



仓(场)房式采空区稳定性评价技术

中国矿业大学

徐州中矿岩土技术股份有限公司

吴圣林

二〇二五年五月

联系电话: 13951351099

Email: wsl83885289@163.com



仓(场)房式采空区稳定性评价技术

• 仓(场)房式采空区形成与勘察

• 仓(场)房式采空区变形及危害

• 仓(场)房式稳定性评价

• 仓(场)房式采空区主要防治措施

• 展望



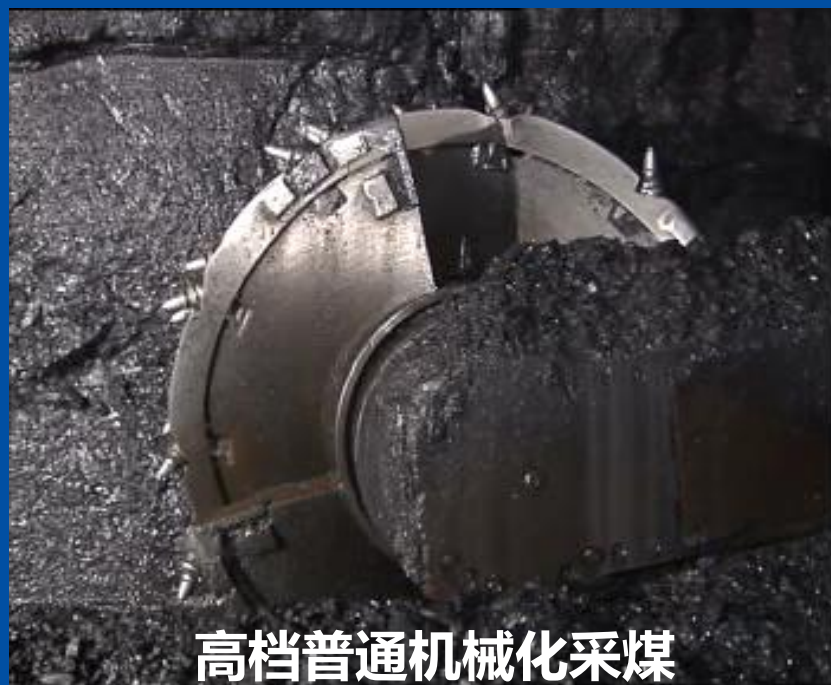
煤矿采空区形成

采煤方法及顶板管理

在采煤工作面我们国家目前所应用的采煤工艺主要有三种：



普通采煤



高档普通机械化采煤

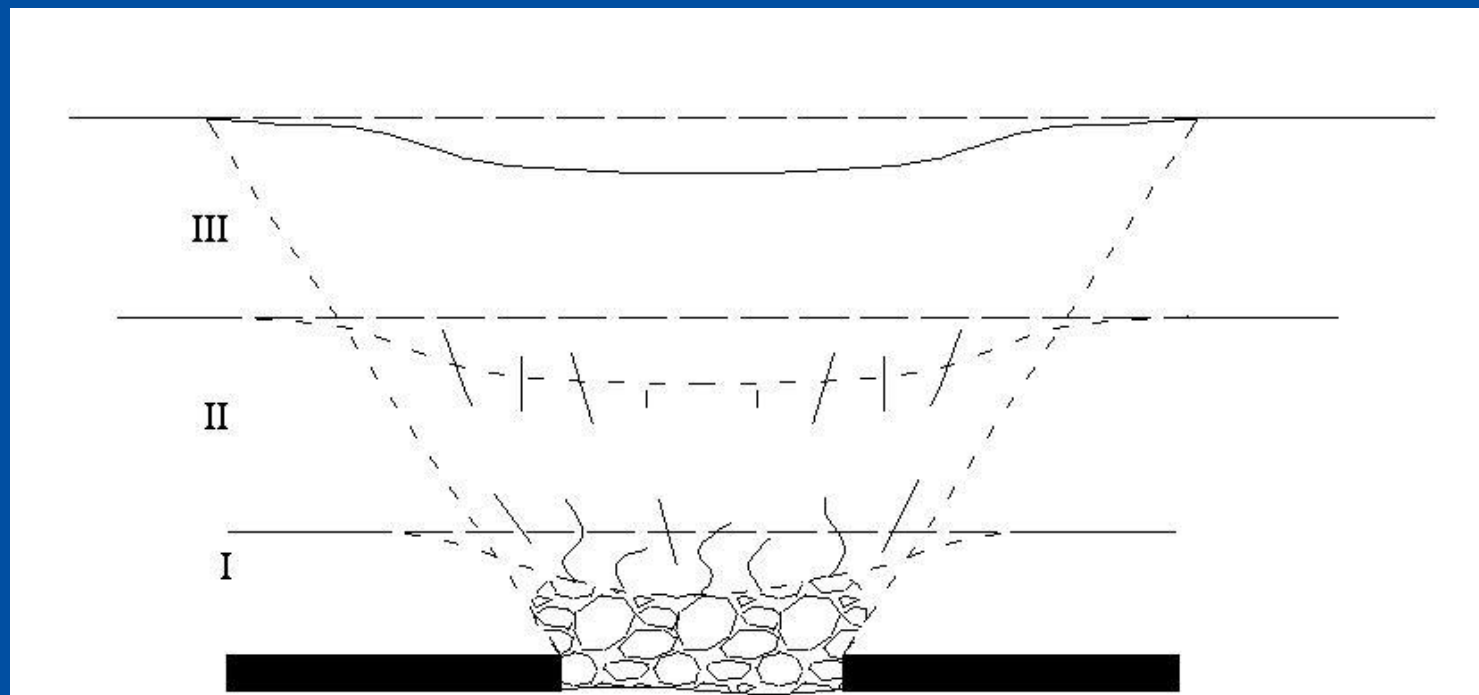


综合机械化采煤



煤矿采空区地面变形

- 当地下煤矿层被采空后，便在地下形成了采空区。采空区上覆及周围岩体失去原有的平衡状态，产生应力重分布。



- I—垮落带
- II—裂隙带
- III—弯曲带

覆岩三带型型破坏示意图



非煤采空区形成

非煤矿产资源——金属矿产和非金属矿产

- 金属矿产指从中提取某种供工业利用的**金属元素或化合物**的矿产。
- 金属矿产的成因多种多样，可以概括为**岩浆分异、接触变质、海底喷流、热液、沉积和风化**等六种作用成因。



非煤采空区形成

非煤矿产资源——金属矿产和非金属矿产

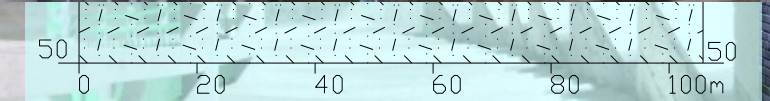
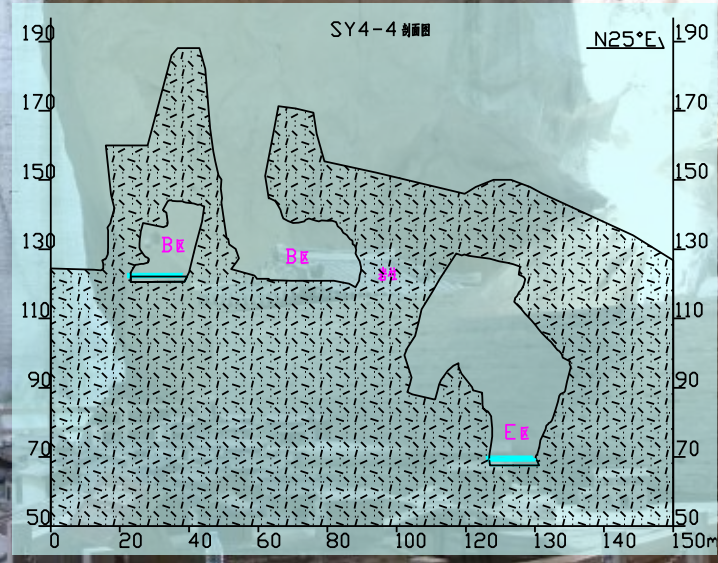
- 非金属矿产是指在经济上有用的某种**非金属元素**，或可直接利用**矿物**、岩石的某种化学、物理或工艺性质的矿产资源。
- 非金属矿产主要品种为：金刚石、石墨、自然硫、硫铁矿、水晶、刚玉、蓝晶石、夕线石、红柱石、硅灰石、钠硝石、滑石、石棉、蓝石棉、云母、长石、石榴子石、叶蜡石、透辉石、透闪石、蛭石、沸石、明矾石、芒硝、石膏、重晶石、毒重石、天然碱、方解石、冰洲石、菱镁矿、萤石、宝石、玉石、玛瑙、石灰岩、白垩、白云岩、石英岩、砂岩、天然石英砂、脉石英、硅藻土、页岩、高岭土、陶瓷土、耐火粘土、凹凸棒石、海泡石、伊利石、累托石、膨润土、辉长岩、大理岩、花岗岩、盐矿、钾盐、镁盐、碘、溴、砷、硼矿、磷矿等。



非煤采空区形成

开采方法及顶板管理

- 穿巷式、房柱式或仓房式、空场法开采为主。
- 爆破开采为主要开采方法。
- 一般都是顶板自然拱稳定或采场充填管理，少有自然垮落法管理。





非煤采空区的形成

开采方法及顶板管理

- 磷矿分段空场法开采
- 中深孔爆破落矿回采

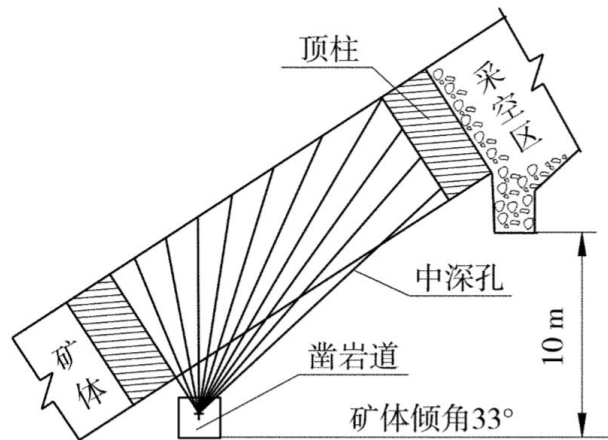


图 1 分段凿岩巷道在下盘脉外布置

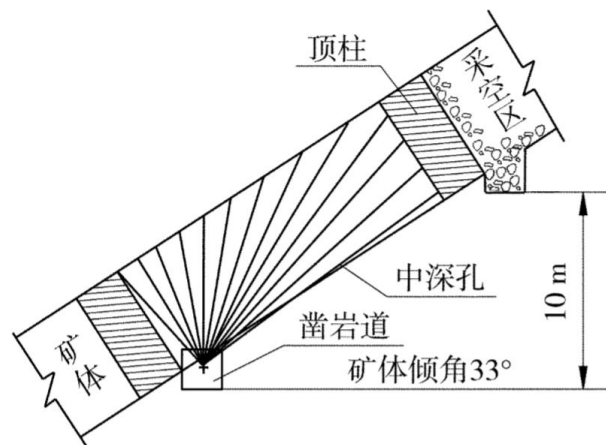
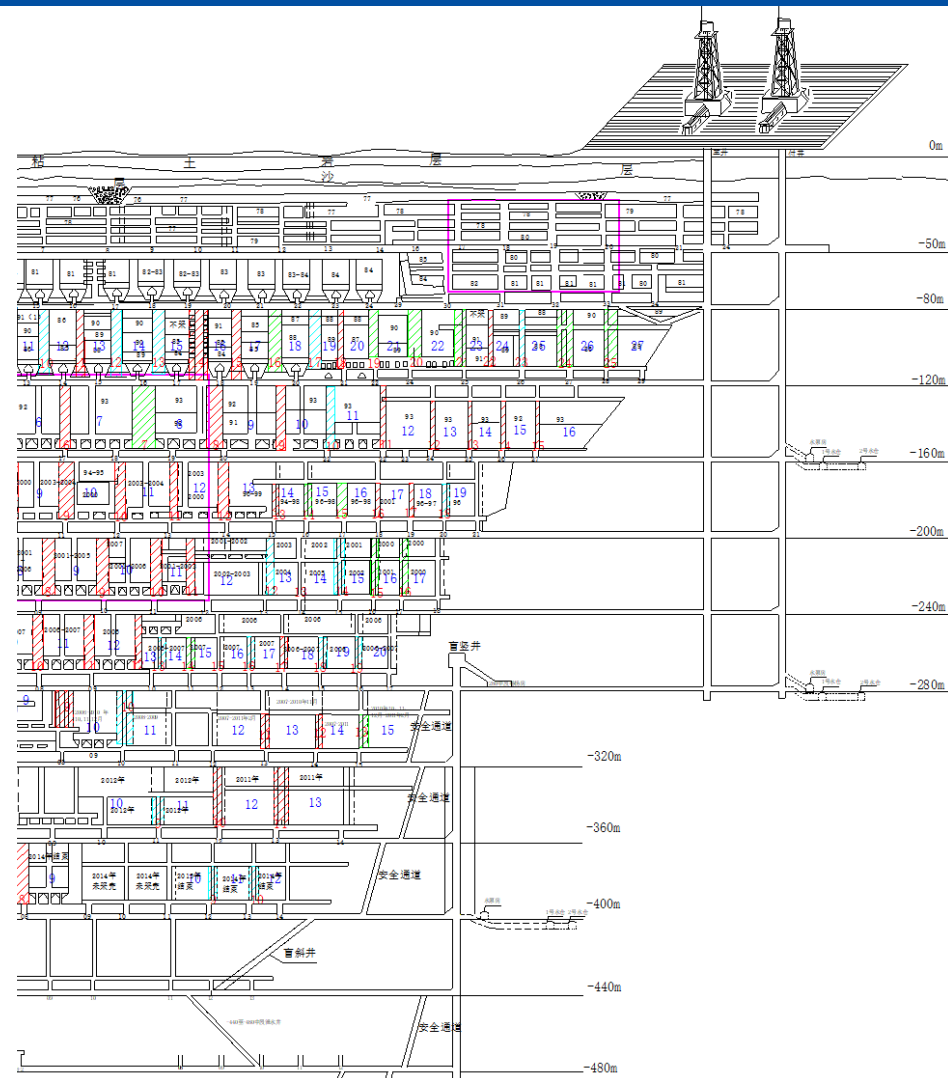


图 2 分段凿岩巷道在下盘脉内布置





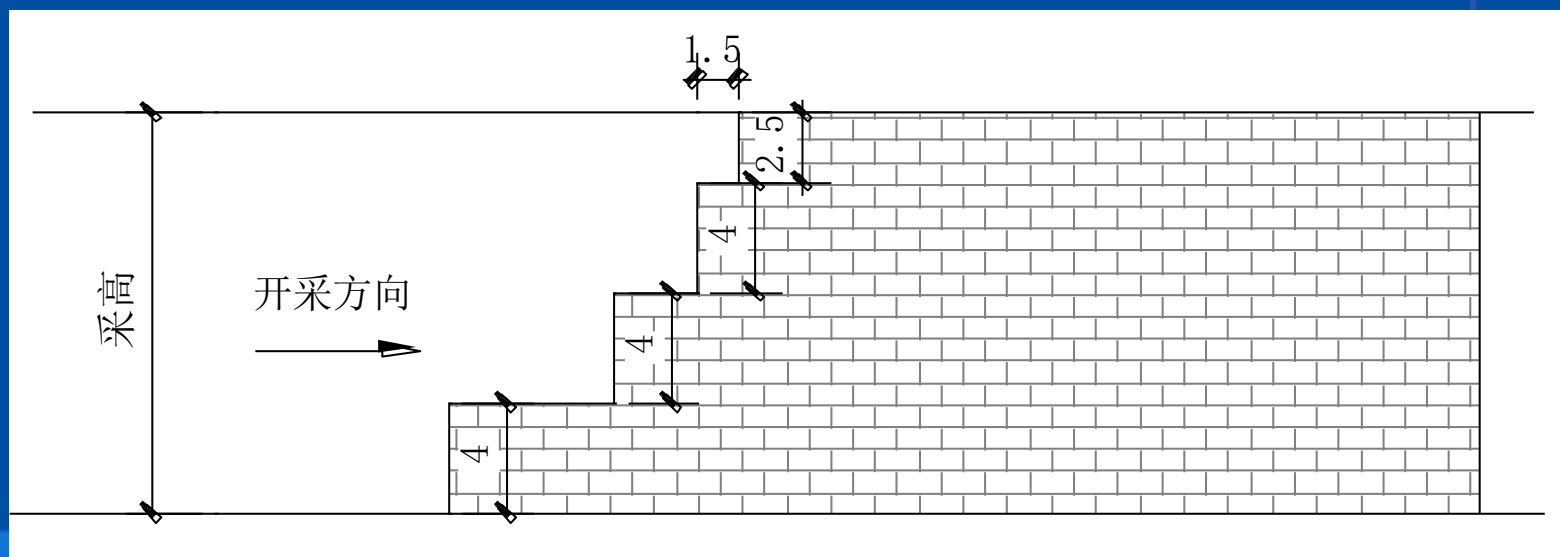
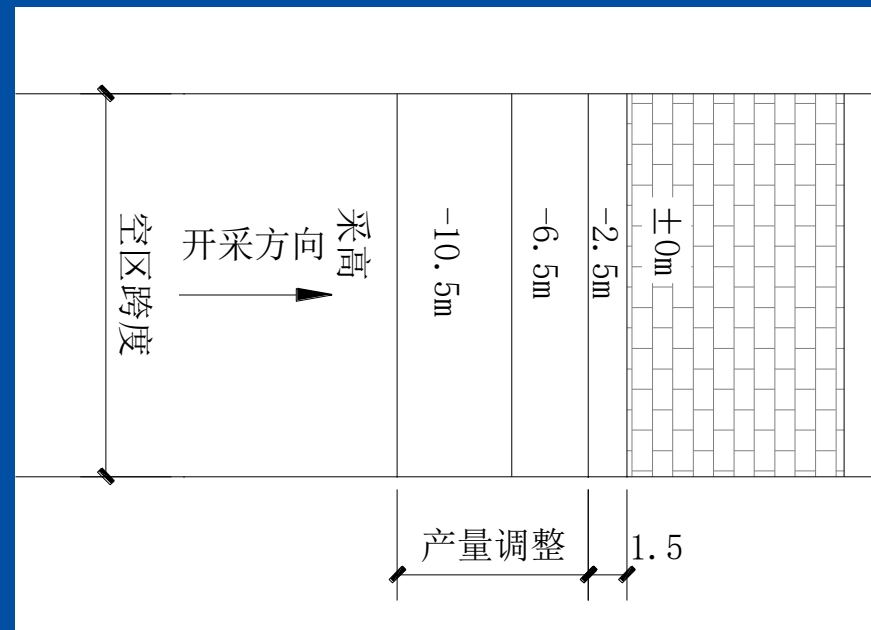
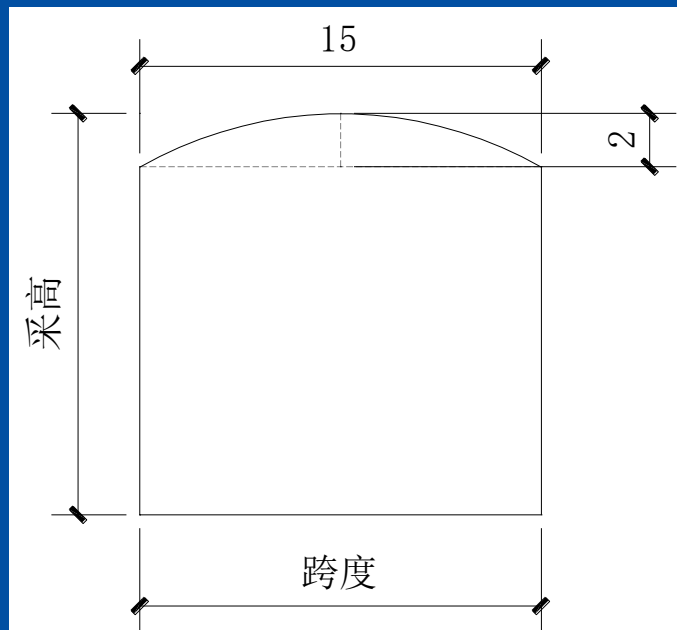
非煤采空区的形成

