

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.03.22

基于 CMS 探测的深部主溜井垮塌三维可视化分析

吴 琼, 罗周全, 黄俊杰, 秦亚光

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 针对某金属矿深部 4#主溜井筒壁中段卸矿不断冲击受损垮塌的现状,运用空区激光探测系统(CMS)对 4#主溜井进行跟踪探测,获取垮塌区相关的实测信息,建立精确的垮塌区三维可视化模型,准确获取溜井垮塌区三维形态、空间位置和实际边界。通过对溜井垮塌前后三维模型间的布尔运算,得出了垮塌区体积的大小、最大垮塌区横剖面面积等,实现了溜井垮塌严重程度的三维可视化分析。通过对 -600 m 水平溜井垮塌范围与周边巷道位置关系分析,确定了溜井对周边巷道的影响程度,为 4#主溜井的恢复加固及周边巷道的安全分析提供了可靠的技术支撑。

关键词: 主溜井;垮塌区;空区探测系统;三维可视化;巷道安全

中图分类号: O242.1;TD325+.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)03-0148-06

3D visualization analysis of deep main chute falling based on CMS monitoring

WU Qiong, LUO Zhouquan, HUANG Junjie, QIN Yaguang

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract: The condition of collapse in the 4# main ore-pass of metal mine which caused by the on-going ore discharging in the middle is serious. Relative measured information of the collapse can be acquired by CMS detecting and tracking the main ore-pass. On the basis of the information, accurate 3D visualization model of the collapse can be established, and three-dimensional configuration, spatial position and actual boundary of collapse area of ore-pass be obtained. Through Boolean calculation between the 3D models which established before and after the collapse, volume size and the maximum transverse section area of collapse zone were obtained. Thus, the 3D visualized analysis of the condition of the collapse of ore-pass was implemented. Finally, the degree to which ore-pass affects the peripheral roadway are confirmed, via analysis of the position relations between collapse range of ore-pass in -600 m level and surrounding roadway. The analysis provides reliable technical support for the restoration and reinforcement of 4# main ore-pass and the safety of surrounding roadway.

Keywords: main ore-pass; collapse area; CMS; 3D visualization; the safety of roadway

0 引言

鉴于垮塌区的复杂探测条件,在垮塌区精密探测

领域,国内还处于初期探索阶段。垮塌区探测方法主要有:地震法、地震 CT 探测、电阻率法、电磁法、探地雷达以及 3D 激光探测技术等。但是地震波法空区探

收稿日期: 2016-03-05; 修订日期: 2016-04-03

基金项目: 国家自然科学基金(51274250);“十二五”国家科技支撑计划专题:采空区三维激光扫描空间信息建模与动态监测技术研究(2012BAK09B02-05)

第一作者: 吴 琼(1992-),男,江苏宿迁人,硕士研究生,从事金属矿深井开采及灾害辨析监控理论与技术研究。E-mail:690794510@qq.com

测技术(包括地震法、地震 CT 探测等)极易受到噪音影响;电磁法以及电法空区探测技术(包括电磁法、探地雷达、电阻率法等)常受到地下矿山的电线、管道、杂散的电流以及各种电磁干扰。与 3D 激光探测技术相比,其它探测方法抗干扰能力较弱,探测深度及精度受限、过程繁琐,同时可视化程度也比较低^[1-5]。

目前国内外金属矿山广泛采用新型的空区激光探测系统(CMS)对溜井垮塌区进行现场实时三维探测,可高效、准确地获取溜井垮塌区的三维空间形态、所处的空间位置,以及溜井垮塌区域的实际边界和垮塌量等实时的信息,探测结果的可视化程度较高,CMS 系统后期处理能力强大,为矿山安全开采等提供了可靠信息,现已取得良好应用效果^[6]。

国内某地下金属矿山的深部 4#主溜井为矿山的主运矿溜井,该井筒标高从 -500 m 至 -650 m,高度为 150 m。由于该矿中段倒矿不断冲击主运矿溜井井筒壁,所以 4#主运矿溜井受损十分严重,已造成该主溜井局部发生大规模片帮垮落的风险。溜井内堆积了大量废石,严重影响到后期溜井放矿工作。因此,亟需在有效获取溜井垮塌区域的三维空间信息的基础上,准确地掌握溜井垮塌区域的三维形态、空间位置 and 实际边界范围。然后,对获取的三维信息进行后期处理,准确计算出溜井垮塌范围和体积,能准确掌握反映垮塌区边界的横、纵剖面等的相关一手信息,为 4#主溜井恢复加固及周边巷道的安全分析提供技术支持^[7-11]。

