

# 国家矿山安全监察局 “矿山安全科技进河南” 活动讲座



## 煤矿充填开采技术发展展望

巨峰 教授/博导

中国矿业大学

2025年5月22日

# 汇报提纲

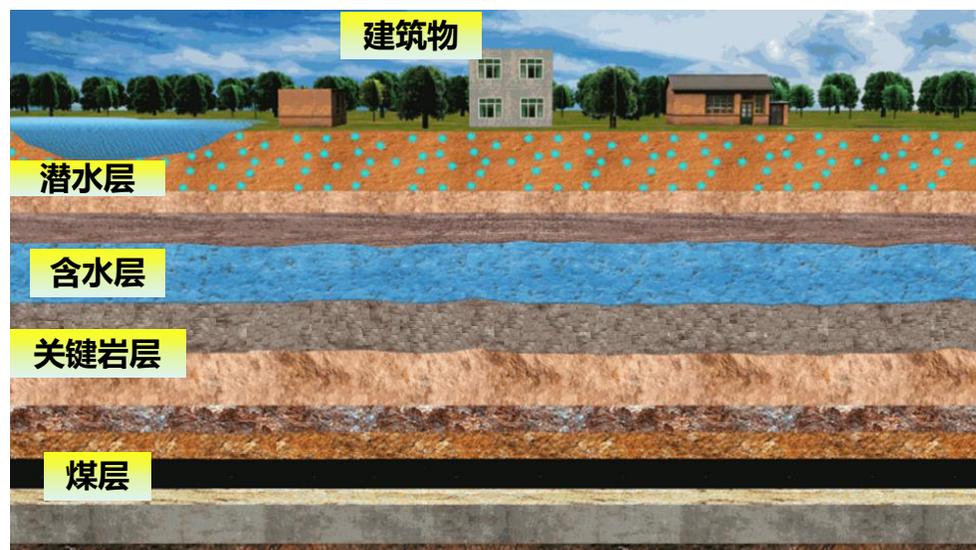
---

- 一、煤矿充填开采及其发展介绍**
- 二、煤矿充填开采主要技术应用**
- 三、煤矿充填开采技术发展方向**

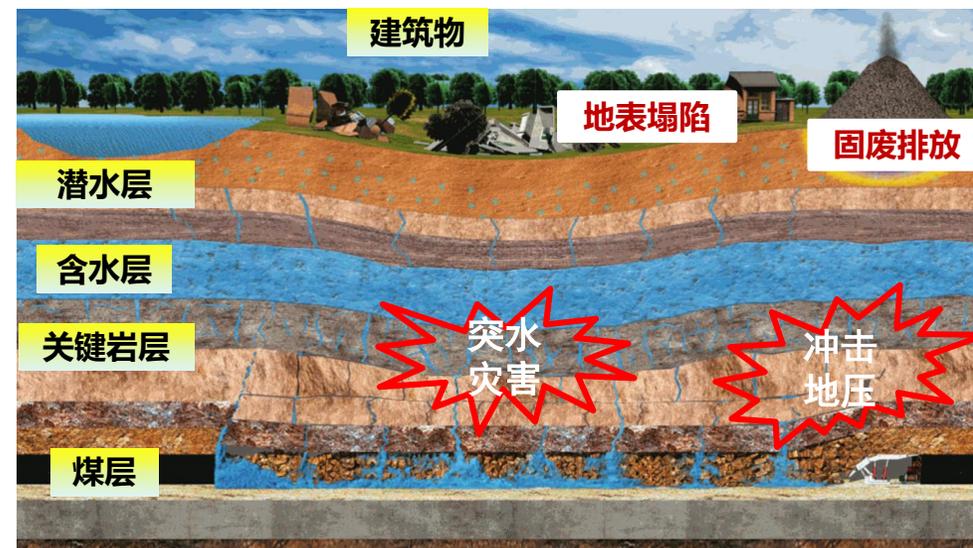
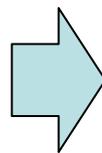
# 一、煤矿充填开采及其发展介绍

## (一) 工程背景

- 煤炭开采存在两大问题：一是开采后地下形成巨大空间（采空区）必然诱发上覆岩层破断移动，由此引发矿山灾害及地表沉陷，破坏生态环境；二是每年排放6~8亿吨矸石等固废，占用土地、污染环境
- 如何从源头上解决以上两大问题，是世界性难题

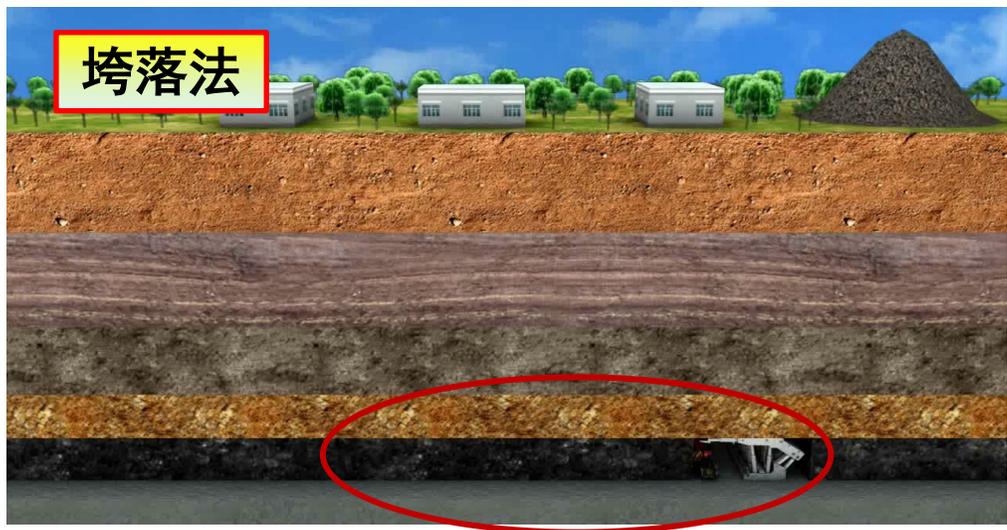


开挖前地层稳定状态



开挖后岩层失稳破断状态

□ 充填采煤是源头防控岩层失稳破断最具代表性的手段，是实现煤矿绿色安全开采的核心技术

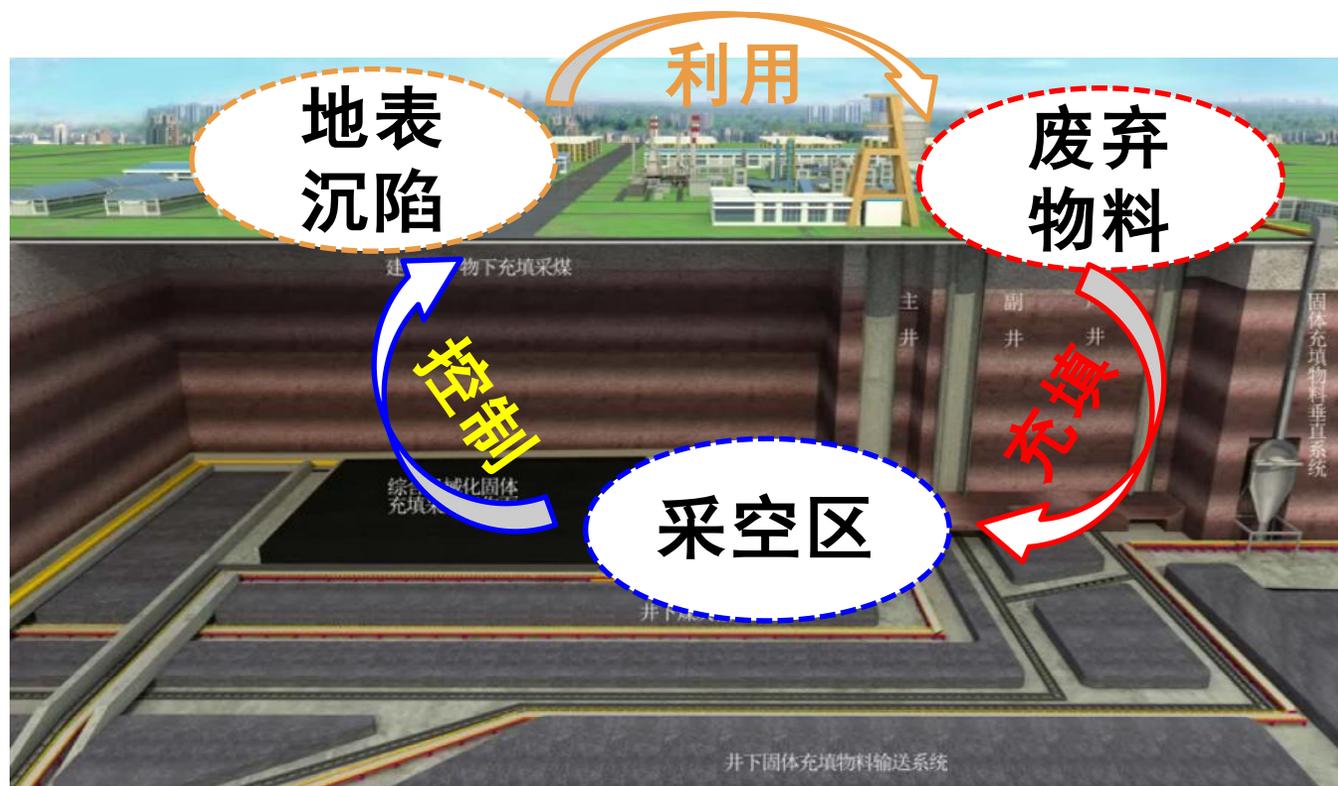


充填采空区



类别	垮落法采煤	充填采煤
研究目标	煤炭安全开采	煤炭开采与环境保护
研究对象	岩层破断→灾害防治 (被动防治)	岩层稳控→协调发展 (主动控制)
理论	岩层破断砌体梁理论	岩层稳定控制理论

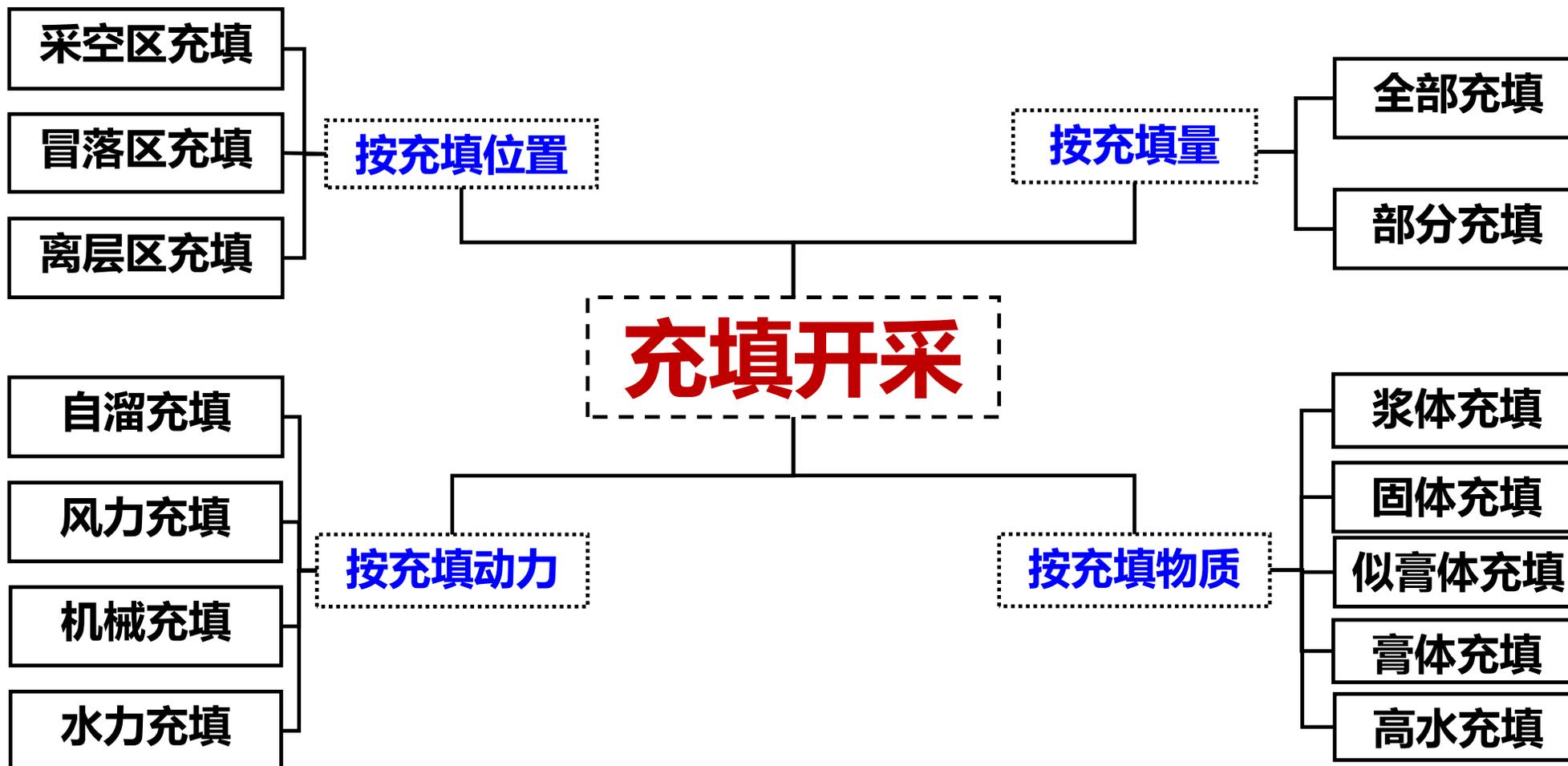
- 利用矸石、砂、碎石、粉煤灰等废弃物料充填采空区，达到控制岩层移动及地表沉陷、规模化利用矿区废弃物的目的。



- 充填采矿的历史已超过**100年**

- 最早是应用在非煤矿山：**1915年**澳大利亚北莱尔矿（石膏矿）用废石充填矿房

### □ 充填开采分类



# 一、煤矿充填开采及其发展介绍

## (三) 政策支持

序号	文件名称	颁布单位	时间	内容描述
1	《煤矿充填开采工作指导意见》	国家能源局、财政部、国土资源部四部委	2013.01	“稳步开展采区充填开采”、“新建煤矿不再设立永久地面矸石山”、“矸石优先用于井下充填”
2	《关于实施煤炭资源税改革的通知》	财政部、国家税务总局	2014.10	对衰竭期煤矿开采的煤炭减征资源税30%，对充填开采置换出来的煤炭减征资源税50%
3	两会提案	全国政协委员、安全监管局局长	2019.03	建议制定出台强制标准，明确“三下”开采、坚硬顶板、水害严重且具备条件的煤矿，必须采用充填开采
4	《煤矿安全规程征求意见稿》	国家煤矿安全监察局	2020.05	高瓦斯矿井一个盘区只能布置一个采煤工作面（充填面除外）
5	《关于进一步加强煤炭资源开发环境影响评价管理的通知》	生态环境部、国家发改委	2020.10	鼓励对煤矸石进行井下充填、发电、生产建筑材料、筑路、土地复垦等多途径综合利用，提高煤矸石综合利用率
6	《煤炭工业“十四五”高质量发展指导意见（征求意见稿）》	中国煤炭工业协会	2020.11	因地制宜推广充填开采、保水开采、煤与瓦斯共采、井下洗选等绿色开采技术，“十四五”末，矸石、矿井水利用与达标排放率100%
7	《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》	国家发改委	2021.03	推进煤矸石和粉煤灰在工程建设、塌陷区治理、矿井充填以及盐碱地、沙漠化土地生态修复领域的利用
.....	.....	.....	.....	.....

