固体火箭设计与制造 第一版

主编: 刘彦君 李青阳

科新社出版

固体火箭设计与制造【第一版】

主编: 刘彦君 李青阳编辑: 魏广寅 唐云野

技术编辑: 刘虎

排版: 孟超 科新社出版

公司 印刷

KCSA 内部交流资料 印刷备案号:[]

网址: http://sa.kechuang.org/

2012年3月第一版 2012年7月第一次印刷 [0-200]

排版: 孟超 印量: 200

版权专有 侵权必究 科新社电话: 028-81928955

前言

实话说,我们有这爱好很难得,能坚持这爱好更难得.相信论坛上多数都是孤独的火箭手,真希望加入这爱好的人会越来越多.我看到不少人对制作火箭是有兴趣的,但能动手做出火箭并成功起飞的就很少了,不少人是在没有引导或多次失败后灰心而去.因此如果能够让那些有心尝试火箭制作的人较容易地实现一飞冲天的梦想,成功体验了发射的享受,他们就有可能爱上并保留这难得的爱好.给初学者一个成功体验,一点坚持的信心!

科创火箭版是探讨火箭技术和业余火箭设计制造的专业版块。所谓业余火箭,参照国际通行的定义,是指主要利用非政府、非商业资金或条件设计和制造的火箭,其设计、制造、发射等活动服务于科技爱好者及其组织,而非政府、军事或商业用途。

"火箭",是指以飞行、运送载荷或提供推力为主要目地的,自带推进剂的喷气推进装置。火箭模型通常不属于火箭,而是某种非火箭物体,因为它们的目地是模仿外观、结构,而不主要是飞行或运送载荷。

模型火箭,是指为了逼真的重现某种火箭的外观、发射场景等目的,效仿重现对象的形状、结构、外观,以一定的比例尺缩放后制作的具备发射功能的火箭。

火箭模型,是指为了逼真的重现某种火箭的外观、内部结构,效仿重现对象的形状、结构、外观,以一定比例尺缩放后制作的没有发射功能的物体;或因科研等目的,为风洞试验等制作的设计模样。

业余火箭活动、业余火箭制作等,属于科技爱好,是科技爱好者围绕火箭研究及其应用而展开的研究、开发、制造、测试等一系列活动的总称。

模型火箭活动,有时可能属于科技爱好的范畴,但是更多的属于文娱表演、演示的范畴。模型火箭制作,是生产模型火箭的过程。

火箭模型通常用于展示或者教育目的。例如,学校里面为学生讲解火箭结构,有时需要用到火箭模型,这种火箭模型内部包含了按一定比例尺缩小的内部结构,如燃烧室、泵、电控部分等的模型。火箭模型制作,通常是生产火箭模型的过程,也可能是火箭爱好者的一种缩微仿制或缩样设计过程。

竞技火箭,是指专为火箭比赛而制作的火箭。一般比赛中,竞技者通过合理设计 火箭的结构和外形(不包含发动机及燃料),在相同的发动机条件下,就火箭的飞 行高度、载荷质量或特定条件(如采用降落伞)下的滞空时间展开竞技,以飞行 高度高或者滞空时间长,载荷重者为胜。竞技火箭活动属于科技爱好,往往也属 于业余火箭的范畴。但是,关于仿真或逼真程度的竞赛,不属于科技爱好。

作为火箭爱好者专业社区,科创火箭版有义务对用语进行规范。现明确上述定义,并规定在交流讨论中按上述定义选用词语。

目前,国内对火箭类活动的称呼较为混乱,并且未对模型火箭和竞技火箭进行区分,往往习惯将业余火箭称为模型火箭。大多数普通媒体的记者对上述概念没有任何认知,经常乱写乱报,加重了这种混乱用语。在我国,因为体育运动管理制度系照抄苏联模式,因此,本处定义的竞技火箭由国家体育总局归口管理,属于"三模三电"中的航空航天模型。在我国,"火箭模型"竟然是一项体育运动,有"教练员"、"运动员"和"裁判员";前苏联或原华约国家基本如此。

本书编写目的在于填补中国业余火箭制造的空白,让爱好者能够拥有一本符合自己的图书,本书重点概述常见业余火箭的制造,发射及相对应的测控,所有项目均为在业余领域使用,在任何情况下不得将此书用于除试验以外的任何目的。

