

# 矿山巷道锚固支护技术新进展



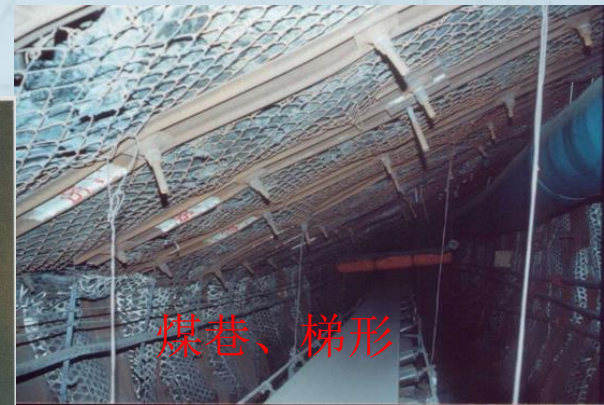
# 一、矿山巷道的特点及复杂性

## 1、井巷分类

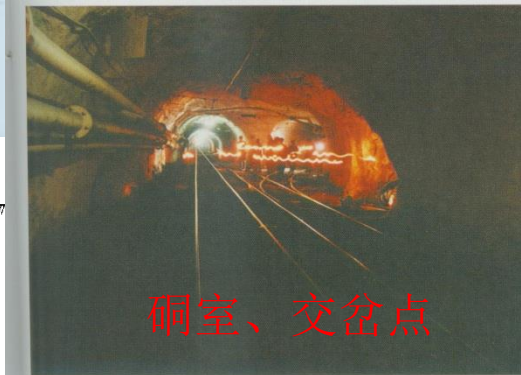
- ◆ 岩巷、煤巷、半煤岩巷（开拓、准备、回采）
  - ◆ 平巷、斜巷（8000km, 20%困难巷道）
  - ◆ 直边形、曲边形（半圆拱形、矩形等）
  - ◆ 冒顶伤人58%



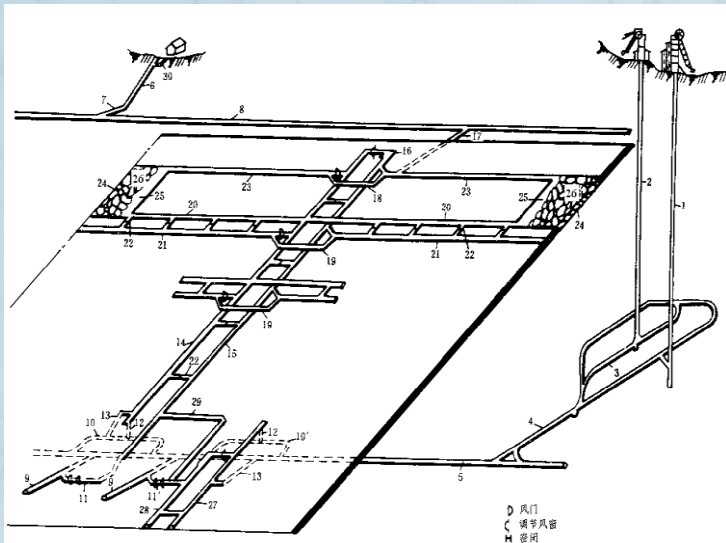
平巷、岩巷



煤巷、梯形



洞室、交岔点



煤巷、矩形



斜巷

## 2、各类困难巷道支护破坏现象

### (1) 钢架支护

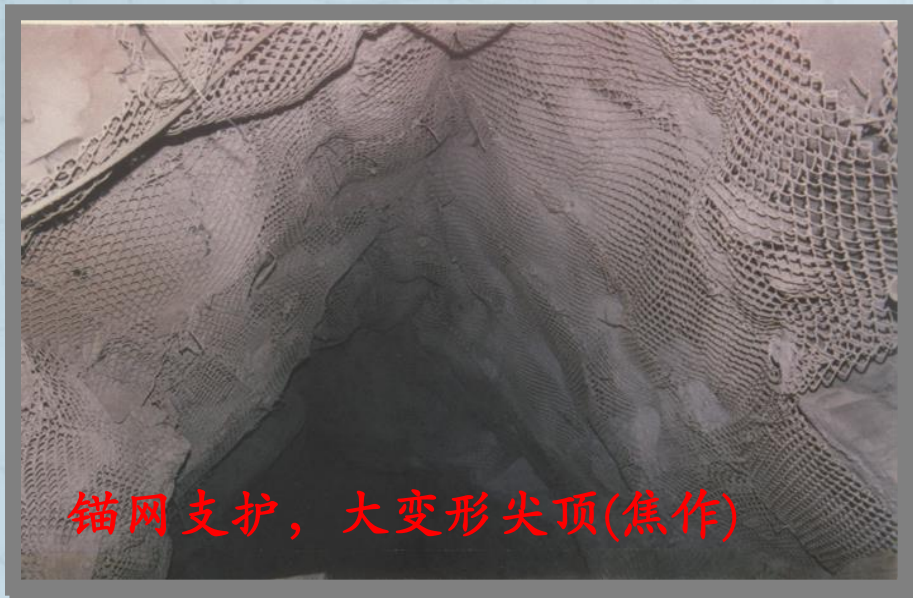


## (2) 料石碇支护



料石碇支护顶板塌方

### (3) 锚网支护



## (4) 复合支护



### 3、经验教训

#### ➤ 单纯提高支护刚度行不通？（可缩）

（1）梅河三井3.5层料石碇1.225米；

（2）金川矿区井底现浇混凝土用重轨作筋，厚度1.5米；

（3）淮南潘二矿U36型钢，每米3架，成本达3.6万元/米。

大风过后



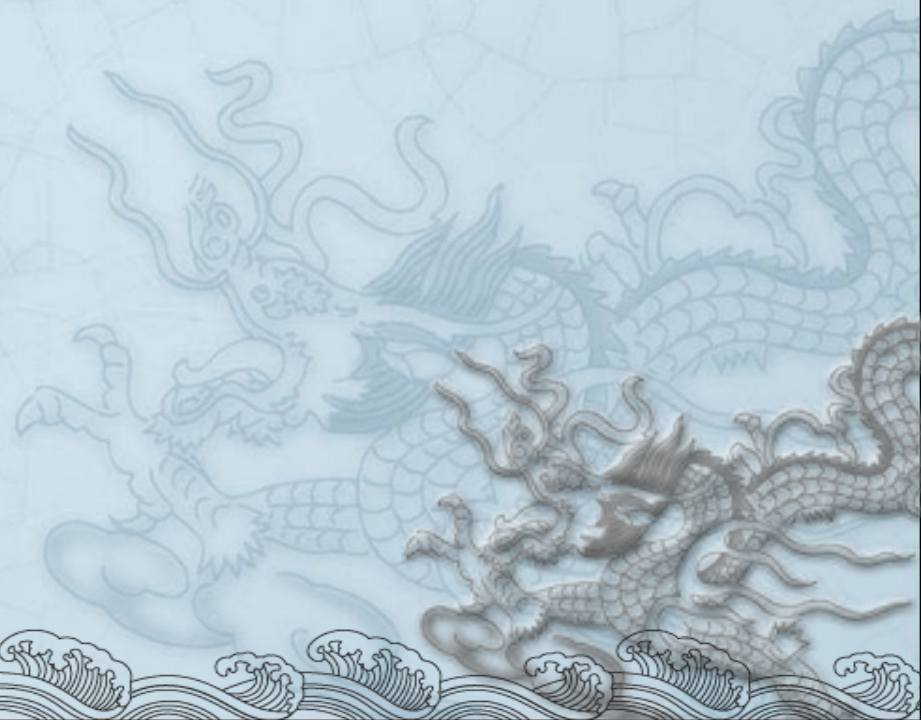
### 3、经验教训

➤ 一次支护达不到预期目的？ (多次支护)

(1) 剧烈期

(2) 持续时间长

(3) 变形量大





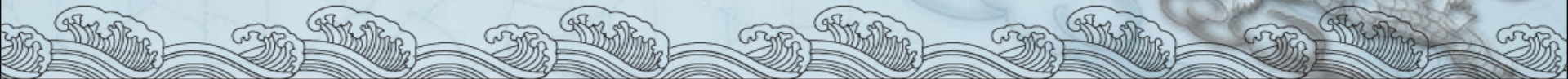
### 3、经验教训

➤ 单一支护方式可靠性？（联合）

（1）U型钢或者金属支架

（2）料石碇

（3）锚喷网支护





## 4、矿山巷道破坏原因分析

- **岩性差**：煤层、泥岩（强度低、易破碎、残余强度低）
- **地应力大**：埋深大、褶曲构造、采动影响（集中系数达2.5以上）
- **支护强度低、结构不合理**：—临时工程、不封底
- **大松动圈**：大于2.2m，碎胀变形力大，单一支护无法满足支护需求

## 4.1 岩性差、岩体强度低

### (1) 岩石强度（煤、砂质泥岩、泥化）

不少围岩天然抗压强度小于10MPa

泥岩在水作用下几乎没有强度

### (2) 结构面强度

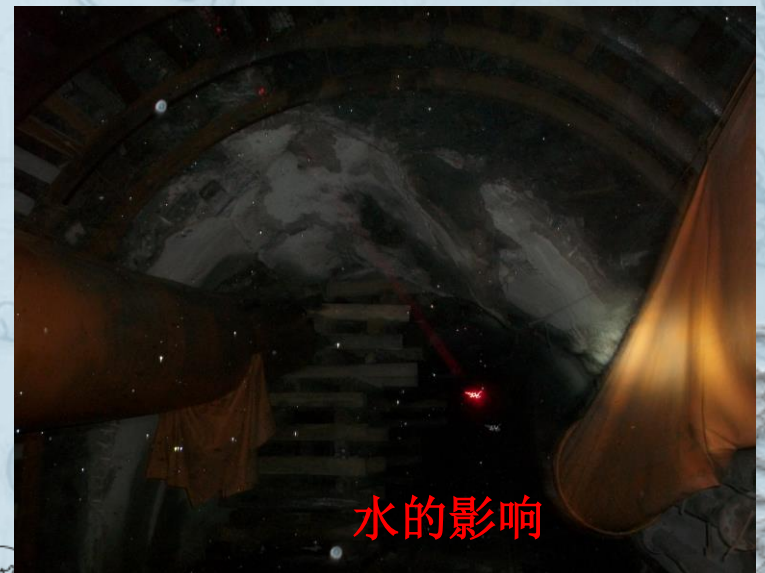
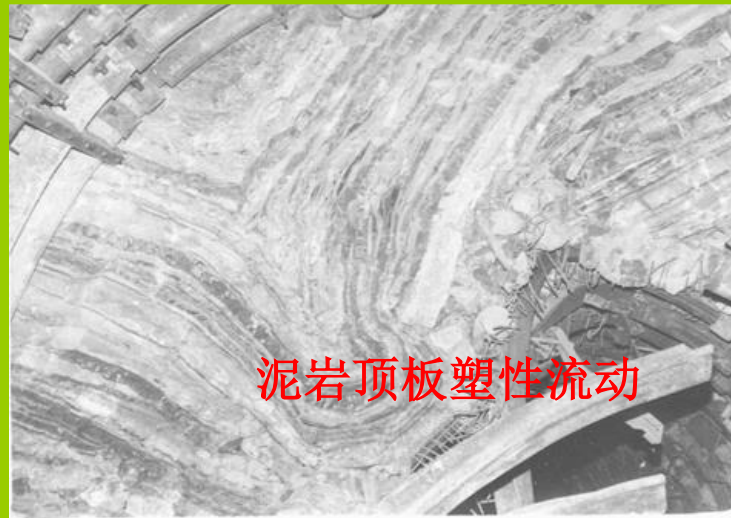
弱面，层理、节理面强度，受地质构造作用

