

直眼掏槽爆破基本规律的研究

中国科学院力学研究所 汪金通

当前在隧道、矿山的井、巷和水电涵洞的建设中，仍然以凿岩爆破工艺为主要手段。要做到一次爆破进尺多，炮眼利用率高，改善和提高掌子面的掏槽爆破是最关键的。

掏槽形式有楔形掏槽和直眼掏槽两种。实践证明直眼掏槽有较大的优越性。我们在成昆线官村坝隧道做了一系列直眼深眼掏槽的实验，初步搞清了掏槽爆破的基本规律和掏槽炮眼的设计原则。

官村坝隧道岩体为震旦纪石灰岩 ($f=10\sim12$)。巷道开挖爆破采用五点梅花直眼掏槽，炮眼直径 $\phi 40$ 毫米，空眼直径也是 $\phi 40$ 毫米，眼深2.5~2.6米。用2号岩石硝铵炸药，毫秒电雷管爆破。

我们按照实验总结出的五条操作原则，设计掏槽爆破，连续进行了六次实验，每次进尺均达2.5米，炮眼利用率100%。

(一) 掏槽眼爆破过程分析 为了搞清直眼掏槽爆破的机理，我们对五点梅花掏槽爆破进行了分析。炮眼布置、装药量和炮眼间距见图1和表1。

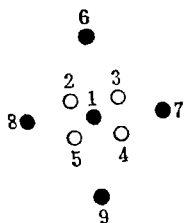


图1 炮眼排列

眼深、装药量，起爆顺序见表2。

按照表2顺序每爆破一个炮眼就观察一

炮眼间距 表1

眼位	1~2	1~3	1~4	1~5	1~6	1~7	1~8	1~9
间距(毫米)	165	155	130	150	285	295	320	300

注：其中2、3、4、5号为空眼。

爆破参数 表2

炮眼编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
眼深(米)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
装药量(公斤)	2.2	—	—	—	—	1.4	1.2	1.4	1.2
起爆顺序	1					2	4	5	3

次爆破结果，我们所看到的槽子的形成过程是这样的：1号眼爆破后，四个空眼全部被破碎岩石堵满，中心眼扩大成一大孔。大孔外部直径大一些，随眼深变化，孔径缓慢减小。在四个空眼构成的范围内，岩石达到压碎破坏。在6、7、8、9号眼构成的范围内，岩石出现许多裂缝，见图2和图3。

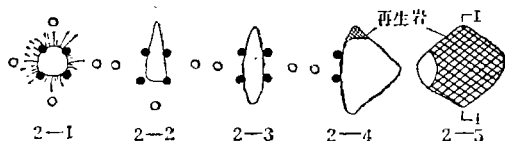


图2 爆破过程分解

2—1为1号眼爆破后的形状；2—2为6号眼爆破后的形状；2—3为9号眼爆破后的形状；2—4为7号眼爆破后的形状；2—5为8号眼爆破后的形状。

分解爆破过程，我们得到了以下基本认识：

1. 空眼的作用。1号眼爆破时，岩石向空眼流动，使1号眼扩大成大直径“空

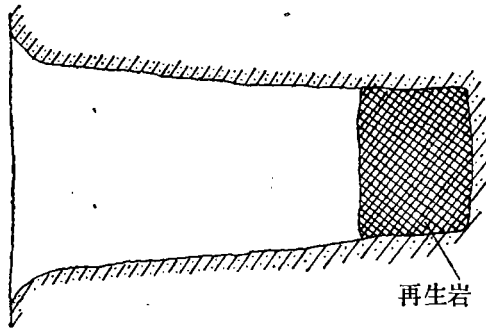


图 3 8号眼爆破后的剖面

眼”，为下一个炮眼的爆破创造临空面，四个空眼对于坚实岩石是必不可少的；再者1号眼爆破后，在槽眼构成的范围内形成一个破坏区，有利于拨眼（6、7、8、9号眼称为拨眼）的爆破。

2. 前一炮爆破后为后一炮创造临空面。

3. 一个炮眼爆破后，可能对临近炮眼的炸药产生挤压，而使炸药威力降低，甚至拒爆。

4. 底部岩体不易被爆落，石碴不易被抛出，故必须提高底部的装药密度。

5. 增长爆炸气体在炮眼内的作用时间，对提高爆破效果是有作用的（因而雷管装底部）。

(二) 毫秒电雷管和火雷管起爆的比较

在实验中我们发现用火雷管引爆会产生“再生岩”，即已被破碎的岩石又重新挤压成坚固的“岩体”。例如在我们的二十次实验中有五次用火雷管引爆均有“再生岩”(图4和表3)。爆破后不能达到全深。

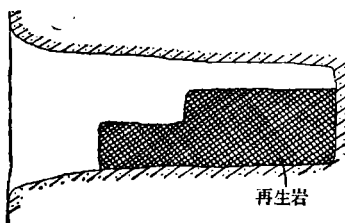


图 4 火雷管起爆后的“再生岩”

编 号	1	2	3	4	5
眼 深 (米)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
进 尺 (米)	1.9	2.2	2.2	1.8	1.9

