个人简介

马海涛，博士，正高级工程师

国家**“万人计划”**科技创新领军人才，国务院特殊津贴专家，北京市朝阳区凤凰计划高层次人才获得者。中国安全生产科学研究院正高级工程师，国家安全生产应救援勘测队队长，中安国泰（北京）科技发展有限公司执行董事、书记、总经理。

十三五、十四五国家重点研发计划**项目负责人**、首届**钱七虎奖**获得者、**北京市科学技术一等奖**、**中国优秀专利奖**、冶金矿山科学技术奖特等奖、**国家安全生产专家组成员**。长期从事安全生产、灾害防治等方面的研究工作，牵头研发了我国首台**边坡雷达**装备。参加**国务院事故调查和重特大灾害救援30**余次，承担国家和省部级科技项目**40**余项，获国家专利**30**余项。发表论文**73**篇，出版著作2部。获得省部级科技奖励**13**项。

应急教援勘测队

非煤露天矿山高陡边坡安全风险现状与监测预警技术进展

中国安全生产科学研究院

国家安全生产应急救援勘测队

马海涛　队长/正高级工程师/博士

2024年4月

汇报提纲

一 非煤矿山高陡边坡情况

二 边坡安全监测技术现状

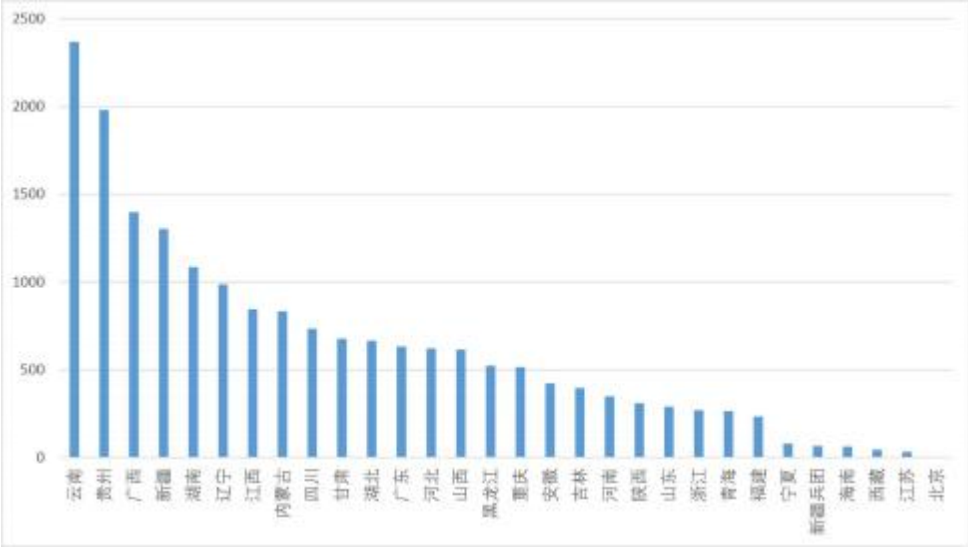
三 边坡监测预警技术发展

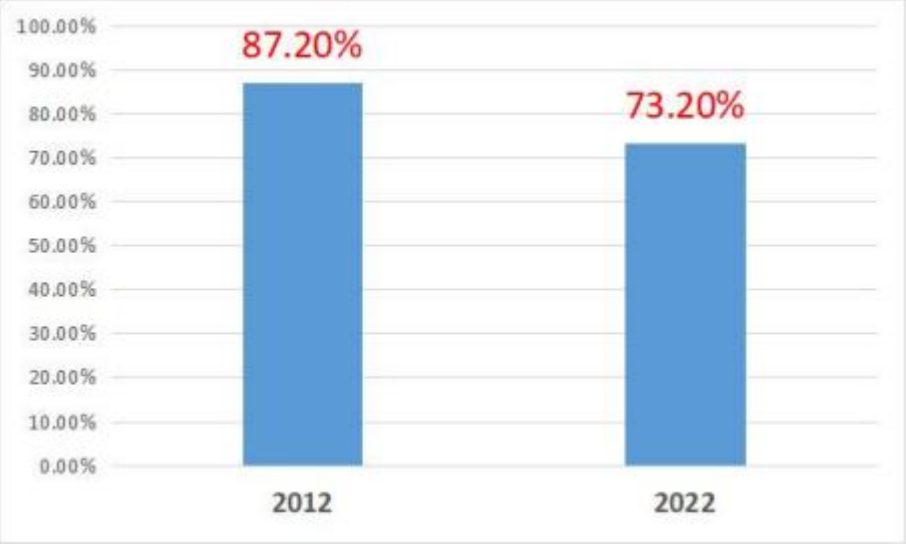
一、非煤矿山高陡边坡情况

（一）金属非金属露天矿山情况

1. 数量大幅下降，但高陡边坡数量持续增长。

截至2023年3月15日，全国金属非金属露天矿山18597座，总数比2012年下降了61.8%，占比下降14个百分点。

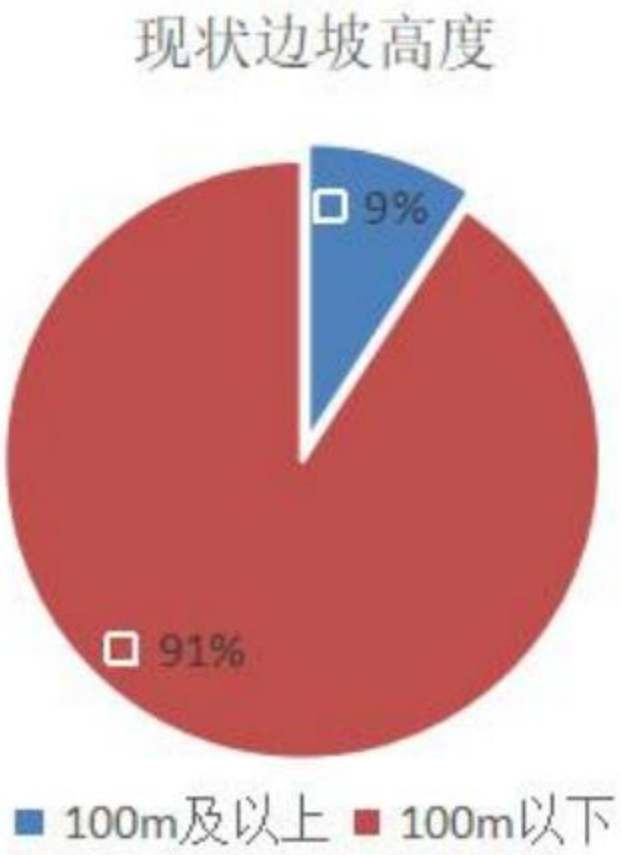




一、非煤矿山高陡边坡情况

现状高度100m以上的1716座，150m以上645座，200m以上的336处。全国最高的三座：

- 西藏巨龙铜业有限公司驱龙铜多金属矿900m
- 福建紫金山金铜矿846m
- 西藏玉龙铜业股份有限公司大卓玛采场810m

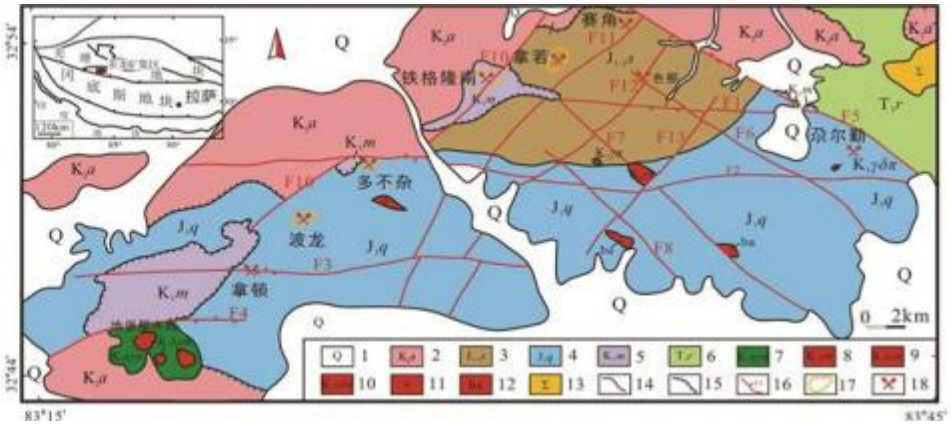


一、非煤矿山高陡边坡情况

设计高度超200m矿山：

2007年：26座，最大边坡角大于42°的占比为73%。

2023年：336座，最大边坡角大于42°的占比为92%。



西藏阿里改则县铁格隆南金铜矿露天开采边坡设计高度达1110m，将成为我国矿山第一高坡。

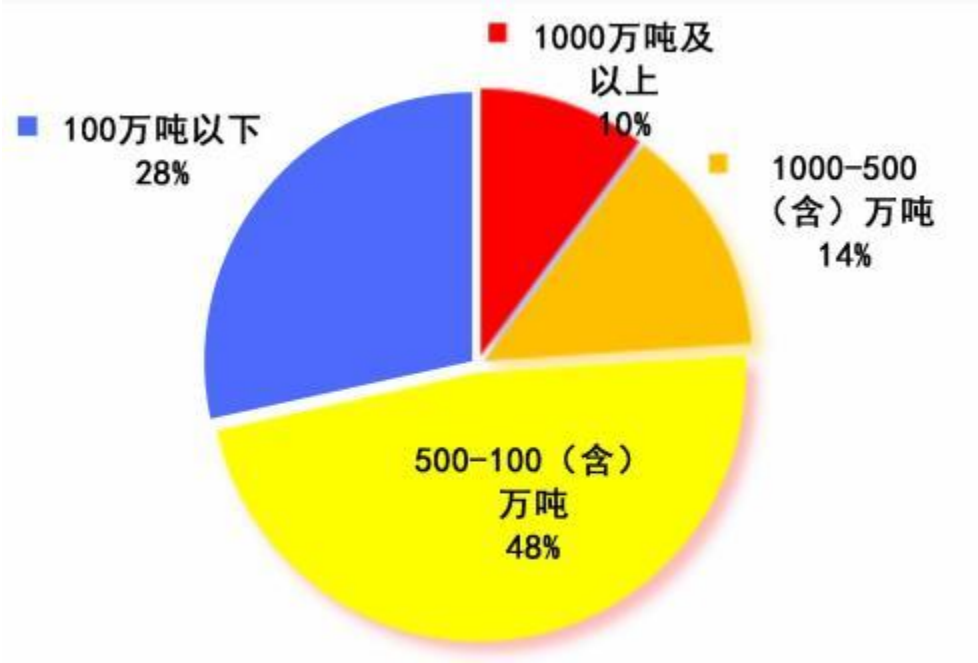
一、非煤矿山高陡边坡情况

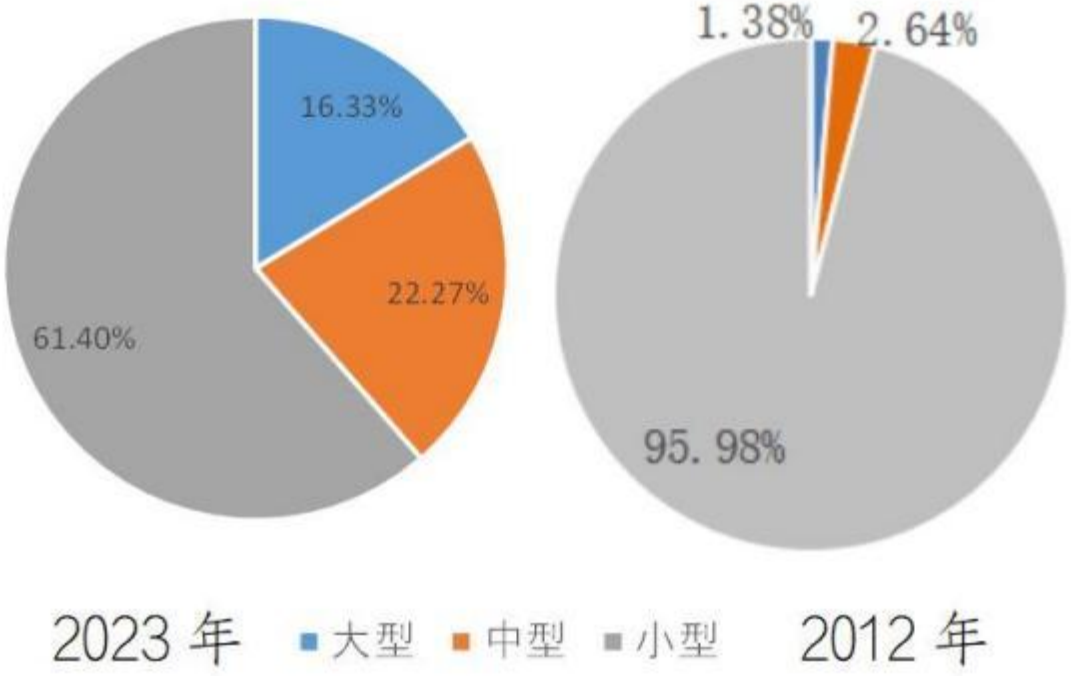
2. 规模显著提升，但小矿依然较多。

非煤露天矿山以小采石场、小矿山为主体的产业结构仍未发生根本性改变。

2007年：超过1000万吨的矿山仅5座。

2023年：超过1000万吨的矿山34座。

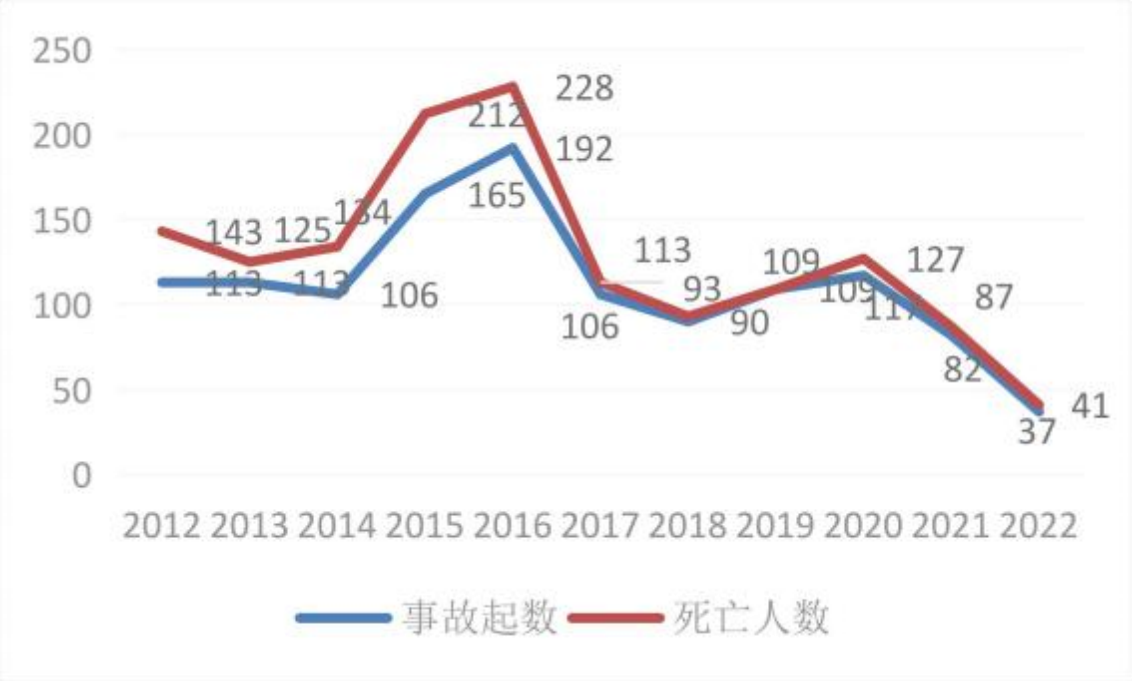


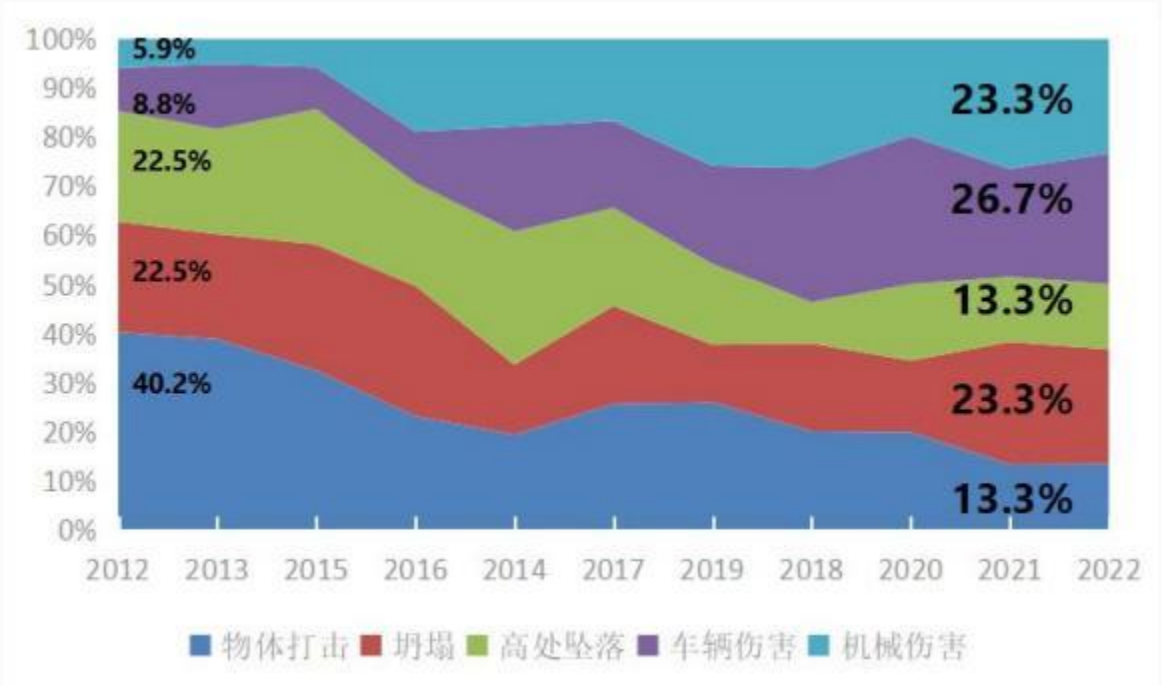


（二）事故情况

2012-2022年金属非金属露天矿山事故总体情况：事故总量波动下降，重特大事故得到有效遏制：自2009年以来已经连续13年未发生重特大事故，

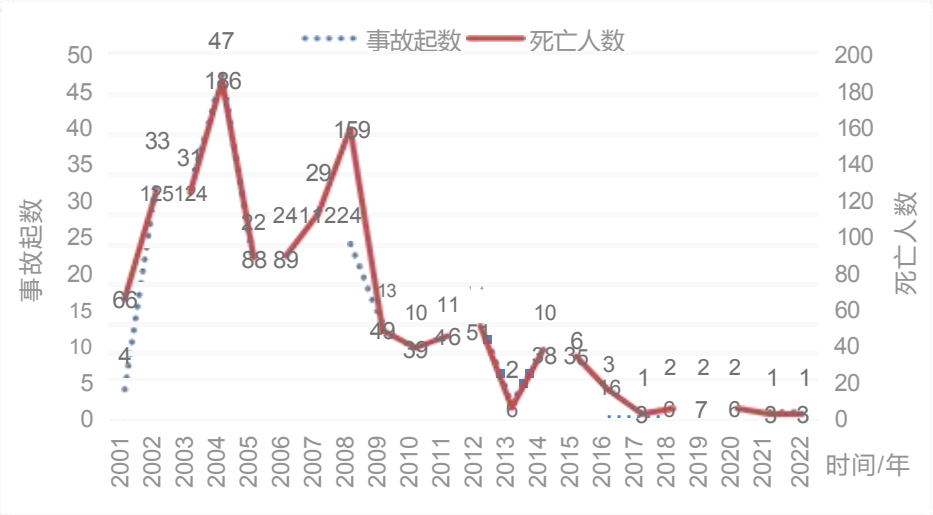
在一般事故中，车辆伤害和机械伤害事故的占比例由14.7%增长至50%





一、非煤矿山高陡边坡情况

边坡坍塌在金属非金属露天矿山重大事故中占比88.8%，在较大及以上事故中占比67.1%，死亡人数的占比72.7%



近20年发生14起露天矿山重特大事故

1、3起为火药爆炸事故

2、11起边坡坍塌事故：

——1起排土场滑坡事故

