

高速公路爆破中破碎块度控制的研究

葛克水, 陈庆寿

(中国地质大学 北京 工程技术学院 北京 100083)

摘 要: 从理论分析入手, 结合工程实践, 探讨了高速公路爆破中大块产生的原因, 并提出了控制破碎块度的有效措施。

关键词: 高速公路 爆破 破碎块度

中图分类号: U416.1+13 文献标识码: A 文章编号: 1000-3746(2002)05-0058-04

Research on Rock Fragmentation Grain Controlling of the Blast in Expressway/GE Ke-shui, CHEN Qing-shou (Engineering College, China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract: Causes of producing large-size fragmental rock in expressway blast were discussed with both of theory analysis and engineering practice. Effective measures to control the fragmental grain were presented.

Key words: expressway; blast; fragmental grain

在高速公路中, 爆破一般是在高山丘陵地带使用, 由于这些地方取土较难, 弃石不易, 因此, 一般高速公路在山区修筑时, 对爆破块度要求较严格, 所爆下的石块用于填筑路面, 不是作为弃方。

在我国, 由于液压碎石器、工频电流碎石器等新型二次破碎设备, 或处于研制阶段或尚未普遍推广, 目前爆破后的二次破碎仍主要沿用打眼放炮及裸露药包爆破方法, 前者工作条件较差, 劳动强度大; 后者炸药能量浪费大, 爆破效率低。它们的共同特点是安全性较差(爆破时飞石抛散方向及范围难以控制)。此外, 二次破碎还将导致整个爆破费用的提高, 而且大大降低了铲装、运输效率。因此, 如何降低大块率, 控制破碎块度, 这将关系到路面质量及铲运效率。

1 大块率的确定

超过要求的均称为大块, 大块的量占总爆破量的百分比(质量或体积比)称为大块率, 对其判别的标准依使用的性质不同而不同。用于填河或海筑路时, 其块径 > 1800 mm 才称为大块; 但对于一般的高速公路要求的爆破块径最大不能超过 33 cm, 超过此值即称为大块。在实际工作中, 大块率确定为多少合适呢? 这没有一个统一的标准, 这是因为其值受到爆破条件、岩石性质、岩石类型以及岩石节理裂隙的发育程度等多种因素影响。如果不考虑这些

因素的影响, 片面追求降低大块率, 就会使炸药单耗、钻孔量加大, 就有可能使凿岩爆破成本大大提高。因此, 根据具体情况, 确定一个合理的大块率标准, 不符合的块度经过二次破碎加以完成, 使凿爆成本在一个较为合理的水平上同时又能满足工期和施工质量要求即可。根据实际经验, 大块率控制在 3.5% 较为适宜。

我们对大量爆破后不合格大块的研究发现, 它们大多数都没有新鲜的开裂面, 因此, 可以认为它们是天然切割的大块。在有 5~6 个侧面的岩块中, 带有新鲜开裂面的不合格大块经常不超过其总数的 3%~5%, 在层状岩体中, 不合格大块的尺寸接近层厚的不多, 尺寸接近于大裂缝间距的占多数。可用下式近似估算爆前岩体中不合格大块的含量 (V_c)^[2]:

$$V_c = 100k_1/S_1(\%)$$

式中: k_1 ——不合格大块的总面积, m^2 ; S_1 ——爆区总面积, m^2 。

在爆堆上测量平均块度粒径 (d_p) 时, 可按下式计算^[2]:

$$d_p = \frac{\sum_i d_i c_i}{\sum_{i=1}^n c_i}$$

式中: d_i ——某一等级粒径, mm ; c_i ——对应某一等级的岩块占的百分比, %。

因此, 对于节理裂隙较发育的岩体, 常用破碎系

数(K_2)来描述爆岩的破碎程度:

$$K_2 = d_j / d_p$$

式中: d_j ——爆区测定的天然节理的平均距离, mm; d_p ——爆堆上测定的爆岩块度的平均尺寸, mm。

K_2 值越大, 相对说明爆破效果越好。

2 大块产生的原因和部位

对大量的爆破研究发现, 产生大块的原因主要有 2 种: 一是人为因素, 如爆破设计不合理和孔网参数过大, 炸药选用不对, 起爆方式不佳, 延迟时间不合理等; 二是自然因素, 如水文地质条件差, 可爆性差, 节理裂隙发育, 尤其是软弱夹层的存在造成爆轰气体过早地逸出, 造成大块。

