

文章编号: 1001-1455 (2000)02-0182-04

相似理论在深孔梯段爆破飞石 距离计算中的应用

程 康¹, 章昌顺²

(1. 武汉工业大学岩土与环境工程研究所, 湖北 武汉 430070)

(2. 葛洲坝集团三峡指挥部质量安全科, 湖北 宜昌 443134)

摘要: 利用相似理论, 推导了深孔梯段爆破中飞石距离的计算公式。结合三峡工程实际统计数据回归分析导出了公式的具体表达式, 讨论了公式的应用条件和进一步完善的研究思路。

关键词: 三峡工程; 相似理论; 飞石距离; 深孔爆破

中图分类号: TD235.33 文献标识码: A

1 前 言

爆破飞石、爆破地震和空气冲击波是工程爆破中的三大危害, 目前国内外学者对于爆破地震和空气冲击波的影响已作了大量的研究, 提出了许多理论和经验公式, 我国国标 GB6722-86《爆破安全规程》^[1]也推荐了相应的经验计算公式。但是对于爆破飞石的研究普遍重视不够, 规程中也只是推荐了一个经验数值。从统计分析看, 大部分工程爆破事故主要是由爆破飞石引起的, 因此在工程爆破中, 特别是深孔梯段爆破中提出一个行之有效的飞石距离计算公式迫在眉睫。影响爆破飞石距离的因素众多: 如爆破参数、装药结构、装药量、地形地质条件、回填与堵塞情况等。目前就国内外学者对爆破飞石研究的现状而言^[2], 主要是通过爆炸应力波理论、爆生气体理论以及两者联合作用理论来获得飞石的初始速度, 再运用弹道理论的原理来计算爆破飞石的距离, 这种方法理论上可行, 而实际操作起来困难较大。我们准备另辟途径, 根据反分析方法, 从实际结果着手, 利用相似理论和回归分析方法反推深孔梯段爆破飞石距离的计算公式。

2 深孔梯段爆破中的爆炸相似律

2.1 爆炸相似律

爆炸相似律是指导爆炸试验研究和整理半理论公式的基本规律。在假定介质中的非定常应力场和应变场只受爆炸能量影响(不考虑重力和其它力的影响), 介质性质不随加载速度变化而变化的前提下, 爆炸相似律为: 两个大小不等但几何相似、爆轰性能(装药密度、爆速)相同的药包, 在同一种介质中爆炸时, 其应力场、应变场在几何上、时间上和强度上是相似的。

* 收稿日期: 1998-11-09; 修订日期: 1999-12-01
作者简介: 程 康(1963—), 男, 硕士, 副教授。

2.2 描述深孔梯段爆破飞石距离问题的独立参数

几何参数: 飞石距离 L (炮孔中心与飞石落点的水平距离), 抵抗线 W , 装药长度 h_1 , 回填长度 h_0 , 炮孔直径 d , 炮孔间距 a , 如图 1 所示。

岩体参数: 岩体抗拉、抗压和抗剪强度 σ_t 、 σ_c 、 σ_τ , 介质密度 ρ , 岩体弹性模量和剪切模量 E 、 G , 泊松比 μ , 岩体介质中裂缝传播速度 v_e , 岩体介质破坏的表面能 e_s 。

