

# 从“生态包袱”到“资源富矿”

中国矿业大学引领的煤矸石“零废弃”系统工程与高值化战略



# 迫在眉睫的国家挑战：煤矸石的双重困境

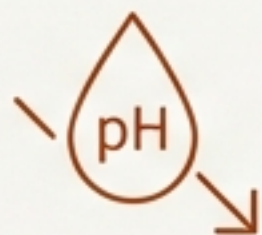


## 环境负荷 (Environmental Load)

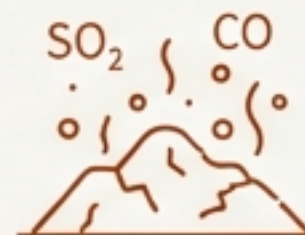


占地 (Land Occupation) :  
历史堆存量  
> 70亿吨

酸性淋溶 (Acid  
Drainage) :  
污染土壤与地下水



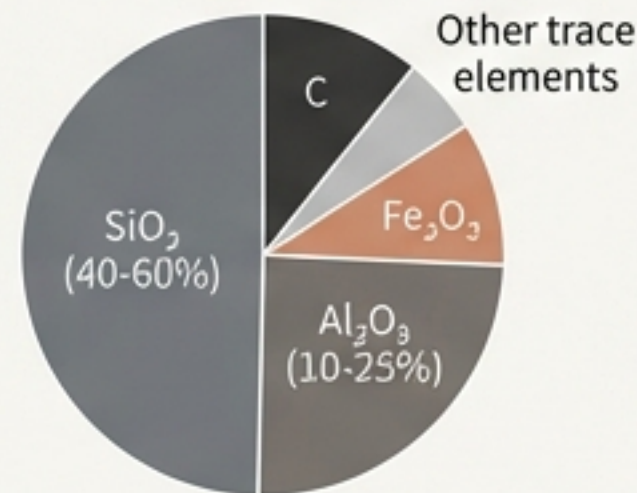
酸性淋溶 (Acid  
Drainage) :  
污染土壤与地下水



自燃污染 (Spontaneous  
Combustion Pollution) :  
释放SO<sub>2</sub>、CO等有害气体

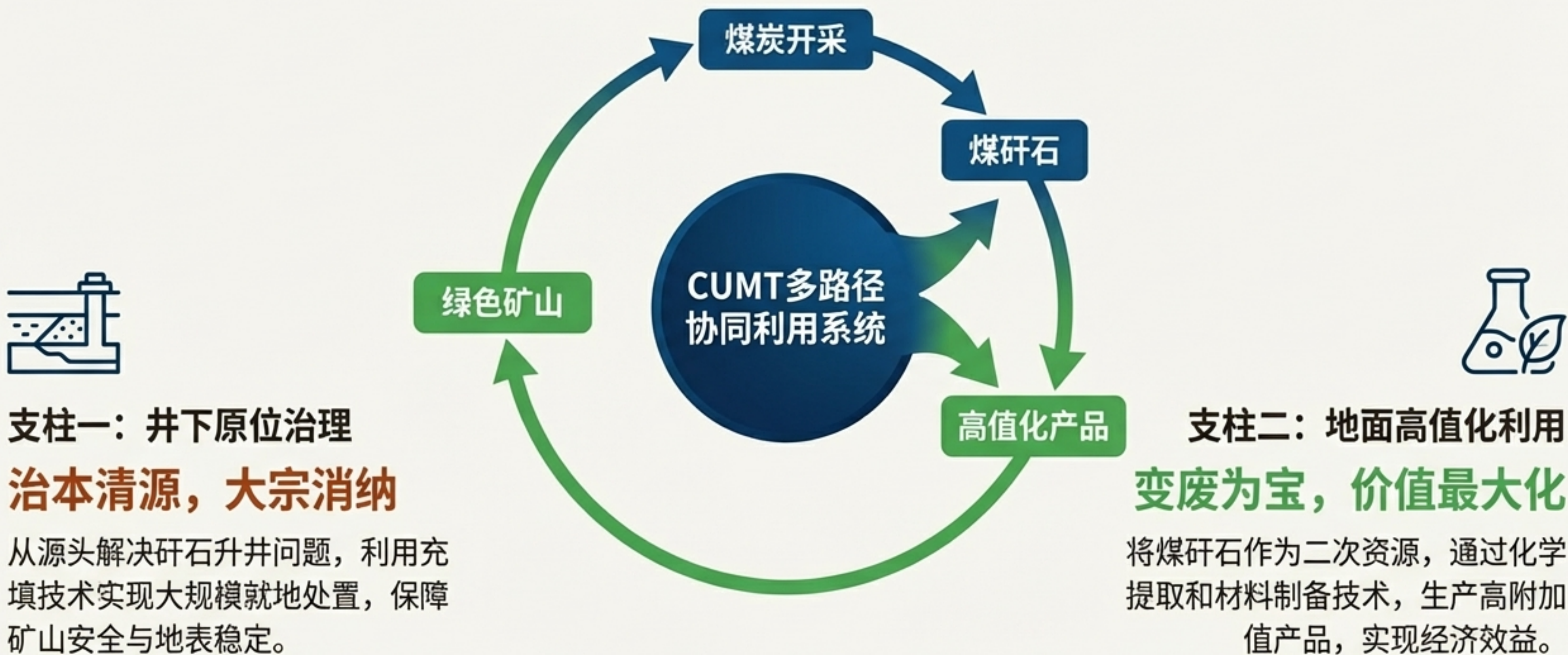
## 资源浪费 (Resource Waste)

