

爆破震动对巷道稳定性影响研究

刘 炜^{1,2} 宋卫东¹ 赵炳祁³ 陈 勇⁴

(1. 北京科技大学; 2. 广西大学; 3. 东北大学; 4. 核工业第四研究设计院)

摘 要 为研究爆破震动对巷道稳定性影响,运用有限元法建立爆破加载模型,采用 ANSYS 软件就瞬态动力大小、作用时间和作用范围对巷道围岩应力场及表面位移的影响,对巷道稳定性进行分析。结果表明,单段药量越大、作用时间越长、采区越接近监测巷道时,巷道岩体位移越大;在爆破震动作用下,巷道侧帮产生压应力集中,易发生破坏,巷道顶板出现拉应力作用,易引起拉伸破坏;爆破震动对工程在 Y 方向的影响远远大于在 X 方向的影响。

关键词 爆破震动 有限元法 应力 位移

Study on the Impact of Blasting Vibration on Tunnel Stability

Liu Wei^{1,2} Song Weidong¹ Zhao Bingqi³ Chen Yong⁴

(1. University of Science and Technology Beijing; 2. Guangxi University;
3. Northeastern University; 4. The Fourth Institute of Unclear Engineering)

Abstract In order to study the influence of blasting vibration on tunnel stability, a blasting model is established by the finite element method. The effect of the dynamic force, reaction time and span on the stress field of tunnel wall-rocks and the surface displacement is analyzed by ANSYS software. The result shows that the displacement of tunnel is larger as the weight of explosive becomes larger, the reaction time is longer, and the distance is nearer to the tunnel. Under the blasting vibration, the side wall of tunnel can easily lead to collapse because of the concentrated stress. The influence of blasting on Y-direction is much larger than that on X-direction.

Keywords Blasting vibration, Finite element method, Stress, Displacement

爆破震动是炸药爆炸后应力波在介质中的传播。如爆炸使近区的介质发生破坏一样,当爆破引起目标物处的震动幅值大于一定的数值时,会引起目标物损坏。生产爆破震动是引起地下矿山巷道破坏的重要原因,也是诱发岩爆的主要因素之一。由爆炸引起的爆炸荷载在以前被低估了,在许多情况下,这些荷载在实际设计过程中并未被考虑。因此,爆炸风险可能比预先想象的要严重得多^[1],爆破施工的难度和风险增大,稍有不当,就有可能引发灾难性后果^[2],在矿山生产中,爆破震动不但会引起地下矿山巷道破坏,同时会导致矿山地压的变化,从而诱发岩爆发生,会影响企业的生产安全,降低生产能力。实际爆破震动测量过程中,通常只测量巷道表面的震动加速度、速度或位移等物理量,如何利用这些测试结果反演岩体内部的应力场,进而分析巷道的稳定性,是目前急待解决而尚未解决的问题。随着科学与生产的发展,解析解已经远远不符合要求,

人们把注意力转向数值解,因为数值解对控制方程的限制宽得多,可以得到更接近实际情况的解。因此,人们在广泛吸收现代数学、力学理论的基础上,借助现代科学技术的产物——计算机来获得满足工程要求的数值解,这就是数值模拟技术^[3]。本研究采用数值模拟的方法来对前述问题来进行分析和验证。

1 数值模拟过程

本研究采用平面应变问题的弹性有限元分析,采用瞬态动力学分析法模拟巷道围岩的爆破震动响应,以位移等效为原则确定瞬态动载荷的大小、作用时间和作用范围,按此载荷作用下岩体内的动态应力场分析巷道围岩的稳定性。选用 ANSYS 的完全瞬态动力学分析法分析。

刘 炜(1975—),男,北京科技大学土木与环境工程学院,博士研究生,100083 北京市海淀区学院路 30 号北京科技大学 393 信箱。

1.1 爆破震动模拟的瞬态动力分析

本研究的矿山爆破震动监测是以巷道围岩表面质点震动速度为测量参量,通过对测量得到的巷道表面质点的震动速度波形进行频谱分析,得到了此次爆破震动的主振频率 f ,即由公式(1)可以求得质点最大震动位移 S

$$S = \frac{V}{2\pi f}, \quad (1)$$

式中, V 为测点最大震动速度。

震动力学分析表明,可以通过震动位移反演物体内部的应力分布,即通过表面位移及震动速度来反映岩体内部的应力状况。因而可以根据测试的巷道表面质点位移值,通过瞬态动力分析来反演岩体内的应力场。瞬态动力分析是模拟巷道爆破地震响应的一种数值方法,该方法是以位移等效为原则,通过表面质点震动位移来反演岩体内部应力场,按此应力场分析巷道的稳定性,并计算巷道的极限震动速度。

