

光面爆破

煤矿掘进技术译文集



阜新矿业学院译

第三集

煤炭工业出版社

煤矿掘进技术译文集

第三集

光 面 爆 破

阜新矿业学院 译

煤炭工业出版社

出版者的话

为了配合我国煤炭工业基本建设大发展的需要，我们试编了《煤矿掘进技术译文集》，向有关读者介绍目前国外井巷掘进的技术和工艺，以供参考。

译文集主要选编了煤矿井巷掘进技术、工艺以及有关理论研究，包括锚杆支护、喷射混凝土支护、深孔光面爆破、掘进机械化、岩石力学等方面内容。今后将分专题陆续编译出版。

由于我们初次试编，缺点错误难免，希望读者批评指正。同时，亦请从事井巷工程科研和施工的同志们根据以上几方面内容，推荐译文，提出建议，为出好这套译文集给予大力支持。

目 录

一、控制爆破·····	1
二、岩石破碎力学·····	20
三、隧道爆破·····	31
四、利用直眼掏槽进行隧道爆破·····	83
五、光面爆破与预裂·····	115
六、光面爆破破裂机理的研究·····	132
七、光面爆破的研究·····	146
八、关于破坏机理的理论探讨·····	159
九、光面爆破施工方面的问题和一、二个实例·····	171
十、应力波与气体压力在预裂爆破中的作用·····	184
十一、靠近自由面爆破时裂缝和爆破漏斗的生 成机理·····	204
十二、关于预裂爆破生成的预裂缝的作用·····	217
十三、论光面爆破中导向孔的作用·····	231
十四、地下巷道光面爆破工作的参数·····	244
十五、水平巷道掘进中光面爆破合理参数的选择·····	252
十六、利用光面爆破掘进巷道·····	257
十七、克拉斯诺雅尔斯克水电站建设工程中的 光面爆破·····	266
十八、光面爆破主要参数的计算·····	280
十九、英国隧道施工中的光面爆破技术·····	290
二十、光面爆破(节译)·····	305

一、控制爆破

本章将分析几种“控制爆破”方法。尽管对每一种方法的局限性都作了介绍，但有必要强调这样一个事实，即控制超挖的问题，在很大程度上要受到地质构造条件的限制。

美国杜邦公司采用控制爆破的经验表明，不可能在各种地质构造中都能获得良好的控制超挖的效果。如果岩体不能自撑，则不论采用何种爆破方法，超挖将是不可避免的。

这些方法并不是万灵药，因此仍应根据岩石性质设计边坡。当采用所叙述的任何一种方法时，建议应当首先进行小规模试验，以便确定是否可以采用，然后再确定最优装药量与炮孔布置。

为了减少超挖，可以采用多种控制爆破方法。然而，所有这些方法的共同目的都是：减少并更好地分配炸药，使轮廓线以外的岩石应力和破裂减少到最低程度。

控制爆破方法的名称很多，在某些情况下，甚至是混乱的。

在采矿与建筑业中，从开始使用炸药时起，就力图找到一种可靠的控制超挖的方法。近年来，这方面的研究工作日趋复杂了。然而，对于实际应用来说，这些研究基本上仍然处于试验阶段，甚至有一些主张是错误的。如果考虑到爆破工程中所遇到的复杂地质条件时，这是不足为怪的。例如，同一种爆破方法不可能在整体火成岩与层理发达的沉积岩中同时获得成功。

多年以来，轮廓线钻孔法是用来控制超挖的唯一方法。轮廓线钻孔法是沿着轮廓周边钻、排密集的不装药的空孔，以便造成一个在爆破时易于断裂的薄弱面。

近年来，轮廓线钻孔法又有了许多新的发展，从而就产生了一些新的术语，如缓冲爆破法、预切爆破法、预裂爆破法、光面爆破法、成型爆破法、周边爆破法及轮廓爆破法等。这些方法与最初的轮廓钻孔法的主要区别就在于，部分或全部钻孔中装入少量均匀分布的炸药。这些炸药爆炸时，会把炮孔之间的岩石切断，因此与轮廓线钻孔法相比，孔距可以加大，从而会降低钻孔的成本，在多数情况下，控制超挖的效果更好。