潜在的宝贵资源



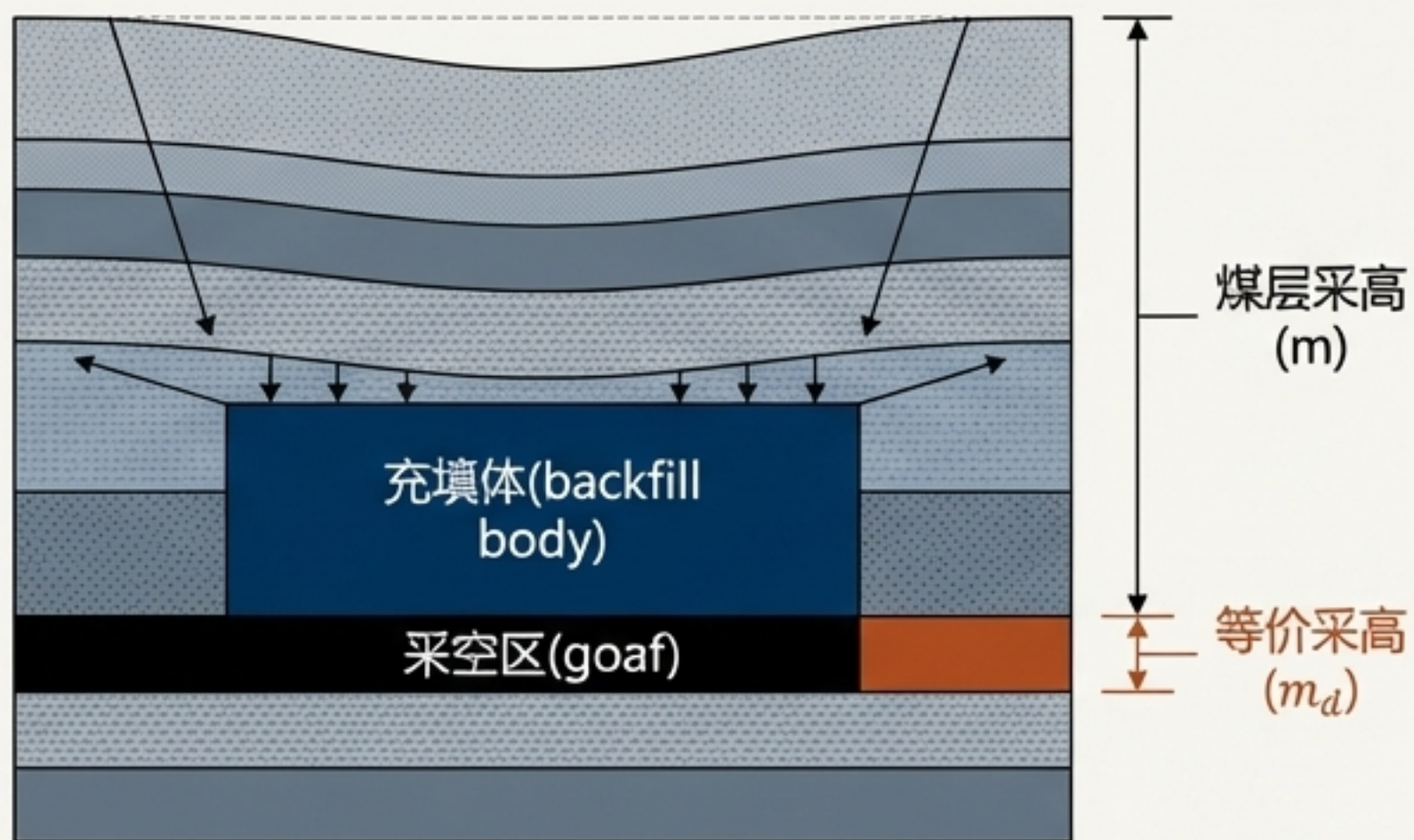
年排放量占原煤产量10-20%

# CUMT“零废弃”愿景：构建多路径协同利用的闭环生态系统



# 科学基石：从经验开采到数据驱动的岩土稳定性控制

研石充填开采的核心是通过充填体限制覆岩和地表移动，其效果可等效为由一个较小的“等价采高” ( $m_d$ )引起的沉陷。



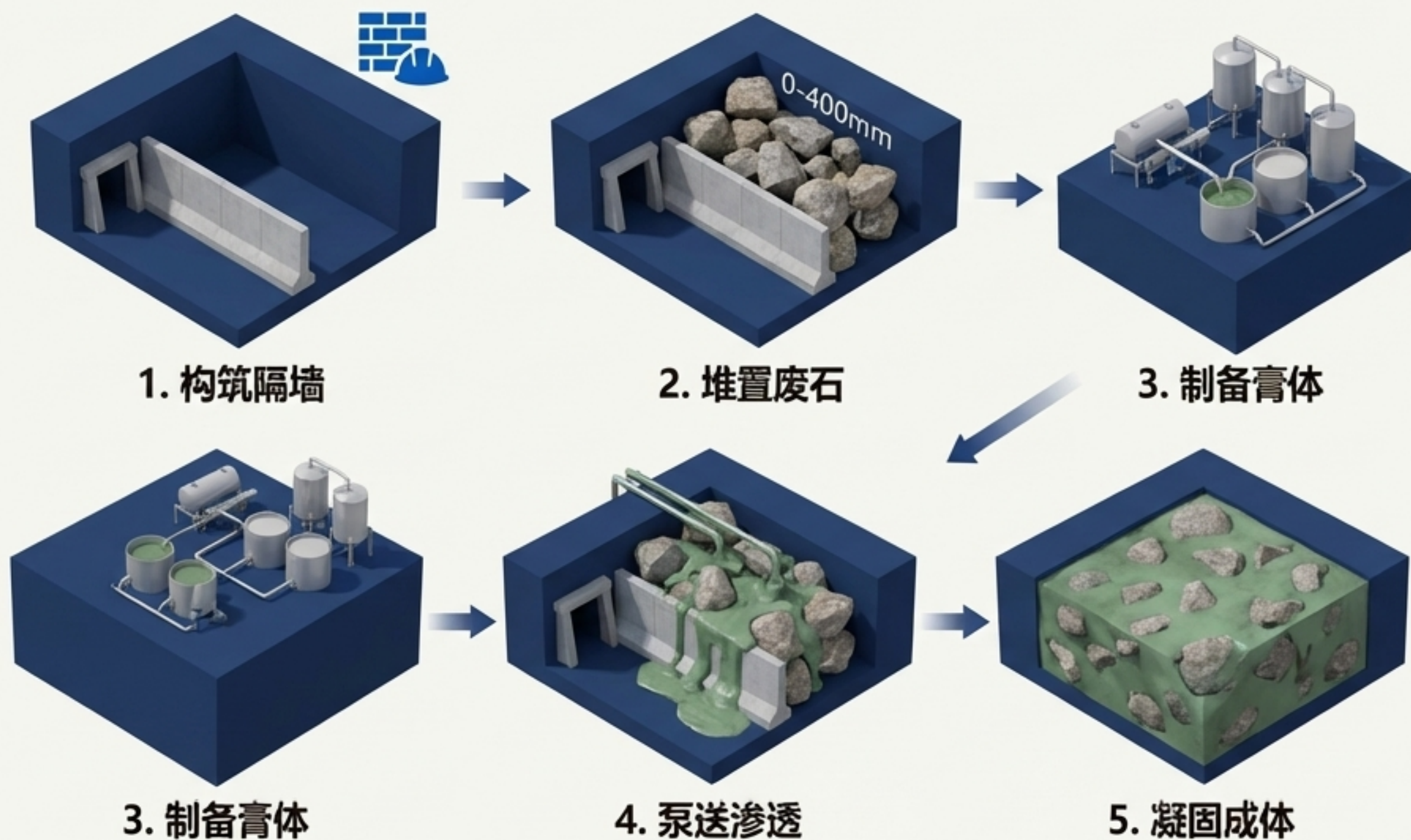
$$m_d = m\eta + (\delta + \Delta)(1 - \eta)$$

Key Parameters		
Parameter	Description	Design Value
$m_d$ (等价采高)	地表沉陷控制的上限指标	<b><math>\leq 250</math> mm</b>
$\eta$ (充填体剩余压缩率)	材料在高应力下的稳定性能	<b>5%</b>
$\delta$ (充填前顶底板移近量)	依赖液压支架的控制精度	<b><math>\leq 100</math> mm</b>
$\Delta$ (充填欠接顶量)	依赖现代化充填设备的能力	<b>0 mm</b>

