矿井突水蔓延线路生成算法及实现

符 辉[1],毛善君[2],骆云秀[3]
(1. 中国矿业大学(北京) 资源与安全工程学院,北京 100083;2. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所,北京 100871;
3. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院,北京 100083)

摘 要: 针对矿井防治水工作中巷道空间关系复杂、突水蔓延路线缺少直观表达等问题,提出了任意突水点的水流蔓延生成算法,通过建立三维巷道模型,模拟水流在巷道下向蔓延及水位上向升涨等情况,再根据预计突水量、权重因子,由导线点生成突水淹没范围。该矿井突水蔓延线路实现方法可快速直观表达突水区域,为制定避灾救灾优化路线及应急救援决策提供依据。

关键词: 矿井防治水; 突水蔓延; 突水范围约束; 避灾路线; 应急救援; 线路生成算法
中图分类号: TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2013)03-0104-03

Algorithm and Realization on Spreading Route Formation of Mine Water Inrush

FU Hui[1],MAO Shan-jun[2],LUO Yun-xiu[3]
(1. *School of Resources and Safety Engineering,China University of Mining and Technology(Beijing),Beijing* 100083,*China*;
2. *Research Institute of Remote Sensing and Geoinformation System,Peking University,Beijing* 100871,*China*;
3. *School of Geoscience and Surveying Engineering,China University of Mining and Technology(Beijing),Beijing* 100083,*China*)

Abstract: According to the complicated mine roadway space relationship,less object expression on the inrush water spreading route and other problems in the mine water prevention and control work,a water flow spreading generation algorithm of any water inrush point was provided. With the establishment of the 3D mine roadway model,water flow downward spreading in the mine roadway,water table uprising and other condition were simulated. Then according to the predicted water inrush quantity and the weight factor,from the traverse point,the water flood scope could be generated. The realization method of the water inrush spreading route in the mine could rapidly and directly express the water inrush area and could provide the basis to set up the optimized route of the mine escape and rescue and to the decision making of the emergency rescue.

Key words: mine water prevention and control; spreading of mine water inrush; constraint of water inrush scope; escape route; emergency rescue; spreading route formation algorithm

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

0 引 言

矿井水害是我国煤矿开采中主要地质灾害之一,有效合理地制定水害避灾救灾路线及应急救援决策,是科学评价矿井安全高效发展的重要因素[1]。建立三维突水仿真系统,能够根据突水量、巷道断面形状、突水时间、突水起始点等相关信息,对矿井突水淹没范围、巷道淹没深度等状况进行可视化表达,为制定避灾救灾路线及应急救援决策提供科学依据[2]。突水蔓延线路的生成是三维突水仿真系统的关键基础,因此,笔者对煤矿虚拟环境的突水蔓延路线关键算法进行了研究。

1 突水蔓延过程及相关因素分析

矿井在建设和生产过程中,地面水和地下水通过各种通道涌入矿井,当矿井涌水超过正常排水能力时,就造成矿井水灾。矿井水在重力或压力差作用下流向井巷低洼处,随着水量的不断增大,水流不断的下向蔓延,各蔓延点都遇到高点时水位上向升涨,在巷道岔口进行分流。如果遇到水闸门,水流则变为停止状态,巷道则根据长度和坡度,确定流水的速度和方向,水仓则要考虑水泵抽水速度等诸多条

收稿日期:2012-10-28;责任编辑:赵 瑞
作者简介:符 辉(1982—),男,河南平顶山人,博士研究生。Tel:18010195752,E-mail:dashan_d@sina.com
引用格式:符 辉,毛善君,骆云秀.矿井突水蔓延线路生成算法及实现[J].煤炭科学技术,2013,41(3):104-106.

件。如果当淹没水位超过出水位置时,此时排水速度低于突水速度,最终将淹没整个矿井。突水蔓延三维仿真系统快速生成淹井范围,为避灾路线选择提供科学合理依据。影响水流蔓延的主要有以下 3 个相关因素。

1) 巷道断面: 不同的断面形状对水量影响较大,我国煤矿井下使用的巷道断面形状,按其构成的轮廓线可分为折线形和曲线形 2 大类。前者如矩形、梯形、不规则形等; 后者如半圆拱形、圆弧拱形、三心拱形、马蹄形、椭圆形和圆形等。

2) 巷道长度与坡度: 每条巷道的长度与坡度,直接影响水流的流速与流量。

3) 障碍物: 井巷障碍主要包括堆积的物料、电器以及防水闸门,对巷道空间、水流方向、流速都将产生重要影响。

2　突水蔓延算法

2.1　三维巷道体建模

三维巷道模型是突水蔓延线路展示的三维载体。由于巷道是空心的,一般都用表面模型进行建模。巷道中心线和断面相关参数计算是巷道三维建模的前提,巷道中心线控制巷道的空间位置。巷道断面控制着巷道的几何形态[3]。

