

第二届金属矿采矿科学技术前沿论坛

露天转地下开采覆盖层安全结构和 边坡变形动力冲击与控制研究

北京科技大学 蔡美峰

2011年6月11日

内 容 提 要

一、前言

二、露天转地下开采覆盖层安全结构与合理厚度研究

三、露天转地下开采边坡变形动力冲击演化机理及其控制研究

四、结语

一、前言

- ◆我国冶金矿山**80%**的矿石量来自于露天开采。经过几十年开采，目前大多数大中型露天矿山已经进入中后期开采，很多矿山的开采方式已由山坡开采转入凹陷开采。
- ◆由于大型铁矿床多数为倾斜和急倾斜矿体，埋藏延深较大。凹陷开采深度超过**400m~500m**后继续进行露天扩帮开采，不但经济上不合理，而且造成土地的大面积占用和剥离的大量废石对生态环境的破坏。
- ◆露天转地下开采是集露天和地下两种工艺优点为一体的综合性开采技术。可以使矿山基建投资减少**25%~50%**，生产成本下降**25%**左右。因此，露天转地下开采是大量矿山的必然选择。

一、前言

- ◆与国外相比，我国金属矿山露天转地下开采的整体技术水平仍然相对落后，困难和存在问题较多。
- 对露天转地下开采过渡时机把握不准确，过渡期过长或太短，不能实现平稳过渡，造成企业生产能力的波动，甚至减产、停产。
- 对露天和地下开采缺少统一的全面规划，露天和地下两类相关的采矿工程设施不能有效地相互利用，露天与地下不配套、不协调，不仅浪费资金，而且很难进行大规模、高效率强化开采。

一、前言

- 含有大量矿石的境外卦帮矿和零散矿体由于没有完善的回收技术而被损失掉，或者回收率太低，损失贫化大，造成资源严重浪费。
- 露天转地下开采过程中边坡和地下岩层共同变形、相互影响，引发的地压活动规律和单一开采模式有很大不同，造成的边坡和地下采场失稳破坏情况更为复杂和严重。
- 对覆盖层作用机理认识不清，处理不当，造成通风、排水系统负荷增大，并可造成泥石流等灾害事故，加大了地下开采的风险和成本。

一、前言

- ◆同时，露天转地下开采是一项系统工程，过程环节多，影响因素复杂。要实施露天转地下开采的平稳过渡，既要提高生产能力、实现强化开采，又要保证生产安全，难度很大。
- ◆为了解决我国金属露天矿转地下开采过程带有共性的一系列关键技术问题，实现露天转地下开采的平稳过渡和安全高效生产，“露天转地下相互协调安全高效开采关键技术研究”被列入“十一五”国家科技支撑计划，首钢杏山铁矿为课题研究的工程依托单位。

一、前言

- ◆以安全和效益为目标，围绕露天转地下开采平稳过渡和安全高效生产5个方面的关键技术进行系统深入的试验研究：
- 露天转地下开采满足六大功能的覆盖层的安全结构、合理厚度及其形成技术；
- 露天转地下平稳过渡和开拓运输系统、采矿方法与工艺、通风、排水等系统的最佳衔接技术；
- 露天转地下开采过程中边坡及岩层变形、破坏实时监测及预测预报技术，揭示矿山地压灾害事故的发生机理和内在规律。

一、前言

- 露天转地下相互协调的安全高效采矿工艺技术；
- 露天转地下开采安全生产综合技术和自动化安全生产管理信息系统
- ◆ 上述5个方面关键技术，对应了露天转地下开采的各个环节。各技术环节相互依赖、相互支撑、相互匹配，构建一个整体优化的技术体系。保证首钢杏山铁矿露天转地下开采的平稳过渡和安全高效生产，提升矿山的生产规模、生产能力，实现经济效益、社会效益和环境效益的最大化。

二、露天转地下开采覆盖层的安全结构与合理厚度研究

◆覆盖层的主要功能

- 防冲击地压
- 形成挤压爆破端部放矿条件
- 滞水作用
- 减少漏风
- 防寒保暖
- 预防泥石流

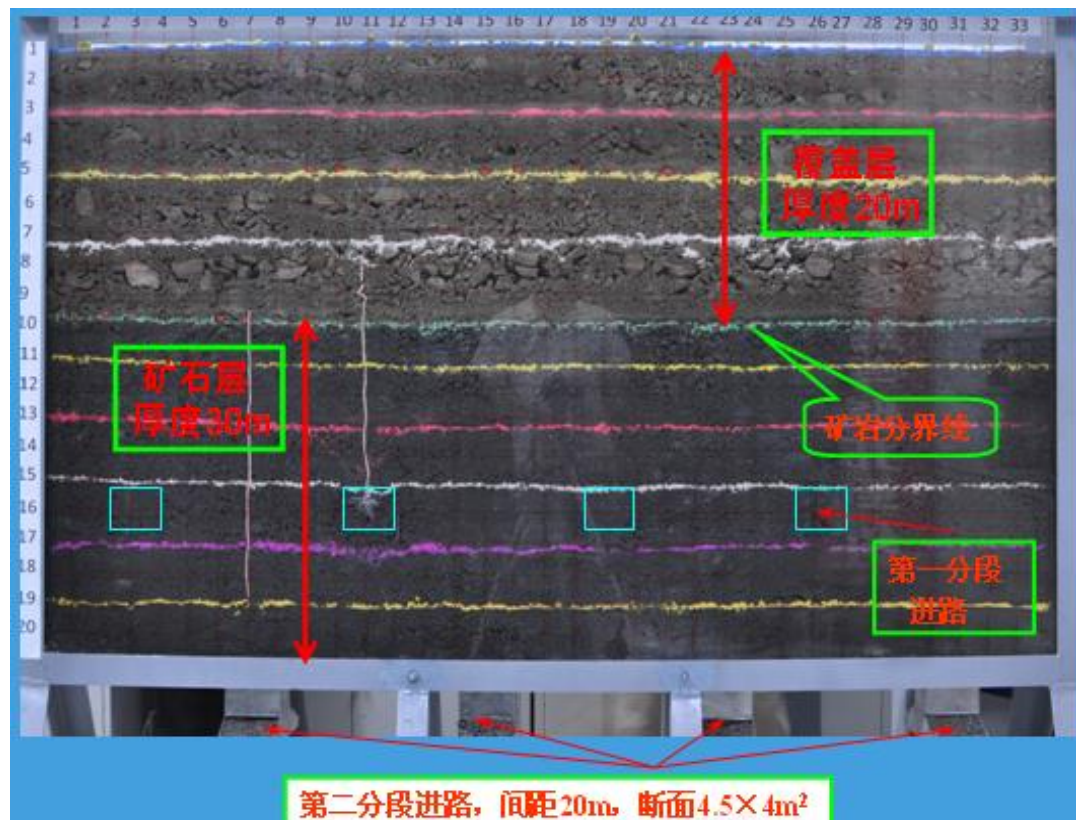
二、露天转地下开采覆盖层的安全结构与合理厚度研究

◆覆盖层力学行为和移动特性研究

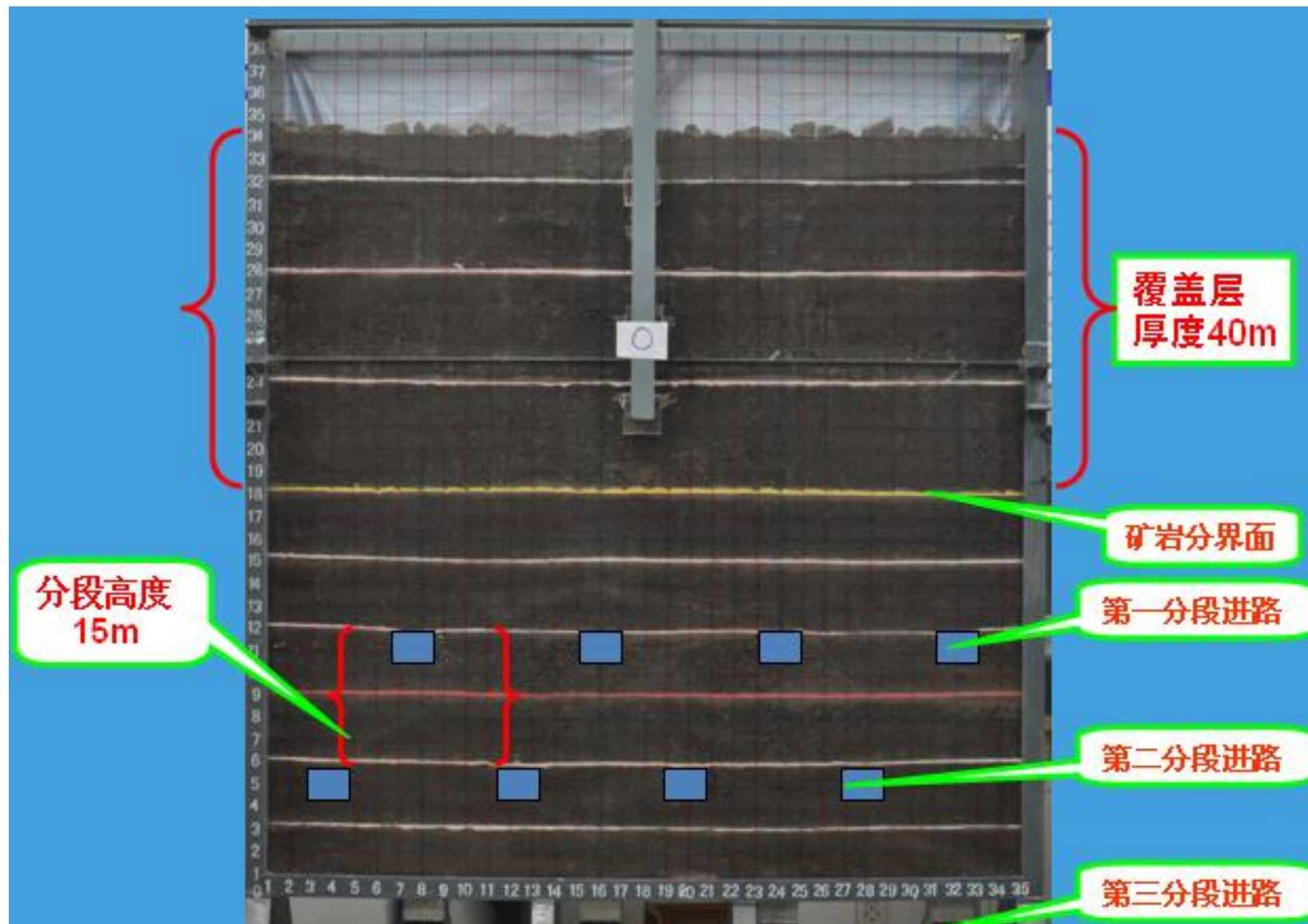
●实验室模拟研究

模型1:

