

矿山安全科技进内蒙古

煤矿巷道快速掘进技术装备与软岩支护技术

吴拥政

中煤科工开采研究院有限公司

2024年7月22日

个人简介

- **吴拥政，研究员，博士生导师，中国煤炭科工集团一级首席科学家，中煤科工开采研究院有限公司副总经理，煤炭行业矿山岩层控制工程研究中心主任，矿山顶板灾害防控国家矿监局重点实验室副主任。**
- **入选国家“万人计划”科技创新领军人才，百千万人才工程国家级人选，国家有突出贡献中青年专家，科技部“中青年科技创新领军人才”，享受国务院政府特殊津贴等。**
- **一直从事煤矿巷道围岩控制的研究和开发工作，获国家技术发明二等奖1项，国家科技进步二等奖1项，省部级科技进步奖一等奖12项，发表论文100余篇，授权国家发明专利40余件，制修订国家及行业标准14项。**



目录

CONTENTS

- 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 软岩巷道支护技术及应用

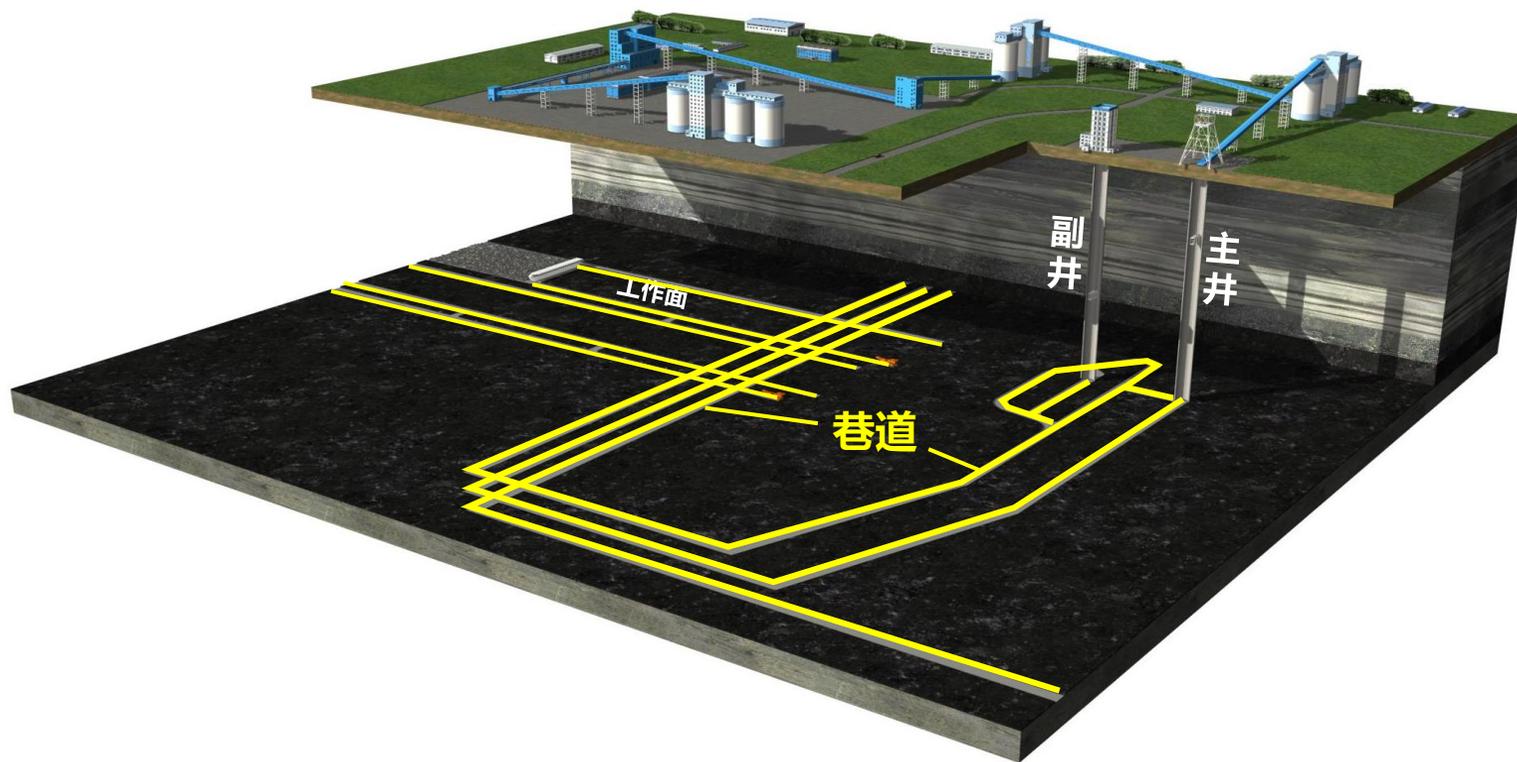


前言

一、前言



我国以井工开采为主。井工煤矿数量占92%，产能占82%。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



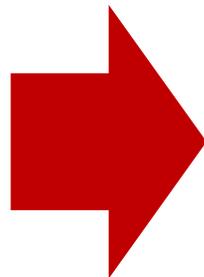
每年新掘巷道长度相当于地球直径



■ 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



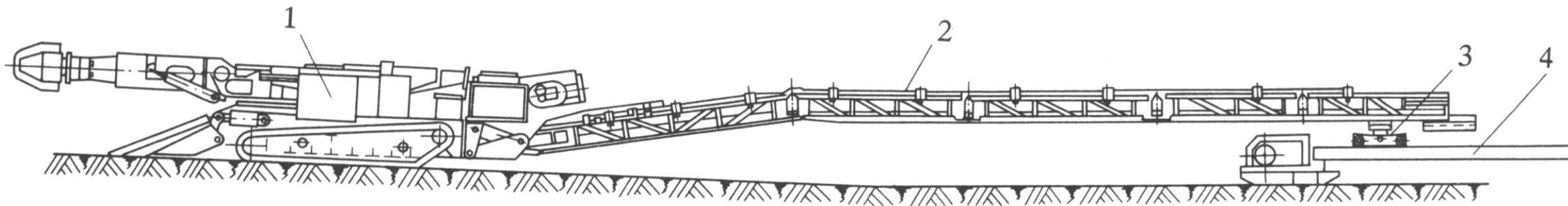
- ✓ 巷道地质与生产条件；
- ✓ 掘进工艺与设备；
- ✓ 支护形式参数工艺及设备；
- ✓ 后配套运输；
- ✓ 各个环节的相互匹配性；
- ✓ 劳动组织。



■ 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、神东等顶板条件好、围岩完整，最高月进尺超过 **3000m**；其它占全国约 **90%** 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**。



综掘系统

一、前言



特点二：掘进机械化、自动化程度低、用人多，事故多



掘进工作面 **1.6万** 个，掘支人员超 **70万**，是回采人员的 **3** 倍多，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，顶板事故起数与死亡人数占事故总起数和死亡人数均超 **50%**。

