



“煤巷锚杆支护与快速掘进技术” 系列报告

# 煤巷高效快掘支护理论与技术

韩昌良

中国矿业大学

2018.05

# 汇报提纲

---

- 一、机械化掘进的装备与工艺
- 二、煤巷快掘的技术背景
- 三、新理论与新技术
- 四、典型工程示例
- 五、结论与应用说明

# 一、机械化掘进的装备与工艺

## 煤巷综合机械化掘进3种典型的机械装备配套模式

掘进机组（掘护锚）



连采机组



掘锚机组



清理煤炭

破

Step 01

Step 02

装

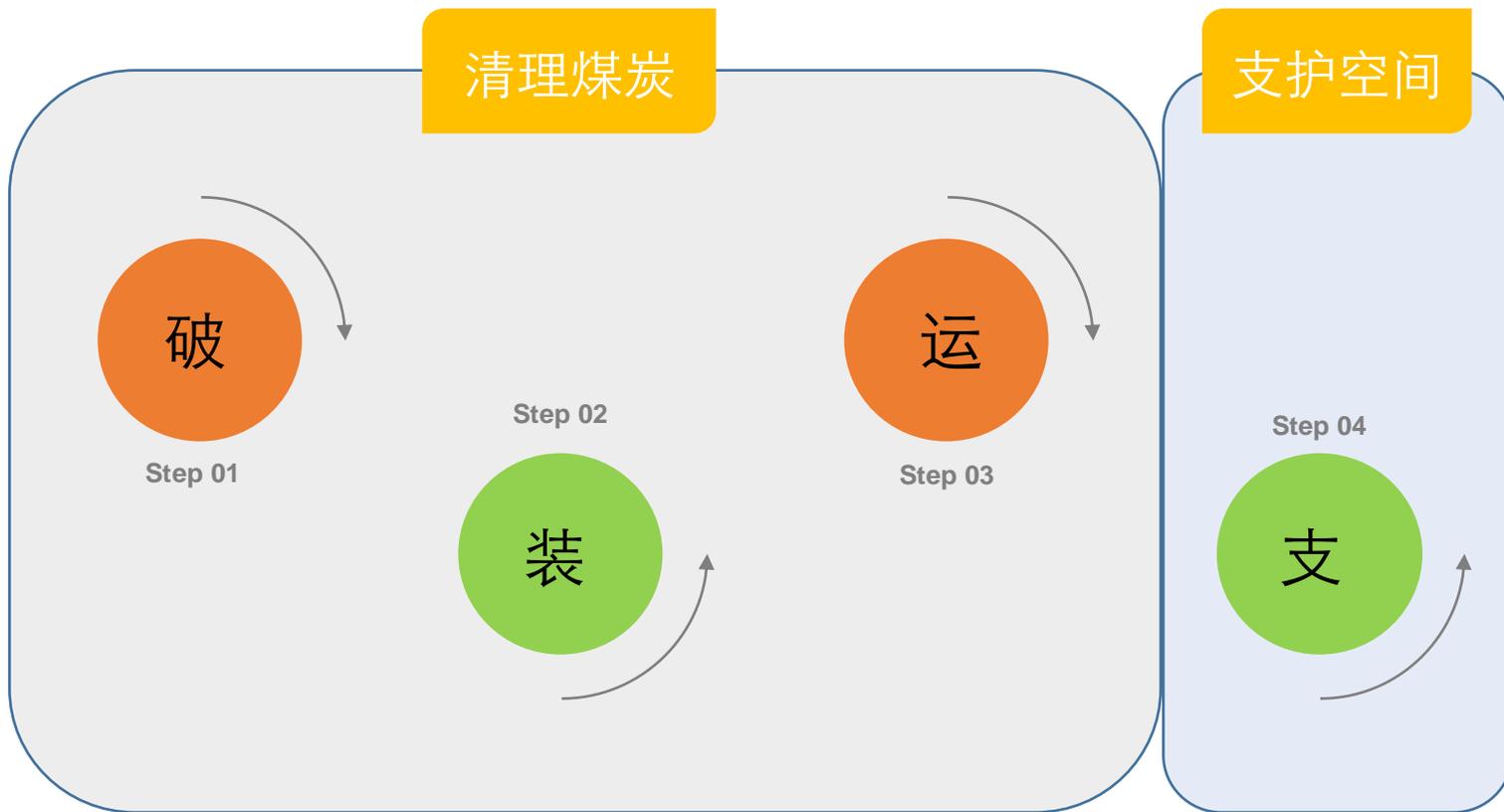
运

Step 03

支护空间

Step 04

支



## ■ 模式一：掘进机组



破



装



运

悬臂式掘进机





破



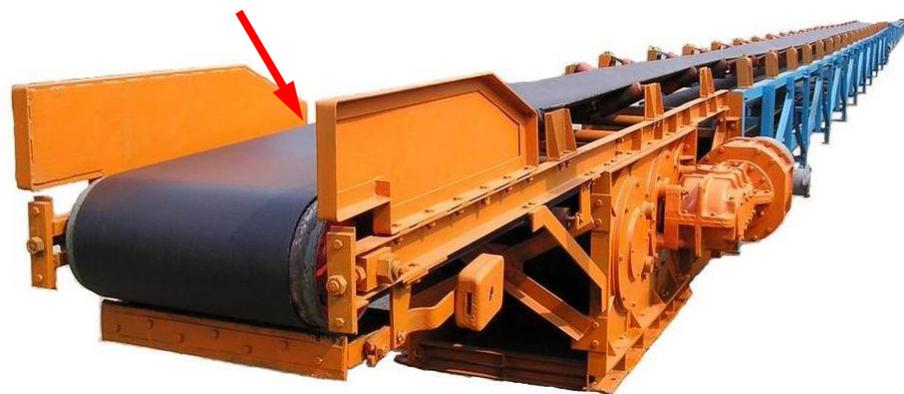
装



运

桥式转载机

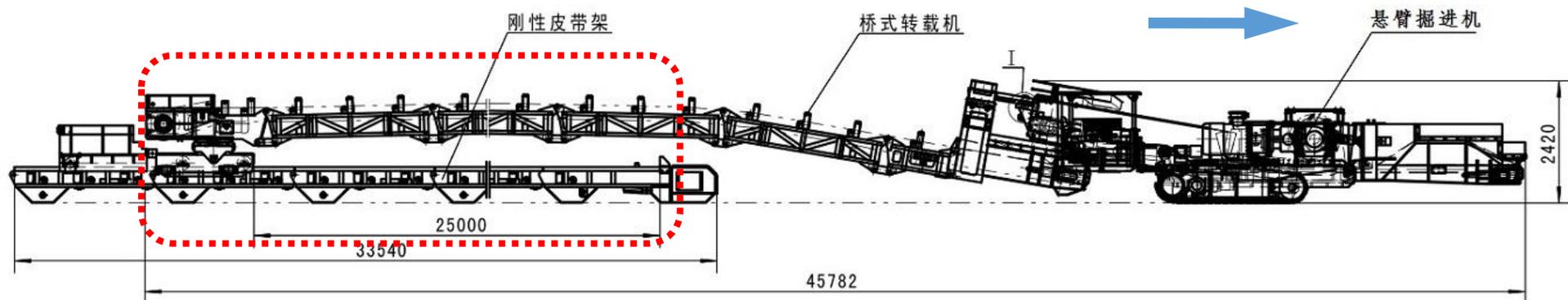
胶带输送机



刚性皮带架

桥式转载机

悬臂掘进机





破



装



运



支

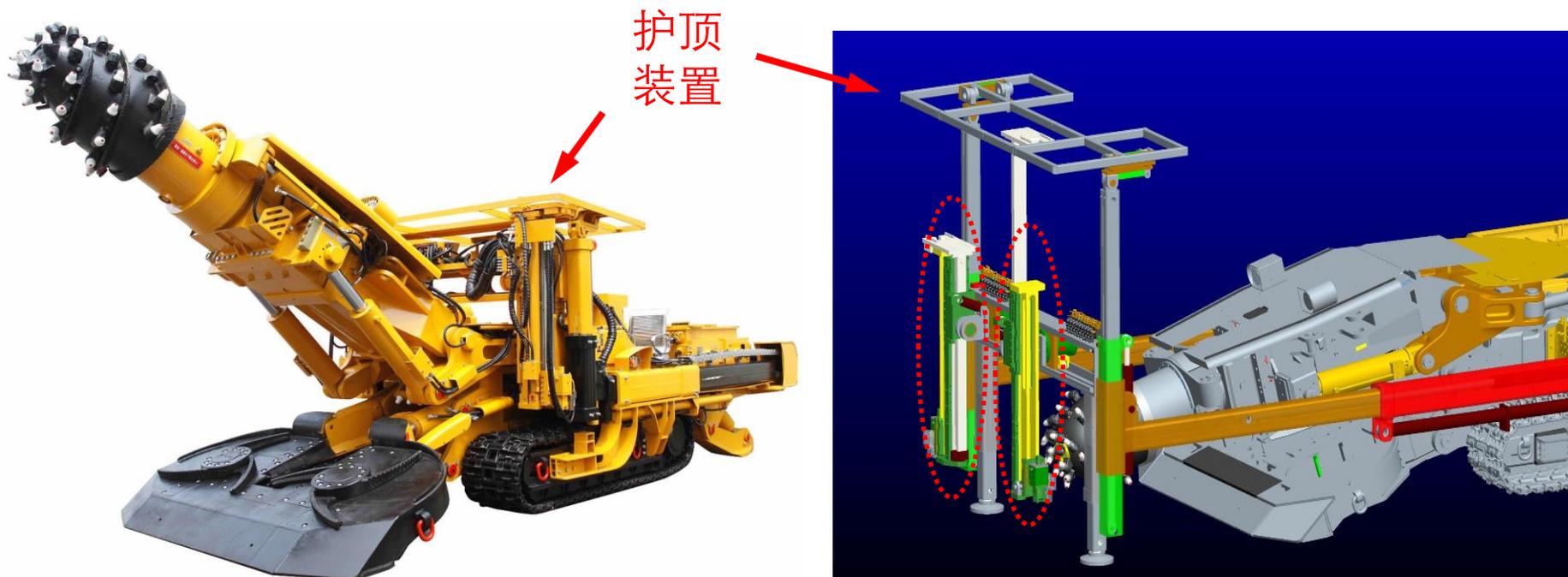


## ● 特点及适用条件



- 缺少临时支护能力，掘一锚一，速度300~600m
- 掘、锚分离，不能并行作业，工序交替耗时长，支护人员多、效率低
- 灵活性强，适用范围广

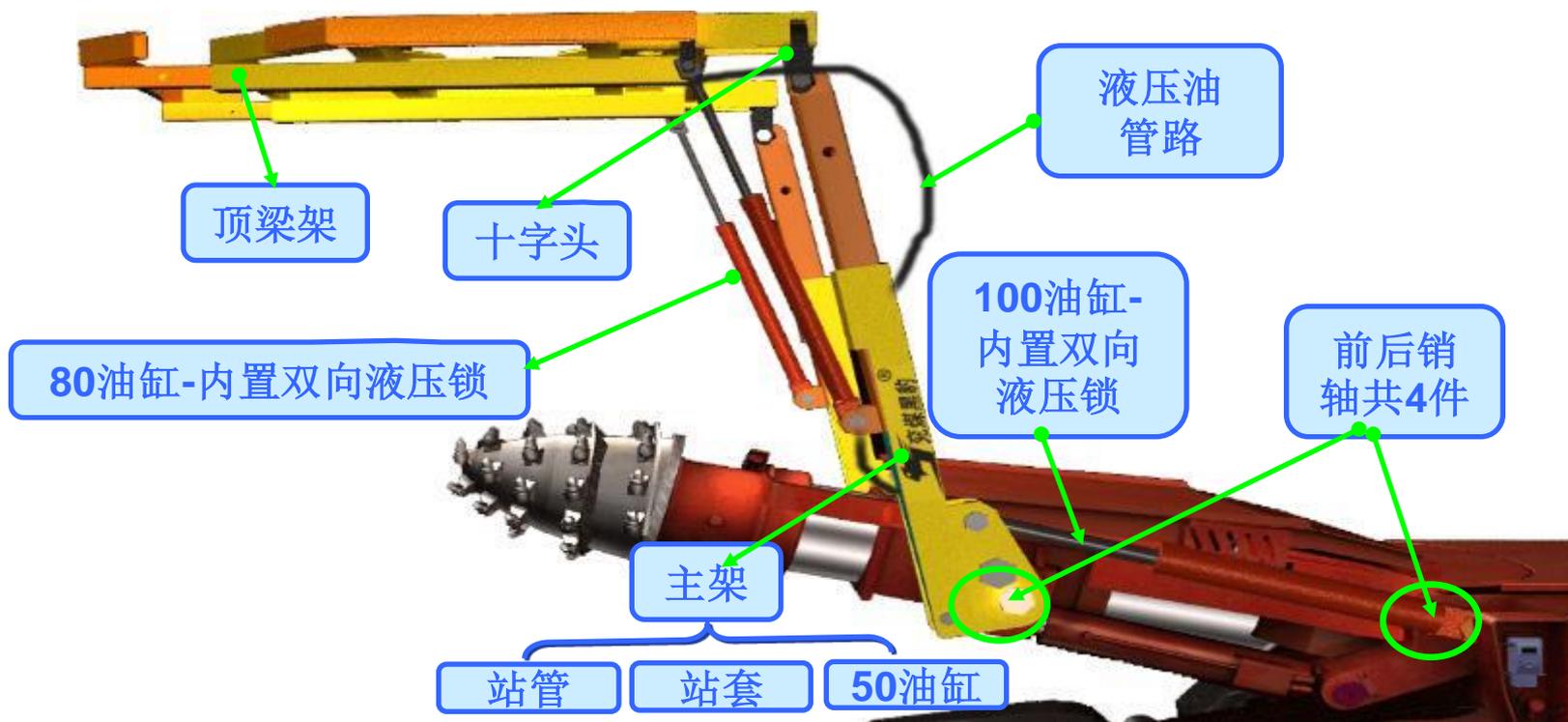
## ● “掘锚护” 一体机



- 加入护顶装置，进一步增大了适用范围
- 掘、锚合一，机械化提高，劳动强度降低
- 钻机少，且装置互锁、掘锚仍不能并行作业，支护效率不足

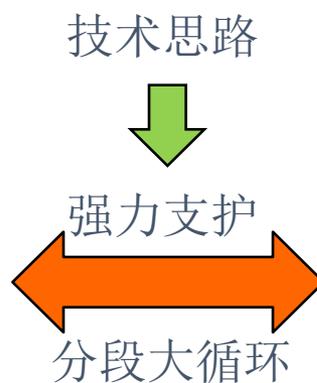
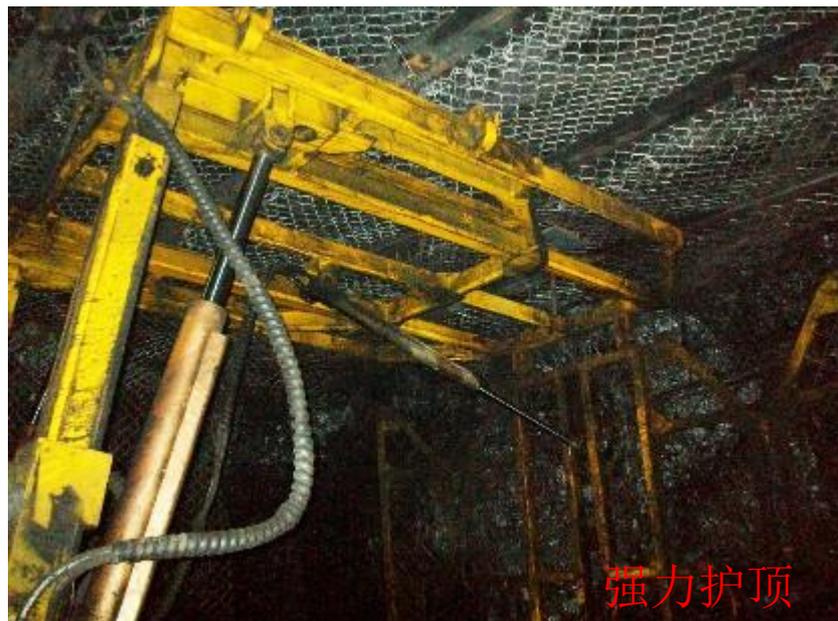
## 机载临时支护装置

