

# X—II型闪光X射线机

## 用于爆轰测试的性能研究

李延年 丁宝贤 郜玉栋 王华岑

(1982年12月29日收到)

本文简要介绍了一台  $1MV$ 、 $50ns$ 、 $800mr/1M$  的闪光 X 光机的基本结构和 X 射线束的特性, 报告了该机在爆轰测试中的应用情况以及在提高图象清晰度方面所作的努力。

### 一、引言

X—II 型闪光 X 射线机, 系  $1MV$ 、 $50ns$  水介质脉冲形成线型闪光 X 射线机和强流脉冲电子加速器两用机, 主机由 Marx 发生器、脉冲形成线 (Blumlein) 和动态真空二极管组成, 总长度 4.6 米, 最大宽度 0.8 米, 高 1.5 米, 重约 3.5 吨, 置于两个互相连接的滚轮支架上 (图 1), 以利分离检修。

图 1 所示 X 射线机是多次闪光系统中的一台, 在 Marx 发生器与脉冲形成线的过渡段偏转  $28^\circ$ 。

该机 Marx 发生器<sup>1</sup> 为全封闭密装式结构, 由阻容元件 ( $CuSO_4$  水电阻, 纸质电容  $0.06 \times 2 \mu f$  共十级) 和火花隙构成并联充电、串联放电的普通 Marx 线路, 火花隙集中在充以氮气的高强度绝缘管内 (称之为充气开关), 通过真空注油将所有部件浸泡在变压器油中。脉冲形成线为水介质双同轴结构, 波阻抗  $Z_1 = Z_2 = 4 \Omega$ , 电容  $C_B = 12nf$ , 电长度  $50ns$ 。动态真空二极管的阴、阳极依用途不同而改变, 脉冲高压的极性通过变换直流电源的极性来实现。本工作主要是根据爆轰测试的需要对 X—II 型闪光 X 射线机的技术性能进行研究。

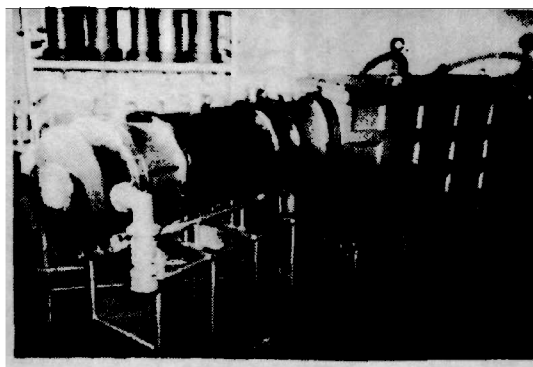


图 1 X—II 型闪光 X 射线机

## 二、X—II型闪光X射线机性能

由于爆轰实验是一种具有很强破坏作用的高速瞬变的单次过程，爆轰测试参数，即预定时间的爆轰X光图象和相对应的闪光照相时间监测信号的摄取，应尽可能减少或避免因各种失误而造成的残缺不全。因此，对闪光X射线机动作的可控性和输出的X射线束特性，以及对控制系统和记录系统均有相当严格的要求，还要能经受住长期实践的考验。有关控制系统和记录系统等方面的问题，在此不再赘述。

对于可控性，一般着重在闪光X射线机指令触发和动作时间漂移 $\mu s$ 方面的控制。经过反复实践，我们得出这样一种结论：充气开关是决定其优劣的关键，而充气开关又为原材料、火花隙结构、气体的种类和纯净程度以及点火机输出的脉冲高压极性和点火能量所左右。在我们目前的情况下，不锈钢触发极穿入主火花隙的一侧并与其形成触发间隙，当所充气体为1.2~2.0个大气压时，可在脉冲前沿 $\leq 50ns$ 的20~26KV点火脉冲启动下使Marx发生器正常工作。此外，严格控制所充气体的换气间隔(即连续放电次数)，则是避免自放电的有效措施。

在爆轰应用中，指令闪光摄影的时间漂移一般在 $\pm 0.3\mu s$ 以内。从经验可知，适当改变点火条件和气体成分，时控精度尚有改善的余地。这种时间精度的控制和记录，对某些爆轰实验研究来说是必要的。

