

对球形封头来说,又从最初的七炮成型到实现一炮成型……,进步是应当肯定的。但是“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。”无模爆炸成型也不例外。因为同其它一切事物一样,无模成型的发展过程,也将自始至终都存在着矛盾。

我们从事无模成型工作至今虽有三、四个年头了,但这仅仅是个开始,问题还很多。我们对许多问题的认识还很粗浅,很不成熟。但是,我们坚信,只要继续努力学习马列主义、毛主席著作,坚持“鞍钢宪法”的五项原则,就一定能使无模成型这一新工艺在社会主义建设事业中发挥更大作用,并在实践中不断发展提高。

工业爆破对地下巷道安全的影响

北京有色冶金设计院 边克信 刘殿中

在工业爆破实践中,常遇到爆破对爆破区附近地下巷道的安全影响问题。如矿山大爆破对附近井巷的影响;定向爆破筑坝对导流隧洞的影响等。凡土石方工程采用大爆破方法,在其附近有地下构筑物(隧道、涵洞、巷道、地下厂房仓库)时,必须确保其安全。在设计中应正确评价爆破对其安全影响的程度。

由于对爆破给予地下巷道(包括硐室)初载荷作用及其所造成破坏的规律认识不足,往往难于对其安全距离作出正确估计。通常借用《爆破安全规程》规定的地震安全距离公式进行验算,造成安全距离过于保守而限制了爆破规模,以致不能采用更为合理的爆破方案。有时也由于对其破坏性估计不足而未加防护,而造成破坏,影响生产。因此,如何正确估计工业爆破对地下巷道的安全影响范围和破坏程度是一个十分重要的问题。

在国内历次爆破工程中,科研、设计、施工单位互相配合,对于这个问题的研究做了不少工作,积累了较为丰富的观测资料 and 实践经验。本文的目的是在对这些资料进行分析整理的基础上,探讨工业爆破对地下巷道安全影响的规律性,以便为爆破工程中遇到这一问题时提供设计依据和评价方法。

爆破对地下巷道的破坏作用

影响爆破对地下巷道破坏作用的主要因素是炸药量、爆破参数(爆破指数与最小抵抗线)、距离、地形(地貌与相对高差)、地质(岩石物理力学性质、水文与地质构造)条件。此外,还要考虑巷道与爆源的相对位置、巷道支护强度及其断面特征的影响。

药包在岩土中爆炸将形成破碎区、裂隙区和弹性区。巷道处于这不同区域内将会产生不同程度的破坏效应。爆破规模越大,则破坏影响范围也越广。然而其影响范围远比对地面建筑物的破坏影响为小。因为爆破所产生的震动强度在近距离时衰减很快,震动持续时间也更短,而巷道的抗震性比一般建筑物高得多,因此爆破对巷道的破坏作用只发生在距爆区较近的一定范围内。

在多数情况下,巷道的破坏是由于爆破应力波达到巷道壁面后产生反射拉应力波所造成。当瞬间的拉应力超过岩石极限抗拉强度时,则产生破坏;而在靠近药包区域内则主要受压应力作用造成破坏。

巷道被破坏的标志是出现塌方、剥落、掉块,产生裂缝、错位和原有裂隙扩张等破坏现象。其破坏程度可大致分为四类:

1. 毁灭性破坏区 巷道处于爆破破碎区内,将完全崩塌或抬走(在爆破漏斗内),巷道的破坏主要是岩石中压应力起主导作用。此种情况无法采取保护措施。

2. 严重破坏区 巷道处于裂隙区内,此区巷道顶板和两帮岩石连续崩落,越靠近爆源其崩落量越大,并出现裂隙张开和错动,破坏了巷道的完整性。如靠近爆破破碎区时,由于巷道自由面的存在,将影响药包破碎圈的范围扩大以致爆穿形成严重塌方阻塞巷道。巷道的破坏主要是受岩石中反射拉力波的影响。一般水平巷道经清理和重新支护尚可应用。

3. 中等破坏区 巷道靠近裂隙区而处于弹性区内,巷道中仅在向爆源一侧的顶或帮产生间断

地剥落或掉块,原有裂隙扩张和位移。此时径向反射拉应力只能使靠爆源一侧造成局部破坏,经过局部清理或支护即可使用。

4. 轻微破坏区 巷道处于爆破弹性区内,但只限于不远的范围内,此区岩石中应力波已衰减到不能造成破坏,仅巷道中不稳定的已松动岩块将被震落,原有岩石裂缝基本无变化。从工程使用意义来讲,可谓无影响。

一个通过爆区的长巷道,在地质构造简单和均质岩层的条件下,随着距爆源距离的不同,由近而远地形成四种破坏区段,其规律性表现得很明显。当通过巷道的地质构造复杂,岩层稳定性变化大,某种地质构造带或开挖方式使局部地段出现应力集中现象,将使巷道破坏出现不连续性和特殊性,因此在分析巷道破坏因素时,应按具体条件做具体分析,才能得出正确的结论。

