

工程爆破实用技术

GONGCHENG BAPO SHIYONG JISHU

张应立 主编



冶金工业出版社

工程爆破实用技术

张应立 主编

北 京

冶金工业出版社

2005

前 言

随着国民经济的迅速发展,爆破技术在铁路、公路、水利水电、矿山等系统的基本建设中发挥了十分重要的作用。尤其在土石方工程施工中,经常采用爆破的方法,加快施工进度。而且在某些特定条件下,如在整体岩石开挖或人工与机械无法施工的地方,爆破还是唯一的一种施工作业方法。随着爆破技术的发展,它的应用也越来越广泛。

据工程爆破界的同志介绍,全国从事工程爆破的人员有一百多万,队伍庞大,但有相当一批人员是新从事爆破工作的。爆破作业人员的操作技能水平对保证爆破工程质量、降低物质消耗、提高经济效益、增强市场竞争力,无疑是一项决定性的因素。因此,建立一支高素质的爆破队伍,对进一步促进四化建设有着十分重要的作用。

然而,在工程爆破中,爆破事故却时有发生,给国家和人民生命财产造成了很大损失。从对大量爆破事故的统计分析看到,导致爆破事故的一个重要原因是爆破人员素质较低,缺乏必要的爆破技术知识和安全常识。根据国家标准《爆破安全规程》(GB6722—2003)规定,强化对爆破人员的培训教育,做到考试考核合格持证上岗,不断提高爆破队伍的整体素质,乃是当务之急,是在市场经济条件下搞好爆破工作的前提与有力保障。

近年来,爆破专业书籍和参考文献资料却远远跟不上现实发展的需要。为适应爆破作业人员提高技能水平的需要,我们在贵州中铁路桥工程有限公司领导和专家的指导下,结合爆破作业人员培训和爆破实践经验,并参考大量文献资料,编写了本书。该书的特点是:坚持理论联系实际的原则,突出实践性、科学性、先进性;较全面系统地介绍了国内外工程爆破的先进工艺、器材和实用操作新技术;力求文字简练,深入浅出,图文并茂,通俗易懂。因此,该书可作为爆破员的培训教材和自学读物,亦可为从事爆破工作的领导人、工程技术人员、爆破器材管理人员使用,还可供公安、劳动安全监督管理人员、大专院校相关专业师生及科研人员参考。

本书由张应立主编,罗建祥、梁勇、高茂辉副主编。参加编写和提供资料的还有周玉华、李霞光、耿敏、张福、高英俊、何培德、覃文洋、李家强、张楷等同志。全书由高级工程师钱南审定。在编写过程中得到贵州省都匀市公安局领导和贵州中铁路桥工程有限公司爆破专家的帮助与支持。值本书出版之际,特向关心和支持本书编写的各位领导、专家和参考文献的原编著者表示衷心感谢!

由于作者水平有限,经验不足,书中难免有不足之处,诚望使用本书的读者和专家批评指正。

作 者

2005年1月

目 录

第一章 绪论	1	第九章 爆破仪表	70
第一节 工程爆破的适用范围	1	第五章 起爆方法	79
第二节 岩石爆破作用原理	2	第一节 火花起爆法	79
第三节 岩石爆破的药量计算方法	4	第二节 电力起爆法	82
第四节 爆破参数的意义和选择	7	第三节 导爆索起爆法	90
第五节 影响爆破效果的因素	9	第四节 导爆管起爆法	93
第二章 爆破工程地质	17	第五节 其他起爆法	97
第一节 岩石的分类及野外鉴定	17	第六节 起爆器材中的中继药包	99
第二节 岩石的物理力学性质	21	第六章 露天一般爆破	100
第三节 岩石分级与凿岩爆破的关系	24	第一节 浅孔爆破	100
第四节 爆破对岩体的影响	25	第二节 药壶爆破	104
第五节 爆破对工程地质的基本要求	26	第三节 蛇穴爆破	110
第三章 炸药与爆炸的基本知识	27	第四节 大块孤石的破碎爆破	111
第一节 炸药与爆炸的基本概念	27	第七章 深孔爆破	114
第二节 炸药的一般性质	30	第一节 深孔爆破的基本概念	114
第三节 炸药爆炸的热化学	35	第二节 深孔爆破设计	115
第四节 炸药的爆炸性能及检测	37	第三节 深孔爆破施工工艺	120
第五节 爆破常用工业炸药	40	第四节 微差爆破与挤压爆破	125
第六节 爆破对工业炸药的基本要求	54	第五节 光面爆破与预裂爆破	132
第四章 起爆器材及爆破仪表	55	第六节 深孔微差爆破工程实例	138
第一节 起爆器材的种类及要求	55	第八章 硐室爆破	144
第二节 起爆炸药	55	第一节 硐室爆破的特点	144
第三节 导火索	56	第二节 硐室爆破的类型及应用条件	144
第四节 雷管	57	第三节 硐室爆破设计方法和计算	146
第五节 导爆索	64	第四节 硐室爆破爆堆尺寸估算	160
第六节 继爆管	66	第五节 条形药包硐室爆破	163
第七节 导爆管	67		
第八节 新型起爆器材	69		

第六节 硐室爆破设计实例	166	第一节 概念	244
第七节 硐室爆破施工技术	168	第二节 浅孔控制爆破	245
第九章 隧道爆破	172	第三节 深孔控制爆破	250
第一节 隧道爆破的基本概念	172	第四节 硐室松动控制爆破	254
第二节 隧道爆破掏槽技术	172	第五节 既有线旁控制爆破 安全技术	256
第三节 隧道导坑爆破设计	178	第十三章 凿岩与凿岩设备的配备	259
第四节 分部开挖爆破设计	182	第一节 人工凿岩	259
第五节 隧道光面爆破与预裂爆破 ..	185	第二节 机械凿岩	260
第六节 隧道施工技术	189	第三节 凿岩设备的配备	274
第七节 隧道爆破设计实例	191	第四节 风压设备的配备	274
第十章 拆除爆破	194	第十四章 爆破器材的贮存、运输、 检验与销毁	278
第一节 拆除爆破的特点及技术	194	第一节 爆破器材的贮存	278
第二节 拆除爆破的原理及药量 计算	194	第二节 爆破器材的运输	292
第三节 基础拆除爆破	198	第三节 爆破器材的检验	296
第四节 梁、柱、墙拆除爆破	203	第四节 爆破器材的销毁	299
第五节 钢筋混凝土框架拆除爆破 ..	205	第十五章 爆破劳动安全卫生技术	302
第六节 高层楼房拆除爆破	211	第一节 爆破作业安全技术	302
第七节 烟囱、水塔的拆除爆破	215	第二节 爆破安全标准与安全 距离的确定	304
第八节 水压拆除爆破	219	第三节 爆破有害效应的观测 与控制	311
第十一章 水下爆破	227	第四节 爆破除尘及个人防护	313
第一节 水下爆破的用途、特点 和类型	227	第五节 早爆、迟爆与拒爆的 原因及预防	314
第二节 水下裸露爆破	229	第六节 盲炮的原因、预防及处理 ..	319
第三节 水下钻孔爆破	231	附录 爆破施工图的图例	322
第四节 水下硐室爆破	237	参考文献	323
第五节 水底爆夯	239		
第六节 水下岩塞爆破	240		
第七节 水下爆破的安全问题	241		
第十二章 铁(公)路既有线旁扩堑 控制爆破	244		

