

某露天金属矿业公司

C-ALS地下空间和采空区三维激光扫描系统试验报告

参加试验单位：北京优赛科技有限公司
某露天金属矿业公司

试验报告编制：北京优赛科技有限公司

作者：李智 田宇明

二00九年十月二六日

某矿业公司

C-ALS地下空间和采空区三维激光扫描系统试验报告

1. 引言

由于地下采空区具有隐伏性强、空间分布特征规律性差、采空区顶板冒落塌陷情况难以预测等特点，因此，如何对地下采空区的分布范围、空间形态特征和采空区的冒落状况等进行量化评判，一直是困扰工程技术人员进行采空区潜在危害性评价及合理确定采空区处治对策的关键技术难题。

目前，地下空区已经成为制约矿山发展的一个重要难题，随着矿山向深部开采，地压增大，地下空区在强大的地压下，容易发生坍塌事故，尤其对地下转露天开采的矿山影响很大；地下开采残留大量的采场、硐室、巷道没有进行及时处理，对露天开采带来了严重的隐患，同时给矿山工作人员和设备带来严重的威胁。

自20世纪末以来，我国矿业开采秩序较为混乱，非法无序的乱采滥挖在一些矿山及其周边留下了大量的采空区，这是影响目前矿山安全生产的主要危害源之一。如河南栾川钼矿、广西大厂矿区、甘肃厂坝铅锌矿、铜陵狮子山铜矿、云南兰坪铅锌矿、广东大宝山矿、湖南柿竹园矿等许多矿山都存在大量的采空区，致使矿山开采条件恶化，引起矿柱变形、相邻作业区采场和巷道维护困难、井下大面积冒落、岩移及地表塌陷等，更为严重的是空区突然垮塌的高速气流和冲击波造成的人员伤亡和设备破坏，这些都给矿山安全生产构成严重威胁，并造成环境恶化、矿产资源严重浪费。解决上述问题的前提条件就是要科学地探查井下空区的即时状态和空间形状，为空区安全治理和资源回采提供准确的设计依据。结

合某矿山的实际工程地质条件，利用地下空间和采空区三维激光系统(C-ALS)对矿山的部分空区进行探测，了解其空区的形状、大小和位置，运用其自带的软件进行编辑与成图。从而确定空区在矿山平面图上的具体位置，为空区的处理提供可靠的理论依据，从而确保作业工人和设备的安全。

为了实现采空区隐蔽工程可视化和对采空区顶板安全厚度进行预警、预测分析，2009年10月22日，北京优赛科技有限公司的相关人员，在某矿业公司领导支持和有关技术人员的大力协助下，进行了露天X矿采空区的C-ALS钻孔式地下空间和采空区三维激光扫描系统成像现场试验。

测试地点位于某矿业公司露天采场采空区域，试验初期某矿业公司的工程技术人员已经确定了采空区的大概位置，并钻探了探测孔（孔径140mm），利用探测孔使用C-ALS，成功实施了扫描试验。本次试验共探测采空区三个，实现了地下空间的可视化。

2. 试验设备

本次试验采用英国MDL公司研制的钻孔式地下空间和采空区三维激光自动扫描系统(Cavity-Autoscanning Laser System, C-ALS)，该系统能通过预先钻出的钻孔，将激光扫描头插入到采空区内部，从而快速、安全地勘查地下采空区的内部情况。

C-ALS的主要是由：探头（左上），折叠提升杆（右上），线缆（左下）和地面单元（右下）组成。如图1。



图1 C-ALS的核心配置

C-ALS在现场的安装十分简单，只需将电脑和线缆连接到地面单元上，再将探头连接到线缆的另一头，C-ALS的安装就完成了。折叠提升杆的作用是确保C-ALS在下放的过程中保证方位角的恒定。

值得一提的是，C-ALS还提供了两根直流线缆如图2，它让C-ALS可以与汽车电瓶相连，为C-ALS提供持续的电力，这就使得C-ALS在野外长期的工作有了电力上的保障。



图2 直流线缆

C-ALS扫描探头结构如图3所示，该扫描系统具有水平扫描和垂直扫描两种方式，适应于不同环境条件下的采空区扫描，扫描原理如图4所示。

某露天金属矿业公司C-ALS地下空间和采空区三维激光扫描系统试验报告

仪器探头直径仅为50 mm，可通过最小65 mm的钻孔进入采空区内部进行扫描，最远探测距离150 m，精度5 cm，最小角度分辨率0.1度，扫描速度为240点/秒。

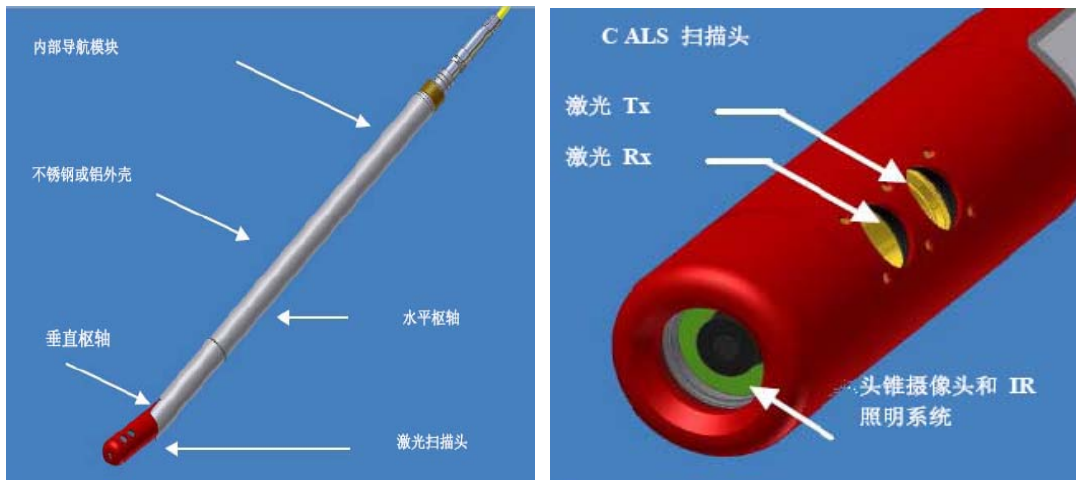
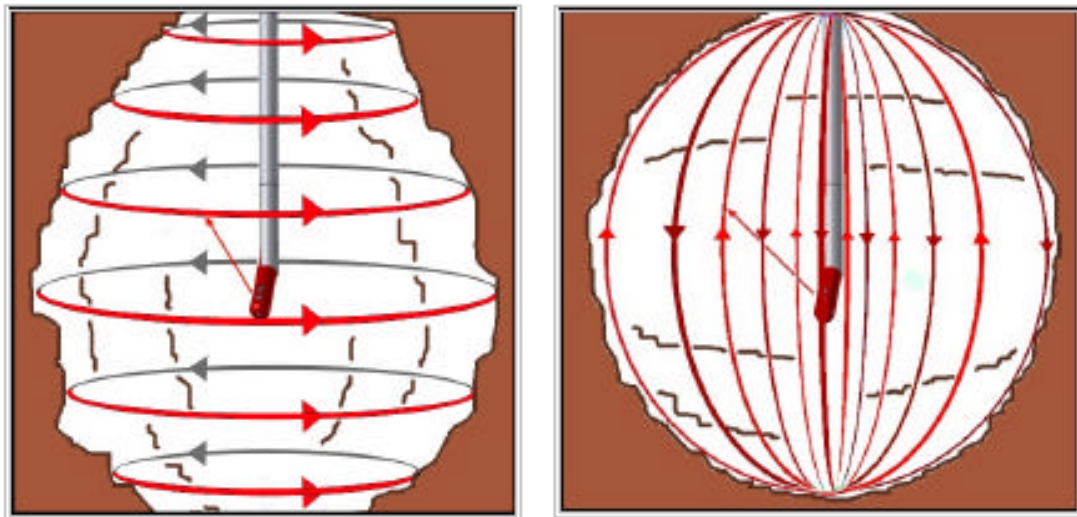


