

浅析固体推进剂装药技术

贺东海 赵婉伊

宁波曙翔空天复合材料有限公司

DOI: 10.12238/ems.v5i4.6396

[摘要] 创新驱动、军民融合、科技成果转化成为我国国防科技产业改革的重要指导思想,也是党和国家赋予军工单位的历史使命。火箭发动机的研制始终是推进航天技术和探索未知空间的重要支柱,固体火箭发动机以成本低、可靠性高等特点,常被选作推进系统。本文通过研究固体火箭发动机绝热层制作工序中针对个人防护除佩戴齐全劳动保护具外,提出要想从根本上改善操作人员的作业环境,降低其危害,必须从提高工艺技术水平、改进设备方面着手。

[关键词] 有机溶剂;装药技术;安全防护

Analysis of Solid Propellant Charging Technology

He Donghai, Zhao Wanyi

Ningbo Shuxiang Aerospace Composite Materials Co., Ltd

[Abstract] Innovation driven, military civilian integration, and the transformation of scientific and technological achievements have become important guiding principles for the reform of China's national defense technology industry, and are also historical missions entrusted to military industrial units by the Party and the state. The development of rocket engines has always been an important pillar in promoting aerospace technology and exploring unknown spaces. Solid rocket engines are often selected as propulsion systems due to their low cost and high reliability. This article proposes that in order to fundamentally improve the operating environment of operators and reduce their hazards, it is necessary to start by improving the technological level and equipment in order to address personal protection in the production process of solid rocket engine insulation layer, in addition to wearing complete labor protection equipment.

[Keywords] Organic solvent charging technology, safety protection

前言

航空航天技术是世界上许多国家都在积极尝试、探索的领域,它的先进性决定着国家军事实力的强弱,20世纪以美苏为首的两个大国在导弹、运载火箭方面率先发展,如今航天技术位居世界前列。由航天大国跻身成为世界一流航天强国是我国航天事业发展的目标,发展航天,动力先行,这是我国探索空间的能量源泉,也是世界各国进行空间活动的力量之源。小型火箭适应性强,可以军民两用,具有多种发射形式,在未来战场和自然灾害观测等民用领域上的价值不可小觑。随着人类太空探索的扩张,太空任务已经从如月球的临近区域慢慢向如火星的深空进行拓展与探测,在此背景下,迫切需要小型火箭向大型火箭转型,同时也急需新形式、更高效、短时释放大能量的推进剂。固体火箭发动机作为武器和航天器的动力系统已经超过50年,其较液体火箭发动机结

构简单、推力大,且固体火箭发动机机动性能好、可靠性高、贮存时间长,这些优点让其在航天领域中占据相当比例,尤其是作为运载火箭的助推器。而在推进剂方面,要进行新型和高能相结合的能量试验研究,针对不同用途的发动机设计性能满足、参数相符的推进剂并在各个环节做好防护措施。

1 行业现状

近年来,中国积极开展空间探索活动,“嫦娥”揽月、“天问”探火、“羲和”逐日、空间站巡天,不断深化人类对宇宙的认知,致力增进人类共同福祉。关注中国航天事业发展的国际人士表示,随着关键核心技术不断取得突破,中国正从航天大国加快向航天强国迈进。作为负责任大国,中国继续秉持人类命运共同体理念,同各国加强交流合作,共同探索宇宙奥秘,和平利用外空,有利于推动航天技术更好造福世界各国人民。

