

# 螺旋切槽孔松动爆破模型试验研究

郑周练 陈山林 叶晓明 明成云

(重庆大学土木工程学院 重庆 400045)

**摘要** 螺旋切槽孔爆破能够通过调整螺旋角来控制爆破块径、减少或尽量避免二次爆破,但目前有关螺旋切槽孔爆破的研究成果很少。因此,研究螺旋切槽裂纹的扩展以及与螺旋角等的关系,具有重要意义。用液压的方式来替代炸药爆破的准静态过程进行试验研究,观察裂纹的起裂、扩展,发现裂纹将沿螺旋切槽尖端方向扩展,模型材料在相同的抗压强度下螺旋角越大,起裂所需的压力越小,且在相同的抗压强度下,螺旋切槽的模型比圆孔所需的起裂压力小。

**关键词** 爆破工程,螺旋切槽,松动爆破,模型试验研究,裂缝起始和扩展

**分类号** TU 751.9, TD 235

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-6915(2004)03-0446-04

## MODEL TESTING STUDY ON PREFABRICATED SPIRAL V-NOTCH BLASTING

Zheng Zhoulian, Chen Shanlin, Yie Xiaoming, Ming Chengyun

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045 China)

**Abstract** Prefabrication spiral V-notch blasting can control diameter of blasting block and reduce the second blasting by adjusting spiral angle. Model testing study is made on prefabricated spiral V-notch blasting, and hydromatic method is used to simulate the quasi-static process in blasting of explosive. It is found from the model test that the crack initiates and develops along the tip of spiral V-notch and that the bigger the spiral angle is the easier the crack initiates and the spiral V-notch hole model is easier to crack than the circle hole one.

**Key words** blast engineering, spiral V-notch, loosening blasting, model testing study, initiation and development of crack

## 1 引言

切槽爆破是指在炮孔轴向孔壁上按爆破开裂方向和设计要求,切出一定深度的槽,然后进行装药爆破<sup>[1]</sup>。目前,切槽爆破的方法主要有:(1)线性聚能药包切槽法,(2)高压水射流切槽法,(3)机械切槽法。这种爆破技术已有 20~30 a 的历史,多用于控制爆破中的定向成缝领域。这种爆破方法的优点在于将爆破能量集中于切槽方向,在切槽方向使裂

纹扩展的同时,抑制其他方向的裂纹起裂,并且其裂纹起裂要求的能量相对较低,引起的爆破振动也较小。因此,切槽孔爆破是一种节能高效的方法,有十分突出的经济效益和社会效益,该技术一经提出,发展十分迅速。近几年来,国内外的控制爆破研究领域主要集中在成孔设备产品化、机理研究等方面,在孔形、布孔方面的研究已趋成熟。

尽管切槽孔爆破技术在工程中受到相当重视,但目前大多限于定向控制爆破领域,而在整个岩体爆破工程中,定向爆破所占的比例并不大,大量的

2002 年 8 月 9 日收到初稿,2002 年 10 月 11 日收到修改稿。

\* 重庆市科委资助项目(99-5489)。

作者 郑周练 简介:男,1970 年生,1993 年大学毕业,现为讲师、博士生,主要从事土木水利工程方面的教学和研究工作。E-mail: zhengzhoulian@yahoo.com.cn。

岩体爆破属于松动爆破和抛掷爆破。如何将切槽孔爆破的高效低能等优点引入松动爆破和抛掷爆破，目前其研究文献还很少。前几年提出的组合切槽孔爆破被用于降低松动爆破“根底率”问题<sup>[2]</sup>，是该技术介入松动爆破领域的一个良好开端。近年来，工程界将螺旋切槽爆破引入了松动爆破领域<sup>[3, 4]</sup>。

由于螺旋切槽是一个三维问题，对其爆破机理理论和试验研究都有相当难度，目前对螺旋切槽孔松动爆破的力学机理研究结果尚属空白，因而尚无合理的设计理论，使该方法的推广、应用受到限制。本项目首次进行螺旋切槽孔松动爆破的试验研究，以期能为其设计理论及工程应用提供依据。

