

工业电雷管引燃冲量问题探讨

郝建春 潘功配
(华东工学院)

摘要 本文通过工业电雷管发火电流(I)和引燃冲量(K)的试验研究,证明了 $K-I$ 关系曲线中极小值(即最小引燃冲量)的存在,补充解释了 GB8031 标准中引燃冲量的特定含义,提出了应确定最小引燃冲量和最大不引燃冲量指标的重要性,同时阐明了用升降法测量百毫秒发火电流(I_{100})过程中,发火概率(P)取值应从 0.9999 改为 0.50 的理由。

关键词 工业电雷管 引燃冲量 发火电流

1 引言

引燃冲量是火工品对外界能量刺激的敏感程度的一种定量表述。

引燃冲量问题的研究是近年来国内民用起爆器材专业技术人员比较注重的课题之一。就工业电雷管而言,我国引燃冲量概念的建立、研究和教学沿用的是原苏联五十年代的理论。本文意在通过试验的检测,证明最小引燃冲量的存在,对引燃冲量的概念试作进一步的广义解释,同时指出了现行 GB8031 标准中对该指标和测试方法存在的问题,提出了相应的商榷性意见。

2 试验验证与分析

工业电雷管理论认为:对某一确定的产品,其引燃冲量(K)和被通入的恒直流(I)之间存在着双曲线关系^[1](见图 1)。由图可见,垂直渐近线为最大安全电流(I_s),水平渐近线为最小引燃冲量(K_0), K_B 为标称引燃冲量。当通入的恒直流强度(I)大大超过实际使用强度时,其引燃冲量就成为一个与发火电流(I)无关的常数^[2]。随着电子测量技术更新换代的飞跃发展,瞬态参量测试仪器的准确度、精确度已达到了前所未有的高水平。所以,验证理论的正确程度已成为可能。我们通过大量的试验分析,以

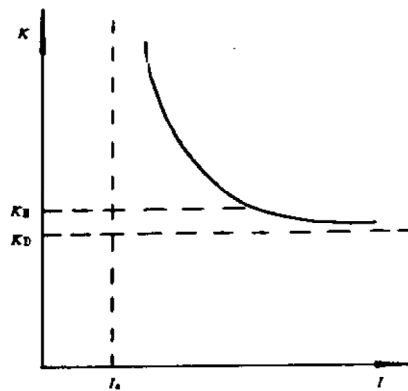


图 1 原理论 $K-I$ 曲线
Fig. 1 $K-I$ curve derived from the original theory

及对某些专业工厂和研究单位的同类技术资料调研后发现,大多数试验结果与原理论存在着一定的偏差。在此仅举例说明如下:

2.1 试验方案

被测元件:由直径 $\varnothing 0.03\text{mm}$ 镍铬桥丝、以 $\text{Pb}(\text{CNS})_2/\text{KClO}_3$ 为主要成分的引火药头和长 2.0m 纯铜脚线两根组成的电点火元件。

主测仪器:爆破器材综合参数测量仪。

测试方法:取 15 组(每组 10 发)被测元件,每组元件分别输入某一强度的恒直流使其被引燃,同时记录测得激发时间(t),然后取算术平均值(\bar{t})。

计算公式:采用 GB8031 规定的代数式 $K=I^2 \cdot t$,算出相应的引燃冲量数值。

2.2 结果与分析

按上述方案进行测试,所得结果列入表 1。

表 1 试验结果
Table 1 Testing Results

试验组序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
通入恒直 电流 I/A	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
实测激发 时间 \bar{t}/ms	100.4	47.6	24.4	16.7	13.0	10.4	8.6	7.1	6.9	6.3	4.8	3.7	3.4	3.2	3.1
引燃冲量 $K/(\text{A}^2 \cdot \text{ms})$	12.3	7.6	4.9	4.2	3.9	3.7	3.6	3.5	3.9	4.0	4.8	5.8	7.7	9.9	12.4