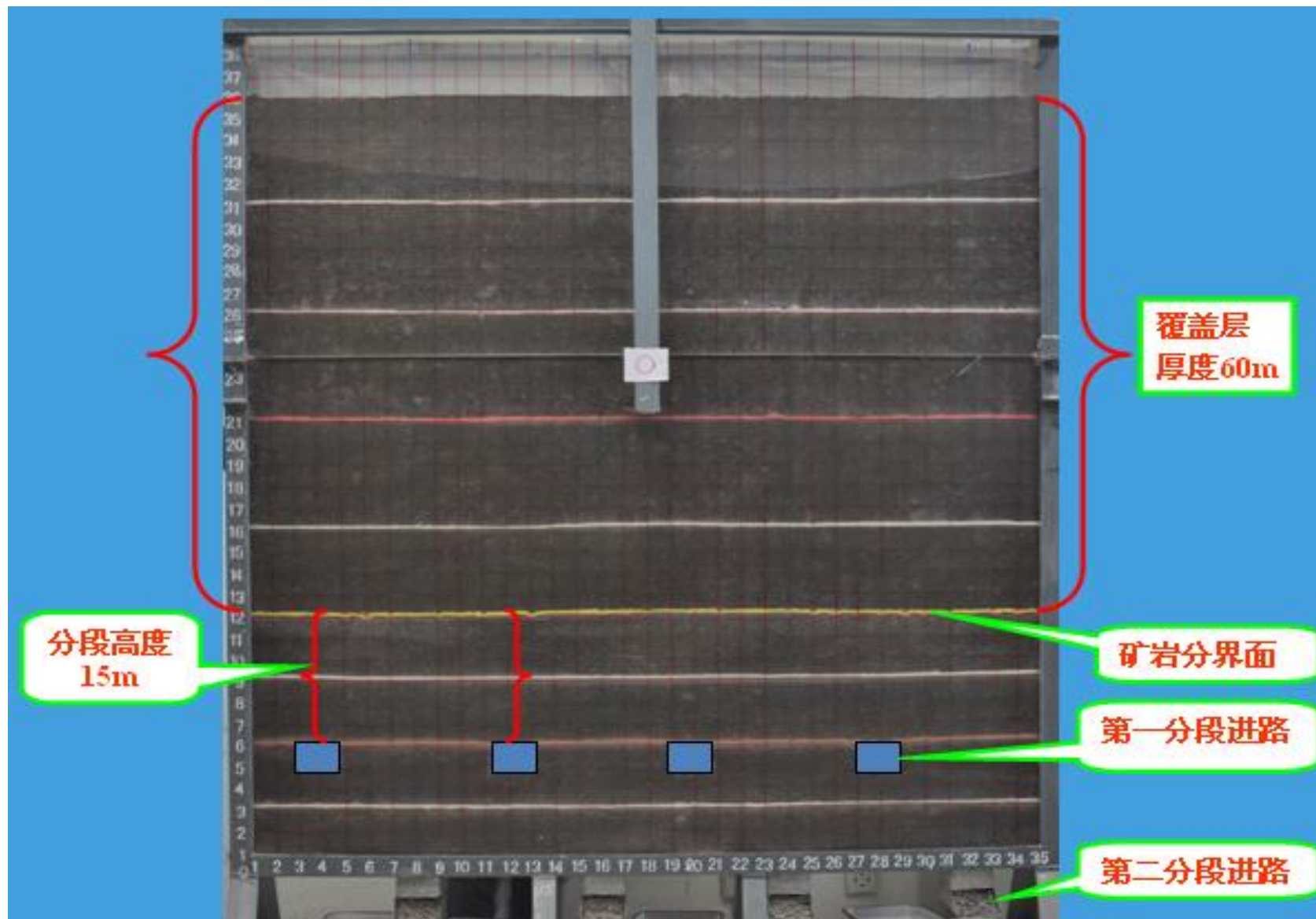
覆盖层厚20m,
分段高度15m,
二分段放矿



模型2：覆盖层厚40m，三分段放矿



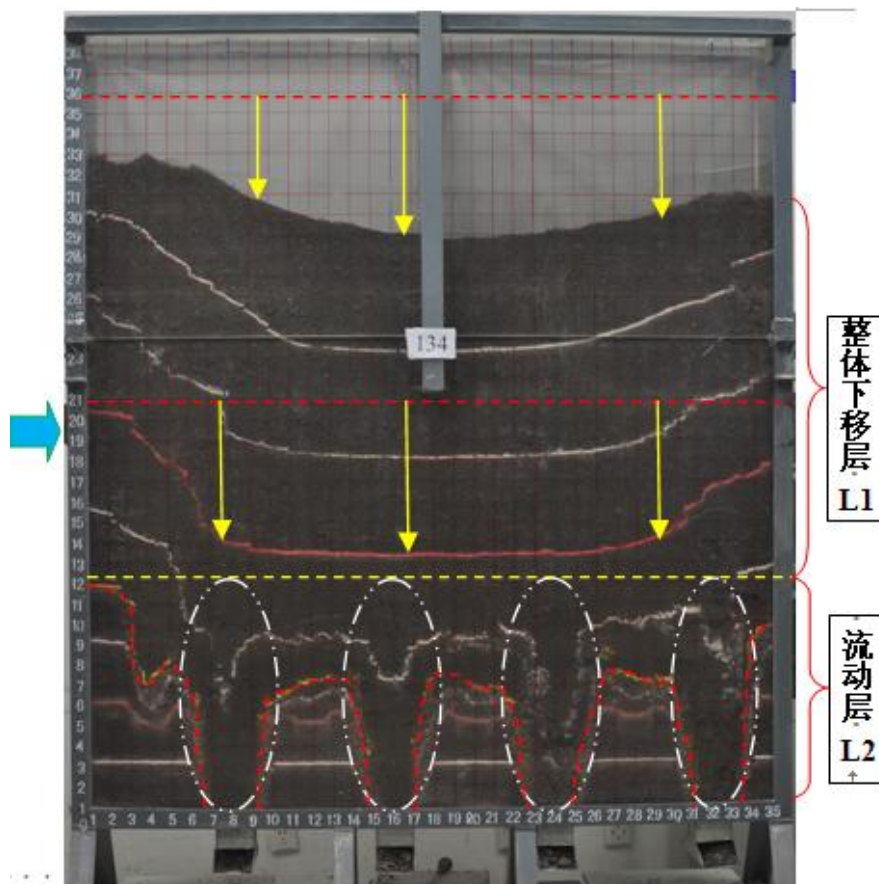
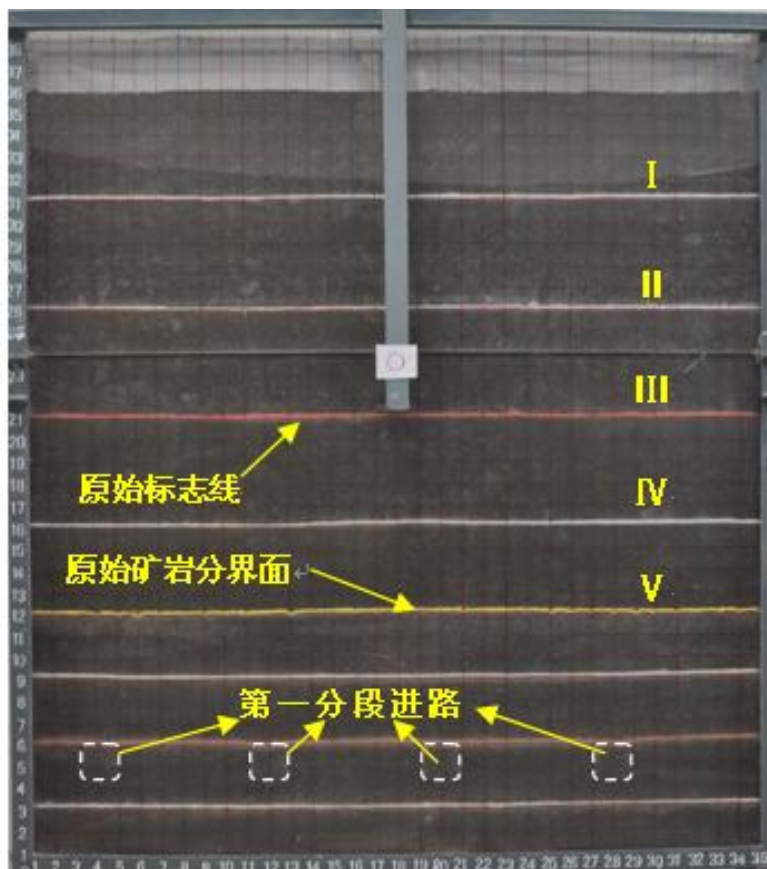
模型3：覆盖层厚60m，两分段放矿



◆覆盖层力学行为和移动特性研究

●实验研究结论

结论1：露天转地下覆盖层随地下开采而沉降下移，宏观结构可分为两部分：**流动层**和**整体下移层**。



结论2：流动层高度 H_T 取决于采场结构参数、放矿制度。并受矿岩块度、湿度等因素的影响。

$$Q = \frac{\pi h_f}{16} [B_h^2 + \frac{4}{3} h_f^2 (1 - \varepsilon^2)]$$

$$H_s = 2.5h_f$$

$$H_T = (H_s - H_d) \cdot k$$

 H_s —松动体高度;

H_T —松动体影响的覆盖层高度;

 H_d —崩落分段高度;

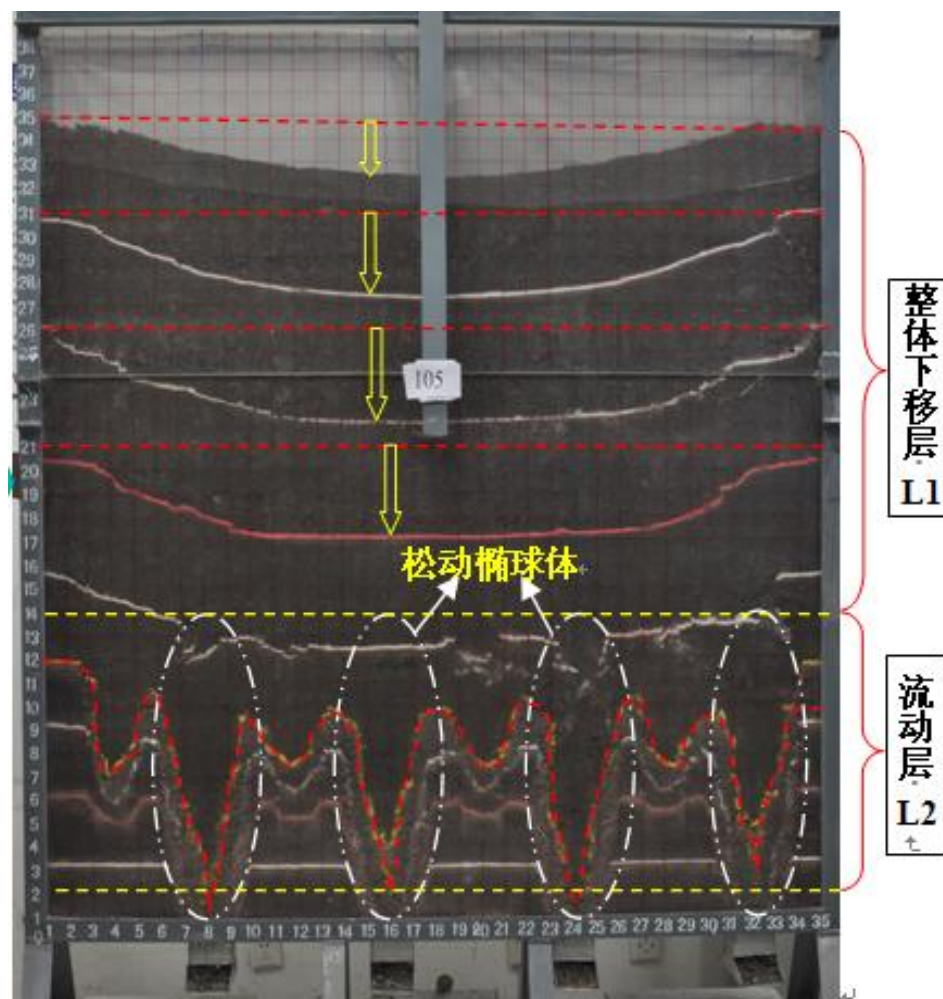
k —安全系数，取1.2;

