

文章编号: 1001-1455(2011)04-0444-05

# 平面飞片下气体绝热压缩后的聚能效应 ——两次不寻常的爆炸实验结果\*

张凯, 张路青

(中国大连凯峰超硬材料有限公司, 辽宁 大连 116025)

**摘要:** 揭示了可以展现垂直高速飞行的飞片在碰撞目的物的瞬间会产生极高速气流的聚能效应现象。在一般的爆炸压实实验中, 飞片下的空间都是大气状态下的空气, 空气量都很少, 不会超过 1 g, 但在飞片高速飞行状态下, 大多数气体很难向四周排出, 最后形成绝热压缩气体, 气流以万米/秒以上高速向四周喷射而出, 能量可切断很厚的钢板。这是从未被注意过的、可能也是不寻常的重要实验结果。

**关键词:** 爆炸力学; 聚能效应; 高速冲击; 高速气流; 高速飞片; 绝热压缩

**中图分类号:** O383      **国标学科代码:** 130·3530      **文献标志码:** A

在爆炸合成和爆炸压实研究中, 大多采用平面飞片碰撞进行压力加载, 且大多数实验都是在常压下进行, 即飞片飞行过程是在常压下的空气而不是真空中的。从事爆炸力学的学者大都认定: 随着飞片向下飞行, 平面飞片下的空气会向飞片四周自然排出, 不会对飞片飞行构成大的阻力, 且一般飞片飞行距离很短, 飞片下体积内的常压气体量是个很小的量, 不会造成聚能效应。而我们在两次实验中, 非常典型地发现了: 飞片高速飞行, 特别是飞片速度超过 3 km/s 时, 飞片下空气很难全部向四周排出, 大部分气体被飞片压向被打击表面, 造成绝热压缩, 而绝热压缩气体的比热容  $c_v$  不是常数, 随温度增高而增高, 少量的气体经过绝热压缩, 不仅温度很高, 且压力也达到碰撞压力的同量级, 这极高温高压的气体会以极高速气流通过压缩缝隙中喷出, 造成能量巨大的聚能效应。

## 1 第一次实验方法

爆炸压实实验装置<sup>[1]</sup>如图 1, 炸药柱在水中爆炸, 推动飞片向下飞行。飞片速度  $v_p = 3.595$  km/s,

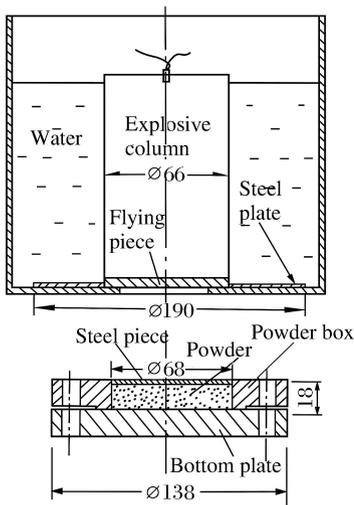


图 1 爆炸实验装置图

Fig. 1 The unit of explosive experiment



图 2 爆炸后粉盒上表面

Fig. 2 The upper surface of powder box after explosion

\* 收稿日期: 2010-03-24; 修回日期: 2011-02-17

作者简介: 张凯(1931—), 男, 教授。

计算值<sup>[2]</sup>与实测值基本一致。飞片下方安置一个装有粉末的装粉盒,在粉末面上安放一块厚 0.4 mm 的薄铁皮,粉盒下方又安置一块底板,在水层的底面,飞片的外圈特别放置一块厚 2 mm 的钢板。爆炸后,发现粉盒上表面即迎着飞片打击的一面有被严重冲刷现象。图 2 所示的部分正好是此粉盒直径(68~138) mm 之间的盒边缘上,图中粉盒的上方已有一个缺损口,内孔已经涨大,在图中中线上测得直径 88 mm。图 2 中粉盒内圈中心的圆块实际是飞片残片,实测直径 55 mm,仍是完整的圆形,周向没有破裂。但中间出现了孔洞,是被气流冲开的一个通道。填补这个孔洞的是一个拱形的小帽,呈拱形的“小帽”状,把厚 0.4 mm 的盖片紧贴在它的内侧,无法分开。盖片下方还有些许粉末紧紧地粘附着,无法抠下,见图 3。在图 2 中已经将“小帽”放到飞片残片的中心孔中了,仔细观察,可分辨出飞片残片与“小帽”不是长在一起的,这个“小帽”是在离爆点 1 m 处捡回来的。

