

手持三维激光扫描仪在矿山溜井工程中的应用

普 林

山西北方铜业有限公司 山西 运城 043700

摘要：以铜矿峪矿2[#]主溜井为研究背景，基于GeoSLAM手持式三维激光扫描仪的基本原理，提出了符合工程实际情况的扫描测量方案，获得了溜井内部的点云数据。采用CloudCompare软件对点云数据进行处理并导入Geomagic Control软件中建立三维实体模型。最后对实体模型进行进行横纵剖面图输出和数据分析，得到了溜井的具体垮塌位置和破坏程度。其研究成果为溜井的后续治理提供可靠数据依据。

关键词：三维激光扫描；溜井工程；数据分析

引言：溜井是地下矿山溜破系统的重要组成部分，是利用自重从上往下溜放矿石或废石的通道，主要功能是负责集贮和转运井下开采矿岩，在地下固体矿山广泛使用^[1]，其有效运行对矿山的生产效率和运营安全有举足轻重的影响。溜井在提高运输效率方面发挥了重要的作用，但也存在磨损垮塌、堵塞等问题，遂需要对其内部进行精细测量探查其破坏程度。由于溜井特殊的结构特点，传统测量手段无法获取溜井内部的精确空间数据。本文采用手持三维激光扫描仪对铜矿峪矿2[#]主溜井进行测量，并构建了三维实体模型对溜井内部形态进行还原与分析。

1 手持三维激光扫描仪及工作原理

1.1 手持三维激光扫描仪

本文采用的GeoSLAM手持式三维激光扫描仪，采用SLAM技术采集点云数据测距范围0.4~100米，每秒测点30万个，点云密度为3500~4000/m²。它由激光扫描单元、惯性测量单元（IMU）和SLAM算法所组成。SLAM即同步定位与建图，指在未知环境中从一个未知点开始移动，在移动中根据位置和采集的空间点进行自身定位，并在自身定位的基础上增量式采集空间点云数据。三维激光扫描技术运用了非接触式、高精度地对被测物体进行快速扫描测量，获取点云数据的“实景复制技术”^[2]。与传统的数据采集相比拥有测点密度高、要素信息全、非接触测量和快速高效等优点。

1.2 工作原理

手持激光SLAM工作实质是距离和角度测量。在测距上，扫描仪激光发射器周期性进行激光发射，利用激光回波探测技术获取激光发射到反射接收的时间差或相位差，从而计算出被测物体某点到激光扫描仪中心的距离；在角度测量上利用高精度时钟控制编码器记录测量每个激光发射瞬间的横向和纵向角度偏差，从而利用记录的一个线元素和两个角元素计算得到被测物体的空间

三维坐标，具体工作原理和计算公式见图1^[3]：

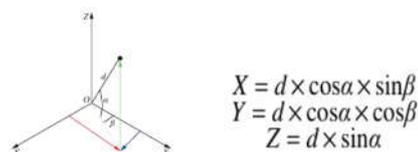


图1 空间坐标计算

2 矿山溜井工程扫描实例

2.1 工程概况

铜矿峪矿530m中断2[#]主溜井服务年限较长，长期的矿石撞击、冲刷作用下，井壁围岩出现裂隙并造成溜井内部的变形破坏。为了准确掌握2[#]溜井井筒断面形状，评估井筒垮塌程度，需要开展精确测量工作，分析和评估溜井垮塌情况，为溜井运行维护、使用管理和安全治理提供基础数据和科学依据^[4]。遂采用GeoSLAM手持式三维激光扫描仪对2[#]主溜井进行空间点云数据采集，并构建三维立体模型。

2.2 现场数据采集

2.2.1 控制点布设与路径规划

收集测区内的已知导线点信息，根据测区空间位置合理选取已知导线点作为扫图控制点，不得形成一条线或过于集中。由于坐标转换使用的是三维七参数模型，因此控制点最少数量为3个。

现场踏勘规划扫描作业路线，尽量为闭环或8字形形状，有利于消除累计误差。根据溜井的空间位置状态和溜井扫描的作业方法，宜选用分段拼接的方法完成2[#]主溜井的三维扫描。即第一测段使用三维激光扫描仪对卸矿道、卸矿硐室及溜井口范围进行三维扫描（绝对坐标），第二测段对溜井内部进行三维扫描（相对坐标），得到两个测段的点云数据。

2.2.2 点云数据采集

测量人员手持三维激光扫描仪沿规划的路线进行扫

描,重点采集控制点、特征点和点云拼接区域,得到卸矿道、卸矿硐室及溜井口范围的空间点云数据。再用特制设备固定扫描仪的处理器和激光探测头,使用吊绳将其吊放入溜井进行三维扫描,得到溜井内部的点云数据。为了避免扫描仪剧烈运动使扫描得到的点云数据发生漂移现象,还应准备引导绳来辅助吊绳进行吊放扫描仪作业,防止其发生剧烈旋转。

