

爆破工程

施工安全技术标准实用手册

主编：黎剑强

安徽文化音像出版社

ANHUI WENHUA YINXIANG CHUBANSHE

爆破工程 施工安全技术标准实用手册

主编：黎剑强

(第二卷)

安徽文化音像出版社

第二章 掘进控制爆破安全施工技术规范

掘进控制爆破是在岩体内进行地下工程(隧道、巷道、竖井、斜井和峒室)开挖的基本方法。掘进控制爆破能够保证在安全条件下,高速度、高质量地将岩石按规定断面爆破下来,并尽可能不损坏井筒或巷道围岩。它在岩石坚固性系数较高的地区,是一种有效、经济的掘进方法。

第一节 巷道掘进爆破的炮孔布置与起爆顺序

掘进工作面的炮孔分为掏槽孔、辅助孔和周边孔等。平巷、斜井工作面上的周边孔又分为顶、底及帮孔,如图4-2-1所示。掏槽孔的作用是首先在工作面上将一部分岩石爆破破碎并抛出,形成一槽形空穴,为辅助孔爆破创造第二个自由面,以提高爆破效率。辅助孔位于掏槽孔外圈,其作用是大量崩落岩石和刷大断面,还可提高周边孔的爆破效果。辅助孔在布置上应充分利用掏槽孔所提供的自由面,最大限度地爆破岩石。周边孔的作用是控制巷道断面形状和方向,使井巷断面尺寸、形状和方向符合要求。

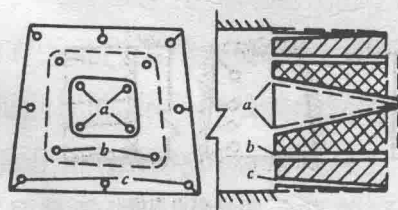


图4-2-1 掘进炮孔类型
a—掏槽孔; b—辅助孔; c—周边孔

一、掏槽孔布置

掏槽效果的好坏对每次循环进尺起决定性作用。因此,工作面合理布置炮

孔的关键是掏槽孔的布置形式。

掏槽孔布置的原则为:掏槽孔一般应布置在开挖断面的中部或中下部;在岩层层理明显时,炮孔方向应尽可能垂直于岩层的层理面;小型断面的掏槽孔数一般为4~6个,大型断面要根据开挖方式来确定掏槽孔的部位和数量。

