

地基InSAR自动化 HD-SAR300(旋转式)



全方位监测



高集成性



非接触



全天时全天候



高精度



智能算法



面监测



智能预警

广州中海达卫星导航技术股份有限公司

网址: www.hi-target.com.cn

热线: 400-678-6690



产品信息



公司介绍

2023/06/30
上半年刊 总第57期

中海达
HI-TARGET



微信在线阅读

空间信息技术 慧眼识坡

《对话大咖》

许强 成都理工大学副校长、地质灾害防治与地质环境保护
国家重点实验室常务副主任

全时空实景三维地灾防治体系让地灾监测预警不再难



矿山边坡监测技术既要“用得上” 又要“用得好”

本刊编辑部

矿山安全生产，边坡的安全至关重要。边坡一旦引发崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害，不仅影响矿山正常生产，严重时还会造成人员伤亡与财产损失。为此，国家规定边坡高度200米以上的露天矿山高陡边坡必须进行在线监测，使得边坡监测成为高度200米以上的露天矿山必做的一道考题。在国家政策和矿山企业自身需求的双重驱动下，GNSS技术、InSAR技术、无人机航测技术等先进的科技手段被引入到矿山中，助力矿山企业做好边坡监测答卷。

利用InSAR技术找到正在变形的矿山边坡区域、利用GNSS技术实现矿山边坡变形区域全天候自动化监测预警、利用无人机航测技术监测矿山边坡角度不超红线……依托科技手段，矿山企业交出了一份令人满意的答卷：矿山企业做到了边坡隐患早发现、早预警、早转移。

然而，这么好用的矿山边坡监测手段，并没有得到所有矿山的青睐。而失去矿山边坡监测手段守护的矿山，让灾害有机可乘，以致于发生了今年内蒙古阿拉善露天煤矿边坡坍塌事故造成数十人伤亡的悲剧。这个惨痛的事故告诉我们，矿山边坡监测技术既要“用得上”又要“用得好”，才能避免悲剧再发生。

为了让矿山边坡监测技术“用得上”，我们需要聚焦矿山边坡监测技术的经济价值，即在满足矿山边坡监测规范的基础上，用低成本的监测装备满足矿山企业边坡监测预警需求，确保每座矿山都能用得上。目前，矿山边坡监测技术虽然好用，但价格偏高，让许多预算有限的中小型矿山企业望而却步。因此，装备企业需要加大创新，研发出“低价高能”的矿山边坡监测设备，让矿山边坡监测技术成为每座矿山安全生产的“吹哨人”。

为了让矿山边坡监测技术“用得好”，我们需要聚焦矿山边坡的地质条件、失稳过程、破坏启动条件等因素，因地制宜选择和布设矿山边坡监测技术类型、点位，设置科学可靠的边坡预警阈值，以防止迟报、误报、漏报，助力矿山企业实现边坡灾害的提前发现与准确预警，保障矿山采场人员设备安全。

当矿山边坡监测技术“用得上”“用得好”，每座矿山边坡安全才能切实得到保障，矿山企业的安全生产工作也才能杜绝“纸上谈兵”，真正将“生命至上、安全第一”发展理念落到实处，为我国高质量发展提供矿产资源保障。

定位 POSITIONING

2023年6月（总第57期）

出品

广州中海达卫星导航技术股份有限公司

支持单位

广东省卫星导航与位置服务产业技术创新联盟

广州卫星导航与空间位置服务产学研技术创新联盟

总编/魏耀宗

主编/孙蓓

副主编/何溪

记者/李善清

发行/何溪

美编/卢洪朗

联系方式

地址：广州市番禺大道北555号天安科技园13号楼

电话：020-22883901

传真：020-22883900

邮箱：bjb@zhdgps.com

网址：www.hi-target.com.cn

声明

内部资料，免费交流。
文章所述仅为作者个人观点，不代表本刊或者中海达相应立场。
版权所有，如需转载，请注明出处。

新征稿

每一个行业人的故事都值得被记录和传播
无须华丽辞藻、精湛摄影、酷炫特效
朴实、走心、真实才充满力量

短视频：500元/分钟
(稿费以最终选用发布视频的时长计算)

原创视频，像素不低于1280*720，与空间信息行业相关，包括行业热点、关键技术等。
中海达的抖音号开通了，精彩内容扫码先知道。

文章：200~500元/千字
原创，与空间信息行业相关，文体不限。

图片：50~100元/张
与空间信息行业相关，不小于1M，附标题和50字以上文字说明。

应用案例：1000元/篇
原创，中海达仪器在工程、项目中的实际应用，包括项目背景、仪器型号、应用成果、用户评价等，至少附图2张。

其他：200元起
H5、音频、漫画、书画作品等其他形式，原创或自主性改编，内容与空间信息行业相关即可。

投稿渠道
1. 邮箱：bjb@zhdgps.com
2. 微信：添加小达为好友即可投稿

作品一经采用，即付稿费，酬劳视内容而定，最终解释权归中海达所有。

10/特别策划 *SPECIAL* 空间信息技术慧眼识坡

国家矿山安全监察局

12/ 开展露天矿山安全生产专项整治

矿山边坡安全风险预警与灾害防控应急管理部重点实验室

16/ 用精准预警护矿山边坡安全

武汉大学卫星导航定位技术研究中心教授 李陶

20/ GNSS监测矿山边坡在对不在“精”

中南大学地球科学与信息物理学院教授 杨泽发

24/ InSAR是大范围矿山边坡监测利器

东北大学资源与土木工程学院教授 刘善军

26/ 天空地协同监测，边坡安全有保障

30/ GNSS用毫米级实时守护矿山安全生产

33/ 航测无人机测量边坡角度，助矿山防灾于未然

36/ 给边坡做“CT”，地基InSAR为矿山安全加码

39/ 全天候可视化管控人车作业，北斗让矿山更安全更智能



MASTER
对话大咖 P04

许强
成都理工大学副校长、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室常务副主任

全时空实景三维地灾防治体系让地灾监测预警不再难

01/刊首语 *PREFACE*

矿山边坡监测技术既要“用得上”又要“用得好”

42/行业资讯 *NEWS*

2023上半年空间信息大事记



▲成都理工大学副校长、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室常务副主任许强

许强 全时空实景三维地灾防治体系 让地灾监测预警不再难

撰稿 / 何溪

“隐患在哪里？”和“什么时候可能发生？”两大难题一直困扰着我国自然资源部门和地质灾害从业者。如今，在地质灾害从业者的努力下，尤其是成都理工大学副校长、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室常务副主任许强利用光学卫星遥感、InSAR、机载LiDAR、无人机摄影测量、航空物探、SLAM、多波束等技术，构建的“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系让人们看到了难题破解的曙光。

所谓“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系，是指星载平台光学遥感+InSAR识别地表变形、航空平台机载LiDAR+无人机摄影测量精细识别滑坡隐患、地面平台专业监测+调查核实获取精准可靠变形信息、航空物探探测地质内部结构+多波束探测水下地形+SLAM测绘室内形态，通过多技术的协同监测与综合利用，实现地上+地下，室内+室外，水上+水下全要素、全空间地质灾害隐患识别、实时监测与风险评估，最大限度地保证人民群众的生命财产安全。

“现在哪门技术好用，我就引入它。因为技术手段越丰富，地质灾害隐患识别和预警条件就越充分，这样得到的结果就越精

准、真实。这就好比医生看病，通过多种技术手段获取多方面指标才能准确判断出病症，查明病因，对症下药。”许强如是说。

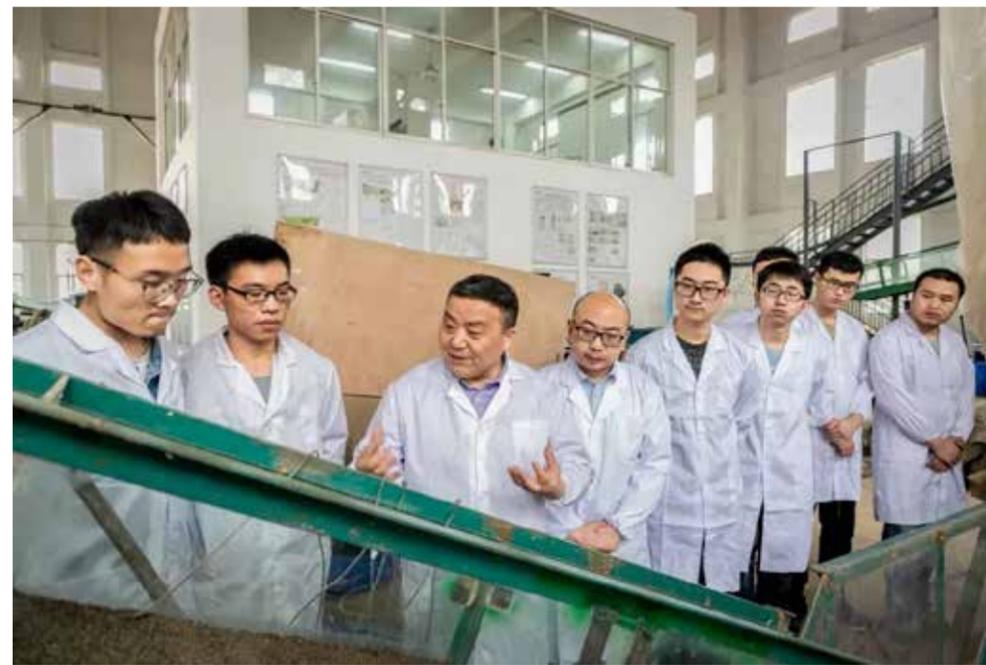
从人防到技防“三查”体系

受青藏高原隆升、全球气候变化等因素影响，我国是世界上滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害最为严重、受威胁人口最多的国家之一。严峻的防灾减灾形势，孕育了一批又一批像许强一样将全部精力投入到地质灾害防治事业中的科技工作者。

许强在与地质灾害打交道的早期，受限于装备技术水平，运用专业监测手段识别灾害隐患和专业监测预警（即技防）无从谈起，只能采用人防。“人防是指通过人的现场调查走访发现隐患并由当地百姓自主观测和自我防范灾害。”许强指出，人防经历了两个阶段：第一阶段是地质调查人员在全国范围内开展“拉网式、地毯式”地质灾害隐患全面调查、排查，共查出全国地质灾害隐患点约30万处，基本摸清了灾害隐患家底；第二阶段是群测群防，即当地群众自我观测（察）自我防范，在每个隐患点安排监测人员（一般为当地百姓）成天密切关注其动态变化情况，一旦有“风吹草



▲许强在教研室



▲许强在指导学生

动”，如地面开裂、隆起，树木歪倒等成灾前兆特征，随即启动防灾预案，撤离受威胁的百姓。

随着技术的进步与成熟，以GNSS、裂缝计、雨量计等为代表的专业监测手段被引入到地质灾害防治中，与人防一起编织了一张地质灾害安全“防护网”。然而，投入大的专业监测手段无法覆盖全国所有的地质灾害隐患点，“我们只能选择重大隐患点开展专业监测。”而让许强更担忧的是，近年来我国发生的重大地质灾害有80%左右都不在已发现的30万处隐患点范围内。“究竟怎样才能更全面地识别出潜在的地质灾害隐患点？”这个问题不停地涌现在许强的脑海中，让他夜不能寐。

彼时，时任自然资源部部长陆昊提出，防范地质灾害的核心需求是要搞清楚“隐患点在哪里”“什么时候可能发生”，这与许强所思所想不谋而合。为了回答部长的问题，许强在

经过深入研究后，提出了“天-空-地”一体化的“三查”体系，即首先通过光学卫星遥感和InSAR进行大范围的地质灾害隐患“普查”，随后利用机载LiDAR和无人机摄影测量对地质灾害高风险区和重大地质灾害隐患点进行“详查”，最后通过地面调查复核，实现重大地质灾害隐患点“核查”与甄别。

“三查”体系提出后不久，便迎来了一个绝佳的“练手”机会。2018年10月10日和11月3日，西藏自治区江达县白格村金沙江右岸先后发生两次大规模高位滑坡，堵塞金沙江形成堰塞湖，是一处典型的大型高位滑坡隐患。为查明隐患，许强带领团队首先利用卫星进行滑前形变回溯分析，然后利用无人机摄影测量生成DSM、DOM等成果分析滑后特征，为地面专业监测仪器布设提供靶点，最后利用GNSS、地表裂缝计等地面专业监测仪器实时监测预警，先后三次提前30分钟精准预警，保证了堰塞体

