

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.04.012

电路板式刚性电引火元件的研究^{*}

刘 超

福建海峡科化烽林分公司(福建明溪,365201)

[摘 要] 电引火元件是电雷管的主要部分,电引火元件的结构直接影响了电雷管的性能。电引火元件有弹性和刚性 2 种结构,刚性结构更加优越。电路板式刚性电引火元件中电路板与钢带有类似的刚性结构,且不易受潮生锈。利用电路板这种结构及特性代替现有电雷管中弹性电引火元件。通过试验,选择镍铬桥丝直径和间距,来满足电阻要求,对研制的药头进行电参数测定,并进行性能测试、装配试验。结果表明,电路板用于制造电引火元件是可行的。

[关键词] 电路板 电引火元件 电参数 引火药 桥丝

[分类号] TQ560 O625.34

引言

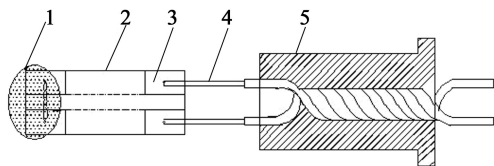
工业雷管向高可靠性、高安全性、高精度、智能型、环保型方向发展;工业雷管产品组件生产向专业化、规模化、集约化、清洁化、本质安全化方向发展。电引火元件的生产工艺条件直接影响其质量和效率。电引火元件的电参数、发火可靠性都是其主要质量指标。因此,好的电引火元件的设计都必须考虑这些要求。

目前我国电雷管中电引火元件结构主要有两种^[1]:弹性结构、刚性结构。这两种电引火元件的主要构成都是由引火药、桥丝、脚线、塑料塞等组成。

1 电路板式电引火元件

1.1 结构组成

电路板式电引火元件结构与现有的刚性结构有些类似。主要由 4 个部分组成,分别是引火药、电路板、脚线、塑料塞。其中电路板是新颖部分,它包括桥丝和电板。印制电路板简称印制板,英文简称 PCB,又称印刷电路板。电路板式刚性引火元件结构如图 1。



1 - 引火药;2 - 电路板;3 - 铜箔;
4 - 脚线;5 - 塑料塞

图 1 电路板式电引火元件结构

Fig. 1 Structure of the printed circuit board fusehead

1.2 PCB 生产设计

印制电路板以绝缘板为基材,切成一定尺寸,其上至少附有一个导电图形,并布有孔(如元件孔、紧固孔、金属化孔等),用来代替以往装置电子元器件的底盘,并实现电子元器件之间的相互连接。由于这种板是采用电子印刷术制作的,故被称为“印刷”电路板。根据电路层数可分为单面板、双面板和多层板。根据试验性能要求,该电路板只需实现能够焊接桥丝和脚线,实现桥丝和脚线导通功能即可。本试验采取单面板为基板。

单面板生产工艺主要有:裁剪覆铜板、磨板、印电路、检验、油墨待干、蚀刻、钻定位孔、磨板、丝印、磨板、阻焊、成型、FQC 检验、压平。依据电引火元件装配要求,电路板形状尺寸设计应该便于装配。电路板上焊接点固定在 4 个角上,间距确定,焊接桥丝的一致性良好。

1.3 PCB 优点

印制电路与通常布线电路比较,具有以下优点^[2]:

- 1) 有利于缩小尺寸和制成标准组件;
- 2) 产品质量较稳定、一致;
- 3) 成本低;
- 4) 能减少接线错误;
- 5) 减少组装和检查工时;
- 6) 效率高,适合于大批量生产;
- 7) 可提高产品的可靠性。

^{*} 收稿日期: 2012-12-27
作者简介: 刘超(1975 ~),男,硕士,工程师,从事民爆技术管理工作。E-mail: yahgc@163.com

对基板材料的评价主要是采用“冷—热循环冲击”的试验方法。试验条件： -65°C （30min） $\rightarrow 125^{\circ}\text{C}$ （30min） $\rightarrow -65^{\circ}\text{C}$ （30min）的反复循环^[3]。基板运用于电引火元件中,使用的环境温度一般为 $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$,满足要求。

2 性能研究

在点火序列中,电引火元件是直接起爆雷管的,电引火元件的质量是电雷管起爆成功与否的关键。而电引火元件中衡量质量的参数主要有电参数^[4]。电参数有电引火元件电阻、安全电流、发火电流、发火冲能等。对研制的 PCB 刚性电引火元件进行性能检测,并进行装配试验。