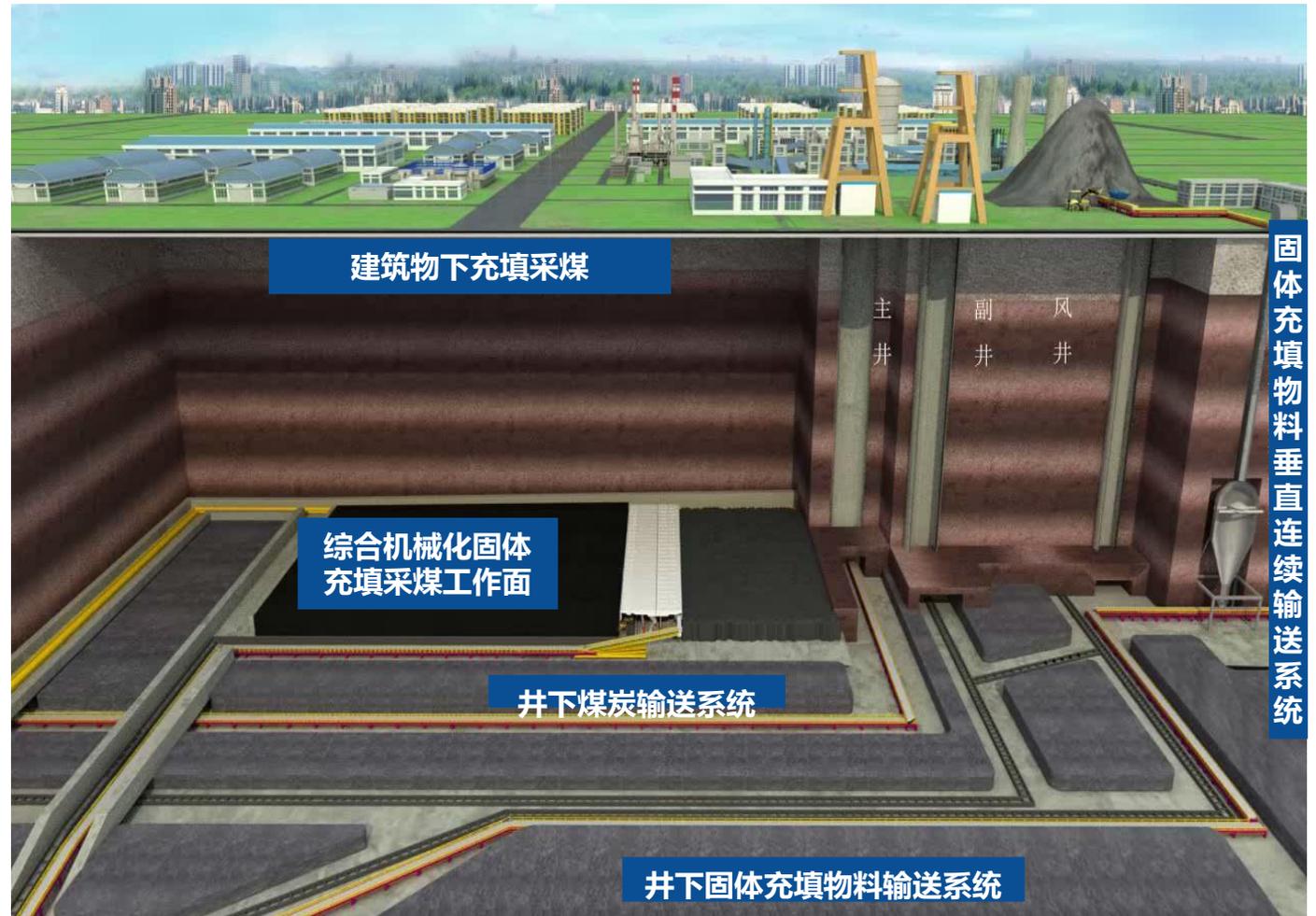
# 汇报提纲

---

- 一、煤矿充填开采及其发展介绍
- 二、**煤矿充填开采主要技术应用**
- 三、煤矿充填开采技术发展方向

#### ➤ 发明了综合机械化固体充填采煤技术

在综合机械化采煤系统的基础上，新增一套固体充填材料制备、输送及充填系统，采用机械方法将固体充填材料充填入采空区，在一个工作面，实现采煤与充填平行作业。



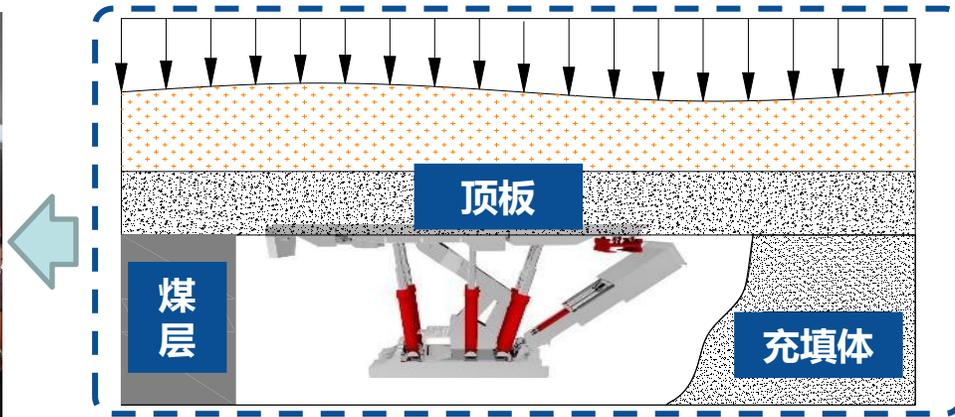
综合机械化固体充填采煤技术原理

#### ➤ 研发了充填采煤成套核心装备

建立了充填采煤充填体协同充填采煤液压支架控顶理论，研发了全国首套充填采煤液压支架、多孔底卸式输送机等拥有自主知识产权的核心装备，解决了采煤充填空间支护、充填物料连续化输送等技术难题，保障了百万吨采煤工作面的充填效率与岩层控制效果。



充填采煤液压支架  
- 充填空间支护

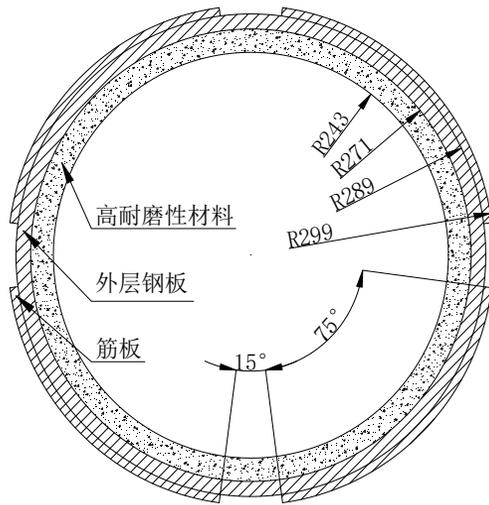
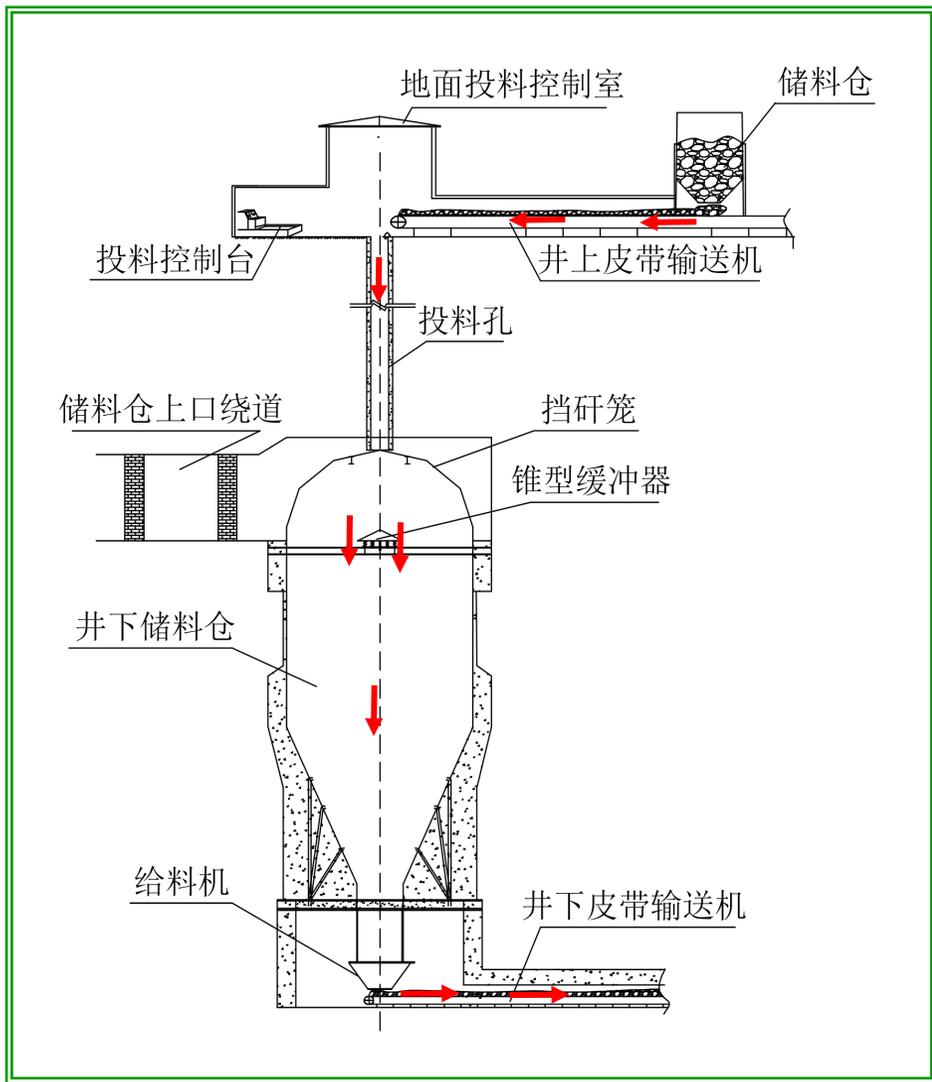


充填体协同支架控顶



多孔底卸式输送机-物料输送

### ➤ 开发了固体充填物料垂直输送系统



投料管结构图



投料管实拍图

### □ 关键技术参数

最大投料深度：740m

物料通过能力：600t/h

耐磨层厚度：12~35mm



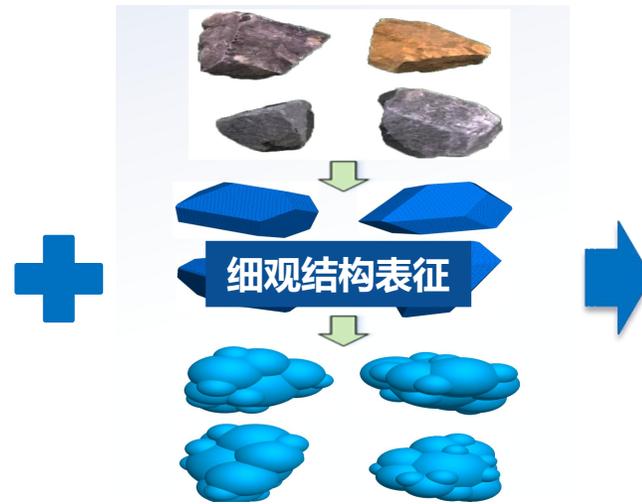
投料口

#### ➤ 构建了多源煤基固废充填材料研发方法

研发了全尺寸多源煤基固废充填材料试验平台，建立了充填材料性能测试及微观结构表征方法，开发了可控性能的多源煤基固废充填材料，由此建立了完整的充填材料研发方法和评价体系，并制定了我国首部充填材料力学性能测试能源行业标准。