从回收的粉盒(见图 2)的裂口一边仔细观察,在距上端口往下约 5 mm 处有一个明显印痕,似乎是原飞片在这个位置停留了一下。这无疑是飞片的角边在此留下的印痕,是气流从此处向外喷出的痕迹,如图 4 所示。

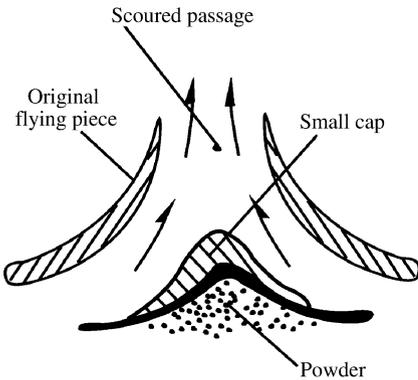


图 3 小帽形成图

Fig. 3 The forming drawing of small hat

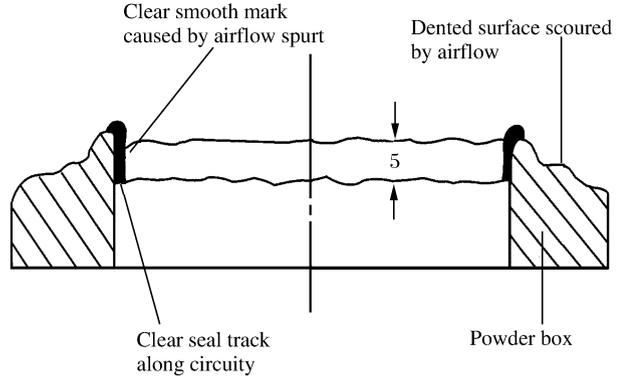


图 4 气流开始喷出的位置

Fig. 4 The place sketch of airflow beginning to spurt

## 2 第一次实验结果分析

根据以上观察,可作出以下的分析解释。

(1) 当飞片尚未压破 0.4 mm 铁片时,空气从它存在的空隙中侧向喷出成为气流,如图 5(a)所示。

(2) 飞片压破厚 0.4 mm 的铁盖片,有小部分气体进入粉体内。部分飞片已进入粉盒槽内,但尚未全部进入,侧向喷出的气体在厚 2 mm 的铁板(此铁板受药柱四周水的压力作用,基本上与飞片同步飞下)压缩下开始冲击粉盒体的上表面,如图 5(b)所示。

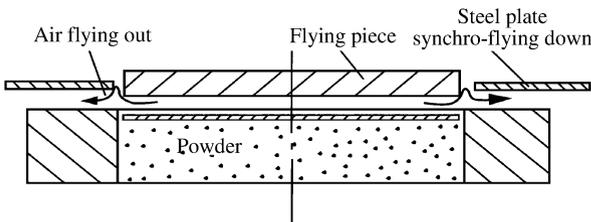


图 5(a) 侧边铁板未压下时的气流图

Fig. 5(a) The airflow sketch before the steel plate being pressed down

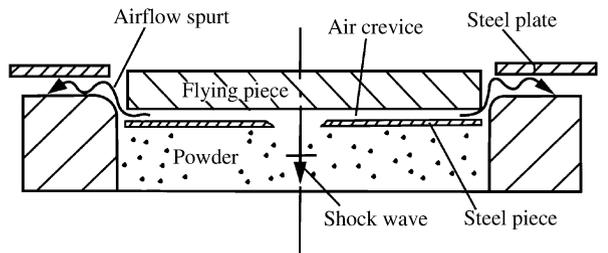


图 5(b) 气流开始冲击粉盒的上表面图

Fig. 5(b) The sketch when airflow beginning to shock upper surface of powder box

(3) 飞片基本上进入粉盒槽内,侧向气流加强喷出,在厚 2 mm 铁板的强力压制下,喷向粉盒外缘表面,形成冲击洼坑。由于未经压缩的空气密度为  $1.225 \text{ mg/cm}^3$ ,飞片下的空间所含的全部空气质量只有 230.5 mg,量不大,绝热压缩后喷出的高速气体只能使粉盒表面形成极深洼坑而已,并未能将厚 18 mm 的盒边缘全部切去。

