

基于激光雷达的隧道三维安全自动监测系统



联系方式：18692513795 龙 兴
18569607094 吴勇生



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

湖南联智监测科技有限公司

基础设施数字化监测与智慧管控湖南省工程研究中心

2025.06

目录 CONTENTS

01 技术背景

02 系统组成

03 技术原理

04 典型案例



隧道坍塌事故频发

隧道施工期间掌子面附近坍塌**安全问题**，仍是现阶段隧道施工单位及行业领域内的**难点和痛点**。隧道施工期间，由于地质情况复杂且施工过程中岩土力学行为的不断变化等原因，会对隧道产生综合影响从而使隧道产生变形。根据隧道工程事故统计及分析，2007年至2016年，隧道**坍塌事故**占整体事故起数的**67%**，因隧道坍塌导致**死亡人数**占整体因隧道事故死亡人数的**68%**。



2020年百色XX隧道

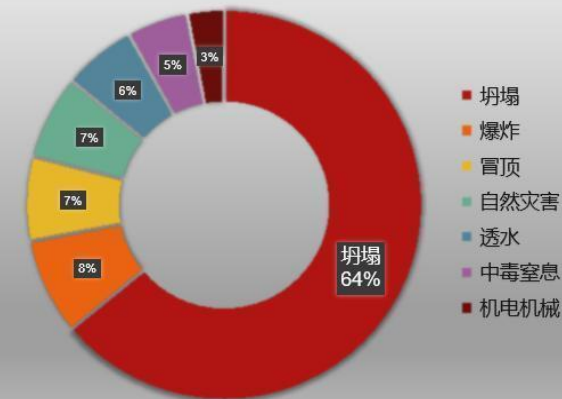


2021年云南高速xx隧道

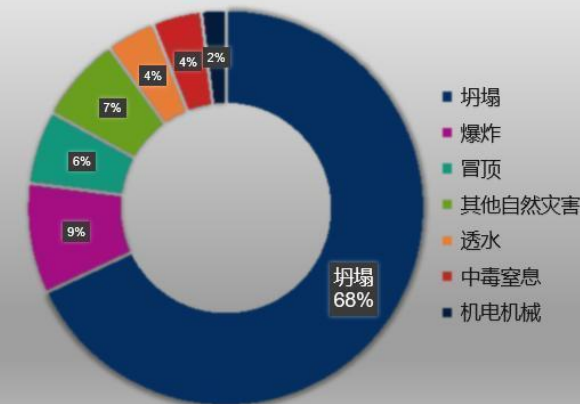


2021年杭衢铁路XX隧道

2007-2016隧道工程事故起数统计



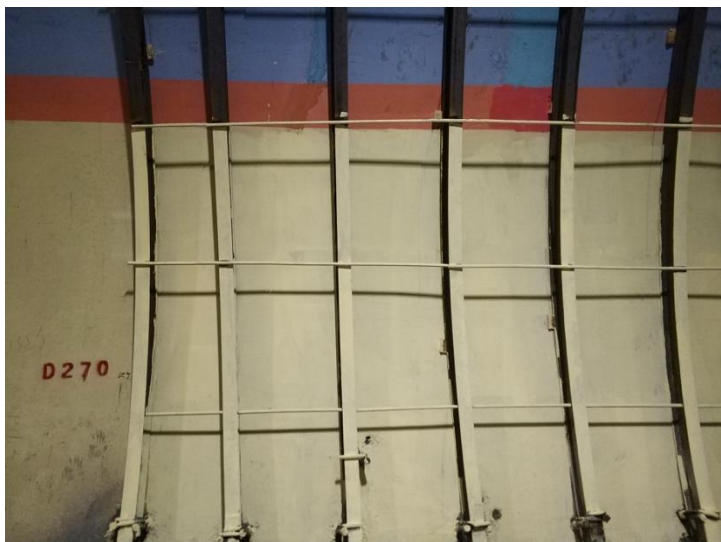
2007-2016隧洞工程事故死亡统计





隧道衬砌掉块威胁运营安全

隧道衬砌混凝土**开裂**、**掉块**等一系列病害会随着隧道使用年限的增加而不断发展，近年来隧道掉块事故时有发生，造成通行人员伤亡和道路交通管制，经济损失大，社会影响恶劣。



2018年甘肃高速公路XX隧道



2019年湖北高速公路XX隧道



2020年四川雅安XX隧道



传统监测自动化水平低



三维激光扫描效率低



视频监控可靠性低

针对施工期间隧道掌子面附近坍塌**事故频发**，需提前掌握施工区域的较大变形区域，及时预警。对运营期间的隧道进行安全监测、评估，分析病害或缺损产生的部位，及时处置。

并且近二十年来隧道监控量测手段一直没有大的变革和发展，**费用较高、自动化水平低、监测效率低**，实际效果未能达到指导施工的要求。

急需一种自动化、标准化、智能化的隧道安全监测技术，提高隧道施工、运营安全水平。



中华人民共和国交通运输部

政府信息公开

当前位置：首页 > 安全监管司

索引号：	000019713010/2023-00042	机构分类：	安全与质量监督管理局
文号：	安委办〔2023〕2号	主题分类：	安全监管
公开日期：	2023年02月22日	行业分类：	公路建设
主题词：	隧道工程；安全管理	公文类型：	其他

国务院安委会办公室 住房和城乡建设部 交通运输部 水利部 国务院国有资产监督管理委员会 国家铁路局 中国民用航空局 中国国家铁路集团有限公司关于进一步加强隧道工程安全管理的指导意见

字号：【大】 【中】 【小】 【打印】

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团安委会、住房和城乡建设厅（局、委）、交通运输厅（局、委）、水利厅（局）、国资委，各地区铁路监管局，民航各地区管理局，各铁路集团公司、各铁路公司，有关中央企业：

当前我国隧道（洞）建设规模巨大，但工程本质安全水平不高，坍塌、火灾等事故时有发生，安全生产形势严峻。为深入贯彻落实习近平总书记关于安全生产的重要论述精神，深刻吸取近年来隧道施工安全事故教训，全面加强隧道工程安全管理，有效防控重大安全风险，现提出如下意见。

