

# 井巷掘进工程炮孔智能设计系统

王李管<sup>1,2</sup>, 丁奇奇<sup>1</sup>, 毕林<sup>1,2</sup>, 李静<sup>1</sup>

1. 中南大学资源与安全工程学院; 中南大学数字矿山研究中心, 长沙 410083
2. 长沙迪迈数码科技股份有限公司, 长沙 410083

**摘要** 针对传统的手工及CAD炮孔设计效率低、修改繁琐等问题, 基于Dimine数字矿山软件, 应用计算机图形学、面向对象编程技术, 开发了一种智能化的井巷掘进工程炮孔设计系统。该系统可根据井巷掘进工程的爆破方案及有关数据, 通过点-四叉树索引算法实现炮孔类型及位置的布置, 通过数据编辑实现炮孔的修改、编号、连线和装药设计; 通过坐标转换实现炮孔的尺寸标注, 同时还可移动标注线避免线条重叠, 最终输出适用于实际工程的炮孔布置图和爆破参数表。工程实践表明, 该系统有效地提高了井巷掘进爆破工程中炮孔和爆破图表的设计效率。

**关键词** 井巷掘进工程; 炮孔; 智能设计系统

**中图分类号** TD853.343

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.18.005

## Intelligent Blasting-hole Design System in Tunnel Engineering

WANG Liguan<sup>1,2</sup>, DING Qiqi<sup>1</sup>, BI Lin<sup>1,2</sup>, LI Jing<sup>1</sup>

1. Research Center of Digital Mine, School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China
2. Changsha Digital Mine Infotech Co. Ltd., Changsha 410083, China

**Abstract** Based on the Dimine digital mining software, an intelligent tunnel excavation engineering blast-hole design system was developed by using computer graphics and object-oriented technology to solve the problems of low efficiency and tedious modification of conventional manual and CAD blasting-hole design methods. According to the blast plan and tunnel excavation data, the type and location of blast-hole can be determined by using the quadtree algorithm, the blast-hole can be modified, numbered, lined and charged through data editing, the coordinate dimension of the blast-hole can be achieved and the overlap dimension can be avoided by using coordinate transformation. Finally, the blasting-hole layout charts and blasting parameter charts which are adjusted to practical engineering are output. Its application shows that this system improved the design efficiency of both blasting-hole and blasting charts in tunnel excavation engineering.

**Keywords** tunnel excavation engineering; blasting-hole; intelligent design system

井巷掘进工程中, 炮孔设计图及爆破数据表具有很强的指导意义<sup>[1,2]</sup>, 根据炮孔设计图科学、合理地布置炮孔, 根据爆破数据表装入适量的炸药, 可以很好地改善破岩质量, 提高掘进效率, 减少经济成本。以往的井巷掘进工程炮孔设计采用手工或 Auto CAD 绘图, 手工绘图工作量大、效率低, 且修改繁琐, 相比之下 CAD 提高了绘图效率, 但却无法统计炮孔及爆破参数, 有一定的局限性。为此, 本文以 Dimine 数字矿山软件为基础, 提出一种智能型的井巷掘进

工程炮孔设计系统。

### 1 系统开发框架

井巷掘进工程炮孔智能设计系统是以 Dimine 数字矿山软件及其平台为基础, 利用计算机图形学、面向对象编程技术 (Visual Studio 2010) 进行开发。根据井巷掘进流程, 系统分为炮孔布置、炮孔操作和数据输出 3 个模块, 系统开发框架如图 1 所示。

收稿日期: 2013-11-13; 修回日期: 2014-05-04

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2011AA060407)

作者简介: 王李管, 教授, 研究方向为数字矿山与矿山安全, 电子信箱: liguan\_wang@163.com; 丁奇奇 (共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为数字矿山与矿山安全, 电子信箱: lovetoy@vip.qq.com

引用格式: 王李管, 丁奇奇, 毕林, 等. 井巷掘进工程炮孔智能设计系统[J]. 科技导报, 2014, 32(18): 36-40.

