

# 个人简介



黄英华，正高级工程师/博士，长沙矿山研究院有限责任公司，矿山安全事业部总经理。长期从事非煤矿山采矿工艺和矿山地质灾害防治等方面的科研与咨询工作。参加包括973、湖南省重大专项、湖南省安委会挂牌督办隐患治理、国家安全生产监督管理局四个一批在内70多项科研课题。共获得各类科技奖励14项、专利20多项、软件著作权3项，发表论文40多篇。全国非煤矿山安全生产专家，中国有色金属学会杰出工程师。





**中国五矿**

**长沙矿山研究院有限责任公司**  
CHANGSHA INSTITUTE OF MINING RESEARCH CO.,LTD

# 金属非金属矿山采空区探测与治理

**黄英华 正高级工程师**

**长沙矿山研究院有限责任公司**  
**金属矿山安全技术国家重点实验室**



长沙矿山研究院有限责任公司  
CHANGSHA INSTITUTE OF MINING RESEARCH CO.,LTD



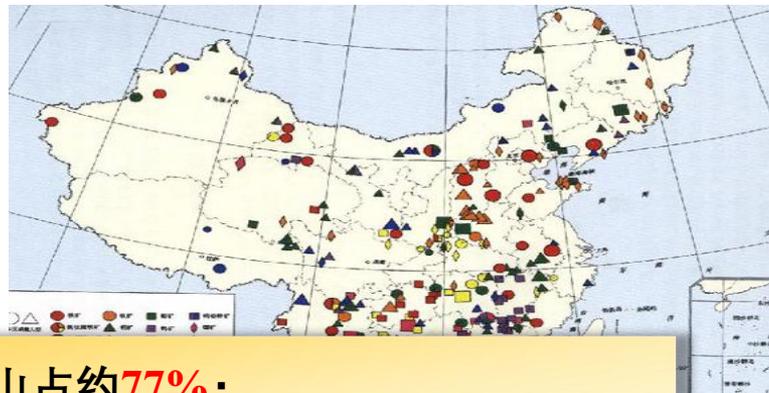
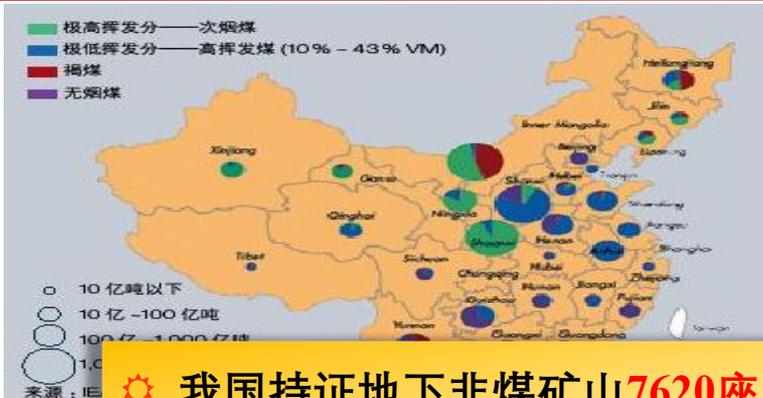
# 目 录

- 一、金属非金属矿采空区现状及危害
- 二、采空区调查与探测
- 三、采空区安全风险分级
- 四、采空区灾害综合治理技术与应用
- 五、结语与展望

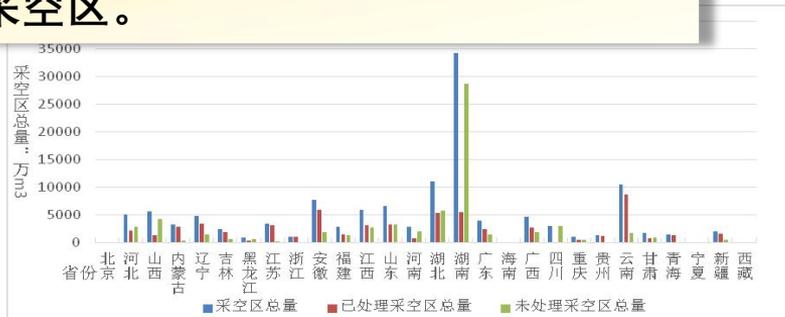
# 1

# 金属非金属矿采空区现状 及危害

# 一、金属非金属矿山采空区现状及危害



- ☀ 我国持证地下非煤矿山**7620座**，小型矿山占约**77%**；
- ☀ 我国金属非金属地下矿山采空区规模约**12.8亿m<sup>3</sup>**；
- ☀ 在矿产富省山西省，国土面积**1/8**下有采空区。



全国金属非金属采空区统计



# 一、金属非金属矿山采空区现状及危害



长沙矿山研究院有限责任公司  
CHANGSHA INSTITUTE OF MINING RESEARCH CO.,LTD

## 我国金属非金属矿山采空区主要特点及存在问题

- 未处理采空区积压量大，造成采空区总体规模庞大，且每年以几千万方的速度增长；
- 由于历史原因，各省存有大量的不明采空区和无主采空区；
- 70%以上矿山存在不同程度的采空区安全隐患，其中，以建材和化工矿山最为严重；
- 由于部分中小型矿山不规范开采，未按设计施工或无设计施工，造成采空区复杂、重叠、交错、连通现象普遍，且技术资料严重缺失。
- 受民采干扰，破坏严重，致使采空区情况不明，治理难度加大。
- 老矿山采空区治理成为历史遗留问题，残矿回采增大了采空区的安全隐患；
- 采空区技术资料严重缺失。

# 一、金属非金属矿山采空区现状及危害

随着采空区暴露时间的增加，其稳定性逐渐降低，再加上外界各种扰动载荷的影响，易发生**采空区危害**：

**直接危害**-冒顶片帮，冒顶片帮事故死亡人数占矿山事故的9%



冒顶片帮事故是主要事故类型之一，严重威胁矿山安全生产

**突发性** + **隐蔽性** + **关联性** + **规模化**

**诱发危害**-采空区失稳诱发的冲击波、透水、矿震、塌陷



2015年12月25日，山东省平邑县万庄石膏矿区发生采空区坍塌事故，造成1人死亡，13人失踪。事故发生过程中，监测到**M2.4级地震**、**M3.5级地震**，地面产生起伏波动塌陷变形



2005年11月6日，河北省邢台县尚汪庄石膏矿区发生采空区坍塌事故，造成33人死亡，4人失踪。**塌陷区**直径约60米，600米×800米范围内地面出现裂缝，地面一幢二层楼坍塌



2016年3月23日，山西同生安平煤业发生顶板垮落事故，造成20人死亡。放顶导致**采空区大面积垮落形成冲击波**，撞击高压电缆产生电火引爆瓦斯



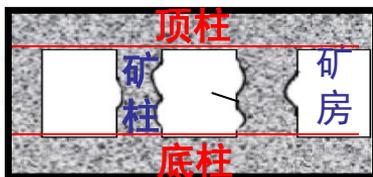
2021年6月10日，山西省代县大红才矿业发生透水事故，造成13人死亡。降雨汇水沿塌陷坑进入**采空区**，水压不断增大，突破薄弱矿层导致**透水**