同时,飞片后面的稀疏波已到达飞片的下界面处。此时,飞片向下的前进速度突然减小,从而飞片压缩空气隙中气体的力也会迅速减小,使得气隙中的气体得以开始膨胀。同时也由于飞片周边气体是在高速地流动着,从而该处气体上的压力也相对较低,而飞片中间的膨胀力过大,最后使飞片开始从中间向上突起。如图 5(c)所示。

(4) 稀疏波开始进入粉末,追赶前面击波。飞片中间明显拱起,这是因为飞片上面的压力消失,但飞片仍以某个速度惯性向下飞行,飞片下面中心区的气体压力高,边缘压力低,造成向上拱起。且在其离中心线一定距离处,即“小帽”的半径 B-B 处,飞片厚度急剧减薄,气流对粉盒上平面边缘的冲击开始终止,破裂成一个缺口大约也在这个时候发生,此时 0.4 mm 铁片上的压力就是飞片下中心区的气体压力。如图 5(d)所示。

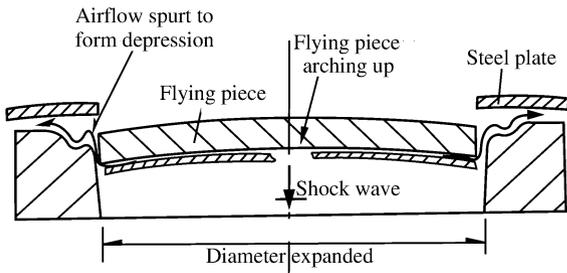


图 5(c) 冲击洼坑形成示意图

Fig. 5(c) The forming sketch of pit by shocking

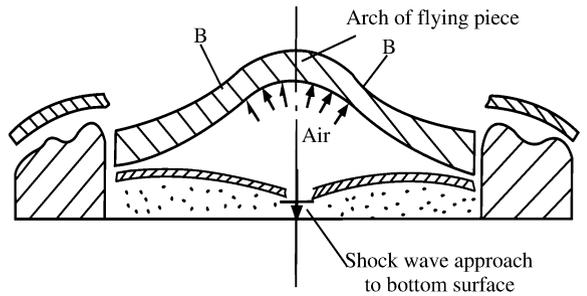


图 5(d) 飞片开始隆起示意图

Fig. 5(d) The sketch of flying plate beginning to arch

(5) 上部飞片越拱越高,在 B 处的厚度越来越薄,最后飞片在该处拉断,形成“小帽”状小块脱离飞片,向外飞出。飞片下留下一个孔洞,内部气体冲出孔洞,被绝热压缩的气体消失。同时粉末中的冲击波已经到达下部底边上,原装粉末空隙中的空气此时已全部被冲击波赶到底部,而冲击波立即被下部底板反射,形成比入射波更强些的反射冲击波,反过来向上传。如图 5(e)所示。

(6) B 处裂开,底板的反射波向上传。同时被冲击波赶到底面的气体的压力强度有与反射波同等强度,无疑也处于极高压力的绝热压缩状态,迅速膨胀,扩张体积,将已被压缩的粉末层以及粉末层上面的 0.4 mm 铁片向上推,撞向上部的飞片残片,特别是撞向“小帽”的内表面,于是 0.4 mm 铁片紧贴在“小帽”的内表面上,下面还带有粉末,并飞离 1 m 处。如图 5(f)所示。

