

技术专论

军用飞机外场腐蚀防护方法研究

陈群志¹, 房振乾^{1,2}, 康献海¹

(1. 北京航空工程技术中心, 北京 100076; 2. 中国人民解放军93756部队, 天津 300131)

摘要: 介绍了美国空军装备的腐蚀防护概况, 阐明了军用飞机外场腐蚀维护的重要性, 结合飞机外场使用维护的实际情况, 阐述了外场腐蚀预防控制、监控、补救和防腐改进措施的主要内容, 提出了我军飞机外场腐蚀防护与修理的基本方法、流程和具体要求。

关键词: 军用飞机; 外场; 腐蚀; 维护; 修理; 防腐改进

中图分类号: V216.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)01-0072-06

Methods for Military Aircraft Field Corrosion Prevention and Control

CHEN Qun-zhi¹, FANG Zhen-qian^{1,2}, KANG Xian-hai¹

(1. Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing 100076, China;

2. Unit 93756 of CPLA, Tianjin 300131, China)

Abstract: The overview of American air force corrosion prevention and control (CPC) was introduced, and the importance of military aircraft field corrosion maintenance was illuminated. The main contents of preventive field corrosion control measures, surveillance, remedy and improvement of CPC were thoroughly discussed according to the status and characteristic of military aircraft field usage and maintenance. The principal methods, flowchart, and specified requirements for our military aircraft field maintenance and repair were put forward.

Key words: military aircraft; field; corrosion; maintenance; repair; improvement of corrosion prevention and control

军用飞机在使用期间不可避免地会受到各种环境因素、载荷的交互作用, 引起结构及材料的腐蚀或破坏, 从而影响其遂行各种战斗任务的能力, 甚至还会导致事故或灾难的发生^[1]。美国总审计局指出美国国防系统每年的直接腐蚀损失大约在 100 ~ 200

亿美元之间^[2]。美国空军腐蚀预防与控制办公室 (AFCPCO) 研究表明, 在空军修理厂超过 50% 的工作量与腐蚀有关。美国国防部《腐蚀预防与控制计划指导手册 (2007)》指出军用飞机寿命周期成本的 65% ~ 80% 出现在与腐蚀有关的使用与维护期间^[3]。

收稿日期: 2010-10-28

作者简介: 陈群志 (1963—), 男, 湖南临澧人, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为飞机结构疲劳寿命、日历寿命及腐蚀防护。

AFCPCO在2009年向国会提交的空军腐蚀成本报告中指出,美国空军腐蚀维修费用年增长率近5.23%,2004年国防部直接用于空军飞机的腐蚀维修成本和使用与维护总成本分别高达14.97亿美元和384.06亿美元。为了降低腐蚀总成本、提高使用性能和系统安全性,美国国防部将环境对飞机影响作为11项国防核心技术之一,重点研究并先后制定了与腐蚀相关的一系列标准^[4-8]。这些表明,美国国防部已明确将飞机结构腐蚀预防与控制作为一项长期战略在顶层设计阶段就开始贯彻和执行。

近年来,针对军用飞机在外场使用与维护阶段中暴露出的问题的大量调研表明,现役各机种均存在不同程度的腐蚀现象,甚至有些机型飞机因其重要部位、关键承力结构的严重腐蚀损伤问题而导致提前大修或报废。目前,腐蚀已经成为我军飞机最普遍和最严重的损伤形式之一。因此,深入开展军用飞机使用与维护阶段腐蚀预防与控制方法研究^[9-13],对提高我军飞机的完好率和出勤率、降低维修成本、延长使用寿命、保障飞行安全以及减少飞行事故至关重要。

1 军用飞机外场腐蚀预防与控制的基本流程

腐蚀检查作为军用飞机日常使用和维护过程中的一个重要组成部分,机务人员应依据具体的使用 and 服役环境情况,有针对性地定期对飞机进行腐蚀专项检查。在沿海地区服役的飞机,至少每周安排1次针对腐蚀情况的检查;在半干燥内陆条件下服役的飞机,可适当延长检查周期,但每月应至少进行1次腐蚀情况分析和评估。军用飞机使用和维护阶段的腐蚀预防与控制是一项系统工程,主要包括预防性和补救性控制措施^[14-15]。预防性控制是指预先采取必要的措施抑制或延缓腐蚀损伤扩展及失效的时间历程,尽量减小腐蚀损伤对飞机安全性和结构耐久性的影响。补救性控制是指对两次相邻检查之间出现的腐蚀损伤进行打磨除腐后根据除腐量进行等级评估,针对不同的腐蚀损伤等级及时采取有效的措施对腐蚀部位实施修理的过程。军用飞机外场腐蚀预防与控制流程如图1所示。

