

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.03.010

一种高精度延期件的研究*

张文平

湖南神斧集团向红机械化工有限责任公司(湖南岳阳,414100)

[摘要] 基于某弹对延期件的延期时间要求的精度高,设计了一种高精度延期件。通过火帽选型、延期药剂的确定,以及优化设计延期体与连接体结构,在延期体壳体输出端实体部分挖出一个圆圈,将连接体大、小两端位置颠倒,并增大小端外径至36 mm,同时增大连接体内径为18 mm,从而增大了连接体空腔容积,使连接体与延期体组合后的消爆空间增大,延期药在燃烧过程中形成的预热空腔容积增大,为延期药燃烧提供较为一致的燃烧空间,使延期药燃烧产生的压力对燃速的影响更加均匀、稳定,增加延期药剂燃烧的稳定性,达到提高延期精度的要求。试验结果表明,该设计满足高精度延期时间(6.6±0.8)s的要求,可为今后的高精度延期件的优化设计提供参考。

[关键词] 延期件;高精度;延期时间;传火序列

[分类号] TJ45+5

Research on a Delay Element with High Precision

ZHANG Wenping

Xianghong Mechanical and Chemical Industry Co., Ltd., Hu'nan Shenfu Group (Hunan Yueyang, 414100)

[ABSTRACT] A delay element with high precision was designed for a bullet to meet with its new requirement. The cap was selected and the delay composition was determined. Delay element and connecting structure were optimized. A circle was dug out at the entity parts of output delay body shell to reverse connection on both ends of the body size position. Increasing outer diameter of the small end to 36 mm and inner diameter of connection body to 18 mm increases the connector cavity volume, and thus enlarges the explosive space connecting with delayed body. Volume of preheating cavity formed in combustion process of delay composition increased providing a consistent combustion space. Thus, influence of combustion pressure on burning rate was more stable. It could meet the accuracy requirement of the delay element. Test results show that the delay time is in the range of (6.6±0.8)s. It could be used as reference for the optimization of delay element with high precision.

[KEYWORDS] delay element;high precision;delay time;fire sequence

引言

目前,国内生产的各类延期件,大多为单芯或多芯拉拨式延期铅或铅索,而国外大多采用直填直压式厚壁钢管,分次装压、定容装药、定压压药等,且设有一道定位严格的钻削药面的工序,边钻削边吸走钻下的药粉^[1](此方式国内尚未使用),但还是存在延期件延期精度不高、安全性差、耗药量大、工艺落后等缺点。

近年来,国外有在延期体前安装过渡元件,起到提供较严格一致的点火冲能和提供延期药燃烧一致

的环境等作用,但延期时间越长,延期精度越难满足要求。

某高精度延期件主要是与某厂某弹配套使用的一种延期点火作用的火工品,其战术指标要求高,延期时间长,精度要求高(±0.8 s),产品尺寸较小,同时要求为密闭结构,且要承受35 kg过载。

为了提高延期精度,满足某弹高延期精度的战术指标要求,借鉴国内外的经验,本着安全、可靠、经济、环保的设计原则^[2-5],采用组合空腔设计了一种高精度延期件,增大预热空腔容积,减少压力效应,增加延期药剂燃烧的稳定性,满足了承载大、延期精度高的战术技术要求。

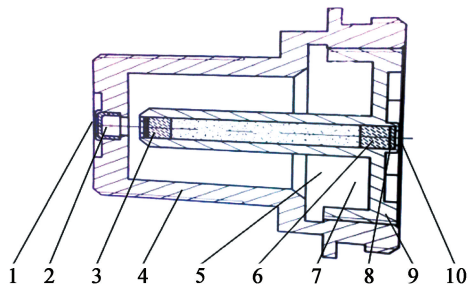
* 收稿日期:2017-10-26
作者简介:张文平(1967-),男,工程师,主要从事火工品技术与质量管理工作。E-mail:zwp671107@qq.com