Q — 放出体体积;

h_f — 放出体高度;

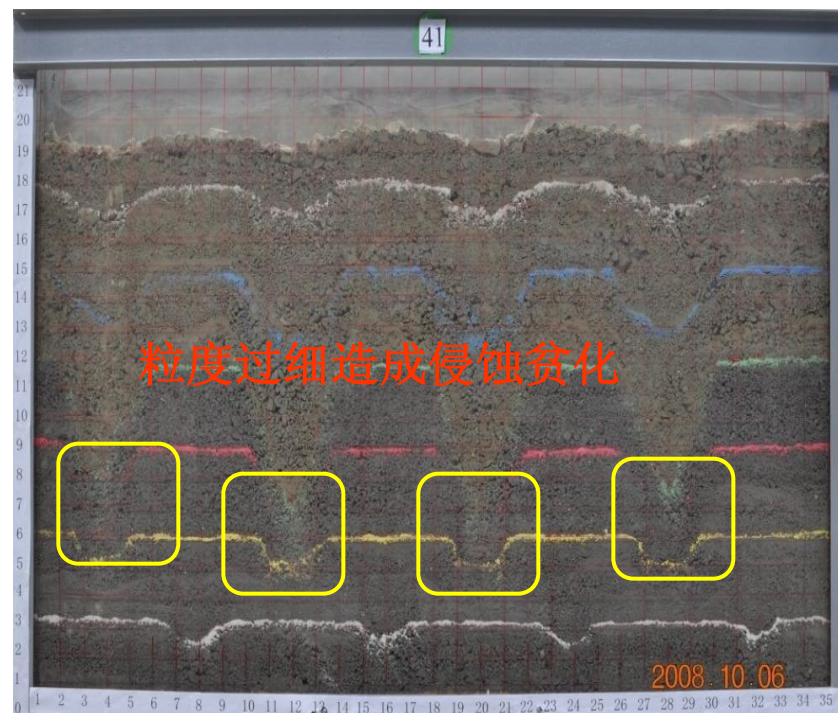
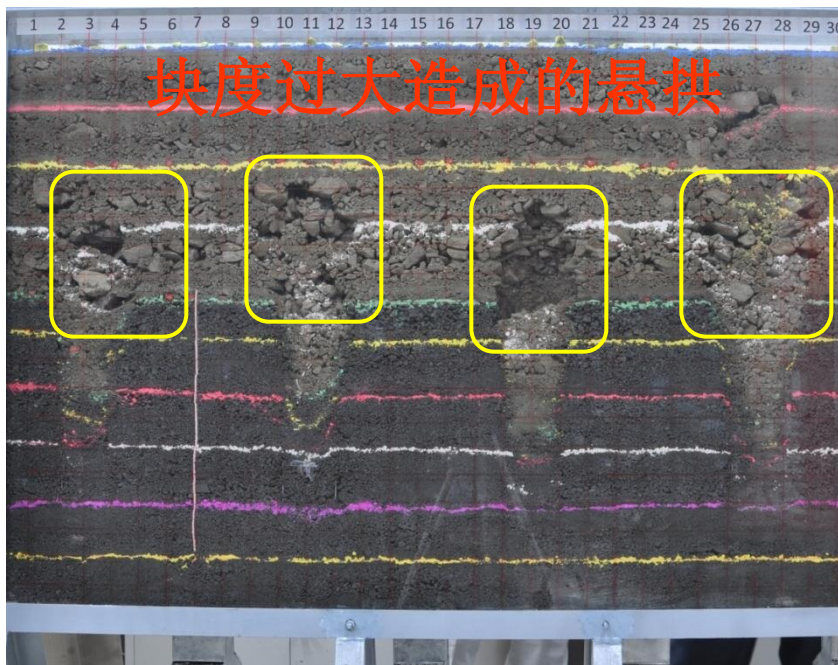
 B_b — 回采巷道宽度;

ε — 放出椭球体偏心率;

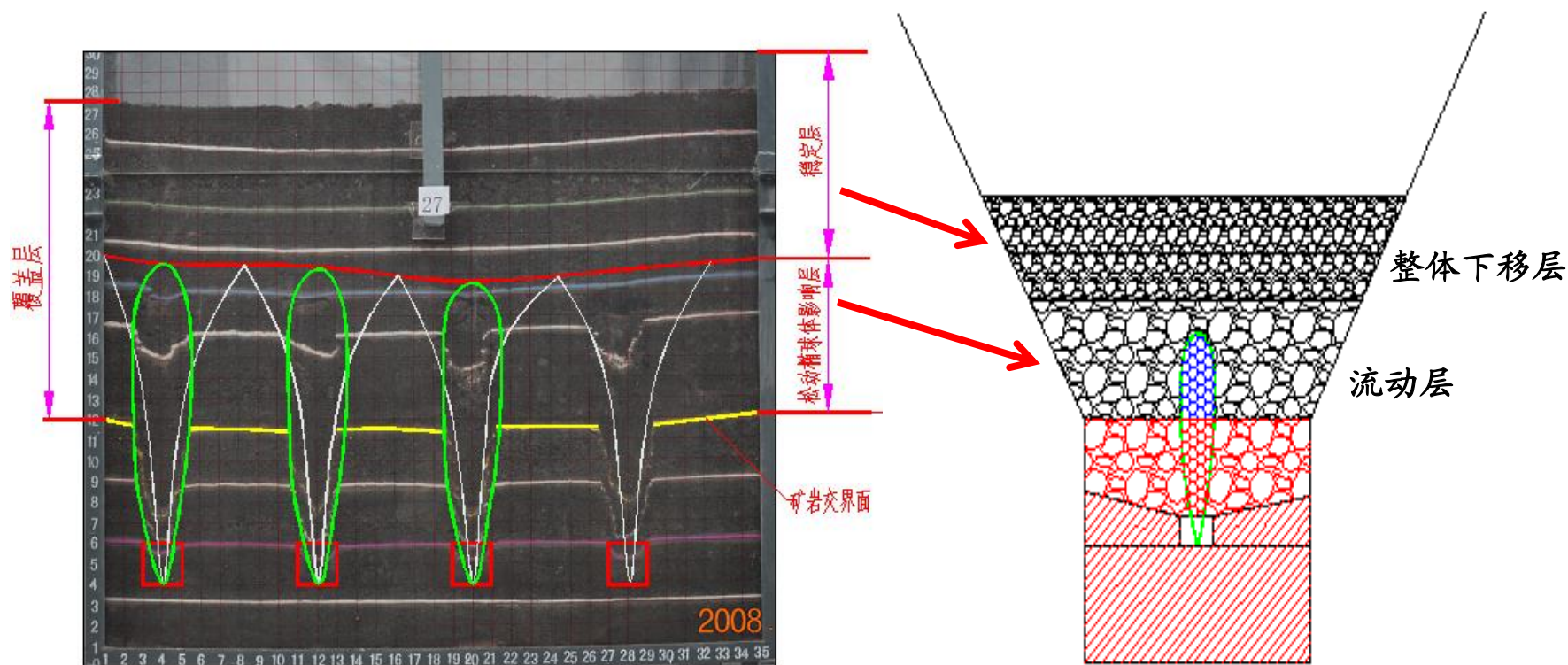


结论3：流动层的结构

流动层岩石块度最好接近地下采场矿石块度。块度过大，容易出现悬拱现象；块度过细，岩石容易侵入到放出椭球体中，过早侵蚀出现贫化。



结论4：整体下移层高度取决于设防标准，受覆盖层渗流特性、窜风特性、温变特性等因素所控制。



◆覆盖层物料的水渗透特性

●渗透系数的测定试验

实验装备与材料



渗透实验所用物料



渗透实验装置

●实验结果

不同粒径组成覆盖层的渗透系数

| 组数 | 粗细比 | 渗透系数K (cm/s) |
|-----|----------|-------------------------|
| 第1组 | 6: 4 | 1.0792×10^{-4} |
| 第2组 | 6.5: 3.5 | 2.2795×10^{-4} |
| 第3组 | 7: 3 | 1.0778×10^{-3} |
| 第4组 | 8: 2 | 1.0647×10^{-2} |

不同孔隙比下粗粒土的渗透系数实验结果

| 土样编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 干密度 g/cm ³ | 2 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 | 1.76 | 1.73 |
| 孔隙比 | 0.35 | 0.371 | 0.392 | 0.414 | 0.436 | 0.459 | 0.484 | 0.508 | 0.534 | 0.561 |
| 不均匀系数 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 曲率系数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 渗透系数 cm/s | 7.7 × 10 ⁻³ | 2.2 × 10 ⁻² | 2.2 × 10 ⁻² | 2.3 × 10 ⁻² | 3.3 × 10 ⁻² | 3.8 × 10 ⁻² | 5.7 × 10 ⁻² | 7.2 × 10 ⁻² | 8.7 × 10 ⁻² | 9.4 × 10 ⁻² |

不均匀系数不同时的渗透系数实验结果

| 土样编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 干密度 g/cm ³ | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 | 1.86 |
| 不均匀系数 | 42.3 | 35.3 | 28.9 | 23.1 | 18 | 13.5 | 9.7 | 6.5 | 3.9 | 2.9 |
| 曲率系数 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 渗透系数 cm/s | 6.7 × 10 ⁻² | 4.5 × 10 ⁻² | 2.8 × 10 ⁻² | 2.4 × 10 ⁻² | 2.3 × 10 ⁻² | 2.1 × 10 ⁻² | 1.9 × 10 ⁻² | 1 × 10 ⁻² | 9.6 × 10 ⁻³ | 8.8 × 10 ⁻³ |

不同曲率系数时渗透实验结果

| 土样编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 干密度 g/cm ³ | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 |
| 不均匀系数 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 曲率系数 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 2 | 2.6 | 3.2 | 3.9 |
| 渗透系数 cm/s | 3.1 × 10 ⁻³ | 6.4 × 10 ⁻³ | 6.4 × 10 ⁻³ | 6.7 × 10 ⁻³ | 6.9 × 10 ⁻³ | 1.3 × 10 ⁻² | 1.2 × 10 ⁻² | 1.0 × 10 ⁻² | 1.6 × 10 ⁻² | 1.6 × 10 ⁻² |