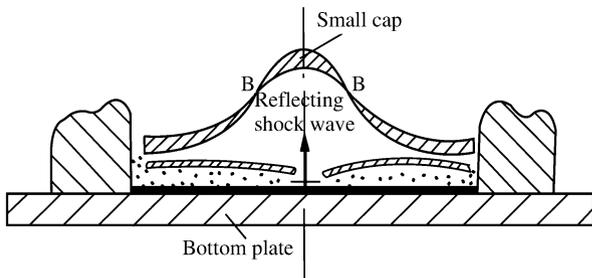


图 5(e) 飞片在 B 处拉断示意图

Fig. 5(e) The sketch of flying plate beginning to break at point B

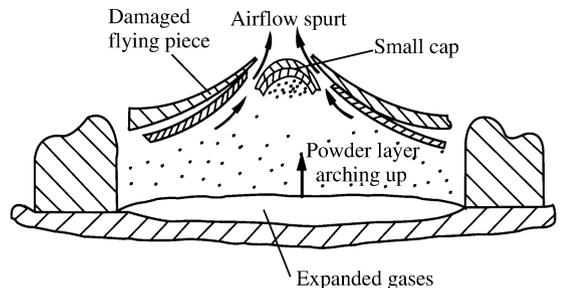


图 5(f) 飞片中心小帽形成示意图

Fig. 5(f) The forming sketch of small hat at the center of flying plate

仔细观察回收的铁片,呈现的颜色表明,是铁表面被熔化后的冷却状态的颜色,说明温度很高。

### 3 第二次实验方法<sup>[3]</sup>

为了进一步证实飞片下产生的高速气流聚能效应,又做了第二次实验,实验方式基本不变,见图 6。药柱与飞片直径增大到使得飞片下的空间的空气量(大气状态下)为 887.6 mg,是第一次的 3.851 倍,如产生气流,气流将大大增强。同时改变引爆方法,药柱上端的引爆药柱中间有惰性块。雷管引爆后,先将主装药柱的周边上部引爆,这样在主装药柱内造成的爆轰波面在中心区域是一个汇聚的球面波,如图 7 所示。从而使得飞片的飞行姿态呈同样形态,当飞片以这样的形态碰撞粉盒盒盖时,原飞片下的大部分气体都集聚在 ACD 这个凹形区域内,而不从侧向流出。当飞片最终强行压向粉盒表面时,飞片下的向内凹形会逐渐消失,而被压缩在凹形内的气体被绝热压缩到与飞片打击粉盒铁盖时的压力相等。凹坑内气体会从四周侧向冲开一道细缝排出,速度达到万米/秒以上。高速气体喷出正好遇上同步飞下的 3 mm 塑料板,塑料板自然将喷出气体挡住。由于飞片下冲出的气流方向一定偏向上方一个角度,绝不可能沿水平方向喷出,从而塑料板在锋利的气流冲刷下会瞬态地被弯曲成图 7 中下面图形的形状。在塑料板被冲破以前,已将气流折转成近 180°方向,向下冲去,气流成为一个“气刀”,将粉盒边缘厚 10 mm 的铁边缘切去。切口光滑,无丝毫粗糙、凹凸不平的冲刷痕迹,可见“气刀”能量很大。

爆炸在一个  $\varnothing 1.8\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 、由厚 20 mm 锅炉钢板制作、埋在地下的旧罐中进行,口与地表平,离罐口周围 1 m 远处围有网眼约 30 mm 的铁细网,高约 3 m。图 6 的爆炸装置采用悬挂式挂在离罐口约 0.8 m 的半空中,在罐底正中放一个高 0.6 m、内装 200mm 高湿锯末的半截子油桶,做回收装置。爆炸后,罐壁完好,无任何裂缝,罐底有一条裂缝,但没有发现粉盒残片,而在罐口地面发现 2 块粉盒碎块,每个碎块大约是盒圈的约 1/4。粉盒高速砸向罐底碎成 4 块后,2 块落在铁丝网内,而另 2 块飞越网高到网外,碎块飞越高度超过 5 m。查看回收的另 2 块碎块,看出粉盒外缘  $\varnothing(150 \sim 184)\text{ mm}$ 、厚度 10 mm 的边缘部分完全被气流切去,切口处气流流动痕迹非常清晰,如图 8 所示。装有湿锯末的半高油桶虽已变形,但仍保持一个整体,并未破碎。粉盒内的粉末大都还在,且都呈未被冲击状态,还是装粉前状态;粉末未被飞片压实,是因粉盒已具有了相当速度,甚至可能与飞片速度相近,从而飞片不能撞击粉末。图 8 中 a-a 面处有强烈气流切割金属痕迹,这个强烈气流同时也使粉盒获得极高的速度。飞片下空间内的原有空气,在高速飞行的飞片压缩下,很难向周围流出,在飞片与打击面之间造成绝热压缩,压力与飞片的碰撞压力相同,极高的气体压力产生极高速气流从缝隙中喷出,又遇到向下飞行的 3 mm 的塑料板(外加厚 1 mm 桶底),将气流折转造成以上的强烈气流。