第一章 绪 论

第一节 工程爆破的适用范围

在土石方,建筑和水下工程中使用爆破施工,按其爆破作用的不同形式,主要有松动爆破、抛掷爆破、拆除爆破和水下爆破等。

一、松动爆破

松动爆破,通常只用于将岩石破碎而不大量抛掷岩块。如石场、矿场的开采;或者因地形地质条件或在爆破点周围的建筑物和居民点比较集中时,要求限制个别飞石的距离、空气冲击波影响和爆破振动而采用松动爆破。

松动爆破的方式可分为药室法、钻孔法(包括深孔和浅孔爆破)和药壶法3种。根据土岩破坏的程度不同,松动爆破又可分为减弱松动爆破、正常松动爆破和加强松动爆破。

(一) 减弱松动爆破

用于多面临空的石方和矿石的开采,如对爆破物采用的崩塌爆破;当需要爆破后开挖面比较平整光滑时,如对隧道开挖断面的轮廓线、路堑、河渠、公路边坡的整修工程所采用的光面爆破或预裂爆破。以上这些都是属于减弱松动爆破的适用范围。

(二) 正常松动爆破

通常应用于建筑群附近或居民点附近的土岩爆破工程,或者为了开采矿石而进行的钻孔爆破,但是要求在任何情况下,爆破岩块应堆积在规定的范围以内。另外,当为了减少爆破的破坏作用时,也可以使用这种方法进行爆破。

(三) 加强松动爆破

一般用于平坦地面或坡度比较平缓的坡地,在矿山中常用于对比较完整矿体的开采,或为了揭除矿体上覆盖层的揭盖工程。在铁路、交通部门多用于在微风化岩层中开挖路堑和沟渠工程。这种爆破方法除了可以抛出一定数量

的岩块外,又不至于使爆破点的边坡遭受破坏而失去稳定性。

二、抛掷爆破

在一般情况下,抛掷爆破可分为标准抛掷爆破和加强抛掷爆破(在平坦地面称为扬弃爆破)两种。而定向爆破也是抛掷爆破的一种形式。

(一) 标准抛掷爆破

通常用于药室大爆破,特别是山区斜坡地形开挖的路堑、渠道或矿山揭盖等工程,其中最有利的地形条件为 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 的斜坡地形。

(二) 加强抛掷爆破

多用于开挖土岩并将大部分碎块抛掷堆积到一定的距离与位置。在平埋地形中开挖基坑、路堑、沟渠等情况下的扬弃爆破,也属于这种形式的爆破。

(三) 定向爆破

定向爆破是抛掷爆破的另一种特殊形式。它是利用爆破能量,将土岩集中抛掷到一个指定的位置的一种施工方法。这在铁路移挖作填的工程,或者直接利用挖方填筑路堤、水坝、矿山尾矿坝等土建工程中是经常被采用的。

以上所述为工程中经常使用的将炸药埋置于土岩中的爆破方法。另外,还有将药包直接放置于被爆破物表面进行的爆破方法,称为裸露爆破。这种爆破方法在处理小范围的爆破工程时有迅速方便的特点,例如炸树根、破碎孤石和石场二次爆破等。这也是经常被采用的爆破方法之一。

三、拆除爆破

通常用于拆除居民点和城镇闹市区旧有建筑(构)物的控制爆破方法,如拆除楼房、烟囱、水

塔、桥梁、厂房及车间内的机座等。拆除爆破已成为一项成熟的爆破技术,从而解决了长期以来要花费很多劳动力,付出很高劳动强度才能完成的工程施工问题。在城市改造、工矿企业改扩建等方面发挥着重要作用。

四、水下爆破

水下工程爆破,越来越被广泛地用于炸除

礁石、浚深航道,开挖水工建筑物基坑,开挖运河,水底管道,打通水下隧道进口以及新发展起来的爆破夯实水下基槽和挤压水下软土地基等新技术。这种爆破是区别于在土岩介质中爆破,而在水下岩石或水中进行爆破的一种爆破技术。

第二节 岩石爆破作用原理

炸药受到摩擦、冲击、燃烧等外界作用后,在瞬间会产生剧烈的化学物理变化,产生高温高压气体并释放出巨大的能量及产生强大的冲击波。这个能量释放过程称为爆炸。

炸药释放的能量,对固体介质的破坏作用是很复杂的。为了分析岩体的破碎机理,通常假定岩石是均匀介质,并将装药简化为在一个自由面条件下的球形药包。球形药包的爆破作用原理是其他形状药包爆破作用原理的基础。

一、爆破内部的作用

把炸药放在物体上或在物体上钻凿一定形状的孔洞,放入炸药和起爆器材,将该物体炸开、松动或抛出,这一过程称为爆破。

当药包在岩体中的埋置深度很大,其爆破作用达不到自由面时,这种情况下的爆破作用称作爆破的内部作用,相当于单个药包在无限的均匀介质中的爆破作用。由于介质与药包中心的距离不同,所以岩石的破坏特征(破坏程度)随药包中心距离的变化而发生明显的变化。根据岩石的破坏特征,可将耦合装药(见本章第五节)条件下受爆炸影响的岩石分为3个区域,如图1-1所示。

(一) 粉碎区

当密闭在岩体中的药包爆炸时,爆轰压力在数微秒内急剧增高到数万兆帕,并在药包周围的岩石中激发起冲击波,其强度远远超过岩石的动态抗压强度。在冲击波的作用下,对于坚硬岩石,在此范围内受到粉碎性破坏,形成粉碎区;对于松软岩石(如页岩、土壤等),则被压缩形成空腔,空腔表面形成较为坚实的压实层,这种情况下的粉碎区又称为压缩区。

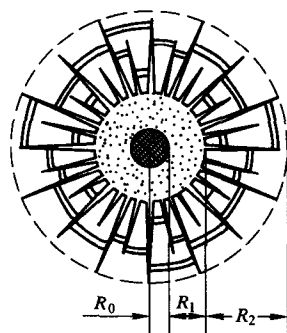


图 1-1 爆破的内部作用
 R_0 —药包半径; R_1 —粉碎区半径;
 R_2 —破裂区半径

(二) 破裂区

在粉碎区形成的同时,岩石中的冲击波衰减成压应力波。在应力波的作用下,岩石在径向产生压应力 σ_r 和压缩变形,而切向方向将产生拉应力 σ_θ 和拉伸变形。由于岩石的抗拉强度仅为其抗压强度的十分之一至五十分之一,当切向拉应力 σ_θ 大于岩石的抗拉强度时,该处岩石被拉断,形成与粉碎区贯通的径向裂隙,如图1-2a所示。

随着径向裂隙的形成,作用在岩石上的压力迅速下降,药室周围的岩石随即释放出在压缩过程中积蓄的弹性变形能,形成与压应力波作用方向相反的拉应力 σ_r ,使岩石质点产生反方向的径向运动。当径向拉应力 σ_r 大于岩石的抗拉强度时,该处岩石被拉断,形成环向裂隙,如图1-2b所示。

