

文章编号: 1006-9941(2006)04-0310-05

分离热流对自毁装置安全性的影响

殷雅侠¹, 李健¹, 武双章²

(1. 中国航天科技集团公司第四研究院, 陕西 西安 710025; 2. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 对自毁装置火工品在级间热分离过程中的安全性进行了研究。结果表明, 热流对装有起爆药的电起爆器和装有猛炸药的柱形爆炸器和线形爆炸器会产生不同的影响, 电起爆器在级间分离过程中有发生爆炸的可能, 而装有猛炸药的柱形爆炸器和线形爆炸器不会发生爆炸。

关键词: 应用化学; 分离热流; 火工品; 安全性

中图分类号: V435; TJ55

文献标识码: A

1 引言

自毁装置是用来炸毁飞行中的故障导弹, 以避免故障导弹失控或坠地爆炸对发射阵地和航区造成重大损失, 或者飞出国外引起严重的政治和外交后果。自毁装置是导弹安全系统的重要部分, 包括爆炸装置和引爆装置; 其中爆炸装置是利用炸药爆炸的能量将工作或非工作发动机炸毁, 包括线形爆炸器和柱形爆炸器; 引爆装置是用来引爆爆炸装置的, 包括电起爆器和导爆索组件等传爆装置。导弹在级间热分离过程中, 上一级高温燃气喷射到下一级自毁装置的火工品上, 有可能发生爆炸, 如果发生爆炸, 碎片可能损伤甚至毁坏上一级部件, 因而研究自毁装置火工品在级间热分离过程中的安全性具有非常重要的实际意义。美国在进行三叉戟 I (C4) 导弹第二次和第四次飞行试验时, 二级火焰喷射到一级自毁装置上, 引起意外爆炸, 击中二级发动机壳体^[1]。美国曾经用侦察兵自毁线形爆炸器进行分离热流影响试验, 结果表明: 在小热流作用下, 线形爆炸器发生燃烧; 在大热流作用下, 线形爆炸器曾经发生过爆炸^[2]。这表明热流对自毁装置火工品安全性有影响。目前国内主要集中进行各种炸药热安全性的研究, 但对于导弹在级间热分离中火工品的热安全性却鲜有报导。为了确保在级间分离过程中自毁装置不发生爆炸, 自毁装置火工品应采取一定防热措施以确保级间热分离过程中不会发生爆炸, 针对这一问题, 本文研究了分离热流对自毁装置安全性的影响, 即就分离热流对自毁装置中电起爆器、柱

形爆炸器和线形爆炸器安全性的影响分别进行了研究, 结果发现分离热流对装有起爆药的电起爆器及装有猛炸药的线形爆炸器和柱形爆炸器产生不同的效果, 试验结果可以为航天火工品的热防护提供参考。

2 自毁装置所用炸药及性能

自毁装置电起爆器、柱形爆炸器和线形爆炸器中用的炸药有起爆药斯蒂芬酸铅 (LTNR)、叠氮化铅 ($\text{Pb}(\text{N}_3)_2$) 和猛炸药泰安 (PETN)、塑-4 (C-4) 和梯恩梯/黑索今 (TNT/RDX) 浇注炸药。各种炸药的主要性能参数见表 1^[3,4]。

对比自毁装置所用炸药的性能, 从表 1 的数据可以看出: 起爆药与猛炸药相比, 临界起爆能、临界起爆压强、静电火花感度都很小, 摩擦感度和撞击感度也很高, 说明起爆药可以用较小的起始冲能引爆。

3 试验部分

3.1 电起爆器的分离热流安全性试验

3.1.1 低速热流安全性试验

电起爆器内装有 LTNR、 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ 和 PETN, 装药的管壳为铝, 管壳外为不锈钢材料。电起爆器距离丁羟推进剂一定高度, 安装在固定支架上, 丁羟推进剂方坯远距离点火, 推进剂方坯燃烧 15 s, 用热电偶测量电起爆器表面的温度, 用靶线测量电起爆器爆炸的时间。