一、总体要求

国务院安全会联合4部委和铁路、民航部门发文要求：

进一步加强隧道工程安全管理。

行业痛点：

我国隧道（洞）建设规模巨大，但工程本质安全水平不高，坍塌、火灾等事故时有发生，**安全生产形势严峻**。

指导意见：

严格施工现场重大风险管控，强化监控量测反馈预警等措施。



系统研发意义

研发固态激光雷达对隧道进行实时三维监测的**主要意义**在于：



实时防坍塌监测

实时监测掌子面附近变形数据，对可能的坍塌提前预警，保证施工安全。



指导安全施工

对围岩稳定性第一时间作出准确、快速的评价，优化施工组织设计，指导现场施工，确保隧道施工的安全与质量。



促进施工、运营安全监测智能化

实现隧道实时全域状态监测，为节省工程投资、提高大断面隧道的施工水平提供科学依据，为隧道施工监测、运营管理实现自动化、信息化、智能化提供技术保障，促进产业升级。



系统组成 ▸ 组成模块

Eagle 2.0隧道安全监测系统由**安全监测仪**、**激光断面监测仪**、**系统控制仪**、**EAG云平台**及个性化定制设备组成

A 安全监测仪

采集隧道轮廓形变点云数据，安装于初支。

B 激光断面监测仪

采集隧道断面变形监测数据，安装于初支。

C 系统控制仪

接收形变点云数据及断面变形监测数据，进行边缘解算、分析处理，快速响应，安装于二次衬砌作业台车。

D EAG系统软件

嵌入式数据采集、处理及设备控制软件，系统云平台、APP等。

E 个性化定制设备

300M网络传输设备（洞内无数据传输设备时选配）、监测仪声光报警器及其他辅材。



A 安全监测仪



B 激光断面监测仪



C 系统控制仪



D EAG系统软件

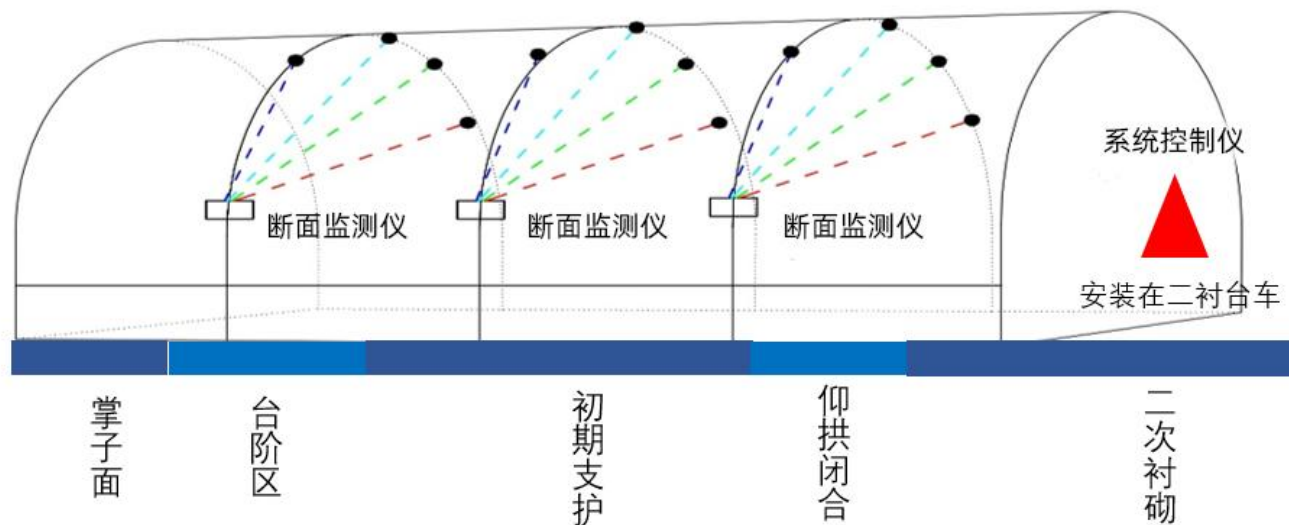


系统组成 ▸ 安装分布

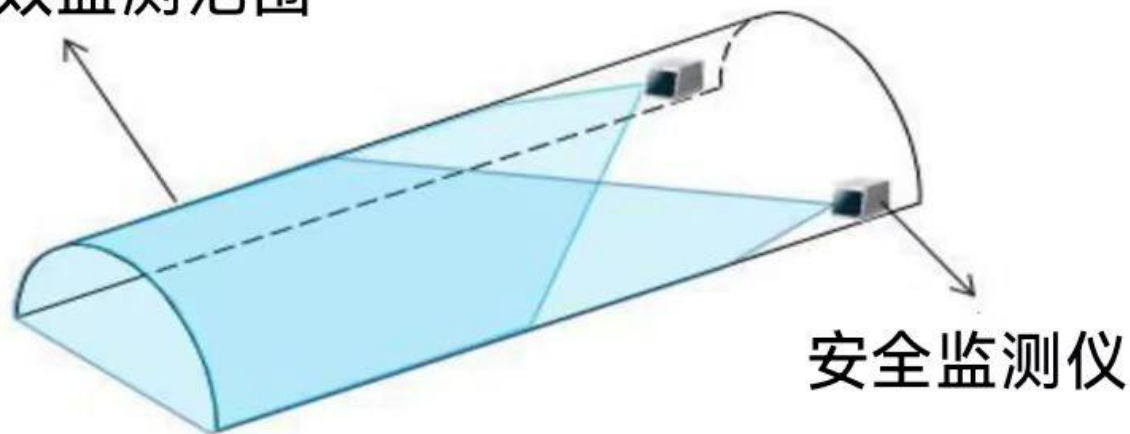
系统控制仪：安装于二衬台车或挂布台车上。

安全监测仪：可对称或交错安装于初支上，安装高度为1.3 m。