# 一、金属非金属矿山采空区现状及危害

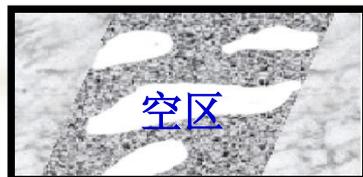
## 隐患资源

非煤矿山存有采空区安全隐患矿产  
占现有矿山资源总量的30-35%

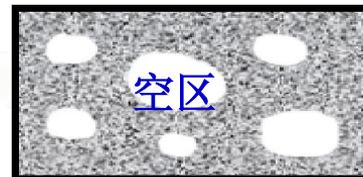
两步骤多阶段  
回采留下矿柱



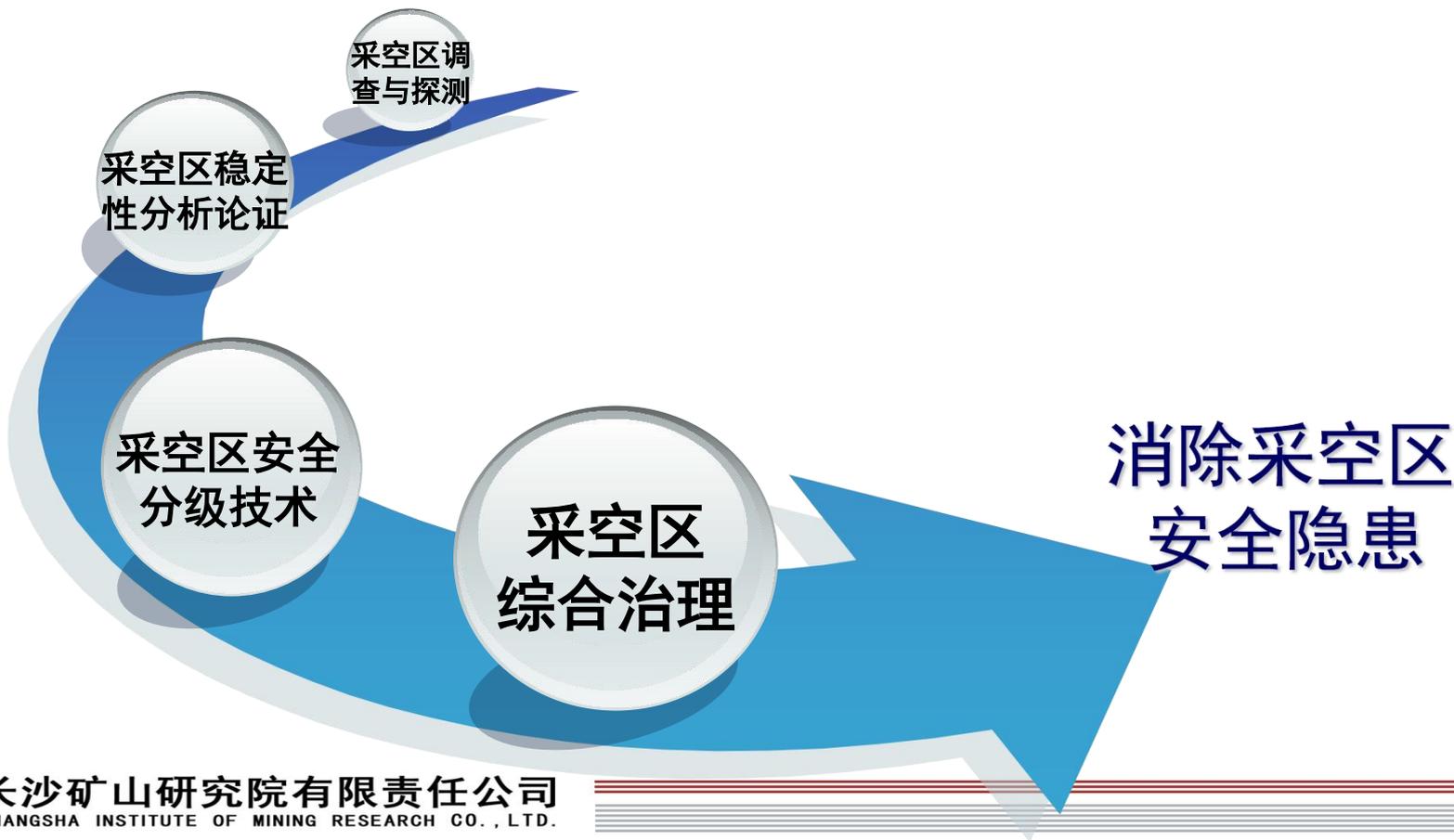
无序开采采富  
弃贫所弃矿产



民采群采乱采  
滥挖所弃矿产



# 一、金属非金属矿山采空区现状及危害

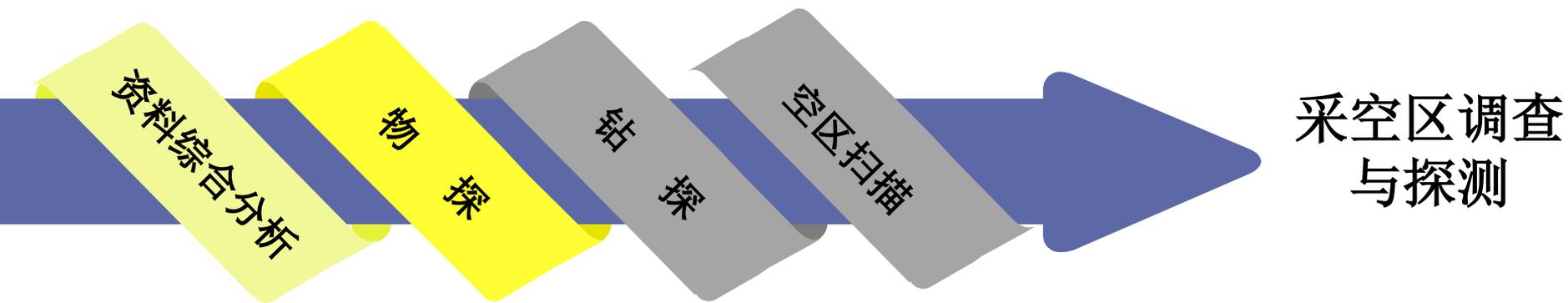


# 2

# 采空区调查与探测

## 二、采空区调查与探测

从具体探测手段来看，目前，国外对于地下空洞的探测一般是以物探为主，钻探为辅助，我国非煤矿山开采形成的采空区由于历史原因，大多未进行有效治理而处于废弃状态，且无相关空区资料，探测难度极大，基本以钻探为主，物探为辅。



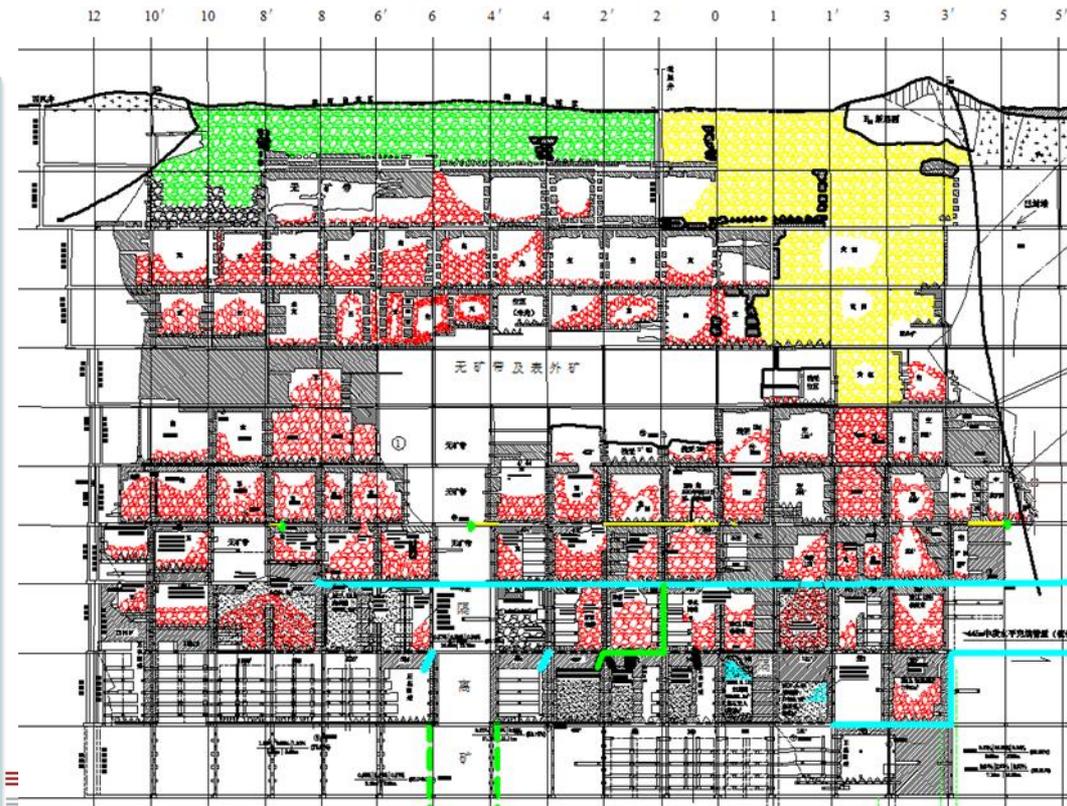
### 资料综合分析

#### ➤ 历史资料的搜集:

- 地质平、剖面图;
- 中段平面图;
- 开采纵投影图等。

#### ➤ 资料的综合分析:

- 开采区域;
- 充填情况;
- 空区跨塌情况;
- 空区大致/准确位置和形态。



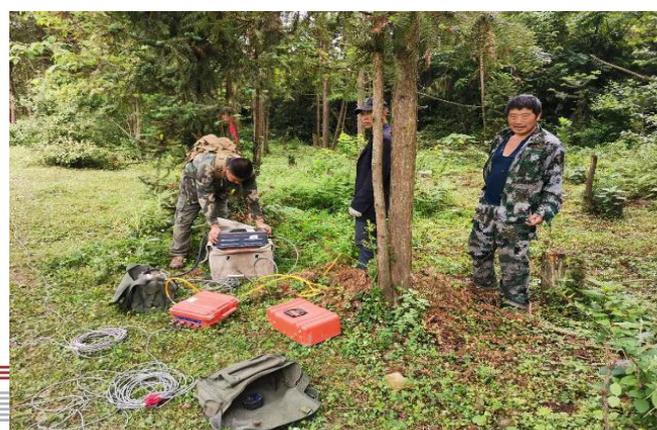
## 二、采空区调查与探测

### 主要物探方法

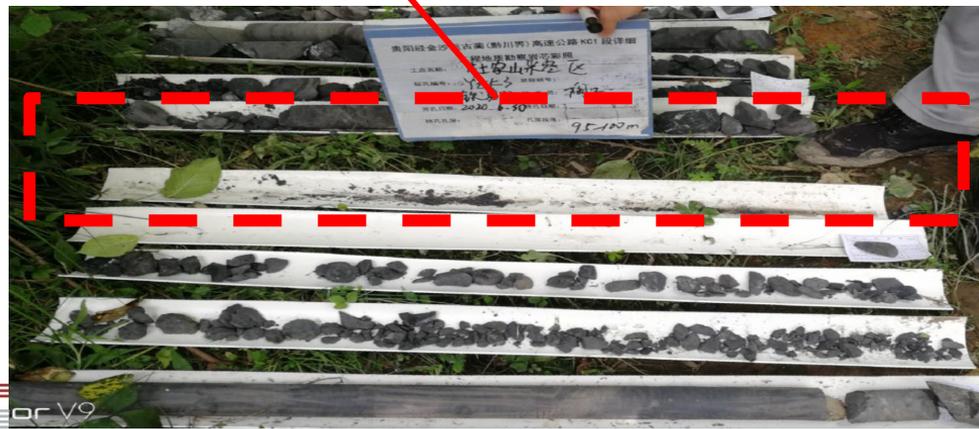
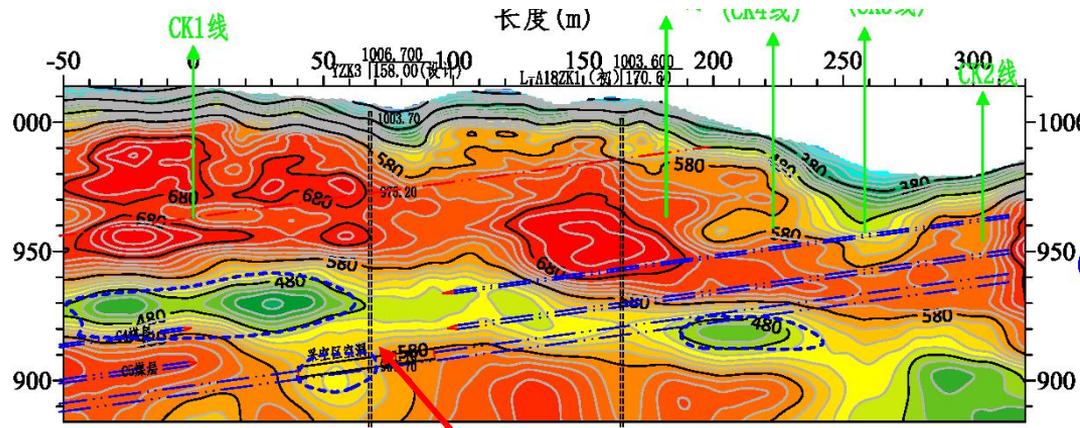
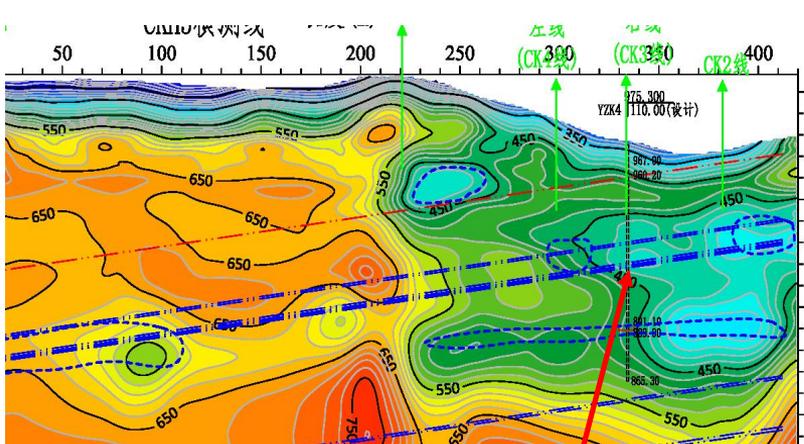
基于物理场	具体方法	备注
弹性波场	反射波法	地震波法
	折射波法	
	等偏移距（地震映象）法	
	面波法	
	弹性波层析成像（声波、地震波）	
直流电场	高密度法	直流电法
	电剖面法	
	电测深法	
	三维电法	
电磁波场	瞬变电磁法	电磁法
	EH-4法	
	地质雷达法	
	电磁波层析成像	