为了提高其他炮孔的爆破效果,掏槽孔通常比其他炮孔加深15~20cm,装药量增加15%~20%。

根据巷道断面尺寸、岩性和地质构造等条件,掏槽孔的布置和钻凿形式多种多样,但归结起来可分为:倾斜(孔)掏槽和垂直(孔)掏槽两大类以及由这两类组合形成的混合掏槽。

(一)倾斜掏槽

倾斜掏槽的特点是掏槽孔与掘进工作面斜交。通常又分为:单向掏槽、楔形掏槽和锥形掏槽等多种形式。

1. 单向掏槽

由数个炮孔向一方向倾斜组成,可用于顶部掏槽、底部掏槽和侧向掏槽,如图4-2-2所示。适用于软岩或具有层理、节理、裂隙或软弱夹层的岩体中。

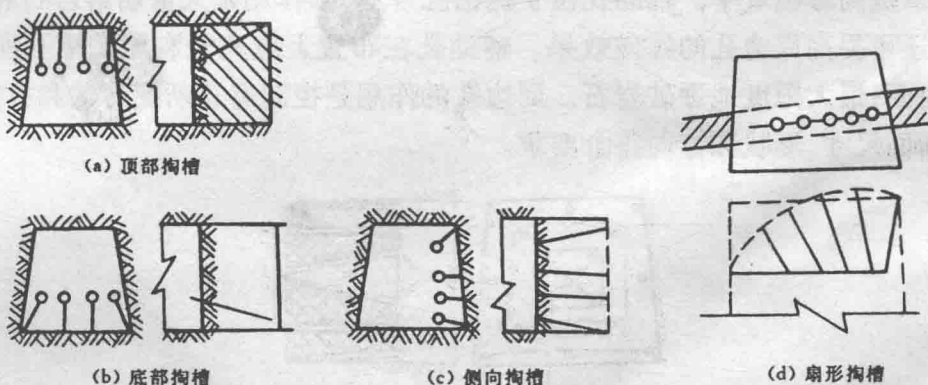


图4-2-2 单向掏槽布孔形式

2. 楔形掏槽

这种掏槽具有两排以上相对的炮孔,爆破形成后楔形空间,多用于中硬以上均质岩石、断面尺寸大于 $4m^2$ 的巷道掘进中。每对孔孔底距离取为10~20cm,孔口距离则与孔深和倾角大小有关,多取0.2~0.6m,炮孔倾角(与工作面交角)取 $60^\circ \sim 75^\circ$ 。根据岩体的层理节理方向,又可分为垂直楔形和水平楔形,如图4-2

-3 所示。

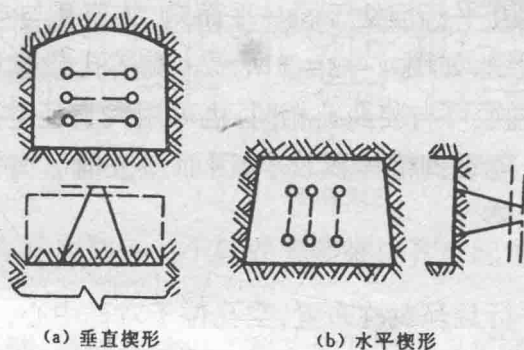


图 4-2-3 楔形掏槽布孔形式

3. 锥形掏槽

在工作面中部各掏槽孔以相等或近似相等的角度向工作面中心轴线倾斜而构成锥形炮孔组。各掏槽炮孔底部不贯通通常排列成角锥形或圆锥形,前者用于平巷掘进,后者适用于圆形井筒掘进,如图 4-2-4 所示。锥形掏槽炮孔孔底距为 $10 \sim 20\text{cm}$ 时,利于爆破破岩和抛出岩块;倾角取 $55^\circ \sim 70^\circ$,每对炮孔孔口距

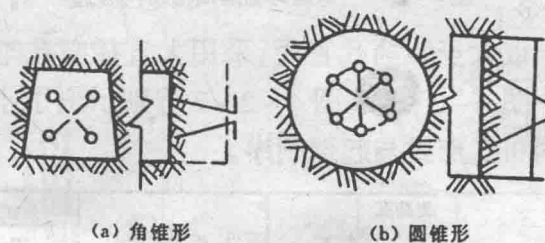


图 4-2-4 锥形掏槽布孔形式

离取 $0.4 \sim 1.0\text{m}$,岩石难爆时取小值。倾斜掏槽具有掏槽孔数少、掏槽体积大、易将岩石抛出等优点。但掏出的槽腔外大内小掏槽孔深度受巷道断面尺寸的限制,进而影响每一次掘进循环的进尺等缺点,同时岩石抛掷距离远,不便于铲装。

(二) 垂直掏槽

垂直掏槽就是所有掏槽孔都垂直于掘进工作面,各掏槽孔的孔距很小,且相互平行,其中有一个或几个不装药的空孔作为装药孔爆破时的辅助自由面,以利于掏槽孔范围内的岩体破碎。垂直掏槽一般又分为龟裂掏槽(缝形掏槽)、桶形掏槽(柱形掏槽)和螺旋掏槽等多种形式。

1. 龟裂掏槽

各掏槽孔轴线相互平行且处于同一平面内,装药孔与空孔间隔布置,爆破后掏出一条不太宽的裂缝,如图4-2-5所示。掏槽孔数数目通常为3~7个,孔距取8~12cm,空孔直径可与装药孔相同,也可用大直径空孔($\phi = 50 \sim 100\text{mm}$),以增强自由面作用。龟裂掏槽体积较小,因而多被桶形掏槽所取代。龟裂掏槽多适用于中硬以上岩体。

2. 桶形掏槽

各掏槽孔相互平行且呈对称布置,空孔位于对称中心,如图(4-2-5)所示。桶形掏槽不受巷道断面尺寸的限制,且掏槽体积和宽度较大,利于辅助孔爆破,是中硬以上岩体中应用最多的垂直掏槽形式之一。



图4-2-5 龟裂与桶形掏槽布孔形式

空孔直径可等于或大于装药孔直径,采用大直径空孔时能形成较大的人工自由面和补偿空间。图4-2-6和图4-2-7分别示出了小直径桶形掏槽和大直径桶形掏槽的不同布孔形式与起爆顺序。

