



中国煤炭科工集团
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

矿山隐蔽致灾因素普查技术与方法

煤炭科学技术研究院有限公司

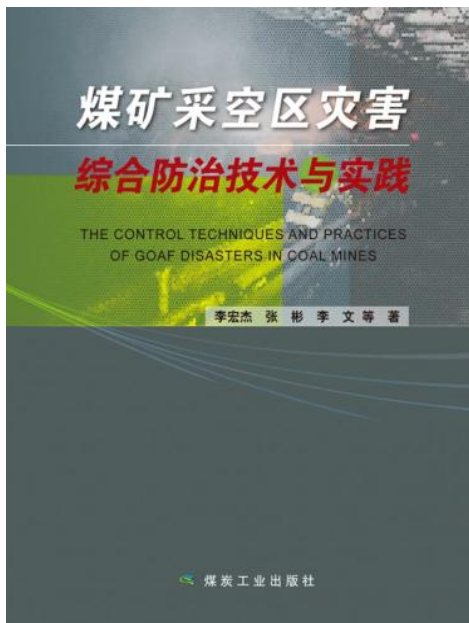
主讲人：李宏杰 研究员、博士生导师



个人简介



- 李宏杰，研究员，博士生导师，煤炭科学技术研究院有限公司安全分院党总支书记/副院长，中国科协科技人才奖项评审专家，第五届全国安全生产专家，《煤矿安全规程》《煤矿防治水细则》《矿山隐蔽致灾因素普查规范》制修订专家组成员。
- 主要从事矿山水文地质与工程地质等方面的科研及生产工作。



- 荣获2015年度全国煤炭青年科技奖，获省部级科技一等奖3项，二等奖4项，三等奖6项。
- 近几年以第一作者和主要参与者在国内外刊物上共发表论文20余篇，其中SCI收录6篇；出版专著2部，参编著作3部。
- 负责的《煤矿采空区水害综合防治关键技术研究》项目，在中央电视台科教频道以《戈壁上的绿色矿山》为题进行了专访和报道。



目 录

第一部分

隐蔽致灾因素的内涵

第二部分

隐蔽致灾因素普查的流程

第三部分

隐蔽致灾因素普查技术

第四部分

隐蔽致灾因素监测方法



隐蔽致灾因素的内涵

01

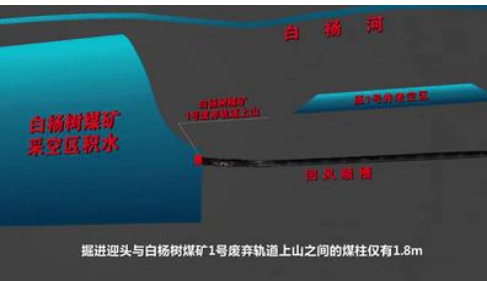
一、隐蔽致灾因素的内涵

安全是矿山一切工作的基础。我国矿山数量多，事故量偏大，重特大事故仍时有发生

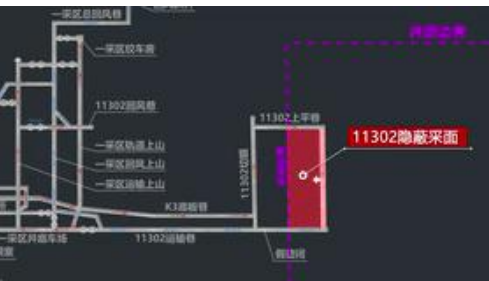
重庆能投松藻煤矿“9.27”
重大火灾事故



新疆呼图壁煤矿“4.10”
重大透水事故



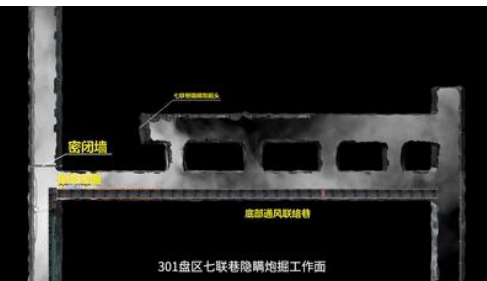
贵州三河顺勋煤矿“2.25”
重大顶板事故



内蒙古新井煤矿“2.22”
特别重大坍塌事故



陕西延安新泰煤矿“8.21”
重大瓦斯爆炸事故



2020年
16人死亡、42人受伤

2021年
21人死亡

2022年
14人死亡

2023年
53人死亡、6人受伤

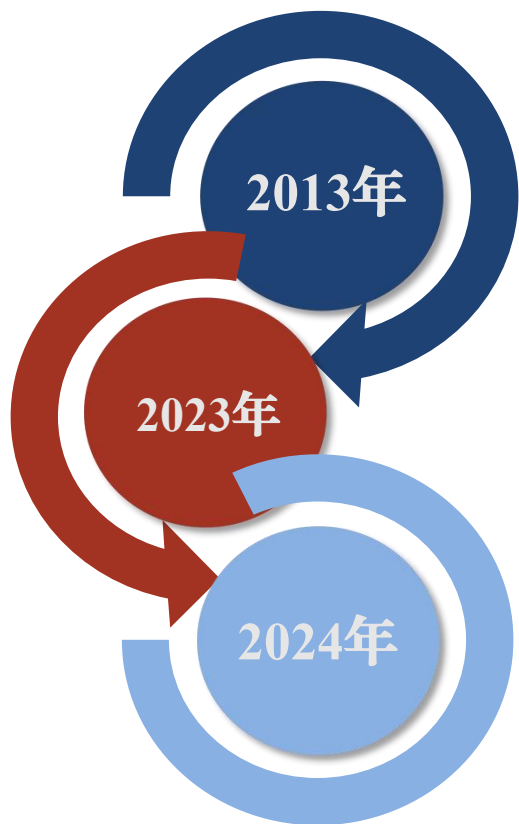
2023年
11人死亡、11人受伤

原因

多与隐蔽致灾因素普查及治理不到位有关

一、隐蔽致灾因素的内涵

开展隐蔽致灾因素普查和重大灾害治理工作是抓好**矿山安全生产工作的前提**，是**基础的基础、前端的前端、预防的预防**，是加快实现矿山安全治理模式**向事前预防转型的根本举措**，是**防范遏制重特大事故的根本途径**。



国务院
办公厅

印发《关于进一步加强煤矿安全生产工作的意见》，将“**全面普查煤矿隐蔽致灾因素**”作为煤矿安全攻坚克难“七项举措”之一，并明确规定：“**强制查明隐蔽致灾因素、建立隐蔽致灾因素普查治理机制**”。

中共中央
办公厅
国务院办
公厅

印发《关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》，进一步强调了矿山企业隐蔽致灾因素普查的重要性，明确：“**矿山企业应当查明隐蔽致灾因素**”。

国务院
安全生产委员
会

印发《关于防范遏制矿山领域重特大生产安全事故的硬措施》的通知，进一步强调了：“**矿山企业必须按规定采用钻探、物探、化探等方法相互验证，查清隐蔽致灾因素并采取有效措施后方可进行采掘作业**”。



一、隐蔽致灾因素的内涵

为了从源头**遏制重特大事故的发生**，国家矿山安全监察局连续发文要求矿山**全面开展**隐蔽致灾因素普查工作。但是目前普查成果**大相径庭**，普查程度**差异较大**。

①重视程度不足

部分地区和企业未清醒认识到隐蔽致灾因素普查和重大灾害治理工作的重要性，存在一定程度的应付现象。

②内涵理解不深

对于隐蔽致灾因素的意义、内涵、理解不足，仅知道要普查的对象，但对普查的程度理解不到位。

③普查方法单一

普查仅停留在“纸面普查”，未采取物探、钻探、化探等工程措施。

3个方面

现场
执行

标准
流程

为了**规范**普查**工作流程**，**提高**隐蔽致灾因素普查**质量**，需要了解隐蔽致灾因素的**内涵**、普查的**意义**以及相关**技术方法**。

3个方面

①普查标准缺乏

国内尚无统一的隐蔽致灾普查规范。

②普查方法不当

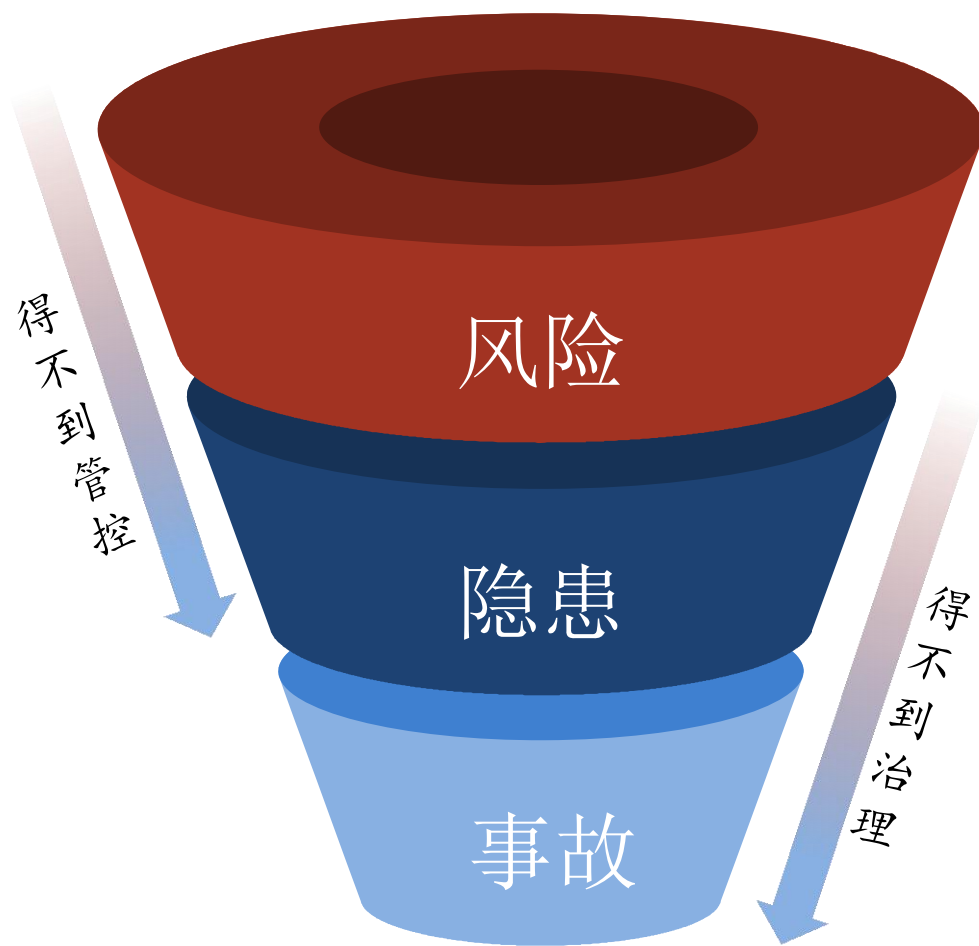
目前的规范标准，仅指出需要煤矿致灾因素需要普查的内容，但缺少明确的技术方法。

③普查流程不清

无相关规范明确隐蔽致灾因素普查的相关流程步骤。

一、隐蔽致灾因素的内涵

隐蔽致灾因素是什么？



风险的定义

风险是指某种特定的危险事件（事故或意外事件）发生的可能性与其产生的后果的组合。

隐患的定义

指在生产经营活动中可能导致事故发生的人的不安全行为、物的不安全状态和管理上的缺陷。

事故的定义

在生产经营活动中发生的造成人身伤亡或者直接经济损失的生产安全事故。

煤矿隐蔽致灾因素

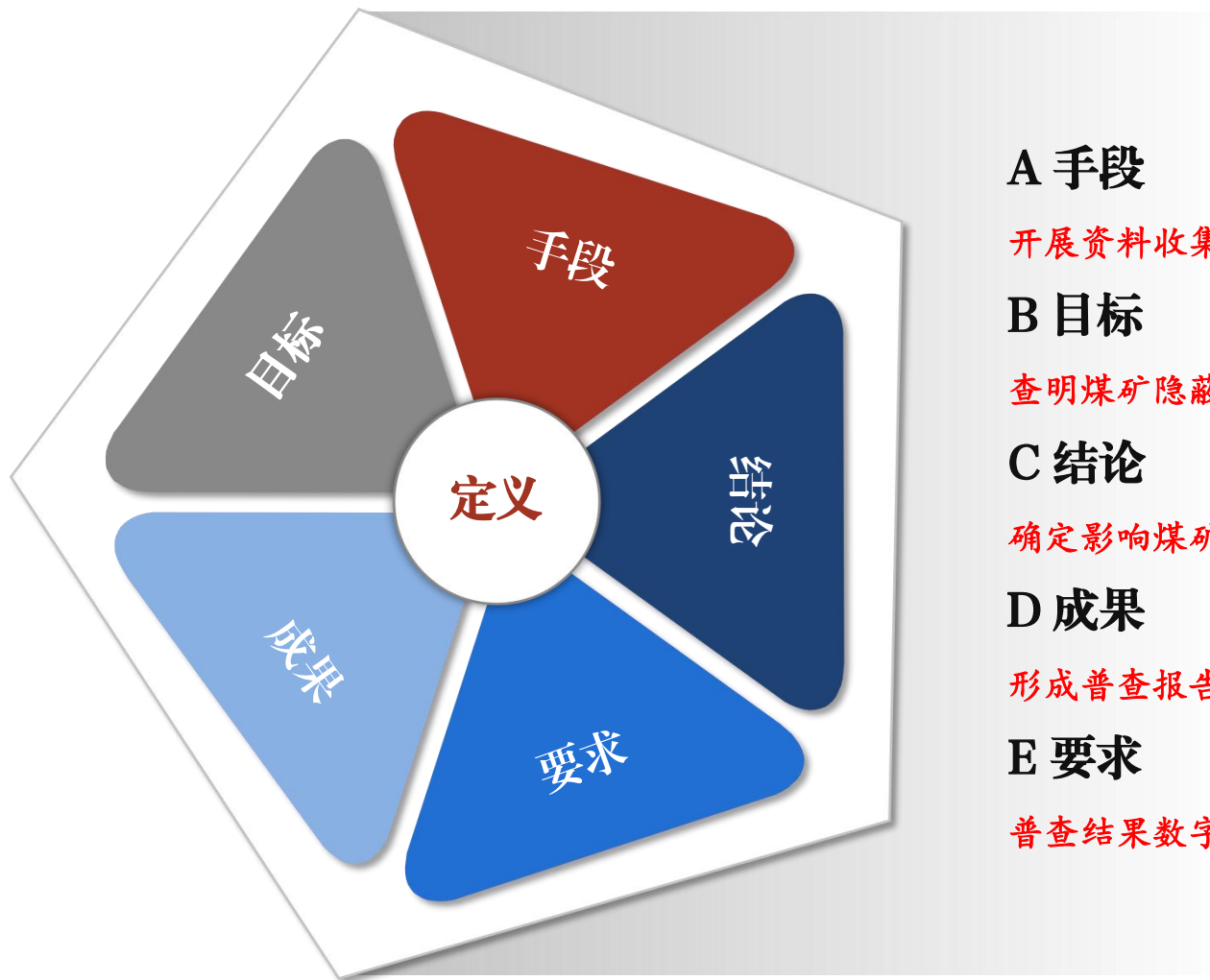
隐伏在煤体及其围岩内，在矿山建设、生产过程中可能**引**发矿山灾害或**诱**发水、火、瓦斯、冲击地压、滑坡及溃坝等**重**大灾害的**致灾因素**