——10起采场滑坡事故。

10起采场边坡坍塌事故原因：均为无设计或未按设计开采导致边坡超高超陡，稳定性差，诱发滑坡。

汇报提纲

一 非煤矿山高陡边坡情况

二 边坡安全监测技术现状

三 边坡监测预警技术发展

《国家矿山安全监察局关于开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作的通知》

矿安〔2023〕119号

国家矿山安全监察局文件

矿安〔2023〕119号

国家矿山安全监察局关于开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作的通知

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团矿山安全监管部门，国家矿山安全监察局各省局局，有关中央企业：

为深入贯彻落实习近平总书记关于安全生产重要指示批示精神，深刻吸取内蒙古阿拉善新井煤业有限公司露天煤矿"2·22"特别重大坍塌事故教训，有效防范和遏制露天矿山重特大事故发生，经研究，国家矿山安全监察局决定开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作。现将有关事项通知如下：

一、工作目标

坚持人民至上、生命至上，深刻吸取近期露天矿山事故教训，

— 1 —

二、边坡安全监测技术现状

工作目标：全国露天矿山安全生产风险监测预警系统（3年）

实现露天矿山重点区域、关键环节重大安全风险的识别监测和精准研判

边坡监测系统

三维地质

爆破风险管控系统

车辆风险管控系统（无人驾驶系统）

关键装备监测

边坡坍塌事故占露天矿山较大以上事故死亡人数的72.7%

“重点突出、急用先行”，2023首先建设矿山边坡监测系统并开展联网

二、边坡安全监测技术现状

建设范围：

1.所有正常生产建设的露天煤矿采场和排土场边坡；

2.所有正常生产建设的现状高度150米及以上的金属非金属露天矿山采场边坡；

3.所有现状堆置高度150米及以上的金属非金属露天矿山在用排土场的边坡。

全国露天矿山约 2万座：

类 别	数 量	正常生产	2023年建设
露 天 煤 矿	356	251	251
金属非金属露天矿山	18597	7147	645

二、边坡安全监测技术现状

露天矿山边坡监测系统建设现状

所有边坡现状200米以上的金属非金属露天矿山已建设了边坡监测系统，但绝大部分矿山边坡监测系统覆盖度不足、有效性较差。

例如：2•22事故新井露天煤矿，未按规定建设边坡监测系统。按设计需49个测点，实际仅7个，且安装在滑坡风险区外。

二、边坡安全监测技术现状

现行标准规范：

- 《非煤露天矿边坡工程技术规范》（GB 51016-2014）
- 《金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范》（AQ/T 2063-2018）

UDC

中华人民共和国国家标准

P

GB 51016－2014

非煤露天矿边坡工程技术规范

Technical code for non-coal open-pit mine slope engineering

2014－07－13 发布

2015－05－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

AQ

中华人民共和国安全生产行业标准

AQ/T 2063—2018

金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范

Technical specification for safety monitoring of steep slope of metal and nonmetal open pit mine

