

露天矿爆破参数优化研究

陈剑南¹ 李学凯²

1. 中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 721000

2. 中电建(广宁)绿色矿业有限公司 广东 肇庆 526300

摘要: 本文以广东省广宁县木格坪田矿区(一区)建筑用花岗岩矿项目露天爆破为案例,针对年开采量超过1500万m³的大型露天花岗岩矿山,探讨如何同时满足大规模石方台阶爆破与终了边坡轮廓控制的双重需求。该矿区岩石完整性好且交通便利,然而传统浅孔爆破因效率低下、成本高昂难以满足实际需求。通过采用中深孔台阶爆破与预裂爆破相结合的设计方案,并结合精细化参数计算及数码雷管时序控制技术,成功实现了大规模花岗岩矿的安全高效开采与边坡的精准成型,为同类工程提供了宝贵的参考经验。

关键词: 露天矿;中深孔台阶爆破;预裂爆破;爆破参数优化;数码电子雷管;花岗岩

1 引言

项目位于广东省广宁县城西南234°方向,直距约23.8km,中心地理坐标为东经112°12'28"、北纬23°29'12"。项目总面积1.7648km²,呈狭长不规则多边形,南北长、东西窄。开采矿种有建筑用花岗岩、陶瓷土、瓷石、全风化花岗岩等,建筑用花岗岩矿开采规模3000万t/a。露天采场最高开采台阶标高+690m,封闭圈标高+350m,最低开采标高+320m。残破积层-强风化层台阶高度10m,局部厚风化层并段后台阶高度15m,终了台阶坡面角45°;弱-微(未)风化层台阶高度15m,靠帮边坡角70°。安全平台宽5m,清扫平台宽8m,每2-3个安全平台设一个清扫平台。最终边坡角38-49°,采场最多3个台阶同时作业,最小工作平台宽50m,挖掘机工作线最小长度150m。

钻孔爆破是实现高效剥离和破碎的关键技术手段,爆破效果直接影响整个矿山的生产效率、安全性和经济效益^[1]。

2 爆破方案设计与确定

2.1 方案比选与确定

本工程涉及大规模露天矿山石方台阶爆破及终了边坡轮廓爆破。经初步比选,考虑以下两种方案:

露天浅孔爆破方案:适用于小规模或复杂环境,但本工程年开采量达1000万立方米,生产周期长,浅孔爆破在进度与成本上均难以满足要求,故不予采用。

露天中深孔台阶爆破+边坡预裂爆破方案:鉴于矿区交通便利、岩石(花岗岩)完整性好、爆破施工条件优越,并结合类似工程经验,确定采用此方案。选用φ140mm中深孔台阶爆破与φ115mm边坡预裂爆破相结合的方式。该方案优势显著:起爆网路敷设简便、钻孔效

率高、施工周期短、安全管理便捷。

2.2 方案概要

综合考虑矿区地形、地质及周边环境:

石方开采区:采用露天中深孔台阶爆破,自上而下分层施工。台阶高度设定为15m,炮孔直径φ140mm。

永久边坡:采用预裂爆破或光面爆破成型,炮孔直径φ115mm,顺应边坡角度钻孔。

施工组织:待上层台阶形成满足装运要求的工作平台后,方可进行下层台阶跟进爆破,依次推进。

起爆方式:采用孔内延时数码电子雷管,根据最大单响药量约束,实施排间和孔间微差起爆。

大块处理:爆破后产生的大块石,采用挖机配液压镐进行二次破碎,避免二次爆破,有效控制振动与飞石。

3 爆破参数设计

3.1 中深孔台阶爆破参数

采用自上而下梯段开采,台阶高度 $H = 15\text{m}$,孔径 $D = 140\text{mm}$ (垂直或倾斜布置),炸药为混装乳化炸药。周边环境良好,爆破方向指向内部山坳,无重要保护设施。高峰期日爆破量约30吨(150孔),正常期约18吨(90孔)。关键参数计算与取值如下:

底盘抵抗线(W_1): $W_1 = (25 \sim 45)D = 3.5 \sim 6.3\text{m}$,结合现场条件,取4.5~5.5m。

超深(h): $h = (0.15 \sim 0.35)W_1 = 0.53 \sim 2.3\text{m}$,取1.0~2.0m。

孔深(L): $L = (H+h)/\sin\alpha$ (α 为钻孔倾角)。

孔距(a)与排距(b):关系式为 $a = mb$ (m 为密集系数,一般1.15~2)。单孔药量 Q 、炸药单耗 q 关系: $Q = qabH$ 。结合 $a = mb$,得 $Q = qmb^2H$ 。 a 、 b 值需根据现场地形地质调整优化。

装药长度(L_1):连续装药结构, $L_1 = L - L_2$ (L_2 为堵塞长度)。
炸药单耗(q):采用混装乳化炸药, 根据地质条件及经验, 初取 $q = 0.52 \sim 0.60 \text{kg/m}^3$, 施工中动态调整。
单孔装药量(Q):

按线装药密度计算: $Q = q_1 L_1$ (q_1 为线装药密度)。
按经验公式校核: 前排孔 $Q_{\text{pre}} = qaW_1H$; 后排孔 $Q_{\text{post}} = KqabH$ (K 为岩石阻力系数, 本工程取 $K = 1$)。
堵塞长度(L_2): $L_2 = (20 \sim 40)d$ (d 为孔径), 取 $3.5 \sim 4.5\text{m}$ 。

深孔台阶爆破参数设计表($D = 140\text{mm}$, 混装乳化炸药)

H(m)	$W_1(\text{m})$	h(m)	a(m)	b(m)	L(m)	$L_1(\text{m})$	$L_2(\text{m})$	$q(\text{kg/m}^3)$	$q_1(\text{kg/m})$	Q(kg)
10.0	5	1.5	5.8	3.8	11.5	7.5	4	0.58	17	128
11.0	5.2	1.5	6	3.8	12.5	8.5	4	0.58	17	145
12.0	5.2	1.5	6	3.9	13.5	9.5	4	0.58	17	162
13.0	5.5	2	6	4	15	10.5	4.5	0.58	17	179
14.0	5.5	2	6	4	16	11.5	4.5	0.6	17	195
15.0	5.5	2	6	4	17	12.5	4.5	0.6	17	212

注: 表列参数为初始设计值, 需在施工中依据爆破效果(破碎块度、爆堆形态、根底、后冲等)进行实时校核与优化调整, 以达到最佳爆破效果。

3.2 边坡预裂爆破参数

炮孔直径 $D = 115\text{mm}$, 顺应边坡角度(约 70°)倾斜布置。

孔距(a): $a = (10 \sim 14)D = 1.15 \sim 1.61\text{m}$, 取 $a = 1.2\text{m}$ 。

孔深(L): $L = H/\sin\alpha' + \Delta h$ (H 为台阶高度, α' 为边坡角, Δh 为超深), 取 $L = 18.3\text{m}$ (含超深 $\Delta h = 1\text{m}$)。

线装药密度(q_L): 参考公式 $q_L = k(\sigma_p)\alpha_1 a \beta d \gamma$ 。岩性为细

晶均质、完整致密花岗岩, 初取 $q_L = 0.60\text{kg/m}$ 。

堵塞长度(L_2): $L_2 = (12 \sim 20)D = 1.4 \sim 2.3\text{m}$, 取 $L_2 = 2.0\text{m}$ 。

装药结构: 采用径向不耦合装药(药卷直径 $\phi 32\text{mm}$)。
药串结构为: 底部加强装药段、中部正常装药段、上部减弱装药段(长度约为底部加强段的2倍)。药卷与导爆索绑扎于竹片上。