隐蔽致灾因素是具有**隐蔽性**的、容易导致**重大灾害**的**客观危险源**



一、隐蔽致灾因素的内涵

隐蔽致灾因素普查工作



A 手段

开展资料收集、现场调查及探查、测试与试验等

B 目标

查明煤矿隐蔽致灾因素

C 结论

确定影响煤矿安全生产的主要灾害风险

D 成果

形成普查报告

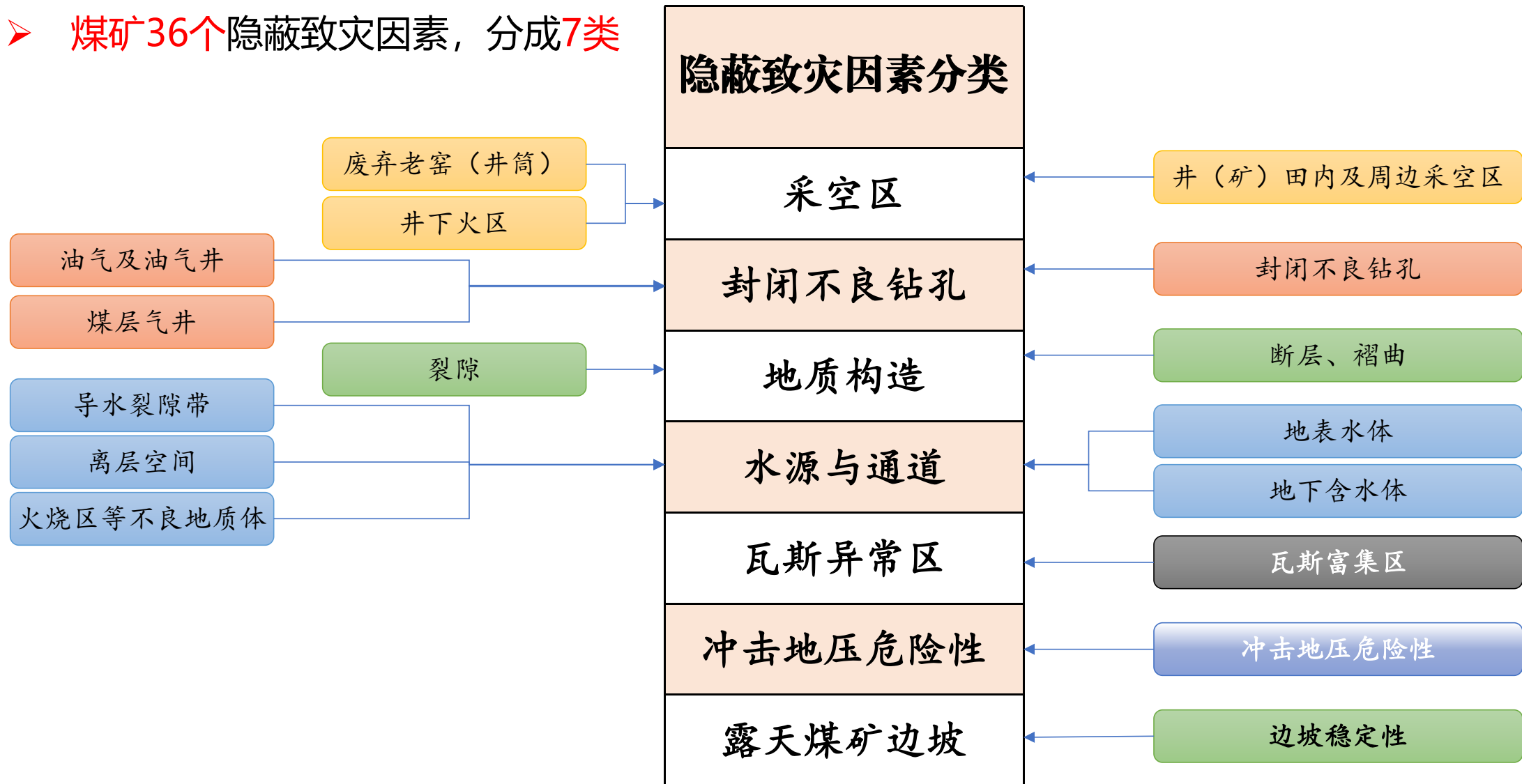
E 要求

普查结果数字化存储和信息化管理

是重大灾害
的客观危险
源辨识、探
查过程。

一、隐蔽致灾因素的内涵

- 根据《煤矿地质工作细则》以及相关文件要求，按**致灾地质因素**重新归类
- **煤矿36个**隐蔽致灾因素，分成**7类**



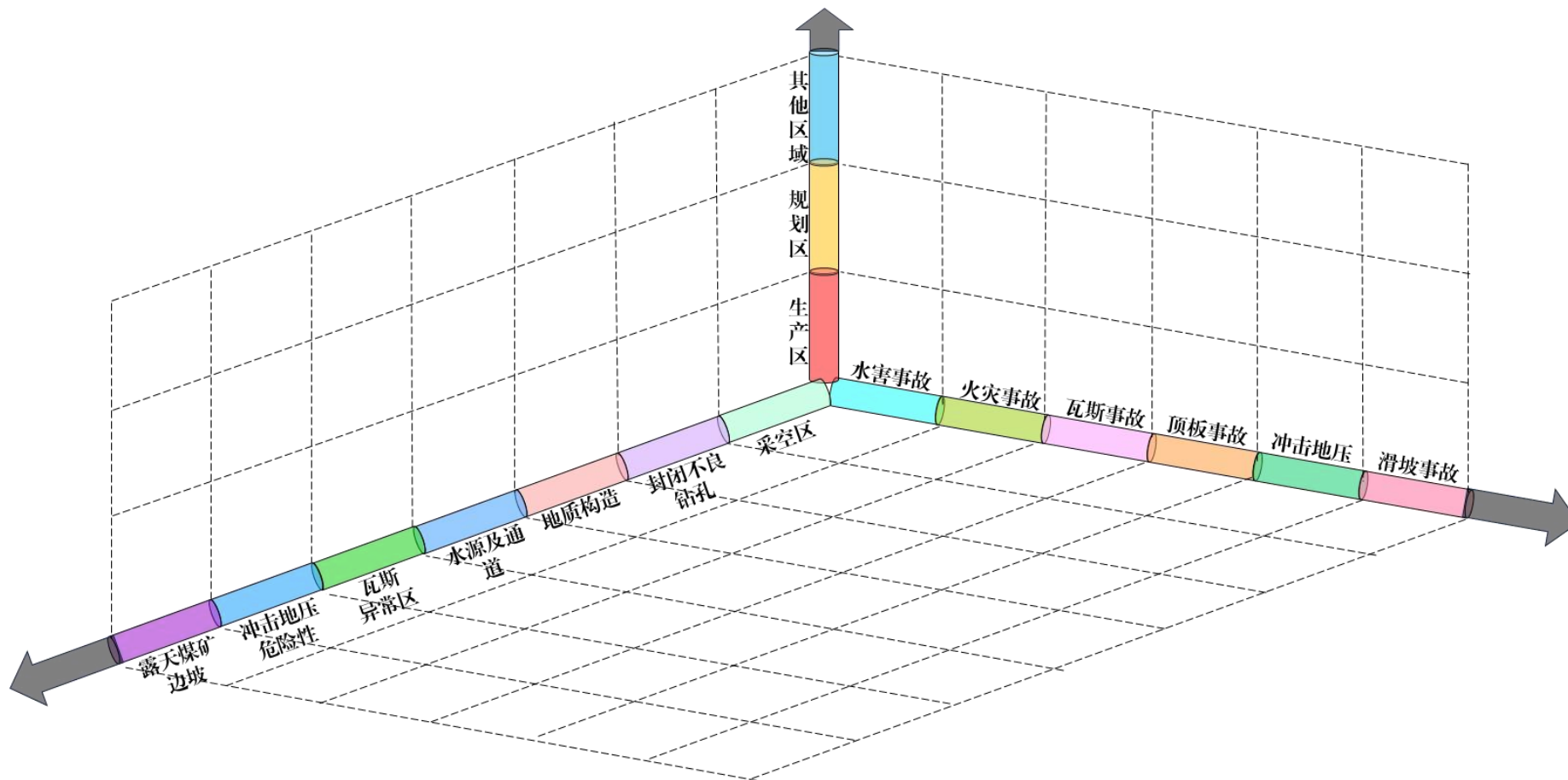


一、隐蔽致灾因素的内涵

生产区：已完成井巷工程的回采和备采区域，以及正在进行掘进或采剥作业的区域。

规划区：矿山未来3~5年规划进行采掘/采剥作业的区域。

其他区域：除去生产区和规划区之外的矿山所属区域。





隐蔽致灾因素普查的流程

02

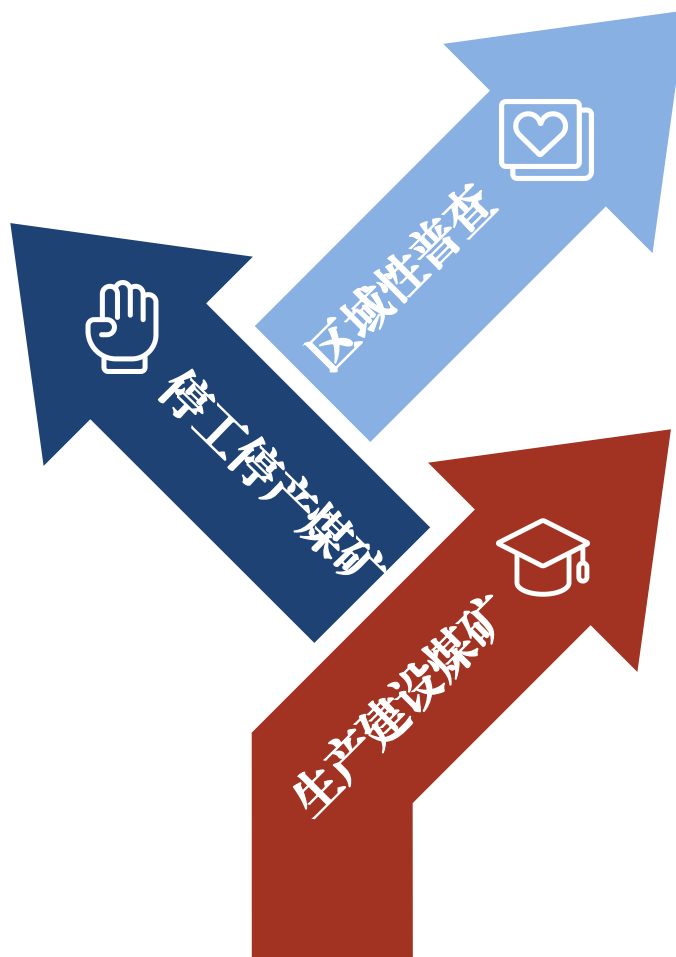
二、隐蔽致灾因素普查的流程

煤矿隐蔽致灾因素普查的范围：

煤矿企业对所属煤矿开展的矿山隐蔽致灾因素普查工作以及地方政府组织的区域性隐蔽致灾因素普查工作。

停工停产矿山，无生产活动的情况下，可暂不开展普查工作。

复工复产前，需提供有效期内的普查成果。



对小矿相对集中，单个矿山难以开展普查工作的区域，可以由县级及以上地方政府组织开展区域性的普查工作。

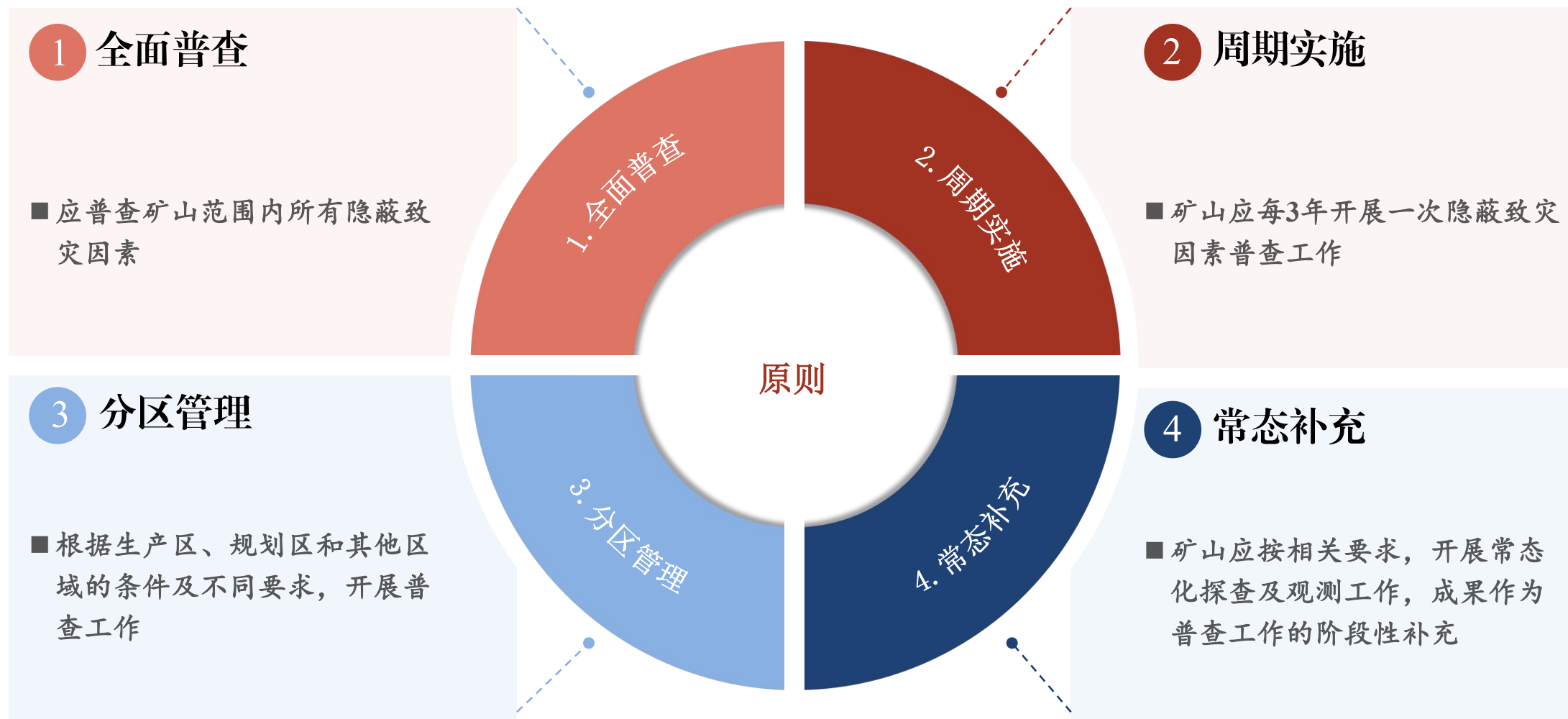
但普查的最小单元仍是矿山，每个矿山都要独立形成普查报告。

基建矿山、生产矿山、改扩建矿山



二、隐蔽致灾因素普查的流程

煤矿隐蔽致灾因素普查原则





二、隐蔽致灾因素普查的流程

重新开展普查工作的条件



矿山生产规划发生重大改变或隐蔽致灾因素发生重大变化时，原有普查成果难以满足生产需要的

生产规划 发生重大 改变

- 开采范围、设计规模和开采顺序发生变化
- 采矿方法变化
- 生产系统变化
- 其他变化

隐蔽致灾 因素发生 重大变化

- 矿山的地质类型、水文地质类型、瓦斯等级、自燃倾向性、冲击倾向性、冲击危险性等级上升等情况。

原有普查 成果难以 满足生产 需要

- 原勘查、普查结果与实际不相符，不能指导生产的

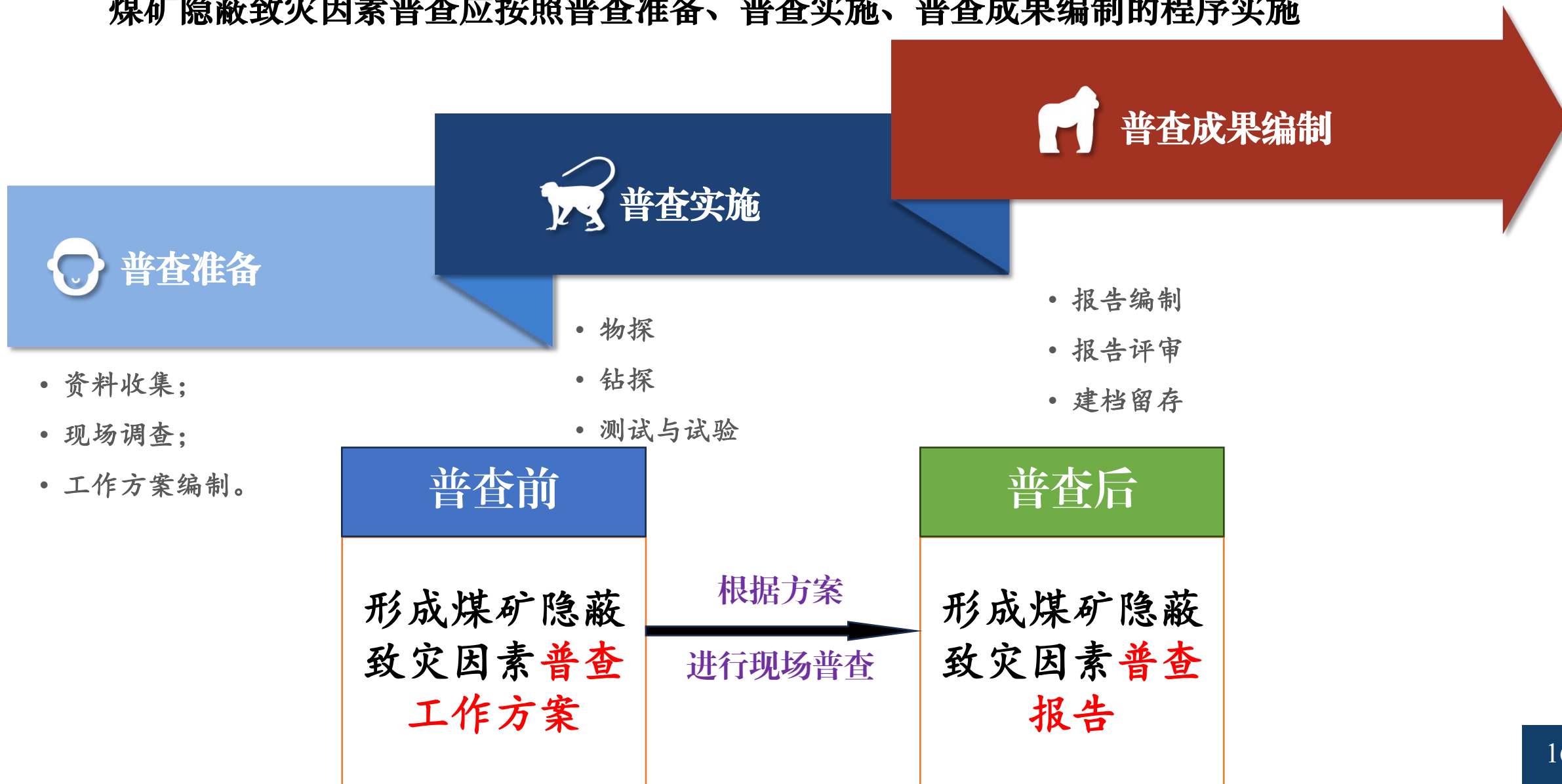


矿山隐蔽致灾因素普查不清导致矿山一般及以上事故发生的

- 因地质条件变化未查明，导致一般及以上事故发生的煤矿
- 受到超深越界处罚的矿山

二、隐蔽致灾因素普查的流程

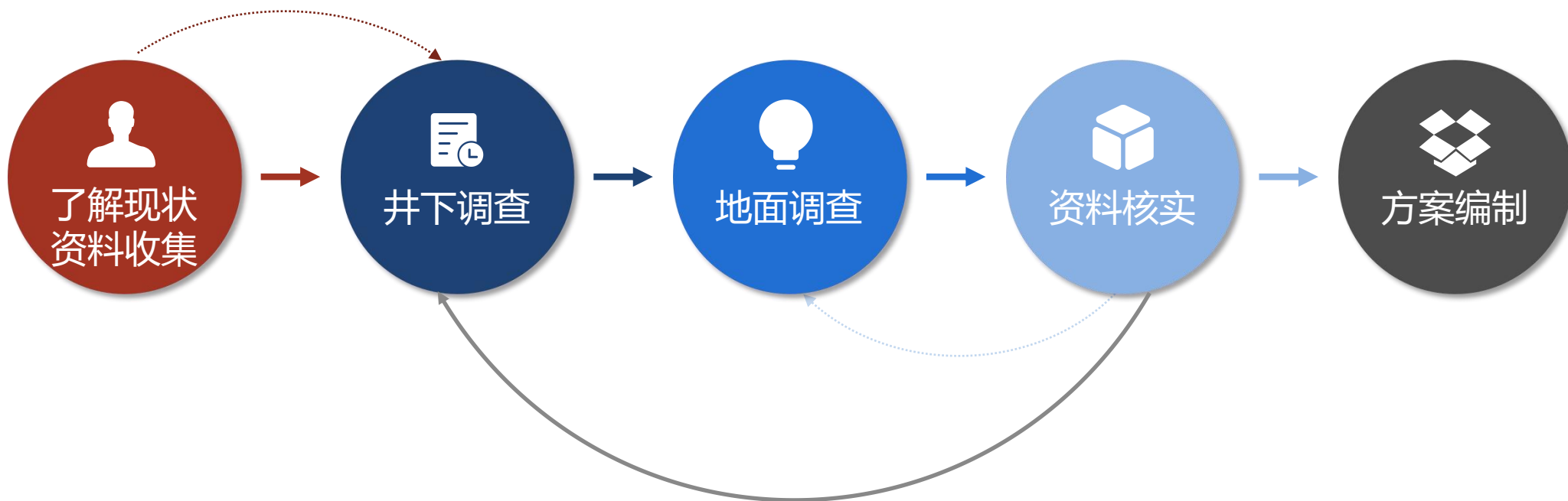
煤矿隐蔽致灾因素普查应按照普查准备、普查实施、普查成果编制的程序实施





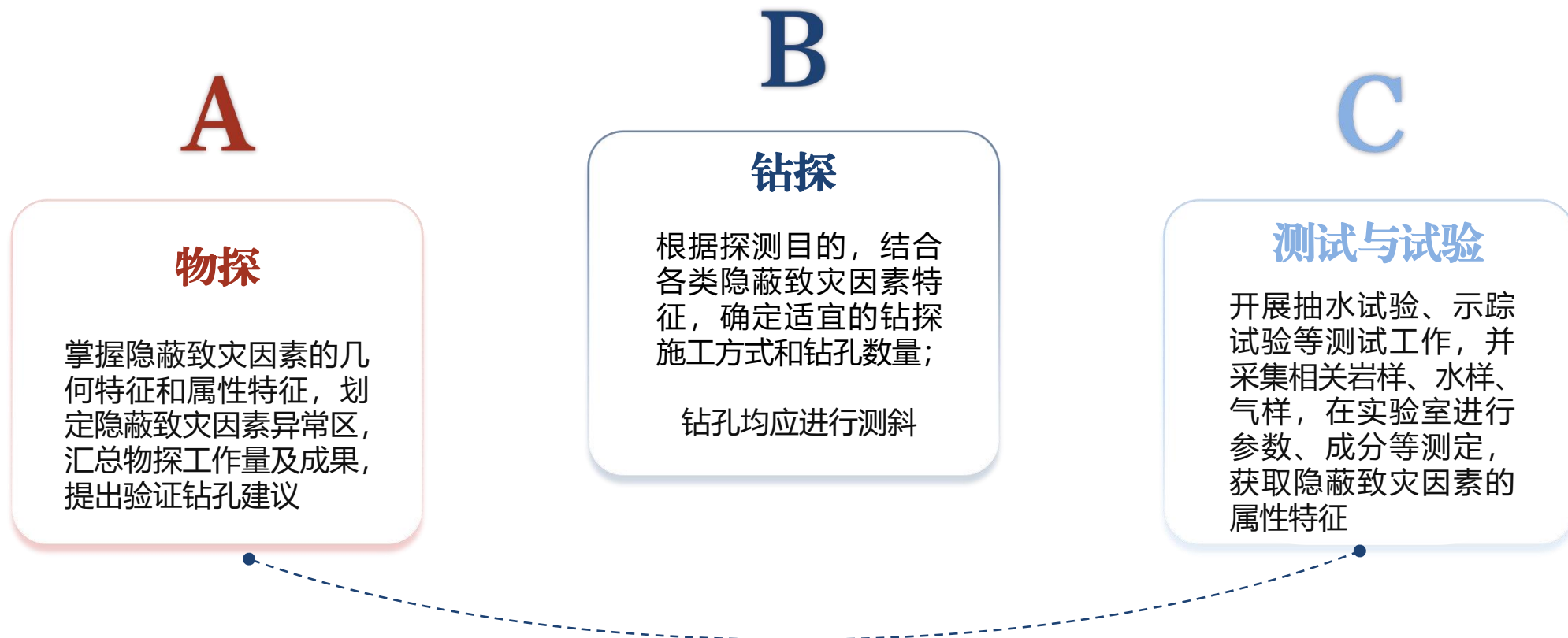
二、隐蔽致灾因素普查的流程

普查准备阶段



煤矿隐蔽致灾因素普查应在资料分析和现场调查成果的基础上，对具有实际工程量支撑的实测资料以及收集到的隐蔽致灾因素其他资料，评估其完整性和可靠性。相关资料完整可靠的，可编制相应部分的隐蔽致灾因素普查报告内容；否则应采用现场探查、测试与试验等方法开展隐蔽致灾因素普查工作。

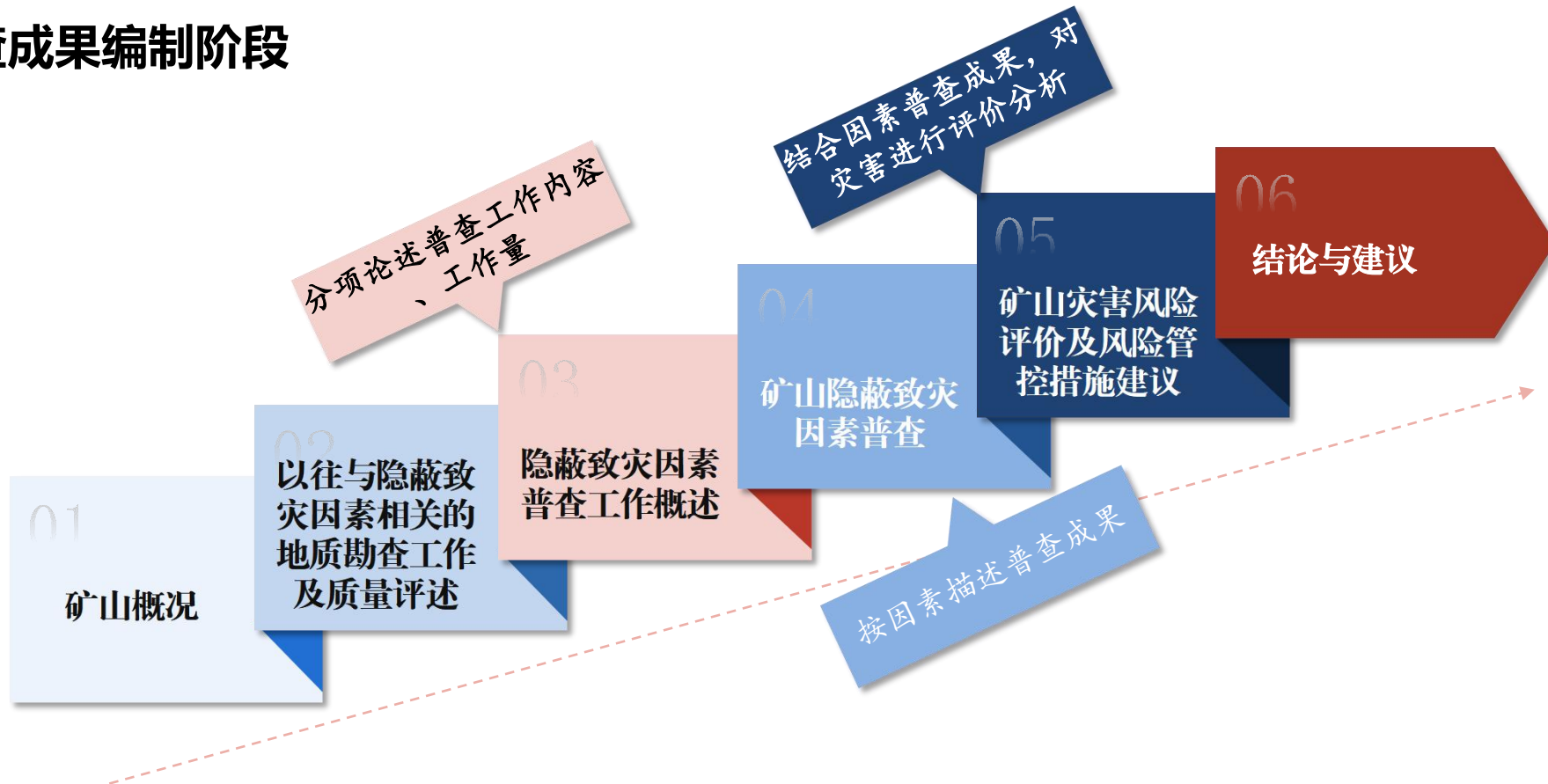
普查实施阶段





二、隐蔽致灾因素普查的流程

普查成果编制阶段



留存以下普查资料：

- ◆ 现场调查、测绘资料
- ◆ 报告中利用的原始资料及移交记录
- ◆ 分项普查工作的设计方案、原始数据、分项结果报告等过程资料
- ◆ 普查报告及其评审意见

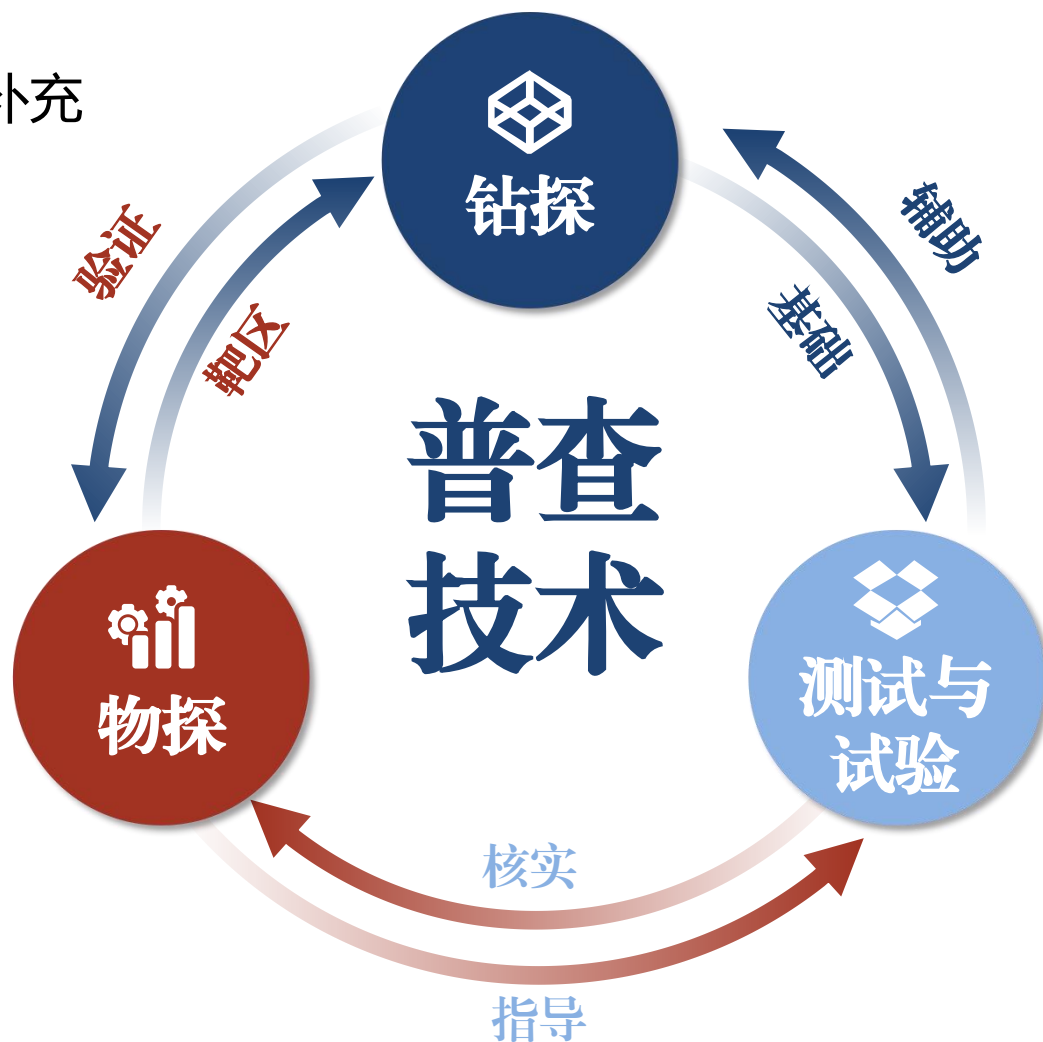


隐蔽致灾因素普查技术

03

普查技术原则

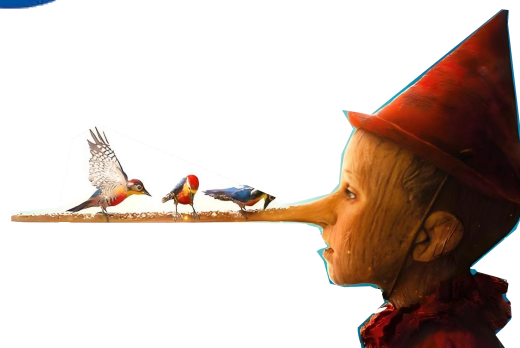
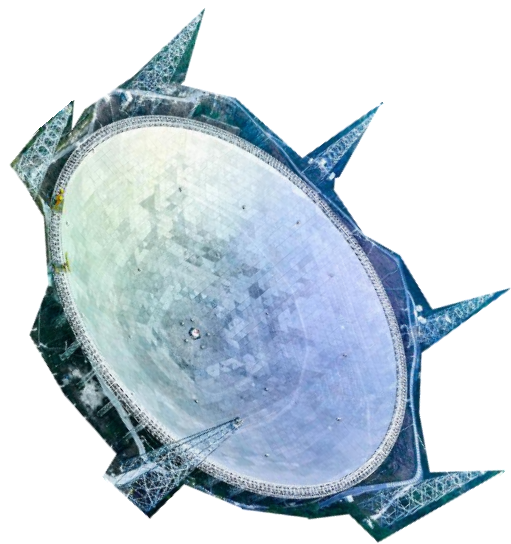
- 物探先行、钻探验证、试验跟进
- 经济合理、技术可行，地面优先、井下补充
- 物探方法可优选，钻探基本工程量





三、隐蔽致灾因素普查技术

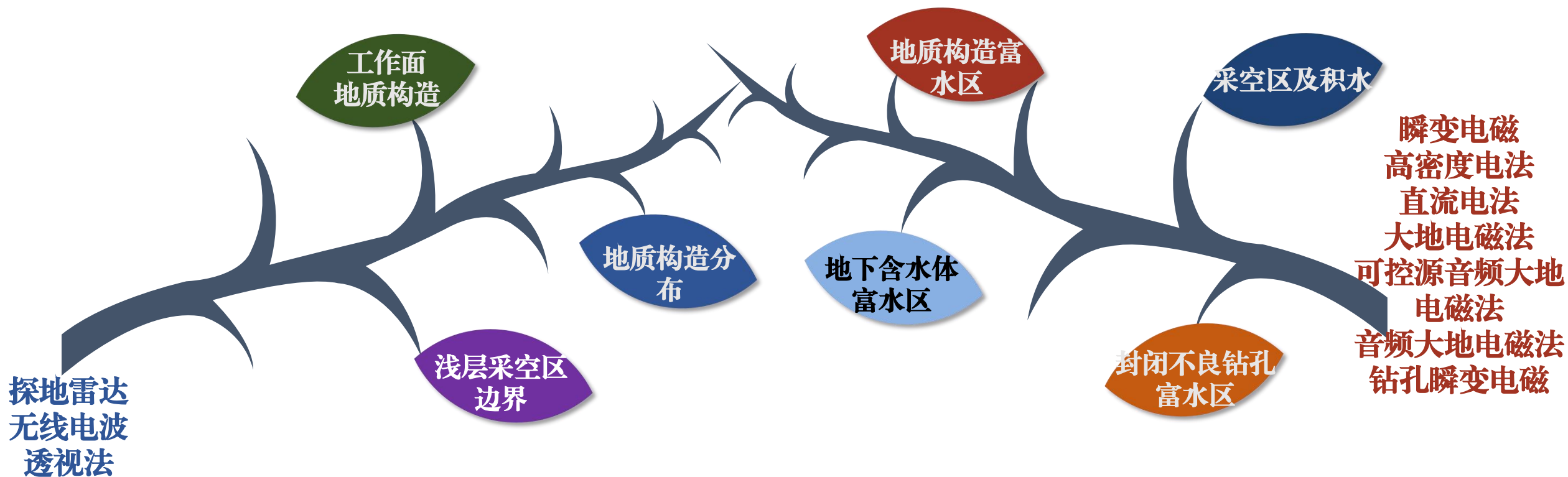
地球物理探测技术





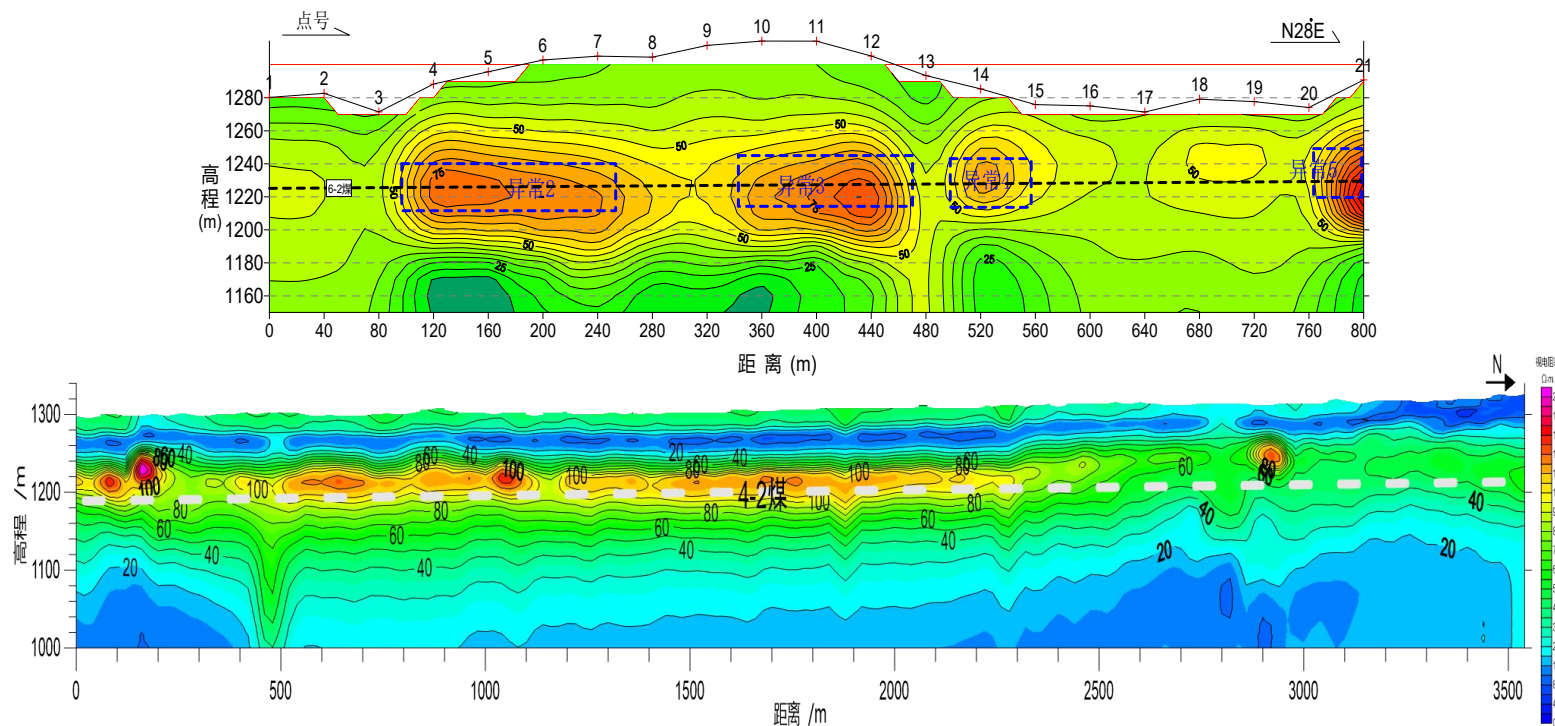
三、隐蔽致灾因素普查技术

电（磁）法物探技术



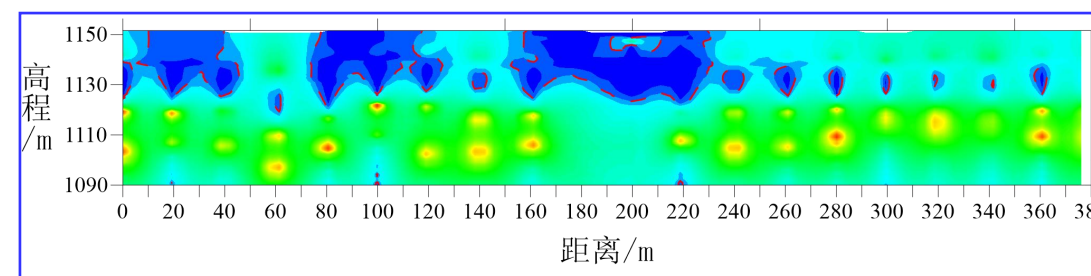
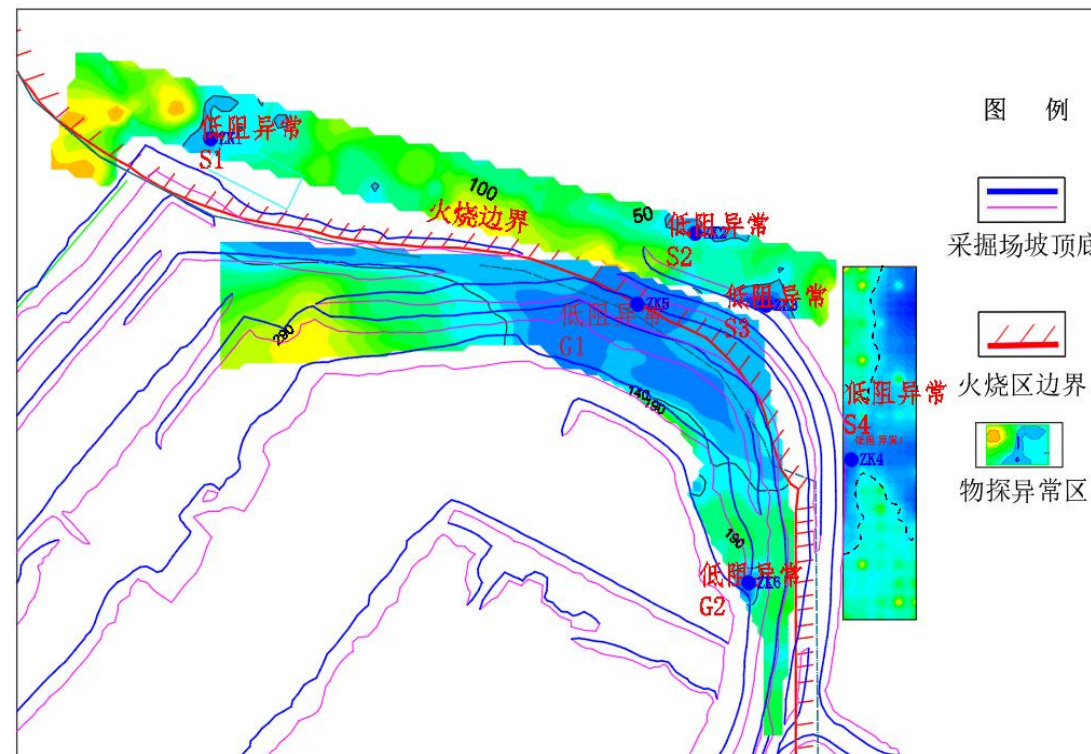
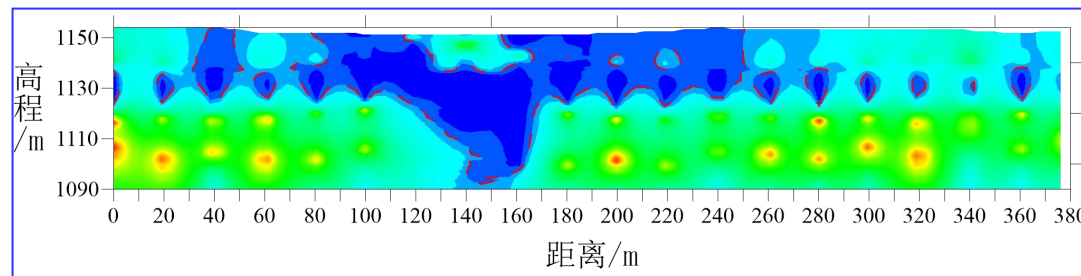
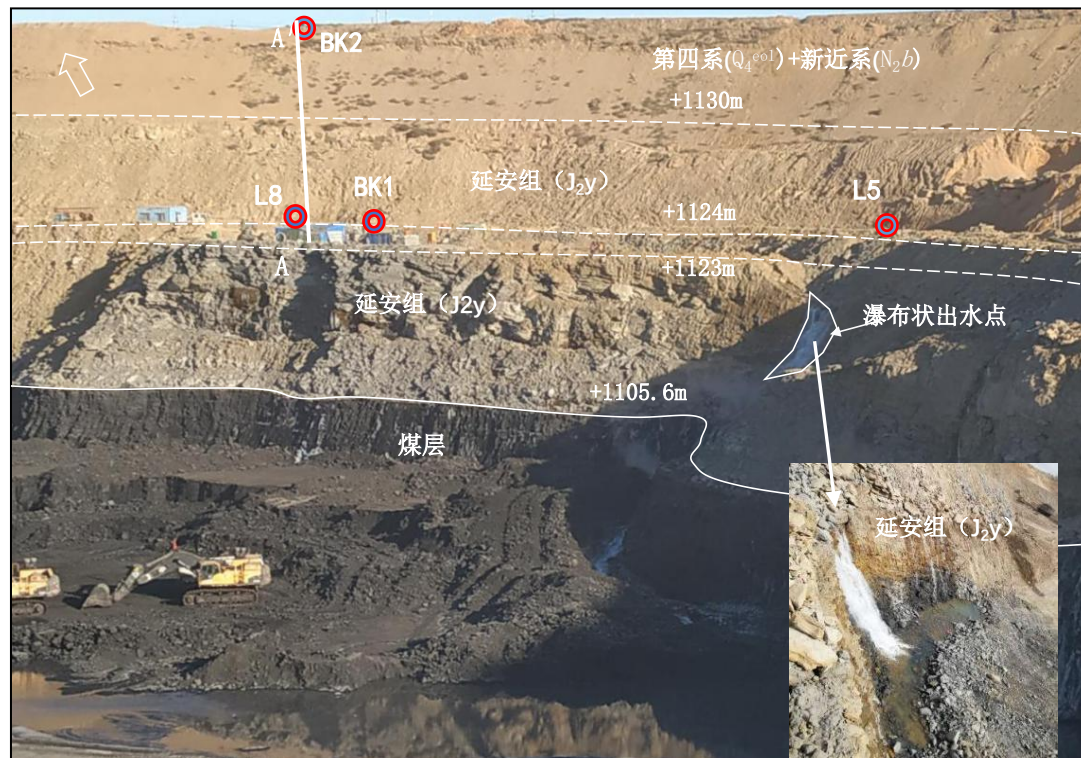
瞬变电磁

