

# 761 探空火箭喷管绝热内衬的工艺探讨

肖 翠 蓉\*

**提 要** 本文通过对761探空火箭喷管绝热内衬的研制,叙述了该绝热内衬的选材和结构的确定。重点讨论了用模压法压制绝热内衬中,一些主要工艺参数的选择。

文中通过大量试验数据,说明了该绝热内衬的结构合理,工艺简便,工作可靠,适宜于作761探空火箭喷管绝热件之用,并可推荐到其它兵器作绝热内衬使用。

本课题研究的内容就是设计和试制761探空火箭喷管的绝热内衬。我们选择了耐腐蚀的非金属复合材料作内衬,这种内衬可以直接承受高温燃气流的烧蚀和冲刷,起着绝热、保护金属外壳的作用。采用绝热内衬后,喷管的金属外壳可以做得很薄,这样就减轻了发动机的重量。

目前,国内外对以固体燃料作推进剂的发动机喷管大都采用烧蚀式防热方案。使用的烧蚀材料有硅基复合材料或碳基复合材料。根据本产品使用条件和经济性要求,我们选用高硅氧增强酚醛树脂(简称高硅氧玻璃钢)作喷管绝热内衬材料。它是一种熔融蒸发型的烧蚀材料,其烧蚀过程大致为吸热—酚醛树脂变软—熔融—分解—碳化—烧蚀;而高硅氧纤维是吸热—变软—熔融—蒸发—烧蚀。烧蚀过程中,酚醛树脂变软、熔融、分解、碳化及高硅氧纤维变软、熔融、烧蚀都是吸热过程,而酚醛烧蚀(不计机械剥离)则是放热过程。这一系列过程首先发生在与高温燃气相接触的表面层,并逐渐向内部扩展,由于玻璃钢导热系数低,只要有足够的厚度,它就能承受严重的烧蚀,也能起到一定的隔热效果。高硅氧玻璃钢的耐烧蚀和隔热,主要靠玻璃钢内部的高硅氧纤维,酚醛树脂是不耐烧蚀和冲刷的,隔热也差,但复合后,能使高硅氧纤维更好地发挥耐烧蚀和隔热作用,因为酚醛不仅是必不可少的胶粘剂,而且在高温下,热解后放出的气体可起到一定的热阻和挥发冷却作用。同时,碳化后结渣坚固,有力地保护着高硅氧纤维不被高温高速燃气冲走。所以,高硅氧玻璃钢是一种烧蚀、隔热和强度综合性能较好的喷管绝热内衬材料。

绝热内衬结构形式的设计,烧蚀厚度的确定,都要根据喷管的工作要求,并要考虑

本文1981年9月收到

\* 参加此项工作的同志有:梁峻山、尹祥社、于兴华、欧润珠、吴小进、谢思坚。

到加工的可能性和经济性。

## 一、716 探空火箭喷管的工作条件

761 发动机装药采用聚丁二烯过氯酸铵高能复合推进剂。为提高推进剂的燃烧温度，其中加入 15% 的铝粉，使燃烧温度高达  $3200^{\circ}\text{C}$ ，燃烧室压力为 70 公斤/厘米<sup>2</sup>。在推进剂中沿纵向埋设 7 根银丝(银丝直径 0.36~0.37 毫米)，燃速达到 38~40 毫米/秒，流量为 0.9 公斤/秒，但推进剂中金属物燃烧后生成的金属氧化物颗粒常常夹带在气流中，高速冲刷喷管，使喷管遭受严重的机械磨损。从银丝埋设处冲刷出的沟槽，看出该处烧蚀最为严重。喷管的烧蚀程度又与喷管工作时间直接有关。试验结果表明：喷管工作时间愈长，烧蚀愈严重。761 喷管不加银丝时，工作时间长达 40 秒，加银丝后工作时间缩短至 30~35 秒。

为了提高火箭的发射速度，在喷管外面安装了一个环形助推器(图 1)，它相当于一个辅助发动机。助推器包括一个燃烧室和四个小喷管。燃烧室内装有双基药，燃烧温度

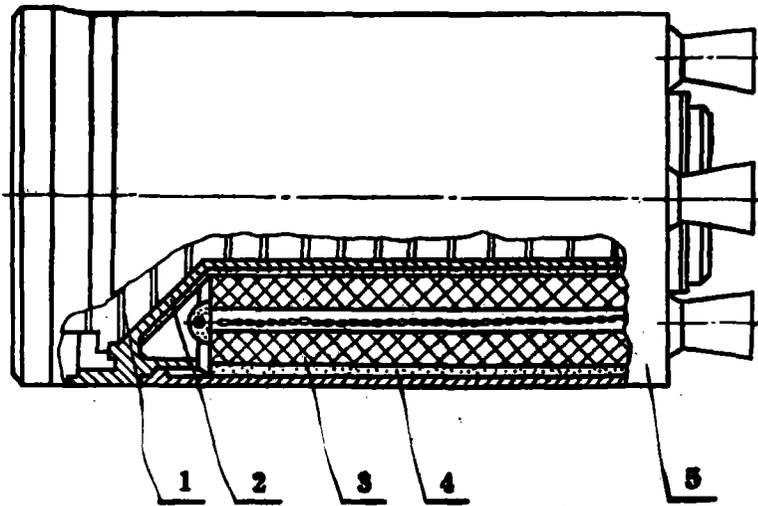


图 1 助推器结构图

1. 绝热内衬 2. 喷管外壳 3. 装药 4. 隔热层 5. 助推器

达  $2200^{\circ}\text{C}$ ，工作压力为 75 公斤/厘米<sup>2</sup>，工作时间 0.7 秒。由于附加了助推器，一方面使主发动机喷管的工作条件变得更恶劣；另一方面为了使火箭结构紧凑，只好将助推器安放在主喷管的外围，结果是增加了主喷管的长度，使喷管全长达 275 毫米。在小型发动机中，这样长的喷管是少有的。长喷管的结构不但增加了喷管重量和烧蚀时能量的损耗，而且制造长喷管在工艺上比较困难。

## 二、喷管绝热内衬的结构设计

喷管内型面设计呈锥形，喷管膨胀比(面积比)取 10.32，喷喉直径为 16.5 毫米，特征速度为 1500 米/秒，内形各部分参数设计成：

收敛段：呈收敛锥—直体—锥形。收敛半角为  $30^\circ$ 。由于喷管过长，只好延长收敛段，此段长度定为 160.4 毫米。

喉部：曲线形状，最大截面处形成喷喉尺寸。喷喉直径为 16.5 毫米。

扩散段：扩散半角为  $12^\circ$ 。

由于喷管各段烧蚀情况及要求不同，故采用组合喷管结构为好。在收敛段和扩散段可以直接用高硅氧玻璃钢内衬来绝热。但是，在喉部需经受极其恶劣的热环境，又要求喷喉尺寸变化极小，若用高硅氧玻璃钢则不能达到要求，要选择专用喷喉材料，如钨渗铜或碳—碳复合材料。所以，确定喷管绝热内衬结构方案是一项复杂的工作。我们在两年时间内，进行了 65 次热试车试验，最后确定了较为理想的内衬结构和绝热层厚度。研制过程可以按三个阶段来叙述。

