

doi: 10.7690/bgzd.2025.11.021

基于任务功能与抢修时间的装备战场损伤等级评估方法

张成名, 刘 宁, 吴龙涛
(防化研究院, 北京 102205)

摘要: 基于装备战场损伤评估(battle damage assessment, BDA)的重要性, 提出一种装备损伤等级评估的基本程序与研究方法。通过在装备功能任务分解、功能结构描述和战场抢修可更换单元确定的基础上, 提出部件的抢修影响系数和功能影响系数的估算方法, 并创新建立基于战场抢修时间和任务功能影响的装备损伤等级综合评定算法。结果表明, 该方法可为开展装备损伤等级评估、装备战场抢修提供依据参考。

关键词: 武器装备; 战损; 评估

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Evaluation Method of Equipment Battlefield Damage Level Based on Mission Function and Repair Time

Zhang Chengming, Liu Ning, Wu Longtao
(Chemical Defence Institute, Beijing 102205, China)

Abstract: Based on the importance of battle damage assessment (BDA), a basic procedure and research method of equipment damage level assessment is proposed, which is based on the functional task decomposition of equipment, the description of functional structure and the determination of battlefield repair replaceable unit. The estimation methods of repair influence coefficient and function influence coefficient of components are put forward, and the comprehensive evaluation algorithm of equipment damage level based on battlefield repair time and task function influence is innovatively established. The results show that the method can provide reference for equipment damage level assessment and battlefield repair.

Keywords: weapons and equipment; battle damage; assessment

0 引言

武器装备战场损伤评估(BDA), 是指在战场上或突发紧急情况下, 对受损装备运用定性或定量分析方法, 科学、准确判定装备毁伤程度、现场可修复状态、修复时间和修复后的作战能力, 并确定由谁实施修复和在哪里修复, 以及明确受损装备的修复方法步骤与应急修理所需保障资源的决策过程^[1]。装备战场损伤评估是实施战场抢修决策的首要环节, 科学的战场损伤评估是指挥员实施正确作战指挥和有效的战场装备保障的重要依据, 也是合理使用战场装备保障力量、优化配置战场装备保障资源、有针对性地组织战场装备抢救抢修的重要基础, 对实现损伤装备的有效修理, 提高装备战场抢修的有效性具有重要作用。传统的战场损伤等级评估方法大都以抢修时间的长短作为评估的主要指标, 往往忽视功能的影响, 造成评估的结果不够科学合理。如有的部件虽然修复时间较长, 但由于其对整个装备执行任务的功能影响较小或很容易替代, 则对该部件的损伤评估结果只能为轻度损伤;

因此, 笔者研究一种基于功能任务与抢修时间双重指标的装备战场损伤等级评估的步骤、流程和方法, 适用于对单个装备的战场损伤等级评估。

1 装备战场损伤评估因素分析

1.1 装备功能与任务分析

装备功能与任务分析的输入包括装备的性能、任务需求、结构特点、任务剖面等, 输出包括装备的基本功能、功能状态、功能与任务关系描述表等。

其基本原理:

- 1) 将装备功能分解为若干基本功能, 各基本功能之间应尽可能相互独立, 并能全面描述装备的功能;
- 2) 对每项基本功能, 结合装备可能的损伤情况, 确定若干功能状态, 或称功能退化状态;
- 3) 建立装备功能与功能状态的描述方法;
- 4) 装备任务分析, 通过对任务剖面进行分析, 确定基本任务阶段;
- 5) 对装备的每个基本任务阶段, 开展所需基本

收稿日期: 2024-10-19; 修回日期: 2024-11-11

第一作者: 张成名(1981—), 男, 吉林人, 硕士。

功能分析,建立包含功能需求的任务剖面。

1.1.1 装备基本功能

装备的基本功能,是对装备功能的完整描述。原则上,各基本功能之间应尽可能相互独立,并能全面描述装备的功能。不同的装备功能差别较大,在此按照保障装备型号分别进行划分。如某型装备的基本功能包括行驶功能、通信功能、供电功能、供水功能、淋浴功能和控制功能等。

1.1.2 装备功能状态

装备的功能状态,是指装备受到损伤后所具有的功能状态,本质上指装备受到损伤后的残余功能状态。按传统的功能状态描述方法,装备功能在任意时刻只能处于:完好、丧失 2 种状态,即:1 或 0。根据国内外尤其是美军的研究与应用现状,为了准确地评估装备损伤程度及对功能的影响,装备功能状态描述更趋复杂。将功能状态简单描述为 0 或 1 2 种代码的方法已不再适用,通常采用多态性描述。