編者 2012 年 2 月 15 日 燃料成分:氧化剂中禁止采用氯酸盐成分,还原剂中不要采用含有可参与反应的硫元素。因为这些药品对压力敏感,容易在燃烧过程中失控甚至燃烧转爆轰,导致产生极为严重的后果:爆炸。对于含有金属粉末的燃料,应考虑到因水分而造成的自燃。

燃料加工:对于热浇注类燃料,切勿明火加热,否则容易引发火灾。在加热过程中需严格控温并使燃料受热均匀,对于湿压类燃料,混合时应特别小心静电。切不可用锤子砸。进行操作时应在周围无易燃物的环境中,特别注意小心静电。应尽量避免在家中制作燃料。

发动机外壳:对于技术尚不成熟的火箭,宜采用纸外壳,尽量不要使用金属外壳,塑料水管外壳。因为这些外壳耐压较高并且一旦爆炸,碎片威力大且射程较远。不要误以为耐压较高的铁质暖气水管不会爆炸,曾经有网友在测试以高氯酸铵为主要燃料的铁管发动机时发生发动机爆炸的事故。

火箭外壳:无论何种火箭,都要避免使用坚硬的材料制作箭体,尤其是箭头。这样即使砸到物品也能减小后果。对于初次试验的火箭,应在发射前对外壳进行空气动力学测试及手动投掷试验。对于组装好的火箭,同样需进行手动投掷试验。

降落伞:对于装有降落伞的火箭,建议采用物理方法开伞。这样可防止因火花引燃降落伞而造成火灾.

点火装置:建议采用电子线控延时点火。不推荐使用遥控(当然,技术高超者可以),以防止因干扰而误点火。不要采用电子瞬时点火,否则一旦出现误点火人员来不及撤离。电点火头必须足够顿感,但又能满足正常点火。电子延时点火应采用导火索延时,导火索延时时间应足够人员撤离到安全地带。对于纯导火索点火,导火索时间应足够人员撤离到安全地带并启动摄像机进行拍摄。对于导火索意外熄灭情况,应等待15分钟后去查看情况。

发射架:发射架必须能使火箭发射后以预计方向飞行,所以火箭在脱离发射架前应具有一定的速度。发射架必须防火、防爆,这样可防止因火箭发射失败而导致将发射架烧着或者更糟糕的爆炸时将发射架炸得碎片四散飞溅。

发射场地:发射前应对火箭的射程和高度进行预估。预估的数据来源应为发动机静态推力测试的数据。发射场地不可有易燃物,不可有不该砸的东西。发射场地应足够平整,以便出现意外时可快速逃跑而不会被绊倒。对于垂直发射的火箭,发射场地半径应大于火箭预估射高。对于以固定角度发射的火箭,发射方向场地半径应不少于预估射程的 1.5 倍,其余方向应不少于预估射程的 0.5-1 倍。。同时切勿在居民区中发射火箭,即使那里有足够大的场地

- 9.发射时间及天气:火箭发射应选在无风且晴朗的早晨或傍晚,太阳刚出来或快要下山的时候。观察点应背对太阳或侧对太阳,这样可方便的观察到火箭的烟迹。因为即使是 1 米多的火箭,发射升空 100 多米后就很难观察到了,而烟迹在数百米的高空依然清晰可见。这样我们可以通过烟迹来确定火箭的发射方向同时便于收集数据。
- **10**.发射后火箭的回收:无论对于何种火箭,发射后都应尽快找到残骸,以避免因发动机余热带来的火灾隐患,同时也便于收集数据。若因特殊原因找不到火箭或火箭落到无法回收的地方(如挂在树上,掉进井里等极为少见的情况),应观察火箭等待 **15** 分钟以上,若无异常方可离开。

目录

第一章 燃料加工及工艺

| 1. 黑火药 (BP) | |
|---------------------|----|
| 简介(1 | () |
| 制作方法 | |
| 燃料性能 | |
| 2. 硝酸钾——蔗糖燃料 (KNSU) | |
| 简介 | |
| 制作方法 | |
| 燃料性能 | |
| 3. 硝酸钾——葡萄糖燃料(KNDX) | |
| 简介 | |
| 制作方法 | |
| 燃料性能 | |
| 4. 硝酸钾——山梨醇(KNSB) | |
| 简介 | |
| 制作方法 | |
| 燃料性能 | |
| 5. 环氧树脂——硝酸钾(RNX) | |
| 简介 | |
| 制作方法 | |
| 燃料性能 | |
| 6. 环氧树脂——高氯酸铵(RAP) | |
| 简介 | |
| 制作方法····· | |
| 燃料性能 | |
| 第二章 发动机设计及制造 | |
| | |
| 1. PPR 火箭······ | |
| 2. PVC 火箭······ | |
| 3. 金属发动机 | |
| 第三章 箭体设计与制造 | |
| | |
| 1.PVC 箭体······ | |
| 2.金属箭体 | |
| 3.头椎设计 | |
| 4.尾翼设计 | |
| 第三章 降落伞制作与设计 | |