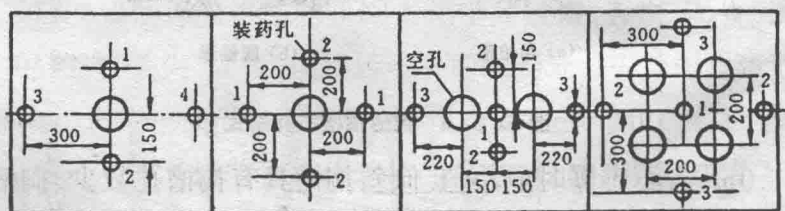


图4-2-6 小直径桶形掏槽布孔形式

1、2、3……起爆顺序;●—空孔;○—装药孔,孔距100~300mm

实践表明,空孔数目、直径和空孔与装药炮孔的最小距离,对桶形掏槽效果有很大影响。在花岗岩、片麻岩等硬岩中,随着空孔直径增大,空孔至装药炮孔间的距离也应加大,否则爆破作用有时能把相邻炮孔中的炸药“挤实”,使之因密度过高而拒爆;反之,则爆后岩石仅产生塑性变形而出现“冲炮”现象。为此,空

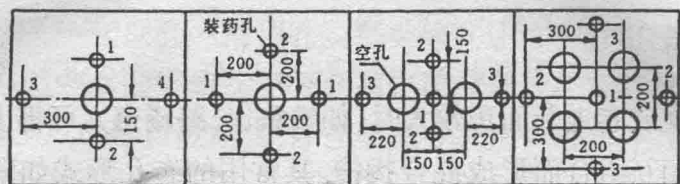


图 4-2-7 大直径空孔桶形掏槽布孔形式
1、2、3、4一起爆顺序

孔应打得深些,并在孔底装入一个药卷紧随掏槽孔后起爆,可将岩碴推出槽腔。

3. 螺旋掏槽

与桶形掏槽不同,螺旋掏槽中各装药炮孔与空孔距离为依次递增,如图 4-2-8 所示,空孔至各装药孔的距离依次取为空孔直径的 1~1.8、2~3.5、3~4.5、4~5.5 倍。随着装药炮孔的依次起爆,槽腔体积逐次扩大。对特别难爆岩石,可增加空孔以加大自由面和补偿空间体积。为了在爆破后将岩碴推出槽腔,空孔也应打深些,并在孔底装入抛碴药包。

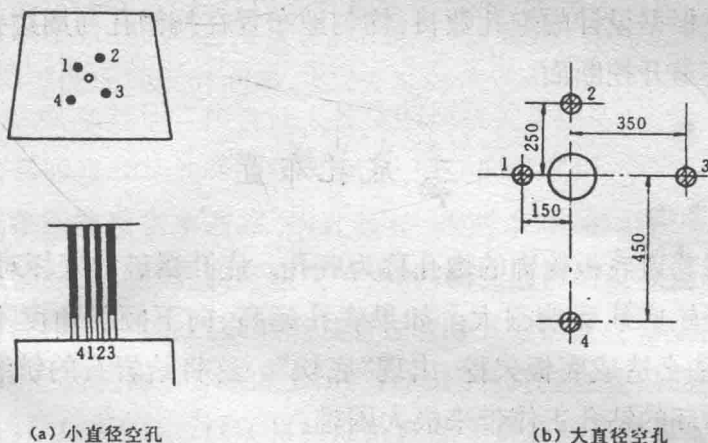


图 4-2-8 螺旋掏槽布孔形式
1、2、3、4一起爆顺序

以上各种垂直掏槽形式,不以工作面而以空孔作为主要自由面。因此,其最小抵抗线是装药孔到空孔的距离。各掏槽孔间相互平行的方式,可利用均匀破岩而获取良好爆破进尺。应当强调的是,空孔的直径大小、数量和位置,在垂直掏槽形式中起重大作用。

垂直掏槽与倾斜掏槽相比,具有钻孔深度不受巷道断面限制、掏槽空间里外大小较一致、爆破岩块的块度均匀、爆堆集中等优点。其缺点是掏槽孔数量多,掏槽体积小,且对钻孔的技术要求较高。