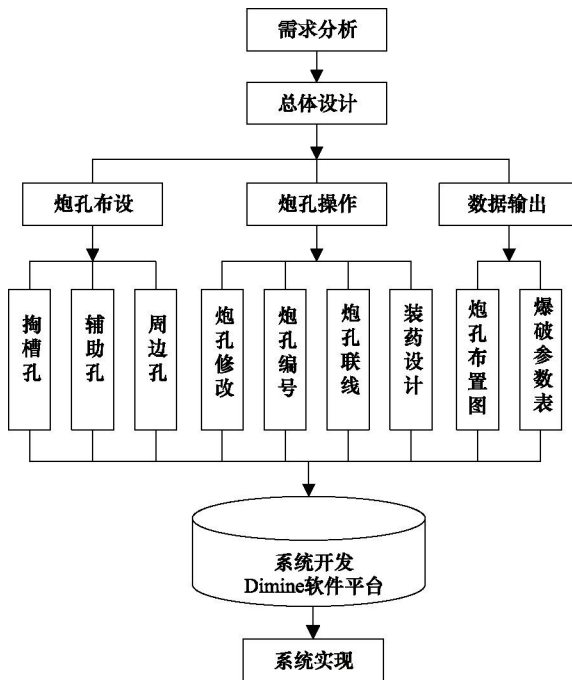


图1 炮孔设计系统开发框架

Fig. 1 Framework of blasting-hole design system

巷道掘进爆破的炮孔有3种,即掏槽孔、辅助孔和周边孔。掏槽孔的排列形式分为垂直掏槽、倾斜掏槽以及两者结合的混合掏槽<sup>[3,4]</sup>,其中垂直掏槽的掏槽孔垂直于工作面,分

为缝形掏槽、桶形掏槽及螺旋掏槽;倾斜掏槽的掏槽孔与自由面斜交,分为单向掏槽、锥形掏槽及楔形掏槽;混合掏槽是指两种以上的掏槽方式混合使用。巷道布孔完成后,还要对个别炮孔位置参数进行修改,然后进行炮孔的编号、联线及装药设计<sup>[5]</sup>。

经过炮孔布置设计,可生成用户所需要的炮孔布置图和爆破数据表。炮孔布置图中包含有炮孔编号、巷道断面尺寸等标注信息。爆破数据表中包含爆破参数和预期爆破效果。爆破参数表的主要参数有炮孔个数、炮孔深度、炮孔直径、炮孔间距和最小抵抗线等<sup>[6,7]</sup>。爆破数据表以Excel表格的形式导出。

## 2 模块设计

### 2.1 炮孔布置模块

炮孔布置模块根据工程要求采用点-四叉树索引算法<sup>[8-13]</sup>进行炮孔的布置设计以其属性存储。

点-四叉树算法采用分级结构,将平面区域划分为4个象限。每当有一个新的坐标点插入时,它就将空间递归划分为东北(NE)、西北(NW)、西南(SW)和东南(SE)4部分,以确保每个区域只有1个点。在该结构中,每个节点拥有5个指针和2个数据存储单元,其中4个指针指向下层4个区域的子节点,另外1个指针指向与该节点关联的上层区域的父节点;2个数据单元分别存放区域范围和炮孔坐标值。点-四叉树算法的分级结构如图2所示。

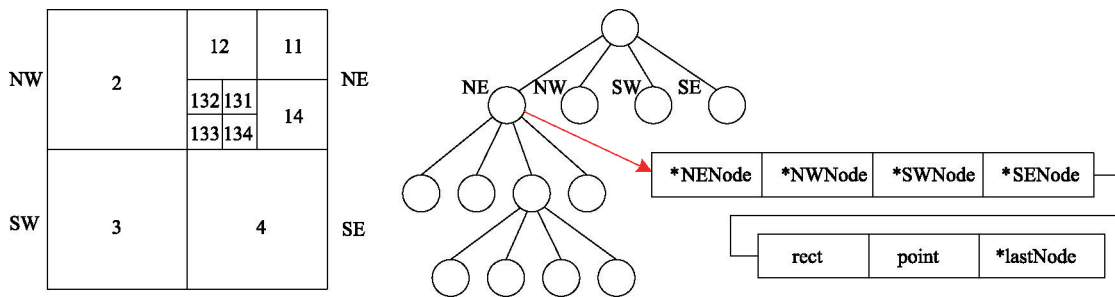


图2 点-四叉树算法的分级结构

Fig. 2 Point-quadrant algorithm

图2中链表的建立方法:首先初始化一个新节点topNode作为根节点,将巷道断面区域作为其rect数据;当插入一个新的坐标点时,建立子节点 NENode、NWNode、SWNode、SENode,赋值rect变量,判断新坐标点所在的区域,然后将点坐标值赋值给该区域所表示结点的 point 变量;最终将 lastNode 指针指向父节点。