大块产生的部位主要有 3 处: 第一处是爆区第一排, 主要是由于坡面的存在, 计算抵抗线小于实际抵抗线, 或是由于前一次爆破造成的后冲产生很多较大裂隙; 第二处是炮孔堵塞部位, 由于担心冲炮, 造成堵塞过长, 接受到的爆炸能量不足所致; 第三处是爆区最后一排孔后面, 由于爆破振动和后冲产生一些塌落大块。除此之外, 爆区周边也会产生一些塌落现象, 造成一些大块, 因此, 使大块率增加。

3 降低大块率的措施

3.1 针对自然因素

3.1.1 对含有水平层及节理或软夹层的岩体

除了适当缩小孔网参数外, 重点放在每个炮孔的装药结构上。可以采用将炸药化整为零, 分层装药, 多层堵塞, 使每层炸药均成为一个独立的密闭小室, 即使会有部分炸药空间处在层理、节理或软夹层上, 这些炸药的爆轰气体会过早地沿这些弱面逸出, 但它们的影响会大大减小, 而且这些弱面对于其它的药室相当于增添了新的自由面, 还有助于爆破效果的提高。另外, 从爆炸能向岩石传播的效率的影响理论讲, 采用将炸药化整为零, 多层装药的方法, 按照利文思顿的主张, 此装药法可视为球状药包, 而球状药包的爆轰波的作用方向同爆轰气体产物作用的方向(通常垂直于药包表面)完全一致, 它们都是从爆轰中心向四周传播的, 这对降低单位炸药消耗量和改善破碎块度是有利的。

该法的施工要点是: 整个炮孔用导爆索起爆, 因此, 导爆索需插入孔底, 然后装 20 cm 炸药, 便堵塞 20 cm 炮泥, 再装 20 cm 炸药, 再堵塞 20 cm 炮泥, 依次顺序装填下去, 直至炮孔口留出 1.5~1.8 m 的

炮孔堵塞即可。这样的操作, 降低了炸药单耗(大约降低一半)。为了保证整个爆区爆破效果, 须使孔网参数作些调整, 一般使有水平层及节理或软夹层岩体的孔距乘排距($a' \times b'$)小于或等于无裂隙存在岩体的孔距乘排距值($a \times b$)的 2/3 即可。

$$\text{即: } a' \times b' \leq (2/3) \cdot (a \times b)$$

这样, 凿岩工作量略有增大, 但完全可以消除水平节理或软夹层的影响。

3.1.2 非水平层理、节理或裂隙的岩体

建议采用如下公式来确定爆破参数^[4]。

(1) 单位炸药消耗量 q (kg/m^3) 的确定

$$q = 0.9 \times \frac{\sigma_T \delta}{EQd_k} \cdot \left(\frac{1-\mu}{\mu} \right)^2 + 0.2 \times 10^{-7} \times \frac{Ed_0}{\delta Q} \cdot \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

式中: σ_T ——岩石试样的极限抗压强度, Pa; δ ——岩体中裂隙张开值, m; μ ——泊松比; E ——扬氏弹性模量, Pa; Q ——炸药爆热, kJ/kg ; d_0 ——被节理裂隙切割的自然单岩尺寸, m; d_k ——控制岩块的尺寸, m; d ——炮孔直径, m; a ——炮孔间距, m。

