

用涂层银丝调节复合固体推进剂的燃速

翁承礼 陶泽铭

摘 要

本文介绍了涂层银丝调节复合固体推进剂燃速的基本原理。在聚氨酯推进剂中应用涂层银丝可使其燃速在10~110毫米/秒范围间任意调节。这不仅为改变复合固体推进剂的燃速,扩大其应用范围提供了有效途径,也为各种特殊要求的装药形式提供了方便。

一、引 言

研究复合固体推进剂的燃速是整个推进剂研究中的一个重要内容。随着火箭导弹技术的发展,对于复合固体推进剂的燃速要求能在较大的范围获得调节。用改变推进剂配方组份的化学方法,可使其燃速在4~35毫米/秒范围内调节。在推进剂中混入短金属丝或嵌入长金属丝,可使推进剂的燃速提高到2~5倍。国外报导了^[1,2]一种在金属丝上包复有一定厚度的涂层,然后嵌入复合固体推进剂中,使其燃速可在更大范围内调节。

本工作研制了几种不同涂层的银丝,经过试验找出了影响推进剂燃速的因素,表明用涂层金属丝来调节燃速的途径是可行的。

二、基 本 原 理

银丝上的涂层是由粘合剂、氧化剂、增塑剂和燃速调节剂及稀释剂等成分配制而成。涂料中的氧化剂提供涂料燃烧时所需要的氧,粘合剂是使涂料以连续均匀膜的形式粘附在金属丝上,形成一种既牢固,又具有足够的弹性,不产生脆裂的涂层,并同时作为燃料。增塑剂用来改进工艺性能和物理性能。燃速添加剂用来调节燃速,即增大调节燃速的范围及调节温度敏感系数、压力指数等。从涂层的组成和作用来看,它也可以认为是一种推进剂。带涂层银丝嵌入复合固体推进剂中,它在燃烧时的物理模型^[3]如图1所示:

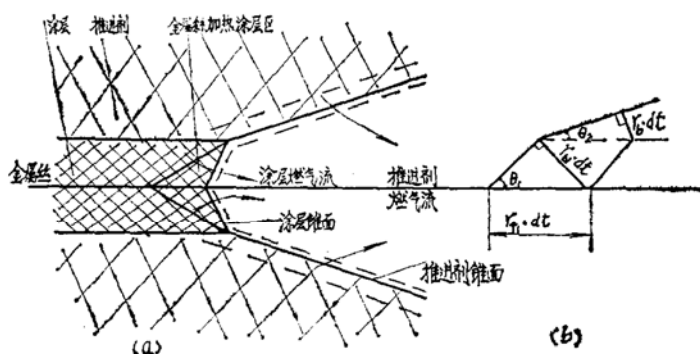


图1 嵌涂层长金属丝药柱的燃烧物理模型

嵌入涂层长金属丝药柱在燃烧过程中存在着三种燃烧速度。涂层自身燃速(r_{b1})，推进剂自身燃速(r_b)和涂层的沿丝燃速(r_{f1})。当这三种燃速互不相等时，在燃烧过程中会形成一个以金属丝为轴心的锥孔，这个锥孔有两个不等的锥角。第一个锥角(θ_1)是涂层沿金属丝燃速(r_{f1})大于涂层本身燃速(r_{b1})所形成；而第二个锥角(θ_2)是因涂层沿丝燃速(r_{f1})大于推进剂本身燃速(r_b)，且推进剂燃速(r_b)又不等于涂层本身燃速(r_{b1})所形成的。当燃烧稳定时，推进剂的沿丝燃速和涂层的沿丝燃速是相等的。因此，推进剂的沿丝燃速的大小就直接由涂层的沿丝燃速决定。

那么涂层的沿丝燃速又取决于什么呢？由推进剂中嵌入长裸丝的结果可知，当金属丝相同时，如果推进剂基本燃速不同，则它的沿丝燃速也不同，推进剂本身燃烧速度高的，它的沿丝燃速也高。把涂层也作为推进剂来看待，这样就可以靠调节涂层的基本燃速来调节涂层的沿丝燃速，从而使推进剂的沿丝燃速获得调节。

由图1(b)可知：

$$\sin \theta_1 = \frac{r_{b1}}{r_{f1}} \quad \text{即} \quad r_{f1} = \frac{r_{b1}}{\sin \theta_1} \quad (1)$$

$$\sin \theta_2 = \frac{r_b}{r_{f1}} \quad \text{即} \quad r_{f1} = \frac{r_b}{\sin \theta_2} \quad (2)$$