2.1 电参数

电引火元件电参数的影响因素有桥丝、引火药。

2.1.1 桥丝

2.1.1.1 桥丝间距

电路板式电引火元件结构,具有了刚性药头的优点。电路板焊接桥丝都是全自动机器操作,且焊接都是大批量进行,效率高,电阻值稳定,桥丝电阻可以自行检测。

在研究过程中,可以通过两种方法来改变电路板桥丝电阻。其一,通过调整焊点间距改变电阻;其二,选用不同直径的镍铬合金电阻丝。

综合考虑电路板尺寸,以及焊接的工艺问题,通过改变电路板焊接点间距来改变桥丝电阻,根据 $R=\rho L/S$,选择直径 0.030mm 的电阻丝,材质不变,间距减小,电阻减小。

表 1 为不同间距的电路板式电引火元件的电阻参数。脚线采用 $\varnothing 0.50\text{mm}$ 、长度 2m 铜芯线;桥丝直径 0.030mm,材质为镍铬合金。

根据表 1,在间距固定的条件下,相应电阻值稳定,桥丝电阻值的一致性很好,该结构对于电路板式电引火元件电参数的影响比较小。

间距 1.5mm 的安全电流为 0.217A,满足国家

标准大于 0.2A 的要求。但考虑电路板焊接工艺的可操作性,桥丝间距不能过于小。当间距太小时,焊接脚线的锡液容易粘结在一起,造成短路。因此,选用相对容易焊接的间距 2.5mm。

间距 2.5mm 的 $\varnothing 0.030\text{mm}$ 桥丝,其安全电流为 0.170A,不能满足国标大于 0.2A 的要求,但通过调整桥丝直径可以满足电流要求。

2.1.1.2 桥丝直径

根据 $Q=I^2Rt$,选择适当的镍铬合金丝的直径,对于单发桥丝发火有直接的影响。桥丝直径与电参数关系如表 2。

表 2 不同桥丝直径的电路板式电引火元件的电参数

Tab.2 Electrical parameters of the fusehead with printed circuit board in different bridge wire diameter

桥丝直径 \varnothing/mm	桥丝电阻/ $(\Omega\cdot\text{m}^{-1})$	单发桥丝电阻/ Ω	安全电流/ A
0.030	1542	4.4~4.7	0.170
0.040	867	3.0~3.3	0.220
0.045	685	2.6~2.8	0.293
0.050	555	2.0~2.4	0.332

根据表 2,选择桥丝直径为 0.045mm 的镍铬合金丝,其单发桥丝电阻适中。所制得的桥丝电阻一致性好,电路板药头的电参数一致性、可靠性好。

2.1.2 引火药

引火药是电引火元件关键组成,是引燃延期体或者起爆药的传火序列。引火药的好坏直接影响电雷管的发火可靠性与一致性。目前我国用得较多的 DDNP 铅丹硅引火药,其缺点是单发发火电流波动较大、药头密度大,容易下垂、掉块等。苦味酸钾是一种比 DDNP 更加优越的引火药^[5]。配置不同引火药,制造电引火元件(各 5 组),测其发火电流(表 3),可以看到,苦味酸钾更加优越,这也是本研究中

表 1 不同间距的电路板式电引火元件的电参数

Tab.1 Electrical parameters of the fusehead with printed circuit board in different pole pitch

间距/mm	电阻值/ Ω	平均电阻/ Ω	标准差 S	安全电流/A
2.5 (样品量 32 发)	4.52,4.51,4.47,4.51,4.61,4.59,4.55,4.60,4.58,4.57,4.59,4.59,4.54,4.52,4.50,4.53,4.52,4.52,4.52,4.53,4.58,4.64,4.61,4.55,4.56,4.69,4.54,4.56,4.68,4.49,4.64,4.54	4.56	0.05	0.170
1.5 (样品量 36 发)	2.90,3.11,2.99,2.97,3.03,2.94,3.04,3.00,2.97,2.98,2.94,2.99,2.97,3.03,2.93,2.93,3.01,2.83,2.65,3.01,2.94,2.88,2.96,2.92,2.94,3.07,2.93,2.97,2.95,2.97,2.94,3.00,2.99,2.98,2.99,2.91	2.96	0.07	0.217