所谓X射线束特性，主要指：

1、X射线束的脉宽 $\tau$ 。 $\tau$ 值由物理结构所决定，但也受其他一些因素(如机械设计、测量系统等)的影响，致使 $\tau_{测量} > \tau_{理论}$ 。测量线路图及波形图见图2，测量结果为 $\tau = 50^{+10} ns$ 。

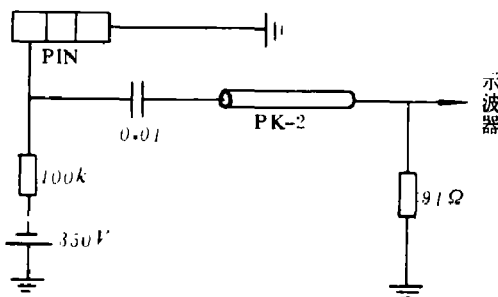


图2—1 线路图

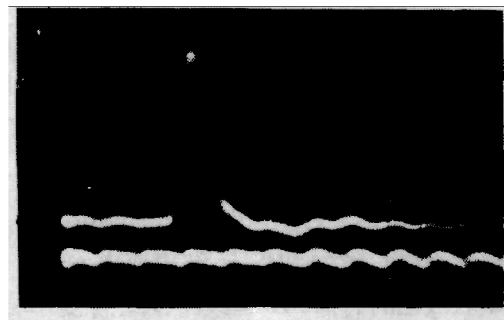


图2—2 波形图时标10MC

2、焦点。对于这种动态真空二极管来说，焦点的大小可以进行调节，小的焦点有利于获得比较清晰的X光图象。我们设计了几种焦点，大小为 $\phi 3 \sim 6 mm$ ，通常用 $\phi 6 mm$ ，根据测试精度的需要可适当变更。

3、射线能量和剂量强度。在反射靶的实验中，阴极的形状和尺寸以及阴、阳极的相对位置对射线能量和剂量强度有直接影响。我们选择了不锈钢材料、 $90^\circ$ 锥孔(孔径 $\phi 27 \sim \phi 30 mm$ )的平板阴极，剂量 $I_0 = 800 mr / 1M \pm 20\%$ ，利用稀土增感屏( $Gd_2O_3:S:Tb$ )和感绿5F高对比度X光胶片组合进行测定。在距X光源4米处，可穿透钢40~50mm，或者

铅  $6 \sim 8 \text{ mm}$ 。

由于拍摄对象的千差万别,在同一次照相中穿透物质的情况有很大差别。为了获得底片各部分黑密度较为适当的X光图象,可在同一暗盒内装两张底片,其中一张加增感屏,另一张不加增感屏,以扩大曝光量的灵敏范围。或者装两副底片和增感屏而调节底片冲洗条件,可以得到预期的效果。

4、连续稳定输出的次数  $n$ 。X—II型闪光X射线机是一种窄脉冲、大电流的放电工作仪器,阳极钨针损耗较快,并直接影响X射线的输出。欲适应爆轰测试的需要,更换一次钨针后,必须保持稳定输出的次数  $n \geq 5$ ,这样,在作实验时才有机动余地。通过实验确定了最佳阴极结构和阴、阳极相对位置,搞好脉冲形成线内电介质水的循环(保持  $\geq 2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$  的电阻率),保证了本项要求。从探索性实验中得知,适当改变阳极结构尚可使  $n$  值有一定的提高。

以现有照相接收手段为前提,X—II型闪光X射线机于4米处照相,时控精度和X光图象质量基本上可满足3公斤左右烈性炸药的爆轰实验的需要。

另外还有X光图象中被研究物体界面的分界线清晰度问题。我们惯用的分析方法主要有三种因素在起作用,从而形成一个模糊区:

(1)几何因素,即焦点尺寸  $\phi$  和照相布局  $l/L$ ,由此形成几何模糊区  $a$ ,  $a = \phi l/L$ ,其中  $L$  和  $l$  分别为光源到被研究物体和被研究物体到底片的距离;

