

# 基于状态的维修——信息化环境下精确维修的利刃

董立宁<sup>1,2</sup>, 阮拥军<sup>1</sup>, 李震<sup>1</sup>, 刘辉<sup>3</sup>

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 中国人民解放军73075部队, 江苏 新沂 221400;  
3. 中国人民解放军驻四四七厂军代室, 内蒙古 包头 014000)

**摘要:** 分析了当前装备维修所面临的信息化战场环境, 阐述了信息化环境下装备精确维修的必要性, 介绍了维修的分类和基于状态的维修(CBM)概念, 分析了CBM的特点, 介绍了CBM的研究现状, 阐述了CBM的技术可行性。在此基础上, 进一步分析了信息化环境下基于CBM的装备精确维修流程。

**关键词:** 装备维修; 基于状态的维修; 精确维修

**中图分类号:** TJ07      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)05-0071-04

## Condition Based Maintenance—Blade of Precision Maintenance in Informatization Environment

DONG Li-ning<sup>1,2</sup>, RUAN Yong-jun<sup>1</sup>, LI Zhen<sup>1</sup>, LIU Hui<sup>3</sup>

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Unit 73075 of PLA, Xinyi 221400, China;  
3. PLA Military Representative Office in 447 Factory, Baotou 014000, China)

**Abstract:** The informatization battlefield environment faced by equipment maintenance was analyzed, and the necessity of precision equipment maintenance in informatization environment was illuminated. The classification of maintenance and the concept of condition based maintenance (CBM) were introduced, and the characteristic of CBM was analyzed. The research status of CBM was introduced, and the technical feasibility was illuminated. Based on this, the precision equipment maintenance processes based on CBM in informatization environment was analyzed.

**Key words:** equipment maintenance; condition based maintenance; precision maintenance

随着高新技术的发展及其在装备中的应用, 使得装备的结构越来越复杂, 功能越来越多, 自动化程度越来越高, 导致装备维修工作也越来越困难。信息技术的发展及其在战争中的广泛运用, 使得战场环境发生了巨大变化, 逐步向陆、海、空、天、电磁多

维一体的信息化战场环境过渡, 呈现出明显的动态性、复杂性和对抗性<sup>[1]</sup>。在这种形势下, 传统的粗犷型装备维修模式已不能满足信息化环境下装备的维修需求。为有效满足信息化战争对装备维修的新需求, 降低维修费用, 提高维修效益, 迫切需要实施装

收稿日期: 2012-03-03

作者简介: 董立宁(1987—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要研究方向为装备管理理论与应用。

备精确维修模式。继美军提出基于状态的维修(Condition Based Maintenance, CBM)后, CBM 以其在维修领域的显著优势和巨大发展潜力, 成为了实现装备精确维修的利刃。

## 1 装备精确维修的必要性

信息化环境下, 作战样式发生了巨大转变, 作战的精确化带来了装备维修的新需求, 要求应用信息技术在装备使用单位和装备维修机构之间建立信息桥梁, 使装备维修机构能够实时、精确地掌握装备的信息, 及时维修, 满足使用单位的需求。传统装备维修模式显然达不到上述要求, 修复性维修过于被动, 传统的预防性维修则以定期维修为主。而定期维修在实践中也暴露出很多缺陷, 突出表现在以下5个方面, 如图1所示。

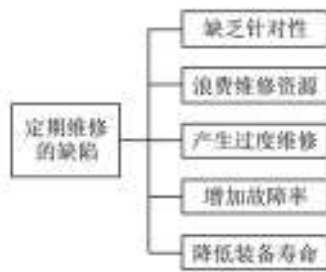


图1 定期维修的缺陷

Fig. 1 Shortcomings of periodic maintenance

1) 缺乏针对性。定期维修不考虑装备的实际状态, 只是基于时间因素进行预防性的维修, 虽然可以预防装备产生大的故障, 但是脱离了装备的实际维修需求, 所以维修活动比较盲目, 缺乏针对性。

2) 浪费维修资源。定期维修需要耗费大量的人力物力, 特别是复杂装备和系统, 需要投入更多的人力和物力进行维修。由于定期维修缺乏针对性, 实际上很多装备并没必要实施大修, 因而浪费了大量的人力物力, 造成了维修资源的浪费。

3) 产生过剩维修。定期维修是按计划执行维修, 在维修过程中要进行许多不必要的零部件更换, 在装备拆卸过程中会产生一定程度的磨损, 原本磨合很好的零部件还需要重新装配, 这些过程不可避免地产生过剩维修的缺陷, 导致保障资源浪费严重。

4) 增加故障率。对状态较好、不需要维修的装

备进行维修活动, 拆卸、修理过程会破坏装备原本的稳定状态, 反而会影响装备的性能和质量, 造成早期故障, 增加装备的故障率。

5) 降低装备寿命。定期维修对装备采取的维修活动, 远超过了装备在全寿命过程中的实际维修需求。每次拆修都会降低材料强度, 增加材料的疲劳损坏, 会降低装备使用寿命<sup>[2]</sup>。