### 第一阶段

喷管内衬由收敛段、喉部、扩散段三件组成。收敛段和扩散段为模压高硅氧玻璃钢，喉部采用钨渗铜和石墨背衬，以及玻璃钢隔热内衬组合，用酚醛—环氧—聚酰胺混合胶将上述零件粘接成一个整体绝热内衬，最后套粘在金属外壳内成为喷管部件。其结构形式如图 2 所示。

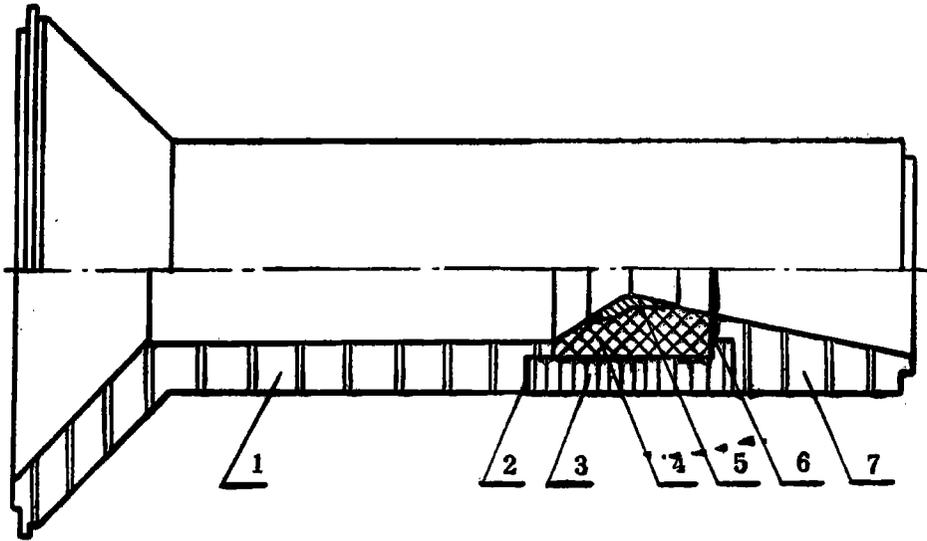


图 2 第一方案

1. 收敛段衬套
2. 前密封垫
3. 背衬
4. 喉衬
5. 喷喉
6. 后密封垫
7. 扩散段衬套

喷管内衬各段绝热层厚度见表 1 (单位：毫米)。

表 1

收 敛 段	收 敛 锥	12
	直 体	8.5
喉 部		6
扩 散 段	进 口	9.5
	出 口	7.5

这种结构的优点是易于制造和装配，但对接结构的严重缺点是在接縫处易烧穿串火，尤其在收敛段与喉部对接处串火可能性更大，因为此处工作条件最坏。试验中出现烧穿多在此部位。虽然在接縫处增加了一些补救措施，如加密封垫，碳纖維纏绕加固，但效果不大。由于第一方案工作不可靠，加之绝热层厚度不足，致使烧蚀后的內衬全部碳化，必须对结构加以改进。

### 第二阶段

将收敛段和喉部做成一件：它和扩散段仍用模压高硅氧玻璃钢，喷喉材料，粘接工艺不变，结构形式见图 3。

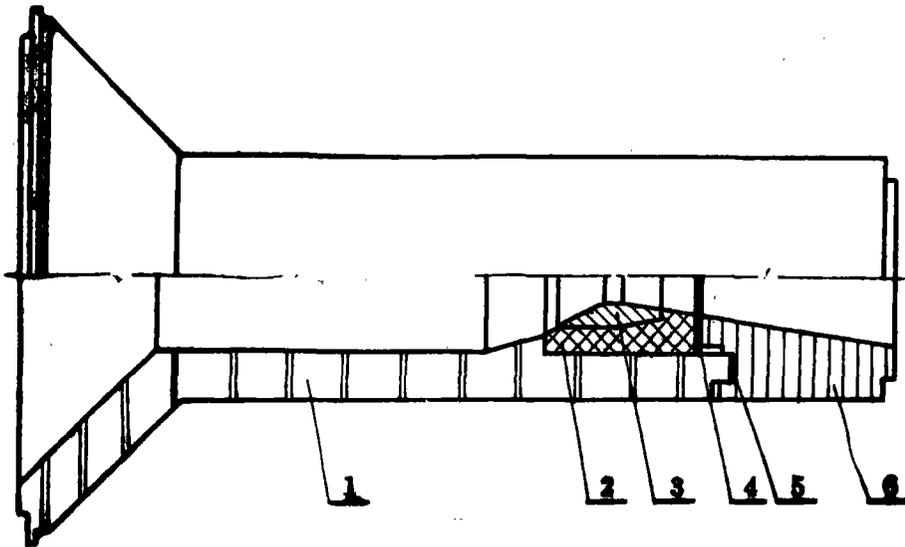


图 3 第二方案

1. 收—喉段衬套
2. 喉 衬
3. 喷 喉
4. 密 封 垫
5. 密 封 垫
6. 扩 散 段 衬 套

绝热层厚度见表 2 (单位：毫米)。

表 2

收——喉段	收 敛 锥	16
	直 体	11.5
	喉 部	10
扩 散 段	进 口	9.5
	出 口	7.5

此结构的优点是消除了收敛段与喉部的接縫，仅在烧蚀不严重的扩散段有接縫，这样，解决了烧穿问题。从地面点火试验中证明了这一点，但烧蚀后绝热内衬全部碳化，仅靠喷管外壳的背面呈玻璃钢本色。在1979年3月进行的761探空火箭第一次飞行试验中，喷管绝热内衬采用了第二方案，分析残骸发现有烧穿现象，但烧穿部位不是在接縫处，而是在二次收敛前区域（即喷喉前），原因是由于喷喉工作不正常引起的。从地面和飞行试验情况看来；第二方案仍不够完善，在此基础上仍应进行结构修改。

