

浅谈花岗岩露天开采深孔爆破技术

李学凯¹ 陈剑南²

1. 中电建（广宁）绿色矿业有限公司 广东 肇庆 526300
2. 中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 721000

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开采深孔爆破为实例，详细介绍了露天深孔爆破的设计及施工方法。该设计及方法的应用可作为露天矿爆破的参考，通过优化布孔和爆破块度，有效节省钻爆成本，并有利于挖装运及加工成本的控制。

关键词：单耗；穿孔；装药密度；装药量；数码电子雷管；孔间距

1 前言

花岗岩作为关键的建筑材料及工业原料，在我国基础设施建设与经济发展中扮演着至关重要的角色。在露天矿山的众多生产流程中，爆破作业，特别是深孔爆破技术，是影响开采效率、生产成本、矿岩破碎质量以及后续铲装运输效率的关键环节。由于花岗岩具有高硬度、大脆性、结构致密以及节理裂隙发育不均等独特的物理力学特性，其爆破破碎过程相较于其他岩石类型更为复杂。传统爆破方法在花岗岩开采中的应用，常常遭遇大块率高、根底残留严重、爆破振动效应显著、爆破效果不稳定等技术挑战，这些问题不仅限制了开采效率的提升，还增加了安全风险和经济成本。

2 工程概况

项目位于广东省广宁县城的西南234°方向，直距约23.8km处，中心地理坐标：东经112°12'28"；北纬23°29'12"。项目总面积1.7648km²，呈南北走向长、东西走向较窄的狭长不规则多边形；开采矿种：建筑用花岗岩、陶瓷土、瓷石、全风化花岗岩等；根据加工系统配置，开采建筑用花岗岩矿规模3000万t/a。露天采场最高开采台阶标高+690m，封闭圈标高+350m，采场最低开采标高+320m。残破积层~强风化层台阶高度10m，局部风化层较厚区域并段后台阶高度为15m，终了台阶坡面角取45°，弱~微（未）风化层台阶高度15m，靠帮边坡角70°。安全平台宽度5m，清扫平台宽度8m，间隔2~3个安全平台留设一个清扫平台。最终边坡角38~49°，采场最多3个台阶同时工作，最小工作平台宽度50m，挖掘机工作线最小长度150m^[1]。

3 爆破设计

爆破设计是整个采剥工艺的关键环节。根据生产规模和工艺要求，穿孔作业选用Φ150mm潜孔钻机，选用1.5m³液压挖掘机进行生产采准、整修边坡、大块矿石二

次破碎。采用中深孔、宽孔距、小抵抗线、多排孔、毫秒延时爆破方法，起爆方式为数码电子雷管起爆。

采用抗水性好的乳化炸药爆破时，爆破参数如下：

深孔爆破主要技术指标如下：

工作台阶高度H = 15m	炮孔角度α = 75°；
炮孔深度L = 17m	炮孔直径d = 150mm；
最小抵抗线W = 5m	孔间距a = 5m（m取0.9）；
排距b = 4m	每米钻孔落矿量q' = 16.67m ³ ；
装药密度Δ = 0.90g/cm ³	前排孔最大装药量130kg；
后排孔最大装药量145kg	每天爆破1次；
一次总爆破药量11t左右	单位炸药消耗量0.51kg/m ³ 。

后续讨论在上述爆破设计的基础上展开

4 花岗岩爆破特性

4.1 岩体结构影响

花岗岩节理裂隙发育程度很大程度决定爆破作业效果。具体而言，节理密集时，裂隙使爆破能量沿其迅速逸散，导致矿石颗粒过细、粉矿大量产生，粉矿产率超70%，大块矿石比例低于30%，影响矿石质量，还可能造成资源浪费和后续处理困难。相反，节理稀疏区域，应力波传播受阻，不易逸散，易形成较大矿石块甚至伞状岩石结构，大块矿石比例增加、粉矿比例降低，但过大矿石块也会给后续破碎处理带来困难。因此，花岗岩爆破作业时，需充分考虑节理裂隙发育程度，采取相应爆破技术和调整参数，通过详细分析评估节理裂隙，优化爆破设计，在保证安全前提下，提高矿石利用率和经济效益。

4.2 硬岩爆破难点

在传统的爆破作业中，炸药的单耗往往较高，具体而言，其数值可达0.45至0.55千克每立方米。然而，尽管炸药用量较大，爆破后的石块合格率仅为60%。这表明大量炸药并未有效转化为破碎效果，反而导致了资源的浪费。

