

中國



组织委员会

主 任	霍永基						
副主任	冯叔瑜	边克信	杨振声	朱瑞赓	徐天瑞		
委 员	霍永基	冯叔瑜	边克信	杨振声	朱瑞赓	徐天瑞	
	王树仁	史家靖	汪旭光	林学圣	张正宇	姚 尧	
秘书长	刘殿中						
副秘书长	金人夔	李名山					

编 委 会

主 编	霍永基						
副主编	冯叔瑜	杨振声	朱瑞赓	徐天瑞			
编 委	王树仁	林学圣	张正宇	刘殿中	张永哲	金人夔	
	董振华	许连波	吴子骏	朱德达	张天锡	刘清荣	
	马柏龄	陈保基	秦明武	黄吉顺	缪垂祖	金 和	
	黄明权	胡 峰					
责任编辑	张天锡	刘清荣	周祖仁				

目 录

岩塞爆破相似律及模型试验	刘殿中 陶和彪 (1)
花岗岩加载特性与矿物组成的相关性研究	于亚伦 蒋德全 (4)
条形装药爆炸应力场的实验研究	高尔新 张志毅 (8)
条形药包应用中的若干问题	朱德达 (10)
节理岩体爆破块度计算的损伤力学模型探讨	张继春 钮 强等 (13)
平行束孔爆破模型试验及机理探讨	马英芳 惠鸿斌 (18)
岩石中集中装药爆炸能量分布的计算	颜事龙 陈叶青 (25)
硝酸炸药和水胶炸药内管道效应的试验研究	刘积铭 (30)
岩体预裂爆破的断裂控制研究	高文学 刘清荣 (34)
高精度预裂爆破钻孔位置的确定方法	姚 尧 (37)
柱形装药地面爆炸空气冲击波传播规律	李 铮 胡再龙 (43)
本钢南芬露天铁矿炸药与岩石相匹配的研究	宫永军 (50)
岩石力学特性与炸药单耗之间关系的探讨	张志毅 刘建亮 (52)
硐室大爆破的组织与施工管理	郑炳旭 (58)
600t 级硐室松动控制爆破	何广沂 韩云忠 (64)
井下 40t 炸药大爆破实践	陶永和 (69)
峨口铁矿硐室爆破及若干问题探讨	白建峰 (73)
华宁县白龙河水库定向爆破筑坝	刘鸿亮 (79)
定向爆破滑动筑坝的模型试验研究与设计原则	杨振声 周家汉等 (84)
多排平面药包定向抛掷大爆破	史家靖 (93)
滑动模拟在爆破筑坝工程中的几个问题	杨振声 刘以钢等 (99)
深孔爆破梯段高度的合理选取	刘建亮 张志毅 (107)
五强溪水电站采石场改进爆破破碎质量的研究	廖先葵 刘志和 (112)
中深孔控制爆破在急倾斜薄矿脉中的应用研究	张 腾 (116)
宽孔距多排毫秒深孔爆破是提高岩石破碎度的有效途径	吕麟信 (120)
大孔距爆破开采面板坝堆石料	刘焕祯 (125)
峨口铁矿掘沟爆破的关键技术	温立坚 高 毅 (130)
深孔爆破在城市广场工程中的应用	季瑞龙 (133)
道路施工中钻孔爆破堵塞长度的研究	郭 峰 (134)
峨口铁矿台阶爆破根底产生的原因及预防措施	雷墨林 (138)
露天矿爆破专家系统的类比学习方法	郭连军 范文忠 (140)
我国冶金露天矿爆破技术现状	金科学 (144)
石方爆破技术与开挖整体效益	李永亮 (148)
隧道掘进掏槽炮孔的探讨	郝庆桃 (152)
扩孔钻头研制及在掘进爆破中的应用	庙延钢 王勋业 (158)
光面爆破岩石分级方法探讨	秦明武 (161)