要有效解决上述问题, 必须变革传统的装备维修模式, 实施装备精确维修, 即在适当的时间、适当的地点对装备实施高质量的维修, 以最少的保障资源取得最大的保障效益。

## 2 基于状态的维修(CBM)概述

### 2.1 维修分类

维修有多种方式, 根据维修的目的与时机对维修进行分类, 可分为修复性维修、预防性维修和改进性维修。其中, 预防性维修又可进一步细分为定期维修和视情维修。随着信息技术的发展, 视情维修又主要分为预计性维修和基于状态的维修。维修分类如图2所示<sup>[2]</sup>。



图2 维修分类

Fig. 2 Maintenance classification

修复性维修是指装备或其部件发生故障或遭到损坏后, 为使其恢复到规定技术状态所进行的维修活动。预防性维修是指在发生功能故障之前, 使装备保持在规定状态所进行的各种维修活动<sup>[3]</sup>。改进性维修是指为增强装备的功能, 而对装备进行的改良活动。三者之中, 预防性维修是人主观控制的, 具有较强的主动性和实用性。

视情维修是指对装备进行定期或连续的监测, 发现其有功能故障征兆时即进行维修。定期维修是指按规定的装备维修间隔期实施的维修。二者之间

具有较强的互补关系,一方面,采取定期维修,在维修间隔期出现的故障,要依靠视情维修根据故障征兆进行提前预防;另一方面,定期维修可以使装备恢复到较好的状态,减少功能故障征兆,降低视情维修的工作量。

## 2.2 CBM的基本概念

CBM是美军20世纪末提出的一种维修思想,在21世纪初得到大力推行,在军事及民用领域得到了广泛研究和应用。

CBM是指从设备内部植入的传感器或外部检测设备中获得系统运行时的状态信息,通过对这些状态信息进行实时或周期性的评价,最终得出装备的维修需求<sup>[4]</sup>。

CBM的目的是运用以信息技术为代表的各种高新技术,实时监控、获取装备的状态信息,根据装备的状态,在有迹象表明装备需要维修的情况下采取相应的维修活动,节约维修资源,提高维修工作的效率与效益。

## 2.3 国内外研究现状

21世纪以来,美军在大力推行CBM同时,又将一些改进的或新的维修技术、方法、实施程序引入CBM中,发展出了增强型基于状态的维修(CBM+)。CBM+是指在对装备状态进行实时或近实时评估的基础上采取的一系列维修行动<sup>[5]</sup>。美军运用CBM,大大提高了装备的战备完好性,显著降低了维修费用。

目前,国内对CBM的研究还处在起步阶段,与国外相比还有很大的差距,基本上是在进行简单的理论探讨或介绍性研究,主要在电力、船舶行业有些应用,但这些应用仅仅是以状态监测和故障诊断为主,对维修决策研究很少。因此,国内对CBM在装备维修中的应用还需要一个长期的探索过程。

## 2.4 CBM的特点

在众多维修方式中,CBM最大的特点在于它是一种主动的预测性维修。在传统的故障诊断技术基础上,CBM综合运用了传感技术、人工智能技术等多种先进的技术,准确判定部件的实际状态,尽可能在发生功能故障前采取维修措施,使装备恢复正常状态。CBM能克服事后维修和定期维修所带来的弊

端,可以降低维修工作量,节约维修资源,提高装备的完好率,使装备在寿命周期内发挥最大功效<sup>[4]</sup>。

CBM能把故障消灭在萌芽状态中,避免突发故障造成的损失;可以大幅度地降低维修费用,提高经济效益;可以减少维修时间或避免不必要的维修,减少停机时间,提高装备的可用度。

目前CBM技术已在机械、化工、冶金、汽车及电力等领域得到广泛应用。实施CBM后,大型发电厂的故障发生率降低了75%,大小修费用降低25%~50%,重大化工企业如造纸厂等的重要设备故障停车台次下降95%,维修费用降低40%~70%,维修次数显著减少,设备运行周期得到延长<sup>[6]</sup>。

当前,CBM还处在起步阶段,虽然有很多优点,但仍然存在一些问题。CBM对装备状态监测设备的技术要求很高,因而投入的经费也较高,在某些情况下,建立CBM所投入的费用比运用CBM所降低的维修费用还要高。而且目前CBM主要应用于一些新装备,还不能够得到广泛应用。为了将CBM有效应用到装备维修领域,还需要采取一些措施。1)利用信息技术的发展,积极研发功能更先进的状态检测设备;2)尽量减少投入的经费,在提高军事效益的同时,提高经济效益;3)加强CBM的推广应用,使其能够覆盖所有主战装备。