断面监测仪：按规范要求间距安装于初支侧壁，安装高度为1.3 m。



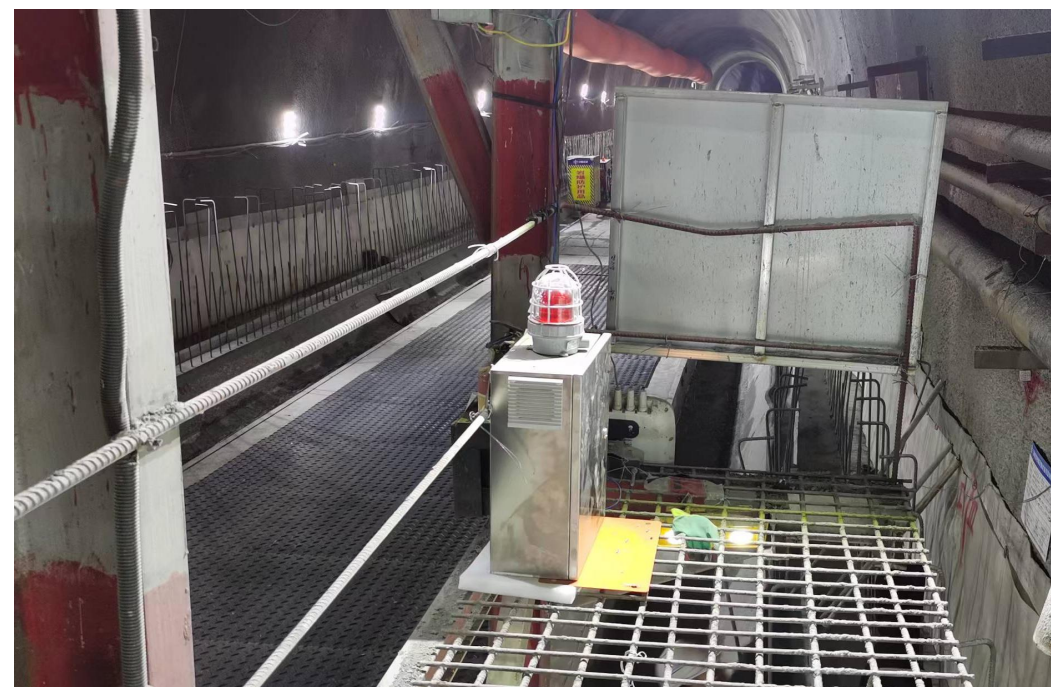
有效监测范围





系统控制仪安装

在隧道稳定区域（二次衬砌区）挂布台车上安装系统控制仪，并保证系统控制仪与安全监测仪及激光断面监测仪之间不存在大面积遮挡。



系统控制仪现场安装位置示意

安全监测仪安装

为应对隧道复杂环境，安全监测仪水平方向安装方式既可以对称安装也可以交错安装，安装高度为1.3 m（适当提高安装位置，减少作业设施遮挡）。



安全监测仪



安全监测仪安装



安全监测仪1

安全监测仪2



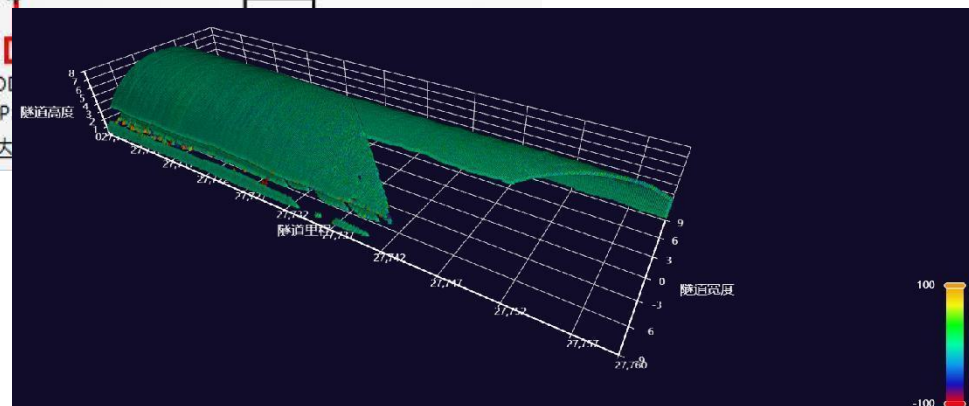
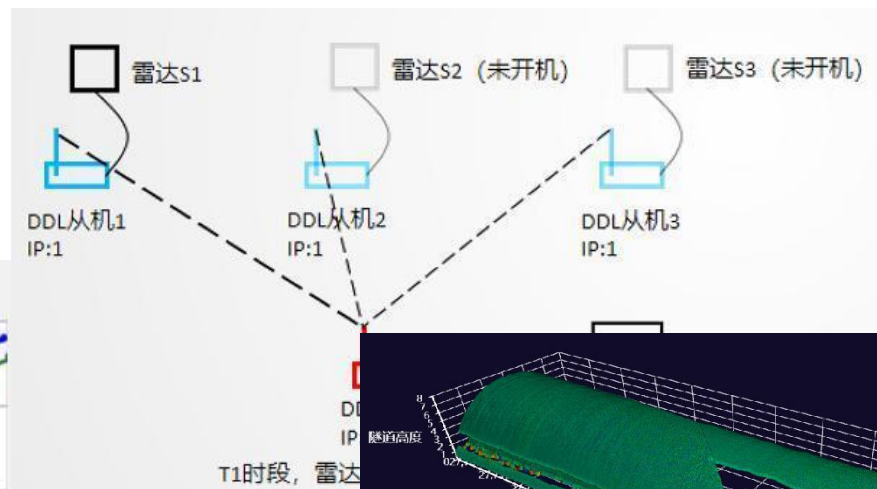
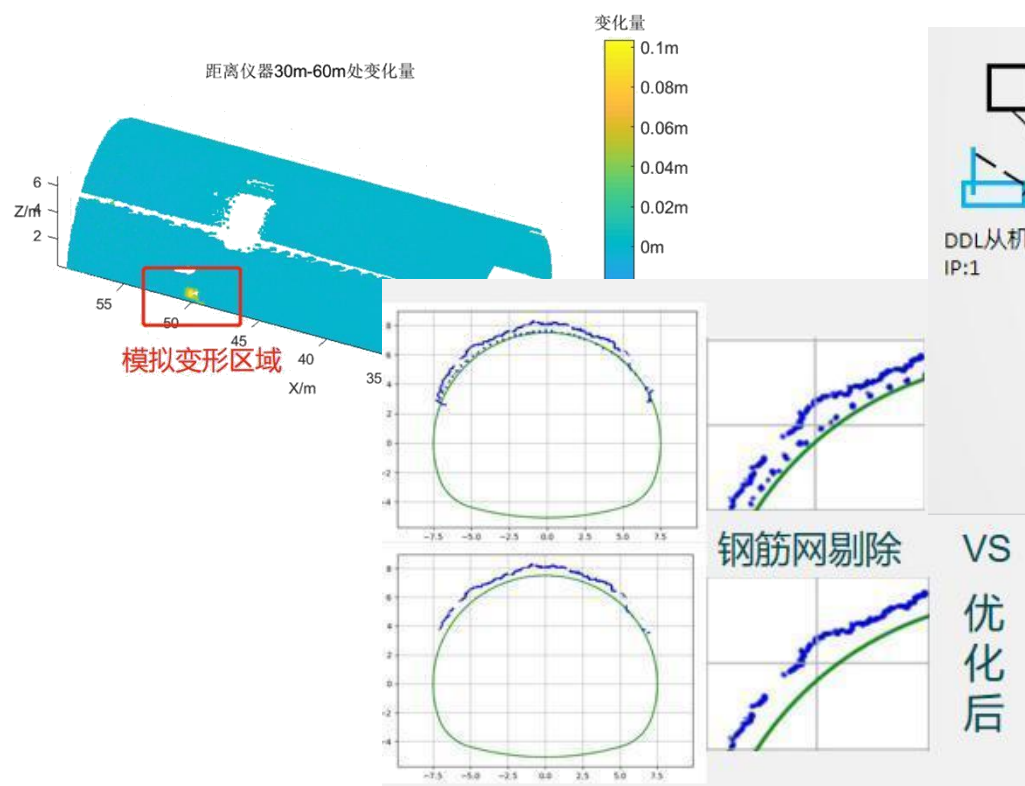
激光断面监测仪安装

在隧道初期支护区侧壁按固定间隔（5 m）安装1台激光断面监测仪，安装高度为1.3 m（适当提高安装位置，减少作业设施遮挡），各断面监测终端尽量保持在同一水平面上。（单断面安装耗时约20分钟）



现场安装位置示意

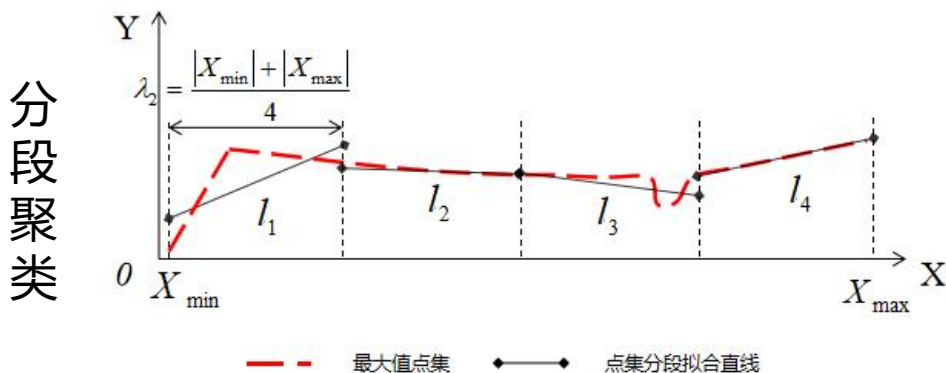
隧道安全监测系统可以实时监测施工隧道掌子面到二衬台车范围内变形，**预判变形发展趋势**。也可以对可能出现的洞内坍塌进行**跟踪监测**，为隧道安全施工提供了新的技术手段。还可以对运营隧道进行实时全域状态监测，监测衬砌掉块等病害，为隧道**安全运营**和科学维护提供技术支撑。



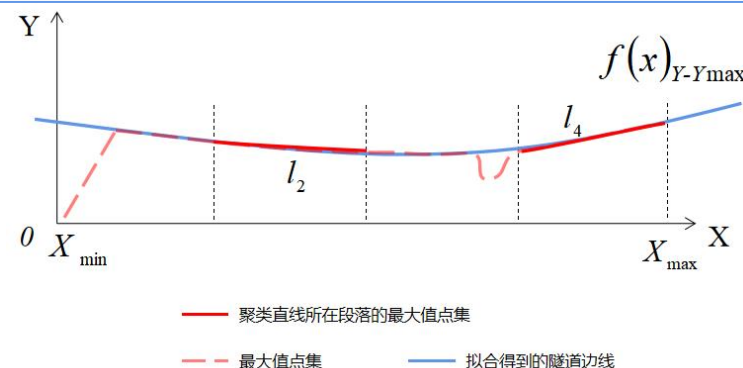


施工隧道点云中轴线自动拟合技术

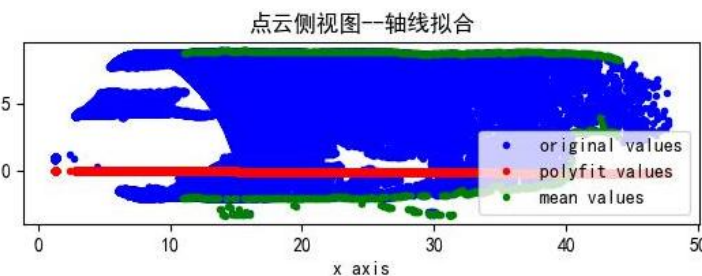
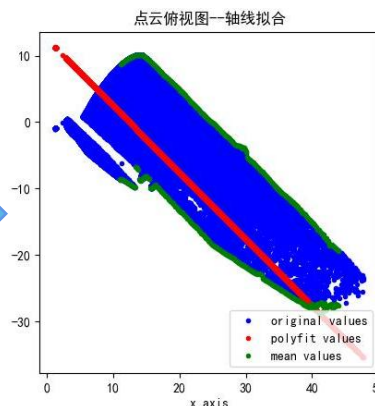
对现有隧道拟合方法进一步改进，加入了**分段拟合线聚类进行隧道轴线拟合**，成功实现复杂隧道点云轴线的自动拟合。