图3 C-ALS扫描探头结构示意图



(a) 水平扫描方式

(b) 垂直扫描方式

图4 C-ALS扫描原理示意图

3. 试验过程

3.1 孔口坐标及方位角

孔口坐标（英文为Collar）及方位角可以用GPS确定，后者也可用罗盘测量。C-ALS的完全定位只需一个孔口坐标作为定位的原点，有了原点坐标及方位角后C-ALS即可完成其余的定位。现场试验方式如图5所示。

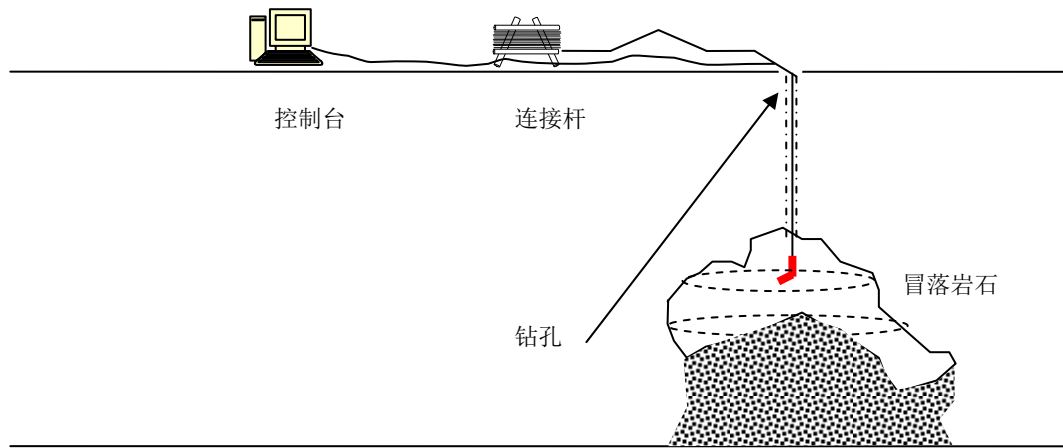


图5 现场试验方式示意图

3.2 下放扫描头

将C-ALS探头沿孔口下放，每下放一米点击控制软件中的读数按钮一次，C-ALS的控制软件自动扫描一次钻孔，同时记录数据。此时C-ALS内置的摄像头也一直在工作，可以帮助您随时掌握钻孔内部的情况。

3.3 测量扫描

将C-ALS的探头下放到采空区内部后，通过摄像头视频监控到内部有足够空间后就可进行采空区的扫描了。

扫描可以有三种方式：A：水平单次切片扫描，B：水平方向扫描，C：垂直方向扫描。本次试验首先进行了一次水平单次切片扫描，扫描的结果表明，可以进行全方位扫描，然后，设定采用水平方向扫描，本次试验共进行了三次扫描，一号孔采空区，扫描步长增量设定为 1° ，设定完成后启动扫描，约60 min后完成了扫描试验工作；二号孔采空区和三号孔采空区扫描步长增量设定为 2° ，设定完成后启动扫描，约30 min后完成了扫描试验工作。

4. 数据处理

一次完整的扫描C-ALS可以得到两组数据，一组是钻孔数据，一组是采空区数据。使用C-ALS随机附赠的软件“CavityScan”即可对这两组数据进行处理。

一、首先，分析一号孔的采空区信息。

(1) 首先，导入数据后得到一个完整的钻孔和采空区的全貌图，如图6所示。

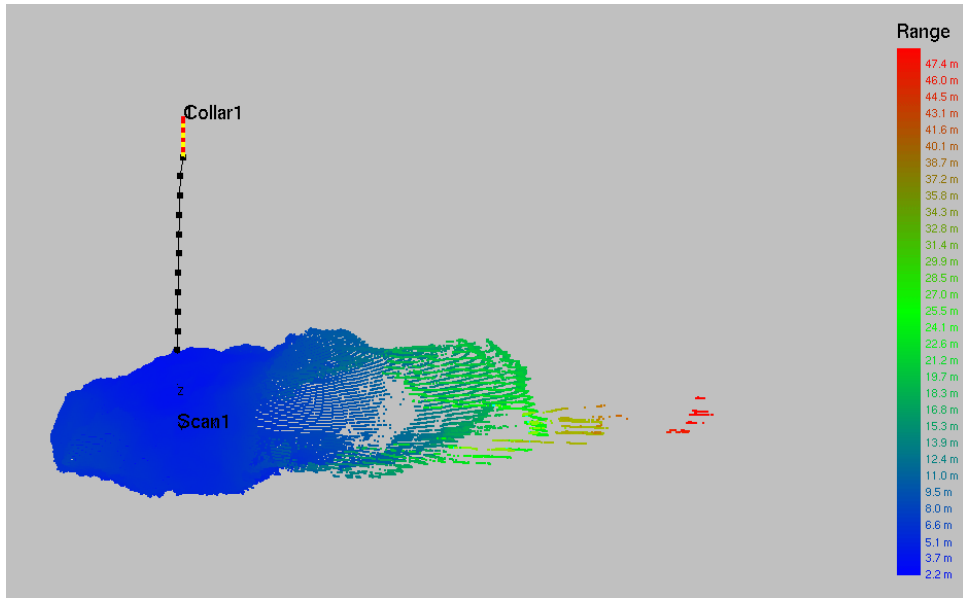


图6 一号采空区现场钻孔和采空区的全貌示意图

(2) 单独分析钻孔，可以完全了解钻孔的信息。如钻孔的方位角、倾角、深度、偏差和XYZ坐标轴的信息一目了然。这里可以清晰的看出，此探测孔与垂直位置存在的偏差，如图7所示。