泄流槽现场施工人员的及时撤离，保证了相关人员的安全。

在实战中得到检验的“三查”体系成为了地质灾害中技防的分水岭：将专业监测阶段进化到隐患识别+专业监测阶段。尽管技防作用越来越突显，但许强并没有一味地推崇技防，而是反复强调地质灾害防治一定是技防与人防有机结合才能实现“1+1>2”的效果。“毕竟通过技术手段发现灾害隐患点后，还需要人去调查复核。”他指出，当前人防和技防的关系正处在第二阶段，即“遥感先行、地质调查跟上”阶段，该阶段中技防作用是提升地质调查工作的精细化和准确度。此前的阶段被许强称为“地质调查为主，遥感为辅”，该阶段中技防作用是解决人到不了的作业难题。“下一阶段两者关系可能演变为‘遥感为主，地质调查复核’。”许强说，“无论哪个阶段，技防和人防的关系始终是有机结合，缺一不可。”

吸纳新技术，构建全时空实景三维地灾防治体系

利用“三查”体系，使我国对正在变形区（正在发生变形并具有明显变形迹象的区域或部位）和历史变形破坏区（历史上发生过失稳破坏但当前并未变形）的隐患识别能力得到了巨大提升。“针对正在变形区，可以采用高分辨率光学遥感与InSAR技术相结合的方式进行的识别；针对历史变形破坏区，可以采用能有效去除植被的机载LiDAR，辅以光学卫星遥感进行识别。”许强解释道。

但是，他话锋一转说道：“‘三查’体系对潜在不稳定斜坡的隐患识别无能为力。”许强口中的潜在不稳定斜坡是指历史上未曾发生过变形破坏，当前也无明显变形迹象，但其稳定性相对较差，在降雨等影响下很容易出现突发性失稳破坏的斜坡。

那么，潜在不稳定斜坡的隐患识别难题该如何破解？许强的答案是推行“三部曲”精细



▲许强团队研究成果《中国西南高边坡稳定性评价及灾害防治》和《汶川地震地质灾害评价与防治》先后获得国家科学技术进步奖一等奖

化运作方法：第一步使用激光雷达开展精细化测绘，绘制1:1000，甚至更高分辨率的地形图，找到最有可能失稳的斜坡部位；第二步使用多普勒雷达开展精细化气象预警，通过将天气预报的时间精度做到分钟和小时级、空间精度做到公里级，精准掌握降雨时空变化过程和动态，缩小受威胁区域范围，实现精准预判、及时撤离，最大限度减少撤离人员数量但又能避免人员伤亡；第三步发展航空物探技术快速查明斜坡体内部结构和含水状况，定量分析评价不同区域、不同部位斜坡在不同降雨条件下的稳定性状况，以此圈定相对危险区和危险部位，利用科技手段真正实现“风险双控”。

在攻关潜在不稳定斜坡的隐患识别难题的同时，许强还在攻关突发性滑坡监测预警的难题。“因为这类滑坡突发性强，且在降雨诱发

前，没有任何征兆，监测预警难度极大。”为攻破这一难题，许强一方面带领团队研发了一种自适应调整采样频率的监测机制与配套的仪器装备，相关仪器设备会根据所监测指标的变化快慢，自动调整采样频率，这样不仅可满足现场供电和传输要求，又可全面获取加速变形尤其是临滑阶段的完整信息，有助于提前精准预警突发性滑坡。另一方面引入滑坡灾害牛顿力远程监测预警系统监测滑坡形成过程中的受力变化情况；引入地震台网和微震捕捉山体滑坡前的前兆信号，分析滑坡内滑动面发展演化过程及其前兆特征；同时，安装GNSS、裂缝计、孔压计、雨量计等监测预警设备用于监测覆盖层较厚或稳定性相对较差的坡体部位。

“通过这些手段，我们可以对滑坡形成演化过程中相关物理量及外界因素进行全方位监测，

大大提高滑坡预警的准确率。”许强说。

在攻关潜在不稳定斜坡的隐患识别和突发性滑坡监测预警两大难题的过程中，许强还基于当下实景三维中国建设的趋势，先后将SLAM、多波束、通信光纤等新技术引入到“三查”体系中。其中，SLAM技术用于建构物室内三维模型的快速测绘与构建，实现地质灾害承灾体的量化风险评估；利用多波束技术探测水下地形地貌，为水域及周边地质灾害防治提供数据支撑。

通过不断吸纳新技术，“三查”体系逐渐拓展到了“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系。新体系通过依托光学卫星遥感、InSAR、机载LiDAR、无人机摄影测量、航空物探、SLAM、多波束等技术，实现地上地下、水上水下、室内室外有机结合和协同发力，这有助于我国最大限度地实现滑坡灾害的隐患识别、实时监测和科学预警。“未来我还会继续完善这套体系，让它在地质灾害防治中发挥更大作用。”许强说。

在多灾种预警中发挥新体系作用

据许强介绍，“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系目前在四川、贵州、甘肃、云南、陕西、西藏等省份得到了成功应用，取得了良好成效。其中，贵州省利用InSAR、机载LiDAR，对全省高位隐蔽性灾害进行专业排查，发现新的地质灾害隐患点近2000处，其中高位隐蔽性隐患点近900处；四川省利用InSAR与光学遥感相结合，对6万平方千米的地质灾害高风险区进行扫面性隐患识别，新发现形变区840处；云南省利用光学遥感和InSAR相结合的手段，识别出50余处地质灾害隐患。

借助多技术协同的优势，许强认为“天-

空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系还能在地震预报、矿山边坡监测等领域大有作为。

他指出，在地震预报领域，可先利用InSAR和机载LiDAR对全国地震重点监视防御区和地震重点危险区内的活动断裂进行精准定位，然后利用地面的专业监测设备、通信光纤、地震台网等手段进行实时监测预警。“这样一来，地表会发生明显破裂的地震在未来三五十年将可能实现提前预报。”许强说。

在矿山边坡监测领域，首先利用光学卫星遥感和InSAR结合监测矿山地表形变，找准正在发生地表形变的区域，为地面专业监测仪器的布设提供靶点，然后利用GNSS、地表裂缝计、地基SAR等地面专业监测仪器对靶点进行实时监测预警，以确保矿山边坡安全。目前，“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系已应用于贵州、新疆等省份的矿山边坡监测。

许强强调，“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系要想在多灾种监测预警中发挥最大作用离不开一套统一的管理机制。

“目前，各部门数据不能充分地共享，多灾种预警推进还存在一定困难。”因此，他希望应急管理部可以牵头建立一个机构进行统一协调和管理。

同时，他还认为，以测绘地理信息企业为代表的产品水平也决定着这套体系的效应。因此，他希望测绘地理信息企业要把科技创新放在首位，研发出性能优异、质量稳定的地质灾害监测预警装备。

许强相信，在多方合力下，“天-空-地-内”全时空实景三维地质灾害防治体系可以更好地造福我国多灾种监测预警，让人民群众的生命财产安全得到最大限度的保障。📍

空间信息技术慧眼识坡

矿山是人类社会发展的物资基础，也是国民经济的重要组成部分。随着我国经济的快速增长，矿山开发步伐加快，使得边坡问题日益严重，影响了矿山的安全生产。为有效防范矿山边坡事故发生，国家有关部门出台了一系列政策法规，以加强矿山边坡监测力度。

其中，2014年原住房和城乡建设部发布的《非煤露天矿边坡工程技术规范》、2016年原国家安全监管总局发布的《非煤矿山领域遏制重特大事故工作》、2022年国家矿山安全监察局发布的《关于加强非煤矿山安全生产工作的指导意见》，都明确要求边坡高度200米以上的露天矿山高陡边坡必须进行在线监测。

为了做好矿山边坡监测工作，星载InSAR、无人机倾斜摄影测量、机载激光雷达、GNSS、地基InSAR等空间信息技术被应用到矿山中，矿山边坡监测预警能力得到了显著提升，切实保障了矿山安全生产。

其中，依托星载InSAR甄别正在发生变形的矿山边坡区域，找准监测靶区；依托无人机倾斜摄影测量定期监测矿山边坡角度，确保坡面角不超红线，提前消除矿山边坡安全隐患；依托机载激光雷达获取矿山边坡的高程模型及边坡形态数据，为矿山边坡监测提供有效的预警信息；依托GNSS和地基InSAR实时在线监测靶区，实现矿山边坡全天候自动化监测和预警。

在守护矿山边坡安全的同时，空间信息技术还用于矿山作业人员和运输车辆的管控。基于北斗终端，矿山企业实现了矿山作业人员、运输车辆的高精度位置管控，有效避免了矿山生产事故发生，保障了矿山作业人员和运输车辆安全。

在空间信息技术全方位的护航下，矿山安全生产保障能力得到了全面提升，保护了矿山作业人员生命安全。未来，随着空间信息的性能越来越优越，质量越来越稳定，矿山边坡的安全将更有保障，高水平安全护航矿山高质量发展。[📍](#)





国家矿山安全监察局

开展露天矿山安全生产专项整治

为认真贯彻落实习近平总书记关于安全生产重要指示精神，深刻吸取内蒙古阿拉善盟阿拉善新井煤业公司“2·22”边坡坍塌等露天矿山事故教训，有效防范遏制矿山重特大事故发生，国家矿山安全监察局在今年3月印发通知部署全国露天矿山安全生产专项整治工作，具体通知如下：

一、整治目标

围绕控大风险、除大隐患、治大灾害、防大事故目标，全面排查露天矿山安全风险，扎实开展重点露天矿山安全“体检”。聚焦井田范围小、开采规模小、开采深度大、长期整合技改、边建设边生产、边坡问题屡查屡犯、超能力超强度超定员组织生产、安全隐患突出、企业管理组织混乱、法定代表人和主要负责人被纳入失信人员名单等矿山企业，重拳治理违反设计规定建设、灾害治理不到位、边坡角超设计等重大隐患，严厉查处一批违法违规行，提升露天矿山安全保障水平，坚决防范遏制重特大事故发生。

二、整治范围

所有正常生产建设和2023年内复工复产的露天矿山。

三、整治时间

2023年3月份开始，年底前结束。

四、整治重点内容

（一）安全管理方面

1. 安全生产手续不齐违规组织生产建设，以灾害治理、生态恢复治理等名义盗采矿产资源。
2. 未按照规定配备安全管理人员、专职技术人员和特种作业人员，存在“草台班子”“挂名矿长”。
3. 超能力、超强度、超定员组织生产。
4. 在批复建设周期内未完成建设。
5. 违规分包转包、以包代管；露天煤矿将采煤、剥岩、运输作业外包。
6. 未按要求编制应急救援预案，未开展应急演练。

（二）技术管理方面

1. 不按设计组织生产建设，边建设边生产、边技改边生产。
2. 违规开采保安煤柱、擅自开采或者破坏设计要求保留的矿（岩）柱或者挂帮矿体。
3. 采剥严重失调未采取处理措施。
4. 违规布置多作业点组织作业。
5. 存在废弃巷道、采空区威胁露天开采，未超前采取针对性安全防范措施。
6. 排土场未纳入设计范围或者与设计不符；内排土场最下部台阶的坡底与采剥台阶坡底之间的安全距离不符合规定；未经安全设施设计审批，擅自回采利用排土场。

（三）边坡管理方面

1. 未建立并严格落实边坡管理和检查制度；未按规定进行边坡工程地质勘探、边坡稳定性分析和评价；未按设计要求采用自上而下开采顺序分台阶开采，擅自进行台阶并段。
2. 边坡角（台阶坡面角）、帮坡角、台阶高度、平盘（平台）宽度、最终边坡角等不符合设计，或者通过变更设计改变坡度角、台阶高度、平盘（平台）宽度等参数，导致边坡稳定性安全系数降低。
3. 地质构造发育、存在边坡垮塌风险，未采取加固措施治理边坡；发现边坡变形、滑坡征兆，未制定并实施保证边坡稳定的安全技术措施。
4. 金属非金属露天矿山现状高度100米及以上的边坡和现状堆置高度100米及以上的排土场未每年进行1次边坡稳定性分析。
5. 露天煤矿未安装在线边坡监测预警系统和视频监控系统；现状高度200米及以上的金属非金属露天矿山边坡和现状堆置高度200米及以上的排土场未进行在线监测。
6. 未建立紧急撤离预警系统，不能保证预警信息迅速传递到每名入坑人员。