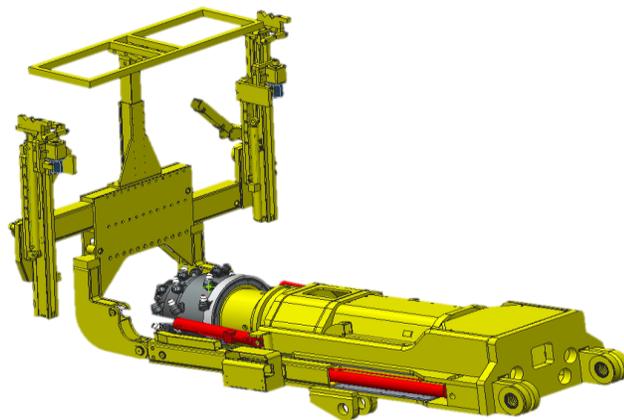




■ 煤矿掘进与支护作业关键难题

难题一

缺乏有效的
临时支护



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。

一、前言



■ 煤矿掘进与支护作业关键难题

难题二

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

90% 左右巷道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。

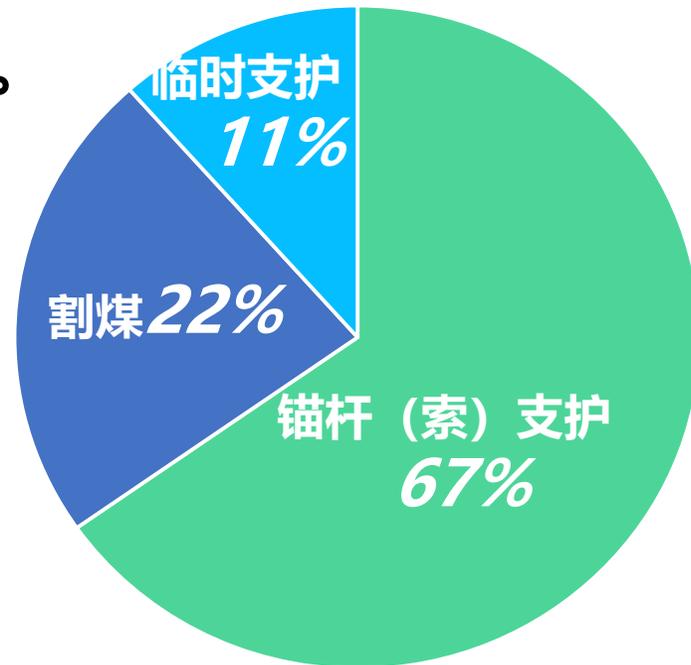


■ 煤矿掘进与支护作业关键难题

锚杆、锚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%**。**

难题三

锚杆、锚索支护施工时间长





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



煤矿巷道掘进工艺与装备

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



太原院EJM340/4-2H

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

弊端

- ✓ 截割扰动大，空顶距较大，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



■ 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

1

“掘一锚一”作业，掘进与支护**反复换位**，**相互干扰**；

2

缺乏有效的临时支护；

3

锚杆施工**靠人工**，劳动量大、效率低、占用时间长；

4

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



■ 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

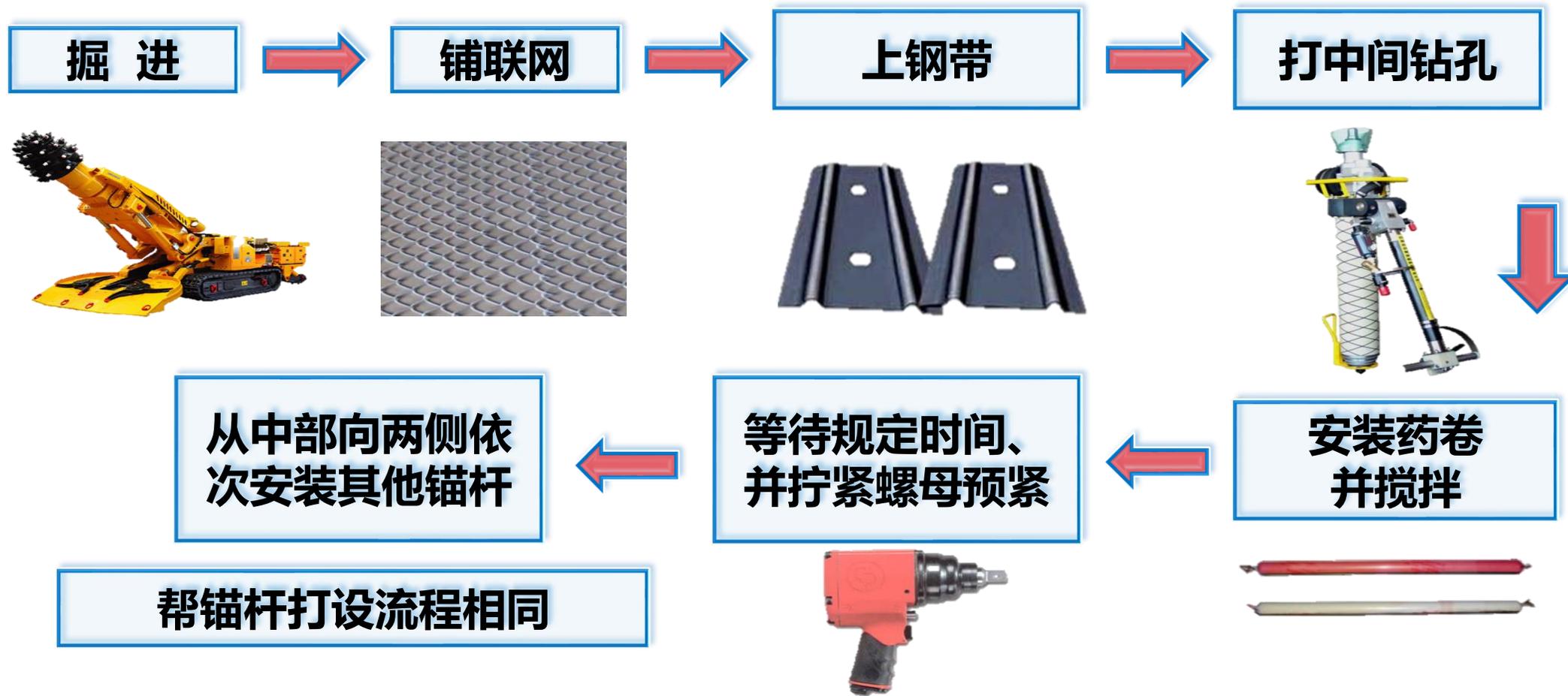
可截割单向抗压强度 $\leq 100\text{MPa}$ (局部 $\leq 120\text{MPa}$) 岩石

二、巷道掘进与支护技术发展现状



■ 巷道支护存在的问题

- ✓ 很多矿区支护设计仍以经验为主，支护密度普遍偏大，造成支护材料浪费；
- ✓ 树脂锚固锚杆锚索支护工序多、工艺复杂，很难实现自动化、智能化；





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
- 掘进装备优选
- 支护参数优化
- 快速支护新技术
- 掘进全系统整体配套与协同

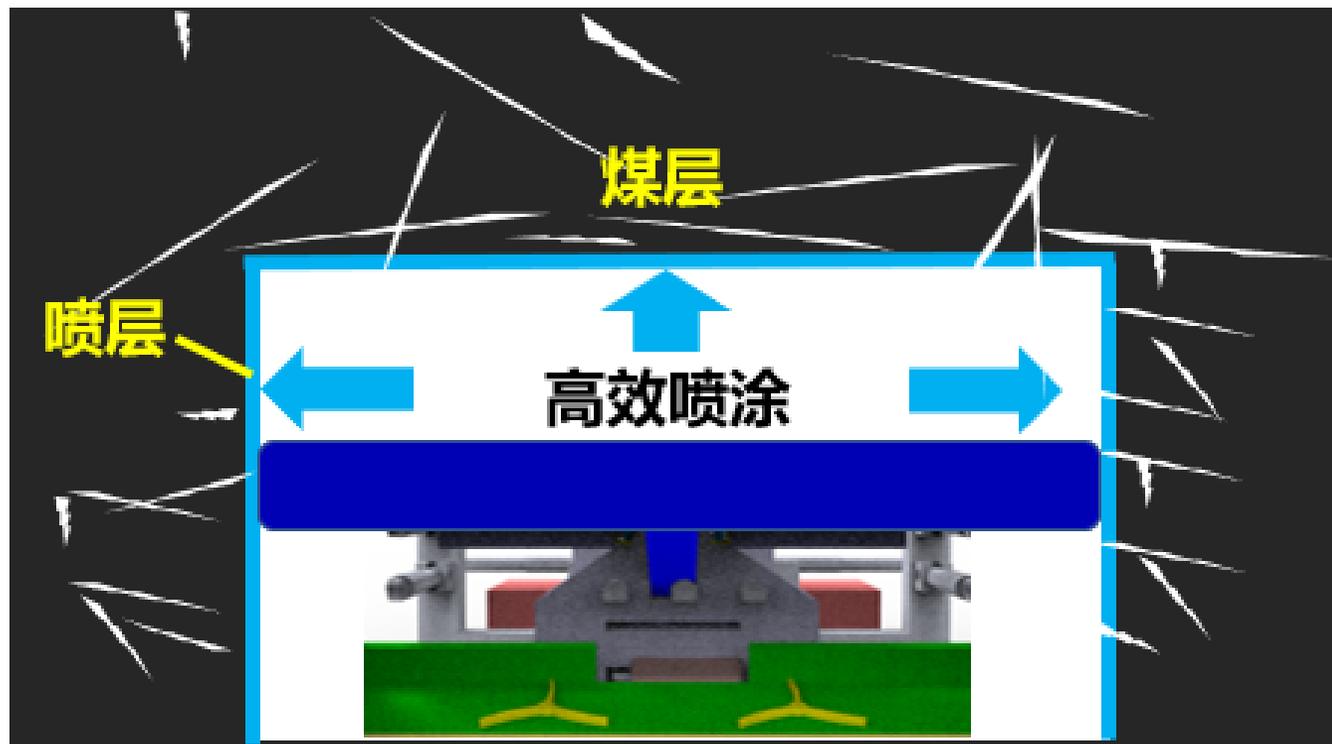


三、巷道掘进自动化与智能化技术



■ 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

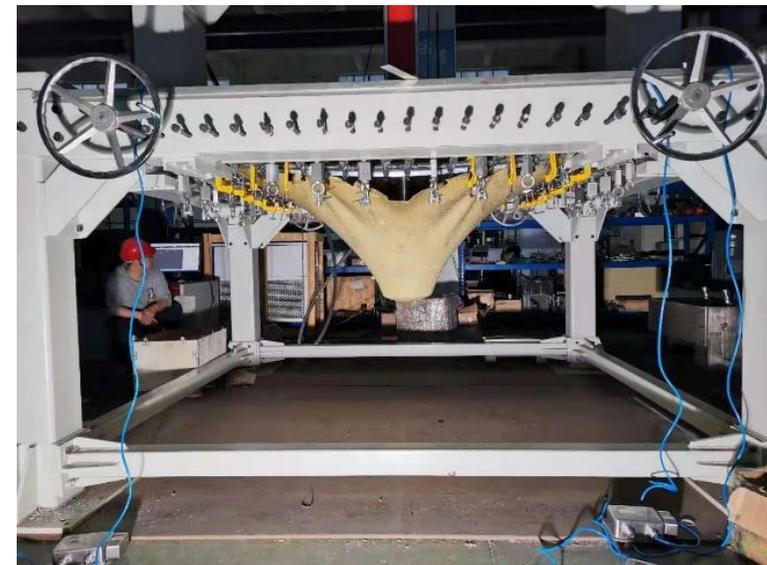


✓ 自动化喷涂支护技术

- 喷涂材料（厚度3-4mm）；
- 自动化喷涂设备；
- 喷涂泵、料箱、机械臂与掘锚一体机联合集成。



护表材料	峰值强度 (kN)	对应位移 (mm)	破坏位移 (mm)	护表刚度 (kN/mm)
钢筋网	37.2	195.7	273.1	0.26
经纬网	38.2	456.5	578.5	0.11
菱形网	52.6	476.5	495.5	0.15
新型高性能薄喷 材料	25.23 (未破坏)	626.73 (未破坏)	- (未破坏)	0.04



三、巷道掘进自动化与智能化技术



传统锚杆施工流程



锚杆施工流程繁琐，施工速度慢。永久支护施工时间约占整体成巷时间的70%。开发了新型钻、锚、预紧一体化锚杆及配套的施工装备，效率相对于传统工艺提高一倍以上。

三、巷道掘进自动化与智能化技术



✓ 钻锚一体化锚杆材料、工艺、技术与装备

□ 钻锚一体化新型锚杆

- 钻孔、锚固、预紧一体化，原来6道工序减为1道，施工效率提升1倍以上；
- 锚杆施工质量稳定；
- 锚固力 $\geq 200\text{kN}$ ；预紧力矩超过 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 。



钻锚预紧一体化锚杆

三、巷道掘进自动化与智能化技术



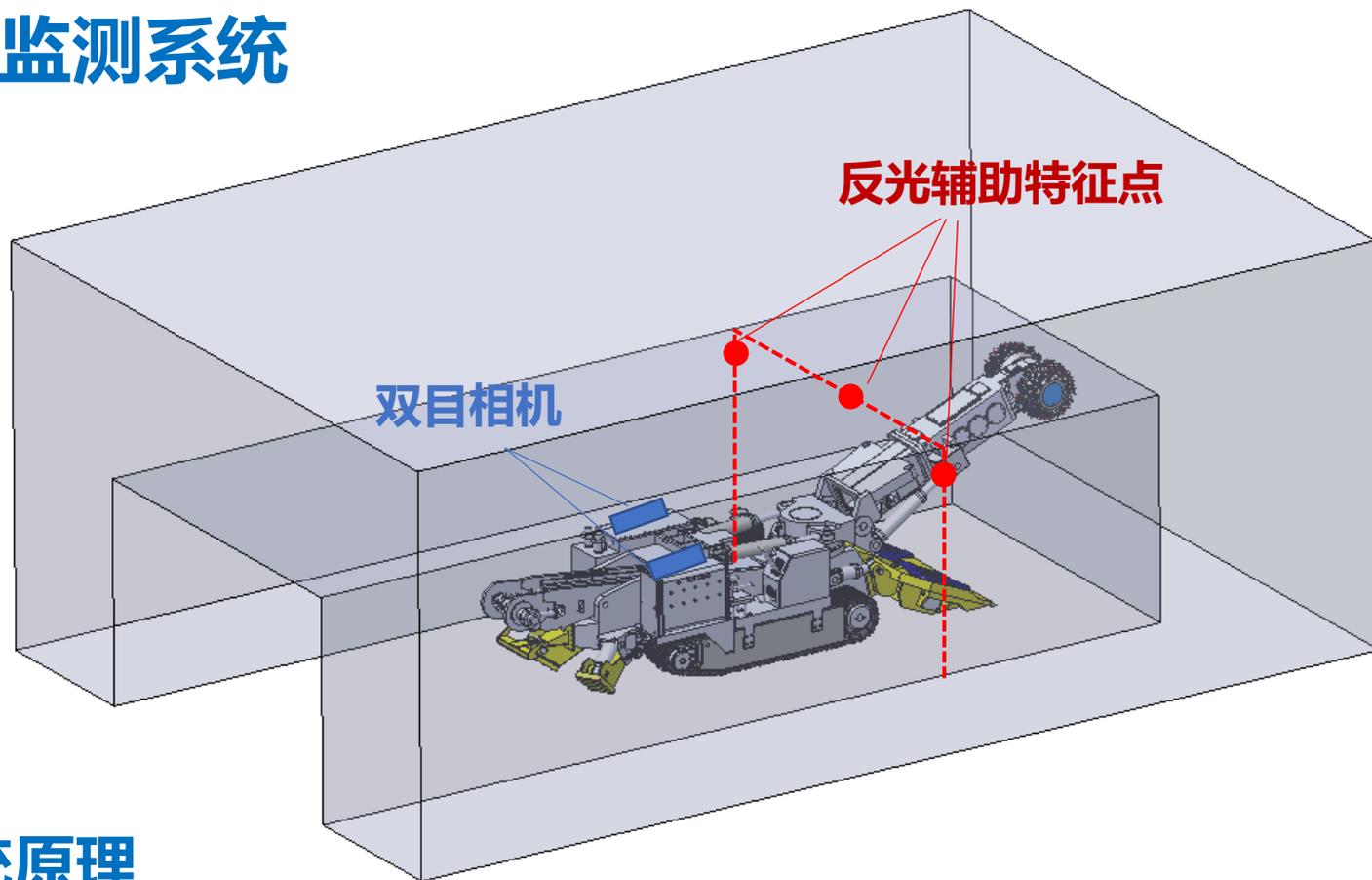
- ✓ **钻锚一体化自动支护系统**
- **自钻式锚杆**，锚杆作为钻杆钻进
- **泵注式锚固剂**，锚固剂自钻箱内部注入锚杆中孔
- **圆形锚杆仓**：一次性存储8根，4自由度
- **组成**：钻架+钻箱+锚杆仓+注浆系统+控制系统
- **功能**：实现一体化锚杆施工无人化
- **工艺**：一体化锚杆、托盘、调心球垫等预安装，实现锚杆存储、抓取、安装、支护施工、锚固等全流程自动化