(2)运动因素,即被研究物体的运动速度  $v$  和闪光时间  $\tau$ ,由此形成运动模糊区  $b$ ,  $b = v \cdot \tau \cdot K$ ,其中  $K = 1 + l/L = 1.22$ ;

(3)感光材料特性所造成的模糊区  $c$ ,一般  $c = 0.3$  左右,这是由于底片和增感屏感光成象的接收方法所决定的,而这种方法经常被采用。

$$\text{总模糊区 } P = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

以实际照相条件  $l/L = 0.22$  来计算,当研究对象的运动速度为  $2 \sim 10 \text{ mm}/\mu\text{s}$  时,模糊区  $P = 1.3 \sim 1.48 \text{ mm}$ ,即运动速度增加5倍时,模糊区尚无显著变化,这是由于在毫秒级测试技术中,运动因素的影响已退居次要地位的缘故。倘若使焦点  $\phi = 3 \text{ mm}$ ,则  $P < 1 \text{ mm}$ 。可作对比的是,我们在设备更新之前曾多年使用亚微秒的X—I型闪光X射线机,对应的模糊区  $P = 3.11 \sim 7.78 \text{ mm}$ ,显然这对于观测是很不利的。图3可示意说明这一点。

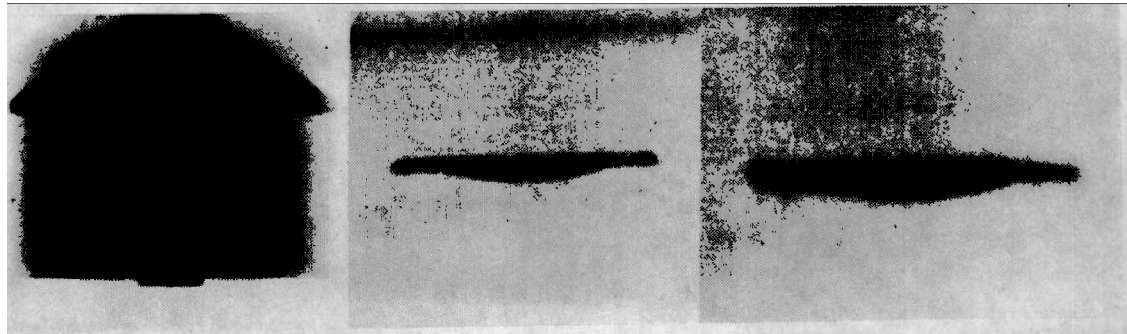


图3—1  $T = 0$   
装置图

图3—2  $T = 26.9 \mu\text{s}$   
(X—II型机拍摄)

图3—3  $T = 28.2 \mu\text{s}$   
(X—I型机拍摄)

图3  $\phi 20 \times 2 \text{ mm}$  钢片飞行图象比较

实验装置为高压电雷管、传爆药柱、平面波发生器、主炸药 $\phi 100 \times 50 \text{mm}$  (T/ $\Gamma$ )、钢片 $\phi 20 \times 2 \text{mm}$ 和有机玻璃支撑管。拍摄时钢片的平均飞行速度为 $3.1 \text{mm}/\mu\text{s}$ ,飞行图用底片1:1印制。不言而喻,X-II型机拍摄的图象(图3-2)清晰度比X-I型机拍摄的图象(图3-3)清晰度有了明显的改善。

需要指出,由于投影关系,无边界稀疏影响时,模糊区的状况将一目了然;有边界稀疏影响时,模糊区受稀疏区图象的影响无法确定,这是应加以区别的。

### 三、爆轰X光摄影一瞥

在爆轰物理研究中,闪光X射线测试技术已发展成和光学测试技术、电学测试技术相辅相成的诊断手段,有时甚至是无法取代的决定性的诊断手段。它以清晰的图象展现出某些高速瞬变过程的内在规律,使人们正确地认识客观事物,从而获得更多的自由。以下仅从爆轰研究中略举一、二,以了解其应用之一斑。