2018-05-22 发布

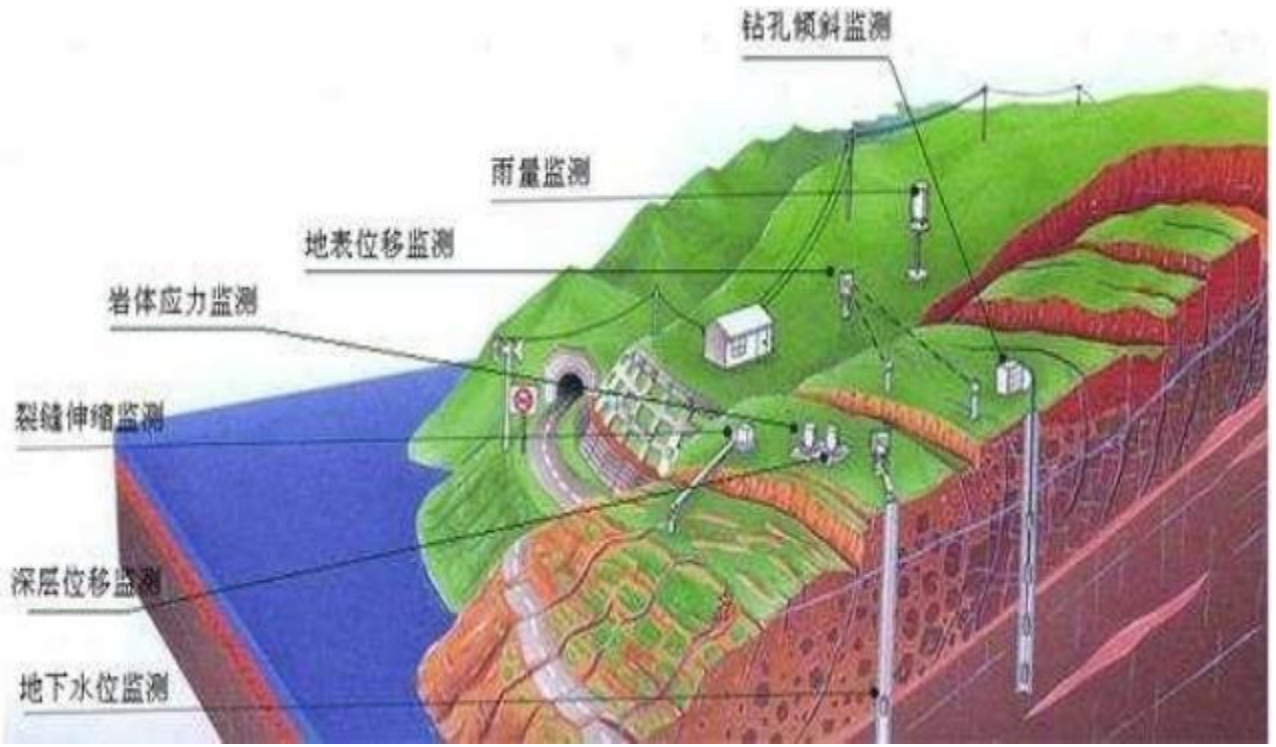
2018-12-01 实施

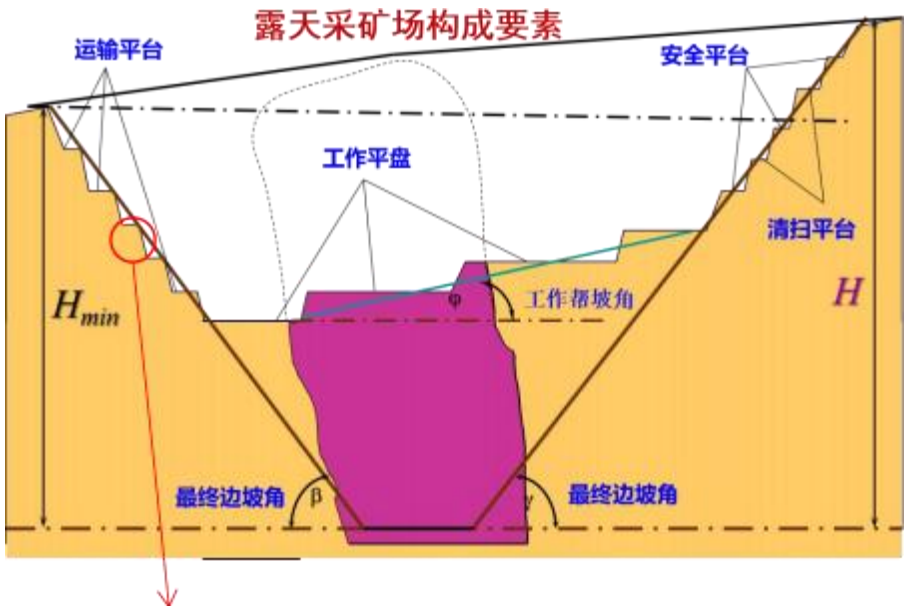
中华人民共和国应急管理部 发布

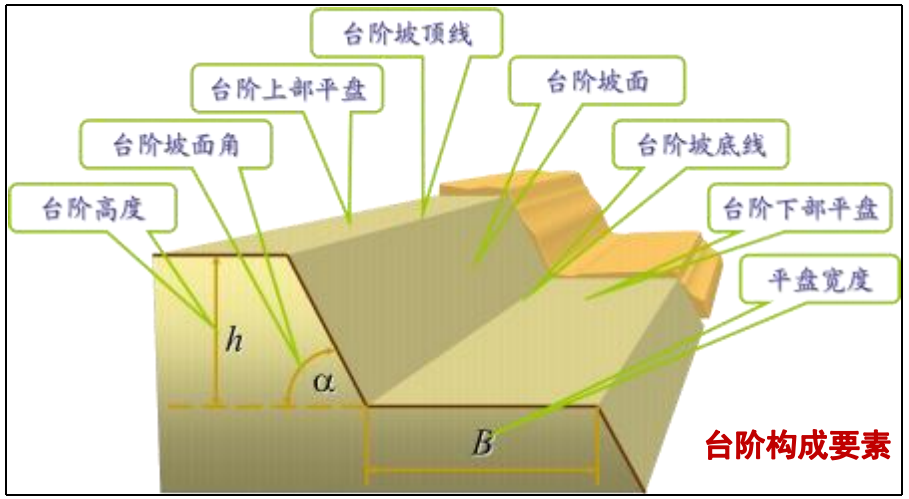
二、边坡安全监测技术现状

建设内容

监测指标：**表面变形、视频图像**、内部变形、应力、地下水、爆破振动、降雨量等。







二、边坡安全监测技术现状

露天矿山在用的边坡在线监测技术：

监测指标	监测设备	技术类型	基本原理	适用条件	安装条件	优点	缺点	应用情况
表面位移	GNSS	接触式点监测	全球定位导航	关键部位	施工测桩	数据可靠性高	测桩受限	大量
	边坡雷达	遥感式面监测	微波干涉	通视长大边坡	施工监测房	大范围高精度	设备贵	部分
	测量机器人	接触式点监测	红外测距	通视长大边坡	施工测桩和监测房	数据可靠性高	测桩受限	较少
	激光扫描仪	遥感式面监测	激光测距	通视近距边坡	施工监测房	三维实时建模	环境误差大	较少
	InSAR卫星	遥感式面监测	微波干涉	仅作为辅助监测	无需安装	不依赖设备	不能实时	较少
内部位移	钻孔倾斜仪	埋置式点检测	滑动面测斜	关键部位靠帮边坡	施工钻孔	灵敏度高	施工量大	部分
裂缝变形	裂缝计	接触式点监测	裂缝位移	有贯通性裂缝	简易	廉价	临滑安装	较多
应力监测	锚杆应力计	埋置式点监测	支护变形受力	关键部位靠帮边坡	施工钻孔	数据灵敏	施工量大	部分
爆破震动	爆破震动仪	接触式点监测	震动加速度	与爆破作业同步	简易	控制爆破影响	不能实时	部分
水文监测	水位计	埋置式点监测	地下水位变化	靠帮边坡	施工钻孔	数据可靠性高	施工量大	较多
	渗压计	埋置式点监测	地下渗流力	水文复杂靠帮边坡	施工钻孔	灵敏度高	布点难	较少
	雨量计	接触式点监测	降雨强度	仅辅助监测	简易	廉价	预警难	较多
视频监控	摄像云台	遥感式面监测	光学成像	通视	简易	廉价	预警难	大量

主要监测设备使用率：GNSS（96%）、高清摄像头（76%）、边坡雷达（23%）

二、边坡安全监测技术现状

边坡监测不同于瓦斯监测：地质差异大、影响因素多、技术手段多

基本原则：分区评估、分级监测、分阶段实施

高度等级指数H	分类名称	高度
1	超高边坡	大于500m
2	高边坡	200m~500m
3	中高边坡	100m~200m
4	低边坡	小于100m

坡度等级指数A	分类名称	总边坡角度
1	陡坡	大于42°
2	斜坡	30° ~42°
3	缓坡	小于30°

地质条件指数G	水文地质条件	工程地质条件
1	复杂	复杂
2	中等	中等
3	简单	简单

$$D=H+A+G$$

D为变形指数 H为高度等级指数 A为坡度等级指数 G为地质条件指数

滑坡风险等级指数S	安全系数F	
	正常工况	非正常工况
1	F<1.1	F<1.05
2	1.1≤F<1.2	1.05≤F<1.15
3	1.2≤F<1.3	1.15≤F<1.25