不良地质条件下的光面爆破	尹宝田	(170)
帷幕注浆地层段定向光面爆破研究	高尔新 耿文志等	(174)
小直径浅眼预裂爆破参数的试验研究	惠鸿斌 刘礼仁等	(176)
高层复杂交织结构建筑群的爆破拆除	郑建中 左炳和	(180)
建筑物定向倾倒控制爆破拆除	唐永昌	(186)
狭窄场地高大烟囱的定向控爆	高容万	(192)
双层同向折叠定向偏转爆破楼房	孙国顺	(195)
高耸钢筋混凝土筒式结构定向倾倒失稳条件的力学分析	陈叶青 颜事龙	(199)
砖混结构楼房切割控制爆破	赵改昌	(203)
钢筋砼框架爆破吊装拆除	苏志丹	(206)
控制爆破在拆除废弃楼房中的应用	邢崇厚	(208)
原壁烟囱的定向爆破	刘宏刚 白立刚等	(210)
柱式水塔定向爆破的关键问题	姜占才	(216)
大厦基础桩桩头的控爆拆除	郑德明	(219)
在厂区内地表上爆破废钢铁	刘忠臣 杨永言等	(222)
轧机工作辊道夹层混凝土切裂爆破	王明林 李桂臣等	(225)
聚能爆炸切割钢板初步试验研究	周浩然 张汉兴等	(230)
铁坨控爆解体的装药量计算研究	杨昌森 周浩然等	(236)
北京燕化炼油厂装油站场扩建工程深孔控制爆破	马权利	(238)
惯性约束下爆破的应用	王振彪	(244)
爆炸洗井机理及其应用	陈宝心 梁开水等	(247)
爆破疏通排水管道	李成志	(249)
爆炸法消除水电站压力钢管焊接残余应力	谭胜禹 祝时昌	(251)
锥形铁管在爆破天井悬挂堵物中的应用	袁正玉	(254)
静态爆破剂拆除两层框架结构的实践	郭川	(256)
一次爆扩成孔桩基施工简介	吴纯和	(259)
水下爆夯处理软基的施工工艺	赵丕彪 杨仕春	(261)
深孔水下切割控制爆破技术	王青屏	(263)
人防工程坑道水压爆破拆除	邓都	(265)
水下钻孔爆破花岗岩碎径的研究	杨传嘉	(269)
水下爆夯技术设计与施工	魏有堂	(272)
水压爆破圆柱薄壳结构物的动力响应分析	李守巨 张立国等	(276)
水下爆炸作用下圆柱壳内部冲击加速度的估算方法	金涛 黄骏德	(281)
双捆联平行传爆网路的延时理论分析	樊正复 姚尧等	(285)
非电起爆网路的研究与实践	何广沂	(289)
毫秒挤压爆破的应用及关键参数的选取	曹书谷	(294)
时序控制断裂爆破新方法工业性试验研究	程康	(297)
爆破网路的选择与保护	崔景林	(300)
孔间毫秒爆破在缓倾斜中深孔房柱法中的应用	闵其恒	(304)
毫秒落矿在鸡笼山金矿的应用	柯智勇	(306)

复式交叉传爆网路的可靠性计算	樊正复 (308)
溜井降段爆破的关键技术	白建峰 (311)
浅谈工业炸药冲击、摩擦感度综合测试方法	李名山 (316)
乳化炸药静压下的爆轰和复原性研究	刘学强 (319)
无声破碎剂改型复合剂的研究	刘石义 赵小稚等 (322)
新型电磁雷管点火原理与结构研究	杜云鹤 (325)
大爆破工程中的安全问题	孟庆彪 (330)
条形药包爆破振动特性的分析计算	郭 峰 (334)
大面积分层爆破地震效应的分析	韩子荣 张汉才等 (336)
爆破拆除建筑物触地引起地表振动的研究	李守巨 何庆志等 (342)
凡口矿高阶段深孔采矿爆破和地震效应的研究	王雪峰 (348)
高烟囱定向倒塌振动测试分析	祝树枝 (355)
拆除爆破与安全管理	商 健 (357)
爆破开挖的振动监测与实例	吴绵拔 汤桃森等 (360)
爆破对基岩破坏影响的试验研究	张永哲 (363)
安全施爆与 R/W 值密切相关	张永吉 (368)
铁路瓦斯隧道爆破施工技术	卿光全 (372)
露天矿装药车	丁六斤 郭振贵 (376)
SB-50 型水压爆炸容器研制	李 义 (380)
钻机每米净钻时间和炸药单耗关系	莫福荣 (383)
电解槽阴、阳极爆炸复合工艺	徐济鹤 (384)
干式捕尘凿岩机具的发展	殷怀堂 魏彦军 (387)

岩塞爆破相似律及模型试验

刘殿中 陶和彪

(北京有色冶金设计研究总院)

摘要 本文是对刘家峡水库排砂洞进口岩塞爆破工程的模拟试验。对一些新的工程,借助于室内模型试验,观察其主要现象,选择确定主要参数。在此过程中,正确建立模型,在选择合适的模型材料和爆破材料等方面作了较为系统的论述。

岩塞爆破工程必须保证一炮成功。刘家峡水库排砂洞进口岩塞爆破工程的特点是在岩塞上部有10~20m板结的淤砂。在这种条件下拟采用矿山的VCR爆破方法将岩塞爆通,这是爆破设计的新问题。为此,在可行性研究阶段要求进行爆破模拟试验,以检查推荐设计方案的合理性和可靠性。