| 1. 降落伞设计及制造···································· |
|---|
| 第四章飞行制导与设计 |
| 1.惯性导航···································· |
| 第五章无线电测向与回收 |
| 1.信标···································· |
| 第六章测试及发射系统设计 |
| 1.安全设计 2.点火设备 3.箭体转运 4.测试平台设计 |
| 第七章 配套仪器设计与制作 |
| 1.KN 系列控温仪···································· |
| 参考文献 |

第一章燃料加工及工艺

1、黑火药

简介

黑火药是我国四大发明之一,其主要成分为硝酸钾、硫磺、木炭,黑火药曾经用于军事,现在多用于烟花制造。

黑火药在高密度装药下(P=1.7g/cm^-3)能按平行层规律性燃烧,散装药可产生爆轰效果, 黑火药适用于小口径的火箭发射,我国的四凯发动机即为黑火药组分。黑火药与很多粘合剂 相容,容易压制,材料易得.而且安全性高,添加粘结剂后对冲击不敏感。 制作方法

推进剂配方 A: 硝酸钾: 80% 碳粉: 20% 花生油: 8滴 / 10克 推进剂配方 B: 硝酸钾: 75% 碳粉: 20% 升华硫: 5% 花生油: 8滴/10克

配方 B 组分中的硫能提高燃速并使燃料容易点燃,但加入比例过大会使燃速过高,压力超过喷管的承受能力,容易出现喷管射出问题.测试表明,一型配方和二型配方综合性能最佳.使用花生油作粘结剂,更易于普通爱好者使用.可选择的粘结剂很多,基中环氧树脂就是非常优良的一种,用环氧树脂粘结可以做成燃速和强度都很合适的预制药柱,但以上这些粘结剂都有各种各样的缺点,例如环氧树脂价格昂贵,其它的有毒或制作工艺要求较高.柴油效果与花生油一样,但比花生油更易比柴油获取,通过测试,最终确定每10克加入8滴(胶头滴管)花生油效果比较好.

由于固体颗粒间没有粘结力,单纯粉末很难压制成柱.而且火焰容易从颗粒间隙传播,形成爆燃造成发动机爆炸.加入花生油就使颗粒间有了粘结力,能够压制成柱,而液态的油另一个作用就是填充了颗粒的间隙,使燃料柱层状均匀燃烧.能够层状燃料是推进剂的最重要条件之一. 再如花生油可以长期保存不挥发,这样就不会因存放时间较长而使推进剂失去结合力。

增加硫的含量会增加燃料的燃速,同时燃料更易点火,对冲击和摩擦更加敏感,危险性增加. 5%的硫含量 即为上限。

减少花生油含量会使燃料燃速稍增加,但燃烧更不稳定,成型性变差.增加花生油会降低燃速,成型工艺性好,加入量过多同样会造成燃烧不稳定.可用的加入量为每10克燃料添加5滴-15滴.以8滴为宜。

木炭宜用柳木碳或杉木碳,也可使用六角形烧烤碳。 研磨一定要仔细,否则颗粒过粗会造成燃烧不稳定无法形成推力 。按照配方准确称量,升华硫和碳最好在一起研磨. 但千万不要把硝酸钾和碳或硫混合研磨.