### (3) 岩体强度=包含结构面的岩块强度

影响因素：施工因素，爆破影响；水；节理面粗糙度；块体大小等

### (4) 设计选择岩层

## ► 岩性差



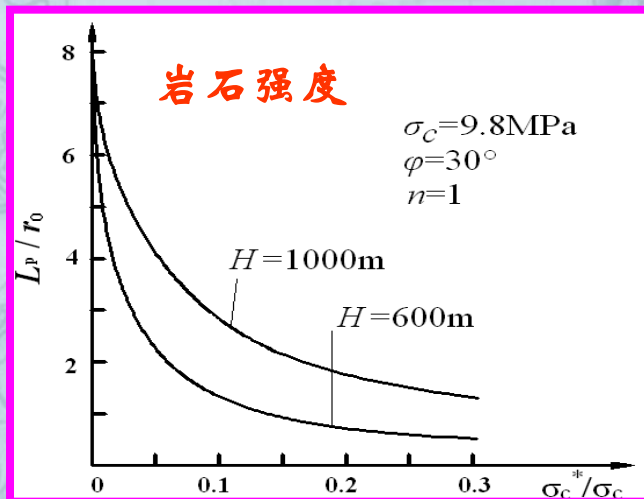
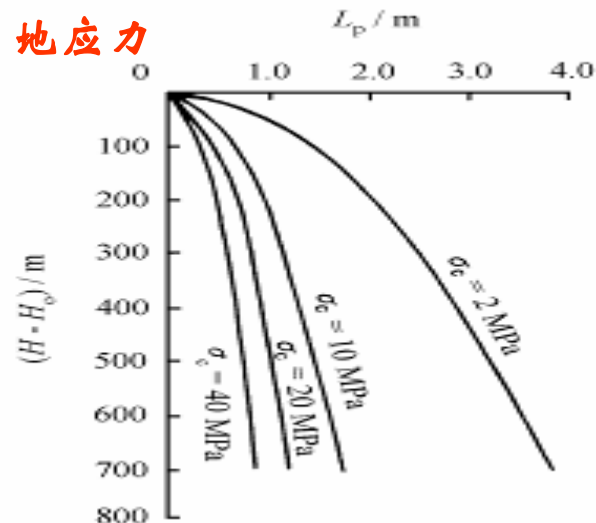


## 4.2 地应力高、应力复杂

- (1) 埋深大（千米深井逐年增加）
- (2) 构造应力（断层多）
- (3) 采动应力（普遍存在）
- (4) 硐室群（并行巷道）
- (5) 直边断面、应力集中

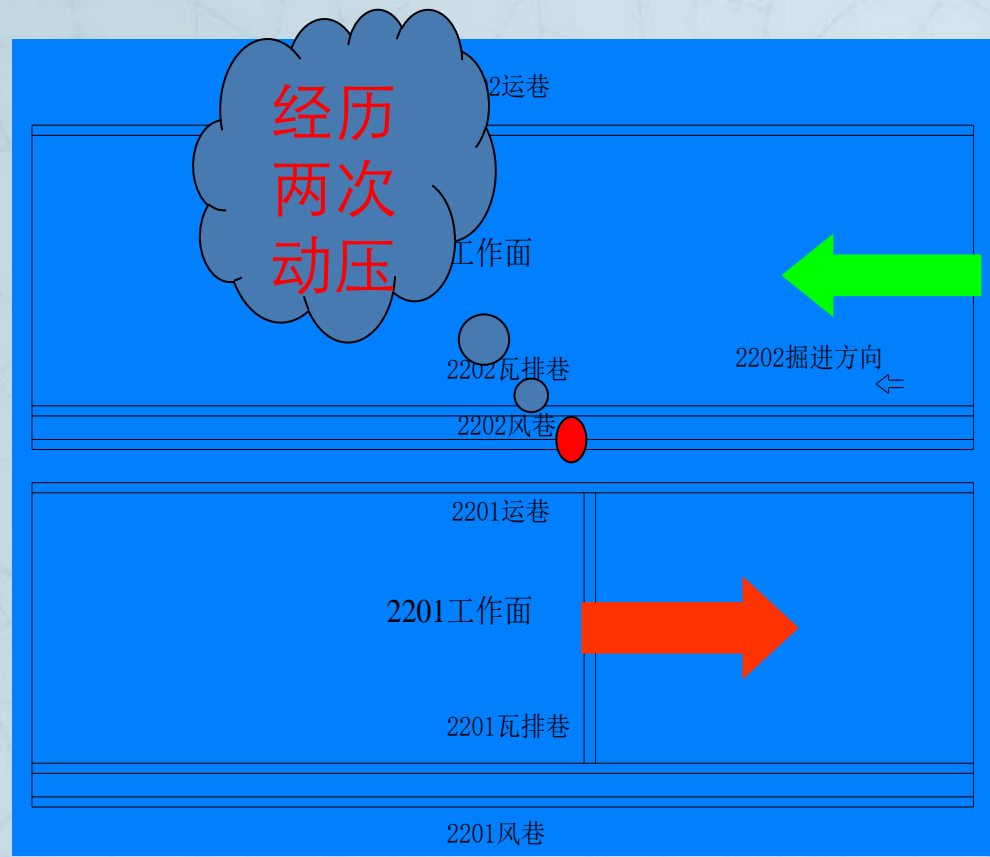
## ►地应力大、松动圈大

- ◆ **地应力（埋深）** - 随着矿井深度的增加，围岩松动圈的厚度开始非线性增大，速度较快，以后逐渐变缓，呈近似线性增大。
- ◆ **岩体强度** - 极限强度，**残余强度**。当岩体的残余强度不足其极限强度的5%~10%，随着岩体残余强度的降低，将导致松动圈厚度的急剧增加。而当岩体的残余强度达到其极限强度的20%以上时，松动圈厚度的减小不明显。
- ◆ **加固围岩** 以提高它的残余强度。例如对于难支护巷道采取“三锚”支护则比U型钢可缩支架更有效。

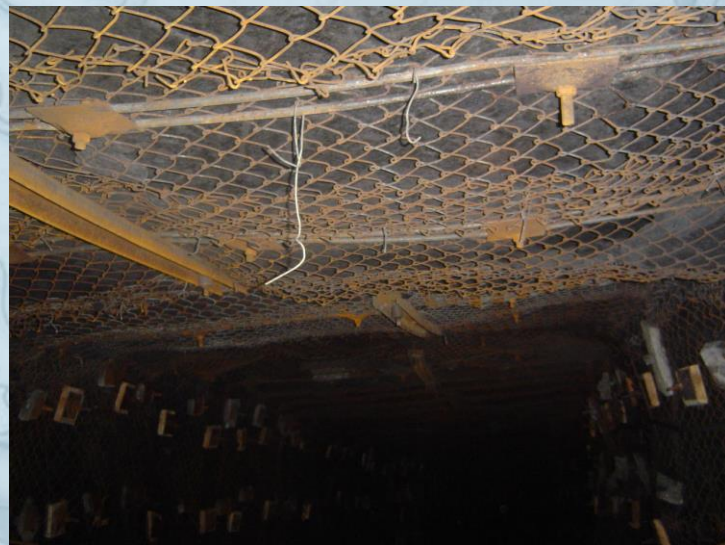


# ► 应力复杂

## 动压影响



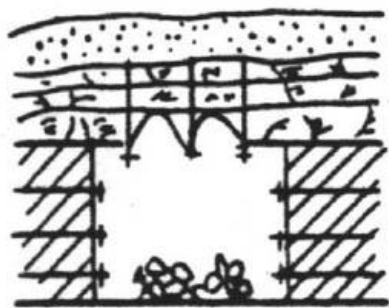
## ◆ 采动前巷道维护状况



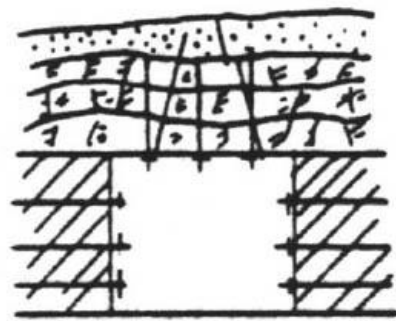




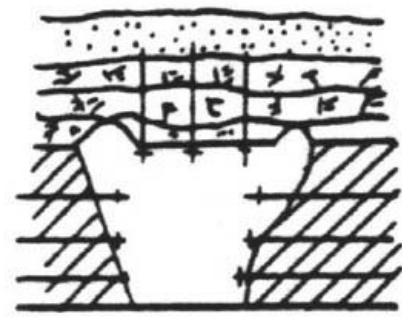
采动影响后巷道变形情况



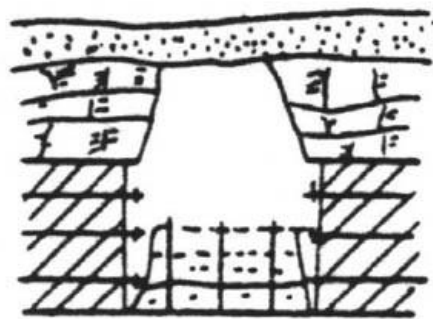
(a)



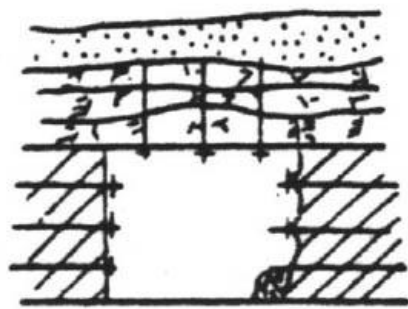
(b)



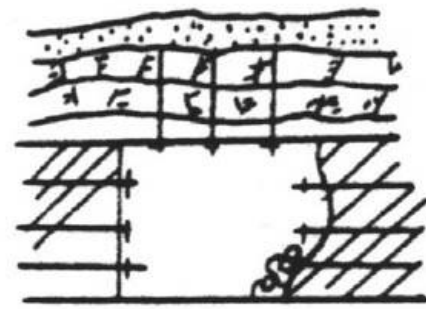
(c)



(d)



(e)



(f)

锚杆支护矩形巷道破坏的主要形式

## 4.3 支护力（结构）弱（不封底）

### ▶ 随支护方式和支护参数不同而不同

(1) 外支（刚性、柔性）支护

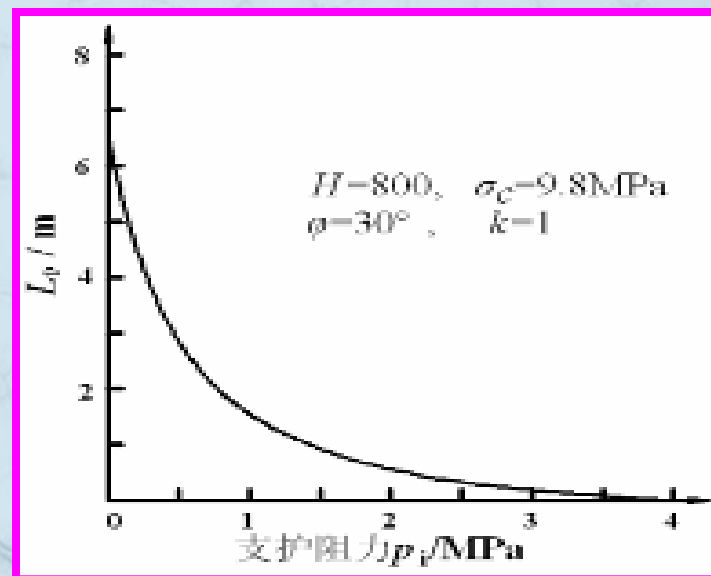
(2) 内固（主动、被动）支护

(3) 联合支护（外+内）

棚式支架、锚喷（锚索，高强锚杆，注浆）、  
砌碇支护

## ▶ 支护不及时、不密贴（爆破断面成型差）

- ◆ 支护强度、刚度-支护形式滞后性、不密贴及支护阻力小，不可能改变围岩破坏状态。
- ◆ 足够的支护强度和刚度才可以使松动圈内岩石相互啮合，并呆在原位不垮落，以免其垮落而导致松动圈的再次扩大，巷道围岩失稳破坏。