2.3 数据处理与模型建立

2.3.1 数据预处理

由于三维激光扫描仪每秒测量30万个点,一个测段得到的是海量的空间点云数据,对计算机的处理能力构成巨大挑战。因此,将采集的点云数据导入CloudCompare软件进行抽稀简化使之容易被计算机编辑处理。并且,使用SLAM技术得到的点云数据为相对位置坐标,则需要找到扫图控制点在第一测段点云数据中的同名点并与之建立转换关系,求取转换参数,最终建立转换模型。将第一测段点云数据坐标进行转换,得到绝对坐标下空间位置准确的点云数据。

2.3.2 点云拼接

将预处理完成的点云数据导入Geomagic Control软件,对点云数据进行降噪、删除体外孤点等处理。第二测段由于对溜井内部的三维扫描时未使用控制点,得到的点云数据为相对坐标。因此将第二测段溜井内部的点云数据与第一测段卸矿道、卸矿硐室及溜井口范围的点云数据进行点云拼接,得到绝对坐标下的溜井内部点云数据。

2.3.3 构建立体模型

为保持溜井模型尽可能保持原貌,对拼接后的点云数据进行封装时,不要勾选“删除小组件”。封装后得到三维立体模型,使用软件的“网格医生”功能对模型的空洞部分进行修补并进行平滑处理,从而得到符合测区空间现状的三维立体模型如图2。在Geomagic Control软件中可对三维立体模型进行直观的显示和进行相应的操作,为溜井的现状分析提供精准可靠的数据支持。

3 溜井模型成果分析

3.1 横纵剖面图输出与分析

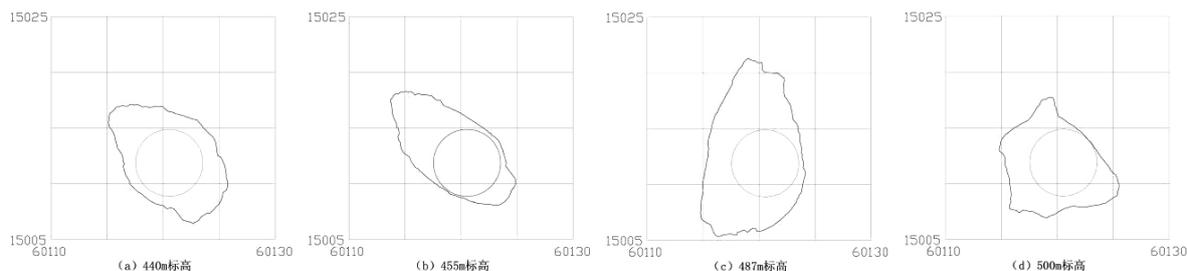


图4 2#溜井实测模型与设计横剖面图

对2#主溜井实测的三维模型进行纵向剖面图输出,以便分析2#主溜井的空间结构状况和周边工程的关系情况进行分析。以1#溜井与2#溜井中心线为剖面对2#主溜井三维立体模型进行剖面图输出如图3所示。2#主溜井在各水平位置发生的垮塌程度并不一致,对实测结果进行分析距1#主溜井井筒壁的最小距离超过30m,未对1#主溜井形成影响。

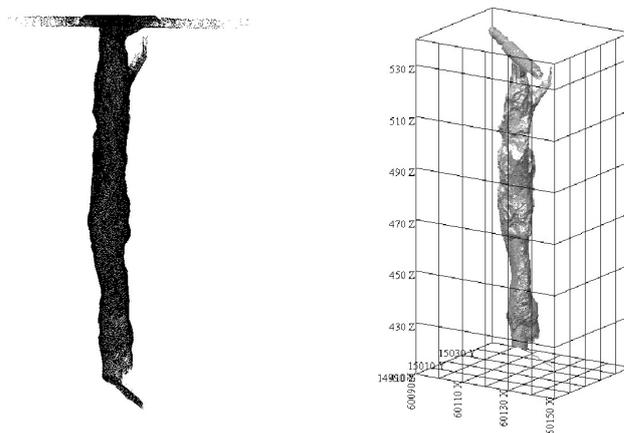


图2 溜井点云数据及三维立体模型

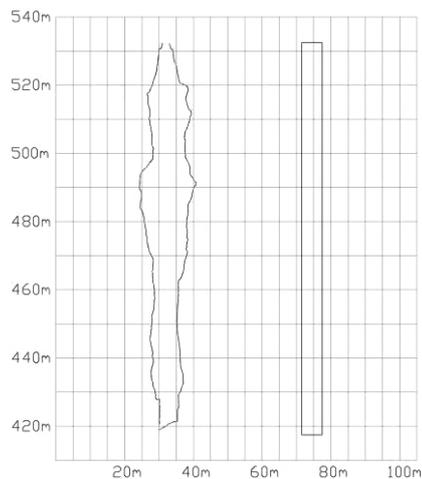


图3 2#溜井实测模型与1#溜井设计纵剖面图

对2#主溜井实测的三维模型进行横向剖面图输出,特征位置处横剖面如图4。结合2#主溜井的纵横剖面图可以看出470m~495m为2#主溜井的主要垮塌段,最大垮塌位于487m处,垮塌尺寸为6.4m,等效直径11.6m。