(三)混合掏槽

当岩石极坚硬或巷道断面积较大时(如铁路、公路隧道),可将上述倾斜掏槽和垂直掏槽进行相互组合而形成混合掏槽,其常用的布孔形式如图 4-2-9 所示。

二、周边孔与辅助孔布置

周边孔通常布置在距开挖断面边缘约 $0.2m$ 处,周边孔的底部要朝巷道轮廓线方向倾斜。当巷道穿过坚硬岩体时,孔底可达到或稍超出轮廓线位置;岩体中等坚固时,孔底距轮廓线约 $0.1m$;在松软岩体中,炮孔不必倾斜,孔底距轮廓线的距离与孔口处相同。周边孔之间的距离约为 $0.6 \sim 1.0m$,拱形巷道的转角处,炮孔要密一些,孔距取小值。

辅助孔要根据设计的炮孔数目,均匀地布置在掏槽孔与周边孔之间,钻孔方向则垂直于巷道开挖断面。

三、底孔布置

用来形成巷道底板轮廓的炮孔称为底孔。底孔爆破的好坏对是否能按设计要求形成底板轮廓线影响很大。如果底孔超高、向下倾斜角度不够、装药不足等,爆破后往往会造成底板欠挖,出现“底坎”。这将给岩石的铲装、铺轨工作及下一个掘进循环的钻孔工作带来极大困难。

为避免欠挖,消除底坎,要适当减小底孔的间距(根据岩石情况而定,一般为 $0.5 \sim 0.6m$),并使钻孔方向朝底板下方有一定的倾斜角度,在软岩中倾角可小些,在硬岩中倾角要大些,使炮孔底部低于底板标高 $10 \sim 15cm$ 为宜。此外,为了克服巷道爆落岩体的自重作用,底孔较其他周边孔要增加装药量,减少堵塞长度(有 $20cm$ 堵塞长度即可)。

四、掘进炮孔的起爆顺序

为确保安全起爆和准爆以及提高爆破效果,掘进炮孔必须有合理的起爆顺

序,通常是掏槽孔→辅助孔→周边孔。每类炮孔还可再分组按顺序起爆。合理的起爆顺序是,应使后起爆炮孔充分利用先期起爆炮孔所形成的自由面。一次起爆炮孔数越少或起爆段数越多,除能够充分利用自由面外,还能减弱震动、空气冲击波的强度和噪声。

掏槽孔间的起爆顺序因掏槽形式不同而不同。龟裂掏槽和桶形掏槽的装药孔可采用瞬发雷管同时起爆或用多段延期雷管起爆(图4-2-6、图4-2-7),螺旋掏槽来用延期雷管使装药孔逐一起爆(图4-2-8)。

辅助孔本身也应分段起爆。首先,与掏槽孔相邻的辅助孔先起爆,然后再依次使其他辅助孔起爆。就顺序而言,接下来的是周边孔的起爆(平巷、斜井掘进时,先起爆腰孔,即两帮中部的孔,然后是顶孔,最后为底孔)。

第二节 巷道掘进爆破参数的确定

巷道掘进爆破参数包括:炮孔直径、炸药单耗、孔距、孔深、炮孔数目、装药量、堵塞长度和微差起爆间隔时间等。

一、炮孔直径

炮孔直径直接影响凿岩生产率、炮孔数目、炸药单耗、爆破块度和巷道周壁平整度。炮孔直径及其相应的装药直径增大时,药包爆炸能量相对集中,爆速和爆轰稳定性有所提高。但是,过大的炮孔直径将导致凿岩速度显著下降,而且减少炮孔数目,使岩石的破碎质量降低,巷道周壁平整度变差,从而降低了爆破效果。因此,必须根据凿岩设备和工具、炸药性能和掘进具体条件等加以综合分析,必要时可进行对比试验,合理选定炮孔直径。大断面巷道($>6\text{m}^2$)掘进爆破可采用 $38\sim45\text{mm}$ 的药卷;小断面($<4\text{m}^2$)且岩石坚硬时,应使用高威力炸药和小直径药卷($25\sim32\text{mm}$)。通常,炮孔直径比装入的药卷直径大 $5\sim10\text{mm}$ 为宜。