开采方法

- 铁矿等仓房法开采
- 分层分台阶爆破回采

顶板管理

- 空场
- 尾矿渣充填处理





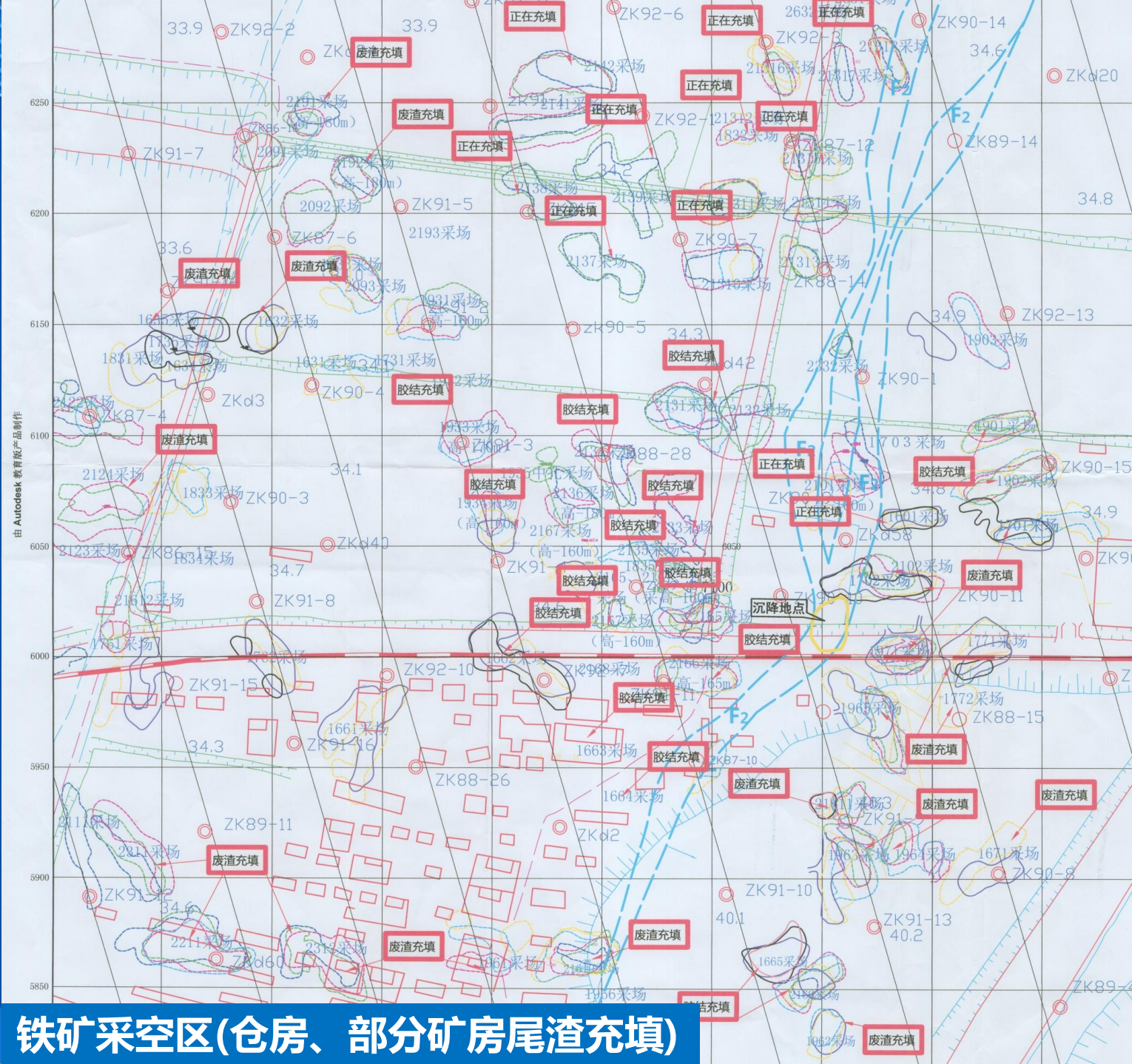
非煤采空区的形成

开采方法

- 铁矿等仓房法开采
- 分层爆破回采

顶板管理

- 空场
- 尾矿渣充填处理





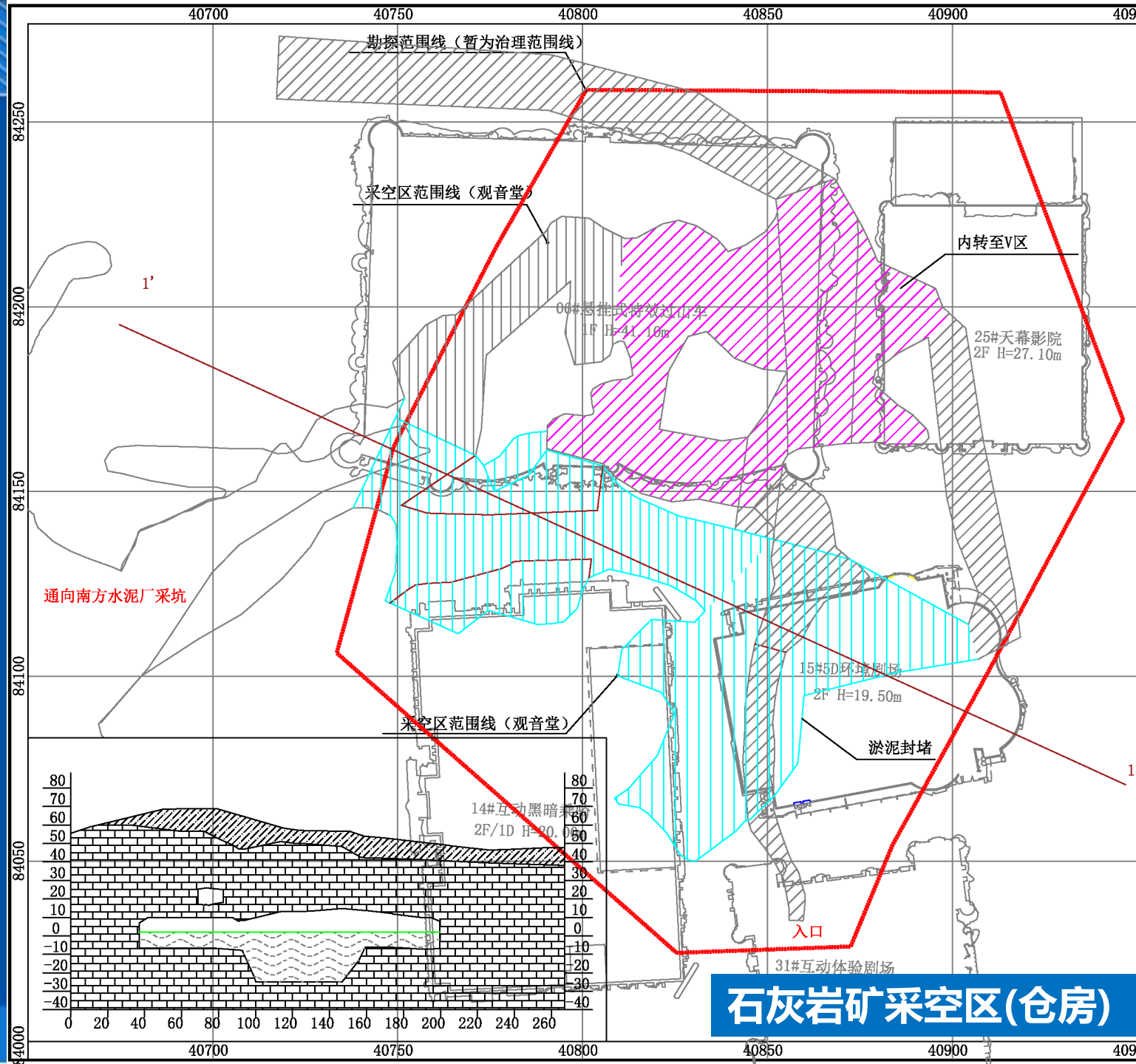
非煤采空区的形成

开采方法

- 铁矿等仓房法开采
- 分层爆破回采

顶板管理

- 空场
- 尾矿渣充填处理



石灰岩矿采空区(仓房)



采空区勘察

- 采空区勘察
 - 勘察内容
 - 勘察方法





采空区勘察

采空区勘察-勘察内容

- 1、查明开采矿层上覆岩层和地基土的地层岩性、地质构造等工程地质条件。
- 2、查明采空区开采历史、开采现状和开采规划，开采方法，开采范围和深度。
- 3、查明采空区的井巷分布、断面尺寸及相应的地表对应位置，采掘方式和顶板管理方法等。
- 4、查明采空区覆岩及垮落类型、发育规律、岩性组合及其稳定性；
- 5、查明地下水的赋存类型、分布、补给排泄条件及其变化幅度，分析评价地下水对采空区场地稳定性的影响。



采空区勘察

采空区勘察-勘察内容

- 6、查明地表移动盆地特征和分布，裂缝、台阶、塌陷分布特征和规律。
- 7、分析评价有害气体的类型、分布特征和危害程度。
- 8、评价采空区与建(构)筑物的位置关系、地面变形可能影响范围和变化趋势。
- 9、收集场地已有建筑物变形和防治措施经验。
- 10、分析计算并验证采空区地表已完成的移动变形量及预测剩余变形量，进行场地稳定性及工程建设的适宜性评价与分区。
- 11、提出采空区治理和地基处理建议。



采空区勘察

采空区勘察-勘察方法

● 工程地质调查与测绘

- ◆ 调查范围不仅应包括对拟建场地稳定性有影响的采空区，还宜向场地周边外扩不少于500m。

● 采空区调查

- ◆ 包括地质、矿产分布与赋存和采矿情况调查、采空区踏勘测量、**井下测量**、地表变形观测、地面建筑物破坏情况调查等。
- ◆ 采空区勘察应坚持**调查为主、物探钻探验证**为辅的原则。应充分收集区域及场地地质资料、矿产及其采掘资料、邻近场地工程勘察资料等，且应对收集到的资料的完整性、可靠性进行分析和验证。



采空区勘察

采空区勘察-勘察方法

- 地球物理勘探：**包括地面物探或井内(间)物探**
 - ◆ 地面物探主要包括电法勘探、瞬变电磁勘探、二(三)维地震勘探、地质雷达等；
 - ◆ 井内(间)物探包括孔间CT成像、常规测井、孔内成像、孔内地质雷达等。
 - ◆ 地面物探主要用于探查采空区的分布范围和深度，定性判定密实和充水状态。井内(间)物探主要用于探查**垮落裂隙带高度、密实和充水状态**、地下巷道等空洞的分布、**采空空隙率**的估计等。
- 钻探、坑探、槽探、井探(以验证为主、勘探为辅)
- 地表移动变形监测 (典型地段、重点地段)