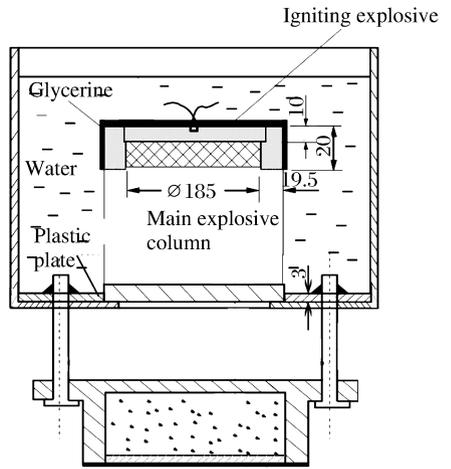


图 6 放大的实验装置图

Fig. 6 The enlarged unit of explosive experiment

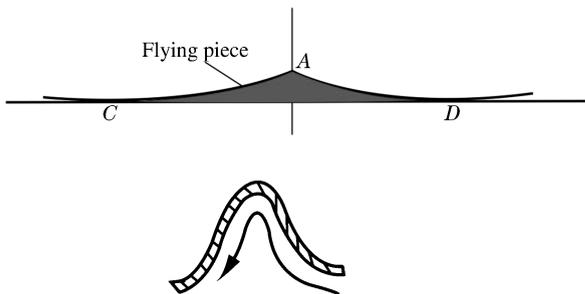


图 7 气流转折示意图

Fig. 7 The sketch of airflow to turn

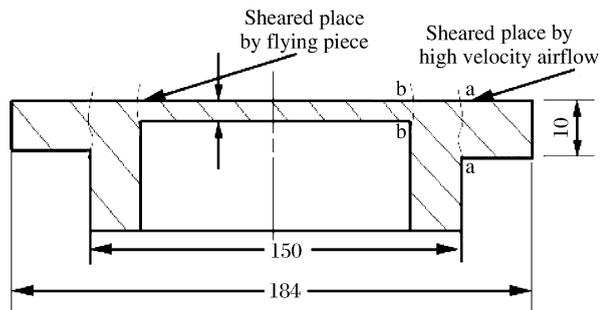


图 8 剪切处示意图

Fig. 8 The sketch map showing sheared place

**参考文献:**

- [1] 张凯,张路青.一种 Carbonado 型结构的爆炸纳米多晶金刚石[J].材料导报,2009,23(5Ⅷ):56-60.  
ZHANG Kai, ZHANG Lu-qing. The explosive nanometer polycrystalline diamond which structure has carbonado's appearance[J]. Materials Review, 2009,23(5Ⅷ):56-60.
- [2] 邵丙璜,张凯.爆炸焊接原理及其工程应用[M].大连:大连理工大学出版社,1987:8-55.
- [3] 张路青,张凯.可消除侧向高速气流影响的爆炸压实方法:中国,200810010547.4[P].2008-03-06.

## **Accumulating energy effect of airflow under flying plate after adiabatic compression\***

ZHANG Kai, ZHANG Lu-qing

*(Dalian Kaifeng Super-hard Material Ltd Co, Dalian 116025, Liaoning, China)*

**Abstract:** This paper reveals the phenomenon of the accumulating energy effect of high velocity airflow which is emerged by shooting practice from a vertical flying plate in twinkling of attack. In general experiments of explosive compression, the air space under the flying plate is atmospherical air, its quantity is a little, not more than one gram. But in the high velocity fling state of the flying plate, the vast majority of air is difficult to exhaust towards all around, at last to form the adiabatic compression air spurt out around with the velocity more than ten kilometers per second, it may cut off a much thick steel plate. This is an unusual experimental result which is not yet noticed by majority of research scholars.

**Key words:** mechanics of explosion; accumulating energy effect; high velocity shock; high velocity airflow; high velocity flying plate; adiabatic compression

---

\* Received 24 March 2010; Revised 17 February 2011

Corresponding author: ZHANG Kai, kzh5@163.com