运用 CMS 激光探测技术,可以有效地对矿山经济活动中开挖的各类空区和井巷进行及时监测,从而可以减少地面塌陷、沉降和矿井垮塌等地质灾害的发生,为矿山安全开采提供有效的技术支持^[12]。

1 溜井垮塌区现场探测及数据处理

1.1 垮塌区现场三维探测

为保证探测效果,根据现场条件,在 -600 m 中段选择探测位置进行探测,并建立溜井实测的三维模型。三维探测系统(CMS)激光扫描头是非常精密的仪器,其要与溜井侧壁保持一定的安全距离,以免激光头在工作时与井筒侧壁发生接触碰撞导致其破坏,从而影响现场探测效果。

采用三维探测系统所测量的点坐标是相对位置坐标,即相对与激光扫描头中心点的坐标。垮塌区各测点的实际坐标是通过激光扫描头中心点的坐标求出,所以必须先要准确求出扫描头中心点的坐标。表 1 为

现场测定的扫描头支撑杆上两个设定点的坐标及相关数据^[13]。

表 1 扫描头支撑杆上设定测点的坐标
Table1 Thecoordinates of the settingpoint on the support barof the scanning head

探测对象	测点编号	坐标			测点 1 与扫描头中心距离/m
		Y	X	Z	
4#主溜井	1	8 343. 970	2 307. 832	-599. 210	0. 25
	2	8 347. 894	2 307. 623	-599. 219	

1.2 溜井垮塌三维模型的构建

运用三维激光探测系统(CMS)所测得的原始探测数据格式为“. txt”格式,其数据记录的主要是两个角度和一个距离值。通过 CMS 自带的预处理软件 CMSPosProcess 将原始数据文件(“. txt”格式)转换成“. dxf”格式的文件。从而可以准确地建立起溜井垮塌区的三维空间模型,获取溜井垮塌三维空间形态、空间位置及实际垮塌边界^[14-15]。溜井实测有效段模型参见图 1,图 2 为 -600 m 水平面与实测溜井模型复合图。

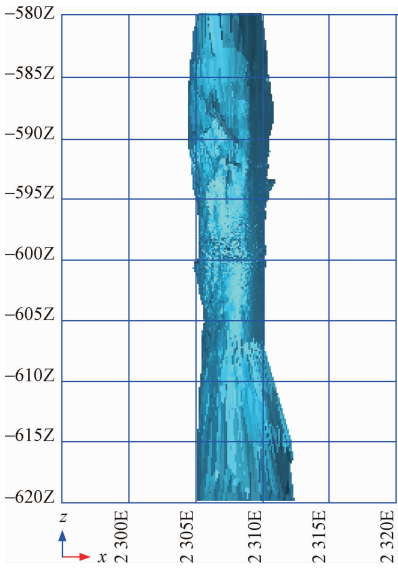


图 1 溜井实测有效段模型(-620 ~ -580 m)

Fig. 1 The model of the effective sections of ore-pass(-620 ~ -580 m)

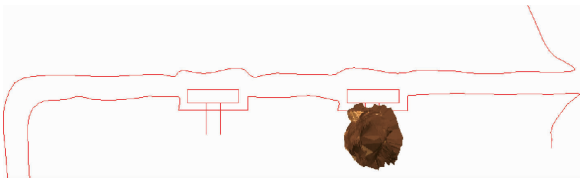


图 2 -600 m 水平面与实测溜井模型复合图

Fig. 2 The composite diagram of measured ore-pass model and the 100m horizontal plane

为了更具体地分析溜井的垮塌情况,为下一步溜井的修复和加固提供了更具体的位置指示。根据 4# 主溜井探测结果的情况,将 4# 主溜井的实际测量模型有效段分为二段分析。以 Z 坐标的高低制定划定标准:第一段是 Z 坐标 $-580\text{ m} \sim -600\text{ m}$ 范围内的实测

模型;第二段为 -600 m 到 -620 m 的范围。图 3 为二段溜井垮塌区三维模型的三视角显示图。其中,图 3a 为 $-580 \sim -600\text{ m}$ 标高溜井段模型,图 3b 为 $-600 \sim -620\text{ m}$ 标高溜井段模型,左侧上方为主视图,左侧下方为右视图,右侧为俯视图。