煤系地层具有层状分布的特点，一般在沿层横向上电性分布是相对均一的。当煤层中存在采空区或其他构造且基本不含水时，采空区的视电阻率通常会高于正常岩层，在视电阻率剖面上呈明显的高阻异常。若煤层存在充水采空区、含水地质构造，以及围岩富水时，其视电阻率通常会低于正常岩层，在视电阻率图上呈明显的低阻异常。



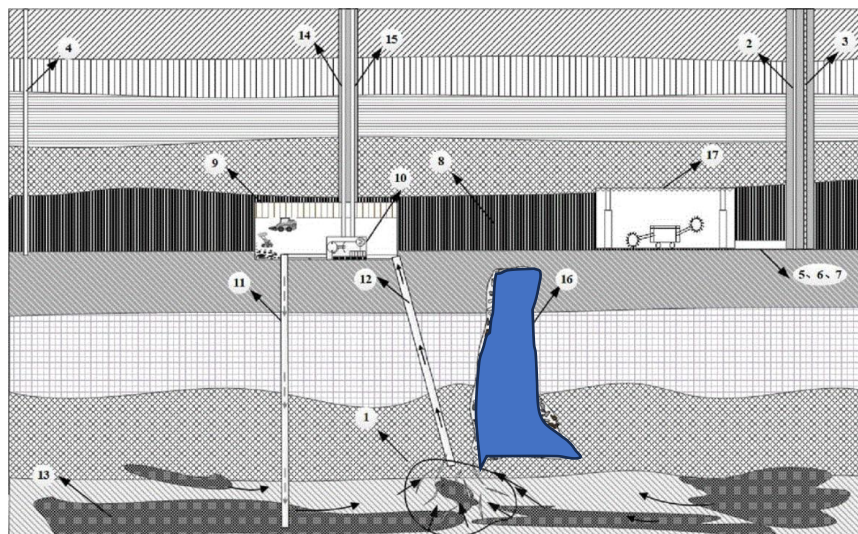
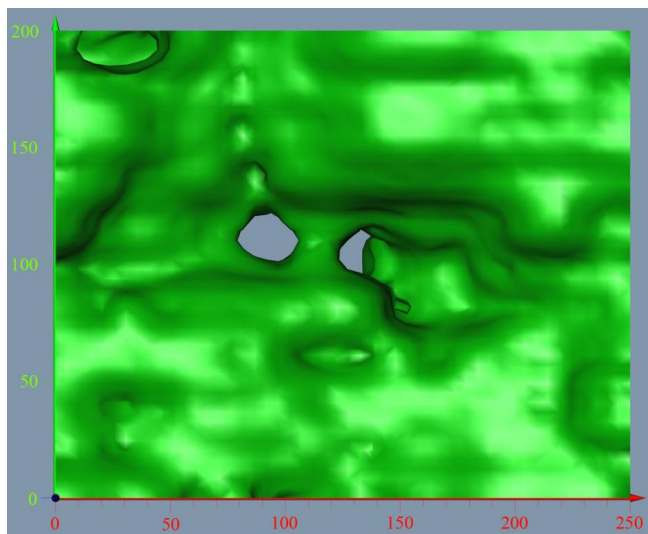
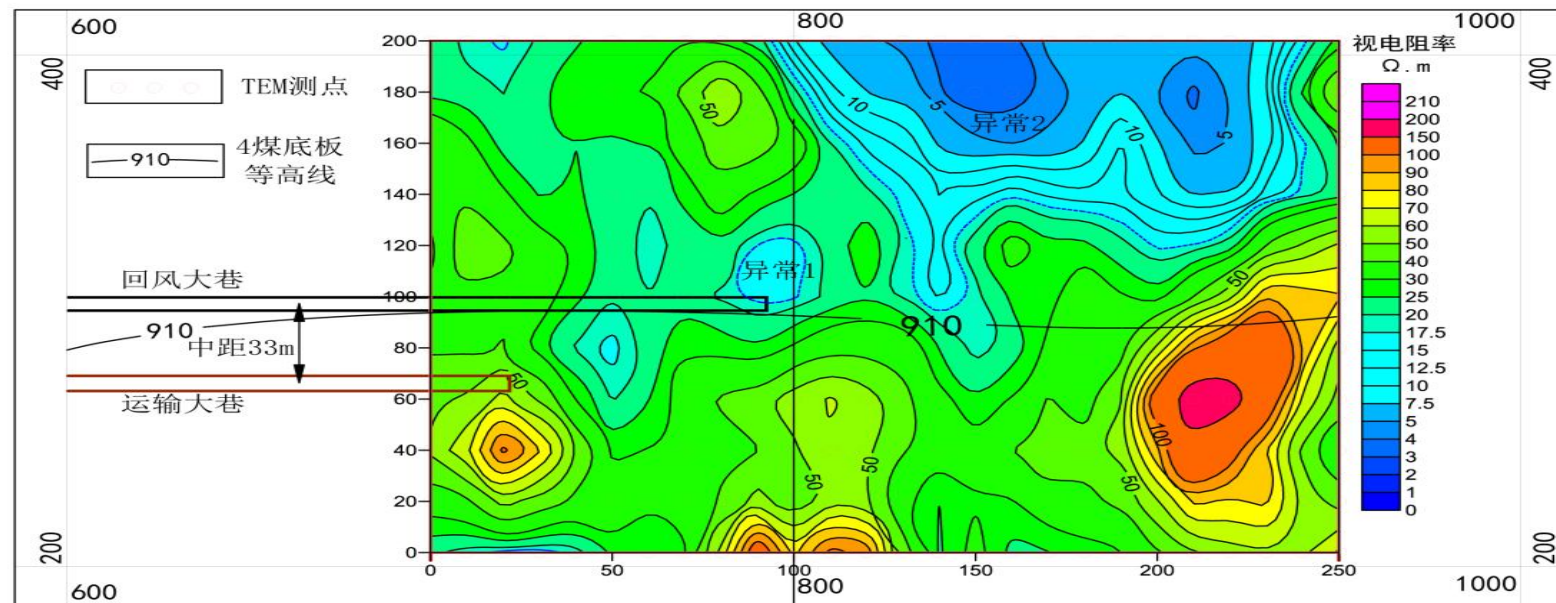
三、隐蔽致灾因素普查技术

地面瞬变电磁



三、隐蔽致灾因素普查技术

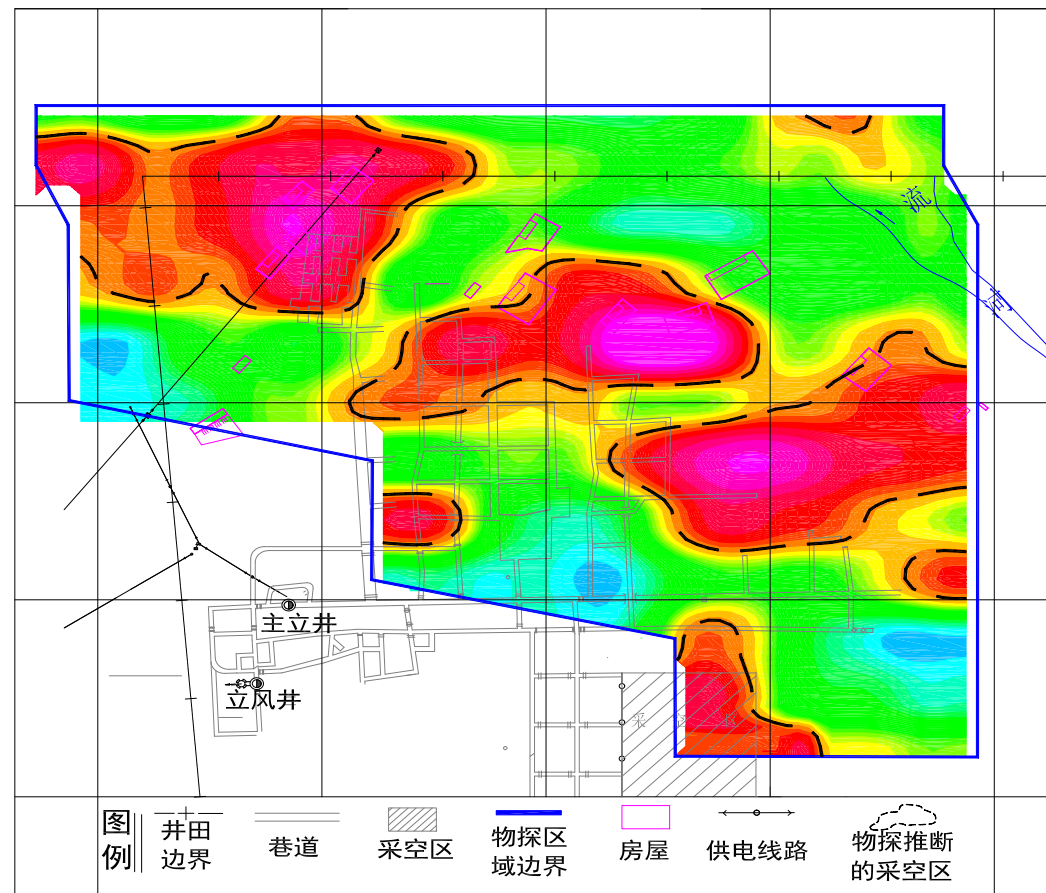
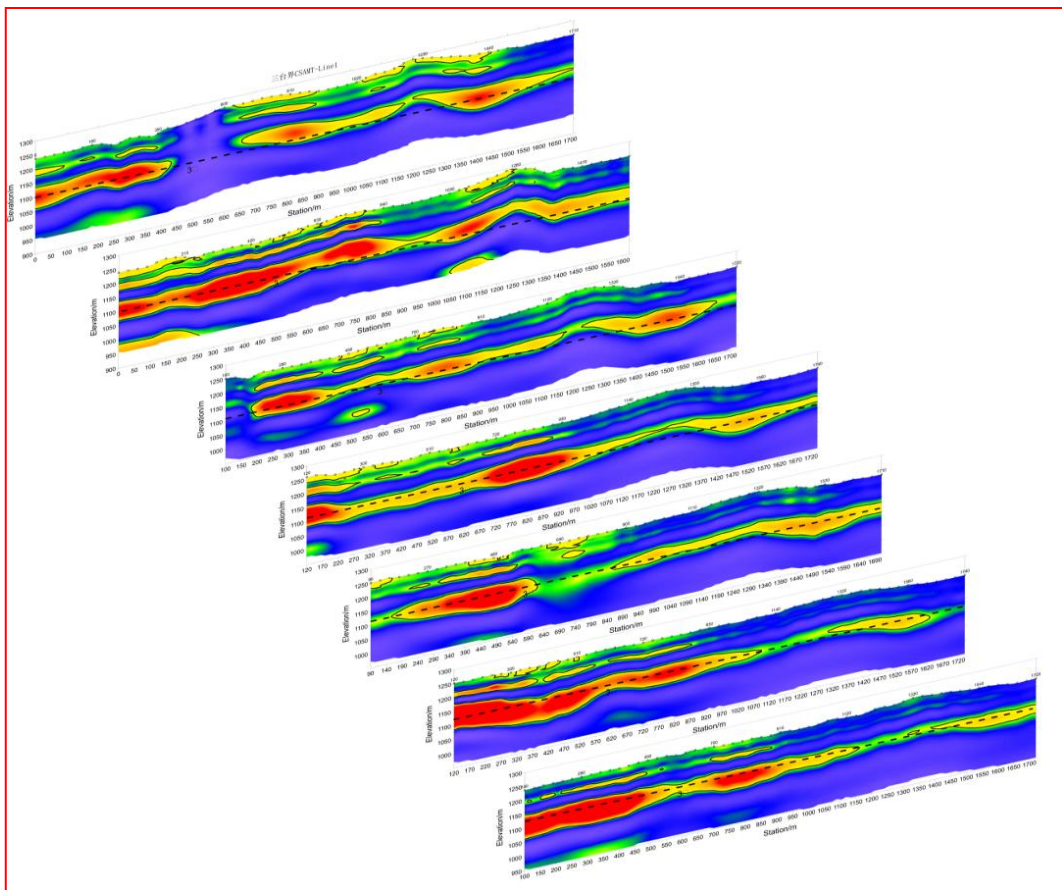
地面瞬变电磁





地面瞬变电磁

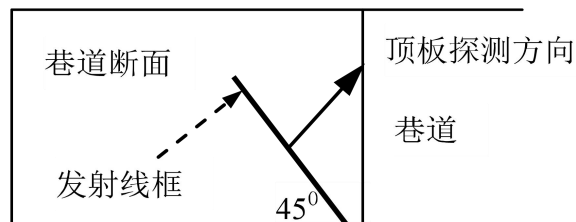
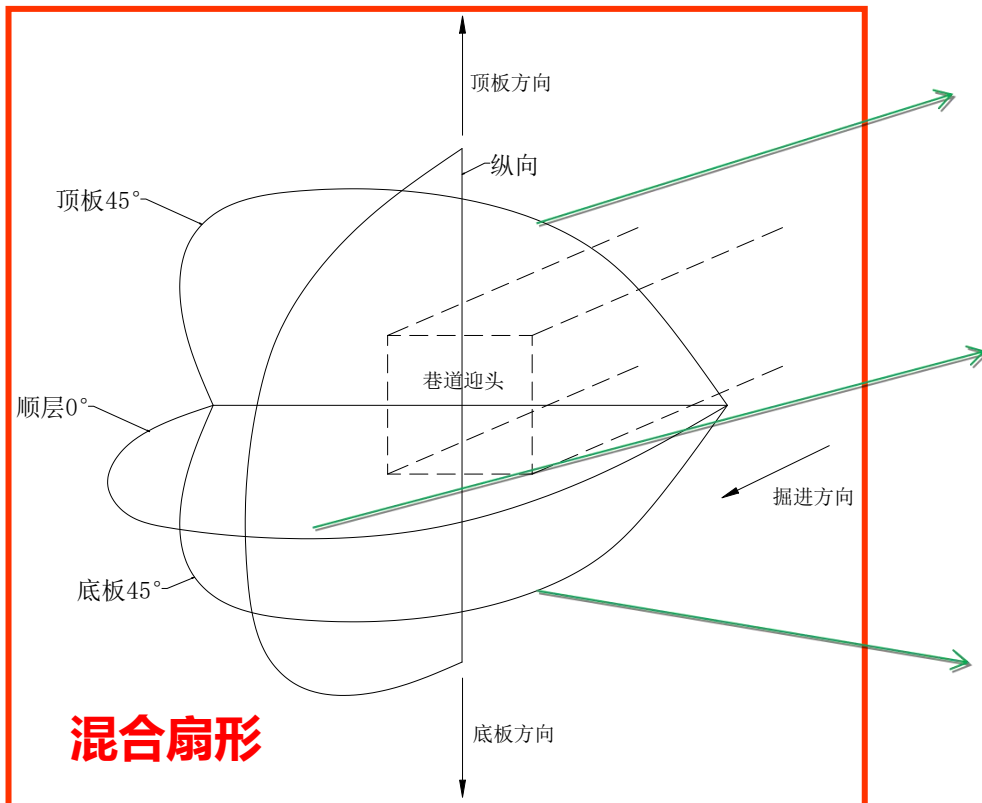
三、隐蔽致灾因素普查技术





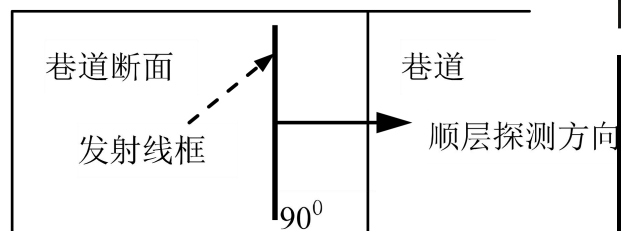
三、隐蔽致灾因素普查技术

混合扇形包含横向和纵向扇形



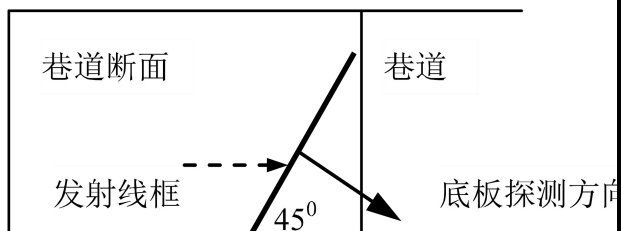
(a)

巷道底板



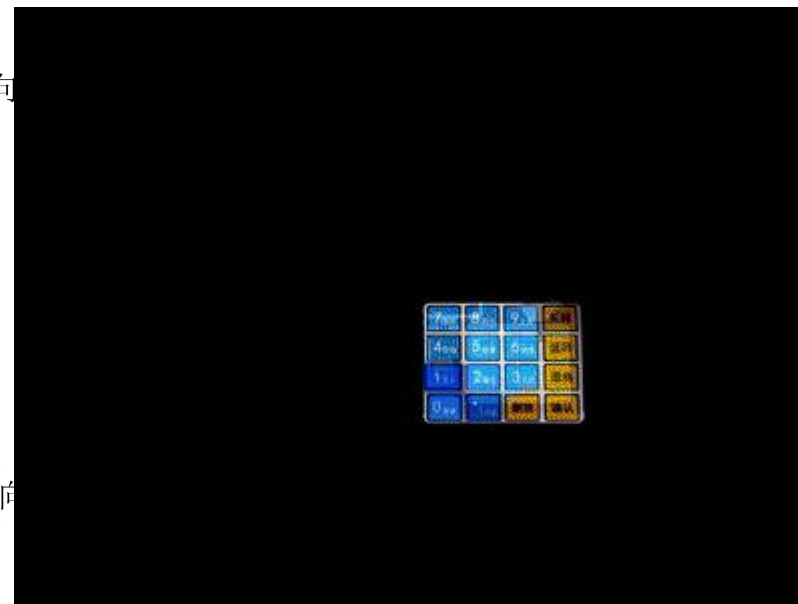
(b)

巷道底板



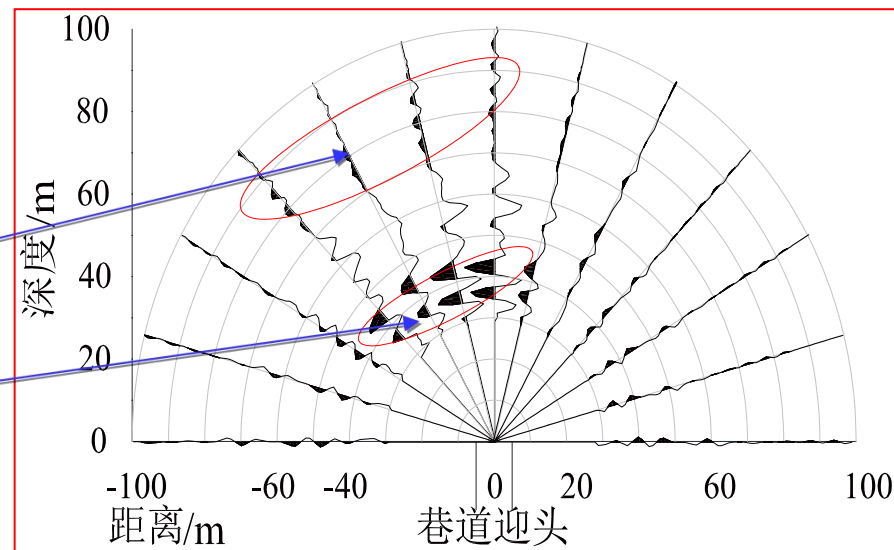
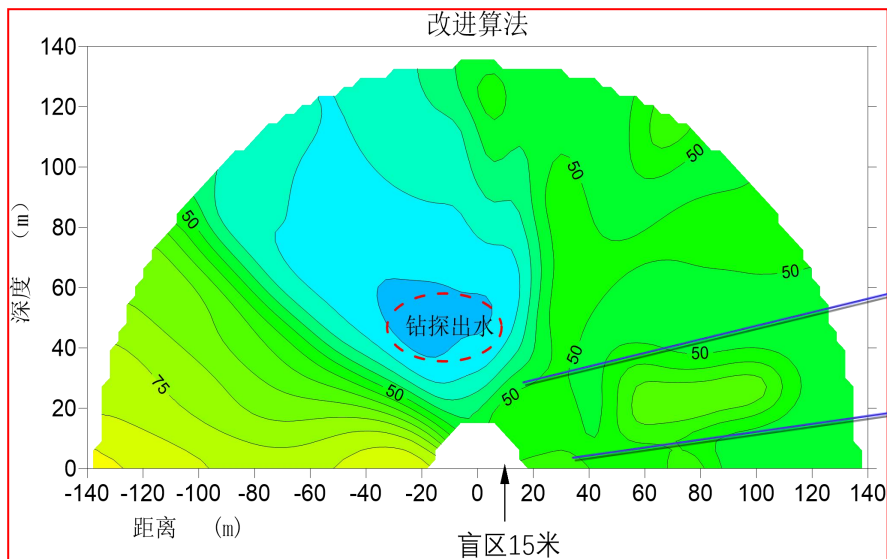
(c)

巷道底板



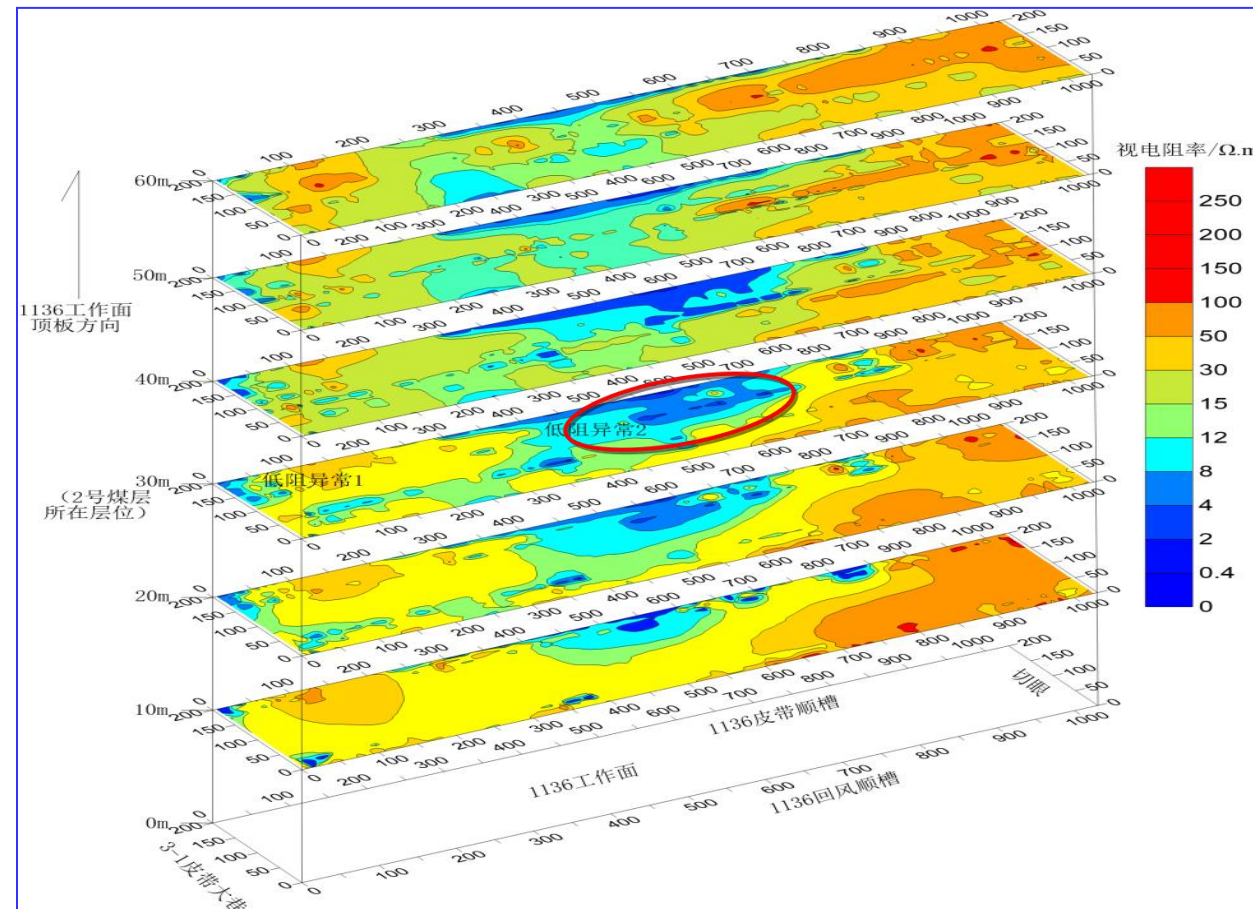
矿井瞬变电磁

以某煤矿回风顺槽为例，传统瞬变电磁数据处理可以确定30-60m低阻异常范围，由拟地震数据处理可确定在正前方**38m**附近出现第一个电性界面，实际在**37m**打钻出水，**矿井瞬变电磁拟地震数据处理可明显提高解译精度。**



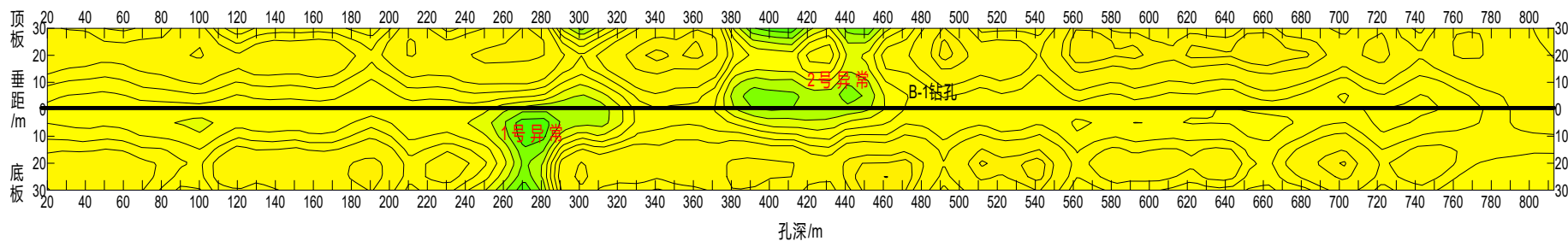
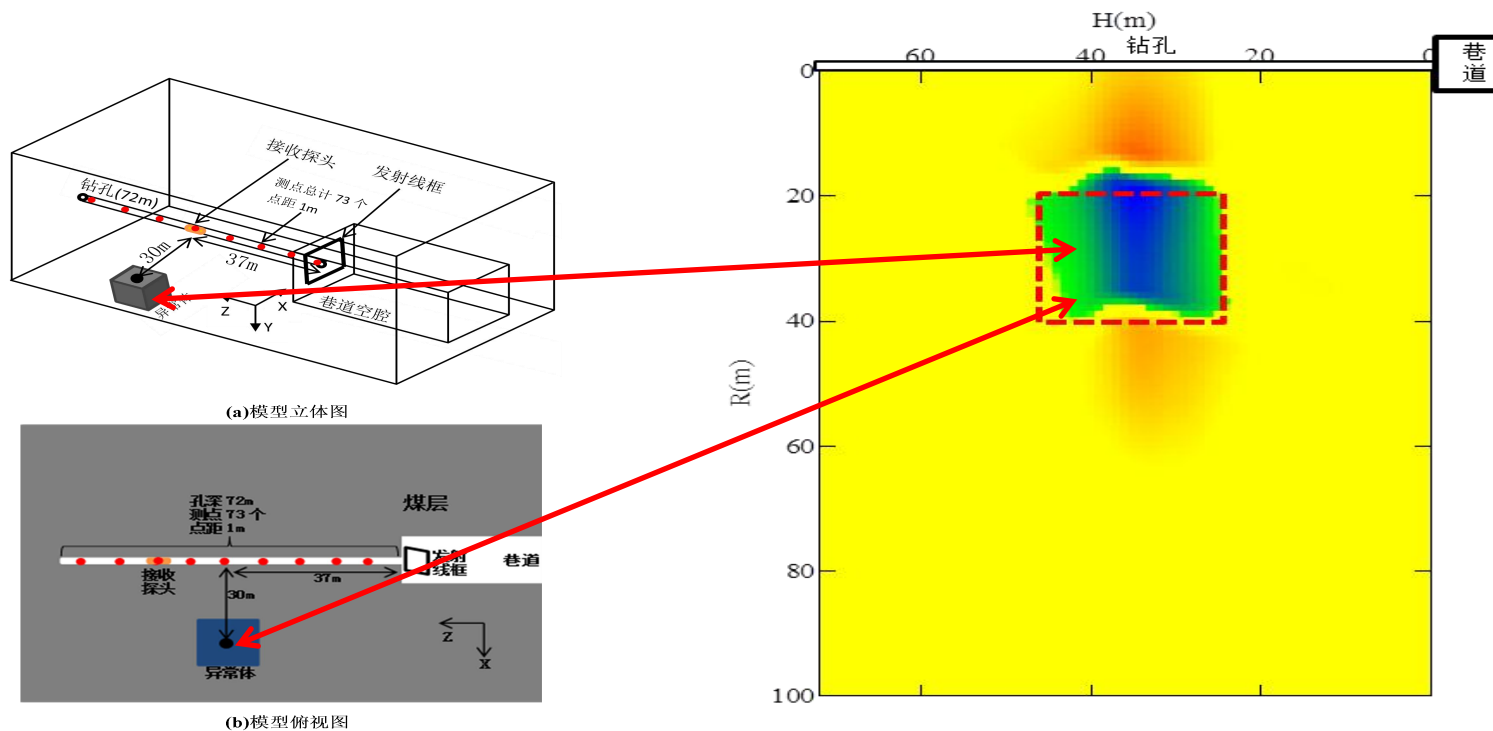
矿井瞬变电磁