◆覆盖层的窜风特性

●实验室模拟实验

为了研究分析覆盖层的漏风参数及其影响因素，并进行了7种不同孔隙率条件下的漏风实验。

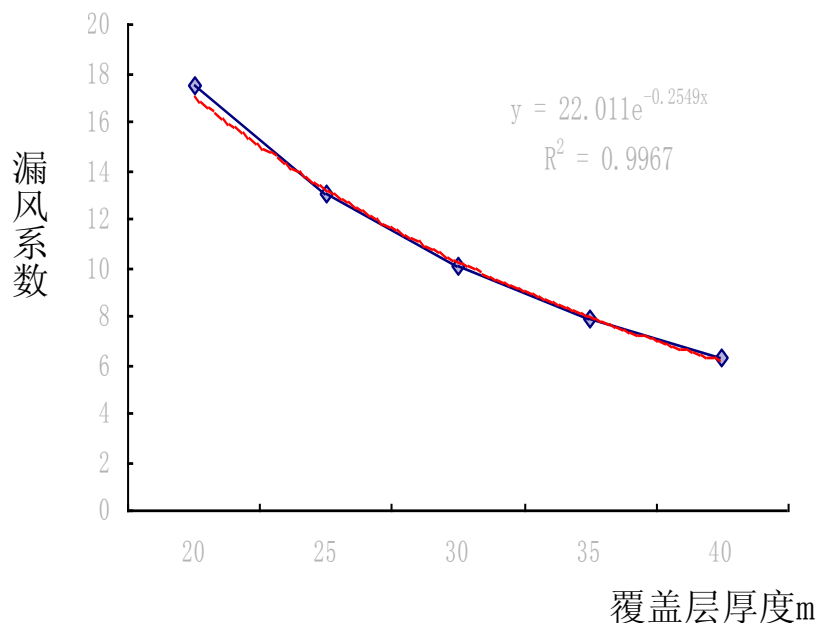


◆覆盖层的窜风特性

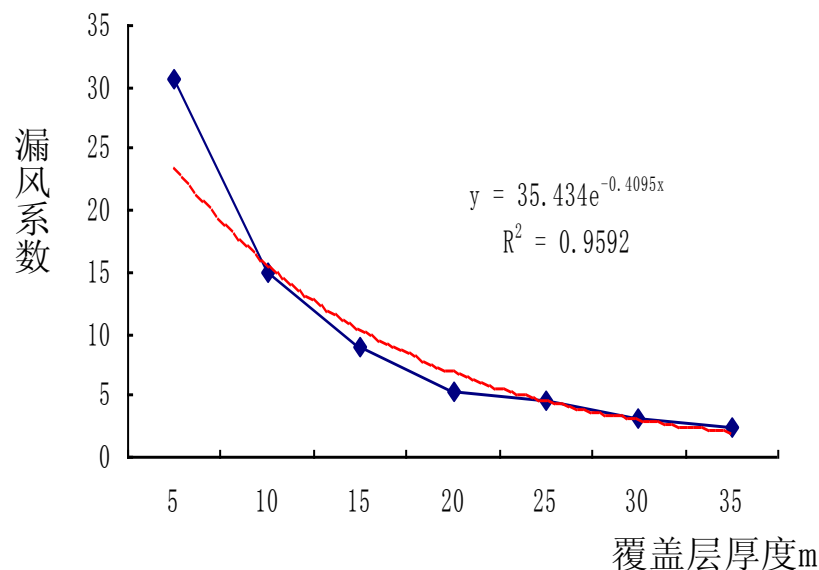
●实验结果分析

➤漏风系数与覆盖层厚度的关系

漏风系数与覆盖层厚度关系图（孔隙率38.5%）



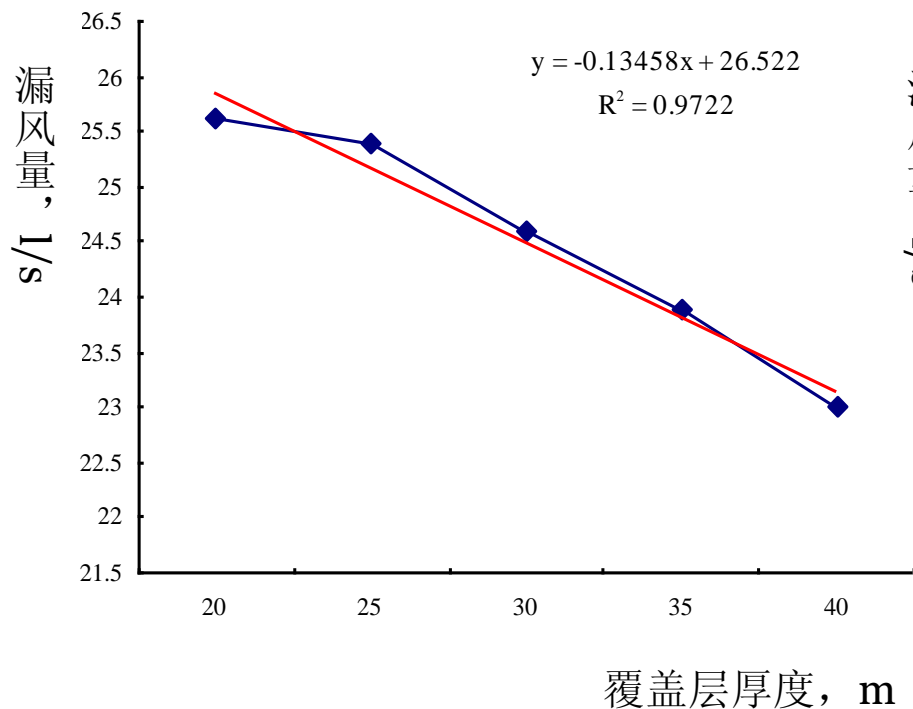
漏风系数与覆盖层厚度关系图（孔隙率31.77%）



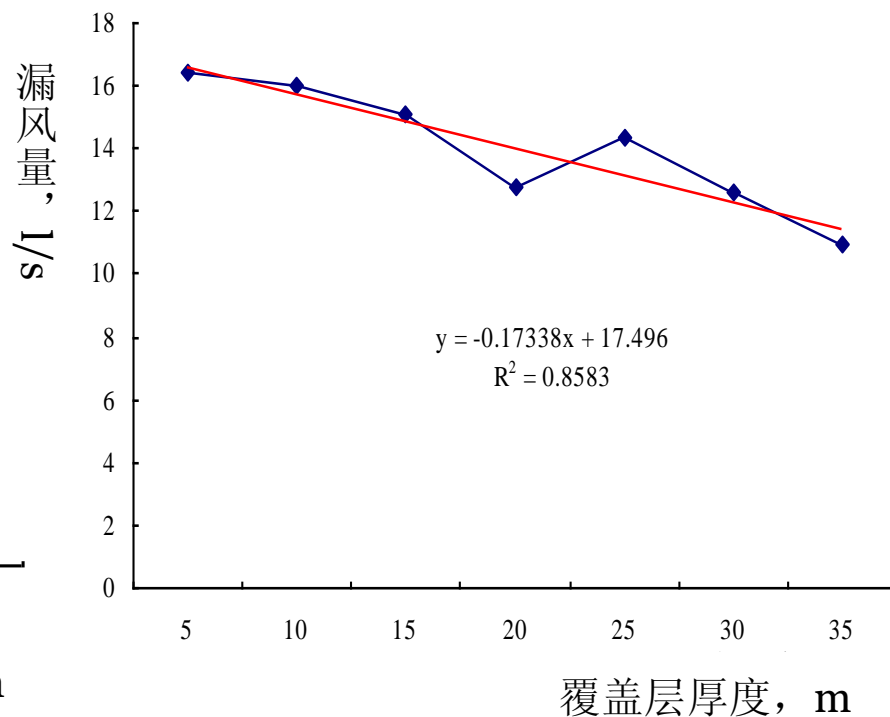
漏风系数与覆盖层厚度间满足指数关系，随着覆盖层厚度的增加和孔隙率的降低，曲线下降的速度加快，矿井的漏风量逐渐减小。

►漏风量与覆盖层厚度的关系

覆盖层厚度与漏风量的关系（孔隙率38.5%）



覆盖层厚度与漏风量的关系（孔隙率31.77%）



►不同孔隙率下的最小覆盖层厚度

通过对实验数据的线性拟合，得出了不同孔隙率下为防窜风所需的最小覆盖层厚度。

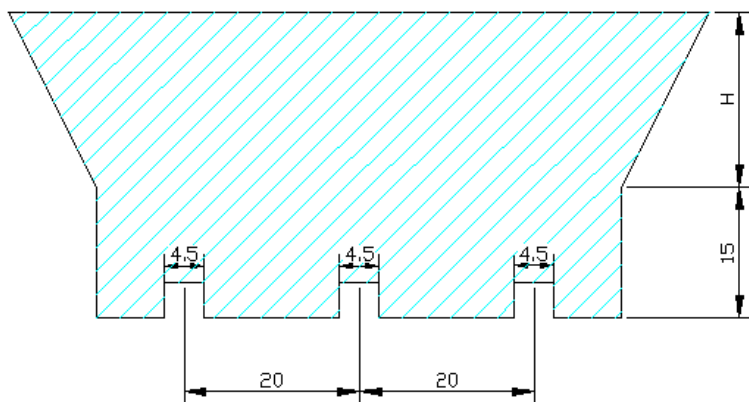
| 孔隙率 | 最小覆盖层厚度 | 孔隙率 | 最小覆盖层厚度 |
|--------|---------|--------|---------|
| 38.54% | 197m | 23.7% | 30.25m |
| 31.77% | 101m | 21.35% | 15.83m |
| 27.99% | 55.13m | 20.25% | 5.57m |

◆覆盖层厚度对防寒的影响

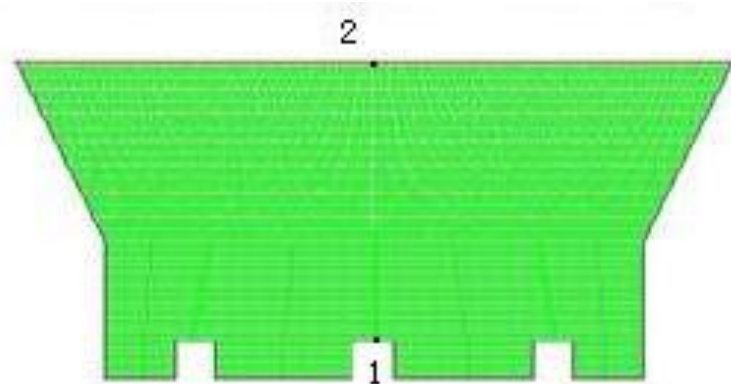
●覆盖层漏风量的数值分析

➤计算模型和边界条件

计算程序：FLUENT——用于计算流体流动和传热问题的基于有限元方法的CFD软件。



数值计算实体模型



有限元数值计算模型

◆覆盖层厚度对防寒的影响

➤计算结果

不同孔隙比和覆盖层厚度条件下的漏风平均风速（m/s）

| 覆盖层厚度 (m) | 孔隙率 (%) | | | | | |
|--------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 21.4 | 23.7 | 28.0 | 31.8 | 35.9 | 38.5 |
| 20 | 0.112 | 0.113 | 0.115 | 0.118 | 0.120 | 0.124 |
| 30 | 0.0967 | 0.0972 | 0.0975 | 0.0976 | 0.0979 | 0.0983 |
| 40 | 0.0533 | 0.0534 | 0.0536 | 0.0539 | 0.0541 | 0.0546 |
| 50 | 0.0163 | 0.0166 | 0.0167 | 0.0173 | 0.0176 | 0.0182 |

➤ 覆盖层漏风对井下温度的影响

矿山进路断面为 18m^2 ，则根据上表中数据可得到不同孔隙率条件下覆盖层的漏风风量。

不同孔隙率条件下覆盖层的漏风风量 (m^3/s)

| 覆盖层厚度 (m) | 孔隙率 (%) | | | | | |
|--------------|---------|------|------|------|------|------|
| | 21.4 | 23.7 | 28.0 | 31.8 | 35.9 | 38.5 |
| 20 | 2.02 | 2.03 | 2.07 | 2.12 | 2.16 | 2.23 |
| 30 | 1.74 | 1.75 | 1.76 | 1.76 | 1.76 | 1.77 |
| 40 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.98 |
| 50 | 0.29 | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.32 | 0.33 |