## 2 螺旋切槽孔松动爆破介绍及应用

由于松动爆破不需要平整光滑的断裂面，其主要任务是破碎爆破对象，因此，需要一定密度的爆破裂纹，爆破时一要控制破碎后的块体大小；二要考虑同等装药量情况下，破碎半径尽量大。基于这两方面的考虑，将传统的轴向切槽方式进行改变，即把沿轴向平行的直槽改成绕轴线旋转的螺旋切槽，如图 1。切槽方向在轴向和径向之间变化，这种切槽方式可以在轴向调整切槽的密度，控制爆破块径，完全满足松动爆破的要求。由于切槽是螺旋形的，爆破对象的切割也是螺旋形的，因此称其为螺旋切槽孔爆破。用该方法爆破时，产生粉碎区小，爆破范围大，节省能耗，成本低，工期短，爆破振动较小，可减少爆破粉尘、噪声以及振动对环境的影响，具有较高的应用推广价值<sup>[3, 4]</sup>。

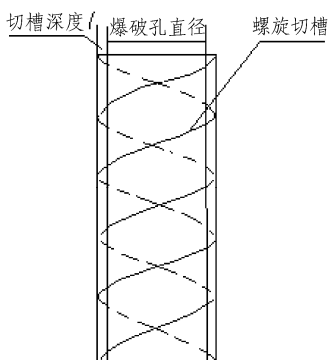


图 1 螺旋切槽示意图

Fig.1 Diagram of spirally V-notch

螺旋切槽孔爆破其主要切槽参数有螺旋角、切槽张角、切槽深度、切槽尖端曲率半径、切槽尖端锐度等。目前，还未发现有相关文献进行研究。对

这些参数的确定和研究，笔者将另文发表。

## 3 试验模型与结果分析

### 3.1 试验模型

#### 3.1.1 模型材料及几何尺寸

模型材料选用水泥砂浆，每个模型尺寸为 200 mm×200 mm×650 mm 的圆柱体。做 3 组，每组模型螺旋切槽升角  $\beta$  分别为 75°，60°，45°和圆孔(未对炮孔切槽)。试验完毕后，每个模型取 3 个芯样进行抗压强度试验，其抗压强度试验按国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》中对立方体试块抗压试验的规定进行。芯样试件取出后，在室内自然干燥 3 d，然后进行试验，其抗压强度见表 1。

表 1 模型抗压强度

Table 1 Compressive strength of model MPa

$\beta / (^{\circ})$	组号		
	1#	2#	3#
75	19.1	17.7	16.8
60	16.8	16.1	19.0
45	15.2	16.1	20.2
圆孔	16.8	15.1	损坏

#### 3.1.2 模型制作

为形成螺旋切槽制作的螺旋胎具见图 2。螺旋角  $\beta$  分别为 75°，60°，45°，切槽张角  $\alpha = 30^{\circ}$ ，双螺旋，孔直径 30 mm，切槽深度 10 mm。待水泥砂浆浇注在模子中后，立即将涂有脱模剂的胎具插入水泥砂浆中，并使定位板紧贴在水泥砂浆表面。待约 150 min 后(室温 21℃)，缓慢从水泥砂浆中旋转退出胎具，这样就形成了螺旋切槽。

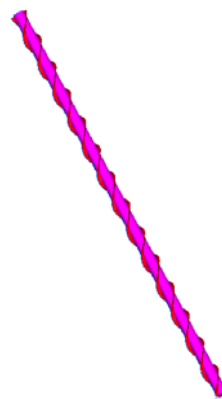


图 2 试验胎具

Fig.2 Dies blank of testing

### 3.1.3 理论依据

装药在炮孔中爆轰时，首先以冲击波的形式对炮孔壁作用一压力脉冲，然后是爆生气体对孔壁的准静态压力作用。一般来说，冲击波的作用时间大约为数十到数百微秒，而爆生气体的作用约为数百毫秒。另外，炸药的潜能大部分都存在于爆生气体之中<sup>[5]</sup>。根据文[6]的计算，在介质中产生的应变波能量仅占炸药潜能的 3%。由此可见，爆生气体对孔边裂缝的产生或扩展起着十分重要的作用。为研究螺旋切槽孔在爆破准静态压力作用下裂纹的起裂、扩展，笔者采用液压的方式来模拟爆破的准静态过程。

