

文章编号: 1006-9941(2001)01-0024-04

# 炸药模拟件水射流切割参数的试验研究

张国文, 陈新发

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 对 D-90023 炸药模拟件进行水射流切割试验, 确定了主要的切割参数, 探索了水射流技术应用于炸药部件切割加工的可行性, 为今后运用水射流技术切割炸药部件提供了实验依据。

**关键词:** 炸药模拟件; 水射流; 切割参数

**中图分类号:** TQ560.7

**文献标识码:** A

## 1 引言

高压水射流技术是一种新的切割加工技术。90年代美国等少数国家已将此技术用于常规兵器、导弹部件的拆解及炸药件的切割加工<sup>[1-5]</sup>。武器炸药件、常规战斗部等在研制、生产和退役过程中, 通常要进行切割取样和拆解, 在操作过程中存在较大危险。国外实践证明, 使用水射流切割技术是安全的, 工艺上是可行的。本课题采用该技术对 D-90023 炸药模拟件进行了切割试验研究, 为水射流技术应用于炸药件切割加工的可行性提供了实验依据。

## 2 水射流切割原理、组成及特点

### 2.1 水射流切割原理

水射流切割是将普通水通过超高压增压器使其增压至数百兆帕(如 400 MPa), 然后通过一个细小孔径(0.2 mm)的宝石喷嘴射出, 产生每秒数百米(通常为 2~3 倍音速)的高速射流, 借助这种高速水射流的动能冲击作用对工件进行切割加工。

### 2.2 水射流切割设备的组成

第一台纯水型和夹砂型切割设备分别在 1971 年和 1982 年研制成功并投入使用<sup>[6]</sup>。目前该工艺技术日趋成熟, 已广泛用于各种材料的切割加工。

水射流切割设备包括高压水发生装置、割枪系统、割枪驱动装置、水处理装置等。目前国内外厂家都可生产此类切割加工设备。

### 2.3 水射流切割的特点

水射流切割是无热过程, 在安全上具有金属刀具切割无可比拟的优点。

(1) 切割温升小: 由于水的冷却作用, 被切割工件的温升很小, 切口中(包括切口剖面)的温度低于 100 °C<sup>[6]</sup>, 特别适用于炸药材料的加工。我所曾采用某种常用炸药做过试验, 用金属刀具车削时达到的温度为 218 °C, 用金属钻头钻削时达到的温度为 211 °C; 文献<sup>[7]</sup>也表明, 车削碳钢工件时温度为 627 °C(无冷却液)和 357 °C(有冷却液), 且产生大量的火花。对于常规武器战斗部, 由于弹体内的装药爆点都低于 327 °C, 如果采用金属刀具就有可能因热量集聚而导致爆炸。

(2) 切口宽度较小: 纯水切割时为 0.1~0.5 mm, 加磨料切割时为 1.2~2.5 mm, 有利于提高材料的利用率; 切口质量高, 没有毛刺、挂渣。

(3) 操作方便: 可从工件表面任意一点开始或中止切割, 工件内部开孔也较容易, 能切割三维曲面形工件。

(4) 应用前景广阔: 对于那些严禁明火作业区域如石油钻井、炼油厂, 大型油、气贮罐、油气输送管道及武器弹药等场合均可进行安全切割; 不产生有害人体健康的气体 and 粉尘等。

## 3 试验结果

本课题组采用炸药模拟件开展了水射流切割参数的试验研究。

### 3.1 高压水压力对切割能力(切割深度)和切割质量的影响

在确定切割速度、喷嘴高度、喷嘴孔径及水射流类

收稿日期: 2000-09-25; 修回日期: 2000-12-15

作者简介: 张国文(1939-), 男, 研究员, 从事炸药部件加工工艺研究, 发表论文九篇。

型(纯水或夹砂)条件下,研究了水压力对切割深度及切缝质量的影响,试验结果见表 1。

表 1 高压水压力对切割深度、切缝质量的影响

Table 1 Effect of water pressure on depth and quality of cutting

水压力 /MPa	切割深度 /mm	切缝宽度/mm		切缝外观质量
		入口	出口	
344.74	100	1.05	1.50	切缝规则 无崩落
330.95	100	1.05	1.65	
310.24	100	1.03	1.60	
275.79	100	0.96	1.65	
241.32	100	0.95	<4.00	不规则

注：喷嘴高为 2 mm,切割速度为 25 mm·min<sup>-1</sup>,水射流为夹砂型。

### 3.2 割枪的移动速度(切割速度)对切割能力(切割深度)和切割质量的影响

在确定水的压力、喷嘴高度、喷嘴孔径及水射流类型(纯水或夹砂)条件下,研究切割速度对切割深度及切缝质量的影响,试验结果见表 2、表 3。

表 2 切割速度对切割深度、切缝宽度及切缝质量的影响

Table 2 Effect of cutting velocity on depth, width and quality of cutting

切割速度 /mm·min <sup>-1</sup>	切割深度 /mm	切缝宽度/mm		切缝质量
		入口	出口	
25	50	0.60	未透	切割深度大
33.5	35	0.60	未透	约 35~50 mm