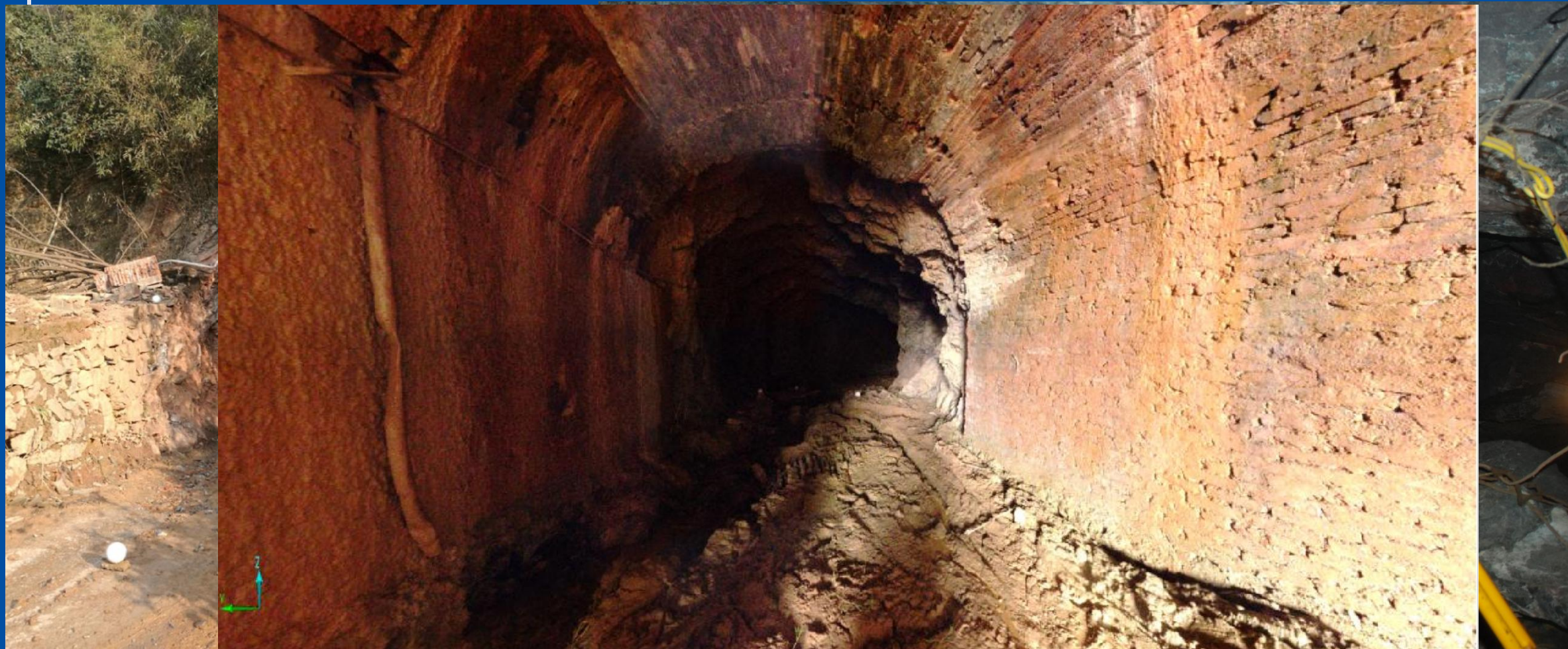


采空区井下调查





采空区井下测量





呈平放的葫芦状，洞壁光滑、平整，鲜见结构裂隙面，

微风化。

东西方向长约62m，南北宽约36m。主洞底面标高，洞顶标高136~147m。洞内西侧

长约32m，东西宽约22m，洞底标高100m，

27~133m。

约70m，洞顶标高约124~142m，洞底有一巨石洞坑，水深约2m；东侧入口与仰天

长约30m，东西宽约20m，洞底标高105m，

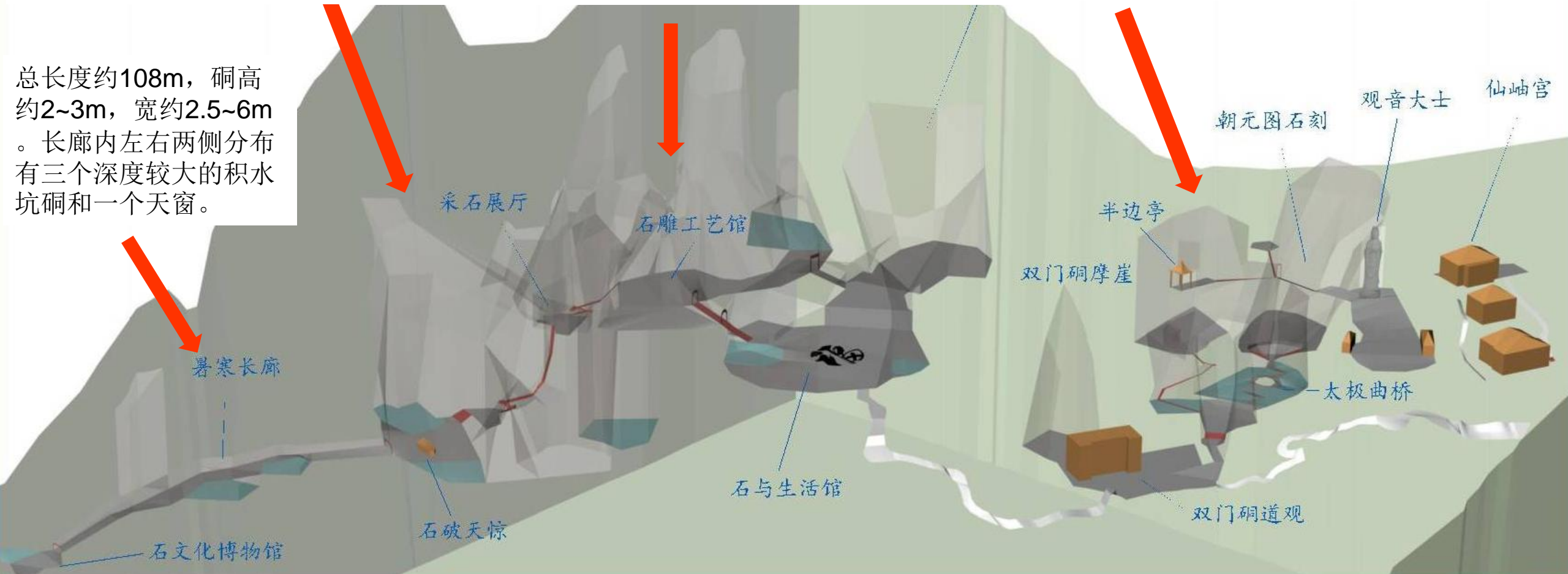
坍塌。洞内空旷，湿度大，洞壁直立，多处已进

行清理、加固处理，现存两处出水点。在其西侧，洞顶标高149m，洞体长约90m，

~西北侧尚有数个支洞的洞口，高悬岩壁之上。宽约21m。洞内有多处通道。

约153~154m，内洞洞顶东南侧开有天窗。

总长度约108m，洞高约2~3m，宽约2.5~6m。长廊内左右两侧分布有三个深度较大的积水坑洞和一个天窗。





仓(场)房式采空区稳定性评价技术

• 仓(场)房式采空区形成

• 仓(场)房式采空区变形及危害

• 仓(场)房式稳定性评价

• 仓(场)房式采空区主要防治措施

• 展望



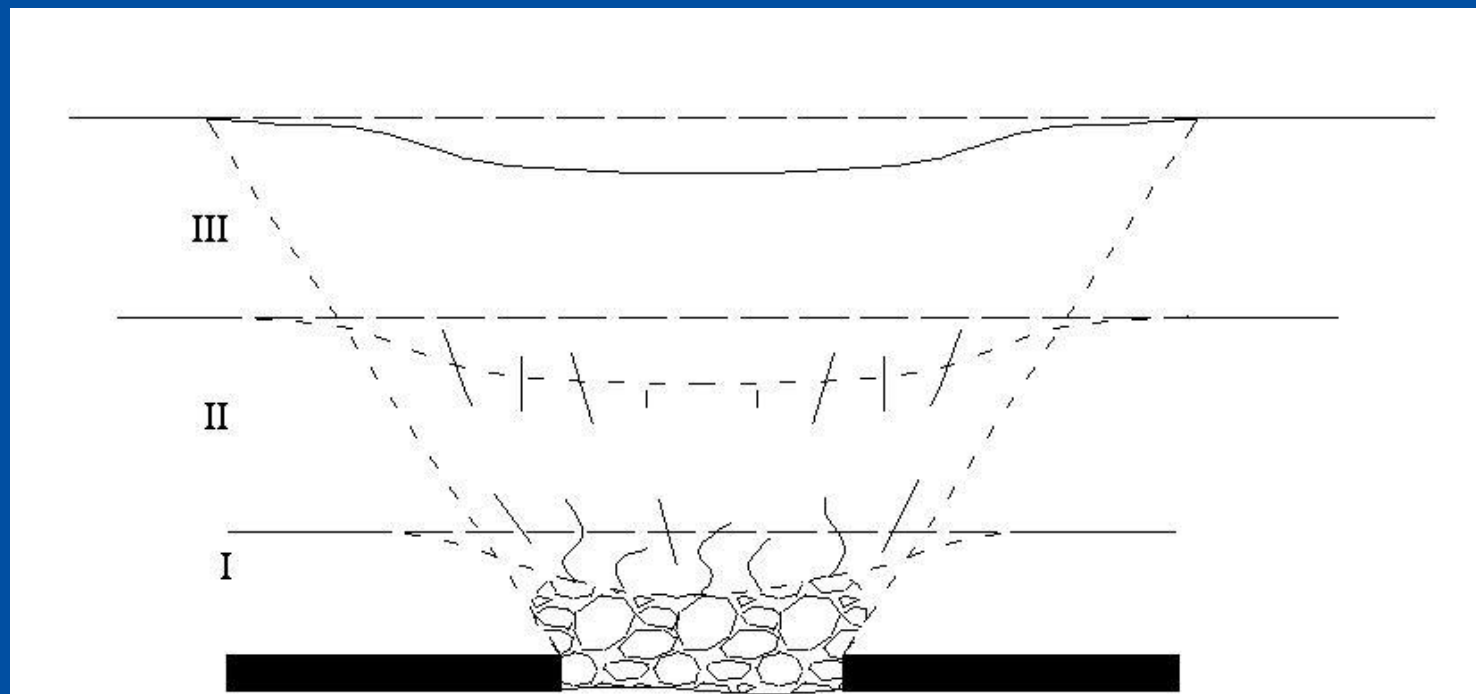
采空区地面变形及危害

- 当地下矿层被采空后，便在地下形成了采空区。采空区上覆及周围岩体失去原有的平衡状态，产生应力重分布。
- 当应力集中不超过岩体强度时，地下采空区就会形成新的应力平衡而稳定；
- 当应力集中超过岩体强度时，围岩会发生较大的**移动、变形甚至破坏**。这种移动、变形和破坏在空间上由采空区逐渐向周围扩展，当采空区范围扩大到一定程度时，岩层移动就波及到地表，使地表产生变形和破坏(地表移动)，地表从而出现地表移动盆地中间的过量沉降、边缘的水平拉张裂缝、地面局部塌陷陡坎、坑等，严重时可引起房屋开裂、山体坍塌、滑坡。



采空区地面变形及危害

- 当地下矿层被采空后，便在地下形成了采空区。采空区上覆及周围岩体失去原有的平衡状态，产生应力重分布。



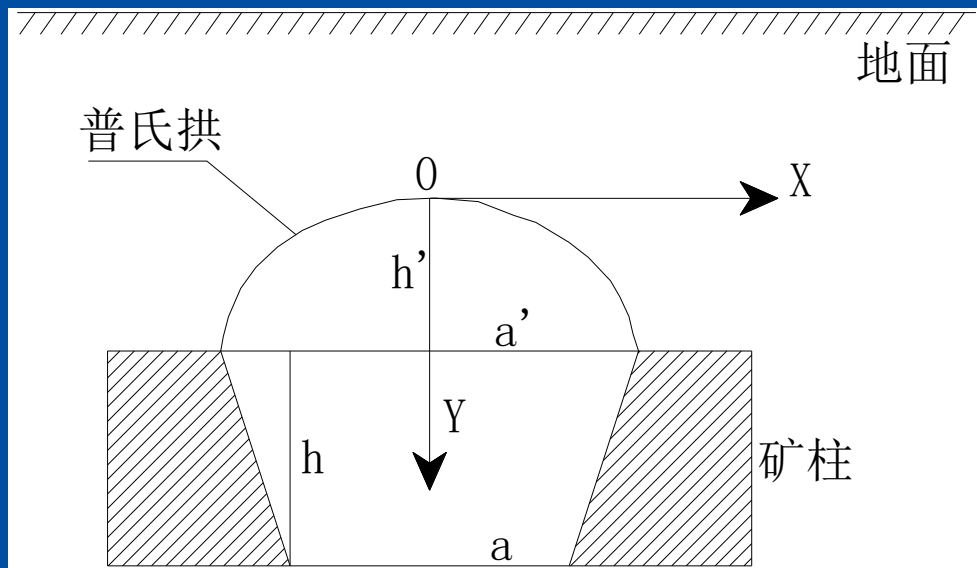
- I—垮落带
- II—裂隙带
- III—弯曲带

覆岩三带型型破坏示意图

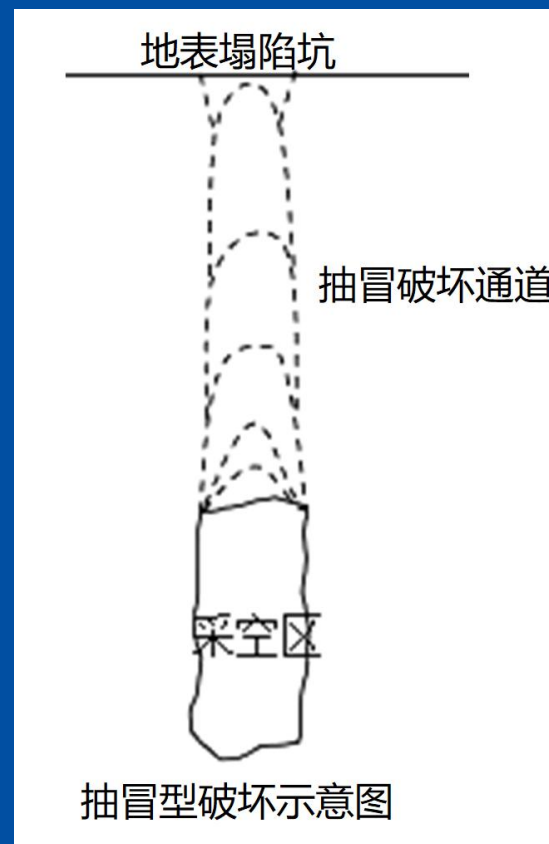


采空区地面变形及危害

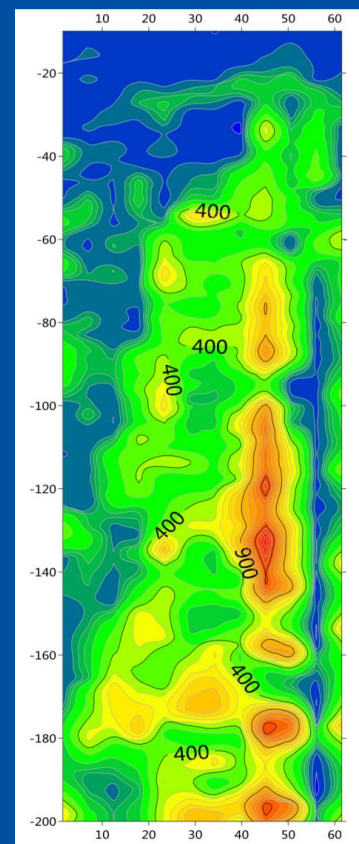
- 当地下矿层被采空后，便在地下形成了采空区。采空区上覆及周围岩体失去原有的平衡状态，产生应力重分布。

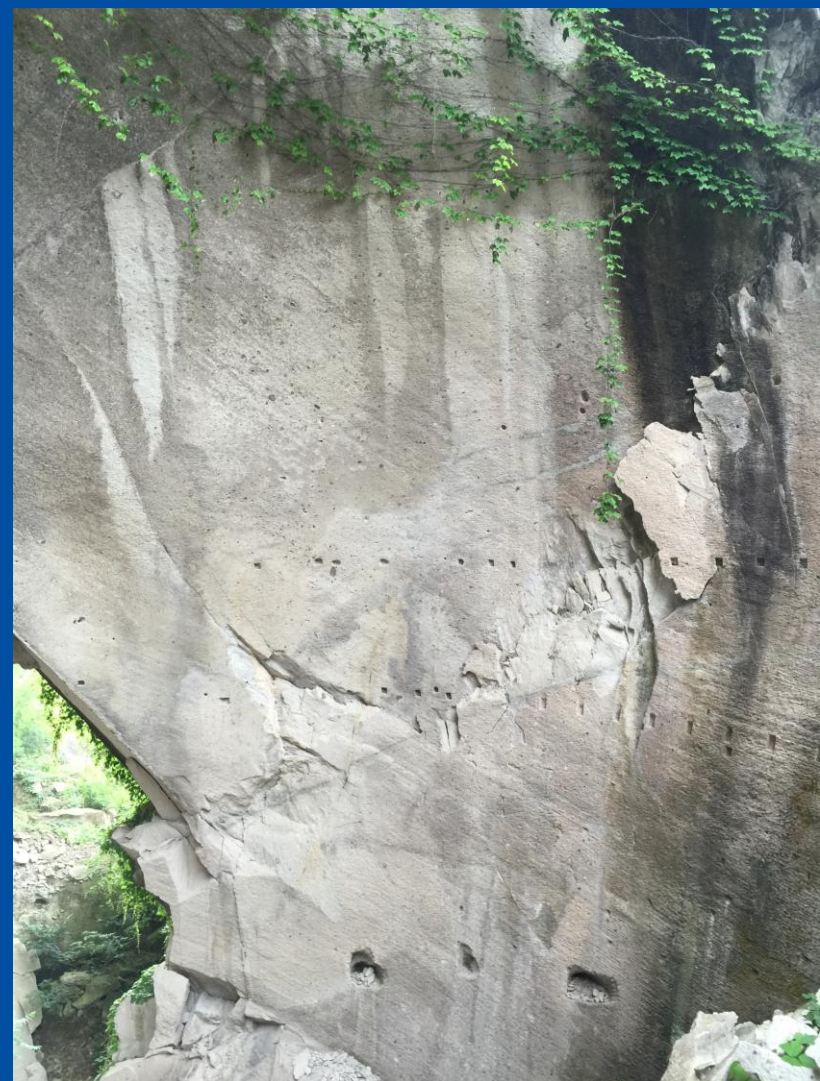
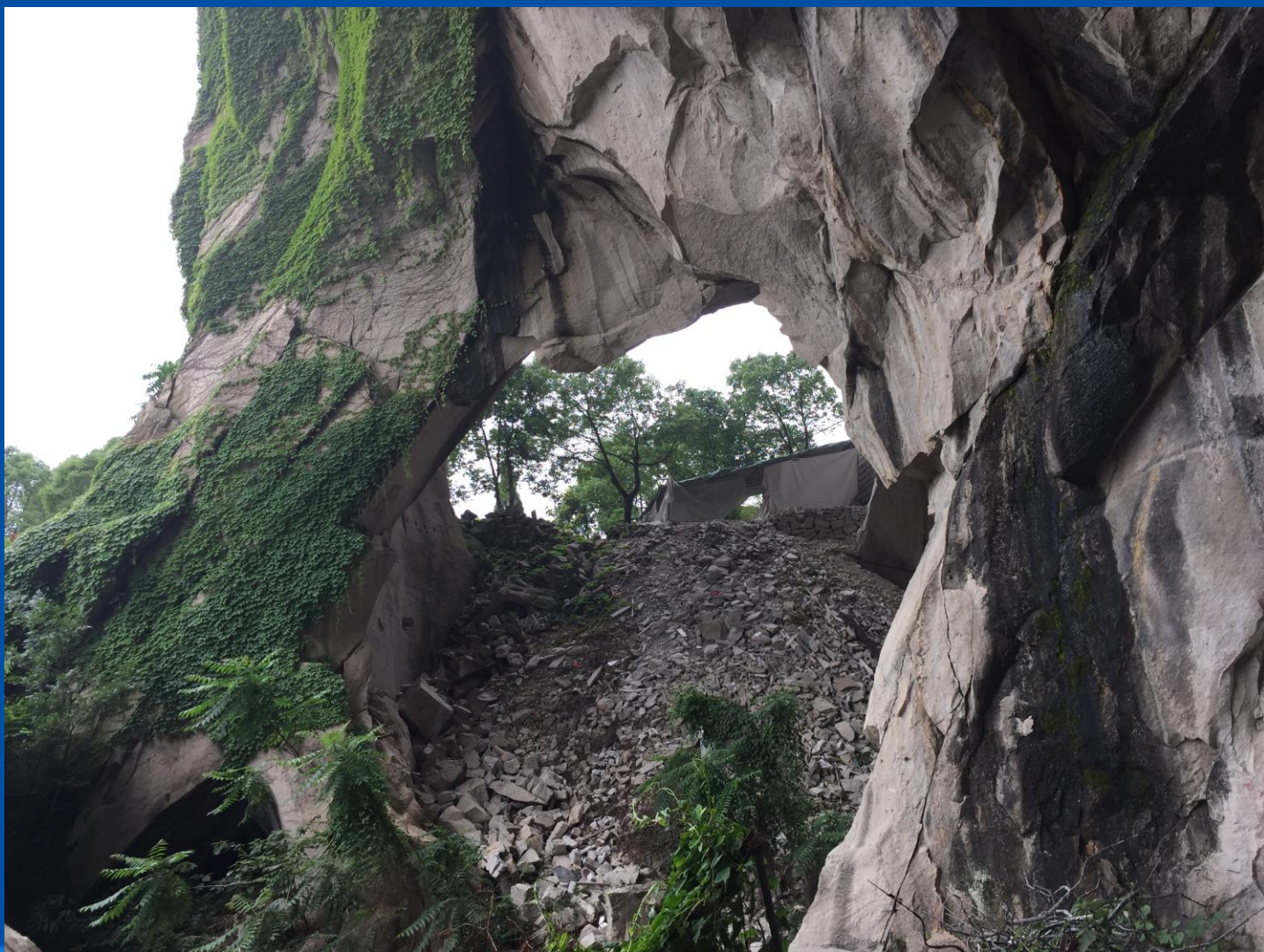


