

基于 GJB 150.26 的军用装备流体 污染试验实施方法

杨欣磊¹, 王忠^{1,2}, 黄铎佳¹

(1. 工业和信息化部电子第五研究所, 广州 510610;
2. 广东省电子信息产品可靠性技术重点实验室, 广州 510610)

摘要: 从适用性、参数选取、试验程序等角度深度梳理 GJB 150.26 试验标准, 并研究流体污染试验程序的实施方法。通过对流体污染试验的研究背景和应用需求、相关标准应用现状和试验适用范围进行说明介绍, 围绕基于 GJB 150.26 的流体污染试验参数选取原则、试验程序制定方法, 探究符合标准架构的试验实施流程体系。按照所归纳研究整理的试验实施流程体系, 结合工程实例对某型机载产品基于 GJB 150.26 的试验标准, 针对其实际使用情况和相关技术协议文件制定了流体污染试验程序, 进行了试验实施验证。流体污染试验实施目前在我国环境适应性工程领域缺乏理论基础指导, 具备较大的开拓空间, 通过对其实施方法和程序的研究能够有效地提升军用装备开展特种环境试验的技术能力。

关键词: GJB 150.26; 流体污染试验; 实施方法

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.07.002

中图分类号: TJ07 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2018)07-0005-05

Implementation Method of Fluids Contamination Test for Military Equipment Based on GJB 150.26 Standard

YANG Xin-lei¹, WANG Zhong^{1,2}, HUANG Duo-jia¹

(1. China Electronic Product Reliability and Environment Testing Research Institute, Guangzhou 510610, China;
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Electronic Information Products Reliability Technology,
Guangzhou, 510610, China)

ABSTRACT: The implementation method of test procedure of fluids contamination test was researched and the test standard "GJB 150.26" was concluded on perspectives of applicability, parameter selection test procedure, etc. In this paper, by explaining and describing the research background, application requirement, application status and application scope, the implementation process system that suits the structure was explored according to the parameter selection principles based on "GJB 150.26" and test procedure formulation of fluids contamination test. According to the test implementation process system that arranged and sorted out, and in combination with the engineering case, the fluid contamination test was applied to one type of military airborne products based on standard of GJB 150.26. The test program was carried out based on actual using situation and related technical agreement documents. In the field of environmental adaptability engineering in our country, the fluid contamination test has expanded development space potentially by reason of lacking theoretical basis. By researching the implementation method and procedure structure of it, the capability of special environmental tests of military equipment might be improved ob-

收稿日期: 2018-04-18; 修订日期: 2018-05-19

基金项目: 2017 年装备技术基础科研合同项目“GJB 150.26《军用装备实验室环境试验方法 流体污染试验》实施方法研究”

作者简介: 杨欣磊 (1990—), 男, 湖南长沙人, 硕士, 主要研究方向为系统可靠性与环境工程。

viously and effectively.

KEY WORDS: GJB 150.26; fluid contamination test; implementation method

随着军用装备使用和贮存环境复杂多样化程度的不断提升,对其环境适应性能力产生影响的环境应力因素也不断被研制单位、使用人员和维护机构所挖掘并重视。由于实验室试验技术的不断发展,军用装备核心组部件集成化规模加剧,更多新的环境应力因素也逐渐从重要度等级较低的可忽略因素转变为对军用装备寿命周期产生较大影响的关键因素^[1-3]。

1 研究需求

1.1 军事需求

流体污染作为一种严酷的环境应力,可能改变军用装备构成材料的物理性质,在经历过一定的贮存或使用时间后,对装备材料或电路造成渐进性或永久性损坏。首先,流体污染可能会导致塑料、橡胶的形变裂纹,密封材料或垫圈的渗漏失效,防护材料粘结腐蚀脱开,结构材料融化分解等,进而导致装备产品寿命和可靠性的降低。其次,受到流体污染后的设备材料也许不会立刻发生明显的劣化,然而可能会在其他气候或机械环境条件下随时暴露出故障或失效影响现象,使得装备产品可靠性下降,严重影响其任务完好性。