在径向裂隙和环向裂隙形成的过程中,由

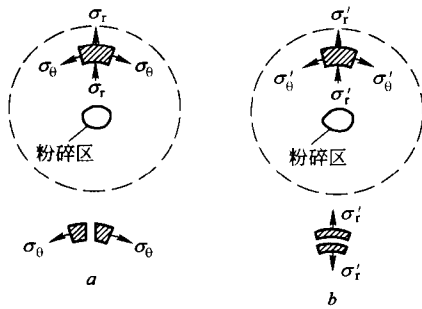


图 1-2 破裂区径向裂隙和环向裂隙形成示意图

a —径向裂隙; b —环向裂隙;

σ_r —径向压应力; σ_θ —切向拉应力;

σ'_r —径向拉应力; σ'_θ —切向压应力

于径向应力和切向应力的作用,还可形成与径向成一定角度的剪切裂隙。

应力波的作用在岩石中首先形成了初始裂隙,接着爆轰气体的膨胀、挤压和气楔作用使初始裂隙进一步延伸和扩展。当应力波的强度与爆轰气体的压力衰减到一定程度后,岩石中裂隙的扩展趋于停止。

在应力波和爆轰气体的共同作用下,随着径向裂隙、环向裂隙和切向裂隙的形成、扩展和贯通,在紧靠粉碎区处就形成了一个裂隙发育的区域,称为破裂区。

(三) 振动区

在破裂区外围的岩体中,应力波和爆轰气体的能量已不足以对岩石造成破坏,应力波的能量只能引起该区域内岩石质点发生弹性振动,这个区域称为振动区。在振动区,由于地震波的作用,有可能引起地面或地下建筑物的破裂、倒塌,或导致路堑边坡滑坡,隧道冒顶片帮等灾害。关于建筑物的爆破地震安全性问题,可参阅第十五章爆破劳动安全卫生技术中的有关内容。

二、爆破漏斗

当单个药包在岩体中的埋置深度不大时,可以观察到自由面上出现了岩体开裂、鼓起或抛掷现象。这种情况下的爆破作用称作爆破的外部作用,其特点是在自由面上形成了一个倒锥形爆坑,称为爆破漏斗,如图 1-3 所示。

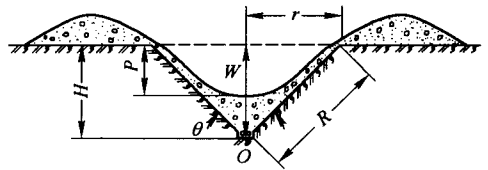


图 1-3 爆破漏斗的几何要素

(一) 爆破漏斗的几何要素

爆破漏斗的几何要素分为(见图 1-3):

(1) 自由面:是指被爆破的岩石(介质)与空气的交界接触面,又称作临空面。除此之外,岩石与液体的交界面、岩石与松散介质的交界面以至两种不同性质岩石的交界等都可以视为自由面。

(2) 最小抵抗线 W :是指药包中心距自由面的最短距离。爆破时,最小抵抗线方向的岩石最容易破坏,它是爆破作用和岩石抛掷的主导方向。

(3) 爆破漏斗半径 r :是指形成倒锥形爆破漏斗的底圆半径。

(4) 爆破漏斗破裂半径(又称作破裂半径) R :是指从药包中心到爆破漏斗底圆圆周上任一点的距离。

(5) 爆破漏斗深度 H :是指爆破漏斗顶点至自由面的最短距离。

(6) 爆破漏斗可见深度 P :是指爆破漏斗中渣堆表面最低点到自由面的最短距离。

(7) 爆破漏斗张开角 θ :即爆破漏斗的顶角。

(二) 爆破作用指数

爆破漏斗底圆半径与最小抵抗线的比值称为爆破作用指数,用 n 表示,即

$$n = \frac{r}{W} \quad (1-1)$$

爆破作用指数 n 在工程爆破中是一个极重要的参数。爆破作用指数 n 值的变化,直接影响到爆破漏斗的大小、岩石的破碎程度和抛掷效果。

(三) 爆破漏斗的分类

根据爆破作用指数 n 值的不同,将爆破漏

斗分为以下4种:

(1) 标准抛掷爆破漏斗。如图1-4a所示,当 $r=W$,即 $n=1$ 时,爆破漏斗为标准抛掷爆破漏斗,漏斗的张开角 $\theta=90^\circ$ 。形成标准抛掷爆破漏斗的药包称作标准抛掷爆破药包。

(2) 加强抛掷爆破漏斗。如图1-4b所示,当 $r>W$,即 $n>1$ 时,爆破漏斗为加强抛掷爆破漏斗,漏斗的张开角 $\theta>90^\circ$ 。形成加强抛掷爆破漏斗的药包,称作加强抛掷爆破药包。

(3) 减弱抛掷爆破漏斗。如图1-4c所示,当 $0.75<n<1$ 时,爆破漏斗为减弱抛掷爆破漏斗,漏斗的张开角 $\theta<90^\circ$ 。形成减弱抛掷爆破漏斗的药包称作减弱抛掷爆破药包,减弱抛掷爆破漏斗又叫加强松动爆破漏斗。

(4) 松动爆破漏斗。如图1-4d所示,当 $0<n<0.75$ 时,爆破漏斗为松动爆破漏斗,这时爆破漏斗内的岩石只产生破裂、破碎而没有向外抛掷的现象。从外表看,没有明显的可见漏斗出现。

工程中常用2~3个以上炮孔或硐室的群

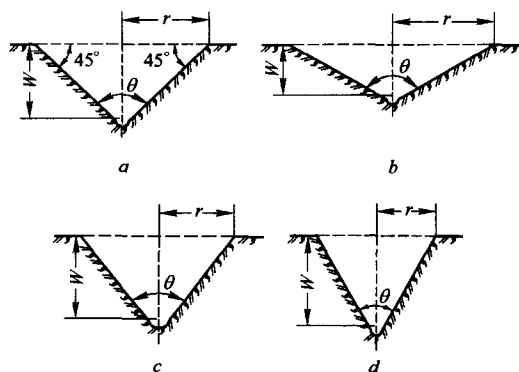


图1-4 爆破漏斗分类

药包进行爆破。群药包爆破是单个药包爆破的组合,通过调整群药包的药包间距和起爆时间顺序,采用诸如光面爆破、预裂爆破、微差爆破、挤压爆破等爆破技术,可以充分发挥单个药包的爆破作用,达到单个药包分次起爆所不能达到的爆破效果(详见后续章节的内容,此不赘述)。

第三节 岩石爆破的药量计算方法

目前,在岩土工程爆破中,精确计算装药量的问题尚未得到十分圆满的解决。工程技术人员更多的是在各种经验公式的基础上,结合实践经验确定装药量。其中,体积公式是装药量计算中最为常用的一种经验公式。

一、体积公式的计算原理

在一定的炸药和岩石条件下,爆落的土石方体积与所用的装药量成正比。这就是体积公式的计算原理。体积公式的形式为

$$Q = K \cdot V \quad (1-2)$$

式中 Q ——装药量,kg;

K ——单位体积岩石的炸药消耗量,kg/m³;