1) 圆形断面: 控制中心线点在圆心,以断面圆心为中心,每隔一定圆心角生成三角形,连接相邻三角形构成三棱柱体。

2) 矩形断面: 控制中心线选在断面其对角线交点,断面剖分成 4 个三角形,连接相邻断面三角形构成三棱柱体。

3) 拱形断面: 控制中心点选在顶面弧段所在圆的圆心,上半部圆弧断面根据圆心角等分成若干三角形,下半部断面则剖分成 3 个三角形,连接相邻断面三角形即可构成三棱柱体。

4) 梯形断面: 控制中心线点在中位线与上下边平分线的交点,断面剖分成 4 个三角形,连接相邻断面三角形构成三棱柱体。梯形断面巷道几何模型如图 1 所示,巷道中心线为 O_1O_2,根据巷道中心线扩展为上下 2 个左帮 AE 和 BF,以及上下 2 个右帮 DH 和 CG。

2.2　巷道空间网络拓扑存储结构

巷道空间网络拓扑结构反应的是巷道连接关系。逻辑上将空间网络巷道用节点、弧段、弧长等数据结构表示,其基本拓扑关系可分为关联、邻接、相交和相离等。算法在路线存储结构上采用有向图表示及遍历,每个节点存储信息 $W=(N,X,Y,Z,V,C_1,C_2,\cdots,C_n,M,F)$,其中: N 为节点编号; X、Y、Z 为节点坐标; V 为节点和边是否访问过,未访问过为 0,访问过为 1; $C_1,C_2,\cdots,C_n$ 为 num 节点相邻的节点编号; M 为 num 相邻节点的数量; F 为影响流速的因子,如节点间弧段距离、坡度、巷道断面及巷道类型、障碍物等加权后得出。

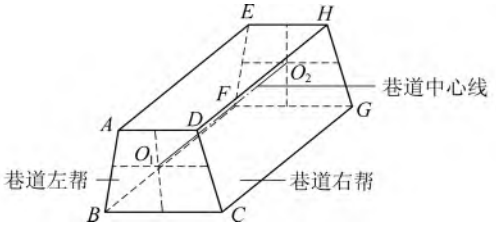


图 1　梯形断面巷道几何模型

2.3　突水蔓延线路生成算法

突水蔓延线路生成算法思想是: 以突水起始点开始,由水流方向生成有向图,遍历高程 C_g 值小于起始点相邻节点,模拟水流下向蔓延,依次类推遍历节点[4-5]。遍历过的节点,存储在数组中。当所有相邻节点高于水流节点时,对链表访问过的节点的相邻节点排序,找出 C_g 值最小的节点,模拟水位上向升涨,突水蔓延路线中水流方向生成有向图以及路线存储数组如图 2 所示。

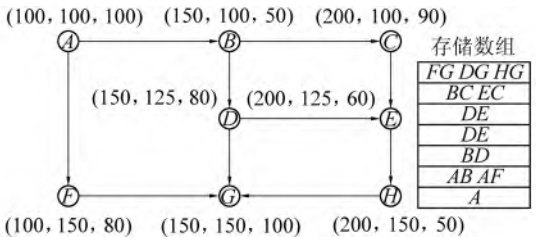


图 2　突水蔓延路线有向图及存储数组

假设 A 为突水点,根据高程比较,水流下向蔓延至 B 点、F 点,生成的线路 AB、AF 存入数组中。当未访问的相邻节点 C、D、G 均高于访问过的节点时,模拟水流上向升涨; 从有向图中挑选出已访问线路 AB、AF 的相邻未访问节点 C、D、G 中高程最小值 D 节点,生成线路 BD 存入数组中,依次类同,挑选已访问路线的相邻未访问节点,生成突水淹井路线存于数组中。水流方向构成有向图的存储矩阵 $\boldsymbol{G}$,其中 "∞"为有向图节点间无连接 "1"为节点间有连接。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

$$G=\begin{bmatrix} & A & B & C & D & E & F & G & H \\ A & 0 & 1 & \infty & \infty & \infty & 1 & \infty & \infty \\ B & \infty & 0 & 1 & 1 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ C & \infty & \infty & 0 & \infty & 1 & \infty & \infty & \infty \\ D & \infty & \infty & \infty & 0 & 1 & \infty & 1 & \infty \\ E & \infty & \infty & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty & 1 \\ F & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 0 & 1 & \infty \\ G & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 0 & \infty \\ H & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.4　矿井巷道权重