3.1.2 $\phi 127$ 发动机模拟分离热流试验

根据低速热流安全性试验的结果, 对电起爆器采取了一定的防热措施。按照弹上的实际安装位置 (A 位置)、热流理论计算的位置 (B 位置) 和恶化实际安装的位置 (C 位置), 如图 1 所示。在 $\phi 127$ 发动机喷管外安装电起爆器, 小发动机采用远距离点火, 发动机

收稿日期: 2006-01-10; 修回日期: 2006-04-15

作者简介: 殷雅侠 (1975 -), 女, 硕士, 工程师, 从事自毁装置的设计工作。e-mail: yaxia_yin@yahoo.com

工作时间为 2.68 s,用热电偶测量电起爆器爆炸时的温度,用靶线测量电起爆器爆炸的时间。

表 1 炸药的主要性能参数

Table 1 Main performance parameters for explosives

explosives	5 seconds deflagration point/°C	electrostatic	impact	friction sensitivity /%	shock sensitivity /%	critical detonation		critical detonation		heat stability
		sensitivity	sensitivity			energy		pressure		
		(0.5 mm gap) /mJ	(2 kg height) /cm			ρ /g·cm ⁻³	E_c /J·cm ⁻²	ρ g·cm ⁻³	p /GPa	
LTNR	287	0.9	11.5	70	100	2.5	0.1	2.57	0.32	100 °C 48 h 失重 0.38%
Pb(N ₃) ₂	328	0.9	10	100	100	4.9	0.13	3.60	0.62	100 °C 8 h 失重 0.11%
PETN	205	156	17	92	66	1.6	12.6	1.60	4.37	150 °C 半分 解期 157 min
RDX	230	81	18	76	80	1.4	19	1.60	6.96	190 °C 半分 解期 270 min
C-4	290	-	46	40	40	1.55	170	1.60	9.49	100 °C 48 h 失重 0.13%
TNT/RDX	220	-	-	36	50	-	-	-	-	150 °C 5 h 失重 0.33%

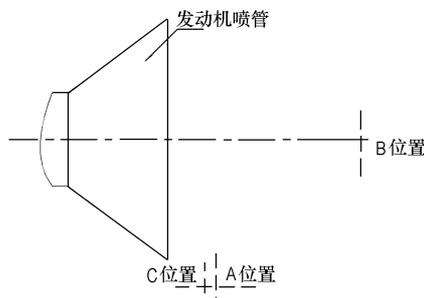


图 1 电起爆器安装位置示意图

Fig. 1 Sketch of detonator positions

3.1.3 分离热流模拟试验

电起爆器采用四层高温绝热布包裹,按照弹上的安装形式固定,上一级的发动机点火后喷出的高温高压燃气将下一级的发动机吹走,观察电起爆器受到上一级发动机高温燃气作用后的结果。

3.2 柱形爆炸器分离热流安全性试验

3.2.1 防热涂层试验

柱形爆炸器的外壳材料为 20[#] 钢,主装药为 TNT/RDX 浇注装药,另外还有 C-4 和 RDX 类的传爆药。在厚度为 2 mm 的 20[#] 钢试件上分别涂上代号为 TR-28 和 TL-13 的防热涂层,用石英灯在涂有涂层的一面进行加热,同时测量试件两面的温度,直到涂有涂

层一侧的温度达到 1500 K 以上。

3.2.2 $\phi 120$ 发动机模拟分离热流试验

根据柱形爆炸器在弹上的实际安装位置,结合 FLUENT 软件和热流理论计算的结果,确定了柱形爆炸器在小发动机模拟分离热流试验的相对位置。涂有 TR-28 和 TL-13 两种涂层的柱形爆炸器分别参加了试验,发动机工作时间为 700 ms,加上拖尾有 1000 ms。接通点火电源,发动机工作,测量柱形爆炸器附近的温度,并观察试验现象。