全尺寸多源煤基固废充填材料试验平台



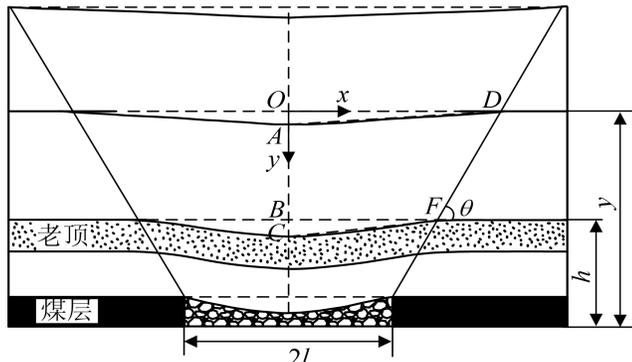
充填材料性能表征方法



行业标准

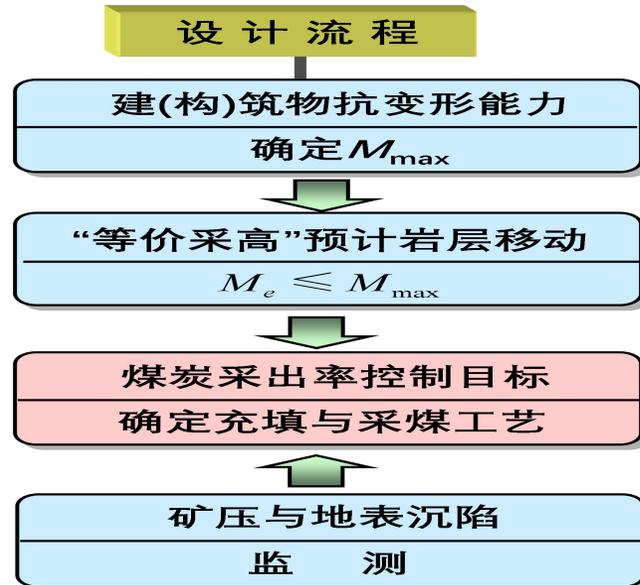
### ➤ 开发了充填采煤地表沉陷预计方法

首次构建了等价采高地表沉陷预计模型，开发了充填采煤地表沉陷控制设计方法，大量现场实测值与预测结果高度吻合，预测精度达95%以上，为我国煤矿绿色充填开采工程实施建立了科学的、定量的评价体系。

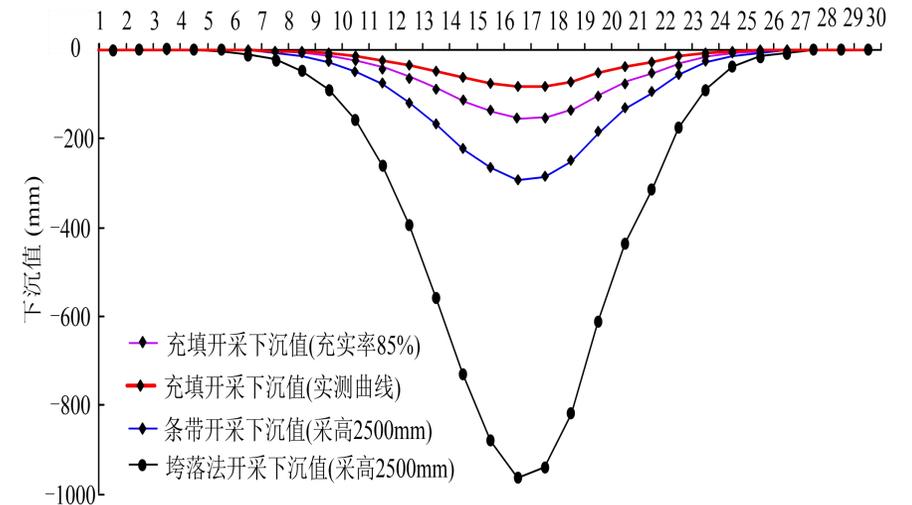


$$w_y(x) = \frac{l + y \cot \theta - x}{l + y \cot \theta} w_y(0)$$

地表沉陷预计模型



地表沉陷控制设计方法



某矿地表沉陷预计与实测结果

## 二、煤矿充填开采主要技术应用

### (一) 综合机械化固体充填采煤技术

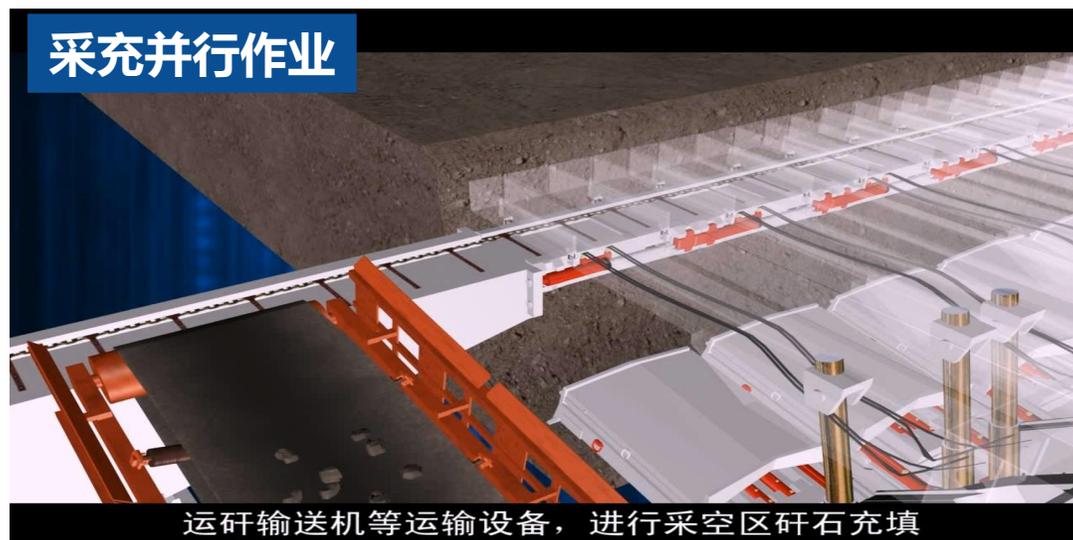
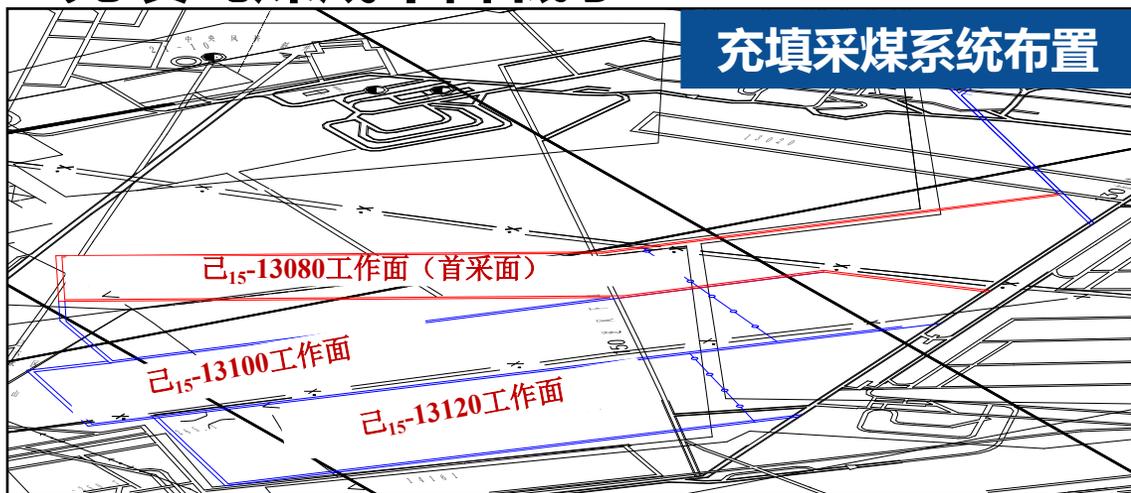
#### ➤ 工程应用成果1：建筑物下综合机械化固体充填采煤示范工程

##### □ 工程实例—河南平顶山十二矿

- ✓ 压煤资源：1235万吨，占可采储量的45%
- ✓ 开采煤层：己15煤层，采高3.3米，埋深365米

##### □ 技术实施效果

- ✓ 采出率由原来的40%提高至90%
- ✓ 充填采煤效率由原年产50万吨提高至100万吨
- ✓ 充填吨煤成本降低了60%



## 二、煤矿充填开采主要技术应用

### (一) 综合机械化固体充填采煤技术

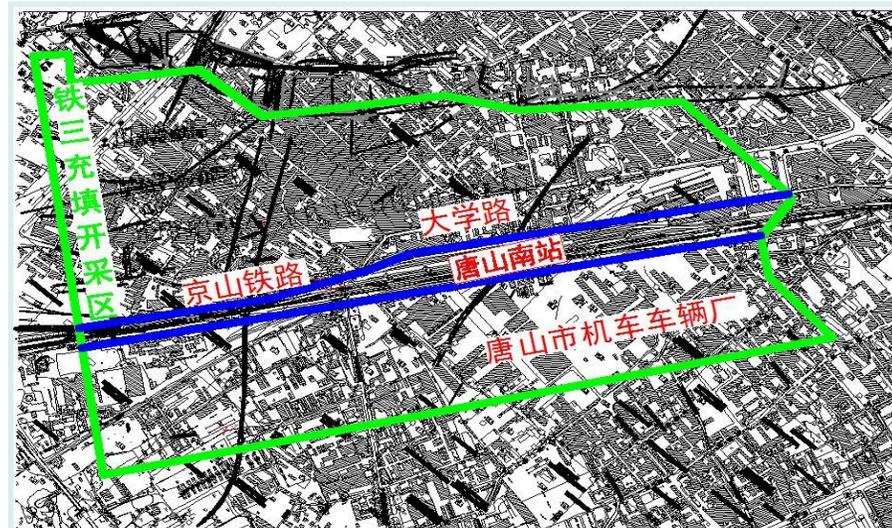
#### ➤ 工程应用成果2：百年老矿区城市下煤层群充填开采示范工程

##### □ 工程实例—河北开滦唐山矿

- ✓ 压煤资源：建筑物下压煤达可采储量80%
- ✓ 矸石产量：年产90万吨，占原煤产量25%。
- ✓ 开采煤层：4层，总厚度9.5米，埋深超千米

##### □ 技术实施效果

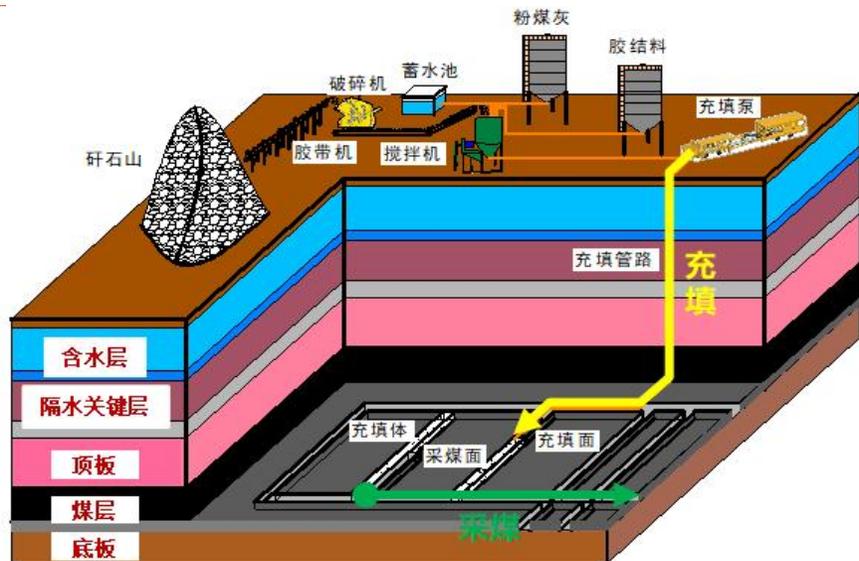
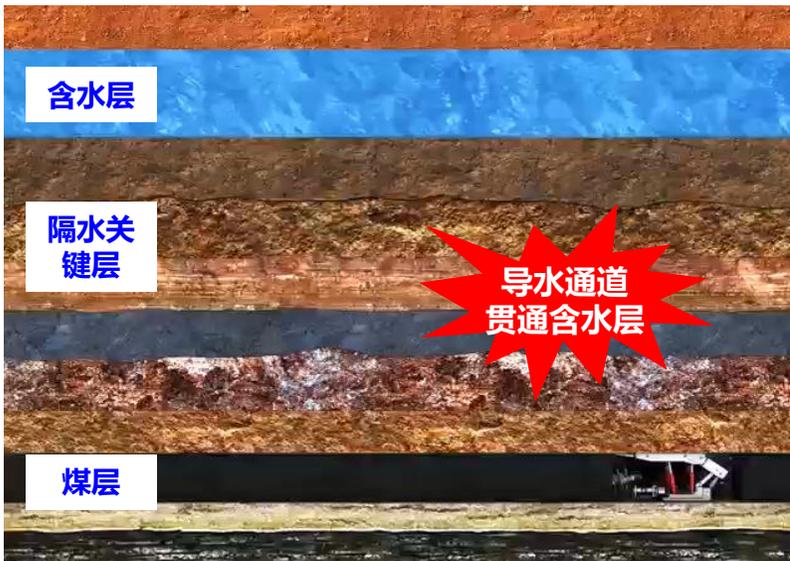
- ✓ 充填物料投放：垂直输送深度达650米，为首创技术
- ✓ 充填采煤效率：相比传统技术提高一倍
- ✓ 煤炭的采出率：由不到40%提高至85%



## 二、煤矿充填开采主要技术应用

## (二) 长壁逐巷胶结充填采煤技术

含水层下充填控制隔水关键层的开采新方法。利用长壁采煤法的生产系统，用掘锚一体机代替采煤机破煤，通过施工运输平巷和回风平巷之间的联络巷进行煤炭开采，利用胶结充填技术充填联络巷的充填开采技术。