点-四叉树算法实现的伪代码及数据结构为:

```

Typedef enum
{
    NE=1;
    NW=2;
    SW=3;
    SE=4;
}
    
```

```

};
Struct HoleNode
{
    HoleNode *NENode;
    HoleNode *NWNode;
    HoleNode *SWNode;
    HoleNode *SENode;
    CRect rect;
    CPoint point;
    HoleNode *LastNode;
}
CreateBranch(HoleNode *newNode, CRect rect)
{
    
```

```

newNode=new HoleNode(); //开辟新节点
newNode->rect=rect; //将该节点代表的矩形区域存储到
该节点中
/*创建子分支*/
QuadCreateBranch (newNode->NENode, NE);
QuadCreateBranch (newNode->NWNode, NW);
QuadCreateBranch (newNode->SWNode, SW);
QuadCreateBranch (newNode->SENode, SE);
}

```

点-四叉树算法在设计炮孔的过程中,可以快速检索到当前设计炮孔中距离已布设炮孔最近的炮孔,并判断其最小抵抗线或孔间距是否满足设计要求,若不满足要求,则将该炮孔标记为红色,并对该炮孔位置进行修改,使其符合设计要求。因此,炮孔布设模块还具有炮孔检测功能,可以保证炮孔位置布设的准确性。

## 2.2 炮孔操作模块

炮孔操作模块提供数据编辑功能,可以根据需要对系统生成的炮孔位置进行修改,并对炮孔进行编号、联线和装药

设计。系统将炮孔设计顺序按照起爆顺序排列,因此炮孔生成时,系统会记录每个炮孔的生成顺序,自动完成炮孔的编号和联线,同时也可手动修改不满意的炮孔位置。装药设计采用PGL(plot graphic library)方式绘制矢量图形,便于在对话框上实现点、线、弧和其他几何图形的映射绘制,使得装药结构中的装药量、炸药类型、起爆方式、雷管类型等参数可以动态地展示在装药设计界面。

## 2.3 数据输出模块

数据输出模块包括巷道断面炮孔布置图的输出和爆破装药参数表的输出。

该模块根据工程要求及有关数据,筛选出需要绘制的图元数据,读取相关的炮孔参数,给出炮孔的三维空间坐标,并进行炮孔深度、炮孔直径、炮孔间距和最小抵抗线等的验证;进行坐标转换,将三维空间坐标系转换到以巷道断面为平面的二维坐标系中,创建炮孔和巷道实体,拷贝实体的属性,生成巷道断面炮孔布置图。然后对生成的炮孔布置图中需要标注尺寸的炮孔进行筛选和标注。待标注炮孔的筛选逻辑如图3所示。

