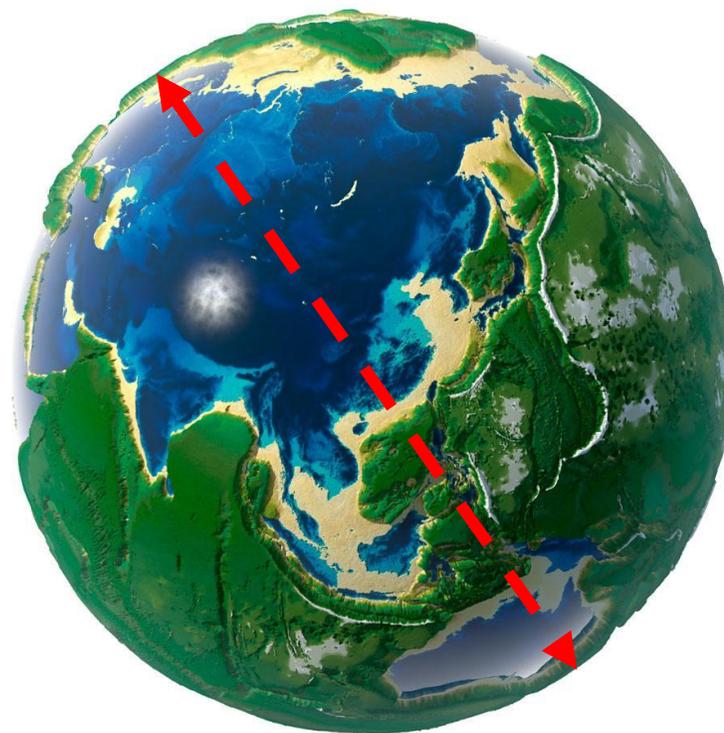
# 一、前言



我国以井工开采为主。井工煤矿数量占90%以上，产能占85%。需要在井下开掘大量巷道（**12000km/年**），规模巨大，世界第一。



井工煤矿开采示意图

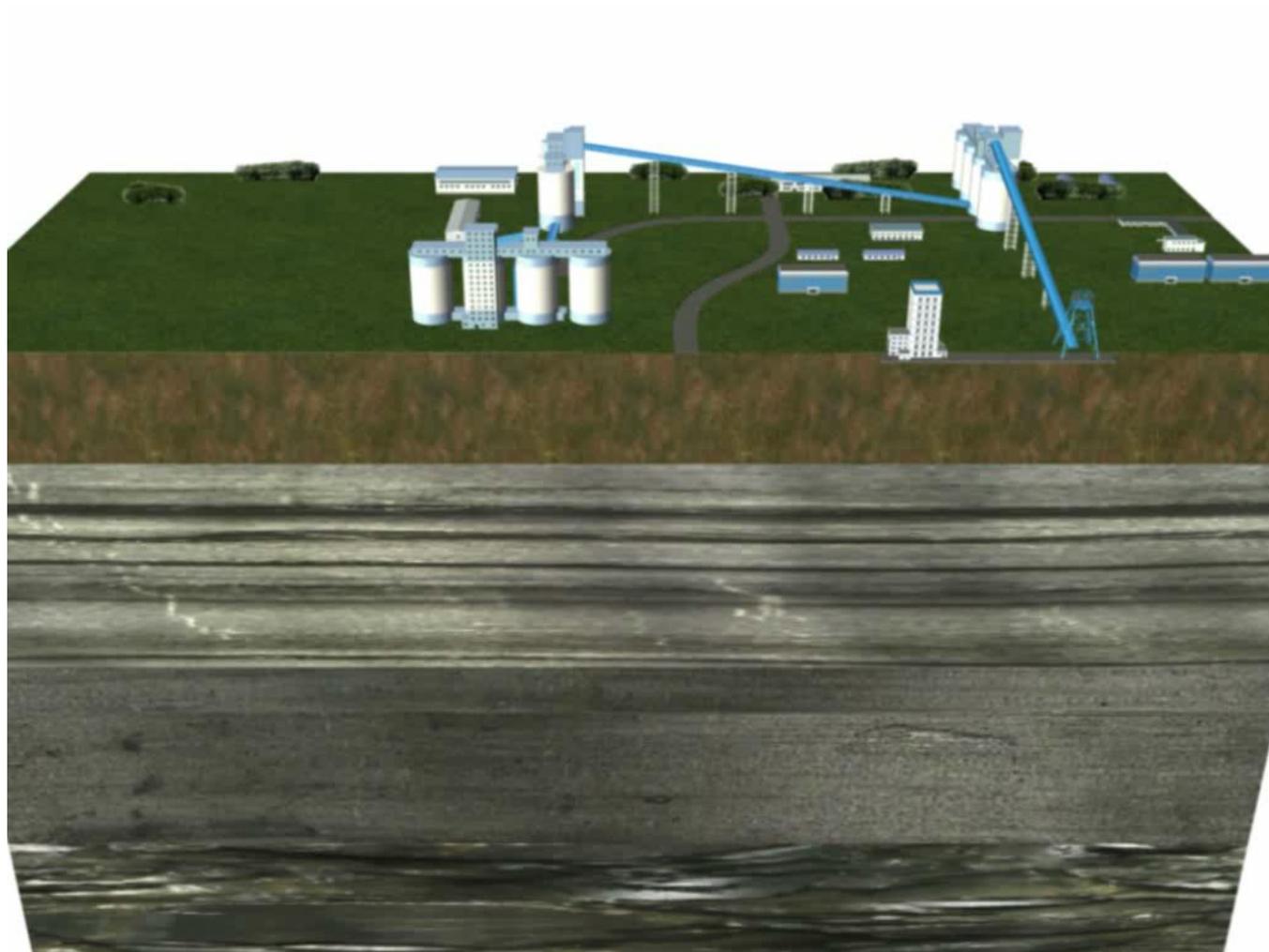


每年新掘巷道长度相当于地球直径



## ■ 软岩、强采动、大变形是我国煤矿巷道的主要特征

- 煤系地层强度低。煤  $\leq 20\text{MPa}$ ，岩石  $10\text{-}60\text{MPa}$ 。
- 构造发育，围岩破碎。
- 东部地区采深大，地应力高。
- 80%巷道受采煤工作面采动影响。
- 允许巷道有较大变形，但必须稳定。

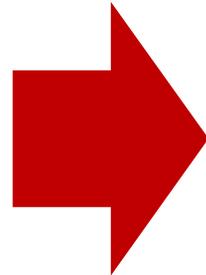




## ■ 成巷工序（煤巷）

- ✓ 掘进（落煤、装煤）；
- ✓ 支护（临时支护；永久支护）；
- ✓ 运输（煤炭、材料）；

## ■ 成巷速度取决于

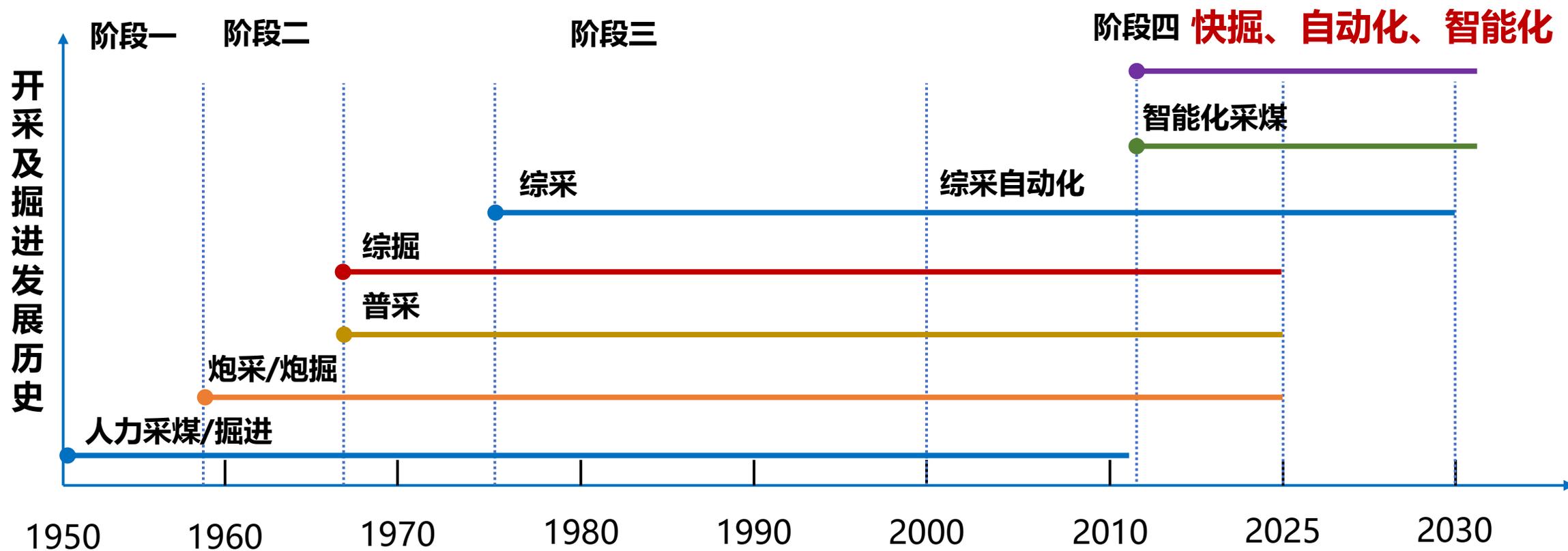


- ✓ 巷道地质与生产条件；
- ✓ 掘进工艺与设备；
- ✓ 支护形式参数工艺及设备；
- ✓ 后配套运输；
- ✓ 各个环节的相互匹配性。

# 一、前言



## 巷道掘支技术发展落后于采煤技术，已成为煤矿智能化建设的短板



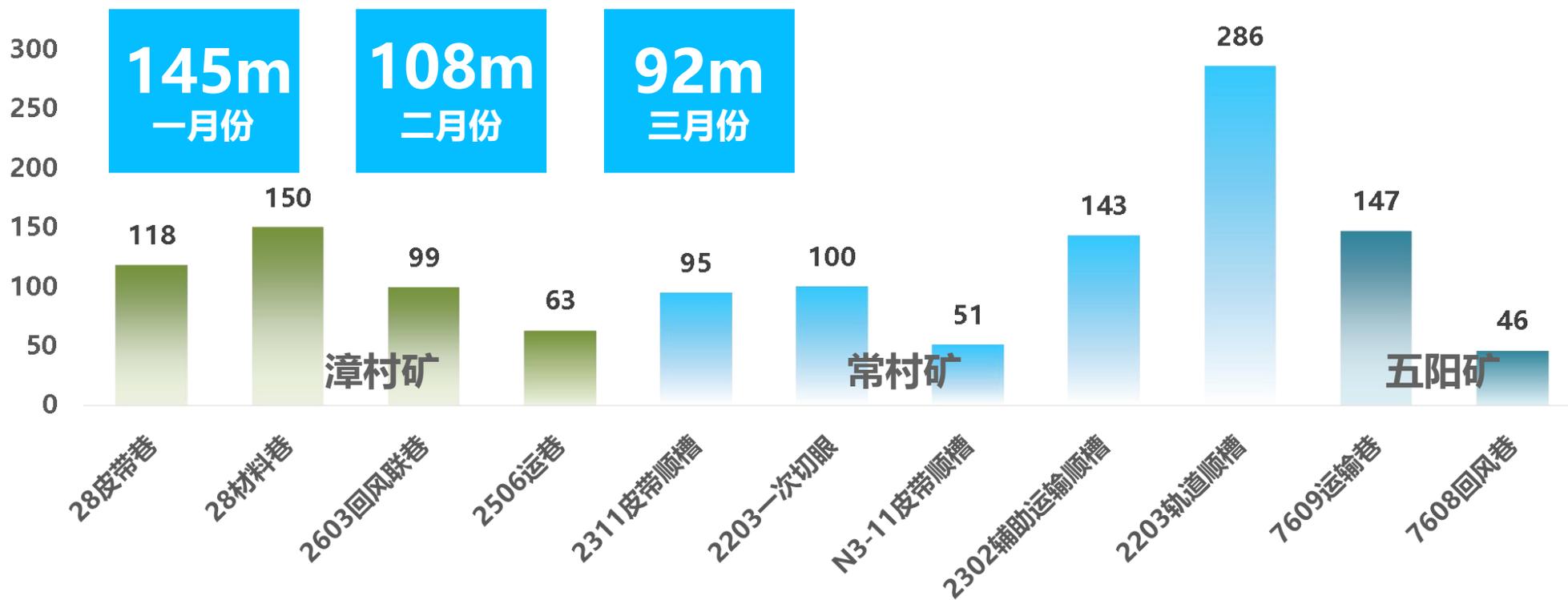
# 一、前言



## ■ 我国煤矿掘进呈现两大特点

### 特点一：地质条件复杂多变，掘进技术发展极不均衡

陕北、神东等围岩完整，长距离空顶、空帮作业条件，最高月进尺达 **3000m**；山西等占全国 **90%** 以上一般及复杂地质条件矿井，围岩松软破碎，平均月进尺不足 **200m**。



# 一、前言



## 特点二：掘进机械化、自动化程度低、用人多，事故多，环境差



掘进面 **1.6万** 个，掘支人员超 **70万**，是回采人员的 **3** 倍，支护、辅助运输等环节 **高度依赖人工**

掘进面水、瓦斯、顶板、粉尘、冲击地压严重威胁人员安全，事故起数与死亡人数占事故总起数和死亡人数均超 **50%**



常规喷雾下掘进面粉尘浓度  **$100\text{mg}/\text{m}^3$**  以上，是国家标准 **25** 倍





## ■ 煤矿掘进作业“卡脖子”难题

**难题一**  
**大部分条件**  
**掘支不能平**  
**行作业**



悬臂式掘进机



单体顶锚杆钻机



帮锚杆钻机

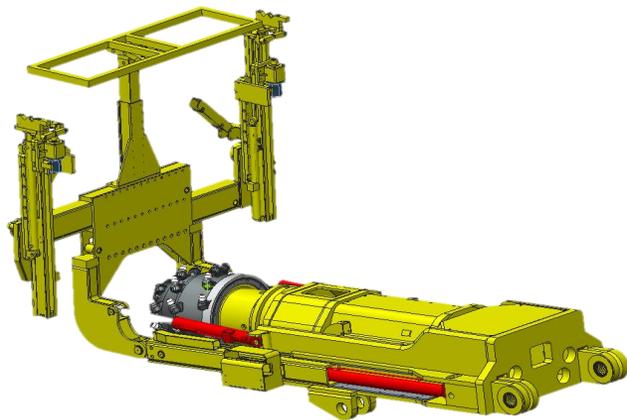
**80% 以上条件要求对顶板和两帮及时支护，掘进和支护反复交叉换位作业，相互干扰，不能平行作业，形成有效作业线。**



## ■ 煤矿掘进作业“卡脖子”难题

### 难题二

### 临时支护力低



机载式临时支架



迈步自移式临时支架

临时支护主要有4种：前探梁、支柱加横梁、机载临时支护装置和交叉迈步式自移支架。只起**临时防护**作用，不能主动支护围岩；不能创造掘支平行作业所需空间；**反复支撑**，破坏顶板；**对两帮无支护**作用。

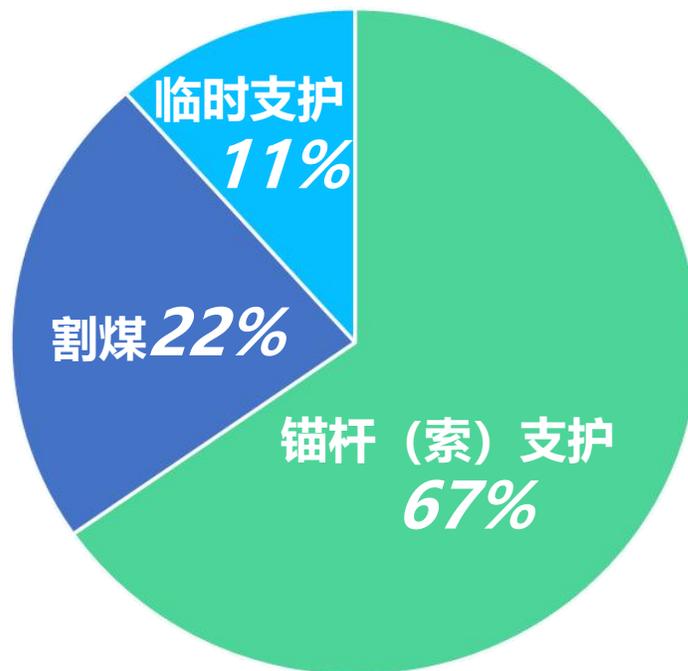


## ■ 煤矿掘进作业“卡脖子”难题

### 难题三

锚杆锚索支护工

序多、用时长



**锚杆（索）支护是巷道主体支护形式，作业过程包括：铺联网、安装钢带、打孔、安装锚固剂、搅拌锚固、预紧等多个环节，支护用时占成巷时间约 70%，支护工人数占掘进队组约 70%。**



## ■ 煤矿掘进作业“卡脖子”难题

### 难题四

单机自动  
化程度低  
多机协作  
能力差



悬臂式掘进前进方向、截割路径规划、截割速度控制均依赖人工完成；支护由人工操纵单体气动锚杆钻机完成；掘进、支护、运输设备之间缺乏通信手段，协同作业能力较差。

# 一、前言



## ■ 煤矿掘进作业“卡脖子”难题

**难题五**  
**机械设备**  
**可靠性差**  
**整体开机**  
**率低**

区队	影响时间 (min)	当班开机率	原因
连掘一队	480	0	锚杆机右后驱动轮螺栓断
连掘二队	95	72.7%	锚杆机右牵引电机减速器螺栓断
	36		地测放线
连掘三队	158	67.1%	煤机故障80min,主运影响56min, 煤机跳闸22min
掘锚四队	50	52.5%	泵接触器无反应
	178		架棚
连掘五队	178	60.1%	煤机运输机刮板链断
合计	1175		其中机电故障影响961min, 其它影响214min

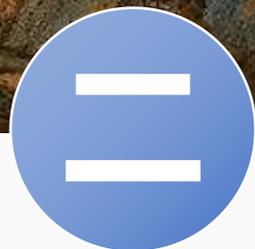
某矿井下跟班开机率记录

掘进设备工作环境苛刻，**工况复杂多变**。国内掘进设备整体**可靠性较低、故障率高、开机率低**。设计、制造、配套水平有待提高。



**相比采煤工作面，巷道掘进与支护已成为煤矿自动化、智能化建设的短板。**

**必须针对我国不同地质条件，开展有针对性的集中攻关研究，形成不同形式的快速掘进、支护技术与装备，使掘进与支护作业由依靠人工到全面机械化，再到自动化、智能化，减人、提效，保障安全。**



# 巷道掘进与支护技术发展现状

# 二、巷道掘进与支护技术发展现状



我国  
现有  
掘进  
与支  
护技  
术

1、较好条件煤巷掘进  
(构造少, 煤系地层  
完整)