埋深/m	层厚/m	柱状图	岩石名称
57.76	15.05		细砂岩
58.54	0.78		2-2煤
65.71	7.17		细砂岩
77.81	12.10		中砂岩
78.01	0.20		煤
89.98	11.97		粉砂岩
95.10	5.12		3煤
105.06	9.96		粉砂岩
115.47	10.41		细砂岩



三、隐蔽致灾因素普查技术

钻孔瞬变电磁





地震物探技术

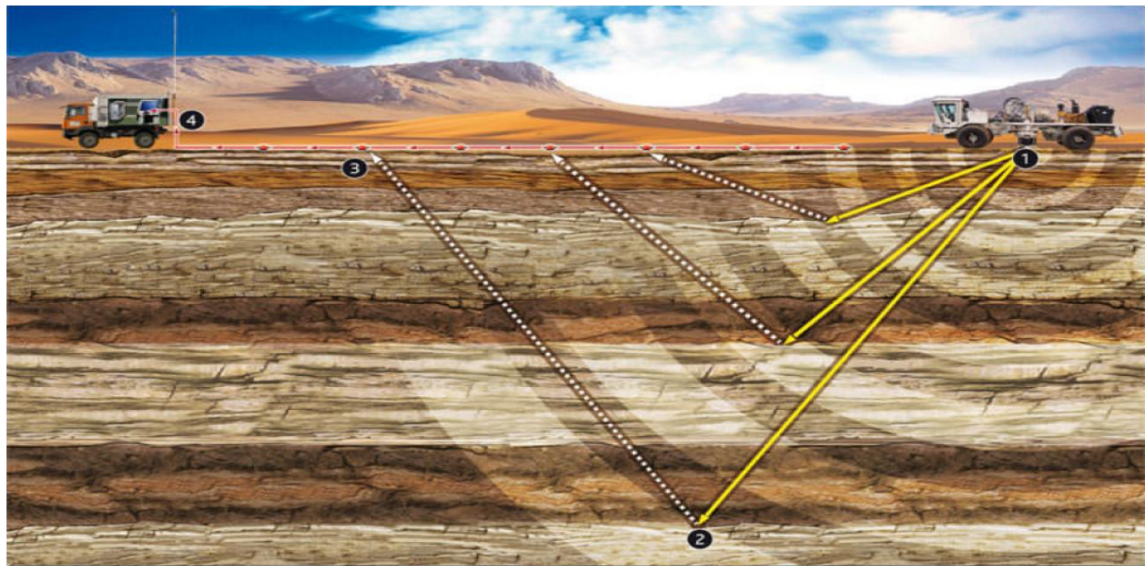




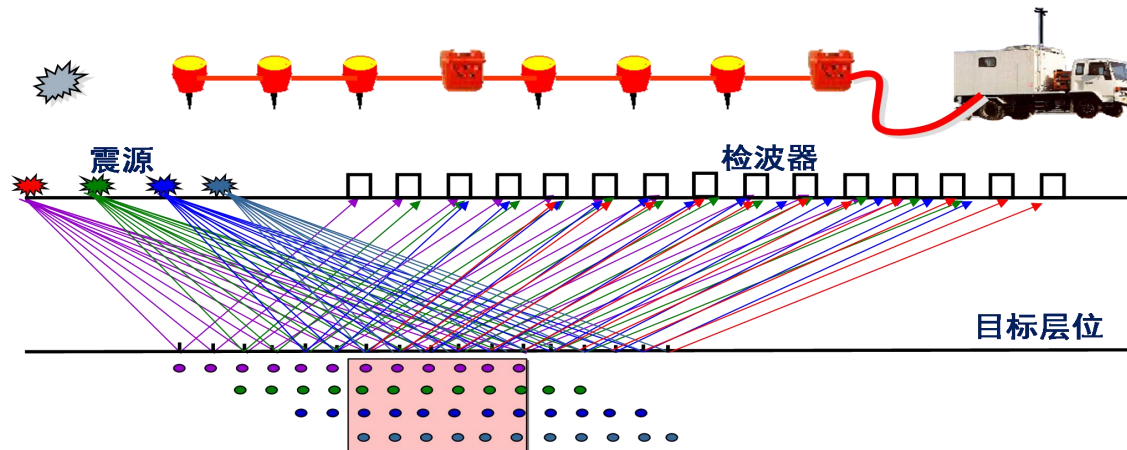
三、隐蔽致灾因素普查技术

地震勘探

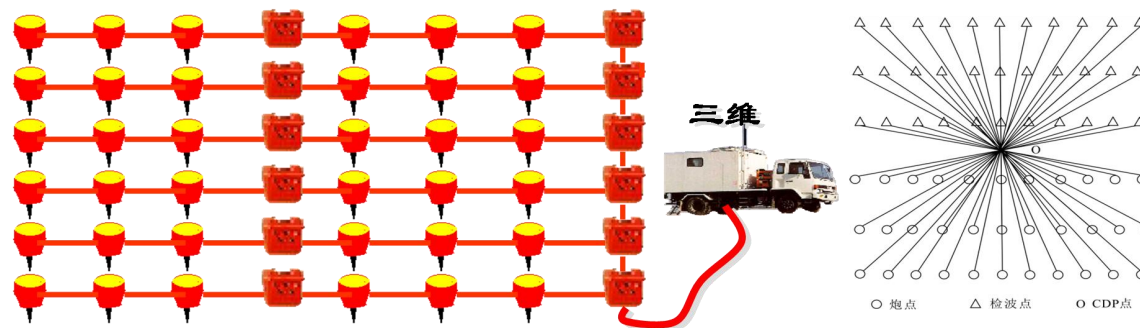
地震勘探反射波法是人工激发的地震波在地面下传播过程中遇到反射界面后，再传向地面，通过地面埋设的检波器接收反射到地面的地震波信号，再运用数据处理方法对地震波进行必要的处理，形成地震剖面。



二维： 炮点激发时，只有一条检波线接收

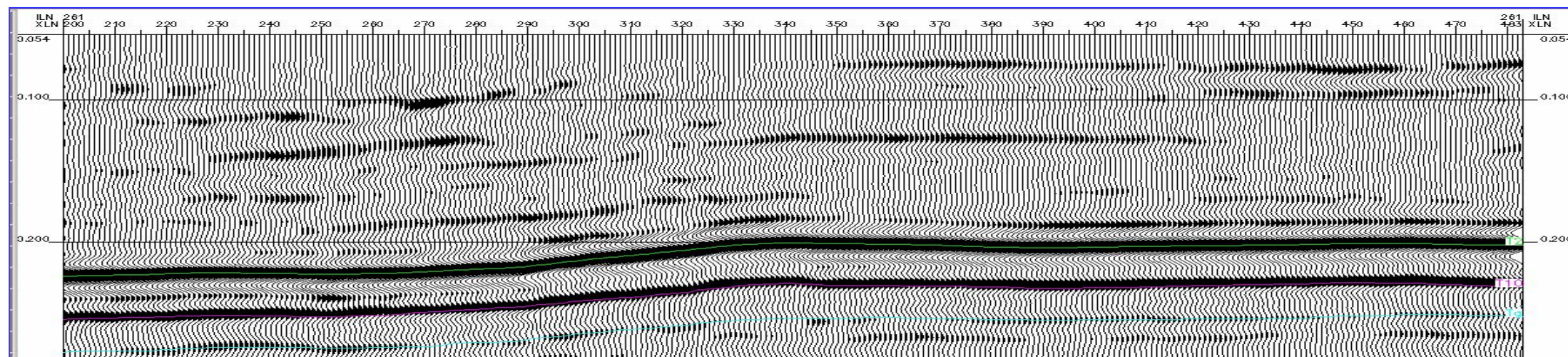
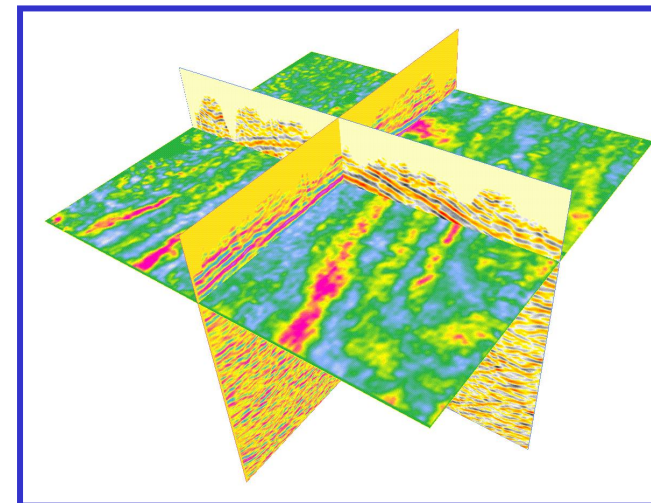
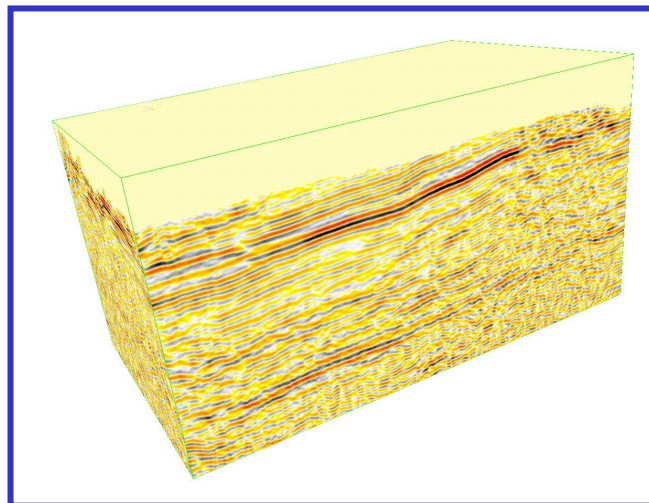
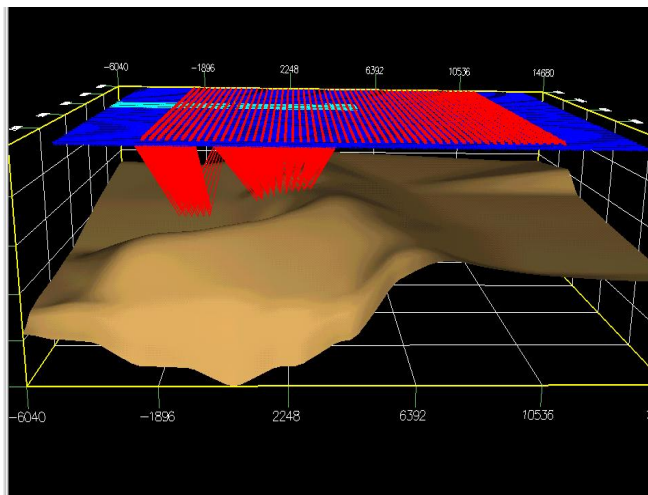


三维： 同一炮点激发时，多条检波线同时接收
不同炮点激发时，相同检波线同时接收





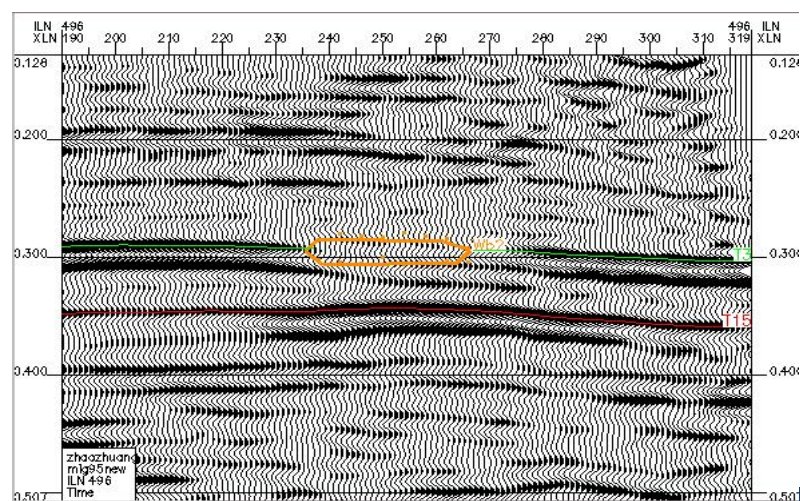
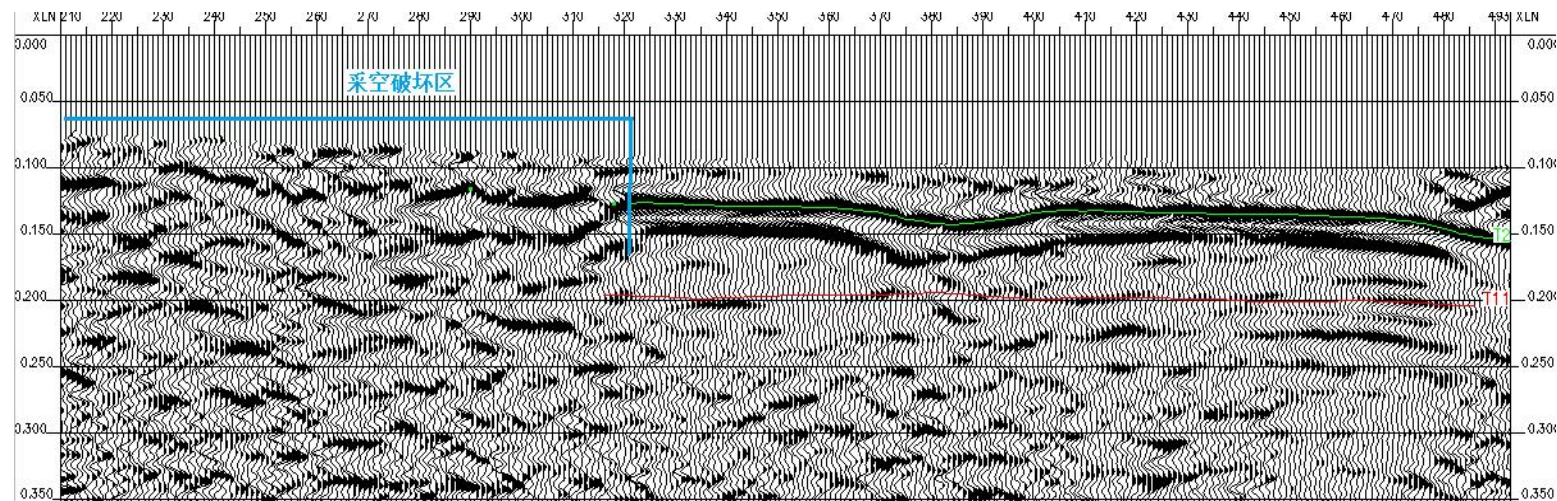
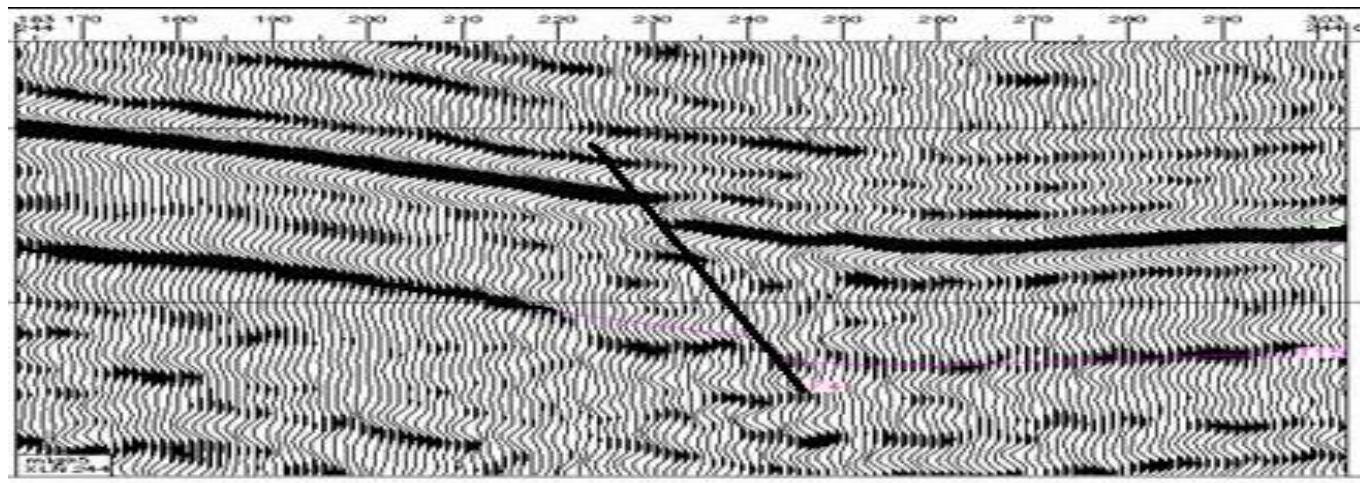
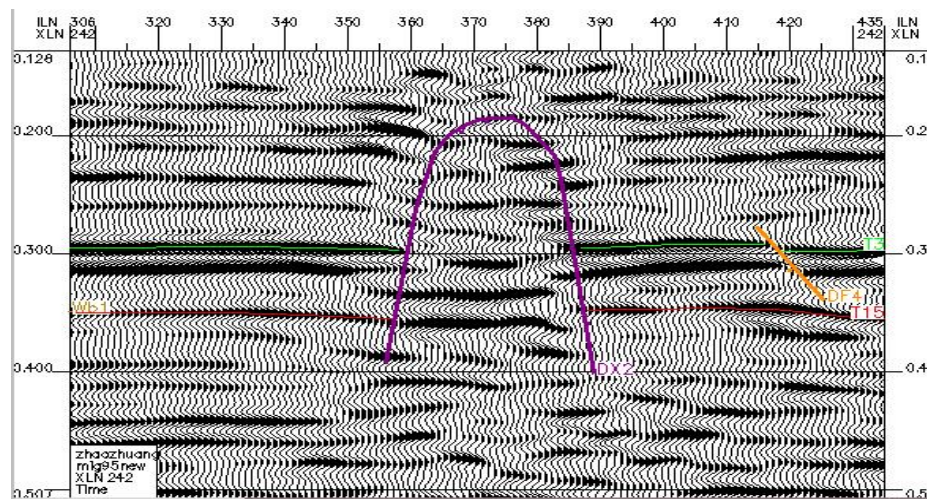
地震勘探





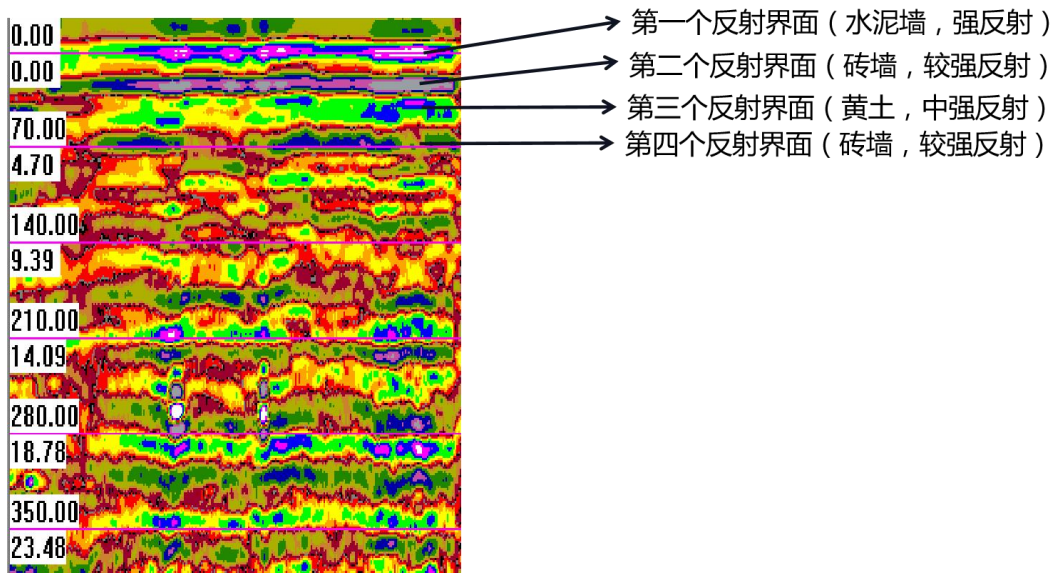
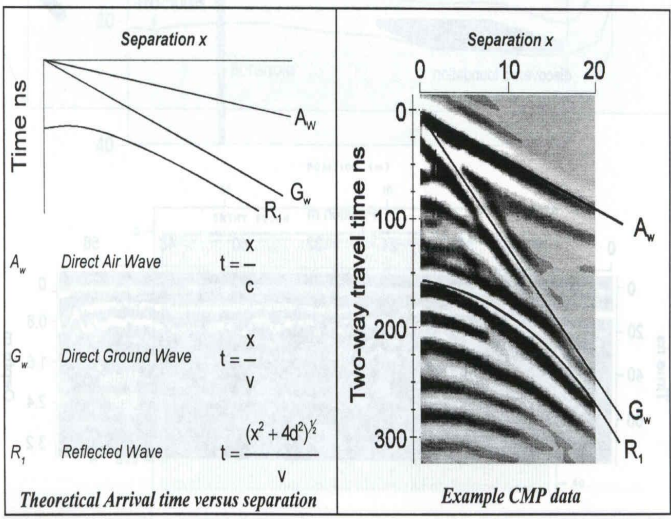
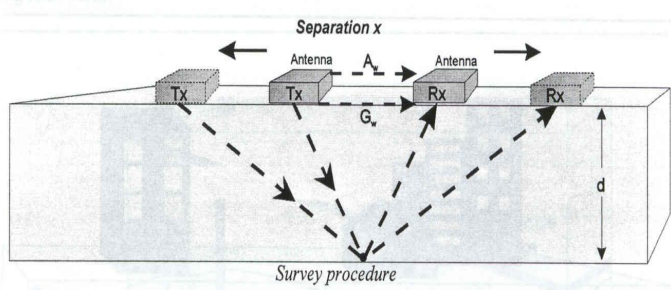
三、隐蔽致灾因素普查技术

地震勘探



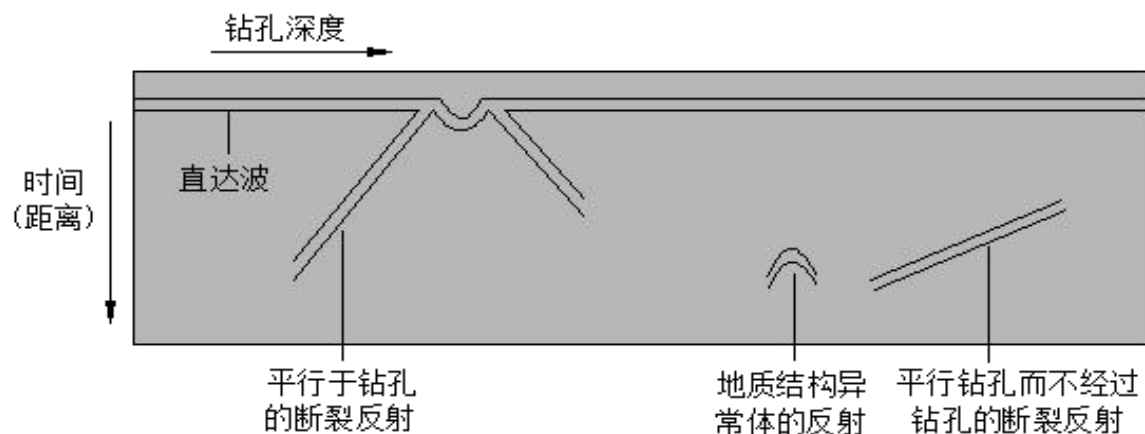
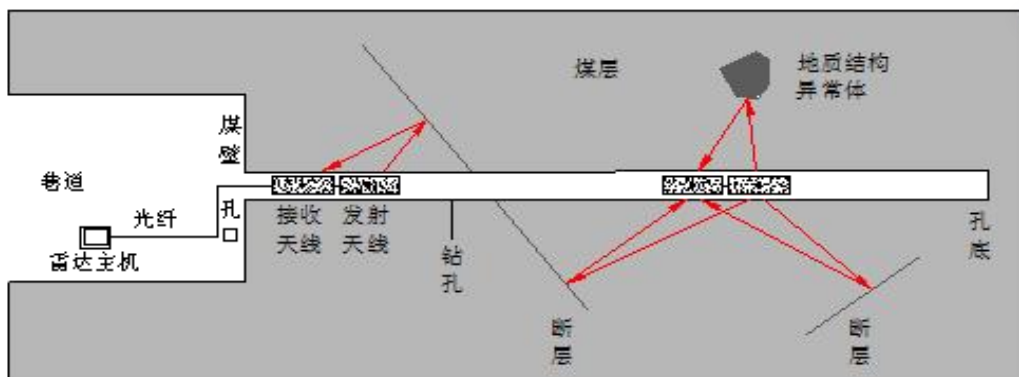
地质雷达

利用一个天线发射**高频宽频带电磁波**，另一个天线接受来自地下介质界面的反射波。电磁波在介质中传播时，其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及几何形态而变化。根据接收到波的旅行时间、幅度与波形资料，可推断地下介质的分布情况。

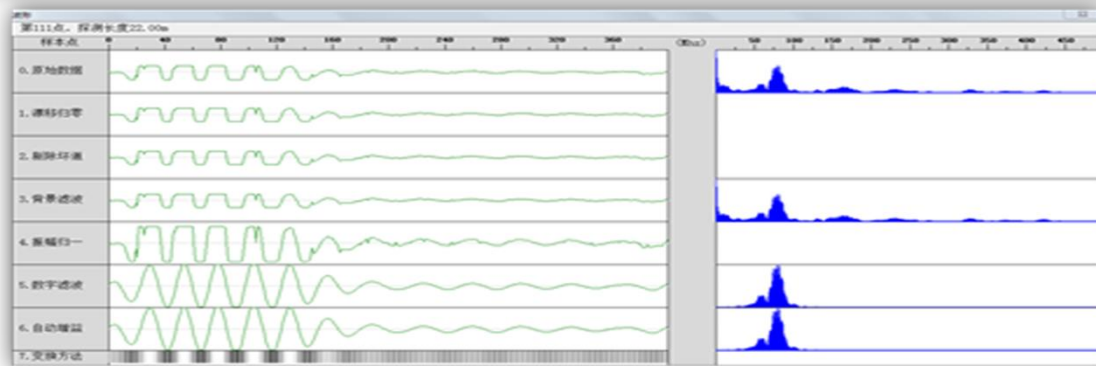
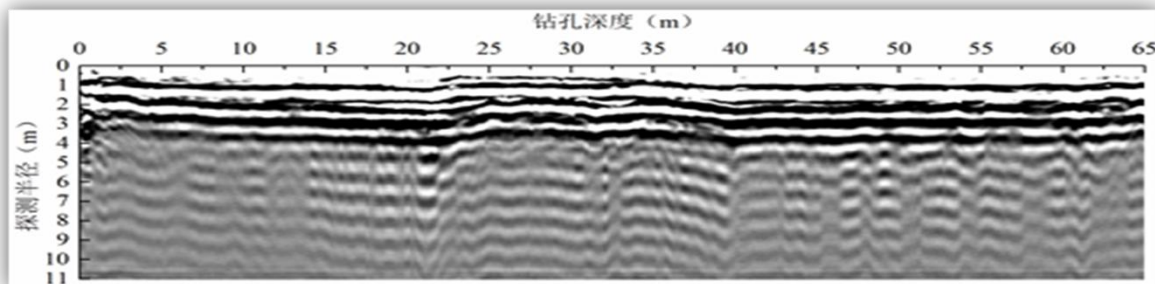


