

水介质偏心不耦合装药爆破特性分析及药柱位置优选

喻智, 林大能, 吴颂, 郑文富

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 基于现有光面(预裂)爆破设计的现状, 为达到精细控制炮孔各方位压力、保护保留岩体、控制爆破损伤的目的, 本文分析了水介质偏心不耦合装药爆破的爆破特性及其优越性, 得出了基于弹性理论及波动理论的水介质偏心不耦合装药爆炸时的孔壁压力公式, 并得出了最优药柱位置的计算公式. 为了便于工程设计, 还对药柱位置与孔径、药径之间的关系进行了研究. 研究结论能为控界保护性开挖爆破设计及相关研究提供参考.

关键词: 爆破工程; 水介质偏心不耦合; 冲击波压力; 药柱位置

中图分类号: TD235.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2015)03-0001-04

On blasting characteristics and optimal explosive column position of water medium eccentric decouple charge blasting

YU Zhi, LIN Daneng, WU Song, ZHENG Wenfu

(School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Based on the current situations of the existing smooth (pre-splitting) blasting design and previous researches, this paper analyzes the blasting characteristics and superiority of water medium eccentric decouple charge blasting, in order to achieve the fine control on hole pressure, protect the reserved rock mass and control blasting damage. The hole wall pressure size formula is obtained by using the elastic theory and wave theory, and the formula of optimal explosive column position is found. To facilitate the engineering design, this paper studies the relationships between explosive column position and aperture, drug diameter. The conclusions can provide some references for controlling the protective digging blasting design and related researches.

Key words: blasting engineering; water medium eccentric decouple charge; shock wave pressure; explosive column position

在目前的技术背景下, 我国岩石开挖工程仍然以爆破作为其主要手段. 经过长期的发展, 我国工程爆破行业已经开始从“控制爆破”向“精细爆破”阶段转变^[1].

装药结构按孔径与药径的关系可分为轴向不耦合和径向不耦合, 就目前的爆破工程设计理论来看, 并没有明确区分同心不耦合与偏心不耦合. 但是在实际边坡开挖光面爆破和预裂爆破技术使用中, 大多使用偏心不耦合装药结构^[2,3]. 近年来, 蒲传金^[3]、袁光英^[4]、张志呈^[5]等学者通过水泥砂浆模型、数值模拟和现场声速测定等方法对偏心不耦合装药的爆破机理进行了研究, 证明了偏心效应的存在, 并且描绘出了明显的孔壁偏心应力场. 对于偏心效应, 在使用不当的情况下将会对保留岩体造成严重损伤. 由于药柱与保留岩体局部形成耦合装药, 爆炸压力未经不耦合介质缓冲直接作用于保留岩体, 在保留岩体上产生粉碎圈、裂隙圈, 造成保留岩体开裂、边坡不稳等有害效应. 对于开挖侧岩体, 由于偏心效应的存在, 大量能量不能用于破岩, 造成了极大的浪费^[6].

不耦合装药结构按不耦合介质分类又可分为多种, 其中较常用的是空气介质不耦合装药和水介质不耦合装药. 与空气介质不耦合装药相比, 水介质不耦合装药最大的不同点就是由爆轰波压缩水介质, 进而

对岩壁产生压力并破坏岩壁^[7].

鉴于此,本文重点研究水介质偏心不耦合装药结构孔壁压力,为爆破方案优选和参数优化提供参考.

1 水介质偏心不耦合装药爆破特性

1.1 水介质偏心不耦合装药爆破机理

水介质不耦合装药爆破时,爆轰波压缩药柱与孔壁之间间隙内的水,引起水介质冲击波,水介质冲击波作用于孔壁.冲击波压碎炮孔周围一定范围内的岩石,同时形成一些初始的径向裂隙.爆生气体渗入裂隙中对岩石产生气楔作用,进一步扩大裂隙.伴随着冲击波传播范围增大,冲击波衰减为应力波,导致外围岩石层中产生径向扩张和切向拉伸应变.若切向拉伸应变超过了岩石的动抗拉强度,外围岩石层中就会产生径向裂隙.当切向拉伸应力小低于岩石的动态抗拉强度之后,裂隙将停止向前方发展,同时由于卸载产生与压缩应力波作用方向相反的向心拉伸应力.岩石质点产生反方向的径向移动,一旦径向拉伸应力超过岩石的动抗拉强度时,将在岩石中形成环向裂隙.

1.2 水介质偏心不耦合装药爆破优越性

近年来关于水的物理力学性质研究及工程实践证明了水介质偏心不耦合装药爆破具有多重优越性^[8,9]:

1)与空气比较,水的可压缩性相对小得多,对于能量的传递效率更高,能够更好的传递爆炸能量,减少能量损失.