单巷掘进

- ✓ 掘锚机组+后配套
- ✓ 全断面矩形掘进机

双巷掘进

- ✓ 连采机+锚杆台车

2、一般及复杂条件煤  
巷掘进 (构造较多, 围  
岩强度低, 完整性差)

单巷掘进

- ✓ 悬臂式掘进机+单体锚杆钻机
- ✓ 悬臂式掘进机+临时支架+锚杆台车
- ✓ 悬臂式掘锚一体机
- ✓ 悬臂式掘进机+锚杆台车

3、岩巷掘进

✓ 炮掘

✓ TBM

✓ 重型悬臂式掘进机

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——掘锚机组



山特维克MB670

母杜柴登  
营盘壕  
红庆河



久益12ED30

马脊梁, 等

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——掘锚机组



铁建重工EJMY270/4-2

曹家滩等



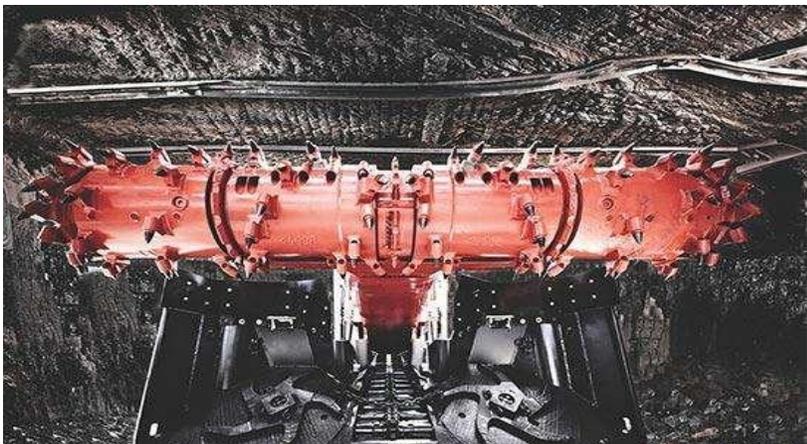
太原院EJM340/4-2H

黄陵、凉水井等

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状

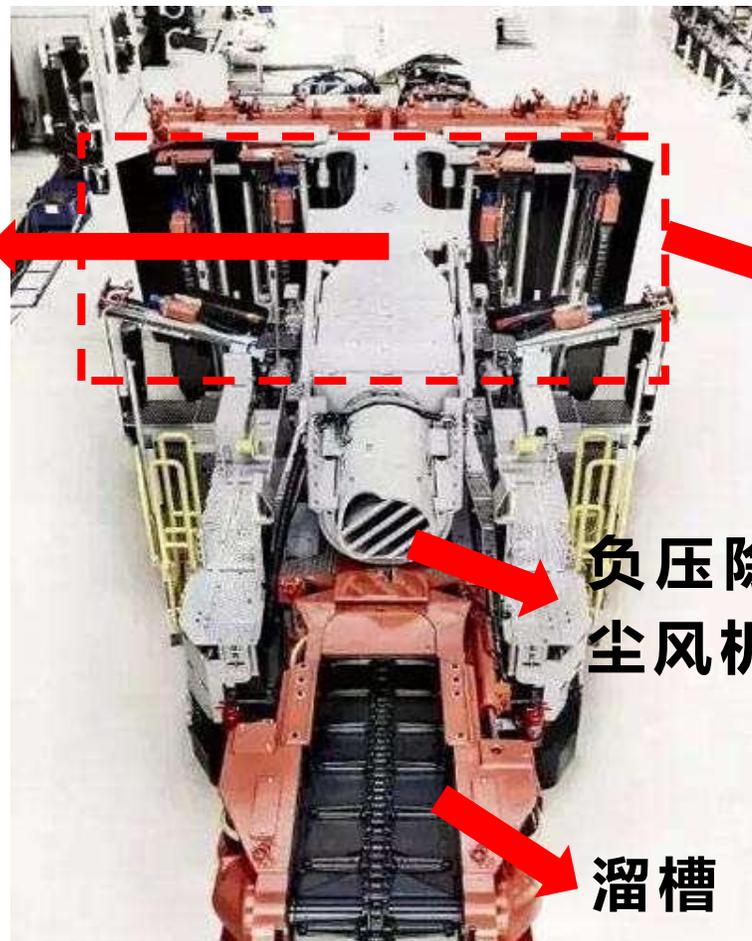


### ■ 较好地质条件煤巷掘进——掘锚机组



- ✓ 截割时机身不动，推进油缸推动滚筒割煤，可向前推进1m；
- ✓ 割煤时可支护作业。

支撑架：  
撑网  
+ 临时  
防护顶  
板



4台顶钻  
2台帮钻

负压除  
尘风机

溜槽

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——掘锚机组

作业工艺：以母杜柴登30208工作面顺槽为例

#### 总体情况

掘锚平行作业，一根锚杆**4min**。最小空顶距**2.5m**(滚筒直径+顶钻到滚筒距离)，最大空顶距3.5m；帮上部2根锚杆空帮距**4.5m**(帮钻滞后顶钻1m)，帮下部3根锚杆最小空帮距9.5m；月进尺达到**1000m**。

#### 作业人员安排

掘锚机司机1人；操作顶、帮锚杆钻机4人；打设帮下部锚杆6人；清理浮煤4人；连运破碎机司机1人；皮带机司机1人，计**17人**。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——掘锚机组



### 先进性

- ✓ 掘锚平行、全宽截割、一键启动；
- ✓ 钻臂电磁控制，锚杆、索自动施工；
- ✓ 定位导航；
- ✓ 连续运输，机尾自移；
- ✓ 机载临时支护；
- ✓ 随机探测，掘探一体；
- ✓ 多机协同、自主跟机。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——掘锚机组

#### 掘锚机组作业效率影响因素

- ✓ 截割扰动大，空顶距相对较大，局部易片帮、漏顶；
- ✓ 过断层等地质构造困难；
- ✓ 帮锚杆施工不便；
- ✓ 片帮、底板浮煤需人工清理；
- ✓ 重量超过100t，易扎底。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——护盾式掘进机器人

陕煤集团西安重装西煤机公司开发出护盾式智能掘进机器人，由截割、临时支护、钻锚、锚网运输机器人、电液控平台等组成。该系统集截割、自动运网、自动钻锚为一体，具有一键启停、定向掘进、掘锚平行、多机器人协同等功能。在榆北小保当煤矿应用，单日最高进尺52m。



护盾式智能掘进机器人

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——全断面掘进机+后配套



该套设备由太原研究院、北方重工、神东公司联合研发，包括全断面掘进机、跨骑式锚杆台车、破碎转载机、可弯曲胶带、自移动力站、迈步自移动式机尾等。神东大柳塔矿试验，日最高进尺 **132m**，月最高进尺 **3088m**。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件煤巷掘进——全断面矩形掘进机

中煤科工集团上海研究院研制了MJJ3800×5800全断面护盾式矩形掘进机，实现全断面矩形断面一次截割、掘支一体化和掘支平行作业。巷道成型质量高，具有精确导向和定位、智能化远程实时在线监控等功能。在神东哈拉沟煤矿完成运输顺槽3409m掘进。



## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 较好地质条件多巷掘进——连采机+锚杆台车

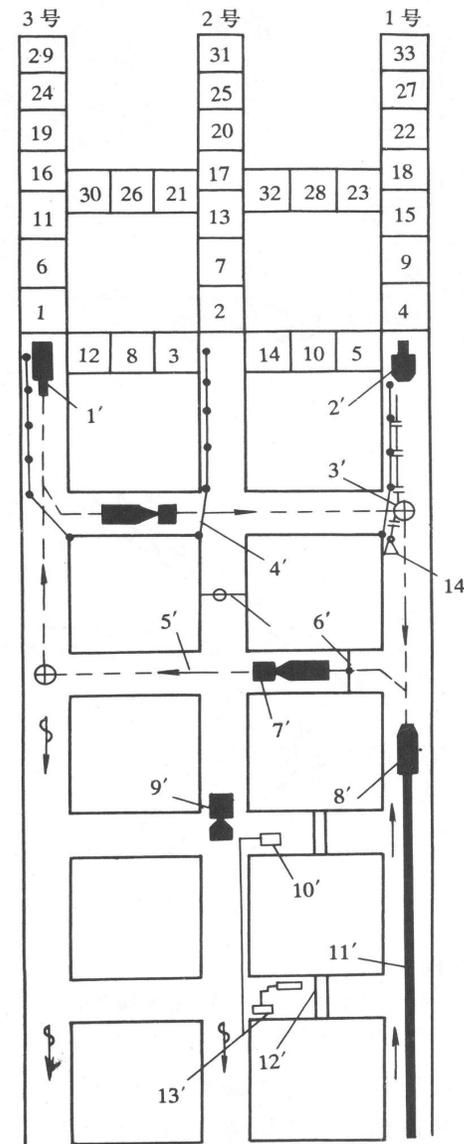


太原研究院EML340D型连续采煤机



CMM4-20煤矿用液压锚杆钻车

适用于少数地质条件简单，顶、底板条件好的矿区，  
神东多巷联合掘进最高**3060m/月**。



## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 一般及复杂条件煤巷掘进——悬臂式掘进机+单体锚杆钻机



悬臂式掘进机



单体顶锚杆钻机



帮锚杆钻机

- 以山西、山东、两淮等为代表，顶板较破碎，需“掘一锚一”；煤体破碎，掘进扰动下易片帮；
- 我国主要掘进支护方式，占比 90% 以上；
- 全国平均 180m/月，大型煤矿一般 200-500m/月，少数 500m/月以上。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 一般及复杂条件煤巷掘进——悬臂式掘进机+单体锚杆钻机

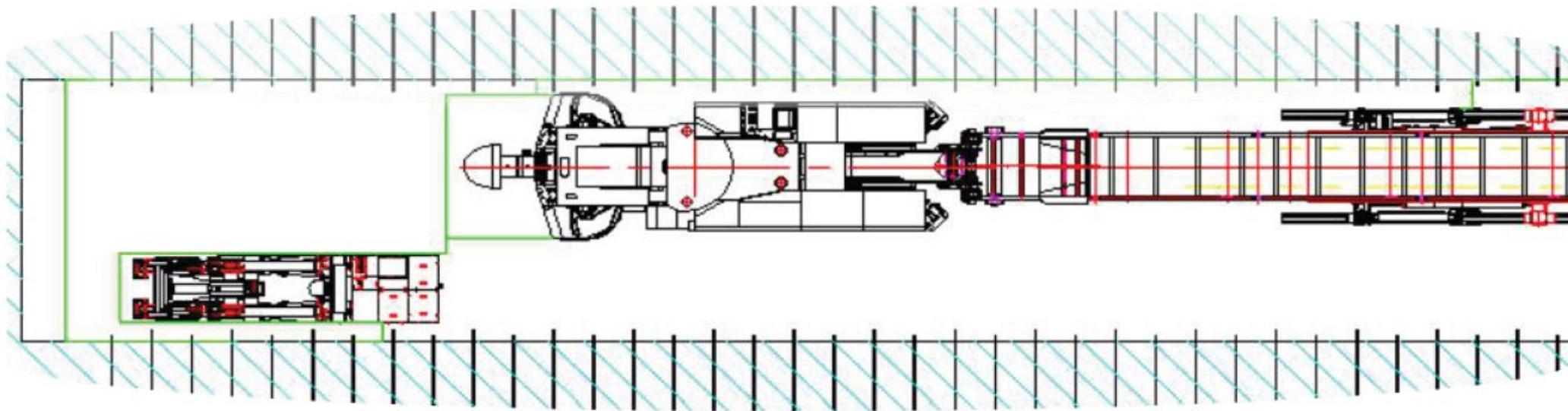
成巷慢的主要原因

- ✓ “掘一锚一”作业，掘进与支护反复换位，相互干扰；
- ✓ 缺乏有效的临时支护；
- ✓ 锚杆施工靠人工，劳动量大、效率低、占用时间长；
- ✓ 掘进与支护配套性差，不能实现平行作业。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



- **一般及复杂条件煤巷掘进——悬臂式掘进机+窄机身两臂锚杆台车**
- ✓ 两臂锚杆台车与掘进机**换位作业**;
- ✓ 锚杆、索施工机械化程度有所提升, **劳动强度降低**;
- ✓ 相比人工打设锚杆(索), 同时施工钻臂数少, **完成一排支护时间与人工持平**。



悬臂式掘进机+窄机身两臂锚杆台车交叉换位作业

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 一般及复杂条件煤巷掘进——基于悬臂式掘进机的掘锚一体机

- ✓ 悬臂式掘进机基础上改造，炮头部位架设可折叠伸缩临时支护支架，在支架上整合两台锚杆钻机，既能打顶锚杆、也能打帮锚杆；



打设顶锚杆



打设帮锚杆

- ✓ 在山西兰花、霍州、河南能源、淮北、山东能源、兖矿、新集应用，平均进尺400m/月；实现“掘一锚一”、“掘二锚二”作业，空顶距较小，围岩破碎时能顺利使用。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 一般及复杂条件煤巷掘进——悬臂式掘进机+临时支架+锚杆台车



交错支撑前移式临时支护



EBZ160悬臂式掘进机

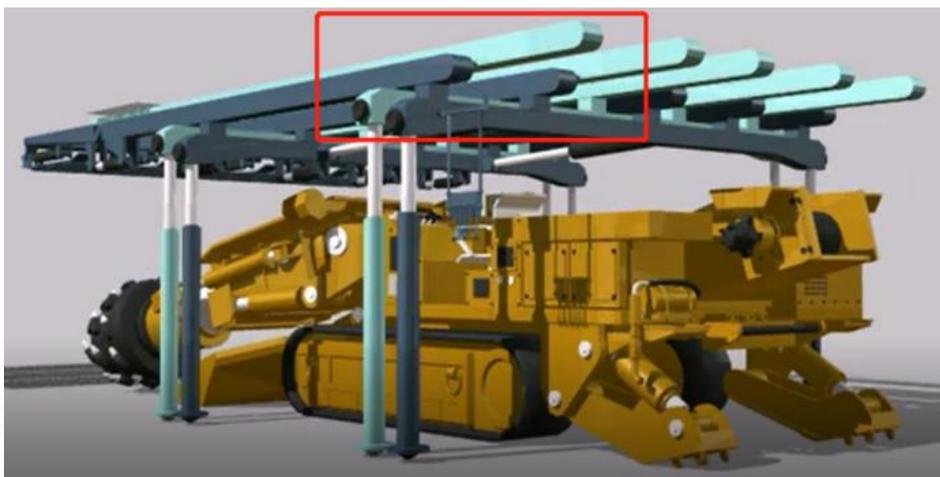
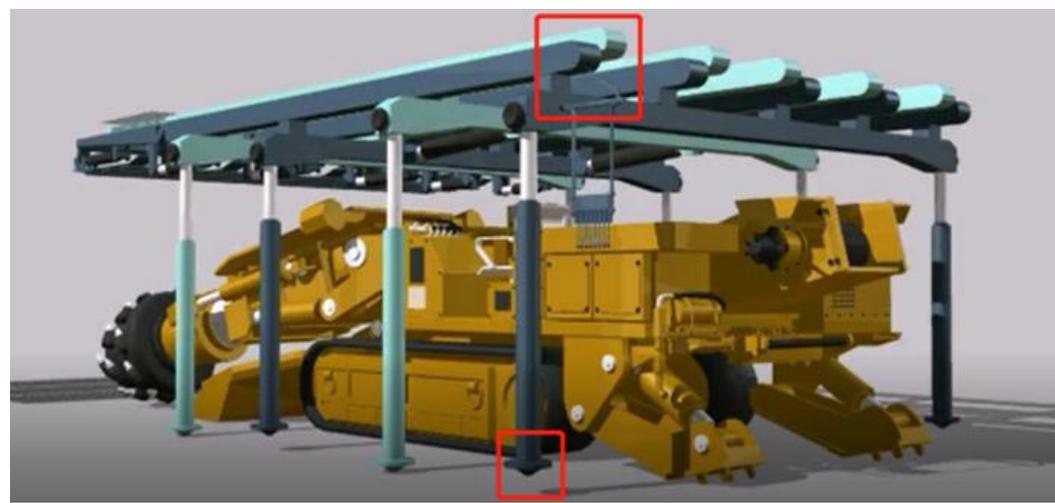
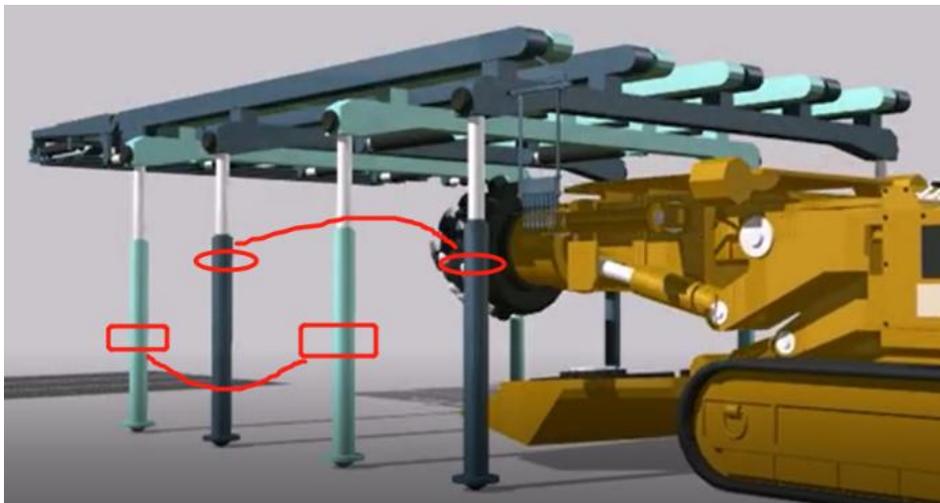


CMM2-15两臂钻车

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 一般及复杂条件煤巷掘进——悬臂式掘进机+临时支架+锚杆台车



工作状态下两架同时支撑，移架时两架分组降架，交替移架

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 一般及复杂条件煤巷掘进——悬臂式掘进机+临时支架+锚杆台车

#### 应用情况

- ✓ 在临时支架下掘进机持续掘进，节省传统作业工艺每一循环掘进机与锚杆台车换位时间；
- ✓ 虽然节省了换位时间，但是却增加了临时支架移架的时间；
- ✓ 掘进机每完成一排截割，临时支架就需要前移一次。
- ✓ 临时支架前移的时间反而超过掘进机和锚杆钻车换位时间；
- ✓ 在采用临时支架后，循环用时变化不大，甚至更长。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 岩巷掘进——TBM

- ✓ 煤矿全断面硬岩掘进机(TBM)北方重工研发，淮南张集矿试验，日均进尺 **13.5m**；
- ✓ 改造后应用于阳泉新景矿，小时破岩速度约 **1.5m**，最高小班进尺10.5m、最高日进尺20.1m，日均单进约 **15~17m**，月进尺450m以上。



QJYC045M型全断面岩巷掘进机 (TBM)

