

文章编号: 1003-1480 (2022) 05-0009-04

一种敞开式长秒延期结构

孙晓霞, 李 彤, 付艳柳, 刘君阁

(辽宁北方华丰特种化工有限公司, 辽宁 抚顺, 113003)

摘 要: 为实现某弹丸用非电点火管在长度尺寸受限下的长秒延期功能, 以及敞开式燃烧环境下的可靠点传火和延期输出, 开展了延期体、点传火序列设计, 并进行发火及延期时间测试。结果表明: 设计的延期体可以实现切长 27~30mm、17~28s 的长秒延期; 研制的高能密封点火药适用于敞开式点火和延期类火工品; 高能密封点火药-中速延期药-慢速延期药(体)的点传火序列有助于敞开式燃烧环境下单芯延期体中钨系高段延期药的可靠点火与稳定燃烧。

关键词: 点火管; 长秒延期; 敞开式燃烧; 铅延期体; 点传火序列

中图分类号: TJ45+5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1480.2022.05.003

Long-second Delay Structure in Open Combustion Environment

SUN Xiao-xia, LI Tong, FU Yan-liu, LIU Jun-ge

(Liaoning North Huafeng Special Chemical Limited Company, Fushun, 113003)

Abstract: To realize long-second delay function of a projectile igniter tube with limited length, as well as the reliable ignition and delay output in open combustion environment, the designs of delay parts and ignition sequence were carried out, and tests of ignition and delay time were completed. The results show that the long delay time of 17~28s is realized while the cutting length of delay parts is 27~30mm, the designed high-energy sealed ignition powder is suitable for open ignition and delay initiating devices. The ignition sequence of high-energy sealed ignition powder-medium speed delay composition-slow speed delay composition (parts) is helpful to the reliable ignition and stable combustion of tungsten high-stage delay composition, which is charged in single core delay parts under open combustion environment.

Key words: Igniter tube; Long second delay; Open combustion environment; Lead delay parts; Ignition sequence

武器系统中通常使用延期火工品以保证在一定时间后准确完成点火、爆炸、做功等预定功能。延期时间是延期火工品的主要技术指标, 主要通过装填延期药来实现, 其设计核心是延期药的选择和延期药的稳定燃烧^[1]。刘立军^[2]对 8 种不同配比的铅丹-硅系延期药进行了延期时间测试。许俊峰等^[3]研究了粘合剂对钨系延期药燃速的影响。李祥友^[4]试验研究了硅系和硼系辅延期药对钨系延期药的点火能力。闫飞等^[5]研究了不同系列、不同配比、不同长度的点火铅柱对

高段别导爆管雷管延期秒量精度的影响。张文平^[6]采用组合空腔设计了一种密闭结构的高精度延期件, 减少了压力效应, 增加了延期药燃烧稳定性。彭加斌等^[7]研究了环境气体压力对钨系延期药铅皮延期索燃速的影响。延期火工品延期时间的长短不仅取决于延期药和燃烧环境, 还与延期火工品的结构尺寸密切相关。袁玉红等^[8]将铅延期索装配于某型人雨弹用新型延期点火具中, 铅延期索截取长度为 36~37mm, 点火具延期时间为 16~19s。

收稿日期: 2022-03-12

作者简介: 孙晓霞 (1974-), 女, 研究员级高级工程师, 从事火工品技术研究。

某弹丸用点火管总长度为40mm,设计要求延期时间为17~28s。针对长度尺寸受限下的长秒延期及可靠传火要求,并考虑敞开式燃烧环境、低温环境的影响,开展了一种长秒延期结构设计,并进行发火及延期时间试验。

1 设计

1.1 设计要求

1.1.1 尺寸与延期时间

点火管直径: $\Phi 6.20_{-0.2}^0$ mm; 点火管长度: $40_{-0.2}^0$ mm;
点火管延期时间: 17.0~28.0s (-40~+50℃)。