另一方面,爆破理论的发展尚不能满足实践的要求,经验设计方法又有较大的局限性,对一些新的工程问题,借助于室内模型试验,观察其主要现象,选择确定主要参数,也是十分重要的。搞模型试验,必须正确建立模型,选择合适的模型材料和爆破材料。本文就这些问题进行了分析。

一、岩塞爆破的主要力学过程

(1) 炸药爆轰:炸药爆轰给岩塞爆破提供了能量,靠爆轰在岩塞中形成裂隙并将岩体松散成一定级配的块度,描述爆轰过程的主要物理量是炸药密度 ρ ,爆轰波波速 D ,气体常数 γ 和装药量 Q ,以及延迟时间 Δt 。

(2) 岩塞破碎:在爆破近区由于爆炸作用强,岩体破成小块,远区破成大块。从模拟要求上讲,当爆破的尺度改变时,爆下的岩块也必然改变,但级配曲线可能相似。由于岩体结构的复杂性,对破碎要完全进行模拟是很困难的,在我们的模型中主要参数是岩体密度、声波速度、抗压强度和平均破碎块度。

(3) 爆岩滑动:爆破的岩块以一定的初速度,在重力场中向碴坑滑动,本文对运动状态不作深入研究。

(4) 砂层扰动:砂中的药包将淤砂扰动并液化,紧跟爆岩向碴坑方向运动。

本文要研究的问题仅仅是炸药将岩塞破碎打通进口。

二、影响参数分析

(1) 几何参数:模型和原型几何相似,几何参数的控制量是:

W : 最小抵抗线; H : 岩塞厚度; S : 岩塞横向特征尺寸; a : 药包间距; b : 药包排距; d : 平均块度尺寸; φ : 岩塞倾角。

(2) 介质参数:

ρ 介质密度; c 介质声速; σ 介质强度。

(3) 炸药参数:

ρ_e 炸药密度; c 爆速; γ 气体常数; E 总炸药能量; Δt 延迟时间。

爆破方案的最小抵抗线较小, 破碎量小, 可以不考虑重力影响。

爆破效果由以上参数决定, 共计 15 个参数组成以下 12 个无量纲量:

$$\pi_1 = S/W; \pi_2 = a/W; \pi_3 = b/W; \pi_4 = H/W; \pi_5 = d/W; \pi_6 = \varphi; \pi_7 = \sigma/(\rho_e D^2);$$

$$\pi_8 = c/D; \pi_9 = \rho/\rho_e; \pi_{10} = \gamma = 1.4; \pi_{11} = E/\sigma W; \pi_{12} = c\Delta t/W$$

由几何相似原则, 可知 π_1 、 π_2 、 π_3 、 π_4 、 π_5 、 π_6 为常数, π_{10} 亦为常数。 $\pi_9 = \rho/\rho_e$, 代表炸药密度和岩石密度之间的关系, 从某种意义上是代表炸药和岩石之间惯性力的比例。一般而言, 爆炸气体膨胀后, ρ_e 下降很快, 所以这项参数不一定很重要。 $\pi_8 = c/D$, 代表岩石和炸药的匹配关系, 在一般工程爆破使用炸药的范围之内, 可以认为变化不大。 $\pi_{11} = E/\sigma W$, 表示岩石强度对单耗的影响, 从国内的几个岩塞爆破工程看, 岩石强度差异很大, 单耗差异并不大, 所以互换型试验中只考虑单耗相等, 不考虑材料强度变化对单耗的影响。

剩下的有两个无量纲量, 表示成函数形式, 即:

$$\text{破碎度} = f[\sigma/(\rho_e D^2), c\Delta t/W]$$

原型岩石较坚硬, 试样抗压强度在 $10^8 \sim 2.6 \times 10^8 \text{Pa}$ 之间, 岩塞靠近地表取小值, 又考虑节理裂缝影响, 取 $[\sigma] = 0.8 \times 10^8 \text{Pa}$ 。又考虑模型取 $\sigma_m = 0.1 \times 10^8 \text{Pa}$, 按相似要求, 则要求试验炸药的 $\rho_e D^2$ 值是原型炸药的 1/8。此问题的解决拟采用不耦合装药:

$$P_0 = \frac{1}{4} \rho D^2$$

$$P_0/P_1 = (V_1/V_0)^{\gamma}$$

取 $V_1/V_0 = 4$, 则边界压力为 $1/8 P_0$ 。这么做的实质是减少了压碎区, 而使岩体中冲击波为原强度的 1/8。

保持 $c\Delta t/W$ 不变是比较容易做到的, 原型中延迟时间 $\Delta t = 100 \text{ms}$, 模型为 1:40 时, 若原岩声速是模拟材料的 3 倍, 则在模型中把时差控制为 7.5ms 就可以了。

