

石材爆破劈裂的力学特性分析

季荣生, 陈庆寿, 吕建国

(中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

摘 要: 石材的爆破劈裂法, 是目前石材开采中应用较为广泛的一种非机械开采方法。简要分析了在爆破劈裂开采荒料中, 石材荒料在爆生气体准静态作用下的受力特点, 并依此分析荒料开采的炸药量确定因素。

关键词: 石材开采; 爆破; 力学特征

中图分类号: TD872 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3746(2001)S1-0275-03

自炸药被发明以后便广泛应用于矿业生产, 在石材开采中也较多地应用爆破法作为分离工序将石材荒料从岩体中分离出来, 这种方法就是所谓的爆破劈裂法, 这种方法与劈楔法都是最为原始的采石方法。20 世纪初, 随着机械工业的迅速发展, 及爆破劈裂法对岩石不可避免的损伤, 机械法在石材开采中占据的地位越来越重, 在某些范围, 爆破法甚至被视为禁止采用的开采方法。如全国矿产储量委员会于 1990 年颁布的《饰面石材地质勘探暂行规定》中, 部标“JC 204--85 花岗石荒料”在技术要求中明确规定, 在开采花岗石饰面板材、工程建设、工艺雕刻和某些工业设备用料中禁用黄色炸药。这便对爆破劈裂法的应用造成了极大的限制。随着爆破技术的进步和新型爆破器材的出现, 新的爆破劈裂法又被广泛应用于石材开采。由于爆破劈裂法相对低的投入和较高的产出, 为广大的边远地区石材矿山所采用。

虽然石材开采中的爆破劈裂法在近 10 年中有了较大的发展, 但大部分石材采场在石材爆破劈裂中所考虑的主要问题是光面爆破孔间裂隙形成的机理, 对整个荒料在爆破中的力学特性考虑较少。因此, 没能很好地描述岩体爆破分离的客观规律。如何有效提高爆破劈裂法开采石材的质量, 首先要了解岩石荒料在爆破瞬间破裂与受力情况。

1 石材的爆破劈裂及力学模型

开采石材荒料的爆破劈裂法与一般采掘碎石的爆破有着很大差异, 其根本差异在于石材荒料开采中, 石材内部损伤有较严格的限制, 而后者将岩石爆

破成大量小块度的碎石。石材爆破劈裂法实质上也是光面爆破的一个应用实例。

图 1 所示是石材开采中最常见的布孔形式之一。爆破劈裂时通常为同段起爆或 A—B、B—C 微差起爆, 在爆炸应力波的作用下, 沿炮孔连线形成一条贯通裂缝, 在后期爆生气体作用下, 石材荒料从原岩中分离出来。

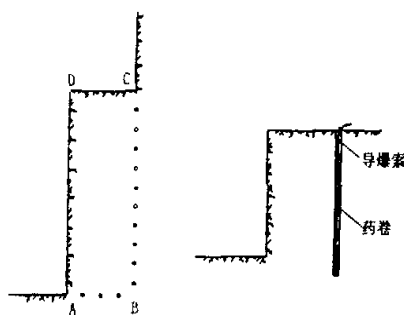


图 1 石材开采中最常见的布孔形式

假定孔间裂隙产生后, 爆生气体压力以一种准静态均布载荷形式作用于孔间初始裂隙, 受爆生气体准静压作用的石材荒料便可近似为悬臂梁, 这就是石材爆破劈裂的悬臂梁力学模型, 其受力情况如图 2 所示。这是一个典型的平面应变问题, 并满足下式:

$$\begin{cases} \frac{\partial \delta_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + x = 0 \\ \frac{\partial \delta_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\delta_x + \delta_y) = 0 \quad (2)$$

收稿日期: 2001-05-30

作者简介: 季荣生(1969-), 男(汉族), 浙江人, 中国地质大学(北京)讲师, 探矿工程专业, 硕士, 从事探矿工程教学与科研工作, 北京市海淀区学院路 29 号, (010)82321703。