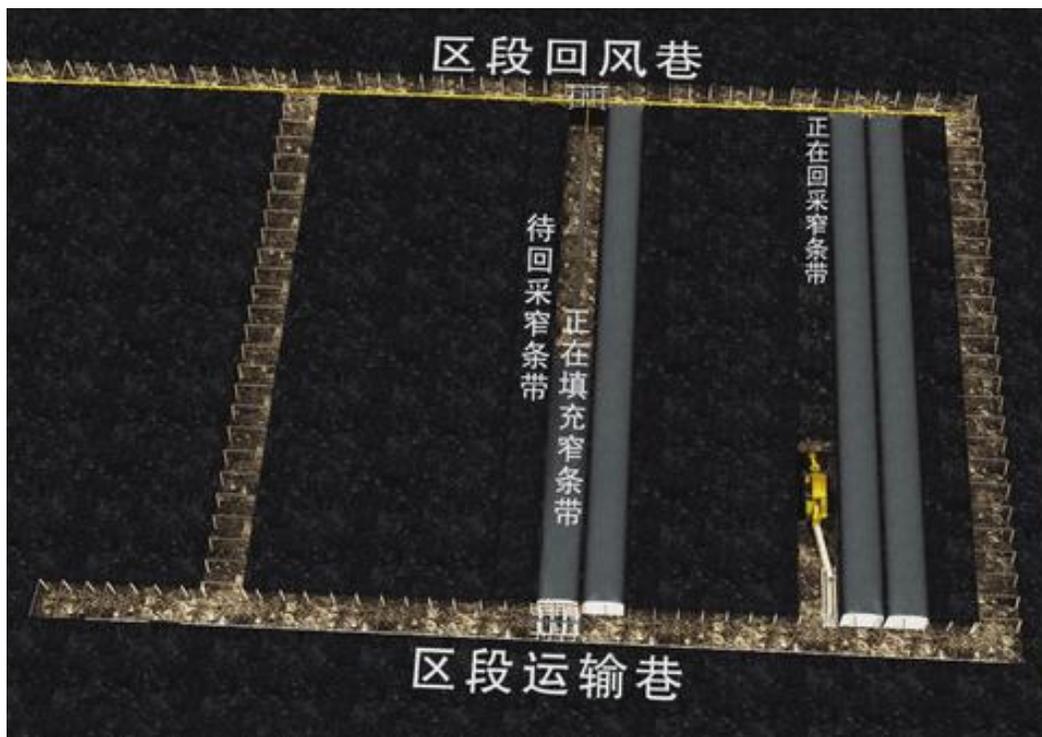


采动裂隙导水通道贯通含水层

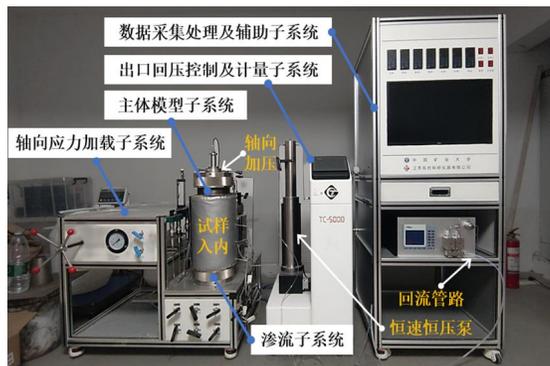
胶结充填采煤系统布置 获2016年度内蒙古科技进步奖一等奖

### ➤ 发明了掘充并行-连续作业技术与工艺

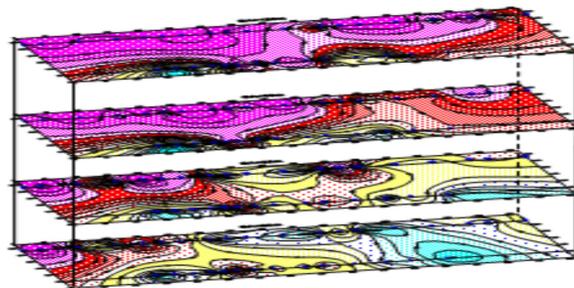
构建了掘充并行-连续作业技术与工艺，攻克了传统充填连续作业难、工艺周期长的难题，提出了含水层下充填控制隔水关键层的工程设计方法。



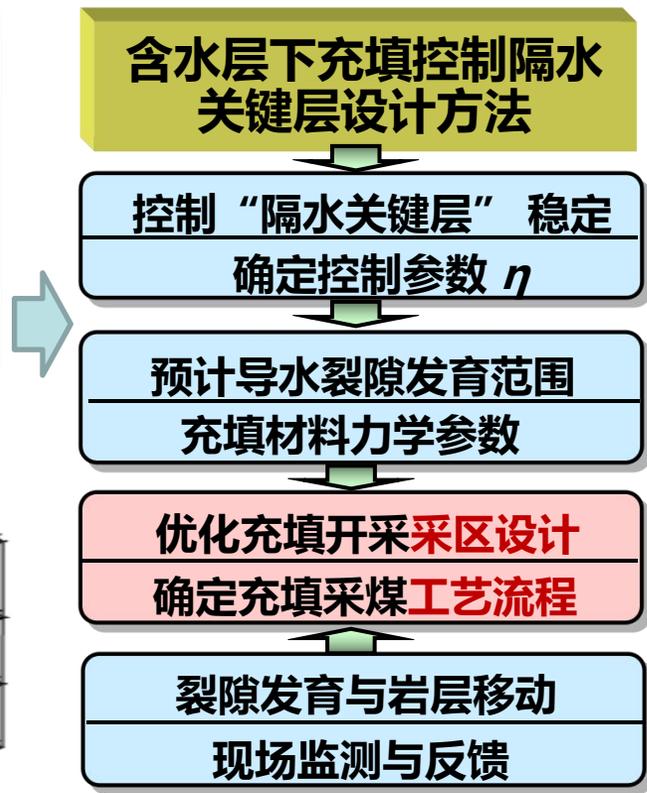
掘充并行-连续作业工艺



多场耦合渗流试验系统



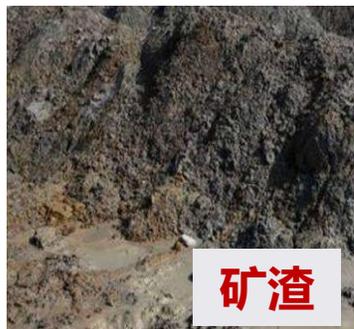
隔水关键层渗透性



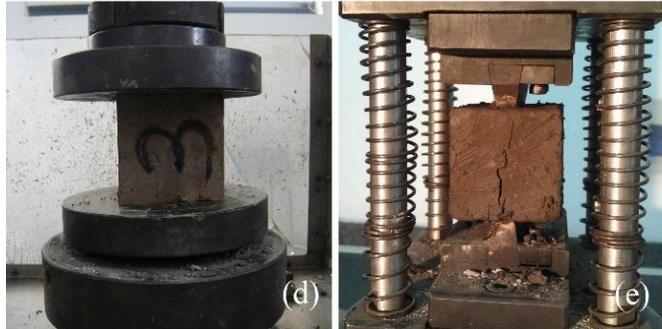
含水层下充填采煤工程设计方法<sup>18</sup>

### ➤ 发明了煤基固废胶结充填系列材料

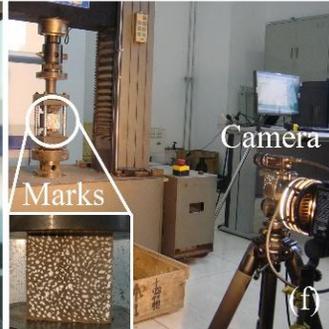
研发了适用于多种工程需求的煤基固废胶结充填系列材料，将煤矿开采所产生的固废材料高效制备成可直接井下利用的高性能充填材料，水泥等添加剂减少了30%，成本降低25%。



充填材料选取



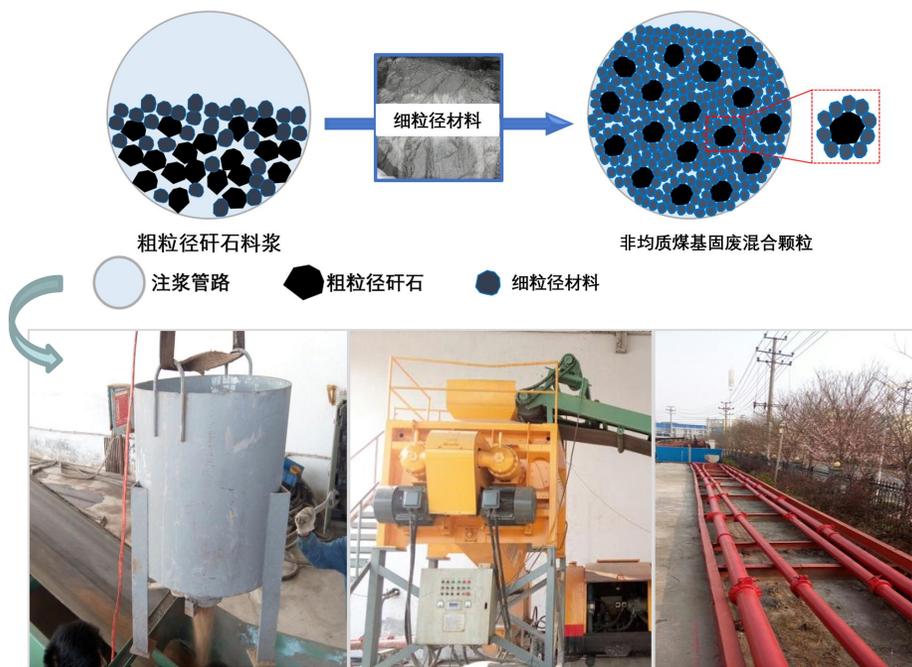
充填材料制备及力学性能测试



充填材料井下利用

### ➤ 开发了非均质料浆长距离大流量制备输送系统及智能管控平台

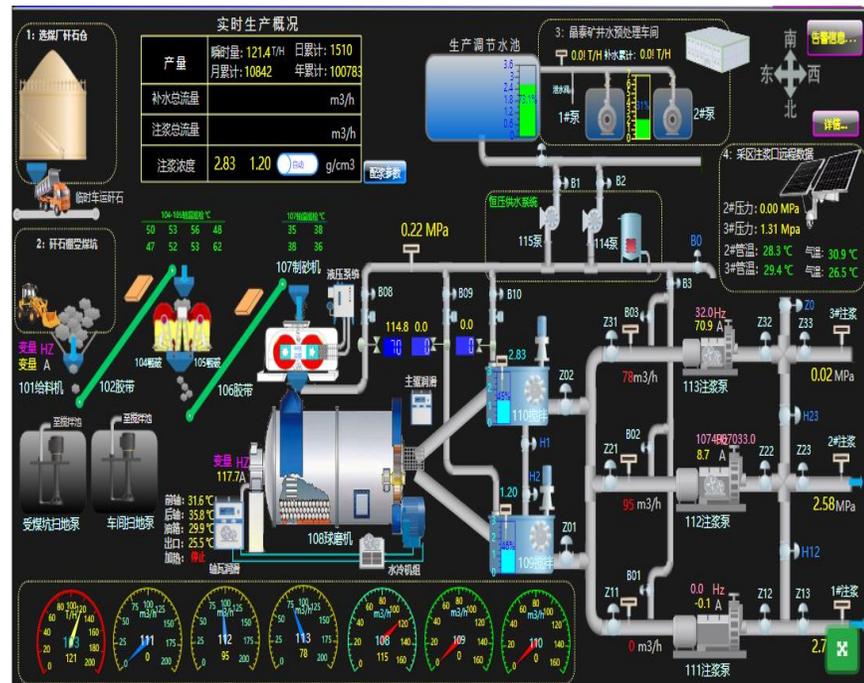
研究了非均质煤基固废颗粒管道输运力学机制，开发了非均质料浆长距离大流量制备输送系统及智能管控平台，煤基固废料浆水平输运距离突破8千米。



工业级环管输送试验设备实拍



充填料浆制备输送系统



智能管控平台

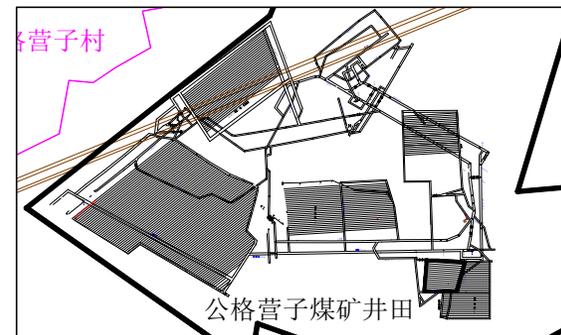
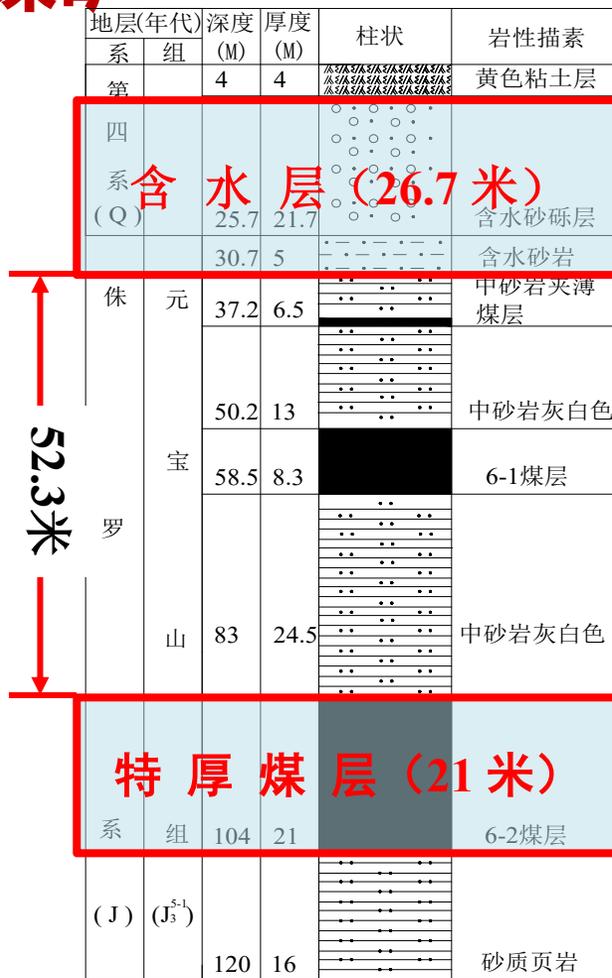
## 二、煤矿充填开采主要技术应用

## (二) 长壁逐巷胶结充填采煤技术

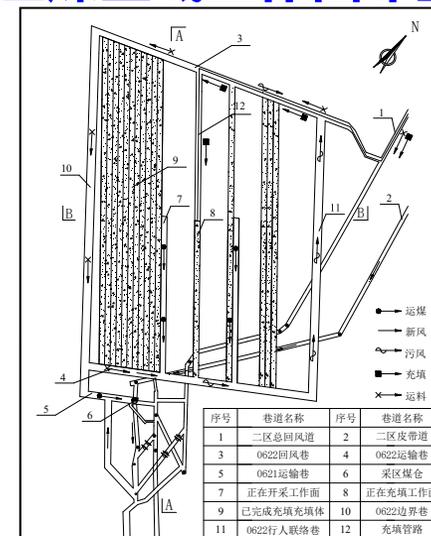
### ➤ 工程应用成果：含水层下特厚煤层长壁逐巷胶结充填采煤示范工程

#### □ 工程实例—内蒙古赤峰公格营子煤矿

- ✓ 开采深度：浅埋深（104米）
- ✓ 开采煤层：厚度21米（特厚煤层）
- ✓ 压煤资源：2950万吨
- ✓ 含水层：厚度26.7米，含水层距离煤层近（52.3米）
- ✓ 工程问题：传统方式采出率不到10%，且矿井涌水量大，工人穿雨衣淋水冒险作业