1.1 固体火箭发动机

固体火箭发动机是动力系统的核心技术,在50多年的发展与持续创新下,该技术已经跨过了设计研究初级阶段,进入技术愈发成熟阶段。各国无论是针对大型还是小型固体火箭发动机都进行了差异化设计与试验。固体火箭发动机壳体材料的选择影响着发动机的质量、性能、成本等因素,航天技术的发展对固体火箭发动机的性能提出了越来越高的要求,由于发动机工作条件的恶劣,其结构材料适用性范围越来越小,因此,对新材料和新工艺提出了挑战。由于复合材料具有各向异性、不连续性、不均匀性等力学特性,针对它的研究和制造比钢、铝合金、钛合金等材料难度大。增强纤维可以提高复合材料的比强度和比模量,降低结构质量,有效提高火箭的载荷能力,成为壳体选择材料和研究的热点方向之一。随着固体火箭发动机直径的增大,要求复合材料的壳体也随之增大,但是我国在复合材料的成形和固化工艺方面仍然面临技术瓶颈,且纤维材料的供应也不十分充足,这些都限制着壳体的生产。因此,对增强纤维的研制与应用应与材料的力学性能、工艺性能、可获得性等多因素统一考虑,实现我国研制与生产一体化。

1.2 推进剂

在推进剂方面,要进行新型和高能相结合的能量试验研究,针对不同用途的发动机设计性能满足、参数相符的推进剂。如反坦克火箭需要高燃速的推进剂,为了使发动机短时间释放巨大能量,一方面国外在推进剂中添加碳硼烷衍生物作为燃速调节剂,其性质稳定,常温下以液态分布在推进剂中,但是,碳硼烷合成困难、成本高昂、毒性大等缺点也限制了它的使用,这些缺点也是后续扩大应用的主要研究方向。另一方面,可以利用热传导的方法,在推进剂中埋入易燃金属材料等提高燃烧速率,有研究发现在CTPB推进剂中放入银丝,燃速提高了7倍左右,故针对不同成分的推进剂寻找合适的材料、研发新的纤维结构,从物理方法上提高燃速。再者,还可以进行不同的装药形式研究,提高发动机的装填比,但是装填比增加会导致通气面积减小,使发动机在工作初期承受较高的初始压强峰,为了降低火箭发射瞬间的冲击载荷,需要验证点火药量、点火器等点火条件的设计合理性,还需要对侵蚀燃烧进行数值模拟和试验研究。最后,也可以将纳米材料作为添加剂或催化剂应用在固体推进剂中,从而改变其燃烧性能,其中纳米铝粉已有实际应用。相比微米级铝粉,在不降低推进剂的安全要求和力学性能时,纳米铝粉可以增强推进剂的均匀性,因此,未来要进一步加大对纳米材料的应用研究,生产高能推进成分或燃烧氧化催化的新形式。又如战术、战略导弹和自控发动机中,需要低燃速推进剂,常用方法就是添加降速剂来降低推进剂的燃烧速度,有学者对共聚甲醛和蔗糖八醋酸酯组成的降速剂进行研究,发现当两

者的配比在0.5~2.0时,推进剂燃速最低。因此,一方面要研制新性能的降速剂,不断地降低燃速;另一方面也要针对两种或者多种的降速剂组合,实现不同配比下的燃速试验研究,发掘优化配比。

2有毒溶剂危害

有毒溶剂危害是目前绝热层制作工艺条件下严重的职业危害因素之一,口鼻吸入和皮肤接触都会给操作人员带来人身伤害,尤其长期在有毒溶剂环境下进行作业,危害更大。固体火箭发动机绝热层制作中使用的有毒溶剂主要有三氯甲烷、乙酸乙酯、丁酮和二甲苯。

三氯甲烷有毒,为可疑致癌物,具刺激性,主要作用于中枢神经系统,具有麻醉作用,对心、肝、肾有损害,吸入或经皮肤吸收会引起急性中毒。乙酸乙酯易燃,具刺激性和致敏性。对眼、鼻、咽喉有刺激作用。高浓度吸入可引起麻醉作用,急性肺水肿,肝、肾损害。持续大量吸入,可致呼吸麻痹。误服者可产生恶心、呕吐、腹痛、腹泻等。有致敏作用,因血管神经障碍而致牙龈出血;可致湿疹样皮炎。长期接触本品有时可致角膜混浊、继发性贫血、白细胞增多等。