### 第三阶段

绝热内衬仍由收——喉段和扩散段两件对接成一体，喷喉材料改用C—C和5—Ⅱ（石棉纤维增强酚醛树脂）背衬，见图4。

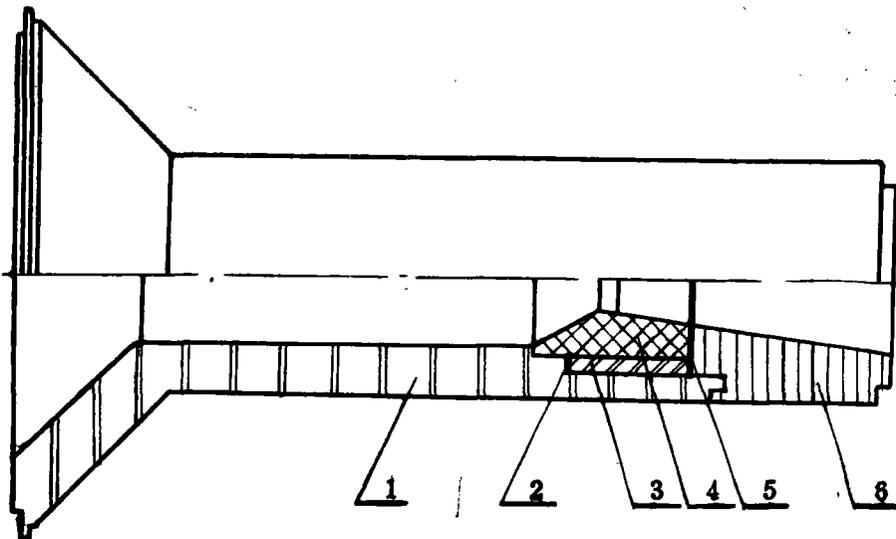


图 4 第三方案

1. 收——喉段衬套
2. 密 封 垫
3. 背 衬
4. 喷 喉
5. 密 封 垫
6. 扩 散 段衬套

绝热层厚度见表3(单位:毫米)。

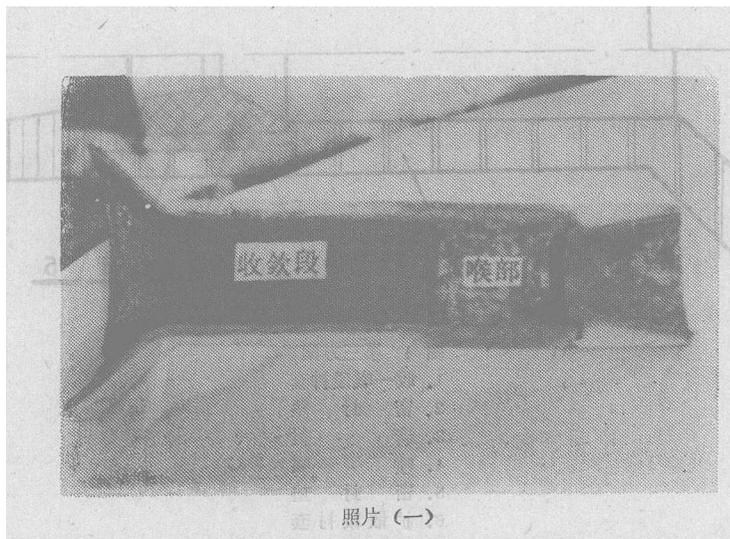
表 3

收——喉段	收 敛 锥	19
	直 体	14.25
	喉 部	8
扩 散 段	进 口	9.5
	出 口	7.5

第三方案经过33发地面点火试验,试验结果详见表4、表5,绝热内衬烧蚀情况参看照片。由实物看出烧蚀后内衬,其碳化层緻密光滑,不起层。碳层厚度一般在5毫米以下,未碳化厚度尚存4毫米以上。线烧蚀率为:收敛锥部位0.27~0.44毫米/秒,直体部位0.22~0.28毫米/秒,扩散段0.1~0.08毫米/秒。

在1981年6月至7月进行了761探空火箭第二次飞行试验,其中喷管绝热内衬采用了第三方案。五发火箭实测或推算高度均在62~66公里,发动机工作时间均在33.5秒左右。飞行试验时,目测喷管喷出的火焰细长有力,无火星碎块喷出,与地面试车情况相同。

通过地面热试车,实弹飞行试验,证明这种方案结构合理,壁厚可靠,可以满足761探空火箭喷管的工作要求。



照片(一)

表 4

地面试验结果

日期	80, 10, 14	80, 10, 10	80, 10, 16	80, 10, 16	80, 10, 17	80, 10, 17	80, 11, 18	80, 11, 27	80, 12, 4	80, 12, 11
编号	800301	800302	800208	800303	800304	800305	800306	801001	801002	801003
发动机	φ150 (样机)	φ150 (样机)	φ150 (实验)	φ150 (样机)						
喷管编号	6#	9#	3#	7#	2#	1#	5#	8#	10#	11#
燃烧时间(sec)			34.2	34.4	35.8	37.3	29.44	29.7	31.52	29.47
平均燃速(mm/sec)			32.63	32.4	31.2	29.9	37.9	37.5	35.4	37.87
平均流量(kg/sec)			0.75	0.82	0.755	0.73	0.895	0.866	0.838	0.91
最大推力(kg)			213				240	261.3	238.3	247
平均推力(kg)			165.6				196.2	205.5	185.92	203.83
最大压力(kg/cm <sup>2</sup> )			62							
平均压力(kg/cm <sup>2</sup> )			48.73							
比冲(sec)			220.97				219.26	231.9	223	222.2
总冲(kg-sec)			6310.9				6340.9	6720.9	6399.3	6385.9
烧蚀情况			照片(一)	照片(二)	照片(三)	照片(四)	照片(五)	照片(六)	照片(七)	照片(八)
备注	未测试	未测试		测试有问题	同前	同前		联试	联试	联试

注: 表 4 中, 绝热内衬采用第三种方案结构, 原材料为高硅氧碎布—氨基酚醛。

喷喉材料采用 C—C 材料

发动机装药: 402, 7 维孔

表 5

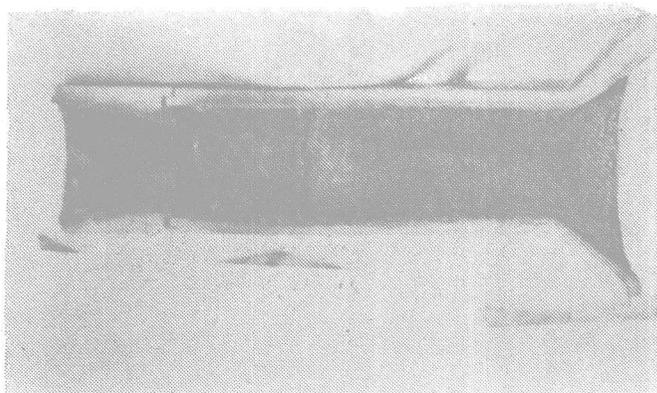
绝热内衬烧蚀情况

试验管编号	800301	800302	800208	800303	800304	800305	800306	801001	801002	801003
管编号	6#	9#	3#	7#	2#	1#	5#	8#	10#	11#
收 敛 段	设计厚度 (mm)	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	碳化层厚度 (mm)	3.2	2.6	4.56	3.6	3.0	1.6	2.2	1.7	3.44
	剩余厚度 (mm)	7.6	4.9	8.64	6.7	4.2	6.3	7.3	4.2	6.5
	线烧蚀率	~	~	0.27	0.33	0.39	0.40	0.36	0.44	0.39
直 段	设计厚度 (mm)	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	碳化层厚度 (mm)	3.4	2.74	4.8	3.34	2.94	2.92	3.14	2.86	3.34
	剩余厚度 (mm)	5.2	4.92	5.2	5.1	4.56	5.3	5.1	4.8	5.6
	线烧蚀率 (mm/sec)	~	~	0.24	0.24	0.25	0.22	0.28	0.28	0.27
喉 部	设计厚度 (mm)	8	8	10	10	8	8	8	8	8
	碳化层厚度 (mm)	3	0	0	0	1	0	2	2.5	1
	剩余厚度 (mm)	5	8	10	10	7	8	6	5.5	7
	线烧蚀率 (mm/sec)	~	~	0	0	0.028	0.027	0.067	0.079	0.034
壳体温度 $^{\circ}\text{C}$ (试验后两分钟)	100 $^{\circ}\text{C}$	100 $^{\circ}\text{C}$	100 $^{\circ}\text{C}$				100 $^{\circ}\text{C}$			
备 注	未测试	未测试	无 5—II	无 5—II						