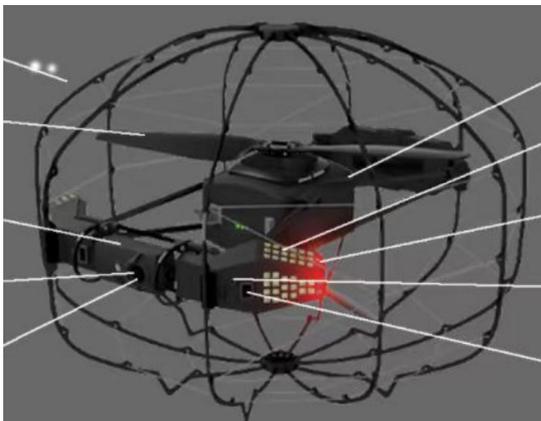
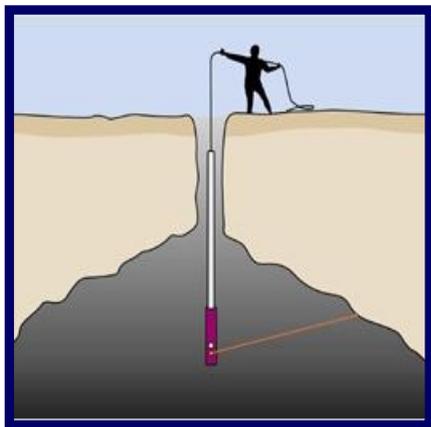
## 二、采空区调查与探测



# 二、采空区调查与探测



### 三维空区探测

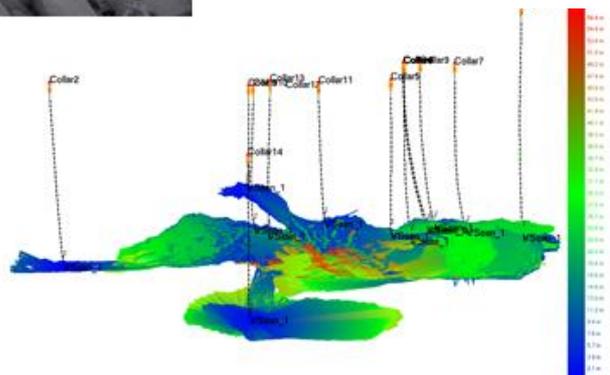
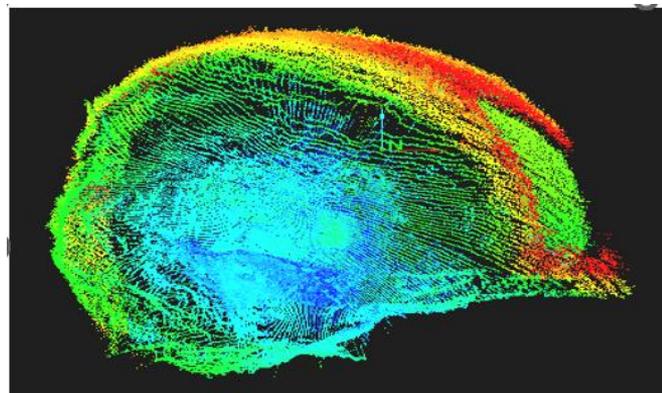
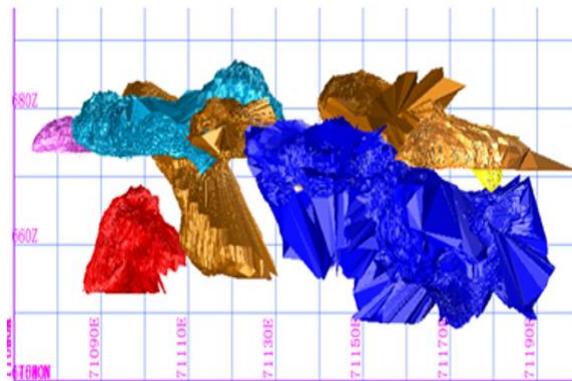


## 二、采空区调查与探测

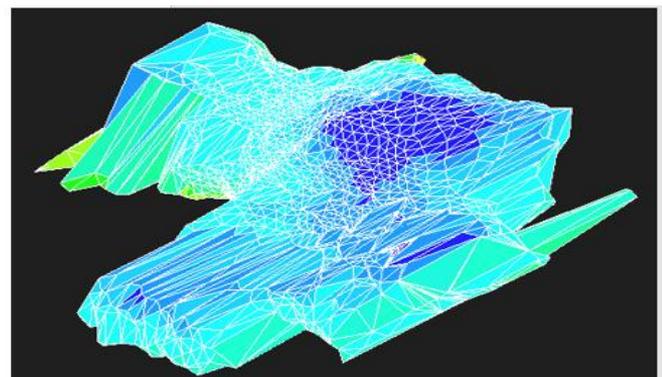


洞穴三维激光扫描仪

## 二、采空区调查与探测



山西某铁矿采空区三维激光扫描现场作业及成果图



河南某钼矿采空区探测图

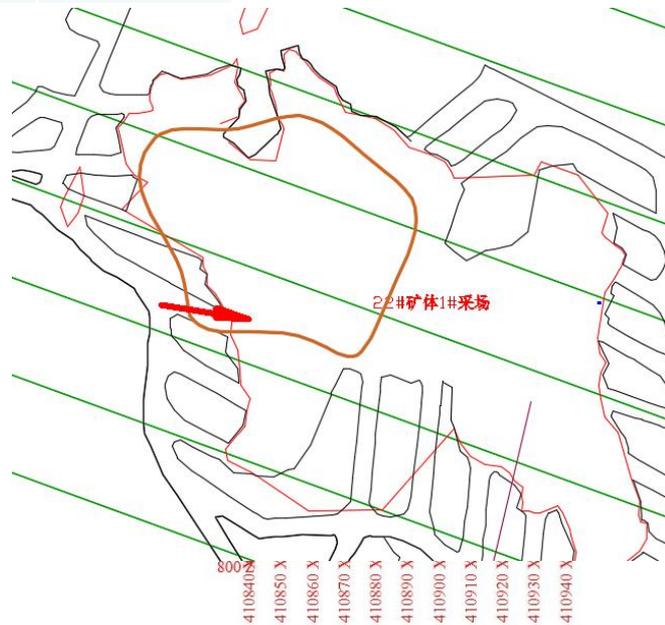
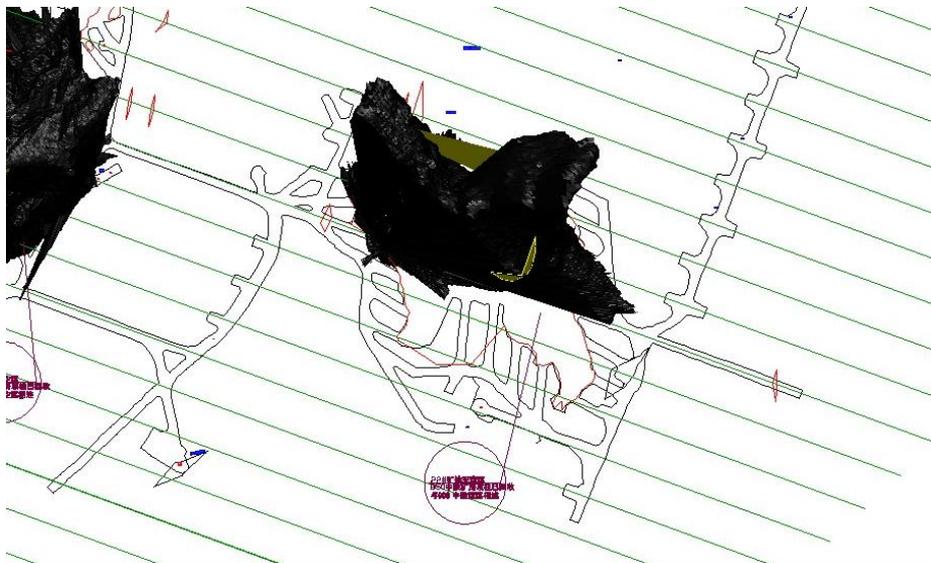
## 二、采空区调查与探测



井下三维激光扫描仪

## 二、采空区调查与探测

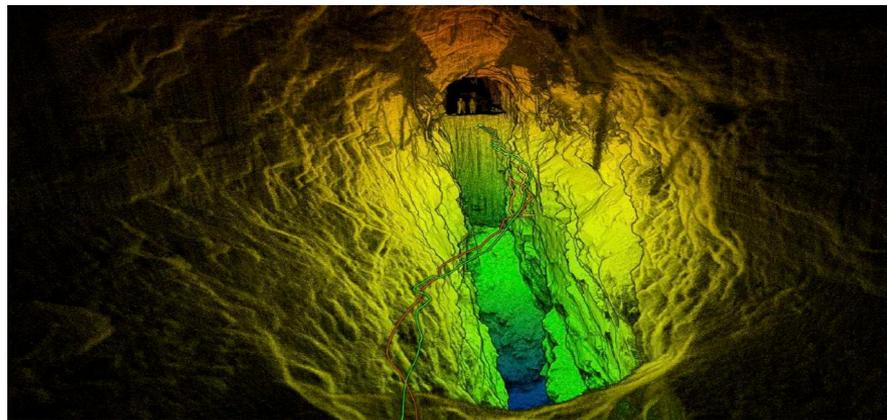
项目	体积	截面面积
台账显示	122849	2511
扫描空区	111238	871