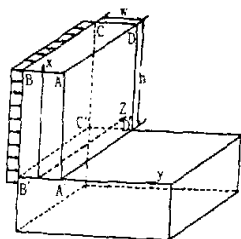


图2 石材爆破劈裂的悬臂梁力学模型

悬臂梁的A'B'C'D'面最易破坏,只要爆生气体静压达到足以破坏A'B'C'D'面而小于岩体的抗压强度便可起到将荒料从原岩中分离出来,而将对荒料的损伤控制在较小的范围内。

在该物理模型中, q 是不随 x 变化的常量,因此假设 δ_x 不随 x 而变,也就是假设 δ_y 只是 y 的函数: $\delta_y = f(y)$ 按应求解应力边界问题时有: $\partial^2 \varphi / \partial x^2 = f(y)$ 。假定体力不计,即 $x = y = 0$,在图2所示条件下可求出应力函数为: $\varphi = Ay^5 - 5Ax^2y^3 + By^3 + Cx^2 + Dx^2y$,代入边界条件可得出:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = \frac{2qy}{w^3} (2y^2 - 3x^2 + 3h^2 + \frac{3}{10}h^2) \quad (3)$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{q}{2w^3} (-4y^3 - w^3 + 3w^2y) \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = \frac{3qx}{2w} (\frac{4y^2}{w^2} - 1) \quad (5)$$

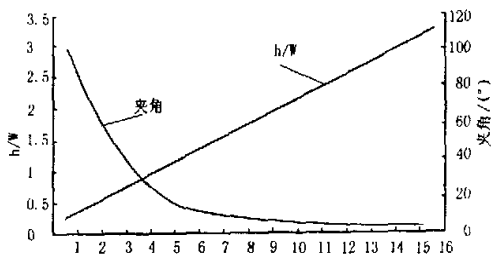
可以看出, δ_y 是一个与 z 无关的力,它造成岩体中质点受到沿 y 轴方向的拉或压应力,而 δ_x 则是一个与 x 、 y 量均相关的应力,其最大拉应力点 $(0, -w/2)$,最大压应力点 $(0, w/2)$,最大剪应力点 $(h, w/2)$,而岩石的抗拉强度小于抗剪切强度,更是小于抗压强度,因此以最大拉应力点作为炮孔贯通后岩体破坏的判断是合理的。最大拉应力点的应力状态是:

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{3h^2}{w^2} q - \frac{q}{5} \\ \sigma_y = q \\ \tau_{xy} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

从(6)式可以看出,在岩石最薄弱面上对岩石裂隙的产生起作用的只有 σ_x 和 σ_y ,当拉应力(σ_x 和 σ_y 的合力)大于岩石的抗拉强度时岩石于该点出现拉裂缝,当爆生气体的准静压作用足够长时,在爆生气体的准静压作用下裂隙继续扩张并最终导致裂隙与自由面贯通,于是石材荒料从原岩中分离出来。

如图2所示,石材荒料最理想的破裂面应当是A'B'C'D',这样石材荒料的体积最大,外形最为规

整,而且石材劈裂的炸药单耗也最低。若想沿这一理想的破裂面开裂, σ_x 和 σ_y 的合力方向必须是图2中的 y 轴方向,这就要求 σ_y 的值为零,也就是 q 值为零,但从石材荒料的受力情况分析可以发现理论上讲这是不可能的,因为只有当石材荒料不受力时 σ_y 的值才为零。理论上的破裂面应当与 σ_x 和 σ_y 的合力方向相垂直,而 σ_y 不可能为零,破裂面总会与A'B'C'D'有一个夹角,这一夹角的大小为 $\arctg(\sigma_y/\sigma_x)$,方向为垂直于 σ_x 和 σ_y 的合力方向。应用中只有尽可能增大 σ_x 和 σ_y 的比值来达到理想的破裂效果,从(6)式可以看出 σ_x 和 σ_y 的比值与 h/w 密切相关。实际破裂面与A'B'C'D'的夹角和 h/w 比值的存在关系如图3所示的曲线。从图3中不难看出,随着 h/w 值的增大,理论破裂面与A'B'C'D'夹角有明显减小的趋势, σ_x 和 σ_y 的合力方向接近于 y 轴。

