

复合加强型推进剂包装容器设计与验证

许 宏¹, 袁仁学², 孙 波², 战立斌¹, 许艳超¹

(1. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074;

2. 中国人民解放军驻二一八厂军事代表室, 北京 100176)

摘 要: 提出了一种适合肼类推进剂航空运输的复合加强型推进剂包装容器设计, 包装容器采用多层复合结构, 满足了高结构强度、轻量化、有效隔热、泄漏应急处理等要求。开展了跌落试验和火焰灼烧试验, 结果表明, 包装容器可用于少量液体推进剂的包装防护, 可有效提高对泄漏、跌落、灼烧等危险因素的防护能力, 提高了液体推进剂在贮存和运输过程中的安全性和可靠性, 满足危险品航空运输安全要求。

关键词: 液体推进剂; 复合包装容器; 验证试验

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2015) 02-0087-03

Design and verification of a reinforced integrated vessel for liquid propellants

XU Hong¹, YUAN Ren-xue², SUN Bo², ZHAN Li-bin¹, XU Yan-chao¹

(1. Beijing Institute of Aerospace Test Technology, Beijing 100074, China;

2. Military Representative Office of PLA Positioned in 218 Factory, Beijing 100176, China)

Abstract: A design method of the integrated reinforced vessel suited for air transportation of hydrazine propellant is proposed in this paper. It can meet the requirements of high structural strength, light weight, effective heat insulation and emergency treatment of leakage by using multi-layered integrated structure. The results of dropping test and burning test show that the integrated reinforced vessel can be used for the packaging protection of a small amount of liquid propellant, effectively improve the ability of protection against leakage, falling, burning and other risk factors, enhance the security and reliability of liquid propellant in process of storage and transportation, and meet the safety requirements of dangerous goods air-transportation.

Keywords: liquid propellant; integrated vessel; demonstration test

收稿日期: 2014-08-25; 修回日期: 2015-01-06

作者简介: 许宏 (1975—), 男, 高级工程师, 研究领域为液体推进剂及其综合安全保障技术

0 引言

肼类推进剂是一类常用的航天液体推进剂,广泛应用于火箭、卫星、飞船等的动力系统。肼类具有有毒、易燃易爆的特点,属于危险化学品中的可燃液体,在贮存运输使用等过程中必须妥善包装。肼类推进剂目前主要采用公路、铁路等方式运输,其中公路运输必须由有危险化学品承运资质的单位使用专用危险化学品运输车运输,一般使用推进剂贮运罐作为包装;铁路运输必须使用专用槽罐车作为包装,或使用单独的车厢对推进剂贮运罐进行运输。对于少量的推进剂样品,相关标准规定可以采用空运形式运输,但必须采用满足空运要求的推进剂包装容器。

在公路、铁路、空运等运输过程中,一旦发生交通事故引发的外力冲击、火灾等意外情况,常规推进剂容器将难以对推进剂进行有效防护,可能导致推进剂泄漏并发生燃烧甚至爆炸。为了降低推进剂运输过程中外部因素影响带来的风险,需要设计一种具有较高强度、较好热防护性能为加强型推进剂复合包装容器。

1 设计目标

设计一种适合少量肼类推进剂航空运输的加强型推进剂复合包装容器,满足以下技术指标要求:

- 1) 容器使用的材料与推进剂一级相容。
- 2) 复合包装能承受 1.8 m 高度的跌落,推进剂容器不损坏,推进剂不泄漏。
- 3) 复合包装在 1 100 ℃环境温度下保持 10 min,推进剂温升不超过 30 ℃。

2 设计过程

2.1 总体设计

为满足具有较高强度、较好热防护性能等要求,加强型推进剂复合包装容器采用多层设计,自内向外分别为推进剂容器、吸附包装容器、隔热包装箱共 3 层组成。通过在推进剂贮罐外分别布设吸附层、缓冲层、绝热层和外防护层,以多层绝热隔热技术实现高效热防护和高强度防护。