◆覆盖层厚度对防寒的影响

杏山铁矿-30~-45m分段运输巷道井下空气温度为7℃，渗入冷风后在进路与运输巷道交叉处的温度见下表。

不同孔隙率条件下覆盖层漏风对井下温度影响（℃）

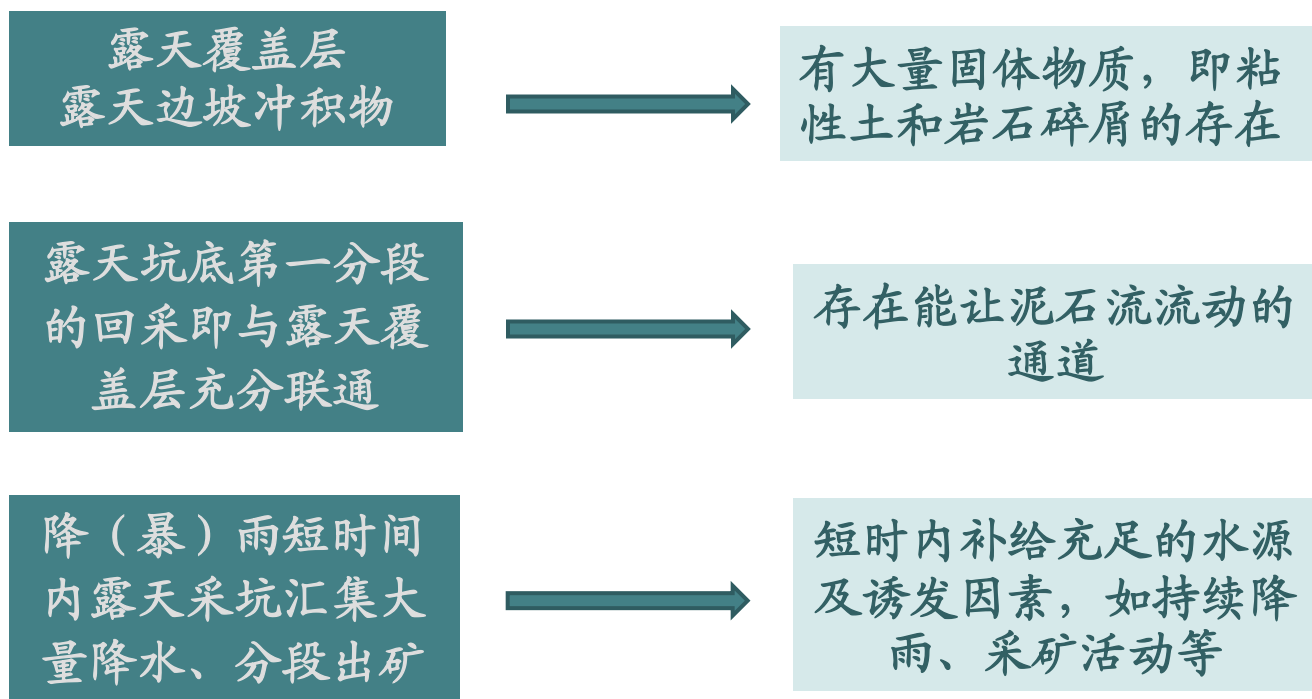
| 覆盖层厚度 (m) | 孔隙率（%） | | | | | |
|--------------|--------|------|------|------|------|------|
| | 21.4 | 23.7 | 28.0 | 31.8 | 35.9 | 38.5 |
| 20 | 5.51 | 5.50 | 5.48 | 5.44 | 5.41 | 5.36 |
| 30 | 5.71 | 5.70 | 5.70 | 5.70 | 5.69 | 5.69 |
| 40 | 6.27 | 6.27 | 6.27 | 6.27 | 6.26 | 6.26 |
| 50 | 6.77 | 6.77 | 6.77 | 6.76 | 6.76 | 6.77 |

当覆盖层厚度达到40m以上时，渗漏进入井下的冷风对井下的空气温度影响比较轻微。

◆ 预防井下泥石流灾害研究

● 泥石流发生的条件

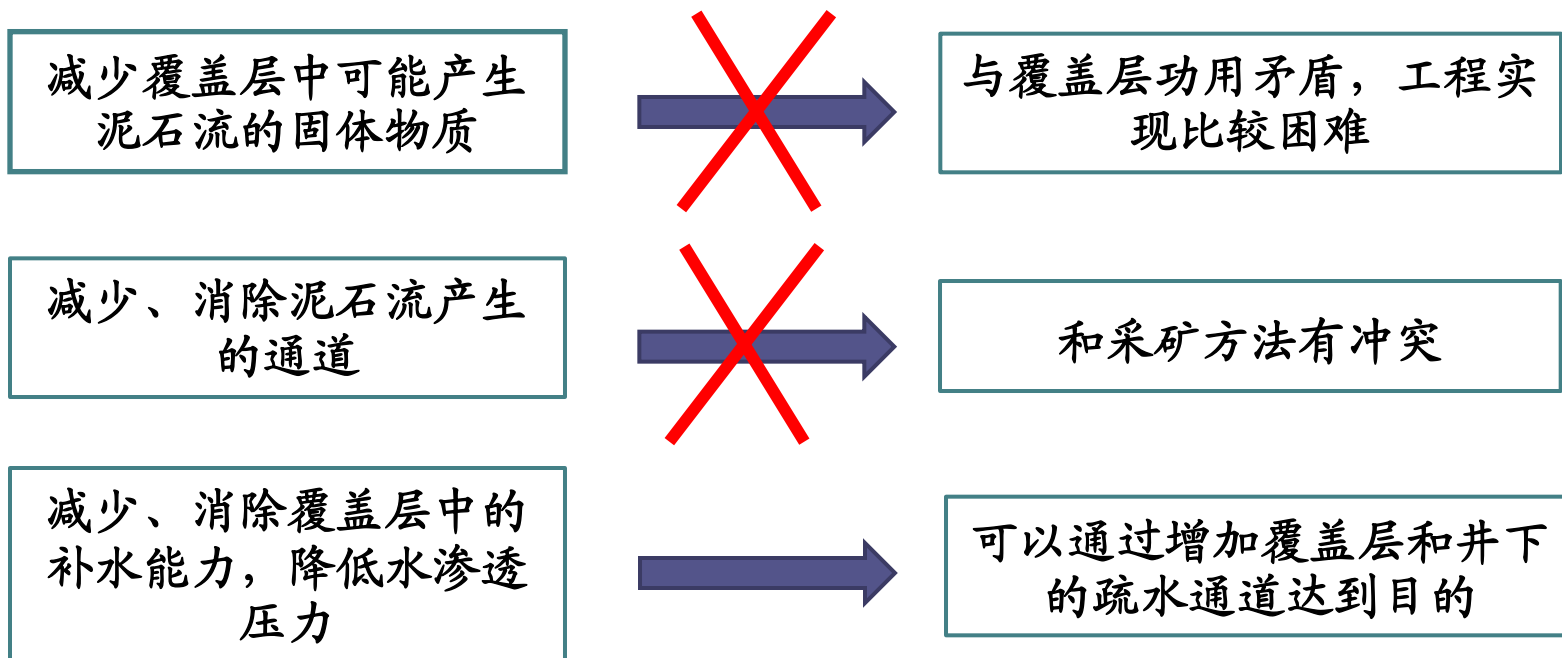
对于采用崩落采矿法的露天转地下矿山，极易满足井下泥石流发生的三个基本条件。



◆ 预防井下泥石流灾害研究

● 预防泥石流发生的关键技术措施

要预防井下泥石流的发生，需要抑制、消除泥石流发生的必要条件，对露天转地下矿山而言，可采取的措施如下：



◆覆盖层安全结构和合理厚度的确定

●整体下移层结构及厚度的确定

整体下移层的结构由粗料和细料两部分组成，颗粒粒径大于等于5mm的粗颗粒占体积比为60%~70%；颗粒粒径小于5mm的细颗粒占体积比为30%~40%。细料的渗透系数控制为 10^{-4}m/s 左右，整体下移层的厚度大于20m。

●流动层结构及厚度的确定

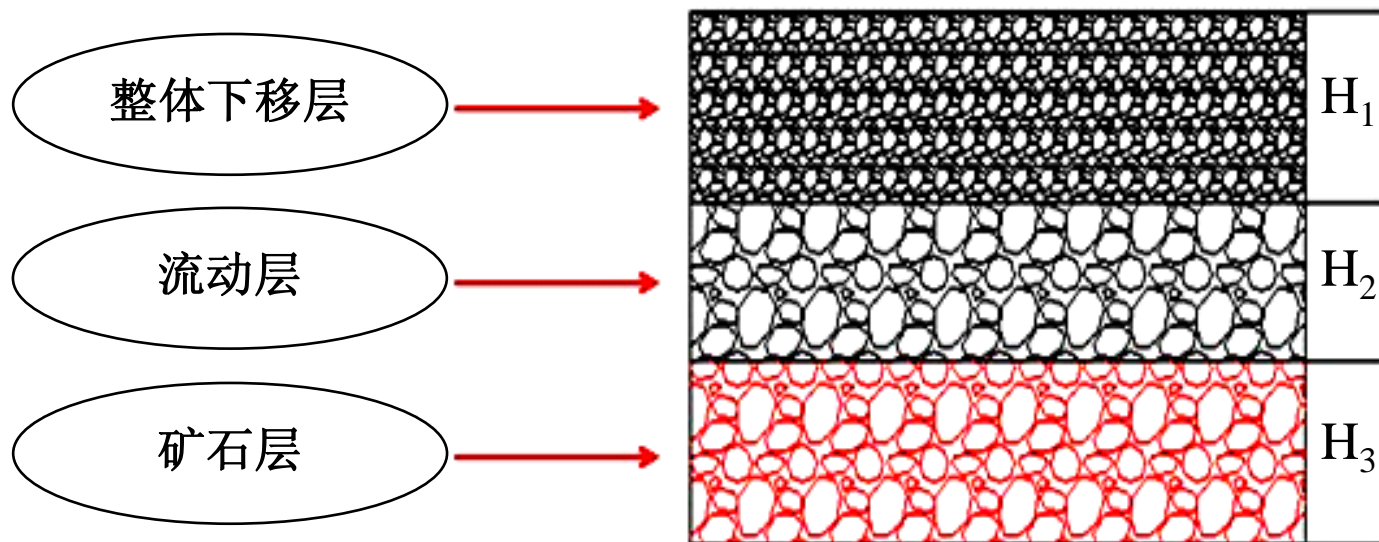
流动层的主要粒度构成在300mm~500mm之间。

流动层的厚度和地下崩落采矿法的分段高度有关，其最小厚度大于1.5倍的分段高度。

◆覆盖层安全结构和合理厚度的确定

●覆盖层的总厚度

覆盖层的总厚度由整体下移层厚度和流动层厚度两部分组成，等于整体下移层厚度与流动层厚度相加之和。



杏山铁矿覆盖层的总厚度为50m，分两层铺设，上部是整体下移层厚度约20m，下部是和矿石层接触的流动层，约30m。整体下移层主要起防止通风漏风、防寒和迟滞水渗透的作用，粒度结构较细；流动层和矿石层接触，主要起防止矿石放矿过程中过早贫化的作用，粒度结构较粗。

实际回填时，在露天坑+10 m平台进行汽车高台阶矿岩散体的排放，排放高度可以满足矿岩自然分级高度的要求。该方法简化了回填工艺，缩短了回填周期，降低了成本，更有利于矿山控制基建时间。