表 3 不同引火药的电引火元件的发火电流

Tab.3 Firing current of fusehead with different ignition powder (A)		
	DDNP 铅丹硅	苦味酸钾
弹性药头	0.220 ~ 0.260	0.360 ~ 0.390
钢带式刚性药头	—	0.410 ~ 0.430
PCB 式刚性药头	0.240 ~ 0.280	0.360 ~ 0.380

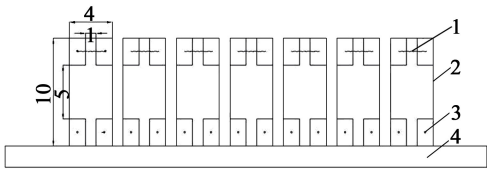
采用苦味酸钾作为引火药的原因。

将桥丝电阻控制在与刚性药头一样的范围内,新引火元件用苦味酸钾制造药头,电参数同样符合 GB8031《工业电雷管》的规定。根据升降法计算^[6],单发不发火电流 0.293A,单发发火电流 0.368A。做 20 发串联准爆电流试验,0.2A 通电 5min,药头不发火;通 1.2A 电流全部发火。

2.2 电路板式刚性电引火元件工艺特点

电路板是新电引火元件的新颖之处。这个小块的电路板生产,对于目前的电子加工来说是最简单的一种,其原料成本也很低廉,这相对于刚性药头中所使用的钢带更加轻便,所以其批量生产容易实现。

药头的生产过程中也可以采用机械方法,采用药头梳^[7]的方式蘸取引火药,保证蘸药的一致性,电路板厚度为 1.0mm,如图 2 所示。



1 - 桥丝;2 - 电路板;3 - 焊接点;4 - 连接板
图 2 电路板梳图(单位:mm)

Fig.2 Comb diagram of printed circuit board(unit:mm)

该结构的优点有:

1) 电路板大小和焊接间距尺寸参数一定,是保证电阻一致性的前提。避免了断桥、虚焊、电阻变化、卡裂药头的缺点,电阻实现 0.2Ω 分组。

2) 药头梳以多个为一片,在蘸药时,可以保证蘸药量的均匀性。蘸完药之后,沿切线剪切成单个药头。药头梳以 40 发为一组,去掉连接板,与脚线焊接后蘸药。

3) 每个药头梳由连接板连接,保证每个定位,减少焊接错位。

2.3 性能检测

在电路板式电引火元件的焊接间距、桥丝直径、引火药种类(使用苦味酸钾)等参数确定的条件下,对生产的引火元件进行性能检测,如表 4 所示。

表 4 性能检测试验

Tab.4 Performances determination tests		
检测项目	检测方法内容	抽样结果
电阻	电阻分选仪上限设为 2.9Ω,下限设为 2.5Ω	200/1
抗震性能	60 次/分、落高为 (150 ± 2) mm,不应发生爆炸、结构损坏、短路、断路和电阻不稳现象,全电阻应符合 2.5Ω ~ 2.9Ω	20/0
安全电流	20 发串联,通以 0.20A 的恒定直流电流,持续 5min 不应发生爆炸	20/0
串联起爆电流	20 发串联,通以 1.2A 的恒定直流电流,应爆炸完全	20/0
抗拉性能	在 19.6N 的静拉力下持续 1min,封口塞和脚线不应发生目视可见的损坏和移动	20/0
抗水性能	浸入水深 1m(压力为 0.01MPa)的充水容器中,保持 1h 后取出,立即发火试验,应爆炸完全	25/0

从表 4 中可以得知电路板式刚性电引火元件各项性能检测都满足要求。电路板式刚性电引火元件的抗静电电压值≥8kV。电路板制作的新电引火元件发火可靠性、一致性好。

2.4 装配

研制的电路板式刚性电引火元件,经过性能检测,根据我厂现有装配工艺参数进行试验。卡口尺寸控制在 5.5 ~ 5.7mm 范围内,分别装配 100 发。试验内容及结果如表 5 所示。

表 5 装配试验

Tab.5 Assembling tests			
	电阻测量	药头解剖	串联起爆
弹性药头	电阻变化	有些破裂	不合格
钢带式刚性药头	正常	完好	合格
PCB 式刚性药头	正常	完好	合格