边坡预裂爆破参数设计表

序号	爆破参数	单位	设计取值	备注
1	炮孔直径 d	mm	115	
2	炮孔孔距 a	m	1.2	
3	超深 Δh	m	1	
4	炮孔深度 L	m	18.3	
5	钻孔倾角 α'	°	70	
6	装药长度 l_1	m	16.3	
7	填塞长度 l_2	m	2	
9	线装药密度 q_L	kg/m	0.6	
10	最大单段药量 Q_{max}	kg	110	
11	总药量 $Q_{\text{总}}$	kg	1100	
12	起爆雷管	ms	110	
13	传爆雷管	ms	42	
14	炮孔数量	个	100	

注: 同台阶爆破, 预裂参数需根据半孔率、孔壁完整性、减震效果等现场观测结果进行动态优化调整。

4 钻孔布置设计

4.1 中深孔台阶爆破

炮孔布置自爆区自由面开始, 由外向里逐排标定。

孔距(a)、排距(b)按设计值执行。

平面布置采用梅花形布孔方式。

4.2 边坡预裂爆破

预裂孔布置于主爆孔和辅助孔(如需)之后。

自边坡一端自由面处起, 由外向内布置。

炮孔方向严格顺应设计边坡角度(70°)。

5 装药结构与堵塞工艺

5.1 中深孔台阶爆破

每个炮孔安装2-3个由数码电子雷管与乳化炸药制成的起爆药包。

装药结构根据孔深及设计选择：

正向起爆：起爆药包置于装药顶部向下约1m处。

反向起爆：起爆药包置于装药底部。

双向起爆：起爆药包分别置于装药底部和顶部。

间隔装药：底部装2个起爆药包，中间用岩屑间隔，顶部装1个起爆药包。

堵塞：使用粘土炮泥或钻孔岩屑分层捣实填塞，堵塞长度 $L_2 \geq 3.5-4.5\text{m}$ 。积水炮孔先用粗砂及碎石填实压紧，孔口覆盖沙袋防冲孔^[2]。

5.2 边坡预裂爆破

装药结构：采用设计的不耦合装药结构（底部加强、中部正常、上部减弱）， $\phi 32\text{mm}$ 药卷与导爆索绑扎于竹片上形成药串。

堵塞：使用尼龙袋包裹钻孔岩屑填塞密实，堵塞长度 $L_2 = 2.0\text{m}$ 。

6 起爆网路设计与时序控制

6.1 网路选择

中深孔台阶爆破：每孔安装2-3发数码电子雷管，采用并联方式连接。

边坡预裂爆破：孔内采用导爆索传爆，孔外采用数码电子雷管接力起爆导爆索主线。

6.2 微差间隔时间优化

理论及实践表明，合理间隔时间 $\Delta t \approx (10-20)W_{ms}(W$

为抵抗线，单位m)。延时过长易导致飞石与大块；过短则产生上冲、后冲及大块。

本工程设定：

中深孔台阶爆破：孔间延时25ms，排间延时42ms。

边坡预裂爆破：预裂孔先于主爆孔110ms起爆，预裂孔间延时42ms。

6.3 起爆方式

中深孔台阶爆破：采用逐孔起爆方式，精确控制单响药量与爆破时序。

边坡预裂爆破：采用孔内导爆索传爆、孔外电子雷管接力起爆方式。

延时设置：由现场技术人员或有经验爆破员根据设计设置，并在实践中持续优化调整^[3]。

结束语

通过中深孔台阶爆破与预裂爆破的技术集成，结合动态优化机制与精准时序控制，为矿区大规模安全高效开采提供了系统解决方案。后续实施需强化现场参数校核与爆破效应监测，持续推动工艺优化与智能化升级，最终实现“安全、绿色、经济”的开采目标。

参考文献

- [1]方余祎豪,张治强,于泰鹏.层次分析法在大型矿山爆破成本管理中的运用[J].现代矿业,2025,41(05):230-234.
- [2]杨玉民,赵荣溪,周传波,等.矿山爆破邻近框剪结构振动响应及安全性控制[J].爆破,2025,42(01):166-174.
- [3]宋凡平.降低海峰露天矿矿山爆破大块率的方法.露天采矿技术 [J]40.01(2025):75-79.