支护强度

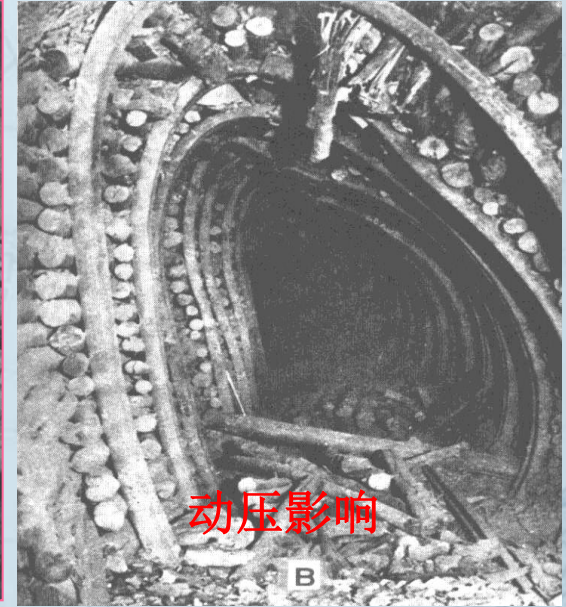
# ▶ 支护强度低

锚杆、索强度低  
巷道自稳时间短  
支护整体性差

支护强度普遍  
低于0.25MPa



支架扭曲变形



动压影响



锚杆失效



锚索失效

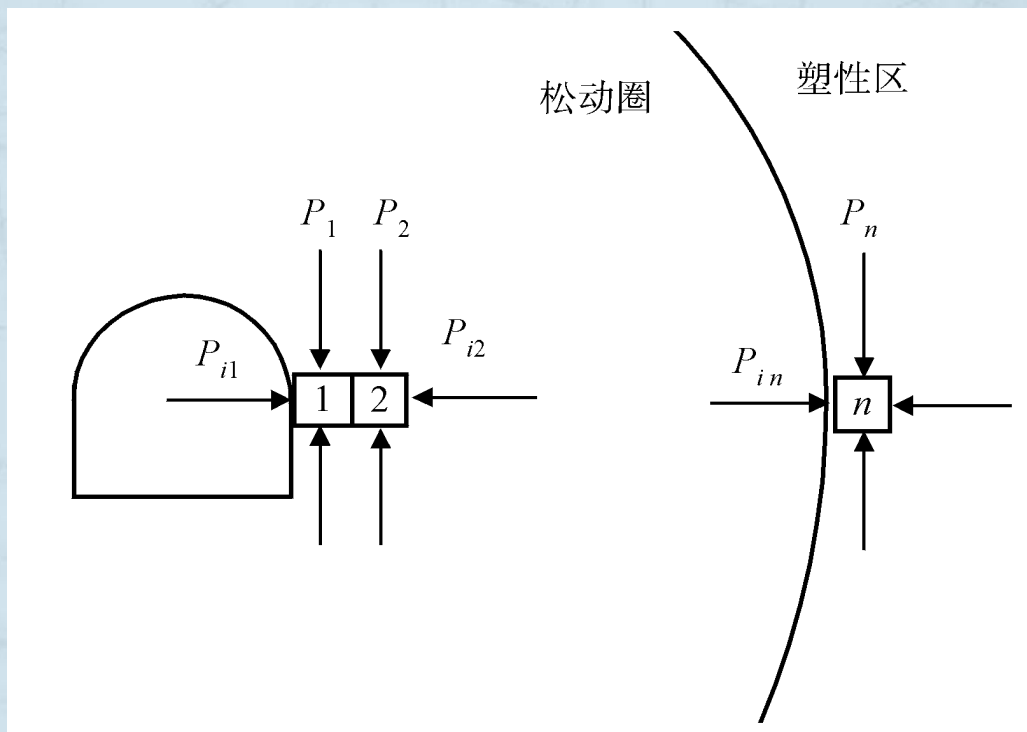


支护整体性差

# 巷道破坏的根本原因：

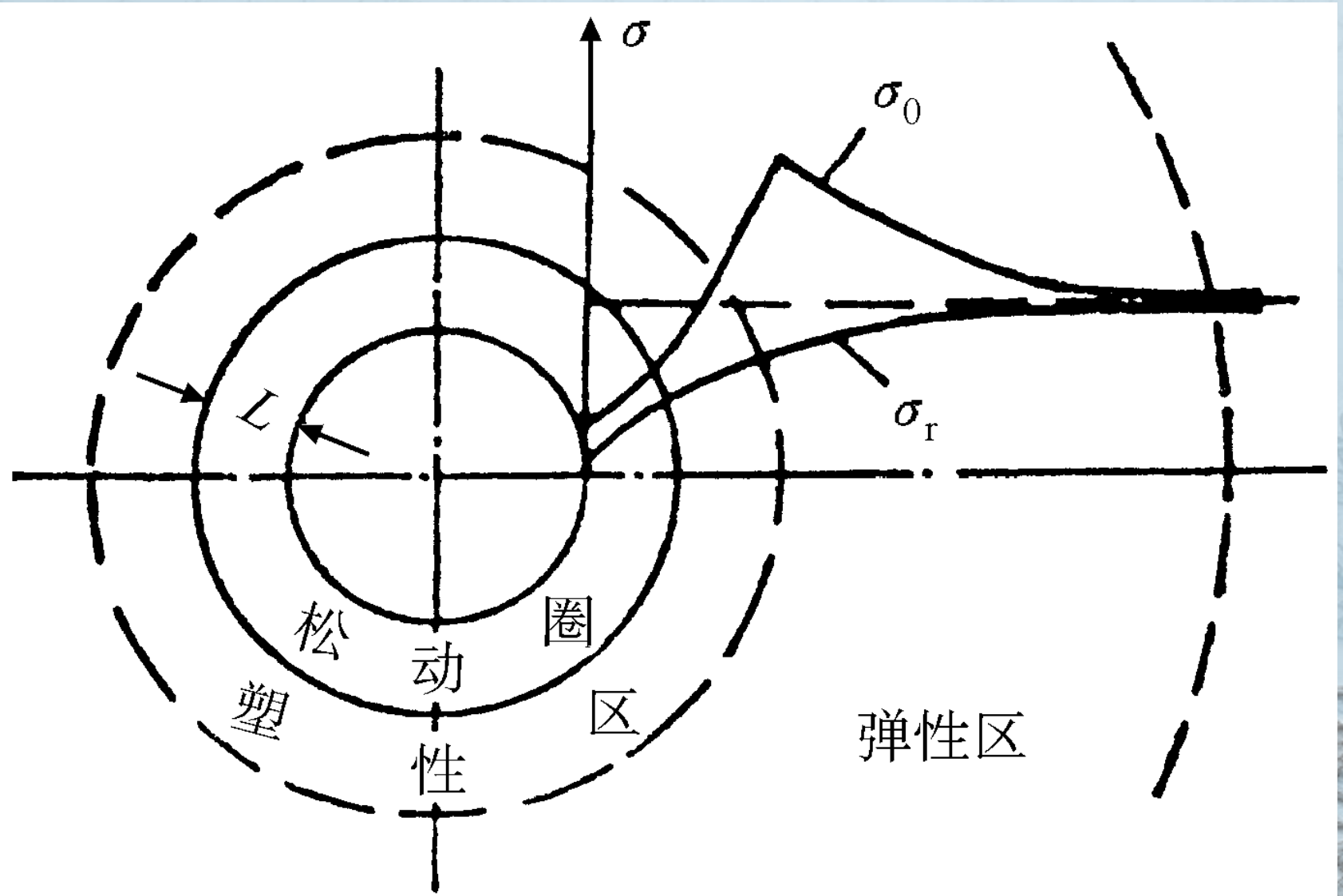
2个变化：

- 1) 应力集中；
- 2) 强度降低；

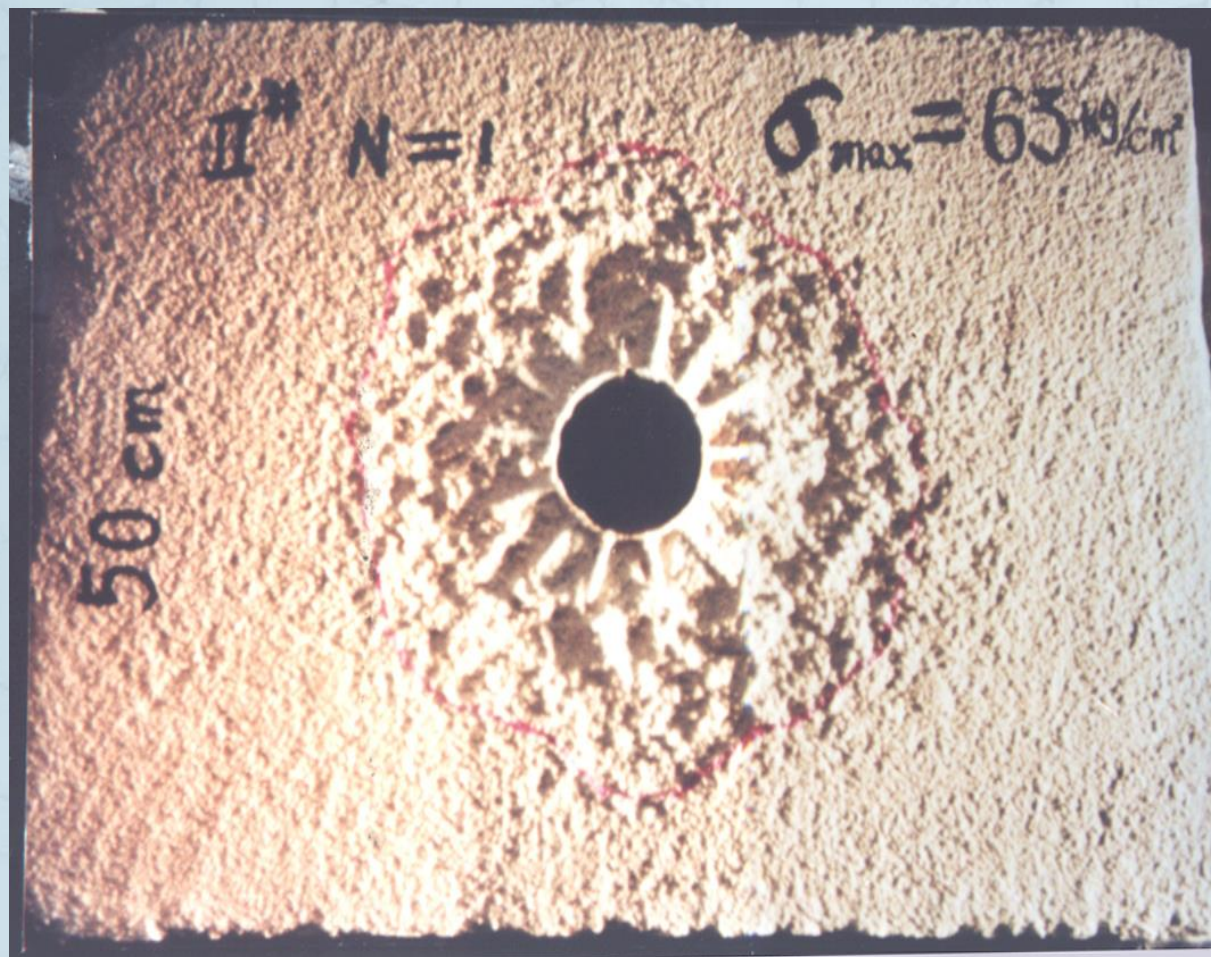


**煤矿巷道普遍存在松动圈，越大支护越难！**

# 理论分析

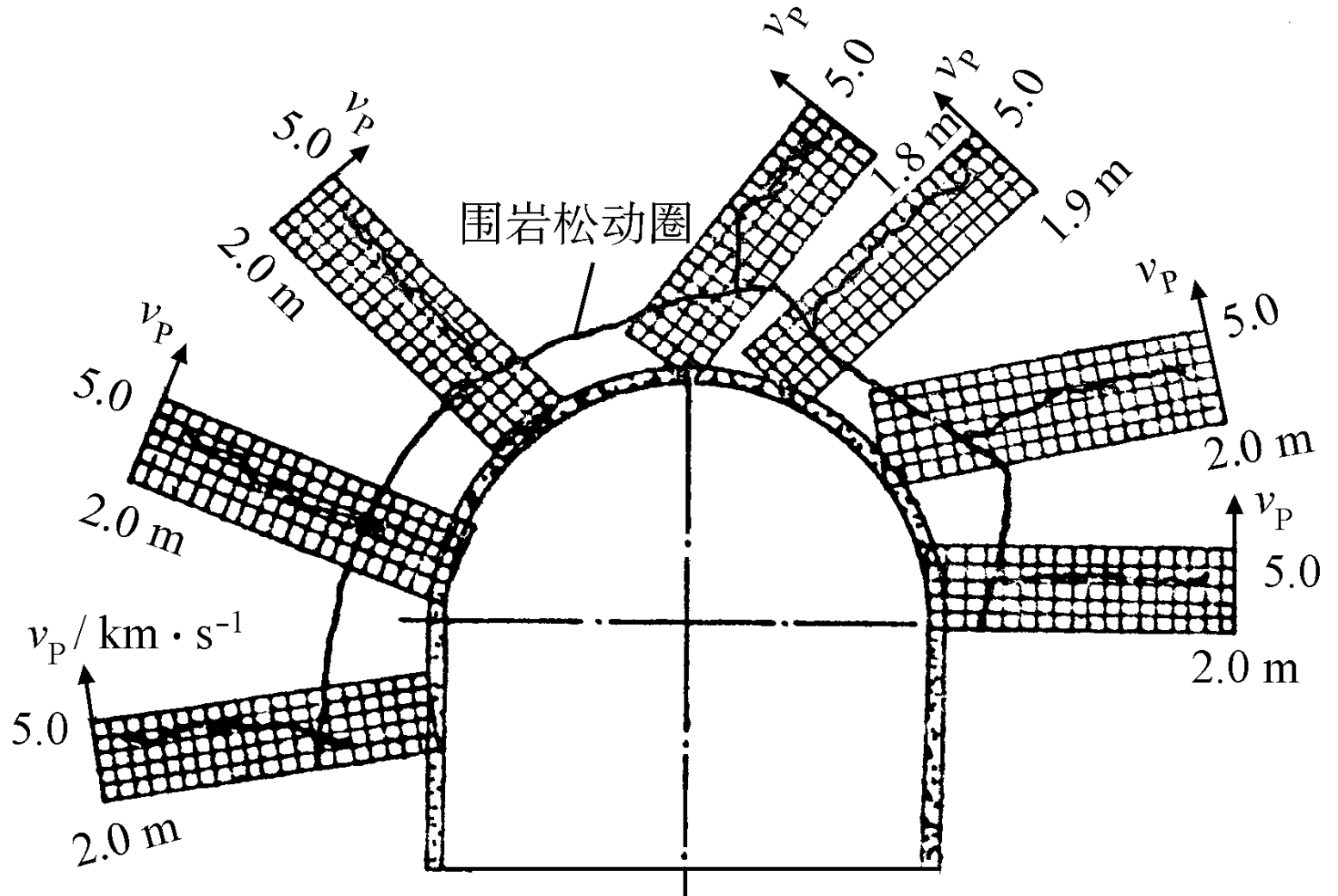


# 物理模拟



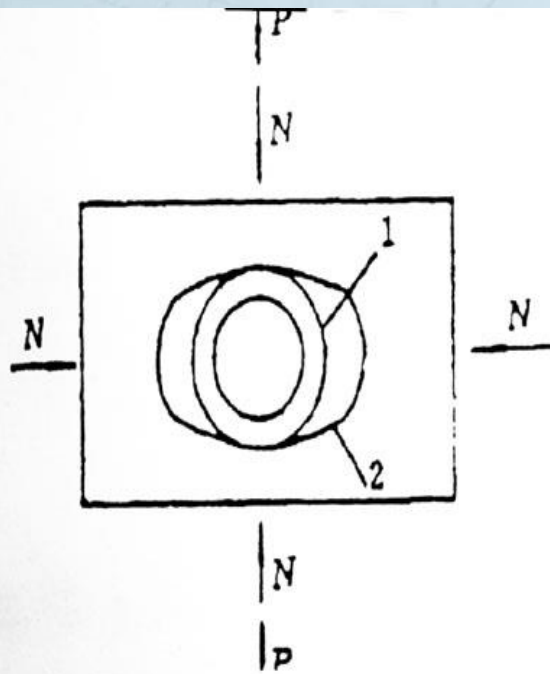


# 现场实测

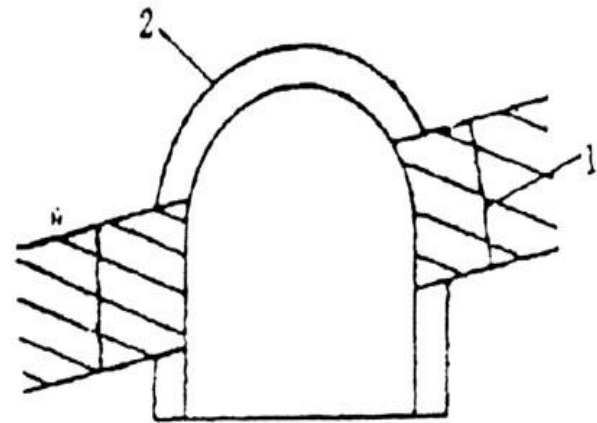


# 松动圈的性质

## 松动圈的形状(最大水平主应力理论)



均质围岩松动圈的形状



非均质围岩松动圈的形状

1—垂直与水平等应力；2—垂直应力大于水平应力    1—软岩松动圈；2—硬岩松动圈

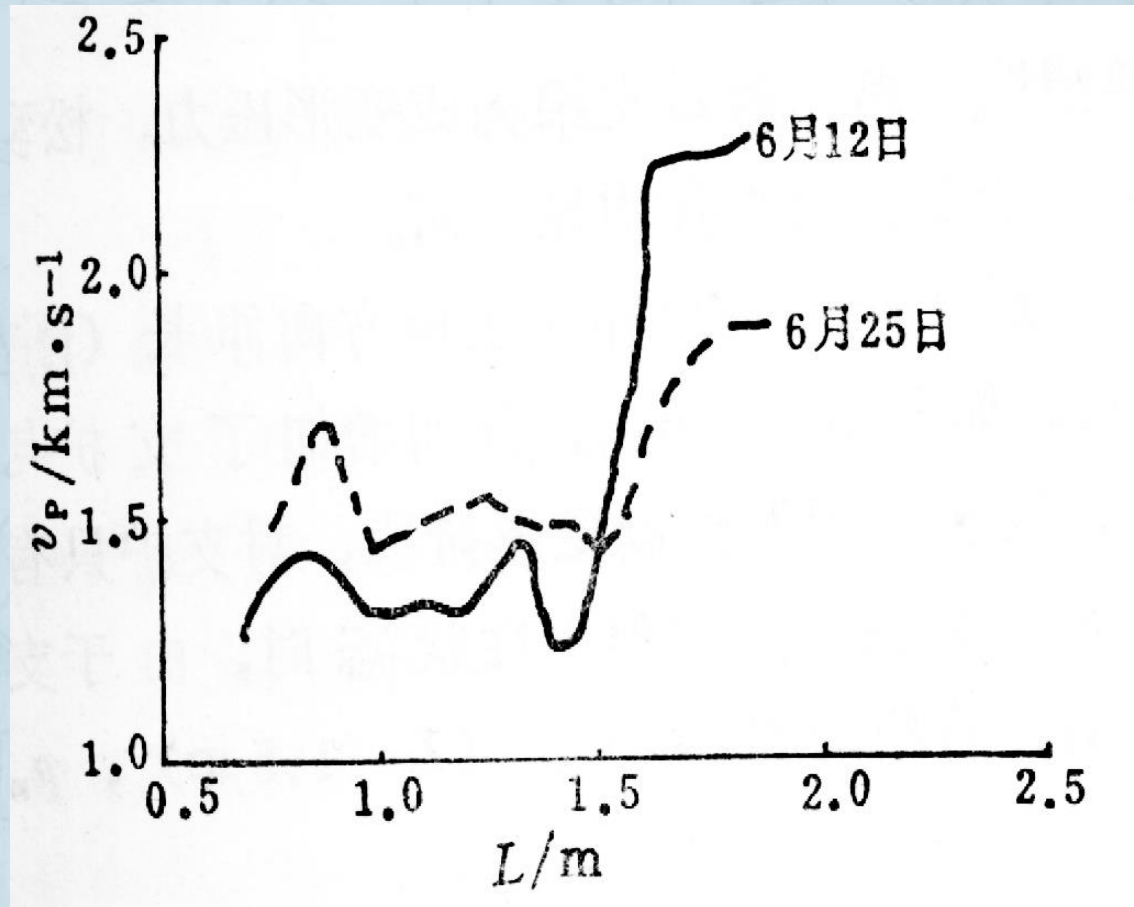
# 松动圈发展的时间性

实测表明：

松动圈是围岩应力大于围岩强度的产物。开巷后松动圈由小到大发展。具有时间效应。

小松动圈的发展一般需要3—7天；

大松动圈的发展一般需要2---3个月。



# 松动圈与支护难度关系

松动圈对支护的影响很大。这主要是由于松动圈的产生，使围岩破裂体积膨胀。

表 1 松动圈厚度与巷道支护情况对比

矿井名称	岩石种类	实测松动圈/mm	支护现状
朱仙庄矿	砂岩	0~400	锚喷无破坏
	泥岩	400~1000	锚喷局部有破坏
	泥岩	>2000	多种支护破坏
王庄矿	砂岩	0~500	喷层无破坏