#### 压煤区域工作面布置



岩层柱状图

生产系统布置 21

### ➤ 工程应用成果：含水层下特厚煤层长壁逐巷胶结充填采煤示范工程

#### □ 技术方案

- ✓ 将特厚煤层分为若干分层，每个分层3.5米，采用上向分层胶结充填进行开采
- ✓ 利用矸石、粉煤灰等煤基固废制备充填材料，固废占比超过85%

#### □ 技术实施效果

- ✓ 煤炭采出率：将水体下原不可采煤炭资源变为完全可采
- ✓ 矿井涌水量：降幅达60%，完全满足煤炭安全开采需求

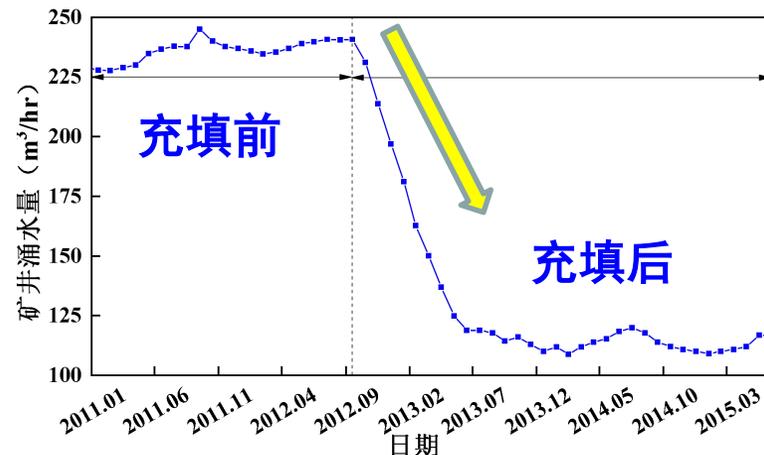
上向充填 ↑



掘进成巷 巷内充填

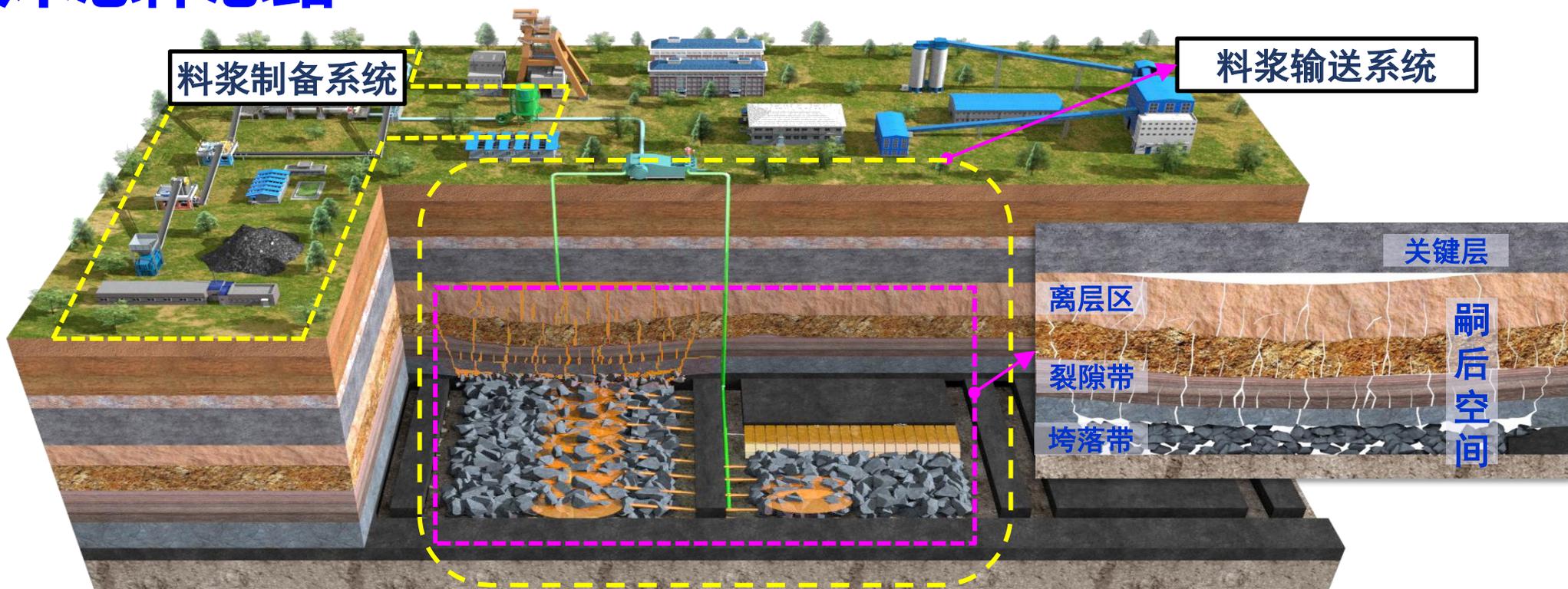
□ 采煤作业    □ 充填作业

#### 特厚煤层上向分层充填采煤方法



## 二、煤矿充填开采主要技术应用（三）嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 技术总体思路

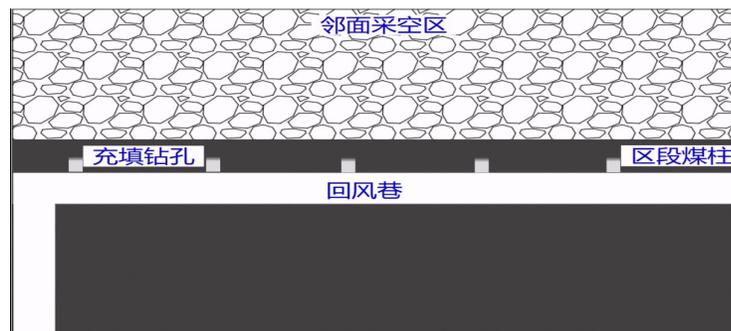
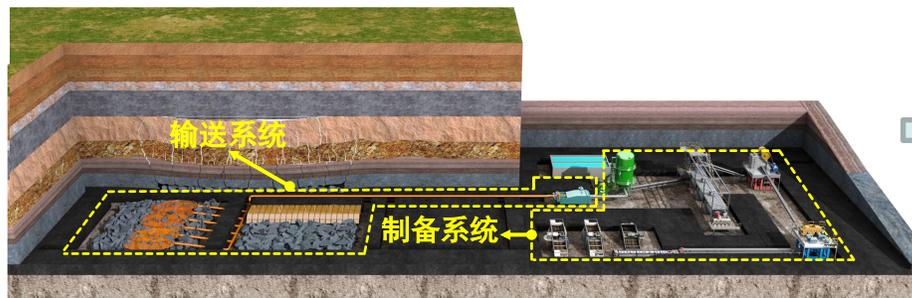


- 工作面开采后，将矸石制成料浆注入嗣后空间，实现矸石的井下高效处置，其中嗣后空间是指煤层开采后，覆岩中形成空隙和裂隙空间的总称，包括垮落带、裂隙带以及弯曲下沉带中的离层区

## 二、煤矿充填开采主要技术应用 (三) 嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 注充系统空间布局方式

#### ✓ 钢面注充（垮落带）井下

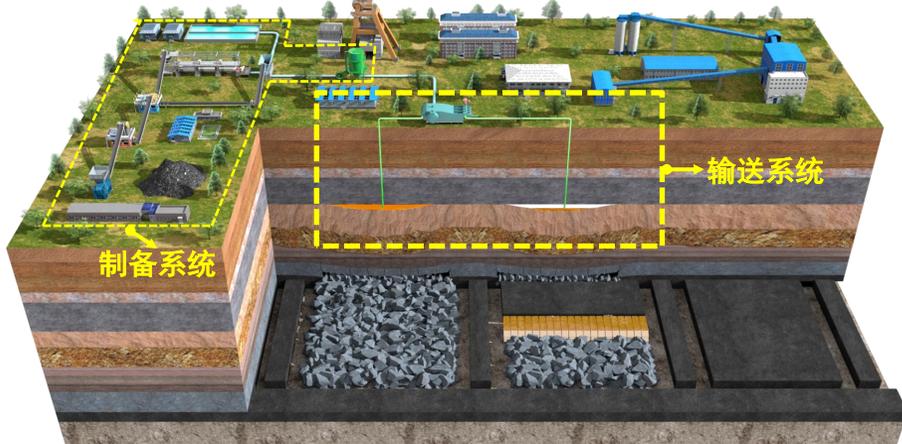


#### □ 料浆制备系统布局

地面、井下和井上下协同

#### □ 注浆充填布局方式

#### ✓ 离层注充（离层区，地面）



#### ✓ 整个嗣后空间（井上下）



同面垮落带注充(井下)

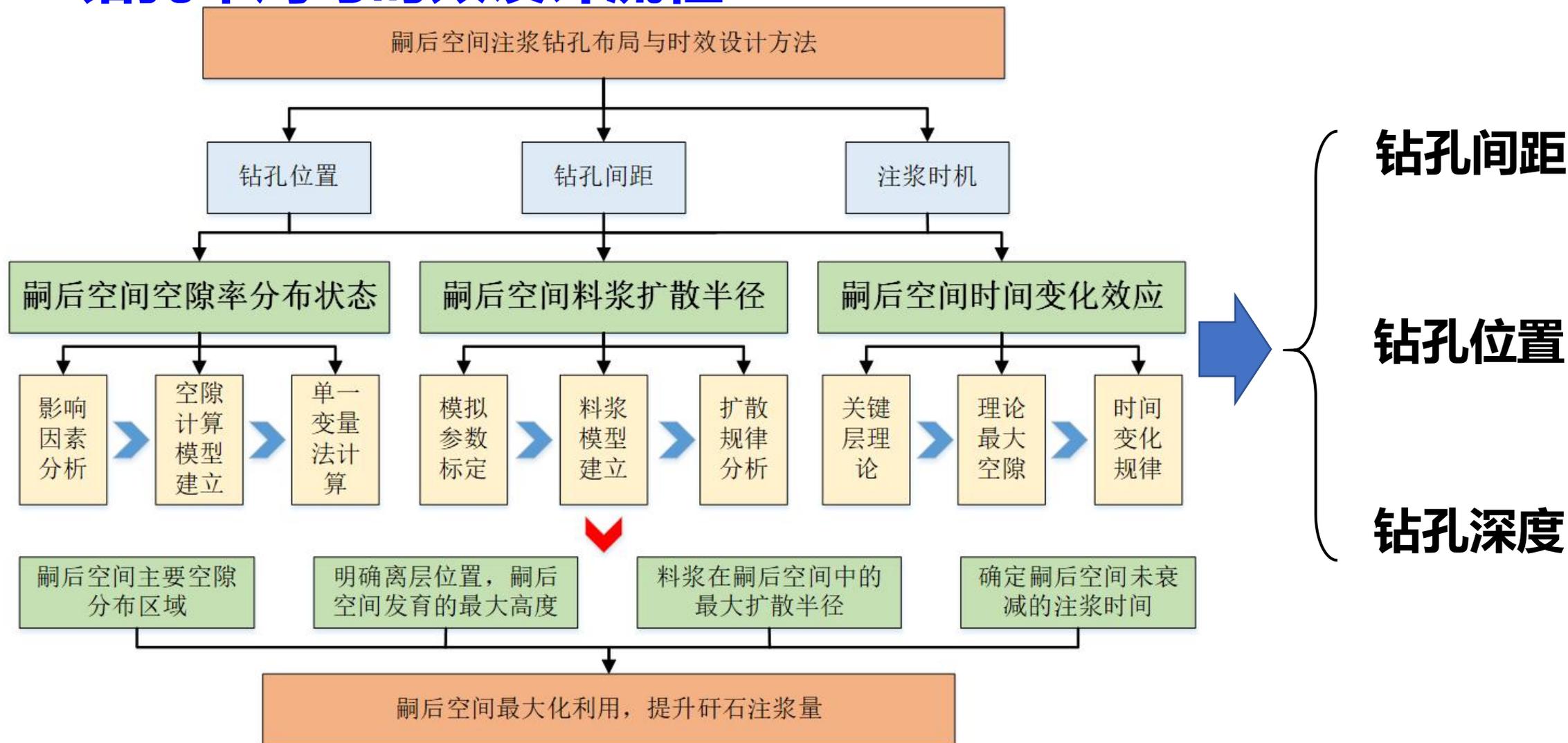
邻面垮落带注充 (井下)

离层区注充 (地面)

嗣后空间注充(井上下)

## 二、煤矿充填开采主要技术应用（三）嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 钻孔布局与时效设计流程



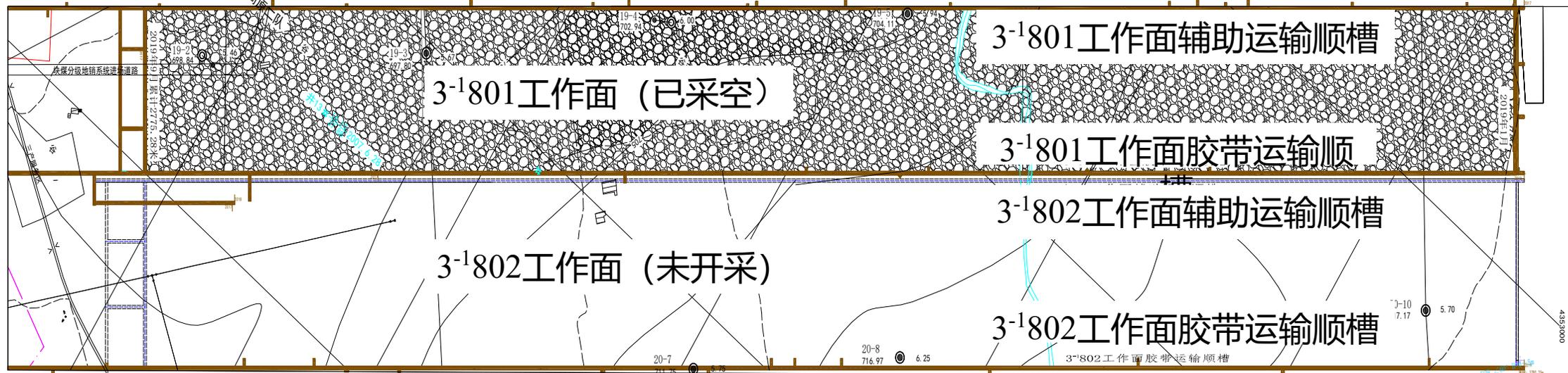
## 二、煤矿充填开采主要技术应用（三）嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 工程实例—内蒙古伊泰红庆河煤矿

