



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

沿空留巷围岩稳定原理 与控制技术

中国矿业大学

柏建彪 教授 博导

1395 1359 087

bjianb@163.com



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

目 录

1

沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

2

破碎围岩注浆加固技术

3

快速构筑密闭墙技术

4

高水材料充填空巷技术

5

无机材料防灭火技术



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

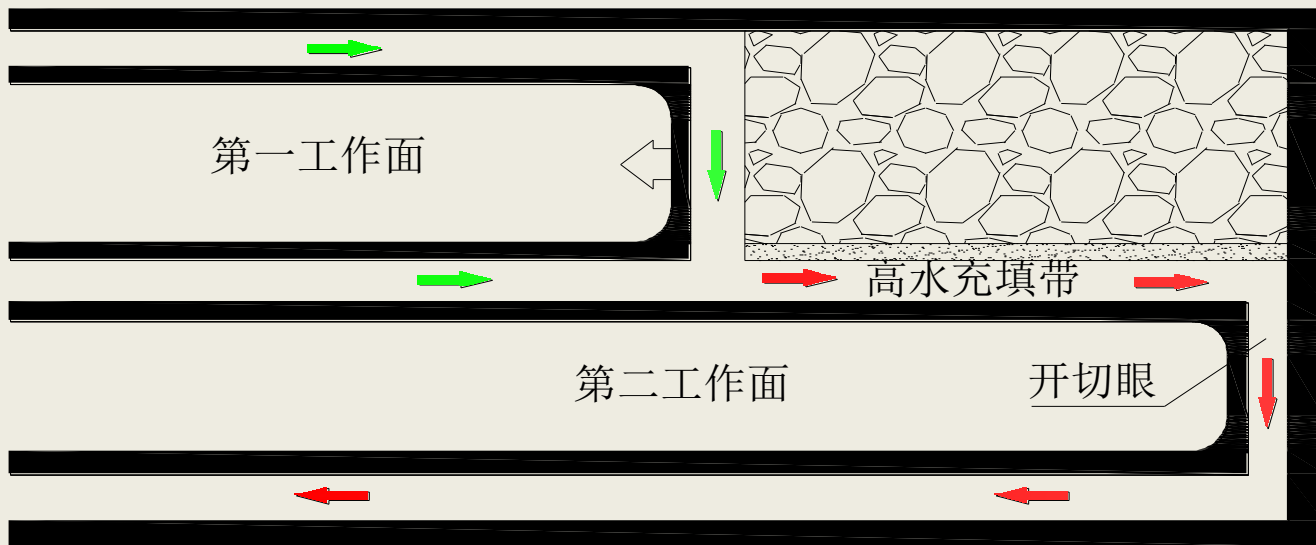


沿空留巷围岩稳定原理 与控制技术

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.1 沿空留巷的意义

- 1) 取消区段煤柱，提高煤炭资源采出率；
- 2) 少掘进1条巷道，解决采掘接替紧张的难题；
- 3) 实现Y型通风，增加抽放采空区及下区段和邻近煤层瓦斯的场所；实现煤层群连续卸压开采。



1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

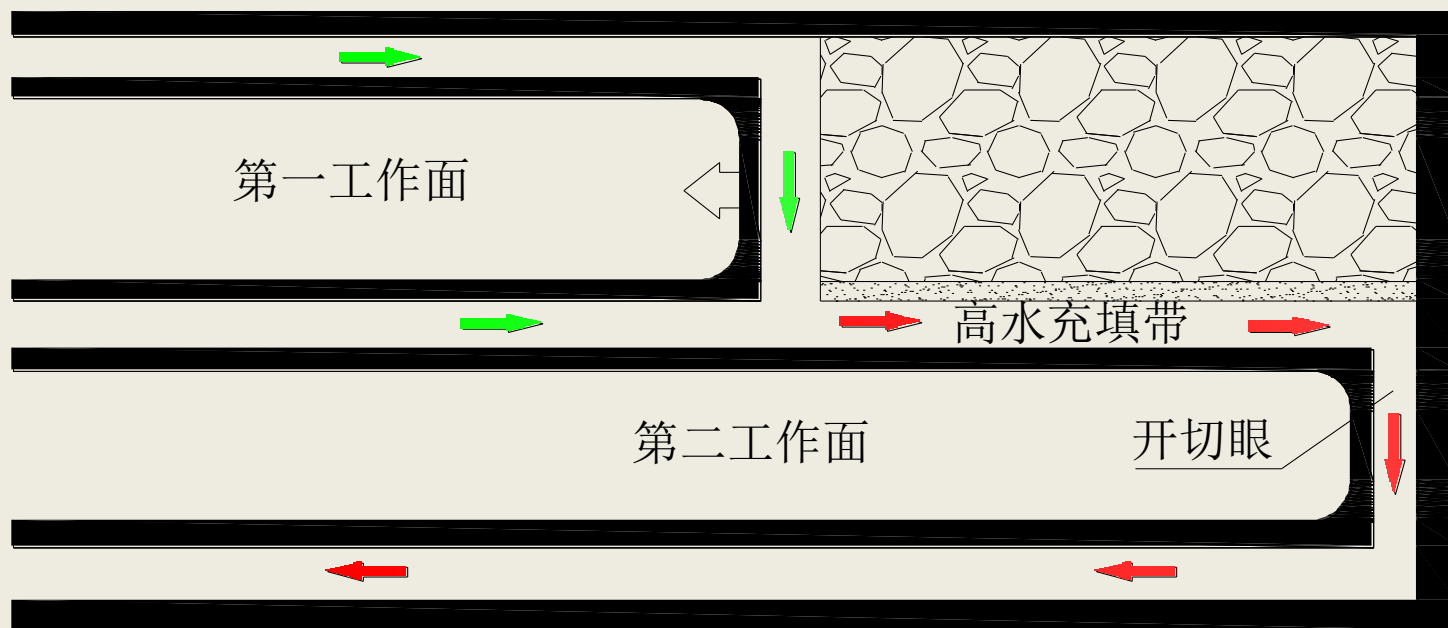
1.2 国内外研究现状

- 巷旁支护是沿空留巷维护效果好坏的关键。
- 传统的巷旁支护如矸石带、密集支柱、木垛等普遍存在增阻速度慢、支承能力小、密闭性能差、劳动强度大，力学性能与沿空留巷围岩变形不相适应等缺点（不适应裂隙带岩层取得平衡之前的强烈沉降），不利于沿空留巷，适用于薄及中厚煤层。

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.2 国内外研究现状

- 高水材料具有支护阻力大、增阻速度快、适量可缩，巷道维护效果好，充填工艺及充填设备简单的优点，目前得到广泛应用

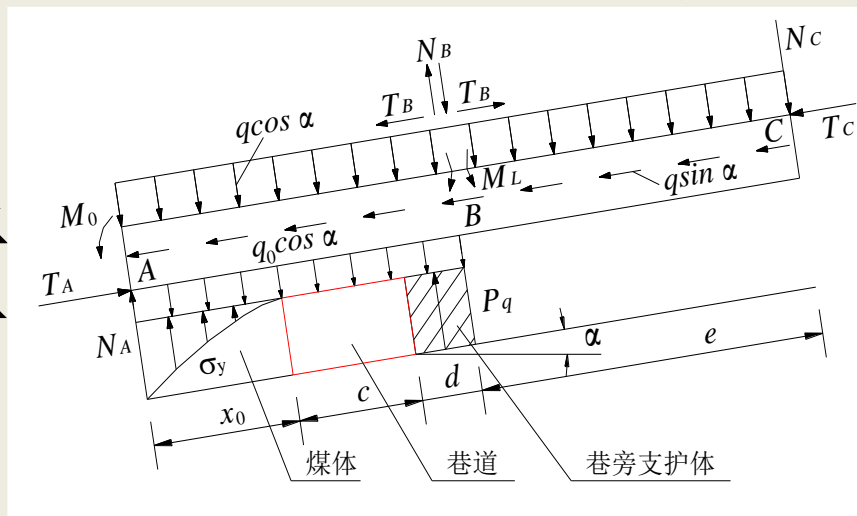


1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.3 沿空留巷巷旁支护机理

◆巷旁支护体作用机理（顶板运动的阶段性）

- (1) 巷旁支护体早期强度大、支护直接顶、防止直接顶离层，切断采空区的直接顶。
- (2) 老顶破断过程中充填体应快速达到切顶阻力，切断采空区侧老顶，减小巷旁支护体所承受的载荷。
- (3) 采空区顶板破断、运动稳定后，充填体维持巷道上方已切断岩层的平衡。同时适应顶板整体下沉引起的“定变形”。