三、巷道掘进自动化与智能化技术



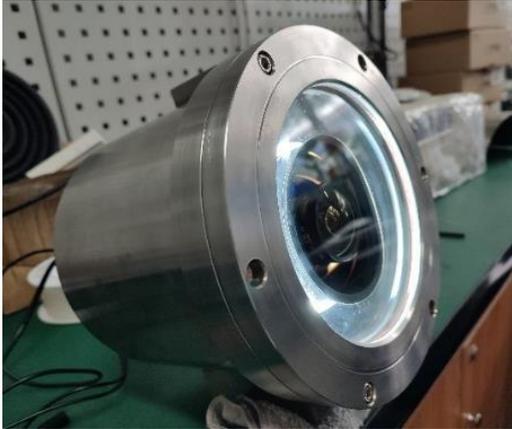
✓ 随掘变形动态监测系统



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 (巷道监测原理)

三、巷道掘进自动化与智能化技术



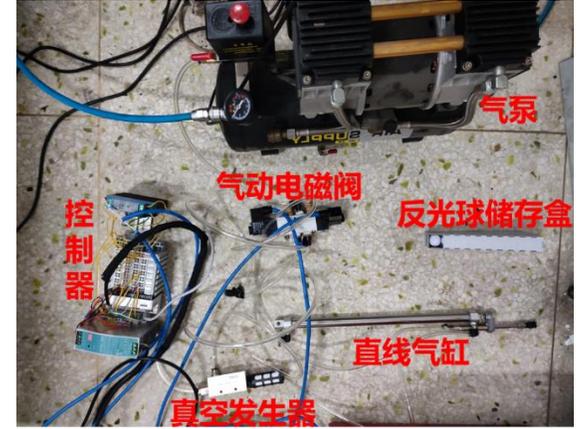
矿用隔爆型相机



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

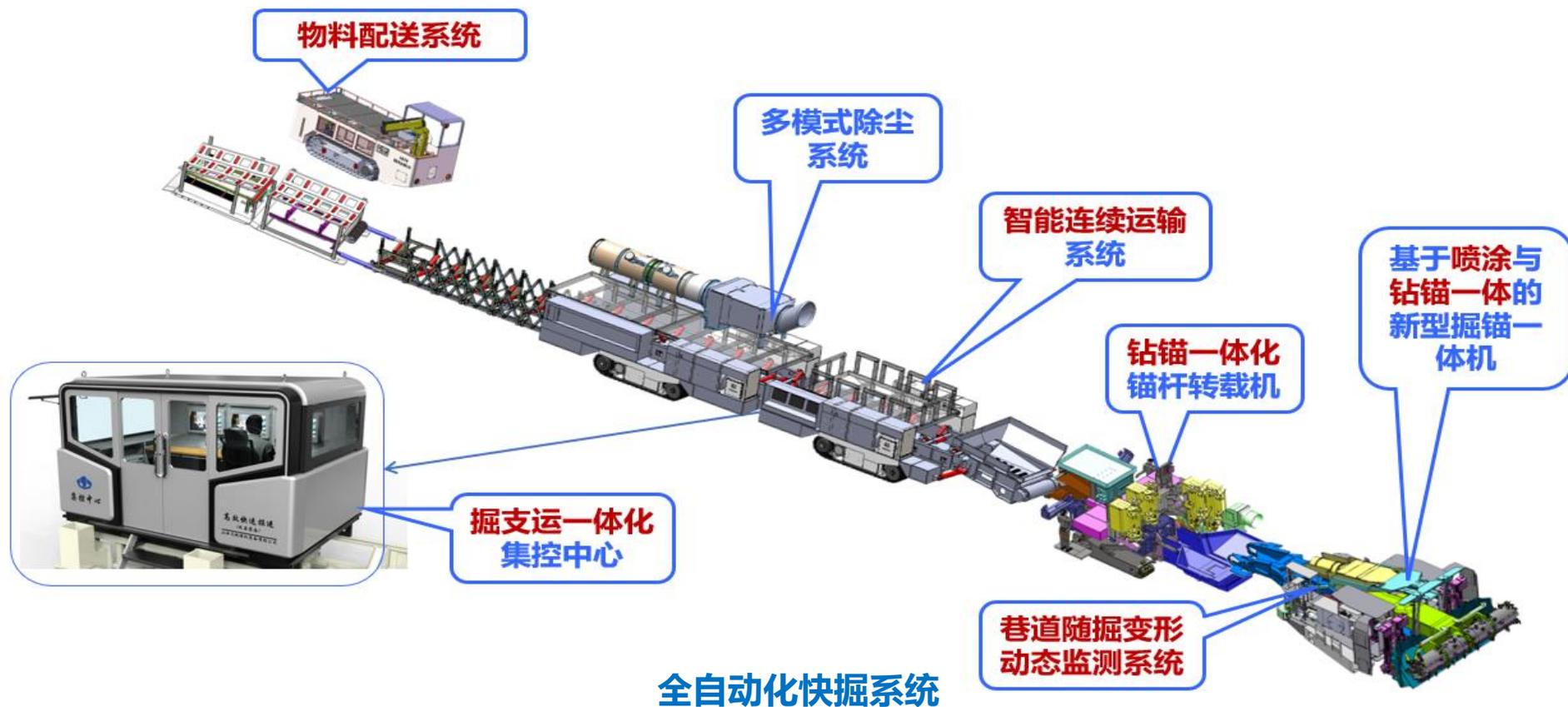
- 自主研发矿用隔爆型相机，内置环形光源适应井下黑暗环境，定制玻璃防水膜避免水雾干扰；
- 定制矿用隔爆兼本安型计算机，含8电口千兆网卡，解决多个双目相机传输速度问题；
- 定制高反射率反光球，适应井下黑暗环境，提高视觉提取精度，提高对煤粉尘抗干扰能力；
- 自主研发气动反光球自动施工装置，利用空气负压吸附反光球，实现自动化安装。

三、巷道掘进自动化与智能化技术



研究进展—钻锚一体化智能快掘成套装备

- 中煤科工开采研究院、太原研究院及陕煤曹家滩煤矿合作，研发出钻锚一体化快速掘进系统，在曹家滩矿进行了工程示范。



三、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



■ 井下试验—曹家滩煤矿122104内回风顺槽

- ✓ 巷道断面尺寸： $6.5\text{m} \times 5.5\text{m}$ ，断面积 35.75m^2 ，跨度大、煤帮高；
- ✓ 巷道设计长度 5980m ；
- ✓ 巷道与相邻工作面采空区距离 50m ，掘进过程中局部发生片帮；
- ✓ 巷道快掘快支和稳定性控制方面存在一定难度。

三、巷道掘进自动化与智能化技术



■ 井下试验—锚杆代替钻杆、掘锚平行作业



三、巷道掘进自动化与智能化技术



■ 井下试验—“一键”打锚杆

✓6道工序减为1道;

✓钻孔、锚固、预紧一体化;

✓新型钻头，有效避开金属网;

✓锚杆“一键”打设。



井下全自动“一键打锚杆”



锚杆打完效果

三、巷道掘进自动化与智能化技术



■ 井下试验—施工质量检测

- ✓ 施工效率提升 **1倍以上**；
- ✓ 施工质量标准统一，**避免了因塌孔、片帮、钻孔过短等原因导致锚杆安装失败的问题**；
- ✓ 锚固力 $\geq 200\text{kN}$ ；
- ✓ 预紧力矩超过 300N.m 。



锚杆施工质量



局部片帮支护情况

三、巷道掘进自动化技术及装备



■ 井下应用效果

- ✓ 装备于2022年10月19日开始调试掘进，施工锚杆**60000余根**，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，已累计掘进**6000m**，**日进尺65m**。
- ✓ 延长石油可可盖煤矿、巴拉素煤矿3套设备正在井下施工，掘进巷道**5660m**，施工新型锚杆50000根，与包头能源、蒙发集团、中煤榆林能化、神东集团等多个煤企签订销售10余套。





四

软岩巷道支护技术及应用

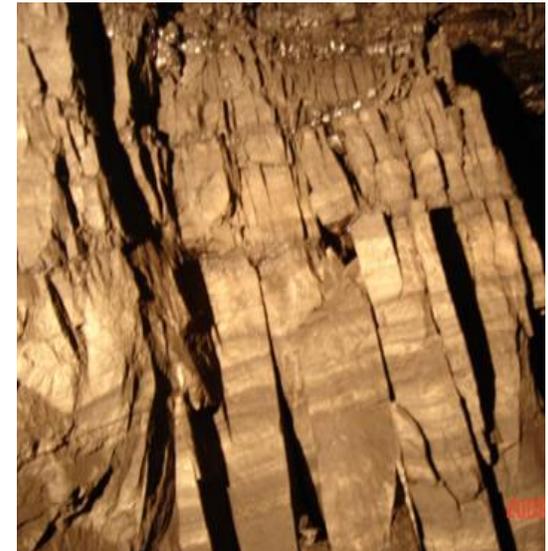
四、软岩巷道支护技术及应用



- 软岩大体可分为3种类型：
 - 第一类：软弱岩体。岩石在自然状态下的强度很低（单轴抗压强度一般**小于30MPa**），遇水软化、膨胀，见风风化，强度进一步降低（黏土岩、泥质岩等）。
 - 第二类：破碎岩体，岩块强度并不低，但结构面发育，岩体整体强度低。
 - 第三类：高应力岩体。岩块强度并不低，结构面也不发育，只是受到高应力作用，呈现软岩特点。



