

## 球面激波在固壁的马赫反射(II)

徐彬 张寒虹 陈志坚 郭长铭

(中国科技大学)

**摘要** 本文对金属丝电爆炸产生球面激波在固壁上的马赫反射作了研究。由高速纹影摄影系统将反射图像拍摄下来,从而测量出马赫杆在壁面的马赫数,进而得到超压以及三波点迹线,实验结果与我们的数值计算结果作了比较,二者比较吻合。

**关键词** 马赫反射, 球面激波。

### 引言

在本文的第 I 部分,我们根据 Whitham 理论,编制了计算球面激波在固壁的马赫反射的程序。所得的结果,如三波点迹线,马赫杆在壁面的超压与化爆模拟结果,以及核爆经验公式<sup>[1]</sup>吻合比较好。现在,我们介绍我们做的金属丝电爆炸产生的球面激波在固壁上马赫反射的实验结果。实验时,采用高速纹影摄影系统,将反射图像拍摄下来,这样得到一系列的激波传播和反射随时间变化的图像。由读数显微镜测量出马赫杆和三波点的位置,由此推算出马赫杆在壁面的超压及三波点迹线。然后,用我们所编制的程序对电爆炸情形作了计算。计算值与实验结果作了比较,发现二者吻合较好。

### 实验原理

图 1 为实验原理图。实验时,变压器  $T$  通过高压硅堆  $D$ , 充电电阻  $R$  对储能电容  $C$  长时

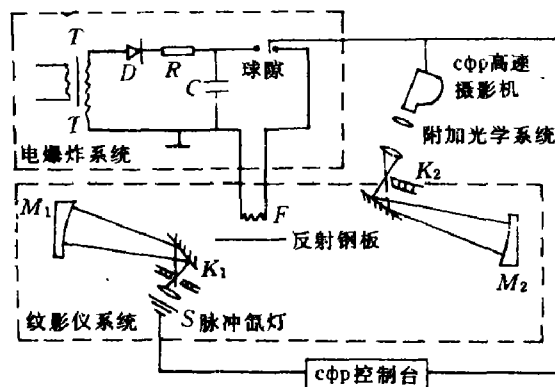


图 1

间充电,负载  $F$  为一段很短的金属细丝,通过球隙开关接在电容的两端。当电容充电至数万伏的预定电压时,加一高压脉冲至球隙触发极,使球隙迅速导通,电容对金属丝短路放电,

瞬时的冲击大电流使金属丝迅速气化，其体积急剧膨胀，使周围介质压力突然上升，形成激波。电爆炸的脉冲持续时间短，充电能量易于控制，实验周期短，易于在实验室实现。

激波产生后，引起空气密度发生变化，我们可以利用纹影仪和高速摄影机将这种变化记录下来。在纹影仪系统中，光源  $S$  成像在狭缝  $K_1$  附近， $K_1$  位于偏轴抛物面反射镜  $M_1$  的焦点处，因此反射光为平行光。反射光通过实验段后到另一面反射镜  $M_2$ ，刀口  $K_2$  在  $M_2$  的焦点处，调节  $K_2$  的位置，使其切去一部分光源实象。若在  $K_2$  后方放置屏幕，当实验段无扰动时，屏幕上照度均匀，而当实验段有扰动，空气密度发生变化，引起空气折射率的变化，这时屏幕上的照度不再均匀，而产生纹影象。我们使用高速摄影机将纹影象记录下来，可以得到波阵面随时间扩展的一系列图象，由此可测得激波的速度、三波点位置，进而得到马赫杆在壁面的超压和三波点迹线等。

在图 1 中，附加光学系统是为了使纹影仪和高速摄影机得到配合而设置的，它的作用是（1）使纹影仪在刀口的出射光成为摄影机的入口光，（2）调整拍摄比例尺，使流场的最大有效直径等于摄影机画幅尺寸。我们采用的摄影机是苏制  $\text{C}\Phi\text{P}$  高速摄影机，所用拍摄频率为 25 万幅/秒。

### 结果和结论

1. 图 2 为马赫反射过程的照片。从照片上可清晰地看到由规则反射到马赫反射的转变。
2. 根据实验结果，我们可以测量出三波点迹线，同时我们对问题作了数值计算。计算时

