

煤矿安全程度评估 与安全事故防范

实务全书

主编：谢德林

黑龙江人民出版社

煤矿安全程度评估与安全 事故防范实务全书

(第二卷)

黑龙江人民出版社

第十四章 煤矿爆破安全评估

第一节 煤矿爆破安全评估基础知识

一、岩石（煤）与爆破安全基本知识

（一）岩石（煤）有哪些主要的物理状态和性质

岩石（煤）是煤矿爆破工作的主要对象。它的物理状态和物理性质对凿岩和爆破有很大影响，了解这些影响有利于在实际工作中合理的确定爆破参数和选用炸药。

对凿岩和爆破有明显影响的岩石物理状态有：粒度、风化程度、层理和节理；岩石的物理性质主要有：粘性、硬度、弹性、脆性，以及孔隙率、含水性和含气性等。

岩石的粒度，指组成岩石的颗粒大小。粒度越细，岩石越硬，越难于爆破。

岩石的风化程度是指岩石受空气、水和气温作用而破坏的程度。风化后的岩石容易钻孔和爆破。

层理是指构成岩（煤）层的各个层面。顺着层面最容易使岩石分裂成块。层理发达的采掘工作面顶板，容易离层，造成来压和维护困难。爆破时，应控制顶眼的装药量，减少震动。

节理是指岩（煤）层中的纵向裂缝。节理使岩（煤）容易裂开成块，当岩（煤）中节理与炮眼方向重合时，容易夹钎子，泄漏爆炸气体，降低爆破效率。在有瓦斯和煤尘爆炸危险的采掘工作面，炮眼泄漏的爆炸生成气体，容易引爆瓦斯和煤尘。当采煤工作面方向与煤层节理方向平行时，工作面煤壁容易片帮伤人。当采煤工作面方向与煤层顶板岩石节理方向平行或近于平行时，极易造成大面积冒顶。

岩石的粘性说明岩石块从抵抗岩体分离的能力。一般岩石顺着层理的粘结性较小，垂直层理的粘结性较大。岩石的粘性越大，炸药的消耗量就越大。

岩石的硬度说明岩石抵抗打眼工具钻进的能力。硬度大的岩石，钻眼与爆破难度也大。岩石的弹性，是指作用在岩石上的外力消除后，岩石恢复原来形状和体积的能力。岩石的弹性越大，越难凿眼。弹性大的岩石应选择爆力大的炸药。

岩石的脆性，是岩石受到冲击或爆破时碎裂成块的性质。越脆的岩石越易破碎。脆性大的岩石应选用猛度大的炸药。

岩石的含水性，是指岩石中含水的情况和暴露后渗出水的能力。含水的岩层应使用抗水炸药。

岩石（煤）的含气性，是指岩层（煤）内含有某些气体，在采掘暴露后排出气体，（在煤矿中主要是瓦斯）的能力。在这样的煤、岩层中进行采掘工作时，所采用的炸药和雷管的种类、装药和放炮工艺等在《煤矿安全规程》中都有严格的规定，不得违反，以防发生瓦斯和煤尘爆炸事故。

（二）煤层的伪顶、直接顶和老顶

根据顶板垮落难易和与煤层的相对位置的不同，一般把顶板分为伪顶、直接顶和老顶。

（1）伪顶：直接位于煤层上面，是极易脱落的岩层，厚度不大，一般为0.2~0.5m。在大多数情况下，伪顶随着落煤同时冒落，伪顶一般是炭质页岩。

（2）直接顶：位于伪顶或煤层上面，由一层或几层岩石组成，有厚有薄，一般在回柱放顶或移动支架后就会垮落。直接顶多为页岩、砂质页岩或砂岩等。

（3）老顶：由位于直接顶上面的厚而坚硬的岩层所组成。老顶可能维持很大的悬顶面积不垮落，回柱后，一般不随直接顶一起垮落。老顶多为砂岩、砾岩、石灰岩等。

（三）最大控顶距和最小控顶距

掘进工作面放炮后，支架到工作面的距离叫最大控顶距；放炮前，支架到工作面的距离叫最小控顶距。

采煤工作面中煤壁至末排支柱的顶梁后端，或至放顶柱之间的最大距离叫最大控顶距；其最小距离叫最小控顶距。

《煤矿安全规程》规定，采掘工作面的控顶距离不符合作业规程的规定，不准装药放炮。又规定掘进工作面到永久支护之间，必须使用临时支架或金属前探支架，严禁空顶作业；采煤工作面控顶距离超过作业规程规定时，禁止采煤。

二、炸药与爆炸安全知识

(一) 炸药的主要特征

(1) 具有相对稳定性和化学爆炸性。当炸药未受外界能量作用时，在常温下，处于相对稳定状态，故能保证在加工、运输、储存和使用时的安全。但炸药的物质结构属化学不稳定体系，一旦受到外界的能量作用，就打破了原来的平衡结构，经化学反应，转化为爆炸，故具有化学爆炸性。