3.2 数据分析

根据2#主溜井的实测三维模型数据并结合其设计数

据,对纵横剖面图和井筒参数等数据进行分析,汇总数据得到表1:

表1 2#溜井实测体积和垮塌体积统计表

| 标高范围/m | 设计体积/m ³ | 实测体积/m ³ | 累计实测体积/m ³ | 垮塌体积/m ³ | 累计垮塌体积/m ³ |
|---------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 420~430 | 282.743 | 444.762 | 444.762 | 162.019 | 162.019 |
| 430~440 | 282.743 | 800.303 | 1245.065 | 517.560 | 679.579 |
| 440~450 | 282.743 | 701.370 | 1946.435 | 418.627 | 1098.206 |
| 450~460 | 282.743 | 679.523 | 2625.958 | 396.780 | 1494.986 |
| 460~470 | 282.743 | 930.443 | 3556.401 | 647.700 | 2142.686 |
| 470~480 | 282.743 | 1224.545 | 4780.946 | 941.802 | 3084.488 |
| 480~490 | 282.743 | 1053.776 | 5834.722 | 771.033 | 3855.521 |
| 490~500 | 282.743 | 866.862 | 6701.584 | 584.119 | 4439.640 |
| 500~510 | 282.743 | 855.121 | 7556.705 | 572.378 | 5012.018 |
| 510~520 | 282.743 | 979.810 | 8536.515 | 697.067 | 5709.085 |
| 520~530 | 331.800 | 484.661 | 9021.176 | 152.861 | 5861.946 |

在不同标高范围2#主溜井都存在垮塌现象,累计垮塌体积为5861.946m³,具体来说530m~500m段垮塌量占总量的24.3%。最大垮塌部位为517m处,垮塌尺寸6.2米,断面面积为71.260m²。此段区域垮塌范围不大,井筒壁较为完整,因此该段井筒稳定性较好。

由数据分析可知,500m~460m段垮塌现象最为严重,垮塌量占总量的50.2%。主要垮塌部位在480m~495m,最大垮塌部位为487m处,垮塌尺寸6.4m,断面面积为106.256m²。由于垮塌严重容易出现井筒脱帮产生大块对下部工程造成危害。

最后,460m~420m段垮塌量占总量的25.5%,此段区域垮塌范围较小,井筒壁最为完整,因此该段井筒稳定性最好。

4 结论

本文以铜矿峪矿2#主溜井为例对矿山溜井工程的空间数据采集做了一个比较系统的论述。探讨了三维激光扫描仪的工作原理,介绍了如何使用三维扫描仪对溜井内部进行扫描获取点云数据,并构建三维立体模型,实现溜井内部状况的可视化。通过对纵横剖面图和井筒参数等数据进行分析,得到了溜井在不同标高的垮塌体积和形态,确定了2#溜井内部空间状态的具体破坏情况。分析数据可知2#主溜井在不同标高都存在垮塌现象,其中

500m~460m段垮塌现象最为严重,井筒壁脱帮可能对下部工程造成危害,影响矿山安全生产。

考虑到2#主溜井不再使用,为防止井筒脱帮产生大块导致340水平3#振放卡堵,最终决定对2#主溜井进行封堵处理。封堵位置选择在430m的最小断面处,先将毛石溜放堆至该处,再用混凝土进行封堵处理。

由于井下环境复杂多样,往往没有充足的照明条件。而三维激光扫描仪是自身发射并接收激光,能够在光线不足或无光照的井下环境中正常工作,确保了测量数据的完整性和准确性。相信随着三维激光扫描技术在矿山的大范围应用,其技术优势也将为矿山测量事业的发展作出更大的贡献。

参考文献

[1]成枢,朱玉明,牛英杰,等.三维激光扫描技术在高速公路沉降监测中的应用[J].矿山测量,2020,48(03):20-23+40.
 [2]文兴,朱青凌.基于三维激光扫描的溜井测量与分析[J].有色金属(矿山部分),2020,72(03):79-84.
 [3]周腾飞,赵丹琴,高梓成.基于手持激光Slam的厂房改造应用[J].科学技术创新,2020,(06):88-89.
 [4]明世祥.地下金属矿山主溜井变形破坏机理分析[J].金属矿山,2004,(01):5-8.