# 三、巷道掘进与支护技术发展现状



## ■ 岩巷掘进——TBM

### 优势

- 硬岩截割能力强、效率高、扰动小，巷道成型好；
- 机械化、一体化程度高，截割、支护、出渣、除尘、超前探测整合于一体；
- 人员及设备在护盾和永久支护保护的安全空间下作业。

### 劣势

- 需施工大断面拆装硐室(长80m、高10m)，进转场时间长；
- 对地质条件的变化适应性差；
- 转弯半径较大(300m)；
- 锚杆、锚索永久支护效率低，仍需人工打设。

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 岩巷掘进——重型悬臂式掘进机

- ✓ 重载横轴截割机构，截割能力强；
- ✓ 双齿条齿轮回转机构，截割牵引力大幅提高；
- ✓ 在截割减速器中采用外循环强制冷却润滑过滤系统，提高减速器使用寿命；
- ✓ 可摆动后稳定支撑机构，增加了设备的稳定性。



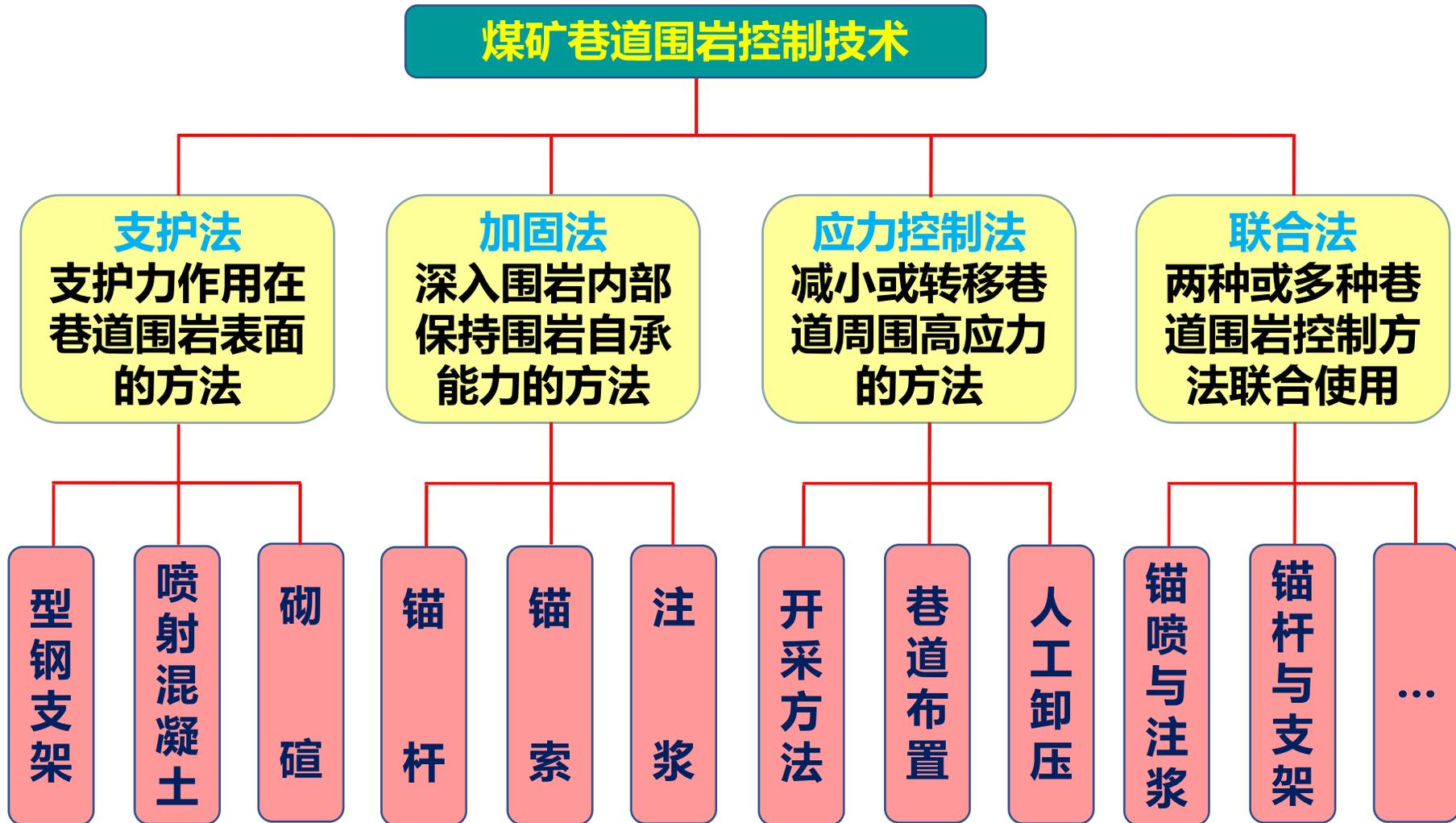
EBH315Q型悬臂式掘进机

**可截割单向抗压强度 $\leq 100\text{MPa}$ （局部 $\leq 120\text{MPa}$ ）岩石**

# 二、巷道掘进与支护技术发展现状



## ■ 巷道支护

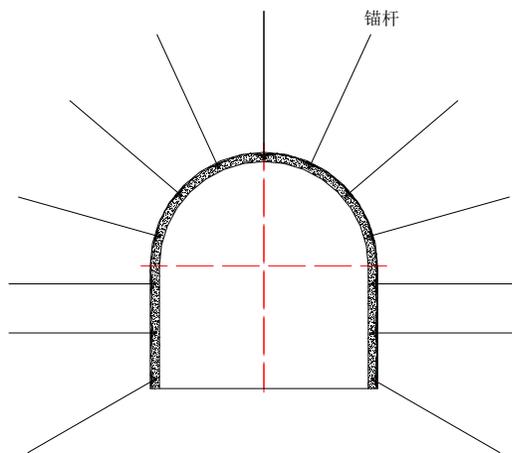


## 二、巷道掘进与支护技术发展现状

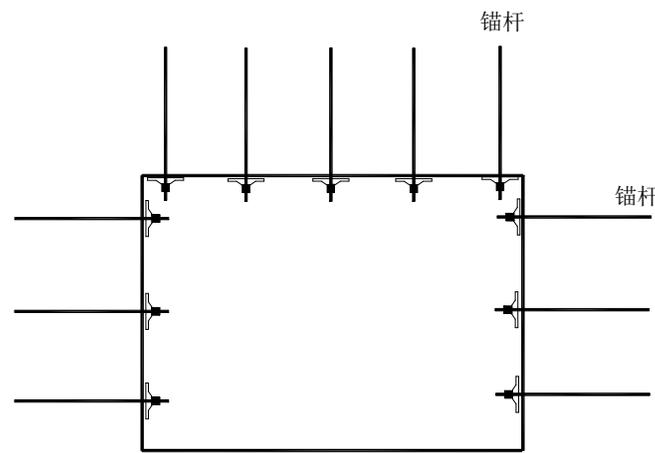


### ■ 巷道支护

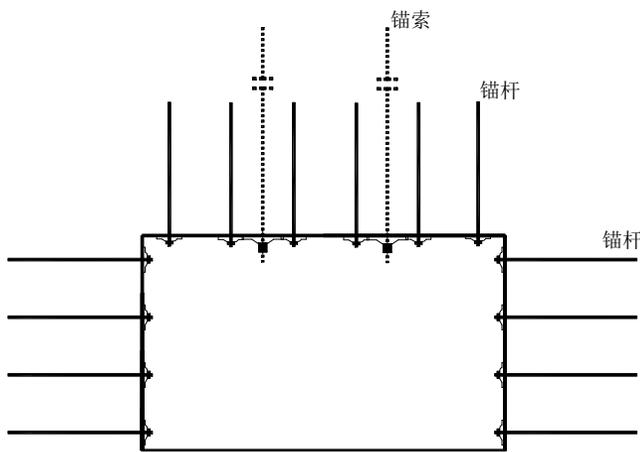
- ✓ 锚杆、锚索支护已成为我国煤矿巷道的主体支护方式，根据我国煤矿巷道地质与生产条件，开发出锚杆支护成套技术，广泛应用于不同类型的巷道，取得良好的技术经济效益。



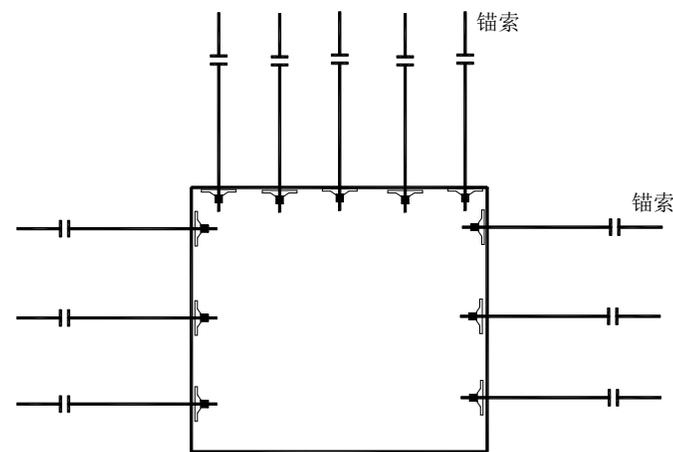
岩巷锚喷支护



锚杆支护



锚杆与锚索支护

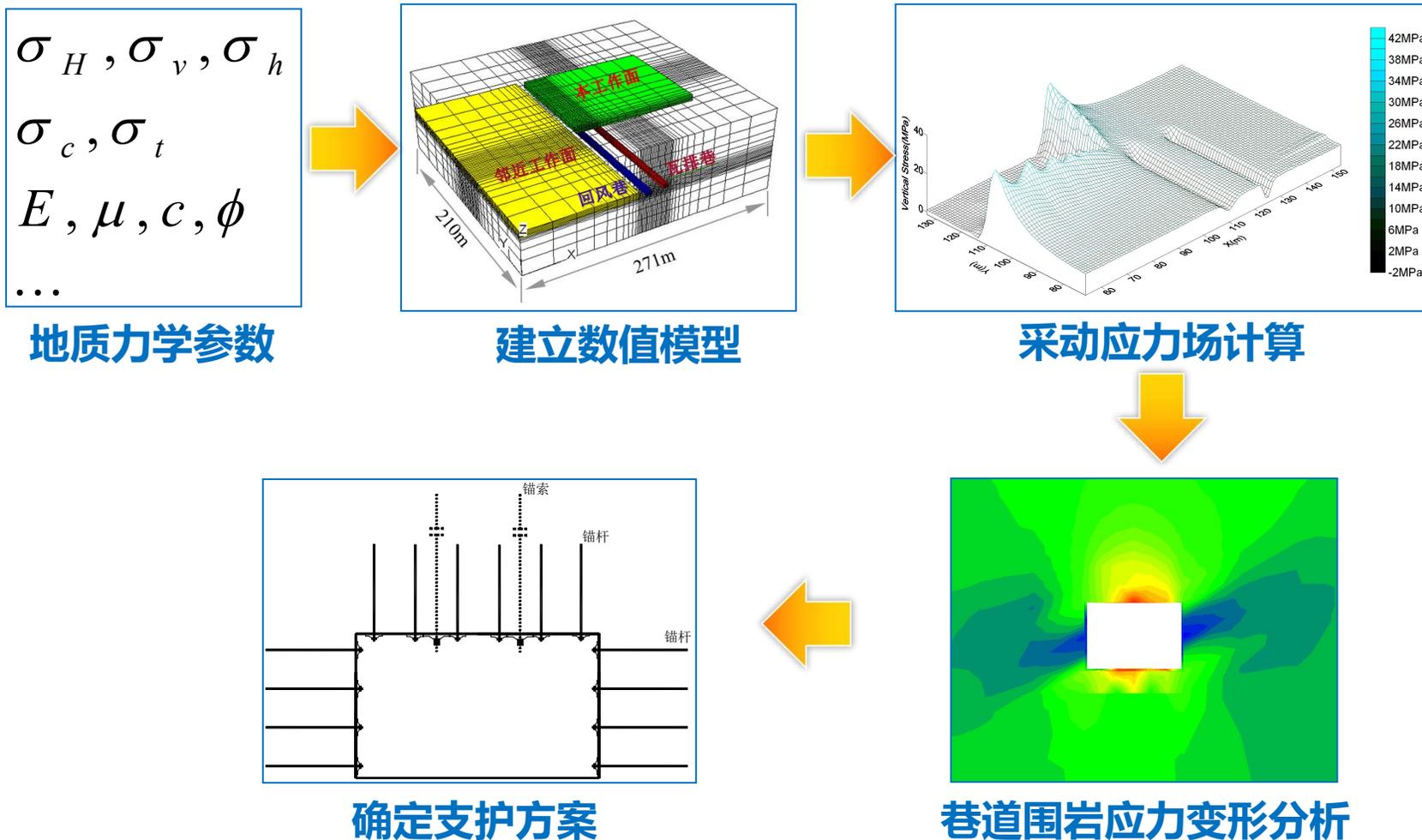


全断面锚索支护

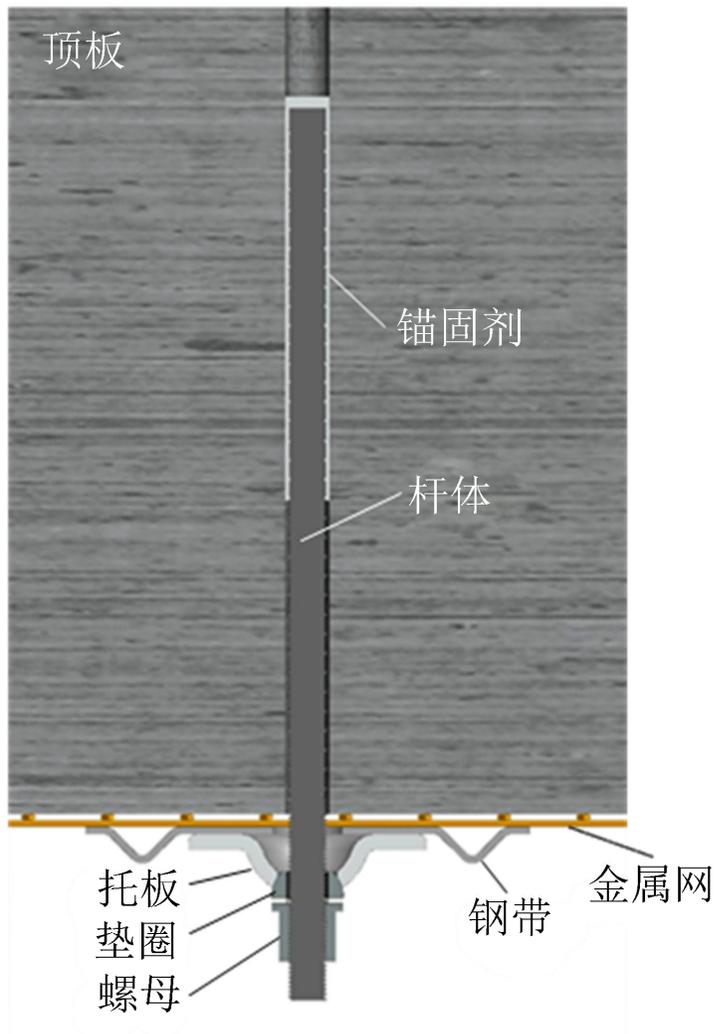
## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



✓ 经验设计发展到集理论、数值模拟、现场监测与反馈为一体的动态信息设计。



## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



锚杆支护构件

锚杆钢材力学性能指标

牌号	直径/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	冲击吸收功/J
Q235	16-20	235	370	>25	/
B335	16-20	335	490	24	/
B400	16-20	400	570	23	/
B500	16-20	500	670	23	49
B600	20-22	600	780	22	150
B700	22-25	700	900	18	122
B800	22-25	800	1000	18	102

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状

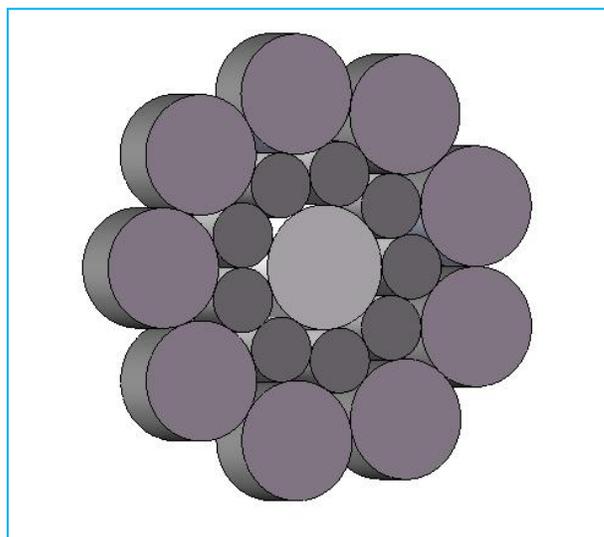


### ✓ 高强度锚索

- 1×19结构，断面更加合理；
- 拉断载荷显著提高，最大**900kN**；
- 延伸率提高1倍。



高强度锚索力学性能指标



1×19结构锚索及断面

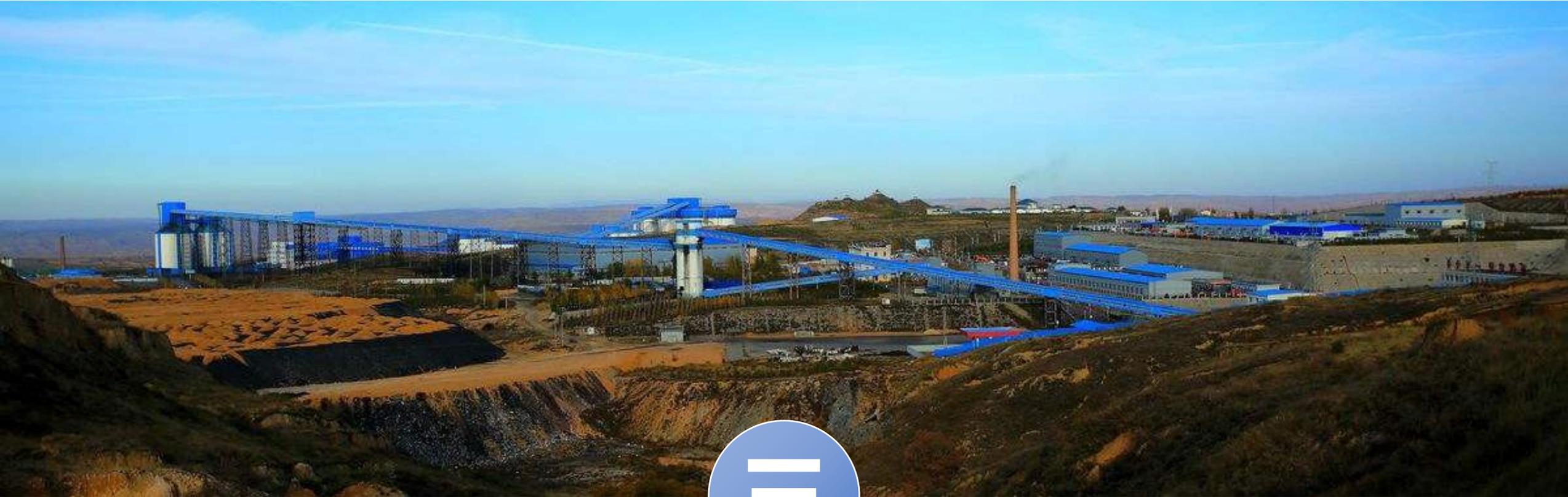
公称直径/mm	拉断载荷/kN	伸长率/%
15.2	260	3.5
18	400	7
20	500	7
22	560	7
28.6	900	7

