

# 露天矿山开采逐孔爆破技术的应用

郑毅

鞍钢矿业爆破有限公司, 辽宁 鞍山 114000

**[摘要]**随着露天矿山开采的深入和矿石物理特性的变化,传统的爆破技术面临着越来越多的挑战,逐孔爆破技术作为新兴的爆破手段,在提高爆破效率、降低环境影响及保障安全性方面展现出显著优势。本篇文章系统地探讨了逐孔爆破技术在露天矿山中的应用原理、特点及其布孔方式,并通过效果分析和案例研究,进一步证明了该技术的高效性和应用价值。通过这一深度探讨,旨在为矿山开采提供更为高效、环保的爆破技术选择,推动行业的技术进步和可持续发展。

**[关键词]**露天矿山;逐孔爆破;布孔方式;效果

DOI: 10.33142/aem.v5i11.10259

中图分类号: TD235.4

文献标识码: A

## Application of Hole by Hole Blasting Technology in Open-pit Mining

ZHENG Yi

Ansteel Mining and Blasting Co., Ltd., Anshan, Liaoning, 114000, China

**Abstract:** With the deepening of open-pit mining and the changes in physical properties of ores, traditional blasting technology is facing more and more challenges. As an emerging blasting method, hole by hole blasting technology has shown significant advantages in improving blasting efficiency, reducing environmental impact, and ensuring safety. This article systematically explores the application principle, characteristics, and hole layout method of hole by hole blasting technology in open-pit mines, and further proves the efficiency and application value of this technology through effect analysis and case studies. Through this in-depth exploration, the aim is to provide more efficient and environmentally friendly blasting technology options for mining, and promote technological progress and sustainable development in the industry.

**Keywords:** open-pit mines; hole by hole blasting; hole arrangement method; effect

### 引言

露天矿山是矿产资源开采的重要方式,其爆破技术在矿石采集中发挥着关键性作用,近年来,随着矿业技术的发展和要求的日益提高,逐孔爆破技术逐渐受到广泛关注。与传统爆破方法相比,逐孔爆破技术更能精确地控制爆破效果,从而实现了对矿石的高效、低成本和安全开采。此外,逐孔爆破技术具有优越的布孔方式和起爆网络,有效优化爆破效果,进一步提高了矿石的采集率和爆破的能量利用率。针对这一创新技术,本文将深入探讨其应用原理、特点、布孔方式以及爆破效果,以期为露天矿山的爆破工作提供理论指导和实践参考。

### 1 逐孔爆破技术应用原理和特点

#### 1.1 原理

逐孔爆破技术的核心原理是应力叠加,在实施该爆破操作时,每个起爆药包的起爆点是有所不同的。后续的爆破药包,在临近爆炸药物应力的震动下,先是进入预应力状态,随后才发生爆炸。由于爆炸孔附近产生的应力呈现起伏变化,这意味着,当多个起爆点在时间和空间上逐个进行爆破时,邻近的爆破应力可以叠加,实现更为理想的爆破效果。其次,强化自由面在逐孔爆破中也起到了关键作用,爆破操作中,随着前一个爆孔的爆破进行,随后的

爆孔的自由面会相应增加。这一变化直接影响了爆破力的分布,使得后续的爆孔的作用力和其最小抵抗线发生调整。这种调整意味着,后续的爆破能量可以更为集中地作用于预定的目标岩石区域,从而达到更为理想的爆破效果。最后,由于每个爆孔的起爆时间都是独特的,可以减少同时起爆的药量。这一点不仅可以有效地降低爆破过程中产生的振动,还有助于提高爆炸药的使用效率。这种时间上的分离,进一步确保了每次爆破的能量都能够更为集中地释放。

#### 1.2 特点

逐孔爆破技术已成为矿山开采领域的重要技术手段,特别是在需要精确控制爆破效果的情境中。该技术的核心思想在于横纵排列的爆孔中设定不同的爆破时间,确保每个炮孔的起爆时间存在差异,进而达到预定的爆破效果。这种分时启爆的技术模式突破了传统的时间和空间上的爆破局限,优化了爆破效率与结果。对比常规的爆破技术,逐孔爆破具备几个显著的技术优势。首先,冲击波小,由于每个爆孔的起爆时间差异化,冲击波叠加的概率降低,从而导致每次爆炸产生的冲击波更为分散,减少了对周围环境和结构的冲击。其次,振动力量减少,传统的整体爆破可能会导致大范围的振动,而逐孔爆破则将这种振动局限在更小的范围内。每个爆孔的分时启爆策略可以有效地