三、试验方案

- (1) 原型按 1/40 比例缩小;
- (2) VCR 药包单个药量 $61\,000\text{g}/40^3 = 0.95\text{g}$, 可采用海绵炸药;
- (3) 平台之上布置了 3 个炮孔, 岩石中每孔装药量 $400\,000\text{g}/40^3 = 6.25\text{g}$;
- (4) 空腔比为 2, 延时为 7.5ms;
- (5) 碴坑设计为碴坑+平洞方式, 按 1/40 比例制作;
- (6) 淤砂中扰动药包在 3 个平台孔上侧, 每个药包重 2.0g;

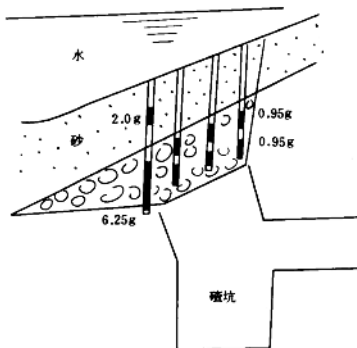


图 1 岩塞爆破模型示意图

(7) 岩石中总药量

总药量: $0.95 \times 14 + 6.25 \times 3 + 2 \times 3 = 38.05$ (g)

岩石中药量: $0.95 \times 14 + 6.25 \times 3 = 32.05$ (g)

总方量: $0.000\ 312\ 5\text{m}^3$ (石方)

单耗: $q = 1.026\text{kg}/\text{m}^3$

(8) 岩塞之岩石的模型材料要求 $\sigma_m = 0.1 \times 10^5\text{Pa}$, 声速 $c = 1\ 000\text{m/s}$, 骨料级配按岩碴级配的 1/40 缩小, 这种材料可以用低标号混凝土制成。

上部淤砂按实际情况压实, 岩基轮廓和碴坑用钢板成型; 其外部用高强度混凝土制作围岩。爆破模型示于图 1 中。

花岗岩动载特性与矿物组成的相关性研究

于亚伦

蒋德全

(北京科技大学矿业研究所) (中国地质大学, 北京)

摘要 为研究岩石破坏动载特性与矿物组成的相关性, 本研究采用三轴 SHPB 装置对花岗岩进行高速冲击, 用光学显微镜和扫描电子显微镜观察矿物颗粒的受损状态, 得出: 在高速冲击载荷作用下花岗岩的裂隙有一半为穿晶裂隙, 其中石英多为沿晶裂隙, 斜长石、钾长石以穿晶裂隙居多。

岩石在高速冲击载荷下的破坏特性不仅与受力状态有关, 也与构成岩石的矿物种类、胶结状态有关。因此研究岩石的破坏动载特性与矿物组成的相关性对于了解岩石破坏机理和确定破碎参数都有重要的指导意义。

本研究采用三轴高速冲击试验机 (Split Hopkinson Pressure Bar) 简称三轴 SHPB 装置⁽¹⁾⁽²⁾对岩石试件进行了高速冲击试验。冲击速度 $\leq 40\text{m/s}$, 围压 100MPa , 岩石试件产生的应变率达到 $\epsilon < 10^3/\text{s}$ 。用光学显微镜和扫描电镜 (SEM) 观察破坏后的岩石试件矿物晶粒的受损状态。

一、岩石试件

岩石试件取自首钢水厂铁矿的混合花岗岩。岩石为浅肉红色、粒状结构、块状构造, 主要矿物为钾长石、斜长石、石英和少量黑云母, 有熔蚀交代矿化现象。

镜下具有不等粒的花岗岩变晶结构, 矿物呈它形粒状、镶嵌状。主要矿物为钾长石 (微斜长石)、奥长石和石英, 副矿物为锆石等, 粒度 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$ 。石英具有波状消光, 斜长石多为钾长石交成残晶, 蠕英结构明显 (图 1)。其化学全分析结果列于表 1, 物理力学性质列于表 2⁽²⁾。

表 1 混合花岗岩的化学全分析结果 (%)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO ₂	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
69.66	0.73	12.99	3.75	1.75	痕	0.35	0.10	0.08	9.32