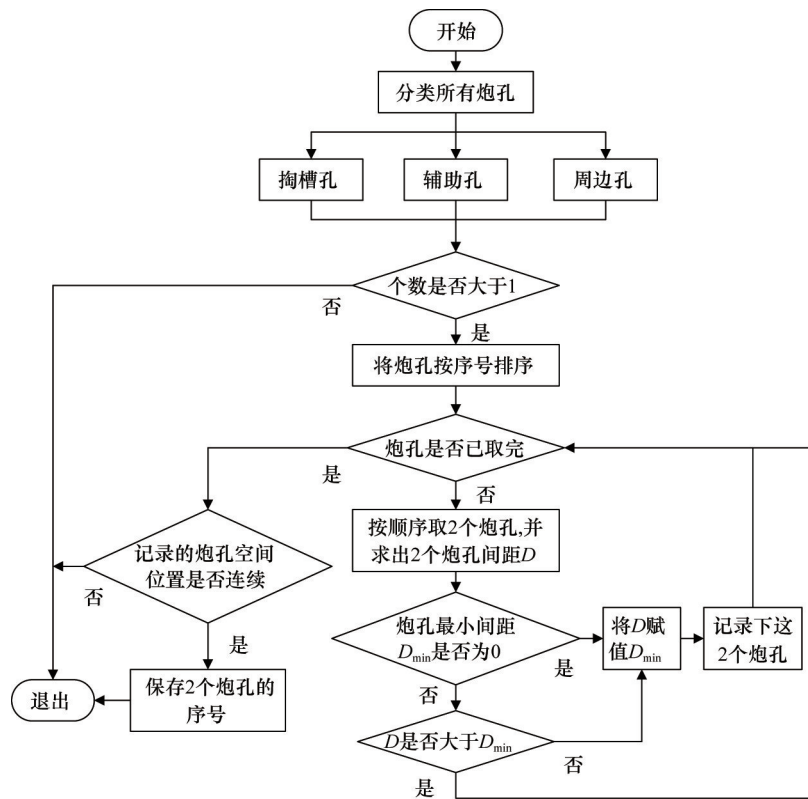


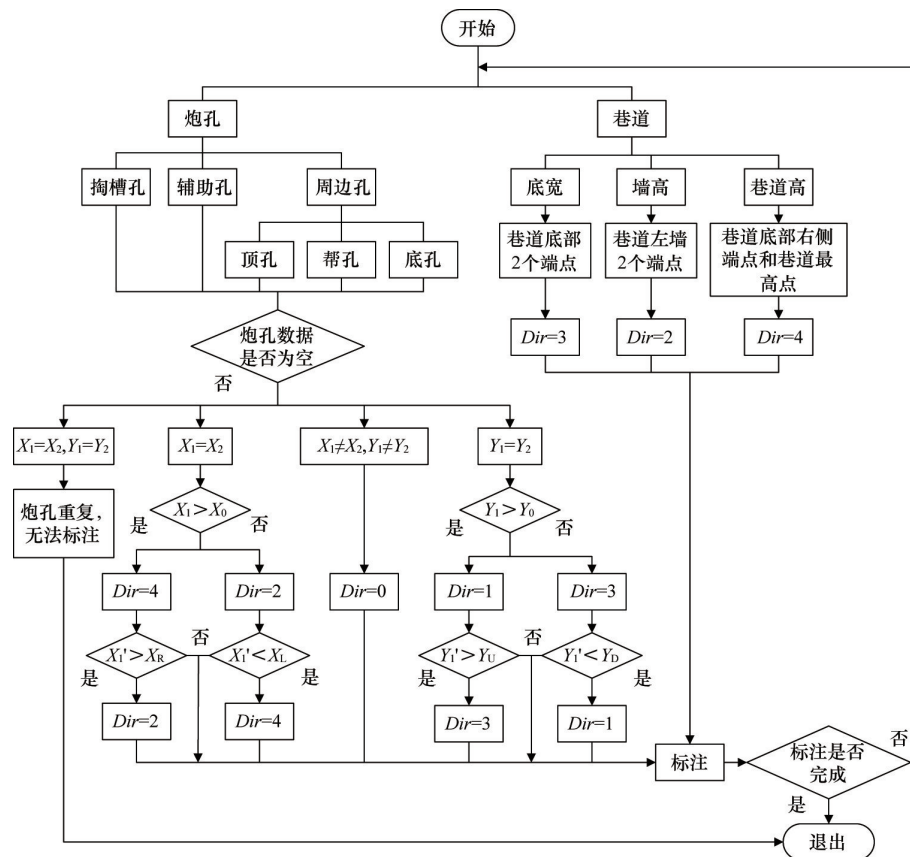
图3 炮孔筛选逻辑图

Fig. 3 Logical screening of the blasting-home

为了防止炮孔尺寸标注线与炮孔布置图中其他线条相互遮挡,需要对标注线进行相应的偏移操作,偏移方向的选择如图4所示。

爆破数据表分为爆破参数表和预期爆破效果表。首先

根据实际情况与工程要求设定表格字段,然后统计当前层中的所有炮孔,通过各项字段的公式计算,将结果显示在爆破参数表中。可通过修改某个参数来查看其余参数的变化情况,以选择更合理的爆破参数。



$(X_1, Y_1)$ 、 $(X_2, Y_2)$ 分别为待标注2个炮孔的坐标;  $X'_1$ 、 $Y'_1$ 分别为标注线偏移后的坐标;  $X_0$ 为巷道右端坐标值;  $X_L$ 为巷道左端坐标值;  $Y_U$ 为巷道墙高坐标值;  $Y_D$ 为巷道底端坐标值;  $Dir$ 表示标注线偏移方向,  $Dir$ 为0表示不偏移,  $Dir$ 为1~4分别表示上左下右