此外,爆破作业中还面临一些技术难题,例如根底和后冲问题。根底是指在爆破过程中,由于底部抵抗线不足,部分岩石未能完全破碎,从而在底部留下未破碎的残留部分。这不仅影响了爆破效果,还可能对后续作业造成阻碍。而后冲问题则是由于后排炮孔起爆延迟,导致爆破能量未能在预定时间内释放,进而引发后方的塌落现象。这种塌落不仅削弱了爆破效果,还可能对周围环境和设备造成损害。

5 深孔爆破关键技术优化

5.1 布孔设计创新

孔网密度智能调整:基于岩体完整性系数(RQD)、节理发育程度及硬度分布,建立孔距-排距动态匹配模型。例如在节理密集带缩小孔距至1.2倍孔径,硬岩区采用“密孔小抵抗线”(如 $3.5\text{m}\times 4.0\text{m}\rightarrow 3.0\text{m}\times 3.5\text{m}$),提升破碎均匀性。

超深智能匹配:根据底板岩性动态设计超深值(通常为0.3~0.5倍抵抗线),对软弱底板采用“浅超深+垫层装药”模式,避免根底同时控制粉矿率。

菱形/三角形布孔替代矩形布孔:菱形布孔(孔位交错 60°)使爆炸应力波叠加更充分,大块率降低15%~20%。在倾斜台阶中采用“自适应三角形布孔”,沿坡面调整孔位角度,减小前排抵抗线波动。

边界孔定向加密技术:在最终边坡线预留光爆层(1.5倍正常抵抗线),加密布置预裂孔(孔距缩减20%),实现轮廓精准控制。

5.2 装药结构优化

针对节理发育区,推荐分段间隔装药:

低爆速炸药:选用铵油炸药(密度 $900\text{kg}/\text{m}^3$),降低爆轰压力,减少粉矿;

三段式装药:孔底4m装药 $\rightarrow$ 1.5m填塞 $\rightarrow$ 中部3m装药 $\rightarrow$ 1.5m填塞 $\rightarrow$ 上部3m装药 $\rightarrow$ 4m孔口填塞。分段装药延长应力作用时间,促进裂隙延伸^[2]。

5.3 起爆控制升级

电子雷管的精确延时功能使其在起爆过程中表现出色,其延期精度可以达到 ± 1 毫秒的水平,这比传统雷管的 $\pm 50\%$ 的精度有了显著的提升。这种高精度的延时控制使得逐孔起爆成为可能,从而有效提高了起爆的精确性和可靠性。具体来说,孔间的延时设置为42毫秒,而排间的延时则为100毫秒,这样的设计不仅能够有效控制爆破过程中的振动,还能显著减少每次起爆的单段药量,从而降低对周围环境的影响。

此外,为了进一步强化坡面破碎的效果,还在台阶坡面上增设了倾斜辅助孔。这些辅助孔的设置弥补了应

力分布的不足,有效解决了坡面大块问题。通过这种方式,可以更好地控制破碎效果,减少大块石的产生,从而提高破碎效率和质量。

6 工程优化与创新应用

6.1 提高大块产率的特殊工艺

在某些工程项目(如填海工程)中,需生产50至120厘米的块石。可调整生产工艺实现目标,具体措施有:增大孔网参数,将孔距扩至4.5米、排距增至6.0米,降低爆破能量密度;减少装药分段,把单孔装药高度从10米降至7米,控制破碎程度在5的水平。通过这些调整,某花岗岩矿生产效果显著提升。应用新工艺后,大块石产率从30%提高到55%,粉矿产率下降40%。这表明,优化生产工艺既提高了大块石产量,又减少了粉矿产生,提升了整体生产效率与资源利用率。

6.2 边坡控制技术

在临近边坡的爆破作业中,采用了垂直短孔结合防护结构的方案。具体而言,炮孔深度的设计采用了梯度变化的方式,即随着距离边坡的逐渐靠近,炮孔的深度逐级缩短。这种设计旨在有效控制边坡的角度,防止因爆破产生的震动和冲击波对边坡稳定性造成破坏。

此外,为了进一步确保安全,还安装了蜂窝防爆板这一防护结构。蜂窝防爆板是一种网状的防护机构,其独特结构能够有效分散冲击波的压力,从而减少对边坡的冲击。同时,蜂窝防爆板还能阻挡因爆破产生的飞石,防止飞石对周边环境和人员造成伤害。通过这种综合防护措施,确保了爆破作业的安全性和边坡的稳定性。