不过相对三氯甲烷来说,乙酸乙酯的毒性和用量都相对要小。丁酮、二甲苯主要是胶粘剂中含有的溶剂成分,较乙酸乙酯毒性更大,在操作过程中要注意采取必要的安全防护措施。

3粉尘危害

生产性粉尘是在生产过程中产生,并能较长时间漂浮在生产环境中的固体颗粒。粉尘对人体的危害程度取决于人体吸入的粉尘量、粉尘侵入途径和粉尘的物理化学性质等因素。粉尘侵入人体的途径主要有呼吸系统、眼睛、皮肤等,其对人体的损害主要以呼吸系统为主¹。

固体火箭发动机绝热层材料生产过程中会大量使用二氧化硅作为补强材料,在绝热层材料混炼过程中二氧化硅粉尘会漂浮到空气中,操作人员长期在悬浮二氧化硅粉尘的环境中作业,通过呼吸道大量吸入粉尘,可使呼吸道纤毛上皮细胞受到损伤,破坏了呼吸道的防御功能;也会使肺组织发生弥漫性、进行性纤维组织增生,引起尘肺病,导致呼吸功能严重受损,而使劳动能力下降或丧失。硅肺是纤维化病变最严重、进展最快、危害最大的尘肺病。通过皮肤吸入会堵塞皮脂腺,使皮肤干燥。同时,粉尘具有较强的吸附性,可以吸附空气中的有害物质,将有害物质带入人体内加剧对人体的危害。

绝热材料生产中还使用石棉纤维作为耐烧蚀材料,石棉纤维本身是致癌物质,石棉粉尘分散到空气中,人体接触或吸入后存在致癌的风险。

4安全措施

操作过程中必须佩戴齐全劳动保护具,由于操作人员在作业时要长期接触有毒溶剂和粉尘,因此必须选择高质量和

高舒适性的劳保保护具, 这样既可以保证高效的防护作用, 也可以提高操作人员佩戴劳动保护具的积极性, 对于提高生产的安全性有着积极促进作用。

4.1 发动机壳体清理安全措施

目前发动机壳体清理使用的溶剂主要有三氯甲烷、乙酸乙酯等。三氯甲烷作为主要清洗剂, 毒性大, 用量大, 操作人员在清理过程中会接触到高浓度的三氯甲烷, 对操作人员的身体危害非常大。乙酸乙酯在清理胶封工序中主要作为胶粘剂的稀释剂, 用量也较大, 不过相对三氯甲烷来说, 毒性要低些, 对人体的危害也相对小些。

发动机壳体清理工序的特点是作业时间比较短, 操作人员不会长期处于有毒溶剂的环境中, 但是接触有毒溶剂的浓度很高, 很容易引发急性中毒, 因此在作业过程中必须采取严格的防护措施。三氯甲烷对油脂等有机物的溶解和清理能力非常强, 但是毒性很大。作业时, 应该佩戴直接式防毒面具(半面罩), 戴化学安全防护眼镜, 穿防毒物渗透工作服, 戴防化学手套。紧急事态抢救或撤离时, 佩戴空气呼吸器。

为了更大程度地降低操作人员发生中毒的事故率, 可以通过建立全自动化的清理设备, 避免操作人员与三氯甲烷长时间的直接接触; 或采用低毒甚至无毒的溶剂作为清理剂, 如果单一的溶剂无法满足要求, 则可以考虑采用多种溶剂的复合溶剂进行清理。对于尺寸相对较小的发动机, 通过建立超声波清洗装置, 可进一步提高溶剂的清理能力, 也有可能使得无毒或低毒的溶剂满足发动机壳体清理的要求。对于大量使用的乙酸乙酯, 可以考虑选择不需要溶剂稀释且低毒甚至无毒环保的胶粘剂进行胶封, 大大降低乙酸乙酯等有机溶剂的用量, 可很大程度上减小对清理人员的人身伤害; 同时配合全自动化清理设备进行胶封, 便可进一步降低伤害。