临涣矿	砂岩	0~300	锚喷无破坏
伏牛山矿	砂岩	>2000	料石碇大量破坏
东海矿	砂岩	360~400	喷层无破坏
潘三矿	泥岩	2840	联合支护破坏
谢桥矿	泥岩	>3000	联合支护严重破坏
石台矿	泥岩	1500~2000	支护破坏
赵各庄矿	砂岩	1300~1600	锚喷局部破坏

# 综上所述

- (1) 煤矿巷道围岩松动圈普遍存在，碎胀变形是主要支护对象；
- (2) 松动圈值与支护难度有定量关系；
- (3) 据松动圈值进行围岩分类、锚杆支护参数设计。

## 5、矿山巷道难点及对策

### ▶ 难点（静力、动力）：

- 支护强度低。不可选择、服务时间短、临时工程
- 压力大。埋深大、动压影响
- 软岩。断层多、大松动圈普遍出现



### ▶ 对策：

- 降低应力（卸压）
- 加固围岩、提高支护强度



## 二、矿山巷道支护现状及进展

### 1、支护方式（加固、外支）

#### ◆ 锚杆

管缝锚杆—普通螺纹钢锚杆  
（左旋）—等强锚杆—高强锚杆—预应力、让压锚杆等

普通锚杆:  $\sigma_s < 340\text{Mpa}$

高强度锚杆:  $340\text{Mpa} \leq \sigma_s < 600\text{Mpa}$

超高强度锚杆:  $\sigma_s \geq 600\text{Mpa}$



不同杆体材料（等强、左旋、右旋）



高强、预应力锚杆

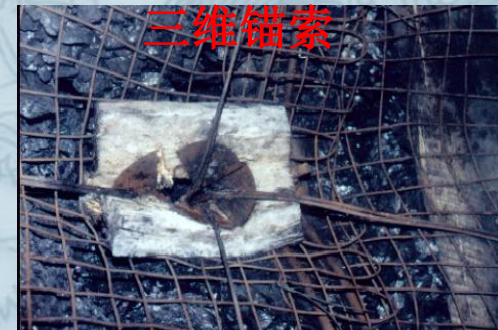
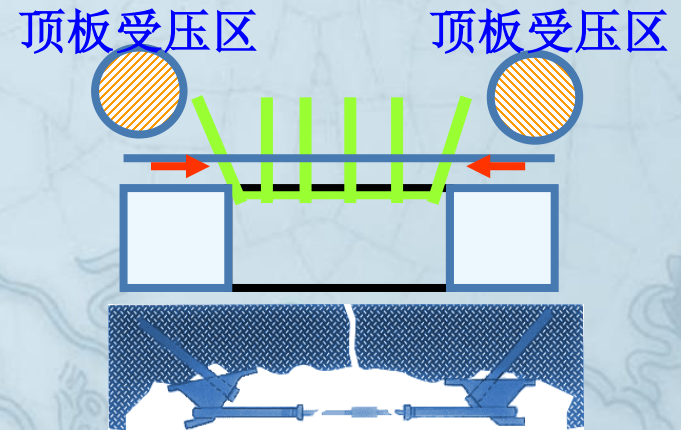
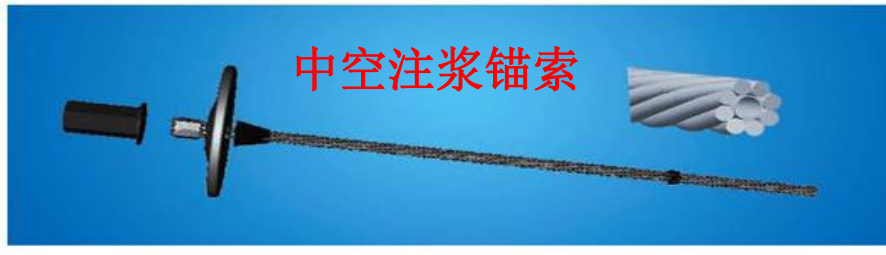


让压装置

高强、让压锚杆

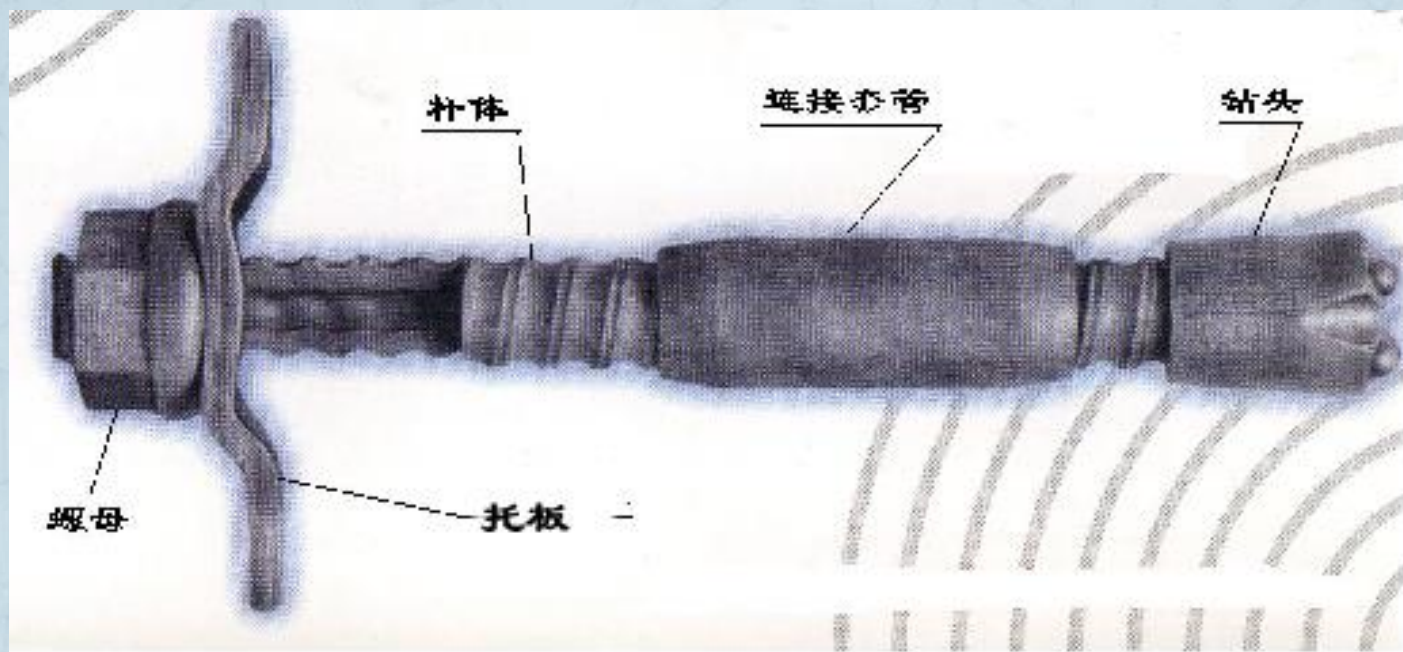
# ◆ 锚索

小直径锚索 ( $\Phi 15.24$ ) — **高强锚索** ( $\Phi 18.9$ 、 $\Phi 21.6$ ) —  
—让压锚索—注浆锚索—锚索束、三维（桁架）锚索等。