根据表 1,可绘制成如图 2 所示的新 $K-I$ 关系曲线,且作分析如下:

a. 曲线 ABC 对应于表 1 的实测关系,明显存在一个极值点 B。对应纵座标 K_B 可视为最小引燃冲量,横座标 I_B 为 K_B 时的发火电流值。当实施的电流强度 I 高过 I_B 并继续增大时,引燃冲量仍与电流 I 有关,并不为常数。在这里表现出了与原理论的不一致;

b. 由图可见,大于 K_B 的任何一个引燃冲量值,原则上都可以在横座标上找到两个数值不同的发火电流。 K_B 越大,相应的两个数值不同的发火电流的差值也就越大。因为,引燃冲量 K 是发火电流 I 和激发时间 t 的函数,当 K 一定时, t 与 I 的平方成反比关系。以极值点为界,左边的引燃冲量值以

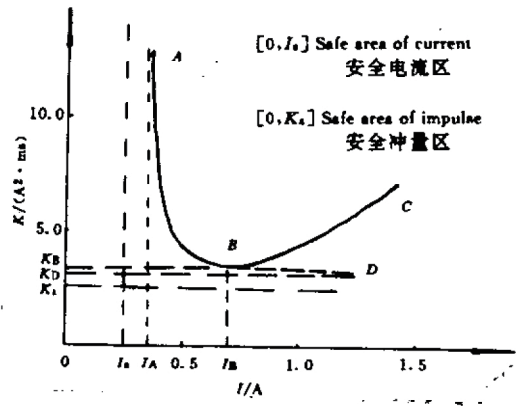


图 2 试验所得到的 $K-I$ 曲线
Fig. 2 $K-I$ curve from experiment

激发时间 t 的效应为主,而右边的引燃冲量值则以发火电流 I 的作用为主。在一定范围内,引燃冲量值越大,其两边各自的作用就越明显;

c. 曲线 ABD 是按原理论分析应存在的关系。 BD 是试验验证并不存在的“水平渐近线”的线段。有趣的是图 1 和图 2 中 K_B 与 K_D 之比均约为 1.06;最小引燃冲量的发火电流强度 I_B 在数值上也约等于 $2I_A$,即为两倍的百毫秒电流值,这也与原理论对引燃冲量的测量要求相一致。

3 定义与考核指标

工业电雷管桥丝系统作为电热换能器,当外界输入电流时,由焦耳定律可知,存在下式:

$$Q = 0.24I^2Rt \quad (1)$$

式中: Q ——热能(量); R ——桥丝电阻值; I ——电流强度; t ——通电时间。

将(1)式改写成

$$\frac{Q}{0.24R} = I^2 \cdot t = K \quad (2)$$

(2)式即为引燃冲量表达式。可叙述为:桥丝单位电阻所消耗的足以使引火药达到可自行反应的能量。结合图 2 曲线可知,某一确定产品引燃冲量值不是唯一的,而是一组数据。GB8031 标准中引燃冲量的含义实际是指原理论中的标称引燃冲量,它具有代表产品重要性能的意义。值得注意的是,某些工业发达国家对这个涉及“电敏感程度”的指标都进行了详细的分类。如原苏联以规定指标的引燃冲量和安全冲量分类(其测量方法与我国不同)^[3];瑞典以不引燃冲量和可靠引燃冲量分类。笔者认为我国也应该将此指标明确分为最小引燃冲量(K_B)和最大不引燃冲量(K_s)为宜(见图 2)。前者用于考核产品的引燃可靠性和稳定性;后者用于考核产品的安全性。安全性应同时具备两个指标:其一,最大不发火电流(I_s),即通入无限长时间而不被引燃的最大电流值。存在一个安全电流区(见图 2);其二,最大不引燃冲量(K_s),即考虑静电泄入或环境、大气有电脉冲等特殊情况下,产品能承受的最大的不被引爆的电热冲量值。也同样存在一个安全冲量区(见图 2)。