聚类拟合



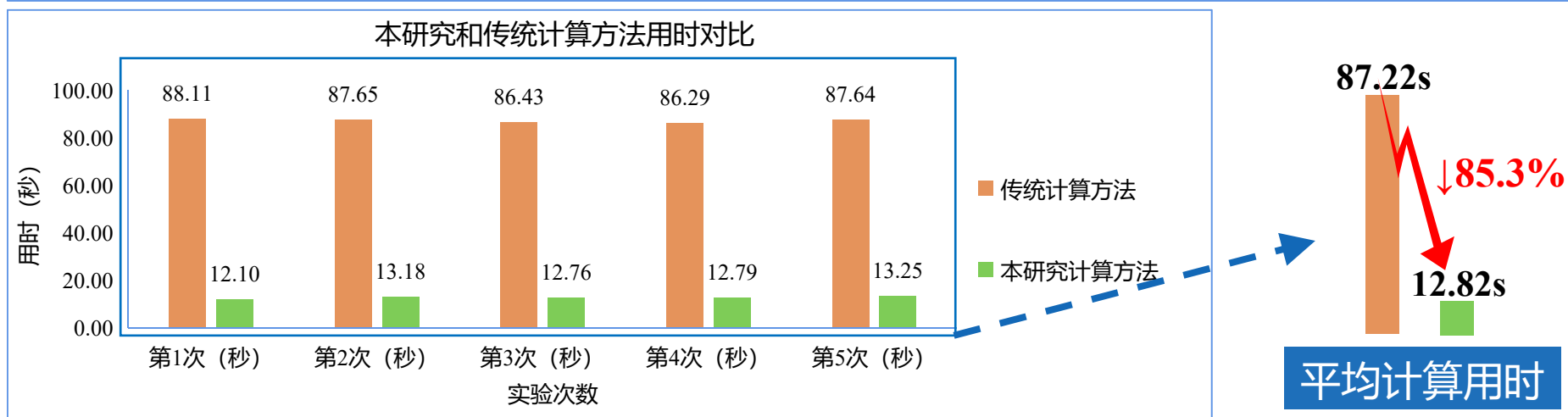
拟合效果





基于海量点云的三维断面快速计算技术

基于四元数坐标转换的点云切片计算方法，大幅减少隧道三维点云计算用时，解决了传统技术计算速率低下的问题。

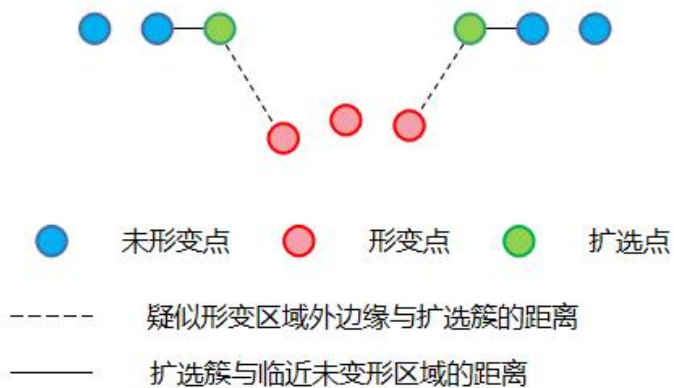




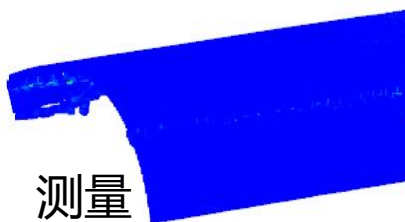
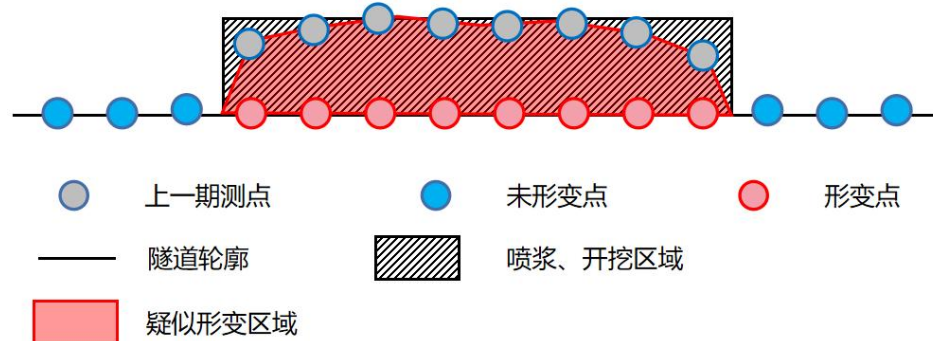
隧道变形区域自动三维定位技术