## 二、巷道掘进与支护技术发展现状



### ■ 巷道支护存在的问题

- ✓ 很多矿区锚杆支护设计以经验为主，锚杆、锚索支护密度普遍偏大，造成支护材料浪费；
- ✓ 树脂锚固锚杆与锚索支护工序多、工艺复杂，很难实现自动化；
- ✓ 除个别条件好的矿区，普遍存在支护速度慢、用人多、效率低等问题；
- ✓ 缺乏有效的巷道围岩应力与变形及全锚杆锚索、全生命周期受力实时在线监测与反馈系统，不能及时、全面了解巷道支护状态与安全程度，及时修改支护设计。



# 巷道掘进自动化与智能化技术

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 1. 提高煤巷掘进速度的途径

### 巷道掘进模式

围岩稳定性与可掘性	掘进模式
非常稳定、可掘性非常好	先掘后支、掘支分离掘进模式。掘进滞后一定距离（10-20m）进行锚杆支护，掘进与支护相互不影响。
稳定、可掘性好，	单巷掘进：掘支平行、分次支护模式； 双（多）巷掘进：连续采煤机、锚杆钻车交叉换位掘进模式。
一般条件	采用有效临时支护、严格控制空顶和空帮距，可采用掘支平行、分次支护模式。
不稳定、可掘性差	边掘边支、及时支护掘进模式。掘进机掘出一个支护排距后需要立即支护。
极不稳定、可掘性非常差	超前加固、随掘随支掘进模式。掘进前需要加固破碎围岩，掘后必须立即支护。

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 1. 提高煤巷掘进速度的途径

### ■ 掘进工艺优化

- ✓ 掘进作业需要多个工序完成，有些工序串联，必须按先后顺序完成，有些工序可平行作业。掘进工艺优化主要包括三大内容
  - 一是尽量缩短每个工序的时间；
  - 二是尽量缩短串联工序的衔接时间，
  - 三是尽量使多工序能平行作业。
- ✓ 掘进工作面空间狭窄，需根据掘进工作面围岩条件，在时间与空间上综合考虑，提出掘进工艺时空优化方案。



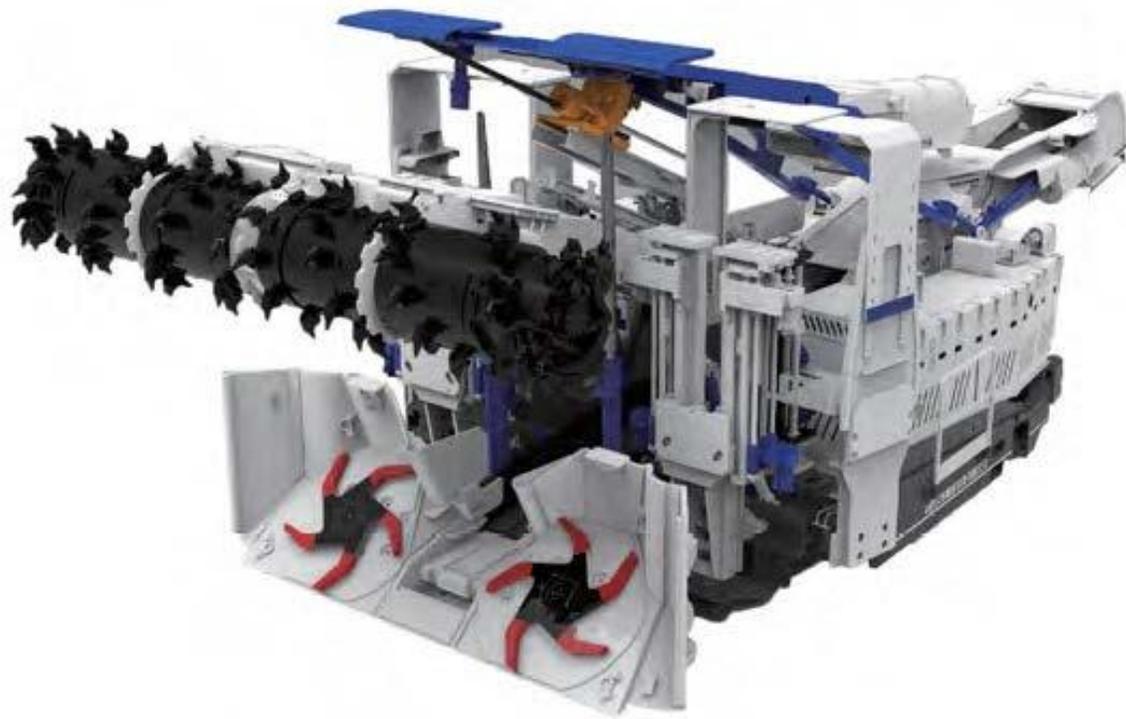
# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 1. 提高煤巷掘进速度的途径

### ■ 掘进装备优选

- ✓ 可掘性非常好、好的煤岩体：连续采煤机、掘锚联合机组等全断面一次掘进；
- ✓ 一般条件：小型掘锚联合机组，悬臂式掘进机；
- ✓ 可掘性差、非常差的煤岩体：悬臂式掘进机配合有效临时支护的方式。
- ✓ 遇到断层、陷落柱、破碎带等构造时，还需采用其它特殊方法。



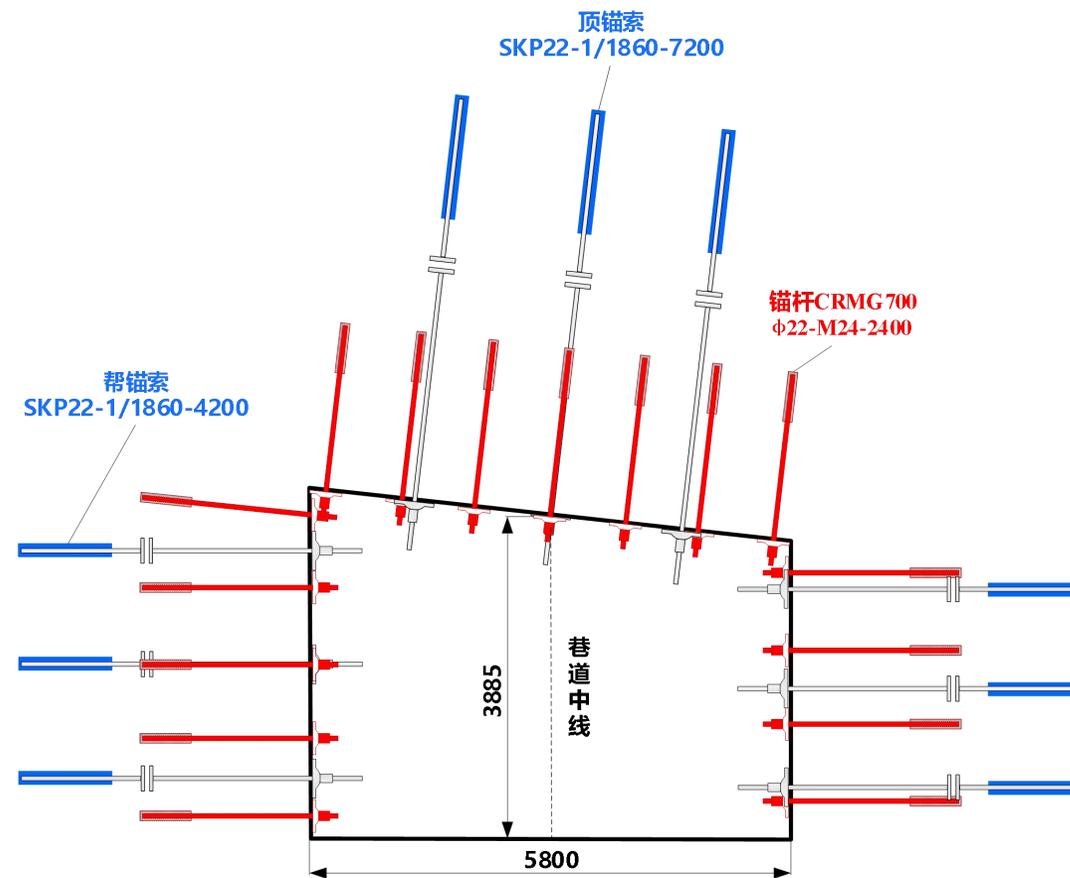
掘锚联合机组

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 1. 提高煤巷掘进速度的途径

- 支护参数优化并开发快速支护新技术
- ✓ 适当降低支护密度，减少单位巷道长度锚杆锚索数量。支护设计遵循高强度、高刚度、高安全度、低支护密度的“三高一低”原则，采用高强度、高预应力、高刚度锚固锚杆与锚索支护。
- ✓ 支护是影响成巷速度、用人多的主要因素，应开发与快速掘进相匹配的快速支护新技术、新材料、新设备。



巷道锚杆锚索支护布置图

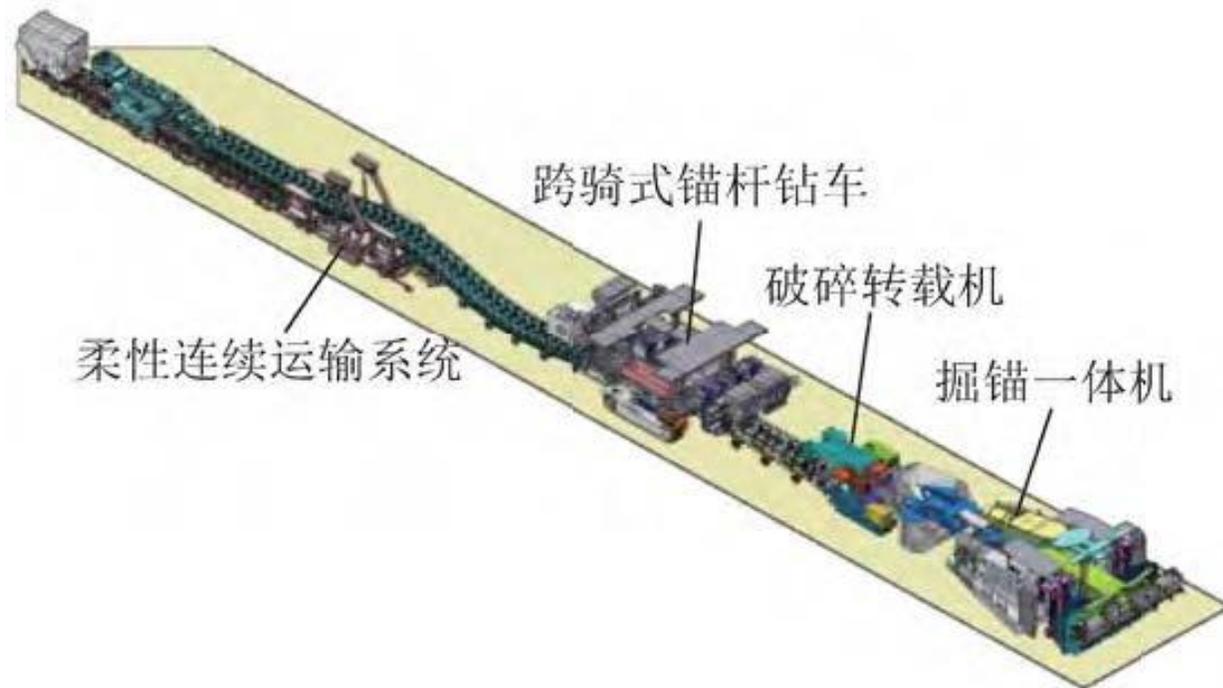
# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 1. 提高煤巷掘进速度的途径

### ■ 掘进全系统整体配套与协同

- ✓ 除了截割、支护环节外掘进还包括超前探测、运输煤炭及支护材料、通风、降尘等多个环节，属于系统工程。不仅要求每个环节能正常运行，而且要求各环节、各工序、各设备之间应有效衔接、相互联动、协同融合，形成一条成龙配套的快速掘进作业线，才能显著提高掘进速度。



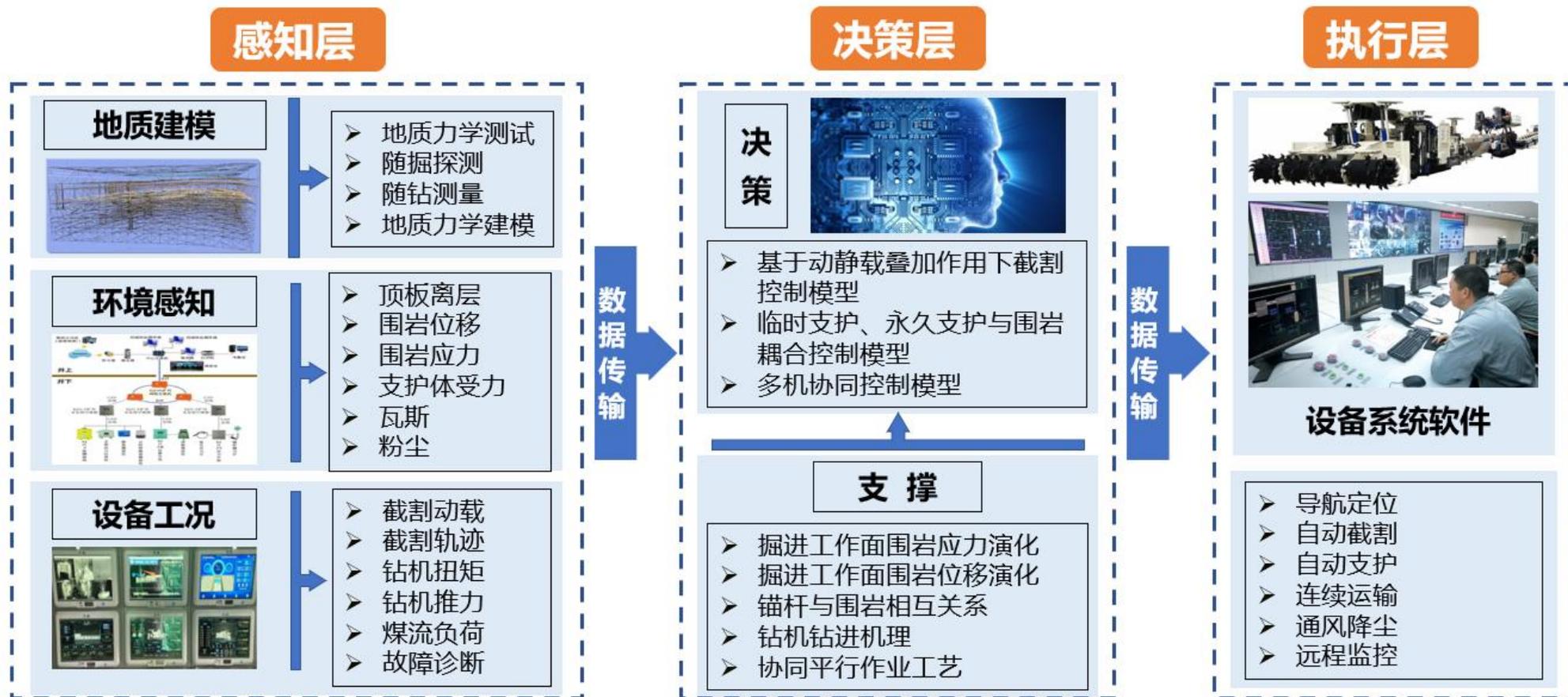
掘锚一体化掘进系统

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 2. 煤巷掘进自动化与智能化关键技术

提升掘进自动化、智能化水平是实现快速掘进的有效途径和发展方向。



掘进智能化总体架构

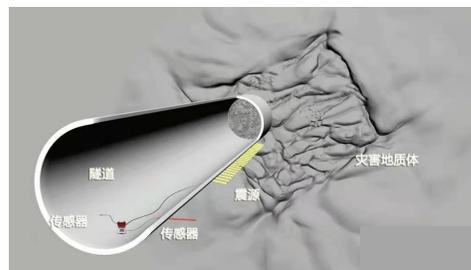
# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



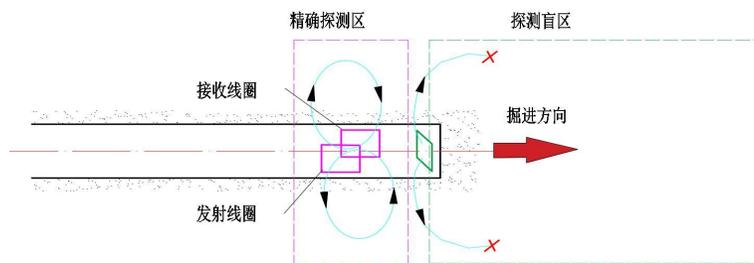
## ■ 超前探测技术

- ✓ 掘进工作面探测是掘进安全保障，物探、钻探结合。
- ✓ 物探：槽波、地震波超前探测构造；瞬变电磁超前探水。需停止掘进，布设信号发射、接收装置，影响正常掘进。掘进工作面空间小，影响物探精度。
- ✓ 基于掘进机随掘震源的超前探测技，以掘进机截割产生的地震波作为震源，连续采集地震波并寻找反射波实现巷道超前探测。

## 构造探测 —— 地震波



## 水体探测 —— 瞬变电磁



# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 超前探测技术

- ✓ 钻探是最可靠的超前探测手段，随着掘进装备集成化程度提高，整机装备体积增大，钻探与掘进装备换位困难，超前钻探逐步成为影响巷道快速掘进的重要因素。
- ✓ 掘探一体化装备，将超前探测液压钻机集成于掘进机、掘锚机上避免了掘探换位作业。
- ✓ 中煤科工西安研究院提出区域探测技术，掘进前利用千米定向钻机一次性完成整条巷道的钻探，通过钻孔物探一次性完成巷道周围区域物探，开发出物探与钻探相结合的综合探测技术，实现了“探测先行、掘探分离”。