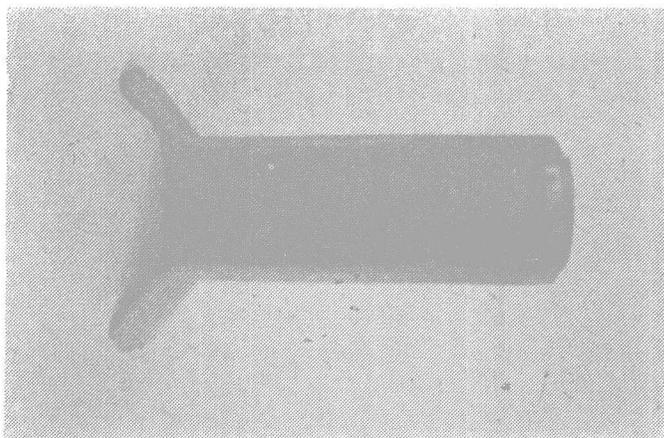
注: 扩散段烧蚀不严重, 且烧蚀情况大致相同, 线烧蚀率约为: 0.1~0.08, 表中未列出。



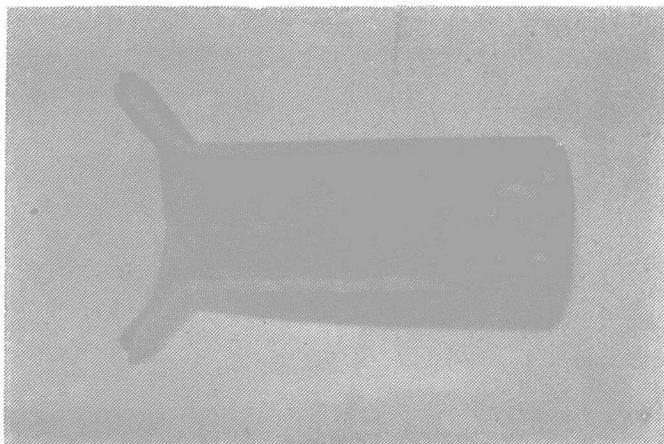
照片 (二)



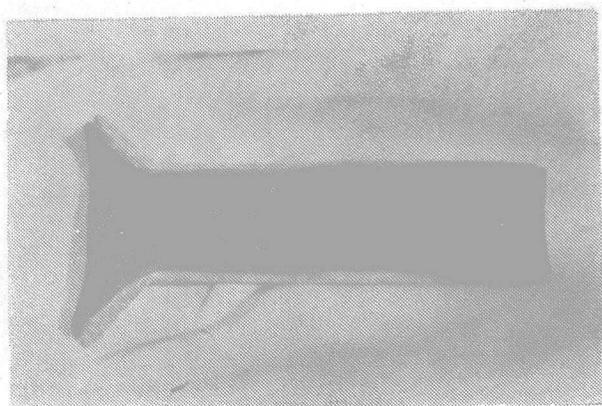
照片 (三)



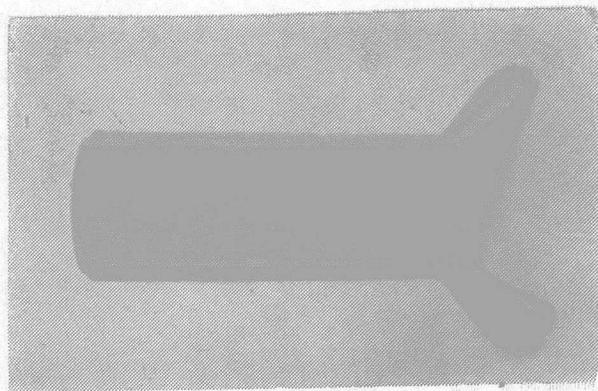
照片 (四)



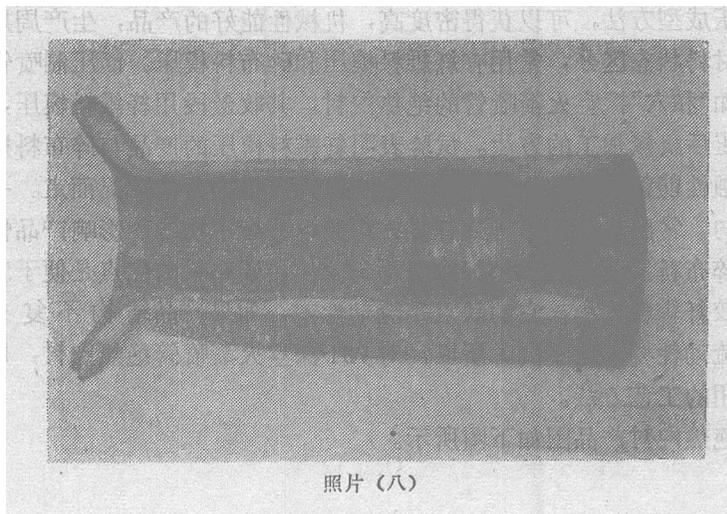
照片(五)



照片(六)



照片(七)

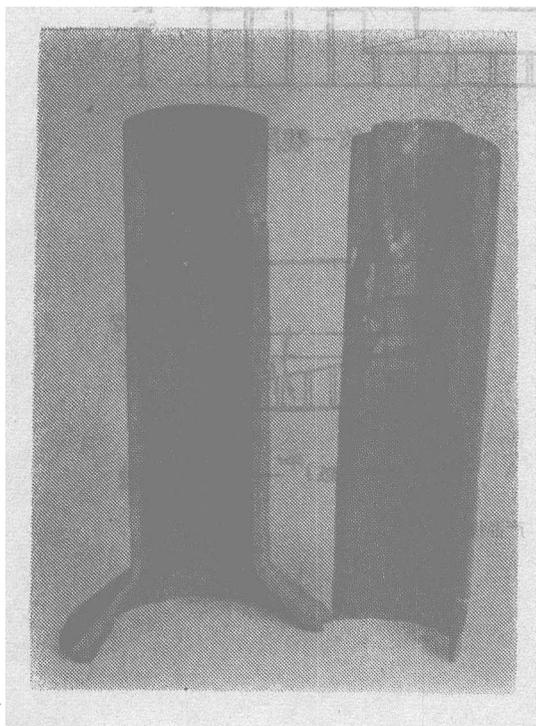


照片(八)