该模型将材料性能( $\eta$ )、设备性能( $\delta, \Delta$ )和工程目标( $m_d$ )紧密结合，实现了对地表沉陷的确定性控制。

# 核心技术一：膏体联合充填法——实现“废石不出坑”

技术原理：首先在采空区预置大块度废石作为骨架，然后泵送高浓度膏体材料渗透并胶结废石，形成高强度联合充填体。



# 100%

## 固废利用率

实现了井下废石、选矿尾砂、冶炼水淬渣的完全利用

膏体重量浓度：75-85%

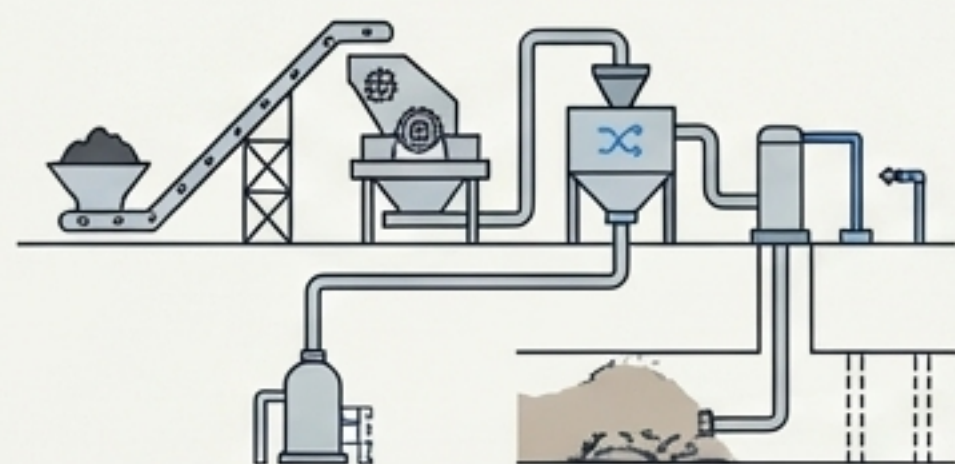
处理废石粒度：0 ~ 400 mm



**核心优势：**从源头解决了地表废弃物堆放的环境和安全问题。

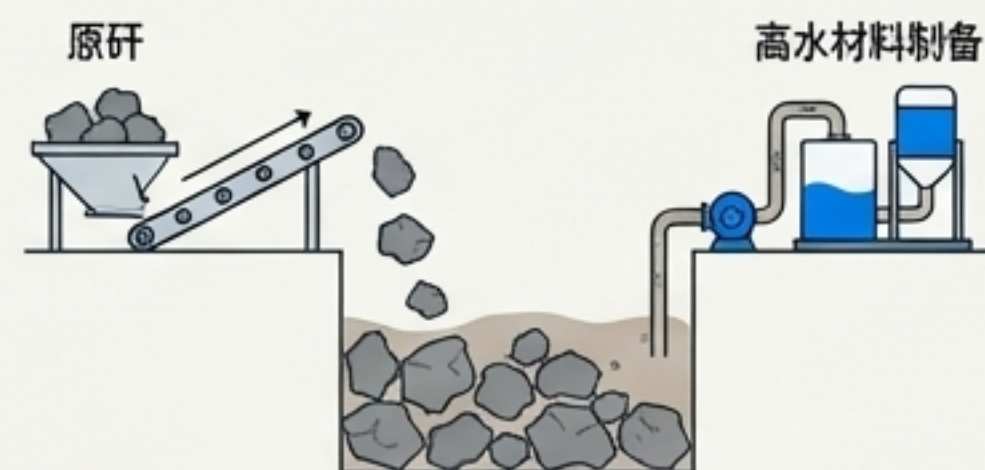
## 核心技术二：原矸+高水材料复合充填——更经济高效的选择

融合固体充填与胶结充填优势，通过“**骨架支撑 + 胶结补强**”双重作用实现采空区稳定。先用原生煤矸石构建承载骨架，再漫灌高水速凝材料填充间隙并胶结成整体。



传统膏体充填系统 (复杂)

无需复杂的井上破碎和搅拌站



原矸+高水材料复合充填系统 (简化)

- COST 成本**：充填成本较膏体充填降低 35-38%。
- STRENGTH 强度**：28天单轴抗压强度  $\geq 2.0$  MPa。
- RELIABILITY 可靠性**：无堵管风险，输送可靠性高。
- EQUIPMENT 设备**：制备系统简单，井下即可制备，占地减少60%。
- APPLICABILITY 适用性**：适用于对成本敏感且地表沉降控制要求在75%以上的区域。

