

# 一种脱模剂在固体火箭发动机 燃烧室壳体绝热材料成型中的应用

张宁<sup>1</sup> 耿志刚<sup>1</sup> 李聪<sup>1</sup> 张云<sup>2</sup> 刘峥<sup>1</sup> 张新航<sup>1</sup> 祁本利<sup>1</sup> 李晓奋<sup>1</sup>

(1. 西安长峰机电研究所, 西安 710065; 2. 空装驻西安地区第八军事代表室, 西安 710065)



**摘要:** 分析了不同脱模剂在固体火箭发动机燃烧室壳体绝热材料成型中的脱模效果, 结果表明: 8421A 脱模剂的质量分数为 15% 时, 表面张力值为 22.3mN/m, 脱模次数最大, 效果最佳。按照工艺方法处理后, 用于长径比为 18 的绝热材料成型中可循环使用 9 次, 且制备的产品合格率达 100%, 性能满足设计需求。此种脱模剂应用于其它大长径比产品中, 脱模效果也尤为显著。

**关键词:** 脱模剂; 固体火箭发动机燃烧室; 大长径比; 三元乙丙

## Application of a Kind of Release Agent in Forming of Insulation Material of Solid Rocket Motor Combustion Chamber

Zhang Ning<sup>1</sup> Geng Zhigang<sup>1</sup> Li Cong<sup>1</sup> Zhang Yun<sup>2</sup> Liu Zheng<sup>1</sup> Zhang Xinhang<sup>1</sup> Qi Benli<sup>1</sup> Li Xiaofen<sup>1</sup>

(1. Xi'an Changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065;

2. The Eighth Representative Office of Air Force Equipment Department in Xi'an, Xi'an 710065)

**Abstract:** The demolding effect of different demolding agents in the molding of the thermal insulation material within the shell of solid rocket motor combustion chamber was analyzed. The results show that when the mass fraction of 8421A demolding agent is 15%, the surface tension value is 22.3mN/m, the number of demolding times reaches the maximum and the demolding effect shows the best. After the treatment according to this process, the demolding process of the molding of the thermal insulation material with a length-diameter ratio of 18 can be performed 9 times repeatedly, and the qualified rate of the product is 100%, which meets the design requirements. This demolding agent has been applied to other products with large aspect ratio, and the demolding effect is particularly remarkable.

**Key words:** release agent; solid rocket motor combustion chamber; large length-diameter ratio; EPDM

### 1 引言

固体火箭发动机燃烧室壳体防热通常采用三元乙丙橡胶绝热层<sup>[1, 2]</sup>。在绝热层成型过程中, 根据结构尺寸特点, 需要使用不同类型的脱模剂。目前, 脱模剂是橡胶类制品加工助剂, 具有高耐热稳定性、高化学稳定性等优点, 主要用来降低橡胶与模具之间的摩擦力, 使橡胶制品在挤出、压制和硫化时易于脱模。随着橡胶、塑料、聚氨酯制品以及金属构件等在制造业及科技领域中的蓬勃发展, 脱模剂的使用越来越广

泛, 其用量也大幅度提高<sup>[3, 4]</sup>。其中注塑、挤出、压延、模压、层压等工艺的迅速发展, 更促进了脱模剂的发展, 不论在产量上还是品种数量上, 脱模剂都已成为橡塑助剂的一大类<sup>[5, 6]</sup>。按照脱模剂的用法可分为外脱模剂和内脱模剂, 按其寿命可分为牺牲型脱模剂和半永久型脱模剂。而常用的脱模剂为外脱模半永久型脱模剂, 其使用是通过涂覆在模具表面, 经交联固化形成一层完整均匀的薄膜, 该交联膜的组分不向制品转移, 不污染制品, 基本不消耗, 因此可增大脱模性能与涂膜耐久性, 从而一次涂覆便可多次脱模。常用的