顶板破碎

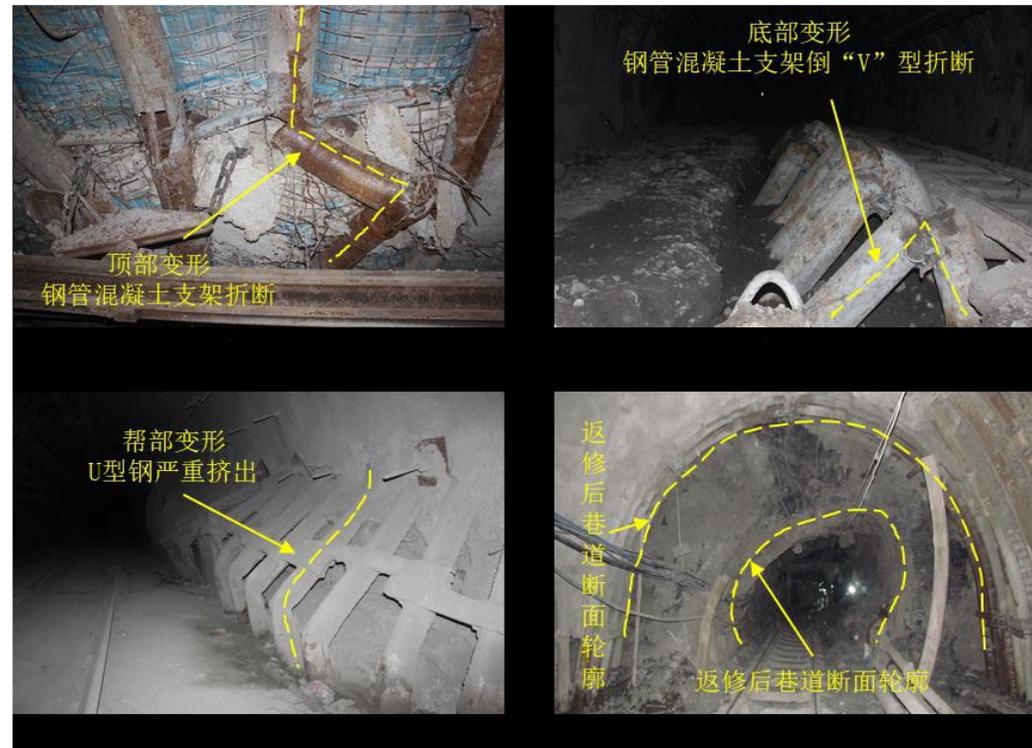


巷帮破碎

四、软岩巷道支护技术及应用



- ✓ 按照工程软岩的定义，软岩可以分成四类，即膨胀性软岩、高地应力软岩、节理化软岩和复合型软岩。
- ✓ 软岩具有可塑性、膨胀性、崩解性、流变性
及易扰动性等特点。



巷道类型	围岩特点	支护形式	典型矿区
软岩巷道	围岩松软，强度低，遇水软化、膨胀	全长锚固锚杆与锚索，喷射混凝土，必要时增设金属支架	平庄、龙口、铁法、淮南、淮北等矿区



■ 软岩巷道特点

- ✓ 围岩强度低、完整性差；
- ✓ 高应力；
- ✓ 强采动。

■ 软岩巷道围岩变形形式

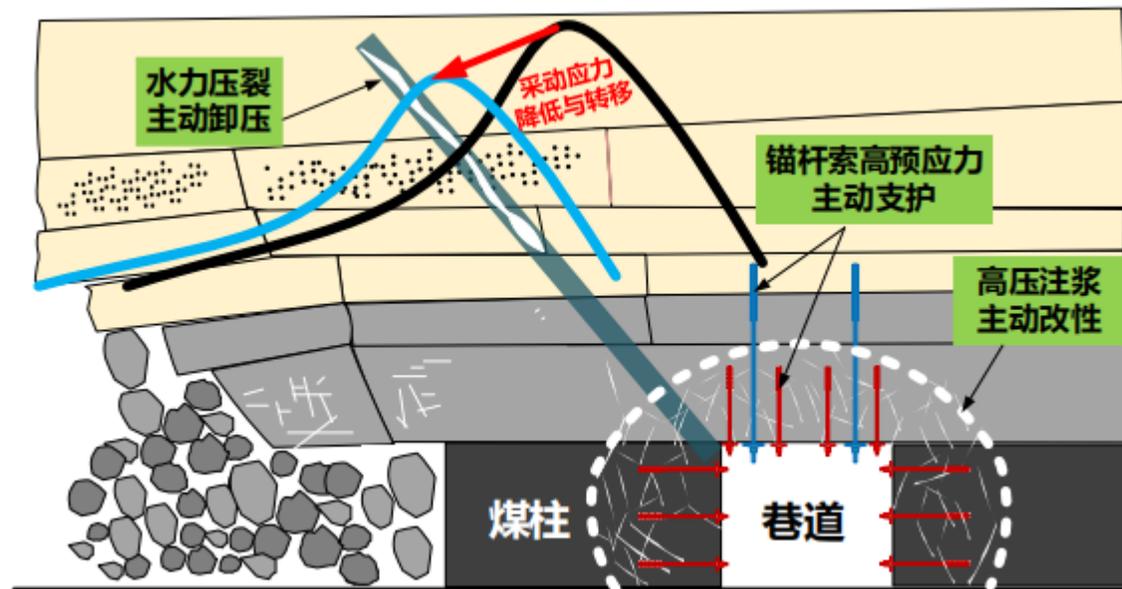
- ✓ 遇水软化与膨胀
- ✓ 偏应力作用下的扩容变形；
- ✓ 强流变；
- ✓ 结构大变形；
- ✓ 冲击变形。

四、软岩巷道支护技术及应用



巷道支护-改性-卸压时空协同控制原理

- 传统单一支护很难控制软岩巷道大变形。
- 支护-改性-卸压协同控制。
 - ✓ 首先进行锚杆锚索高预应力主动支护；
 - ✓ 围岩裂隙发育，高压力劈裂注浆主动改性，提高巷道强度、锚固力和完整性；
 - ✓ 完成支护-改性后，选择合理层位，在工作面采动应力升高前卸压，减小侧方悬顶和采空区后方悬顶，降低应力集中程度；
 - ✓ 对于软岩，及时喷浆封闭，防止围岩遇水软化、膨胀及风化极为重要。



巷道支护-改性-卸压协同控制原理

时间协同 } 应力、强度控制 → 变形控制
空间协同 }

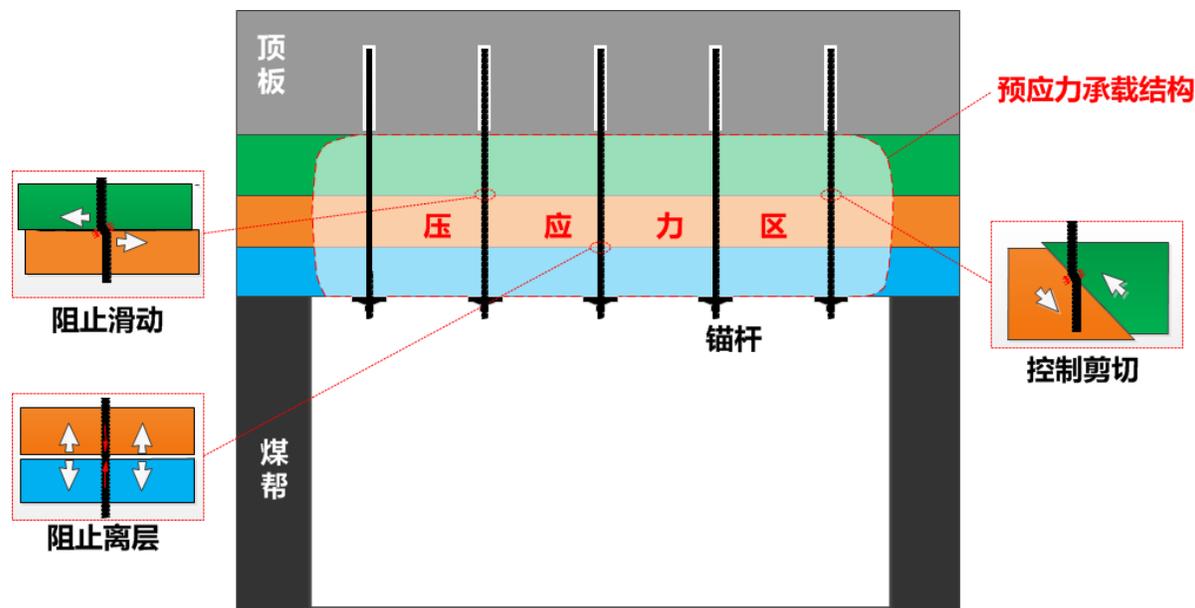
四、软岩巷道支护技术及应用



主动支护—高预应力锚杆与锚索支护

■ 预应力支护原理

- ✓ 主要作用：减小偏应力，控制围岩不连续、不协调的扩容变形，保持围岩完整性，减小围岩强度降低。在锚固区形成预应力承载结构。
- ✓ 锚杆预应力及其有效扩散起决定性作用；
- ✓ 锚杆支护具有足够延伸率和冲击韧性，使围岩连续变形释放，避免局部破坏。
- ✓ 高预应力高强度锚杆，实现一次支护。



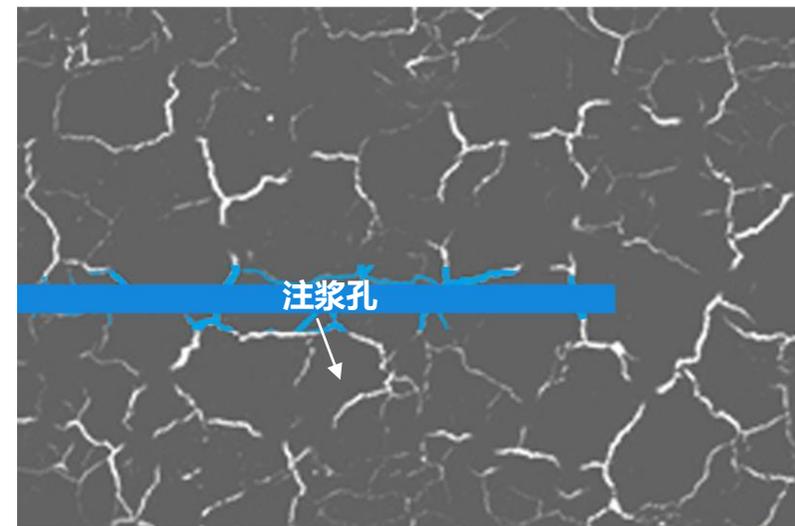
预应力锚杆支护原理图

四、软岩巷道支护技术及应用



主动改性-高压劈裂注浆

- 现有无机材料难注入低渗透围岩，有机材料价格高、污染环境。
- 开发高渗透、高强度、高黏结微纳米**无机有机复合**注浆材料。
- **高渗透**：减小材料粒径；改善浆液对裂隙表面润湿性；劈裂连通孤立裂隙；
- **高强度**：选用快速水化反应矿物材料；掺入促进水化反应的添加剂；减小材料粒径，增加反应面积。
- **高黏结**：改善浆液对裂隙表面润湿性，可进入裂隙表面微观凹凸；浆液与裂隙表面形成化学键作用。