形变区域三维聚类、三维非连接噪点去除、三维施工干扰点排除

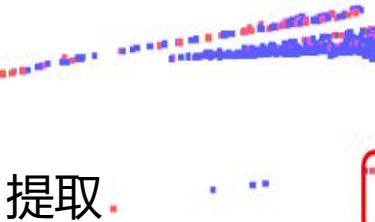
噪点去除



施工干扰点排除



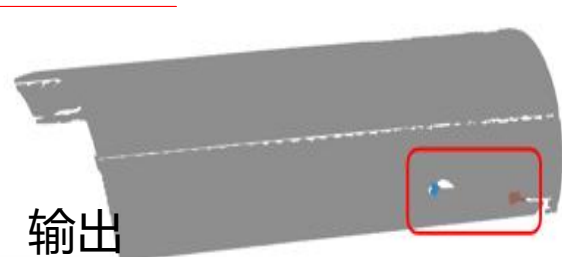
测量



提取



合并

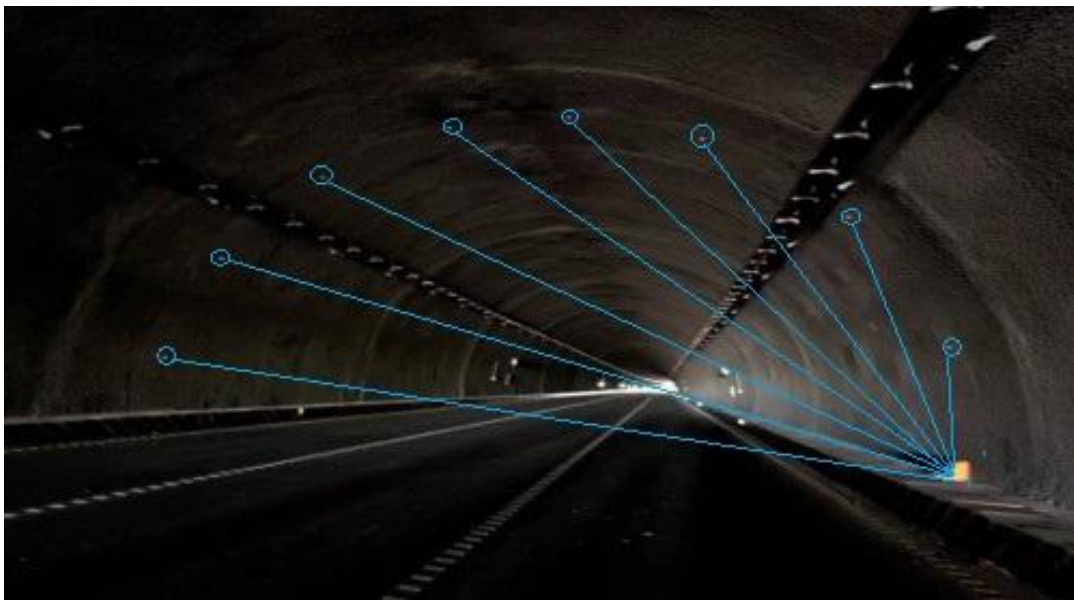


输出

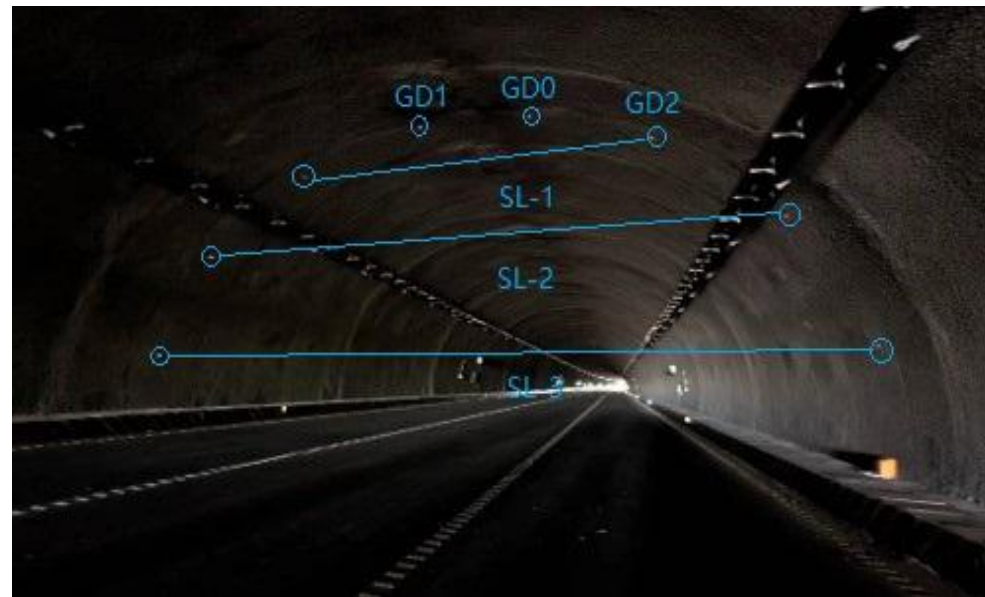
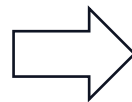
监测参数：1.变形区域**数量**；2.变形中心**位置**；3.变形**面积**（精度 0.01m^2 ）；4.变形**最大值**（精度 1cm ）

断面监测技术及原理

隧道安全监测系统以相对稳定的基准，对隧道断面多个监测点位进行实时**高频次自调节**监测，并通过监测云平台对监测数据进行**实时处理分析**，对隧道的技术状况和**围岩动态**作出评估，在隧道断面变形异常时**分梯度发出告警**。



原始测线



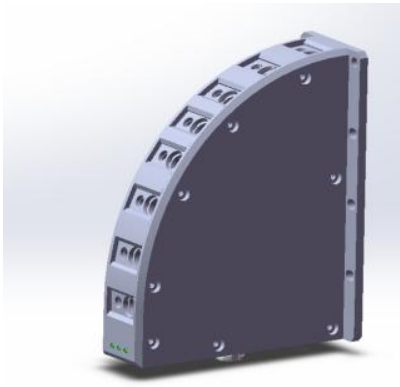
拱顶沉降点位及周边收敛测线



断面监测技术及原理

变形监测数据自主采集、自动分析、实时预警和数据分布式存储，并覆盖用户多种使用场景，降低隧道施工安全风险，确保隧道施工安全运行。

系统支持多种个性化定制需求，包括但不限于对隧道内部围岩变形情况进行实时监测、对衬砌掉块情况实时感知等。



量测日期	量测时间	初始值(米)	上次量测值(米)	本次量测值(米)	本次变形量(毫米)	时间间隔(天)	日变形速率(毫米/天)	累计变形量(毫米)	初测日期
2023-10-07	13:50:21	4.44689	4.44932	4.44871	0.608506	0.0035		-1.82552	2023-10-04
2023-10-07	13:55:21	4.44689	4.44871	4.44894	-0.22819	0.0035		-2.05371	2023-10-04
2023-10-07	14:00:21	4.44689	4.44894	4.44856	0.380316	0.0035		-1.67339	2023-10-04
2023-10-07	14:05:21	4.44689	4.44856	4.44841	0.152127	0.0035		-1.52127	2023-10-04
2023-10-07	14:10:21	4.44689	4.44841	4.44841	0	0.0035		-1.52127	2023-10-04
2023-10-07	14:15:21	4.44689	4.44841	4.44818	0.22819	0.0035		-1.29308	2023-10-04
2023-10-07	14:20:21	4.44689	4.44818	4.4481	0.0760633	0.0035		-1.21701	2023-10-04
2023-10-07	14:25:21	4.44689	4.4481	4.44772	0.380316	0.0035		-0.836696	2023-10-04
2023-10-07	14:30:21	4.44689	4.44772	4.44803	-0.304253	0.0035		-1.14095	2023-10-04
2023-10-07	14:35:21	4.44689	4.44803	4.44795	0.0760633	0.0035		-1.06489	2023-10-04
2023-10-07	14:40:21	4.44689	4.44795	4.4478	0.152127	0.0035		-0.912759	2023-10-04
2023-10-07	14:45:21	4.44689	4.4478	4.44803	-0.22819	0.0035		-1.14095	2023-10-04
2023-10-07	14:50:21	4.44689	4.44803	4.4478	0.22819	0.0035		-0.912759	2023-10-04
2023-10-07	14:55:21	4.44689	4.4478	4.4478	0	0.0035		-0.912759	2023-10-04
2023-10-07	15:00:21	4.44689	4.4478	4.4478	0	0.0035		-0.912759	2023-10-04

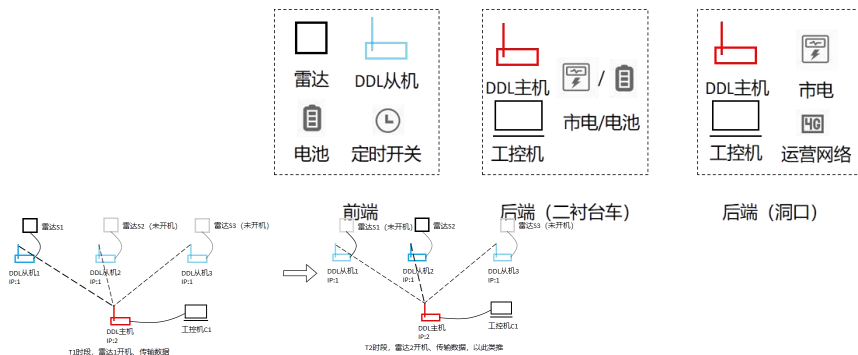


技术原理 ▸ 创新点

三维固态雷达监测

1

隧道三维全断面监测，数据量是传统监测的数百倍，技术手段独创、技术水平国际领先



智能化、自动化

3

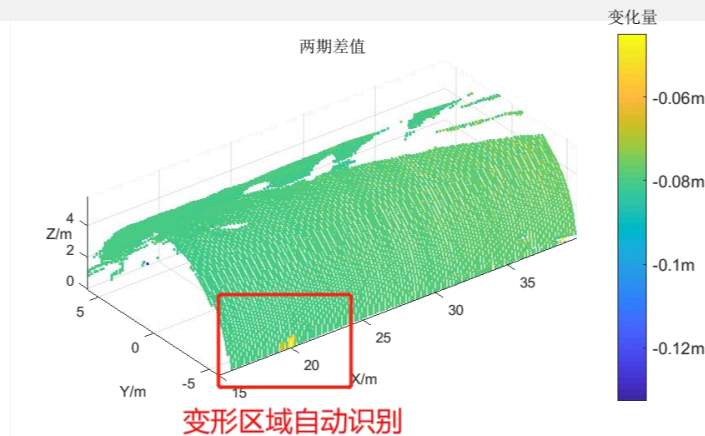
解决了洞内复杂通信环境下的数据传输难题，实现全自动智能监测、快速响应，避免人员伤亡和财产损失