图3 实际破裂面与A'B'C'D'的夹角和 h/w 值的关系曲线

2 炸药量计算

炸药量计算是爆破劈裂法开采石材中重要的一环,在计算中必须考虑2个方面:

- (1)各炮孔连线贯通;
- (2)石材荒料根部A'B'C'D'面附近产生贯穿裂隙。

采取空气间隔不偶合装药条件下炸药爆轰后,炮孔所受冲击压力为:

$$p = \frac{\rho_0 D^2}{8} \left(\frac{d_c}{d_b} \right)^6 \left(\frac{l_c}{l_c + l_a} \right) n \quad (7)$$

式中: $l_c + l_a$ ——炮孔深度; l_c ——装药长度; d_c ——药卷直径; d_b ——炮孔直径; D ——爆速; ρ_0 ——装药密度。

为保证在爆炸荷载作用下,炮孔连线方向能贯通,而其它方向损伤较小,炮眼壁上产生的冲击压力不应大于处于体积应力状态下岩石的抗压强度,即

$$p \leq K_b S_c$$

式中: K_b ——在体积应力状态下岩石抗拉强度的增大系数,计算时取 $K_b = 10$; S_c ——岩石单轴抗压强

度。

为形成贯穿裂隙,在相邻炮孔连线中点上产生的抗拉强度应等于岩石的抗拉强度。在这一条件下,相邻炮孔连线中点上产生的最大拉应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{2bp}{(B/d_b)^a} \quad (8)$$

式中: b ——切向应力与径向应力比值, $b = \frac{\mu}{1-\mu}$; a ——应力波衰减指数, $a = 2 - \frac{\mu}{1-\mu}$; μ ——岩石泊松比。

由式(8)与式(7)可求解出炮孔间距 B , 假设岩石的抗拉强度为 S_T

$$B = \left(\frac{2bp}{S_T} \right)^{1/a} d_b \quad (9)$$

当炮孔贯通后,爆生气体在裂隙面的准静压力为:

$$q = \frac{d_b}{B} \left(\frac{d_c^2}{d_b^2} \right)^n \frac{v_0 T}{273} \left(\frac{\rho_0}{1 - \alpha \rho_0} \right) \quad (10)$$

式中: d_c ——药卷直径; d_b ——炮孔直径; ρ_0 ——装药密度; v_0 ——炸药爆容; T ——炸药爆温; α ——炸药余容; B ——炮孔间距; n ——等熵指数。

当掌握被开采石材的基本力学参数后,由(6)、

(7)、(9)、(10)四式可以推算出理论上的炮孔间距和炸药单耗,并可参照这一理论值进行初期的试验爆破开采。在这个基础上,我们在节理中等发育、结构致密、静抗拉强度为 53.2 ~ 71.9 MPa、泊松比为 0.2 的广西某石英闪长岩岩体中进行了爆破劈裂法试验开采。当炮孔孔径为 38 mm,药包直径为 20 mm,炮孔距离为 35 ~ 40 cm,抵抗线为 1 ~ 1.2 m,炮孔深度为 1.8 m 时均获得了较好的切割效果。

3 结语

上述理论值对被采岩石的初次爆破开采设计具有重要指导意义,并为进一步工业化开采的方案优化设计提供重要依据。

参考文献:

- [1] 北京理工大学八系. 爆炸及其作用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.
- [2] 李冀祺, 马素贞. 爆炸力学[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [3] 王文龙. 钻眼爆破[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [4] 陶瑛霖. 凿岩爆破[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986.
- [5] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [6] 季荣生. 聚能爆破在石材切割应用中的试验研究[J]. 现代地质 —— 中国地质大学研究生院学报, 1998, (1).