2)常温常压下,空气密度为 1.29 kg/m^3 ,水密度为 $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,在水中爆轰产物膨胀速度相对更慢,冲击波作用时间更长,峰值压力下降更慢,能量强度更高,破岩效率更佳.

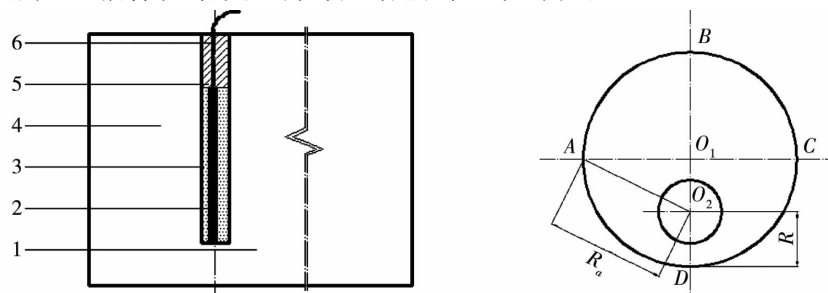
3)水介质不仅能够有效控制爆破振动、爆破冲击波、爆破飞石,还能减少爆破烟尘,对于爆破灾害有效控制具有重大意义.

4)在光面爆破、预裂爆破等需要保护保留岩体的爆破工程作业中,水介质偏心不耦合装药能够有效控制作用在保留岩体上的爆炸压力,有效保护保留岩体,将爆破能量更多的作用于开挖侧岩体.

5)炸药爆炸过程中会产生 CO ,氮氧化物(NO , NO_2), SO_2 和 H_2S 等有毒有害气体.水对于 NO_2 , SO_2 , H_2S 等有较好的溶解性,能够有效减少有毒有害气体产生.

1.3 爆破压力计算

当采用水介质偏心不耦合装药爆破时,药柱与炮孔位置关系如图 1.



(a) 预裂爆破装药结构图

(b) 炮孔药柱关系图

1 - 保留岩体;2 - 药柱;3 - 水;4 - 开挖岩体;5 - 炮泥;6 - 导爆索

图 1 药柱炮孔位置关系图

J·亨利奇根据爆破相似率对水介质装柱状炸药的炮孔进行研究,得出水中任意一点的冲击波压力为^[10]

$$P_1 = 72 \bar{R}^{-0.72} \quad (1)$$

式中, $\bar{R} = R / \sqrt{Q_c}$; $Q_c = Q_s Q_{vs} / Q_{VT}$; $Q_s = \pi d_c^2 \rho_e / 4$; P_1 :距离药柱轴心线 R 处水中的冲击波压力峰值; \bar{R} :比例距离; Q_c :炸药的 TNT 当量, kg/m ; Q_s :炸药的线装药密度; d_c :药柱直径; ρ_e :炸药密度; Q_{vs} , Q_{VT} :炸药和 TNT 炸药的爆热.

依据弹性应力波理论知同心不耦合装药爆破作用于岩壁上的压力为

$$P_r = TP_1 = \frac{2\rho_m C_p}{\rho_m C_p + \rho_0 D_1} P_1 \quad (2)$$

基于爆炸过程反应极快的特点,在水介质偏心不耦合装药爆破中, A , D 点的孔壁压力可以表示为

$$P_a = 72TR_a^{-0.72} \left(\pi d_c^2 \frac{\rho_e}{4} \frac{Q_{vs}}{Q_{VT}} \right)^{0.36}; \quad P_d = 72TR_d^{-0.72} \left(\pi d_c^2 \frac{\rho_e}{4} \frac{Q_{vs}}{Q_{VT}} \right)^{0.36} \quad (3)$$

式中, T :透射系数; P_r :冲击波作用到岩壁上的压力; $\rho_0 D_1$:冲击波波速为 D_1 时水的波阻抗; $\rho_m C_p$:孔壁围岩波速为 C_p 时的波阻抗。

对于 D_1 ,许多学者对其进行了研究,通过质量守恒定律、动量守恒定律结合水的状态方程式得出 D_1 ,但是使用不同的水的状态方程具有不同的数值:

1)杜俊林通过假设等熵过程联立方程得到^[7]

$$D_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\rho_0} \left[1 - \left[\frac{P_1}{A} + 1 \right]^{-\frac{1}{\beta}} \right]^{-1}} \quad (4)$$

式中, A, β :常数。

2)罗云滚使用高压水的状态方程,通过热力学公式变换,联立方程得到^[11]

$$D_1 = \sqrt{\frac{P}{\rho_0} \frac{1}{1 - [B/(P+B)]^{\frac{1}{n}}}} \quad (5)$$