评价爆破对巷道安全影响的方法与标准

目前运用岩石力学原理进行数学分析解决地下巷道在爆破动载荷作用下的稳定性问题还是个较复杂的问题。历次爆破实践中,采用了实际经验的分析方法。实践证明,采用这种方法判断巷道的安全程度所预计的情况基本是正确的。主要有四种方法,并根据实际统计资料给出安全标准。

1. 对单一药包爆破(或单列群药包中与受保护巷道最近的起主要作用的药包),药包与被保护巷道的安全距离可利用药包垂直破坏半径的倍数(R ,单位米)来计算:

$$R = K_1 W \sqrt[3]{f(n)},$$

式中, R ——药包与被保护巷道的安全距离; W ——最小抵抗线,米; $f(n)$ ——爆破作用指数的函数。

安全系数 K_1 值,根据历次爆破观测资料确定。巷道在不同地质条件下, K_1 值在0.5—4的范围内将产生不同程度地破坏特征,其值愈小破坏也愈严重。根据岩石的稳固程度,对一般矿山巷道,可按如下的安全标准计算。

- (1) 坚硬稳定的岩石 $K_1 \geq 2$
- (2) 中等稳定的岩石 $K_1 \geq 3$
- (3) 不稳定破碎岩石 $K_1 \geq 4$

当巷道允许有轻微或中等破坏时,可以参照实际资料采用小于上述安全标准的值。对于采空区,当其允许冒落又不致影响爆破效果时,稳定的采空区可取 $K_1 \geq 1.5$,不稳定的采空区取 $K_1 \geq 2$ 。

2. 实践中经常是群药包爆破对巷道产生破坏作用。群药包与被保护巷道的安全距离(R_d ,单位

米)采用如下的经验公式:

$$R_d = K_2 \sqrt[3]{Q_d}$$

式中, R_d ——群药包与被保护巷道的等效距离,单位米; K_2 ——经验统计系数; Q_d ——爆破区等效药量,公斤。

对于被保护巷道的不同部位,应分别计算其对应的 R_d (单位米)和 Q_d (单位公斤),习惯沿用的计算方法是:

$$R_d = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt[3]{q_i \cdot r_i}}{\sum_{i=1}^m \sqrt[3]{q_i}}$$

$$Q_d = \sum_{i=1}^m q_i \left(\frac{R_d}{r_i} \right)^3$$

式中 q_i 、 r_i 为第 i 个药包的装药量和该药包与巷道某一部位的距离。

这种计算方法比较繁琐,不少爆破工作者也早就对其正确性提出了疑问,因此有时采用群药包重心作为爆破中心, Q_d 是总药量, R_d 是爆破中心到巷道的最短距离(如果考虑巷道的某一部位时,则 R_d 是爆破中心到该部位的距离)。

根据历次爆破宏观调查的实际资料分析,可大致定为如下的安全标准:

- (1) 岩石不稳定的巷道 $K_2 > 2$ 则安全; $K_2 > 3$, 则无影响。
- (2) 岩石稳定的巷道 $K_2 > 1.5$ 则安全; $K_2 > 2$ 无影响。

大安山煤矿503吨定向筑堤大爆破对通过该爆区的运输巷道的破坏情况是个典型的例子。巷道从洞口至123米一段为2.5米高,2.4米宽的梯形断面,采用间隔木支护,通过岩性完整的辉绿岩岩层($f=14$),属于岩石稳定的巷道。宏观调查结果, $K_2 < 0.7$ 时,巷道堵塞,两帮岩石发生错动,形成2—3公分裂缝; $K_2 = 0.8—1.0$ 时,木支柱约有30%倾斜或倒塌;边帮与顶板有塌方约1—2立方米,局部岩石风化处有裂缝; $K_2 = 1.0—1.4$ 时,边墙与顶板有个别落石,塌方量小于0.5立方米,边墙上很少发生裂缝; $K_2 = 1.4—2.0$ 时,只有轻微破坏。石砬峪水库定向筑坝爆破,导流隧洞在爆区下方,岩石稳固,当 $K_2 = 1.2$ 时仅产生中等破坏。

3. 以巷道内产生的垂直振动速度做为巷道安全与否的判据。多次爆破观测资料表明,在一定的地质条件下,巷道岩石受到不同的振动速度,其破坏特征也不一样。因为不同稳定程度的岩石有一个不同的临界破坏速度,超过此临界速度便产

生破坏现象。

垂直振动速度 (V_L , 厘米/秒)按下式计算:

$$V_L = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha$$

式中, K, α ——系数; Q ——装药量, 公斤; R ——爆源与被保护巷道距离, 米;