- 对已有装备的改造和升级，用综掘机的原泵站供油



## □ 分段大循环自动化临时支护，快速掘进

- 特殊地质构造地段实现6-10m分段循环，提高掘进效率



## ■ 模式二：掘锚机组

破

破

装

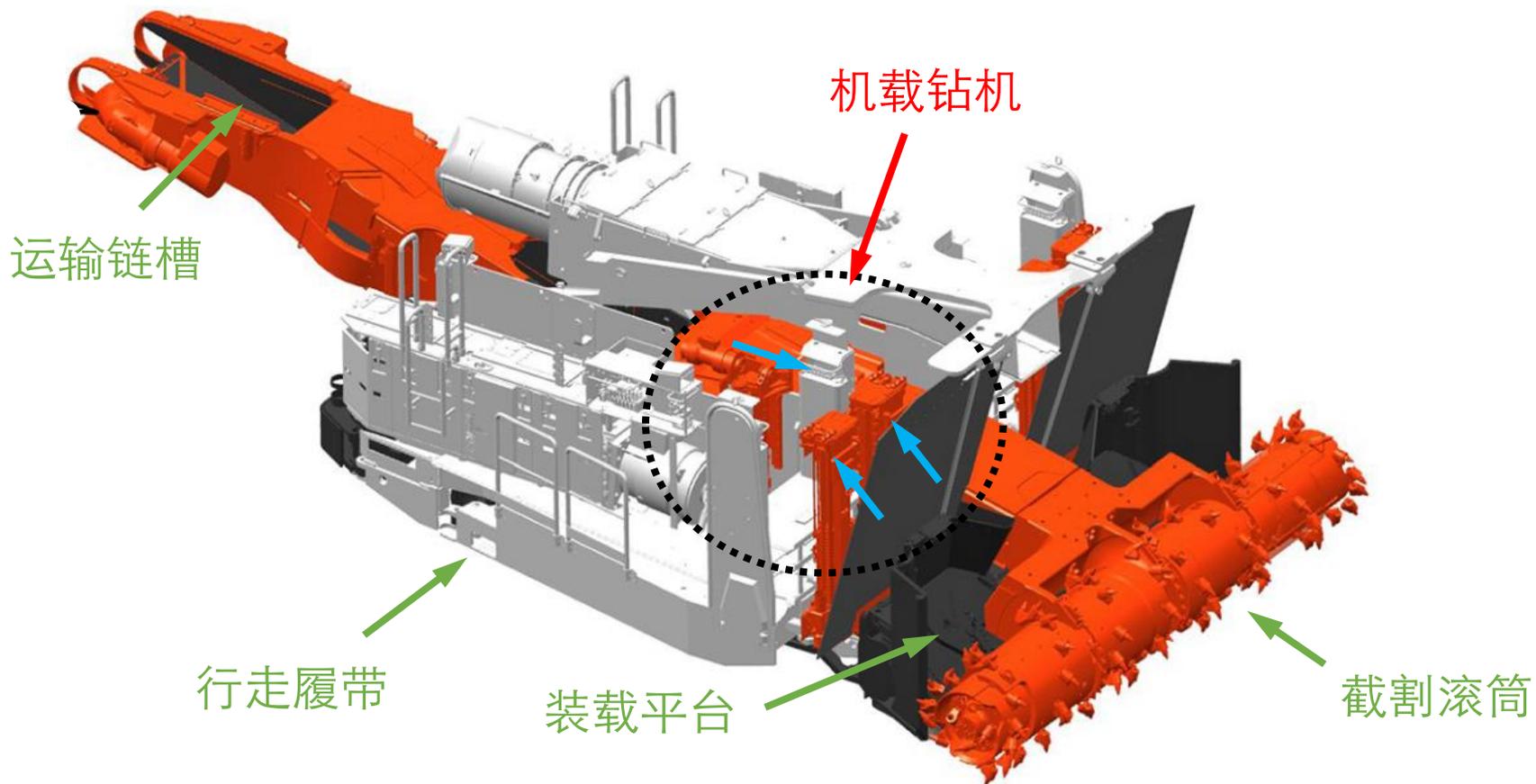
装

运

运

支

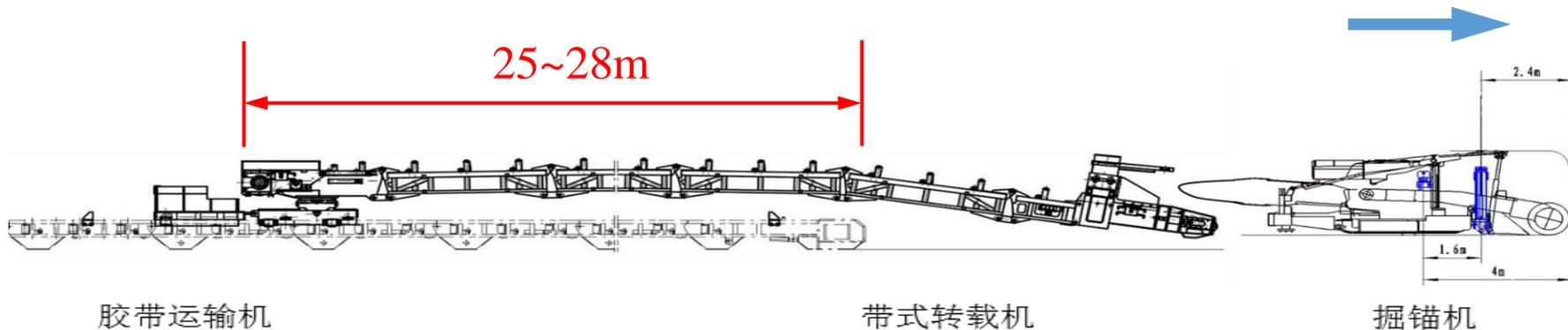
支



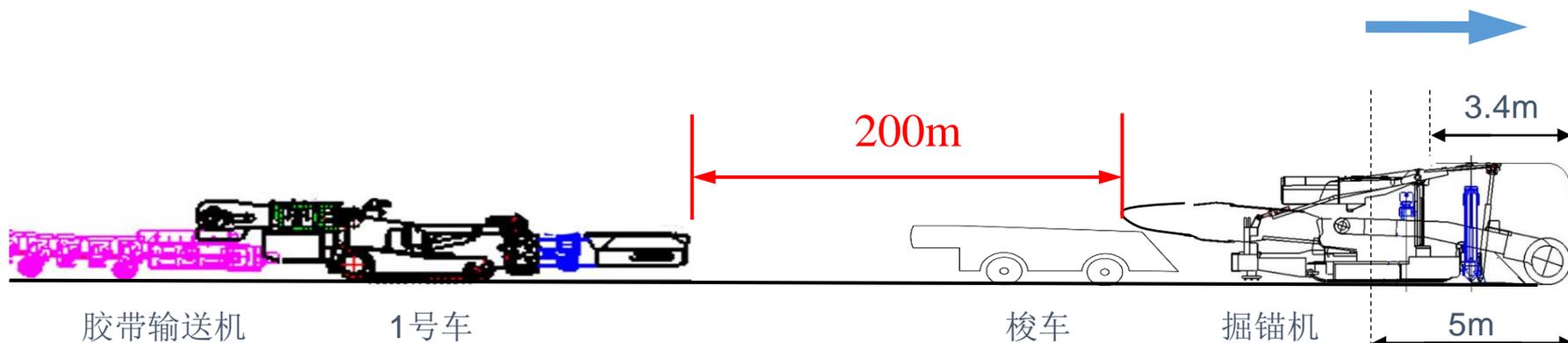


司机

挡板



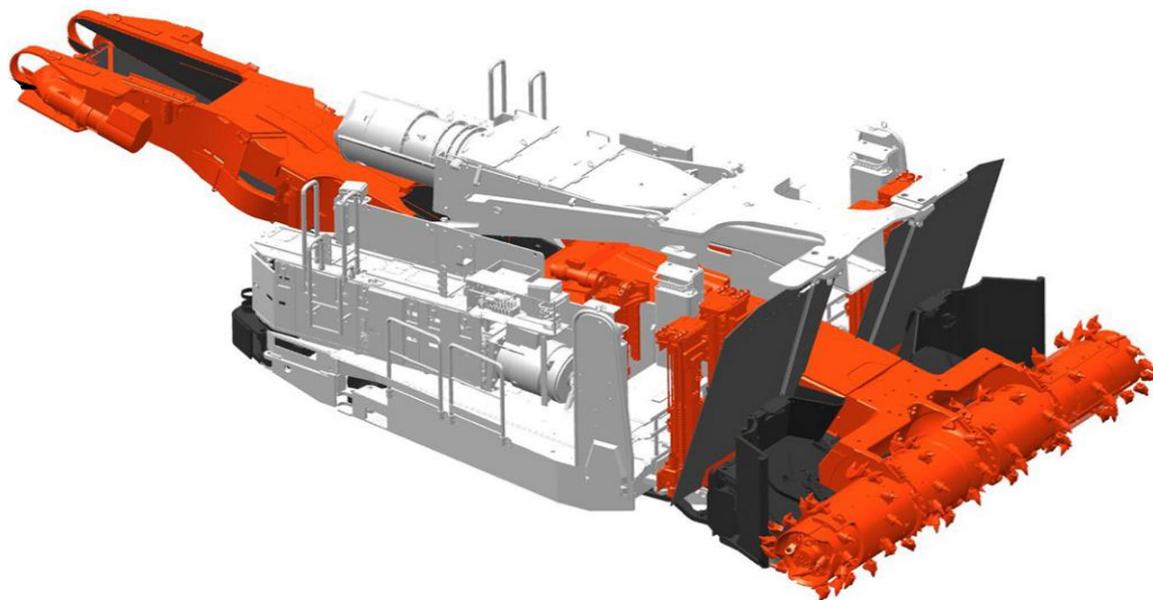
运煤系统：二运



运煤系统：梭车

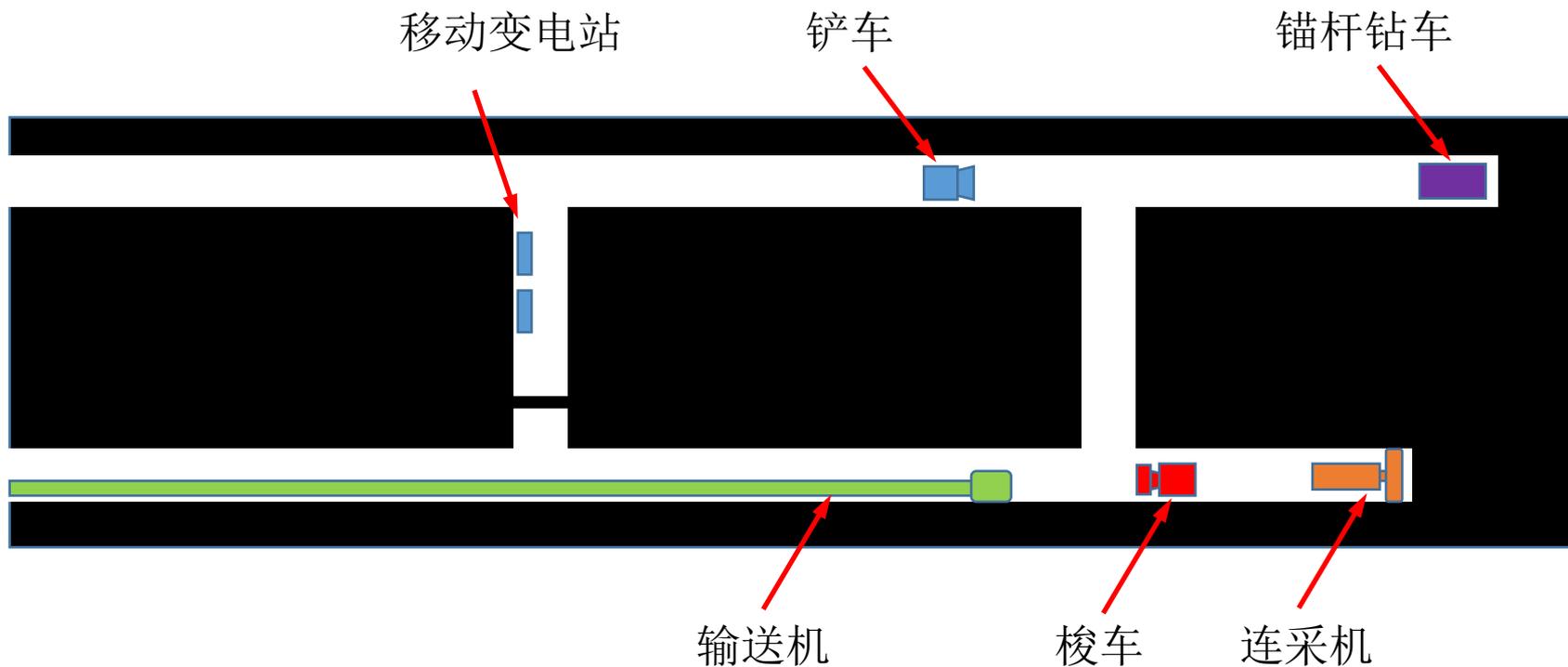


## ● 特点及适用条件



- 掘锚合一，机载钻机6~10台，组合性能出色
- 割煤和支护同时作业，速度快、效率高，月进600~1200m
- 割岩时粉尘大，影响支护工，更适应于全煤巷
- 支护滞后迎头3~4m，对顶板稳定性有要求
- 适应于大断面单巷掘进

## ■ 模式三：连采机组



➤ 连采机：割煤

➤ 锚杆钻车：支护

➤ 铲车：清理底板，运料

➤ 梭车、输送机：运煤



连采机



锚杆台车

## ● 特点及适用条件

- 掘锚交叉作业，掘进速度快，神东达到2000m/月
- 适应于大断面双巷或多巷掘进，顶板稳定、空顶距6m以上的良好地质条件

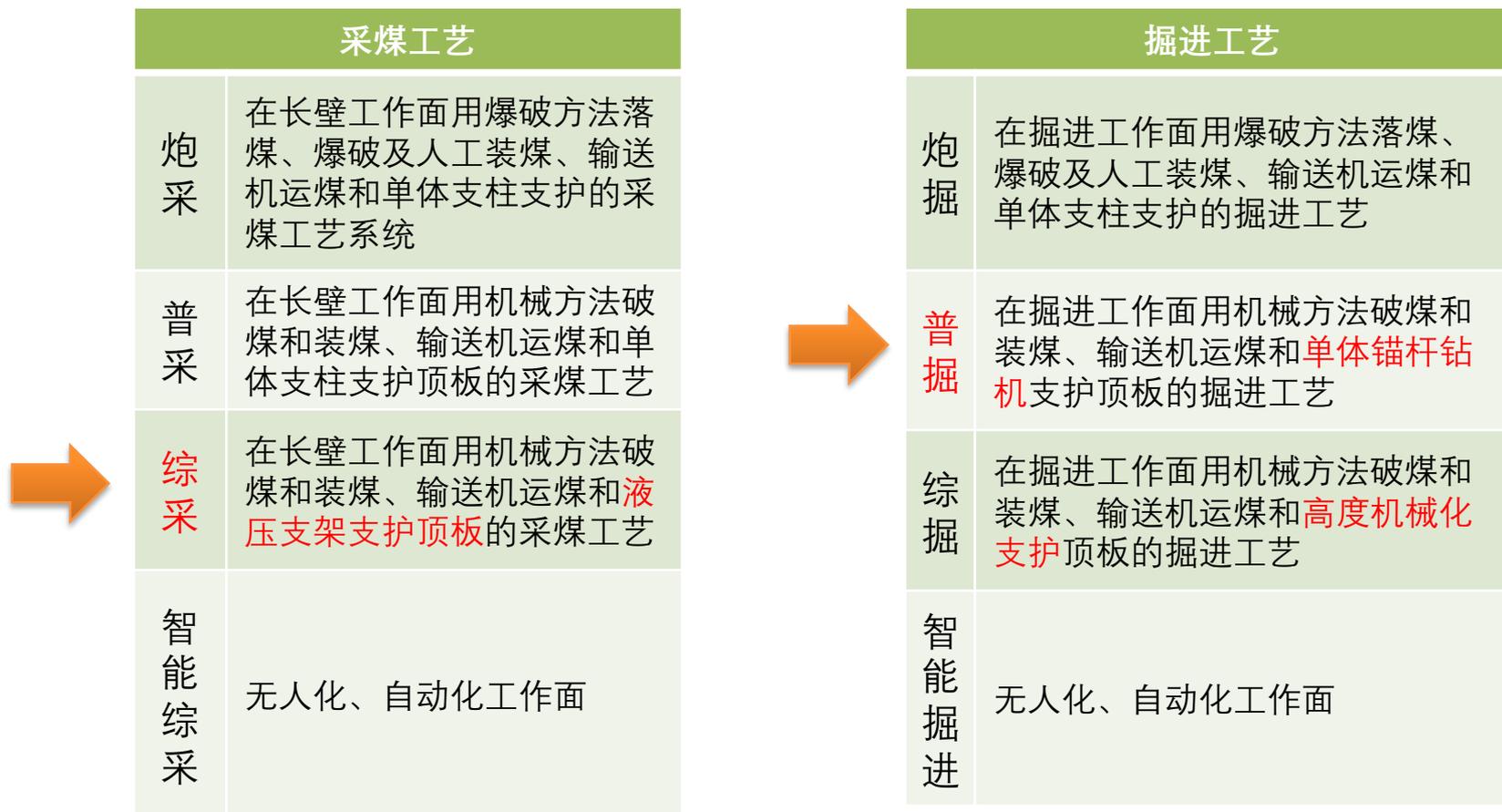
模式	突出缺点	突出优点	月进速度/m
掘进机组	掘锚分离	灵活性高	300~600
掘锚机组	滞后支护	掘锚并行	600~1200
连采机组	适应范围窄	掘进速度快	2000

- 适应范围广、及时支护强的多臂掘锚护一体化代表了煤巷高效掘进技术的发展方向。

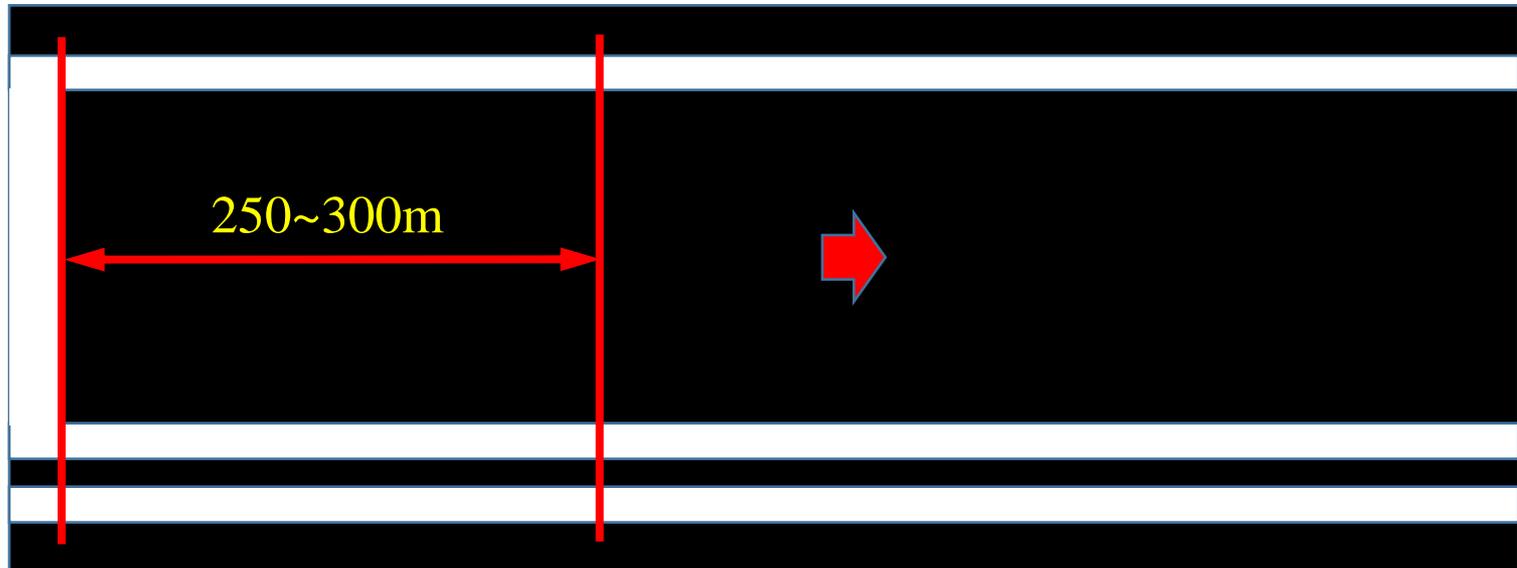
## 二、煤巷快掘的技术背景

# 1.1 研究背景

## 采掘技术是煤矿的核心竞争力



巷道施工与准备是大规模高效开采的突出制约。



- 单一工作面对煤巷的消耗量：600-1000m/月
- 煤巷掘进速度：350~450m/月

# 掘进装备水平落后，系统集成和机械化程度较低

我国煤矿4种典型的装备配套方式。

## 掘进机组

掘进机+单体锚杆钻机  
/锚杆台车

掘锚分离· 循环进尺0.8~2.0m

## 连采机组

连采机+锚杆台车

掘锚机组在当今世界上代表高效掘进设备的最高技术水平！

## 掘锚机组

掘锚机

掘与支护相结合，在同一台设备上完成掘进和支护工艺，节省设备的换位作业时间。

## 盾构机组

全断面掘进机

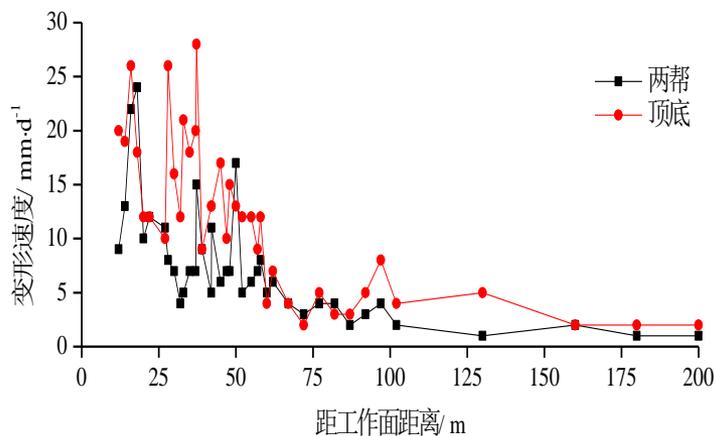
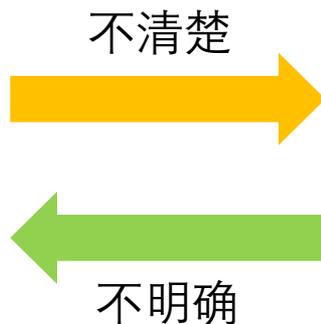
集斜井施工开挖、衬砌、出渣、运输、通风、排水等功能于一身，是成套的井巷施工装备。



近年煤矿事故中，顶板事故起数占到煤矿事故总数的50%，死亡人数占到1/3。空顶状态下煤岩层的损伤破坏及失效形式、控顶机制等基本规律的指导性针对性不强。已掌握的巷道矿压规律对快速掘进的指导性不明确，快速掘进带来巷道矿压显现的新特征新规律不清楚，实践少。