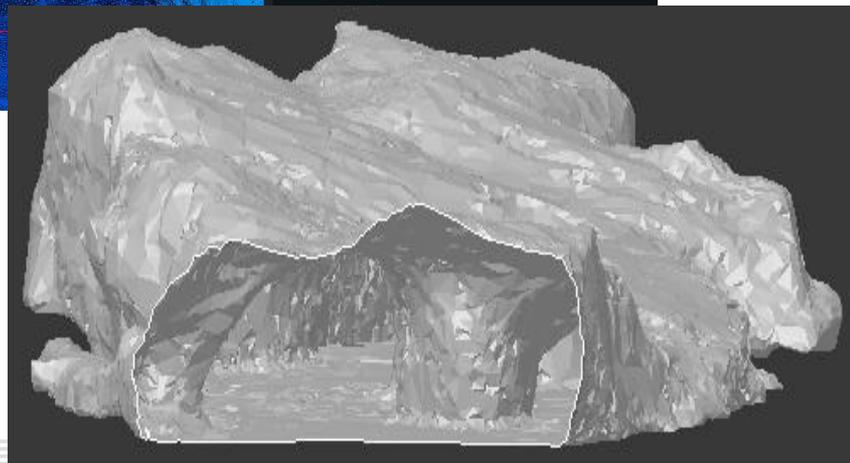
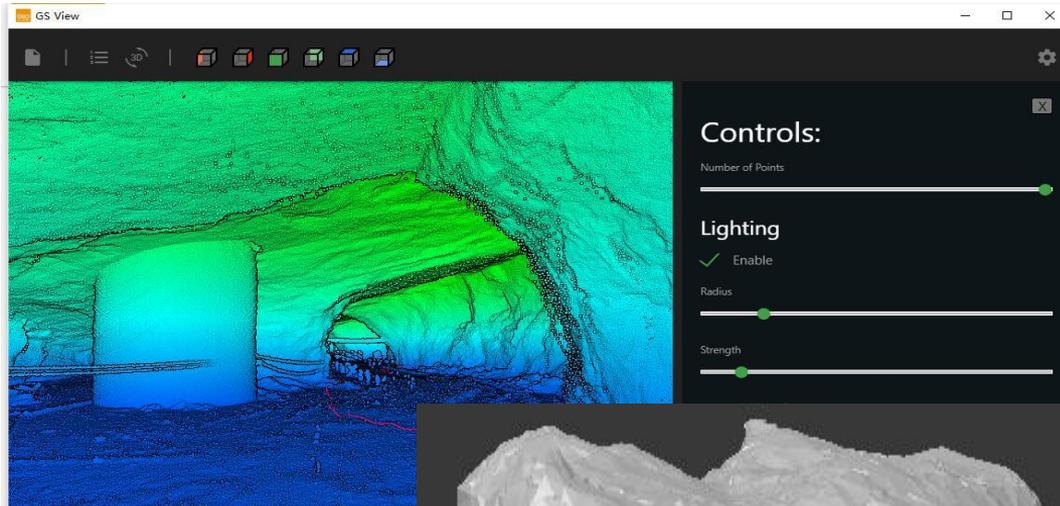
## 二、采空区调查与探测



总重量1.45kg



## 二、采空区调查与探测



# 3

# 采空区安全风险分级

# 三、采空区安全风险分级

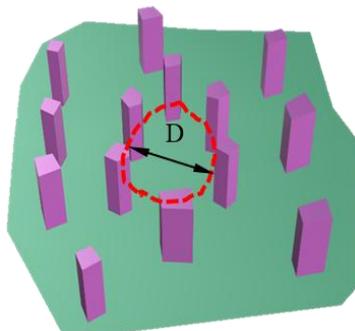
顶板失稳  
风险评估



采空区失稳  
风险评估



矿柱失稳  
风险评估



顶板跨度标准

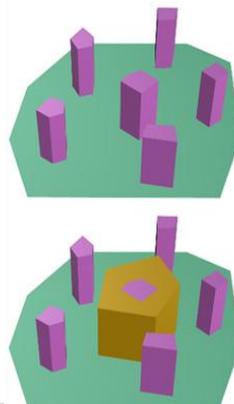
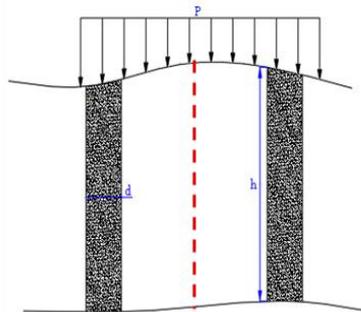
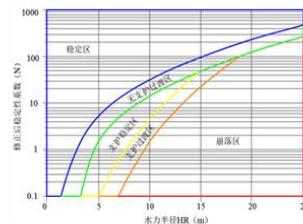
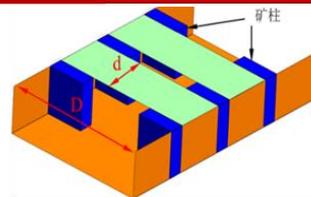
$$D=2Q^{0.66}=2 \times (ESR) \times Q^{0.4}$$

$$d_1, d_2, d_2, d_3, \dots, d_n$$

稳定性系数标准

$$N=Q' \times A \times B \times C$$

$$n_1, n_2, n_2, n_3, \dots, n_n$$



安全系数标准

$$F = \frac{S_L [0.64 + 0.36 \left( \frac{W_P}{h} \right)]}{rz \left( 1 + \frac{W_0}{W_P} \right) \left( 1 + \frac{L_0}{L_P} \right)}$$

$$f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$$

# 三、采空区安全风险分级

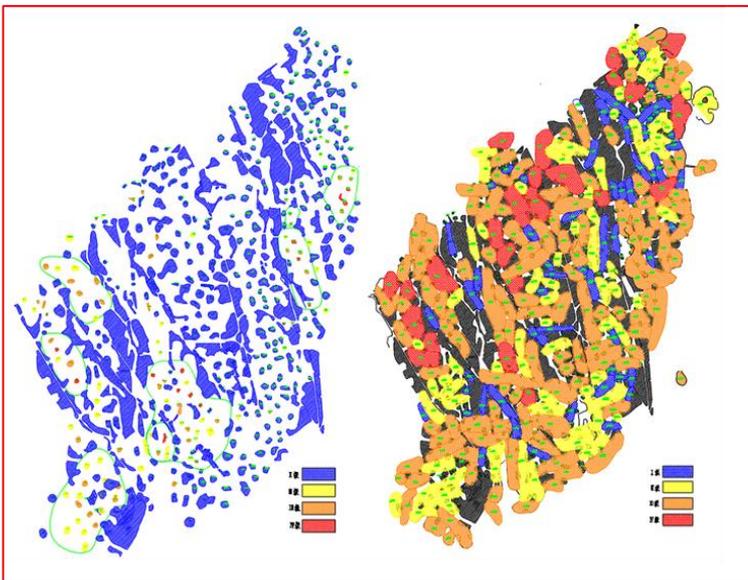
## ◆ 采空区风险等级划分：

低风险、一般风险、较大风险、重大风险

## ◆ 确定原则：最不利原则

根据矿柱安全系数、顶板跨度、稳定性系数三个等子因素的风险评价结果，取三者中最低等级

稳定性系数N	风险等级
稳定区	低风险
无支护过渡区	一般风险
支护稳定区	较大风险
支护过渡区或崩落区	重大风险



矿柱安全系数F	风险等级
$F \geq 1.5$	低风险
$1.2 < F \leq 1.5$	一般风险
$1.0 < F \leq 1.2$	较大风险
$F < 1.0$	重大风险

顶板跨度ESR	风险等级
$ESR \leq 1.6$	低风险
$1.6 < ESR \leq 2.0$	一般风险
$2.0 < ESR \leq 3.0$	较大风险
$F > 3.0$	重大风险