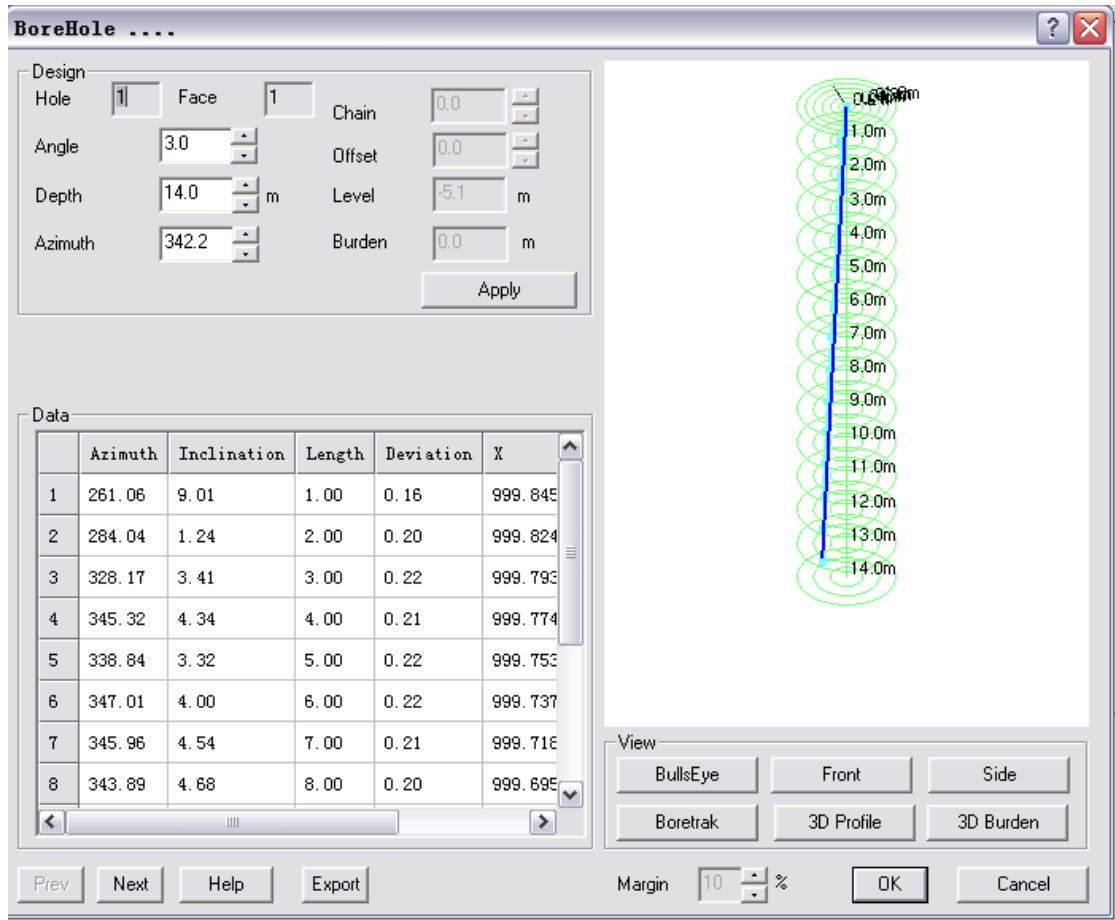


图7 现场钻孔及坐标轴信息图

(3) 单独分析采空区，可以分析采空区的3D形状包络，同时，可得到距离扫描点的3D距离—色彩等值线分布图和反射率—色彩等值线分布，如图8所示。

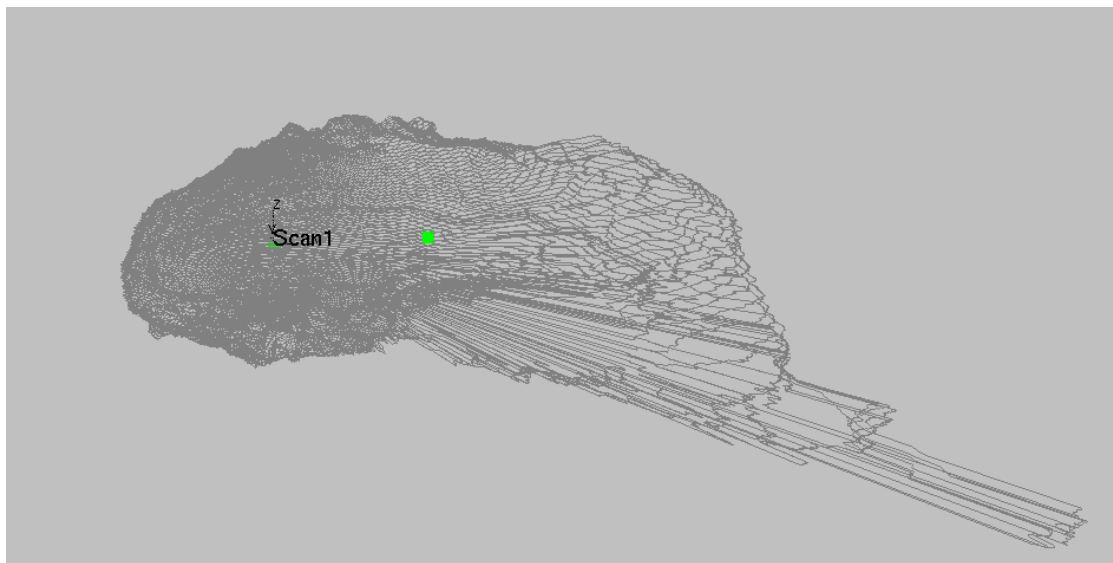
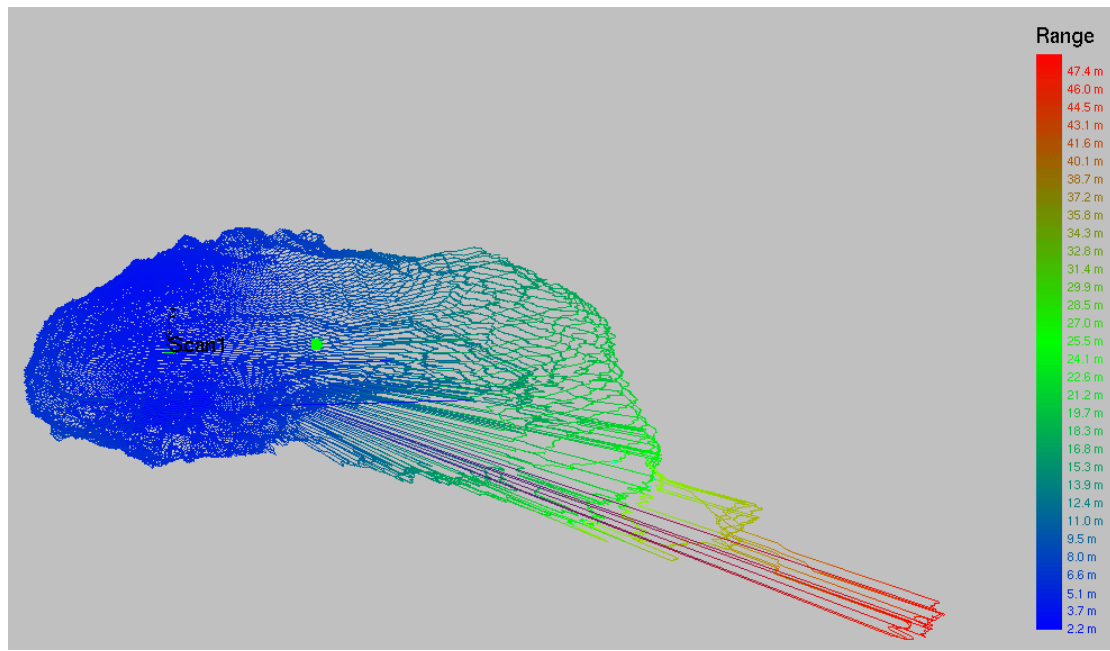
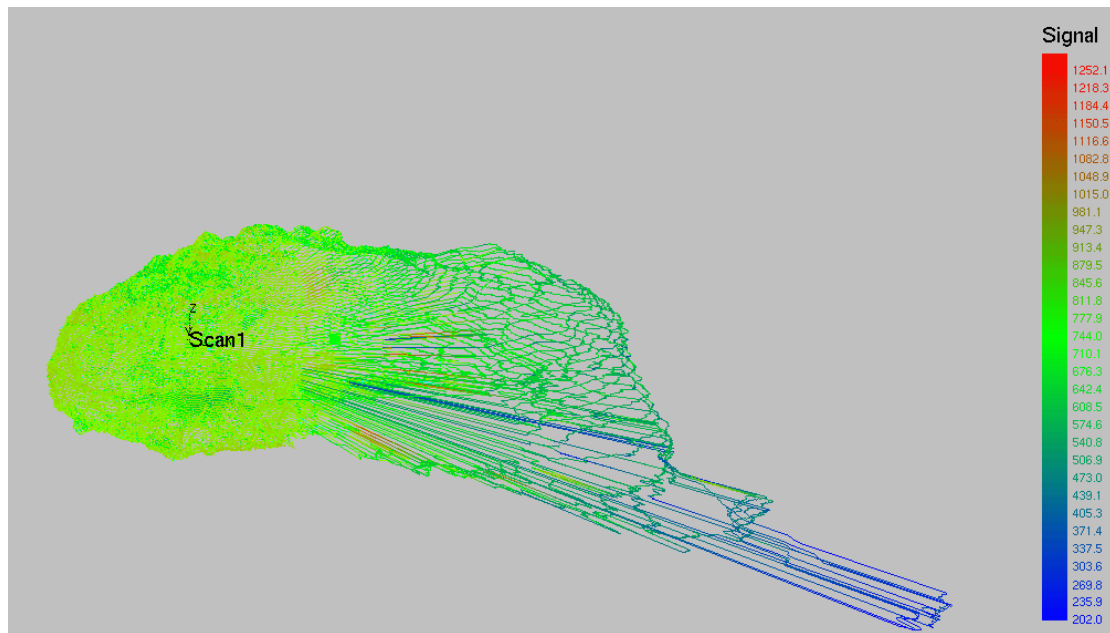