- 采矿地质条件：主采3-1煤层，倾角为 $1\sim 3^\circ$ ，埋深659.7m，煤厚5.7m为八采区首采面，位于工业广场东南方向面长246m，推进长度2775m

**矸石产量60万吨/年，选煤厂洗选矸石**

- 开采与注浆时间：回采周期2019年1月~2019年9月，2021年7月开始注浆



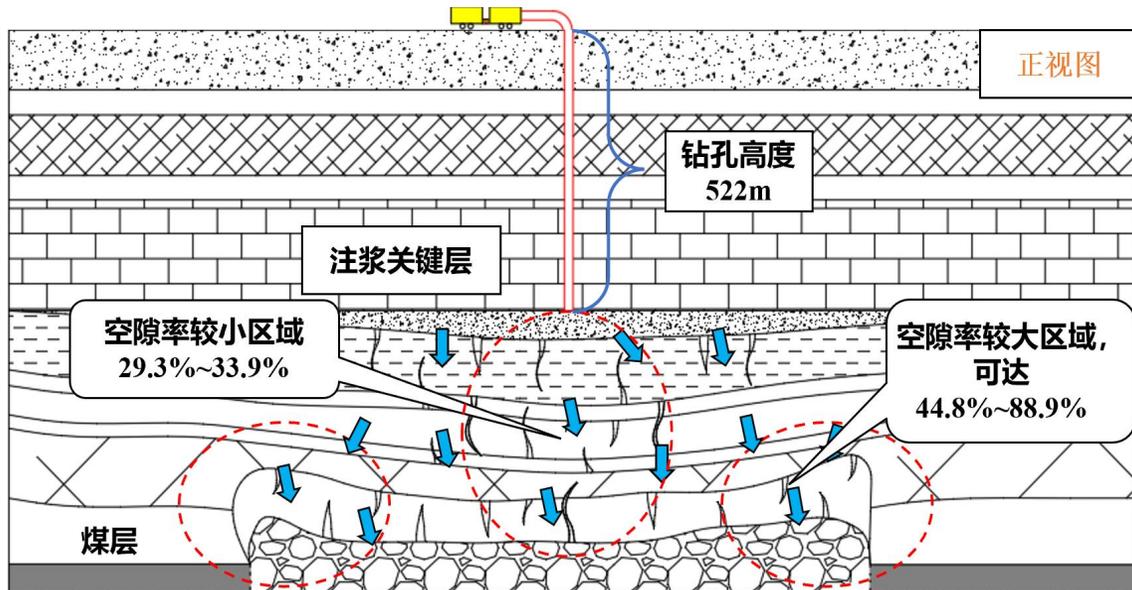
## 二、煤矿充填开采主要技术应用（三）嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 工程实例—内蒙古伊泰红庆河煤矿

#### □ 注浆充填关键参数

➤ 钻孔间距为**300m**，工作面共布置9个钻孔

➤ 钻孔深度为522m，距离煤层131m的中粒砂岩下方（岩层平均厚度51m）



钻孔深度



钻孔间距

## 二、煤矿充填开采主要技术应用（三）嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 工程实例—内蒙古伊泰红庆河煤矿

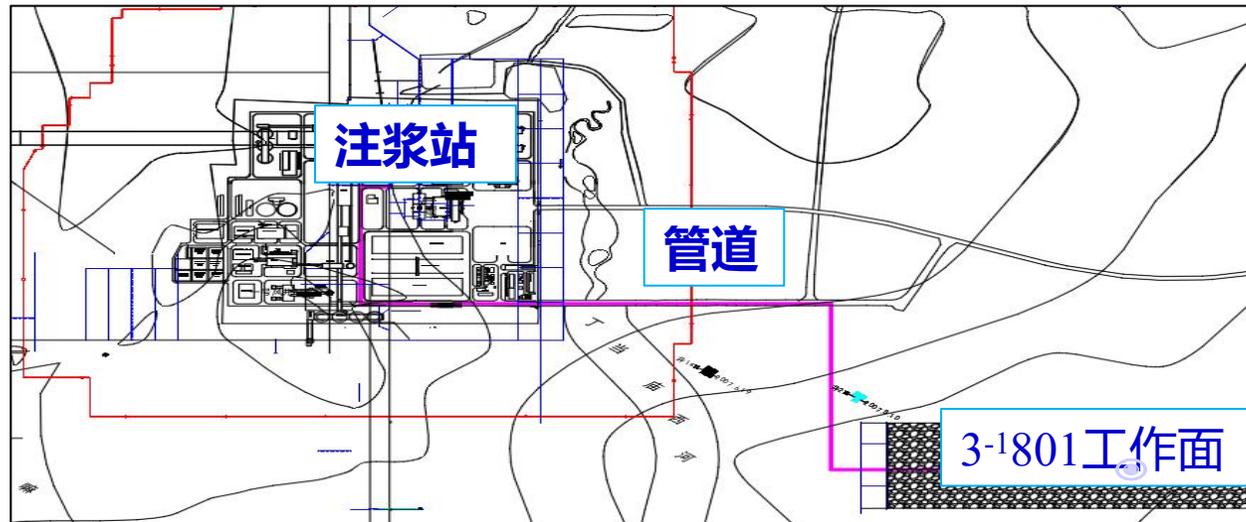
#### □ 制浆与输送系统设计

##### ➤ 输送能力：

矸石量60万t/a，制浆与输送能力不小于100万t/a，即167t/h（123m<sup>3</sup>/h）



储料车间及充填管路实拍图



➤ **注浆站位置：**工业广场内毗邻选煤厂，位于3-1801工作面西北侧

➤ **注浆管路布置：**注浆管道沿道路采用架空敷设，至工作面管路最长约4.0km

## 二、煤矿充填开采主要技术应用（三）嗣后空间矸石注浆充填采煤技术

### ➤ 工程实例—内蒙古伊泰红庆河煤矿

#### □ 工程应用效果

➤ 制浆效果监测：料浆平均浓度**45%**，平均密度**1.35g/cm<sup>3</sup>**

➤ 注浆效果监测：注浆孔口**压力平稳**，**单孔平均注浆量为52.0万t**（矸石23.4万t）

料浆  
颗粒  
粒径  
分布  
实测



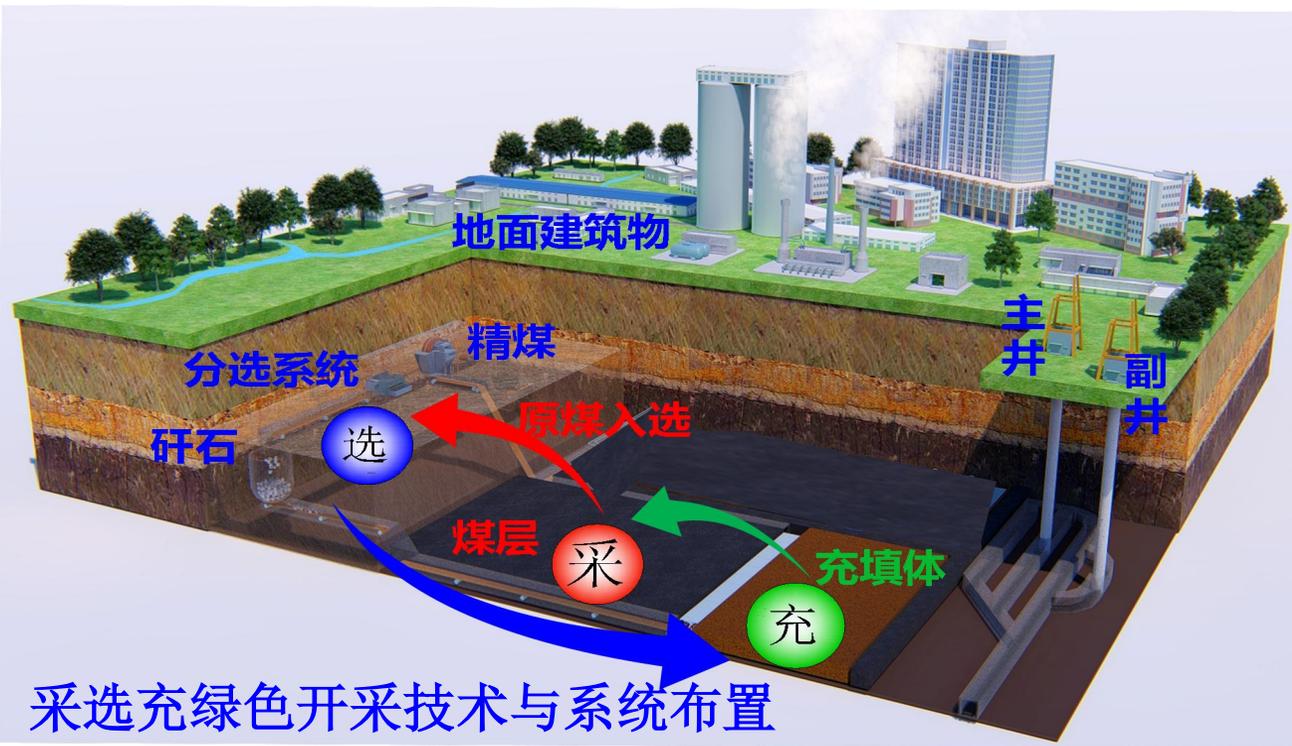
颗粒粒径	占比
0~0.15mm	68.4%
0.15~1mm	20.1%
1~2mm	11.5%

在线  
监测  
注浆  
参数  
系统



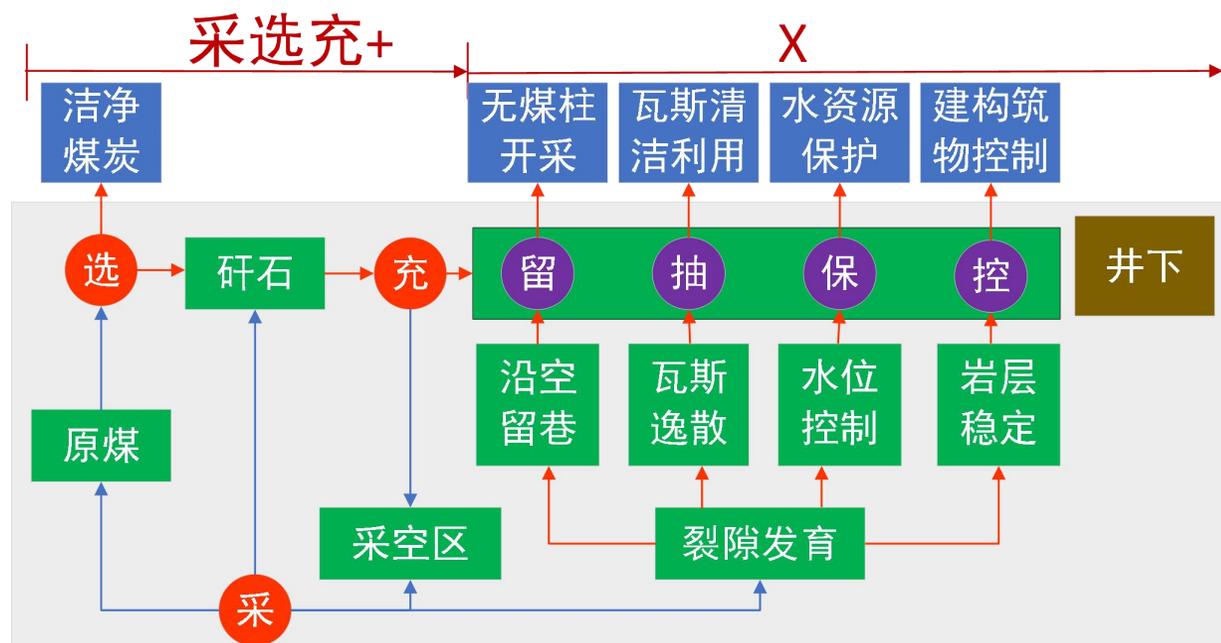
### ➤ 创建了深部煤矿采选充绿色开采技术

创立了煤炭开采、井下分选及矸石原位充填三位一体的绿色充填开采新技术，实现了矸石不出地面，就地充填，并实现了精准控制岩层变形、保护地表环境的目标。

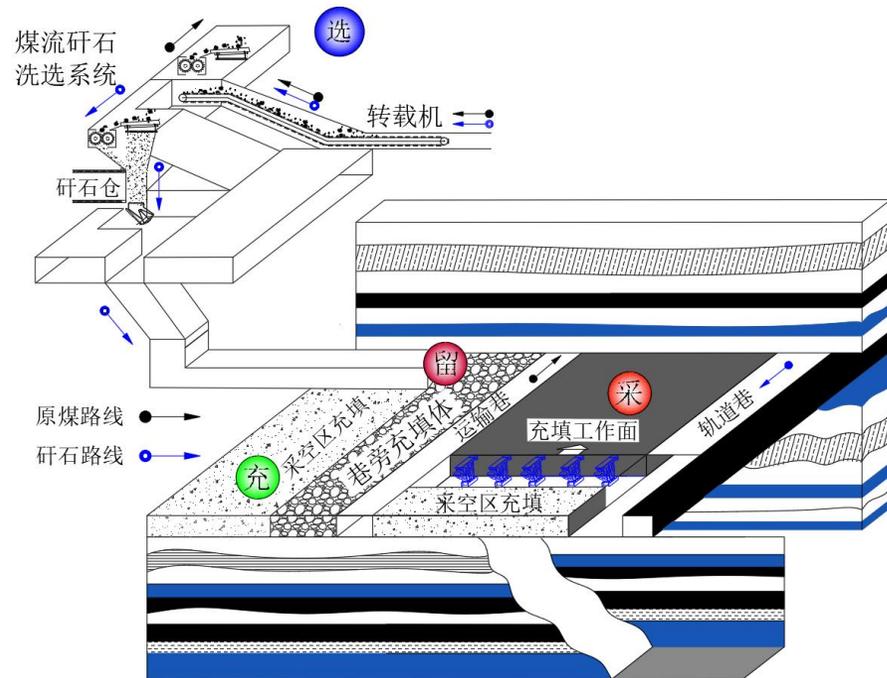


### ➤ 创建了深部煤矿采选充+X 新模式

以X为充填开采的控制目标（如煤炭采出率、灾害防控、智能化程度、碳排放等），由此发展了充填采煤快速沿空留巷、坚硬顶板动力灾害防控等一系列采选充+X绿色充填开采新模式，并在采矿工程中得到了广泛应用。



