

# 轻气炮冲击实验中的一些改进措施 及在爆炸硬化上的应用

67-50

李明山

赵士达

(中国矿业大学, 徐州, 221008)

(中国科学院力学研究所)

TG 142.33

**摘要** 本文介绍了在高锰钢的轻气炮冲击实验中的一些改进措施和参数的选取,并介绍了对实验后的试件进行硬度测量的结果在爆炸硬化上的应用及对爆炸硬化的指导作用。此外,本文还测量出了高锰钢的冲击波速度随所受冲击压力变化而变化的规律。

**关键词** 轻气炮, 高锰钢, 爆炸硬化。

模拟试验

## 1 前言

轻气炮是研究冲击波在固体中的传播规律及其效应的有效工具,用其对高锰钢的爆炸硬化进行模拟实验。由于在实验中要对高锰钢中的冲击波压力和冲击波速度进行测量,且由于要模拟爆炸硬化时产生的高达15GPa以上的压力<sup>[1]</sup>所要求的高碰撞速度等,实验中需对靶板和捕收装置等进行一些改进,并对实验前后的试件进行硬度测量。

## 2 轻气炮冲击实验中的一些改进措施与参数选取

### 2.1 所用轻气炮有关情况简介

所用轻气炮是中国科学院力学研究所非线性连续介质力学开放实验室的单级轻气炮,其主体部分由蓄气管、击发机构、炮膛、靶箱和收集罐五部分组成,详见[2]。其口径101mm,弹速在50~1450m/s范围内连续可调,弹速低于600m/s时用氮气作为驱动气体,弹速高于600m/s时用氢气作为驱动气体。

### 2.2 弹速的选取与高锰钢的冲击波速度

根据动量守恒并忽略材料的初始压力有: $P = \rho Du$ ,其中 $\rho$ 为材料的密度, $D$ 为材料中的冲击波速度, $P$ 为材料中的冲击波压力, $u$ 为材料中冲击波波阵面后的质点速度。在对称碰撞时有<sup>[3]</sup>: $u = v/2$ , $v$ 为碰撞时的弹速。由此二式可推出: $v = 2P/\rho D$ 。对高锰钢有 $\rho = 7.78\text{g/cm}^3$ ,为估计弹速范围,高锰钢中的冲击波速度可取为 $D = 5000\text{m/s}$ 。

严格地讲,高锰钢中的冲击波速度随其所受冲击波压力的不同而不同,利用轻气炮进

行实验在 9~25GPa 的范围内测量出了高锰钢中的冲击波速度随其所受冲击波压力的变化而变化的情况,如图 1 所示。由此图看出,在 9~25GPa 的范围内高锰钢中的冲击波速度随所受冲击波压力的增加而增加。

爆炸硬化所用板状炸药在高锰钢表面产生的爆炸荷载的压力峰值约 16.5GPa<sup>[1]</sup>,可在 10~20GPa 的范围内进行模拟实验,弹速应取为 500~1000m/s。

### 2.3 靶、飞板与炮弹的选取

爆炸硬化所用板状炸药在高锰钢中产生的爆炸荷载的脉冲宽度为 0.8~1.3 $\mu$ s<sup>[1]</sup>,为此作者选取 0.66 $\mu$ s 与 1.6 $\mu$ s 两种脉冲宽度,以覆盖上述爆炸荷载的脉冲宽度范围;同时,为研究窄脉冲的效应,又选取了 0.04 $\mu$ s 的脉冲宽度。再考虑到所选压力范围、边界稀疏效应和测压用锰钢传感器的长度(50mm)等,作者选取靶板直径 40mm、厚度 8mm,飞板厚度分别取为 0.1mm,1.65mm 和 4.0mm 的三组,三组飞板的直径分别为 96mm、96mm 和 70mm。这样,既能满足上述诸要求,靶板的有效直径又不小于 17mm。

为进行碰撞压力测量,靶需有两片靶板组成,两靶板之间粘接传感器;为防止层裂,又在两靶片后粘接一相同直径而厚度为 2~4mm 的吸能片,这样所用靶就需为三片靶。靶板用环氧型 HJ-101A、B 双组份胶粘接,用 0.13mm 厚的 PTFE 薄膜作绝缘材料。

