

# 露天轮廓爆破边坡相交处炮孔空间参数算法探讨

丁汉堃, 石磊, 单鹏飞, 吴思金

(北京中科力爆炸技术工程有限公司, 北京 101318)

**摘要:**针对边坡坡面相交处预裂爆破或光面爆破成型中的问题,通过工程实例分析结合有关测量及理论研究,提出以相交点炮孔为主布孔的爆破施工方案,并对平面坡与平面坡、平面坡与曲面坡、曲面坡与曲面坡3种类型相交处的炮孔空间参数(倾角和定位角)推导出计算公式,为特殊位置的定位放线、布孔和钻孔提供了依据。由此算法与CAD图解法所得值互为校核,使其炮孔融入两侧坡面炮孔之中成为真正的公共炮孔,在实际开挖工程中改善了边坡相交处的超欠挖不良现象,达到了工程设计的成型效果。

**关键词:**轮廓爆破; 边坡相交; 定位炮孔; 定位角

DOI:10.13828/j.cnki.ckjs.2022.06.041

## 0 引言

在矿山爆破工程中多关注矿石产量以及与产量有关的爆破参数,而在基建公路隧道爆破工程中,关注的重点是爆后保留的形状以及影响定型的外形标准和内在质量的爆破参数。

轮廓爆破也称周边爆破,是利用预裂爆破或光面爆破技术具有的能将“体”切割成“面”的特点实施的爆破。在核电站爆破开挖工程中,常常遇到两平面相交形成阳角、阴角规整或者平面坡与半圆坡相交平顺过渡问题。以往的做法是用“切刀”法布孔施工。对阳角施工,在两边坡相交点,各自边坡延长线上继续布孔,一直到水平距离达到两边坡相交底角的顶点位置。对阴角施工,在相交点内两边坡线上布孔施工,然后以边坡坡度钻孔装药爆破。这个过程如同沿炮孔连线,以坡度角向下切二刀像切豆腐一样完成轮廓爆破。这种方法的特点是相交点不打孔,此处轮廓形状完全由两侧“切刀”爆破行为决定。爆破后有时会出现“秃角”等现象,影响爆破定型效果。通过对工程实例分析,结合两坡面相交的测量知识研究,提出以相交点炮孔为主的布孔施工方法,即相交处炮孔以独立的空空间参数融入两边坡中并参与爆破,达到两边坡平顺过渡改善轮廓定型的目的。“切刀”式布孔如图1所示。

炮孔空间参数是指炮孔倾角(边坡比  $i$ )和定

位角。其数值以往在CAD工程图测量中取得。现采用算法求出。施工中二者互为校核选定的炮孔空间参数更为准确。

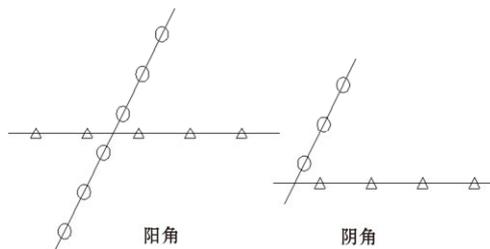


图1 “切刀”式布孔图

以下内容针对平面坡与平面坡、平面坡与曲面坡、曲面坡与曲面坡相交的3种类型,推导出相交处炮孔空间参数设计计算公式。

## 1 二边坡相交处A点炮孔

二边坡相交时每一坡面的炮孔以相同的倾角定位角进行钻孔作业。唯有边坡相交处A点的一个炮孔与其他两侧众多炮孔不同,具有独立的倾角定位角且与二侧炮孔融合并承接起到二边坡平顺过渡的作用。把握A炮孔位置的准确性直接影响二边坡相交定型效果。因此,A炮孔就显得异常重要,它不但要求空间参数准确,而且要求钻孔人员技术熟练。

A炮孔在爆破施工中也起到重要作用,为保证坡面完整平顺,在二边坡阳角处设定A炮孔为空孔,对裂缝起到导向和终止作用,以改善“秃角”现

象, 在阴角处则装药爆破消除“欠爆”现象。

## 2 两平面坡相交

### 2.1 两平面坡垂直相交

两平面坡(坡比  $i_1=1:a$ ,  $i_2=1:b$ ) 垂直相交。如图 2 和图 3 所示。求解 A 点处炮孔边坡系数( $i_A=1:c$ ) 和定位角  $\alpha$ 。