减少整体振动强度,减轻对周围岩石和土壤的冲击<sup>[1]</sup>。最后,逐孔爆破技术具有较低的能量消耗,由于爆炸是按照特定的时间顺序进行的,每次爆破所需的能量得到了有效的分配和利用。这不仅确保了爆破的效果,而且减少了不必要的能源浪费。

## 2 露天深孔逐孔起爆技术的布孔方式

### 2.1 露天深孔逐孔起爆布孔方式

在露天深孔逐孔起爆中,布孔的方式多种多样,包括但不限于正方形、三角形和矩形布孔。正方形布孔方式特点鲜明,它确保了每个爆孔之间的距离相等。这种布孔方式与V型起爆系统相匹配,确保能量在四个方向上均匀分布,进而提高爆破的均匀性和效率,这种布孔方式也便于计算和布置,使得操作更加简便。三角形布孔方式与斜线起爆布控系统相匹配,它能使爆破能量更为集中地向下传递,由于三角形布孔中爆孔的相对距离更短,因此能更有效地破碎岩石。此外,这种布孔方式对于控制爆破产生的震动特别有效。矩形布孔方式结合了正方形和三角形布孔的特点,既具有规整性,又能够提供高密度的布孔模式<sup>[2]</sup>。

### 2.2 露天深孔逐孔起爆方式

逐孔起爆中的起爆方式分为孔隙内的延期网络和地表延期网络,孔隙内的延期网络是指在炮孔内部,利用双雷管进行起爆,依赖于双雷管的延迟作用,使得每个炮孔能够在特定的时序下进行起爆,确保爆破波的有序传播。地表延期网络则是在地表层采用单雷管进行联结处理,利用地表管的传输效率,与炮孔内部的雷管相结合,确保炮孔内的炸药在预定的时序下得到引爆。这种组合使得起爆信号能够迅速、准确地从地表传递到炮孔内部,从而确保爆破效果的达成。

### 2.3 逐孔起爆网络

斜线逐孔起爆网络适用于有明确自由面的爆破区域,其炮孔的起爆方向沿一确定的斜线进行,爆炸的波形能够有序地在同一方向上进行传播,从而使得岩石或其他物料沿预定的方向抛掷。V型逐孔起爆网络在自由面的作用下,两侧的岩块会朝同一方向抛掷,这种起爆网络在设计时,主要考虑到如何使两侧的岩石在受到爆破冲击后,能够向中心或预定的方向集中。逐孔平行起爆网络主要应用宽阔的台阶自由面,其起爆顺序能够一次性转变,使物料沿台阶的走向进行倾斜抛掷<sup>[3]</sup>。

## 3 爆破的效果分析

### 3.1 消除应力降低区域

两个药包在同一时刻或相继爆破时,其产生的应力并非简单地叠加,在爆破过程中,应力波会沿一定的路径以辐射状向外传播,来自不同爆破点的应力波可能会在某些区域相互交叉或叠加,从而形成特定的应力场。两个爆破点较为接近时,其产生的应力波会在一定范围内相互影响,形成所谓的“应力降低区域”。具体来说,当A药包发生

爆炸时,周围岩石会受到强烈的冲击压力,特别是邻近炮眼的岩石。此外,还会在一定范围内感受到拉应力的作用。当B药包也发生爆炸时,其产生的应力波会与A药包产生的应力波在某些区域相遇。在这些区域,由于两种应力的相互作用,可能会导致总的应力降低。应力降低区域会影响到岩石的破碎效果,因此,在设计爆破方案时,需要对这种应力降低区域给予足够的重视,并采取相应的措施进行调整,以确保爆破的效果。