3.2.3 参加飞行试验

为了确保飞行过程中柱形爆炸器的热安全性,用高温绝热布将涂有防热涂层的柱形爆炸器包裹两层,进行了 3 发飞行试验。

3.3 线形爆炸器分离热流安全性试验

线形爆炸器内装 C-4 炸药,装药用铜皮包裹,外层用丁腈橡胶保护。进行 8 发飞行试验,观测和分析飞行结果的残骸。

4 试验结果与讨论

4.1 电起爆器的分离热流安全性

根据低速热流安全性试验结果可以确定电起爆器的具体防热措施(如增加防热布等),试验结果见表 2。

表2 低速热流安全性试验

Table 2 Safety test of heat fluxes at a low velocity

No.	distance between detonator and propellant /mm	heat proof of detonator	results	explosive time ¹⁾ /s	explosivetemperature ²⁾ /°C	phenomena
1	133	无防热布	爆炸	10.8	没有记录到	电起爆器外表面被烧黑
	100	无防热布	爆炸	13.6	没有记录到	
2	133	三层防热布	爆炸	没有记录到	没有记录到	
	100	三层防热布	爆炸	没有记录到	没有记录到	
3	133	三层防热布	爆炸	79(实测)	200	电起爆器外形完整,绝热布被烧黑
	100	三层防热布	爆炸	120.6	没有记录到	
4	133	三层防热布	爆炸	47(实测)	174	
	100	三层防热布	爆炸	80.6(实测)	200	

注: 1) 爆炸时间指从点火信号发出到电起爆器发生爆炸的时间,除实测数据外,其余均从录像资料估计;

2) 爆炸温度指发生爆炸时到达电起爆器装药管壳的温度。

结果表明,不使用防热布,电起爆器外表面被烧黑;而防热布的使用能够延缓电起爆器的爆炸时间,对于级间分离的短暂过程(小于0.5 s),用防热布包

裹能够起到一定的防热作用。

采用防热布包裹电起爆器后进行的 $\phi 127$ 发动机模拟分离热流试验结果见表3。

表3 $\phi 127$ 发动机模拟分离热流试验Table 3 Hot-splitting simulation test of SRM with $\phi 127$ mm engine

No.	simulating position	heat-proof clothes	results	explosive time/s	explosive temperature/°C	phenomena
1	A	三层	爆炸	3.844(实测)	181	除B位置外,绝热布被高速燃气吹走,并且有部分金属(电起爆器和支架)熔化。
	B	三层	否	-	-	
2	A	六层	爆炸	4.155(实测)	200	
	C	六层	爆炸	3.625(实测)	130	

从表3中的试验结果可以看出,部分金属熔化,说明电起爆器附近的温度达到1000 °C以上,而实测的电起爆器表面的温度为200 °C左右,进一步说明采用防热布包裹能够起到防热作用。并且在不同的模拟位置热流的作用大小不同,在位置B处的热流相对小一些,电起爆器没有发生爆炸,C位置比A位置处的热流大,爆炸时间也短。此外,采用的绝热布层数越多,则爆炸延迟的时间越长。

随后的分离热流模拟试验结果发现,固定电起爆器的铁丝被高温燃气熔化,电起爆器被吹落在离上一级发动机喷管出口距离约1.5 m的位置,没有发生爆炸。这说明采用防热布包裹的方式能够解决电起爆器在级间热分离这个短暂过程的热防护问题。

从低速热流试验到 $\phi 127$ 发动机模拟分离热流试验,再到分离热流模拟试验,电起爆器受到的热流强度依次增大,在分离热流模拟试验中固定电起爆器的铁丝熔化,说明电起爆器附近的燃气温度达到1100 °C以