## 3 CBM的技术可行性

从维修技术的变化和当前维修面临的挑战来看,人们迫切寻求用CBM来解决维修问题,但并非所有装备都可以使用CBM。

通常装备的退化不是瞬间产生的,而是一个逐渐劣化的过程。故障刚开始产生时是无法探测的,会逐步退化到可以探测但不影响装备正常使用的潜在故障。如果潜在故障仍没有被探测到并予以修正,那么它就会退化到影响装备正常使用的程度,即产生功能故障。

如果装备满足下列标准,就是技术可行的:1)能够探测到潜在故障状态;2)“潜在故障和功能故障之间的间隔”比较一致;3)能够以小于“潜在故障和功能故障之间的间隔”的时间间隔来检测装备的状态;4)净剩的“潜在故障和功能故障之间的间隔”必须足够长,能够采取修正措施<sup>[7]</sup>。

假设从产生故障征兆到发生功能故障之间的时间间隔为  $T$ , 状态监控设备检测时间间隔为  $M$ , 采取修正措施所需时间为  $N$ 。若故障征兆可以被探测到, 而且  $M < T$ , 则在产生功能故障之前, 可以探测到故障征兆。此时距离产生功能故障的时间最小情况下只有  $(T - M)$ , 即必须满足  $(T - M) > N$ , 才可以在产生功能故障前排除故障。

以某型自行高炮火控计算机产生故障为例, 其  $T = 2 \text{ h}$ ,  $M = 10 \text{ min}$ ,  $N = 1 \text{ h}$ , 且故障征兆可以被探测到。当火控计算机产生故障征兆后, 最多在  $10 \text{ min}$  之内即可以被探测到。此时距离产生功能故障的时间还净剩  $1.83 \text{ h}$ , 可以利用  $1 \text{ h}$  来排除故障, 在产生功能故障前使自行高炮火控计算机恢复到正常状态。

#### 4 基于CBM的装备精确维修流程

将CBM系统所需的传感器等状态感知器件安装到装备上, 辅以外接的状态检测仪器, 即有条件对装备实施基于CBM的装备精确维修。基于CBM的装备精确维修流程如图3所示。



图3 基于CBM的装备精确维修流程

Fig. 3 Process of precision equipment maintenance based on CBM

图3中, 状态信息采集是指利用安装在装备上的传感器、外接检测设备对装备关键部件的状态信息进行不间断检测和收集, 得到实时的装备状态信息; 状态参数识别是指将采集到的状态信息与已知的运行性阈值进行比较, 输出状态指示, 作为装备健康状态评估的依据; 健康状态评估是指决定装备健康状态, 确定可能故障模式及发展趋势, 根据当前装备状态预测未来状态, 估计给定运行计划下装备的剩余寿命, 具体表现为评估装备各部件状态是否良好、个别部件性能严重下降时能否继续使用、多个部件性能下降时装备能否正常运行、装备陈旧老化时是否有修理必要等; 维修决策确定是指

根据装备健康状态评估结果, 确定维修方案, 提供维修或更换建议、维修步骤、实施过程中的资源限制, 以及备件分配方案等; 维修作业实施是指根据维修决策确定的维修方案, 分配维修任务, 指派维修力量, 调拨维修资源, 展开装备维修作业, 使装备恢复正常使用状态。

基于CBM的装备精确维修, 关键在于状态信息采集。因此, 状态检测技术是其关键的技术。目前, 状态检测技术主要是检测装备的运转参数(速度、压力、功率等)、磨擦引起的能量损耗(噪声、温度等)、装备构件的工作状态和润滑状态(振动、位移、润滑油的供应及其理化分析等等)。

通过连续检测反映状态变化的预警参数, 可以得到装备的初期故障信息。然而不管采用何种技术, 监测仪器都有其局限性。例如, 振动分析仪只能检测振动而不能探测化学成分和温度的变化。因此, 必须把实测的原始参数按一定数学模型计算并进行综合, 才能得到能够表明装备状态的参数<sup>[8]</sup>。

文中基于CBM的装备精确维修流程只考虑了故障状态可以监测的情况, 在实际维修活动中, 面临各种复杂的情况。一方面, 并非所有的故障都满足CBM的使用条件; 另一方面, 对于价格低廉、故障造成后果较轻的部件, 根本不需要采用CBM, 采用定期维修更适宜。此外, 还有一些不可预知的突发因素会造成装备损伤。因此, CBM并不等同于装备精确维修, 装备精确维修是一种维修理念, 要在运用CBM的基础上, 综合运用各种维修方式, 灵活应对各种情况, 才能有效满足装备维修需求, 实现精确维修。