图8 (a) 实测采空区的3D形状包络图



(b) 实测采空区距离—色彩等值线图



(c) 实测采空区反射率—色彩等值线图

(4) 单独分析采空区，还可以得到任意两点的直线距离、水平距离、垂直距离、方位角和倾角信息，如图9所示。

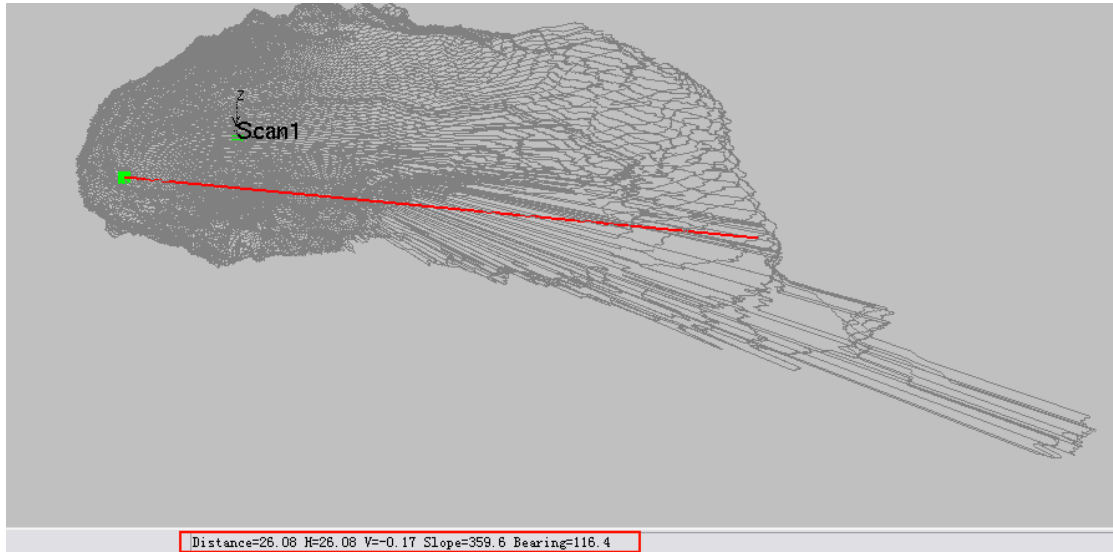


图9 实测采空区任意两直线相关信息图

实测采空区的3D表面渲染包络图，如图10所示。此外，分别从不同角度查看采空区效果，如图11所示。

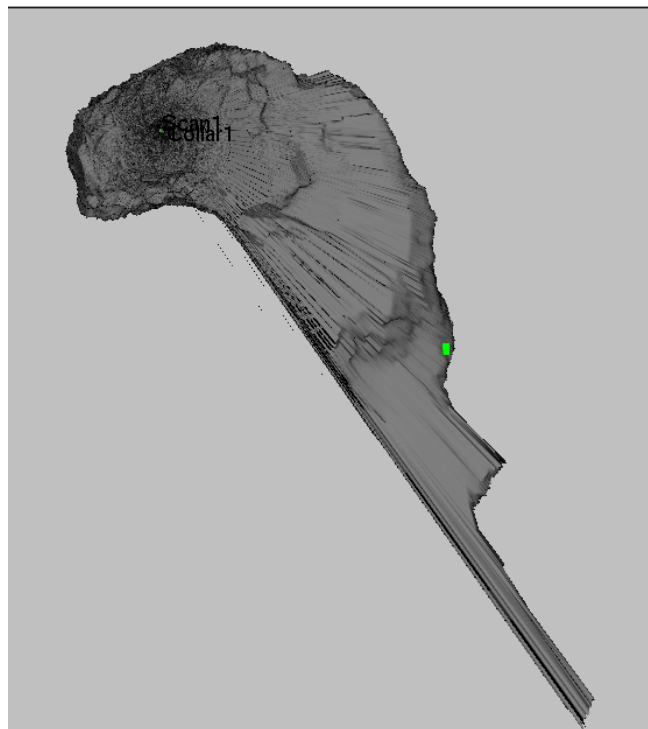
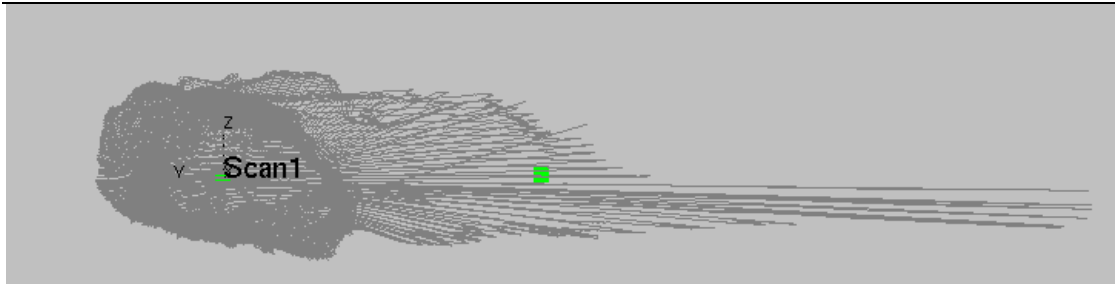
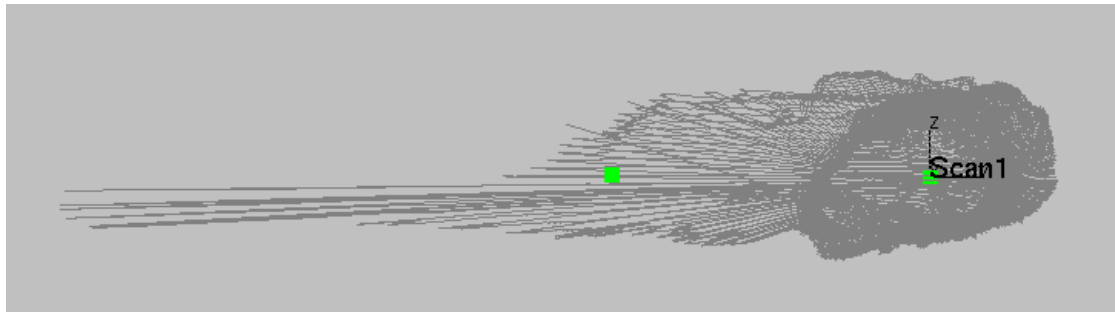


图10 实测采空区的3D表面渲染包络图



(a) 左视图



(b) 右视图



(c) 俯视图

图11 不同角度实测采空区可视化图

软件还可以根据要求，做水平或者垂直任意长度上的切片，如图12所示。

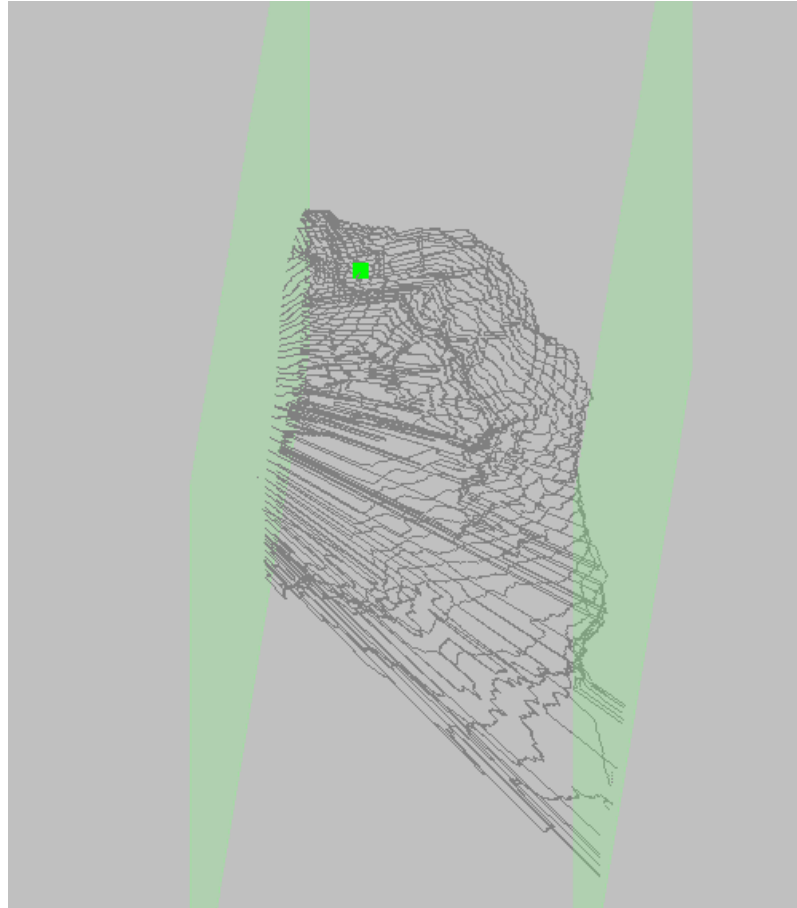


图12 垂直切片图

(5) 采空区的体积计算，用鼠标点击窗口中的体积计算图标，软件自动计算出试验采空区的体积为 $9,222 \text{ m}^3$ ，并保存在用户指定的txt文本文件中。

(6) 综合对采空区的数据分析，可以看出此采空区为人为挖掘形成，顶板距离地面10m。综合分析一号孔，我们可以发现采空区的点云数据并不完整，某些部位被物体遮挡无法穿透，因此我们在一号孔的周围又布置了两个钻孔，进行扫描，最后将数据拟合，从图13上可以看出，最后拟合出的测量结果与实地测量的采空区的结果十分吻合。

