

# 斜线起爆网路与布孔方式应用探讨

丁汉堃, 石磊

(北京中科力爆炸技术工程有限公司, 北京 101318)

**摘要:**斜线起爆网路实质是改常规爆破为宽孔距爆破。为了发挥该网路的特点以及探究与之相匹配的最佳布孔方式, 引入位移参数  $a_{\Delta}$ , 揭示布孔方式的内在联系。详细分析各种等时线设计特点, 指明其优缺点, 进而推导出  $a_{\Delta} \sim m'$  关系式, 使起爆参数  $m'$  与布孔方式相对应, 为宽孔距爆破设计提供了计算工具。

**关键词:**斜线起爆网路; 位移参数; 布孔方式; 起爆参数

DOI:10.13828/j.cnki.ckjs.2021.06.035

## 0 引言

在爆破工程中, 起爆网路选择与布孔方式确定是其中重要的工艺环节。二者匹配或一一对应是爆破工程的重要研究课题。起爆网路的作用是控制炸药能量集中或分散释放, 体现在炮孔的爆炸顺序(形式)以及爆炸时刻。布孔方式是为炸药能量提供释放空间, 控制着炮孔炸药能量对介质作用范围以及炮孔相互影响的空间位置, 完成对岩体做功使其发生变形破碎, 并引发对后爆炮孔和待爆工作面的影响。总之只有起爆网路和布孔方式搭配得当, 才能取得最佳的爆破效果。

斜线起爆网路亦称对角线顺序起爆网路, 从爆区侧翼开始, 同时起爆的各排炮孔均与台阶坡顶线斜交, 毫秒延期爆破为后爆炮孔相继创造了新的临空面。其主要优点是在同一排炮孔间实现了孔间延期, 最后的一排炮孔也是逐孔起爆, 因而减少了后冲, 有利于下一爆区的穿爆工作。

## 1 布孔方式演变

爆区炮孔位置设计是在合理的孔网参数(孔距  $a$  和排距  $b$ ) 基础上, 探究与起爆网路相适应的布孔方式, 依此确定孔位。当前爆破施工中常用的布孔方式有三角形(梅花形)和方形(正方形或矩形)两种。笔者认为上述两种或多种布孔方式是由相邻两排炮孔中相近4个炮孔组成的单元四边形演变而成的, 不同的是位移参数(即前后两排炮孔水平距离差  $a_{\Delta}$ ) 不同而已, 如图1所示。

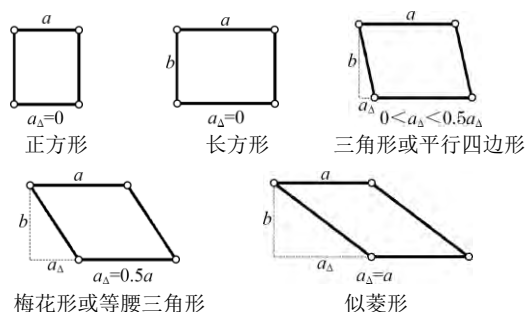


图1 布孔方式演变

## 2 等时线的选择

对网路等时线进行分析, 不仅可准确判断爆破瞬间炮孔临空面形态、炮孔抛掷方向以及爆堆形状等, 也可综合检验网路和布孔方式。

斜线网路的等时线, 在起爆时将孔网参数(孔距  $a$  和排距  $b$ ) 转变成起爆参数  $a'$  和  $b'$ 。组合不同位置的等时线, 对起爆参数产生不同程度的变化, 进而影响爆破效果。

斜线起爆网络设计公式见表1, 工程实例设计参数见表2。

### 2.1 以长对角线为等时线的网路

以单元平行四边形长对角线为等时线的斜线网路如图2所示, 其网路特点是起爆时将常规爆破转变成宽孔距爆破, 充分发挥了该技术破碎效果良好的特点, 是爆破设计中常用的一种斜线网路。

从表1和表2可知, 长对角线网络布孔参数得到优化,  $a' > a$ ,  $b' < b$ ,  $m' > m$ , 起爆参数呈现出宽孔距、小抵抗线爆破的技术特征。这种网路适合在两面临空地地形夹角  $\geq 90^\circ$ , 应用效果良好。