V ——被爆落的岩石体积,m³。

二、集中药包的药量计算

(一) 集中药包的标准抛掷爆破

根据体积公式的计算原理,对于采用单个

集中药包进行的标准抛掷爆破,其装药量可按照下式来计算

$$Q_b = K_b \cdot V \quad (1-3)$$

式中 Q_b ——形成标准抛掷爆破漏斗的装药量,kg;

K_b ——形成标准抛掷爆破漏斗的单位体积岩石的炸药消耗量,一般称为标准抛掷爆破单位用药量系数,kg/m³;

V ——标准抛掷爆破漏斗的体积,m³,其大小为

$$V = \pi \frac{1}{3} \cdot r^2 \cdot W \quad (1-4)$$

式中 r ——爆破漏斗底圆半径,m,

W ——最小抵抗线,m。

对于标准抛掷爆破漏斗, $n = \frac{r}{W} = 1$,即 $r = W$,所以

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot W^2 \cdot W = \frac{\pi}{3} W^3 = 1.047 W \approx W^3 \quad (1-5)$$

将式 1-5 代入式 1-3, 得

$$Q_b = K_b \cdot W^3 \quad (1-6)$$

式 1-6 即集中药包的标准抛掷爆破装药量计算公式。

(二) 集中药包的非标准抛掷爆破

在岩石性质、炸药品种和药包埋置深度都不变动的情况下, 改变标准抛掷爆破的装药量, 就形成了非标准抛掷爆破。当装药量小于标准抛掷爆破的装药量时, 形成的爆破漏斗底圆半径变小, $n < 1$ 为减弱抛掷爆破或松动爆破; 当装药量大于标准抛掷爆破的装药量时, 形成的爆破漏斗底圆半径变大, $n > 1$ 为加强抛掷爆破。可见非标准抛掷爆破的装药量是爆破作用指数 n 的函数, 因此可以把不同爆破作用的装药量用下面的计算通式来表示

$$Q = f(n) K_b W^3 \quad (1-7)$$

式中 $f(n)$ 是一个以 (n) 为自变量的函数, 其具体的函数形式有多种。根据我国爆破工作者的实践经验, 认为一般爆破中比较符合实际的经验公式是

$$f(n) = 0.4 + 0.6n^3 \quad (1-8)$$

将式 1-8 代入式 1-7, 得到集中药包抛掷爆破装药量的计算通式

$$Q_b = (0.4 + 0.6n^3) K_b W^3 \quad (1-9)$$

从式 1-7 可以看出:

(1) 当 $n < 1$ 时, $f(n)$ 的数值也小于 1, 通常把 $0.75 < n < 1$ 的数值代入 $f(n)$, 得出减弱抛掷爆破装药量计算公式。 $n < 0.75$ 后, 已看不出明显的爆破漏斗, 这时均按松动爆破处理。

(2) 当 $n = 1$ 时, $f(n) = 1.0$, 式 1-9 变成式 1-6 的形式, 为标准抛掷爆破装药量计算公式。

(3) 当 $n > 1$ 时, 为加强抛掷爆破装药量计算公式。

(4) 当 $n = 0$ 时, 式 1-9 变成

$$Q_b = 0.4 K_b W^3$$

应用式 1-9 计算加强抛掷爆破的装药量时, 结果与实际情况比较接近。但是, 当最小抵

抗线 W 大于 25 m 时, 用式 1-9 计算出来的装药量偏小, 应乘以修正系数 φ

$$Q_b = (0.4 + 0.6n^3) \varphi K_b W^3$$

$$\varphi = \begin{cases} 1 & W \leq 25m \\ \sqrt{W/25} & W > 25m \end{cases} \quad (1-10)$$

集中药包松动爆破的装药量可按下式计算

$$Q_s = K_s W^3 \quad (1-11)$$

式中 Q_s ——集中药包形成松动爆破的装药量, kg;

K_s ——集中药包形成松动爆破的单位体积岩石的炸药消耗量, 一般称为松动爆破的单位用药量系数, kg/m^3 。

工程经验表明: K_s 与 K_b 之间存在着以下关系

$$K_s = f(n) \cdot K_b = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) K_b \quad (1-12)$$

即集中药包松动爆破的单位用药量约为标准抛掷爆破单位用药量的 $1/3 \sim 1/2$ 。松动爆破的装药量公式可以表示为

$$Q_s = (0.33 \sim 0.5) K_b W^3 \quad (1-13)$$

三、延长药包的药量计算

延长药包是在工程爆破中应用最为广泛的药包。如炮眼爆破法和深孔爆破法中使用的柱状药包以及硐室爆破法中使用的条形药包都属于延长药包。

延长药包是相对于集中药包而言的, 当药包的长度和它横截面的直径 (或最大边长) 之比 Ψ 大于某一值时, 称作延长药包。 Ψ 值大小的规定目前尚未统一。就圆柱形装药而言, 通常当 $\Psi > 4$ 时, 即视为延长药包。实际上, 要真正起到延长药包的作用, 药包的长度要超过药包直径的 17 倍以上。

(一) 延长药包垂直于自由面

掘进隧道时, 炮眼爆破法的柱状装药就是延长药包垂直于自由面的一种形式, 如图 1-5 所示。这种情况下炸药爆炸时易受到岩体的夹制作用, 但一般仍能形成倒圆锥的漏斗, 只是易残留炮窝。计算装药量时, 仍可按体积公式来计算。

$$Q = K_b f(n) W^3 \quad (1-14)$$

式中 Q ——装药量, kg;
 W ——最小抵抗线, m, 其值为

$$W = L_2 + \frac{1}{2}L_1$$

L_2 ——堵塞长度, m;

L_1 ——装药长度, m。

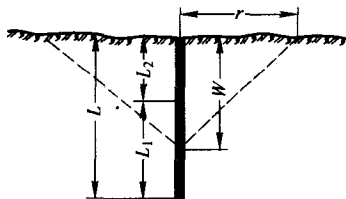


图 1-5 柱状装药垂直自由面

需要说明的是,在浅眼爆破中,由于凿岩机所钻的眼径较小,炮眼内往往容纳不下由式 1-14 计算所得的装药量。在这种情况下,需要多打炮眼以容纳计算的药量。在隧道爆破设计时,常用 $Q = qV$ 式计算每掘进循环的总装药量,然后根据断面尺寸和循环进尺确定单孔装药量。

(二) 延长药包平行于自由面

深孔爆破靠近边坡的炮孔装药和硐室爆破采用的条形药包都是延长药包平行于自由面的具体形式。延长药包爆破后形成的爆破漏斗是一个 V 形横截面的爆破沟槽。设 V 形沟槽的开口宽度为 $2r$, 沟槽深度 D , 当 $r = W$ 时, $n = \frac{r}{D} = 1$, 称为标准抛掷爆破沟槽, 如图 1-6 所示。根据体积公式计算装药量(不考虑端部效应)

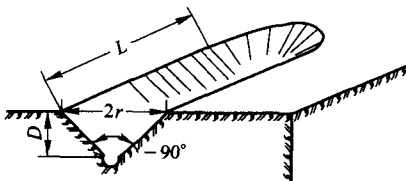


图 1-6 延长药包平行于自由面

$$Q = K_b V = K_b \cdot \frac{1}{2} \cdot 2rWL = K_b \cdot rWL = K_b W^2 L$$

$$\text{即 } Q = K_b W^2 L \quad (1-15)$$

对于形成非标准抛掷爆破沟槽的情况,装药量的计算公式应考虑爆破作用指数 n 的影响,于是

$$Q = f(n) K_b W^2 L \quad (1-16)$$

式中 Q ——延长药包的装药量, kg;