“采选充+X” 内涵体系



采选充+X(沿空留巷)

## 二、煤矿充填开采主要技术应用

## (四) 深部煤矿采选充+X模式

### ➤ 重大科研任务：国家重点研发计划项目 (2018YFC0604700)

### □ 2022年5月顺利通过项目综合绩效评价

- ✓ 所属专项：深地资源勘查开采
- ✓ 项目名称：深部煤矿井下智能化分选及就地充填关键技术装备研究与示范
- ✓ 项目编号：2018YFC0604700
- ✓ 项目经费：7072.0万元（国拨1972.0万元）
- ✓ 执行年限：2018.07~2021.06
- ✓ 项目负责人：张吉雄
- ✓ 依托单位：中国矿业大学等10家单位

#### 中国 21 世纪议程管理中心文件

国科议程办字[2018]17号

关于国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项 2018 年度项目立项的通知

各项目牵头承担单位：

国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项 2018 年度项目立项工作已经完成，具体立项情况详见附件。

请根据《关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》（国发〔2014〕11号）、《关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革的方案》（国发〔2014〕64号）、《关于进一步完善中央财政科研项目资金管理等政策的若干意见》（中办发〔2016〕50号）、《国家重点研发计划管理暂行办法》（国科发资〔2017〕152号）、《国家重点研发计划资金管理办法》（财科教〔2016〕113号）及项目实施期间出台的国家重点研发计划管理有关规章制度的要求，认真落实项目（课题）承担单位法人责

#### 附表

#### 国家重点研发计划项目综合绩效评价专家组意见表

重点专项名称	深地资源勘查开采		
项目编号	2018YFC0604700	项目名称	深部煤矿井下智能化分选及就地充填关键技术装备研究与示范
项目负责人	张吉雄	项目牵头单位	新汶矿业集团有限责任公司
专家平均评分	91.20		

2022年2月25日，中国21世纪议程管理中心组织专家在北京开展了国家重点研发计划“深部煤矿井下智能化分选及就地充填关键技术装备研究与示范”项目（项目编号：2018YFC0604700）综合绩效评价。专家组审阅项目相关材料、听取项目执行情况汇报并进行质询后，讨论形成以下评价意见：

- 项目承担单位提供成果资料齐全、规范，符合国家重点研发计划项目综合绩效评价要求。
- 围绕煤矿资源开发与环境保护的重大需求，系统开展了井下煤研分选、超大断面硐室群支护、研石充填开采等方面的理论、技术与装备研究，并建成了2个示范工程。
- 项目取得的主要创新成果：
  - 提出了井下水介质全粒级煤研精确分选方法，研发了井下紧凑型多频跳汰智能化分选技术及装备，创新了细粒煤旋流场精细分选技术，研发了井下受限空间煤泥水高效澄清技术与装备。
  - 提出了深部煤矿超大硐室群选址优化与紧凑型布局方法，揭示了硐室群围岩连锁失稳与协同控制机理，研发了围岩长期稳定性控制技术。
  - 提出了深部充填开采地表沉降预计与控制方法，研发了高效采充协调作业技术与成套装备，创新了研石基聚合物材料充填沿空留巷技术，创建了“采选充+X”一体化模式，建成了“采选充+留”与“采选充+抽”示范工程。
- 项目组织管理规范有序，科技资源汇交方案全面，技术档案归档规范，培养了一批创新性科学研究和技术研发人才。

项目完成了任务书规定的内容和考核指标，专家组同意通过项目综合绩效评价。

综合绩效评价意见：

通过

未通过

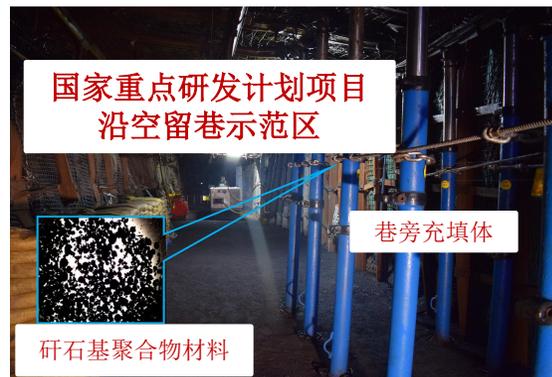
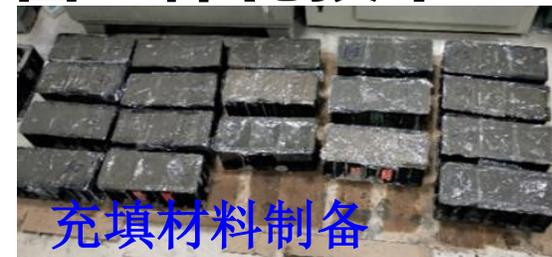
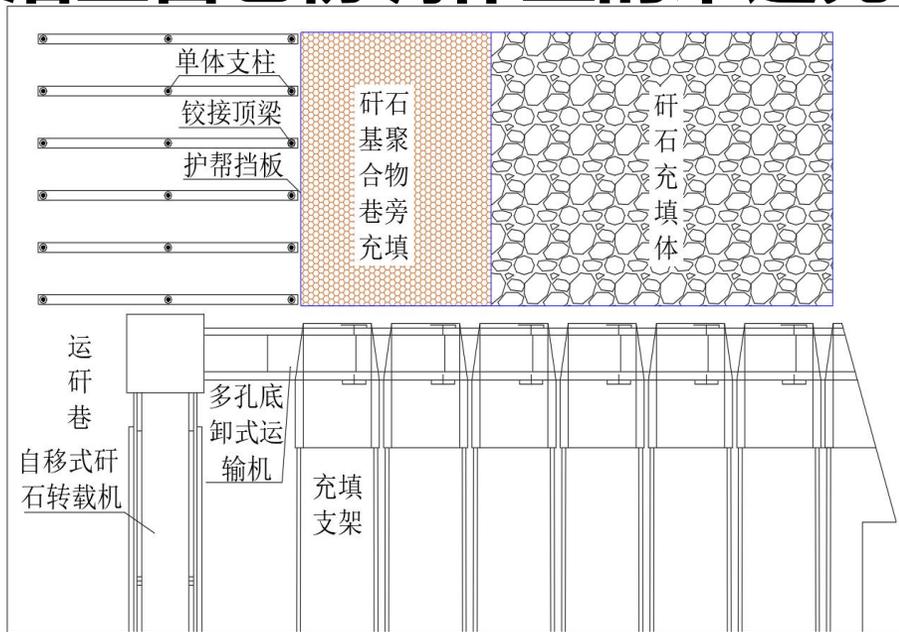
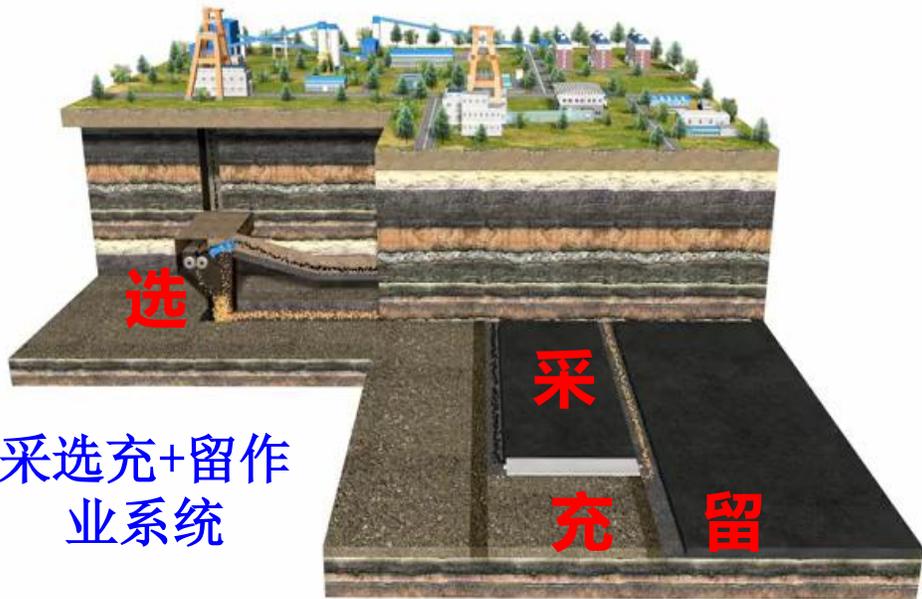
结题

— 6 —

### 国家重点研发计划项目批文及验收意见

### ➤ 重大科研任务：国家重点研发计划项目 (2018YFC0604700)

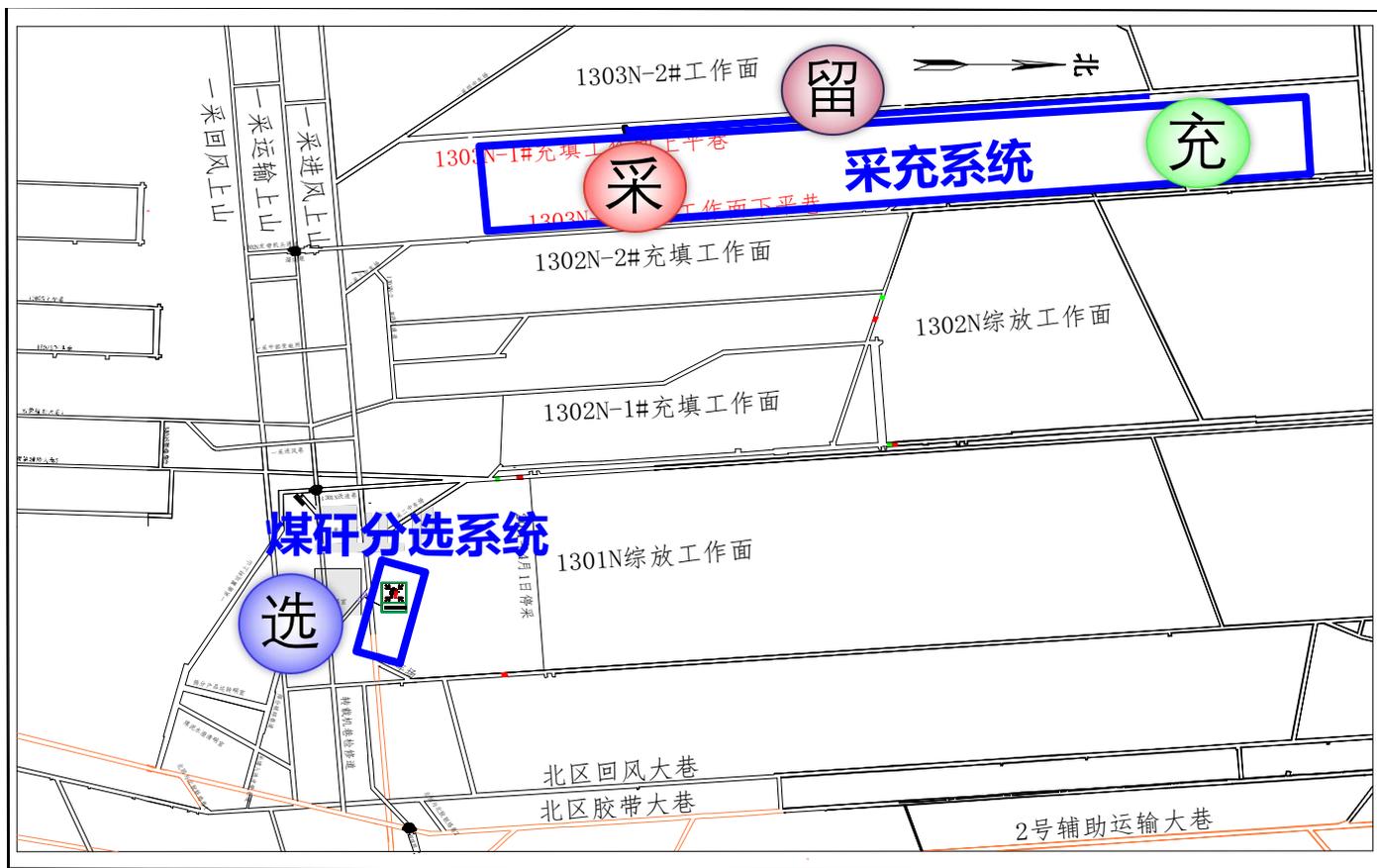
研发了采煤、分选、充填、沿空留巷协调作业的采选充+留一体化技术



### □ 技术实施效果

- ✓ 井下原煤分选能力达400万吨/年，充填能力达150万吨/年，采出率提高10%
- ✓ 上述采矿技术指标代表了国内最高水准，成果达到国际领先水平

### ➤ 工程实例—新巨龙矿 (采选充+留)



#### ■ 两大板块:

分选系统 采充系统

#### 面临难题

煤层埋深超1000米

矿井采掘接续紧张

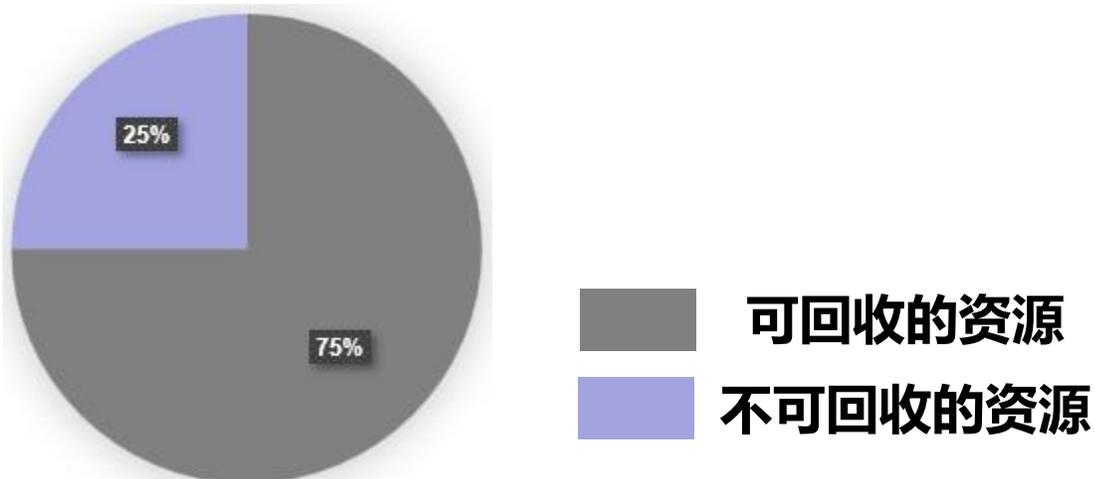
分选效率200万吨/年

充填能力50万吨/年

以新巨龙煤矿为示范基地，建立了采选充+留一体化系统，确定了1303N-1充填面，区域埋深为800-1100m，充填面长103.6m，推进长度为983.1m

### ➤ 露天端帮遗留煤柱

- 我国大型露天煤矿端帮遗留煤炭资源总量高达**数十亿吨**，**资源回采率 < 75%**
- 端帮遗留煤柱**回收难度大**，**易失稳造成边坡大面积滑坡**，带来重大的经济损失和人员伤亡



