

文章编号: 1006-9941(2007)01-0083-04

短通道二级传爆序列导爆索组件输入端的设计及性能研究

殷雅侠, 余贞勇

(中国航天科技集团公司第四研究院, 陕西 西安 710025)

摘要:以长通道三级传爆序列导爆索组件输入端的结构为基础,综合考虑了影响传爆可靠性的因素,设计了短通道二级传爆序列导爆索组件输入端。经过筛选试验,输入端装药选为 PETN,药量为 100 mg,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,电起爆器与输入端间隙为 1.7 mm,输入端与限制性导爆索直接接触(无隔层),传爆裕度试验结果表明,输入端结构设计合理,满足可靠传爆的要求。

关键词:应用化学;传爆序列;输入端;传爆裕度

中图分类号: V435; TJ55

文献标识码: A

1 引言

长通道三级传爆序列(即电起爆器—火焰雷管—导爆索组件—爆炸装置)在航天火工装置中已成功得到应用。根据需要,本实验对原三级传爆序列结构进行了简化,将其改为短通道二级传爆序列(即电起爆器—导爆索组件—爆炸装置)。三级传爆序列用 380 mg 装药量的火焰雷管引爆导爆索组件输入端(以下简称输入端),而在短通道二级传爆序列用 136 mg 装药量的电起爆器引爆输入端。由于施主端的装药量降低,相应地输出能量也降低,因此受主端(输入端)的结构需要重新设计才能保证可靠传爆。

在火工品传爆序列可靠性设计中,通常采用比使用条件更恶劣的试验条件进行试验,然后对试验结果进行分析、计算,即恶化法^[1]。恶化法分为变组分法和变激励法两种。恶化法作为火工品传爆序列界面引传爆可靠性设计的一种方法,具有其突出的优点,在研制初期,可以减少可靠性试验的数量,节省大量的人力、物力和财力。在后续研制过程中,随着试验数据的积累,可以再采用计数的方法对其可靠性进行分析和评估,这样不会因研制初期的纰漏而造成重大的经济损失,而且缩短了产品研制周期。

本研究以长通道三级传爆序列输入端结构为基础,综合考虑了影响传爆可靠性的各种因素,对输入端的结构进行了重新设计。由于在设计的传爆序列中,主发装药结构已经确定(即电起爆器已经确定),因此

本文仅需对被发装药的传爆性能进行研究,采用变组分法,通过试验选择了被发装药的装药类型及装药密度,对其传爆裕度进行了分析;通过试验得到最大传爆间隙。研制的短通道二级传爆序列试验结果表明,输入端结构设计合理,满足可靠传爆的要求。

2 导爆索组件输入端的结构设计

2.1 长通道三级传爆序列导爆索组件输入端的结构

长通道三级传爆序列的结构如图 1 所示。

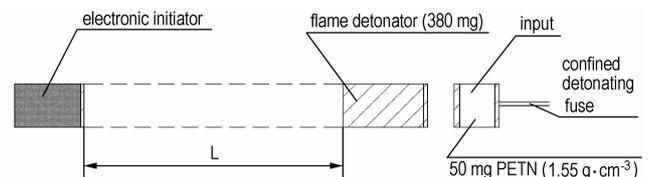


图 1 长通道三级传爆序列结构示意图

Fig. 1 Structural sketch of long channel three-channel explosive train

其中 L 在 50 ~ 100 mm 范围内,输入端装有 50 mg PETN,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,输入端与限制性导爆索之间有一定厚度的铝箔。输入端的这种结构通过大量的单项试验、地面试验和系统试验证明能够满足可靠传爆的要求。该传爆序列中导爆索组件输入端的施主能量(380 mg)较大,而二级传爆序列中导爆索组件输入端的施主能量为(136 mg),为了满足可靠传爆的要求,必须对影响输入端传爆可靠性的因素进行逐一分析,确定输入端的结构形式。