表 1 斜线起爆网路设计公式

等时线种类	布孔参数				起爆参数		
	$a$	$b$	$m$	$a_{\Delta}$	$a'$	$b'$	$m'$
长对角线	$a$	$b$	$\frac{a}{b}$	$(abm' - b^2)^{1/2} - a$	$[(a + a_{\Delta})^2 + b^2]^{1/2}$	$\frac{ab}{a'}$	$\frac{(a + a_{\Delta})^2 + b^2}{ab}$
短对角线	$a$	$b$	$\frac{a}{b}$	$a - (abm' - b^2)^{1/2}$	$[(a - a_{\Delta})^2 + b^2]^{1/2}$	$\frac{ab}{a'}$	$\frac{(a - a_{\Delta})^2 + b^2}{ab}$
边线	$a$	$b$	$\frac{a}{b}$	$(abm' - b^2)^{1/2}$	$(a_{\Delta}^2 + b^2)^{1/2}$	$\frac{ab}{a'}$	$\frac{a_{\Delta}^2 + b^2}{ab}$

表 2 工程实例设计数值

等时线种类	布孔参数/m			起爆参数/m			备注	
	$a$	$b$	$m$	$a_{\Delta}$	$a'$	$b'$		$m'$
长对角线	4	3	1.3	1	5.8	2.1	2.8	宽孔距爆破效果最好
短对角线	4	3	1.3	1	4.2	2.9	1.4	与常规爆破效果类似
边线	4	3	1.3	1	3.2	3.8	0.84	爆破效果最差

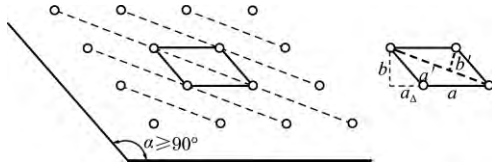


图 2 长对角线为等时线的斜线网路

数  $a' < a$ ,  $b' > b$ ,  $m' < m$ 。起爆抵抗线  $b'$  比布孔网路  $b$  要大, 致使爆破效果远不及常规爆破。特别关注, 当采用梅花形 (等腰三角形) 布孔方式施工, 进行连线操作时, 要避免连接成边线起爆网路, 造成不良爆破后果。

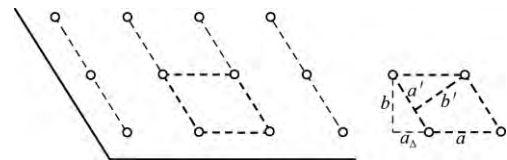


图 5 边线为等时线的网路

### 2.2 以短对角线为等时线的网路

以单元平行四边形短对角线为等时线的网路见图 3。从表 1 和表 2 可以看出, 短对角线布孔参数优化程度略小。因此所显现的爆破效果与常规爆破相差无几。遇到这种情况, 要分区域或分段进行地形改造, 将两面临空面夹角  $< 90^\circ$  改造成  $\geq 90^\circ$  的地形, 按 2.1 节的方法爆破施工, 见图 4。

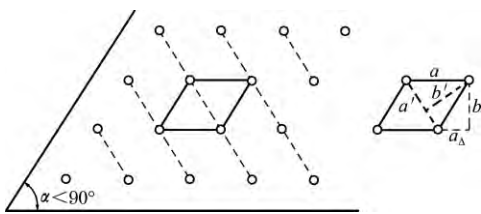


图 3 短对角线为等时线的斜线网路

### 3 应用要点

#### 3.1 参数关系公式的应用

$a_{\Delta} \sim m'$  计算公式见式 (1) 和式 (2)。

$$a_{\Delta} = \sqrt{a \cdot b \cdot m' - b^2} - a \quad (1)$$

$$m' = \frac{(a + a_{\Delta})^2 + b^2}{a \cdot b} \quad (2)$$

式中,  $m'$  为起爆网路孔间密度系数。

式 (1) 是在 2.1 节条件下推导建立的, 表示在孔网参数  $a$  和  $b$  一定时, 宽孔距爆破技术特征参数  $m'$  与布孔位移参数  $a_{\Delta}$  的关系。

在实际操作时, 以设计的  $m'$  值通过式 (1) 求得  $a_{\Delta}$ , 进而确定间排距为  $a \times b$  的布孔方式, 致使起爆参数与布孔方式相匹配。

典型布孔方式  $a_{\Delta} \sim m'$  的计算公式与数据见表 3。

表 3  $a_{\Delta} \sim m'$  关系计算公式

布孔方式	$a_{\Delta}$	$m'$	$m$	$m'$
矩形	0	$m + \frac{1}{m}$	1.25	2.1
梅花形	$\frac{1}{2}a$	$2.5m + \frac{1}{m}$	1.25	3.9
近菱形	$a$	$4m + \frac{1}{m}$	1.25	5.8