(2) 在微小的体积中蕴藏有大量能量。单位重量的炸药爆炸时放出的热量要比单位重量的普通燃料燃烧时放出的热量要小，但单位容积的炸药比单位容积的普通燃料放出的热量要大数百倍。即炸药具有很高的能量密度。

(3) 能够依靠自身的氧化实现爆炸反应。炸药主要由碳、氢、氧、氮四种元素组成。碳和氢为可燃元素，氧为助燃元素。炸药在爆炸时与普通燃料燃烧时不同，它不需要外界供氧，只靠自身的氧就可以进行化学反应。

(二) 炸药爆炸及其三要素

1. 炸药受外界能量作用后，炸药的成分经化学反应急剧分解，在瞬间内产生大量的热和气体，并急剧膨胀，形成高压，对周围的煤、岩等介质起破坏作用。

2. 炸药的爆炸反应具有以下三个要素：

(1) 反应过程中能放出大量的热。放出大量的热是化学爆炸进行所必须具备的首要条件。如果热量不足，爆炸过程就不可能发生。依靠化学反应放出大量的热，能使爆炸生成的气体被加热到数千度（℃），压力可达数千MPa。爆炸反应的热量和速度越大，则爆炸作功的能量也越大。因此，爆炸反应热量的大小，是衡量炸药作功能力大小的重要标志。工业常用炸药的热量为 $262.6 \times 10^4 \sim 627 \times 10^4 \text{ J/kg}$ ；铵梯炸药的热量约为 $420 \times 10^4 \text{ J/kg}$ 。

(2) 爆炸反应速度快。炸药与一般可燃物相比，虽然它的总能量不高，但由于炸药爆炸过程速度高达 $1500 \sim 8500 \text{ m/s}$ ，反应时间仅为十万分之一到百万分之一秒。如 1 kg 铵梯炸药爆炸时，约在十万分之三秒时间内完成化学反应。反应速度快是形成爆炸的必要条件，也是爆炸反应的特点之一。炸药爆炸对外界所作的功，随其反应速度增高而加大。所以爆炸反应速度是衡量炸药威力的重要因素。

(3) 能生成大量的气体产物。炸药爆炸后生成大量气体，有二氧化碳、氮气和 water 蒸气，还产生一些有毒气体如一氧化碳和氮的氧化物。这些气体在膨胀过程中，能对周围介质发生破坏，把炸药的能量转换为机械功。如果只

有高速和放热的化学反应，没有生成大量气体产物，是不会产生化学爆炸现象的。工业常用炸药生成的气体体积为 700~1000L/kg，铵梯炸药爆炸生成气体体积比原体积增大 850~920 倍。

总之，炸药爆炸必须同时具备三个要素，三者又是相互联系的。所以，高温、高压、高速是炸药爆炸的重要特点。

（三）炸药的化学反应对安全爆破的影响

由于炸药的反应速度、激发条件、炸药性质和其它因素不同，反应的形式也不相同，一般可分为以下三种形式：

（1）热分解。热分解是炸药缓慢发生的化学变化。炸药在常温常压下也可以分解，但反应过程中不产生火、光和声响，不易被察觉，对外界没有破坏作用。温度越高，分解愈显著。炸药在贮存期间，热分解不仅使炸药变质，而且分解过程中还要放出热量。如这些热量不能及时散失，将促使温度不断升高，分解速度加快，当温度升到爆发点时，热分解就会转化为燃烧或爆炸。因此，储存期间，必须采取措施，控制温度、湿度和压力，防止发生自燃和自爆事故。

（2）燃烧。炸药在热源和火焰作用下会燃烧。炸药燃烧时不需要外部供氧，它不是全部同时参与反应，而是局限于极小的范围。反应释放出来的能量靠热传导来传递，并激起化学反应，其速度可达每秒数厘米或数米，甚至数百米。因此，炸药在保存期间要注意改善通风条件，防止炸药在密闭条件下燃烧。一旦炸药着火，切不可用砂土掩埋，因为炸药本身含有氧化剂，不需要外界供氧，密闭反会导致压力升高，使燃烧加速，甚至引起爆炸。

（3）爆炸。爆炸与燃烧的化学反应虽然相同，但爆炸反应区能形成压缩冲击波，使反应区内外的温度、压力和密度等状态产生剧烈的变化。反应能量的传递和反应区的传播靠压缩冲击波来进行，反应极为迅速，速度高达每秒数千米，能放出更多的热量和产生更高的温度，并产生极高的压力。