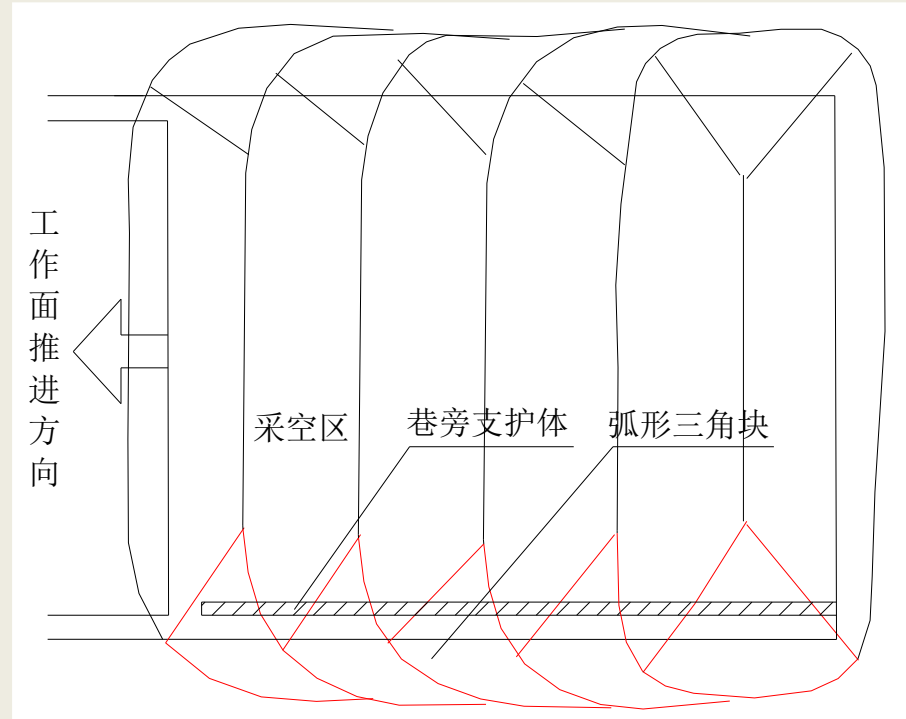


1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

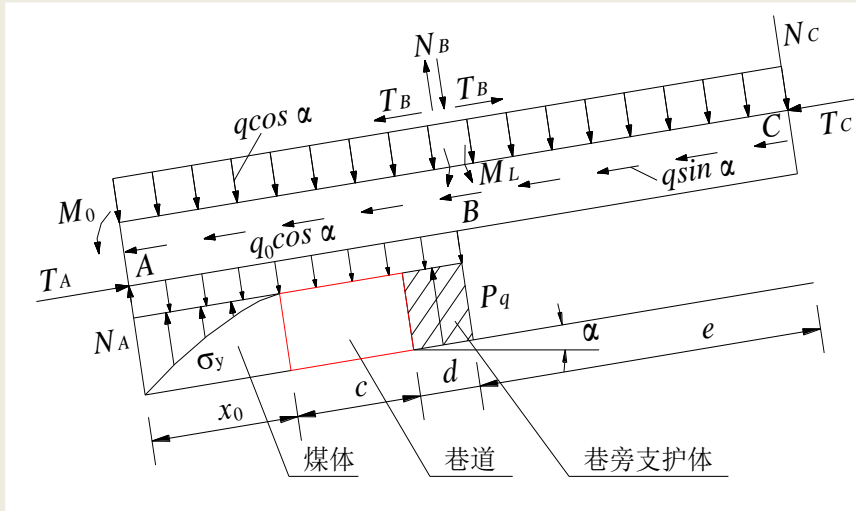
1.3 沿空留巷巷旁支护机理

◆沿空留巷力学模型

采空区的老顶沿倾斜方向破断形成“三角块大结构”，构成沿空留巷的上部边界。



平面图

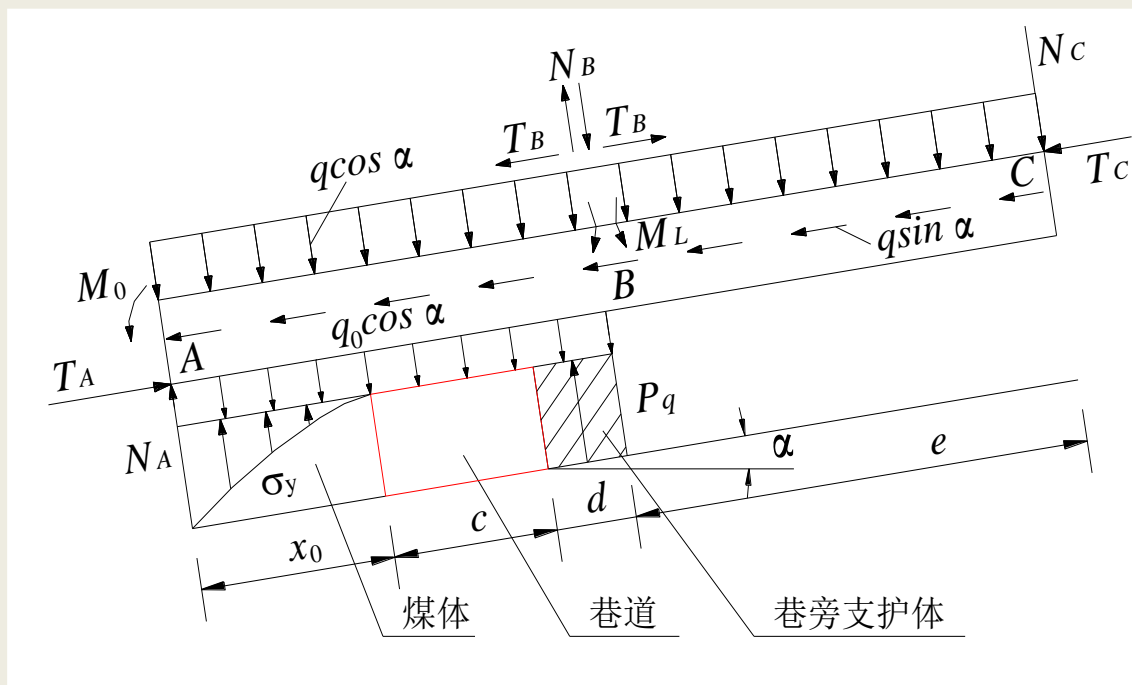


1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.3 沿空留巷巷旁支护机理

◆巷旁支护阻力求解

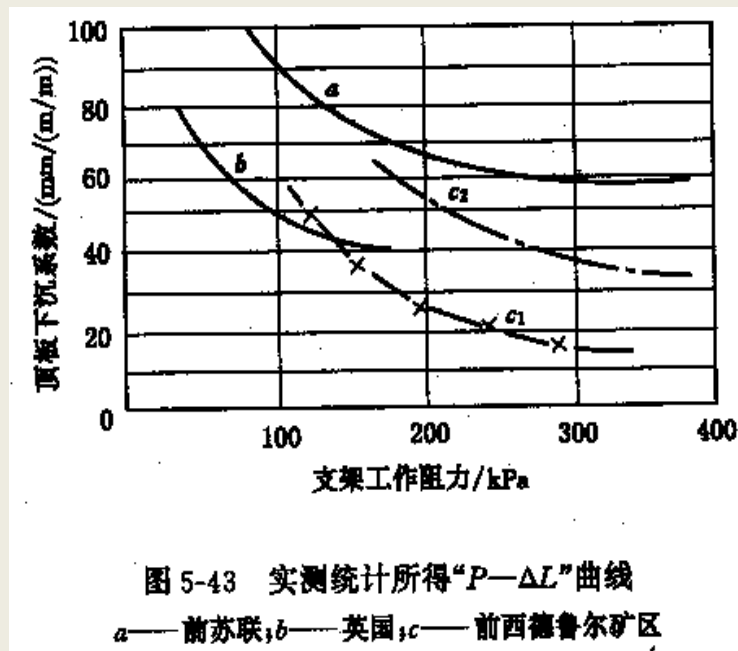
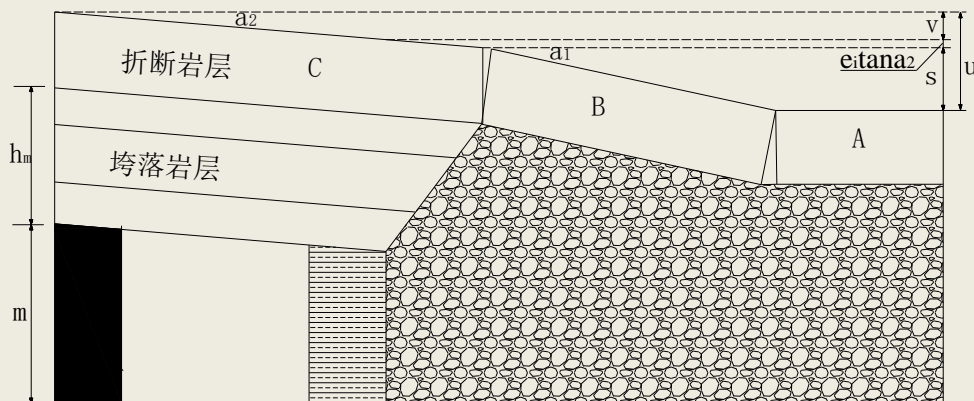
$$P_q = [M_L + (N_C + q \cos \alpha \cdot e)(x_0 + c + d) + \frac{1}{2}(q + q_0) \cos \alpha \cdot (x_0 + c + d)^2 - \int_0^{x_0} \sigma_y (x_0 - x) dx - (T_C + q \sin \alpha \cdot e)(h - \Delta S_B) - M_0 - q \sin \alpha (x_0 + c + d) \cdot (\frac{h}{2} - \Delta S_B)] / (x_0 + c + \frac{d}{2})$$



1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.3 沿空留巷巷旁支护机理

◆巷旁支护体可缩量分析



依靠巷旁支护完全阻止顶板下沉是很困难的，巷旁支护体刚性越强，其承受的载荷越大，往往超过其承载能力，发生严重破坏。即：巷旁支护体提供的可缩量与支护阻力满足切断岩层的平衡。

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

高水材料：沿空留巷时体积比水占85~90%，
20~30 min内凝结，100%固化，最终强度达到
8~12MPa。

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

中国矿业大学高水材料性能水平

No	水灰比	凝结时间/min		抗压强度/MPa		
		初凝	终凝	4 h	24 h	7 d
1	1.50:1	7	22	4.48	9.14	12.16
2	1.90 : 1	8	27	4.28	6.39	8.24
3	2.05 : 1	10	29	3.75	5.59	7.32
4	2.25 : 1	12	41	3.02	4.61	5.59
5	2.50 : 1	17	58	2.42	4.14	5.15
6	2.70 : 1	19	66	1.94	3.46	4.31
7	3.00 : 1	20	75	1.53	2.74	3.39

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

高水材料具有突出的塑性特征，达到峰值强度后承载能力下降缓慢，下降速度远小于混凝土和岩石材料。

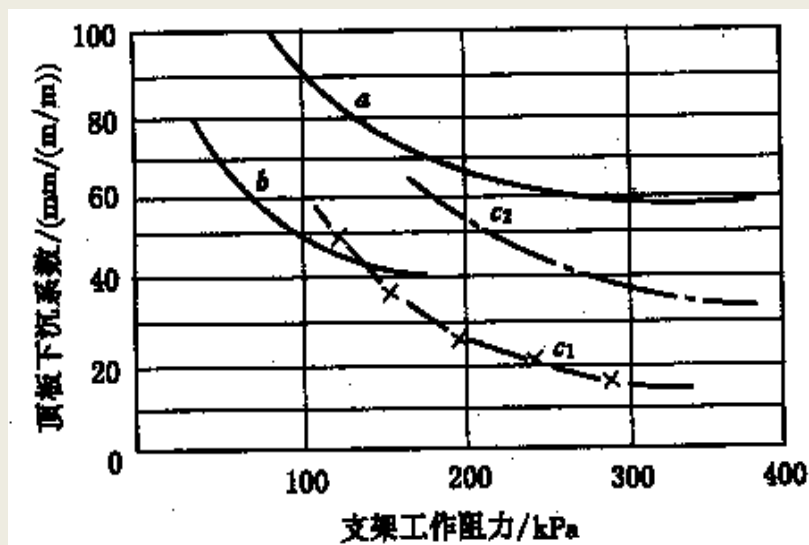
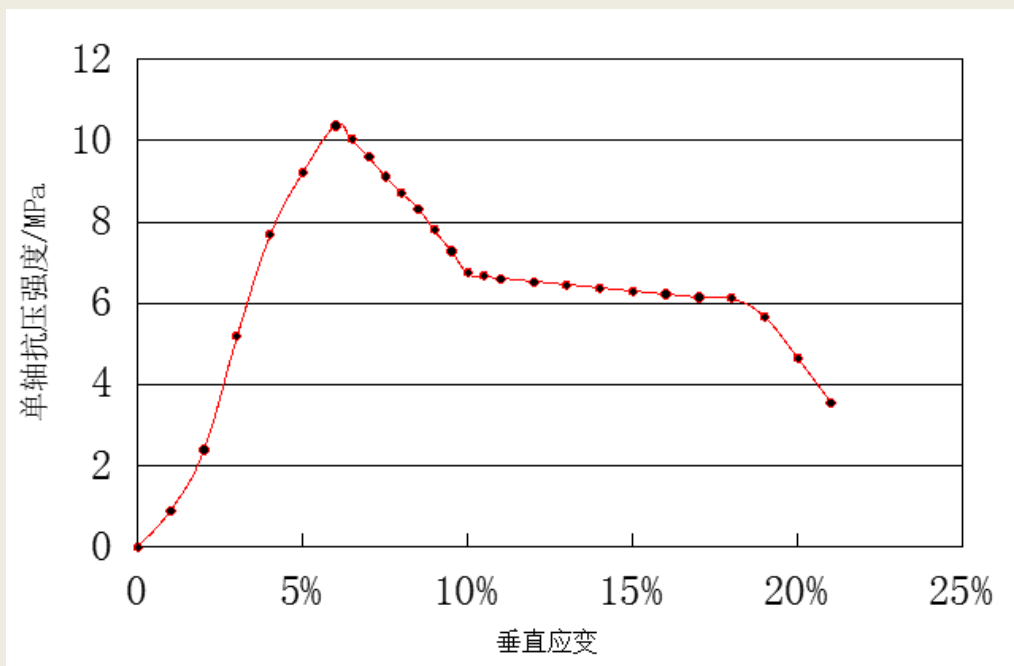