6.3 含水炮孔解决方案

针对炮孔积水导致炸药失效的问题,我们可以采取以下两种措施来解决:

首先,采用孔底聚能装药的方法,即在炮孔底部设置一个聚能药包。这种药包的设计能够有效增强底部的破碎效果,减少根底的产生。通过这种方式,确保炸药在孔底的爆炸效果最大化,从而避免因积水导致的炸药失效问题。

其次,采用间隔填塞的方法,使用惰性材料来隔离水体。这种方法能够有效保证炸药的爆轰稳定性。通过在炮孔中填充惰性材料,防止水体进入炸药区域,避免炸药因接触水而失效。这不仅提高了爆破效果,还确保了作业的安全性。

综上所述,通过孔底聚能装药和间隔填塞两种方法,我们能够有效解决炮孔积水导致炸药失效的问题。这两种方法不仅提升了爆破效果,还保障了作业安全,进而提高了整体的施工效率^[3]。

7 智能化与绿色化发展

7.1 智能爆破系统

钻机智能定位技术应用提升钻探作业精准性与效率。借助全球定位系统（GPS）导航技术，钻机可精确定位炮孔，误差控制在5厘米以内，增强了钻探准确性与可靠性，减少资源浪费和作业风险。参数动态设计技术根据岩性实时变化调整孔网参数，通过监测钻进速度、扭矩等关键参数反演岩石硬度和结构特性，使钻探作业能依实际地质条件动态调整参数，优化钻进过程，提升效率和质量。比如钻进速度减慢时，系统自动调整参数适应硬岩层；遇到软岩层，系统调整参数提高钻进速度。这种动态调整机制确保了钻探灵活性与适应性，提高整体作业效率。

7.2 绿色降尘技术

水袋降尘技术是在炮孔填塞段加入水袋，爆破时水袋破裂释放水雾，吸附空气中粉尘颗粒，减少粉尘扩散，降低爆破现场粉尘浓度，改善作业环境，保护人员健康。泡沫抑尘技术是向爆破区域喷射泡沫覆盖层，利用泡沫的粘附性和覆盖性形成稳定泡沫层，覆盖粉尘表面，阻止粉尘扩散，减少粉尘扩散范围，降低对环境和人员危害，是一种高效、环保的抑尘方法。

7.3 电子雷管应用

根据最新统计数据和分析报告，预计2024年中国电子雷管使用量将达6.37亿发。电子雷管广泛应用得益于显著优势，首先，它抗干扰能力强，能规避杂散电流引发的误爆风险，在复杂工业环境中更安全可靠；其次，它实现全流程追溯功能，借助GPS定位及数据实时上传，使爆破监管更高效透明，提升作业安全性，为管理者提

供数据支持。然而，电子雷管实际应用中仍有问题待解决，目前拒爆率约1%，存在一定比例雷管无法正常引爆，压死问题也是技术难题，雷管可能因外部压力过大失效。虽不影响整体优势，但仍需企业和研究机构进一步研究改进，确保未来应用更完美。

8 结语

深孔爆破是花岗岩露天开采不可或缺的高效破岩手段。本文围绕花岗岩的物理力学特性，重点分析了深孔爆破技术中孔网参数设计、装药结构优化、起爆时序控制及安全防护措施等核心环节的应用要点。实践表明，针对花岗岩硬度高、脆性大的特点，精心设计爆破方案并严格执行操作规范，是获取理想破碎块度、控制爆破有害效应、保障生产安全与效率的核心。

当前，数字化设计、智能装备与高精度起爆器材的应用正推动花岗岩深孔爆破技术向精细化、智能化方向快速发展。面对未来，持续优化爆破工艺、推广先进技术、强化安全管理与人员培训，是进一步提升花岗岩爆破效果、降低综合成本、实现矿山绿色安全高效开采的必由之路。不断探索与实践，将使深孔爆破技术在花岗岩露天开采领域发挥更大价值。

参考文献

[1]方永超.基于层次分析法和模糊综合分析法的金属矿山爆破安全管理分析[J].劳动保护,2024,(04):98-101.
[2]谢烽,黄磊,张书鹏,等.基于爆破位移监测的矿石损失及贫化控制研究[J].爆破,2024,41(03):104-110.
[3]黄萱,张新.基于模糊控制算法的矿山爆破机器人路径规划[J].煤矿机械,2024,45(05):172-175.