1.2 岩体介质采用弹性材料参数

模型采用的的弹性材料参数如表 1 所示。

表 1 力学参数

弹性模量 /MPa	泊松比 μ	刚度阻尼系数	质量阻尼系数	密度 /(kg/m^3)
79.8×10^{10}	0.29	0.02	0.01	3.0×10^3

1.3 数值模型

在具体的模拟中,根据试验次数和效果较多的所模拟矿山的-647 m 中段 2、3 采为研究对象,该盘区平面有 200 m^2 以上,采场宽度为 44 m,长度为 60 m,高度为 3 m,其顶板基本呈水平;在模拟过程中,将问题简化为平面应变问题处理,即变形只发生在巷道横截面内。该采区距地表大坑口有 850 m,底板下的开拓深度还有 50 m 以上,两侧在 100 m 的范围内有小量工程。由于地下矿山开采的复杂性,从地表到该采区有近 50 年的历史,工程结构也是十分复杂的,模型简化了实际的具体工程图形,整个研究对象作为实体来研究。采区距地表高取 850 m,两侧各取 400 m,底板取 50 m,有限元模型及尺寸如图 1 所示。

本研究通过大型岩体力学有限元分析软件 ANSYS 计算瞬态动力在爆破采场周围岩体内(主要研究有巷道工程的地方)产生的应力场,通过对应力场、变形等分析,进而分析巷道的稳定性。由于数值模拟分析的需要,在这 2 个目标周围的网格采取了

细分,图 2 是采场和巷道的周围网格细分后的示意图,主要是为了提高分析的准确性。

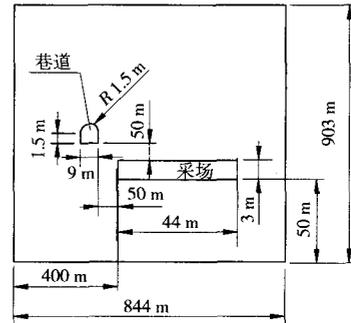


图 1 有限元模型及尺寸

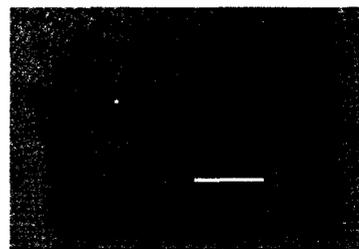


图 2 细分后采场和巷道网格

模型左右两侧节点约束 x 方向的位移,底边节点约束 y 方向的位移,约束示意图(如图 3 所示)。

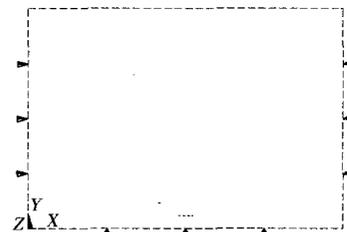


图 3 约束示意

瞬态动载荷是均匀分布作用于采场顶部岩体表面(如图 4 所示)。

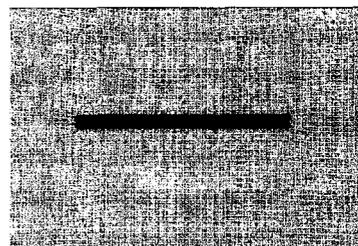


图 4 载荷作用形式

2 数值模拟结果与分析

2.1 瞬态动力作用下巷道围岩内应力及变形场分析

为了搜寻与实际爆破作用等效的动载荷作用方

式,首先分析了瞬态动载荷大小、作用时间、作用范围和作用位置对巷道表面变形的影响以及岩体内应力场的特点,具体结果见表 2。

表 2 中 A,B,C 3 种情况分别是瞬态动力大小、作用时间和作用范围对巷道围岩应力场及表面位移的影响,从表 2 及可见瞬态动力越大、作用时间越长、载荷作用范围越大越接近监测巷道时,巷道周围岩体位移越大。监测巷道表面的位移以竖向(Y