（四）钻爆管理方面

1. 钻孔、爆破作业未按要求编制和落实钻孔、爆破设计及安全技术措施；邻近最终边坡作业未按照设计采用控制爆破。
2. 未按要求绘制爆破警戒范围图；爆破前未实地标出警戒点位置，设置明显标志，严禁无关人员、车辆进入爆破区域。

（五）运输管理方面

1. 运输道路等级、宽度、坡度和车挡，以及运输设备规格型号和数量等不符合设计或规程要求。
2. 运输道路过窄，不符合通行、会车等安全要求，未按规定设置限速、道口等路标和警示标志。
3. 外部运输等社会车辆进入露天采场。

（六）安全监管方面

未明确每处矿山的日常安全监管主体，安全监管责任不明确、层层下放安全监管责任；未分类

明确每处矿山的联系包保、驻矿盯守、联系盯守、安全巡查等监管责任人，未细化各类安全监管责任人的岗位职责。

(七) 由各地区根据实际确定的其他整治内容。

五、工作安排

(一) 企业全面自查自改阶段（2023年3月底前）。各省级矿山安全监管部门会同国家矿山安全监察局各省级局（以下简称各省级局）组织矿山企业对照《煤矿安全规程》《金属非金属矿山安全规程》等标准规范和《国家矿山安全监察局关于开展露天煤矿边坡管理专项检查的通知》要求，全面开展自查自改。矿山企业主要负责人（含法定代表人和实际控制人，下同）要亲自组织实施，并对自查结果负责。矿山上级公司要对所属矿山自查自改工作开展检查指导。自查发现不具备法定安全生产条件的，要采取停产、限采等措施。自查自改结束后，要形成问题隐患、风险管控“两个清单”，逐矿编制自查自改报告，经主要负责人签字后前报送属地矿山安全监管部门和驻地矿山安全监察部门。

(二) 重点矿山安全“体检”阶段（2023年8月底前）。各省级矿山安全监管部门会同各省级局组织专家，结合实际细化制定《重点矿山安全“体检”表》，对边坡高度100米及以上、井田面积小于2平方公里、生产能力100万吨/年及以下、可采储量不足3年、近3年核增生产能力等露天煤矿；采场边坡现状高度100米及以上的金属非金属露天矿山，现状堆置高度100米及以上的排土场，以及井工转露天开采、可采储量不足3年、利用上部露天采坑排放尾砂的露天矿山，对标对表开展安全“体检”。对重点企业的安全“体检”要在汛期到来前完成。对每处矿山“体检”结束后，要及时形成“体检”报告，列出问题清单，提出处置意见和针对性对策建议，并将“体检”报告及处置意见通报有关地方政府及矿山属地的地方安全监管部门。属地矿山安全监管部门要督促矿山企业抓好“体检”发现问题隐患的整改落实，重大隐患应当由省级矿山安全监管部门挂牌督办。

(三) 监督检查阶段（2023年10月底前）。各省级矿山安全监管部门牵头，联合各省级局组成督导组，对辖区露天矿山安全生产专项整治工作开展专项督导。要对企业自查自改情况进行抽查检查，发现自查自改不认真、主要问题未找准、风险研判不全面、问题整改不彻底的，一律推倒重来。要对纳入“体检”范围的矿山开展“回头看”专项执法检查，重点检查“体检”发现的问题隐患是否真正整改到位、安全风险管控措施是否真正落实到位。抽查露天矿山的比例由各地结合实际自行确定。

(四) 总结评估阶段（2023年12月底前）。监督检查阶段工作结束后，各省级矿山安全监管部门要会同各省级局全面总结评估专项整治工作开展情况，建立问题隐患及整改销号台账，深入分析露天矿山开采存在的共性问题 and 突出问题，健全完善相关制度措施，逐项推动落实，全面提升露天矿山安全生产水平，并形成总结报告，于2024年1月底前报送国家矿山安全监察局。

六、工作要求

(一) 高度重视，加强组织领导。各省级矿山安全监管监察部门要高度重视，将专项整治纳入年度重点工作安排，主要负责人要亲自研究、亲自部署；各省级矿山安全监管监察部门要牵头组织成立领导小组和工作专班，建立完善工作调度、总结分析、通报等机制。各省级矿山安全监管监察部门要会同各省级局制定本地区专项整治工作方案，确定安全“体检”矿山名单，选派监管监察执法人员，聘请专家参加。各级矿山安全监管监察部门要将本次专项整治作为推动露天矿山安全生产形势根本好转的重要举措，主要负责人要带头深入一线，推动压实各方责任。

(二) 重拳出击，严格执法检查。对安全“体检”和执法检查发现的重大隐患以及安全生产违法行为，要依法进行处理处罚，并严肃追究企业相关人员的责任。对边坡失稳的，必须立即下达从危险区域撤出作业人员的指令；对存在重大隐患、拒不执行监管监察指令等严重违法违规行为的矿山，要责令停产整顿，经停产整顿仍不具备安全生产条件的，要依法提请地方政府予以关闭。发现超层越界开采等需要移送相关部门处理的，要及时移送相关部门，同时通报地方政府。

(三) 加强引导，强化社会监督。各级矿山安全监管监察部门要充分发挥舆论和社会监督作用，加大宣传和举报奖励力度，畅通举报渠道，鼓励群众通过“12350”举报电话等途径举报矿山违法违规行为 and 重大隐患；对核查属实的，要按规定兑现举报奖励。加大先进典型经验交流推广和反面案例曝光力度，强化示范引领和警示教育。

(四) 服务企业，开展指导帮扶。各省级矿山安全监管部门要会同各省级局通过组织专题培训、开展示范式检查等方式，指导矿山企业制定自查方案，细化自查内容，高标准、严要求开展自查自改。坚持严格执法与热情服务相结合，从优化采场布置、强化重大灾害治理、推广先进适用技术等方面，对矿山企业开展帮扶，指导推动企业找准和解决制约安全生产的深层次问题，落实安全生产主体责任，夯实安全基础，强化技术管理，提升安全生产水平。📍



张超

矿山边坡安全风险预警
与灾害防控应急管理部
重点实验室副主任



矿山边坡安全风险预警与灾害防控 应急管理部重点实验室： 用精准预警护矿山边坡安全

□撰稿 / 何溪

“假如将一座露天矿山边坡监测数据给你，你能准确判断边坡什么时候会发生滑坡吗？”这是矿山边坡安全风险预警与灾害防控应急管理部重点实验室（下称矿山边坡重点实验室）副主任张超在每次讲到矿山边坡监测时都会问的问题，而他得到的回答无一例外都是：“不能。”

这样的结果并没有让他感到意外。在张超看来，由于矿山边坡地质条件复杂，且边坡类型较多，不同类型边坡失稳过程与破坏启动条件又不尽相同，矿山边坡精准预警成为当下一大难题。为了破局，张超所在的矿山边坡重点实验室正在围绕矿山边坡的失稳机理、预警模型、监测预警设备等方面展开研究，力争五至十年内在矿山边坡精准预警方面取得突破，为我国矿山边坡安全风险预警、灾害防控与应急抢险提供理论与技术支撑。

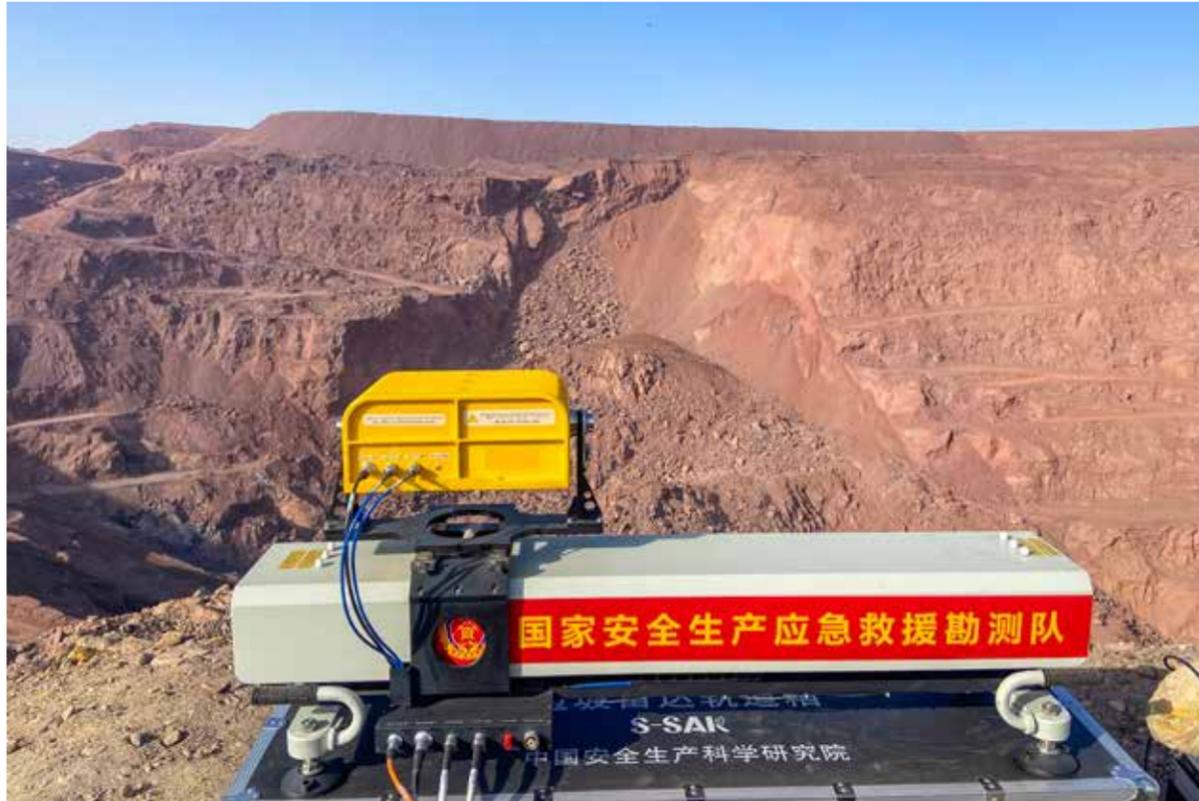
挂牌成立，聚焦矿山边坡精准预警攻关

去年5月17日，由中国科学院武汉岩土力学研究所、中国安全生产科学研究院共同建设的矿山边坡重点实验室在武汉挂牌成立，由中国工程院院士杨春和担任实验室学术带头人。正如实验室名字那样，矿山边坡重点实验室的

主要研究重心放在矿山边坡预警技术攻关上，旨在解决矿山边坡精准预警的难题。

当前，通过GNSS技术、无人机倾斜摄影测量技术、地面三维激光扫描技术、InSAR技术、边坡雷达、分布式光纤传感监测技术、边坡牛顿力监测技术、测斜仪、渗压计、雨量计等丰富多样的矿山边坡监测手段，矿山边坡实现了全天候、自动化的在线监测，满足了矿山边坡的监测需求。“毕竟边坡在发生失稳前，肯定会有前兆，这些前兆信息通过各种矿山边坡监测手段能够捕捉到，”张超说，“但预警效果距离矿山安全生产需求还有一定的差距。”他指出，目前通过监测数据结合经验阈值进行矿山边坡预警的做法，难以做到矿山边坡精准预警。“因为矿山边坡监测手段捕捉到边坡变化后，这个变化可能会产生滑坡，也有可能不产生滑坡。这时预警阈值如果设置高了，就会出现漏报。如果设置过低，就会出现误报。”

为了保障矿山安全生产，攻克矿山边坡精准预警难题势在必行，而这一重任落在了矿山边坡重点实验室身上。如何破局？矿山边坡重点实验室有自己的想法：第一步研究失稳机理，分析边坡不同阶段的成因机制；第二步构



▲ 矿山边坡重点实验室共建单位中国安全生产科学研究院研发的矿山边坡合成孔径雷达

建预警模型，设立合理的预警阈值；第三步研发监测预警设备，及时发布边坡监测预警信息。“这三步是攻克矿山边坡精准预警难题的关键，只要有一步没做好，矿山边坡就很难实现精准预警。”张超说。