在非金属器皿里将混合物搅拌混合充分.提醒:千万不要误认为搅拌几下变黑就是搅均了, 严格来说需要搅拌数个小时才充分均匀,所以至少要搅拌**十分钟**燃料才合格。然后滴入花生 油,加入花生油后同样需要充分搅拌,数分钟后粉状药料会变成匀质团状,花生油即成为推进剂的永久成份。合格的推进剂成块状不散开,不需要任何干燥过程或加热过程。配制好的这些燃料可以马上装填发动机,或者装瓶密封保存,需要时再取出使用。燃料性能:

性能数据 A:

工作燃速:约6-7MM,在喷燃比达到60-70时产生有效推力。使用10克推进剂时适宜用直径3MM-4MM喷口。

性能数据 B:

工作燃速:约7-9 MM。在喷燃比达到50 左右时产生有效推力。使用10 克推进剂时适宜用直径3.5-4.5 MM喷口。

特性分析:

优点:成本低廉,材料简单 适宜于初学者 常温混合,无需加热 需要的加工用具少,加工周期短

燃料不吸湿,可以长时间保存 可以批量制作,保存好随时使用 较 K N D X 容易发火燃速适当,推力较大

缺点: 结合强度低,只适宜用于小直径发动机(不大于 2 5 MM) 受研磨和混合技巧影响,性能波动较大。

2.硝酸钾一蔗糖(KNSU)

简介

KNSU 是业余爱好者最常使用的燃料之一,他的制法较为简单,材料来源方便,适用于小大口径的发动机,具有便捷,环保,安全的优点。他的常用制备方法有两种,重结晶和热熔。是广大业余火箭玩家的首选燃料。

制作方法

配方 A: 蔗糖:35% 硝酸钾:65%

配方 B: 蔗糖:40% 硝酸钾: 60% (推荐初学者使用)

【1】重结晶

仪器:温控设备,电炉/电磁炉(如果以上仪器都没有,可使用煤气灶盐浴法)温度计,必要容器、灭火器材及防护器材。

试剂:增塑剂(玉米糖浆/5020 胶水)、蔗糖、硝酸钾

首先制作好模具,可使用选择的绝热材料贴着发动机管壁卷成筒状或使用尺寸合适的塑料管需要药柱打孔的需要预留模芯。使用温控设备[详见;;;]可以不使用盐浴,把细盐倒在大平底碟上 盐浴即为 500ml 烧杯套在 1000ml 烧杯中中间填上导热材料例如食盐,沙子。导热材料应该是比热较小且高温不分解,不与 KNSU 的反应的物质。称取硝酸钾和蔗糖,并按 26%的重量添加水。使用电炉加热,此时的温度在 105 度。在沸腾初期加入增塑剂(以聚丙烯醇为主要成分的 5020 胶水或玉米糖浆)添加量为每 100ml 添加 1ml。如果增塑剂过量,得到的 KNSU会有弹性,对成型不利。此时应保持温度在 90 度,混合物慢慢蒸发到浆糊状,颜色会稍微发黄。这时温度开始稍微上升,但不会超过 110 度.,调温至 145 度.,需要不时搅拌,帮助水分均

匀蒸发,防止锅底焦结。"此时混合物呈粥状,游离水大部分已蒸发。调温至 90 度.此时人员不要走开,要不停搅拌,不然很易焦糊。部分爱好者只做到此部所以燃料是泥状的,也有可塑性,但燃烧多残渣或者需要干燥才能点燃。一段时间后,大部分水蒸干,混合物有粘性但还不能成团,搅拌开始费力,这阶段温度在控制 110-115 度左右,此时燃料呈白色并已经可以点燃。此时仍有水分,但不再沸腾,只在表面蒸发,继续搅拌翻动燃料,帮助水分充分蒸发掉,注意,这阶段不应加高温。片刻后 燃料的性质又发生变化,当可以把燃料弄出一个平整面时,说明燃料和微量的水分已经进入共溶状态,性质有点像面团,搅拌像是在和面.

取黄豆大小一点燃料,在瓷碟上冷却后,当可以折断时,就说明燃料已经合格,真正合格的重结晶燃料柱,是非常硬的,非常脆的。

此时燃料温度控制在 110 度左右,调温至 60 度.,这时只需要保温.燃料可以用手搓成条,然后卷着模芯填入模具,用木棒压实燃料.由于燃料可操作时间不多,模具最好预热后再装燃料当燃料差不多填满模具时,压燃料时会发现会慢慢的又弹回,原因是:此状态下的燃料有少量微细气泡,造成了燃料的可压缩性,但这还没有到影响燃烧安全性的程度,可以放心使用.注意,未熟练时装填燃料会让你手忙脚乱,但仍要记得不时翻动燃料,不然会局部冷却或者结焦变黄.如果做成的燃料柱不合格(比如有大量空隙),可以回炉软化重新制作。

上述状态下的燃料是共溶状态,温度很低即有非常好的可塑性和燃料性能.颜色为白色.但可操作温度范围只有十几度,不可避免有微量气泡.如果调到**175度**继续加热,温度会慢慢上升,燃料性质又会进入另一状态.共熔状态.这是更理想的状态(注意溶与熔)

