

金属矿山巷道掘进掏槽爆破优化及应用研究

汪洋

中煤第五建设有限公司第三工程处, 江苏 徐州 221000

[摘要] 本篇文章对应用于金属矿山巷道的常规掘进掏槽爆破方式、相关参数、炮孔数量计算方法、炸药的单耗以及总装药量、实际爆破效果进行了介绍。为了进一步提高爆破效率, 本篇文章对常规方式下的金属矿山巷道掘进掏槽爆破的炸药布置方式、炸药安放相关问题进行了全面梳理, 并对布控方式、爆破点位选择等优化后的效果进行了模拟, 最终对实际结果进行了分析, 希望为从业人员提供一定的参考。

[关键词] 金属矿山; 巷道掘进掏槽爆破; 炸药布置位置; 总装药量

DOI: 10.33142/ec.v4i11.4782

中图分类号: TD235.4

文献标识码: A

Study on Optimization and Application of Tunnel Excavation Blasting in Metal Mine

WANG Yang

The Third Engineering Office of China Coal Fifth Construction Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract: This paper introduces the conventional excavation blasting mode, relevant parameters, calculation method of blast hole number, unit consumption of explosive, total charge and actual blasting effect used in metal mine roadway. In order to further improve the blasting efficiency, this paper comprehensively combs the explosive layout and explosive placement related problems of metal mine roadway excavation and cutting blasting under the conventional mode, simulates the optimized effects such as control mode and blasting point selection, and finally analyzes the actual results, hoping to provide some reference for practitioners.

Keywords: metal mine; tunnel excavation and cutting blasting; explosive layout position; total charge

引言

掏槽爆破全称“掏槽眼爆破”, 能够决定巷道全断面爆破能否取得预想效果, 最终目的在于: 为全断面爆破创造出新的自由面。通常情况下, 掏槽眼会受到矿山围岩产生的“夹制”作用, 故导致爆破实际产生的效果只能达到预期的额 80%左右。因此, 采用此种方式进行爆破时, 掏槽眼的挖深深度应该至少超出其他炮眼 200mm。针对金属矿山的巷道进行掘进掏槽爆破时, 为提高爆破效率, 需对爆破方式进行优化。

1 常规金属矿山巷道掘进掏槽爆破的原理及效果

1.1 掏槽方式

常规的金属矿山巷道掘进掏槽爆破方式分为斜眼掏槽、直眼掏槽、混合掏槽三种类型。具体而言:

第一, 斜眼掏槽。掏槽眼与开挖断面之间应该保持“斜交”的关系。此种掏槽方式的优点在于: 操作难度较低、实现原理简单, 相较于直眼掏槽方式, 整个作业过程对“操作精度”的要求较低^[1]。不仅如此, 此种方式能够根据矿山岩层的实际情况, 选择最佳掏槽角度, 且岩石的“抛出”难度较低, 无需开挖较多的掏槽眼, 爆破过程中的炸药消耗量也较少。此种掏槽方式的缺点在于: 炮眼的深度不能随意开挖, 极易受到开挖断面尺寸的限制, 且循环进尺无法提高, 无法使多台凿岩机同时作业。

第二, 直眼掏槽。此种方法的主要原理为: 炮眼横截面与开挖面之间维持垂直的关系^[2]。优点在于: 掏槽的深度具有较大的“自由性”, 即金属矿山围岩的软硬程度以及开挖面的大小都不会影响掏槽的深度, 支持多台钻机同时作业(还可进行深眼爆破和钻研机械化), 能够大幅度提升掘进速度。相较于斜眼掏槽, 直眼掏槽的作业效率更高, 且不需要根据循环进尺情况的改变而使掏槽形式发生变化, 只需要随时注意炮眼的深度即可。此外, 如果计算的精准程度较高, 则石渣的抛掷距离也能够大幅度缩短。但此种方法的弊端在于: 若要使爆破达到预期效果, 必须准备足够数量的炮眼, 且消耗的炸药量较大, 十分考验操作人员对眼距、装药量的掌控能力。在实际爆破时, 经常出现因为设计或施工不当, 导致槽内的延时无法轻易抛出、因重新固结而导致炮眼利用率降低的情况。

第三, 混合掏槽。此种方式是指将斜眼掏槽、直眼掏槽以及其他掏槽方式联合使用。具体的适用范围为: 在一些

金属矿山之中，由于岩石层的坚固程度较高，或是隧道的开挖断面较大，使用单一常规掏槽掘进爆破方式时，取得的效果较为有限。因此，需要同时混用多种掏槽方法。其中，最常用的方法为“复式掏槽”，是指使用两层、三层、四层的楔形掏槽眼，且每一对掏槽眼均处于“完全对称”或“近似对称”的状态。随着深度的增加，掏槽眼与工作面之间的夹角会逐渐加大。