这里介绍四种控制爆破技术：1. 轮廓线钻孔法；2. 缓冲爆破法；3. 光面爆破法；4. 预裂（预切）爆破法。上述的一些方法在地下和地面工程中都可以应用。本章将叙述这些方法的应用、优点及其局限性。

轮 廓 线 钻 孔 法

原理 轮廓线钻孔法，就是沿轮廓线钻一排密集的、不装药的小直径炮孔，为主爆提供一个易于破裂的薄弱面。同时，它还能反射由爆破造成的冲击波，从而会减少壁面的破坏与应力。

应用 轮廓线钻孔法的孔径通常为2~3英寸。孔距为孔径的2~4倍，沿轮廓线布置。在轮廓线钻孔法中，很少采用大于3英寸的钻孔，因为增大孔距不可能抵消较高的钻孔成本。与轮廓线钻孔相邻的炮孔装药量一般较少，其孔距则要比其它炮孔密一些。轮廓线钻孔与其直接相邻的炮孔之间的距离通常为最小抵抗线的50~75%。在一般实际应用中，与

轮廓线钻孔相邻的一排炮孔间的间距也应按此比例减少，并且装药量也要减少50%。炸药在炮孔内应均匀分布，采用分段装药法，用导爆索起爆。

轮廓线钻孔法最适用于层理、节理与裂隙最不发育的均质岩石。因为，不规则的地质现象都是天然的薄弱面，它能使爆破断裂穿过轮廓线钻孔并延伸到坡面的内部。在薄层的沉积岩与成层的变质岩内，除非有可能使钻孔与岩层的走向垂直，否则轮廓线钻孔法不能很好地控制超挖。然而，在大多数的掘凿工程中，这样做是不现实的。

露天工程 图 1-1 为露天工程中的轮廓线钻孔布置与爆破工序。当主爆区开挖到距轮廓线一到三排炮孔时，效果最好。采用延发雷管或毫秒雷管爆破最后一排或几排炮孔，使其沿轮廓线崩掉。这种爆破工序将能最大限度地减轻对坡面的压力，使岩石向前移动，从而就造成较小的反向压力，以免轮廓线钻孔背部的岩石超挖。

在薄层沉积岩层和成层变质岩中，将部分轮廓钻孔装入少量炸药，通常可以改善轮廓线钻孔法的效果。于是就导致了缓冲爆破法与光面爆破法的出现。也曾经发现，在某些岩层内，在轮廓线钻孔内装入少量炸药，并于主爆之前起爆，也可以改善轮廓线钻孔法的效果。于是就又发展成众所周知的预裂爆破或者预切爆破法。轮廓线钻孔法的这些变型都是

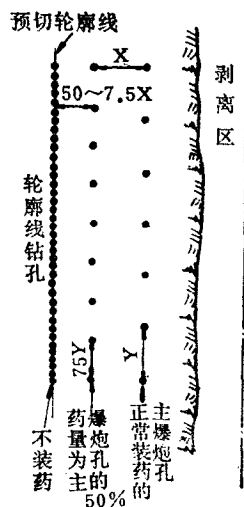


图 1-1 轮廓线钻孔法的典型炮孔布置与爆破工序

沿轮廓线利用炸药的力量在钻孔之间切断岩石，从而就形成了一个人为的薄弱面。

地下工程 这种利用不装药空心孔的轮廓线钻孔法在地下工程中具有很大的局限性。通常要在密集的钻孔中装入少量炸药。这种方法就叫作光面爆破法。关于这种爆破方法将在下面叙述。

优点 在使用较少的炸药也会在轮廓线的背部造成损坏的区段，以采用轮廓线钻孔法为宜。在装药炮孔之间利用轮廓线钻孔，可以促使岩石断裂，其效果良好。

缺点 必须承认，轮廓线钻孔法有许多缺点。除非在均质岩层内，否则其效果是不可靠的。由于钻孔的间距太密，钻孔费用很高。另外，轮廓线钻孔的孔距小，孔数多，故钻孔工作繁重，并且由于钻孔的准确度难以保证，其效果往往不佳。