作者简介: 张宁 (1994), 硕士, 材料科学与工程专业; 研究方向: 热防护复合材料。

收稿日期: 2019-05-30

脱模剂类型分为蜡系脱模剂（如合成石蜡、聚乙烯蜡等）、硅系脱模剂（硅油、硅脂、硅橡胶等），氟系脱模剂（聚四氟乙烯、氟树脂粉末等），表面活性剂系（如阴阳离子型、EO、PO 非离子性等），聚醚系列等<sup>[7~12]</sup>。

在固体火箭发动机壳体燃烧室隔热材料应用中，需针对型号产品结构特性及功能等条件，设计三元乙丙隔热材料。本文研究的是一种水溶性脱模剂在大长径比固体火箭发动机绝热材料成型脱模中的应用。

## 2 实验材料与方法

### 2.1 实验材料

三元乙丙混炼胶，自制；硼酚醛预浸带，自制；295-3D 硅脂（晨光化工有限公司）；80#微晶石蜡（振超化工有限公司）；脱模剂 8421A（LUBKO）；JMPPG-600 石蜡醚 A（华凯化工有限公司）。

### 2.2 仪器设备

试件成型模板（工作面  $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ ）、50t 平板硫化机、鼓风干燥箱、电动喷枪、BZ-103Y 表面张力测试仪。

### 2.3 试样制备

根据标准 HB5479 测试方法，分别按照硅脂、微晶石蜡、LUBKO 8421A、石蜡醚 A 脱模剂的使用条件，配制不同浓度及有效成分的几种脱模剂进行实验。其中硅脂、微晶石蜡采用纯物质，LUBKO 8421A 配制水溶液浓度为 5%、10%、15%、20%、25%（常温配置，搅拌均匀），石蜡醚 A 配制水溶液浓度为 1%、2%、3%、4%、5%（在 40℃ 温度下，搅拌均匀），供实验使用。

#### 2.3.1 硼酚醛预浸带试样试制

a. 用丙酮将试验件成型模板擦洗干净，放入鼓风干燥箱(95±5)℃，恒温 40min，取出后将脱模剂按规定用量涂于试验件成型模板。

b. 在涂有脱模剂的成型模板上铺贴 300mm×300mm 预浸料，厚度能保证压制出 1mm 厚的材料，盖上上压板放入压机。

c. 升温到 125℃ 加压 0.5MPa；该压力下继续升温 (150±5)℃，保温 1.5h；再升温到(175±5)℃，保温 2h；随后冷却到 65℃ 以下，卸压脱模。看板材与模板有无粘连，表面是否光滑，若无粘连且表面光滑即为脱模效果合格。

#### 2.3.2 三元乙丙试样试制

a. 用丙酮将试验件成型模板擦洗干净，放入鼓风干燥箱(95±5)℃，恒温 40min，取出后将脱模剂按规定用量涂于试验件成型模板。

b. 在涂有脱模剂的成型模板上铺贴 300mm×300mm 三元乙丙生胶，厚度能保证压制出 1mm 厚的材料，盖上上压板放入压机。

c. 升温到 125℃ 加压 0.5MPa；该压力下继续升温 (160±5)℃，加压到 6MPa，保温 1.5h；随后冷却到 65℃ 以下，卸压脱模。看板材与模板有无粘连，表面是否光滑，若无粘连且表面光滑即为脱模效果合格。

经测试，硅脂成膜效果不均匀，而微晶石蜡室温涂抹不易于操作，工艺性较差，且耐温性不好，使用 8421A 和石蜡醚 A 脱模剂的脱模效果合格。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 两种脱模剂性能分析

#### 3.1.1 8421A 及石蜡醚 A 脱模剂浓度与脱模次数的关系影响

通过上述实验，筛选出两种较好地脱模剂，并按照 HB5479 测试方法实验研究两种脱模剂有效成分含量与脱模次数，得到脱模剂有效成分与脱模次数的关系图，如图 1 所示。

