

doi: 10.7690/bgzdh.2014.08.001

导弹战备完好性度量参数及影响因素

张福光¹, 王鲁彬², 崔旭涛¹, 郭奇³

(1. 海军航空工程学院科研部, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院基础实验部, 山东 烟台 264001;
3. 海军航空兵独立第二团司令部, 北京 102443)

摘要: 为了对导弹战备完好性进行系统研究, 提升部队导弹装备管理决策能力, 通过对导弹实际任务剖面 and 导弹战备完好性度量参数分析, 系统分析并给出影响导弹战备完好性的主要因素, 给出影响导弹战备完好性的因素对应的度量参数。该研究为评估导弹战备完好性和改进导弹战备完好性奠定了基础, 可为后续开展导弹装备战备完好性评估提供技术支持。

关键词: 导弹; 战备完好性; 维修

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Measurement Parameters and Influence Factors of Missile Equipment Readiness

Zhang Fuguang¹, Wang Lubin², Cui Xutao¹, Guo Qi³

(1. Department of Scientific & Research, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Department of Basic Experiment, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
3. Command of the Second Corps of Naval Aviation Troops, Beijing 102443, China)

Abstract: For systematic research of missile equipment readiness and increase of the management of missile equipment of troops, main factors of affecting missile equipment readiness are systemically analyzed and given through analysis of actual task sector of missile and measurement parameters of missile equipment readiness. The measurement parameters relative to main influence factors are given. The foundation was built for assessing the improving missile equipment readiness. This research gives foundation for assessing and improving missile equipment readiness, and can provides technical support for assessing missile equipment readiness.

Keywords: missile; readiness; maintenance

0 引言

随着军事变革的不断深入, 高新技术广泛应用于武器装备中, 使装备性能显著提升, 如何保持和提升装备战备完好性, 已成为当前军队战斗力和保障力建设的关键问题。对于现役导弹装备而言, 战备完好性是装备战斗力的体现, 能够综合反映装备技术现状和管理水平, 在一定程度上决定了导弹执行任务的能力。如何科学合理地分析、评价及提升导弹装备战备完好性水平, 是部队急需解决的关键问题之一。目前, 针对装备战备完好性的理论研究多集中于航空、舰船装备领域, 文献[1-5]围绕装备战备完好性问题, 开展了相关分析研究, 但大多都在装备概率模型和统计模型的层面上, 对导弹装备战备完好性还缺乏系统性的研究。鉴于此, 笔者在对导弹装备的特点、任务剖面及其度量参数进行分析的基础上, 给出导弹装备战备完好水平的影响因素及各因素对导弹战备完好性影响的量化关系。

1 导弹装备任务剖面分析

导弹是“长期贮存, 一次发射使用”的精确打

击武器。现役导弹具有作战平台多样、导弹系列复杂、服役环境恶劣、环境参数控制困难等特点。为了评估和改进现役导弹的战备完好性, 必须精确和完整地掌控导弹从工厂交付到有效寿命结束期间发生的一系列与作战任务及非作战任务有关的全寿命剖面。通常把全寿命剖面分为作战使用剖面和非作战使用剖面。导弹全寿命周期任务剖面如图 1 所示。

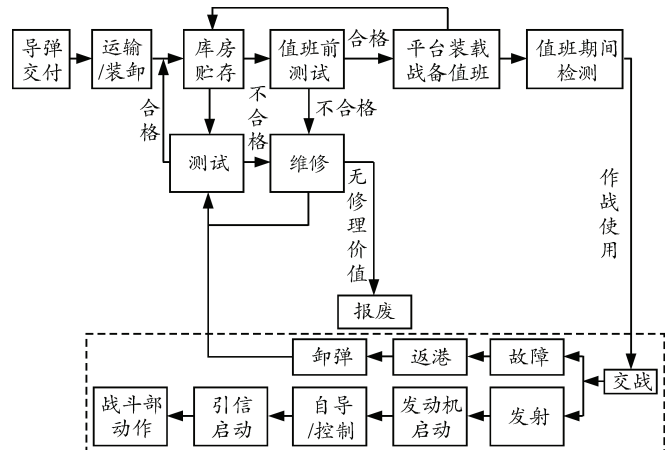


图 1 导弹寿命周期任务剖面

对于导弹装备而言, “作战使用剖面”是指系

收稿日期: 2014-02-26; 修回日期: 2014-03-28

作者简介: 张福光(1965—), 男, 山东人, 博士, 教授, 从事军事装备学研究。

统寿命周期中发射飞行阶段,用于系统/设备的使用阶段;“非作战使用剖面”用于系统/设备寿命周期中的非使用阶段(存储、装卸、维修和运输等阶段)。非作战使用阶段由于老化应力的作用,是影响导弹飞行周期的可靠性和战备完好性的重要阶段。

