

11
41
30

J" 2
#18

13
14
15

16
17
18
19
20

近年来爆破开挖广泛应用于隧道、煤矿等实际工程中,随着工程项目的复杂程度以及开挖要求的不断提高,对于爆破振动产生影响的控制也愈加严格。如何在满足爆破效果的前提下有效削弱爆破振动成为近年来研究的热点问题。对于延时爆破技术,我国于上世纪五十年代在煤矿和金属矿等地开展了一系列的生产实践,经历了半个多世纪的发展,延时爆破技术已经成为可以有效削弱爆破振动的主要手段之一^[1],到如今,延时爆破技术的身影已广泛出现在各种工程实践中。

通过设定合理的爆破延时时间,相比于同时起爆可以将集中的能量先后爆发,从而产生不同的应力波,通过应力波的错峰叠加,可以有效削弱爆破,降低振动幅值,以达到降低爆破振动强度的效果^[2]。因此,对于延时爆破来说,探究最佳的延时时间是近年来研究的难点与核心。史秀志等^[3]对不同延时时间的延时爆破产生的振动波进行时频分析,确定出延时时间为 $1/2$ 、 $2/3$ 时的爆破效果较好。叶海旺等^[4]利用小波分析技术,用能量分析的方法,探究了不同爆破延时时间和相同延时时间下不同爆心距的爆破效果,确定了能够降低爆破振动产生危害的合理孔间延时, $1/3$ 、排间延时 $0.1/3$ 。沈晓松等^[5]从块度分布、综合平均块度以及最大块度这 3 个指标出发,通过对爆堆图片的综合分析确定了最佳延时时间为 $0.2/3$ 。相较于炮孔之间的延时起爆,刘庆等^[6]从孔内延时爆破的角度出发进行了分析研究,通过数值模拟以及现场试验证实了采用孔内延时爆破也可以进一步削弱爆破振动,延时时间小于 $1/2/3$ 的延时时间越长减振效果越好,延时时间大于 $5/2/3$ 时减振效果则没有明显的变化趋势,保持相对稳定。张袁娟等^[4]运用动力有限元分析软件 $ANSYS$ 进行了数值模拟分析,并结合计算软件 $EXCEL$ 发现间隔为 $1/3$ 时相对延时时间为 $2/3$ 、 $1/3$ 的能量衰减率最大,减振效果最明显,同时还提出了减振效果并不是随着延时时间的加大而增强的结论。崔正荣等^[5]通过数学计算的方式使爆破产生的应力波进行叠加,发现当延时时间为 $1/3$ 时,爆炸产生的振动速度最小。吴贤振等^[7]创新

性地提出 $1/3$ 的单位指标,通过 $ANSYS$ 、 $EXCEL$ 分析软件分别计算了延时时间为 $2/3$ 、 $1/3$ 、 $5/3$ 的毫秒延时爆炸模型,得出减振效果最优的延时时间指标为 $1/3$,即 $1/3$ 。楼晓明等^[8]通过结合动力有限元分析软件 $ANSYS$ 的模拟数据和单孔爆破测振试验中对实测振动波进行 FFT 多峰拟合的结果,最终确定了最佳延时时间为 $1/3$ 。陈士海等^[9]通过 $ANSYS$ 软件运用荷载法指出了延时爆破的质点峰值振速与质点相隔起爆点的距离呈负相关,但在衰减的过程中会出现局部增大的现象。周文海等^[10]采用从二维过渡到三维的分析方法,先利用 $ANSYS$ 软件建立二维静态模型,通过有限元折减法确定关键系数,再基于已确定的二维潜在滑动面重新建立相应的三维延时爆破模型,最终通过动力有限元分析软件 $ANSYS$ 得出孔间延时时间取 $1/3$ 时对于边坡逐孔爆破减振效果较佳。