当燃料粘度变小,开始呈出熔融物的光泽时,此时温约 140 度左右,然后将电磁炉调到 60 度.燃料达到真正的一体化,气泡几近消失燃料密谋接近理想值,可操温度区间大大提高,可以长时间保持可塑性(可塑性的标准:可以把两团搓成一团),由于此温度下糖不可避免地开始焦,燃料颜色变为黄色,焦到棕色对性能也没有重大影响。

同样是搓成条螺旋着填入模具,只是温度高了,要戴手套。每次装的燃料越多越好,即,一个药柱用尽量少的次数把燃料装满田大小全球的木棒。把燃料丢完成一体、特别注意、装填燃料期间更不时旋转松动模

用大小合适的木棒,把燃料弄实成一体,特别注意,装填燃料期间要不时旋转松动模芯,不然燃料冷却粘结后难以拔出待燃料柱冷却到六七十度时.拔出模芯

做好的燃料一定要密封保存(切勿添加干燥剂,否则可能会因为燃料过度失水导致粉结)

对于电磁炉, 盐浴是必须的, 没有温控能力的电炉,也需要用盐浴

要留意各状态变化,及时调节温度.不要离开现场,不要忘记搅拌 准备好所有东西再动手燃料性能

10CM 长. 燃烧时间为 25S. 燃速为 4MM/S (最佳燃速高于此值)

用火机可以轻易点燃 燃烧均速稳定地进行,

重结晶 KNSU 特性: 密度>1.8g/立方 CM 常压燃速: 4MM/S 最大比冲:137S

【2】热熔

热熔 KNSU 在性能上逊于重结晶 KNSU,原因在于热熔 KNSU 是在分子层面进行混合。但因其制作方便,时间短,也受到了不少爱好者的青睐。这种方法不推荐初学者使用,因为这种制造需要一定的设备及熟练的操作技巧,而且相对于重结晶而言,热熔可能发生直接燃烧,不建议初学者使用。

首先需要准备控温电炉及温控设备,称取硝酸钾和蔗糖,将蔗糖倒入容器内缓慢加热,直至 蔗糖融化呈液体状,将经过粉碎的硝酸钾迅速倒入容器内,均匀混合后趁热浇筑到预先加工 好的燃料模具中,即可。此方法可操作时间较短,且存在一定的安全隐患,不推荐使用!

3.硝酸钾——葡萄糖燃料(KNDX)

简介

KNDX 是业余爱好者最常使用的燃料之一,他的制法较为简单,材料来源方便,适用于小大口径的发动机,具有便捷,环保,安全的优点。他的常用制备方法有两种,重结晶和热熔。是广大业余火箭玩家的首选燃料。

KNDX 作为入门级燃料的制备方法推荐使用热熔法,热熔法较适宜于无设备条件下的小量制作,或者有设备条件下(粉碎机,混料机等)的大量制作,燃料的质量很大程度上决定于你的设备和经验(不推荐初学者使用)这里只介绍热熔法 KNDX 的制作过程,重结晶方法。

制备方法

配方: 硝酸钾 64% 无水葡萄糖 35% 催化剂 1%

在准备动手之前,请准备控温电炉及灭火装置,

首先你需要将硝酸钾粉碎至可过 100 目筛,如果粉碎的不够充分则会造成燃料燃烧不稳定的后果,

将葡萄糖倒入容器内,使用控温电炉加热至 100 度,将经过仔细研磨的硝酸钾倒入容器内,充分搅拌,使燃料成为稠状的流体,迅速倒入已经准备好的模具中,即可。

使用热熔法制作燃料时要禁止使用明火,以防局部温度过热导致燃烧的严重后果。燃料性能:

重结晶 KNDX 特性: 密度>1.8g/立方 CM 常压燃速: 2.5MM/S 最大比冲:137S 热熔 KNDX 特性: 密度>1.4g/立方 CM 常压燃速: 1.5MM/S 最大比冲:137S

4.硝酸钾——山梨醇(KNSB)

简介:

KNSB 一种非常好用的推进剂,常压下 KNSB 稍快,在工作压力下 KNSU 燃速远高于 KNSB 在低压下燃速和 KNSU 接近,流动性较 KNDX 好,工序简单,几乎不吸水,但是在火箭爱好者中却没能广泛普及,主要是由于山梨醇的购买问题。