### 三、喷管绝热内衬的工艺探讨

#### 1. 工艺方法

目前国内外成型喷管绝热内衬的工艺有布带缠绕, 模压或层压; 而层压后机加量太大, 一般不用。通过点火试验, 比较了模压玻璃钢内衬和缠绕玻璃钢内衬的烧蚀情况(见下照片)。试验证明: 模压的绝热内衬抗烧蚀, 冲刷均匀; 不起层, 碳化层緻密。因为模

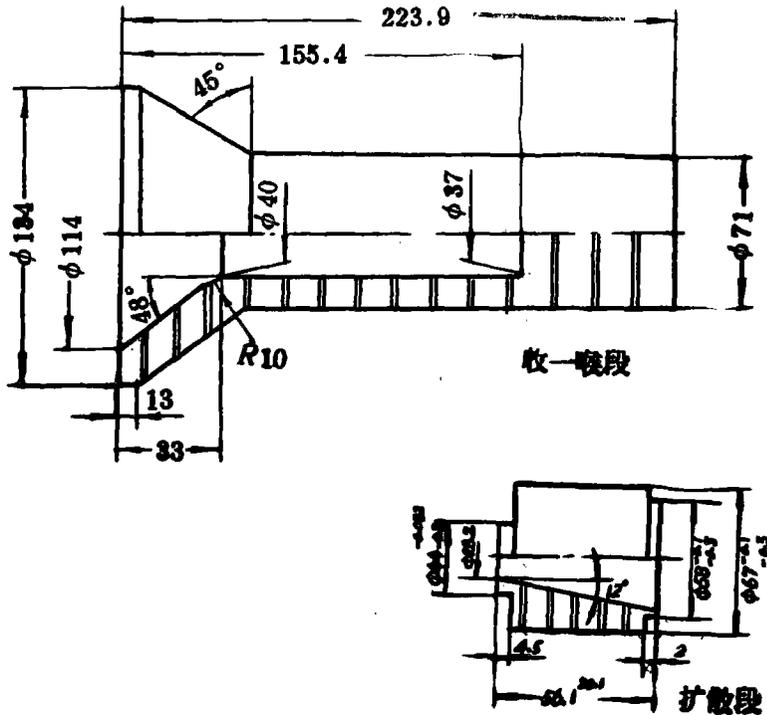


左边—模压的绝热内衬

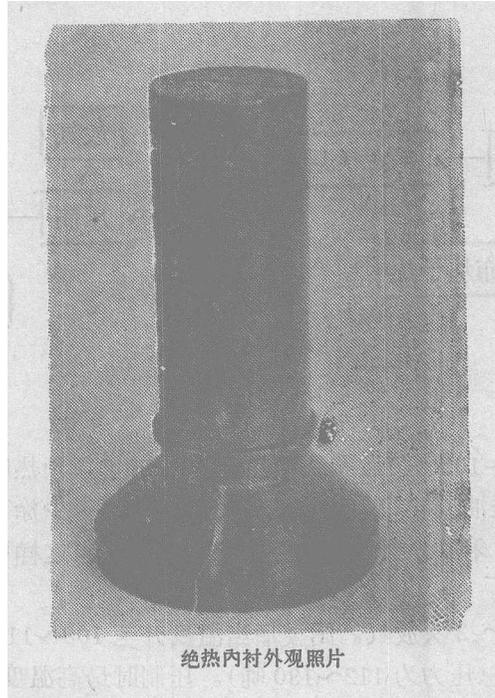
右边—缠绕的绝热内衬

压法是一种高压成型方法,可以获得密度高,机械性能好的产品,生产周期短,机加量小。如果按原材料状态区分,常用有纤维料模压和碎布料模压。而压制喷管绝热内衬多采用纤维料,如“和六”探空火箭喷管的绝热内衬,其收敛段用纤维料模压,喉部背衬和扩散段采用层压后机械加工的方法。试验表明纤维料模压的产品与碎布料模压的产品,机械性能和烧蚀性能都无明显的差别,各有利弊,要根据具体情况而定。一般手工混合纤维料不易均匀,常出现料团,导致纤维在树脂中分布不均匀,影响产品性能。若用手工操作来制备碎布料,胶布质量较纤维料均匀。使用碎布料的优点是便于装模,因为片料的堆积密度较纤维料要小,它的缺点是流动性差,如果产品结构不复杂,无流动死角,则对料的流动性要求也不高。所以,对761探空火箭喷管绝热内衬,用碎布料模压成型是较为实用的工艺方法。

模压后的绝热内衬产品图如下图所示。



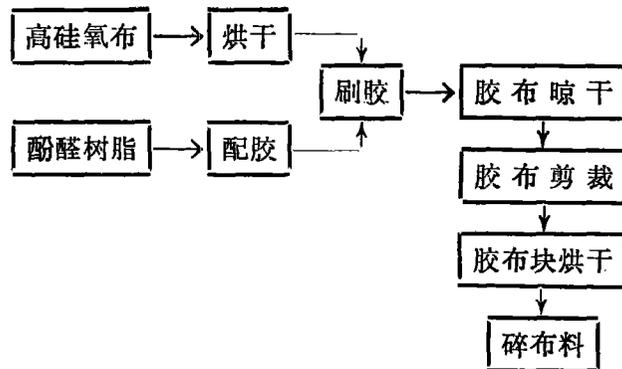
产品图



绝热内衬外观照片

## 2. 工艺过程

### 1) 碎布料制备



① 高硅氧布（平纹 0.2 毫米厚）放入烘箱内烘去水份。烘干温度  $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间  $20\sim 30$  分钟。

② 酚醛树脂（银酚醛或氨酚醛）加入酒精稀释成 50% 的浓度，并加入 1%（重量比）的 KH-550 处理剂，胶液浓度由测比重来控制。银酚醛胶液比重控制在 1.07，氨酚醛在 1.03。