爆炸反应存在稳定爆炸和不稳定爆炸两种情况。反应速度高而且保持恒定的爆炸称为稳定爆炸，也称为爆轰。反应速度较低且变化不定的爆炸称为不稳定爆炸，简称爆炸，其爆速不仅低于爆轰，而且容易衰减，甚至熄爆，使炸药不能全部反应，以致产生半爆、爆燃或拒爆等现象，给爆破安全带来不安全因素。

三、放炮说明书与炮眼布置安全

（一）放炮说明书的作用和内容

1. 放炮说明书是作业规程的主要内容之一，是爆破作业贯彻《煤矿安全规程》的具体措施，是爆破工进行爆破作业的依据。《煤矿安全规程》规定，放炮必须依照放炮说明书进行放炮。

2. 放炮说明书的编制内容

(1) 炮眼布置图必须表明采煤工作面的高度和打眼范围或掘进巷道的断面尺寸，炮眼的位置、个数、深度、角度及炮眼编号，并用正视图、平面图和剖面图表示。

(2) 炮眼说明表必须说明炮眼的名称、深度、角度、装药量、封泥长度、连线方法和起爆顺序。

(3) 预期爆破效果表，要说明炮眼利用率、每循环进度和炮眼总长度，炸药和雷管总消耗量及单位消耗量等。

(4) 放炮说明书必须编入作业规程，并根据不同的地质条件和技术条件及时修改补充。

(二) 炮采工作面炮眼的种类和排列形式及主要参数

1. 炮采工作面炮眼的种类

炮采工作面的炮眼，按位置可分为顶眼、腰眼和底眼。如图 14-1 所示。

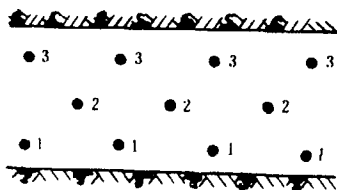


图 14-1 炮采工作面炮眼布置

1—底眼；2—腰眼；3—顶眼

底眼位于工作面的底部，它的作用是先先将煤层下部的煤崩出，为腰眼和顶眼创造自由面，不留底煤，不破底板，为装煤、移溜和支柱创造良好条件。

腰眼位于煤层顶板与底板之间的腰部，它的作用是进一步扩大底眼掏槽，为顶眼增加新的自由面，为落煤创造条件。顶眼位于腰眼和顶板之间，它的作用是在不留顶煤并保持顶板稳定或少受震动的情况下落煤。

炮采工作面的炮眼排列应根据工作面的采高、煤的硬度、顶底板岩层性质和煤层的节理、层理等条件来确定。

2. 炮眼的排列形式有以下几种：

(1) 单排眼：一般用于 1m 以下的薄煤层或煤质松软、节理发达的中厚煤层。一般沿工作面打一排稍俯并斜向一侧的炮眼。如图 14-2 所示。

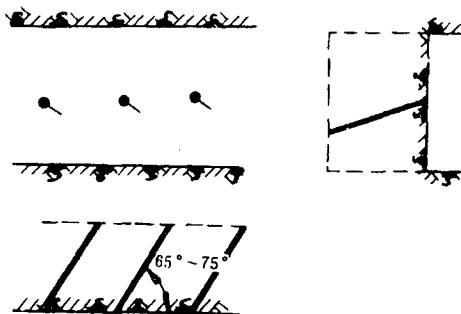


图 14-2 单排眼布置

(2) 双排眼：当煤层厚度为 1.0~1.5m，煤层中硬时，沿工作面打两排上下成对的炮眼，叫双排眼或对眼，如图 14-3 所示。

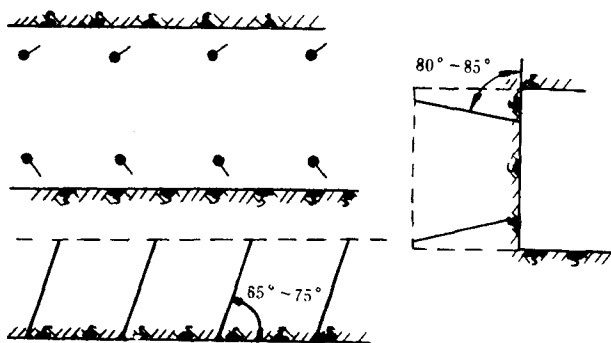


图 14-3 双排眼布置

(3) 三花眼：煤层厚度 1.0~1.5m，煤质松软时，打两排上，下错开的炮眼叫三花眼，如图 14-4 所示。

(4) 五花眼：适用于煤层大于 1.5m，煤质坚硬或采高较大的中厚煤层。如图 14-5 所示。

3. 炮采工作面炮眼的主要参数

(1) 炮眼角度。为便于打眼操作和不崩倒支架，炮眼与煤壁水平夹角一般为 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ，角度过大，容易影响爆破效果；角度过小，不便于打眼操作，容易崩倒工作面支架，爆破时将大量煤炭崩入采空区，增加清扫浮煤工作量，又损失煤炭资源，易酿成自然发火。但掏槽眼因只有一个自由面，炮眼角度应小些，一般为 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 。