高压劈裂注浆主动改性过程

四、软岩巷道支护技术及应用



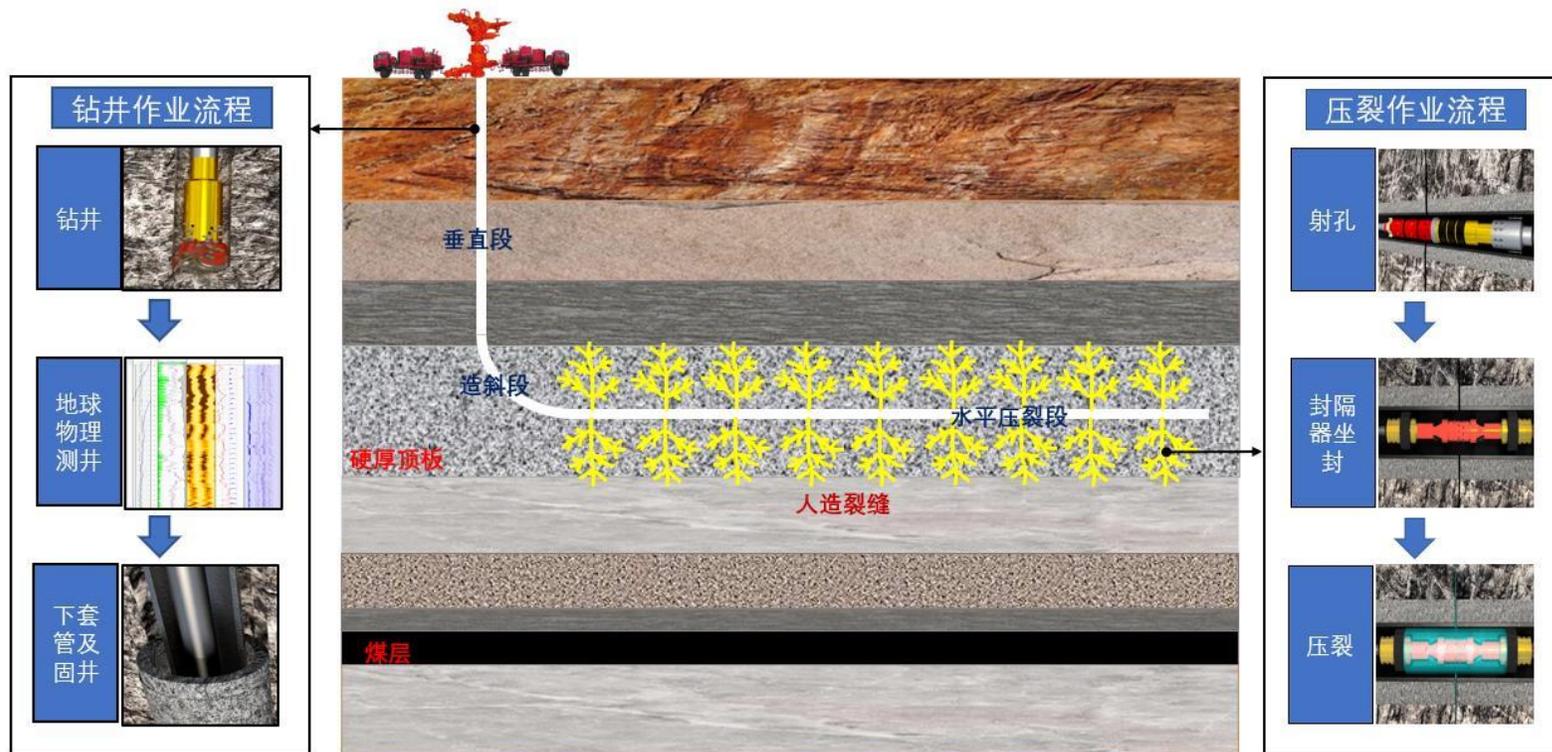
主动卸压—高应力、强采动巷道

■ 水力压裂卸压

✓ 水力压裂用于采煤工作面坚硬顶板弱化，高应力、强采动巷道围岩控制及冲击地压防治。

✓ 水力压裂卸压分类

- 实施地点：地面压裂和井下压裂。
- 井下压裂：区域压裂和局部压裂。
- 层位：高位、中位及低位压裂



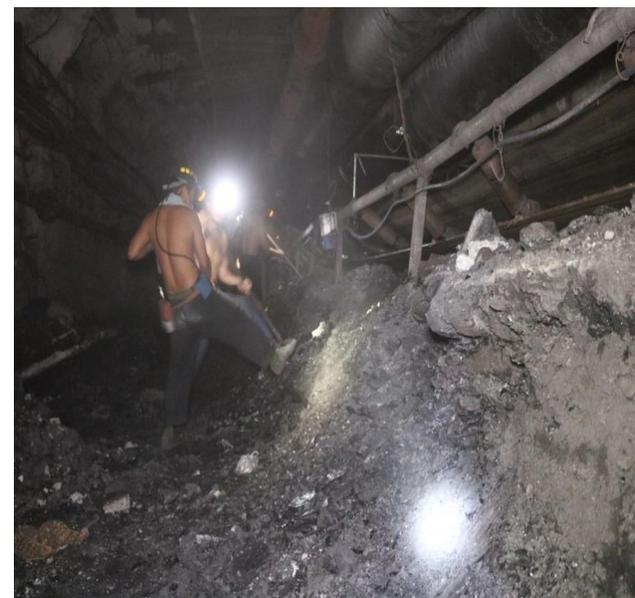
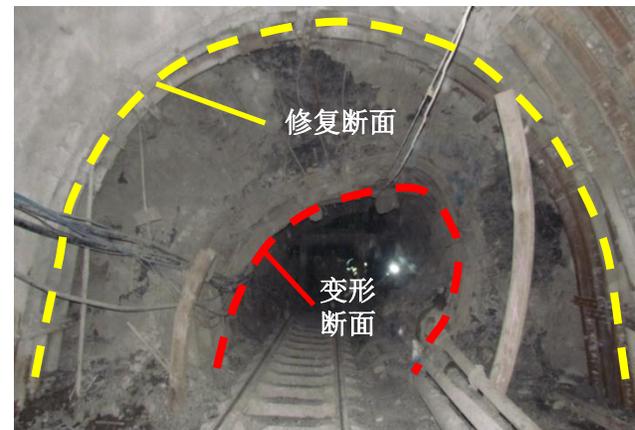
地面大范围体积压裂技术示意图

四、软岩巷道支护技术及应用



■ 千米深井软岩巷道围岩控制技术

- ✓ 开采深度达到1000m，地应力高。
- ✓ 围岩松软，遇风、水强度劣化严重。
- ✓ 巷道严重变形，最大累计底鼓量超过10m。
前掘后修、边掘边修、重复修护，巷道失修率高达60%。

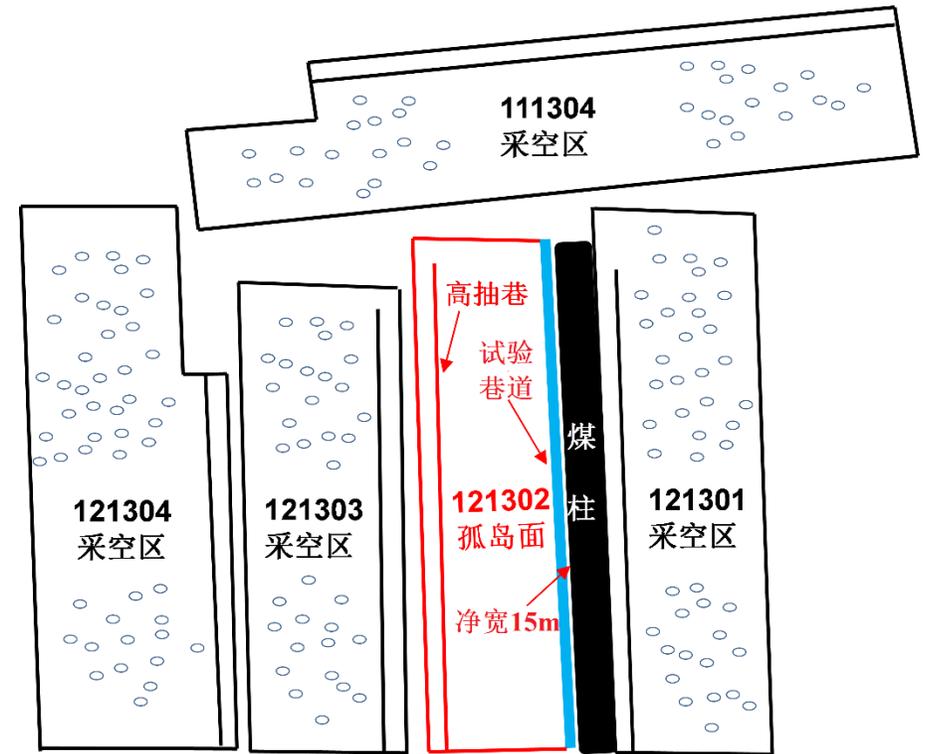


口孜东矿深井软岩巷道变形破坏状况

四、软岩巷道支护技术及应用



- 121302工作面，开采13-1煤层，平均厚度4.9m，埋深1000m，工作面长350m。试验点为121302工作面运输巷。
- 运输巷距采空区煤柱宽度15m。
- 原支护采用锚网索支护+喷浆+滞后注浆联合控制方案。
- 巷道变形严重，大量锚杆、锚索破断，钢带撕裂、托板压翻。



工作面及试验巷道平面布置图

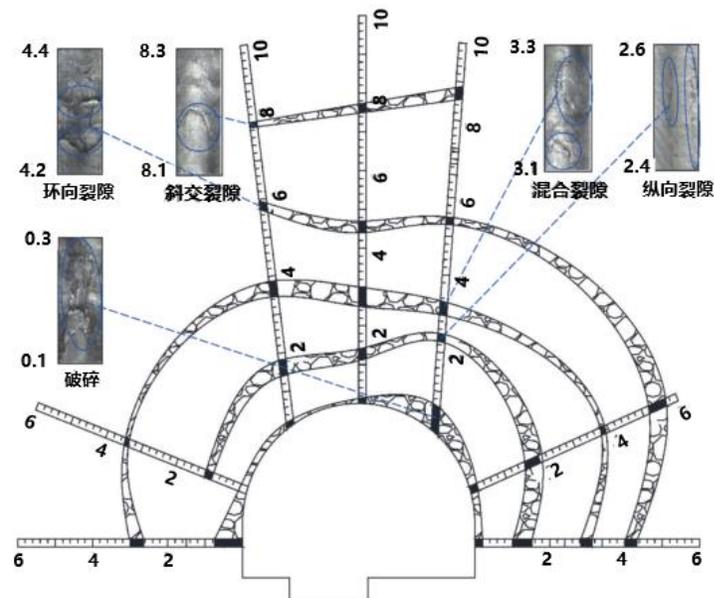
四、软岩巷道支护技术及应用



- ✓ 煤层强度**10MPa**，顶底板均以**泥岩、砂质泥岩**等软岩为主，强度**37.7MPa**。
- ✓ 顶板**37.1 ~ 45.3m**存在**8.2m**坚硬**细砂岩**，强度**91MPa**。
- ✓ 存在**环向、斜交、复合**等多种裂隙。
- ✓ **粘土矿物**占总矿物含量**60%**左右。
- ✓ **煤帮锚固力低**，工作面帮锚杆锚固力**86kN**，煤柱帮仅**20kN**，“生根”困难。

岩性	厚度/m	顶底板累计厚度/m
细砂岩	8.2	45.3
砂质泥岩与泥岩互层	15	37.1
细砂岩与砂质泥岩互层	11.7	22.1
泥岩与砂质泥岩互层	10.4	10.4
13-1煤层	4.9	4.9
泥岩	5.5	5.5
砂质泥岩与泥岩互层	21.6	27.1
细砂岩	5.1	32.2