表 2 混合花岗岩的物理力学性质

密度 (t/m ³)	弹性模量 (MPa)			抗压强度 (MPa)		
	E_D	E_S	E_D/E_S	S_D	S_S	S_D/S_S
2.70	80×10^3	56×10^3	1.43	343	140	2.45

注: 下标 D、S 分别表示 SHPB 装置和刚性材料试验机所得数据; SHPB 试验的 $\dot{\epsilon} = (0.3 \sim 1.0) \times 10^3/\text{s}$; 试件尺寸 $30 \times 30\text{mm}$ 。



图 1 光学显微镜鉴定



图 2 SEM 鉴定 ($\times 500$)

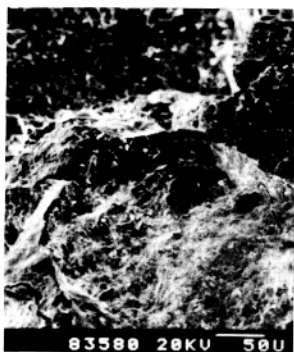


图 3 SEM 鉴定 ($\times 250$)



图 4 SEM 鉴定 ($\times 500$)

二、裂纹的观测与分析

1. 在高速冲击载荷作用下的裂纹约有一半为穿晶裂纹

混合花岗岩在高应变率 ($\dot{\epsilon}=3\times 10^2\sim 10^3$) /s 作用下,用光学显微镜和扫描电镜对其破坏状态进行观测。结果表明,受冲击载荷作用的岩石试件其裂纹分为两类——穿晶裂纹和沿晶裂纹,混合花岗岩的组成矿物——石英、斜长石和钾长石既可出现穿晶裂纹,也可出现沿晶裂纹。图 2 为石英的穿晶裂纹,图 3 为长石的穿晶裂纹,而图 4 则为石英和长石的沿晶裂纹

(近似水平裂纹)和石英的穿晶裂纹(近似垂直裂纹)。

对于10块岩石试件裂纹统计结果表明,穿晶裂纹与沿晶裂纹几乎各占一半。

日本工藤洋三等人对花岗岩进行双扭转试验(Double-torsion Test)也得到了类似的结果,如表3所示。

表3 裂纹路径与矿物结晶粒的关系⁽³⁾

裂纹速度 (m/s)	10^{-2}	10^{-4}	10^{-1}
裂纹全长 (mm)	31.7	32.0	17.0
穿晶裂纹	P	16	12
	Q	27	21
	K	10	18
	B	1	5
	小计	54	52
沿晶裂纹	Q—Q	8	9
	Q—P	9	5
	Q—K	11	10
	Q—B	3	3
	P—P	8	11
	P—K	2	9
	K—B	1	2
	P—B	3	1
	B—B	1	3
	小计	46	47
I/T^*	0.85	0.89	0.92

注: Q—石英, P—斜长石, K—钾长石, B—黑云母。

由表3看出:不管裂纹速度相差多大,其沿晶裂纹(I)和穿晶裂纹(T)之比几乎相等,为0.85~0.92。

2. 石英多为沿晶裂纹,而斜长石、钾长石则以穿晶裂纹居多

石英硬度为7、长石硬度为6~6.5⁽⁴⁾,在冲击载荷作用下,石英的沿晶裂纹为整个矿物结晶裂纹的30%以上。而斜长石、钾长石的沿晶裂纹则不到15%,有时也会出现先是石英的穿晶裂纹,后是石英与长石的沿晶裂纹。石英的穿晶裂纹也与矿物的微裂纹有关,图4中的近似垂直裂纹就是一例。

斜长石、钾长石由于构造上的原因都有两组解理面,所以斜长石的沿晶裂纹大都沿着这两组解理面发展。

三、结 论

(1) 花岗岩类矿物(包括花岗岩、混合花岗岩)在高速冲击载荷作用下,裂纹发展主要沿结晶粒界面或者结晶粒内微裂纹等薄弱面,而载荷类型和大小是次要的。

(2) 在高速冲击载荷作用下,花岗岩有一半是沿晶裂纹,一半是穿晶裂纹。

* 原文为 T/I , 疑为 I/T 之误——作者

(3) 组成花岗岩矿物中, 石英多为沿晶裂纹, 而斜长石、钾长石多为穿晶裂纹。这主要与矿物颗粒硬度、化学成分、构造和潜在微裂纹有关。

主要参考文献

- [1] 于亚伦等, 高速冲击载荷下的岩石破碎特性, 金属矿山, 1985, 2.
- [2] 于亚伦、金科学, 高应变率下的岩石特性研究, 爆炸与冲击, 1990, 3.
- [3] 工藤洋三、橋本幸一, 花岗岩内発生するクセックと鉱物粒の関係, 資源・素材会誌, 107 (1991), 7.
- [4] 王根元, 矿物学, 中国地质大学出版社, 1989.