炮眼在垂直面上，顶眼一般有仰角，底眼一般有俯角。顶眼要求不破坏顶板，减少对顶板的震动和不留顶煤为原则。当顶板稳定时，顶眼仰角为

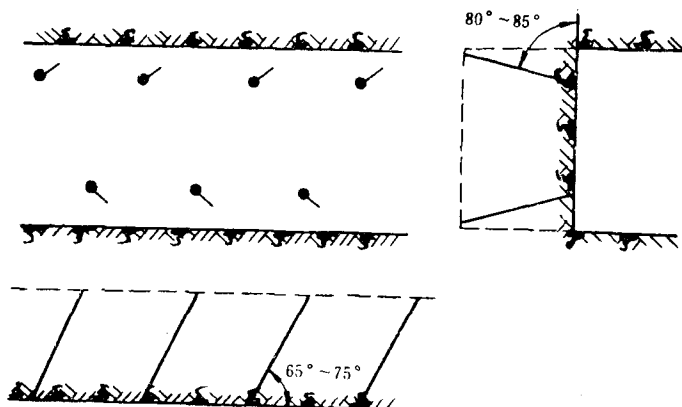


图 14-4 三花眼布置

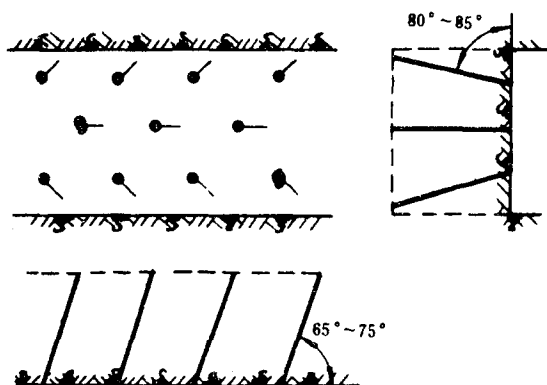


图 14-5 五花眼布置

5°~10°，眼底距顶板 0.1~0.3m；顶板松散和破碎以及分层开采底层时，顶眼与顶板平行，眼底距顶板一般为 0.3~0.5m。底眼俯角为 10°~15°，眼底距底板约 0.1~0.2m，以不破底板和不留底煤，使底板保持平整为原则。

(2) 炮眼的间距。邻近炮眼的间距，可根据炮眼的深度、煤质软硬、夹石情况和粒度要求而定。在正常情况下，炮眼的间距与深度之比，保持在 3:5 左右。

(3) 炮眼的深度。它取决于一次推进的进度和炮眼的角度。一般多采用小进度。一次推进度约 1.0~1.2m，炮眼深度大于循环进度 0.2m。小进度的炮采炮眼装药量少。顶板受震动小，悬顶面积小，有利于顶板管理和安全；且可实行一次多放炮，对实现爆破装煤、提高自装率有利。对采用金属支柱铰接顶梁的工作面，炮眼深度可根据顶梁规格而定。小进度的缺点是辅助工序占用时间多。另一种方式为加大循环进度，一次推进进度为 1.6~2.0m，此种方式可减少放炮、准备、移输送机、回柱、放顶等辅助作业时

间。在顶板条件好的工作面可以推行。

(4) 炮眼的装药量。每个炮采工作面作业规程里的放炮说明书中都规定了顶眼、腰眼、底眼的炸药消耗量。一般底眼装药量最多，腰眼次之，顶眼最少。双排眼时，底眼和顶眼的装药量按 $1:0.5\sim0.7$ 的比例分配；三排眼时，底、腰、顶眼的装药量按 $1:0.75:0.5$ 的比例分配。