二、炮孔深度

炮孔深度是指孔底到工作面的垂直距离。从凿岩爆破综合效果的角度分析,炮孔深度在各爆破参数中居重要位置。因为它不仅影响每一个掘进循环中各工序的工作量、完成的时间和掘进速度,而且影响爆破效果和材料消耗。炮孔深度还是决定每班掘进循环次数的主要因素。为了实现快速掘进,在提高机械

化程度、改进掘进技术和改善工作组织的前提下,应力求加大孔深和增多每班循环次数。根据我国快速掘进的经验,采用深孔多循环能使工时得以充分利用,增加凿岩和装岩的时间,减少装药、爆破、通风和准备时间。但是,在巷道断面小的情况下,随着孔深的增加,不仅凿岩速度降低,而且爆破的夹制作用增大,不利于获取良好的爆破效果。目前,在我国所具备的掘进技术和设备条件下,孔深为1.5~2.5m用得最多。随着新型、高效凿岩机和先进的装运设备的应用,以及爆破器材质量的提高,在中等断面以上的巷道掘进中使用凿岩台车时,将孔深增至3~4m,在技术和经济上是合理的。

三、炸药单耗

在巷道掘进爆破过程中,炸药单耗 q 是一个重要爆破参数。其大小直接影响爆破效果,对凿岩和装岩工作量、炮孔利用率、巷道轮廓的平整度和围岩的稳定性等也有较大影响。 q 值偏小时,可能使巷道断面达不到设计要求; q 值偏大时,不仅造成爆破器材浪费,而且还会崩坏巷道周壁以外的原岩,降低围岩稳定性,甚至损坏支架和设备等。合理的 q 值主要取决于岩石性质、巷道断面、炮孔直径和深度等因素。由于影响因素多,迄今还不能对 q 值进行精确计算。在实际工作中, q 值可按国家定额标准或用经验公式计算确定。

表4-2-1列出了国家颁发的《矿山井巷工程预算定额》规定的岩巷掘进炸药消耗定额。表中数据是按2[#]岩石硝按炸药给出,若采用其他品种炸药,则需按其爆力值加以修正,即乘以2[#]岩石硝按炸药的爆力与换用炸药的爆力之比值。

表4-2-1

巷道掘进的炸药单耗定额

单位: kg/m³

掘进断面积 (m ²)	岩石坚固系数 f				
	2~3	4~6	8~10	12~14	15~20
<6	1.05	1.50	2.15	2.64	2.93
6~8	0.89	1.28	1.89	2.33	2.59
8~10	0.78	1.12	1.69	2.04	2.32
10~12	0.72	1.01	1.51	1.90	2.10
12~15	0.66	0.92	1.36	1.78	1.97
15~20	0.64	0.90	1.31	1.67	1.85
>20	0.60	0.86	1.26	1.62	1.80

529744

四、装药量计算

每次爆破或每一次循环所需装药量,是在确定出炸药单耗后,根据预定的每一掘进循环爆破的岩石体积,按下式计算出每一循环所需的总装药量 Q

$$Q = qV = qSL\eta \quad (4-2-1)$$

式中 W ——每一循环预定爆破岩石体积, m^3 ;

S ——巷道掘进断面面积, m^2 ;

L ——工作面炮孔的平均深度, m ;

η ——炮孔利用率对 $\eta = L/L' = 0.8 \sim 0.95$, 其中 L' 为循环进尺, m 。

每个炮孔的装药量 Q_0 由下式给出

$$Q_0 = \alpha LG/h \quad (4-2-2)$$

式中 Q_0 ——单孔装药量, kg ;

α ——装药系数,掏槽孔取 $0.6 \sim 0.8$, 辅助孔和周边孔取 $0.5 \sim 0.75$;

h ——每个药卷长度, m ;