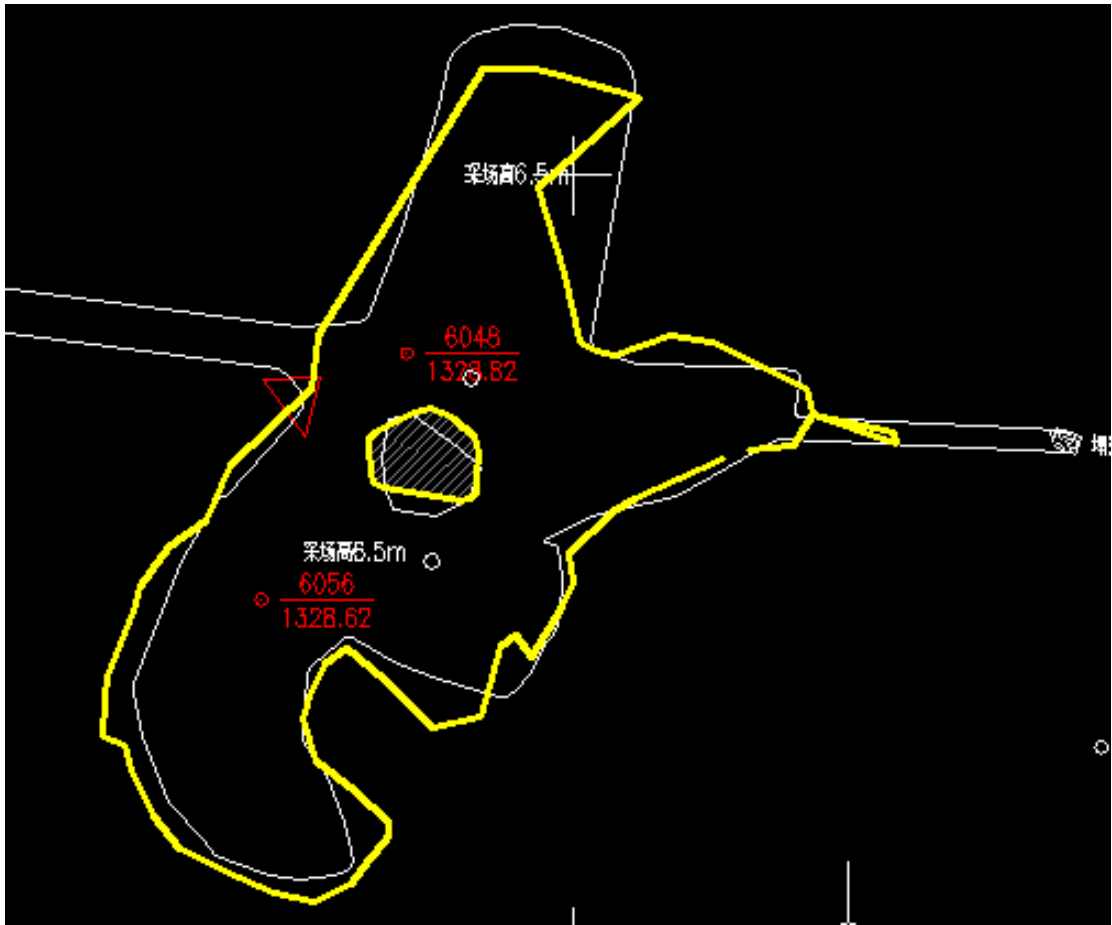


图13 Cass中的对比图（黄色为C-ALS测量，白色人员进入采空区的实地测量）。

此外，CavityScan 还可以将点云信息输出成不同的格式，以便在采矿软件（如Surpac, Datamine, Vulcan, AutoCad, 3Dmine, Cass等）中使用和处理。图14和图15，分别为AutoCad中打开的等高线图和自定义输出的数据库图。其中的数据库图数据的排列方式可以自己定义，定义的内容涵盖：点号，X，Y，Z，高程，反射率等10几项信息。我们可以看到此次扫描共有721, 214个点的数据信息。图16为在CASS中导入的DAT文件生成的三角格网，可以方便的做切片并融入矿山现有的地面资料。

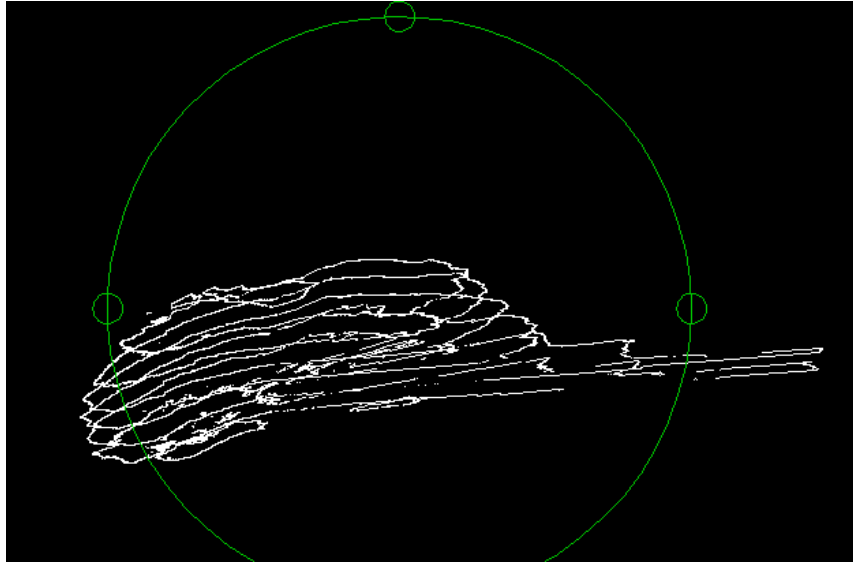


图14 数据导入AutoCad后的等高线截图

Point ID	X	Y	Elevation (Z)
721184	999.570	1000.801	356.900
721185	999.570	1000.801	357.000
721186	999.566	1000.802	357.100
721187	999.570	1000.801	357.200
721188	999.570	1000.801	357.300
721189	999.567	1000.802	357.400
721190	999.570	1000.802	357.500
721191	999.570	1000.802	357.600
721192	999.570	1000.802	357.700
721193	999.570	1000.802	357.800
721194	999.570	1000.803	357.900
721195	999.570	1000.803	358.000
721196	999.567	1000.804	358.100
721197	999.567	1000.804	358.200
721198	999.571	1000.803	358.300
721199	999.571	1000.804	358.400
721200	999.567	1000.805	358.500
721201	999.568	1000.805	358.600
721202	999.570	1000.805	358.700
721203	999.570	1000.805	358.800
721204	999.568	1000.805	358.900
721205	999.568	1000.806	359.000
721206	999.568	1000.806	359.100
721207	999.570	1000.806	359.200
721208	999.571	1000.805	359.300
721209	999.569	1000.806	359.400
721210	999.572	1000.805	359.500
721211	999.572	1000.806	359.600
721212	999.571	1000.806	359.700
721213	999.572	1000.806	359.800
721214	999.568	1000.808	359.900