$f(n)$ ——与爆破作用指数有关的经验公式;

W ——延长药包的最小抵抗线, m;

L ——延长药包的装药长度, m。

对于硐室爆破中使用的条形药包,装药量的计算公式可以表示为

$$Q_1 = \frac{Q}{L} = f(n) K_b W^2 \quad (1-17)$$

式中 Q_1 ——条形药包单位长度装药量, kg/m。

式 1-17 中的 $f(n)$ 为经验公式,形式多样,各不相同。我国使用较多的是前苏联学者鲍列斯阔夫和阿夫捷也夫提出的经验公式。

1. 鲍列斯阔夫公式

$$f(n) = \frac{0.4 + 0.6n}{0.55(n+1)} \varphi \quad (1-18)$$

式中 n ——爆破作用指数。

$$\varphi = \begin{cases} 1 & W \leq 25 \text{ m} \\ \sqrt{W/25} & W > 25 \text{ m} \end{cases}$$

2. 阿夫捷也夫公式

$$f(n) = \frac{2(0.4 + 0.6n^3) \Psi}{n+1} \quad (1-19)$$

$$\text{式中 } \Psi = \begin{cases} 1 & W \leq 25 \text{ m} \\ W^{0.0032(W-25)} & W > 25 \text{ m} \end{cases}$$

我国爆破工程技术人员也提出了一些计算 $f(n)$ 的经验公式,其中由铁道科学研究院提出的公式如下

$$f(n) = \frac{\lambda_n(1+n^2)}{2} \varphi \quad (1-20)$$

$$\text{式中 } \lambda_n = \begin{cases} 1.0 & n < 1 \\ 1.1 & 1 \leq n \leq 1.3 \\ 1.2 & n > 1.3 \end{cases}$$

式 1-20 的特点是:计算结果与现有的一些经验公式所求得的 $f(n)$ 值的平均值较为接近。应该注意的是,式 1-18 ~ 式 1-20 都未经过最小抵抗线大于 60 m 的爆破工程实践的检验。

第四节 爆破参数的意义和选择

一、单位用药量系数 K_b 和 K_s

K_b 是指单个集中药包形成标准抛掷爆破漏斗 ($n=1$) 时, 爆破每 1 m^3 岩石或土壤所消耗的 2 号岩石铵梯炸药的质量, 称作标准抛掷爆破单位用药量系数, 简称标准单位用药量系数。 K_s 则是指单个集中药包形成松动爆破漏斗时 (一般 $0 < n < 0.75$), 爆破每 1 m^3 岩石或土壤所消耗的 2 号岩石铵梯炸药的质量, 称作松动爆破单位用药量系数。

对于一般抛掷爆破, K_b 值并不等于工程实际上爆破每立方米岩石所消耗的炸药量 (俗称单位耗药量), 而 K_s 值在松动爆破中与单位耗药量的数值是相符合的, 所以在松动爆破 (如浅孔爆破、深孔爆破等) 中, K_s 值也称作单位耗药量, 而在抛掷爆破 (如药室大爆破中) 则要严格区分单位用药量 K_b 值和单位耗药量。

K_b 与 K_s 相对于同类岩石来讲, 存在式 1-12 的关系。因此, 工程实际中常先选择 K_b 值再决定 K_s 的值。

选择 K_b 或 K_s 时, 应考虑多方面的影响因素来加以确定, 主要有以下几个途径:

(1) 查表。对于普通的岩土爆破工程, K_b 和 K_s 的值可由表 1-1 查出。拆除爆破中有关砖混结构、钢筋混凝土结构的单位用药量系数可从第十章的相关表格中查出。这些表都是对 2 号岩石铵梯炸药而言的, 使用其他炸药时就乘以炸药换算系数 e , 见表 1-2。由于各种炸药的生产条件、储存条件不一样, 如铵油炸药、浆状炸药有现场加工和工厂生产的区别, 有各种配方生产的品种, 因此表 1-2 的数值也只能作参考使用。在工程实践中, 可以针对具体岩石, 用不同炸药做漏斗对比试验, 来求出炸药换算系数 e 值。

表 1-1 各种岩石的单位用药量系数 K_b 和 K_s 值

岩石名称	岩体特征	f 值	K_b 值	K_s 值
			/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
各种土	松软的	< 1.0	1.0 ~ 1.1	0.3 ~ 0.4
	坚实的	1 ~ 2	1.1 ~ 1.2	0.4 ~ 0.5
土夹石	密实的	1 ~ 4	1.2 ~ 1.4	0.4 ~ 0.6
页岩 千枚岩	风化破碎 完整, 风化轻微	2 ~ 4	1.0 ~ 1.2	0.4 ~ 0.5
		4 ~ 6	1.2 ~ 1.3	0.5 ~ 0.6
板岩 泥灰岩	泥质, 薄层, 层面张开, 较破碎 较完整, 层面闭合	3 ~ 5	1.1 ~ 1.3	0.4 ~ 0.6
		5 ~ 8	1.2 ~ 1.4	0.5 ~ 0.7
砂岩	泥质胶结, 中薄层或风化破碎者 钙质胶结, 中厚层, 中细粒结构, 裂隙不甚发育 硅质胶结, 石英质砂岩, 厚层, 裂隙不发育, 未风化	4 ~ 6	1.0 ~ 1.2	0.4 ~ 0.5
		7 ~ 8	1.3 ~ 1.4	0.5 ~ 0.6
		9 ~ 14	1.4 ~ 1.7	0.6 ~ 0.7
砾岩	胶结较差, 砾石以砂岩或较不坚硬的岩石为主 胶结好, 以较坚硬的砾石组成, 未风化	5 ~ 8	1.2 ~ 1.4	0.5 ~ 0.6
		9 ~ 12	1.4 ~ 1.6	0.6 ~ 1.7
白云岩 大理岩	节理发育, 较疏松破碎, 裂隙频率大于 4 条/m 完整, 坚实的	5 ~ 8	1.2 ~ 1.4	0.5 ~ 0.6
		9 ~ 12	1.5 ~ 1.6	0.6 ~ 1.7
石灰岩	中薄层或含泥质的, 成鲕状、竹叶状结构的以及裂隙较发育的厚层, 完整或含硅质, 致密的	6 ~ 8	1.3 ~ 1.4	0.5 ~ 0.6
		9 ~ 15	1.4 ~ 1.7	0.6 ~ 0.7
花岗岩	风化严重, 节理裂隙很发育, 多组节理交割, 裂隙频率大于 5 条/m 风化较轻, 节理不甚发育或未风化的伟晶、粗晶结构的 细晶均质结构, 未风化, 完整致密岩体	4 ~ 6	1.1 ~ 1.3	0.4 ~ 0.6
		7 ~ 12	1.3 ~ 1.6	0.6 ~ 0.7
		12 ~ 20	1.6 ~ 1.8	0.7 ~ 0.8
流纹岩、粗面岩、蛇纹岩	较破碎的 完整的	6 ~ 8	1.2 ~ 1.4	0.5 ~ 0.7
		9 ~ 12	1.5 ~ 1.7	0.7 ~ 0.8