1 延期件设计

1.1 整体结构设计及作用原理

延期件整体结构设计借鉴某延期件的引爆技术^[6]：主要由火帽、延期体、连接体 3 部分组成，为密闭式空腔延期结构。火帽通过环铆方式装配在连接体上，接缝处涂胶密封；延期体与连接体采用螺纹涂胶连接；延期体输出装药端加盖片收口卷边并涂胶密封。

延期件结构示意图如图 1 所示。



1 - 输入端；2 - 火帽；3 - 引燃药；4 - 连接体；
5 - 连接体空腔；6 - 延期药；7 - 延期体空腔；
8 - 点火药；9 - 延期体；10 - 输出端。

图 1 延期件结构示意图

Fig. 1 Structure of the delay element

作用原理：某弹作用时，弹内捕弹器给予延期件初始撞击能量，撞击火帽发火，火帽作用输出的火焰点燃延期体中的引燃药，引燃药点燃延期体中的延期药，延期药点燃延期体输出装药点火药，为某弹提供稳定的延期点火时间和点火能量，使某弹完成规定功能。

传火序列为：火帽→引燃药→过渡延期药→主延期药→点火药→某弹药包^[7-8]。

延期体与连接体以及延期件与某弹均采用螺纹涂胶连接，增强其耐冲击能力及密封性；延期体与连接体采用空腔组合设计，增大气室容积，减少压力效应，增加延期药燃烧的稳定性，确保延期精度。

1.2 火帽设计

火帽作为延期件传爆序列的第一个火工品，是由火帽壳、火台和击发药构成的点火元件，属于成熟的制式产品，它是由发火机构撞击作用而输出火焰，形成热冲量点燃延期元件内的点火药。目前，在同类产品中使用较为广泛。借鉴成熟的类似产品的设计、装配技术，利用现有可匹配的某火帽，发火可靠，其输出能量完全能满足初始点火能量。故借用已定

型的某火帽作为发火部件。

1.3 延期药设计

延期药剂是延期产品的核心部分，延期精度要求在 $\pm 12.1\%$ 范围内，考虑到作用可靠、生产安全、性能稳定及国内钨系延期药的应用现状^[9-11]，延期药剂选用钨系延期药。

目前，工厂生产的钨系延期药 W-1、W-2、W-3，其燃速由快到慢，延期精度由高到低。如果装 W-2、W-3，有利于提高延期精度，但受延期体长度要求限制，延期时间达不到要求，不适宜使用；W-3 延期药燃速慢，但延期精度不理想。

因此，设计利用粒度为 $4.8 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 的钨粉，调整还原剂与氧化剂比例，试制燃速介于 W-2 与 W-3 之间、精度优的药剂，试装药 450 mg，常温发火测时 20 个，延期精度 $\pm 12.4\%$ ，出现 1 个瞎火。

在此基础上，根据粒度适中且分布越均匀、延期药剂精度越高的原理^[12-13]，利用常规粒度 $2.8 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 的钨粉，在 W-2 药剂燃速基础上，降低钨粉含量，增加阻燃剂含量，试制燃速适宜的药剂，试装药 800 mg，常温发火测时 20 个，延期精度 $\pm 8.0\%$ ，燃速适宜，精度较好。故此，设计中降低还原剂钨粉含量，提高阻燃剂含量，得到燃速匹配、精度好的钨系延期药。

1.4 延期体设计

常见的延期体主要有单管式延期体、三管式延期体和套管式延期体。

单管式延期体：直填式装配，操作简单，成本低，易于控制。但其燃烧气室少，药剂燃烧速度快，作用时间短，延期精度达不到要求。

三管式延期体：三根延期体串联组成一个延期体，可延长延期体，增长延期时间，也可装压快速延期药。但壳体多、装药过多，三管间要过渡点火，延期精度误差增大，有串火短秒现象，同时三管结构复杂，零件加工和装配过程难以控制，质量超过技术要求，成本较高。

套管式延期体：延期体外围装套管，高低温延期时间极差小，延期精度较好。但其装药难以固紧，经 23 齿锤击后洒药，不可靠、不安全，同时装配过程复杂，成本较高。

按上述 3 种结构装配成发火件，连接体为小尺寸，延期体装药量及其他条件均相同。取 45 个发火件进行常温、高温、低温试验，经 23 齿锤击后再进行延期时间试验，结果见表 1。表 1 中， \bar{x} 为延期时间的平均值； R 为时间极差； S 为时间的标准差。