(三) 掘进工作面的炮眼和掏槽

1. 掘进工作面的炮眼

按其用途和位置不同，可分为掏槽眼、辅助眼和周边眼三种。如图 14-6 所示。

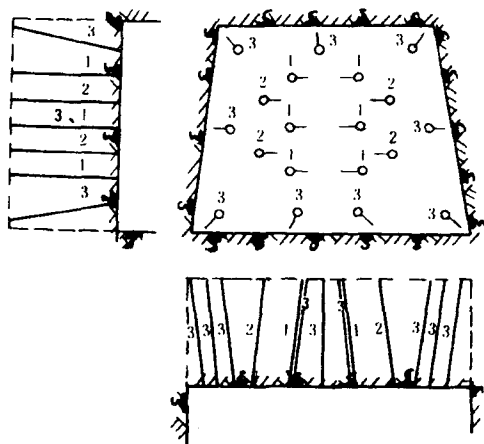


图 14-6 掘进工作面炮眼布置

1—掏槽眼；2—辅助眼；3—周边眼

(1) 掏槽眼。一般布置在掘进工作面的中下部、最先起爆。它的作用主要是给辅助眼增加自由面，为辅助眼的爆破创造有利条件。

(2) 辅助眼。位于掏槽眼与周边眼之间。在掏槽后起爆，它的作用是使自由面扩大，保证周边眼的爆破。

(3) 周边眼。位于巷道的四周。包括顶眼、帮眼和底眼，最后起爆。它的作用是爆破后形成巷道轮廓，保证巷道断面形状、尺寸、方向和坡度等符合设计要求。

打眼工和爆破工必须按照作业规程中放炮说明书规定的炮眼排列方式、位置、深度、数量、角度、方向、坡度和装药量等进行施工。

2. 掘进工作面掏槽眼的药量和深度

因为掘进工作面在掏槽前只有一个自由面，要取得较好的爆破效果，必须人为地创造自由面，这就首先要进行掏槽工作，使其它炮眼在有较多自由

面的有利条件下,获得最佳爆破效果。如果掏槽效果不好,则巷道爆破质量无法保证,因此,掏槽质量的好坏,是关系到全断面爆破能否取得预想效果的关键环节。

掏槽眼的装药量要比其它的炮眼多一些,因为它是在周围岩石夹制下和只有一个自由面条件下进行爆破的。有的爆破工怕掏槽效果不好,过大的增加掏槽眼装药量,会给安全带来不利影响,顶板和两帮受震动过大,容易发生冒顶、离层和片帮等事故;容易崩倒支架,崩坏设备;药柱过长,如封泥不好,容易引燃引爆瓦斯和煤尘。因此掏槽眼的装药量必须适当,封泥必须保证数量和质量,以保证爆破安全。

由于掏槽眼受周围岩石夹制作用,很难获得打多深的炮眼就掏多深的效果,一般只能掏出炮眼深度的80%左右的槽,如果掏槽深度与其它眼相同,就会影响爆破进度。因此掏槽眼要比其它炮眼深200~300mm。

3. 掘进工作面常用的斜眼掏槽方式

根据掏槽眼的方向,掏槽方式可分为斜眼掏槽,直眼掏槽和混合式掏槽三种。斜眼掏槽使用比较普遍。

斜眼掏槽的各掏槽眼不与巷道中线平行,而与工作面在水平方向成一角度,这种掏槽叫斜眼掏槽。其优点是:掏槽体积较大,能将掏槽内的岩石全部抛出,形成有效的自由面,掏槽效果容易保证,掏槽眼位容易掌握。其缺点是:斜眼掏槽深度受巷道宽度限制,不适于深孔爆破,多台钻机作业时,互相干扰。若角度和装药量掌握不好,往往影响爆破效果,容易崩倒支架和崩坏设备;抛掷距离较大,爆堆分散不利于清道和装车等。故在现有技术装备和掘进断面大于 4m^2 的各类巷道,2m以内浅眼爆破应用比较普遍。在装备凿岩台车的大断面巷道中,斜眼掏槽已逐渐被直眼掏槽和混合式掏槽所取代。

目前常用的斜眼掏槽方式有单斜掏槽、扇形掏槽、锥形掏槽和楔形掏槽。其中楔形掏槽使用范围比较广泛,适用于各类岩石及中等以上断面。

(1) 单斜掏槽。适用于中硬及较软的岩层。当岩石中有松软的夹层和层理、节理与裂缝结构时,各掏槽眼应尽量垂直地穿过层理、节理和裂缝,并处于巷道中心线上,可避免夹钎或崩倒支架。眼数一般为1~3个,眼距为0.3~0.6m,与工作面的平面夹角为 $50^\circ\sim 75^\circ$,眼深为0.8~1.5m,装药满度系数(装药长度与炮眼长度比值)0.5左右。炮眼布置如图14-7所示。

(2) 扇形掏槽。适用于软岩层中有弱面可利用的巷道。它是一排布置在较软的煤岩层中的炮眼,向同一方向倾斜,与工作面的平面夹角一个比一个

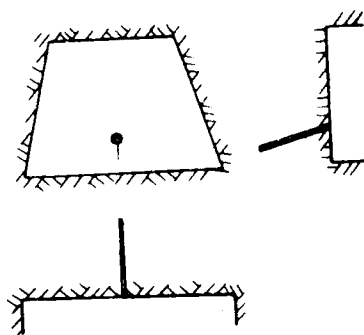


图 14-7 单斜掏槽炮眼布置

大 (为 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$), 形成扇形。掏槽眼的方向可随软层的位置选定。眼数根据断面大小和岩石的硬度选定, 一般为 3~5 个, 眼距为 0.3~0.6m, 眼深通常为 1.3~2.0m, 装药满度系数为 0.5 左右, 各槽眼利用多段延期电雷管依次起爆。如图 14-8 所示。