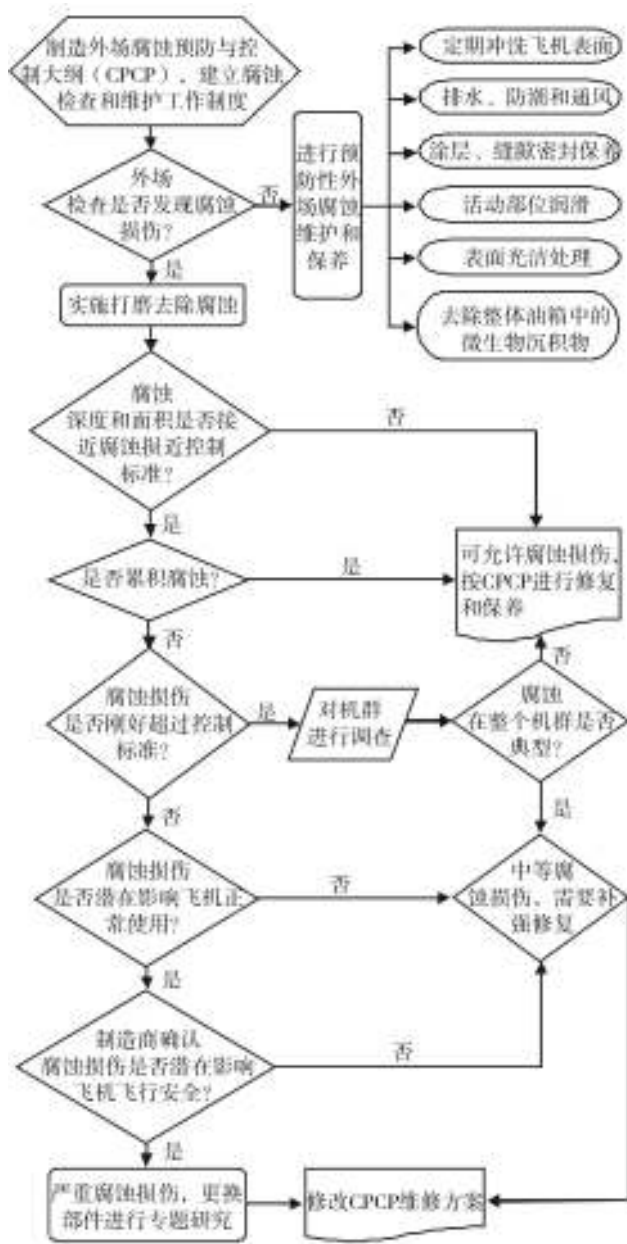


图1 军用飞机外场腐蚀防护流程

Fig. 1 Flowchart for military aircraft field corrosion prevention and control

2 军用飞机预防性外场腐蚀防护主要方法和要求

2.1 定期冲洗飞机表面

冲洗是一种简单、有效的外场腐蚀防护措施,能有效地去除各种腐蚀性污染物,减少腐蚀产生的外

在因素,起到抑制或减缓腐蚀的作用。军用飞机表面清洗应遵循以下原则。

1) 采用飞机维护修理手册中规定的洗涤剂、水基乳化碱性清洗剂和溶剂型清洗剂等专用清洗剂对飞机表面进行清洗,并严格掌握使用浓度。

2) 用清水对飞机表面进行彻底清洗。若气温在0℃以下,应改用无水、清洁的溶剂或煤油清洗飞机表面,然后用清洁的软布擦干。在气候炎热时,应尽可能在阴凉通风的地方清洗飞机,以减少条纹的出现。

3) 冲洗过程中会冲洗掉部分润滑油、机油、密封剂和腐蚀抑制化合物,因此,冲洗后应重新加填润滑油、脂和涂敷缓蚀剂,并要特别注意缝隙和搭接区域的彻底清洗和干燥。

4) 由使用环境和污染程度确定飞机的清洗周期。建议冲洗频度为:轻微腐蚀地区90次/d;中等腐蚀地区45次/d;严重腐蚀地区15次/d。

2.2 排水、防潮和通风

雨水、潮湿的空气、滴露、盐雾等诸多因素的存在满足了机体结构发生电化学腐蚀的外在条件,因此在外场腐蚀防护中要特别注意飞机的排水、防潮和通风工作。

1) 排水。定期检查飞机的排水孔或口,排水装置是否畅通,排水阀门工作是否正常。对沟、槽等易积水结构,其低凹的区域可用填平剂填充,而且应视情况增、扩排水孔或加装排水阀门、排水管。