式中, B, n :常数。

2 最优药柱位置设计

2.1 理想状态下最优炮孔位置

1)为保证爆破能量利用效率最大化,那么作用于开挖岩体D侧的孔壁压力不宜大于岩石的动态抗压强度,即:

$$P_d = P_r \leq \sigma_d = K_d \sigma_0; \quad (6)$$

式中, K_d :动态抗压强度提高系数, $K_d = 10 - 15$; σ_d, σ_0 :岩石的动态、静态抗压强度。

$$R^{0.72} \geq \frac{72T(\pi d_c^2 \frac{\rho_e}{4} \frac{Q_{Vs}}{Q_{VT}})^{0.36}}{\sigma_d} \quad (7)$$

式中, R :药柱中心到开挖岩体的距离。

2)为保证光面爆破、预裂爆破的爆破效果,在A,C这2点拉应力应大于岩石的动态抗拉强度,即:

$$P = \lambda P_a \geq \sigma_t; \quad (8)$$

式中, σ_t :岩石的静态单轴抗拉强度,由于加载速率对抗拉强度影响小,所以使用静态单轴抗拉强度代替动态抗拉强度; $\lambda = \frac{\gamma}{(1-\gamma)}$, λ 为岩石的侧压力系数, γ 为岩石的泊松比。

$$R_a^{0.72} \leq \frac{72\lambda T(\pi d_c^2 \frac{\rho_e}{4} \frac{Q_{Vs}}{Q_{VT}})^{0.36}}{\sigma_t} \quad (9)$$

式中, $R_a = \sqrt{r^2 + (r-R)^2}$, R_a :A点到药柱中心的距离; r :炮孔直径。

经计算,结合 R 及 R_a 取值范围,可在炮孔中为药柱轴心线选择合理位置以达到最佳爆破效果。

2.2 算例分析

基于MATLAB平台,使用水介质偏心不耦合装药爆破方法对斜长岩、浅色辉长岩和粗粒伟晶辉长岩进行编程分析。TNT炸药的爆热为4 222 kJ/kg;(20 : 80)铵梯炸药的爆热为4 138 kJ/kg,炸药密度为1.3 g/cm³^[12];水的密度为1 g/cm³;3种基岩的物理力学性质如表1。

表1 3种岩石物理力学性质指标建议值^[13]

岩石名称	密度 $\rho/(kg/m^3)$	抗压强度 σ_0/MPa	抗拉强度 σ_t/MPa	变形参数		纵波速度 $C_p/(m/s)$
				弹模 $E/10^4 MPa$	泊松比 ν	
斜长岩	2 840	126	6.9	4.78	0.23	4 103
浅色辉长岩	2 890	125	4.8	5.58	0.21	4 394
粗粒伟晶辉长岩	2 920	42	2.3	3.17	0.24	3 295

铵梯炸药在斜长石、浅色辉长岩和粗粒伟晶辉长石中爆炸,药柱中心到开挖岩体之间的距离 R 与药径和孔径的关系如图2。药柱中心到孔壁两侧的距离 R_a 与药径和孔径的关系如图3。计算结果表明:(1)对于同一种岩石,使用相同的炸药,孔径越大, R 和 R_a 越大,但是孔径对于 R 和 R_a 的影响程度较小;(2)在同样的施工背景下,药径与 R 之间呈正相关关系,药径对 R 和 R_a 的影响程度较大;(3)满足拉应力大于岩石的动态抗拉强度的 R_a 的计算值均以10 m为数量级,在小直径炮孔施工的情况下,药柱可直接安放于炮孔中轴线上。

3种岩石计算结果中 R 值差距较大, R 值与抗压强度正相关,通过分析三者物理力学性质指标、计算

公式及计算结果,笔者认为主要原因是岩石强度的差异.在控界保护性开挖爆破工程中,工程技术人员对于强度较低的岩石要求药柱尽量远离保留岩体,岩石强度很大程度影响爆破参数,这表明计算结果在理论上能吻合工程实践经验.