图4为炸药驱动的钢片被园柱穿孔的一组照片。

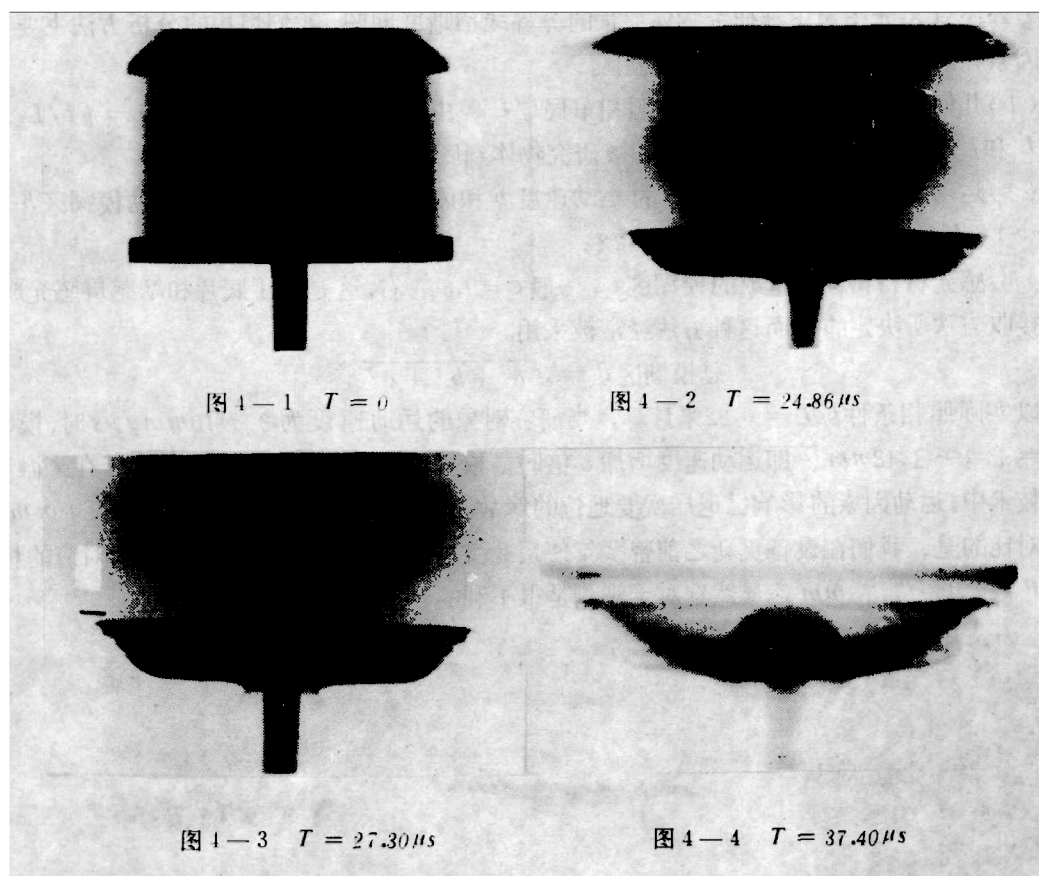


图4 钢片穿孔发展过程

该实验装置为高压电雷管、传爆药柱、平面波发生器、主炸药 $\phi 100 \times 50 \text{mm}$  (T/ $\Gamma$ )、钢片 $\phi 100 \times 8 \text{mm}$ 、钢柱 $\phi 12 \text{mm}$ 。