制作过程(仅介绍热熔法)

配方: 硝酸钾 60%、山梨糖醇 40%

器材:控温电炉,粉碎机

首先把硝酸钾粉碎到 200 目 预热至 100 度。将山梨醇放入容器内加热使之融化,并迅速加入已经经过干燥处理的充分粉碎的硝酸钾,用力搅拌直至燃料成为白色粘稠状流体。此时具有较好的流动性。在 2 分钟内具有流动性,5 分钟内具有可塑性。

燃料性能:

常压下燃速约为 KNSU 的 1.1 到 1.5 倍,没有残渣产生,其余现象同 KNSU。

燃烧产物: 二氧化碳 一氧化碳 水 氢气 氧气 氮气 碳酸钾 氢氧化钾

理论比冲: 164s 理论特征速度: 938m/s 实际特征速度: 914m/s

理论燃烧温度: 1327 度 实际燃烧温度: 1247 度 理论密度: 1.841g/cm^3

熔铸密度: 1.82g/cm³ 推力系数: 1.468 自燃温度: 大于 300 度

优点: 药柱较长时间具有塑性,凝固点低.110度即可融化.熔铸的 KNSB 点燃后和重结晶的 KNDX 燃烧效果相同.无残留物.燃烧表面没有球状物. KNDX 性能折中.KNSU 燃速快,KNSB 特殊性能好.

缺点:该燃料不适用于大口径高压发动机(压力大于 3MPA)

在 6Mpa 的压强下,KNSB 的燃速是 1cm/s.KNDX 是 1.3cm/s,KNSU 是 1.5cm/s 总论:KNSB 是不错的小型发动机燃料.但是高压下不及 KNDX,KNSU.所以不能替代 KNDX.KNSU

4. 环氧树脂——硝酸钾 (RNX)

简介:

环氧树脂——硝酸钾燃料是一种适用于入门火箭爱好者的燃料,它适用于塑料、金属发动机, 具有制法简单,安全,便于操作的特点,但在比冲及初速上略逊于其他燃料,尽管如此 RNX 近年来逐渐成为最受火箭爱好者喜爱的燃料组分。

制作过程:

首先需要制作氧化剂 (重结晶)

原料:硝酸钾70% 三氧化二铁8%

仪器:控温电炉或其他加热设备,粉碎机,温度传感器(0-400)

制作过程:准确称量硝酸钾和三氧化二铁,将硝酸钾放入容器加沸水搅拌至完全溶解,加入三氧化二铁形成悬浊液。加温煮沸蒸发水分,直到混合物开始变稠并不断搅拌粘稠混合物,注意防止飞溅到手上。当混合物开始结块暂停加热,刮掉粘在容器壁上的混合物,然后重新加热。持续加热搅拌一段时间后,混合物从泥浆状变成泥土状最后变成块状。暂停加热把大块全部捣碎,然后继续小火加热翻炒至干燥。

炒干后的混合物冷却后即可研磨粉碎,将混合物全部磨成面粉状的细粉后,再加热烘炒一次彻底去除水分。如果有测温设备,当混合物的温度达到 150~200 度即可结束加热。没有测温设备,将容器加热到 100 度以上烘干 10 分钟,注意不要温度过高导致熔融,如果局部熔融则将熔融结块部分弃去不用。冷却后的混合物粉末即为制备完成的氧化剂,装瓶保存

第二部制作燃料

原料: (环氧树脂 E44+固化剂 T31) 22% 氧化剂 78%

制作过程:

按照树脂(含固化剂的总量)。氧化剂=22:78 的比例称量氧化剂粉末按照树脂厂家的说明称量树脂、固化剂(如不宜拿取可用开水烫容器加热) 先把树脂与固化剂混合,搅拌均匀,然后逐步加入氧化剂粉末,边加边搅匀。当混合物粘稠 到无法搅拌时,将混合物和氧化剂粉末在一张油光广告纸上像揉面团一样反复对折,压扁, 对折直到完全混合。

混合完成的推进剂质地类似面团或泥土,可以像做湿压药柱一样往模具里放一点压实一点,得到致密的药柱,不会夹杂空气。所有成型工序都要在推进剂固化之前完成,然后放置 12~24 小时完全固化。未固化的推进剂难以点燃,燃烧残渣多,完全固化后才能达到真正性能。制作完成的推进剂常压下燃速约 1mm/s,有少量残渣。