1.2 标准贯彻实施需求

现阶段,由于缺乏成熟的可参照标准,流体污染试验在国内的应用范围还不广泛,实施手段与国外先进试验技术相比也非常不成熟。目前在国内军用实验室范围,对于流体污染试验的基本要求和实施方法作出相关描述或规定的标准就是 GJB 150.26—2009《军用装备实验室环境试验方法 第26部分:流体污染试验》。该标准具有目标对象明确、方法概述系统性强、流程完整充实的优点,然而在试验实施细节上还存在描述模糊抽象、参数规定原则不清晰等问题。因此基于该标准在工程实践中开展流体污染试验还具有一定的局限性。

结合以上两点,文中基于理解明确的 GJB 150.26,面向对应试验实施方法进行研究,对完善国内实验室环境试验技术能力起到推进作用,并有助于对国内主要军用标准 GJB 150 系列的有效贯彻实施。可以显著提高军用装备在设计研制阶段对流体污染环境应力的适应性,助力军用装备任务可靠性和作战完好性的不断发展。

2 GJB 150.26 现状及适用范围

常用的流体污染试验标准包括美军标 MIL-STD-810G 《Method 504.1 Contamination by Fluids》,以及民机适航试验依据的主要环境试验标准 RTCA/DO-160G《机载设备环境条件与测试程序第11章流体敏感性》。GJB 150.26 属于 GJB 150A—2009《军用装备实验室环境试验方法》的第26部分,于2009年5月由我军总装备部发布并施行。这一系列标准作为目前国内军工领域研制产品环境与可靠性工程应用最广泛的试验标准,其主要构型和基本内容是完全等效采用美军标 MIL-STD-810G 版本^[4-6]。

作为剪裁标准,GJB 150A 的核心特征时具有很大的灵活性,使用得当,可以避免简单套用 GJB 150 菜单式标准所带来的过设计、过试验或欠设计、欠试验问题,可以最大限度地保持标准的灵活性,降低研制的费用和研制周期。由于在上一版本 GJB 150—1986《军用设备环境试验方法》中尚未对流体污染试验进行标准实施规定,因此尽管已经隶属于新版的 GJB 150A 系列标准,但其版本号依然与旧版本的 GJB 150 系列保持一致。

标准中明确规定该试验方法适用于在贮存与工作状态中的军用装备。按照不同军兵种的装备类型,或按照贮存与工作环境的差异,或按照污染性流体的种类,均有不同适用范围的定义。当前流体污染试验主要是从不同军用装备的贮存和工作环境特点进行适用范围考虑,能够得到军用装备经受流体污染环境应力的多个影响场景^[7]。

例如在工作环境下,军用装备的机械结构、转动部件、作动部件在工作过程中可能接触润滑油,液压系统工作时始终要传递液压油,动力系统工作时要靠输入燃油产生驱动力,液冷设备需将冷却液通入功率较高的设备降温。在贮存环境,寒冷环境下的装备表面需要喷涂除冰剂,精密材料装备需要喷洒杀虫剂来防止生物损伤,闪点低、隔热效果差的塑料材料贮存在干燥热环境下需要涂覆灭火剂等^[8-11]。以上均为装备寿命周期内经历流体污染的实际情况,基于贮存与工作状态对流体污染影响场景进行归纳分析,有助于更系统全面地按照 GJB 150.26 进行试验程序的设置。

此外,标准列举了8种典型的军用装备受流体污染应力作用后的失效影响,归纳见表1。这些影响效应反映了装备受流体污染应力后的最主要失效表征行为,有助于深入分析归纳适用于该试验项目的相关特征军用装备。