注：纯水切割,水压为 344.74 MPa,喷嘴高度为 3 mm,喷嘴孔径为 0.7 mm。

表 3 切割速度对切割深度、切缝宽度及切缝质量的影响

Table 3 Effect of cutting velocity on depth, width and quality of cutting

切割速度 /mm·min <sup>-1</sup>	切割深度 /mm	切缝宽度/mm		切缝质量
		入口	出口	
10	100	1.05	1.60	切缝规则 无崩落
25	100	1.05	1.60	
25	100	1.05	1.55	
33.5	100	1.05	1.55	
50	100	1.05	<4.00	出口崩落 不规则
50	100	0.86	<3.00	
74	100	1.04	<6.00	
74	100	0.86	<6.00	

注：夹砂水切割,水压为 344.74 MPa,喷嘴高为 3 mm,喷嘴孔径为 0.7 mm。

### 3.3 喷嘴与工件表面的距离(喷嘴高度)对切割能力(切割深度)和切割质量的影响

在确定水的压力、切割速度、喷嘴孔径及水射流类型(纯水或夹砂)条件下,研究喷嘴高度对切割深度及切缝质量的影响,试验结果见表 4。

表 4 喷嘴高度对切割深度和质量的影响

Table 4 Effect of distance from nozzle to workpiece on depth and quality of cutting

喷嘴高度 /mm	切割深度 /mm	切缝宽度/mm		切缝质量
		入口	出口	
2	100	1.05	1.50	切缝规则无崩落, 喷嘴高度在 2~4 mm 之间对切 割深度和切缝质量 的影响不大。
2.5	100	1.05	1.70	
3	100	1.05	1.60	
3.5	100	1.10	1.50	
4	100	1.05	1.60	

注：切割速度为 25 mm·min<sup>-1</sup>,水压为 344.74 MPa。

### 3.4 切割形状试验

试样分为 A、B 两种,材料均为 D-90023 炸药模拟物,试件 A 为 >310 mm × 100 mm 圆柱,试件 B 为 R<sub>外</sub> 155 mm、厚度 65 mm 的半球壳,试验用喷嘴孔径为 0.7 mm;砂子为国产石榴砂,粒度为 80 目。切割形状及部位为图 1、图 2 所示。

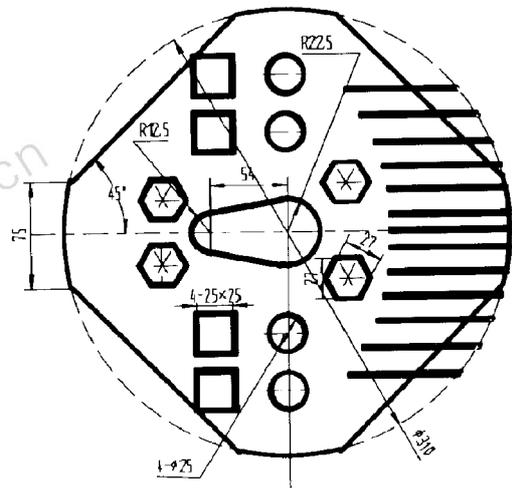


图 1 平面切割示意图(试件 A)

Fig. 1 Schematic diagram of cutting on plane

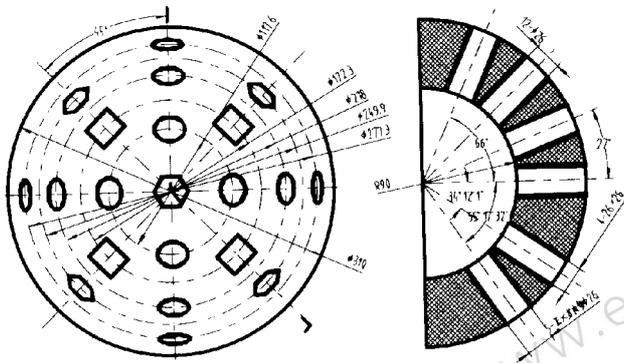


图2 球面切割示意图(试件 B)

Fig.2 Schematic diagram of cutting on three-dimension surface

试样 A 切割条件: 水压为 344.74 MPa, 喷嘴高为 2 mm。试验结果见表 5、表 6。

试验结果表明:

(1) 试件 A 时, 两种切割速度对切割表面质量影响差别不大, 故使用  $33.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  切割速度; 切割表面基本平整, 入口和出口处棱角整齐无掉块。

(2) 从试样 B 上掏取圆形、四方形和六方形孔和柱体, 采用示教编程, 由于各种棱柱体的中心线过球心靠人工调整, 且图形是在球面上画出, 然后按图形编程, 所以加工出的工件形状和尺寸误差较大。

表 5 形状切割试验

Table 5 Test of shaping

mm

切割速度 $/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	圆柱体直径		四棱柱体(长边 × 短边)		六棱柱体边长	
	入口	出口	入口	出口	入口	出口
25	27.00	26.76	26.96 × 27.00	26.78 × 26.80	27.50, 27.56, 27.46	26.64, 26.50, 27.20
25	27.11	27.07	26.94 × 27.04	26.84 × 26.60	27.50, 27.42, 27.54	27.06, 27.24, 26.88
33.5	26.97	26.94	26.94 × 27.00	26.42 × 26.54	27.48, 27.54, 27.44	27.10, 27.46, 27.12
33.5	27.15	26.84	26.96 × 26.96	26.68 × 26.48	27.48, 27.50, 27.66	27.36, 27.68, 27.08