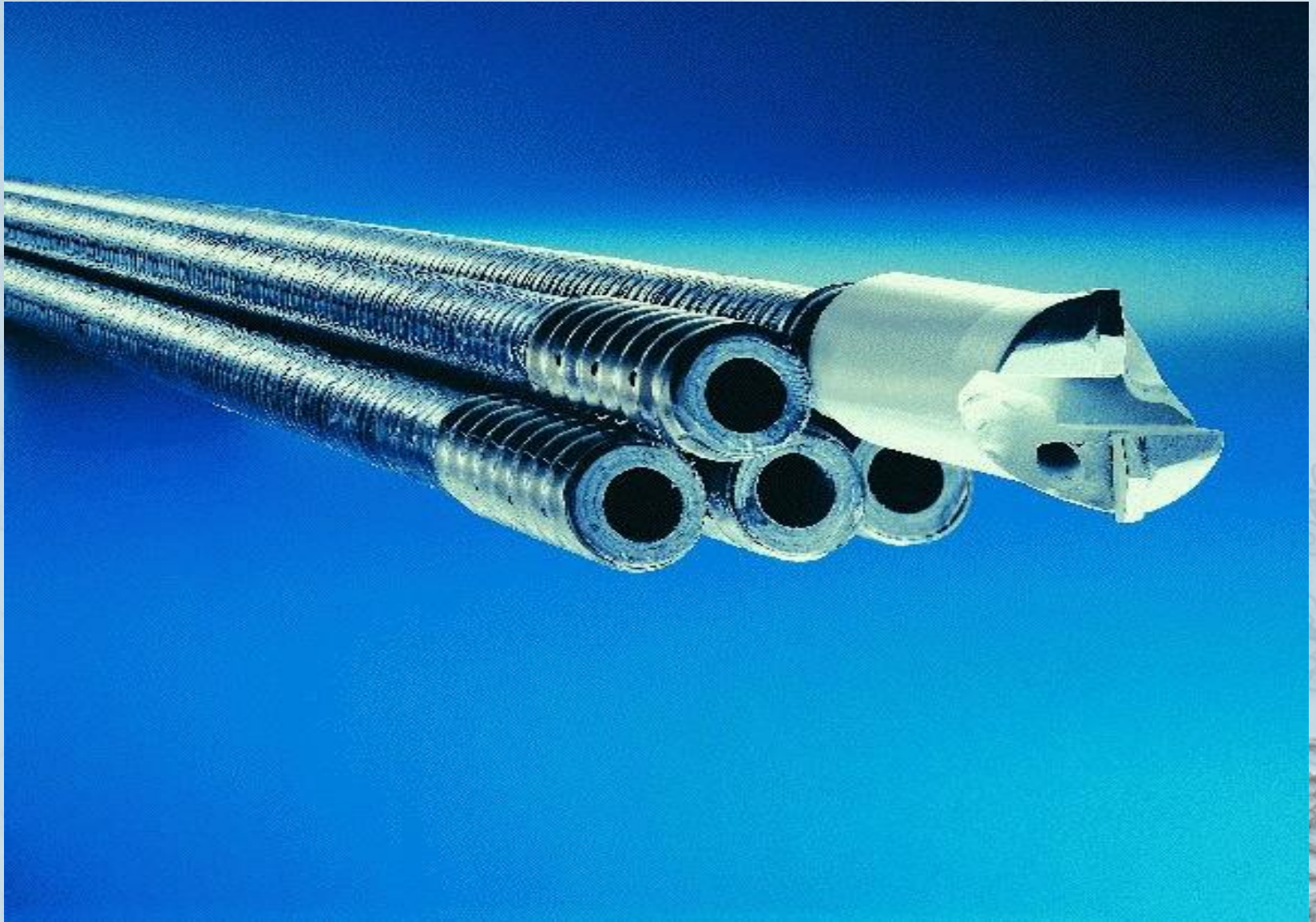




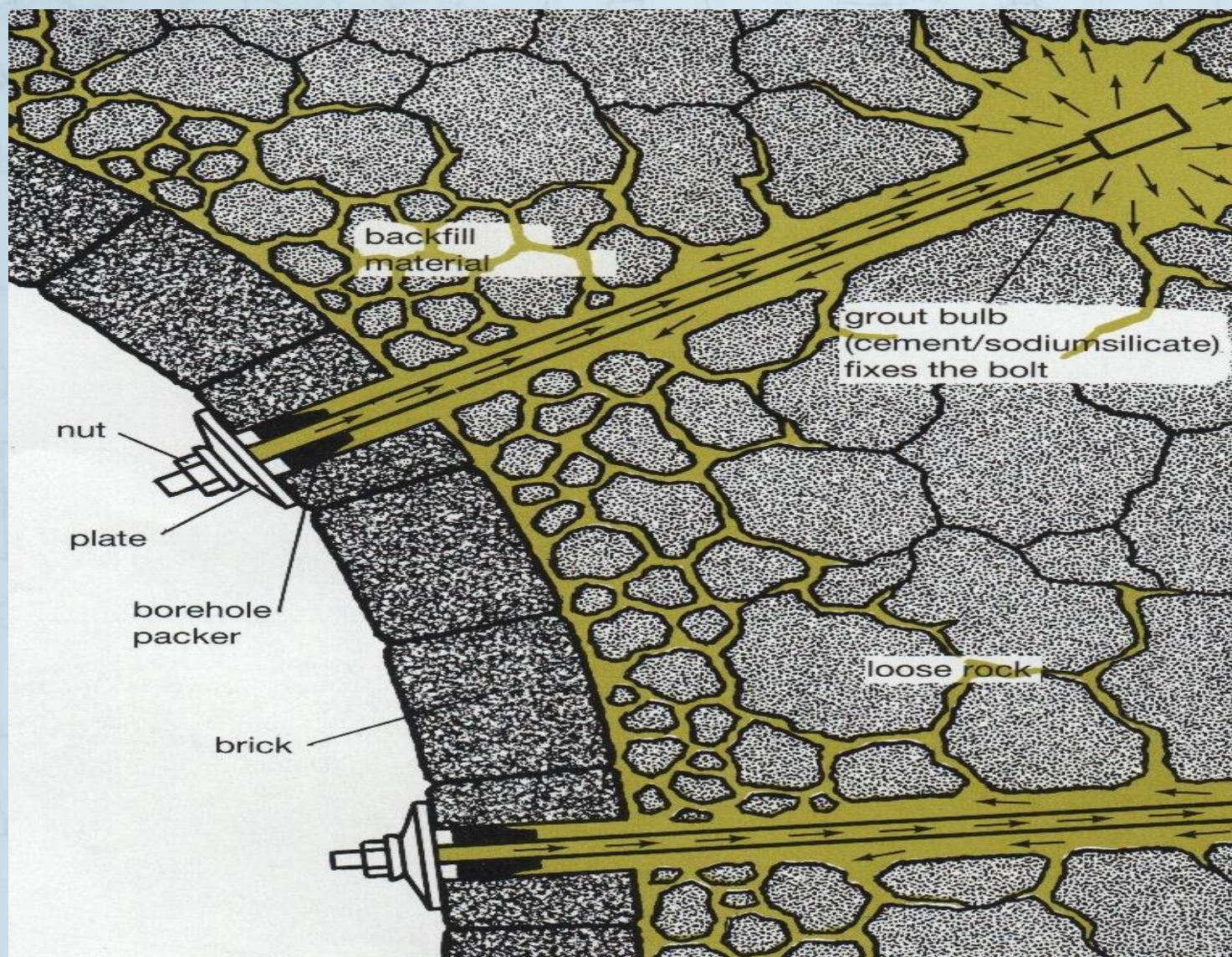
# 自钻锚杆



# 钻锚注应用现状



# 钻锚注支护的示意说明



## ◆ 注浆材料

普通硅酸盐水泥、水玻璃浆液（C-S浆）—超细水泥浆—  
化学浆液（**膨胀堵水、加固型**，如玛丽散等）。



# 支护方式（外支、联合）

## ◆ 型钢支护



矿用工字钢



25、29U型钢（轻型）



重型（36U）型钢、封闭（带底拱）



## 2、支护理论

### ◆ 提出多种支护理论

悬吊、组合拱、刚性梁、轴变轮、围岩强度强化理论、松动圈理论等。

锚杆提高围岩力学参数

$$c = c_0 + \frac{n\sigma_s \pi d^2}{4\sqrt{3}S \cos(45^\circ - \varphi/2)}$$

- ◆ 巷道二次支护理论：一次支护允许一定变形释放压力；隔一定时间实施二次支护，保持巷道长期稳定。
- ◆ 遇到极大挑战，深部动压、构造压力带、软岩破碎带，二次支护仍出现大变形破坏，需要三次、四次支护，巷道周而复始破坏，围岩变形长期得不到有效控制。