2 导弹战备完好性度量

战备完好性,是指装备在平时和战时使用条件下,能随时开始执行预定任务的能力^[6]。基于战备完好性定义,对导弹装备战备完好性及相关度量进行了分析。

2.1 导弹装备战备完好性

根据导弹装备特点、任务剖面及战备完好性的定义,导弹装备战备完好性可理解为:

1) 导弹战备完好性反映的是导弹装备本身的技术状态,不应包含人力等其他作战要素。导弹战备完好性是军事单位战备完好性的组成部分,受研制、维修、管理等因素影响。

2) 导弹战备完好性主要表现在导弹装备寿命剖面中战备值班过程。如果装备不承担战备值班,如处于封存状态,就不能体现战备完好性。

3) 导弹战备完好性是导弹装备时间质量特性的反映,表现了召之即来,随时可用的程度。

2.2 导弹战备完好性度量参数

不同类型的装备,由于使命任务、使用特点不同,表征装备战备完好性的参数也不同。按导弹特点、使命任务及定义的解释,选择战备完好率 P_{OR} 、使用可用度 A_0 作为其度量参数。

1) 战备完好率。

战备完好率 P_{OR} ,是指下次系统使用时,系统可用的概率。在上次任务装备没有发生故障,下次任务可直接使用;或者上次任务故障在下次使用前可修复,不影响下次任务使用的情况下,战备完好率可表示为

$$P_{OR} = R(t) + Q(t) \cdot P(t_m < t_d) \quad (1)$$

式中: $R(t)$ 表示上次任务中没有故障的概率; $Q(t)$ 表示上次任务中发生故障的概率; t 表示上次任务持续时间; $P(t_m < t_d)$ 表示上次任务中若发生故障,则故障修理时间 t_m 比下次任务到达时间 t_d 短的概率。

若维修时间概率密度函数用 $f(t_m)$ 表示,下次任务到达时间概率密度函数用 $g(t_d)$ 表示,维修从上次

任务结束瞬间开始,则故障修理时间比下次任务到达时间短的概率为

$$P(t_m < t_d) = \int_0^{\infty} f(t_m) \left[\int_{t_m}^{\infty} g(t_d) \right] dt_m \quad (2)$$

若故障修理时间和下次任务到达时间都服从指数分布,故障平均修复时间是 M_1 ,下次任务到达平均时间是 M_2 ,则

$$P(t_m < t_d) = \frac{M_2}{M_1 + M_2} \quad (3)$$

从而可得

$$P_{OR} = R(t) + Q(t) \cdot \frac{M_2}{M_1 + M_2} \quad (4)$$

其中 $R(t)$ 有 2 种认识:一是战备完好表示系统无任何故障, $R(t)$ 为基本可靠度;二是战备完好表示系统不影响执行任务,则 $R(t)$ 为任务可靠度。

根据战备完好率的定义可知,导弹战备完好性与任务通知时刻或上一次任务结束时刻导弹的状态及其保障系统的维修保障能力有关,是影响导弹装备持续作战能力和完成任务能力的重要指标之一。从任务角度考虑,可表示为:在规定的使用及维修保障方案下,能够执行任务的导弹数量与导弹总数量之比,其表达式为

$$P_{OR} = \text{能执行任务的导弹数} / \text{导弹总数} \quad (5)$$

2) 使用可用度。

使用可用度指某一分系统或单个设备,在某种作战使用环境下,在任一随机时刻应召时,可以方便和满意地投入使用的能力^[6]。通常,使用可用性可理解为系统完好性,即能在某种作战环境下满意运行的预期百分数。使用可用度考虑的是装备所有能工作时间和不能工作时间,由此可得

$$A_0 = \frac{\text{系统总时间} - \sum_{i=1}^n \text{第} i \text{次故障停机时间}}{\text{系统总时间}} \quad (6)$$

式中 n 为故障次数,能工作时间是指系统运行的时间,或者待命或关机时以及能在允许停机时进入运行状态的时间。

对于冲动式系统(一旦使用后一般不能回收)而言,不能工作时间概念没有意义,其大部分时间处在备用、待命或保证的状态,应当发挥作用的时间比较短,因此冲动式系统的使用可用性可量化为

$$A_0 = \frac{\text{成功的次数}}{\text{使用的次数}} \quad (7)$$

使用可用度考虑了产品的工作时间、待机时间、修复性维修时间、预防性维修时间、保障资源延误时间和管理延误时间，是全面评估产品可随时投入使用的有效工具，因此把使用可用度作为度量现役导弹战备完好性的主要指标之一。