根据试验结果，权衡 3 种延期体结构，选用单管

表 1 不同温度下延期时间试验结果
Tab. 1 Delay time at different temperatures

参 数	常温			高温			低温		
	单管	三管	套管	单管	三管	套管	单管	三管	套管
\bar{X}	6.45	6.41	6.63	6.40	6.37	6.56	7.15	7.13	7.32
R	1.00	0.97	1.10	0.93	1.05	1.05	1.13	1.24	1.25
S	0.175	0.195	0.254	0.197	0.310	0.263	0.310	0.369	0.305

式延期体。

套管式延期体对药剂预热,有利于缩小高低温秒量漂移。所以,为确保延期精度,设计延期体壳体输出端实体部分挖出一个圆圈,增大消爆空间,使延期药在燃烧过程中形成的预热空腔容积增大,衰减冲击波,增加热气体与延期药表面的接触时间,增大点火面积,为延期药燃烧时的燃烧气体产物提供较为一致的燃烧和释放空间^[14],使延期药燃烧产生的压力对燃速的影响更加均匀、稳定,有利于延期药剂在密闭空间稳定燃烧和可靠点火,达到提高延期精度的要求。

按照上述设想,在延期体装药量及其他条件均相同的情况下,对结构优化设计后的延期体壳体输出端实体部分挖出一个圆圈(装配条件 1[#])和普通管壳输出端为实体结构(装配条件 2[#])进行对比研究。试装延期件各 60 个,分别进行常温、高温、低温试验(每个试验里每种装配条件取延期体 20 个),并经 23 齿锤击后再进行延期时间试验。对比试验结果见表 2。

表 2 延期体结构优化对比试验结果

Tab. 2 Comparison of delay element structures

装配条件	延期时间/s	延期精度/%
1 [#]	6.2~7.3	±8.2
2 [#]	5.6~7.2	±12.5

根据对比试验,采用延期体壳体输出端实体部分挖出一个圆圈,增大空腔容积 14 mL,药剂燃烧稳定,精度较好;而采用普通管壳输出端实体结构,延期精度不理想,达不到技术指标要求。

根据以上试验和分析,延期体结构采用单管式延期体,延期体壳体输出端实体部分挖出一个圆圈的设计。

1.5 连接体设计

延期件要求自密封,因其作用时,其中的延期药燃烧过程中会产生少量高温、高压气体。在密闭结构中,根据压力效应,产生气体越多,压力越大,药剂

燃烧速度越快,延期时间越短。为减少压力效应的影响,将连接体也设计成密闭式空腔组合延期结构,使空腔容积增大,为延期药燃烧时提供较为一致的燃烧环境,使得延期药燃烧产生的压力对燃速的影响更加均匀、稳定,增加药剂燃烧的稳定性的目的。输入端装配某火帽,延期体与连接体螺纹连接并涂胶,增强耐冲击能力和密封性,输出装药加盖片收口卷边并涂胶密封。

密闭燃烧的产品,延期精度受气室影响较大。对于微气体延期药而言,密闭燃烧室压力越大,延期药燃烧稳定性就越差,延期精度也越差。

为了保证燃烧稳定性,提高延期精度,对气室(即空腔)的容积进行对比试验。在延期体装药量及其他条件均相同的情况下,取连接体内径 10 mm、小端(与延期件连接处)外径 14 mm、大端(与弹连接端)外径 24 mm(装配条件 3[#])和连接体内径 18 mm、大端(与弹连接端)外径 24 mm、小端(与延期件连接处)外径增大为 36 mm(装配条件 4[#])的试装延期件各 60 个,分别进行常温、高温、低温试验(每个试验里每种装配条件取延期体 20 个),并经 23 齿锤击后再进行延期时间试验。试验结果见表 3。