(2) 炮孔间距(a)的确定

$$a = 7D\rho d \cdot \frac{\mu}{\sigma_T(1-\mu)} \cdot \sqrt{\frac{d_k}{\delta}} + d_0$$

式中: D ——炸药爆速, km/s ; ρ ——装药密度, t/m^3 。

(3) 排距(b)的确定

$$b = 0.866a$$

(4) 最小抵抗线(W)的确定

$$W = a(1.1 \sim 1.2)$$

(5) 微差间隔(τ)的确定

$$\tau = 57.5 \left(\delta / d_0 \right)^{3/2} k r^2 / (dc)$$

式中: k ——爆破能几何差异的系数, 对于平面药包 $k=1$, 圆柱药包 $k=2$; c ——岩石试样的纵波波速, m/s ; r ——第一组药包到后一组药包爆破时破坏区最远边界的距离, m, $r=1.5b$ 。

(6) 爆下岩块的平均尺寸(d_p)的确定

$$d_p = d_0 - 2.5 \times 10^{-5} \times \left[D\rho \cdot \frac{d}{a} \cdot \frac{c\mu}{\sigma_T(1-\mu)} \right]^2 \cdot \frac{d_0^2}{\delta}$$

3.2 针对人为因素

3.2.1 对坡面较缓的高台阶爆破, 为了克服底盘抵抗线过大可采取 2 种办法

3.2.1.1 炮孔底部采用药壶爆破法

使得炮孔底部装药量 $Q_{\text{底}}$ 满足下式:

$$Q_{\text{底}} = q_{\text{松}} W^3$$

式中: $q_{\text{松}}$ ——松动爆破炸药单位消耗量, kg/m^3 ; W

——底盘抵抗线 m 。

药壶爆破法在台阶爆破中,由于装药集中在底部,所以台阶上部易产生大块,特别是高台阶药壶爆破法更是如此。因此,为了调整炸药能量分布,提高破碎质量,通常是集中药包和延长药包结合使用,即在同一炮孔内,装 2 层或多层药包,底部为集中药包,上部为延长药包。装药结构如图 1 所示。

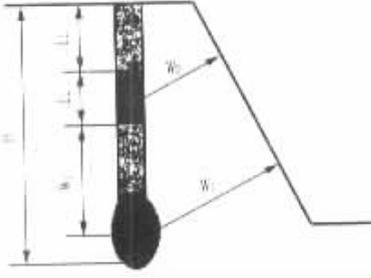


图 1 高台阶深孔药壶装药结构

分层综合装药结构多用于松动爆破,其药量计算方法为^[1]:

$$Q_1 = q_{松} W_1^3$$

$$Q_2 = q_{松} a W_2 (l_1 + l_2)$$

式中: Q_1 ——下层集中药包装药量, kg; Q_2 ——上层延长药包装药量, kg; W_1 ——下层药包最小抵抗线, m; W_2 ——上层药包最小抵抗线, m; a ——药包间距离, m; l_1 ——炮孔堵塞长度, m; l_2 ——延长药包的装药长度, m。

同一炮孔总装药量($Q_{总}$):

$$Q_{总} = Q_1 + Q_2$$

两层药包的间距一般取为 W_1 , 但应保证孔口堵塞长度介于两个最小抵抗线之间, 即:

$$W_2 < l_1 < W_1 \text{ 或 } l_1 \geq l_2/2$$

如果不能满足上述关系, 就要缩小药包的层间距离, 即可使层间距 $< W_1$, 以保证炮孔有足够的堵塞长度。两层药包间可用干砂堵塞, 不必捣实。

3.2.1.2 采用炮孔束爆破法

一般为克服缓坡面底盘抵抗线过大的问题, 可采用在第一排平行密集束状孔爆破法, 即在同一位置钻 2~3 个炮孔, 孔距 $a = (3 \sim 5)d$ (d 为炮孔直径), 束心距(S):