根据装备各基本功能的特点及可能出现的受损状态,确定一系列的功能损失状态。

各功能状态可分为完好、轻微下降、显著下降和丧失^[2]。

1.1.3 装备功能状态描述

装备受到损伤后的功能状态,可用功能损伤状态描述表描述,如表 1 所示。该装备当前的状态是功能轻微下降。

表 1 装备功能状态描述

基本功能	完好	轻微下降	显著下降	丧失
行驶功能	√			
通信功能		√		
供水功能		√		
供电功能	√			
淋浴功能	√			

1.1.4 装备任务描述

依据装备的典型任务剖面,对任务剖面内的各项任务阶段进行分析,抽出与装备功能密切相关的阶段,并将它标准化,形成标准的描述方法^[3]。

根据对装备的典型任务剖面分析,在典型任务剖面内,对 4 个主要任务阶段的功能提出了要求:

- 1) 机动:远距离机动,可能需要运载、保障特定人员或物资;
- 2) 阵地展开:开设淋浴站,进行人员淋浴;
- 3) 撤收或转移:收集物资,离开阵地到指定地点。

1.1.5 装备任务与功能需求分析

对每个任务阶段开展功能需求分析,分别确定所需功能,形成装备主要任务阶段与功能需求分析对应关系。通过对装备功能与任务分析,获得装备的功能任务关联表,如表 2 所示。必需功能是装备完成任务一定具备、必不可少的功能;辅助功能指不是完成任务所必需的,但仍很重要的功能。

表 2 装备功能任务关联

任务要求	必需功能	辅助功能
人员淋浴机动	供电、供水、控制、淋浴行驶	加热通信

1.1.6 确定功能对任务的影响系数

通过专家打分法、经验法、装备原理分析等方法,确定功能对装备任务的影响排序。具有同等影响的排序可以相同^[4]。

为了更准确地评定装备功能与任务之间的影响关系,同时也是准确评估装备损伤的需要,这里引入功能任务影响系数,作为定量分析指标^[5]。

功能任务影响系数 P 是指在装备不同的任务阶段,装备各基本功能对装备总功能影响大小的量度。假设某型装备共有 5 个基本功能,分别用 P_m 、 P_t 、 P_c 、 P_d 、 P_i 表示各基本功能的任务影响系数,以反映各个基本功能对任务影响的权重大小,且 $P_m + P_t + P_c + P_i + P_d = 1$ 。

功能任务影响系数越大,说明该基本功能对完成任务的影响越大,为 0 则说明对总功能无影响。

功能影响系数可通过专家评估方法确定。

功能任务系数的计算方法采用下式:

$$P = \frac{1}{X_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i}} \quad (1)$$

式中: n 为对任务有影响的功能个数; X_i 为某功能在执行某任务时的排序数值。通过多专家进行评估采用平均加权法即可最终确定各个功能任务系数。由于条件限制,笔者不对多任务功能任务系数进行详细研究。一种可行的方法是各个任务阶段的任务相加再进行归一化处理。

1.2 装备工作结构描述

按照装备功能,将装备划分为若干完成特定功能的分系统,再将各子系统按层次进一步划分为装置(设备)、部件、零件等,是解决装备损伤评估的一个重要途径,只有对评估对象即装备进行结构化处理才能使评估按照一定的结构和层次进行。

采用比较成熟的工作分解结构方法。其核心是工作分解结构单元，它是根据装备功能划分的基本结构单元，按照分析层次的不同，一个工作分解结构单元可代表一个分系统、装置、组件、零部件或零部件的一部分。其结构示例如图 1 所示。