图15 自定义输出的数据库文件（数据从左到右依次为：点号，X，Y，高程）

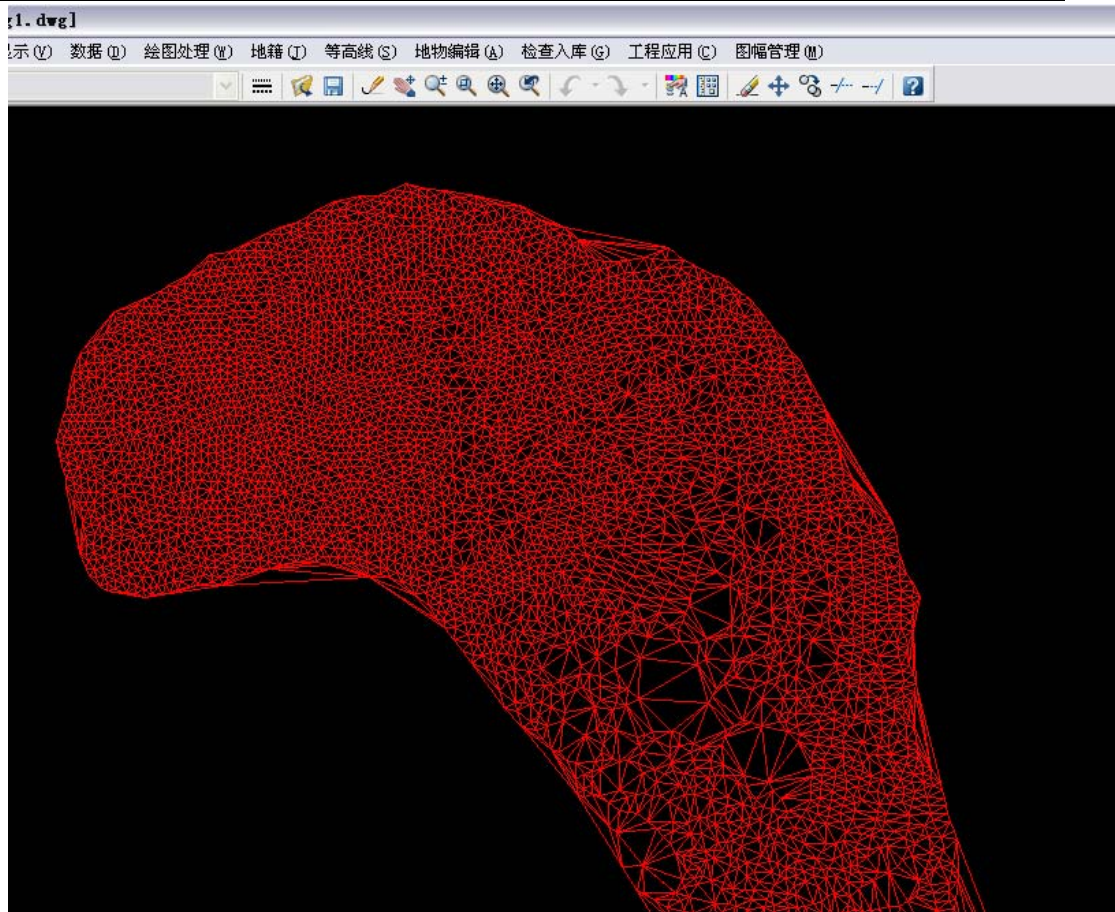


图16 Cass中生成的三角格网

二、分析二号孔的采空区信息。从正视图可以看出这个一个典型的“鸡窝状”的采空区，如图17所示。观察俯视图也可以看出，此采空区向四周延伸的开采作业痕迹，如图18所示。二号孔采空区长宽接近25m，对角线长度接近38m，相当于两个篮球场的大小。体积达到了10,911 m³。如此大面积的采空区如不能及时发现和处理势必对将来的生产带来巨大的安全隐患。