快速掘进



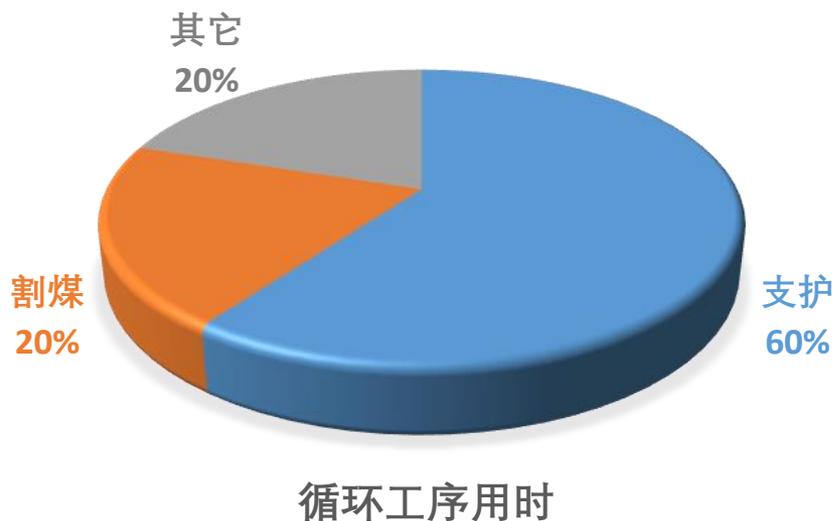
矿压机理

## 1.2 典型条件调研

---

### ■ 现有条件，支护环节耗时最大

- 掘进工序耗时：6:2:2（支护：割煤（运煤）：其它）



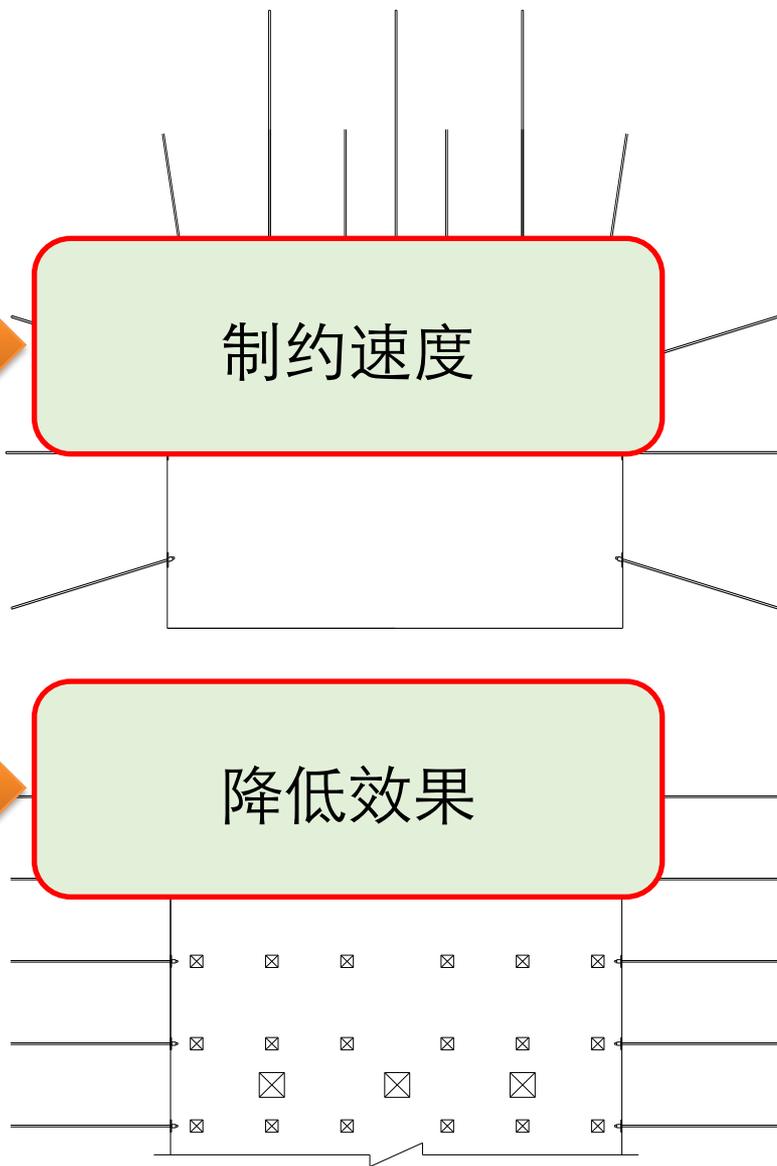
## ■ 支护技术存在系统性问题

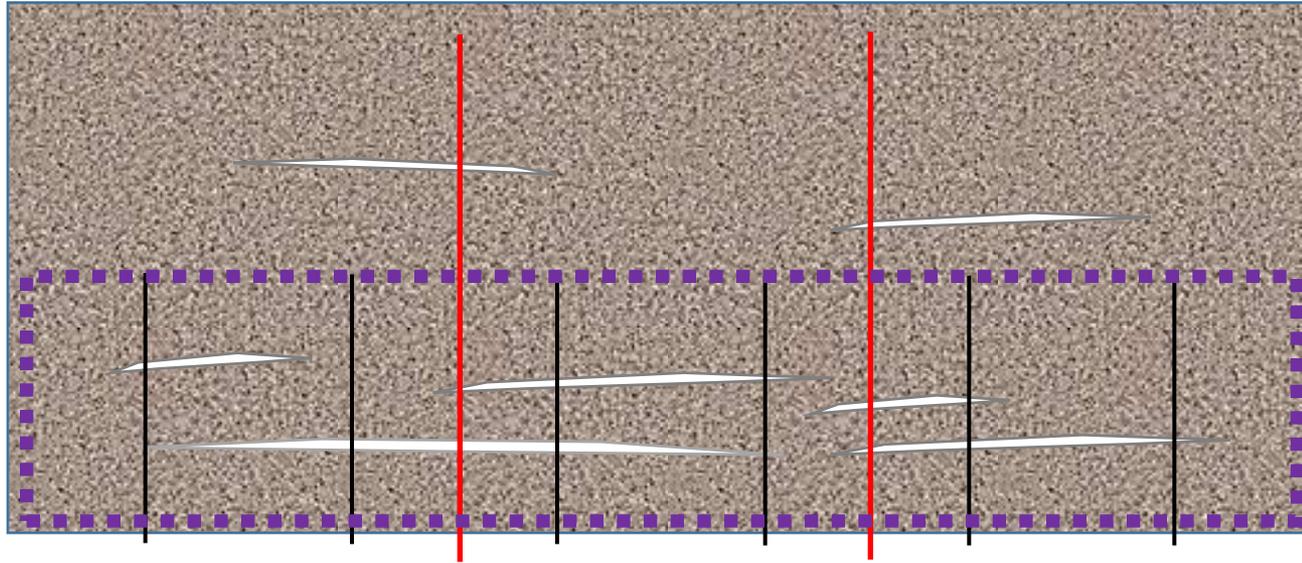
- 组合支护，密度大、工序多
- 煤层塌孔，锚固困难

- 斜角安装不方便、效果差
- 有效锚固层厚度小
- 主动支护强度不足
- ○ ○ ○ ○ ○ ○

制约速度

降低效果





- **锚杆锚固区内：**岩体相对变形量大。锚杆若能起作用，则增阻极快；若不能起作用，则岩体整体下沉。
- **锚杆锚固区外：**岩体相对变形量小，主要受下方变形连带。锚索较长、感知变形大但应变小，敏感度低。加固范围广、加持作用有限，锚杆起作用时，其可进一步强化，锚杆起不到作用时，其易被各个击破。
- **锚杆锚索难以协同，实质上是一种低效支护方式。**

## 1.3 煤巷高效快速掘进的技术内涵

---

### 1) 概念

- ◆ **快速掘进**：主要通过提升掘进装备操控水平提升巷道的单进速度，不是系统的科学的概念。可能的问题：安全事故、前掘后修。
- ◆ **高效掘进**：统筹地质条件、围岩技术、工艺装备、管理组织和系统能力，突破顶板安全和围岩控制技术、研发基于分类的专用功能装备、实现主要工序的全机械化和连续性，提升掘进效率、效益和速度。是各种要素充分发挥的、协同集成的科学概念。

## 2) 煤巷高效快速掘进的五大保障

工程地质

断裂构造、褶曲、顶底板岩性、煤岩层的含水性和透水性、局部冲刷等探测与地质异常度评价

装备机组

满足关键工序的主要功能及指标、装备的功能协调性、工程适应性与故障率

支护设计

迎头的切割形状和断面优化、低密度支护技术方案和参数设计

施工组织

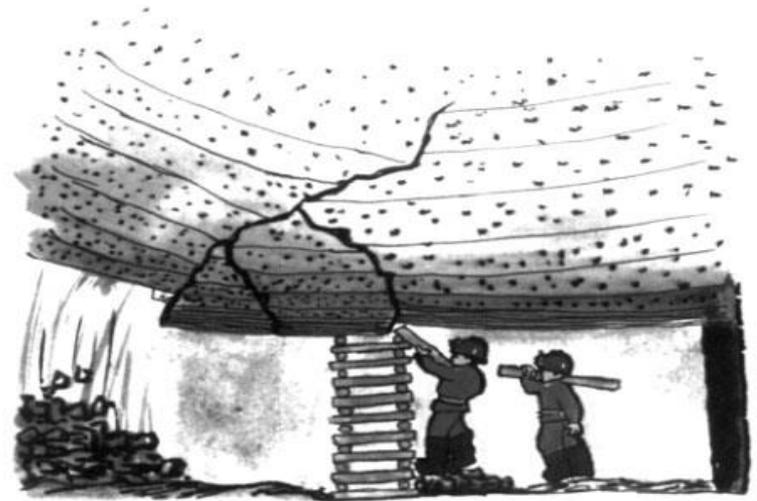
循环工序的最优配置、大中小循环、安全控顶工程量的最小化

政策激励

煤矿的政策激励对快速掘进系统具有较大的促进作用。围绕关键要素和技术目标设计奖励政策

## 煤巷高效快速掘进的前提是顶板安全控制。

由于未掌握巷道空顶的自稳规律，顶板安全控制常常具有盲目性，部分巷道工程靠一味加大空顶距，盲目实施大循环步距。顶板一旦失稳，轻则停头，重则出现安全事故，有些矿井采区特殊临时措施创造条件完成纪录，掘进水平又恢复到原状。



高效快速掘进支护技术的三个转变



三个创新

大变形（宏观破坏）



小变形（低损伤）

连续  
梁理  
论

复合支护



单一支护

跨界  
支护

高密度

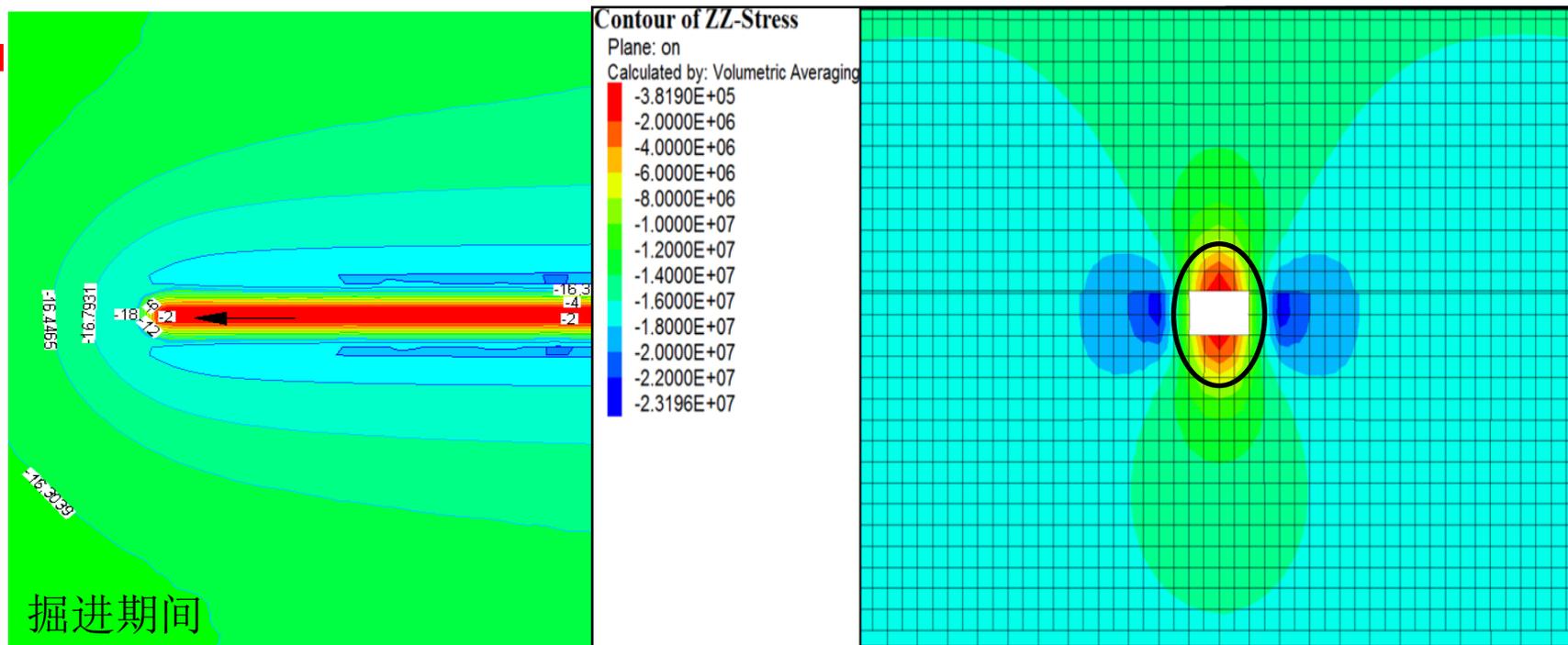


低密度

参数  
优化

# 三、新理论与新技术

## 2.1 顶板连续梁控制理论



- C型应力分布：包络着浅部卸压区和深部增压区
- 迎头“+5m至-20m”为关键调整期，周而复始
- 深部“应力双核”，提示需深锚支护：顶>3.5m、帮>1.6m

## ■ 连续化顶板的支理论

悬吊理论

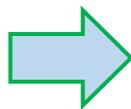
组合梁/拱

围岩强度强化理论

松动圈理论



基于围岩体已发生破坏的状态



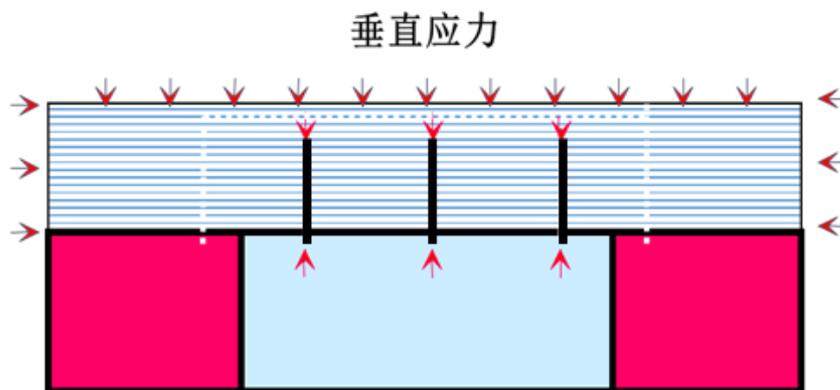
**顶板连续梁理论**：及时构建厚度和预紧力满足要求的预应力锚固岩体，实现消除离层和连续化小变形支护效果，形成顶板连续化锚固结构



从完整岩体或微破坏岩体出发

## ■ 连续梁的概念与作用

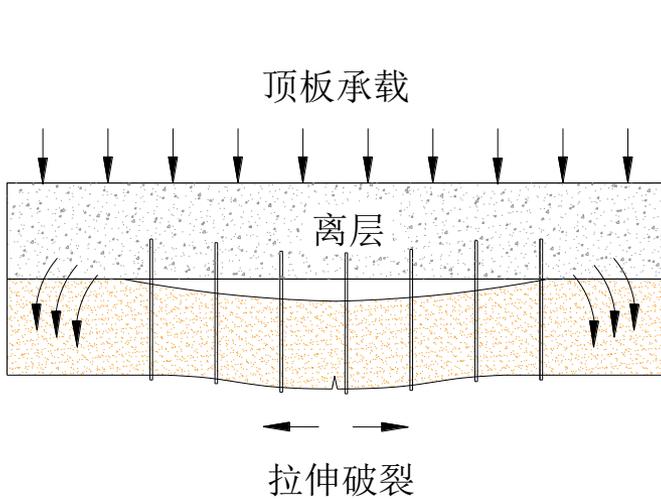
**连续梁理论：**通过预应力锚杆在顶板形成足够厚的锚固岩梁，消除离层、避免失稳，实现本层内、多层间的双向连续。



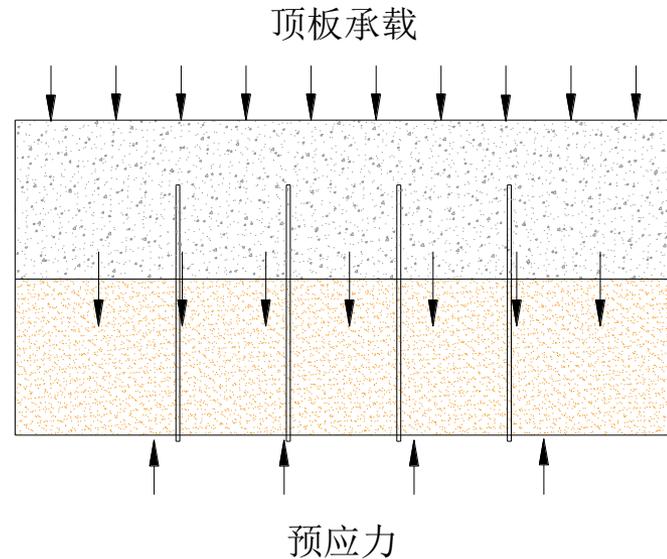
- 增大梁厚度（2倍）：减少锚固层的弯曲挠度；
- 提高预紧力（2~3倍）：消除张拉区，均化围岩应力；
- 护表性：消除浅层脱落型破坏。