复合加强型包装容器的整体结构见图 1。

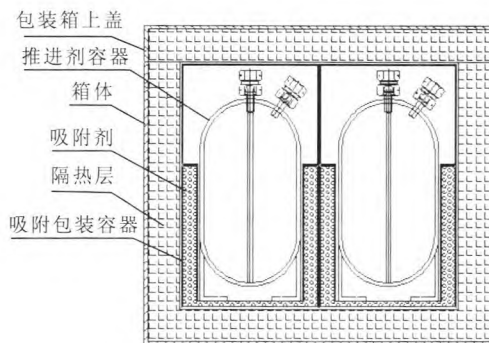


图 1 复合加强型包装容器结构

Fig. 1 Structure of integrated reinforced vessel

2.2 推进剂容器设计

推进剂容器设计为一个上下为球形封头的圆柱状容器,下封头外设置裙座,上封头设置气路和液路接口各一个,液路接口设置插底管,两个接口均以堵帽密封。容器全部使用与肼类推进剂一级相容的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢制作,使用前按照相关标准规定进行除油、除锈、钝化、清除催化杂质等预处理过程。推进剂容器重量为 2 kg,有效容积为 1 L,全容积设计为 1.2 L,即保留 20% 的安全储存空间。

2.3 吸附包装容器设计

吸附包装容器为一个圆柱形夹层容器,分为底座和上盖两个部分,主体材料为 1Cr18Ni9Ti 不锈钢。吸附包装容器底座内筒体采用孔板结构,夹层中填充吸附剂,主要作用是防止肼类推进剂泄漏后造成更大危害。设备采用固体形态吸附剂用于泄漏肼类推进剂的应急处理。一旦推进剂容器内的推进剂发生意外泄漏,液态推进剂将会通过底部的孔板流入吸附剂中,气态的推进剂也可以通过孔板与高吸附性的吸附剂接触,在吸附剂的作用下转变成固态或凝胶态,对泄漏的肼类推进剂进行固化和处理,使其不再具有流动性,防止污染范围的扩大和在开启设备时发生人员中毒或环境污染;同时,肼类推进剂在吸附剂中所含处理剂的作用下失去或降低反应活性,转化为相对安定的物质,从根本上杜绝发生燃烧和爆炸的风险。

2.4 隔热包装设计

隔热包装箱用于放置吸附包装容器及置于其内部的推进剂容器。隔热包装箱由箱体和上盖两部分组成, 箱体和上盖均采用复合夹层结构, 夹层内填充无机纤维型隔热材料。箱体由 1Cr18Ni9Ti 不锈钢制作, 并配备包角以提高防护强度。

2.4.1 隔热包装箱隔热层厚度计算

由于采用多层复合包装设计, 按照热传导公式逐层计算热通量的计算过程较为烦琐, 因此采用总热量平衡的简化计算方法进行计算, 即火焰通过隔热层传到吸附包装容器的热量等于使吸附包装容器、推进剂容器及推进剂升温 30 ℃ 需要的热量, 以此确定隔热层的厚度。

分别计算推进剂、推进剂容器和吸附包装容器升温 30 ℃ 需要的热量, 总和即为通过隔热层进入到内部的热量 (此处将隔热层的热容忽略, 以此作为设计裕度的一部分)。根据此参数及隔热材料的导热系数, 计算得到的隔热层厚度为 31.8 mm, 按照 10% 的裕度设计并圆整后, 取隔热层厚度为 35 mm。

2.4.2 隔热包装箱结构设计

隔热包装箱采用长方体结构, 箱体分内、中、外三层结构, 分别是不锈钢内箱体、隔热层和不锈钢外箱体。内、外箱体中填充隔热层厚度为 35 mm。箱体左右设置不锈钢提手, 上盖和箱体间采用不锈钢加强型合页连接, 并设置两组锁扣进行固定和锁定。箱体各角均设置包角以增强强度, 箱体外部设置易燃液体、有毒品、腐蚀品、放置方向、堆码层数等标识。复合包装暨隔热包装箱见图 2。



图 2 复合加强型包装容器

Fig. 2 Integrated reinforced vessel

3 试验验证情况

为考察复合包装容器是否达到设计指标要求, 开展了跌落试验和火焰灼烧试验, 对复合包装容器的强度和隔热性能进行了考核。

3.1 跌落试验

对复合包装容器开展了 1.8 m 高度跌落试验, 将复合包装容器从 1.8 m 高处以自由落体方式跌落在硬质地面, 共进行了包括底面接地、前面接地、侧面接地和其中一个角接地四种状态的试验。复合包装容器在各种状态试验中均只出现了轻微变形, 未出现明显变形和损坏, 内部的吸附包装容器和推进剂容器均完好, 推进剂容器内的液体无泄漏。跌落试验结果表明, 复合包装容器的强度和防护性能满足设计目标要求。

3.2 火焰灼烧试验

对复合包装容器开展了火焰灼烧试验, 考察复合包装容器的热防护性能。

采用数只火焰喷枪对复合包装容器隔热最薄弱的上盖及上盖与箱体接缝处进行灼烧, 灼烧持续 10 min, 灼烧完成后立即将箱盖和吸附包装容器打开, 测试推进剂容器表面的温升。