2) 防潮和通风。为防止雨、雪、霜、潮湿空气等进入并长期滞留在飞机内部,雨后或用高压水清洗飞机后,应及时打开舱门、口盖进行通风,并排除积液。通风可以驱散飞机内部的潮湿空气,促进结构部件上沾附水分的蒸发。对飞机结构中的沟和凹槽、底舱区域以及结构部件搭接缝等易积水区域要予以特别重视,发现水分存留应及时排除并进行通风干燥处理。与海绵橡胶、隔音材料和绝缘材料等有机吸湿材料相接触的金属遭受腐蚀的可能性较大,要经常检查并保持隔离层的干燥。

2.3 飞机涂层体系和密封结构的保养

1) 飞机涂层体系的保养。飞机表面的防护涂层比较薄且硬度较小,受到碰撞、摩擦时极易损坏。

因此,外场维护中应尽量避免坚硬物体与飞机表面涂层直接碰撞、摩擦,以防止涂层受到机械损伤。若涂层已遭破坏,应及时进行修复或喷涂脱水防锈剂作暂时性保护。

2) 密封材料填充于机体结构中诸多大小不等、形状各异的窗口或口盖、沟、槽以及所有间隙和连接缝隙处的密封剂、密封带等,能够阻止雨水等腐蚀介质的进入,有效地抑制和减缓腐蚀。这些结构中的密封材料若因自然老化、高压冲洗等原因遭到破坏,要及时进行更换和填充。

2.4 加强润滑

润滑油脂能有效地防止或减缓功能接头和摩擦表面等活动部位的腐蚀。对于静态接头采用缓蚀剂与润滑油脂混合的方式包封安装,将有助于抑制和减缓缝隙腐蚀的发生。在外场腐蚀防护中,要定期检查活动接头、摩擦表面、轴承和操纵钢索等的润滑油脂是否充分。特别是飞机冲洗后,要特别注意这些部位的再润滑问题。重新加填、涂覆的周期应依据具体的外场使用环境、冲洗次数和清洗液清洗强度等因素而定。

3.5 飞机的表面光洁处理

保持军用飞机表面的光洁,将有助于降低飞机表面对服役环境中的粉尘、工业废气等各种腐蚀介质的吸附,从而抑制或减缓机体的腐蚀,有效地降低机体的腐蚀速率。因此,在高压冲洗后,应合理使用表面光亮剂对飞机表面进行光洁处理。由于表面光亮剂是一种含酸化合试剂,会使高强度钢变脆或导致铝合金阳极氧化膜、包铝层的破坏,因此,在起落架、襟翼滑轨以及座舱玻璃等结构部件上严禁使用。对于光亮剂的使用频度,一般以18个月或2a进行一次表面光洁处理为佳。

3.6 微生物沉积的去除

微生物在水/油交界处繁殖,迅速地在整体油箱中形成黏质物或缠结的微生物。这些缠结的微生物会截留水分,一般的排水工艺不能将其去除。油箱表面涂层在微生物及其排泄物的连续作用下就会破裂,进而腐蚀铝合金,穿透机翼蒙皮时就会造成漏油。当在箱体内纵向表面和管道顶观察到棕色或黑

色黏质物时,表明箱体已明显遭受到微生物的污染。因此,在外场维护中,要特别注意整体油箱微生物沉积的预防与去除工作。要定期检查燃油供应系统,加装过滤装置^[6]以滤除燃油中的水分。每次进入箱体都应检查有无微生物的生长,要随时确保排水孔和排水管不被阻塞。将杀虫剂投放到燃油储罐、飞机加油车或直接投放到飞机油箱中,是减少微生物滋生的一种有效方法。投放的周期应根据具体的服役环境和操作需求而定。

4 军用飞机补救性外场腐蚀损伤修复方法和要求

军用飞机在服役使用期间一旦出现腐蚀损伤,就必须采取临时防护和有效的补救性措施及时进行修复。使用脱水防锈剂是飞机外场临时维护和修补的一种有效手段。软膜型脱水防锈剂常在飞机清洗之后使用,适用于起落架舱、减速板舱、舱底部位等难于检查及易积水区域的外场短期防护。硬膜型脱水防锈剂适用于飞机上紧固件、接缝、调整片、焊缝等不要求润滑的非运动部位,并可涂覆在涂层开裂、损坏部位,作为涂层破坏后的临时修补手段。补救性外场腐蚀损伤修复主要是指通过检查,在确认腐蚀损伤后,采取外场可实施的技术手段及时对腐蚀损伤部位实施有效维护和修理。