三、露天转地下开采边坡和地下岩体变形破坏的演化特征及其控制研究

◆工程地质环境及围岩稳定性条件

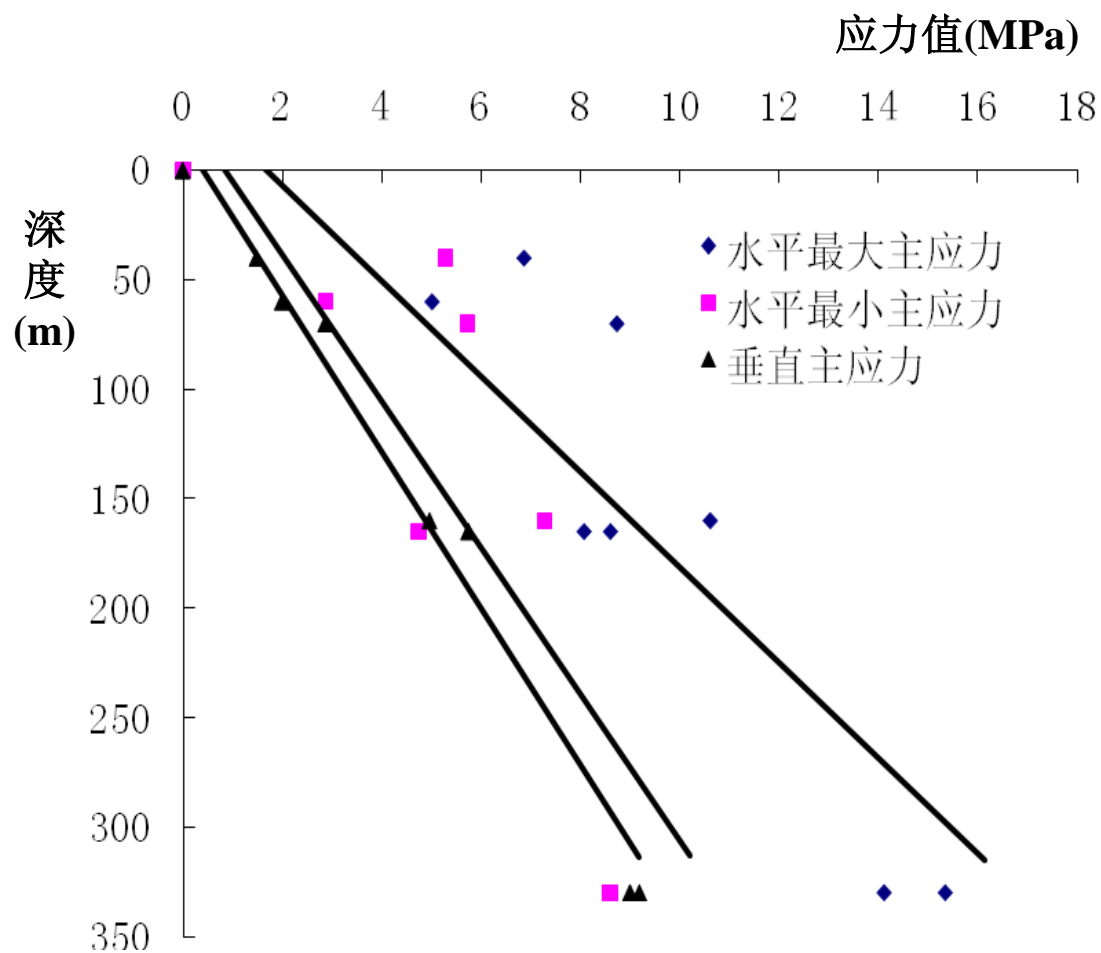
- 详细调查了矿区地质构造，矿体地质特征、水文地质条件等。
- 矿体围岩稳定性及采场的灾害特性调查与分析。
- 矿区4个水平8个点的补充地应力测量。

◆工程地质环境及围岩稳定性条件

●地应力计算结果

| 测点号 | 深度 (m) | σ_1 | | | σ_2 | | | σ_3 | | |
|-----|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| | | 数值 (Mpa) | 方向 (°) | 倾角 (°) | 数值 (MPa) | 方向 (°) | 倾角 (°) | 数值 (MPa) | 方向 (°) | 倾角 (°) |
| 1 | 60 | 5.02 | -82 | 10 | 2.86 | -172 | 3.5 | 1.99 | -128 | -75 |
| 2 | 165 | 8.61 | -92 | -6 | 5.74 | -101 | 78 | 4.74 | 175 | -8 |
| 3 | 165 | 8.08 | -88 | -6 | 5.74 | -90 | 73 | 4.74 | 178 | -10 |
| 4 | 40 | 6.87 | -93 | 16 | 5.28 | 177 | -0.9 | 1.48 | -100 | -80 |
| 5 | 70 | 8.74 | 105 | -2.0 | 5.73 | -165 | 6 | 2.86 | -145 | -84 |
| 6 | 160 | 10.62 | 30 | 5 | 7.28 | -60 | 15 | 4.96 | 143 | 70 |
| 7 | 330 | 15.35 | -78 | -9 | 8.99 | -109 | 84 | 8.59 | -178 | -2 |
| 8 | 330 | 14.12 | 100 | -12.9 | 9.18 | 40 | 70 | 8.58 | 10 | -15 |

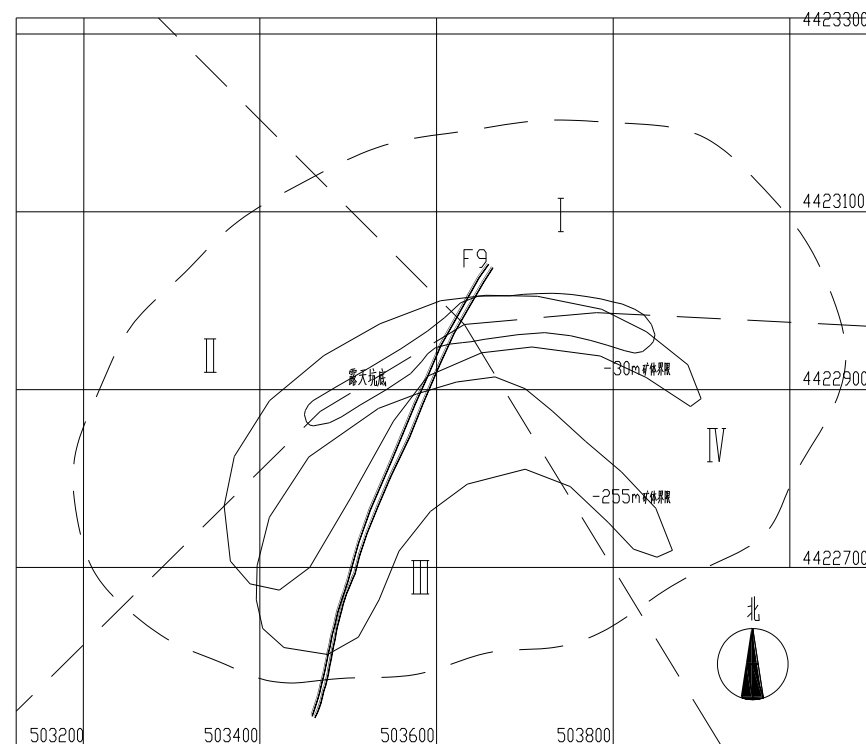
●杏山铁矿矿区地应力场主应力随深度回归曲线



杏山铁矿 $\sigma_{h,max}$, $\sigma_{h,min}$, 和 σ_v 与深度的关系

◆露天转地下开采物理模拟实验研究

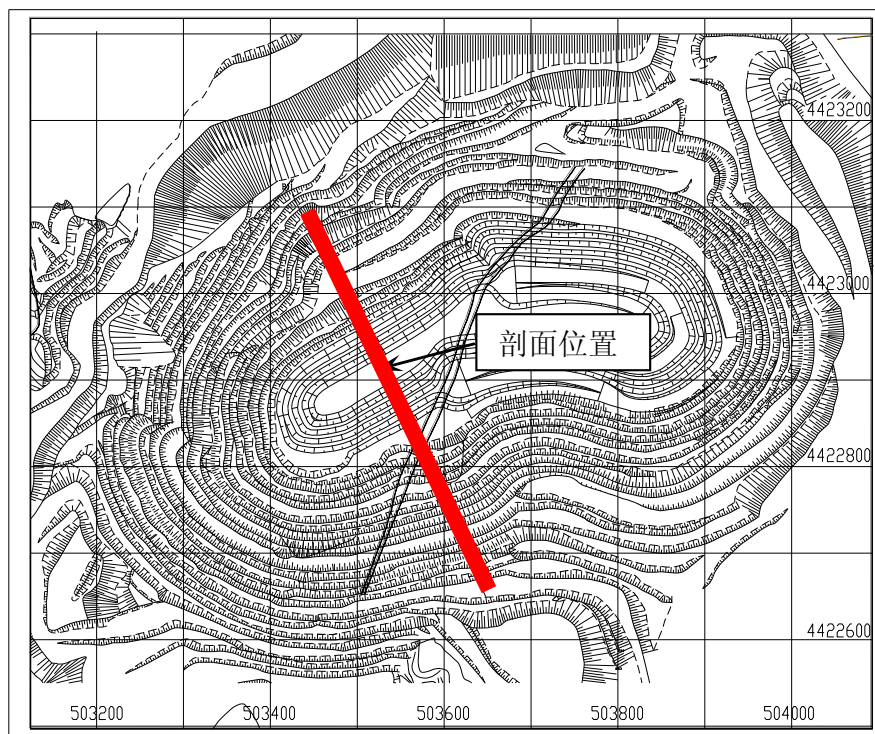
- 根据岩体结构特征、岩体不连续面特征、边坡特征、地下矿体赋存特征，结构面与边坡面的组合切割关系及地下矿体开采影响程度的不同，对露天矿边坡分为四个分区，分析得出Ⅱ、Ⅲ区最不稳定。



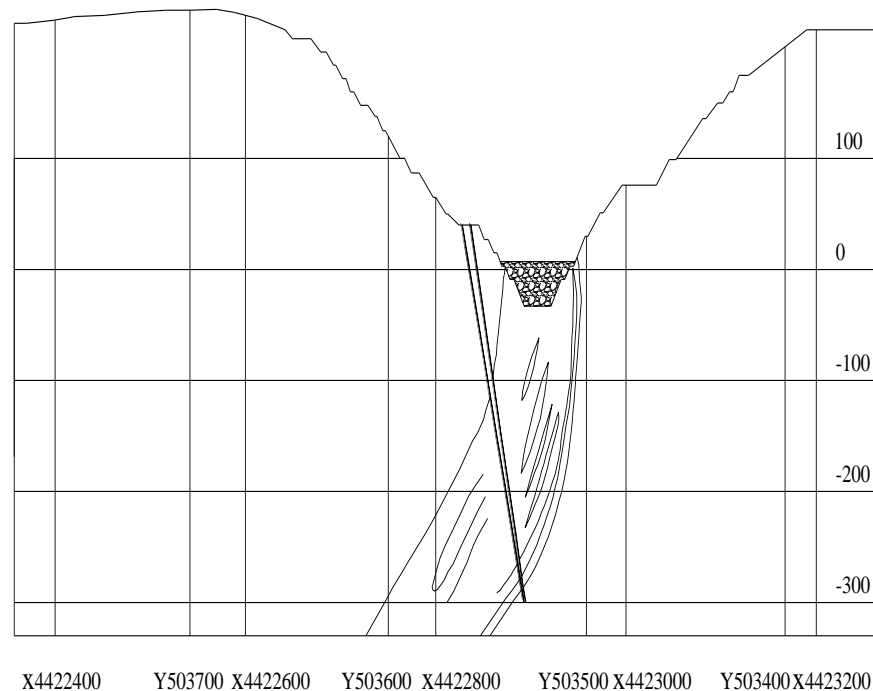
边坡地质分区图

◆露天转地下开采物理模拟实验研究

- 选择贯穿Ⅱ、Ⅲ两区最不稳定区域的B11剖面为相似实验剖面建立了实验模型。



模型的平面位置图



模型剖面图

◆露天转地下开采物理模拟实验研究

●模拟实验装置和应力应变监测系统

应变监测： DH-3816静态应变测试系统(全智能化巡回数据采集系统)