实时、高效

2

24小时全天候连续监测，实时掌握围岩动态，监测效率是传统人工监测数十倍





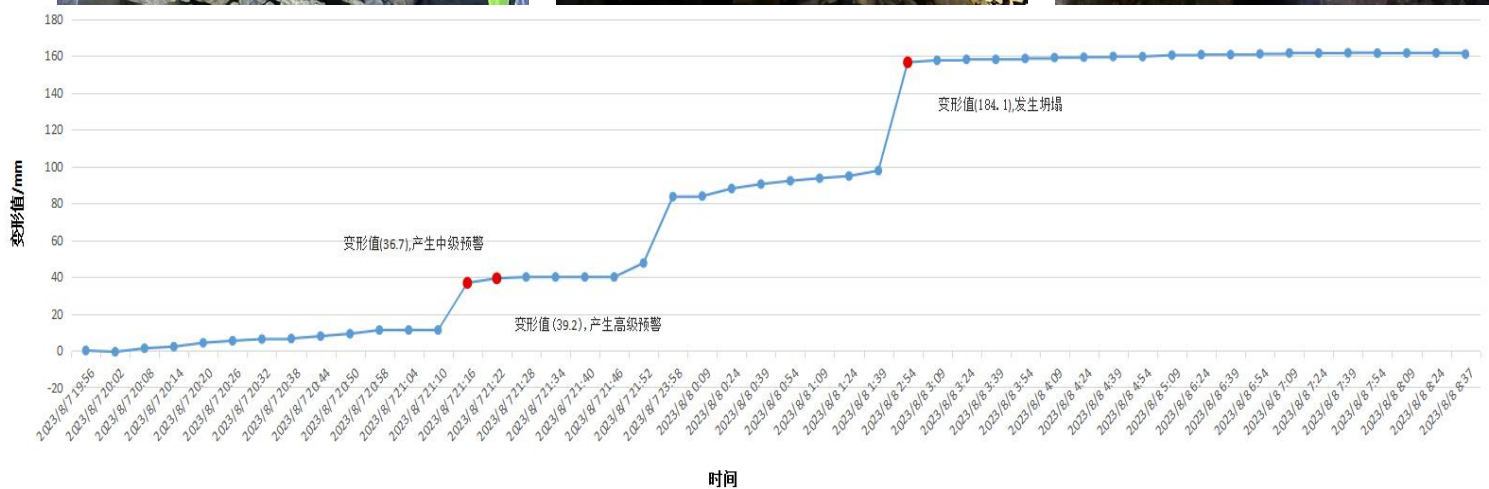
典型案例 ▸ 施工隧道安全监测



案例1-1：甘青隧道监测系统成功预警洞内坍塌

甘青隧道为西成铁路甘加至同仁段主越岭隧道，地处高寒高海拔地区，地质构造复杂、洞口浅埋及偏压、洞身深埋。

隧道监测系统设备对变形情况进行24小时实时监测，并在2023年8月7日**触发预警**并及时发布预警信息，**6小时后**隧道发生坍塌。



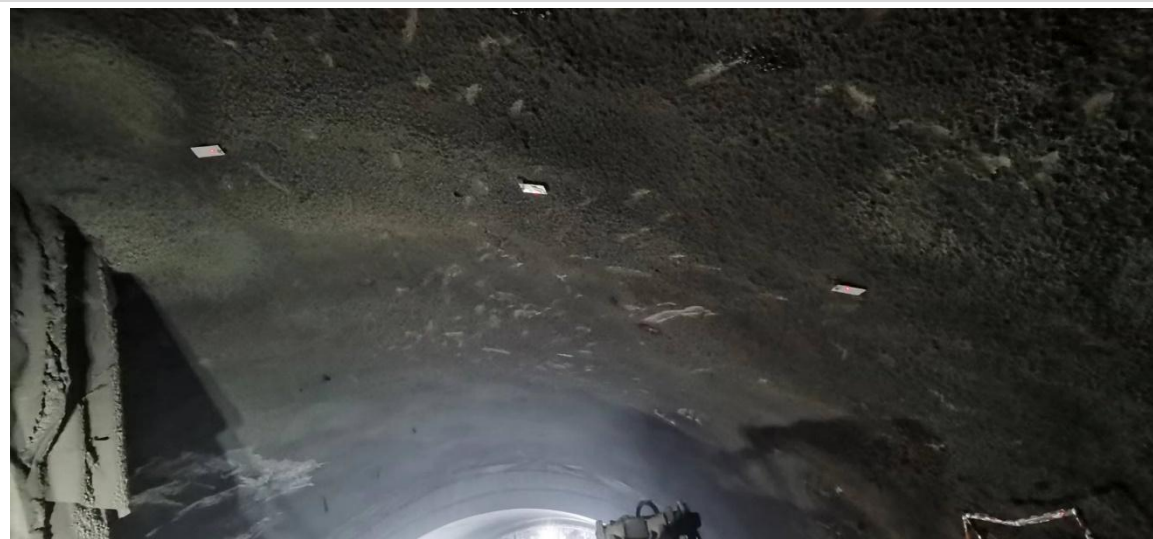


案例1-2：甘青隧道安全监测

甘青隧道发生坍塌，重新施工后，于2023年9月，激光断面监测系统再次进场对隧道危险断面进行持续实时监测，并对各重点监测点位安装标靶，以监测**围岩内部**变形情况。



标靶安装



标靶安装

隧道现场共安装三台激光断面监测仪，安装位置分别为台阶法段落桩号DK382+370拱腰位置、CRD法段落左侧一台、右侧一台，桩号为DK382+380。2023年9月至11月监测期间，各监测断面下多点位监测数据异常，系统及时发现并及时进行了**平台告警推送**。



典型案例 ▸ 施工隧道安全监测



案例2: 黄茅海通道T7合同段施工隧道安全监测

经过施工隧道超过一年的连续监测，该激光雷达隧道安全监测设备的内层防护壳和防弹玻璃均未被破坏，验证了设备结构的**防水、防爆、防尘**功能，具有施工隧道复杂环境适用性。



监测仪双层防护



监测仪现场安装



监测仪首次安装时

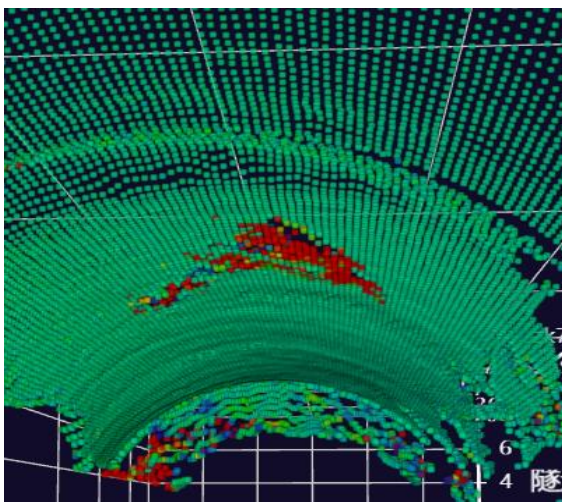


监测仪连续使用一年后



案例3-1: 四川久马高速安羌隧道

2023年6月16日上午10点30分，隧道安全监测系统定位**隧道掉块**，与左洞进口ZK75+347处发生大小约0.5平方米、厚度3至7厘米的掉块。经值班人员**现场确认**，该位置处确实发生了初支掉块，结合隧道洞内施工情况及原始监测点云数据分析发现，该掉块为现场出渣过程中挖机臂及铲斗刮蹭初支引起。