从表 5 结果可以得知,刚性药头的稳定性比弹性药头更好。在装配使用过程中,不会因塑料塞受卡口收缩进而影响桥丝的焊接牢固性,引火药头也不会出现裂缝。

PCB 刚性药头的药头质量控制在 15 ~ 20mg 范围内,引火元件质量稳定,比 DDNP 铅丹硅药头 30 ~ 45mg 控制更加准确,节约点火药。将电路板式电引火元件装配延期体,进行延期时间和点火能力测试,见表 6。可以得出,PCB 刚性药头对比弹性药头,延期时间更加精确,且偏差较小。对于点火能力

较弱的高段别 MS11 段和 S5 段都能够实现正常点火,满足要求。

表 6 延期时间、点火能力测试

Tab.6 Tests of delay time and ignition capability

ms

段别	弹性药头		PCB 刚性药头	
	延期时间	标准差	延期时间	标准差
MS2 (25ms)	24.4	1.21	24.5	1.14
MS3 (50ms)	51.5	1.96	50.5	1.56
MS4 (75ms)	76.6	2.35	75.7	1.95
MS5 (100ms)	98.1	3.52	99.3	2.44
MS11 (460ms)	477.8	13.80	461.0	7.40
S5 (4000ms)	4210	230	4140	180

3 结 论

电路板用于制造新电引火元件,与弹性药头、刚性药头相比具有很多优越性。

1) 桥丝焊接容易,电阻值一致性好。不存在虚焊、假接等情况,电路板生产容易实现。在南方潮湿的环境中,电路板相对钢带更不容易出现锈蚀。

2) 电路板式电引火元件的电参数符合 GB8031《工业电雷管》的规定。

3) 电路板式电引火元件装配成雷管时,卡口不会改变桥丝焊接强度,且电路板是板状,不存在间距变动,所以不会出现移位、卡裂药头现象。

4) 电路板式电引火元件各项性能检测满足要

求,装配试验显示,其延期时间和点火能力都比弹性药头好。

因此,电路板作为电引火元件的一个新的元件,其运用的可行性与价值,对于民爆行业的发展值得继续研究探讨。

参 考 文 献

[1] 李睿芳. 电雷管引火元件电参数不稳定因素的探讨[J]. 科技情报开发与经济,2003,19(27):143-146.
Li Ruifang. An exploration into the instability of electrical parameter of igniter elements of electric detonators[J]. Sci-techin for Mation Development & Economy,2003,19(27):143-146.

[2] 杨旭,杨云. 印制电路板的制作方法[J]. 数字通信,2012(3):80-83.
Yang Xu,Yang Yun. Method of PCB oard making [J]. Digital Communication, 2012(3):80-83.

[3] 祝大同. PCB 用高耐热性基板材料的技术进展[J]. 新产品与新技术,2004(2):12-26.

[4] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.

[5] 蒋荣光,刘自铤. 起爆药[M]. 北京:兵器工业出版社,2005:315-319.

[6] 李国新,程国元,焦清介. 火工品试验与测试技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007:20-29.

[7] 李富良,曹敏忠,王宪武. 国内外工业电雷管结构及引火药头部分的对比[J]. 爆破器材,2007,36(4):13-16.
Li Fuliang ,Cao Minzhong, Wang Xianwu. Comparison on the structures of industrial electric detonator and its igniterat home and abroad [J]. Explosive Materials, 2007,36(4):13-16.

Study on the Rigid Fusehead with Printed Circuit Board

LIU Chao

Fenglin Branch of Fujian Haixia Technology Co. , Ltd. (Fujian Mingxi, 365201)

[ABSTRACT] Fusehead is a main portion of the electric detonator, whose structure directly affects the performance of the electric detonator. Fusehead has two structures, flexible and rigid, and the latter exhibits more advantages. The rigid fusehead with printed circuit board presents similar rigid structure to the steel strip, and it is less likely to damp rust. Depending on this structure and characteristics of the printed circuit board, the flexible fusehead of the existing electric detonators is replaced. Nickel-chromium bridge wire diameter and pole pitch were adjusted by experiments to meet the requirements of resistance, and electrical parameters determination of the developed fusehead was carried on. The results show that it is practical for the printed circuit board being used to manufacture fusehead.

[KEY WORDS] printed circuit board, fusehead, electrical parameters, ignition powder, bridge wire