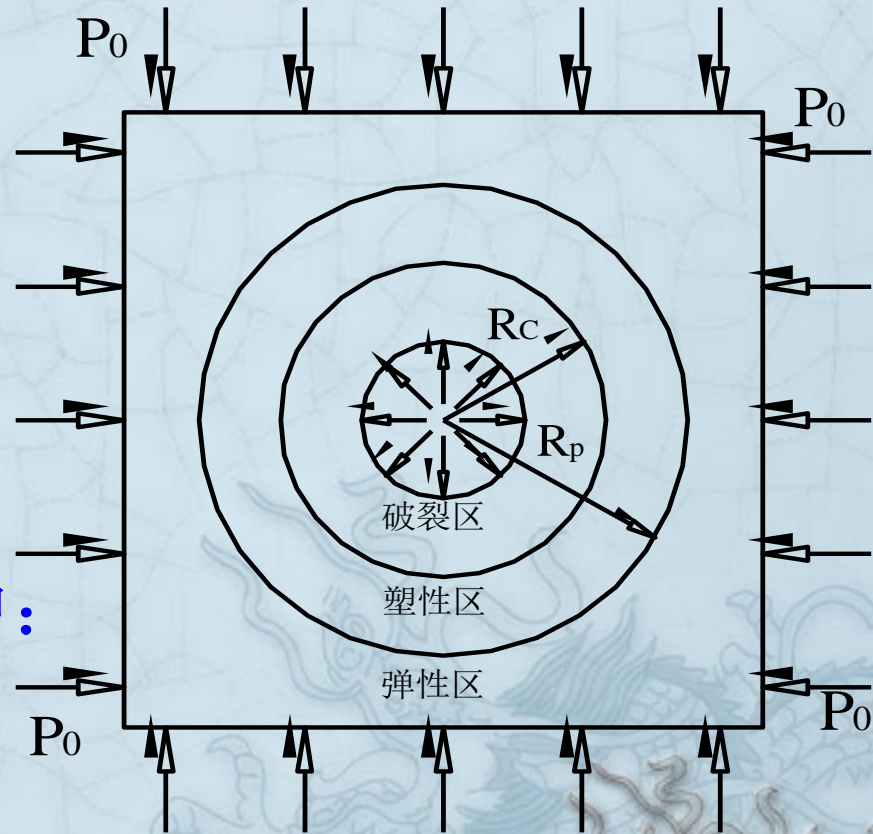
### 3、破坏机理的认识

#### ◆传统划分三个区

- 破裂区（松动圈）
- 塑性区
- 弹性区

#### ◆应力调整(开挖)过程中:

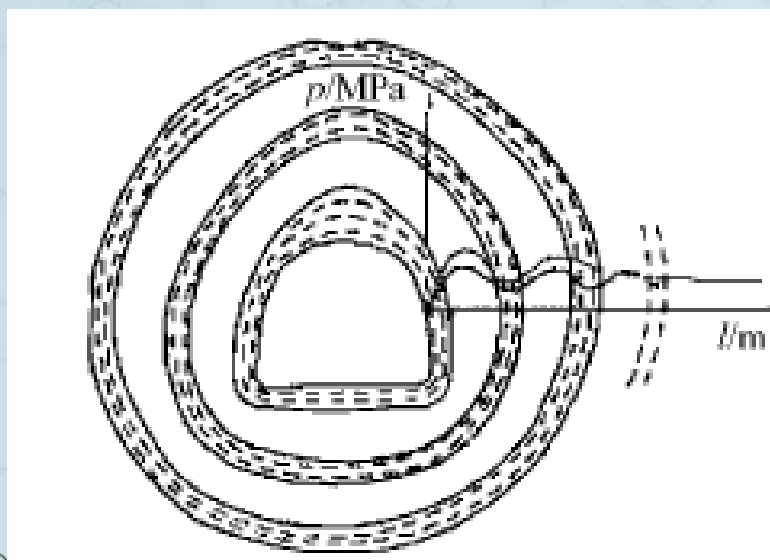
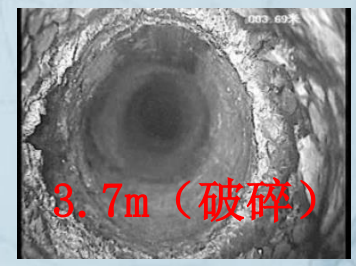
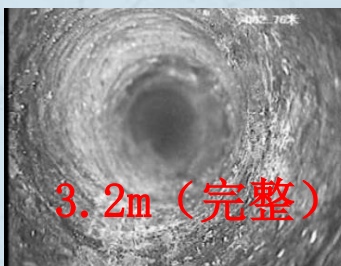
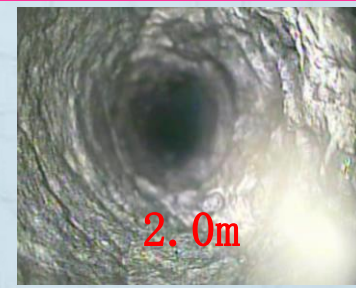
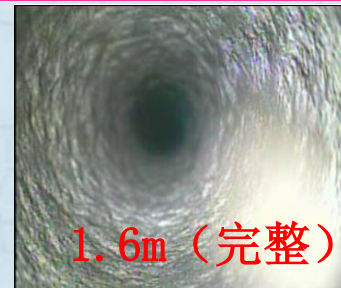
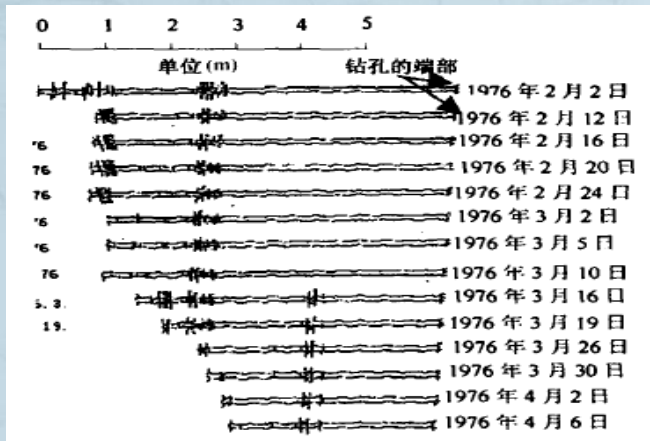
- 巷道周边应力集中
- 强度降低



地应力 > 岩体强度  $\longrightarrow$  破裂区（松动圈）

# ◆深部巷道围岩破坏

## ●分区破裂化现象





## ●新的研究手段



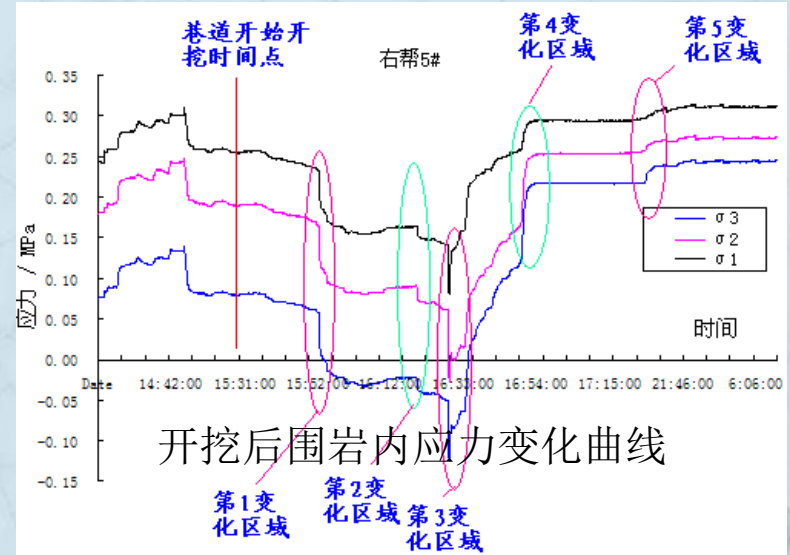
研制了具有六面同时加载的真三轴立方体实验系统，试验台可以模拟测量巷道内部可通过卸、加载，真实模拟巷道开挖与支护过程，并可局部全场数字近景摄影变形量测。

# ●应力大小演化规律

出现3~5个应力剧烈调整区

应力状态是一个动态调整的过程

应力状态较开挖前后发生根本性变化

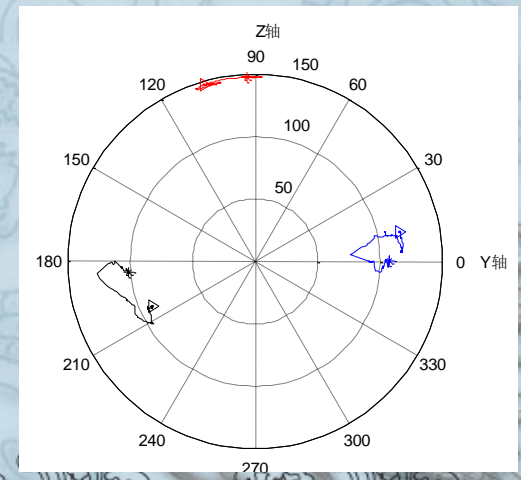
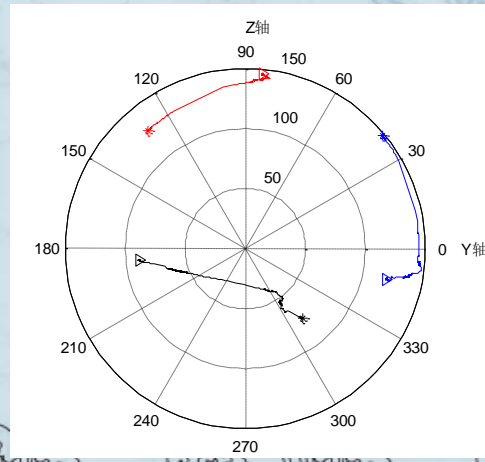
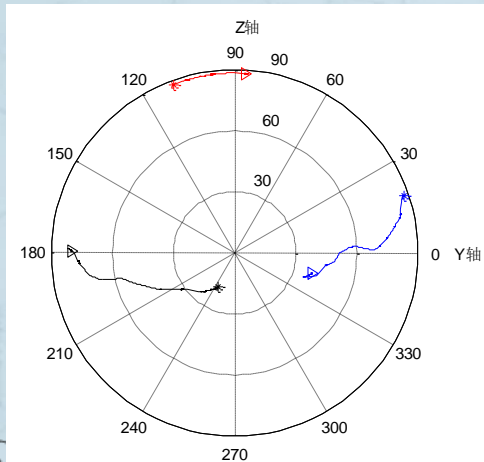
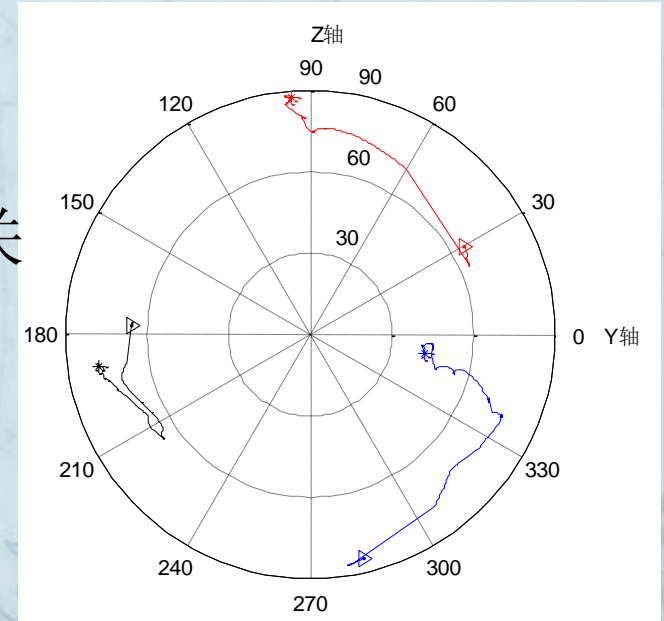


# ●应力方向演化规律

方向伴随着主应力大小的变化而变化

方向变化与开挖方向、初始应力密切相关

靠近巷道表面的变化剧烈

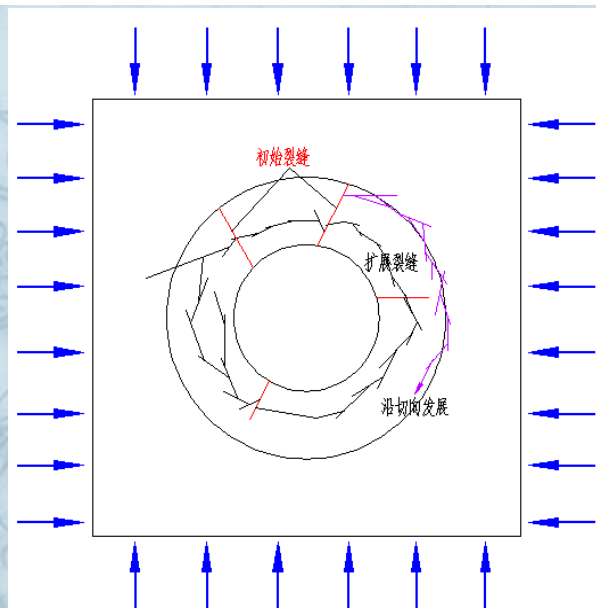
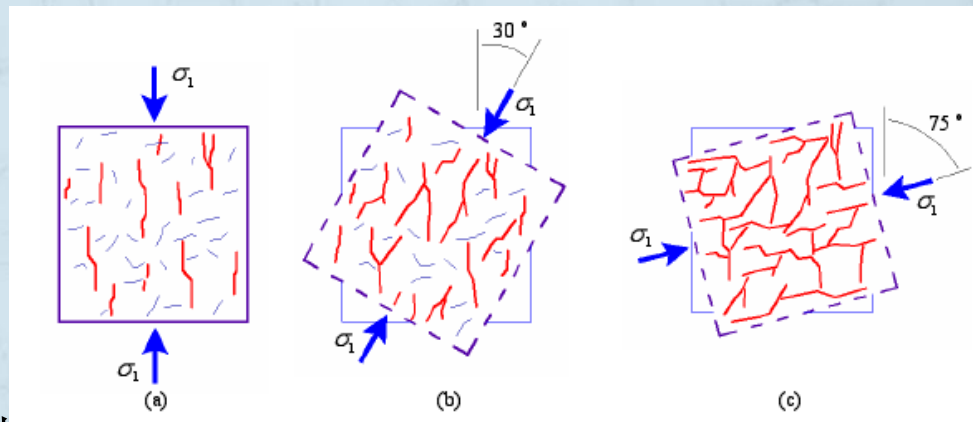