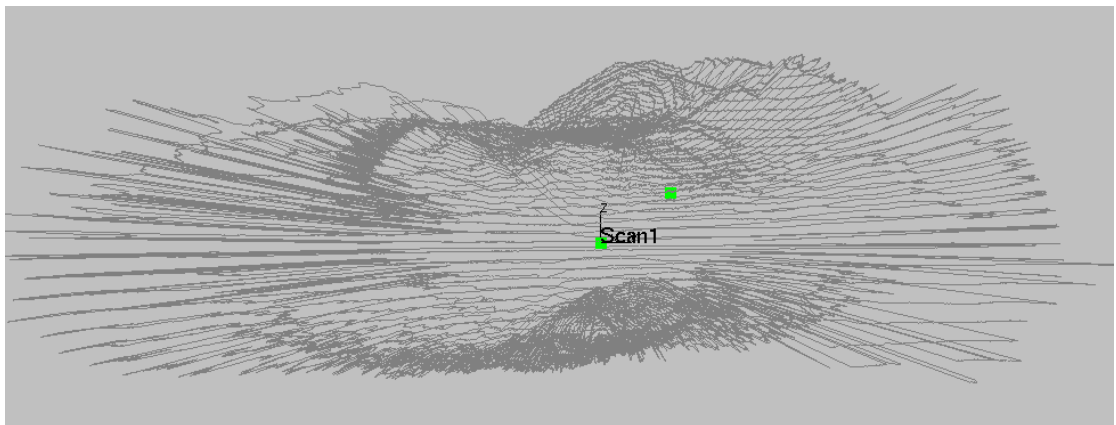


图17 二号空采空区的正视图

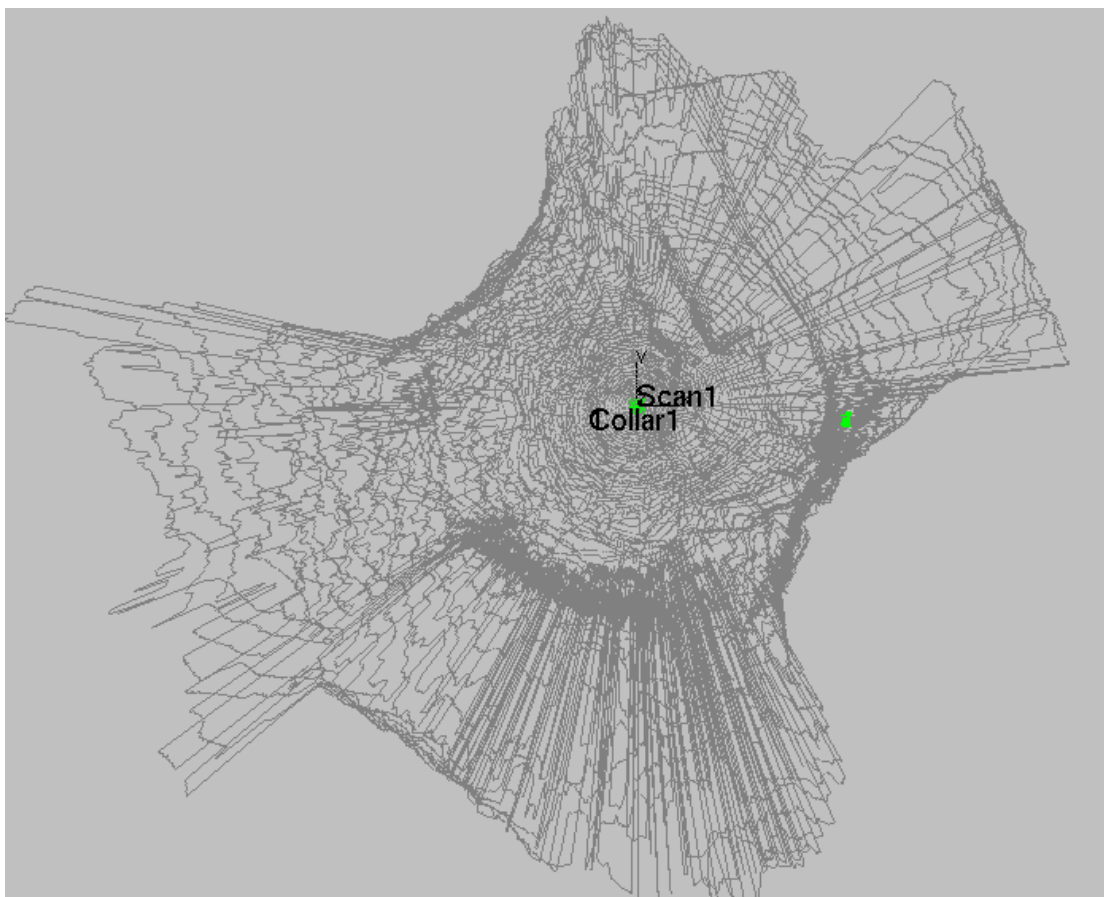


图18 二号空采空区的俯视图

三、分析三号孔的采空区信息。三号孔在测量之前孔口已经发生了坍塌和崩裂，在地面留下了方形的塌陷口，如图19的实景照片所示。在使用C-ALS扫描之后，我们可以清晰的看到孔口的方形塌陷（如图20所示）和大块石头崩裂后留下的整齐切面（如图21所示）。此采空区的体积也达到 $1,652 \text{ m}^3$ 。



图19 三号采空区的孔口塌陷实景照片

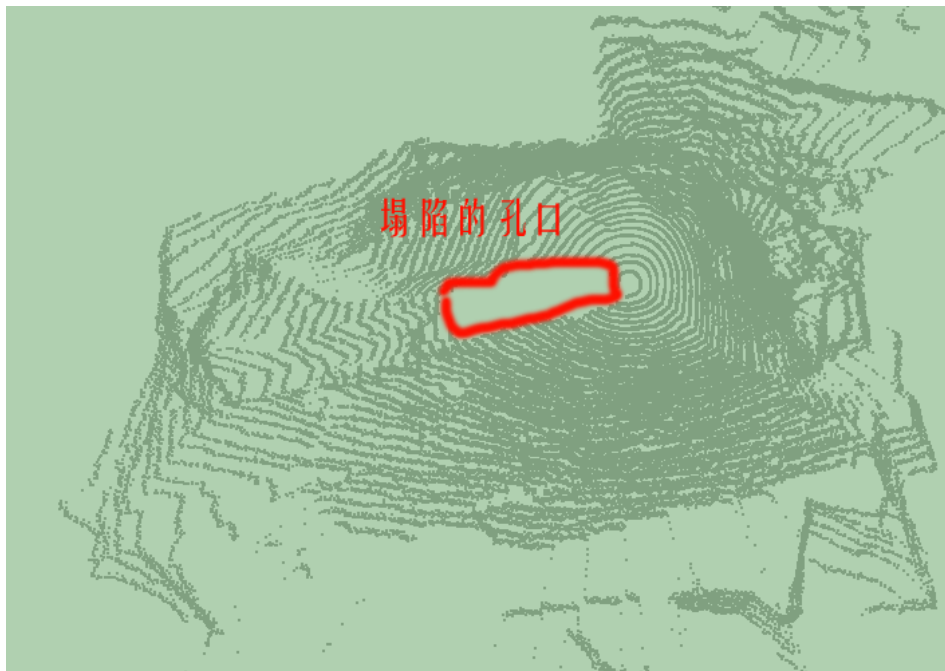


图20 三号空采空区孔口的方形塌陷在激光扫描图上清晰可见