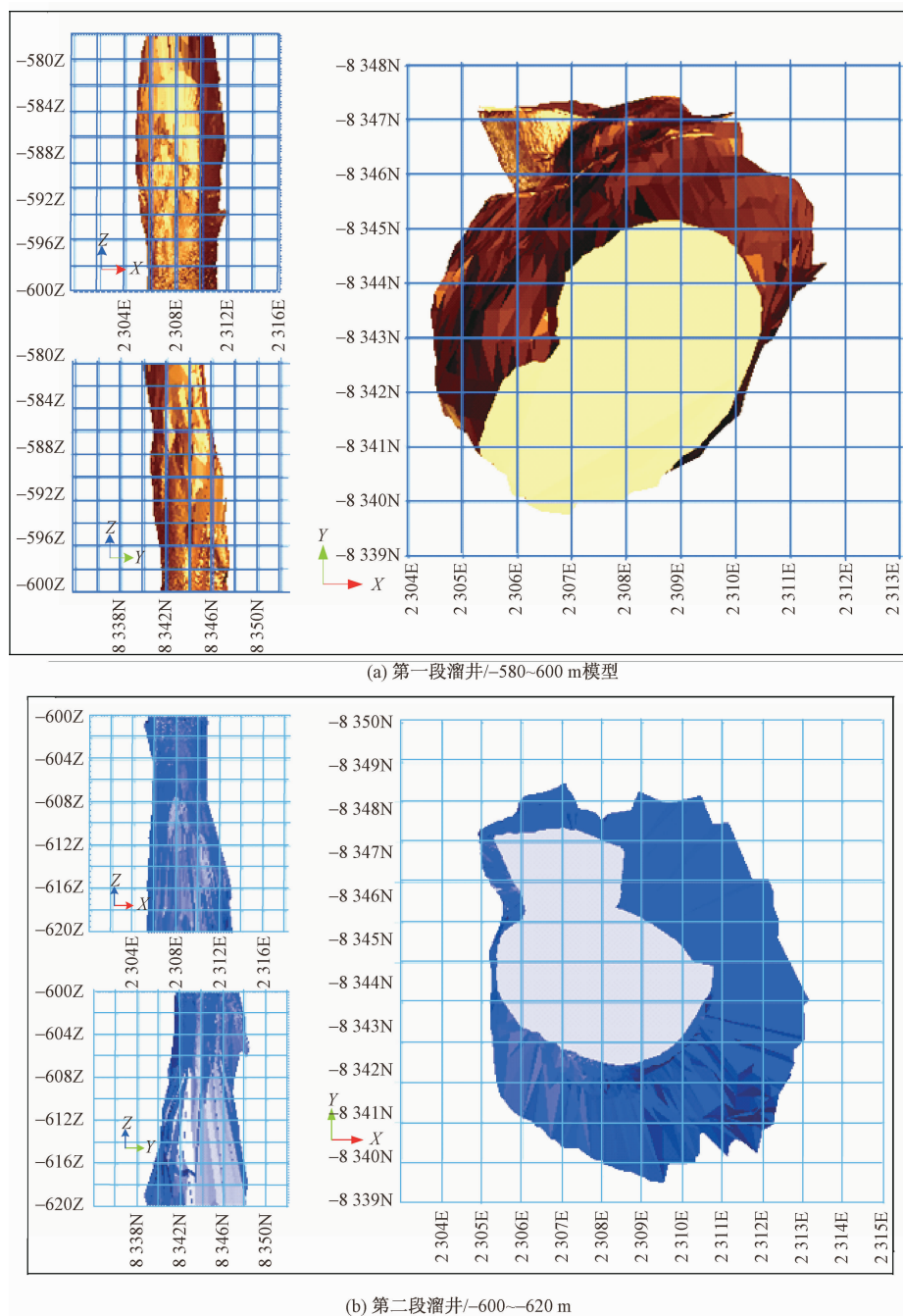


图 3 溜井垮塌区的分段三维模型三视角显示

Fig. 3 Three view display of segmented 3D model of collapse area in the ore-pass

2 溜井垮塌的可视化分析

2.1 溜井垮塌前后三维模型的拟合

根据矿山的探测资料:溜井井筒中心点坐标 $x = 2\ 308.58$, $y = 8\ 343.375$,井筒直径为 3 m ,建立溜井设计的三维模型。图 4 为二段溜井的设计三维模型与相

应二段溜井实测的垮塌模型复合图。



图 4 溜井垮塌前三维模型与实测溜井垮塌模型复合图
Fig. 4 The model composite diagram of measured ore-pass model and 3D model before the collapse