因所选弹速较高,因此采用比重小、一次性使用的硬质泡沫塑料做弹托,其强度与飞板材料相比可以忽略,因而在分析碰撞结果时就可忽略其影响。炮弹由弹托与飞板粘接而成。

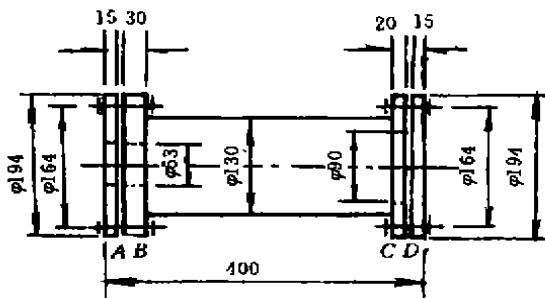


图 2 捕收滑动管 (单位:mm)

由于本文所选弹速较高,直接采用上述捕收管,飞板与靶一起进入易引起二次碰撞,且靶板不易与飞板分开而不便于进一步分析。为此,专门加工一捕收滑动管(如图 2 所示),装在原捕收管内。图中法兰 B、C 焊在管 E 上,A 与 B、C 与 D 分别用四个对称分布的螺栓拧在一起。A 与 B 带孔,孔径为 53mm,使靶可进入管 E 中而飞板被挡在外,避免了二次碰撞。管 E 中塞满棉丝(棉丝多少根据弹速等决定),对靶的运动起缓冲作用。法兰 D 起封闭作用,法兰 C 孔径 90mm,便于实验后卸下 D 而取出靶与棉丝。因此处弹速较高,且飞板被挡在捕收滑动管外,易撞坏捕收滑动管,为此采用 B

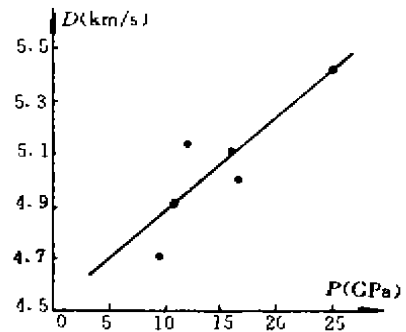


图 1 高锰钢的冲击波速度

### 2.4 捕收滑动管

轻气炮的收集罐包括捕收管、吸能块和制动复位装置。一般情况下,当炮弹撞击靶后与靶一起进入捕收管中,捕收管沿其轨道后移,压缩两个油压弹簧。当能量消耗完后,油压弹簧使吸能块和捕收管复位。

由于本文所选弹速较高,直接采用上述捕收管,飞板与靶一起进入易引起二次碰撞,且靶板不易与飞板分开而不便于进一步分析。为此,专门加工一捕收滑动管(如图 2 所示),装在原捕收管内。图中法兰 B、C 焊在管 E 上,A 与 B、C 与 D 分别用四个对称分布的螺栓拧在一起。A 与 B 带孔,孔径为 53mm,使靶可进入管 E 中而飞板被挡在外,避免了二次碰撞。管 E 中塞满棉丝(棉丝多少根据弹速等决定),对靶的运动起缓冲作用。法兰 D 起封闭作用,法兰 C 孔径 90mm,便于实验后卸下 D 而取出靶与棉丝。因此处弹速较高,且飞板被挡在捕收滑动管外,易撞坏捕收滑动管,为此采用 B

前加 A, A 可更换, 而捕收滑动管其它部分不受损伤。

### 3 硬度测量及对爆炸硬化的指导作用

#### 3.1 硬度测量

本文使用 HB187.5 型布洛维硬度计对轻气炮冲击实验前后的高锰钢试件进行了布氏硬度和洛氏硬度测量。进行布氏硬度测量时, 选择 2.5mm 的钢球压头, 选用 187.5 公斤的载荷, 加载时间 10 秒。硬度测量是在初始及实验后的靶板碰撞面中间部分直径 17mm 的有效区域内进行的。