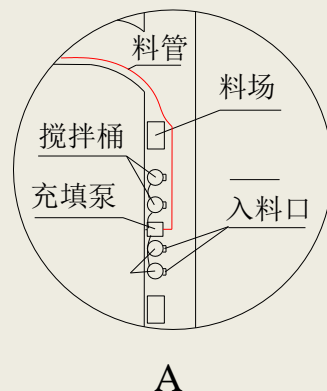
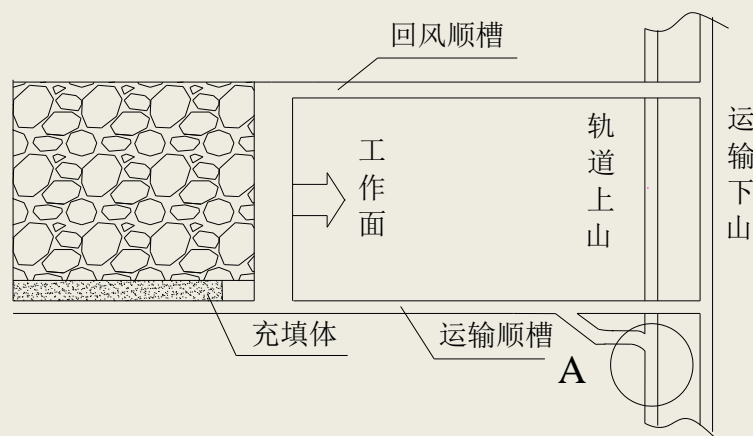
图 5-43 实测统计所得“ $P-\Delta L$ ”曲线
a——前苏联, b——英国, c——前西德鲁尔矿区

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 高水材料巷旁充填沿空留巷特点

- ① 浓度小，水体积85~90%，高水材料用量少，辅助运输工作量小；远距离输送，水平输送距离>5000m；充填设备可以放在地面、大巷或上下山，不影响顺槽使用、减少辅助运输工作量。



1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

- 高水材料巷旁充填沿空留巷特点
- ② 快速凝固、增阻速度快，强度较大，快速支撑顶板；
- ③ 固化体有一定压缩率，适应沿空留巷大变形；
- ④ 工艺简单，用人少，充填系统费用低、留巷成本低。



充填泵及搅拌桶



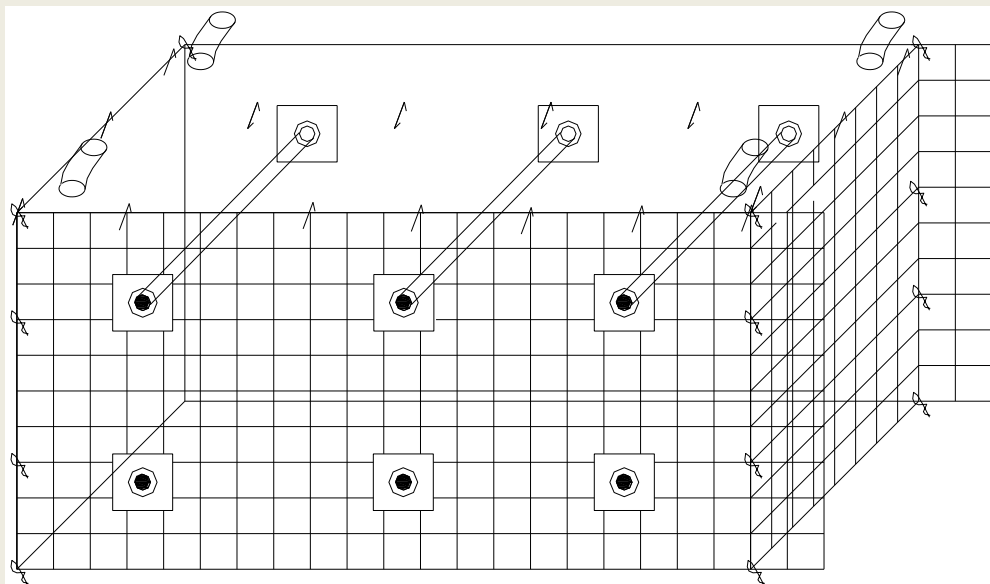
地面培训

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(1) 为进一步提高充填体的抗变形能力和承载能力，发明了对拉锚杆、钢筋网、梯子梁与充填袋组成的充填体预应力承载结构。



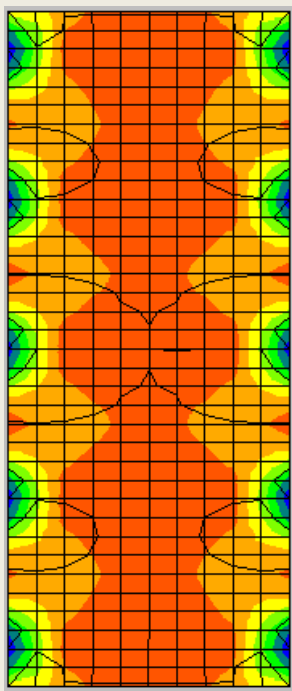
1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

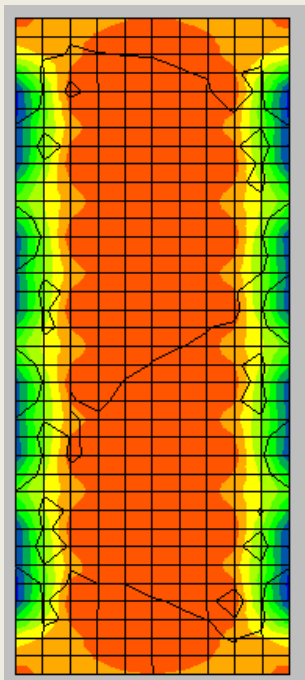
● 现场实施

增加充填体两侧自由面围压，提高充填体力学参数；
柔性结构，可充分发挥高水材料的塑性性能。

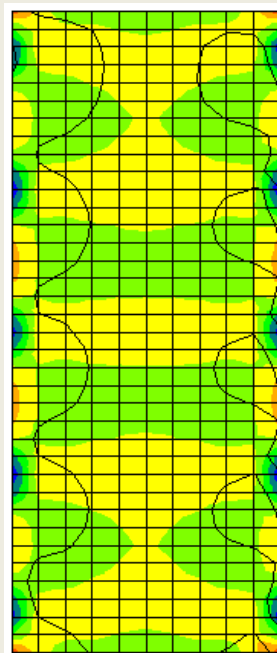
仅有对拉锚杆



对拉锚杆+竖向梯子梁



对拉锚杆+横向梯子梁



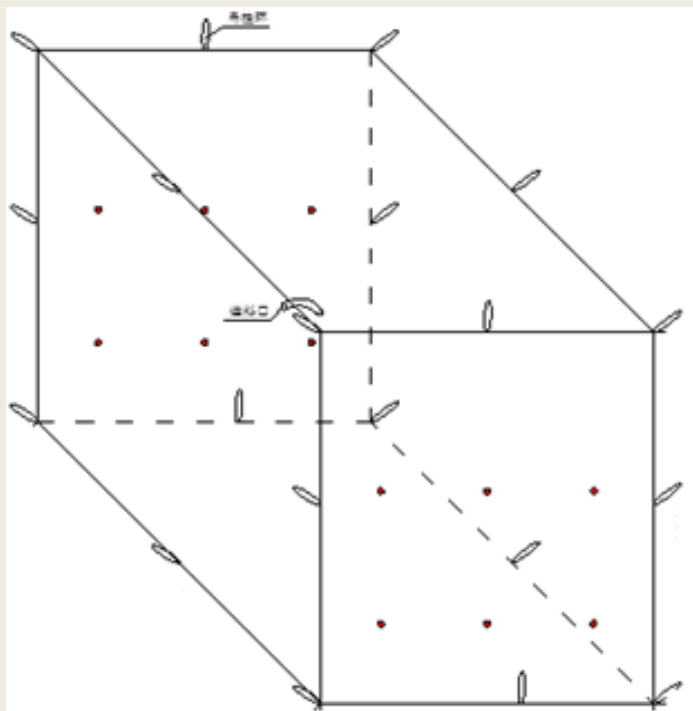
采用对拉锚杆、梯子梁、钢筋网增加充填体的承载能力和变形能力

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(2) 6.0小时留巷6.0m长，施工速度及材料强度的增长速度满足一天留巷18m到24m，不影响工作面回采。

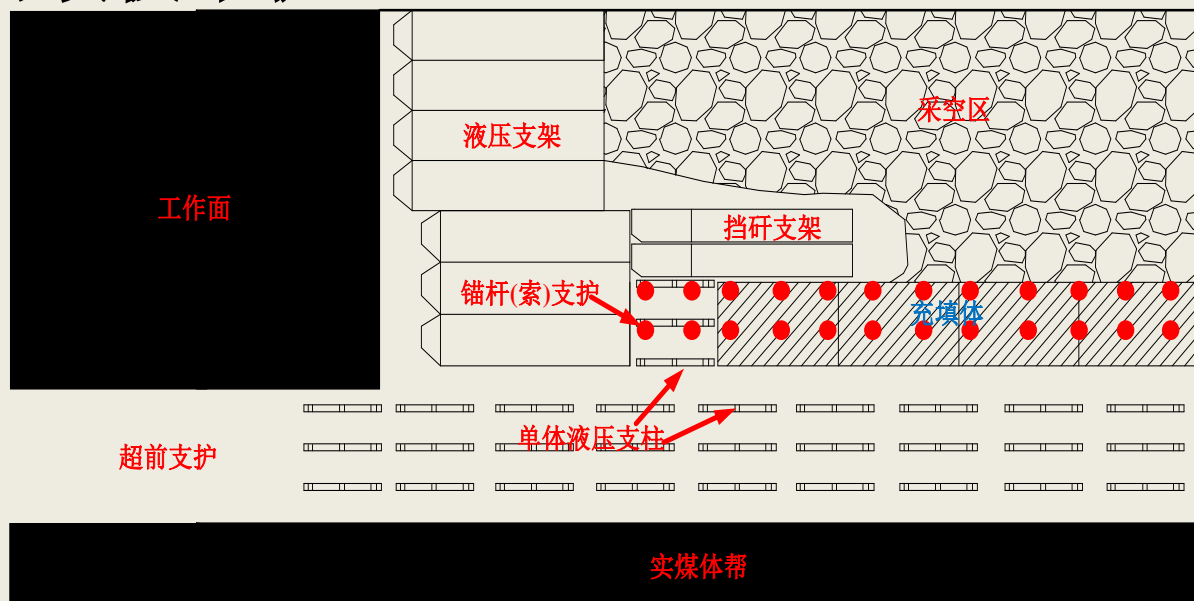


1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(3)操作空间顶板维护。



液压支架拉架后、采用挡矸支架维护采空区顶板，

采用充填支架或单体液压支柱维护充填区域顶板。

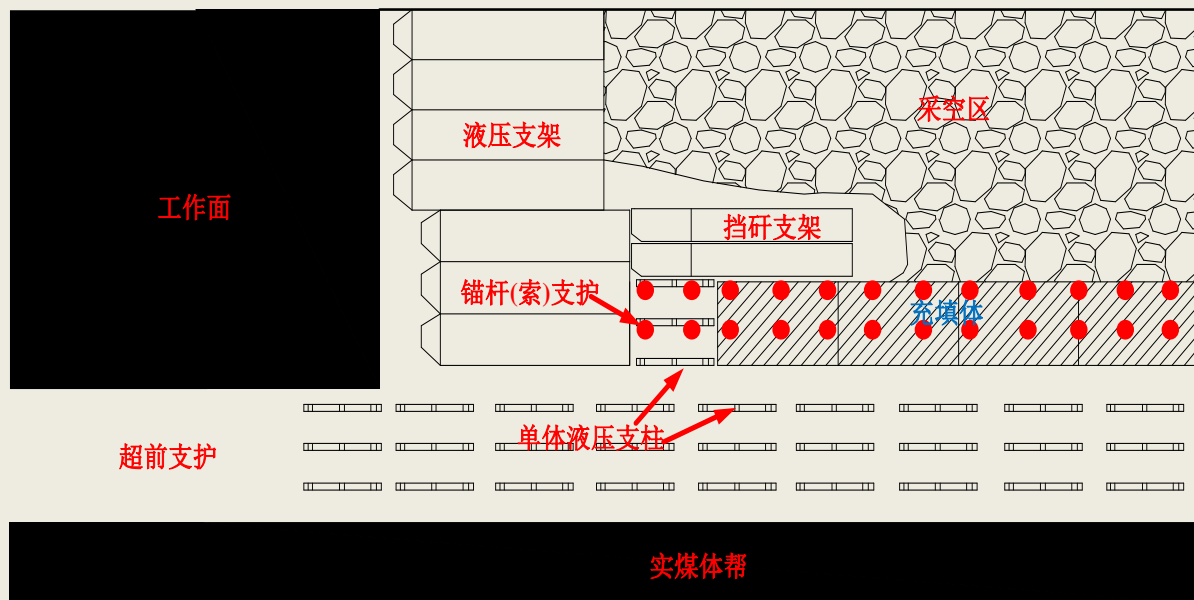
1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(4)控制充填区域顶板离层、破碎。

