文章编号: 1003-1480 (2003) 04-0018-03

冲击片雷管飞片参数设计与估算

袁士伟1,曾庆轩2,冯长根2,罗承沐1

(1. 清华大学电机工程与应用电子技术系,北京 100084; 2. 北京理工大学机电工程学院,北京 100081)

摘 要:通过改进电格尼能的计算公式及引用文献的数据,对冲击片雷管的飞片参数进行了设计估算。结果 表明,在动能一定的前提下,应尽量取薄一些、轻一些、直径小一些的飞片。

关键词:冲击片雷管;飞片速度;动能;估算

中图分类号: TJ450 文献标识码: A

The Designing and Estimating of Flying Plate Parameters of Slapper Detonator

YUAN Shi-wei¹, ZENG Qing-xuan², FENG Chang-gen², LUO Cheng-mu¹

(1. Qinghua University, Beijing, 100084; 2. Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

Abstract: The flying plate parameters such as thickness, diameter, density are designed and estimated by improving the electrical gurney energy model. The results show that the thinner, lighter and smaller diameter flying plate is better on a certain kinetic energy condition.

Key words: Slapper detonator; Flying plate velocity; Kinetic energy; Estimating

飞片是冲击片雷管的关键设计要素,冲击片雷 管飞片参数是指飞片材料、厚度、密度和直径。由 于飞片直径小、速度高、衰减快,所以国外采用激 光速度干涉仪(VISAR)等方法测量飞片速度^[1]。国 内只有中国工程物理研究院拥有 VISAR,但主要用 来测量大型飞片。另外,VISAR 要求被测速的运动 物体必须反射激光才能采到速度信息,而冲击片雷 管的飞片采用聚酰亚胺薄膜,既薄又透光。由于飞 片很小,目前国内还没有适当的精确测定小型飞片 速度的方法。

目前冲击片雷管设计只能采用经验模型进行 估算,本文采用的是电格尼能方法。当然这种方法 只能计算飞片最终可能达到的速度而不是瞬时速 度,所以在具体的冲击片雷管设计时,必须依靠试 验来探索有关参数的最佳范围。

1 计算模型的改进

电格尼能方法的物理概念是建立在电爆炸箔 ——飞片的能量、动量和质量守恒关系基础上的。 利用电格尼能计算飞片速度的公式有几种表达式, 它们的修正项稍有不同^[2~3],本文引用的飞片速度 公式如下^[4]。

$$v_f = \left(2E_{eg}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{m_f}{m_b} + \frac{1}{3}\right)^{-\frac{1}{2}}$$
(1)

其中 *E*_{eg} 为电格尼能, *m*_f/*m*_b 为飞片与桥箔的单位面积质量比。*E*_{eg} 通常用式(2)表示:

$$E_{eg} = KJ_b^n$$
(2)
(2) 式中 J_b 为电流爆发密度。

收稿日期: 2003-03-06

作者简介:袁士伟(1968-),男,博士后,主要研究方向为冲击片雷管及脉冲功率技术。

T. J. Tucker 和 P. L. Stanton^[4]认为电格尼能系 数 *K* 和 *n* 是从飞片速度试验数据中确定的电格尼常 数。对于不同的起爆系统,电格尼能系数 *K* 和 *n* 是 完全不同的。由于没有本文设计的电爆炸箔起爆系 统的飞片速度试验数据,所以不能用式(2)计算 电格尼能 *E*_{eg}。本文从电格尼能的定义出发,通过 下面的讨论,给出了改进的计算电格尼能 *E*_{eg}的公 式。

类似于炸药格尼能的定义,电格尼能 E_{eg} 定义为单位质量的电爆炸箔使飞片获得的动能,是单位质量的电爆炸箔从电路吸收的能量 E_d 与转换效率 η 之积:

$$E_{eg} = \frac{\eta \cdot E_d}{\rho_0 V_T} \tag{3}$$

式 (3) 中: ρ_0 为桥箔的初始密度, V_T 为桥箔体积。

转换效率 η 是一个经验值, 它表征了桥箔吸收 的能量有多少转化为飞片的动能。*E*_d为发火回路的 功率积分^[5], 即:

$$E_d = \int_0^{t_b} I^2(t) \cdot R(t) \,\mathrm{d}t \tag{4}$$

其中 t_b 为第1峰值电流时刻,也是桥箔爆炸点, R(t)为桥箔的动态电阻,其变化规律很复杂^[6~8]。由 于采用电格尼能方法的目的是研究影响飞片速度 的因素,而不是研究如何精确求解飞片速度本身, 因此取电路转换效率 $\eta_c = 20\%$ 。在没有飞片速度试 验值的条件下,不能得到转换效率的试验值,因此 这里假设 E_d 与 E_{eg} 间的转换效率 η_f 为一个合理的 固定值,比如 61.8%, $\eta = \eta_c \cdot \eta_f = 12.4\%$ 。