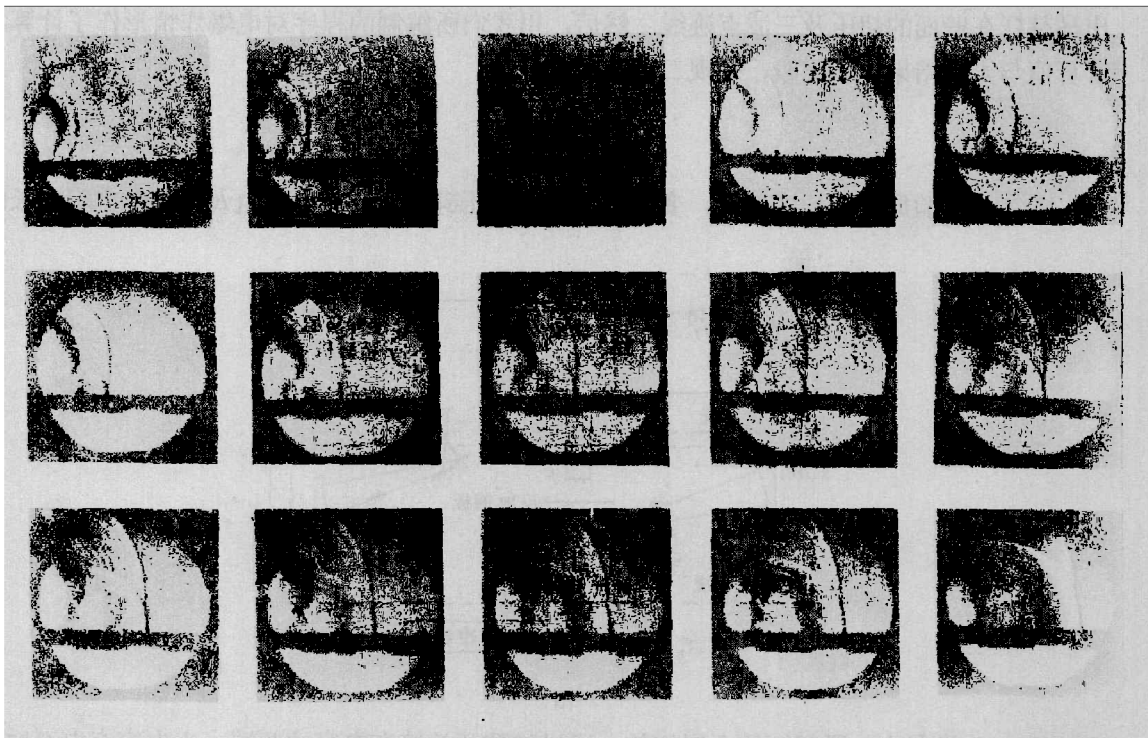


图 2 规则反射到马赫反射的过程  
(每幅时间间隔为 8 微秒)

入射球面波就采用现在的实验结果, 临界角亦由实验值定。图 3, 图 4 表示实测的三波点迹线和我们的计算值的比较。从图中可看到, 它们二者是基本一致的, 只是在反射后区, 即远离爆心投影点的区域, 两者的偏差略大些, 最大相对误差在 19% 左右。我们认为, 这和实验本身的误差有关。在实验中, 最大误差可能来源于显微镜读数的误差, 由于底片的分辨率的限制, 难以非常精确地判定马赫反射的起点以及三波点的位置, 还有金属丝有一定的长度, 爆炸产生的入射激波不是严格的球面波, 这些都将是给实验带来误差。考虑到这些因素, 我们认为, 计算和实验之间的误差是在可接受的范围内的。

3. 图 4, 图 5 为根据实验结果整理的马赫杆在壁面的超压和我们的计算值的比较, 二者是较吻合的。

4. 图 6, 图 7 为计算的马赫杆形状, 通过与照片的比较, 发现它们大体是一致的。

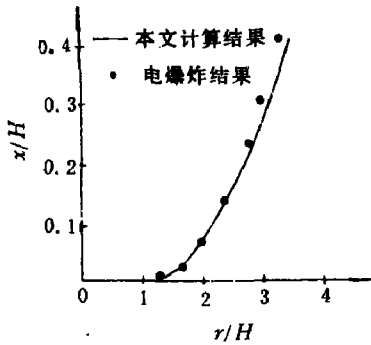


图 3 三波点迹线的比较  
(临界点处入射激波的马赫数  $M_0 = 1.95$ , 爆高  $H = 48 \text{ mm}$ )