如果顶板易离层、破碎，充填区域顶板需要铺设顶网、打设锚杆或锚索。根据顶板的稳定情况确定架前或架后打设。

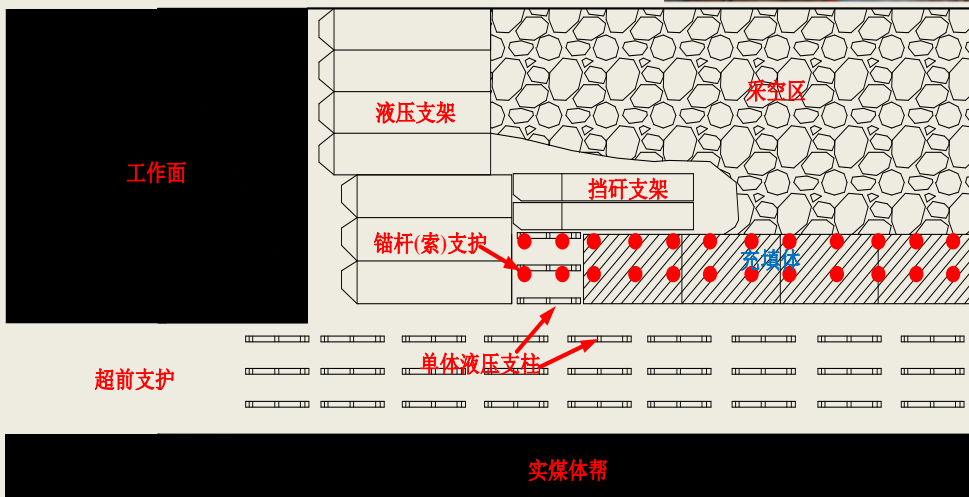


1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(5) 构筑充填空间。



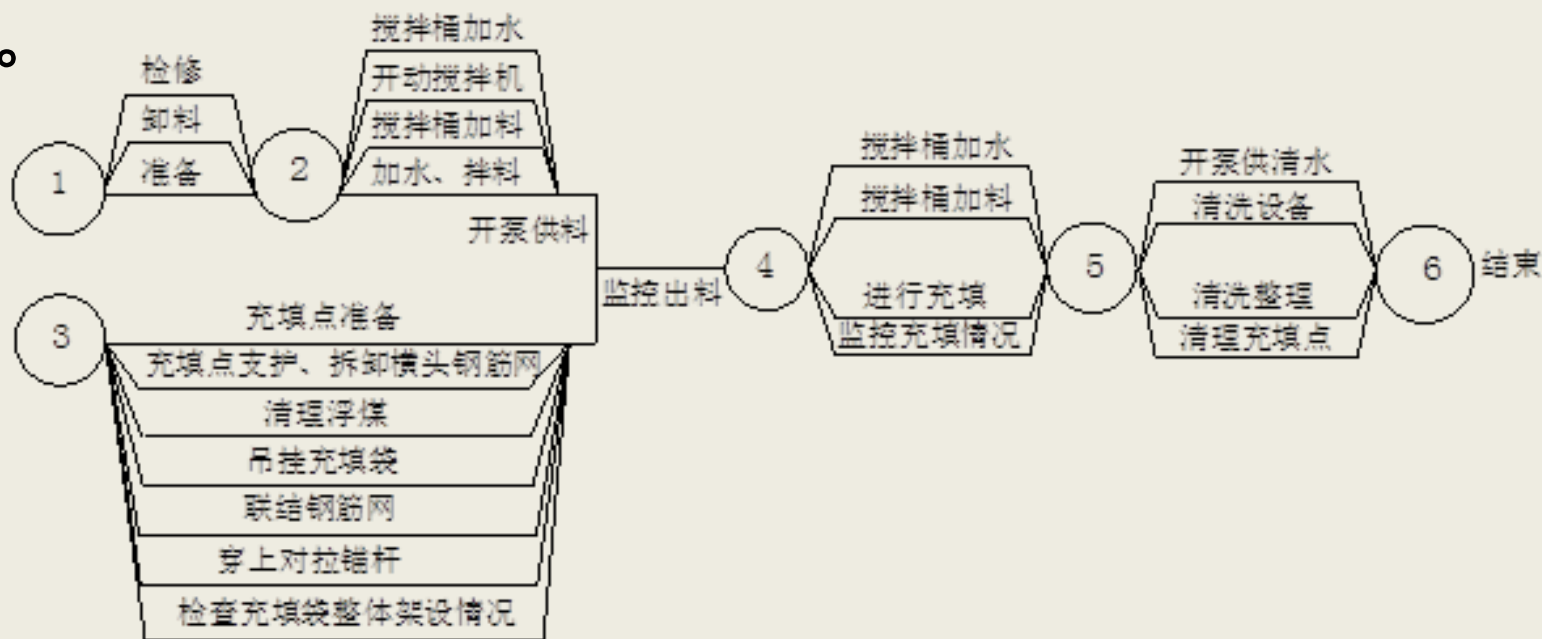
- 1) 打设充填体外侧的单体液压支柱或充填支架
- 2) 挂充填体两侧钢筋网
- 3) 挂充填袋
- 4) 挂钢筋梯、穿对拉锚杆

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(6) 充填。



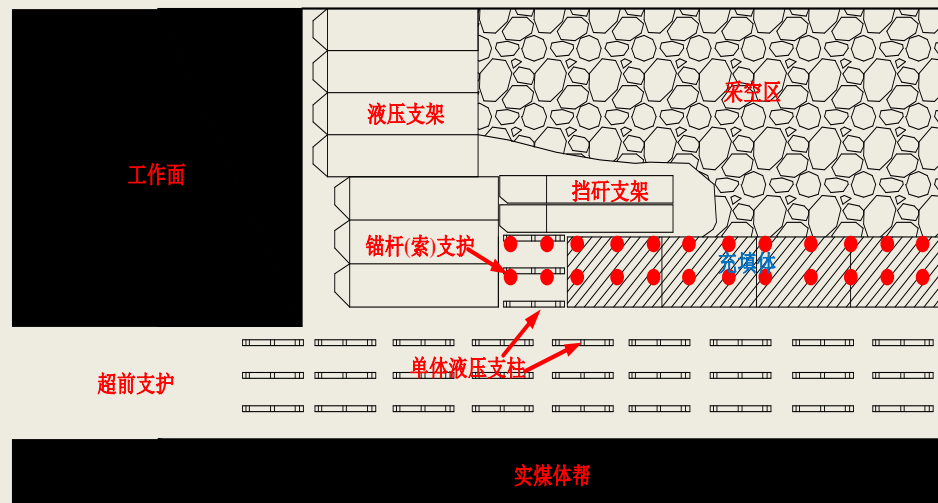
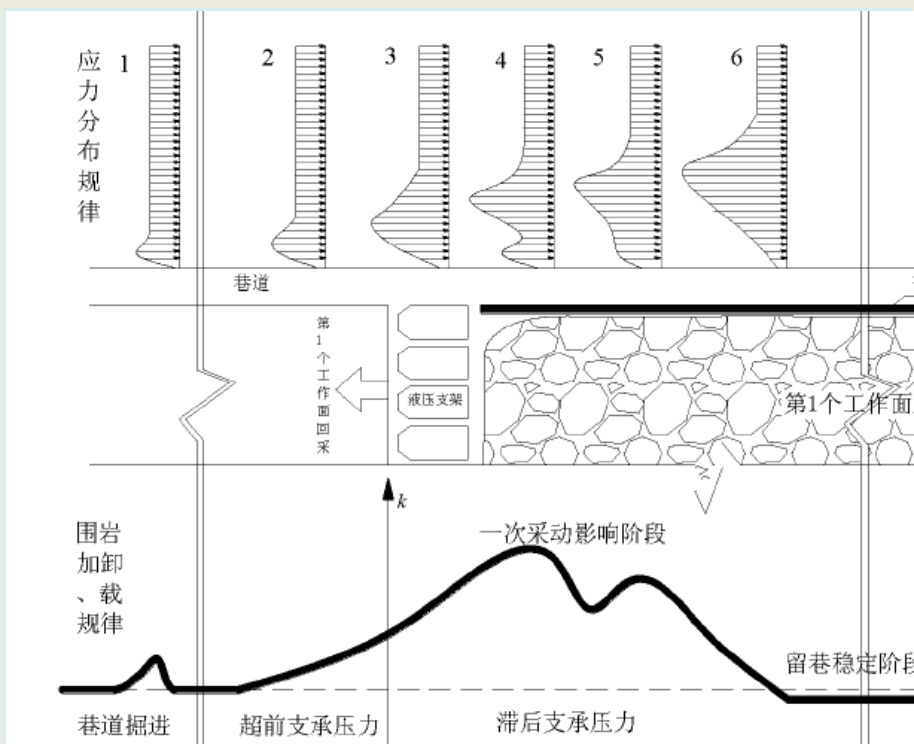
构筑好充填空间，留下1~2人查看，其余人员到充填泵站搅拌浆液，开始充填。

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(7)留巷段加强支护。



工作面后方60~100m顶板剧烈活动，采用单体液压支柱或专门支架加强支护，然后将该支架移到前面。

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

- 现场实施

(8)沿空留巷支护。

沿空留巷大变形特征：

- 1) 覆岩破断、运动剧烈；
- 2) 应力调整、转移；
- 3) 巷道变形剧烈、尤其底鼓；
- 4) 一般工作面后方60~100m顶板活动剧烈。

1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 现场实施

(8)沿空留巷支护。

基本支护：采用高预紧力、高强度、大延伸率锚杆与锚索支护；

临时加强支护：工作面后方60~100m左右、顶板剧烈变形阶段，采用临时加强支护支撑顶底板、减小顶板回转、下沉和巷道底鼓。



1 沿空留巷围岩稳定原理与控制技术

1.4 高水材料巷旁充填沿空留巷技术

● 高水材料沿空留巷实例

- 1) 综采放顶煤;
- 2) 深井、大采高: 埋深1000m左右, 采高5m左右;
- 3) 高瓦斯、易燃煤层, 上分层;
- 4) 一般条件。



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY



破碎围岩注浆加固技术

2 破碎围岩注浆加固技术

2.1 注浆加固稳定围岩机理

- ① 提高围岩裂隙面的变形刚度和抗剪强度
- ② 浆液固结体的网络骨架作用
- ③ 转变围岩破坏机制
- ④ 减小巷道围岩松动圈、提高锚杆锚固力
- ⑤ 封闭水源

2 破碎围岩注浆加固技术

2.2 注浆材料的性能

注浆材料主要有两大类：以水泥为主的水泥类浆液和以各种化学材料为主的化学浆液。

水泥浆液主要有：单液水泥浆、水泥—水玻璃双液浆、高水材料等。

化学浆液主要有：丙烯酰胺、聚氨酯、环氧树脂、丙烯酸盐等。

2 破碎围岩注浆加固技术

2.2 注浆材料的性能

化学浆液：注浆效果好、价格高，大量使用发热易引发火灾。

水泥浆液：价格便宜，结石率低，易泌水，对于泥岩等软弱岩层有泥化、弱化的作用。

高水材料：价格相对较低、水灰比高、速凝且可调、早期强度高、流动渗透性好、粘结强度高、具有微膨胀性、适用范围大。

2 破碎围岩注浆加固技术

2.3 注浆参数

- ① 注浆深度：对破碎区、裂隙区注浆，可以通过深孔窥视仪、多点位移计、地质雷达等测量破碎区、裂隙区范围；
- ② 注浆压力：浅部注浆是：围岩严重破碎时可选用1.0MPa，围岩较破碎时取1.0~2.0MPa，最高不超过3.0MPa；深部注浆： 6.0~10.0MPa.