无损探测密闭
墙或煤柱厚度

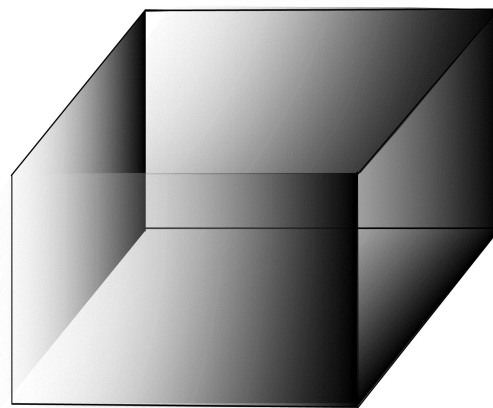
孔中雷达



三、隐蔽致灾因素普查技术

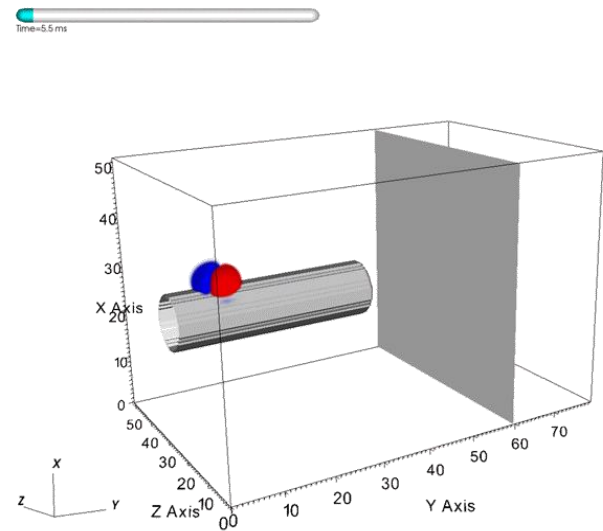
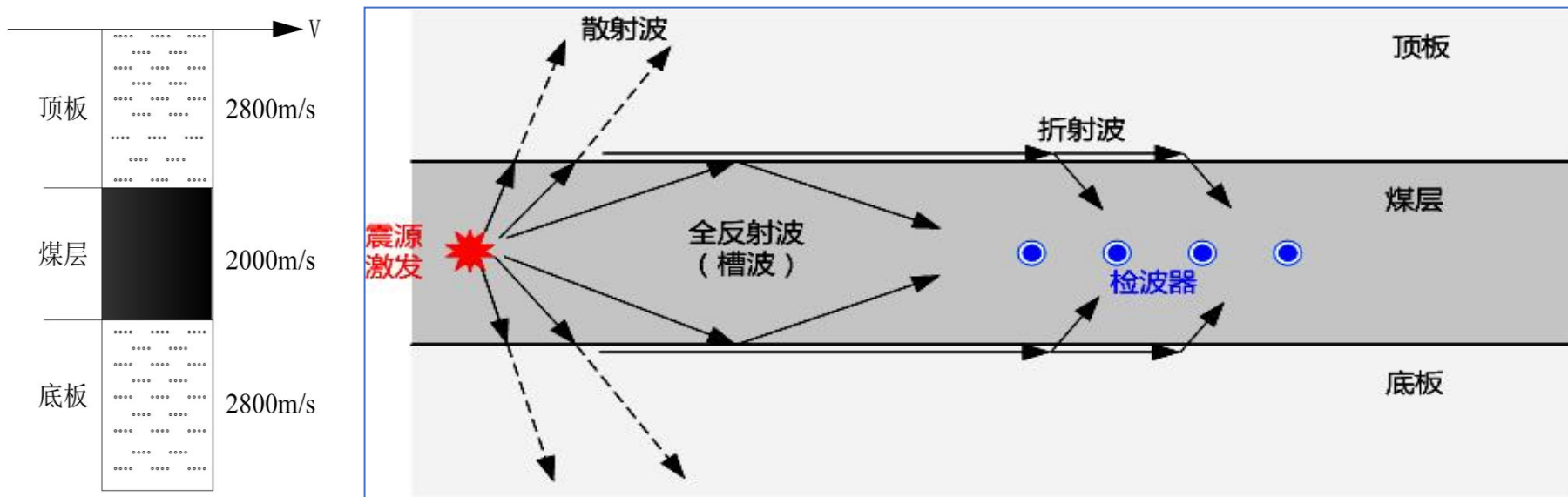


探测结果



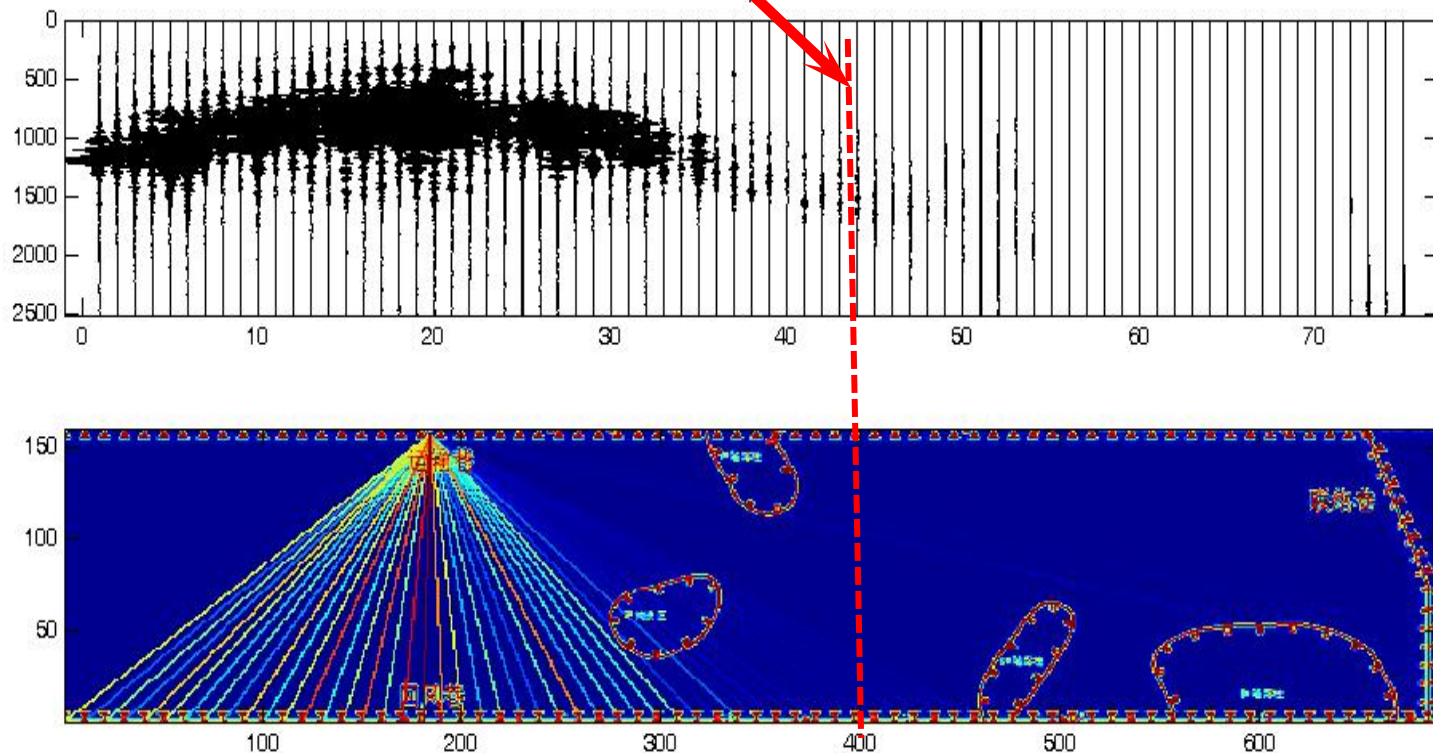
槽波地震

槽波地震勘探（简写ISS）是利用在煤层（作为低速波导）中激发和传播的导波，即在**煤层中产生、通过煤层传播、又在该煤层中接收的槽波**，进行透射和反射测量，已达到探测煤层不连续（断层、冲刷带、陷落柱/等能造成煤层中断的地质异常体）的目的。



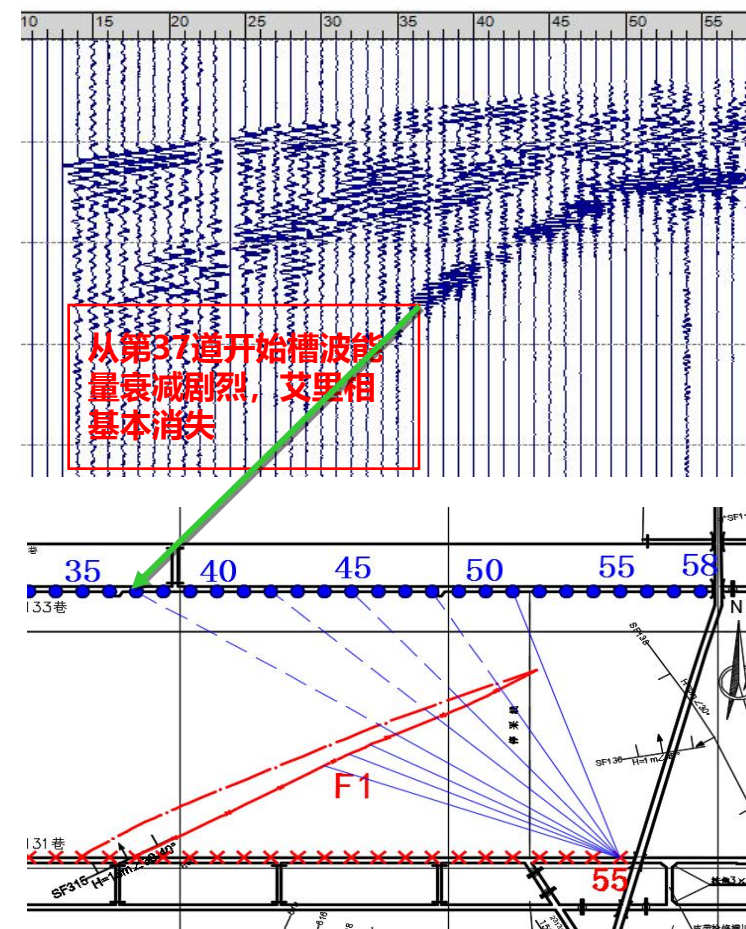
槽波地震

槽波能量减弱



陷落柱遮挡

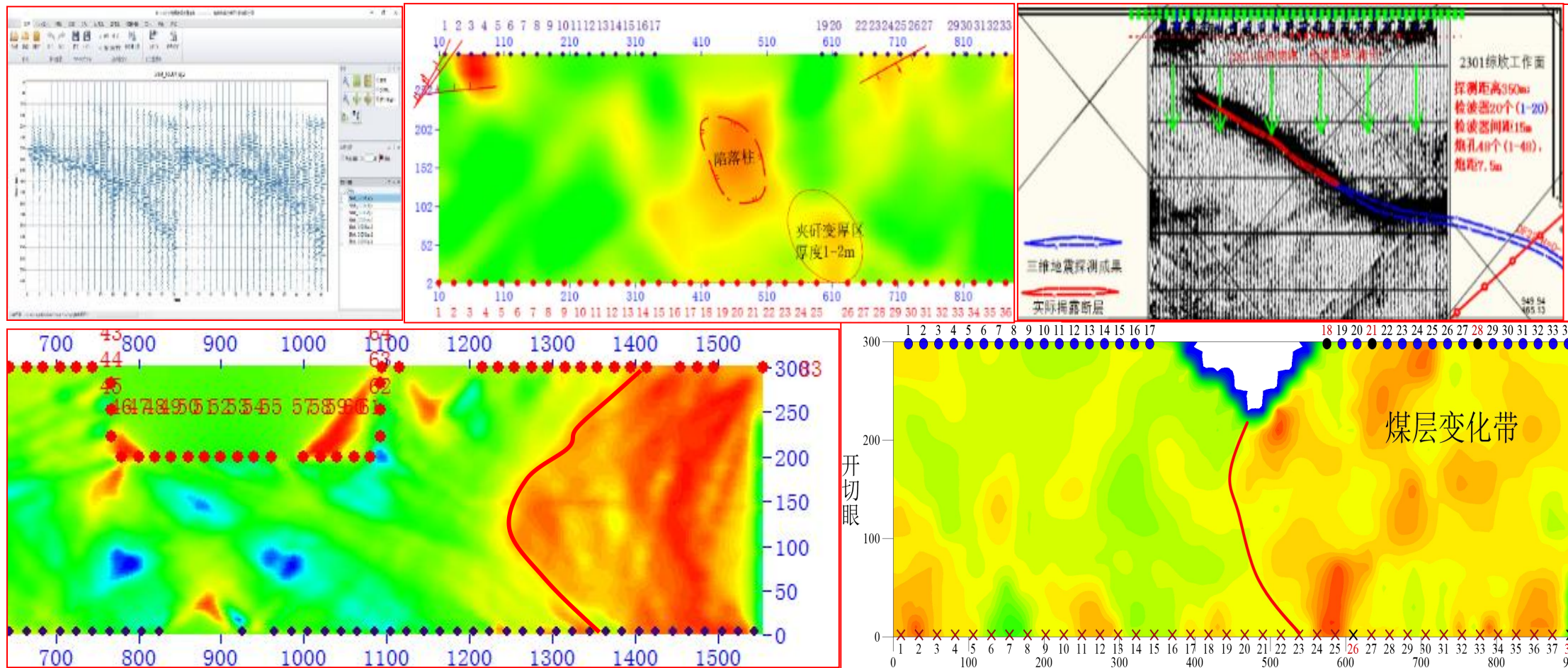
断层遮挡





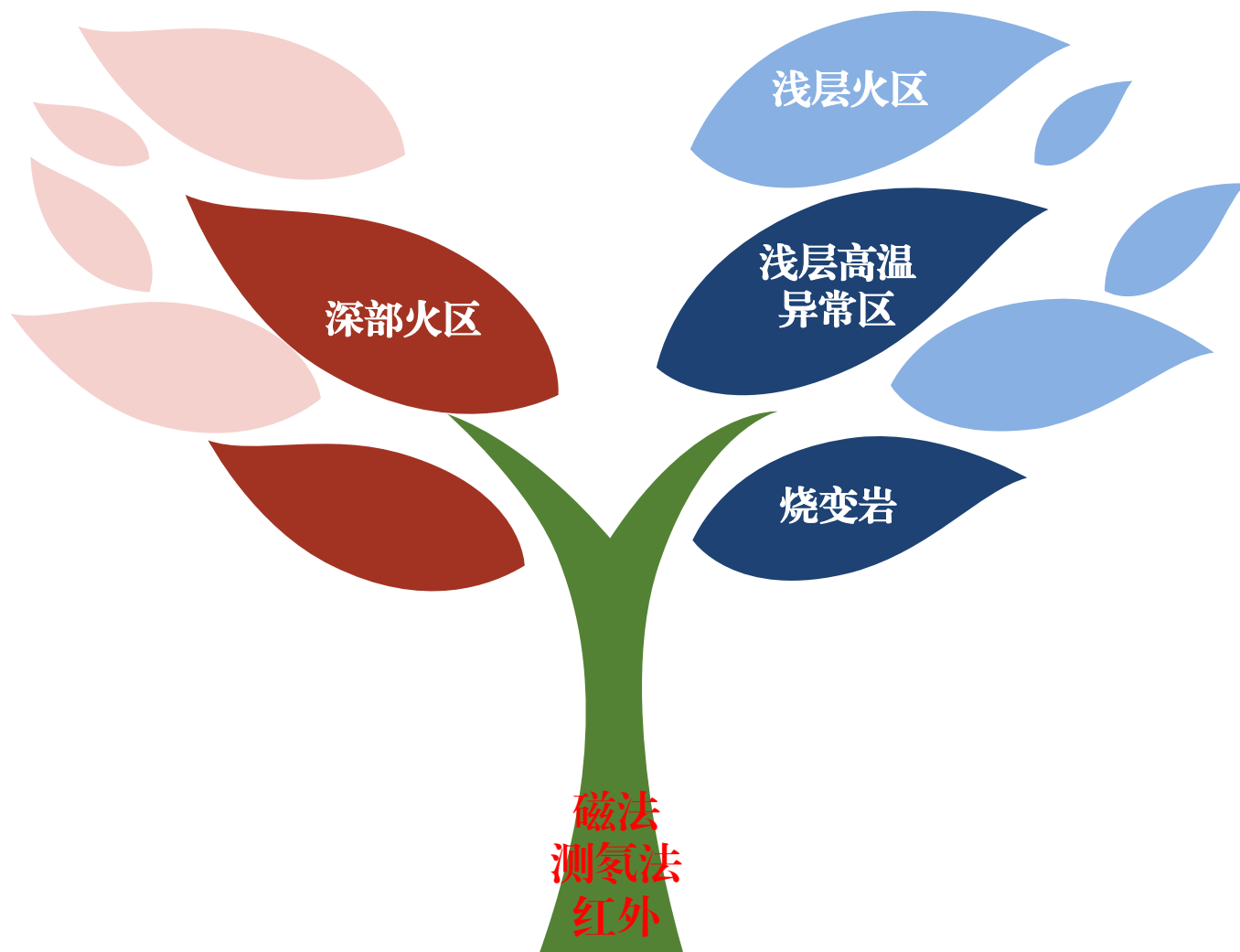
三、隐蔽致灾因素普查技术

槽波地震



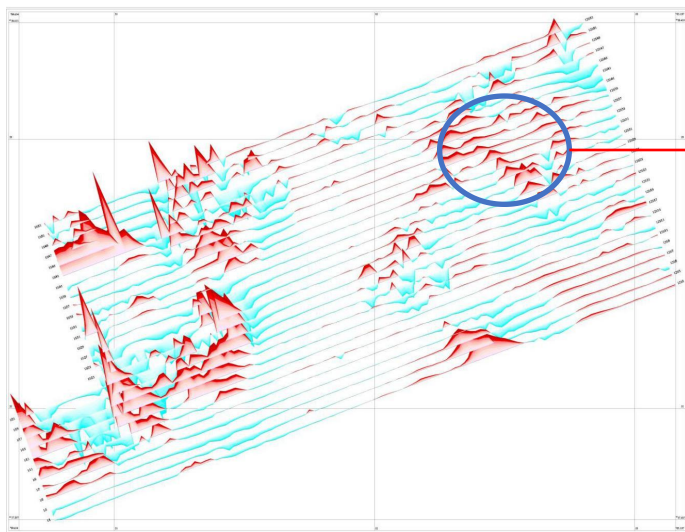


其他物探技术

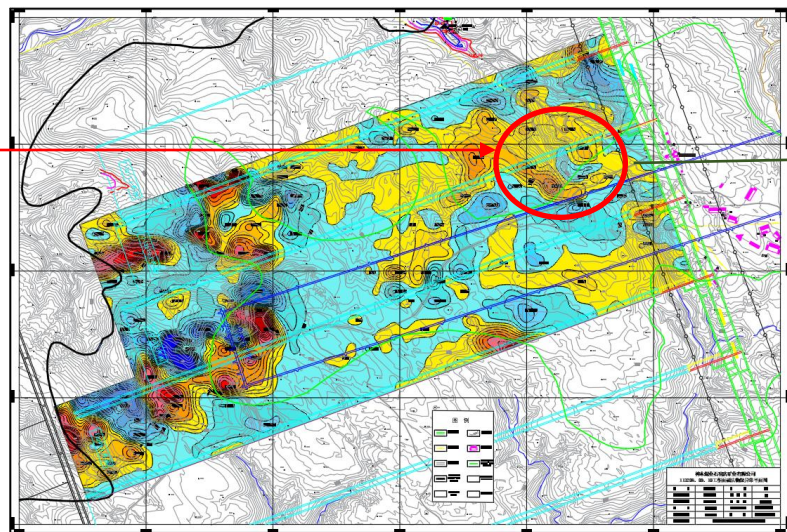


磁法

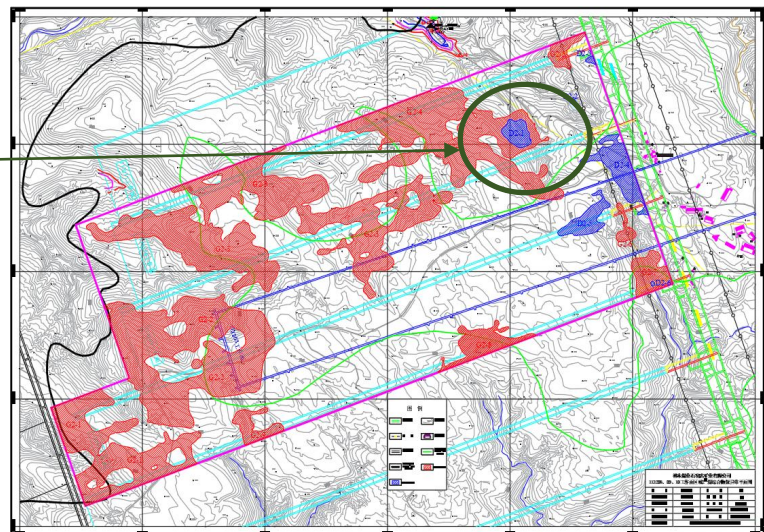
煤层自燃后，岩石受到高温烘烤受热变质，从而形成含铁磁性矿物的烧变岩；湿度降低后保留较强的热剩磁，其磁化率和剩余磁化强度为烧变前的几倍至几十倍，形成了明显的磁性差异。



各测线磁异常 (ΔT) 剖面图

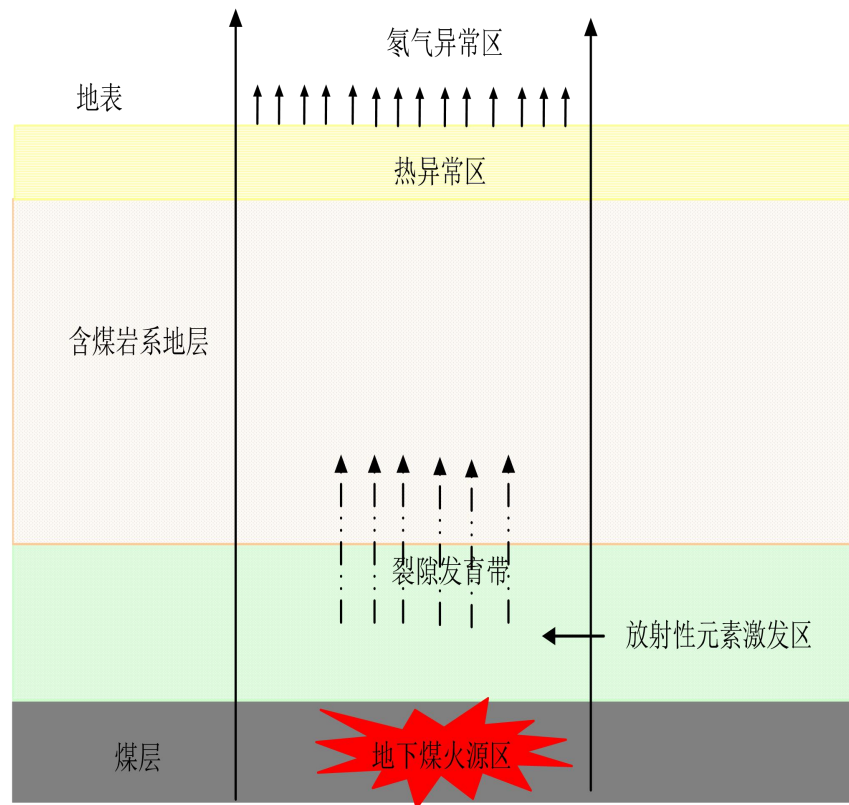


高精度磁法 ΔT 等值线图与采掘工程平面图



2-2煤烧变岩与烧变岩积水区异常平面图

同位素测氦法



利用煤岩介质中天然放射性氦随温度升高析出率增强的特性，通过测量氦及其衰变产物的浓度来推断地下煤层氧化或自燃状态。



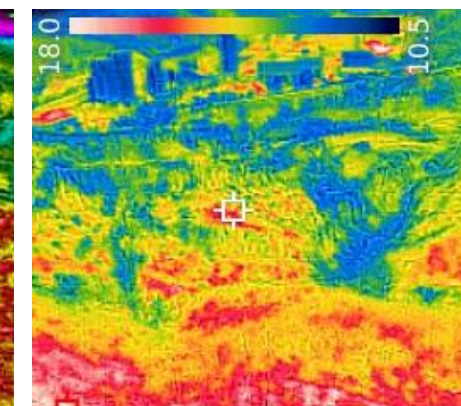
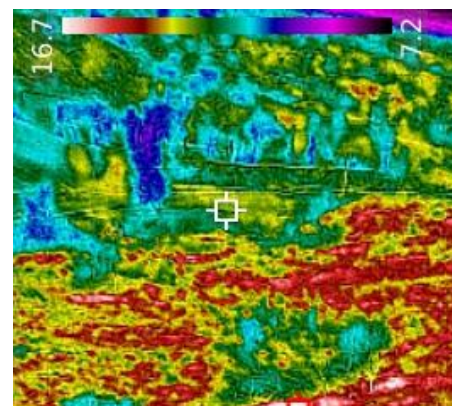
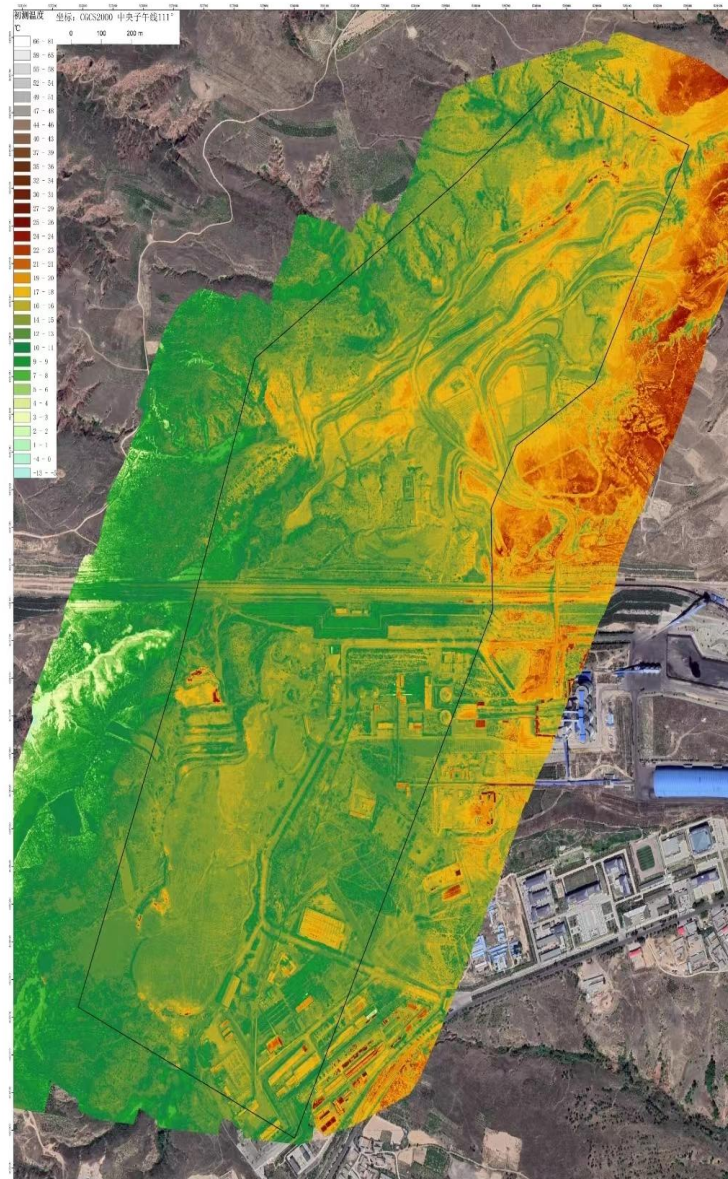