上,试验结果说明采用防热布包裹能够解决在级间热分离短时间内电起爆器的安全性问题。但实际上仍存在电起爆器受热爆炸引起下级的自毁火工装置爆炸,导致导弹灾难性事故发生的可能,若要事故发生的可能性降至最小,必须考虑在自毁方案上采取安全措施,增加安全保险机构。在导弹正常飞行时,安全保险机构处于保险状态,即使电起爆器在级间热分离过程中发生爆炸,也不会引起下级的自毁装置爆炸,不会发生灾难性事故。

综合以上的分析可以知道:在级间热分离的短暂过程中,用防热布包裹能够延缓电起爆器的爆炸时间;在自毁方案中增加安全保险机构,可将级间热分离过程中电起爆器误爆产生的灾难性事故的可能性降至最低,自毁装置的安全可靠性大大提高。

4.2 柱形爆炸器分离热流安全性

在首先进行的防热涂层试验中,使用了两种不同的涂层进行对比。试验结果见表4。

表4 试件的温度值

Table 4 Temperature results of specimens

samples	outer temperature/°C	inter temperature/°C
TR-28	1367	540
TL-13	1367	233

这两种涂层很大程度上都降低了内壁温度,具有较好的隔热效果,可以作为柱形爆炸器表面的隔热材料。TL-13能更有效地降低内壁温度,比TR-28具有更好的隔热效果。

φ120发动机模拟分离热流试验的结果发现,涂有这两种涂层的柱形爆炸器均没有发生爆炸,只有保护帽(材料为铝,没有涂隔热涂层)被烧掉,传爆药C-4部分被烧化;试验采用量程为2000℃的热电偶测量柱形爆炸器附近的温度,结果到达柱形爆炸器的温度超出了热电偶的量程。试验结果说明装有猛炸药的柱形爆炸器具有较高的热安定性,在热分离过程中不会发生爆炸。

此外,飞行试验结果发现级间热分离过程中柱形爆炸器没有发生爆炸。这说明采用高温绝热布和隔热

涂层防护的柱形爆炸器能够承受级间热分离的强大热流不发生爆炸。

综合以上分析可以看出:在柱形爆炸器表面增加隔热涂层能够有效隔热;在级间热分离过程中,装有猛炸药的柱形爆炸器不会发生爆炸。

4.3 线形爆炸器分离热流安全性

从参加飞行试验的残骸可以看到:线形爆炸器在级间热分离过程中没有发生爆炸,外层的丁腈橡胶被强大的热流吹走或吹化,装药有部分被吹走,部分仍在铜皮内,颜色无明显变化。丁腈橡胶能够承受200℃高温5min,对线形爆炸器内的装药起到保护作用,试验结果说明装有C-4炸药的线形爆炸器在级间分离热流条件下不会发生爆炸。

4.4 电起爆器和柱形爆炸器小发动机模拟分离热流试验的对比分析

现对电起爆器的φ127发动机模拟分离热流试验(A位置)和柱形爆炸器的φ120发动机模拟分离热流试验情况进行对比,试验的具体情况见表5。

表5 电起爆器和柱形爆炸器发动机模拟分离热流试验情况对比

Table 5 Comparison of hot-splitting simulation test of detonator with the test of circle-shaped destructor charges

products	charge	shell material	heat proof	outer temperature	results
电起爆器	LTNR、Pb(N ₃) ₂ 、PETN	装药管壳为铝,最外层为不锈钢	隔热布	1100℃以上	发动机点火3~4s后爆炸
柱形爆炸器	TNT/RDX 浇注炸药、C-4	20#钢	隔热涂层	2000℃以上	没有发生爆炸