顶底板岩层分布



巷道全断面窥视图

图中数字为钻孔窥视仪测量的深度（或者是钻孔深度），m

四、软岩巷道支护技术及应用



口孜东矿松散层巨厚，煤岩层松软、埋深大、采动影响强烈。

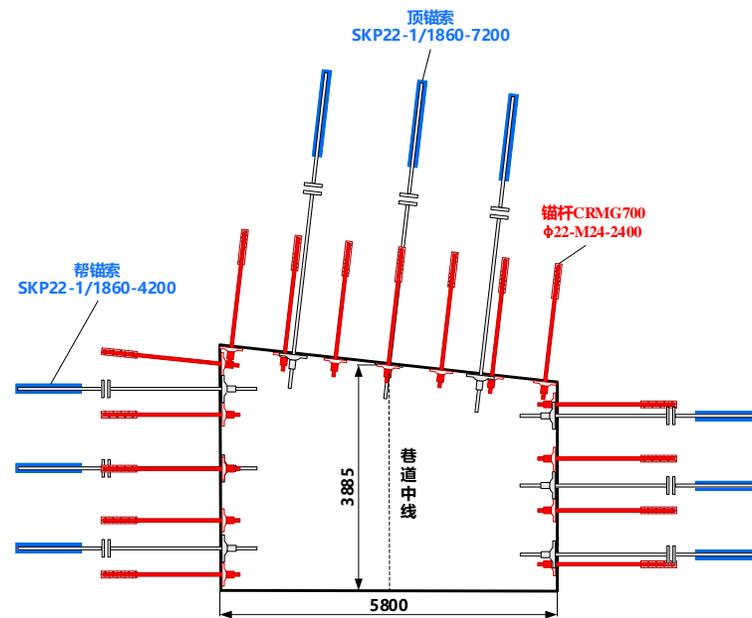
- ✓ 巨厚松散层591m、软岩，岩层以泥岩为主，煤层松软破碎，强度低。
- ✓ 高地应力，埋深大，5#煤层实测最大应力24.94MPa，垂直应力为主。
- ✓ 强采动，采高5m，工作面长，采动影响强烈，采动范围150m以上。
- ✓ 大变形，持续变形，锚固结构整体移近，累计底鼓6m，帮移近4m。



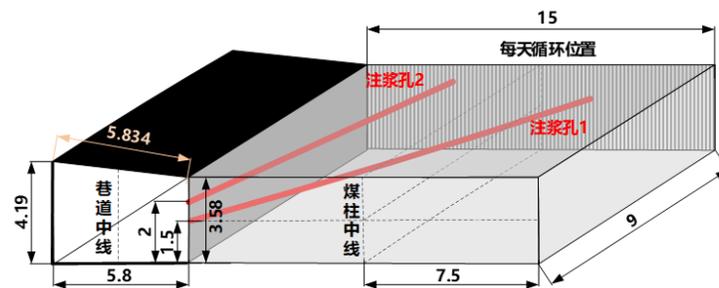
四、软岩巷道支护技术及应用



- ✓ 高预应力锚杆支护—高压劈裂注浆改性—水力压裂卸压。
- ✓ 700号超高强度锚杆，直径22mm、长2.4m，预紧扭矩500N.m；锚索直径22mm，预应力300kN。
- ✓ 高压劈裂注浆：煤柱侧超前注浆，微纳米无机有机复合材料，高压劈裂注浆。



口孜东矿巷道锚杆锚索支护布置图



口孜东矿巷道超前注浆孔布置图

四、软岩巷道支护技术及应用

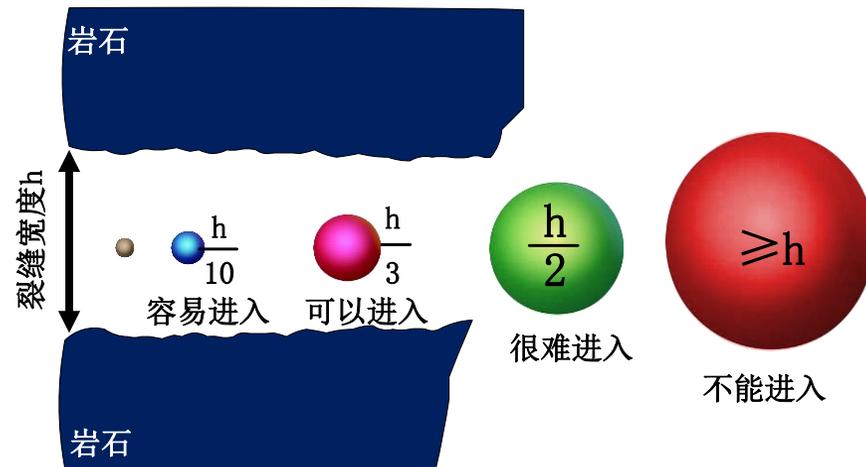


■ 主动改性—注浆

- ✓ 超前、高压劈裂注浆，解决注不进、粘不住问题。
- ✓ 提高煤体强度、完整性及锚杆锚固力，煤柱侧帮注浆后，锚杆拉拔力提高2倍左右。
- ✓ 控制巷帮变形，提高巷帮对顶板支撑能力。

	拉拔位置	锚固剂用量	拉拔力/kN
注浆加固前	煤柱侧帮，距工作面8m	2支MSK2350	47
注浆加固后	支护-改性-卸压试验段	2支MSK2350	140
	支护-改性-卸压试验段	2支MSK2350	150
	支护-改性-卸压试验段	2支MSK2350	140

注浆前后煤柱侧帮锚杆拉拔力测试结果



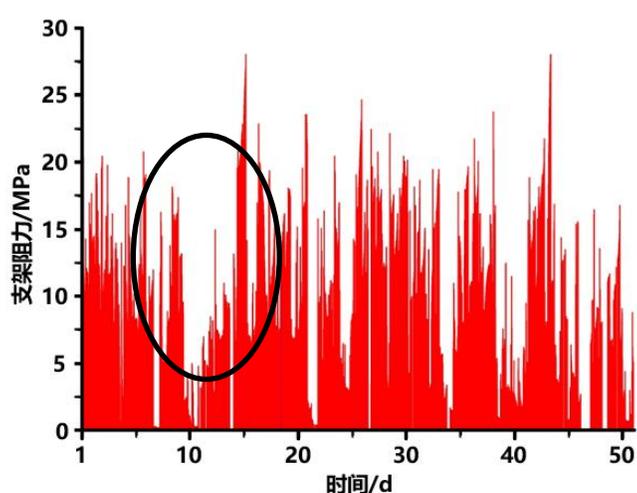
注浆颗粒与裂缝大小的关系

四、软岩巷道支护技术及应用

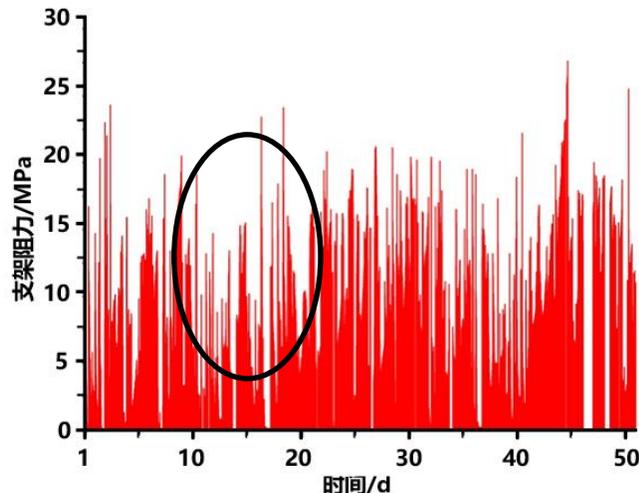


✓ 水力压裂

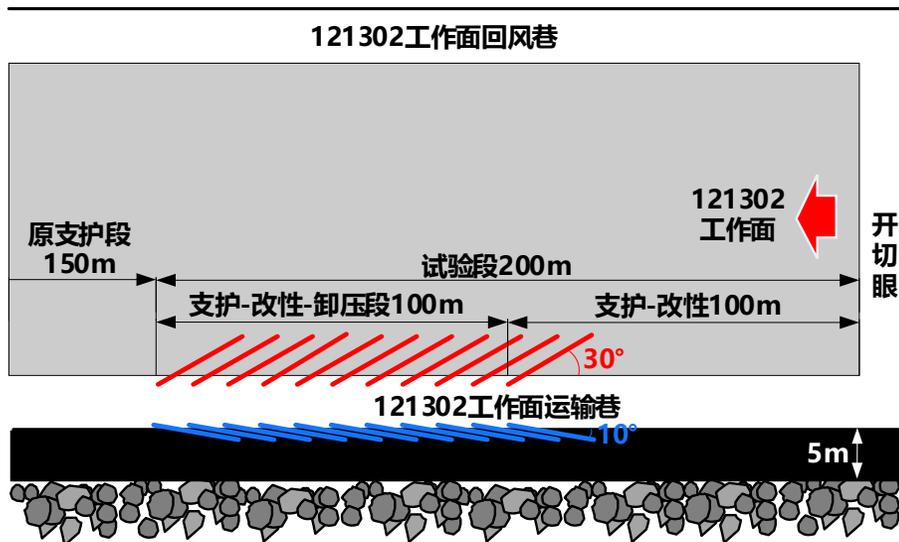
- 目标层为顶板上部37-45m坚硬细砂岩。
- 巷道两侧布置2组钻孔，间距10m，孔深67m。
- 与运输巷轴向夹角30°、10°。
- 压裂段液压支架平均阻力5-7MPa，非压裂段支架平均阻力为12.5MPa，降低56%-60%。