(3) 锥形掏槽。在只有一个自由面的坚硬岩石或均质岩中爆破时, 采用锥形掏槽, 就是将几个掏槽炮眼的眼底, 集中在一点附近, 实行集中装药, 一齐起爆方法。如图 14-9 所示。

锥形掏槽可分为三眼或四眼锥形掏槽, 掏槽呈锥形。眼数、眼深和眼距根据断面大小及岩石软硬而定。眼数一般为 3~6 个, 多为 4 个。眼口左右间距为 0.8~1.2m, 上、下间距为 0.6~1.0m, 与工作面夹角为 $55^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 眼底间距为 0.1~0.2m, 眼深应小于巷道高或宽的 $1/2$, 各槽眼同时起爆, 为了加深掏槽深度和循环进度, 可采用分段锥形掏槽。

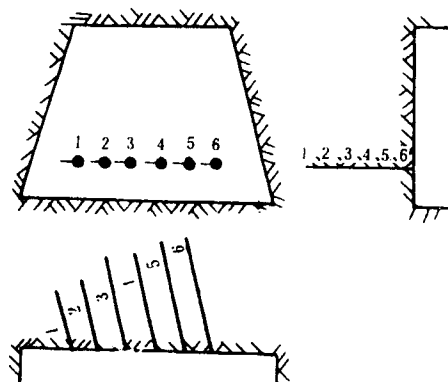


图 14-8 扇形掏槽炮眼布置

锥形掏槽因槽眼方向不易掌握, 钻眼工作不方便, 眼深受到限制, 目前

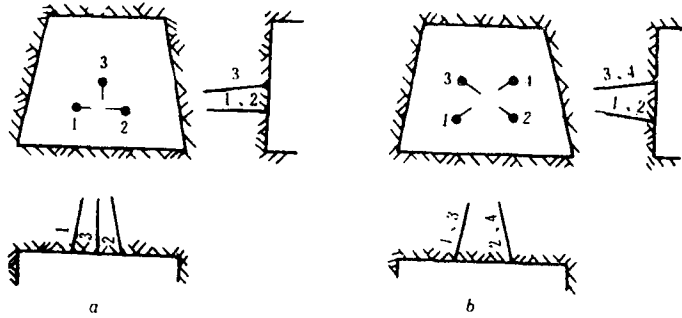


图 14-9 锥形掏槽炮眼布置

a-三眼锥形掏槽；b-四眼锥形掏槽

在巷道掘进中已很少使用。

(4) 楔形掏槽。它和锥形掏槽一样，楔形掏槽根据眼底集中装药，爆破成抛掷漏斗的道理，集中装药在眼底成一条直线。槽眼为对称布置，分水平楔形掏槽和垂直楔形掏槽两种，均为同时起爆。水平楔形掏槽只在水平层理发达的岩层使用，而多数情况都使用垂直楔形掏槽。如图 14-10 所示。

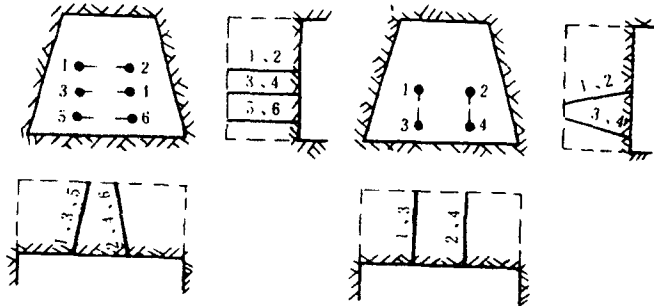


图 14-10 楔形掏槽炮眼布置

a-垂直楔形掏槽；b-水平楔形掏槽

垂直楔形掏槽两对水平方向槽眼眼口间距为 1.0~1.4m，眼底间距为 0.2~0.3m，但对非常难爆的岩石，应使眼底的距离不超过 0.2m。装药满度系数一般为 0.7。槽眼排距（每对槽眼垂直距离）、眼数及槽眼角度根据岩石软硬决定，排距一般为 0.3~0.5m，眼数一般为 4~6 个，槽眼角度一般为 60°~70°，槽眼深度一般为巷道宽的 1/4。垂直楔形掏槽，因受巷道宽度限制，深度较浅，如欲加深，可采用复式楔形掏槽，由内楔和外楔组成，由内向外分两段起爆。