由(1)和(2)式可知：

1. 当 $r_{b1} = r_b$ 时， $\theta_1 = \theta_2$ ，这时推进剂沿丝形成的锥孔只有一个锥度，它相当于推进剂中嵌裸丝时的情况，涂层不改变推进剂的沿丝燃速。

2. 当 $r_{b1} > r_b$ 时， $\sin \theta_1 > \sin \theta_2$ ，则 $\theta_1 > \theta_2$ 。此时，推进剂沿丝形成的锥孔有两个大小不等的角。根据推进剂中嵌入裸丝时的规律知道，对同一种金属丝而言，推进剂的基本燃速愈高，则它的沿丝燃速也愈高。于是，对 $r_{b1} > r_b$ 的情况，必有 $r_{f1} > r_f$ （ r_f 为裸丝的沿丝燃速）。

3. 当 $r_{b1} < r_b$ 时， $\sin \theta_1 < \sin \theta_2$ ，则 $\theta_1 < \theta_2$ 。同理就有 $r_{f1} < r_f$ 。这就是说嵌有涂层丝的沿丝燃速比裸丝的沿丝燃速要小。

由上述分析可知，通过调节涂层的燃速可以改变推进剂的沿丝燃速。它既可提高燃速，又可降低到比裸丝时小的燃速或使沿丝燃速保持不变。在推进剂中嵌入长裸丝是嵌入涂层金属丝的一个特殊情况。嵌入涂层丝也可看作把长裸丝嵌入两种不同燃速的推进剂之中。对于同一种推进剂和金属丝而言，要调节推进剂的沿丝燃速，就可以用调整涂层的组成来改变涂层的燃速使之实现。

三、实验结果及讨论

本文研究不同涂层银丝的燃速规律是选择聚氨酯型为基础的推进剂。把各种不同的涂层银丝嵌入其中，测其燃速（燃速仪中）称为涂层银丝药条的燃速。

1. 粘合剂体系的影响

曾用502胶、301胶和171体系（即30A胶）作为粘合剂来试制涂层银丝。由于这些粘合剂的表面张力和容纳固体填料的能力不一样，因而使制成的涂层银丝性能也不一样。相比之下，171体系的粘合剂无论成膜能力、牢度、韧性，还是从涂层银丝药条的燃速波动来说，性能都是较好的。

表1列出了不同的粘合剂组成对燃速的影响。可以看出，在氧化剂(Kp)和燃速调节剂(Pb—Fe)的含量一定的情况下，相同含量的不同胶体系对提高燃速的效果不一样。

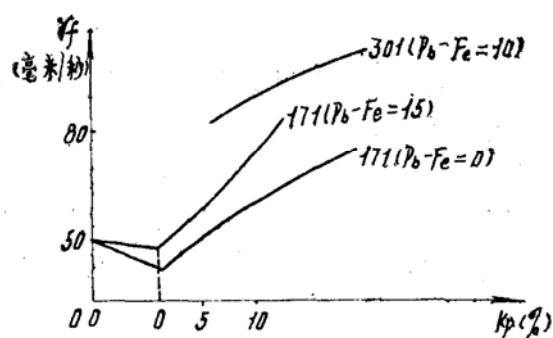
表 1 粘合剂体系对燃速的影响

涂层代号	Kp(%)	Pb-Fe(%)	胶(%)	燃速(毫米/秒)
5-8	10	10	80(a)	85.70
5-9	10	10	80(b)	94.39
5-12	10	10	80(c)	96.21
171-6	10	10	80(d)	81.02