使用可用度考虑因素较多，所以使用可用度评估比较复杂。研究导弹装备使用可用度需要考虑一系列时间要素。根据 GJB451—2005 对时间的图解进一步细化可得到导弹装备时间要素图，如图 2 所示。

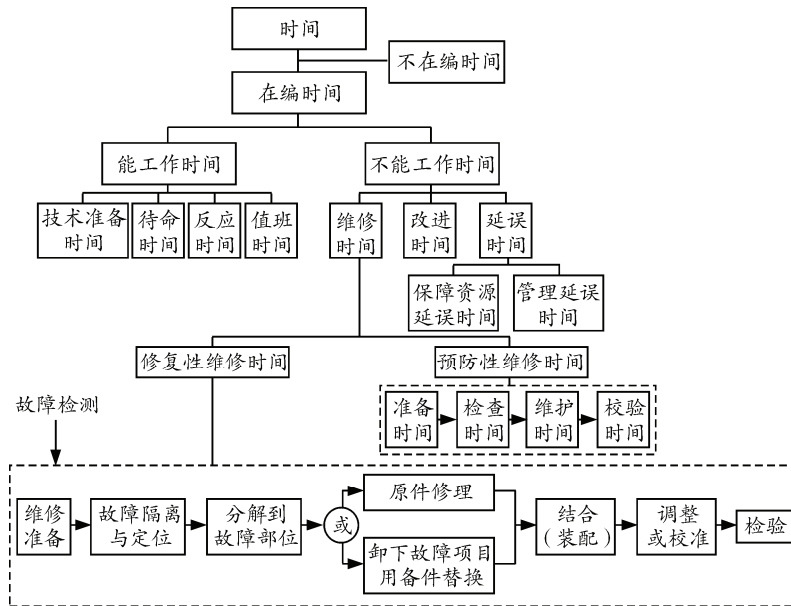


图 2 导弹装备时间要素

3 导弹战备完好性影响因素分析

3.1 影响因素分析

1) 装备研制对战备完好性的影响。

使用可用度 A_0 作为导弹战备完好性的度量指

标，在整个寿命周期内逐渐形成。随着寿命周期的发展，系统的方案及技术状态、各种数据变得更为具体和准确，经过几次迭代， A_0 指标才被最后确定。导弹全寿命周期 A_0 形成的主要工作内容如表 1。

表 1 导弹全寿命周期 A_0 主要工作

阶段	MTBF	MTTR	MLDT	A_0
立项论证	根据任务条件，提出 MTBF 计划值	根据任务条件，提出 MTTR 计划值	根据任务条件，提出保障系统计划要求	根据任务条件，新技术和相似系统，制订 A_0 门限值
研制生产	确认 MTBF 门限值	确认 MTTR 门限值	确认保障系统具体要求	确认 A_0 门限值
服役	保持 MTBF 门限值	保持 MTTR 门限值	保持或改进保障系统	保持或改进 A_0 门限值

可以看出，研制过程中的可靠性、维修性、保障性设计是导弹战备完好性的决定性因素。若设计的可靠性水平不高，则在实际使用中就会故障频出，严重影响使用操作和干扰任务的执行，战备完好性低下。维修性设计则决定了装备在使用时发生故障后是否易于维修，而保障性设计则决定了装备在使用过程中是否易于保障。装备的可靠性、维修性、保障性应该在研制中就赋予装备的，它们在装备使用中是无法弥补的。

2) 维修保障对战备完好性的影响。

维修保障是指为了保持和恢复导弹战备完好的技术状况所进行的保障工作，如全部技术和管理活动、装备的计划与非计划维修、战场抢修及其工具、设备、设施的配备和备件、器材的供应等，这些工