# 连续梁的支护原理

## ■ 消除拉应力区，实现顶板的应力连续传递



a. 不连续梁

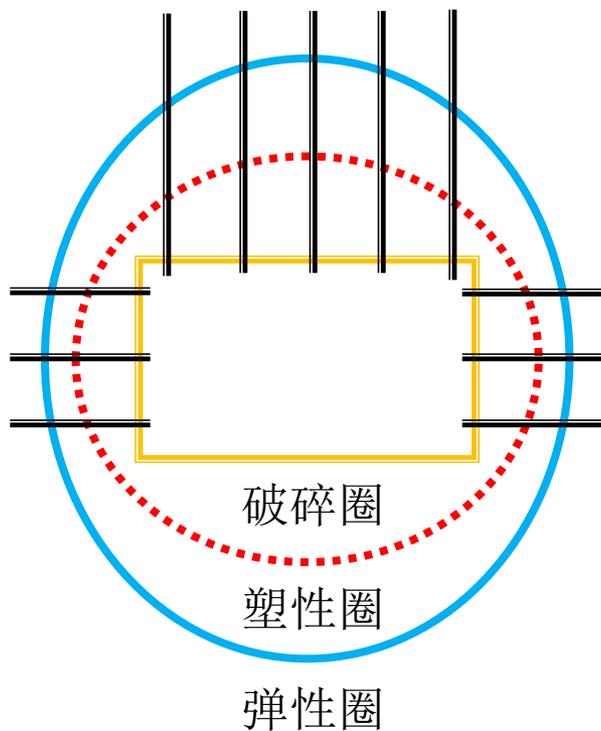


b. 连续梁

- 不连续梁，常发生不均匀变形，裂隙离层、拉伸破坏；
- 预应力连续梁，应力传递介质不间断，整体性、结构性强。

# 连续梁的支护原理

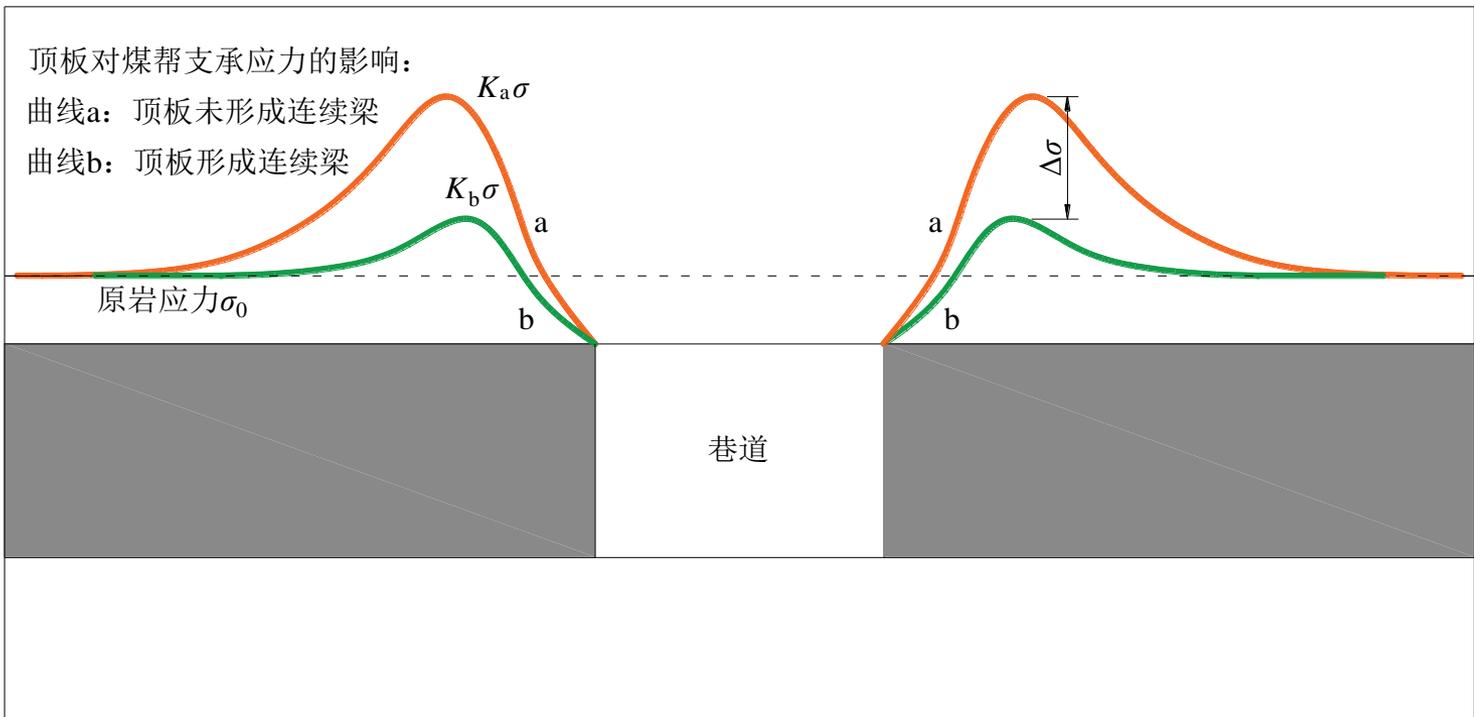
■ 调动深部、限制浅部，达到大小位移联动



- 锚杆应穿透关键圈层，促使大小位移联动；
- 以小位移约束大位移，实现变形控制。

# 连续梁的支护原理

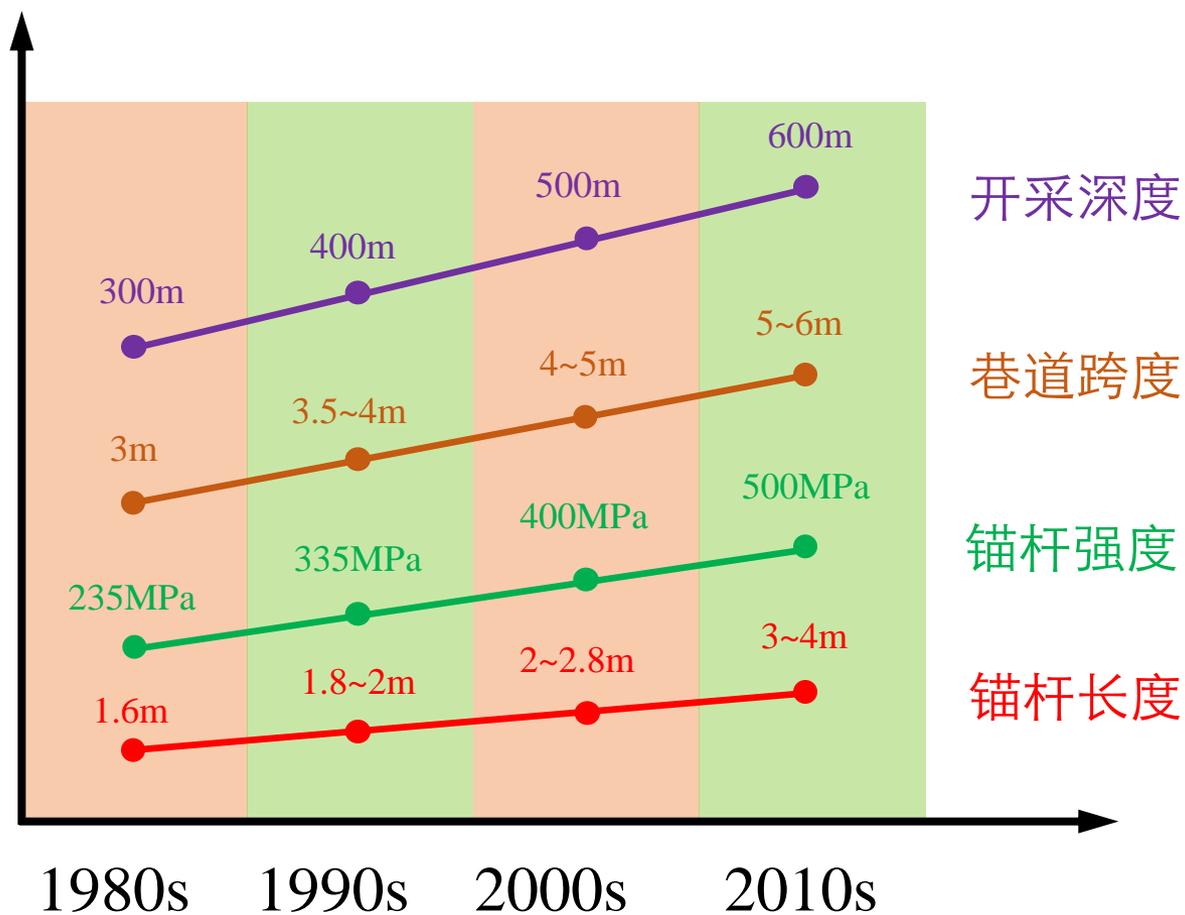
## ■ 降低帮顶围岩区的应力集中系数

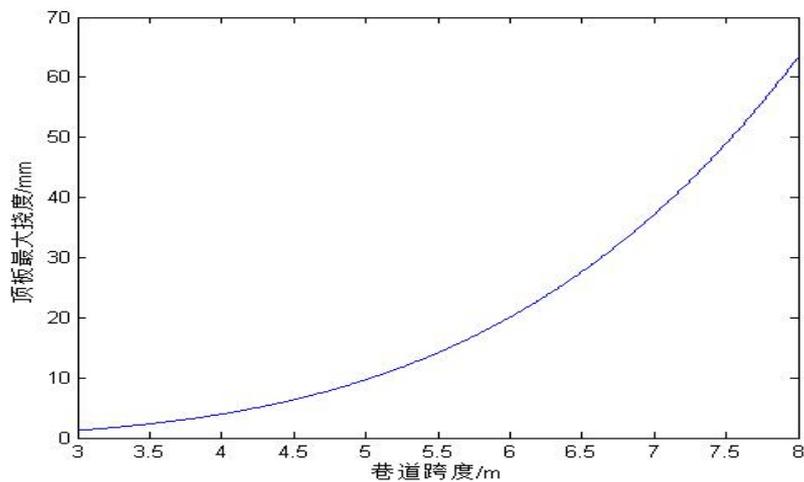


- 连续梁明显缓解煤帮应力；
- 煤帮承载良好，促进连续梁长期稳定。

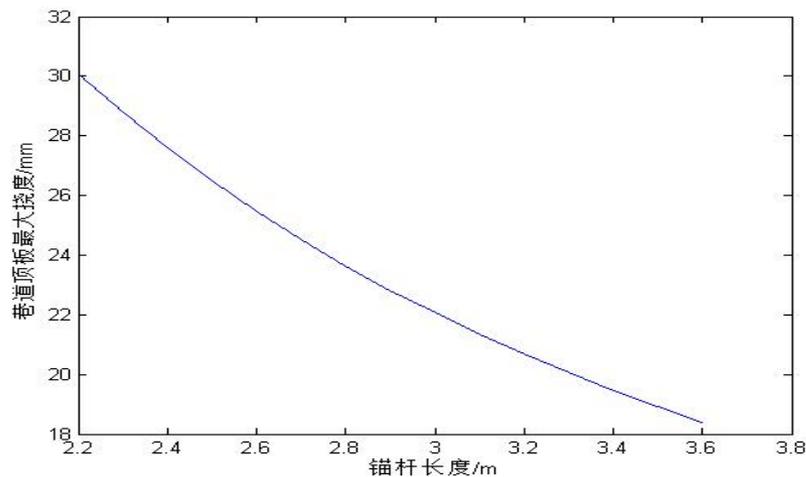
## 2.2 高效长锚固技术

### ■ 锚固技术的发展趋势

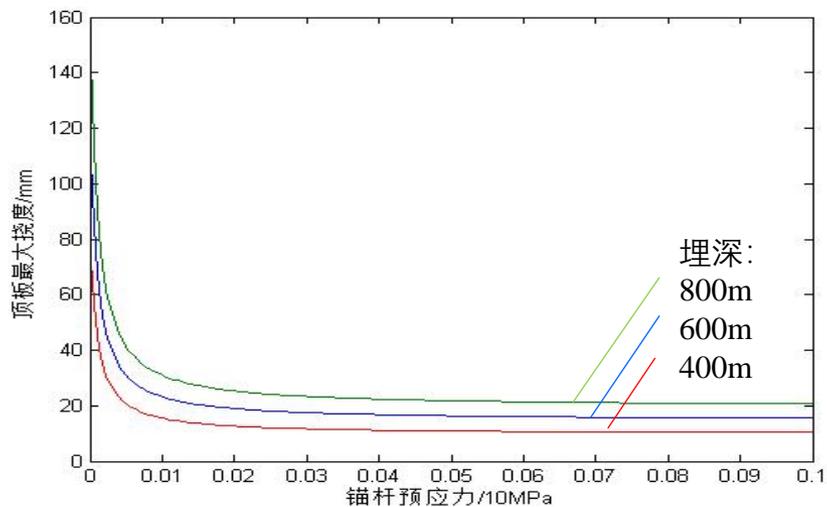




顶板最大挠度与巷道跨度关系



顶板最大挠度与锚杆长度关系

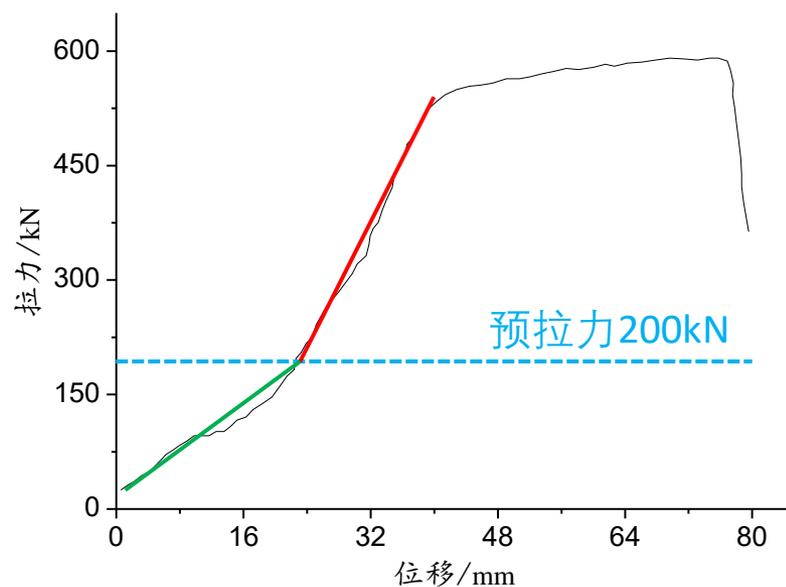
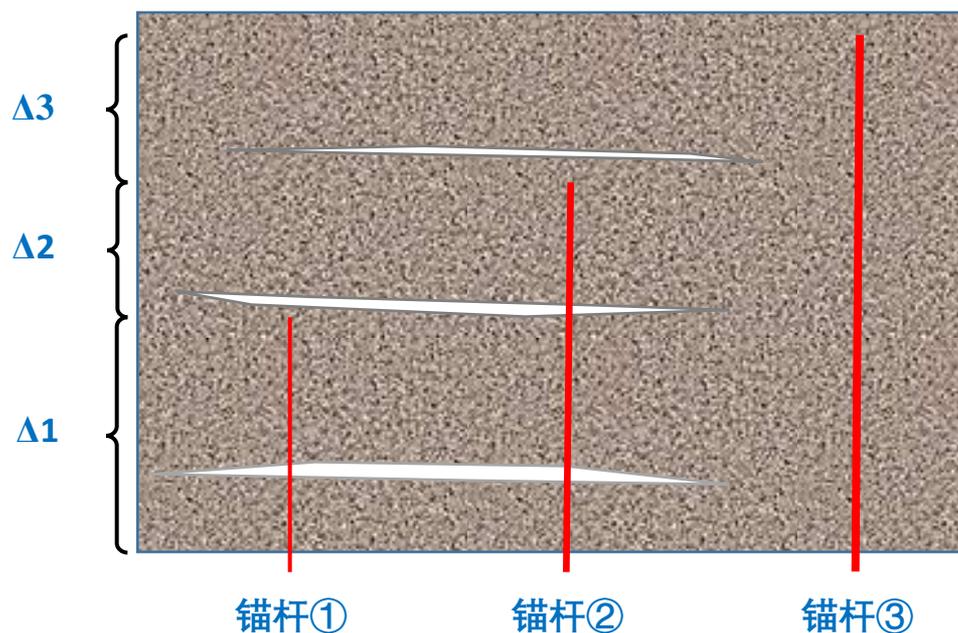


顶板最大挠度与锚杆预应力的关系

**巷道跨度**  
**锚杆长度**  
**预紧力**

## ■ 锚固长度是感知岩体相对变形量的关键参数

跨界岩体的相对变形量大

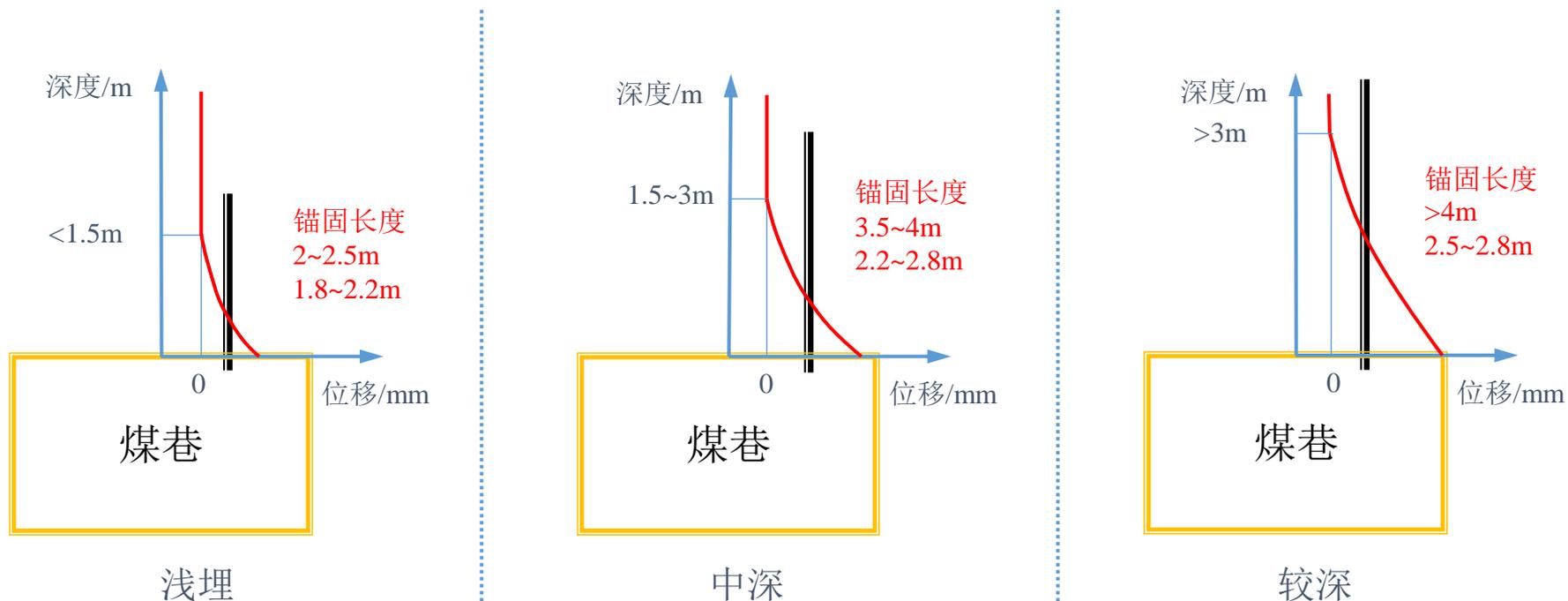


- 感知变形量：锚杆① < 锚杆② < 锚杆③
- 灵敏度：锚杆③ > 锚杆② > 锚杆①

- 高预拉力，达到高敏感度水平
- 稍有变形，迅速增阻

高预拉力长锚杆，灵敏度更高、反应更及时，迅速抑制变形

# 1) 跨界支护（非连续变形分区跨界）



埋深、巷道围岩深部位移和锚固长度的关系

- 界内支护：宏观变形破坏累积量大，常常大变形，甚至失稳；
- 跨界支护：宏观破坏小，累计变形少，保证稳定。

## 2) 大锚杆

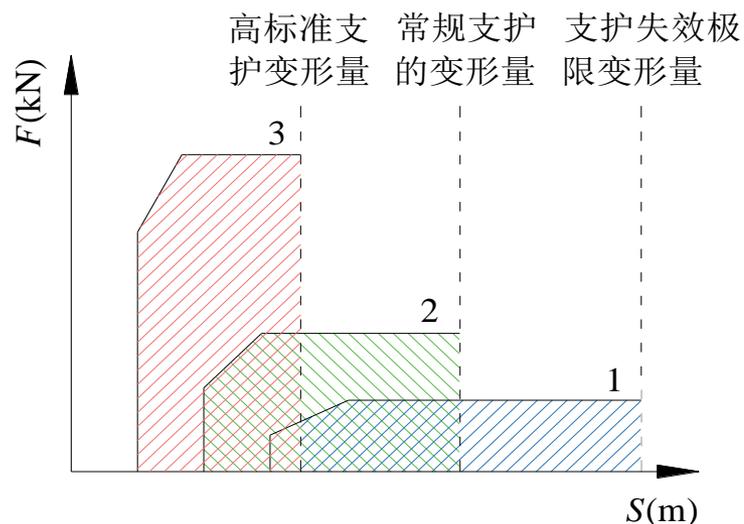
能够实现高预紧长锚固，构建巷道高预紧力、厚锚固层的连续梁的锚杆。

锚杆工作效能 $W$ :

$$W = F(t) \cdot S(t)$$

$F(t)$ ——力随时间的变化

$S(t)$ ——位移随时间的变化



- 大锚杆：工作效能达到普通锚杆3倍以上的高性能锚杆；
- 大锚杆技术是实现连续梁的必要条件，普通锚杆很难形成连续梁。

## ■ 大锚杆的技术特征

- 主动支护能力：高预应力，结构、装备
- 工艺时效性能：及时灵敏，结构、材料
- 约束变形能力：增载性能，结构、材料
- 大锚杆支护按照单根锚杆效能的3~4倍来考虑：
  - 杆体强度 $\sigma_p$ ：不低于1600MPa
  - 锚杆规格：直径 $\Phi 22\sim 25\text{mm}$ ，长度3.0~4.0m以上
  - 主动支护强度：0.1-0.3MPa
  - 间排距1.4m以上：1.4~2.0m
- 提高支护质量的同时，降低支护密度，支撑高效快速掘进

### 3) 大锚杆的结构形式

- 顶板：两节式锚杆、柔性锚杆I型、柔性锚杆II型



两节式锚杆

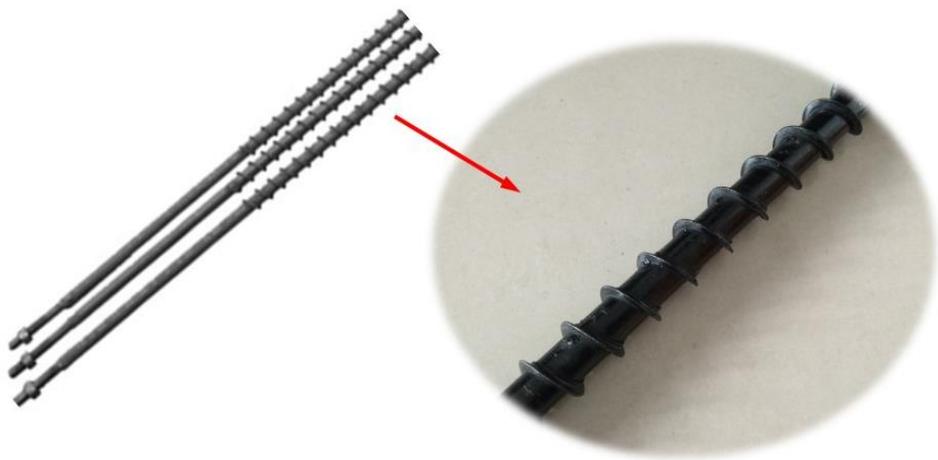
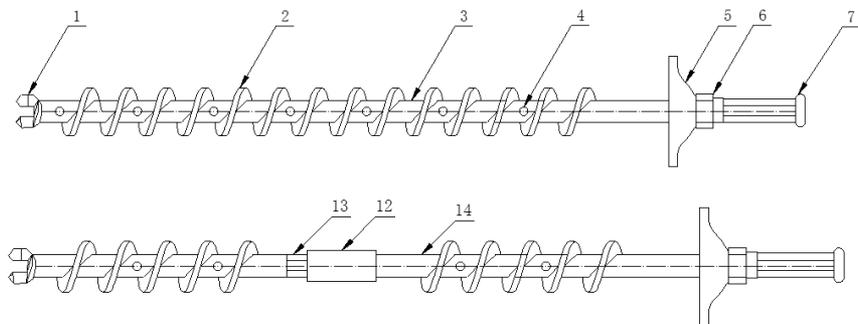