# 核心技术三：覆岩隔离注浆充填——宏观尺度的大宗处置方案

将煤矸石磨细制成浆体，从地面钻孔注入采煤后形成的覆岩离层空间。浆体填充并支撑关键岩层，阻止其破断，从而控制地表沉降，并实现对煤矸石的大规模处置。



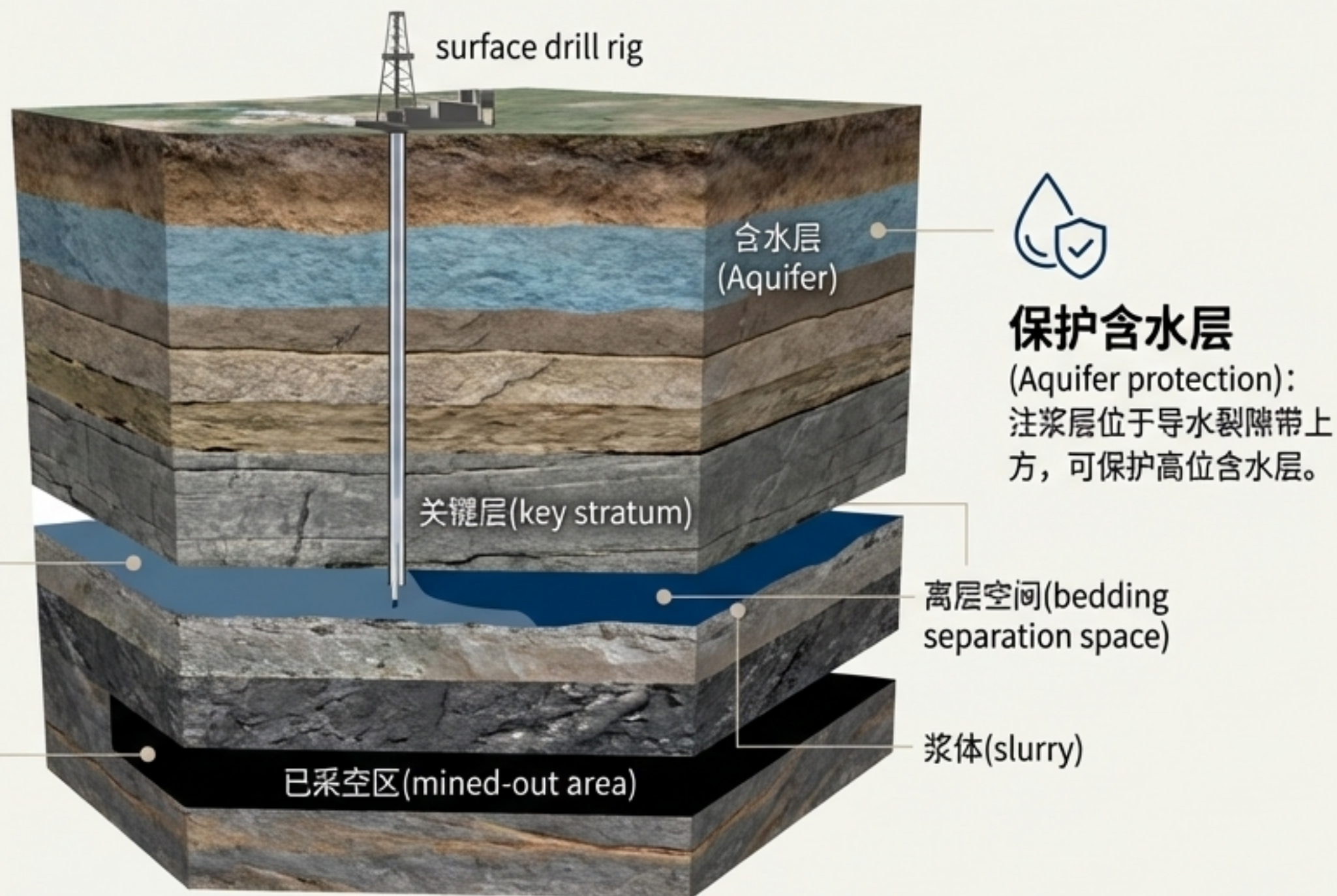
## 大规模处置

(Large-scale disposal): 可实现煤矸石的规模化处理，注浆与采煤协同作业，互不干扰。



## 地表减沉

(Surface subsidence reduction): 有效控制采煤引起的地表沉降。

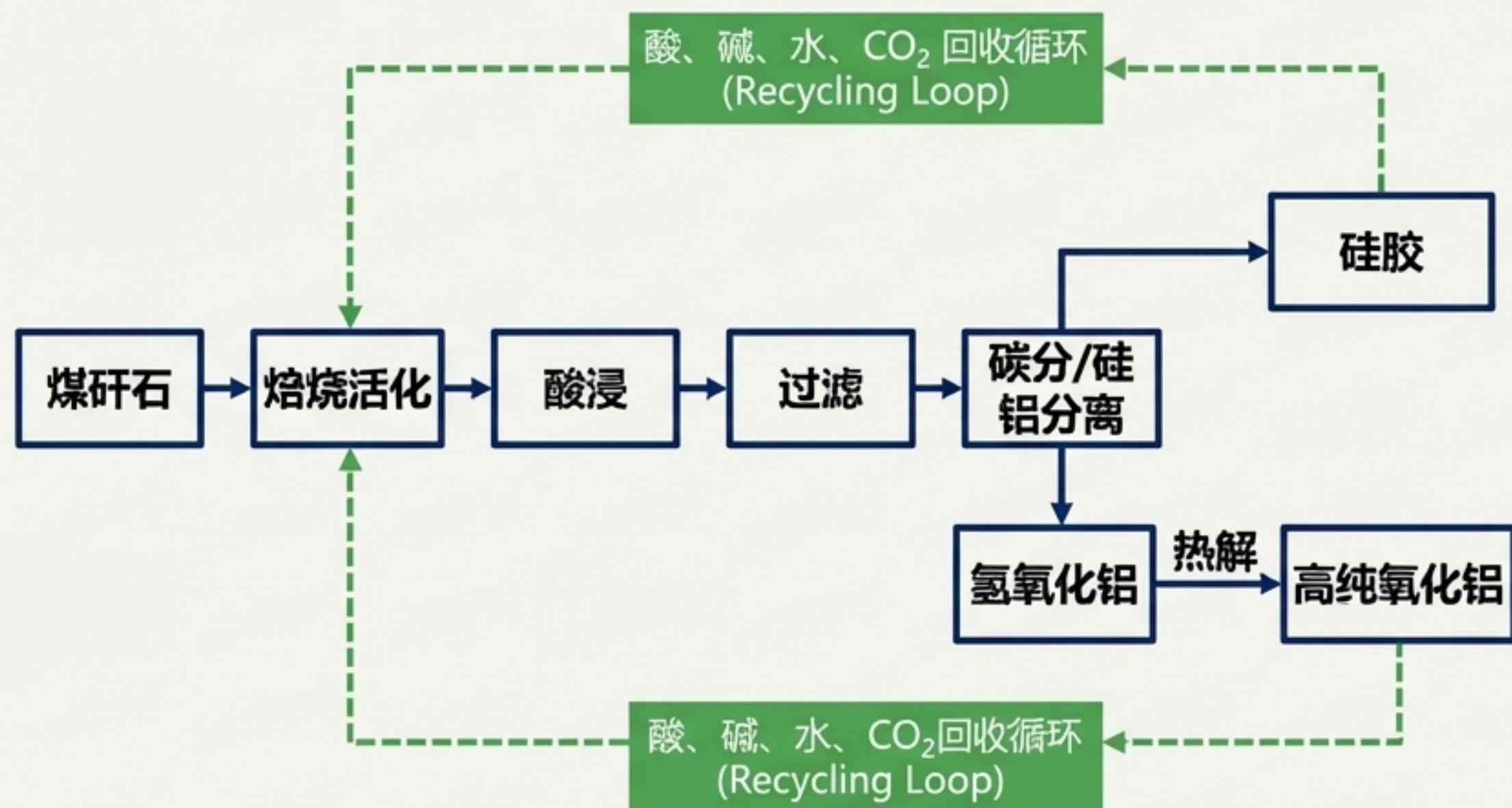