拱冒型破坏示意图



抽冒型破坏示意图







采空区地面变形及危害

- 仓(场)房式采空区主要破坏形式为垮落、抽冒塌陷等非连续变形
 - ◆ 整体垮落
 - ◆ 抽冒塌陷



采空区地面变形及危害

● 沉降盆地型



采煤塌陷地汛期中村庄积水现场



采煤塌陷地农田积水现场



采空区地面变形及危害

- 水平变形引起房屋、地面拉裂





采空区地面变形及危害

- 抽冒型破坏，引起地面局部塌陷



2005年9月30日贾汪工业园区庄庄村原滨海煤矿南侧地面塌陷



采空区地面变形及危害

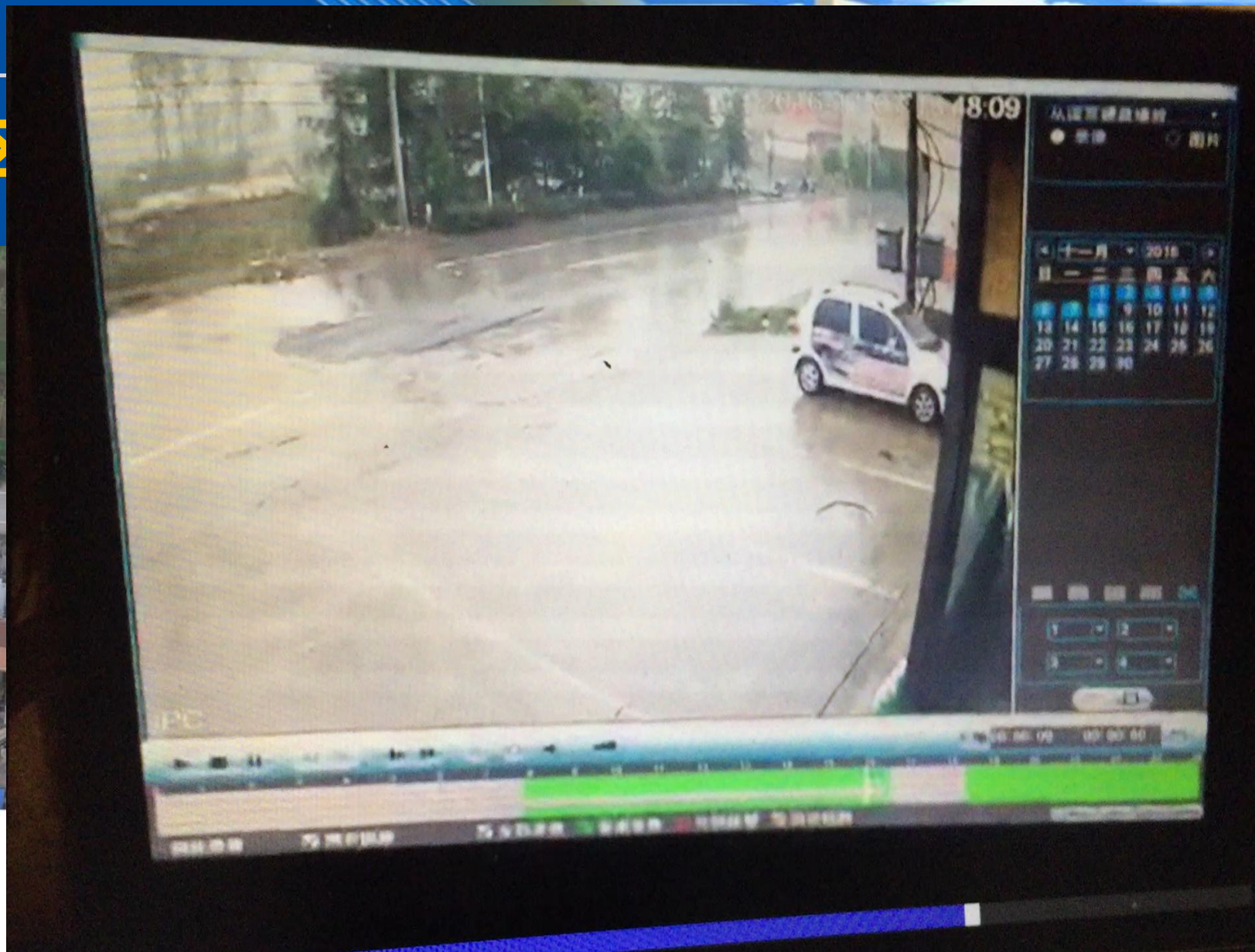
- 抽冒型破坏，引起地面局部塌陷



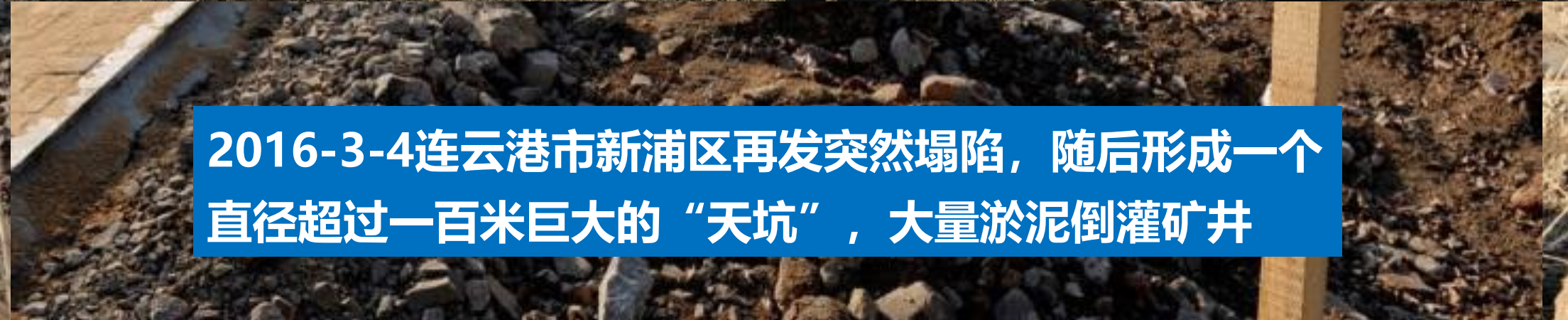
邳州石膏矿区地面塌陷



采空区



2016年11月7日徐州利国镇发生塌陷，致2辆轿车陷落，5人掉坑，经施救脱险，1辆轿车被埋。



2016-3-4连云港市新浦区再发突然塌陷，随后形成一个直径超过一百米巨大的“天坑”，大量淤泥倒灌矿井



采空区地面变形及危害

- 矿墙(柱)失稳开采引起山体整体垮塌、滑坡



1997年8月19日上午8时许，浙江温岭长屿西南的采石场因采石发生山体失稳，酿成了13人死亡的惨剧



2015-12-25山东平邑石膏矿坍塌事故





2015-12-25山东平邑石膏矿坍塌事故

- 12-25日上午，山东平邑保太镇玉荣商贸有限公司石膏矿因临近的废弃石膏矿采空区坍塌引发坍塌。当时，该矿区作业人员29人，有4人升井获救，6人确定具体位置正在救援，其他19人失联。
- 12-26日，11人获救，1人遇难，17人失联。
- 12-27日，打通第一救生钻孔。
- 2016年1月29日22点49分，经36天救援，5号大口径救生孔与巷道相通，被困矿工可进入救生孔。救援人员给救生孔安装套管进行加固。套管完成后将4名被困矿工提升到地面。



2015-12-25山东平邑石膏矿坍塌事故



国家地震台网：山东平邑4.0级地震，震源深度0km，非天然地震





2015-12-25山东平邑石膏矿坍塌事故





仓(场)房式采空区稳定性评价技术

• 仓(场)房式采空区形成

• 仓(场)房式采空区变形破坏及危害

• 仓(场)房式采空区稳定性评价

• 仓(场)房式采空区主要防治措施

• 展望



采空区场地分析评价

场地稳定性分析评价



影响及危害程度评价



适宜性分析评价

- 开采条件判别法
- 地表移动变形判别法
- 煤(岩)柱移动分析法

- 工程比拟法
- 采空区条件特征判别法
- 活化影响因素分析法
- 地表残余移动变形预计法
- 荷载影响深度判别法
- 附加应力影响深度判别法
- 数值模拟法

稳定

基本稳定

不稳定

影响小

影响中等

影响大

综合分析评价

适宜

基本适宜

适宜性差



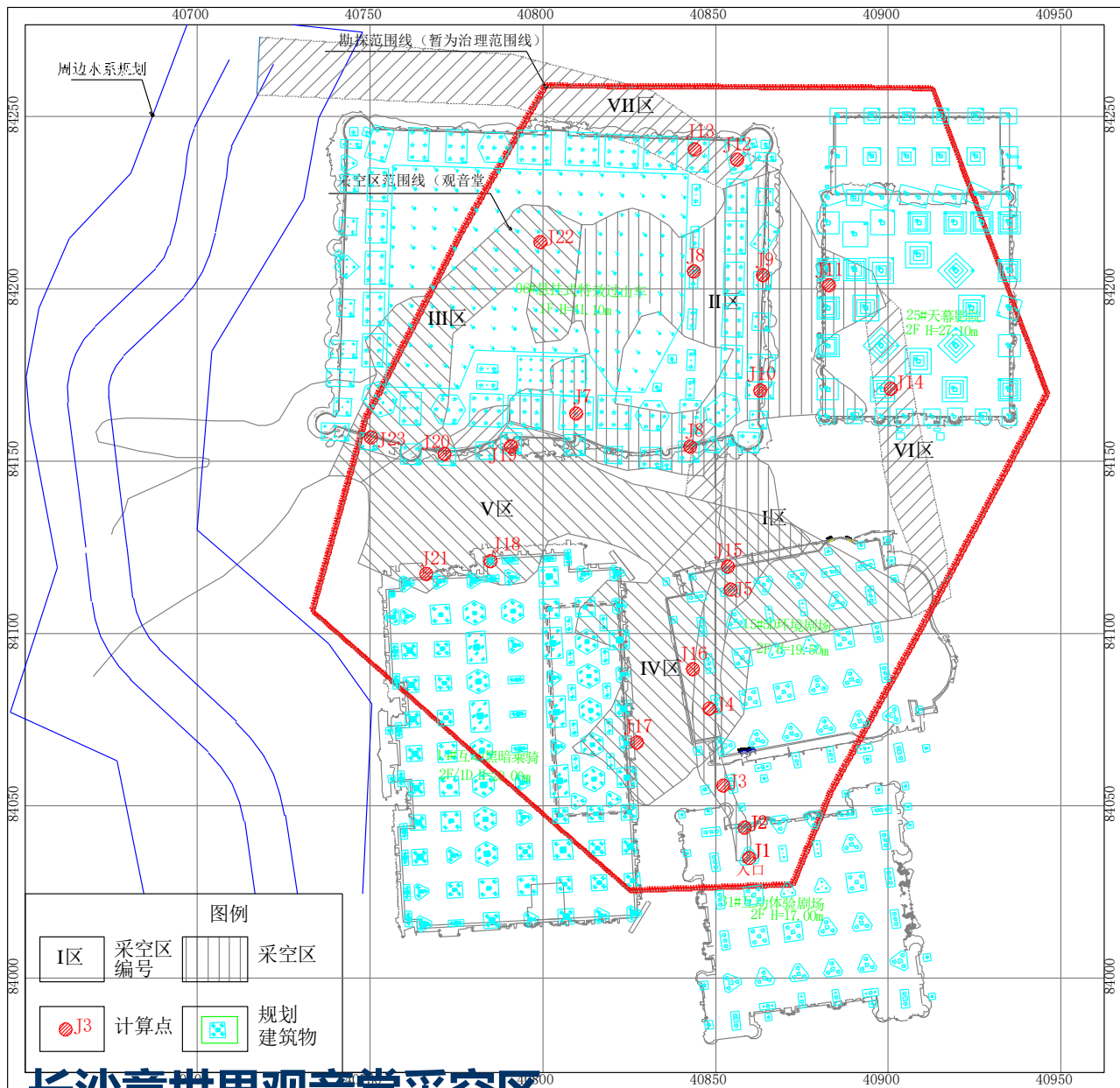
仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定性评价

- ◆ 工程地质定性分析
- ◆ 结构面控制-赤平投影

● 定量评价

- ◆ 力学计算
- ◆ 数值模拟



分区	钻孔	采高 (m)	采空区跨度 (m)	顶板厚度 (m)	定性评价
I 区	补GCK22	9	7.72	15.6	不影响
	GCK26	7.4	11.5	29.9	不影响
	YZK3	9	16.78	23	不影响
	CK161	9	13.25	22.13	不影响
II 区	GCK7	8.7	31.31	34.1	不影响
	YZK5	5.48	19.84	35.4	不影响
	YZK6	8.4	30.83	30.5	影响
	YZK7	8.1	26.39	31.6	不影响

根据《建筑物地基基础设计规范》6.6.5条 统计分析:

- I 区(入口段除外)、III区、VI区、VII区空区跨度7~28m, 顶板厚度15~49m, 空区跨度均小于顶板厚度, 可不考虑采空区对地基的影响;
- II区、IV区、V区空区跨度29~52m, 顶板厚度23~38m, 存在空区跨度大于顶板厚度情况, 需进一步验算评价采空区对地基稳定性的影响。

VII区		16	12.26	45.1	不影响
		16	13.51	49	不影响
VII区	GCK2	20.36	14.77	39	不影响
	补GCK1	13.6	13.5	22.3	不影响



编号。	照片。	剖面。	赤平投影。	分析。	稳定性。
B-SY5		<p>B-SY-5剖面图</p>	<p>B-SY5 结构面赤平极射投影图</p>	<p>坚硬岩体，裂隙发育，陡立岩壁，存在临空面，主要受自重引起的剪切力；主要切割裂隙产状 $175^\circ \angle 85^\circ$，坡面产状 $180^\circ \angle 90^\circ$；坡底无堆积物。</p> <p>根据该点结构面赤平投影分析所示，B-SY5 内单一结构面 $175^\circ \angle 85^\circ$ 与边坡面呈小角度相交，且滑动前缘悬空，具备平面滑动破坏条件，对 B-SY5 稳定性影响较大，存在岩体崩塌灾害隐患。</p>	B-SY5 已进行清理、锚固，现处于基本稳定状态；坡底无堆积物。
B-SY6		<p>B-SY-6剖面图</p>	<p>B-SY6 结构面赤平极射投影图</p>	<p>岩柱，坚硬岩体，裂隙发育，存在临空面，主要受自重引起的剪切力；主要切割裂隙产状 $113^\circ \angle 52^\circ$，裂隙规模较大，单侧坡面产状 $73^\circ \angle 90^\circ$；坡底无堆积物。</p> <p>根据该点结构面赤平投影分析所示，B-SY6 内单一结构面不具备平面滑动破坏条件。</p>	B-SY6 赤平投影分析为稳定状态，但是由于受到山体压覆形成的压剪裂隙逐步发育，岩体会发生屈服破碎，综合认为该处处于欠稳定状态；坡底无堆积物。
B-SY7		<p>B-SY-7剖面图</p>	<p>B-SY7 东侧结构面赤平极射投影图</p>	<p>岩柱，坚硬岩体，裂隙发育，存在临空面，主要受自重引起的剪切力；主要切割裂隙产状 $165^\circ \angle 64^\circ$、$110^\circ \angle 80^\circ$，东侧坡面 $103^\circ \angle 90^\circ$，南侧坡面 $205^\circ \angle 80^\circ$，裂隙规模较大，西侧与南侧岩壁光滑，北侧与东侧岩壁粗糙；坡底无堆积物。</p>	B-SY7 已进行清理、锚固，现处于基本稳定状态；坡底无堆积物。



仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定性评价

- ◆ 工程地质定性分析
- ◆ 结构面控制-赤平投影

● 定量评价

- ◆ 力学模型——破坏模式
 - 顶板抽（拱）冒破坏
 - 矿柱破坏

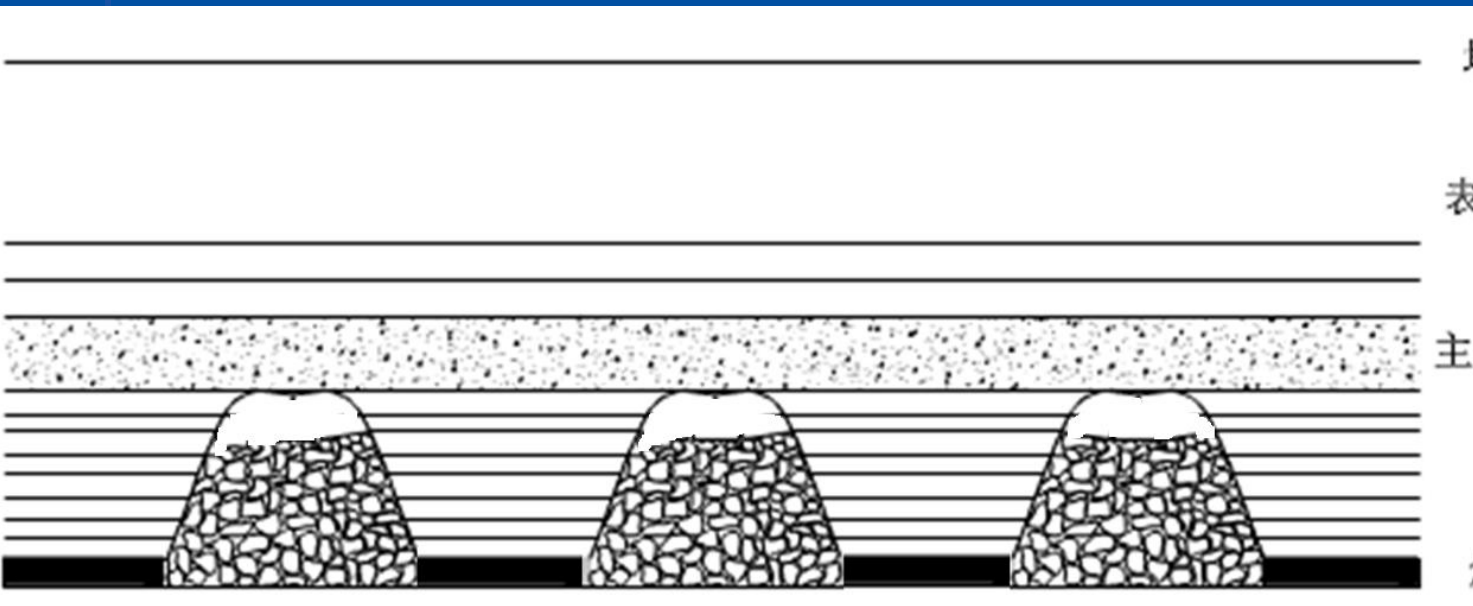


仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性

● 定量评价

◆ 力学模型——破坏模式

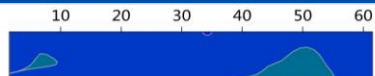
- 顶板抽(拱)冒破坏



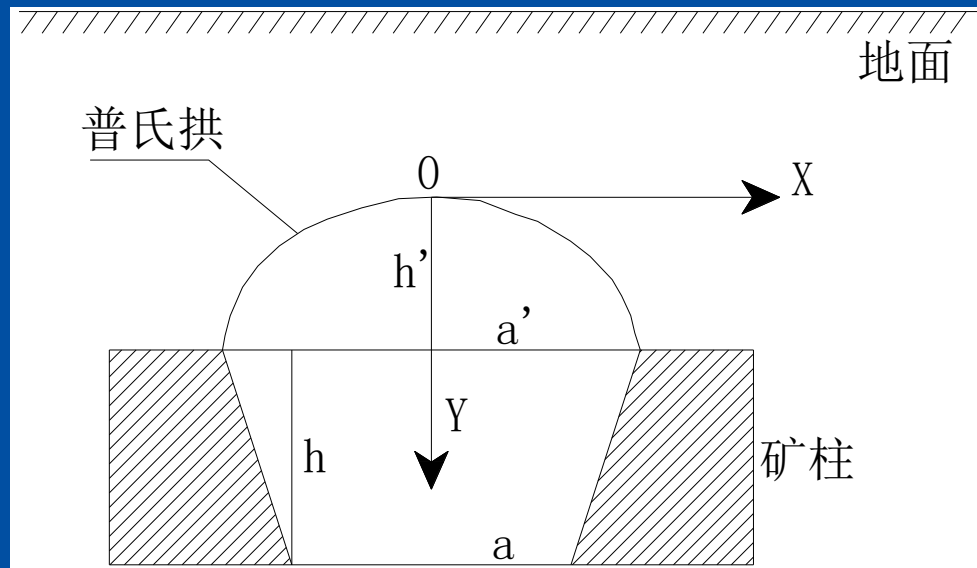
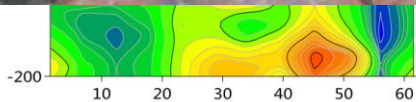


仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

地表塌陷坑



抽冒型破坏示意图



拱冒型破坏示意图

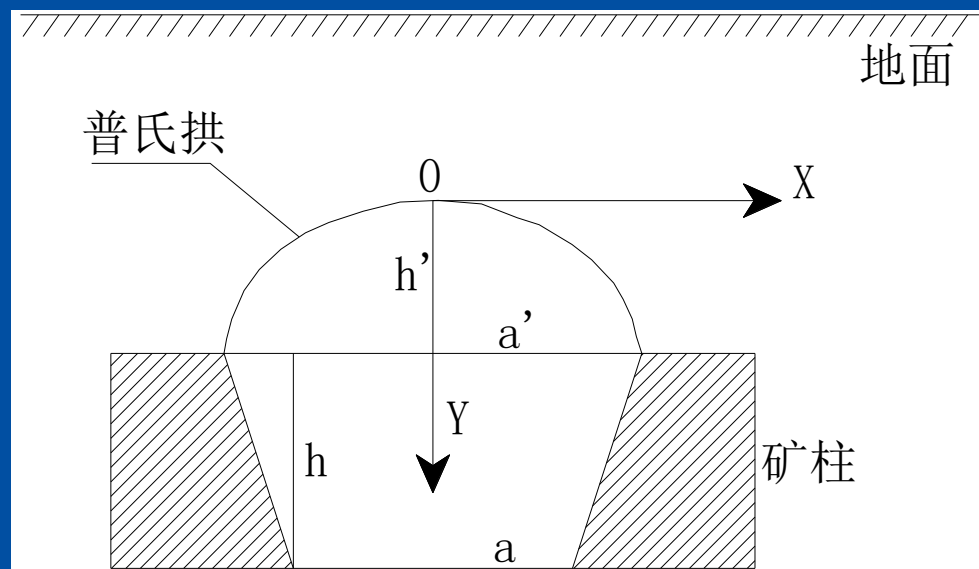


仓(场)房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定量评价

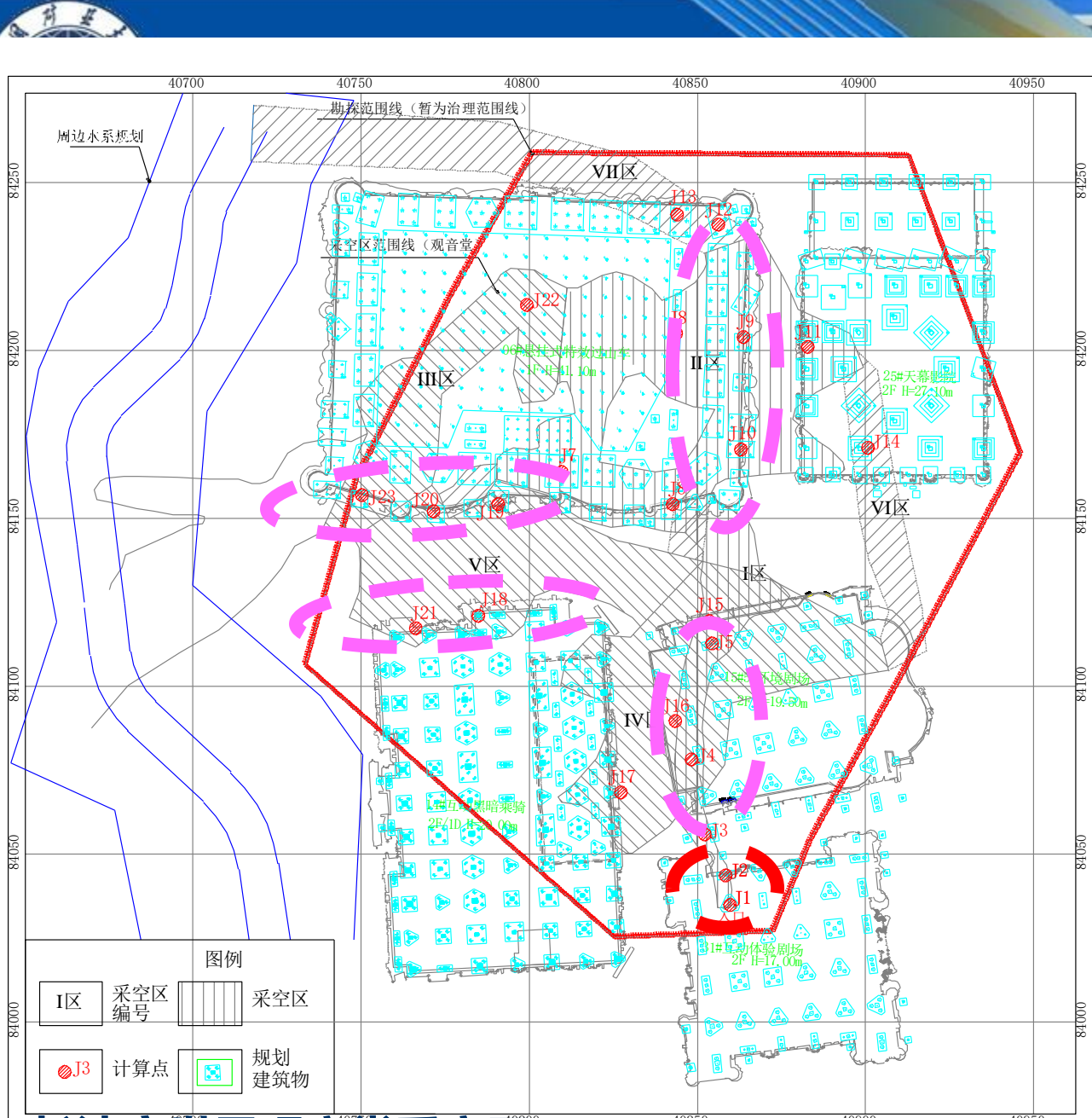
◆ 力学模型——破坏模式

• 顶板抽(拱)冒破坏



拱冒型破坏示意图

当受到上覆岩土体自重和外部荷载的共同作用时，采空区顶板内部应力会呈拱字形规则分布，此时顶板安全厚度可以用应力拱高度和上覆岩层一定厚度取代，这种理论方法从力学的角度去分析采空区顶板安全厚度，应用广泛，目前有普氏拱估算法、K.B.鲁佩涅依特计算法。



适宜性评价

建筑物	采空区	计算点	稳定系数	稳定状态
31#互动 体验剧场	I 区	J1	0.10	不稳定
		J2	0.54	不稳定
		J3	1.17	基本稳定
15#5D 环境剧场	I 区	J4	1.66	基本稳定
		J9	1.07	基本稳定
6#悬挂式 特效过山车	II 区	J10	1.67	基本稳定
		J19	1.72	基本稳定
	VI 区	J20	1.27	基本稳定
14#互动 黑暗骑乘	VI 区	J18	1.68	基本稳定
		J21	1.47	基本稳定



仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定量评价

◆ 力学模型——破坏模式

- 顶板抽(拱)冒破坏
- 矿柱破坏

影响矿柱稳定性的因素主要有：自身强度、顶板荷载大小、矿柱宽高比、矿房尺寸与矿柱尺寸关系、矿柱的分布均一性、岩石构造等。

矿柱主要破坏形式可分为两种：

- 压剪破坏
- 压屈破坏(强度降低、压力超过强度)

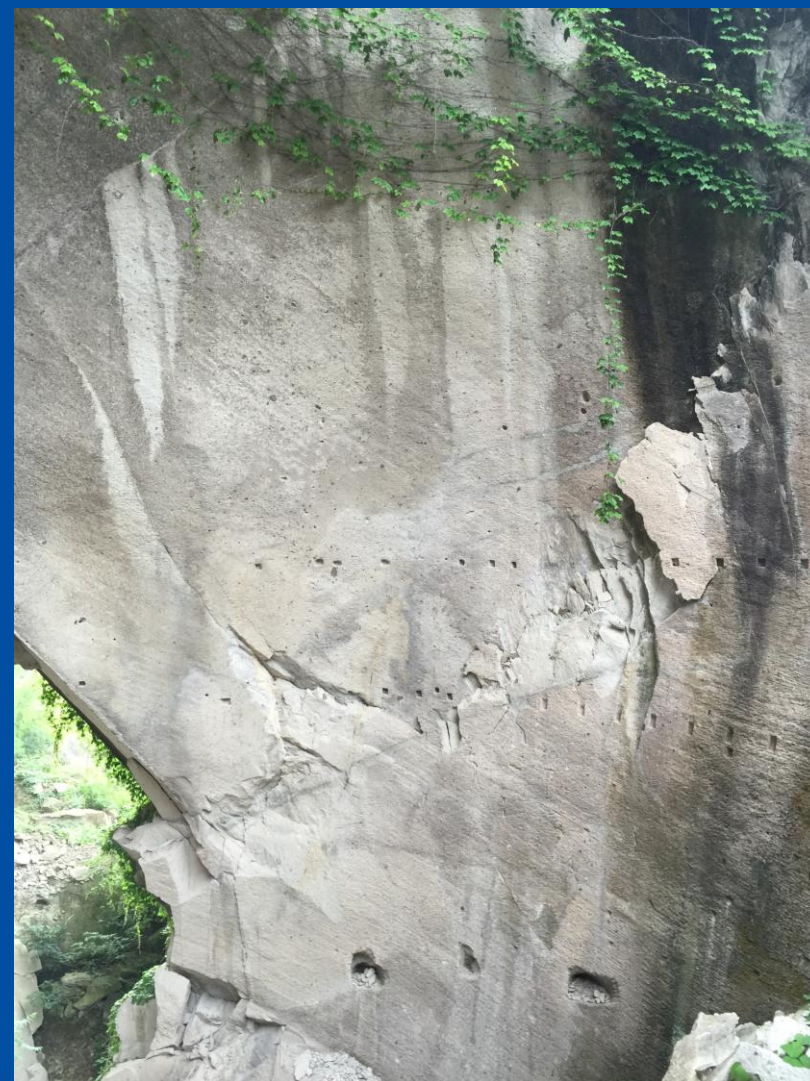
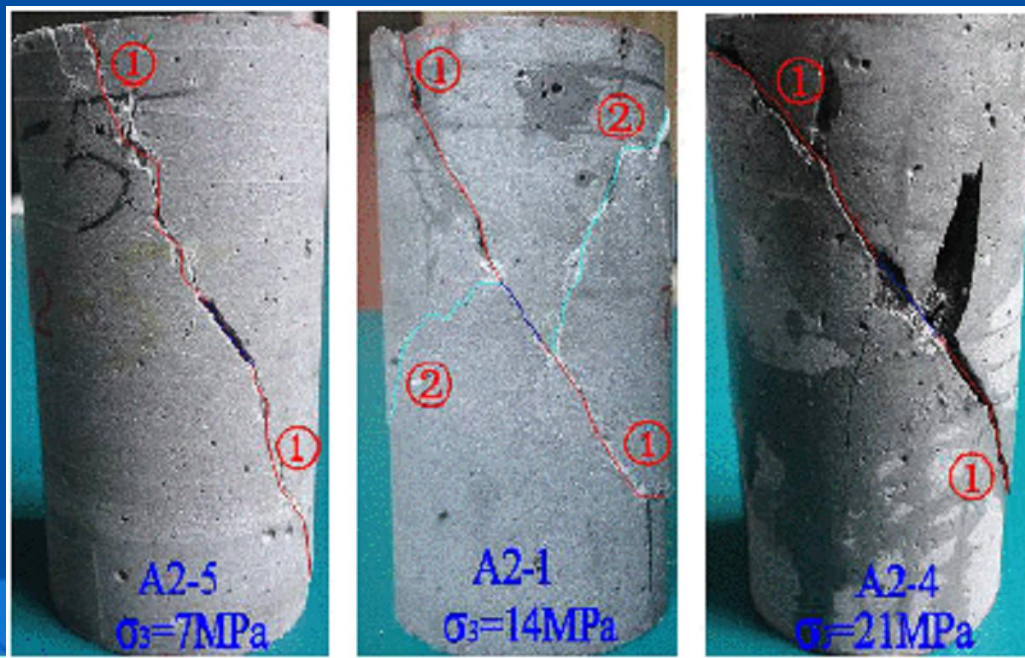


仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定量评价

◆ 力学模型——破坏模式

- 顶板抽(拱)冒破坏
- 矿柱破坏



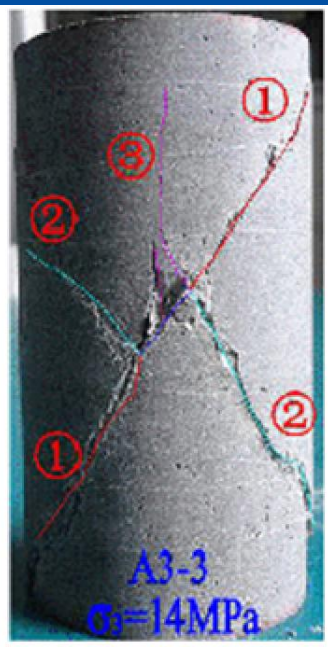
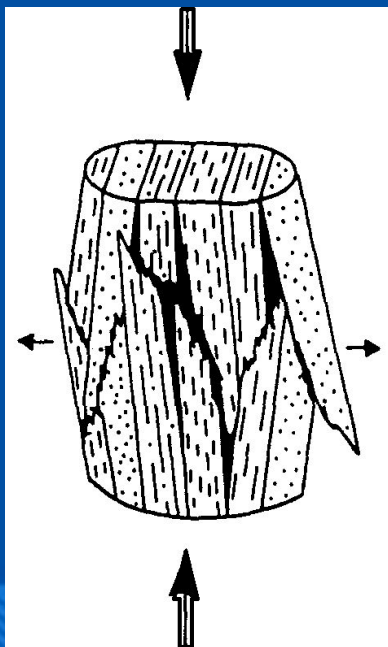


仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定量评价

◆ 力学模型——破坏模式

- 顶板抽(拱)冒破坏
- 矿柱破坏

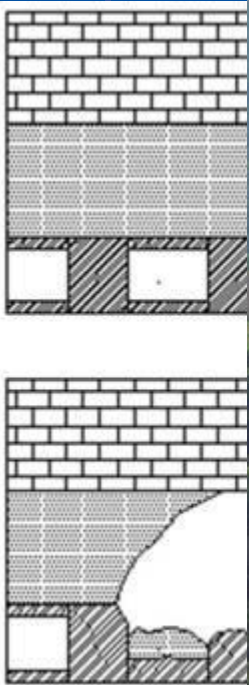




仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

- 定量评价

- ◆ 力学模型——破坏模式





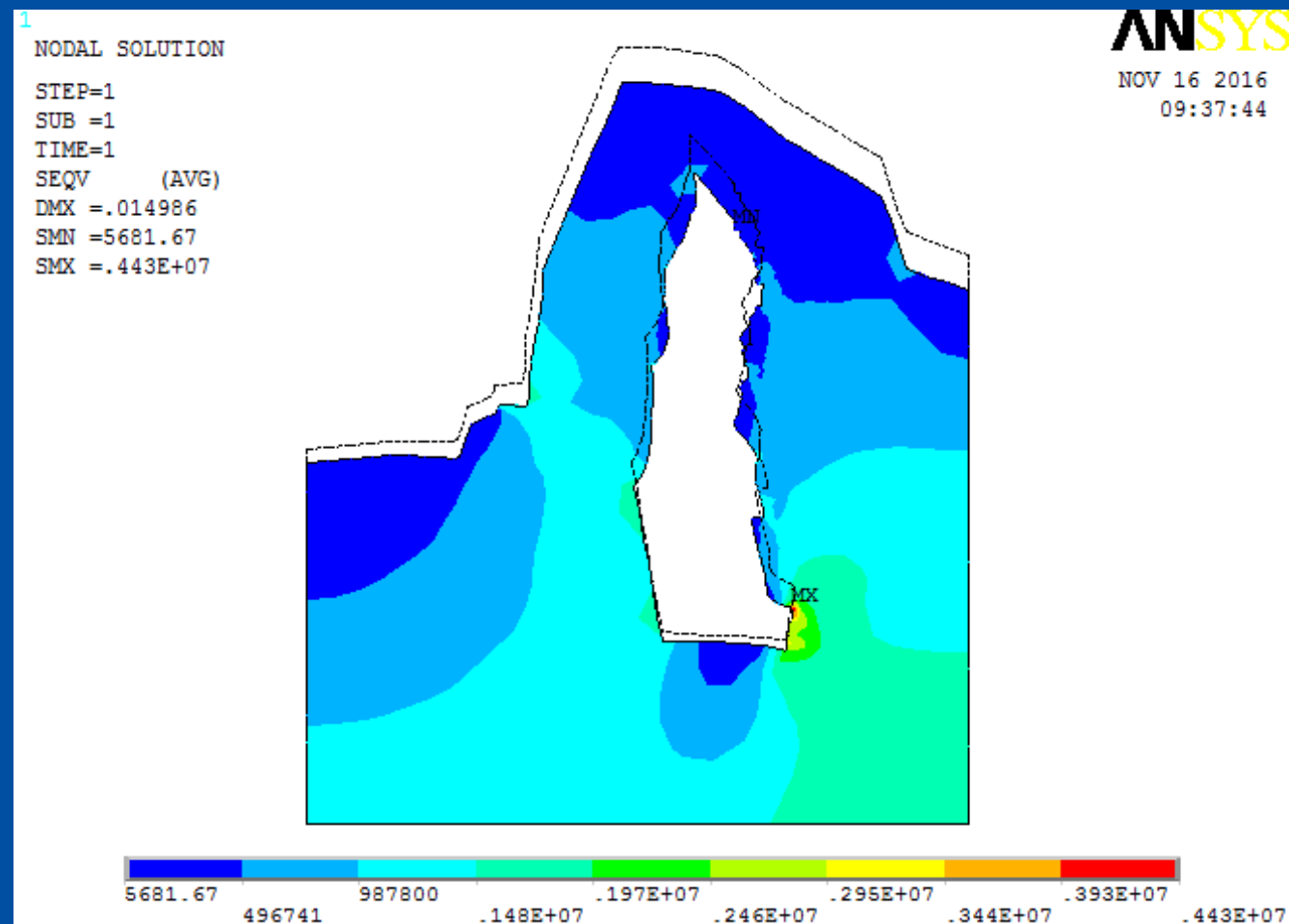
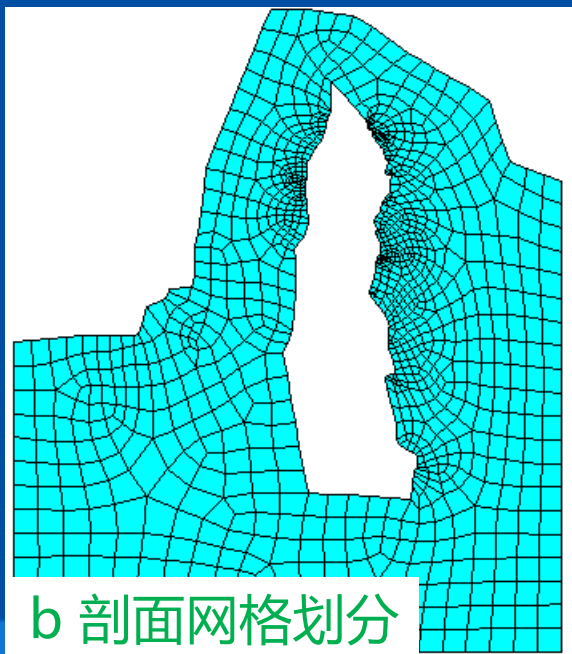
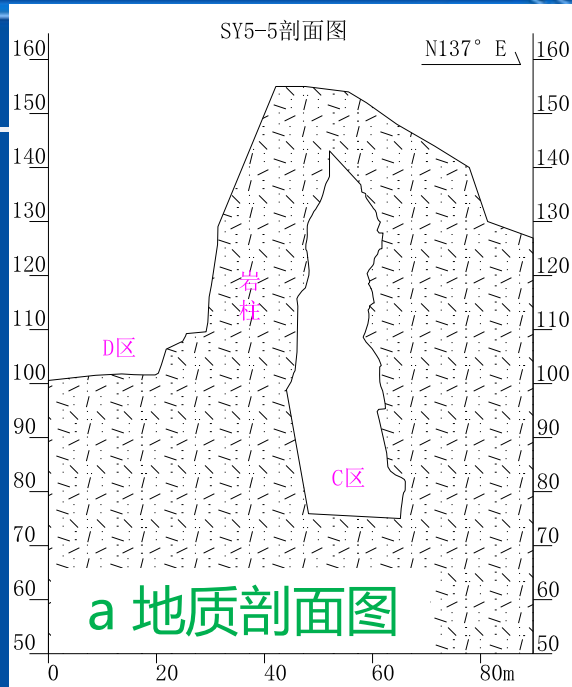
仓(场) 房式采空区稳定性与适宜性评价

● 定性评价

- ◆ 工程地质定性分析
- ◆ 结构面控制-赤平投影

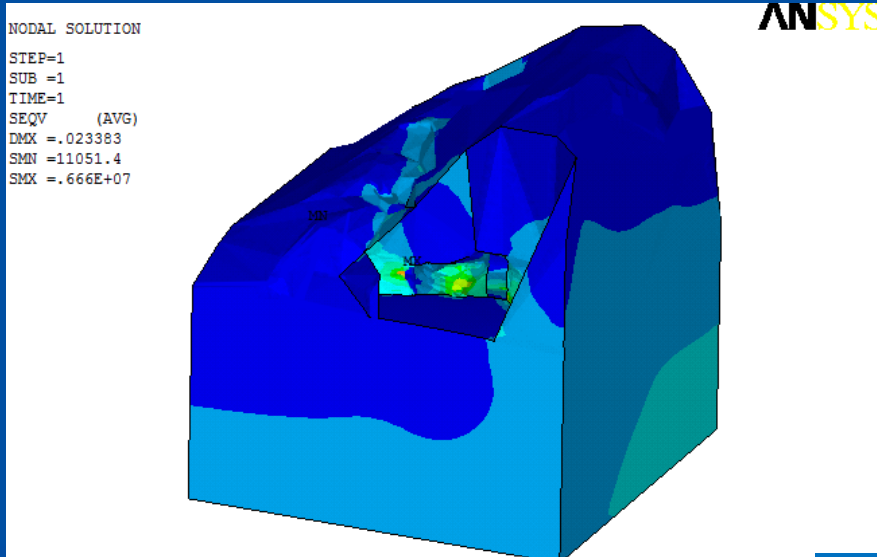
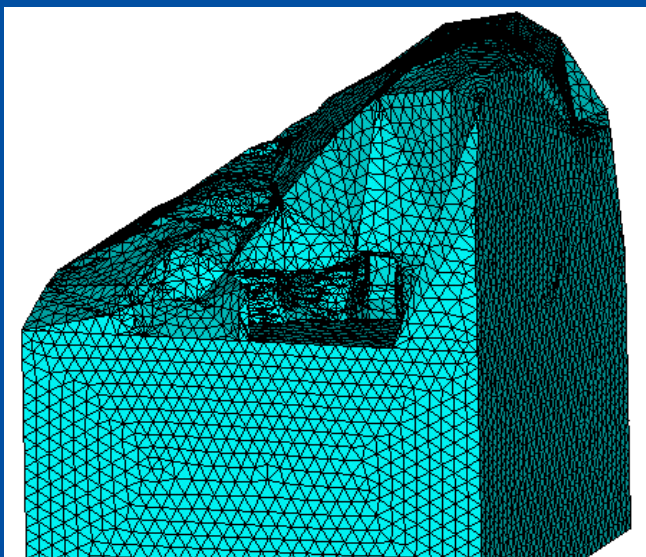
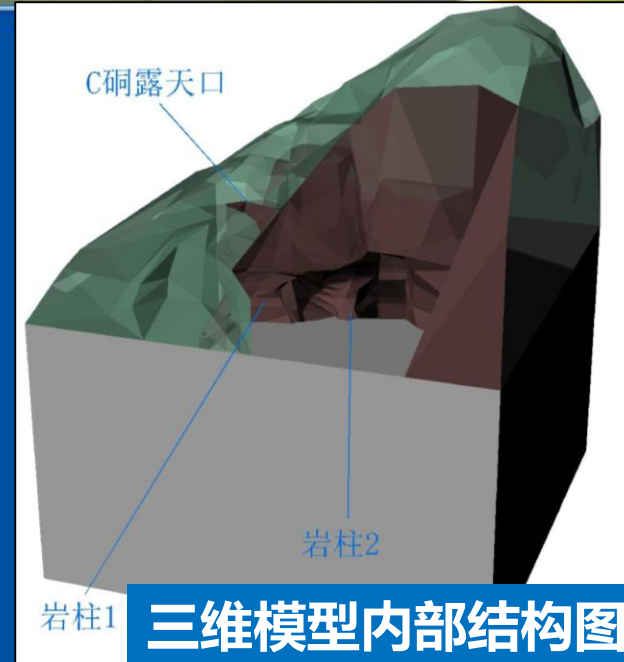
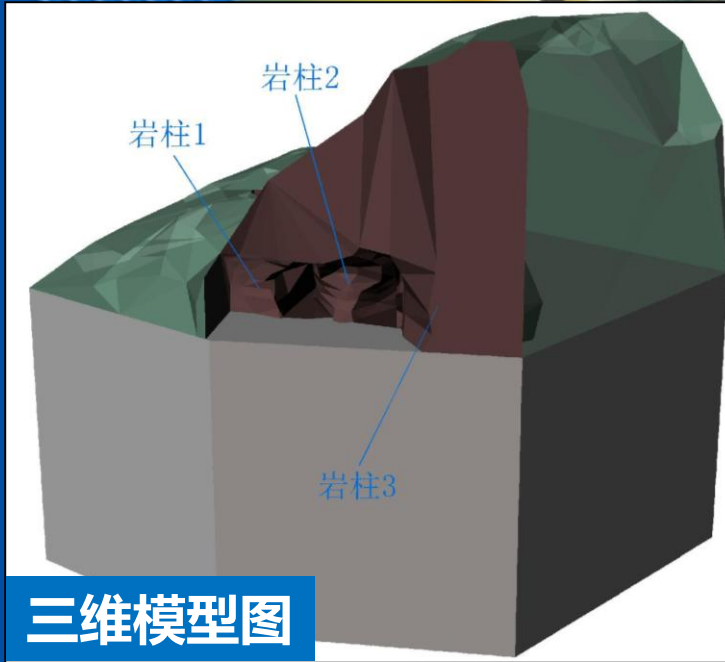
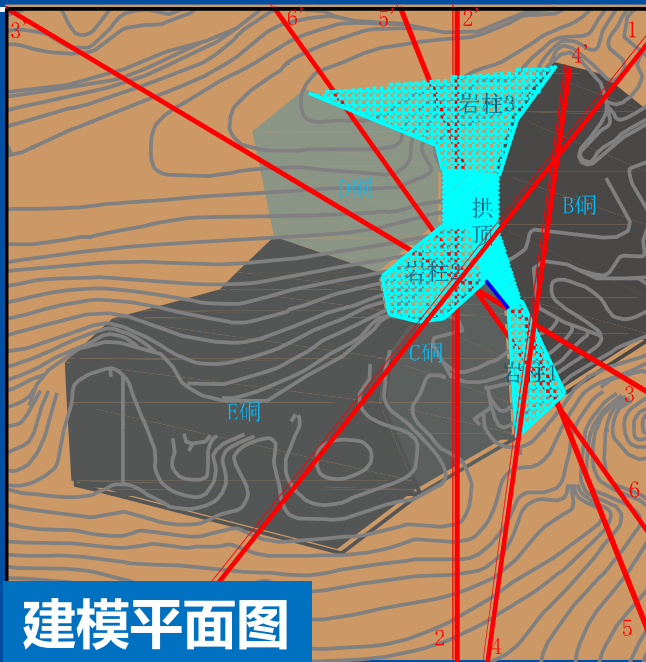
● 定量评价

- ◆ 力学模型
- ◆ 数值模拟





RHINOCERES建立三维模型



等效应力 (von Mises) 云图



1-1剖面

2-2剖面

3-3剖面

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX = .023383
SMN =-11051.4
SMX = .666E+07

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)

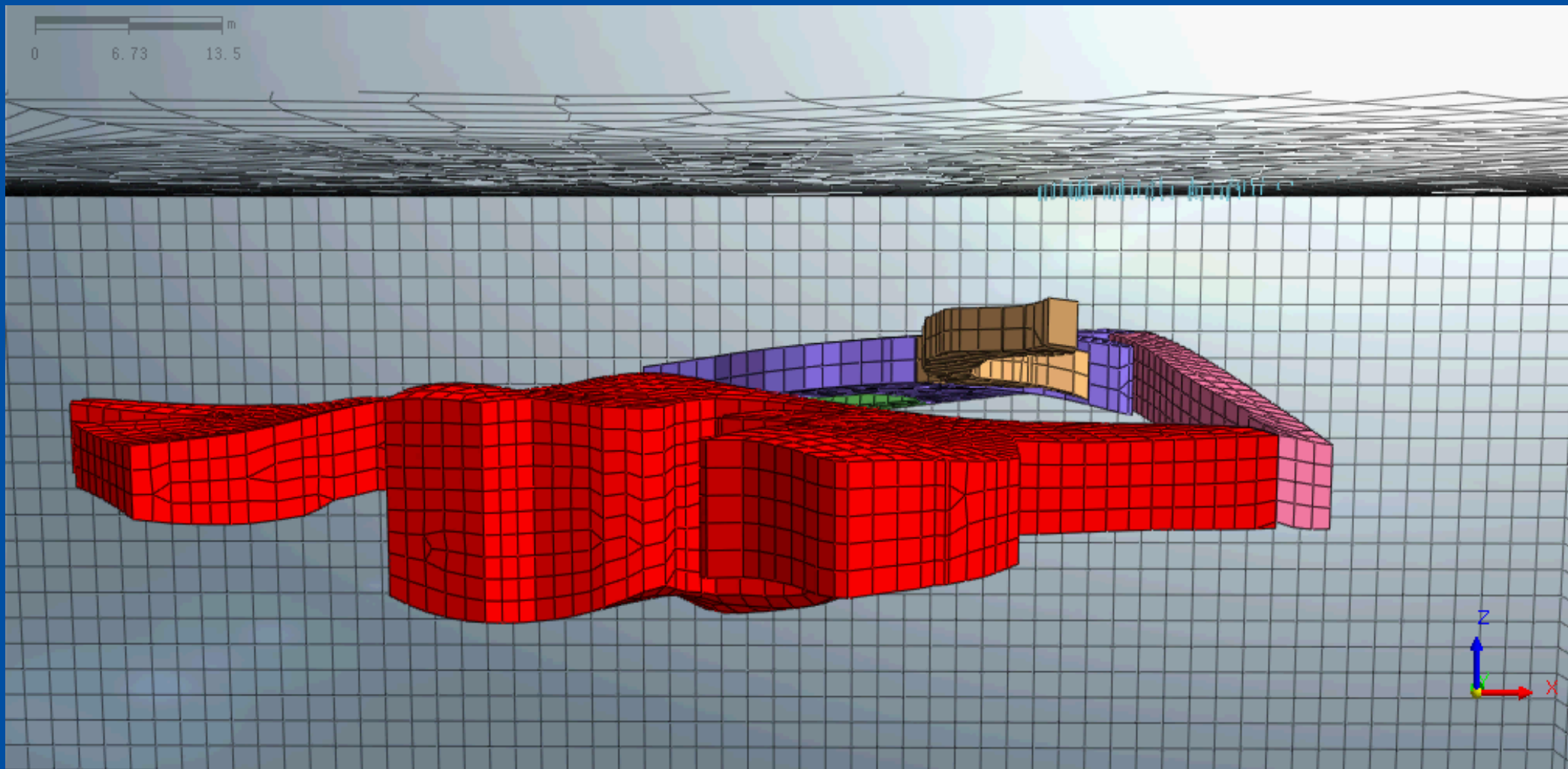
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX = .023383