常规金属矿山巷道掘进使用的掏槽方式是“直孔掏槽（平行空孔）”，具体而言，全部掏槽孔均需与工作面保持垂直状态，彼此之间保持平行状态。但并不是所有的掏槽孔中都需要装填炸药，不装炸药的孔的作用在于：在爆炸期间，会辅助自由面进行爆破，并在岩石破碎时，作为一种“补偿空间”。

1.2 掏槽参数

在掘进掏槽作业期间，工作人员必须科学确定爆破参数，目的在于保证爆破效果，并尽量加快掘进速度、保证施工安全。作业期间，主要的爆破参数包含单位炸药消耗量、炮眼直径、炮眼深度、炮眼数量等。在确定上述参数时，尽管可参考国内外的诸多方法，但受金属矿山掘进掏槽作业现场实际情况的影响，通过计算得到的数据与真实情况之间很可能存在一定的差异。因此，为了保证勘测及计算结果的准确性，可采用工程类比法等方式，对爆破参数进行精确测量。空孔的数量设定为6个，掏槽参数设定为 $\phi 102\text{mm}$ ；用于装填炸药的炮口径数量设定为1个，参数与空孔完全相同。基于岩石性能进行了解后发现，碎胀系数应该确定为1.69，可在爆破完成后，使碎裂岩石的碎胀程度达到要求。基于补偿空间的得出的炮孔间距（装填炸药的孔与空孔之间的距离）为130mm，每个炮孔的直径控制在40mm，6个空孔之间的最小距离（按边缘计算）同样为130mm。除此之外，每个炮孔的挖掘深度均需达到3.3m。

1.3 炮孔数量计算方法

具体挖掘多少个炮孔取决于掘进断面、岩石性质、炮孔直径、深度、炸药的性能等诸多因素。最佳情况是，在保证爆破效果不受影响的情况下，应该尽可能低减少炮孔数量（炮孔数量越多，岩石蹦碎后的不确定性便会越大，有可能影响掘进掏槽爆破以及后续作业）。目前，业内普遍认可的炮孔数量计算公式为：

$$N=3.3\sqrt[3]{(fs \cdot s)} \quad (1)$$

在公式（1）中，N即为炮孔数量，单位为“个”，f指代“延时普氏硬度系数”，是一个常数，一般取值为10；S指代矿山巷道掘进断面的面积，经过实际测量，取值为 13.50m^2 。

根据计算结果可知，N的取值为 $3.3 \times \sqrt[3]{(10 \times 13.5 \times 13.5)} = 40.309 \approx 41$ 个（注：此处取值不能按照“四舍五入”原则，小数点后位置不为零，说明整数部分对应的炮孔数量不能满足掘进掏槽爆破所需，需要进一位）。

1.4 炸药的单耗以及总装药量

根据《有色金属工业矿山井巷工程预算定额》的相关规定，对照金属矿山的实际情况，岩石的普氏硬度系数均值为9.0，上下可浮动区间均为1.0。结合上文所述的山巷道掘进断面的面积（ 13.50m^2 ），采用普通爆破即可达到目的。经过计算，炸药单耗为 $1.58\text{kg}/\text{m}^3$ ，雷管的消耗总量为 3.04 个/ m^3 。总装药量的计算公式为：

$$Q=qSh\gamma \quad (2)$$

在公式（2）中，Q的含义即为“总装药量”，单位为kg；q指代炸药单耗，单位为 kg/m^3 ；h指代炮孔的挖掘深度，单位为m； γ 是指“炮孔利用率”，同样是一个常数，取值范围为0.80~0.95之间，最终设定 γ 的取值为0.85。将有关数值代入公式（2）进行计算，得出的总装药量为： $1.58 \times 13.50 \times 3.3 \times 0.85 = 59.83\text{kg}$ 。

1.5 实际爆破效果简析

按照上述相关参数以及工艺进行金属矿山巷道掘进掏槽爆破作业之后，进尺参数不足2m，整体爆破效果不佳（出现了“挂门帘”、“冲天炮”等情况）。技术人员经过分析后认为，在6个空孔设计中出现了一定的问题，包含挖掘深度控制效果不理想，空孔深度区域的直径控制精确程度不足。为有效解决该问题，需对上述基础金属矿山巷道掘进掏槽爆破作业流程进行优化。