试验中箱体表面最高温度达到 1 130 ℃, 受热面积约为箱体总面积的三分之一, 持续 10 min 后停止灼烧, 立即将箱盖和吸附包装容器打开后测试推进剂容器表面的温升为 3.2 ℃。据此计算, 在全箱体受热的条件下经 1 130 ℃ 持续灼烧 10 min 后, 推进剂容器的表面温升约为 20 ℃, 复合包装容器的热防护性能满足设计目标要求。

4 结论

采用包括吸附层、缓冲层、绝热层和外防护层的加强型推进剂复合包装容器, 可以有效地提高推进剂容器对外力冲击、火焰灼烧等危险因素的防护, 避免因外力造成推进剂泄漏引发更严重的事故。

(下转第 97 页)

化制造对型号产品研制过程有重要意义, 西安航天发动机厂通过三维工艺与 MES 的应用大大缩短了型号研制周期, 大幅提高工厂研制能力与交付能力。航天发动机数字化制造目前处于起步阶段, 实现数字化制造是个长期、复杂的系统工程, 需要不断对应用系统进行完善, 加强支撑体系与相关标准的建设, 在此基础上推进航天发动机的数字化制造进程。

参考文献:

- [1] 于勇, 陶剑, 范玉青. 大型飞机数字化设计制造技术应用综述[J]. 航空制造技术. 2009 (11): 56-60.
- [2] 徐微, 王普. 数字化设计制造技术在飞机研制中的应用研究与实践[J]. 航空产品数字化设计与制造. 2001 (4): 19-20.
- [3] 任晓华. JSF 制造技术综述[J]. 航空制造技术. 2002 (2): 43-48.
- [4] 李飞, 章乐平. 航天器数字化协同设计技术研究[J]. 导弹与航天运载技术. 2013 (1): 71-74.
- [5] 孙莹, 汤科, 邹新军. 航天产品三维数字化制造模式探索与实践[J]. 航天制造技术. 2012 (6): 30-33.
- [6] 周祖德, 李刚炎. 数字制造的现状与发展[J]. 中国机械工程. 2002, 13(6): 531-534.
- [7] 邵毅, 张开富, 李原, 等. 飞机数字化产品开发[J]. 航空制造技术. 2003 (9): 31-37.
- [8] 吴丹. 飞机产品数字化定义技术[J]. 航空产品数字化设计与制造. 2001 (4): 31-25.
- [9] 宁汝新, 刘检华. 数字化制造中的建模和仿真技术[J]. 机械诤工程学报. 2006, 42(7): 132-137.
- [10] 赵强, 许建新. 面向数字化制造的工艺执行系统关键技术研究[J]. 机械科学与技术. 2012, 31(12): 1910-1915.
- [11] 吴建香. 数字化虚拟制造技术的研究与应用[J]. 航空制造技术. 2010 (23): 89-92.
- [12] 唐晓东, 高红. 虚拟装配仿真技术在飞机研制阶段中的应用[J]. 航空制造技术. 2009 (24): 69-71.
- [13] 饶运清, 李培根等. 制造执行系统的现状与发展趋势[J]. 机械科学与技术. 2002, 21(6): 1011-1016.
- [14] 金星, 杜宝瑞. 离散航空制造业 MES 系统设计与实施[J]. 航空制造技术. 2011 (7): 43-46.
- [15] 陈绍文. MES 将航空制造引向新水平[J]. 航空制造技术. 2010 (16): 60-61.
- [16] 饶运清, 李培根, 李淑霞, 等. 制造执行系统的现状与发展趋势[J]. 机械科学与技术. 2002, 21(6): 1011-1016.

(编辑: 陈红霞)

(上接第 89 页)

参考文献:

- [1] 李亚裕. 液体推进剂[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2011.
- [2] 中国人民解放军总装备部. GJB5403-2005 无水肼安全应用准则[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2005.
- [3] 周学志. 危险化学品事故处理技术手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [4] 全国危险化学品管理标准化技术委员会. 危险化学品标准汇编 - 包装、储运卷容器和运输车辆标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [5] 国防科工委后勤部. 火箭推进剂监测防护与污染治理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993.
- [6] 孙维生. 常见危险化学品速查手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [7] 安继儒, 郭强. 金属材料手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [8] 左景伊, 左禹. 腐蚀数据与选材手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1995.

(编辑: 王建喜)