掉块区域自动定位



掉块区域原始点云图



掉块区域现场图像



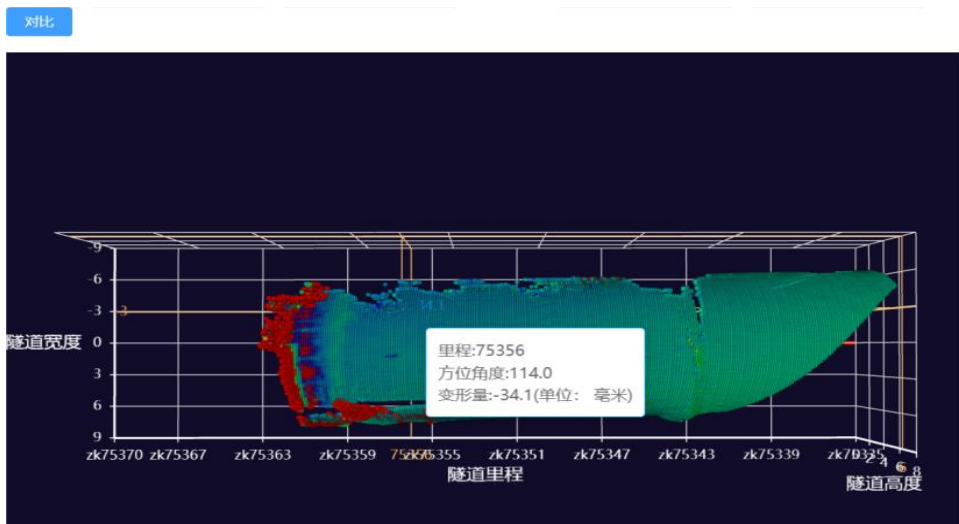
典型案例 ▸ 施工隧道安全监测



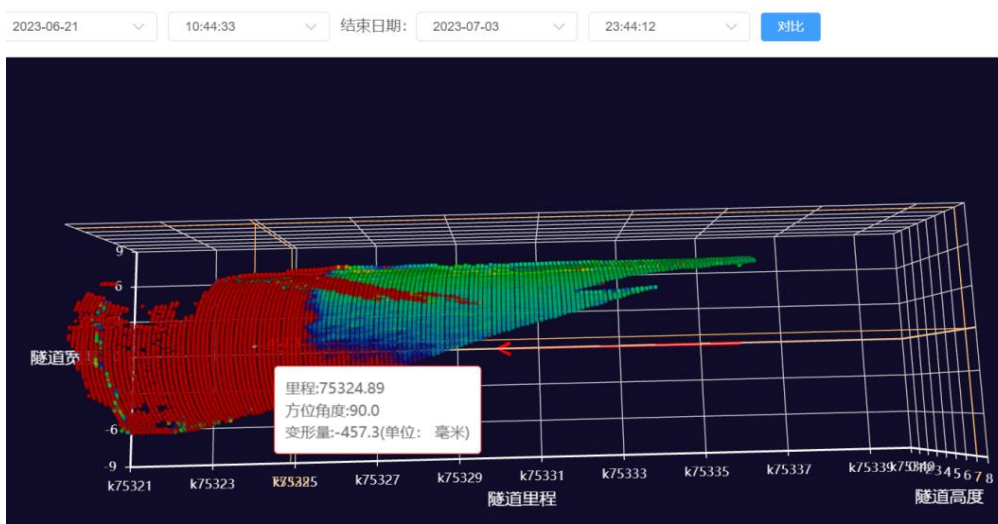
案例3-2: 四川久马高速安羌隧道

6月17日至21日，安羌隧道ZK75+351至ZK75+356区间形变较大，最大形变34.1毫米；ZK75+347至ZK75+351区间存在一定形变，形变在20毫米左右；ZK75+335至ZK75+347区间形变较小，形变基本小于10毫米

6月17日至7月3日期间，ZK75+341处监测仪监测到ZK75+360至ZK75+364区间发生**大变形**，形变量在100毫米至450毫米之间，最大变形达到**457毫米**。



监测到发生变形



监测到发生大变形

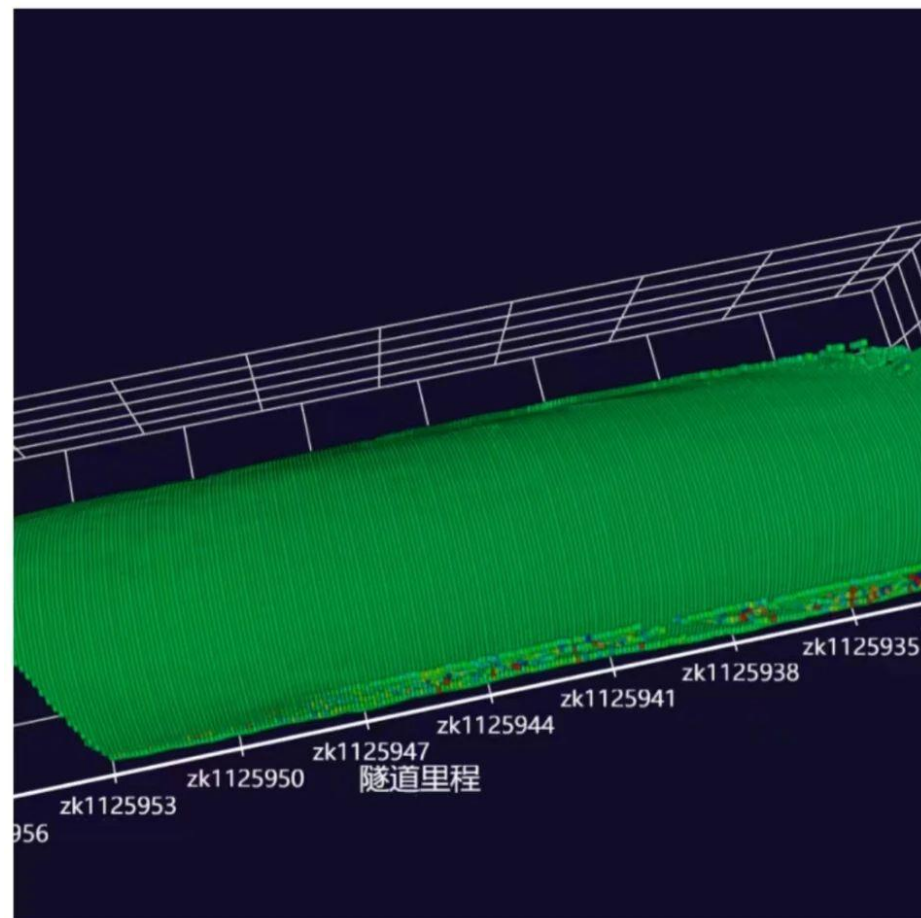


典型案例 ▸ 施工隧道安全监测

案例4：西藏CZ铁路YG隧道施工安全监测

YG隧道洞口海拔高，地处高寒高海拔地区，富水，**大埋深**、高地温**高岩爆**，特长隧道，隧道设计为2座单线隧道，设计速度200 km/h。隧道最大埋深超千米，施工难度非常大。

Eagle隧道安全监测系统安装后运行正常，3月6日晚，接到客户反馈，隧道施工调整爆破方式，**炸药量加大**，左侧监测仪的防护箱和右侧监测仪激光雷达保护镜片不同程度损坏，但是后台数据采集仍然还在进行，**数据传输正常**。