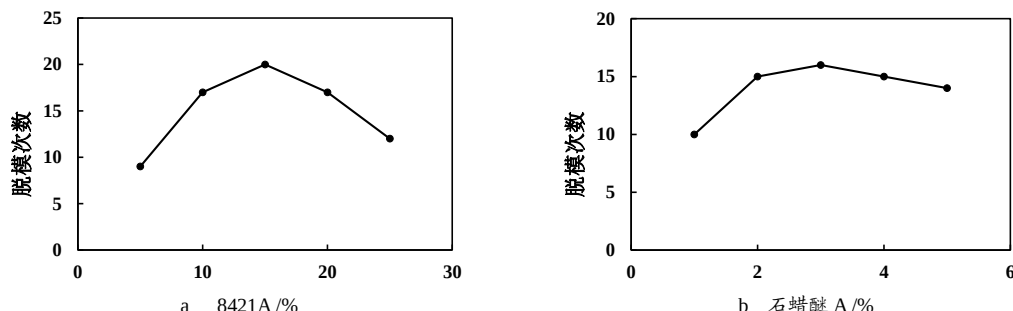


图 1 两种脱模剂不同质量分数下对脱模次数的影响

由图可知：脱模剂中各功能组分用量的不同对脱模剂的性能有着显著的影响。两种脱模剂的脱模次数随着有效成份的增加先增加而后降低。8421A 脱模剂的质量分数为 15% 时，脱模次数最多达到 20 次；石蜡醚 A 脱模剂质量分数为 2.5% 时，脱模次数达到 17 次。二者若继续增加其浓度，脱模次数反而下降；这是因为质量分数过大时，多余的成分成膜不能完全固化，而形成一层油状物，虽然会减小初次脱模时的阻力，但会影响后续脱模次数，并且该油状物可能会粘附在制品表面，污染制品，同时也是成本的浪费。

由实验结果可知，使用质量分数为 15% 的 8421A 脱模剂脱模次数最多；使用质量分数为 2.5% 石蜡醚 A 脱模剂脱模次数最大；说明两种脱模剂都有各自的最佳使用浓度值。

### 3.1.2 8421A 及石蜡醚 A 脱模剂表面张力测试

通过上述实验，筛选出两种脱模剂的最佳使用浓度分别为 15% 及 2.5%，并测定该浓度下的两种脱模剂表面张力值，以纯水作对照实验。两种脱模剂溶液在温度 23℃ 下，采用 BZ-103Y 表面张力测试仪测量表面张力，得到的测试结果如图 2 曲线所示。

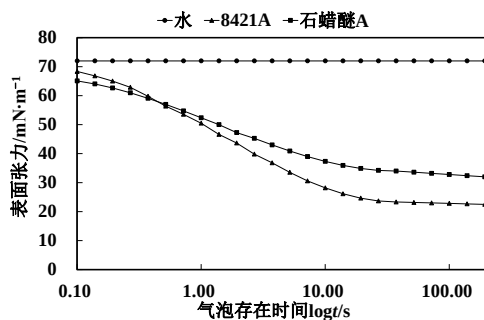


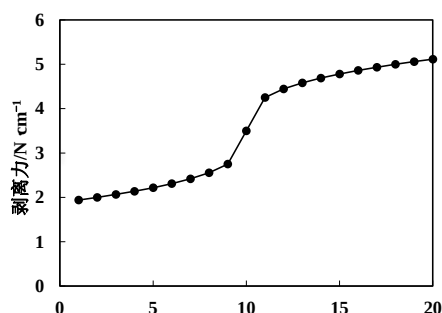
图 2 三种液体表面张力测试曲线

由结果可知，质量分数 15% 的 8421A 脱模剂的表面张力值为 22.3 mN/m，质量分数为 2.5% 的石蜡醚 A 脱模剂表面张力值为 33.4 mN/m。可知 8421A 脱模剂脱模性能优于石蜡醚 A。像 8421A 这种脱模剂可能因其含有极性全氟碳链，具有良好的热、化学稳定性，表面张力低，使用浓度低，表面活性高的缘故<sup>[13~19]</sup>。

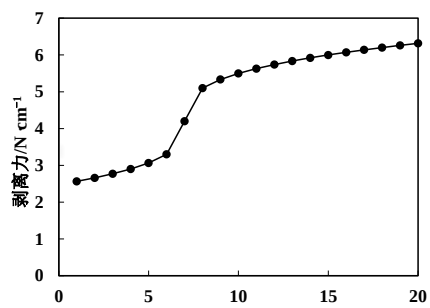
### 3.1.3 8421A 及石蜡醚 A 脱模剂脱模次数与剥离力及脱模寿命的关系影响