1.1.2 通用指标要求

点火管为火焰输入、火焰输出,其高温贮存、低温贮存、高温工作、低温工作、温度冲击、震动、振动、锤击、吸湿、2m跌落、12m跌落、可靠性、贮存寿命等应符合弹丸总体设计要求。

1.2 总体结构设计

根据尺寸、延期时间等设计要求,综合考虑技术先进性、制造成本、加工与装配工艺、原材料供应等,点火管设计为管壳内多次压装火工药剂(延期体)结构,主要设计包括:(1)管壳:由优质碳素结构钢薄钢板冲压而成,成本低廉,具有足够的强度,管壳的输出端设计有传火孔,用于输出火焰,引燃下级装药;(2)输入端:点火管为火焰输入,为可靠接受外界火焰,输入端压装火焰感度好的点火药剂;考虑结构强度及内部火工药剂的稳定燃烧,输入端设计扣带传火孔的加强帽;(3)输出端:点火管为火焰输出,为可靠引燃下级装药,输出端压装燃烧产生高热质点多、输出火焰温度高、火焰长度长的引燃药剂;(4)延期段:点火管为长秒延期火工品,延期时间长,但延期段长度有限,即使选用慢燃速的秒级延期药,以及管壳内直接多次压装的方式也难以达到二十几秒的长延期时间要求,且存在生产效率低下、所需延期药量大、经济成本较高的问题。经综合分析和论证,确定为铅延期体结构,即在铅锡合金管内装填长秒延期药后拔制、加工成延期体部件,由延期体内部装药和延期体切长来保证延期时间。

1.3 延期体设计

延期体是点火管实现长秒延期的关键部件,其设计核心包括延期药、延期体切长与燃速、药芯直径与密度等。

1.3.1 延期药

微气体延期药种类很多,燃速与可燃剂、氧化剂、附加剂及其含量、物理状态等因素密切相关,一般按金属可燃剂划分为铅系、镁系、硼系的快速延期药,铅-镍合金系、硅系、锰系的中速延期药,铋系、钨系的慢速延期药^[9]。查阅常用延期药燃速^[1],为满足长秒延期要求,确定选用慢速的钨系延期药,其原材料来源广泛、价格低廉、技术较为成熟、应用极为广泛,且在极低温度环境下具有较好燃烧性能。

钨系延期药主要成分为钨粉、铬酸钡和高氯酸钾,钨粉/铬酸钡比例对燃速起着决定性作用,燃速随着钨粉含量增加显著提高,当钨粉含量过低时易出现延期件瞎火。为满足延期体切长有限前提下二十多秒的延期时间要求,确定采用最高段别的钨系延期药,点传火可靠性通过延期体药芯直径、药芯密度以及设计的点传火序列等予以保证。

1.3.2 延期体切长

本着延期体切长最大化原则,综合考虑点火管总长度、输入端点火药剂、输出端引燃药剂、点传火序列的药高,试验确定延期体切长的范围,具体长度由延期药试验结果确定。

1.3.3 药芯直径

相对于多芯结构,单芯结构装药量集中、装药密度较小,接受发火冲能面积较大,燃烧过程中散热一致性好,有利于稳定燃烧。单芯结构的药芯直径受铅锡合金管规格、拔制后直径、拔制工艺等参数共同制约,药芯直径越大越易被点燃。因此,点火管延期体采用单芯结构,在保证结构强度的前提下,尽量增大药芯直径。

1.3.4 药芯密度

药芯密度受装药量、装药工艺及拔制工艺等参数共同制约,药芯密度越小越易被点燃。点火管延期体药芯密度是在综合考虑药芯强度、延期体切制时两端掉药等工艺环节基础上确定的。