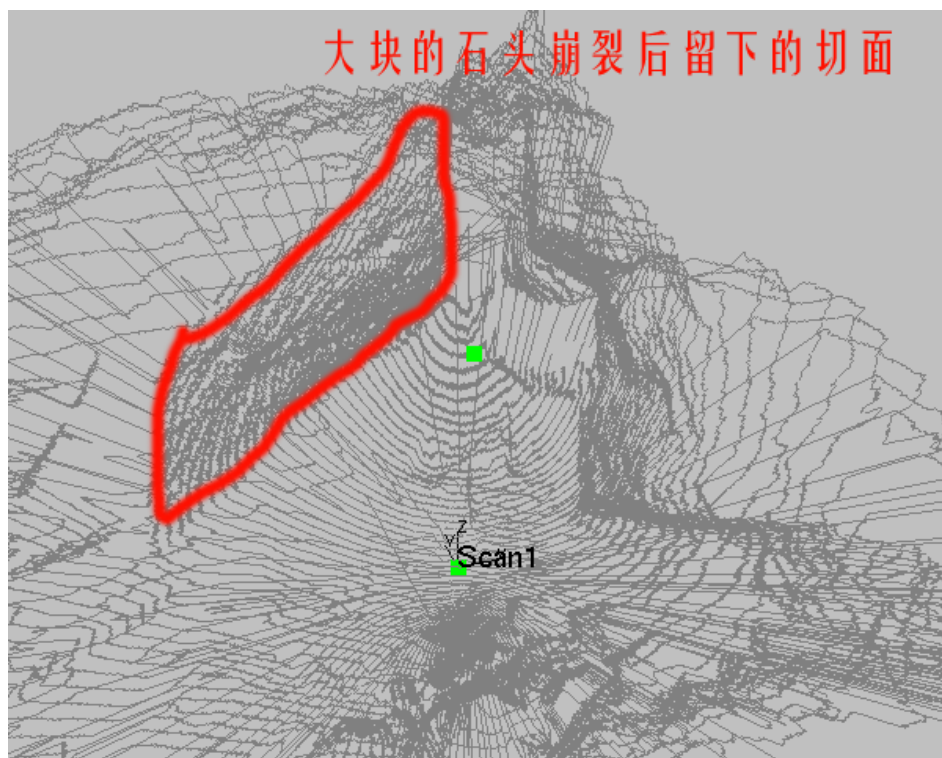


图21 三号空采空区大块石头崩裂后留下的整齐切面

5. 结论

(1)地下空间和采空区三维激光扫系统(C-ALS)具有全自动扫描、操作方便、数据处理简单等特点，同时探测人员无须进入空区。

(2) 本次试验成功进行了地下采空区隐蔽工程三维可视化，不仅可以可视化描述地下采空区的分布范围、空间形态特征和采空区的冒落状况等，还实现了对采空区体积进行定量测算。

(3) 通过对地下采空区的测量，可以精确的对采空区进行定量和定性，并与地面的数据信息相结合。为后期采空区的治理，提供了科学、准确的依据。

(4) 工程实践表明，地下采空区扫描，可实现采空区隐蔽工程可视化和对采空区顶板有效安全限厚度进行量化测试和定量评价，为实现下伏采空区工程的

安全预警和安全预测，提供了依据和基础数据，值得进一步应用和推广。