金属长杆撞击带薄盖板约束炸药的引爆现象研究*

黄婉莉，丁　桦，孙庚辰
（中国科学院力学研究所工程科学研究部，北京 100080）

摘要：通过实验的方法研究了金属长杆撞击带薄盖板约束炸药的引爆现象。实验以 8701 炸药为例，观察带有随机偏航角的金属长杆以不同速度撞击炸药的响应情况。找出了金属长杆在不同入射角度和炸药约束条件下，炸药的冲击爆轰阈值。讨论了判别未知炸药发生爆轰、延迟爆轰、非爆轰性爆炸、点火后淬熄和不反应的试验测量手段和方法。结果表明：冲击引爆阈值速度，对于不带覆板的裸炸药，随入射角度（0°、30°、45°）的增加而增加；随着覆板厚度的增加而增加。炸药的侧向约束情况对发生延迟爆轰有影响。射弹偏航也是影响炸药引爆的因素之一。Jacobs 判据是关于冲击引爆阈值的经验判据，它可以适用于 8701 炸药，并且对平头钢弹、钢覆板可采用：$vd^{1/2}=\tilde{A}(1+\theta/75°)[1+Ct/(d\cos\theta)]$ 的形式，其中取 $\tilde{A}=2.209$，$C=1.6036$。由于其它机理引发延迟爆轰（XDT）的现象是存在的，Jacobs 判据对这类现象不适用。

关键词：冲击起爆；射弹撞击；盖板约束炸药

1　引　言

金属长杆撞击带薄盖板约束炸药的引爆现象的研究既具有实际应用背景也是一个只得深入研究的科学问题。本文中通过实验的方法研究金属长杆撞击带薄盖板约束炸药的引爆现象。观察带有随机偏航角的金属长杆以不同速度撞击炸药的响应情况。找出了金属长杆在不同入射角度和炸药约束条件下，炸药的冲击爆轰阈值。

2　实验安排和实验装置

实验采用∅14.5mm 口径滑膛枪和自制模拟杆弹（∅6×86，22.5g）。撞击的上限速度约 1450m/s。在已知发射能力的情况下，炸药的选取就成为一个问题。实验选用的是撞击起爆感度较高的 8701 炸药。

实验确定按以下几个步骤进行：(1)以不同入射速度垂直撞击裸药柱，观察 8701 炸药的响应，找出该种炸药的爆轰阈值速度；(2)在裸药柱实验结果的基础上，找出药柱前端面倾斜 30°、45°时的爆轰阈值速度；(3)垂直撞击带钢盖板的药柱；找出盖板厚度为 1 和 2.5mm 时，炸药的爆轰阈值速度。

采用铜丝网触发靶和计时仪测量弹体速度；通过炸药柱表面不同位置固定电离式探针来探知爆轰波阵面的到来，用多通道计时仪记录各探针的导通时刻。在离爆心 1.6m 处设置一组压力传感器，测量爆炸后自由场空气冲击波超压、前沿上升时间和后续的压力波形。

3　实验结果

试验结果总结如下：(1)垂直撞击 8701 裸药柱，其爆轰和不反应之间的速度范围很小，缓慢的燃烧没有观察到；爆轰下限撞击速度是 745m/s；(2)药柱前端面倾斜 30°时的爆轰阈值速度是 1263m/s；(3)药柱前端面倾斜 45°时，速度打到 1473m/s 没有引发爆轰，但已发生点火，既药柱前端面倾斜 45°时的爆轰阈值速度大于 1473m/s；(4)垂直撞击带钢盖板的药柱；盖板厚度为 1.12mm 时，炸药的爆轰下限速度在 1183.9～1048m/s 之间；(5)垂直撞击带钢盖板的药柱；盖板厚度为 2.48mm 时，炸药的下限爆轰速度为 1343.4m/s。