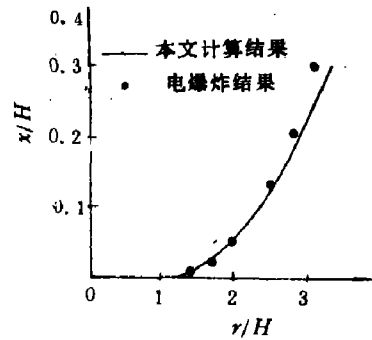


图 4 三波点迹线的比较  
(临界点处入射激波的马赫数  $M_0 = 2.22$ , 爆高  $H = 46 \text{ mm}$ )

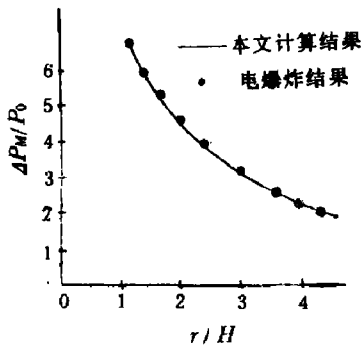


图 5 马赫杆在壁面超压的比较  
(临界点处入射激波的马赫数  $M_0 = 1.95$ , 爆高  $H = 48 \text{ mm}$ )

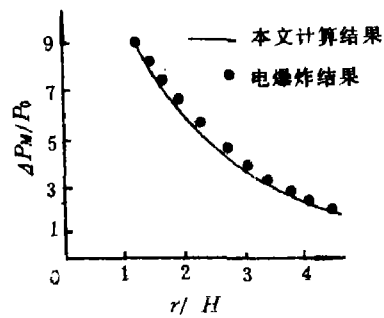


图 6 马赫杆在壁面超压的比较  
(临界点处入射激波马赫数  $M_0 = 2.22$ , 爆高  $H = 46 \text{ mm}$ )

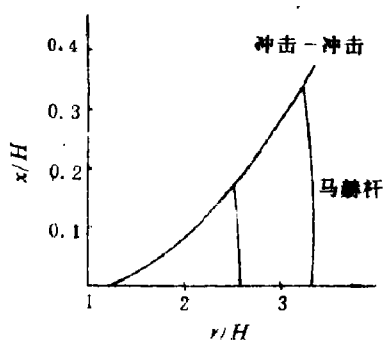


图7 马赫杆形状

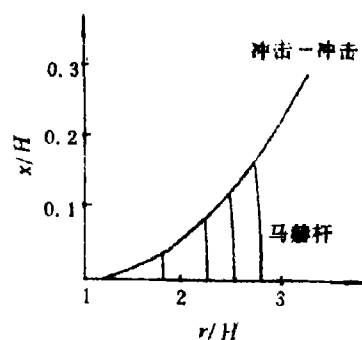
(临界点处入射激波马赫数  $M_0 =$ 1.95, 爆高  $H = 48 \text{ mm}$ )

图8 马赫杆形状

(临界点处入射激波马赫数  $M_0 =$ 2.22, 爆高  $H = 46 \text{ mm}$ )

5. 根据本文的第 I 和第 II 部分, 我们可看出对不论用何种爆炸方式产生的球面激波 (化爆, 核爆和电爆) 的马赫反射问题, 用我们的程序都可予以计算, 所得到的计算结果和实验结果均较吻合, 这将给计算程序的实用性提供一些依据。

## 参 考 文 献

- [1] 晏仲贤, 爆炸与冲击, 3(2)(1983), 44.

## MACH REFLECTION OF SPHERICAL SHOCK WAVE ON RIGID WALL(II)

Xu Bin, Zhang Hanhong, Chen Zhijian, Guo Changming

(University of Science and Technology of China)

**ABSTRACT** Studies on the Mach reflection of spherical shock wave produced by electric exploding metallic wire on rigid wall were carried out in this paper. The reflection pictures were taken by using high-speed schlieren photography, from which the Mach number of the Mach stem on the wall, and then the overpressure and the triple-point streamline locus could be measured. The experimental results are in accord with our numerical calculations with comparatively satisfaction.

**KEY WORDS** Mach reflection, spherical shock.