应力监测： ZYJ-25型钻孔应力计

失稳破坏过程监测： 自动连续数码摄像



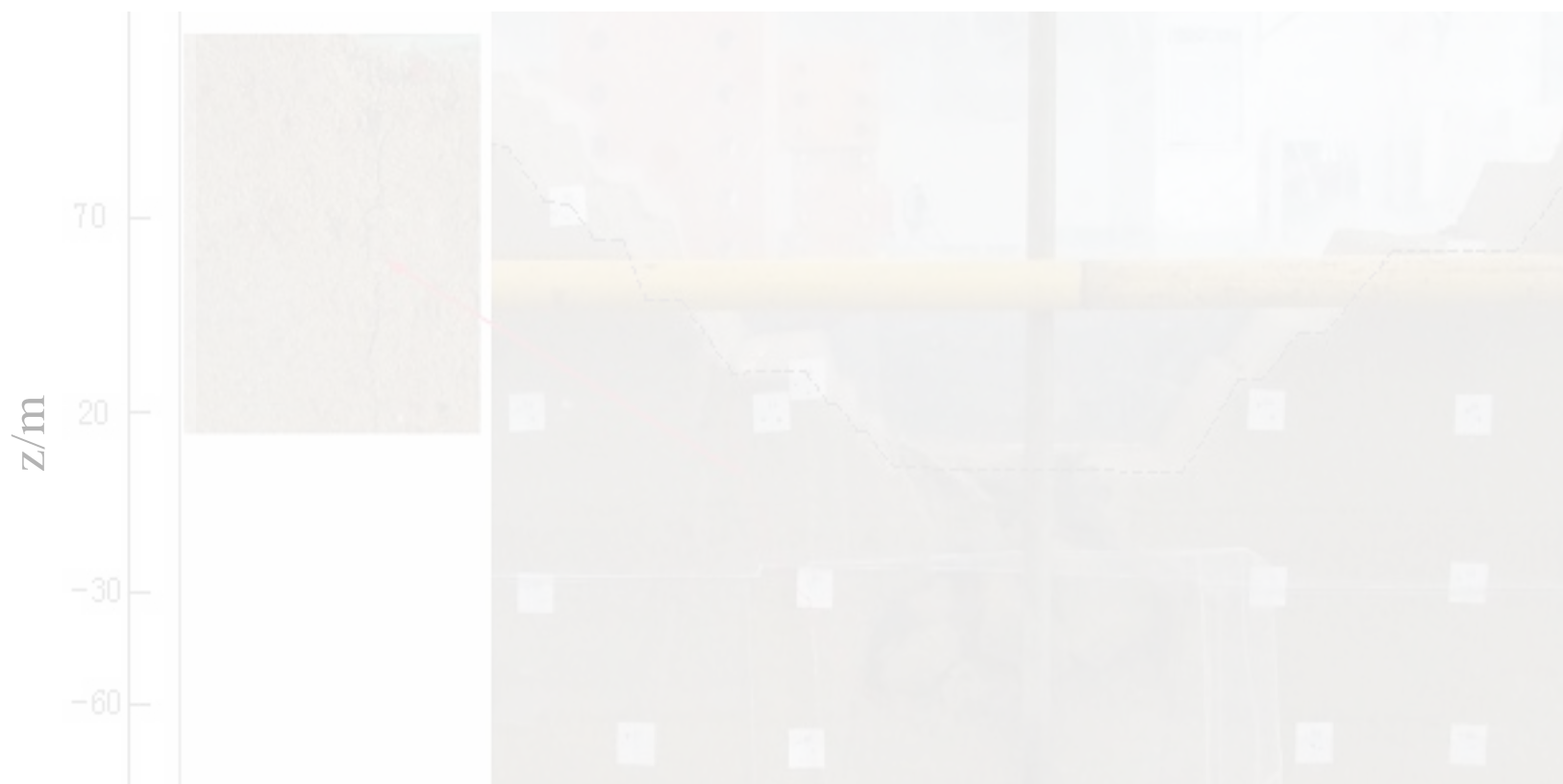
应力监测系统

◆露天转地下开采物理模拟实验研究

●边坡失稳破坏过程

露天转地下开采后，由于地下矿体的开采打破了上部边坡岩体的应力平衡状态。引起边坡岩体内部应力的不断调整，出现局部应力集中，当应力集中超过岩体强度极限或超过边坡岩体稳定性能量极限时便发生破坏。其破坏是一个渐进的、不断扩大的过程：

局部裂隙发生、发展→裂隙贯通→边坡切割、破坏体滑移、塌落→成为新的覆盖层的一部分，并对地下开采形成冲击→新一步地下开采引起新一轮边坡失稳和冲击破坏。



-60水平开采后边坡破坏形态

露天转地下开采的第一阶段，地下开采对坡体的切割作用较小，坡体的剪切破坏范围较小。



-90水平开采后边坡破坏形态

边坡岩体破坏形式主要是受断层切割部分的岩体沿断层发生了滑移，使得断层由局部活化转化为全部活化，对地下开采造成一定的动力冲击影响。



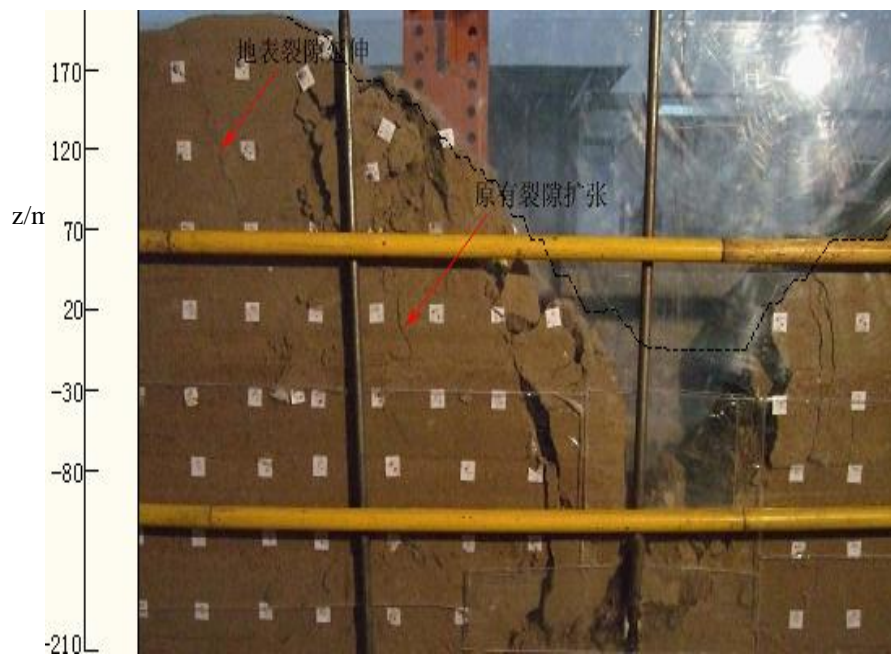
-135m水平开采后边坡破坏形态

随着矿体开采向深部延深，边坡上下盘受开采影响垮落的岩体不断下移，并在下移过程中不断破碎，对坡脚的切割程度加剧，对上下盘边坡岩体的破坏累积效应不断积累，在上下盘边坡岩体更高处出现了向采空区方向发展的裂隙，且上盘裂隙张开度较下盘裂隙的张开度大。

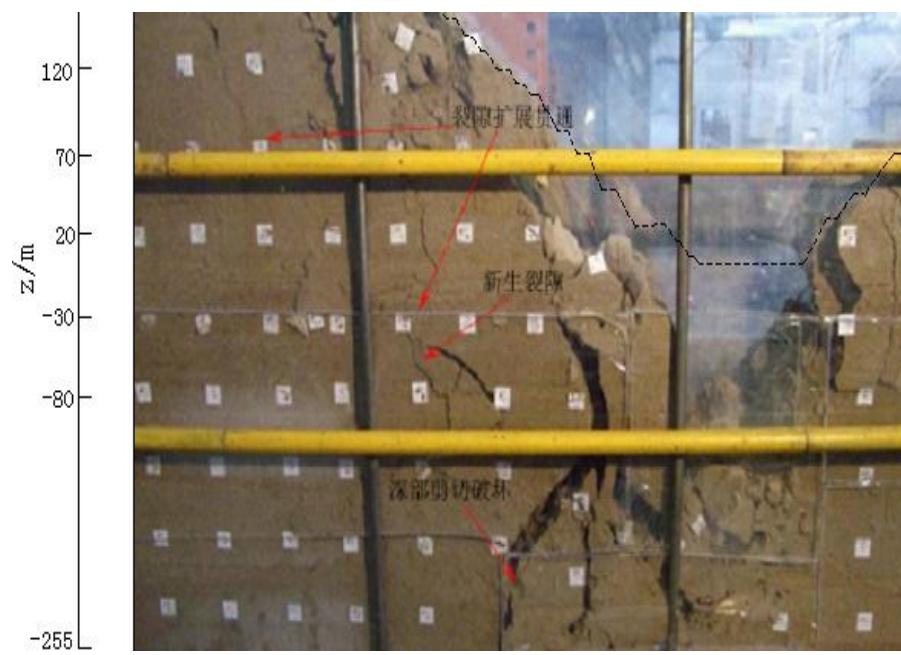


-165水平开采边坡破坏形态

上盘边坡岩体浅表层破坏比较严重。采空区处的上盘岩体破坏向深部发展，出现了第二次滑移，再次发生对地下开采的冲击影响。上盘坡体裂隙不断向岩体深部发展，一定深度范围内变形已超出了允许极限并发生局部变形破坏，同时也是边坡岩体下一次动力冲击的蓄能过程。