(a)、(b)、(c)、(d)——为四种不同粘合剂的代号。

2. 氧化剂的影响

氧化剂(Kp)含量对涂层银丝燃速药条(r_f)的影响示于图2。在燃速调节剂含量不变的情况下，涂层银丝药条的燃速一般随着氧化剂含量的增加而增大。



注：00表示为裸银丝的燃速
0表示为无氧化剂时涂层银丝药条的燃速

图 2 氧化剂 (Kp) 含量对燃速的影响

3. 燃速调节剂的影响

在171系列涂层银丝中，当Kp不变情况下，随着Pb—Fe含量的增加，涂层银丝药条的燃速也提高。

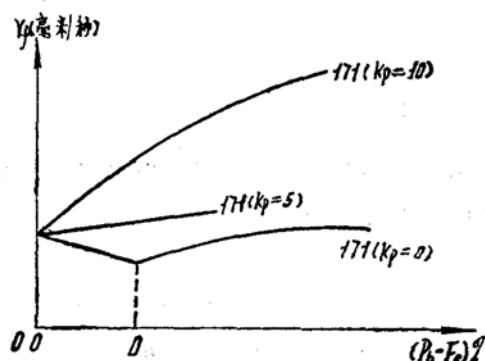


图 3 燃速调节剂含量的影响

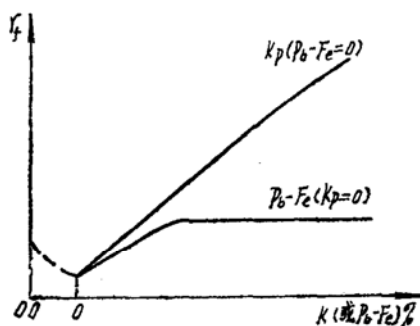


图 4 氧化剂和燃速调节剂提高燃速效果比较

4. 用氧化剂和燃速调节剂提高燃速的效果

从图4可以看出171系列涂层银丝中,用单一的Kp提高燃速效率要比单纯用Pb—Fe高,单纯用Pb—Fe几乎对嵌裸银丝的推进剂燃速没有影响。

5. 氧化剂与燃速调节剂混合重量比的影响

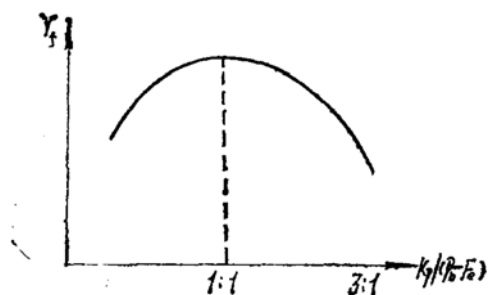


图5 氧化剂与燃速调节剂混合重量比对燃速的影响

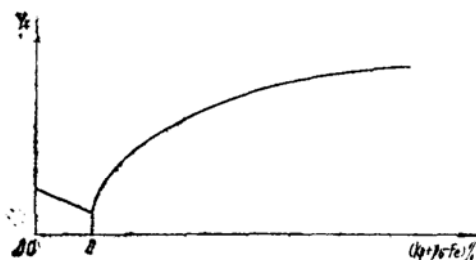


图6 氧化剂和燃速调节剂的总含量对燃速影响

在保持Kp和Pb—Fe的总含量在20%情况下,Kp和Pb—Fe的重量比在1:1附近时,它们联合提高燃速的效率最高。见图5。

6. 氧化剂和燃速调节剂总含量的影响

在保持Kp:Pb—Fe = 1:1的情况下,它们的总含量增加时燃速提高快。但到了一定量以后,增加速率减小,见图6。

表2 涂层银丝的燃速

涂层类别	燃速 r_f 毫米/秒 (20℃ 40千克/厘米 ²)	扩大倍数 $\xi = \frac{r_f}{r_b}$	备注
基础推进剂 (无丝)	10.42		
裸银丝样条	52.35	5.02	
171	39.76	3.82	
171-1	48.95	4.70	
171-2	53.00	5.09	
171-3	60.42	5.80	
171-4	50.19	4.82	
171-5	60.27	5.78	
171-6	81.02	7.78	
171-7	74.26	7.13	
171-8	51.29	4.92	
171-9	88.86	8.53	
171-10	66.15	6.35	
171-11	59.54	5.71	
5-3	102.53	9.84	
5-8	85.70	8.22	
5-9	94.39	9.06	
5-12	96.21	9.23	
5-8-1	108.59	10.42	

上述结果表明,改变涂层的组分和含量来调节涂层银丝药条的燃速具有一定的规律性。按照这些规律就可以选择需要的涂层配方,制成涂层银丝,用来调节复合固体推进剂的燃速。也可以利用这些规律来研制新的涂层银丝。表2中列出了本研究的部分结果。可以看到涂层银丝药条的燃速既可以高于裸银丝的燃速(其幅度可提高到无丝时推进剂燃速的十一倍左右),也可以降低带裸银丝推进剂的燃速。

四、结 论

1. 改变包复在银丝上的涂层化学组分,可以调节推进剂沿丝燃速的方法是一种化学物理现象,它是提高燃速的化学方法和物理方法的结合。它扩大了复合固体推进剂的燃速调节范围。在中等燃速的聚醚聚氨酯推进剂中,其燃速可在10~110毫米/秒(20℃,40千克/厘米²)范围以内进行调节。

2. 涂层的化学组成对涂层银丝药条的燃速影响有一定的规律性。说明了可以用改变涂层的配方组成来调节嵌金属丝的推进剂燃速。

本工作与华东工程学院陈舒林、李凤生等同志协作完成。

参 考 文 献

- (1) B.P.994184。
- (2) U.S.P.3109374。
- (3) 8332鉴定会资料(一、二、五、六、七)。