从表5中可以看出:两种产品的试验条件相当,相对来说柱形爆炸器的热环境条件更恶劣一些,外部温度达到2000℃以上,但仍没有发生爆炸,而电起爆器则发生了爆炸,说明装有猛炸药的柱形爆炸器具有较好的耐高温能力。起爆药和猛炸药的性质决定了热流对二者的影响不同,起爆药和猛炸药相比,临界起爆能相差上百倍,临界起爆压强也相差十倍以上,起爆药最主要的特征是对外界作用比较敏感,可以用较小的、简单的初始冲能,如火焰、撞击、针刺、摩擦、电能、热能和光能等能引起爆轰;爆炸变化具有较快的加速度;具有较高的起爆力,当它被引爆以后,能够输出足够的能量以引爆猛炸药,使猛炸药迅速转为稳定的爆轰实现爆炸过程。尽管从爆点分析起爆药和猛炸药没有多大区别,但起爆药在较低温度下会直接引起爆炸,而猛炸药在常压下一般只是燃烧,不会发生爆炸,当尺寸较大时长时间燃烧才有可能转为爆轰。

5 结论

(1) 在级间热分离的环境条件下,自毁装置火工品应采取隔热措施确保其安全性。

(2) 电起爆器内装有起爆药,受分离热流影响容易发生爆炸,除采取一定的隔热措施来延缓其爆炸外,还应在装置中考虑增加安全保险机构,以将电起爆器受热爆炸造成的危害降至最低。

(3) 柱形爆炸器采用隔热涂层后,在级间热分离过程中不会发生爆炸;线形爆炸器采用丁腈橡胶进行隔热,在级间热分离过程中不会发生爆炸。

(4) 级间分离热流对装有起爆药的电起爆器和装有猛炸药的柱形爆炸器和线形爆炸器的影响不同,电起爆器会发生爆炸,而柱形爆炸器和线形爆炸器一般不会发生爆炸。

参考文献:

- [1] 三叉戟 I (C4) 导弹和三叉戟潜艇的进展情况[J]. 导弹与宇航, 1979.
- [2] Response of Scout destruct charges to high heat fluxes. AD720455, 1969.
- [3] 李福平, 刘忠良, 胡国丰, 等. 火炸药手册(增订本)[M]. 五机部二〇四研究所, 1981.
- [4] 艾鲁群. 国外火工品手册[M]. 国家机械工业委员会兵器标准化研究所出版, 1988.

Influence of High Heat Fluxes on the Safety of Self-destruction System

YIN Ya-xia¹, LI Jian¹, WU Shuang-zhang²

(1. The Fourth Academy of CASC, Xi'an 710025, China;

2. School of Chemical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The safety of pyrotechnics of self-destruction system in hot-splitting process was studied. The results show that heat fluxes can affect the detonator with initiators and the circle-shaped destructor and the line-shaped destructor with explosives in different ways, the detonator with initiators can explode, but circle-shaped and line-shaped destructors with explosives can not explode in hot-splitting process.

Key words: applied chemistry; heat fluxes; pyrotechnics; safety

(上接 305 页)

- [7] YAN Shi-long, WANG Yin-jun, LIU Yi. Research on the relationship between water-based explosive desensitization and delay time under dynamic[A]. The Seventh International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting[C], 2002. 88 - 92.
- [8] 北京工业学院八系. 爆炸及其作用编写组. 爆炸及其作用(下册)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.

Relationship Between Structure Changes and Desensitization of Emulsion Explosives Under Dynamic Pressure

CHEN Dong-liang¹, SUN Jin-hua¹, YAN Shi-long², LIU Yi¹, CHEN Jing³

(1. State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

3. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The emulsion base pressed by dynamic pressure was studied, and the micro-photography was used to explore the microstructure changes of emulsion base. The results show that the destruction of the sensitizing carriers and the microstructure changes of the emulsion explosives are the reasons of the desensitization, and the destruction of the sensitizing carriers is the main reason. The explosion behaviors of three kinds of emulsion explosives pressed by dynamic pressure were studied. The results show that the anti-pressing property of emulsion explosive sensitized by glass micro-balloon is the best, sensitized by chemical bubbles is the better and sensitized by expanded perlite is the worst. The critical desensitization pressures of the three kinds of emulsion explosives are 134.66 MPa, 99.83 MPa and 27.13 MPa, respectively.

Key words: applied chemistry; emulsion explosive; emulsion base; desensitization; dynamic pressure