6.环氧树脂——高氯酸铵(RAP)

简介:

RAP 是一种高能火箭燃料,他的制作成本偏高,制作难度偏大,只能用于金属发动机,但因为性能优越,比冲达到 200 以上。所以部分业余玩家仍热衷于使用此组分。警告: AP 基燃料如果制作工艺不过关,极易导致在发动机内过压爆炸,甚至转为暴轰。危险性极高,工艺不到位者及安全措施不全者,请勿随意试验,尤其是使用金属发动机的朋友。

制作方法:【热固性 RAP】

配方:环氧树脂(E51 12.5% 环氧树脂主要成分, 660A 3.8% 环氧树脂活性稀释剂,参与固化反应, 650 2.5% 增韧剂,辅助固化剂 T31 6.2% 主固化剂,) 高氯酸铵 75% (粒度分布为 50 目 25%,100 目 50%,200 目 25%)

- 1.模具清洗及涂抹石蜡脱模剂:将内孔阳模的外端面和外圆模具内壁仔细清洗,不要留有残渣,便于提高后期脱模的灵活性及药柱光洁度。将模具放入恒温箱或用其它方法加热至 100 摄氏左右,用蜡烛均匀涂抹在模具上有可能与燃料接触的地方,涂层厚薄适中,切勿形成泪滴,然后自然冷却至室温备用。
- **2.将模具装配在振动加速沉降器上**:由于燃料体系的常温粘度较大,光靠自重无法沉降到模具底部。因此我们使用偏心轮机构的振动座,在电机高速旋转下,获得水平和垂直两个自由度的高频小振幅机械振动,使燃料体系加速沉降。装配过程要尽量保证模具处于铅垂方向,四个装夹螺丝要适当用力紧固,避免振动过程中螺丝松动而使浇铸半途而废。可以通过观察,配合调节振动电机转速来达到最佳沉降效果。
- **3.AP 的干燥**: AP 结晶在空气中极易吸潮结块,甚至吸湿性高于硅胶,工业采用表面活性剂处理一层疏水被覆膜来防结块,业余条件很难达到这个效果。因此在使用前必须进行充分干燥,比较简单的方法是高温烘焙。将一定量的 AP 结晶平摊放在比较平坦的不锈钢或玻璃容器内,使蒸发面积增大,然后将容器放置在恒温干燥箱中,将温度控制在 95-110 摄氏度之间,开启通风孔,使箱内空气在热梯度作用下自动对流循环。50g 药量进行约 30 分钟的烘焙即可。烘焙过程中,会有极少量 AP 分解,释放出氯化氢气体,属于正常现象,可不以理会。烘焙完毕,结块的 AP 团聚物会自动散开,用药勺轻微搅拌压散,即可投入粉碎工序。
- **4.AP** 的粉碎和过筛:由于自己合成的 AP 的粒径一般在 0.5mm 左右,不适合用在发动机燃料中,因此再使用前有必要对 AP 结晶进行粉碎。为提高粉碎效率,保证粉碎过程中不吸入过多水分,这里建议使用旋风式粉碎机进行粉碎。估计有人会质疑这种粉碎方式的安全性,但需要指明的一点是,纯 AP 结晶,在不混合有机物等还原剂的情况下,热感度,撞击感度和摩擦感度均较低,粉碎过程中几乎不可能将其引爆,本人进行的百余次试验中,均使用旋风粉碎机粉碎,未发现异常。粉碎机宜采用 16000 转每分钟的转速,每次粉碎 50g 量的话,5 分钟即可接近要求的粒度分布。如粉碎后发现结块,是因为晶体间隙中存在少量的水分以及粉碎过程中从空气中的吸潮,可以不予理会,但若结块严重,需将粉末放置在烘干箱中继续烘干 15min 左右。直到结块散开。如采用研钵粉碎方法,粉碎完毕的 AP 粉末,须在 RH<50%的干燥环境下,过 50-200 目筛,并按照粒度分布进行配合
- **5.AP 的称量备用:**按照配方的比例,计算出 AP 的剂量,用托盘天平或电子天平进行称量,单独称量后的 AP 放置在常温环境下密封保存。AP 粉末长期(>3d)存储后应重新干燥粉碎过筛。图中是按照 40g 燃料量计算的结果。
- **.E51 环氧树脂称量:**按照配方的比例,计算出 E51 的剂量,用托盘天平或电子天平进行称量后放置在塑料烧杯中备用。这里建议使用一次性塑料杯子做称量容器和预混容器,使用电子天平的去皮功能对其余原料进行累加称量。
- **7.660A 环氧活性稀释剂称量**:使用电子天平的去皮功能,在已经称量好 E51 的塑料杯中称量定量的 660A。加入完毕后用玻璃棒迅速搅拌使 E51 树脂充分溶解在 660A 中,静置片刻待气泡全部上浮。