$$S \leq 1.53W$$

由于此法对应力波作用时间较长, 能量利用充分, 因此, 可以提高破碎质量, 降低大块, 炮孔布置如图 2 所示。

3.2.2 采用宽孔距窄排距爆破法

一般炮孔密集系数 m 取 3~5 较为适宜。

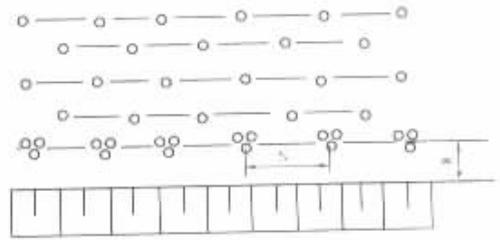


图 2 炮孔束爆破法

3.2.3 采用较好的起爆方式

为了增加爆岩的二次碰撞挤压的机会, 一般可采用 V 形、梯形、斜线或逐孔起爆法, 以减少后冲, 提高破碎效果。

3.2.4 采用合理的间隔时间

合理的起爆间隔时间应使前段药包爆破破碎体已脱离原岩体, 新自由面已经形成, 但前段药包爆轰产物的准静态压力所造成的残余应力尚未消失, 而且, 不同段药包爆破后, 在岩体中产生的地震波的主震相能够相互错开, 在岩体内引起的震动强度较小。

因此, 合理的间隔时间(t_h)为:

$$t_h = t_d + L/V_c = kW_d + L/V_c$$

式中: t_d ——底盘岩体开始移动时间, ms; $t_d = kW_d$; k ——与岩性有关的系数, 当 $f = 16 \sim 18$ 时, $k = 2.8$ ms/m, 当 $f = 10 \sim 12$ 时, $k = 3.2$ ms/m; W_d ——底盘抵抗线, m; V_c ——平均裂缝张开速度, 根据摄影资料, 在 $f = 10 \sim 12$ 的岩体内 $V_c = 3.3 \sim 3.4$ s; L ——标志爆破体已脱离原岩体, 新自由面形成所需裂缝宽度, 一般可取 $L = 10$ mm。

3.2.5 采用多排微差挤压爆破

使用多排微差挤压爆破时应注意下面几个问题^[3]。

(1) 渣堆厚度及松散系数

$$B = K_c W_d (\sqrt{2\zeta q E E_0 / \sigma} - 1)$$

式中: B ——渣堆厚度, m; K_c ——岩石松散系数; ζ ——爆炸能利用系数, 取 $0.04 \sim 0.2$; E ——岩体弹性模量, kg/m²; E_0 ——炸药热能, kJ/kg; σ ——岩体极限抗压强度, kg/m²。

对于渣堆, 松散系数 $K_c > 1.15$ 时爆破效果良好; $K_c < 1.15$ 时, 应力波透过太多, 爆破效果恶化。

(2) 单位炸药消耗量(q)

由于挤压爆破会产生较大的透射波损失, 而且还要推压渣堆为后续爆破创造空间。因此, 需要比一般微差爆破大 20%~30%。

(3) 孔网参数

多排孔微差挤压爆破的孔网参数和一般微差爆

破原则相似,主要差别是第一排和最后一排钻孔的参数宜小些。

(4) 微差间隔时间

由于挤压爆破要推压前面渣堆,因而它的起爆间隔时间要比普通微差爆破长,一般长 30%~50%,常采用 50~100 ms。

(5) 爆破排数

挤压爆破的排数应在 4 排以上。

3.2.6 采取炮孔内空气间隔装药,减小堵塞长度

试验表明,采用空气间隔装药具有如下优点:

(1) 降低大块产出率,改善破碎均匀度,从而使装岩效率得到提高;

(2) 降低单位炸药消耗量;