柔性锚杆 I 型



柔性锚杆 II 型

● 煤帮：螺旋自锚式锚杆、中空注脂式锚杆、管缝式锚杆



螺旋自锚式锚杆



中空注浆（注脂）式锚杆

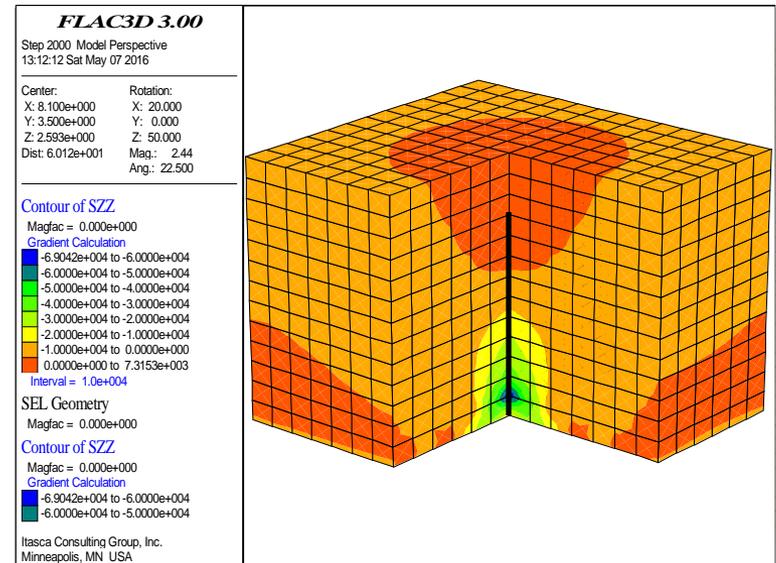
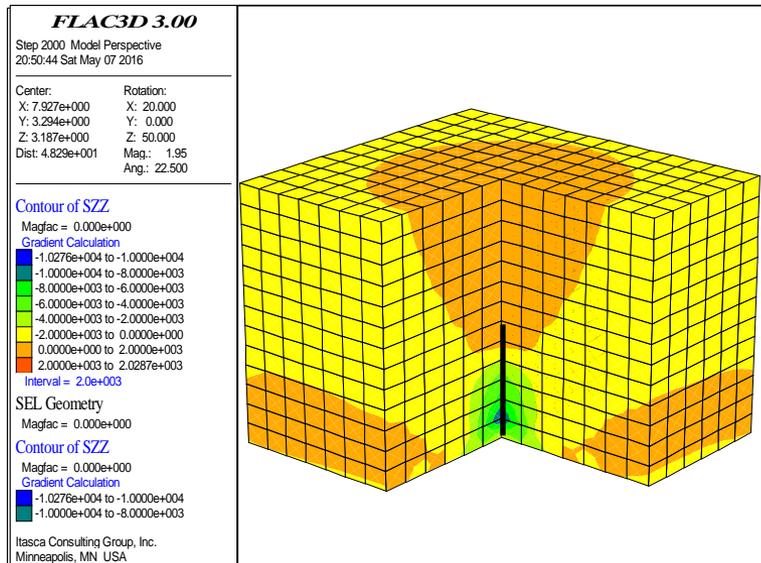


管缝式锚杆

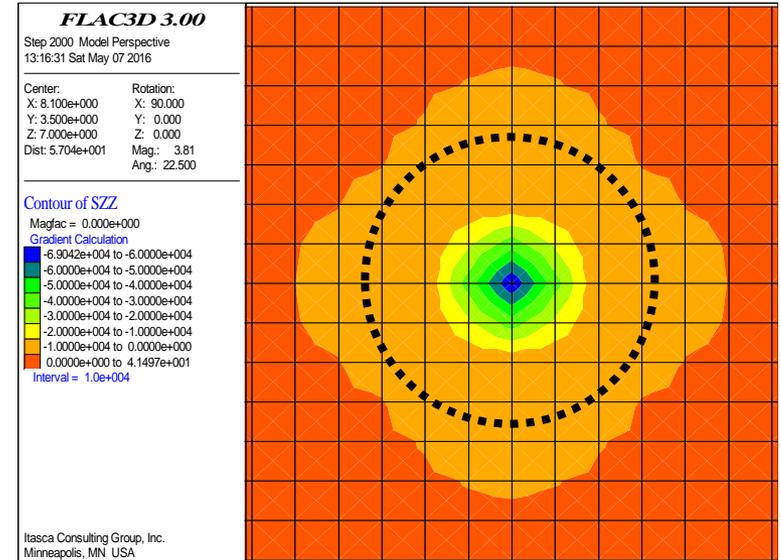
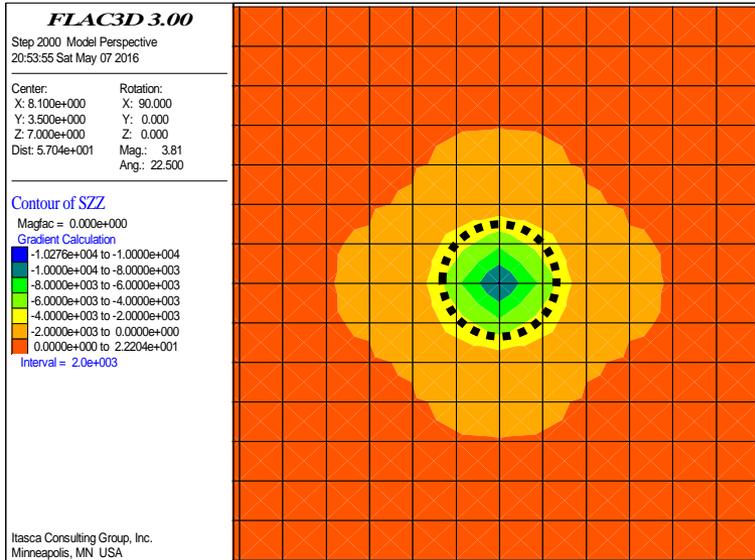
## ■ 数值模拟验证

原有方案与大锚杆方案所采用的支护材料及规格分别为：

- 普通锚杆：屈服强度400MPa，规格 $\Phi 20 \times 2200\text{mm}$ ，锚固长度1m，预紧力50kN；
- 柔性大锚杆：屈服强度1600MPa，规格 $\Phi 21.8 \times 4000\text{mm}$ ，锚固长度2.4m，预紧力200kN。

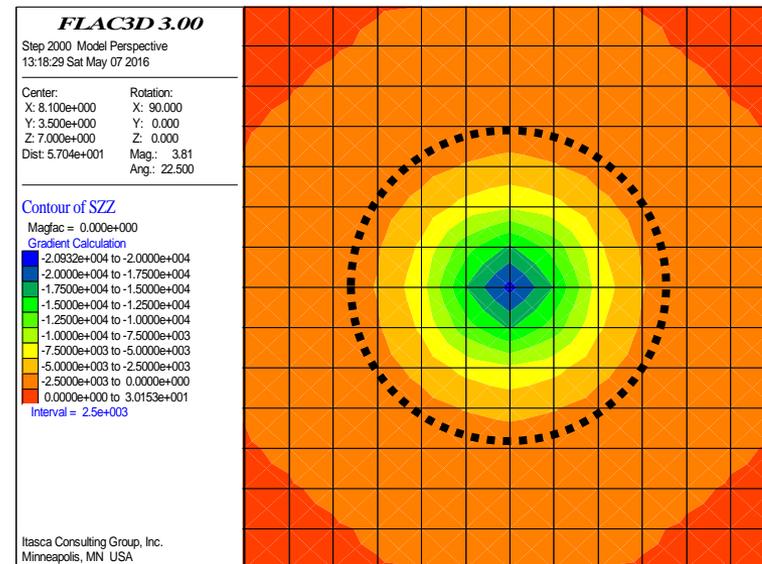
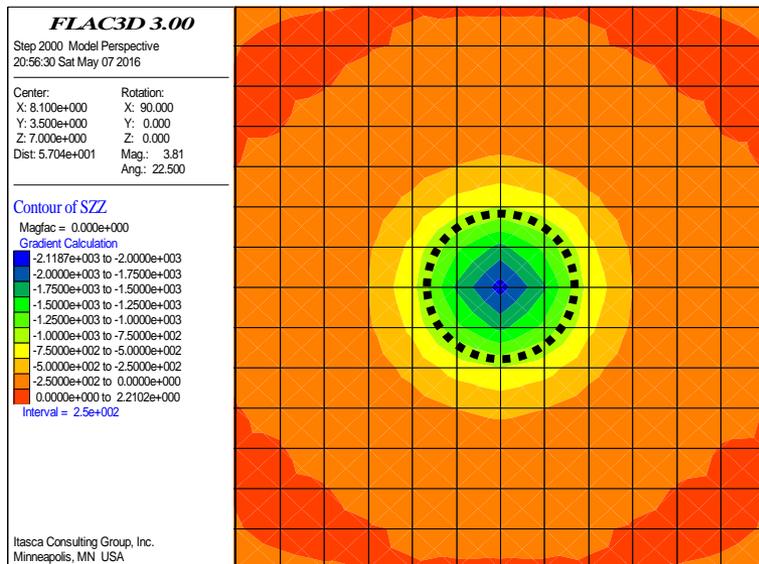


## ■ 单根锚杆：自由段锚固应力环



- 在孔内0.4m的层位上，普通锚杆和大锚杆分别形成了2kPa和10kPa以上的压应力区，应力环半径分别为0.67m和1.7m(4kPa)。总体上大锚杆形成的压应力数值是普通锚杆的5倍，应力环2.54倍。

## ■ 单根锚杆：锚固段锚固应力环



- 在孔内1.6m层位上，普通锚杆和大锚杆分别形成了0.25kPa和2.5kPa以上的压应力区，应力环半径为0.94m和1.94m（1kPa），应力数值上大锚杆是普通锚杆的10倍，应力环2.07倍。

## ■ 锚固效能分析

- 锚固应力揭示：对于连续岩体介质而言，单根柔性大锚杆的支护效能是单根普通锚杆的2~6倍；
- 大锚杆增加了锚固层厚度，能够调动深部更大范围（约2倍）岩体的承载性能，充分利用深部稳定岩体控制浅部岩体的变形。

煤巷锚杆支护应由常规的间排距等几何参数设计转化为有效支护强度设计，通过理论、材料和技术创新可以大幅调整间排距、降低支护密度，显著提高支护质量和掘进速度。

More with less

## 四、典型工程示例

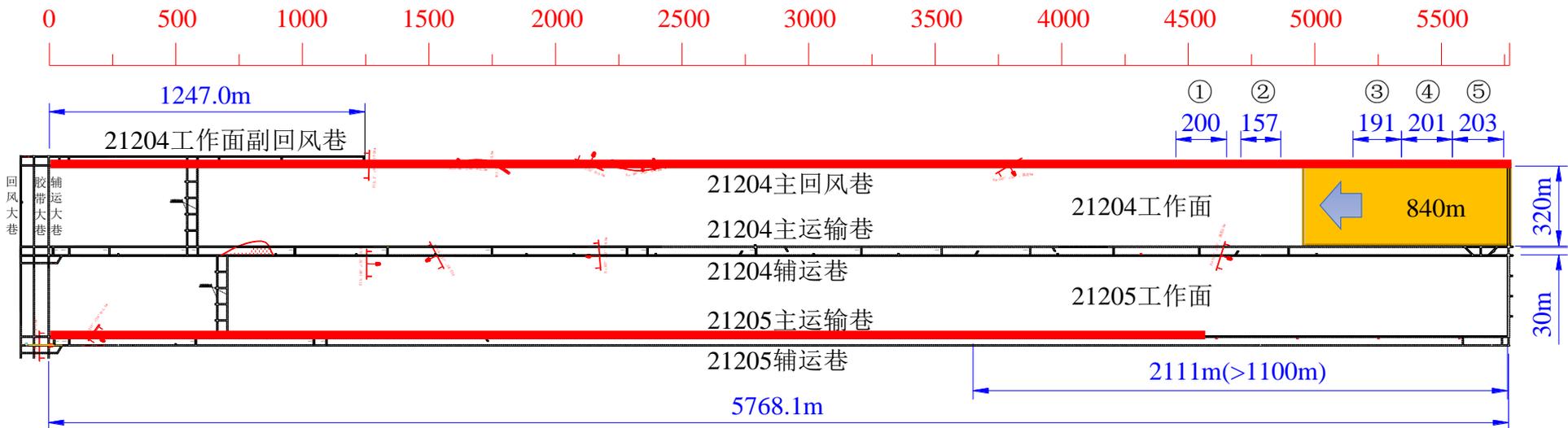
### 3.1 基本地质条件

- **试验点1:** 葫芦素矿21204主回风巷，累计进尺964m

已回采800m，与主运巷对比

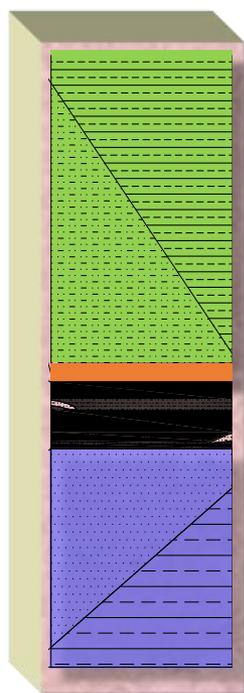
- **试验点2:** 葫芦素矿21205主运输巷，共2111m

累计施工1105m



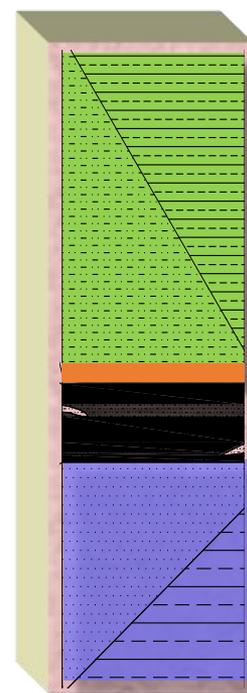
## ■ 顶底板岩层赋存结构

- 煤厚不一：2.0m和3.34m
- 复合顶板：页岩伪顶易层落，上方泥岩易掉矸



21204柱状图

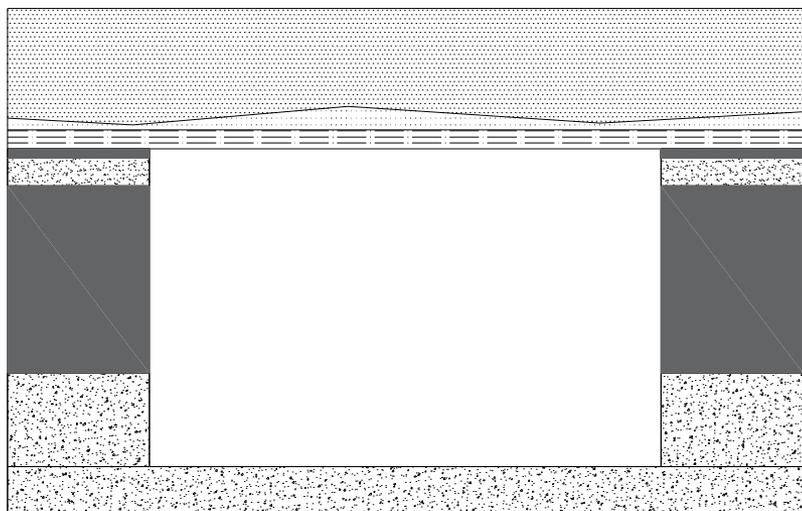
厚度/m	岩层的岩性	厚度/m
13.26	粉砂岩、泥质砂岩	12.73
0.35	砂质页岩	0.5
2.0	2-1煤	3.34
8.92	砂质泥岩、细砂岩	5.45