隧道竖井作为公路隧道通风的主要措施之一,在爆破开挖过程中产生的应力波会对周围岩体和周边环境产生不利影响,以及在近接施工时会对联络通道造成不利影响,如何有效降低这种影响,也日益成为隧道工程施工研究的关键问题。而针对竖井延时爆破的研究,史秀志等^[3]利用数值模拟的方法探究了短延时爆破在成井爆破中的应用效果,从破岩效果和振动规律的层面进行综合分析,确定调压并导井爆破同层孔间采用延时爆破技术时最佳的延时时间为 $1/3$ 。

综上所述,一方面针对短延时时间的研究还相对较少,对于较短延时时间的延时爆破规律和特性(之)]03505特119Tc(多峰0(程211(施139(采用的术))Tj通

&J* :// \$@ %J %L J

F @8-2+ |R#L# ' 8#\$ (E)J# \$ |D'E94.

材料参数如表- 所示。

表C 炸药材料参数

>)(- ROEILO 3J 8)E*)9 3J 8

密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	爆速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Δt / μs	Δt / μs
+ -22 8+	/ 022 8.	- 9,	+ 9

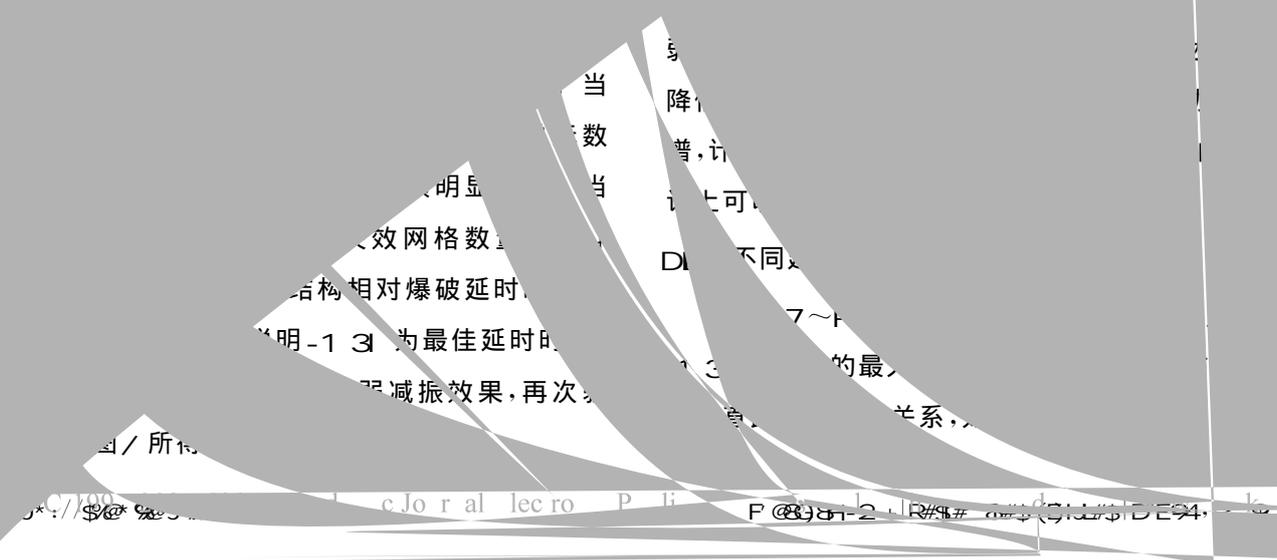
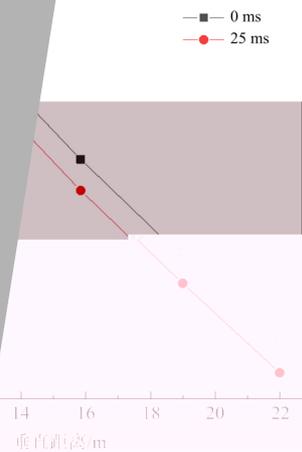


图 4 效率与相对爆破延时的关系



峰值振速与距炸药距离关系

观察到,在距离炸药 15m 的位置,这是由于双孔炸药的振动波在峰叠加,形成局部放大效应。当采用 25ms 延时爆破时在距离炸药 15m 位置,说明采用延时爆破削弱了两个