G ——每个药卷质量, kg 。

五、炮孔数目

炮孔数目直接影响凿岩工作量和爆破效果。孔数过少,大块增多,巷道周壁不平整,甚至出现爆不开的情形。孔数过多,将使凿岩工作量增加,单孔装药量过小,甚至产生爆破的内部作用,恶化爆破效果。确定炮孔数目的基本原则是在保证爆破效果的前提下,尽可能减少炮孔数目。通常,按各炮孔平均分配炸药量原则来计算炮孔数目,即炮孔数等于每一循环装药量与单孔装药量之比值中不包括掏槽空孔个数目,即炮孔数等于每一循环装药量与单孔装药量之比

$$N = \frac{Q}{Q_0} \quad (4-2-3)$$

式中 N ——炮孔数。

将式(4-2-1)、式(4-2-2)代入上式可得

$$N = \frac{qSh}{\alpha G} \eta \quad (4-2-4)$$

N 值中不包括掏槽空孔个数。

六、炮孔间距

在岩石性质和巷道断面尺寸已定,且选定炮孔直径、深度和炸药单耗以及每循环的炮孔个数和装药量之后,为了均匀布置辅助孔,应在炮孔个数、孔距和装药系数等几方面进行调整,以便得出合理的炮孔个数、孔距和总装药量。在实际生产中,可根据经验确定孔距。辅助孔孔距为 400 ~ 600 mm; 周边孔孔距一般取 600 ~ 700 mm。对于坚硬岩石,周边孔口距巷道轮廓线应保持在 150 ~ 200 mm 范围内,而且顶、底及帮孔要向外(向上、向下及向侧面)侧倾斜 5° 左右,并使孔底落在轮廓线外约 100 mm 处;对较软岩石,周边孔孔口距轮廓线可达 200 ~ 300 mm,且边孔垂直于工作面。这些数据并非一成不变,都要视具体条件进行合理调整。

七、堵塞长度

堵塞的目的是为了提高炸药爆炸能量利用率,从而提高巷道掘进的爆破效率。为此,除应选用合适的堵塞材料外,需要有一个合理的堵塞长度。巷道掘进爆破用的堵塞物为 1:3 配比的粘土与细砂的混合物(称为炮泥)。合理的堵塞长度应与装药长度或炮孔直径成一定比例关系,生产中常取堵塞长度等于 0.35 ~ 0.50 倍的装药长度。

八、微差爆破间隔时间

在巷道掘进爆破设计中,确定适宜的延迟时间间隔,是推广应用微差爆破技

术的重要环节。通过高速摄影所观察到的结果表明,辅助孔相对于掏槽孔、辅助孔与辅助孔之间、周边孔相对于辅助孔,它们的延迟间隔时间应取 $50 \sim 100\text{ms}$ 为宜(孔深 $1.2 \sim 5.0\text{m}$, 软到中硬岩石);掏槽孔各段之间的延迟间隔时间应取 50ms 。对于坚硬岩石,微差爆破间隔时间还可取小于上述值。实践证明,采用上述毫秒时间间隔数据,可取得良好的爆破效果。

第三节 井巷掘进爆破

井巷掘进是最频繁的地下作业,一个循环包括的作业内容有:钻孔、装药、爆破、通风、危石清理、支护(如果必要)、铲装、运输以及下一轮爆破的放线。

井巷爆破与台阶爆破的主要差别之处是前者只有一个可供岩石移动的自由面,岩石爆破所受夹制作用很大,要求用“掏槽”的方式开创出一个供岩石破碎、膨胀和移动的空间,即“第二自由面”。井巷爆破各部位炮孔的作用及名称见图 4-2-10。掏槽完成后,朝向掏槽的辅助孔爆破与台阶爆破类似;周边孔都要向外侧倾斜一个角度,使孔底超出开挖边线 20cm ,以使下一循环钻孔设备有足够的操作空间,确保井巷的设计断面。

井巷爆破的单位炸药消耗量是台阶爆破的 $3 \sim 10$ 倍,这是因为:

- (1) 掏槽部分 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 面积内平均单耗约为 $7\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- (2) 辅助孔钻孔偏差较大,必须靠加大单耗来保障爆破效果。
- (3) 相邻孔之间的共同作用不如台阶爆破好,且炮孔密,确保爆岩膨胀的空间小。
- (4) 装药过量也不会引起灾难性安全问题。