缓 冲 爆 破 法

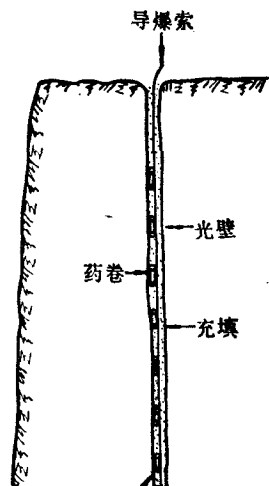
原理 缓冲爆破法，有时也被叫作修帮、刷帮，或者扩帮。是加拿大首先采用的。与轮廓线钻孔法一样，也是沿着轮廓线打一排孔。虽然最初都使用 $4\sim 6\frac{1}{2}$ 英寸直径的炮孔，但目前也有采用较小直径炮孔的，如 $2\sim 3\frac{1}{2}$ 英寸。在缓冲爆破孔内装入少量均匀分布的炸药，全部充填，并在主爆区爆破的矸石装运完了之后起爆。起爆时，充填物起缓冲作用，减少对壁面的冲击，从而能最大限度地减少壁面上的应力与破碎。采用起爆时差最小的雷管起爆各缓冲炮孔，切断炮孔之间的岩石，从而就形成了超挖量最小的光面。

很明显，缓冲炮孔的直径越大，缓冲的效果就越好。

应用 采用缓冲爆破法时，要在主爆区排矸之后，在轮

廓线前面留下一个最小的缓冲区或台阶。可于主爆区爆破之前，或者在最后一个台阶爆破之前钻缓冲爆破孔。

露天工程 最小抵抗线与孔距将依据所采用的炮孔直径的不同而改变。表 1-1 为不同孔径的炮孔布置与装药量的参考数据。必须指出，表中所列数据是根据在各种岩石内进行多次试验之后得出的平均值。全部或部分地采用直径 1~2 英寸，长度为 8 英寸的药卷。将药卷捆绑在导爆索上，药卷间隔为 1~2 英尺。为了确保孔底部断裂，孔底的装药量通常为上部装药量的 2~3 倍。为了获得最大的缓冲效果，炸药应尽可能装在紧靠爆破剥离的一侧（图 1-2）。



底部的每英尺装药量应加大 2~3 倍，以保证切断坡底。

图 1-2 缓冲爆破法的炸药分布

药卷应捆绑在导爆索上送入炮孔内，如果药卷上有导爆索套管时，则可按一定间隔将药卷装入孔内。为了在药卷之间保持一定的间隔，可以使用间隔管。如果不使用间隔管，则可以在药卷之间加充填物。如果沿导爆索的全长已预先捆上药卷时，则应在全部炸药装完之后，再进行充填。这时，可以用具有足够流动性的砂子、碎石或砾石当作充填物。充填时，要轻轻上下拉动导爆索，以便填实药卷之间的空隙。孔顶部 2~3 英尺处不装药，并需全部充填。孔顶部的充填长度，需根据所爆破的岩石的性质决定。

缓冲爆破孔之间的起爆时差为最小时，孔间的岩石断裂

的效果会最好。因此，通常采用导爆索干线起爆。如果需要控制声响和震动时，则应使用毫秒雷管。

最小抵抗线与孔距之比将依岩层条件的不同而变化，但为了保证使炮孔之间的岩石能最大限度地断裂，孔间距始终应当小于最小抵抗线的长度（表1-1）。

表 1-1 缓冲爆破的预计装药量和炮孔布置

炮 孔 直 径 (英寸)	间 距* (英尺)	最小抵抗线* (英尺)	装 药 量* Δ (磅/英尺)
2~2 1/2	3	4	0.08~0.25
3~3 1/2	4	5	0.13~0.50
4~4 1/2	5	6	0.25~0.70
5~5 1/2	6	7	0.75~1.00
6~6 1/2	7	9	1.00~1.50

* 根据所爆破的岩层决定。表列数据系平均值。

Δ 以药卷直径不超过孔径的1/2为宜。

缓冲爆破可以分成台阶进行，或者将缓冲爆破孔预先钻到剥离层的全深进行爆破。当采用台阶法分段爆破时，每个台阶通常都至少要留下一英尺宽的台肩，因为不可能将钻架紧贴在上一个台阶的坡壁上。

缓冲爆破孔的最大深度取决于钻孔的准确度。孔径越大，炮孔的准确度就会愈高，而深度就有可能加大。钻孔的平面误差大于6英寸时，缓冲的效果就会下降。曾采用90英尺深的炮孔进行缓冲爆破，并取得了成功。在决定缓冲爆破的深度时，还应当考虑钻孔的速度问题。例如，当超过一定深度时，钻孔的速度就会太低，因此采用分段爆破就比较经济，能够降低总的钻孔成本。