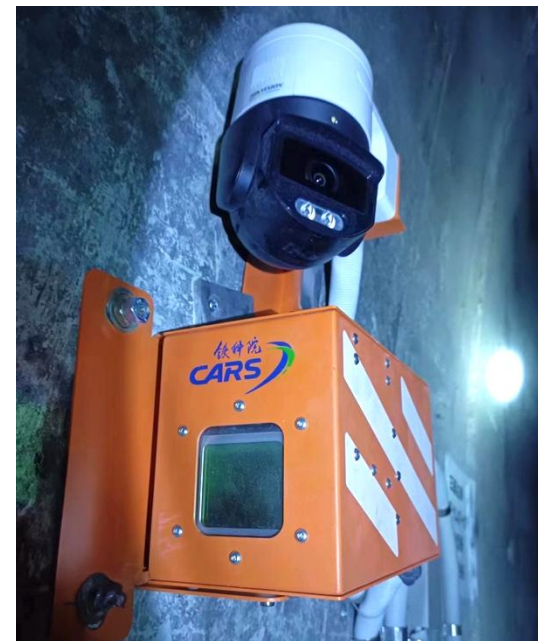
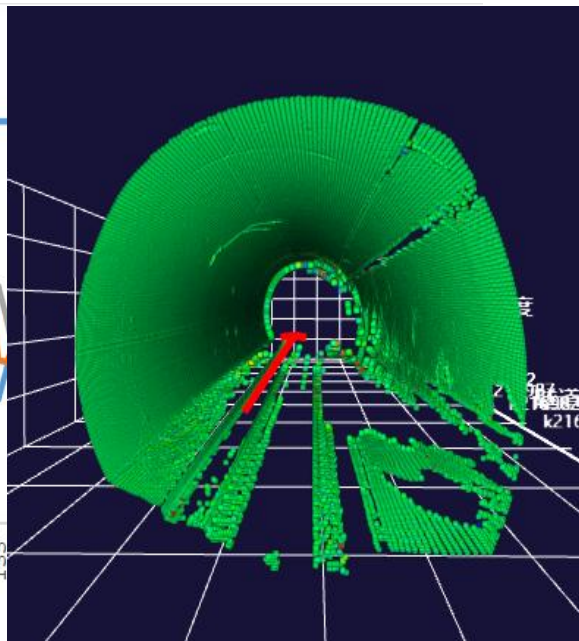
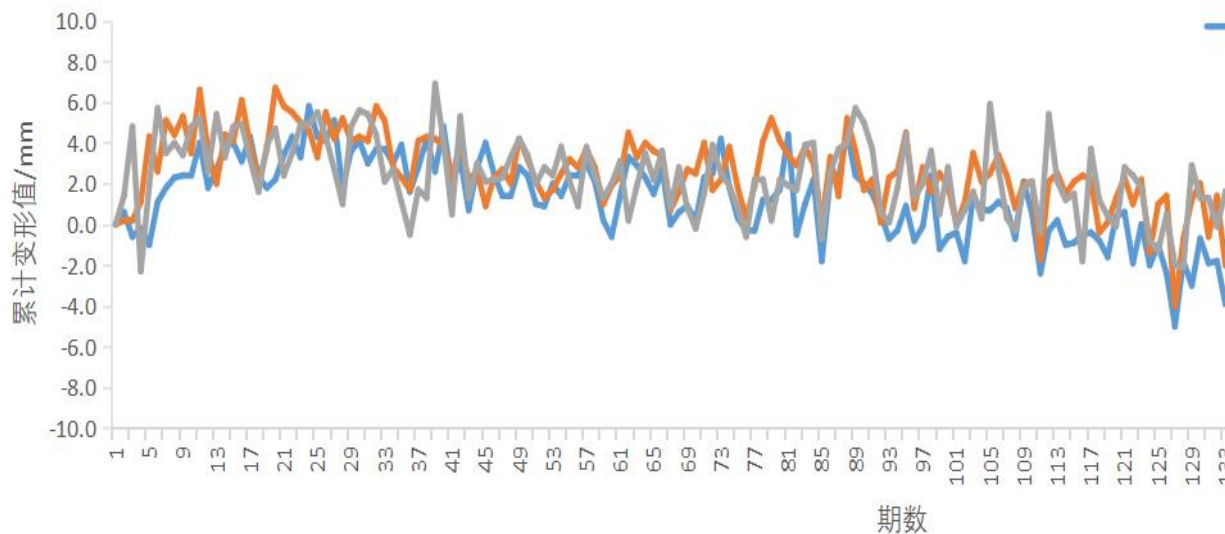


典型案例 ▸ 运营隧道安全监测

案例5：云南丽江某运营隧道安全监测

该隧道为高地应力大变形隧道，为监测运营期间隧道衬砌形变、掉块、渗水及轨面隆起等病害，应用eagle隧道安全监测系统实现了自动化、实时在线监测并辅以视频监控验证，为铁路隧道安全运营和科学维护提供技术支撑和安全保障。

拱顶变形趋势图



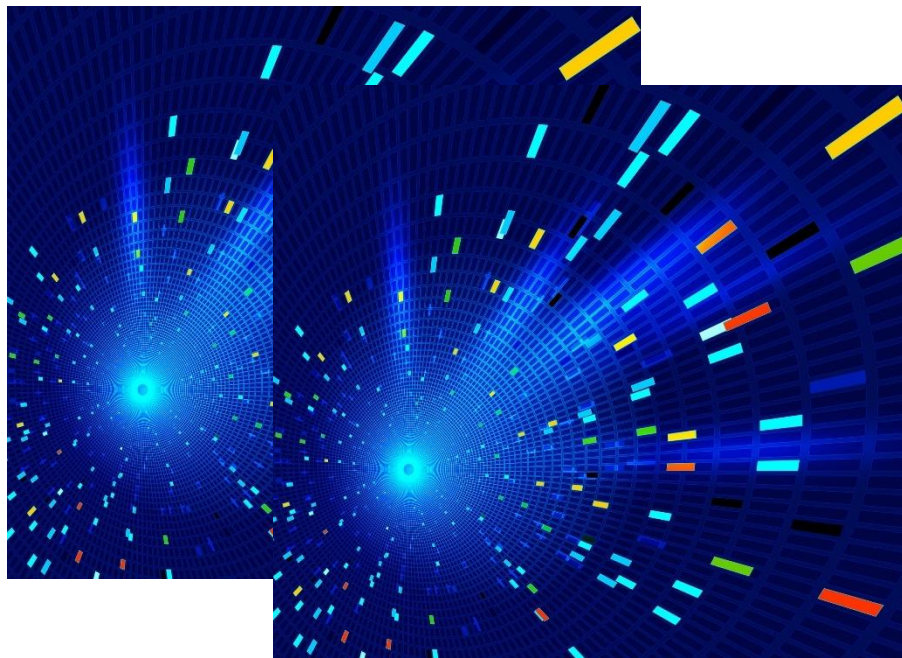
该隧道安全监测系统，已在我国湖南、广东、广西、四川、青海、新疆、西藏、云南、黑龙江等**9个省市的10余条隧洞**上得到成功应用，涉及高速公路、国省干线、磁浮铁路等领域的多类隧道。

该系统可以发现隧道内 0.25m^2 （约书包大小）以上的掉块和较大变形，并对掉块和变形区域进行**自动精确定位**，提供掉块与变形区域的**位置、大小、面积**等，为补喷区域划定、侵限预警和较大变形预警起到辅助作用；

该系统监测范围广，**为传统监测盲区提供实时安全监测**，为施工人员提增添安全保障；还可以结合现场施工情况对数据进行深入挖掘，进一步发挥三维监测数据的意义和价值。



Eagle 隧道安全监测系统
案例展示



让基础设施更安全

谢谢关注！

湖南联智监测科技有限公司

基础设施数字化监测与智慧管控湖南省工程研究中心