4.1 补救性外场腐蚀损伤修复的原则和要求

进行补救性外场腐蚀损伤修复设计时,必须综合考虑各种影响因素,准确分析结构腐蚀损伤原因,制定合理的修复技术方案。对疲劳、断裂和功能关键件等关键结构件除必需满足静强度的要求外,还必须满足耐久性和损伤容限的要求。军用飞机外场腐蚀损伤修复的具体要求是腐蚀损伤修复后应不破坏原结构可检性,保持好机体内外表面洁净和防护涂层的完整,确保飞机结构中无腐蚀产物残留,不会引起二次腐蚀,而且要综合考虑质量、成本和周期,采用修复周期短、费用少的方案。

4.2 外场腐蚀损伤分类

除腐后,可根据腐蚀深度和腐蚀面积的大小,并参考飞机结构修理手册确定腐蚀等级。通常军用飞

机腐蚀损伤按其严重程度分为3类:轻微可允许腐蚀损伤、中等腐蚀损伤、严重腐蚀损伤。

4.3 军用飞机补救性外场腐蚀损伤修复方法和程序

1) 腐蚀修复前的准备。修复工作开始前,应对飞机表面进行快速冲洗,将飞机的搭地线接地,需要时拆除或断开飞机电瓶,保护空速管开口、进气口、发动机开口、起落架等免受潮气和化学光亮剂的侵袭,并且要保护靠近返修区的表面、连接点和接口等免受化学褪漆剂、腐蚀去除剂以及其它表面处理剂的影响。

2) 腐蚀区域的清洁处理。除腐之前,应采用甲基乙基醇、干洗溶剂汽油等溶剂类清洁剂清除腐蚀区域的脂类、润滑油、灰尘或其它污染物。如果底漆分层、剥落、软化或出现腐蚀,则必须刷涂脱漆剂进行脱漆处理。

3) 腐蚀区域损伤状况评估。外场检查中可采用放大镜、孔探仪、直尺、压痕材料、深度千分尺等目视检测方法对腐蚀区域损伤状况进行观察和评估。在目视检查不适用的特定区域或在目视检查后需要测定腐蚀程度、确定是否存在裂纹以及是否彻底消除裂纹时,应采用涡流、超声波、磁粉、渗透等无损检测技术对腐蚀区域的损伤状况进行检测和评估。

4) 腐蚀部位的处理。用机械法或化学法去除腐蚀产物,具体选用哪种方法取决于结构形式、腐蚀部位、材料、腐蚀类型和腐蚀程度等。机械法通常适用于中等到严重腐蚀损伤,特别是大厚度的蒙皮或横截面积比较大的受损部位。轻微腐蚀则用化学法去除。

5) 修整区域抛光处理。去除腐蚀产物后,应使用合适的砂纸对粗糙边缘和凹陷处进行抛光处理,并按照一定的比例和方向完成整形。抛光整形后,所有的凹陷部位必须与其周围金属表面平滑过渡,以使应力集中降至最低。

6) 表面修整后的无损检测。除腐整修后,采用放大镜、着色渗透剂以及涡流、超声波等无损检测技术确认腐蚀是否完全清除。若修整部位还存在裂纹,应继续打磨直至表面无裂纹,并用合适的砂纸再次进行抛光整形。

7) 腐蚀深度测量。进行腐蚀深度和腐蚀面积测量,以确认材料除腐量是否满足损伤容限要求。如果除腐量影响到结构的强度,则需配装加强件进

行补强修理或部件更换。

8) 恢复原有表面涂镀层。在完成上述处理步骤之后,首先应采用阳极化、化学氧化或酸洗的方法对结构进行表面防护处理;然后对结构进行冲洗、干燥,重新喷涂底漆和面漆,以恢复其原有表面涂镀层。

5 腐蚀损伤报告、腐蚀损伤监控及防腐改进

外场腐蚀防护中,若能提前发现腐蚀并采取相应的预防措施,则可避免或减少严重腐蚀问题的发生。因此,应积极开展军用飞机外场腐蚀损伤监控和防腐改进研究。

5.1 腐蚀损伤报告程序

完成飞机腐蚀损伤综合评定后,应认真填写腐蚀损伤报告,将腐蚀损伤信息录入数据库,以便对飞机的腐蚀损伤进行实时统计和监控。根据腐蚀损伤等级的评定结论,确定是否需要修改腐蚀预防与控制大纲。