2 破碎围岩注浆加固技术

2.3 注浆参数

- ③ 注浆量：注入的浆液应尽量保证裂隙被充满，原则上做到不进浆为止。每个注浆孔的注浆量可用下式估算：

$$Q = AL\pi R^2 \beta \lambda$$

式中 Q —每个孔的浆液注入量， m^3 ； A —浆液消耗系数(1.2 ~ 1.5)； L —钻孔长度方向固化区厚度， m ； R —浆液有效扩散半径， m ； β —围岩的裂隙率(0.5% ~ 10%)； λ —浆液的充填系数(0.6 ~ 1.0)。

2 破碎围岩注浆加固技术

2.3 注浆参数

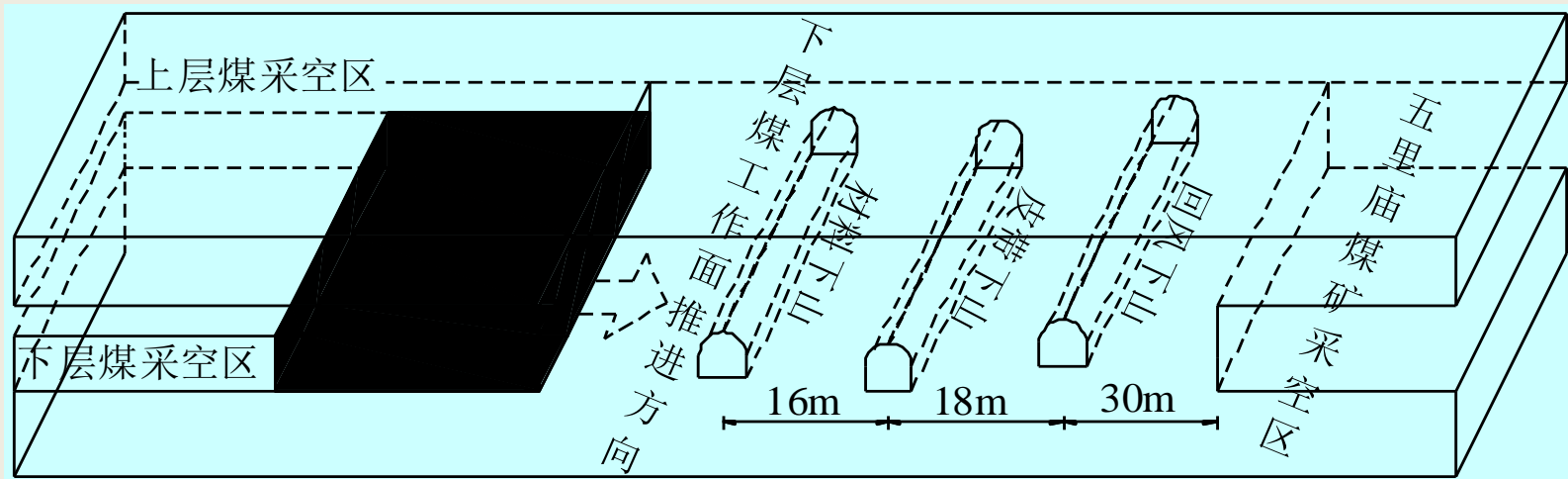
- ④ 浆液扩散半径：由于浆液扩散的复杂性，主要由现场施工监测及实际扩散情况，作相应调整。
- ⑤ 注浆孔布置：根据巷道围岩受力破坏情况，选择注浆加固部位。通常巷道两帮、底角是受力最大的部位。分析表明，加固两帮及底角可以控制巷道底鼓。注浆孔间排距应小于1.6倍的扩散半径。
- ⑥ 高水材料水灰比：水灰比增大，强度降低，一般水灰比不宜超过1.8:1，初凝时间控制在20分钟。

2 破碎围岩注浆加固技术

2.4 工程实例一（围岩滞后注浆）

- 工程背景

山西某矿三条下山受到邻近煤矿回采以及本矿工作面采动影响，留设煤柱宽度较小，在采动应力作用下，下山破坏严重。



2 破碎围岩注浆加固技术

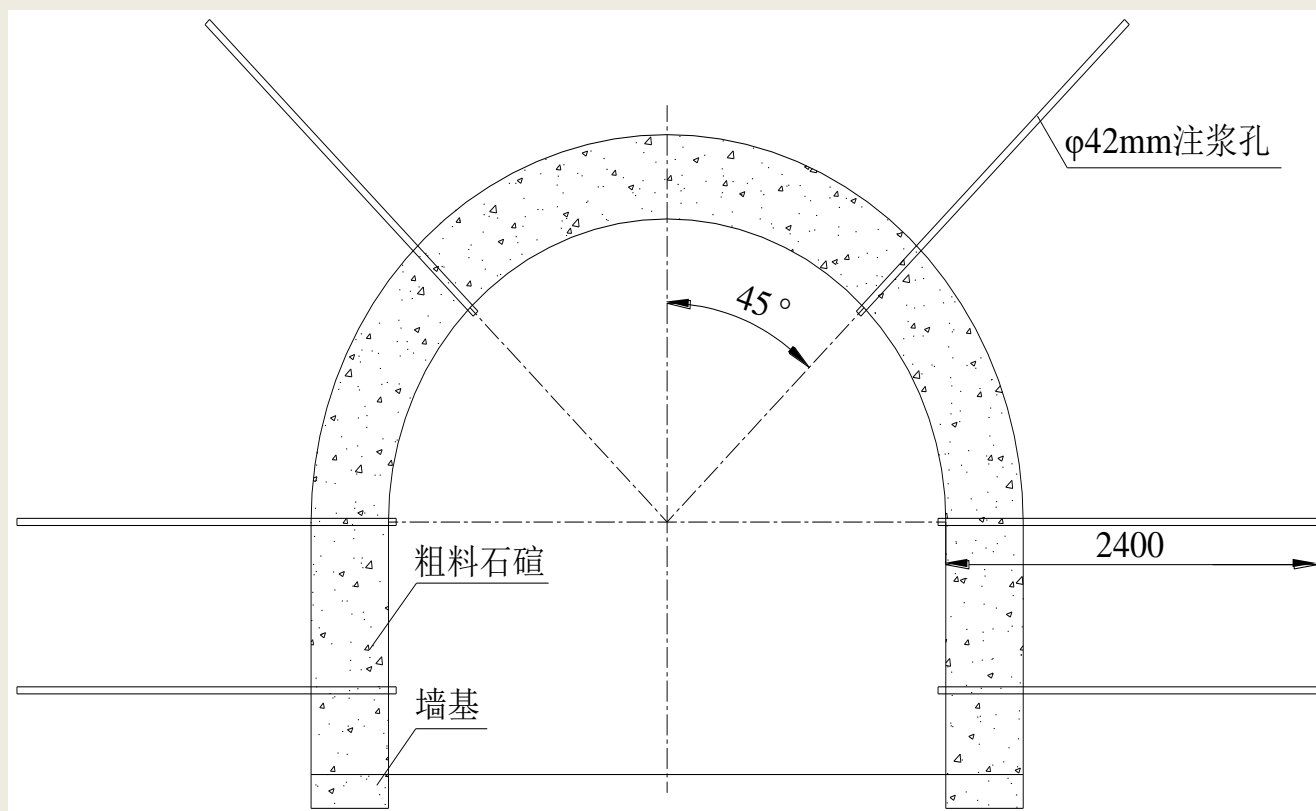
2.4 工程实例一（围岩滞后注浆）

- （1）采用高水材料对料石碇体壁后注浆加固，提高破碎围岩的力学性能，提高锚杆、锚索锚固力。
- （2）顶帮采用锚杆支护，在限制围岩变形的同时具有一定的让压作用，满足下山围岩强烈变形的需要。
- （3）顶板采用锚索加强支护。