ICS 13.100  
D300

**DB43**

湖南省地方标准

DB43/T 1385—2018

金属非金属矿山采空区安全风险分级标准

Standards of Goal Risk Grading for Metal and Non-metal Mines

DB43/T 1385—2018

——采空区标注由点组成，开槽等标注除外；

——采空区无标注。

5.2 采空区安全风险评价

5.2.1 采空区安全风险评价

5.2.2 采空区安全风险评价

5.2.3 采空区安全风险评价

5.2.4 采空区安全风险评价

5.2.5 采空区安全风险评价

5.2.6 采空区安全风险评价

5.2.7 采空区安全风险评价

5.2.8 采空区安全风险评价

5.2.9 采空区安全风险评价

5.2.10 采空区安全风险评价

5.2.11 采空区安全风险评价

5.2.12 采空区安全风险评价

5.2.13 采空区安全风险评价

5.2.14 采空区安全风险评价

5.2.15 采空区安全风险评价

5.2.16 采空区安全风险评价

5.2.17 采空区安全风险评价

5.2.18 采空区安全风险评价

5.2.19 采空区安全风险评价

5.2.20 采空区安全风险评价

5.2.21 采空区安全风险评价

5.2.22 采空区安全风险评价

5.2.23 采空区安全风险评价

5.2.24 采空区安全风险评价

5.2.25 采空区安全风险评价

5.2.26 采空区安全风险评价

5.2.27 采空区安全风险评价

5.2.28 采空区安全风险评价

5.2.29 采空区安全风险评价

5.2.30 采空区安全风险评价

5.2.31 采空区安全风险评价

5.2.32 采空区安全风险评价

5.2.33 采空区安全风险评价

5.2.34 采空区安全风险评价

5.2.35 采空区安全风险评价

5.2.36 采空区安全风险评价

5.2.37 采空区安全风险评价

5.2.38 采空区安全风险评价

5.2.39 采空区安全风险评价

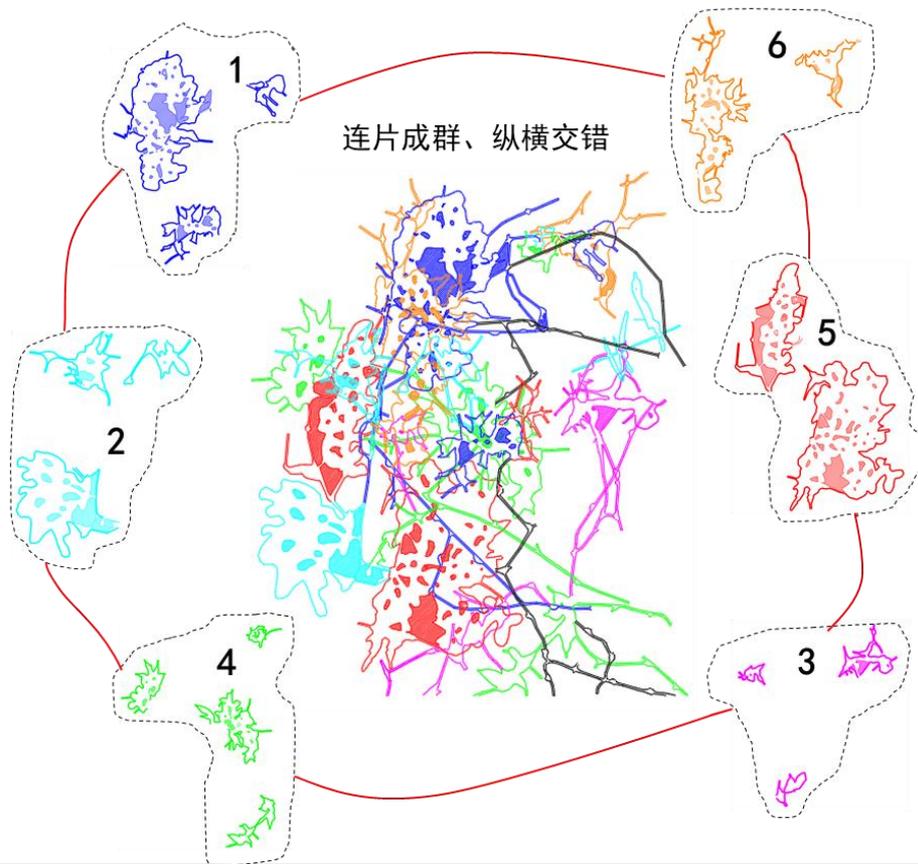
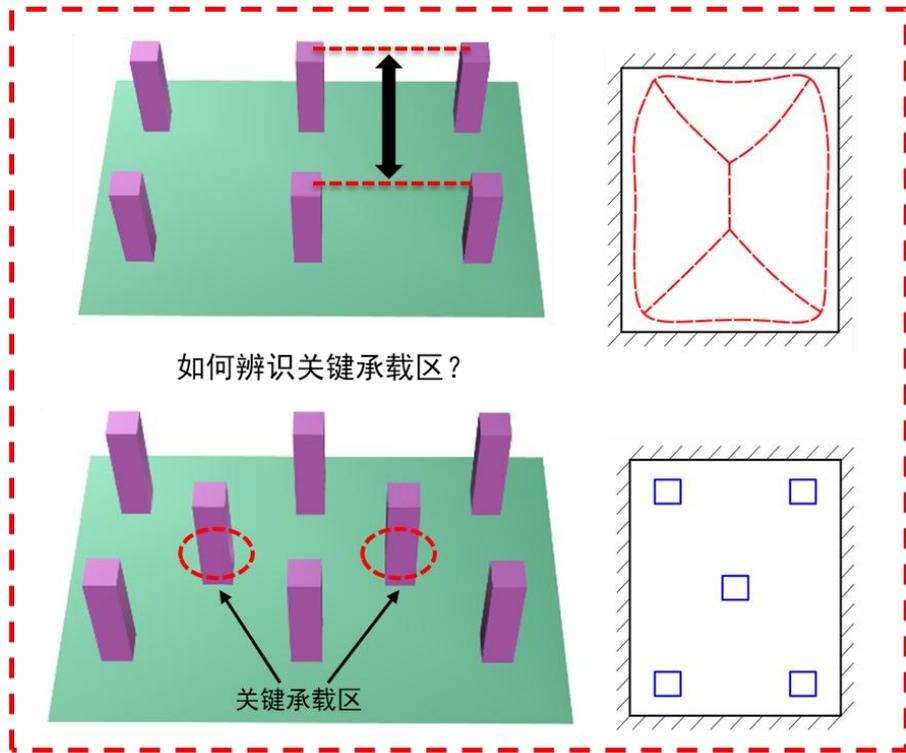
5.2.40 采空区安全风险评价

5.2.41 采空区安全风险评价

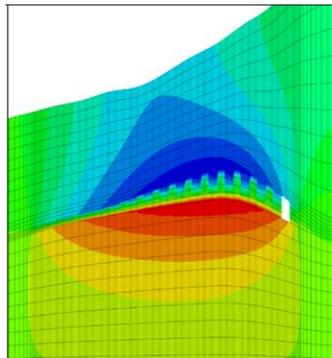
5.2.42 采空区安全风险评价

# 三、采空区安全风险分级

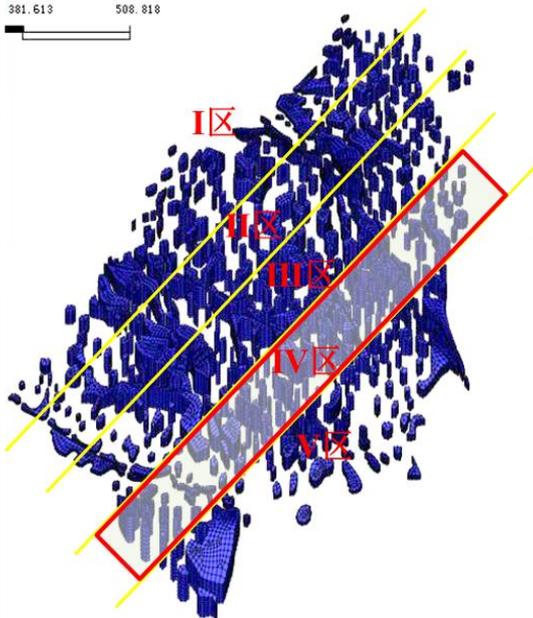
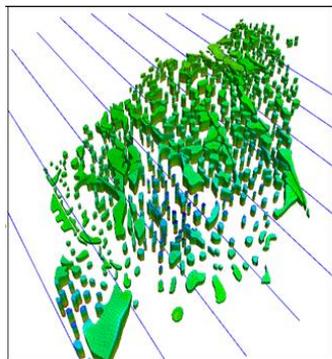
增加支撑可显著改善受力的区域



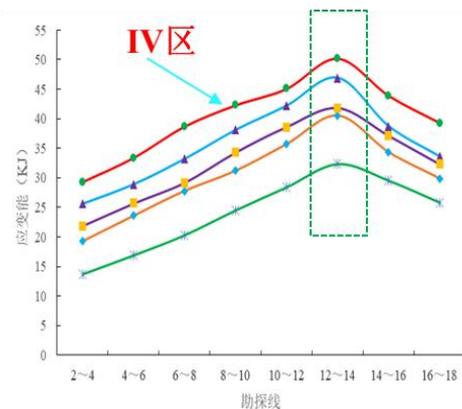
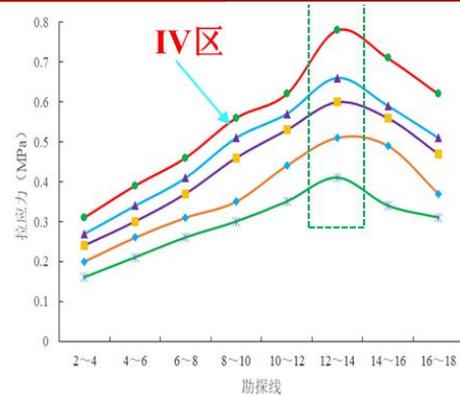
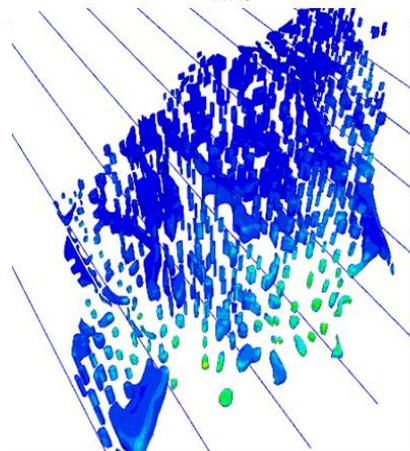
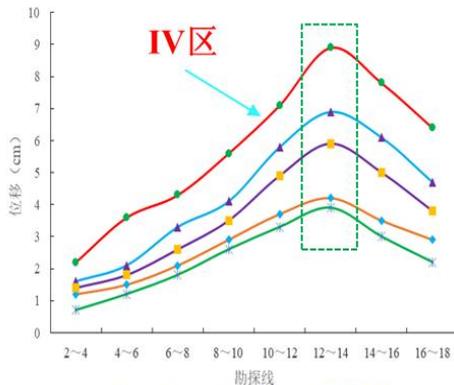
# 三、采空区安全风险分级