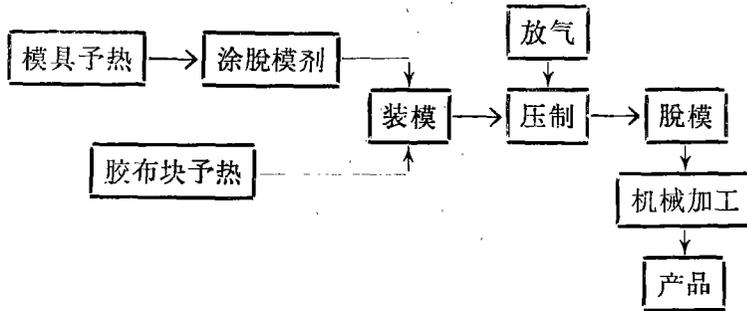
③ 手工刷胶，要求均匀，刷透。

④ 自然晾干，以不粘手为准。晾干时间视气温而定。

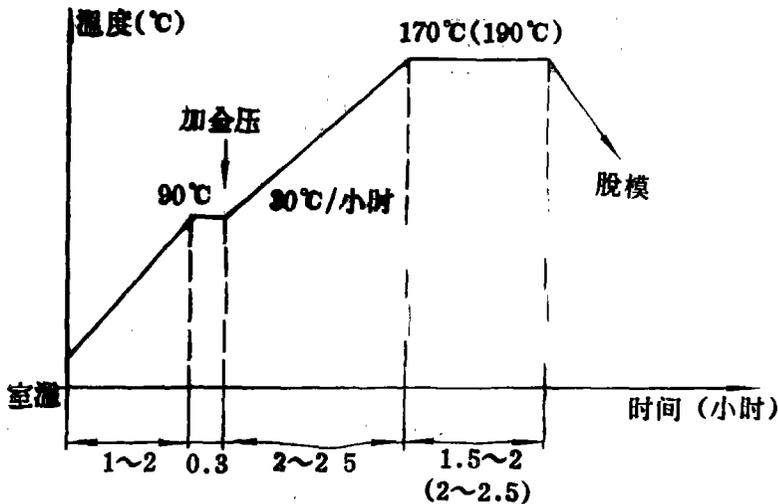
⑤ 剪成约  $20\times 20$  毫米<sup>2</sup> 的胶布块，要挑出含胶不均匀的胶布块和边料头。

⑥ 胶布块均匀铺放在钢丝网上，送入烘箱内烘干。烘干温度  $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间约 30 分钟。

## 2) 压制



- ① 模具预热至  $95\sim 105^{\circ}\text{C}$ ，胶布块预热至  $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，预热时间 25~30 分钟。
- ② 脱模剂用甲基硅油或硅脂，均可脱模，脱模剂尽量少涂，要涂复均匀。
- ③ 由于装料腔小，采取分次装模，各次预压的方法，这样可保证全部料快速装入模腔。
- ④ 压制时要进行 1~2 次放气。闭模后当温度升至  $100\sim 110^{\circ}\text{C}$  时加全压，压力为  $800\sim 900$  公斤/厘米<sup>2</sup>（总压力为 112~130 吨）。压制时最高温度：酚醛  $170^{\circ}\text{C}$ ，保温 1.5~2 小时，氨基酚  $190^{\circ}\text{C}$ ，保温 2~2.5 小时。温度变化按下图所示曲线控制。



## 3. 工艺参数的确定

## 1) 胶布质量

胶布质量系指树脂含量(R%)、挥发份含量(V%)和可溶性树脂含量(S%)，它们对产品的性能和成型工艺有很大的影响。

① 树脂含量：它直接影响产品的性能。试验证明(见表6)，树脂含量在27~33%时，机械性能最佳。它对烧蚀性能的影响也十分明显，见表7的结果。

R% 对玻璃钢机械性能的影响

表 6

树脂含量 (%)	抗拉强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	抗弯强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	抗剪强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )
20~26	3158	2420	162
27~33	3354	2248	211
40~45	2746	1267	192

R% 对烧蚀性能的影响

表 7

材 料	树脂含量 (%)	相 对 烧 蚀 率*		
		1800°C	2500°C	7000°C
玻璃布/酚醛	27	1.0	2.7	2.5
	37	1.2	2.5	2.0
	44	1.6	2.2	2.0
	65	1.7	1.5	1.4
高硅氧布/酚醛	40	1.4	1.6	2.1

\* 表中数据以玻璃布/酚醛在 1800°C, R 为 27% 时作基数。

从表 7 看出, R 为 65% 时, 烧蚀性能最好, 但树脂含量高, 产品强度差, 工艺性能也不好。对要求烧蚀性能的产品, R 一般控制在 37~44% 范围内。

② 挥发份含量: 挥发份主要指吸入空气中水份及溶剂中低分子物。对酚醛树脂来说还包括缩聚反应时, 释放出的水和其它挥发物(如残存的甲醛和游离酚)。这些挥发物无论残留在制品中或是生成气体排出, 对产品性能都有不良影响。挥发份对产品性能的影响参看表 8。

V% 对玻璃钢性能的影响 (I)

表 8

V%	抗拉强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	抗压强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	等离子烧蚀 P <sub>s</sub> =1.44 大气压	
			烧蚀速度 (毫米/秒)	烧蚀率(克/秒)
2.0	109	—	0.49	0.26
4.6	84	1626	0.45	0.17
5.6	96	2300	0.52	0.22
6.7	65	—	0.49	0.18

(I)

续表 8

V%	抗拉强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	抗压强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	等离子烧蚀 P <sub>s</sub> =10 大气压	
			烧蚀速度 (毫米/秒)	烧蚀率 (克/秒)
2.0	102	—	—	—
3.3	123	—	0.92	0.63
3.7	121	—	0.93	0.65

从上述数据分析,  $V > 6.7\%$  时, 产品机械性能明显下降, 成型时易大量流胶。 $V < 2\%$  时, 胶布发干, 发脆, 装模困难。 $V$  在  $2 \sim 3.7\%$  范围内, 性能变化不大。

③ 可溶性树脂含量: 它表示胶布的预固化程度, 在一定程度上, 反映了胶布热压时的软化温度和流动性。故它对产品的最终性能和工艺的稳定性起重要作用。可溶性树脂含量对产品性能的影响见表 9。

S% 对模压高硅氧/酚醛性能的影响

表 9

性 能		S%	27~47	54~89	61~90
抗拉强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )			91	103	190
抗压强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )			2250	2033	2036
抗弯强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )			347	409	612
小发动机烧蚀	烧蚀速度 (毫米/秒)		0.70	0.65	0.67
	烧蚀率 (克/秒)		2.19	2.30	2.54
等离子烧蚀 P <sub>s</sub> =5大气压	烧蚀速度 (毫米/秒)		0.79	0.80	0.79
	烧蚀率 (克/秒)		0.51	0.50	0.51

S 在  $54 \sim 90\%$  时, 高硅氧/酚醛性能较好。当  $S < 50\%$ , 工艺难控制, 胶布又硬又脆。当大于  $90\%$  时, 处在夏天胶布发粘, 剪裁有困难。

树脂含量、挥发份含量和可溶性树脂含量三项指标之间不是孤立的, 而是互相影响, 互相依存的。当 R 增大时, V 也随之增大, 它们之间的关系可参看图 5 的曲线。

可溶性树脂含量和挥发份含量的关系可参阅图 6。图形显出: V 增大, S 随之增加 (R 为  $27 \pm 3\%$  时)。上述两种试验的条件都是: 胶液浓度  $50\%$  和相对湿度  $30 \sim 50\%$ 。