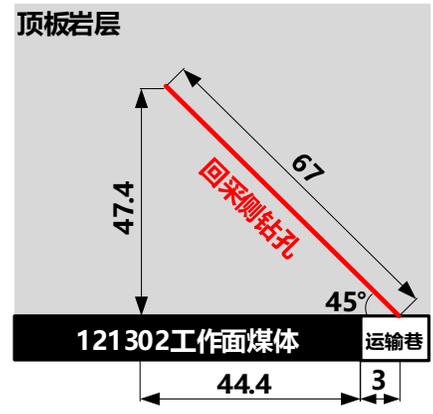
4#液压支架立柱阻力



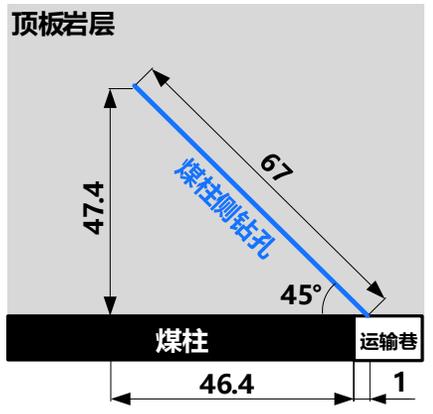
6#液压支架立柱阻力



(a) 钻孔布置平面图



(b) A-A剖面



(c) B-B剖面

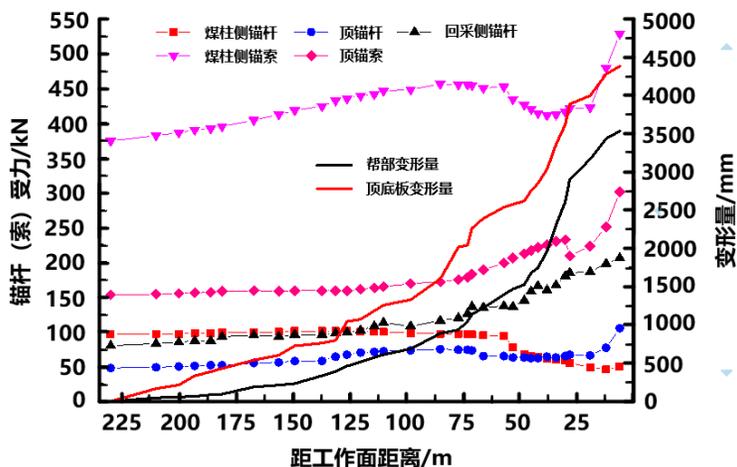
口孜东矿巷道水力压裂钻孔布置图

四、软岩巷道支护技术及应用

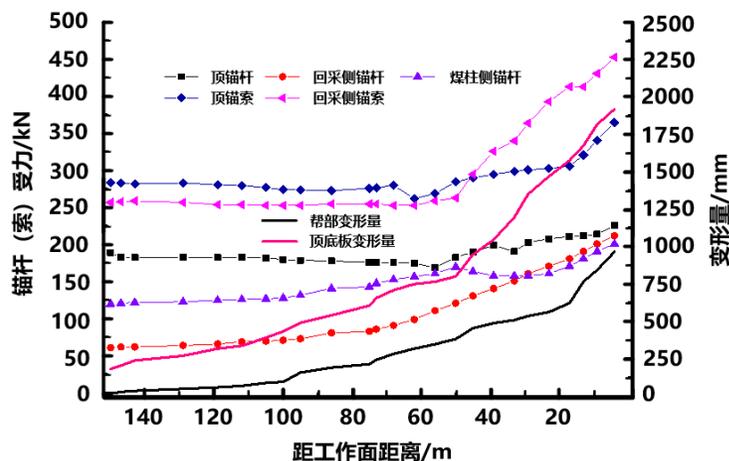


✓ 围岩控制效果

- 掘进回采全过程，新支护顶板下沉减小**74.9%**，底鼓减小**54.2%**，两帮移近减小**69.2%**。
- 围岩位移大幅降低，稳定性显著提高。

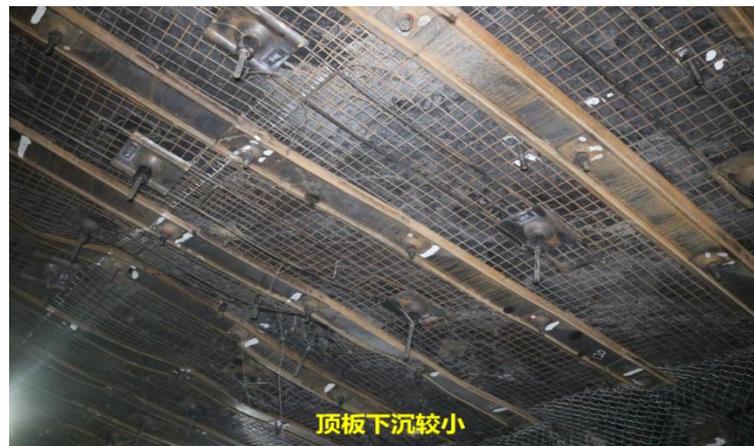


原支护



支护-改性-卸压

工作面回采阶段巷道变形及锚杆锚索受力变化曲线



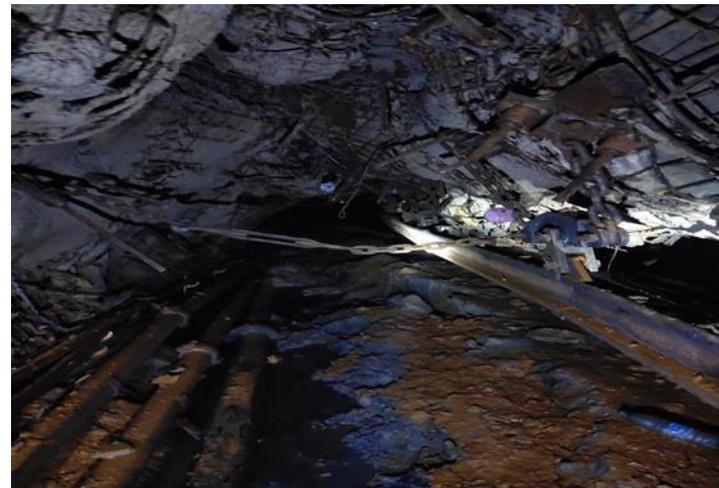
口孜东矿巷道围岩控制效果

四、软岩巷道支护技术及应用



■ 弱胶结富水软岩巷道围岩控制技术

- ✓ 清水营煤矿是国家能源集团宁夏煤业公司宁东煤田鸳鸯湖矿区最北部的一个井田，产能500万吨/年。
- ✓ 巷道掘进初期：锚杆拔断、锚索切断、喷层开裂、顶板下沉、帮鼓和底鼓。
- ✓ 由于巷道支护问题解决不了，矿井建井时间长。



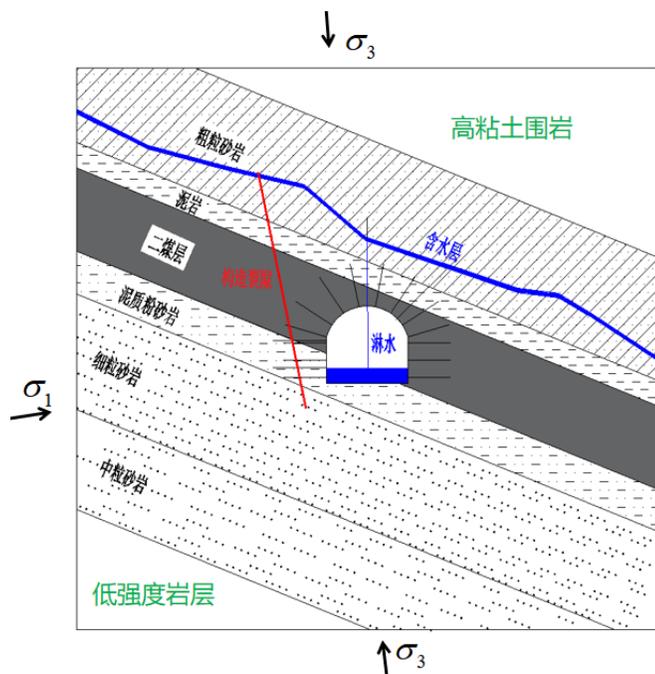
软岩巷道变形破坏状况

四、软岩巷道支护技术及应用

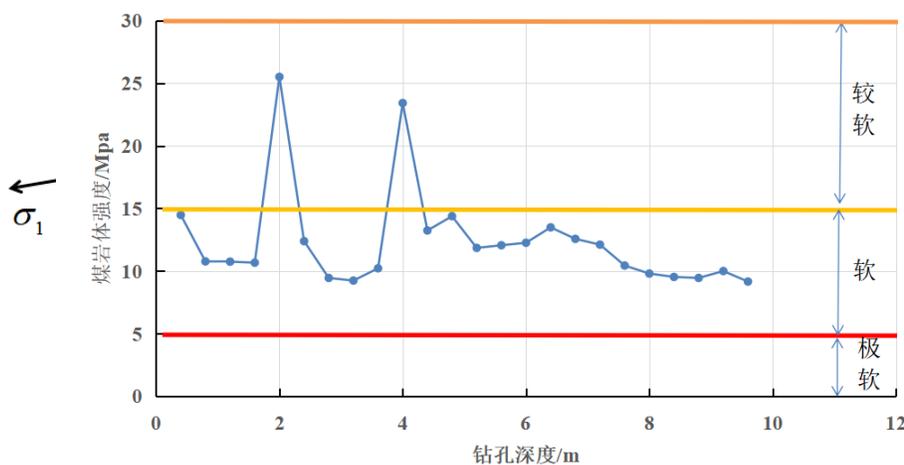


宁煤清水营煤矿110207机巷

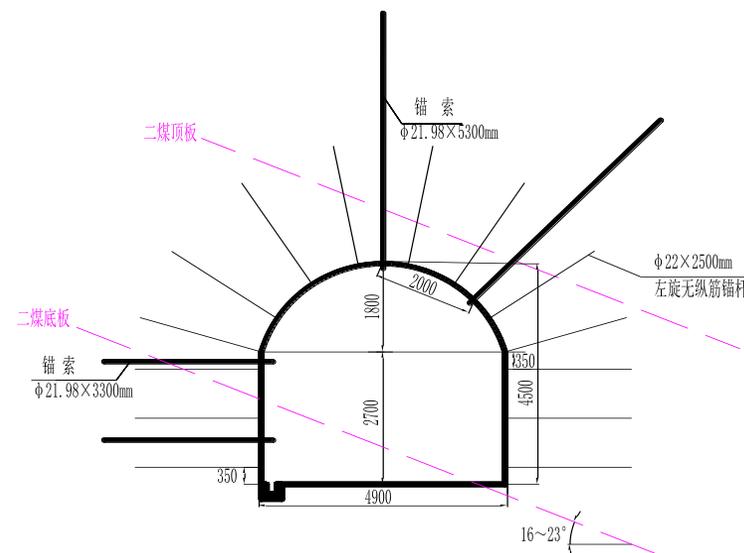
- ✓ 工作面埋深**400~500m**，一侧与上工作面采空区留设**19~25m**保护煤柱；
- ✓ 围岩为泥岩、泥质胶结粗粒砂岩，裂隙发育，强度低，抗压强度**小于15MPa**，且富含高岭石、蒙皂石等粘土矿物，遇水易泥化、膨胀；
- ✓ 顶板含水，巷内出现淋滴水，原支护锚网带索喷支护方式，巷道断面**5.5m×3.8m**。