向)变形为主,最大压位移出现在巷道的侧帮上,其次是底板,最小的是顶板,因此侧帮将是围岩可能发生失稳的主要区域,这与实际的情况是相吻合的。

从图 5 中可以看出巷道压应力比较大的地方是巷道侧帮和底板,另外在巷道底板拐角处也出现了明显应力集中的现象,这主要是由于建立模型的时候在此处采用的是直拐角,而在实际生产中为了避免这个问题多采用圆拐角。

表 2 爆破应力分布影响因素分析

序 号	载 荷 /MPa	动载时间 /ms	范 围 /m	顶 板 区		测点处(侧帮上)		底 板 区	
				S_x /mm	S_y /mm	S_x /mm	S_y /mm	S_x /mm	S_y /mm
A	100	5	0~44	0.040	0.122	0.043	0.128	0.042	0.124
	200	5	0~44	0.084	0.245	0.095	0.265	0.092	0.250
	400	5	0~44	0.165	0.490	0.190	0.520	0.185	0.500
	600	5	0~44	0.250	0.745	0.290	0.770	0.265	0.755
	800	5	0~44	0.380	1.000	0.550	1.100	0.410	1.080
B	400	5	0~44	0.165	0.490	0.190	0.520	0.185	0.500
	400	10	0~44	0.260	0.820	0.295	0.845	0.275	0.830
	400	15	0~44	0.360	1.950	0.450	1.240	0.390	1.210
	400	20	0~44	0.400	1.460	0.480	1.580	0.490	1.500
	400	25	0~44	0.600	1.650	0.750	1.900	0.650	1.700
C	400	5	0~11	0.046	0.126	0.052	0.138	0.056	0.136
	400	5	11~22	0.042	0.190	0.048	0.125	0.046	0.120
	400	5	22~33	0.034	0.900	0.038	0.120	0.036	0.100
	400	5	33~44	0.0021	0.0070	0.0026	0.0074	0.0021	0.0072
	400	5	0~44	0.165	0.490	0.190	0.520	0.185	0.500

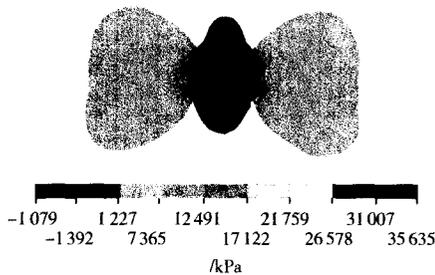


图 5 巷道周边 Y 方向应力变化

巷道顶拱区出现了拉应力(顶板处的 σ_3 为拉应力),尽管拉应力值较小,但由于岩石材料抗拉性能很差,局部掉块将主要出现在顶板区域,这与现场拍摄观测到的结果一致。

上述数值模拟结果分析以及与现场实际结果比较表明,采用瞬态动力法模拟巷道的爆破地震响应是合理的。

2.2 爆破震动随距离的变化特性分析

为了分析爆破震动随着距离的变化对巷道工程的破坏影响,在爆破采场和监测巷道(-647 m)之间取了 9 个点,其节点号是:8, 22 644, 20 177, 9

250, 8 566, 8 605, 8 947, 8 918, 10。从这些点随着时间变化曲线以及他们的最大位移变化值,可以看出爆破震动对于采场周边的工程影响特征。

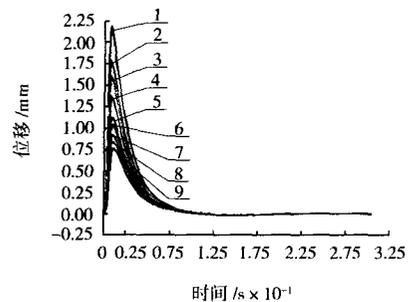


图 6 节点 Y 方向位移随着时间变化曲线

1—9UY; 2—8UY; 3—7UY; 4—6UY; 5—5UY; 6—4UY; 7—3UY; 8—2UY; 9—1UY

在图 6 中, X 轴表示爆破作用时间, Y 轴表示各个时间点对应的 Y 方向位移。1UY ~ 9UY 依次对应是从爆破采场到监测巷道的 9 个节点位移变化曲线。从图中可以看出,各个节点的变化最大位移随