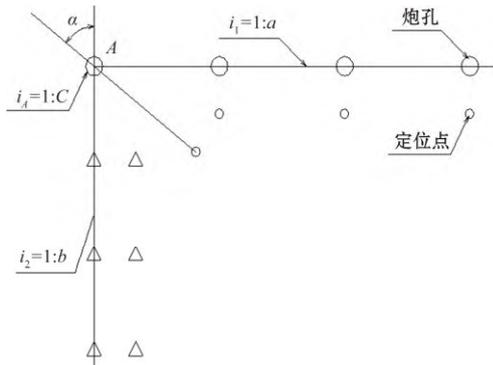


图 2 放线布孔

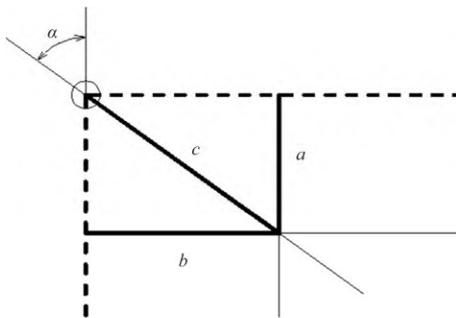


图 3 c 和  $\alpha$  计算

从图 3 中得 A 炮孔边坡系数和定位角:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{b}{c} \quad (2)$$

### 2.2 两平面坡锐角相交

两平面坡锐角相交, 如图 4、图 5 所示。求解 A 点处炮孔边坡系数  $c$  和定位角  $\alpha$ 。

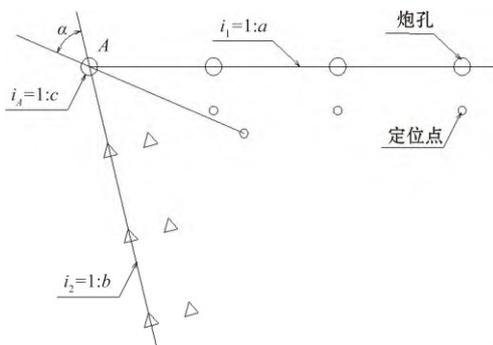


图 4 放线布孔

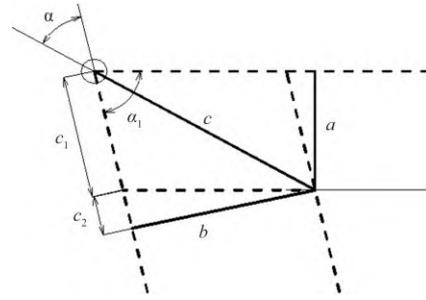


图 5 c 和  $\alpha$  计算

由图 5 得 
$$c_1 = \frac{\alpha}{\sin \alpha_1} \quad (3)$$

$$c_2 = \frac{b}{\tan \alpha_1} \quad (4)$$

$$c_1 + c_2 = \frac{a}{\sin \alpha_1} + \frac{b}{\tan \alpha_1} \quad (5)$$

又得 
$$c^2 = b^2 + (c_1 + c_2)^2 \quad (6)$$

因此, A 炮孔边坡系数和定位角:

$$c^2 = \sqrt{b^2 + (c_1 + c_2)^2} \quad (7)$$

$$\alpha = \arctan \frac{b}{c_1 + c_2} \quad (8)$$

### 2.3 两平面坡钝角相交

两平面坡钝角相交, 如图 6、图 7 所示。求解 A 点处炮孔边坡系数  $c$  和定位角  $\alpha$ 。

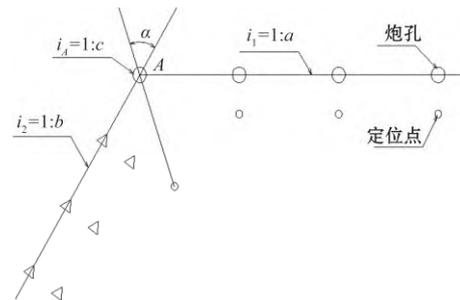


图 6 放线布孔

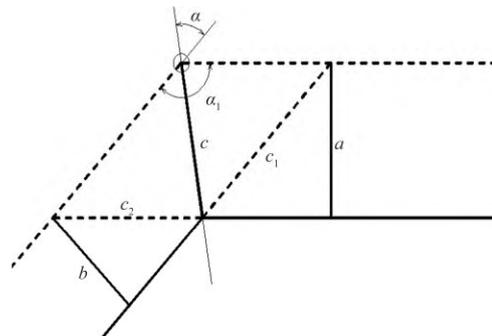


图 7 c 和  $\alpha$  计算

由图 7 得  $c_1 = \frac{a}{\sin(180 - \alpha_1)}$  (9)

$$c_2 = \frac{b}{\sin(180 - \alpha_1)} \quad (10)$$

$$c^2 = c_1^2 + c_2^2 - 2c_1c_2 \cos(180 - \alpha_1) \quad (11)$$

因此 A 炮孔边坡系数和定位角:

$$c = \sqrt{c_1^2 + c_2^2 - 2c_1c_2 \cos(180 - \alpha_1)} \quad (12)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{b}{c} \quad (13)$$