4.2 绝热层贴片安全措施

绝热层贴片工序中使用的溶剂主要有乙酸乙酯、丁酮、二甲苯等。乙酸乙酯与清理胶封工序中的作用相同, 主要作为胶粘剂的稀释剂, 也被用于料片粘接面的清理。乙酸乙酯是贴片工序中用量最大的溶剂, 操作人员在绝热层料片清理、刷胶、粘贴工序中均要长期接触到乙酸乙酯。由于贴片过程需要保证温度和相对湿度, 因此整个贴片间是个相对封闭的空间, 空气中的乙酸乙酯不易扩散出去, 浓度始终处于相对较高的值, 这在一定程度上会加剧乙酸乙酯对人体的危害程度。

有限空间是指封闭或部分封闭, 进出口较为狭窄有限, 自然通风不良, 易造成有害有毒、易燃易爆物质积聚或氧含量不足的空间²。在发动机内部贴片属于有限空间作业, 随着乙酸乙酯的挥发, 浓度会很快上升, 很可能引起操作人员中毒或发生窒息事故, 加剧了对操作人员的人身危害³。

由于胶粘剂中含有大量有毒溶剂, 在对绝热层料片刷胶

过程中溶剂会挥发到空气中, 并且工艺要求溶剂挥发到一定程度后才能进行粘贴, 否则绝热层间容易产生夹气、鼓包。因此, 刷胶可以选择在有抽风装置且可密闭的操作台上进行, 这样便可减少溶剂向空气中的挥发量, 降低危害。

在发动机壳体内刷胶、贴片是在一个相对封闭的空间进行, 随着溶剂的挥发, 短时间内溶剂会积聚到比较高的浓度, 容易引起人员急性中毒或窒息的危险⁴。在贴片过程中, 可以在发动机的机口位置对接轴流风机, 及时排出壳体中的溶剂蒸汽, 降低溶剂浓度。

除了采取以上安全措施外, 最根本的方法是通过提高工艺技术水平, 采取先进的贴片工艺: (1) 选择低毒或无毒环保的胶粘剂; (2) 采用整体贴片方式; (3) 建立全自动贴片系统。这样可减少操作人员与有毒溶剂的接触, 大大降低有毒溶剂对操作人员的危害程度。

4.3 粉尘防护安全措施

绝热层制作工序中接触到的粉尘主要是二氧化硅粉尘和石棉粉尘。在混炼过程中, 二氧化硅粉尘极易扩散到空气中, 对作业环境影响很大; 而石棉由于是致癌物质, 长期接触存在对人体的致癌风险⁵。因此, 可采取以下措施降低粉尘对操作人员的身体危害: (1) 进行湿式作业方式, 减少粉尘的飞扬; (2) 密封设备防止粉尘外逸; (3) 采用无致癌或无毒纤维替代石棉纤维; (4) 加强个人卫生防护⁶。

结语

固体火箭发动机绝热层制作工序中有毒溶剂和粉尘对操作人员的危害很值得关注。目前绝热层制作工艺技术水平相对比较落后, 原材料毒性较大, 设备比较陈旧⁷。针对个人防护佩戴齐全劳动保护具外, 要想从根本上改善操作人员的作业环境, 降低其危害, 必须从提高工艺技术水平、改进设备方面着手进行研究。

[参考文献]

- [1] 侯文. 作业场所生产性粉尘的危害, 安全[J], 2009, 9: 53-55
- [2] 孙燕. 有限空间作业时的危害与控制. 安全[J], 2010, 7: 49-50
- [3] 顾锦龙. 进入有限空间须谨防气体中毒. 安全[J], 2009, 10: 47-49
- [4] 王子友. 三氯甲烷职业中毒的预防, 职业卫生[J], 2010. 08: 84-85
- [5] 王春华. 痛说劳动防护产品现状隐患, 安全生产与监督[J], 2010. 02, 23-24
- [6] 孙燕. 有机溶剂的危害苯中毒与预防. 安全[J], 2009, 8: 50-52
- [7] 黄伯越, 冯海飞等. 一起急性三氯甲烷中毒事故调查. 职业与健康, 2008. 09, 24 (18): 1876-1877