2.2 溜井横剖面图的生成

按上面提及的溜井二段划分的原则,分别对第一段、第二段溜井每隔 1 m 生成一个溜井垮塌区横剖面,计算各横剖面面积与最大宽度值,并对比已生成的剖面与溜井设计边界,从而形成溜井垮塌区横剖面与溜井设计边界对比图。图 5 为溜井垮塌区横剖面与溜井垮塌前边界对比图。

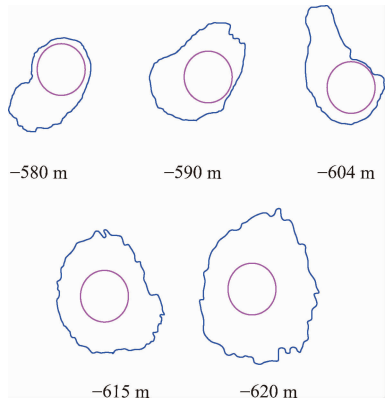


图 5 溜井垮塌区横剖面与溜井垮塌前边界对比
Fig. 5 The contrast between the section of collapse area and ore-pass boundary before collapse

根据横剖面图来看,在 -615 m 标高段附近,垮塌范围比较大,主要垮塌为东南方向;而在 -604 m 标高附近也有较大垮塌,其垮塌为东北方向。

2.3 溜井垮塌范围分析

对各横剖面的垮塌面积(去除溜井的设计面积 $7.023\ 1\ \text{m}^2$ 后的面积)进行了统计,其最终结论的数据分别见表 2、表 3。

表 2 第一段溜井垮塌区横剖面面积(剖面间隔为 2 m)

Table 2 The sectional area of the first section collapse of ore-pass (section interval: 2 m)			
横剖面 Z 值/m	剖面面积/ m^2	横剖面 Z 值/m	剖面面积/ m^2
-580	18.06	-592	26.67
-582	20.26	-594	24.34
-584	22.50	-596	21.24
-586	24.32	-598	21.31
-588	26.78	-600	21.26
-590	28.37		

表 3 第二段溜井垮塌区横剖面面积(剖面间隔为 2 m)

Table 3 The sectional area of the second section collapse of ore-pass (section interval: 2 m)			
横剖面 Z 值/m	剖面面积/ m^2	横剖面 Z 值/m	剖面面积/ m^2
-602	22.09	-612	33.02
-604	20.55	-614	39.48
-606	19.85	-616	46.43
-608	22.88	-618	51.23
-610	27.16	-620	53.21

从表 2、表 3 分析得知,溜井在第一段 -588 m 到 -592 m,第二段 -610 m 到 -620 m 标高位置具有较大的垮塌面积,垮塌尤为严重的井筒标高范围是 -610 ~ -620 m,该范围内井筒垮塌面较大,几乎都超过了 $30\ \text{m}^2$,且形状不规则,在 -616 m 和 -620 m 井筒处垮塌面积最大,最大面积达到 $53.21\ \text{m}^2$ 。

3 溜井与周边巷道位置关系分析

为了分析 -600 m 水平溜井垮塌范围与周边巷道的位置关系,建立了周边巷道模型,并使之与溜井有效段模型复合,复合模型三维视图见图 6。复合模型剖面位置图见图 7。溜井垮塌区横剖面与周边巷道边界间最小距离见图 8。

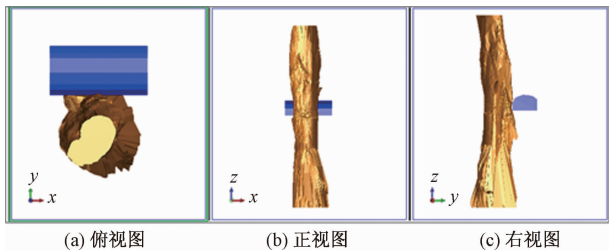


图 6 周边巷道与溜井有效段复合模型三视图
Fig. 6 Three view drawing of the compound model of surround roadway and effective section of ore-pass

由图 8 可知,在 -600 m 水平巷道距离溜井垮塌区最小距离仅为 $0.050\ 5\ \text{m}$,最大距离不足 $1\ \text{m}$,已经严重危及到周边巷道及其它构筑物、现场作业人员的