炸药参数: 装药密度 ρ_B , 炸药爆轰速度 D , 炸药比能 e 。

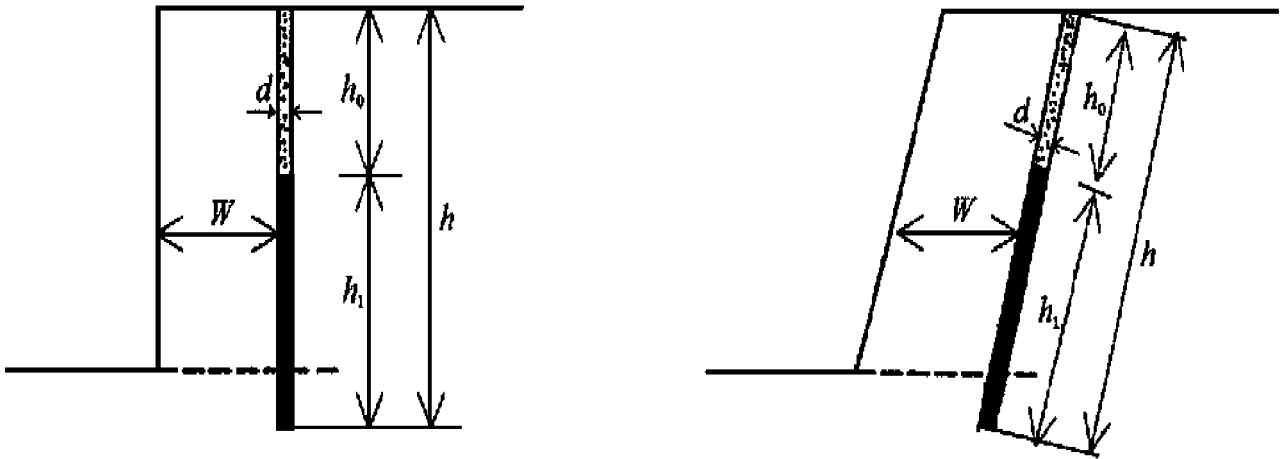


图 1 深孔梯段爆破钻孔形式

Fig. 1 Drilling model of deep-hole bench blasting

2.3 量纲分析

根据相似第三定理(π 定理), 上述 18 个独立参数, 可以用如下 15 个无因次数组 π_i ($i=1, \dots, 15$) 之间的函数关系来表示。

$$\pi_1 = \frac{L}{W}, \pi_2 = \frac{d}{W}, \pi_3 = \frac{h_1}{h_0}, \pi_4 = \frac{W}{a}, \pi_5 = \frac{h_0}{a}, \pi_6^{[3]} = \frac{\sigma_t}{\rho_B D^2}, \pi_7^{[3]} = \frac{\sigma_c}{\rho_B D^2}, \pi_8^{[3]} = \frac{\sigma_\tau}{\rho_B D^2},$$

$$\pi_9 = \frac{\sigma_\tau^2}{Ge}, \pi_{10} = \frac{\sigma_c^2}{Ee}, \pi_{11} = \frac{e_s}{\rho_B D^2 R}, \pi_{12} = \frac{\rho V_p}{\rho_B D}, \pi_{13} = \frac{\rho}{\rho_B}, \pi_{14} = \frac{v_e}{D}, \pi_{15} = \mu$$

各量纲参数的物理意义如下: $\pi_1 \sim \pi_5$ 表示几何特征数, $\pi_6 \sim \pi_8$ 表示岩体介质强度与爆压之比, $\pi_9 \sim \pi_{10}$ 表示变形能与炸药比能之比, π_{11} 表示介质的破坏表面能与爆炸产物做功之比, π_{12} 表示介质波阻抗与炸药波阻抗之比, π_{13} 表示介质密度和炸药密度之比, π_{14} 表示介质裂缝开裂速度与爆轰波速度之比, π_{15} 表示介质泊松比。

2.4 简化分析

从量纲分析可以看出, 表征深孔梯段爆破飞石距离的参数很多, 无量纲参变量函数非常复杂, 要想建立一个包括所有无量纲参变量的飞石距离关系式很不现实。在实际工程中, 同一工程同一地区往往要进行多次梯段爆破, 这种情况下, 不同次爆破中使用的炸药种类、装药密度和岩体性质变化不大, 在忽略不计飞石重力和空气阻力的条件下, 公式可以简化为

$$f\left(\frac{L}{W}, \frac{W}{a}, \frac{d}{W}, \frac{h_1}{h_0}, \frac{h_0}{a}\right) = 0 \quad (1)$$

或

$$\frac{L}{W} = F\left(\frac{W}{a}, \frac{d}{W}, \frac{h_1}{h_0}, \frac{a}{h_1}\right) \quad (2)$$

式中炮孔间距与抵抗线之比, 在常规梯段爆破中 $W/a=1$, 在宽孔距爆破中, 由于孔距比

抵抗线大许多倍,孔距对爆破飞石的影响甚微,主要影响因素为抵抗线(前排抵抗线),因此孔距的综合影响因素可以用抵抗线 W 来替代,不作为独立参变量考虑。装药长度与炮孔长度之比 h_1/h ,实际上是回填长度 h_0 与装药长度 h_1 之比 h_0/h_1 ,而回填长度是随抵抗线变化而变化的($h_0=0.8W \sim 1.0W$),因此全段装药结构公式(2)可以简化为

$$L = W \cdot F\left(\frac{d}{W} \cdot \frac{h_1}{h_0}\right) \quad (3)$$

3 现场试验分析

根据所收集到的三峡工程永久性船闸和临时船闸深孔梯段爆破飞石距离资料结果可知,爆破器材为乳化炸药混装车全段耦合装药,岩性变化不大,可以满足公式(3)的使用条件,爆破飞石距离可以用公式(3)来进行回归分析,目前所收集到的现场实际资料如表 1。