## ●分区破裂形成过程

(1) 主应力大小的变化是裂缝扩展和发展的根本原因；

(2) 巷道开挖过程中主应力方向的变化决定了形成环形裂缝的可能

(3) 高地应力是形成分区破裂化的前提条件



特殊破坏形式



与浅部地下工程不同的支护机理与技术？

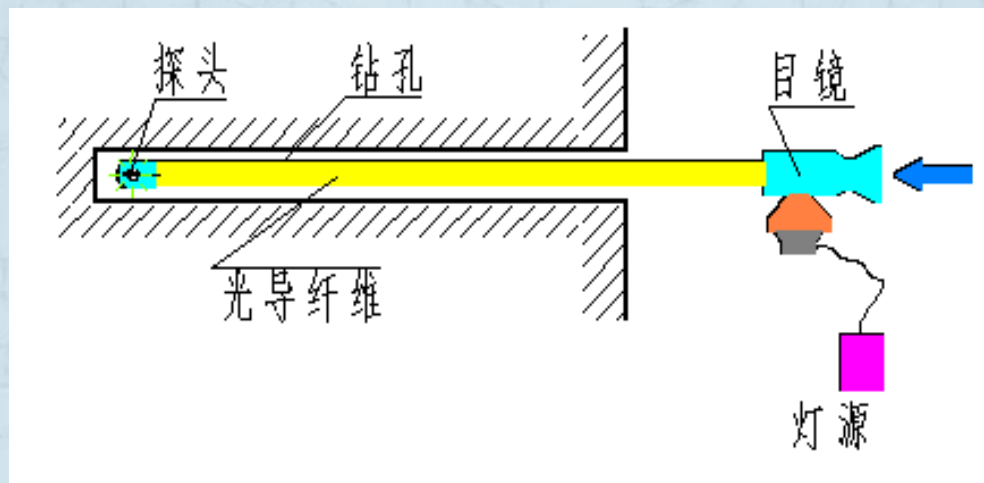
# 地应力测量



# 井下巷道围岩强度测试



## 巷道围岩结构测试



### 测量仪器:

- 钻孔窥视仪观测围岩节理裂隙等结构面分布，以及变化。
- 美国FS75型光导纤维钻孔窥视仪。
- 仪器重量轻，携带方便；
- 可测钻孔直径小，长度大(6m)；
- 矿灯作为光源，无需其它配件。





## ● 围岩内部强度衰减规律





## 4、支护技术

### ◆ 支护对策

(1) 卸（让）压

(2) 加固、改善应力状态（防水、防风化）

### ◆ 支护设计原则

适应性原则

整体性原则

关键部位加强支护原则

预留变形量原则

动态叠加支护原则

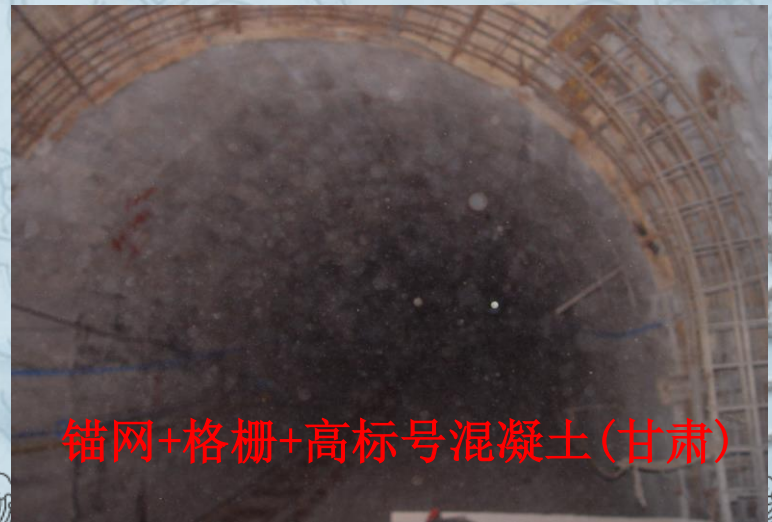
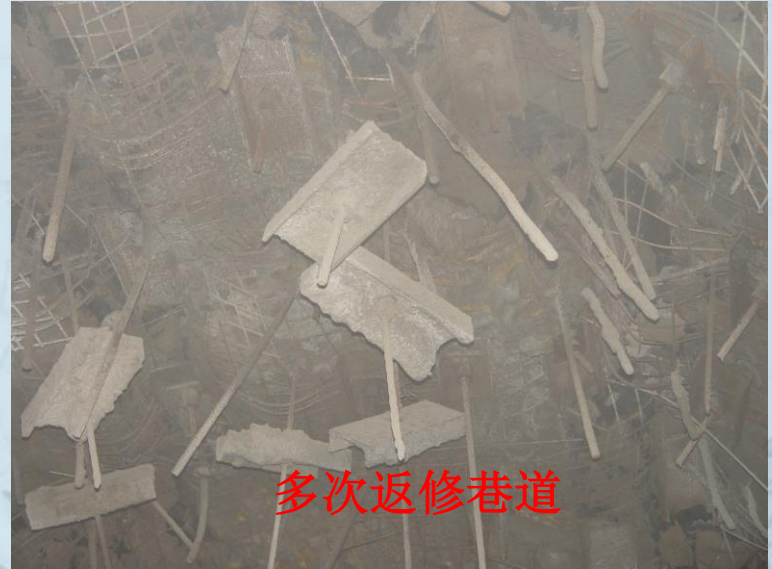
## 4、支护技术

- ◆ 支护形式有多种，可适应不同条件。

锚喷支护、锚索支护、支架、注浆、混凝土砌碛、联合支护等

- ◆ 高地压巷道缺乏有效支护方法，导致巷道变形与破坏剧烈，需要多次维修与翻修。

- ◆ 条件复杂巷道支护成本很高，掘进速度低。





## 5、支护关键技术

### ◆ 高强预应力支护体系：“三高一低”

高强度、高粘结力（高可靠性）、高预拉力、低密度（大间排距）。

### ◆ 支护体系以锚杆为基础，提高系统刚度。

刚柔并济、抗让结合

### ◆ 巷道加固结构要具有较好的整体性、稳定的结构性、较高的承载力和较强的让压与抗变形能力。

## 5.1 预应力锚杆

- ◆ 及时主动高阻加固，支护效果明显
- ◆ 锚杆钻机连续一体化安装，施工规范，安装质量有保证，安全可靠性高
- ◆ 大间排距控制围岩变形，省时省力省钱
- ◆ 系列化产品能够满足多种条件要求，使用范围广

可以在很大程度上替代普通锚杆（索）组合支护

## 5.1 预应力锚杆

### 破碎顶板施工时：超前预拉力锚杆可用于控制顶板垮冒

离层破碎型煤巷顶板的自稳时间极短，常常随综掘机割煤出现垮冒，顶板稳定性极差，影响锚杆支护的实施，甚至无法正常安装。在单排循环的基础上，割煤前，超前斜角施工预拉力锚杆，通过大扭矩钻机的安装，在两排钢带之间安装3~4根高性能锚杆，可以很好地稳定住顶板松动岩层。

## 5.2 “三径”匹配锚固技术

锚杆钻孔、杆体、树脂卷三种直径的合理匹配技术，解决松散煤体的锚固技术。

根据锚杆规格，推广应用科学合理的“三径”匹配模式：

“ $\phi 28\text{mm}$ — $\phi 20\text{mm}$ — $\phi 25\text{mm}$ ”、

“ $\phi 27\text{mm}$ — $\phi 18\text{mm}$ — $\phi 23\text{mm}$ ”、

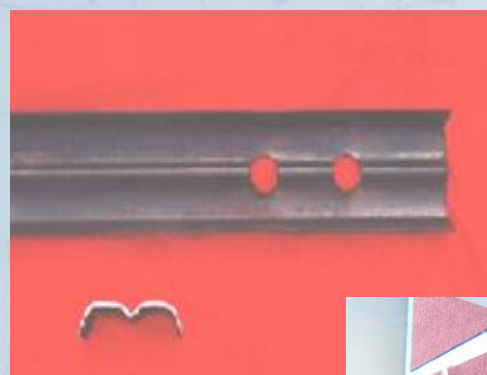
“ $\phi 30\text{mm}$ — $\phi 22\text{mm}$ — $\phi 25\text{mm}$ ”

锚固力比原来提高120~147%。

## 5.3 新型M型钢带和Π型钢带

抗撕裂，容易与围岩密贴，适应破碎不平整煤巷顶板条件，保障了整体锚固效果；

克服了W型钢带、钢筋梯子梁等常用钢带的主要缺陷。



M型钢带及井下应用

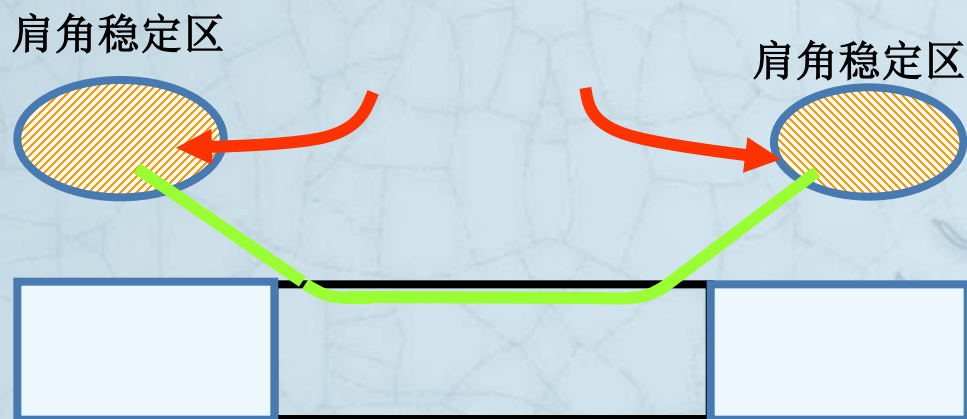


Π型钢带及井下应用



## 5.4 高预应力钢绞线桁架系统

以巷道肩角稳定区域岩石作为内锚固支撑点，通过桁架连接装置将两根钢绞线对拉，形成可靠的护顶结构，控制顶板的离层、防止顶板加固区整体垮冒。



- ◆ 机械张拉实现高预应力；
- ◆ 预应力范围50~150kN；
- ◆ 抗剪切破坏能力强；
- ◆ 结构稳定可靠，防止顶板垮冒，确保顶板安全；
- ◆ 结构简单，安装方便。



# 三、存在问题与建议

## 1、问题

### ◆ 东部、中部矿井—**深**

- 巷道围岩变形量增大
- 岩爆、冲击地压、瓦斯突出
- 地温升高、作业环境恶化
- 突水事故

### ◆ 西部矿井—**软**

┌ 侏罗纪、白垩纪软岩  
└ 水的影响



## 2、锚杆支护与围岩相互作用机理不清楚

- 锚杆破坏机理？拉、压、剪破坏均出现，弄清锚杆、锚索与围岩之间相互作用，为支护设计提供理论基础；
- 悬吊理论、组合梁理论、加固拱理论等十几种锚杆支护理论，探讨特殊破坏形式下（如分区破裂）的支护机理。
- 锚杆支护对围岩强度、围岩结构及应力都有不同程度的影响，究竟什么是影响锚杆支护作用的关键因素，怎样才能充分发挥锚杆主动、及时支护的能力，提高巷道支护效果。

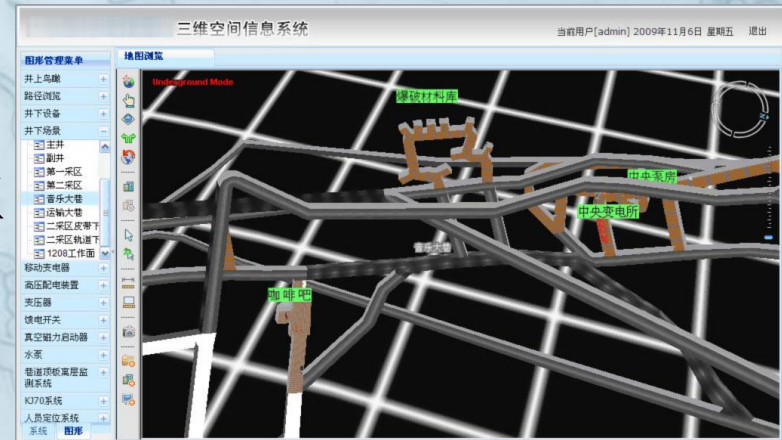


### 3、建议

- 工程类比设计方法改革
- 研制新型适应大变形（材料与结构）高强、高预应力锚杆、锚索（尤其是全长锚固）材料及配套安装机具，提高支护可靠性和掘进速度
- 防冲击地压及瓦斯突出的材料及新型锚杆结构
- 底板施工、井下帮部锚索施工机具

## 4、加强巷道支护信息化施工

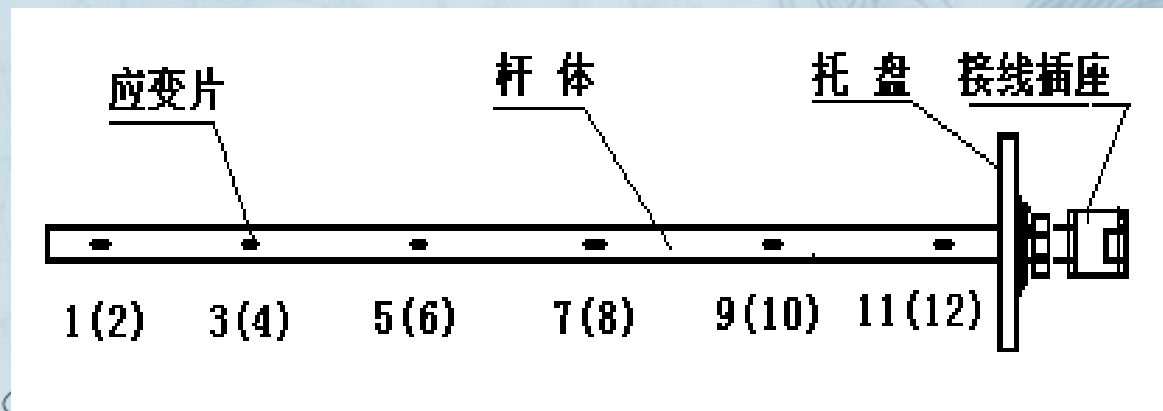
- 地质力学评估、原位强度快速获取；
- 巷道离层、变形实时反馈、预警系统；
- 支护决策专家系统
- 三维矿山数字化（地质、技术措施、支护设计、安全预警）
- 研究巷道围岩稳定性与安全性评价方法与准则