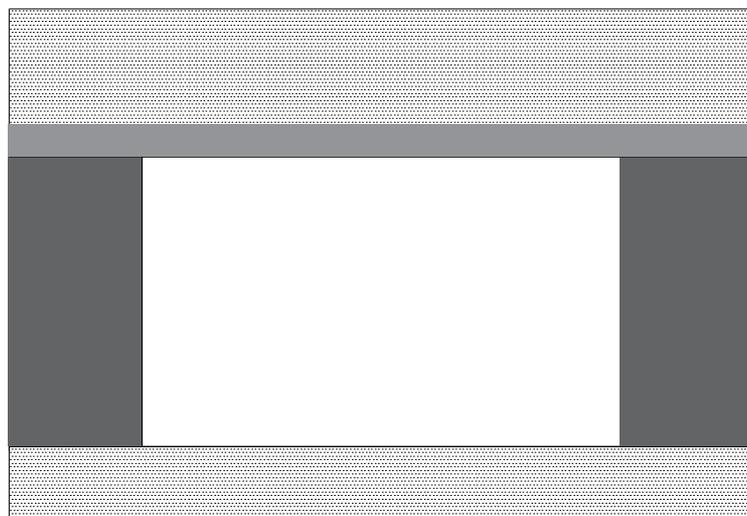
21205柱状图

## ■ 巷道层位

- 断面尺寸：宽5.4m×高3.2m
- 半煤岩巷，破岩困难；全煤巷，片帮多发



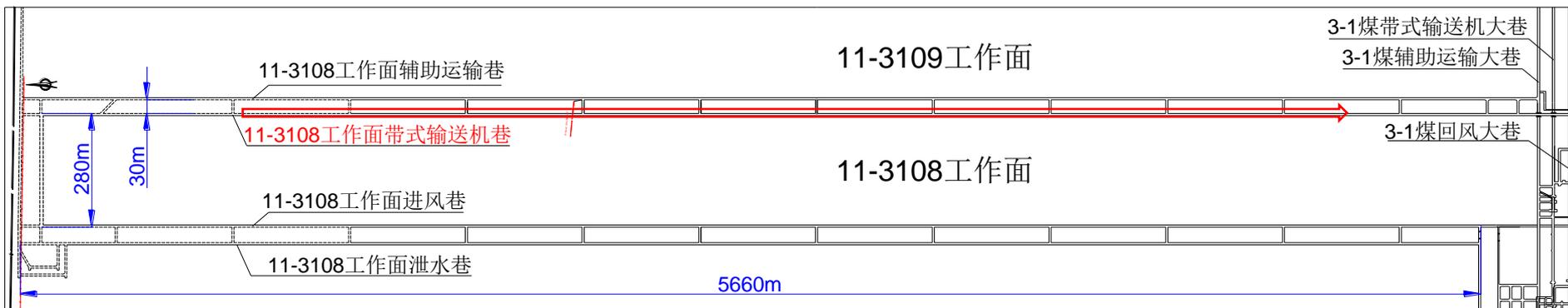
21204主回：半煤岩巷



21205主运：全煤巷

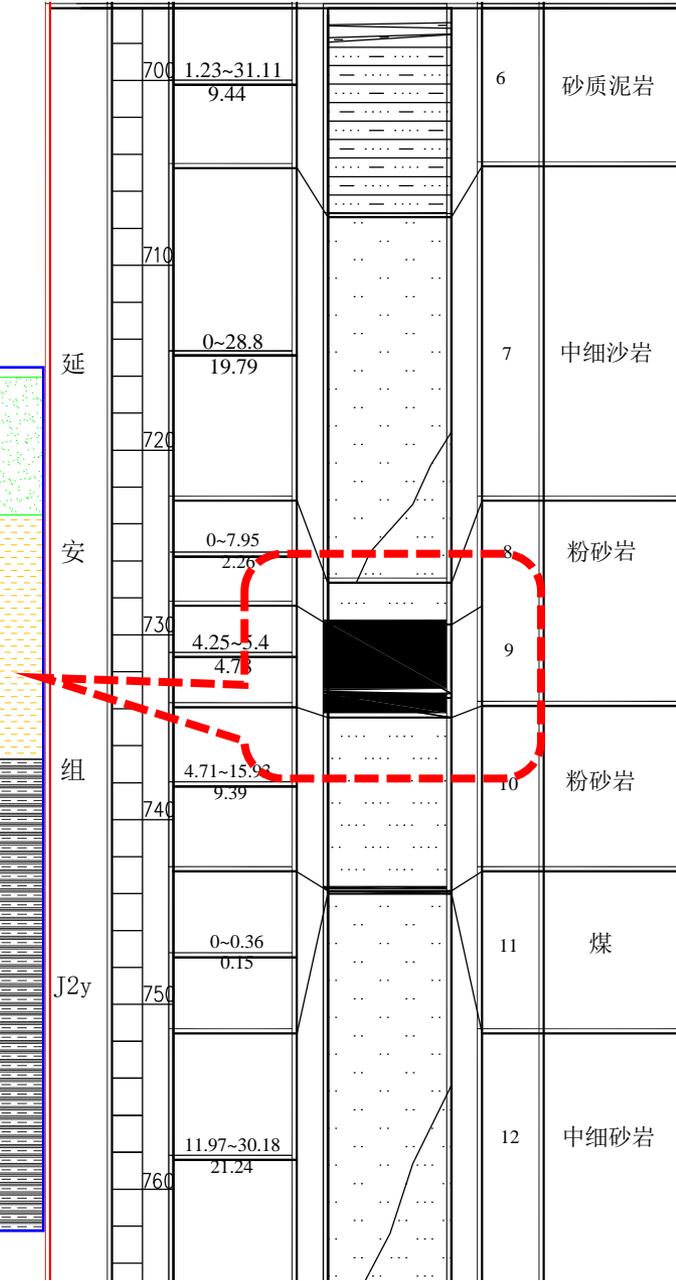
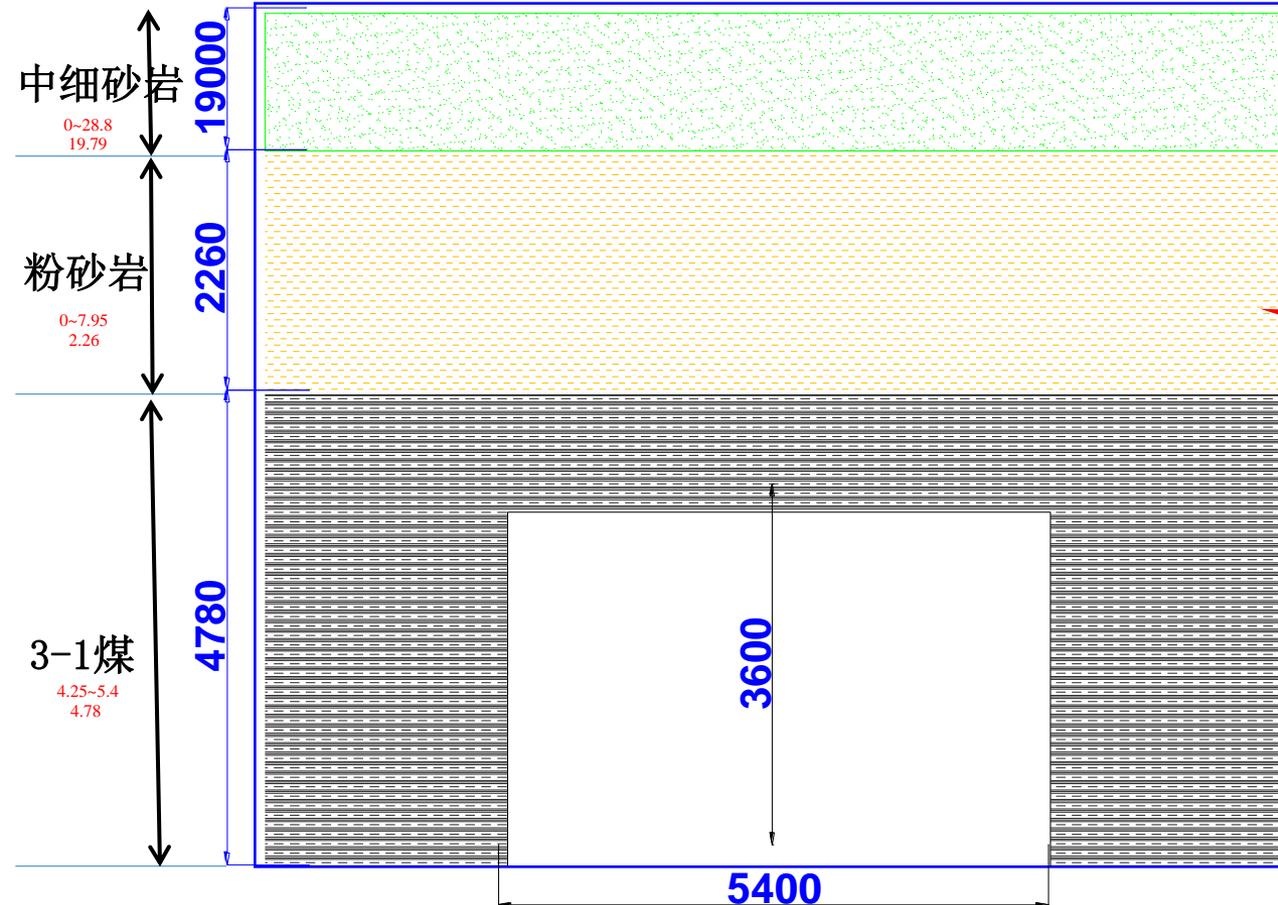
## 试验点3

- 工程位置：11-3108工作面主运巷
- 掘进工艺：掘锚一体化工艺 **MB670掘锚机**
- 支护方式：锚网支护 **柔性锚杆**

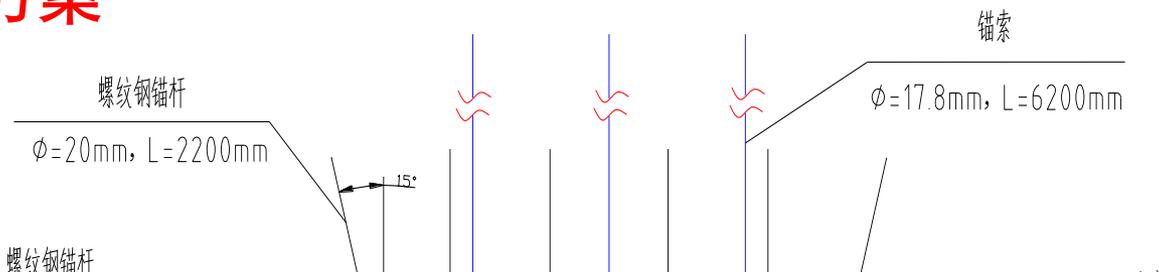


## ■ 11-3108主运巷围岩应力特征

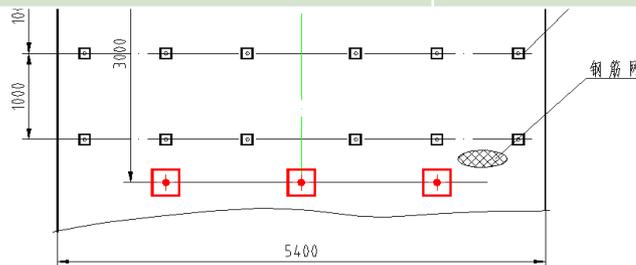
- 3-1煤，平均厚度4.78m 埋深721m-725.8m
- 巷道断面为矩形，尺寸：5.4m×3.6m
- 水平应力，垂直应力28MPa 高应力水平



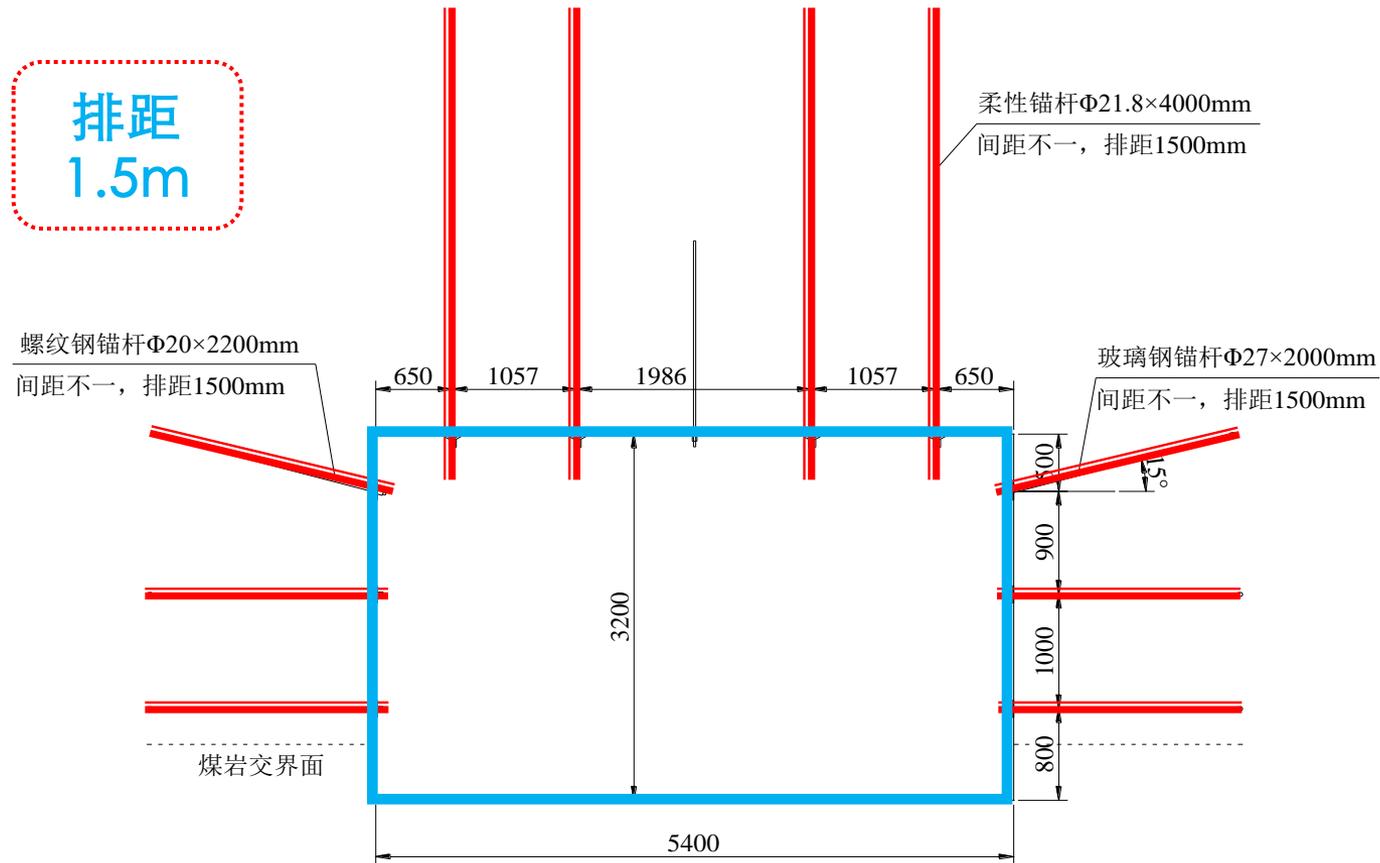
# ■ 原支护方案



支护密度	21204主回	21205主运
支护密度	13根/m	15根/m
锚固层厚度	2.1m	2.1m
支护强度	0.08Mpa	0.08MPa
裂隙圈深度	3m	2~3m
掘进速度	400~500	500~600



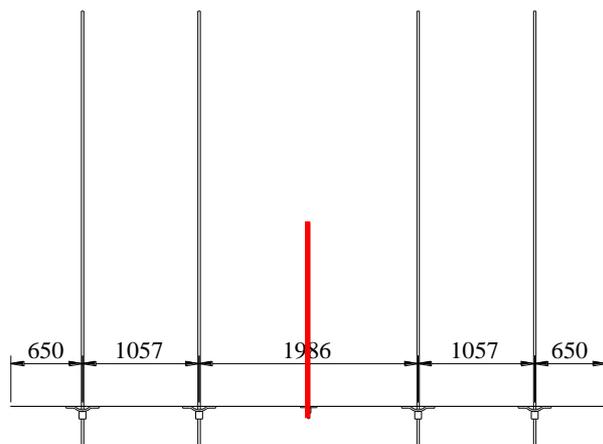
## 3.2 高效快掘“大锚杆”支护方案



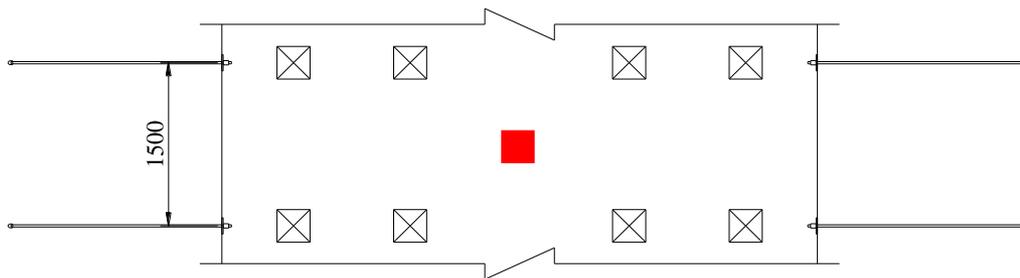
- 顶板4根/m（原7根/m），数量降低了42%，柔性锚杆预拉力200kN
- 顶板锚固层厚度 > 3.6m，提高71%以上，完全平行作业
- 21205主运相对21204主回，两帮各增加1根锚杆

## ■ 局部补丁锚杆支护

- 顶板中部空顶面积 $1.986\text{m} \times 1.5\text{m}$ 。对局部松动区域，中部小规格补丁锚杆护表。



(a) 巷道支护断面图



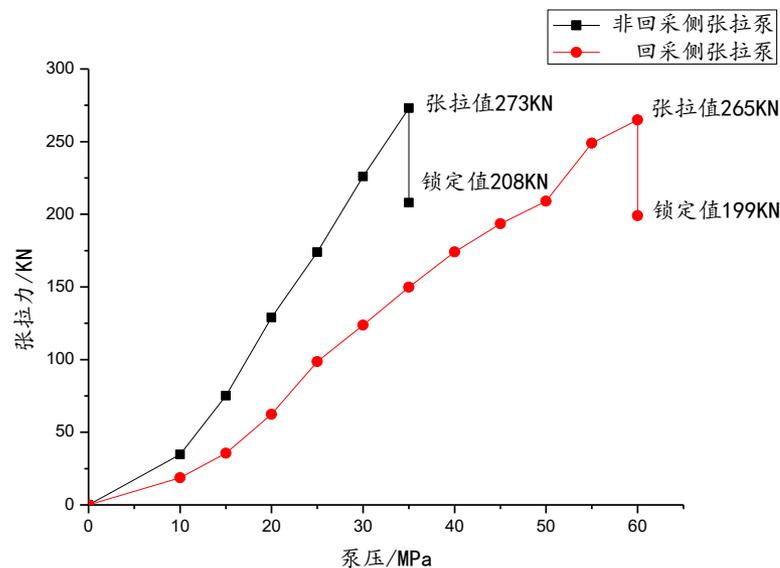
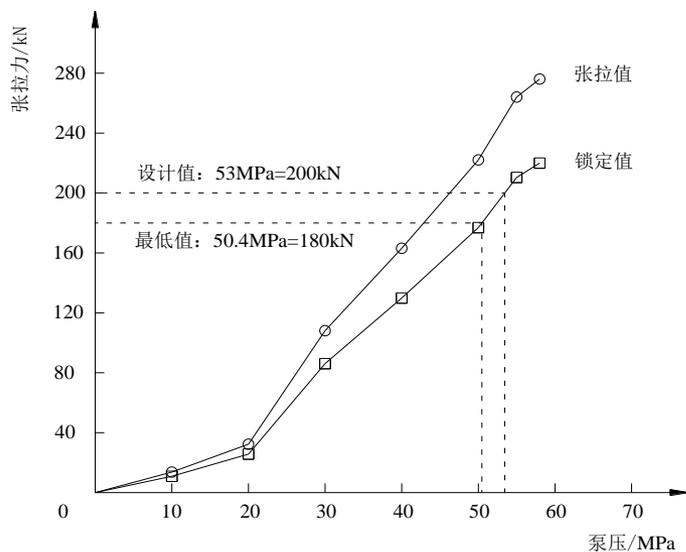
(b) 巷道支护俯视图

## ■ 支护方案对比

	原方案 /m	204主回 第一阶段	204主回 第二阶段	204主回 第三阶段	204主回 第四阶段	204主回 第五阶段	205主运
支护 方式	锚杆索 排距1.0	排距1.0m	排距1.2m	排距1.3m	排距1.4m	排距1.5m	排距1.5m
支护 密度	13	10	8.3	7.7	7.1	<b>6.7</b>	8
支护 强度 /MPa	0.0796	0.1481	0.1234	0.1140	0.1058	0.0988	0.0988
提高 率	/	<b>86.1%</b>	<b>55.0%</b>	<b>43.2%</b>	<b>32.9%</b>	<b>24.1%</b>	<b>24.1%</b>

## ■ 柔性锚杆预拉力标定

- 现场采用电子测力计标定压力，保证预拉力200kN以上
- 24小时持续记录锚固力变化



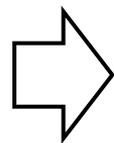
## ■ “大-中-小” 循环相配合的快速施工工艺

- 小：迎头工程量最小化，确保安全；
- 中：空间利用的最大化，多段并行作业；
- 大：时空协调匹配的最优化，保证长期稳定。

**时间：**掘进各工序平行作业；

**空间：**不同区域工序依次进行；

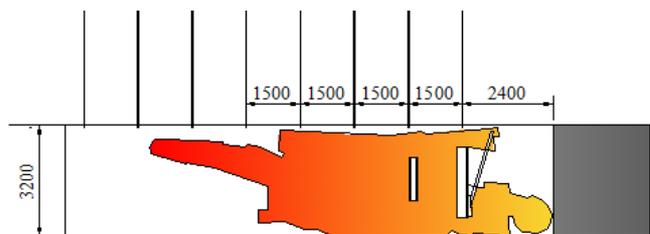
**目的：**循环作业时间最短。



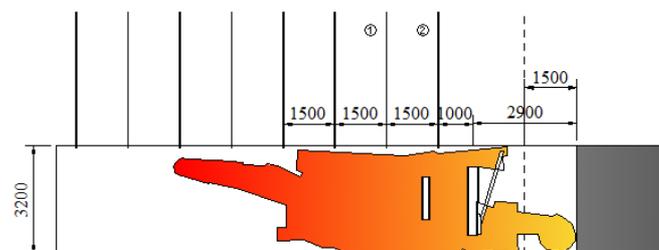
各类要素相互协调

### 3.3 施工工序

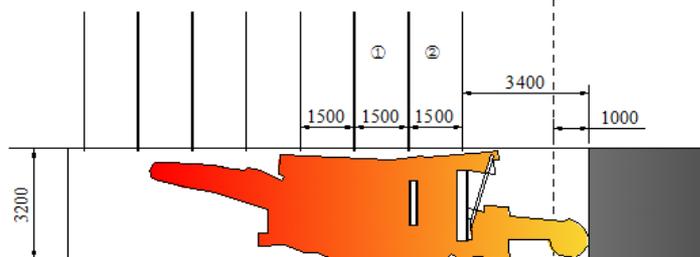
- 每循环：割煤两次（第1次1.0m、第2次0.5m），支护一次



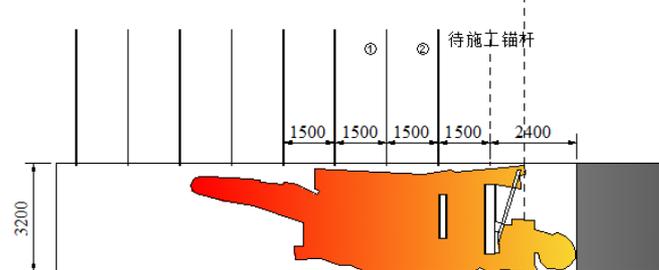
(a)循环开始时状态，上一排支护完成，待割煤



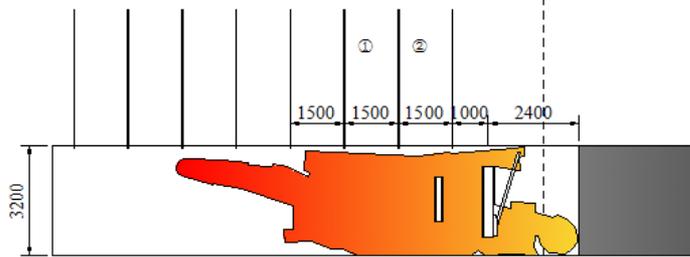
(d)向前割煤0.5m，待移机



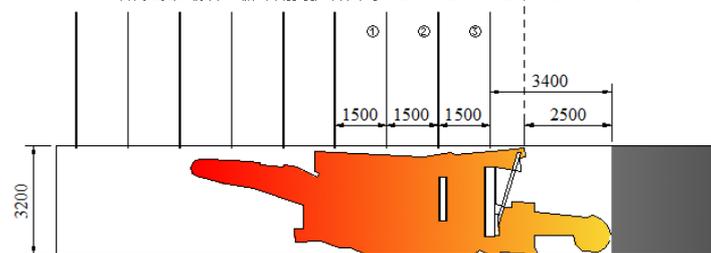
(b)向前割煤1.0m，待移机



(e)向前移机0.5m、铺顶网，顶锚钻机同时前移0.5m。  
若为每班最后一循环则支护后回到(a)；若为每班正规循环则见(f)