表 1 深孔梯段爆破飞石距离现场统计表

Table 1 The statistical result of deep-hole bench blasting flyrock distance

数据序列	钻孔直径 d/m	抵抗线 W/m	炮孔深度 h/m	回填长度 h_0/m	飞石距离 L/m
1	0.16	3.0	15.3	9.0	220
2	0.16	3.0	15.2	9.0	220
3	0.16	3.0	15.0	8.5	245
4	0.16	3.0	14.8	8.0	250
5	0.16	3.0	15.0	8.0	255
6	0.16	3.0	15.0	8.5	240
7	0.11	3.5	13.0	7.2	140
8	0.11	3.5	13.2	6.5	193
9	0.11	3.5	13.0	6.5	190
10	0.11	3.5	13.6	6.0	204
11	0.10	3.0	12.0	6.0	170
12	0.10	3.0	12.5	6.0	170
13	0.10	3.0	12.0	6.5	163
14	0.10	3.0	12.0	5.5	158
15	0.10	3.0	12.0	6.0	166
16	0.10	3.0	12.0	5.0	145
17	0.09	2.5	13.0	6.5	155
18	0.09	2.5	13.0	6.0	160
19	0.09	2.5	13.5	6.3	165
20	0.09	2.5	12.8	6.0	162
21	0.09	3.0	13.0	5.6	155
22	0.09	3.0	13.0	6.0	150
23	0.09	3.0	13.5	6.2	145
24	0.09	3.0	13.5	5.6	150
25	0.09	3.0	13.0	6.0	155

将表1中的数据按双对数坐标回归分析处理,则飞石距离经验公式为(相关系数为0.86, F 检验值为131)

$$L = KW^{1-\alpha}d^\alpha(h_1/h_0)^\beta = 2589W^{-0.1139}d^{1.1139}(h_1/h_0)^{0.038} \quad (4)$$

式中 K 、 α 、 β 为与岩体特性、炸药特性等有关的系数(通过现场试验确定)。

(4)式表明梯段爆破岩体飞石距离与抵抗线、回填长度成反比,与炮孔直径、装药长度成正比,符合实际情况,但由于试验条件和统计资料的局限性,本次公式推导仅考虑了其中的一些主要因素。只要在不同工程、不同岩石种类和不同炸药情况下分析比较,就可以推导出更精确、更全面和更符合实际的经验公式,为制定系统的规范提供依据。

4 结 论

(1)根据爆炸相似律,推导了深孔梯段爆破飞石距离的计算公式,并结合现场试验统计数据进行了回归分析,导出了公式的具体表达式,对工程实际有较大的指导意义。

(2)在同一地区,岩体性质、炸药种类和装药结构基本不变的条件下,深孔梯段爆破飞石距离主要与前排抵抗线 W 、炮孔直径 d 、装药长度 h_1 和回填长度 h_0 有关。

(3)公式(4)适用于三峡工程深孔梯段爆破乳化炸药混装车全段耦合装药条件下飞石距离的估算,对于不同地区使用不同炸药时,公式中的系数 K 、 α 、 β 应有所不同。

参考文献:

- [1] 韦健实,徐天瑞,张其中,等.爆破安全规程[S].国家标准局,1986.
- [2] 姚 尧.深孔预裂爆破技术及非电毫秒差起爆网路[M].西安:西北工业大学出版社,1993.144~154.
- [3] 许连坡.关于爆破相似律的一些问题[J].爆炸与冲击,1985,5(4):1~9.

Application of Similarity Theory in Distance Estimation of Flyrock from Deep-hole Blasting

CHENG Kang¹, ZHANG Chang-shun²

(1. Institute of Rock-soil and Engiroment Engineering WUT, Wuhan 430070, China)

(2. THREE GORGE Engineering Headquqters,
GE ZHOU BA Group Corp, Yichang 443134, China)

Abstract: Based on similarity theory, A fomula to estimate the flying distance of the rocks from deep-hole blasting was derived. Using on-the-spot data, the details of the fomula were detemine. Also, the constraints on the applications of the fomula was discussed.

Key words: THREE GORGE engineering; similarity theory; flyrock distance; deep-hole blasting