4	1.3≤F	1.25≤F

安全监测等级	变形指数D	滑坡风险等级S
一级	3或4	1
二级	5或6	2
三级	7或8	3
四级	9或10	4

监测等级	变形监测			采动应力监测[b]	爆破震动	水文气象监测			视频监控
	表面位移	内部位移	边坡裂缝[a]		质点速度	渗透压力[c]	地下水位[c]	降雨量	
一级	●	●	○	●	●	●	●	●	●
二级	●	○	○	○	●	○	●	●	●
三级	●	○	○	○	○	○	○	●	●
四级	○	×	○	×	○	×	×	○	○

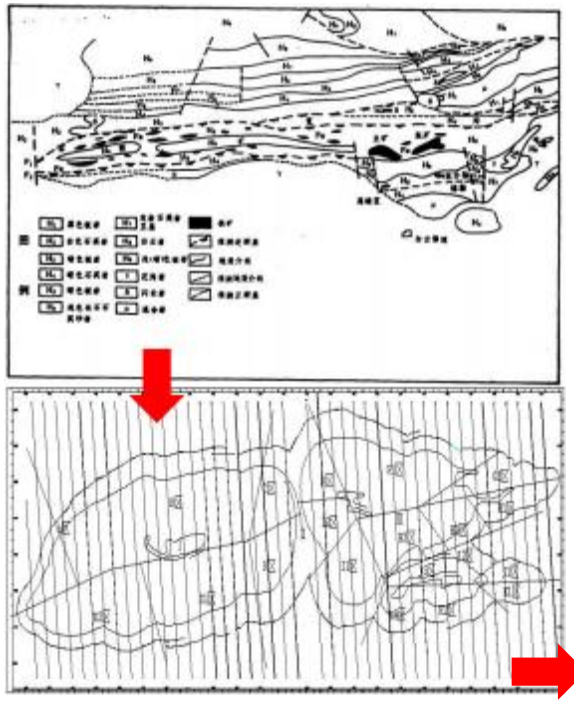
《金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范》AQ/T 2063-2018

二、边坡安全监测技术现状

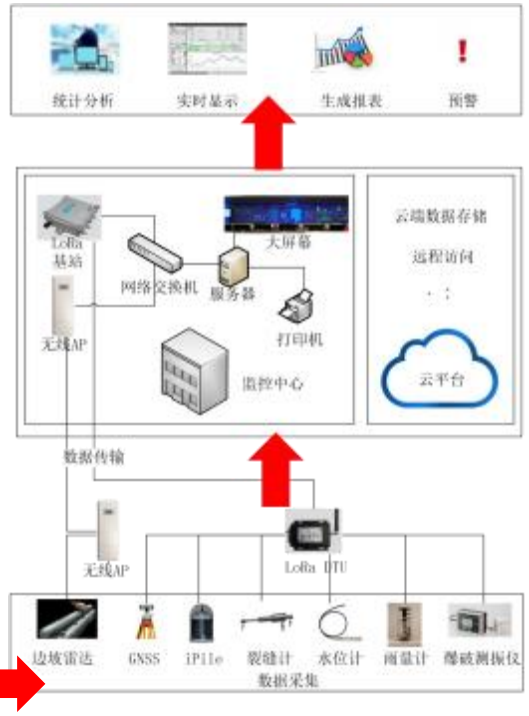
建设流程

- 边坡分区
- 划分监测等级
- 确定监测项
- 选择监测设备
- 拓扑网络系统
- 现场安装施工
- 设备试运行
- 验收

设　计



边坡分区		亚区	总高度（m）	边坡倾角（°）	工程地质条件	水文地质条件	正常工况的安全系数	非正常工况的安全系数	安全监测等级
西采场	A		112	24	中等	中等	2.093	1.756	三
	B		128	19	中等	复杂	1.977	1.532	三
	C		176	31	中等	中等	2.140	1.803	三
	D		179	28	中等	简单	1.200	1.055	二
	E	E1	172	25	中等	简单	2.171	1.837	三
		E2	114	32	中等	简单	2.606	2.205	三
北采场	F		128	26	中等	中等	1.772	1.306	三
	G	G1	166	25	中等	复杂	1.497	1.103	三
		G2	153	25	中等	复杂	2.088	1.605	三
	H	H1	97	33	中等	简单	1.307	1.058	二
		H2	94	21	中等	简单	1.714	1.308	四
		H3	151	31	中等	简单	稳定	稳定	三
	I	I1	86	20	中等	简单	1.812	1.234	四
		I2	74	21	中等	简单	2.038	1.595	四
南采场	J	J1	80	47	中等	简单	2.418	2.037	三
		J2	106	26	中等	简单	1.992	1.449	三
		J3	78	17	中等	简单	稳定	稳定	四
	K	K1	96	36	中等	简单	2.294	1.871	三
		K2	111	41	中等	简单	2.034	1.590	三
		K3	85	29	中等	简单	稳定	稳定	四



边坡监测系统应当根据露天矿山边坡勘察报告、边坡稳定性研究报告和开采设计等资料，结合采场边坡工程地质复杂程度、水文地质条件、生产和揭露的地质情况及排土场基底地质条件、排弃方式、剥离物构成等情况，分区评估边坡稳定性现状，明确各分区内边坡安全监测等级，按照最终边坡境界、不同时期和不同开采要求进行边坡监测方案总体设计，并按设计要求分阶段进行建设。