表 1 流体污染失效影响及表征

典型失效影响	影响表征行为
包装失效	包括机载/舰载设备的外部包装壳体、雷达/天线的包装罩等带有防护保护包装的装备在贮存时易受到污染性流体的作用导致表面材料被分解或损伤从而失去包装作用
塑料和橡胶的开裂与膨胀	装备或组部件上的塑料结构和橡胶垫圈在润滑油、液压油、燃油的浸泡冲刷作用下回发生表面材料开裂和垫圈结构膨胀导致整体包容能力降低
抗氧化剂和可溶性物质的析出	灭火剂、冷却液、燃油等流体由于需要长期贮存因此流体内含有一定比例的抗氧化剂和沉降形成的可溶性物质，当其在装备表面受到高温的作用时会产生析出效应从而影响表面耐热性
密封或垫圈失效	最常见的故障模式之一，橡胶、陶瓷、塑料等材料的密封圈和垫圈在过热的工作环境下本身老化程度就会加剧，而在各种污染性流体的作用下这种失效就更加明显，使得密封圈不稳固从而导致漏气漏液、垫圈磨蚀从而导致部件间隙加大降低机械功能性能
粘结失效	某些军用装备的线缆与控制盒的动力接口主要依靠盲插/螺纹加密封胶紧固的方式进行连接，在污染性流体作用下密封胶的密封性质将逐渐丧失导致粘结失效结合不紧密从而降低装备连接处的密封性能
失去涂层/标志	一般装备核心组部件如控制盒、天线座、专用设备部件等，表面都具有三防涂层和研制标志信息铭牌，涂层化学材料与金属制的铭牌都是易受污染性流体损伤影响的物质，长期处于流体污染环境可能导致装备涂层被破坏、铭牌标志不清晰
腐蚀（非电化学）	最常见的故障模式之一，普通的化学腐蚀是指装备或部件的金属表面暴露在具有一定温度的空气与污染性流体中，使得金属材料发生氧化反应从而导致腐蚀现象出现，其影响是装备耐久性、寿命、结构强度的严重降低
融化或分解	与腐蚀类似，是由于污染性流体的特殊化学特性，在高温工作或贮存的环境下导致非金属材料的破坏与损伤

3 主要试验参数选取原则

GJB 150.26 标准中，相关试验参数主要由“暴露时间”、“污染流体种类”、“试验温度”、“保持时间”等要素构成^[1]。其中标准对暴露时间、流体种类、试验温度等情况进行了详细的解释和说明。

3.1 暴露时间

描述了军用装备在寿命周期内受流体污染环境应力影响的次数和间隔时间，标准中按照偶然性污染、间断性污染和长期性污染进行了划分，因此应该统一称之为“污染频率”。

试验前对于污染频率的选取要结合军用装备服役和执行任务的环境进行区分：装备 1 年内仅可能出现 1~2 次污染场景的为偶然性污染；装备发生有规律性的流体污染场景的为间断性污染；装备长期暴露于污染流体场景下的为长期性污染。不同污染频率的选择意味着试验实施时将采用不同的实施方法。

3.2 保持时间

保持时间即试验持续的总时长，包含了施加流体的时间和沥干静置的时间，统一称之为“试验时间”。标准中仅有一个试验程序，规定了保持时间一般不短于 8 h，而试验程序中一般以“8 h 沥干时间+16 h 静置保持时间”作为整体的保持时间。

3.3 污染流体种类、试验流体、试验流体的组合之间的区别

这三个概念表面上看都是在定义污染性流体，实质上在标准中的内涵有所区别。“污染流体种类”指的是军用装备寿命期内主要常见的污染性流体的归纳集合，标准中具体列举了每一种典型流体的名称（包括其施加时的最佳设置温度，见标准附录 A 中表 A.1）；“试验流体”内容主要是对“污染流体种类”的简单补充说明，重点在于对流体选择的可剪裁性进行了规定；“试验流体的组合”内容偏向于试验实施时流体的施加方式，按照单独施加、多种流体混合施加、多种流体按顺序连续施加进行区分。

其中污染流体种类的选取应依照军用装备研制和使用部门提供的相关工作规范，结合寿命剖面特点进行合理选择。试验流体施加方式则应充分考虑所有需施加的污染性流体相互耦合作用下的破坏性影响和对试验结果评价的干扰性影响，如混合施加流体时应考虑流体之间因化学作用导致本身特性失效的情况。

3.4 试验温度

按照试件温度、流体温度、保持温度进行划分。试件温度指经受流体污染试验前受试军用装备的温

度,旨在模拟装备贮存或工作时的任务状态;流体温度指试验时施加于受试产品的污染性流体温度,一般能够反映最恶劣、最严酷的环境应力;保持温度指流体施加后将受试产品置于试验箱中按保持时间沥干状态下的环境温度。

对于各试验温度参数的选取,同样应按照军用装备的贮存和工作温度范围进行设定。由于高温下的污染性流体对装备表面或内部的劣化作用最为明显,因此一般以受试产品的最高工作温度作为试件温度和保持温度。

综上所述,为了按照 GJB 150.26 开展流体污染试验,必须对与该试验流程相关的试验参数进行梳理与定义,明确试验参数在试验中的作用与内涵,并进而掌握其选取原则,为试验的实施建立基础输入。