作还需要考虑相应的专业人员配备与训练、物质保障等。这些维修保障活动对导弹战备完好性的提高是研制过程中无法赋予的，维修活动是保持和改进装备完好性的必要途径。

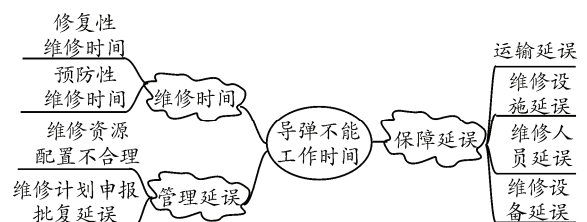


图 3 导弹不能工作时间影响因素

由 A_0 公式可知，导弹的平均不能工作时间是平均维修时间、平均保障延误时间和平均管理延误时间之和，影响导弹战备完好性的决定因素关系如图

3 所示。

3) 影响导弹装备完好性的主要因素。

结合目前导弹保障工作实际,影响现役导弹装备完好性的影响因素主要包括:

① 维修体制方面:维修主要采取预防性维修和修复性维修相结合的计划维修体制,预防性维修的主要手段是定时维修,导致按照预定的时间间隔开展大、中修,不能很好地满足导弹不同寿命周期的实际维修需求,容易造成过维修或欠维修。

② 维修管理方面:未建立实时的导弹健康管理机制,不能及时掌握导弹的质量状态,信息反馈不及时,维修保障信息汇总较慢,造成管理延误。各修理厂精细化管理程度不够,进厂修理的时间过长。

③ 备件管理方面:导弹维修备件主要依据计划维修,导弹使用保障阶段前期和后期的备件配给数量基本相同,不符合导弹全寿命保障的实际需求。同时,对维修中替换下来的备件也缺乏科学的管理措施,没有完善的处置或修复留用制度。

④ 设施设备方面:导弹修理设施相对落后,缺乏科学的建设标准,资源没有得到有效利用和分配。以信息化技术为核心的先进技术,包括数字化、可视化、智能化等,在导弹修理设备中没有得到广泛应用,导弹健康状态监测、快速检测、故障诊断、抢救抢修、远程支援设备不足。

⑤ 人员训练:新装备维修所必需的技术标准编写不及时、不规范,工艺要求修订和技术资料保障滞后,人员修理能力训练资料缺乏。

3.2 影响因素度量参数

根据上述对影响战备完好性因素的分析,给出影响导弹战备完好性的因素对应的度量参数。

1) 平均故障间隔时间(MTBF)。

在规定条件下和规定的时间内,导弹装备寿命单位总数与故障总次数之比。度量模型为

$$MTBF = \frac{\theta}{N_{TF}} \quad (8)$$

式中: θ 和 N_{TF} 分别表示在规定条件下和规定时间内导弹装备寿命单位总数和总故障数。

2) 平均维修间隔时间(MTBM)。

在规定条件下和规定的时间内,导弹装备寿命单位总数与该导弹装备计划维修和非计划维修事件总次数之比。度量模型为

$$MTBM = \frac{\theta}{N_{TM}} \quad (9)$$

式中 N_{TM} 表示在规定条件下和规定时间内导弹装备

总维修次数。

3) 平均修复时间(\bar{M}_{CT})。

在规定的条件下和规定的时间内,导弹战备在任一规定的维修级别上,预防性维修总时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。度量模型为

$$\bar{M}_{CT} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (10)$$

式中: t_i 和 N 分别表示在规定条件下和规定时间内导弹装备第 i 次排除故障所用修复时间和修复次数。

4) 平均预防性维修时间(\bar{M}_{PT})。

在规定的条件下和规定的时间内,导弹装备在任一规定的维修级别上,预防性维修总时间与导弹该装备在该级别上计划维修总数之比。度量模型为

$$\bar{M}_{PT} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (11)$$

式中: t_i 和 N 分别表示在规定条件下和规定时间内,导弹装备第 i 次预防性维修所用修复时间和维修次数。

5) 故障检测率(r_{FD})。

在规定的条件下和规定的时间内,用规定的方法正确检测到的故障数与故障总数之比,度量模型为

$$r_{FD} = \frac{N_D}{N_{TF}} \times 100\% \quad (12)$$

式中: N_{TF} 表示在规定期间内发生的全部故障数; N_D 表示在同一期间内在规定条件下用规定方法正确检出的故障数。

6) 故障隔离率(r_{FI})。

在规定的条件下和规定的时间内,用规定的方法将检测到的故障正确隔离到不大于规定模糊度的故障数与检测到的故障数之比,度量模型为

$$r_{FI} = \frac{N_L}{N_D} \times 100\% \quad (13)$$

式中: N_L 表示在规定条件下用规定方法正确隔离到小于或等于 L 个可更换单元的故障数。

7) 虚警率(r_{FA})。

在规定的条件下和规定的时间内,产品发生的虚警数与同一时间内故障指示总数之比,度量模型为