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX = .023383
SMN =-11051.4
SMX = .666E+07

等效应力 (von Mises) 云图



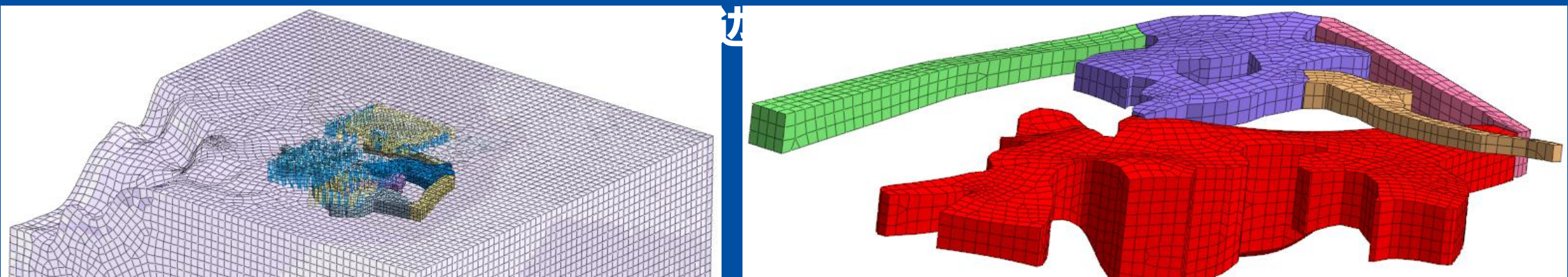
观音堂采空区三维特征





观音堂采空区三维数值模拟

- 选取MIDAS GTS商业化软件，建立模型长度为600m，宽度580m，深度250m，土层及岩层采用3D实体单元模拟，本构模型采用修正摩尔-库伦模型。
- 洞口段衬砌治理采用2D板单元模拟，采用线弹性本构模型；工程桩采用1D梁单元模拟，工程桩和岩土体之间采用接触面单元模拟。上部建筑荷载以荷载形式加

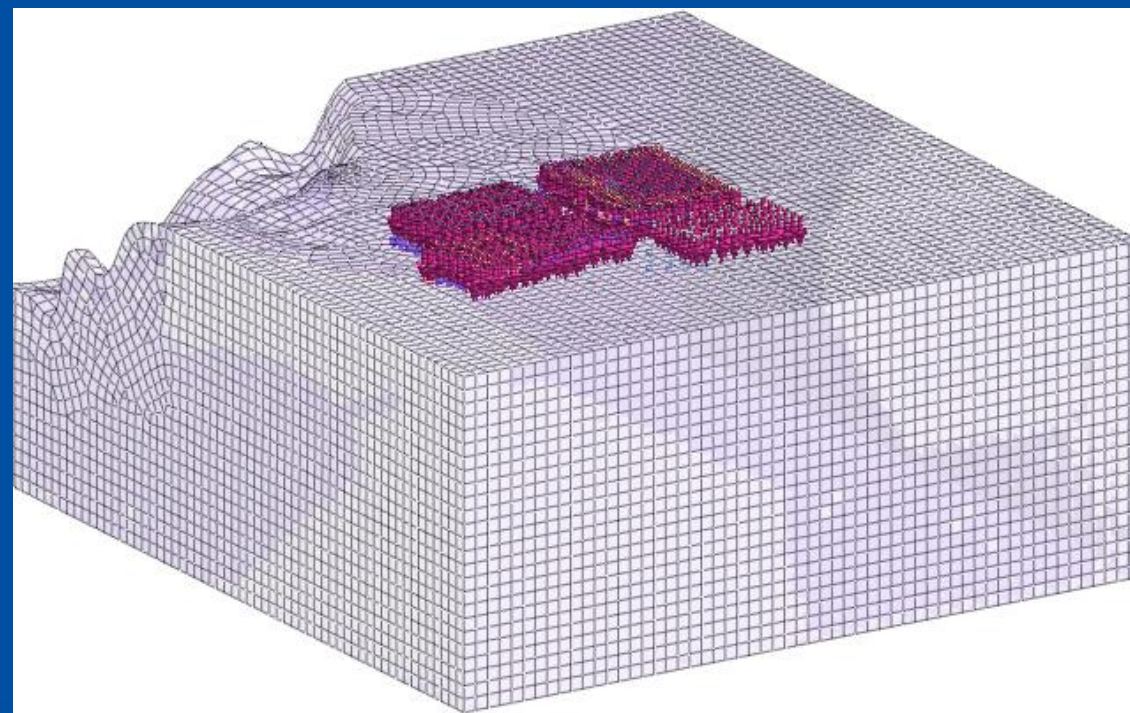
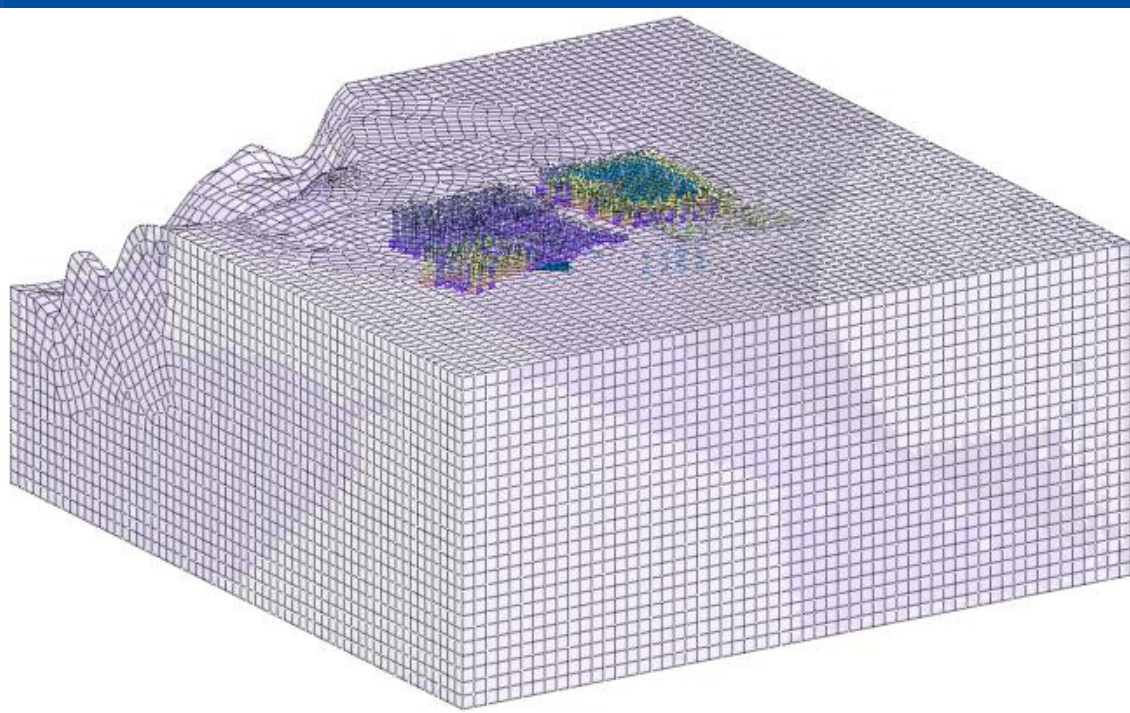


岩体	厚度 (m)	重度	弹性模量 (MPa)	泊松比	黏聚力kPa)	内摩擦角(度)
上部土层	0~22	18.5	20	0.3	26	15
岩层	22~250	27	30000	0.3	3000	32



观音堂采空区三维数值模拟

序号	模拟阶段划分	内容
1	初始模型	激活岩土体，加载岩土体自重及边界条件
2	采矿过程反演	钝化采空区
3	上部荷载施加	工程桩施工、独立基础施工



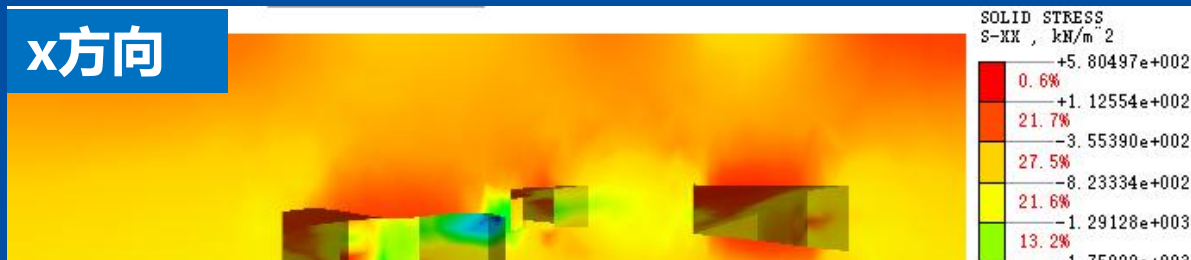


观音堂采空区三维数值模拟-采矿阶段

Z方向



x方向

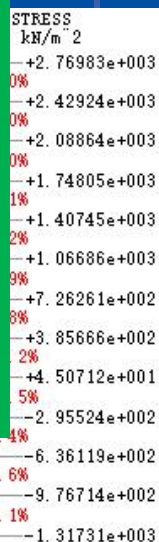


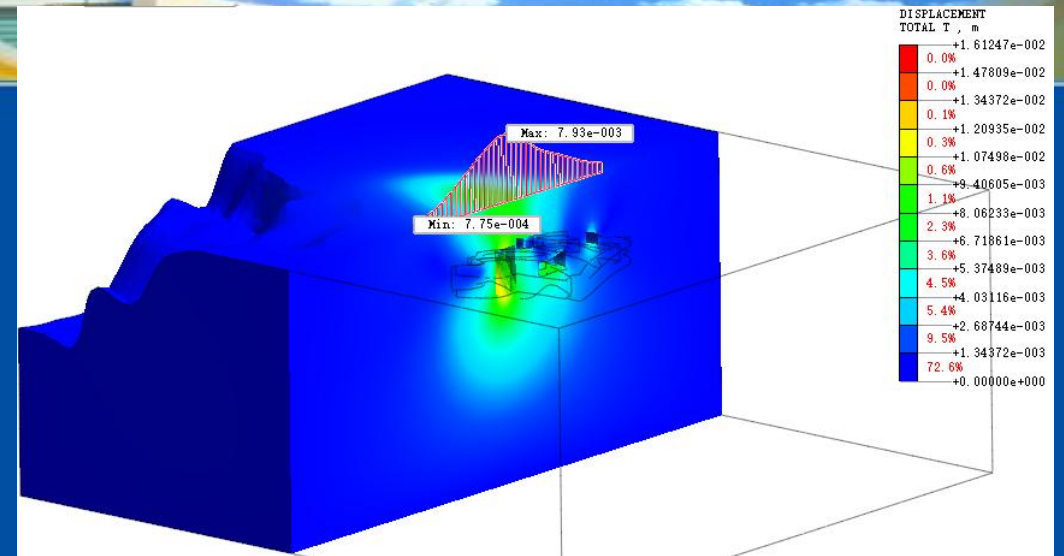
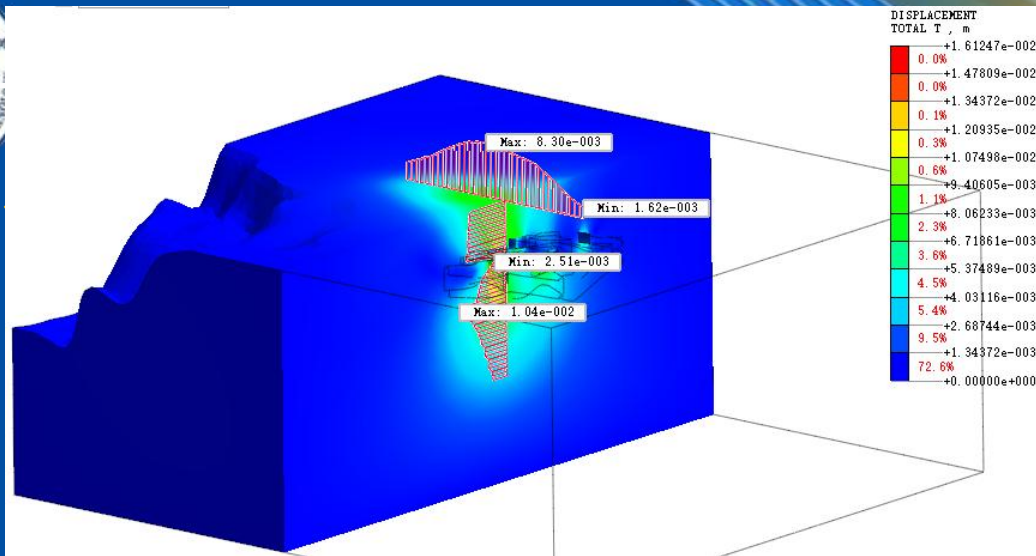
采矿阶段模拟计算结果显示:

- 采矿结束后围岩有应力集中的现象发生。主要存在II区矿柱及侧边岩墙，应力集中最大达11.3MPa。根据勘察资料围岩饱和抗压强度37.9MPa，对比分析结果侧边岩墙处于稳定状态。与现场情况一致。
- 根据采空区剖面下YZ方向应力云图，YZ方向最大应力2.77MPa，围岩的抗拉强度约为3.79MPa（按照饱和抗压强度1/10取值），小于围岩的抗拉强度。

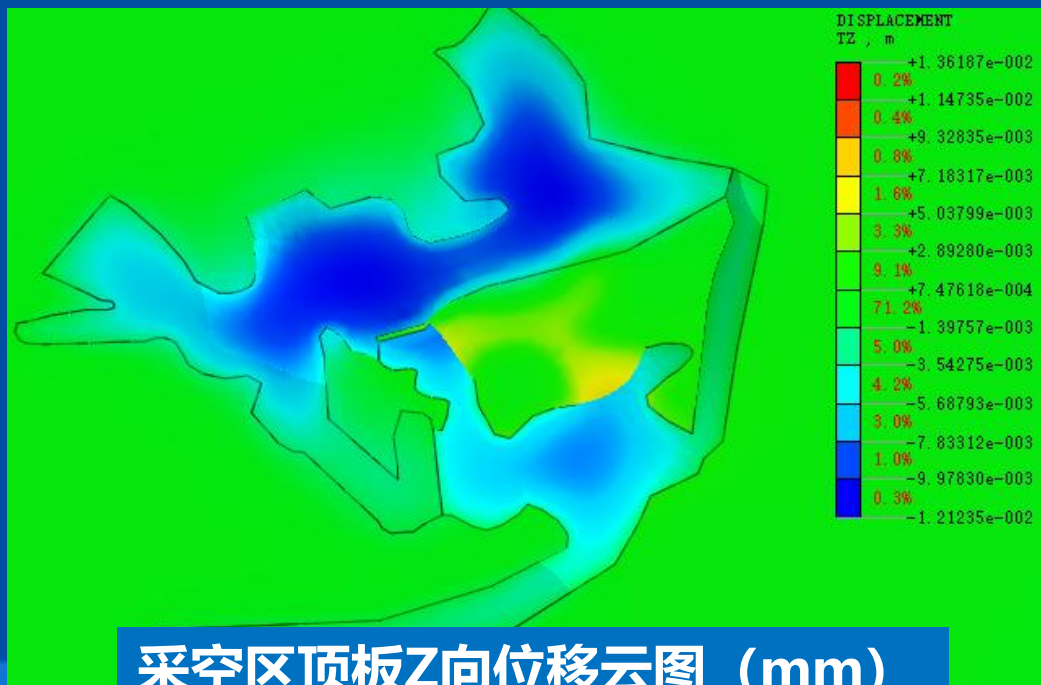
Z方向

采空区剖面应力云图





采矿阶段总位移云图



采空区顶板Z向位移云图 (mm)