续表 1-1

岩石名称	岩体特征	f 值	K_b 值	K_s 值
			/kg · m ⁻³	
片麻岩	片理或节理裂隙发育的 完整坚硬的	5~8	1.2~1.4	0.5~0.7
		9~14	1.5~1.7	0.7~0.8
正长岩 闪长岩	较风化,整体性较差的 未风化,完整致密的	8~12	1.3~1.5	0.5~0.7
		12~18	1.6~1.8	0.7~0.8
石英岩	风化破碎,裂隙频率大于5条/m 中等坚硬,较完整的 很坚硬,完整,致密的	5~7	1.1~1.3	0.5~0.6
		8~14	1.4~1.6	0.6~0.7
		14~20	1.7~2.0	0.7~0.9
安山岩 玄武岩	受节理裂隙切割的 完整,坚硬,致密的	7~12	1.3~1.5	0.6~0.7
		12~20	1.6~2.0	0.7~0.9
辉长岩、辉绿岩、橄辉岩	受节理裂隙切割的 很完整,很坚硬,致密的	8~14	1.4~1.7	0.6~0.7
		14~25	1.8~2.1	0.8~0.9

表 1-2 常用炸药的换算系数 e 值

炸药名称	换算系数 e	炸药名称	换算系数 e
2 号岩石铵梯炸药	1.0	1 号岩石水胶炸药	0.75~1.0
2 号露天铵梯炸药	1.28~1.5	2 号岩石水胶炸药	1.0~1.23
2 号煤矿许用铵梯炸药	1.20~1.28	一、二级煤矿许用水胶炸药	1.2~1.45
4 号抗水岩石铵梯炸药	0.85~0.88	1 号岩石乳化炸药	0.75~1.0
梯恩梯	0.75~0.94	2 号岩石乳化炸药	1.0~1.23
铵油炸药	1.0~1.33	一、二级煤矿许用乳化炸药	1.2~1.45
铵松蜡炸药	1~1.05	胶质硝化甘油炸药	0.8~0.89

(2) 采用工程类比的方法,参照条件相近工程的单位用药量系数确定 K_b 或 K_s 的值。在工程实际中,用这个途径更为现实、可靠。

(3) 采用标准抛掷爆破漏斗试验确定 K_b 。理论上讲,形成标准抛掷爆破漏斗的装药量 Q 与其所爆落的岩体体积之比即为 K_b 的值。但是,在试验中恰好爆成一个标准抛掷爆破漏斗是很困难的,因此,在试验中常根据式 1-9 计算 K_b 的值,即

$$K_b = \frac{Q}{(0.4 + 0.6n^3) W^3} \quad (1-21)$$

试验时,应选择平坦地形,地质条件要与爆区一样,选取的最小抵抗线 W 应大于 1 m,采用集中药包。根据最小抵抗线 W 、装药量 Q 以及爆后实测的爆破漏斗底圆半径 r ,计算 n 值并由式 1-21 计算 K_b 值。试验应进行多次,并根据各次的试验结果选取接近标准抛掷爆破漏斗的装药量。试验是反复的,但对于一些重大的工程是必不可少的。

需要指出的是, K_b 和 K_s 都只是单个集中药包爆破时装药量与所爆落岩体体积之间的一个关系系数。当群药包共同作用时,群药包的总装药量与群药包一次爆落的岩体总体积的比值称为单位耗药量,简称炸药单耗,用字母 q 来表示,即

$$q = \frac{\sum Q}{\sum V} \quad (1-22)$$

式中 q ——单位耗药量, kg;

$\sum Q$ ——群药包总装药量, kg;

$\sum V$ ——群药包一次爆落的岩体总体积, m³。

一般只有在单个集中药包爆破时, K_b 或 K_s 才与 q 相等。在群药包爆破设计中, K_b 和 K_s 只用来计算单个药包的装药量。单位耗药量也是一个经济指标,可用来衡量爆破工程的经济效益,是爆破工程预算的重要指标之一。

二、最小抵抗线 W

最小抵抗线 W 的确定方法通常是根据爆破方法的不同而有所区别。对于硐室爆破、药

壶法爆破以及其他采用集中药包的爆破方法,最小抵抗线 W 是从药包中心到地面或临空面的最短距离,如图 1-7a 所示;而采用延长药包爆破的浅眼爆破等,最小抵抗线 W 则是从药包长度的中心到距该中心最近临空面的最短距离,如图 1-7b 所示。

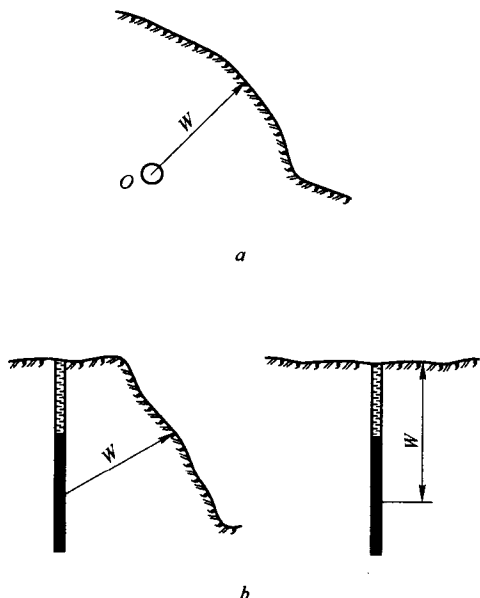


图 1-7 各种爆破方法的最小抵抗线

最小抵抗线的指向是岩石破碎、抛掷和产生飞石的主导方向,应特别注意该方向的安全防护。施工时应认真测量核实最小抵抗线 W 的大小和指向。由于装药量 Q 与 W 的 3 次幂有关, W 值的错误测算往往会导致严重的爆破事故。

三、爆破作用指数 n 值

n 值是表示爆破漏斗大小的一个重要指标,是一个无量纲参数。通过 n 值可以判断爆

破工程的性质。同时, n 值也是分析爆破的效果和经济效益的重要依据。为了获得良好的爆破效果,在选择 n 值时,可参考以下原则。

(1) 对于抛掷爆破, n 值的大小可根据地面坡度 α 的大小选取:

- $\alpha \leq 20^\circ$ 时, $n = 1.75 \sim 2.0$;
- $\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$ 时, $n = 1.5 \sim 1.75$;
- $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$ 时, $n = 1.25 \sim 1.5$;
- $\alpha = 45^\circ \sim 60^\circ$ 时, $n = 1.0 \sim 1.25$;
- $\alpha \geq 60^\circ$ 时, $n = 0.75 \sim 1.0$ 。

对于多排药包爆破,后排药包的 n 值应比前排药包加大 0.25,以克服前排药包爆破产生的阻力。但是在任何情况下,对于抛掷和扬弃爆破 n 值都不应大于 3。因为当 n 大于 3 后, n 值对爆破效果的影响就不大了。