所以胶布的质量指标要根据使用的树脂, 产品性能和工艺要求综合考虑, 并通过试验, 才能确定下来, 在生产中应严格控制它们。参考兄弟单位的试验结果, 根据我们的

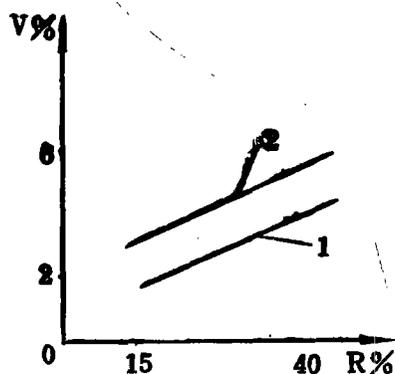


图 5 R 与 V 的关系  
1—胶布在空气中自然晾干  
2—胶布在烘箱中处理其条件为 90℃，  
10 分钟。

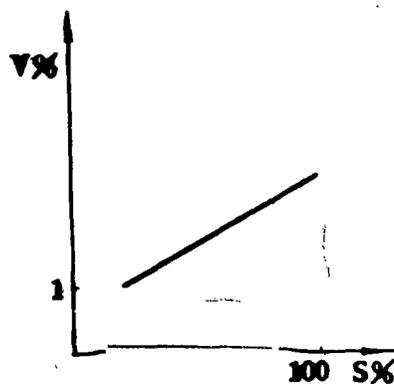


图 6 S 与 V 的关系

具体条件，通过试制，确定出本工艺中胶布的质量指标是：

树脂含量 35~40%

挥发份含量 <5%

可溶性树脂含量 70~90%

## 2) 温度

温度的作用是促使树脂固化反应和达到固化反应完全，所以成型温度直接取决于树脂的固化温度。差热分析表明：氨酚醛树脂在 80℃ 开始缩聚反应，145~150℃ 反应最激烈，180℃ 树脂固化接近完毕，一般氨酚醛树脂的最后固化温度定为 175±5℃，钼酚醛树脂的固化温度定在 135±5℃。但成型温度和固化温度不尽相同，考虑到产品的结构大小、厚薄，以及模具测试温度与实际温度的差值，成型温度应高于树脂的固化温度，以避免因固化不完全出现粘模，脱模困难，强度低等缺陷。761 绝热内衬的特点是高而厚、产品全高为 223.9 毫米，最厚处尺寸为 35.5 毫米，装料量为 1470 克。为保证产品充分固化，并具有一定的机械强度，通过工艺试验，确定出使用钼酚醛的成型温度需要 170℃，氨酚醛的成型温度需要 190℃。

为了消除产品的内应力，在成型温度和成型压力下，必须保持一段时间。保温时间根据产品厚度来定，按 4~5 分/毫米较为适宜。所以钼酚醛树脂的保温时间可定为 1.5~2 小时，氨酚醛树脂的保温时间定为 2~2.5 小时。（因后者工艺性较差，挥发物多，需要延长保温时间。）

为保证产品内外受热均匀，产品上、中、下各部位温度均匀分布，温差不宜过大，升温速度对于压制高厚产品是个关键因素，因此要采取逐渐升温 and 阶段保温的措施，我们按平均升温速度 30℃/小时掌握，比较合适。

## 3) 压力

成型时加压可使产品质量密实，还可以克服由于挥发物生成气体的反冲力使产品出现肿胀，脱层，破裂等缺陷。压力大小一方面决定于树脂类型，另一方面还与产品形状大小，料的可压缩性，模具结构等因素有关。对于酚醛型模压料一般使用 300~500 公

斤/厘米<sup>2</sup>的成型压力。考虑本产品高度大,垂直加压时,由于物料要克服内阻,压力值沿高度方向下降较大。所以,在压制设备许可情况下,兼顾到模具的强度,应该提高压力,通过试压,确定了本产品的成型压力在800~900公斤/厘米<sup>2</sup>范围内。

固化过程中什么时候加压较为合适?即加压时间的确立,这是控制质量的关键。一般认为压力应该在树脂激烈反应、放出大量气体之前加足;并考虑到树脂的粘度。加压过早会挤出过多的树脂,引起表面树脂集聚,加压过迟将使得内部结构疏松,表面出现麻点。氨基醛树脂固化过程中,释放气体的第一个高峰在110~120℃范围内,释放气体量约占总气体量的16%,第二个高峰在160~170℃,约占气体总量的15.6%。经验上认为树脂加热到可以拔丝的程度,此时粘度适中,既利于流动成型,又不会因加压而流胶。本产品的加压时间选择在:模具预热至95~105℃,迅速装模(装模时间不超过10分钟),温度升至100~110℃时合模,并一次加足压力。一般情况下,模具既能合严,流胶也较少。

#### 4. 模具设计

模压工艺中的关键性工作设计出—套结构简单,易于加工,使用方便,成本低的模具。本产品模具结构采用垂直分模面型式(图7)。阳模设计成整体结构,阴模两半拼合,用销钉连接和定位。两半阴模依靠带10°半锥角的模套锁紧,阴模装入模套后,小头底部与模套之间留有0.3毫米间隙,以保证压制时两半阴模紧密闭合,且小头端面恰与压机工作台面接触,使压机提供的压力有效地加在工件上。这种模具的优点是便于取出产品。开模时要保证产品留在两半阴模内,为此,在阴模内直体部位开了一条5毫米宽的梯形沟槽;同时在阴模外部也开沟槽,利用压板,螺钉压住阴模,使之不随阳模带出来。根据我校工厂加工模具的技术水平,和节省加工费用,在不影响模具使用的前提下,适当降低了一些工艺要求。如以45号钢代替工具钢和合金钢作模具材料,采用调质处理,经过压制100多件产品,证明模具强度足够。模具工作表面光洁度按▽7要求(一般模具要求▽9以上)。以镀表面铬代替镀硬铬,其铬层耐磨性可保证压近100件产品,而镀铬加工费可节省四分之三。阴阳模配合采用4级精度动配合,既保证了配合精度,又易于加工。

我们知道,对玻璃钢件的模具设计一定要考虑产品尺寸的收缩问题,但收缩率与物料和压制工艺有密切关系。通过对大量试压产品进行尺寸检查,对我们使用的胶布块料及其压制条件,收缩率定在0.002~0.0025之间,就可保证产品的尺寸公差要求,而模具制造公差高于产品尺寸公差两级就可以了。

由于物料的体积大大超过产品体积,压制时存在体积压缩问题,需要设计一个大装料室来容纳物料,这样就增加了模具的高度。一方面使模具制造复杂,另外模具太高无法在压机上使用,还要过多消耗热量。我们只设计了一个较小的装料室,模具高度增加不多,为保证物料全部装入,通过预热物料使之软化,采取分次装料,每次预压的措施就解决了装模问题。

#### 5. 工艺改进

1) 提高了产品压制密度。研制过程中,绝热内衬的密度由1.5~1.6克/厘米<sup>3</sup>提高到了1.65~1.70克/厘米<sup>3</sup>。经发动机点火试验证明:密度高的产品较密度低的烧蚀性能