### 3.2 通过增加自由面来提升爆炸药包能量利用率

逐孔起爆的核心是按照一定的顺序进行爆破,使得每次爆破都能为后续的爆炸创造更多的自由面,当前一个孔爆炸时,产生的应力波会在岩石中传播,当这些应力波传播到未爆破的孔时,为其提供更多的自由面。后续爆炸药柱爆炸时的应力波会传播到这些新的自由面上。随着应力波在岩石中的传播和反射,形成一系列的反射拉伸波。这些反向拉伸波会先接触两个自由面,随后与原有的应力波按照一定顺序叠加。当拉应力的强度达到一定程度时,将击碎岩石,同时,因为多次地应力波叠加,岩石在破碎时的弹性能量将被大大降低。

### 3.3 增加炮孔之间岩石的补充破碎和相互碰撞

当前面的炮孔发生爆炸时,由于应力波的传播,该炮孔附近的岩石会受到强烈的冲击,产生破碎并被抛出。随着这部分岩石被移除,原先存在于岩石中的应力波也随之消失。更进一步,随着连续爆破的进行,炮孔之间的岩石可能会因为应力波的相互作用而产生补充破碎,这种补充破碎能够提高整体的爆破效果。同时,炮孔之间的岩石在爆炸过程中还会发生相互碰撞,增加岩石的破碎效果,为后续的爆炸提供更多的自由面<sup>[4]</sup>。

## 4 逐孔爆破技术的案例分析

### 4.1 矿山概况

某露天矿山高程为150m,地形延展80m,平均宽度50m。此区域的主要岩石构成为凝灰岩。凝灰岩是火山喷出岩,通常具有较高的硬度和抗压强度,这种岩石在矿山中主要呈现中风化到微风化状态。该矿山的上层区域存在明显的强风化层,其厚度约为0.8m。风化层通常会影响到爆破效果,因为其较低的密度和强度会导致爆破能量的部分损失。该矿山的 terrain 相当陡峭,坡度在45度到60度之间,这种陡峭的地形会影响爆破波的传播方向和效果,此外,矿山三面被山脉围绕,且在400m外有民居,为爆破作业带来额外限制。

### 4.2 逐孔爆破技术的使用

#### 4.2.1 爆破参数的选择

本工程采用的孔径为90mm,孔距的范围是3.5m到4m,确保爆破能量在岩石中的均匀传播,从而获得均匀的破碎效果。孔网形式选择梅花形,排距控制在2.8m到3.2m间,确保爆破效果的最大化,同时减少对邻近岩体的不利影响<sup>[5]</sup>。

炸药消耗范围为每平方米 0.31kg 到 0.35kg, 台阶高度设定为 15m, 同时, 填塞长度设定在  $(1.1-1.5)b$  的范围内, 确保在爆破过程中形成的空隙能够被有效地填塞, 提高爆破效果, 孔深范围为  $(16-16.4)m$ 。此外, 每个孔内设置两个起爆药包, 提高爆破可靠性, 将其中一个起爆药包放置在孔的中间部位, 而另一个放置在距离孔底部 1m 的位置。需要注意的是, 炮孔的潮湿状况可能会影响爆破效果, 为此, 如果炮孔出现潮湿现象, 需要采取措施及时乳化炸药。

#### 4.2.2 起爆网络和安全距离的设计

整个矿山开采过程中, 采用四通连接的非电导爆管系统具有明显的优势。这种系统提供了准确、可靠的起爆时间和序列, 确保了爆破能量的均匀分布, 从而获得了最佳的爆破效果。同时, 这种系统还减少了起爆失败或误火的风险, 进一步提高了爆破效果和安全性。在选择起爆网络的位置时, 需要充分考虑爆破的影响范围, 爆破的冲击力、飞石安全距离和爆破震动距离都是确定位置的关键因素。飞石的产生不仅会对爆破效果产生影响, 而且还可能对周围的环境和设备造成破坏, 因此, 飞石安全距离的准确计算至关重要。同时, 爆破震动也可能对周围的建筑物和设备产生不利影响, 需要进行详细的评估和计算, 确保爆破的安全性。