井巷掘进爆破的爆破顺序是掏槽孔先响,辅助孔次之,周边孔最后响,周边孔的爆破次序一般是顶孔、帮孔、底孔。底孔间距应适当缩小,装药量适当加大,起到“翻碴”作用。

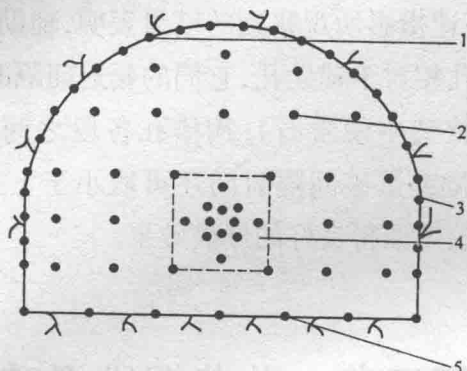


图 4-2-10 隧道爆破各部炮孔名称
1—顶板炮孔;2—辅助炮孔;3—侧墙炮孔;4—掏槽;5—底板炮孔

一、掏槽

掏槽孔爆破是井巷掘进爆破的关键技术,其排列形式有很多种类,归纳起来可分成斜孔掏槽、直孔掏槽两大类,在工程中还使用二者结合的混合掏槽。掏槽孔比其他炮孔加深 15 ~ 20 cm,药量增加 15% ~ 20%。

(一)斜孔掏槽

斜孔掏槽又分为单向掏槽、锥形掏槽和楔形掏槽三种形式;其优点是掏槽孔数量少,掏槽面积大,易将槽中爆岩抛出;缺点是循环进尺受井巷断面限制,爆堆分散。

1. 单向掏槽:掏槽孔 1 ~ 3 排,朝一个方向倾斜。是利用岩石层理和弱面的一种掏槽方式,常见的有以下 4 种(图 4-2-11)。

(1) 顶部掏槽。适用条件是:巷道顶部有软弱夹层或弱面;层理与裂隙背向工作面倾斜。

(2) 底部掏槽。适用条件是:巷道底部有软弱夹层或弱面;层理与裂隙向着工作面倾斜。

(3) 侧向掏槽。适用条件是:巷道一侧有软弱夹层或弱面;层理与裂隙向侧

帮倾斜。

(4)扇形掏槽。当工作面中部有软弱夹层或夹层与工作面斜交时,可采用扇形掏槽。

单向掏槽孔与工作面的倾斜角度一般为 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,硬岩取小值。国外有摆形掏槽,与扇形掏槽相类似(图 4-2-12)。

2.锥形掏槽。锥形掏槽常见的有三角锥、正角锥和圆锥形三种,孔数 3~6 个。炮孔布置形式见图 4-2-13,炮孔布置参数见表 4-2-10 平巷掘进多用正角锥形掏槽,竖井掘进多用圆锥形掏槽。

表 4-2-10 锥形掏槽孔要素

岩石坚固性 系数 f	炮孔倾角/ $(^{\circ})$	相邻炮孔间距/ m	
		孔口距离	孔底距离
2~6	75~70	1.00~0.90	0.40
6~8	70~68	0.90~0.85	0.30
8~10	68~65	0.85~0.80	0.20
10~13	65~63	0.80~0.70	0.20
13~16	63~60	0.70~0.60	0.15
16~18	60~58	0.60~0.50	0.10
18~20	58~55	0.50~0.40	0.10