履带式坑道钻机



机载式钻机

掘探一体机

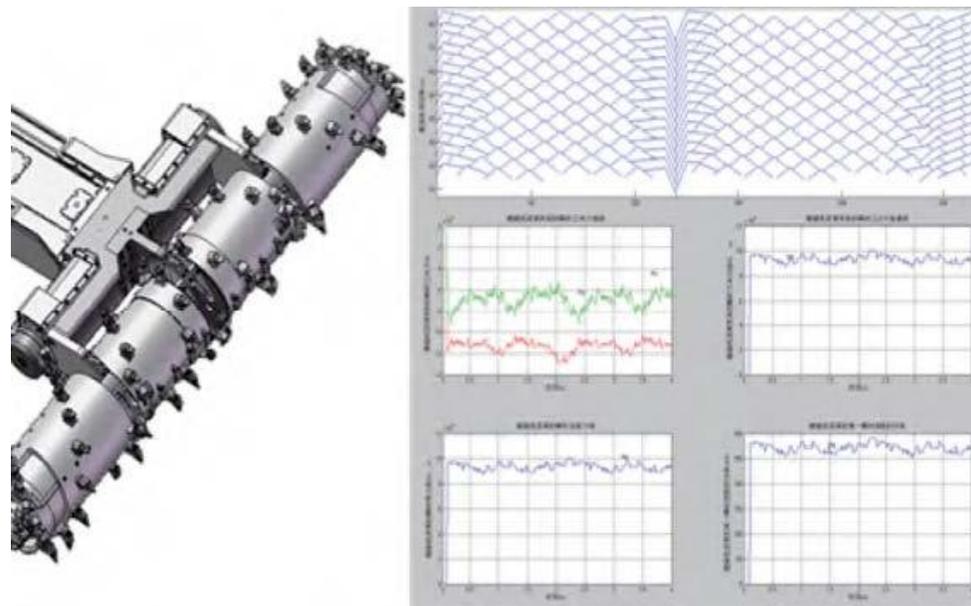
# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 自动化、智能化截割技术

煤巷截割时间占总掘进时间30%以下。已实现一键启停、地面远程视频遥控等自动化控制。实现更高层次自动化、智能化，应研究以下技术：

- ✓ 开发低扰动截割技术，研究不同截割方式对掘进工作面围岩扰动影响规律，通过优化截齿结构与布置方式，减少截割扰动对围岩稳定性影响。
- ✓ 开发截割动载荷识别技术与截割转速交流变频调速控制技术，实现不同工况下截割参数自动调节，电机输出转速、扭矩与破岩效果匹配，提高截割对不同煤岩层条件的适应性。

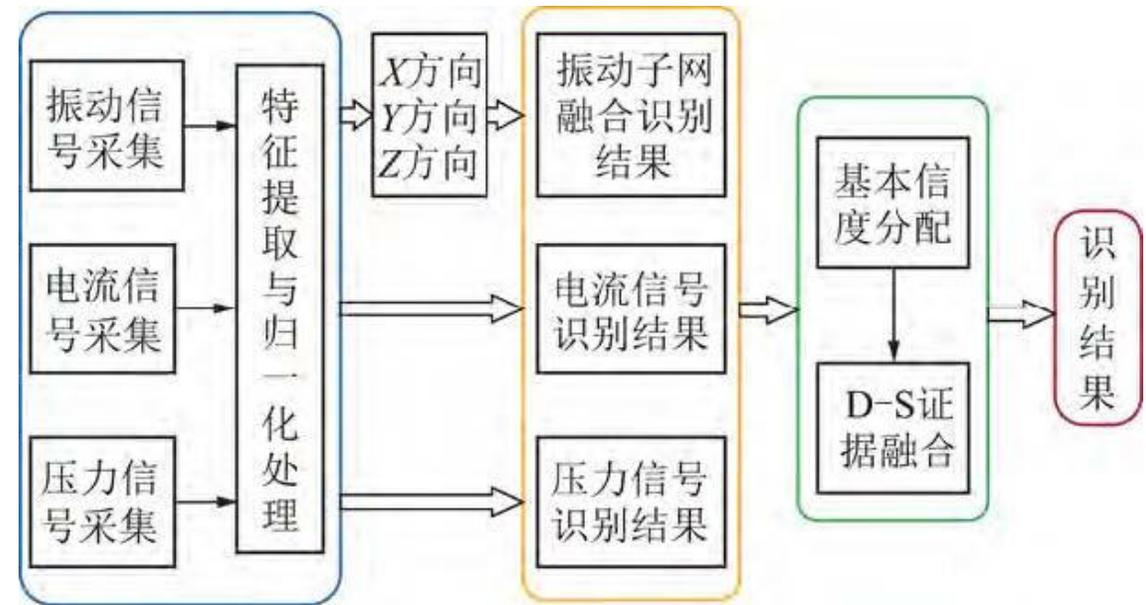


截割滚筒载荷计算及切屑图模拟

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



- ✓ 开发截割岩石动载荷数据提取及识别技术，配套研发大容量、高速采集、存贮及数据处理技术，实现载荷信息实时分析，建立各参数匹配关系，实现现场截割过程中自动调整截割参数适应工况变化。
- ✓ 开发与掘进工作面围岩稳定性相匹配的截割轨迹自动规划算法及控制技术。基于掘进装备运动学模型，以掘进装备机身作为测量基准，在掘进装备导航定位基础上，以惯性空间为基准，开发相应技术。



动载荷特征提取及识别技术

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 临时支护技术

- ✓ 不同类别巷道对临时支护需求不同。对于易冒顶、片帮围岩，临时支护尤为重要。
- ✓ 现有多数掘进工作面临时支护不能满足快速掘进要求。
- ✓ 临时支护两个发展方向：
  - 改进现有临时支护，根据掘进工作面围岩条件开发与之相匹配的临时支护结构及控制技术，提高对围岩的适应能力，减少对围岩的反复支撑，提高临时支护效果；



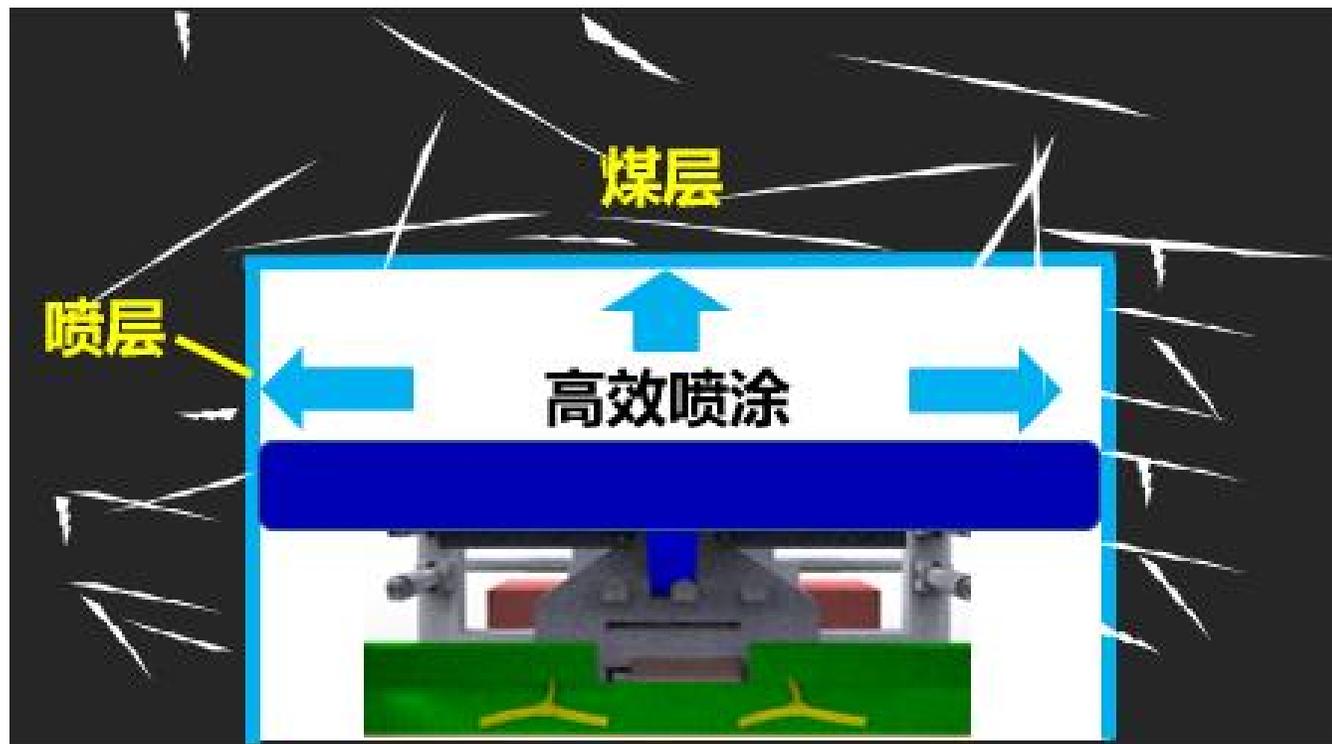
配有临时支护和锚杆钻机的掘进机

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 临时支护技术

- 改变现有临时支护方式，提出快速喷涂临时支护技术，采用快速凝固喷涂材料，配套自动化高效喷涂设备，在巷道表面形成高强度、高韧性护表喷层，起到临时支护的作用，同时可防止煤岩体风化，并替代金属网。



自动化喷涂临时支护示意图

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 高性能喷涂材料

### ◆ 第1款：高强度、高韧性无机薄喷材料。

- 表干时间20min，粘接强度 1.7MPa，抗拉强度 3.0MPa，通过安标各项检测；
- 可用于软岩巷道、易风化巷道薄喷护表。

### ◆ 第2款：高强度、高韧性、速凝有机薄喷材料。

- 2min后抗压强度10MPa，延伸率30%以上；
- 用于掘进工作面喷涂临时支护。

MA 国家化学建筑材料测试中心 (材料测试部) CNAS 检测 CNAS L1049

2009000585E

地址：北京市北三环东路14号北京化工研究院(和平东桥向东200米路南) 邮编：100013 网址：www.plastic-test.net  
电话：(010) 64208747、64200694、64224642、84290301、59202479 传真：(010) 59202784

### 检验报告

报告编号：2011(T)12067 共2页第2页

序号	检验项目	单位	检验结果	检验方法	
1	干燥时间	表干	min	40	GB/T 16777-2008
		实干	h	2.0	GB/T 16777-2008
2	粘结强度	MPa	1.38	GB/T 16777-2008	
3	拉伸强度	MPa	2.37	GB/T 16777-2008	
4	断裂伸长率	%	72	GB/T 16777-2008	

注：所检产品根据委托方要求，将液体与水混合后进行制样，混合比例4：1（质量比），（以下空白）

测试专用章



喷涂试验

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



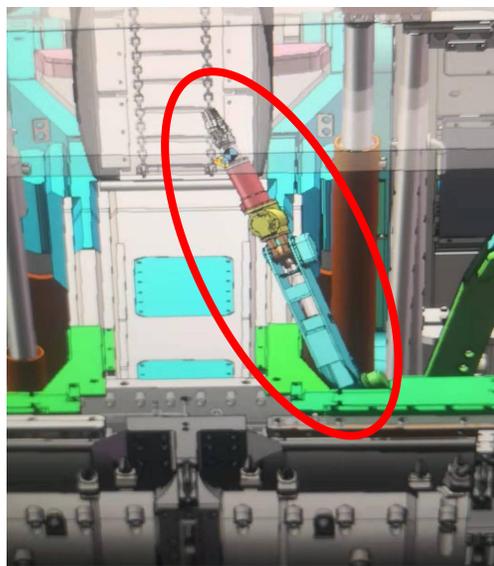
## ■ 自动化喷涂机械臂及控制算法

### ➤ 自动喷涂机械臂研发

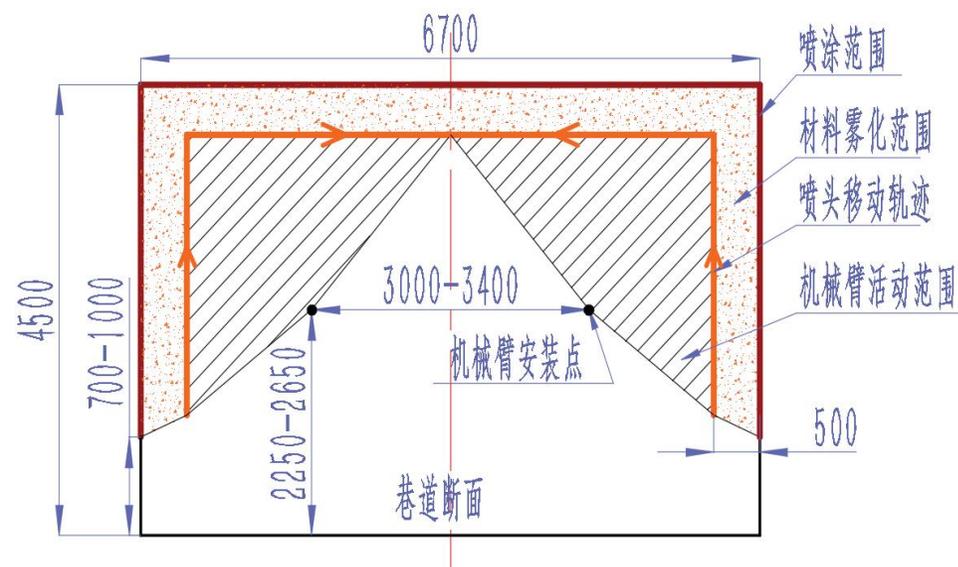


- ✓ 六自由度高精度机械臂（**全球首套符合安标防爆**）

### ➤ 自动喷涂控制算法



- ✓ 考虑掘锚机设备避让



- ✓ 考虑全尺寸喷涂
- ✓ 喷涂工艺要求：**8min8个来回，匀速且与煤壁等距**

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ➤ 自动化喷涂支护系统

- ◆ 研制出带清洗功能自动化喷枪，破解了喷涂发泡行业共性问题；
- ◆ 研制出符合安标的6自由度液压自动喷涂系统，实现了远程“一键”自动喷涂；
- ◆ 研制了喷涂料箱、加热、输送系统。



带清洗功能自动化喷枪



6自由度液压自动喷涂系统

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



- 曹家滩煤矿掘喷锚自动并行作业，**3min完成1排喷涂作业**
- 王坡煤矿松软破碎围岩巷道完成**随掘喷涂试验，掘进35m裸帮不片帮**



曹家滩井下喷涂试验现场

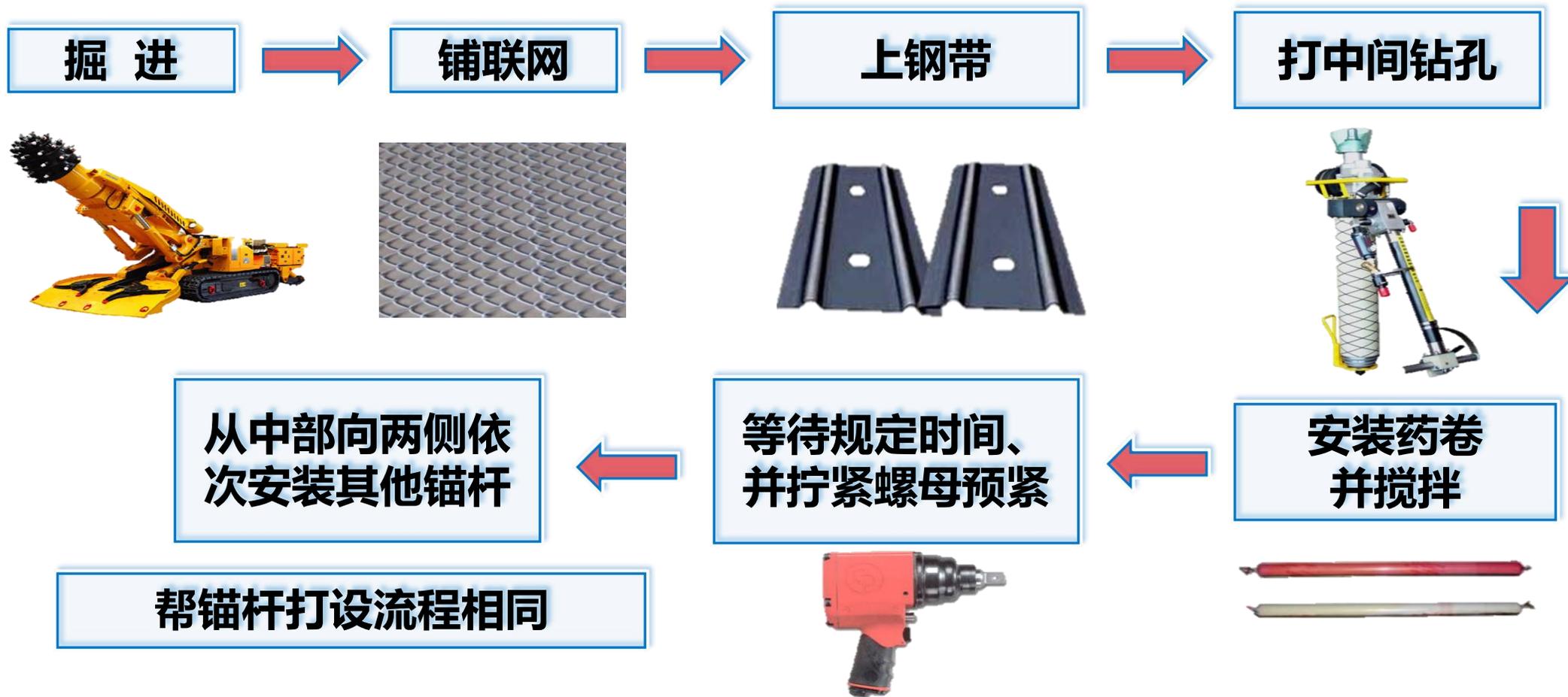
**变革了掘进工作面支护技术**

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 自动化锚杆施工技术

✓ 传统锚杆施工工艺繁琐，锚杆自动化施工是快掘的核心技术。

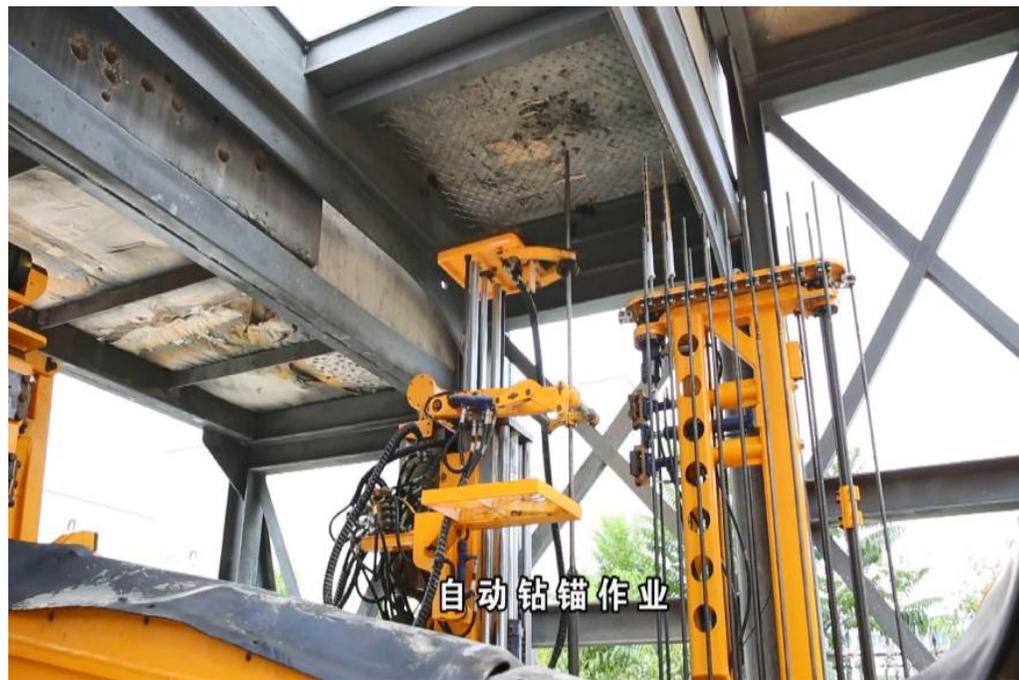


# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ✓ 现有技术

- 高压气体将树脂锚固剂送入孔，研发了自动钻孔、输送锚固剂、自动安装锚杆的台车。
- 锚杆前方安装塑料套筒，将锚杆与锚固剂联为一体，研制出钻孔、安装锚固剂并预紧的自动化锚杆台车，设置专门锚杆存储机构。
- 没有改变锚杆施工工艺，施工用时与人工没有减少，对塌孔、锚固剂入孔困难等难以解决。