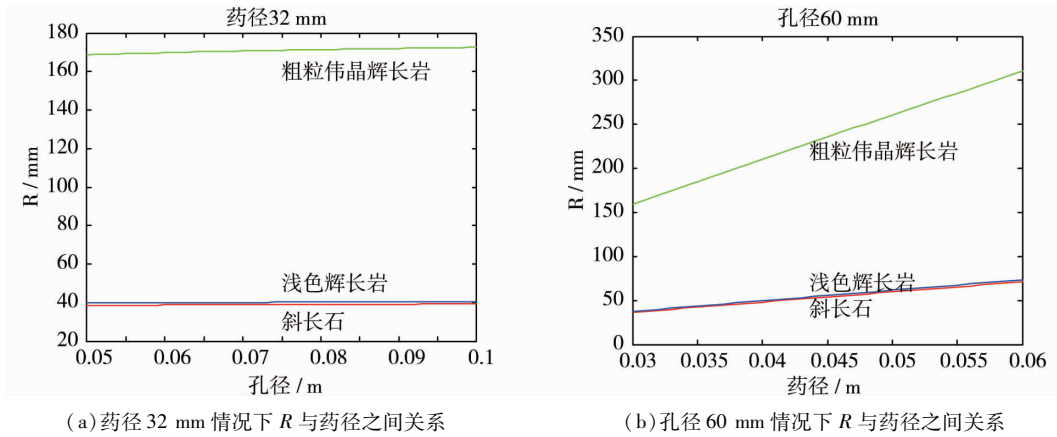


图 2 R 与孔径和药径的关系

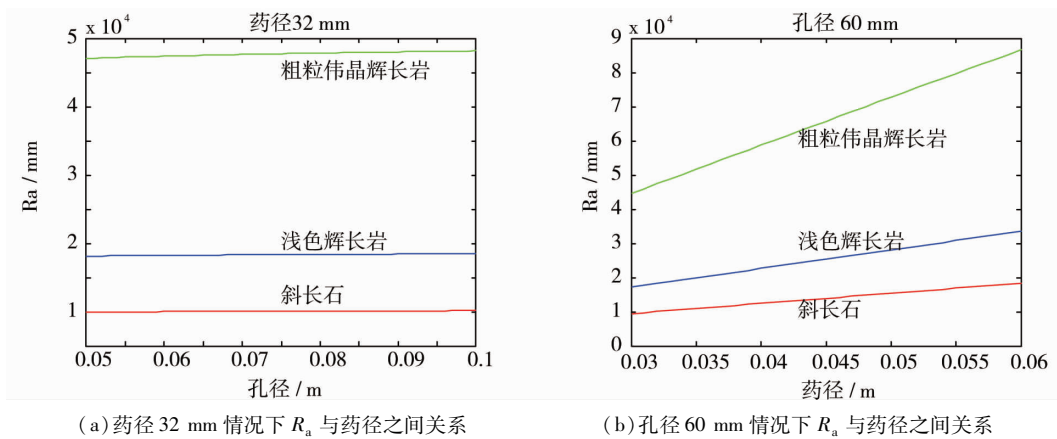


图 3 R_a 与孔径和药径的关系

3 结论

- 1) 可以通过理论分析得出适用于水介质偏心不耦合装药爆破的冲击波压力公式及药柱位置优选方法.
- 2) 水介质偏心不耦合装药爆破中药径对最优药柱位置影响程度大.

参考文献:

- [1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
- [2] 徐颖,宗琦. 光面爆破软垫层装药结构参数理论分析[J]. 煤炭学报,2000,25(6):610-613.
- [3] 蒲传金. 偏心不耦合装药爆破实验研究[J]. 化工矿物与加工,2007(4):30-32.
- [4] 袁光英,王庆国. 不耦合装药爆破效应数值分析[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版),2013,29(5):28-31.
- [5] 张志呈,史瑾瑾,蒲传金,等. 偏心不耦合装药对岩石损伤的实验研究[J]. 爆破,2006,23(4):4-8.
- [6] 田文高,蒲传金,陈晓玲. 偏心不耦合装药爆破参数理论分析[J]. 爆破,2008,25(2):19-20.
- [7] 杜俊林,周胜兵,宗琦. 不耦合装药时孔壁压力的理论分析和求算[J]. 西安科技大学学报,2007,27(3):347-351.
- [8] 宗琦,张魁. 不同装药条件下炮孔孔壁初始冲击压力[J]. 徐州建筑职业技术学院学报,2002,2(4):7-9.
- [9] 明锋,祝文化,李东庆. 水耦合装药爆破在隧道掘进中的应用[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(5):1008-1013.
- [10] 亨利奇 J. 爆破动力学及其应用[M]. 北京:科技技术出版社,1987.
- [11] 罗云滚,罗强,宗琦. 炮孔水耦合装药爆破破岩机理研究[J]. 安徽理工大学学报,2004,24(s):60-63.
- [12] 李夕兵. 凿岩爆破工程[M]. 长沙:中南大学出版社,2011.
- [13] 吕淑燃. 露天台阶爆破地震效应及控制研究[D]. 北京:北京理工大学,2004.