初显成效，矿山边坡精准预警有突破

通过结合中国科学院武汉岩土力学研究所在大冶铁矿、海南铁矿、德兴铜矿等大型露天矿山开展的为期二十余年的边坡监测预警研究成果，矿山边坡重点实验室在研究失稳机理、构建预警模型、研发监测预警设备等方面取得了初步成效。

在研究失稳机理方面，矿山边坡重点实验

室一方面初步揭示了露天矿、尾矿库、排土场等不同类型矿山边坡的失稳机理、破坏模式与发展规律，另一方面根据矿山边坡不同的地质结构、坡度、高度、区域降雨量等情况，动态分析了边坡不同阶段的成因机制。“根据动态成因机制，给出边坡不同发展阶段变形破坏的初始阈值。由于矿山边坡不同高度、不同位置受岩性、构造等因素的控制，变形破坏的模式和深度有所不同，边坡预警阈值范围往往差异较大，空间上需要根据实际情况进行分区域设置和调整。”张超补充道。

在构建预警模型方面，矿山边坡重点实验室通过现场实时监测和数值计算相结合，建立了露天矿、尾矿库、排土场等不同类型矿山边

坡灾变预测预警模型，初步得出了合理的矿山边坡预警阈值。

在研发监测预警设备方面，矿山边坡重点实验室共建单位中国安全生产科学研究院研发了一系列性能达到国际领先水平的矿山边坡合成孔径雷达，该设备能连续监测开挖过程的各种变形数据，并根据预警的判别准则，及时发布边坡预警信息。

在取得初步成效的同时，矿山边坡重点实验室正面临着两大挑战。“一是露天矿边坡受地层岩性和构造的影响，往往会出现完全不同的边坡变形破坏模式，对应的预警模式和阈值也区别较大，这给边坡预警带来很大的挑战；二是大型露天矿山往往范围较大，难以确定合理的监测布置区域以及合理的测点数量，进而无法准确地进行全方位露天矿山边坡监测预警。”张超说。对此，矿山边坡重点实验室将结合长周期的监测预警科研项目，深入研究不同类型矿山边坡变形与稳定性之间的关系，揭示边坡失稳破坏全过程演化规律，确定重点监测区域与监测方法，设立合理的预警阈值，以实现矿山边坡精准预警。

多方着手，力争用规范指导边坡监测预警工作

在谈到矿山边坡重点实验室下一步规划时，张超表示，矿山边坡重点实验室制定了“一个目标，五个内容”的发展规划。

一个目标，是指矿山边坡重点实验室围绕产学研模式、设备与技术的研发、不同阶段监测手段优选、边坡的预警阈值选择、边坡监测预警方法等方面展开研究，力争在矿山边坡监测预警方面形成相关的行业标准或规范，从而有效地指导全国范围内露天矿边坡的监测预警工作。

五个内容，一是矿山边坡重点实验室探索

科研单位全生命周期参与矿山边坡监测预警的产学研模式、科研探索与生产预警互相促进机制、边坡监测预警信息发布与企业生产联动管理等；二是矿山边坡重点实验室完善边坡雷达、多功能钻孔测斜、裂缝监测与封堵等实验室专利监测技术与设备的研发，在地质构造和早期变形裂缝识别方面进一步完善无人机照相测量、激光扫描等相关技术的应用；三是矿山边坡重点实验室研究不同岩性和构造条件下矿山边坡不同阶段的变形破坏特征，给出不同阶段边坡的主要监测手段；四是矿山边坡重点实验室研究降雨条件下高陡矿山边坡的变形破坏机制的动态变化规律，初步给出不同岩性构造地质背景下高陡矿山边坡变形发展不同阶段的预警阈值范围；五是矿山边坡重点实验室研究不同种类的监测数据在边坡监测预警中的相互验证、补充作用，结合地形、岩性与构造背景，给出不同主控因素和多因素监测预警方法建议等。

开好局、起好步的矿山边坡重点实验室展望未来能够在矿山边坡监测预警工作上谱新篇。“尤其是让矿山边坡预警可以离精准目标更进一步。”张超最后说道。



李陶

武汉大学卫星导航定位
技术研究中心教授



GNSS监测矿山边坡在对不在“精”

□撰稿 / 何溪

今年2月22日，内蒙古阿拉善一处露天煤矿发生边坡坍塌事故，造成了数十人伤亡。事故发生后，矿山领域的很多人都把目光聚焦在如何利用智能化、自动化的边坡监测技术避免事故发生上，而武汉大学卫星导航定位技术研究中心教授李陶则在反思矿山企业为什么没有定期开展相应的边坡监测，为什么没有使用现有的边坡监测技术。“这个事故告诉我们，矿山边坡监测的核心是边坡监测技术要能够让每个矿山都用得起、用得好，这意味着边坡监测技术的经济性要符合矿山的成本预算，这样矿山企业才愿意使用边坡监测技术。”他如是说。

李陶口中的经济性是指，边坡监测技术要在满足矿山企业在矿山监测的基本规范要求下，以及传统测绘技术投入的基础上，如何利用同样的经济成本实现边坡变形的智能化、自动化监测。在当前的矿山边坡监测技术中，可以全天候自动化监测的GNSS（全球导航卫星系统）技术是矿山边坡监测的重要手段之一。根据市场需求，GNSS监测设备的精度分为米级、分米级、厘米级、毫米级。在李陶看来，“一个月才动几厘米”的矿山边坡根据国内露天矿山高陡边坡监测的相关规范要求（GNSS监测设备的水平误差不大于6毫米、高程误差不大于3毫米），厘米级GNSS监测设备就能满足边坡监测需求。“毫米级的GNSS监测设备尽管精度更高，但会增加矿山企业的投入成本，因而矿山企业在选择GNSS监测设备时，考虑更多的是经济实用，而不是精度指标。”

GNSS替代人工，全天候监测边坡

GNSS技术应用于矿山边坡监测，这是科技发展的必然结果。在GNSS技术应用前，矿山边坡监测的方法是用常规大地测量方法，即采用经纬仪、全站仪以及水准仪等测量仪器测定点的变形值。该方法需要人员到现场观测，工作

量大，且人身安全难以得到保障。同时，受天气、人工、现场条件等因素的影响，该方法存在一定的系统和人为误差，无法获取高精度的监测数据。

当GNSS技术出现以后，因具有定位精度高、同时测定点的三维位移、测站点间无需保持通视、全天候观测等特性被引入到矿山边坡监测中，逐渐替代常规大地测量方法，成为矿山边坡安全的“守护者”。基于GNSS技术，矿山通过在边坡重点部位布设GNSS监测设备，实现了边坡24小时全天候自动化监测和预警，大大提高了矿山边坡监测预警能力，有力保障了矿山安全生产。

随着北斗的日益完善，GNSS技术为矿山边坡监测提供的服务迎来了大飞跃。首先，北斗基于短报文功能，助力GNSS监测设备实现了无信号、弱信号、无公网等地区的矿山边坡监测信息采集和回传，解决了该地区的矿山边坡自动化监测预警的难题；其次，北斗通过采用三种轨道（地球静止轨道、倾斜地球同步轨道、中圆地球轨道），在中国区域的可见卫星数大大增加，提高了GNSS监测设备的定位可靠性和抗干扰能力；最后，北斗解决了GNSS监测设备对国外GNSS的依赖问题，实现了矿山边坡监测设备的全国产化和自主可控。“一旦国外GNSS停止服务，采用国外GNSS的基准站差分定位技术的GNSS监测设备将无法工作，矿山边坡安全将无从谈起。”李陶说。

同时，李陶还提到，国产GNSS芯片的自主研发，不仅让GNSS监测设备的核心部件摆脱了国外制约，而且带动了GNSS监测设备的成本降低，让更多的矿山企业能用上GNSS监测设备。

在北斗的驱动下，性能得到全面提升的国产GNSS监测设备成为当前矿山企业监测边坡的首选装备，用实时监测和精准预警，为矿山生产安全加码。

抓源头、严末端，让GNSS守护边坡安全

随着国家不断重视矿山安全生产，对智能化、小型化、低功耗的GNSS监测设备需求不断增加，这让越来越多的中小企业，甚至高校，涌向GNSS监测领域，力争在矿山边坡监测市场中抢得一杯羹。然而，在李陶看来，繁荣景象背后存在着一大隐患，即GNSS监测设备品牌类型多、产品质量参差不齐，使得国产GNSS监测设备在无力与国外品牌抗衡的同时，监测效果也会大打折扣。

如何破除隐患，提高产品质量？李陶给出了自己的建议。一是各行业各司其职，做好各自的本职工作。他指出，企业的责任是严把质量关，提高GNSS监测设备稳定性，确保每台设备能满足矿山边坡监测需求；高校的责任是攻关GNSS变形监测技术前沿课题，突破“卡脖子”技术瓶颈。“矿山企业的责任是要擦亮双眼，选择可靠的GNSS设备。同时监察部门也要做好招投标市场整治工作，遏制围标串标、恶意中标等行为，为业内营造一个公开公正的营商环境。”李陶说。二是头部企业应进行强强合作，制定严格的产品质量标准，用高标准引领行业发展。“这样不仅保障了GNSS技术在矿山边坡监测中的快速普及，还能提高国产GNSS监测设备在国际市场上的竞争力。”李陶说。

从源头上把控产品质量，这在李陶看来，此举是GNSS技术做好矿山边坡监测关键两步的第一步。“第二步是末端把控设备施工质量，这是走好‘最后一公里’的关键。因为施工质量差，设备再好也没用。”他指出，目前个别的矿山在安装GNSS监测设备时，不愿意建基础埋深为一米的观测墩。即便建了，观测墩也埋得很浅，“风一吹就会晃动，观测结果肯定不准确。”同时，GNSS监测设备安装在有遮挡区域，监测效果同样也会受影响。因此，李陶认为，设备施工方要加强工程质量管理，确保GNSS监测设备有良好的通视条件和较为稳定理

设条件，保证观测墩与周边的地质环境成为一个整体。“矿山企业还要加强监督，第三方监理单位也要引入，这样设备安装的质量才更有保障。”

无论是“抓源头”还是“严末端”，各方的努力必不可少。“只有大家一起努力，GNSS技术才能做好矿山边坡监测服务。”李陶说。

GNSS融合InSAR，矿山边坡监测更有保障

未来，GNSS技术如何完善才能更好地为矿山边坡安全保驾护航？李陶谈了自己的看法。

第一，GNSS技术与InSAR技术的融合应用，提升GNSS高程精度。李陶指出，受卫星实际分布因素影响，GNSS在测量平面位置时，可以通过对时间段的观测和选择的卫星来保证卫星呈基本对称分布，进而减弱或者消除测量距离中的偏差、卫星信号传播过程中引发的延迟误差等其他误差对平面位置的影响。但是GNSS在测量高程时，被观测的卫星基本全部处在平面以上，呈不对称的分布状态，因此误差难以消除，使得高程精度低于水平精度。以北斗为例，在亚太地区实时RTK的定位精度水平精度为2厘米，高程精度为5厘米。为了提升GNSS的高程精度，能够获取毫米级高程精度的InSAR技术成为了GNSS技术补强的理想对象。InSAR技术是一种利用合成孔径雷达对同一地区观测的两幅复数值影像（既有幅值又有相位的影像）数据进行相干处理，以获取地表高程数据的技术。“X波段合成孔径雷达卫星的波长约为3.1厘米，目前大部分SAR卫星的相位观测精度可达1/100波长，这意味着理论上InSAR技术能获得毫米级的监测精度。”李陶说。

当前，李陶正带领团队从事GNSS技术与InSAR技术融合方面的研究，并在金沙江溪洛渡水电站的大坝形变监测、湖北巴东地质灾害国家野外科学观测研究站滑坡变形监测中验证了相关的精度指标。“通过在滑坡体上的观测



▲中海达GNSS监测设备监测矿山边坡

墩安装北斗角反射器，我们成功将GNSS的高程精度修正到了1~2毫米。”李陶说。他提到的北斗角反射器是一种金属材质的雷达信号反射装置，它无需电源、通讯，主要是把雷达卫星发射的信号原路反射回卫星天线，再由人通过卫星影像分析北斗角反射器目标的位移变化。通过InSAR技术的助力，GNSS技术可以获取矿山边坡上高程方向毫米级监测数据，进一步提高了矿山边坡监测的精准度。