2.2 输入端传爆可靠性的设计

电起爆器的能量以三种形式输出:冲击波、热爆炸气体和管壳破片。电起爆器较远距离的起爆主要是破

收稿日期: 2006-02-27; 修回日期: 2006-06-01

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

片的作用,空气冲击波和爆炸气体在离爆炸中心较近距离内是联合作用的,且空气冲击波和爆炸气体压力都随距离衰减很快,短通道传爆序列中电起爆器与输入端的传爆距离较小,以空气冲击波和爆炸气体的作用为主。

输入端结构必须满足的要求有:适当的感度,能够被电起爆器可靠引爆;具有足够的爆轰输出能量,能够可靠引爆限制性导爆索;具有良好的安全性。影响输入端可靠传爆的主要因素有:装药类型、装药量、装药密度、装药直径、隔层、管壳材质、管壳厚度和传爆间隙。因受电起爆器外形尺寸,特别是口螺的限制,本研究拟不改变原装药直径、管壳材料及厚度,仅对其它几个因素进行分析和试验,在长通道三级传爆序列导爆索组件输入端结构的基础上确定短通道二级传爆序列中输入端的结构形式。

2.2.1 装药类型的选择

输入端的装药分别采用 HNS-I、C-4 和 PETN 炸药,保持相同的装药长度,进行传爆性能试验,试验结果见表 1。

表 1 不同装药传爆性能试验结果

explosives	density / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	exploding velocity / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	results
C-4	1.70	7156	detonation
	1.86	7260	detonation
	1.73	7463	detonation
	1.69	7072	detonation
	1.69	7433	detonation
	1.69	7001	detonation
HNS-I	1.01	7054	detonation
	1.01	6835	detonation
	1.01	7305	detonation
	1.01	6975	detonation
	1.07	6998	detonation
	1.69	6873	detonation
	1.70	6914	detonation
	1.71	7029	detonation
	1.71	7290	detonation
	1.73	7150	detonation
PETN	1.55	-	detonation

从表 1 的试验结果可以看出,这三种炸药均可以传爆,即均可以作为输入端装药,但从 PETN、C-4 和

HNS-I 炸药的性能数据可知^[2], C-4 和 HNS 炸药较 PETN 钝感,故选用 PETN 炸药作为输入端装药。

根据文献[3,4]中不同炸药装药密度与临界起爆压强和输出爆压之间的关系,并结合研制中积累的数据,得到了不同炸药装药密度与临界起爆压强和输出爆压之间的关系,据此得到了如表 2 所示的爆压数据,表中的密度为平均值。

对于 I 界面,电起爆器作为施主端的输出能量一定,从试验结果可知能够起爆临界起爆压强为 4.0 GPa 的输入端(装药为 PETN,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),则临界起爆压强小于 4.0 GPa 的输入端装药完全能够被电起爆器起爆。若电起爆器能够起爆临界起爆压强更高的装药,说明装药为 PETN,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 状态的输入端 I 界面有较大的裕度,即电起爆器起爆输入端有很大的裕度,故 I 界面的安全系数为试验状态能够被起爆的较高临界起爆压强与设计状态的比值。

对于 II 界面,输出爆压为 22.65 GPa 的输入端装药能够起爆限制性导爆索(装药为 PETN,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),则输出爆压大于 22.65 GPa 的输入端装药完全能够引爆限制性导爆索。若输出爆压小于 22.65 GPa 的输入端装药能够引爆限制性导爆索,则说明装药为 PETN,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 状态的输入端的 II 界面有较大的裕度,即较低输出爆压的输入端仍可以起爆限制性导爆索,故 II 界面的安全系数为设计状态输出爆压与试验状态能够起爆限制性导爆索的较低输出爆压的比值。根据以上分析估算出 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的 PETN 为输入端装药时 I、II 界面的安全系数(见表 2)。

从表 2 可以看出:设计状态的输入端采用 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的 PETN 装药,用 HNS-I 炸药分析输入端的安全裕度,电起爆器还可以引爆临界起爆压强为 8.98 GPa 的装药,相对于电起爆器可以引爆设计状态 4.0 GPa 的临界起爆压强来说, I 界面的安全系数为 2.25。输出爆压为 4.10 GPa 的输入端仍可以引爆限制性导爆索,相对于设计状态 22.65 GPa 的输出爆压可以引爆限制性导爆索来说, II 界面的安全系数为 5.52;用 C-4 炸药分析输入端的安全裕度,同样可以估算出 I 界面的安全系数为 2.9。以上结果均说明输入端装药可以选择 PETN 装药,且 I、II 界面的装药设计有较大的安全裕度。