楔形掏槽由于钻眼技术比锥形简单，易于掌握，故适用于任何岩石，因此，在岩巷掘进中使用较广泛。

4. 掘进工作面直眼掏槽和混合掏槽的方式适用条件

(1) 直眼掏槽

所有槽眼都垂直于巷道工作面，故称直眼掏槽。槽眼距离较小，并且严格保持平行，留下不装药的空眼，作为槽眼爆破时的自由面和破碎岩石的膨胀空间。槽眼垂直工作面，布置方式简单，槽眼的深度不受巷道断面限制，便于进行深眼爆破；由于槽眼相互平行，易于实现多台凿岩机平行作业和采用凿岩台车；岩石块度均匀，抛掷距离较近，爆破集中，便于清道装岩；又不容易崩坏支架和设备。其缺点是对槽眼的间距、钻眼质量和装药等要求严格，不易掌握，所需槽眼数目和炸药消耗量偏多，掏槽体积小，掏槽效果不如斜眼掏槽。

直眼掏槽运用于岩石坚硬或中等坚硬，断面较小的巷道（用中深孔爆破和机械化打眼），特别是立井井筒。但有空眼的直眼掏槽不宜在有瓦斯和煤尘爆炸危险的巷道中使用，因空眼内可能渗出或积聚瓦斯，易引燃或引爆瓦斯。

目前广泛使用的直眼掏槽方式为直线掏槽、菱形掏槽、角柱掏槽、五星掏槽、螺旋掏槽等方法。各种直眼掏槽方法的炮眼布置如下：

①直线掏槽法。此法各炮眼彼此相距 $0.1 \sim 0.2\text{m}$ ，适用于整体性好的韧性岩石和较小的巷道断面。炮眼布置如图 14-11 所示。

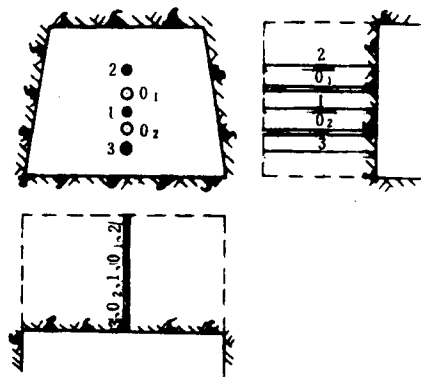


图 14-11 直线掏槽法炮眼布置

②菱形掏槽法。此法用毫秒电雷管分两段起爆，距离小的一对先起爆，距离大的一对后起爆。装药满度系数为 $0.7 \sim 0.8$ ，炮眼布置如图 14-12a 所示。

此法适用于各种岩石条件，炮眼深度 2m 以下效果较好。在坚硬岩石中，为取得较好爆破效果，可加打空眼，两眼间距 $0.08 \sim 0.1\text{m}$ ，如图 14-12b 所示。

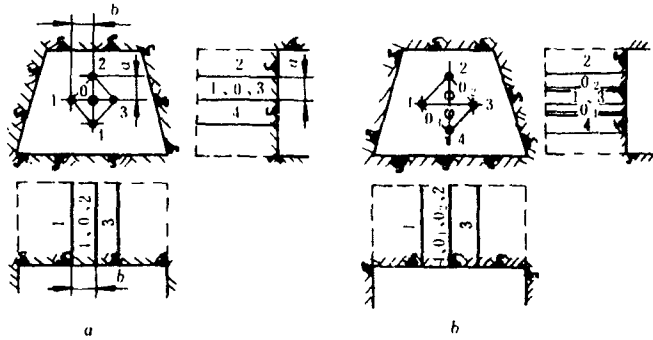


图 14-12 菱形掏槽法炮眼布置

a—普通岩石菱形掏槽；*b*—坚硬岩石菱形掏槽

③角柱掏槽法：此法运用于中硬岩层。掏槽眼一般用两段电雷管起爆，炮眼排列如图 14-13 所示。

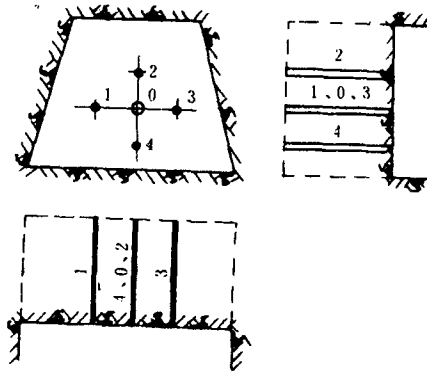


图 14-13 角柱掏槽法炮眼布置

④五星掏槽法。此法掏槽比较可靠，适用于各种条件。眼深在 2.5～3.0m 时，可采用 4 号岩石铵梯炸药或高威力炸药。用毫秒电雷管起爆时，起爆顺序是：1 号眼为 1 段，2～5 号眼为 2 段，每眼装药长度为眼深的 70%～80%。炮眼布置如图 14-14 所示。

⑤螺旋掏槽法。适用于中硬以上岩石，是较好的直眼掏槽方式之一。它以中空眼为中心，周边布置四个掏槽眼，逐个加大距离，形如螺旋，因而得名。在 1、2、3 号眼连线中间各加一个空眼，作为自由面和防炸药压死。如图 14-15 所示。