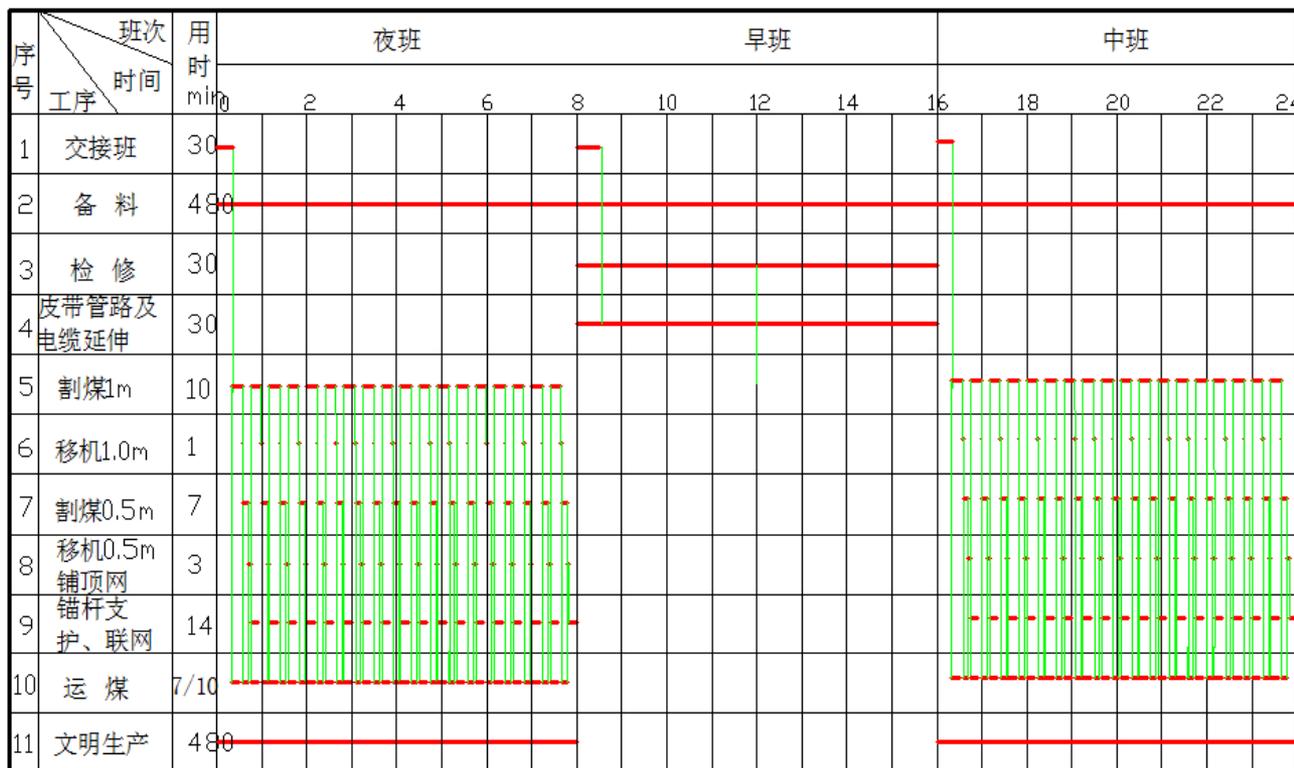
(c)向前移机1.0m，顶锚钻机同时前移1.0m



(f)新一排顶锚支护，支护同时向前割煤1.0m，回到图(c)

## ■ 循环作业图表

- 正常时，1.5m排距：每班生产7小时，正规循环率80%，每天可完成28循环、42m，每月25天，月进可达1050m

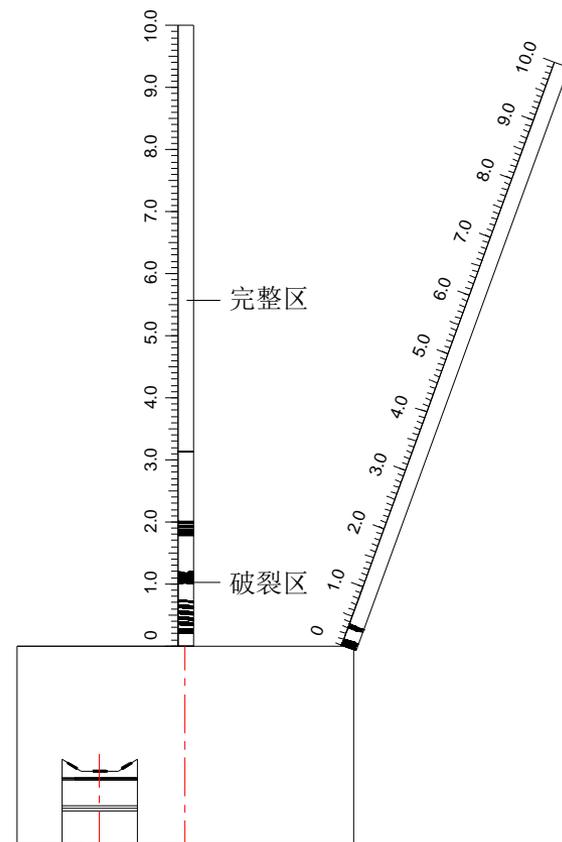


## 3.4 顶板安全状态分析

---

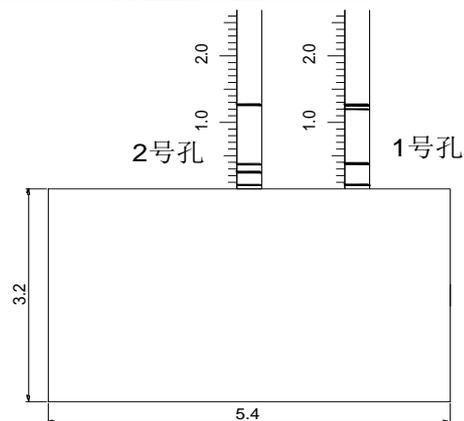
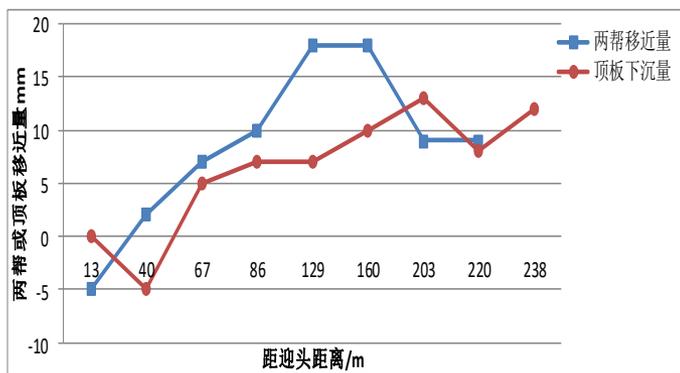
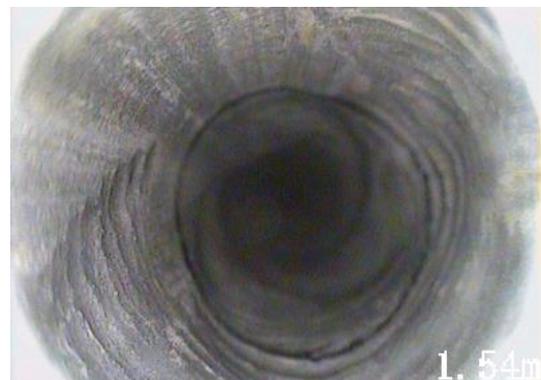
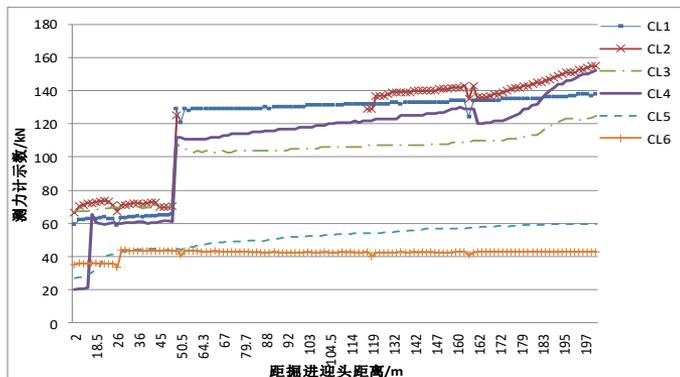
- 累计驻矿人数达7人，累计驻矿天数达181天，累计下井次数达95次，累计下井跟班监测达21次；
- 监测内容包括：围岩位移收敛量、顶板深部位移、围岩裂隙发育、锚杆支护阻力、锚杆扭矩及顶板垮冒特征；
- 矿大提供使用的设备：  
ZKXG30矿用全景钻孔窥视仪（30万）；  
MCS-400数显矿用本安型锚杆测力计（6.8万）。

## ■ 21204主回风巷掘进期间矿压监测（原方案）



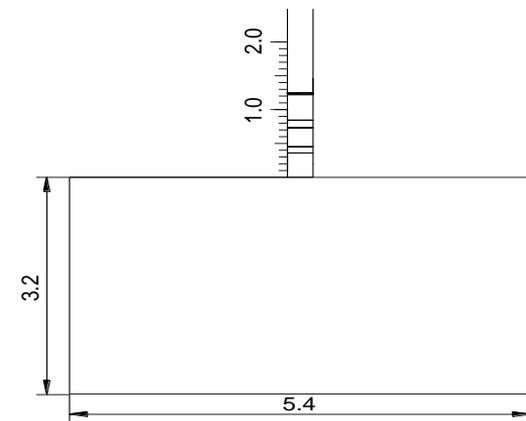
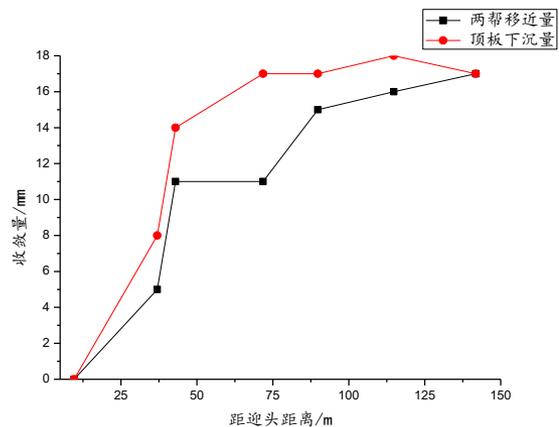
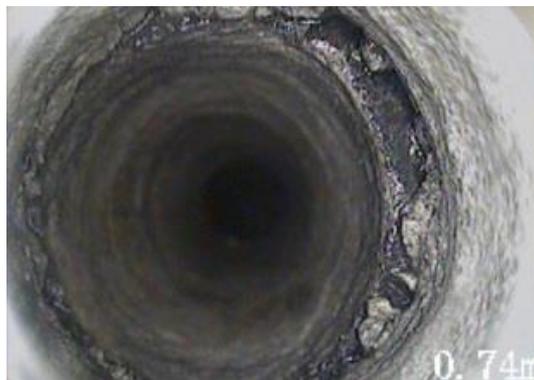
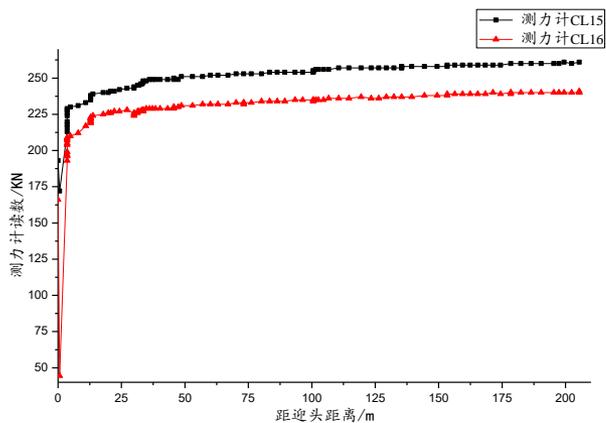
- 巷道顶板2m范围内围岩裂隙和离层较为发育
- 顶板3.1m处仍有细微裂隙

## 21204主回风巷掘进期间矿压监测（第一阶段，排距1.0m）



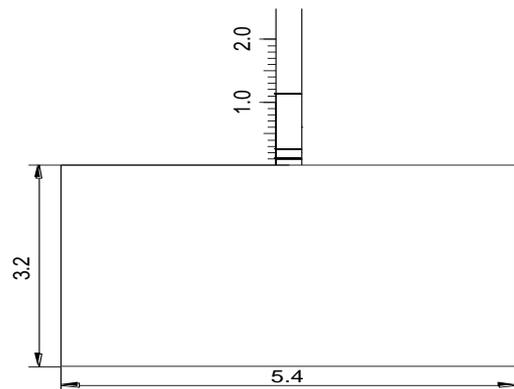
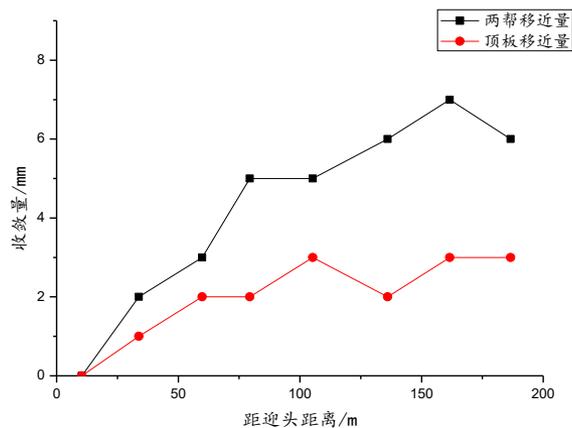
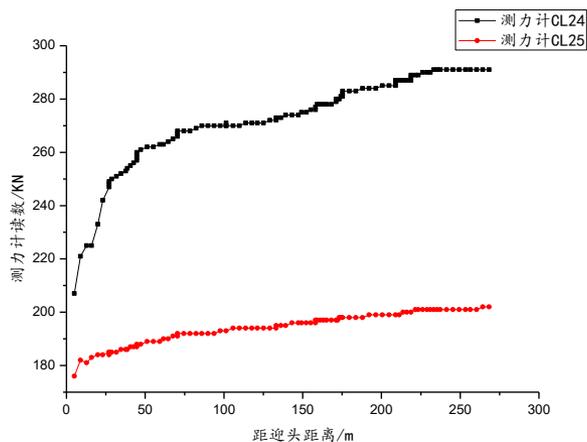
- 迎头后130m变形稳定，顶板：7mm，两帮：11~23mm
- 预拉力60~120kN，顶板所有裂隙均出现在1.5m以内

## 21204主回风巷掘进期间矿压监测（第二阶段，排距1.2m）



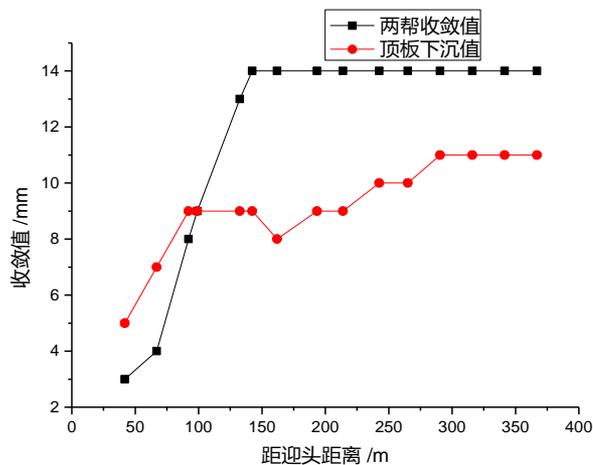
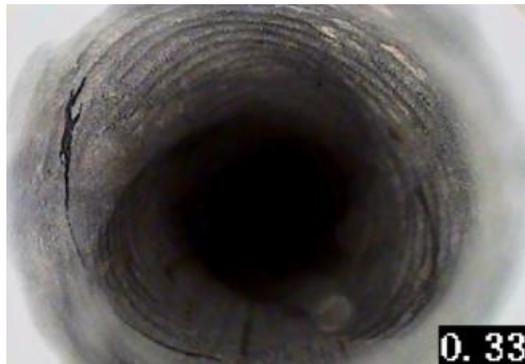
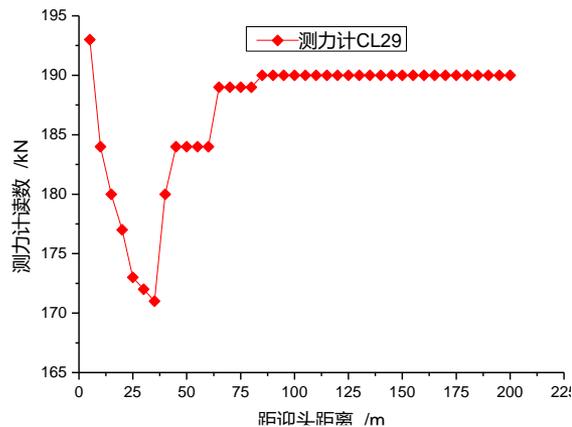
- 预拉力180kN以上，最大离层3mm
- 迎头后100m变形稳定，顶板：17mm，两帮：18mm
- 顶板所有裂隙均出现在1.25m以浅

## 21204主回风巷掘进期间矿压监测（第三阶段，排距1.3m）



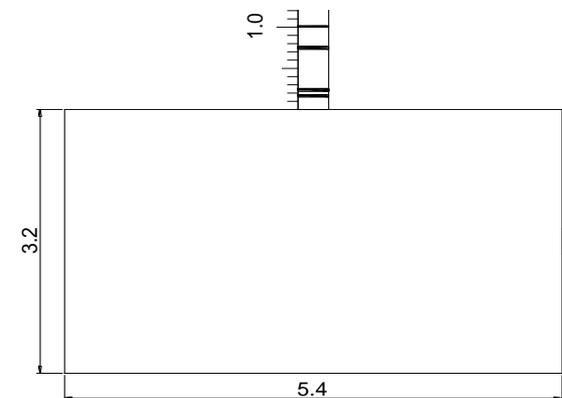
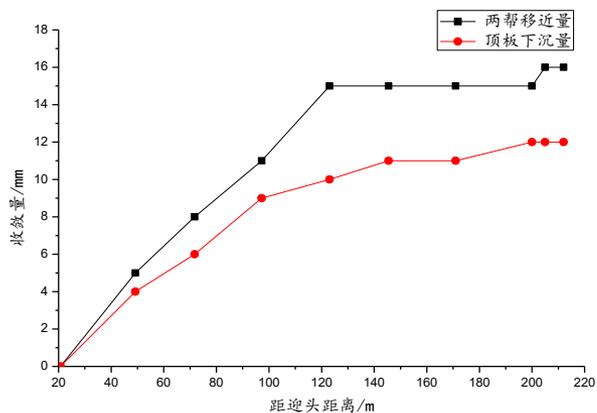
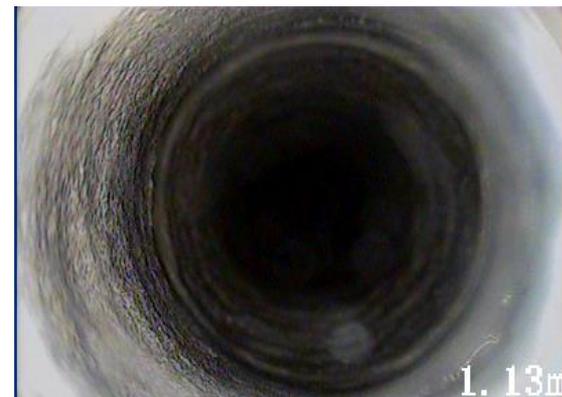
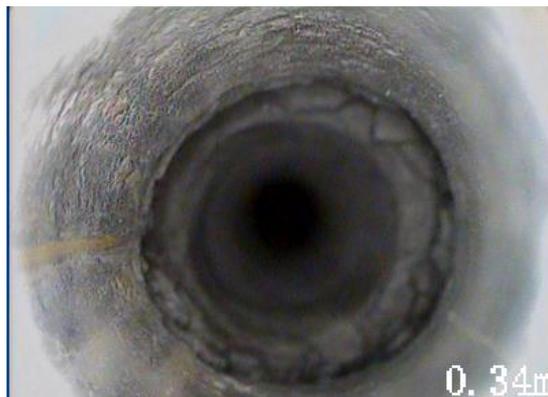
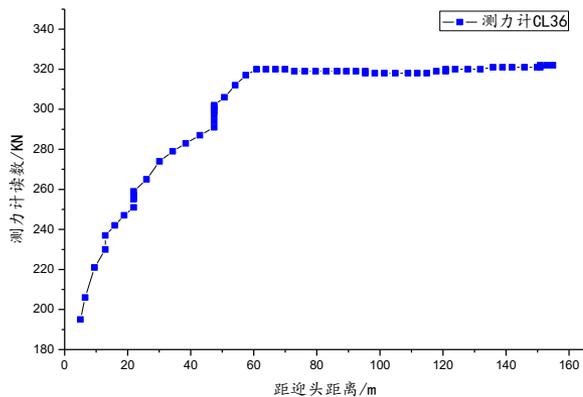
- 预拉力180kN以上，最大离层4mm
- 迎头后70~100m变形稳定，顶板：7mm，两帮：10mm
- 顶板所有裂隙均出现在1.13m以浅