### 3 平面坡与曲面坡相交

平面坡和曲面坡相交, 曲面底圆心 O 点, 半径 r, 圆心距平面坡距离 h, 如图 8、图 9 所示。求解相交处 A 点炮孔边坡系数 c 和定位角  $\alpha$ 。

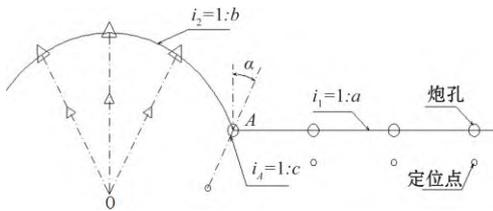


图 8 放线布孔

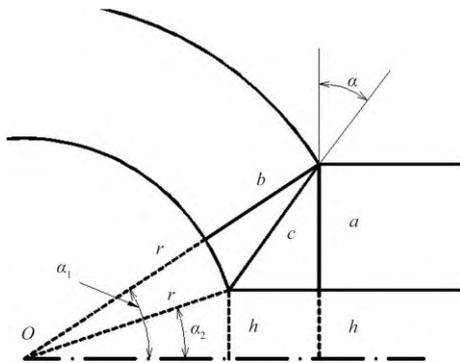


图 9 c 和  $\alpha$  计算

由图 9 得  $\alpha_1 = \arcsin \frac{a+h}{r+b}$  (14)

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{h}{r} \quad (15)$$

$$c^2 = (r+b)^2 + r^2 - 2(r+b) \cdot r \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (16)$$

因此 A 炮孔边坡系数和定位角:

$$c = \sqrt{(r+b)^2 + r^2 - 2(r+b) \cdot r \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (17)$$

$$\alpha = \arccos \frac{a}{c} \quad (18)$$

### 4 两曲面坡相交

两曲面坡相交, 半径为  $r_1$  和  $r_2$ , 圆心距离  $O_1O_2=L$ , 如图 10、图 11 所示。

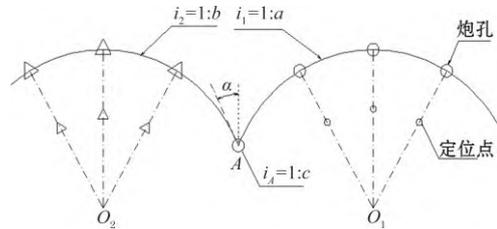


图 10 放线布孔

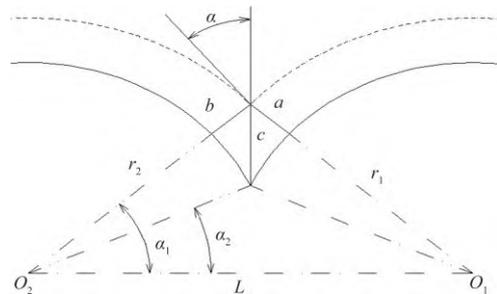


图 11 c 和  $\alpha$  计算

由图 11 得:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{(r_2 + b)^2 + L^2 - (a + r_1)^2}{2L(r_2 + b)} \quad (19)$$

$$\alpha_2 = \arccos \frac{r_2^2 + L^2 - r_1^2}{2r_2L} \quad (20)$$

$$c^2 = (r_2 + b)^2 + r_2^2 - 2(r_2 + b) \cdot r_2 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (21)$$

因此, A 炮孔边坡系数和定位角:

$$c = \sqrt{(r_2 + b)^2 + r_2^2 - 2(r_2 + b) \cdot r_2 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (22)$$

$$\alpha = \arccos \frac{c^2 + (a + r_1)^2 - r_1^2}{2c \cdot (a + r_1)} \quad (23)$$