通过上述实验筛选出两种脱模剂的最佳使用浓度值后，又对该浓度值下的两种脱模剂脱模次数与剥离力关系进行了实验，根据实验结果分析，得到结论如图 3 所示。随着脱模次数的增加，两种脱模剂的剥离力都逐渐增大。使用 8421A 脱模剂脱模 9 次后，制品

与模具之间的剥离力急剧增加，是初始时的 2.2 倍，后逐渐趋于平缓。使用石蜡醚 A 脱模剂脱模 6 次后，制品与模具之间的剥离力急剧增加，是初始时的 2 倍。根据经验值，制品与模具之间的剥离力大于 4 N/cm 后，脱模难度极大，容易损坏制品或模具。可得出两种脱模剂使用时，各自的脱模寿命值，过早涂抹会影响脱模次数或污染制品表面；过晚涂抹会使制品与模具之间的剥离力值过大，增大了脱模难度，影响制品合格率。8421A 脱模剂的脱膜性能优良，该半永久型脱模剂使用工艺简单，在模具表面涂覆后，涂层能较快固化成膜，初次脱模剥离力约为 2 N/cm，多次脱模后剥离力仍低于 5 N/cm。



a 8421A 脱模次数



b 石蜡醚 A 脱模次数

图 3 两种脱模剂脱模次数与剥离力的关系

## 3.2 脱模剂在固体火箭发动机燃烧室绝热材料成型中的应用

### 3.2.1 型号产品特点

根据总体设计要求，某型号固体火箭发动机应具有高速度、远射程、高命中率的功能特点。

常规固体火箭发动机设计无法满足高速度、远射程的功能特点，因其一级发动机作为承压燃烧室，工作时受高温高压燃气的载荷作用，燃烧室壳体发生变形，会引起弹体失稳。所以总体单位对壳体设计提出了大长径比（长径比为 18）的要求，且无脱模斜度。

通常使用的脱模剂对于这类大长径比的橡胶制品来说，脱模极其困难，废品率较高，影响制造成本及

交付节点。故传统方法对于这类大长径比的绝热层采用分段式粘贴,粘贴工艺复杂繁琐,不确定因素较高;使用分段式粘贴,无法提供高强内压载荷环境,进而无法提高固体火箭发动机综合性能,必须采用大长径比绝热层一次成型技术。

根据某型号固体火箭发动机壳体结构,设计其绝热层成型哈夫模示意图如图4所示。

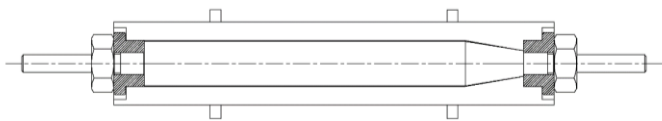


图4 某型号固体火箭发动机绝热层哈夫模模具设计示意图

### 3.2.2 脱模剂在绝热层成型中的应用

a. 将三元乙丙橡胶、补强剂、过氧化二异丙苯及3种填料按照一定质量比混合,在炼胶机上混炼30min;然后薄通2遍,出胶片晾置,待胶料温度降至室温后打卷称重,放置12h,待用;

b. 将模具在50t平板硫化机上进行预热,此时称取8421A脱模剂4g,加入20g蒸馏水混匀,待用;

c. 混合好的脱模剂溶液加入电子喷枪内,待模具温度达到100℃后,打开模具对型芯进行喷涂脱模剂;将模具放在硫化机上,加热升温,当模具温度达到130℃保持10min,随后取下模具二次喷涂脱模剂,待用;

d. 取三元乙丙混炼胶称重,包附在型芯上,进行制品压制:以10℃/min升温到160℃,测量模具温度;当模具温度达到160℃时,加压到6MPa,硫化75min;

e. 待模具温度降到60℃下,脱模。重复d~e步骤,循环操作可压制9发产品且合格率100%,满足设计需求。这种脱模剂应用于大细长径比产品脱膜有显著效果,应用于其他大长径比的产品中,也取得了良好的效果,如长细比为22的无脱模斜度包袱套成型产品等。