第二，推进GNSS技术定制化服务，确保矿山边坡监测精度。李陶认为，矿山边坡监测属于工程测量范畴，承建企业需要因地制宜为矿山边坡监测开展定制化服务。“因为每个矿山所处的地理环境、气候条件、电磁干扰等各不相同，这使得GNSS监测设备采集的数据精度有高有低，难以做到精准的矿山边坡监测服务。因此承建企业需要围绕设备的类型、站点布设，以及软件算法等开展定制化服务，以确保GNSS监测设备获取精确的矿山边坡变形信息。”李陶说。

第三，放宽北斗数据流传输的限制政策，让GNSS技术守护更多的矿山边坡安全。李陶指

出，当前国家对北斗原始观测值数据流的传输增加了诸多保密、政策审查等方面的限制，这无疑增加了北斗技术在国内外矿山边坡监测等领域应用的制度性成本。“目前北斗技术本身已成熟，就差北斗实时数据流保密及政策审查制度的进一步开放。”李陶正在向湖北省建议对现有的北斗实时数据流传输相关的保密和审查制度进行适当的调整，吸纳更多的中小企业能够参与到北斗技术的创新应用和定制化服务中，以便更好地赋能矿山边坡监测等领域。

李陶认为，随着GNSS技术的不断完善，以及设备的经济实用，实现自主可控的国产GNSS监测设备将通过与国产商业化SAR卫星星座联合，可以守护好每一座矿山边坡，为矿山安全生产筑起一道安全屏障。

InSAR是大范围矿山边坡监测利器

□撰稿 / 李善清

杨泽发

中南大学地球科学与信息物理学院教授



矿山边坡监测对矿山的安全生产至关重要。然而，基于传统测量设备（如GPS和水准仪）的矿山边坡监测存在范围小、工作量大、成本高、效率低等问题。近年来发展的卫星遥感技术，特别是合成孔径雷达干涉（InSAR）技术，为弥补传统测量手段的不足提供了契机。

InSAR技术测距精度高

InSAR技术以星载或地基SAR传感器获取的两景或两景以上多时相SAR影像数据为基础，通过干涉处理提取SAR影像覆盖范围内地表沿着SAR传感器视线方向的形变信息。

“其实，InSAR变形监测的核心思想比较简单，卫星或地基SAR传感器通过对同一地区多次测距，通过计算距离差即可测量地表变形。由于InSAR技术测距使用的是电磁波相位信息，所以它的测距精度是比较高。”中南大学地球科学与信息物理学院教授杨泽发如是说。

相对于GPS、水准仪等传统测量设备，InSAR技术具有全天候、全天时、覆盖范围大、空间分辨率高、成本低等变形监测优势。杨泽发以欧洲空间局哥白尼计划（GMES）中的地球观测卫星“哨兵一号”（Sentinel-1）TOPS干涉模式SAR数据为例，进一步展开介绍：“哨兵一号”空间覆盖范围约为250km×160km，地距向和方位向的空间分辨率约为5m×20m，最短重返周期为6天（以Sentinel-1A和1B星座协同）。理想情况下，利用TOPS模式获取的SAR数据可一次性免费监测约40000km²，最短时间间隔为6天，空间分辨率约为20m的地表形变图。如此高时空分辨率的地表形变图是传统测量手段几乎无法获得的。

2000年左右，InSAR技术首次被应用于矿山边坡监测，2003年我国有学者尝试使用InSAR技术监测矿山边坡。“由于国内外应用InSAR技术监测矿山边坡的研究基本同时期起步，加之我国矿山监测需求量大，所以目前我国InSAR技术在矿山领域的研究与应用在国际上都算做得很好。”杨泽发如是说。经过近二十年的发展，InSAR技术已然成为了矿山边坡监测的利器。

InSAR技术精准评估与预警仍有难度

无论采用何种手段，矿山边坡监测的最终目标是提前发现并预警边坡滑坡灾害。但如何利用InSAR技术回

答“哪里有滑坡风险？什么时候会发生？”等矿山安全生产关心的问题还面临着三大“拦路虎”。

一是InSAR技术形变观测值时间分辨率不足，特别是星载SAR，难以满足矿山边坡滑坡预警需求。“仍以‘哨兵一号’为例，即使其重返周期最短为6天，远比一般SAR卫星十几天的重返周期短，但从边坡滑坡等地质灾害预警角度，数天时间仍然过长。”杨泽发说。

二是InSAR技术变形监测的空间维度信息不足，容易误判或错判边坡滑坡风险。“受SAR卫星侧视成像的影响，单一平台或轨道InSAR技术监测的地表变形是沿雷达视线方向的一维形变，而非三维空间中的真实变形矢量，因此难以客观反映矿山边坡真实的变形特征，从而造成滑坡风险的错判或漏判。”

三是不同边坡地质条件差异较大，仅通过InSAR技术监测地表几何变形信息的准确性不高。“虽然地表变形是边坡运动学的主要表征之一，但是同样的变形量级发生在不同的边坡上，有些边坡可能就垮了，而有些边坡可能就不垮，垮或不垮与边坡地形地貌以及地质条件关系很大。因此，仅依赖于变形信息或者统一的变形阈值预警矿山边坡滑坡可靠性不高。”杨泽发说。

多方合力，破解难题

面对上述三个主要“拦路虎”，杨泽发表示，“政府、企业、高校、科研院所等多方联合能加速InSAR技术在矿山边坡监测与预警方面的落地应用。比如联合政府与企业，通过SAR卫星星座组建、InSAR卫星小型化，甚至地球静止轨道SAR卫星研发等途径，提升InSAR技术监测矿山边坡时间分辨率；充分发挥高校和科研院所的瓶颈攻关能力，研发矿山边坡三维变形InSAR精细监测理论，联合天-空-地-深等多源新型测量手段，建立一套同时顾及InSAR几何变形、边坡地质地貌以及环境物理量的矿山边坡滑坡高精度监测预警技术体系；联合校企，建立科技成果转化推广与需求反馈的优化联动机制，形成矿山边坡监测预警的完整理论、技术和硬件装备。”相信随着InSAR技术的不断发展、完善以及推广，InSAR技术将在矿山边坡监测中发挥更大作用，为矿山工程的安全管理和风险评估提供更可靠的数据支持。📍



刘善军

东北大学资源与土木工程
学院教授



天空地协同监测，边坡安全有保障

□撰稿 / 李善清

今年2月，国家矿山安全监察局发布关于开展露天矿山安全生产专项整治的通知，从3月至年底，全面排查露天矿山安全风险，扎实开展重点露天矿山安全“体检”，以提升露天矿山安全保障水平，坚决防范遏制重特大事故发生。矿山作为重要的经济资源开发领域，其安全和生产问题一直备受关注。而矿山边坡监测对于保障矿山安全和生产至关重要，利用科技手段加强矿山边坡监测已成为矿山行业共识。

在东北大学资源与土木工程学院教授刘善军看来，矿山行业重视科技手段的主要原因有两点，一是“安全是重中之重”，这一点毋庸置疑；二是随着科技发展，监测手段越来越先进，监测成果突出，并且监测设备的成本下降至矿山企业能承受的范围，也促使矿山行业更愿意使用矿山边坡监测手段。

矿山边坡从人工监测到科技监测

我国矿山边坡监测手段的演变历程经历了传统监测手段和现代监测手段两个阶段。传统监测手段主要包括人工巡视和地面测量。早期的矿山边坡监测主要依靠人工观测和经验判断。矿工通过直观地观察边坡的变形情况来判断是否存在安全隐患，这种方法存在主观性强、数据不准确等问题。后来，矿山引入了测量仪器如水准仪、经纬仪等，尽管提高了边坡监测的准确性，但其面临监测精度低、观测范围狭窄、数据获取困难、工作强度大等问题。

现代监测手段主要依靠先进的技术手段，如全站仪监测、卫星导航系统(GNSS)变形监测、雷达差分干涉测量(D-InSAR)、近景及无人机(UAV)航空摄影测量、远距离三维激光扫描(TLS)等，显著提高了监测效果和效率。但不同的监测手段仍因其自身固有的优势及劣势，呈现出一定的局限性。如全站仪监测具有

高精度和广泛适用性的优点，但需要人工操作且监测范围受限；GNSS监测虽然精度高、响应快，可实现在线、连续监测，但监测点位稀疏，在深坑环境中卫星信号差且易产生多路径效应而无法监测；D-InSAR虽然测量精度高且为面式监测，可获取大范围位移场信息，但大变形时相位解缠困难或相位失相关；TLS虽然速度快、精度较高，但存在扫描死角、且配套的软件模块对大规模点云数据的处理比较复杂等问题。

应运而生，天空地协同监测护边坡安全

为了更好地进行矿山边坡监测，协同运用上述监测手段是必然趋势。在国家重点基础研究发展计划(973)项目“空天地一体化对地观测传感网的理论与方法”的支持下，刘善军团队研发形成了一套具有较强普适性的天-空-地观测协同的露天矿边坡智能监测技术。

该技术结合了卫星遥感、无人机航拍和地面监测手段，实现了多源数据的集成和综合分析。刘善军介绍道：“在早期，我们可以通过两种手段找到监测靶区。我们使用热成像仪进行矿山边坡温度场探测，根据目标辐射亮温与发射率和温度的关系，以及温度与表层岩性、地质结构及岩土湿度的关系，识别矿山边坡中的断层、破碎带、含水带以及软岩层，从而确定滑坡隐患区和潜在危险区。同时，使用D-InSAR技术监测分析整个边坡区域的位移场，甄别出正在发生变形的区域，并与热像确定的隐患区一起作为后续监测靶区。”

确认靶区后，结合矿区地形及矿山边坡可达性，在靶区选择一组关键点位布设地面GNSS、降雨量及钻孔倾斜、岩土湿度等监测点，建立多参数连续监测网，并与附近的GNSS连续运行参考站(CORS)进行联测，实现滑坡体



▲刘善军在矿山开展边坡监测工作

多参数地基监测。同时利用智能处理软件模块，快速处理地基监测数据，自动分析监测数据的变化特征，智能判断边坡变化趋势及异动现象。当监测数据超出阈值（如位移加速或位移量累计达dm级），即可应急采用地面双/多目CCD监控影像进行位移场宏观监测，并联合TLS进行位移场扫描。

而当边坡进入大变形阶段时（如位移量累计达米级），则可采用卫星高分影像监测矿坑水平位移场，并联合地基TLS扫描滑动边坡，实现矿坑边坡三维大变形场的精准、全面监测。再根据多平台、多参数监测数据，智能分析和确定滑坡破坏位置、成灾区域和潜在滑动体，并利用UAV查证核实、TLS跟踪扫描，为边坡灾害及隐患治理提供依据。

刘善军强调，露天矿边坡天-空-地协同智能监测技术的特点是“三协同、一智能”。“具体来说就是时间协同、空间协同、多参数协同、智能分析。”时间协同是指在不同阶段使用不同的监测手段，实现涵盖滑坡孕育发展全程的、技术经济有效的连续监测；空间协同是指将点式和面式监测相结合、

地上和地下监测相结合、天-空-地多平台相结合，发挥不同手段、不同方法的各自优势，实现矿坑整体的全覆盖、多层次和多精度监测；多参数协同是指地表位移、几何变形、地表温度、岩土湿度、降雨量等（还可按需增加应力、微震等）监测协同，实现多参数、多维信息互补增强，支撑时空关联与智能分析；智能分析是指结合矿山边坡运移及滑坡成灾规律，设计人工智能算法、开发软件模块、形成智能监测系统，根据目标态势自动进行监测单元工作状态与模式的分期配置和节能优化，以及休眠单元唤醒和事件驱动，进而实现多平台、多参数协同规划、应急聚焦和智能预警。

“首秀”出色，多方应用

露天矿边坡天-空-地协同智能监测技术刚提出不久，就迎来了“首秀”的机会。刘善军回忆道：“当时是2013年底，抚顺西露天煤矿发生滑坡，恰好被露天矿边坡天-空-地协同智能监测技术监测到了，监测效果受到大家一致好评。”抚顺西露天煤矿是亚洲第一大露天矿，已有百余年开采历史，2013年已形成长

6.6km、宽2.2km、深达500m的露天大坑。刘善军在该矿使用天-空-地多源协同观测方案，集成了多种监测技术，包括天基（卫星InSAR、卫星高分遥感）、空基（无人机高分影像）、地基（GNSS站点、TLS、红外热像、测量机器人、IoT）等技术，系统开展了西露天矿特大滑坡的天-空-地协同观测与分析，有效掌握了该滑坡形成与时空发育规律，为滑坡治理提供了关键信息和技术支撑。