巷道掘进层位分布



顶板围岩强度曲线



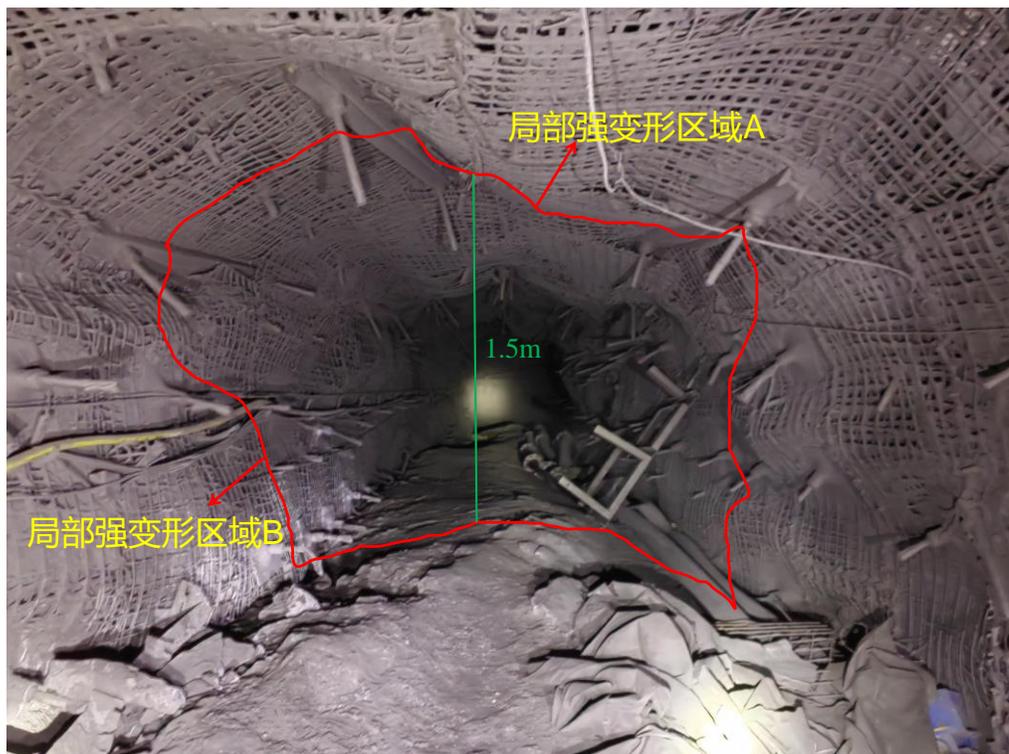
原支护形式及参数

四、软岩巷道支护技术及应用

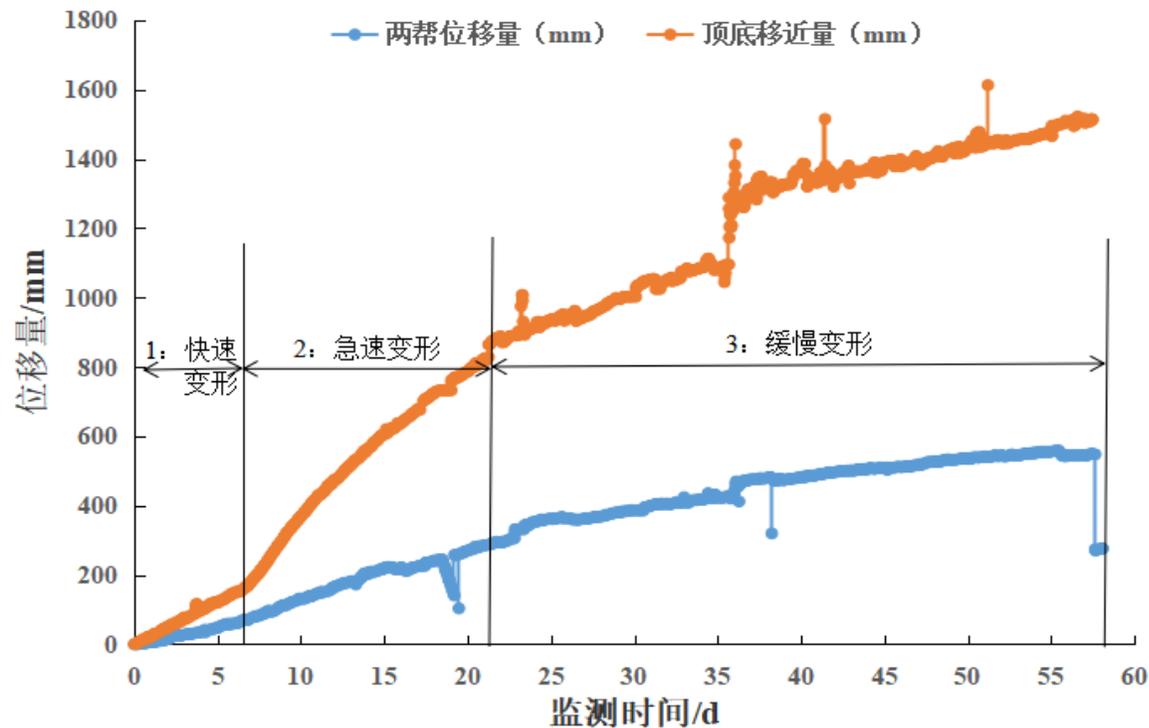


■ 巷道变形情况

- ✓ 空间上呈全断面整体大变形，断面收缩率**超过70%**；
- ✓ 时间上呈短期即大变形，且长期不能稳定。



巷道变形实景



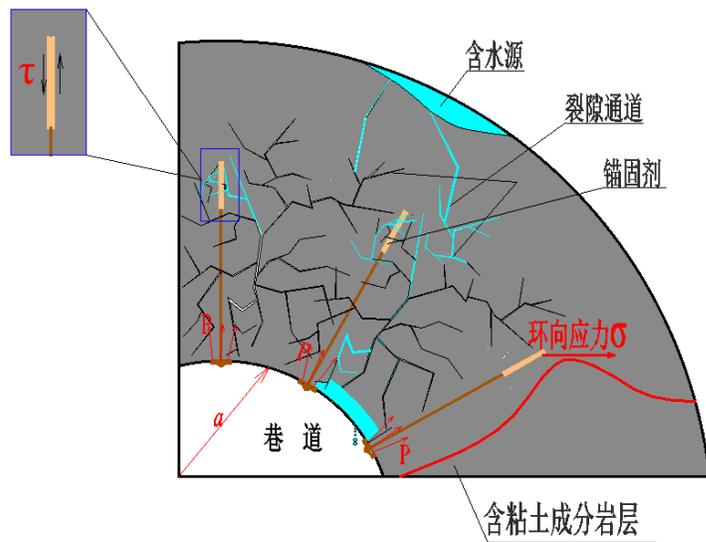
围岩变形监测曲线

四、软岩巷道支护技术及应用



■ 巷道变形机理分析

- ✓ 围岩强度低，承载力弱：顶底板岩性软弱， $< 15\text{MPa}$ ，强度应力比低；煤体强度 $< 10\text{MPa}$ 。
- ✓ 围岩水致劣化效应明显：顶底板粘土矿物含量高，以高岭石、伊蒙混层为主，极易风化、劣化。
- ✓ 顶板弱含水，巷内淋滴水普遍，加速围岩劣化。
- ✓ 锚固效果差：现场测试锚索锚固不合格率达到20%，与围岩软、三径不匹配均有关。
- ✓ 预应力低、扩散效果差：部分锚杆预应力低于 20kN ，锚索低于 70kN ，护表构件面积小。



围岩劣化示意图



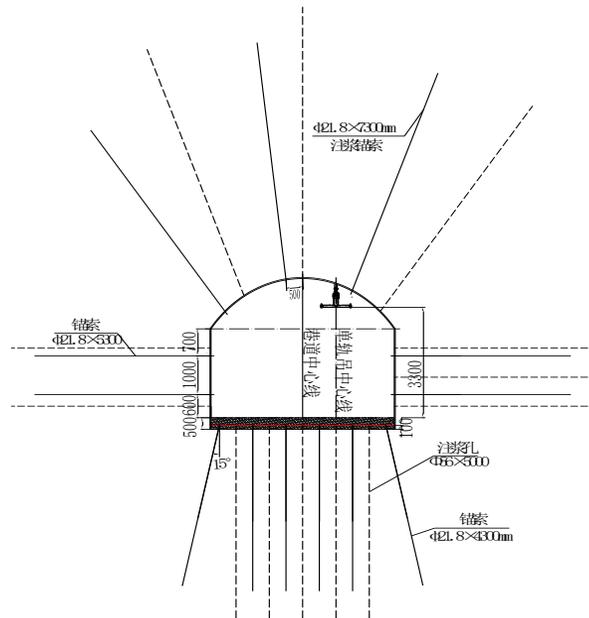
巷道维修段

四、软岩巷道支护技术及应用



■ 巷道变形控制方法

- ✓ 控制原则：及时封闭，“控顶、固帮、强底”全断面支护
- ✓ 控制方法：高预应力强力锚索基本支护+喷浆封闭+注浆
- ✓ 控制要点：
 - 预注浆阻隔淋水
 - 高预应力注浆锚索全长锚固
 - 底板注浆及高预应力锚索支护
 - 喷浆封闭



巷道支护设计及参数



开发的注浆锚索锁具



锚索增阻装置

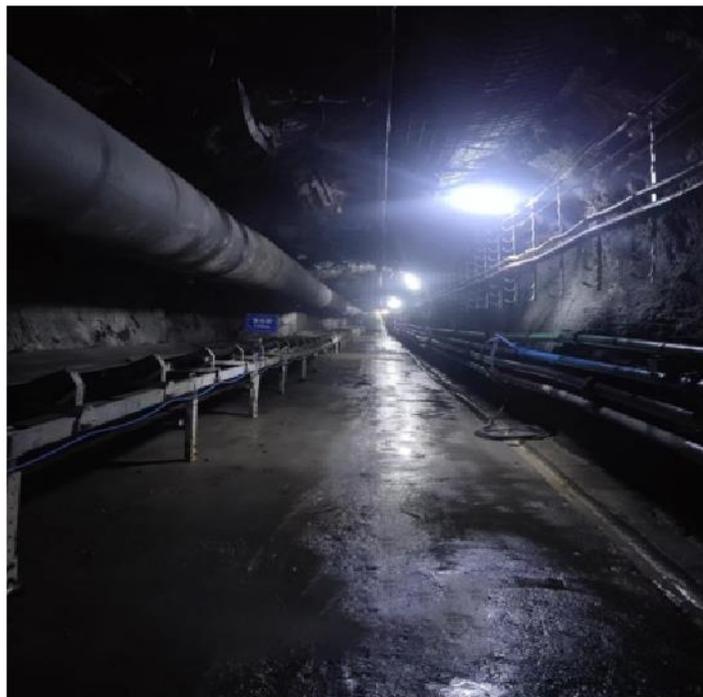


软岩专用防水锚固剂

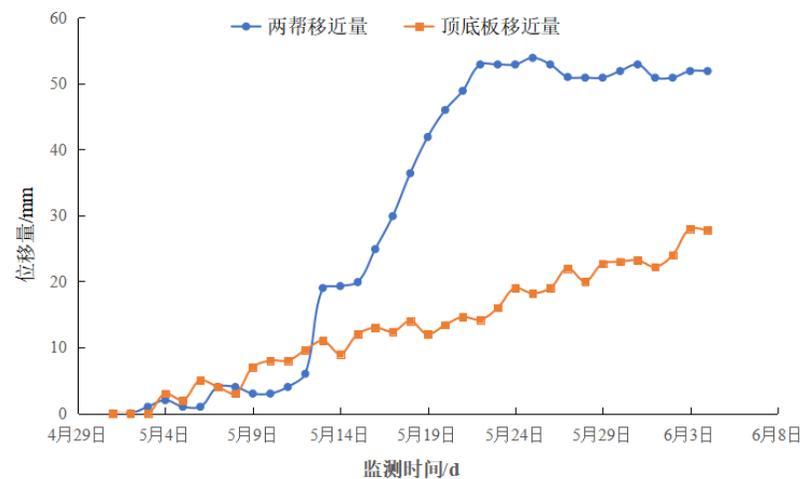
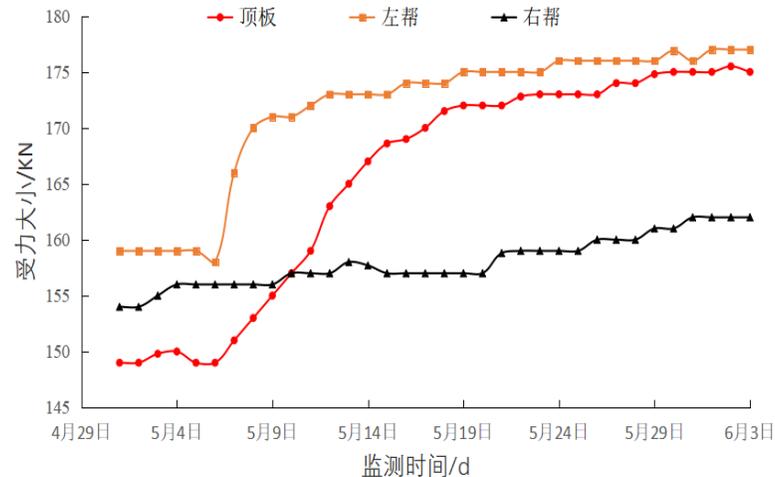
四、软岩巷道支护技术及应用



■ 控制效果



✓ 围岩变形趋于稳定，锚索受力稳定、巷道变形量减少
80%以上。



四、软岩巷道支护技术及应用



项目**实施治理了1万余米软岩巷道，实现了清水营煤矿**无轨胶轮化辅助运输**，为安全高效生产创造了有利条件**

谢 谢!
敬请批评指正