在这一课题的研究中,得出了钢片被园柱穿孔的结论,观察到了它的发展变化过程以及

在园柱和钢片相接触的周边上有物质喷射现象。这一结果,为理论计算提供了判别依据。

图5为开有V形槽的铜靶产生射流的情况。

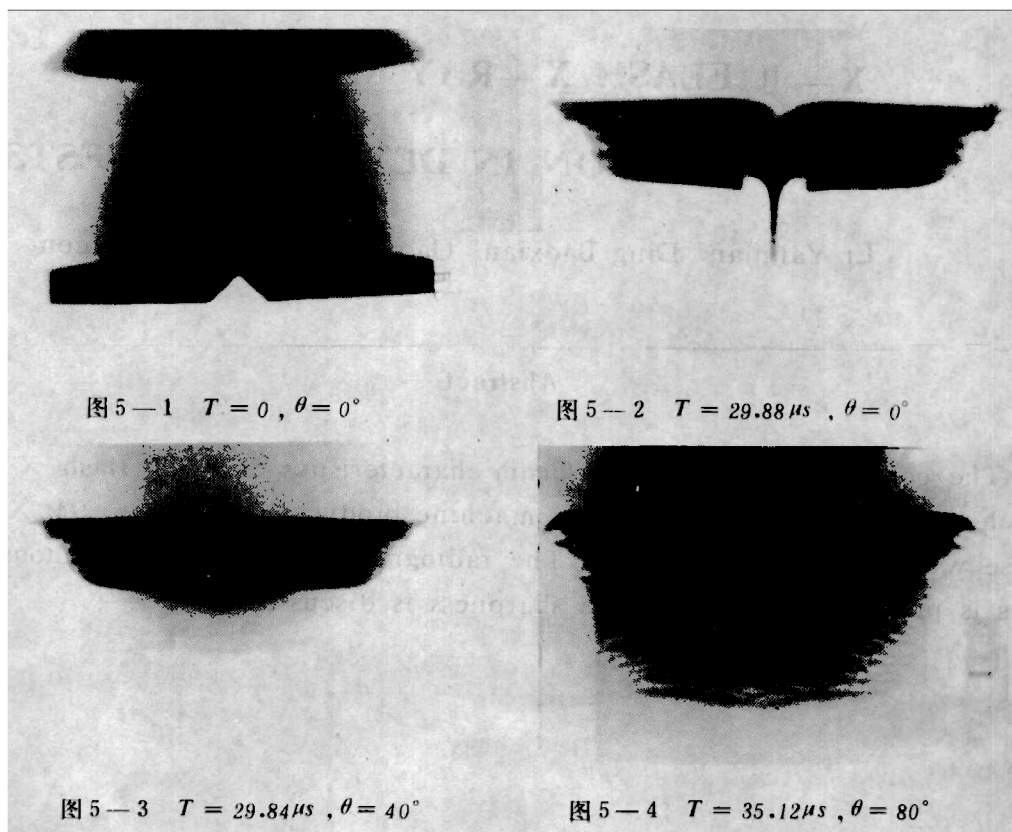


图5 钢靶中V形槽产生射流的发展过程

在图5—1、5—2中,X射线与V形槽同方向;在图5—3、5—4中,X射线与V形槽的夹角 $\theta$ 分别为 $40^\circ$ 和 $80^\circ$ 。

该实验装置为高压电雷管、传爆药柱、平面波发生器、主炸药 $\phi 100 \times 50\text{mm}$  ( $T/\Gamma$ )、铜靶 $\phi 100 \times 10\text{mm}$ , V形槽 $\alpha = 90^\circ$ 、深 $8\text{mm}$ 。

从图中能够清楚地看到射流质量分布的不均匀性。可以说,到目前为止,有关射流的形成与发展、射流的性态以及射流与物质的作用等规律性的研究,采用闪光X射线测试技术是比较理想的。

由于闪光X射线测试技术别具一格的特点,所以在爆轰物理的科学研究、武器研制和工业、医疗卫生等方面,有着重要的应用价值和可观的发展前途,随着大功率脉冲技术的发展,从低能到高能闪光X射线设备系列化的逐步建立和完善,它将发挥越来越大的作用。

#### 参 考 文 献

- [1] 程念安、郜玉栋、张寿云,“IMV密装式冲击电压发生器”,待发表。

## X—II FLASH X—RAY MACHINE AND ITS APPLICATION IN DETONATION TESTS

Li Yannian Ding Baoxian Gao Yudong Wang Huacen

### Abstract

The construction and X-ray beam characteristics of X-II flash X-ray machine are described briefly. The machine produces  $50ns$ ,  $800mr/1M$  X-ray pulse with energy about  $1Mev$ . The radiographic application of detonation tests is presented and the image sharpness is discussed.