(3) 新自由面受到较少的破坏,可降低后冲作用。

由于爆破效果是受到多方面因素控制的,采用空气间隔装药进行爆破时必须根据岩石性质、爆破要求和炸药性能等条件加以考虑。例如在坚韧难爆的岩石中,炸药爆速或装药密度过低将导致破碎能力下降。因此,正确选用空气间隔大小是极为重要的,马尔钦卡等人主张在露天台阶深孔爆破时,空气间隔长度对药包长度的最优比值应取为: $l_{\text{空}}/l_{\text{药}} =$

0.17~0.4,岩石愈难爆,取值应愈小。

4 结语

降低高速公路中的大块率可能还有很多办法,笔者只是列出几种比较常用的方法,而且它们并不是孤立使用的,更多的是以上几种方法的联合。另外,对于具体爆破工程来讲,确定一个合理的容许大块率数值是必要的。虽然爆破大块率低,对于获得良好的生产效果是有利的,但这并不是说没有大块(实际上很难做到)其效果就是最好,应根据岩体的具体情况、工艺及设备条件,确定一个合理值。因此,综合经济效益应作为确定容许大块率的主要标准。

参考文献:

- [1] 中国力学学会工程爆破专业委员会. 爆破工程[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.
- [2] A. H. 哈努卡耶夫. 矿岩爆破物理过程[M]. 刘殿中译. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [3] 李宝祥,等. 金属矿床露天开采[M]. 北京:冶金工业出版社,1978.
- [4] B. H. 库图佐夫,等. 工业爆破设计[M]. 顾倚鳌,等译. 北京:中国建筑工业出版社,1986.

《中国地质灾害与防治学报》

欢迎订阅 欢迎投稿

《中国地质灾害与防治学报》创刊于 1990 年。该学报是由原国家科委批准、中国地质灾害研究会主办,反映地质灾害学科并向国内外公开发行的学术性刊物。专门登载有关自然和人类工程-经济活动诱发的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、地震、地下水污染、海水入侵、矿井突水、水土流失、土地沙漠化等地质灾害的发生、发展机制、监测、预报、防治新技术、新方法以及生态地质环境保护方面的科研成果或学术论文。主要栏目包括理论探讨、专题研究、城镇工矿与灾害、道路工程与灾害、典型实例分析、监测技术、防治技术与方法等。是我国从事地质灾害防治及生态地质环境保护方面的权威性刊物。已被中国科学文献计量评价研究中心等认定为《中国科学引文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊。欢迎从事科研、教学、生产实践的广大科技人员和读者踊跃投稿、订阅。

本刊为季刊,A4 版本,彩色封面,每期 96 页 19 万字左右,定价 40.00 元/年。凡欲订 2003 年度期刊者,请从当地邮局订购,邮发代号 82-362,欲订过期刊物及合订本者,可随时与编辑部联系。

此外我刊已与中国学术期刊(光盘版)电子杂志社共同编辑出版了《中国地质灾害与防治学报》世纪光盘版”。其内容包括 1990~2000 年共 11 卷 49 期(含增刊)的全部内容,约 830 万字。这不仅是一部全面、完整的集成数字化期刊,而且也是珍贵历史文献资料的全文数据库。对于充分开发和利用这一信息资源,促进地质灾害防治与地质环境保护事业的发展具有重要意义。特别是对科研单位、院校和从事地质灾害防治与地质环境保护工作的企事业单位以及政府机关管理部门更有科学价值。该光盘含加密卡,具查询、检索及下载等功能。定价 400 元/套。凡订购 3 套以上按 95% 优惠,5 套以上按 90% 优惠。每份(张数据不限)另加邮费 20 元。需订购者请直接与编辑部联系。

地址 北京市海淀区大慧寺 20 号 邮政编码 100081

联系人 钟立勋 邓霭松 联系电话 (010) 62171051 62170025 图文传真 (010) 62171051

本刊网址 <http://zgdh.chinajournal.net.cn> <http://zgdzzhyfzxb.periodicals.net.cn>

电子信箱 zgdh@chinajournal.com.cn zgdzzhyfzxb@periodicals.com.cn