(2) 松动爆破的 n 值。由于松动爆破后通常只出现缩小的爆破漏斗或不出现可见的爆破漏斗,即多数情况下松动爆破的爆破作用指数 $n = \frac{r}{W} = 0$,所以就无法用 n 值表达爆破松动的情况。为此,对于松动爆破一般借用 n 值的数函数 $f(n)$ 来计算松动爆破的装药量。下面是不同类型松动爆破的 $f(n)$ 值

最大的内部作用药包 $f(n) = 0.125 \sim 0.2$;

减弱松动药包 $f(n) = 0.2 \sim 0.44$;

正常松动药包 $f(n) = 0.44$;

加强松动药包 $f(n) = 0.44 \sim 0.64$;

为了达到松动爆破的爆破目的,对于上述取值范围, $f(n)$ 一般不宜超过上限 0.25,即使在岩石坚硬完整的情况下也应遵守这个原则。

爆破设计中的其他参数如孔间距,排间距的选择随爆破方法不同而不同,具体选择方法参见本书各章有关内容。

第五节 影响爆破效果的因素

影响爆破效果的因素很多,根据前苏联毕久金教授的分析,影响爆破效果的因素达 60 多个。本节主要就炸药性能、地质条件、施工方法等爆破工程中影响爆破效果的共性问题进行阐述。后面的章节中还将对影响爆破效果的其他

一些因素进行论述。

一、炸药性能对爆破效果的影响

炸药的密度、爆热、爆速、爆力和猛度等性能指标,反映了炸药爆炸时的作功能力,直接影响炸药的爆炸效果。增大炸药的密度和爆热,

可以提高单位体积炸药的能量密度,同时提高炸药的爆速、猛度和爆力。但是品种、型号一定的工业炸药其各项性能指标均应符合相应的国家标准或行业标准,作为工业炸药的用户,工程爆破领域的技术人员一般不能变动这些性能指标。即使像铵油炸药、水胶炸药或乳化炸药这些可以在现场混制的炸药,过分提高其爆热,也会造成炸药成本的大幅度提高。另外,工业炸药的密度也不能进行大幅度的变动,例如当铵梯炸药的密度超过其极限值后,就不能稳定爆轰。因此,根据爆破对象的性质,合理选择炸药品种并采取适宜的装药结构,从而提高炸药能量的有效利用率,是改善爆破效果的有效途径。

爆速是炸药本身影响其能量有效利用的一个重要性能。不同爆速的炸药,在岩体内爆炸激起应力波参数不同。对于密度和爆热相同的炸药,提高爆速可以增大应力波的应力峰值(爆轰压力与爆速的平方成正比),但相应的减

小了它的作用时间。在岩体内爆破时,其内部裂隙的发展不仅决定于应力峰值,而且与应力波形、应力作用时间有关。为使裂隙扩展一定长度,应力波必须具有一定的作用时间或波长。裂隙伸展长度愈大,所需时间愈长或应力波波长愈大。

除应力波作用时间对裂隙的发展有影响外,对于相同的作用时间,还与应力波形有关,这就是应力波冲量对裂隙发展的影响。

对高阻抗岩石,因其强度高,为使裂隙发展,应力波应具有较高的应力峰值,对于中等阻抗的岩石,应力波不宜过高,而应增大应力波的作用时间;在低阻抗岩石中,主要靠气体静压力形成破坏,应力峰值应尽可能予以削掉。

从能量观点来看,为提高炸药能量的传递效率,炸药阻抗应尽可能与岩石阻抗相匹配。因此,岩石阻抗愈高,炸药密度和爆速应愈大。各种岩石的波阻抗及其适合的炸药性能见表 1-3。

表 1-3 部分岩石的波阻抗及可燃性

代表性岩石名称			整体性较好的坚硬岩石:辉绿岩、玢岩、花岗岩、蛇纹岩、闪长岩、安山岩、玄武岩、片麻岩、硅质胶结火成岩的砾岩		中等坚固性岩石:白云岩、石灰岩、大理岩、灰质砂岩、风化片麻岩、正长岩、菱铁矿、磁铁矿、砂质砾岩、页岩、坚固的泥灰岩			裂隙多的软岩、软泥灰岩、砾、石膏、贝壳石灰岩、砂质黏土、砾石、黏土、黄土		
岩石级别			1	2	3	4	5	6		
坚固系数波阻抗/kg·m ⁻³ ,m·s ⁻¹			14~20 16~20	9~14 14~16	5~9 10~14	3~5 8~10	1~3 4~8	0.5~1.0 2~4		
破坏变形特点			脆性破坏		似脆性破坏			塑性破坏		
破碎过程的能量消耗/kg·m·m ⁻³		破碎抛掷	7000~8000 1000~1600	5000~7000 500~1000	4000~5000 250~500	3000~4000 100~250	2000~3000 50~100	1250 50		
推荐采用的 炸药参数	爆轰压/kg·cm ⁻²	2.00×10 ⁵	1.65×10 ⁵	1.25×10 ⁵	0.85×10 ⁵	0.48×10 ⁵	0.20×10 ⁵			
	爆速/m·s ⁻¹	6.3×10 ³	5.6×10 ³	4.8×10 ³	4.0×10 ³	3.0×10 ³	2.5×10 ³			
	装药密度/kg·m ⁻³	(1.2~1.4) ×10 ³	(1.2~1.4) ×10 ³	(1.0~1.2) ×10 ³	(1.0~1.2) ×10 ³	(1.0~1.2) ×10 ³	(0.8~1.0) ×10 ³			
	炸药潜能/kg·m·kg ⁻¹	(5.00~5.50) ×10 ⁵	(4.15~5.00) ×10 ⁵	(4.20~4.75) ×10 ⁵	(3.50~4.20) ×10 ⁵	(3.00~3.50) ×10 ⁵	(2.80~3.00) ×10 ⁵			
单位耗 药量 /kg·m ⁻³	掘进	爆破块度平均线性尺寸/cm	1	2.4	2.2	2.0	1.80	1.40	0.95	
			5	1.65	1.50	1.40	1.20	0.95	0.65	
			10	1.3	1.20	1.10	1.00	0.75	0.50	
	地下采矿		15	1.10	1.0	0.95	0.85	0.65	0.45	
			20	1.10	0.9	0.85	0.75	0.60	0.40	
	露天开采		30	0.85	0.78	0.70	0.64	0.50	0.55	
			40	0.7	0.62	0.57	0.5	0.40	0.25	

二、地质条件对爆破效果的影响

露天工程爆破的实践证明,爆破效果的好坏,在很大程度上取决于爆区地质条件的好坏以及爆破设计是否充分考虑到地质条件与爆破作用之间的关系。国内外爆破专业人员越来越多地认识到爆破与地质结合的重要性。爆破工程地质正在朝着形成一个新学科的方向发展。爆破工程地质着重研究地形地质条件对爆破效果、爆破安全及爆破后岩体稳定性的影响,涉及地形、岩性、地质构造和水文地质诸方面。这里仅举几个例子,说明自由面及不良地质构造对爆破效果的影响。

(一) 自由面对爆破效果的影响

在爆破工程中,自由面的作用是非常重要的。有了自由面,爆破后的岩石才能向这个方面破坏和移动。增加自由的个数,岩石的类制作用就愈小、愈有利于爆破,不仅可以明显增加爆破方量,同时还可显著地降低炸药消耗量。合理地利用地形条件或人为地创造自由面,往往可以达到事半功倍的效果。图 1-8 很形象地说明了自由面个数对爆破效果的影响。图 a 表示只有一个自由面时的情况,图 b 表示具有两个自由面时的情况。如果岩石是均质的,而且其他条件相同,那么图 b 条件下所爆下的岩石体积几乎为图 a 条件下的两倍。