2 破碎围岩注浆加固技术

2.4 工程实例一（围岩滞后注浆）

- 支护参数



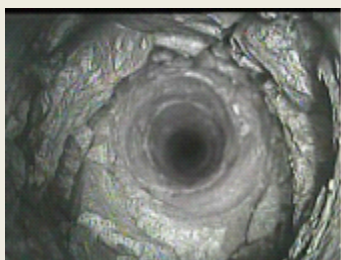
材料下山注浆孔布置图（皮带下山和回风下山类似）

2 破碎围岩注浆加固技术

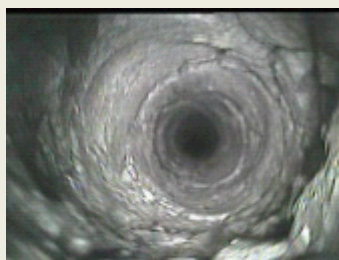
2.4 工程实例一（围岩滞后注浆）

- 下山围岩控制效果分析

材料下山注浆前钻孔窥视仪观测结果：



(a) 1.0m深处



(b) 2.0m深处



(c) 3.0m深处

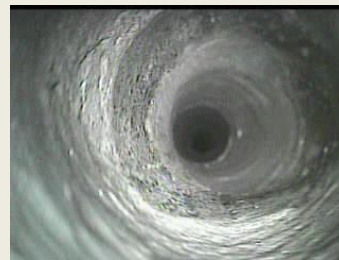
材料下山注浆后钻孔窥视仪观测结果：



(a) 1.0m深处



(b) 2.0m深处



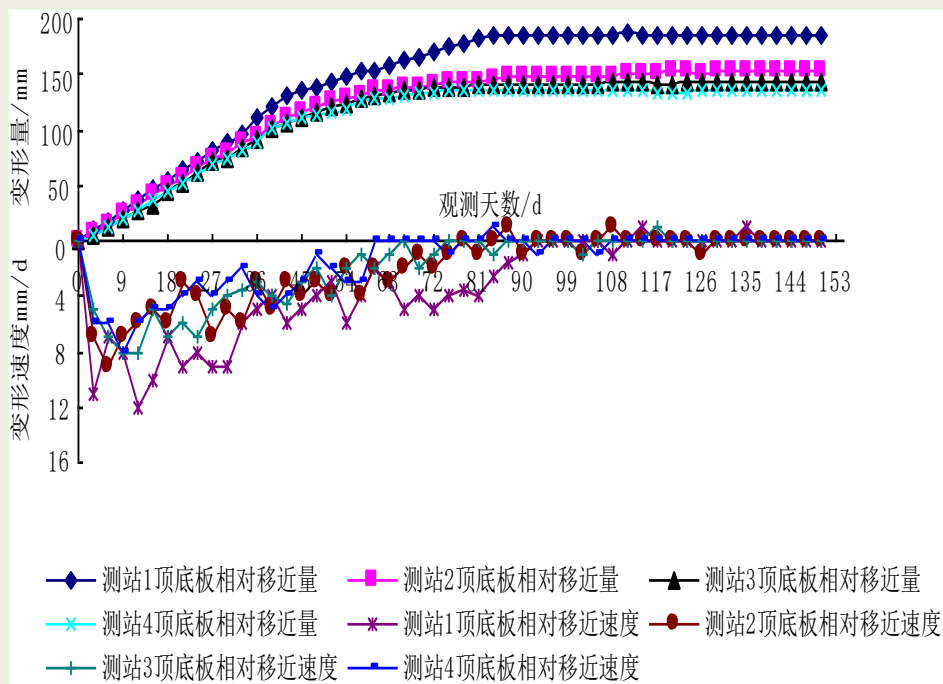
(c) 3.0m深处

2 破碎围岩注浆加固技术

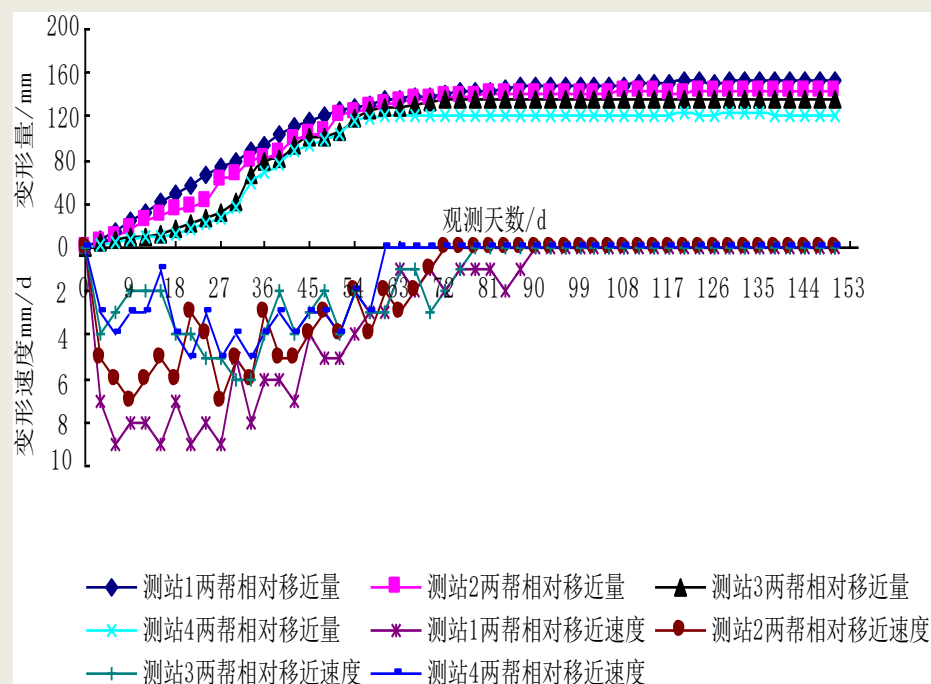
2.4 工程实例一（围岩滞后注浆）

● 下山围岩控制效果分析

采用注浆加固及锚杆支护后，下山趋于稳定。



材料下山顶底板围岩变形曲线



材料下山两帮围岩变形曲线

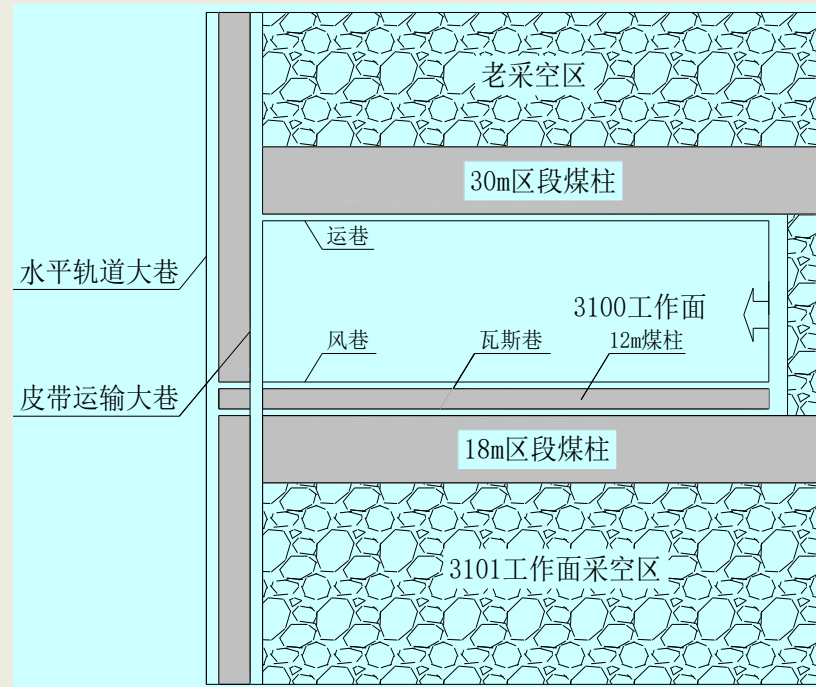
2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

● 工程背景

山西某矿3100工作面为孤岛工作面，巷道埋深约350m。

3100工作面回风巷受瓦斯巷掘进及一侧采动应力影响，巷道在掘进期间就发生了大变形，维护困难。



2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

● 工程背景

地层系统	岩层名称	厚度/m	岩型描述
二迭系山西组	上覆岩层	10.5	细粉砂岩，黑灰色，上部为泥岩，下部为粗砂岩
		2.5	中砂岩，灰色石英砂岩，局部含多量云母，具黑质泥质条带，硅钙质胶结
		3.75	泥岩，需具粉砂岩及粗砂岩，下部有时夹小煤 1 层
		0.5	煤，黑色，半光亮煤，不稳定
		4.4	细粉砂岩，黑灰色，上部为泥岩，有时夹小煤 1 层，下部常具有小煤 1 层，粗粉砂岩
	基本顶	4.0	中砂岩，灰色石英砂岩，局部含白云母片，有时含炭质条带硅-钙质胶结
	直接顶	4.5	泥岩，黑灰色，局部有粗粉砂岩，中上部有小煤 1 层
	煤层	6.5	煤，黑色，以光亮煤为主，似金属光泽，主要以镜煤、亮煤组成，夹石最多达 4 层，结构简单
	底板	9.14	泥岩、细粉砂岩、细砂岩，顶部团块状泥岩，上部具一层黑灰色细粒长石、石英砂岩，下部主要为细粉砂岩，次为粗粉砂岩组成

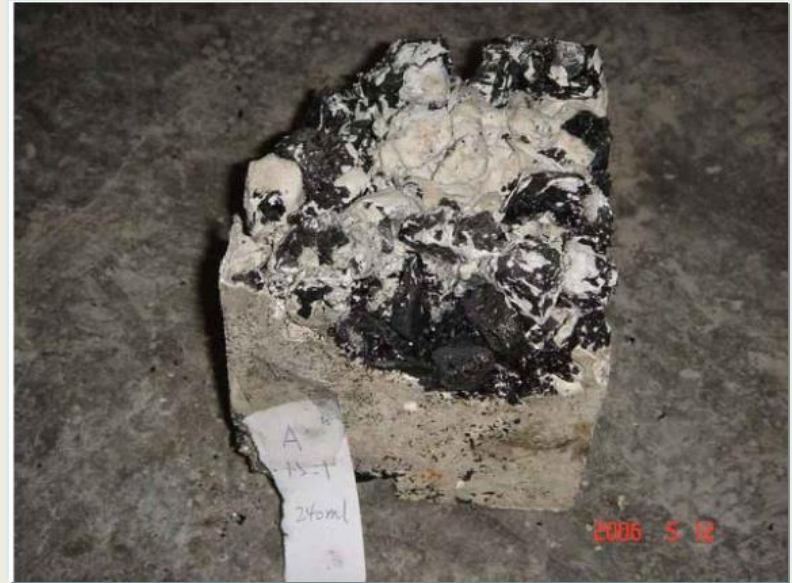
2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

- （1）通过超前预注浆，提高破碎围岩裂隙面的力学性能，防止掘进时松软顶煤冒落。
- （2）滞后注浆控制掘进期间、回采期间围岩变形，尤其回采期间控制围岩变形效果显著。
- （3）选用水灰比为1.5：1的高水材料注浆，预注浆采用深孔，注浆压力为 5.0~6.0MPa，滞后注浆采用浅孔，注浆压力为1.0~1.5MPa，最大不超过2.0MPa。
- （4）巷道顶板和两帮均采用锚杆支护。

2 破碎围岩注浆加固技术

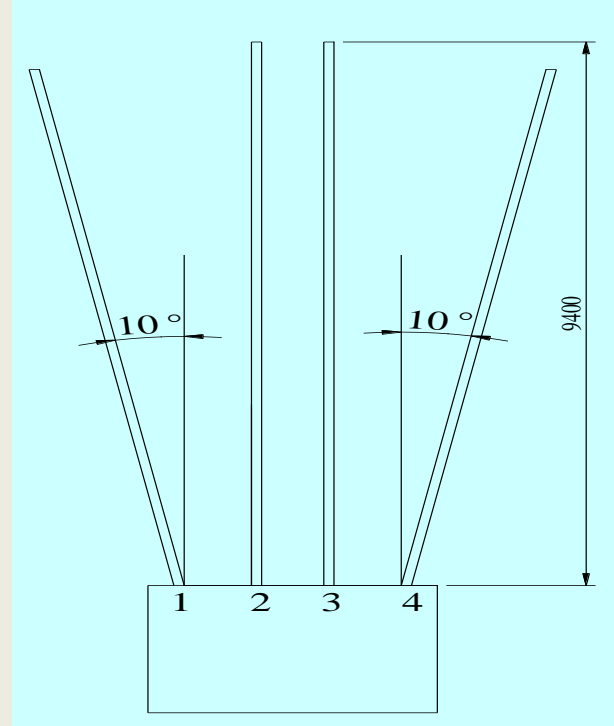
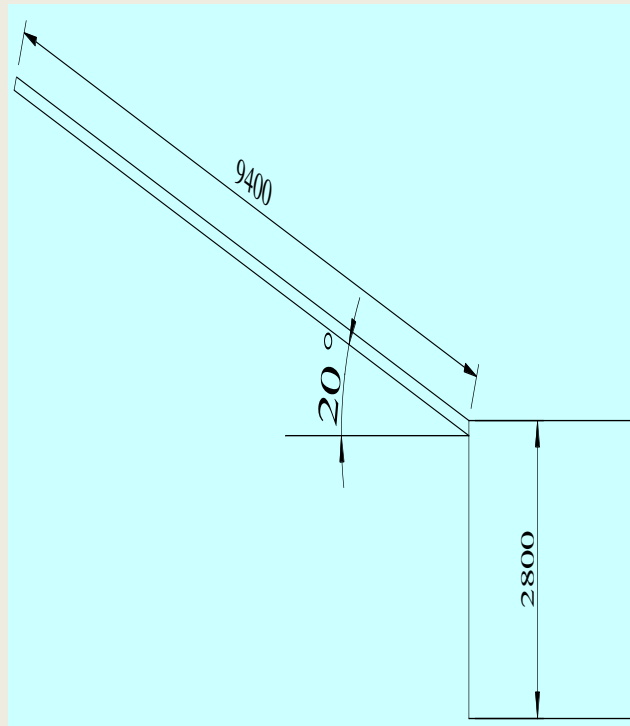
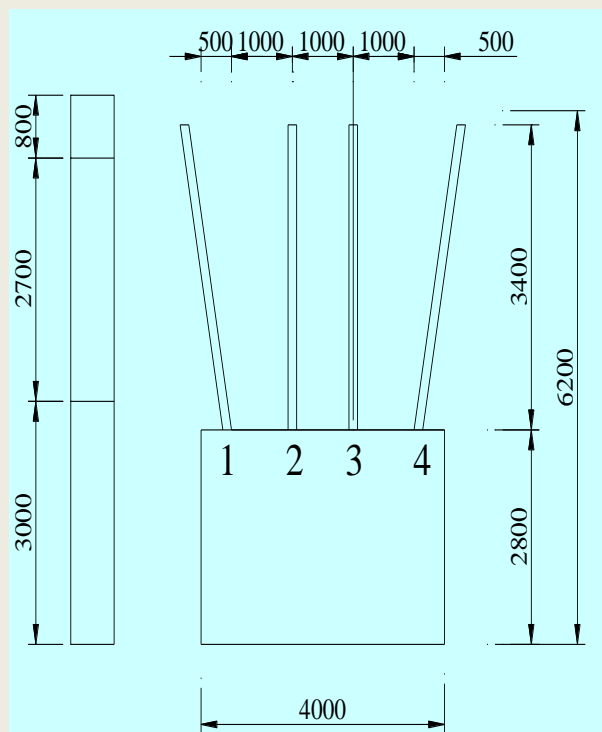
2.5 工程实例二（超前预注浆）