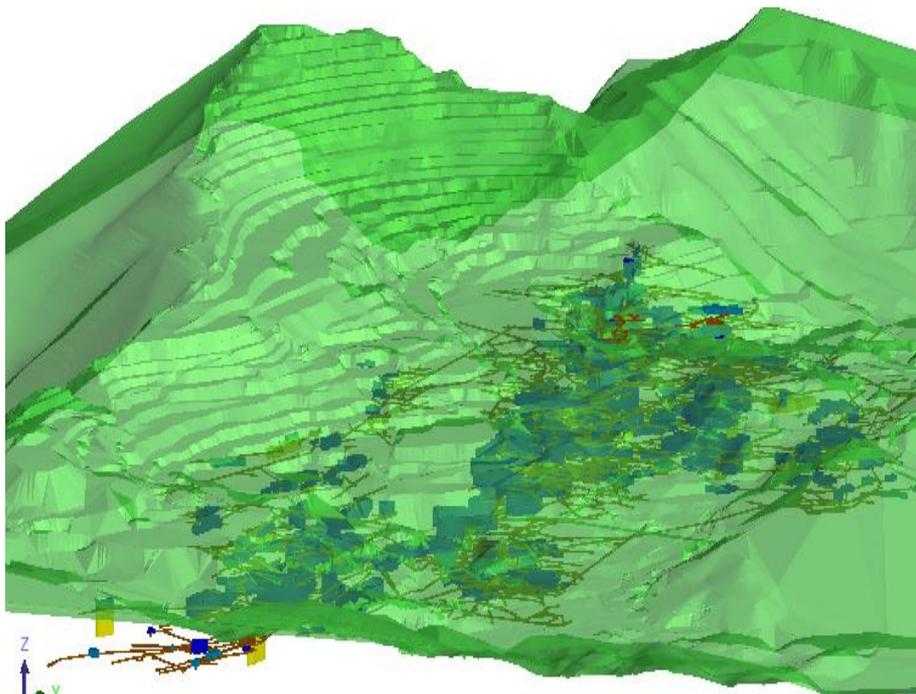
关键承载区辨识



IV区是承载的关键部分



# 三、采空区安全风险分级



安全隔离层主要计算方法

经验类比法

厚跨比法

荷载传递线交汇法

按剪切强度进行估算

按普氏拱理论进行估算

按结构力学梁法进行估算

K.B.鲁别涅依特理论估算法

极限分析法

弹性力学小变形薄板方法

理论分析法

数值计算法

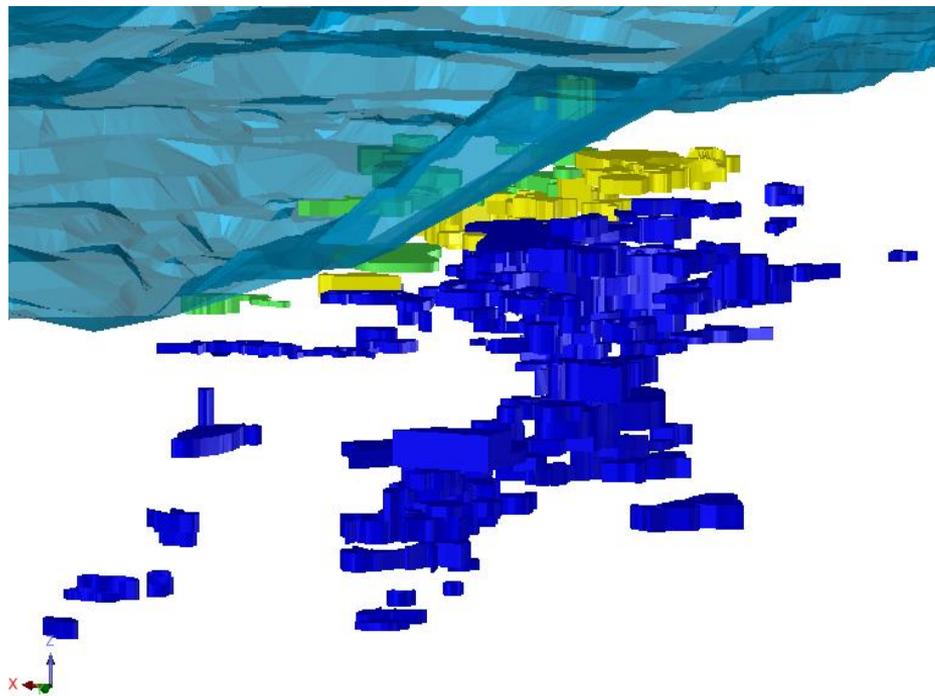
Flac3D3.0

MIDAS GTS 2.6

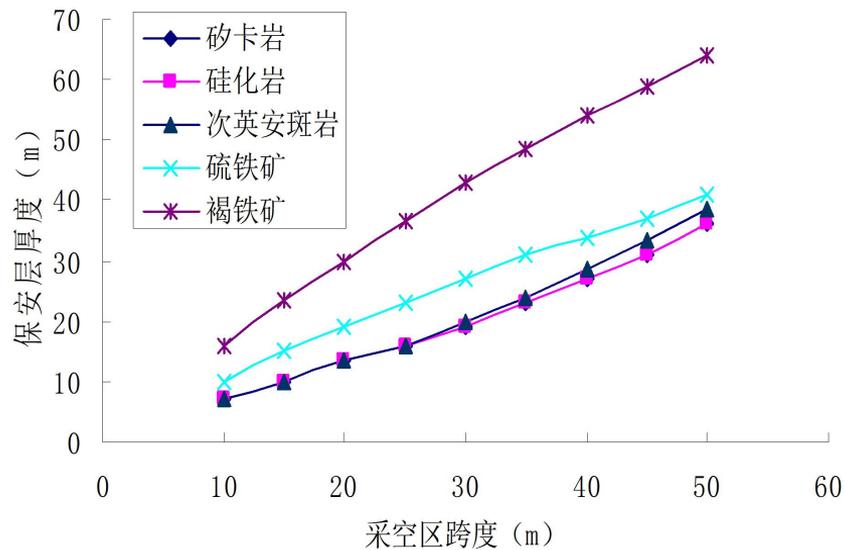
UDEC、3DEC

采空区顶板安全厚度主要计算分析方法框图

# 三、采空区安全风险分级



I、II类采空区与露天边坡现状关系图



不同岩层顶板安全厚度推荐值

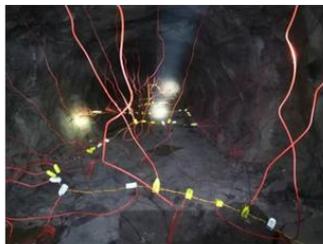
# 4

# 采空区灾害综合治理 技术与应用

# 四、采空区灾害综合治理技术与应用

采空区治理

崩落采空区



塌陷、冲击  
破坏环境



充填采空区



投资  
系统维护



加固采空区



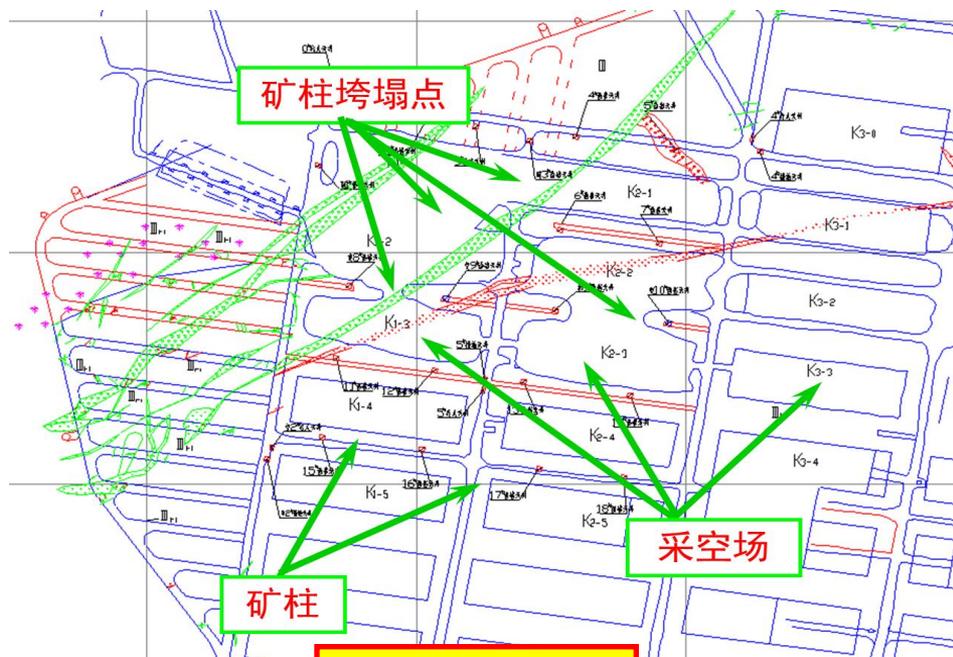
坍塌  
施工风险



## 湖南某多金属矿采空区处理———崩落

- 采用分段凿岩阶段矿房采矿业；
- 形成采空区达360万 $m^3$ ，顶板暴露面积累积达4万 $m^2$ ，空区顶板最大连续暴露面积8000  $m^2$ ；
- 积压矿柱矿石量1300多万吨，约占矿段矿量的60%；

采空区由于时间长，受爆破震动影响及在采空区未经处理的情况下抽采矿柱，地压活动加剧，矿柱不断跨塌，矿山难以维持正常生产。



558分段平面图一角

# 四、采空区灾害综合治理技术与应用

崩落法处理采空区，成本较低、协同回收遗留资源，但施工难度大、破坏环境、易产生冲击或形成悬顶

柿竹园多金属

阶段空场开采

300万m<sup>3</sup>空区

2006年9月21日，装药量184t，爆落矿石50万t

2007年9月24日，装药量308t，爆落矿石62万t

2010年1月16日，装药量821t，爆落矿石188万t

2011年7月9日，装药量437t，爆落矿石130万t

亚洲第一爆 → 世界第一爆



# 四、采空区灾害综合治理技术与应用



## 湖南某多金属矿



## 四、采空区灾害综合治理技术与应用



### 山西某铁矿/广东某多金属矿-----崩落

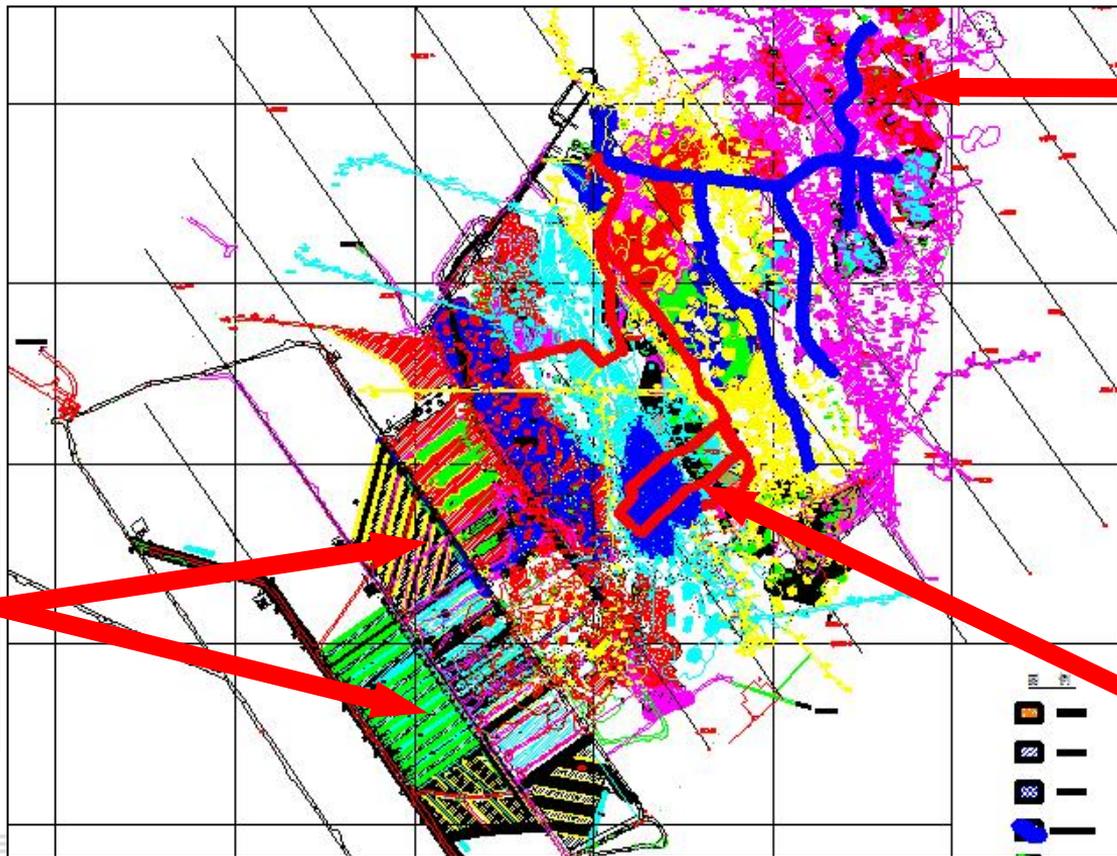
上述两矿为地下转露天矿  
山，由于前期多家民营矿山长  
期的无序开采，致使设计露天  
采场境界内存有大规模采空区，  
且采空区形态复杂，在空间位  
置上层层叠叠，部分采空区已  
经坍塌，引起地表局部塌陷。