三、隐蔽致灾因素普查技术

热红外成像

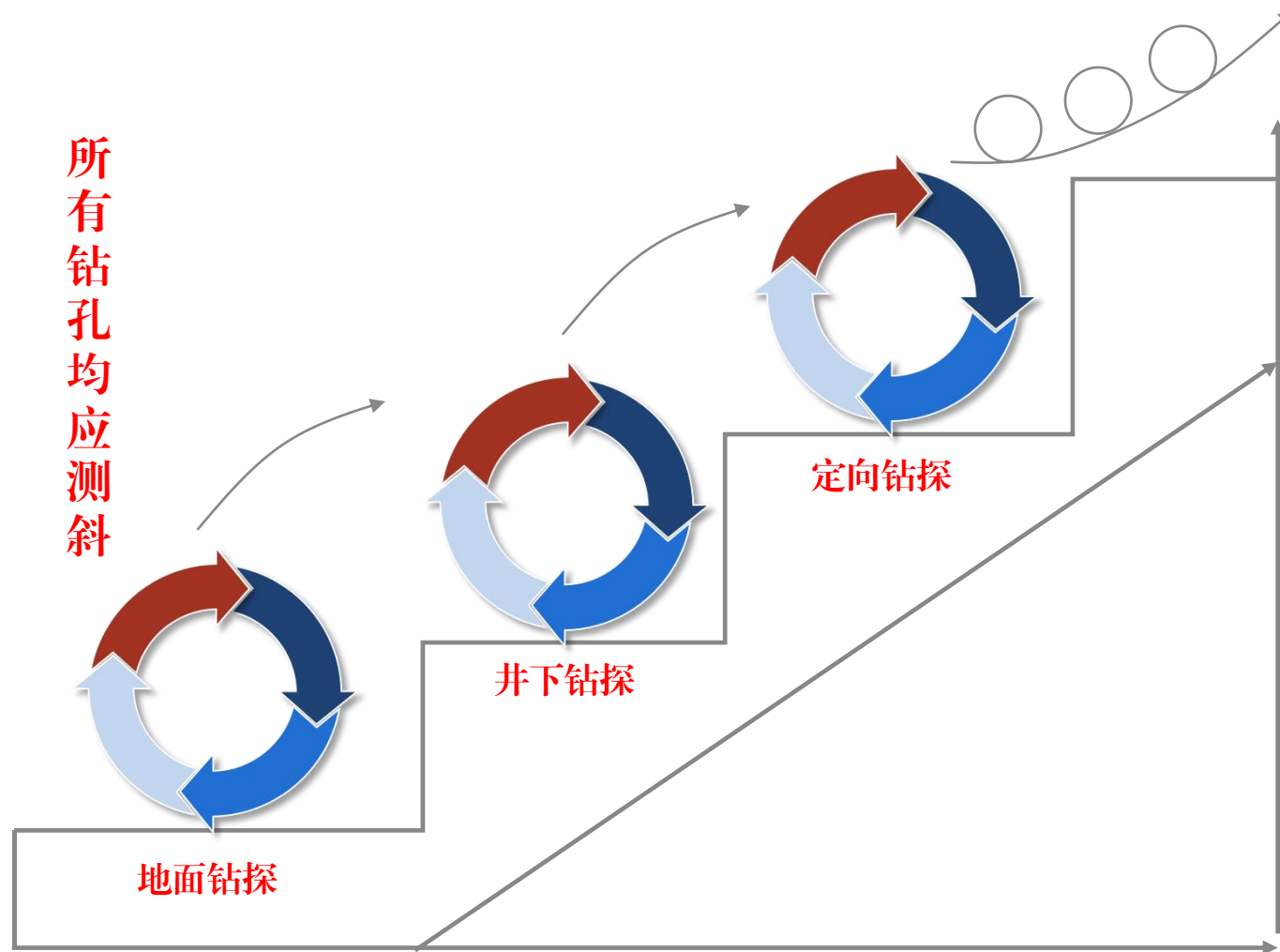


利用某种特殊的电子装置将物体表面的温度分布转换成人眼可见的图像，并以不同颜色显示物体表面温度分布。



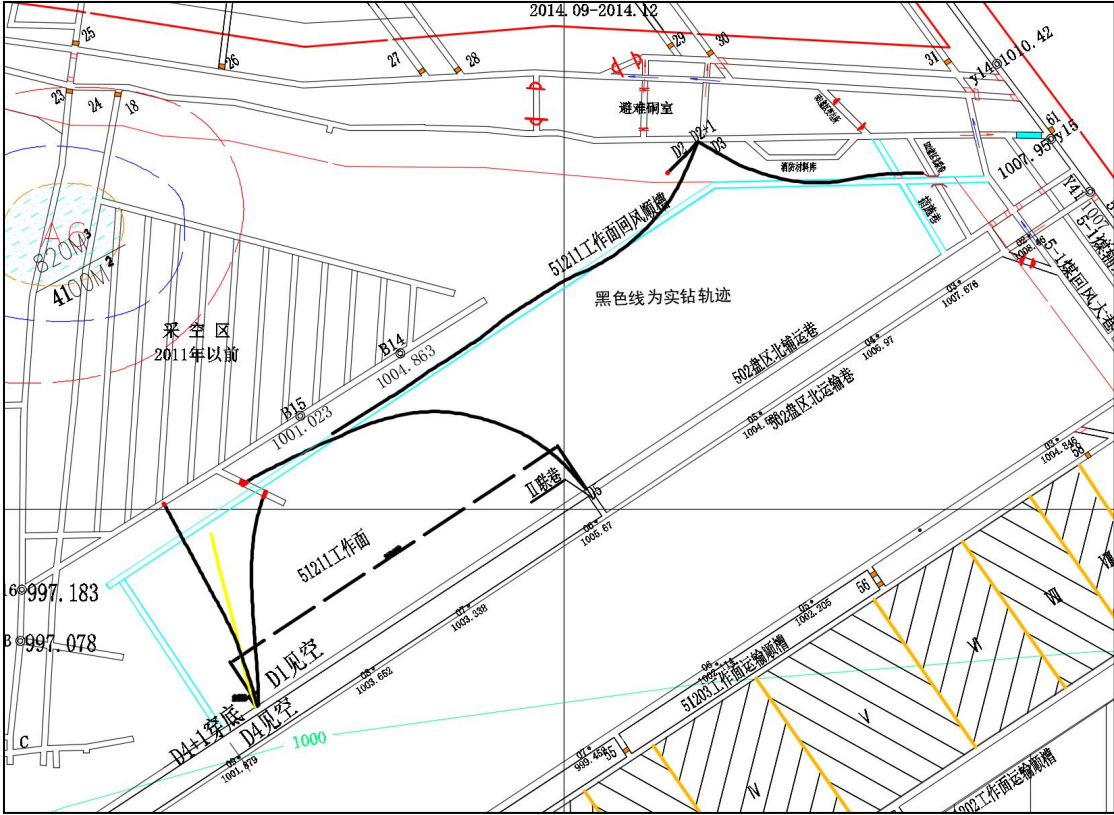


钻探技术



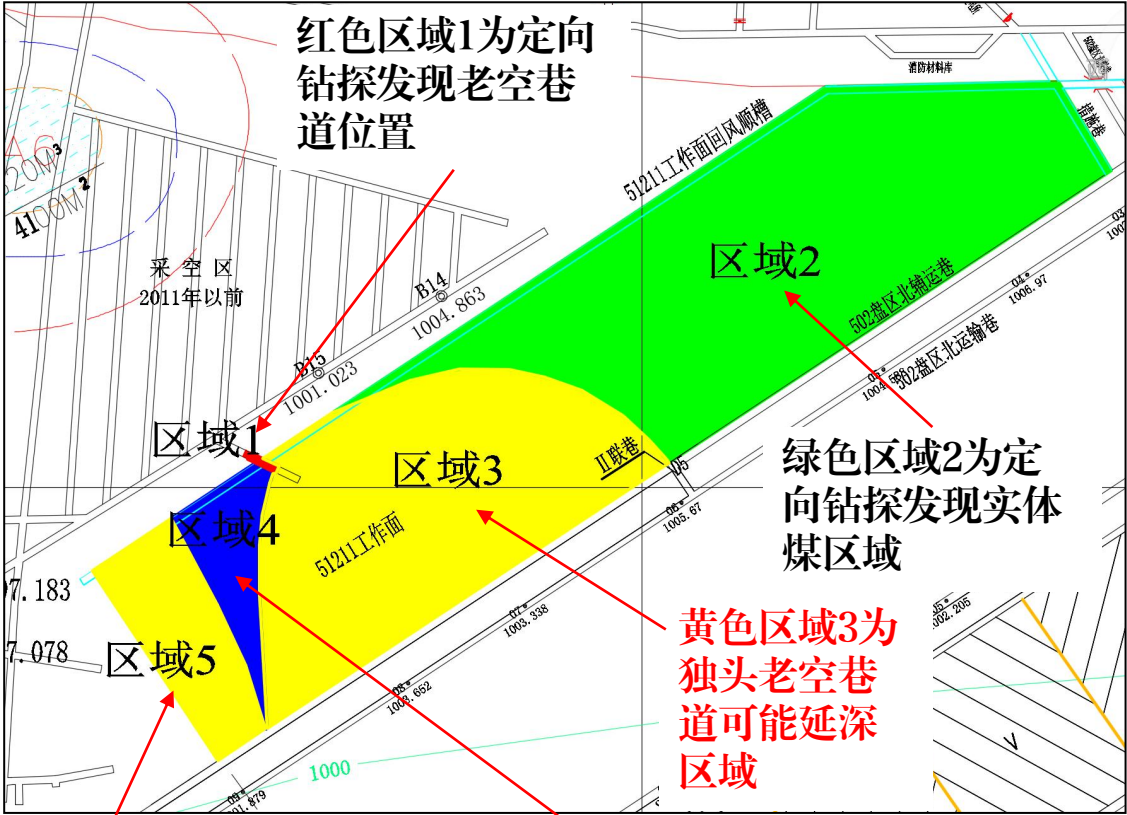
三、隐蔽致灾因素普查技术

定向钻探



某矿规划开采的51211工作面周边为边界不明的房柱式采空区，煤厚3m

黑色线为延煤层施工的定向钻轨迹线
青色线为规划的工作面巷道



红色区域1为定向钻探发现老空巷道位置

区域2

绿色区域2为定向钻探发现实体煤区域

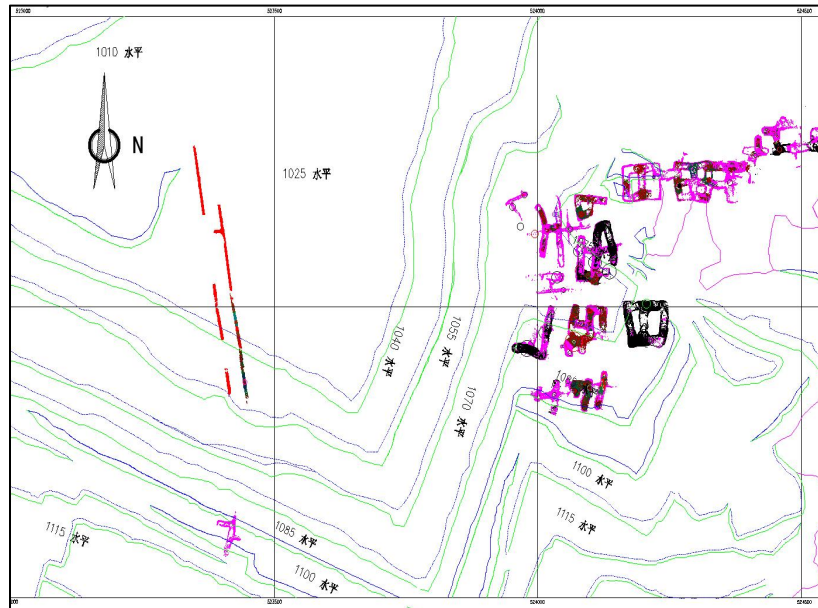
黄色区域3为独头老空巷道可能延深区域

黄色区域5为定向钻探未覆盖区域，可能存在有局部巷道分布。

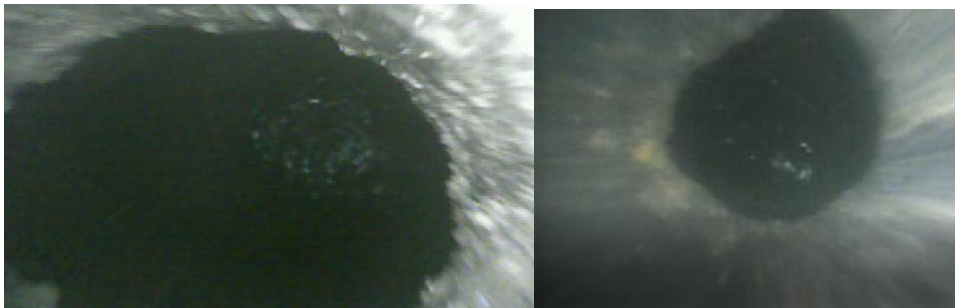
区域4为相对较为安全区域，规划工作面回风顺槽侧未完全覆盖，不能完全排除有局部巷道延深下来的可能性

三、隐蔽致灾因素普查技术

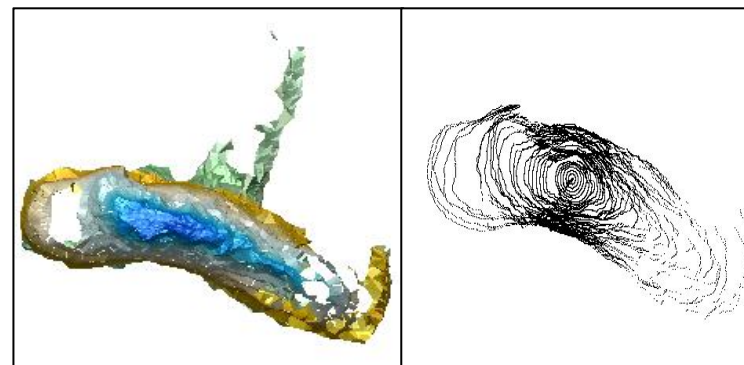
地面钻探



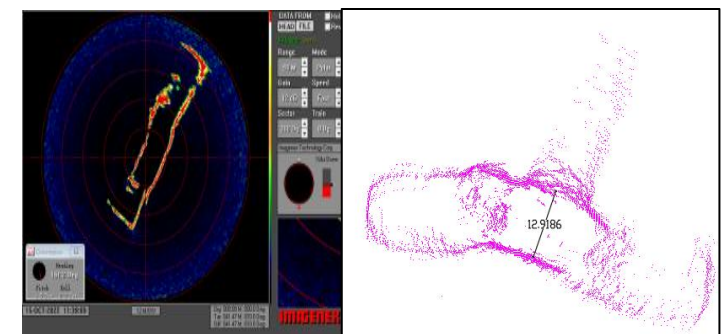
某露天矿采空区地面钻探



钻孔电视成果

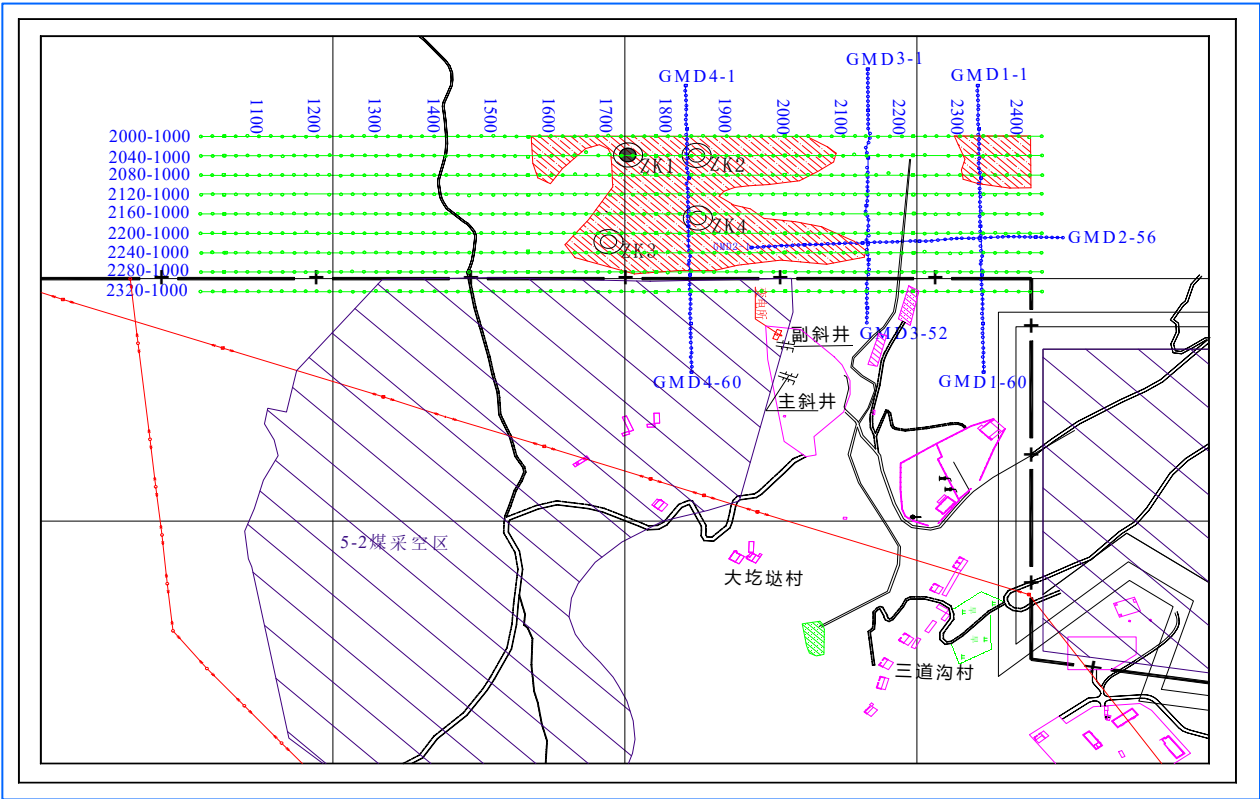
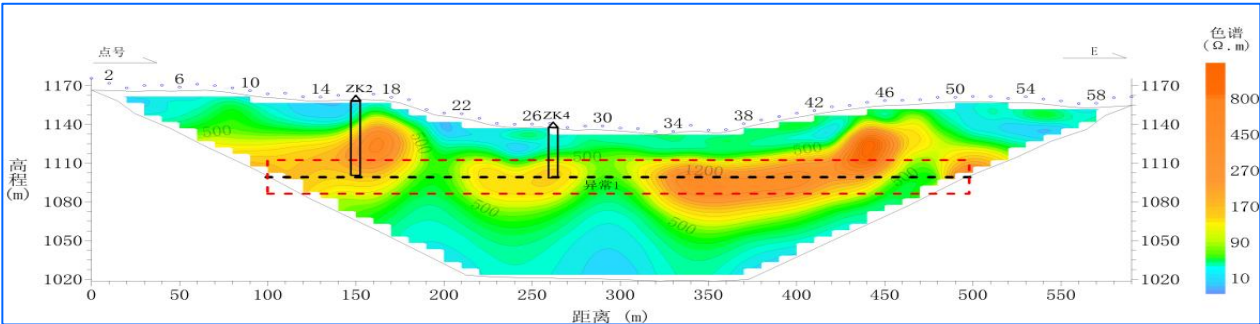


三维激光扫描



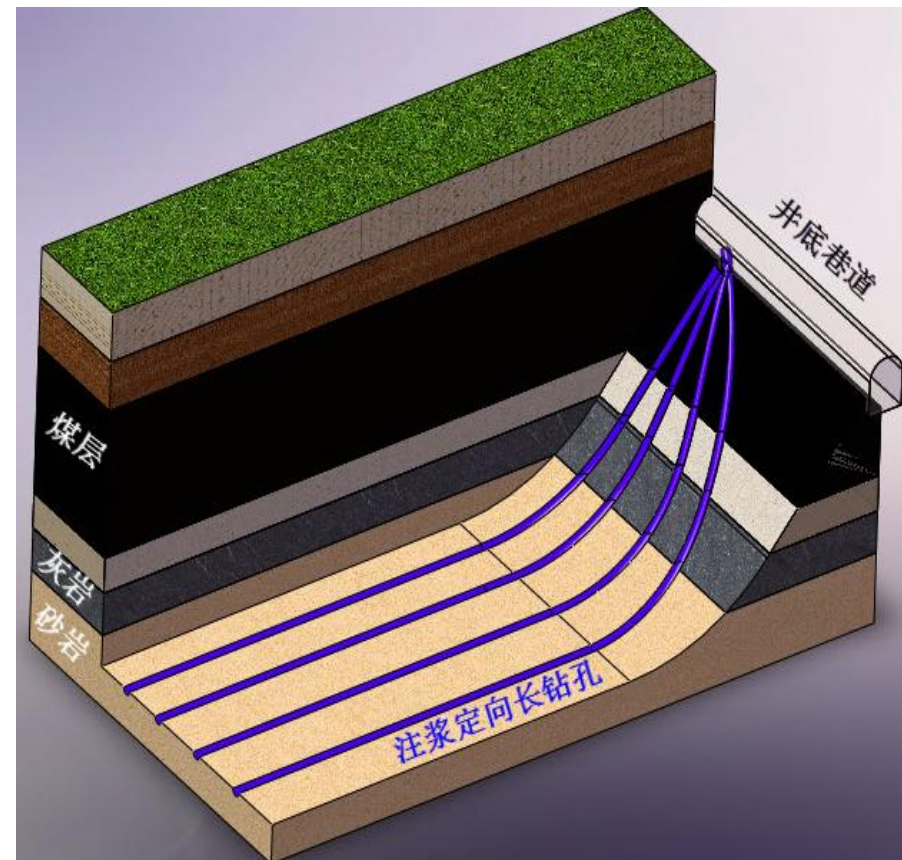
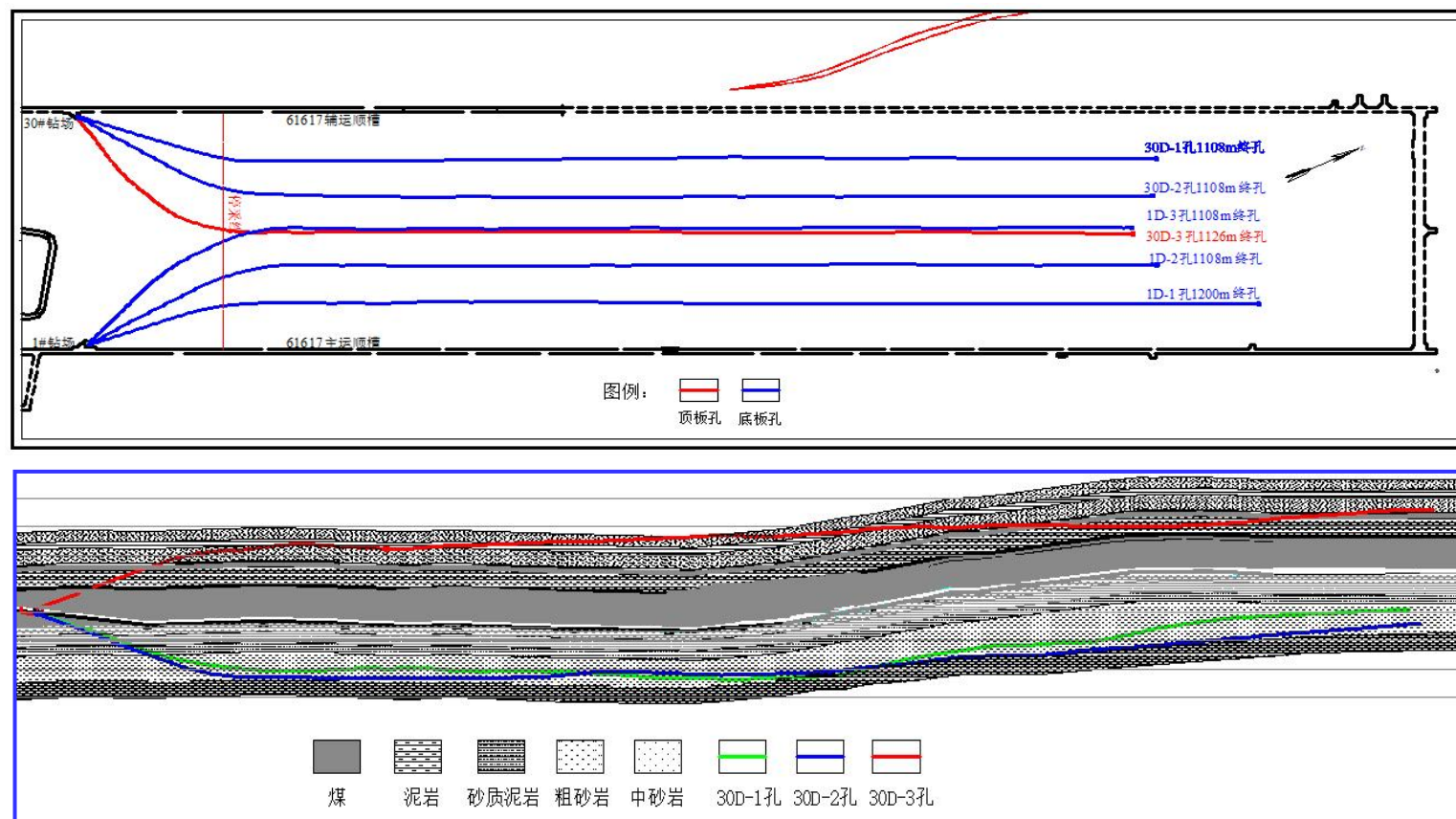
声呐探测

三、隐蔽致灾因素普查技术

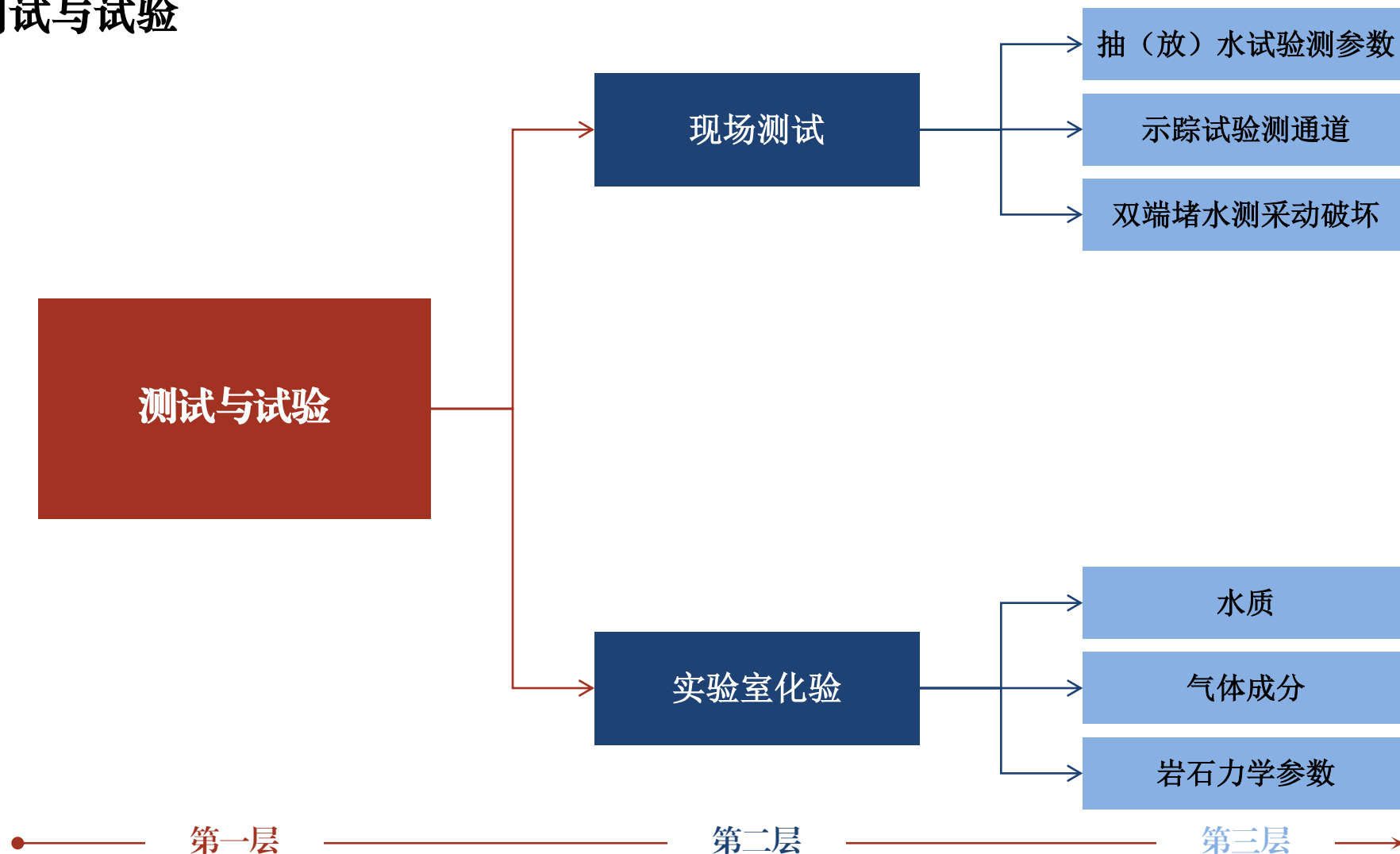


钻 孔 编 号			ZK4		坐 标		X:4294429.000		钻 孔 深 度	84.41m	开 孔 日 期	2012年10月05日
钻 孔 序 号			148		坐 标		Y:37446875.000		孔 口 标 高	1172.00m	终 孔 日 期	2012年10月08日
地 层			柱 状 1:200	累 计 深 度 (m)	分 层 厚 度 (m)	采 长 (m)	采 取 率 (%)	RQD (%)	岩 土 名 称	岩 性 描 述	钻 孔 结 构 及 封 孔 柱 状	
系	统	组										
第四系 Q				3.01	3.01				粉砂	黄褐色，中密，稍密，土质较均匀，分选性好。		
				22.31	19.30	15.10	79		粉质粘土	褐红色，硬塑，局部含钙质结核，见褐色氧化物斑点，土芯切面较光滑，韧性较好。		
侏罗系 J	中统 J ₂	延安组 J ₂₋₁		33.11	10.80	7.80	73	27	泥岩	黄褐色，强风化，泥质结构，层状构造，手掰易碎。		
				42.61	9.50	7.20	81	57	粗粒砂岩	灰白色，中风化，粗粒状结构，块状构造，裂隙不发育。		
				44.01	1.40	1.10	79	6	中粒砂岩	灰色，中粒状结构，块状构造，岩芯呈块状。		
				57.91	13.90	11.70	84	68	细粒砂岩	灰白色，中风化，细粒状结构，块状构造，锤击易碎。		
				69.21	11.30	9.10	80	56	中粒砂岩	灰白色，中风化，中粒状结构，块状构造，裂隙不发育。		
				80.91	11.70	9.50	83	67	细粒砂岩	灰白色，中风化，细粒状结构，块状构造，夹碳质泥岩薄层。		
				84.11	3.20				5-2 煤采空区	采空区高度3.20m。		
			84.41	0.30	0.20	68		细粒砂岩	灰白色，细粒状结构，块状构造，岩芯呈块状。			

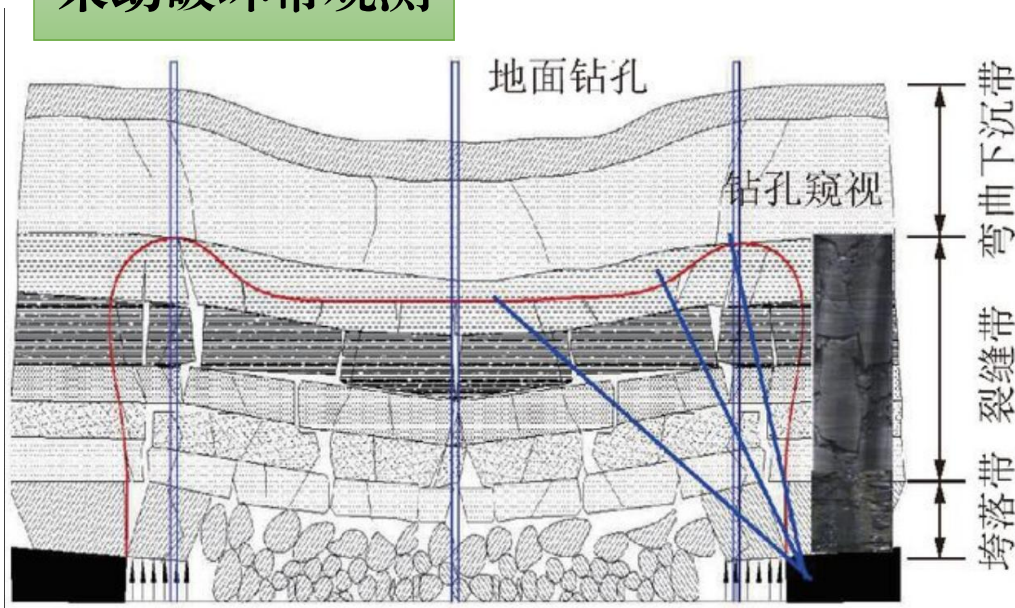
井下钻探



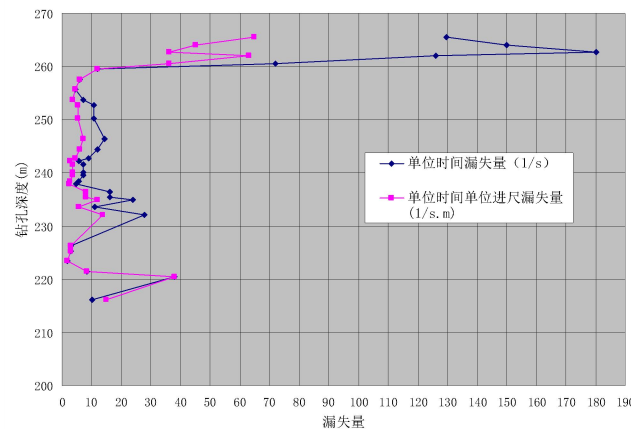
测试与试验



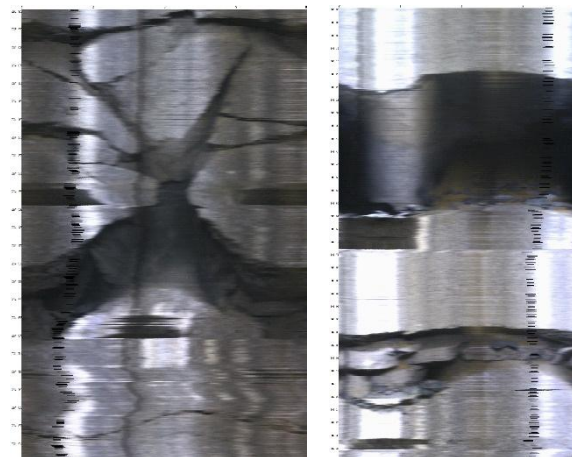
采动破坏带观测



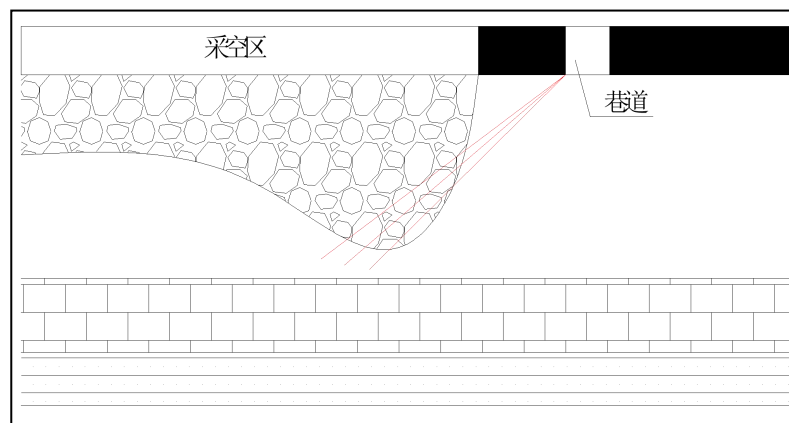
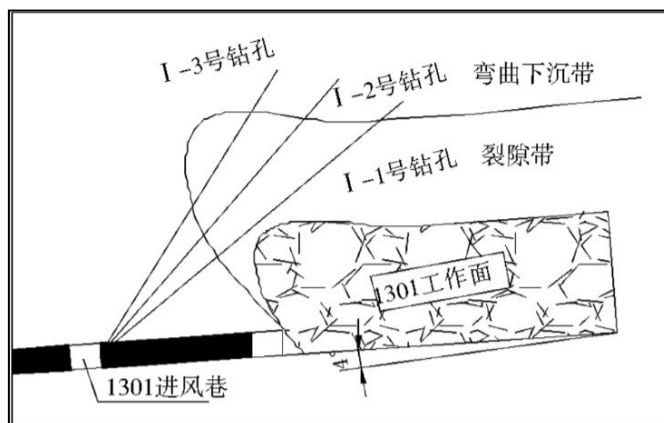
覆岩三带