### 3.1.4 试验系统

用液压主要解决的问题是密封。先以炮孔为圆心用强力 AB 胶将直径为  $\phi 110$  mm 厚 12 mm 的钢板粘在模型表面，再在钢板上放置预先做好的密封、连接液压机的部件，该部件并联一个液压传感器 (PG-50KU, 5 MPa)，并将信号接入 Y6DL-1 型的六线动态电阻应变仪，再接入到 TYPE 3036X-Y 的函数记录仪，系统结构见图 3。并将模型放置在反力架上，然后在其顶部用液压千斤顶压紧该部件以保证密封性能良好。待一切准备好，用 ZB4-500 型电动油泵供油加压。

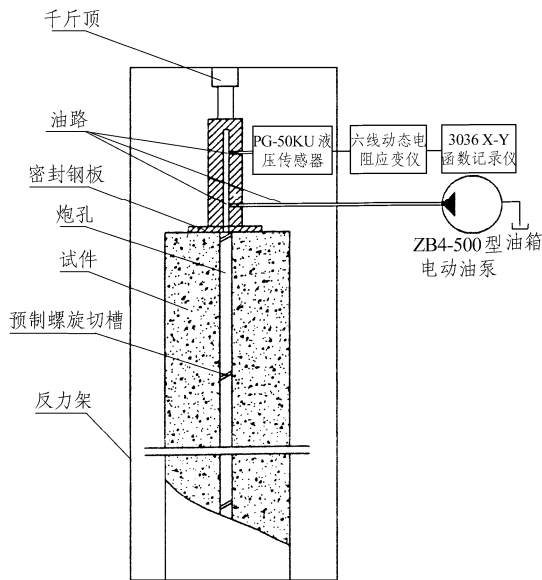


图 3 试验系统  
Fig.3 Testing system

## 3.2 试验结果与分析

### 3.2.1 模型起裂压力

对模型供油加压，利用函数记录仪记下系统卸

压前瞬间(模型破坏时)压力，即模型起裂压力(见表 2)。

表 2 模型起裂时压力

Table 2 Compressive stress for crack initiation of model MPa

$\beta / (^{\circ})$	组号		
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>
75	3.40	2.20	未测出
60	2.24	2.76	4.68
45	3.40	3.64	4.80
圆孔	4.32	3.60	///

通过表 1, 2 可以得出：相同的螺旋角，模型的抗压强度越大，起裂所需压力也就越大。不同螺旋角，螺旋角越大，在相同的抗压强度下，起裂所需的压力越小。如  $\beta = 75^{\circ}$ ，第 2 组的抗压强度为 17.7 MPa，其起裂压力为 2.20 MPa； $\beta = 60^{\circ}$ ，第 2 组抗压强度为 16.1 MPa 起裂压力为 2.76 MPa； $\beta = 45^{\circ}$  第 2 组抗压强度为 16.1 MPa 起裂压力为 3.64 MPa。分析各组数据可见，在相同的抗压强度下，有螺旋切槽的模型比圆孔所需的起裂压力小。其中， $\beta = 60^{\circ}$  第 2 组抗压强度为 16.1 MPa，起裂压力为 2.76 MPa，比  $\beta = 60^{\circ}$ ，第 1 组抗压强度为 16.8 MPa 起裂压力为 2.24 MPa 大。这主要是数据测试误差造成的。

### 3.2.2 模型起裂、扩展方向

通过油压，只产生裂纹，不能将整个模型破坏。为观察破坏后的效果，将静态膨胀剂搅拌后灌入炮孔，约 15 min 后，整个模型沿油压后所产生的裂纹方向扩展并分裂成若干块，其裂纹起裂、扩展方向见图 4。

由图可见，螺旋切槽模型起裂主要沿螺旋切槽尖端方向。在模型中，有些部位未按切槽方向起裂，其主要原因是切槽的深度不均匀，导致深切槽部分优先扩展，而短切槽部分受到抑制<sup>[7]</sup>。