表 6 各种孔的测量结果

Table 6 Measuring results of all kinds of hole

mm

切割速度 $/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	圆柱孔 $\phi$		四棱柱孔 $a \times b$		六棱柱孔 $h$	
	入口	出口	入口	出口	入口	出口
25	28.85	29.85	28.90 × 29.00	29.50 × 29.50	28.50, 29.00, 29.00	29.30, 29.70, 29.20
25	28.75	30.00	28.80 × 28.94	29.50 × 29.30	29.40, 28.40, 28.50	30.30, 29.70, 29.70
33.5	28.78	29.85	28.80 × 29.00	29.80 × 29.60	29.10, 29.00, 29.11	30.10, 29.90, 29.80
33.5	28.95	30.00	29.00 × 28.90	30.00 × 29.50	29.40, 29.00, 29.10	30.00, 29.90, 29.60

#### 4 分析与讨论

(1) D-90023 是炸药模拟件, 其力学性能优于 JO-9159 及 JOB-9003 炸药(见表 7)。采用水切割技术, 以表 8 所示切割参数对其进行切割。结果表明, 不仅切割温升小, 而且切割宽度及尺寸差也达到了较高的要求(见表 9)。因此可以推断, 水射流技术可用于炸药件切割, 以同样的切割参数切割炸药件, 其切割深度可进一步提高。

表 7 D-90023 模拟材料与炸药材料力学性能<sup>[8]</sup>

Table 7 Mechanic properties of D-90023 simulated material and other explosive

材料	密度	抗压强度	压缩模量	抗拉强度
	$/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$/\text{MPa}$	$/\text{MPa}$	$/\text{MPa}$
D-90023	1.646	70.30	43 000	20.10
JO-9159	1.865	30.89	8 230	4.84
JOB-9003	1.854	44.85	10 100	6.47

表 8 炸药模拟件水射流切割参数  
Table 8 Waterjet cutting parameters  
of cutting for simulated workpiece

切割种类	喷嘴孔径 /mm	喷嘴高度 /mm	水压 /MPa	切割速度 /mm · min <sup>-1</sup>	切割深度 /mm
夹砂型	0.7	2 ~ 3	300 ~ 350	25 ~ 33.5	100
纯水型	0.7	2 ~ 3	300 ~ 350	25	50

表 9 切缝宽度及样件的尺寸差

Table 9 Difference of size of slice and example mm

形状	直线切缝	圆柱体	四棱柱体	六棱柱体	曲面体
尺寸差	0.55	0.30	0.50	0.60	0.34

(2) 水射流切割具有安全、操作方便、工艺性能好等优点,可在工件任意方位切割多种形状工件、掏异型孔,大大提高了材料利用率,比机械加工有特殊的优越性。

(3) 从生产效率来看,水射流切割 D - 90023 炸药模拟件切割速度可达到  $33.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,如果切割炸药件可达到  $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,而采用金属刀具切割炸药材料为  $23 \sim 28 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,可见生产效率至少提高一倍。

#### 参考文献:

- [1] George Wilken, Hal Monson, Mark M Zaugg. The use abrasive water jet to cut munitions for explosives removal or to make them safe for deactivation furnaces [ A ]. International Seminar on Demilitarisation Technology for Explosives and Explosives Ordnance [ C ], England, November 1991.
- [2] Crutchmer J A, Do B T, Goodfellow P A. Size reduction of hemispherical explosive shells by waterjet [ R ]. Monson and Hanger-silas Mason Co., Inc, February 1995.
- [3] Paul L Miller. The mechanisms and parameters of abrasive waterjet (AWJ) cutting of high-explosive projectiles [ R ]. August 1992.
- [4] George Wilken, Hal Monson, Mark M Zaugg. Cutting of munitions and removal of explosives through application of waterjet technology [ R ]. August 1992.
- [5] Summer D A, Tyler L J, Blaine J, et al. Considerations in the design of a water jet device for reclamation of missile casings [ R ]. University of Missouri-Rolla, August 1992.
- [6] 梁桂芳. 切割技术手册 [ M ]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 3.
- [7] [英] Tourret R (托雷特). 金属切削工具的特性 [ M ]. 姜龙. 北京: 国防工业出版社, 1966. 173.
- [8] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1989.

## Research on Waterjet Cutting Parametrization Test for Simulated Material of Explosive

ZHANG Guo-wen, CHEN Xin-fa

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** A study has been made on waterjet cutting parameters by cutting D - 90023 simulated material of explosive. Basing on these tests, some main waterjet cutting parameters have been determined for explosive. At the same time, to support the technology, which is applied in cutting explosive units, the feasibility of waterjet cutting will be researched.

**Key words:** simulated material of explosive; waterjet; cutting parameter