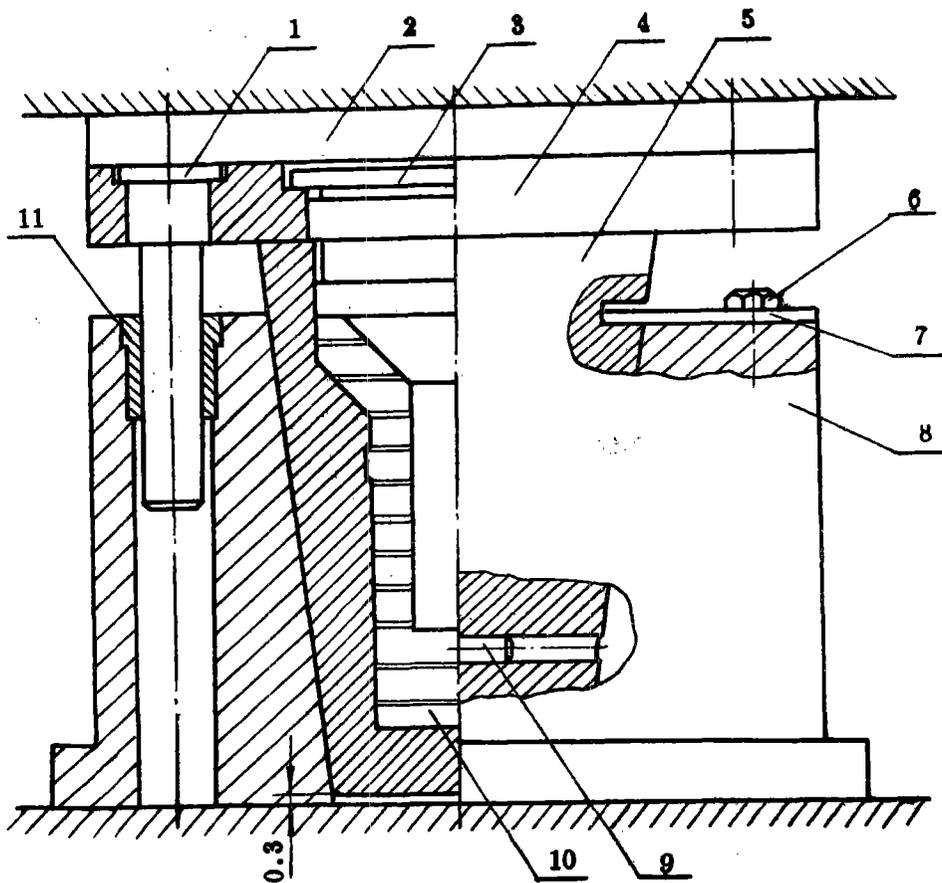


图 7 模具结构图

1. 导柱 2. 上模板 3. 阳模 4. 下模板 5. 阴模 6. 螺钉 7. 压模板  
8. 模套 9. 定位销 10. 产品 11. 导套

有所提高, 见表 10。由于产品内部组织密实, 能抗烧蚀, 抗冲刷, 机械强度也高。提高密度从制备模压料开始到压制, 对影响压制密度的诸因素均要控制, 如控制 R% 和 S% 在下限指标 (表 11)。即是选用比较干燥的模压料, 这样压制时可以少流胶或减少废料, 但干料装模困难, 因此要控制好装模前对料预热的温度、时间, 使物料均匀地达到适宜的装模温度。而且装模动作要迅速, 为了驱赶低分子物使产品内部不疏松, 压制前应放气, 并掌握好加压时机。目前由于模具几经修改, 配合间隙较大, 有时废料较多, 如果改用配合间隙合适的模具, 预计产品密度可提高到 1.70 克/厘米<sup>3</sup> 以上。

烧蚀率与产品密度的比较

表 10

密度 (克/厘米 <sup>3</sup> )		1.654	1.646	1.68	1.673	1.671	1.696	1.642	1.683	1.5~1.6	1.5~1.6
烧蚀率 (毫米/秒)	收敛锥	0.27	0.33	0.39	0.31	0.40	0.44	0.39	0.36	0.47	0.42
	直体	0.24	0.24	0.25	0.22	0.28	0.28	0.27	0.28	0.32	0.33

表 11

R%	38	37	37.5	36	35
S%	70	85	82	74	76
V%	3.8	3.5	3.9	4	4.5

2) 用氨酚醛代替钼酚醛。绝热内衬一直使用钼酚醛树脂作原材料,原因是它的工艺性能较好,如粘度小,胶凝时间短,固化过程中产生的低分子物少。但这种树脂需从外地订货,存放期又短,运输麻烦,不便于使用。从1980年9月开始改用长沙树脂厂生产的氨酚醛树脂,它的工艺性能不如钼酚醛,但烧蚀性能优良,我们在工艺上相应作了某些变动。用氨酚醛树脂作原材料压制出30个收——喉段绝热内衬,全部为合格产品,且产品密度也提高了,在10发地面试验中,烧蚀性能均符合要求。由于氨酚醛树脂比钼酚醛每公斤价格约低10元,故在产品成本上有所降低。

#### 四、结 束 语

761 探空火箭喷管的绝热内衬经历了三个阶段的研制,共试制了 114 套合格产品,通过 65 发地面热试车,其中在 78, 79 年中试验的有 32 发,其目的是确定绝热内衬的结构方案,其余 33 发试验是在 80 年内进行的,其目的是对第三方案的绝热内衬进行考核,33 发试验的内容包括:

φ 140 毫米实验发动机及实验喷管(均为厚壁) 13 发。

φ 150 毫米实验发动机及实验喷管(均为厚壁) 10 发。

φ 150 毫米样机(发动机及喷管均为薄壁) 10 发。样机试验中包括发动机单试 7 发,发动机助推器联试 3 发。

通过大量试验证明:无论是厚壁还是薄壁的喷管外壳,无论是单试还是联试,绝热内衬在后 33 发试验中未发生过烧穿以及全碳化的现象,喷管工作完毕,外壳温度在 100°C 以下,说明内衬起到了良好的绝热效果。目前用薄壁的喷管作地面热试车试验时,一个金属喷管外壳可重复用两次,这样节约一个外壳可节省近千元加工费。

1981 年又顺利地通过了全弹飞行试验。至此,我们可以得出结论:绝热内衬的结构设计合理,绝热层厚度安全可靠,成型工艺和模具可以保证压制出合格的产品。绝热内衬可以应用在 761 探空火箭弹上,为喷管起到可靠的绝热作用。

这种绝热内衬结构还可用到具有类似工作环境的其它兵器上,作喷管的绝热件来用。根据烧蚀后剩余厚度来看,在烧蚀最严重处未碳化层仍有 4 毫米。如果喷管工作条件更为苛刻,预计这种绝热内衬还有潜力可挖。

#### 参 考 文 献

- [1] 周玉娟:《××碎布模压酚醛——高硅氧材料和工艺的研究》(1979年)
- [2] 国防科大一〇九室:《761 发动机试验报告》(1980年)

[3] 北京 251 厂: 《玻璃钢工艺和性能》, 中国建筑工业出版社 (1974 年)

## Study of the Technological Process of Adiabatic Bush for «761» Sounding Rocket Nozzle

Xiao Cui-rong

### Abstract

This report describes the selection of materials and the determination of structure about adiabatic bush used for «761» sounding rocket nozzle. Particularly, the selection of some main technological parameters is discussed when the adiabatic bush is made by compression molding method. A great number of testing data prove that the structure of adiabatic bush is reasonable, the technological process is convenient, operation is reliable, so that, it can be used for adiabatic bush in «761» sounding rocket nozzle and other weapons.