表 3 连接体空腔容积对比试验结果

Tab. 3 Comparison of cavity volume of the connector

装配条件	延期时间/s	延期精度/%
3 [#]	5.6~7.5	±12.9
4 [#]	6.0~7.2	±9.4

从表 3 试验结果可知:将连接体小端外径增大至 36 mm,同时增大连接体内径为 18 mm,也就增大了空腔容积,更有利于延期药剂在密闭空间稳定燃烧和可靠点火,达到控制延期精度的要求。

2 验证试验

按照以上设计,试装配延期件 96 个,连接体为小尺寸,延期体装药量及其他条件均相同,进行常

温、高温、低温试验,经 23 齿锤击后再进行延期时间试验,考核其是否能满足某弹战术指标的要求。试验结果见表 4。表 4 中,各参数意义同表 1。

表 4 常温、高温、低温延期时间试验结果
Tab.4 Delay time at normal temperature,
high temperature, or low temperature test

试验	\bar{X}	R	S
常温	6.45	0.63	0.170
高温	6.20	0.94	0.242
低温	6.60	1.02	0.232

从表 4 可知:经优化设计的延期件发火可靠,延期精度完全满足某弹战术指标的要求。

根据以上试验结果确认的优化设计状态,再装配试生产 112 个,根据 GJB5309 火工品试验方法^[15-19]、GJB3653 火工品检验验收规则^[20]进行了试验,试验结果见表 5。表 5 中,各参数意义同表 1。

表 5 延期件测时试验结果
Tab.5 Test results of delay time

试验项目	发数	\bar{X}	R	S
震动后 2 m 跌落	12	6.48	0.67	0.172
震动后锤击	20	6.40	0.74	0.195
震动后湿热	20	6.37	0.66	0.178
震动后温度冲击	20	6.79	1.20	0.197
震动后高温	20	6.46	0.66	0.241
震动后低温	20	6.48	0.74	0.250

112 个产品经震动、锤击、湿热、温度冲击、高温、低温试验后,结构均完好无损,测时 100% 可靠发火,延期精度 $\pm 10.5\%$ 。通过以上试验结果可以看出:优化设计的延期件作用可靠,延期精度达到某弹战术指标的要求。

3 结论

- 1)延期体与连接体采用空腔组合设计,增大气室容积,减少压力效应,增加延期药燃烧的稳定性,确保延期精度。
- 2)延期体壳体输出端实体部分挖出一个圆圈,增大消爆空间,使延期药在燃烧过程中形成的预热空腔容积增大,衰减冲击波,增加热气体与延期药表面的接触时间,增加点火面积,为延期药燃烧时的燃烧气体产物提供较为一致的燃烧和释放空间,使延

期药燃烧产生的压力对燃速的影响更加均匀、稳定,有利于延期药剂在密闭空间稳定燃烧,达到提高延期精度的要求。

- 3)将连接体小端外径增大至 36 mm,同时增大连接体内径为 18 mm,也就增大了空腔容积,更有利于延期药剂在密闭空间稳定燃烧,可以有效控制延期精度。
- 4)借鉴某延期件的引爆技术,火帽选用制式产品;通过降低还原剂钨粉含量,提高阻燃剂含量,得到燃速匹配、精度好的钨系延期药。原料来源广泛,价格低廉,既降低了生产成本,又安全环保,也满足了配套战术指标要求。

参 考 文 献

[1] 陈红俊. 钝感型瞬时延期两用电点火具设计[D]. 南京:南京理工大学,2008.

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

[3] 王凯民,温玉全. 军用火工品设计技术[M]. 北京:国防工业出版社,2006.

WANG K M, WEN Y Q. Design of initiators and pyrotechnics for weapon system[M]. Beijing: National Defence Industry Press,2006.

[4] 王凯民,张学舜. 火工品工程设计与试验[M]. 北京:国防工业出版社,2010.

WANG K M, ZHANG X S. Engineering design and test technology of initiators & pyrotechnics[M]. Beijing: National Defence Industry Press,2010.

[5] 周长省,鞠玉涛,朱福亚,等. 火箭弹设计理论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.

[6] 冯国田,刘伟钦. 火工品综合技术手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,2004.