## 4 结 论

通过试验，并对结果进行分析，能得到以下结论：

- (1) 相同的螺旋角，模型的抗压强度越大，起裂所需压力也就越大；
- (2) 不同螺旋角，螺旋角越大，在相同的抗压强度下，起裂所需的压力越小；

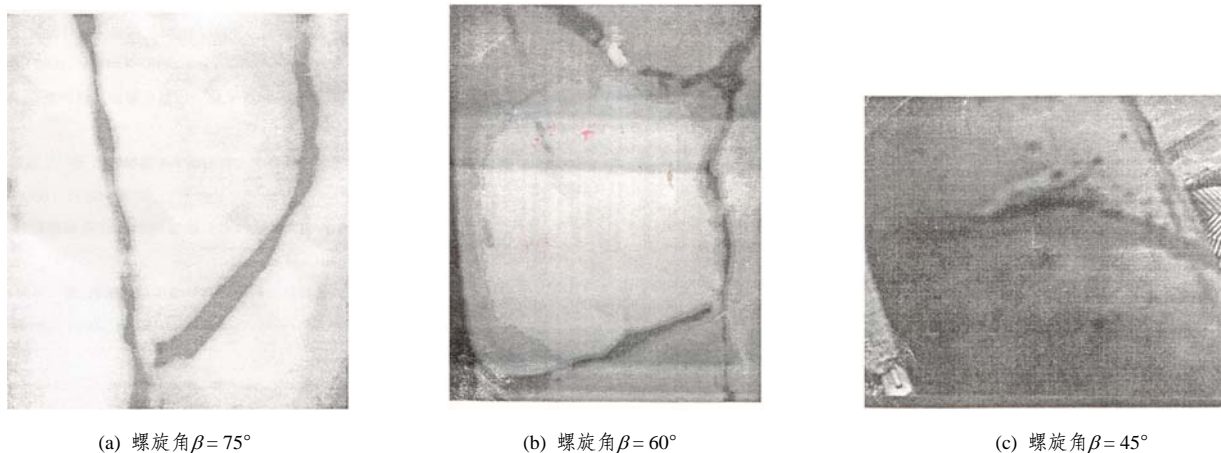


图 4 模型起裂、扩展方向

Fig.4 Crack initiation and developing directions of model

(3) 在相同的抗压强度下，有螺旋切槽的模型比圆孔所需的起裂压力小；

(4) 螺旋切槽模型起裂沿螺旋切槽尖端方向起裂并扩展。

### 参 考 文 献

1 Forney W L, Dally J W, Hollowouy D C. Model studies of well stimulation using propellent charges[J]. Int. J Rock Mech. Min Sci. & Geome. Abstr., 1983, 20(2): 91~101

2 张天锡, 张时忠, 吴立. 组合槽孔装药水介质耦合爆破新方法[J]. 爆破, 1991, 8(3): 52~56

3 郑周练, 陈山林, 叶晓明. 切槽爆破研究的历史及现状[J]. 重庆建筑大学学报, 2001, 23(6): 103~109

4 叶晓明. 三维切槽孔爆破方法[J]. 地下空间, 1999, 19(3): 212~218

5 杜云贵, 张志呈, 李通林等. 切槽爆破中 V 形切槽产生的力学效应研究[J]. 爆炸与冲击, 1991, 11(1): 26~30

6 凌伟明. 起裂爆破和预裂爆破破裂过程的研究[J]. 中国矿业大学, 1988

7 高金石, 杨军, 张继春等. 准静态压力作用下岩体爆破成缝方向与机理研究[J]. 爆炸与冲击, 1990, 10(1): 76~84

## 新书简介

《土质边坡稳定分析：原理·方法·程序》一书由陈祖煜著，中国水利水电出版社 2003 年出版，560 页，定价 75 元。

该书全面阐述对土质边坡进行稳定分析的原理和方法，介绍有关程序和使用说明，主要内容包括：边坡稳定分析的通用条分法及各种简化方法；使用最优化方法搜索圆弧和任意形状滑裂面的最小安全系数的原理和方法等。

《工程地质学原理》一书由韩晓雷编，机械工业出版社 2003 年出版，188 页，定价 16 元。

该书系统而简明地论述了工程地质学的基本理论，内容包括矿物与岩石、地质构造与岩体结构、风化作用、第四纪沉积地层与地貌、土的物理性质及工程分类、地下水的存在与类型、土的渗流理论、工程地质灾害和工程地质勘察。全书共九章。

《环境学原理》一书由陈立民、吴人坚、戴星翼编著，科学出版社 2003 年出版，433 页，定价 30 元。

该书共分绪论、自然环境与生物圈、资源与社会发展、环境污染与生态破坏、人类社会环境、环境保护对策、可持续发展等 7 部分内容。

该书可作为高等学校教材和相关领域的科技人员参考。