# 四、采空区灾害综合治理技术与应用

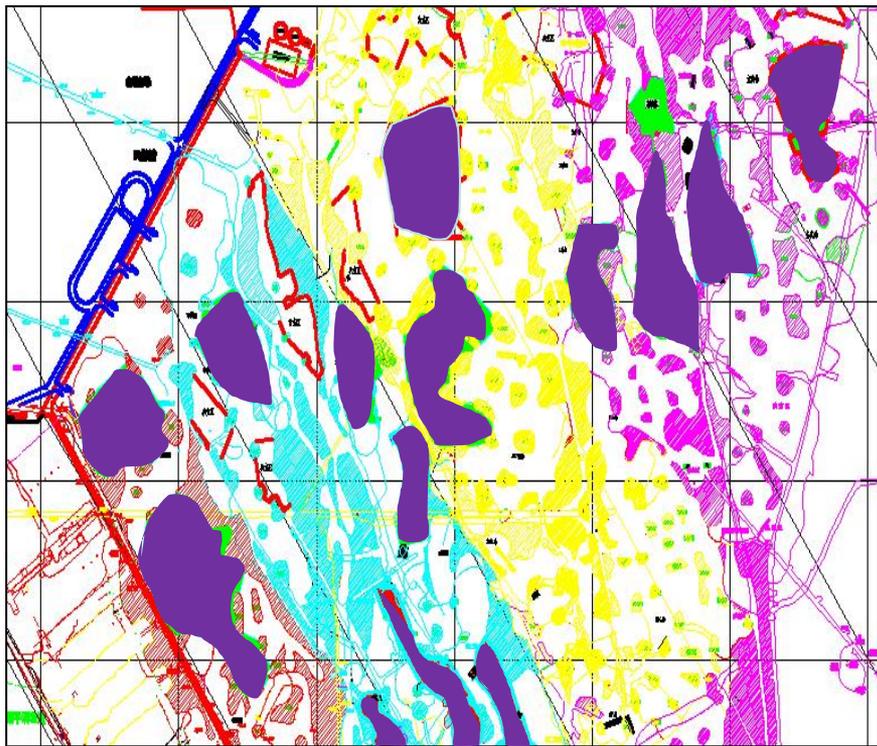
充填处理

西部完整矿体开采规划



安全隐患空区治理

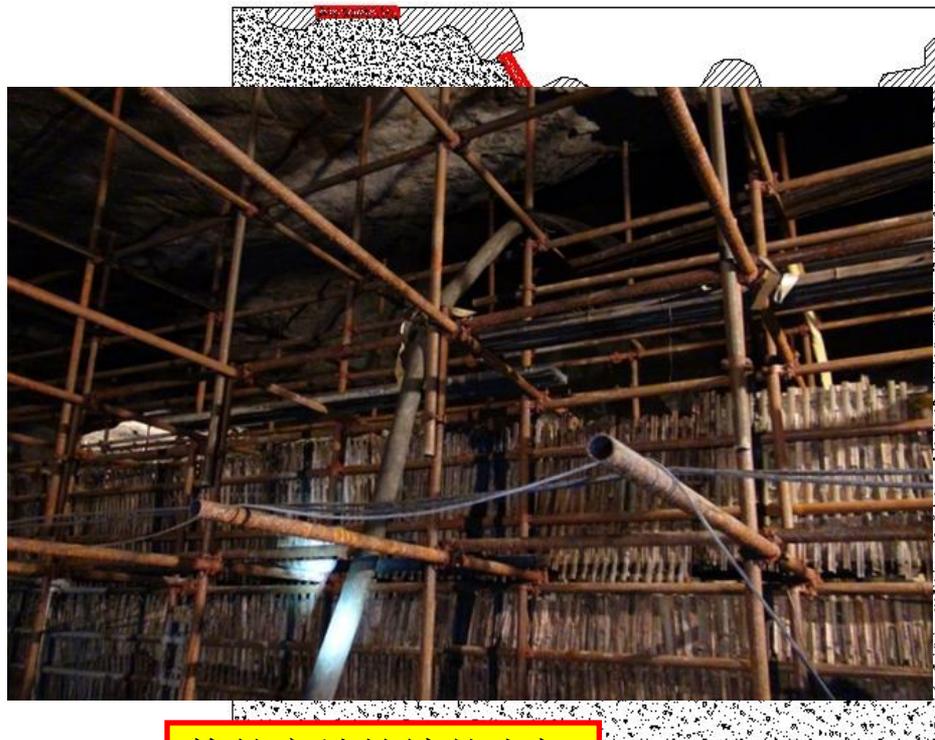
道观保护区充填



## 东部空区治理充填规划

- ▶ 在14-16线充填一部分区域，将东、西部连接的空区隔开，减弱东西部开采影响。
- ▶ 对沿矿体走向的轴部位置空区进行充填，形成一条由东至西的充填体支撑范围，保障沿轴部位置两翼矿柱回采作业安全。
- ▶ 划分矿山首充区、次充区和一、二期充填区域。

# 四、采空区灾害综合治理技术与应用



构筑充填挡墙的支架



充填挡墙及空区充填效果图

充填法回采残矿与空区处理图

## 湘西花垣县铅锌矿区——隔离封堵

由于前期民采和后期矿山的无规划开采，形成的采空区规模约5100万 $m^3$ 。采空区安全隐患主要体现在：

- ◆ 采空区超宽超高；
- ◆ 采空区留设矿柱少、小、不规范；
- ◆ 采空区相互重叠，形成采空区群；
- ◆ 部分采空区积水，存在老窿透水危害；
- ◆ 采空区治理投入不足，基本未治理；
- ◆ 矿山技术力量薄弱，采空区技术资料缺失，造成不明采空区的探测及治理难度增大。