---

* **基金项目**：国家重点基金项目
作者简介：黄婉莉，硕士，副研究员。

4 实验结果的分析讨论

4.1 参数及影响

弹的偏航(速度方向和弹杆轴线不重合)会使爆轰阈值速度提高。试验中部分使用了5mm厚PMMA外壳。当远高于爆轰阈值速度时,加不加外壳无影响;在接近爆轰阈值速度时,紧配合的约束比松配合易爆。这是由于高速下属于冲击引爆,撞击引起的激波还没传到侧向边界就被爆轰波赶上。而当降低弹速,情况就比较复杂,在壳体界面处反射回的波是冲击波还是稀疏波,取决于炸药与介质冲击阻抗。需指出,对于本文的簿盖板炸药实验,宏观剪切引爆到爆轰的条件是不具备的,但产生冲塞是可能的。当覆盖材料为松软的纸板时,由于对输入激波起一缓冲作用,也使爆轰阈值速度提高。

4.2 发散爆轰波的传播

按冲击引爆机制,沿轴线附近的炸药,入射冲击压力最高,压力持续时间也最长,反应冲击波最先转变成爆轰波,因而会出现锅底状的凸面爆轰阵面波形,发展成(或达到)稳定爆轰的距离/直径=4/10。对于本实验所用的∅56mm药柱,假如撞击点在上表面圆心,则沿轴线23mm即可达到稳定爆轰。理想的正撞击引发的爆轰阵面应是轴对称的发散爆轰波,药柱表面对称放置的探针测到的时刻也应相同。实验结果指示了爆轰波阵面往往是不对称的,非理想撞击和撞击点不在圆心是主要原因。8701炸药的爆速是8425±13m/s(密度1.722);而药柱下部侧面40mm间距内,激波走时仅3~4μs,说明在靠近药柱侧表面处爆轰波阵面的传播方向不是沿轴线推进的。加PMMA壳时比不加壳时上述激波走时都要短,说明加壳时该段爆轰波推进速度的径向分量大。在撞击30°斜面的试验中,在高边和低边相应位置测得的激波走时结果与平头药柱比较没有显示出明显的差异;说明射弹斜入射30°时,在撞击点沿轴线纵深25~30mm处爆轰波的传播已经不依赖于初始表面的形状。这些现象勾画了发散爆轰波在药柱中的传播情景。

对起爆段在撞击点沿轴线纵深25~30mm以内,撞击表面的倾斜情况对爆轰波的建立与传播是有影响的,这在倾斜0°、30°、45°时,爆轰阈值速度越来越高的结果中都足以证明。

4.3 空气冲击波

302g的8701药柱爆炸产生的冲击波的数值,在0.14~0.25MPa,比点爆炸估算的结果大,比柱面爆炸估算的结果又小。这是因为测点离炸点近,药柱形状的因素不可忽略。

4.4 Jacobs-Roslund公式的验证

Jacobs引爆判据的推广形式如下:$vd^{1/2}=\tilde{A}(1+k)[1+Ct/(d\cos\theta)]$。其中$\theta$为碰撞角或斜入射角。$t$为盖板厚度,$d$为射弹直径;对圆柱形平头射弹撞击,$k\approx\theta/75°$。它可以适用于8701炸药,其中$\tilde{A}=2.209$,$C=1.6036$。由于其它机理引发延迟爆轰(XDT)的现象是存在的,需要仔细判别,Jacobs判据对这类现象不适用。

5 结 论

对于不带覆板的裸炸药,冲击引爆阈值速度随入射角度(0°、30°、45°)的增加而增加。随着覆板厚度($h=1.12,2.48$mm)的增加,冲击引爆阈值也相应提高。炸药的侧向约束情况对发生延迟爆轰有影响。Jacobs判据可以适用于8701炸药,并且对平头钢弹可采用$vd^{1/2}=\tilde{A}(1+k)[1+Ct/(d\cos\theta)]$来估算冲击引爆阈值,其中取$\tilde{A}=2.209$,$C=1.6036$。由于其它机理引发延迟爆轰(XDT)的现象是存在的,需要仔细判别,Jacobs判据对这类现象不适用。

射弹的偏航也是影响引爆的因素之一。由于杆弹与炸药覆板的非理想碰撞而致使炸药爆轰阈值改变的研究,还未见报道。而杆弹偏航撞击的普遍存在性和研究重要性在于,对运动靶而言,理想正入射或斜入射的杆弹相对于带有横向运动的目标可以等价于是偏航入射。

参考文献:

[1] Walker F E, Wasley R J. Critical energy for shock initiation of heterogeneous explosive[J]. Explosivstoffe, 1969, (1):9-13.

(下转第44页)