4 试验实施程序研究

基于 GJB 150.26 的试验程序典型架构,试验程序的主要步骤构成为:试验件放置→试验条件设定→流体施加与喷淋→沥干与保持→程序循环→试验后检测与评价。按照污染频率的不同,将“流体施加与喷淋”程序内容又分为“偶然性污染”、“间断性污染”和“长期性污染”的实施要求,实施时需要先明确选取哪种污染频率,然后再按照相应的要求进行试验。

具体程序步骤为:1)被试品按要求连接或安装,放置在试验箱内;2)试验前检测,按规定的试件温度稳定被试品;3)按规定要求选取适当的污染频率,对被试品进行流体施加(偶然性污染——在被试品表面施加流体,试验程序要求仅施加1次;间断性污染——进行3个循环的试验,每个循环包括8h保持湿润时间和16h沥干时间,其中沥干时试验箱内的温度规定为保持温度;长期性污染——被试品完全浸入流体中,以规定的流体温度保持24h);4)自然沥干被试品;5)被试品在保持温度下保持8h,目视检查劣化情况,如被试品出现表面结构材料劣化,则试验不合格,需进行故障分析流程;6)如无劣化,继续保持16h;7)重复步骤5)和6),共完成2个24h的保持;8)恢复常温,检查被试品外观和功能性能,如出现外观和功能性能方面的故障,则试验不合格,需进行故障分析流程。如被试品外观正常,且能够正常工作,则判定完成流体污染试验。

另外,试验时若采用多种流体进行试验,则需要确定是连续施加还是非连续施加:连续施加——按流体温度从高到低的顺序,在步骤3)进行重复,直至把全部流体都施加完紧接着进行步骤4);非连续施加——重复步骤3)——7),直至施加完全部的流体。

根据标准归纳出上述试验程序的组织流程体系如图1所示。

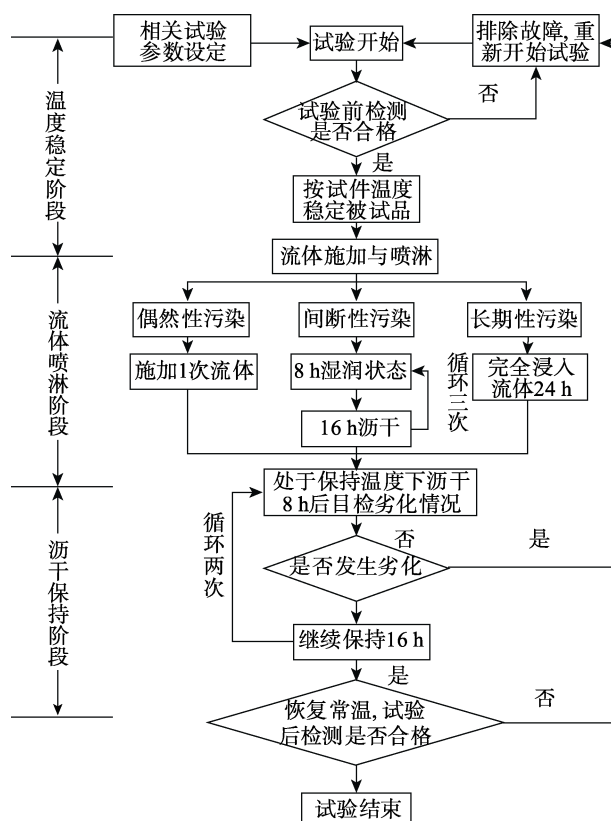


图1 流体污染试验程序流程体系

5 工程应用实例

基于 GJB 150.26 的流体污染试验,目前在航空装备各型号的环境鉴定试验阶段应用广泛,同时也在民用航空材料的横向试验中得到验证支持。结合型号工作,选取一种典型的航空机载产品,按照其典型的使用场景和任务剖面对其选取试验参数、制定试验程序,结合第4节的一般试验流程,完成基于 GJB 150.26 的流体污染试验实施工作。