表 2 不同炸药爆压计算结果

Table 2 Calculated results of explosion pressure for different explosives

No.	explosives	$\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	critical initiating pressure p_c / GPa	output exploding pressure p_j / GPa	safety coefficient	
					I interface	II interface
1	PETN	1.55	4.0	22.65	-	-
2	HNS-I	1.022	1.64	4.10	-	5.52
3	HNS-I	1.705	8.98	22.44	2.25	-
4	C-4	1.73	11.62	31.40	2.9	-

2.2.2 装药量的选择

在固定装药密度和装药直径的条件下,增加装药量,则增加了装药长度。在一定条件下,炸药装药越长,则爆轰波在炸药装药中的传递距离越长,越有利于炸药装药达到最大稳定爆速。爆轰波后的化学反应区越大,后续能量越强,输入威力越大,更有利于增大输入端的传爆距离。在参数选择试验中,曾采用施主装药为 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ 30 mg 和 PETN 50 mg,能够做到 100% 引爆 80 mg PETN,由此推断,电起爆器作为施主端,装药量为 138 mg 完全能够引爆 80 mg 的 PETN 装药,考虑到传爆可靠性,输入端 PETN 装药量取 100 mg。

2.2.3 装药密度的选择

炸药的爆速、输出爆压和临界起爆压强都与炸药的装药密度相关,对于大多数猛炸药,密度每增加 $0.1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,爆速可以提高 $300 \sim 400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,爆压随着密度的增长以指数的关系迅速增长,但输入端装药密度的增加,一方面增加了炸药的临界起爆压强,这样在电起爆器输出能量一定的条件下,反而降低了电起爆器与输入端这个界面的传爆可靠性;另一方面增加了输出爆压,提高了输入端与限制性导爆索这个界面

的传爆可靠性,故装药密度的选择必须综合考虑 I、II 界面的传爆可靠性。

在现有的传爆序列中,保持装药长度相同,对不同装药密度的 PETN 进行传爆性能试验,根据装药密度与爆压的关系,并采用与表 2 中相同的界面安全系数的计算方法,得到表 3 所示的结果。

从表 3 的试验结果可以看出,高中低三种状态的装药密度都能够传爆,但考虑到 I、II 界面需同时具有较高的传爆可靠性,装药密度的选择不能过高或过低,故输入端装药密度选为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。采用变密度法对设计状态 ($1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 的安全裕度进行估算,对于 I 界面,电起爆器还可以引爆临界起爆压强为 6.3 GPa 和 5.0 GPa 的 PETN 装药,与电起爆器可以引爆设计状态 4.0 GPa 的 PETN 装药相比, I 界面安全系数可以达到 1.575; 对于 II 界面,输出爆压为 6.87 GPa 的输入端仍能够引爆限制性导爆索,与输出爆压为 22.65 GPa 能够可靠引爆限制性导爆索相比, II 界面安全系数达到 3.3,说明输入端装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 能够可靠传爆,且 I、II 界面的装药设计有较大的安全裕度。

表 3 输入端传爆性能试验计算结果

Table 3 Calculated results of detonation transfer test of the input

No.	input density $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	CDF's exploding velocity $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	critical initiating pressure p_c results $/\text{GPa}$	output exploding pressure p_j $/\text{GPa}$	safety coefficient	
					I interface	II interface
1	1.01	7111	detonation 1.21	6.87	-	3.3
2	1.68	7009	detonation 5.0	28.45	1.25	-
3	1.82	6951	detonation 6.3	35.72	1.575	-
4	1.55	-	detonation 4.0	22.65	-	-

2.2.4 隔层的选择

长通道三级传爆序列中输入端与限制性导爆索之间有一定厚度的铝箔,在参数选择试验中,用电起爆器直接引爆限制性导爆索,采取带隔层和不带隔层两种结构形式进行试验,结果带隔层的限制性导爆索不能被引爆,不带隔层的能被引爆,这说明隔层吸收了一定