观察到,在距离炸药 15m 的位置,这是由于双孔炸药的振动波在峰叠加,形成局部放大效应。当采用 25ms 延时爆破时在距离炸药 15m 位置,说明采用延时爆破削弱了两个

较大时,减振效果会削弱,呈现出振速增大的趋势。

针对本文所述项目概况,采用延时时间为 25ms 的延时爆破能达到最佳的减振效果,同时通过设定失效阈值观察主体结构受损程度进一步验证了该结论。即采用合理的延时时间,延时爆破能有效加快振速的衰减速度,大大减轻对临近岩体或者建(构)筑物的不利影响。

采用多孔爆破时,质点的峰值振速随着相隔炸药距离的增大整体呈负增长,但会有局部放大效应,这种放大效应是因为不同的振动波的波峰叠加导致的,与炸药间距离有关,同时采用合理的延时爆破技术能有效削弱这种放大效应。

参考文献

[1] 吴腾芳,王凯. 延时爆破技术研究现状[J]. 爆破, 2014, 31(4): 149-154.

[2] 沈晓松,赵明生,池恩安,等. 延时时间对爆破块度影响[J]. 工程爆破, 2014, 20(4): 59-62.

结

从相隔炸药距离来看,随着距离的增加,振速也逐步降低。同时观察到,在距离炸药 15m 的位置,这是由于双孔炸药的振动波在峰叠加,形成局部放大效应。当采用 25ms 延时爆破时在距离炸药 15m 位置,说明采用延时爆破削弱了两个

观察到,在距离炸药 15m 的位置,这是由于双孔炸药的振动波在峰叠加,形成局部放大效应。当采用 25ms 延时爆破时在距离炸药 15m 位置,说明采用延时爆破削弱了两个

[1] 沈晓松,赵明生,池恩安,等. 延时时间对爆破块度影响[J]. 工程爆破, 2014, 20(4): 59-62.

响的试验研究[X]爆破.-2+. (/):424/9
 6' R< g 6, f' 7; Z 6, : ' PR 7, ' J)E9RQ' 8-
 3 #)EIJGH"#J& 'NM% "MKBJHL3 "# @IJ#\$
 M\$3 #)J"# [X]9BJL#\$, -2+-. (/):424/9

[O] 刘庆,康强,赵明生乳内延时爆破数值模拟及试验研究[X]矿业研究与开发.-2+// (/):+25++2.++9
 WPY ^, b7<! ^, f' 7; Z 69 <G3 8)E
 IL3GJ"#)#' Q' 83 #)EIJGH"#KBJH@IJ#\$
 L# &E [X]9ZL#\$ V1')8&.)#K ? OE*3 #,
 -2+// (/):+25++2.++9

[4] 张袁娟,黄金香,农冬灵,等某露天矿生产爆破合理延时时间探讨[X]煤炭技术.-2+/- (+):-2-2/9
 f' 7<! aX, ' Y7<! Xg, <; <! ? W.' J)E9JL=
 %GIL"# # 8)I"#)@ KBJHL3 "M*8K94"#
 @IJ#\$L#)#"*# *J 3# [X]9.")E >%#'E\$+
 -2+/- (+):-2-2/9

[5] 崔正荣,张西良,梅山铁矿深孔爆破合理延时时间研究[X]现代矿业.-2+, /2(1):.+2/ 9
 : YPf V, f' 7<! g W96GH"#8)I"#)@ KBJH
 JL3 "MK' * &E @IJ#\$L# Z'LL#)#L# 3# [X]9
 Z"K8# ZL#\$, -2+, /2(1):.+2/ 9

[.] 吴贤振,尹丽冰,刘建伟,等基于W6? a<7的临近采空区多段爆破延时时间优化研究[X]爆破.-2+1, /- (+):54.-9
 dY g f, aP< W(, WPY X d, ' J)E9 *L3AJL"#M
 3GELJ)\$ @IJ#\$KBJHL3 #)8\$)M@I' K"#W6
 ? a<7 [X]9BJL#\$, -2+1/- (+):54.-9