2 一种经过优化后的金属矿山巷道掘进掏槽爆破方式及具体应用

2.1 巷道掘进掏槽爆破的布控方式以及炸药安放相关问题梳理

按照常规设计，1个炸药装填孔和6个空孔的深度均为3.3m，直径均为 $\phi 102\text{mm}$ 。上文提到，问题主要出现在空孔方面，经过深度论证之后认为，空孔的数量较多。因此，需要将原有的6个空孔减少为4个空孔。假设岩石的碎胀系数是不变的，故取值依然为1.69。经过计算后，调整后的方案在理论上依然可以满足巷道掘进掏槽爆破的相关要求。

由于空孔数量已经减少，故炸药添加孔以及空孔之间的距离同样需要调整。具体的优化方法为，将原本的 130mm 的孔间距（四个空孔相邻之间的兼具）提升至 150mm，且四个空孔均匀布置在炸药装填孔的四周。如图 1 所示，左侧为常规 6 个空孔对应的模型；右侧为优化后 4 个空孔对应的模型。



图 1 金属矿山巷道掘进掏槽爆破工艺优化改进前后，空孔布置位置虚拟图

2.2 掏槽爆破数值模拟

2.2.1 岩石、炸药、炮泥的主要参数

有关的重要内容及对应的参数的具体值分别为：第一，岩石，密度达到 3500kg/m^3 ，弹性模量为 GPa，油松比为 0.3；第二，炮泥，密度为 1850kg/m^3 ，弹性模量为 $2 \times 10 - 4\text{GPa}$ ，油松比为 0.2；第三，炸药，密度为 1250kg/m^3 ，爆破速度为 m/s，CJ 压力为 10GPa；第四，空气，密度为 1.2kg/m^3 。

2.2.2 有限元计算模型

同样根据图 1 所示，可清晰观察到，无论优化前后，空孔均上下、左右对称。在此种条件的支撑下，为了提高有限元计算模型的构建和计算效率，无需对模型全貌进行建设，只需建立四分之一到三分之一即可。本试验中选用的标准为“建立四分之一”，选用 3D SOLID164 单元，长度、宽度、高度选取方面均为最基础的参数，分别对应 1m、1m、5m。此处的“高度”实际上是进尺方向，炮孔和空孔的深度均为 3.3m。根据图 1 中的右侧优化后的空孔布置方式，模拟起爆的具体流程为：第一，按照自左至右、自上而下的顺序，四个空孔的编号分别为左 1、上 2、右 3、下 4；第二，孔间采用微差间隔起爆，模拟时 1 号孔 0 ms 起爆，4 个 2 号孔 5ms 起爆，4 个 3 号孔 10 ms 起爆，4 个 4 号孔 15 ms 起爆模拟计算时间为 $100\text{ms}^{[3]}$ 。

2.2.3 模拟结果以及相关分析

计算机模拟结果显示，优化后的方案相较于优化前的方案，实际爆破效果更好，虽然减少了两个空孔，但补偿空间依然十分充足。

2.3 经过优化后的金属矿山巷道掘进掏槽爆破方式实际效果

在金属矿山中，在地下 50m 深度中，累计进行了 5 次优化后的掘进掏槽爆破。结果显示：第一，由于空孔数量减少了两个，导致炮孔之间的距离增大；造成的结果是，穿孔空间大幅度提升，降低了炮孔被打穿的几率。第二，按照优化后的方案，爆破过程并未出现“挂门帘”、“冲天炮”等不良效果。

3 结语

第一，将原有常规方案中的 6 个空孔（相邻两个间距为 130mm）减少至 4 个空孔（相邻两个间距为 150mm），保持孔的挖掘深度不变（依然为 3.3m），计算机虚拟爆破结果显示，效果较好。

第二，真实爆破实验结果显示，5 次爆破均未出现“炮孔被打穿”的情况，爆破过程并未出现“挂门帘”、“冲天炮”等不良效果。表明优化后的方案效果良好。

[参考文献]

- [1]王子琛. 基于数值模拟的耦合装药条件下巷道掘进掏槽爆破参数研究[J]. 昆明理工大学, 2021, 22(6): 24.
- [2]杨仁树, 王渝, 官国慧, 等. 弓长岭铁矿巷道掘进掏槽孔超深长度优化试验研究[J]. 金属矿山, 2020(7): 16-24.
- [3]阮诗昆, 黄玉锦, 蓝先灵. 某金属矿山巷道掘进掏槽爆破优化及应用[J]. 黄金, 2019, 40(12): 27-31.

作者简介：汪洋（1990-）男，江苏省徐州市人，汉族，大学本科学历，中级工程师，长期从事矿井建设工作。