破碎煤体高水材料固结试验

2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

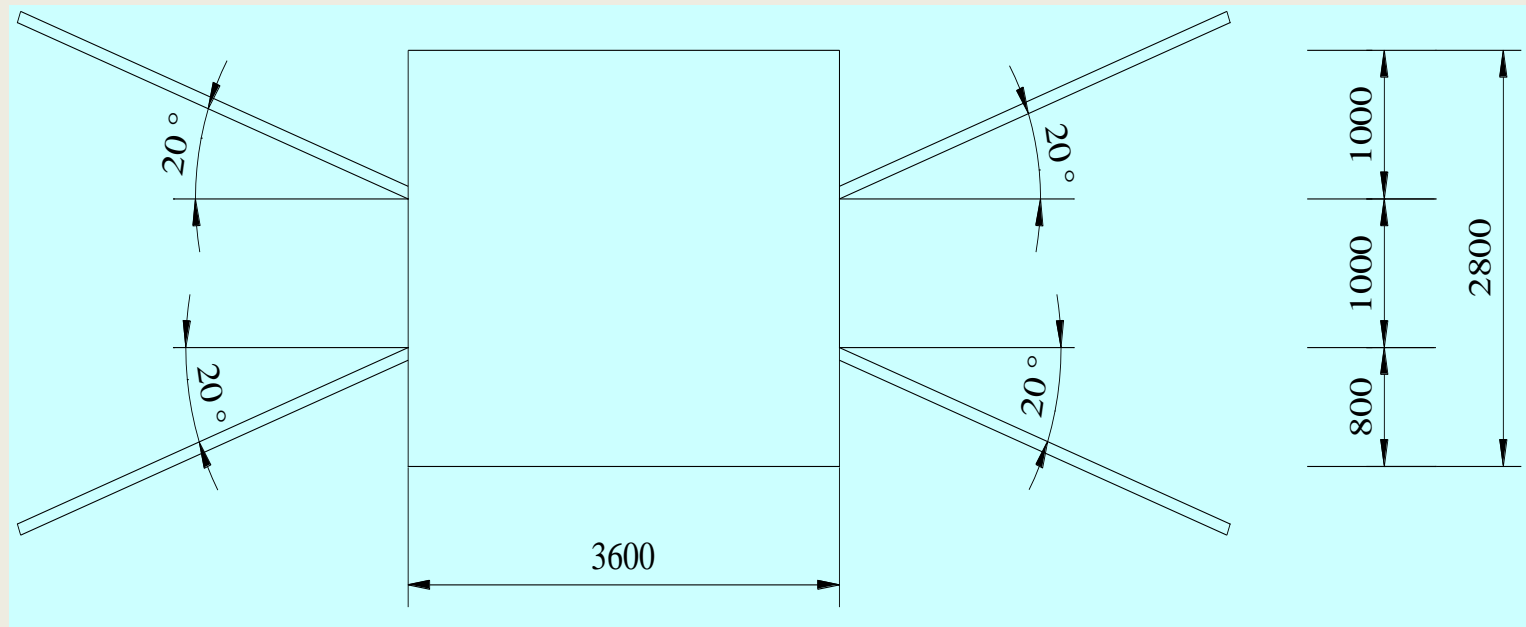


注浆孔排距为6.0m，孔深9.4m，注浆孔间距1m，每排4个孔，注浆孔仰角 20° ，中间两个孔沿着巷道轴向，两侧两个孔向帮倾斜 10° 。

2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

- 滞后注浆参数



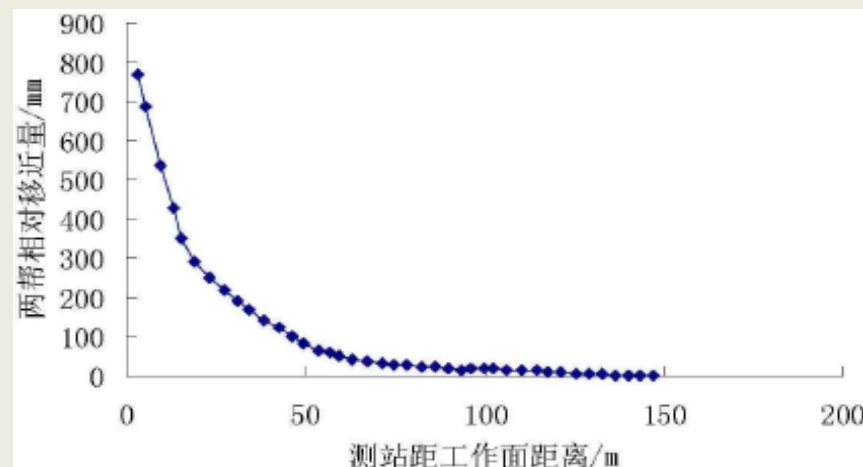
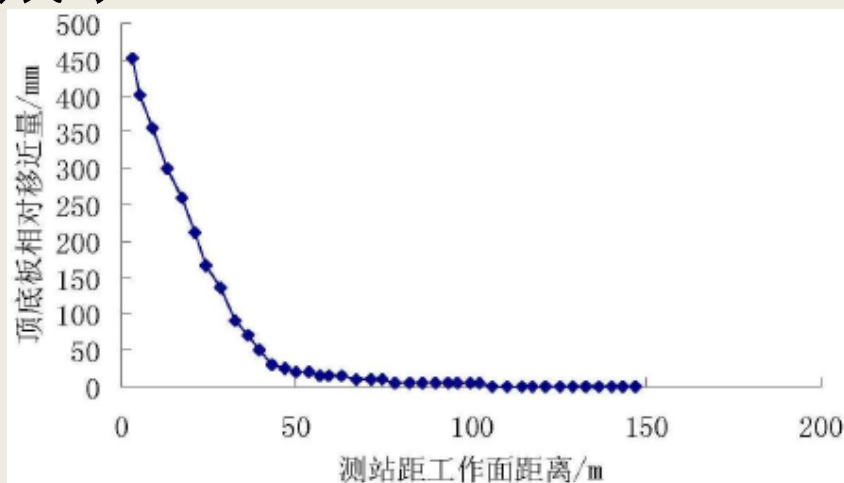
滞后注浆孔布置

2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

- 围岩控制效果分析

工作面采动影响期间顶底板相对移近量小于450mm、两帮相对移近量小于 800mm、超前采动影响距离显著减小。



2 破碎围岩注浆加固技术

2.5 工程实例二（超前预注浆）

- 围岩控制效果分析



工作面超前支护段



掘巷阶段



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY



快速构筑密闭墙技术

3 快速构筑密闭墙技术

3.1 前言

- ① 密闭墙多采用砖或料石砌筑两道墙、中间填黄土或浇筑混凝土，该方法劳动量大、顶部密闭效果差，填黄土方法的支撑力较小，采动压力作用后易漏风。
- ② 高水材料充填构筑密闭，具有工艺简单、速度快（1~2个小班即可完成）、承载能力大、用工少、成本低等优点。

3 快速构筑密闭墙技术

3.2 工程背景

- 山西某矿应用

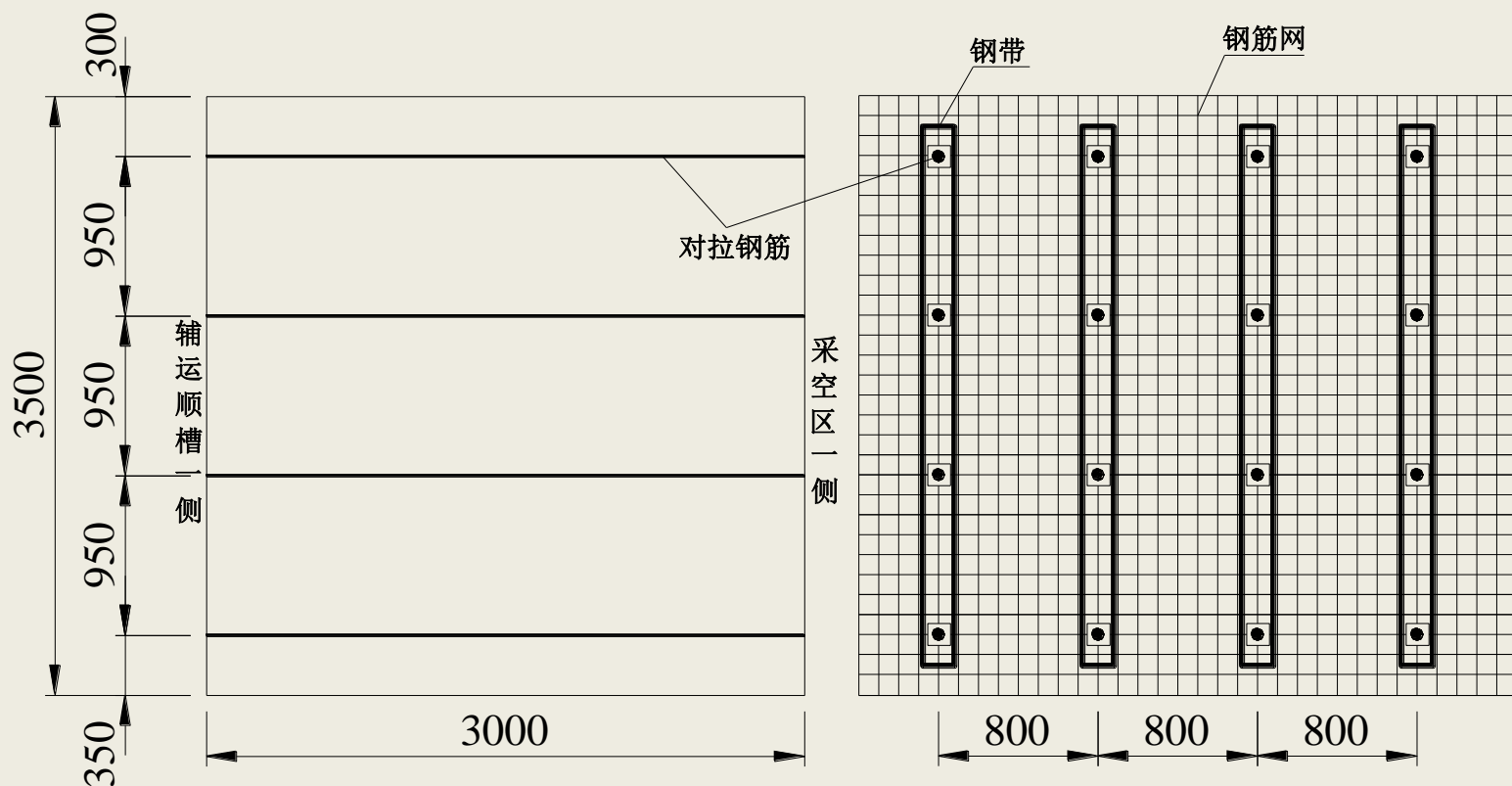
(1) 全断面充填联络巷，联络巷宽、高为：5.4m、3.5m、充填密闭墙厚度2~3m。