随后，露天矿边坡天-空-地协同智能监测技术逐渐应用于鞍钢鞍千铁矿、鞍钢弓长岭铁矿等大型露天矿的边坡监测。

好技术要“物美价廉”“易上手”

在刘善军看来，天-空-地观测协同的露天矿边坡智能监测技术在矿山行业应用推广面临两大挑战。挑战一是成本高昂。目前天-空-地观测协同的露天矿边坡智能监测技术主要在大型露天矿应用，对中小型矿来说部署一整套天-空-地协同智能监测系统，是一笔不小的成本。但随着测绘技术发展，该系统的组成设备成本有望下降。“例如地基InSAR，此前购买需几百万元，但目前大概几十万元即可。”他说。

挑战二是用好比较难。刘善军同样以InSAR为例说明：“InSAR技术的应用对于变形监测具有划时代的意义。InSAR技术目前的困境是，不懂的人总想要一个傻瓜式的工具，拿到数据以后，用软件一处理，出结果即可。但这是不可能的。因为数据出来后，工作人员需要分析是真变形还是假变形？边坡问题是由应力作用引起的，还是其他因素？就如同医生看CT片，没经验的医生容易看漏眼，没发现病灶就麻烦了。”

对此，刘善军认为有以下几点方法可以解

决如何好用的问题。方法一，建立跨学科、跨机构的联合研究项目，集合多方力量共同攻关。组织矿山行业的企事业单位、科研院所和高校等共同参与矿山边坡监测技术的研究项目，共享资源和专业知识，提高研究水平和应用效果。方法二，加强矿山边坡监测领域的人才培养与教育。高校要设立相关跨学科专业课程和研究生培养项目，培养矿山边坡监测领域的综合人才。同时鼓励学生参与科研项目和实践活动，培养他们的操作能力和创新能力。方法三，加大矿山边坡监测技术研究的资金支持力度，提供项目资助、奖学金和科研经费等支持。制定相关政策和标准，推动矿山行业对边坡监测技术的重视，并为相关科研和应用提供政策引导。方法四，建立矿山边坡监测数据的共享平台和数据库，鼓励相关单位和研究人员将监测数据进行共享和开放。“通过数据共享，可以提高数据的可利用性和分析效果，促进科研合作和技术创新。”他说。

刘善军进一步表示，企业可以借助高校的科研实力和专业知识，获取先进的监测技术和方法，提高矿山边坡的安全性和稳定性。高校则可以借助企业的实际场地和数据支持，将科研成果应用到实践中，提升科研的实用性和应用效果。在多方力量协同合作下，定然可以推动矿山边坡监测技术的发展和革新，助力我国矿山边坡提升安全性。📍



▲黑山露天煤矿采场生产现场



▲固定式观测墩中海达 GNSS 边坡监测站



▲移动式观测箱中海达 GNSS 边坡监测站

GNSS用毫米级实时 守护矿山安全生产

□撰稿 / 何溪

位于新疆吐鲁番地区托克逊县的国家能源集团新疆能源有限责任公司黑山露天煤矿，从2013年开采至今，煤炭年产量逐年增长，在2021年突破千万吨，为我国经济社会发展提供强有效的能源保障。去年年中，经国家发改委批准，黑山露天煤矿生产能力由1300万吨/年核增至1600万吨/年。

黑山露天煤矿大干快上的背后，有中海达GNSS边坡自动化监测系统的助力。在中海达GNSS边坡自动化监测系统24小时的守护下，黑山露天煤矿对排土场和开采区的边坡隐患早发现早避险，有效保证了煤矿安全生产。正如黑山露天煤矿地测部门负责人李卫鹏所说：“中海

达GNSS边坡自动化监测系统对煤矿的生产建设起到了很大的帮助作用。”

定点监测排土场边坡，护航煤矿安全

2013年4月29日这一天，随着现场挖掘机的阵阵轰鸣声，黑山露天煤矿开采正式拉开序幕。煤层表面剥离的土石被一辆辆卡车运往排土场。经过一年多的堆积，排土场逐渐形成了一个高边坡。排土场在降雨或地表水浸润作用下，极易引发滑坡、崩塌等灾害，这给黑山露天煤矿的安全生产带来了极大隐患。因此，黑山露天煤矿急需引进边坡监测手段对排土场的高边坡进行监测。

彼时，拥有全天候、高精度、自动化等优势GNSS边坡自动化监测技术已成为主流的矿山边坡监测手段。该手段通过接收、跟踪、变换和测量卫星数据，分析卫星电文及对相关数据进行处理而获得监测点三维坐标，进而解算获取监测点的地表位移量与沉降位移量，达到边坡自动化监测的目的。2014年夏天，追逐技术潮流的黑山露天煤矿发布了排土场GNSS边坡自动化监测建设项目招标公告，项目共布设43个GNSS边坡自动化监测点。经过招投标程序，中海达负责26个GNSS边坡自动化监测点建设。

经过现场勘察、点位布置、货物调配等一系列部署工作后，中海达在黑山露天煤矿的排土场边坡的边缘位置成功布设了26套GNSS边坡自动化监测系统，以监测排土场边缘部位的水平和垂直方向的位移变化。

此次布设的中海达GNSS边坡自动化监测系统，采用固定式观测墩的施工方式，由监测型GNSS接收机和监测预警云平台组成，满足了全天候数据自动化采集、传输、存储和分析处理，全程无人值守的全自动运行监测需求。“一旦监测数据超过预警值，系统能够及时进行

监控大屏幕报警、短信报警、邮件报警，提醒我们采取措施，预防事故发生。”李卫鹏说。

依托中海达GNSS边坡自动化监测系统毫米级监测精度，排土场边坡形变情况尽在黑山露天煤矿的掌握中。“边坡哪怕发生几厘米，甚至几毫米的位移或倾斜，系统也能够第一时间监测到。”李卫鹏说。在GNSS边坡自动化监测系统的护航下，黑山露天煤矿的安全生产得到了有力保障。

为了将监测数据统一接入到本地监测云平台，国家能源集团新疆能源有限责任公司在2019年把剩余的17套GNSS边坡自动化监测系统全部替换成中海达GNSS边坡自动化监测系统。自建成运行以来，中海达43套GNSS边坡自动化监测系统的年在线率始终保持在97%以上，让黑山露天煤矿24小时随时掌握排土场边坡的形变状况，为煤矿的生产筑起了一道安全墙。

移动监测采场边坡，助力安心开采

随着黑山露天煤矿的不断开采，位于矿区的西端工

作帮的边坡高度达到了100米以上，且边坡角度大于30度。根据国家露天矿边坡安全监测等级划分，黑山露天煤矿的工作帮边坡安全监测等级达到了二级，应建立位移在线监测。于是今年黑山露天煤矿提出了边坡监测增补的需求。

鉴于中海达GNSS边坡自动化监测系统在排土场边坡中的稳定表现，黑山露天煤矿选择继续与中海达合作。考虑到露天矿移动式的开采模式，黑山露天煤矿没有继续沿用排土场边坡使用的固定式观测墩的中海达GNSS边坡自动化监测系统，而是选择了移动式观测箱的中海达GNSS边坡自动化监测系统。“因为煤矿随着不断开采，监测区域会随时变化，这就要求我们灵活调整监测设备，因此可以随时改变监测位置的移动式设备比固定式设备更能满足采场边坡监测的需求。”李卫鹏解释道。

根据作业需求，黑山露天煤矿从中海达手中采购了17套移动式观测箱的GNSS边坡自动化监测系统。今年4月份，17套设备陆续进场安装，并于5月份完成所有设备的安装调试与上线运行。“上岗”后的17套设备，哪里需要哪里搬，时刻监测采场边坡的形变状况，“作业人员可以更安心开采”。除了可移动监测外，移动式观测箱的GNSS边坡自动化监测系统采用了小型化、低功耗、高性能、高稳定性的一体式GNSS接收机，可满足黑山露天煤矿长时间无人值守连续工作的需求。“无需担心电池不够用，也让电池更换变得更轻松，”李卫鹏说，“毕竟固定式设备的电池通常埋在地下，每次需要挖出电池才能完成更换，这样一来费时费力。”

同时，一体式GNSS接收机通过接收多种GNSS信号和内置MEMS传感芯片，不仅保证了毫米级的监测精度，而且助力黑山露天煤矿可依据实际情况动态调整监测频率，让边坡监测更高效。

有了17套移动式观测箱的GNSS边坡自动化监测系统的加持，黑山露天煤矿开采步伐迈得更稳更快，朝着年产量1600万吨目标进发，为经济社会高质量发展贡献自己的光和热。

在线率和轻便化有待强化

在中海达GNSS边坡自动化监测系统的守护下，黑山

露天煤矿自开采以来实现了安全零事故。然而，黑山露天煤矿深知安全对矿山生产的重要性，仍对中海达GNSS边坡自动化监测系统提出了更高的期望。

首先，黑山露天煤矿期望中海达GNSS边坡自动化监测系统的年运行在线率达到100%。“因为上级检查时，就要看监测设备有没有全部在线。如果有一个掉线，那就是重大安全隐患。”李卫鹏说。由于受环境、网络等因素影响，监测设备通常允许存在掉线的概率。而中海达GNSS边坡自动化监测系统年运行在线率超过97%的数据，已高于同类产品两个百分点。

最后，黑山露天煤矿期望移动式观测箱的中海达GNSS边坡自动化监测系统可以变得更轻便，方便移动。为了提高抗风性，移动式观测箱的中海达GNSS边坡自动化监测系统重量达300斤以上。移动时，通常需要多人合力才能搬动设备。当边坡中间或较高的位置需要监测时，设备搬运难度大。“因此我们希望设备能在抵御风力的同时，尽可能减轻重量，从而提高监测的工作效率。”李卫鹏说。

为了落实黑山露天煤矿的期望，中海达项目人员正在努力寻求可行的解决方案。在期待中海达GNSS边坡自动化监测系统提升的同时，黑山露天煤矿计划在今年引进边坡雷达监测设备，进一步强化边坡监测水平。“现在使用的中海达监测设备是点对点监测，而边坡雷达监测设备是面状监测，可以对边坡面进行全天候、非接触式、大范围监测。”李卫鹏说。📍



▲内蒙古第八地质勘查院使用V100固定翼无人机系统进行矿山边坡角度测量

航测无人机测量边坡角度，助矿山防灾于未然

□撰稿 / 何溪

“如果定期测量矿山边坡角度，保证坡面角限制在设计范围内，这样就能在很大程度上消除矿山边坡安全隐患，确保矿山安全生产。”内蒙古第八地质矿产勘查开发院（下称内蒙古第八地质勘查院）总工程师胡斌说。

在露天矿中，边坡角度的大小直接影响边坡安全性。边坡角度过大，边坡安全的稳定性系数就会降低，发生坍塌、滑坡等事故的机率就会升高。为此，在矿山开采的过程中，矿政管理部门会通过逐步收集和调研矿山岩石的地质构造信息，设计出合理的边坡角度范围，矿山开挖不能超过边坡角度规定的红线，否则边坡

会因过陡而导致发生坍塌、滑坡等事故。

于是，当矿山边坡形成后，定期监测边坡角度成为矿山一项重要工作。面对矿山的需求，内蒙古第八地质勘查院通过引进中海达航测无人机，实现了快速、准确测量边坡角度，为矿政管理部门和矿山管理者监测矿山开采情况提供了有力的数据支撑。“我们的工作就是协助矿山提前预防边坡灾害事故发生，将安全隐患扼杀在摇篮中。”胡斌说。

从人工测量到无人机测量

胡斌所在的内蒙古第八地质勘查院，是一家成立于



▲内蒙古第八地质勘查院办公大楼

1958年的国有地勘单位，边坡角度测量是其承接业务之一。在引进中海达航测无人机之前，内蒙古第八地质勘查院主要采用人工测量边坡角度。

由于露天矿在测量边坡角度时，很难用肉眼估算角度，因此测量人员需要分别站在坡顶和坡底，操作全站仪和GNSS等仪器进行测量。测量时，测量人员需要不断上下边坡，这样不但劳动强度大，而且时间耗费多，工作效率大大降低。同时，测量人员在坡底测量角度时，浮石容易从坡面滑落砸伤测量人员，且测量人员在上下边坡时也容易滑倒，使得测量人员存在一定的安全隐患。“人工测量还受测量采集点数限制，影响了边坡角度确定的完整性。”胡斌说。因此，改变人工测量方式势在必行。