5.2 腐蚀损伤监控程序

腐蚀损伤监控工作主要是研究服役使用环境中金属结构的腐蚀深度、损伤面积、涂层与密封材料的老化、损伤及其失效评定方法。根据腐蚀维护技术规程制定切实可行的腐蚀监控制度,并在外场腐蚀防护过程中严格执行,定期对军用飞机的腐蚀损伤情况进行检查和详细记录,分析腐蚀原因和规律。根据军用飞机外场腐蚀损伤监控和可靠性分析,对飞机结构和腐蚀情况进行归类整理,针对不同的腐蚀情况制定不同的监控方法,并对出现频率过高的腐蚀类型进行专题研究。定期出版结构和腐蚀可靠性报告,并对腐蚀情况和技术通报的执行情况进行总结;对有共性的轻微可允许腐蚀损伤,下发大队范围内的技术通报;对需补强修复和换件修复的严重腐蚀损伤,下发有针对性的技术通报,并要及时制定有效的纠正、预防措施以及防腐改进方案,从而防止影响飞机正常使用和飞行安全的重大腐蚀故障。

5.3 维修方案改善

当前条件下,针对军用飞机结构设计特点、使用

环境及大修技术条件,采用最新的防腐技术对结构实施合理的防腐改进是提高军用飞机结构抗腐蚀品质、抑制或延缓腐蚀发展的最主要技术措施之一。以国内腐蚀防护最新成果为起点,遴选出抗腐蚀性优良的防腐措施,针对典型飞机关键腐蚀与关键腐蚀疲劳结构部位,开展新型防腐涂层应用研究。在典型腐蚀环境下,采用模拟件对新型防腐涂层与现役飞机结构涂层的性能进行加速腐蚀对比试验,验证改进后的防腐效果。根据修理厂和外场实际维护条件对防腐改进方法及工艺规程进行研究,制定出明确的防腐改进措施和具体的实施工艺流程,确保能将最先进的腐蚀防护技术应用于军用飞机结构的防腐改进,避免或延缓军用飞机结构在使用寿命中后期出现严重的腐蚀问题。

6 结语

鉴于现役军用飞机日益严峻的外场腐蚀损伤现状,应高度重视外场腐蚀预防与控制方法研究。在军用飞机外场腐蚀维护过程中,应严格按照腐蚀预防与控制大纲定期实施飞机的表面冲洗和表面光洁处理,定期对易积水区域进行排水、防潮和通风,对表面涂层和密封剂也应定期保养和维护,活动部位的润滑以及微生物沉积物的早期预防与去除等预防性外场腐蚀控制措施。在检测出腐蚀损伤时,应根据腐蚀损伤等级评估结论采取有效的补救性外场腐蚀控制措施,及时对腐蚀损伤部位进行修复。全面系统地开展军用飞机外场腐蚀防护方法及军用飞机外场腐蚀损伤监控和防腐改进研究,对在全寿命期内提高军用飞机的抗腐蚀品质,保证军用飞机结构完整性、可靠性和安全性,提高军用飞机完好率和战斗力,减少腐蚀故障、减轻军用飞机外场腐蚀维护负担、降低军用飞机外场腐蚀维修成本,避免因腐蚀问题而引发严重的安全隐患至关重要。

参考文献:

- [1] 宣卫芳,胥泽奇,肖敏,等. 装备与自然环境试验[M]. 北京:航空工业出版社,2009.
- [2] WILLIAM S J. Defense Science Board Report on Corrosion Control[R]. Washington D C: Office of the under secretary of defense, 2004.
- [3] USD (AT&L). Corrosion Prevention and Control Planning

- Guidebook Spiral 3[R]. Washington D C: Department of defense, 2007.
- [4] JSSG-2006—1998, Joint Service Specification Guide Aircraft Structures[S].
- [5] MIL-HDBK-1530B—2002, General Guide Lines for Aircraft Structural Integrity Program[S].
- [6] MIL-STD-1568—1994, Materials and Processes for Corrosion Prevention and Control in Aerospace Weapons Systems [S].
- [7] MIL-STD-1587—1992, Materials and Process Requirements for Air Force Weapon Systems[S].
- [8] MIL-STD-810—2000, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [9] 陈群志. 腐蚀环境下飞机结构日历寿命技术体系研究