二、边坡安全监测技术现状

设计要求

1.未开展边坡监测系统建设的露天矿山企业，要委托原（安全设施）设计单位，或具备相应设计资质的单位进行边坡监测系统设计，并组织专家评审通过后按设计实施及验收；

2.已开展边坡监测系统建设但不符合本文件要求的，要补充设计或重新设计。

中华人民共和国
安全生产法

（2021 年修正）

应急管理部规章

建设项目安全设施“三同时”监督管理办法

（2010年12月14日国家安全生产监督管理总局令第36号公布，自2011年2月1日起施行；根据2015年4月2日国家安全生产监督管理总局令第77号修正）

第一章 总则

第一条 为加强建设项目安全管理，预防和减少生产安全事故，保障从业人员生命和财产安全，根据《中华人民共和国安全生产法》和《国务院关于进一步加强企业安全生产工作的通知》等法律、行政法规和规定，制定本办法。

第二条 经县级以上人民政府及其有关主管部门依法审批、核准或者备案的生产经营单位新建、改建、扩建工程项目（以下统称建设项目）安全设施的建设及其监督管理，适用本办法。

法律、行政法规及国务院对建设项目安全设施建设及其监督管理另有规定的，依照其规定。

第三条 本办法所称的建设项目安全设施，是指生产经营单位在生产经营活动中用于预防生产安全事故的设备、设施、装置、构（建）筑物和其他技术措施的总称。

第四条 生产经营单位是建设项目安全设施建设的责任主体。建设项目安全设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用（以下简称“三同时”）。安全设施投资应当纳入建设项目概算。

第五条 国家安全生产监督管理总局对全国建设项目安全设施“三同时”实施综合监督管理，并在国务院规定的职责范围内承担有关建设项目安全设施“三同时”的监督管理。

国家矿山安全监察局
National Mine Safety Administration

首页 机构 新闻 公开 服务 互动

首页 > 政府信息公开 > 法定主动公开内容 > 政策法规 > 部门规章 > 煤矿安监

煤矿建设项目安全设施监察规定

（根据2015年6月8日国家安全生产监督管理总局令第81号修正）

第一章 总则

第一条 为了规范煤矿建设工程安全设施监察工作，保障煤矿安全生产，根据安全生产法、煤矿安全监察条例以及有关法律、行政法规的规定，制定本规定。

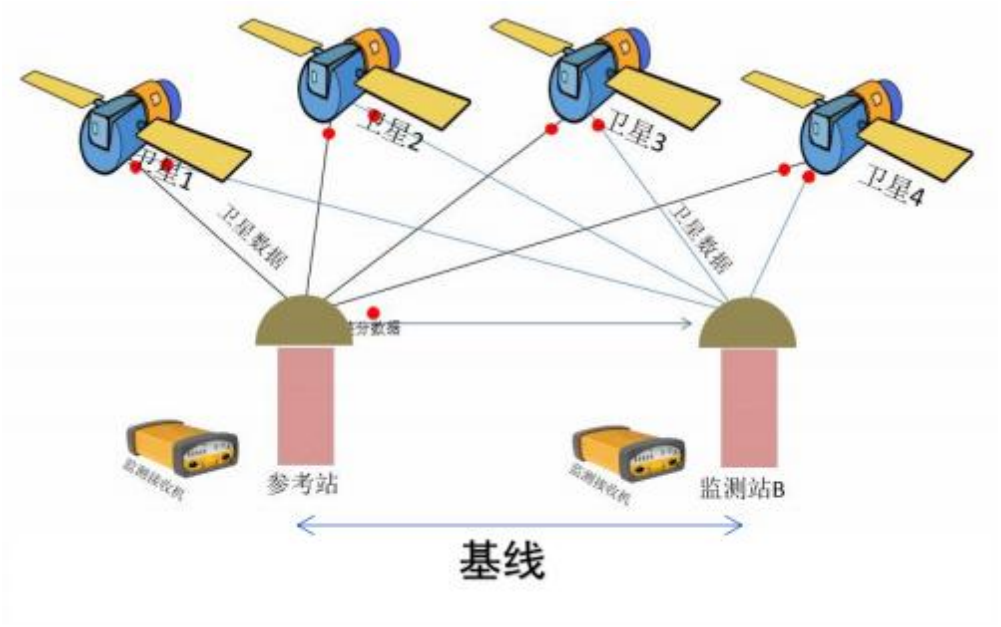
第二条 煤矿安全监察机构对煤矿新建、改建和扩建工程项目（以下简称煤矿建设项目）的安全设施进行监察，适用本规定。

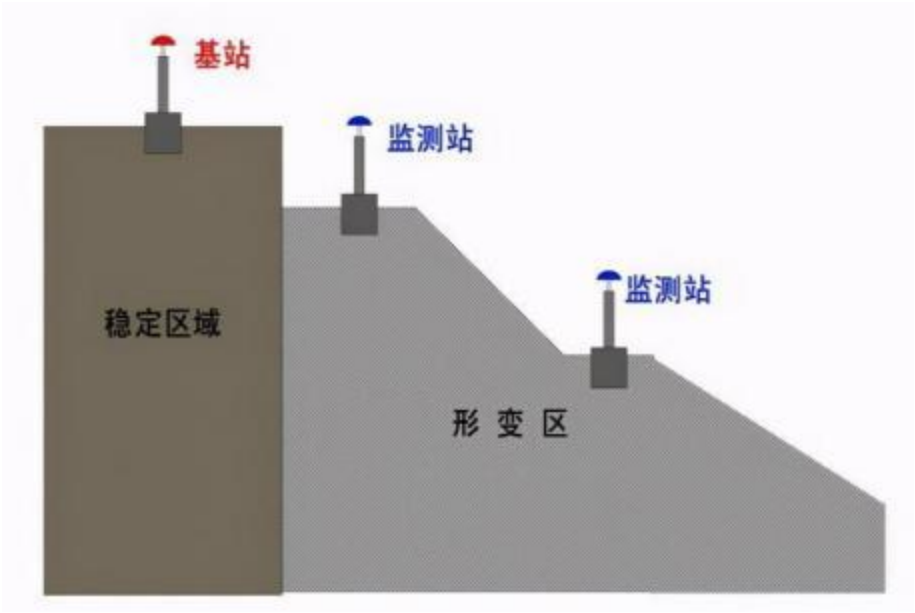
第三条 煤矿建设项目应当进行安全评价，其初步设计应当按规定编制安全专篇。安全专篇应当包括安全条件的论证、安全设施的设计等内容。

监测技术

1.全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，GNSS）

能在地球表面或近地空间的任何地点为用户提供全天候的3维坐标和速度以及时间信息的空基无线电导航定位系统，例如中国的北斗卫星导航系统（BDS）



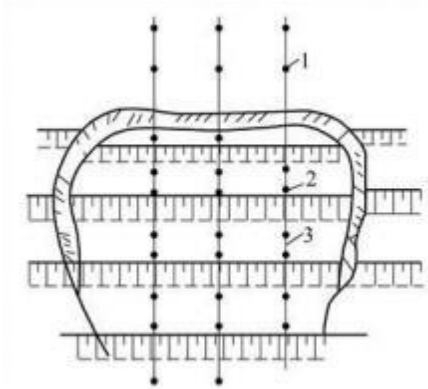


监测技术

1.全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，GNSS）

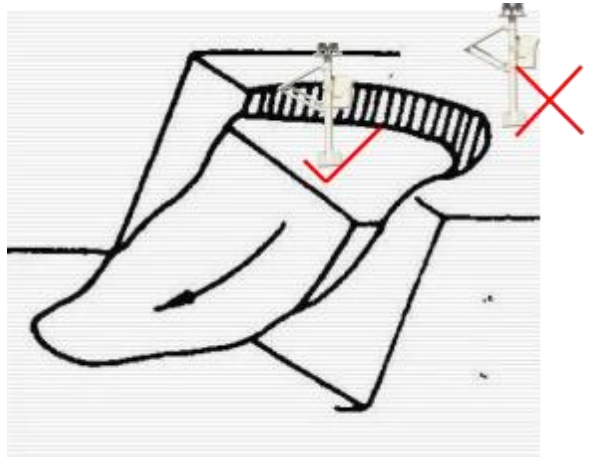
监测网度设置原则：不可接受的滑坡量上限，一般为10万立方米

- 按照GB 51214-2017和AQ/T 2063-2018中相关条款要求布设；
- 坡顶应设监测点，安装位置距离坡顶线不大于30米；
- 年度评价鉴定为不稳定的边坡，监测线间距不大于100米，测点垂直距离不大于50米。



露天矿边坡观测线的布设

1—控制点　2—工作点　3—观测线



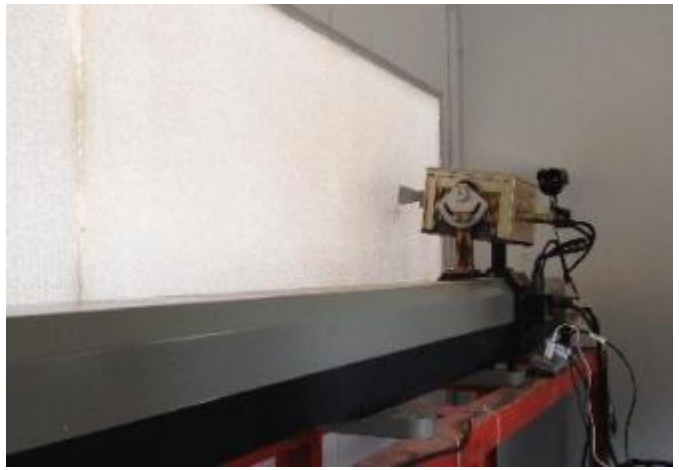
- 南方多雨多云地区不应只采用太阳能供电
- 北方沙尘大风地区应提高设备防护等级
- GNSS设备验收前应进行防雷检测