(2) 里外两侧采用对拉钢筋加强，对拉钢筋为 $\phi 22\text{mm}$ 的螺纹钢、间排距为 $950\text{mm} \times 800\text{mm}$ 。

3 快速构筑密闭墙技术

3.2 工程背景

● 山西某矿应用





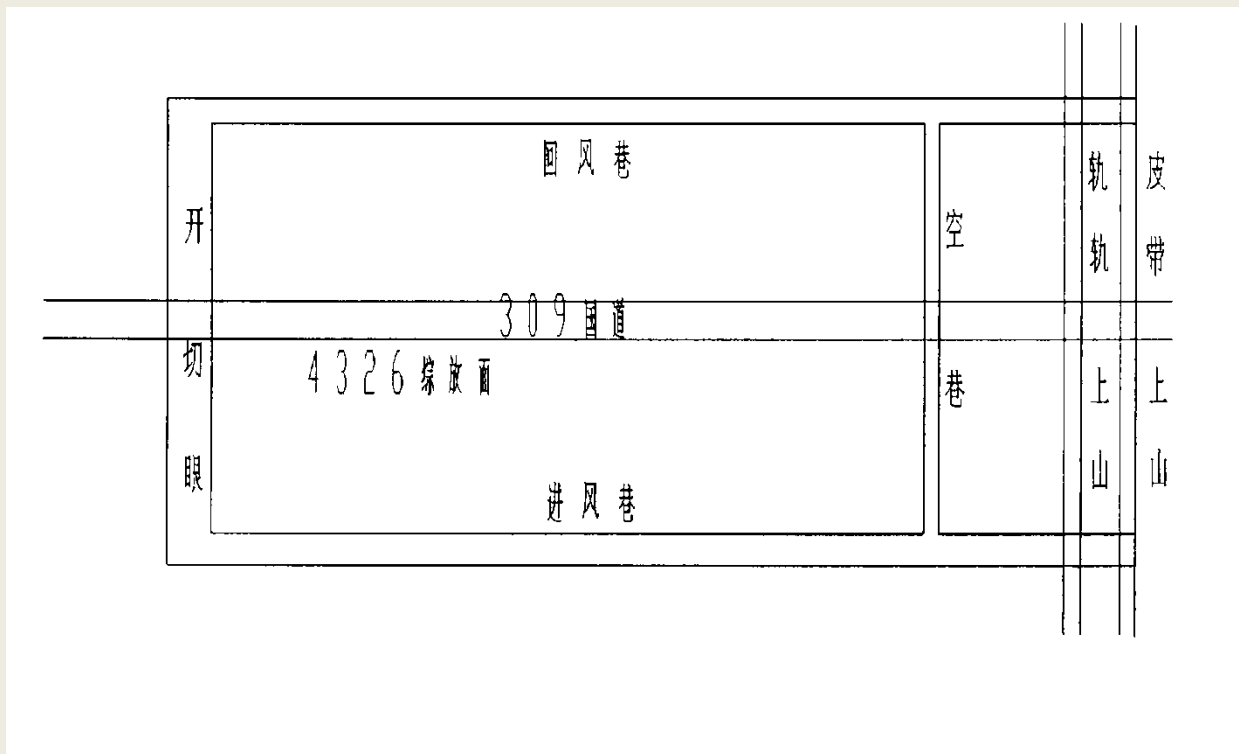
中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY



高水材料充填空巷技术

4 高水材料充填空巷技术

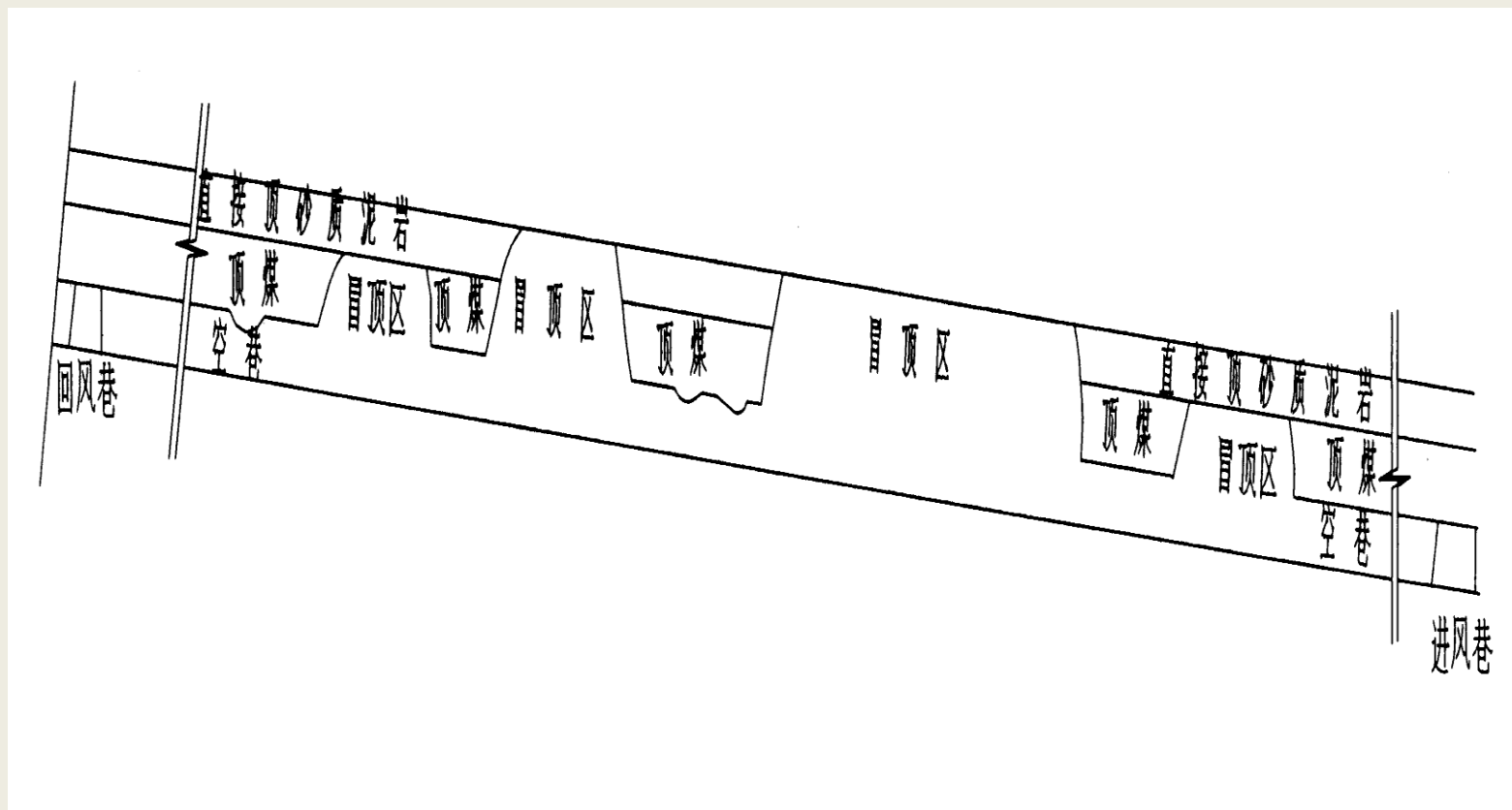
● 案例一



潞安集团某矿，综放工作面面长270m、前方有1条空巷、巷道沿底板掘进。

4 高水材料充填空巷

● 案例一



冒顶高度最高9m、长度130m。

4 高水材料充填空巷

● 案例一

采煤机截割充填体情况



形成人工假顶

4 高水材料充填空巷

● 案例二

潞安集团某矿，15100工作面采高4.5m，直接顶为泥岩厚8m，工作面内存在2条切眼，1#切眼7.6m宽，4.5m高，长度150m，采用锚杆、锚索支护，木垛加强支护。工作面机头距1#切眼不足1m位置、机尾距切眼8m时，工作面顶板压力显现剧烈，机头10架支架被压死，机头方向60m变形严重，顶底板移近量2.5m~3m，木垛变形严重，人员无法进入；机尾方向90m巷道变形相对较小。

4 高水材料充填空巷

● 案例二

切眼机头60m段高水材料的水灰比4:1（1t材料可充填4.3m³），机尾90m段高水材料的水灰比 6:1（1t材料可充填6.3m³），浆液初凝速度较快，基本在十分钟以内。4:1水灰比浆液充填3~5天后工作面可回采，6:1水灰比浆液充填7天后工作面可回采，回采时工作面顶板得到了很好控制，充填体完整性较好，煤壁无片帮现象。

4 高水材料充填空巷

● 案例二



高水材料充填体回采效果图



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY



无机材料防灭火技术

5 无机材料防灭火技术

5.1 无机材料防灭火原理

- ◆无机防灭火材料浆液固结体覆盖、固结破碎煤岩体，将破碎煤体与空气隔离，阻止破碎煤体进一步氧化。
- ◆无机防灭火材料含水量达95%~97%，浆液吸收大量热量，降低煤体温度；遇到高温煤岩体，水份气化消耗大量能量，也能迅速降低煤体温度，有效抑制煤层自燃。
- ◆无机防灭火材料浆液渗透性强、流动性好，能有效充填裂隙，防止漏风，防止破碎煤体自燃。

5 无机材料防灭火技术

5.2 应用案例

介休某矿100202工作面在回撤期间，102架架间出现明火，CO浓度最高达到800ppm，插管注水，消除了明火现象，但是工作面80-129架架间、架顶、架尾均查到CO，最高浓度为100ppm，向100202工作面采空区压注无机防灭火材料，有效控制了采空区遗煤的氧化自燃。3天向80-129架后注无机防灭火材料15t，上隅角CO浓度控制在10ppm以内，确保了工作面的安全回撤。

5 无机材料防灭火技术

5.2 应用案例

徐矿集团72206工作面，回采期间揭露一断层，造成120架至136架架后采空区有遗煤，回撤期间，上隅角和134架架间查到一氧化碳，浓度每天升高，向120架至136架采空区打钻孔注无机防灭火材料，2天共注高水无机防灭火材料26t，注浆后134架与135架架间一氧化碳由220ppm降为8ppm，工作面上隅角一氧化碳由50ppm降为3ppm，一氧化碳气体得到有效控制，确保了72206工作面安全回撤。



中国矿业大学
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

谢谢！