## 保护含水层

(Aquifer protection): 注浆层位于导水裂隙带上方，可保护高位含水层。

# 高值化路径一：酸浸-碳分法提取高纯氧化铝与硅胶

以煤矸石为原料，通过焙烧活化、浸取过滤、碳分、硅铝分离、热解等步骤，获得高纯度氧化铝和硅胶。

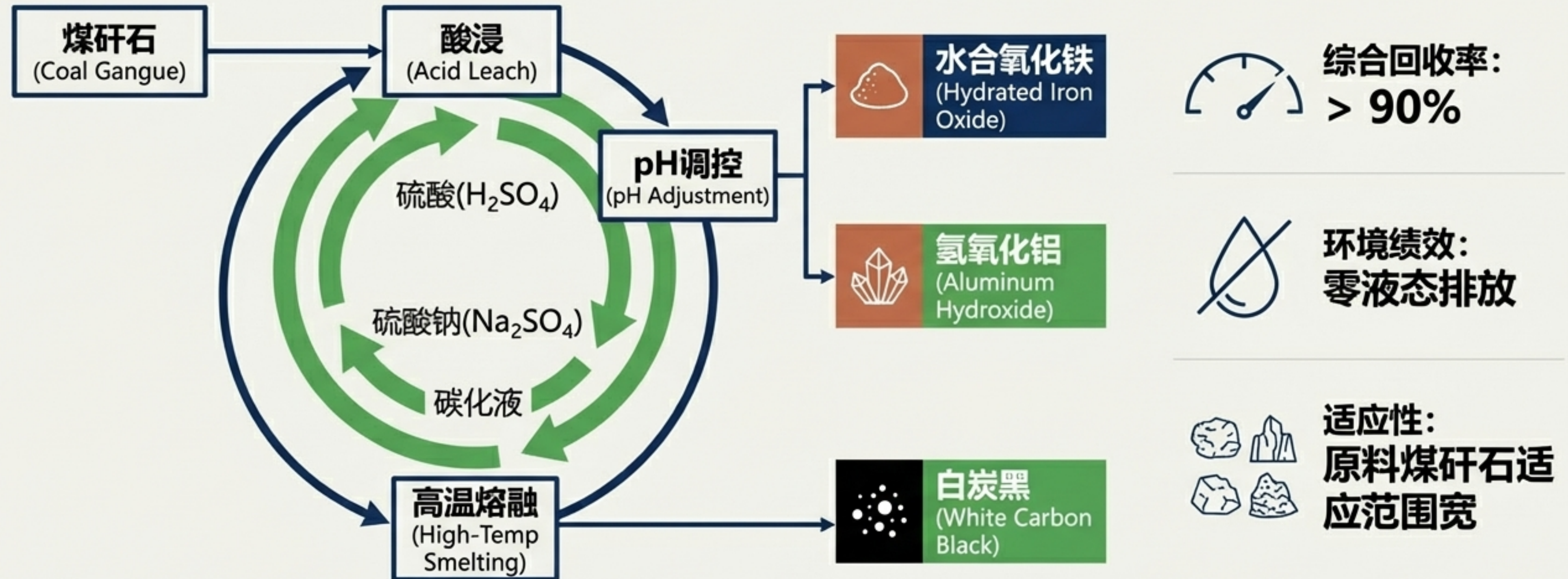


## 核心创新

- **简化工艺：**去掉了传统工艺中的除铁环节，这大大简化了流程并显著降低了生产成本。
- **闭环设计：**工艺过程中产生的CO<sub>2</sub>以及使用的碱、酸和水均可回收并实现闭环循环利用，最大限度减少环境排放。最大限度减少环境排放。