[7] 郝建斌. 燃烧与爆炸学[M]. 北京:中国石化出版社,2012.

[8] 恽寿榕,赵衡阳. 爆炸力学[M]. 北京:国防工业出版社,2005.

YUN S R, ZHAO H Y. Explosion mechanics[M]. Beijing: National Defence Industry Press,2005.

[9] 成一,王卫国,李慧琴. 火工药剂学[M]. 南京:南京理工大学,2003.

[10] 蒋荣光,刘自镭. 起爆药[M]. 北京:兵器工业出版社,2001.

[11] 万小伟. 延期药综述[J]. 生物技术世界,2014(1): 181.

[12] 张涵,颜事龙,吴红波. 硅系延期药储存后延期精度的影响因素[J]. 火工品,2014(2):37-40.

学技术,1997,25(5):52-53.

[2] 徐颖,程玉生. 高压气体爆破破煤机理模型试验研究[J]. 煤矿爆破,1996(3):1-4,15.

[3] 徐颖. 高压气体爆破破煤模型试验研究[J]. 西安矿业学院学报,1997,17(4):322-325.

XU Y. Model test on coal breakage by high pressure air-shooting[J]. Journal of Xi'an Mining Institute, 1997, 17(4): 322-325.

[4] 徐颖. 高压气体爆破采煤技术的发展及其在我国的应用[J]. 爆破,1998,15(1):67-69,82.

[5] LONG D Q, YE F Y, ZHAO G H. Optimization and characterization of wheat bran modified by in situ enhanced CO₂ blasting extrusion[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014,59(2):605-611.

[6] SPUR G, UHLMANN E, ELBING F. Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application [J]. Wear, 1999,233/234/235:402-411.

[7] MÁŠA V, KUBA P. Efficient use of compressed air for dry ice blasting [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,111(Part A):76-84.

[8] DONG S J, ZENG J Y, LI L F, et al. Significance of in-situ dry-ice blasting on the microstructure, crystallinity and bonding strength of plasma-sprayed hydroxyapatite coatings[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Bio-medical Materials, 2017,71:136-147.

[9] 郭志兴. 液态二氧化碳爆破筒及现场试爆[J]. 爆破,1994(3):72-74.

[10] 邵鹏,徐颖,程玉生. 高压气体爆破实验系统的研究[J]. 爆破器材,1997,26(5):6-8.

SHAO P, XU Y, CHENG Y S. Research on the test system of airshooting[J]. Explosive Materials, 1997,26(5):6-8.

[11] 杜玉昆. 超临界二氧化碳射流破岩机理研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2012.

DU Y K. Study on the rock-breaking mechanism of supercritical carbon dioxide jet[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2012.

(上接第 54 页)

ZHANG H, YAN S L, WU H B. Factors influencing on delay accuracy of stored silicon type delay composition [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2014(2):37-40.

[13] 张建富,胡延臣. 延期药粒度级配对延期精度的影响[J]. 含能材料,2014,22(4):84-88.

ZHANG J F, HU Y C. Effect of particle gradation of delay composition on delay precision[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2014,22(4):84-88.

[14] 凌爱江. 导爆管雷管质量控制与改进[J]. 煤矿爆破,2006(1):20-21.

LING A J. Quality control and improvement of nonel detonator[J]. Coal Mine Blasting, 2006(1):20-21.

[15] 中国兵器工业集团公司. 火工品试验方法:第 27 部分 温度冲击试验;GJB5309. 27—2004[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[16] 中国兵器工业集团公司. 火工品试验方法:第 30 部分 湿热试验;GJB5309. 30—2004[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[17] 中国兵器工业集团公司. 火工品试验方法:第 33 部分 震动试验;GJB5309. 33—2004[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[18] 中国兵器工业集团公司. 火工品试验方法:第 36 部分 2 m 跌落试验;GJB5309. 36—2004[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[19] 中国兵器工业集团公司. 火工品试验方法:第 37 部分 锤击试验;GJB5309. 37—2004[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[20] 中国人民解放军总参谋部兵种部. 火工品检验验收规则 总则;GJB3653. 1—99[S].