条形装药爆炸应力场的实验研究

高尔新

张志毅

(中国矿业大学北京研究生部) (铁道部科学研究院铁道所)

摘要 本文根据动光弹实验研究了条形药包的爆炸应力场。研究表明,起爆方式和位置对于应力场的构成形式具有至关重要的作用,单点起爆的应力场为椭圆形,多点起爆才能形成具有柱部的条形装药应力场,且其两端的起爆是形成柱状应力场的重要因素。对条形装药应力场来说,可分为“端头”和“柱部”两部分。“端头”应力场因应力波的发散效应,使应力强度明显偏低,“柱部”应力场则因应力波的叠加作用,使应力强度明显增强。“端头”和“柱部”的划分可以条形装药的端点为界。

条形药包是土石方爆破工程中最常见、最主要的装药形式。探讨条形装药在固体介质中的爆炸动态作用场,不仅可为深孔、条形药室、平面药包等爆破机理提供更合理的解释,还为这些爆破技术水平的改进与提高打下了基础。目前西方发达国家对条形装药的研究主要集中在深孔、光面、预裂等爆破技术的破碎机理、自由面作用、参数选择、鼓包运动规律等方面。前苏联则主要是在条形药室爆破的漏斗计算、装药量、抛掷运动规律、堆积体形状等方面作了大量的工作。纵观国内外的研究情况,有关固体介质中条形装药爆炸动态作用场的研究还很少见。本文以碳酸聚酯板中条形装药爆炸的动光弹实验为手段,初步研究和分析了条形装药爆炸动态应力场的特征,旨在为条形药包爆破技术的进步创造条件。

一、实验结果的分析

1. 起爆方式和位置对应力场形式的影响

一般认为条形装药爆炸后形成的应力场端头为半球形,中部为圆柱形。如果形成的应力场近似球形,则可将装药形式近似为集中装药。条形和集中装药的应力场不但形状差别较大,由此带来的爆破作用机理和漏斗特性也有所不同。为此在模拟实验的基础上,探讨条形装药应力场的形成条件是十分必要的。

实验一:首先进行了条形药包中心单点起爆的爆炸应力场动光弹实验,其条形装药的长径比为40,得到了起爆后50 μ s动光弹照片。从照片可以看出形成的应力场基本为椭圆形,其长轴和短轴之比为1.1。实验一的结果表明,中心单点起爆不利于形成条形装药应力场。

实验二:进行的是条形药包多点起爆的爆炸应力场动光弹实验,其装药长径比为30,得到了起爆后39ms动光弹照片。从照片可以看到形成的应力场基本符合条形装药爆炸动态作用场的形式,即在两个端头为半圆形,中间为一段柱形应力场。实验二证明,多点起爆有利于形成条形装药应力场。

实验三:为了确定多点起爆时不同位置起爆点对形成条形装药应力场的作用,进行了实验三。试验中,条形装药的长径比为40,多点起爆,且其中一端未设起爆点,得到了起爆后50ms的动光弹照片。从照片可以看到形成的应力场类似椭圆,其长轴和短轴之比为1.25。由此可见,两端起爆点对于条形装药应力场的形成贡献最大。

将实验二、三的光弹照片加以对比分析后不难看出,对于多点起爆来说,中部柱形应力场的构成主要是由于多点爆炸形成的诸多球形应力波相互叠加的结果。在这些起爆点中,两端起爆点对柱形应力场的形成作用最大。如果两端起爆点保证起爆,即使中间某个起爆点未爆也不会影响条形装药应力场的形成,原因是中间未爆点对形成条形装药应力场的贡献可由其两边的起爆点替代。但是,如果端部起爆点未爆,由于其另一边再没有起爆点来替补未爆点对形成条形装药应力场的损失,所以将直接影响到中部柱形应力场的形成。

综上所述,关于起爆方式和位置对形成条形装药应力场的影响,可以得到如下几点结论:

(1) 形成条形装药应力场的最佳起爆方式为多点起爆,起爆的点数越多则形成条形装药应力场的时间越早。

(2) 中心单点起爆不利于形成条形装药应力场,即使装药长径比很大,仍然不能保证形成中部的标准柱形应力场。

(3) 多点起爆时,两端起爆点对形成条形装药应力场的贡献最大。如果端部起爆点未爆,则将严重影响条形装药应力场的形成。但若中间起爆点未爆,在应力波发展过程中,由于其两边的起爆点爆炸应力波的叠加作用,仍有可能形成条形装药应力场。