## 4 结束语

a. 8421A脱模剂的质量分数为15%时,脱模次数最多达到20次;石蜡醚A脱模剂质量分数为2.5%时,脱模次数最多达到17次;

b. 质量分数为15%的8421A脱模剂的表面张力值为22.3mN/m;质量分数为2.5%的石蜡醚A脱模剂表面张力值为33.4mN/m;

c. 用8421A脱模剂脱模9次后,制品与模具之间的剥离力急剧增加,是初始的2.2倍;使用石蜡醚A脱模剂脱模6次后,制品与模具之间的剥离力急剧增加,是初始的2倍;

d. 按脱模剂使用规则处理模具后,可循环压制9发产品且合格率100%。此种脱模剂应用于大长径比产品中效果显著,将其应用于长径比为22的产品中,也取得了良好的效果。

## 参考文献

- 1 闵斌. 防空导弹固体火箭发动机设计[M]. 北京: 宇航出版社, 1993
- 2 丘哲明, 陈明义. 固体火箭发动机材料与工艺[M]. 北京: 宇航出版社, 1995
- 3 李晓光, 董德, 赵金钊. 利用有机硅高沸物制备乳化硅油及脱模剂[J]. 当代化工, 2007(3): 288~290
- 4 蒋崇文, 雷志刚, 吴周安, 等. 脱模剂的制备与应用研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2007, 15(6): 16~18
- 5 李昂. 脱模剂及其作用机理[J]. 特种橡胶制品, 2002, 23(4): 26~29
- 6 舒兴文, 毛胜华, 阮家声. 聚氨酯微孔弹性体模塑用硅油型脱模剂的研制[J]. 聚氨酯工业, 2005(2): 24~26
- 7 周海滨. 用半永久性脱模剂帮助脱模及防止模具污染[J]. 世界橡胶工业, 2007, 34(1): 33~36
- 8 冯君茜, 胡德林, 李百霞. 水溶性脱模剂的制备[J]. 合成润滑材料, 2005, 32(1): 11~15
- 9 吴利英, 高建军, 靳武刚. 复合材料转移法金属化脱模剂工艺研究及应用[J]. 电子工业技, 2002, 23(4): 172~173
- 10 史兴华. 脱模剂概述[J]. 玻璃钢, 2009(1): 31~35
- 11 马玉英. 塑料加工用脱模剂的选择和应用[J]. 郑州工业高等专科学校学报, 2004, 20(2): 54~55
- 12 舒兴文, 毛胜华, 阮家声. 聚氨酯微孔弹性体模塑用硅油型脱模剂的研制[J]. 聚氨酯工业, 2005, 20(2): 48~49
- 13 莱振良, 李星玉. 含氟脱模剂[J]. 有机氟工业, 1997(3): 27~32
- 14 刘忠文. 含氟表面活性剂研究进展[J]. 化工新型材料, 2004, 32(8): 46~50
- 15 曹润生, 蒋崇文, 王树华, 等. 含氟脱模剂的合成与应用研究[J]. 化工生产与技术, 2007, 14(2): 71~73
- 16 姚涌. 氟表面活性剂在行业中的应用[C]. 全国表面活性剂生产技术协作组、全国表面活性剂中心. 2002表面活性剂技术经济文集. 北京: 《精细与专用化学品》编辑部, 2002: 239~244
- 17 朱瑶, 赵国玺, 贺绍光. 全氟辛酸钠与三甲胺及三乙胺盐酸盐混合体系的表面活性[J]. 日用化学工业, 1998(3): 1~3
- 18 汪先义, 史振加. FC-911阳离子氟表面活性剂[J]. 精细与专用化学品, 1999(24): 14~15
- 19 陈柏洲. 全氟正辛基磺酰氟制备技术进展[J]. 有机氟工业, 1998(4): 10~13