监测技术

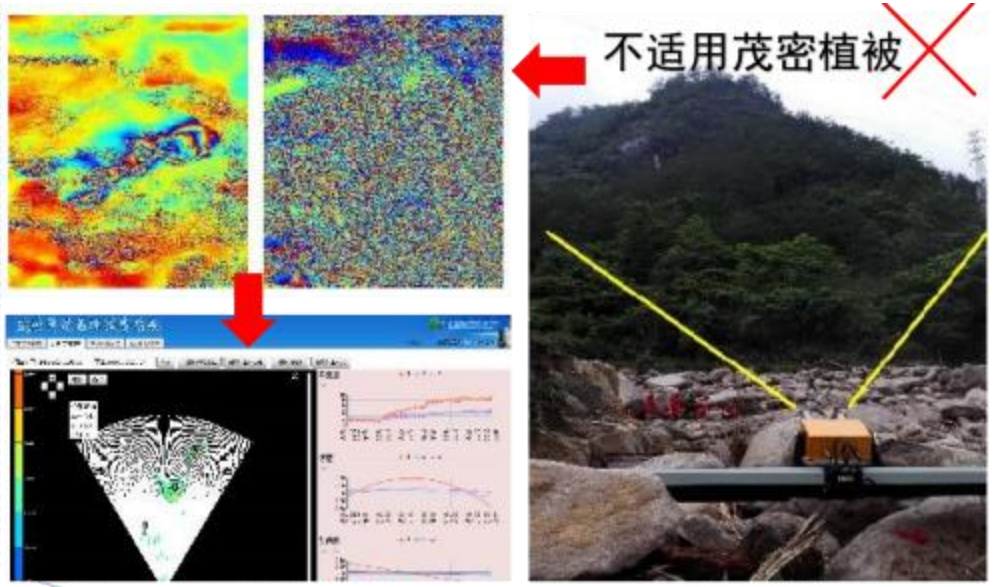
2.边坡地基干涉雷达监测预警系统（边坡雷达、GB-SAR）

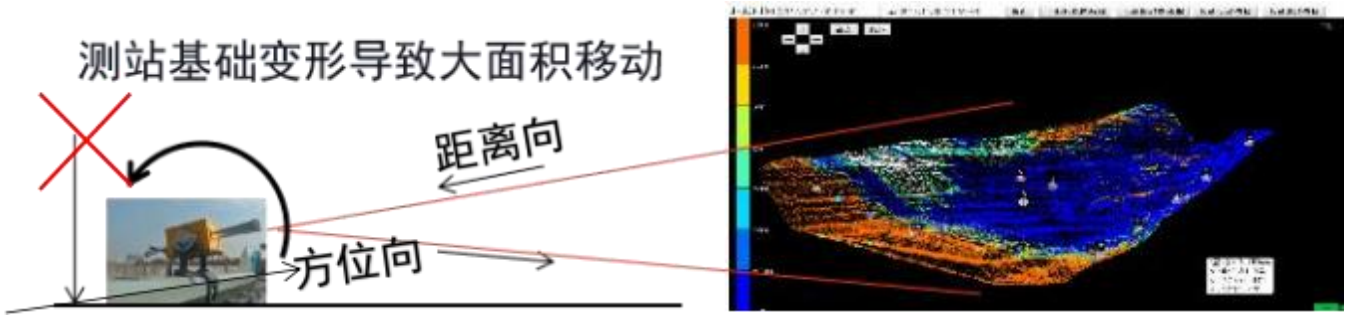
采用微波遥感干涉技术高精度测量边坡表面变形的装备，包括：真实孔径、合成孔径

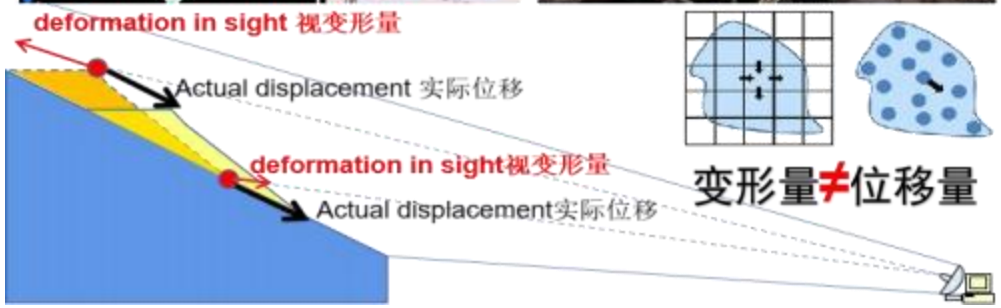
真实孔径边坡雷达



合成孔径边坡雷达







监测技术

2.边坡地基干涉雷达监测预警系统（边坡雷达、GB-SAR）

1 通视稳定

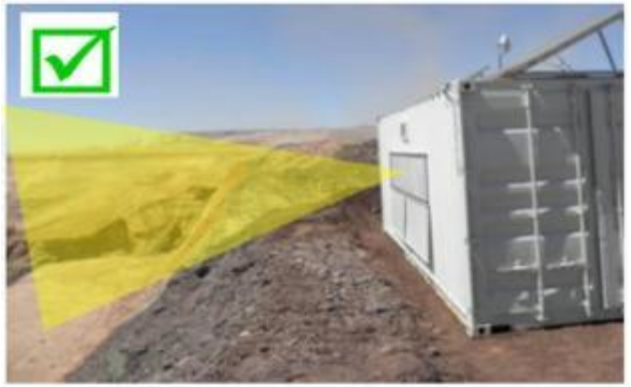
确保雷达与目标物之间通视不受干扰。确保雷达安装位置稳定，并远离电磁干扰区和雷击区，避开震动干扰及地表沉陷区域。