露天矿煤炭资源回采率



端帮压煤



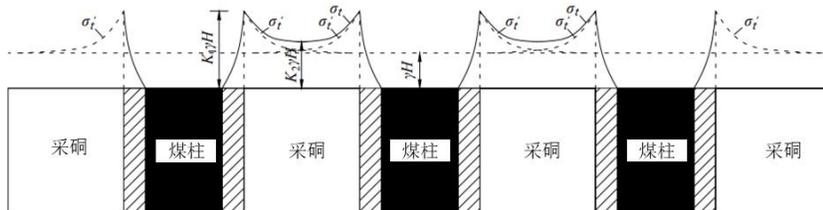
边坡失稳

### ➤ 露天煤矿边帮压煤开采面临以下三个问题：

- 一是边帮压煤赋存差：边帮压煤多为多煤层、厚煤层等复杂赋存条件
- 二是传统开采压煤多：采硐-煤柱的开采方法造成大量煤柱资源浪费
- 三是边坡失稳控制难：煤柱长期蠕变失稳容易引起边帮滑坡等灾害



边帮压煤以多煤层、厚煤层赋存



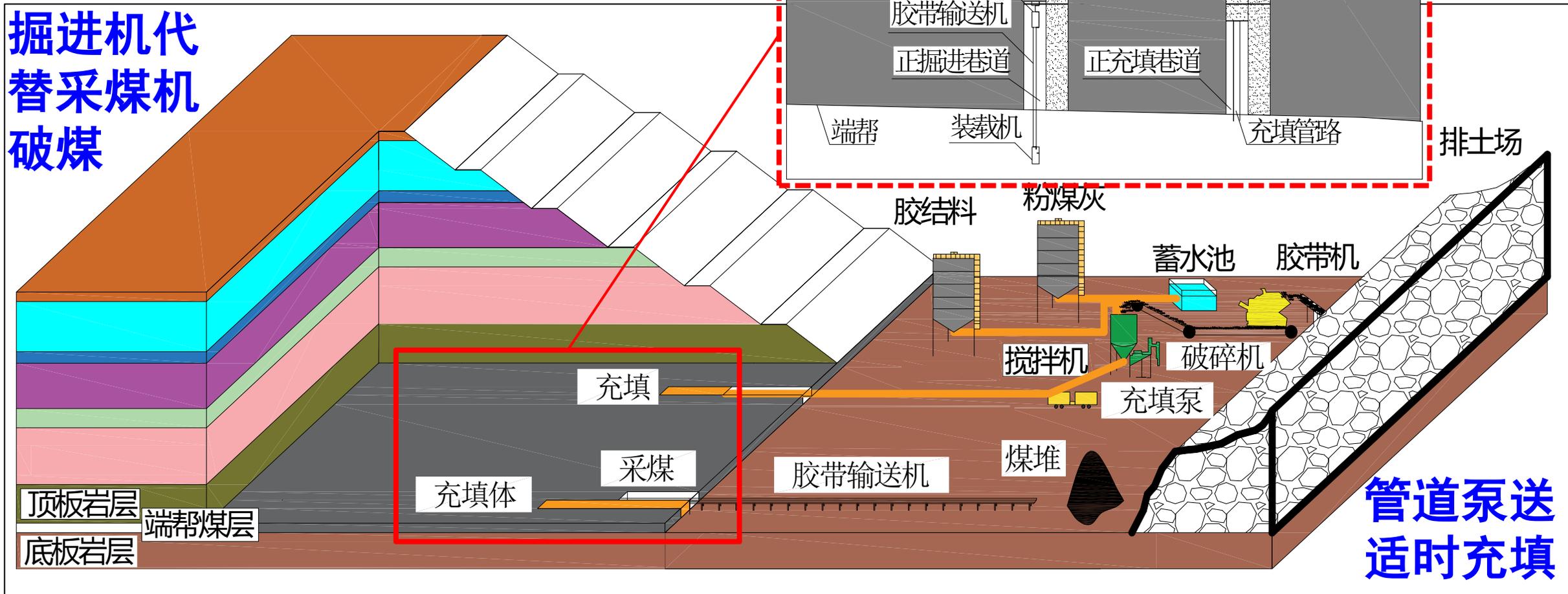
采硐-煤柱开采遗留大量煤柱



边帮滑坡失稳灾害

### ➤ 端帮压煤充填开采总体构思

掘进机代  
替采煤机  
破煤



将胶结充填采煤技术和传统端帮采煤方法相结合，掘进开采巷内充填

# 汇报提纲

---

- 一、煤矿充填开采及其发展介绍
- 二、煤矿充填开采主要技术应用
- 三、煤矿充填开采技术发展方向

# 研究展望一：煤基固废负碳高效充填关键技术

- **研发目标：**加快矿山充填开采速度，实现大规模CO<sub>2</sub>封存固化
- **技术路径：**CGIF高孔隙混合物充填体研发、CGIF混合物充填体固碳理论、快速粘凝胶结材料及制备、多场环境下充填体长期服役机制
- **技术目标：**构建负碳充填体性能调控理论与方法，攻克负碳高效充填开采技术与装备瓶颈，实现适用于千万吨级矿井的负碳、高产、高效、防冲的充填技术发展目标



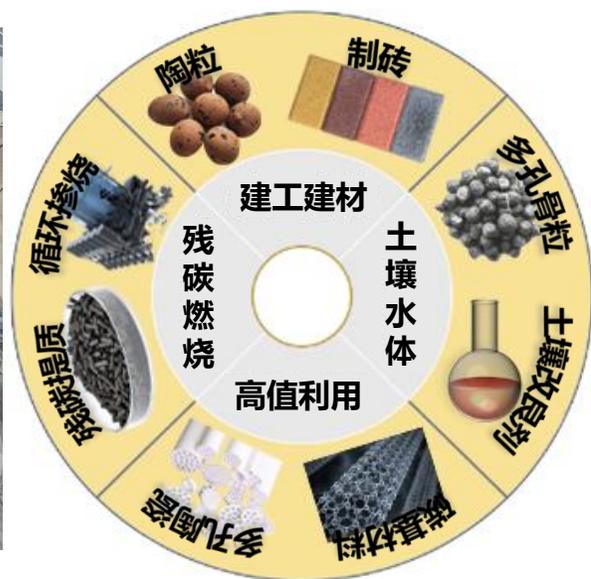
项目编号：	2024ZD1003900	密级：公 开
<b>国家科技重大专项 课题任务书</b>		
课题名称：	深部煤矿流态化开采下负碳充填及其岩层控制技术	
所属项目名称：	深部固体资源流态化开采原位多场多相岩体力学理论与安全评价体系	
所属重大专项：	深地国家科技重大专项	
重大专项主管部门：	自然资源部科技发展司	
课题牵头承担单位：	中国矿业大学 (公章)	
课题负责人：	巨峰	
执行期限：	2024年11月至2028年10月	

## 研究展望二：煤气化灰渣规模化充填技术

- **研发目标：**实现煤气化灰渣规模化分质梯级综合利用
- **关键技术：**煤气化灰渣铝硅分质利用与毒害组分控制、富碳灰渣无辅助燃料常压高效热改性、低碳灰渣胶凝材料制备、全固废胶凝材料智能充填
- **技术目标：**攻克煤气化灰渣规模化分质梯级利用关键技术与装备瓶颈，推动煤气化灰渣的减量化、资源化、高值化、绿色化处置



煤气化灰渣堆场

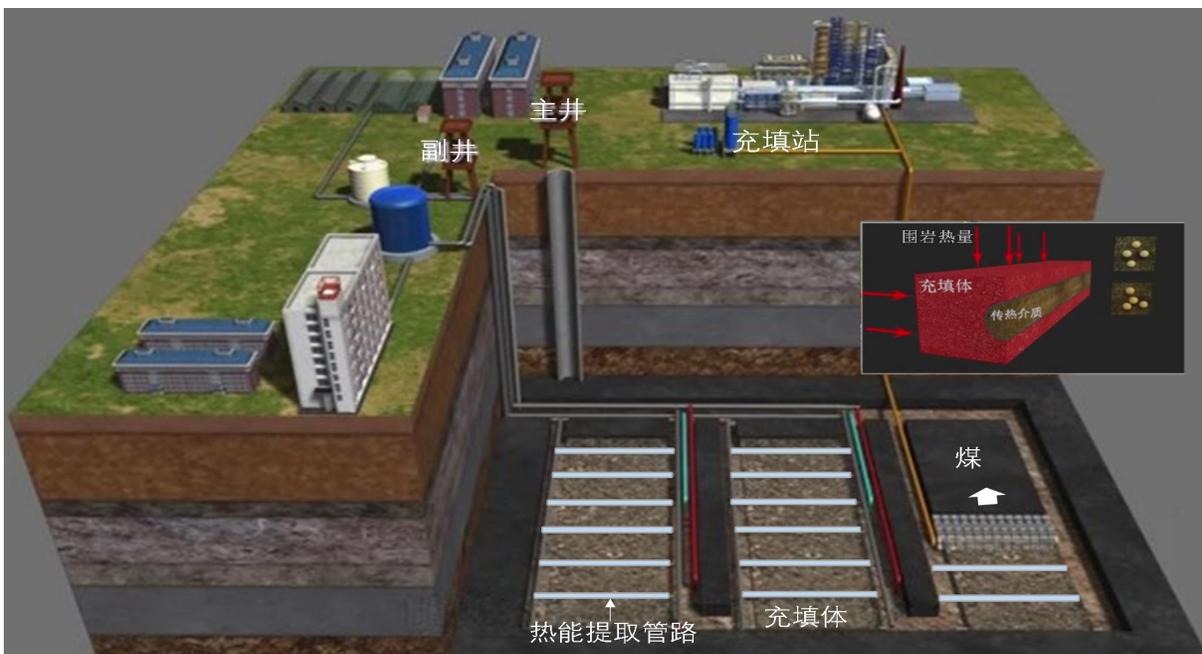


煤气化灰渣传统利用途径

- **基础条件：**
- ✓ **基金资助：**国家重点研发计划项目煤气化灰渣规模化分质梯级利用关键技术装备研究与示范 (2023YFC3904300)

## 研究展望三：煤基固废材料深部充填储热技术

- **研发目标：**深部矿山地热资源高效开发利用
- **关键技术：**深部矿山地热+煤炭资源协同开采技术
- **技术内涵：**研究深部矿山地热源分布特征及补给规律，研发**高导热性能的充填材料**，在充填体内布置热能提取管路，研发**地热与煤炭资源协同开发**



### ➤ **基础条件：**

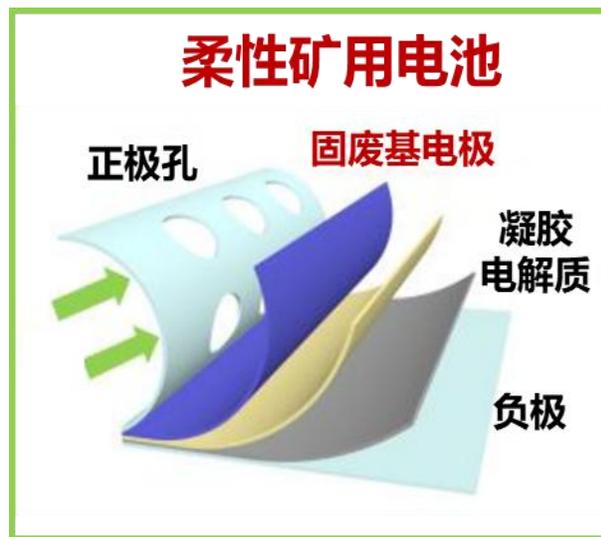
**发表论文：**深部矿山地热与煤炭资源协同开发技术体系研究《工程科学学报》

**发明专利：**获授权一种深部矿山地热能与煤炭资源流态化协同开采方法等**发明专利5件**

**基金项目：**获国家自然科学基金项目

## 研究展望四：煤基固废材料充填储能技术

- **研发目标：**研发长续航、高倍率性能矽石基锂空气储能器件
- **关键技术：**高活性煤矽石基柔性电极+穿戴移动式储能器件研发
- **技术内涵：**研究强酸-弱碱耦合活化、晶度调控诱导表面自重构电化学改性等储能方法，构筑矽石电极|有机电解液|隔膜|锂基供能电极” 储能新体系



### □ 基础条件：

**发表论文：**在Appl Catal B-Environ Rnergy (Q1, 影响因子22.1)等发表论文10篇

**基金资助：**煤矽石表面微结构改性和固碳储能机理研究等获国家自然科学基金资助2项

谢谢各位专家

敬请指导！