如果采用毫秒电雷管起爆，只要时间间隔选得适当，均无“再生岩”产生，炮眼利用率可达100%。

在掏槽爆破中，起爆顺序是很重要的，尤其必须保证1号眼首先起爆，所以要把1号眼和6号眼起爆时间间隔拉得长一些，毫秒雷管应当跳几段使用，间隔50毫秒左右为宜；拨眼的起爆顺序也要准确，这样才能达到前一个炮眼爆破为后一个炮眼爆破创造临空面的效果。

因为毫秒电雷管起爆时间间隔相对于岩碴运动来说是很短的，所以某一眼爆破时，前一炮眼爆破后气体压力还没有消失，那么爆落下来的岩碴被气体搅动而抛出，不会产生“再生岩”。而用火雷管起爆，各眼起爆的时间间隔长，后一眼爆破时就把岩碴以很高的速度推到对面位置重新压成“再生岩”。爆落的岩碴抛不出来，炮眼愈深问题愈严重。“再生岩”很硬，会影响爆破效果。

此外，火雷管容易产生瞎炮，因为掏槽眼相距很近，先爆的眼常打断导火索而出现拒爆。

综上所述，可以看出，炮眼布置为螺旋式最好（如图5）：

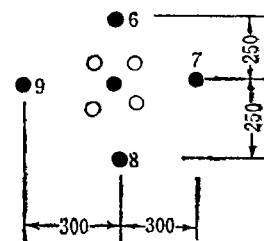


图 5 螺旋式直眼掏槽

起爆顺序为1, 6, 7, 8, 9。

(三) 炮眼间距的确定 保证掏槽成功与否的另一个关键问题是炮眼间距要合适。从掏槽分解爆破观察到，1号眼爆后掏槽内岩石必须达到破坏，这样6号眼爆破后才能和中间已形成的大空眼打通。因此1号眼和6号眼间距最好是1号眼爆破的破坏区半径。但是拨眼也不能离1号眼太近，太近了则1号眼爆后容易把拨眼内炸药压得太实而降低爆破效果，甚至拒爆。

破坏区半径一般可由实验确定。对于一个条形炮眼爆破，有关的主要参数如下：破坏区半径R和炮眼直径 a_0 ，岩石抗拉强度 σ_T ，炸药爆轰压力 P_m ，绝热指数 γ ，装药空隙比 η ……，这些量的关系可写成下面的函数：

$$f(R, a_0, \sigma_T, P_m, \gamma, \eta, \dots) = 0 \quad (1)$$

无量纲化为：

$$\frac{R}{a_0} = g\left(\frac{\sigma_T}{P_m}, \gamma, \eta, \dots\right)$$

如果炸药和岩石不变。则 $\frac{R}{a_0} = g\left(\frac{\sigma_T}{P_m}, \gamma, \eta\right) = \text{常数}$ ，这个常数g可由实验确定。破坏区半径 $R = ga_0$ 。

(四) 装药密度和雷管放置位置 炮眼底部偏离大，又有夹制作用，因此必须提高眼底装药密度。我们在装药时是把装入眼底的药卷划破，用炮棍捣实。装药密度达到1.0(克/厘米³)。实验表明，紧装药提高了爆破效果。紧装药的炮眼利用率100%，而松装药炮眼利用率60~70%。

延长爆炸气体在炮眼内的时间，可以提高爆破效果，所以炮眼还是要堵塞。另一方面，雷管应放在炮眼的底部，离底面有一定距离，这样当爆轰波达到眼口才开始喷出气

体，可以延长气体作用时间(见图6)。如果把雷管放在眼口，只要一爆轰，气体就开始向外喷。但是也不要雷管放在炮眼的最底部，这样会失去爆轰波在底部反射增压作用。

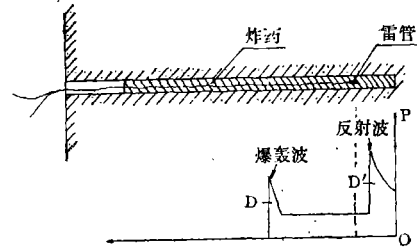


图6 起爆雷管的布置

(五) 直眼掏槽爆破五个原则

1. 以中心炮眼爆破后形成破坏区的大小来确定拨眼的位置；由中心眼扩孔大小来确定空眼的数目和位置。根据岩石和炸药种类的不同，在要开挖的掌子面上打一炮眼，按前述装药法，进行装药放炮，爆破后观察掌子面破坏情况，即可确定破坏区的大小，拨眼布置在破坏区的边缘。破坏区半径和炮眼直径成正比。

2. 合理的起爆顺序。起爆顺序总是中心炮眼先起爆，其余炮眼以有利于形成临空面为原则，安排起爆顺序。起爆时间间隔50毫秒。最好用毫秒延发雷管起爆。

3. 对于掏槽爆破，装药密度愈高，爆破效果愈好，装药密度要达到1.0(克/厘米³)以上。

4. 雷管顺装于眼底部第2，第3节药卷上。

5. 在岩石比较松软的情况下，若用直眼掏槽可少用或不用空眼。空眼数目可以根据一个炮眼爆破后的扩孔能力来确定，最多不超过四个。