# 高值化路径二：硅铝铁多产品联产零排放方案

技术原理：通过活化酸浸，并精确调控pH值，先后分离出铁、铝，再对酸浸残渣进行高温熔融回收硅，实现多产品联产。所有试剂在系统内循环，实现零液态排放。



# 高值化路径三：从骨料到高性能工程材料

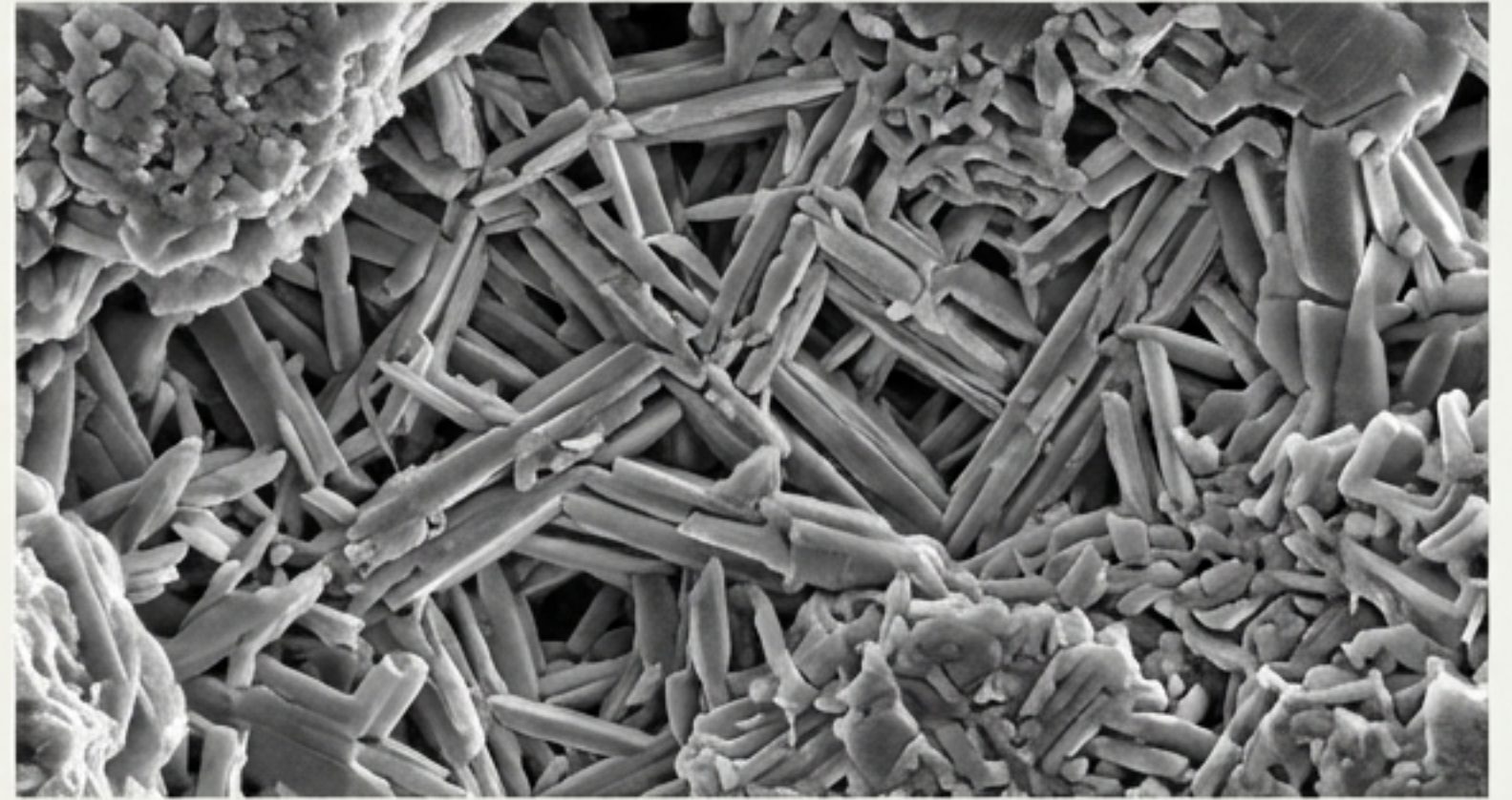


## 全煤矸石道路材料

成功应用于矿山园区的路基垫层、水泥稳定碎石层和混凝土路缘石。

**100%替代**传统砂石骨料，填补了区域技术空白。

合作案例：中国矿业大学与新上海一号煤矿、鄂尔多斯恩典之跑环保科技发展有限公司合作成果。

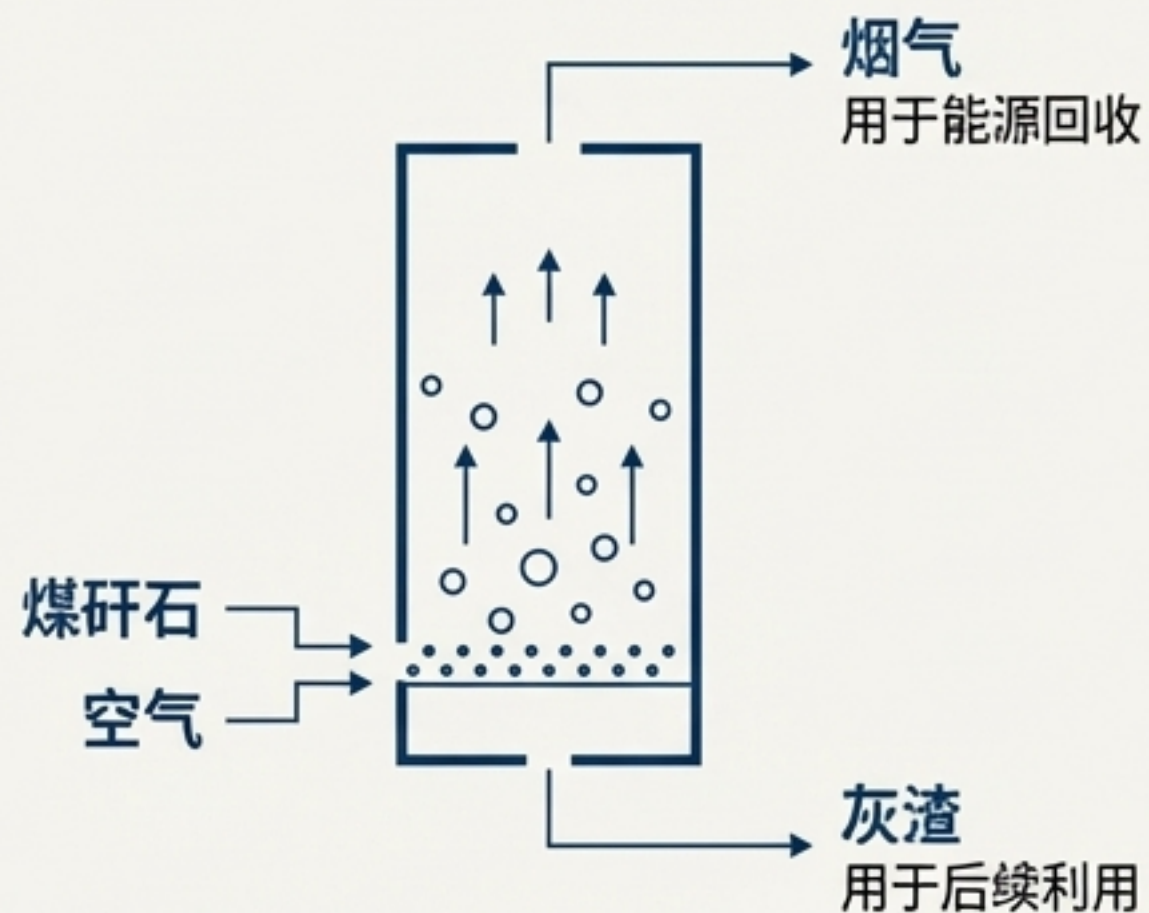


## 高性能胶凝材料“凝石” (Ning-shi)

活化比表面积  $\approx 500 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，保证了充填体的早期强度和长期耐久性。