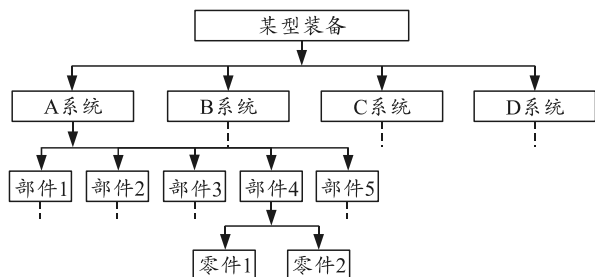


图 1 某型装备工作分解结构

1.3 装备战场抢修单元确定

装备战场抢修单元指为恢复战损装备的技术性能，需要进行修复或更换的系统、部件、零件的统称。

1.3.1 确定基本流程

1) 准备资料：包括装备的工作分解结构、使用/维修手册、备件目录、功能需求、任务需求、历史数据、可靠性数据等；

2) 确定约定层次：根据建模的目的与要求，提出的分析层次，确定初始和最低约定层次；

3) 确定基本结构项目和基本功能项目：先对装备详细进行分类，获得装备基本结构项目和基本功能项目集合；

4) 确定战场抢修基本项目：从装备组成的最高层次开始，对每个基本结构项目，分析其受到损伤后能否导致对作战任务、安全产生直接致命性影响，如果是，则为基本功能项目，并进入下一层次继续分析，直到最低约定层次为止；否则就排除掉，不再需要对该项目下的各低层次项目进行分析。

1.3.2 确定对功能的影响系数

通过专家打分法、经验法、装备原理分析等方法，确定零部件对装备各个功能的影响。零部件对功能影响可划分为重要影响、一般影响和无影响 3 个级别。重要影响取值为 1，无影响取值为 0，一般影响根据重要程度取值在 0~1。

1.4 装备损伤等级的划分

损伤等级是对装备损伤严重程度所作的区分。它是装备领域开展战场抢修研究与应用的依据，是部队开展损伤评估、战场抢修工作的基础。

根据损伤的严重程度、抢修时限要求和维修分

队级别，结合现行装备损伤等级的划分方法，参照其他装备领域损伤等级的划分方法，将装备损伤分为轻微损伤、中等损伤、严重损伤和报废 4 个等级，分别简称为轻损、中损、重损、报废。

2 装备战场损伤等级评估流程

2.1 损伤等级评估基本流程

损伤等级评估是根据装备损伤部位与程度，确定装备损伤等级的过程，是装备损伤评估的重要内容。

装备损伤等级评估应遵循简单、实用的原则。根据装备损伤的特点、战场环境，装备损伤等级评估可采用下述程序与方法，损伤等级评估流程如图 2 所示。

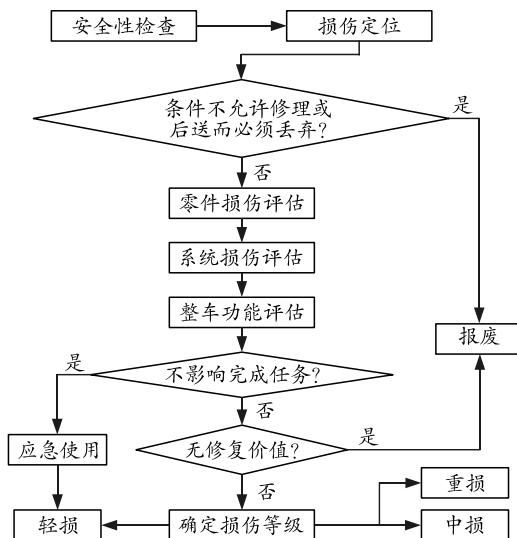


图 2 损伤等级评估流程

首先，进行安全性检查，判断是否具备评估条件；其次，进行损伤定位，确定损伤部位；最后，依次开展零部件损伤评估、系统级损伤评估和整个装备的评估，确定损伤等级。

2.2 零部件损伤评估

零部件损伤评估流程如图 3 所示。

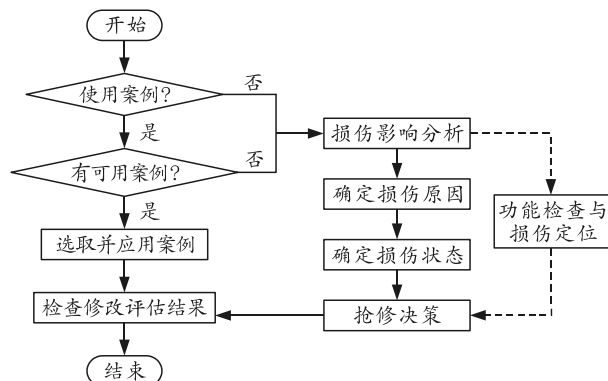


图 3 零部件战场损伤评估的基本流程

判断是否有类似可用的历史使用案例, 如果没有, 则进行损伤影响分析, 确定损伤原因、损伤状态, 生产抢修决策。其中, 损伤影响分析引入计算任务影响系数的方法, 任务影响系数主要分析零部件对装备执行任务的影响, 用 K 表示:

$$K = P_m * M_0 + P_t * T_0 + P_c * C_0 + P_d * D_0 + P_i * I_0。 \quad (2)$$

式中: P_m 、 P_t 、 P_c 、 P_d 、 P_i 分别为各基本功能的功能任务影响权重; M_0 、 T_0 、 C_0 、 D_0 、 I_0 分别为受损部件(单元)对各个功能的影响系数(这里假设为 5 个功能)。

2.3 系统损伤评估

建立各装备结构组成树形结构图, 按系统汇总零部件损伤, 确定各系统的损伤项数、功能状态和抢修对策, 并计算任务影响系数。任务影响系数指装备系统损伤对任务的影响程度, 通常用 K 来表示:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_j。 \quad (3)$$

式中: N 为系统损伤零部件(单元)数量; K_j 为第 j 个零部件的任务影响系数。

同时根据下属的损伤项及抢修对策, 汇总抢修对策, 基本方法为合并相同的内容, 获得一组对策, 如抢修、带伤使用。

2.4 基于任务完成度和抢修时间的装备损伤等级判定方法

判定的基本流程如图 4 所示。

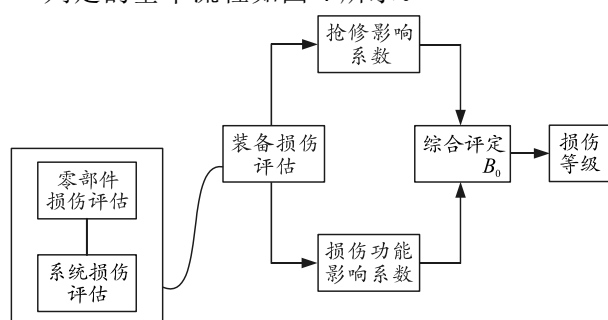


图 4 损伤等级判定的基本流程

在该流程中, 零部件损伤、系统级损伤在前面已经说明。在这里通过系统级的损伤情况, 确定装备的抢修影响系数以及损伤对装备功能的影响程度, 采用加权综合评定方法最终确定装备的损伤等级。

2.4.1 抢修影响系数

抢修影响系数, 主要通过装备进行战场抢修所

需要的抢修时间来表征。战场抢修影响系数由抢修人员和抢修时间 2 方面因素决定:

$$L = \frac{1}{\max P_i} \sum_{i=1}^n P_i \times T_i。 \quad (4)$$

式中: n 为损伤的系统数量; P_i 为第 i 个系统抢修所需人数; T_i 为第 i 个系统的抢修时间; $\max P_i$ 为各个系统抢修时所需人数的最大值。

2.4.2 任务影响系数

任务影响系数指装备系统损伤对任务的影响程度, 通常用 K 来表示:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_j。 \quad (5)$$

式中: N 为系统损伤数量; K_j 为第 j 个系统的任务影响系数。

2.4.3 整车损伤等级评定

装备战斗损伤的等级评定以抢修时间为基础, 抢修时间越长, 损伤等级越严重, 同时综合考虑任务影响系数, 对任务影响系数较低的损伤, 不考虑维修时间, 一般限定在轻损和中损范围内。

3 方法验证

3.1 损伤状态假设

假设某部队沐浴车在执行时右前方及左后方分别遭到敌方爆破弹片损伤, 经故障诊断, 发现部件 A、B、C、D、E 共 5 个零部件发生损坏。

3.2 判定损伤等级

1) 抢修时间。经计算, 抢修时间 $L=105 \text{ min}$ 。

2) 任务影响系数。经计算, 抢修任务影响系数 $K=0.175$ 。

3) 整车损伤等级评定。根据计算结果, 参照标准, 确定整车损伤等级为中损。

4) 整车功能状态退化情况。供水与储水功能丧失、热水发生功能丧失, 无法完成人员沐浴任务。

4 结束语

笔者提出了一种装备损伤等级评估的通用程序与方法, 从装备功能影响和抢修影响 2 方面确立了评估准则, 建立了基于任务完成度和抢修时间的装备损伤等级评估模型, 可为开展装备损伤等级评估、装备战场抢修提供参考和指导。