从国内若干爆破工程实测资料可知, K, α 值变化范围较大, K 值在 37—804, α 值在 1.3—2.8 之间。这说明爆破震动衰减规律受许多因素的影响, 在相似的地质地形条件下, K, α 值可参照其他爆破工程的实测值进行估算。对重要工程应通过试验爆破加以确定。

实际资料表明, 垂直振动速度在 15 厘米/秒以下时, 对巷道没有多大破坏, 只有松石被震落, 在完整坚硬的岩石中则更无破坏迹象。对不稳定的岩石, 当垂直振动速度 > 25 厘米/秒时便产生塌方、节理张开出现错位和裂隙。而对稳定的岩石, 则在垂直振动速度大于 40—50 厘米/秒时, 才出现中等破坏现象。对于一般巷道, 从现有资料分析可以给出以下的安全标准:

- (1) 岩石稳定的巷道 $V_L > 40$ 厘米/秒
- (2) 中等稳定的巷道 $V_L > 30$ 厘米/秒
- (3) 不稳定岩石但有良好支护的巷道 $V_L > 20$ 厘米/秒

这个安全标准并不是说不发生破坏现象 (如掉块、产生裂隙、局部剥离等), 只是说这种情况并不妨碍矿山巷道的使用与服务年限。对于重要的地下构筑物的安全影响应做专门研究, 不能采用上述标准。

4. 通过对岩石动应变观测, 以环向应变量的大小判断巷道的破坏程度。目前观测数据不多, 还不能给出在不同条件下应变值的衰减规律。今将石砭峪工程在导流隧洞中对岩石动应变观测结果列于表中, 供参考。

隧洞地段	破坏程度	破坏情况简要描述	环向应变值 ($\mu\epsilon$)
0+218 ~ 0+307	中等破坏	原有岩石裂隙爆后有所变位, 张开或位移 3 厘米以上。洞壁垮方较多, 但隧洞仍完整。	350—800
0+307 ~ 0+350	轻微破坏	洞壁和洞顶有少量岩块垮落, 原有岩石裂隙爆后基本未变化或变化甚小 (小于 3 厘米)。	100—350
0+350 ~ 0+481	未破坏	个别松动岩石掉落, 未见其他破坏迹象, 裂隙有局部位移。	<100

影响巷道破坏的其他因素

前述的评价方法与标准属于经验公式和在一定条件下的安全标准。在综合分析巷道安全时要考虑问题的特殊性, 不能忽视影响巷道破坏因素的具体情况, 主要有以下几点:

1. 巷道与爆源相对位置的影响, 从实践中发现以下几种情况:

(1) 巷道垂直爆区径向的比平行径向的要破坏严重些; (2) 迎向爆源的巷道壁面的破坏程度将大于背向爆源的一面, 环向应变沿巷道断面的分布也反映出靠爆源的应变值要比另一侧大; (3) 巷道标高低于爆源标高的高差愈大, 则破坏影响愈小, 相反则影响愈大; (4) 在相同的距离时, 巷道的破坏作用远比地面破坏作用为小。从各项振动参量来看 (在不同情况下), 可减弱 20—90%。

2. 地质地形因素的影响

(1) 爆源与巷道间有地质构造带 (断层、软弱裂隙带、泥质夹层等), 将降低破坏影响; (2) 被保护巷道与爆源之间有深沟、河谷相隔时, 将显著降低破坏作用; (3) 在相同距离的条件下, 背向药包最小抵抗线方向 (或爆区临空面) 将比其他方向上有较大的破坏作用; (4) 岩石层理的影响, 顺层理方向将比垂直层理方向大一些。

3. 巷道断面与支护状况

巷道断面形状与尺寸大小的不同, 其破坏影响也不一样。例如拱形或圆形断面就比梯形或矩形断面的受力条件好一些; 断面大的巷道或大跨距洞室由于暴露面较大, 就不如一般小断面巷道的破坏影响小。

巷道支护情况不同, 破坏影响也不一样。例如某工程井下巷道处于岩石较破碎地段, 在爆破前混凝土支护已产生了许多裂隙, 经过注浆处理的地段, 在爆后大部分原有裂隙均未裂开, 而未经处理的地段, 在爆后大部分沿原有裂隙张开达观测点的 88%, 裂缝错动点占观测点 90%, 平均错动 0.19 毫米。这说明在评价安全影响时, 要考虑巷道支护质量情况。一般的破坏均发生于岩石的软弱地带 (断层、破碎带、泥质夹层) 和跨度较大的地点 (如交叉点和大混凝土室), 宏观调查有许多这样实例, 因此在爆破前加强对这些地点的支护, 可防止或减轻破坏。

目前这些影响因素, 只给了一个定性的概念, 今后需要在各项爆破工程中积累更多的资料才有可能把这些因素从定量方面加以细致考虑。