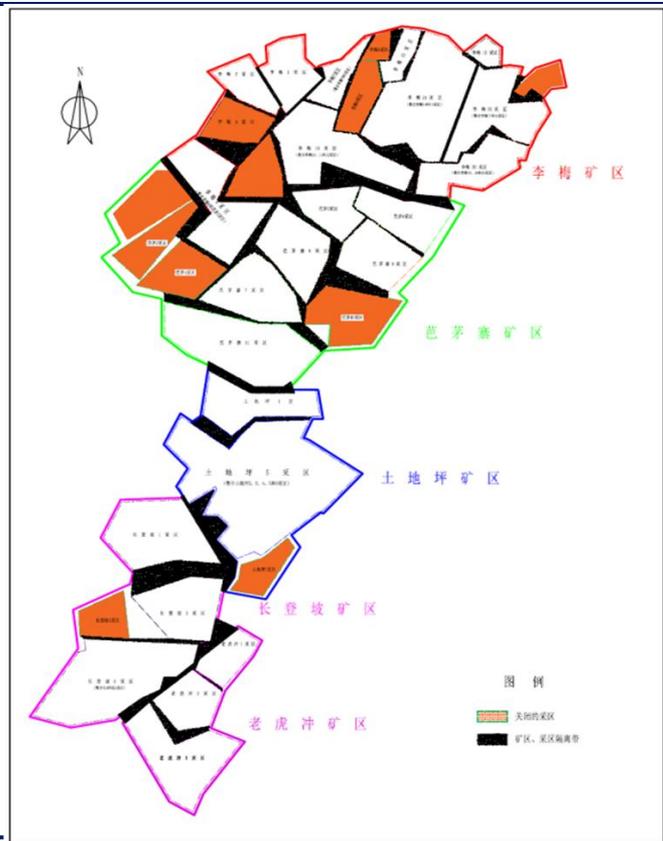


# 四、采空区灾害综合治理技术与应用

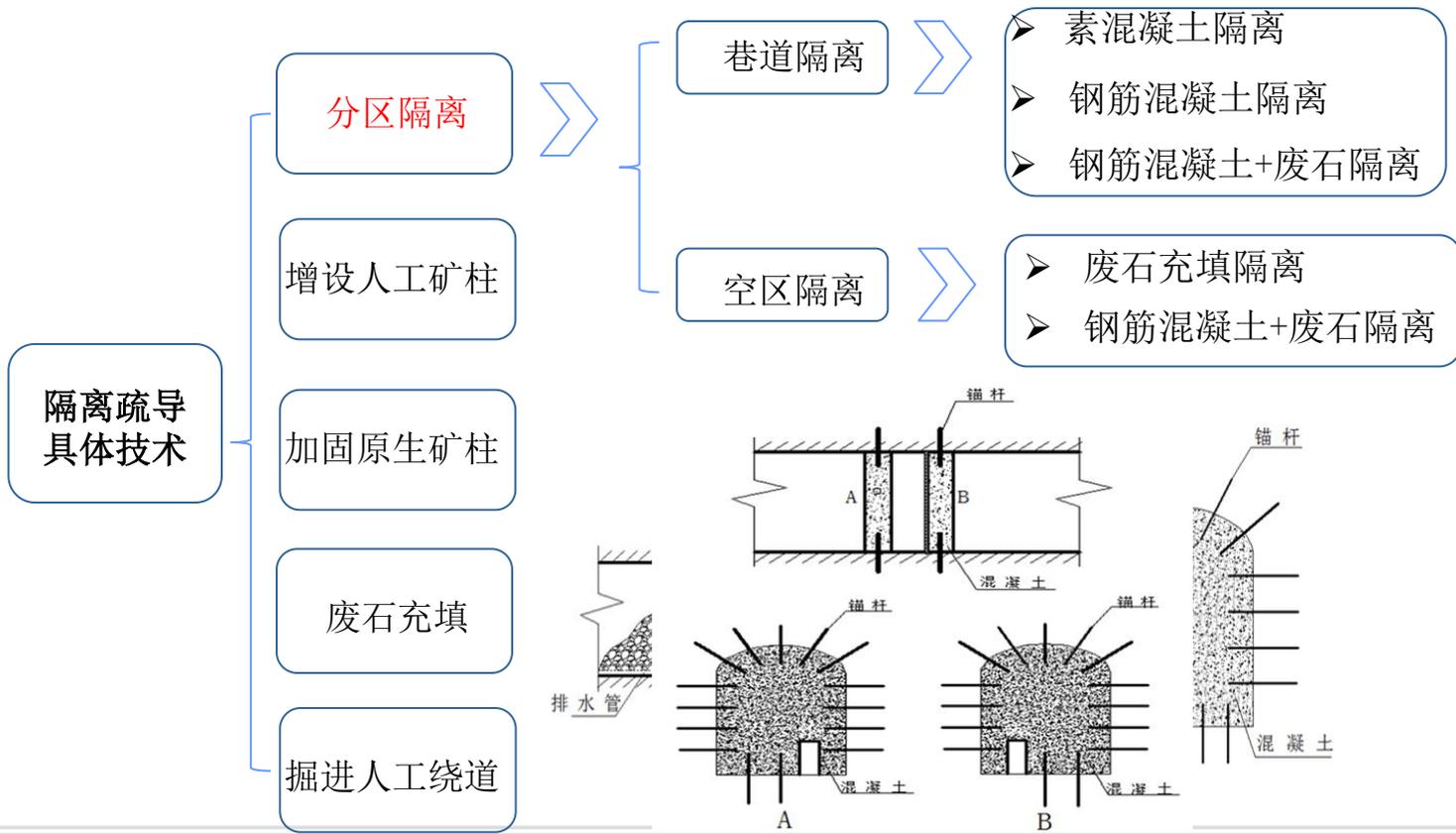
## 湘西花垣县铅锌矿区

采用“**分区隔离、分而治之、先易后难**”的整体治理思路：

- 各矿区、采区之间构筑人工隔离带，消除矿区、采区之间的相互影响；
- 对采空区规模较小、稳定性状况较好的采区，采取封堵隔离、掘进绕道、废石充填、人工矿柱支撑、人工假巷。（**隔离疏导法**）
- 对采空区规模大、分布复杂、危险程度高的采区，采取封堵隔离、尾砂充填，掘进绕道、废石充填、重新布置新的系统等。（**联合法**）
- 在原有采空区隐患周边留设保安矿柱、建立采空区稳定性监测预警系统保证系统安全。



# 四、采空区灾害综合治理技术与应用



# 四、采空区灾害综合治理技术与应用

隔离疏导  
具体技术

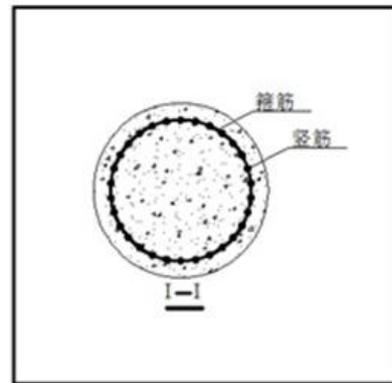
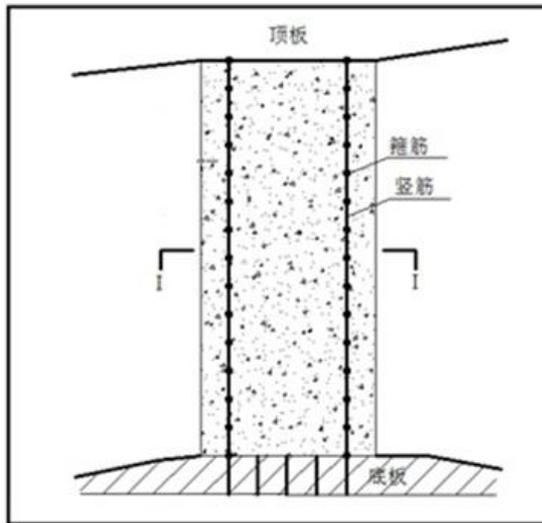
分区隔离

增设人工矿柱

加固原生矿柱

废石充填

掘进人工绕道



# 四、采空区灾害综合治理技术与应用

## 隔离疏导 具体技术

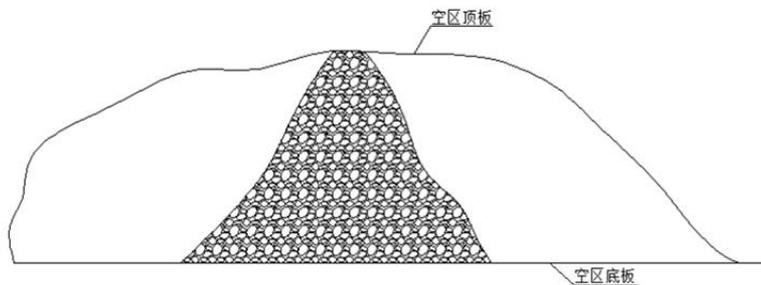
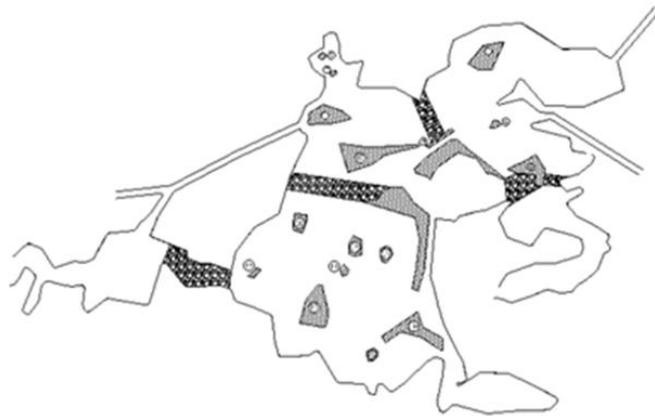
分区隔离

增设人工矿柱

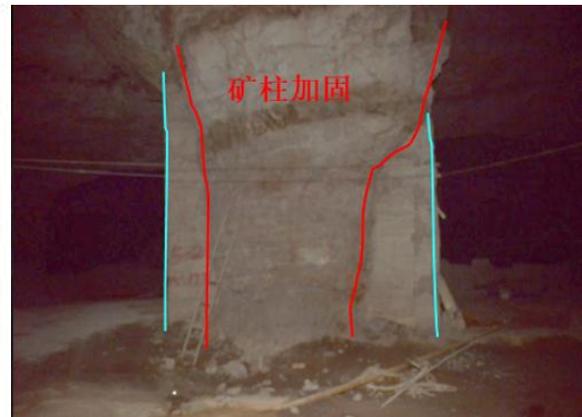
加固原生矿柱

废石充填

掘进人工绕道



# 四、采空区灾害综合治理技术与应用



# 5

# 结语与展望

## 5 灾害防治技术发展前景 — 采矿方法与工艺



本质安全的开采方法

### 充填开采

- ◆ 避免形成空区
- ◆ 减少空场时间

降低扰动  
避免空场  
强化支撑



低扰高效破岩技术

### 非爆破岩

- ◆ 水力压裂
- ◆ 液压破岩
- ◆ 膨胀剂破岩
- ◆ 等离子破岩



快速充填接顶技术

### 空区接顶

- ◆ 材料膨胀
- ◆ 加压注浆



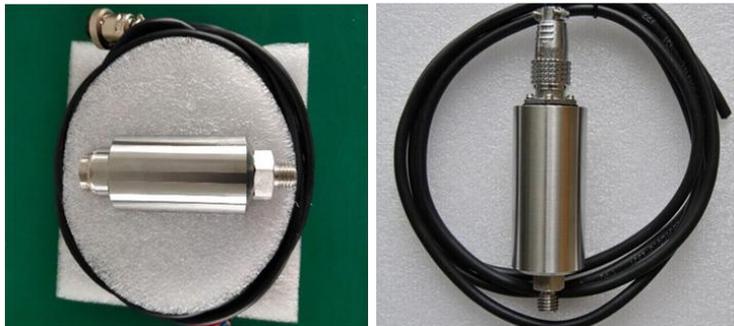
自动化、智能化采掘装备

### 采掘装备

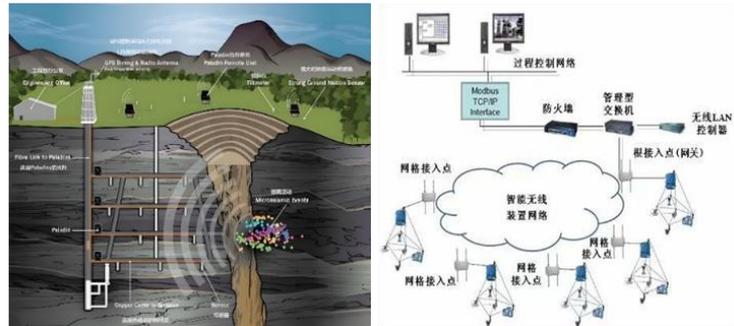
- ◆ TBM施工
- ◆ 5G运输
- ◆ 远程操控

## 5 灾害防治技术发展前景 — 监测预警

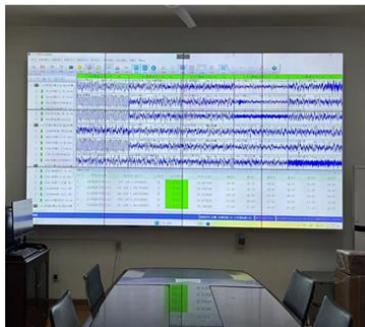
高灵敏度传感器-增加采集精度



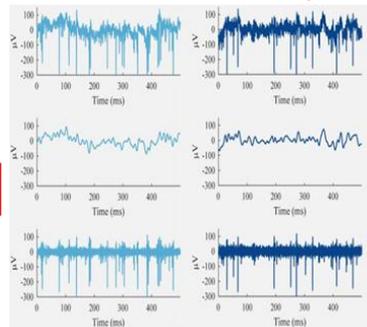
高保真无线传输-增强传输稳定性



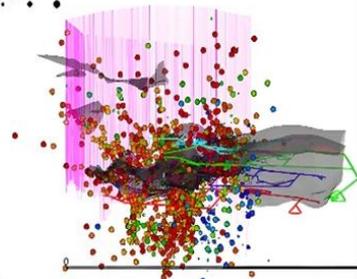
智能监测预警



超前预报预警-及时准确预警



数据自动分析-提高计算效率



谢 谢!