## 21204主回风巷掘进期间矿压监测（第四阶段，排距1.4m）



- 预拉力200kN以上，最大离层6mm
- 迎头后100m变形稳定，顶板：11mm，两帮：14mm
- 顶板所有裂隙均出现在1.0m以浅

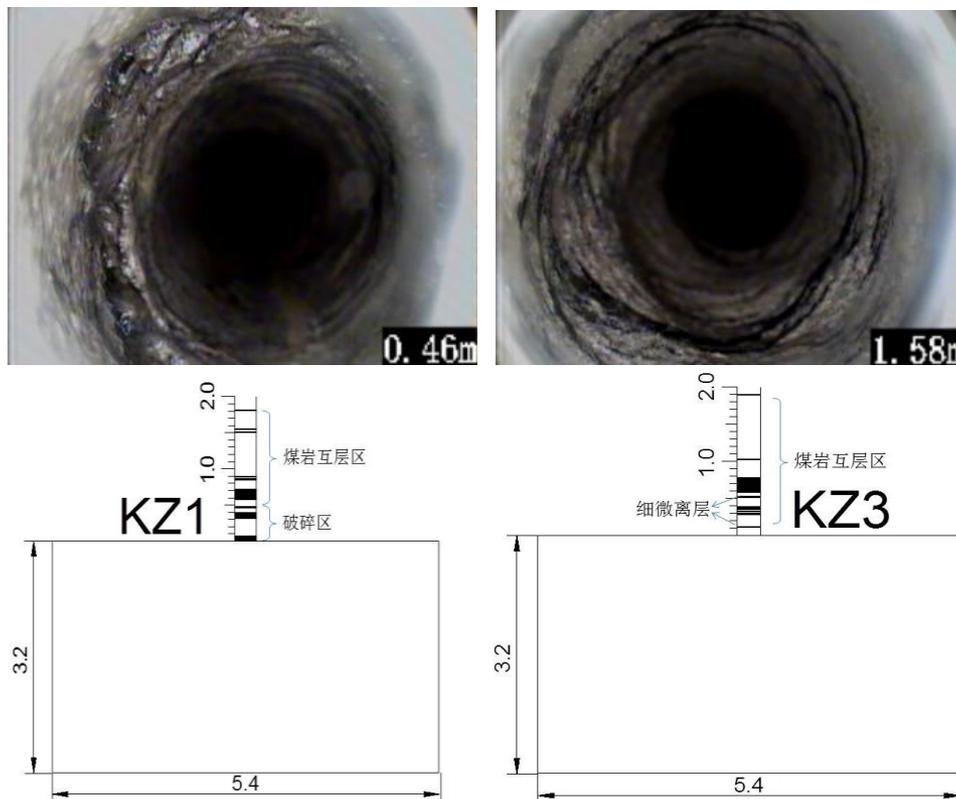
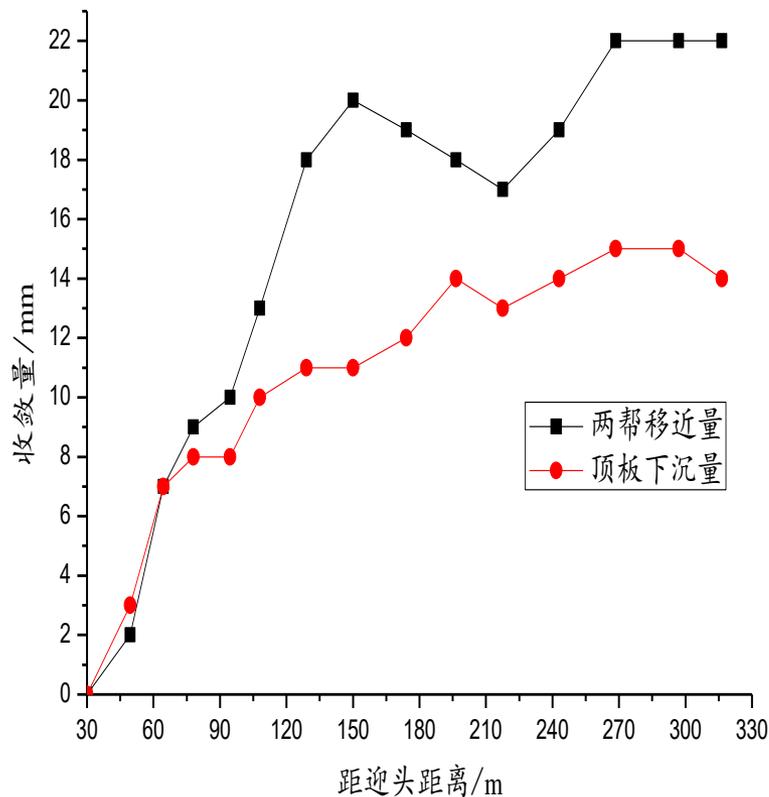
## 21204主回风巷掘进期间矿压监测（第五阶段，排距1.5m）



- 预拉力180kN以上
- 迎头后100m变形稳定，顶板：16mm，两帮：11mm
- 顶板所有裂隙均出现在1.1m以浅

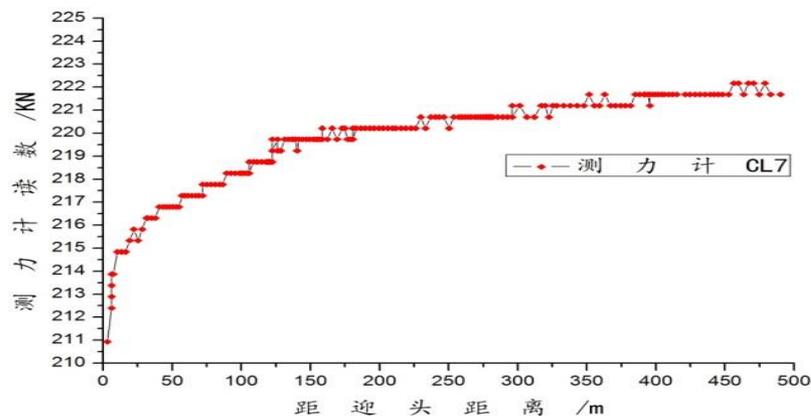
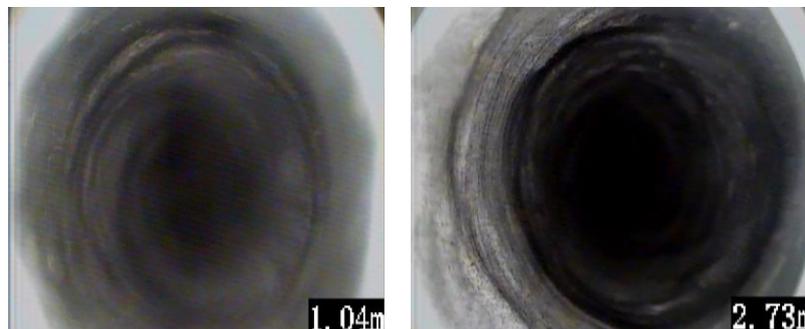
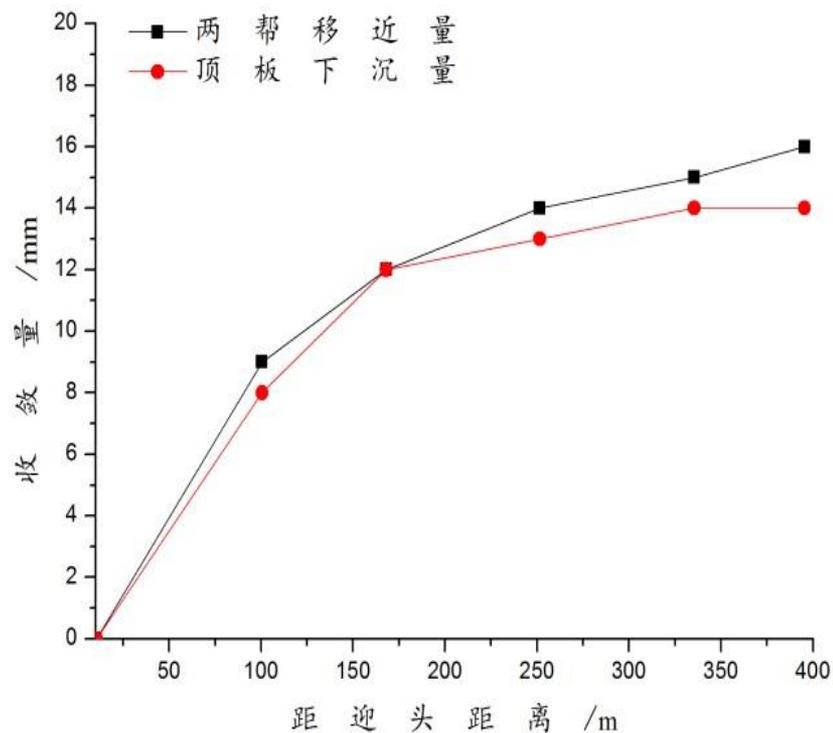
# 3.5 掘采服务期间矿压观测

## 21205主运输巷掘进期间矿压监测



- 表面位移：顶板变形15mm，两帮变形25mm以内
- 顶板窥视：离层破碎发生在0.6m以浅

## ■ 3108主运输巷掘进期间矿压监测

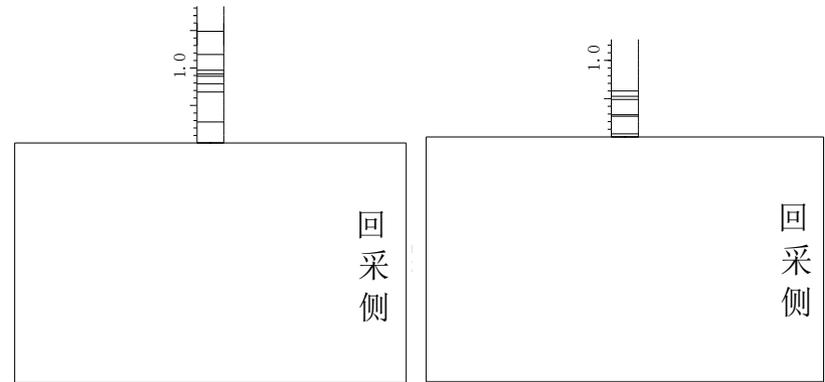
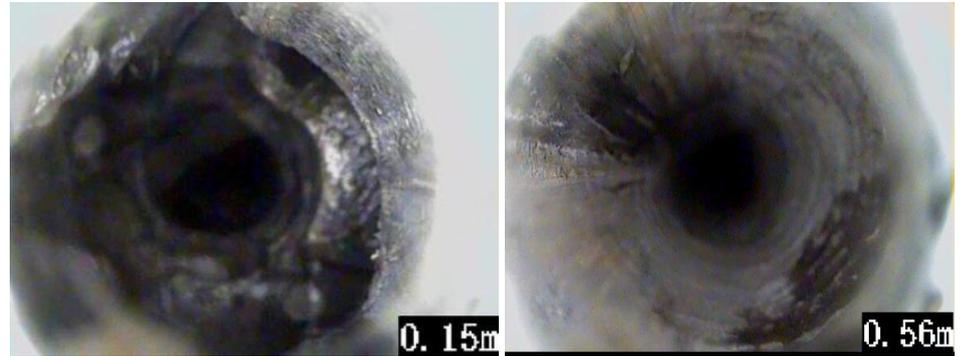
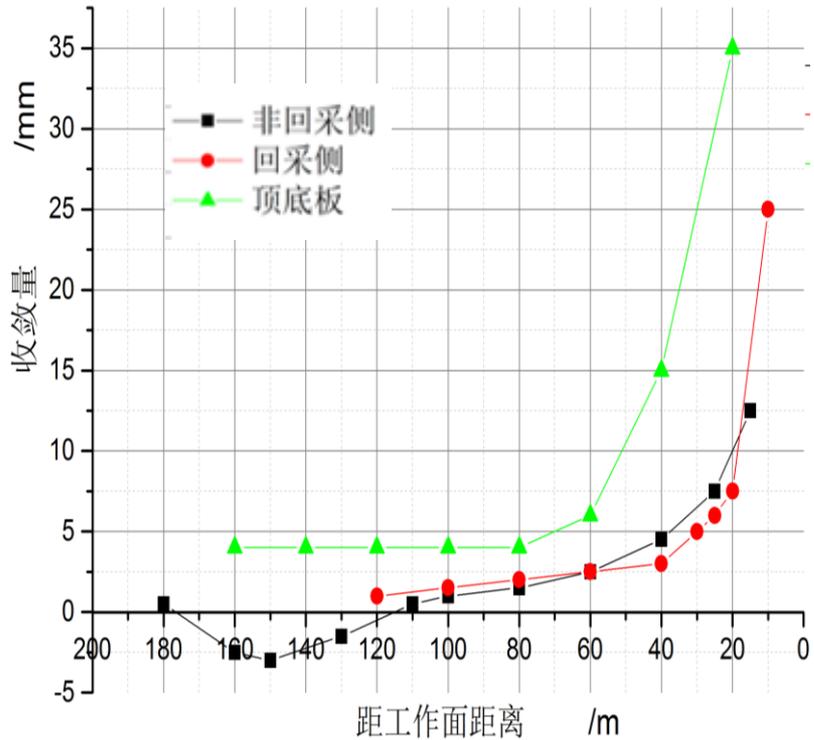


- 表面位移：顶板变形14mm，两帮变形16mm
- 顶板窥视：离层破碎发生在1.0m以浅

## ■ 快掘期间矿压显现的四个特征

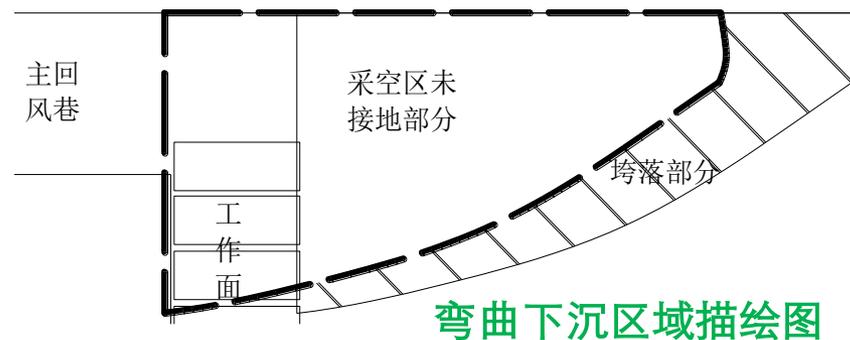
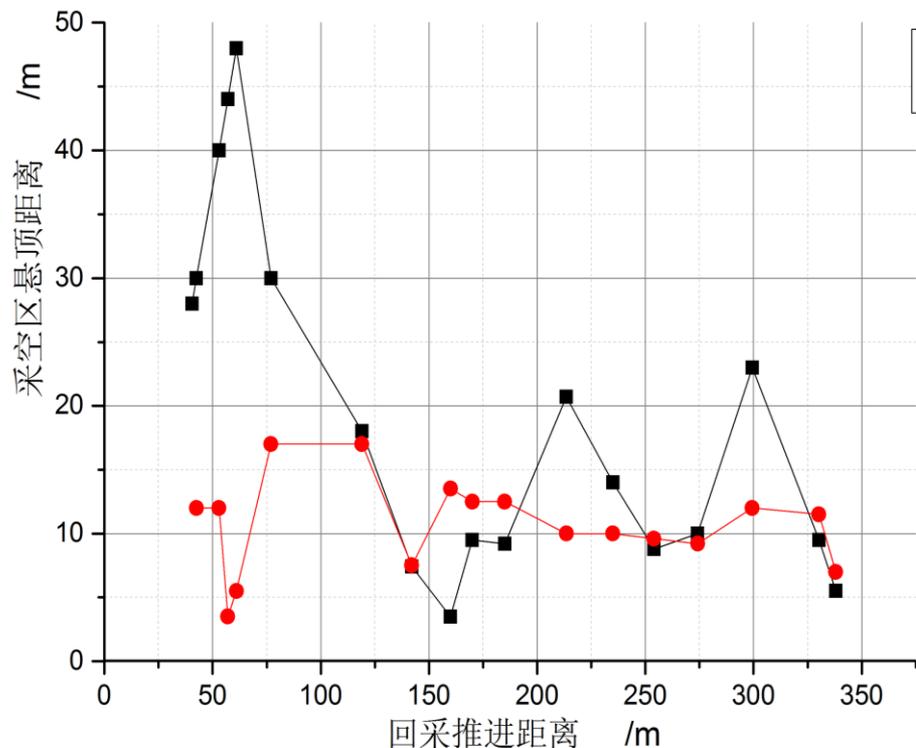
- 时间上：稳定周期略有缩短；
- 空间上：扰动距离加长；
- 程度上：矿压烈度显著降低；
- 速度效应：快速推进有助于保持稳定，停头或慢掘会冒  
研、片帮。

## ■ 21204主回风巷回采期间矿压监测



- 表面位移：超前40m受明显扰动；顶底板变形10~40mm，非回采侧帮3~14mm，回采侧帮5~35mm
- 顶板窥视：离层和破碎发生在1.5m以浅

## ■ 21204主回风巷回采垮落特征



- 初采期间端头最大悬顶达48m，之后悬顶长度保持在10m与20m之间
- 对比原方案，初采最大悬顶17m，之后悬顶长度保持在5~14m之间

## ■ 回采期间矿压显现的三个特征

- 抗扰动能力提高：超前支承压力影响区矿压烈度小；
- 端头悬顶大：最大悬顶距是原先的2.8倍；
- 采空区巷道垮冒新特征：巷道直接顶下沉呈现为“短臂悬顶-弯曲下沉-断裂垮落”的过程特征，而非随采随垮。

## 3.6 现场效果实照

### ■ 21204主回风巷掘进期间



顶板



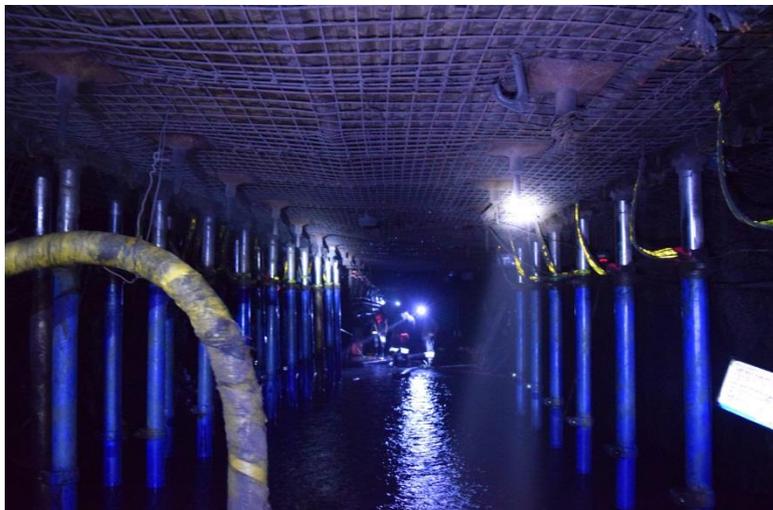
煤帮







## ■ 21204主回风巷回采期间



顶板



煤帮

## ■ 21205主运输巷掘进期间



顶板



煤帮

## ■ 3108主运输巷掘进期间



## 3.7 快掘制约因素及解决方案

---

### ● 掘进速度对比

	阶段	月进尺/m	提高	提高率
葫芦素矿	原方案	500	/	/
	新方案	840	340	68%
门克庆矿	原方案	650	/	/
	新方案	1040	390	60%

## 3.7 快掘制约因素及解决方案

### ■ 共性制约因素

因素	制约性	解决方案
掘锚机功能	<ul style="list-style-type: none"><li>● 伸缩1.0m与1.5m排距不匹配，割2移2支1</li><li>● 设备稳定性不足，钻箱问题多发，缺少备件</li><li>● 割岩能力弱，及时支护不足，缺少护帮装置</li><li>● 部分掘锚机帮顶钻机闭锁，不能同时支护</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 掘锚机型号系列化</li><li>● 掘锚作业平行化</li><li>● 截割伸缩1.5m~2.0m</li><li>● 增加侧向滚筒,圆弧形煤帮</li></ul>
转运长度	“二运”最大伸缩长度为25~28m	加大至40m以上
施工机具	张拉千斤顶较重	研制轻型张拉千斤顶
其它因素	迎头排水；锚杆工流失	设备维修保养和备件采购 强调作业人员激励性管理

- 支护已成快掘关键支撑，继续研发密度更低：“双锚吊”

## 五、结论与应用说明

## 4.1 主要结论

---

- 结论一： 支护技术创新升级可大幅提高煤巷掘进速度

针对煤巷快掘的重大技术需求，提出了全新的煤巷顶板连续梁控制理论与高效长锚固技术，能将现有煤巷掘进速度提高50%以上。

●结论二：该套技术可同时提升支护质量和掘进速度

通过3条试验巷道的全程矿压监测分析，掌握了一次采动高效快掘巷道的矿压显现规律和支护效果。

支护、割煤、其它的时间比由6:2:2变为3:5:2，支护技术成为快掘关键优势，显著提升了巷道支护效果、降低了支护成本、最快速度1040m/月提升了60%，试验取得了圆满成功。

## 4.2 推广应用说明

---

### ■ 适用条件

- 地质条件：顶板淋水量不大、非断层区
- 开采环境：无应力叠加，无冲击倾向性
- 顶板条件：空顶自稳距离超过5.0m
- 煤帮条件：片帮程度可控

## 4.2 推广应用说明

---

可推广至一次采动巷道中应用，但需做出如下工作：

- 结合具体地质条件，做出技术的适应性评估
- 结合力学环境、顶板岩性结构，确定锚固层厚度
- 支护构件和机具的匹配性测试，预拉力损失的有效控制
- 掘锚机能够适应地质条件，运输系统和掘进设备经过充分检修，具有较高的可靠性
- 开展矿压监测，及时对异常情况提出解决方案

# 谢谢!

姓名：韩昌良

手机：13641532955

邮箱：[13641532955@126.com](mailto:13641532955@126.com)

单位：中国矿业大学矿业工程学院