当沿着曲线，或者在拐角处进行缓冲爆破时，孔间距应当比直线区段更密一些。当在非线性工作面上进行爆破时，

为了提高爆破效果，也可以使用导向孔。在 90° 拐角处，将各种控制爆破方法组合使用，其效果将会比单纯用一种缓冲爆破法要好一些（图1-3）。

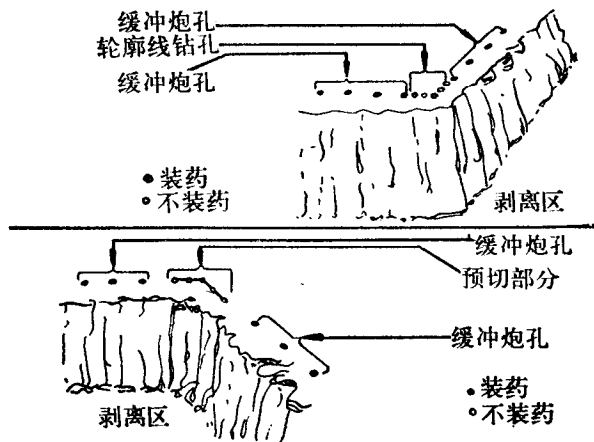


图 1-3 非线性工作面的缓冲爆破

在许多不易形成光面的沉积岩中，建议在缓冲爆破孔之间钻不装药的导向孔。通常，导向孔的直径要小一些，以便降低钻孔的成本。

在岩层顶部被风化的地方，仅需将导向孔钻到风化岩层的深度，而不需钻到缓冲爆破孔的全深。在开挖第一台阶时经常这样做，因为与下部各台阶相比，第一个台阶的超挖的可能性是比较大的。

在坚硬的均质岩层内，可以只充填炮孔顶部2~3英尺处，炸药之间不充填。这种作法也曾获得过良好的效果。这时，炸药与孔壁之间的空气起着缓冲作用。如果在药卷之间不充

填，则在炮孔全深未能实现预裂之前，爆生气体有可能会沿着岩层中的裂隙逸出。同样，爆生气体也可能沿裂隙涌向光壁，从而造成超挖。所以，除非岩层极其坚硬、均质，否则药卷之间，以及药卷周围的间隙都应全部充填。尽管在实践中不经常采用，但也有如图 1-4 所示，采用各炮孔之间药卷交错装药的布置方法。目的是使炸药的能量均匀分布，从而可以改善爆破效果。

为了使装药分布更合理，应采用小直径(7/8到1英寸)少量炸药作柱状装药。采用这种方法，药卷与孔壁之间就不必再充填。因为这种装药方式能使炸药不再集中在某一点上。然而，仍然应将柱状装药的顶部到孔颈处全部充填。经常在柱状装药的顶部用一个纸杯，或者纸塞封口，以免充填物落入炸药周围的空间(图1-5)。

在露天工程中，无论是垂直炮孔还是倾斜炮孔都可以采用缓冲爆破。在这两种情况下，钻孔的准确度都是很重要的。

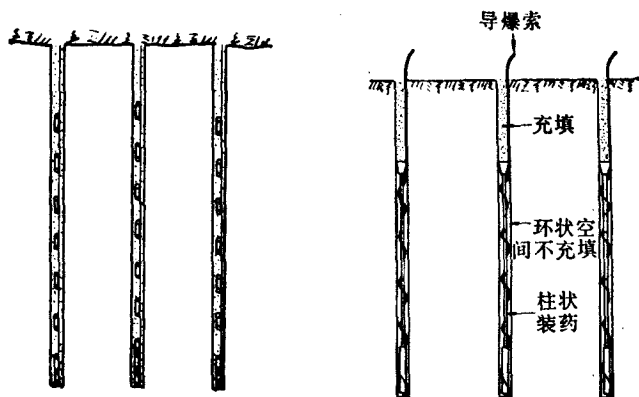


图 1-4 药卷交错排列均匀分布 图 1-5 炸药合理分布的柱状装药

地下工程 由于缓冲爆破的最大效果是由炸药之间，以及炸药周围的充填物的作用造成的，故对使用小直径水平炮孔的地下工程的价值不大。用上述方法充填地下工程中的炮孔显然是不可能的。但采用空气间隔的办法也可以获得某些效果。在井筒开凿工程中，或者在利用垂直或倾斜炮孔的某些地下工程中，也可以采用与露天工程相似的方法。