- **8.650 聚酰胺树脂称量:** 使用电子天平的去皮功能,称取定量的 650,此时不慌搅拌均匀。避免提前固化。操作前聚酰胺树脂的温度控制在 25 摄氏左右,否则黏度过大难以滴加。
- **9.加入称量好的 AP 粉末**:将预先称量好的 AP 迅速加入步骤 6 混合物中,并用玻璃棒迅速搅拌,直到混合均匀,过程中会有氨气逸出,属正常情况。操作温度控制在 25 摄氏左右。
- **10.T31 固化剂的称量及混合**:使用电子天平的去皮功能,称取定量的 **T31**,加入完毕应迅速 搅拌均匀。
- **11.捏合:** 因为 RAP 燃料常温下即开始固化反应,因此捏合时间应尽量控制在 3min 以内,捏合使用塑料勺不断搅拌,翻转挤压,直到燃料颜色均匀,流动性良好未知。
- **12 模具填装:**将捏合好的药液用玻璃棒迅速转移到模具中,并适当填压使药液尽量沉底。**13. 真空浇铸:**这个步骤是整个燃料柱制作工序中的重中之重,其工艺决定了药柱成品的气泡率和密度,直接影响到燃料柱的内弹道特性。真空浇铸的方法如下:
- A、监测恒温真空仓气密性良好后将温度设定在 25 摄氏度,并等待仓内温度达到设定值,此时燃料体系呈现较好流动性,而且药液固化速度较慢,延长操作时间;
- B、将装有药液的模具连同加速沉降器一同放入真空仓内,这里在底部叠放几层厚毛巾,起到 吸震的作用,避免底座振动过程中移位。
- C、打开真空仓照明灯组,扣上罐盖,此时通过玻璃视窗能清晰看到模具中药液的情况。
- D、开启震动加速沉降器,调整电压使得药液在模具中呈现剧烈翻滚状,此时打开真空泵电源,并密切注视模具中药液的液位,随着真空度的上升,药液逐渐鼓胀并不断破裂逸出气体,如果液位升高到与模具顶端平齐,则应立即关闭真空泵,适当泄压使药液回缩到模具底部。
- E、重复 D 步骤约 3 次,基本不再有较大的气泡从药液中逸出,过程中要适当调节震动器频率,使得药液震动幅度最大。
- F、缓慢泄压至常压,此时可看到药液迅速收缩到模具底部。
- G、浇铸完毕,保持振动器开启 10 分钟,让燃料充分沉底,药液表面流平。之后取出振动器, 拆下药柱模具送固化步骤。

第二章.发动机设计及制造

1.PPR 发动机

简介

PPR 是一种家庭装修常用的管材,化学名称:无规共聚聚丙烯,它具有韧性好,强度高,加工性能优异,较高温度下抗蠕变性能好,广泛用于管材、片材、日用品、包装材料、家用电器部件以及各种薄膜的生产。PPR 给水管适合制造小口径的火箭,通常口径小于 40MM。是中国业余火箭玩家最常用的材料,PPR 火箭是一次性使用的。PPR 管材也用于金属发动机的隔热材料。

2.PVC-U 发动机

简介

PVC-U 管是以聚氯乙烯(PVC)树脂为主要原料制成的,PVC-U 管广泛用于排水,电工等领域,其价格较 PPR 便宜,但耐压性能远不如 PPR,使用此材料制成的发动机若发生暴轰将产生杀伤性碎片,在此不推荐初学者使用。但因其质量轻,价格廉价,受到了部分玩家的青睐。警告:以 PVC-U 为基材的火箭发动机仅适用于低比冲的燃料!

3.铝塑管发动机

简介

铝塑管是以特殊聚乙烯和铝做成的符合管材,管材性能介于塑料和金属范围中间,具有较好的曲性,但铝塑管直径不超过 32,受到材料及其他安全方面因素制约,这种材料制成的发动机并没有受到火箭爱好者的青睐。

金属发动机

简介