矿井突水过程中影响蔓延的因子很多，以权重的形式对井巷网络节点因子进行描述。每条井巷关键点所分割的巷道长度、高度、坡度、风速及有无障碍物等不同，所对应的巷道各边的权值也必然不同。将井巷工程属性的数据结构转化为带权值的有向网络图。

2.5　突水范围水量约束算法

巷道突水是一个动态变化的过程，一个巷道突水直接影响到所有巷道积水。突水范围水量约束算法根据采煤工作面、掘进工作面预计的突水总量，考虑影响水流蔓延主要因素，模拟给定水位，迭代计算出突水范围[6]。

1) 遍历求第 i 点高程与水位标高的差 $H_i=Z_i-H_w$，其中：H_i 为负值时表示 i 点被淹，正值表示未被淹没；Z_i 为 i 点的高程值；H_w 为水位标高。

2) 巷道两节点间水形状采用拟柱体万能模型，巷道第 i 个两节点间的体积容量 $V_i=L(S_1+S_2+4S)/6$，其中：L 为两节点间的巷道长度；S_1、S_2 分别为节点 1 和 2 水淹断面面积；S 为中截面断面面积。

3) 巷道突水总水量 Q_z 迭代模型为 $Q_z=Q_z+Q_i$，其中，Q_i 为巷道体积 V_i 所容纳的水量。

3　突水蔓延算法的实现

1) 模拟给定水位。每 10 cm 动态增加淹井高度，计算突水井巷总积水量。

2) 确定突水点。突水地点为附近有含水层、老空区水、地下河等可能的突水地点。应根据矿井水文地质资料、采掘工程资料等确定。

3) 预计可能突水点的最大总水量。

4) 生成突水蔓延路线，水量约束突水范围。读取数组中的突水蔓延路线对应的相应 X、Y、Z 坐标值，生成淹井路线。

5) 突水三维仿真实现。自动生成不同断面的三维巷道，由粒子系统模仿水流流动，突水三维仿真如图 3 所示，箭头表示水流方向，低处下向蔓延，高处上向升涨。



图 3　突水三维仿真结果

4　结　　语

矿井防治水工作，应该融入新的信息化管理方式，虚拟现实技术对矿井生产、避灾救援进行了形象、直观的表达。笔者提出了突水蔓延线路生成算法，是三维突水仿真系统的关键基础。算法根据预测涌水量，各条巷道断面、长度等影响因素，生成任意突水点的有向图水流路线，并通过蔓延约束算法，查询各条巷道淹没高度、水容量，计算突水范围，为制定避灾救灾路线及应急救援决策提供科学依据，也为矿井防治水工作提供了一条新的管理方法。

参考文献：

[1] 周心权，方裕璋. 煤矿企业主要负责人 煤矿安全生产管理人员[M]. 北京：煤炭工业出版社，2005.

[2] 武　强，管恩太. 煤矿水害应急救援预案探讨[J]. 煤炭学报，2006，31(4)：409－413.

[3] 熊　伟，毛善君. 煤矿虚拟环境的巷道几何建模及关键算法研究[J]. 测绘通报，2002(8)：15－16.

[4] 严蔚敏，吴伟民. 数据结构[M]. 北京：清华大学出版社，1997.

[5] 屈婉玲，耿素云，张立昂，等. 离散数学[M]. 北京：高等教育出版社，2008.

[6] 周耀东，曹志国. 基于改进 Dijkstra 算法的矿山突水可视化仿真[J]. 金属矿山，2010(10)：123－125.

[7] 罗中权. 基于流域 DEM 遍历的 3 维淹没分析算法[J]. 测绘与空间地理信息，2012，35(2)：163－165.

[8] 汪云甲，伏永明. 矿井巷道三维自动建模方法研究[J]. 武汉大学学报，2006，31(12)：1097－1110.

[9] 李仲学，李翠平，李春民，等. 地矿工程三维可视化技术[M]. 北京：科学出版社，2006：163－164.

[10] 张瑞新，任廷祥. 虚拟现实技术及其在矿山工程中的应用[J]. 中国矿业大学学报，1998，27(3)：230－234.

[11] 高　岳，隋旺华. 多目标决策法在含水层下开采方案选择中的应用[J]. 煤炭学报，2011，36(2)：231－234.

[12] 煤炭工业部. 矿井水文地质规程[M]. 北京：煤炭工业出版社，1984.

[13] 张　健，郝多虎，孙丽慧. 基于三维可视化技术的林南仓矿水害事故分析[J]. 煤炭科学技术，2010，38(10)：106－108.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net