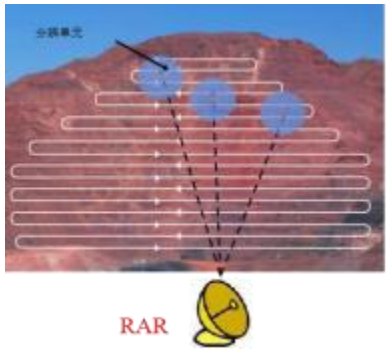
2 不大于4000米

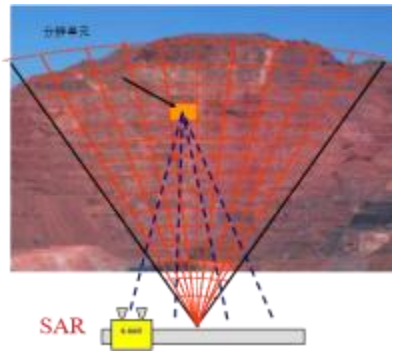
边坡雷达图像分辨率随距离增大而下降，超过4000米后，监测效果不佳。

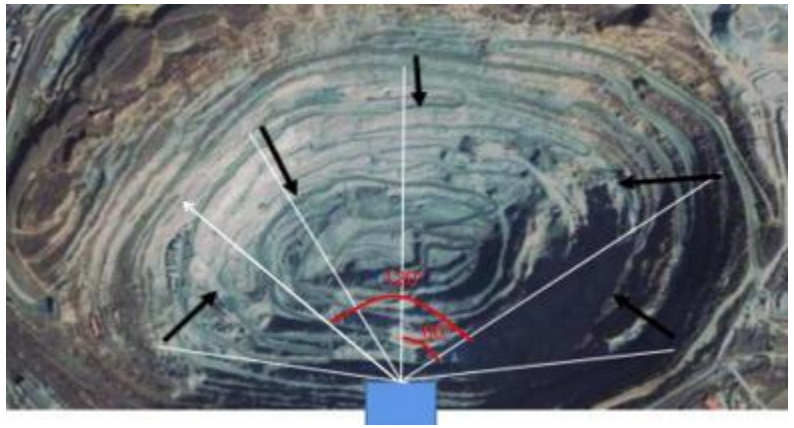
3 不大于120°

无论是360度转台还是直线轨道方式，当监测视角与边坡走向夹角大于60度以后，测量值会比实际值减少50%以上。









二、边坡安全监测技术现状

- 自2010年开始自主研发国产化边坡雷达，从无到有，由好到精，赶超国际。

- 获北京市科技一等奖、中国专利奖、冶金矿山科技特等奖等16项省部级奖励。

2012年原理样机

2014年定型产品

2018年量产推广

2021年最新产品

二、边坡安全监测技术现状

- 技术达到国际领先水平，通过欧盟和美国强制认证，产品出口一带一路国家。
- 打破了国际垄断，迫使进口设备大幅降价，为国家节省外汇约7亿元。

中国工程院蔡美峰院士　　中国科学院何满潮院士　　中国科学院崔鹏院士

通过美国FCC认证

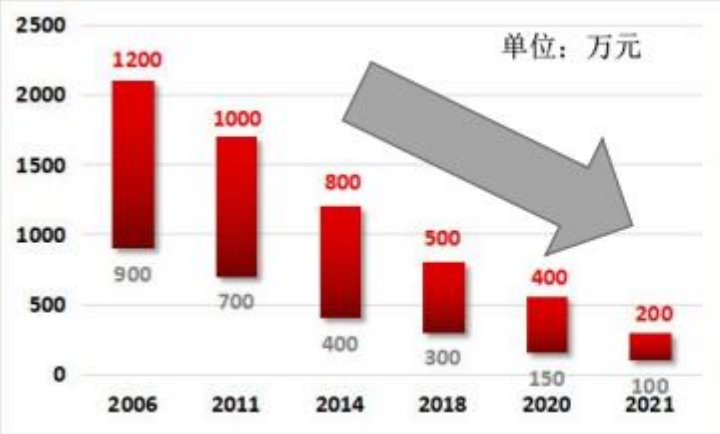
通过欧盟CE强制认证

研究成果总体上达到国际领先水平。

鉴定委员会主任（签字）：

副主任（签字）：

进口设备价格走势



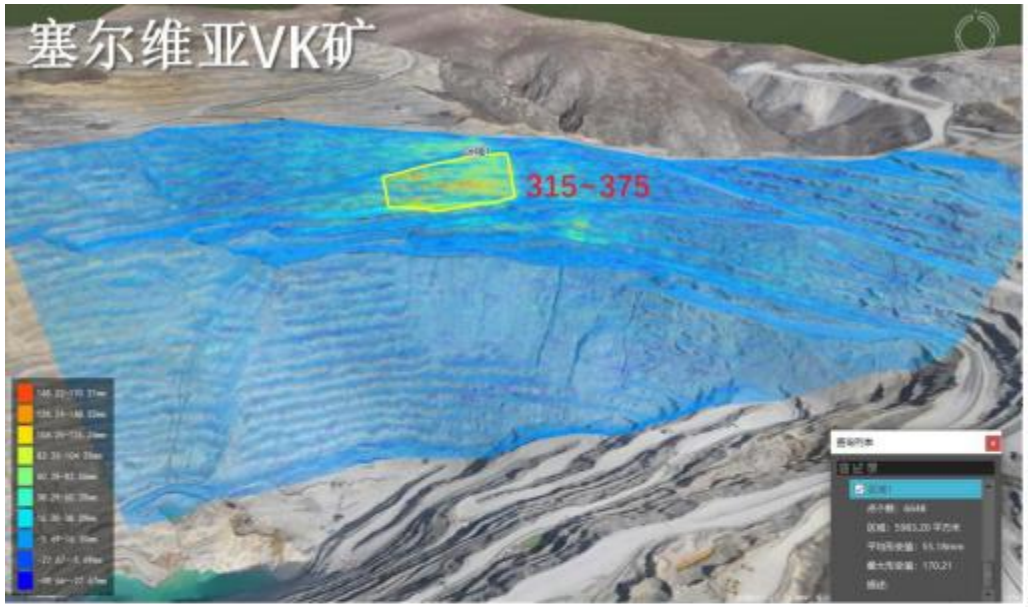
市场份额对比

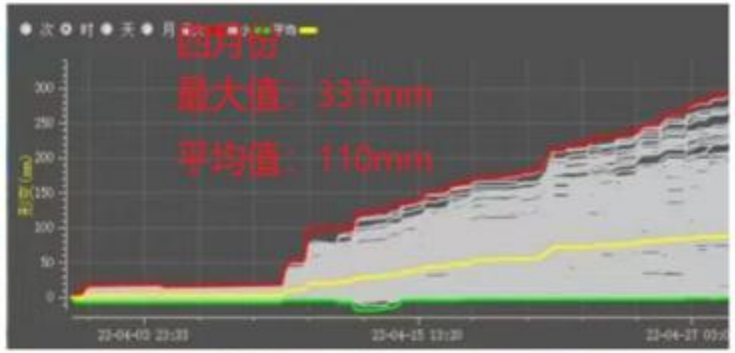
二、边坡安全监测技术现状

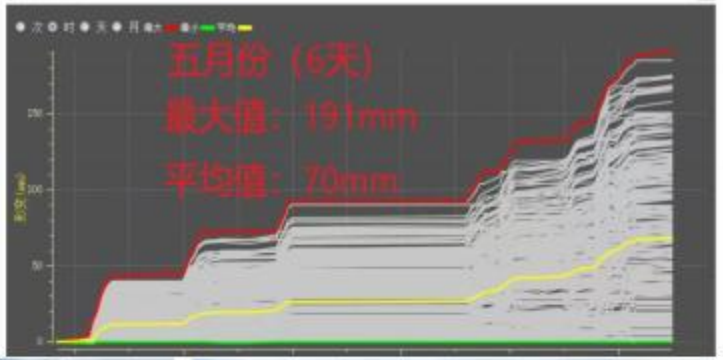
国家安全生产应急救援勘测队：

- “2·22”内蒙阿拉善左旗新井煤矿滑坡事故：习总书记批示“**科学组织施救，加强监测预警，防止发生次生灾害**”