图4 标注线偏移方向选择逻辑图

Fig. 4 Determination of the offset direction of the label line

### 3 工程应用实例

某矿山一期中段运输巷道爆破的炮孔设计<sup>[4]</sup>,要求断面为1/4三心拱,采用光面爆破。炮孔设计参数为:巷道宽2.4 m,墙高2.15 m,拱高0.6 m,断面面积6.3 m<sup>2</sup>;掏槽孔5个,其中4个为正方形布置,1个布置在正方形的中心;空孔4个均匀布置在正方形内部,孔间距200 mm,用来做补偿空间;辅助孔11个,其中8个为正方形布置,其余3个均匀布置在巷道顶部,孔间距650 mm;周边孔孔间距400~600 mm;装药炮孔和空孔的直径均为33 mm。根据巷道参数,设计巷道断面的炮孔位置,结果如图5所示。

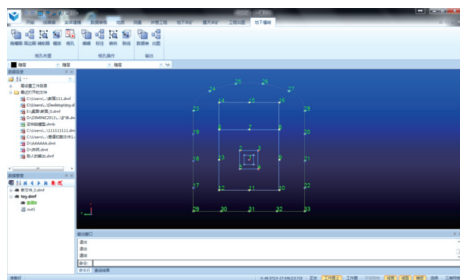


图5 炮孔设计

Fig.5 Blast-hole design

完成炮孔设计后,对设计结果进行出图操作。设置好炮孔颜色、线型等出图参数,系统会自动读取当前工作面的巷道及炮孔等数据的属性值,分析并选择合适的炮孔及巷道断面数据,计算投影矩阵,并对所选数据投影转换。分析转换后的数据,选择合适的数据进行炮孔尺寸标注,为了突出显示标注线,应判断标注线需偏移的方向,求出偏移后标注线的坐标,最终将结果输出到 $XOY$ 平面上以便导出。同时系统具有容错能力,若标注字符被巷道或者炮孔线遮挡,标注字符会自动偏移至合适的位置。最终输出的巷道断面炮孔布置图如图6所示。结合炮孔及装药信息,输出的爆破参数表如图7、图8所示。

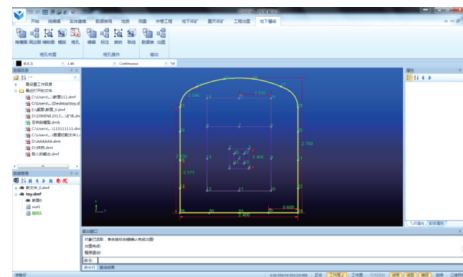


图6 生成的炮孔布置

Fig. 6 Generated layout of blast-holes



图7 生成的爆破参数

Fig. 7 Generated table of blasting parameters

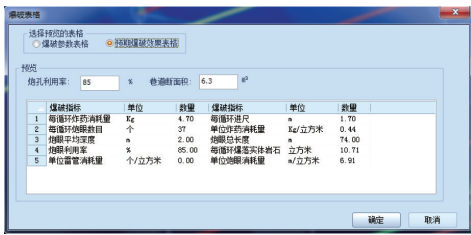


图8 生成的预期爆破效果

Fig. 8 Generated table of expected blasting effects

结合该矿山工程实例及其他工程经验<sup>[15]</sup>,将系统应用于5个矿山的巷道掘进爆破炮孔设计,并将本系统的爆破图表绘制时间与传统炮孔设计的爆破图表绘制时间相比较,结果如图9所示。可以看出,传统炮孔设计的爆破图表绘制时间约为6~8 h,本系统的爆破图表绘制时间约为45 min;传统的爆破参数表出表时间约为2~3 h,本系统的爆破参数表出表时间约为0.5 h。并且传统制图时间受绘图人员技术熟练度的影响较大,而本系统炮孔设计的四叉树算法具有校验功能,准确性也高于传统设计方法,因此该系统大大提高了巷道掘进爆破的炮孔设计效率。