1.4 点传火序列

1.4.1 设计思路

钨系延期药是一种难于点燃的药剂。钨系延期药氧化剂 BaCrO_4 的熔点超过 700°C ，高熔点的氧化剂反应活性小；氧化剂 KClO_4 的分解为吸热过程，放出氧气比较困难；钨粉熔点为 3410°C ，沸点为 5927°C ，在氧气中的发火点为 7500°C 。此外，点火管延期体内的钨系延期药段别高、钨粉含量少、燃速慢，且药芯直径较小、装药密度较大，更加难于点燃。同时，微气体延期药的燃烧速率与燃烧压强密切相关，燃烧环境是否密闭对延期药的稳定燃烧影响很大。而点火管为火焰输入、火焰输出，为敞开式燃烧结构。由于钨系延期药燃烧的初始阶段为吸热过程，因此在低温环境下点火更加困难，即使被点燃，在长秒延期过程中也易出现熄火现象。为此，笔者设计了高能密封点火药-中速延期药-慢速延期药（体）的点传火序列，如图 1 所示。图 1 中，慢速延期药（体）既为铅延期体内的钨系高段延期药。

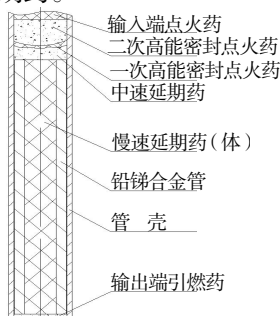


图 1 点传火序列

Fig.1 The ignition sequence

1.4.2 高能密封点火药

硼/铬酸钡延期药具有燃烧性能好、用量少、产气量少和精度高等诸多优点。通过配方设计，既可以用作秒级延期药，也可以作为毫秒级延期药，还可以用作点火药。燃速随着硼含量的增加而增加，燃烧产物也随着硼含量不同而不同。硼含量较低时，燃烧产物呈现熔滴状，产物结构较致密、硬度较高；硼含量较高时，燃烧产物呈现层状结构，产物中有较多孔隙，致密程度较差^[10]。综合分析硼/铬酸钡延期药的特性，通过配方设计和工艺设计，研制了高能密封点火药。

高能密封点火药主要成分为硼粉和铬酸钡，粘合

剂为聚乙烯醇缩丁醛溶液，由甲、乙两种组分组成。制备时先分别混制甲组分和乙组分，然后再将甲组分和乙组分按一定比例混合。高能密封点火药为灰绿相间粒状物，无肉眼可见杂质和结块，其中，甲组分为浅绿色粒状物，乙组分为灰黑色粒状物。甲组分具有较高的火焰感度和引燃能力，乙组分燃烧后能产生较多的固体产物。高能密封点火药是一种集高能点火与密封功能于一体的点火药，其特点是：（1）火焰感度高，燃烧热值高，引燃能力强；（2）燃烧时产生的固体产物多且致密、不流动，可形成较为密闭的燃烧环境，抑制泄气速度，也不会因固体产物的流动阻塞气体通道，引起气室内压强变化而影响延期时间精度。使用该点火药，有利于钨系延期药在较为密闭的环境中可靠引燃和稳定燃烧，并简化两装两压点火药结构为一装一压结构。

1.4.3 中速延期药

中速延期药是一种钨系中间段别延期药，除配比外，其余与铅延期体内的钨系高段延期药完全相同。中速延期药钨粉含量为 35%，与铅延期体内的钨系高段延期药相比，燃速较快，较易被点燃，在点传火序列中起过渡作用，传递燃烧。

1.4.4 压装药方式

为防止界面效应，保证每次压药之间的稳定燃烧，中速延期药采用松装的方式，与随后装入的一次高能密封点火药一起压入管壳，使高能密封点火药融入到中速延期药中，在中速延期药中点火。使用圆弧压药冲进行压药，以增大一次高能密封点火药与二次高能密封点火药之间的接触面积，增加传火可靠性。

2 主要性能试验

2.1 发火与延期时间

使用钨粉含量为 27% 的钨系高段延期药拔制延期体，实测延期体药芯直径约 $\Phi 3.0\text{mm}$ 、装药密度为 3.97g/cm^3 ，延期体切长根据延期药试药结果在 $27 \sim 30\text{mm}$ 之间调整，装配成点火管进行发火与延期时间测试。点火管采用某电点火头进行引燃，将电点火头