[+2] 楼晓明,周文海,陈必港基于W6? a<7台阶延时爆破最佳延期时间的降振控制[X]福州大学学报(自然科学版).-2+0,, (1):41/-41. 9
 W, Y g Z, f' ; Y d ' , : ' R< (! 9D@JL"#8-
 K94"#%#)8E@I' K"#"*L3)E KBJHL3 "MW6
 <7 @#&@IJ#\$ [X]9G)E"MFQ&GY#L08
 G)EIL%#%' KL"#), -2+0,, (1):41/-41. 9

[+] 楼晓明,周文海,陈必港双孔延时及长柱药包爆破振动数值模拟[X]福州大学学报(自然科学版).-2+4/, (/):Q1-9
 : W, Y g Z, f' ; Y d ' , : ' R< (! 9D@JL"#8-
 K94"#%#)8E@I' K"#"*L3)E KBJHL3 "MW6
 <7 @#&@IJ#\$ [X]9G)E"MFQ&GY#L08
 G)EIL%#%' KL"#), -2+4/, (/):Q1-9

Q@JL"#MK' G& &E KBJH)#KE'#\$%EG3#%8\$
 [X]9BJL#\$, -2+4/, (/):, Q1-9

[+] 周文海,梁瑞,陈金林,等射程稳定性系数确定的边坡逐孔起爆孔间延时降振时间[X]爆炸与冲击.-2+. / (,) :++29
 f' ; Y d ' , W7<! V, : ' R< XW, ' J)E9' BHD=
 @JL"#8K94"#JL3 @JN' # @IJ#\$ &EI KJ 8
 3# K@HL3 &LJ' BHIJ)@JH%' MW6 #J [X]9RQE =
 IL"#)#K P3*)%, -2+. / (,) :++29

[+7] 史秀志,邱贤阳,周健,等超大断面高天井短延时类球状药包爆破成井技术与工程实例[X]岩石力学与工程学报.-2+0/1(5):+01. ++049
 6' Pg f, ^PY g a, f' ; Y X, ' J)E96&8 KBJH
 I*&8)E%8\$ @IJ#\$J%#E\$H)#K' #3#'#8\$
 ' Q3*E "MG' 8)8\$ I' %L'# &L\$&9L [X]9 &#I'
 XG)E"MV%6 Z' %8) %L)#K R#\$#'# 8#\$, -2+0/1
 (5):+01. ++049

[+] 马晓明,王振宇,陈银鲁,等精确延时爆破振动能量分布特征分析[X]解放军理工大学学报(自然科学版).-2+ +/ (,) : , , , 1, 9
 Z7 g Z, d7<! f a, : ' R< a W, ' J)E 9#)EHL
 "M@JL"#'# 8#HKL8G)E"#8)8%8L% "M*8=
 %L' KBJH@IJ#\$ [X]9G)E"MBW7 Y#L08LH" M
 6L%#)#K >%#'E\$H (<)JG)E I%#%' KL"#),
 -2+ +/ (,) : , , , 1, 9

[+1] 徐振洋,杨军,陈占扬高精度雷管逐孔起爆地振信号的精确时频分析[X]煤炭学报.-2+/, /5(6): //+//09
 gY f a, a7<! X, : ' R< f a 988%L' JL3 M8=
 TG#6) #)EHL "M\$8G#K @JL"#IL\$)E" M&E @H
 &E L#LJL"#M&L\$&*8%L"#KJ"#J"8 [X]9G)E
 "M: 8#):")E6%LJH, -2+/, /5(6): //+//09

[+0] 罗杰峰隧道掘进爆破合理延时时间研究[?]长沙:长沙理工大学.-2+, 9
 WY; X F 96GH"#8)I"#)@ KBJHL3 "MUG##E
 ' QJL"# @IJ#\$ [?]9 8)#8\$: 8)#8\$ Y#L08
 ILH" M8L%# c >%#'E\$+ -2+, 9