冲洗液漏失量随孔深变化曲线

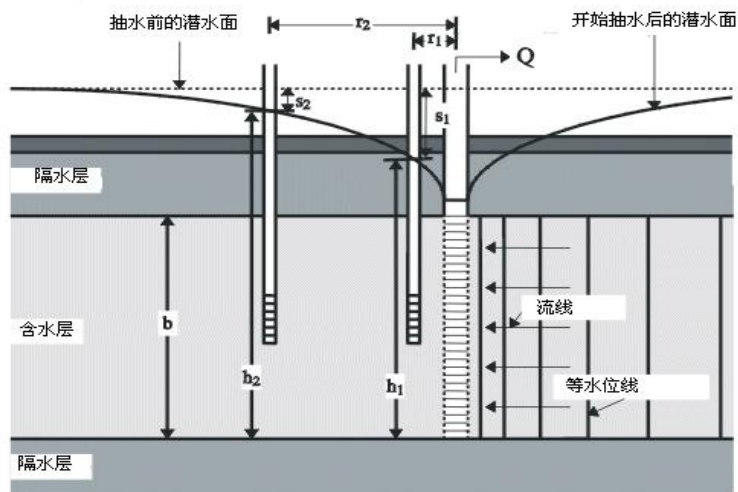


钻孔电视观测成果示意

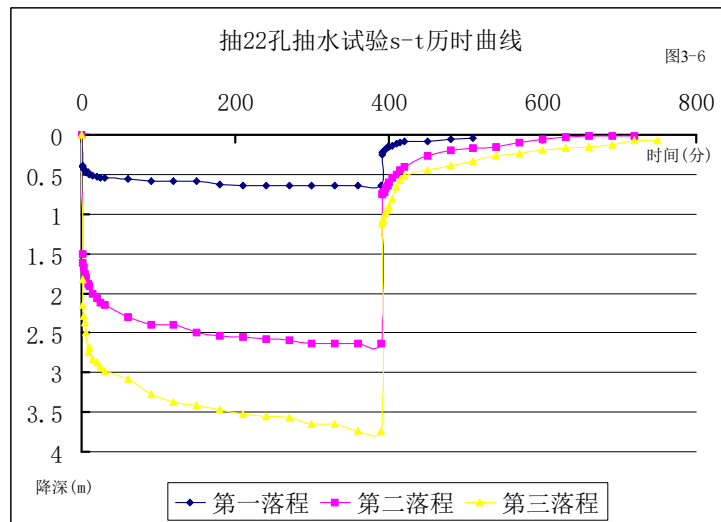


井下钻孔窥视成果

抽水试验



抽水试验示意

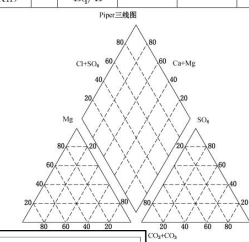
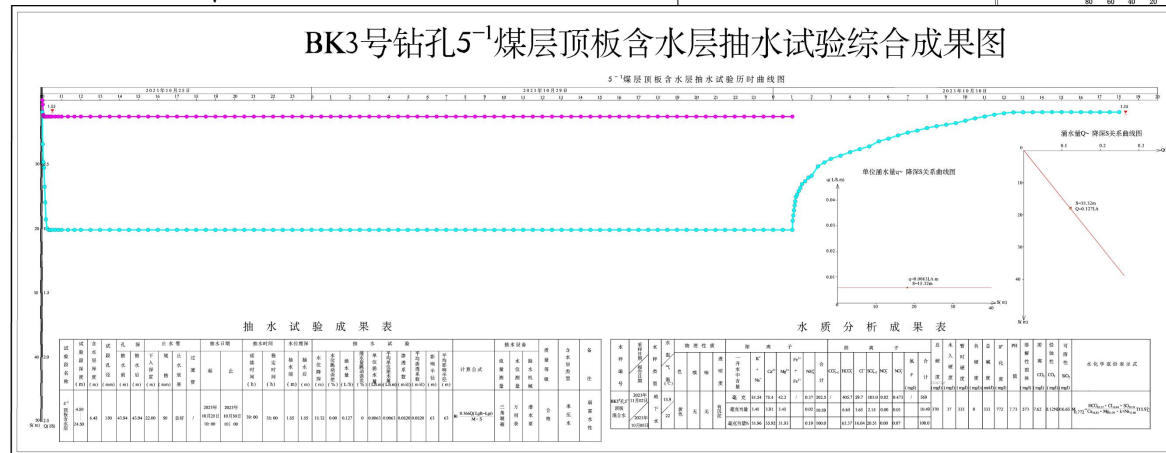


抽水试验现场照片1



抽水试验现场照片2

这样单位:				分析日期:			
水样编号				含水层/水源		采样日期	
采样位置				采样人			
X 坐标		Y 坐标		Z 坐标			
颜色		水温		气温			
可溶性固体		mg/L	pH 值	总硬度		mg/L(以碳酸钙计)	
矿化度		mg/L		总酸度		mg/L(以碳酸钙计)	
总硬度		mg/L(以碳酸钙计)		游离 CO ₂		mg/L	
碳酸盐硬度		mg/L(以碳酸钙计)		侵蚀性 CO ₂		mg/L	
非碳酸盐硬度		mg/L(以碳酸钙计)		电导率		μS/cm	
负硬度		mg/L(以碳酸钙计)		ORP 电位		mV	
阳离子	mg/L	c(1/n)	c(1/n)	溶解氧	mg/L	氟离子	mg/L
		mmol/L	%	耗氧量	mg/L	溴离子	mg/L
钾离子				二氧化硅	mg/L	碘离子	mg/L
钠离子				铝离子	mg/L	硫化物	mg/L
钙离子				锰离子	mg/L	锌离子	mg/L
镁离子				铜离子	mg/L	锂离子	mg/L
三价铁				铅离子	mg/L		
二价铁				镉离子	mg/L		
钡离子							
合计				TOC	mg/L		
				UV ₂₅₄			
阴离子	mg/L	c(1/n)	c(1/n)	氘(δD)	‰	¹⁴ C	Bq/L
		mmol/L	%	氧(δ ¹⁸ O)	‰	δ ³⁴ S	‰
氯离子				氮(δ ² H)	Bq/L	δ ³⁴ S	‰
硫酸根				氩(³⁹ Ar)	Bq/L		
碳酸氢根							
碳酸根							
氢氧根							
硝酸根							
亚硝酸根							
合计							
水质类型							
水源类型							
备注:							

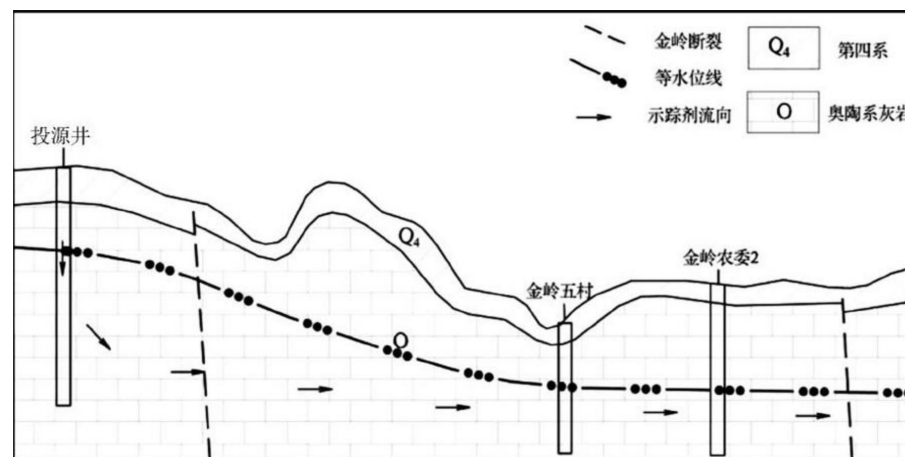
BK3号钻孔 5^{-1} 煤层顶板含水层抽水试验综合成果图

连通示踪试验

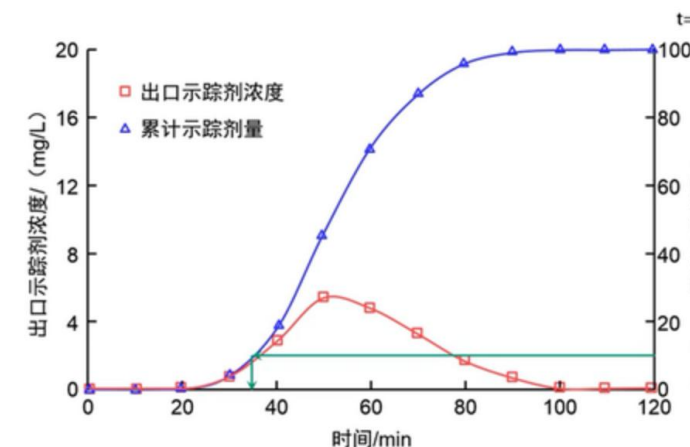
地表抽水钻孔连通试验



地表河流连通试验



示踪剂扩散剖面示意图



监测口示踪剂浓度历时曲线

岩石力学测试



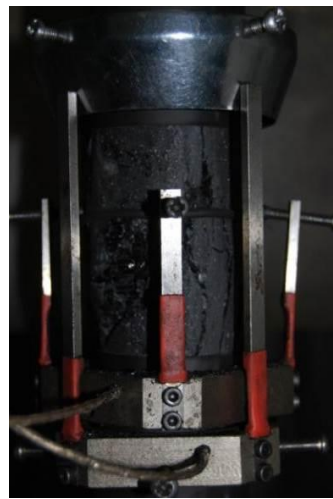
岩石试样



煤试样



电液伺服试验机



煤岩样单轴抗压强度试验典型试样破坏前后对比



隐蔽致灾因素监测方法

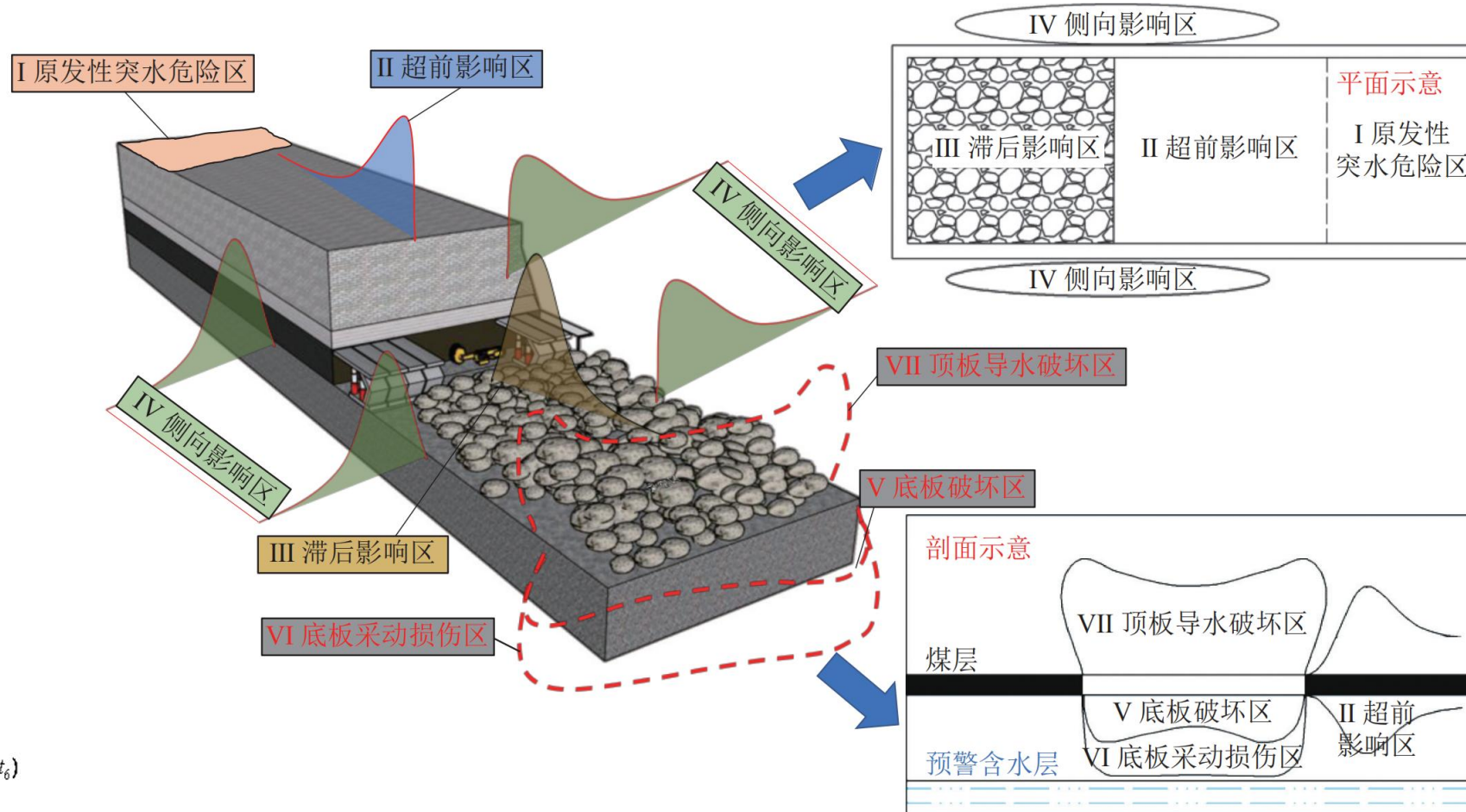
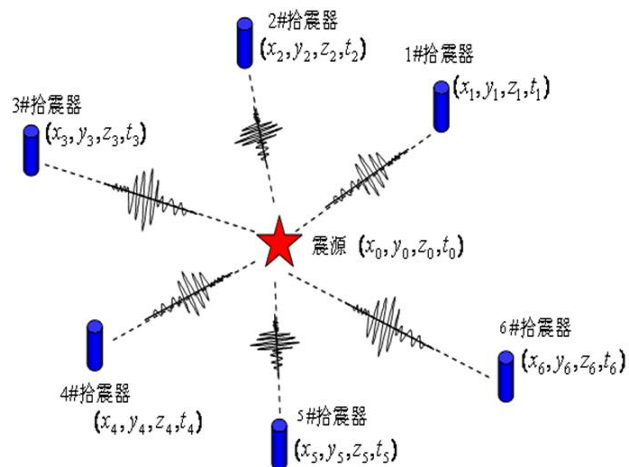
04



四、隐蔽致灾因素监测方法

导水通道监测

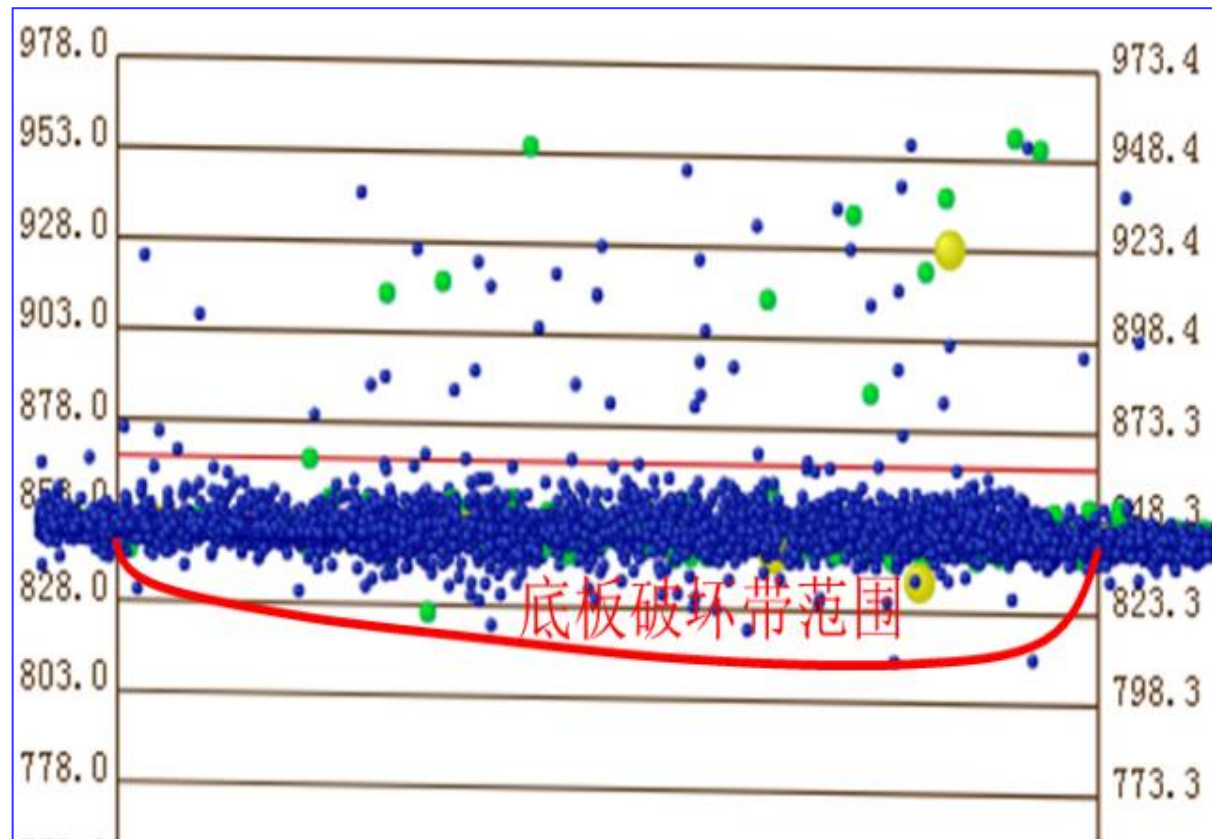
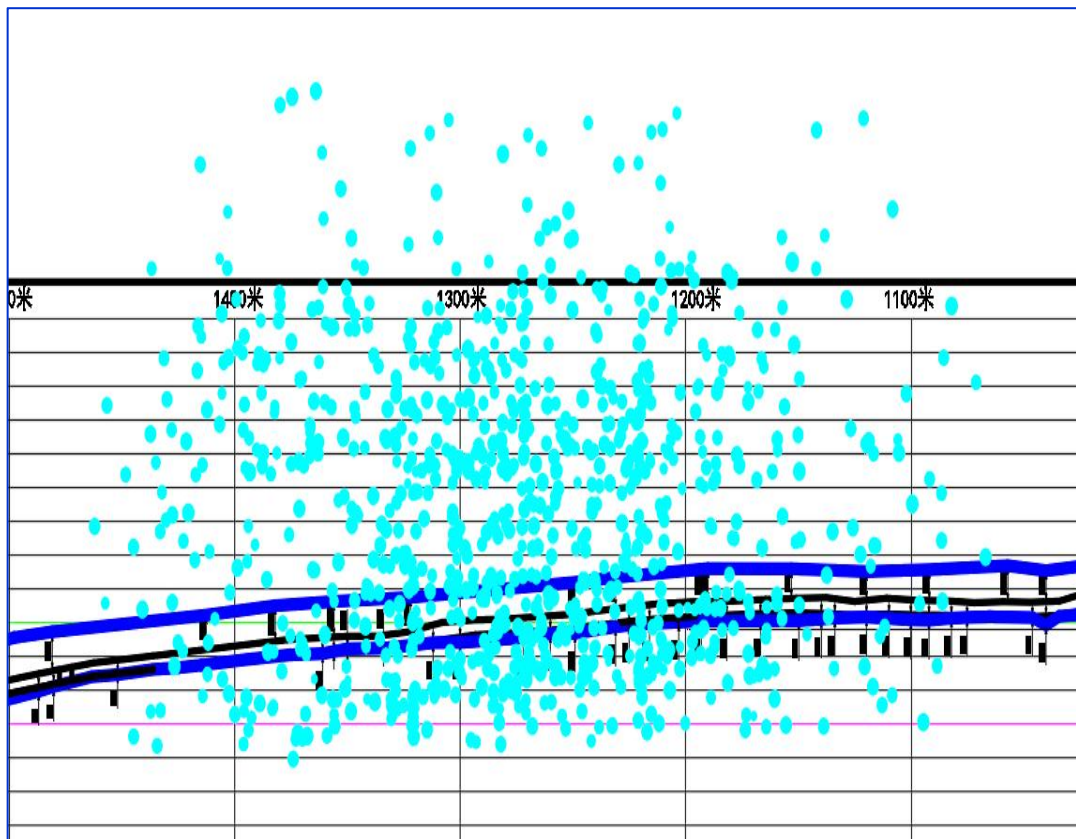
微震监测是利用微震监测网络对监测区域内煤岩体产生的微震活动进行监测，分析岩体微震活动规律，及时**预测预报**突水情况





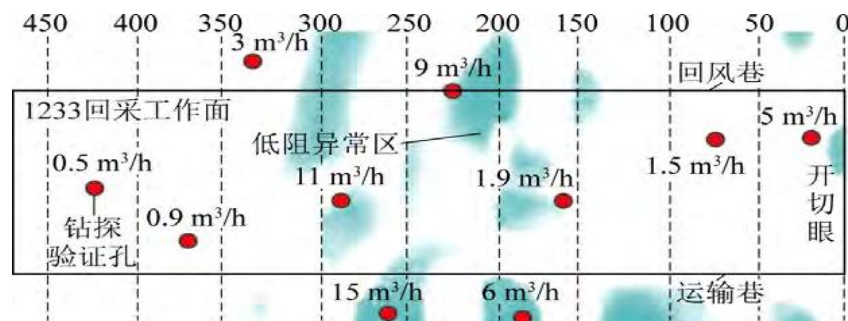
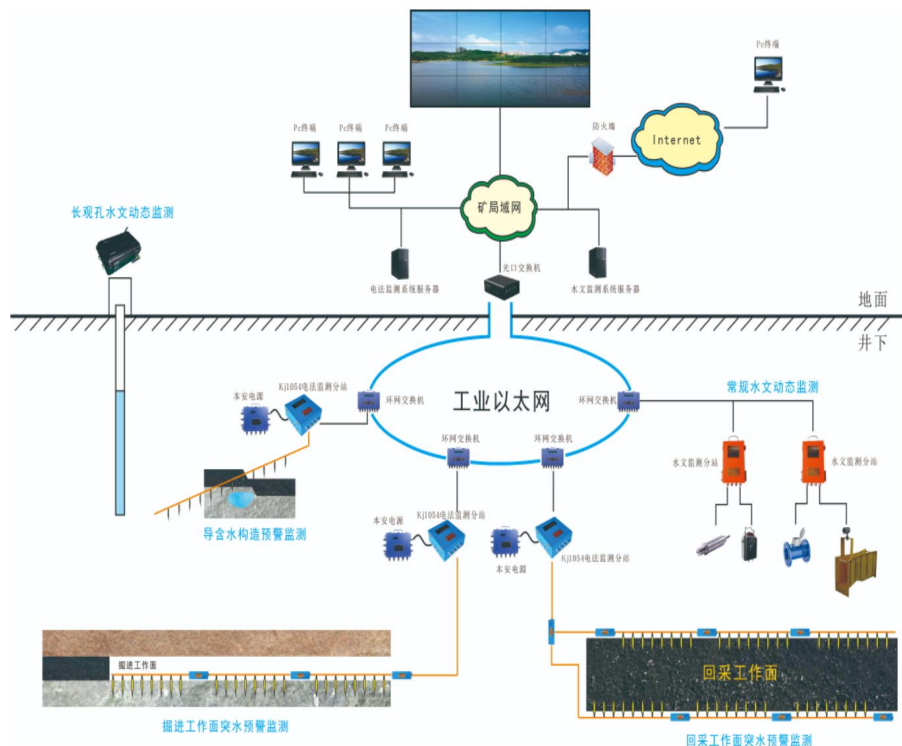
四、隐蔽致灾因素监测方法

导水通道监测

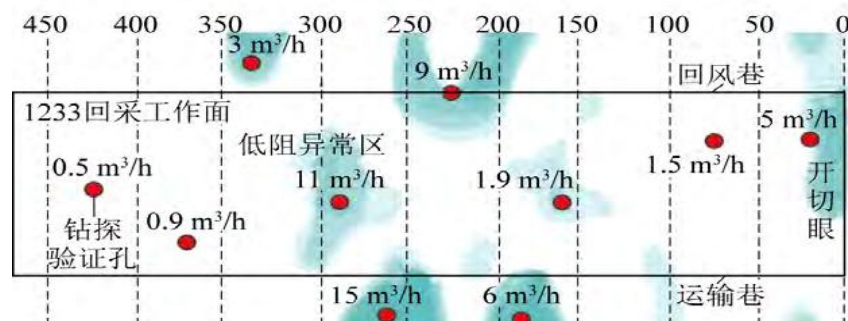


含水层监测

系统在地下采掘空间(巷道、工作面)或钻孔中布置**分布式智能电极**,发射伪随机多频电场,通过观测煤岩体及**地下水运移时视电阻率**、视极化率等参数的异常变化实现对工作面水害的监测预警,为矿井生产安全提供保障。



(a) C_3 底界面

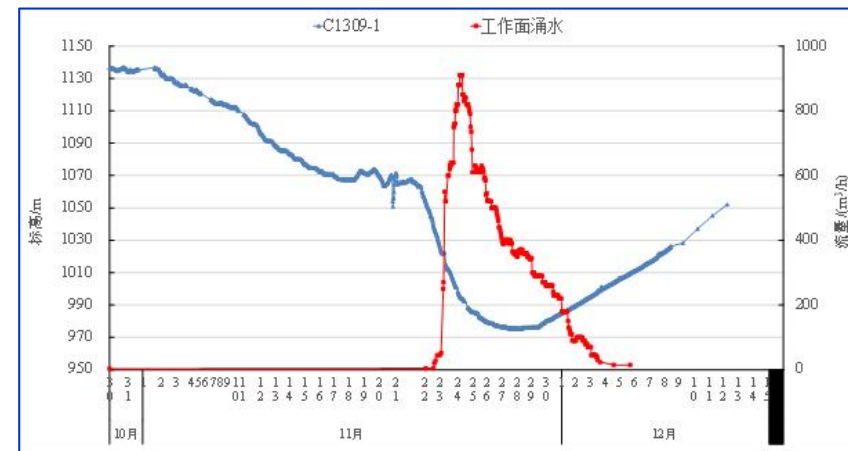
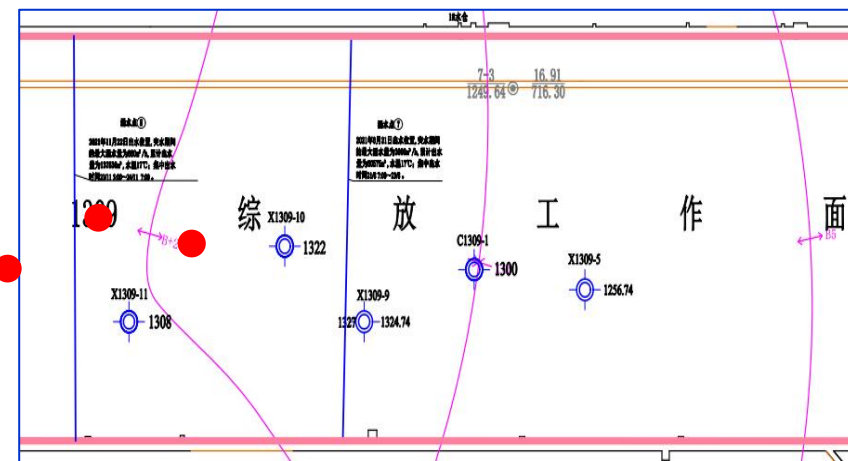
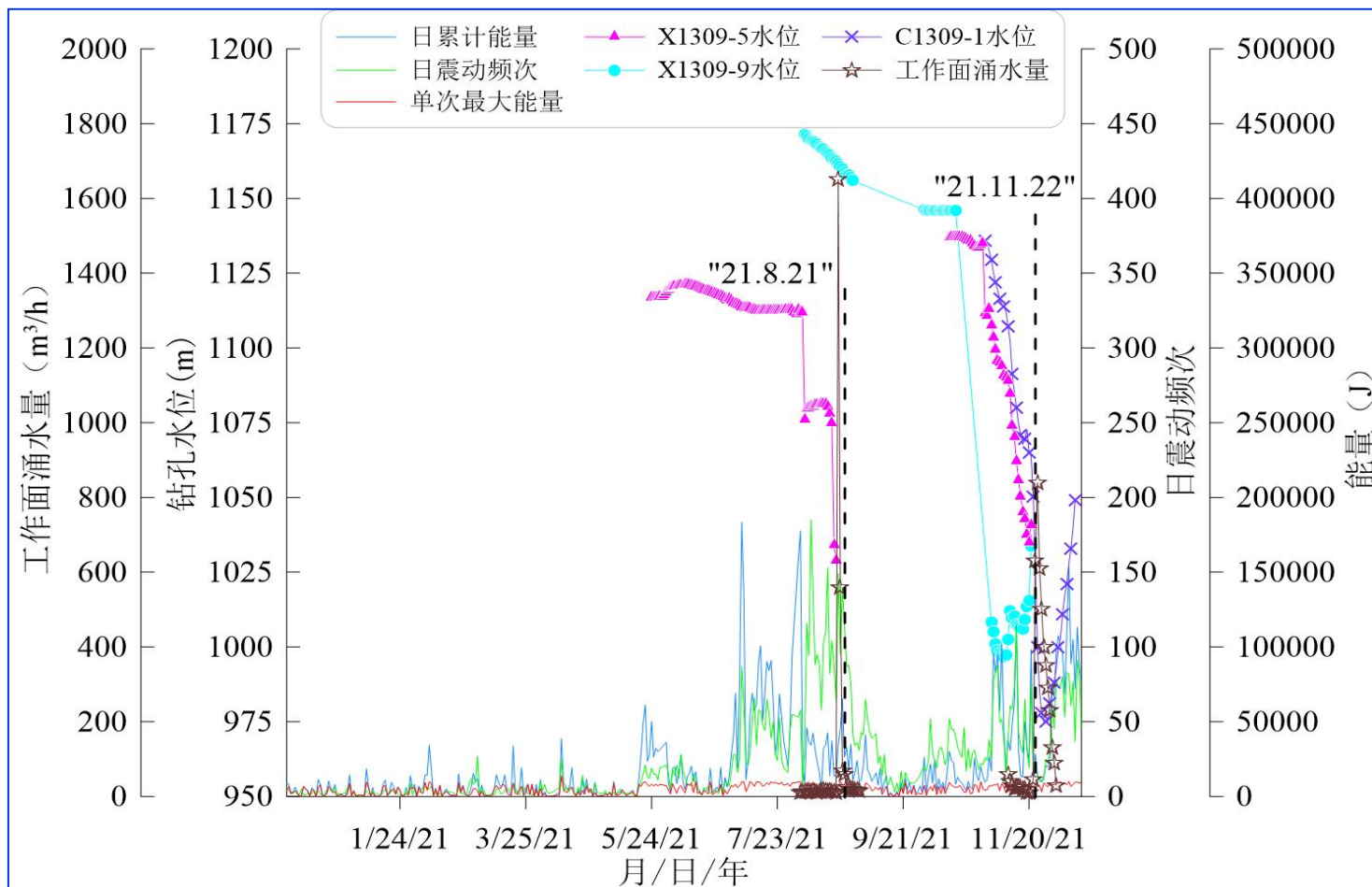