二、边坡安全监测技术现状

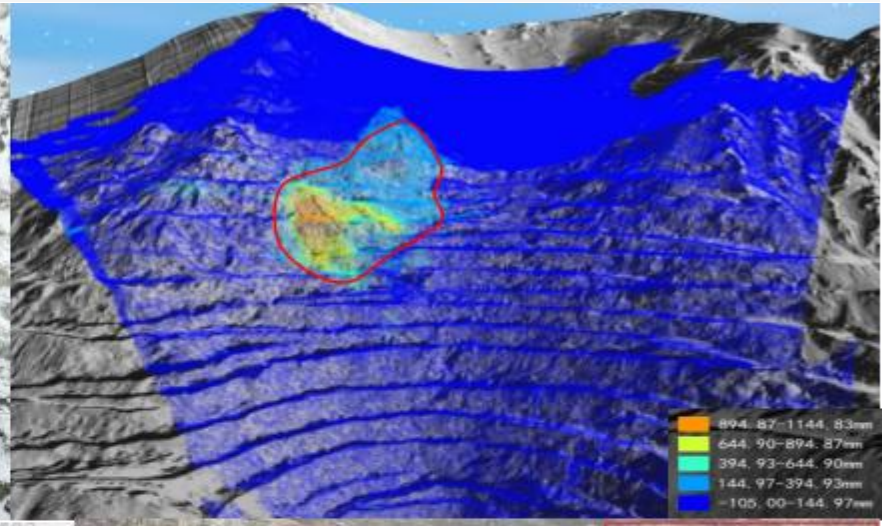


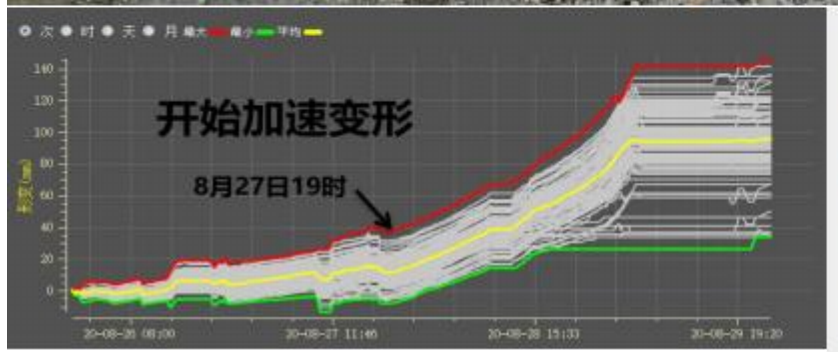




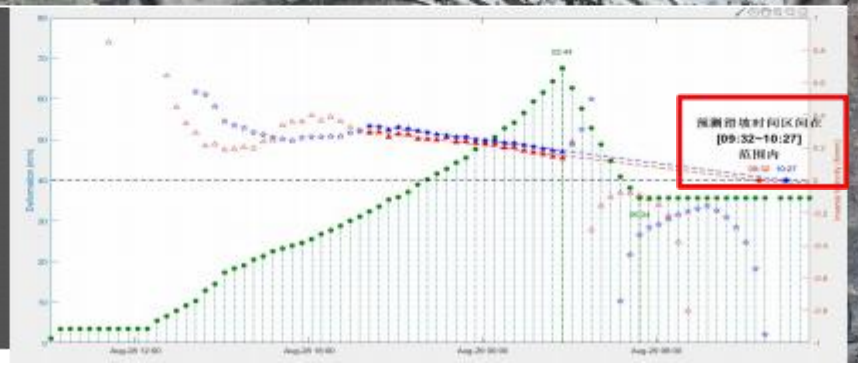
二、边坡安全监测技术现状

今天早晨确实又叫大面积塌方，这次预警准确无误





滑坡区域位移变形曲线



速度倒数法滑坡预测模型

拖车雷达拍摄的滑坡情况

监测技术

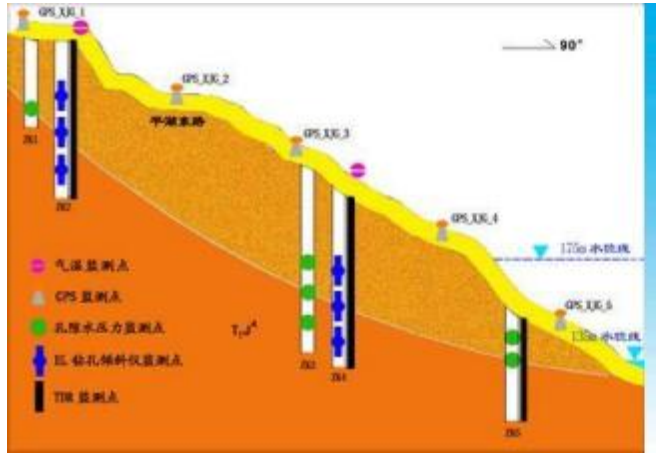
3.视频监控

重点范围：采场和排土场全貌、采场和排土场主要出入口、重要截排洪设施、调度监控室

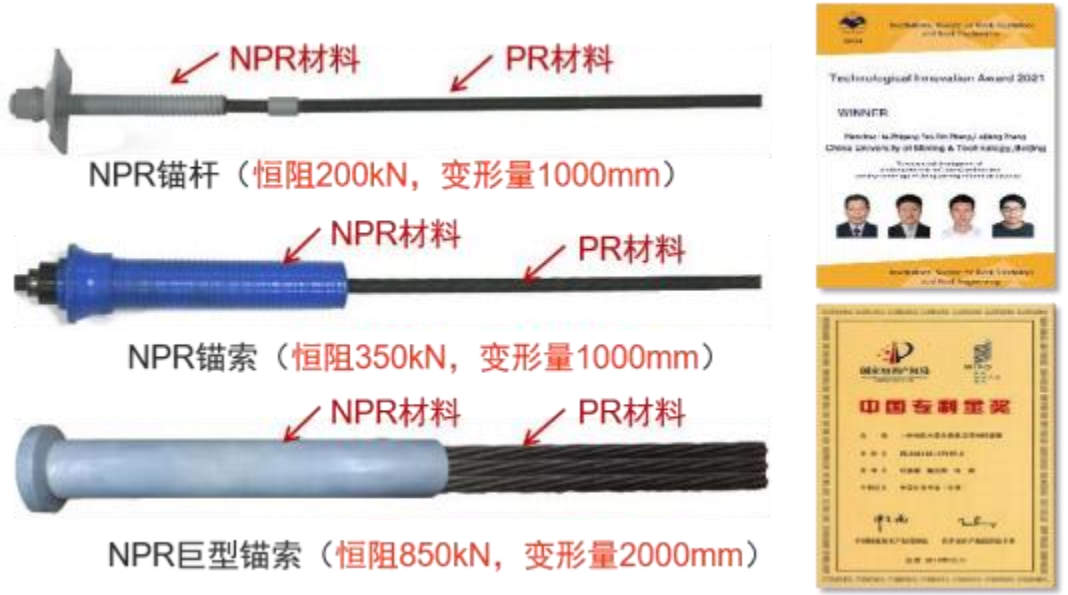
使用高清摄像头，具备后期加装视频AI识别的条件，单台摄像头覆盖半径不超过2000米

监测技术

4.其它技术



钻孔倾斜仪



爆破振动仪

裂缝计

露天矿山边坡监测应用实践证明（个人观点）：

- 光纤传感器易损性高
- 微震监测噪声干扰多
- 激光扫描仪更适用于建模，而不是监测

汇报提纲

一 非煤矿山高陡边坡情况

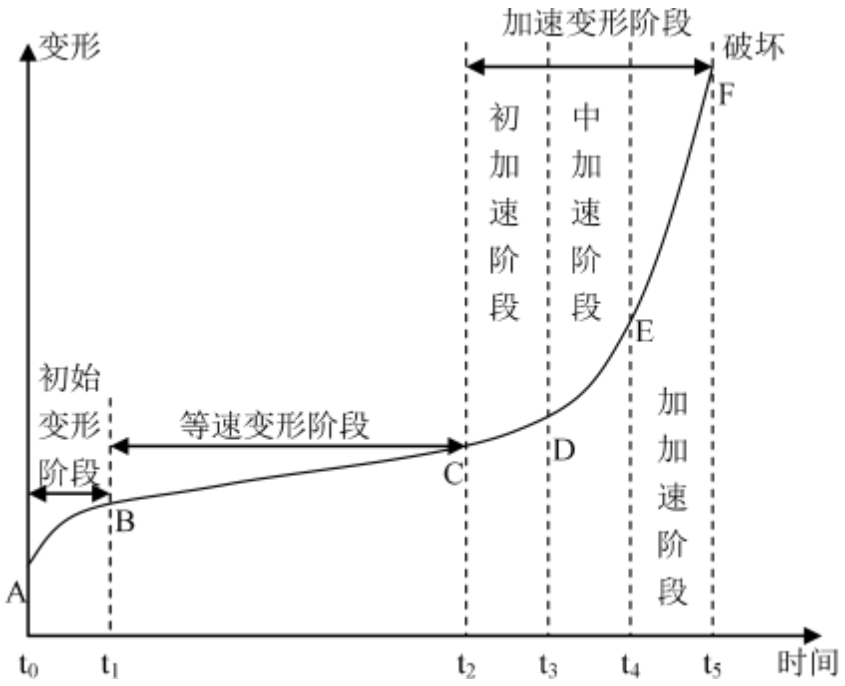
二 边坡安全监测技术现状

三 边坡监测预警技术发展

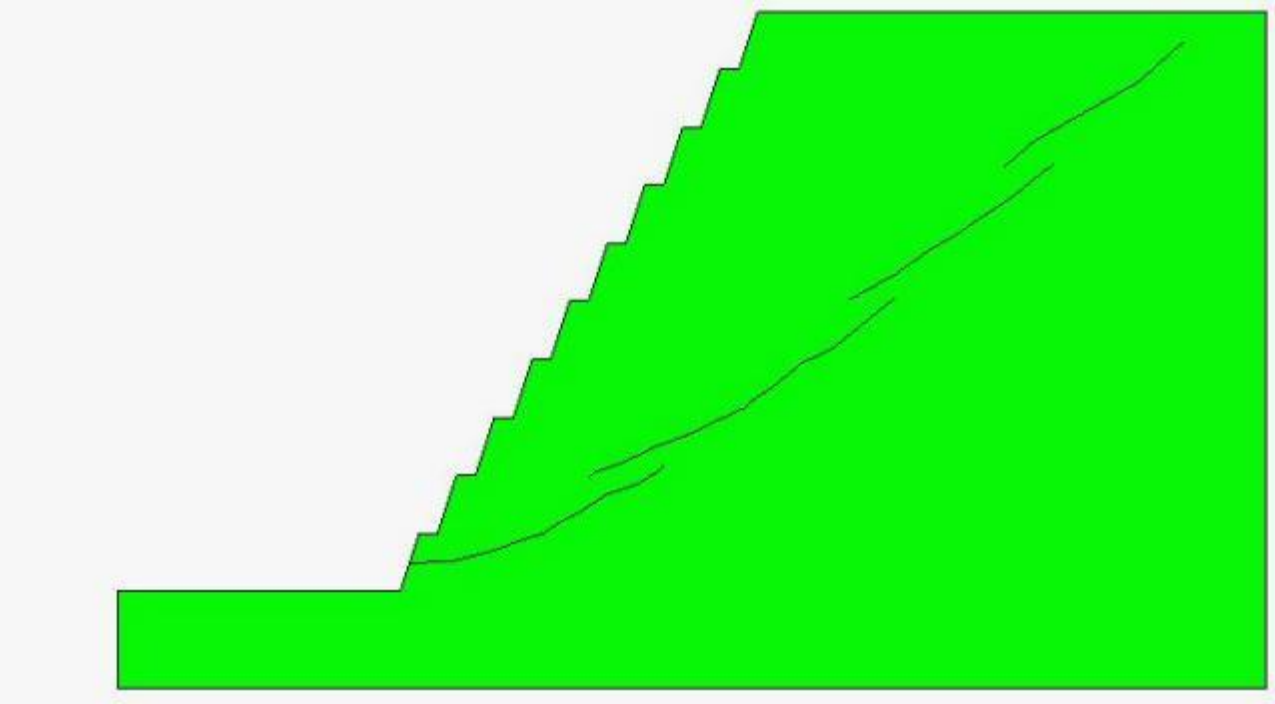
三、边坡监测预警技术发展

边坡是露天矿山的最关键要素，是复杂地质结构体，监测预警应坚持三结合：

- 生产与监测相结合，充分考虑矿山采掘计划、地质条件等因素的影响；
- 技防与人防相结合，充分发挥工程专家经验与设备精确测量的联合作用；
- 多种手段相结合，多参数验证、实现精确预警预报。



滑坡预警曲线



滑坡预警原理

预警值设置

边坡监测预警责任主体

露天矿山企业 ← 边坡稳定性分析报告 / 预警响应与分析 — **专业服务机构**

预警值应结合年度**边坡稳定性分析报告**设置，并根据实际情况动态更新（即“一矿一策”），至少每半年核定一次。年度边坡稳定性分析报告应设立专章分析近一年边坡监测情况，并提出下一年度预警值设置建议。

科学设定预警值

预警值设置高：**漏警**

预警值设置低：假警

在确保不漏警的前提下，降低假警率

预警等级设定

预警等级应分为四级，分别用红、橙、黄、蓝标示。

- 短时间内滑坡可能性非常大，极易造成人员伤亡的应定为一级红色预警；
- 短时间内滑坡可能性大，容易造成人员伤亡的应定为二级橙色预警；
- 滑坡可能性较大，可能造成人员伤亡的应定为三级黄色预警；
- 有滑坡可能性，影响正常生产的应定为四级蓝色预警。

预警响应处置

露天矿山企业应建立边坡监测预警分级响应处置机制，并纳入应急预案。

预警及响应处置情况要形成信息台账，实现预警信息有效、及时处置和闭环管理。

三、边坡监测预警技术发展

露天矿山联网链路

企业 → 省级局 → 国家局

露天煤矿

企业 → 应急管理厅 → 国家局

金属非金属露天矿山

数据安全

- 尽量采用国产设备
- 敏感地区避免使用带有GPS芯片的监测设备

谢谢，请指导！

马海涛 18811080270