与中海达合作多年的内蒙古第八地质勘查院，在得知中海达在2016年自主研发了航测无人机后，果断地将其引进，成为内蒙古自治区最早一批应用航测无人机测量边坡角度的单位之一。作为一种新兴的空间数据采集技术，航测无人机通过搭载倾斜相机实现多角度测量，突破了全站仪和GNSS等传统测量仪器数据采集的各种限制，可以高效地测量矿山边坡角度。

新设备的到来，开启了内蒙古第八地质勘查院的矿

山边坡角度测量新篇章。

又快又准又全面测量边坡角度

出于矿山开采进度考虑，内蒙古第八地质勘查院根据业主需求，通常每月测量一次边坡角度。换了新设备的内蒙古第八地质勘查院作业人员，通过操作中海达航测无人机，从垂直、倾斜等不同角度快速采集矿山边坡完整的数据，经软件处理后生成矿山边坡数字高程模型，由此得到边坡断面剖面图，进而算出矿山边坡角度。“业主把我们提供的边坡角度数据与设计的边坡角度数据一对比，就能判断矿山开采是否合理。如果边坡角度超了，矿山就必须进行整改，以防止过度开采导致坍塌、滑坡等事故发生。”胡斌说。

对于中海达航测无人机的表现，胡斌用“又快又准又全面”形容。快即采集快。“同样的矿山边坡角度测量的工作量，人工测量需要一天的时间，而无人机只需要一两个小时就能完成，且人员可以远离危险区域。”他说。准即算得准。中海达航测无人机通过倾斜相机能够真实、客观、精细反映矿山纹理及三维信息，人工干预少，确保了边坡角度准确度。全面即矿山整个边坡角度的获取。“以前人工测量大型的露天矿边坡角度时，



▲V100固定翼无人机系统开展矿山边坡角度测量的作业现场

很难获取整个边坡角度数据，因为地方大，人会有看不到地方。”胡斌说，“而无人机能从空中获取，方便业主全面了解矿山边坡数据。”

在中海达航测无人机获取的精准边坡角度数据支撑下，内蒙古第八地质勘查院服务的矿山没有发生重大的安全生产事故，这让内蒙古第八地质勘查院赢得业主们一致好评。

设备升级，服务能力再提升

收获市场认可的内蒙古第八地质勘查院，更加坚定了用更先进设备提升边坡角度测量的决心。“除了测量边坡角度，我们还能利用无人机做很多事情，比如露天矿土石方测量、地形地貌测量、生态修复等。因此无人机在矿山拥有非常好的应用前景。”胡斌说道。

于是，随着中海达航测无人机的迭代升级，内蒙古第八地质勘查院在去年先后引进了中海达新一代航测无人机产品——D100H多旋翼倾斜摄影系统和V100固定翼无人机系统。其中，D100H多旋翼倾斜摄影系统采用一体化免拆装折叠式设计，配备高精度差分模块，搭载模块化快拆式五镜头倾斜相机X8，可实现1:500高精度测绘项目作业；V100固定翼无人机系统采用多旋翼垂直起

降、固定翼平飞的工作模式让其比旋翼类无人机有更大的航时、航程，而又不存在固定翼无人机使用受起降条件限制的问题，作业场景受限小。

根据两款无人机自身的性能优势，内蒙古第八地质勘查院在承接中小型矿山边坡角度测量业务时，更多地使用D100H多旋翼倾斜摄影系统；大型矿山边坡角度测量更多地使用V100固定翼无人机系统。在中海达航测无人机的作业下，内蒙古第八地质勘查院可以更高效、更精准地测量边坡角度，助力矿山从源头上消除边坡安全隐患。

尽管自己的工作只是提供矿山边坡角度数据，但胡斌和他的同事对这份工作感到自豪，“因为我们的数据，矿山可以远离危险。”同时，这份工作也给他们带去了沉甸甸的责任。而胡斌和他的同事正在用中海达航测无人机去捍卫这份责任。📍



▲克孜勒—塔什特克多金属矿

给边坡做“CT”， 地基InSAR为矿山安全加码

□撰稿 / 何溪

用地基InSAR替代人工监测手段

在引进中海达地基InSAR监测系统之前，克孜勒—塔什特克多金属矿主要使用人工进行矿山边坡监测，即在边坡上设立固定观测点，监测人员使用全站仪、经纬仪定期测量观测点位移变化，以达到监测边坡的目的。

然而，克孜勒—塔什特克多金属矿矿区常年下雪，雪季通常从每年十月份持续到次年的五六月份，观测点被厚厚的积雪掩埋，监测人员不能进行测量，使得边坡安全无法保障。同时，随着开采工作的推进，露采坑南帮形成了一座高达280米的边坡，极易引发滑坡灾害，这对采矿人员、设备的安全造成了巨大威胁。为此，引进先进的矿山边坡监测手段迫在眉睫。

经过一番考察，克孜勒—塔什特克多金属矿将地基InSAR作为引进的目标。“因为地基InSAR是一种高精度、非接触式的监测手段，不仅可以全天候全天时监测边坡位移变化，还能预测边坡位移变化趋势，方便我们实时监测和提前预警。”负责克孜勒—塔什特克多金属矿开发建设的俄龙兴有限责任公司（下称龙兴公司）副总经理程祝祥解释道。在选择设备厂家时，经过重重筛选，中海达凭借出色的性能优势脱颖而出，成为龙兴公司此次边坡监测项目的承建商。

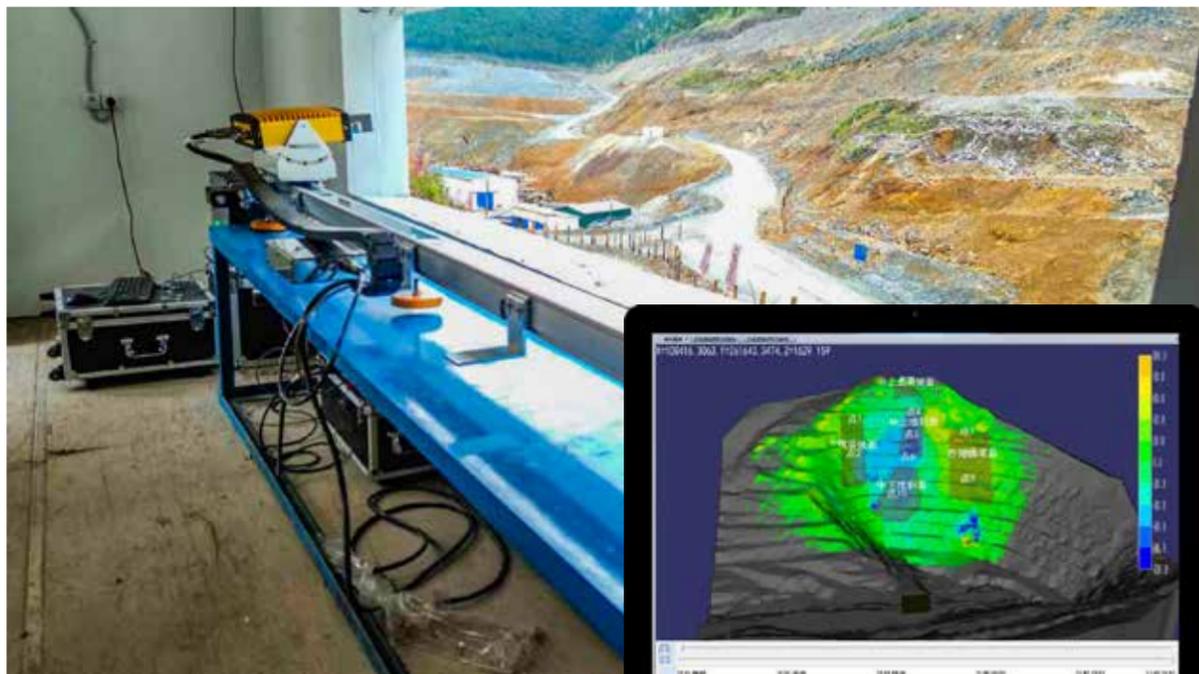
系统上线+应急预案，双重保障为安全

去年八月，中海达技术人员携带地基InSAR监测系统克服疫情带来的不利影响，辗转抵到矿区。经过十余天的安装与调试，地基InSAR监测系统在去年九月正式上线。此次上线的地基InSAR监测系统基于合成孔径雷达和干涉雷达的原理，监测精度可达0.1毫米，可以对大范围观测场景进行微小形变位移信息的提取，实现对监视区域全天时、全天候、非接触、高精度、时空连续的远程监测及滑坡预警。依托地基InSAR监测系统，龙兴公司实现了24小时在线监测边坡的位移变化，从而便于提前预测边坡位移的变化趋势，避免边坡发生滑坡事故，为采场安全生产保驾护航。

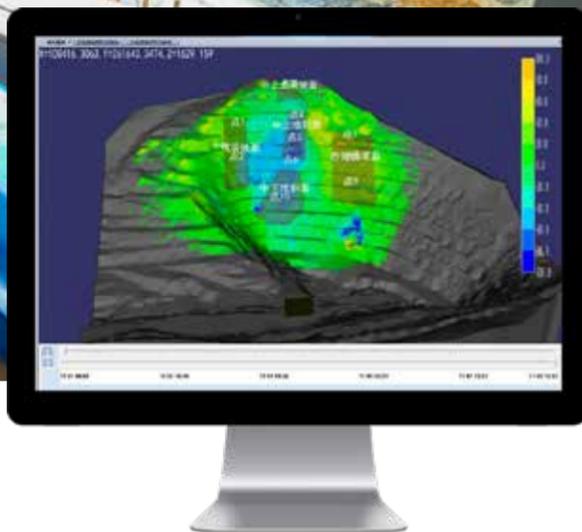
为了方便实时监测，龙兴公司采取了24小时监测值

位于俄罗斯图瓦共和国首府克孜勒市东北120公里、海拔1600多米的克孜勒—塔什特克多金属矿，受地下开采的影响，去年下半年发生了4次小范围的滑坡，结果人员和设备全都安全无恙。这份“零伤亡”答卷的背后是中海达地基InSAR监测系统的功劳。

自去年九月中海达地基InSAR监测系统上线运行以来，克孜勒—塔什特克多金属矿对边坡实现了全天候实时监测，采矿作业和人员设备的安全得到了有效保障。



▲中海达地基 InSAR 监测系统



▲中海达地基 InSAR 监测系统监测成果图

守制度。“一旦发现监测异常后，监测人员会按照应急预案流程，及时发出预警信息，通知危险区人员立马撤离。”程祝祥指出，应急预案流程是由龙兴公司与中海达技术人员共同制定，旨在指导监测人员用确认的方式处理边坡滑坡事故。为验证应急预案，在中海达技术人员的协助下，龙兴公司专门组织了一次专项边坡雷达预警应急演练。“此次演练有效锻炼了公司队伍。不仅让监测人员切实掌握了边坡滑坡的处理方法，而且让采矿作业人员提高了在突发情况下的快速反应能力。”程祝祥说。

地基InSAR立功，人员成功避险四次

随着地基 InSAR 监测系统的上线，采矿人员在作业时有了更多的安全感。而地基 InSAR 监测系统用实际行动回报了采矿人员的信任。

去年十月份以来，克孜勒—塔什特克多金属矿的东南区域先后发生了4次小范围的滑坡。由于地基 InSAR 监测系统提前监测到边坡位移数值超过预警阈值，并第一时间发出预警告警短信通知人员提前撤离，4次滑坡均未造成人员伤亡和设备损坏。“地基 InSAR 监测系统的4次表现完全符合预期，让我们矿的安全多了一份保障。”程祝祥如是说。

当前克孜勒—塔什特克多金属矿全面转入地采，由此带来的边坡滑坡隐患会越来越严重，这就需要地基 InSAR 监测系统用更稳定的表现，为矿山筑起一道“安全墙”。成功监测4次滑坡的成绩单，让龙兴公司上下对地基 InSAR 监测系统的未来表现充满信心。