采矿阶段模拟计算结果显示:

- 采矿引起上盘和下盘围岩均向采空区的方向移动。下盘围岩上部位移为 13.6mm，顶板位移为12.1mm，也同样指向空区。
- 采矿结束后围岩的形变量与空区顶板的下沉量都很小，是安全的。现阶段的矿体开采后的空区和矿柱也确实都是稳定的。

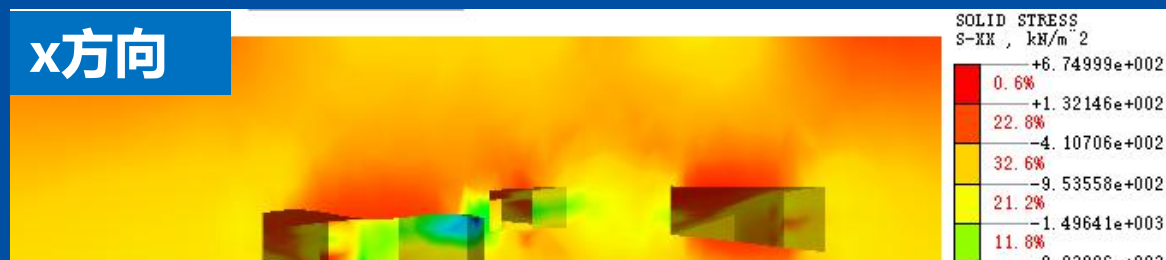


观音堂采空区三维数值模拟-拟建建筑物荷载作用

Z方向



x方向

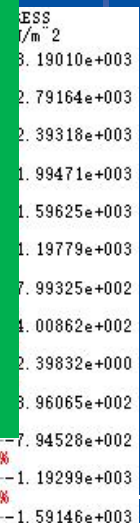


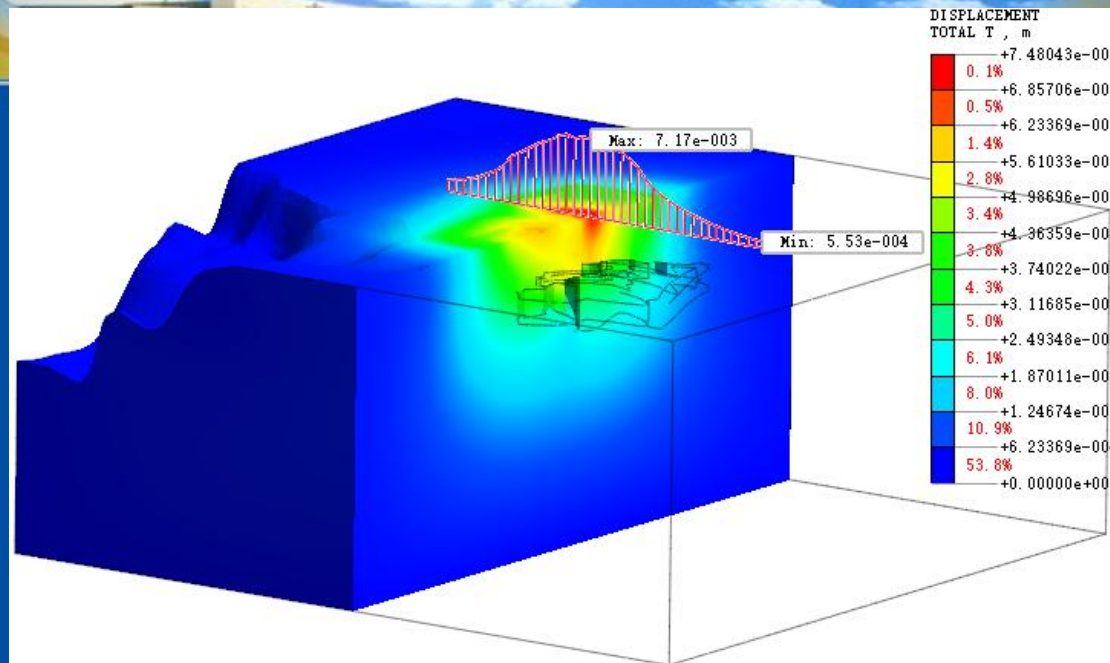
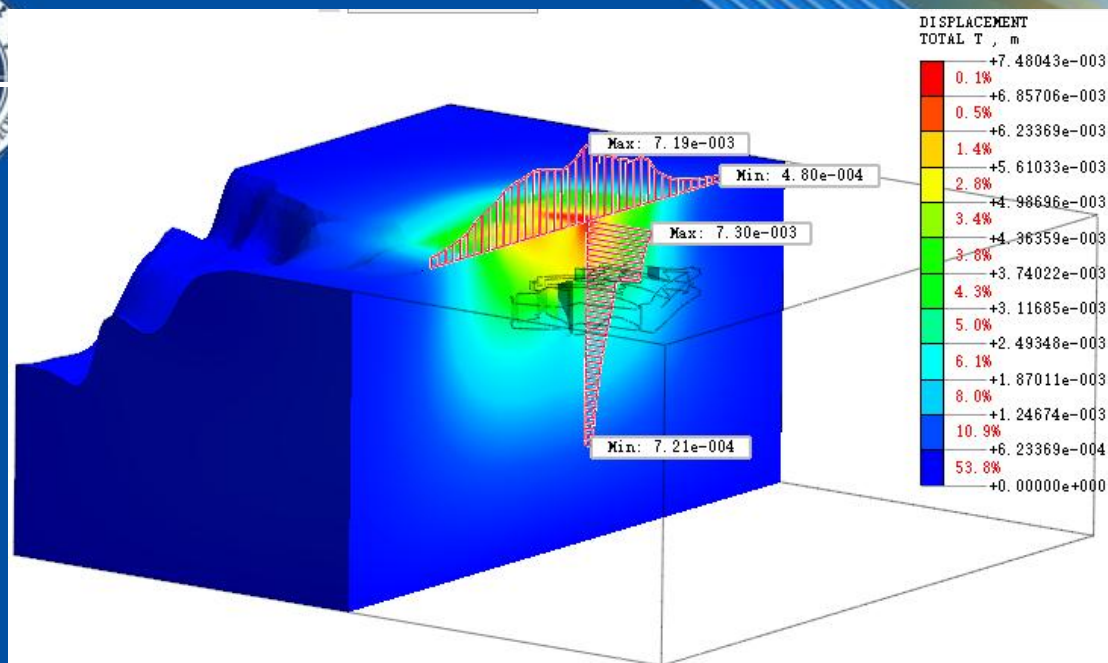
拟建建筑物荷载作用模拟计算结果显示:

- 由于上部建筑荷载的施加，采空区围岩应力继续增加，主要存在II区矿柱及侧边岩墙，侧边岩墙应力集中由采矿阶段的11.3MPa升至12.9MPa，根据勘察资料围岩饱和抗压强度37.9MPa，对比分析结果采空区仍处于**稳定状态**。
- 根据采空区剖面下YZ方向应力云图，YZ方向最大应力由2.77MPa升至3.19MPa，仍小于围岩的抗拉强度。

Z方向

采空区剖面应力云图





拟建建筑物荷载作用下总位移云图

拟建建筑物荷载作用模拟计算结果显示：

- 受上部荷载影响，最大位移主要产生在采空区上方，竖向位移最大7.5mm，倾斜1/10000。
- 进行工程建设后空区场地沉降、变形都不大，根据《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）表5.3.4，高耸结构基础的倾斜0.006（ $20 < H \leq 50$ ），高耸结构基础的沉降量400mm（ $H \leq 100$ ），施加上部结构荷载产生的沉降满足规范要求。



仓(场) 房式采空区稳定性评价技术

• 仓(场) 房式采空区形成

• 仓(场) 房式采空区变形破坏及危害

• 仓(场) 房式采空区稳定性评价

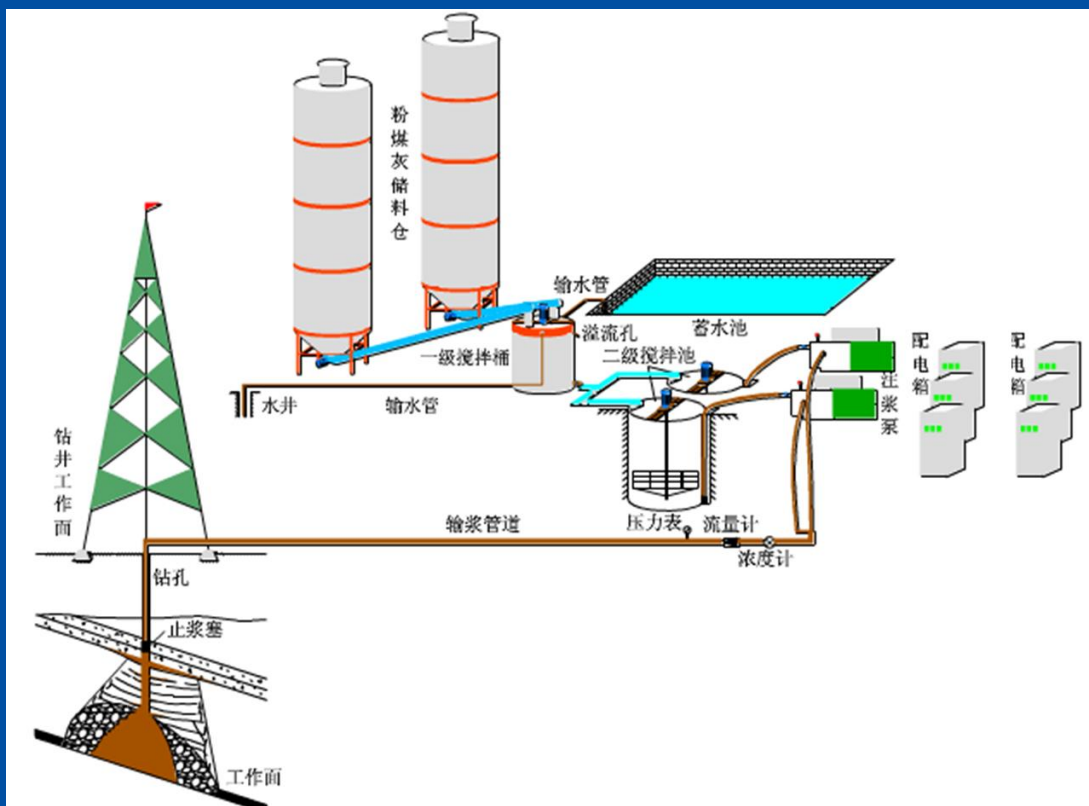
• 仓(场) 房式采空区主要防治措施

• 展望

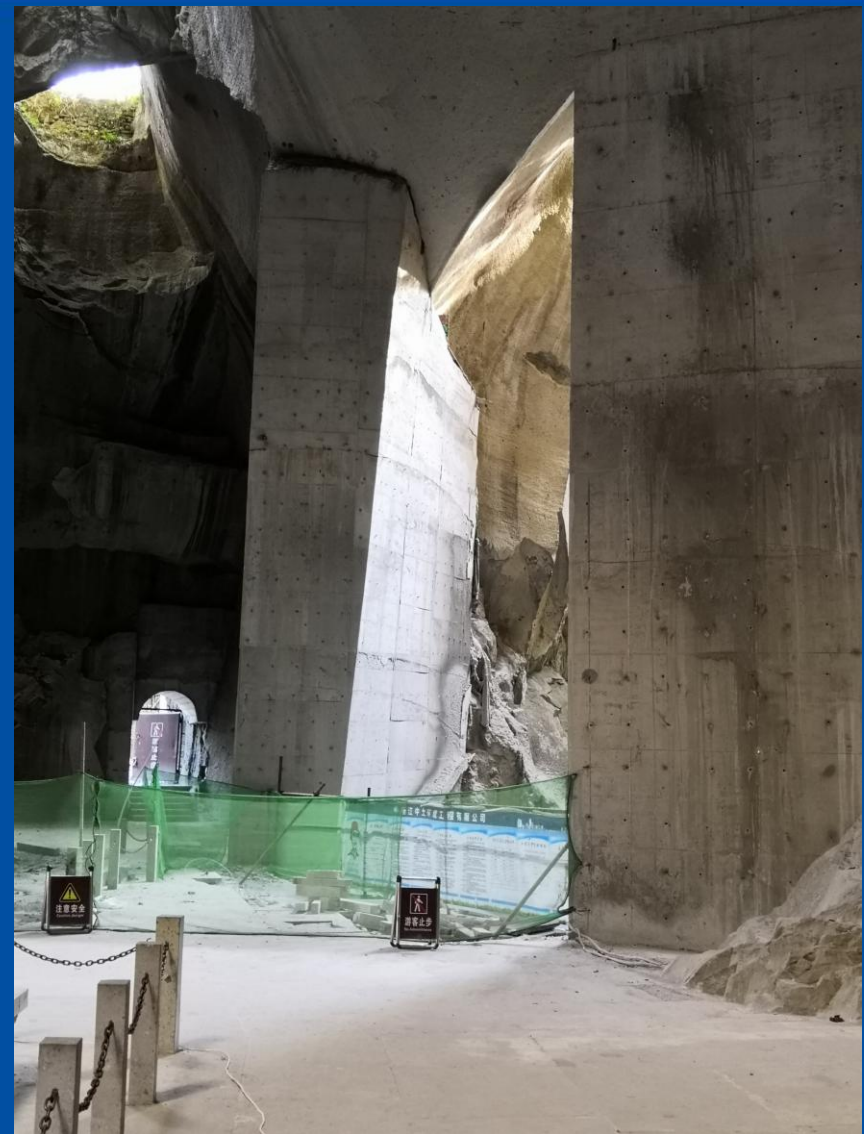


采空区主要防治措施

● 下伏老采空区的预防措施:



注浆充填

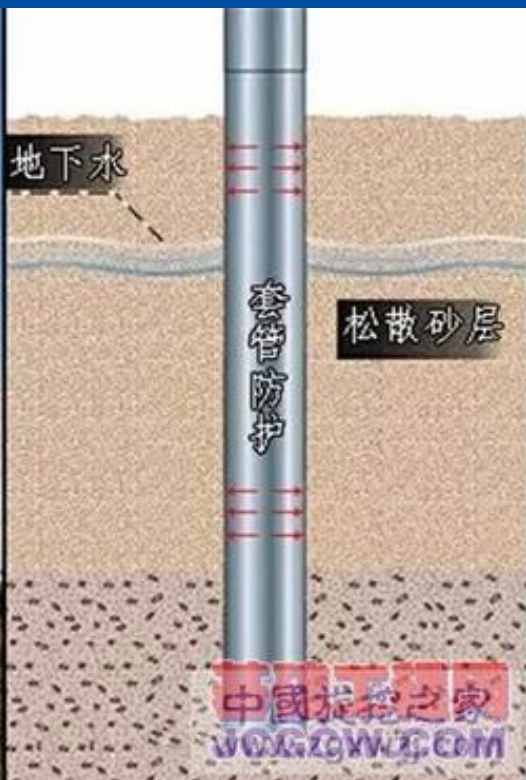


洞内砌筑浇筑钢筋混凝土支撑



采空区主要防治措施

- 下伏老采空区的预防措施:



旋挖跟管钻进穿越



全套管全回转钻机穿越



采空区主要防治措施

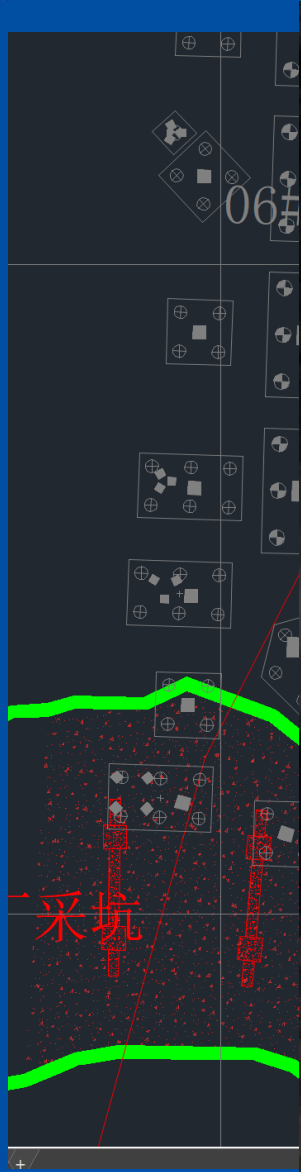
- 下伏老采空区的预防措施:



露天开挖



分层碾压回填





仓(场)房式采空区稳定性评价技术

•仓(场)房式采空区形成

•仓(场)房式采空区变形破坏及危害

•仓(场)房式采空区稳定性评价

•仓(场)房式采空区主要防治措施

•展望



仓(场) 房式采空区稳定性评价技术展望

- 虽然通过几个典型的采空区总结了仓(场) 房式采空区破坏的模式。但是采空区属于地下隐蔽空间，尤其是顶板破坏过程及形态难得可见，破坏过程与模式有待进一步研究与总结丰富；
- 根据现有的破坏模式选择了应力拱力学计算模型和岩柱(墙)力学计算模型计算仓(场) 房式采空区稳定性。但是应力拱高度确定及岩柱(墙)压力计算有待进一步探讨；力学计算的模型与理论也有待进一步研究；
- MIDAS GTS商业化软件可以较好的模拟地下岩土开挖与上部荷载作用。拟建建筑物荷载在采空区覆岩中的传递与分布，需要进行测试监测验证。



敬请指正
谢谢!



联系电话: 13951351099

Email: wsl83885289@163.com