的爆轰能量,降低了输入端与限制性导爆索这个界面的传爆效果,故在此设计中去掉了输入端与限制性导爆索之间的隔层。

2.2.5 传爆间隙的选择

电起爆器和输入端之间应相隔一定距离,可在 $0.75 \sim 3 \text{ mm}$ 之间取值,这是因为电起爆器的管壳是铝

的,爆炸时管壳参与反应会被熔化,增加了释放的能量,进而增加了电起爆器的轴向起爆能力,本试验传爆

间隙从 1.7 mm 开始递增进行一系列传爆试验,试验结果见表 4。

表 4 传爆间隙试验结果

Table 4 Results of detonation gap test

initiating gap/mm	1.7	15.88	21.90	29.22	31.18	31.50	31.52	31.72	35.32	35.36	35.36
results	detonation	no detonation									

从表 4 可以看出,传爆间隙从 1.7 ~ 35 mm 均能保证可靠传爆,受实际空间安装位置的限制,本设计选择传爆间隙为 1.7 mm。最大传爆间隙可以达到 31 mm,这一试验结果远大于 QJ1075A-96《航天火工装置通用规范》中规定的按最大规定空气间隙的 4 倍 (6.8 mm) 进行爆轰传递的要求,说明设计的传爆间隙具有较大的裕度,能够满足可靠传爆的要求。

2.3 短通道二级传爆序列导爆索组件输入端的结构

根据以上的分析和试验结果,确定了在短通道二级传爆序列中导爆索组件输入端的结构形式(见图 2)。

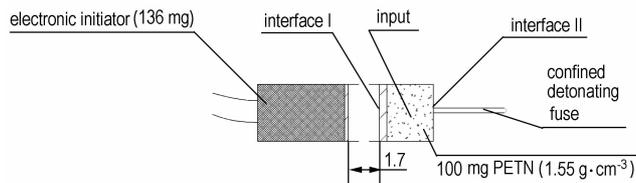


图 2 短通道二级传爆序列结构示意图

Fig. 2 Structural sketch of short channel two-channel explosive train

其中输入端装有 100 mg PETN,装药密度为

$1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,电起爆器与输入端的间隙为 1.7 mm,且输入端和限制性导爆索之间无隔层。这种结构形式的传爆序列进行了 10 发传爆性能试验,结果均可靠传爆,说明传爆间隙设计合理,能够满足可靠传爆的要求。

3 结论

在长通道三级传爆序列导爆索组件输入端结构的基础上,进行了短通道二级传爆序列导爆索组件输入端的结构设计,得到了适用于短通道二级传爆序列的导爆索组件输入端的结构形式。试验结果表明,输入端采用 PETN 装药,装药密度为 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,电起爆器与输入端的距离取为 1.7 mm,输入端与限制性导爆索之间无隔层。这种结构形式能够满足可靠传爆的要求,具有较大的传爆裕度。

参考文献:

- [1] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.
- [2] 李福平,刘忠良,蒲若珩,等. 火炸药手册(增订本)[M]. 西安:五机部二〇四研究所,1981.
- [3] 陈福梅. 火工品原理与设计[M]. 北京:兵器工业出版社,1990.
- [4] 张熙和,云主惠. 爆炸化学[M]. 北京:国防工业出版社,1989.

Design and Properties of the Input of Detonating Fuse Assembly in Short Channel Two-level Explosive Train

YIN Ya-xia, YU Zhen-yong

(The Fourth Academy of China Aerospace Science Corporation, Xi'an 710025, China)

Abstract: Based on the input structure of detonating fuse assembly in long channel three-level explosive train and factors related with boosting reliability, the input of detonating fuse assembly in short channel two-level explosive train was designed. The input was filled with PETN explosive (the mass was 100 mg, the density was $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), the gap between electronic initiator and the input was 1.7 mm, and the input contacted with confined detonating fuse directly. The results show that the input of detonating fuse assembly is reliable and has high detonation transfer margin.

Key words: applied chemistry; explosive train; input; detonation transfer margin