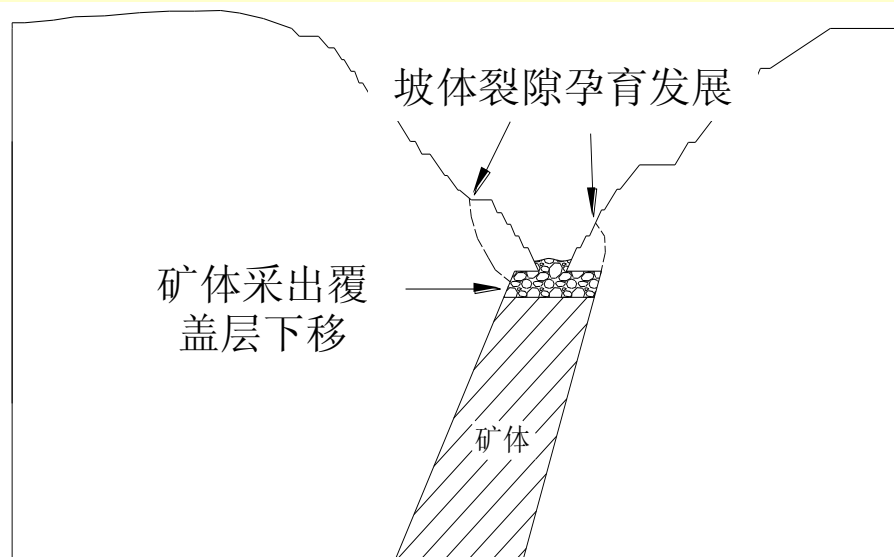


-210水平开采后边坡破坏形态

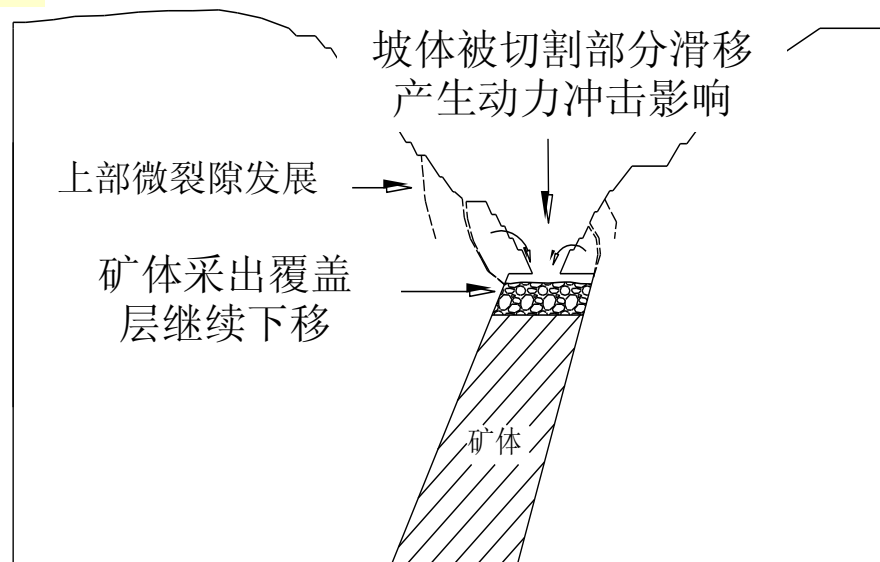


-255水平开采后边坡破坏形态

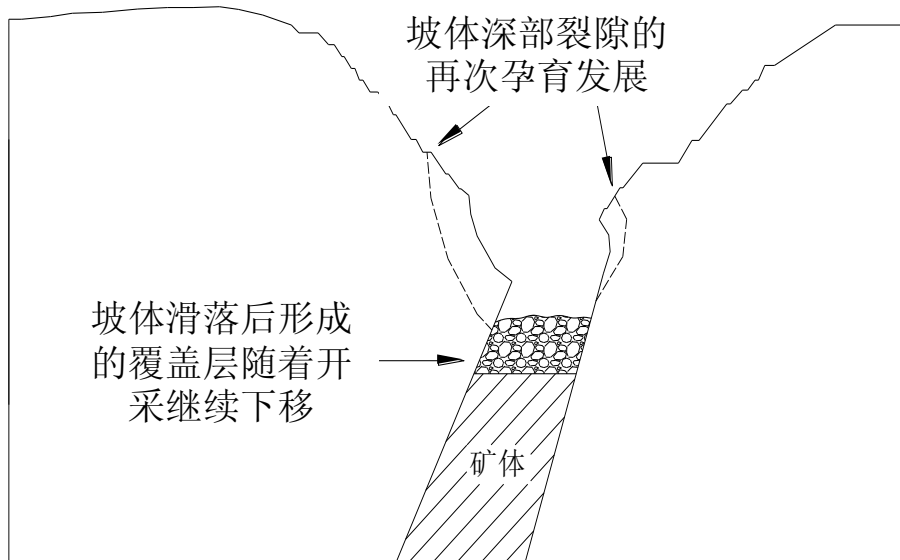
●边坡变形动力冲击演化机理



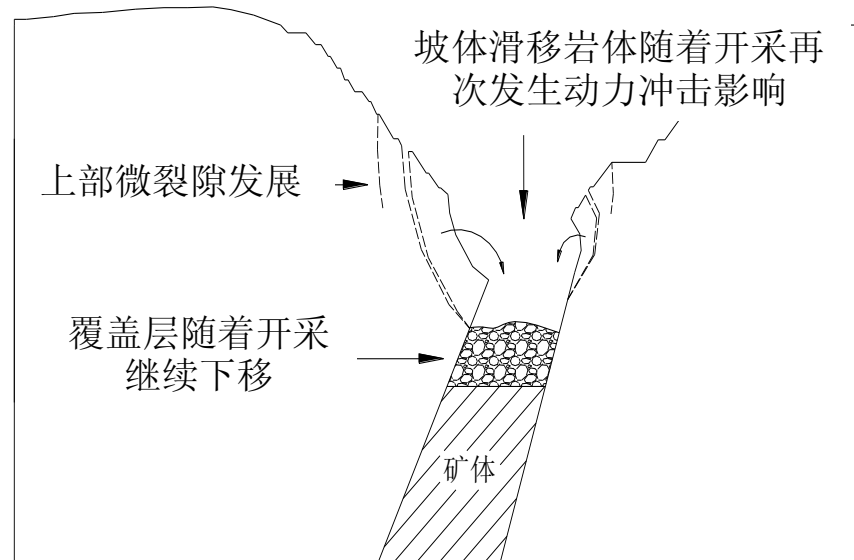
(a) 首次动力冲击孕育阶段



(b) 首次动力冲击



(c) 循环动力冲击孕育阶段



(d) 循环动力冲击

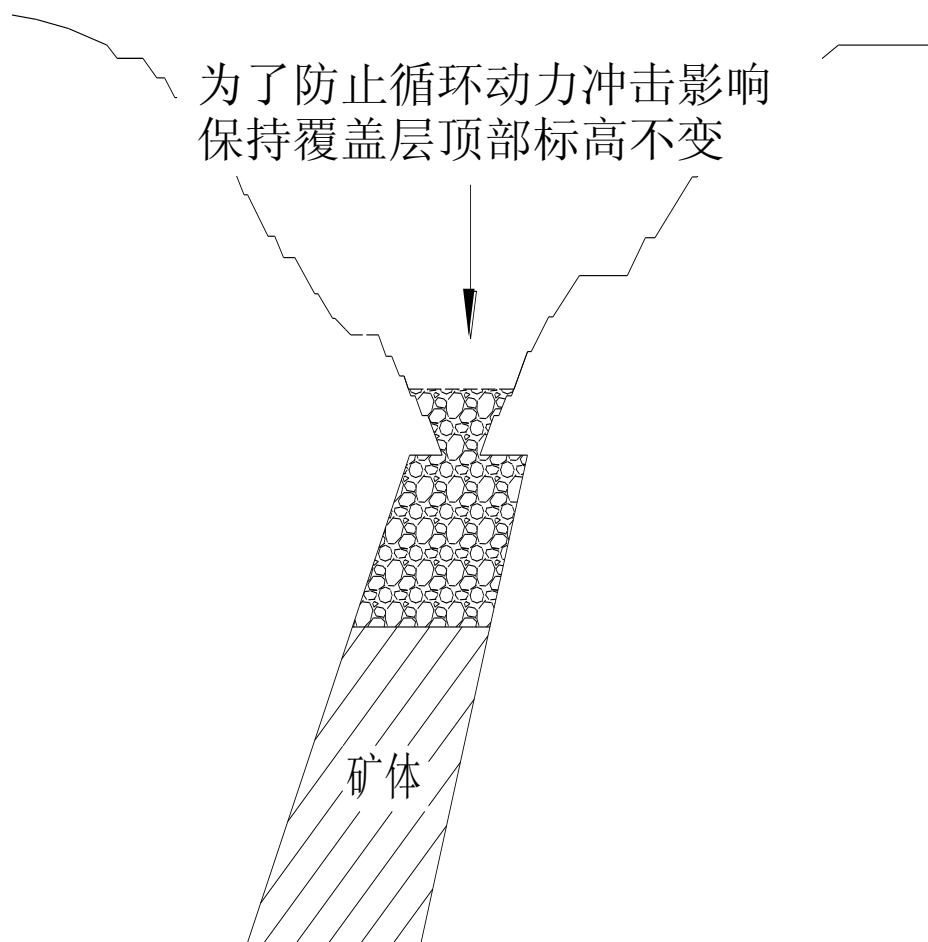
●边坡变形动力冲击演化机理

- ▶ 在地下矿体的初始开采阶段，覆盖层随着矿体的采出而下移。随着开采的进行边坡岩体中变形能不断积累，微裂隙不断发展扩张，当开采到某一深度时，积储的变形能突然释放导致原有微裂隙的迅速扩张贯通，从而使大块的滑移体向下运动冲向采场，造成了采场的动力冲击灾害。
- ▶ 首次动力冲击发生后矿体继续向下开采，边坡岩体又进入下一次的变形蓄能阶段，随着矿体继续开采又进入下一次变形能积累与损伤微裂隙发展扩张过程，当继续开采一定深度时，累积的变形能又突然释放，大块坡体再次滑移形成又一次动力冲击影响。
- ▶ 在矿体的向下开采过程中会反复出现上述现象，形成循环动力冲击影响，不断威胁着矿山的安全生产。

●循环动力冲击控制措施

在地下矿体的开采过程中，由于矿体采出，覆盖层下移，打破了原有露天矿边坡应力平衡状态应力不断调整，并会导致循环动力冲击灾害。

为了改善边坡岩体的平衡状态，必须在开采的过程中利用开采废石等不断回填覆盖层下移形成的空间，保持覆盖层的顶部标高不变(如右图所示)，以增强对边坡岩体的支撑防止坡体突然的大范围滑移。



动力冲击控制措施

◆露天转地下边坡变形、破坏特征及其稳定性数值模拟

- 露天转地下边坡岩体变形规律
- 露天转地下边坡应力变化规律
- 露天转地下边坡破坏场特征

◆边坡及岩层变形实时监测与预测预报技术

- 监测网布置
- 实时监测数据
- 基于支持向量机的边坡变形评价与预测

◆露天转地下开采地压监测与围岩稳定性分析研究

- 巷道表面位移测量
- 巷道围岩深部位移测量
- 巷道围岩应力监测
- 地下围岩破坏和失稳声发射监测

四、结语

本项目以首钢杏山铁矿为依托工程，对金属矿露天转地下开采5个方面的关键技术进行了系统研究。

(1) 确定了杏山铁矿露天转地下开采的最佳过渡方案，实现了露天转地下开采采矿方法和工艺及产量的合理衔接，完成了露天转地下的不停产平稳过渡，保持了矿山生产规模和效益的稳定与适度增长。

(2) 发现了露天转地下覆盖层随地下采矿获得呈分层特性的规律，提出了覆盖层的分层结构及满足其功能需求的合理厚度的确定方法；并根据散体溜放自然分级特性，提出了形成覆盖层的新方法。

四、结语

(3) 通过相似模拟试验、现场监测和数值模拟，揭示了边坡和地下岩体变形破坏的演化特征及地下开采导致循环动力冲击灾害的机理，提出了回填废石保持覆盖层标高等预防动力冲击灾害和控制采场地压的技术。

(4) 提出了适合于露天转地下开采的成套安全高效开采技术；基于杏山铁矿的开采技术条件，建成了露天与地下共用的开拓运输系统；通过工业试验，优化了无底柱分段崩落法结构参数，取得了良好的技术、经济指标。

四、结语

(5) 在杏山铁矿建立了露天转地下开采安全生产综合技术系统和基于GIS的安全生产管理信息系统，实现安全生产与管理的信息化、自动化，为矿山的安全高效开采提供了重要保证条件。

杏山铁矿转地下开采后，生产规模为320万吨/年，2012年达产。与露天开采100万吨/年的生产规模相比，生产能力和效益都得到大幅度提升。

谢 谢