为了便于实际操作，在地下巷道中，当需要控制超挖时，仅需在孔颈处充填。这个问题，将在光面爆破法中讨论。

优点 缓冲爆破法有一定的优点。使用这种方法时，可以增大孔距，从而降低钻孔的成本。在较松软的岩层中效果比较好，并且在第一次放炮以后就能观察到爆破效果，在下次放炮前，可以根据需要调整装药量。此外，可以从主爆区中获得完整的地质资料，故在装药时，可以减少盲目性。最后，大直径炮孔的钻孔准确度较高，因此炮孔深度可以加大。

缺点 缓冲爆破法有几个值得注意的缺点。这些缺点是，放炮之前，需将主爆区的矸石排完；在掘凿 90° 角的拐弯区段时，必须同时配合使用轮廓线钻孔法和预裂爆破等方法。主爆区爆破时有可能将缓冲爆破的全部或部分台阶崩掉，因此需要不断调整各种炮孔的装药量。

光 面 爆 破 法

原理 光面爆破法，有时也叫作轮廓爆破法、周边爆破法或者成型爆破法。这种方法是在瑞典首次采用的，并在地下巷道与采场等掘凿工程中被广泛应用来控制超挖。光面爆破法既可以用在地下工程中，又可以用在露天工程中。然而，由于这种方法在露天工程中的各种用途与缓冲爆破法相同，

故这里只研究光面爆破法在地下工程中的应用。

光面爆破法的基本原理与缓冲爆破法相同，即沿轮廓线钻孔，并进行少量装药，将光面前的预留层炸掉。各炮孔用毫秒雷管起爆，使之产生剪切作用，从而形成超挖量最小的光面。

应用—地下工程 在地下巷道中，由于岩层不稳固，顶板与两帮经常会发生片落和冒顶，因此，在爆破的冲击作用下经常会造成超挖。

采用光面爆破法，由于在周边孔中有少量装药，炸药分布均匀，故爆破后所需要的支护量少，超挖量也不大。在较坚硬的和较均质的岩层中，用光面爆破法也可以保证形成较光滑和较坚实的顶板和两帮。在地下工程中，光面爆破是按大约 1.5:1 的最小抵抗线与炮孔间距之比钻凿周边孔，均匀分布少量装药，用炮孔组起爆顺序中最后一段雷管起爆（图1-6）。

这些炮孔要在底部炮孔爆炸之后起爆，目的是为了能在彻底排除被崩落下来的岩石之后，为光面爆破孔造成最大限度的卸载。由于卸载的结果，光面前的预留层岩石可以自由运动，于是就减少了巷道围岩的破裂。为了造成最大卸载，有时还可采用导硐法。当导硐完全掘凿完了之后，再在光面前的预留层岩石上钻孔放炮。这时，光面爆破的炮孔深度可以大于一次爆破循环进尺的长度。采用导硐法时，可以在巷道的大部分周边上进行光面爆破。按图 1-6 所示进行光面爆破时，由于爆破后矸石的堆积，故只能在拱顶与一部分帮壁处造成卸载。因此，在帮壁的下部，光面爆破的效果通常不佳。

所规定的最小抵抗线与炮孔间距之比 1.5:1 可作为一个

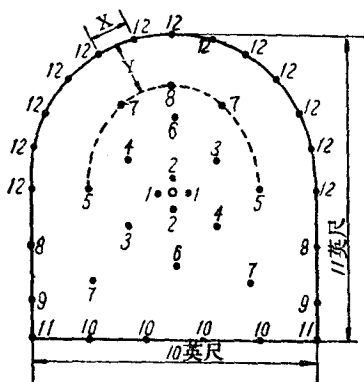


图 1-6 地下巷道典型段发顺序布置
(注: 图中Y比X大)