- [D]. 北京:北京航空航天大学, 1999.
- [10] 陈群志, 刘文斑, 陈志伟, 等. 腐蚀环境下飞机结构日历寿命研究现状与关键技术问题[J]. 中国安全科学学报, 2000, 10(3): 42—47.
- [11] 陈群志. 典型飞机结构日历寿命评定方法与延寿技术研究[R]. 沈阳:中国科学院金属研究所, 2005.
- [12] 陈群志, 康献海, 刘健光, 等. 军用飞机腐蚀防护与日历寿命研究[J]. 中国表面工程, 2010, 23(4): 1—6.
- [13] GJB 2635A—2008, 军用飞机腐蚀防护设计和控制要求[S].
- [14] 航空航天工业部第六二一所, 六四〇所. 民用飞机腐蚀控制[M]. 北京:航空工业出版社, 1992.
- [15] 汪定江, 潘庆军, 夏成宝. 军用飞机的腐蚀与防护[M]. 北京:航空工业出版社, 2006.
- [16] HB 7685—2001, 飞机燃油系统污染控制要求[S].

(上接第 48 页)

定度的百分位应修约, $U_{95\%}$ 取 0.1。

使用相对不确定度时, 可用下述方法表示:

- 1) $\alpha_k = 12 \text{ kJ/m}^2$, $U_{95\%} = 0.1$, $k_p = 2$;
- 2) $\alpha_k = 12(1 \pm 0.1) \text{ kJ/m}^2$, $k_p = 2$, 式中 0.1 为 $U_{95\%}$ 之值。

4 测量的精密度分析

GB/T 1043.1—2008 的附录 B 给出了 ISO 179-1: 2000 中根据 ASTM E 691《确定试验方法精密度进行实验室研究的标准实施方法》进行的循环试验而获得的简支梁冲击精密度数据^[2]。现将本次测量结果与 GB/T 1043.1—2008 附录 B1 中表 1 的数据比较在表 4 列出。

表 4 2.9 m/s 简支梁冲击强度的精密度数据

Table 4 Precision of simply supported beam notched impact strength (impact velocity 2.9 m/s)

	材料	平均值	S_r	S_R	r	R
ASTM E 691(1)	ABS	13.48	0.47	1.86	1.32	5.21
	GF-PBT	8.52	0.61	1.27	1.71	3.55
ASTM E 691(2)	ABS	13.44	0.45	1.90	1.25	5.31
	GF-PBT	8.54	0.60	1.29	1.68	3.62
测量结果	ABS	12.5	0.24	—	1.83	—

注: S_r 为实验室内标准差; S_R 为实验室间标准差; $r = 2.83S_r$; $R = 2.83S_R$ 。

根据 JJF 1059—1999 中 5.10 的规定: $u = r/2.83$, 文中的 u_r 即为 JJF 1059—1999 中的 u , 等同于表 4 中的 S_r 。

表 4 中的数据可以说明, ABS 简支梁缺口冲击强度测量不确定度评定的结果比 GB/T 1043.1—2008 附录 B 表 B1 的精密度数据要小。原因是在 GB/T 1043.1—2008 中, 对单模腔挤塑试样的尺寸测量 1 组只要测 1 个试样, 因此, 可能由于试样尺寸的误差产生较大的不确定度分量。

5 结语

1) 当给出完整的测量结果时, 一般应报告其测量不确定度。

2) 为了便于用户比较实验室的能力和水平, 对于一般应用, 扩展不确定度应对应于 95% 的置信水平。在表述实验室的能力时, 一般采用最佳测量能力, 即根据日常检测系统, 被测样品接近理想状态时评估的最小的测量不确定度。

3) 使用相同的测量方法、测量设备, 在相同的测量环境条件下, 对其他塑料进行不确定度评定时, 可采用文中给出的相对扩展不确定度的数据。

参考文献:

- [1] 宣卫芳, 王一临, 胥泽奇. 弹药塑料包装材料自然环境老化现象研究[J]. 装备环境工程, 2006, 3(5): 26—30.
- [2] GB/T 1043.1—2008/ISO 179-1:2000, 塑料 简支梁冲击性能的测定 第 1 部分: 非仪器化冲击试验[S].
- [3] CNAS-CL07:2006, 测量不确定度评估和报告通用要求[S].
- [4] JJF 1059—1999, 测量不确定度评定与表示[S].