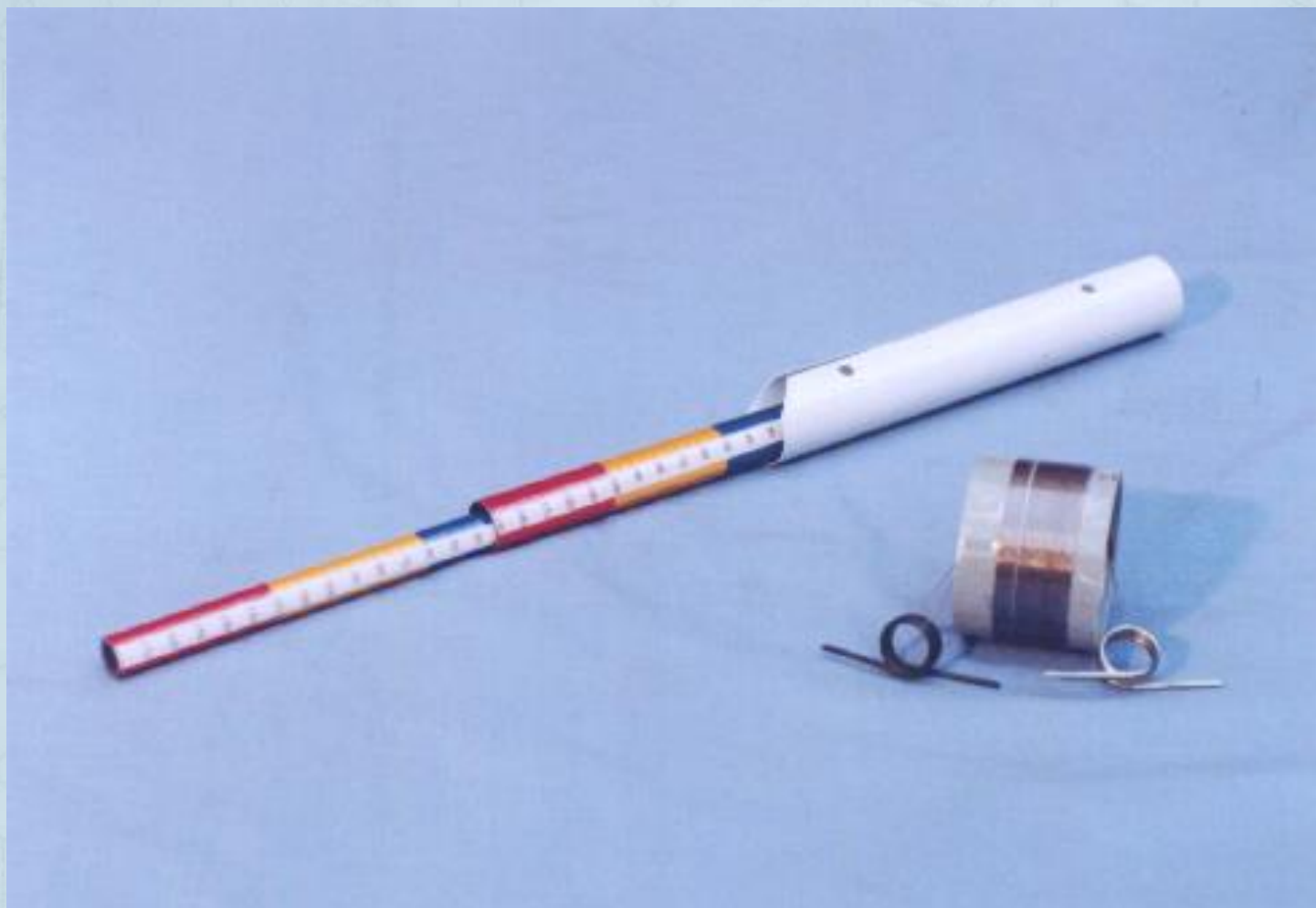
# 锚杆测力计



# 测力锚杆

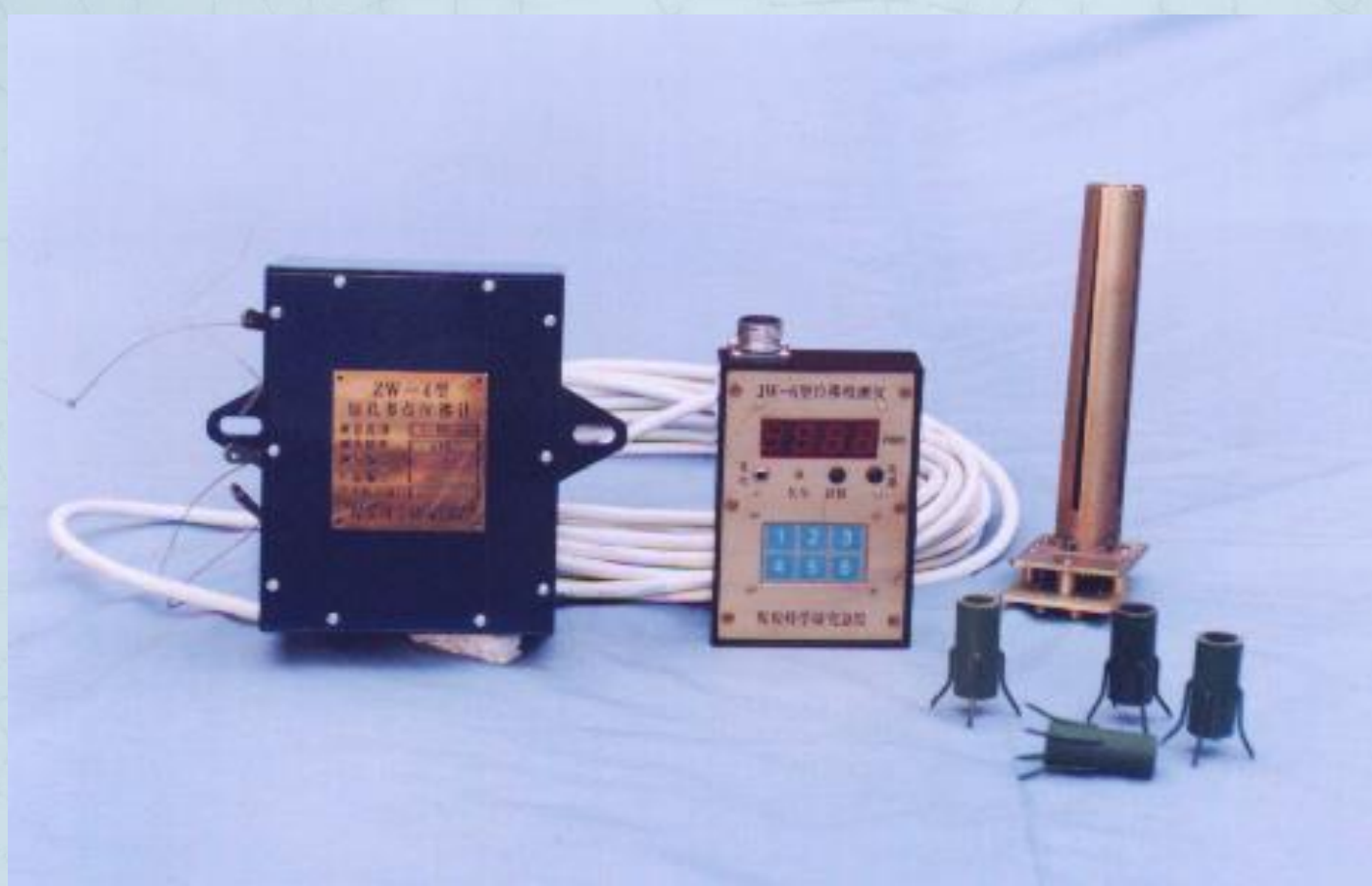


# LBY-3型顶板离层指示仪





# ZW-4型多点位移计





采用锚喷与锚注支护后的软岩巷道状况



采用锚喷与锚注支护后的软岩巷道状况



采用锚喷与锚注支护后的软岩巷道状况

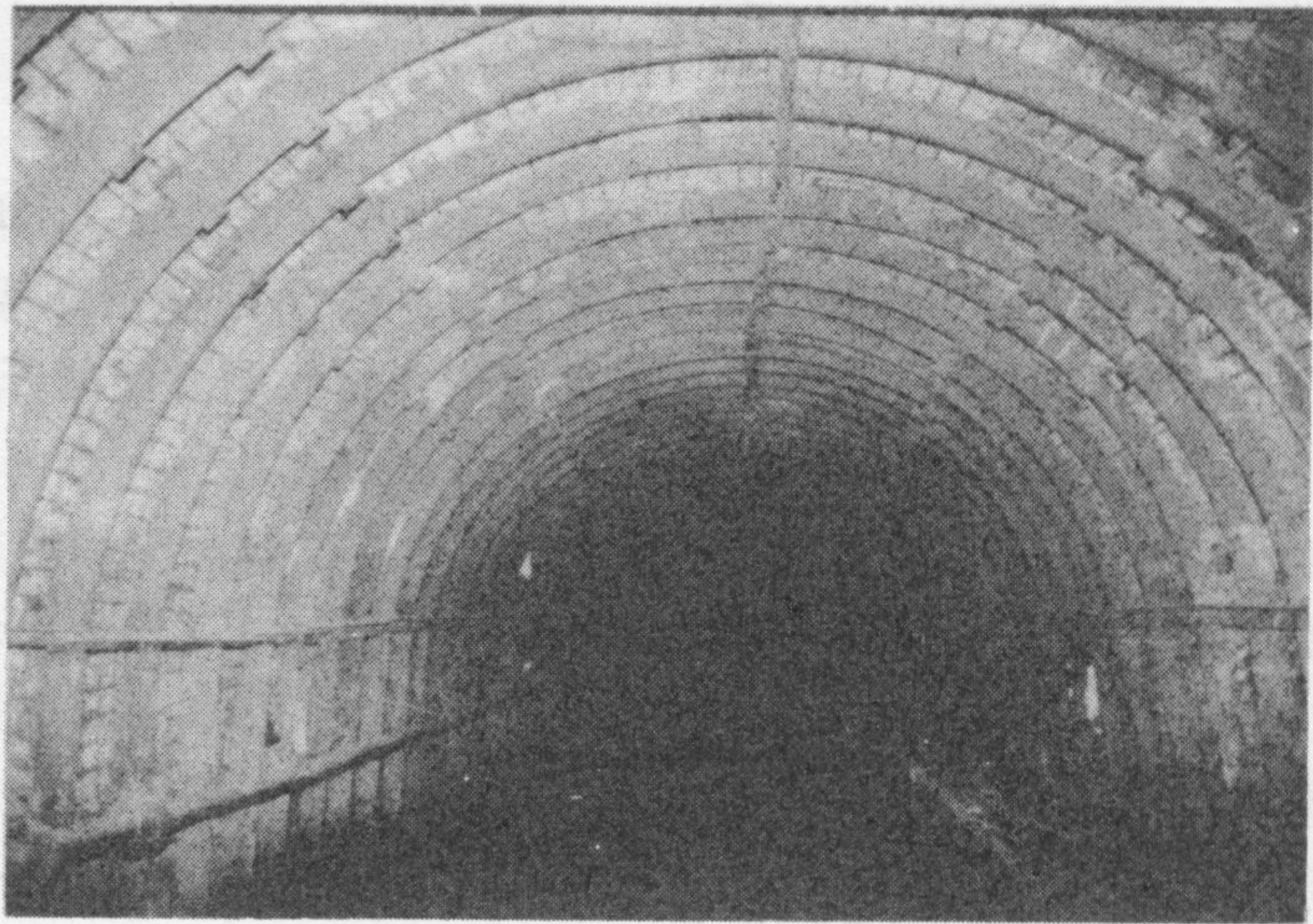


图 17 淮南矿区极软岩巷道采用壁后充填等措施后 U 型钢支架状况

## 综放沿空全煤巷切眼高强锚杆支护技术





谢谢!