现有某航空产品研究所研制的电动油门机构,根据该成品的技术协议和产品规范文件,其外部结构材料为复合金属材料,用于某型军用飞机动力系统的油门控制组件。其主要功能是响应油门杆的传动,并控制动力系统改变发动机转速和功率,以适应不同飞行工况的动力需求。其典型工况任务剖面的工作环境温度是 85℃,由于直接与油门传动机构连接,因此在寿命周期内不可避免地会受到多种污染性流体的环境应力作用,如润滑油、液压油、燃料等,又因为此类型的机载产品采用严格的密封措施,因此周期内受污染作用的次数不超过2次。现基于 GJB 150.26 对该产品进行流体污染试验程序构建并实施。

5.1 试验参数进行选取

按照技术协议文件的要求选取试验参数:污染频率选取“偶然性污染”;试件温度和保持温度与其工作

环境温度一致，均为 85 ℃；施加的流体为产品寿命周期内常见典型流体——润滑油（ВНИИПП-50-1-4Φ）、液压油（YH-15）、燃油（3 号喷气燃料，GB6537）；流体温度按照 GJB 150.26 附录 A 中表 A.1 进行选取，润滑油为 70 ℃，液压油为 70 ℃，燃油为 60 ℃；流体施加方式为连续施加，由于 3 种试验流体温度不同，因此按照从高到低的顺序进行施加，即先施加润滑油和液压油，再施加燃油。

5.2 温度稳定阶段

试验前对被试品外观与功能性能进行检测，均确认完好，之后将被试品放入试验箱。调节试验箱温度升至 85 ℃，并保持稳定。将润滑油和液压油温度稳定在 70 ℃，将燃油温度稳定在 60 ℃。

5.3 流体喷淋阶段

依次将润滑油、液压油、燃油施加在被试品表面，使其整个暴露表面都沾满试验流体。试验情况如图 2 所示。



图 2 施加流体阶段

5.4 沥干保持阶段

将被试品置于 85 ℃ 条件下，自然沥干 8 h，期间不允许转动和擦拭被试品表面。8 h 后，通过试验箱窗口目视被试品表面劣化情况，被试品表面未发生劣化现象。继续在 85 ℃ 条件下保持 16 h，上述 24 h 保持时间视为 1 个循环。重复上述步骤，继续完成 2 个 24 h 循环。将试验箱温度恢复常温，待被试品稳定后，对其进行外观与功能性能检测，被试品外观正常，连接外部测试设备进行功能性能检测结果均完好。因此判定被试品通过流体污染试验，试验结束。

以上试验过程即为基于 GJB 150.26 的军用装备

流体污染试验程序及实施过程，该部分内容注重于对试验程序实施过程的研究，对试验设备要求、试验基本信息要求、试验中断要求等方面论述不多，以待后续进一步研究。

6 结语

国内环境工程领域对于流体污染试验的应用还不广泛，文中通过对 GJB 150.26 的分析，从试验需求和背景、标准应用现状对本标准的适用范围进行明确阐述，并解读标准中试验参数的选取原则，梳理试验实施程序，完善了基于标准进行试验实施的流程体系。根据归纳总结的流体污染试验实施程序，结合工程应用中的实际案例进行了试验实施，从而为我国环境工程特种环境试验实施过程提供了理论研究基础和实施方法技术支持。

参考文献：

- [1] 刘志强, 鲜大立. 电子装备自然环境试验的探讨[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(1): 120-121.
- [2] 杨晓然, 张伦武, 秦晓洲, 等. 自然环境试验及评价技术的进展[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 6-16.
- [3] 徐友康, 刘德军, 胡鑫. 军用电子产品加速度试验监测问题探讨[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2017, 35(3): 30-35.
- [4] MIL-STD-810G, Environmental Engineering Considerations And Laboratory Tests[S].
- [5] RTCA DO-160G, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S].
- [6] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
- [7] 迟颖君. 关于流体污染度的研究[J]. 飞机设计, 1999(3): 42-49.
- [8] 校云鹏, 赵媛莉, 董仕宝, 等. 航空发动机在用润滑油污染度检测实验研究[J]. 广州化工, 2014, 42(17): 105-107.
- [9] 林修洲, 李月, 梅拥军, 等. 机场道面除冰液对飞机镀镉层腐蚀的研究现状与发展[J]. 四川理工学院学报, 2014, 27(4): 1-3.
- [10] 夏祖西, 彭华乔, 苏正良, 等. 机场除冰液对环境的影响[J]. 中国民用航空, 2008, 93(9): 51-52.
- [11] 王忠, 陈晖, 张铮, 等. 环境试验[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.