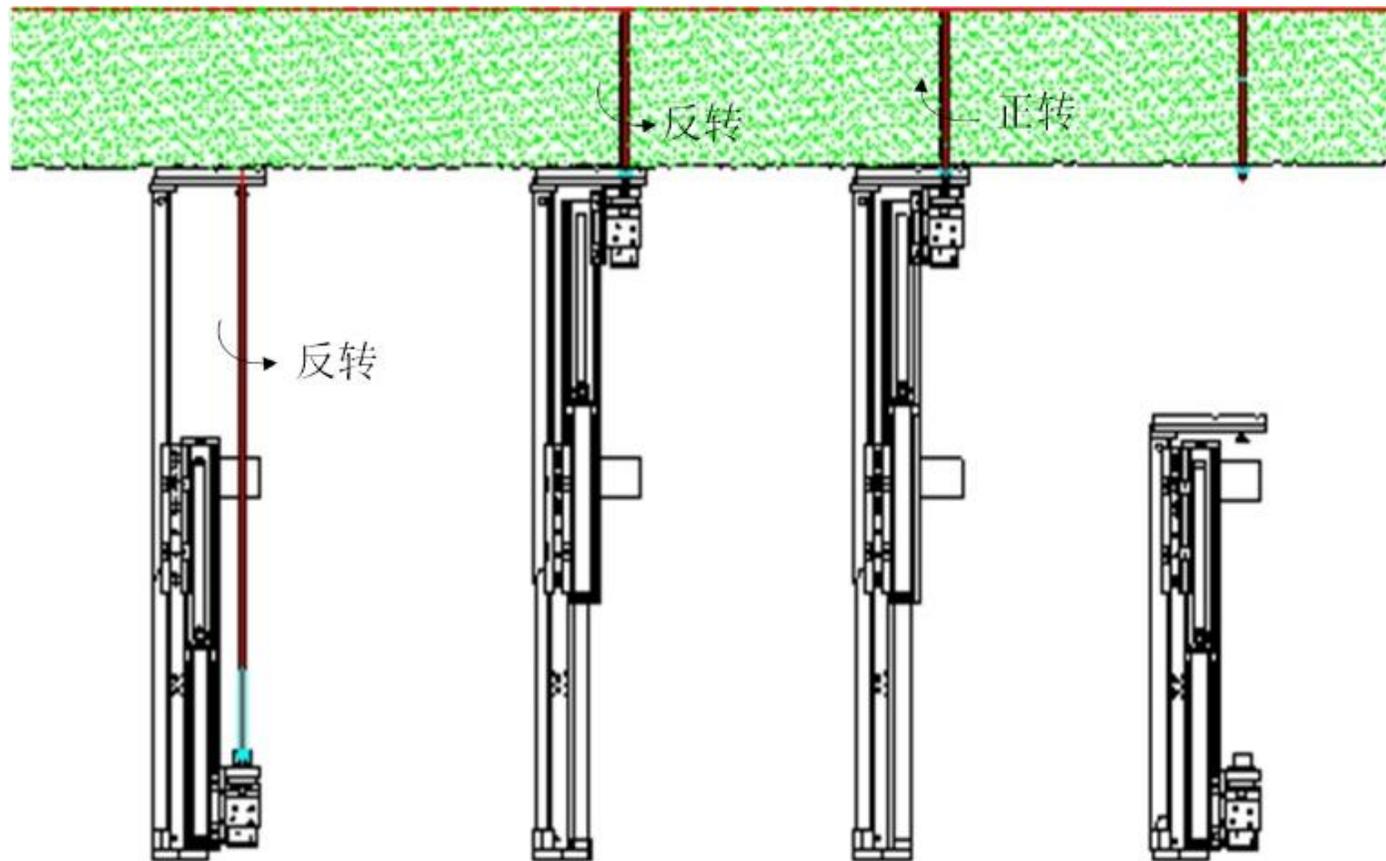
开发出一站式安装新型锚杆

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 新型钻锚一体化锚杆施工工艺

自钻式锚杆，锚杆作为钻杆钻进

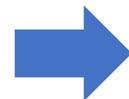


泵注式锚固剂，锚固剂自钻箱内部注入锚杆中孔

反转打钻



注入锚固剂



正转预紧

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 锚杆

硬质合金钻头

40Cr材质杆体

调心球垫

锁紧、密封、预紧  
多功能螺母



一体化锚杆结构



安标证书

- ✓ 国内首创，100%知识产权；
- ✓ 施工效率提升一倍以上；
- ✓ 锚杆施工质量稳定；
- ✓ 锚固力 $\geq 200\text{kN}$ ；
- ✓ 预紧力矩超过 $400\text{N.m}$ ；
- ✓ 已建立生产线。

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 新型灌注式锚固剂

➤ 研发出泵注式锚固剂，在**抗压强度**等上进行了突破，超越了国际上已有产品，在**触变性、反应时间、工艺适应性**上与钻锚注工艺深度结合，形成了锚杆全球最简化施工技术。

✓ MGZ PU·Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>-CK 固化时间25~40s

✓ MGZ PU·Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>-Z 固化时间91~180s

完成生产线建设，取得安标。

 <b>中煤科工开采研究院有限公司</b> 中国煤科 CTEG Coal Mining Research Institute		
 防晒 防潮 向上 轻放	<b>灌注式锚杆锚固剂 中速 A 组分</b> MG PU-SixOy-Z A Part	 请勿直接接触皮肤
<b>合格证</b> 批号: 净重: 检验员: 生产日期:	<b>【产品用途/Application】</b> 灌注式锚杆锚固剂与锚杆(索)适配适用于矿山巷道、硐室、交叉点软岩等环境下的支护,也可用于隧道、边坡等岩土工程的补强加固。 <b>【注意事项/Attentions】</b> 1、本产品不适用大范围注浆,如需注浆请选用本公司其他产品。 2、应严格按照产品说明书的安全操作规范使用材料和设备。 3、本产品使用前请勿拆封。穿戴防护手套和眼镜,如皮肤接触,请用肥皂和水清洗。如不慎入眼,请立即用清水冲洗。 <b>【运输/Transportation】</b> 产品运输中应避免日晒、雨淋及剧烈冲击和包装破损,运输时轻拿轻放。 <b>【贮存/Storage】</b> 产品须远离火源,贮存于干燥、通风处,确保密封包装不破损,按包装贮存说明贮存,注意防晒,码放高度不应超过1.5 m。本产品温度+15℃~+35℃、湿度小于60%条件下保质期10个月。	
<b>执行标准</b> Executive Standard Q/YJLD 001-2021	<b>请参阅产品说明书</b> Please refer to Product Specification	
生产单位/Manufacturer: 中煤科工开采研究院有限公司 地址/Address: 北京市和平街青年沟路5号 100013 电话/Telephone: +86 18811180746		

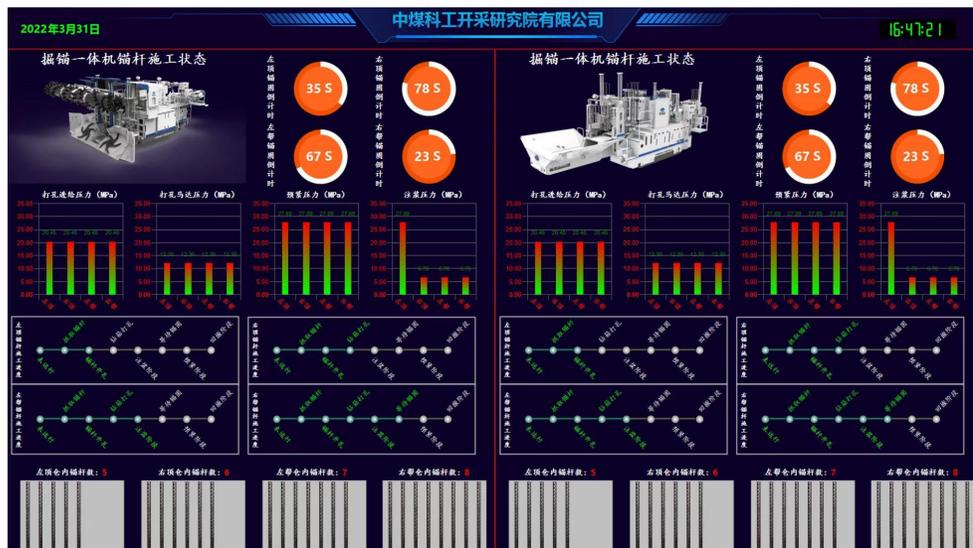
 <b>中煤科工开采研究院有限公司</b> 中国煤科 CTEG Coal Mining Research Institute		
 防晒 防潮 向上 轻放	<b>灌注式锚杆锚固剂 超快速 A 组分</b> MG PU-SixOy-CK A Part	 请勿直接接触皮肤
<b>合格证</b> 批号: 净重: 检验员: 生产日期:	<b>【产品用途/Application】</b> 灌注式锚杆锚固剂与锚杆(索)适配适用于矿山巷道、硐室、交叉点软岩等环境下的支护,也可用于隧道、边坡等岩土工程的补强加固。 <b>【注意事项/Attentions】</b> 1、本产品不适用大范围注浆,如需注浆请选用本公司其他产品。 2、应严格按照产品说明书的安全操作规范使用材料和设备。 3、本产品使用前请勿拆封。穿戴防护手套和眼镜,如皮肤接触,请用肥皂和水清洗。如不慎入眼,请立即用清水冲洗。 <b>【运输/Transportation】</b> 产品运输中应避免日晒、雨淋及剧烈冲击和包装破损,运输时轻拿轻放。 <b>【贮存/Storage】</b> 产品须远离火源,贮存于干燥、通风处,确保密封包装不破损,按包装贮存说明贮存,注意防晒,码放高度不应超过1.5 m。本产品温度+15℃~+35℃、湿度小于60%条件下保质期10个月。	
<b>执行标准</b> Executive Standard Q/YJLD 001-2021	<b>请参阅产品说明书</b> Please refer to Product Specification	
生产单位/Manufacturer: 中煤科工开采研究院有限公司 地址/Address: 北京市和平街青年沟路5号 100013 电话/Telephone: +86 18811180746		

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



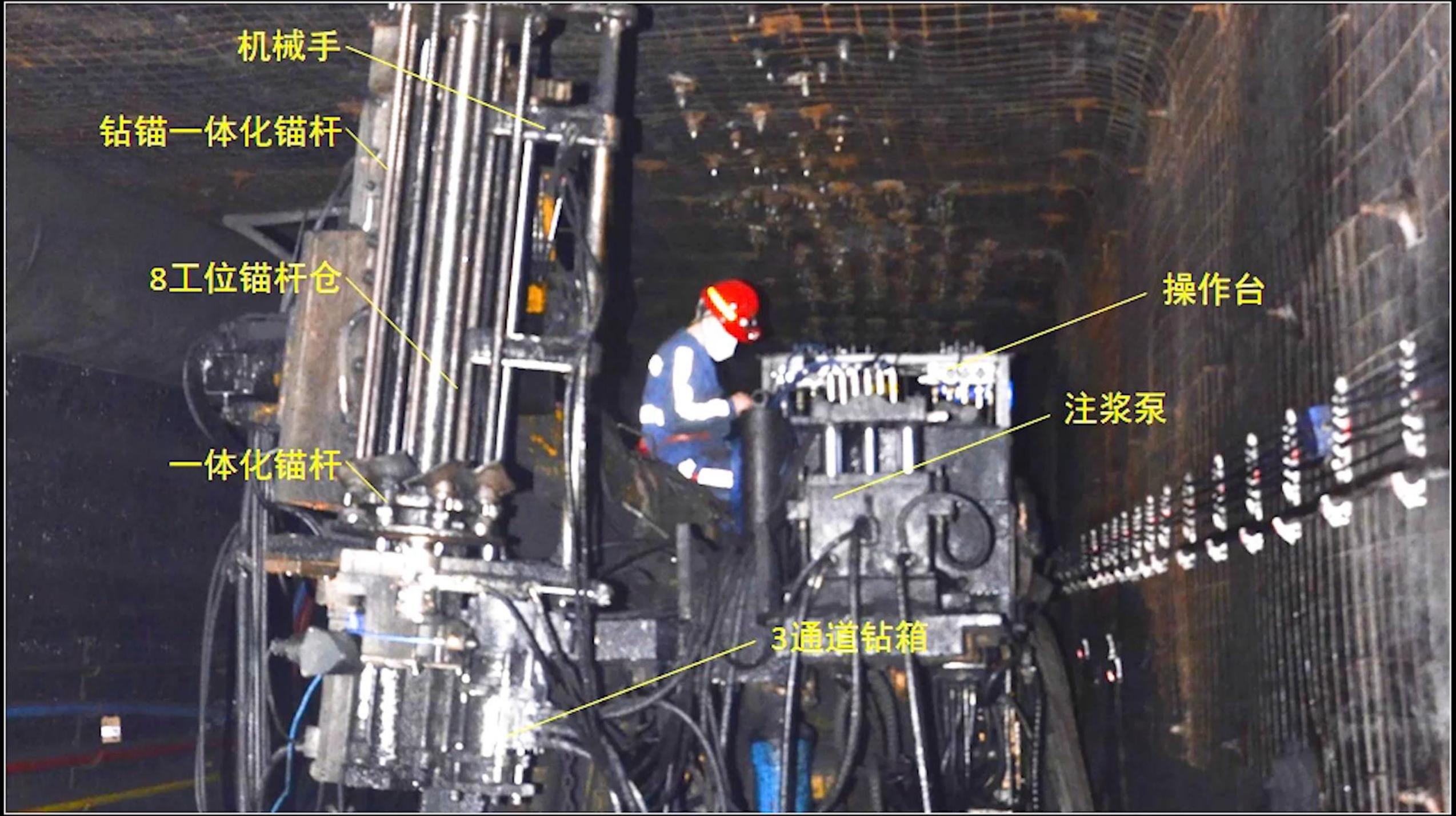
## 钻锚一体化锚杆及自动施工设备

- 组成：钻架 + 钻箱 + 锚杆仓 + 注浆系统 + 控制系统



### 核心技术

- 一体化钻箱：首创水-A-B料三通道钻锚预紧一体化钻箱
- 钻锚一体化工艺：实现锚杆存储、抓取、安装、支护施工、锚固等全流程自动化
- 技术变革：传统锚杆支护6道工序减为1道连续工序，单根锚杆作业时间由5-6min减为2.5min
- 实现锚杆“一键自动打设”常态化施工



机械手

钻锚一体化锚杆

8工位锚杆仓

一体化锚杆

操作台

注浆泵

3通道钻箱

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## 新型钻锚一体化锚杆施工工艺



**降低自动化难度**



**成功率高  
工艺适应性强**



**施工速度快**



**施工质量标准统一**

**特别适用于破碎松软淋水煤体锚杆锚固，实现一次钻锚，有效提高锚固力！！**

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ✓ 王坡矿3206孤岛工作面顺槽煤柱侧完成灌注式锚固剂、树脂锚固剂对比测试

普通锚杆+树脂锚固剂

类目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
锚固力	塌孔、孔变形, 树脂锚固剂锚杆无法安装	塌孔、孔变形, 树脂锚固剂锚杆无法安装	塌孔、孔变形, 树脂锚固剂锚杆无法安装	锚固力低, 直接拔出来	89kN	80kN				

一体化锚杆+灌注式锚固剂

类目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
锚固力	70.5kN	127kN	> 188kN (400ml)	> 188kN (400ml)	> 188kN (400ml)	> 216kN (800ml)	> 197kN (800ml)	188kN (800ml)	188kN (800ml)	188kN (800ml)

- ✓ **灌注式锚固剂+钻锚一体化锚杆**在塌孔、钻孔裂隙、钻孔变形、钻孔积水条件下能够**一次钻锚**, **树脂锚杆**安装需要**3~13次**钻锚;
- ✓ **灌注式锚固**塌孔、钻孔变形、积水条件下**锚固力强**, 拉拔力超过**锚杆屈服强度**, **树脂锚杆**拉拔力**不超过100kN**。

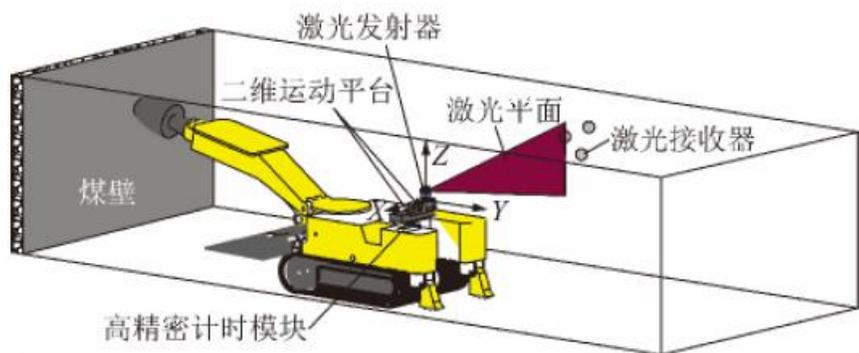


# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 定位与导航技术

- ✓ 掘进实现自动化、智能化重要技术，包括掘进装备行走定位导航和锚杆支护定位等。
- ✓ 掘进装备行走定位导航。
  - 现有陀螺惯导、激光指引、全站仪测量、超宽带定位等单一导航设备和方法，难以满足强振动、高湿度等掘进工作面环境。
  - 两个发展趋势：一是提高现有导航技术精度；二是采用多传感器测试、数据融合方法，将具有不同特点多种导航传感器、位姿检测方法进行组合，实现高效、精确导航。



基于四个特征点的激光视频导航定位方法

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



- **组合导航技术：超声波和惯性导航组合、机器视觉和惯性导航组合、激光标靶和倾角传感器组合、全站仪与惯导组合等。**
- **掘进行走定位还应根据实际掘进成型的巷道为基准进行相对定位。在掘进机前方和两侧布设测距雷达，计算掘进机与工作面距离，判断掘进机位置和角度偏差。**