2 模拟计算与分析

利用改进的估算模型,对飞片的直径、厚度和 材料密度的变化与飞片速度的关系进行了计算。选 定国产的聚酰亚胺薄膜作为飞片材料,其它的准备 数据有:电容充电电压 U₀=3 000V,放电电容 C=0.148μF,飞片厚度为 20~200μm,飞片的直径为 0.2~0.7mm,材料密度为 1.41~1.44g/cm³。其余参数 与文献^[5]相关参数相同。利用 MATLAB 和改进的 估算模型计算了飞片厚度、直径和密度变化对飞片 速度和动能的影响规律。

2.1 飞片厚度的影响

图 1 为飞片厚度对飞片速度和动能的影响规 律。由图 1 可见,从飞片速度角度看飞片应该取得 薄一些,可以获得更高的速度,但是会降低动能的 大小。根据炸药冲击起爆的 pⁿτ 判据,速度主要与 压力 p 相关,厚度主要与作用时间 τ 相关。因此综 合来看,尽量取薄一些的飞片有利于炸药的冲击起 爆。

飞片薄一些有利于冲击起爆炸药,Frank 等人 的试验结果也证明了这一点^[9]。但是本文推导的计 算模型没有考虑飞片材料的剪切性能和弹性性能, 即飞片形成后,在高压等离子体压力的推动下被剪 切出来并且保持平面的程度。如果飞片厚度过薄, 不能维持方向,将来在复杂的武器系统作战条件 下,尤其是高过载的起爆系统中能否可靠起爆,就 会成为问题。所以,并非选用越薄的飞片就越好, 这需要不断试验才能确定飞片厚度的最佳值。



图 1 飞片厚度对飞片速度和动能的影响规律

2.2 飞片直径的影响

加速膛直径决定了飞片直径的大小,也决定了 多少面积的桥箔爆炸后参与了加速飞片的过程。飞 片直径对速度及动能的影响见图 2,计算结果表明 小的加速膛直径有利于提高飞片速度。不过在桥箔 尺寸固定的条件下,虽然直径小的飞片获得了更高 的速度,但是它本身的动能会降低。这表明电格尼 能公式将部分桥箔的质量含在飞片质量当中。王治 平^[10]的试验结果也表明飞片直径越大,飞片速度越低。因此设计加速膛直径时,综合考虑的结果应该尽可能地减小直径,但是限制它的因素除冲击片雷管的装配工艺、加工精度外,还要保证一定的动能水平。



图 2 飞片直径对飞片速度和动能的影响规律

2.3 飞片密度的影响

材料密度通常不会有什么变化,但是对于聚酰 亚胺薄膜来说,由于工艺的差异,国内外材料的密 度和不同厂家之间会有一些小的差异。通过计算, 材料密度的微小变化对速度的影响结果见图 3,结 果表明密度与速度和动能都是线性关系。轻些的飞 片更容易获得高速度,但是动能会减少。实际使用 的材料密度约为 1.42 g/cm³。





图 3 飞片密度对飞片速度和动能的影响规律

3 结论

通过估算表明,设计冲击片雷管时,在动能一 定的前提下,尽量取薄一些、轻一些、直径小一些 的飞片。

参考文献:

- Hatt David J. A VISAR velocity Interferometer system at MRL for slapper detonator and shockwave studies [R]. MRL-TR-91-42, 1993.
- Jones Grodon E, Kennedy James E, Bertholf Larry D.
 Ballistics calculations of R.W.Gurney [J]. Am J Phys, 1980, 48, (4): 264~269.
- [3] 张蒲,谢高第.电格尼能模型用于爆炸箔起爆器(EFI) 的原理和讨论 [R].中国国防科技报告,1992.
- [4] Tucker T J, Stanton P L. Electrical gurney energy: A new concept in modeling of energy transfer from electrically exploded conductors [R]. SAND 75-0244, 1975.
- [5] 袁士伟. 电爆炸箔起爆系统小型化研究 [D]. 北京: 北 京理工大学, 2001.
- [6] Furnberg Carlton M, Peevy Gregg R, Brigham William P, Lyons Gregory R. Computer modeling of electrical performance of detonators [R]. SAND 94-28190, 1994.
- [7] Furnberg Carlton M. Computer modeling of detonators[R]. DE95003031, 1995.
- [8] Lee Ronald S. An analytical model for the dynamic resistivity of electrically exploded conductors [R]. DE87001 411, 1986.
- [9] Frank A. M, Chau H. H. Six-mm, Plane-wave shock driver [R]. UCRL-JC-113130, 1993.
- [10] 王治平. 飞片雷管中飞片直径对飞片速度的影响 [J]. 爆炸与冲击, 1982,(2): 83~86.