### 5 应用实例

海阳核电站位于山东海阳市郊区, 核岛和常规岛负控爆破施工中更为关注的是应用预裂爆破技术控制基坑轮廓定型的效果。

核岛基坑南北走向, 底部开挖长度为 81.03 m, 南侧宽为 30.74 m, 北侧宽为 38.78 m, 西侧呈直线与圆弧相交型, 开挖半径为 23.62 m, 圆心点距南北侧距离分别为 43.55 m 和 37.56 m, 距东侧为 28.42

m, 坡度为 1:0.5。基坑周边坡以直角相交, 仅西侧中部以曲面坡两端与平面坡相交, 形成 6 个 A 炮孔。如图 12 所示。

为保证施工中定位放线布孔打孔的准确性, 以计算法和图解法二种方法确定相交处炮孔空间参数。预裂爆破打孔作业时, 不断核实调整钻杆前后位置 (倾角) 和左右位置 (定位点), 相交处 A 炮孔位置要依据不同空间参数独立进行核实调整 (见表 1)。



图 12 核岛负挖结构

表 1 相交处 A 炮孔孔间参数

相交点	边坡系数	定位角/(°)
A <sub>1</sub>	0.70	44.7°
A <sub>2</sub>	0.59	31.7°
A <sub>3</sub> 至 A <sub>6</sub>	0.71	45°

定位放线后按预裂爆破设计基本参数, 孔径  $\Phi 76 \text{ mm}$ , 孔间距  $a=0.6 \text{ m}$ , 线装药密度  $Lp=0.3 \text{ kg/m}$ , 堵塞长度  $l_1=1.5 \text{ m}$  等进行布孔、打孔以及装药起爆等全过程作业, 如图 13 所示。

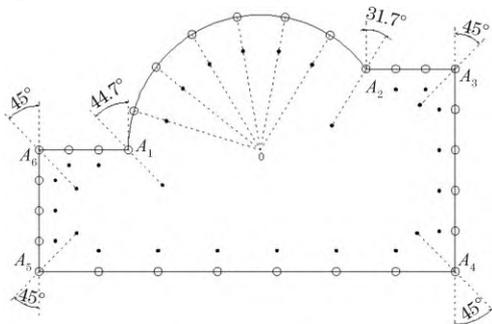


图 13 放线布孔

常规岛基坑呈长方形, 所用汽轮发电机基础底座-16.8 m, 顶标高不同部位分别是-9.5 m、-11.0 m

和-12.25 m, 平面尺寸为 68.7 m×16 m。为了适应汽轮发电机以及附属设备的安装。在常规岛基坑里设计了若干平台, 这就造成两坡相交诸多阴阳角的现象。针对这种情况, 首先以前述计算公式确定 A 点炮孔的空间参数, 便于现场定位布孔作业; 其次阴阳角采取不同的装药方式。阳角尖端利于爆破能量集中的特点, 将 A 炮孔设置为空孔, 起到裂缝导向和终止作用, 改善了阳角容易“秃角”的现象。对阴角则采取少装药措施, 改善了阴角成型效果。

基于爆破工艺各环节的精准计算设计和规范的作业操作, 核岛及常规岛负挖基坑的验收指标均达到设计标准。

## 6 结论

通过对轮廓爆破实践中出现的不良现象分析以及对相交边坡爆破理论研究, 提出以两边坡相交点炮孔为主的施工方法。其中相交点炮孔的空间参数的确定是此方法实施的重点。针对平面坡与平面坡、平面坡与曲面坡、曲面坡与曲面坡三种情况分别推导出计算公式, 结合空孔的灵活运用, 为布孔、钻孔、装药等爆破工艺过程提供了依据, 并在核电站开挖工程爆破施工中发挥作用。

在施工中体会到, 不但要计算设计贴切实际, 而且要求打孔技术熟练, 只有炮孔定位、坡度准确才能达到设计的爆破效果。有关阳角爆破施工, 因为角端爆破能量集中, 往往出现“秃角”情况, 虽在施工中应用空孔、装药孔间隔布置、坡面炮孔分段起爆以及不耦合少装药等分散爆破能量等措施, 但也只能改善“秃角”程度, 而不能彻底消除。还须继续研究与实践完善。关于两坡相交处炮孔空间参数和施工方法的讨论, 其内容可为供类似工程提供参考。

### 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] 丁汉堃, 石磊. 斜线起爆网路与布孔方式应用探讨[J]. 采矿技术, 2021, 21(6): 138-140.
- [3] 蒋孝海, 王仕林, 赵博深. 边坡预裂爆破在山东海阳核电站负挖工程中的应[M]//中国爆破技术III. 北京: 冶金工业出版社, 2012: 454-457.
- [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] 刘殿中. 工程爆破实用手册[M]. 北京: 北京冶金出版社, 1999.

(收稿日期: 2022-04-01)

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.

通信作者: 石磊(1993—), 男, 工程师, 从事工程爆破技术与施工方面的研究, Email: 1915311258@qq.com.