惯性导航+虚拟现实



机器视觉+惯性导航

双目视觉+惯性导航

# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



## ■ 除尘技术

### ✓ 高压雾化除尘



喷雾帘



截割滚筒喷雾

### ✓ 泡沫除尘



三相泡沫 全覆盖除尘

### ✓ 湿式、干式除尘风机 (CFT)

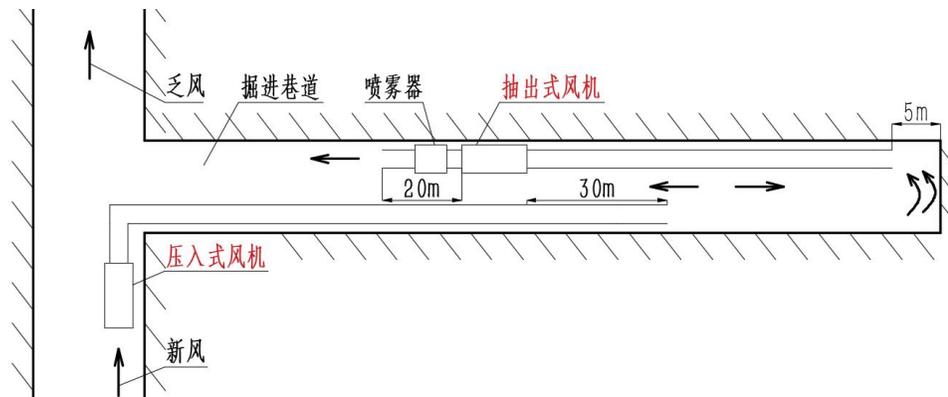


湿式除尘风机



干式除尘风机

### ✓ 通风除尘：长压短抽



# 三、巷道掘进自动化与智能化技术



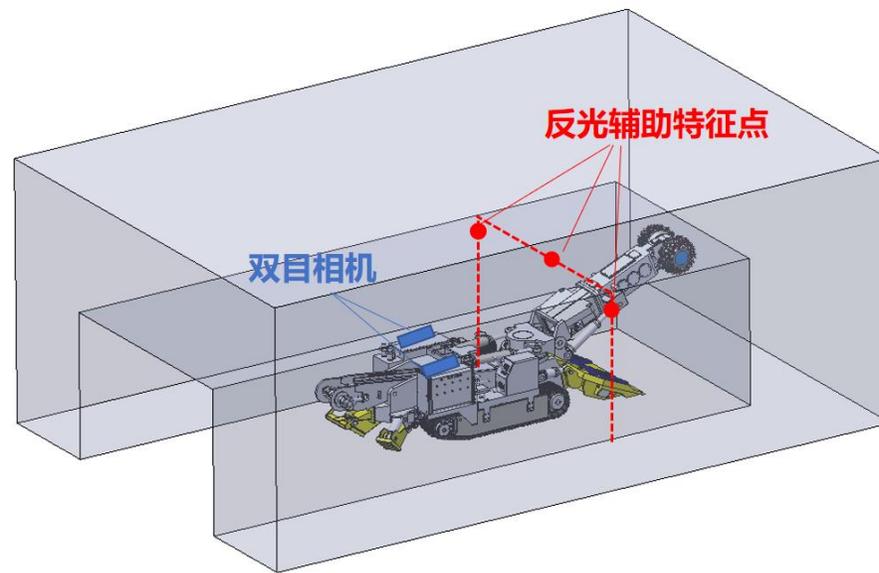
## ■ 巷道围岩随掘变形监测系统

### 随掘视觉测量系统简介

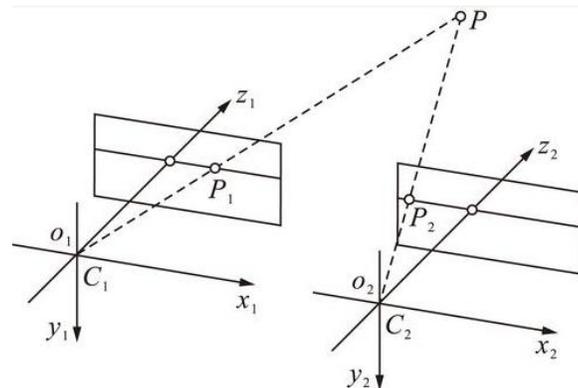
随掘变形监测系统由机载双目相机（含光源）、计算机和反光辅助特征点组成。随掘过程中每隔一定排距在巷道顶板和两帮布置若干反光辅助特征点，掘进设备上的机载双目相机实时采集图像，由计算机计算特征点之间的相对距离，可实现两帮和顶板变形的监测。

### 随掘视觉测量系统原理

- ✓ 双目相机三角测量原理 (视觉测量原理)
- ✓ 动坐标系下特征点相对距离不变 (变形监测原理)



随掘变形监测系统示意图

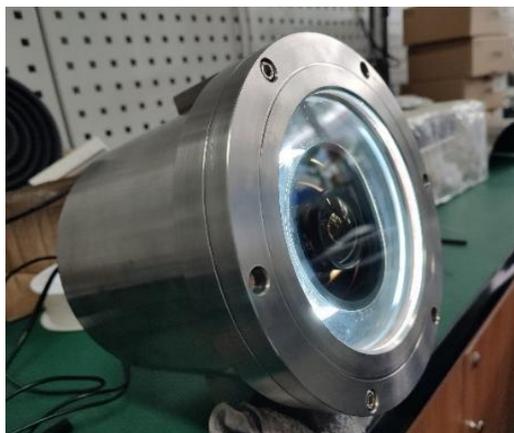


双目相机三角测量原理

# 三、巷道围岩随掘变形监测系统



## ■ 监测系统硬件研制



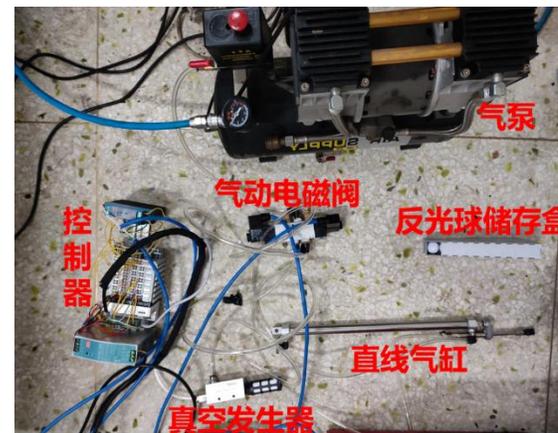
矿用隔爆型相机



矿用隔爆兼本安型计算机



高反射率反光球



气动反光球自动安装装置

- ✓ 自主研发矿用隔爆型相机，内置环形光源适应井下黑暗环境，定制玻璃防水膜避免水雾干扰。
- ✓ 定制矿用隔爆兼本安型计算机，含8电口千兆网卡，解决多个双目相机传输速度问题。
- ✓ 定制高反射率反光球，适应井下黑暗环境，提高视觉提取精度，提高对煤粉尘抗干扰能力。
- ✓ 自主研发气动反光球自动施工装置，利用空气负压吸附反光球，实现自动化安装。

# 三、巷道围岩随掘变形监测系统



## ■ 监测系统井下试验



井下试验相机实时监测视频



大梁湾井下试验环境

## 最远处断面监测数据

单位mm	巷道宽度	顶板相对下沉量
组1	5678.3	517.2
组2	5703.2	519.1
组3	5689.7	518.0
组4	5681.0	517.2
组5	5668.5	515.2
组6	5671.1	516.4
组7	5662.7	516.4
组8	5655.2	516.8
组9	5651.2	516.6
组10	5646.1	516.7
最大误差	57.1	3.9
平均误差	27.3	2.0

✓ 井下试验最远处断面的巷道宽度平均误差27.3mm，顶板下沉平均误差2.0mm。



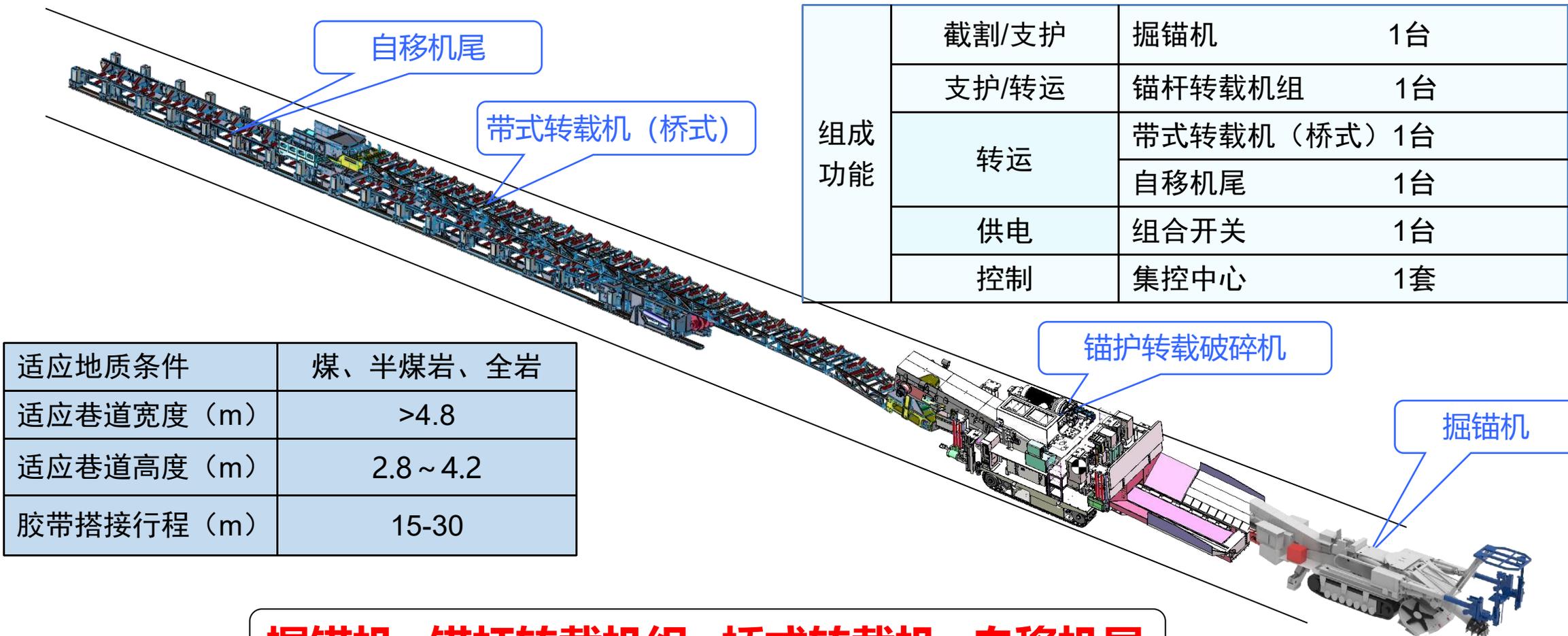
四

# 新一代快速掘进成套装备

# 四、新一代快速掘进成套装备



## 悬臂式掘进机+钻锚一体化钻臂+锚运破+连续运输系统

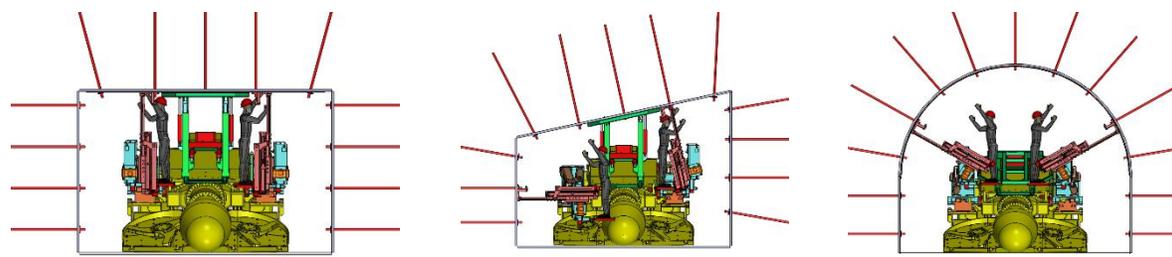
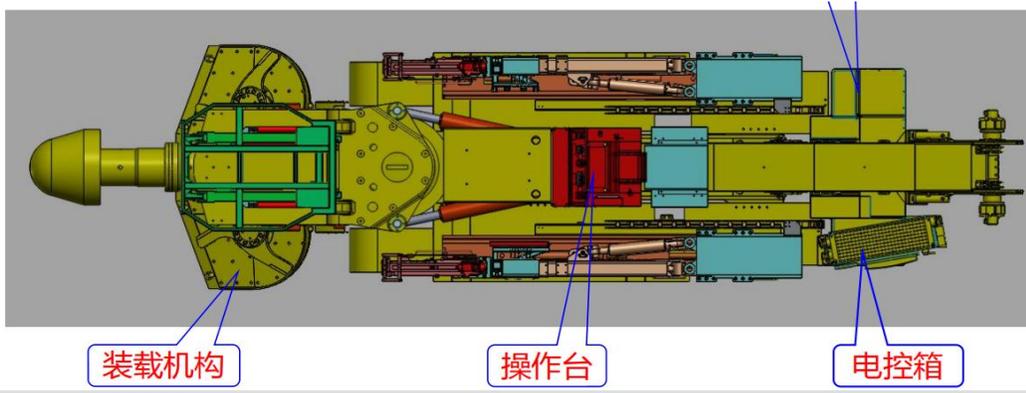
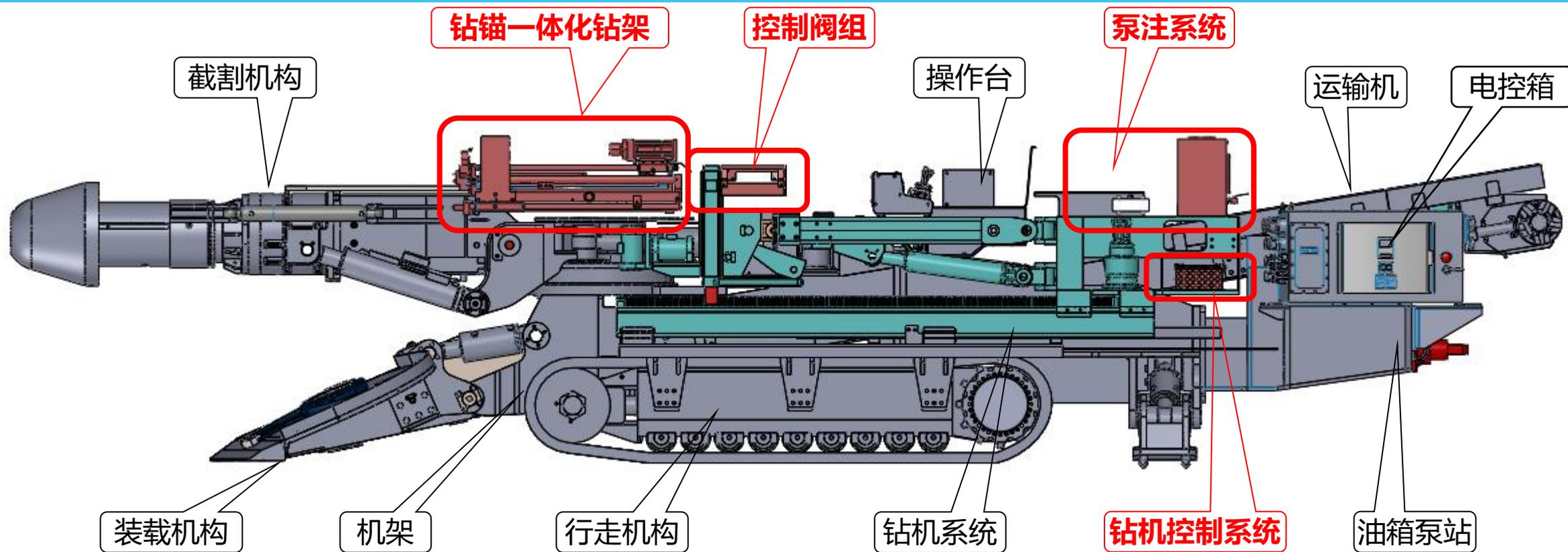


组成功能	截割/支护	掘锚机	1台
	支护/转运	锚杆转载机组	1台
	转运	带式转载机 (桥式)	1台
		自移机尾	1台
	供电	组合开关	1台
	控制	集控中心	1套

适应地质条件	煤、半煤岩、全岩
适应巷道宽度 (m)	>4.8
适应巷道高度 (m)	2.8 ~ 4.2
胶带搭接行程 (m)	15-30

**掘锚机+锚杆转载机组+桥式转载机+自移机尾**

# 四、新一代快速掘进成套装备



# 四、新一代快速掘进成套装备



## ■ 基于悬臂式掘进机的钻锚一体化掘锚机——杭锦能源推广2套



# 四、新一代快速掘进成套装备



## 方案 3

悬臂式掘进机+钻锚一体化钻臂+喷涂护表+锚运破+连续运输系统

(晋城王坡煤矿)