紧贴到点火管输入端药面上。进行发火试验的同时,采用光电靶进行延期时间测定,电点火头通电作为一靶启动信号,光电管采集点火管输出光源作为二靶停止信号,使用时间测量仪进行延期时间测定。表1为多项力学环境与温度环境串联试验后的测试结果。

表1 发火及延期时间试验结果

Tab.1 Test results of ignition and delay time			
试验项目	试验数量/发	测时结果/s	备注
常温发火与延期时间	30	范围 20.3 ~ 21.7	同一批钨系高段延期药
		均值 20.9	
		标准偏差 0.455	
高温发火与延期时间	30	范围 19.4 ~ 20.9	
		均值 20.2	
		标准偏差 0.469	
低温发火与延期时间	30	范围 21.0 ~ 23.0	
		均值 21.7	
		标准偏差 0.574	
常温发火与延期时间	30	范围 20.1 ~ 25.5	多批钨系高段延期药
		均值 22.8	
		标准偏差 1.176	
高温发火与延期时间	30	范围 19.7 ~ 24.5	
		均值 22.0	
		标准偏差 1.221	
低温发火与延期时间	30	范围 20.3 ~ 26.1	
		均值 22.9	
		标准偏差 1.316	

表1试验结果表明,点火管经力学、温度等环境试验后作用可靠、输出稳定,延期时间满足指标要求,各种温度环境下无瞎火、熄火现象。且同一批钨系高段延期药延期时间精度较好,高低常温温差为3.6s。

2.2 产品交付与弹丸适配性

研制过程中累计交付了70 512发点火管,交付的点火管随弹丸进行了射击安定性、跌落、燃烧效能、炸高散布、力学环境与温度环境适应性、高原适应性等试验。设计定型后已完成了32.94万发点火管的生产交付。点火管交付前均进行了质量一致性检验试验,点火管质量稳定,能够满足弹丸使用要求。

3 结论

在点火管长度尺寸受限情况下,进行了敞开式燃

烧环境下的长秒延期结构设计与试验,得到结论如下:(1)通过钨系延期药配方、延期部件结构、延期体药芯直径与密度等设计,可以实现延期体切长27~30mm、延期时间17~28s的长秒延期。(2)研制的高能密封点火药是一种集高能点火与密封功能于一体的点火药,适用于敞开式点火和延期类火工品。(3)设计的高能密封点火药-中速延期药-慢速延期药(体)的点传火序列有助于敞开式燃烧环境下单芯铅延期体中钨系高段延期药的可靠点火与稳定燃烧。

参考文献:

- [1] 王凯民,张学舜,著.火工品工程设计与试验[M].北京:国防工业出版社,2010.
- [2] 刘立军.铅丹-硅系延期药延期时间的实验研究[J].安徽化工,2018,44(4): 76-78.
- [3] 许俊峰,彭加斌,王秀芝,等.粘合剂对钨系延期药燃速的影响[J].含能材料,2007,15(2): 144-147.
- [4] 李祥友.硅系和硼系辅延期药点火能力的试验研究[J].爆破器材,2015,44(2): 44-47.
- [5] 闫飞,卢和平.点火铅柱对高段导爆管雷管秒量的影响[J].煤矿爆破,2014(1): 21-23.
- [6] 张文平.一种高精度延期件的研究[J].爆破器材,2018,47(3): 51-55.
- [7] 彭加斌,苗久厂,李哲雨,等.环境气体压力对钨系延期药铅皮延期索燃速的影响[J].火工品,2013(4): 30-33.
- [8] 袁玉红,葛瑞荣,苏红强,等.铅延期索在某型人雨弹中的应用[J].火工品,2014(6): 20-22.
- [9] 蔡瑞娇,编著.火工品设计原理[M].北京:北京理工大学出版社,1999.
- [10] 武双章,沈瑞琪,叶迎华,等.硼系延期药燃烧特性分析[J].含能材料,2008,16(5): 502-506.