与传统水泥混凝土相比，**耐久性更优。**

# 协同路径：能源化利用与生态修复



构建“能-化-材 (Energy-Chemicals-Materials)”协同利用模式，最大化回收煤矸石中的热值。

可用于工业锅炉或热电联产，或通过热解气化为后续化学提取提供活化原料。




构建“回填复垦—产业植入—碳汇增值”的闭环生态体系。


煤矸石经处理后用作土地复垦的基质材料，将昔日的矸石山变为良田或绿地。


案例：神东煤炭将排矸场复垦为可种植玉米、黑豆的耕地，保德煤矿排矸场已形成150亩耕地。

# 实施保障：政策驱动与市场化激励

## 政策驱动

 **国家级规划：**推动将煤矸石回填纳入国家“十五五”生态修复规划。


 **财税支持：**为示范项目提供**增值税减免、生态修复补贴**（如**15-20元/吨**）、技术改造补贴等。

 **标准引领：****CUMT参与**推动国家标准《煤矸石综合利用技术导则》的修订，确保先进技术通过行业规范推广。



**以废换地：价值置换，生态效益转化为土地资产**

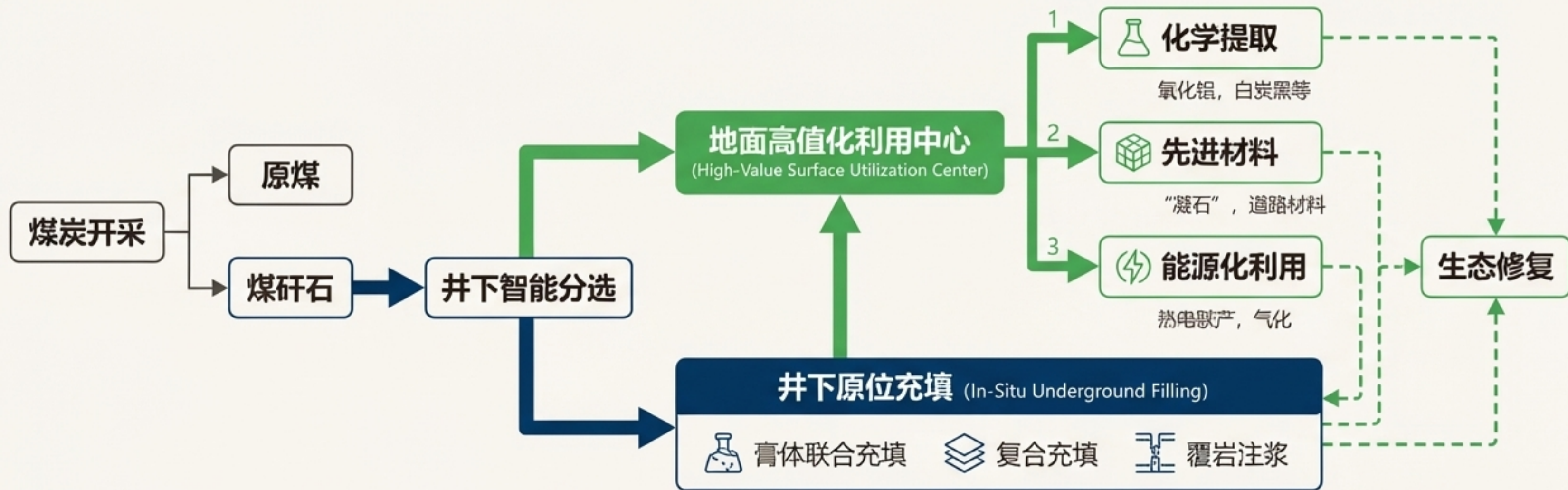
## 市场激励

 **“以废换地”模式：**允许企业通过矿山复垦，将治理后的土地置换为**新增建设用地指标**，将生态效益转化为高价值的土地资产，撬动社会资本投入。

数据来源：专家级报告, Source Han Sans CN Light

CUMT实施方案与设计思路专家报告, 煤矸石加高水材料充填技术方案(1).pdf

# 系统集成：从单点技术到闭环产业生态



旧模式 采矿 → 利用 → 堆存

CUMT新模式



## 关键绩效指标：量化成果与工程价值

指标类别	具体参数	数值/范围	来源技术
井下治理-岩土控制	等价采高 ( $m_d$ ) 上限	$\leq 250$ mm	岩土稳定性控制模型
	充填体剩余压缩率 ( $\eta$ )	5%	高性能充填材料
	充填前顶底板移近量 ( $\delta$ )	$\leq 100$ mm	现代化液压支架
井下治理-技术效率	膏体联合充填固废利用率	100%	膏体联合充填
	复合充填成本降低率	35-38% (vs. 膏体充填)	原矸+高水材料复合充填
	复合充填体28天强度	$\geq 2.0$ MPa	原矸+高水材料复合充填
地面利用-化学提取	硅铝铁联产综合回收率	$> 90\%$	硅铝铁多产品联产方案
	硅铝铁联产环境绩效	零液态排放	硅铝铁多产品联产方案
地面利用-先进材料	凝石材料比表面积	$\approx 500$ m <sup>2</sup> /kg	凝石制备技术
	道路工程材料替代率	100% (替代传统砂石骨料)	全煤矸石道路材料

# 结论与展望：迈向“无废矿山”，共创绿色未来

中国矿业大学提供了一套经过工程验证的、系统性的、经济可行的煤矸石“零废弃”解决方案。

该体系通过**井下原位治理与地面高值化利用**两大支柱，将环境负债转变为国家**战略资源**。

我们呼吁产业界、政府与投资者携手合作，共同采纳并推广这一变革性模式，推动中国煤炭工业进入可持续发展的绿色新时代。



获取详细报告