基点, 并按所爆破的岩石性质不同作一定的调整。另外, 往往没有必要采用毫秒雷管起爆。在周边孔中进行均匀分布的少量装药, 按一般炮孔布置与段发起爆进行爆破, 也可以得到令人满意的效果。表 1-2 为光面爆破的炮孔布置方式及每英尺装药量的参考数据。

表 1-2 光 面 爆 破

炮 孔 直 径 (英寸)	炮 孔 间 距* (英尺)	最 小 抵 抗 线* (英尺)	装 药 量* (磅/英尺)
$1\frac{1}{2} \sim 1\frac{3}{4}$	2	3	0.12~0.25
2	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	0.12~0.25

* 根据所爆破的岩层条件决定。表列数据为平均值。

因为在水平炮孔中, 将炸药包绑在导爆索上行不通, 故在光面爆破中, 通常使用串状装药, 采用低密度、小直径的硝甘炸药药卷, 以便减小装药量并使炸药均匀分布于炮孔

内。必须用炮孔塞子、炮泥，或者用标准尺寸的硝甘炸药药卷来填堵这些炮孔。如果光面爆破炮孔不充填，则延迟起爆的串状装药将会被崩出。炮孔充填还可以防止打筒子（空炮），并且有可能进一步减小药量。小直径串状装药在初次试验时经常不成功，这是因为孔内装药距孔口太近。因此，先起爆的炮孔经常会将尚未来得及起爆的炮孔中的炸药崩出，落入矸石堆中。

使用小直径低爆力长药卷能使炸药在炮孔的全长上均匀分布。然而标准型的 8 英寸长的药卷在地下光面爆破工程中使用也很成功，但要使用间隔管，以便降低装药密度（磅/英尺）。但是这种方法会造成较高的点密度，在不稳固的岩层中，光面效果不好。

优点 与普通爆破方法相比，光面爆破法有两个主要优点：能降低超挖，并且可以减少顶板支护量。

缺点 这种爆破方法的缺点是：周边眼数目要比普通爆破法多。另外，它不适用于所有的岩层，如果岩层太软不能自撑时，则使用光面爆破法并不能完全取消顶板支护。

预裂爆破法

原理 预裂爆破法，有时亦叫作预切、预切槽，或者叫作应力缓冲爆破法。这种方法就是沿轮廓线钻一排炮孔。炮孔直径为 2~4 英寸，在大多数情况下，全部炮孔都装药。预裂爆破法与轮廓线钻孔法、缓冲爆破法，以及光面爆破法的主要区别就在于，预裂炮孔必须在相邻的主爆区爆破之前起爆。

预裂爆破法的原理是，当两个相邻的炮孔同时起爆时，冲击波在炮孔之间相互碰撞，使炮孔间的岩石承受拉力，从

而造就造成破裂，于是在炮孔之间就形成断裂区（图1-7）。如果炮孔间距与装药量合适，炮孔间的断裂区将呈现一条狭窄的预切槽，为以后的主爆区沿着该切槽破断创造条件。这样就能形成超挖量最小，或无超挖的光面。

这一预切面能反射来自随后起爆的主爆区的部分冲击波，防止冲击波进入光壁，从而能最大限度地减少岩壁的破坏和超挖。

应用一露天工程 预裂炮孔的装药方法与缓冲爆破法相似，即将全部或部分直径为1~2英寸，长8英寸的药卷作串状装药，间隔为1~2英尺。然而用7/8和1英寸直径的药卷作连续柱状装药时，也可以获得很好的效果。

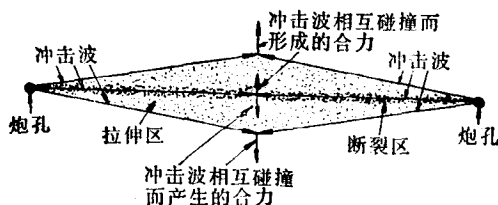


图 1-7 预裂爆破法的原理

如同缓冲爆破法一样，通常采用导爆索干线使各炮孔同时起爆。如果干线过长时，一些区段也可以用毫秒迟发爆破，或采用毫秒继爆管。

在软岩层中，可以在装药孔之间钻导向孔（或称减压孔），以利于沿预切面断裂，提高其效果。即使在较坚硬的岩层中，在装药孔之间使用导向孔所产生的效果，也会比增加各炮孔的装药量的办法好。

平均炮孔间距与每英尺炮孔装药量如表 1-3 所示。表中