#### 3.2 测量结果及对爆炸硬化的指导作用

布氏硬度和洛氏硬度的测量结果分别如图 3 和图 4 所示, 可以看出两种硬度所测得结果基本一致。

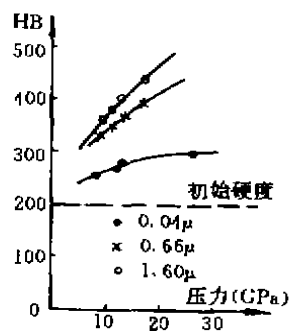


图 3 布氏硬度

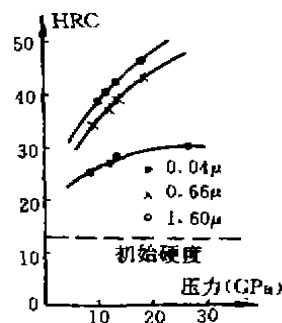


图 4 洛氏硬度

由此二图可以推出如下结果:

(1) 冲击波压力越高、脉冲越宽, 受冲击后的高锰钢的硬度提高越多, 且脉宽的影响相当显著。因此, 在一定范围内, 要提高一定的硬度, 可用高压窄脉冲, 也可用低压宽脉冲。但进一步的比较发现, 要提高一定的硬度, 所用脉冲越宽, 需要的冲量越大。

(2) 在一定脉宽和硬度提高范围内, 所用脉冲越宽, 单位脉宽引起的表面硬度提高越少。

(3) 存在一压力临界值, 压力低于此值的冲击不能引起高锰钢的硬化, 且此值随脉宽的增加而减小。

(4) 冲击压力高于一定值后, 硬度增加趋势变缓。

(5) 一定脉冲宽度的冲击所能引起的硬度提高低于一定值。例如, 0.04 μs 的冲击能引起的硬度提高不会超过 HB150。

根据以上推论, 在进行爆炸硬化时:

(1) 一定厚度的炸药 (在高锰钢中产生一定脉冲宽度的冲击波), 其密度高于一定值 (在高锰钢中产生一定压力的冲击波) 后, 才能产生硬化效果。亦即, 一定密度的炸药, 其厚度大于一定值后才能产生硬化效果。

(2) 要求硬度提高到一定值以上时, 所用炸药厚度应大于一定值, 即存在一临界值。

(3) 炸药厚度大于临界值后, 可用较薄而密度高的炸药, 也可用密度低而较厚的炸药;

但炸药越厚其效率越低,因此在满足临界厚度要求的前提下,所用炸药应尽可能选取得薄些;用提高炸药密度的方法来提高硬化效果时,炸药密度高于一定值后,密度的提高所能引起的硬度提高相对减少。

#### 4 结论

(1)采用本文所述三片靶,既能进行冲击压力测量,又可有效防止层裂;采用本文所述捕收滑动管既能有效回收试件,又可避免二次碰撞。

(2)在 9~25GPa 的冲击压力范围内,高锰钢中的冲击波速度随其所受冲击波压力的增加而增加。

(3)在进行爆炸硬化时,当炸药的密度一定时,其厚度大于一定值才可产生硬化。大于临界厚度后,炸药越厚,其硬化效率越低。要达到一定的硬化效果,使用密度高的炸药,其厚度可较小,使用较少的药量可产生显著的硬化。但密度提高到一定值后,密度的提高所能引起的硬度提高相对减少。

**致谢** 实验中得到了沈乐天、陈淑霞和李天佑等的大力帮助,在此深表感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 李明山,李天佑,赵士达. 火炸药,1990,(3),45-48  
 [2] 赵士达,沈乐天,赵双录. 兵工学报,1985,(4),49-54  
 [3] Champion, A R. and Rohde, R W. J. A. P., 1970, 41, 2213-2223

## About Light Gas Gun Impact Experiment

Li Mingshan

(China University of Mining and Technology)

Zhao Shida

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract** In this paper, some improvements of light gas gun impact experiment of high Mn steel are presented and the selection of some parameters is suggested. According to the measured hardness of impact specimen, the problem of explosive hardening is discussed. In addition, the relation between shock velocity in high Mn steel and shock pressure is determined through measurements.

**Key Words** light gas gun, high Mn steel.

**作者简介** 李明山,男,1966年生,徐州市中国矿业大学建筑系讲师。现在美国攻读博士学位,从事晶体塑性方面的研究工作。