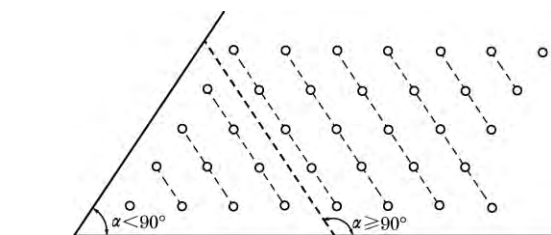


图 4 分区域或分段地形改造

### 2.3 以边线为等时线的网路

以单元平行四边形边线为等时线的斜线网路如图 5 所示。从表 1 和表 2 可以看出, 边线布孔参

### 3.2 应用中的注意事项

逐孔起爆通常采用斜线起爆网路, 在实施过程中不仅要关注前述内容, 还要关注下述问题。

(1) 逐孔爆破炮孔时间间隔选取遵守孔间微差  $3\sim 8\text{ ms/m}$ , 排间微差  $8\sim 15\text{ ms/m}$ 。选用高精度雷管或数码电子雷管等要避免出现重段或跳段现象。

(2) 逐孔爆破的特点是任一炮孔在爆前已处于两面临空状态, 孔内爆破能以两侧抵抗线比例进行分配, 形成不同的爆破效果。因此只有在间距和排距相等或相近时, 才能形成均匀的破碎效果。

## 4 应用实例

### 4.1 老爷仔山爆破工程

此山位于珠海机场旁, 花岗岩坚硬, 由于台阶爆破造成两面临空的爆区较多, 为充分发挥临空面的拉伸破碎作用, 本工程采用斜形同段起爆网路。初期采用梅花形布孔, 爆后石料块度大, 不适合装运, 影响了工程进度。观察发现地形和连线位置不同, 造成了如图 3 和图 5 所示的情况, 在起爆时抵抗线并未减小, 没有起到斜线起爆网路的优势作用, 因此出现了爆后石料块度大且较多的问题。随后将两临空面夹角  $< 90^\circ$  的地形改造成  $> 90^\circ$  的地形, 如图 4 所示, 并在连线时谨慎分析长对角线和短对角线的炮孔位置, 进行如图 2 所示的长对角线连接的斜线网路, 爆破参数由  $a \times b = 3\text{ m} \times 2.5\text{ m}$  调整为  $a' \times b' = 4.3\text{ m} \times 1.7\text{ m}$ , 抵抗线缩短, 单耗值增大, 破碎效果显著提高。

### 4.2 石塘山体爆破工程

石塘山体位于浙江温岭, 以凝灰岩体为主, 夹杂其他成分, 该项工程特点是山顶存在有人居住的房屋, 房屋多为石砌结构, 距离爆区红线约为  $10\text{ m}$ ,

因此控制爆破振动成为工程施工的关键。针对控制振速  $v \leq 1\text{ cm/s}$ , 以及每炮测振的严格技术要求, 经研究改多孔同时起爆为逐孔起爆, 改多排孔爆破为  $2\sim 3$  排孔爆破, 距离房屋近处的爆区炮孔采取孔内分段间隔装药。采用斜形逐孔起爆网路, 如图 2 所示, 抵抗线缩小, 由  $3\text{ m}$  变为  $2.4\text{ m}$ , 爆破作用指数增大, 逐孔爆破中单孔爆破时已处于两面临空状态, 能量分散, 起到了综合降振作用。工程实践表明, 采取以上措施后, 工程施工始终满足民房处质点振动速度  $\leq 1\text{ cm/s}$  的要求。

## 5 结论

基于对斜线起爆网路和布孔方式的简要分析, 揭示了宽孔距爆破技术在不同的布孔方式, 不同的等时线状态下产生不同爆破效果的影响。为了探索网路与布孔的匹配, 引入位移参数  $a_\Delta$ , 并推导出  $a_\Delta \sim m'$  关系式, 为爆破设计提供了计算工具。选定起爆参数  $m'$  计算  $a_\Delta$  得到最佳布孔方式, 使二者对应, 达到最佳爆破效果, 本文研究内容可为采用斜线起爆网路的爆破工程提供参考。

### 参考文献:

- [1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京: 北京冶金工业出版社, 2013.
- [2] 丁汉堃, 张阳, 西子阳. 基于能量分布的深孔预裂参数优化研究[J]. 采矿技术, 2017, 17(5): 120-122.
- [3] 张志呈, 熊文, 吝曼卿. 浅谈逐孔起爆技术时间间隔的选取[J]. 爆破, 2011, 28(02): 45-48+71.
- [4] 丁汉堃, 张阳, 李超. 留墙爆破中墙体厚度计算方法的探讨[J]. 采矿技术, 2020, 20(2): 146-148.
- [5] 丁汉堃, 季青. V 形起爆网路分析及其应用[J]. 采矿技术, 2021, 21(2): 149-151.

(收稿日期: 2021-07-12)

作者简介: 丁汉堃(1946—), 男, 高级工程师, 主要从事工程爆破技术与施工的应用研究, Email: 1915311258@qq.com.