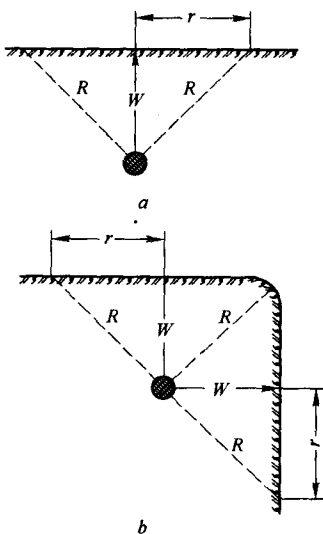


图 1-8 自由面对爆破效果的影响

(二) 断层对爆破效果的影响

实践证明,在药包爆破作用范围内的断层或大裂隙能影响爆破漏斗的大小和形状,从而减少或增加爆破方量,使爆破不能达到预定的抛掷效果甚至引起爆破安全事故。因此,在布置药包时,应查明爆区断层的性质、产状和分布情况,以便结合工程要求尽可能避免其影响。图 1-9 中的药包布置在断层的破碎带中。当断层内的破碎物胶结不好时,爆炸气体将从断层破碎带冲出,造成冲炮并使爆破漏斗变小。图 1-10 中的药包位于断层的下面。爆破后,爆区上部断层上盘的岩体将失去支撑,在重力的作用下顺断层面下滑,从而使爆破方量增大,甚至造成原设计爆破影响范围之外的建筑物损坏。

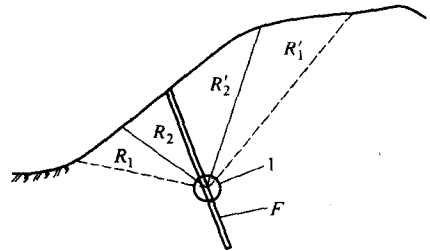


图 1-9 药包布置在断层中

1—药室;F—断层; R_1 —实际下破裂线;
 R_2 —设计下破裂线; R'_1 —实际上破裂线;
 R'_2 —设计上破裂线

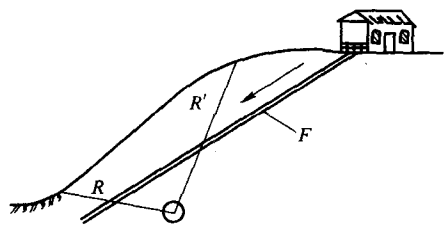


图 1-10 药包布置在断层下

注:波阻抗炸药的密度与其爆速的乘积称为炸药的波阻抗。

(三) 层理对爆破效果的影响

层理对爆破效果的影响主要表现在以下方面:

(1) 药包最小抵抗线与层理面平行时,将减少爆破方量,如图 1-11 所示,岩块抛掷比一

般要小,容易留根底,还可能顺层发生冲炮。

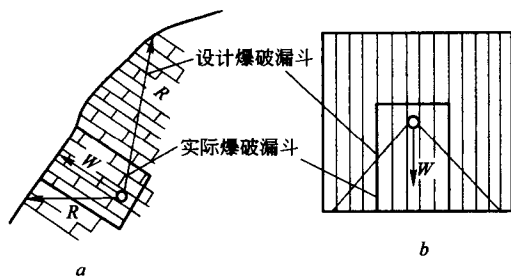


图 1-11 层理面与最小抵抗线平行
a—断面图;b—平面图

(2) 最小抵抗线与层理面垂直,将扩大爆破漏斗,增加方量,并使块度降低,如图 1-12,但爆堆抛散距离比一般情况下要小。

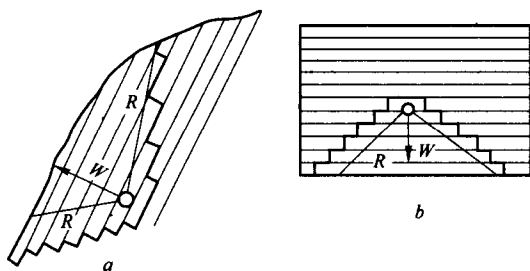


图 1-12 层理面与最小抵抗线垂直
a—断面图;b—平面图

(3) 最小抵抗线与层理斜交,一般是钝角一侧漏斗会扩大,锐角一侧则会缩小,如图 1-13,爆堆抛散方向会发生偏移。

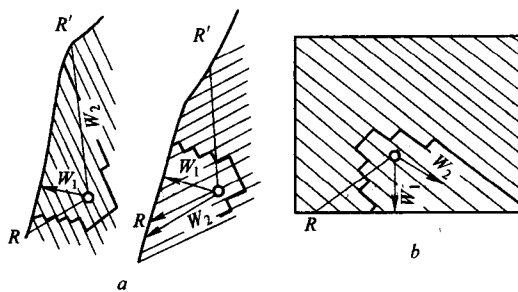


图 1-13 层理面与最小抵抗线斜交
a—断面图;b—平面图

(四) 节理裂隙及片理劈理对爆破效果的影响

节理裂隙及片理劈理对爆破效果的影响如下:

(1) 岩层均受节理、裂隙、片理、劈理切割,它们对爆破的影响,取决于其发育程度、频率、产状、张开度及组数。一般而言,岩体中的节理裂隙虽然组数较多,但对爆破起主导作用的仅有 1~2 组。

(2) 如果一组起主要作用,其影响作用与层理相似;如果节理裂隙很发育,岩层已被切割成碎块,各组节理却不能起主导作用,接近于均质岩体。有不少研究者将岩体的可爆性与节理裂隙发育程度结合起来考虑岩石可爆性分级及炸药消耗量,见表 1-4。

表 1-4 岩石可爆性等级表

节理裂隙等级	平均裂隙距/m	岩石坚固性等级	1 m ³ 岩石中自然裂隙的面积/m ²	普氏坚固系数 <i>f</i>	密度/g·cm ⁻³	声学阻抗 <i>ρC₀</i> /Pa·s·m ⁻³
特别破碎	≤0.1	不坚固	33	小于8	小于2.5	小于5
强裂破碎	0.1~0.5	中等坚固	33~9	8~12	2.5~2.6	5~8
中等破碎	0.5~1.0	坚固	9~6	12~16	2.6~2.7	8~12
轻微破碎	1~1.5	很坚固	6~2	16~18	2.7~3	12~15
很轻微破碎	>1.5	极端坚固	2	≥18	>3	>15

节理裂隙等级	大于以下尺寸的岩块在岩体中的含量/%			单位耗药量 /kg·m ⁻³	岩石可爆性等级
	300 mm	700 mm	1000 mm		
特别破碎	<10	接近0	没有	小于0.35	易爆
强裂破碎	<70	<30	<5	0.35~0.45	中等可爆
中等破碎	<90	<70	<40	0.45~0.65	难爆
轻微破碎	100	<90	<70	0.65~0.9	很难爆
很轻微破碎			100	0.9或更大	极端难爆