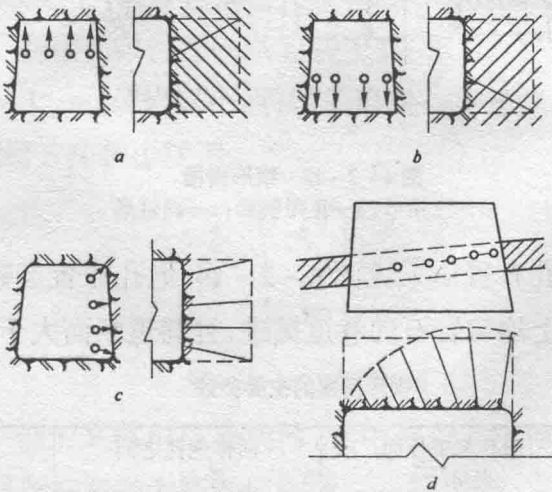


图 4-2-11 单向掏槽

a —顶部掏槽; b —底部掏槽; c —侧向掏槽; d —扇形掏槽

3.楔形掏槽。楔形掏槽又称 V 形掏槽,一般用水平楔形掏槽,也有的工程

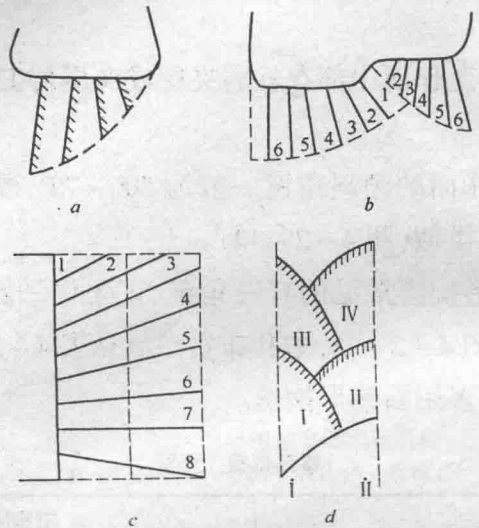


图 4-2-12 摆式掏槽的几种形式

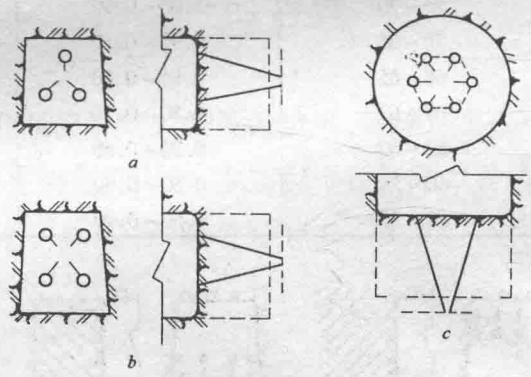


图 4-2-13 锥形掏槽

a—三角形; b—正角锥形; c—圆锥形

用垂直楔形掏槽。炮孔布置形式见图 4-2-14, 炮孔布置参数见表 4-2-3 楔形掏槽常用于中硬以上均匀岩石的巷道掘进, 且巷道断面大于 $4m^2$ 。

表 4-2-3 楔形掏槽的主要参数

岩石坚固性系数 f	炮孔与工作面 夹角/ $^{\circ}$	两排炮孔之间 距离/ m	炮孔数目/个
2~6	75~70	0.6~0.5	4
6~8	70~65	0.5~0.4	4~6
8~10	65~63	0.4~0.35	6
10~12	63~60	0.35~0.30	6

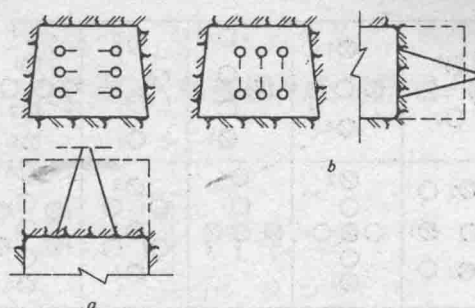


图 4-2-14 楔形掏槽
a—垂直楔形掏槽；b—水平楔形掏槽

岩石坚固性系数 f	炮孔与工作面 夹角/ $^{\circ}$	两排炮孔之间 距离/ m	炮孔数目/个
12~16	60~58	0.30~0.20	6
16~20	58~55	0.20	6~8

(二)直孔掏槽

炮孔垂直于工作面,要求彼此严格平行,按布孔方式分为龟裂掏槽、桶形掏槽和螺旋掏槽三种类别。其优点是炮孔深度不受井巷断面大小限制,可以加大循环进尺,爆堆比较集中,缺点是掏槽孔多,要求凿岩精度高。

1. 龟裂掏槽。掏槽孔布置在一条直线上,一般 3~7 个炮孔,装药孔与空孔间隔布置,孔距 8~15cm(硬岩取小值)爆后形成一条槽缝(4-2-15),因掏槽体积小,目前这种掏槽方法较少使用。

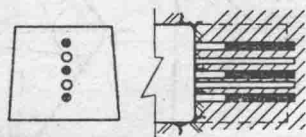


图 4-2-15 龟裂掏槽

2. 桶形掏槽。桶形又称角柱形掏槽,在中硬岩石中使用普遍。按空孔孔径大小又分为小孔桶形掏槽和大孔桶形掏槽。

(1)小孔桶形掏槽。空孔直径与装药孔相同,装药孔顺序起爆,常见的小孔桶形掏槽布孔形式见图 4-2-16。