2. 爆炸应力场分析

从实验二所得光弹照片显示的应力场状态可以看出,“端头”和“柱部”的应力条纹明显不同。“端头”的应力波作用场类似于点起爆后的状态,由于圆形应力波的发散作用,使得端头的应力场强度明显减弱,应力条纹稀疏。“柱部”的应力波作用场因各起爆点爆炸应力波的叠加作用,造成应力场强度明显加强,应力条纹稠密。

对于中心单点起爆来说,由于条形装药依次爆轰,所以得到的应力场不像多点起爆那样有明显的分区,基本类似于集中装药的爆炸应力场。

对于一端未爆的多点起爆应力场来说,已爆端的应力场仍有明显的分区特征,即端头应力场类似于点起爆后的状态,而端头到装药部分的应力场明显加强。未爆端的应力场却没有明显的分区特征,它类似于中心单点起爆后的情况。

综上所述,关于条形装药爆炸后的应力场,可以得到如下几点结论:

(1) 条形装药多点起爆后的应力场有明显的分区特征。即在端头具有类似于点爆炸的应力场,由于发散效应使应力场的强度明显减弱,而在柱部因各起爆点爆炸应力波的叠加作用,促使应力场强度明显增大。分区的边界为条形装药的端点,端点以外的区域为应力波发散区,两端之间的区域为应力波叠加区。

(2) 中心单点起爆的条形装药,其应力场类似于集中装药,没有明显的分区特征。

(3) 条形装药多点起爆时,如有一端未爆,则已爆端的应力场仍有条形装药应力场的分区特征,而未爆端的应力场却类似于中心单点起爆的端头应力场。

二、结束语

本文利用碳酸聚酯板中条形装药爆炸的光弹实验,研究了该种装药的各种应力场构成形式及特征。实验结果证明,多点起爆有利于条形装药应力场的形成。另外,在这些起爆点中,药包两端的起爆点尤为重要,如果确保两端起爆,即使中间某个起爆点未爆,仍有可能形成条形装药应力场。上述实验结果只是我们对条形装药爆破作用机理进行研究的一部分初步成果,大量深入的研究仍在进行中,仅以此文供同行专家参考。

条形药包应用中的若干问题

朱德达

(长沙矿山研究院)

摘要 在广泛采用洞室爆破过程中,发展了条形药包,它的出现,使爆破技术水平跃上一个新的台阶。经过这些年的实践,一些具体技术问题已不断得到解决和完善。本文重点阐述了条形药包在应用中必需注意的几个问题,以利推动这项爆破技术更好地发展。

洞室爆破在我国已广泛用于矿山开采、水电建设、铁道建设及沿海地区的开山填海等基本建设工程中。就爆破规模而论,万吨级爆破已进行过3次,千吨级爆破10余次,爆破技术水平近一、二十年有了较大发展。毫秒爆破在洞室爆破中的广泛应用,扩大了一次爆破规模,最大限度地降低了爆破地震作用,在某种程度上弥补了洞室爆破方法的不足。由于条形装药爆炸能量分布均匀,岩石破碎得到改善;减少后冲龟裂范围、边坡整齐、稳定;岩石抛距较大,铲装效率明显提高;施工简单方便,堵塞量大大减少,降低劳动强度,从而在洞室爆破中条形药包应用得越来越普遍,在不同地形条件下均积累了不少经验,为扩大它的使用范围奠定了基础。条形药包已达到的规模和水平可见表1中的几个主要指标。

表1 集中与条形药包爆破规模对比表

爆破地点	用途	药量 (t)	药包形式	最大药包量 (t)	最大的最小抵抗线 (m)	起爆方式
1 甘肃白银厂 (1956年)	矿山开采	3次共15 640 最大1次9 314	集中	1 167		秒差
2 四川攀钢 (1971年)	矿山开采	10 162	集中为主、 条形		35	秒差
3 珠海炮台山 (1992年)	开山造地	11 120	条形为主、 集中	693	47.5	毫秒
4 广东沃头 (1991年)	开山填海	3 250	条形为主、 集中		43	毫秒
5 广东沃头 (1991年)	开山填海	642	条形为主、 集中	153	25	毫秒
6 广东南水 (1960年)	筑坝	1 394	集中	152.8	40	秒差
7 陕西石砭峪 (1973年)	筑坝	1 589	集中		38	秒差
8 深圳南油 (1989年)	开山造地	66	条形为主、 集中	61	46.8	毫秒
9 深圳宝安 (1992年)	开山造地	115	条形为主、 集中	8.4	24	毫秒
10 前苏联阿尔 马	筑坝	5 293	条形为主、 集中	3 605	83.5	