#### 5 结语

现代科技的发展促使武器装备越来越复杂和精密, CBM以其高效的维修活动和显著的经济效益, 必将在军事以及民用维修领域得到更加广泛的应用。随着信息技术的发展, CBM系统将更加完善, 且功能更加强大, 从而促使维修领域产生重大变革。依托CBM, 装备维修也必将实现向精确维修模式的跨越。

#### 参考文献:

[1] 杜金奎, 霍得森. 复杂电磁环境下电子对抗装备野战化

(下转第91页)

备、储存库等设备设施,应建立严格的防尘、防水和维护制度,并定期进行检查,确保液压系统的工作可靠性。

## 5 结语

海洋环境下,液压系统水污染问题越来越受到大家的重视,水污染监控与净化是提高飞机液压系统海洋环境下可靠性、安全性,延长其使用寿命的重要措施。目前,实施水污染监控及净化还有一定的难度,特别是水分脱离属于液-液分离技术,在技术上处理的难度较大。水污染监控是一个系统工程,要从水分测量、水分脱离、液压油改进和系统防护等诸多方面着手,进行全系统、全过程的维护保障。通过研究表明,立足国内现有的水分测量、水污染净化和自动控制技术,通过适当改进完善,是完全可以开发出适用有效的、具备快速高效脱水及在线水分监测等功能的水污染监控系统。

## 参考文献:

- [1] 陈群志,房振乾,康献海. 军用飞机外场腐蚀防护方法研究[J]. 装备环境工程,2011,8(2):72—77.
- [2] 杨晓华,金平. 飞机使用环境谱的编制[J]. 装备环境工程,2010,7(6):99—102.
- [3] SHARMA Shashi K, SNYDER Carl E Jr, GSCHWENDER Lois J, et al. Endurance Pump Tests with Fresh and Purified MIL-PRF-83282 Hydraulic Fluid[J]. ADREPORT, 1999(9):14—15.
- [4] JACKMAN Rachel, TEBBE Jill M, VILLAHERMOSA Luis A. Corrosion Preventing Characteristics of Military Hydraulic Fluids Part II[J]. ADREPORT, 2006(10):21—22.
- [5] 史强. 油液中水污染的危害分析及处理方法[J]. 装备维修技术,2009(1):60—64.
- [6] 李芳,于素青,原雯. 卡尔费休水分测定仪在分析中的应用[J]. 化学工程师,2011(9):61—64.
- [7] 王建忠. 液压油过滤脱水的研究[J]. 黑龙江矿业学院学报,2000,10(1):15—19.
- [8] 赵秋红,吴勇,夏志新,等. 高分子吸水性树脂在液压油中吸水性能的研究[J]. 液压与气动,1999(4):12—13.

(上接第70页)

- (5):263—266.
- [20] 沈文雁,徐福源. Ti-15-3 钛合金电偶腐蚀与防护研究[J]. 表面技术,1997,26(1):20—22.
  - [21] 宋诗哲. 腐蚀电化学研究方法[M]. 北京:化学工业出版社,1988:129—130.
  - [22] 陈铠,叶赐麒. 海水中921钢及其焊接接头的腐蚀性能[J]. 北京工业大学学报,1992,18(1):11—16.
  - [23] AKID R, MILLS D J. A Comparison between Conventional

- Macroscopic and Novel Microscopic Scanning Electrochemical Methods to Evaluate Galvanic Corrosion[J]. Corrosion Science,2001,43(7):1203—1216.
- [24] FUSHIMI K, NAGANUMA A. Current Distribution during Galvanic Corrosion of Carbon Steel Welded with Type-309 Stainless Steel in NaCl Solution[J]. Corrosion Science, 2008,50(3):903—911.
  - [25] 蔡建平,范林. 7A04铝合金在周浸实验中的腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程,2011,8(1):53—56.

(上接第74页)

- 保障探讨[J]. 装备环境工程,2007,4(2):55—57.
- [2] 张伟,康建设,王亚彬. 基于状态的维修及其建模研究[J]. 计算机仿真,2006,23(1):26—28.
  - [3] 陈旭华,贾云献,殷苏东. 基于状态的维修及其决策模型研究[J]. 军械工程学院学报,2007,19(3):13—18.
  - [4] 陈丽. 基于状态的维修模型综述[J]. 装备质量,2009(9):26—32.
  - [5] 李文昆,姚鹏,胡细木,等. 美陆军航空兵“增强型基于状

- 态的维修”对我军的启示[J]. 桂林空军学院学报,2008,25(6):27—29.
- [6] 康广,陈晓东. 信息化条件下装备保障研究[M]. 北京:解放军出版社,2011:303—307.
  - [7] 张伟,康建设,贾云献,等. 军用装备基于状态的维修策略研究[J]. 装甲兵工程学院学报,2005,19(3):16—19.
  - [8] 康建设,尹健. 武器装备基于状态的维修系统设计[J]. 计算机仿真,2007,24(6):5—8.