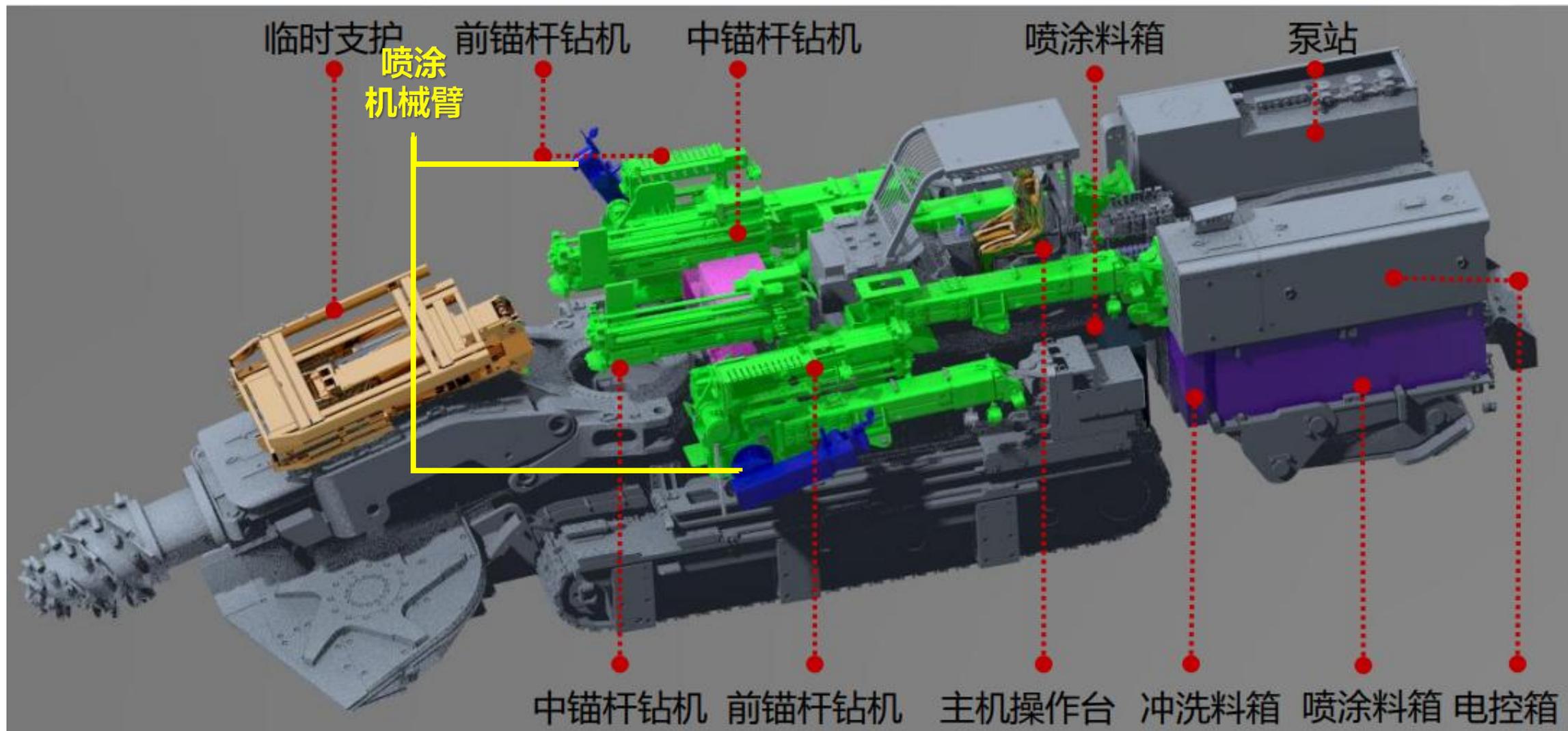
通过帮部喷涂形成临时支护，帮锚杆滞后打设，替代帮部金属网进而提高掘进效率

# 四、新一代快速掘进成套装备



✓ 1号机：掘锚机（4臂钻锚+喷涂）

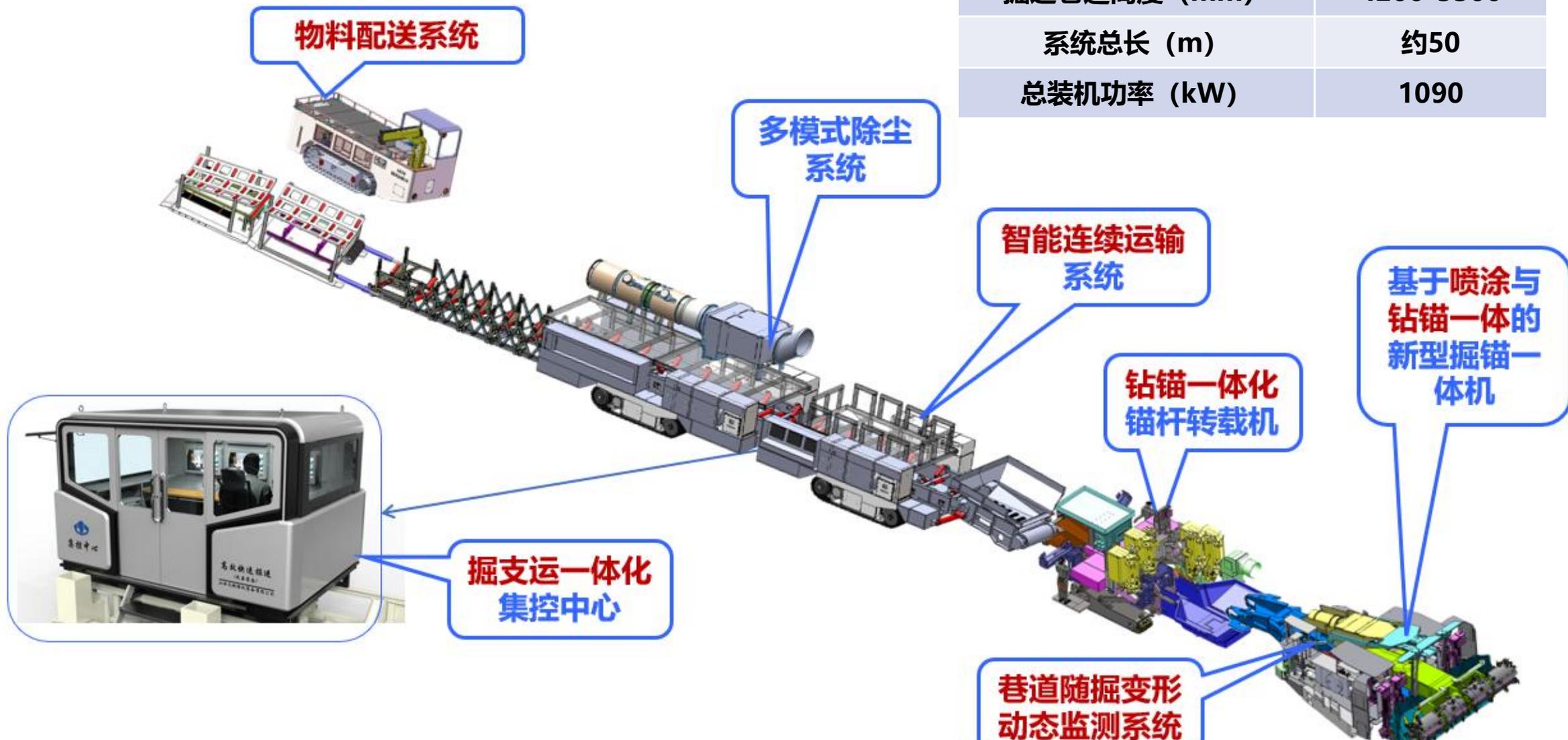
装备



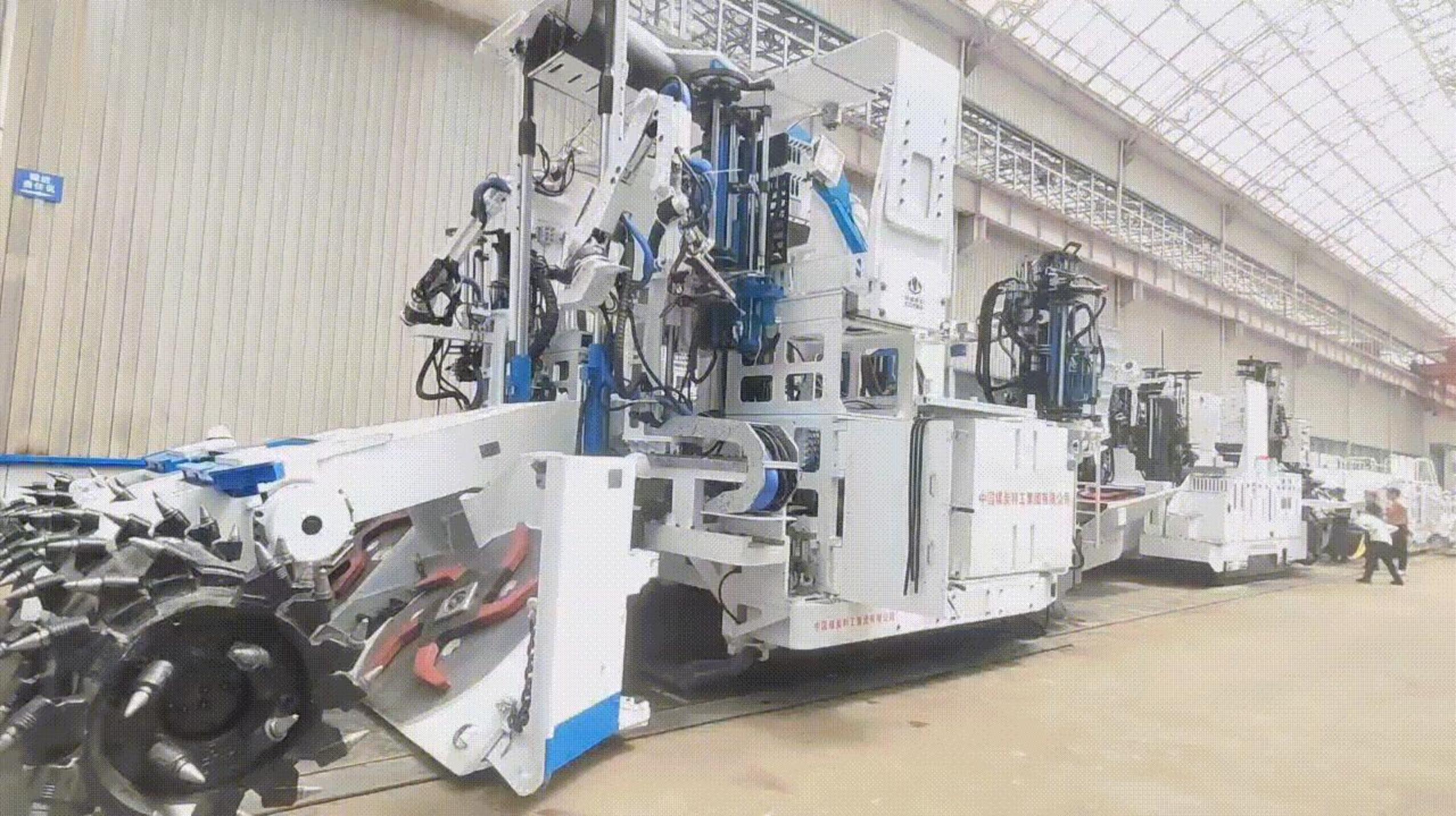
# 四、新一代快速掘进成套装备



## 钻锚一体化快掘系统



掘进巷道宽度 (mm)	6600
掘进巷道高度 (mm)	4200-5500
系统总长 (m)	约50
总装机功率 (kW)	1090



中国煤炭工业集团有限公司

中国煤炭工业集团有限公司

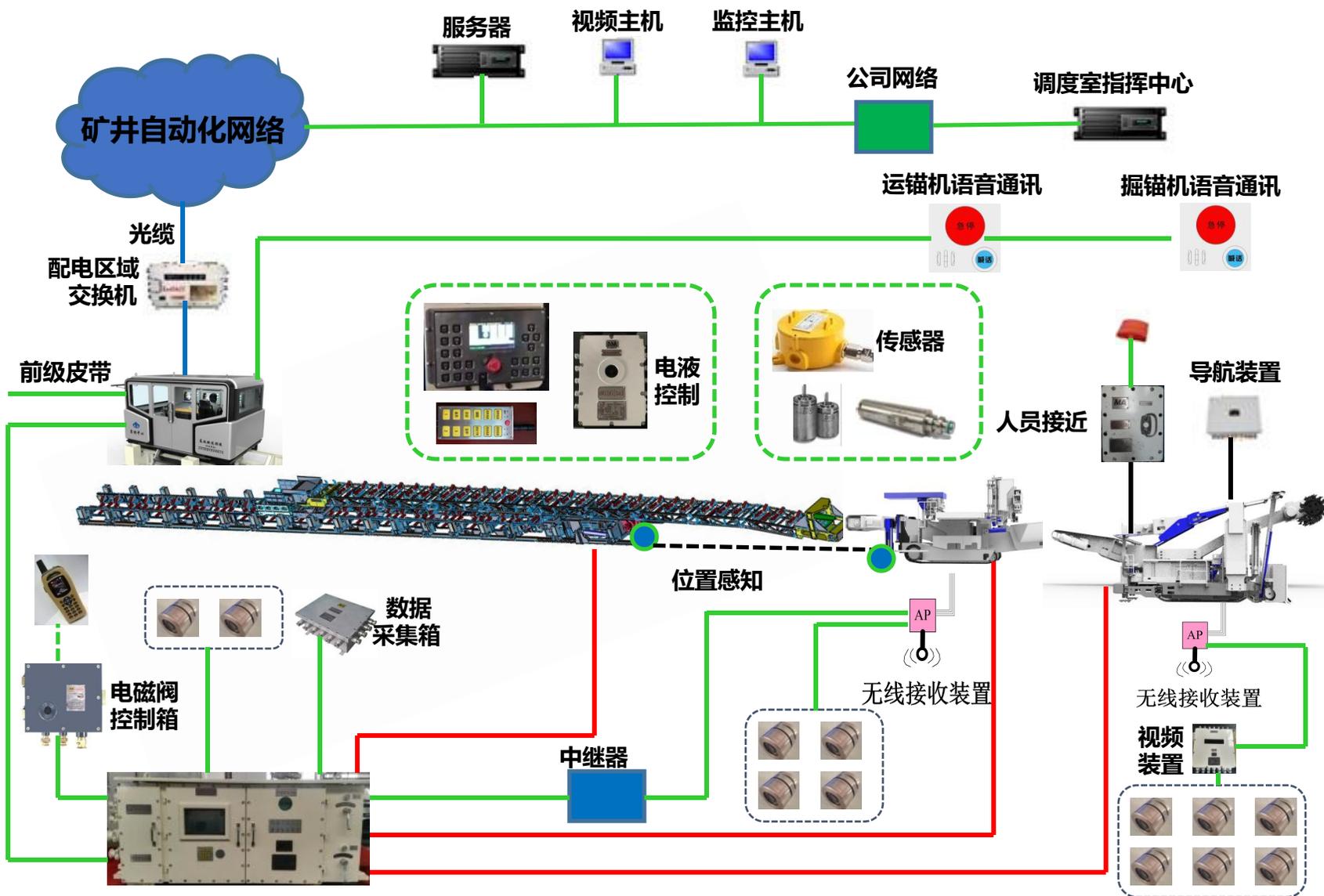
中国煤炭工业集团有限公司

# 四、新一代快速掘进成套装备



## 系统组成

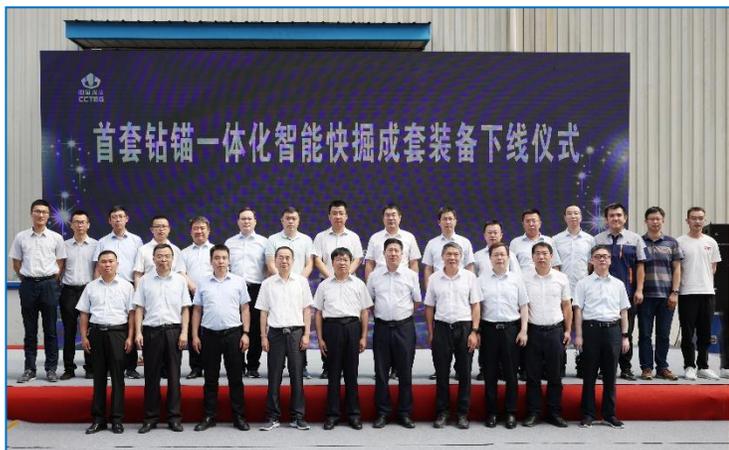
- ✓ 掘锚一体机智能化
- ✓ 后配套智能化
- ✓ 供电管理中心
- ✓ 井下集控
- ✓ 地面集控
- ✓ 工作面通讯网络
- ✓ 人员接近装置
- ✓ 工作面语音通讯



# 四、新一代快速掘进成套装备



## ■ 第三方评价



下线仪式介绍技术与设备



学习强国  
中共中央宣传部“学习强国”学习平台

打开

快速掘进领域新突破！我国首套钻锚一体化智能快掘成套装备成功下线

学习强国

“将传统锚杆支护6道工序简化为1道，实现了锚杆支护技术变革”

装备下线仪式在太原举行。



钻锚一体化智能快速掘进成套装备

×

国资小新 >

...

04

地下掘进自动化智能化再上新台阶

7月7日，  
由中国煤科开采研究院联合  
太原研究院研发制造的  
首套钻锚一体化智能快掘成套装备下线。



国资委官方平台 权威报道  
我国重大科技进展

作为煤炭行业唯一  
“大国重器”与C919大  
飞机、浅水水下采油树  
入选央企杀手锏

快速掘进技术与装备水平迈上新台阶。

## 四、新一代快速掘进成套装备



### ■ 曹家滩煤矿井下现场——锚杆代替钻杆、掘锚平行作业



# 四、新一代快速掘进成套装备



## ■ 曹家煤矿井下应用效果

- ✓ 成套装备于2022年10月19日开始调试掘进，已施工锚杆**60000余根**，“一键”自动施工，单根锚杆施工时间由原来**5-6min**缩短为**3min**；
- ✓ 在**6.5m×5.5m**超大断面掘进情况下，目前累计掘进**6000米**，日进尺**63m**。



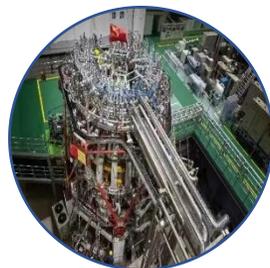
# 钻锚一体化智能快掘成套装备



C919大飞机



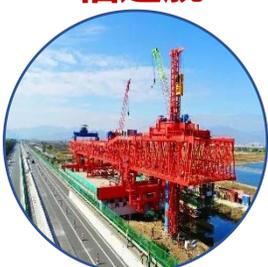
第三艘航母  
福建舰



新一代“人造太阳”



F级50兆瓦重型燃  
气轮机



共工号



海基一号



16兆瓦海上风  
电组



大丝束碳纤维



梦想号



◆ 入选2022年度央企十大国之重器

◆ 北京市国际首创产品（排名第1）



五

# 结论与展望



- **影响掘进工作面围岩稳定性的地质力学因素主要有围岩强度、地质构造、围岩结构及地应力；掘进参数包括巷道断面形状与参数、开挖方式、空顶距、掘进速度等。进行掘进工作面围岩稳定性、可掘性、可钻性及可锚性分类与评价，是选择掘进模式与装备的必要基础。**
- **掘进与支护突出问题：缺乏有效的临时支护，不能实现掘支平行作业；锚杆与锚索施工工艺复杂、人工操作、占用时间长；单机自动化程度低，多机协同作业能力差；掘进装备可靠性差，整体开机率较低。**
- **提高煤巷掘进与支护速度的主要途径：选择合适的掘进模式，优化掘进工艺，优选掘进装备；确定合理的支护形式与参数，适当降低支护密度；掘进全系统整体配套与协同。**



- **掘进自动化、智能化是实现快速掘进的有效途径。**
  - ✓ **高效、准确的掘进工作面超前探测技术与装备**
  - ✓ **掘进工作面高精度定位导航技术与装备；**
  - ✓ **自动化、智能化截割技术；**
  - ✓ **掘进工作面临时主动支护材料与设备；**
  - ✓ **锚杆、锚索自动化施工技术装备；**
  - ✓ **掘支装备工况、巷道围岩稳定性、支护体状态及掘进工作面环境监测及大数据分析、反馈，自主修改支护设计并自动执行；**
  - ✓ **超前探测、掘进、支护、运输、通风、降尘等全系统自动化、智能化配套升级，以大幅提高掘进速度与效率。**

**谢 谢!**

**敬请批评指正**