(b) C_3 底界面



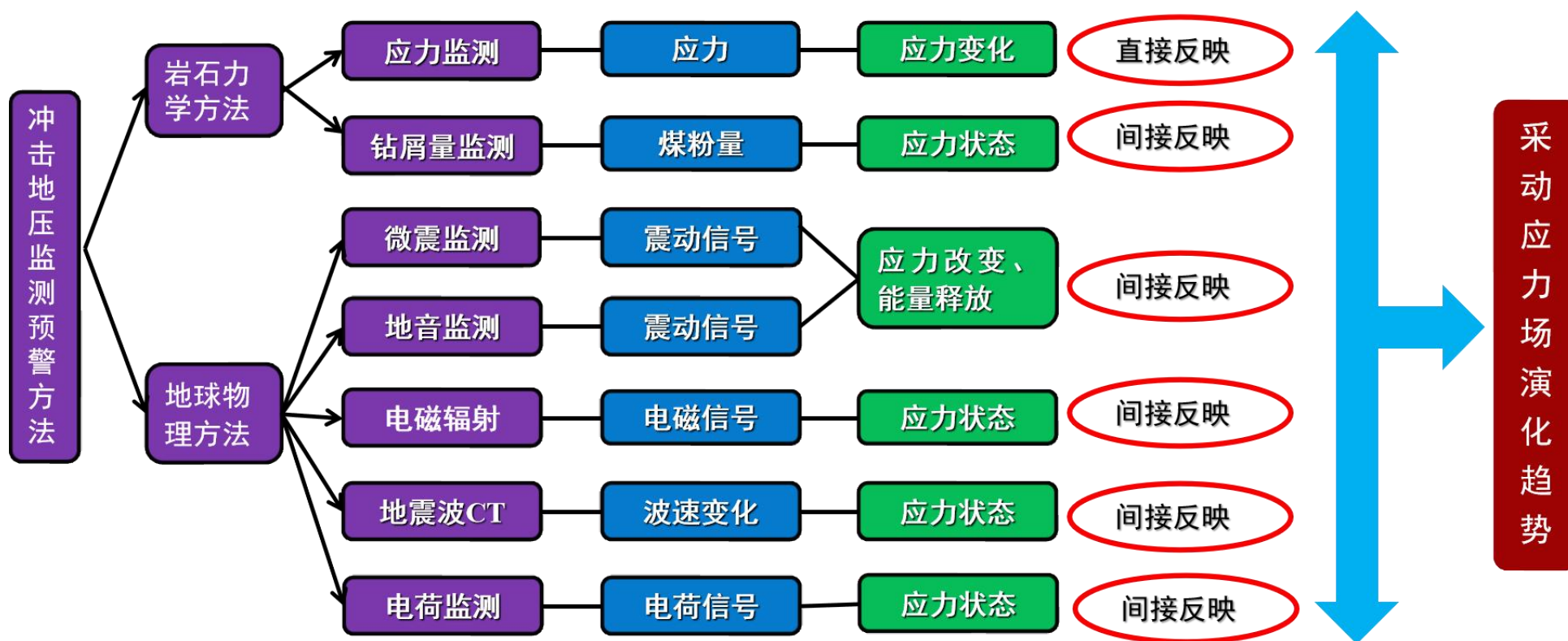
四、隐蔽致灾因素监测方法

突水预警监测



冲击地压监测

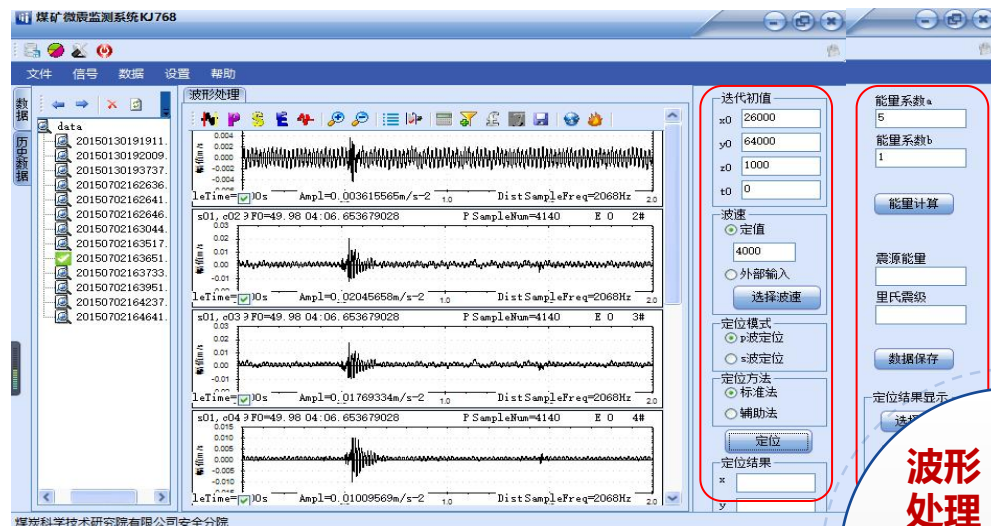
冲击地压、强矿压问题其核心是应力问题，因此冲击地压的监测预警往往是监测煤岩体处于高应力状态下所表现出的特定参量的变化，监测预警就是围绕煤岩体应力的演化趋势展开的。



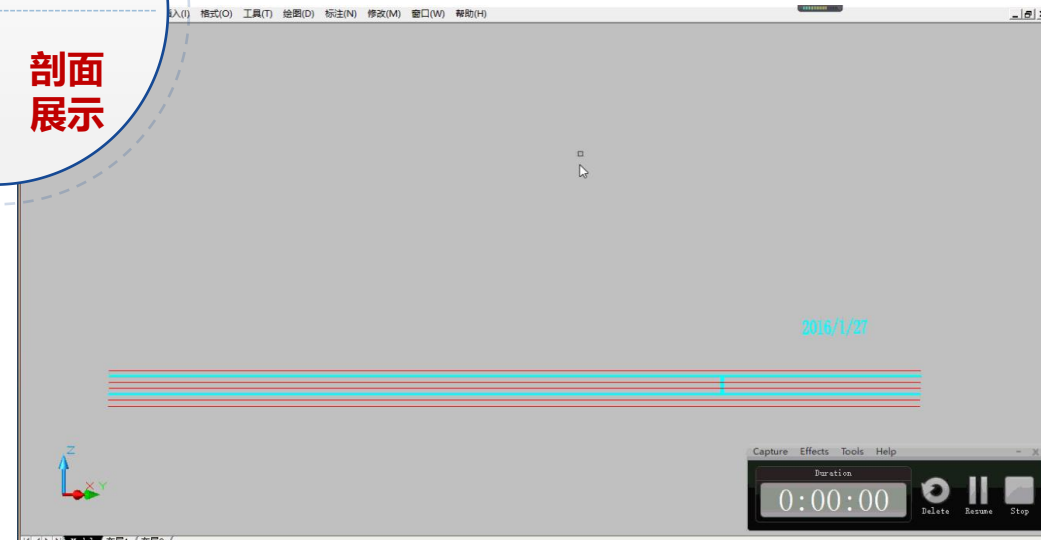
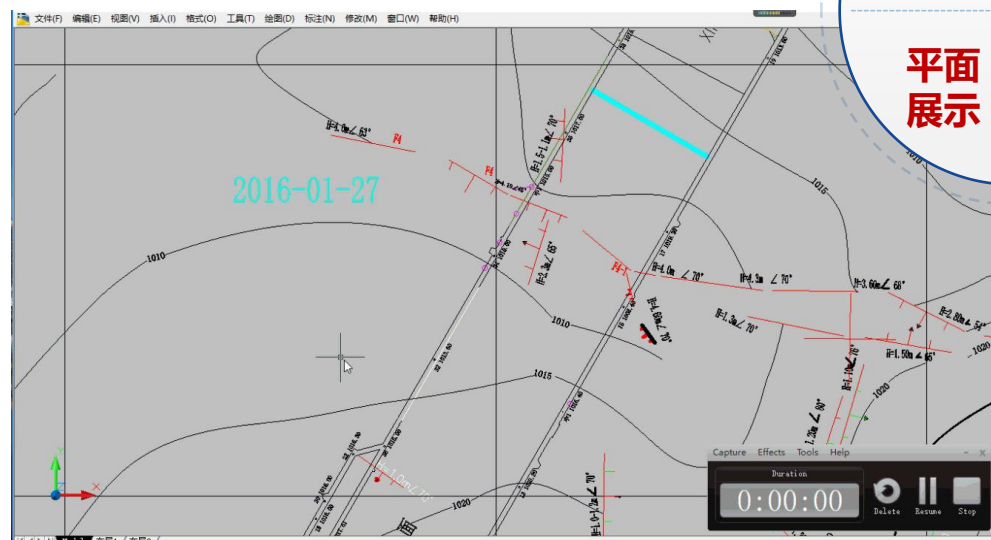
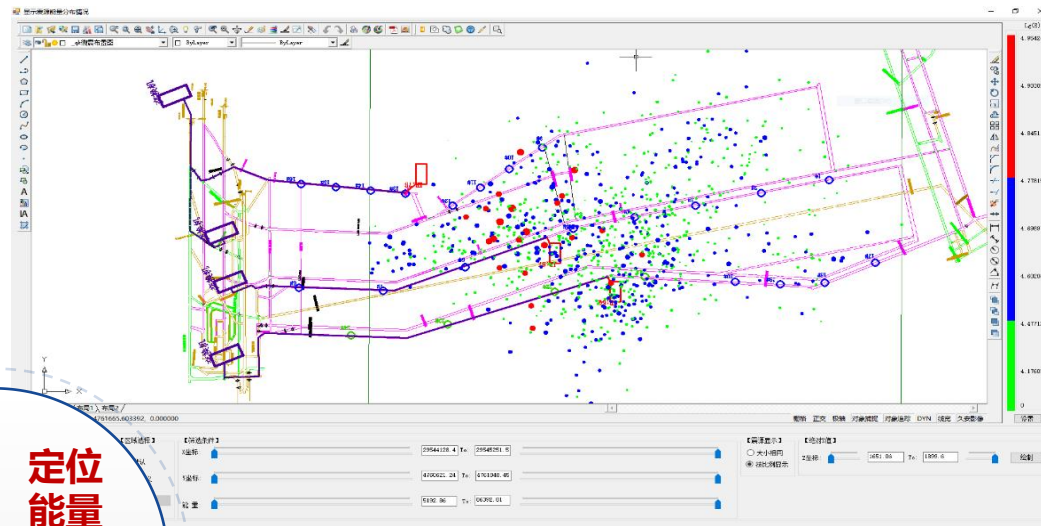


四、隐蔽致灾因素监测方法

冲击地压监测



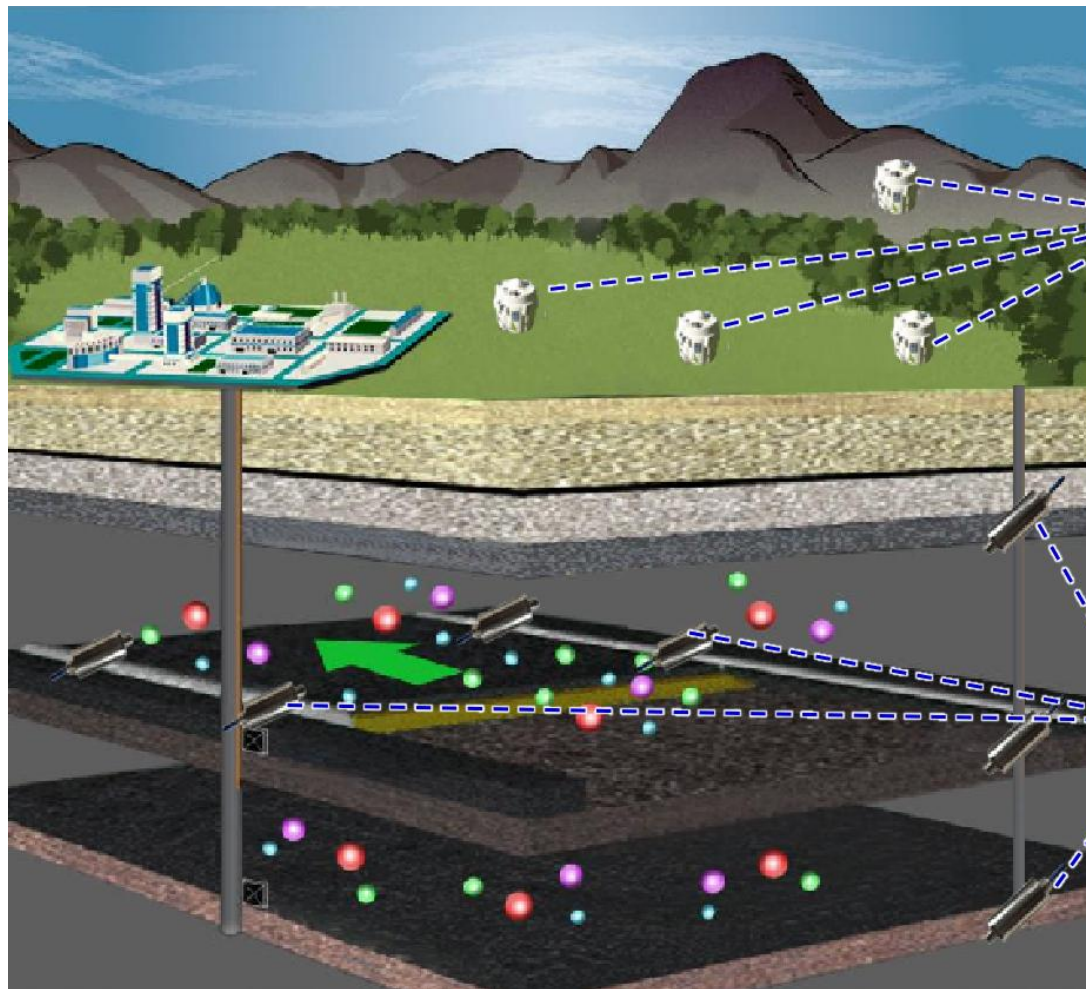
煤炭科学技术研究院有限公司安全分院





四、隐蔽致灾因素监测方法

井上下联合微震矿震一体化监测



短周期密集台阵

1.地面短周期密集台阵, **优化台网空间结构**;

2.井下、钻孔微震监测系统, 监测**近场震**动事件;



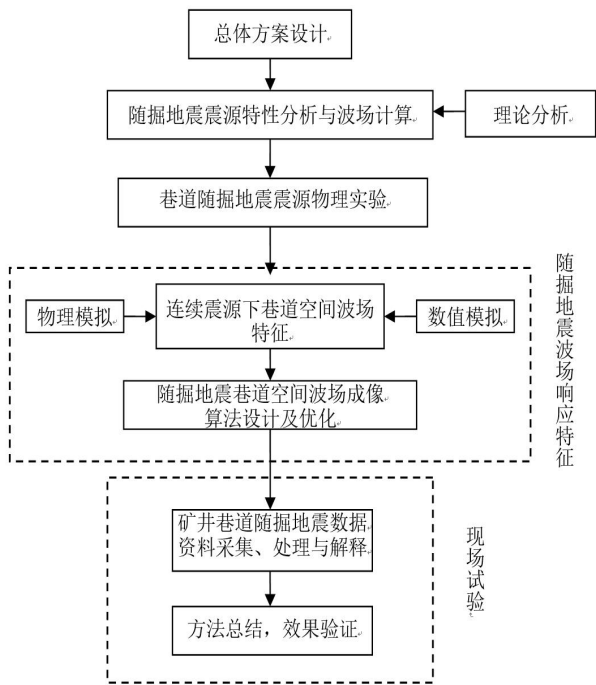
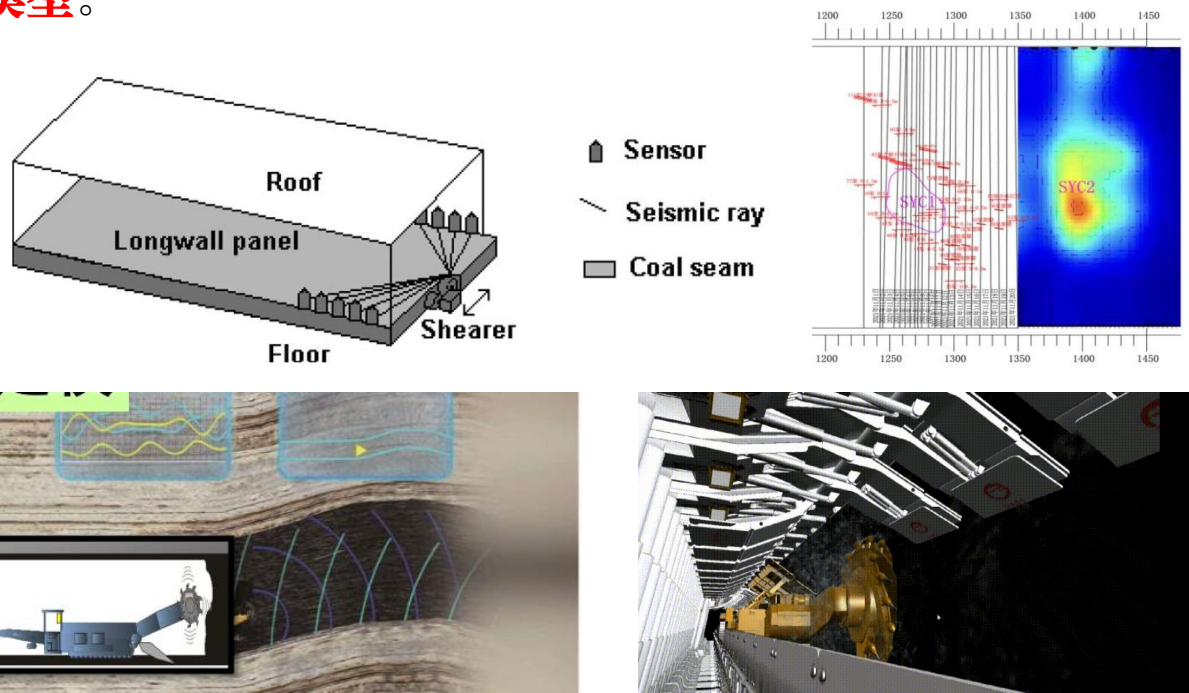
井孔微震监测系统

3.系统参数:
频率范围:
0.1~1500Hz; 灵敏度:
200v/(m/s);
定位误差: **5~8m**;
时间同步: 1 μ s.

地质构造监测

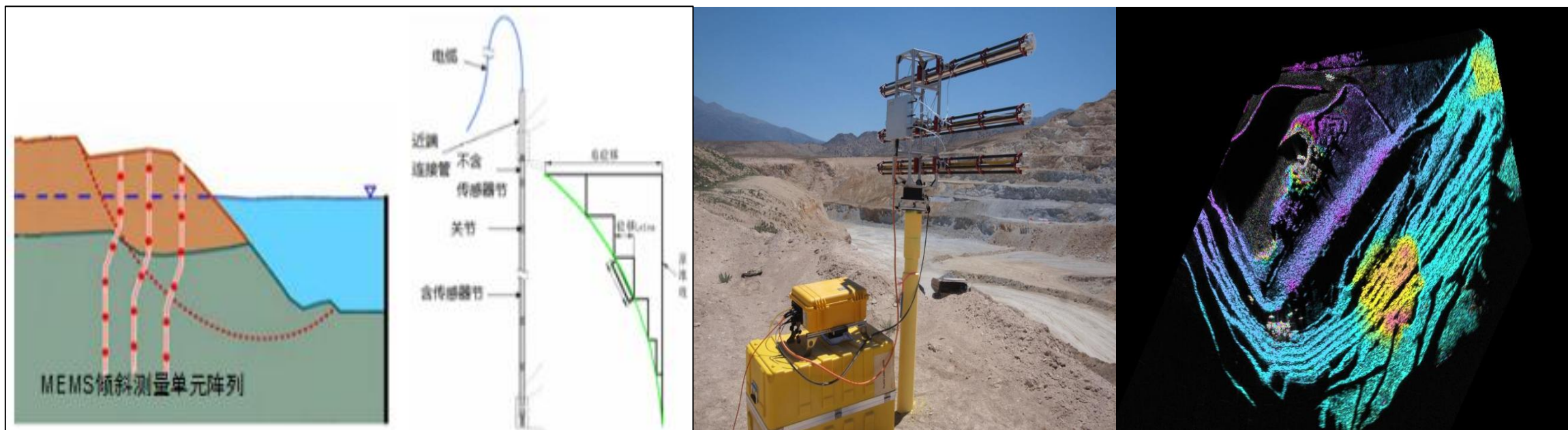
以掘进机和综掘机为震源的巷道随掘随采地震监测系统

随采随掘地震监测技术以掘进机切割煤壁产生的振动信号或采煤机割煤时激发的信号作为震源信号。通过在巷道或者回采工作面两顺槽和孔内布设地震传感器实时接收信号，不再影响煤矿正常的生产活动。利用地震勘探数据实时处理和动态成像技术，实现对煤矿井下掘进工作面前方一定区域或者工作面内部煤层中断层、陷落柱、煤层变薄区等静态地质条件精细探测，随着巷道掘进及工作面回采，实时、不断刷新地质模型。



边坡监测

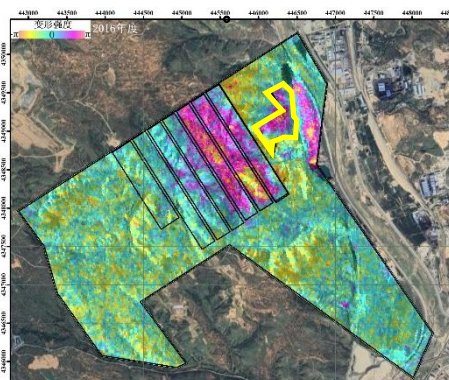
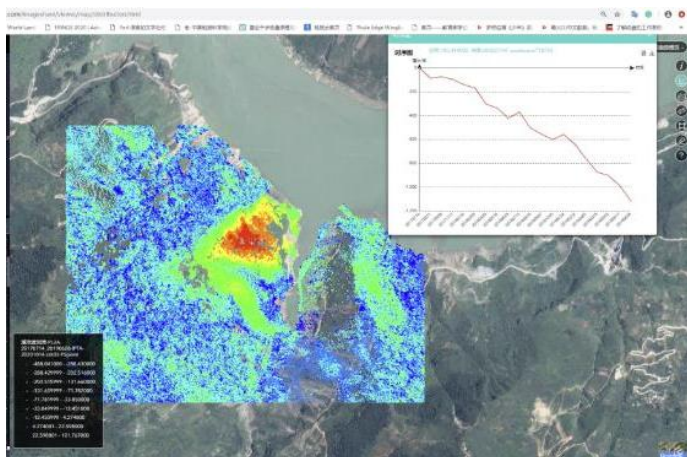
边坡稳定控制与监测预警技术以露天矿山高陡边坡动态稳定控制技术、露井协采边坡变形失稳机制与控制关键技术、露天矿安全风险预控技术为核心，围绕位移场-应力场-渗流场的深度融合，应用北斗（BD2）、地基雷达、InSAR监测、GNSS、惯导测斜井地空一体化监测技术。



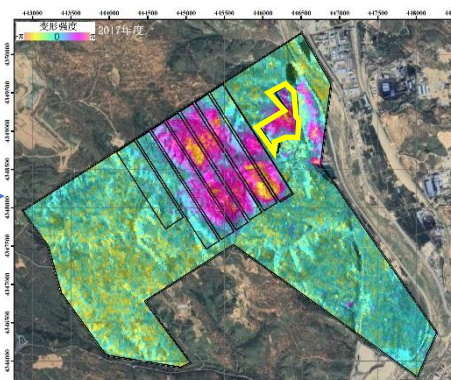
悬顶采空区变形监测

通过可回溯的InSAR变形观测、存档高分辨率卫星DEM以及无人机立体航飞等手段，监测包括地面沉降、塌陷、地裂缝以及长期采掘后地表环境变化，助力研判悬顶采空区的塌陷变形。

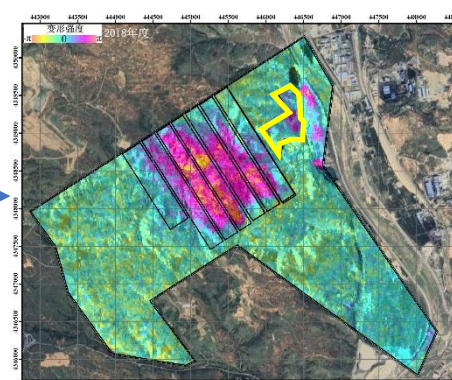
某矿4盘区房柱式采空区于2015年10月~2018年12月期间发生过大面积垮落，经过InSAR监测：在2017年沉降变化最为明显；2018年采空区产生局部未垮落区域沉降变形；2019~2020年，地表产生较为轻微的残余变形，与矿方描述相符



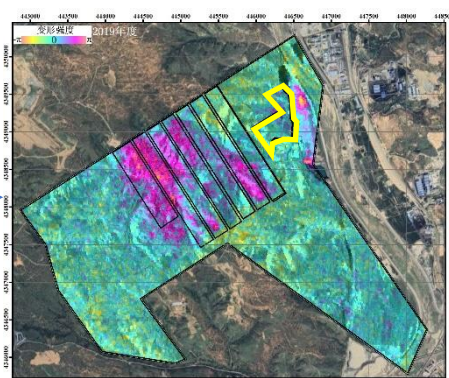
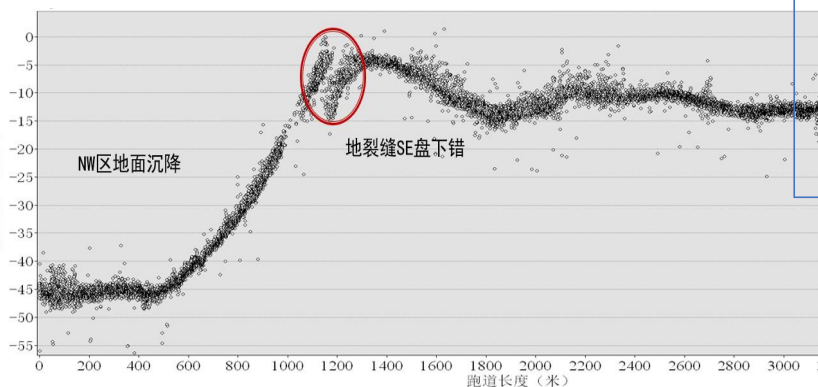
2016年



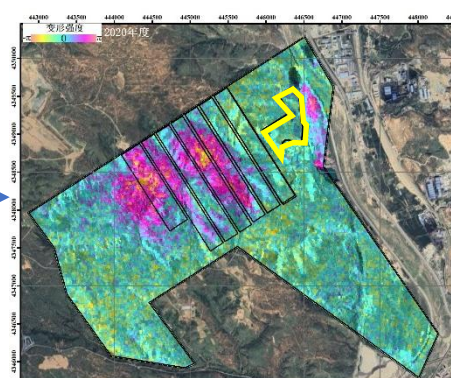
2017年



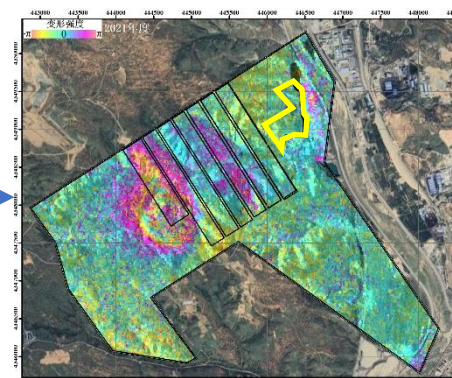
2018年



2019年



2020年



2021年



中国煤炭科工集团
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE



谢谢大家 欢迎指正

联系电话：13910463378