创建“零事故、零伤亡”平安矿山是龙兴公司开发建设克孜勒—塔什特克多金属矿的安全生产目标，地基 InSAR 监测系统将是这一目标达成的重要保障。



▲中海达北斗智能矿山解决方案智能矿山云平台界面

全天候可视化管控人车作业，北斗让矿山更安全更智能

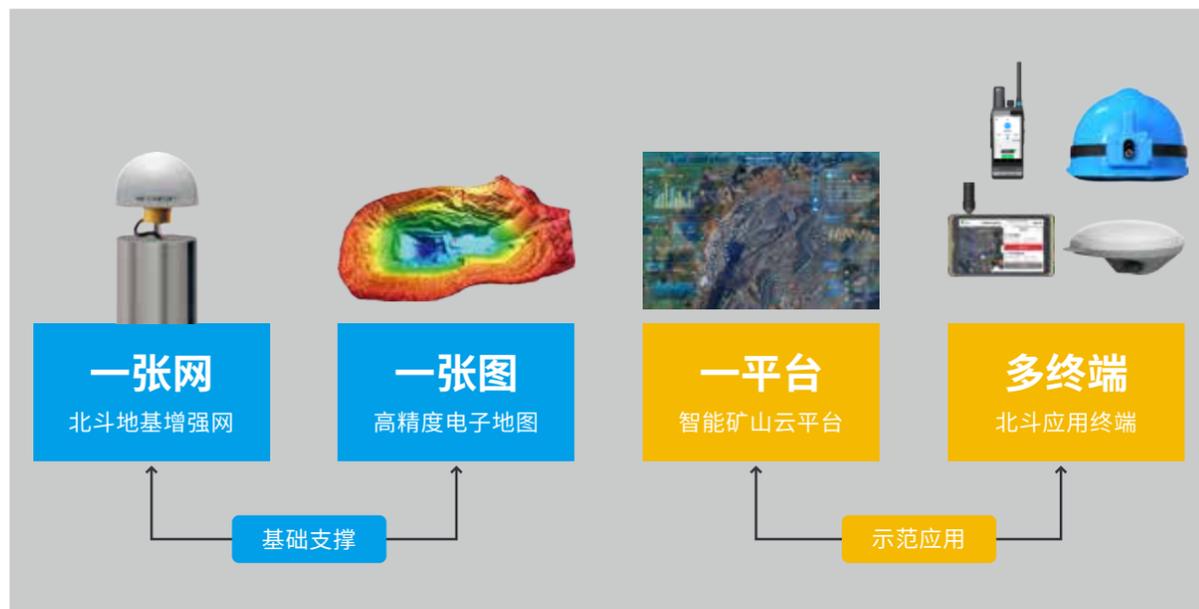
□撰稿 / 何溪

矿山如同一个充满未知的盲盒，有宝藏也有危险。由于矿区开采环境复杂，使得矿山作业危险系数高，安全生产隐患多。为确保作业人员和运输车辆行驶安全，矿山企业加强作业人员和运输车辆的管控迫在眉睫。为此，能够提供高精度定位服务的北斗技术成了矿山企业眼中的“香饽饽”。借助北斗技术，矿山企业实现了作业人员、运输车辆的高精度位置管控，有效避免了事故发生，保障了作业人员的人身安全。

政策驱动，人车精准管控大势所趋

在矿山企业实现人车精准管控之前，由于缺少技术的加持，矿山企业的人车管控采用粗放型管理模式。这种模式下，矿山企业无法掌握作业人员和运输车辆的位置信息，使得矿山企业不得不面临人员作业不规范，监管不到位、车辆调度不合理、人车安全无保障等局面，这对矿山的安全生产带来了严重影响。

为了着重提升矿山安全生产水平，推动人车精准管



▲中海达北斗智能矿山解决方案架构图

控，国家八部委在2020年联合印发了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》（下称《指导意见》）。《指导意见》指出推进煤炭生产企业建立安全、共享、高效的煤矿智能化大数据应用平台，构建实时、透明的煤矿采、掘、机、运、通、洗选等数据链条，实现煤矿智能化和大数据的深度融合与应用。

随后，国家能源局和国家矿山安全监察局在2021年联合印发了《煤矿智能化建设指南（2021版）》，鼓励矿山企业加快部署环境感知终端、智能传感器、智能摄像机、无线通信终端、无线定位终端等数字化工具和设备，融合图像识别、振动感知、声音感知、射频识别、电磁感应等技术，实现矿山环境数据、采矿装备状态信息、工况参数、移动巡检数据等的全面采集；鼓励矿山企业应用高精度北斗或GPS模块、防碰撞安全预警系统、设备数据采集、数字孪生、自动驾驶等技术，使单斗-卡车间断工艺系统具有智能感知和自主决策功能，实现少人、无人生产，系统高效协同运行；鼓励矿山企业建立人员安全监控系统，使采掘及运输设备应具备作业过程中实现人员非法进入和违规误入危险区域自动预警。

在政策驱动下，依托北斗等先进技术，实现人车管控从粗放化向精细化转变，成为矿山企业一道“必做题”。

中海达加持，人车实现精准管控

为了帮助矿山企业做好人车管控这道考题，中海达通过融合北斗、GIS、云计算、物联网、大数据和信息安全等多项技术，推出了北斗智能矿山解决方案。该方案在构建矿山“云+端+图+网”系统架构的基础上，通过在调度中心布设智能矿山云平台，为作业人员配备北斗高精度作业终端、为运输车辆配备北斗高精度车载终端，测绘矿山高精度电子地图，建设北斗地基增强网，整体联动，构建起全天候、全时段、高精度、多场景的矿山北斗高精度应用，助力矿山企业的人车管控实现以下两个目标：

一是高精度位置管控。基于Qbox S30北斗高精度智能安全帽、Qmini A30北斗高精度手机、Qmini A10系列北斗高精度手机等北斗高精度作业终端和Qpad X8 (CM)北斗高精度平板等北斗高精度车载终端，矿山企业实现对矿山作业人员、运输车辆的高精度位置管控，实时掌



▲布设在云南某矿山调度中心的智能矿山云平台

握人员、车辆位置，并结合矿山高精度地图实现可视化呈现，有效辅助决策管理。

二是智能化预警提醒。基于北斗高精度定位，矿山企业实现对作业人员、运输车辆的实时位置查看、运动轨迹回放、电子围栏提醒，以及运输车辆里程统计、防撞预警、超速预警等多项功能，有力保障了矿山作业安全。

除了帮助矿山企业实现人车高精度位置管控外，中海达北斗智能矿山解决方案还能对高边坡、尾矿库、采空区地表沉降进行监测，帮助矿山企业构建作业人员、运输车辆、矿山环境的综合监测体系，全方位保障矿山安全开采。

方案落地，收获认可

目前，中海达北斗智能矿山解决方案已在全国多个矿山得到应用，深受矿山企业好评。以云南某矿山为例，该矿长期以来作业人员、运输车辆的管控主要依赖人力管理和手工记录等传统方式，使得其面临监管不及时、技术手段弱、管控效率低等问题，人车作业安全难

以保障。通过应用中海达北斗智能矿山解决方案，该矿山大幅提高了安全生产管控效率。一方面通过在智能矿山云平台上查看运输车辆实时位置、运动轨迹、车辆状态（运行、休息、离线）和里程等情况，该矿实现了人车作业实时高效管理。另一方面通过矿车上安装的拥有任务调度提醒、电子围栏、防撞预警、超速预警等功能的车载作业平板终端，矿车司机既可确认任务调度，还可提前预知危险并采取应对措施，从而提高任务调度工作效率、降低矿山安全生产风险。

云南矿山的应用效果，只是中海达北斗智能矿山解决方案成功应用的一个缩影。在中海达北斗智能矿山解决方案的赋能下，矿山人车管控更精准、更安全、更高效。随着煤矿智能化发展，经受住了实践考验的中海达北斗智能矿山解决方案将会得到更多矿山企业的青睐，为矿山的安全生产和高质量发展贡献北斗力量。

2023上半年空间信息大事记

时光飞逝，2023年已过半。在这半年里，空间信息行业发生了不少大事，有成绩、有突破、有结果……下面，本刊梳理了上半年空间信息行业发生的大事件，以此回望2023上半年，展望2023下半年。

第一次全国自然灾害综合风险普查调查全面完成

2月15日，国务院新闻办召开发布会介绍，第一次全国自然灾害综合风险普查调查任务已全面完成。普查调查涵盖交通运输、生态环境等多行业部门，获取了灾害风险要素数据数十亿条，包括地震、水旱等六大类23种灾害致灾要素数据，以及重点灾害隐患调查数据等。此次普查基本摸清了全国自然灾害风险隐患底数，查明了重点地区抗灾能力，为全面做好灾害风险评估与区划工作打下了坚实的基础。



《实景三维中国建设总体实施方案（2023-2025）》印发

3月3日，自然资源部组织编制了《实景三维中国建设总体实施方案（2023-2025年）》，指出将进一步强化顶层设计、健全工作机制、统筹协同实施，推动形成横向打通、纵向贯通的“全国一盘棋”的格局，并要求各地确保2025年实现“国省市县协同机制初步建成，城市三维模型对地级以上城市城镇开发边界范围覆盖，50%以上的政府决策、生产调度和生活规划可通过线上实景三维空间完成”的目标。



自然资源部发布 17 项行业标准，填补多项国内空白

3月16日，自然资源部发布《实景三维数据倾斜摄影测量技术规程》等17项行业标准，从6月1日起实施。其中，《倾斜数字摄影测量技术规程》和《实景三维数据倾斜摄影测量技术规程》两项标准分别规定了倾斜数字摄影测量空中三角测量技术指标、基础地理信息数字成果生产、实景三维模型生产及质量控制等方面内容，填补了国内空白，将有力助推实景三维中国建设和新型基础测绘项目的开展。



《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（草案）》通过审议

4月7日，国务院总理李强主持召开国务院常务会议，审议通过《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（草案）》。会议强调，要以实施《条例》为契机，规范无人驾驶航空器飞行以及相关活动，积极促进相关产业持续健康发展，有力维护航空安全、公共安全、国家安全。坚持创新驱动发展，大力推进关键核心技术攻关，加快构建自主可控、安全可靠的产业链供应链，促进技术融合创新，更好推动相关产业高质量发展。



我国成功发射第 56 颗北斗导航卫星

5月17日10时49分，我国在西昌卫星发射中心成功发射第56颗北斗导航卫星。这颗卫星属地球静止轨道卫星，是我国北斗三号工程的首颗备份卫星，入轨并完成在轨测试后，将接入北斗卫星导航系统。这颗卫星实现了对现有地球静止轨道卫星的在轨热备份，将增强系统的可用性和稳健性，提升系统现有区域短报文通信容量三分之一，提高星基增强和精密单点定位服务性能，有助于用户实现快速高精度定位。



《2023 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》发布



5月18日，中国卫星导航定位协会在北京发布《2023 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》。白皮书指出，2022 年中国卫星导航与位置服务产业总产值达到 5007 亿元，较 2021 年增长 6.76%。白皮书显示，其中，包括与卫星导航技术研发和应用直接相关的芯片、器件、算法、软件、导航数据、终端设备、基础设施等在内的产业核心产值同比增长 5.05%，达到 1527 亿元，在总产值中占比为 30.50%。



《多波束水下地形测量技术规范》国家标准发布



5月23日，由自然资源部第一海洋研究所海洋测绘中心海洋空间基准与地理信息团队牵头编制的《多波束水下地形测量技术规范》（GB/T 42640-2023）通过国家市场监督管理总局（国家标准化管理委员会）审查。该规范的实施为多波束水下地形测量工作提供技术指导，为获取高质量的水下地理信息成果提供标准支撑，对我国海洋测绘和海洋调查工作的开展具有重要意义。



水利部推进数字孪生农村供水工程



6月9日，水利部印发《关于推进数字孪生农村供水工程建设》的通知，用3年左右时间，新建或改造提升一批数字孪生农村供水工程，完善技术标准体系，建成可以共建共享的数据底板和数字孪生平台，迭代提升信息化基础设施，提高关键业务智能化和多级协同应用，增强数据共享和网络安全防护能力，提升农村供水工程效益和服务保障水平，为新阶段农村供水高质量发展提供数字赋能和支撑。



智喙 PM-1500

激光测量系统

机载大杀器



200万点/秒
高点频



1650米
长测程



多回波技术



实时点云



免基站



摔坏包赔