(下转第 50 页)

力拱与 $\lambda = 0.3$ 时的压力拱相比,塑性区的范围有所减小,并在 $\lambda = 0.5$ 时产生破坏程度最轻。所以此时的水平应力对顶板稳定是有利的。随着水平应力的继续增大,水平荷载对硐室两侧稳定造成不利影响,并最终导致失稳破坏。

4 结 论

(1)在露天转地下开采过程中,水平应力与围岩稳定性存在重要关系。侧压系数小于 0.5,水平应力对稳定有利。

(2)当侧压系数大于 0.5,水平应力对围岩产生不利影响;侧压系数大于 2.0,不利影响迅速扩大,直至围岩破坏。

(3)岩体在受到开采扰动后,围岩中产生了一种铰接拱结构。围岩体通过应力重分布所形成的这种自平衡结构来承担上部荷载。

(上接第 30 页)

着距离爆破点距离增大而不断的减少。图 7 可以清晰地看出随着节点号的增大,其位移最大值是不断地减少的。这就说明,在实施爆破工程的时候,离爆破点近的区域必须充分考虑爆破对于其 Y 方向上的位移影响。

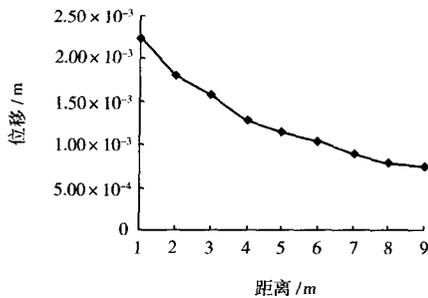


图 7 Y 方向位移随着距离变化曲线

图 8 是节点 X 方向位移变化曲线,从图中可以看出,在爆破点处,X 方向位移是变化最大的,然后随着距离的增大,位移变化不断增大,在采场和巷道一半的距离的时候,位移变化减缓,并且有下降的趋势。这说明在监测的巷道附近,其 X 方向的位移变化是比较小的。比较图 7 和 8 可以看出爆破震动对于工程在 Y 方向的影响远远大于 X 方向的。

3 结 论

(1) 单段药量越大、作用时间越长、采区越接近

参 考 文 献

- [1] 徐长佑. 露天转地下开采[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1989.
- [2] 于学馥, 郑颖人. 地下工程围岩稳定分析[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1985.
- [3] 杨志法, 丁恩保, 张三旗. 地下工程平面问题弹性有限元图谱[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [4] 刘波, 韩彦辉(美国). FLAC 原理实例与应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [5] 闫宏. 放顶煤开采顶煤与顶板活动规律研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 1995.
- [6] 陈茂林, 尹小鹏, 张世雄. 露天转地下开采次生应力场有限元研究[J]. 铜业工程, 2003(3): 4-9.
- [7] 王俊峰. 露天转地下开采围岩体力学性能研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2006.

(收稿日期 2009-11-10)

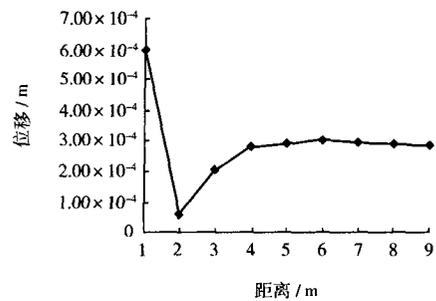


图 8 X 方向位移随着距离变化曲线

监测巷道时,巷道岩体位移越大;

(2)在爆破震动作用下,巷道侧帮产生压应力集中,易发生破坏,巷道顶板出现拉应力作用,易引起拉伸破坏,这与巷道实际观察到的破坏现象相符合;

(3)爆破震动对于工程在 Y 方向的影响远远大于 X 方向的。

参 考 文 献

- [1] 梅华东, 赵春雷. 爆炸作用下组块结构的强度分析[J]. 中国海洋平台, 2008, 6(8): 37-41.
- [2] 秦志扬. 基坑支撑爆破震动对相邻地铁隧道的影响[J]. 计算机辅助工程, 2008, 12(4): 61-63.
- [3] 时党勇, 刘永存, 徐建华. 爆炸力学中的数值模拟技术[J]. 工程爆破, 2005, 6(2): 9-13.

(收稿日期 2009-11-03)