所以,作为工业电雷管产品,应当将最小引燃冲量和最大不引燃冲量指标参数向用户提供,才是比较科学的。

4 测量问题的商榷

目前,GB8031 标准规定引燃冲量的测试与计算采用半经验公式

$$K = I^2 \cdot t = (2I_{100})^2 \cdot t \quad (3)$$

其中, I_{100} 是激发时间为 100ms 时的发火电流强度(即百毫秒发火电流), t 为在两倍的 I_{100} 作用下被测元件相应的激发时间。

在测定 I_{100} 和 t 时,按规定采用升降法进行^[4]。同时要求测定的发火概率(P)均取 0.9999,这样相应的正态分布下侧分位数(U_p)均取 3.719。应该注意到这是个有较大保险裕度的数值,它能够以较高的发火概率保证在 100ms 的激发时间以内发火,但在激发时间达到或接近 100ms 时刻才发火的可能性极小。为此,选用了直径为 $\varnothing 0.05\text{mm}$ 镍铬桥

丝、引火药头为 $Pb(CNS)_2/KClO_3$ 的点火元件进行了检验。表 2 的结果表明了以上分析是正确的。由表可见,前者 I_1 验证的激发时间远小于 100ms(算术平均值为 69.3ms),说明 I_1 取值比实际上的百毫秒发火电流大了一些,已失去了原定的意义。因为,火工品敏感度测试常用的升降法,其数理统计的优点,就是可以得到 50%发火点及其总体平均值的良好估计。所以,表中后者 I_2 就采用了 0.50 的发火概率,其经过验证的激发时间恰好在 100ms 附近(算术平均值为 99.8ms),这个结果符合百毫秒发火电流的原意,应该予以肯定。若按照各自的数值进行引燃冲量的计算,可以发现前者比后者要大出 10~15%。若采用前者作为对该项指标考核,则可能将合格品误判为不合格品。

表 2 百毫秒发火电流激发时间验证表
Table 2 Verification of excitation time of firing current in one-hundred ms

用升降法求得百 毫秒发火电流值 I/A	激发时间的验证值 t/ms					算术平均值 \bar{t}/ms	备 注
$I_1 = \bar{I} + U_p, \delta = 0.55$	54.1	66.2	74.3	80.4	82.1	69.3	$P = 0.9999$ $U_p = 3.719$ $\delta = 0.0081$
	59.6	83.4	79.7	55.2	57.5		
$I_2 = \bar{I} = 0.52$	97.3	102.1	99.0	98.2	105.3	99.8	$P = 0.50$ $U_p = 0$
	96.5	110.9	91.3	107.0	90.8		

注: δ 为标准偏差

鉴于对该问题的不同认识,建议在以后的标准修定中再作进一步讨论和商榷。

5 讨 论

5.1 本文试验结果证明,多数工业电雷管的引燃冲量(K)与发火电流(I)之间的关系是一条有极小值存在的曲线。该极小值与原工业电雷管理论中的标称引燃冲量接近,这种巧合是属偶然,还是具有普遍性,只有更广泛地对产品进行全面测试才能充分证明。

5.2 最小引燃冲量、最大不引燃冲量是具有实际意义的、能反映产品主要性能的重要指标,应该列为国家标准中主要检验内容。

5.3 用升降法测定百毫秒发火电流(I_{100})时,建议取其发火概率 0.50 为宜。

参 考 文 献

- 1 A. N 罗里叶著. 张治平等译. 工业电雷管. 北京: 国防工业出版社, 1964.
- 2 陈正衡. 矿用起爆器材. 北京: 煤炭工业出版社, 1978.
- 3 苏联国家标准 ГОСТ9085-76, ГОСТ21806-76
- 4 中华人民共和国标准 GB8031-87 工业电雷管.

INVESTIGATION INTO THE PROBLEMS OF INITIATION IMPULSE OF COMMERCIAL ELECTRIC DETONATORS

Hao Jianchun Pan Gongpei
(*East China Institute of Technology*)

ABSTRACT The presence of minimum value of initiation impulse in $K-I$ curve is proved by the examination of firing current (I) and initiation impulse (K) of commercial electric detonators. The definition of initiation impulse involved in the standard GB8031 is further supplemented; the importance to define the term of indexes of minimum initiation impulse and maximum no-fire initiation impulse is suggested, and the reason is elucidated that the value of firing probability should be changed from 99.99% into 50% during measuring the firing current in 100ms with up-and-down method.

KEY WORDS commercial electric detonator, initiation impulse, firing current.