为了最大限度地减少对周围环境的影响, 需要将爆破安全距离控制在 300m 以内, 这不仅确保了爆破活动不对居民造成不利影响, 而且还可以确保爆破的高效和准确。在实际的爆破活动中, 需要进行详细的现场观察和监测, 确保爆破参数的准确性和安全性。这包括但不限于对爆破冲击、飞石和震动的实时监测。通过这些实时数据, 可以对爆破参数进行实时调整, 确保爆破的效果和安全性。

#### 4.2.3 逐孔爆破技术时间的确定

首先, 考虑微差时间对爆破效果的影响, 微差时间是指在爆破网络中, 相邻两孔或者几孔之间的起爆时间差。这一参数的精准控制可以确保爆破能量的均匀释放, 降低爆破后的不良影响如过度破碎或不足破碎的岩石。微差时间的确定需要根据矿石的性质、岩石的地质条件以及所用炸药的特性来进行。其次, 不同的岩石类型、硬度和裂纹状况都会影响爆破的效果, 例如, 坚硬和致密的岩石可能需要更长的微差时间以确保充分破碎, 而疏松的岩石可能需要缩短微差时间以避免过度破碎。

应力波在爆破中起到了传递爆破能量的作用, 正确的逐孔爆破时间可以确保应力波的最大利用, 使之在岩石中产生最佳的破碎效果, 过早或过晚的爆破时间可能会导致应力波的能量损失, 降低爆破效果。另外, 爆破后的振动

是爆破效果的另一重要指标, 振动的大小和持续时间都与爆破时间有关。适当的逐孔爆破时间可以最大限度地减少不必要的振动, 从而提高爆破效率。为了确保逐孔爆破技术的最佳效果, 选择性能良好、精准度高的雷管至关重要, 这些雷管可以确保微差时间的精准控制, 从而提高爆破的整体效果。此外, 逐孔爆破技术还可以通过精确的时间控制, 提高矿物的开采数量, 进一步提高开采效率。

#### 4.3 爆破效果分析

理想的爆破效果应使得岩石破碎达到预期的粒度, 既不过大也不过小。过大的岩石块会增加二次破碎的工作量, 而过小则可能导致炸药的浪费。通过对岩石样品的筛分和粒径分布的测定, 可以定量地评估爆破的破碎效果。其次, 爆破效果还要考虑到爆破的均匀性, 均匀的爆破不仅保证了破碎效果, 还能最大限度地减少不利的振动和冲击。通过地震波、声波和其他传感器技术, 可以实时监测爆破过程中的能量传播和分布, 进而评估爆破的均匀性。优良的爆破效果可以减少炸药和其他材料的使用量, 降低作业成本, 同时提高矿石回收率和开采效率。通过对比预期和实际的开采量、炸药消耗和作业时间, 可以进一步评估爆破的经济效果。

#### 5 结束语

综上所述, 逐孔爆破技术凭借其独特的高效、环保及低耗的特性, 逐渐成为行业中的优选技术, 本文深入探讨了其在露天矿山中的应用原理、布孔方式及网络起爆等方面的技术优势, 并通过实际案例进一步证实了其实际应用中的效益。希望通过本研究, 推进逐孔爆破技术在露天矿山开采领域的广泛应用, 从而实现更为高效和环保的开采效果。

#### [参考文献]

- [1] 姚金宝. 露天矿山开采逐孔爆破总装药量大小对爆破振动影响的研究[J]. 煤矿爆破, 2023, 41(3): 31-34.
- [2] 张衍昊, 刘少光, 楼晓明. 露天矿深孔台阶爆破逐孔起爆参数的优化研究与应用[J]. 爆破, 2023, 10(24): 1-16.
- [3] 周令, 王毅, 赵军等. 逐孔起爆技术在水下爆破工程中的应用[J]. 中国高新科技, 2022(19): 69-71.
- [4] 雷霆. 逐孔爆破技术在复杂环境山体爆破工程中的应用[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(2): 188-190.
- [5] 王春华, 彭乐平. 逐孔爆破技术在复杂环境山体爆破工程中的应用[J]. 现代矿业, 2019, 35(2): 104-107.

作者简介: 郑毅 (1988.2—), 男, 毕业院校: 国防信息学院, 所学专业: 信息系统管理, 当前工作单位: 鞍钢矿业爆破有限公司 职务: 安全生产主管, 职称级别: 中级采矿工程师。