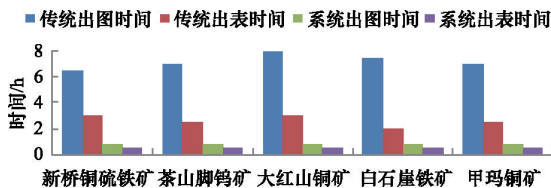


图9 输出效率比较

Fig. 9 Output efficiency comparison chart

#### 4 结论

基于Dimine软件二次开发的井巷工程炮孔智能设计系统,应用了计算机图形学、面向对象编程的技术,在当前计算机软硬件环境支持下,实现了炮孔的设计、编辑和输出功能。

本系统简便实用,采用平台+插件开发模式,具有较强的适应性和可扩展性;采用点-四叉树分割图形技术,搜索迅速,炮孔设计正确率高;输出图表方便快捷,减少了设计人员的重复性工作,提高了工作效率。本系统的开发对巷道掘进炮孔设计提供了十分便捷的手段,实践应用证明具有良好的实用性。

#### 参考文献 (References)

- [1] Liu Z, Zeng Q, Gao L, et al. Construction and application of electromechanical management platform in mine[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 2067-2071.
- [2] Shao X, Ma X. Based on OMAP platform to build the distribution system network of relay protection devices in coal power[J]. Energy Procedia, 2012, 17: 366-372.
- [3] 陈士海. 现代钻爆理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998: 23-30.  
Chen Shihai. Modern drilling and blasting theory and technology[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1998: 23-30.
- [4] 谭海文. 坚硬岩石巷道掏槽爆破技术研究与应用[J]. 中国矿业, 2007, 16(2): 70-76.  
Tan Haiwen. Research and application of the cutting blasting technology of roadway excavation in hard rock[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(2): 70-76.
- [5] 葛数高. 矿岩可爆性评价与合理炸药单耗的确定[J]. 有色金属, 1995, 47(2): 11-15.  
Ge Shugao. Estimation of shock blasting and determination of adaptive explosion consumption[J]. Nonferrous Metals, 1995, 47(2): 11-15.
- [6] 姜东泉. 直线掏槽技术的应用及合理炮眼深度的确定[J]. 有色矿冶, 2005, 21(3): 9-11.  
Jiang Dongquan. Application of the burn technique and determination of the reasonable hole depth[J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy, 2005, 21(3): 9-11.
- [7] Zhang J, Xiao J. Architecture and application of integrated spatial information service platform for digital mine[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21: s706-s711.
- [8] 宋宇彬, 张秉权, 郝永平. 基于四叉树的图像分割技术[J]. 测控技术, 2004, 23(6): 63-69.  
Song Yubin, Zhang Bingquan, Hao Yongping. Quad-tree-basing structure image segment technology[J]. Measurement and Control Technique, 2004, 23(6): 63-69.
- [9] 罗景馨, 唐璜. 基于改进四叉树分割和结点存储的LOD算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(20): 202-204.  
Luo Jingxin, Tang Jin. LOD algorithm based on improved quadtree-split and node storage[J]. Computer Engineering, 2009, 35(20): 202-204.
- [10] Samet H. The design and analysis of spatial data structures[M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.
- [11] McGrath M, Alinakar M S, Miglio E. Representation of dam-breach geometry on a regular 2-D mesh using quadtree local mesh refinement [C]. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2010), Braunschweig, Germany, September 8-10, 2010.
- [12] 孙毅中, 姚驰, 陈少勤, 等. 顾及几何特征的地理要素空间位置唯一性标识方法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 37(12): 1486-1489.  
Sun Yizhong, Yao Chi, Chen Shaogin, et al. Geographical elements' spatial location identification considering geometric features[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(12): 1486-1489.
- [13] Mathew R, Taubman D S. Scalable modeling of motion and boundary geometry with quad-tree node merging[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, 2011, 21(2): 178-192.
- [14] 陈士海, 魏海霞, 薛爱芝. 坚硬岩石巷道中深孔掏槽爆破试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(S1): 3498-3502.  
Chen Shihai, Wei Haixia, Xue Aizhi. Testing study on middle deep cut-hole blasting in hard rock tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(S1): 3498-3502.
- [15] 查克兵. 优化爆破设计提高难爆矿岩爆破效果[J]. 有色矿山, 1999(S1): 12-14.  
Cha Kebing. Optimizing blasting design and improving blasting effect of hard ore rock[J]. Nonferrous Mines, 1999(S1): 12-14.

(责任编辑 韩星明)