为了更好地促进条形药包的发展和完善,仅根据爆破设计施工经验和一些工程爆破审查中发现的问题和解决方法,归纳出以下一些看法供参考。

一、药包形式的选择

硐室大爆破一般采用集中药包,它适合于不同地形条件,布置灵活、参数易于控制,但炸药集中、能量分布不均,在药室之间特别是大、小药室之间容易形成岩坎和大块,后破裂线不整齐。条形药包在很大程度上避免了这些缺点,各种地形条件下均可布置条形药包,沿走向方向可随地形变化将药包布置成直线、折线或曲线,采用分段布置条形,控制 W/H 比值在合理范围,以解决过去认为只是在平坦、地形变化均匀条件下才能布置条形药包的限制,扩大它的使用范围。我国最大条形药包长度已达230m,前苏联阿尔马阿金坝定向爆破中条形药包长度达到90m。当然根据地形变化,某些局部地区,条形药包难以达到的地方,也可辅以集中药包,或者采用条形和集中相结合的方式解决一些实际问题。为了加强条形药包的整体抛掷效果,也可布置平面条形药包,将上下两药包间距适当缩小,同时起爆,形成平面抛体,增加抛距是可行的,如广东惠州沃头通用码头大爆破的平面条形药包的设计是成功的一例。

二、条形药包布置中若干问题的处理方法

(1) 根据地形变化,布好前排药包,必须保持沿走向各段(一倍最小抵抗线)的最小抵抗线之差在5%~10%范围内,差值过大易产生大块或有的地方抛掷过远。

(2) 在同一排条形药包中纵向剖面的高程差最好不要超过10%~15%,若高程差过大可采取分段布置条形,缩短条形长度以控制 W/H 在0.6~0.8之间较为合理。

(3) 多排条形药包错开布置时,前后排相邻端应在同一条直线上;水平距宜保持 $1/3W$,以防止留墙和避免端部因先爆药包破坏而泄气冲炮。

(4) 条形药包排数一般不宜超过3排,若地形平坦 W/H 比值保持在0.8~0.9时,可增加条形药包数到4~5排。

(5) 多排双侧爆破时,可增加爆破排数,但中间一排的最小抵抗线应取双向相等,若主爆方向已定,则应使主爆方向的最小抵抗线为另一方向最小抵抗线的0.8~0.9倍。

(6) 多排条形药包爆破中,后排需利用前排作自由面时,前排药包的后破裂线的选取,花岗岩类地带可自药包中心按 70° 作与地表交点,然后作交点与压缩圈半径的切线作为后破裂线,这一作法经数十次爆破证明是可行的。

(7) 布条形药包时,前排药包端部最好比后排药包端部长 $1/3W$,以形成较宽的开口,使后排药包爆破的岩石能充分破碎和松散,为铲装创造良好条件。

(8) 条形药包的空腔比即硐室体积与药包体积之比以4~5为好,可降低冲击波初压,充分利用爆破能,增加抛掷距离,减少对边坡破坏,这一点在靠近边坡一排的药包尤为重要。为达到最佳空腔比取得良好破碎效果,根据各段装药量的大小,可改变巷道掘进断面。实际施工中巷道断面沿走向多数是不变的,空腔比为1~10。

三、条形药包的堵塞方法

条形药包与集中药包相比,堵塞长度可减少10%~15%,但堵塞部位和堵塞量是极为重要的。堵塞长度不够、堵塞质量不高会形成冲炮,药包端部宜保持堵塞长度3~5倍巷道断面的最大边长,十字交叉口的堵塞长度,向里2~3m,向外5~7m为宜。各分段药包之间的堵塞长度3~4m时不会留坎、留墙,也不会发生殉爆。

四、条形药包中装药量的增减

国内在最小抵抗线小于50m的土石方爆破中,普遍采用前苏联鲍氏公式计算。爆破目的仅是为开挖土石方时,可不增加抵抗线的修正系数,爆破效果较好。在条形装药中,端部药包考虑到端部效应适当增加药量是必须的。实际工作中可按端部最小抵抗线的集中药包计算量的15%~20%增加即可。多排条形药包时,中间一排双向作用药包的药量可适当增加,增幅为该排总量的20%足够,以改善爆堆状况和岩石破碎程度。

为减少最大一段药量,可将条形药包分段堵塞,分段长度可降到1W以下,但分段的起爆时间差应尽量减少,防止改变爆破作用方向,确保整条药包的爆破效果。

主要参考文献

- [1] 朱德达,长沙矿山研究院季刊,1982, Vol. 2, No. 3.