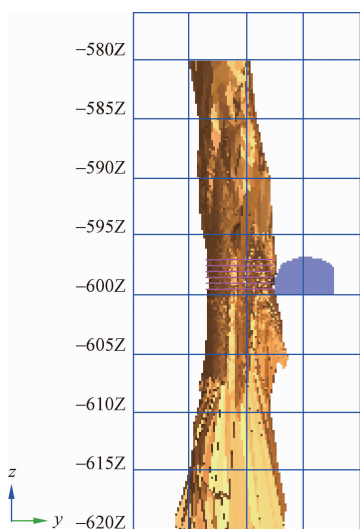


图 7 周边巷道与溜井有效段复合模型水平剖面

Fig. 7 Horizontal section of the compound model of surround roadway and effective section of ore-pass

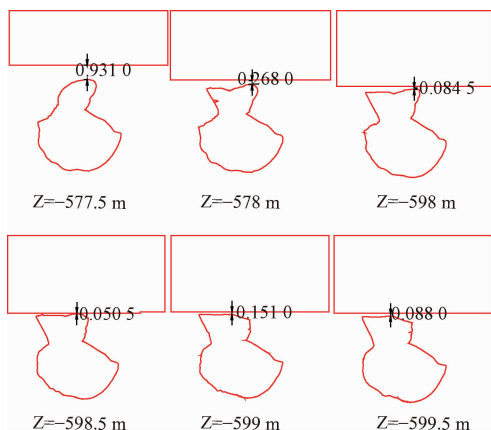


图 8 溜井垮塌区横剖面与周边巷道边界关系图

Fig. 8 The relationship diagram of surround roadway and cross section of collapse

安全,需要对溜井及时进行修复加固。

4 溜井垮塌量计算

4.1 计算方法

溜井垮塌量计算方法见图 9。

4.2 计算结果

根据溜井垮塌量可视化计算方法,得到溜井垮塌模型(-580 ~ -620 m)(图 10),计算获得二段溜井的垮塌总体积为 830 m^3 ,其中,第一段溜井(在 -580 ~ -600 m 标高范围)垮塌体积为 330 m^3 ;第二段溜井(在 -600 ~ -620 m 标高范围)垮塌体积为 500 m^3 。

为了从数据上更好的分析二段溜井的垮塌严重程

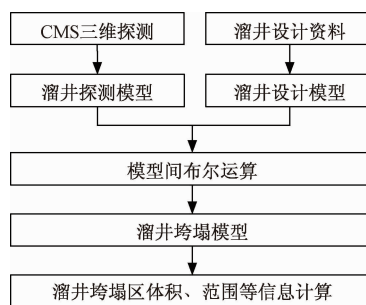


图 9 溜井垮塌量计算方法

Fig. 9 The computational method of the amount of ore-pass collapse

度,在此引进米垮塌量的概念(即每米垮塌量,单位: m^3/m ,或平均垮塌面积)。不难得到:第一段溜井米垮塌量为 16.5;第二段溜井米垮塌量为 25。

通过米垮塌量(即平均垮塌面积)数据分析同样可以清晰的得知,第二段溜井(标高范围为 -600 ~ -620 m)比第一段溜井的垮塌现象更为严重。

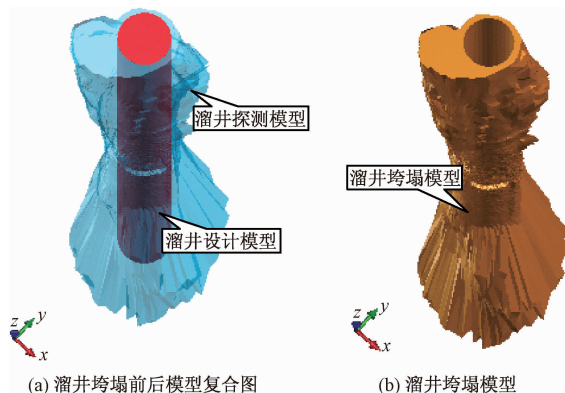


图 10 溜井垮塌量计算模型

Fig. 10 The calculation model of the amount of ore-pass collapse

5 结论

根据溜井垮塌的现场探测成果及计算分析结果,得出以下结论:

(1)利用 CMS 激光扫描仪探测溜井,构建了溜井垮塌三维可视化模型,实现了溜井垮塌区的三维空间形态、空间位置和实际边界的准确获取。

(2)计算获得了溜井探测有效段的垮塌体积及范围,形成能精确反映垮塌区边界现况的横、纵剖面,为溜井垮塌分析提供了技术支持。

(3)通过对溜井垮塌范围与周边巷道的位置关系分析,确定了巷道与距离溜井垮塌区最小距离,为溜井下一步支护提供了依据。

参考文献:

- [1] 罗周全,徐海,朱青凌,等.基于CMS的溜井跨塌三维信息获取及可视化分析[J].计算机测量与控制,2011,19(11):2818-2820.
LUO Zhouquan, XU Hai, ZHU Qingling, et al. Three-Dimensional information acquisition and visible analysis of ore pass collapse based on CMS[J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19(11): 2818-2820.
- [2] 秦亚光,罗周全,周吉明,等.采空区可视化集成系统信息管理研究与应用[J].黄金科学技术,2015,23(02):57-62.
QIN Yaguang, LUO Zhouquan, ZHOU Jiming, et al. Research and application of information management in visualization Inter-grated system of goaf[J]. Gold Science and Technology, 2015, 23(2): 57-62.
- [3] 张达,陈凯,马志.地下空间三维激光扫描智能化成像系统[J].中国矿业,2014(S1):207-212.
ZHANG Da, CHEN Kai, MA Zhi. Underground intelligent laser scanning system[J]. China Mining Magazine, 2014(S1): 207-212.
- [4] 宋卫东,付建新,杜建华,等.基于精密探测的金属矿山采空区群稳定性分析[J].岩土力学,2012,33(12):3781-3787.
SONG Weidong, FU Jianxin, DU Jianhua, et al. Analysis of stability of goaf group in metal mines based on precision detection[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(12): 3781-3787.
- [5] Wang W, Huang S, Wu X, et al. Calculation and management for mining loss and Dilution under 3D visualization technical condition [J]. Journal of Software Engineering and Applications, 2011:1-8.
- [6] 刘希灵,李夕兵,刘科伟,等.地下空区激光三维探测应用研究[J].金属矿山,2008(11):63-65,86.
LIU Xiling, LI Xibing, LIU Kewei, et al. Application research of underground cavity 3D detection [J]. Metal Mine, 2008(11): 63-65, 86.
- [7] 原广武,李杰林,张兴生.基于CMS的采空区探测及残矿回采[J].现代矿业,2015,31(2):113-115.
YUAN Guangwu, LI Jielin, ZHANG Xingsheng. Goaf detection and residual ore mining based on CMS[J]. Modern Mining, 2015, 31(2): 113-115.
- [8] Gong JY, Cheng PG, Wang YD. Three-dimensional modeling and application in geological exploration engineering[J]. Computers & Geosciences, 2004, 30(4): 391-404.
- [9] Weijing W, Shaofeng H, Xiaobo W, et al. Calculation and management for mining Loss and dilution under 3D visualization technical condition [C]. Management and Service Science (MASS), 2011 International Conference on, 2011:1-8.
- [10] Michael van Schoor. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging[J]. Journal of Applied Geophysics, 2002, 50(4): 393-399.
- [11] Fard in N, Feng Q, Stephansson O. Application of a new insitu 3D laser scanner to study the scale effect on the rock joint surface roughness [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2004, 41(2): 329-335.
- [12] 秦宏楠,李长洪,马海涛,等.基于颗粒流的溜井冲击破坏规律研究[J].中国安全生产科学技术,2015,11(4):20-26.
QIN Hongnan, LI Changhong, MA Haitao, et al. Study on impact damage laws of ore pass based on particle flow [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(4): 20-26.
- [13] 陈凯,张达,张君,等.三维激光扫描技术在大直径深孔采矿中的应用[J].有色金属工程,2015(S1):41-46.
CHEN Kai, ZHANG Da, ZHANG Jun, et al. 3D laser scanning technology applied in large-diameter longhole mining [J]. Nonferrous Metals Engineering, 2015(S1): 41-46.
- [14] 葛宝臻,卢波,田庆国,等.激光三维扫描数据的表面重建[J].计算机测量与控制,2006,14(10):1366-1367.
GE BAO zhen, LU Bo, TIAN Qingguo, et al. Surface reconstruction's algorithm of data points based on laser scanning system [J]. Computer Measurement & Control, 2006, 14(10): 1366-1367.
- [15] 王运敏,刘海林,孙国权. CMS实测地下矿采空区建模及稳定性分析研究[J].金属矿山,2009(8):5-9.
WANG Yunmin, LIU Hailin, SUN Guoquan. Modeling and stability analysis of the mined-out area in underground mine by CMS [J]. Metal Mine, 2009(8): 5-9.