(2) 混合式掏槽

为了改善直眼掏槽的不足，在断面较大、岩石较硬的巷道，采用直眼与斜眼混合掏槽，如图 14-16。斜眼作垂直楔状布置，其槽眼与工作面夹角以 $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 为宜。眼底与直眼相距约 0.2m，斜眼装药满度系数为 0.4～

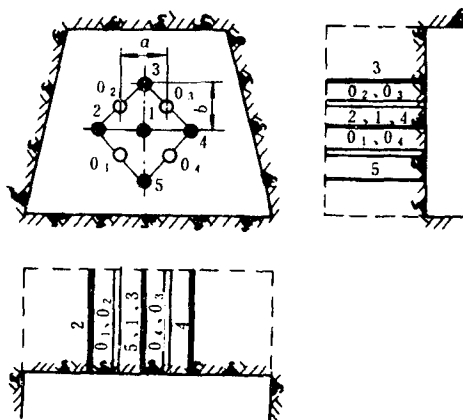


图 14-14 五星掏槽法炮眼布置

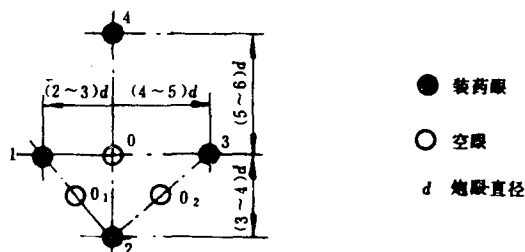


图 14-15 螺旋掏槽法炮眼布置

0.5。直眼装药满度系数为 0.7 左右。

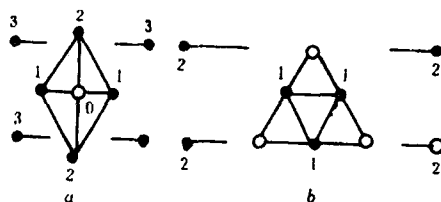


图 14-16 混合式掏槽

a—菱形直眼混合掏槽；b—三角柱直眼混合掏槽 1、2、3—起爆顺序

5. 掘进工作面炮眼的主要爆破参数

井巷掘进中，除正确选择掏槽方式和合理布置炮眼外，还应正确确定炸药消耗量、炮眼直径、药包直径、抵抗线、眼距、装药系数、炮眼深度和数目等爆破参数。

(1) 炸药消耗量：爆破 1m^3 原岩所需的炸药量（单位： kg/m^3 ）称为单位炸药消耗量。煤炭部颁发的《矿山井巷工程预算定额》中规定了井巷炸药和雷管的消耗定额，可做为施工中的标准。

(2) 炮眼直径：炮眼直径一般比照标准药包直径（32mm 或 35mm）大 5~7mm 来确定，一般为 37~42mm。

(3) 炮眼深度：确定炮眼深度，要结合钻眼效率、循环工作量和循环时间，劳动力组织、月计划进尺和经济成本等因素来考虑。基本上有两种方式，即浅进度多循环方式和深进度少循环方式。前者占用的辅助工作量和时间多，雷管和炸药消耗量高；后者是实现快速掘进的有效途径。在目前施工技术和设备等条件下，炮眼深度一般不超过 4m，以 0.8~2.0m 居多。

(4) 炮眼数目：根据岩石性质、断面尺寸、使用爆破材料等，按炮眼的不同作用进行合理布置，排列出炮眼数，经实践验证后再作适当调整。调整后的炮眼数目应满足有较高的爆破效率。爆破后的巷道轮廓，应符合施工和设计的要求。

(四) 提高炮眼利用率

1. 炮眼的利用率是指炮眼爆破后的实际进度与爆破前炮眼深度的比值

如：掘进工作面炮眼利用率 = $\frac{\text{爆破后平均进度}}{\text{炮眼平均深度}}$ (%)

炮眼利用率是衡量爆破效果的主要指标，炮眼利用率应达到 90% 以上。

2. 提高炮眼利用率应采取下述措施：

(1) 炮眼的深度和角度，必须符合作业规程的规定，掏槽眼必须比其它眼加深 200mm。

(2) 炮眼内的煤、岩粉必须清除净，炸药必须装到眼底并密接，不得错装电雷管段数。

(3) 炮眼的封泥必须符合规定的数量和质量。

第二节 煤矿爆破安全评估爆破材料及爆破器具

一、矿用炸药的种类和使用范围安全

(一) 矿用炸药的分类

矿用炸药是指适用于矿井采掘工程的炸药。其主要要求是：

(1) 有足够的爆炸威力，能破碎中硬岩石；

(2) 理化性能较稳定、敏感度适中，用工业标准雷管可以起爆，又能安全地制造、运输、储存和使用，以及在储存期内不变质；

(3) 爆炸生成的有毒有害气体少；